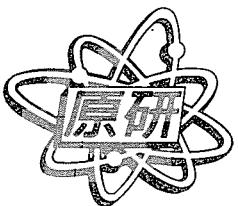


JAERI-Tech  
2000-060



JP0050869



## 核破碎ターゲットリモートハンドリング実証試験装置

2000年11月

神永 雅紀・佐々木 忍・羽賀 勝洋・麻生 智一・大木 秀孝  
粉川 広行・秋元 敦・安達 潤一・日野 竜太郎

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

本レポートは、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。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 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。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

## 核破碎ターゲットリモートハンドリング実証試験装置

日本原子力研究所東海研究所中性子科学研究中心  
神永 雅紀・佐々木 忍・羽賀 勝洋・麻生 智一・木下 秀孝  
粉川 広行・秋元 敦※・安達 潤一※2・日野 竜太郎

(2000年8月18日受理)

日本原子力研究所(原研)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)は、生命・物質科学に関する新しい研究領域を開拓するため、中性子散乱施設とミューオン科学施設から成る生命・物質科学研究施設の建設計画を進めている。中性子散乱施設では、大強度陽子加速器から1MWのパルス状陽子ビームを水銀ターゲットに入射させ、核破碎反応により発生した大強度の中性子を生命・物質科学等の先端分野の研究に利用する予定である。水銀ターゲット容器は、陽子ビーム及び中性子による照射損傷並びに核破碎反応に伴う過酷な熱負荷による機械的損傷等により数ヶ月間の運転毎に交換が必要である。水銀ターゲット容器の交換では、容器が強く放射化しているため、リモートハンドリングによる取り扱いが必須となる。そこで、ターゲット容器の最適なリモートハンドリングによる交換作業手順とそれに必要な機器を決めるため、コンピュータによる3次元シミュレーション解析を実施した。その結果を基に、パワーマニピュレータ付天井走行型作業ロボットを主要な作業に用い、マスタースレーブマニピュレータを補助に用いることを計画した。

本報では、水銀ターゲット容器のリモートハンドリングシミュレーション結果に基づき、ターゲットリモートハンドリングシステムの機能を実証するため計画した実規模ターゲットリモートハンドリング実証試験装置の仕様及び試験計画について述べる。本リモートハンドリング実証試験装置を用いた試験は、平成13年4月から開始する。

---

東海研究所:〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

※ 外来研究員:(株)日立製作所

※2 外来研究員:川崎重工業(株)

Remote Handling Demonstration Test Facility for Spallation Target

Masanori KAMINAGA, Shinobu SASAKI, Katsuhiro HAGA, Tomokazu ASO,  
Hidetaka KINOSHITA, Hiroyuki KOGAWA, Atsushi AKIMOTO\*,  
Junichi ADACHI\*\* and Ryutaro HINO

Center for Neutron Science  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 18, 2000)

The Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) and the High Energy Accelerator Research Organization (KEK) are promoting a plan to construct a life and material science experimental facility, which consists of a neutron scattering facility and a muon science facility, to open up a new research area related to life and material sciences. In the neutron scattering facility, a 1MW pulsed proton beam from a high-intensity proton accelerator will be injected into a mercury target in order to produce high-intensity neutrons. The neutrons produced by the mercury target will be utilized in the advanced fields of science such as the life and material sciences. The mercury target container must be replaced within a few months due to damages caused by proton and neutron irradiations and excessive heat loads under the spallation reaction. For the replacement of the mercury target container, the container must be handled with remote handling devices because it would be highly activated. Therefore, a three dimensional computer simulation study for the target replacement was carried out to determine the best procedure and devices for the target container replacement. As a result, a gantry robot with a power manipulator was selected as a main remote handling device for the target container replacement and master slave manipulators were used as assistant devices.

This report describes a remote handling system demonstration test facility specification, which is decided on basis of the simulation study results and a test plan to demonstrate the target remote handling system. A series of remote handling tests using the demonstration test facility will be started from April, 2001.

Keywords: Life and Material Science Experimental Facility, Neutron Scattering, Muon Science, Proton Beam, Mercury Target, Spallation Reaction, Target Container, Remote Handling, Manipulator, Computer Simulation, Demonstration Test

---

\* On leave from Hitachi Co. Ltd.

\*\* On leave from Kawasaki Heavy Industries Ltd.

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 水銀ターゲットシステム遠隔操作の概要.....	2
2.1 水銀ターゲットシステム .....	2
2.2 水銀ターゲットシステム遠隔操作設備の概要.....	4
2.3 水銀ターゲットシステム遠隔操作の概要.....	5
3. リモートハンドリング実証試験装置仕様.....	10
3.1 装置概要 .....	10
3.2 構成機器 .....	10
4. 試験計画 .....	27
4.1 完成検査 .....	27
4.2 リモートハンドリング試験 .....	27
5. 結 言 .....	37
謝 辞 .....	37
参考文献 .....	37

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Outline of Mercury Target System Remote Handling .....	2
2.1 Mercury Target System .....	2
2.2 Outline of Mercury Target System Remote Handling Devices .....	4
2.3 Outline of Mercury Target System Remote Handling Procedure .....	5
3. Specifications of Target Remote Handling Demonstration Test Facility .....	10
3.1 Outline of Remote Handling System .....	10
3.2 Specifications of Components .....	10
4. Test Plan .....	27
4.1 Completion Test .....	27
4.2 Remote Handling Test .....	27
5. Concluding Remarks .....	37
Acknowledgements .....	37
References .....	37

## 1. 緒　　言

日本原子力研究所（原研）と高エネルギー加速器研究機構（KEK）は、増大する中性子ビームの需要に応えるとともに生命・物質科学に関する新しい研究領域を開拓するため、中性子散乱施設を中核とした生命・物質科学研究施設の建設設計画を進めている<sup>(1)</sup>。中性子散乱施設では、大強度陽子加速器から1MWのパルス状陽子ビームを水銀ターゲットに入射させ、核破碎反応により発生した大強度の中性子を生命・物質科学等の先端分野の研究に利用する計画である。

水銀ターゲット容器は、陽子ビーム入射及び核破碎により発生する高エネルギー中性子による照射並びに核破碎反応に伴う過酷な熱負荷にさらされる環境下で使用されるために、照射損傷等により数ヶ月間の運転毎に交換が必要である<sup>(2)</sup>。また、ターゲット容器は、陽子ビーム入射及び核破碎によって発生する高エネルギー中性子の照射により強く放射化されているため、その交換はリモートハンドリングにより実施する。英国ラザフォードアップルトン研究所の核破碎中性子源ISIS（陽子ビーム入力160kW）においては、低出力用の固体ターゲットを採用し、その交換は、マスタースレーブ（MS）マニピュレータを用いたリモートハンドリングにより実施している。ISISにおけるターゲット交換作業では、汎用のMSマニピュレータを用い、また、10年以上の経験を積んだ交換専門の熟練した技術者が実施して10日間以上の交換期間を要している<sup>(3)</sup>。

一方、現在設計検討を進めている中性子散乱施設では、ISISよりも陽子ビーム入力が1桁大きいため、ターゲットシステムが重装備となり、放射化レベルもさらに高くなる。それにもかかわらず、施設の稼働率を向上させるためにターゲット容器のリモートハンドリングによる交換は、運転停止から再起動作業を含めて1週間以内の短期間で実施することが要件となっている。そこで、このような要件を満たすためにリモートハンドリングシステムの設計検討に着手した。ターゲット交換を模擬したリモートハンドリングシステムのシミュレーション解析を通して、3次元的に自律走行が可能な多関節型マニピュレータ付き天井自律走行型作業ロボット、作業を監視する床上自律走行型移動ロボット及び作業を補助するMSマニピュレータから成るリモートハンドリングシステムの概念を構築した。ターゲット交換作業は、これらのリモートハンドリング機器の使用により3日以内で終了し、直ちに再起動作業に移行できることを目標とした。

本報告書では、水銀ターゲット容器のリモートハンドリングシミュレーション結果に基づき、ターゲットリモートハンドリングシステムの機能を実証するため計画した実規模ターゲットリモートハンドリング実証試験装置の仕様及び試験計画を示す。

## 2. 水銀ターゲットシステム遠隔操作の概要

### 2.1 水銀ターゲットシステム

Fig.2.1に中性子散乱施設のターゲットステーション概念図を示す。大強度陽子加速器からの1MW陽子ビーム（3.0GeV、0.333mA）は、図中右側の陽子ビームラインを通って核破碎水銀ターゲットへと導かれる。ターゲット上下には、核破碎により発生した中性子を、実験目的に応じて、冷・熱・熱外中性子へと減速する超臨界水素及び軽水を用いた冷減速材容器が設置され、その周りにはベリリウムや鉛等の反射体が設置される。各減速材を通して所定のエネルギーレベルに減速された中性子は、生体遮蔽体の中に配置された中性子導管を通して中性子散乱実験装置等へ導かれる。各中性子導管には中性子ビームシャッターを設け、運転中においても各実験装置において試料の交換等が実施できようとしている。

減速材容器及び反射体は、減速材／反射体交換プラグと一体で設置し、これらの保守・点検及び交換は、減速材／反射体交換プラグを上方に引き抜き、陽子ビーム下流に位置する専用の減速材／反射体交換プラグメンテナンス室で行う。

水銀ターゲットはターゲット台車先端に取り付け、台車上には水銀循環系を設ける。水銀ターゲットの交換は、ターゲット台車とともに水平方向に引き抜き、ターゲット取扱室に設けたターゲットリモートハンドリング用ロボット等による遠隔操作により行う。

