

核破砕中性子源使用済み機器の保守

―モデレータ・反射体、陽子ビーム窓―

Maintenance of Used Components in Spallation Neutron Source
—Moderator·Reflector and Proton Beam Window—

財使河原 誠 木下 秀孝 涌井 隆 明午 伸一郎 関 正和 原田 正英 伊藤 学 鈴木 徹 池崎 清美 前川 藤夫 二川 正敏 佐藤 浩一田島 考浩 仲澤 隆

Makoto TESHIGAWARA, Hidetaka KINOSHITA, Takashi WAKUI, Shinichiro MEIGO Masakazu SEKI, Masahide HARADA, Manabu ITO, Toru SUZUKI Kiyomi IKEZAKI, Fujio MAEKAWA, Masatoshi FUTAKAWA, Koichi SATO Takahiro TAJIMA and Takashi NAKAZAWA

J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン

Material and Life Science Division J-PARC Center

July 2012

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構



本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(http://www.jaea.go.jp) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課 7319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

核破砕中性子源使用済み機器の保守-モデレータ・反射体、陽子ビーム窓-

日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 勅使河原 誠、木下 秀孝、涌井 隆、明午 伸一郎、関 正和、原田 正英、伊藤 学、鈴木 徹、 池崎 清美、前川 藤夫⁺¹、二川 正敏、佐藤 浩一⁺²、田島 考浩⁺²、仲澤 隆⁺²

(2012年6月1日 受理)

J-PARC 構成施設の物質・生命科学実験施設(MLF)は核破砕中性子源であり、中性子を発生するため3 GeV まで加速された陽子ビームを水銀ターゲットに入射する。高エネルギーの陽子や中性子に晒された機器(ターゲット容器、モデレータ、反射体及び陽子ビーム窓)は、照射損傷を受けるため、定期的な交換保守を必要とする。使用済み機器は高度に放射化され、遠隔による交換保守が必要となる。使用済みの機器の交換保守が行える保守シナリオを構築し、必要な設備をホットセル内及び MLF 内に導入し、保守シナリオの整合性を確認するため実機を用いて予備試験を行った。本報告書では、使用済み機器(モデレータ・反射体、陽子ビーム窓を対象)について、予備試験を通して得られた知見をもとに、使用済み機器の取扱に反映することを目的とし、交換保守に関する問題点と解決策等を報告する。

J-PARC センター: 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

⁺¹ 経営企画部

⁺² J-PARC センター 安全ディビジョン

Maintenance of Used Components in Spallation Neutron Source -Moderator • Reflector and Proton Beam Window-

Makoto TESHIGAWARA, Hidetaka KINOSHITA, Takashi WAKUI, Shinichiro MEIGO, Masakazu SEKI,

Masahide HARADA, Manabu ITO, Toru SUZUKI, Kiyomi IKEZAKI, Fujio MAEKAWA⁺¹, Masatoshi FUTAKAWA,

Koichi SATO⁺², Takahiro TAJIMA⁺² and Takashi NAKAZAWA⁺²

Material and Life Science Division, J-PARC Center,

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 1, 2012)

3 GeV Protons with 1 MW beam power are irradiated to mercury target of spallation neutron source in Materials and Life science Facility (MLF), which is one of facilities of J-PARC. Irradiated components, such as target container, moderator, reflector and proton beam window, are needed to replace periodically due to irradiation damage of high energy protons and neutrons. These used components are replaced remotely because of highly activated. Maintenance scenario was settled so as to handle these components. Required remote handling machines were designed and installed in hot cell and other room of the MLF. We performed remote handling tests by using actual components to confirm the design. We report results, such as replacement procedure, trouble and its solution, etc., for moderator, reflector and proton beam window in order to provide the handling of actual used components.

Keywords: Maintenance of Activated Components, Moderator, Reflector, Proton Beam Window, Remote Handling, Spallation Neutron Source

⁺¹ Policy Planning and Administration Department

⁺² Safety Division J-PARC Center

目次

1.	序	1
2.	取扱対象機器の遠隔保守シナリオ	2
	2.1 機器交換	3
	2.2 機器搬出	3
	2.3 人手による放射線作業	3
3.	物質・生命科学実験施設(MLF)内機器配置	4
4.	遠隔操作機器	5
	4.1 セル外設備	5
	4.1.1 移送キャスク	5
	4.1.2 床上遮蔽体(床上可動遮蔽体)	6
	4.2 セル内設備(反射体等遠隔操作機器)	6
	4.2.1 外部プラグ受け台	6
	4.2.2 内部プラグ受け台	7
	4.2.3 減速材等交換装置	7
	4.3 遠隔操作機器の電源投入	7
	4.4 遠隔操作機器用コントローラ	8
	4.4.1 POD コントローラ	8
	4.4.2 ITV カメラ(セル内カメラ)コントローラ	9
	4.5 反射体等遠隔操作機器運転手順	10
	4.6 セル内設備自動運転位置データ及び取り合い位置データ	10
	4.7 パワーマニプレータの取り合い位置データ及びアクセス手順	10
	4.8 インセルクレーン取り合い位置データ	10
5.	モデレータ・反射体機器の交換保守	10
	5.1 作業用工具、ジグ類	11
	5.2 天井気密板移動	11
	5.3 天井遮蔽ブロック移動	12
	5.4 ベッセル上部遮蔽体移動	13
	5.5 ベッセル蓋移動	13
	5.5.1 ベッセル蓋の開放	13
	5.5.2 ベッセル蓋を閉止する時の注意	14
	5.6 ベッセル内水冷配管着脱作業	15
	5.6.1 着脱対象となるベッセル内水冷配管	15
	5.6.2 ベッセル上部水冷配管敷設エリア	15

	5.6.3 ベッセル上部作業時の放射線安全	15
	5.6.4 水冷配管着脱部仕様	15
	5.6.5 水冷配管着脱作業時の人員配置及び汚染区域の設定	16
	5.6.6 水冷配管取外しにおける注意	16
	5.6.7 水冷配管着脱前準備作業	17
	5.6.8 防護服の着用	17
	5.6.9 水冷配管着脱作業	18
	5.6.10 水冷配管取付後の加圧試験における注意	19
	5.6.11 作業着の脱装	20
	5.7 モデレータ水素配管の着脱	21
	5.7.1 モデレータ水素配管取外要領	21
	5.7.2 熱電対の養生作業	22
	5.7.3 モデレータ水素配管取付における注意	22
	5.8 グリッパ用接続吊り具の設置	22
	5.9 移送キャスク設置&キャスク内へ機器の吊り上げ	22
	5.10 乾燥装置室への移送	24
	5.11 モデレータ・反射体のホットセル内へ移送	25
	5.11.1 モデレータ・反射体の外部プラグ受台へ移送	25
	5.11.2 内部プラグの取り出し	25
	5.11.3 内部プラグ受け台へ搬送	25
	5.12 結合型モデレータ(CM)の交換	26
	5.12.1 CM の取り外し	26
	5.12.2 CM の取り付け	28
	5.13 非結合型モデレータ(DM)の交換	29
	5.13.1 DM の取り外し	29
	5.13.2 DM の取り付け	30
	5.14 ポイゾン型モデレータ(PM)の交換	31
	5.14.1 PM の取り外し	31
	5.14.2 PM の取り付け	32
	5.15 反射体の交換	33
6.	陽子ビーム窓(PBW)機器の交換保守	34
	6.1 陽子ビーム窓設置位置上部作業	34
	6.2 乾燥装置室への移送	35
	6.3 陽子ビーム窓(PBW)の交換	36

6.4 放射化機器保管室(地下一階)への移送	37
7. まとめ	38
謝辞	39
参考文献	39

Contents

1.	Introduction	1
2.	Remote handling scenario of used components	2
	2.1 Replacement of used components	3
	2.2 Carry used components out of facility	3
	2.3 Radiation work by hands on	3
3.	Arrangement of handling devices in Material and Life science Facility	4
4.	Remote handling machine	5
	4. 1 Out cell device	5
	4.1.1 Transfer cask	5
	4.1.2 Floor valve	6
	4.2 In cell device (Reflector remote handling machine)	6
	4.2.1 Outer plug support stand	6
	4.2.2 Inner plug support stand	7
	4.2.3 Moderator exchange machine	7
	4.3 Power up sequence of remote handling machine	7
	4.4 Controller of remote handling device	8
	4.4.1 POD controller	8
	4.4.2 ITV camera(In cell camera)controller	9
	4.5 Operation procedure for remote handling device	10
	4.6 Position data and access position data for automatic operation	10
	4.7 Access position data and access procedure for power manipulator	10
	4.8 Access position data of in cell crane	10
5.	Moderator • reflector maintenance	10
	5.1 Tools and jigs	11
	5.2 Removal of airtight ceiling plate	11
	5.3 Removal of ceiling shield blocks	12
	5.4 Removal of over vessel shield blocks	13
	5.5 Removal of vessel plate	13
	5.5.1 Removal procedure of vessel plate	13
	5.5.2 Notes for returning of vessel plate	14
	5.6 Attachment/Disattachment of water pipes in vessel	15
	5.6.1 Water pipes in vessel	15
	5. 6. 2 Connection area of water pipes in vessel	15

	5.6.3 Radiation safety of hands on work in vessel	15
	5. 6. 4 Connection of water pipes	15
	5.6.5 Personnel arrangement and zone of radiation work	16
	5.6.6 Notes for disattachment of water pipe	16
	5. 6. 7 Preparing work of water pipe	17
	5.6.8 Wearing of radiation protection suit	17
	5. 6. 9 Water pipe attachment/disattachment work	18
	5.6.10 Notes for pressure test inside water pipe	19
	5. 6. 11 Take off radiation protection suit	20
	5.7 Moderator attachment/disattachment work	21
	5.7.1 Procedure of moderator disattachment	21
	5.7.2 Covering work of thermo couple	22
	5.7.3 Attention in moderator attachment work	22
	5.8 Installation of connection tool for gripper	22
	5.9 Installation of transfer cask &Hang up used components	22
	5.10 Transfer to dry-up room	24
	5.11 Moderator • reflector transfer to hot cell	25
	5.11.1 Moderator • reflector transfer to outer plug	25
	5.11.2 Removal of inner reflector plug	25
	5.11.3 Transfer to inner plug support stand	25
	5.12 Replacement of coupled moderator	26
	5. 12. 1 Removal of coupled moderator	26
	5. 12. 2 Installation of coupled moderator	28
	5.13 Replacement of decoupled moderator	29
	5.13.1 Removal of decoupled moderator	29
	5. 13. 2 Installation of decoupled moderator	30
	5.14 Replacement of poisoned moderator	31
	5.14.1 Removal of poisoned moderator	31
	5.14.2 Installation of poisoned moderator	32
	5.15 Replacement of reflector	33
6. I	Proton beam window maintenance	34
	6.1 Maintenance work at vessel top	34
	6.2 Transfer to dry-up room	35
	6.3 Replacement of proton bam window	36

6.4 Transfer to basement floor	37
7. Summary	38
Acknowledgement	39
References	39

1. 序

大強度陽子加速器施設(J-PARC, Japan Proton Accelerator Complex) [1-3]は、日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構が共同で建設、運営を行っている。核破砕中性子源及びミュオン源を含む物質・生命科学実験施設(MLF)は、その中の施設の一つである(Fig. 1.1)。3 GeVまで加速された陽子ビーム(定格出力:1MW、周波数:25 Hz)が、物質・生命科学実験施設(MLF)に輸送され、ミュオンターゲットを通過し、水銀ターゲットに入射する。核破砕反応によりターゲット中で発生した中性子は、モデレータ(減速材)で減速され、パルス中性子ビームとして、実験者に供与される(Fig. 1.2)。高エネルギーの陽子や中性子に晒された機器は、照射損傷を受け、定期的な交換保守を必要とする。

交換保守の対象となる機器は、モデレータ・反射体及び陽子ビーム窓である。モデレータや反 射体はヘリウムベッセル(以下、ベッセル)と呼ぶ格納容器内に設置される(Fig. 1.3)。特性の異 なるパルス中性子ビームを供給するため結合型モデレータ、非結合型モデレータ及びポイゾン型 モデレータと呼ぶ3種類のモデレータを導入した[4]。それぞれのモデレータは、多重のアルミ合 金製容器で構成し、冷中性子ビームを取り出すため液体水素を流動する。特に、非結合型モデレ ータやポイゾン型モデレータにおいては、パルス中性子ビームにおいて早い時間減衰並びに狭い パルス幅を得るため銀-インジウム-カドミウム(Ag-In-Cd)熱中性子吸収材[5-8]やカドミウム (Cd) ポイゾン板[9,10]を導入した。各モデレータは、モデレータヘッド及び水素輸送配管より構 成し、ベッセル上部の水素輸送配管着脱部で切り離しが出来る。効率良く中性子をモデレータに 導くため反射体は、材料としてベリリウムを採用した。ベリリウムは熱除去の観点から冷却構造 を備えたアルミ合金容器に封入される。Fig. 1.4 に示すよう、各々のモデレータ及び反射体は、 内部プラグまたは外部プラグに接続し、一体化され、ベッセル内に設置される。照射損傷による 交換保守の頻度の高い機器を分離し、選択的に取り扱える構造にした。交換保守が必要となる機 器を独立に取り出すことを可能とし、交換保守の必要ない重量物であるプラグなどの再利用化を 図る。米国オークリッジには同規模の加速器型の核破砕中性子源施設が存在する。ここでは、モ デレータ・反射体・プラグの一体での交換保守を行う。一回の交換保守で、プラグを含んだ数十 トンもの放射性廃棄物が発生する。必要なものだけに特化した独立保守は、放射性廃棄物を軽減 する観点から重要であり、我々の施設における大きな特長である。陽子ビーム窓は、ベッセル内 の大気圧と加速器ビームラインの超高真空を仕切る機能を有する。アルミ合金製の二重窓で、そ の間に熱除去のための冷却水が流動する。Fig. 1.5 に示すよう陽子ビーム窓は、陽子ビーム窓用 プラグに接続し、プラグから取り外して新規のものと交換される。

これら使用済み機器は、重量物(数百 kg から数トン)であること、高度に放射化される(数千 Sv/h(運転直後))こと、交換保守時の冷却水配管着脱作業において冷却水中に存在するトリチウム

の吸引による内部被ばくの可能性のあることから、それらを考慮した保守シナリオを構築した [11,12]。2008 年 5 月陽子ビーム入射に成功して以来、Fig. 1.6 に示すよう冷却水に生成するト リチウムは、陽子ビーム積算出力とともに上昇し、2012年現在、トリチウム濃度として 10⁴ Bq/cm³ を超えており、全面マスクやエアラインスーツ等の保護具の装備が必要となっている。保守シナ リオでは、機器の交換保守作業において、遮蔽による外部被ばくの防止と多重バリア、局所排気、 防護マスク等による内部被ばくの防止を基本的な考えとした。高度に放射化した機器を取り扱う ため遠隔機器の導入を図った[13]。すべての作業を遠隔で行うわけではなく、部分的に人手によ り行う。交換保守を実証するため実機を用いて試験を行った。試験では、作業における手順と安 全を確立すること、必要な作業時間の割り出しに着目した。作業時間の割り出しは、今後の施設 保守に関わる作業期間の策定に重要となる。遠隔による作業では、ホットセル(以下、セル)内で 遠隔機器を用いて、使用済み機器の交換を行う。試験を通じて、遠隔機器の機能並びに動作を確 認するとともに、動作に必要な位置座標等を決定した。セル内では、直接目視の視野が制限され、 遠隔機器の動作に対してセル内カメラの効率的な連動が重要であり、視認性を向上させるカメラ の配置等を決定した。一方、人手による作業では、遮蔽体の移動作業や配管の着脱作業がある。 遮蔽体の移動作業では、重量物取扱の安全を考慮し、作業手順、必要人数及びその配置を決定し た。配管の着脱作業では、内部被ばくが主な危険源である。それを想定した設備を導入し試験を 行い、作業手順、必要人数及び配置等を決定した。本報告は、交換保守の対象となるモデレータ・ 反射体及び陽子ビーム窓について、保守シナリオに基づき、交換方法、遠隔操作機器の操作等、 詳細な作業手順を明確にするとともに、予備試験の結果得られた作業上の注意点や問題点、試験 データ等の結果を記載した。交換保守の進め方が容易に想起出来るよう文章のみならず画像を多 用し、実際の交換保守への活用を図る。

2. 取扱対象機器の遠隔保守シナリオ

機器の保守(交換)頻度を、機器の構造材の照射損傷を基に決定した。それぞれの寿命は、陽子ビーム窓が2年、モデレータ・反射体が6年である(Fig. 2.1)。本報告では詳細は述べないが、ターゲット容器は、寿命が0.5年で非常に短い。照射損傷というよりむしろパルスビーム入射による衝撃疲労[14]が寿命決定の主要因である。

モデレータ・反射体及び陽子ビーム窓の基本的な保守シナリオを Fig. 2.2 に示す[11, 12]。使用済みの機器をベッセルより取り出し乾燥装置室に移送し、ホットセル内に事前に準備した新規の機器と交換する。陽子ビーム窓(ミュオンも含む)も同様なシナリオである。本シナリオでは、新規のモデレータ・反射体をセル内に事前に準備しておくことで、ビームの運転停止期間の短縮化を図った。すなわち、使用済み機器の交換を待たずとも、ビーム運転への復旧が可能となる。ビーム利用時間の向上は、利用ユーザ数の増加に直結するため施設の運営において重要となる。

保守シナリオは、機器交換と機器搬出の2つより構成する。

2.1 機器交換

ビーム停止後、ベッセルに人が立ち入り作業を行うために必要な準備作業を行う。ベッセル内での作業は、ほぼ人手による作業となる。以下にモデレータ・反射体の交換に必要な作業を記載する。陽子ビーム窓についてもほぼ同様である。

- (0) 水素、冷却水ドレン、ベッセル内空気置換、天井遮蔽体取り外し
- (1) 水冷配管及び水素配管取り外し
- (2) 使用済み機器の乾燥装置室への移送
- (3) 新規モデレータ・反射体のベッセルへの移送、設置

この後、ベッセルを閉止し、遮蔽体等を元に戻す作業を経て、ベッセル内の空気置換、冷却水・ 水素などの運転を順次開始し、ビーム運転に備える。

2.2 機器搬出

使用済み機器の搬出に関わる作業は、ビーム運転の有無にかかわらず行える。使用済み機器の 廃棄は、一時保管の後に施設外に搬出する。以下に箇条書きで記載する。

- (I) 配管内冷却水乾燥
- (II) ホットセルへ移送
- (III) 使用済み機器の取り出し
- (IV) 使用済み機器の切断、収納、保管
- (V) 遮蔽付キャスク収納
- (VI) 施設外へ移送

Fig. 2.3~2.7 にモデレータ・反射体及び陽子ビーム窓の機器交換及びホットセル内での使用 済み機器の交換に関わる詳細な作業手順及び作業に必要な所要時間を示す。作業手順や作業に関わる所要時間は、実際に実機を用いて行った試験の結果を基にした。1 章で記述したようモデレータ・反射体は、プラグに接続され、ベッセル内に設置される。プラグへの接続は位置決めピンとボルトを用いる。一体にしたモデレータ・反射体・プラグを後述する移送キャスクにより位置決めピンを用いてベッセル内に着座する。ボルトを用いての固定はしない。陽子ビーム窓の構造も同様である。それら取扱対象機器のボルト及びピン等取り合いに関わる詳細を Fig. 2.8~2.15に示す。使用済み機器は、ホットセル内でプラグから分離される。ホットセル内の作業は遠隔で、セル内に設置された遠隔操作機器とパワーマニプレータを用いて行う。

2.3 人手による放射線作業

機器の交換保守は主として遠隔操作によるが、ベッセル内での配管の着脱作業では、放射能に

よって汚染された機器等を人手で直接扱う作業が存在し、外部被ばくや内部被ばくの可能性を伴 う。このため、以下に示す安全の考え方を基本とし作業の具体化や防護措置を施した。

(1) "閉じこめ"(放射性物質の漏えいや内部被ばくの防止)

多重隔壁を形成し、放射性物質の漏えい防止と共に、立ち入りに対する制限区域を設け被ばくの防止を図る。水冷配管着脱作業等の多重隔壁を形成しにくい人手による作業は、グリーンハウス内で全面マスク(必要に応じて空気供給式マスク)、局所排気等を設け内部被ばくに対して対策を施す。

(2) "必要十分な遮蔽"(作業時の外部被ばく軽減)

放射化した機器の取扱については、作業者の外部被ばくを軽減するために必要にして十分な遮 蔽を設ける。作業時には随時線量計測等を行い、作業環境を把握して作業時間などを決定する。

3. 物質·生命科学実験施設(MLF)内機器配置

放射化した機器の取扱 (機器の交換) は、MLF 1 階放射化機器取扱室 (ホットセル) (Fig. 3.1~3.3) 及び地下 1 階放射化機器保管室 (Fig. 3.3) で行う。ホットセル内は負圧環境 (-230Pa) であり、セル外への放射性物質の漏えいを防ぐ。セル外での空間設計線量を $12.5\,\mu$ Sv/hr 以下とするため、 1.5m(普通コンクリート[2.2g/cm³]) の遮蔽壁で囲む。設計空間線量については、放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則から、管理区域内の常時人が立入る場所の線量限度が $25\,\mu$ Sv/hr と定められており、モンテカルロ線量設計計算における設計尤度を 2 倍として $12.5\,\mu$ Sv/hr とした。

セル内は、作業エリアをターゲット容器の交換を行うエリアとそれ以外の機器(モデレータ・反射体、陽子ビーム窓等)の交換を行うエリアの2つに区分した(Fig. 3.2)。これは、水銀を取り扱うエリア(ターゲット容器交換エリア)を限定することを考慮したためである。セル内には、遠隔操作を行うためパワーマニプレータ、マスター・スレーブマニプレータ、インセルクレーン(20t)を設置した(Fig. 3.4)。反射体等遠隔操作装置はセル内のエリア区分けに従ってホットセル内南側に配置した(Fig. 3.5)。カメラで細部を確認しながら遠隔操作を行うため ITV カメラ(又はセル内カメラ)も5台配置した(Fig. 3.6)。No. 3~No. 5のカメラは LM(Liner Motion)ガイド上を移動するとともに、No. 3、4のカメラについてはさらにズーム機能を加え細部の視認性の向上を図った。反射体遠隔操作機器の制御卓を第1マニプレータ操作室内南側に配置した(Fig. 3.7及びFig. 3.8)。制御卓上に、遠隔操作機器操作盤(POD コントローラ)、ITV カメラ和の範囲で有線可搬型である。

3 階大型機器取扱室には、大型の天井クレーンが 2 基設置(130t 及び 65t)されており、施設への機器の搬入または搬出を行うためのハッチを有する。使用済み機器を収納し、ベッセルエリア

とホットセル上部の間を移送する移送キャスクを設置した(Fig. 3.9 及び Fig. 3.10)。ホットセル上部には、遮蔽扉を有した床上遮蔽体及び床上可動遮蔽体を 5 基設置した。移送キャスクの設置に用い、使用済み機器をホットセル内、乾燥装置室及び放射化機器保管室(地下 1 階ホットセル)に搬入する。地階に放射化機器保管室、及び乾燥装置室を設け、使用済み機器の一時的な保管、及び使用済み機器内に残留したトリチウム水の乾燥除去を行う。使用済み機器の減容化のため機器の切断を行うが、トリチウム水の乾燥除去により、配管等の切断におけるトリチウム汚染を未然に防ぐ。

4. 遠隔操作機器

モデレータ・反射体及び陽子ビーム窓の交換保守に関わる遠隔操作機器は、セル外設備及びセル内設備に分類される。セル外設備は移送キャスク及び床上遮蔽体(Fig. 3.10)、セル内設備は、減速材等交換装置、内部プラグ受け台及び外部プラグ受け台より構成する(Fig. 3.5)。また、新規または使用済みの機器を一時的に立て掛けて保管するための保管ラックを設置した。

4.1 セル外設備

4.1.1 移送キャスク

移送キャスクは、遮蔽を有する搬送機器で使用済み機器をキャスク内に吊り上げて収納し、 クレーンにより、ベッセル上部とホットセルの間を移送する(Fig. 4.1.1 及び 4.1.2)。内部の気 密機能は有しない。重量は、キャスク単体で90t、使用済み機器を収納した状態で最大130tとな る。遠隔で使用済み機器を選択的に掴み分けができる吊り上げ機構を持った回転式グリッパを有 する(Fig. 4.1.3)。移送キャスク下部に、吊り上げた使用済み機器からのγ線を遮蔽するため、 開閉式の遮蔽扉を有する。キャスクの表面線量を 1mSv/hr 以下とし、Fig. 4.1.4 に示す遮蔽厚さ の最適化により移送キャスク重量の軽減化を図った。キャスクの最大遮蔽厚さ(鉄)は 30cm である。 移送キャスクは、定格荷重 130t の天井クレーンを用いて移動する。移動の際に、クレーンフック に専用の吊り具を取り付け移送キャスクを吊り上げる(Fig. 4.1.5)。移送キャスクの移動や設置 は、遠隔操作ではなく、人手で行う(Fig. 4.1.6)。移送キャスクの設置は、床上遮蔽体上のみで あり、床上遮蔽体に取り付けられた位置決めピンを用いて設置する。ベッセルエリアでは、移送 キャスクを設置する前に、天井遮蔽ブロックの取り外しや床上遮蔽体の設置等の準備作業が必要 となる。作業を効率良く進めるため、最小限の遮蔽体の取り外しですむ天井遮蔽ブロックの配置 を決定した。移送キャスク内に内包する回転式グリッパの最大昇降ストロークは 35m である。対 象とする使用済み機器により昇降ストロークは異なる。グリッパの昇降ストローク値を Fig. 4.1.7に示す。グリッパの昇降速度は、2段階であり、昇降動作の初めと終わりは低速で駆動する。

機器を吊り降ろして設置する場合、着座の判定を行うため昇降ストローク値の上下約 20mm の判定域を設け、グリッパに加わる荷重の変化を検知し着座の判定を行う。判定域を越えた場合には、ソフトリミット式のインターロックにより強制的にグリッパの下降が停止し、機器の破損を未然に防ぐ。

4.1.2 床上遮蔽体(床上可動遮蔽体)

床上遮蔽体は、全6基より構成する(Fig. 3.10)。床上遮蔽体1は、ベッセル上部への設置に用いる。他の5基は、常設でホットセル上部の大型機器取扱作業室床上に設置される。放射化した機器からの線量を低減するため、モーターにより開閉する厚さ30cmの鉄遮蔽扉を有する。リミットスイッチを用いたインターロックを用い、移送キャスクが上部に載っている時のみ開閉可能とする。モーターの故障などの非常時には、モーターのロックを解除し、手動により遮蔽扉の開閉ができる(Fig. 4.1.8)。移送キャスクが設置されていない時には、遮蔽扉開口部に気密カバーを設置し、セル内の負圧を維持する。

4.2 セル内設備(反射体等遠隔操作機器)

セル内に反射体等遠隔操作機器として、減速材等交換装置、外部プラグ受け台、内部プラグ受け台を設置した。また、使用済み機器を減容するための切断装置もセル内に設置した。Fig. 4.2.1、Fig. 4.2.2 及び Fig. 4.2.3 に機器の配置、機能、動作速度、移動範囲等を示す。使用済み機器は、移送キャスクを用いてセル内に搬入され、減速材等交換装置を用いて新規のものと交換される。外部プラグ受け台では、一体となったモデレータ・反射体・反射体プラグを取り扱う。外部プラグ受け台で一体となったプラグを内部プラグ及び外部プラグに分離する。移送キャスクのグリッパのつかみ替えにより内部プラグを移送キャスク内に吊り上げ、外部プラグと分離する。内部プラグ受け台では、2 つのモデレータ(非結合型及びポイゾン型モデレータ)が接続した内部プラグ、陽子ビーム窓(プラグと接続)及びミュオンターゲット(プラグと接続)を取り扱う。両プラグ受け台間に設置した減速材等交換装置でモデレータ等の使用済み機器を取り外し、新規のものと交換する。交換の際には、各機器の配管の形状に合わせた専用のアタッチメントを用いる。インセルクレーンを用いて、アタッチメントを減速材等交換装置に設置し、アタッチメントに使用済み機器を接続し、パワーマニプレータによって接続部の固定ボルトを緩め、機器をプラグから取り外した後、インセルクレーンによって使用済み機器を保管ラックに移送する。各機器の運転は、第1マニプレータ操作室に設置した遠隔操作機器操作盤(POD コントローラ)を用いて行う。

4.2.1 外部プラグ受け台

外部プラグ受け台は、セル内南-東に設置され、一体となったモデレータ・反射体・反射体プラグを支持し、結合型モデレータの交換や反射体の交換に用いる機器である(Fig. 4.2.1)。最大搭

載重量は 40t である。西向きを原点とし、上部から見て時計回りを正とした±180°の旋回動作(旋回速度:0.1rpm)が可能である(Fig. 4.2.2)。機器の取り外しや取り付けに際して、必要な位置に旋回し、パワーマニプレータによるボルトへのアクセスや、減速材等交換装置への取り合いを行う。

結合型モデレータの取り付けのため、受け台下部には可動式のガイドを設けた。ガイドに設置されているワイヤーを目印として、結合型モデレータの位置合わせを行う。ワイヤーを直接目視することが出来ないため ITV カメラを介し遠隔作業で行う。

4.2.2 内部プラグ受け台

内部プラグ受け台は、セル内南-西に設置されており、プラグと一体となった非結合型モデレータ、ポイゾン型モデレータ、陽子ビーム窓及びミュオンターゲットの交換に用いる機器である(Fig. 4.2.1)。最大搭載重量は20tである。東向きを原点とし、上部から見て時計回りを正とした±180°の旋回動作(旋回速度:0.1rpm)が可能である(Fig. 4.2.2)。外部プラグ受け台と同様、取り外しや取り付けに際して、必要な位置に旋回し、パワーマニプレータによるボルトへのアクセスや及び減速材等交換装置への取り合いを行う。

陽子ビーム窓やミュオンターゲットを取り扱う際には、内部プラグ受け台に専用のアタッチメントを接続する。

4.2.3 減速材等交換装置

減速材等交換装置は、外部プラグ受け台及び内部プラグ受け台の間に設置されており、専用のアタッチメントを装着し、使用済み機器の交換を行う装置である(Fig. 4.2.1)。最大搭載重量は 1.3t である。上部から見て時計回りを正とした旋回(原点:南向き、回転角: $\pm 180^\circ$ 、速度:0.1rpm)、走行(東西)、横行(南-北)、昇降(上-下)を行い、交換対象機器にアクセスする。LM ガイド並びにシンクロを用いた位置検出により、 ± 0.2 mm 以下の精度で動作する。モデレータのプラグへの接続には ± 0.5 mm の取り付け精度を有する位置決めピンとボルトを用いる。そのため、 ± 0.2 mm の動作精度を設定した。

4.3 遠隔操作機器の電源投入

動力制御盤は第1マニプレータ操作室南東に設置されており、上位汎用分電盤から電源を受け、各機器へ電源を供給する。動力制御盤とは独立して運転制御卓があり、ケーブルにより接続する。また、6台のITVカメラのCCU(カメラコントロールユニット)を搭載したITVカメラユニットを動力制御盤のすぐ隣に設置した。ユニットとは独立してカメラ制御用のコントローラ及びモニタをケーブルで接続し、運転制御卓に設置した。

反射体等遠隔操作機器の電源については上記盤内のブレーカ等を入れることで電源を投入する。

電源の投入手順を次に示す。

- (1) 第1マニプレータ操作室(ML102)制御盤電源(Fig. 4.3.1)
- (2) ITV カメラユニット(Fig. 4.3.2)
- (3) 運転操作卓電源(Fig. 4.3.3)
- (4) キャスク用電源ユニット No. 2(Fig. 4.3.4) または No. 3(Fig. 4.3.5)

キャスク用電源ユニット No. 2 及び No. 3 は、MLF3 階大型機器取扱作業室のベッセルエリア、ホットセル上部にそれぞれ設置される (Fig. 3.9 及び Fig. 3.10)。運転の必要に応じて移送キャスクに電源及び信号ケーブルを接続し電源を投入する。移送キャスクにケーブルを接続しなくても、セル内設備の運転は可能である。移送キャスクにケーブルが未接続の場合には、警報が発報し、セル内設備は停止する。セル内設備の運転を行うためには、制御卓上の警報解除ボタンで警報解除を行う (Fig. 3.8)。

(5) ネットワークカメラ接続用パソコン(Fig. 4.3.6)

ネットワークカメラ接続用パソコンも、必要に応じて電源を投入する。ネットワークカメラ接続用パソコンは、セル内に設置された遠隔カメラのみならず MLF 内に設置されたネットワークカメラの映像が表示できる。特に、乾燥装置室に搬入される機器の状況確認に有効である。ただし、ホットセル内北側やパワーマニプレータなどに設置されているカメラや地下の放射化機器保管室及び乾燥装置室に設置されているカメラの映像を確認する場合には、それぞれ本装置とは別途にカメラ等の電源を投入するとともに、カメラの操作を行って、対象となる機器や操作エリアが確認出来るようにする。

4.4 遠隔操作機器用コントローラ

4.4.1 POD コントローラ

POD コントローラを用いて、セル外設備(移送キャスク内のキャスクグリッパや床上遮蔽体)及びセル内設備(内部プラグ受け台、外部プラグ受け台や減速材等交換装置)の操作を行う。Fig. 4.4.1 は起動時の初期画面である。移送キャスクグリッパ、減速材等交換装置及びミュオンが操作機器対象で、ボタンを押して選択することで次の画面に移行する。一方、センサ状態や警報ボタンを選択することで、遠隔操作機器のセンサの状態、警報の状態、キャスク設置位置、移送キャスクからセル内への機器の搬送において施設側の設備であるインセルクレーンやパワーマニプレータとの干渉によるインターロックに関わる上位通信指令の状態についても同様に確認できる。

4.4.1.1 移送キャスクグリッパ運転の選択

Fig. 4.4.2 は操作機器選択として移送キャスクグリッパを選択した画面である。移送キャスク (グリッパの昇降、つかみ、はなし)、キャスク下部遮蔽体及び床上遮蔽体の操作が出来る。自動、

手動の切り替えがあり、自動運転では、取扱対象機器毎に事前の試験等に基づいて設定された値に従って運転が行われる。コントローラ上に、現在値、荷重等が表示され、現在値は、グリッパの上限からの距離を示す。グリッパの最大ストロークは 35 m である(地下一階と大型機器取扱作業室間)。荷重は、グリッパの自重(3.15t)を含めた吊り荷重が表示され、グリッパに吊り下げられた機器の重量が確認できる。取扱を選択すると、取扱対象機器がポップアップされる(Fig. 4.4.3)。表示される機器は移送キャスクの設置場所(床上遮蔽体)によって異なる。対象機器とセル内設備への着座関係は、すでにプログラムされている。例えば、移送キャスクが床上遮蔽体 4上にある場合、地下一階放射化機器保管室への着座で、対象機器として陽子ビーム窓プラグと無負荷のみの選択となる(Fig. 4.4.3)。取扱対象機器を選択した後、自動または手動の運転モードの選択する(Fig. 4.4.4)。自動運転を選択し、吊上または吊下を選択し起動を選択すると、起動のランプが点灯し、事前の試験に基づいて設定された値に従って運転が行われる。手動運転を選択した場合には、設定ボタンを選択すると、移動量入力のポップアップが表示される。数値を入力し、上昇または下降でグリッパを運転する(Fig. 4.4.4)。

手動運転で、遮蔽体を選択すると、移送キャスク下部遮蔽体や移送キャスクが設置した床上遮蔽体の遮蔽扉の開閉動作が可能となる。ただし、遮蔽扉の手動操作は、移送キャスク下部遮蔽体から床上遮蔽体の順での開口、閉口については、その逆順で移送キャスク下部遮蔽体から床上遮蔽体の順での閉口の操作のみである。

また、手動運転でプラグ受台において外部または内部を選択することで、外部プラグ受台や内部プラグ受台の手動回転操作も可能となる(Fig. 4.4.5 及び 4.4.6)。

4.4.1.2 減速材等交換装置運転の選択

Fig. 4.4.7 に初期画面で減速材交換装置を選択した画面を示す。ここで、減速材等交換装置と内部・外部プラグ受け台の運転操作を行う。取扱対象機器、着脱位置を選択し、自動運転を起動すると、着脱位置手前まで自動運転を行う(Fig. 4.4.8)。自動運転では、予めプログラムした位置に減速材等交換装置が移動する(Fig. 4.6.1)。最終的な位置合わせは、数値入力による手動操作(インチング操作)により行う。Fig. 4.4.9 に示すボタンを選択すると数値設定がポップアップされ、必要な移動量の数値の設定が可能となる。上・下等運転に必要なボタンを押し、運転を起動する。微動運転は、0.1mm 単位での設定ができる。最終的な位置合わせでは、セル内に設置されたITV カメラ、セル窓(鉛ガラス)を通して慎重に行う。

実機のモデレータ・反射体、陽子ビーム窓の予備試験で得られた取り合い位置に関するデータを Fig. $4.6.2 \sim \text{Fig.}\ 4.6.9$ に示す。

4.4.2 ITV カメラ(セル内カメラ)コントローラ

Fig. 4.4.10 に ITV カメラ(セル内カメラ)のコントローラを示す。このコントローラにより ITV

カメラの起動やフォーカス、アイリス、パン、チルト(ズーム:No.3 と 4 のみ)の調整を行う。また、モニタへの出力についても切り替えが可能であり、1 分割または 4 分割の表示が出来る。このコントローラは約 20m の有線で接続され、セル内部の様子が見やすいセル窓前に移動して操作が可能である。Fig. 4.4.11 に ITV カメラ移動操作スイッチを示す。遠隔操作機器の取り合い箇所の視認性を向上させるため、カメラを LM ガイド上に走行できるよう設置した。カメラ No.3~5(Fig. 3.6)が LM ガイド上を東-西に走行する。ITV カメラ移動操作スイッチにより走行操作のコントロールを行う。操作するカメラが設置された LM ガイドを選択し、東または西のスイッチを押すことでカメラは移動する。移動方向のスイッチは、2 秒以上の長押し操作で低速から高速に変わる。

4.5 反射体等遠隔操作機器運転手順

移送キャスク並びにセル内設備に関わる反射体遠隔操作装置の運転操作手順を、自動並びに手動運転を含め Fig. 4.5.1~Fig. 4.5.7 に示す。

4.6 セル内設備自動運転位置データ及び取り合い位置データ

Fig. 4.6.1 にセル内設備の自動運転における機器位置データを示す。Fig. 4.6.2~Fig. 4.6.9 にセル内での使用済み機器の交換(取り付け、取り外し)の操作手順を示す。

4.7 パワーマニプレータの取り合い位置データ及びアクセス手順

Fig. 4.7.1~Fig. 4.7.6 に、セル内に搬送した使用済み機器のパワーマニプレータとの取り合い並びにアクセス手順を示す。

4.8 インセルクレーン取り合い位置データ

Fig. 4.8.1~Fig. 4.8.6 にセル内に設置されたインセルクレーンの使用済み機器の移送に関わる位置データを示す。

5. モデレータ・反射体機器の交換保守

モデレータ・反射体の交換保守について記述する。作業を安全且つ効率的に行うことを目的と し、実際に行う作業を具体化し実機を用いて確証試験を行ってきた。実際の作業に活用するため 作業手順、注意点等を整理し記述した。

保守シナリオは Fig. 2.2 に準ずる。機器交換と機器搬出の作業となる。機器交換では、新規機器をホットセル内に事前に準備し、使用済み機器を運転位置(ベッセルエリア)から乾燥装置室に搬入後、新規機器をベッセルエリアに設置する。機器搬出では、使用済み機器の廃棄のため、乾

燥、取り外し、切断、収納に関する作業をビーム運転中に行う。

機器の交換作業では、天井ブロック等の重量物の移動、高度に放射化した機器の取扱、トリチウム等を内包する配管の開放など、身体の怪我、放射線による外部被ばく、内部被ばく等、様々な危険を伴うことが想定される。放射線量については、ビーム運転スケジュールやビーム積算量等、その時々に応じて条件が異なるため、放射線防護措置を放射線管理者(放管)と協議し、作業の安全を図る作業計画を立案する。そのため、作業に関わるすべての人が危険に関する情報を共有し、災害の発生を未然に防ぐことを目的として、十分な安全管理の元に作業を計画し、以下の項目を確実に実施する。

- (1) 管理区域内作業計画策定
- (2) 作業内容に関する詳細検討及びリスクアセスメント
- (3) 日々の KY(危険予知)及び TBM(ツールボックスミーティング)活動 以下に、交換保守に関わる作業を記述する。

5.1 作業用工具、ジグ類

作業に必要な作業工具並びにジグ類を確認し、作業中、常に使用できるよう準備する。Fig. 5.1.1 はベッセルエリアの遮蔽体移動に必要な工具、Fig. 5.1.2 は、移送キャスクの吊り具及び反射体プラグの吊り具、Fig. 5.1.3 は、ベッセル上部配管着脱作業に必要な資材を示す。クレーンを用いた重量物作業では、革手袋や安全靴の着用は必須である。ベッセル上部では 2010 年 12 月時点で、バックグラウンドの約 3 倍の放射化が進行している。この場所でのボルト取り外し作業では、別途、ベッセル蓋専用の革手袋を準備し、革手袋を介した汚染拡大を防ぐ。

5.2 天井気密板移動

天井気密板は、中性子ステーション最上部に位置し、4 枚で構成される。1 枚の重量は約5 t である。(Fig. 5.2.1)。シャッター駆動装置室を含むアウターライナー内の気密を担保するために設置される。天井気密板の自重(ゴムシール)によりシールする。しかし、一部ゴムシールが存在しない部分もあり、気密板の間や気密板の周囲に関して、養生テープを用いて気密を確保する。4 枚の天井気密板は、南-北の向きが長手方向となるように設置される。モデレータ・反射体の保守時には、中央の2 枚の天井気密板を取り外せば必要なスペースが確保される。取り外しの際には、シャックルとワイヤーを用いて、クレーンにより移動する。

天井気密板の移動の際の作業項目及び具体的な内容等を以下に示す(Fig. 5.2.2)。

(1) アウターライナー内の空気循環システムの運転状態、放射能の確認

直前のビーム運転終了後、空気循環システム(6562 設備)による換気が充分に行われ、アウターライナー内の放射能が十分に下がっていることを確認する。作業前の放射能の確認は必須である。放射能の確認は放管に依頼する。アウターライナー内の立入については、線量当

量率、表面密度及び空気中濃度で管理する。線量当量率については、作業開始前にサーベイを行い、 $25\,\mu\,\mathrm{Sv/hr}$ 未満であること、表面密度については、スミヤを採取し、 $\beta\,(\gamma)$ 線放出核種について、 $0.4\mathrm{Bq/cm^2}$ 未満、トリチウム表面汚染については、 $4\mathrm{Bq/cm^2}$ 未満であること、空気中濃度については、サンプリング空気を測定し、トリチウム $(0.8\mathrm{Bq/cm^3})$ や $^{41}\mathrm{Ar}\,(0.1\mathrm{Bq/cm^3})$ の空気中濃度限度の 1/10 未満であることを確認する。

- (2) 気密用養生テープの撤去
- (3) 必要な天井気密板をクレーンで移動

クレーンで吊り上げ時、保護柵(南-北方向)との間にスペースがそれほど無いため、手指、人の挟まれに注意する。Fig. 3.9に示す天井気密板一時仮置き場所に移動する。天井気密板を2段重ねに積むため、予め枕木(角材等の養生材)を準備する。130t クレーンと65t クレーンのどちらを使用しても作業は可能であるが、速度の観点から65t クレーンが効率的である。移動作業に必要な時間は、1枚あたり30分程度で、2枚の移動で1時間程度である。

5.3 天井遮蔽ブロック移動

天井遮蔽ブロックは アウターライナー上部に上下に2段積みで、それぞれ南-北方向に上から8体及び7体配置される。1体あたりの重量は約70tである。シャッターの保守作業、ベッセル内機器の保守作業など、取扱対象機器にあわせ必要な遮蔽ブロックを移動する。モデレータ・反射体の保守作業には、Fig. 5.3.1に示す中心部の上部4体、下部3体を移動する。1体の重量が約70tであるため130tクレーンを用いる。

天井遮蔽ブロックの移動における作業項目及び具体的な内容等を以下に示す(Fig. 5.3.2)。

- (1) 天井遮蔽ブロックの栓ボルト(M48)の取り外し
- (2) アイプレートの取付

クレーンとは、アイプレートで取り合う(Fig. 5.1.1)。アイプレートは、天井遮蔽ブロック上の M48 のねじ穴にボルトを固定して接続する。ボルトの締め付けは手締め程度である。 緩みがないことを玉掛け責任者が確認する。シャックルを用いてアイプレートとワイヤーを接続する。アイプレート(40kg)や、ワイヤーロープも重量物のため、手指の挟まれに注意する(Fig. 5.3.3)。

- (3) 上部 4 体の天井遮蔽ブロックの移動
- (4) 下部3体の天井遮蔽ブロックの移動

天井遮蔽ブロックを上流側のミュオントンネル上部一時仮置き場(Fig. 3.9)に移動する。 天井遮蔽ブロック下部の汚染状況を把握するため、最初の下部天井遮蔽ブロック移動時、放 管に放射線サーベイを依頼する。ミュオントンネル上部一時仮置き場では遮蔽ブロック長手 方向を東-西方向に90°回転して仮置きする。仮置きの際、天井遮蔽ブロックと壁との隙間が 狭いため、吊り荷の振れによる壁への衝突や挟まれ、つまずき、転倒に注意する(Fig. 5.3.4)。 天井ブロックの移動にかかる時間は、1体あたり30分程度で、7体で約3時間半である。

(5) 梯子と親綱の設置

天井遮蔽ブロックの移動が終了すると段差が生じる。作業員の安全確保の観点から梯子と 親綱を設置する。

5.4 ベッセル上部遮蔽体移動

ベッセル上部遮蔽体はベッセル上部リング遮蔽体上に設置され、上、下の2体で構成する(Fig. 5.4.1)。それぞれの重量は上部:47.2t、下部:41.9tである。上部と下部の間に、遮蔽体固定用の位置決めピンが設置してある。ベッセル上部遮蔽体の移動手順を以下に示す(Fig. 5.4.2)。

- (1) 上部遮蔽体の栓ボルトの取り外し
- (2) アイプレートの取り付け ベッセル上部遮蔽体とクレーンとは、アイプレート(M48 ボルト接続)を用い、シャックル によりワイヤーと接続する。
- (3) ベッセル上部遮蔽体上の移動
- (4) ベッセル上部遮蔽体下の移動

ベッセル上部遮蔽体は天井遮蔽ブロック上に仮置きする。ベッセル上部遮蔽体の下部を移動する際に、下面の汚染状況の把握のため、放管に放射線サーベイを依頼する。必要に応じて、仮置き場所をビニールシート等で養生する。天井遮蔽ブロックエリアの間の東-西方向のスペースが狭いため、クレーンで移動する際に、接触並びに挟まれ等に注意する。上部遮蔽体移動作業にかかる時間は、2体で1時間程度である。

5.5 ベッセル蓋移動

5.5.1 ベッセル蓋の開放

ベッセル蓋は、ベッセル内の気密を確保する重量 4.5t のステンレス製厚さ 100mm の蓋である (Fig. 5.5.1)。0 リングシール (EPDM) を用いてベッセル内の気密を担保する。ベッセルへは、M36 ボルト 48 本を用いて固定する。吊り上げ時には、M36 のアイボルトを 4 ヶ所取り付け、シャックルを用いてワイヤーを接続する。ベッセル蓋の開放手順を以下に示す(Fig. 5.5.2)。

