JAEA-Review
2012-013

JAEA-Review

ベリリウム枠及びガンマ線遮へい板の製作及び交換作業

Fabrication and Replacement Work of Beryllium Frame and Gamma-Ray Shield

綿引 俊介　塙 善雄　浅野 典一　檜山 和久
伊藤 祥人　坪井 一明　深作 秋富

Shunsuke WATAHIKI, Yoshio HANAWA, Norikazu ASANO, Kazuhisa HIYAMA
Sachito ITO, Kazuaki TSUBOI and Akitomi FUKASAKU

大洗研究開発センター
照射試験炉センター
材料試験炉部

Department of JMTR
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center

March 2012

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

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

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒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

ベリリウム枠及びガンマ線遮へい板の製作及び交換作業

日本原子力研究開発機構　大洗研究開発センター
照射試験炉センター　材料試験炉部
綿引　俊介、塙　善雄、浅野　典一、檜山　和久、
伊藤　祥人、坪井　一明、深作　秋富

(2012 年 2 月 3 日受理)

今回の交換作業は、JMTR の更新計画によりベリリウム枠の曲がり量が許容限界に近づいているため更新した。また、ガンマ線遮へい板は今後の運転予定期間を考慮し、予防保全として更新した。ベリリウム枠及びガンマ線遮へい板の製作は、発注から完成するまでに約 2 年を費やし、平成 22 年 2 月に製作が終了した。また、交換作業は、平成 22 年 1 月から約 5 ヶ月かけて行った。

本報告書は、ベリリウム枠及びガンマ線遮へい板の製作及び交換作業についてまとめたものである。

大洗研究開発センター：〒311-1393　茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

Fabrication and Replacement Work of Beryllium Frame and Gamma-Ray Shield

Shunsuke WATAHIKI,Yoshio HANAWA, Norikazu ASANO, Kazuhisa HIYAMA,
Sachito ITO, Kazuaki TSUBOI and Akitomi FUKASAKU

Department of JMTR
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received February 3, 2012)

This replacement work was carried out under refurbishment plan of JMTR for beryllium distortion draw to acceptable limit. And gamma-ray shield refurbishment was carried out the view point of prevention maintenance in consideration of operation plan. Fabrication of beryllium frame and gamma-ray shield was spent for two years it was finished in February, 2010. It took five months to replacement work from January 2010.

In this report is presented fabrication and replacement work of beryllium frame and gamma-ray shield.

Keywords: Beryllium、Gamma-Ray Shield JMTR

目　次

1.　はじめに……1
2.　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換担当係の活動 ……2
3.　Be 枠及びガンマ線遮へい板の製作 ……3
3.1　概　要 ……3
3.2　製作仕様 ……3
3.2.1　仕様範囲 ……3
3.2.2　使用条件 ……3
3.2.3　構　造 ……4
3.2.4　使用材料 ……4
3.2.5　ガンマ線遮へい板の素材選定 ……6
3.3　試験・検査 ……8
3.3.1　材料検査（その 1） ……8
3.3.2　材料検査（その 2） ……8
3.3.3　受け入れ検査 ……9
3.3.4　部品検査 ……9
3.3.5　完成品検査 ……11
3.3.6　完成品組立検査 ……11
3.3.7　受け入れ検査 ……11
3.3.8　使用前検査（工場検査） ……12
3.3.9　使用前検査（現地検査） ……12
3.3.10　検査治具の検査 ……12
3.4 不具合報告 ……12
3.5 加工試験結果報告 ……13
4.　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器の製作 ……14
4.1　概要 ……14
4.2　製作員数 ……14
4.3　製作仕様 ……14
4.4　試験・検査 ……15
4.4.1　材料検査 ……15
4.4.2　外観検査 ……15
4.4.3　浸透探傷試験 ……15
4.4.4　寸法検査 ……15
4.4.5　機能検査 ……15
5.　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業前準備 ……16
5.1　交換作業手順書の改訂 ……16
5.2　他課室との連絡 ……16
5.3　交換作業に伴う炉心要素の取り出し ……16

5.4　Be 枠曲がり測定 ……16
6.　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業 ……17
6.1　交換作業体制 ……17
6.2　交換作業工程 ……17
6.3　交換作業用機器 ……18
6.4　交換作業における被ばく管理 ……21
6.5　交換作業 ……22
6.6　解体前及び組込後の高さ寸法測定結果 ……23
6.7　解体後の外観観察 ……23
7.　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換後の作業 ……24
7.1　Be 枠曲がり測定 ……24
7.2　使用前検査（その 2） ……24
7.3　交換作業用機器の除染依頼 ……24
8.　Be 枠及びガンマ線遮へい板と交換作業用機器に関する書類 ……25
9.　まとめ ……26
謝辞 ……27
参考文献 ……27

Contents

1. Introduction ····· 1
2. Activity of Replacement Work Team of Beryllium Frames and Gamma-Ray Shield ·· 2
3. Fabrication of Beryllium Frames and Gamma-Ray Shield ····· 3
3.1 Outline ····· 3
3.2 Specification ····· 3
3.2.1 Scope ····· 3
3.2.2 Use Conditions ····· 3
3.2.3 Structure ····· 4
3.2.4 Use Materials ····· 4
3.2.5 Selection of Gamma-Ray Shield ····· 6
3.3 Inspection and Test ····· 8
3.3.1 Material Inspection (part Ⅰ) ····· 8
3.3.2 Material Inspection (part Ⅱ) ····· 8
3.3.3 Acceptance Inspection ····· 9
3.3.4 Component Inspection ····· 9
3.3.5 Finished Inspection ····· 11
3.3.6 Finished Assembly Inspection ····· 11
3.3.7 Acceptance Inspection ····· 11
3.3.8 Pre-operation Inspection (Factory Inspection) ····· 12
3.3.9 Pre-operation Inspection (On-Site Inspection) ····· 12
3.3.10 Inspection of Tool ····· 12
3.4 Nonconformance Report ····· 12
3.5 Reports on the Results of Work Test ····· 13
4. Fabrication of Equipment for Replacement Work of Beryllium Frames ····· 14
4.1 Outline ····· 14
4.2 Number of Production ····· 14
4.3 Specification of Production ····· 14
4.4 Inspection and Test ····· 15
4.4.1 Material Inspection ····· 15
4.4.2 Visual Inspection ····· 15
4.4.3 Penetrant Test ····· 15
4.4.4 Dimensional Inspection ····· 15
4.4.5 Function Inspection ····· 15
5. Preparation for Replacement Work of Beryllium Frames ····· 16
5.1 Revision of Procedure Manual ····· 16
5.2 Communication with Other Sections ····· 16

5.3 Unloading of Core Element ····· 16
5.4 Distortion Measurement of Beryllium Frames ····· 16
6. Replacement Work of Beryllium Frames and Gamma-Ray Shield ····· 17
6.1 Organization ····· 17
6.2 Process ····· 17
6.3 Equipment ····· 18
6.4 Radiation Protection on Replacement Work ····· 21
6.5 Replacement Work ····· 22
6.6 Result of Height Measurement of Before/After Replacement ····· 23
6.7 Visual Observation of After Fabricate ····· 23
7. Work of After Replacement ····· 24
7.1 Distortion Measurement of Beryllium Frames ····· 24
7.2 Pre-operation Inspection (part Ⅱ) ····· 24
7.3 Decontamination Request of Equipment ····· 24
8. Document for Beryllium Frames and Equipment ····· 25
9. Conclusion ····· 26
Acknowledgements ····· 27
Reference ····· 27

１．はじめに

ベリリウム枠（以下「Be枠」という。）は、東枠、西枠及び北枠からなり、それぞれ垂直方向に7段に積まれ、燃料領域をH型に囲む形で設置されており、キャプセル照射孔が設けられている。キャプセルが装荷されない場合には、中プラグが装荷される。Be枠はベリリウム反射体要素と組合せて燃料領域で発生する中性子を効果的に反射・減速する。一方、Be枠は、その燃料領域側と反射体領域側及び垂直方向の高速中性子の照射量に差が生じる。このため、内部に蓄積するヘリウム量によるスエリングが不均一となり変形（燃料領域側に湾曲）が進み、やがてBe枠照射孔内に装荷されたキャプセルの冷却条件の悪化と各炉心要素のハンドリングに支障をきたすことになる。これらの悪影響を未然に防ぐため、Be枠の変形（曲がり）量を定期的に測定することにより、交換時期（以下「寿命」という）の把握に努めている。

Be枠の交換は、今回を含めて6回行われた[1),2),3),4),5),6)]。交換履歴については、それぞれ第1世代が昭和42年9月に据付けられ（初臨界は昭和43年3月）、昭和50年7月に原子炉積算出力量24,071.4MWdで、第2世代が昭和58年7月に27,902.1MWdで、第3世代が平成元年7月に24,920.8MWdで、第4世代は平成8年年10月に36,055.0MWdで、第5世代は平成14年9月に28,559.0MWdで交換された。今回、平成22年3月に解体した第6世代Be枠の原子炉積算出力量は25,158.3MWdであった。

Be枠の設計仕様は、初代から第3世代までは同一の設計、第4世代からは、Be枠の寿命延長等を図った改良型の設計である。今回製作する第7世代Be枠も、改良型の設計である。今回の更新では、全ての枠（中プラグ含む）の交換作業となった。

また、Be枠の北枠に支持されているジルコニウム合金製のガンマ線遮へい板についても今後の運転予定期間を考慮し、予防保全として更新した[7)]。今回の更新では、素材であるジルコニウム合金についてジルカロイ-2の板材が現在生産されておらず入手できないため、ジルカロイ-4を選定した。ガンマ線遮へい板は、炉心の北側に低ガンマ線領域を設ける目的で設置されているものである。ガンマ線遮へい板の交換は今回を含め2回行われた[3)]。交換履歴については、第1世代が昭和42年9月に据付けられ、第1世代が平成元年7月に原子炉積算出力量76,840.5MWdで交換された。今回、平成22年3月に解体した第2世代のガンマ線遮へい板の原子炉積算出力量は89,772.3MWdであった。Be枠及びガンマ線遮へい板の交換実績をFig 1.1に示す。

本報告書は、第7世代Be枠及びガンマ線遮へい板の製作と、交換作業について報告し、次回の交換時の参考となるようまとめた。

２．Be枠及びガンマ線遮へい板交換担当係の活動

今回の交換作業は、JMTRの更新計画により今後の運転予定期間を考慮し、予防保全としてBe枠及びガンマ線遮へい板を更新することを決定した。

この決定に従い、平成20年4月より、Be枠及びガンマ線遮へい板の製作及び交換作業に係わる種々の作業を開始した。

Be枠及びガンマ線遮へい板の製作は、発注から完成するまでに約2年を費やし、平成22年2月に製作が終了した。Be枠及びガンマ線遮へい板の交換作業は、平成22年1月から約5ヶ月かけて行った。

Be枠及びガンマ線遮へい板の製作及び交換作業のために行った主な業務を以下に記す。

Table 2.1にBe枠及びガンマ線遮へい板の製作に関する検査等の実績を示す。

(1)　発注仕様書の作成
(2)　原子炉施設の変更に係る設計及び工事の方法の認可取得に関する業務
(3)　使用前検査に関する業務
(4)　Be枠及びガンマ線遮へい板の製作に係る各種試験・検査の立会い（確認図、各種要領書の審査・確認を含む）
(5)　交換作業用機器の製作及び検査
(6)　交換作業工程及び手順書の検討及び作成
(7)　交換作業に係わる炉心要素移送票の作成
(8)　交換作業に係わる他課室との連絡、調整
(9)　交換作業の指導及び総括（作業記録作成を含む）
(10)　交換作業の被ばく管理（作業記録作成を含む）
(11)　交換作業終了に伴う各種作業

３．Be枠及びガンマ線遮へい板の製作

3.1 概　要

本製作は、JMTRの炉心要素である反射体要素及びBe枠の製作に充分な経験・実績を有している日本ガイシで受注した。

素材の購入する調達業務や一連の品質保証業務並びに各種試験・検査については、日本ガイシ社が行い、ベリリウム素材の製作については、米BRUSH（初代は日本碍子、二世代は米国KBI、三世代以降はBRUSH）、ジルコニウム合金素材の製作については、米国ATI wah changで行われた。

3.2 製作仕様

製作仕様の概略を以下に示す。

3.2.1 仕様範囲

Be枠及びガンマ線遮へい板の製作

(ｲ) 素材の製作及びその他素材の調達

(ﾛ) Be枠及びガンマ線遮へい板の製作

(ﾊ) 構成部品の製作

(ﾆ) 試験・検査（組立雇検査・使用前検査等を含む）

なお、Table 3.1にBe枠及びガンマ線遮へい板の製作品名、員数、材質を示す。

3.2.2 使用条件

項　　目	使　用　条　件
原子炉熱出力	50〔MW〕
最大高速中性子束(>1MeV)	4×10^{18}〔n/(m^2・s)〕
最大熱中性子束(<0.683eV)	4×10^{18}〔n/(m^2・s)〕
最大ガンマ線発熱率	1.24×10^{7}〔W/m^3〕
最大表面温度	100〔℃〕
冷却材の種類	原子炉一次冷却水（軽水） pH　　5.5～7.0 比抵抗　　5×10^{5}〔Ω･cm〕以上 最大流速　　11〔m/s〕
原子炉入口圧力	1.47〔MPa〕
炉心差圧	294～314〔kPa〕
キャプセル１体あたりの 最大発熱量	100〔kW〕

3.2.3 構　造

Fig 3.1にBe枠及びガンマ線遮へい板の組立図を示す。

Fig 3.2にBe枠及びガンマ線遮へい板の構成を示す。

3.2.4 使用材料

(1) Be枠

(イ) 金属ベリリウム

Be枠に使用する金属ベリリウムの化学成分、機械的強度及び密度を以下に示す。

<table>
<tr><td rowspan="15">化学成分</td><td>成　分</td><td>許容値（%）</td><td>成　分</td><td>許容値（%）</td></tr>
<tr><td>Be</td><td>98.5　以上</td><td>Cu</td><td>0.015　以下</td></tr>
<tr><td>BeO</td><td>1.3　以下</td><td>Pb</td><td>0.002　〃</td></tr>
<tr><td>Fe</td><td>0.13　〃</td><td>Li</td><td>0.0003　〃</td></tr>
<tr><td>C</td><td>0.15　〃</td><td>Mn</td><td>0.015　〃</td></tr>
<tr><td>Al</td><td>0.06　〃</td><td>Ni</td><td>0.03　〃</td></tr>
<tr><td>Mg</td><td>0.03　〃</td><td>Mo</td><td>0.002　〃</td></tr>
<tr><td>Si</td><td>0.05　〃</td><td>Ag</td><td>0.001　〃</td></tr>
<tr><td>B</td><td>0.0003　〃</td><td>Cl</td><td>0.04　〃</td></tr>
<tr><td>Cd</td><td>0.0002　〃</td><td>N</td><td>0.05　〃</td></tr>
<tr><td>Ca</td><td>0.02　〃</td><td rowspan="3">Sm、Eu
Gd、Dy</td><td rowspan="3">合計
0.001　以下</td></tr>
<tr><td>Cr</td><td>0.02　〃</td></tr>
<tr><td>Co</td><td>0.001　〃</td></tr>
<tr><td colspan="4">なお、Be以外の成分（Sm、Eu、Gd及びDyを除く）の全熱中性子吸収断面積は、各々、ボロン当量に換算し、その値の合計が10ppm以下であること。また、分析記録に元素毎のボロン換算値を記載すること。上記以外に*ウラン、アンチモンについても分析を行い、分析結果は別途報告のこと。</td></tr>
<tr><td colspan="2">成　分</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">*U</td><td colspan="2">30ppm以下</td></tr>
<tr><td colspan="2">*Sb</td><td colspan="2">1ppm以下</td></tr>
<tr><td>機械的強度</td><td colspan="4">引張強さ　275〔MPa〕以上
降伏強さ　206〔MPa〕以上
伸　び　1　〔%〕以上
衝撃値（シャルピー、ノッチなし）
0.441　〔J/cm²〕以上</td></tr>
<tr><td>密度</td><td colspan="4">1.84〔g/cm³〕以上</td></tr>
</table>

(ﾛ) 耐食アルミニウム合金製部品

品　　名	規　　格
ジョイント（B,D） オリフィス 段間ピン（B,D） ピン（C） プラグアダプタ	JIS　H4040　A6061BE-T6
リベット プラグピン	JIS　H4040　A6061BE-O

注）O材の引張強さについては、115N/mm^{2}以上145N/mm^{2}以下とする。

(ﾊ) ステンレス鋼製部品

品　　名	規　　格
受台 ジョイント（A,C） ピン（A） ネジ ボルト（A,B）	JIS　G4303　SUS304 但しCo＜0.2%以下

注）コバルト含有量は出来る限り低いものとする。

(2) ガンマ線遮へい板

(ｲ) ジルコニウム合金製部品

品　　名	規　　格
遮へい板	ASTM　B352　R60804
ネジ（A）	ASTM　B351　R60804

(ﾛ) 耐食アルミニウム合金製部品

品　　名	規　　格
サポート シート ワッシャー ネジ（B,C）	JIS　H4040　A6061BE-T6

3.2.5 ガンマ線遮へい板の素材選定

(1) 素材選定経緯

ガンマ線遮へい板は、炉心の北側に低ガンマ線領域を設ける目的で設置されているものである。その素材については、炉心設計当初に機械的性質、中性子照射挙動等の検討を行い、原子番号は大きいが中性子吸収断面積が小さく、発電炉用の燃料被覆管材として中性子照射下での使用実績があるジルカロイ-2を素材として選定した。

今回のガンマ線遮へい板の更新にあたっては、当初、昭和63年の更新時の設計を踏襲する計画であった。しかし、その素材であるジルカロイ-2は、発電炉用の部材である燃料被覆管等に使用されているのみであり、その板材に至っては需要がないため現在生産されておらず、入手できないことが判明した。

そのため、ガンマ線遮へい板の設計変更を最小限にするため、物性値が変わらず、炉心の核特性に影響を与えないことを前提に、ガンマ線遮へい板の素材に関する検討を行った。

その結果、形状及び寸法を変更せずにガンマ線遮へい板の設置目的を達成することができるジルカロイ-2と同じジルコニウム合金であるジルカロイ-4を最終的に素材として選定した。

ガンマ線遮へい板は、その構造から、水流力等の機械的荷重を受けるのではなく、唯一ガンマ加熱による熱応力が発生する程度である。このガンマ加熱による発熱量は、原子番号が同じ場合には、その物質の密度に依存するが、ジルカロイ-2、ジルカロイ-4の密度は同じ値であるため、ガンマ加熱による発熱量は変わらない。物性値（密度、比熱、縦弾性係数等）は温度依存性を示すが、JMTRの炉心環境下のような温度範囲においては、材質の違いによる物性値の違いがないため、発生する熱応力は変わらない。中性子照射挙動については、ジルカロイ-2、ジルカロイ-4ともに照射量の増加に対し強度、耐力は増加し、伸びは減少する傾向を示す。また、ジルカロイ-4の限界照射量についてもジルカロイ-2と同様のため、ジルカロイ-4の耐放射線強度はジルカロイ-2での評価結果で代表することができる。

(2) ジルコニウム合金について

米国材料試験協会（ASTM）規格では、ジルコニウム合金はジルコニウムに添加する化学成分の違いにより、いくつかのグレードに区分けされている。

今回ガンマ線遮へい板の更新にあたっては、ASTM B352 Grade R60802（ジルカロイ-2）からASTM B352 Grade R60804（ジルカロイ-4）へ変更するものである。

ジルカロイ-2、ジルカロイ-4の化学成分及び機械的強度は、ASTM B352に規定されており、引張強度、耐力は同じであるため強度評価に影響を与えない。

ジルカロイ-4は、ジルカロイ-2と比較して、下表に示すように化学成分においてニッケル（Ni）が含まれていない。

ジルカロイ-2は、沸騰水型原子炉（BWR）用の燃料被覆管材として開発されたが、これを加圧水型原子炉（PWR）用の燃料被覆管材として使用した場合、Niが含まれているため水素吸収が促進され、水素脆化が発生する。そのため、PWR用の燃料被覆管材には、水素吸収を抑制するため化学成分からNiを除いたジルカロイ-4が使用される。

主な化学成分及び機械的強度の比較（ASTM B352）

<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th colspan="4">化学成分（wt%）</th><th colspan="3">機械的強度　MPa</th></tr>
<tr><th>Sn</th><th>Fe</th><th>Cr</th><th>Ni</th><th>引張強度</th><th>耐力</th><th>伸び（%）</th></tr>
<tr><td>R60802
(ｼﾞﾙｶﾛｲ-2)</td><td rowspan="2">1.20
-1.70</td><td>0.07
-0.20</td><td>0.05
-0.15</td><td>0.03
-0.08</td><td rowspan="2">385以上</td><td rowspan="2">240以上</td><td rowspan="2">25以上</td></tr>
<tr><td>R60804
(ｼﾞﾙｶﾛｲ-4)</td><td>0.18
-0.24</td><td>0.07
-0.13</td><td>－</td></tr>
</table>

(3) まとめ

今回、ガンマ線遮へい板の素材として、昭和63年の更新時と同様にジルカロイ-2を選定する計画であったが、ジルカロイ-2の板材は現在生産されておらず入手できないことが判明した。そのため、今回の更新では、素材の選定にあたって、ガンマ線遮へい板の設計変更を最小限にするため、物性値が変わらず、炉心の核特性に影響を与えないことを前提に素材の検討を行い、形状及び寸法を変更せずにガンマ線遮へい板の設置目的を達成することができるジルカロイ-4を選定した。

その結果、ジルカロイ-4は、物性値及び機械的特性はジルカロイ-2と変わらず、中性子照射挙動等についてもジルカロイ-2と同様の挙動を示すため、昭和63年に行ったガンマ線遮へい板に関する評価（添付計算書）との違いは生じない。

3.3 試験・検査

Be枠及びガンマ線遮へい板の試験・検査は、原子力機構が行う自主検査（材料検査（その1・その2）、受け入れ検査、部品検査、完成品検査、完成品組立検査及び受入検査）と文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課原子力規制室（以下「文部科学省」という。）の検査担当官の立会いのもとで受ける使用前検査（工場検査・現地検査）がある。これらの試験・検査は、試験・検査要領、使用前検査要領に基づいて行われ、全て原子力機構の立会いで実施された。

また、原子力機構が保管中の各種検査治具の経年変化による寸法変化の有無及び外観について、使用可能か否かの確認を行った。

以下に、それぞれの検査で行った試験・検査について記述する。

3.3.1 材料検査（その1）

金属ベリリウム素材の化学成分及び機械的強度等が、金属ベリリウム調達要領書及び試験・検査要領に規定されている方法で実施されていることを確認する。

(1) 金属ベリリウム素材

(ｲ) 化学分析値

(ﾛ) 機械的強度試験（引張試験）

(ﾊ) 顕微鏡組織試験

(ﾆ) 密度試験

(ﾎ) 浸透探傷試験

(ﾍ) Ｘ線透過試験

(ﾄ) 超音波探傷試験

(ﾁ) 員数及び識別検査

(ﾘ) 外観検査

(ﾇ) 寸法検査

3.3.2 材料検査（その2）

A6061-T6材、SUS304材及びジルコニウム合金の化学成分及び機械的強度を試験検査成績書により確認するとともに、A6061-T6材からA6061-O材への熱処理及び機械的強度並びに金属ベリリウム素材の機械的強度を確認する。

(1) 金属ベリリウム素材

(ｲ) 機械的強度（衝撃試験）

① 試験片採取位置及び員数

採取位置	プレス方向に平行		プレス方向に直角	
	上　部	底　部	上　部	底　部
員　　数	6	6	6	6

② 試験方法；JIS Z 2242に準拠

③ 判定基準；0.441 J/cm^{2}以上

(2) A6061-T6材

(ｲ) 化学分析値及び機械的強度

① 検査方法；試験検査成績書の確認

② 判定基準；JIS H 4040の規格以内

(3) A6061-O材

(イ) 化学分析値

① 検査方法；試験検査成績書の確認

② 判定基準；JIS H 4040の規格以内

(ロ) 熱処理（A6061-T6材　→　A6061-O材）

① 方　　法；JIS H 0001に準拠

(ハ) 機械的強度（引張試験）

① 試験片員数；2本/ロット

② 試験片形状；JIS Z 2201　4号試験片に準拠

③ 試験方法；JIS Z 2241に準拠

④ 判定基準；JIS H 4040の規格以内

(4) SUS304材

(イ) 化学分析値及び機械的強度

① 検査方法；試験検査成績書の確認

② 判定基準；JIS G 4303の規格以内

(5) ジルコニウム合金

(イ) 化学分析値及び機械的強度

① 検査方法；試験検査成績書の確認

② 判定基準；ASTMB351,B352の規格以内

3.3.3受け入れ検査

金属ベリリウム素材が、素材製作メーカから受注メーカまでの輸送中に異常がなかったことを確認するため、受注メーカにおいて以下の検査を実施した。

(1) 員数検査

(イ) 検査方法；目視により確認する。

(ロ) 判定基準；金属ベリリウム調達要領書に規定された員数であること。

(2) 外観検査

(イ) 検査方法；目視により確認する。

(ロ) 判定基準；有害なクラックがないこと。

3.3.4 部品検査

3.3.4.1 構成部品

各々の構成部品について、製作仕様を満足していることを確認するため加工終了後、以下の検査を実施した。

(1) 員数及び識別検査

(イ) 検査対象；全ての構成部品

(ロ) 検査方法；目視により確認する。

(ハ) 判定基準；試験・検査要領書に記載された員数及び識別番号であること。

(2) 外観検査

(イ) 検査対象；全ての構成部品

(ロ) 検査方法；目視により確認する。

(ハ) 判定基準；全表面について有害な傷、変形等がないこと。

(3) 寸法検査

(イ) 検査対象；全ての構成部品

(ロ) 検査方法；マイクロメータ、ノギス等により測定する。

(ハ) 判定基準；寸法公差の桁より一桁小さいところまで測定し、測定値が公差範囲を超えないこと。但し、公差限度の次の位が1/1000以下の場合は実測値を適用する。

3.3.4.2 金属ベリリウム、ジルコニウム合金

構成部品以外について、製作仕様を満足していることを確認するため加工終了後、以下の試験・検査を実施した。

(1) 員数及び識別検査

(イ) 検査対象；Be枠各段、中プラグプラグ部、遮へい板

(ロ) 検査方法；目視により確認する。

(ハ) 判定基準；試験・検査要領書に記載された員数及び識別番号であること。

(2) 外観検査

(イ) 検査対象；Be枠各段、中プラグプラグ部、遮へい板

(ロ) 検査方法；目視により確認する。

(ハ) 判定基準；全表面について有害な傷やクラック、異物、介在物、汚れ及び変形がないこと。

(3) 寸法検査

(イ) 検査対象；Be枠各段、中プラグプラグ部、遮へい板

(ロ) 検査方法；マイクロメータ、ノギス等により測定する。

(ハ) 判定基準；寸法公差の桁より一桁小さいところまで測定し、測定値が公差範囲を超えないこと。但し、公差限度の次の位が1/1000以下の場合は実測値を適用する。

(4) 表面粗さ検査

(イ) 検査対象；Be枠各段、中プラグプラグ部、遮へい板

(ロ) 検査方法；比較用表面粗さ標準片（JIS B 0659準拠）との比較測定による。

(ハ) 判定基準；製作図中に規定された表面あらさ以内に仕上がっていること。

(5) 浸透探傷試験（蛍光探傷試験）

(イ) 検査対象；Be枠各段、中プラグプラグ部、遮へい板

(ロ) 試験方法；JIS Z 2343(浸透探傷試験方法及び浸透指示模様の分類)のFA-N法による。

(ハ) 判定基準

① 割れにより現れる欠陥指示模様がないこと。

② 線状に現れる欠陥指示模様の大きさが、4mm以内であること。

③ 円形状に現れる欠陥指示模様の大きさが、4mm以内であること。

④ 分散浸透指示模様は、面積2,500mm^{2}を有する方形内に存在する。長さ1mmを超える欠陥指示模様の長さの合計が16mm以下であること。この場合、方形の一辺の最大長さは、150mmとする。

