JAEA-Technology 2012-024



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—

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 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(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) 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
〒319-1195 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

. 序		1
. 币	x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
. 牧	n質・生命科学実験施設(MLF)内機器配置	4
. 速	· 「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
. モ	テレータ・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
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.

	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. Pro	oton 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、MLF1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 μ 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 μ 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 μ 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 カメラコントローラ及び ITV カメラ移動用コントローラを設置した。各コントローラは、制御卓から約 20m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:±180°、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、±0.2mm 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±0.5mm 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、±0.2mm 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~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5t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 μ 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、0.4Bq/cm² 未満、トリチウム表面汚染については、4Bq/cm² 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(0.8Bq/cm³) や ⁴¹Ar (0.1Bq/cm³)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 µ 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(⁷Be)が主要因である。冷却水中のトリチウム濃度は、 10⁴Bq/cm³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 µ 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(~100µGy/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。

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-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) 外部プラグへ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。

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。

(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

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.

1. 承

This is a blank page.













中シナリオ 闧 保 逶 6 器 業 衣 扱 取 <u>с</u>

This is a blank page.



Fig. 2.1 遠隔保守对象機器、頻度



		所要時間(日)																									
			1	Ĺ	2		3	3	4			5 6			7		8	9 10			1	1	1	2	1	3	
	使用機器	Π		Τ		Π			Π		Π	Π	Π			Π	Π				Π	Π	Τ		\square	Π	
	130,65トンクレーン			Τ																							
	移送キャスク、床上遮蔽体								Π																		
	作業フロー	Π		Т		П			Г		Π										П				П	Т	
1	モデレータ内水素の放出	Π		Г		П			П		Π										П				П	Т	
2	シャッター駆動エリアのパージ																										
3	ベッセル内のパージ					П			Γ																		
4	冷却水のドレン																										
5	水銀のドレン																										
6	ターゲットトロリーの後退																										
7	天井気密板の移動																										
8	天井遮蔽ブロックの移動																										
9	ベッセル上部遮蔽体の移動																										
10	ベッセル蓋の移動	Π		Τ		П																					
11	ベッセル内水冷配管接続解除作業					П																					
12	モデレータ水素配管接続解除作業																										
13	グリッパ用接続吊り具設置																										
14	気密管の設置																										
15	床上遮蔽体の設置																										
16	移送キャスクの設置																										
17	使用済み機器のキャスク内へ吊り上げ																										
18	乾燥装置室へ移送																										
19	移送キャスクを床上遮蔽体2に移送																										
20	新規モデレータ・反射体をキャスク内へ吊り上げ																										
21	移送キャスクをベッセル上部床上遮蔽体へ移送																										
22	新規機器のベッセル内へ挿入																										
23	移送キャスクの取り外し																										
24	床上遮蔽体の取り外し																										
25	気密管の取り外し																										
26	グリッパ用接続吊り具取り外し																										
27	モデレータ水素配管の接続作業																										
28	ベッセル内水素配管接続作業																										
29	ベッセル蓋戻し																										
30	ベッセル上部遮蔽体戻し					\square																					
31	天井遮蔽ブロックの戻し					\square																					
32	天井気密板の戻し	\square									\square										\square						
33	ターゲットトロリーの前進	\square									Ц							\square			\square						
34	冷却水の充填	\square									\square							\square			\square						
35	水銀の充填	\square									\square							\square			\square						
36	ベッセル内のパージ	\square									\square							\square			\prod						
37	シャッター駆動エリアの循環																				\square						
38	モデレータ内水素充填	Гſ	ΙE			1					ГĒ										ΤI						