(1) ベッセル内の圧力並びにガス置換の実施状況の確認 ビーム運転直後はベッセル内部の放射能の濃度が高いため、ベッセル内が少なくとも2回 以上He 置換されていることを確認する。

(2) M36 ボルトの取り外し

M36 ボルトには、焼き付き防止のためモリコートを塗布している。ビーム運転に伴い、ボルトやベッセル蓋は、放射性物質による汚染が確認されている。2010 年 12 月時点でバック

グラウンドの約3倍の汚染である。放射能による汚染の拡大を防ぐため、素手でボルトを取り扱うことをせず、ベッセル専用の革手袋を使用する。

- (3) M36 アイボルトの取り付け&シャックルを用いたワイヤーとの接続
- (4) ベッセル蓋の吊り上げ

ベッセルの蓋を吊り上げる前に、ベッセル内が負圧になっていないこと(若干陽圧であること)をベッセル用の圧力計で確認する。負圧の状態で吊り上げ作業を行うと、蓋がベッセルから離れず、余計な荷重がワイヤー等にかかったり、急な蓋の外れを引き起こし危険である。

- (5) ベッセル蓋底面の放射線サーベイ ベッセルの蓋を外す際、放管による蓋下面のサーベイを依頼する。
- (6) ベッセル蓋の移動&仮置き

ベッセルの蓋を外すと、ベッセル側のフランジ上部にシール材の 0 リングが設置されている。0 リングのベッセル側内面は放射能で汚染されており、ビニール袋等に入れて保管する。 作業の際には、汚染防止のためゴム手袋を着用して行う。

ベッセル蓋の移動にかかる時間は、1 時間程度である。ベッセルの蓋を解放した後に、放管によるベッセル内部のサーベイを依頼し、配管着脱用具の準備作業を始める。

5.5.2 ベッセル蓋を閉止する時の注意

ベッセル蓋を閉止する前に、0リングをアルコールで湿らせた不織布(キムワイプ)等で洗浄し、 真空グリスを塗布する。ゴム手袋を着用し、3名以上で行う。ベッセルの0リング溝に沿って0 リングを沿わせた後、クレーンを用いてベッセル蓋を載せる。

ベッセル蓋を載せる際には、次に示す手順で注意深く作業する。

- (1) ベッセルの蓋を着座させる約 10cm 手前までクレーンで下ろす。
- (2) 蓋が浮いている間に M36 ボルトを可能な限り取り付ける。
 一般には 4 本程度の対角ボルト挿入で蓋を着座するが、この方法で着座するとボルト穴位置の製作公差のためすべてのボルトが入らないことがある。
- (3) ボルトの取り付け後、着座する約 3cm 手前までゆっくりとインチング操作で下ろす。
- (4) 着座の際に、インチングをせず一気に低速で下ろす。

インチングを加えるとベッセル蓋の着座時にバウンドを起こし 0 リングが外れる可能性が高い。0 リングの外れは目視では確認できない。ベッセル内の真空確認によって 0 リングの外れが分かるが、真空確認には 2 時間程度を要するため、0 リングの外れは、時間のロスを招く。

5.6 ベッセル内水冷配管着脱作業

ベッセル内水冷配管の着脱作業は、遠隔作業ではなく、人手で行う。人手での作業が行えるようベッセル内の設計線量を $100\,\mu$ Sv/h とした。

5.6.1 着脱対象となるベッセル内水冷配管

Fig. 5.6.1 にベッセル内水冷配管の着脱対象部を示す。ベッセル内には、モデレータ 3 系統、内部プラグ・外部プラグのそれぞれ 1 系統、反射体 1 系統の計 6 系統、往復で合計 12 本の水配管が敷設される。作業を確実に行うため、配管はそれぞれ異なった色と番号により識別される。配管の番号は、配管の取付けの順番を示す。1 番から順に取り付け、12 番から逆順に取り外す。また、色とラインとで配管の系統を識別出来る。ラインは配管の重心位置を示し、配管を吊り上げる際にスリングをこの位置に設置することでバランスをとった作業ができる。接続側配管にも同じラインを設けており、配管を戻す際の目印となる。間違いを防止するとともに作業の効率化を図った。

5.6.2 ベッセル上部水冷配管敷設エリア

ベッセル内の配管着脱作業スペースとして領域 A および B を設けた (Fig. 5.6.1)。配管取り外し時には、領域 A に人が入り配管を取り外しながら作業空間を広げる。領域 B は A よりも大きなスペースで、作業のための人の出入り、放射線サーベイのための放管の出入りのために用いる。

5.6.3 ベッセル上部作業時の放射線安全

水冷配管の着脱では、内、外部の被ばくを伴う。内部被ばくは配管内から出てくるトリチウムによるもので、陽子入射により冷却水から生成する核破砕生成物である。外部被ばくは鉄の放射化や冷却水から発生するベリリウム(7 Be)が主要因である。冷却水中のトリチウム濃度は、 10^4 Bq/cm 3 を超える値(Fig. 1.6)であることや、ベッセル内の線量は、局所的に $50\,\mu$ Sv/hr を超える値が計測されている。配管着脱作業では、被ばく軽減の観点から、外部被ばくについては、短時間で効率的に作業を行うこと、内部被ばくについては、水冷配管の開放時間を短くしトリチウム放出を抑えること、並びに解放部直近に局所排気を設け人体内への吸入を低減することが重要である。

5.6.4 水冷配管着脱部仕様

水冷配管の着脱部は、NW型式のクランプを用いる。サイズはNW25、40及び50である(Fig. 5.6.2)。シール材は銅製の0リングを用いる。一般品ではないため特注品として準備する。銅製0リングの形状及び大きさは、EVAC ISO KF Metal と互換で、材質は無酸素銅であり、加工後にアニールする。当初、同 EVAC 社の真空用 A1 製シール材を導入したが、腐食が発生したため、耐腐食性の

高い銅製のシール材を導入した。クランプについても、EVAC 製の金属製クランプを用いる。金属シールの場合、配管フランジ面と 0 リングシール面を確実に合わせることが、シール形成に重要である。合わせを確実に行わないと、漏えいが発生し、トリチウム等による汚染が拡大する。作業員に対する内部被ばくの危険の増大や、取り付け直しでの時間のロスが想定され、十分に注意してシール面の合わせを行う。一系統のシール健全性確認に少なくとも 1 時間は必要である。シールに必要なクランプの締め付けトルクは、12N・m である。確実にトルクレンチで管理する。一本の配管で高さの異なる 2 ヶ所に配管着脱部が存在することから、配管の着脱作業は二人で行う。取り外した配管や接続を解除した配管のフランジには、一時的な簡易気密を施し、内部のトリチウムが蒸気となって漏えいすることを防ぐ。一時的な閉止用として、金属製のシール材ではなく、樹脂製(バイトン)のシール材と同図中に示す(株)リガルジョイント製「配管クランプしめ太 "Rクランプ"」を用いる。構造が簡単であり、金属製と比べ容易にシールできる。配管からの線量が低いこと(~100 μ Gy/hr)、新規との交換までの期間(数週間)を考慮し、シールの確立を優先して樹脂製シール材を用いることとした。シール材の積算線量は、概算で 0.5Gy 程度である。十分に樹脂製のシール材が使用できる線量空間である。

5.6.5 水冷配管着脱作業時の人員配置及び汚染区域の設定

Fig. 5.6.3 に水冷配管着脱作業に必要な人員を示す。ベッセル上部に7名、地下の1次冷却系電源室等で配管内部の加圧や減圧の操作をする2名の計9名が必要となる。ベッセル上部での人員の配置をFig. 5.6.4 に示す。放射線作業エリアを区別するため、高汚染区域と低汚染区域、非汚染区域の3区域を設けた。高汚染区域内(ベッセル内)に2名、低汚染区域に2名(配管の吊り作業を行う人員を含む)、非汚染区域に1名配置する。さらに、放射線管理の1名と監視員の1名を配置し計9名となる。

物資の搬入に関しては、非汚染区域から低汚染区域を通して、高汚染区域へ受け渡す。搬出も同様であり、高汚染区域から、低汚染区域を経由し、非汚染区域に物資を受け渡す。また、放射能汚染の拡大を防ぐため、汚染区域と非汚染区域の間に立ち上げ等のバリアを設ける(Fig. 5.6.4)。

5.6.6 水冷配管取外しにおける注意

Fig. 5.6.5 及び Fig. 5.6.6 に水冷配管着脱作業の作業要領を示す。配管の取り外し(又は取り付け)で注意することは、配管内部状態(ドレン状態、内部真空)の確認と液だれによるトリチウムの汚染拡大である。配管を取り外す前に、配管内部が確実に真空(負圧)になっていることを確認する。揚圧された状態で配管を外すとトリチウムを含んだ冷却水やガスが噴き出し、作業員のみならず周辺までもトリチウムで汚染される。クランプは、一気に緩めず、ゆっくり緩める。緩めている途中で、耳をすますと、配管内部が負圧であると、シューと言う音が聞こえる。

トリチウムの拡散を防止するため配管の接続部近傍2ヶ所に局所排気を設置する。局所排気には、 アウターライナー内を循環している系統を用いる。取り外した配管(相手側接続部も含む)は、 トリチウム蒸気が漏えいしないよう樹脂製の0リングを用いて一時的に簡易封止をする。

5.6.7 水冷配管着脱前準備作業

水冷配管着脱前に必要な準備作業の項目を以下に示す(Fig. 5.6.7)。

- (1) 放管によるベッセル内の放射線サーベイ 放射線サーベイの結果、ベッセル内の汚染状況に応じて、ベッセル内の除染作業を行う。 放管立ち会いの下作業を進める。
- (2) ターゲット診断用レーザー機器の保護カバーの設置
- (3) ベッセル内部の養生作業(ビニールシートを用いた養生) ベッセル内養生作業では、ビニールシートで必要なカバーや目張り等をした後、人が立 ち入るための踏み台、ゴム手袋、ウエス等を準備する。
- (4) ゴム手袋、ウエス等の資材の準備 ベッセル内や周辺に準備する。濡れウエスについても事前に準備しベッセル内などに配 置する。ゴム手袋、ウエス等は、交換作業の作業性を考慮し配置する。
- (5) 配管吊りジグの設置
- (6) 汚染区域の区域分けのための立ち上げ
- (7) 局所排気の設置

局所排気は吸い込み風速が約 16m/sec と大きく、ウエスやビニール袋等を容易に引き込む。排気系統に異物が侵入しないよう、局所排気挿入口にベンコット等で一時的なフィルタを取り付ける。

(8) グリーンハウスに準ずるベッセル上部を覆うビニールシートを準備(必要に応じ)

今後、ビーム出力増加に伴い、冷却水中のトリチウム量が増加すると、それに対応した グリーンハウスを用いた作業が必要となる。グリーンハウスについては今後用意すること とするが、今後想定される作業の変更や未経験の作業の追加については、コールドで実際 の作業を想定した訓練を十分に積むことが、作業の安全性を確保し、短時間で効率良く行 う上で重要である。

5.6.8 防護服の着用

Fig. 5.6.8 に防護服等の装備の着用について示す。装着エリアで防護服 (タイベック又はアノラック)及び全面または半面マスクを着用する。着用する装備の選択については、放管に判断を仰ぐ。マスクは、内部被ばくを防ぐ最後の砦である。ゴム膜やフィルタが確実に装備されていることを各自が装着前に確認する。マスクを装着後、呼吸孔のもれの確認も確実に行う。強いマスク

の締め付けは、痛みを引き起こし、長時間の着用では、集中を欠く要因となる。適度な締め付け で漏れのない状態を確保する。タイベックやアノラックの装着では、作業後の脱装を考慮した養 生テープによる目張りや袖や裾の処理等を行う。放射線作業の経験者とともに行うことで効率の 良い脱装ができる。

今後、ビーム出力増加に伴い冷却水のトリチウム濃度レベルが上昇する。前述の全面マスク、 半面マスクは、内部被ばくを防止することに対して十分に機能しない。高濃度のトリチウムを含むガスの吸引による内部被ばくの対策として、エアラインマスクの導入を行う計画である。エアラインマスクを使用した作業に関しても、コールドの環境で作業の訓練を行う必要がある。

5.6.9 水冷配管着脱作業

Fig. 5.6.9 に実際に行った水冷配管着脱作業の状況を示す。配管の取り外し作業は2人で行うが、取り外した配管を吊り上げるなどのチェーンブロックの操作はベッセル外にいる別の作業者が行う。

以下に手順を示す(Fig. 5.6.10)。

- (1) 取り外す配管へのナイロンスリングの取り付け ナイロンスリングを取り付ける際に重心位置に合わせる。
- (2) 小型のチェーンブロックでチェーンが張るぐらいまで吊り上げ
- (3) 局所排気を配管接続部近くに配置 2ヶ所の配管接続部近くに配置し、しっかりと固定する。
- (4) 配管内部の真空の確認

冷却設備の制御盤で系統内の圧力を確認する。系統内を負圧にした後、接続部を含む機器 側を遮断弁で隔離する。

(5) 上部の配管接続部のクランプの緩め

配管の接続部は1本につき上下(ベッセル側、機器側)の2ヶ所ある。双方からの漏えい、 特に機器側(下部)からの吹き出しを防ぐため同時には外さず、上部側から外す。クランプ を緩める際に、吹き出しがないことを確認するため、クランプを静かにゆっくり緩める。

(6) 空気が引かれる音の確認

配管内部が真空(負圧)なら、空気が引かれる(シューと言う)音が聞こえる。もし、緩めている途中で内部からガス等が出てくるような感じがする場合には、再度締め直し、配管内部の状態を確認する。

(7) 下部の配管接続部のクランプの緩め

空気が引かれる音が確認出来たら、続いて下部接続部のフランジの緩めを開始する。取外 し手順を間違わないよう、上部フランジの作業担当者と下部フランジの作業担当者は、お互 いに声掛けをしながら作業を行う。しかしながら、マスクをした作業のため声が聞き取りに くい。

(8) チェーンブロックの操作による配管の吊り上げ(100mm 程度)

配管を吊り上げ、取り外したらできるだけ早く樹脂製の閉止フランジで仮封止する。試験の結果では、吊り上げた時に、多少なりとも液だれ(トリチウムを含む)がある。予めウエスを用意し、液だれに対処を施す。周囲にこぼれた場合には、すぐにウエスで拭き取る。液だれが予想される場所にあらかじめウエスを敷いておくことも重要である。

(9) 簡易封止の取り付け

100mm 吊り上げた後、取り外した配管側も樹脂製のシール材及び閉止フランジを取り付け 閉止する。その後、同様に、残された配管側のフランジも閉止する。汚染物を手で扱う場合 に、片方の手を非汚染側、もう一方を汚染側として割り当て作業する工夫が汚染拡大を防ぐ ために有効である。片手に配管を持ちながらの作業のため、配管を支えている側の手を非汚染側とし、一連の作業の間、その手は汚染物を触らない。もう片方を汚染用とし、シール材の取り外しや液だれの拭き取りを行う。汚染用に割り当てた手は、汚染拡大防止のためあちこち触らない。また、配管の解放時間を可能な限り短くする。作業に伴って汚染した手袋は、早めに取り替える。ゴム手袋を2重にする。汚染したウエスやゴム手袋はビニールの袋に捨てる。廃棄時はカートン等へ入れるために、ビニール袋を絞って閉じ、容積を小さくする。ビニール袋を絞る際には、汚染を拡大させない観点から袋の内部の空気を局所排気に吸わせながら行う。

(10) 取り外した配管の一時保管

取り外された配管は、両端を閉止後、スリング等を取り外してビニール袋に入れて封止し、 ベッセル外へ搬出する。搬出時には、低汚染区域にいる作業員がビニール袋等で受け取るこ と。多重梱包することで汚染の拡大を防止する。

これらの作業を迅速に確実に行うことが被ばく低減の観点から重要である。実際の作業を想定したコールドでの訓練を十分に行うことが作業を実施する上で必要不可欠である。

5.6.10 水冷配管取付後の加圧試験における注意

新規の機器をベッセル内に戻し、配管等を接続した後に、水冷配管接続部のシール性の健全性を確認する加圧試験を行う(Fig. 5.6.11)。確実にシールがされないと、冷却水の充填及び循環時にトリチウムを含む冷却水がヘリウムベッセル内に漏れ出し、ベッセル内を高度に汚染するとともに運転の復旧に大きく影響を与える。こういった事象はなんとしても避けなければならない。シールの健全性を見極めるため、以下に示す手順で接続部の加圧試験を行う。

- (1) シール面と配管フランジのフランジ面の合わせ 配管とシール材が隙間なく均等に接するように位置合わせを行う。
- (2) 均一にシール圧がかかるクランプの取り付け

フランジ面を合わせた状態で、ずれが出ないようにクランプを取り付け、手締めで締め付ける。

(3) クランプの締め付けトルクの管理 トルクレンチを用いてクランプを締める。トルクレンチの設定は12N·mである。

(4) 目視で締め付け面が傾いていないことの確認 クランプを締めた後、締め付け面が傾いていないことを目視で確認する。クランプの隙間 を通して見るためなかなか見づらい。

(5) 配管を真空にし、漏れがないことの確認

気密試験では、漏れがあった時に吹き出すのを防ぐため、はじめから配管を加圧するのではなく、まず、配管を真空(負圧)にする。耳をすますと、漏れがある場合には、(シューと言う)音が聞こえる。聞こえない場合には、その時点で、シールが健全であると判断し、加圧試験に移る。

(6) 配管加圧

一気に運転圧力を加えず、緩やかに圧力を上昇させる。また、関連する冷却系統の配管内部全域にわたって加圧を行うのではなく、対象領域をバルブで仕切ることでなるべく加圧対象領域を小さくする。これで試験中に何らかの原因で漏れが発生した場合でも、配管外に漏れ出るガスの量を少なくすることが出来る。

(7) 発泡試験

スヌープ等を用いて加圧状態の配管接続部の発泡試験を行う。真空引きや加圧等の操作は 冷却設備の制御盤から行う。PHS などで確実に連絡を取り合い、手順に従い試験を行う。

5.6.11 作業着の脱装

Fig. 5.6.12 に配管着脱後の脱装における注意を示す。作業の終了後に、全面マスク、防護服(タイベックスーツ等)の脱装を行う。防護服はトリチウム等の放射性物質で汚染されており、汚染拡大防止の観点から、適切な脱装が求められる。ベッセルの中から出る時に、まず体のまわりをぬれウエスで拭き取り、放射性物質を拭き取る。最後に足裏を拭き取りながら、ベッセルの外に出る。汚染の可能性があるため、あちこちを触ったり、ばたばたせず、汚染を広げないよう行動する。マスク、手元、足下まわりに固定している養生テープを取り外し、脱ぎやすいよう防護服をはさみで切る。汚染を内部に閉じ込めるよう静かにたたんでカートンに捨てる。使用するはさみは、誤って怪我をさせたりしないよう先端を丸くしておくなどの措置を施す。最後に放管による汚染検査を受け、汚染区域から非汚染区域に脱出する。

5.7 モデレータ水素配管の着脱

5.7.1 モデレータ水素配管取外要領

Fig. 5.7.1 に取外しの対象となるモデレータ水素配管を示す。結合型、非結合型及びポイゾン型モデレータの3種類の水素配管である。着脱対象部はフランジ接続である。水素配管着脱作業において、ヘリウムベッセル内に入る作業員は2人とする。Fig. 5.7.2 に、モデレータ水素配管の着脱部の構造を示す。フランジ接続部の内部構造は2重の0リングで真空層とヘリウム層を形成する。真空層内に水素の2本の配管(入口、出口)を内包する。0リングは耐放射線性のあるエチレンプロピレンゴム(EPDM)材である。水素配管は、スエージロック社製の3/4インチVCRコネクタで接続する。接続部は、作業性を考慮し、同社製のステンレス製のシール材のうち、リテイナー付きガスケット(SS-12-VCR-2-GR)を採用した。水素配管の接続時には2軸方向調整を持ったジンバルを用いてフランジ面の合わせを行う。Fig. 5.7.2 に示す A 部でフランジの大まかな位置合わせ、B 部で最後のフランジ面合わせを行う。

モデレータ水素配管の取り外し手順を以下に示す(Fig. 5.7.3)。

(1) 養生テープによる床のめばり

養生テープでのめばりは、シール材、0 リング、ハンドルや工具等がプラグの隙間から下に落ちるのを防ぐために行う。隙間より下は高線量域に通じるため、下に何か落ちても回収出来ないので確実に作業する。

(2) 押し込みボルトの緩め

側部にある押し込みボルトを緩めることで、フランジを回すことが出来る。

(3) フランジ接続部の解除

フランジ接続部に手で回すためのハンドルを取り付け、フランジを回して緩める。フランジ移動ネジにもハンドルを取り付けフランジを緩める。内部の水素配管にアクセスができるよう、少なくとも 100mm 程度フランジが開くようにフランジ移動ネジを回転する。

(4) 水素配管の接続解除(VCR コネクタの解除)

スパナを用いて水素配管の VCR 接続部を解除する。

(5) 接続フランジの養生

接続部を解除したら、養生テープでフランジを固定し養生する。養生は、移送キャスク内部への吊り上げ、吊り下げ時の引っ掛かりを防止する(Fig. 5.7.4)。外したフランジはそのままだと不安定なため、同図の様に端によせて養生テープで固縛する。ただし、結合型モデレータについては、端に寄せて固縛すると内部プラグを取り出す時に、内部プラグのガイドと干渉するため中心付近で固縛する。

5.7.2 熱電対の養生作業

モデレータ水素配管の接続解除後に、ベッセル内熱電対の接続部を解除し養生を行う。対象となる熱電対は、反射体用の熱電対で、T-H-1~T-H-10 である(Fig. 5.7.5)。側部にある蝶ネジをゆるめフックを上下に開くとコネクタが外れる。取り外した熱電対は、反射体冷却水用配管に固縛する。ホットセル内で、熱電対用ケーブルの引っ掛かりなどによる不具合を防ぐ。

5.7.3 モデレータ水素配管取付における注意

Fig. 5.7.6 にモデレータ水素配管の取付手順を示す。取外しの逆手順で行う。VCR コネクタの取付後にフランジの合わせ接続を行う。最後に押し込みボルトで締め付ける。この締め付けを確実に行わないと、ベッセル内の置換作業でフランジ部(真空層、ヘリウム層)に漏れを引き起こす。水素設備の運転とベッセルを封止しヘリウムガス置換操作が行える状態とした後、はじめて漏えい試験が可能となる。漏えい試験は、水素設備による各系統での真空引きや加圧試験とベッセル内の真空引きとを併せて行う。この時点で漏えいが発生すると、回復するための後戻りが大きく、施設の運転再開が大幅に遅れる。

5.8 グリッパ用接続吊り具の設置

Fig. 5.8.1 にグリッパ接続用吊り具のベッセル内への設置方法を示す。モデレータ用水素配管の接続を取外した後、移送キャスク内グリッパの接続に用いるグリッパ接続用吊り具の設置を行う。グリッパ用接続吊り具は外部プラグ用と内部プラグ用の 2 種類あり、外部プラグ、内部プラグの順に設置する。吊り具の設置手順を以下に示す。

- (1) 外部プラグ用吊り具をクレーンでベッセルまで移動 チェーンブロック等を用いて玉掛けする。
- (2) チェーンブロックを用いて水平、位置出し
- (3) 接続部を挿入し固定 (90°回転) 接続方向が決まっている。目印を確実に併せて接続部を挿入し、確実に 90°回転する。
- (4) 内部プラグ用吊り具をクレーンでベッセルまで移動
- (5) 水平出しを行い、外部プラグと同様に設置

足場が悪いのでつまずき転倒に注意する。必要作業員は3名で、作業時間は、外部及び内部プラグ用吊り具の2つで1時間程度である。

5.9 移送キャスク設置&キャスク内へ機器の吊り上げ

移送キャスクの設置手順を以下に示す(Fig. 5.9.1及びFig. 5.9.2)。

機器の設置は、クレーンで行う。効率的に作業を進めるため、気密管、床上遮蔽体アタッチメント及び床上遮蔽体については、5t ホイスト付き 65t クレーンを用いる。

(1) 気密管の設置

気密管は重量が 1t であり 5t ホイストを用いる。気密管の設置では、ベッセルフランジに ゴムのシール材を配置し、その上に気密管を設置する。気密管の固定は、ベッセルフランジ に設けてあるボルトの 4 箇所を用いて行う。ボルト穴取り合いを確認しながら設置する。気 密管用ボルトの締め付けは手締め程度である。

(2) 床上遮蔽体アタッチメントの設置

床上遮蔽体アタッチメントは重量が 9t であり 65t クレーンで設置する。ベッセル回りに設置してあるリング遮蔽体に 2 ヶ所の位置決めピンが設けてあり、それに合わせて設置する。

(3) 床上遮蔽体をベッセル上部に設置

床上遮蔽体は重量が 30t であり、65t クレーンを用いて移動する。床上遮蔽体側に、床上 遮蔽体アタッチメント上部のピンとの取り合い穴があり、ピン取り合いで設置する。また、 固定用のボルトを手締めで固定する。

(4) 移送キャスク用吊り具の接続

移送キャスクの移動には、130t クレーンフックに接続する専用の吊り具を用いる(Fig. 4.1.5)。東-西方向の向きでクレーンフックへ接続する。吊り具をクレーンフックに接続した後、移送キャスクの上部に接続する。接続は、移送キャスク東側から挿入し、吊り上げることで接続される(Fig. 5.9.2)。クレーン操作のみで吊り具が接続出来る。吊り具の接続のため、移送キャスクの上部に人がのぼる必要はない。

(5) 移送キャスクの設置(Fig. 5.9.3)

移送キャスクをクレーンで吊り上げる前に、移送キャスクを固定しているボルトを外す。ボルトは手締めで取り付けてある。移送キャスクの吊り上げ時に、確実にボルトが外れていることを確認する。移送キャスクは2ヶ所の位置決めピンで位置決めされる。吊り上げ時、ピンが外れるときに移送キャスクが振られる事があるので注意する。クレーンでの移送キャスクの移動については、空荷の時には、高速移動も可能であるが、新規及び使用済みに関わらず機器を内部に吊り上げている状態では、低速移動のみとする。低速ー高速の切り替えにより、吊られている機器と移送キャスクの位相がずれ、機器がキャスク内部に接触し、変形等の不具合を引き起こす可能性が高い。また、使用済み機器を吊り上げている状態での設計表面線量は1mSv/hrであるため、不必要に移送キャスクに近寄らない。

移送キャスクを床上遮蔽体上にピン取り合いで設置する。ピンへの挿入状態をみながらゆっくりと着座する。着座後、床上遮蔽体にボルトで固定する。ボルトの締め付けは手締め程度でよい。設置後も130tクレーンフックは、不測の事態に備えてはずさず、支えられるよう待機しておく。吊り具接続からベッセル上部までの移送・設置に必要な時間は、2時間程度である。移送キャスクの移動の状態等、移送キャスクを操作するために第1マニプレータ操作室にいる操作員もwebカメラを用いて確認できる。

移送キャスク設置後、運転に必要な電源及び信号ケーブルを接続する。4.3 章に記載した手順に従って電源を投入する。遠隔操作機器用 POD コントローラ(4.4 章)を起動し、自動運転モード(Fig. 4.5.1)で内部・外部プラグー体を選択し対象とする機器をキャスク内に吊り上げる。吊り上げが終了すると、移送キャスク下部並びに床上遮蔽体の遮蔽扉が自動的に閉まり、運転が停止する。運転中のグリッパの着座位置や運転速度の切り替え等の運転状況を POD 画面で確認しながら運転を進める(Fig. 4.1.7)。運転が終了したら運転操作盤の電源を切り、電源及び信号ケーブルの接続を解除する。ベッセル上部に設置した床上遮蔽体は新規の機器をベッセル内に設置するまで外さない。ベッセル周りの作業など、足場の状態があまり良くないため、つまずき転倒に注意する。一連の作業に必要な時間は5時間程度である。

5.10 乾燥装置室への移送

移送キャスク内へモデレータ・反射体を収納した後、配管内部に残っているトリチウムを含ん だ冷却水を乾燥させるため乾燥装置室へ移送する。以下に移送手順を示す(Fig. 5.10.1)。

- (1) 床上遮蔽体と移送キャスクを固定するボルトの取り外し
- (2) クレーンで移送キャスクを吊り上げ、床上可動遮蔽体 1 (Fig. 3.10) へ移送 (陽子ビーム窓やミュオンターゲットの場合には、床上可動遮蔽体 2 へ移送)
- (3) 床上遮蔽体上のピンに合わせて着座し、設置

ホットセル上部に設置されている床上遮蔽体には、セル内の負圧を維持するため、アルミ製の気密カバー(15kg 程度)が設置される。移送キャスクの設置前に、このカバーを取り外す。床上遮蔽体と移送キャスクの固定ボルトを接続した後、キャスク接続吊り具を切り離し、もとの場所に戻す。ベッセルエリアの場合と異なり、吊り具を接続した状態にする必要はない。

- (4) キャスクへ電源及び信号ケーブルの接続(Fig. 4.3.5)
- (5) セル内、乾燥装置室貫通用ハッチの開口

ホットセル床ハッチの開口作業では、20t インセルクレーンを用いて遠隔でハッチを開口 し、ハッチの一時仮置き場所に移動する。ハッチの開口や開口後の乾燥装置室入室につい ては、事前に放管と調整を行う。

(6) POD コントローラを起動し、自動運転モード(Fig. 4.5.1)で乾燥室に移送

乾燥装置室への吊り下げの際に、ホットセル内及び乾燥装置室のカメラで搬入状況を確認する。自動運転では、使用済み機器を着座させ、移送キャスク内へグリッパが戻り、遮蔽扉が閉まる。遮蔽扉が閉まったことを確認したら、ホットセル内のハッチを閉止する。放管が乾燥装置室内の放射線サーベイを行った後、乾燥装置室に入室し使用済み機器の乾燥を行う。配管内部の水の乾燥が終了した後、ホットセルの床ハッチを開口し、自動運転で移送キャスク内に乾燥済み機器を吊り上げる。終了後、ホットセルの床ハッチを閉める。

5.11 モデレータ・反射体のホットセル内へ移送

5.11.1 モデレータ・反射体の外部プラグ受台へ移送

以下の手順でホットセル内に、モデレータ・反射体を移送する(Fig. 5.11.1)。

- (1) 床上遮蔽体 2 に移送キャスクを移動(Fig. 3.10)
- (2) 必要なケーブルを接続し、遠隔操作機器の電源を投入(4.3 章参照)
- (3) 外部プラグ受台にモデレータ・反射体を搬送(4.4 及び 4.5 章参照)

電源及び信号ケーブルの取外しの際には、電源が落とされていることを確認する。床上遮蔽体にはピン取り合いで設置する。床上遮蔽体に着座した後、固定ボルトで移送キャスクを固縛する。 POD コントローラを起動し自動運転モードで外部プラグ受け台へ機器を設置する(Fig. 4.5.1)。 グリッパが往復する時間は1時間程度である。カメラを用いて搬送の状況を確認する。着座等のグリッパの位置(Fig. 4.1.7)についてはPOD 画面を確認しながら運転状況をモニタする。

5.11.2 内部プラグの取り出し

Fig. 5.11.2 に内部プラグの取り出しを示す。外部プラグに設置したモデレータ・反射体から内部プラグを取り出す。内部プラグには、非結合型及びポイゾン型モデレータが接続される。これらモデレータの交換を行うために、外部プラグから内部プラグを抜き出して、内部プラグ受け台へ設置する。操作手順を以下に示す。

- (1) POD コントローラを起動し、取扱対象物として内部プラグを選択(4.4 章参照)
- (2) 自動運転モードで運転を開始

移送キャスク内からグリッパがセル内へ降下し、内部プラグのみを選択して移送キャスク内に 吊り上げる。内部プラグを移送キャスク内へ 1 時間程度で吊り上げる。次に、移送キャスクを床 上遮蔽体 3 上に移送する。

5.11.3 内部プラグ受け台へ搬送

非結合型及びポイゾン型モデレータを交換するために内部プラグ受け台に内部プラグを搬送する。

以下に手順を示す(Fig. 5.11.3)。

- (1) 遠隔操作装置の電源断、移送キャスクに接続された電源ケーブルの切り離し
- (2) 移送キャスク搬送用の吊り具を接続
- (3) 床上遮蔽体2から床上遮蔽体3へ移送

床上遮蔽体 3 へ移送し、着座後、固定のためにボルトを挿入する。キャスク接続吊り具 を元に戻す。

(4) 移送キャスクに電源ケーブルを接続

- (5) 遠隔操作装置の電源を投入
- (6) 自動モードで内部プラグを内部プラグ受台に着座(4.5 章参照)

内部プラグ着座後、グリッパは1時間程度で移送キャスクに戻る。セル内の状況については、 セル窓からの目視やカメラ等を用いて確認する。Fig. 5.11.4 に示すようセル窓からグリッパの 回転によるつかみ・はなしの状況が確認できる。問題があるときには、すぐに非常停止ボタンの 操作を行う。

5.12 結合型モデレータ (CM) の交換

結合型モデレータ (CM) の交換について記述する。CM は反射体と外部プラグにボルトで固定される (Fig. 2.8 及び Fig. 2.9)。反射体と外部プラグは外部プラグ受け台にピンで位置決めされ着座する。取り外した CM のセル内の移動は、アタッチメントに接続しインセルクレーンで行う。すべての作業を遠隔操作で行う。作業状況については、セル内カメラ及びセル窓からの目視で確認する。

5.12.1 CMの取り外し

以下に CM の取り外し手順を示す(Fig. 5. 12. 1)。減速材等交換装置にアタッチメントを設置し、減速材等交換装置を外部プラグ受け台に近接させてアタッチメントで CM を支持する。パワーマニプレータで CM の接続ボルトを緩め、固定を解除する。減速材等交換装置を用いて CM を外部プラグ及び反射体から取り外す。減速材等交換装置の運転並びに運転位置データ等については、Fig. 4. 5. 3、Fig. 4. 5. 4、Fig. 4. 6. 1 及び Fig. 4. 6. 2 を参照のこと。また、インセルクレーンの位置データも Fig. 4. 8. 1 に示す。

- (1) インセルクレーンフックに吊りジグの装着(Fig. 5.12.2)
 - インセルクレーンフックに取り付ける吊りジグは保管ラック北側上部にある。2 箇所のセル窓(東、南側)からの目視やカメラ映像などで確認しながらクレーンフックへ取り付ける。 脱落するとその後の作業は遠隔では不可能であり、放射化した機器をセル外に搬出するまで、 人が入れないので慎重に行う。
- (2) 吊りジグをアタッチメントに接続(Fig. 5.12.3)

インセルクレーンに吊りジグを取り付けた後、吊りジグをアタッチメントに接続する。アタッチメントは各モデレータ及び陽子ビーム窓に対して専用であり、識別のため CM、DM、PM、PBM とペイントされ識別出来る。アタッチメントには、重量バランスのため 2 箇所の黄色と黒色で色分けされた接続部がある (Fig. 5.12.3)。黄色が機器を取り付けた場合、黒色が無負荷の場合に用いる。接続を間違うと吊った時に、大きくバランスが崩れ、非常に危険な状態になるため、この接続に注意する。アタッチメントと保管ラックは上下 2 ヶ所のピンで取り合う。クレーンで、下部のピンが抜けることを目視で確認出来るまで上方に移動し、その後、

水平に移動することでアタッチメントを保管ラックから取り出せる。

(3) 減速材等交換装置をホームポジション(使用済み)に配置

POD コントローラによる操作で、減速材等交換装置を移動する。プログラムを選ぶと自動でホームポジションへ移動する。その他の機器の干渉がないことを確認して自動運転を起動する。

(4) アタッチメントを減速材等交換装置に装着(Fig. 5.12.4 及び Fig. 5.12.5)

保管ラックと同様にアタッチメントは減速材交換装置へ装着するため取り合いとなるピンを持つ。減速材等交換装置とは、アタッチメントと上部(Fig. 5.12.4)と下部(Fig. 5.12.5)の2ヶ所で取り合う。接続部にピンが入り込み易いようテーパを設けた。クレーンの操作のみによってアタッチメントの装着を行う。アタッチメントの装着は、減速材等交換装置に少し高い位置で寄せてゆき、取り合い位置を確認して降ろす。上部、下部ともにピンの挿入のためラインを設けており、それを目印としてクレーン操作で挿入する。装着したことはピンの着座状態を確認する。

(5) 吊りジグの接続解除(Fig. 5.12.6)

アタッチメントを減速材等交換装置に装着したら、吊りジグとの接続をクレーン操作により解除する。

(6) 吊りジグの保管ラックへの戻し

吊りジグは保管ラック上の通常設置位置へ戻す。

(7) 減速材等交換装置を CM 着脱位置へ自動運転

減速材等交換装置を、自動運転で着脱位置まで移動する(Fig. 4.6.1)。

(8) 外部プラグヘアタッチメントを接続

手動運転に切り替え、アタッチメントを CM の接続位置に移動する(Fig. 4.6.2)。最終的に減速材等交換装置を上昇させて接続位置と取り合う。POD コントローラに表示される荷重の値として 10.5N を目標とする。

(9) パワーマニプレータを用いた接続ボルトの解除

接続ボルトを解除する前に、必ずアタッチメントの外れ止めのボルトをパワーマニプレータを用いて CM に接続する。その後、接続部のボルトを解除する(Fig. 4.7.1 及び Fig. 4.7.2)。 CM 下部へは、直接目視が出来ないため、外部プラグ受け台下部に設置した鏡を用いて接続部を確認する(Fig. 5.12.7)。 ITV カメラ No. 3、4 及び 5 が有効である。

(10) CM の取り出し

ボルト接続を解除した後、手動運転で Fig. 4.6.2 に示すデータに従って自動運転着脱位置 に移動する。その後、自動運転でホームポジションに移動する。インセルクレーンで使用済み CM を接続したアタッチメントを吊り上げ、保管ラックに移送する。アタッチメントのフック接続では、インセルカメラを用いると更に効果的である。黒色は、無負荷の場合で、黄色は機器

が接続している場合に用いる。

5.12.2 CM の取り付け

以下に CM の取り付け手順を示す (Fig. 5.12.8 及び Fig. 5.12.9)。基本的に、CM の取り外し手順の逆順である。この資料は作業手順書の要素も兼ねており、冗長的ではあるが、取り付け手順についても順を追って記述する。減速材等交換装置の運転並びに運転位置データ等について Fig. 4.5.3、Fig. 4.5.4、Fig. 4.6.1 及び Fig. 4.6.3 を参照のこと。また、インセルクレーンの位置データも Fig. 4.8.1 に示す。

- (1) インセルクレーンフックに吊りジグを接続(Fig. 5.12.2)
- (2) CM が接続したアタッチメントに吊りジグを接続(Fig. 5.12.10)

前述したようアタッチメントへは2ヶ所の黄色と黒色で色分けされた接続部がある。黄色は、モデレータが接続している場合の接続で、黄色に接続する。これを間違うとバランスが崩れ、非常に危険になるので絶対に間違わないように注意する。アタッチメントと保管ラックはFig. 5.12.11に示す上下の2箇所のピン取り合いで接続する。アタッチメントはピンを持っており、保管ラックでは、それを受ける。アタッチメントを保管ラックに寄せて上方向から落とし込むことでアタッチメントを固定する。保管ラックの受け部は、ピンが入り易いようテーパが設けてある。ピン挿入や取り出しをクレーン操作のみで行う。

(3) 減速材等交換装置へ移送(Fig. 5.12.12 及び Fig. 5.12.13)

先に、減速材等交換装置を自動運転でホームポジションに移動する。クレーンを用いて CM が装着したアタッチメントを減速材等交換装置に移送する。その後、ピンの挿入状態や アタッチメントの振れの状態を慎重に確認しながら減速材等交換装置に装着する。装着は、減速材等交換装置に上部方向から寄せて、下方に落とす。上部、下部にピン挿入のための ラインを設けてあり、それを目印にする。寄せる時に真ん中に入らないとアタッチメント がその逆方向に傾くので注意する。

- (4) 吊りジグの接続解除(Fig. 5.12.14) セル内南端上部なので目視では確認しにくい。セル内カメラも補助的に用い接続の解除を行う。
- (5) 吊りジグの保管ラックへの戻し(Fig. 5.12.15)
- (6) 自動運転で CM 着脱位置へ移動(Fig. 4. 6. 1)
- (7) 手動運転で CM を外部プラグ受け台へ接続(Fig. 5.12.16、Fig. 5.12.17 及び Fig. 5.12.18) Fig. 4.6.3 に示す取付運転位置データを参考にして結合型モデレータを反射体・外部プラグに接続する。反射体下部は、直接目視できないので鏡とセル内カメラで可能な限り確認する。ITV カメラ No.3、4 及び 5 が有効である。POD コントローラで CM ヘッド合わせガイドを挿入する。その後、手動で CM ヘッドを少しずつ挿入する。CM ヘッド合わせガイド

には中心線を示すワイヤーが張ってあり、CM ヘッドフランジの中心とあわせるよう CM ヘッドを挿入する。引っ掛かり等があれば POD コントローラ上の荷重値で確認できる。CM を上昇する時に、外部プラグ側面にも注意する(Fig. 5.12.18)。ここでは、遠隔ボルトの先端が出ていないことを十分に確認する。もし、側面固定金具から遠隔ボルトの先端が出ていると、外部プラグの外径が大きくなるところでボルトが干渉し、ボルトを損傷する。

(8) パワーマニプレータでボルト接続(Fig. 5.12.19)

ボルトの締結手順は、反射体下部から外部プラグ側面の順に、Fig. 4.7.1 及び Fig. 4.7.2 に示す取り外し手順の逆順に行う。前述したよう反射体下部は視認性が悪いため、鏡を介してセル内カメラで確認する。

- (9) 側面はずれ止めの解除(Fig. 5.12.20)
- (10) 減速材等交換装置をホームポジションへ移動
- (11) 吊りジグをアタッチメントに接続
- (12) アタッチメントを保管ラックへ移送(Fig. 5.12.21)

 CM を外したアタッチメントをインセルクレーンで保管ラックに戻す。戻す際、ピンの挿入状態やアタッチメントの振れ(傾き)の状態を慎重に確認しながら行う。
- (13) 吊りジグを保管ラックの常設位置へ戻す

5.13 非結合型モデレータ (DM) の交換

非結合型モデレータ (DM) の交換について記述する。DM は内部プラグに接続されており、内部プラグ受け台に着座する (Fig. 2.10、Fig. 2.11 及び Fig. 2.12)。セル内での DM 移動はアタッチメントに接続しインセルクレーンで行う。すべて作業は遠隔操作で行う。作業状況については、セル内カメラ及びセル窓からの目視で確認する。

5.13.1 DMの取り外し

DM の取り外し手順を以下に示す(Fig. 5.13.1)。アタッチメントを接続した減速材等交換装置を内部プラグ受け台に接続し、パワーマニプレータで DM の接続部を解除する。減速材等交換装置の運転並びに運転位置データ等について Fig. 4.5.3、Fig. 4.5.4、Fig. 4.6.1 及び Fig. 4.6.4 を参照のこと。

(1) パワーマニプレータでプラグ側面中段部のモデレータ接続金具のボルトを緩める(Fig. 4.7.3)

作業における後戻りを防ぐため、パワーマニプレータでプラグ側面中段部のモデレータ接続金具のボルトを緩める。減速材等交換装置のフレームとパワーマニプレータのアームが 干渉し、パワーマニプレータのアクセスが出来ないため。

(2) インセルクレーンフックに吊りジグを接続(Fig. 5.12.2)

(3) 吊りジグを DM 用アタッチメントに接続

吊りジグのアタッチメント接続では、アタッチメントにモデレータの装着の有無で接続する部分が変わるので注意する。モデレータが装着されている時には黄色、そうでない時には黒色である。

- (4) 減速材等交換装置をホームポジション(使用済み)に配置
- (5) アタッチメントを減速材等交換装置に装着(Fig. 5.12.4 及び Fig. 5.12.5)
- (6) 吊りジグを保管ラックに戻す(Fig. 5.12.6)
- (7) 減速材等交換装置を DM 着脱位置へ自動運転
- (8) 内部プラグへアタッチメントを接続(Fig. 5.13.2 及び Fig. 5.13.3)

アタッチメントを内部プラグに接続した DM に接続する際に、アタッチメントピンをモデレータの接続金具に挿入する。Fig. 4.6.4 に従って減速材等交換装置の運転を行う。接続金具の下に水平に移動し、垂直上方向に移動するとアタッチメントピンが接続金具に挿入できる。POD コントローラ上に表示される荷重の値として 10.5N を目標とする。ピンの挿入状況の確認は、肉眼での目視が難しく、セル内カメラで確実に確認する。アタッチメントピン挿入で引っ掛かりがあれば、POD コントローラ上の荷重表示に異常が発生する。

(9) パワーマニプレータを用いて接続ボルトの解除

パワーマニプレータを用いて DM の接続している側部(Fig. 5.13.4)から下部へ(Fig. 5.13.5)とボルトを緩める(Fig. 4.7.3)。パワーマニプレータでボルトを緩める際に、反力受けに確実にかかっていることをインセルカメラ等で確認する。すべてのボルトを緩めアタッチメントに DM を支持した後、アタッチメントを 1mm 上昇し、水平に移動することでDM を取り出せる。

- (10) 減速材等交換装置をホームポジションに戻す
- (11) アタッチメント付き DM を保管ラックへ移送

5.13.2 DM の取り付け

以下に DM の取り付け手順を示す。基本的な手順は取り出し手順の逆順である。DM の接続したアタッチメントを保管ラックから減速材等交換装置に移送、内部プラグ受け台に接続し、パワーマニプレータで DM を取り付ける。減速材等交換装置の運転並びに運転位置データ等について Fig. 4.5.3、Fig. 4.5.4、Fig. 4.6.1 及び Fig. 4.6.5 を参照のこと。

- (1) インセルクレーンフックに吊りジグを接続(Fig. 5.12.2)
- (2) DM が接続したアタッチメントに吊りジグを接続

吊りジグのアタッチメント接続では、アタッチメントにモデレータの装着の有無で接続する部分が変わる。モデレータが装着されている時には黄色、そうでない時には黒色である。

- (3) 減速材等交換装置へ移送
- (4) 自動運転で DM 着脱位置へ移送
- (5) 手動運転で DM を内部プラグ受け台へ接続(Fig. 4.6.5)

減速材等交換装置で DM を内部プラグの装着位置に寄せた後、アタッチメント全体を 1mm 下げる。このことで、モデレータのフランジと内部プラグ下部との取り合いを確実にする。 その状況を ITV カメラ (No. 3~5) で確認する。下部フランジ先端がプラグ下部と一致していることを確実に確認する (Fig. 5. 13. 5)。この確認は最も重要である。プラグ下面と一致が、モデレータと反射体挿入孔との隙間を最大 (4mm) にする。ちょっとのずれで、隙間が無くなり、最悪、モデレータを損傷する。

- (6) パワーマニプレータでボルト接続(Fig. 4.7.3 の逆順) プラグ側面中間部は、アタッチメントを外した後にアクセスする。
- (7) 側面はずれ止めの解除 プラグ側面中間部は、アタッチメントを外した後にアクセスする。
- (8) 減速材等交換装置をホームポジションへ移送
- (9) アタッチメントを保管ラックへ移送
- (10) 吊りジグを保管ラックへ戻す