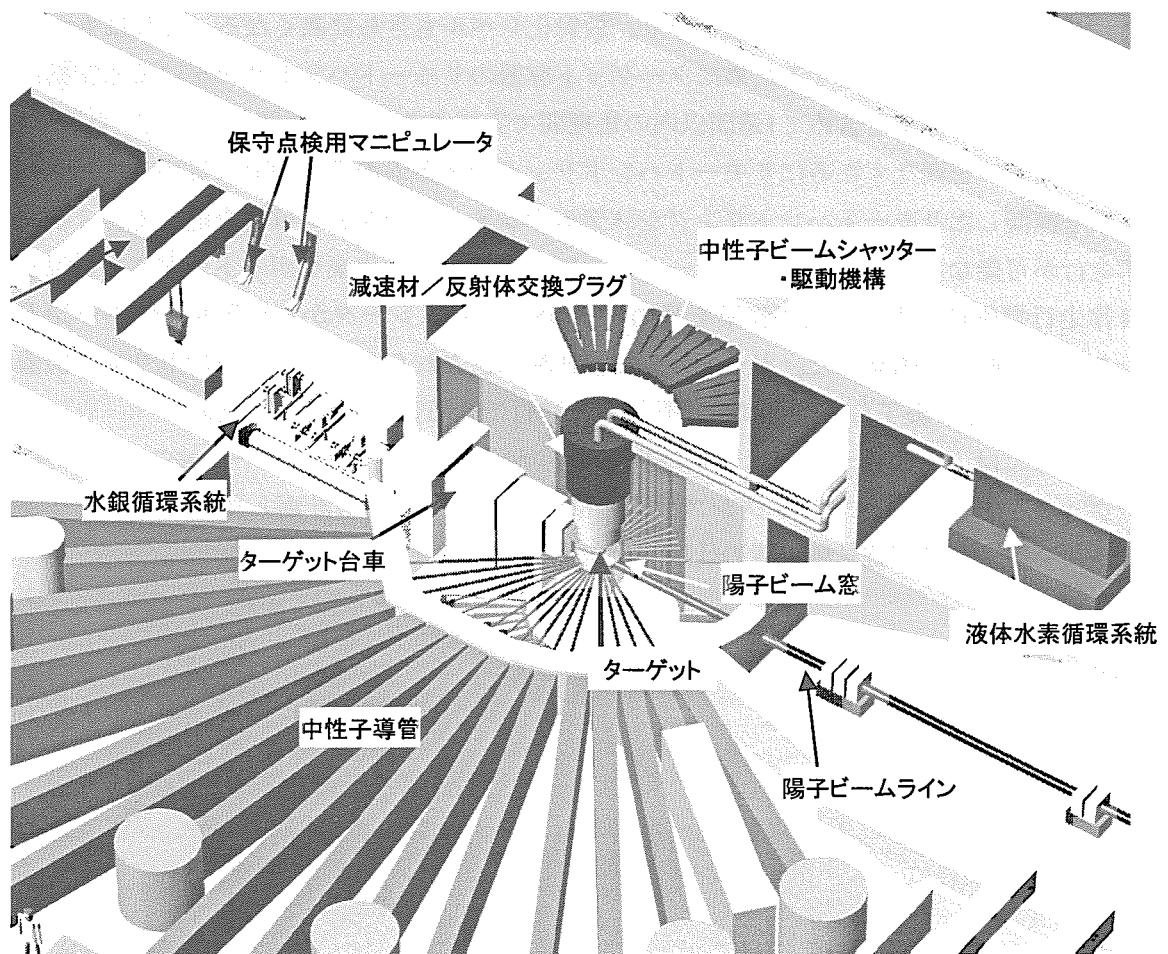


Fig.2.1 中性子散乱施設ターゲットステーションの概念

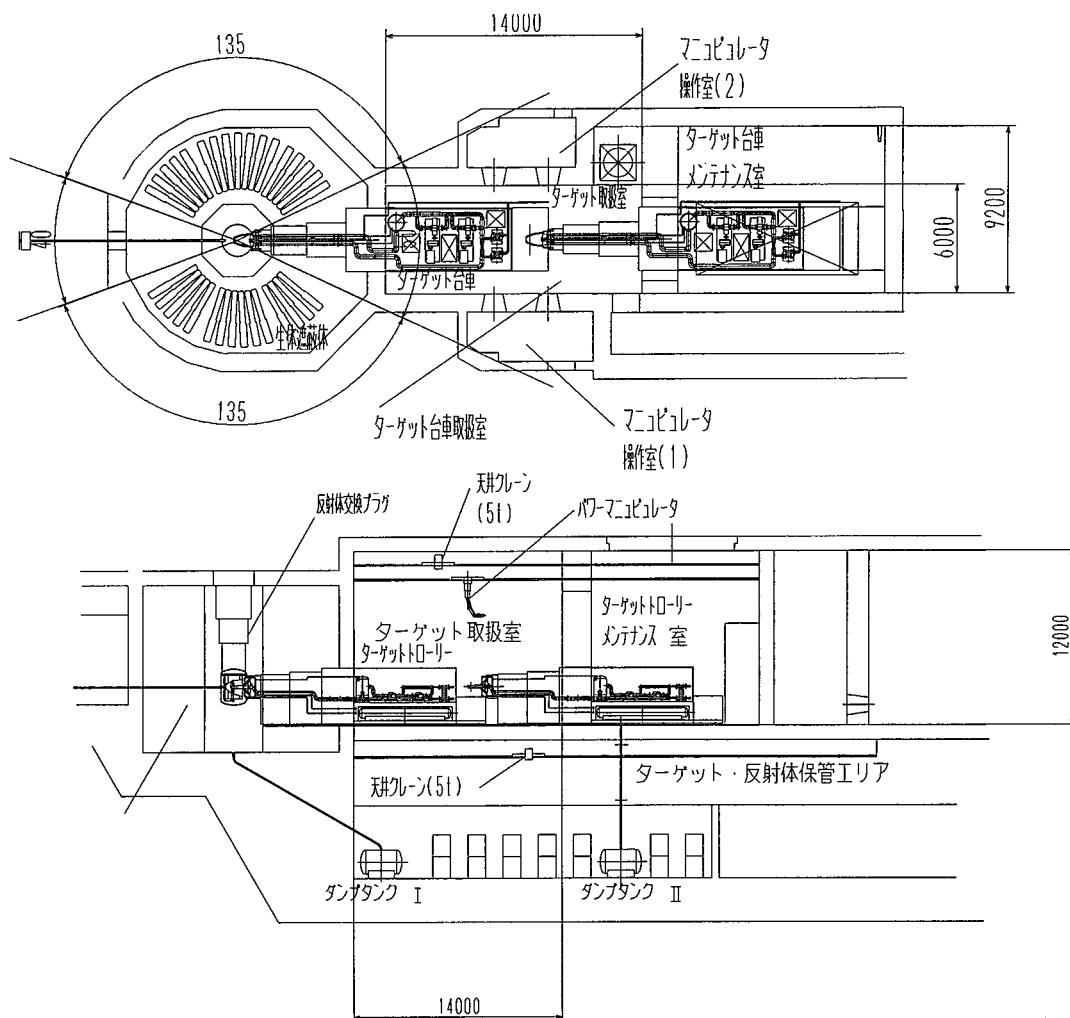


Fig.2.2 ターゲット台車取扱室周囲配置図

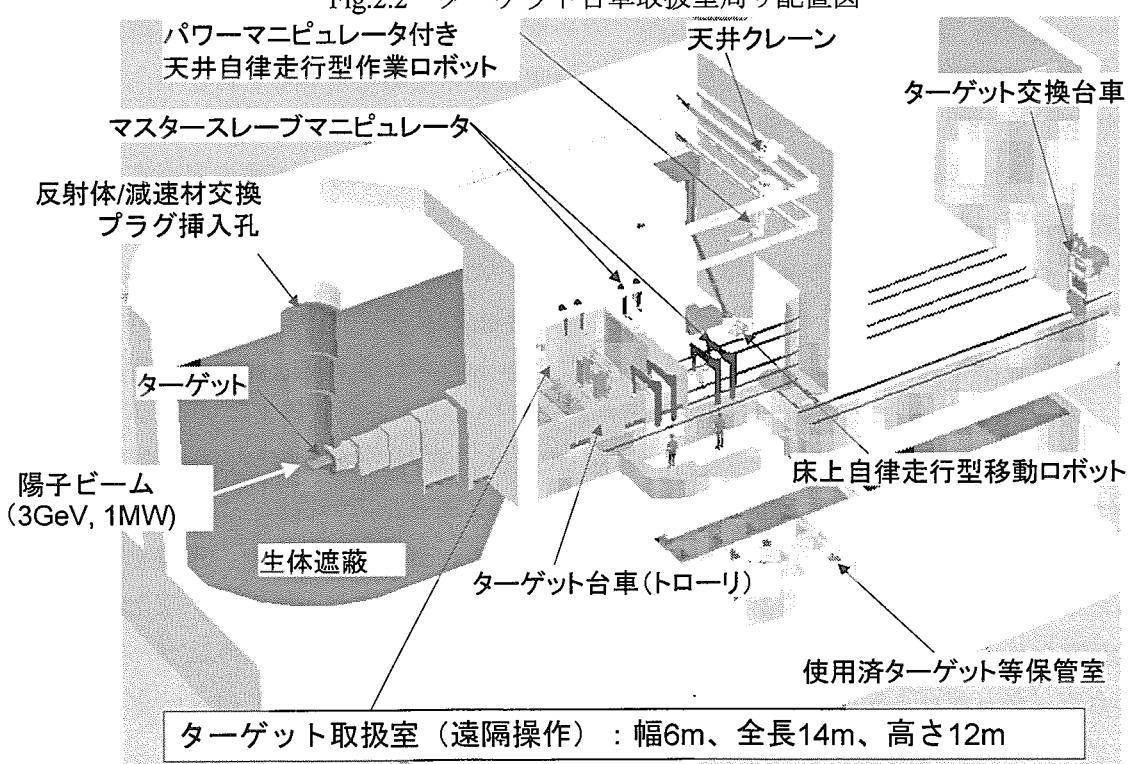


Fig.2.3 ターゲット台車取扱室 (遠隔操作) 内遠隔操作機器概要図

このような交換システムを採用した理由は、水銀ターゲット容器、減速材容器、反射体等の寿命が異なることから、その保守・交換作業を寿命に応じてできるようにして作業期間を短縮することを目的としたためである。ちなみに、ターゲットシステムでは水銀ターゲット容器の寿命が最も短いと予測され、次いで減速材容器、反射体と続く。これらの交換頻度を以下に示す。なお、これらの交換頻度は現設計段階での暫定値であり、今後の材料照射試験結果により詳細を決定する。

交換頻度（1MW運転時）	
① 水銀ターゲット	3回／年
② 超臨界水素減速材容器	1回／年
③ 軽水減速材容器	1回／年
④ 反射体	1回／10年

英国ラザフォードアップルトン研究所の核破碎中性子源ISISでは、ターゲット・減速材・反射体を一体で水平方向に引き抜き、リモートハンドリングセル内でこれらの交換・保守作業を実施している。ISISでは、この作業には最短で10日間（ターゲットのみの交換の場合、減速材容器を含めて交換した場合には約1ヶ月）を要しているが、前述した保守・交換システムを採用することにより約1週間（運転停止後の冷却に1日、ターゲットの交換に3日間、気密等の検査で1日、減速材システム等の再起動操作に2日間）で交換が可能となり、中性子散乱施設の稼働率を高水準に維持することができる。

## 2.2 水銀ターゲットシステム遠隔操作設備の概要

Fig.2.2に中性子散乱施設のターゲット台車取扱室周り配置図を示す。本施設では、Fig.2.2に示すように発生した中性子を最大限に利用できるように、ターゲットを設置する水平面上において陽子ビーム入射側（陽子ビーム上流側）40度、ターゲット台車側（陽子ビーム下流側）50度の角度を、それぞれ陽子ビームライン及びターゲット台車設置のために用いることとし、ビームライン左右の各135度を中性子散乱実験用の中性子ビーム取り出し領域として確保している。このため、ターゲット容器の交換、ターゲット台車上の水銀循環機器の保守・点検を実施するターゲット取扱室の設置エリアが制限され、これらを取り扱うリモートハンドリング設備の平面配置には工夫を要する。しかし、垂直方向には大きな制限が無いため比較的自由な配置が可能である。

そこで、ターゲットのリモートハンドリングには、Fig.2.3に示すようにターゲット台車取扱室の上部空間を有効に利用することとし、パワーマニピュレータ付き天井自律走行型作業ロボットをメインの作業に用い、また、これを補助するためにターゲット取扱室壁面にMSマニピュレータを用いることを基本方針とした。一方、作業時の状況は、室内に5箇所程度設けるCCDカメラ、パワーマニピュレータ先端部に取り付ける立体視用CCDカメラを用いるが、これらの情報はいずれも上方向のみであり、十分な作業状況を把握できない恐れがある。そこで、作業を下部から監視するためのCCDカメラ付床上自律走行式移動ロボットを併用することとした。また、ターゲットは、水銀をドレンした状態でも重量が500kg以上あるため、Fig.2.4に示すようにターゲット交換専用の台車（ターゲット交換台車）を準備することとした。この交換台車にはターゲット交換時のターゲット本体支持を兼ねる収納容器を設けることとした。

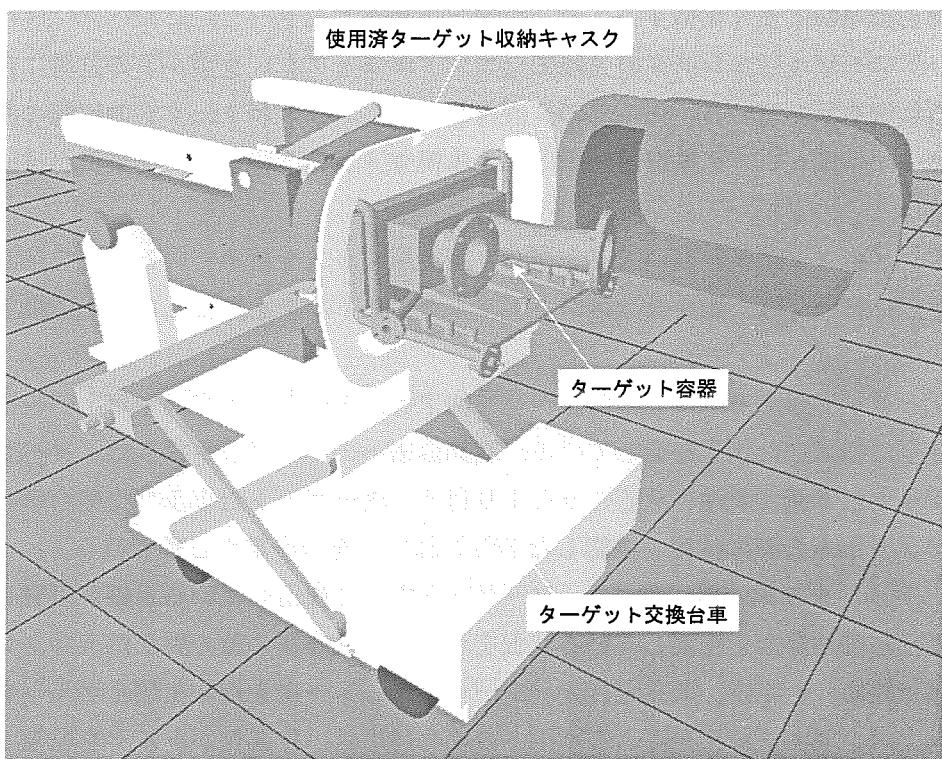


Fig.2.4 ターゲット交換台車の概要

### 2.3 水銀ターゲットシステム遠隔操作の概要

Fig.2.5(a)～(c)にFig.2.3に示した遠隔操作機器を用いたターゲット交換シミュレーションの結果を示す。これら一連のリモートハンドリングシミュレーションは、建家配置図及び各構成機器図面を基に3次元CAD Pro/Engineerを用いてターゲット台車取扱室及び構成機器を描いた後、3次元シミュレーションプログラムENVISION-TRに入力し、機器同士の干渉等の無いことを確認しながら実施したものである。図に示した画像は、ターゲット交換シミュレーションをアニメーション化したものから、主要な場面を取り出したものである。

Fig.2.5(a)のStep Aは、ターゲット台車をターゲット交換のために最後部まで移動させた状態を示す。水銀冷却系等の水銀や冷却材は、ターゲット台車を移動させる前にドレンする。

Step B及びStep Cは、ターゲット交換に備えてターゲット交換台車をターゲット取扱室へ移動させている状況を示している。ターゲット交換台車の移動は、最大100 mm/sの速度で遠隔自動運転を想定している。

Step Dは、ターゲット交換時のターゲットを支持するためにターゲット交換台車上に設置したターゲット収納容器にターゲット先端部を4/3程度収納容器に挿入した状況を示している。ターゲット交換台車上に設置した収納容器への使用済ターゲットの挿入は、位置の微調整を伴うため、CCDカメラの画像情報に基づいて作業員が遠隔手動で行う。

Step Eは、ターゲット交換のために、ターゲット本体とターゲット台車を結合しているボルトを緩めるために、パワーマニピュレータ付天井走行型ロボットを所定の位置まで移動している状況を示したものである。この位置までパワーマニピュレータ付天井走行型ロボットの移動は、作業員の負荷を軽減するために固定CCDカメラ等の画像情報を基にした3次元経路解析システム

を用いて、遠隔自動運転により実施する。

Step Fでは、パワーマニピュレータの先端部（エンドエフェクタ）をボルトの位置に合わせて移動させている状況を示している。先端部の位置合わせは、エンドエフェクタの位置の微調整を伴うため、パワーマニピュレータ先端部に設けた立体視カメラの情報を基に作業員が遠隔手動で行う。

Step Gは、エンドエフェクタを用いてターゲット固定用ボルトを緩めている状況を示したものである。この状態においては、作業員はエンドエフェクタのトルクを監視しながら遠隔手動で行う。

Step Hは、ターゲット固定用ボルトの解除が全て終了し、ターゲット交換台車上の収納容器にターゲットを完全に挿入した状態を示している。収納容器へのターゲット挿入は、ターゲット交換台車をターゲット台車側に前進させることにより行う。ターゲット台車及び交換台車の相互位置を固定CCDカメラからの画像情報で確認しながらこれら一連の作業を自動で行う。

Step Iは、ターゲットを収納容器に収納後、ターゲット内部に残留している水銀が蒸発して外部に漏洩しないように収納容器を密閉している状況を示す。収納容器の蓋の閉止は天井クレーンに蓋を掛けて自重で閉め、その後、天井走行のパワーマニピュレータを用いて閉止ボルトを締め付ける。このとき、エンドエフェクタによるボルトの締め付けは、作業員がトルクを監視しながら遠隔手動で行う。

Step J及びStep Kは、収納容器に収納したターゲットを天井クレーンを用いて、地下の使用済ターゲット等保管エリアに移送している状況を示している。地下への収納容器吊り下ろしは、ターゲット台車取扱室床面に設けた遮へいハッチを通して行う。Step Kは、遮へいハッチを開いて収納容器を地下へ吊り下ろしている状況である。これら、一連の作業は固定CCDカメラの画像情報を基に、作業員が遠隔手動で実施する。

Step Lは、ターゲット交換台車下部に搭載していた新ターゲットをターゲット台車取り付けに必要な高さまで上昇させた状態を示している。

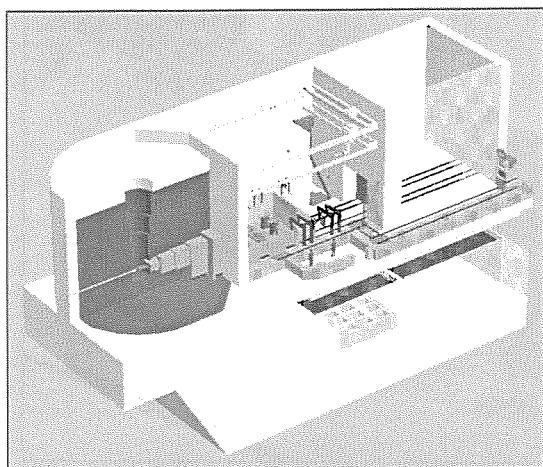
Step Mは、Step Lの状態からターゲット交換台車を前進させ、ターゲット台車にターゲット本体を接続した状態を示している。ターゲット台車への接近に際しては高さ方向の位置の微調整を要するため、作業員が遠隔手動にて実施する。

Step Nは、天井走行型ロボットの先端に取り付けたパワーマニピュレータにより、ターゲットの固定用ボルトを締め付けている状況を示したものである。天井走行型ロボットの所定の位置までの移動は、3次元経路解析システムを用いた遠隔自動運転により行い、パワーマニピュレータ先端のエンドエフェクタに位置微調整及びボルトの締め付けは、作業員がパワーマニピュレータ先端に取り付けた立体視システムの画像情報等を基に、遠隔手動操作により行う。

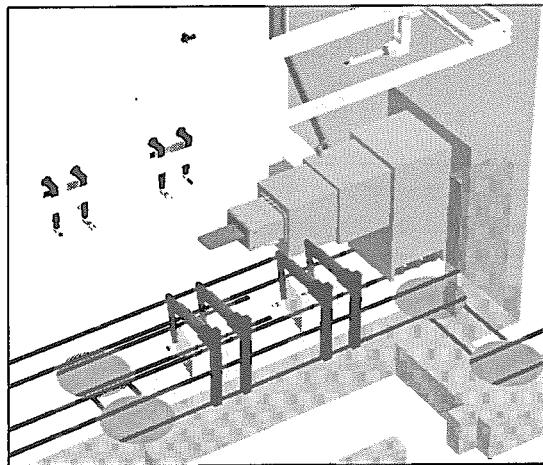
Step O及びStep Pは、ターゲット固定用ボルトの締め付けが全数完了し、ターゲット交換台車を元の位置まで移動させている途中の状態を示したものである。このとき、ターゲット交換台車の移動は遠隔自動運転により行う。