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

JAEA-Technology 2012-024

		所	<u>要時</u>	間(E			2	-		2	-				-		c		-
	使用機器	┢	Η		╀	ŕ		+		, 		\vdash	4		╉		1		┢
	130,65トンクレーン		Η	+	+		\vdash			-	\square	\vdash	+	+	╉	+	+	+	t
												Ħ	+			+	+		t
	反射体等遠隔操作設備				Т											+			T
	パワーマニプレータ、インセルクレーン																		
	作業フロー				Г														Г
1	移送キャスク用吊り具の接続				\top						П				╈				T
2	移送キャスク接続ボルトの解除				\top										+				
3	乾燥装置室上に移送キャスクを移送				+						H		+	+	╈		+	+	
4	移送キャスク接続ボルトの接続				╈				-	+			+	+	╈	+	+	+	
5	キャスクケーブルの接続				╈			+	+	+	\vdash		+	+	╉	+	+	+	⊢
6	15乾燥室上部ハッチの間口	+			╈	-		+	-	-			+	+	╈	+	+	+	+
7	移送キャスク下部遮蔽扉の間口	+			╈	-			+	+			+	+	+	+	+	+	+
8	た上であるようの目口	+			╈	-			-	+			+	+	+	+	+	+	+
9	旅送キャスクログリッパの下降	┢			╋	-		+	+	+	\square		+	+	╉	+	+	+	+
10		+			╋	-		+	-	-			-	+	╉	+	+	+	+
11	テラブ・反応シアと反抗	+			╋	-		+	-	-			+	+	╉	+	+	+	+
12	8洋キャスク下部渡藤屋の間口	+				+	\vdash	+	+	+	\vdash		+	+	╉	+	+	+	+
12		+				+		+	+	+	\vdash		+	+	╉	+	+	+	+
14	15乾燥室上部八小千の閉口	+						+	-	+			+	+	╈	+	+	+	+
15		+			+	-		+	-	-			-	+	╉	+	+	+	+
10	イヤベンケーンルの技術件は	┢					\vdash	+	+	+	\vdash	\vdash	+	+	╉	+	+	+	⊢
10	物ンイヤヘン技術バルドの解除 は 如プニグ みけみ と如 。 教送ナ トマカ た教送	+					\vdash	+	+	+	\vdash		+	+	╉	+	+	+	+
10	アージノフタリロニーの体結	+				-		+	-	-			-	+	+	+	+	+	+
10		+	+	+		-	\vdash	+	+	+	+	\vdash	+	+	+	+	+	+	+
19		+	$\left \right $	\vdash		-	\vdash	+	+	+	⊢∣	\vdash	+	+	╀	+	+	+	⊢
20		+	$\left \right $	\vdash			\vdash	+	+	+	\square	\vdash	+	+	+	+	+	+	+
21	モテレーダ・反別体・ノフソのキャスソ内への市り下げ	+	$\left \right $	\vdash	+		\vdash	+	-	+	+	\vdash	+	+	+	+	+	+	⊢
22	モテレーン・反射体・ノフクの外部ノフク受け台への着座 ゲリー・ペットな体験の	+		+	+			+	+	+	H	\vdash	+	+	+	+	+	+	+
23	ソリツハの接続所除	+		\vdash	╀	-			-	+	\square	\vdash	+	+	+	+	+	+	⊢
24	内部ノフク 受け台の市り具ヘクリッハの接続	+			╀	-			+	+	\square	\vdash	+	_	+	+	+	+	1
25	内部ノフソのキャスク内への市り上げ	+		\square	╀	-			+	+	\square	\vdash	+	+	+	+	+	+	1
26	移送キャイント部連載展の閉口	⊢	$\left \right $		+	-			+	+	\square	\vdash	+	_	+	+	+	+	\vdash
27	床上巡線体巡線屏の閉口 ト・マックト ゴックは体部の	+	$\left \right $		+	-			+	+	\square	\vdash	+	_	+	+	+	+	\vdash
28	キャスクケーフルの接続解除	+			+	-	\square			-	\square	\vdash	+	+	+	+	_	+	+
29	移送キャスク接続ホルトの解除	+			+	-	\square			-	\square	\vdash	+	+	+		+	+	⊢
30	内部フラク受け台上部へ移送キャスクの移送	+			╇		\square			-	\square	\square	\downarrow	+	+		_	+	⊢
31	移送キャスク接続ボルトの接続	+			+		\square			-	\square	\vdash	+		4	+	_	_	
32	キャスクケーブルの接続				╇										_				⊢
33	移送キャスク下部遮蔽扉の開口				⊥										+			_	
34	床上遮蔽体遮蔽扉の開口				⊥										_			_	
35	内部プラグの吊り下げ				+										4				
36	内部プラグ受け台への着座				⊥										+			_	
37	グリッパ接続ジグの解除				⊥										_				
38	グリッパの上昇				1										+			_	
39	移送キャスク下部遮蔽扉の閉口				⊥										+			_	
40	床上遮蔽体遮蔽扉の閉口				╇										+			_	
41	キャスクケーブルの接続解除				⊥										+			_	
42	移送キャスク接続ボルトの解除				1										4			_	
43	外部プラグ受け台上部へ移送キャスクを移送	-			╇			_					_	\rightarrow	+	+		_	⊢
44	移送キャスク接続ボルトの接続				╇								_	\rightarrow	+			_	
45	キャスクケーブルの接続	┢			╇			+			Ц			+	+	+		_	⊢
46	結合型モデレータ用アタッチメントの減速材等交換装置への移送				⊥										+			_	
47	減速材等交換装置の自動運転				⊥				_						_			_	
48	結合型モデレータ用アタッチメントの手動運転による接続				1										4				
49	ハリーマニブレータによる外れ止めの接続	+			+	-	\square	+	+	+	\square		\downarrow	\perp	4	+	+	+	1
50	パワーマニフレータによる接続ボルトの解除	+	\square				\square		+	-	\square				\downarrow	\downarrow	+	_	
51	モデレータ用アタッチメントに接続された結合型モデレータの取り出し	1					\square	+		-	\square	Щ			\downarrow		_		
52	インセルクレーンで結合型モデレータの保管ラックへの移送	+			╇		\square		_	_	\square	Щ			\downarrow			_	
53	ハリーマニブレータによる反射体と外部ブラグ接続ボルトの解除	+	\square		1		\square	+	+	-	\square	\vdash				+	_	-	
54	移送キャスク下部遮蔽扉の開口	+			+		\square		_	-	\square	\square	\downarrow			+	+	+	1
55	床上遮蔽体遮蔽扉の開口	1	\square		1		\square	+	+	-	\square	\square				+	+		
E 0	FRY A FLAND FRY AND THE STATE OF THE STATE O						\square			_	\square	\square							
56	移送キャスクロクリッハの下降						\square	\perp	_	_	\square	\square							
56 57	移送キャベク バクリッパの 下降 外部 プラグ ヘグリッパの 接続						- I	1	_	_	\square	Щ						1	1
56 57 58	移送キャスクルグリッパの下降 外部プラグへグリッパの接続 外部プラグを移送キャスク内へ収納				∔			-		1		i (_	_	+
56 57 58 59	移送キャネクルクガッパの下降 外部プラグへグリッパの接続 外部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口				╞				+	_	+		-						t
56 57 58 59 60	移送キャスクルクカッハの下降 外部プラグヘグリッパの接続 外部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部這蔵扉の閉口 床上遮蔵体遮蔽扉の閉口																		
56 57 58 59 60 61	移送キャスクルクカッハの下降 外部プラグヘグリッバの接続 外部プラグヘズリッバの接続 移送キャスク下部遮蔵扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続																		
56 57 58 59 60 61 62	Pb运キャペンりパンリッパの下降 外部プラグベグリッパの接続 外部プラグネジレッパの下降 教部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽休遮蔽扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送																		
56 57 58 59 60 61 62 63	Pez+マネクルタブリッハの下降 外部プラベクリッハの接続 外部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮破休遮破扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 新規反射体を外部プラグ受け台へ移送																		
56 57 58 59 60 61 62 63 64	移送キャネク内グリッパの医検 外部プラグヘグリッパの接続 外部プラグヘグリッパの接続 外部プラグヘグリッパの接続 移送キャスクト部連載扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 大上遮蔽体遮蔽扉の閉口 インセルクレーンでの射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 移送キャスクト部遮蔽扉の開口																		
56 57 58 59 60 61 62 63 63 64 65	Pbさキャペクリタブリグの下降 小部プラグヘグリッバの接続 外部プラグヘグリッバの接続 外部プラグネダ送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 ノンセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 期提反射体を外部プラグ受け合へ移送 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口																		
56 57 58 59 60 61 62 63 63 64 65 66	Pb运キャマスク内グリッバのを除 外部プラグヘグリッバの接続 外部プラグヘグリッバの接続 外部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 移送キャスク下部遮蔽扉の開口 床上遮蔽体遮蔽扉の開口 ゲリッパを下降し、外部プラグを移送																		
56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67																			
56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68	移送キャスク内グリッバのを操 外部プラグペグリッバの接続 外部プラグペグリッバの接続 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 野送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮板/遮蔽扉の閉口 床上遮板/遮蔽扉の閉口 グリッバを下降し、外部プラグを移送 外部プラグを移送 外部プラグを移送 外部プラグを移送 外部プラグを移送 外部プラグを移送 外部プラグを移送 外部プラグを移送 学校 学校 学校を新聞の目 グリッバの上昇																		
56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69	移送キャペン内グリッバの下降 外部プラグヘグリッバの接続 外部プラグヘグリッバの接続 外部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 大上遮蔽体遮蔽扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 制提反射体を外部プラク受け合へ移送 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 ゲリッパを下降し、外部プラガを移送 外部プラグを制足反射体へ着座 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口																		
56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70																			
56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71	巻述キャネクP/97/97/06 下線 外部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 パリッパを下降し、外部プラグを移送 外部プラグを新規反射体へ着座 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口																		
56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72	移送キャスク内グリッハの下降 外部プラグベグリッハの下降 外部プラグベグリッハの接続 外部プラグベグリッハの接続 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 床上遮板に遮蔽扉の閉口 床上遮板症蔵扉の閉口 床上遮板症蔵扉の閉口 パリッパを下降し、外部プラグを移送 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮板症遮蔽扉の閉口 床上遮板症遮蔽扉の閉口 床上遮板に遮蔽扉の閉口 床上遮板に遮蔽扉の閉口 床上遮板を見たりからがしま																		
36 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73	巻送キャスク内グリッバの下降																		
36 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74	巻述キャネクP4709/00 下降 外部プラグな移送キャスク内へ収納 外部プラグな移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 パンセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を効部プラグ受け合へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 第送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 パワーマニブレータによる反射体と外部プラグ接続ボルトの接続 新規結合型モデレータを保管ラックから減速材等交換装置へ移送 減速材等交換装置の自動運転 手動運転により新規結合型モデレータを接続																		
36 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74	巻きキャスク内クリッハの下降 外部プラグへグリッハの接続 外部プラグを移送キャスク内へ収納 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 インセルクレーンで反射体吊り具の接続 反射体を切断装置へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 新規反射体を外部プラグ受け合へ移送 移送キャスク下部遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 床上遮蔽体遮蔽扉の閉口 床上遮蔽は遮蔽扉の閉口 床上遮蔽は遮蔽扉の閉口 床上遮蔽は遮蔽扉の閉口 床上遮蔽は遮蔽扉の閉口 床上遮蔽は遮蔽扉の閉口 床上遮蔽は遮蔽扉の閉口 パワーマニブレータによる反射体と外部プラグ接続ボルトの接続 新規結合型モデレータを接続 パワーマニブレータに表示レータを接続 パワーマニブレークに表示が止かの接続																		
36 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76																			
36 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76																			