5.14 ポイゾン型モデレータ (PM) の交換

ポイゾン型モデレータ (PM) の交換について記述する。PM は DM と同様内部プラグに接続される (Fig. 2.10、Fig. 2.11 及び Fig. 2.13)。セル内での PM 移動はアタッチメントに接続しインセル クレーンで行う。すべて作業は遠隔操作で行う。作業状況については、セル内カメラ及びセル窓 からの目視で確認する。交換手順は概略 DM の場合と同様である。

5.14.1 PMの取り外し

PMの取り外し手順を以下に示す。アタッチメントを接続した減速材等交換装置を内部プラグ受け台に接続し、パワーマニプレータで PM の接続部を解除する。減速材等交換装置の運転並びに運転位置データ等について Fig. 4.5.3、Fig. 4.5.4、Fig. 4.6.1 及び Fig. 4.6.6 を参照のこと。また、インセルクレーンの位置データも Fig. 4.8.2 に示す。

(1) パワーマニプレータでプラグ側部中段部のモデレータ接続金具のボルトを緩める(Fig. 4.7.4)

DM の取り外しと同様、作業における後戻りを防ぐため、パワーマニプレータでプラグ側部中段部のモデレータ接続金具のボルトを緩める。

- (2) インセルクレーンフックに吊りジグを接続(Fig. 5.12.2)
- (3) 吊りジグを PM 用アタッチメントに接続

吊りジグのアタッチメント接続において、アタッチメントにモデレータが装着されている時には黄色、そうでない時には黒色に接続する。

- (4) 減速材等交換装置をホームポジション(使用済み)に配置
- (5) アタッチメントを減速材等交換装置に接続
- (6) 減速材等交換装置を DM 着脱位置へ自動運転
- (7) 内部プラグへアタッチメントを接続

アタッチメントを内部プラグに接続した PM に接続する際に、アタッチメントピンをモデレータの接続金具に挿入する。Fig. 4.6.6 に従って手動運転で減速材等交換装置を操作する。接続金具の下に水平に移動し、垂直上方向に移動させることで、アタッチメントピンを接続金具に挿入する。POD コントローラ上に表示される荷重の値として 10.5N を目標とする。ピンの挿入状況について肉眼での目視が難しく、セル内カメラで確実に確認する。アタッチメントピン挿入で引っ掛かりがあれば、遠隔操作(POD)コントロール盤上に荷重表示に異常が発生する。

(8) パワーマニプレータを用いて接続ボルトの解除

パワーマニプレータを用いて PM の接続している側部から下部へとボルトを緩める(Fig. 4.7.4)。パワーマニプレータのボルトアクセスでは、反力受けに確実にかかっていることをインセルカメラ等で確認する。すべてのボルトを緩めアタッチメントに PM を支持した後、アタッチメントを 1mm 上昇し、水平に移動することで PM が取り出せる。

- (9) PM を取り出し
- (10) 減速材等交換装置をホームポジションに戻す
- (11) アタッチメント付き DM を保管ラックへ移送

5.14.2 PM の取り付け

PMの取り付け手順を以下に示す。基本的な手順は取り外し手順の逆順である。PMの接続したアタッチメントを保管ラックから減速材等交換装置に移送(Fig. 5.14.1)、内部プラグ受け台に接続し、パワーマニプレータで PM を取り付ける(Fig. 5.14.2)。減速材等交換装置の運転並びに運転位置データ等について Fig. 4.5.3、Fig. 4.5.4、Fig. 4.6.1 及び Fig. 4.6.7 を参照のこと。また、インセルクレーンの位置データも Fig. 4.8.2 に示す。

- (1) インセルクレーンフックに吊りジグを接続(Fig. 5.12.2)
- (2) PM が接続したアタッチメントに吊りジグを接続(Fig. 5.14.3) 吊りジグのアタッチメント接続において、アタッチメントにモデレータが装着されている時には黄色、そうでない時には黒色に接続する。
- (3) 減速材等交換装置へ移送
- (4) 自動運転で PM 着脱位置へ移送

(5) 手動運転で PM を内部プラグ受け台へ接続(Fig. 4.6.7)

DM と同様、接続フランジを内部プラグ下部の取り合い部に確実に合わせる(Fig. 5.14.4)。 その後、アタッチメント全体を 1mm 下げる。下げることにより、モデレータフランジの内部プラグ下部との取り合いを確実にする。下部フランジ先端がプラグ下部と一致していることを確実に確認する。この確認は最も重要である。プラグ下面と一致が、モデレータと反射体挿入孔との隙間を最大(4mm)にする。ちょっとのずれで、隙間を無くし、最悪、モデレータを損傷する。その状況を ITV カメラ(No.3~5)で確認する。

- (6) パワーマニプレータでボルト接続(Fig. 4.7.4の逆順、Fig. 5.14.5)
- (7) 側面はずれ止めの解除 DM の場合と同様、プラグ側面中間部は、アタッチメントを外した後にアクセスする。
- (8) 減速材等交換装置をホームポジションへ移送
- (9) アタッチメントを保管ラックへ移送
- (10) 吊りジグを保管ラックへ戻す

5.15 反射体の交換

反射体は、内部プラグと結合型モデレータを取り出した後に交換可能となる。反射体は外部プラグへフランジ部のボルトを用いて固定される。ボルトのサイズは M20、ボルト数は 4 本である (Fig. 2.14)。パワーマニプレータのボルト取り合いデータを Fig. 4.7.5 に示す。パワーマニプレータは M20 ボルト用アングル型ナットランナーを用いる。以下に交換手順を示す。

- (1) 内部プラグを移送キャスク内に収納し、内部プラグ受け台に移送(5.11章参照)
- (2) 結合型モデレータの取り外し(5.12章参照)
- (3) パワーマニプレータでボルト接続解除(Fig. 4.7.5) 反射体遠隔操作装置(外部プラグ受け台)の運転(旋回操作)を行い、接続されたボルトを北側に向け、パワーマニプレータをアクセスしボルトを緩める(Fig. 5.15.1)。
- (4) 外部プラグを移送キャスク内に収納 接続を解除した外部プラグは、移送キャスクのグリッパを用いて移送キャスク内に吊り上げる(Fig. 4.5.1)。
- (5) 反射体用吊り具の接続(Fig. 5.15.2) インセルクレーンで外部プラグ受け台に反射体吊り具を移送し、位置決めピンに合わせて 設置する。反射体吊り具は外部プラグと接続用の反射体フランジの M20 のボルトで固定する。 ボルトの固定はパワーマニプレータを用いる。
- (6) インセルクレーンによる反射体の移送(Fig. 5.15.3) インセルクレーンで切断装置まで移送する。クレーン操作では反射体の水冷配管が長く、 バランス等に注意が必要である。

(7) 新規反射体の移送

新規の反射体は、使用済の反射体の交換前に、吊り具を装着しホットセル内に搬入する。新規の反射体は、外部プラグ受台上の反射体固定用のピンに固定する(Fig. 5.15.4)。2ヶ所の固定用ピンがあり、目視ならびにセル内カメラによりピンへの位置合わせを確実に行う。反射体の設置が完了したら、反射体吊り具のボルト接続を解除し、インセルクレーンで反射体吊り具を取り外す。移送キャスクから外部プラグを吊り降ろし(Fig. 4.5.1)、パワーマニプレータを用いて反射体フランジと外部プラグを接続するボルトを締める。外部プラグを吊り降ろす際に、以下に示す注意が必要である(Fig. 5.15.5)。反射体の冷却水配管は外部プラグの外周にある溝に沿って配管される。反射体水冷配管とプラグの溝が合わないと、配管をつぶしたり、配管に沿って配管される。反射体水冷配管とプラグの溝が合わないと、配管をつぶしたり、配管に沿って取り付けた熱電対の断線を引き起こす。そのため、吊り降ろしの際には簡易的なガイドを設け、外部プラグの荷重が水冷配管に負荷されることを防ぐ。外部プラグと反射体の接続後、2種類のモデレータの交換を終えた内部プラグを外部プラグ内へ戻す(5.11章の逆順)。反射体の結合型モデレータ挿入口から内部プラグに装着された非結合型及びポイゾン型モデレータの2つのモデレータの状況をモニタしながら内部プラグの挿入を確実に行う。最後に、結合型モデレータを取り付ける。

6. 陽子ビーム窓 (PBW) 機器の交換保守

陽子ビーム窓の交換保守は、基本的にモデレータ・反射体の場合と同様である。使用済の陽子ビーム窓を移送キャスクを用いて乾燥装置室に搬送する。その後、新規の陽子ビーム窓をホットセルからベッセルエリアに移送キャスクを用いて搬送し、据え付ける。使用済み陽子ビーム窓は、乾燥終了後、ホットセルに移送し、新規のものと交換する。一方、放射化機器保管室内に壁掛けの壁ラックを設けており、陽子ビーム窓を一時的に保管できる。以下に、陽子ビーム窓の交換保守について記述する。

6.1 陽子ビーム窓設置位置上部作業

陽子ビーム窓設置位置は、ヘリウムベッセルの約 1.5m 北側である。天井気密板移動(5.2 章参照)、天井遮蔽ブロック移動(5.3 章参照)、ベッセル上部遮蔽体移動(5.4 章参照)を行い、陽子ビーム窓設置位置にアクセスする。陽子ビーム窓設置位置上部における作業手順を以下に示す(Fig. 6.1.1)。

(1) 陽子ビーム上部遮蔽体移動

ベッセル上部遮蔽体の移動後に、陽子ビーム窓上部の遮蔽体を移動する。2 種類の遮蔽体で構成され、それぞれ重量は3.3t、4.2tである(Fig. 6.1.2)。M42のアイボルトで取り合いクレーンを用いて移動する。陽子ビーム窓上部遮蔽体は、扇形形状で隙間が少なく、戻すときに注

意を要する。隙間に多少尤度のある北側から遮蔽体を接近させ、最後に南側に押しつけ着座する。次に、陽子ビーム窓上部周りの養生、局所排気等の準備を行う。全ての準備が整った後、水冷配管及び信号ケーブルの接続解除作業を開始する。

(2) 水冷配管及び信号ケーブル接続解除作業

陽子ビーム窓の配管及びケーブル等接続取り合いを Fig. 6.1.3 に示す。陽子ビームを移送キャスク内に吊り上げる前に、これら配管及びケーブルの接続を解除する。陽子ビーム窓の冷却水に関しても、モデレータ・反射体と同様にトリチウムなどの放射能を内包する。5.6 章に記載したモデレータ・反射体の冷却水配管取り外し作業を参考とし、トリチウムによる内部被ばく及び外部被ばくの防止並びに低減化を図る。

(3) グリッパ接続用吊り具の接続

陽子ビーム窓用グリッパ接続吊り具を取り付ける(Fig. 6.1.4)。3本の吊り具用ロッドを陽子ビーム窓プラグの取り合いにねじ込んで接続する。ロッドのねじ込みでは、ダブルナットの底面がプラグ上面にあたるまで確実に締める。次に、グリッパ接続吊り具をロッドに接続する。ロッド及びグリッパ接続吊り具を設置する際に、識別された番号に注意し、陽子ビーム窓プラグに記載された番号と一致させる。

(5) 移送キャスク設置

Fig. 6.1.5 に移送キャスクの陽子ビーム窓上部への設置手順を示す。モデレータ・反射体と同様に、床上遮蔽体ベース及び床上遮蔽体 1 を設置する(5.9 章参照)。床上遮蔽体ベースを設置する場所は、ベッセル直上ではなく、北側における位置決めピンに合わせる。モデレータ・反射体の場合と異なるので注意する。モデレータ・反射体の保守作業の時に使用した気密管は使用しない。床上遮蔽体 1 上に移送キャスクを設置する。移送キャスクはクレーンと接続した状態とする。

(6) 移送キャスク内へ陽子ビーム窓の搬入

移送キャスクの設置後、キャスク用のケーブルを接続する。移送キャスクを自動運転(Fig. 4.5.1)で運転し、陽子ビーム窓を移送キャスク内に吊り上げる。移送キャスク及び床上遮蔽体1の運転は、第1マニプレータ操作室で行う。グリッパストローク等、運転状況をPODコントローラで確認しながら行う(Fig. 4.1.7)。移送キャスク下部南側には遮蔽欠損となる隙間がある(Fig. 6.1.5)。使用済み陽子ビーム窓をキャスク内に吊り上げ時、この部分で線量があがることが予想され、被ばくに注意する。

6.2 乾燥装置室への移送

使用済みの陽子ビーム窓のトリチウムを含んだ冷却水を乾燥するため、乾燥装置室に移送する。 陽子ビーム窓の乾燥装置室への移送手順を以下に示す(Fig. 6.2.1)。基本的にモデレータ・反射 体と同様の手順となる(5.10項参照)。ただし、設置する床上遮蔽体(床上可動遮蔽体)が異なるこ と、また、機器のサイズが違うため使用する自動運転でのプログラムが異なることに注意する。

- (1) 移送キャスクをクレーンで床上可動遮蔽体 2 へ移動(Fig. 3.10)
- (2) 移送キャスクへの電源ケーブル及び制御ケーブルの接続
- (3) インセルクレーンによるホットセル内ハッチ(乾燥装置室上部南側)の開口
- (4) 移送キャスクを運転し、陽子ビーム窓を乾燥装置室へ移送

乾燥装置室へは一階ホットセルを経由して移送する。ホットセル西側の床にある乾燥装置室上部のセル内ハッチ(南側)をインセルクレーンにより開口する。取り外したハッチは、北側のハッチ上部の支持柱に置く(Fig. 6.2.1)。遠隔操作機器のコントローラの電源を投入し、自動運転(Fig. 4.5.1)でグリッパのストローク等(Fig. 4.1.7)を確認しながら乾燥装置室に移送する。グリッパの往復は2時間程度である。陽子ビーム窓を移送している間、乾燥装置室に人が入れないため、乾燥装置室に設置してある遠隔カメラで状況を確認する。陽子ビーム窓を着座させ、移送キャスク内へグリッパが戻り、遮蔽扉が閉まるまで自動運転で行われる。遮蔽扉が閉まったことを確認したら、ホットセル内のハッチを戻し閉止する。

放管が乾燥装置室内のサーベイを行った後、乾燥装置室に入室し、使用済み機器の乾燥を行う。 配管内部の水の乾燥終了後、ホットセルの床ハッチを開口し、自動運転で移送キャスク内に陽子 ビーム窓を吊り上げる。終了後、ホットセルの床ハッチを閉める。

6.3 陽子ビーム窓(PBW)の交換

陽子ビーム窓冷却水配管内部の乾燥終了後、ホットセルに移送し、減速材等交換装置を用いて 交換を行う。減速材等交換装置の運転並びに運転位置データ等について Fig. 4.5.3、Fig. 4.5.4、 Fig. 4.6.1、Fig. 4.6.8 及び Fig. 4.6.9 を参照のこと。また、インセルクレーンの位置データ も Fig. 4.8.3 及び Fig. 4.8.4 に示す。陽子ビーム窓の交換手順を以下に示す(Fig. 6.3.1)。

- (1) 移送キャスクを床上遮蔽体3上に移動
- (2) 移送キャスクへの電源ケーブル及び制御ケーブルの接続
- (3) インセルクレーンフックに吊りジグを接続(Fig. 5.12.2)
- (4) 吊りジグを PBM 用アタッチメントに接続
- (5) 減速材等交換装置をホームポジションに移動
- (6) 陽子ビーム窓用アタッチメントを減速材等交換装置へ設置

Fig. 5.1.2 中に示される陽子ビーム窓用内部プラグ受け台アタッチメントをインセルクレーンを用いて内部プラグ受け台に設置する。使用済み機器をセル内に搬入する前に、予め設置する。

(7) ホットセル内への吊下げ搬入 ホットセル内に搬入する前に、内部プラグ受け台を、陽子ビーム窓を受け取る角度に設定 する(Fig. 4.2.2)。移送キャスクの運転を行い自動運転モード(Fig. 4.5.1)でホットセル内 に陽子ビームを搬入する。移送キャスクグリッパの動作をセル窓やセル内カメラで確認する (Fig. 6.3.2)。

- (8) 自動運転でアタッチメントを着脱位置へ移動
- (9) 手動運転でアタッチメントを接続

アタッチメントを接続では、Fig. 4.6.8 に従って減速材等交換装置の運転を行う。水平に挿入し(目標荷重:1100N)、最後に垂直上方向に移動し接続することで、アタッチメントピンを接続金具に挿入する(目標荷重:14~15N)。接続状態について Fig. 4.6.8 に示す値を参考にする。ピンの挿入状況について肉眼での目視が難しく、セル内カメラで確実に確認する。アタッチメントピン挿入で引っ掛かりがあれば、POD コントローラの荷重表示に異常が発生する。

(10) パワーマニプレータでボルト接続の解除

陽子ビーム窓の取り合いは 3 ヶ所で、M20 のストレートツールを用いる(Fig. 4.7.6)。外れ止めのボルトを締め(Fig. 6.3.3)、プラグ上段位置及びプラグ下段位置のボルトを緩める(Fig. 6.3.4)。

(11) 陽子ビーム窓の取り出し

Fig. 4.6.8 に従い減速材等交換装置を用いて手動運転モードで水平にゆっくり陽子ビーム窓を引き出す。取り出されたことが確認された後、自動運転モードでホームポジションに移動する。インセルクレーンを用いてアタッチメントに接続された陽子ビーム窓を保管ラックに移送する。

作業の状況をインセルカメラ等で確認しながら行う (Fig. 6.3.5)。 アタッチメントには、黄色と黒色の 2 ヶ所の吊り上げ用接続部がある。黄色は陽子ビーム窓が接続された時で黒色は無負荷の時に用いる (Fig. 6.3.6)。 陽子ビーム窓を支持した状態で吊り位置を間違うと重量バランスが崩れ、ラック等に設置できなくなるなど、遠隔操作では収拾できない状態になるため、吊り接続部に注意して接続する。一方、陽子ビーム窓の新規取り付けは、取り外しと逆の作業で行う (Fig. 4.6.9)。

6.4 放射化機器保管室(地下一階)への移送

プラグと一体になった陽子ビーム窓の一時的な保管を地下一階放射化機器保管室で行う。移送 手順を以下に示す。

- (1) 移送キャスクを床上遮蔽体 4 上に移動(Fig. 3.10)
- (2) 地下一階・放射化機器保管室内の陽子ビーム窓用仮置架台の移動(Fig. 6.4.1) 陽子ビーム窓仮置架台は、インセルクレーンを用いて移動する。床のけがきにマスタースレーブマニプレータを用いて合わせる。仮置架台の向きに注意し、回転しないように移動す

る。設置に際して、開口部を北向き、吊り接続部を南向きにする。

- (3) ホットセル内東側のセル内ハッチの開口(Fig. 6.4.2)
- (4) 地下一階へ陽子ビーム窓を搬送

大型機器取扱作業室で移送キャスク用電源及び信号ケーブルを接続する。第1マニプレータ 操作室において反射体等遠隔操作装置の電源を投入し、自動運転モードで陽子ビーム窓を地下 一階ホットセルに吊下げ搬入する(Fig. 4.5.1)。着座等のグリッパの位置についてはPOD 画面 (Fig. 4.1.7)を確認しながら運転状況をモニタする。

- (5) ホットセル内東側のセル内ハッチの閉口 搬入が終了したら、ホットセル内東側のハッチを閉止する。
- (6) インセルクレーンでセル内壁の仮置き場所へ移送(Fig. 6.4.3)

インセルクレーンを用いて、陽子ビーム窓を壁の仮置き場所(壁ラック)に移送する。壁ラックへの移動では、確実に外れ止めがかかる位置に設置する。

インセルクレーンの取り合いデータを Fig. 4.8.5 及び Fig. 4.8.6 に示す。すべて遠隔操作で行うため、インセルカメラやセル窓からの目視並びにクレーン位置データを確認し確実に作業を行う。

7. まとめ

モデレータ・反射体及び陽子ビーム窓の交換保守では、高度に放射化した機器を取り扱うため、 我々が策定したシナリオをベースとして遠隔操作機器を導入した。保守交換についてのすべての 作業が遠隔操作で行えるわけではなく、人手の作業も必要となることを再認識するとともに、人 的安全を最優先とする放射線安全に対する方針を決定した。遠隔操作や人手による作業における 具体的な全ての作業項目を摘出し、使用済み機器の交換保守が問題なく行えるか、実機を用いて 確証試験を行った。遠隔操作機器を用いての実機の交換、人手による遮蔽体や移送キャスクの移動作業、マスク等の放射線防護装備を着用した配管の着脱作業等、シナリオで想定したすべての 作業を行った。モデレータ・反射体及び陽子ビーム窓の交換保守について、事前に設定した方法 で問題なく安全に行えることを確認した。その結果を踏まえ、交換保守に関わる方法、手順、注 意点、問題点及び試験データ等予備試験を通して得られた知見を記述した。東日本大震災により 施設の稼働が止まっていたが、復旧も進み 2011 年の 12 月に運転が再開された。震災前の状況の 陽子ビーム(出力: 200 kW)が受け入れられる状態まで達している。数年のうちに、陽子ビーム窓、 その数年後にはモデレータ・反射体の交換保守を行うこととなる。この報告書を実際の交換保守 作業において有効に活用し、安全且つ効率的な作業の実現のための一助として役立てたい。

謝辞

たくさんの人たちの協力により、この遠隔保守が可能となった。特に、反射体等遠隔操作機器の整備について尽力された富士電機システムズの皆様、ベッセル内の配管着脱作業について NAT の皆様や放射線管理者の皆様、遠隔保守の試験に関わったすべての人たちに感謝します。本報告書の最終頁にこれまで関わって来た方の写真を掲載し感謝の意を表します。

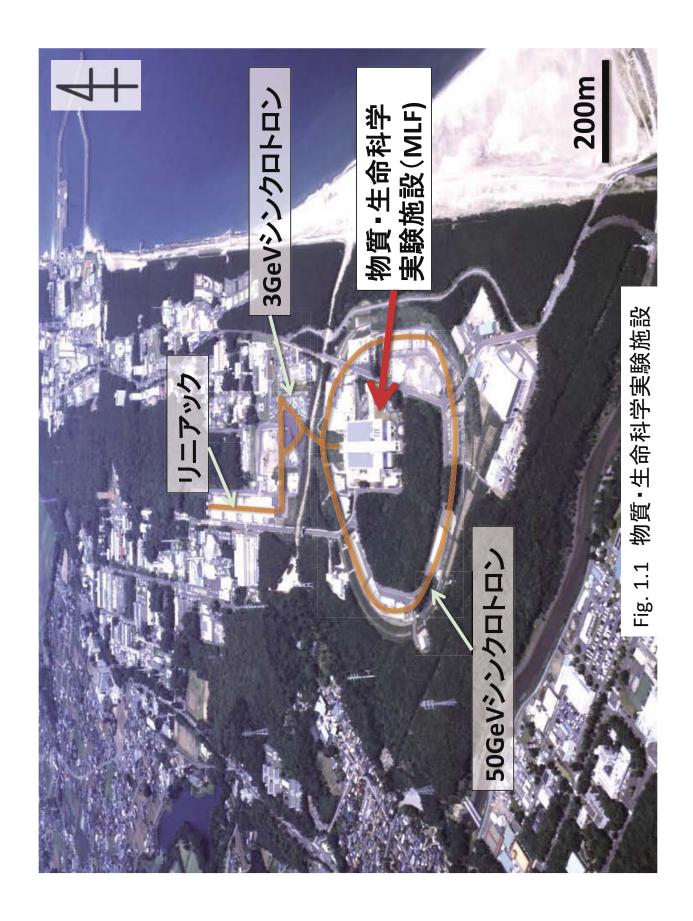
参考文献

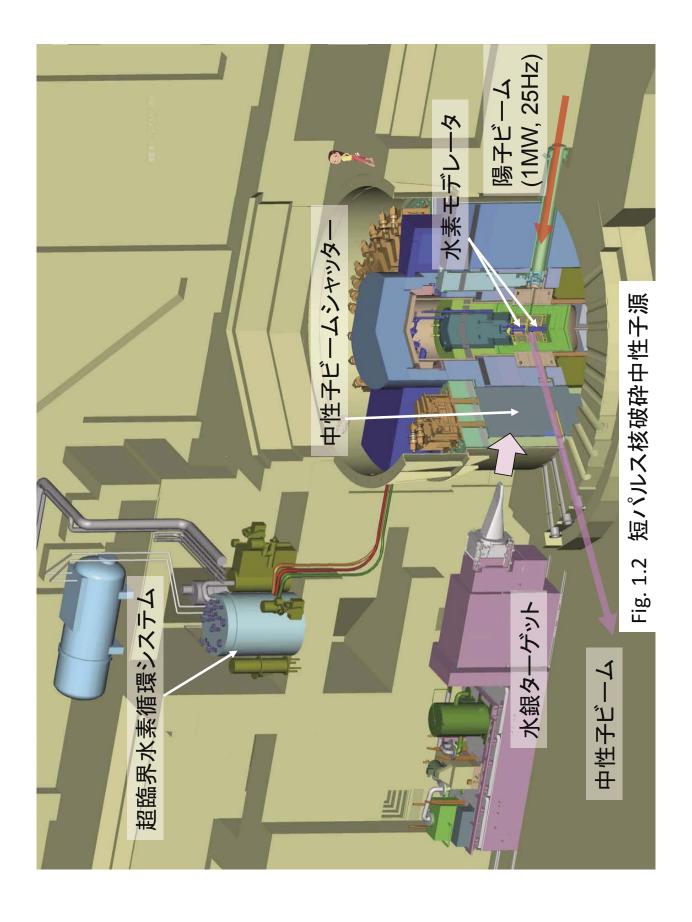
- [1] http://j-parc.jp/index-e.html
- [2] S. Nagamiya, Neutron News 16 (1) (2005) pp. 16-19
- [3] Y. Ikeda, Newtron News 16 (1) (2005) pp. 20-24
- [4] S. Sakamoto, et al., JAEA-Technology 2011-035 (2011)
- [5] M. Harada, et al., "Silver-Indium-Cadmium decoupler and liner", Proceedings of ICANS XVI, May 12-15, 2003, Zeughaus, Germany, pp. 677-688
- [6] M. Teshigawara, et al., J. of Nucl. Mat. Vol. 343 (2005), pp. 154-162
- [7] M. Teshigawara, et al., J. of Nucl. Mat. Vol. 356 (2006), pp. 300-307
- [8] K. KIKUCHI, et al., Material Science Forum Vol. 652 (2010) pp. 92-98
- [9] M. Teshigawara, et al., "Development of Cd poisoned moderator", Proc. of ICANS XVI, May 12-15, 2003, Zeughaus, Germany, pp. 689-696
- [10] M. Harada, et al., NIM A 574 (2007) pp. 407-419
- [11] M. Teshigawara, et al., "Development status of JSNS Moderator-reflector remote handling devices", ICANS-XVII April 25-29, 2005, Santa Fe, New Mexico
- [12] M. Teshigawara, et al., JAERI-Tech 2005-029
- [13] H. Kinoshita, et al., "Remote handling devices in MLF", NIM A 600 (2009) pp. 78
- [14] M. Futakawa, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 40 (2003) pp. 895-904

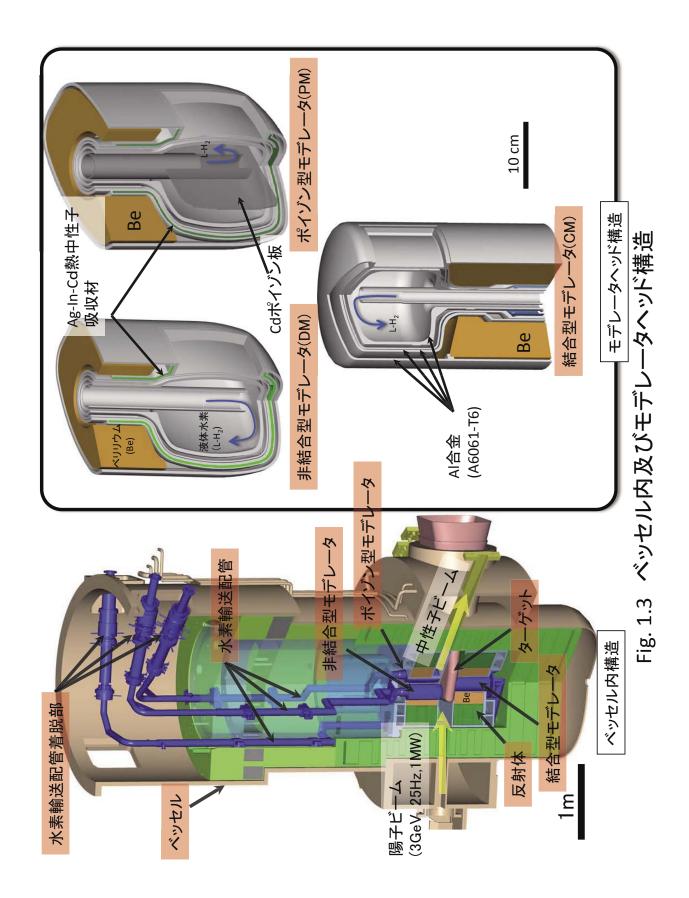
This is a blank page.



This is a blank page.







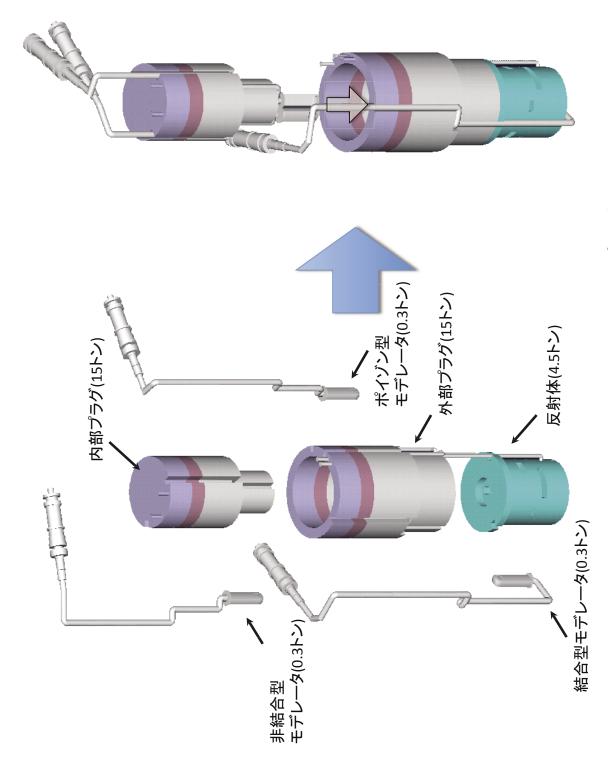
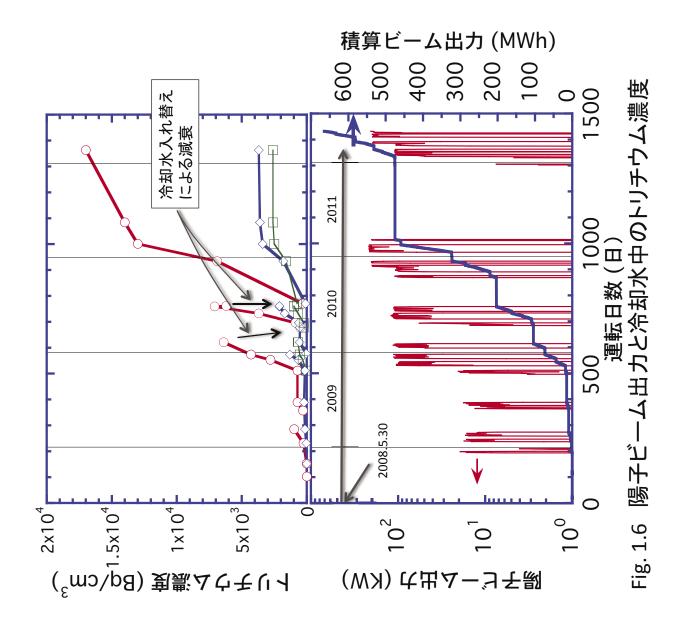


Fig. 1.4 モデレータ・反射体及びプラグ分離構造





This is a blank page.

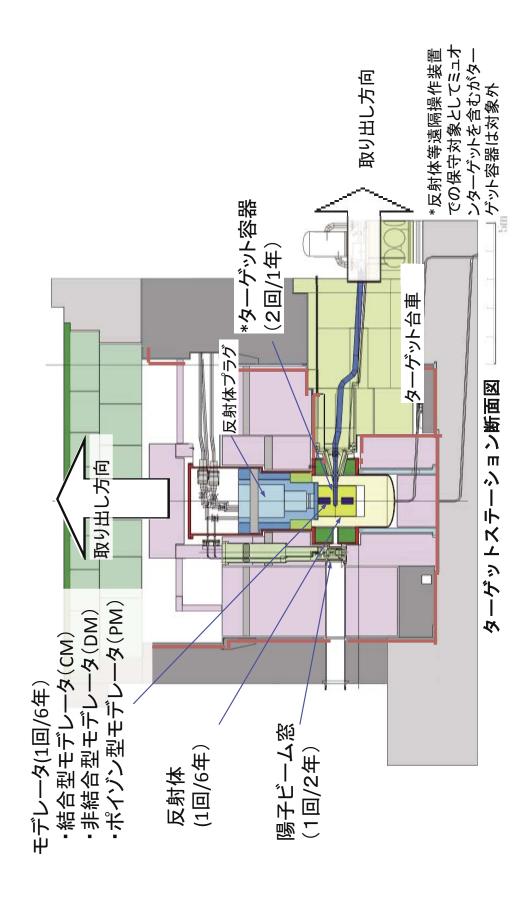


Fig. 2.1 遠隔保守対象機器、頻度

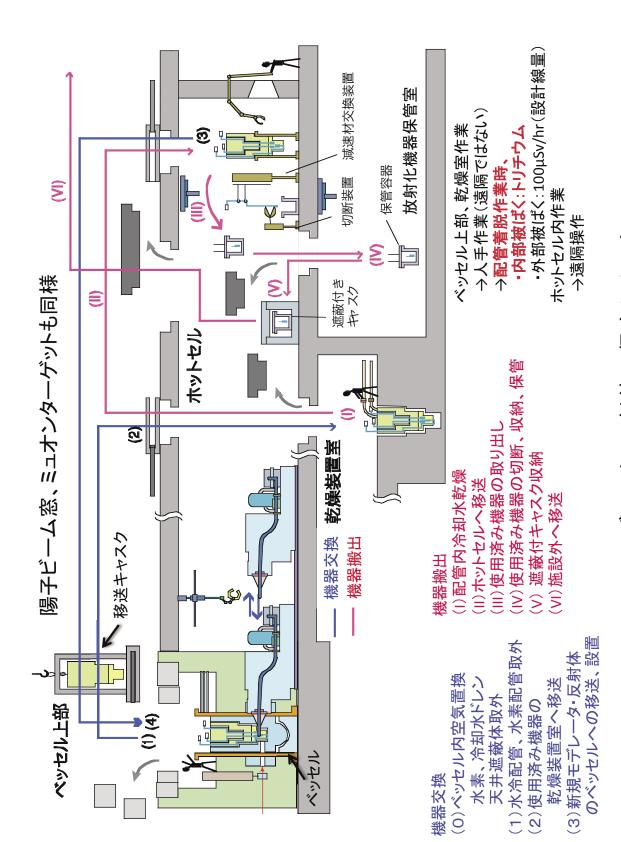
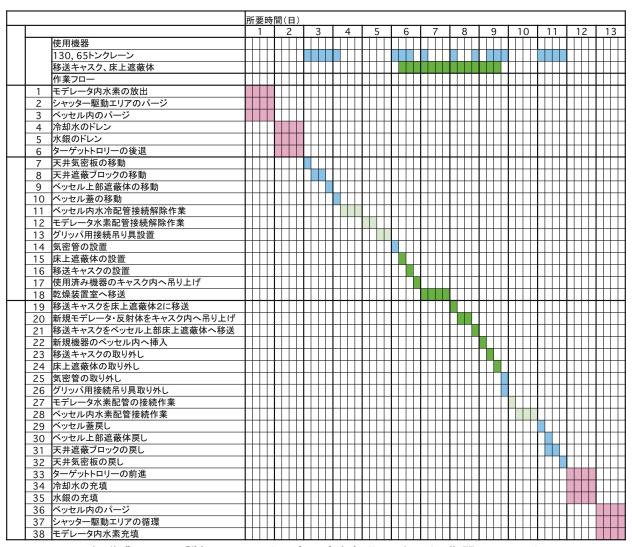


Fig. 2.2 モデレータ・反射体の保守シナリオ



注:作業フローの詳細については、3章、5章を参照のこと。所要期間については 実機を用いて行った予備試験の結果を基にして求めた。

Fig. 2.3 モデレータ・反射体の機器交換

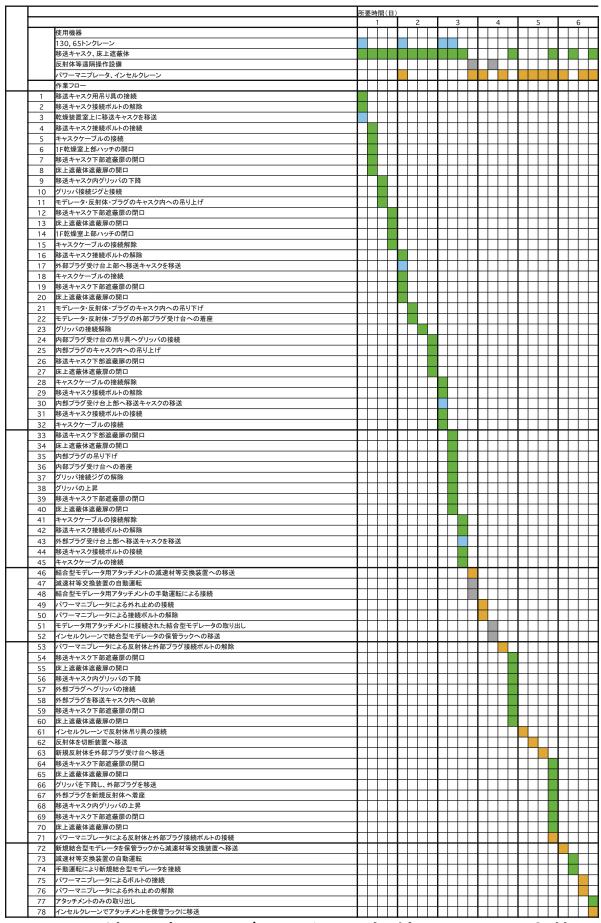
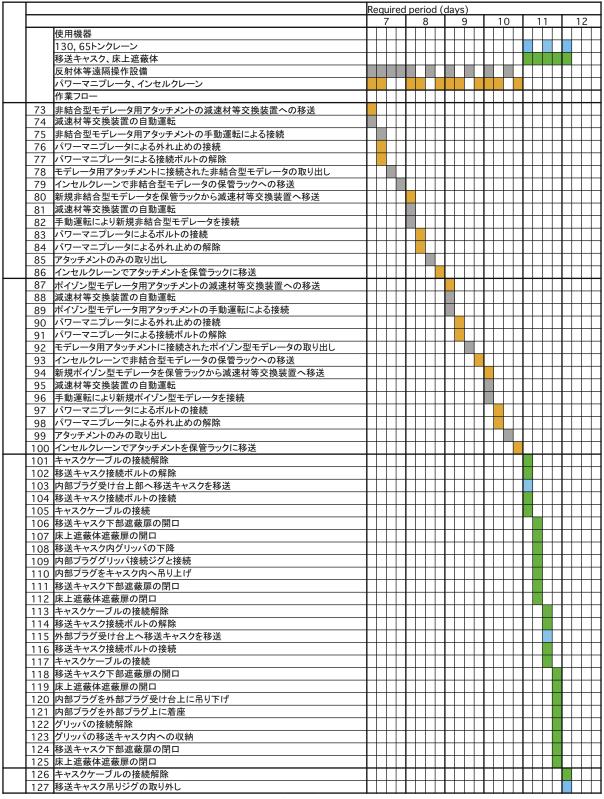
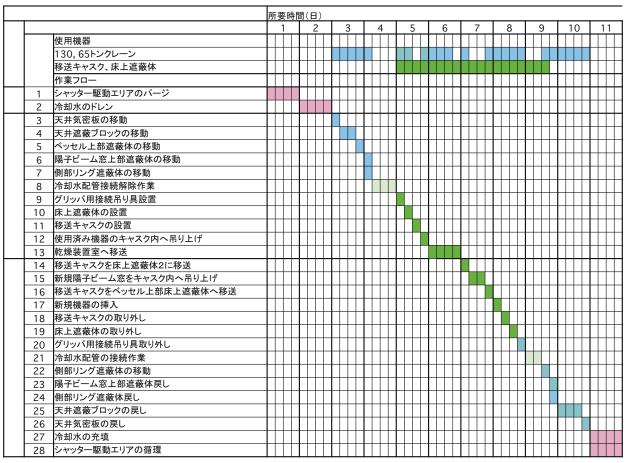


Fig. 2.4 使用済みモデレータ・反射体のセル内交換



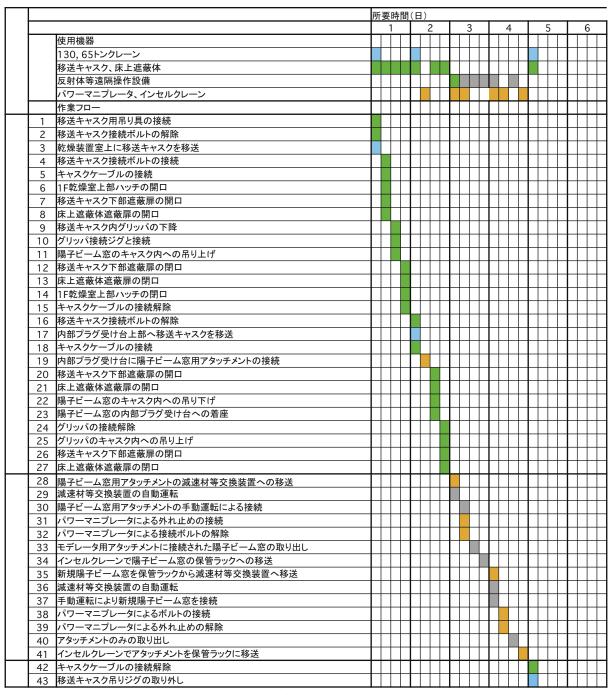
注:作業フローの詳細については、3章、5章を参照のこと。所要期間については 実機を用いて行った予備試験の結果を基にして求めた。

Fig. 2.5 使用済みモデレータ・反射体のセル内交換(つづき)



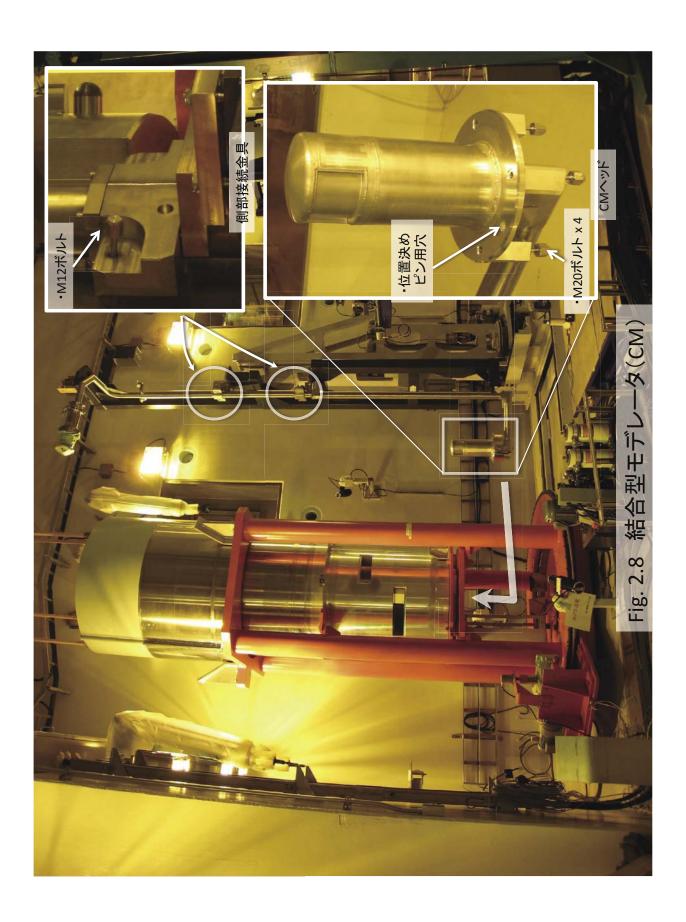
注:作業フローの詳細については、3章、6章を参照のこと。所要期間については 実機を用いて行った予備試験の結果を基にして求めた。