Step Qは、全ての作業が終了し、ターゲット台車を通常運転の位置まで戻した状態を示している。

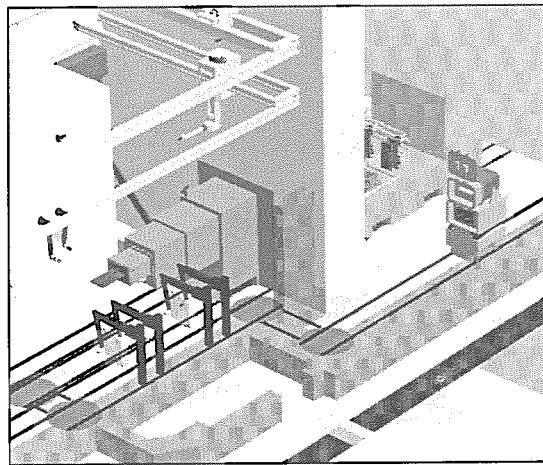
以上、一連のターゲット交換作業は、3日間以内で終了することを目標としている。



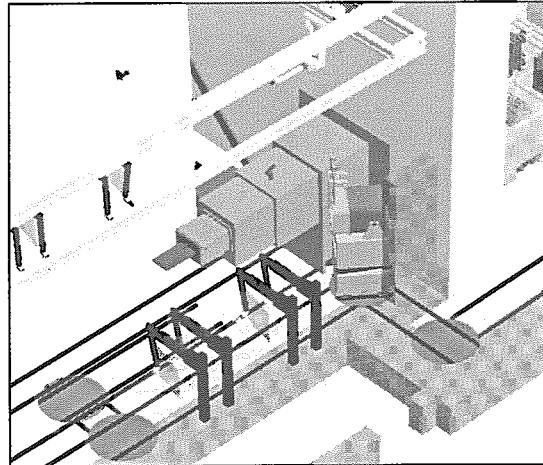
ターゲット周り全体構成図



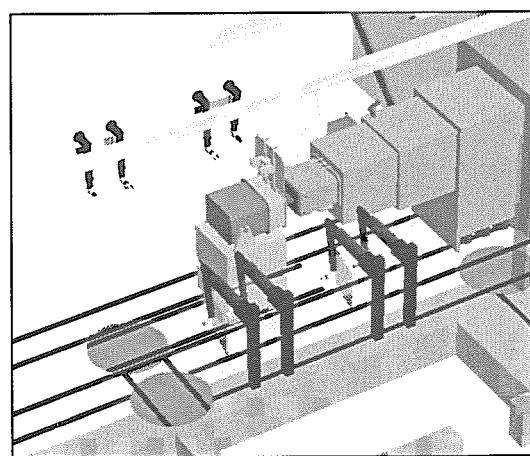
Step A : ターゲット台車をターゲット  
交換位置まで後退



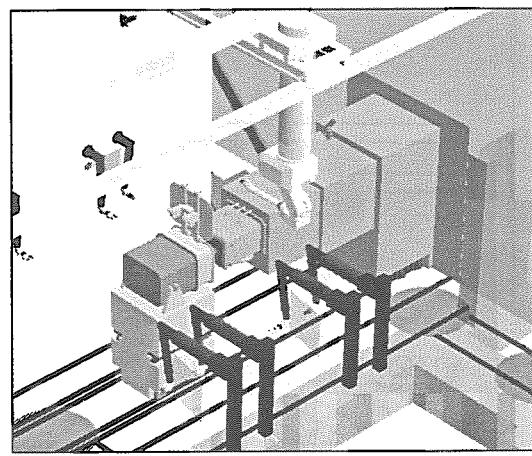
Step B : ターゲット交換台車移動 (1)



Step C : ターゲット交換台車移動 (2)

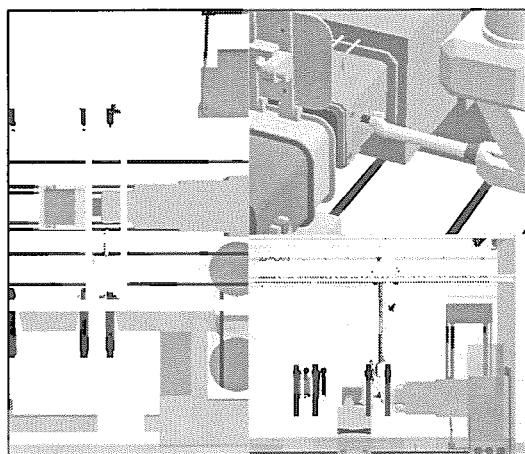


Step D : ターゲット交換台車上ターゲット  
収納容器に使用済ターゲットを插入

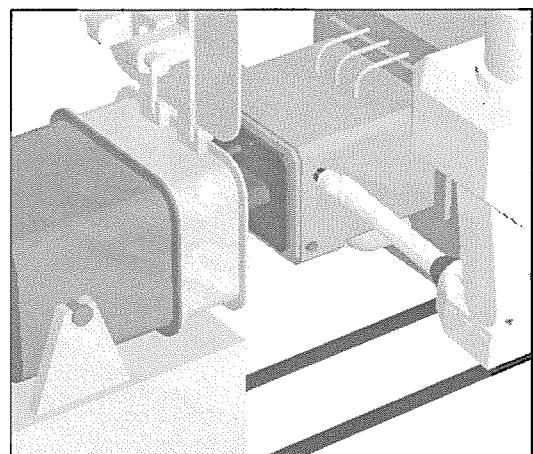


Step E : パワーマニピュレータ付天井  
走行型ロボットを所定の位置に移動

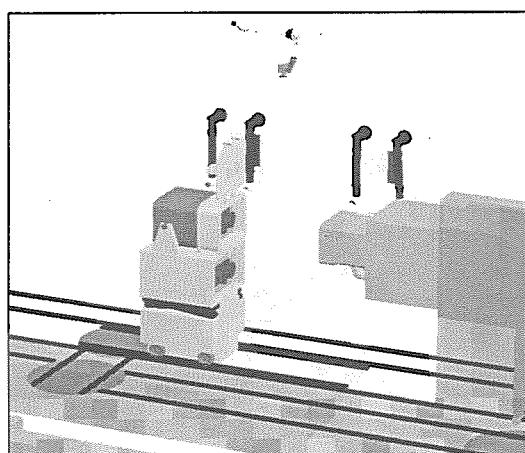
Fig.2.5(a) ターゲット台車取扱室内遠隔操作シミュレーション1



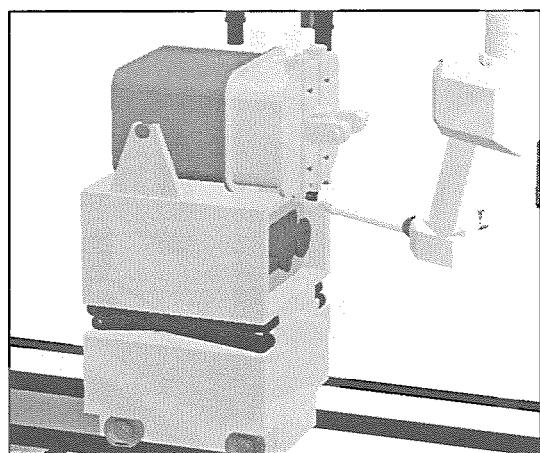
Step F : エンドエフェクタをボルト位置  
へ移動



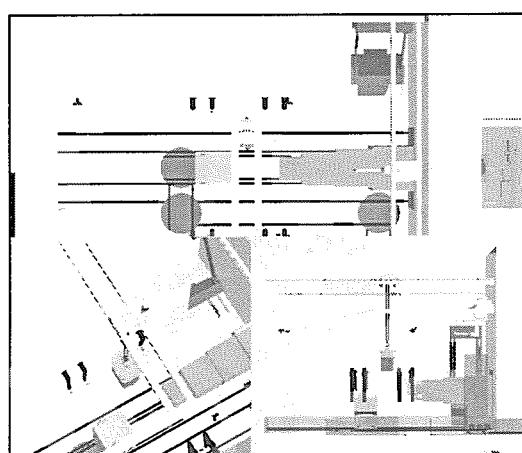
Step G : ターゲット固定ボルトを緩める



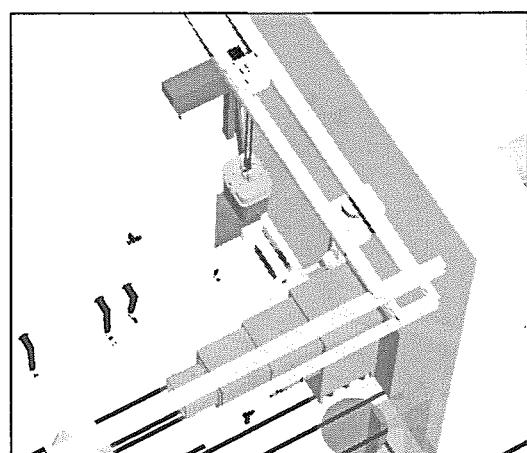
Step H : ターゲット収納容器に使用済  
ターゲットを収納



Step I : 収納容器蓋を密閉

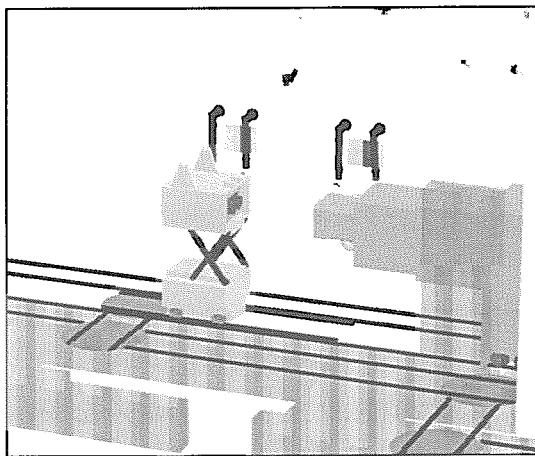


Step J : 収納容器を遮へいハッチ位置へ移動

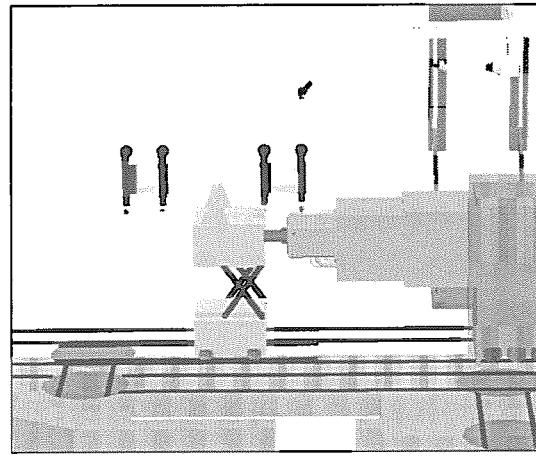


Step K : 遮へいハッチを通して地下へ  
吊り降ろし

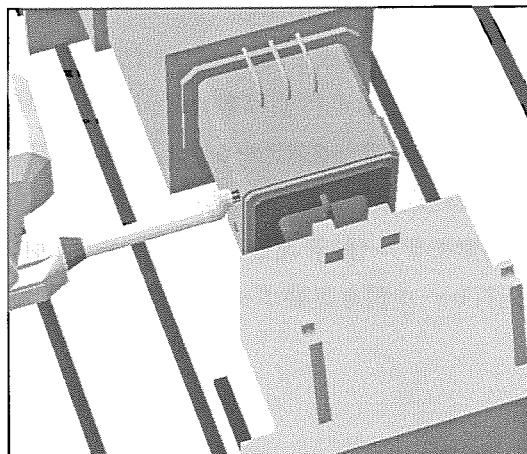
Fig.2.5(b) ターゲット台車取扱室内遠隔操作シミュレーション2



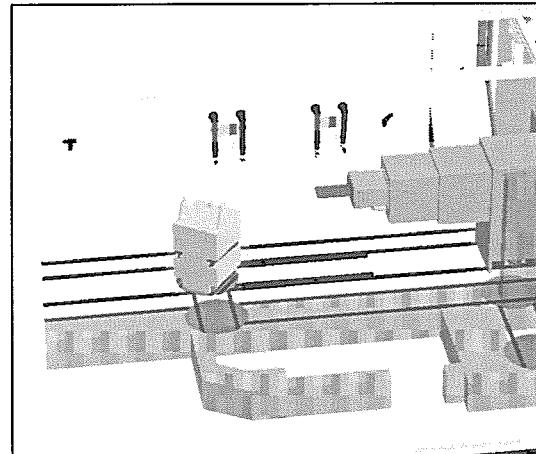
Step L : 交換台車上で新ターゲットを  
所定の高さに固定



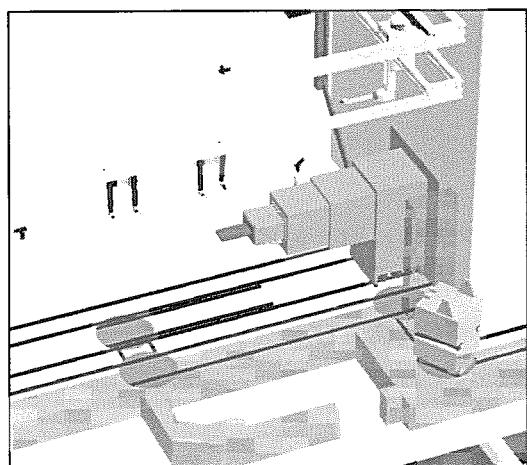
Step M : ターゲット台車にターゲット容器  
を接続



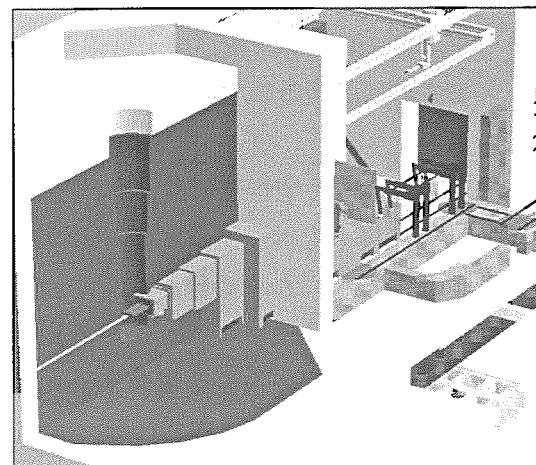
Step N : パワーマニピュレータでボルト  
を締め付け



Step O : ターゲット交換台車を基の位置  
へ移動(1)



Step P : ターゲット交換台車を基の位置  
へ移動(2)



Step Q : ターゲット台車を通常運転位置  
へ戻した状態、作業完了

Fig.2.5(c) ターゲット台車取扱室内遠隔操作シミュレーション3

### 3. リモートハンドリング実証試験装置仕様

#### 3.1 装置概要

本章では、2章に示した遠隔操作機器の基本構成及びターゲット交換作業のシミュレーションに基づき決定したリモートハンドリング実証試験装置の仕様を記す。

ターゲット台車取扱室におけるターゲット交換は、強く放射化したターゲット容器等により高放射線場での作業となる。このため、特に重要な役割を持つパワーマニピュレータの構成要素のうち使用頻度が高く故障の発生が高いと予測されるボルト締緩に用いるエンドエフェクタについては、故障した場合に自己修復機能(エンドエフェクタの自動交換機能)を持たせることとした。併せて、ロボットの移動については、作業員の作業時の負担を軽減するために予め作業に必要な位置まで自動的にロボットを移動させるための3次元的な自律走行システムを導入することとした。3次元自律走行は自律走行用最適移動経路解析システムを用いて行い、天井自律走行型作業ロボットのみならず、補助的に用いる床上自律走行型移動ロボット(この場合は平面を移動するため2次元となる)についても採用する。