Fig. 2.4 使用済みモデレータ・反射体のセル内交換

JAEA-Technology 2012-024

						Required period (days)											
			7		Т	8		ç)	Т	10	Т	1	1	Г	12	
	使用機器						П					Π	Т	П	Π		
	130.65トンクレーン														\square		
	100,001 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 -			+			+		\vdash	+							
	反射体生活隔操作設備	H												╇╋		++	
												H	+	\vdash	+		
	バリーマーフレーダ、インセルワレーフ			-									+	\vdash	╉┥	-+-+-	
		┶		_	+		+	_		+	_	\square	—	\vdash	╉┥		
73	非結合型モデレータ用アタッチメントの減速材等交換装置への移送						+			\square		\square	\perp	\vdash	\downarrow	$\rightarrow \rightarrow$	
74	減速材等交換装置の目動運転											\square	\perp	\square	\square		
75	非結合型モデレータ用アタッチメントの手動運転による接続																
76	パワーマニプレータによる外れ止めの接続																
77	パワーマニプレータによる接続ボルトの解除																
78	モデレータ用アタッチメントに接続された非結合型モデレータの取り出し																
79	インセルクレーンで非結合型モデレータの保管ラックへの移送									Т		П			П		
80	新規非結合型モデレータを保管ラックから減速材等交換装置へ移送						\square					П			Π		
81	減速材等交換装置の自動運転													\square	\square		
82	手動運転により新規非結合型モデレータを接続											H	+	\square	Ħ		
83	パワーマニプレータによるボルトの接続			+			+		\vdash	H		H	+	++	+	++	
84	パワーマニプレータによる外れ止めの解除			+					\vdash		+		+	\vdash	+	++	
95 85	アタッチメントのみの取り出し		+	+				+	\vdash	+	+		+	++	+	++	
00	インセルクレーンでアタッチャントを保管ニックに移送	+	+	+				+	\vdash	+	+	⊢╂	+	++	╉┤	++	
00	「ここんして、ここと、ここと、ここと、ここと、ここと、ここと、ここと、ここと、ここと、ここ	╉┥	\vdash	+	+	\vdash			\vdash	╉┥	+	┝╋	+	┢┼┿	╉┥		
	バイノン空でテレージ用ノジッティントの減迷付寺父授装直への移达 減速力生な施特等の自動運転	+	+	+	+	\vdash	+		\vdash	+	+	⊢╂	+	++	╂┤	++	
88	淡述竹寺文授表世の日期連転 よった、町エゴレーク田フタルエルトのチ科)国転にたて拉体	+		+	+		+		\vdash	+	_	\square	+	\vdash	╂┤	++	
89	小イソン空モナレーダ用アダツナメントの手動連転による接続			_			+				_	\square	_	\vdash	+		
90	ハリーマニフレータによる外れ止めの接続			_							_	\square	+	\vdash	\downarrow	$\rightarrow \rightarrow$	
91	パワーマニブレータによる接続ボルトの解除													\square			
92	モデレータ用アタッチメントに接続されたポイゾン型モデレータの取り出し																
93	インセルクレーンで非結合型モデレータの保管ラックへの移送																
94	新規ポイゾン型モデレータを保管ラックから減速材等交換装置へ移送																
95	減速材等交換装置の自動運転																
96	手動運転により新規ポイゾン型モデレータを接続														П		
97	パワーマニプレータによるボルトの接続									Π		П			Π		
98	パワーマニプレータによる外れ止めの解除													\square	\square		
99	アタッチメントのみの取り出し						\top			Т		H	+		\square		
100	インセルクレーンでアタッチメントを保管ラックに移送												-		+		
101	キャスクケーブルの接続解除									Н				┢┼╴	+	++	
102	移送キャスク接続ボルトの解除			-							+			\vdash	+	++	
102	内部プラグ受け会上部へ移送キャスクを移送			+			+		\vdash	+	+			++	╂┤		
103	おビンフク技術により、多点でパンを多点			+			+			+	-			\vdash	╂┤		
104	19 広イマスノ接続ホルトの接続 キャスクケーブルの接続	+		-			+		\vdash	+			-	\vdash	╂┤		
105	イヤヘックークルの技術			-			+				_			\vdash	+		
106				_			+	_			_	\square	_	\vdash	+		
107	休上遮敝体遮敝扉の開口	+		_	+		+		\square	+	_	\square		\vdash	+		
108	や広ヤヤムン内クリッハの下降 	+		+		\square	+	+	\vdash	+	+			\vdash	+	++	
109	ハボノフソクリッハ接続ンクと接続			+		\square	+		\vdash	+	+	\square		\vdash	\downarrow	$\rightarrow \rightarrow$	
110	内部フラクをキャスク内へ吊り上げ	\downarrow		\perp		\square	+		\square	\square	\perp			\vdash	\downarrow	$\rightarrow \rightarrow$	
111	移送キャスク下部遮蔽扉の閉口					\square	\perp		\square	\square		\square		\square	\square	$\rightarrow \rightarrow$	
112	床上遮蔽体遮蔽扉の閉口	\square				\square	\downarrow		\square	\square		\square		\square	\square	\square	
113	キャスクケーブルの接続解除								\square			\square	\perp				
114	移送キャスク接続ボルトの解除						\square					\square					
115	外部プラグ受け台上へ移送キャスクを移送									\Box							
116	移送キャスク接続ボルトの接続						\square				T	Π	T		\square		
117	キャスクケーブルの接続				Π							Π	T		\square		
118	移送キャスク下部遮蔽扉の開口			+	П		\top		\square	П			+				
119	床上遮蔽体遮蔽扉の開口		\square	+			+		\square	\top	\top		+				
120	内部プラグを外部プラグ受け台上に吊り下げ		+	+		\vdash	+		\vdash	+	+		+			++	
121	内部プラグを外部プラグトに差座	+	+	+		\vdash	┼┨	+	\vdash	+	+	⊢╂	+			++	
122		╉┤	+	+		\vdash	┼┨	+	\vdash	+	+	⊢╂	+			++	
122	グリッパの我洋キャスク内への収納	+	+	+	+	\vdash	+	+	\vdash	+	+	⊢╂	+			++	
123		+	+	+	+	\vdash	+	+	\vdash	+	+	⊢╂	+			++	
124	19 レイマイント 可過 散身の 月日	+	\vdash	+	+	\vdash	+	+	\vdash	+	+	⊢╂	+			++	
125	床上巡漑1や巡漑即の団日	╉┥	\square	+	+	\vdash	+		\vdash	+	+	⊢╂	+	+	\blacksquare	++	
126	オヤハンソーノルの伝統解除	+	\vdash	_	+	\vdash	+		\vdash	+	+		+	\vdash		++	
127	移送キャスク吊りジクの取り外し											Ш					

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)

		所要時間(日)																							
			1			2	3		3		4		5		6			7	8	ę)	1	10		11
	使用機器																								
	130,65トンクレーン																								
	移送キャスク、床上遮蔽体																								
	作業フロー																								
1	シャッター駆動エリアのパージ																								
2	冷却水のドレン																								
3	天井気密板の移動																								
4	天井遮蔽ブロックの移動																								
5	ベッセル上部遮蔽体の移動																								
6	陽子ビーム窓上部遮蔽体の移動																								
7	側部リング遮蔽体の移動																								
8	冷却水配管接続解除作業																								
9	グリッパ用接続吊り具設置																								
10	床上遮蔽体の設置																								
11	移送キャスクの設置																								
12	使用済み機器のキャスク内へ吊り上げ																								
13	乾燥装置室へ移送																								
14	移送キャスクを床上遮蔽体2に移送																							Π	
15	新規陽子ビーム窓をキャスク内へ吊り上げ																								
16	移送キャスクをベッセル上部床上遮蔽体へ移送																								
17	新規機器の挿入																								
18	移送キャスクの取り外し																								
19	床上遮蔽体の取り外し																								
20	グリッパ用接続吊り具取り外し																								
21	冷却水配管の接続作業																								
22	側部リング遮蔽体の移動																								
23	陽子ビーム窓上部遮蔽体戻し																								
24	側部リング遮蔽体戻し																								
25	天井遮蔽ブロックの戻し																								
26	天井気密板の戻し																								
27	冷却水の充填																								
28	シャッター駆動エリアの循環	Π															П						T		

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

L 1			所	所要時間		<u>間(</u>	<u>日)</u>						_			_					
				1				2			3			4			5			6	
- [使用機器																			
		130, 65トンクレーン																			
		移送キャスク、床上遮蔽体																			
		反射体等遠隔操作設備				Т															
		パワーマニプレータ、インセルクレーン				Т															
ſ		作業フロー		Π	Т	Т				Τ			Γ			Π		Π	Τ	Π	
T	1	移送キャスク用吊り具の接続				T															
Ī	2	移送キャスク接続ボルトの解除				T															
t	3	乾燥装置室上に移送キャスクを移送				T						Γ							1		
Ī	4	移送キャスク接続ボルトの接続				T															
t	5	キャスクケーブルの接続				T													1		
t	6	1F乾燥室上部ハッチの開口				1										\square					
t	7	移送キャスク下部遮蔽扉の開口				╈				+	+		Η						+		
t	8	床上遮蔽体遮蔽扉の開口			1	t		T		+	+						+		+		
t	9	移送キャスク内グリッパの下降				╈				╈		Ħ							+		
t	10	グリッパ接続ジグと接続	t			╈				+	+			+		\parallel	+	+	+	\square	
t	11	陽子ビーム窓のキャスク内への吊り上げ	t			╈	1	\square		+	+	Ħ		\vdash	+	†	+		+		
t	12	移送キャスク下部遮蔽扉の閉口					+			+	+			\square	+	\square			+		
t	13	床上遮蔽体遮蔽扉の閉口		H				T		+	+						+		+		
t	14	1F乾燥室上部ハッチの閉口		H				T		+	+	H					+		+		
ł	15	キャスクケーブルの接続解除						+		+	+		H			H			+		
t	16	移送キャスク接続ボルトの解除						t		+	+		H						+		
t	17	内部プラグ受け台上部へ移送キャスクを移送		\square	+					+	+	H	H			H	+		+		
t	18	キャスクケーブルの接続								+	+						+		+		
t	19	内部プラグ受け台に陽子ビーム窓用アタッチメントの接続		H	1	Т				+	1	H			+	Ħ			+		
t	20	移送キャスク下部遮蔽扉の開口			1	╈				╈		Ħ				Ħ			+		
t	21	床上遮蔽体遮蔽扉の開口		H		╈				+						П			+		
t	22	陽子ビーム窓のキャスク内への吊り下げ				1															
t	23	陽子ビーム窓の内部プラグ受け台への着座				╈										\square					
t	24	グリッパの接続解除		Π		T									+	П			+		
İ	25	グリッパのキャスク内への吊り上げ				T										П			1		
Ī	26	移送キャスク下部遮蔽扉の閉口				T										Π					
t	27	床上遮蔽体遮蔽扉の閉口	ſ	Π		T						Π		\square		Π			\top		
t	28	陽子ビーム窓用アタッチメントの減速材等交換装置への移送		Π		T						Π				П	1		\top	Π	٦
t	29	減速材等交換装置の自動運転	1	Π		T					Τ	Π				\square			\top		
t	30	陽子ビーム窓用アタッチメントの手動運転による接続		Π		T		\square	T			Π				Π			\top	Π	Τ
t	31	パワーマニプレータによる外れ止めの接続	1	Π												Π				Π	
t	32	パワーマニプレータによる接続ボルトの解除	1	\square	╡	T						Π		\square		\square			1	Π	
t	33	モデレータ用アタッチメントに接続された陽子ビーム窓の取り出し		Π		T										Π			\top	Π	Τ
t	34	インセルクレーンで陽子ビーム窓の保管ラックへの移送		Π												Π				Π	
Ī	35	新規陽子ビーム窓を保管ラックから減速材等交換装置へ移送		\square		T					Τ					Π			Τ	Π	
Ī	36	減速材等交換装置の自動運転				T					Τ	Π				Π					
ſ	37	手動運転により新規陽子ビーム窓を接続		\square		T										Π			Τ		
Ţ	38	パワーマニプレータによるボルトの接続		\square		T					Τ	Π				Π			Τ	Π	
t	39	パワーマニプレータによる外れ止めの解除	1	Π												Π			\top	Π	
t	40	アタッチメントのみの取り出し	1	\square	╡	T					Τ	Π							1	\square	
t	41	インセルクレーンでアタッチメントを保管ラックに移送		Π		T		\square				Π		T		Π			\top	Π	Τ
t	42	キャスクケーブルの接続解除	Γ	Π		T		Π	T			Π							T		٦
t	43	移送キャスク吊りジグの取り外し		Π		╡		\square	T	1	T	Π		\square					\top	Π	٦
_			_	_	_	_	_	_	_	_	_	-	_	_	_	_	_	_		_	_