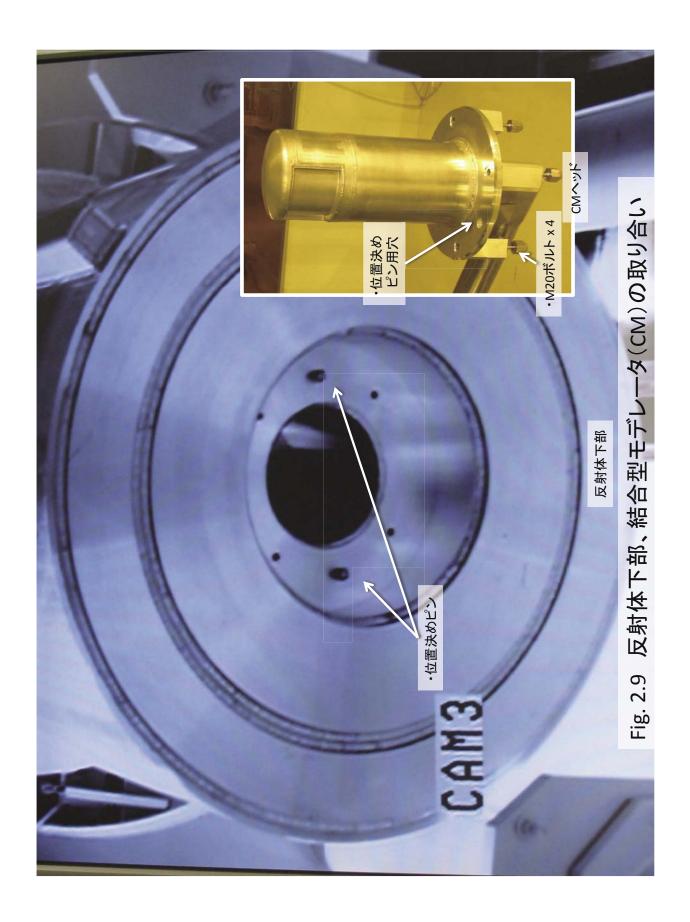
Fig. 2.6 陽子ビーム窓の機器交換



注:作業フローの詳細については、3章、6章を参照のこと。所要期間については 実機を用いて行った予備試験の結果を基にして求めた。

Fig. 2.7 使用済み陽子ビーム窓のセル内交換





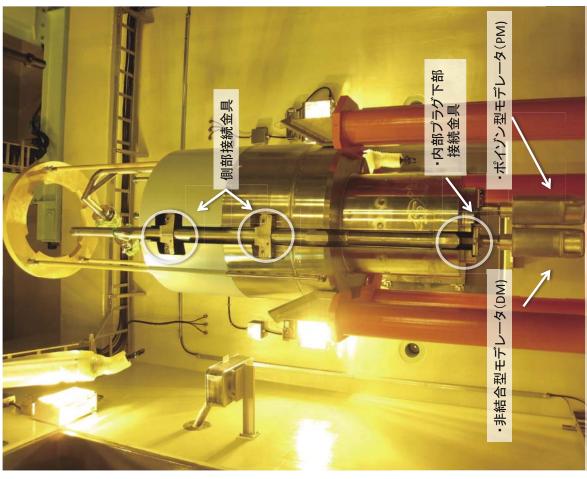
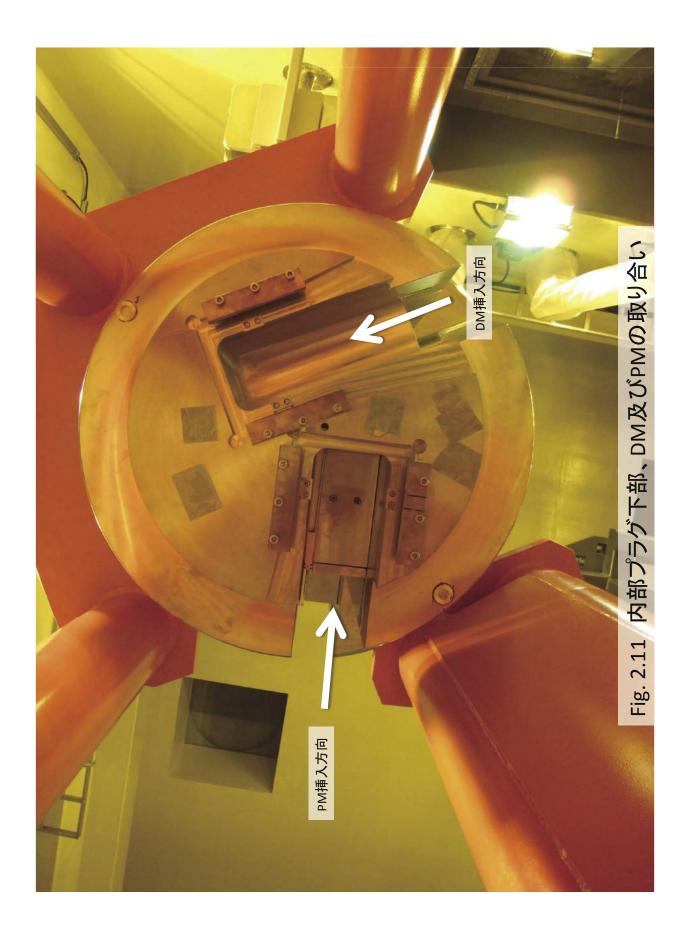
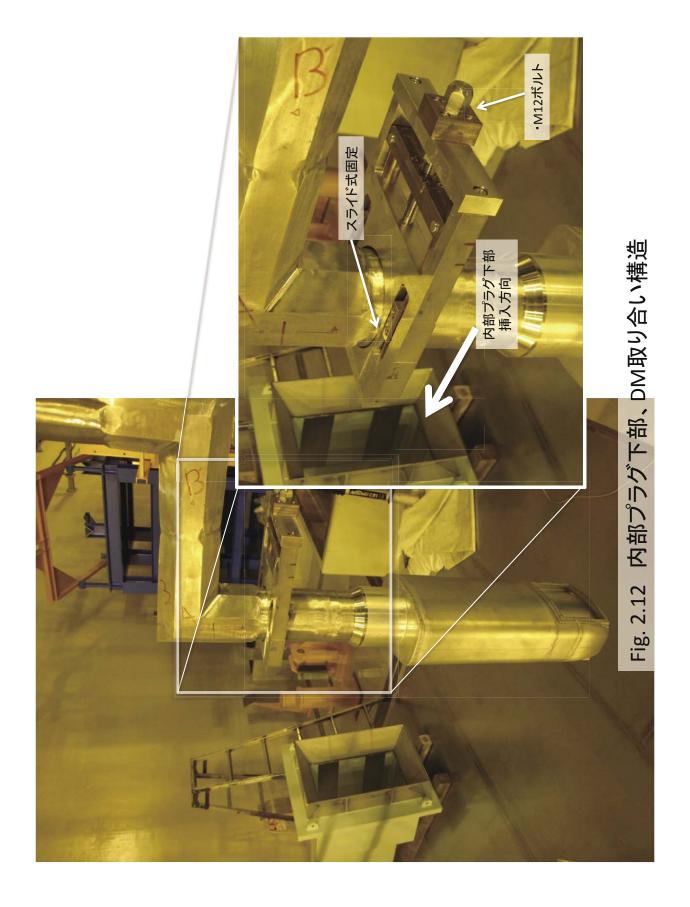
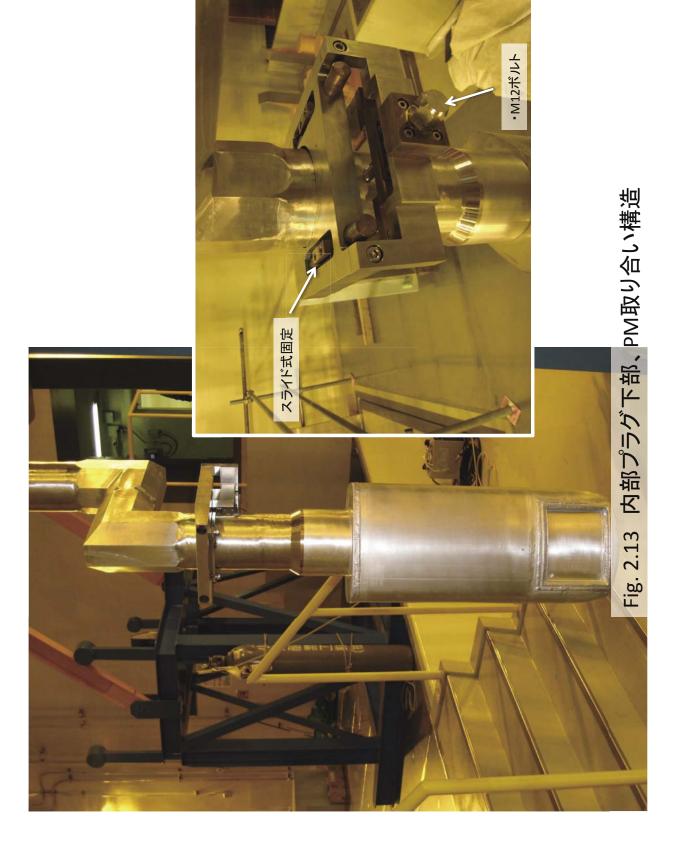
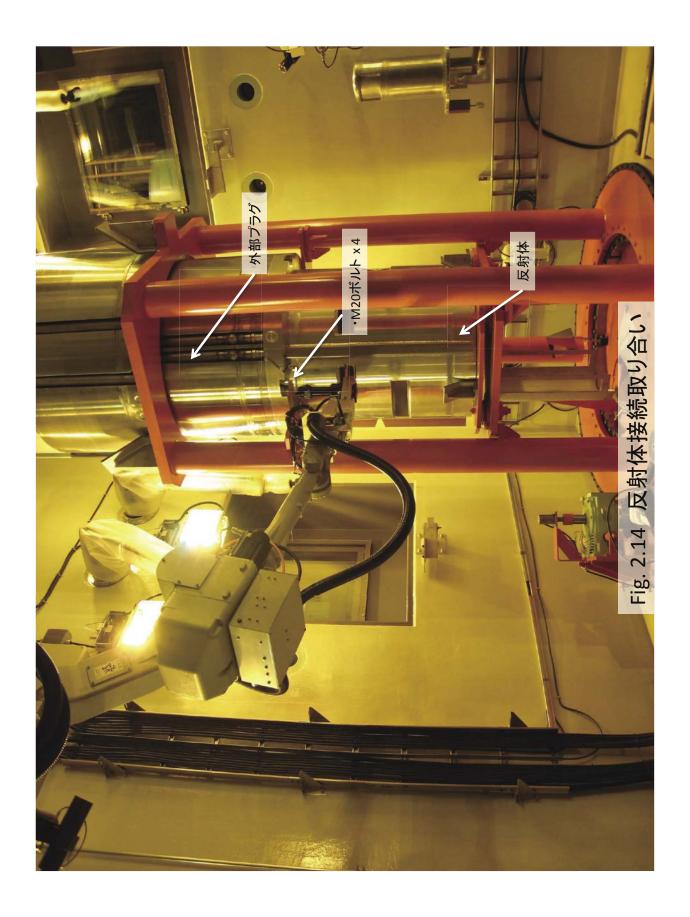


Fig. 2.10 非結合型(DM)及びポイゾン型(PM)モデレータの取り合い











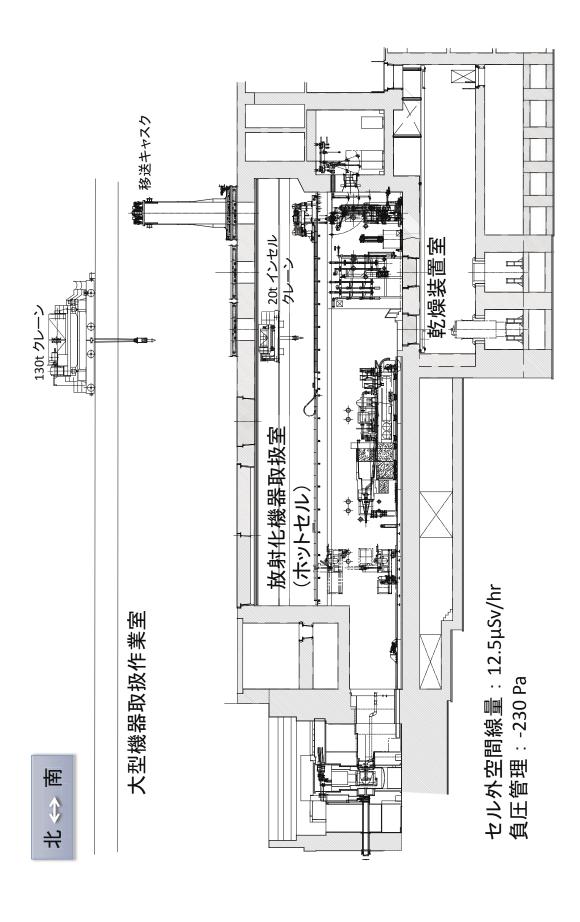


Fig. 3.1 MLF内立面南北図

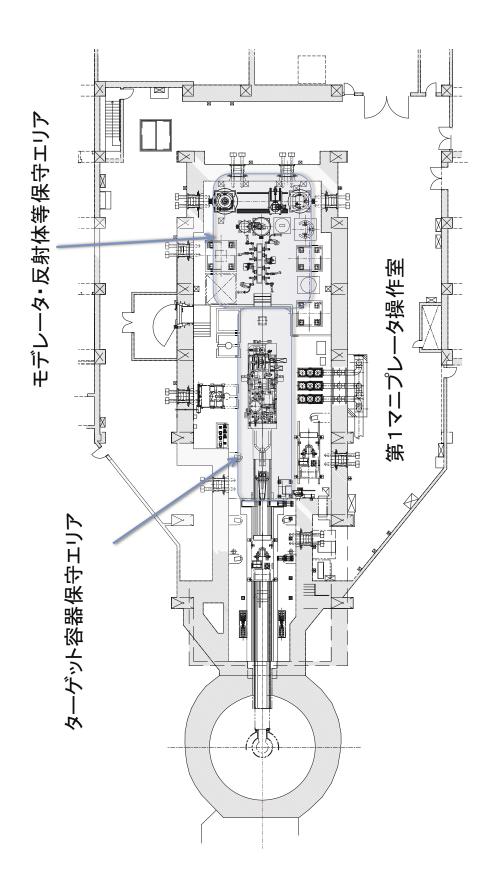


Fig. 3.2 MLF内1階水平面図

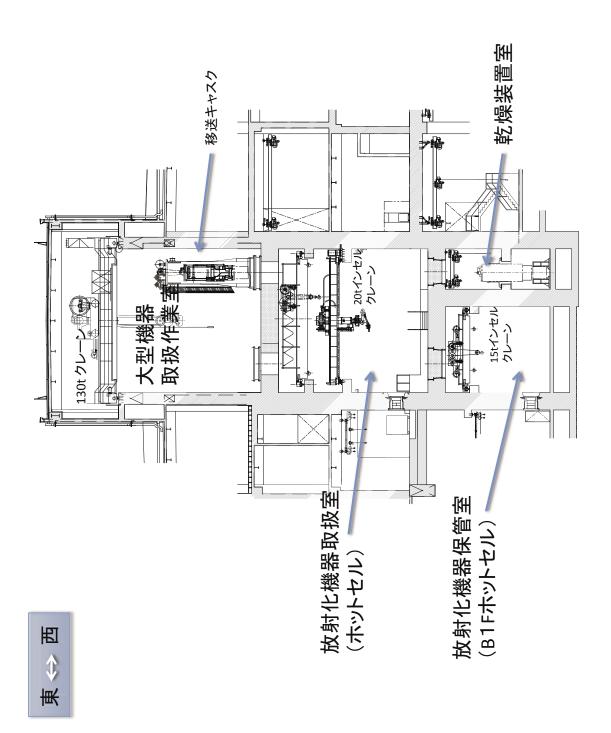
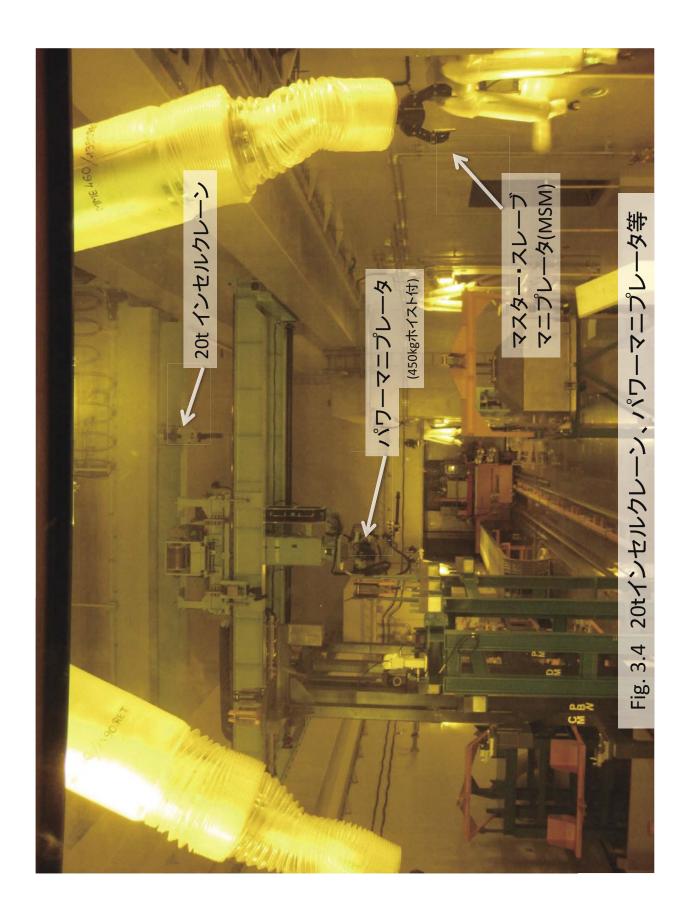
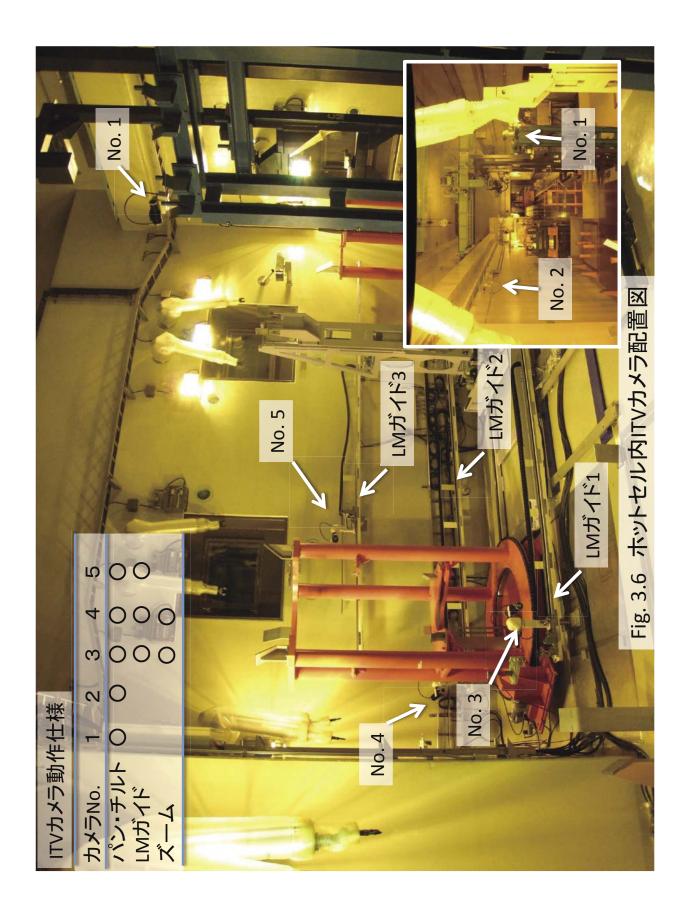
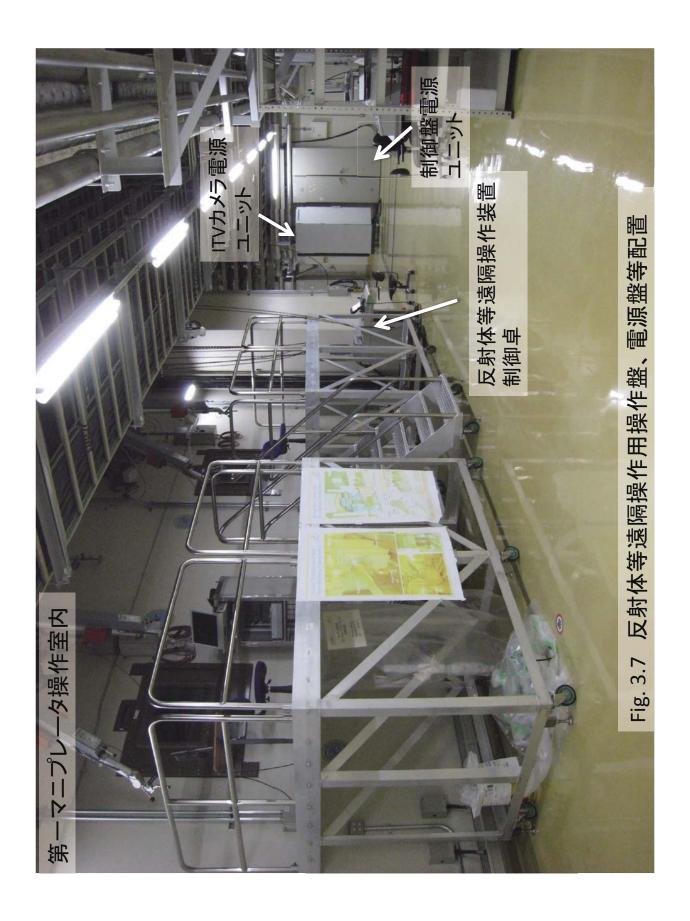


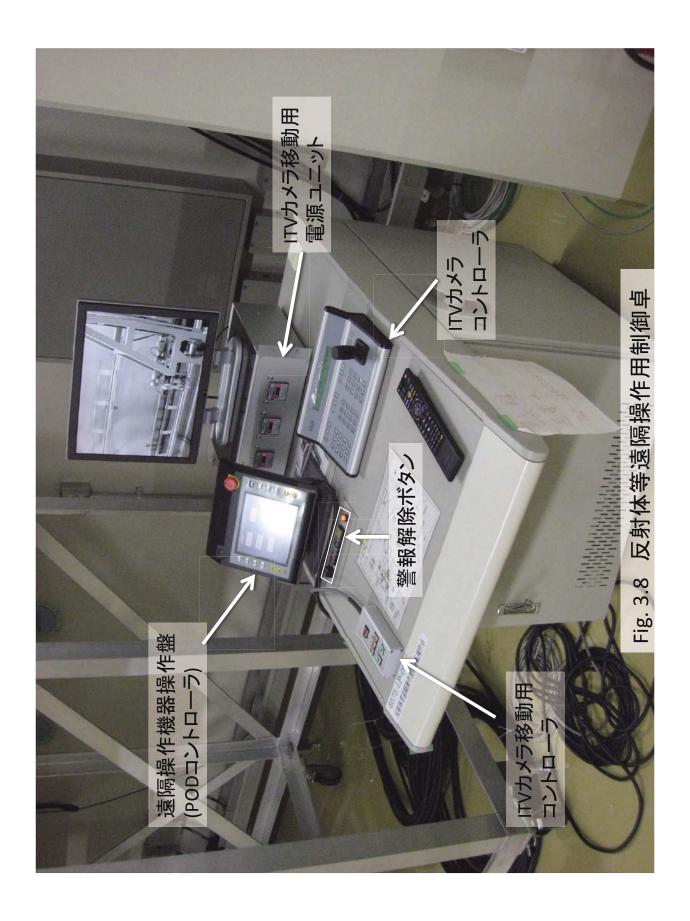
Fig. 3.3 MLF内立面東西図

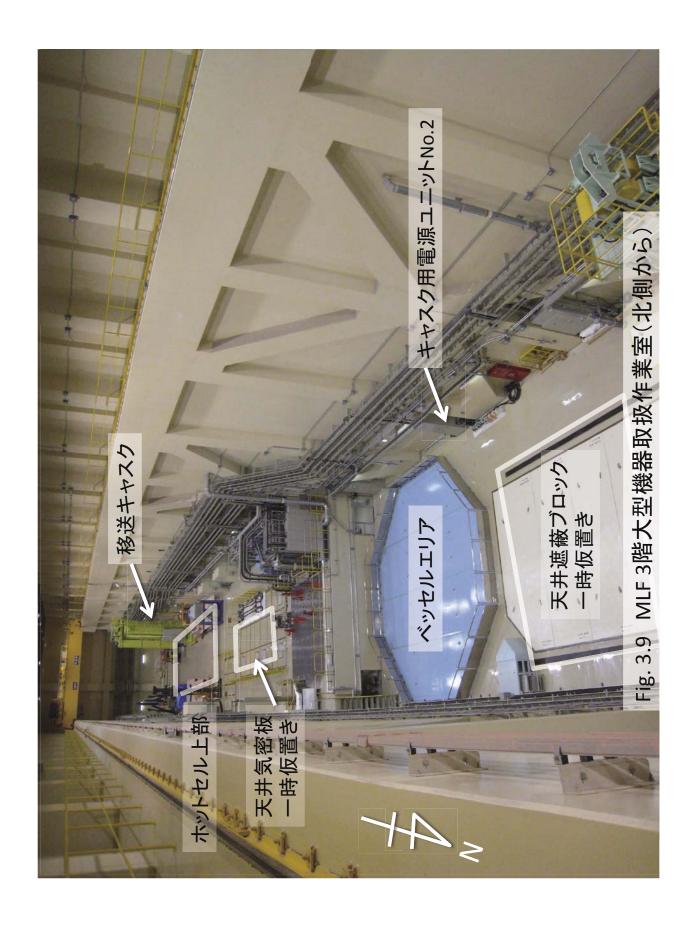


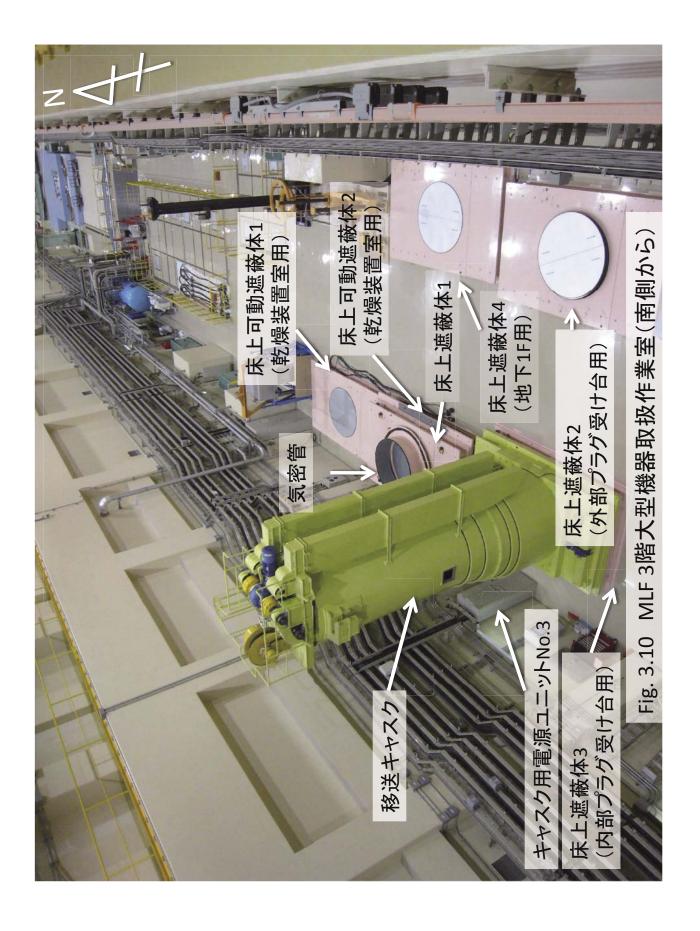












4. 遠隔操作機器

4.1セル外設備

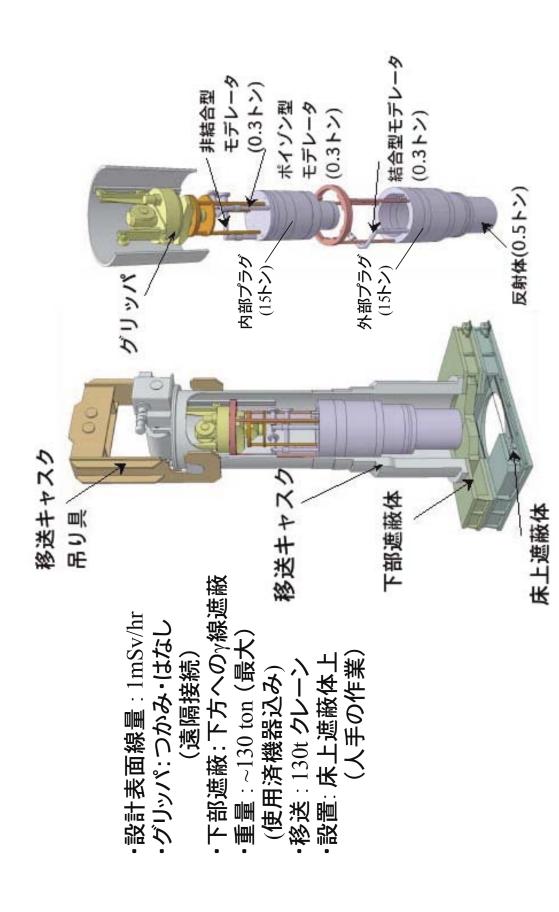
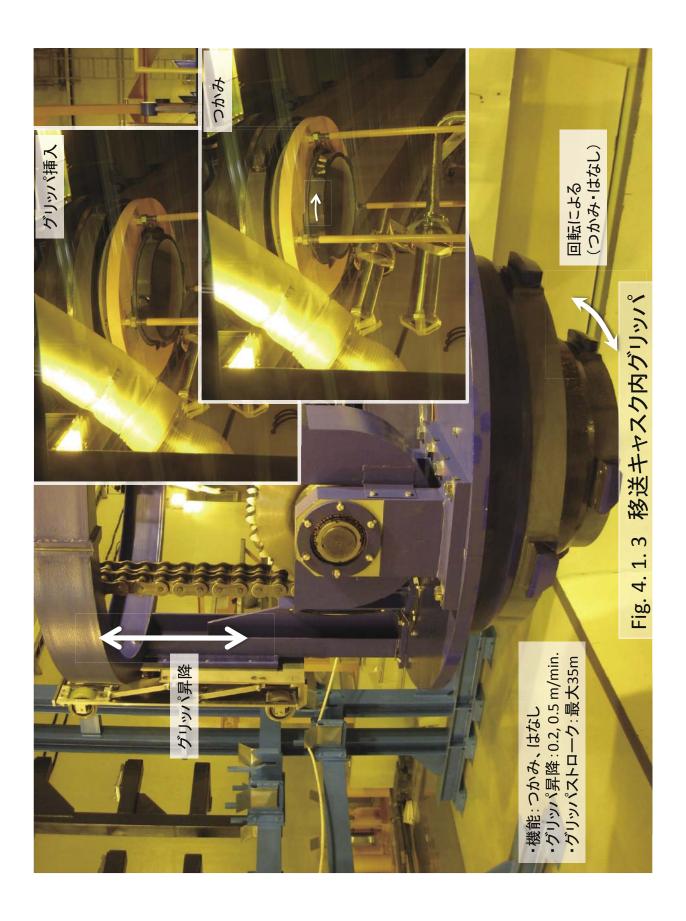


Fig. 4.1.1 移送キャスク概念





50cm 鉄(Fe) 0 遮蔽必要厚 Dose[microSh/h] 107 100 103 100 105 104 10% 101 0 20 40 60 80100120 Radial Distance [cm] 計算結果 -100 Mineson Min ・設計表面線量:1mSv/hrの遮蔽厚 300 200 0 100 Vertical Distance [cm] 100 計算条件 2年運転 (5000 時間×2) 7日冷却後 計算モデル 20 z [cm] 0 -50 -100 300 200 -100 鉄(Fe) \ [cm]

Fig. 4.1.4 移送キャスク設計遮蔽厚



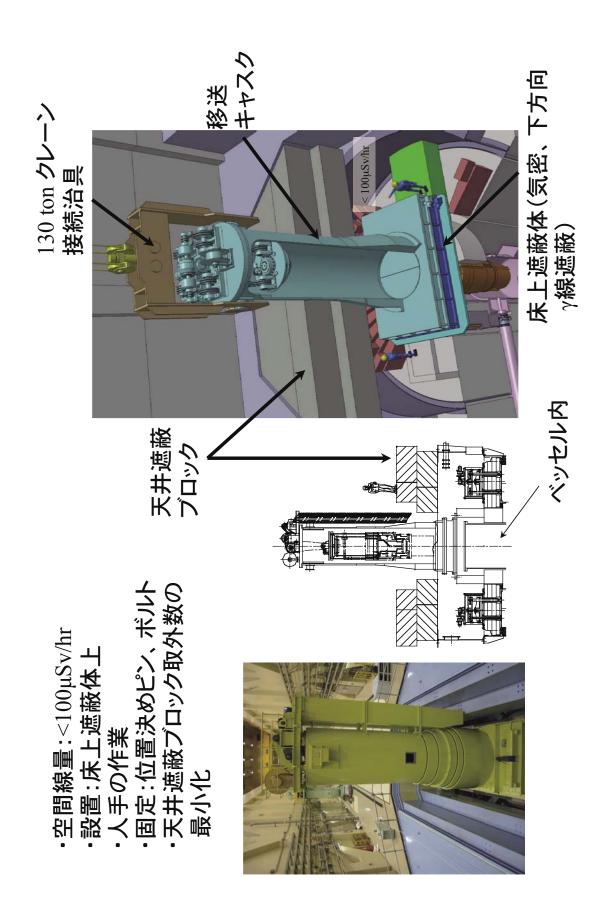
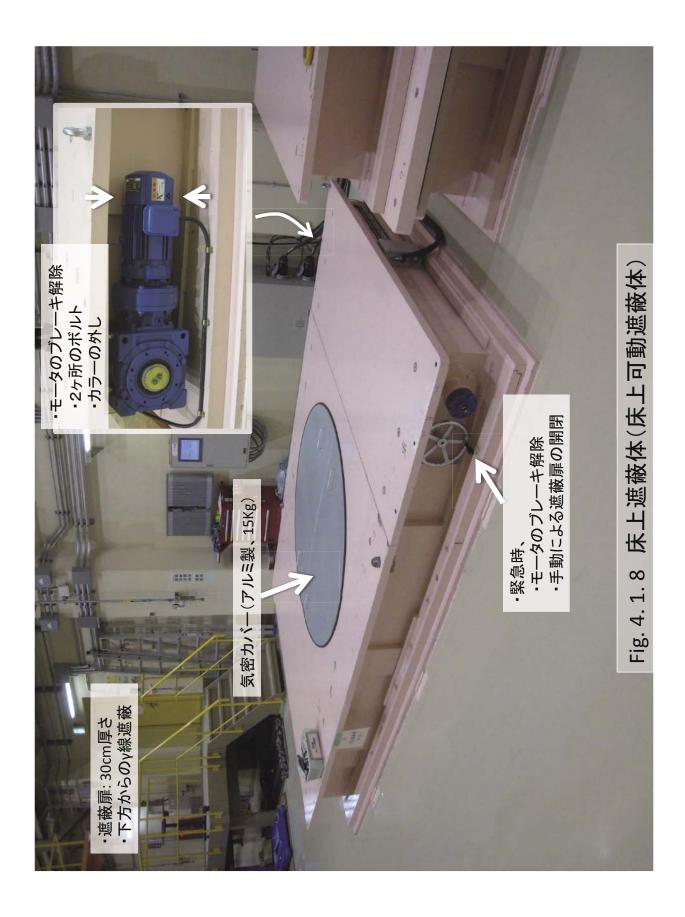


Fig. 4. 1. 6 移送キャスクの設置(ベッセル上部)

				J	着座判定	1		*実測値 Unit:mm
	(0.2 m/	長速 m/min.) (0.	(0.5 m/min.) 低速		着座*			荷重(t)*
床上遮蔽体1								
外部/内部プラグ	0	300	4790	0229	6792	6810	6820	33.20
内部プラグ	0	1000	3150	0229	6792	6810	6820	15.02
陽子ビーム窓プラグ	0	300	4140	6375	6394	6415	6695	13.06
無負荷	0	300	6095				6695	2.87
床上遮蔽体2								
外部/内部ブラグ	0	300	11910	14320	14350	14360	14370	
外部プラグ	0	300	11500	14320	14350	14360	14370	
内部プラグ	0	1000	10700	14320	14350	14360	14370	
無負荷	0	300	14000				16495	
床上遮蔽体3								
内部プラグ	0	1000	14780	15135	15153	15175	15185	
陽子ビーム窓プラグ	0	300	12400	15025	15042	15065	15065	
無負荷	0	300	14755				16810	
床上遮蔽体4								
陽子ビーム窓プラグ	0	300	23500	25690	25706	25730	25830	
無負荷	0	300	25410				31280	
床上可動遮蔽体1								
陽子ビーム窓プラグ	0	300	21700	25315	25331	25355	25635	
無負荷	0	300	25035				25495	
床上可動遮蔽体2								
外部/内部プラグ	0	300	23865	25445	25451	25485	25495	
無負荷	0	300	25035				25495	

Fig. 4.1.7 移送キャスク内グリッパ昇降ストローク値





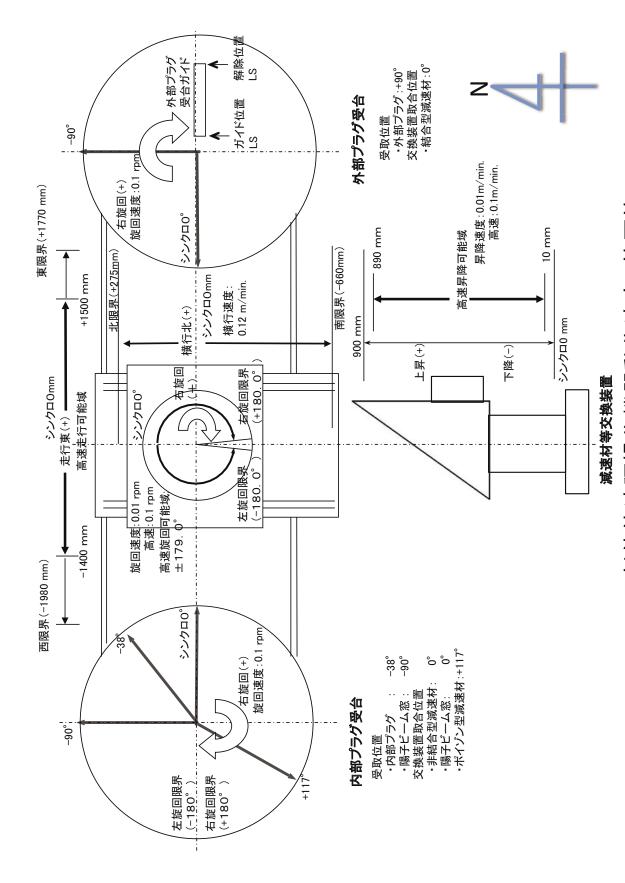


Fig. 4.2.2 反射体等遠隔操作機器動作速度、範囲等

御:シンクロ発信器 :移動量入力 ヨ的値手前、停止指令 ・低速):インバーター運転(減速材等交換装置:昇 速切替:停止精度確保のため、目的値前、低速切替 (*) (mm) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (mm) (*) (*) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (*) (*) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (*) (mm) (mm) (*) (*) (mm) (mm) (*) (*) (mm) (mm) (*) (*) (*) (*) (*) (*) (*) (*) (*) (*)	降-走行-旋回)			
- 位置後日 - 一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・一・	引御:シンクロ発信器 E:移動量入力 目的値手前、停止指令 恵・低速):インバーター運転(減速を 法。切替:停止精度確保のため、目的	値 旋回 (°) 交換装置 0.1° グ受け台 0.2° グ受け台 0.2°	高速駆動低速切替値 旋回 昇降 走行 横行減速材等交換装置 1° 10 50	Fig. 4.2.3 反射体等遠隔操作機器運転制御

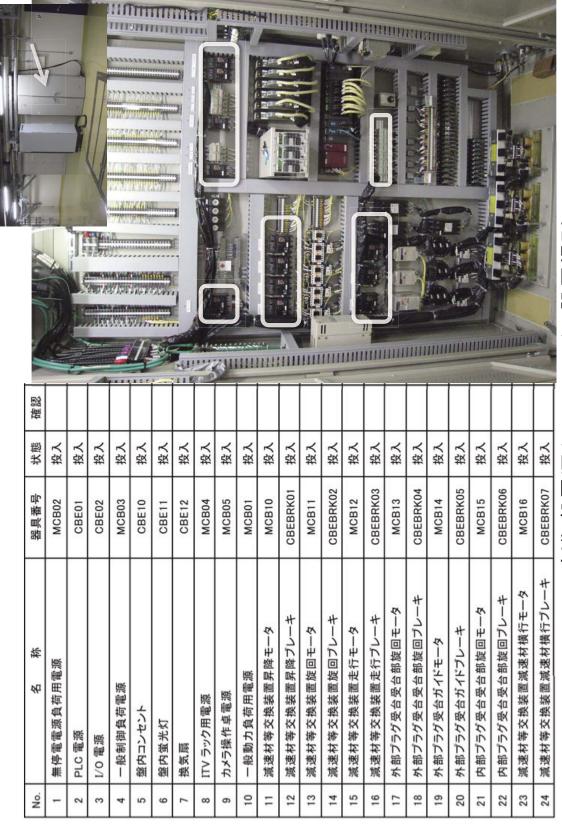
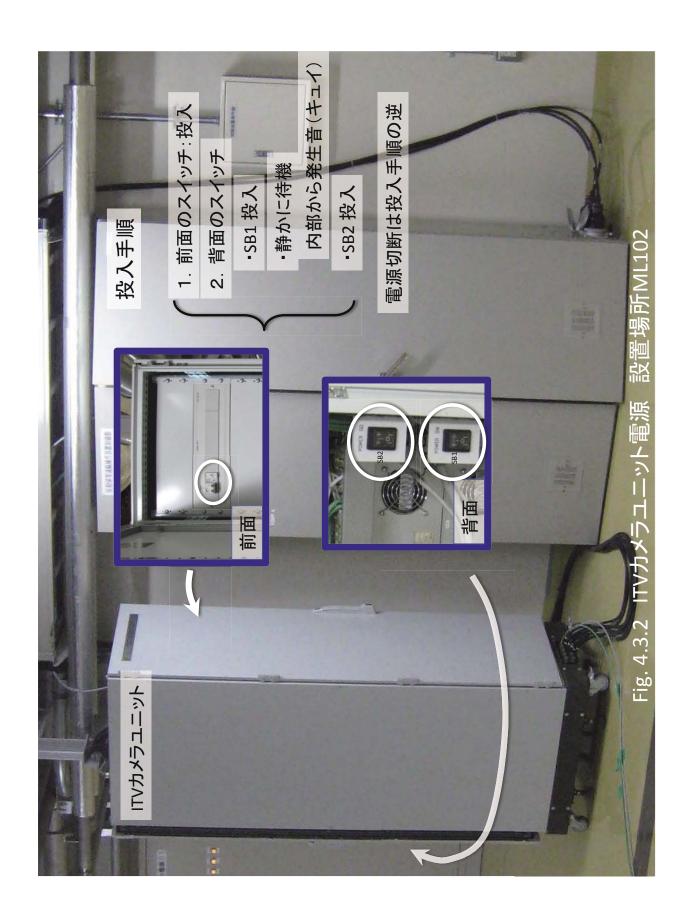
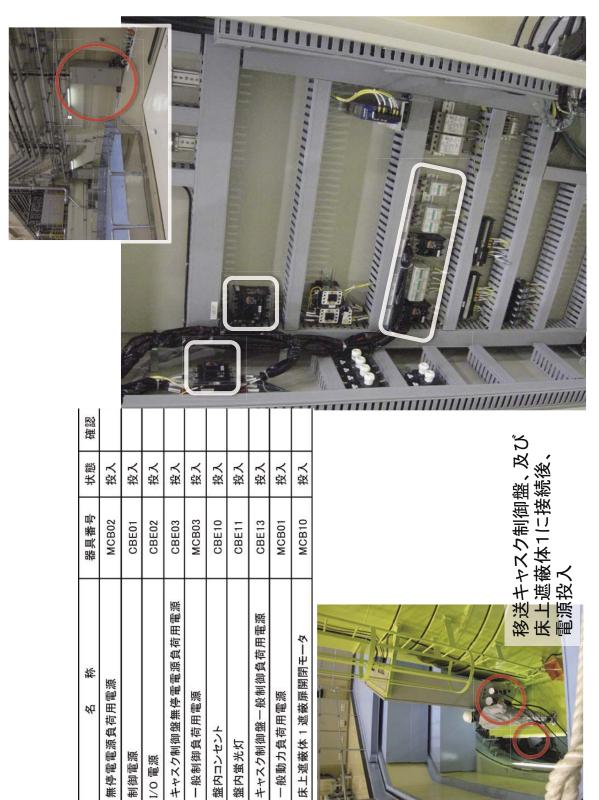


Fig. 4.3.1 制御盤電源(6575-LP-01) 設置場所ML102







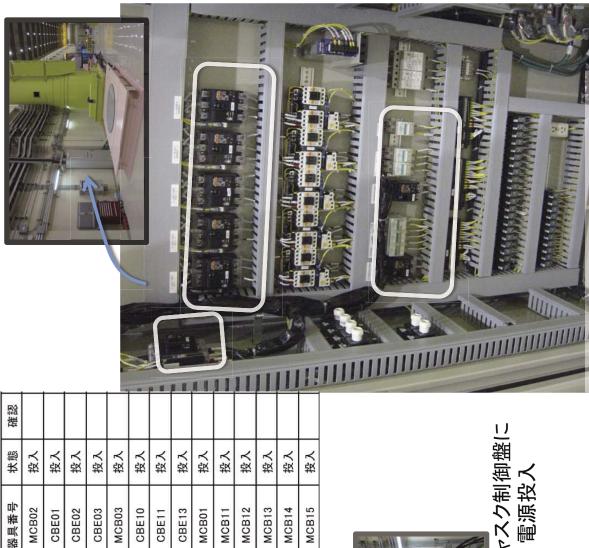
設置場所ML305 Fig. 4.3.4 キャスク用電源ユニットNo.2(6575-LP-03)

10

糊内コンセント 盤内蛍光灯

制御電源 1/0 電源

No.



移送キャスク制御盤に接続後、電源投入 *

移送キャスク制御盤電源 は常に入りのこと

設置場所ML305 キャスク用電源ユニットNo.3(6575-LP-04) Fig. 4.3.5

床上可動遮蔽体1遮蔽扉開閉モ--タ 床上可動遮蔽体 2 遮蔽扉開閉モータ

キャスク制御盤無停電電源負荷用電源

一般制御負荷用電源

盤内コンセント 盤内蛍光灯

称

名

Š.