リモートハンドリング実証試験装置の概念をFig.3.1に、全体システム構成をFig.3.2に示す。設備は、①リモートハンドリング用ロボット(天井自律走行型作業ロボット、床上自律走行型移動ロボット)、②自律走行用最適移動経路解析システム(最適移動経路解析用ソフトウェア、ワークステーション、遠隔操作型高解像度CCDカメラ、デジタルビデオ記録装置、モニター、画像処理装置、画像処理解析用コンピュータ)、ターゲット台車上の配管等を模擬した③配管及びコネクタ要素モデル(配管及びコネクタ要素、稼動式架台)、ターゲット台車取扱室を模擬した④操作室(天井走行レール付き実験ボックス、電源盤)等から構成される。

#### 3.2 構成機器

##### (1)リモートハンドリング用ロボット

リモートハンドリング用ロボットは、天井自律走行型作業ロボット(伸縮機能付き) + パワーマニピュレータ、及び床上自律走行型移動ロボットから構成される。

各装置の構成機器の主要仕様を以下に記す。

##### ①天井自律走行型作業ロボット

天井自律走行型作業ロボットは、実験ボックス内に取り付けられた走行レール上を走行する走行台車部分と、走行台車上を横行動作する横行台車部分から成る。横行台車には、パワーマニピュレータを昇降させる伸縮機構及びターゲットケーシング等の吊り上げを行うための補助ワインチを搭載する。ロボットは、別途設置の操作盤からの遠隔操作により制御される。

ロボットの走行、横行、昇降時の位置検出はパルスコードにより行い、別途設置の操作盤からの目標位置指令に基づき移動する自律走行機能を持たせる。

なお、天井自律走行台車にはパワーマニピュレータ用制御装置を積載する。仕様を以下に記す。

・型 式	: 低床式オーバーヘッド型
------	---------------

・員 数	: 1式
・走行方式	: 自律走行方式
・走行／昇降位置検出	: アブソリュート型パルスコーダ 分解能 : 65,536分割/REV
・レールスパン	: 約 5,000 mm
・台車寸法	: 全幅×奥行×高さ  ブリッジ : 約5,500 mm×約2,500 mm×約500 mm トロリ : 約2,000 mm×約2,000 mm×約1,500 mm (パワーマニピュレータを除く)
・ブリッジ構成	: サドル／ガーダー一体型
・トロリ構成	: マニピュレータ昇降機構及び補助ワインチ搭載型
・動作範囲	: X (走行方向) × Y (横行方向) × Z (昇降方向) 約10,000 mm×約4,000 mm×約5,000 mm
・動作速度	: X (走行) 6m/min : Y (横行) 4.5 m/min : Z (昇降) 5 m/min
・位置決め精度 (天井走行部)	: X, Y, Z ±30 mm以内
・給電方式	: ブリッジ走行用 カーテンケーブル方式 トロリ横行用 ケーブルペア方式
・台車主要材質	: SS400
・補助ワインチ吊上げ質量	: 500 kg (定格)

## ②パワーマニピュレータ

パワーマニピュレータは、天井自律走行型作業ロボットのトロリに搭載の昇降機構に取り付けられ、ターゲットケーシングの取扱補助、冷却系機器及びターゲット台車の保守作業に使用するものである。マニピュレータは、機構全体の旋回、上腕部の傾動、下腕部の傾動、下腕部手首の旋回、下腕部手首の振り及び手首先端部の回転動作を行う6軸動作が可能である。各動作軸の動作領域は、下記仕様一覧に示す通りであり、マニピュレータ先端位置は、上腕部傾動中心を中心とした半径1,500 mmの球面内を動作させる。

パワーマニピュレータの先端には小型CCDカメラ及びレーザー方式変位センサを搭載し、先端付近の目視状況及び正面接近物との距離の把握を可能とする。また、状況確認用の立体視システムを用い、マニピュレータ周辺の生画像を立体的に把握可能とする。

本機構は、産業用マニピュレータをベースに開発するものとし、制御装置は天井自律走行型作業ロボット台車上に設置し、エンドエフェクタの自動交換機能等の自己修復機能を有するものとする。Fig.3.3にパワーマニピュレータの外観図を示す。主要な仕様は以下の通りである。

・自由度	: 6 軸
・駆動方式	: ACサーボモータ駆動
・動作領域	1)S 軸 (旋回) : ±180° 2)L 軸 (下腕) : +150°、-90° 3)U 軸 (上腕) : +145°、-120° 4)R 軸 (手首旋回) : ±360° 5)B 軸 (手首振り) : ±125° 6)T 軸 (手首回転) : ±360°
・エンドエフェクタ	: ボルト締緩機能 (M12、M20用)、グリッパ機能
・アーム長	: 約1,500 mm
・可搬質量	: 45 kg (エンドエフェクタ含む)
・員 数	: 1 式
・位置繰り返し精度	: ±0.15 mm (マニピュレータ単体精度)
・ブレーキ	: 全軸ブレーキ付
・本体質量	: 約600 kg
・電源	: 三相AC200/220 V
・電源容量	: 10 KVA (ピーク時)、8 KVA (平均)
・付属機能	: 自己修復機能 (エンドエフェクタ自動交換)
・操作方式	: 有線による遠隔操作 (遠隔操作用立体視カメラ付属)
・搭載センサ	: 小型カラーCCDカメラ (アーム先端付) 1)撮像素子 : 41万画素以上 CCD素子 2)解像度 : 水平470本以上 3)標準被写体照度 : 60ルクス 4)S/N比 : 46 dB以上 5)質量 : 約18 g (カメラヘッドのみレンズ除く)
・備 考 :	: レーザー方式変位センサ (アーム先端付) 1)測定範囲 : 0.5 m~1.2 m 2)光 源 : 赤色半導体レーザー <sup>1)</sup> 3)分解能 : 0.5 mm 4)質 量 : 約1.2 kg

・備 考 :

エンドエフェクタには電動のインパクトレンチを取り付ける。エンドエフェクタの全長は、電動ユニットを含めた全長がM12ボルト用で約400mm、M20ボルト用で約500mmとなり、これらをパワーマニピュレータ先端部に垂直に接続する。

③床上自律走行型移動ロボット

床上自律走行型移動ロボットはクローラ型移動機構を有し、CCDカメラ、マイクロフォン及び雰囲気温度計により、ロボット周囲の状況把握、音響及び温度情報の採取

等の情報収集を行う。ロボットは、別途設置の操作盤からの遠隔操作と目標指令に基づき移動する自律走行機能を有するものとする。Fig.3.4に床上自律走行型移動ロボットの外観図を示す。主要な仕様は以下の通りである。

- ・走行方式 : 形状可変型クローラ方式
- ・駆動自由度 : 3自由度  
(左右クローラ駆動、形状可変アーム駆動用)
- ・登坂能力 : 40度
- ・旋回性能 : 旋回半径ゼロ (その場旋回可能)
- ・走行速度 : 最大約1 km/h (平地)、約0.3 km/h (登坂時)
- ・操作方式 : 有線遠隔操作
- ・給電方式 : ケーブル給電方式
- ・搭載センサ : CCDカメラ
  - 1) 品数 : 1ヶ
  - 2) 撮像素子 : 41万画素 カラーCCD素子
  - 3) 解像度 : 水平470本以上
  - 4) 標準被写体照度 : 120ルクス
  - 5) S/N比 : 48 dB以上
  - 6) 照明方式 : 照明灯別置き
  - 7) ズーム機能 : 6倍ズーム以上
  - 8) 旋回範囲 : 340°
  - 9) 俯仰範囲 : -65°～+65°
- ・マイクロフォン
  - 1) 品数 : 1ヶ
  - 2) 応答周波数 : 150 Hz～15,000 Hz
  - 3) インピーダンス : 600 Ω
  - 4) 指向性 : 無指向性
- ・霧囲気温度計
  - 1) 品数 : 1ヶ
  - 2) 測定方式 : サーミスタ温度計
- ・質量 : 約40 kg

## (2) 自律走行用最適移動経路解析システム

自律走行用最適移動経路解析システムの基本構成をFig.3.5に示す。自律走行用最適移動経路解析システムは、最適移動経路解析用ソフトウェア及び計算機、遠隔操作型高解像度CCDカメラ、デジタルビデオ記録装置及びモニタ、及び画像処理装置と画像処理解析用コンピュータソフトから構成される。

本システムのハードウェアは、最適移動経路解析用計算機と画像処理解析用計算機及び画像処理装置で構成する。ハードウェア構成をFig.3.6に示す。最適移動経路解析用計算機

はPC/AT互換パーソナルコンピュータで構成し、17インチ以上のカラーCRTと磁気ディスク、キーボード等を接続する。画像処理解析用計算機にも同様にPC/AT互換パーソナルコンピュータで構成し、17インチ以上のカラーCRTと磁気ディスク、キーボード等を接続するほか、ボード型の画像処理装置を搭載する。最適移動経路解析用計算機と画像処理解析用計算機はイーサネットにより接続する。

Fig.3.7に本システムの動作に必要なソフトウェア構成を示す。また本システムの機能をTable 3.1に、機能構成をFig.3.8に示す。本システムには、マンマシンインターフェースの実現手段としてグラフィカルユーザインターフェースを用いる。グラフィカル画面の構成をFig.3.9に示す。

#### ①最適移動経路解析用ソフトウェア及び計算機

移動領域の地図及び現在位置をCCDカメラの画像情報を基に作成し（フィールドマップ）、目標位置を与えると現在位置から既知障害物を回避して目標位置に至る最適経路を探査する最適移動経路解析機能を持たせる。フィールドマップは、CCDカメラの画像情報により随時更新し、障害物の追加・修正が随時可能なものとする。

##### ①)最適移動経路解析用ソフトウェア

- ・主な機能 : 最適移動経路解析機能  
地図エディタ機能  
ロボット要素台車モニタリング機能  
センサモニタリング機能  
プロセス管理機能  
ネットワーク通信制御機能  
障害物情報管理機能  
マンマシンインターフェース機能
- ・探索方式 : 温度分布アナロジー 及び ヒューリスティック分岐探索
- ・対象移動領域 : 200 m × 200 m以上
- ・経路解析所要時間 : 60秒以内
- ・員 数 : 1式

##### ②)最適移動経路解析用計算機

- ・型 式 : PC/AT互換パーソナルコンピュータ
- ・C P U : Pentium III 500 MHz以上
- ・メインメモリ : 256 MB以上
- ・ハードディスク : 6.4 GB以上
- ・O S : Windows NT または Linux
- ・通信方式 : イーサネット
- ・員 数 : 1式

#### ②遠隔操作型高解像度CCDカメラ、デジタルビデオ記録装置及びモニタ

- ・カメラ型式 : CCDビデオカメラ
- ・信号方式 : NTSC方式
- ・水平解像度 : 470本以上
- ・記録方式 : デジタルビデオ方式
- ・付属機能 : 雲台機能
  - 1)操作方式 : 遠隔操作
  - 2)俯仰範囲 :  $-65^{\circ}$ ~ $+65^{\circ}$
  - 3)旋回範囲 :  $340^{\circ}$
- ズーム機能
  - 1)操作方式 : 遠隔操作
  - 2)倍率 : 6倍ズーム以上
- ・付属品 : 9型モニタ
- ・員数 : 5式(最低限)

### ③画像処理装置及び画像処理解析用ソフトウェア

壁に設置した固定CCDカメラからの画像を用いて、フィールドマップを作成する他、初期画像との変化の有無により障害物を検出する等の画像処理機能を持たせる。

#### イ) 画像処理装置

- ・処理速度 : 画像間積和演算 60 MHz以上
- ・処理方式 : 並列パイプライン処理
- ・画像メモリ : シンクロナスDRAM 10 MB以上
- ・接続映像機器 : NTSC または プログレッシブカメラ
- ・インターフェース : PCIバス または コンパクトPCIバス
- ・員数 : 1式

#### ロ) 画像処理解析用計算機

- ・型式 : PC/AT互換パーソナルコンピュータ
- ・C P U : Pentium III 500 MHz以上
- ・メインメモリ : 256 MB以上
- ・ハードディスク : 6.4 GB以上
- ・O S : Windows NT
- ・通信方式 : イーサネット
- ・員数 : 1式

#### ハ) 画像処理解析ソフトウェア

- ・主な機能 : 物体抽出機能  
物体位置・形状算出機能
- ・解析方式 : 並列正規化相関演算  
パイプライン2値画像形状変換
- ・員数 : 1式

## (3)配管及びコネクタ要素モデル

配管及びコネクタ要素モデルは、中性子散乱施設における水銀冷却系及びケーシング冷却系の遠隔保守技術を開発することを目的として設置するものであり、配管、配管接続要素（含ターゲットケーシングとの取合部）からなる。また、それらを設置する架台を設置し、架台自体が車輪により軌道レール上を水平方向に移動可能なものとする。（Fig.3.1参照）

## ①各種配管及びこれらのコネクタ要素

- ・員 数 : 1式
- ・口 径 : 水銀冷却系：200A sch80相当  
ケーシング冷却系部：40A sch80相当他
- ・材 質 : SUS316又は相当
- ・備 考 : 設置する配管、コネクタ要素仕様は実機設計の進捗状況に合わせて決定する。

## ②設置用架台

- ・員 数 : 1基
- ・概略寸法 : 幅3,500 mm、長さ9,000 mm、高さ150 mm（概略）
- ・材 質 : 炭素鋼
- ・備 考 : 軌道レール及び車輪付き

## (4)操作室

リモートハンドリング用ロボットを設置し操作室を兼ねる実験ボックスは、以下の仕様に基づき製作する。実験ボックスの配置予定位置をFig.3.10に示す。実験ボックス内に設置するロボット等の動力電源は、HENDEL棟北側のパワーセンタより給電する。電源ケーブル類は、地下の共同溝及びピットを利用して敷設する。

## 実験ボックス

- ・概略寸法 : 幅10,000 mm、長さ14,000 mm、高さ10,000 mm（概略）
- ・構 造 材 : 鉄
- ・員 数 : 1基
- ・付帯設備 : ①天井走行型ロボット用天井走行レール 1式  
②機械式マスタースレーブマニピュレータ 1式

## 構 成

- ・手動可動式ベース(模擬遮へい窓、キャスクタ付) 1台
- ・マニピュレータ挿入スリーブ(ベースに固定) 1式
- ・マスタースレーブマニピュレータ 2式

- ③出入用ドア 3箇所

- ④換気扇（フィルター付） 1式

Table 3.1 システムの機能構成

1	3次元最適移動経路解析機能	パワーマニピュレータのエンドエフェクタ及びロボット走行台車が走行するための経路を解析する。
2	地図エディタ機能	実験環境に対応した地図を作成する環境を提供する。
3	ロボット走行台車モニタリング機能	ロボット走行台車の動作状態をオンライン表示する。
4	センサモニタリング機能	各種センサの状態をオンライン表示する。
5	プロセス管理機能	オペレーションシステムのもと、各タスクの軌道、停止や、計算機のリソース管理を行う。
6	ネットワーク通信制御機能	計算機間のオンラインデータ通信を行う。
7	障害物情報管理機能	地図エディタ機能で作成した地図（フィールドマップ）を3次元最適移動経路解析に用いる形式に変換処理するとともに、地図上の障害物などの情報を管理する。
8	マンマシンインターフェース機能	最終目標点、中間目標点の座標や行動指示など、オペレータの意志を入力する。
9	画像処理解析機能	固定カメラの画像を用いて、初期画像との変化の有無により、障害物を検出する。