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



JAEA-Technology 2012-024


JAEA-Technology 2012-024









- 67 -





Fig. 3.2 MLF内1階水平面図



Fig. 3.3 MLF内立面東西図

\$ 東















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







Fig. 4. 1.4 移送キャスク設計遮蔽厚





					着座判定	1		*実測値 Unit : mm
	(0.2 m/	hin.) (0.5 r	防速 m/min.) 但	氏速	着座*			荷重(t)*
床上遮蔽体1								
外部/内部プラグ	0	300	4790	6770	6792	6810	6820	33.20
内部プラグ	0	1000	3150	6770	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/内部プラグ	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	「昇降スト	ローク値		



器 表 割 反 4.2 セル内設備(







扱 電源 器の 쵏 乍 账 阌 逶 $\overset{}{\frown}$ 4
		8																					一日本 時日 時日 第二		D 01) 読器提配MI 103
確認																									д 7 Д
状態	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	投入	通って
器具番号	MCB02	CBE01	CBE02	MCB03	CBE10	CBE11	CBE12	MCB04	MCB05	MCB01	MCB10	CBEBRK01	MCB11	CBEBRK02	MCB12	CBEBRK03	MCB13	CBEBRK04	MCB14	CBEBRK05	MCB15	CBEBRK06	MCB16	CBEBRK07	川 (和 舟) 重
名称	無停電電源負荷用電源	PLC 電源	1/0 電源	一般制御負荷電源	織内コンセント	盤内蛍光灯	換気扇	ITV ラック用電源	カメラ操作卓電源	一般動力負荷用電源	減速材等交換装置昇降モータ	減速材等交換装置昇降ブレーキ	減速材等交換装置旋回モータ	減速材等交換装置旋回ブレーキ	滅速材等交換装置走行モータ	滅速材等交換装置走行ブレーキ	外部プラグ受台受台部旋回モータ	外部プラグ受台受台部旋回ブレーキ	外部プラグ受台ガイドモータ	外部プラグ受台ガイドブレーキ	内部プラグ受台受台部旋回モータ	内部プラグ受台受台部旋回ブレーキ	減速材等交換装置減速材橫行モータ	減速材等交換装置減速材横行ブレーキ	
No.	-	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	







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)





コントローラ ₽ 器 μ 매 気 4.4 遠[





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)



- 110 -



Fig. 4.4.5 外部プラグ受台の運転(移送キャスク選択画面)



Fig. 4.4.6 内部プラグ受台の運転(移送キャスク選択画面)



- 113 -









順 転手 運 器 遠隔操作機 律 4.5 反射体

操作	対象	移送キャ	スク	運転モード	自動		
手順	抄	操作項目		,	操作内容	容及び機器動作	
1	準備	Ĵ	(1) 名	機器及び盤ク	ーブルの	接続	
			(2) 名	盤の電源投入	L		
		19-14 - 1-1	(3) 重	h作範囲内に障	電物等の	有無及び装置動作可の確認	
2	操作	機器選択	(1) 🗡	ニュー画面			
			(2) 利	多送キャスクク	リッパ選	建 択	
3	取扱	対象選択	(1) [取扱]	押操		
			(2)外	部/内部プラク	"同時、内	部プラグ、外部プラグ単独、陽子	ービ
	10-10-000-0000	ne Helender stern		ーム窓プラグ、	無負荷0	D必要項目選択	
4	運転	ミモード選	(1) [·	モード]自動排	甲操		
	択		(2) [·	モード]自動自	1色(暗)	点灯	
5	運転	、選択	(1) []	運転]吊上、F	吊下必要項	頁目選択	
			(2) []	運転] 吊上、	月下 選択項	頁目の白色(暗)点灯	
6	自動	運転起動	(1) 走	己動押操(移送	ミキャスク	、床上遮蔽体自動運転開始)	
			(2) 走	2動赤色 (明)	点灯		
			(3)	天上遮蔽体遮蔽	尿開動作	、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) _}	主動作終了後、	グリッパ	下降	
			(6) ク	リッパ着地後	、つかみ	、はなし動作	
			(7) 🧠	oかみ、はなし	動作後、	グリッパ上昇	
			(8)上	狠到達後、下	部遮蔽体边	庶蔽扉閉動作、閉 赤色点灯	
			(9)上	動作終了後、」	末上遮蔽体	本遮蔽扉閉動作、閉赤色点灯	
			(10)走	己動赤色(暗)	点灯		
			57 ₆				
7	停止	:操作	停止	押操			
8	非常	停止	非常	停止ボタン押	喿		

Fig. 4.5.1 移送キャスク自動運転

JAEA-Technology 2012-024

操作为	対象	移送キャ	スク、	床上遮蔽体	運転モード	手動	
手順	操作	乍項目			操作内容及び	び機器動作	
1	準備		(1)	各機器及び盤	ケーブルの接続	5	
			(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	10		
		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、外音	部プラグ単独、陽子ビ
			0117055	ーム窓プラグ	、無負荷の必要	要項目選択	
4	運転す	モード選	(1)	[モード]自動	押操		
	択		(2)	[モード]自動	白色(暗)点灯	ſ	
5	床上遮	蔽体	(1)	遮蔽体選択			
	開閉動	的作	(2)	下部遮蔽体、	末上遮蔽体の操	作画面表涉	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	乍可、また、下部遮蔽
				体遮蔽扉閉料	犬態のみ床上遮	蔽体遮蔽肩	雇閉動作可
			(4)	床上遮蔽体遮	蔽扉開閉動作		
			(5)	動作中、床上	遮蔽体開、閉动	卡色点灯	
6	下部遮	嚴体	(1)	遮蔽体選択			
	開閉動	的作	(2)	下部遮蔽体、	末上遮蔽体操作	画面表示	
			(3)	下部遮蔽体開	または 閉 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6	のみ下部遮蔽体遮蔽扉
				開動作可、認	また、グリッパ	上限位置6	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	遮蔽体開、閉力	卡色点灯	
7	グリッ	ッパ	(1)	ストローク設	定、テンキー表	示、ストロ	コーク(相対値)入力
	定スト	・ローク	(2)	上昇または下	降押操(グリッ	ッパ昇降動	作開始)
	昇降動	加作		※下部遮蔽体間	県状態のみ、 グ	リッパ下陸	圣動作可
			(3)	グリッパ昇降	(上限值到達時	、自動停」	上)
			(4)	動作中、グリ	ッパ上昇、下陸	¥赤色点灯	
8	グリッ	ノペ	(1)	上昇または下	降押操(グリッ	ッパ昇降動	作開始)
	インチ	ーング	(2)	押操間のみグ	リッパ昇降(上	限值、下阻	 很值到達時、自動停止)
	昇降動	加作		※下部遮蔽体間	県状態のみグリ	ッパ下降重	协作 可
	2		(3)	動作中、グリ	ッパ上昇、下降	赤色点灯	
9	グリッ	パ	(1)	っかみ、はな	し押操(グリッ	パ旋回動	作開始)
	つかみ	いはなし		※グリッパ着封	也状態、床上遮	蔽体、下音	『遮蔽体開状態のみ、
	動作			つかみ・はなし	_動作可、[取扱	政対象]無負	負荷選択時、つかみ・
				はなし動作不可	Τ		
-			(2)	動作中、グリ	ッパつかみ、は	tなし 赤色	点灯
10	停止操	作	(1)	停止押操			
11	非常停	止	(1)	非常停止ボタ	ン押操		