無停電電源負荷用電源

制御電源 1/0 電源 キャスク制御盤一般制御負荷用電源

床上遮蔽体2遮蔽扉開閉モ一夕 床上遮蔽体3遮蔽扉開閉モ一夕 床上遮蔽体 4 遮蔽扉開閉モータ

9

Ξ 12 13 14

一般動力負荷用電源





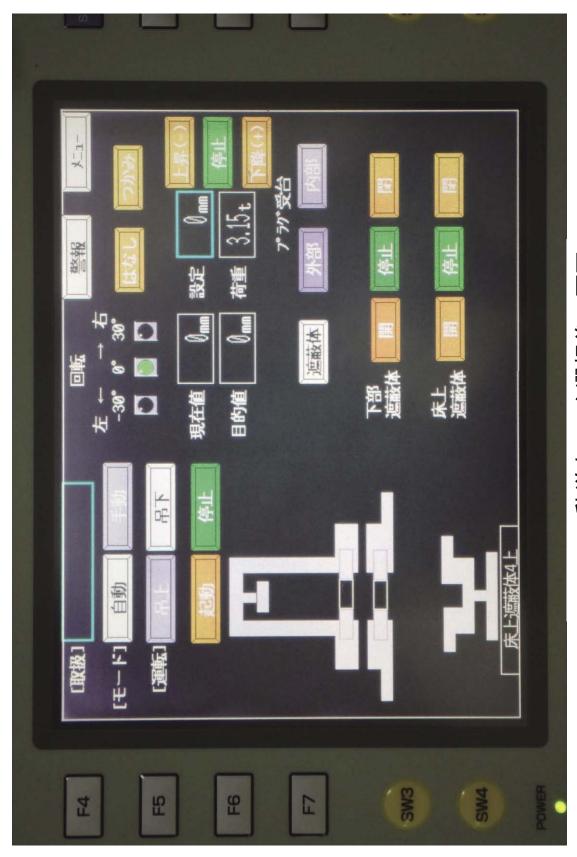


Fig. 4.4.2 移送キャスク選択後の画面

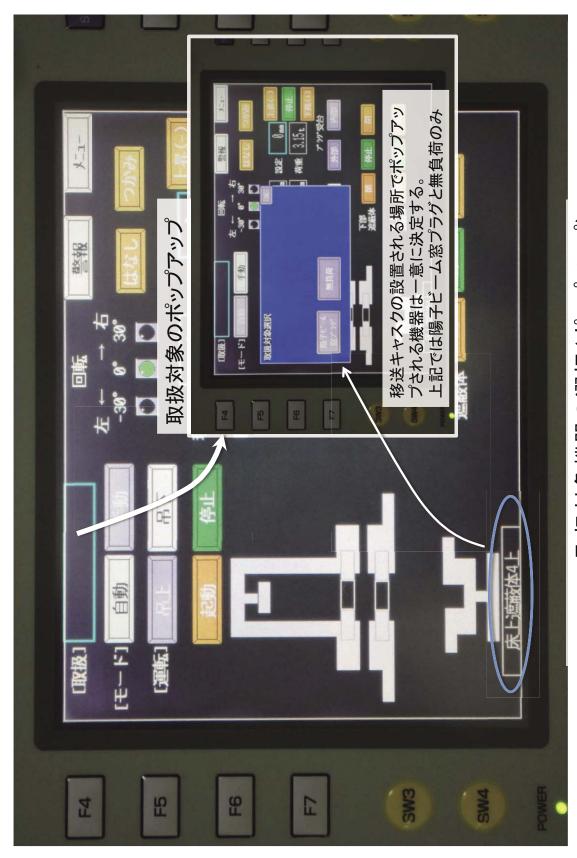


Fig. 4.4.3 取扱対象機器の選択(ポップアップ)

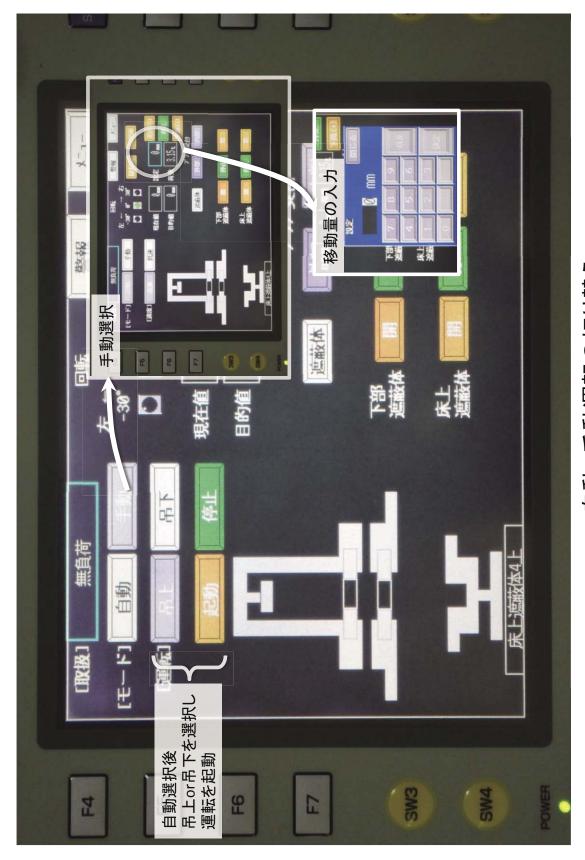
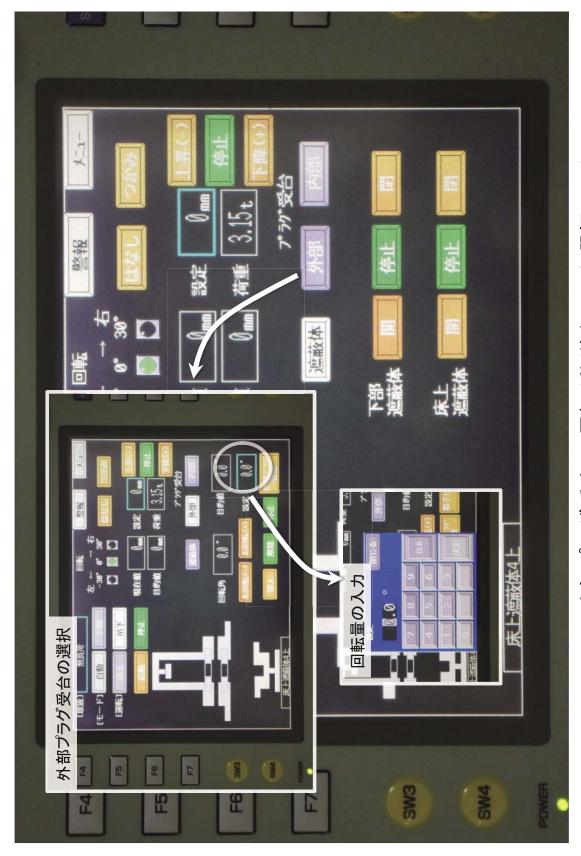
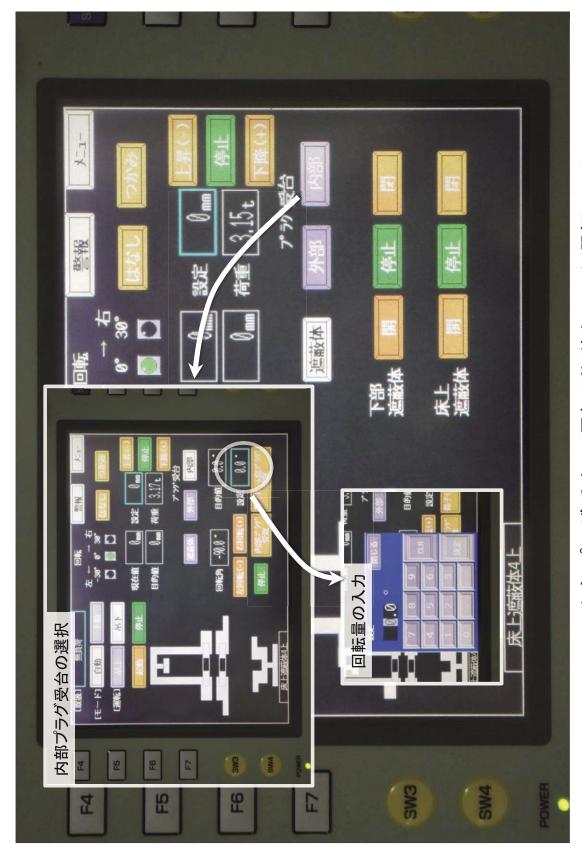


Fig. 4.4.4 自動-手動運転の切り替え



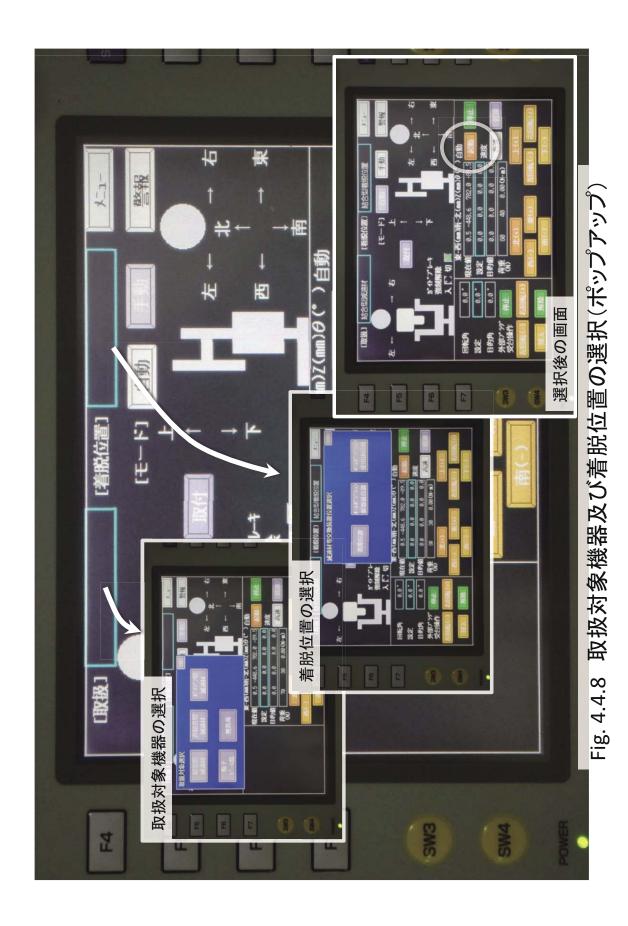
外部プラグ受台の運転(移送キャスク選択画面) Fig. 4.4.5



内部プラグ受台の運転(移送キャスク選択画面) Fig. 4.4.6



- 113 -



- 114 -

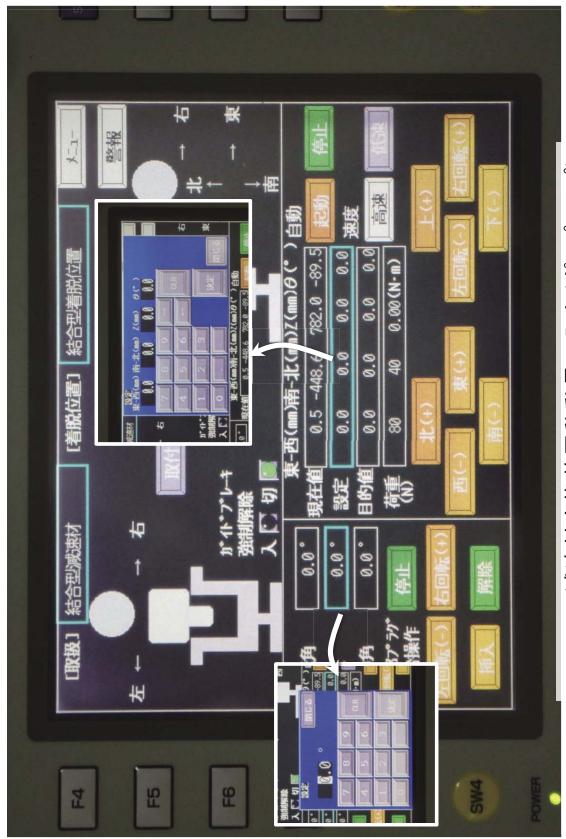


Fig. 4.4.9 減速材交換装置移動量の入力(ポップアップ)





操作为	対象 移送キャ	スク 運転モード 自動
手順	操作項目	操作内容及び機器動作
1	準備	(1) 各機器及び盤ケーブルの接続 (2) 各盤の電源投入 (3) 動作範囲内に障害物等の有無及び装置動作可の確認
2	操作機器選択	(1) メニュー画面 (2) 移送キャスクグリッパ選択
3	取扱対象選択	(1) [取扱] 押操 (2) 外部/内部プラグ同時、内部プラグ、外部プラグ単独、陽子ビ ーム窓プラグ、無負荷の必要項目選択
4	運転モード選 択	(1) [モード] 自動押操 (2) [モード] 自動白色(暗)点灯
5	運転選択	(1) [運転] 吊上、吊下必要項目選択 (2) [運転] <mark>吊上、吊下</mark> 選択項目の白色(暗)点灯
6	自動運転起動	(1) 起動押操(移送キャスク、床上遮蔽体自動運転開始) (2) 起動赤色(明)点灯 (3)床上遮蔽体遮蔽扉開動作、開赤色点灯 (4)上動作終了後、下部遮蔽体遮蔽扉開動作、開赤色点灯 (5)上動作終了後、グリッパ下降 (6)グリッパ着地後、つかみ、はなし動作 (7)つかみ、はなし動作後、グリッパ上昇 (8)上限到達後、下部遮蔽体遮蔽扉閉動作、開赤色点灯 (9)上動作終了後、床上遮蔽体遮蔽扉閉動作、開赤色点灯 (10)起動赤色(暗)点灯
7	停止操作	停止押操
8	非常停止	非常停止ボタン押操

Fig. 4.5.1 移送キャスク自動運転

操作	対象 移送キャ	スク、床上遮蔽体 運転モード 手動
手順	操作項目	操作内容及び機器動作
1	準備	(1) 各機器及び盤ケーブルの接続
		(2) 各盤の電源投入
		(3) 動作範囲内に障害物等の有無及び装置動作可の確認
2	操作機器選択	(1) メニュー画面
	4	(2) 移送キャスクグリッパ選択
3	取扱対象選択	(1) [取扱] 押操
		(2) 外部/内部プラグ同時、内部プラグ、外部プラグ単独、陽子ビ
		ーム窓プラグ、無負荷の必要項目選択
4	運転モード選	(1) [モード] 自動押操
	択	(2) [モード] <mark>自動</mark> 白色(暗)点灯
5	床上遮蔽体	(1) 遮蔽体選択
	開閉動作	(2) 下部遮蔽体、床上遮蔽体の操作画面表示
		(3) 床上遮蔽体開、閉選択(床上遮蔽体動作開始)
		※移送キャスク下、床上遮蔽体のみ操作可、また、下部遮蔽
		体遮蔽扉閉状態のみ床上遮蔽体遮蔽扉閉動作可
		(4) 床上遮蔽体遮蔽扉開閉動作
		(5) 動作中、床上遮蔽体開、閉赤色点灯
6	下部遮蔽体	(1) 遮蔽体選択
	開閉動作	(2) 下部遮蔽体、床上遮蔽体操作画面表示
		(3) 下部遮蔽体 <mark>開</mark> または <mark>閉</mark> 押操(下部遮蔽体動作開始)
		※移送キャスク下、床上遮蔽体開状態のみ下部遮蔽体遮蔽扉
		開動作可、また、グリッパ上限位置のみ下部遮蔽体遮蔽扉
		閉動作可
		(4) 下部遮蔽体遮蔽扉開閉動作
		(5) 動作中、下部遮蔽体 <mark>開、閉</mark> 赤色点灯
7	グリッパ	(1) ストローク設定、テンキー表示、ストローク(相対値)入力
	定ストローク	(2) 上昇または下降押操 (グリッパ昇降動作開始)
	昇降動作	※下部遮蔽体開状態のみ、グリッパ下降動作可
		(3) グリッパ昇降(上限値到達時、自動停止)
-		(4) 動作中、グリッパ上昇、下降赤色点灯
8	グリッパ	(1) 上昇または下降押操 (グリッパ昇降動作開始)
	インチング	(2) 押操間のみグリッパ昇降(上限値、下限値到達時、自動停止)
	昇降動作	※下部遮蔽体開状態のみグリッパ下降動作可
	<i>₩</i> 11°	(3) 動作中、グリッパ上昇、下降赤色点灯
9	グリッパ	(1) つかみ、はなし押操(グリッパ旋回動作開始)
	つかみ・はなし	※グリッパ着地状態、床上遮蔽体、下部遮蔽体開状態のみ、
	動作	つかみ・はなし動作可、[取扱対象]無負荷選択時、つかみ・
		はなし動作不可(2)動作中、グリッパつかみ、はなし赤色点灯
10	停止操作	(1) 停止押操
1000000	The state of the s	
11	非常停止	(1) 非常停止ボタン押操 ::_ 4 F つ ギタ`ギ ナ レ フ わ ギ まいまま

Fig. 4.5.2 移送キャスク手動運転

操作	対象 減速材等交	を換装置 運転モード 自動
手順	操作項目	操作内容及び機器動作
1	準備	(1) 各機器及び盤ケーブルの接続
		(2) 各盤の電源投入
		(3) 動作範囲内に障害物等の有無及び装置動作可の確認
2	操作機器選択	(1) メニュー画面
		(2) 減速材等交換装置選択
3	取扱対象選択	(1) [取扱] 押操
		(2) 結合型減速材、非結合型減速材、ポイゾン型減速材、陽子ビ
		ーム窓の必要項目選択
4	着脱位置選択	(1) [着脱位置] 押操、着脱位置、H.P. (新取扱)、H.P. (使用済)
		の必要項目選択
- N2	Vertiled and A Same	(2) [着脱位置]選択項目表示
5	運転モード選	(1) [モード] 自動押操
6	択 自動運転起動	(2) [モード] <mark>自動</mark> 白色(暗)点灯 (1) <mark>起動</mark> 押操(減速材等交換装置動作開始)
0	日期連転起期	
		(2) <mark>起動</mark> 赤色(明)点灯 ・[取扱対象] 結合型減速材、[着脱位置] 着脱位置選択:
		外部プラグ受台→旋回、結合型減速材取付部西位置停止、減速
		材等交換装置→外部プラグ受台接近停止
		・[取扱対象]非結合型減速材、ポイゾン型減速材、陽子ビーム窓、
		[着脱位置]着脱位置選択:
		内部プラグ→旋回、取付部東位置停止、減速材等交換装置→内
		部プラグ受台接近停止
		• [着脱位置]H. P. (新取扱) 選択:
		減速材等交換装置→ホームポジション移動、減速材等交換用ア
		タッチメント取付部東向停止
		・ [着脱位置]H.P. (使用済) 選択:
		減速材等交換装置→ホームポジション移動、減速材等交換用ア
		タッチメント取付部西向停止
		3[自動] <mark>起動</mark> 赤色(暗)点灯
7	停止操作	停止押操
- 8	非常停止	非常停止ボタン押操

Fig. 4.5.3 減速材等交換装置自動運転

操作	対象	減速材料	等交換装置	運転モード	手動	
手順	操作	乍項目		操作	乍内容及	び機器動作
1	準備		(1) 各機器	及び盤ケーブ	ルの接絡	売
			(2) 各盤の	電源投入		
			(3) 動作範	囲内に障害物	等の有無	無及び装置動作可の確認
2	操作榜	後器選択	(1) メニュ	一画面		
			(2) 減速材	等交換装置選	択	
3	取扱対	付象選択	(1) [取扱]	押操		
				域速材、非結の必要項目選	ELEWITE I	慰材、ポイゾン型減速材、陽子ビ
4	運転日	モード選	(1) [モート	County Washington County		
	択		(2) [モート	三手動 白色 ((暗)点:	灯
5	運転返	速度選択	(1)速度高速	越、低速項目:	選択	
			(2) 高速、位	氐速の項目選	択、白色	色(暗)点灯
			※高速移	動範囲のみ高	速動作	
6-1	ストロ	ューク	(1) ストロ	ーク設定、テ	ンキー記	長示、ストローク(相対値)入力
	動作		※入力値:	東-西(mm)、南	-北 (mm)	、上-下 (mm)、左、右旋回 (°)
			(2)動作方向]選択:	上(+)	上(+)
				西(-)	東 有 (−)	(+) 左回転(-) 右回転(+) 下(-)
			※ストロー	ク設定無入力	時、動作	作方向ボタン押操間、インチング
			動作可			
			(3) 動作中	、動作方向選	択ボタン	/の赤色(明)点灯
6-2	インヲ	トング	(2)動作方向]選択:	上(+)	上(+)
	動作			西 (-)	東	左回転(-) 右回転(+)
				P	有(一)	下(-)
			CHOCKERS AND REAL AVAILABLE AVAILABL	タン押操間、	Brown Schwarzen	SUPPLY SON. MANAGEMENTS. NEW HORSE STORY
	BORES VOUS AND	SH 9004		、動作方向選	択ボタン	/の赤色(明)点灯
7	停止掉	操作	停止押操			
8	非常傳	亭止.	非常停止ボ	タン押操		

Fig. 4.5.4 減速材等交換装置手動運転

操作	18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-1	部プラクラグ受台	又は内部 運転モード 自動	
手順	操作工	頁目	操作内容及び機器動作	1
1	準備		1) 各機器及び盤ケーブルの接続	
			2) 各盤の電源投入	
			3) 動作範囲内に障害物等の有無及び装置頭	動作可の確認
2	操作機器	骨選択	1) メニュー画面	
			2) 移送キャスクグリッパ選択	
3-1	外部プ	ラグ受	1) プラグ受台 外部選択	
	台操作の	り場合	2) プラグ受台 外部白色点灯	
	定位置加	定回	1) 外部プラグ受取位置押操	
			2)外部プラグ受取角度旋回	
3-2	内部プ	ラグ受	1) プラグ受台 内部選択	
	台操作の	り場合	2) プラグ受台 内部白色点灯	
	定位置加	定回 1	1) 内部プラグ受取位置押操	
			2)内部プラグ受取角度旋回	
	定位置加	定回 2	1) 陽子ビーム窓プラグ受取位置押操	
	4		2)陽子ビーム窓プラグ受取角度旋回	
4	停止操作	乍	停止押操	
5	非常停止	Ŀ	卡常停止ボタン押操	

Fig. 4.5.5 外部または内部プラグ受台自動運転

-操作機器選択"移送キャスクグリッパ"の場合-

操作	対象 外部	プラグ又は内部 プラグ受台 運転モード 手動 1
手順	操作項	9700 Per 197 198 198 198 198 198 198 198 198 198 198
1	準備	(1) 各機器及び盤ケーブルの接続
		(2) 各盤の電源投入
		(3) 動作範囲内に障害物等の有無及び装置動作可の確認
2	操作機器	選択 (1) メニュー画面
		(2) 移送キャスクグリッパ選択
		(3) プラグ受台 外部 または外部 選択
		(4) プラグ受台 外部、内部白色点灯
3-1	定角度旋	
		(2) <mark>左回転</mark> または <mark>右回転</mark> 押操(旋回動作開始)
		(3) 設定角度旋回
		(4) 動作中、左回転、右回転赤色点灯
3-2	インチン	
	動作	(2) 押操間、旋回動作
	V-05 - 00 - 10-10	(3) 動作中、左回転、右回転赤色点灯
4	ガイド	(1) <mark>ガイド</mark> 押操
		(2) ガイド解除位置、解除押操
	38 5	*:結合型減速材の挿入用で <mark>外部プラグ受台操作</mark> のみ動作
5	停止操作	停止押操
6	非常停止	非常停止ボタン押操

Fig. 4.5.6 外部または内部プラグ受台手動運転1

-操作機器選択"減速材等交換装置"の場合-

操作	対象	外部プ	ラグ受台 運転モード 手動2
手順	操作	項目	操作内容及び機器動作
1	準備		(1) 各機器及び盤ケーブルの接続
			(2) 各盤の電源投入
			(3) 動作範囲内に障害物等の有無及び装置動作可の確認
2	操作機	器選択	(1) メニュー画面
			(2) 減速材等交換装置選択
			(3) プラグ受台 外部 または外部 選択
			(4) プラグ受台 外部、内部白色点灯
3-1	定角度	旋回	(1) 回転角設定、テンキー表示、回転角入力(相対値)
			(2) 左回転または右回転押操(旋回動作開始)
			(3) 設定角度旋回
			(4) 動作中、左回転、右回転赤色点灯
3-2	インチ	ング	(1) 左回転または右回転押操(旋回動作)
	動作		(2) 押操間、旋回動作
			(3) 動作中、左回転、右回転赤色点灯
4	ガイド	•	(1) ガイド押操
			(2) ガイド解除位置、解除押操
			*:結合型減速材の挿入用で外部プラグ受台操作のみ動作
5	停止操	作	停止押操
6	非常停	止	非常停止ボタン押操

Fig. 4.5.7 外部または内部プラグ受台手動運転2

目的地	外部プラグ受台		内部プラグ受台					減速	減速材等交換装置	記					
	旋回(。)		旋回(。)		走行(mm)		昇降(mm)		横行(mm)		旋回(。)		横行(mm)		昇降(mm)
ホームポジション(使用済み)	ı	ı	1	1	0	1	900	1	-400	1	06-	1	275	1	ı
ホームポジション(新規取扱)	I	- 1	1	1	0	1	900	1	-400	1	06	1	275	1	ı
結合型着脱	0	1	1	1	150	1	900	1	-400	1	9.68	1	-607	1	750
非結合型着脱	ı	1	0	1	009-	1	900	1	-400	1	06-	1	-625	1	800
ポイゾン型着脱	ı	1	117	1	009-	1	900	1	-400	1	06-	1	-597	1	962
陽子ビーム窓着脱	ı	1	0.7	1	009-	1	900	1	-400	1	06-	1	-455.5	1	782
外部プラグ受取位置	06*	- 1	1	*新	*新規反射体受取は、-9。戻[対は、	、-9。 戻し								
内部プラグ受取位置	I	1	-38							*	1				
陽子ビーム窓受取位置	I	1	06-					V	Ti			ya.	0		4

Fig. 4.6.1 自動運転位置データ

4	
	結合型モデレータ取外

						<u> </u>	茶	Γ
			+			外部の	グ受台	
	1 1 1 1		-			内部プ		
粘何型 サトフータ 取外	- 夕					減速村	減速材等交換装置 MD	
	1	THE REAL PROPERTY.	1			20tクレーン	ーン 20tC	0
						パワー	パワーマニプレータ PM	
手順 運転	操作		紫圖	目的値	試験変更値	備考		
1自動	ホームポジション(使用済み)	用済み)					東-西	走行(mm)
		旋回(。)	ОР	I			南一北	横行(mm)
		旋回(°)	IP	_			θ	加回(。)
		走行(mm)	MD	0			Z	昇降(mm)
		是降(mm)	MD	006				
		旋回(。)	MD	06-				
		横行(mm)	MD	275				
2クレーン操作	アタッチメントの装着		20tC					
3自動	結合型着脱							
		旋回(。)	ОР	0				
		旋回(°)	IP	_				
		走行(mm)	MD	150				
		旋回(°)	MD	9.68	89.4			
		横行(mm)	MD	-607	-608.1			
		昇降(mm)	MD	750				
4年動	走行東		MD			アタッチメントピンが配管受穴まで	配管受穴まで	
5手動	走行東		MD	1727+ a		走行荷重:400~430N目標	0N目標	
6手動	昇降上(高速)		MD	780				
7手動	昇降上(低速)		MD	807.8		昇降荷重:10.5N目標	眦	
8パワマニ操作	落下防止ボルトの締結	粘	PM					
9パワマニ操作	配管との接続ボルトの解除	の解除	PM					
10手動	昇降下(低速)		MD	200				
11手動	昇降下(高速)		MD	200				
12手動	走行西		MD					

結合型モデレータ取外、運転位置データ Fig. 4.6.2

						装置名称	留
					•	外部ブラグ受台	ОР
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	₩ Hel / W		日か店	手条亦再估	年升	内部プラグ受台はませんがおける	<u>e</u> 5
	11米		日刊	叫崇冬大恒	量 か	减迷付弄父撰叛直	MD
1自動	ホームポジション(新規取扱)					204クレーン	20tC
	はい。	90	ı			パワーマニプレータ	PM
	が回り	5 5				東-西 走	走行(mm)
	く、一世十	4 5	c			南-北 構	横行(mm)
	压(mm)	MD	0			0	い回帰
	月	MD	900				
	(。)	MD	06				(IIIII) th
	横行(mm)	MD	275				
2クレーン操作	減速材付きアタッチメントの装着						
3自動	結合型着脱						
	旋回(。)	OP	0				
	旋回(。)	Ы	ı				
	走行(mm)	MD	150				
	旋回(。)	MD	89.6	89.4			
	横行(mm)	MD	-607	-608.1			
	(mm) 樹苗	MD	750				
4手動	昇降下(高速)	MD	200				
5手動	ガイド位置移動	MD					
6手動	走行東	MD	1727+ α	1728.4	ガイド線の一致確認		
7手動	走行東	MD			走行荷重:400~430N	Z	
8手動	ガイド解除	MD					
9手動	昇降上(高速)	MD	320	386.1	反射体底面に接触		
10手動	昇降上(低速)	MD	490		中断接続ジグがプラグに接触	グに接触	
11手動	昇降上(低速)	MD	790		反射体下部ピン挿入		
12手動	昇降上(低速)	MD	807.8	807.8	昇降荷重:10.5N		
13パワマニ操作	ボルト接続	PM			反射体下部および側部接続ジグ	部接続ジグ	
14パワマニ操作	ボルト接続解除	PM			落下防止ボルト解除		
15手動	昇降下(低速)	MD	750				
16手動	走行西	MD					

Fig. 4.6.3 結合型モデレータ取付、運転位置データ

非結合型モデレータ取外

		de			揪	装置名称	M
					本	外部プラグ受台の	OP
- 川 H H 人 + % H					区	内部プラグ受台 IP	ď
F 粘 に 型 トレフータ 取	/一/女型分一/	4			鬞	減速材等交換装置	MD
		明 市			20		20tC
		A			<u>~</u>	パワーマニプレータ P	PM
手順 運転	操作	※	目的値	試験変更値	備考		
1自動	ホームポジション(使用済み)					東-西	走行(mm)
	(。)	ОР	ı			南-北	横行(mm)
	旋回(。)	П	ı			θ	旋回(。)
	走行(mm)	MD	0			Z	异降(mm)
	异降(mm)	MD	900				
	旋回(。)	MD	06-				
	横行(mm)	MD	275				
2クレーン操作	アタッチメントの装着	20tC					
3自動	非結合型着脱						
	旋回(。)	OP	_				
	旋回(。)	IP	0				
	走行(mm)	MD	009-				
	旋回(。)	MD	06-				
	横行(mm)	MD	-625				
	(mm) 替	MD	800				
4手動	走行西	MD			アタッチメントピ	アタッチメントピンが配管受穴まで	
5手動	走行西	MD	$-1879-\alpha$		走行荷重:590~650N目標	·650N目標	
6手動	昇降上(高速)	MD	825				
7手動	昇降上(低速)	MD	851.9	851	昇降荷重:10.5N目標	目標	
8パワマニ操作	落下防止ボルトの締結	PM					
9パワマニ操作	配管との接続ボルトの解除	PM					
10手動	昇降上(低速)	MD		852.1	1mm上昇、引抜		
11手動	走行東	MD					

非結合型モデレータ取外、運転位置データ Fig. 4.6.4

非結合型モデレータ取付

MD MD PM

装置名称 外部プラグ受台 内部プラグ受台 減速材等交換装置 20tクレーン パワーマニブレータ

手順 運転	操作	※	目的値	試験変更値	備考		
1自動	ホームポジション(新規取扱)				東-西		走行(mm)
	旋回(。)	OP	I		1 1 − 単		横行(mm)
	旋回(。)	IP	I		θ	¥	旋回(。)
	走行(mm)	MD	0		N	<u>m</u> 生	昇降(mm)
	(mm) 樹苗	MD	006				
	旋回(。)	MD	06				
	横行(mm)	MD	275				
2クレーン操作	アタッチメントの装着	20tC					
3自動	非結合型着脱						
	旋回(。)	ОР	ı				
	旋回(。)	<u>₽</u>	0				
	走行(mm)	MD	009-				
	旋回(。)	MD	06-				
	横行(mm)	MD	-625				
	异降(mm)	MD	800				
4	昇降上(高速)	MD	851.9	852.1			
5手動	走行西	MD	-1795		プラグ溝に接触(900~1000N)		
6手動	走行西	MD	$-1879-\alpha$		走行荷重: 590~650N目標		
7手動	昇降下(低速)	MD		851	1mm下降、取付		
8パワマニ操作	l	PM					
9パワマニ操作	落下防止ボルトの解除	ЬМ					
10手動	昇降下(低速)	MD	800		アタッチメントピンの解除		
11手動	走行東	MD					

Fig. 4.6.5 非結合型モデレータ取付、運転位置データ

1
女
说
1 K
کٰ
仆
料币
7
2
扩

B B B B

装置名称 外部プラグ受台 内部プラグ受台 減速材等交換装置

		走行(mm)	横行(mm)	旋回(。)	昇降(mm)																			
20tクレーン 20tC パワーマニブレータ PM		東-西	第一本	θ	Z												アタッチメントピンが配管受穴まで	走行荷重:450~480N目標		昇降荷重:10.5N目標			1、引抜	
	備考																アタッチン	走行荷重		昇降荷重			1mm上昇、引抜	
	試験変更値																			849.7			850.7	
	目的値		ı	ı	0	006	-90	275			ı	117	009-	06-	-597	796		$-1878-\alpha$	825	850.7				
	装置		OP	Ы	MD	MD	MD	MD	20tC		OP	₽	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	PM	PM	MD	MD
) H.	操作	ホームポジション(使用済み)	旋回(。)	旋回(。)	走行(mm)	是一个的。 是一个的,我们就是一个的。 是一个的,我们就是一个的。	旋回(°)	横行(mm)	アタッチメントの装着	ポイゾン型着脱	旋回(。)	旋回(。)	走行(mm)	旋回(°)	横行(mm)	异降(mm)	走行西	走行西	昇降上(高速)	昇降上(低速)	落下防止ボルトの締結	配管との接続ボルトの解除	昇降上(低速)	走行東
	手順 運転	1自動							2クレーン操作	3自動							4手動	5手動	6手動	7手動	8パワマニ操作	9パワマニ操作	10手動	11手動

Fig. 4.6.6 ポイゾン型モデレータ取外、運転位置データ

ポイゾン型モデレータ取付

MD MD PM

装置名称 外部プラグ受台 内部プラグ受台 減速材等交換装置 20tクレーン

パワーマニプレータ

H 開	品 <i>作</i>	批	日外店	計略亦再估	4 世	
	1.米	茶画	日記月		三角	
1自動	ホームポジション(新規取扱)				東-西	走行(mm)
	(。) 脚	ОР	-		北− 崋	横行(mm)
	旋回(。)	Ы	-		θ	旋回(。)
	走行(mm)	MD	0		Z	昇降(mm)
	异降 (mm)	MD	900			
	旋回(。)	MD	06			
	横行(mm)	MD	275			
2/クレーン操作	アタッチメントの装着	20tC				
3自動	ポイゾン型着脱					
	(。) 學	ОР	ı			
	旋回(。)	IP	117			
	走行 (mm)	MD	009–			
	旋回(。)	MD	06-			
	横行(mm)	MD	-597			
	异降 (mm)	MD	796			
4	昇降上(高速)	MD	850.7			
5手動	走行西	MD	$-1878-\alpha$		走行荷重: 500~600N目標	
6手動	昇降下(低速)	MD		850.2	0.5mm下降、取付	
7パワマニ操作	配管との接続ボルトの接続	ΡM				
8パワマニ操作	落下防止ボルトの解除	ΡM				
9手動	昇降下(低速)	MD	96/		アタッチメントピンの解除	
10手動	走行東	MD				

Fig. 4.6.7 ポイゾン型モデレータ取付、運転位置データ

							走行(mm)	横行(mm)	旋回(。)	昇降(mm)																			
盤	ОР	₫	MD	20tC	PM		町	쓨																رځا					
装置名称	外部プラグ受台	内部プラグ受台	減速材等交換装置	205クフーン	パワーマニプレータ		東-西	南-北	θ	Z														アタッチメント受けが相手方まで	走行荷重:1100N目標	1号機 2号機 2010, 3,16 昇降荷重:14~15N目標			
						備考																		アタツ	走行春	1号機 2号機 昇降荷			
						試験変更値																	-450		$-1966.1-\alpha$	810.9			
						目的値		I	I	0	006	06-	275			-	0.7	009-	06–	-455.5	782	-89.8			$-1970-\alpha$	812.2			
						装置		OP	IP	MD	MD	MD	MD	20tC		OP	IP	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	PM	PM	MD
			9			操作	ホームポジション(使用済み)	旋回(。)	旋回(。)	走行(mm)	a a b a b a b a b a b a b a b a b a b a	旋回(。)	横行(mm)	アタッチメントの装着	陽子ビーム窓着脱	旋回(。)	旋回(。)	走行(mm)	旋回(。)	横行(mm)	异降(mm)	旋回左	横行北	走行西	走行西	昇降上(低速)	落下防止ボルトの締結	配管との接続ボルトの解除	走行東
			場子に一ム窓取外			手順 運転 操	1自動 木							2クレーン操作 ア	3自動 陽							4手動 旋	5手動 横	6手動 走	7手動 走	8手動	9パワマニ操作 落	10パワマニ操作 配	11手動 走

陽子ビーム窓取外、運転位置データ Fig. 4.6.8

陽子ビーム窓取付

MD MD PM

装置名称 外部プラグ受台 内部プラグ受台 減速材等交換装置 20tクレーン パワーマニブレータ

手順 運転	操作	装置	目的値	試験変更値	備考	
1自動	ホームポジション(新規取扱)				東-西	雪 走行(mm)
	旋回(。)	OP	-		南-北	L 横行(mm)
	旋回(。)	IP	-		θ	旋回(。)
	走行(mm)	MD	0		Z	計
	异路(mm)	MD	900			
	旋回(。)	MD	06			
	横行(mm)	MD	275			
2クレーン操作	アタッチメントの装着	20tC				
3自動	陽子ビーム窓着脱					
	旋回(。)	OP	-			
	旋回(。)	IP	0.7			
	走行(mm)	MD	009-			
	旋回(。)	MD	06-			
	横行(mm)	MD	-455.5			
	异降(mm)	MD	782			
4手動	旋回左	MD	8.68-			
2	横行北	MD		-450		
9	昇降上(高速)	MD	812.2	810.9		
7手動	走行西	MD	$-1970-\alpha$	$-1970.2-\alpha$	走行荷重:1100N目標	
8パワマニ操作	8パワマニ操作 配管との接続ボルトの接続	PM				
9パワマニ操作	9パワマニ操作 落下防止ボルトの解除	ΡM				
10手動	昇降下(低速)	MD	782		アタッチメント受けの解除	
11手動	走行東	MD				