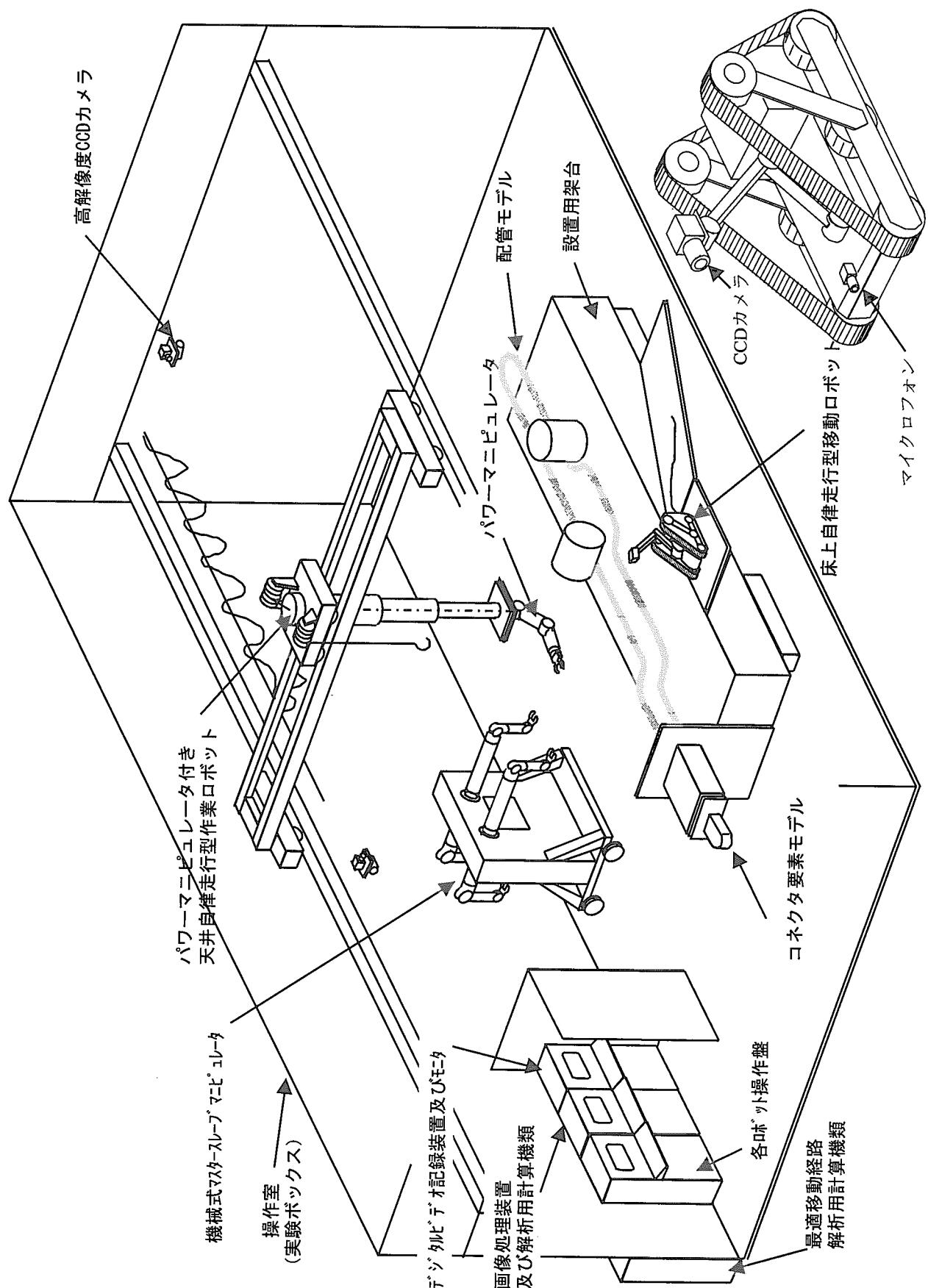


Fig.3.1 リモートハンドリング用ロボット概念図

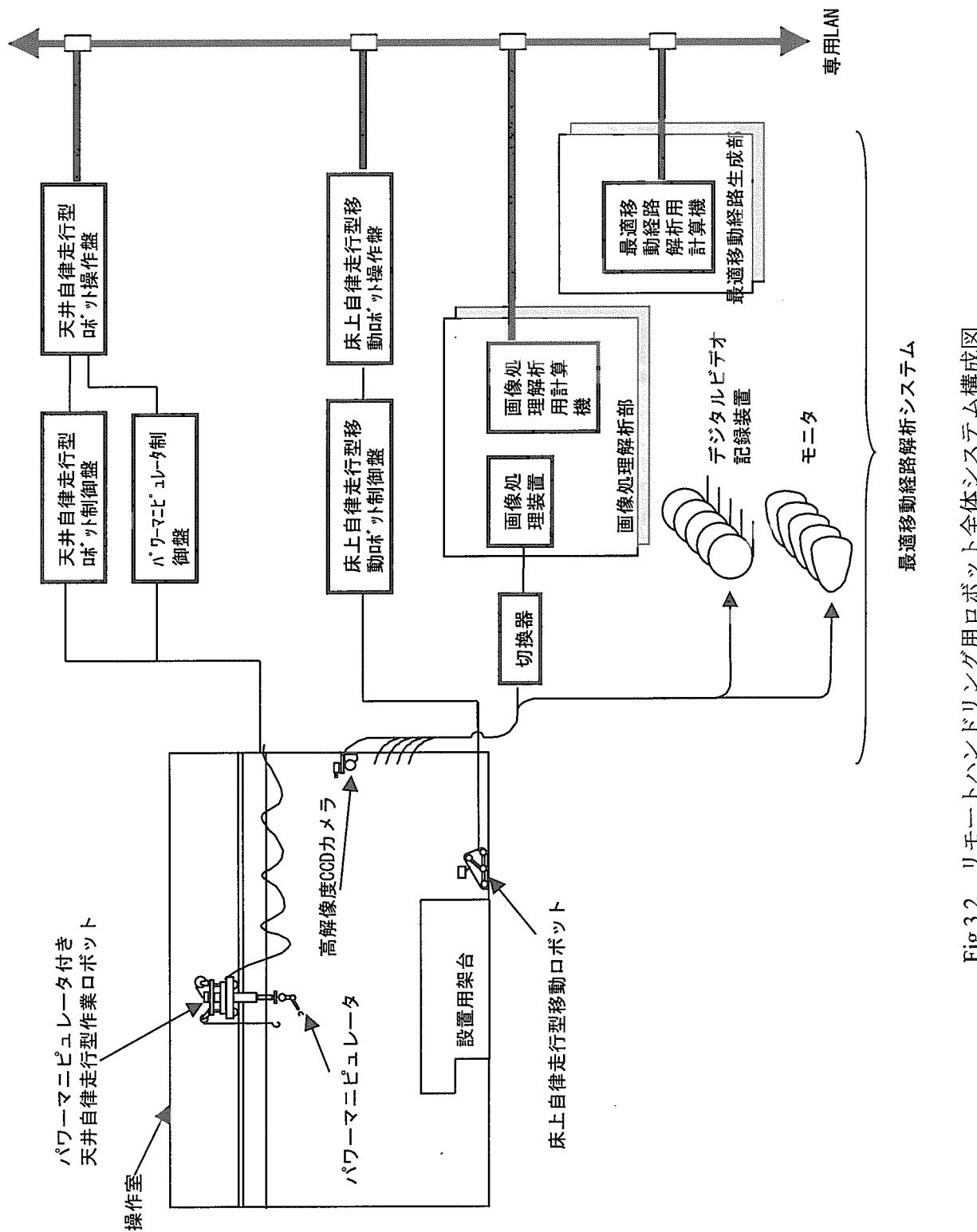


Fig.3.2 リモートハンドリング用ロボット全体系構成図

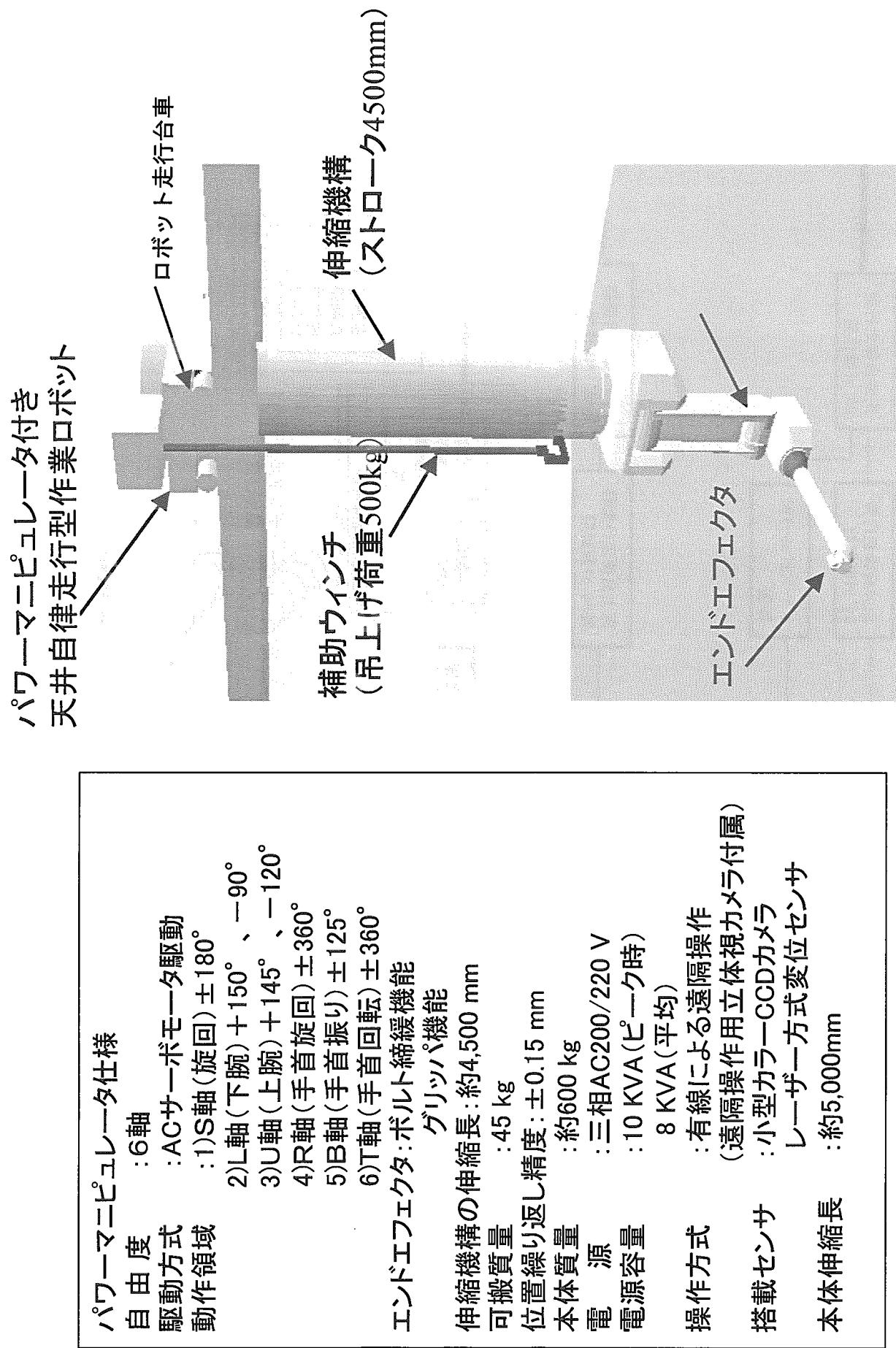
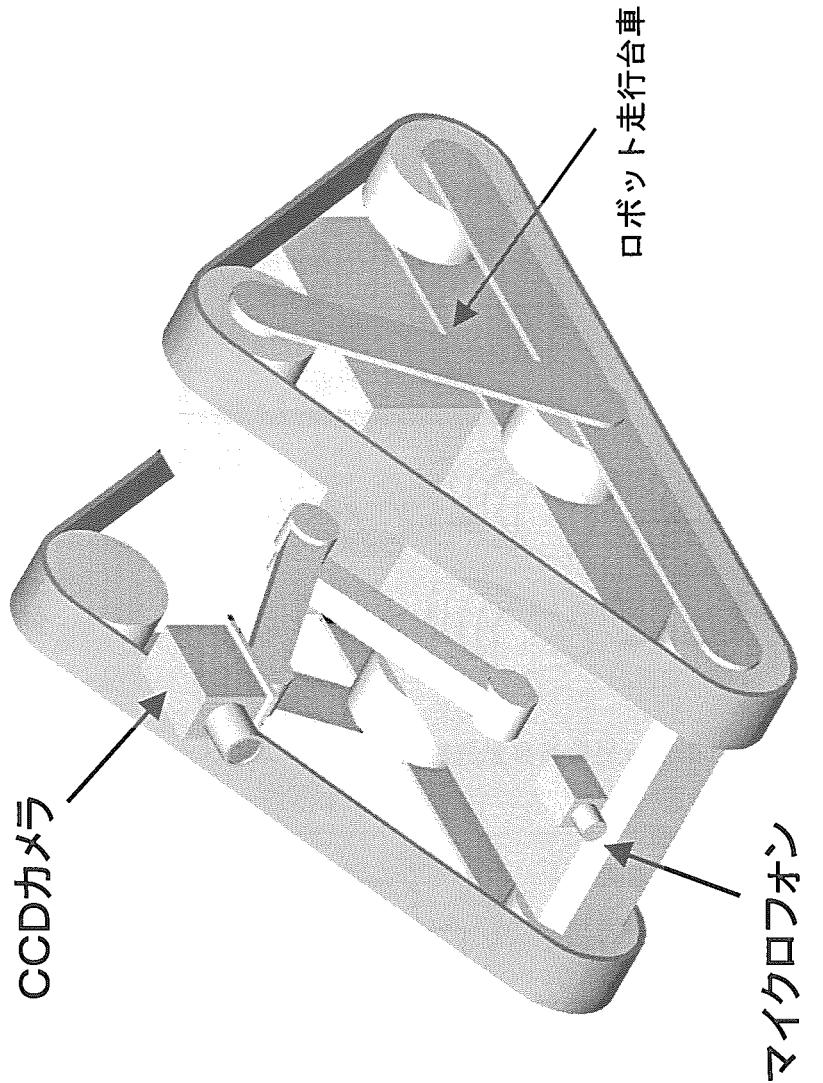


Fig.3.3 パワーマニピュレータ付き天井自律走行型作業ロボット外観図

走行方式	：形状可変型クローラ方式
駆動自由度	：3自由度 (左右クローラ、可変アーム)
登板能力	：40度
走行速度	：最大約1km/h
操作方式	：有線遠隔操作
給電方式	：ケーブル給電
搭載センサ	：CCDカメラ、マイクロフォン 霧圏気温度計
重量	：40kg