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
4	看脫位置選択	(1) 【看脫位置】 押操、【 <u>看脫位置</u>]、 <u>H. P. (新取扱)</u> 、 <u>H. P. (使用済)</u>
		の必要項目選択
5	運転モート選切	(1) [r] 自動 伊傑 (2) [r] 自動 白色 (空) 占朽
6	白動運転起動	(1) 記動相揭(減速材等交換装置動作開始)
	口到廷拉尼到	(1) 起動升操(减速符等文换表置動作所站)
		• [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] <u>H.P. (使用済)</u> 選択:
		減速材等交換装置→ホームホジション移動、減速材等交換用ア
7	荷山場佐	
0	序工课作 非常信止	行上1 ¹¹ 深 非常停止式力ン/拥揭
0	が市庁止	か市 序正 小フ イ 171条

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	作内容及	び機器動作
1	準備		(1) 各機器	及び盤ケーフ	ルの接約	売
			(2) 各盤の	電源投入		
			(3) 動作範	通内に障害物	等の有知	無及び装置動作可の確認
2	操作核	幾器選択	(1) メニュ	一画面		
			(2) 減速材	计等交换装置设	髩択	
3	取扱対	讨象選択	(1) [取扱]	押操		
			(2) 結合型	减速材、非結	合型減速	志材、ポイゾン型減速材、 陽子ビ
	100000	210 1020	ーム窓	の必要項目達	髩択	
4	連転-	モード選	(1) [モー	ド」手動押操	(under) he	
	択	to a factor of the	(2) [モー	ド」手動白色	(暗) 点:	٢Ţ
5	連転返	更選択	(1)速度高;	速、 <u>低速</u> 項目	選択	a (anda) ha har
			(2)高速、	低速の項目選	択、白色	色(暗)点灯
		2	※高速移	動範囲のみ局	速動作	
6-1	ストロ	ューク	(1) ストロ ×1+/=	ーク設定、ア	ンキー	表示、ストローク(相対値)人力
	動作		※人刀個:	、果-四(mm)、庠 与)配+□	1-7E (mm)	、上一下(mm)、左、右旋回(*)
			(2) 動作力	可選択:		
					∮(_)	(+) <u>上回報(-)</u> <u>日回報(+)</u> 下(-)
			※ストロー	・ク設定無入力	1時、動	作方向ボタン押操間、インチング
			動作可	a Masalamatana. Na i	194 B.	na e a la compositiva a la
			(3) 動作中	、動作方向選	訳ボタ:	ンの赤色(明)点灯
6-2	インラ	チング	(2)動作方[句選択:	上(+)	上(+)
	動作			西(-)	耳	〔(+) 左回転(-) 右回転(+)
			Second with the Der Mitcheld Devices and an ended	Ī	南 (-)	下(-)
			(2) 選択ボ	ダン押操間、	動作	11400 1200 MONTA 1201 121100 121
	878 (1000 AN	21 22:	(3) 動作中	1、動作方向選	択ボタン	ンの赤色(明)点灯
7	停止排	操作	停止押操			
8	非常停	亭止	非常停止ボ	ダン押操		

Fig. 4.5.4 減速材等交換装置手動運転

操作	対象	外部プラ	グ又は内部	定志た。い	白禹	
		プラグ受・	台	運転モート	日勤	
手順	操	作項目		操	作内容及7	び機器動作
1	準備	C.	(1) 各機器	及び盤ケーフ	ルの接続	
			(2) 各盤の	電源投入		
			(3) 動作範	i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	一画面		
			(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	作の場合	(2) プラグ	受台 外部白	色点灯	
	定位	置旋回	(1) 外部フ	。ラグ受取位置	押操	
			(2)外部プ	ラグ受取角度加	_ 旋回	
3-2	内部	プラグ受	(1) プラグ	受台 内部選	択	
	台操	作の場合	(2) プラグ	一一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	色点灯	
	定位	置旋回1	(1) 内部フ	。ラグ受取位置	押操	
			(2)内部プ	ラグ受取角度加	旋回	
	定位	置旋回2	(1) 陽子と	ーム窓プラク	受取位置	押操
			(2)陽子ビー	ーム窓プラグ	受取角度加	
4	停止	操作	停止押操			
5	非常	停止	非常停止术	ダン押操		

Fig. 4.5.5 外部または内部プラグ受台自動運転

操作	対象	外部プラ	グ又は内部	運転エード	千動 1	
		プラ	グ受台	連邦て「	于到1	
手順	操	作項目		操	作内容及7	び機器動作
1	準備	i.	(1) 各機器	及び盤ケーブ	ルの接続	
			(2) 各盤の智	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・	一画面		
			(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	度旋回	(1) 回転角詞	設定、テンキ	一表示、	回転角入力(相対値)
			(2) 左回転	または右回転	、押操 (炭	E回動作開始)
			(3) 設定角度	度旋回		
32 G			(4) 動作中、	、左回転、右	回転赤色	色点灯
3-2	イン	チング	(1) 左回転	または右回転	、押操(放	ē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	色点灯
4	ガイ	k	(1) ガイド	押操		
			(2) ガイド	解除位置、解	除押操	
			*:結合型浴	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		

-操作機器選択"移送キャスクグリッパ"の場合-

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	一画面		
			(2) 減速材	等交換装置遵	影	
			(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	一表示、	回転角入力(相対値)
			(2) 左回転	または右回転	;押操(旋	E回動作開始)
			(3) 設定角	度旋回		
			(4) 動作中	、左回転、右	回転 赤色	色点灯
3-2	イン	チング	(1) 左回転	または右回転	封押操 (旋	ē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	这点灯
4	ガイ	F	(1) ガイド	押操		
			(2) ガイド	解除位置、解	除 <mark>押操</mark>	
			*: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

\$ | í İ B Щ Ť ┨ 器 4.6 セル内機を 及び取り

JAEA-Technology	2012-024
-----------------	----------

目的地	外部プラグ受台		内部プラグ受台					減	材等交换装	置			-	F	
	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)	I	I	I	1	0	1	006	1	-400	1	-90	1	275	I	I
ホームポジション(新規取扱)	I	I	I	1	0	1	006	1	-400	1	06	1	275	I	I
結合型着脱	0	1	I	1	150	1	006	1	-400	1	89.6	1	-607	1	750
非結合型着脱	1	1	0	1	-600	1	006	1	-400	1	06-	1	-625	1	800
ポイゾン型着脱	1	1	117	1	-600	1	006	1	-400	1	06-	1	-597	1	796
陽子ビーム窓着脱	1	1	0.7	1	-600	1	006	1	-400	1	06-	1	-455.5	1	782
外部プラグ受取位置	*90	Т	I	*	規反射体受目	取は	:、-9。 戻し								
内部プラグ受取位置	1	1	-38						A. Marine		ŀ	1	4		1
陽子ビーム窓受取位置		1	-90					L	t		1	95	0		4



Fig. 4.6.1 自動運転位置データ

		计				装置名称ませんには	留日	
· / 二 一 二 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一						が即しって、文白内部プラグ受台	5 🖻	
話 合 払 モ テレー	- 夕 取 外					減速材等交換装置	MD	
		1 3				20tクレーン	20tC	
		146				パワーマニプレータ	мЧ	
手順 運転	操作	渋 置	目的値	試験変更值	備考			
1自動	ホームポジション(使用済み)					,	東-西	走行(mm)
	旋回(。)	dО	I				南-北	橫行(mm)
	旋回(。)	dI	I				θ	旋回(°)
	走行(mm)	ДМ	0				И	昇降(mm)
	(mm)	MD	006					
	旋回(。)	MD	-90					
	横行(mm)	MD	275					
200一ン操作	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	I					
	走行(mm)	MD	150					
	旋回(°)	MD	89.6	89.4				
	横行(mm)	MD	-607	-608.1				
	[mm] 對陸(mm)	MD	750					
4手動	走行東	MD			アタッチメント	ピング配値受い	ひまん	
5手動	走行東	MD	$1727+\alpha$		走行荷重:40	0~430N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		
8パワマニ操作	落下防止ボルトの締結	ΡM						
9パワマニ操作	配管との接続ボルトの解除	ΡМ						
10手動	昇降下(低速)	MD	500					
11 手動	昇降下(高速)	MD	200					
12 手動	走行西	MD						