Fig. 4.6.9 陽子ビーム窓取付、運転位置データ

1522.0

-796.9 -894.0 -893.0 -893.6

259.9 497.8

V軸 人

世 大

P/M位置

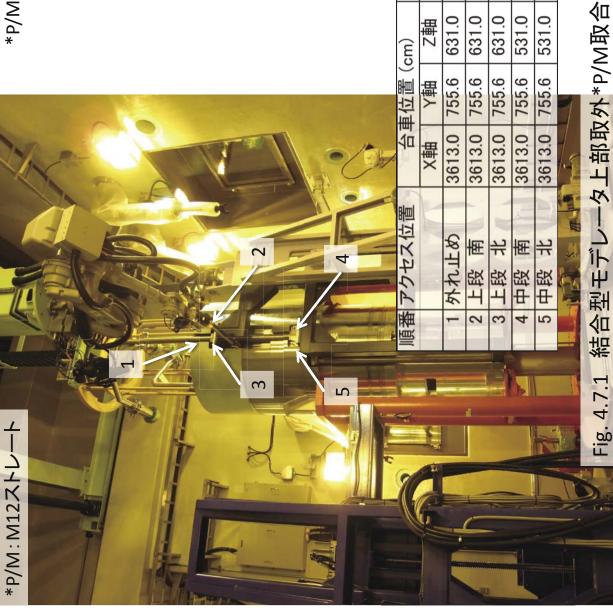
1563.4 1459.7

205.1

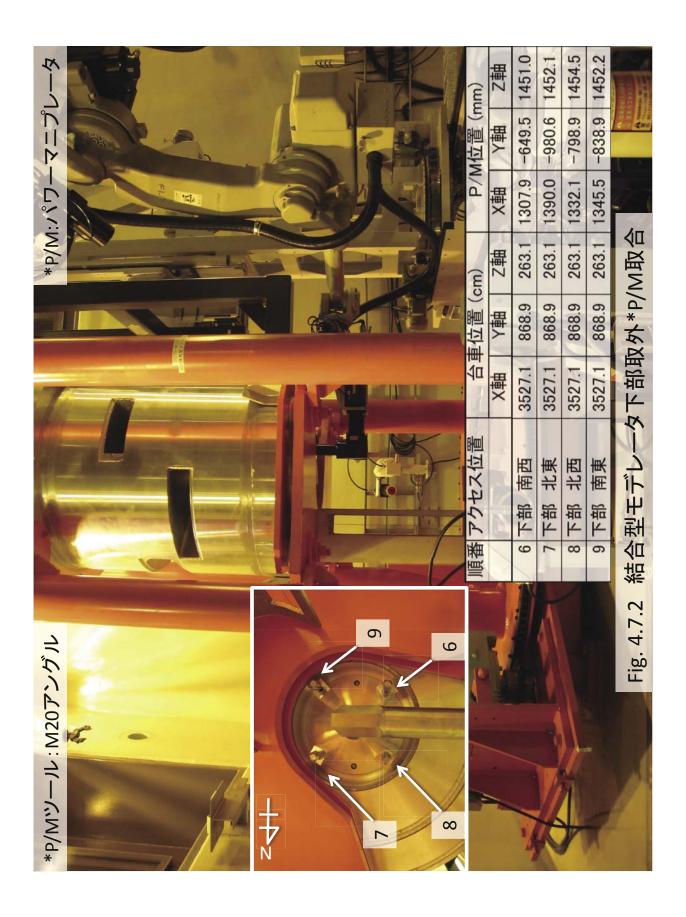
1458.7

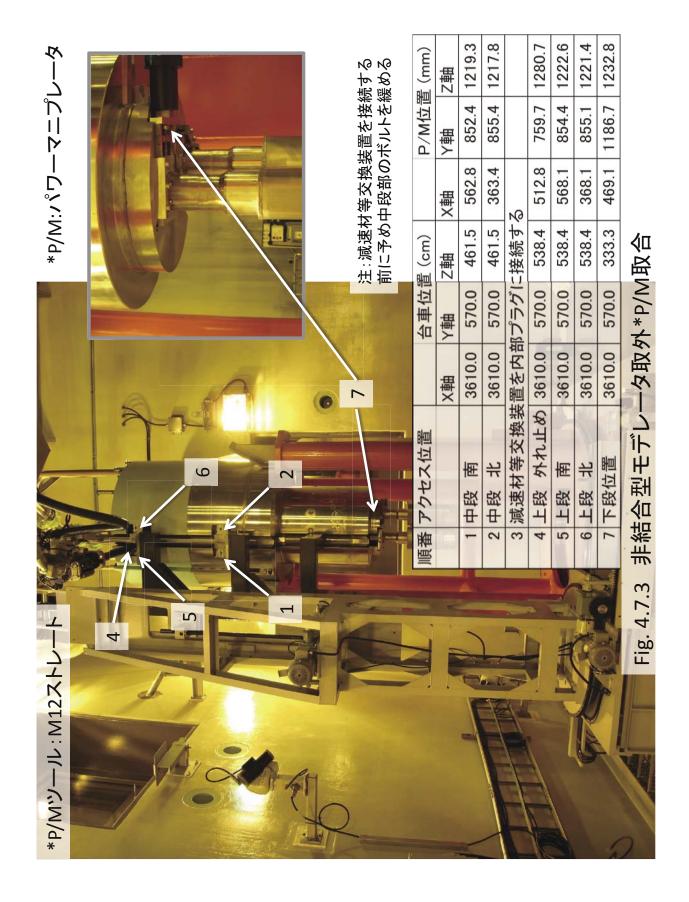
404.3

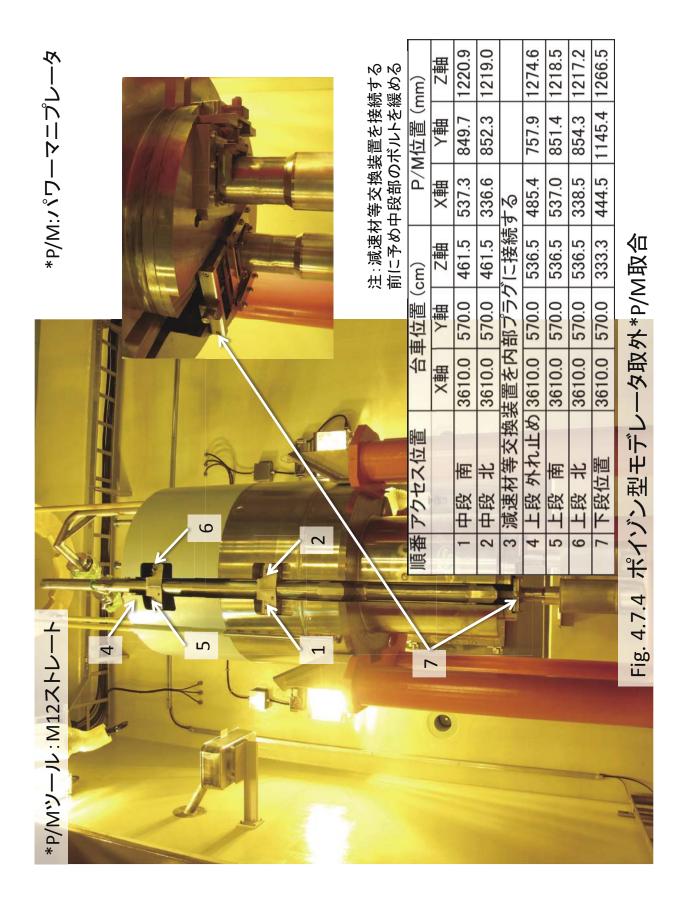
1461.5

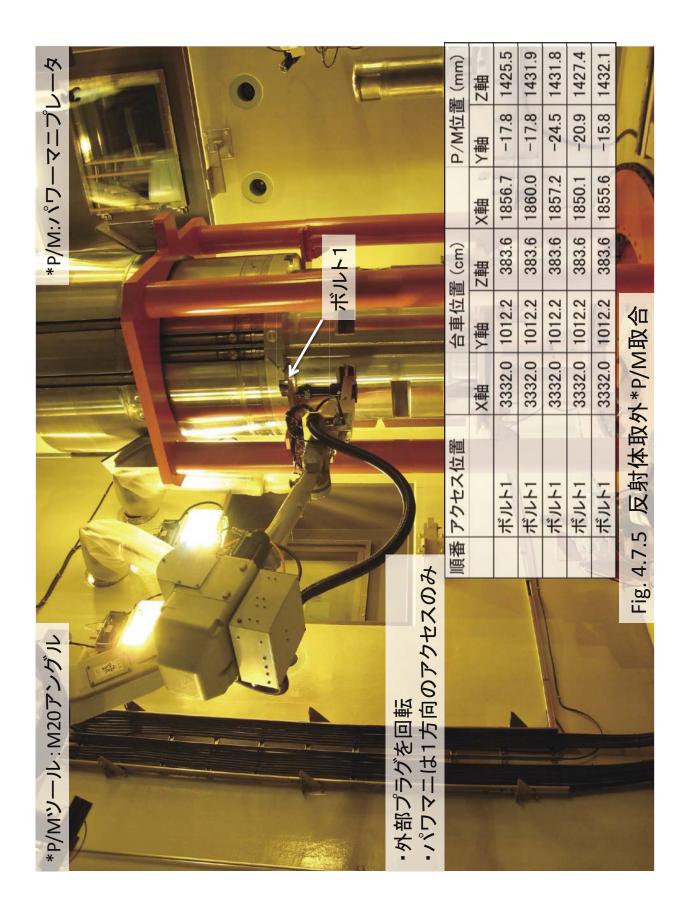


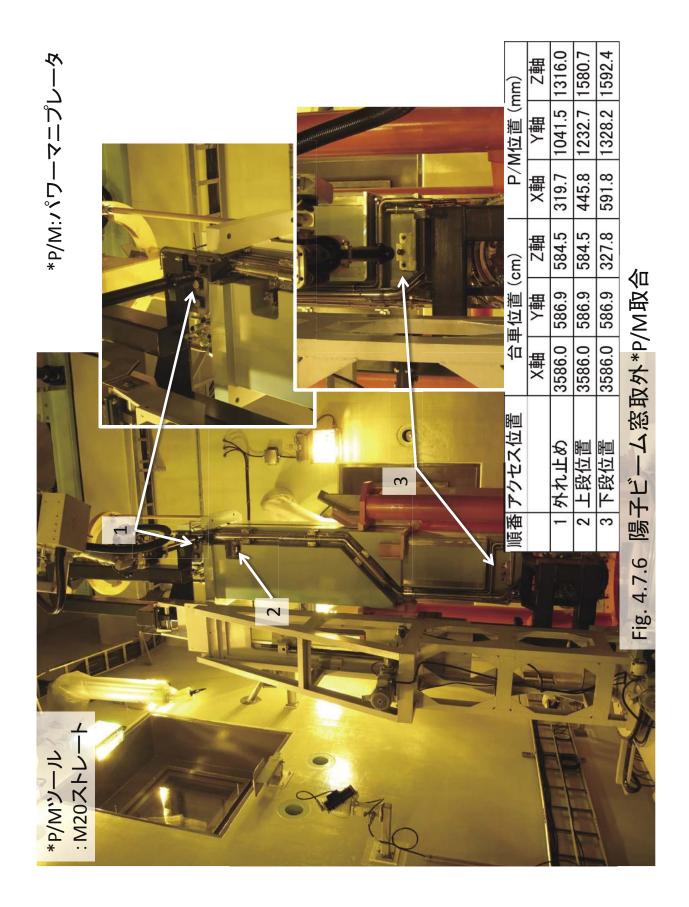
- 143 -



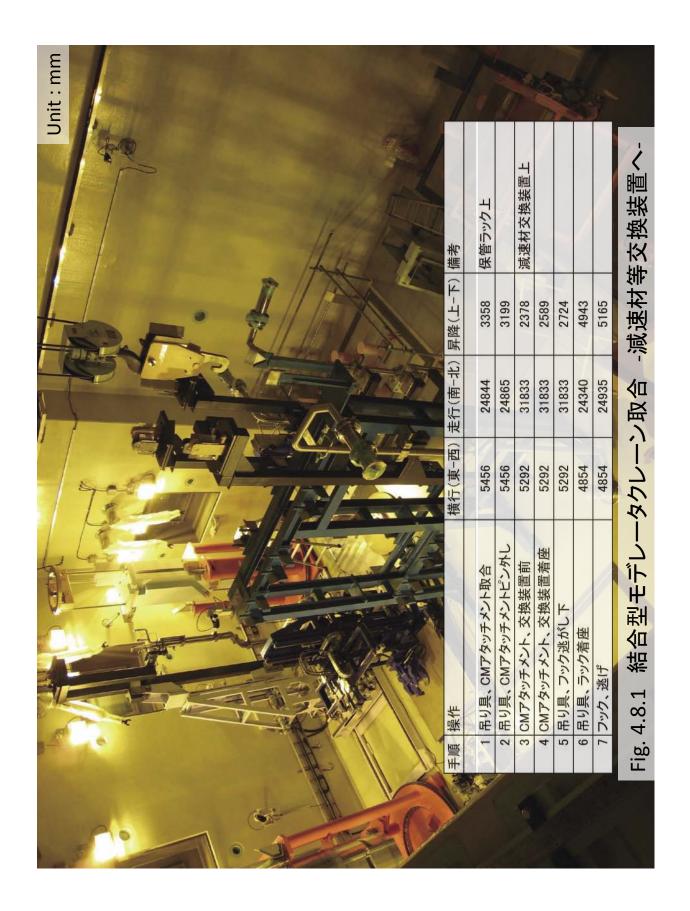


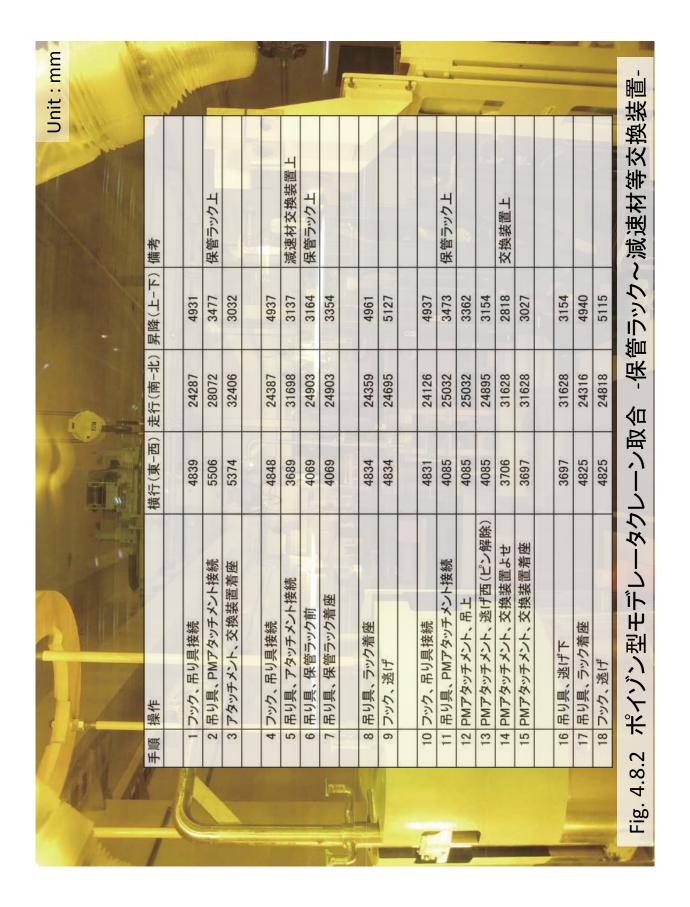


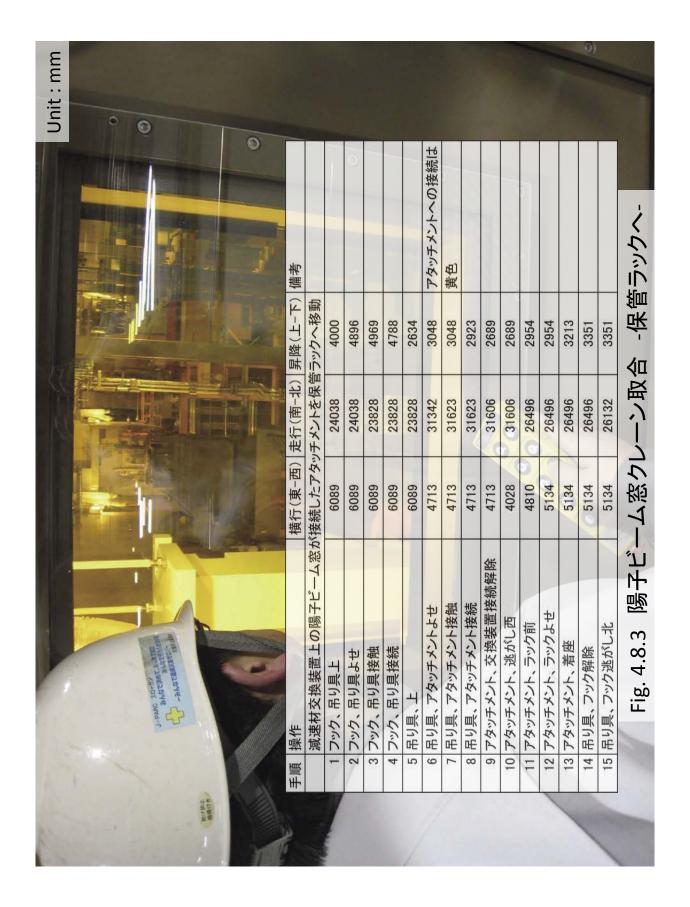


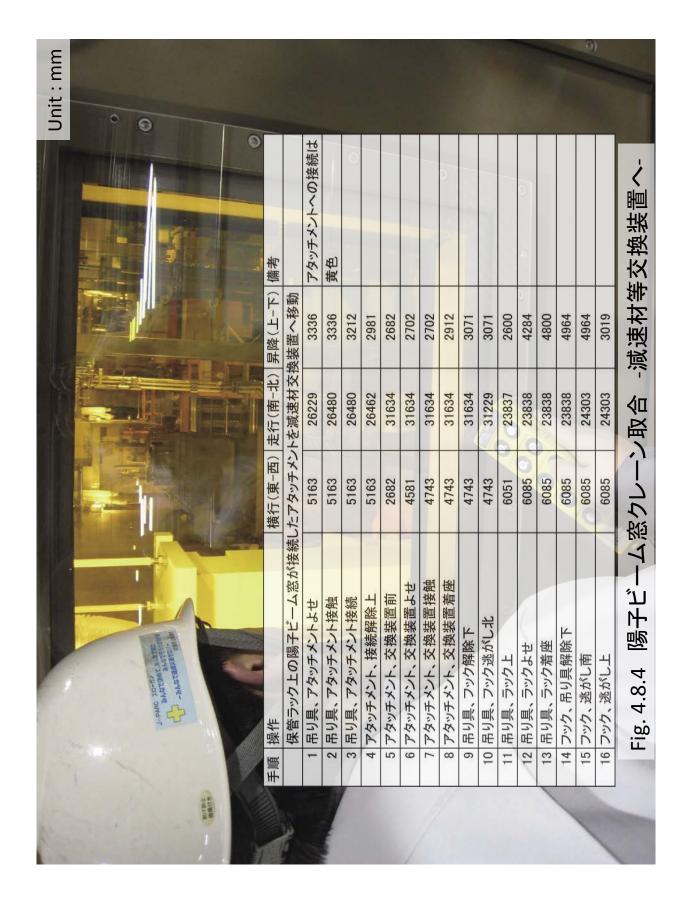


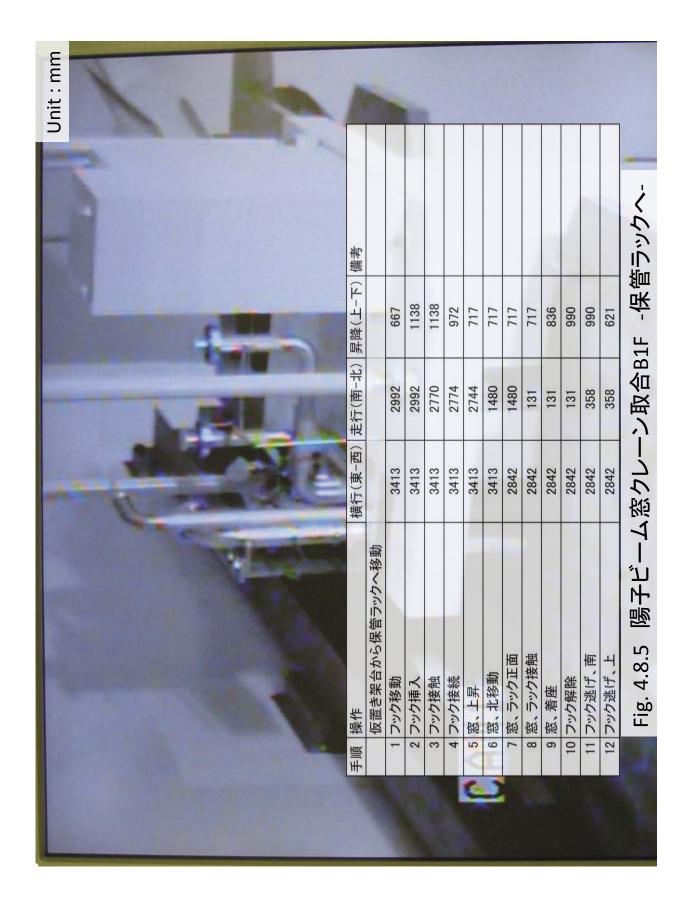
4.8 インセルクレーン

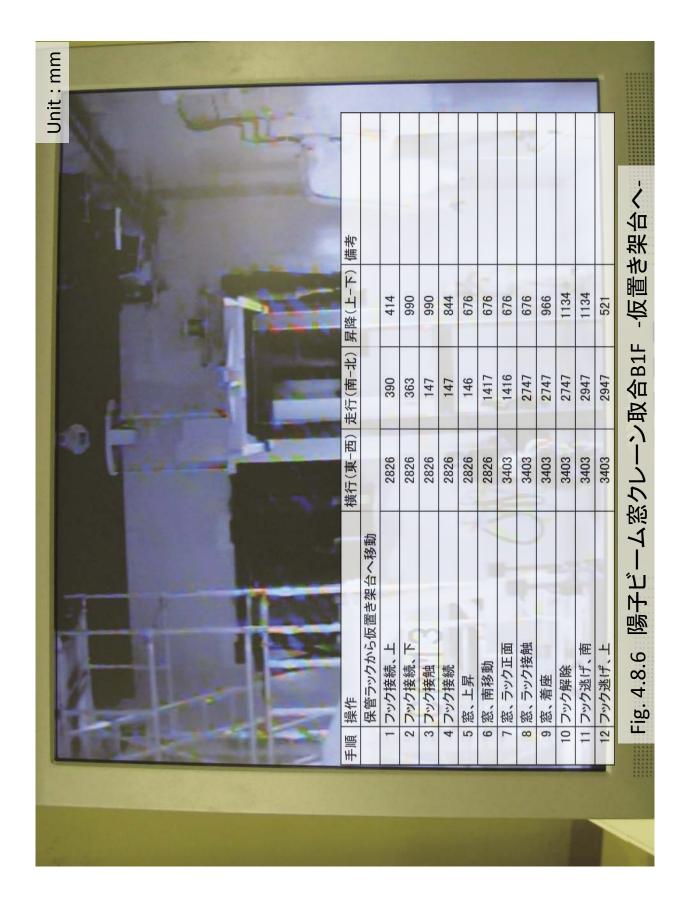












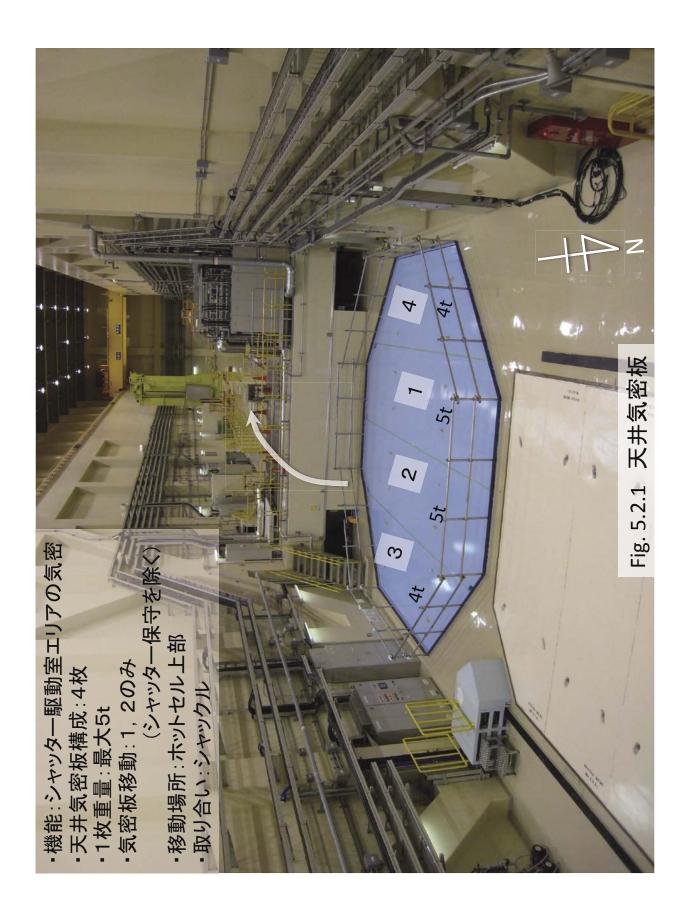
5.1 作業用工具、ジグ類







5.2 天井気密板移動



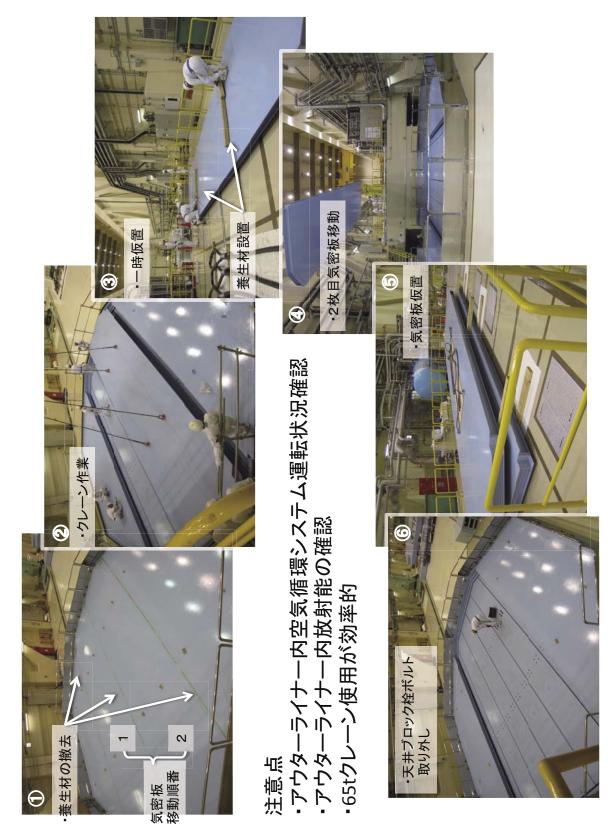
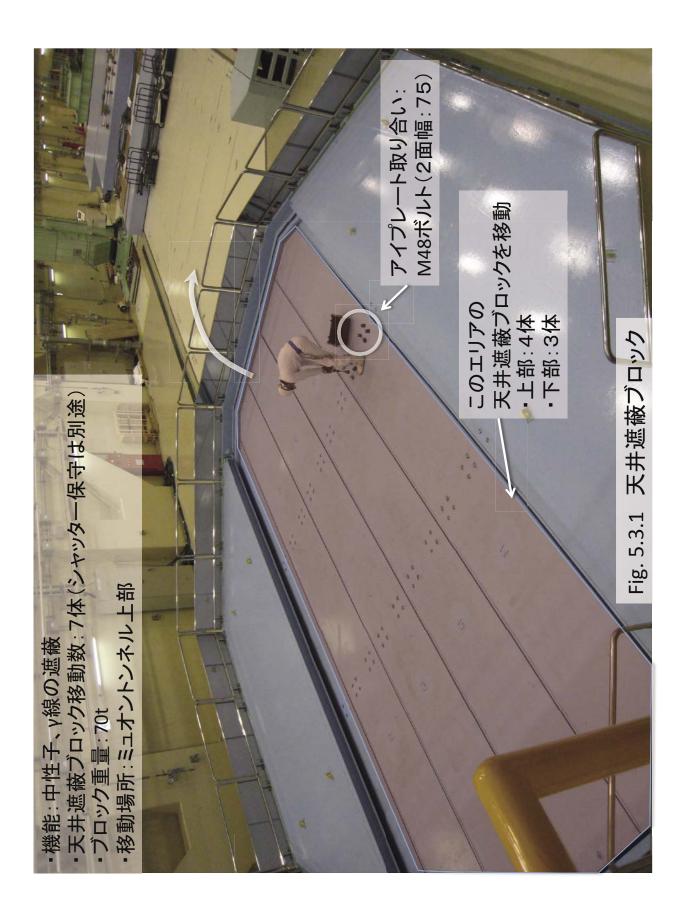


Fig. 5.2.2 天井気密板移動手順

5.3 天井遮蔽ブロック移動





・天井ブロックの移動

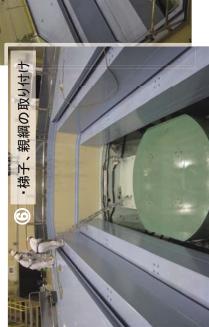


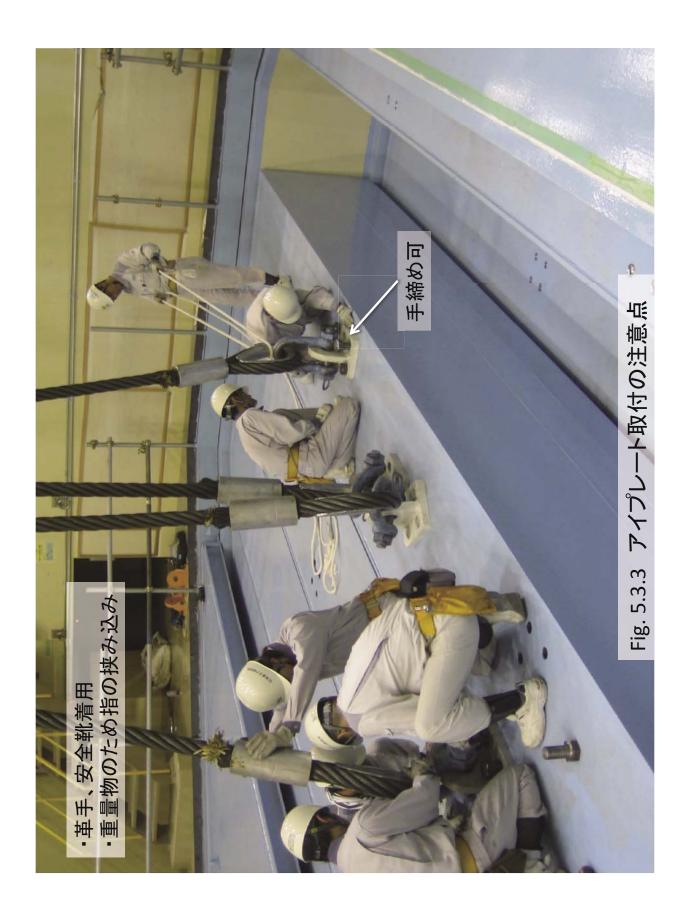
Fig. 5.3.2 天井遮蔽ブロック移動手順

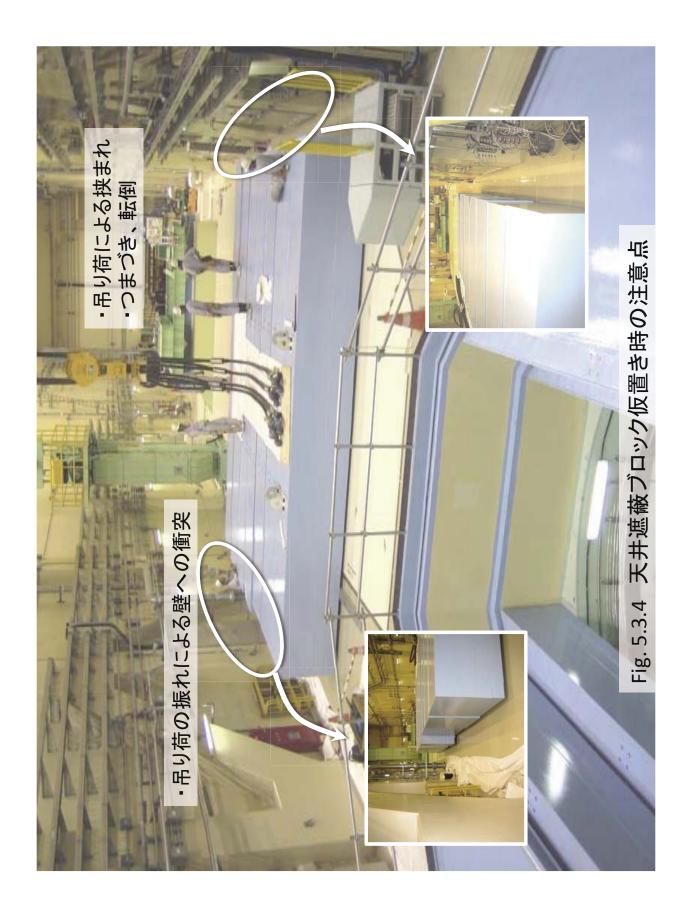
下部の遮蔽ブロックの移動開始前に放管による

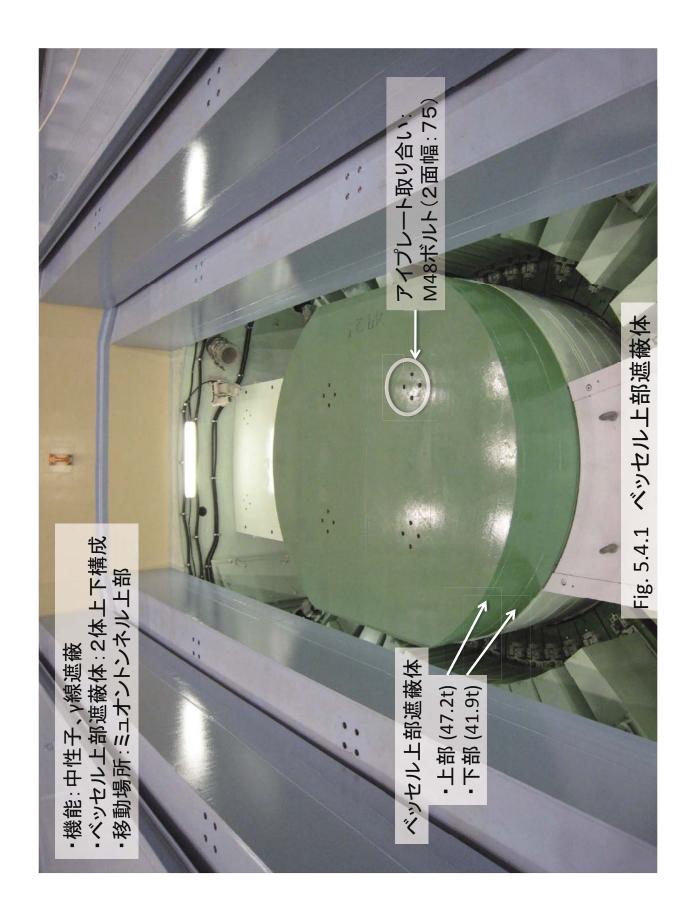
イを受ける

取り外し作業中、高所になるため

適宜、親綱と安全帯の使用







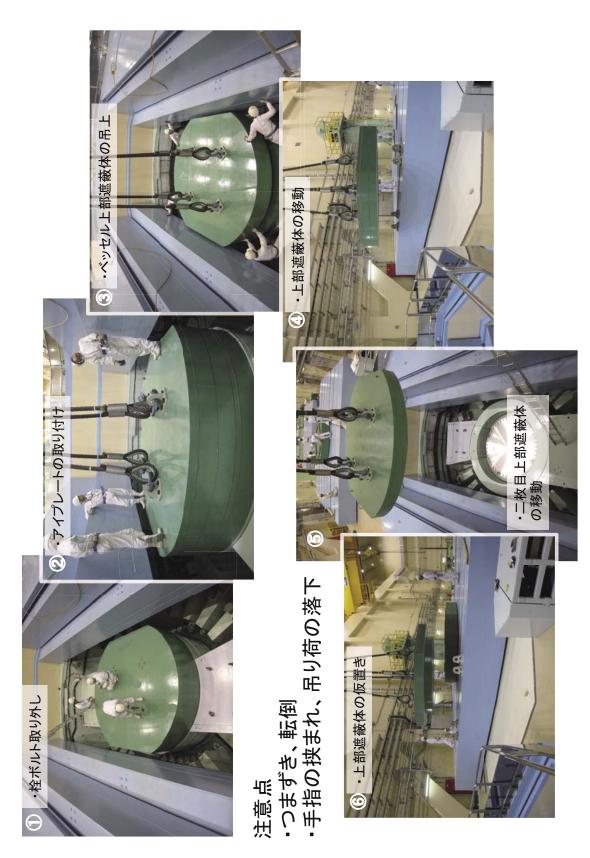
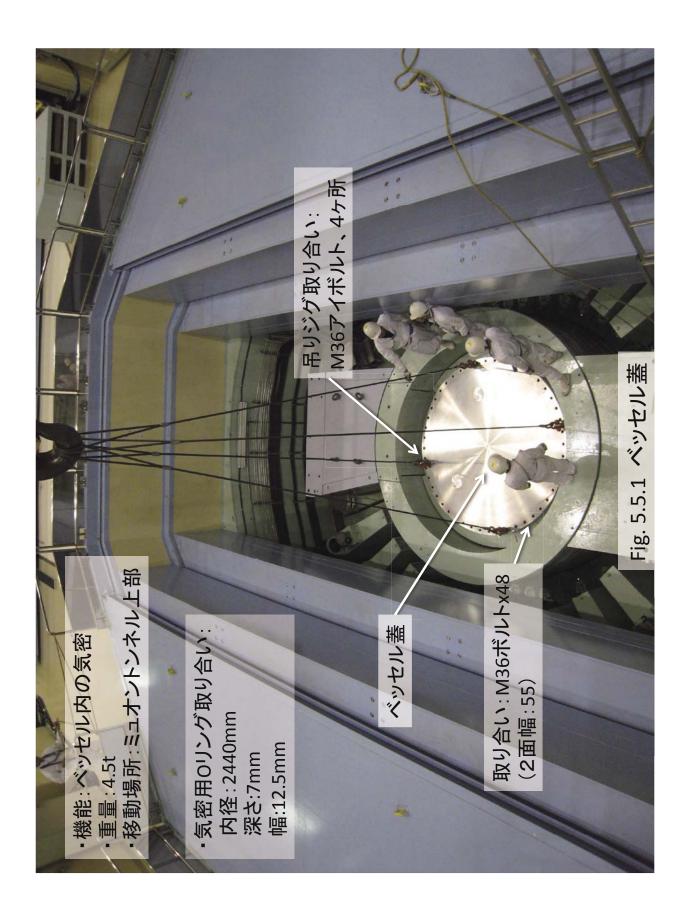
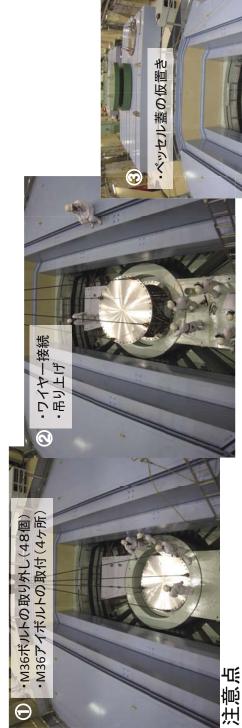


Fig. 5.4.2 ベッセル上部遮蔽体移動手順

5.5 ペッセル 蓋移動





・ベッセル蓋裏面は汚染の可能性あり

>放射線サーベイ後、仮置時、裏面を養生のこと

・・・リングの取扱

・ベッセル蓋戻し時に、ぴょんと外れないクレーン操作

・配管着脱用具 の準備

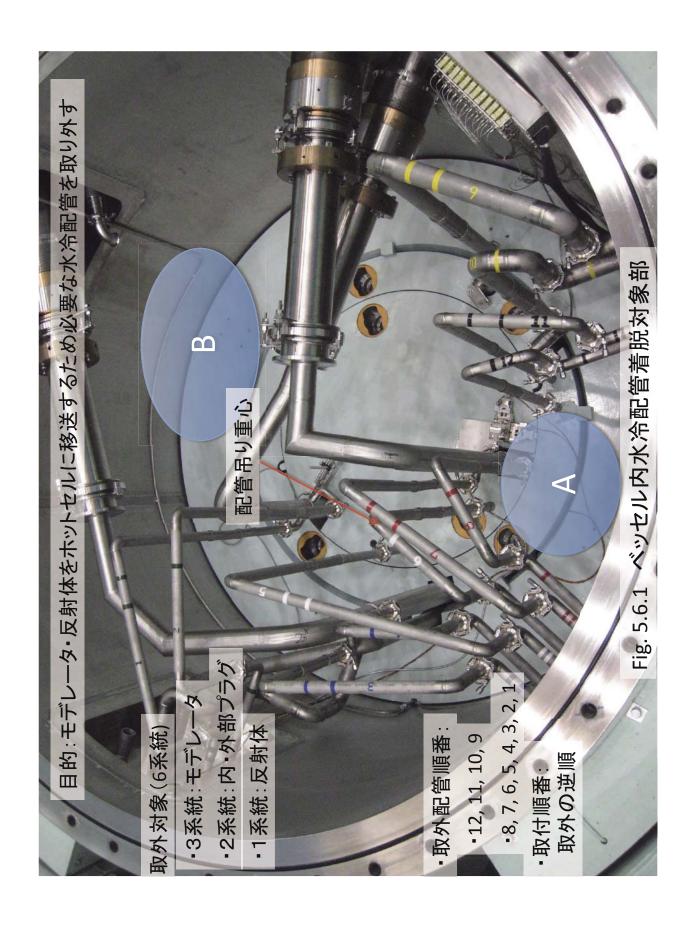
6

・取り外したのリングはビニル袋内保管

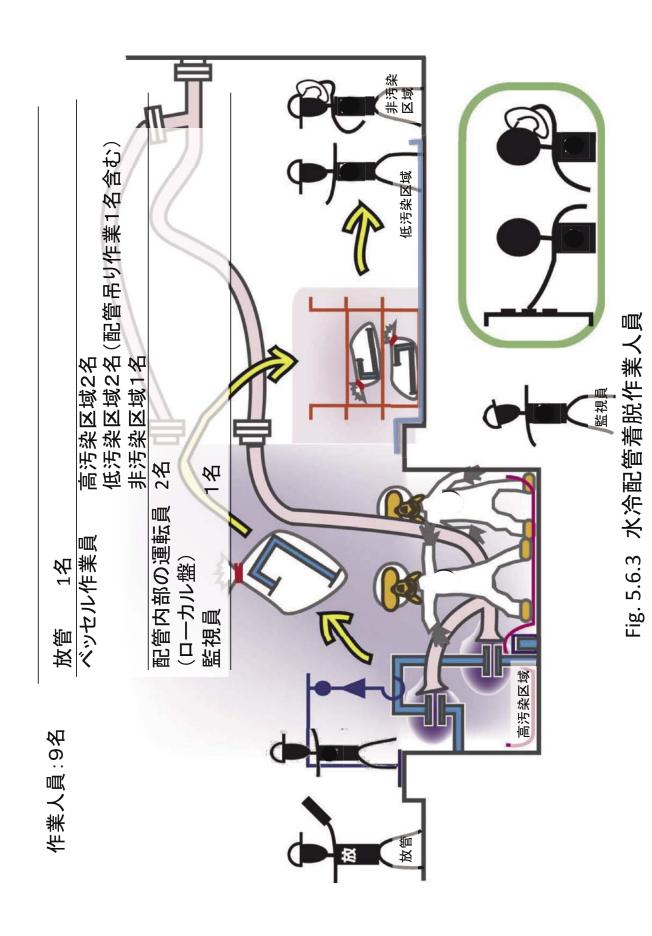


ベッセル蓋移動手順 5.5.2 Fig.

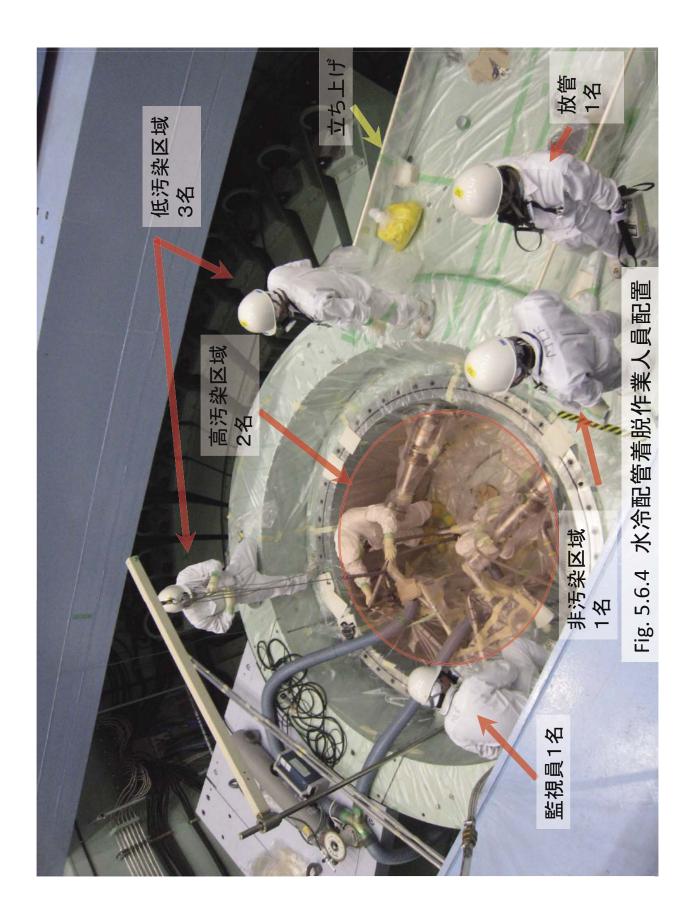
5.6 ベッセル内水冷配管







- 187 -



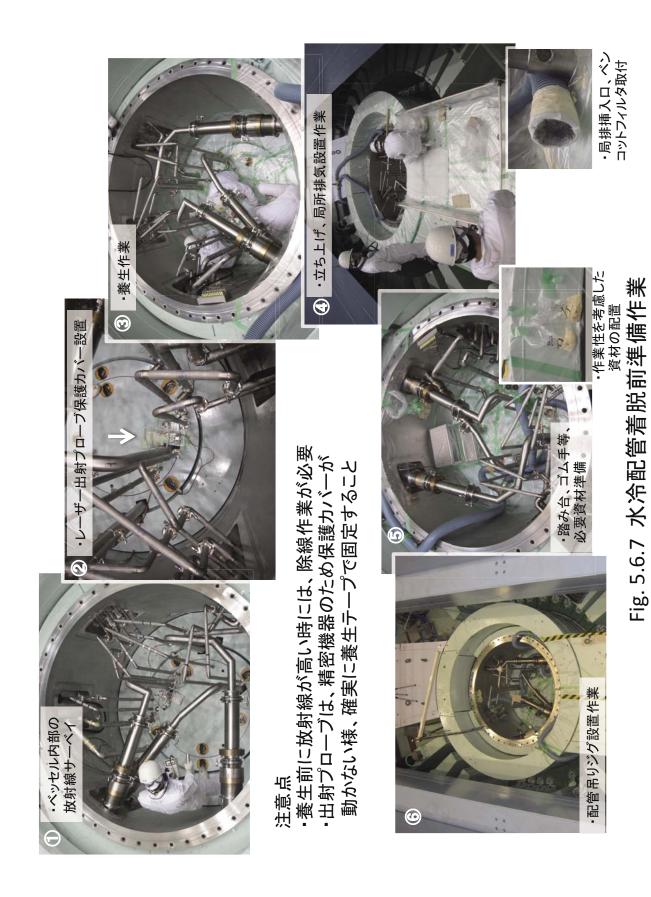
作業手順	作業者	確認法	条件	注意事項
配管内のドレン状況の確認	外作業員	電話(ローカル 盤監視員へ)	0MPaG	フラッシングの回数、対象部の圧力
作業資材の確認	ベッセル作業員			
レーザープローブ保護板の設置	←			しっかり設置されていること
配管吊り用ジグの設置	←			ベッセルフランジのボルト穴を利用
養生作業	←			水の漏洩に対処できる様に養生 (めばり程度)
局所排気の設置				
配管ヘスリングの取付	内作業員			
		電話(ローカル		
水冷配管内の圧力の確認	外作業員	盤監視員へ)	0MPaG	
接続部の解除(上部)	内作業員			噴き出しに注意しゆっくり
接続部の解除(下部)				液だれに注意しゆっくり
配管を上昇				チェーンブロックで操作
シール村の取り外し	\			袋でカバーし間接的に
フランジ回りの拭き取り	←			汚染の拡大に注意し水滴を拭き取る
フランジの封止作業				クランプによる封止(手締め)
取り外した配管の一時保管	外作業員			

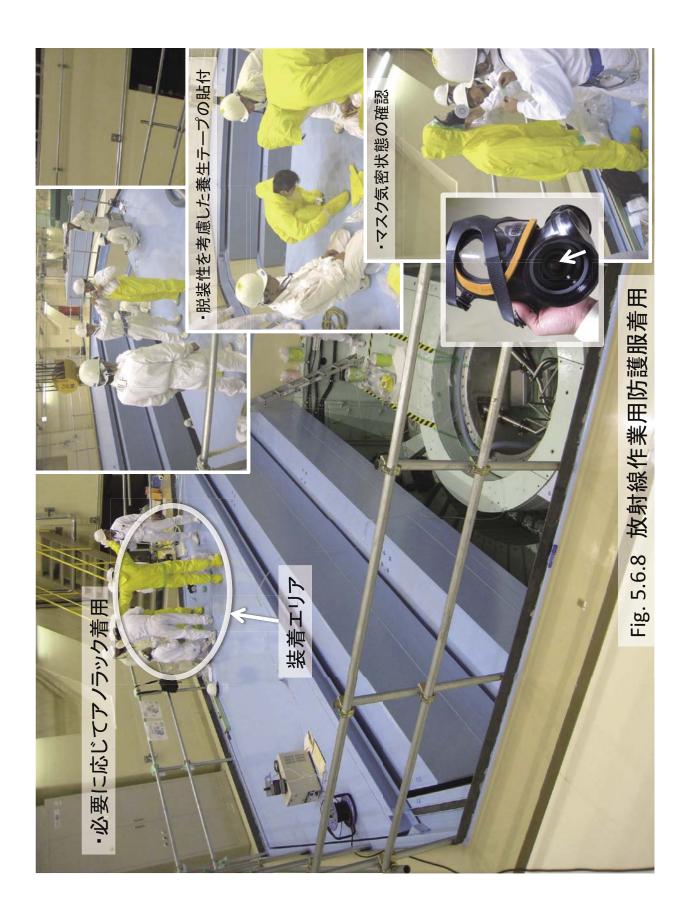
Fig. 5.6.5 水冷配管着脱作業要領(配管取外)

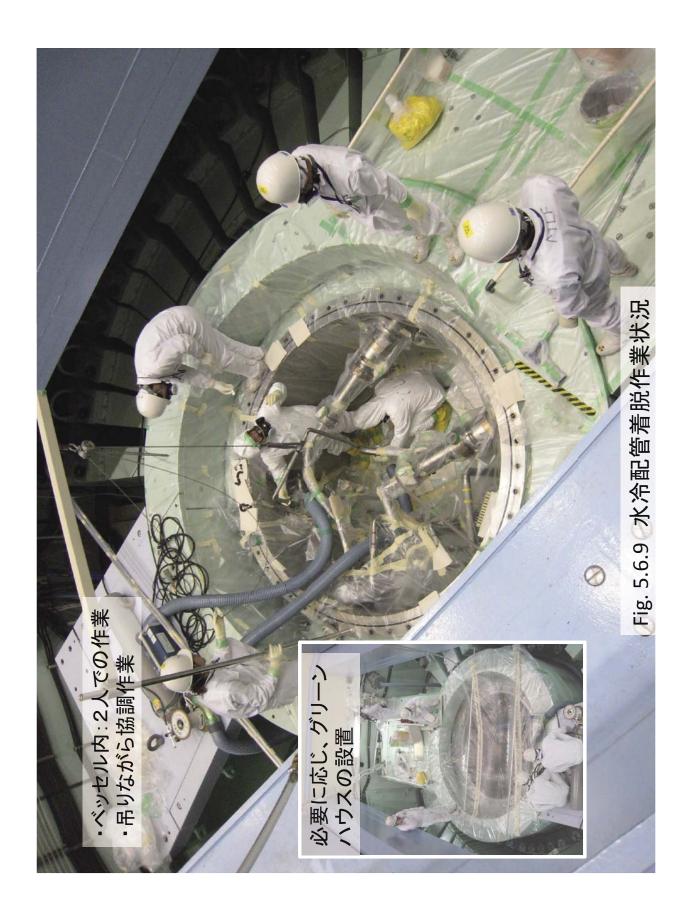
	ローカル 見員へ)		

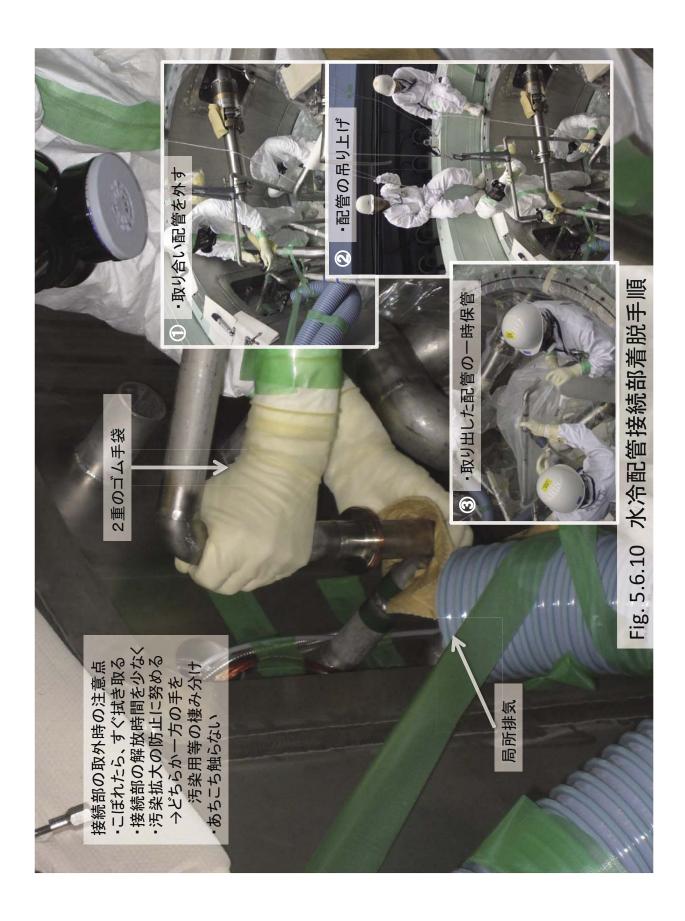
トルクフンチ管理(12N・m) なるべく少ないガスの導入 をねらってもらう も
を
無
し 発泡試験、 圧力降下法 ベッセル作業員 レーザープローブ保護板の取外 ベッセル作業員 内作業員 外作業員 内作業員 外作業員 内作業員 一時保管場所から配管の移動 水冷配管内部の圧力の確認 メクラフランジの取り外し 配管ヘスリングの接続 配管吊りジグの取り外 局所排気の取り外し 配管回りの拭き取り スリングの取り外し 養生材の取り外し レレンジの合わせ ツーラ材の取付 レランジの接続 気密試験

水冷配管着脱作業要領(配管取付) 9.9.5 Fig.