(6) 超音波探傷試験

(イ) 検査対象；遮へい板

(ロ) 試験方法；ASTM E114

3.3.5 完成品検査

完成品について、製作仕様を満足していることを確認するため、製作図に基づいて構成部品が組付けられた後、以下の検査を実施した。

(1) 員数及び識別検査

(イ) 検査方法；目視により確認する。

(ロ) 判定基準；試験・検査要領書に記載された員数及び識別番号であること。

(2) 外観検査

(イ) 検査方法；目視により確認する。

(ロ) 判定基準；有害な傷やクラック、変形がないこと。

(3) 寸法検査

(イ) 検査方法；マイクロメータ、ノギス等により測定する。

(ロ) 判定基準；寸法公差の桁より一桁小さいところまで測定し、測定値が公差範囲を超えないこと。但し、公差限度の次の位が1/1000以下の場合は実測値を適用する。

3.3.6 完成品組立検査

完成品について、製作仕様を満足していることを確認するため、製作図に基づいて組立雇「やとい」に完成品を組み立て、以下の検査を実施した。

(1) 外観検査

(イ) 検査方法；目視により確認する。

(ロ) 判定基準；製作図に基づいて組立雇に完成品が組み立てられていること。
外表面について有害な傷やクラック、異物、汚れ及び変形がないこと。

(2) 完成品寸法検査

(イ) 検査方法；JMTR炉心を模擬した組立雇に完成品を組み立て、インサイドマイクロメータ等により測定する。

(ロ) 判定基準；寸法公差の桁より一桁小さいところまで測定し、測定値が公差範囲を超えないこと。但し、公差限度の次の位が1/1000以下の場合は実測値を適用する。

3.3.7 受け入れ検査

完成品が輸送中に異常がなかったことを確認するため、原子力機構において、以下の検査を実施した。

(1) 員数及び識別検査

(イ) 検査方法；目視により確認する。

(ロ) 判定基準；試験・検査要領書に記載された員数及び識別番号であること。

(2) 外観検査

(イ) 検査方法；目視により確認する。

(ロ) 判定基準；有害なクラック、傷、異物及び汚れ等がないこと。

(3) 組立寸法検査

(イ) 検査方法；JMTR炉心を模擬した組立雇に完成品を組み立て、インサイドマイクロメータ等により測定する。

(ロ) 判定基準；寸法公差の桁より一桁小さいところまで測定し、測定値が公差範囲を超えないこと。

3.3.8 使用前検査（工場検査）

受注メーカにおいて、文部科学省の検査担当官により、使用前検査要領書に基づき、以下の検査を受検した。

(1) 材料検査

・素材製作メーカの材料検査証明書を確認する。

・検査記録を確認する。

(2) 浸透探傷試験

・検査記録を確認する。

(3) 外観検査

・目視により確認する。

・検査記録を確認する。

(4) 寸法検査

・検査対象の寸法について、両端と中央の3箇所を測定する。

・検査記録を確認する。

3.3.9 使用前検査（現地検査）

原子力機構において、Be枠及びガンマ線遮へい板のJMTR炉心部への据付作業完了後、文部科学省の検査担当官により、使用前検査要領書に基づき、以下の検査を受検した。

(1) 据付・外観検査

・目視により確認する。

3.3.10 検査治具の検査

原子力機構で保管中の各種検査治具が、経年変化による寸法変化及び外観の変形等の有無について、使用可能か否かを確認するため、受注メーカーの品質保証計画に従い、以下の検査項目について実施した。

Table 3.2に検査治具の名称及び員数を示す。

(1) 検査治具

・寸法検査

・外観検査

検査の結果、使用可能であることを確認した。

3.4 不具合報告

製作において、以下に示す1件の不具合があった。

(1) Be枠北枠3段目加工不具合

・上記の加工不具合は、Be北枠2段目のパッド面仕上げ加工後、引き続きBe北枠3段目のパッド面仕上げ加工をする際に、ベリリウム枠の取り付け方向を誤り、仕上げ加工を実施してしまったことにより、本来の加工箇所でない部分を削ってしまったものである。当加工不具合の再発防止対策として、取り付け方法や加工における注意事項を記入したチェックシートを作成するとともに、加工作業者と品質保証担当者のダブルチェックを実施する等の対策を講じた。Be北枠3段目については、予備材を使用し再製作した。

3.5 加工試験結果報告

製作において、以下に示す加工試験を行った。

(1) Be中プラグの表面仕上げ加工の実施

・Be中プラグの表面仕上げ加工について、前回（H8年第5世代）のBe中プラグの製作に使用した汎用旋盤から、今回はNC旋盤に設備が更新されたため、NC旋盤で仕様どおりの表面粗さを得るための加工条件を設定するために、予備加工試験を実施した。チップ種類及び送り速度を調整するとこで仕様どおりの表面粗さを得ることができた。

４．Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器の製作

4.1　概要

今回のBe枠及びガンマ線遮へい板交換作業は、Beブロック抜き金具、Beブロック仮置き台、芯出し具、Be枠及びガンマ線遮へい板収納ラック、ワイヤーロープを新たに製作し、その他については前回までに製作した交換作業用機器を使用して行った。

4.2　製作員数

⑴ Beブロック抜き金具：2個
⑵ Beブロック仮置き台：1個
⑶ 芯出し具：1個
⑷ Be枠及びガンマ線遮へい板収納ラック：1基
⑸ 吊り具：1個
⑹ ワイヤーロープ（6m）：4本
　　（7m）：4本

4.3　製作仕様

⑴ Beブロック抜き金具

Beブロック抜き金具は、上部に設けたハンドルを回転させることにより、シャフトを介して下部にあるツメが開閉し、積み上げられた既設のBe枠の各段を切り離すことができる構造とする。また、上部ハンドルは容易に回転し、ツメは水平に開閉できること。（Photo 4.1）

（管理区域外において交換治具の取扱の教育に使用及び予備品とするために製作）

⑵ Beブロック仮置き台

Beブロック仮置台は、解体した既設のBe枠を容易に仮置き出来るようにガイド部分を設け、水平に置かれたBe枠を垂直に起こすことが出来る構造とし、また、落下防止のためにストッパーを設けること。また、Beブロック仮置台は他のBe枠交換治具とボルトにより結合させて使用するため、結合部分を介して回転が可能な構造とする。（Photo 4.2）

（既存のBeブロック仮置き台は、表面汚染が高いため無用な被ばくを避けるために製作）

⑶ 芯出し具

芯出し具は、作業時に適切な吊り芯を決められるように位置決めハンドルを設け、その位置決めハンドルは容易に回転する構造とする。また、ベース板には長穴を設け、取付け位置の調整が可能な構造とする。（Photo 4.3）

（既存の芯出し具は、取手部が変形しているために製作）

⑷ Be枠及びガンマ線遮へい板収納ラック

収納ラックは、解体した既設の Be 枠及びガンマ線遮へい板、ジョイント、中プラグの保管に使用するため、収納物の総重量（約 500kg）及び収納ラック自体の重量を合わせた重量に十分耐える設計とし、強度計算により強度を確認する。また、収納物の識別が可能なように識別用文字の刻印等を行う。（Photo 4.4～4.7）

⑸ 吊り具

吊り具は、片端をリング（外形φ140mm、内径φ100mm）に取付け、片端にロック付フック（最大荷重500kg）を取り付けた構造とする。（Photo 4.8）

（既存の吊り具は、フックの向きが同じなため、枠交換用ベースに取り付けるとねじれた状態で吊る事になり、左右の長さが異なり芯が出ないために製作）

⑹ ワイヤーロープ（6m）

（7m）

ワイヤーロープは、両端を蛇口（約250mm×約200mm）とし、圧縮止め部分に使用可能な荷重及び長さを刻印する。（Photo 4.9～4.10）

（予備品として製作）

4.4　試験・検査

4.4.1　材料検査

⑴ 検査方法：材料検査成績書により確認する。

⑵ 判定基準：所定の規格値を満足していること。

4.4.2　外観検査

⑴ 検査方法：目視により確認する。

⑵ 判定基準：有害な傷・変形・割れ等の欠陥がないこと。

4.4.3　浸透探傷試験

⑴ 検査方法：溶接部外観を目視により確認する。

⑵ 判定基準：有害な欠陥がないこと。

4.4.4　寸法検査

⑴ 検査方法：ノギス・スケール・マイクロメータ等により測定する。

⑵ 判定基準：承認図指示寸法許容公差内であること。

4.4.5　機能検査

⑴ 検査方法：Beブロック抜き金具の取扱をBe枠模擬体により確認する。

⑵ 判定基準：Be枠模擬体が容易に取扱できること。

5．Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業前準備

5.1　交換作業手順書の改訂

今回のBe枠及びガンマ線遮へい板交換作業は、Be枠及びガンマ線遮へい板、ジョイント、中プラグの交換となることから前回のBe枠交換作業手順書の改訂を行った。改訂にあたっては、第6世代までのBe枠交換作業手順書、交換作業日誌、移送票及び「JMTR　Be枠の製作及び交換作業報告書」を参考にした。

改訂した交換作業手順書をもとに、模擬体を使用して交換作業の概要やBe枠及びガンマ線遮へい板交換作業に使用する治具の取扱説明を模擬体及び交換治具等の保管場所である原子炉制御室屋上にて行った。

5.2　他課室との連絡

(1) Be枠東枠に装荷されている脱座検出器は、Be枠交換作業を行うにあたり競合しているため、作業性を考慮して照射設備整備課に仮抜きの協力を依頼した。
(2) Be枠に装荷されている中プラグを移送するために、キャプセル移送容器を照射設備整備課より借用した。
(3) 交換作業に使用する防護資材の確保を業務課に依頼した。
(4) 交換作業中の被ばく管理を含む放射線作業について、放射線管理第2課と打合せを行った。

5.3　交換作業に伴う炉心要素の取り出し

交換作業に伴い、作業上必要な領域を確保するためFig.5.1　Be枠及びガンマ線遮へい板交換作業に伴う炉心要素撤去図に示す炉心要素を取り出し炉プール及びカナルへ移送した。

カナルに移送した反射体は専用の反射体ラックに保管した。

5.4　Be 枠曲がり測定

第6世代Be枠の最終変位データを得るため解体前にBe枠曲がり測定を行った。炉心において専用の曲がり測定器を用いて測定した結果、第6世代Be枠の最大変位は、許容曲がり量1.315mmに対して西枠4段目で0.925mmであった。今回測定した第6世代Be枠の原子炉積算出力は25,158.3MWDであった。この曲がり量は、過去のBe枠曲がり測定の結果からも妥当であると判断できる。なお、過去のBe枠曲がり測定の結果から、原子炉積算出力量約36000MWDで許容曲がり量1.315mmに達すると予想されている。測定結果をFig.5.2に示す。

６．Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業

6.1　交換作業体制

交換作業は、総括班（3係が担当）と実施班（6つの係）の体制とした。実施班は2つの係を１チームとして総括班（3係が担当）を加えた体制で行った。

作業は、原子炉制御室と炉上に分かれ、原子炉制御室を3係1名、炉上を実施班と3係3名を加えた体制で行った。総括班は作業の指示及び交換治具の取扱いや原子炉制御室との連絡を行った。

Fig.6.1にBe枠及びガンマ線遮へい板交換作業体制を示す。

6.2　交換作業工程

今回の交換作業は、前回よりも少人数かつその他の更新作業もある中での実施となるため、工程作成にあたっては、前回までの実績を参考に約5ヶ月程度の日数を考えた。

作業は、過去5回の経験が生かされ順調に作業は終了した。交換工程を以下に示す。

Table 6.1 Be枠及びガンマ線遮へい板交換全体作業工程
Table 6.2 Be枠及びガンマ線遮へい板交換全体作業工程（実績）
Table 6.3 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程
Table 6.4 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程（実績）

6.3 交換作業用機器

Be枠及びガンマ線遮へい板の交換作業用機器の目的及び構造等について以下に述べる。

(1) 芯出し具

芯出し具は、圧力容器小上蓋に専用のボルトを利用して取付けられ、位置決めハンドルなどでBe枠及びガンマ線遮へい板の吊り位置を決めるのに使用する。（Photo 6.1）

(2) Beブロック解体及び組込金具

本治具は、枠交換用ベース、押え金具、抜き金具、最下段抜き金具から構成され、Be枠の解体及び組込み作業に応じてそれぞれの金具を枠交換用ベースに取付けて使用する。（Photo 6.2～6.6）

(ｲ) 枠交換用ベース

枠交換用ベースは、北枠用、東西枠用ベースの2種類があり解体及び組込む枠によってそれぞれに使用する。（Photo 6.2）

(ﾛ) 抜き金具

抜き金具は、Be枠1～6段目の解体及び組込みに使用する。抜き金具をBe枠の照射孔に挿入し、リンクを時計方向に回転することによりツメが出てBe枠を掴む構造である。（Photo 6.4）

(ﾊ) 押え金具

押え金具は、Be枠1～6段目の解体に使用する。押え金具をBe枠の照射孔に挿入し、リンクを反時計方向に回転することによりツメを下段照射孔のテーパ部分に接触させて押し下げ、下段のBe枠と切り離す構造である。（Photo 6.4）

(ﾆ) 最下段抜き金具

最下段抜き金具は、Be枠最下段の解体及び組込みに使用する。最下段抜き金具をBe枠最下段の照射孔に、押し込みながら時計方向に回転させることによってリベットを掴む構造である。（Photo 6.6）

(3) Beブロック運搬具

Beブロック運搬具は、Be枠のジョイント孔を利用し、仮置き台からBeブロック移送容器、Beブロック移送容器からBe枠収納ラックへ移送するときに使用する。（Photo 6.7）

(4) Beブロック仮置台（その1・その2・その3）

Beブロック仮置台は、解体したBe枠を載せて解体治具の取外し及び水平に置かれたBe枠を垂直に起こすときに使用する。垂直に起こす操作は仮置台に取付けたポリロープ等で南側小判蓋孔より行う。

Beブロック仮置台は、反射体要素照射孔を利用して炉内に設置する。（Photo 6.8）

(5) Beブロック移送容器（4要素用）、スペーサ

Beブロック移送容器は、解体したBe枠を圧力容器内からカナルのBe枠収納ラックへ移送するとき及び組込むBe枠を炉廻りから炉上へ吊り降ろすときに使用する。この移送容器には4要素用と3要素用の2種類があり、3要素用はBe枠最下段を移送するときに使用する。スペーサ

は、北枠を移送する時、移送容器に挿入して使用する。（Photo 6.9）

(6) 最下段セット用ゲージ（4.3mm）

最下段セット用ゲージは、Be枠東・西枠を組込む時、南側アルミ枠とBe枠の隙間に挿入し、Be枠を北側へ寄せるときに使用する。（Photo 6.10）

(7) ジョイント引抜きツールとジョイント用スペーサ

ジョイント引抜きツールは、各Be枠及びBe枠とアルミ枠とを接続しているジョイントを引抜くときに使用する。ジョイント引抜きツールは、ジョイント用スペーサと併せて使用する。今回は、西枠南側ジョイントを引抜くときに使用した。（Photo 6.11～6.13）

(8) ジョイント引抜き治具（ジンクロ）と接続ピン

ジョイント引抜き治具は、ジョイント引抜きツールで引抜くことができないジョイントを抜くときに使用する。接続ピンは、引抜こうとするジョイントとジョイント引抜き治具を結合させるのに使用する。今回は、東枠北側ジョイント及び西枠北側ジョイントを引抜くときに使用した。（Photo 6.14）

(9) ロック付きシングルフック

ロック付きシングルフックは、ジョイントの引抜き及びジョイントの移送に使用する治具で、ジョイント式ハンドリングツール本体に取付けて使用する。今回は、東枠南側ジョイント、北枠西側ジョイント及び北枠東側ジョイントを引抜くときに使用した。（Photo 6.15）

(10) 回転用ツール

回転用ツールは、ジョイント引抜き治具のネジ部を回転操作するために使用する。

(11) 寸法測定用ツール

寸法測定用ツールは、ジョイント式ハンドリングツール本体の3mにわたり 2mm単位でスケールがけがかれ、Be枠各段・ジョイント及びガンマ線しゃへい板各々上面等の高さを測定するときに使用する。

(12) ジョイント式ハンドリングツール本体

ジョイント式ハンドリングツール本体は、各種ジョイント式先端子を接続して使用する。

(13) ジョイント式先端子

各種ジョイント式先端子は、ジョイント式ハンドリングツール本体に接続して使用する。写真は、Be枠等の高さを測定する寸法測定用先端子である。（Photo 6.16）

(14) ガンマ線遮へい板取扱い治具（東側・西側用）

ガンマ線遮へい板取扱い治具は、ガンマ線遮へい板の取扱い孔に取付け、ガンマ線遮へい板を吊上げ移送するために使用する。

今回は、取外し・組込みともに西側用を使用した。（Photo 6.17、6.18）

（15）ガンマ線遮へい板引抜き治具

ガンマ線遮へい板引抜き治具は、ガンマ線遮へい板取扱い治具でガンマ線遮へい板が北枠から取り外せないときに使用する。ガンマ線遮へい板引抜き治具をガンマ線遮へい板の取扱い孔に取付け、ガンマ線遮へい板のサポートを掴み、さら北枠ピンを押し込むことにより、ガンマ線遮へい板とBe枠北枠を分離する。今回は、使用しなかった。（Photo 6.19）

（16）ガンマ線遮へい板仮置き台

ガンマ線遮へい板仮置き台は、取り外したガンマ線遮へい板を炉内に仮置きするときに使用する。（Photo 6.20）

（17）テンションメーターとチェーンブロック

テンションメーターとチェーンブロックは、Be枠等の吊上げ、吊下げ操作時にどの程度の荷重が作用するかを計り、極端な力の作用を防止するために使用する。

（18）Be枠及びガンマ線遮へい板収納ラック

Be枠及びガンマ線遮へい板収納ラックは、解体したBe枠及びガンマ線遮へい板、ジョイント、中プラグをカナル内において保管するために使用する。

6.4 交換作業における被ばく管理

交換作業中の被ばく管理は、「大洗研究開発センター（北地区）放射線安全取扱手引」及び「JMTR放射線安全作業マニュアル（JMTR施設編）」に従って行った。また、過去5回の交換作業において検討された基本方針及び実績を参考にした。

なお、交換作業を始める前に放射線管理第2課と交換作業について打ち合わせを行った。放射線管理第2課との確認事項を下記に示す。

(1) 被ばく管理は、ガラスバッジの他にポケット線量計を用い、当日のポケット線量計の読みを記録する。

(2) 作業終了後RPV上から炉廻りに上がるときには新たに設置する濡れタオルにより、靴底の除染を行う。基準は300cpm以下とする。

(3) RPV上から炉廻りにあげる交換治具については、濡れタオルによる除染及びビニルシートによる養生を行い、汚染拡大の防止につとめる。

(4) 毎日の作業終了後、炉頂への散水を行う。散水後に炉頂のスミヤサーベイを実施する。基準は1000cpm以下とする。

(5) 毎日の作業終了後、作業区域のスミヤサーベイを実施する。基準は300cpm以下とする。確認後、JMTR放管に作業終了を連絡する。

- 炉廻り：制御室担当班がスミヤサーベイと測定を行い、300cpm以上であれば、当該箇所の除染を行う。
- キャスク台車：炉廻りと同様な管理を行う。
- カナル廻り：カナル廻りについても炉廻りと同様に管理する。

(6) 交換作業終了後に何名かの作業員について、ヒューマンカウンターの測定を行い内部被ばくの有無について確認する。

Table 6.5に交換作業における積算被ばく線量の比較を示す。

Table 6.6にBe枠及びガンマ線遮へい板交換作業時におおける被ばく線量積算を示す。

今回の交換作業での作業員の最大被ばく線量積算は、77μSvであった。作業中の大きなトラブルも無かったことや、JMTR更新作業に向けて、事前に炉心内の燃料要素や照射キャプセル等が全て取出されていたということもあり、被ばく線量を低く押さえることが出来た。

6.5　交換作業

交換作業は、各実施班が1日交替で行い、約5ヶ月間の工程を予定通り終了した。Photo 6.21 Be枠解体前の炉心を、Photo 6.22に新Be枠組込後の炉心、Photo 6.23～Photo 6.52にBe枠交換作業の様子を示す。

交換作業は、作業上必要な領域を確保するため炉心から反射体要素及び制御棒案内管（以下G･Tと言う）等を取出して行った。取出した燃料要素、反射体要素及びG･T等は、炉プール及びカナルへ移送した。なお、燃料要素は、平成18年8月に取出しを行っている。また、脱座検出器の仮抜きを照射設備整備課と共同で行った。

Fig.6. 2にBe枠交換作業中、Fig.6. 3にG･T取出し・閉止板装荷後、Fig.6. 4にBe枠解体前、Fig.6. 5にBe枠解体後、Fig.6. 6にBe枠組込・ガンマ線遮へい板・G･T、反射対戻し後の炉心図を、Fig.6. 7に解体したBe枠及びガンマ線遮へい板の収納状態をそれぞれ示す。

交換作業はあらかじめ作成した手順書を基に進めた。作業中に気づいた事柄や注意すべき点もあったため、それらを下記に示す。

(1) Beブロック移送容器、及び新ガンマ線遮へい板を炉廻りから炉上に吊り降ろす作業、新ガンマ線遮へい板を仮置きした制御棒点検整備作業エリアから移動するのにナイロンスリング（1m×2本）を使用した。

(2) ガンマ線遮へい板仮置き台をG~K - 7､8にセットしたが、芯が上手くとれなかった。次回はG~K - 8､9にセットしたほうが良い。

(3) ジブクレーンとテンションメーターの間のフック付ワイヤーロープ（30cm）は使用しなかった。

(4) ジョイントの引抜きは、ジンクロを使用することを想定しあらかじめ炉心要素を移送しておいた。次回もあらかじめ炉心要素を移送しておいたほうが良い。ジンクロ使用時の回転用ツールの頭にラチェットレンチを取付けて回した。

(5) 解体したBe枠及びジョイントのカナル移送は､前回の引継により7mのワイヤーロープを使用して行った。

(6) Beブロック仮置き台を炉心にセットした当初、スカート部の安定が悪かった。スカート部下のG,L-13,14,15の中プラグを取出し、再セットして安定した。次回はあらかじめ中プラグを取出しておいたほうが良い。

(7) 枠交換用ベースベースは、各段を結合する段間ピンをさけるように孔が開いているが、段間ピンは中心線上にないため向きを間違えると、解体金具がBe枠に入らない。東西で南北方向が反対になるので、あらかじめ解体金具に南北方向を示すマーキングを行うこと。

(8) 枠交換用ベースに抜き金具、押さえ金具をセットする時は向きを確認すること。今回は、北枠用から東西枠用のベースに交換した時に、取付けボルトの孔の位置を間違えたため、取付けボルトの頭が回転操作部にあたり動きが渋かった。

(9) 組込金具取外しの際、芯出し（吊り具及び枠交換用ベースに抜き金具、押さえ金具をセットする時の微妙な調整が必要）がうまくできておらずN6が一緒にあがってしまい、外れると同時にN6がずれて着座してしまった事があった。次回は、北枠用から東西枠用のベースに交換した時は必ず炉廻りにおいて枠を実際に使用して嵌め合いを確認する必要がある。

Photo 6.53にN6の様子、Photo 6.54の抜き金具の芯ずれの様子を示す。

6.6　解体前及び組込後の高さ寸法測定結果

Be枠が組込後に正常な位置にあることを確認するため、解体中、組込中、Be枠の高さを測定した。Fig.6.8にBe枠及び格子板の高さ寸法測定位置及び値読取り位置を、Table 6.7及び6.8に測定結果を示す。なお、組込み中は各段にすきまが無いことをミラーツールにより確認した。

これらの高さ寸法測定結果からBe枠は、正常に組み込まれたことを確認した。

また、ガンマ線遮へい板及びジョイントについても解体前及び組込後に高さを測定し、正常に組み込まれたことを確認した。Fig.6.9にガンマ線遮へい板及びジョイントの高さ寸法測定位置及び値読取り位置を、Table 6.9に測定結果を示す。

6.7　解体後の外観観察

Be枠及びガンマ線遮へい板解体後に、格子板及びアルミニウム枠のジョイント挿入部の外観を双眼鏡等により観察した。

結果をTable 6.10に示すとともに、Be枠及びガンマ線遮へい板解体後の炉心をPhoto 6.55に示す。

7．Be 枠及びガンマ線遮へい板交換後の作業

7.1　Be 枠曲がり測定

交換作業後に曲がり測定を実施した。Fig.7.1に測定結果を示す。当該測定データは、今後、供用期間中に行う曲がり測定のデータの基礎となる。

7.2　使用前検査（その 2）

使用前検査（その2）は、文部科学省の検査担当官により、据付検査が行われ、炉心にベリリウム枠及びガンマ線遮へい板が正常に組み込まれていることが確認され、合格した。

7.3　交換作業用機器の除染依頼

交換作業終了後に使用したBe枠交換作業用機器の除染を廃棄物管理課へ依頼した。Be枠及びガンマ線遮へい板交換用機器は、次回の作業まで炉室B3F主循環系機器室及び炉制御室屋上に保管する。Table 7.1除染依頼したBe枠及びガンマ線遮へい板交換用機器を示す。

除染依頼機器のうち格子板用プラグ(3要素用)（表面密度8.2×10^{2}Bq/cm^{2}）や格子板用プラグ(5要素用)（表面密度7.6×10^{1}Bq/cm^{2}）の表面汚染が高かったが、除染した結果、管理基準値の表面密度＜0.4Bq/cm^{2}まで低減することができた。

８．Be枠及びガンマ線遮へい板と交換作業用機器に関する書類

Be枠及びガンマ線遮へい板の製作に関する書類は、契約仕様書に明記されている提出書類のとおりである。提出書類一覧をTable 8.1に示す。この中で、Be枠及びガンマ線遮へい板製作図面一覧をTable 8.2に示す。

また、Table 8.3に新規製作及びTable 8.4に前回までに製作したBe枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器一覧を示す。

９．まとめ

(1) 今回更新する第7世代のBe枠は、改良型の第4世代Be枠と同一設計とした。
(2) 既存のベリリウム枠と同等の性能を維持できるように、ベリリウム枠の曲がり量に影響を与えるベリリウム素材の不純物含有量に関して、過去の実績を考慮して仕様を決定した。
(3) 今回、ガンマ線遮へい板の素材であるジルコニウム合金については、昭和63年の更新時と同様にジルカロイ-2を使用する予定であったが、素材であるジルカロイ-2は、発電炉用の部材である燃料被覆管等に使用されているのみであり、その板材に至っては需要がないため現在生産されておらず、入手できないことが判明した。そのため、今回の更新では、素材の選定にあたって、物性値が変わらず、炉心の核特性に影響を与えないことを前提に素材の検討を行い、形状及び寸法を変更せずにガンマ線遮へい板の設置目的を達成することができるジルカロイ-4を選定した。
(4) 平成20年6月6日に入札公告され、平成20年8月8日に契約締結された。
(5) 平成20年11月27日に設計及び工事の方法の認可の申請を行い、平成21年1月28日に認可された。
(6) 使用前検査の申請を平成21年2月12日に行い、使用前検査計画書が平成21年3月16日、使用前検査要領書については平成21年3月18日に策定された。
(7) 平成22年2月4日～平成22年2月5日に使用前検査（工場検査）を受検し、合格した。
(8) 取出した制御要素及び反射体等を炉心に戻した後、平成22年5月27日に使用前検査（現地検査）を受検し、合格した。
(9) 平成22年6月10日に使用前検査合格証が交付された。
(10) Be枠及びガンマ線遮へい板の解体・組込作業に使用する機器は、新規製作した機器と併せ、前回の機器を引き続き使用した。
(11) 今回の交換作業での被ばく線量は、作業中のトラブルも無かったことや、JMTR改修工事に伴う長期停止中で、炉心内の燃料要素が全て取出されていたということもあり、被ばく線量を低く押さえることが出来た。
(12) 今回の交換作業は、6回目になるが、これまでよりも少人数で、かつその他の更新作業もある中での実施となった。このため、工程作成にあたっては、前回までの実績を参考にのべ人数は変わらないという考えから、約5ヶ月程度の日数で計画した。