Fig. 4.6.2 結合型モデレータ取外、運転位置データ

よくま	! 	一方町仕					装置名称	器
	1 2 1						外部ブラグ受台	ОР
H F	-#	112 112		- 4 <i>1</i> 14	ᆕᄩᅆᇔᆊ	年书	内部ブラグ受台	<u>e</u> :
手順 連	見て	课作		日的値	試胰炎更個	傭丐	减速材等交换装置	QW
<u>—</u>	動	ホームポジション(新規取扱)					20tクレーン	20tC
		格回(。)	a	1				РМ
			5 🖻				東-西	堆行(mm)
			L !				南-北	橫行(mm)
		走行(mm)	ШМ	0			œ	
		(mm) 對陸(mm)	MD	006			2	
		版回(°)	MD	06			1	升[]年/[IIII]/
		横行(mm)	MD	275				
27	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(。)	ОР	0				
		旋回(。)	Ч	I				
		走行(mm)	MD	150				
		旋回(。)	MD	89.6	89.4			
		横行(mm)	MD	-607	-608.1			
		(mm) 樹楂	MD	750				
4	動	昇降下(高速)	MD	200				
£ 2	動	ガイド位置移動	MD					
€	動	走行東	MD	1727+ α	1728.4	ガイド線の一致確認	Rú	
1	動	走行東	MD			走行荷重:400~430	NO	
8	動	ガイド解除	Ш					1
<u></u> €	動	昇降上(高速)	Ш	350	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	ラグに接触	
<u>1</u> 1 1 1 1	動	昇降上(低速)	MD	790		反射体下部ピン挿	Y	
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	РМ			反射体下部および	則部接続ジグ	
141	パワマニ操作	ボルト接続解除	РМ			落下防止ボルト解除	条	
15手	動	昇降下(低速)	MD	750				
16≢	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

		F.				壮罴々私	贤	Г
		1				衣 틷 섬 까~	E (
		-				外部フラク受合	ОР	
						内部プラグ受台	₽	
非結ら型 トト						減速材等交換装置	MD	
		1				20tクレーン	20tC	
		A				パワーマニプレータ	Mq	
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(使用済み)					<u>∎</u>	西一	走行(mm)
	旋回(。)	ЧΟ	I			匣	1-1L	橫行(mm)
	旋回(。)	IP	Ι			θ		旋回(°)
	走行(mm)	MD	0			Z		昇降(mm)
	(mm)	MD	006					
	旋回(。)	MD	06-					
	横行(mm)	MD	275					
20レーン 葉 年	アタッチメントの装着	20tC						
3自動	非結合型着脱							
	旋回(。)	ОР	I					
	旋回(°)	ЧI	0					
	走行(mm)	MD	-600					
	旋回(。)	MD	06–					
	横行(mm)	MD	-625					
	(mm)	MD	800					
4手動	走行西	MD			トレンチメント	パンが配着受い	ぜん	
5手動	走行西	MD	-1879- α		走行荷重:590)~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:10.5	N目標		
8パワマニ操作	落下防止ボルトの締結	РМ						
9パワマニ操作	配管との接続ボルトの解除	РМ						
10手動	昇降上(低速)	MD		852.1	旧、 皆 丁 mm1	抜		
11手動	走行東	MD						

S MA

非結合型モデレータ取外、運転位置データ Fig. 4.6.4
					す器々	<u>我</u>	
					文部し		
	- тт- /				内部プ	ラグ受台 IP	
罪結合型モア	レータ取付				減速材	等交换装置 MD	
					20t0L	ー 、 20 - 20 -	0
					- パリ	マニプレータ PM	
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	走行(mm)
	旋回(。)	ОР	I			<u></u> 南−北	横行(mm)
	版回(。)	ď	I			θ	旋回(°)
	走行(mm)	MD	0			N	昇降(mm)
	(mm) 樹楂	MD	006				
	版回(。)	MD	06				
	横行(mm)	MD	275				
200ーン 藤布	アタッチメントの装着	20tC					
3自動	非結合型着脱						I
	版回(。)	ОР	I				
	「 2000 100 100 100 100 100 100 100 100 10	ď	0				
	走行(mm)	MD	-600				
	「 2000 100 100 100 100 100 100 100 100 10	MD	06-				
	横行(mm)	MD	-625				
]	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(9	$00 \sim 1000N$	
6手動	走行西	MD	$-1879 - \alpha$		走行荷重:590~6	50N目標	I
7手動	昇降下(低速)	MD		851	1mm下降、取付		
8パワマニ操作	記憶との接続ボルトの接続	ΡM					
9パワマニ操作	= 落下防止ボルトの解除	РМ					
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					

A
運転位置デー
ノータ取付、
非結合型モデ(
ig. 4.6.5

		Tra.				装置名称 外部プラグ号台	留 <u>C</u>	
1 日						がポンプンタロ内部プラグ受合	5 🖻	
第 ア	K #h					減速材等交換装置	≣ MD	
						20tクレーン	20tC	
						パワーマニプレー	夕 PM	
乍		装置	目的値	試験変更値	備考			
ームポジミ	ンョン(使用済み)						東-西	走行(mm)
	旋回(。)	dО	Ι				南-北	橫行(mm)
	旋回(。)	dI	Ι				θ	旋回(°)
	走行(mm)	ΠM	0				Z	昇降(mm)
	昇降(mm)	MD	006					
	旋回(。)	MD	-90					
	横行(mm)	ΠM	275					
タッチメント	トの装着	20tC						
イゾン型譜	 							
	旋回(。)	ОР	I					
	旋回(。)	ЧI	117					
	走行(mm)	MD	-600					
	旋回(。)	MD	06-					
	横行(mm)	MD	-597					
	昇降(mm)	MD	796					
き行西		ΠM			アタッチメント	ピンが配値 受い	穴まで	
行西		MD	-1878- α		走行荷重:45(0~480N目標		
四二 (高速	톤)	MD	825					
「降上(低速	톤)	Ш	850.7	849.7	昇降荷重:10.5	SN目標		
下防止 术,	ルトの締結	ЪМ						
3 管との接約	売ボルトの解除	Мd						
昂隆上(低 速	톤)	Ш		850.7	1mm上昇、引	抜		
き行東		MD						

Fig. 4.6.6 ポイゾン型モデレータ取外、運転位置データ

						装置名称 外部プラグ受台	留 G	
レ - く	¤取付					内部プラグ受台 減速材等交換装置 20tクレーン	置 MD 20fC	
						パワーマニプレー	PM PM	
操作		装置	目的値	試験変更値	備考			
ホームオ	パンション(新規取扱)						東-西	走行(mm)
	旋回(。)	ОР	I				<u></u> 南−北	橫行(mm)
	旋回(。)	₽	I				θ	旋回(°)
	走行(mm)	MD	0				И	昇降(mm)
	[(mm) 對皆	MD	006					
	旋回(。)	MD	06					
	横行(mm)	MD	275					
アタッチ	メントの装着	20tC						
ポイゾン	型着脱							
	旋回(。)	ОР	I					
	旋回(。)	ď	117					
	走行(mm)	MD	-600					
	旋回(。)	MD	06-					
	横行(mm)	MD	-597					
	昇降(mm)	MD	796					
)工刻皆	高速)	MD	850.7					
走行西		MD	-1878- a		走行荷重:50	0~600N日標		
]上楼下(低速)	MD		850.2	0.5mm下降、]	取付		
配管との)接続ボルトの接続	МЧ						
落下防」	止ボルトの解除	Μd						
昇降下	(低速)	MD	796		アタッチメント	ピン の 解除		
走行東		MD						

Lig. 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)	橫行(mm)	旋回(°)	昇降(mm)																				
レーダー - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1		東-西	南-北	θ	Z														ミカまで						
装置名称 外部プラグ受 内部プラグ受 減速材等交抜 20tクレーン パワーマニプ																			ト受けが相引	100N目標	0.316	4~15N日標			
	備考																		アタッチメン	走行荷重:1	15日機 2日橋 2010	异降荷重:1.			
	試験変更値																	-450		$-1966.1 - \alpha$	810.0	809.3			
	目的値		I	I	0	006	-90	275			I	0.7	-600	-90	-455.5	782	-89.8			-1970- a	812.2				
	装置		ОР	ď	MD	MD	MD	MD	20tC		ОР	ЧI	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	QM		Mq	Μd	MD
		ポジション(使用済み)	旋回(。)	旋回(。)	走行(mm)	昇降(mm)	旋回(。)	横行(mm)	チメントの装着	一ム窓着脱	版回(。)	旋回(。)	走行(mm)	旋回(。)	横行(mm)	异降(mm)	1.1		1.57		- (任语)		5 止ボルトの 締結	の接続ボルトの解除	
取外	操作	オーヤ							アタッラ	帰子に							旋回左	横行北	走行西	走行西	松區		落下防	配価と	走行東
場子ビーム窓	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	一 一 一 の		9パワマニ操作	10パワマニ操作	11手動

CA >

Fig. 4.6.8 陽子ビーム窓取外、運転位置データ

					<u>#</u>	置名称	棳	
					<u>本</u>		ЧО	
	년 (十				R	部プラグ受台	ď	
场十て - 1 名 約 1	1X15				漢	速材等交换装置	MD	
					20	π クレーン	20tC	
					~	ローマニプレータ	Mq	
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)					<u></u>	5-西	走行(mm)
	版回(。)	ЧΟ	I			世		橫行(mm)
	旋回(。)	ЧI	I			θ	~	旋回(°)
	走行(mm)	MD	0			Z		昇降(mm)
	与	MD	006					
	旋回(。)	MD	06					
	横行(mm)	MD	275					
200一ン操作	アタッチメントの装着	20tC						
3自動	陽子ビーム窓着脱							
	版回(。)	ОР	I					
	旋回(。)	ЧI	0.7					
	走行(mm)	MD	-600					
	旋回(。)	MD	-90					
	横行(mm)	MD	-455.5					
	异降(mm)	MD	782					
4手動	旋回左	MD	-89.8					
5	横行北	MD		-450				
9	昇降上(高速)	MD	812.2	810.9				
7手動	走行西	MD	-1970-α	-1970.2- α	走行荷重:1100	N目標		
8パワマニ操作	配管との接続ボルトの接続	РМ						
9パワマニ操作	落下防止ボルトの解除	МЧ						
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						

陽子ビーム窓取付、運転位置データ Fig. 4.6.9

- 139 -

Z Í 睅 - 夕取り合い位 になり 匾 1 びん 及 \triangleright .7 / [°],7

ダーノプーマープレーダ	P/M位置 (mm)	T mu T mu T mu T mu T mu T mu T mu T mu	259.9 -796.9 1522.0	497.8 -894.0 1461.5	205.1 -893.0 1563.4	404.3 -893.9 1459.7	204.2 -893.6 1458.7		
:W/d*	cm)	T軸	631.0	631.0	631.0	531.0	531.0		M取合
	車位置 (本軸	755.6	755.6	755.6	755.6	755.6	7	14*+41
The set		本 華 X	3613.0	3613.0	3613.0	3613.0	3613.0	1.2	上部取
	順番 アクセス位置	LA A B	1 外れ止め	2 上段 南	3 上段 北	4 中段 南	5 中段 北		結合型モデレータ
KHLH									Fig. 4.7.1
*P/M: M127						il Il			



	ペート - イー - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1
--	---

- 1ピニテー C パ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	注:減速材等交換装置を接続する 前に予め中段部のボルトを緩める	■ 順番 アクセス位置 合車位置 (cm) P/M位置 (mm)	績Z 畦人 畦X 畦Z 畦人 畦X ●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●	1 中段 南 3610.0 570.0 461.5 537.3 849.7 1220	2 中段北 3610.0 570.0 461.5 336.6 852.3 1219	3 減速材等交換装置を内部プラグに接続する	4 上段外九止め3610.0 570.0 536.5 485.4 757.9 127	5 上段南 3610.0 570.0 536.5 537.0 851.4 1218	6 上段 北 3610.0 570.0 536.5 338.5 854.3 121	7 下段位置 3610.0 570.0 333.3 444.5 1145.4 126	ポイジン型モデレータ取外*P/M取合
P/MY-JL:M12AFL-F		T									Fig. 4.7.4

*P/M:r/J-Z=J/L-A	置 (cm) P/M位置 (mm)	Z軸 X軸 Z軸 Z軸	383.6 1856.7 -17.8 1425.5	383.6 1860.0 -17.8 1431.9	383.6 1857.2 -24.5 1431.8	383.6 1850.1 -20.9 1427.4	383.6 1855.6 -15.8 1432.1	
	台車位置	本軸	1012.2	1012.2	1012.2	1012.2	1012.2	取合
		X 种	3332.0	3332.0	3332.0	3332.0	3332.0	W/4*4
	昏 アクセス位置	<i>P</i> .	ボルト1	ボルト1	ボルト1	ボルト1	ボルト1	.5 反射体取
*P/Mゾール:M20アングル やりつううがを回転 ・パフマニは1方向のアクセスのみ	順番							Fig. 4.7.



Z 瞫 取り合い位 4.8 インセルクレーン

Unit : mm	1	1			100	- Color			
	備考	保管ラック上		减速材交换装置上					等交換装置へ-
	昇降(上-下)	3358	3199	2378	2589	2724	4943	5165	減速材
	走行(南-北)	24844	24865	31833	31833	31833	24340	24935	・取合 -
	横行(東-西)	5456	5456	5292	5292	5292	4854	4854	タクレーン
<image/>	手順 操作	1 吊り具、CMアタッチメント取合	2 吊り具、CMアタッチメントピン外し	3 CMアタッチメント、交換装置前	4 CMアタッチメント、交換装置着座	5 吊り具、フック逃がし下	6 吊り具、ラック着座	7 フック、逃げ	Fig. 4.8.1 結合型モデレー
		*				1			

nit : mm		Aver					3		F			2		-		2			11				装置-
	備考		保管ラック上			减速材交换装置上	保管ラック上							保管ラック上			交換装置上		11/2				。减速材等交换
	(王-下) 刻皆	4931	3477	3032	4937	3137	3164	3354		4961	5127	-	4937	3473	3362	3154	2818	3027		3154	4940	5115	雪ラック~
	走行(南-北)	24287	28072	32406	24387	31698	24903	24903		24359	24695		24126	25032	25032	24895	31628	31628		31628	24316	24818	合-保管
2	横行(東-西)	4839	5506	5374	4848	3689	4069	4069		4834	4834		4831	4085	4085	4085	3706	3697		3697	4825	4825	レーン
	手順 操作	1 フック、吊り具接続	2 吊り具、PMアタッチメント接続	3 アタッチメント、交換装置着座	4 フック、吊り具接続	5 吊り具、アタッチメント接続	6 吊り具、保管ラック前	7 吊り具、保管ラック着座		8 吊り具、ラック着座	9 フック、逃げ		10 フック、吊り具接続	11 吊り具、PMアタッチメント接続	12 PMアタッチメント、吊上	13 PMアタッチメント、逃げ西(ピン解除)	14 PMアタッチメント、交換装置よせ	15 PMアタッチメント、交換装置着座		16 吊り具、逃げ下	17 吊り具、ラック着座	18 フック、逃げ	2 ポイゾン型モデレータク
AN A		L								1			5	3		7							Fig. 4.8.

Jnit : mm																0/1		1
	先			0				タッチメントへの接続は	电									デックヘー
	-下) 論:	多動						A	黄			-	2					管管
	-工)	シクへあ	4000	4896	4969	4788	2634	3048	3048	2923	2689	2689	2954	2954	3213	3351	3351	
	€行(南−北) 昇	-メントを保管ラ	24038	24038	23828	23828	23828	31342	31623	31623	31606	31606	26496	26496	26496	26496	26132	ーン取る
	横行(東-西) 灵	接続したアタッラ	6089	6089	6089	6089	6089	4713	4713	4713	4713	4028	4810	5134	5134	6 5134	5134	- ム窓クレ
	操作	減速材交換装置上の陽子ビーム窓が	フック、吊り具上	フック、吊り具よせ	フック、吊り具接触	フック、吊り具接続	吊り具、上	吊り具、アタッチメントよせ	吊り具、アタッチメント接触	吊り具、アタッチメント接続	アタッチメント、交換装置接続解除	アタッチメント、逃がし西	アタッチメント、ラック前	アタッチメント、ラックよせ	アタッチメント、着座	吊り具、フック解除	吊り具、フック逃がし北	Fig. 4.8.3 陽子ビー
	手順		1	2	3 S	4	5	9	7	8	6	10	11	12	13	14	15	
	1		/											1	/	-	-	

Unit : mm																	0		-
	備考		アタッチメントへの接続は	黄色	0					0				0 11					₽交換装置へ-
E CARLON	(1-上) 到程(()	換装置へ移動	3336	3336	3212	2981	2682	2702	2702	2912	3071	3071	2600	4284	4800	4964	4964	3019	-減速材等
	[] 走行(南-北	いトを減速材交	26229	26480	26480	26462	31634	31634	31634	31634	31634	31229	23837	23838	23838	23838	24303	24303	ン取合
	横行(東-西	そ続したアタッチ>	5163	5163	5163	5163	2682	4581	4743	4743	4743	4743	6051	6085	6085	6085	6085	6085	ム窓クレー
- branch - b	操作	保管ラック上の陽子ビーム窓が持	吊り具、アタッチメントよせ	吊り具、アタッチメント接触	吊り具、アタッチメント接続	アタッチメント、接続解除上	アタッチメント、交換装置前	アタッチメント、交換装置よせ	アタッチメント、交換装置接触	アタッチメント、交換装置着座	吊り具、フック解除下	吊り具、フック逃がし北	吊り具、ラック上	吊り具、ラックよせ	吊り具、ラック着座	フック、吊り具解除下	フック、逃がし南	フック、逃がし上	Fig. 4.8.4 陽子ビー
the second secon	手順		1	2	3	4	5	9	7	~	6	10	11	12	13	14	15	16	
	1	in the second se															1	-	

Unit : mm	-														
-	() 備考														管ラックへ
	昇降(上-下	-	667	1138	1138	972	717	717	717	717	836	066	066	621	1F -保
LALIN	走行(南-北)		2992	2992	2770	2774	2744	1480	1480	131	131	131	358	358	-ン 現 句 B
- HEAR	横行(東-西)		3413	3413	3413	3413	3413	3413	2842	2842	2842	2842	2842	2842	、窓クレー
-		ド管ラックへ移動													陽子ビー1
	操作	仮置き架台から停	フック移動	フック挿入	フック接触	フック接続	窓、上昇	窓、北移動	窓、ラック正面	窓、ラック接触	窓、着座	フック解除	フック逃げ、南	フック逃げ、上	Fig. 4.8.5
	手順		1	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11	12	
							C	2							

E Contraction of the second se														1	
Curit											7		-		
The	備考						-								を終むく
	昇降(上-下)		414	066	066	844	676	676	676	676	996	1134	1134	521	-仮置言
	走行(南-北)		390	363	147	147	146	1417	1416	2747	2747	2747	2947	2947	小取合B1F
	横行(東-西)	-	2826	2826	2826	2826	2826	2826	3403	3403	3403	3403	3403	3403	約クレーン
		の仮置き架台へ移動								H					陽子ビーム
	操作	保管ラックから	フック接続、上	2 フック接続、下	8 フック接触	1 フック接続	5 窓、上昇) 窓、南移動	「窓、ラック正通	8窓、ラック接触) 窓、着座) フック解除	フック逃げ、南	「フック逃げ、上	Fig. 4.8.6
	手順			N	3	4		9	-	8	0	10	11	12	

換保守 交 6 影 射体 5. モデレータ・反







5.2 天井気密板移動








Fig. 5.3.2 天井遮蔽ブロック移動手順









Fig. 2.4.2 ベッセル上部遮蔽体移動手順





着脱作業 5.6 ベッセル内水冷配管









条件 注意事項	い) OMPaG フラッシングの回数、対象部の圧ታ		しっかり設置されていること	ベッセルフランジのボルト穴を利用	水の漏洩に対処できる様に養生 (めばり程度)			リレ) 0MPaG	噴き出しに注意しゆっくり	液だれに注意しゆっくり	チェーンブロックで操作	袋でカバーし間接的に	汚染の拡大に注意し水滴を拭き取	クランプによる封止(手締め)	
確認法	電話(ローカ 盤監視員 へ							電話(ローカ 盤監視員へ							
作業者	外作業員	ベッセル作業員	Ļ	Ļ	~	~	内作業員	外作業員	内作業員	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	4	外作業員
作業手順	配管内のドレン状況の確認	作業資材の確認	レーザープローブ保護板の設置	配管吊り用ジグの設置	養生作業	局所排気の設置	配管へスリングの取付	水冷配管内の圧力の確認	接続部の解除(上部)	接続部の解除(下部)	配管を上昇	シール村の取り外し	フランジ回りの拭き取り	フランジの封止作業	取り外した配管の一時保管

水冷配管着脱作業要領(配管取外) Fig. 5.6.5

|--|

Fig. 5.6.6 水冷配管着脱作業要領(配管取付)

























5.8 グリッパ用接続吊り具の設置


置&キャスク内く 弘政 移送キャスク 4 ⊥ の市の 影 **5**.0 機









反射体のホットセル内へ移 内 -ー デ モ -T ഗ - 219 -









型モデレータ(CM)の 交換 結合 5.12










































換 型 モ デ レ ー タ (DM)の 校 结 手 5.13











モデレータ(bW)の次換 퇲 5.14 ポイゾン











5.15 反射体の交換













遮蔽体移動及び配管等接続解除作業 Fig. 6.1.1






















Ř 略) く 0 地下一 **[{||** 訵 射化 6.4







JAEA-Technology 2012-024





表1. SI 基本単位 SI 基本単位 基本量 名称 記号 長 オ メートル m 質 量 キログラム kg 時 間 秒 \mathbf{s} 電 流 アンペア Α 熱力学温度 ケルビン Κ 物 質 量モ N mol デラ 度 光 カン cd

表 2. 基本里	□を用いて表されるSI組立単	立の例		
和文書	SI 基本単位	SI 基本単位		
和立里	名称	記号		
面	積 平方メートル	m^2		
体	積立法メートル	m ³		
速さ,速	度 メートル毎秒	m/s		
加速	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	m ³ /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

		SI 組立単位	
組立量	名称 記	6 他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 角ラ:	ジアン ^(b) ra	d 1 ^(b)	m/m
立 体 角スラ	テラジアン ^(b) sr	c) 1 ^(b)	$m^{2/}m^2$
周 波 数 ヘノ	ルツ ^(d) H	z	s ⁻¹
力 二:	ュートン N		m kg s ⁻²
圧力,応力パン	スカル Pa	a N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー,仕事,熱量ジョ	ュール J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束ワ:	ット W	J/s	$m^2 kg s^{\cdot 3}$
電荷,電気量/~	-ロン C		s A
電位差(電圧),起電力ボル	ルト V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量ファ	ァラド F	C/V	$m^{2} kg^{1} s^{4} A^{2}$
電気抵抗オー	-Δ <u>Ω</u>	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンスジー	ーメンス S	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁 束 ウニ	エーバ W	b Vs	$m^2 kg s^{2} A^{1}$
磁東密度テン	スラ T	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンスへ	ンリー H	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度セル	ルシウス度 ^(e) ℃		K
光 東ル-	ーメン In	1 cd sr ^(c)	cd
照度ルシ	クス ly	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f) べ	クレル $^{(d)}$ B	1	s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与, グロ	VI G	J/kg	m ² s ⁻²
カーマ		, 3/ Kg	
線量当量,周辺線量当量,方向	$- \ll \nu h^{(g)} S$	J/kg	$m^2 s^{-2}$
1生瘀重ヨ重, 凹八瘀重ヨ重			-1 -
酸 素 沽 性力/	タール ka	t	s 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 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。
(o)剤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、セルシウス選びを大しに使用される。セルシウス度とケルビンの 単位の大きさは同一である。したかって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) 隔とます数値にどわらの単位で大見しも同じである。
(g)単位シーベルト(PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告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

	S	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	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	$m^2 kg s^2 K^1$
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
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表 面 電 荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電東密度,電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² sA
誘 電 率	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	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放 射 輝 度	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	$m^{-3} s^{-1} mol$

表 5. SI 接頭語								
乗数	接頭語 記号 乗数		乗数	接頭語	記号			
10^{24}	э 9	Y	10^{-1}	デシ	d			
10^{21}	ゼタ	Z	$10^{.2}$	センチ	с			
10^{18}	エクサ	Е	10^{-3}	ミリ	m			
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ			
10^{12}	テラ	Т	10^{-9}	ナノ	n			
10^{9}	ギガ	G	$10^{\cdot 12}$	ピョ	р			
10^{6}	メガ	М	$10^{.15}$	フェムト	f			
10^3	キロ	k	$10^{\cdot 18}$	アト	а			
10^{2}	ヘクト	h	$10^{.21}$	ゼプト	z			
10^{1}	デ カ	da	10^{-24}	ヨクト	у			

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位				
名称	記号	SI 単位による値		
分	min	1 min=60s		
時	h	1h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	۰	1°=(п/180) rad		
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad		
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad		
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²		
リットル	L, l	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	SI 単位で表される数値		
電	子 オ	ドル	ŀ	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J		
ダ	ル	ŀ	ン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg		
統-	一原子	質量単	単位	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	Ţ	ル	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・	ーム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m			
海		里	М	1 M=1852m			
バ	_	ン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²			
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s			
ネ	_	パ	Np	ロ光伝しの粉はめた眼接は			
ベ		ル	В	31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 -	71 9X ± 17 AC44 (= [X 1] 8			

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位						
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	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s				
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$				
スチルブ	$^{\rm sb}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd} \text{ cm}^{2} = 10^{4} \text{ cd} \text{ m}^{2}$				
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm 2 10 ⁴ lx				
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{\cdot 2} = 10^{\cdot 2} \text{ms}^{\cdot 2}$				
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 ≜ (10 ³ /4π)A m ⁻¹				
(c) 3元系のCCS単位系とSIでけ直接比較できたいため 笑号 [△						

る元系のCGS単位系とSIでは 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							
	1	名利	r.		記号	SI 単位で表される数値	
+	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq	
ν	\sim	\mathbb{P}	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$	
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy	
ν				Д	rem	1 rem=1 cSv=10 ^{.2} Sv	
ガ		$\boldsymbol{\nu}$		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T	
フ	r		ル	11		1フェルミ=1 fm=10-15m	
メー	ートル	系	カラゞ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg	
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa	
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa	
力	Ц		IJ	1	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)	
2	ク			\sim	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$	

この印刷物は再生紙を使用しています