有線・クローラー式  
作業監視用

Fig.3.4 床上自律型移動ロボット外観図

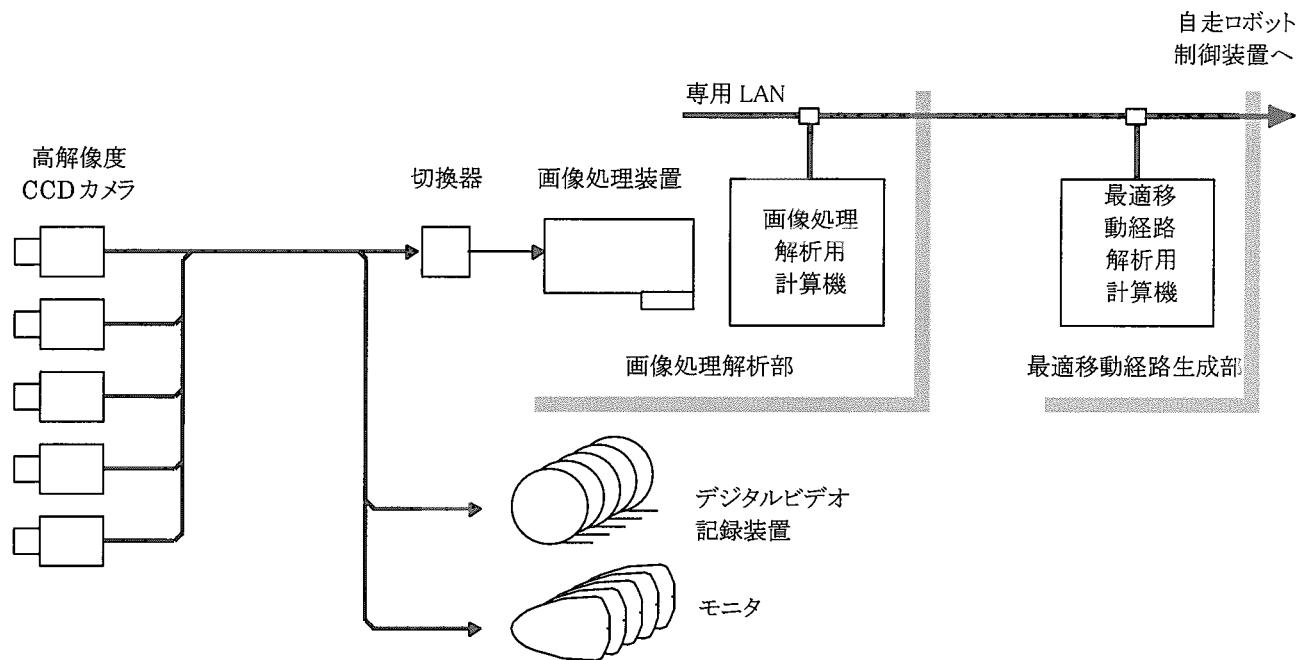


Fig.3.5 自律走行用最適移動経路解析システムイメージ

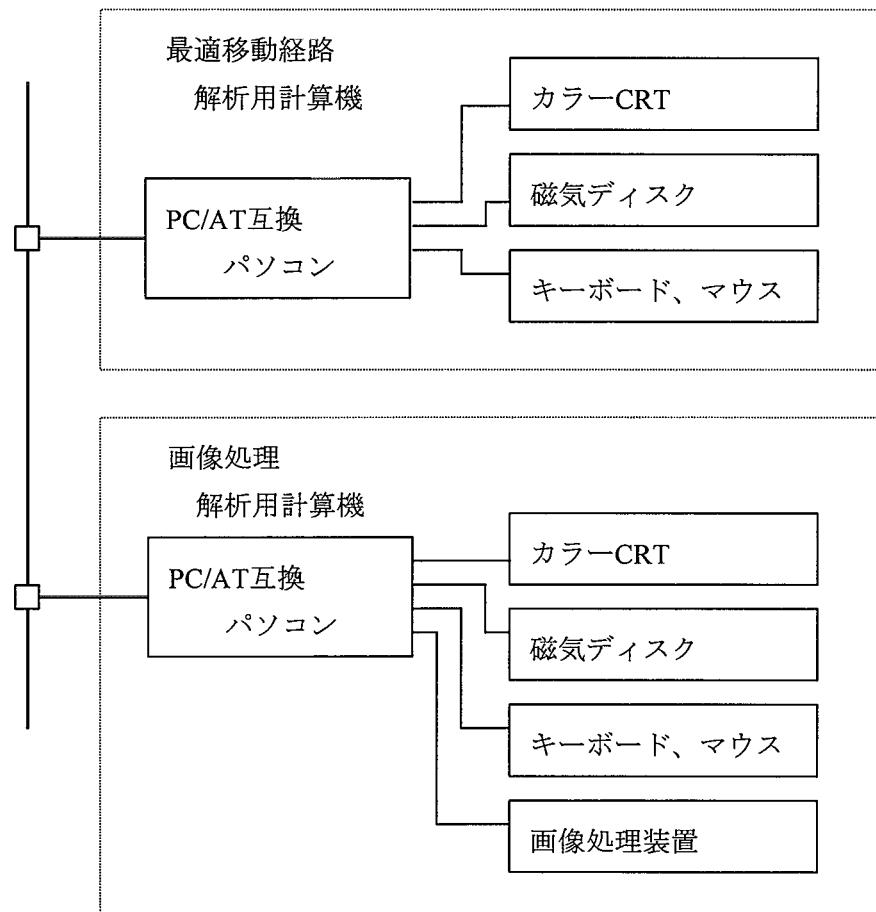
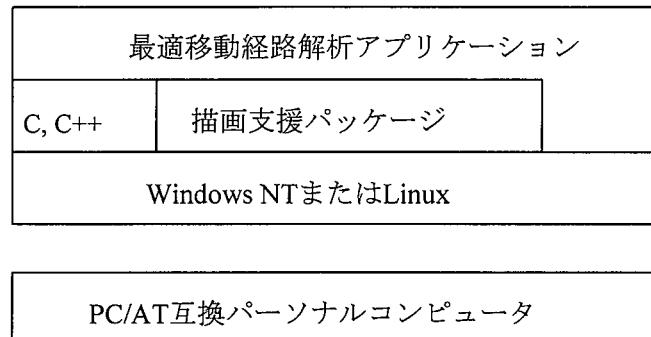


Fig.3.6 ハードウェア構成図

最適移動経路解析用計算機



画像処理解析用計算機

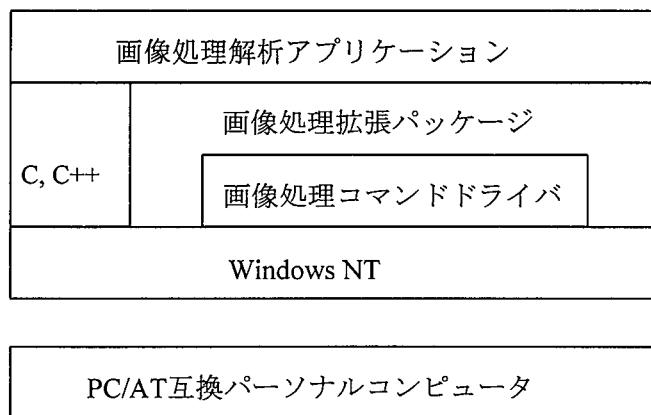


Fig.3.7 ソフトウェア構成図

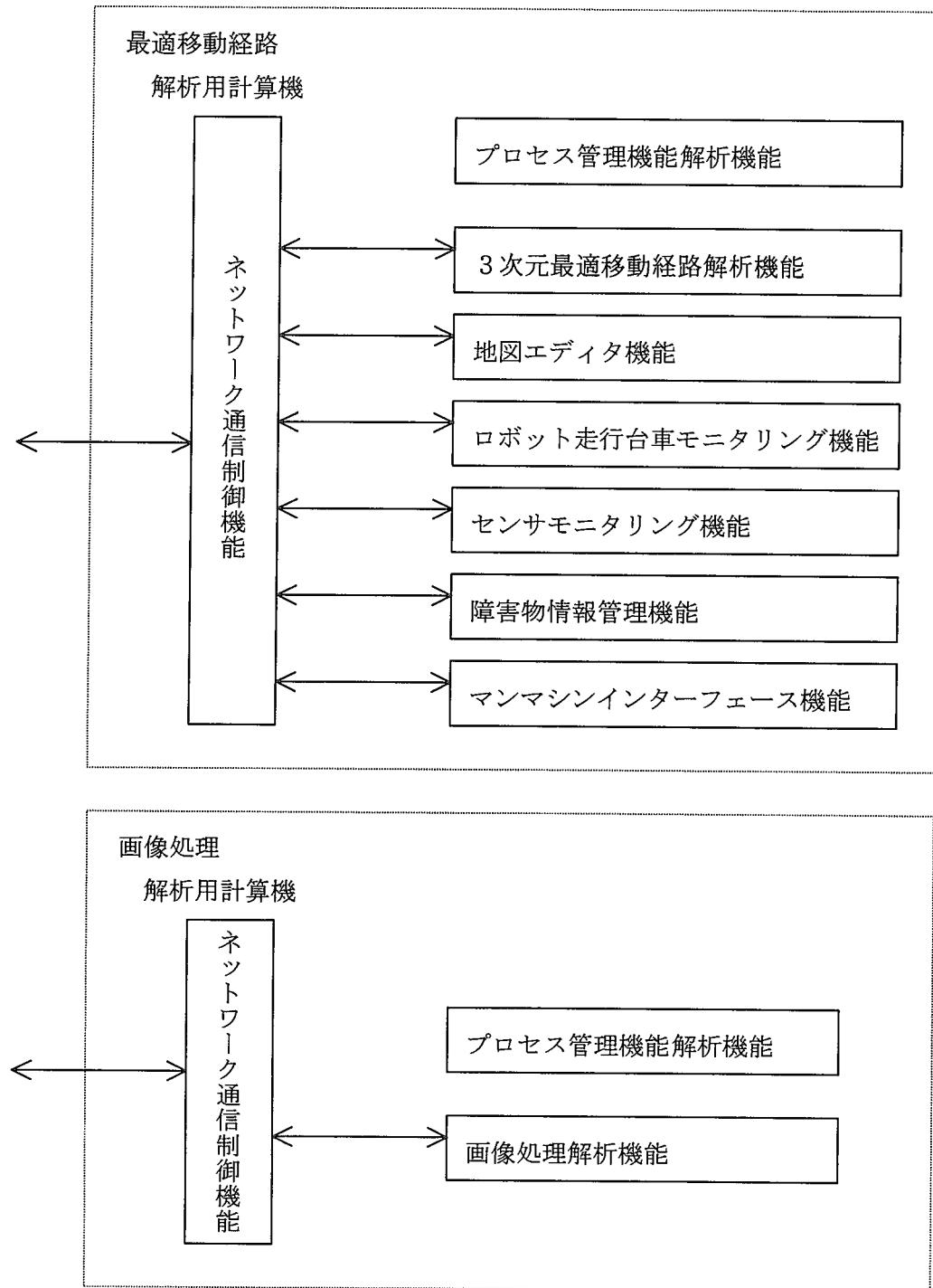
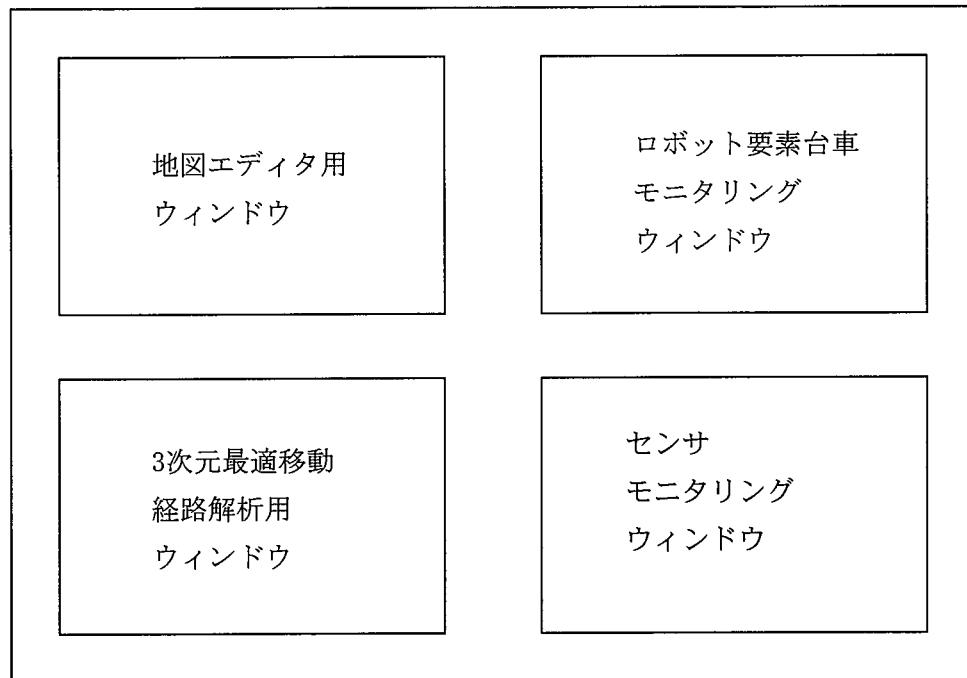


Fig.3.8 システムの機能構成図

最適移動経路解析用計算機



画像処理解析用計算機

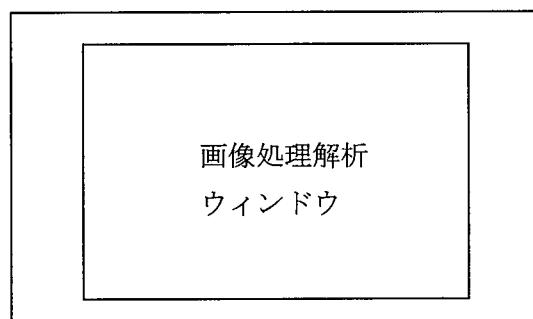
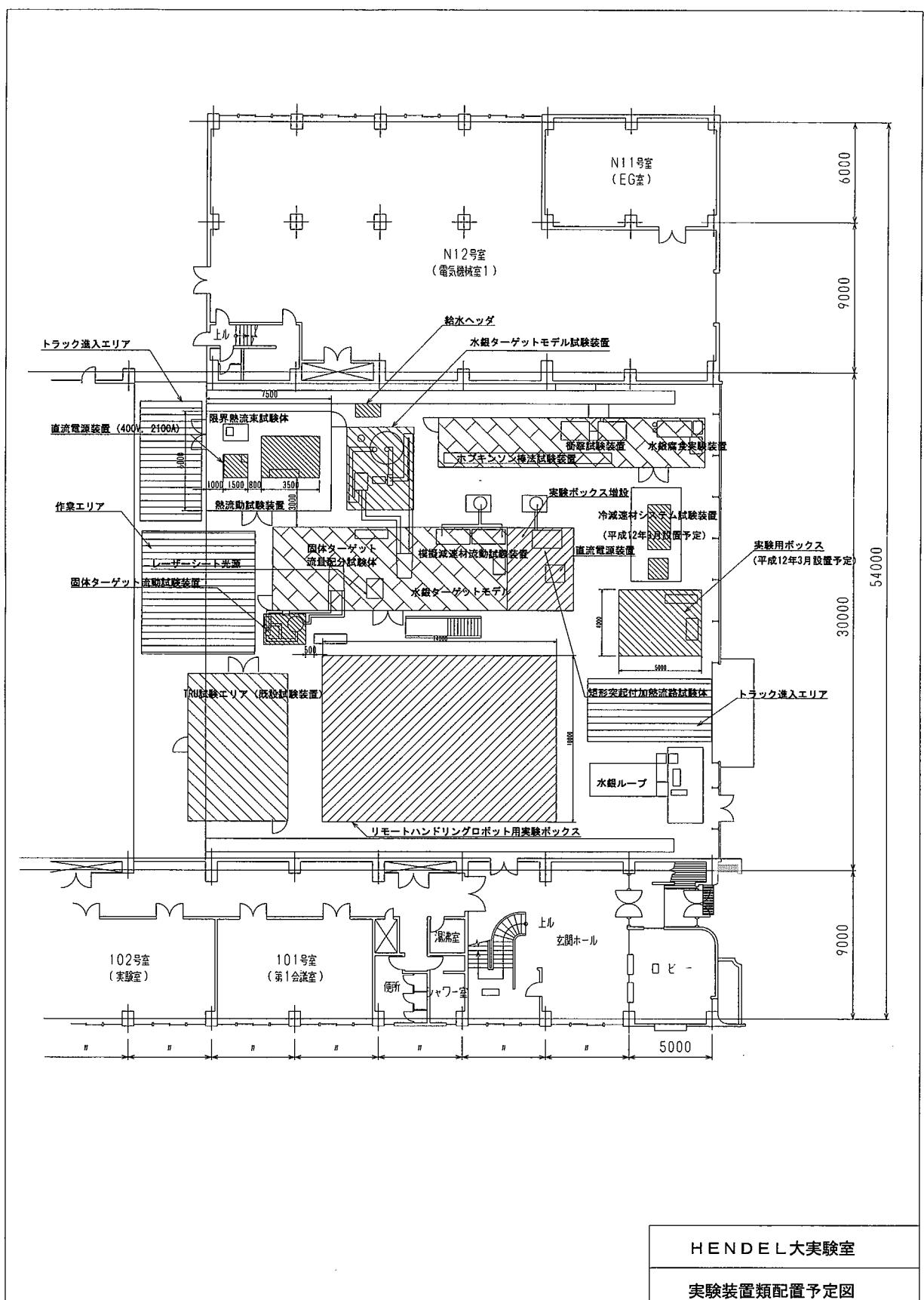