謝辞

本報告書をまとめる上で、内容について貴重なご意見を頂きました小森芳廣材料試験炉部部長、中川哲也材料試験炉部次長、楠剛材料試験炉部次長及び第7世代ベリリウム枠検討から交換作業まで尽力を頂いた原子炉第１課の諸氏、辻智之氏（現バックエンド推進部門　バックエンド技術開発ユニット）に深く感謝いたします。

参考文献

1）（古川　芳徳・海野　廣・永堀　浩　他）　私信
2）（広原　進・雨沢　博男・稲場　幸夫　他）　私信
3）（根本　宣昭・宮澤　正孝・横川　誠　他）　私信
4）（黒澤　昭彦・宇井　泰紀・神永　勝男　他）　私信
5）（坪井　一明・楠　秀彦・浅野　典一他）　私信
6）（神永　勝男・坪井　一明・楠　秀彦・浅野　典一・箭内　智博）
「JMTRベリリウム枠の一部更新」（JAERI-Tech　2003-051）
7）（五来　滋・塙　善雄・海老沢　博幸・大戸　勤・深作　秋富）
「原子炉機器の更新計画」（UTNL-R0466 2008）

Table 2.1　Be 枠及びガンマ線遮へい板の製作に関する検査等の実績

年	月	製作・交換作業関係	設工認関係
H20	5	発注	
	8	8 日　契約	
	11		27 日　設計及び工事の方法の認可の申請
H21	1		28 日　設計及び工事の方法の認可が認可
	2		12 日　使用前検査の申請
	3	18～19 日　金属ベリリウム・ジルコニウム合金材料の受入検査	16 日　使用前検査計画書が策定 18 日　使用前検査要領書が策定
	6	4～5 日　ステンレス鋼・耐食アルミニウム合金の材料受入検査 (金属ベリリウム・ジルコニウム合金の材料検査)	
	10	28～29 日　ガンマ線遮へい板・ガンマ線遮へい板構成部品の部品検査	
	12	2～3 日　ベリリウム枠構成部品・ガンマ線遮へい板構成部品・中プラグ構成部品の部品検査 14～16 日　ベリリウム枠構成部品・ガンマ線遮へい板構成部品・中プラグ構成部品の部品検査 21～25 日　ベリリウム枠・ベリリウム枠構成部品の部品検査	
H22	1	25～28 日ベリリウム枠・中プラグ・ガンマ線遮へい板の完成品検査、ベリリウム枠・中プラグ・ガンマ線遮へい板の完成品検査 ベリリウム枠交換作業期間	
	2	16～18 日　受け入れ検査（納品） 23 日　納入日 ベリリウム枠交換作業期間	4～5 日　使用前検査（工場検査）の受検
	3	ベリリウム枠交換作業期間	
	4	ベリリウム枠交換作業期間	
	5	ベリリウム枠交換作業期間	27 日　使用前検査（現地検査）の受検 検査場所 : 大洗研究開発センター（北地区） 【据付・外観検査】
	6		10 日　使用前検査合格証

Table 3.1　ベリリウム枠及びガンマ線遮へい板の製作品名、員数、材質

	名　　称	員　数	材　　質
ベリリウム枠	ベリリウム東枠(7E1)	1	金属ベリリウム
	ベリリウム東枠(7E2～E6)	各 1	金属ベリリウム
	ベリリウム東枠(7E7)	1	金属ベリリウム
	ベリリウム西枠(7W1)	1	金属ベリリウム
	ベリリウム西枠 (7W2～7W6)	各 1	金属ベリリウム
	ベリリウム西枠(7W7)	1	金属ベリリウム
	ベリリウム北枠(7N1)	1	金属ベリリウム
	ベリリウム北枠(7N2～7N6)	各 1	金属ベリリウム
	ベリリウム北枠(7N7)	1	金属ベリリウム
	受　　台　(E)	1	SUS304
	受　　台　(W)	1	SUS304
	受　　台　(N)	1	SUS304
	プラグ部	22	金属ベリリウム
	プラグアダプタ	22	A6061BE-T6
	プラグピン	44	A6061BE-O
	ジョイント　(A)	2	SUS304
	ジョイント　(B)	1	A6061BE-T6
	ジョイント　(C)	2	SUS304
	ジョイント　(D)	1	A6061BE-T6
	オリフィス	201	A6061BE-T6
	リベット	22	A6061BE-O
	ネ　ジ	4	SUS304
	ピ　ン　(A)	4	SUS304
	ボ ル ト　(A)	69	SUS304
	ボ ル ト　(B)	5	SUS304
	段間ピン　(B)	36	A6061BE-T6
	ピ　ン　(C)	4	A6061BE-T6
	段間ピン　(D)	18	A6061BE-T6
ガンマ線遮へい板	しゃへい板　(A)	2	ｼﾞﾙｺﾆｳﾑ合金
	しゃへい板　(B)	2	ｼﾞﾙｺﾆｳﾑ合金
	ネ　ジ　(A)	44	ｼﾞﾙｺﾆｳﾑ合金
	東側サポート	2	A6061BE-T6
	西側サポート	2	A6061BE-T6
	シート	8	A6061BE-T6
	ワッシャ	44	A6061BE-T6
	ネ　ジ　(B)	12	A6061BE-T6
	ネ　ジ　(C)	8	A6061BE-T6

Table 3.2　検査治具の名称及び員数

番号	名　　称	員数
1	組立雇	1 式
2	照射孔芯ずれゲージ	8 本
3	テンプレート（東西枠用）	1 枚
4	テンプレート（北枠用）	1 枚
5	φ6.35 孔芯ずれゲージ（7 段通し用）	1 本
6	φ6.35 孔真直度ゲージ	1 本
7	オリフィス用ネジ部深さゲージ	1 本
8	オリフィス締め付けネジ孔深さゲージ	1 本
9	プラグアダプタ中グリ位置ゲージ	1 個
10	プラグアダプタ中グリ長さゲージ	2 本
11	プラグゲージ	2 本
12	ジョイント孔真直度ゲージ	7 本
13	テンプレート押さえ治具	2 本

Table 6.1　Be枠及びガンマ線遮へい板交換全体作業工程

変更3		変更1	
変更2		作成日	2009.12.4

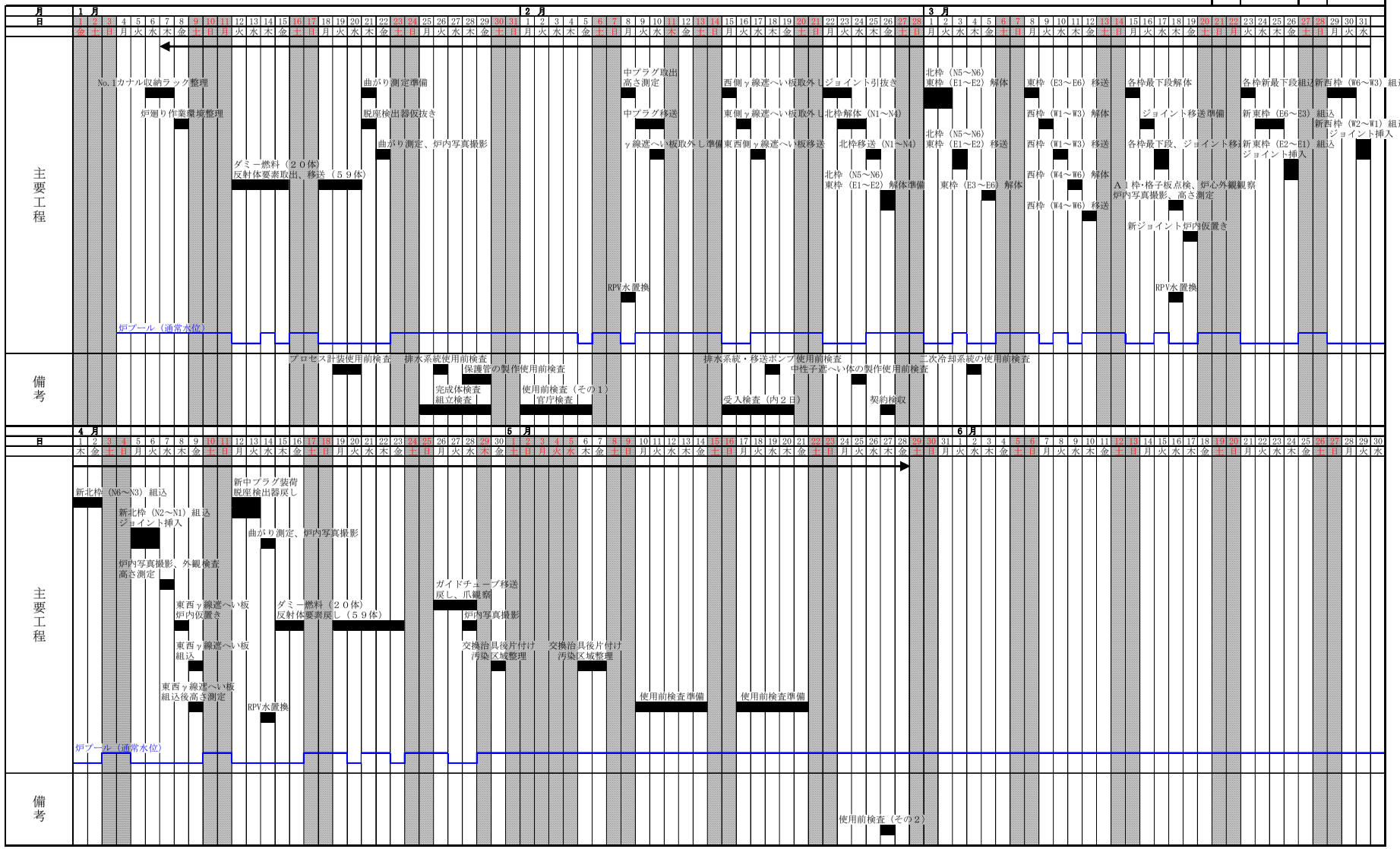

Table 6.2　Be枠及びガンマ線遮へい板交換作業工程（実績）

変更3	2010.3.26	変更1	2009.12.28
変更2	2010.2.15	作成日	2009.12.4

実績　予定

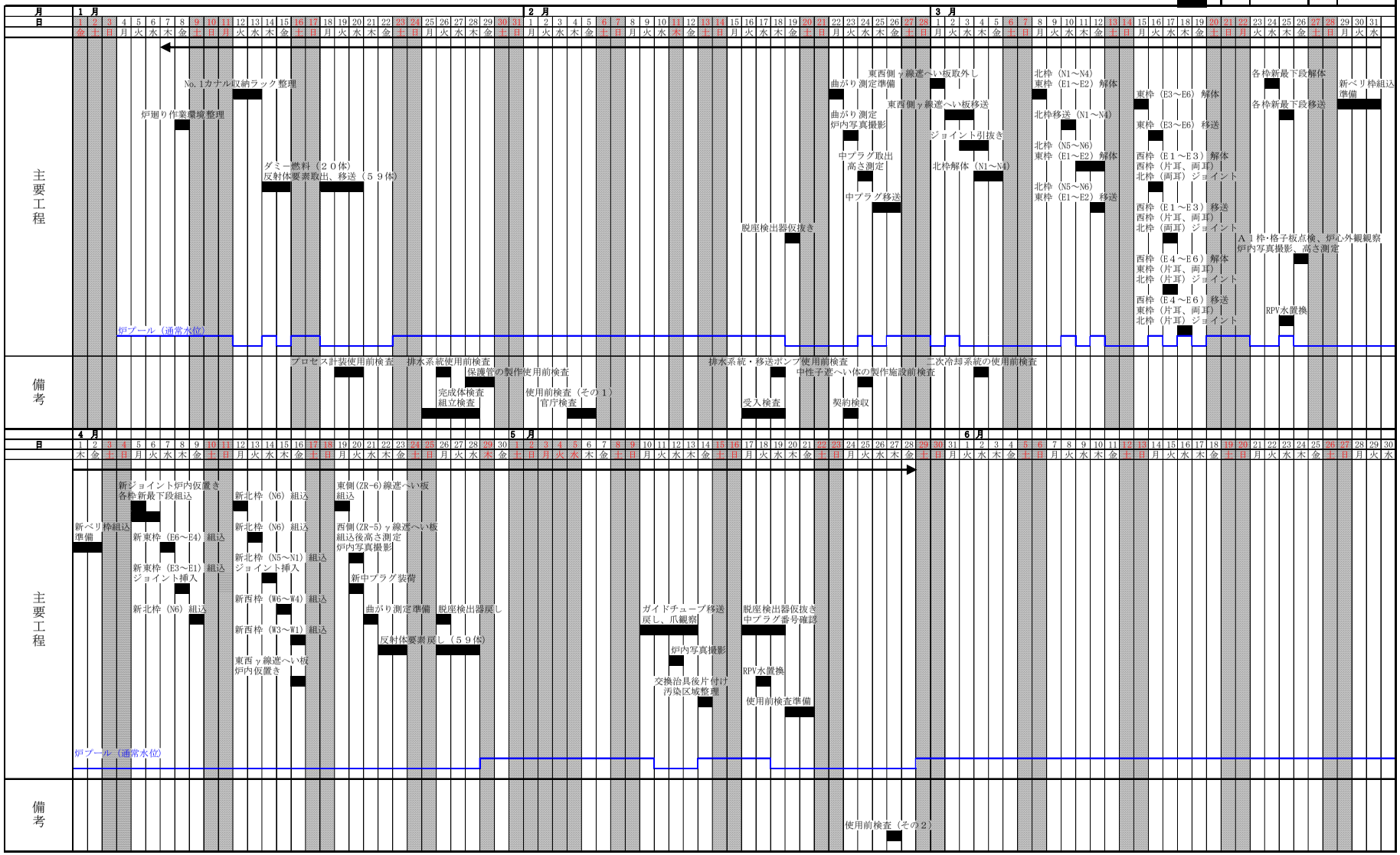

Table 6.3 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程(1/4)

日数	月/日	曜日	人数 本	人数 炉	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1/6	水	3	4	ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ	No.1カナル保管物整理準備			ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ	No.1カナル保管物整理			片付け
2	1/7	木	3	4		No.1カナル保管物整理準備				No.1カナル保管物整理			
3	1/8	金	3	3		炉廻り作業環境整理				炉廻り作業環境整理			
4	1/12	火	3	6		反射体要素取出し準備 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ				ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し			
5	1/13	水	3	6		反射体要素取出し準備				ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し			
6	1/14	木	3	6		反射体要素移送準備　炉ﾌﾟｰﾙ水張り				反射体要素移送（炉ﾌﾟｰﾙ→ｶﾅﾙ No.1）			
7	1/15	金	3	6		反射体要素移送準備				反射体要素移送（ｶﾅﾙ No.1→炉ﾌﾟｰﾙ）			
8	1/18	月	3	6		反射体要素取出し準備 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ				反射体要素取出し			
9	1/19	火	3	6		反射体要素取出し準備				反射体要素取出し			
10	1/20	水	3	6		反射体要素取出し準備				反射体要素取出し			
11	1/21	木	3	4		曲がり測定準備				炉頂洗浄・脱座検出器仮抜き			
12	1/22	金	3	4		曲がり測定(西・北・東)				曲がり測定・炉内写真撮影　炉ﾌﾟｰﾙ水張り			
13	2/8	月	4	7		中ﾌﾟﾗｸﾞ取出し 高さ測定準備　RPV水置換				中ﾌﾟﾗｸﾞ取出し、高さ測定　中ﾌﾟﾗｸﾞ移送準備			
14	2/9	火	4	7		中ﾌﾟﾗｸﾞ移送準備　炉ﾌﾟｰﾙ水張り				中ﾌﾟﾗｸﾞ移送			
15	2/10	水	4	7		γ線遮へい板取外し準備(ガンマ線遮へい板仮置台)				中ﾌﾟﾗｸﾞ移送			
16	2/15	月	4	7		西側γ線遮へい板取外し準備、炉ﾌﾟｰﾙ水下げ				西側γ線遮へい板取外し			
17	2/16	火	4	7		東側γ線遮へい板移送準備				東側γ線遮へい板取外し			
18	2/17	水	4	7		東西γ線遮へい板移送準備、炉ﾌﾟｰﾙ水張り				東西γ線遮へい板移送			
19	2/22	月	4	7		ｼﾞｮｲﾝﾄ引抜き準備(ｼﾞｮｲﾝﾄ仮置き用ｽﾍﾟｰｻｰ)、炉ﾌﾟｰﾙ水下げ				ジョイント引抜き			
20	2/23	火	4	7		ジョイント引抜き準備 北枠解体準備　Beﾌﾞﾛｯｸ移送容器（4要素用）、仮置き				ジョイント引抜き　北枠解体（N1～N4）			

※ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ　準備作業、etc　解体・組込作業　炉ﾌﾟｰﾙ水張り・水下げ　片付け

※本体担当は、原則として担当班（3名）＋3係（1名）とする。

※炉上担当は、原則として炉上作業（7名）、カナル作業（5名）とする。人数が原子炉更新課で確保出来ない場合は照射設備整備課に協力を依頼する。

Table 6.3 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程(2/4)

日数	月/日	曜日	人数 本 炉	9–17
1	2/24	水	11 (4 7)	ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ 北枠解体準備(N1～N4) 北枠解体(N1～N4)　片付け
2	2/25	木	11 (4 7)	北枠移送準備(N1～N4) 炉ﾌﾟｰﾙ水張り 北枠移送(N1～N4)
3	2/26	金	6 (3 3)	北枠(N5～N6)、東枠(E1～E2)解体準備 北枠(N5～N6)、東枠(E1～E2)解体準備
4	3/1	月	11 (4 7)	北枠、東枠解体準備 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ 北枠(N5～N6)、東枠(E1～E2)解体
5	3/2	火	11 (4 7)	北枠(N5～N6)、東枠(E1～E2)解体準備 北枠、東枠解体　移送準備
6	3/3	水	11 (4 7)	北枠、東枠移送準備　炉ﾌﾟｰﾙ水張り 北枠(N5～N6)、東枠(E1～E2)移送
7	3/4	木	11 (4 7)	東枠解体準備(E3～E6) 東枠解体(E3～E6)
8	3/5	金	11 (4 7)	東枠解体準備(E3～E6) 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ 東枠解体(E3～E6)　移送準備、炉プール水張り
9	3/8	月	11 (4 7)	東枠移送準備(E3～E6) 東枠移送(E3～E6)
10	3/9	火	11 (4 7)	西枠解体準備　Beﾌﾞﾛｯｸ移送容器(3要素用) 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ 西枠解体(W1～W3)　移送準備
11	3/10	水	11 (4 7)	西枠移送準備(W1～W3) 炉ﾌﾟｰﾙ水張り 西枠移送(W1～W3)
12	3/11	木	11 (4 7)	西枠解体準備(W4～W6) 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ 西枠解体(W4～W6)　移送準備
13	3/12	金	11 (4 7)	西枠移送準備(W4～W6) 炉ﾌﾟｰﾙ水張り 西枠移送(W4～W6)
14	3/15	月	11 (4 7)	北、東、西枠最下段解体準備(N7、E7、W7) 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ 北、東、西枠最下段解体(N7、E7、W7)
15	3/16	火	11 (4 7)	ジョイント移送準備(ｼﾞｮｲﾝﾄ移送容器) ジョイント移送容器へ　移送準備
16	3/17	水	11 (4 7)	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)、ジョイント移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り 北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)、ジョイント移送
17	3/18	木	9 (4 5)	RPV水置換 RPV水置換準備 Al枠･格子板点検、炉心外観観察 炉内写真撮影、高さ測定
18	3/19	金	9 (4 5)	新ジョイント炉内仮置き準備 新ジョイント炉内仮置き　炉ﾌﾟｰﾙ水張り
19	3/23	月	11 (4 7)	新北、東、西枠最下段組込準備(N7、E7、W7) Beﾌﾞﾛｯｸ移送容器(3要素)炉ﾌﾟｰﾙ水下げ 新北、東、西枠最下段組込(N7、E7、W7)
20	3/24	火	11 (4 7)	新東枠組込準備(E3～E6) Beﾌﾞﾛｯｸ移送容器(4要素用) 新東枠組込(E6～E3)

※ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ　準備作業、etc　解体･組込作業　炉ﾌﾟｰﾙ水張り･水下げ　片付け

※本体担当は、原則として担当班(3名)＋3係(1名)とする。

※炉上担当は、原則として炉上作業(7名)、カナル作業(5名)とする。人数が原子炉更新課で確保出来ない場合は照射設備整備課に協力を依頼する。

Table 6.3 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程(3/4)

日数	月/日	曜日	人数	9–12	13–17
1	3/25	木	11（本4 炉7）	ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ 新東枠組込準備（E6～E3）	ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ 新東枠組込（E6～E3） 片付け
2	3/26	金	11（本4 炉7）	新東枠組込準備（E2～E1）	新東枠組込（E2～E1）、ジョンイント挿入 炉ﾌﾟｰﾙ水張り
3	3/29	月	11（本4 炉7）	新西枠組込準備（W6～W3） 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ	新西枠組込（W6～W3）
4	3/30	火	11（本4 炉7）	新西枠組込準備（W6～W3）	新西枠組込（W6～W3）
5	3/31	水	11（本4 炉7）	新西枠組込準備（W2～W1）	新西枠組込（W2～W1）、ジョンイント挿入
6	4/1	木	11（本4 炉7）	新北枠組込準備（N3～N6）	新北枠組込（N6～N3）
7	4/2	金	11（本4 炉7）	新北枠組込準備（N3～N6）	新北枠組込（N6～N3） 炉ﾌﾟｰﾙ水張り
8	4/5	月	11（本4 炉7）	新北枠組込準備（N2～N1） 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ	新北枠組込（N2～N1）
9	4/6	火	11（本4 炉7）	新北枠組込準備（N2～N1）	新北枠組込（N2～N1）、ジョンイント挿入
10	4/7	水	9（本4 炉5）	炉内写真撮影、外観検査、高さ測定準備	炉内写真撮影、外観検査、高さ測定
11	4/8	木	11（本4 炉7）	新γ線遮へい板組込準備(ガンマ線遮へい板仮置台)	新東西γ線遮へい板炉内仮置き 新東側γ線遮へい板組込
12	4/9	金	11（本4 炉7）	新西側γ線遮へい板組込準備	新西側γ線遮へい板組込 組込後高さ測定 炉ﾌﾟｰﾙ水張り
13	4/12	月	11（本4 炉7）	新中プラグ組込準備、脱座検出器戻し 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ	新中プラグ装荷、脱座検出器戻し
14	4/13	火	11（本4 炉7）	新中プラグ装荷準備	新中プラグ装荷
15	4/14	水	11（本4 炉7）	RPV水置換準備 RPV水置換	曲がり測定準備(西・北・東)
16	4/15	木	7（本3 炉4）	反射体要素戻し準備	反射体要素戻し
17	4/16	金	7（本3 炉4）	反射体要素戻し準備	反射体要素戻し 炉ﾌﾟｰﾙ水張り
18	4/19	月	9（本3 炉6）	反射体要素戻し準備	反射体要素戻し
19	4/20	火	9（本3 炉6）	空ラック移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	空ラック移送（炉ﾌﾟｰﾙ→カナル No.1）
20	4/21	水	9（本3 炉6）	反射体ラック間入替え準備	反射体ラック間入替え

※ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ　準備作業、etc　解体・組込作業　炉ﾌﾟｰﾙ水張り・水下げ　片付け

※本体担当は、原則として担当班（3名）＋3係（1名）とする。

※炉上担当は、原則として炉上作業（7名）、カナル作業（5名）とする。人数が原子炉更新課で確保出来ない場合は照射設備整備課に協力を依頼する。

Table 6.3 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程(4/4)

日数	月/日	曜日	人数 本 炉	9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	4/22	木	9 3 6	ﾐｰﾃｲﾝｸﾞ ﾀﾞﾐｰ、反射体要素戻し準備 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し 片付け
2	4/23	金	9 3 6	ﾀﾞﾐｰ、反射体要素戻し準備 ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し 炉ﾌﾟｰﾙ水張り
3	4/26	月	9 3 6	ガイドチューブ戻し準備 ガイドチューブ移送（ｶﾅﾙ No.2→炉ﾌﾟｰﾙ）
4	4/27	火	9 3 6	ガイドチューブ戻し準備 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ ガイドチューブ戻し
5	4/28	水	9 3 6	ガイドチューブ爪観察準備 ガイドチューブ爪観察・炉内写真撮影 炉ﾌﾟｰﾙ水張り
6	4/30	金	3 3 0	交換治具 後片付け 交換治具 後片付け 汚染区域整理
7	5/6	木	3 3 0	交換治具 後片付け 交換治具 後片付け 汚染区域整理
8	5/7	金	3 3 0	交換治具 後片付け 交換治具 後片付け 汚染区域整理
9	5/10	月	9 3 6	使用前検査準備
10	5/11	火	9 3 6	使用前検査準備
11	5/12	水	9 3 6	使用前検査準備
12	5/13	木	3 3 0	使用前検査準備
13	5/14	金	3 3 0	使用前検査準備
14	5/17	月	3 3 0	使用前検査準備
15	5/18	火	3 3 0	使用前検査準備
16	5/19	水	3 3 0	使用前検査準備
17	5/20	木	3 3 0	使用前検査準備
18	5/21	金	3 3 0	使用前検査準備
19	5/27	木	3 3 0	使用前検査
20	5/28	金	3 3 0	予備日

※ﾐｰﾃｲﾝｸﾞ　準備作業、etc　解体・組込作業　炉ﾌﾟｰﾙ水張り・水下げ　片付け

※本体担当は、原則として担当班（3名）＋3係（1名）とする。

※炉上担当は、原則として炉上作業（7名）、カナル作業（5名）とする。人数が原子炉更新課で確保出来ない場合は照射設備整備課に協力を依頼する。

Table 6.4 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程(実績)(1/3)

日数	月/日	曜日	人数	9–12	13–17
1	1/8	金	人数 7 本3 炉4	ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ 炉廻り作業環境整理	ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ 炉廻り作業環境整理 片付け
2	1/12	火	人数 6 本2 炉4	No.1カナル保管物整理	No.6Be収納ラック移送(屋上→No.1)
3	1/14	木	人数 12 本3 炉9	ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し	ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し
4	1/15	金	人数 10 本3 炉7	ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し	ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し
5	1/18	月	人数 10 本3 炉7	反射体要素移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	反射体要素移送 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ
6	1/19	火	人数 10 本3 炉7	反射体要素移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	反射体要素移送 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ
7	1/20	水	人数 9 本3 炉6	ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し	ﾀﾞﾐｰ、反射体要素取出し
8	2/19	金	人数 7 本3 炉4	脱座検出器仮抜き	炉廻り作業環境整理
9	2/22	月	人数 7 本3 炉4	炉廻り作業環境整理	曲がり測定準備
10	2/23	火	人数 8 本3 炉5	曲がり測定(西・北・東)	曲がり測定(西・北・東)
11	2/24	水	人数 12 本3 炉9	中ﾌﾟﾗｸﾞ取出し	炉ﾌﾟｰﾙ水張り 中ﾌﾟﾗｸﾞ移送
12	2/25	木	人数 9 本3 炉6	中ﾌﾟﾗｸﾞ取出し	炉ﾌﾟｰﾙ水張り 中ﾌﾟﾗｸﾞ移送
13	2/26	金	人数 10 本4 炉6	中ﾌﾟﾗｸﾞ取出し	炉ﾌﾟｰﾙ水張り 中ﾌﾟﾗｸﾞ移送
14	3/1	月	人数 12 本4 炉8	東西γ線遮へい板取出し準備	炉ﾌﾟｰﾙ水下げ 東西γ線遮へい板取り出し
15	3/2	火	人数 9 本3 炉6	東側γ線遮へい板移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	東側γ線遮へい板移送 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ
16	3/3	水	人数 10 本4 炉6	西側γ線遮へい板移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	西側γ線遮へい板移送 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ
17	3/4	木	人数 12 本4 炉8	ジョイント引抜き	ジョイント引抜き
18	3/5	金	人数 11 本4 炉7	Be枠解体準備(仮置き台)	Be枠解体準備(仮置き台)
19	3/8	月	人数 9 本2 炉7	北枠解体準備(N1～N4)	北枠解体(N1～N4)
20	3/10	水	人数 11 本4 炉7	北枠移送準備(N1～N4) 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	北枠移送(N1～N4)

※ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ　準備作業、etc　解体・組込作業　炉ﾌﾟｰﾙ水張り・水下げ　片付け