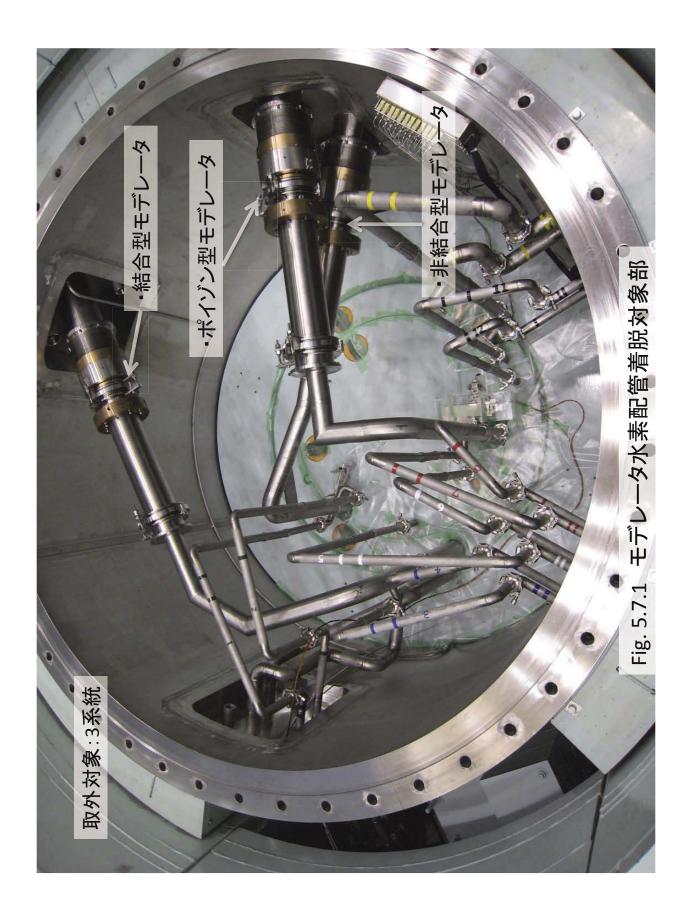


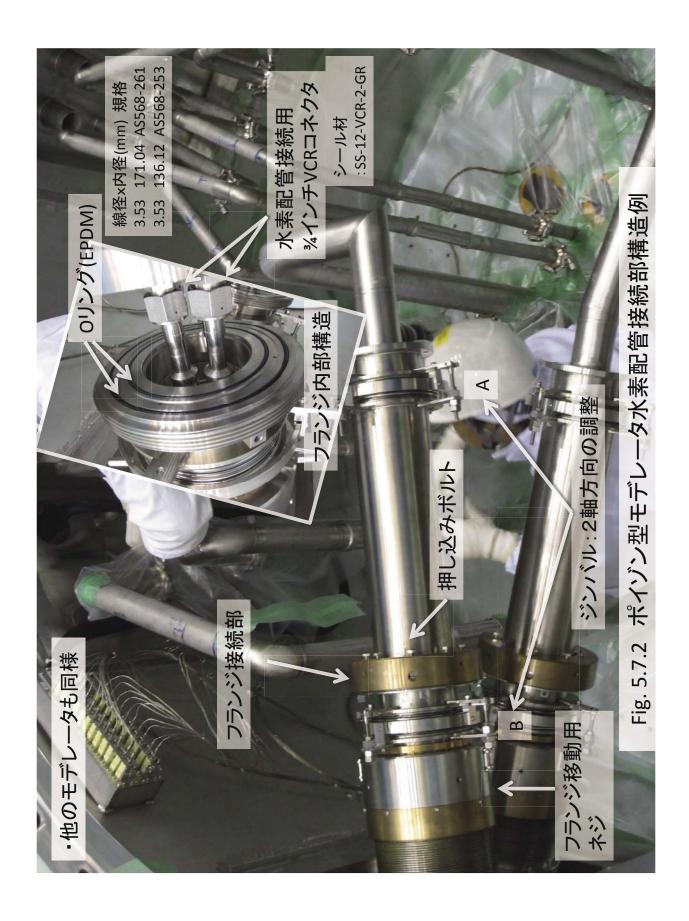




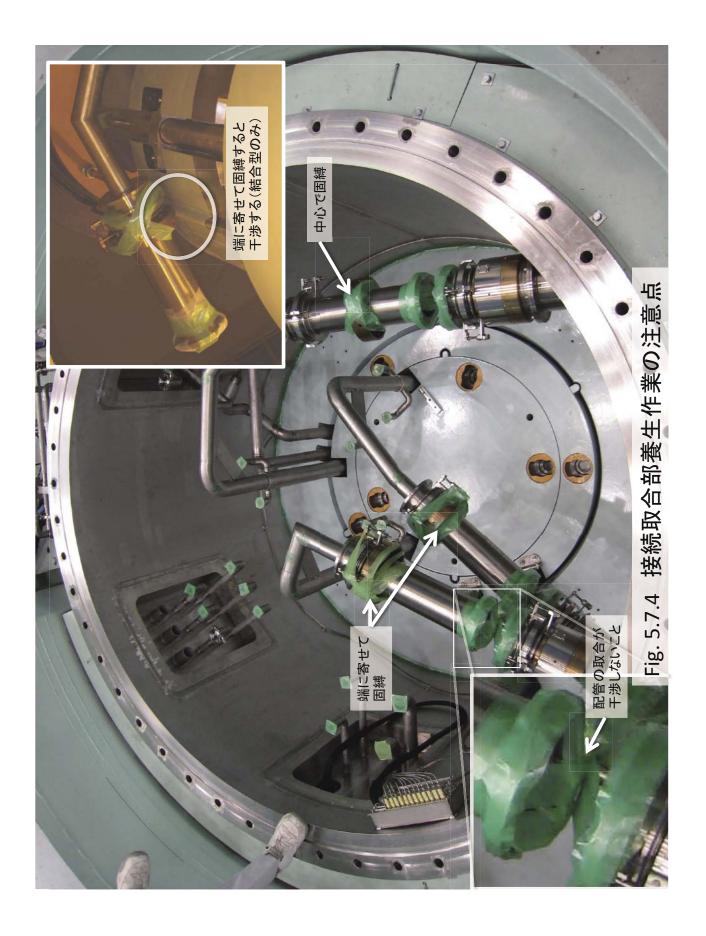


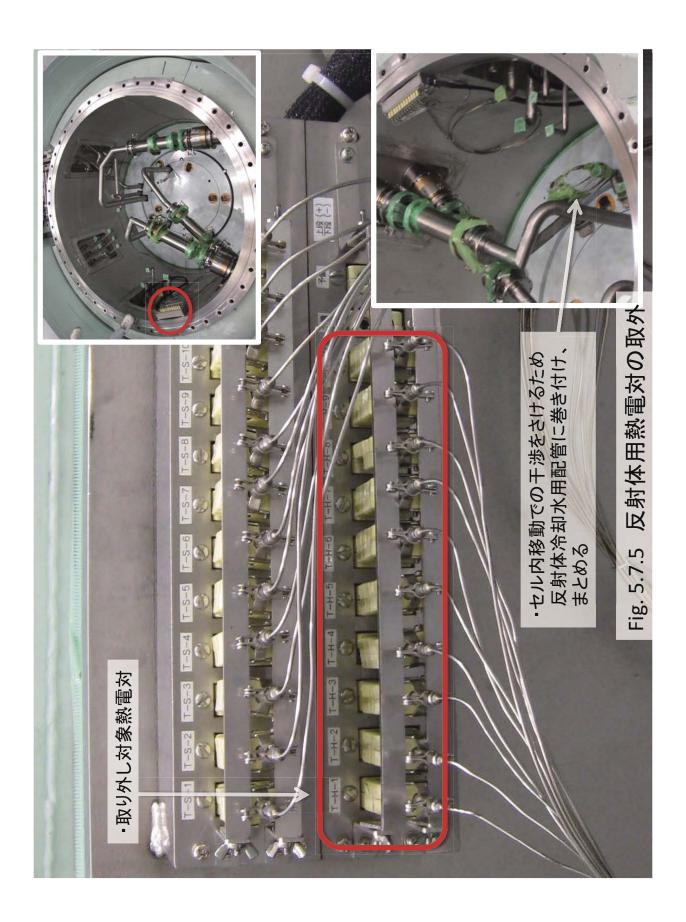
5.7 モデレータ水素配管の着脱

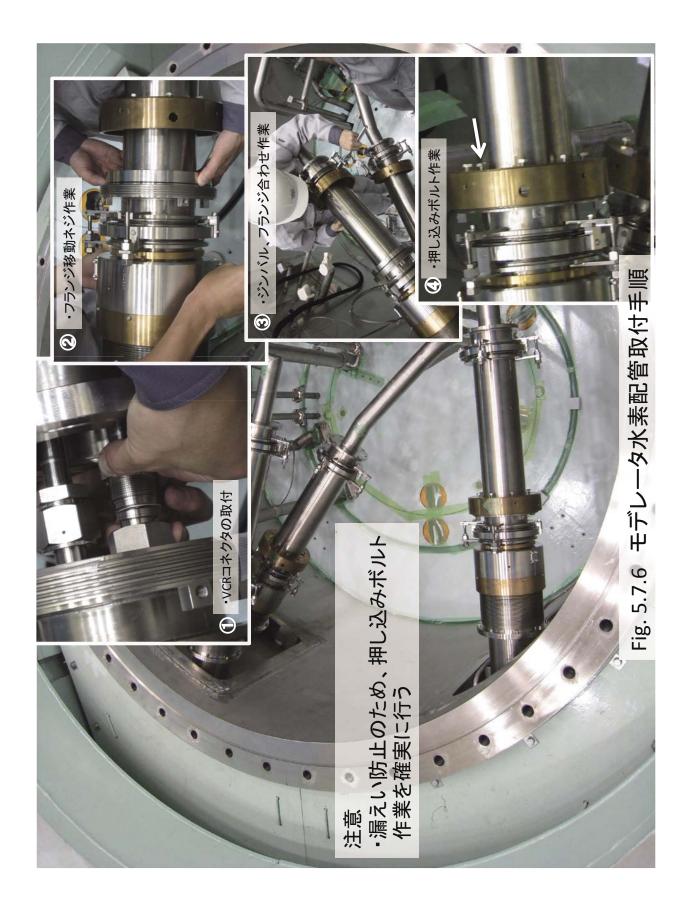












5.8 グリッパ用接続吊り具の設置



置&キャスク内へ

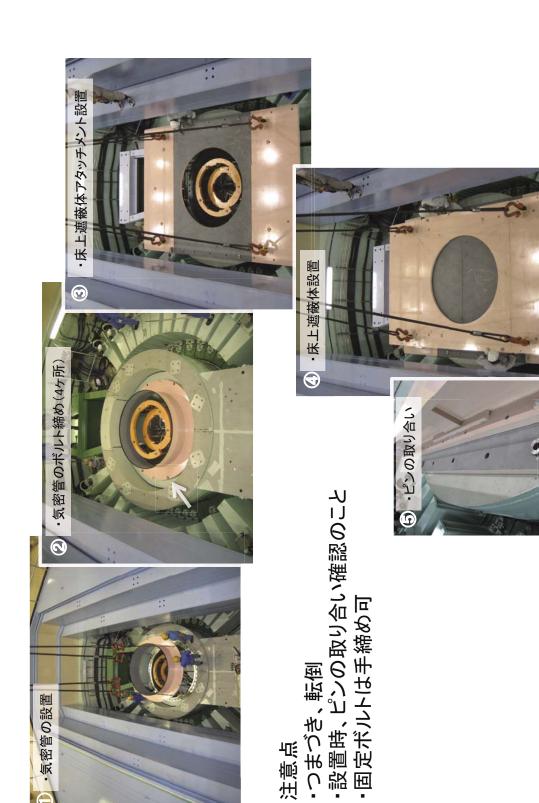


Fig. 5.9.1 気密管と床上遮蔽体の設置

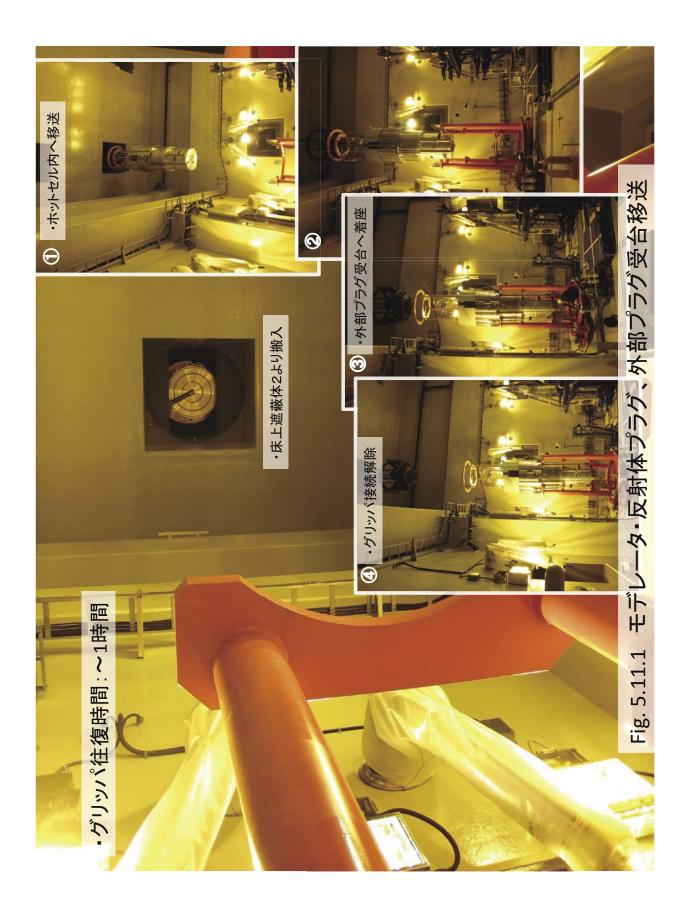


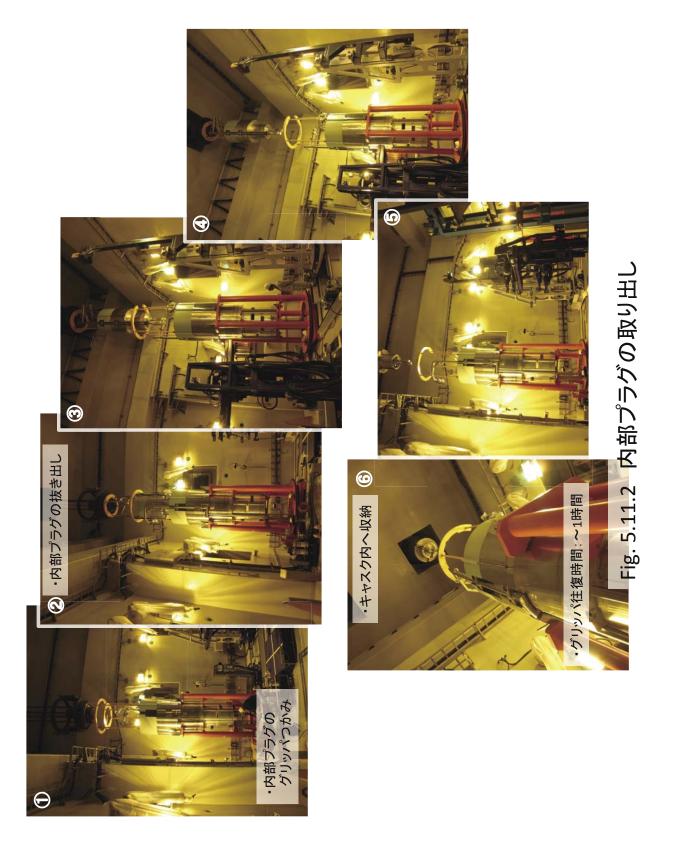


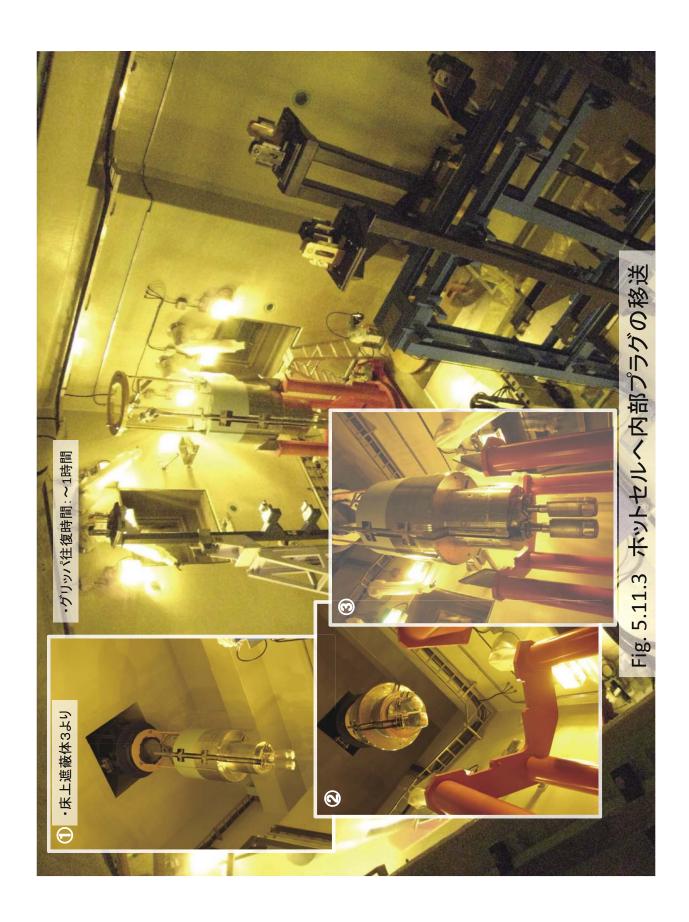
5.10 乾燥装置室への移送

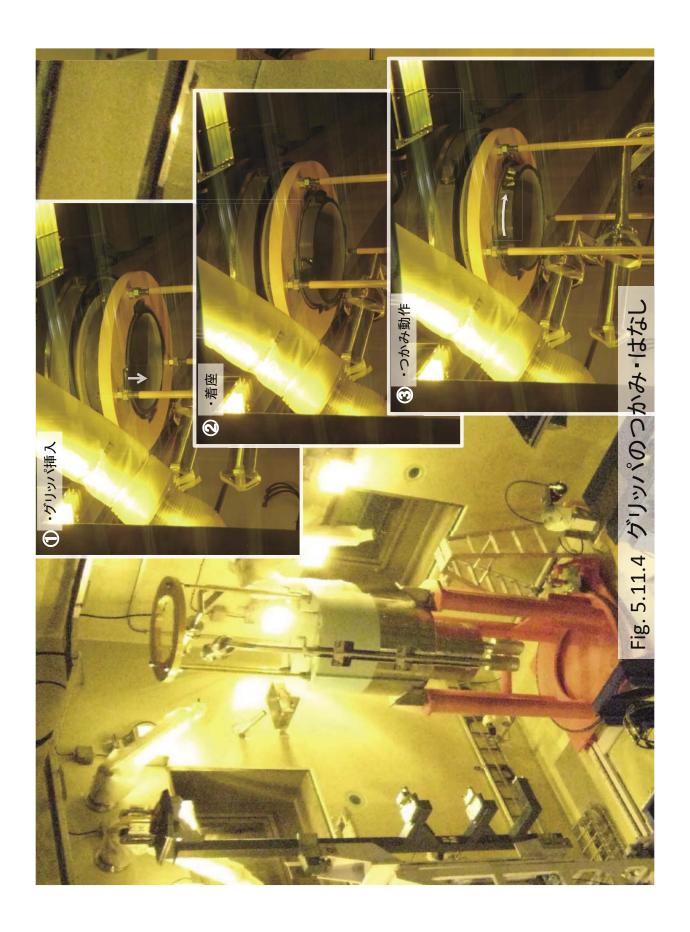


反射体のホットセル内へ移

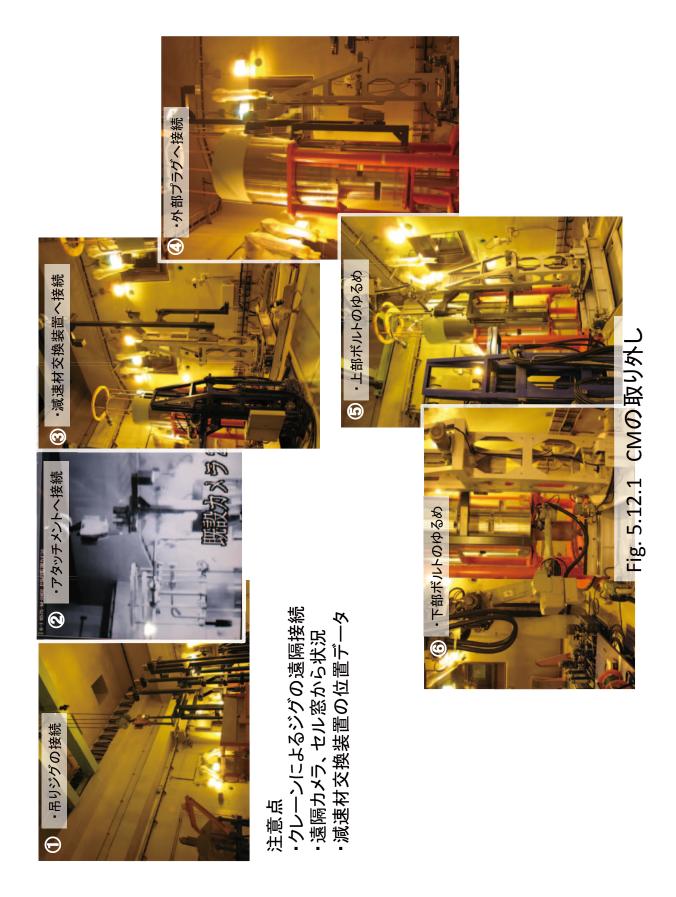


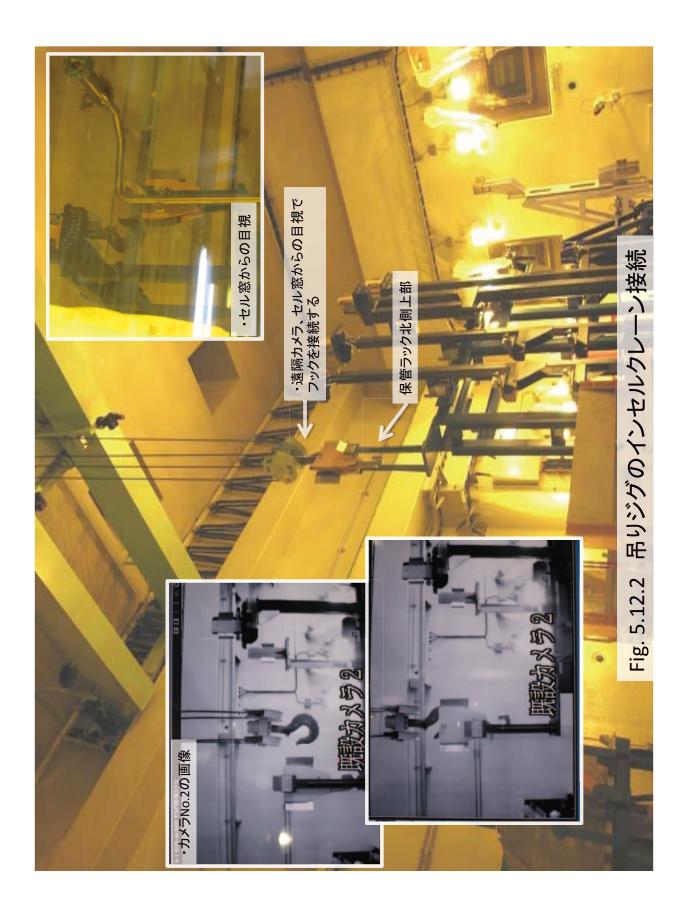




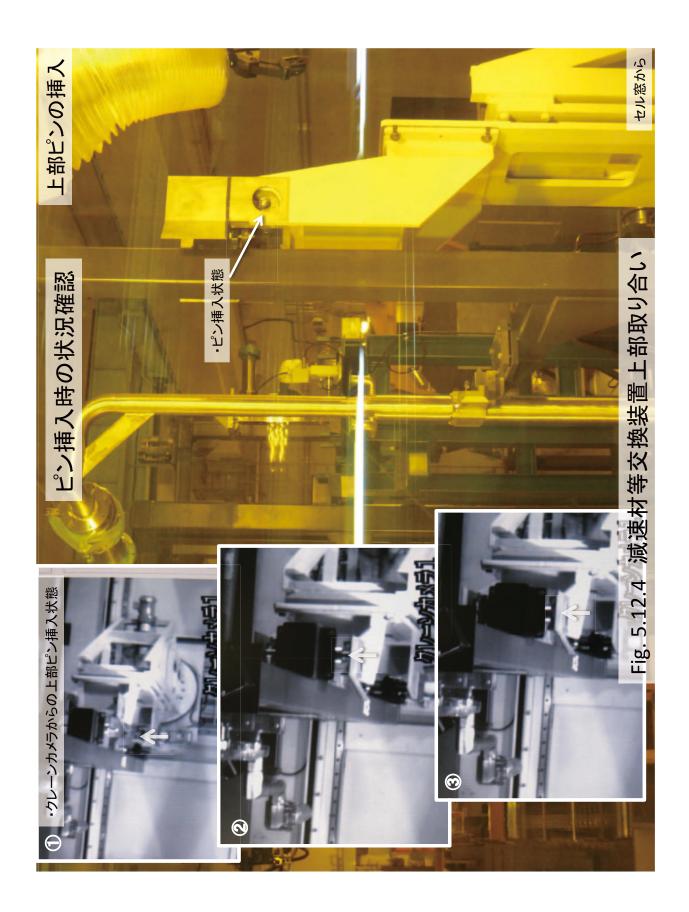


型モデレータ(CM)の
 な換









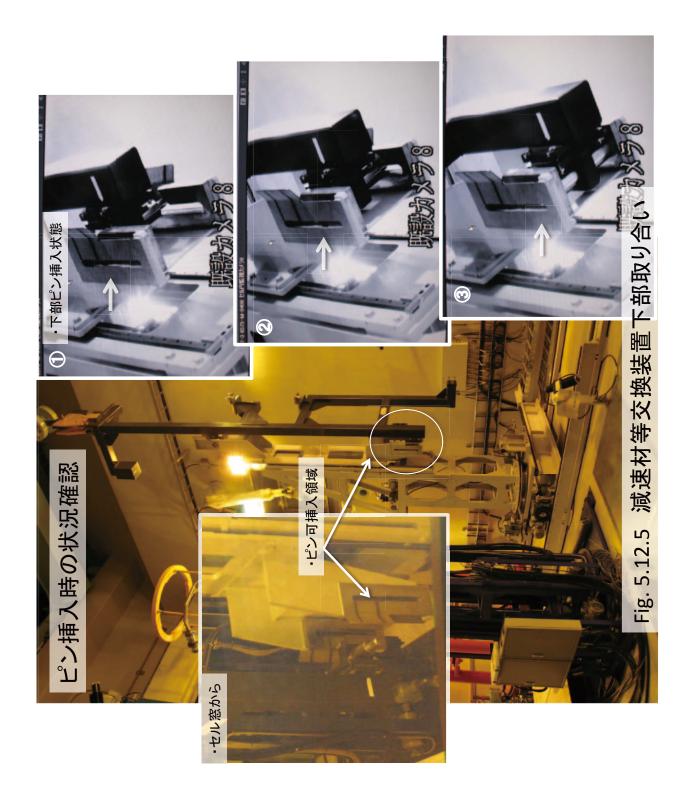
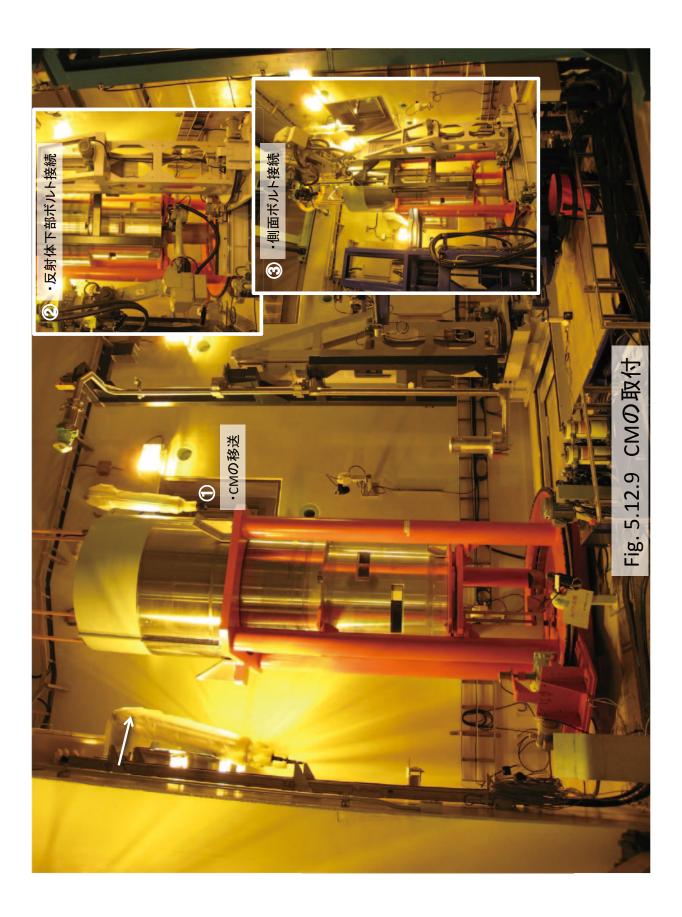