Fig.3.9 計算機システムのグラフィカル画面の構成



日本原子力研究所 システム工学グループ

Fig.3.10 リモートハンドリングロボット用実験ボックス配置予定

## 4. 試験計画

### 4.1 完成検査

リモートハンドリング用ロボット完成時に以下の動作確認試験を行う。

#### (1) 天井自律走行型作業ロボット

- i ) 動作性能試験 : X, Y, Z 方向の動作が支障無く可能なことを確認する。
- ii ) 駆動性能試験 : X, Y, Z 方向に所定の駆動速度で移動可能なことを確認する。
- iii ) 位置検出試験 : X, Y, Z 方向への動作量が検出可能なことを確認する。
- iv ) 可動範囲確認試験 : X, Y, Z 方向に所定の範囲内を稼働可能なことを確認する。
- v ) 荷重試験 : 補助ワインチ及びパワーマニピュレータ昇降機構に定格荷重×1.25倍の荷重を負荷し、動作可能なことを確認する。

#### (2) パワーマニピュレータ

- i ) 動作性能試験 : 各軸方向の動作が支障無く可能なことを確認する。
- ii ) 機能性能試験 : 各エンドエフェクタが所定の機能を満足することを確認する。  
マニピュレータ先端に45 kg (エンドエフェクタ含む) を負荷し、正常に動作可能なことを確認する。
- iii ) センサ検出試験 : マニピュレータ先端の各センサが映像出力及び周囲配置物との位置を検出可能なことを確認する。
- iv ) 可動範囲確認試験 : マニピュレータ先端位置が所定の範囲内を稼働可能なことを確認する。

#### (3) 床上自立走型移動ロボット

- i ) 動作性能試験 : 走行動作が支障無く可能なことを確認する。
- ii ) 登坂性能試験 : 40°の鉄板斜面を登坂可能なことを確認する。
- iii ) センサ検出試験 : 各センサが映像、音声の出力、温度測定を検出可能なことを確認する。
- iv ) 雲台動作試験 : カメラ用雲台が所定の動作範囲を稼働可能なことを確認する。

#### (4) 自律走行用最適移動経路解析システム

- i ) カメラ性能試験 : カメラ映像の出力、雲台の動作走及び映像のデジタル録画が支障無く可能なことを確認する。
- ii ) 最適移動経路解析試験 : 画像処理による最適経路の解析が可能であり、解析結果に基づき各ロボットを動作制御可能なことを確認する。
- iii ) 画像処理試験 : 壁の固定カメラからの画像を用いて、初期画像との変化の有無により障害物を検出可能であることを確認する。

### 4.2 リモートハンドリング試験

リモートハンドリング試験では、先ず、個々のロボット、マニピュレータ等の単体機能試験を行い、その後3次元経路解析システムを用いた天井自律走行型作業ロボットの自律走行試験、床

上自律走行型移動ロボットの自律走行試験を経て、全ての遠隔操作機器及び3次元経路解析システムにターゲット交換時の移動経路を入力してのターゲット交換（ターゲット固定ボルト締緩）までの一連の作業を実施する総合機能試験等を実施する。

#### 4.2.1 単体機能試験

単体機能試験として、遠隔手動によるターゲット固定ボルト締緩機能試験を行う。

Fig.4.1に現在提案している格納容器一体型水銀ターゲット構造図を、Fig.4.2に同ターゲットの外観図をそれぞれ示す<sup>(4)</sup>。なお、2章に示したターゲット交換シミュレーションでは、ターゲット台車へのターゲット容器の固定は4本のボルトにより行うことを仮定したが、これは最終的な目標を示したものである。

Fig.4.1に示したターゲット構造では、接続配管部に3～4本のボルトで固定する遠隔フランジを採用しているが、これらのフランジについてはFig.4.3に示すクイッククランプを採用すべく設計変更中であり、試験時までには接続配管部の固定及び解除に必要なボルトの本数を減らす計画である。ターゲットの交換作業では、ターゲット出入口水銀配管フランジ、ターゲット格納容器（Safety Hull）出入口重水配管フランジ、ターゲット容器と格納容器間にヘリウムガスを供給する接続配管用フランジ（出入口2箇所）の接続解除、並びにターゲット台車への固定用ボルトの解除が必要となり、クイッククランプを採用しても2章で述べたシミュレーションに比べてより複雑な作業となる。ただし、作業が複雑化しても、円滑に進行するようにシナリオを作成すれば短時間で作業を終了させることが可能であり、試験開始までに現在の構造に基づくシミュレーション解析により作業シナリオを準備する。

また、効率的な作業を実施するため、3章で述べたようにパワーマニピュレータ先端部のボルト締緩用エンドエフェクタはM12とM20ボルト用の2種に限定し、ターゲット台車上に設置する機器でリモートハンドリングにより交換、保守・点検が必要な部位については、使用するボルトをM12とM20の2種類に統一する。

単体機能試験では、パワーマニピュレータにこれら2種類のエンドエフェクタを交互に取り付け、ターゲット本体固定用ボルト、フランジ固定用クイッククランプボルトの締緩作業を、天井自律走行型作業ロボットと一緒に操作ボックス壁面に設けたCCDカメラからの画像情報及び床上自律走行型移動ロボットからの画像情報を基に実施し、パワーマニピュレータ単体の機能を試験するとともに、予め作成したターゲット交換作業シナリオを個々に検証する。また、一連の作業の中でシミュレーション解析では省略していたMSマニピュレータによる補助作業の範囲を明確にする。本試験の結果から作業時間、作業の習熟に要する時間、エンドエフェクタの交換時間を評価するとともに、作業シナリオやリモートハンドリング機器の問題点を明らかにし、改良すべき点等を明確にして効率的な作業シナリオの作成、機器の改良を実施する。また、MSマニピュレータの専用工具の必要性についても検討する。なお、ターゲット容器をターゲット台車から取り外す作業は、ターゲット交換に必要なターゲット交換台車を製作後に実施する。

さらに、ターゲット以外のターゲット台車上に設置した機器類の保守・交換作業についても、これらの遠隔操作機器の使用できる範囲を今後のシミュレーション解析・評価と合わせて試験に

より検証する。

#### 4.2.2 天井自律走行型作業ロボット及び床上自律走行型移動ロボットの自律走行試験

天井自律走行型作業ロボット及び床上自律走行型移動ロボットの操作は、Fig.3.2に示すように天井自律走行型作業ロボット操作盤及び床上自律走行型移動ロボット操作盤を用いて作業員が行うことを基本とし、作業員の負担を軽減するためにそれぞれのロボットに最適経路解析システムを用いた自律走行機能を持たせている。これらのロボットの操作及び状態確認は、いずれもリモートハンドリングロボット用実験ボックス（操作室）内に設けた高解像度CCDカメラ、天井自律走行型作業ロボットのマニピュレータ先端部付近に設けたCCDカメラ（立体視システム）並びに床上自律走行型移動ロボット上に設置したCCDカメラの画像情報を基に行う。しかし、画像情報によるロボットの移動は立体視システムを除いて遠近感や相対的な位置の確認が容易ではなく、作業員の負担を増加させ作業時間が長期化する要因となる。そこで、これらのロボットの移動には最適移動経路解析システムを用いた自律走行システムを採用し、作業員の作業時の負担軽減を図っている。ここでは、導入した最適移動経路解析システムの概要及び同システムを用いたロボットの自立走行試験について述べる。

最適移動経路解析システムの主要な機能をTable 4.1に、システム内のデータ信号の流れをFig.4.4に示す。最適移動経路解析システムは、Fig.4.4に示すように移動経路解析部、画像処理解析部及びデータベースの大きく分けて3つの部分から構成される。画像処理解析部は、画像処理解析用計算機に専用のボード型画像処理装置を組み込み、移動経路解析部の解析用計算機とローカルエリアネットワーク（LAN）により接続する。データベースは、移動経路解析用計算機の中に設ける。本システムにはマンマシンインターフェースの実現手段として、グラフィカルユーザインターフェースを採用する。

最適経路解析システムの中核は移動経路解析部であり、移動経路解析のためのデータ信号の流れはFig.4.4に示すように天井走行型作業ロボット及び床上走行型移動ロボットともにロボットの位置情報の入手先が異なることを除いて同一である。最適経路解析部は、Fig.4.4に示すようにデータベースに蓄えられた作業空間の地図、画像処理解析部から送られてきた障害物情報、これまでに移動してきた経路データ、ロボットコントローラから送信されてきたロボット位置・姿勢等の情報に基づき、温度分布アノロジーまたはヒューリスティック分岐探索の何れかの手法により、ロボットの最適移動経路を解析しロボットコントローラに移動経路を制御情報として伝達する。

以下に、本システムで採用するソフトウェアの主要な機能を示す。

##### ①最適移動経路解析用ソフトウェア

移動領域の地図及び現在位置、目標位置を与え現在位置から既知障害物を回避して目標位置に至る最適経路を探索する最適移動経路解析機能を有する。地図は障害物の追加・修正が隨時可能なものを採用する。以下にソフトウェアの主要機能を示す。なお、（ ）内はソフトウェアを搭載するFig.4.4に示したシステム名称を示したものである。

###### 主要機能

- (a) 最適移動経路解析機能（天井自律走行型作業ロボット・

床上自律走行型移動ロボット経路解析システム)

パワーマニピュレータのエンドエフェクタ及びロボット台車が走行するための経路を解析する。

- ・探索方式 : 温度分布アナロジー及びヒューリスティック分岐探索
- ・対象移動領域 : 200 m×200 m 以上
- ・経路解析所要時間 : 60秒以内

(b) 地図エディタ機能 (地図エディタ)

実験環境に対応した地図 (フィールドマップ) を作成する環境を提供する。

(c) ロボット台車モニタリング機能 (経路解析システム)

ロボット台車の動作状態をオンライン表示する (天井自律走行型作業ロボット)。

(d) センサモニタリング機能 (天井自律走行型作業ロボット・

床上自律走行型移動ロボット経路解析システム)

各種センサの状態をオンライン表示する。

(e) プロセス管理機能 (プロセス管理)

オペレーションシステムの下で各タスクの起動・停止や、計算機のリソース管理を行う。

(f) ネットワーク通信制御機能 (通信)

計算機間のオンラインデータ通信を行う。

(g) 障害物情報管理機能 (視覚制御システム)

地図エディタ機能で作成した地図を3次元最適移動経路解析に用いる形式に変換処理するとともに、地図上の障害物などの情報を管理する。

(h) マンマシンインターフェース機能 (制御盤)

最終目標点、中間目標点の座標等、作業員からの指示を入力する。

## ②画像処理解析用ソフトウェア

操作室壁面に固定したCCDカメラからの画像を用いて、初期画像との変化の有無により障害物を検出する等の画像処理機能を持たせる。

### 主要機能

(a) 物体抽出機能

(b) 物体位置・形状算出機能

(c) 解析方式 : 並列正規化相関演算、パイプライン2値画像形状変換

天井自律走行型作業ロボット及び床上自律走行型移動ロボットの自律走行試験は、最適経路解析システムのソフトウェアの検証であり、ソフトウェアの機能に従って自律走行が確実に実施できることを確認する。試験項目は、Table 4.1に示した最適経路解析システムのNo.1～No.11の主要機能の内容に対応した試験をそれぞれの項目毎に実施する。これらの試験のうち、ロボットの自律走行を伴うものはNo.7～No.9である。試験結果に基づき、グラフィカルユーザインターフェースやソフトウェアの高度化を行う。

#### 4.2.3 ターゲット交換総合試験

ターゲット交換総合試験では、(1) 遠隔手動によるターゲット固定ボルト締緩機能試験、(2) 天井自律走行型作業ロボット及び床上自律走行型移動ロボットの自律走行試験結果に基づき、エンドエフェクタのボルト締緩のトルク、ボルト解除の順序等を予め設定し、最適経路解析システムを用いて、一連のターゲット交換作業を実施し、ターゲット交換シナリオを総合的に検証する。なお、実際にターゲット容器をターゲット台車から取り外す作業は、ターゲット交換に必要なターゲット交換台車を製作後に別途実施することとし、本試験では、ターゲット固定ボルトの固定解除及び固定までの一連の作業を実施する。本試験では、交換時間を最小にするための作業シナリオの検証、高度化を目的とする。

また、Fig.4.1に示したターゲット構造を採用した場合には、水銀出入口、重水出入口及びヘリウムガス出入口部に取り付けたジャンパー管を取り外す必要があるため、これらを取り外す際のMSマニピュレータや天井クレーンの操作手順等についても試験を進めながら最適な手順を検討する。詳細な試験計画書については、試験開始前までに別途報告する。

Table 4.1 最適経路解析システム主要機能及び試験項目

No.	機能及び試験項目	内 容	入力信号、データ	出力信号、データ
1	状況報告(1)	ロボットの動作状況をビジュアルに表示する。	内界センサ信号(ロボットコントローラ)	グラフィックス(画面)
2	状況報告(2)	各センサ、制御装置の動作状況及び地図と地図上の障害物、ロボットの位置、経路を表示する。	内界センサ信号(ロボットコントローラ) ステータス(ロボットコントローラ) 障害物情報(データベース) 地図、経路(経路解析システム上メモリ)	グラフィックス(画面)
3	目標点入力	ロボットを自律走行で到達させたい最終目的地を地図上で入力する。	キーボード、マウス(作業員)	座標値 (経路解析システム上メモリ)
4	中間目標点入力	ロボットが自律走行で通過すべき中間目標点を地図上で入力する。	キーボード、マウス(作業員)	座標値 (経路解析システム上メモリ)
5	経路探索条件入力	ロボットの移動経路を探索する際の制約条件等を入力する。	キーボード、マウス(作業員)	探索条件 (経路解析システム上メモリ)
6	移動経路探索	制約条件を満たしつつ、地図に入力された目標点に到達する最適経路を探索し、地図上に表示する。	キーボード、マウス(作業員) 目標点座標(経路解析システム上メモリ) 探索条件(経路解析システム上メモリ)	経路データ(データベース)
7	自律走行開始指示	探索結果の移動経路に沿って、ロボットを自律走行させる。	キーボード、マウス(作業員) ステータス(ロボットコントローラ)	制御情報 (ロボットコントローラ)
8	自律走行中断指示	地図に入力した中間目標点において、自律走行を中断する。	キーボード、マウス(作業員) ステータス(ロボットコントローラ)	制御情報 (ロボットコントローラ)
9	非常停止指示	走行中のロボットをソフトウェア経由で非常停止させる。	キーボード、マウス(作業員) ステータス(ロボットコントローラ)	制御情報 (ロボットコントローラ)
10	自律一遠隔手動操作切り替え	ロボットの動作モードを、自律走行と遠隔手動操作の間で切り替える。	キーボード、マウス(作業員) ステータス(ロボットコントローラ)	制御情報 (ロボットコントローラ)
11	障害物情報更新	障害物情報をセンサシステムやCCDカメラから読み込み、地図上に重ねて表示する。	キーボード、マウス(作業員) 障害物情報(データベース)	グラフィックス(画面) 障害物情報(経路解析システム上メモリ)

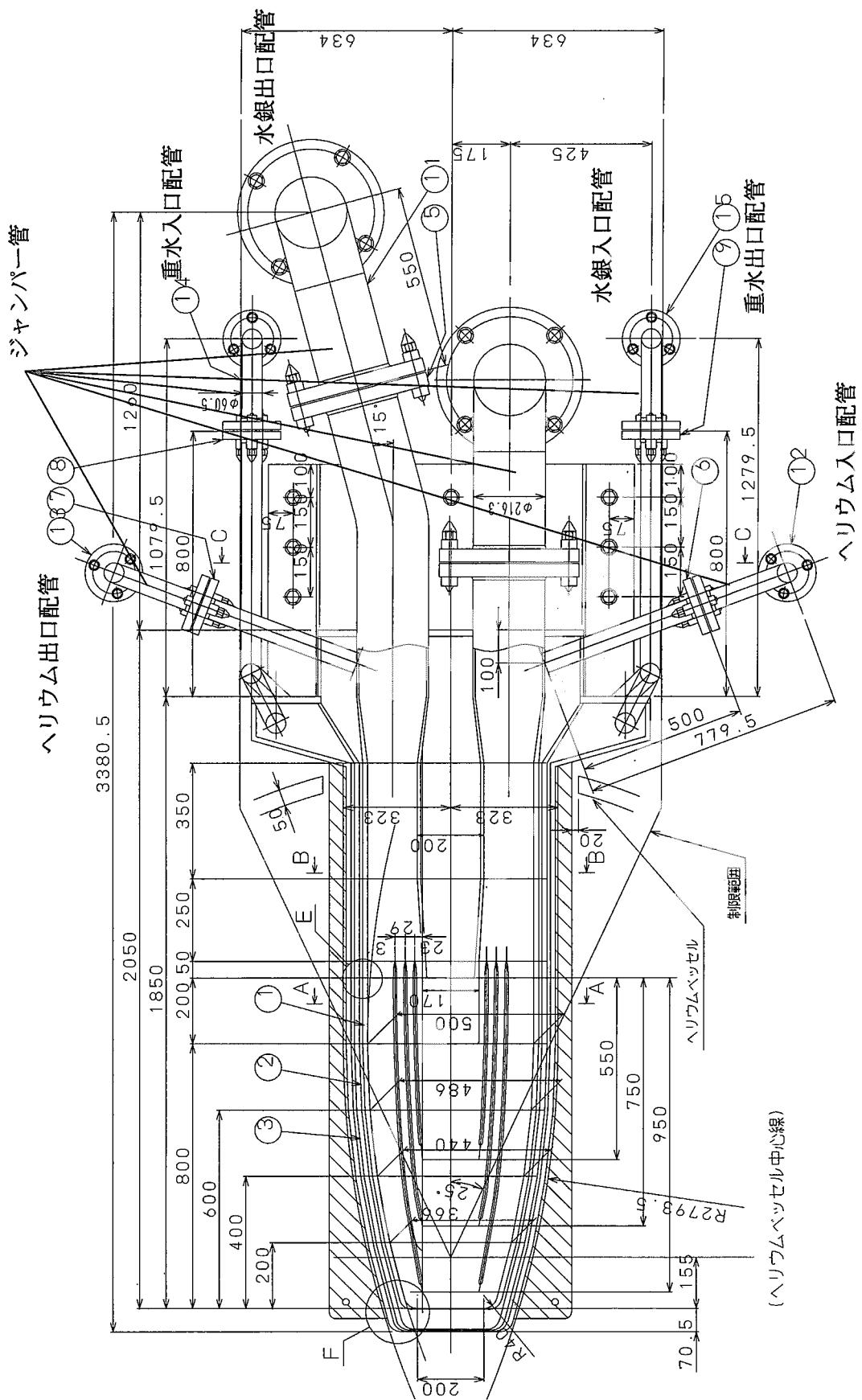
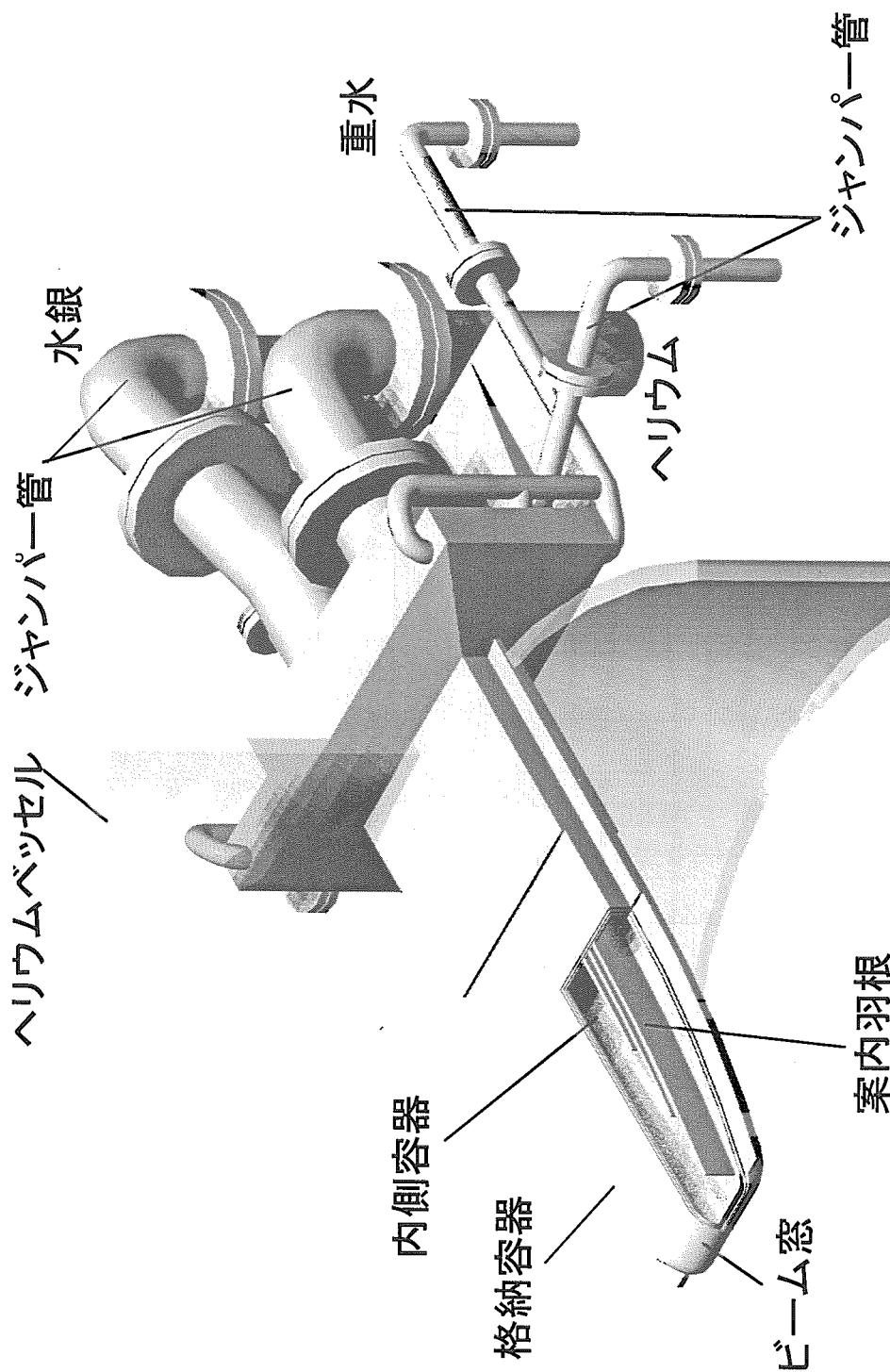


Fig.4.1 格納容器一体型水銀ターネット構造図



構造材 : SUS316  
主要寸法 : ターゲット容器 100mm(高さ) × 200–500mm(幅)、ターゲット有効長 800mm  
格納容器 150mm(高さ) × 300–650mm(幅)、全長 1500mm

Fig.4.2 格納容器一体型水銀ターゲット外観図

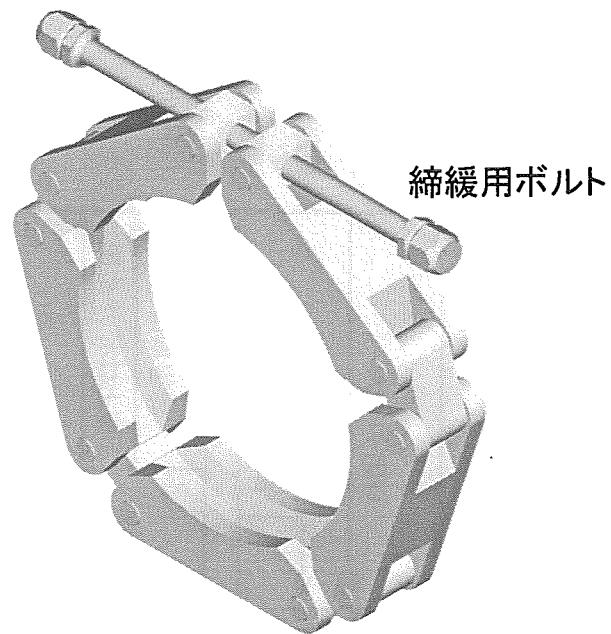


Fig.4.3 フランジ接続部に採用するクイッククランプ概念図

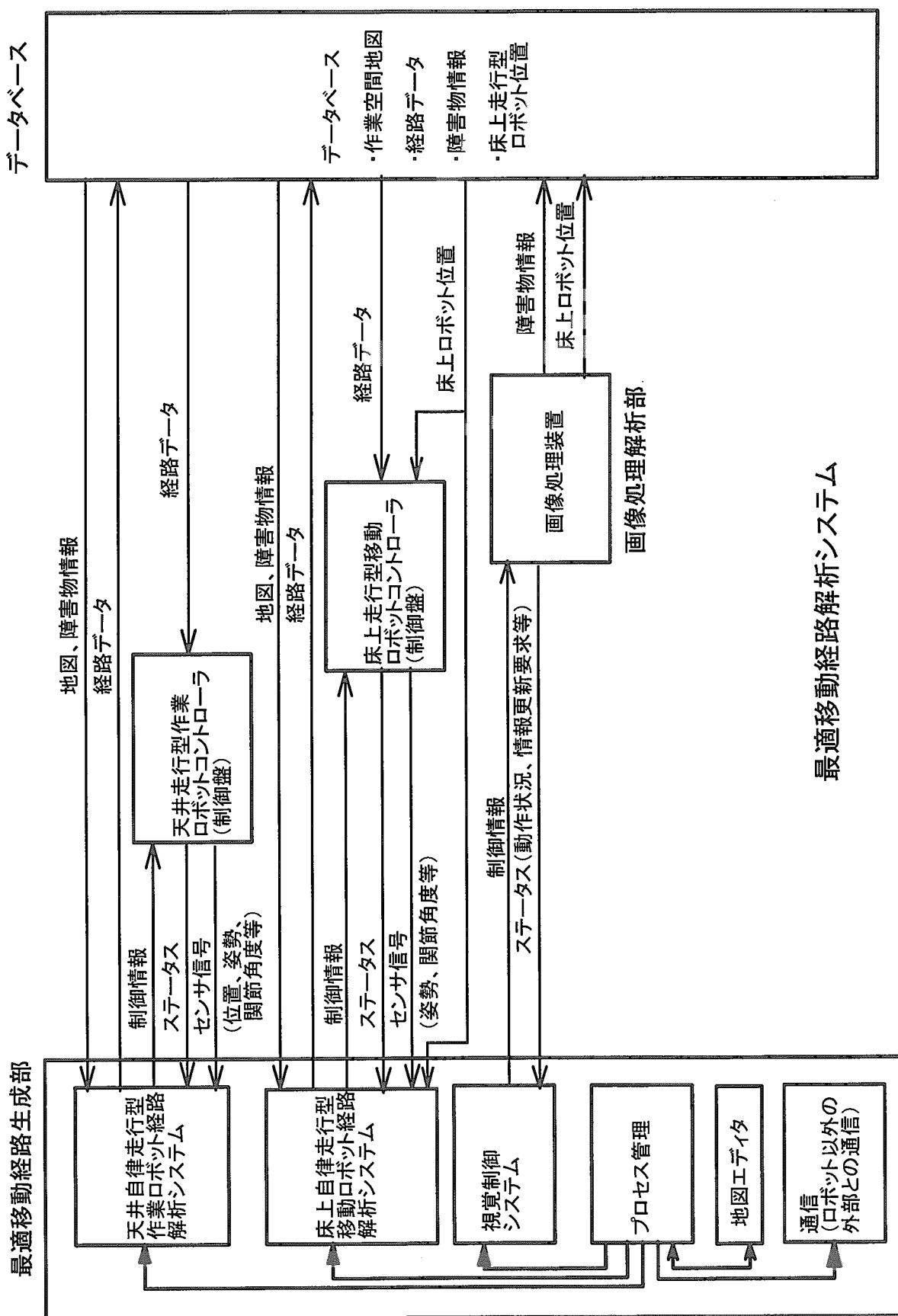


Fig.4.4 最適経路解析システムデータ通信の概要

## 5. 結 言

中性子散乱施設で使用する水銀ターゲットは、容器が陽子ビーム入射及び核破碎によって発生する高エネルギー中性子の照射により強く放射化されているため、リモートハンドリングにより交換する必要がある。さらに、施設の稼働率を向上させるために、ターゲット容器のリモートハンドリングによる交換は短期間で実施する必要がある。そこで、ターゲット交換を模擬したリモートハンドリングシステムのシミュレーション解析を通して、3次元的に自律走行が可能な多関節型マニピュレータ付き天井走行型作業用ロボット、作業を監視する床上自律走行型の小型移動ロボット及び作業を補助するMSマニピュレータから成るリモートハンドリングシステムの概念を構築した。

本報告書では、構築したターゲットリモートハンドリングシステムの概念に基づき、実規模のリモートハンドリング実証試験装置の仕様を定めるとともに試験計画を示した。リモートハンドリングシステム機器の選定に当たっては実績のある産業用ロボットをベースとして、作業効率の向上及び作業員の負担軽減を図るために最適移動経路解析システムソフトウェアを組み合わせたシステムとした。これらのリモートハンドリング機器の使用により、最終的にはターゲット交換作業を3日以内で終了可能とする計画である。本リモートハンドリング実証試験装置を用いた試験は、平成13年4月から開始する。今後は、ターゲット交換作業時の空間線量率やターゲット容器の放射化量の評価結果に基づき、実機用リモートハンドリング機器の耐放射線性に対する仕様を定める予定である。

## 謝 辞

リモートハンドリング実証試験装置の仕様検討に当たり、株式会社 日立製作所 大橋正久氏、道下秀紀氏、土田一輝氏、鈴木孝司氏、米谷豊氏、小川雪郎氏には多大なる支援・協力を戴いた。また、本報告書をまとめに当たり、核熱利用研究部研究主幹宮本喜晟氏には貴重な助言を戴いた。ここに記し感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 日本原子力研究所・高エネルギー加速器研究機構共同推進チーム：JAERI-Tech 2000-003, ”大強度陽子加速器計画”(2000).
- (2) 安達潤一、神永雅紀、佐々木忍、日野竜太郎：JAERI-Tech (To be published), ”中性子散乱施設使用済ターゲット取扱・保管設備の概念検討”(2000).
- (3) M. Holding, T.A. Broome : “Remote Handling in The ISIS Target Station”, Proc of 2nd International Topical Meeting on Nuclear Applications of Accelerator Technology (AccApp'98), Gatlinburg, Tennessee (1998).
- (4) 神永 雅紀、寺田敦彦、木下秀孝、羽賀勝洋、日野竜太郎：JAERI-Tech (To be published), ”ターゲット・格納容器（Safety Hull）一体型水銀ターゲット構造”(2000).

This is a blank page.

# 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

## 換算表

力	N(=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s/m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>3</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1

$$1 \text{ cal} = 4.18605 \text{ J(計量法)}$$

$$= 4.184 \text{ J(熱化学)}$$

$$= 4.1855 \text{ J(15 °C)}$$

$$= 4.1868 \text{ J(国際蒸気表)}$$

$$\text{仕事率 } 1 \text{ PS(仮馬力)}$$

$$= 75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$$

$$= 735.499 \text{ W}$$

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>	1	100	
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1	0.01	1	

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