※本体担当は、原則として担当班(3名)＋3係(1名)とする。

※炉上担当は、原則として炉上作業(7名)、カナル作業(5名)とする。人数が原子炉更新課で確保出来ない場合は照射設備整備課に協力を依頼する。

Table 6.4 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程(実績)(2/3)

日数	月/日	曜日	人数	本	炉	9–12	13–17
1	3/11	木	12	4	8	ミーティング 北枠、東枠解体準備(N5～N6)(E1)	北枠、東枠解体(N5～N6)(E1) 片付け
2	3/12	金	10	4	6	東枠解体(E2) 北枠、東枠移送準備(N5～N6)(E1～E2)	炉ﾌﾟｰﾙ水張り 北枠、東枠移送(N5～N6)(E1～E2)
3	3/15	月	10	3	7	東枠(E3～E6)解体準備	東枠(E3～E6)解体
4	3/16	火	11	4	7	東枠(E3～E6)移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	東枠(E3～E6)移送、西枠(W1～W3)解体 西枠、北枠ジョイント移送準備
5	3/17	水	10	4	6	西枠(W1～W3)、西枠、北枠ジョイント移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	西枠(W1～W3)、西枠、北枠ジョイント移送 枠(W4～W6)解体、東枠、北枠ジョイント移送準
6	3/18	木	9	4	5	西枠(W4～W6)、東枠、北枠ジョイント移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	西枠(W4～W6)解体、東枠、北枠ジョイント移送
7	3/24	水	12	4	8	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)解体準備 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)解体
8	3/25	木	10	3	7	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)移送準備 炉ﾌﾟｰﾙ水張り	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)移送 炉ﾌﾟｰﾙ水下げ
9	3/26	金	10	3	7	格子板高さ測定、外観検査 炉内撮影	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)組込準備
10	4/5	月	10	3	7	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)組込準備	東枠最下段(E7)組込
11	4/6	火	12	4	8	北、東、西枠最下段(N7、E7、W7)組込準備	北、西枠最下段(N7、W7)組込
12	4/7	水	12	4	8	東枠(E6～E4)組込	東枠(E6～E4)組込
13	4/8	木	14	4	10	東枠(E3～E1)組込	東枠(E3～E1)組込
14	4/9	金	14	5	9	北枠(N6)組込	北枠(N6)組込
15	4/12	月	12	3	9	北枠(N6)組込	北枠(N6)組込
16	4/13	火	13	3	10	北枠(N6)組込	北枠(N6)組込
17	4/14	水	13	4	9	北枠(N5～N1)組込	北枠(N5～N1)組込
18	4/15	木	12	3	9	西枠(W6～W4)組込	西枠(W6～W4)組込
19	4/16	金	15	3	12	西枠(W3～W1)組込	西枠(W3～W1)組込
20	4/19	月	15	4	11	西側γ線遮へい板組込準備	西側γ線遮へい板組込

※ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ　準備作業、etc　解体・組込作業　炉ﾌﾟｰﾙ水張り・水下げ　片付け

※本体担当は、原則として担当班(3名)＋3係(1名)とする。

※炉上担当は、原則として炉上作業(7名)、カナル作業(5名)とする。人数が原子炉更新課で確保出来ない場合は照射設備整備課に協力を依頼する。

Table 6.4 Be枠及びガンマ線遮へい板交換詳細作業工程(実績)(3/3)

日数	月/日	曜日	人数	本	炉	9–12	13–17
1	4/20	火	15	4	11	ミーティング 東側γ線遮へい板組込準備	ミーティング 東側γ線遮へい板組込 片付け
2	4/21	水	14	4	10	曲がり測定準備	曲がり測定
3	4/22	木	12	4	8	反射体戻し	反射体戻し
4	4/23	金	13	4	9	ラック移送 炉プール水張り	炉プール水下げ 反射体戻し
5	4/26	月	13	3	10	脱座検出器戻し	炉プール水張り 炉プール水下げ ラック移送
6	4/27	火	12	3	9	反射体戻し	反射体戻し
7	4/28	水	8	3	5	反射体向き確認	交換治具 後片付け 汚染区域整理
8	5/10	月	11	4	7	ガイドチューブ移送準備	ガイドチューブ移送準備
9	5/11	火	12	3	9	ガイドチューブ移送	ガイドチューブ移送準備
10	5/12	水	12	5	7	ガイドチューブ装荷及び反射体戻し	ガイドチューブ装荷及び反射体戻し
11	5/13	木	14	5	9	ガイドチューブ爪観察準備	ガイドチューブ爪観察準備
12	5/14	金	9	5	4	交換治具 後片付け 汚染区域整理	交換治具 後片付け 汚染区域整理
13	5/17	月	11	4	7	Be中プラグ番号確認準備	Be中プラグ番号確認
14	5/18	火	13	5	8	Be中プラグ番号確認準備	交換治具 後片付け 汚染区域整理
15	5/19	水	6	3	3	交換治具 後片付け 汚染区域整理	交換治具 後片付け 汚染区域整理
16	5/20	木	6	3	3	交換治具 後片付け 汚染区域整理	交換治具 後片付け 汚染区域整理
17	5/21	金	6	3	3	交換治具 後片付け 汚染区域整理	交換治具 後片付け 汚染区域整理
18	5/24	月	9	3	6	使用前検査前検査	使用前検査前検査
19	5/27	木	9	3	6	使用前検査準備	使用前検査前検査
20	5/28	金	9	3	6	使用前検査	使用前検査

※ミーティング　準備作業、etc　解体・組込作業　炉プール水張り・水下げ　片付け

※本体担当は、原則として担当班(3名)+3係(1名)とする。

※炉上担当は、原則として炉上作業(7名)、カナル作業(5名)とする。人数が原子炉更新課で確保出来ない場合は照射設備整備課に協力を依頼する。

Table 6.5　被ばく線量積算比較

作業担当班	第１回 [S50.7.10～8.29]		第２回 [S58.7.29～9.20]		第３回 [H1.7.26～8.31]		第４回 [H8.9.26～10.31]		第５回 [H14.8.7～9.3]		第６回 [H22.1.12～5.18]	
	員数	積算被ばく線量 (mSv)	員数	積算被ばく線量 (mSv)	員数	積算被ばく線量 (mSv)	員数	積算被ばく線量 (mSv)	員数	積算被ばく線量 (mSv)	員数	積算被ばく線量 (mSv)
Be枠担当（３係）	10	7.45 ※〔1.21〕	6	4.34 〔0.78〕	7	0.81 〔0.15〕	6	0.51 〔0.14〕	5	0.42 〔0.09〕	5	0.18 〔0.08〕
第１係	6	1.52 〔－〕	6	1.35 〔0.28〕	6	0.54 〔0.15〕	6	0.24 〔0.07〕	5	0.19 〔0.05〕	4	0.06 〔0.03〕
第２係	6	1.51 〔－〕	6	2.14 〔0.54〕	6	0.51 〔0.13〕	6	0.25 〔0.10〕	6	0.10 〔0.03〕	5	0.06 〔0.02〕
第４係	6	1.55 〔－〕	6	1.53 〔0.39〕	6	0.46 〔0.14〕	6	0.23 〔0.09〕	5	0.17 〔0.05〕	5	0.07 〔0.03〕
第５係	－	－	－	－	－	－	6	0.23 〔0.07〕	5	0.13 〔0.04〕	6	0.06 〔0.02〕
日　勤	5	0.39 〔－〕	3	0.51 〔0.39〕	6	0.00 〔0.00〕	－	－	－	－	－	－
技術係	2	0.03 〔－〕	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
合　計	35	12.45	27	9.87	31	2.32	30	1.46	26	1.01	25	0.43
平　均	―	0.356	－	0.366	－	0.075	－	0.049		0.039	－	0.017

Table 6. 6　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業における被ばく線量積算　(1/3)

氏名		積算被ばく値①	1/12	1/14	1/15	1/18	1/19	1/20	2/19	2/22	2/23	2/24	2/25	2/26	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/8	3/11	3/12	3/15
日勤	日-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	日-B	1	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	−	−	−	−	−	−	−
	日-C	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	日-D	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
1係	1-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	1-B	15	−	5	1	−	1	1	−	−	0	−	1	−	−	0	1	−	−	2	−	2	−	1
	1-C	8	−	2	1	−	1	4	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	1-D	20	−	3	1	−	1	3	−	−	−	−	1	−	−	−	2	−	−	3	−	4	−	2
2係	2-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	2-B	6	−	−	−	1	1	−	−	−	−	1	−	−	2	−	−	1	0	−	0	−	0	−
	2-C	2	−	−	−	1	1	−	−	−	−	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	2-D	8	−	−	−	1	1	−	−	−	−	0	−	0	1	−	−	3	1	−	1	−	−	−
4係	4-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	4-B	6	−	2	−	−	−	−	−	−	0	−	−	0	2	0	−	0	−	0	−	2	−	−
	4-C	14	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	0	1	0	−	4	−	4	−	3	−	2
	4-D	17	−	4	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	0	−	4	−	3	−	2	−	3
5係	5-A	1	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	−	−	−	−	−	−	−
	5-B	6	−	0	−	−	−	3	−	−	−	1	−	−	−	−	−	−	0	−		−	2	−
	5-C	4	−	−	−	−	−	3	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	−	−	−	−	−
	5-D	5	−	−	−	−	−	3	−	−	−	0	−	−	−	−	−	−	1	−		−	1	−
6係	6-A	0	−	0	−	0	0	―	―	―	―	0	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
7係	7-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	7-B	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Be枠担当班	3-A	1	0	−	0	−	−	−	0	0	1	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	3-B	35	0	4	1	1	−	−	0	0	3	1	1	0	2	−	2	4	2	3	2	5	1	3
	3-C	19	0	2	1	1	−	−	0	0	3	0	0	0	1	0	1	3	1	―	1	2	1	2
	3-D	18	0	−	1	1	−	−	0	0	2	0	1	0	1	0	2	2	0	4	1	1	1	1
	作業概要		No.1カナル整理	反射体要素取出	反射体要素取出	反射体移送、ラック間入替	反射体移送、ラック間入替	反射体取出、移送	脱座検出器仮抜き	Be枠曲がり測定準備	Be枠曲がり測定	Be中プラグ取出、移送	Be中プラグ取出、移送	Be中プラグ移送	高さ測定、γ線遮蔽板取出	γ線遮蔽板移送	ジョイント引抜き	ジョイント引抜き	Be仮置台準備	Be北枠解体	Be北枠移送	Be東枠解体	Be北東枠解体、移送	Be東枠解体

Table 6. 6　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業における被ばく線量積算　(2/3)

氏名		積算被ばく値①＋②	3/16	3/17	3/18	3/24	3/25	3/26	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/12	4/13	4/14	4/15	4/16	4/19	4/20	4/21	4/22	4/23	4/26
日勤	日-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	日-B	1	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	日-C	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	日-D	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
1係	1-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	1-B	22	−	0	−	−	1	−	2	−	−	0	0	−	−	3	1	−	0	−	0	−	0	−
	1-C	9	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	0	−	−	3	3	1	1	−	0	−	0	−
	1-D	28	−	1	−	−	1	−	1	−	−	1	2	−	−	0	1	−	1	−	−	−	0	−
2係	2-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	2-B	12	1	−	0	0	−	0	−	2	2	−	−	1	0	−	−	0	−	−	−	−	−	−
	2-C	21	2	−	−	3	−	−	−	−	−	−	−	3	3	−	−	3	−	2	−	3	−	0
	2-D	22	−	−	−	1	−	0	−	2	2	−	−	3	4	−	−	2	−	−	−	−	−	−
	2-E	5	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	−	1	−	3	−	0
4係	4-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	4-B	11	−	−	−	−	−	−	2	−	−	0	2	−	−	0	1	−	0	−	0	−	0	−
	4-C	24	−	1	−	−	1	−	1	−	−	1	2	−	−	2	1	−	1	−	−	−	0	−
	4-D	28	−	1	0	−	1	−	1	−	−	2	1	−	−	2	2	−	1	−	0	−	0	−
	4-E	2	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	2	−	0	−	0	−	0	−
5係	5-A	1	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	5-B	9	2	−	0	0	−	1	−	0	0	−	−	−	0	−	−	−	−	0	−	0	−	0
	5-C	16	−	−	−	−	−	−	−	2	2	−	−	2	2	−	−	2	−	2	−	−	−	0
	5-D	15	−	−	−	−	−	−	−	−	−	0	−	2	6	−	−	2	−	2	−	3	−	0
	5-E	17	2	−	0	1	−	1	−	2	2	−	−	−	−	−	−	1	−	1	−	2	−	0
	5-F	2	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	−	1	−	0	−	0
6係	6-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
7係	7-A	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	7-B	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Be枠担当班	3-A	3	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	1	1	−	−	−	−	−	0	−	−	−
	3-B	71	2	1	0	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2	2	−	−	−
	3-C	42	2	1	0	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	0	0	1	1	−	0	−
	3-D	37	0	−	−	1	1	0	0	1	2	1	1	3	3	2	2	0	0	0	0	2	−	−
	3-E	8	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	2	0	0	0	2	4	0	−
	作業概要		Be東枠移送 Be西枠解体	Be西枠解体	Be西枠移送	Be最下段解体	Be最下段移送	炉内検査	Be東枠最下段組込	Be北枠下段組込	Be東枠組込	Be東枠組込	Be北枠組込	Be北枠組込	Be北枠組込	Be北枠組込	Be西枠組込	Be西枠組込	γ線遮蔽板組込	γ線遮蔽板組込 中プラグ装荷	Be曲がり測定	反射体戻し	31ラック移送 反射体戻し	32ラック移送

Table 6. 6　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業における被ばく線量積算　(3/3)

氏名		積算被ばく値①+②+③	4/27	4/28	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14	5/17	5/18
日勤	日-A	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	日-B	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	日-C	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	日-D	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1係	1-A	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1-B	22	-	0	-	-	-	-	-	-	-
	1-C	13	-	0	0	-	4	-	-	-	0
	1-D	28	-	-	0	-	0	-	-	0	0
2係	2-A	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-B	13	-	-	-	-	-	1	-	-	-
	2-C	21	0	0	-	-	-	0	-	-	-
	2-D	23	-	-	-	-	-	1	-	-	-
	2-E	6	0	0	-	-	-	1	-	-	-
4係	4-A	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-B	11	-	-	-	-	-	0	-	-	-
	4-C	25	-	-	-	0	-	1	-	-	-
	4-D	28	-	-	-	0	-	0	-	-	-
	4-E	4	-	-	-	0	2	0	-	0	0
5係	5-A	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5-B	9	0	-	-	0	-	-	-	-	-
	5-C	16	0	-	-	0	-	-	-	-	-
	5-D	15	0	0	-	0	-	-	-	-	-
	5-E	17	0	-	-	0	-	-	-	-	-
	5-F	2	0	-	-	0	-	-	-	-	-
6係	6-A	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7係	7-A	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7-B	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Be枠担当班	3-A	3	-	0	-	-	-	-	-	-	0
	3-B	77	-	0	-	-	3	-	3	0	0
	3-C	47	-	0	0	-	2	-	3	0	0
	3-D	40	-	-	0	-	3	-	0	0	0
	3-E	13	-	-	0	0	3	1	1	0	0
		作業概要	反射体戻し	反射向き確認	GT移送準備	GT移送	GT装荷 反射体戻し	GT爪観察	Be取扱具整理	Be中プラグ確認	Be中プラグ確認

Table 6.7　第 6 世代 Be 枠解体時高さ寸法測定結果
( )内：Be 枠各段高さ

測定位置	北枠測定値（mm）		東枠測定値（mm）		西枠測定値（mm）	
	① G-5	② L-5	③ N-6	④ N-13	⑤ E-6	⑥ E-13
1 段目	1032 (122)	1032 (120)	1031 (120)	1044 (121)	1032 (120)	1044 (120)
2 段目	1154 (119)	1152 (120)	1151 (121)	1165 (120)	1152 (120)	1164 (119)
3 段目	1273 (119)	1272 (120)	1272 (120)	1285 (118)	1272 (118)	1283 (121)
4 段目	1392 (120)	1392 (122)	1392 (118)	1403 (118)	1390 (120)	1404 (118)
5 段目	1512 (120)	1514 (116)	1510 (120)	1521 (122)	1510 (120)	1522 (120)
6 段目	1632 (122)	1630 (120)	1630 (120)	1643 (119)	1630 (122)	1642 (122)
7 段目	1754 (160)	1750 (164)	1750 (161)	1762 (162)	1752 (159)	1764 (161)
格子板	1914	1914	1911	1924	1911	1925

Table 6.8　第 7 世代 Be 枠組込時高さ寸法測定結果
( )内：Be 枠各段高さ

測定位置	北枠測定値（mm）		東枠測定値（mm）		西枠測定値（mm）	
	① G-5	② L-5	③ N-6	④ N-13	⑤ E-6	⑥ E-13
格子板	1914	1914	1911	1924	1911	1925
7 段目	1753 (161)	1753 (161)	1750 (161)	1761 (163)	1750 (161)	1763 (162)
6 段目	1633 (120)	1633 (120)	1631 (119)	1644 (117)	1630 (120)	1642 (121)
5 段目	1512 (121)	1512 (121)	1512 (119)	1521 (123)	1511 (119)	1522 (120)
4 段目	1393 (119)	1392 (120)	1391 (121)	1400 (121)	1391 (120)	1402 (120)
3 段目	1272 (121)	1272 (120)	1270 (121)	1282 (118)	1271 (120)	1284 (118)
2 段目	1153 (119)	1152 (120)	1152 (118)	1164 (118)	1152 (119)	1166 (118)
1 段目	1032 (121)	1032 (120)	1032 (120)	1046 (118)	1032 (120)	1046 (120)

Table 6.9　Be 枠及びガンマ線遮へい板組込時高さ寸法測定結果

測定位置	測定値（mm）	
	解体前	組込後
①西側ガンマ線遮へい板西側	920	921
②西側ガンマ線遮へい板東側	918	920
③東側ガンマ線遮へい板西側	916	919
④東側ガンマ線遮へい板東側	920	921
⑤北枠西側ジョイント	964	964
⑥北枠東側ジョイント	964	964
⑦東枠北側ジョイント	966	967
⑧東枠南側ジョイント	966	967
⑨西枠北側ジョイント	966	967
⑩西枠南側ジョイント	968	967

Table 6.10　Be 枠及びガンマ線遮へい板解体後外観検査結果

対　　象		結　　果
格子板［Be 枠（西・北・東）設置部分］		異常なし
アルミニウム枠 ジョイント挿入部	西枠北側	異常なし
	西枠南側	異常なし
	東枠北側	異常なし
	東枠南側	異常なし

Table 7.1　除染依頼した Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器（1/2）

№	品　　名	員数	材質
1	ジョイント仮置用スペーサ	4	Aℓ 製
2	Be ブロック移送容器用 4 要素用スペーサ	5	Aℓ 製
3	ジョイント引抜き治具接続ピン	2	SUS 製 (一部 Aℓ 製)
4	バネなしピンのみ	3	Aℓ 製
5	ジョイント用スペーサ(20mm)	1	SUS 製 (一部 Aℓ 製)
6	回転ツール用回し棒	2	SUS 製
7	Be ブロック仮置台(その 1)	1	Aℓ 製
8	Be ブロック仮置台(その 2)ボルト付	1	Aℓ 製
9	Be ブロック仮置台(その 3)	1	Aℓ 製
10	Be ブロック運搬具	1	SUS 製
11	Be ブロック専用吊り具	2	SUS 製
12	寸法測定用先端子(照射孔用)	2	SUS 製
13	寸法測定用先端子(格子板用)	1	SUS 製
14	寸法測定用先端子(γ 線しゃへい板用)	1	SUS 製
15	寸法測定用先端子(ジョイント用)	1	SUS 製
16	ロック付シングルフック(ジョイント用)	1	SUS 製
17	芯出し具用ボルト	2	SUS 製
18	六角ボルト	24	SUS 製
19	γ 線しゃへい板取扱い具(西側用)	1	SUS 製
20	Be ブロック押え金具(東西北枠用)	4	SUS 製
21	Be ブロック抜き金具(東西北枠用)	2	SUS 製
22	Be ブロック抜き金具(最下段用)	2	SUS 製
23	Be 枠最下段セット用ゲージ	1	SUS 製

Table 7.1　除染依頼した Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器（2/2）

№	品　　名	員数	材質
24	Be ブロック抜き金具ベース(北枠用)	1	SUS 製
25	Be ブロック抜き金具ベース(東西枠用)	1	SUS 製
26	Be 枠芯出し具	1 式	SUS 製
27	ジョイント引抜き治具(ジンクロ)	1	SUS 製
28	γ 線しゃへい板仮置台	1	Aℓ 製
29	Be ブロック移送容器(3 要素用)	1	Aℓ 製
30	Be ブロック移送容器(4 要素用)	1	Aℓ 製
31	格子板用プラグ（5 要素用）	9	Aℓ 製
32	格子板用プラグ（3 要素用）	12	Aℓ 製
33	格子板用プラグ（2 要素用）	6	Aℓ 製
34	格子板用プラグ（1 要素用）	1	Aℓ 製
35	ワイヤロープ(7m)	4	SUS 製
36	ワイヤロープ(6m)	4	SUS 製
37	ワイヤロープ(1m)	1	SUS 製
38	フック付ワイヤロープ(30cm)	1	SUS 製

Table 8.1　Be 枠及びガンマ線遮へい板製作提出書類一覧（1/3）

No	名　　称	図面番号
1	契約仕様書	OA-BE-0801
2	品質保証体制及び品質保証計画書	OA-BE-0804
3	設計検討書	OA-BE-0805
4	金属ベリリウム調達要領書	OA-BE-0807
5	ジルコニウム合金調達要領書	OA-BE-0808
6	組立雇検査要領書	OA-BE-0803
7	試験・検査要領書(雇以外)	OA-BE-0809
8	ベリリウム枠（中プラグ含む）製作要領書	OA-BE-0901
9	ガンマ線遮へい板製作要領書	OA-BE-0902
10	材料管理要領書	OA-BE-0909
11	表面処理要領書	OA-BE-0904
12	洗浄要領書	OA-BE-0903
13	組立要領書	OA-BE-0908
14	梱包・輸送要領書	OA-BE-0907
15	実績工程表	OA-BE-0925
16	記録写真（工程毎）	－
17	完成図	OA-BE-0926
18	中プラグ加工試験結果	OD-BE-0993
19	ベリリウム枠　北３段７Ｎ-３加工不具合報告	OD-BE-0994
20	組立雇及び検査治具の検査成績書	OA-BE-0811
21	材料受入検査成績書	OA-BE-0812
22	材料受入検査成績書（ステンレス鋼・アルミニウム合金）	OA-BE-0905
23	材料試験・検査成績書	OA-BE-0906
24	部品検査実績表	－

Table 8.1　Be 枠及びガンマ線遮へい板製作提出書類一覧（2/3）

No	名　　称	図面番号
25	試験・検査成績書　ガンマ線遮へい板　部品検査 OA-BE-0919 【日本ガイシ自主検査記録】	OA-BE-0910
26	試験・検査成績書　ガンマ線遮へい板　部品検査　【立会検査記録】	OA-BE-0911
27	試験・検査成績書　ベリリウム枠構成部品・ガンマ線遮へい板構成部品・中プラグ構成部品検査 【日本ガイシ自主検査記録】	OA-BE-0912
28	試験・検査成績書　ベリリウム枠構成部品・ガンマ線遮へい板構成部品・中プラグ構成部品検査 【立会検査記録】	OA-BE-0913
29	試験・検査成績書　ベリリウム枠・ベリリウム枠構成部品・中プラグ構成部品検査 【日本ガイシ自主検査記録】	OA-BE-0914
30	試験・検査成績書　ベリリウム枠・ベリリウム枠構成部品・中プラグ構成部品検査 【立会検査記録】	OA-BE-0915
31	試験・検査成績書　ベリリウム枠・ベリリウム枠構成部品検査 【日本ガイシ自主検査記録】	OA-BE-0916
32	試験・検査成績書　ベリリウム枠・ベリリウム枠構成部品検査 【立会検査記録】	OA-BE-0917
33	試験・検査成績書　完成品検査 ベリリウム枠・中プラグ・ガンマ線遮へい板 【日本ガイシ自主検査記録】	OA-BE-0918

Table 8.1　Be 枠及びガンマ線遮へい板製作提出書類一覧（3/3）

No	名　　称	図面番号
34	試験・検査成績書　完成品検査 ベリリウム枠・中プラグ・ガンマ線遮へい板 【立会検査記録】	OA-BE-0919
35	試験・検査成績書　完成品組立検査　ベリリウム枠・中プラグ・ガンマ線遮へい板 【日本ガイシ自主検査記録】	OA-BE-0920
36	試験・検査成績書　完成品組立検査　ベリリウム枠・中プラグ・ガンマ線遮へい板【立会検査記録】	OA-BE-0921
37	洗浄検査成績書	OA-BE-0922
38	梱包・出荷検査成績書	OA-BE-0923
39	受け入れ検査成績書	OA-BE-0924

Table 8.2　Be 枠及びガンマ線遮へい板製作図面一覧（1/2）

No	名　　称	図面番号
1	ベリリウム枠組立雇	NKEEEE30308N
2	ベリリウム枠総組立図（A）	NKEEEE30309N
3	ベリリウム枠総組立図（B）	NKEEEE30310N
4	ベリリウム枠東枠（7E1）	NKEEEE30311N
5	ベリリウム枠東枠（7E2～7E6）	NKEEEE30312N
6	ベリリウム枠東枠（7E7）	NKEEEE30313N
7	ベリリウム枠西枠（7W1）	NKEEEE30314N
8	ベリリウム枠西枠（7W2～7W6）	NKEEEE30315N
9	ベリリウム枠西枠（7W7）	NKEEEE30316N
10	ベリリウム枠北枠（7N7）	NKEEEE30317N
11	ベリリウム枠北枠（7N2～7N6）	NKEEEE30318N
12	ベリリウム枠北枠（7N7）	NKEEEE30319N
13	ベリリウム枠受台（E）	NKEEEE30320N
14	ベリリウム枠受台（W）	NKEEEE30321N
15	ベリリウム枠受台（N）	NKEEEE30322N
16	ベリリウム枠ジョイント（A）、（B）	NKEEEE30323N NKEEEE30324N
17	ベリリウム枠ジョイント（C）、（D）	NKEEEE30325N NKEEEE30326N
18	ベリリウム枠オリフィス	NKEEEE30327N
19	ベリリウム枠リベット	NKEEEE30328N
20	ベリリウム枠ネジ	NKEEEE30329N
21	ベリリウム枠ピン（A）	NKEEEE30330N
22	ベリリウム枠ボルト（A）	NKEEEE30331N
23	ベリリウム枠ボルト（B）	NKEEEE30332N
24	ベリリウム枠段間ピン（B）	NKEEEE30333N

Table 8.2　Be 枠及びガンマ線遮へい板製作図面一覧（2/2）

No	名　　称	図面番号
25	ベリリウム枠ピン（C）	NKEEEE30334N
26	ベリリウム枠段間ピン（D）	NKEEEE30335N
27	中プラグ　組立図	NKEEEE30336N
28	中プラグ　プラグ部	NKEEEE30337N
29	中プラグ　プラグアダプタ	NKEEEE30338N
30	中プラグ　プラグアピン	NKEEEE30339N
31	ガンマ線遮へい板組立	NKEEEE30340N
32	ガンマ線遮へい板（A）	NKEEEE30341N
33	ガンマ線遮へい板（B）	NKEEEE30342N
34	ガンマ線遮へい板ネジ（A）	NKEEEE30343N
35	ガンマ線遮へい板東側サポート	NKEEEE30344N
36	ガンマ線遮へい板西側サポート	NKEEEE30345N
37	ガンマ線遮へい板ネジ（B）	NKEEEE30346N
38	ガンマ線遮へい板ネジ（C）	NKEEEE30347N
39	ガンマ線遮へい板シート	NKEEEE30348N
40	ガンマ線遮へい板ワッシャー	NKEEEE30349N