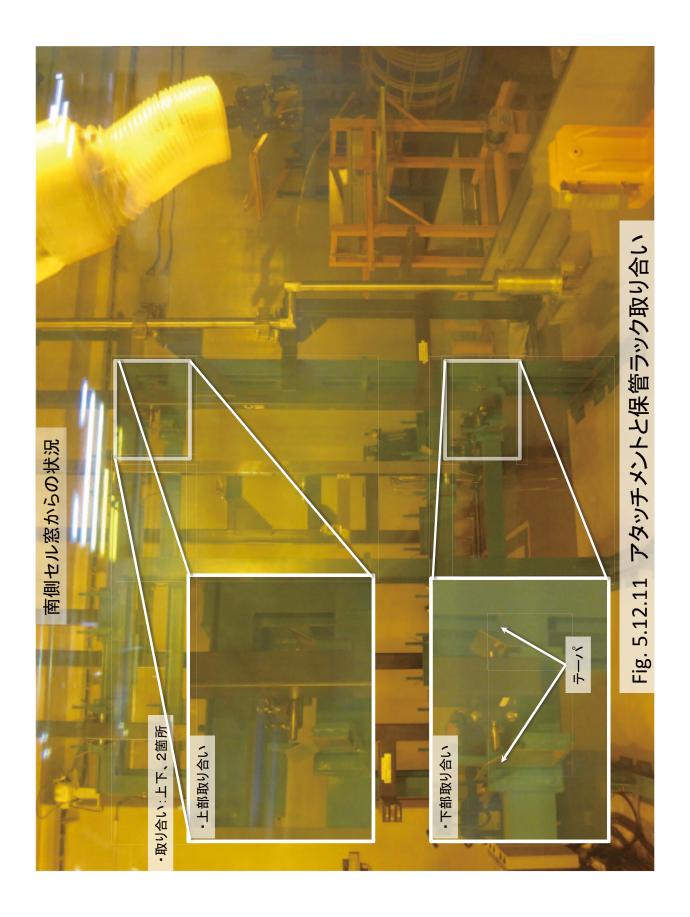


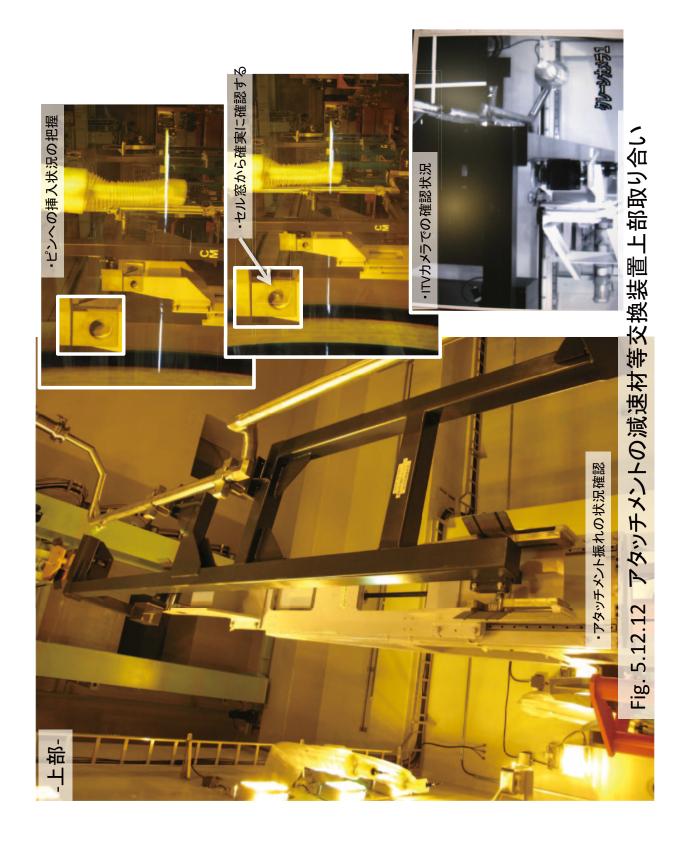


Fig. 5.12.8 保管ラックから交換装置へCMの移動

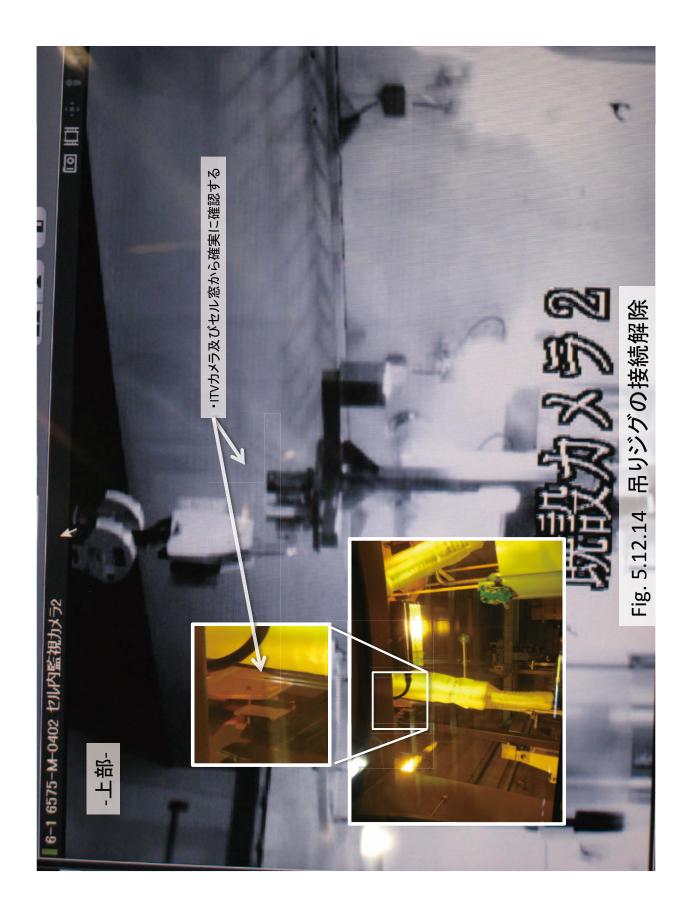


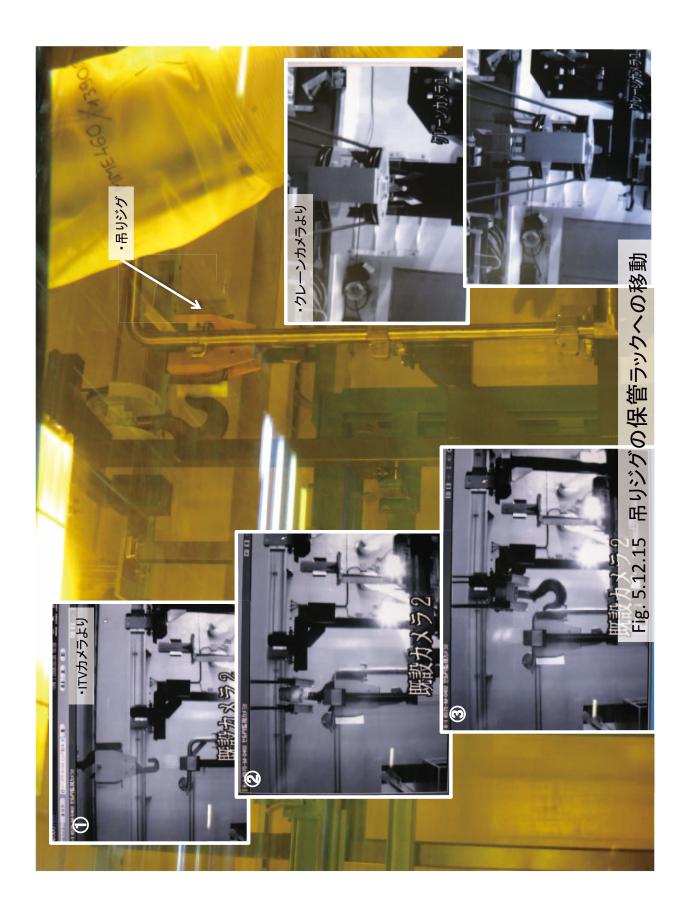


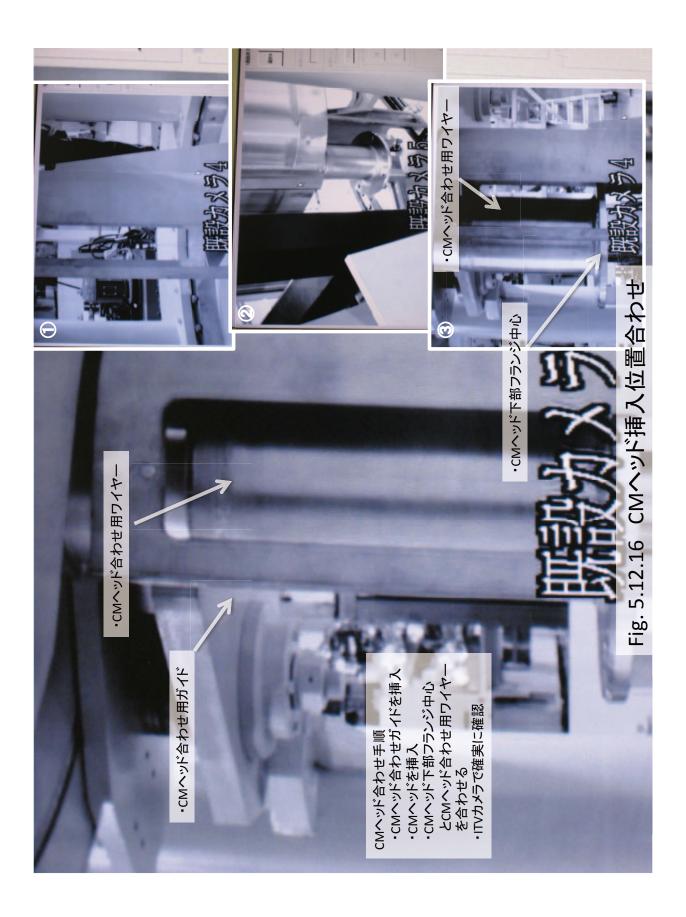


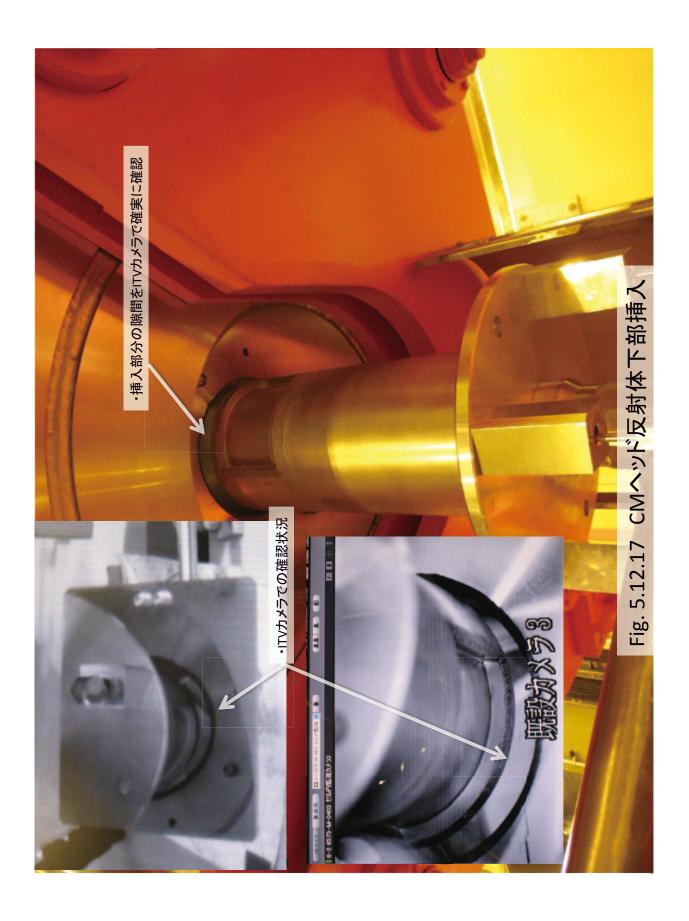


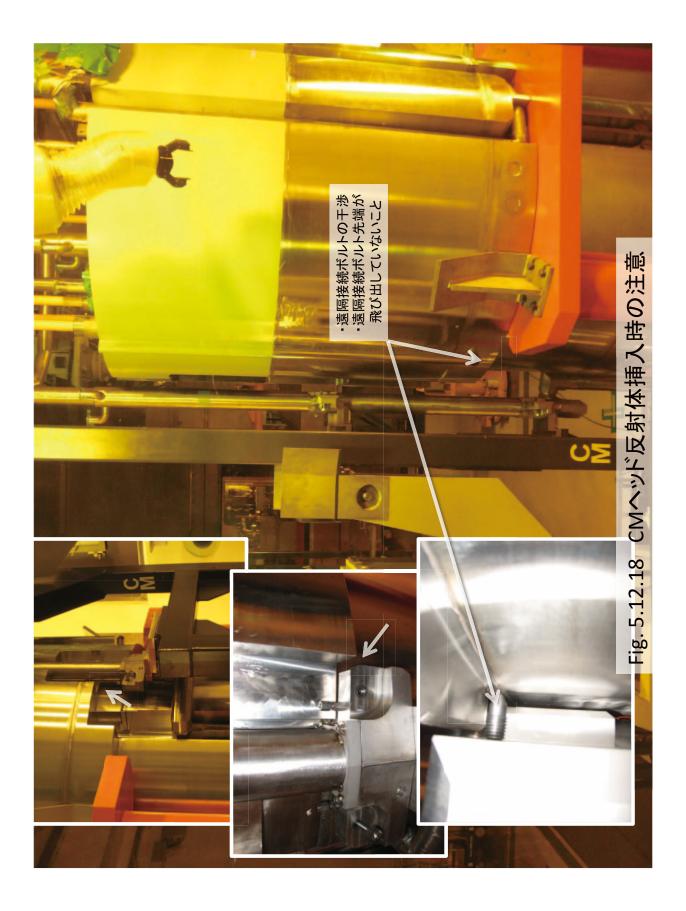


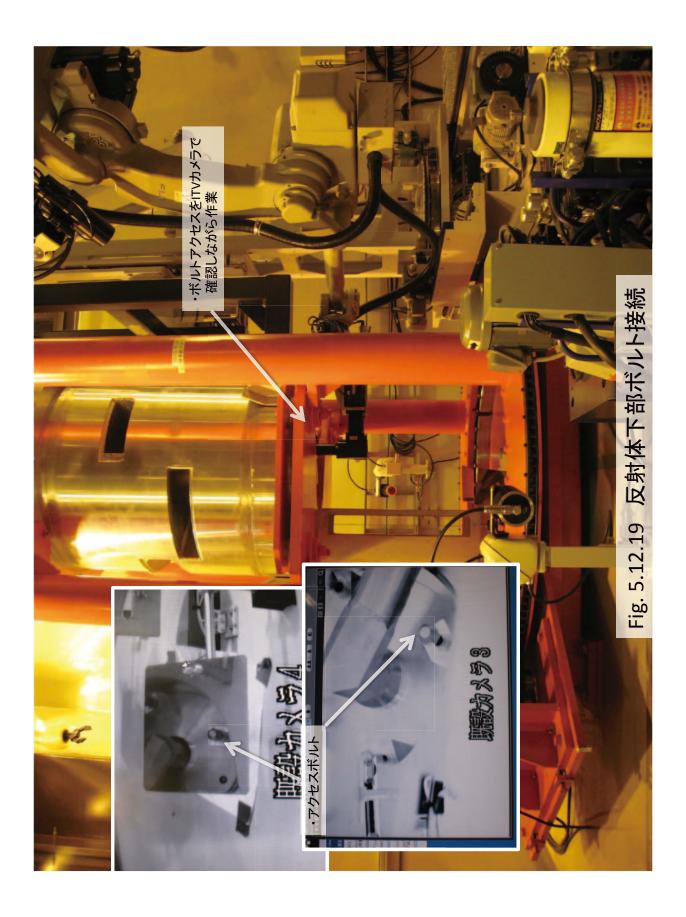


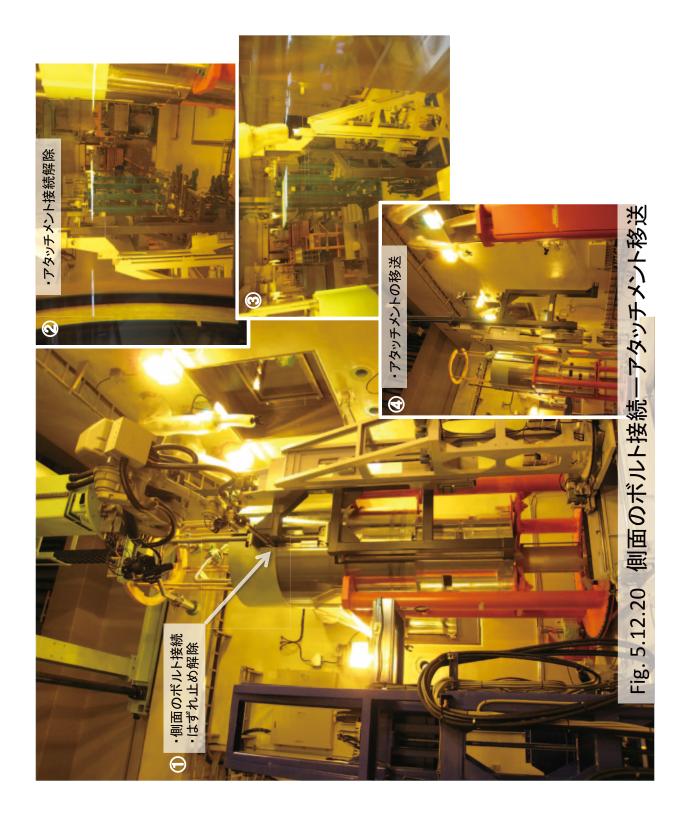


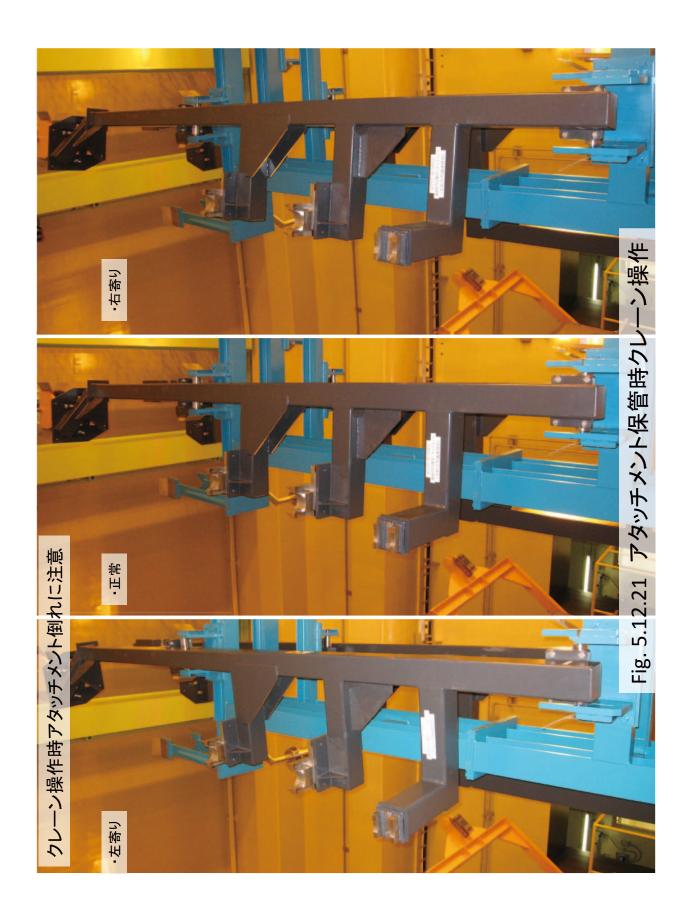




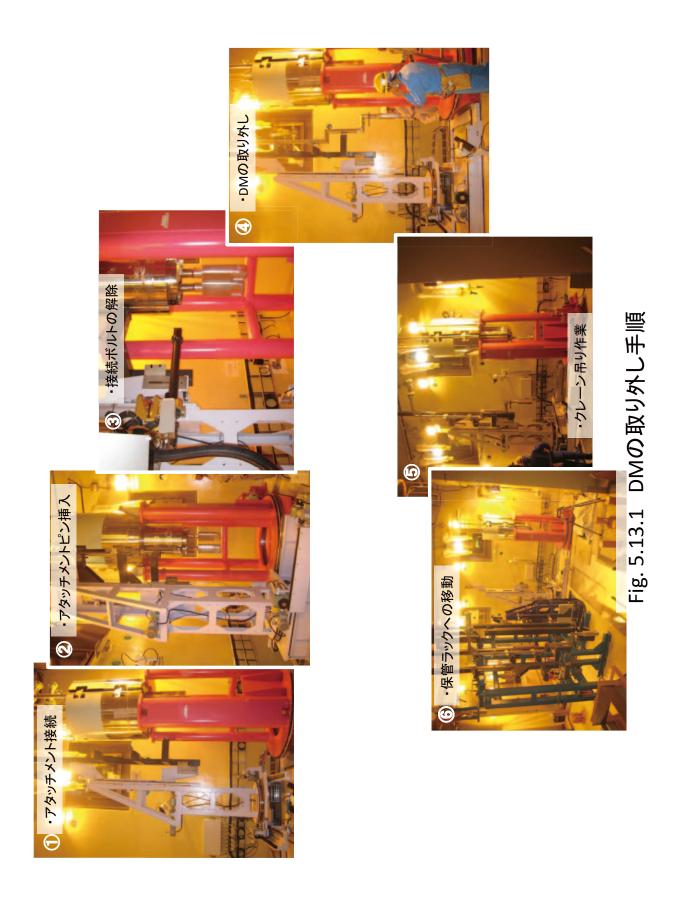


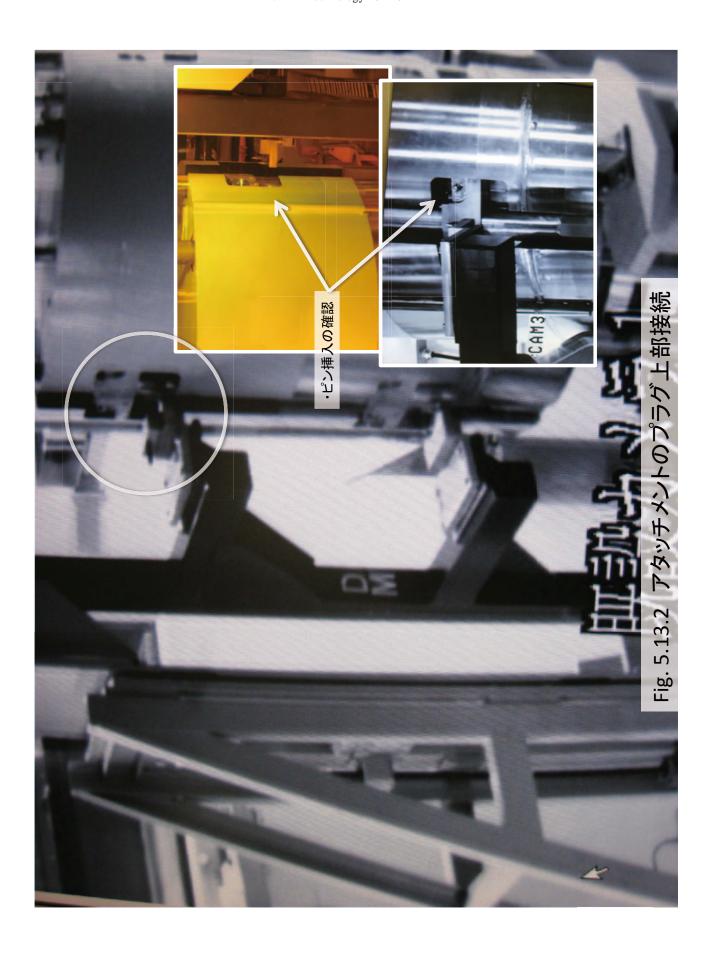




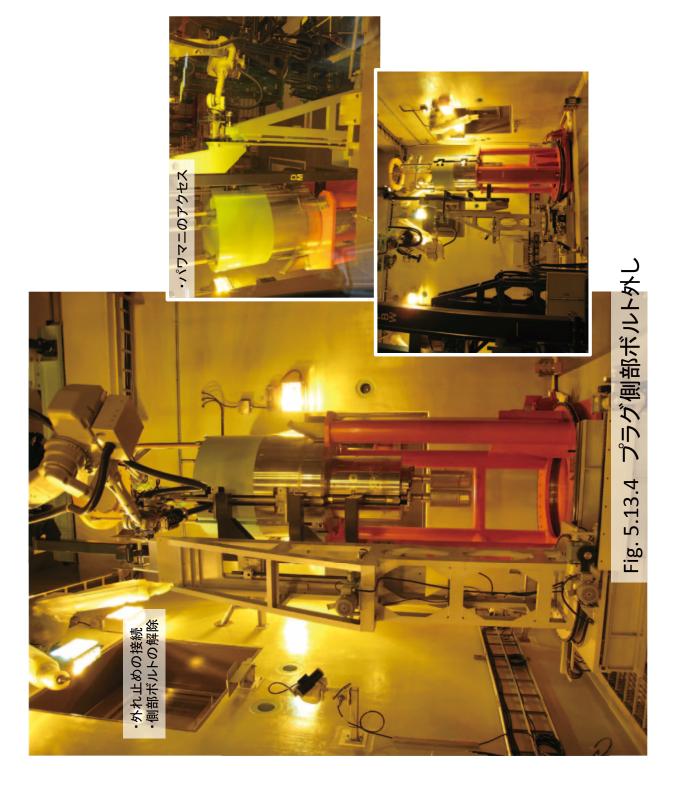


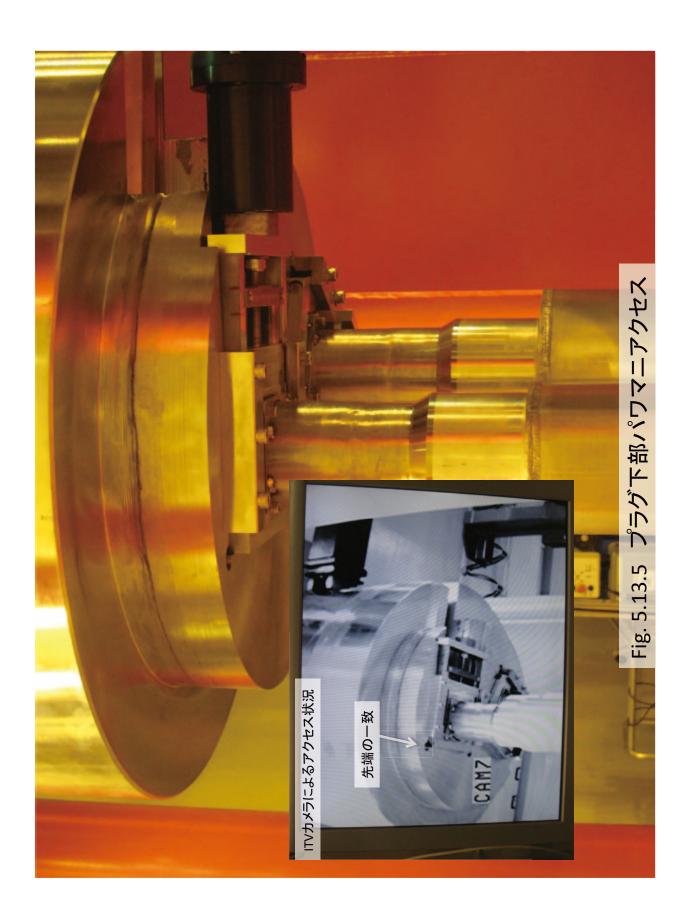
型モデレータ(DM)の於 带



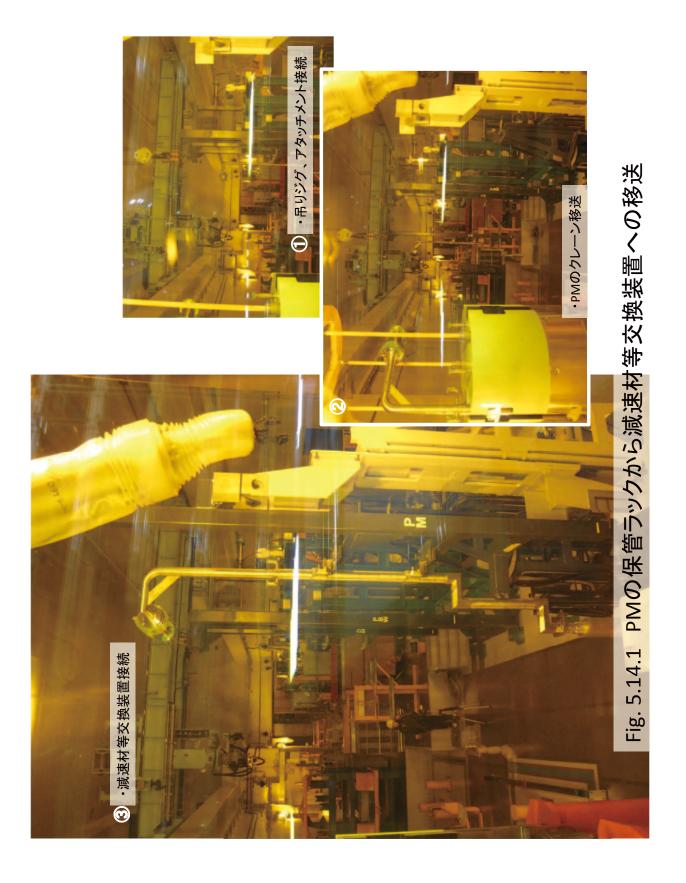


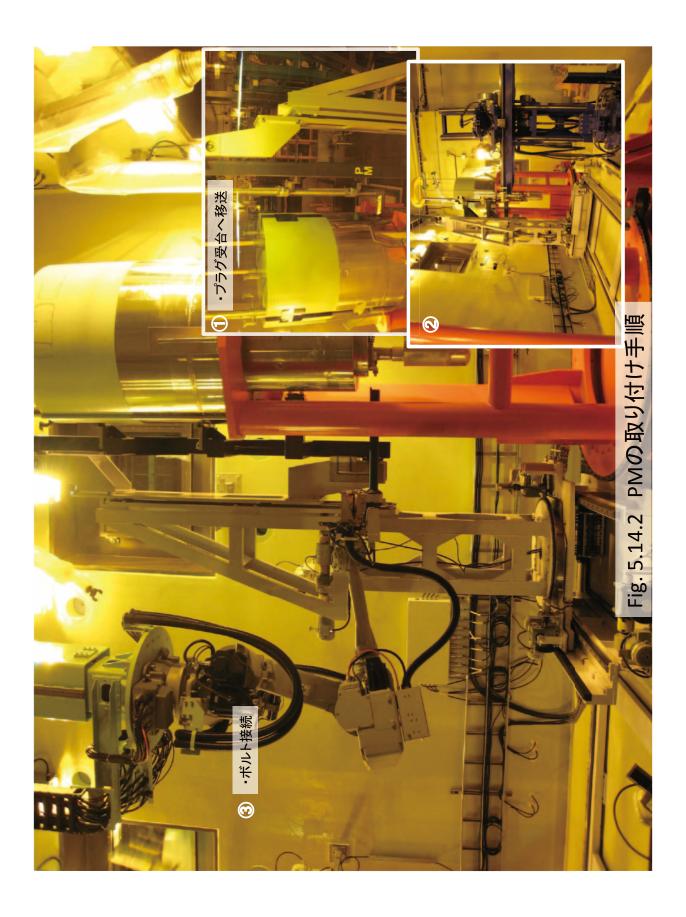


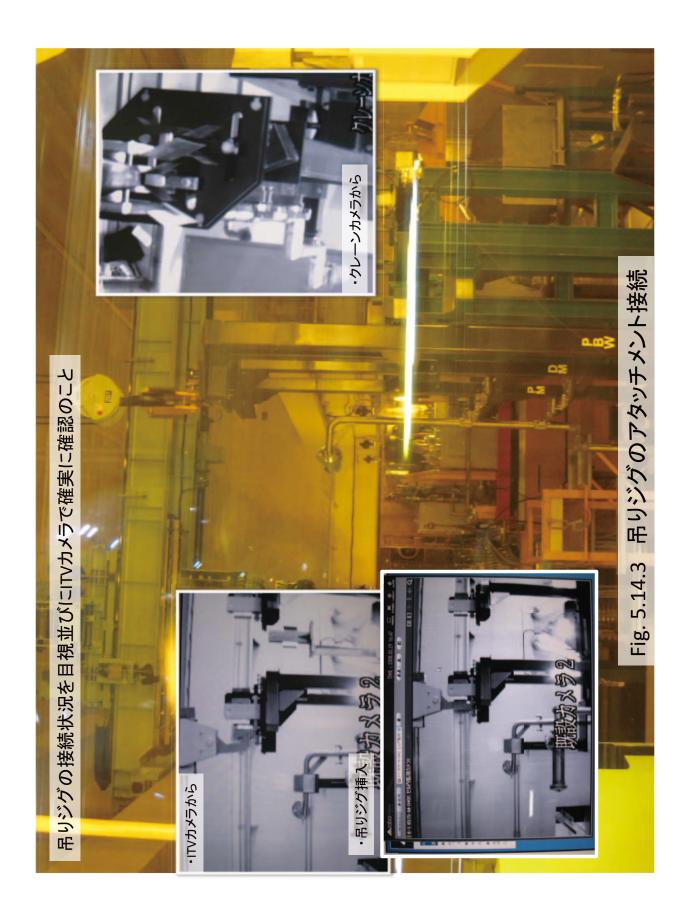




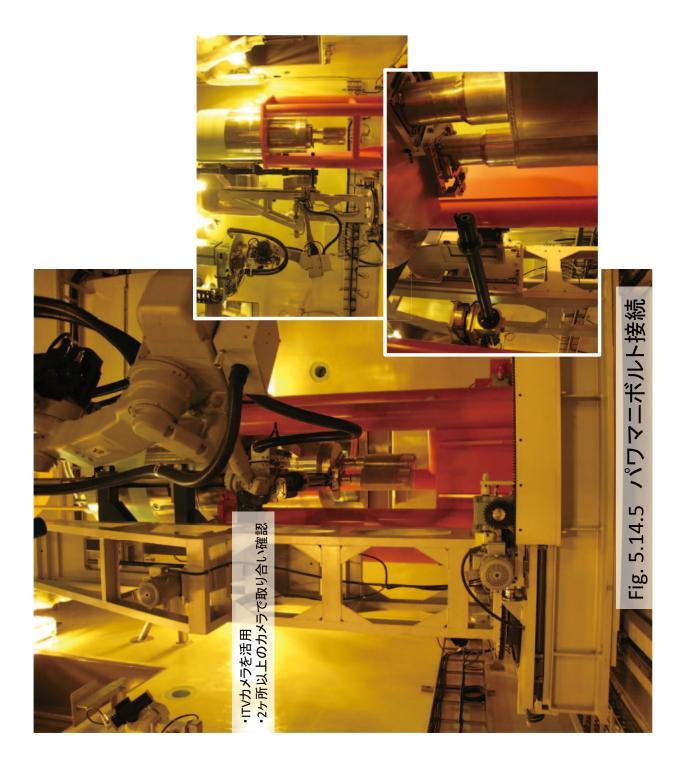
モデフータ(PM)の 対



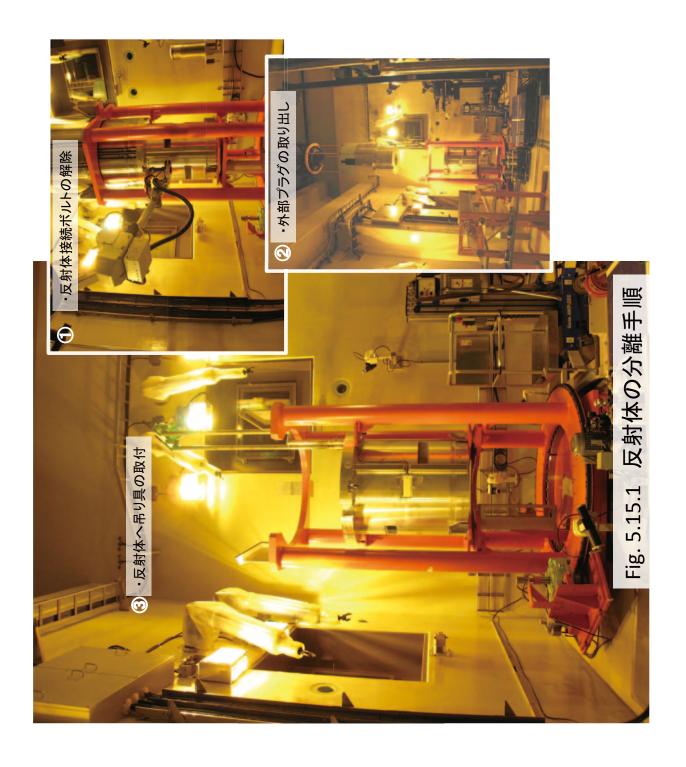




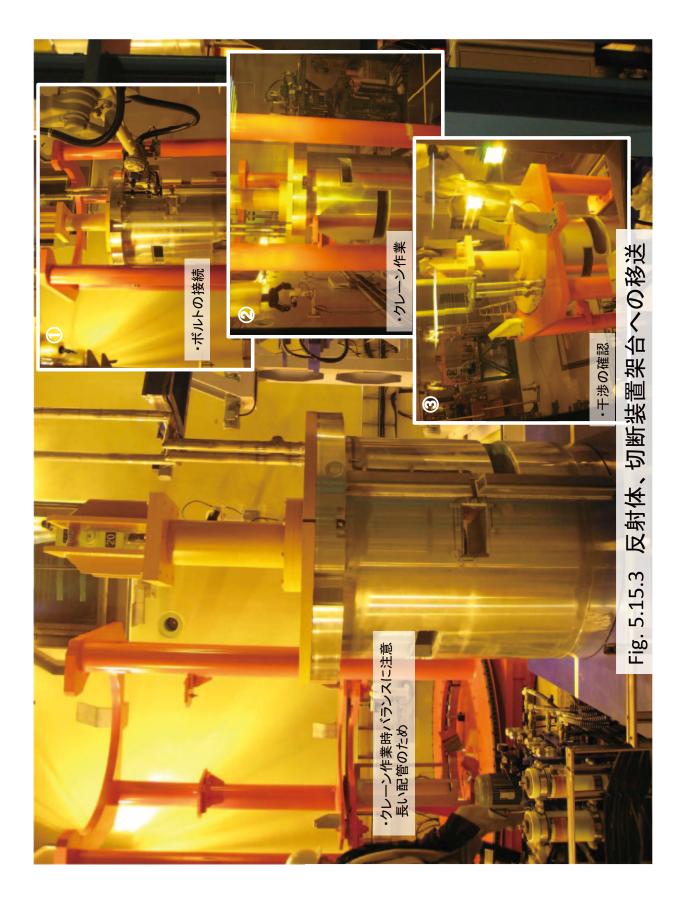


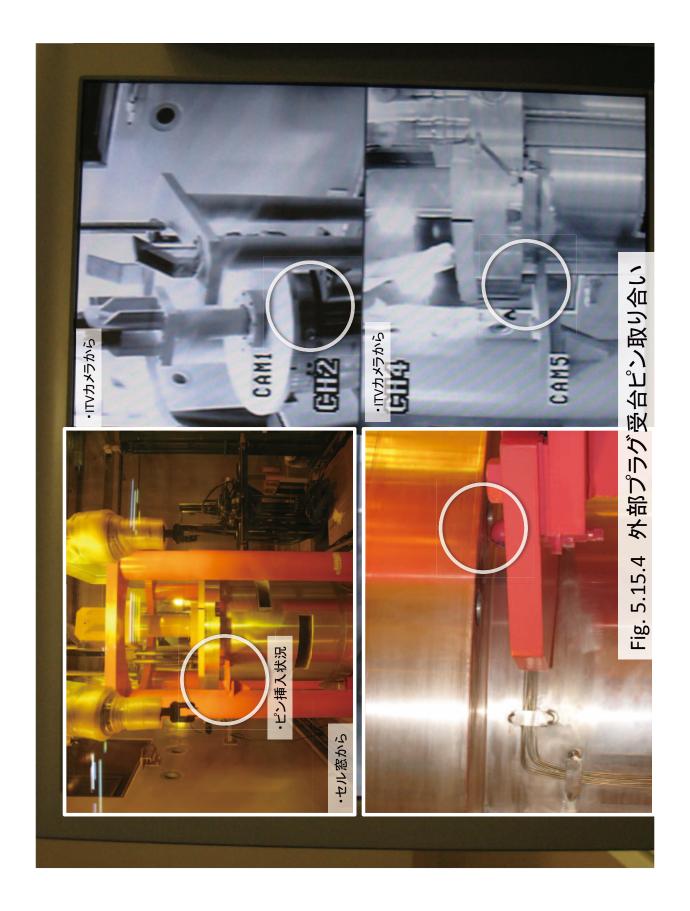


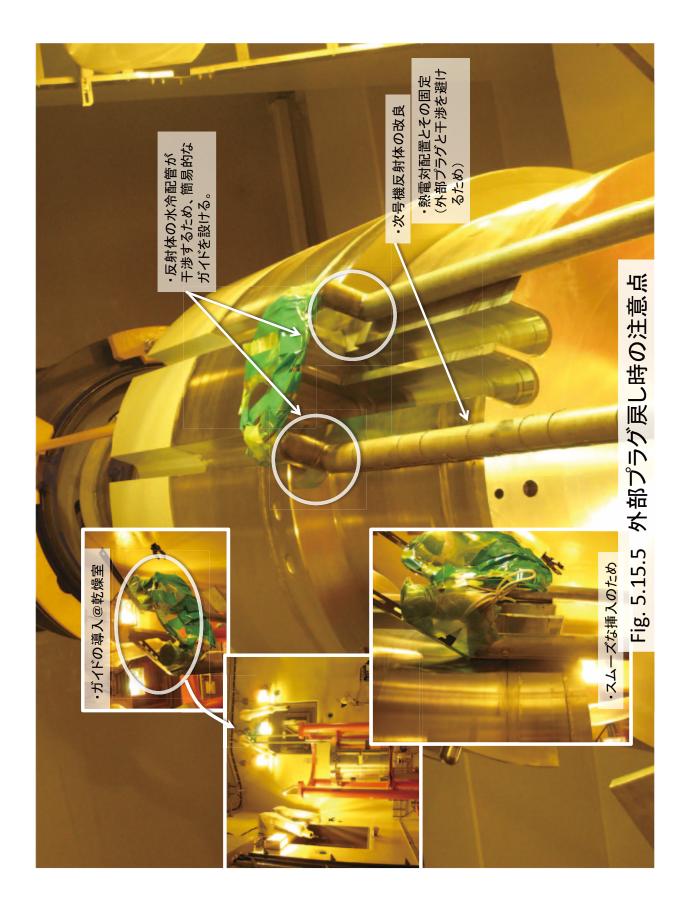
5.15 反射体の交換











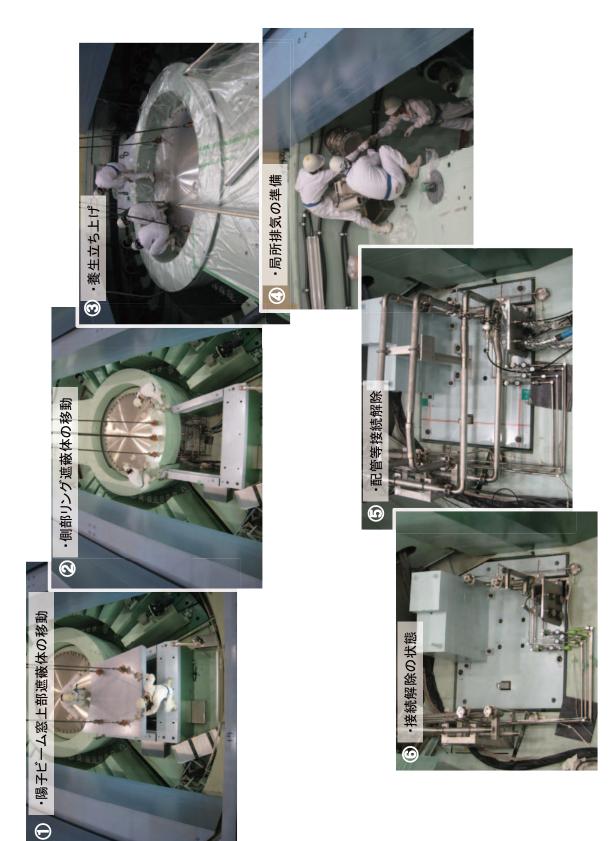
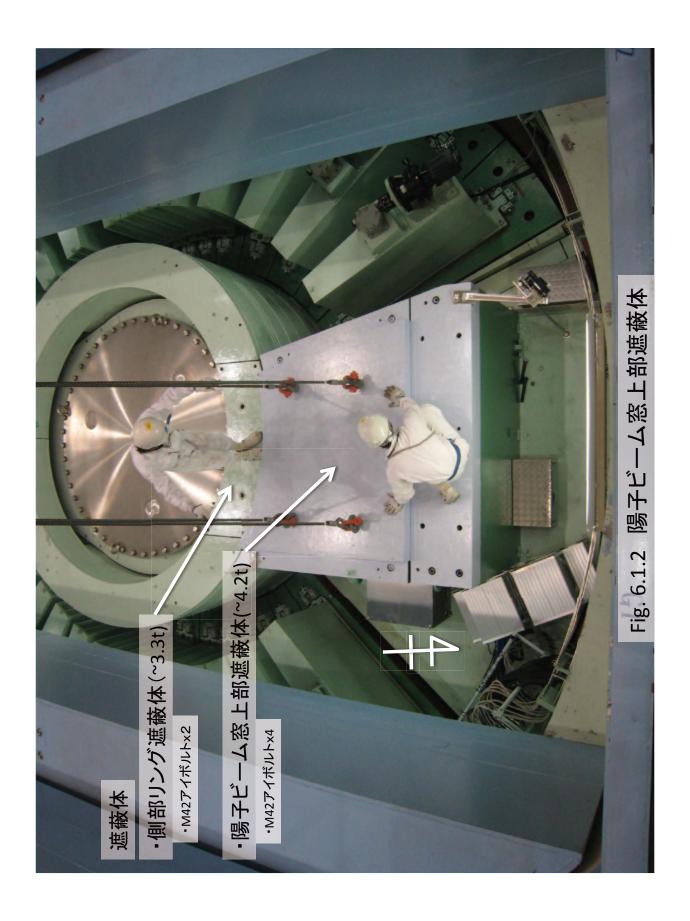
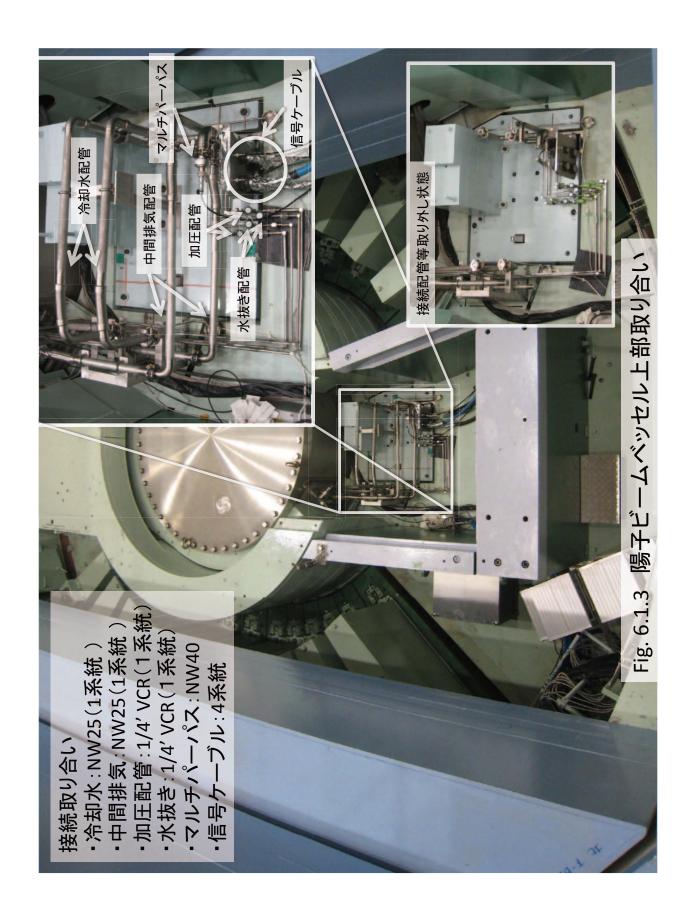
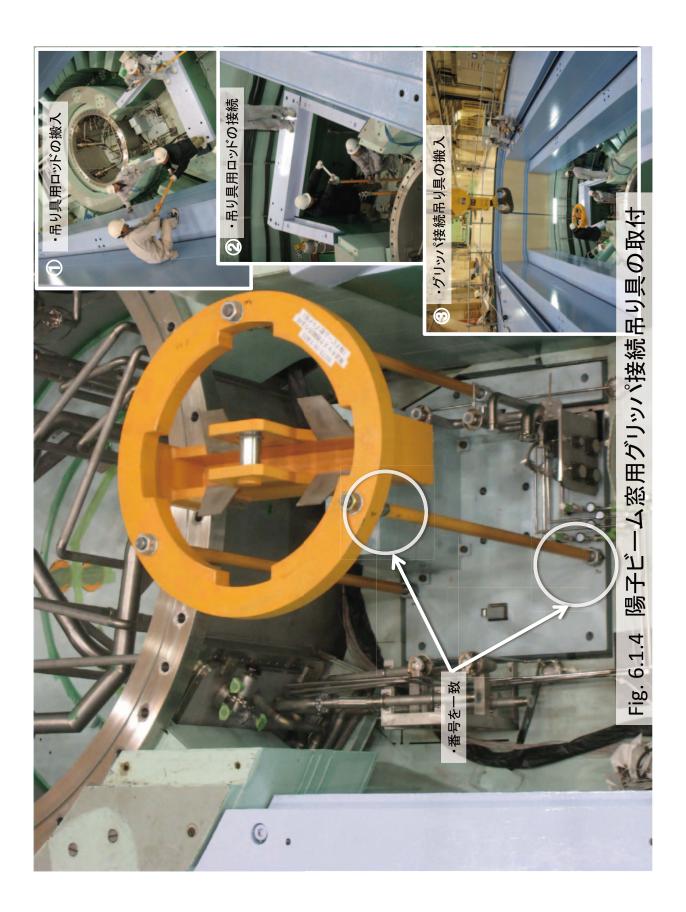


Fig. 6.1.1 遮蔽体移動及び配管等接続解除作業









6.2 乾燥装置室への移送



窓(PBW)の交換

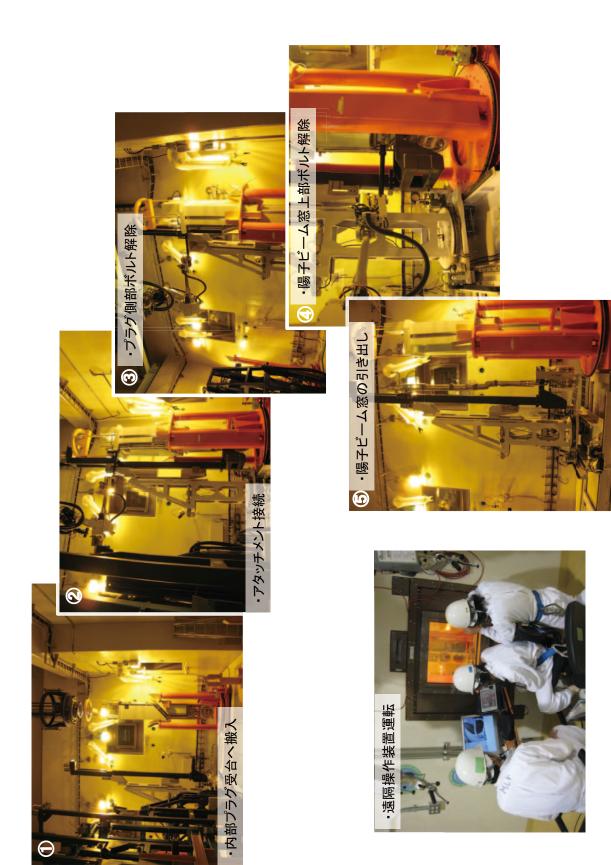
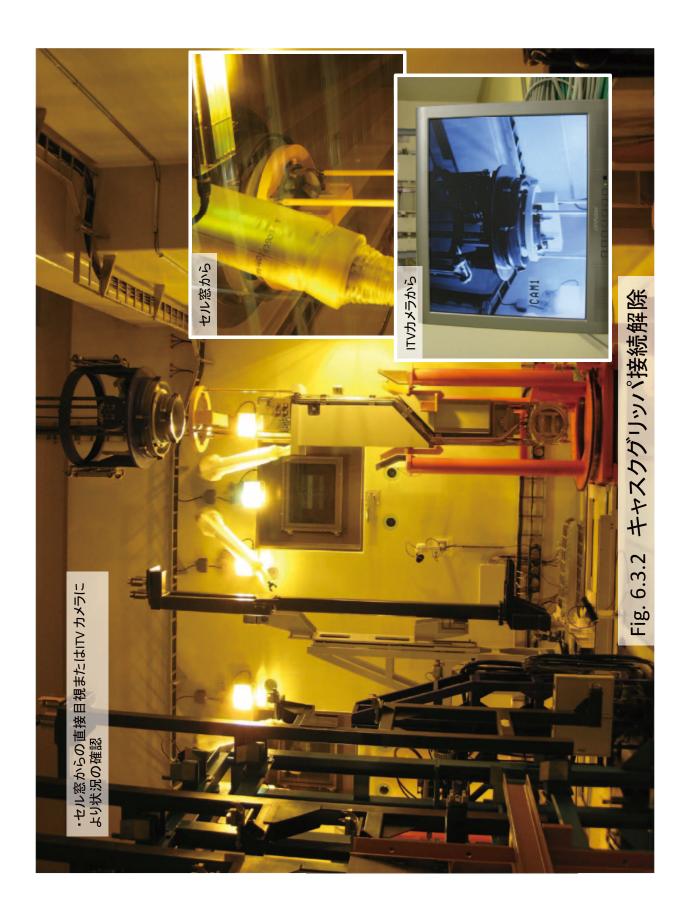
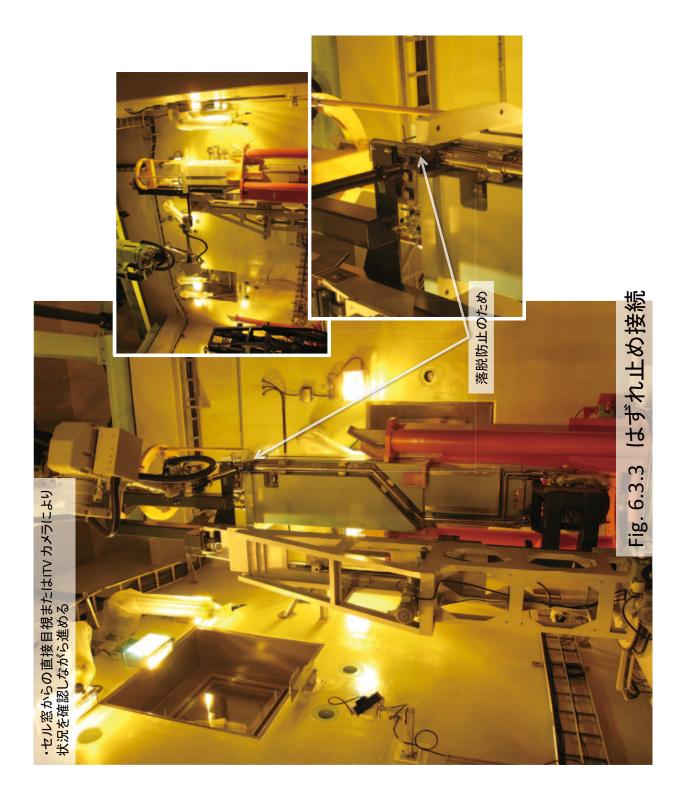
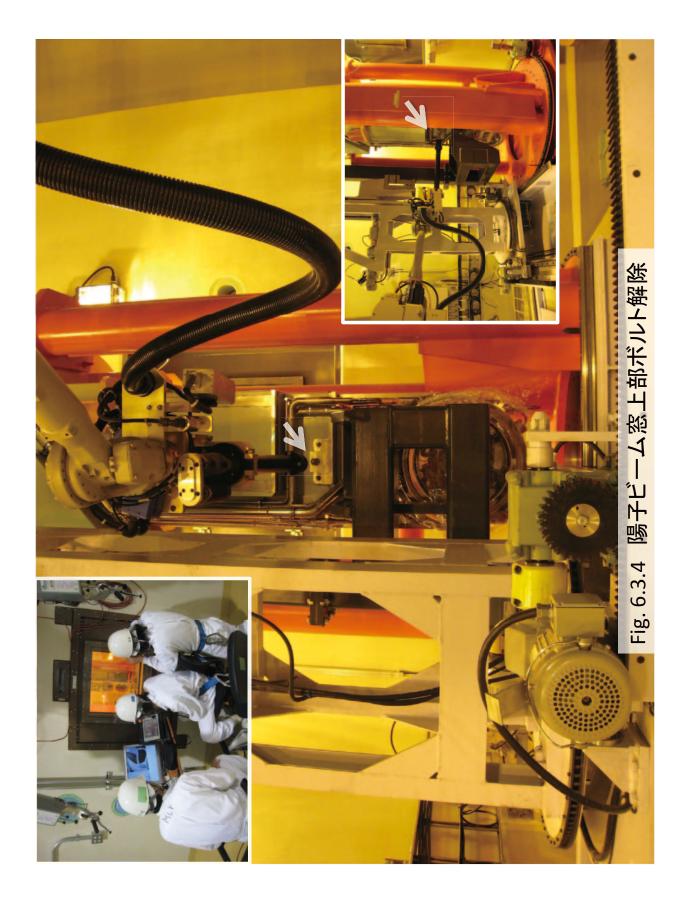
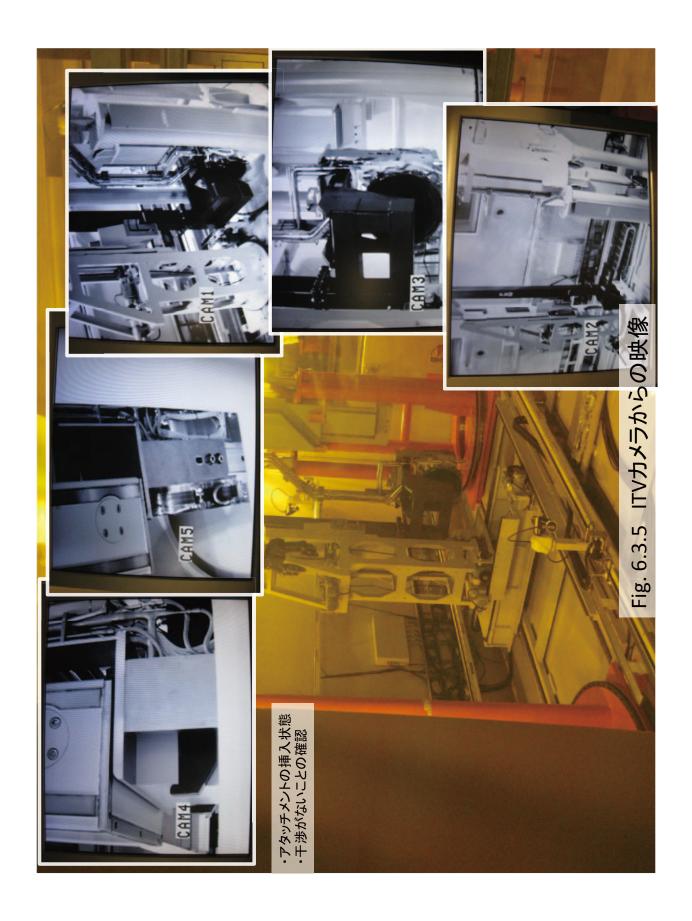


Fig. 6.3.1 陽子ビーム窓の取り出し手順



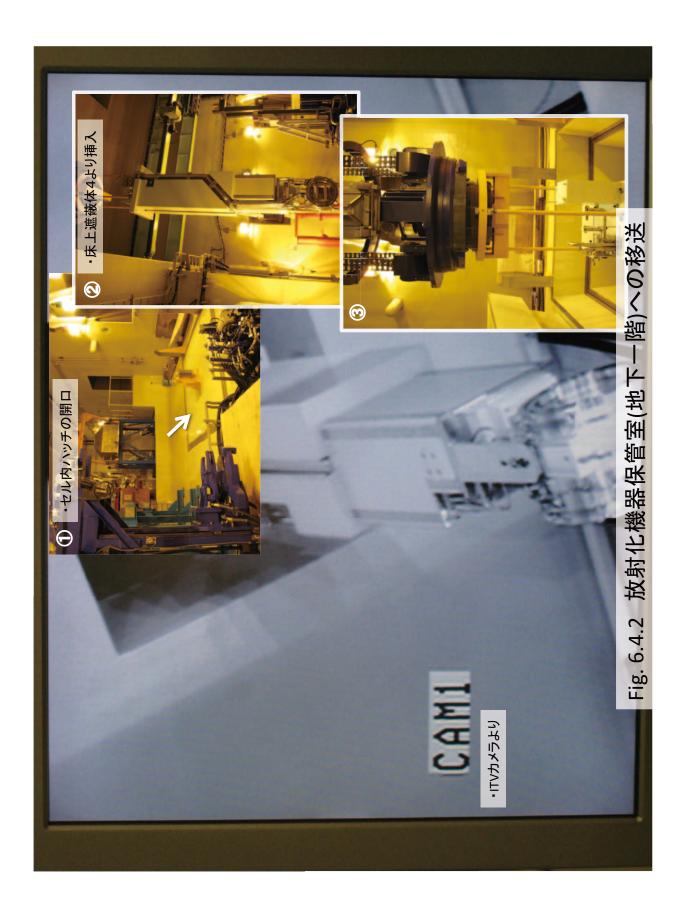






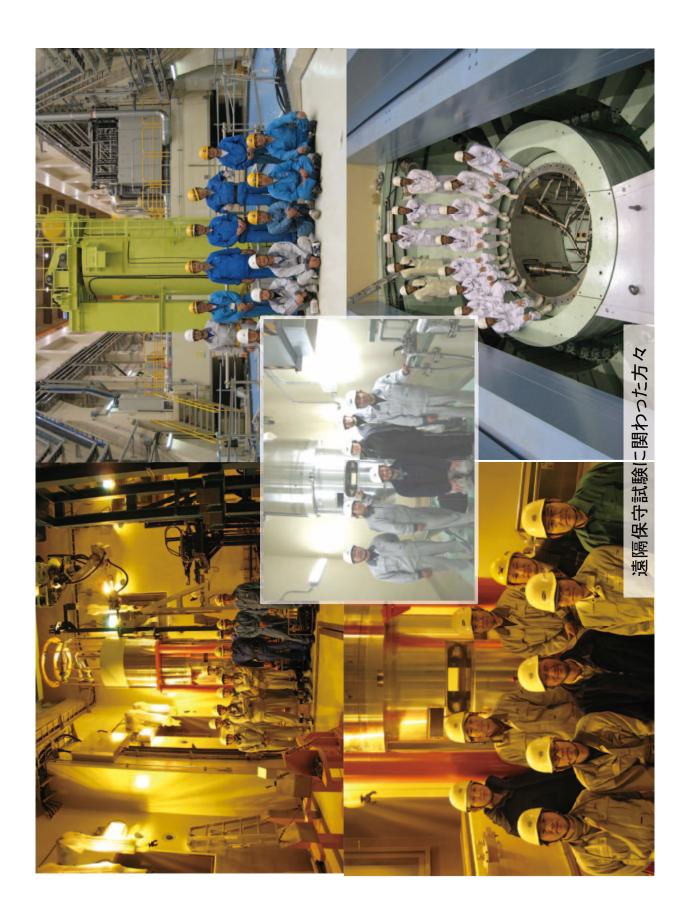












国際単位系(SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位			
- 本半里	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		

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位			
和工里	名称	記号		
面	積 平方メートル	m ²		
体	積 立法メートル	m^3		
速 き , 速	度メートル毎秒	m/s		
	度メートル毎秒毎秒	m/s^2		
波	数毎メートル	m ⁻¹		
密度, 質量密	度 キログラム毎立方メートル	kg/m ³		
面 積 密	度 キログラム毎平方メートル	kg/m ²		
比 体	積 立方メートル毎キログラム	m³/kg		
電 流 密	度アンペア毎平方メートル	A/m^2		
磁界の強	さアンペア毎メートル	A/m		
量濃度 ^(a) ,濃	度 モル毎立方メートル	mol/m ³		
質 量 濃	度 キログラム毎立法メートル	kg/m ³		
輝	度 カンデラ毎平方メートル	cd/m ²		
屈 折 率	(b) (数字の) 1	1		
比 透 磁 率	^(b) (数字の) 1	1		

- (a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。(b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

	回行の石がこれ	J (MC	SI 組立単位	
4n H				0746 L.W. (1.)
組立量	名称	記号	他のSI単位による	SI基本単位による
		HO.	表し方	表し方
平 面 角		rad	1 (b)	m/m
立 体 角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 (b)	m^{2}/m^{2}
周 波 数	ヘルツ ^(d)	$_{\mathrm{Hz}}$		s^{-1}
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	$m^2 \text{ kg s}^{-2}$
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電 荷 , 電 気 量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静 電 容 量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
100	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ A}^{-1}$
	テスラ	T	Wb/m ²	$kg s^{-2} A^{-1}$
インダクタンス	* /	H	Wb/A	$m^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ A}^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	$^{\circ}$		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 (f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与,	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 s^2$
カーマ	7 7 7	Gy	o/kg	III S
線量当量, 周辺線量当量, 方向	г. — ≈ л. Ь ^(g)	a	7/1	9 •9
性線量当量,個人線量当量	シーベルト (g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや

(a)SI接頭翻は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭翻を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同である。とがって、温度を受き温度問題を表す数値はどちの単位で表して自己である。
(f)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM動告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の)中に固有の名称と記号を含	むSI組立単	位の例 ニューニー			
	SI 組立単位					
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方			
粘	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹			
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²			
表 面 張 力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²			
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹			
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²			
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ^{·3}			
熱容量,エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$			
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$			
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²			
熱 伝 導 率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹			
体積エネルギー	・ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²			
電界の強き	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹			
	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA			
	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² sA			
	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² sA			
	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$			
透 磁 率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²			
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹			
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹			
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}sA$			
吸 収 線 量 率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³			
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³			
/// /// // // // // // // // // // // /	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³			
酵素 活性 濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol			

乗数 接頭語 乗数 接頭語 記号 記号 10^{24} 10 d 10^{21} 10⁻² 7. c 10^{18} $10^{\cdot 3}$ Е m 10^{15} $10^{\cdot 6}$ Ρ マイクロ 10^{12} Τ 10^{-9} 10^{9} G $10^{\cdot 12}$ р 10^{6} 10^{-15} Μ 10⁻¹⁸

SI 接頭語

10⁻²¹ ゼ

 10^{-24}

プ

a

表6 CIに届さたいが CIと併田される単位

h

da

 10^3

 10^{2}

 10^{1}

表も、BNC属さないが、BIC 所用される手位						
名称	記号	SI 単位による値				
分	min	1 min=60s				
時	h	1h =60 min=3600 s				
目	d	1 d=24 h=86 400 s				
度	۰	1°=(π/180) rad				
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad				
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad				
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²				
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³				
トン	t	$1t=10^3 \text{ kg}$				

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称				記号	22 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	
電	子力	ボル	7	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J	
ダ		ト		Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg	
統一	一原子	質量單	单位	u	1u=1 Da	
天	文	単	位.	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m	

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

	名称		記号	SI 単位で表される数値
バ	_	レ	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オン	グストロー	ーム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海		里	M	1 M=1852m
バ	_	ン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²
1	ツ	ト	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネ	_	パ	Np	CI単位しの粉値的か関係は
ベ		ル	В	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
デ	ジベ	ル	dB ~	

表 9 固有の名称をもつCCS組立単位

表 9. 固作	の名称	をもつUGS組工単位
名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダ イ ン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
スチルブ	sb	1 sb =1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フ ォ ト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$
ガ ウ ス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe △ (10³/4π)A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 △ 」は対応関係を示すものである。

	表10. SIに属さないその他の単位の例						
	2	名称			記号	SI 単位で表される数値	
牛	ユ		IJ	ſ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq	
レ	ン	卜	ゲ	ン	R	$1 R = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$	
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy	
V				A	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv	
ガ		ン		7	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10-9 \text{T}$	
フ	工		ル	37		1フェルミ=1 fm=10-15m	
メー	ートル	系ス	カラッ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg	
卜				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa	
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa	
力	D		IJ	J	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー)	
3	ク		ロ	ン	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$	