Table 8.3　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器一覧（新規製作）

No	名　　称	員数	図面番号	保管場所
1	Ｂｅブロック抜き金具	2 個	MMC-5344	炉制御室屋上
2	Ｂｅブロック仮置台	1 個	MMB-3654	炉制御室屋上
3	芯出し具	1 個	MMB-1286	炉制御室屋上
4	Be 枠及びガンマ線遮へい板収納ラック	1 基	MMB-3655 MMB-3656	＃１カナル
5	吊り具	1 個	MMD-4932	炉制御室屋上
6	ワイヤーロープ（φ8mm×6m）	4 本	MMD-15882	炉制御室屋上
7	ワイヤーロープ（φ8mm×7m）	4 本	MMD-15882	炉制御室屋上
8	ジョイント式ハンドリングツール	4 本	MMC-5302	炉制御室屋上
9	燃料要素用ハンドリングツール	1 本	MMC-6461	炉制御室屋上
10	中プラグ用ハンドリングツール	1 本	MMB-2771	炉制御室屋上
11	ロック先端子	2 個	MMD-10850	炉制御室屋上
12	シングル先端子	4 個	MMD-10851	炉制御室屋上
13	脱検用先端子	1 個	MMD-11042	炉制御室屋上
14	四角形網先端子	1 個	MMD-15880	炉制御室屋上

Table 8.4　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器一覧（1/2）

No	名　　称	員数	図面番号	保管場所
1	ガンマ線遮へい板取扱具（東側用）	1 個	MMC-2738	炉制御室屋上
2	ガンマ線遮へい板取扱具（西側用）	1 個	MMC-2739	炉制御室屋上
3	ガンマ線遮へい板仮置台	1 台	MMB-2000	炉制御室屋上
4	ガンマ線遮へい板引き抜き治具	1 式	MMB-2022	炉制御室屋上
5	Be 枠芯出具	1 式	MMB-1286	炉制御室屋上
6	ジョイント移送容器	1 基	MC-400	主循環系機器室
7	ジョイント仮置用スペーサ	3 個	MME-7497	炉制御室屋上
8	ジョイント引抜き治具（ジンクロ）	1 個	MMB-1313	炉制御室屋上
9	ジョイント用スペーサ（20mm）	1 個	MC-2742	炉制御室屋上
10	ジョイント用スペーサ（50mm）	1 個		炉制御室屋上
11	Be ブロック仮置台（その 1）	1 個	NE-1099	炉制御室屋上
12	Be ブロック仮置台（その 2）	1 個	MMC-3995	炉制御室屋上
13	Be ブロック仮置台（その 3）	1 個	MMD-7648	炉制御室屋上
14	Be ブロック抜き金具ベース(北枠用)	1 個	MMD-10882	炉制御室屋上
15	Be ブロック抜き金具ベース(東西枠用)	1 個	MMD-10883	炉制御室屋上
16	Be ブロック抜き金具(東西北枠用)	2 個	MMC-5344	炉制御室屋上
17	Be ブロック抜き金具(最下段用)	2 個	MMB-6450	炉制御室屋上
18	Be ブロック押え金具(東西北枠用)	2 個	MMC-6451	炉制御室屋上
19	Be ブロック専用吊り具	1 本	MMD-4932	炉制御室屋上
20	Be ブロック運搬具	1 個	MMD-10854	炉制御室屋上
21	Be 枠最下段セット用ゲージ	1 本	MMD-13506	炉制御室屋上
22	Be ブロック移送容器（4 要素用）	1 台	MMB-1274	主循環系機器室
23	Be ブロック移送容器（3 要素用）	1 台	MMB-1273	主循環系機器室
24	Be ブロック移送容器用スペーサ (4 要素用)	4 個	MMD-4843	炉制御室屋上
25	Be ブロック移送容器用スペーサ (3 要素用)	1 個	MMD-4842	炉制御室屋上
26	ロック付シングルフック （ジョイント用）	1 個	SC-30	炉制御室屋上
27	寸法測定用先端子(ガンマ線遮へい板用)	2 個	MMD-4991	炉制御室屋上

Table 8.4　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業用機器一覧（2/2）

No	名　　称	員数	図面番号	保管場所
28	寸法測定用先端子(ジョイント用)	１個		炉制御室屋上
29	寸法測定用先端子(照射孔用)	１個	MMD-10933	炉制御室屋上
30	寸法測定用先端子(格子板用)	１個		炉制御室屋上
31	フック付ワイヤーロープ(30cm)	１本		炉制御室屋上
32	ワイヤーロープ(1m)	１本	MMD-4879	炉制御室屋上
33	ワイヤーロープ(7m)	４本		炉制御室屋上
34	ワイヤーロープ(6m)	４本		炉制御室屋上
35	ジョイント引き抜きツール	１本	MMC-3994	炉制御室屋上
36	JMTR ベリリウム枠組込治具（ベース）	１個	6B-30350	燃料管理室
37	JMTR ベリリウム枠組込治具（本体）	２個	6B-30351	燃料管理室
38	JMTR ベリリウム枠組込治具（最下段）	２個	6B-30352	燃料管理室
39	JMTR ベリリウム枠収納ラック	１基	6B-30353	＃１カナル

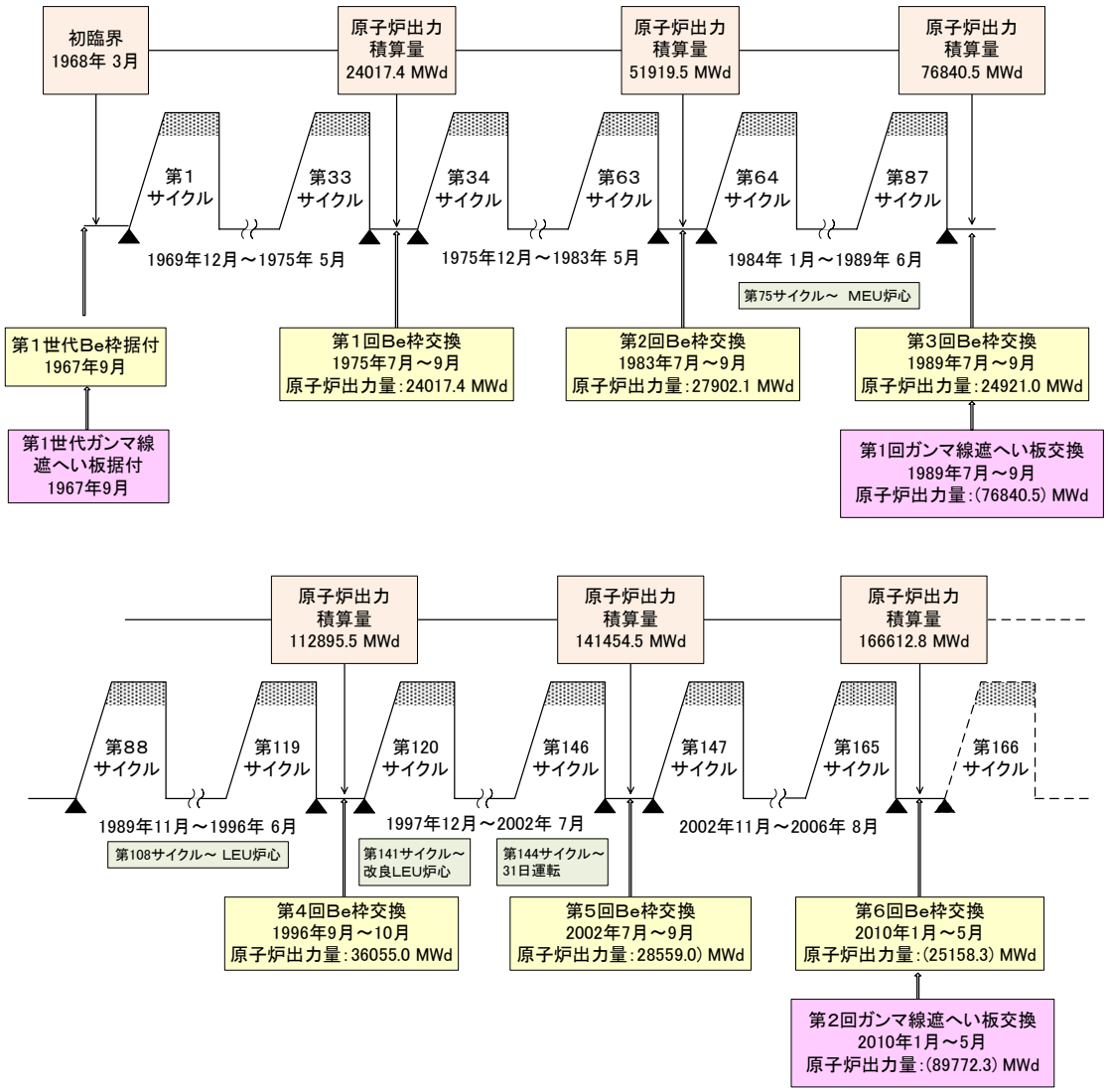

Fig 1.1　Be 枠及びガンマ線遮へい板の交換実績

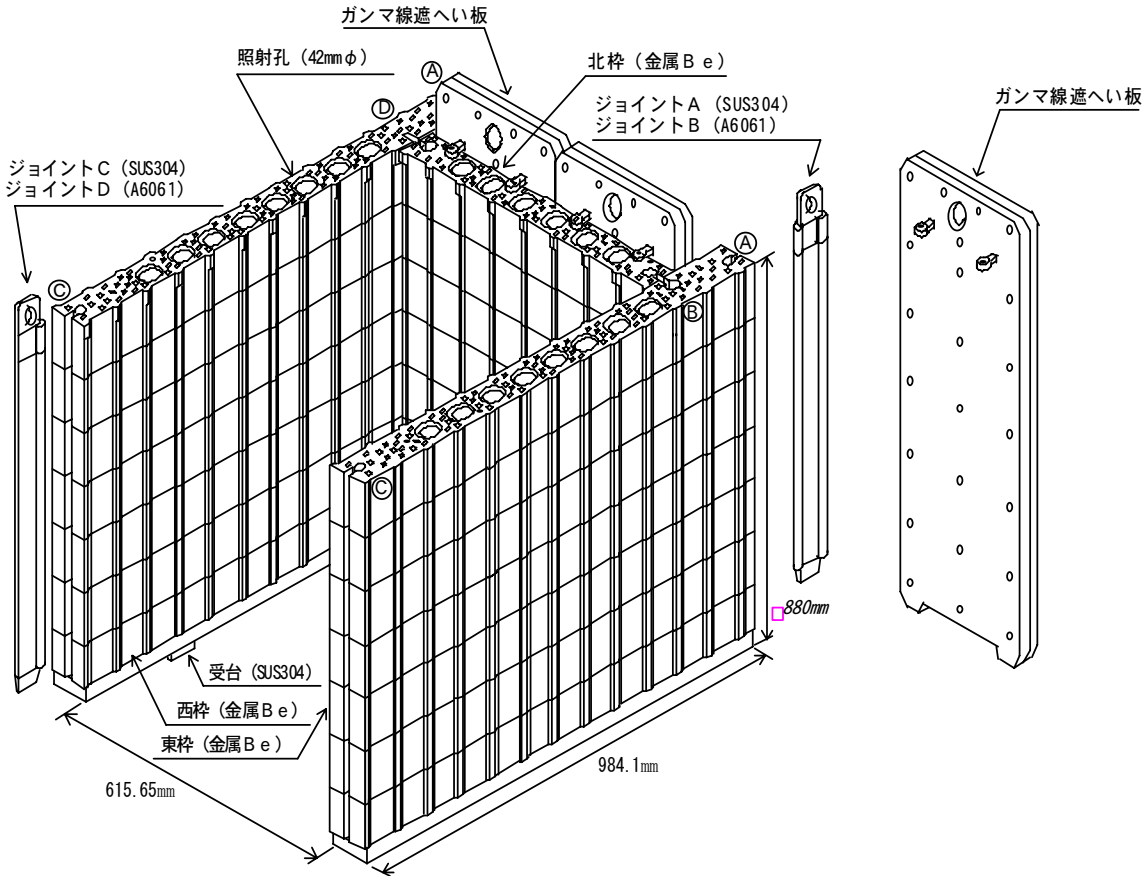

Fig 3.1　Be 枠及びガンマ線遮へい板の組立図

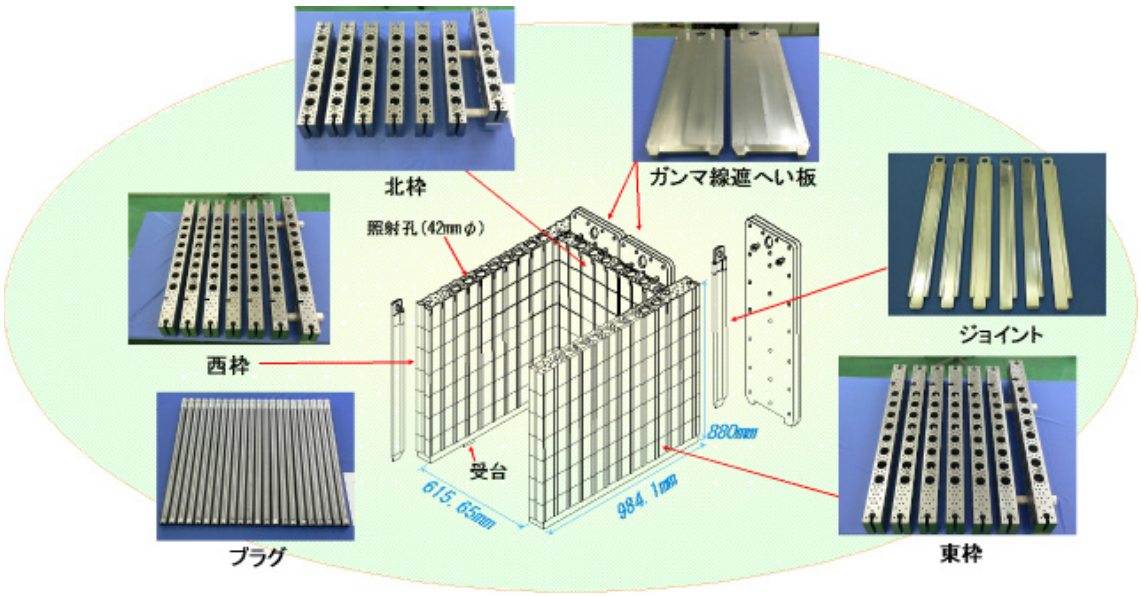

Fig 3.2　Be 枠及びガンマ線遮へい板の構成

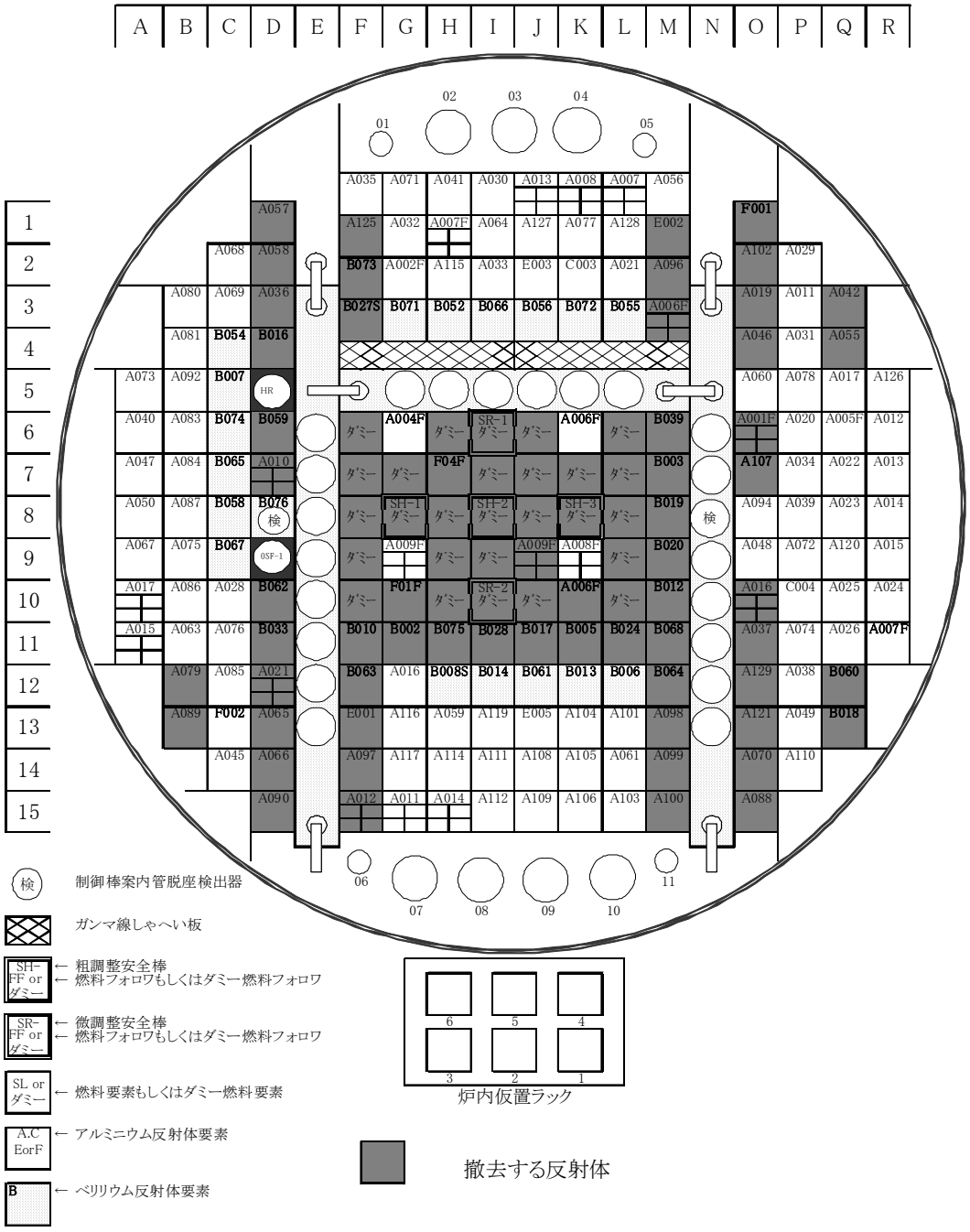

Fig.5.1　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業に伴う炉心要素撤去図

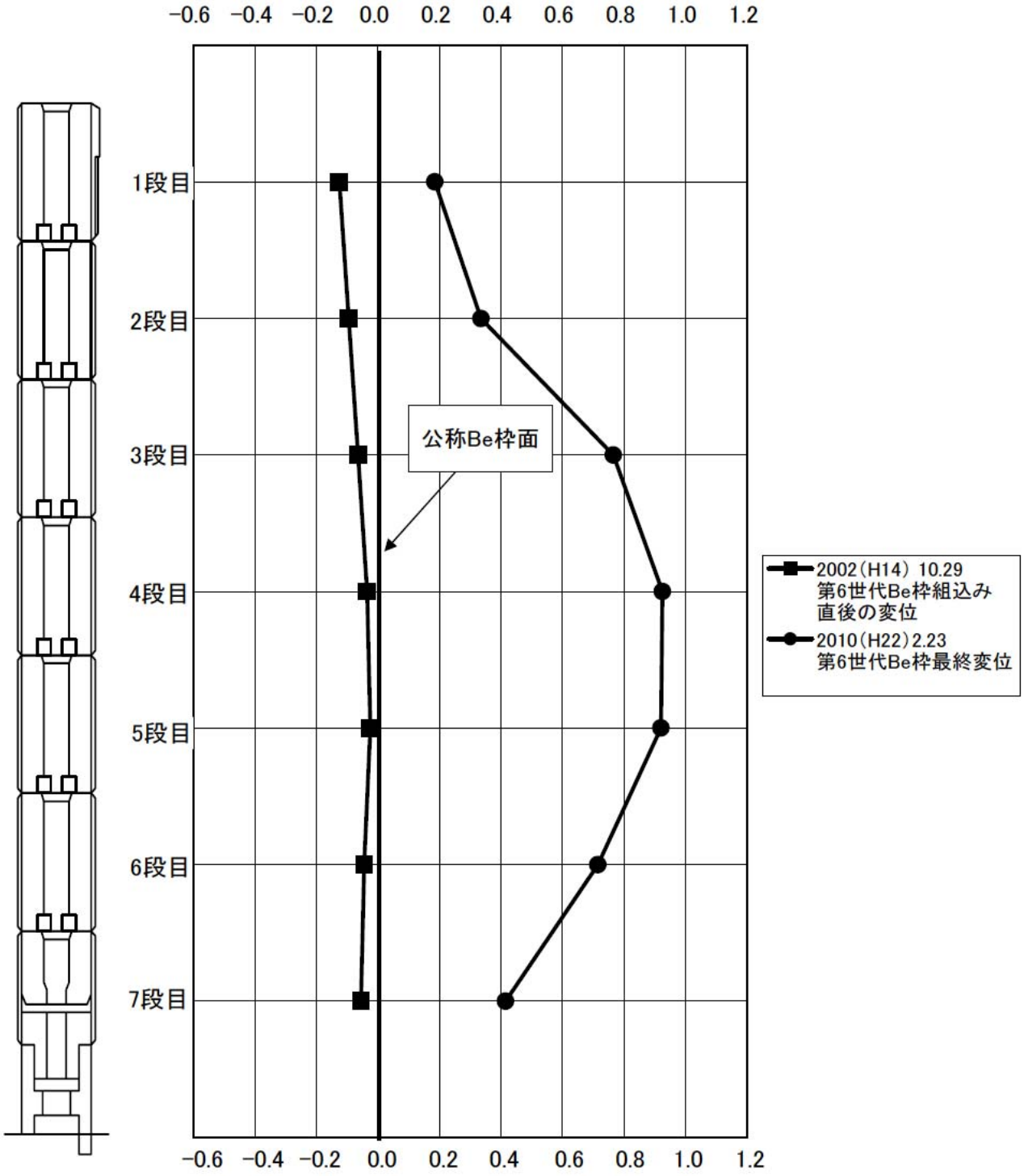

Fig.5.2　解体前の Be 枠曲がり測定結果

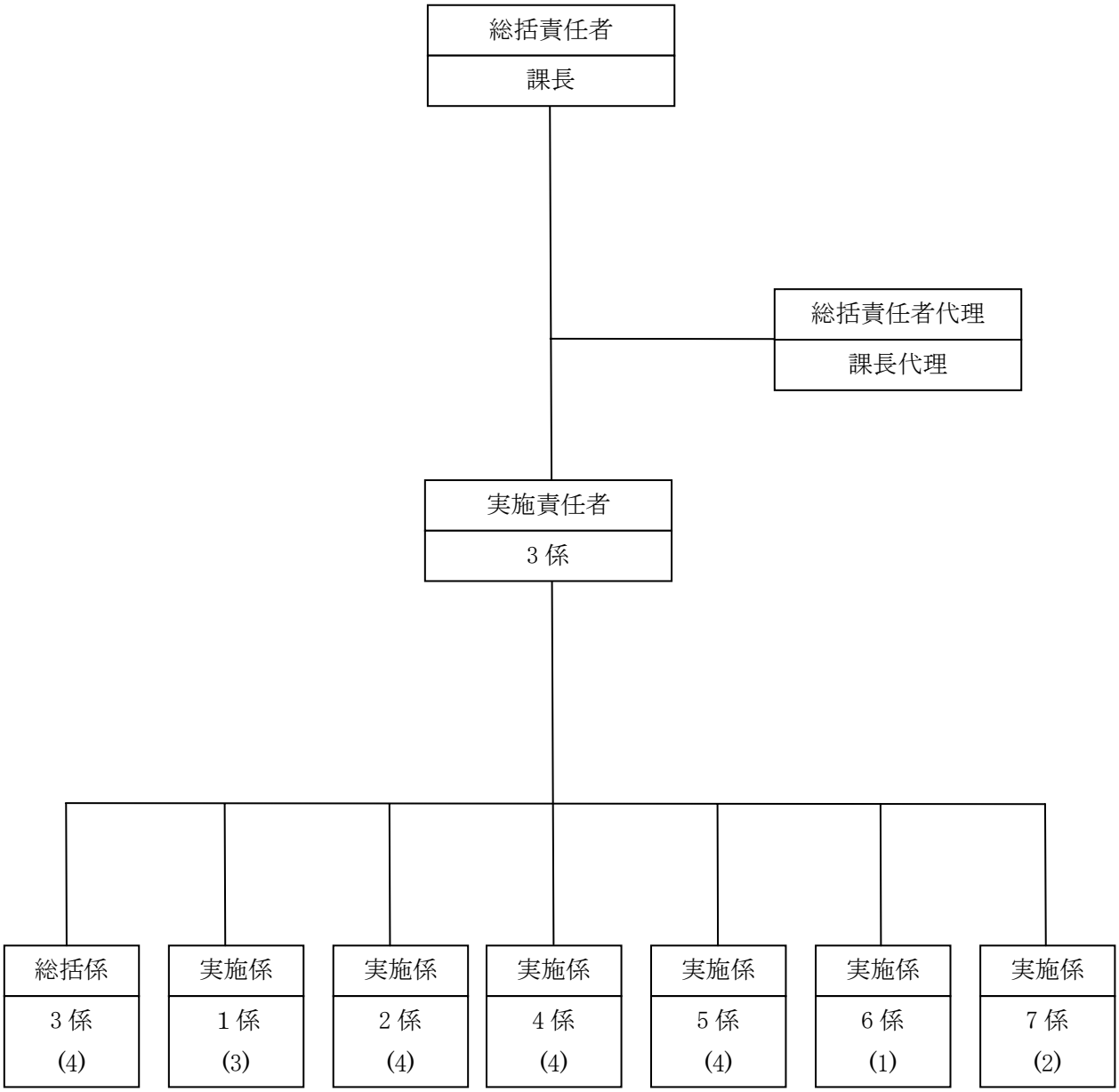

Fig. 6. 1　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業体制

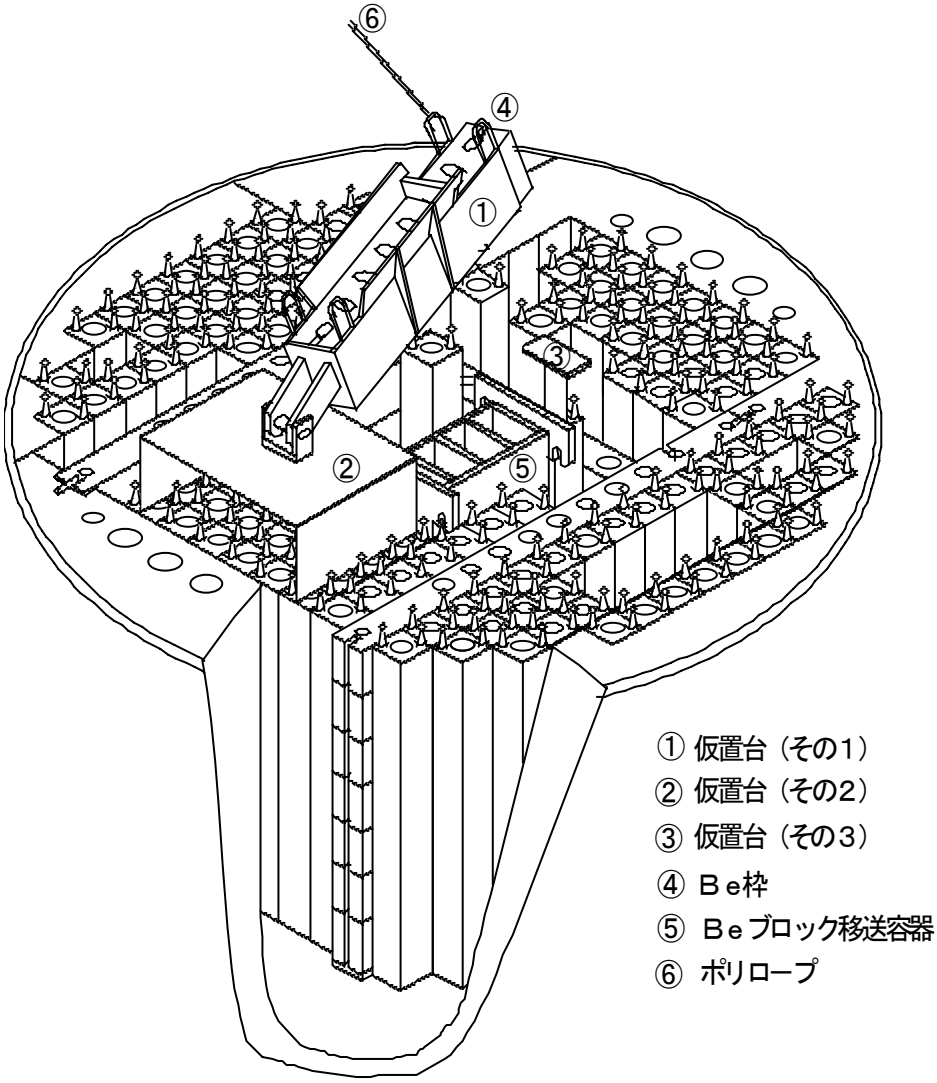

Fig.6.2　Be 枠及びガンマ線遮へい板交換作業中の炉心

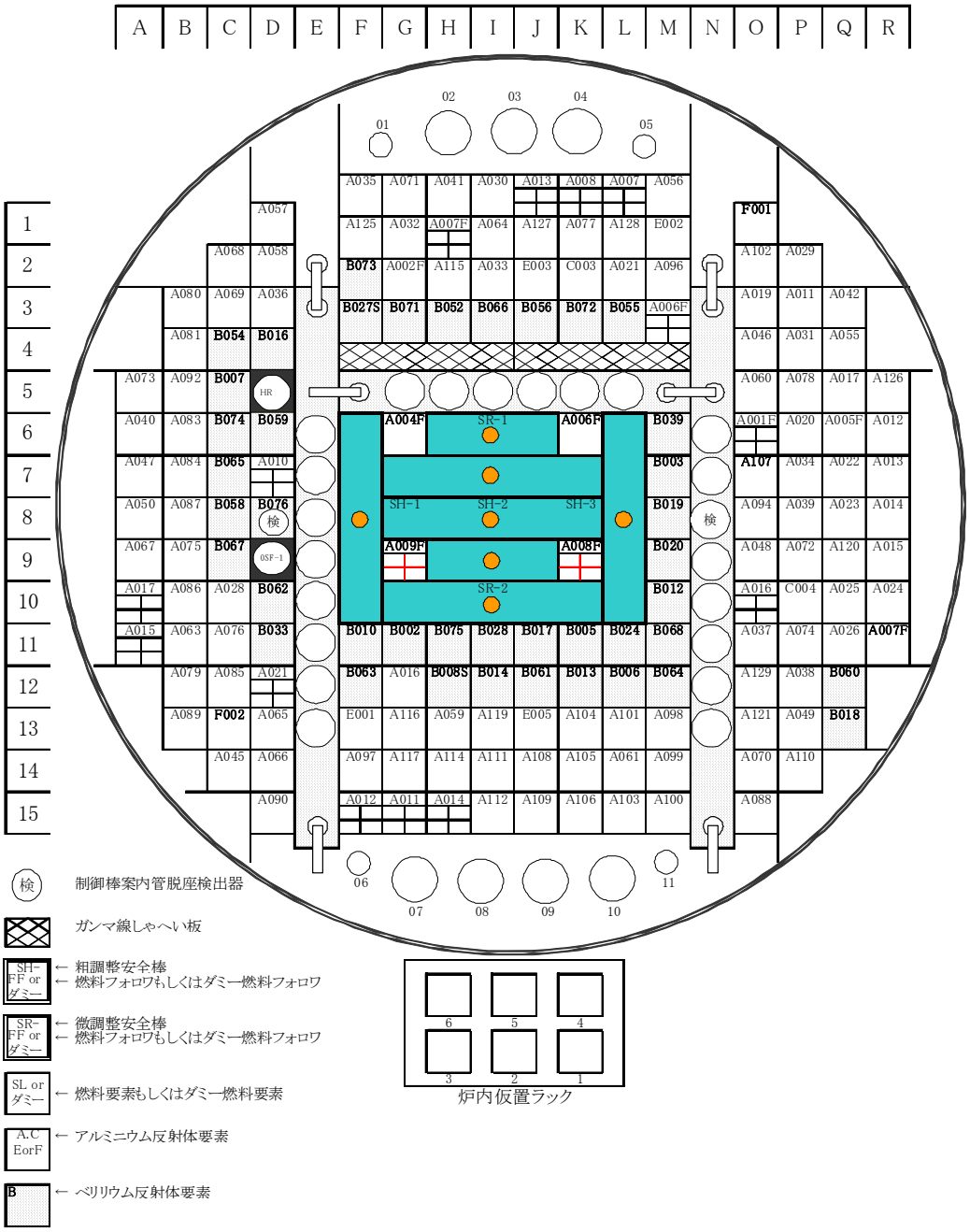

Fig.6.3　GT 取出し、閉止板装荷後の炉心図

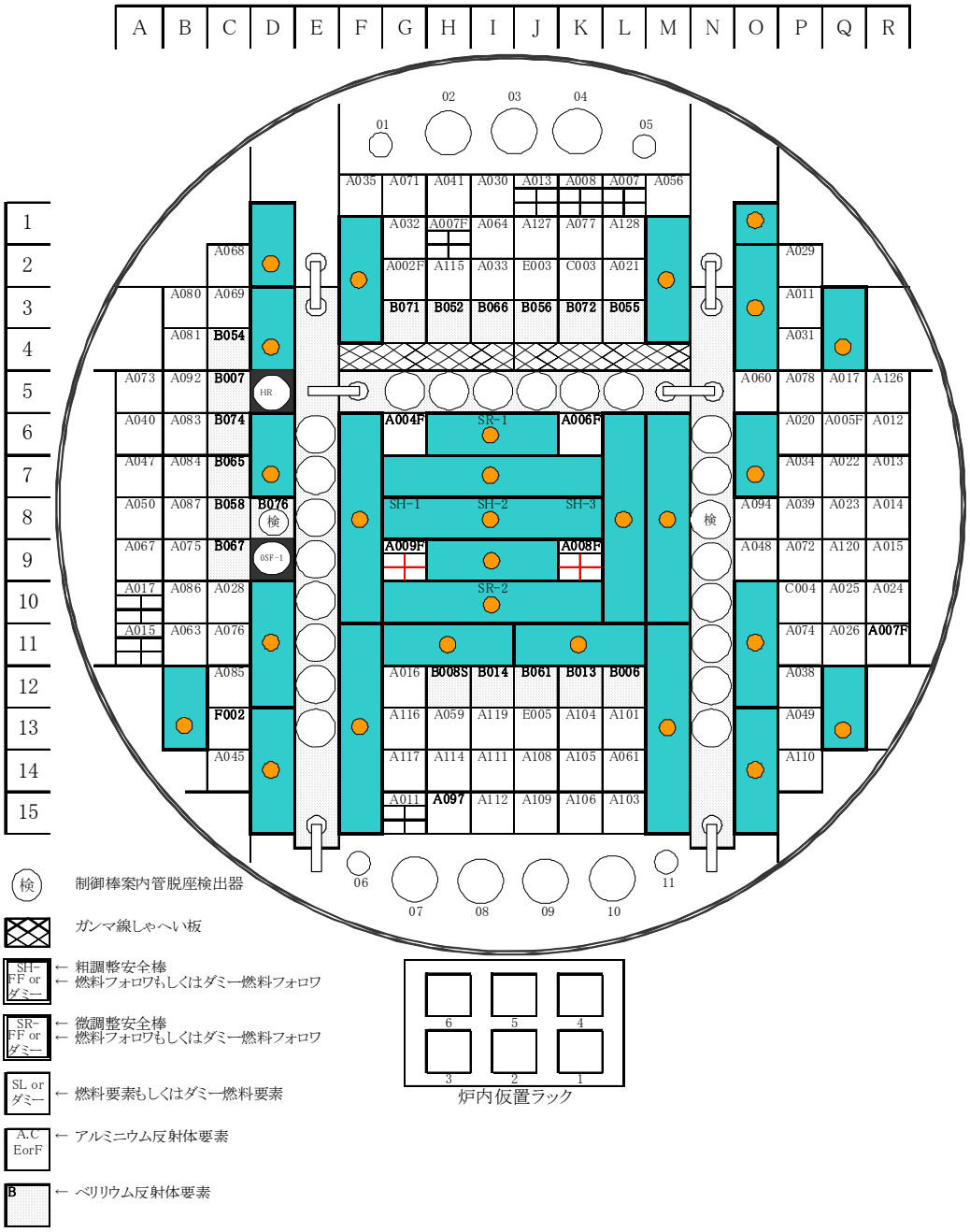

Fig.6.4　Be 枠及びガンマ線遮へい板解体前の炉心図

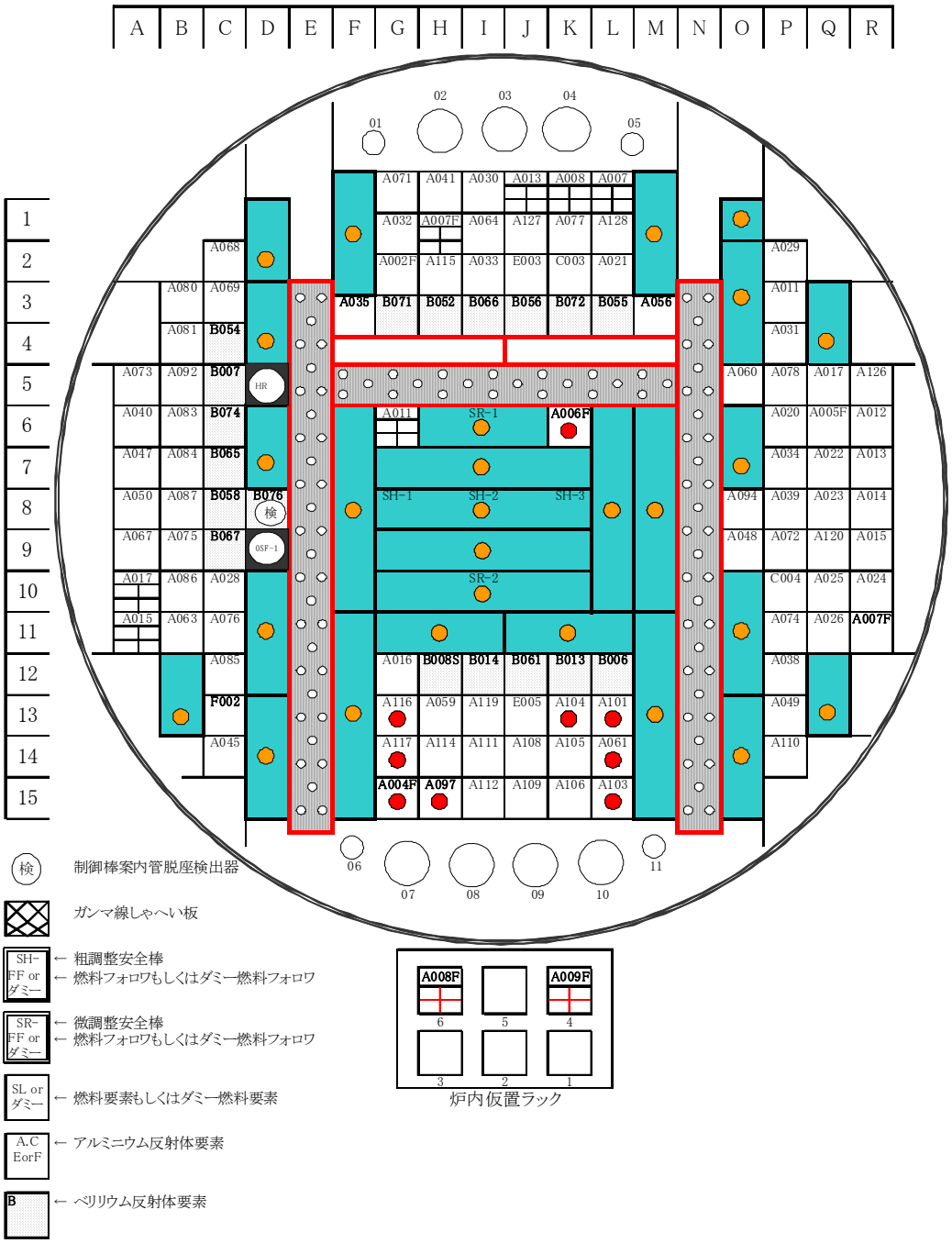

Fig.6.5　Be 枠及びガンマ線遮へい板解体後の炉心図

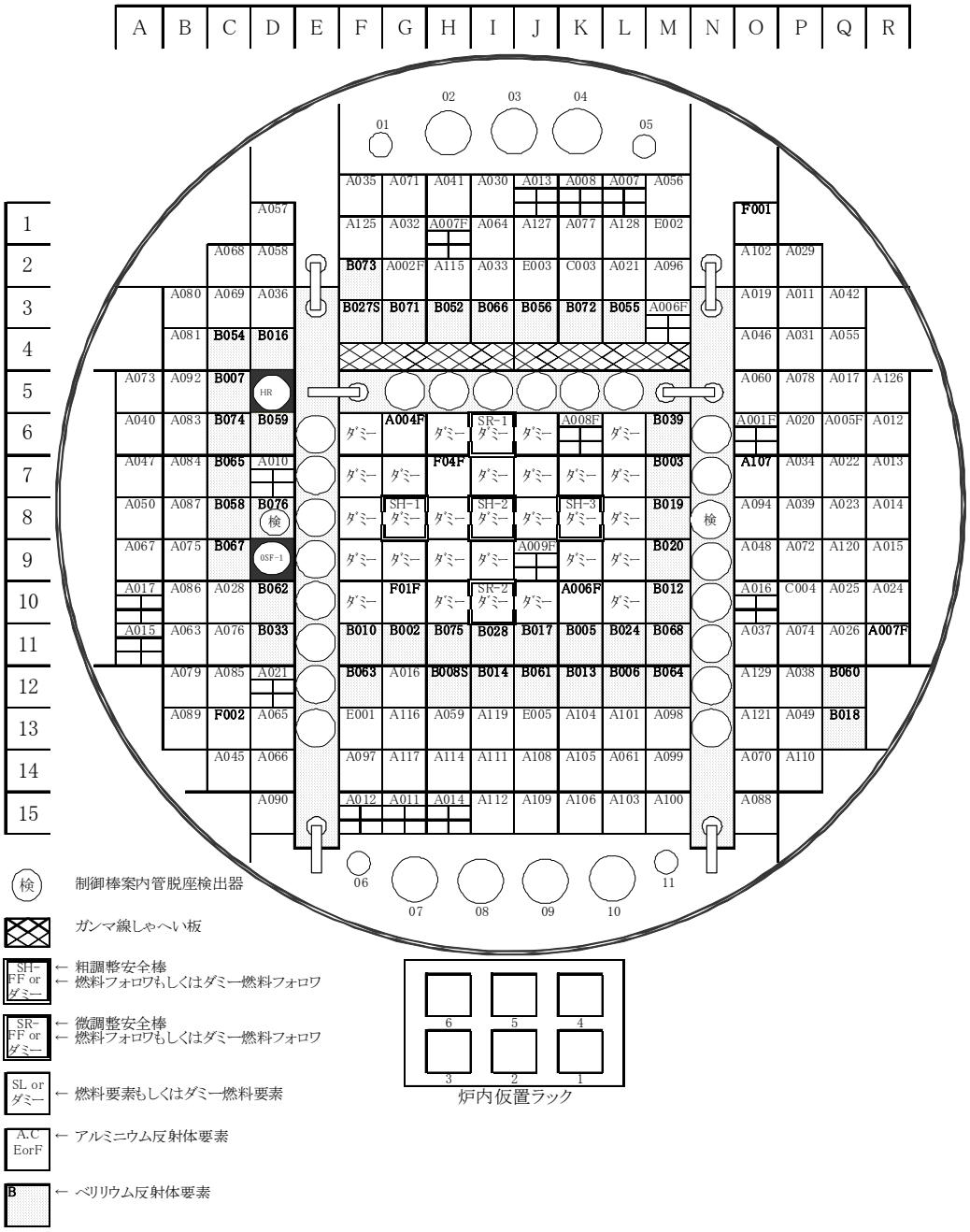

Fig.6.6　Be 枠及びガンマ線遮へい板組込・GT・反射体戻し後の炉心図

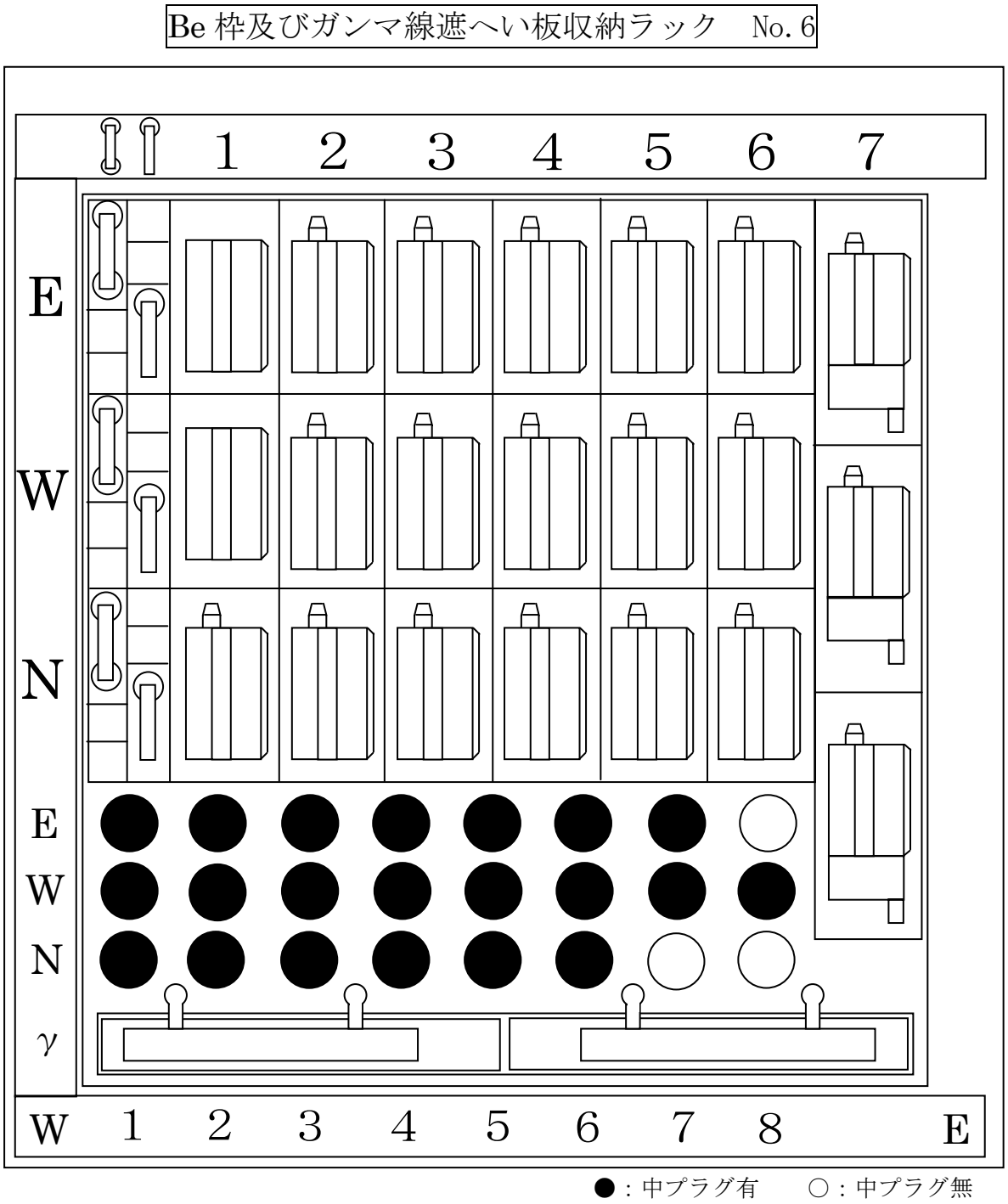

Fig.6.7　解体した Be 枠及びガンマ線遮へい板の収納状態

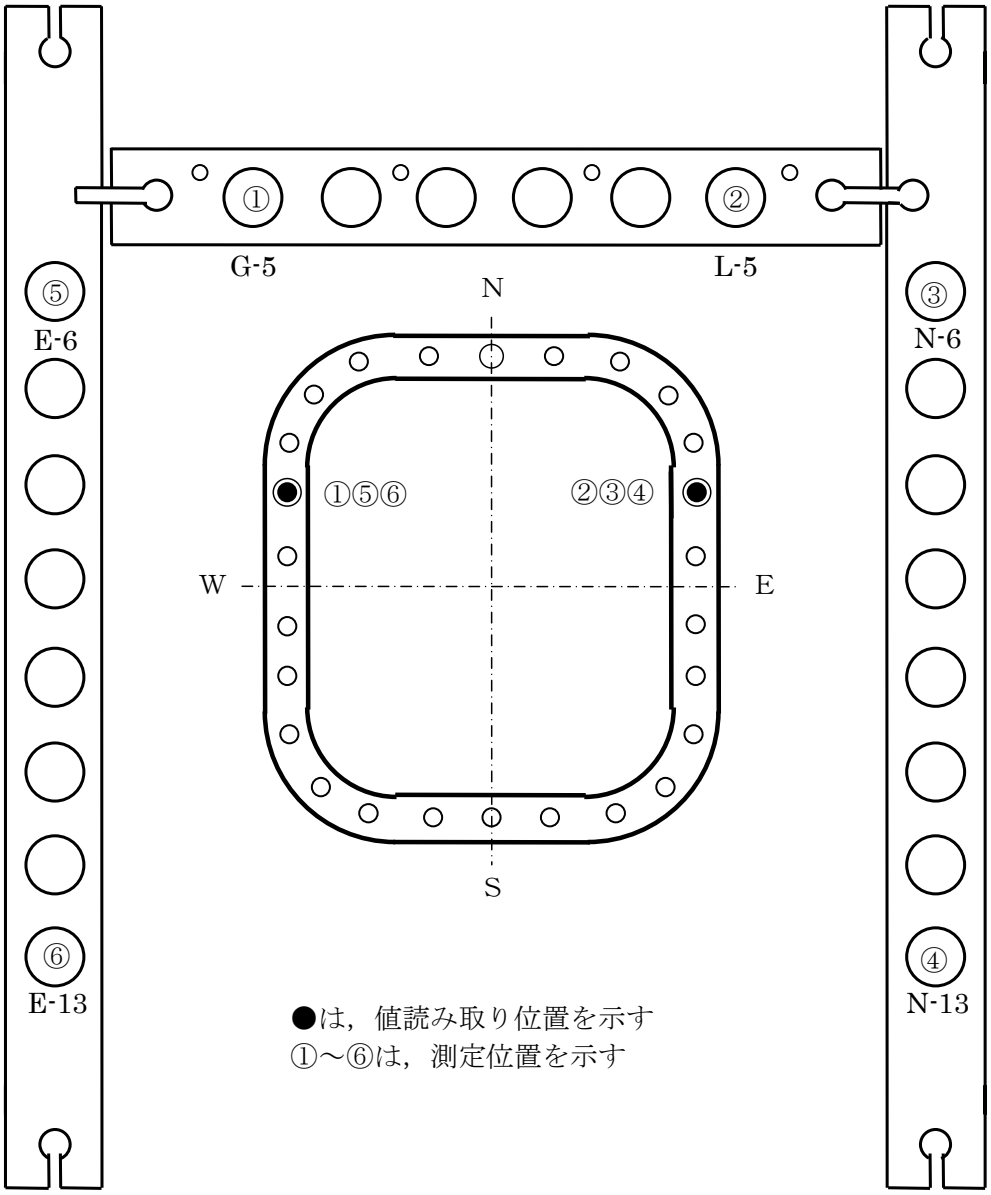

Fig.6.8　Be 枠及び格子板の高さ寸法測定位置及び値読み取り位置

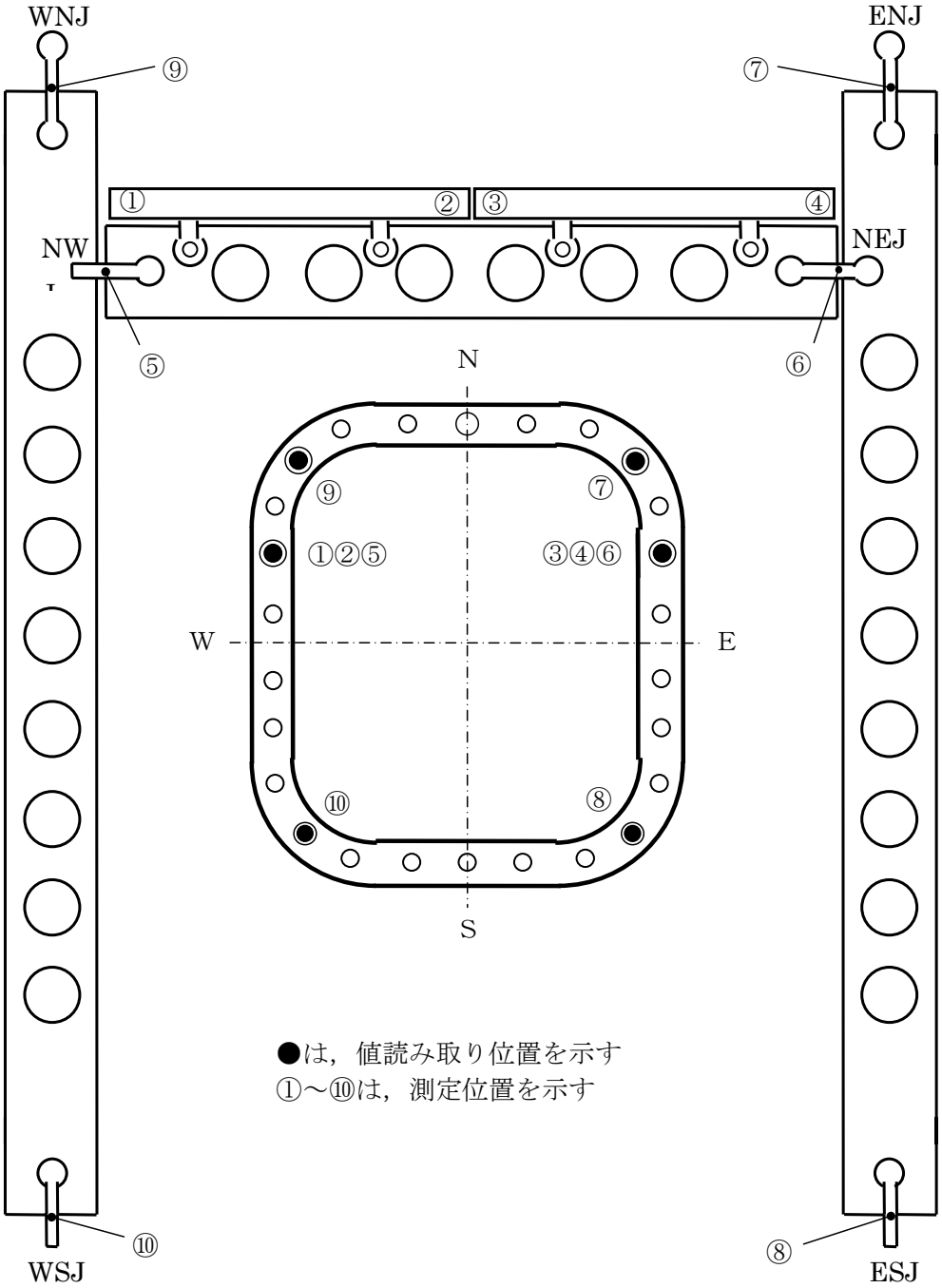

Fig.6.9　ガンマ線遮へい板及びジョイントの高さ寸法測定位置及び値読み取り位置

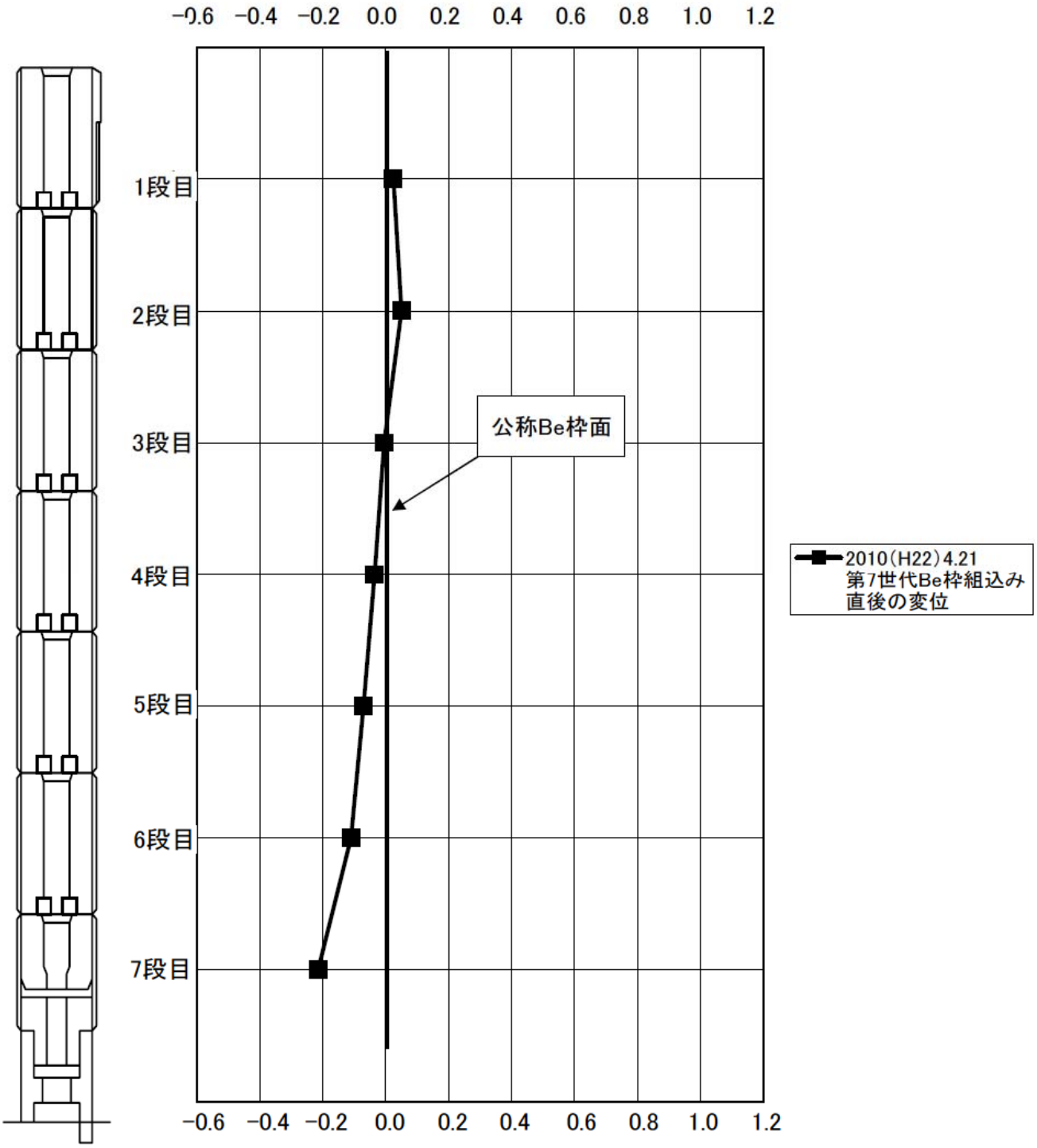

Fig.7.1　第 7 世代ベリリウム西枠組込み直後の変位

Photo 4.1　Be ブロック抜き金具

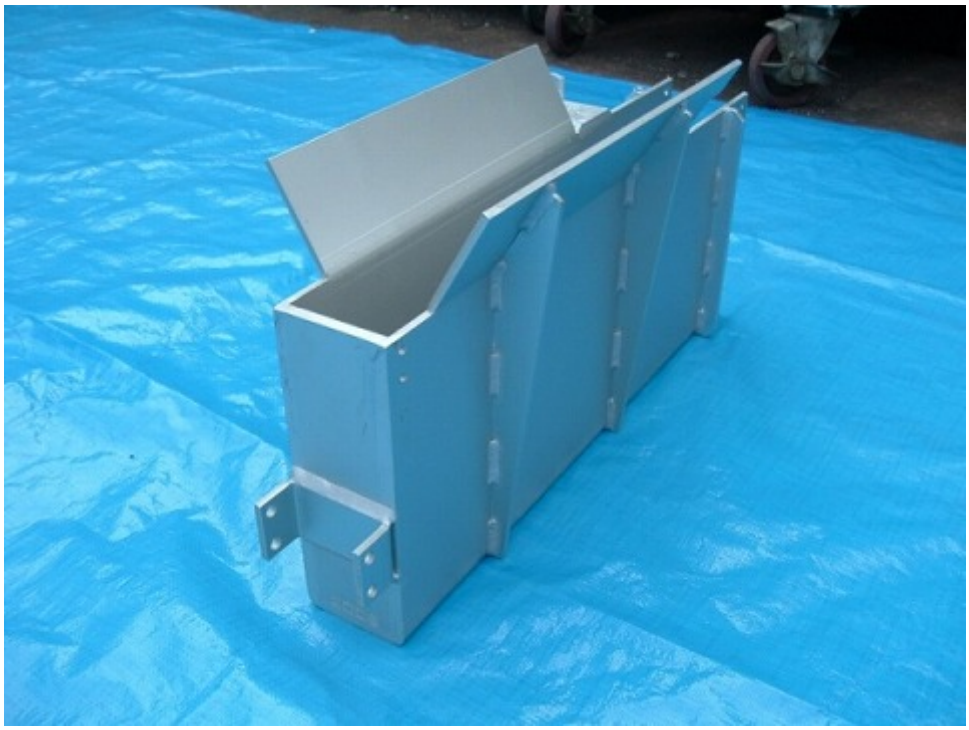

Photo 4.2　Be ブロック仮置き台

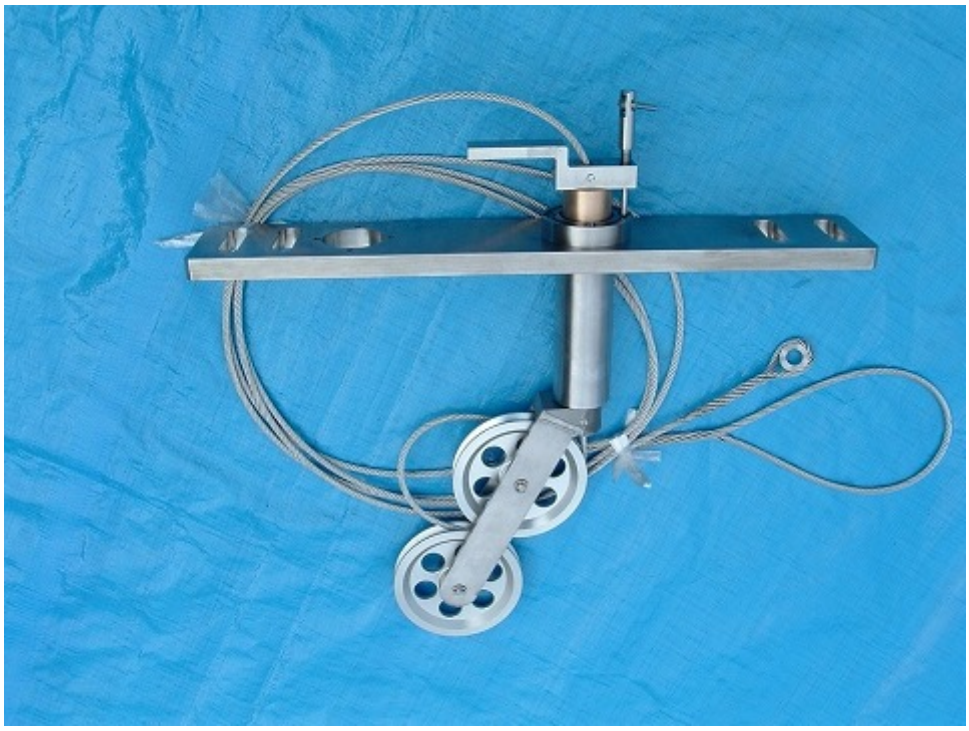

Photo 4.3　芯出し具

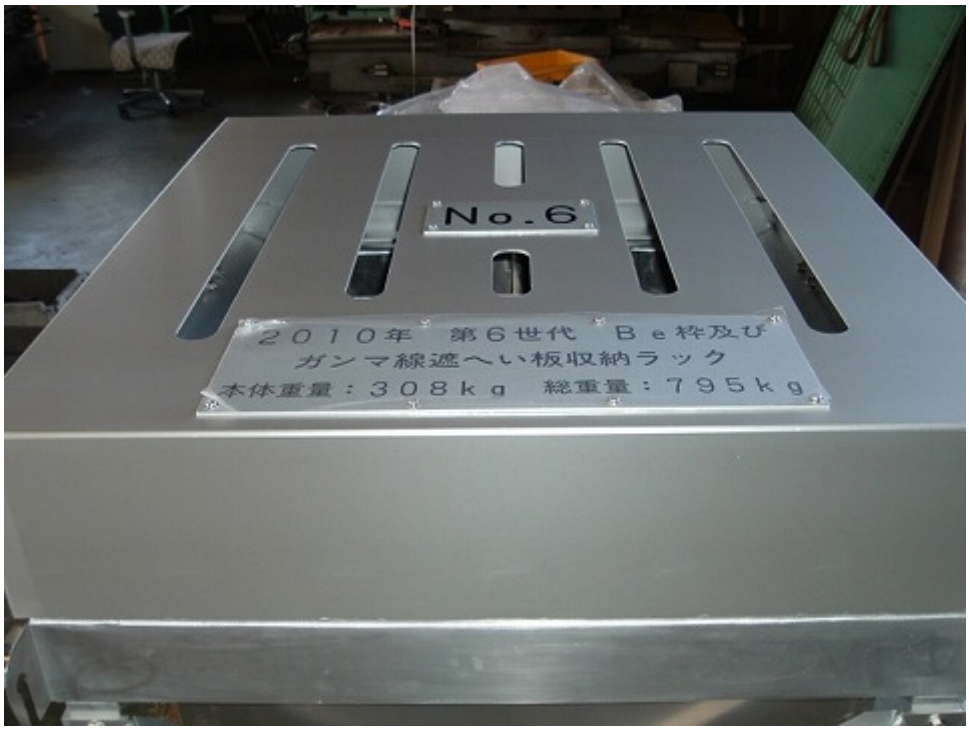

Photo 4.4　Be 枠及びガンマ線遮へい板収納ラック（上面）

Photo 4.5　Be 枠及びガンマ線遮へい板収納ラック（収納面）

Photo 4.6　Be 枠及びガンマ線遮へい板収納ラック（上蓋開状態の表側）

Photo 4.7　Be 枠及びガンマ線遮へい板収納ラック（上蓋開状態の裏側）

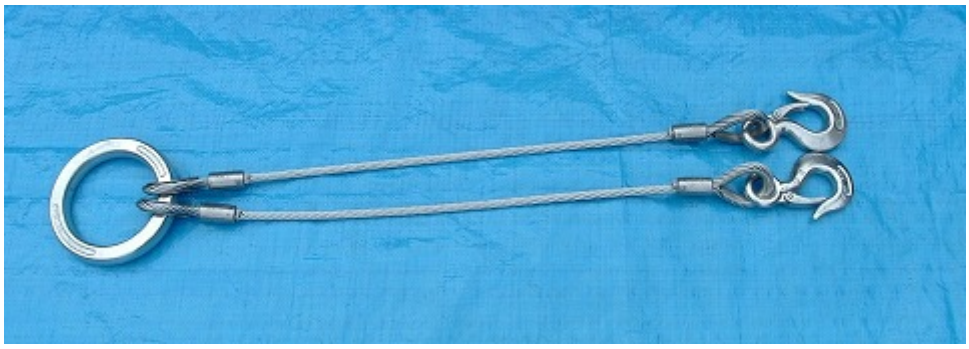

Photo 4.8　吊り具

Photo 4.9　ワイヤーロープ（6m×4 本）

Photo 4.10　ワイヤーロープ（7m×4 本）

Photo 6.1　芯出し具

Photo 6.2　Be ブロック解体及び組込金具（枠交換用ベース）

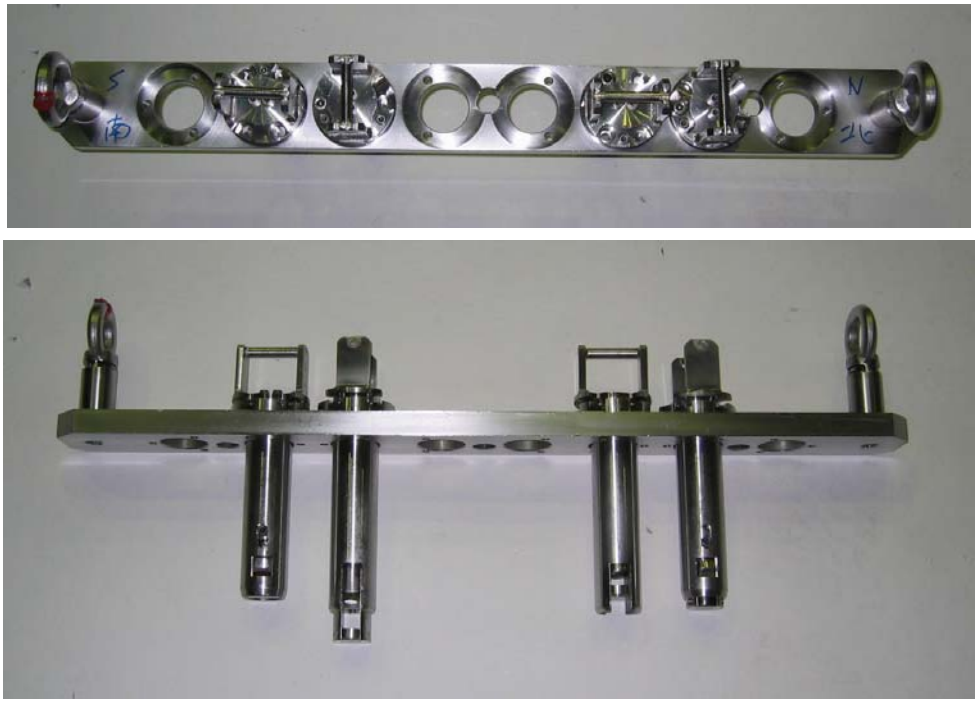

Photo 6.3　Be ブロック解体及び組込金具（東・西枠用）

抜き金具（内側）

押さえ金具（外側）

Photo 6.4　Be ブロック抜き金具・Be ブロック押さえ金具

Photo 6.5　Be ブロック解体及び組込金具（北枠用）

Photo 6.6　Be ブロック最下段抜き金具

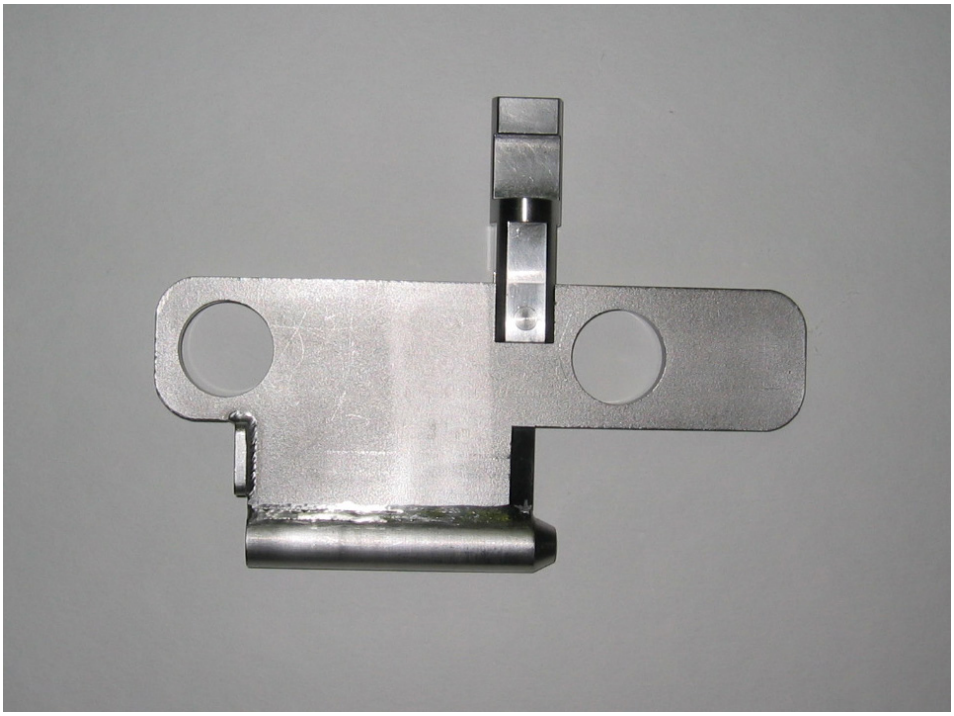

Photo 6.7　Be ブロック運搬具

Photo 6.8　Be ブロック仮置き台

Photo 6.9　Be ブロック移送容器（４要素用）及びスペーサ

Photo 6.10　最下段セット用ゲージ（4.3mm）

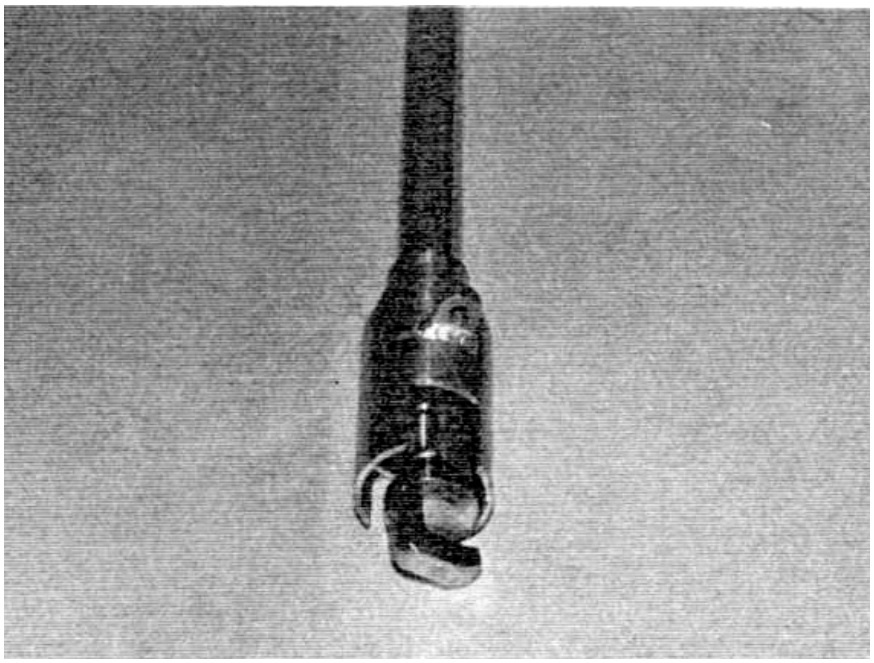

Photo 6.11　ジョイント引抜ツール先端部

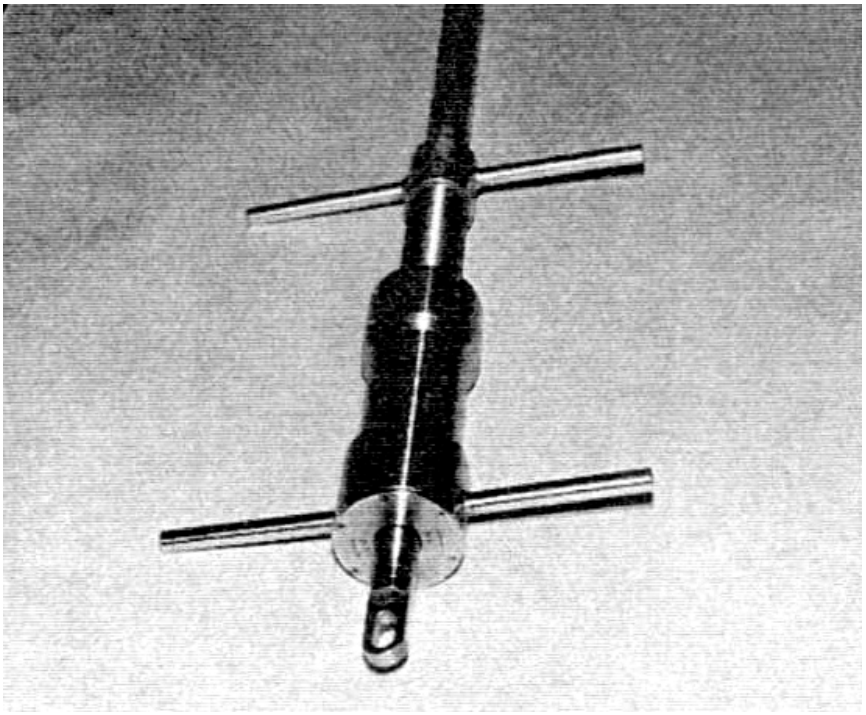

Photo 6.12　ジョイント引抜ツール操作部

Photo 6.13　ジョイント用スペーサ（20mm）

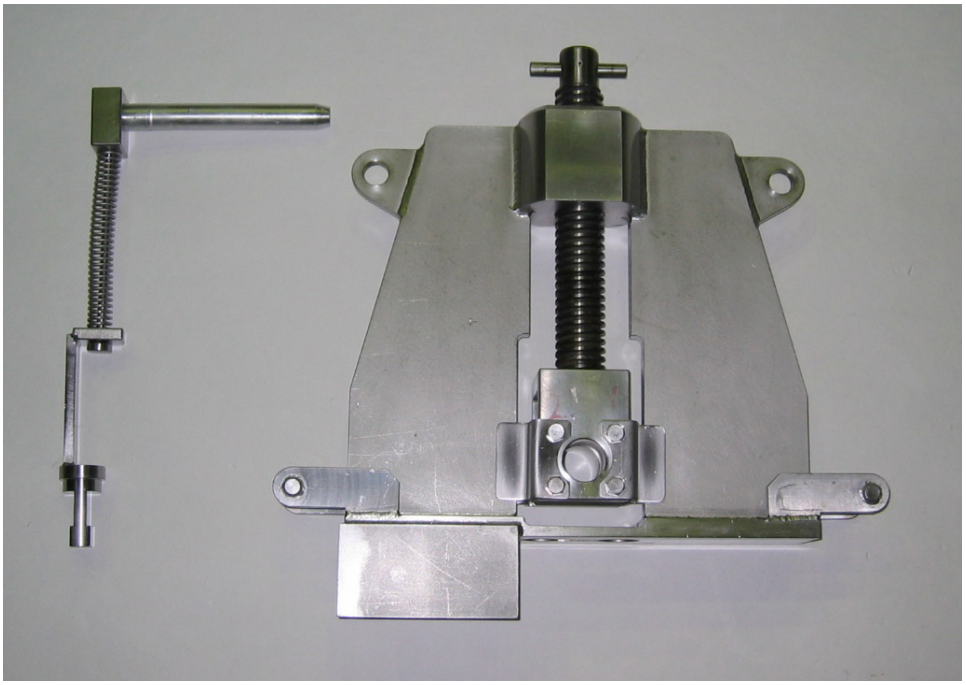

Photo 6.14 ジョイント引抜冶具(ジンクロ)と接続ピン

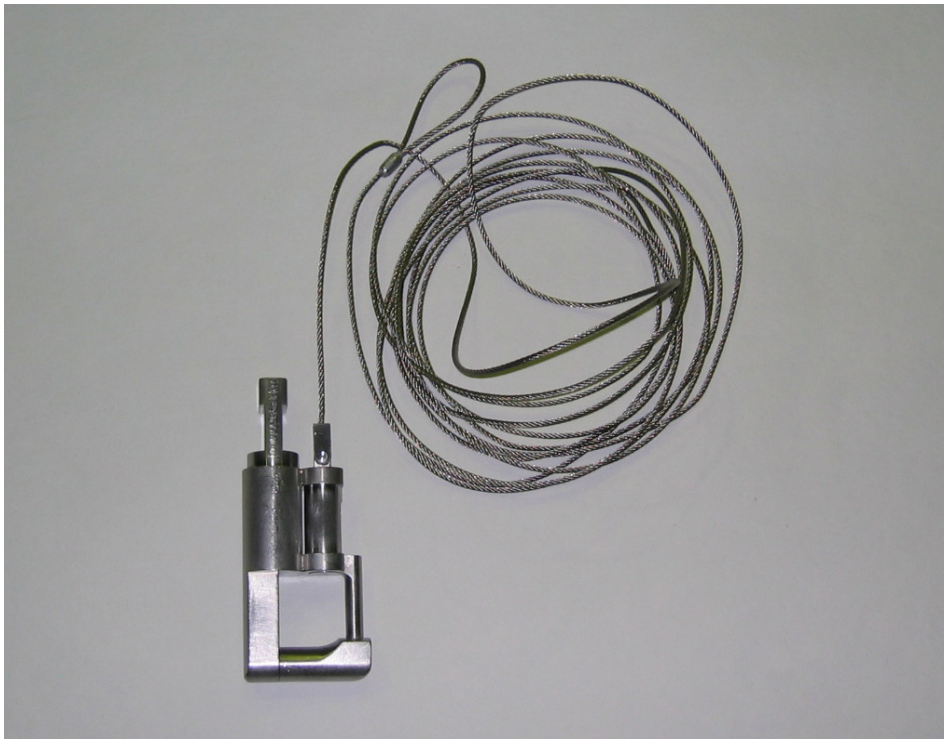

Photo 6.15　ロック付きシングルフック

Photo 6.16　ジョイント式先端子

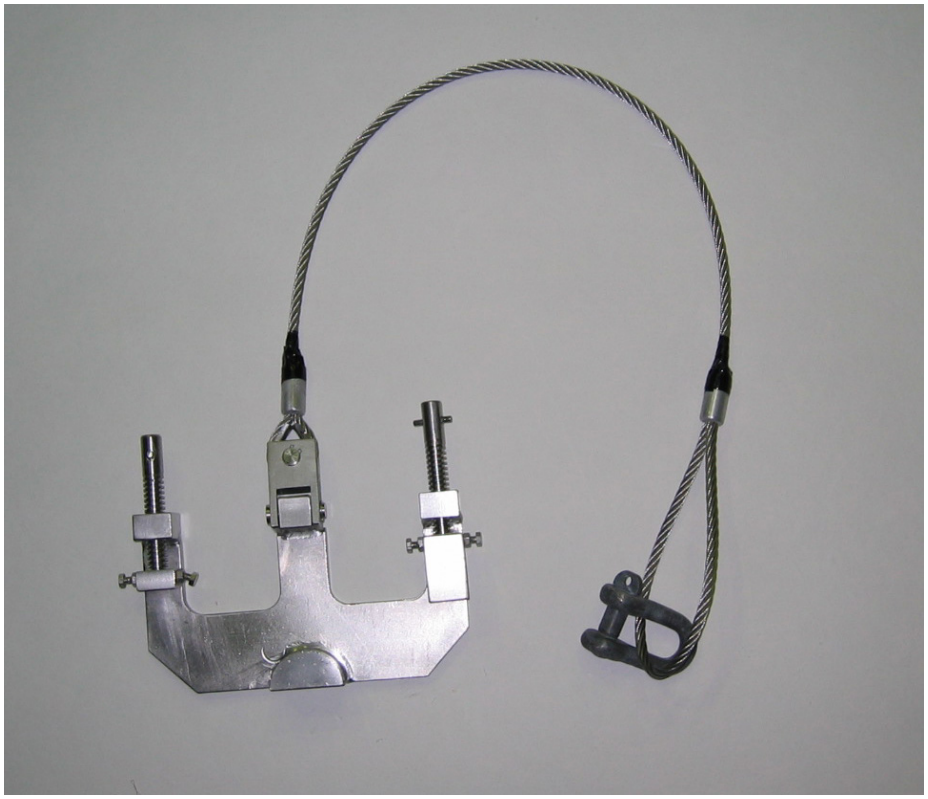

Photo 6.17　ガンマ線遮へい板取り扱い具（東側用）

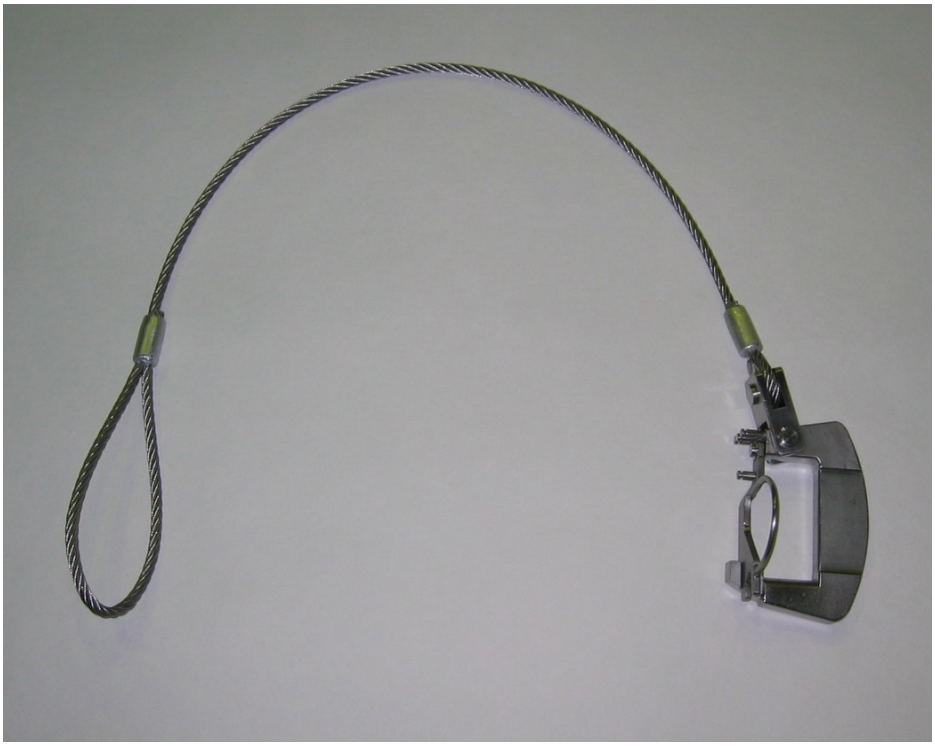

Photo 6.18　ガンマ線遮へい板取り扱い具（西側用）

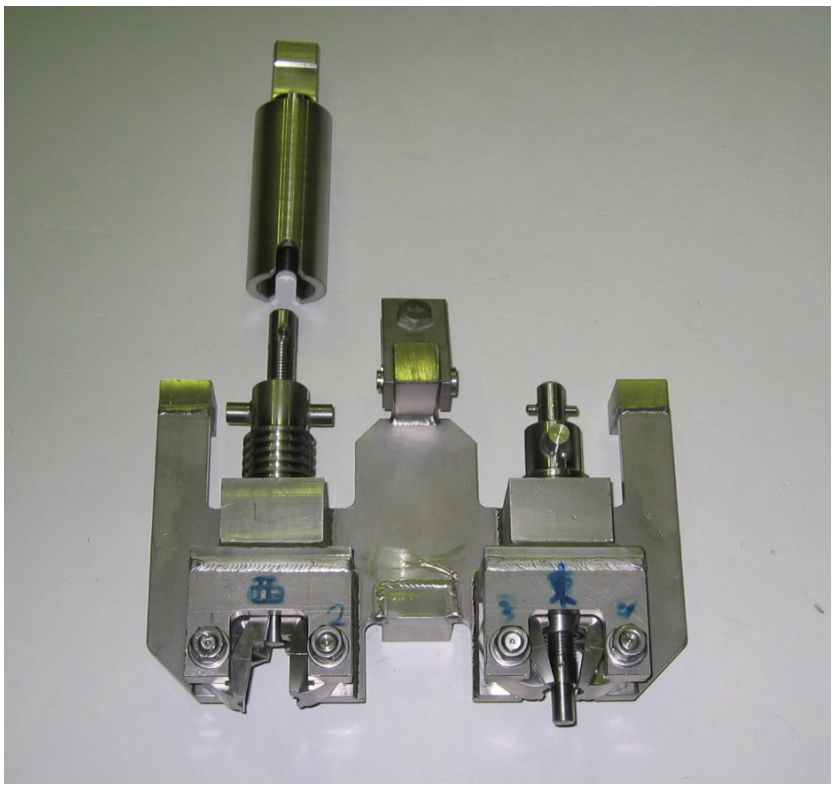

Photo 6.19　ガンマ線遮へい板引抜治具

Photo 6.20　ガンマ線遮へい板仮置き台

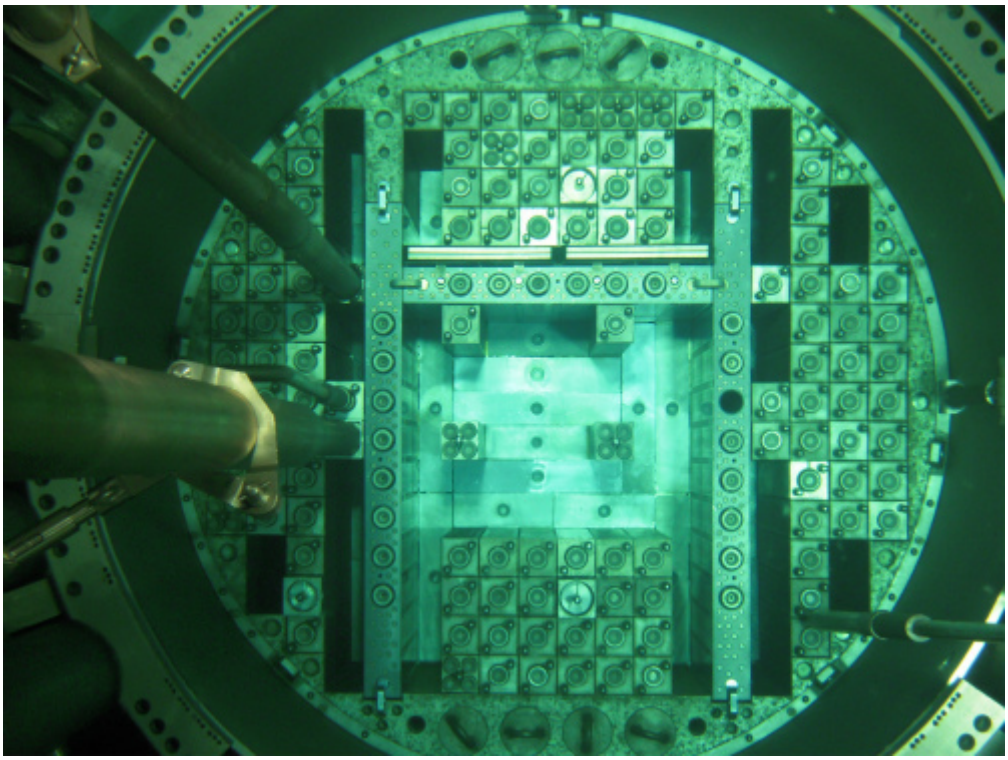

Photo 6.21　Be 枠及びガンマ線遮へい板解体前の炉心

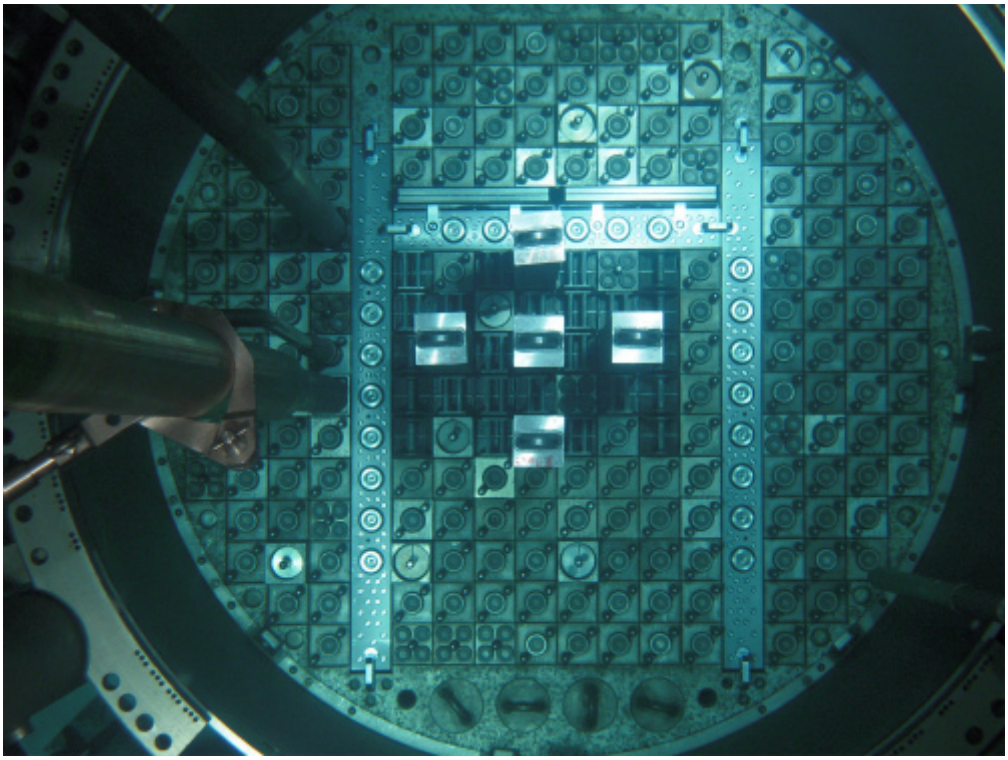

Photo 6.22　新 Be 枠及びガンマ線遮へい板組込後の炉心

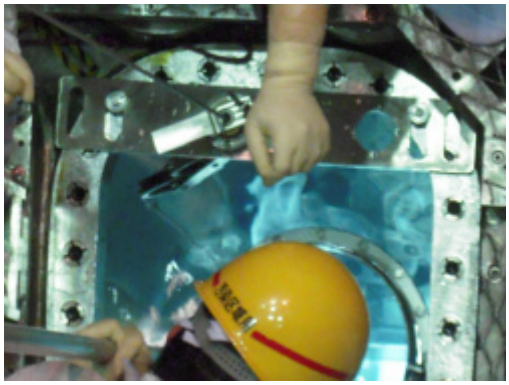

Photo 6.23　芯出し具取付

Photo 6.24　解体金具を Be 枠にセット

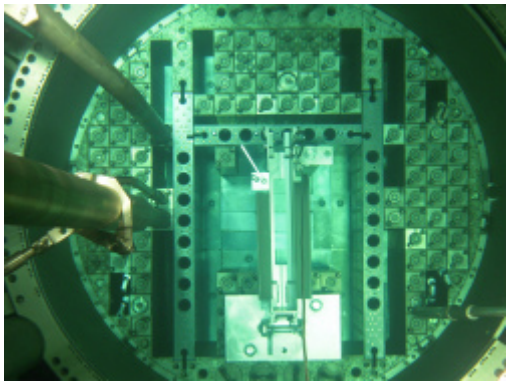

Photo 6.25　仮置き台セット

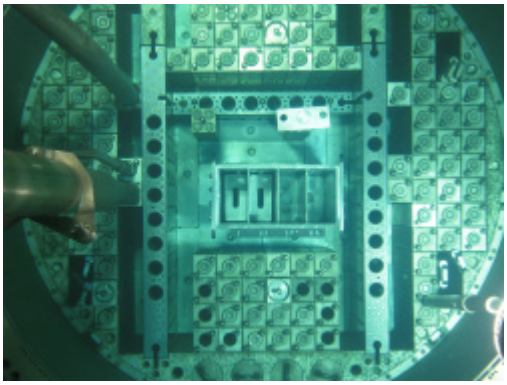

Photo 6.26　Be ブロック移送容器

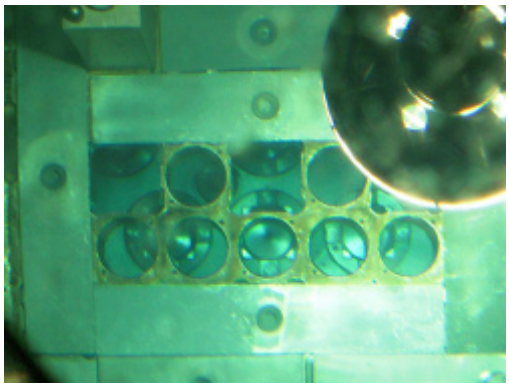

Photo 6.27　格子板外観検査

Photo 6.28　新 Be 枠準備①

Photo 6.29　新 Be 枠準備②

Photo 6.30　新 Be 枠準備③

Photo 6.31　組込金具芯出し調整①

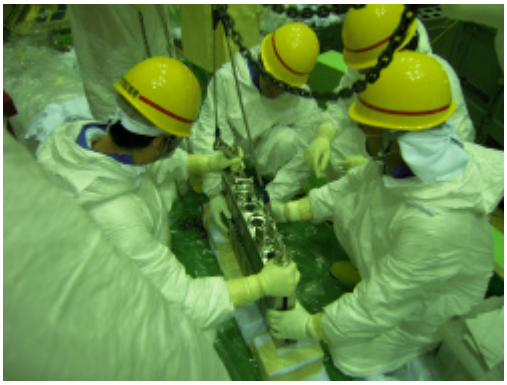

Photo 6.32　組込金具芯出し調整②

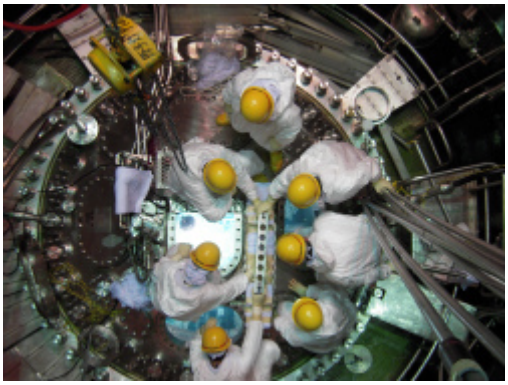

Photo 6.33　新 Be 枠組込①

Photo 6.34　新 Be 枠組込②

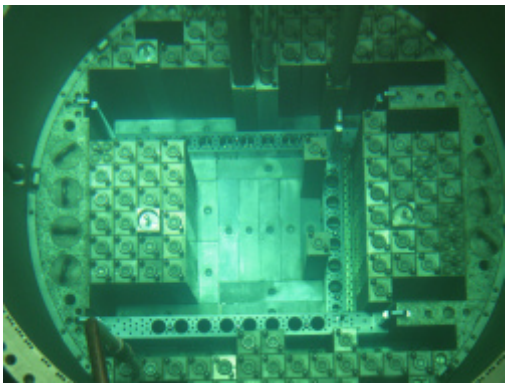

Photo 6.35　新 Be 枠組込③

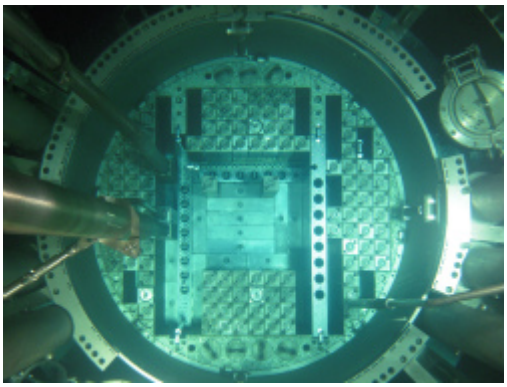

Photo 6.36　新 Be 枠組込④

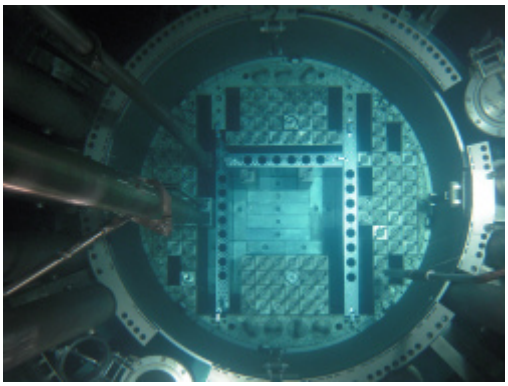

Photo 6.37　新 Be 枠組込⑤

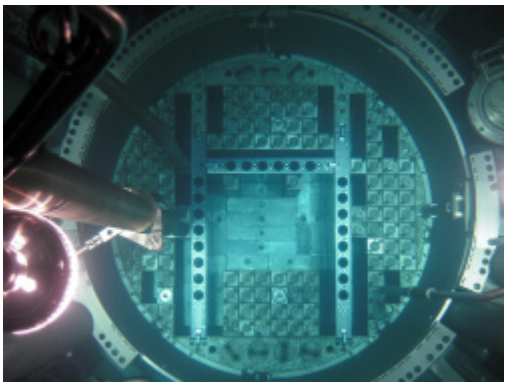

Photo 6.38　新 Be 枠組込⑥

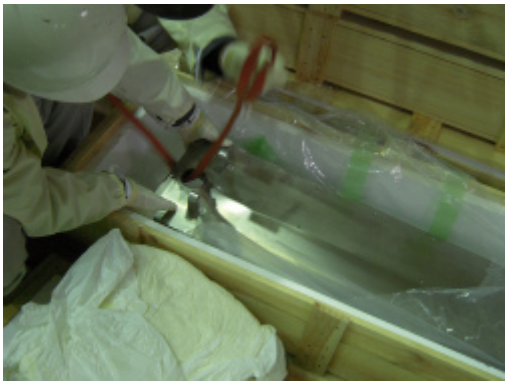

Photo 6.39　ガンマ線遮へい板組込準備①

Photo 6.40　ガンマ線遮へい板組込準備②

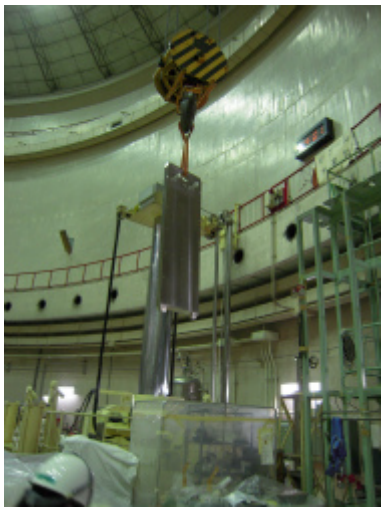

Photo 6.41　ガンマ線遮へい板組込準備③

Photo 6.42　ガンマ線遮へい板組込準備④

Photo 6.43　ガンマ線遮へい板組込準備⑤

Photo 6.44　ガンマ線遮へい板組込準備⑥

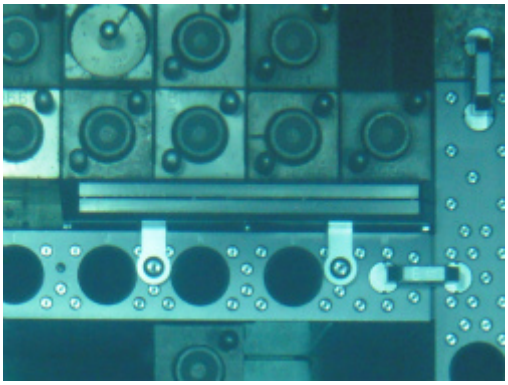

Photo 6.45　東側ガンマ線遮へい板組込①

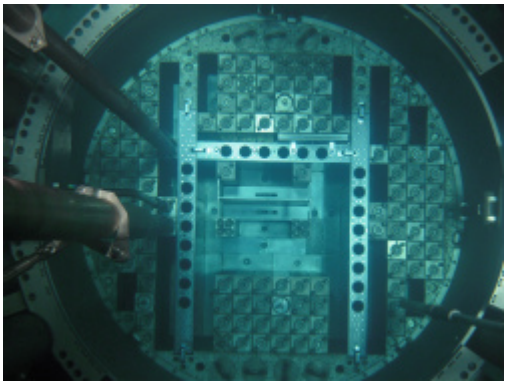

Photo 6.46　東側ガンマ線遮へい板組込②

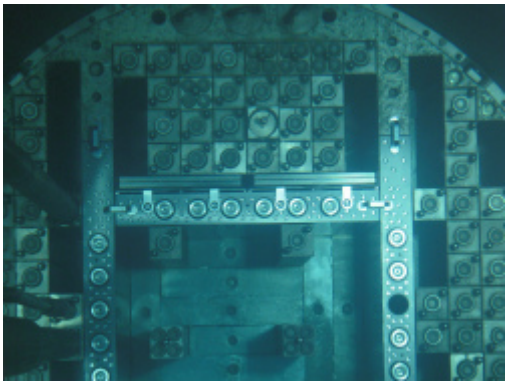

Photo 6.47　西側ガンマ線遮へい板組込①

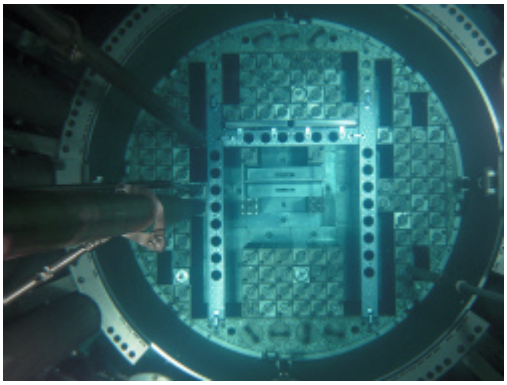

Photo 6.48　西側ガンマ線遮へい板組込②

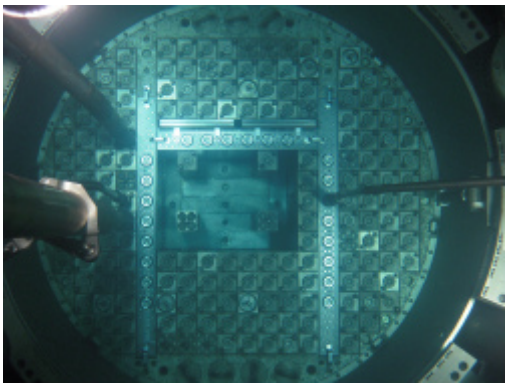

Photo 6.49　中プラグ・脱座検出器装荷

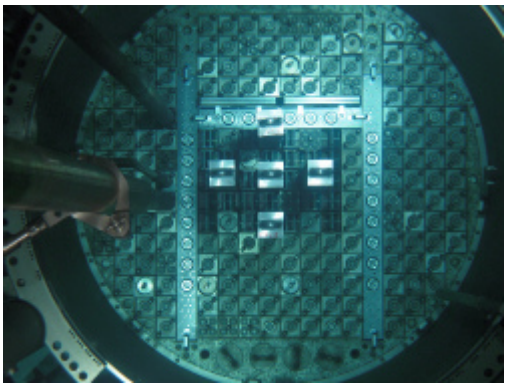

Photo 6.50　GT・炉心要素装荷

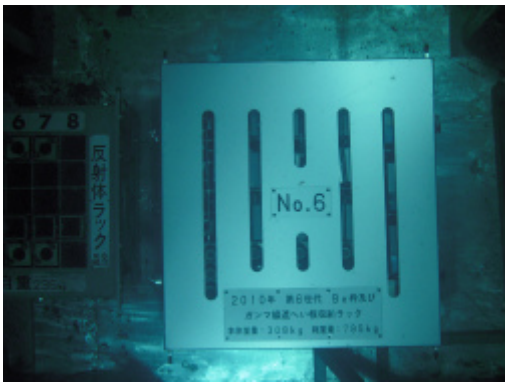

Photo 6.51　収納ラック

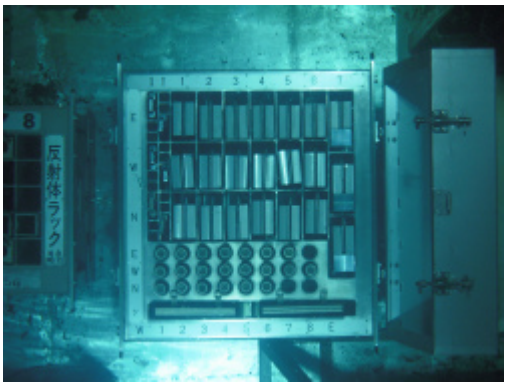

Photo 6.52　収納状態

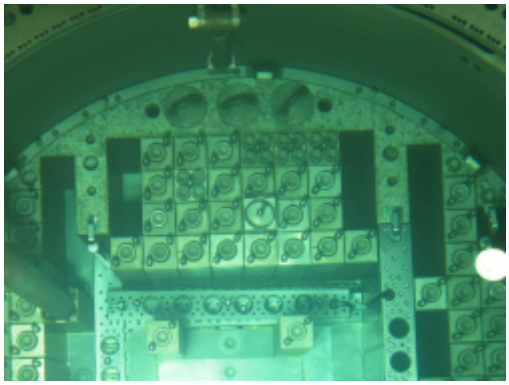

Photo 6.53　N6 の様子

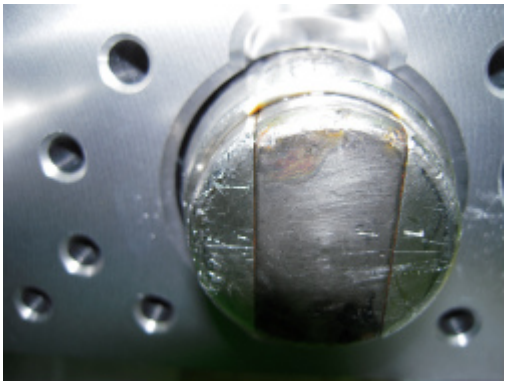

Photo 6.54　抜き金具の芯ずれの様子

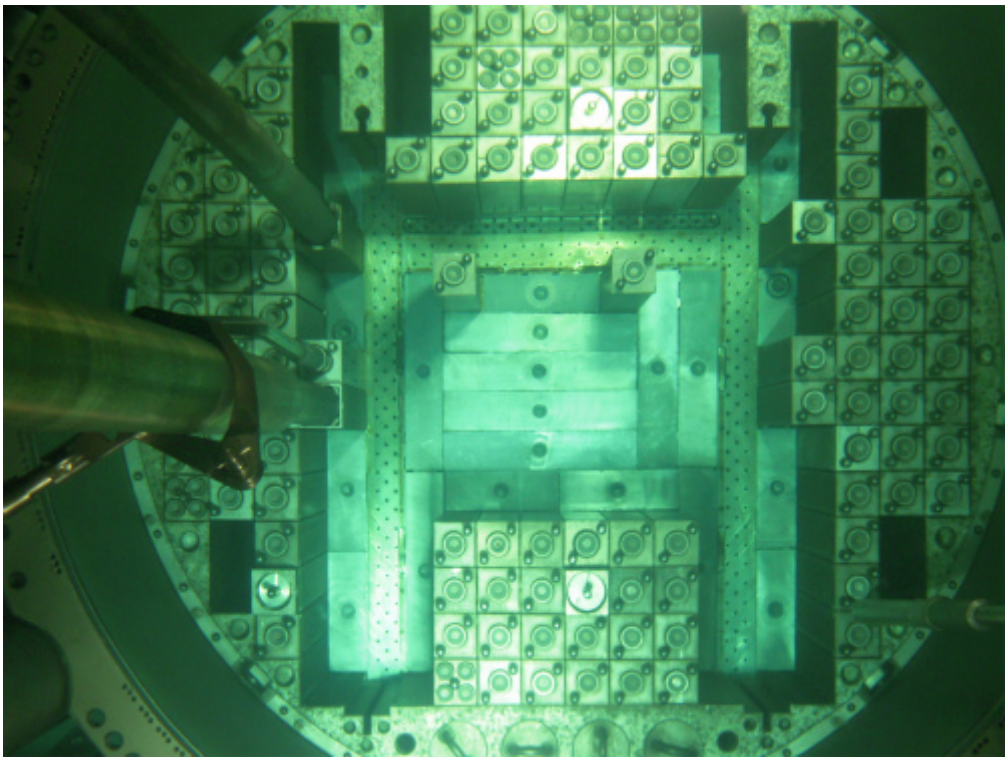

Photo 6.55　Be 枠及びガンマ線遮へい板解体後の炉心

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	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

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	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]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、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）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM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

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
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	$m^{-2}\ sA$
電束密度，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	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

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	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ 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
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

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
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
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	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

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	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

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

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	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）
ミクロン	μ	$1\ \mu\ =1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています