

JT-60 解体に伴う内部タイルの取外し報告

柳生 純一, 三代 康彦, 笹島 唯之, 逆井 章, 柴沼 清

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 トカマクシステム技術開発ユニット

1. 概要

日本原子力研究開発機構（JAEA）では、国際熱核融合炉（ITER）の幅広いアプローチ活動の一つであるサテライトトカマク計画（日欧協力）に基づき、臨界プラズマ試験装置（JT-60）を解体し、超伝導トカマク装置（JT-60SA）に改修する。高温プラズマに直接曝された JT-60 の真空容器内部には、保護用のタイル約 1.2 万枚が取付けられており、JT-60 の解体に先立って、RI でもある内部タイルの撤去が必要となる。しかし、内部タイルの中には共同研究で使用するタイルも含まれており、選別しながら全てを撤去するには、真空容器内タイルの配置、取付け状況、取扱方法などを熟知した上で取外し作業を行う必要がある。このために、JAEA では、外部業者に依頼することなしに、自営で内部タイルの取外し作業を実施した。作業では、先ず、205 人日をかけて約 1500 枚の研究用タイルを取外して保管し、次に、483 人日をかけて約 1 万枚の廃棄タイルを取外して、合計 61 本のドラム缶に収納した。本報告では、廃棄タイルの撤去作業を中心にして、JAEA の放射線衛生を前提とした作業計画と管理、その成果について述べる。

2. JT-60 の主要機器構成と研究用タイルの取外し

JT-60 は、プラズマ生成のために真空雰囲気を保持する真空容器（VV）、プラズマを磁場で拘束し、VV に接触しないようにするトロイダル磁場コイル、プラズマの形状や位置を制御するポロイダル磁場コイル、電磁力および構造物を支える支持架台などの主要構成物で構成されている。インコネル製の VV の内壁には、図 1 に示すように約 1.2 万枚のタイルが設置されている。内部タイルは、一部の金属系タイルを除き、大部分は炭素材の等方性黒鉛である。ただ、VV 下部に設置されているダイバータは高温プラズマに直接曝されるため、炭素材の中でもより高温に耐える CFC（Carbon fiber composite）タイルを使用している（図 2）。

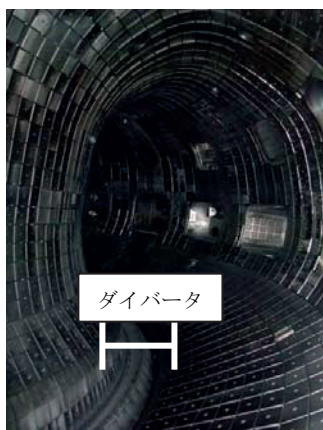


図 1 タイル取外し前の V.V 内全景

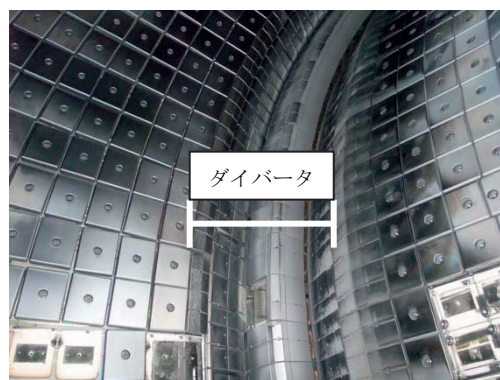


図 2 タイル取外し前のダイバータ部分（中央）

JT-60 の解体に先立って、RI である内部タイルの撤去が必要となる。内部タイルの中には、大学との共同研究で使用する研究用タイルも含まれているため、H22.1.12 から 2.22 までの 28 日間、205 人日をかけて約 1500 枚のタイルを取外した。取外した研究用タイルは、タッパーに収納し、真空パック袋に入れた後に真空引きを行ってドラム缶 22 本に収納した（図 3）。この様な保管方法をとった理由は、プラズマと接触したタイルの表面状態を保ち、損耗・再堆積過程や水素蓄積量を電子顕微鏡や二次イオン質量分析装置等を使って評価



図 3 研究用タイル収納状況

するためである。

3. 作業管理

研究用タイルを取外した後、VV内には約1万枚の内部タイルが残されていた。これらは全て廃棄タイルとなる。廃棄タイルの撤去においては、研究用タイルよりも取外しの枚数が多く、作業期間も長期に亘る。これらのことから、放射線衛生に留意して作業計画を立案し、作業管理も徹底した。

①工程の管理

廃棄タイルの撤去は、JT-60の解体が本格化するH22.11月末までに完了させる必要があった。しかしながら、VV内作業は、JT-60の解体作業の中で最も被ばくを伴う。このために被ばく線量の低減にも努めなければならない。作業にあたっては、1日当たり11人の作業者を投入して効率的なローテーションを組むとともに、研究用タイルの取外し経験を基に、作業安全にも注視してH22.8.18から11.19までの64日間で作業計画を立案した。

②作業環境の管理

VV内は閉じられた空間である。閉鎖空間という厳しい環境下で作業を行うには、労働衛生工学の観点から作業環境を整える必要がある。VV内の換気は、VV内出入口等から高性能フィルタ（HEPAフィルタ）を介して空気を取り入れ、専用換気ポートからHEPAフィルタを介して建家の外に排気する。その換気速度は $3000\text{m}^3/\text{hr}$ あり、クリーンな空気を十分に確保することで空気環境を確保した。この他にも、空間的制限や酸素欠乏危険作業のリスク回避といった観点から、VV内での作業者は最大18名に制限している。廃棄タイルの撤去では、被ばく線量の低減を目的にVV内への入室は3名程度に止めた。

③放射線の管理

JT-60の実験運転は、H20.8月に終了した。よって、作業開始前までに約2年のクーリング期間を確保している。JT-60においては、中性子の発生を伴う運転を停止した後、数日以降の線量当量率は ^{60}Co と ^{58}Co の γ 線に依存する。 ^{60}Co の半減期は5.27年、 ^{58}Co は70.8日のため、複数のアラーム付きポケット線量計（APD）をVV内に設置して、作業開始前の ^{60}Co による線量当量率を測定した。その結果、VV内の線量率はVV内の中心で $10\mu\text{Sv/h}$ 、タイルのある内壁付近が $15\mu\text{Sv/h}$ であることが分かった。この値を基に、VV内作業の被ばく評価を行った。まず、個人被ばく線量の評価では、VV内の線量率が $15\mu\text{Sv/h}$ 、作業時間を5時間として、1日当りの作業者の外部被ばく線量（ 0.075mSv ）を算出した。JAEAの計画被ばく線量の上限值は 1.0mSv なので、1日当たり 0.075mSv であればVV内には13回入室可能となる。しかしながら、VV内の線量率は場所によって $5\mu\text{Sv/h}$ の幅があるので、四半期毎に個人線量を評価するガラス線量計（GB）の他にもAPDを着用させ、毎日の被ばく量を集計することで個人の最大被ばく線量を管理することにした。次に、集団被ばく線量の評価では、1日当たり11人、64日間の作業のために総人工数は700人日となる。そのうちの200人日がVV内作業、500人日はVV外作業であり、VV外作業において被ばくがなければ集団被ばく線量は $15\text{人}\cdot\text{mSv}$ となる。最後に、内部被ばくを評価した。内部被ばくによる実効線量の算出には、実効線量係数やVV内のトリチウム濃度、作業時間が必要となる。実効線量係数は、VV内の換気量（ $3000\text{m}^3/\text{hr}$ ）を基に、法令別表第1及び第2欄の吸入摂取した場合の値を引用した。また、VV内のトリチウム濃度は実測値から $2.5\times 10^{-4}\text{Bq}/\text{cm}^3$ であり、作業時間は64日間 \times 5時間の320hとなる。よって、トリチウムによる内部被ばくは、 $2.5\times 10^{-4}\text{Bq}/\text{cm}^3 \times 1.2\times 10^6\text{cc}/\text{hr} \times 320\text{h} \times 1.8\times 10^{-8}\text{mSv}/\text{Bq} = 1.73\mu\text{Sv}$ と十分低い値となる。なお、この値は、64日間にわたって1人の作業者がVV内で作業を行った場合を想定したもので、安全側にシフトした評価となっている。

④教育

廃棄タイルの撤去は、1日当たり11人、64日間で700人日の自営作業である。よって、作業者の中にはVV内での作業経験がない者も含まれる。作業安全を遵守し、かつ工期を守るために作業の注意点を明記した作業要領書を作成して全員に配布するとともに、リスク評価（リスクアセスメント）と作業者への教育を十分に行い、作業日毎にはTBM（Tool Box Meeting）と危険予知活動を行って、円滑な作業進行に努めた。

4. 廃棄タイルの撤去と収納

VV 内に残された約 1 万枚の廃棄タイルは、金属系のフェライトタイルと炭素系の第一壁及びダイバータタイルに大別される。内部タイル取外し前に VV 内に作業ステージを組み、VV 上部の第一壁タイルとフェライトタイルを取外した (図 4)。その後、図 5 に示すような開口部を設け、VV 下部のダイバータタイルを取外した (図 6)。フェライトタイルとダイバータタイルは VV から取外して真空パック袋に入れるが、第一壁タイルは作業ステージ上の中央に酢酸ビニールを敷き、その上でレンチを使ってタイルと台座に分離して別々に真空パック袋に収納した。作業ステージの中央部で分離作業等を行ったのは、VV 内の線量率はステージの中央部分が最も低いため、VV 内に入室する作業員 3 名のうち分離と袋詰め作業を行う 2 名をここに配置することで被ばくの低減が図れるからである。なお、タイルの入った真空パック袋は VV 外の作業エリアに搬出して、真空パック機を使って密封した後にドラム缶収納エリアに搬出した。

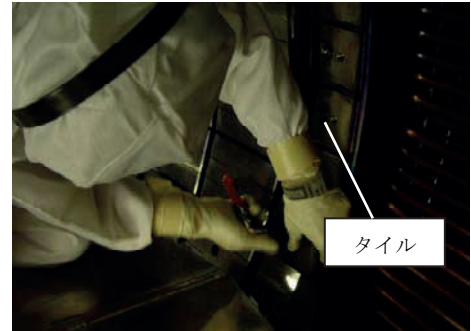


図 4 廃棄タイル撤去作業の様子



図 5 タイル取外し後の VV 内全景

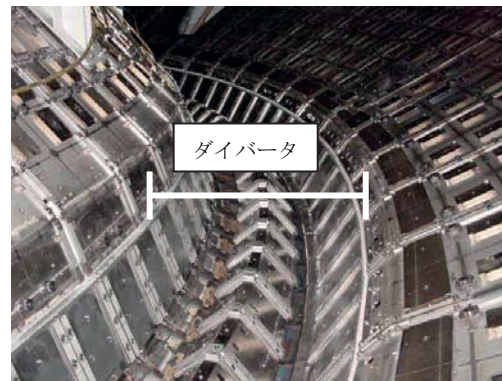


図 6 タイル取外し後のダイバータ部分

搬出した真空パック袋にはタイル番号を記載し、重量を測定した後にタイル番号と重量を解体品リストに記載してドラム缶の中に収納した。ただ、収納方法は研究用タイルとは異なる。研究用タイルは、タイルの表面状態を保持するためにタッパー容器に収納し、それを重ねながらドラム缶に収納している。これに対して、廃棄タイルは、今後利用することがないのでドラム缶にそのまま収納する。

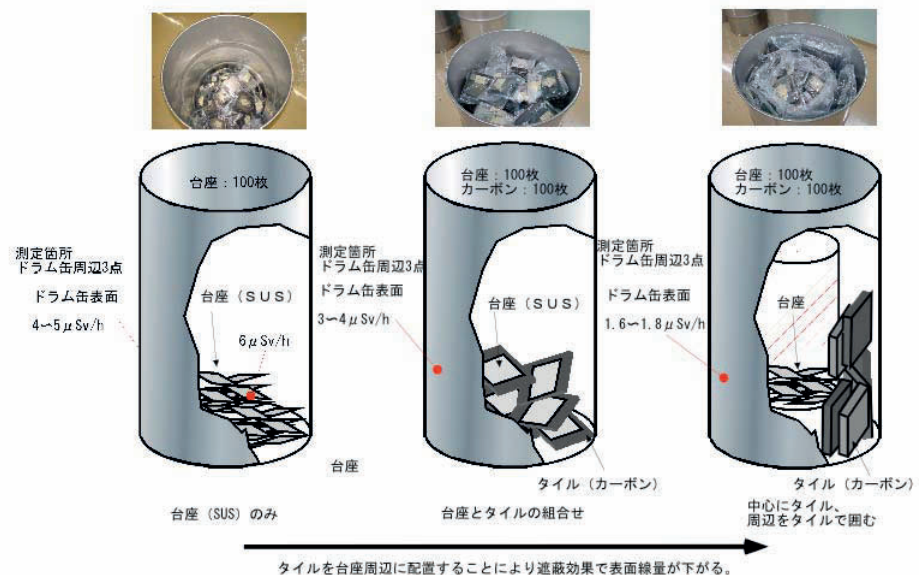


図 7 タイルの保管方法による表面線量の違い

収納にあたっては、ドラム缶 1 本当りに収納するタイル枚数が 100 枚から 200 枚と多いため、ドラム缶の表面線量に注意した。ドラム缶の表面線量が高いと周囲を立入制限区域にしなければならず、廃棄物保管室の収納スペースにも影響を与

える。よって、出来るだけ表面線量を抑えることが望ましい。そのため、作業前には予めタイルと台座の収納方法の違いによってドラム缶の表面線量がどのように変化するかを調べた。その結果、図7の右端の方法で収納すれば、タイルの遮蔽効果で最もドラム缶の表面線量が低くなることが分かった。これにしたがって、第一壁タイルにおいては、台座やフェライトタイルをドラム缶の中央に配置してその周りをタイルで覆い、タイルと台座の分離ができないダイバータイルは、図7の中央の方法によってドラム缶に収納し、合計61本のドラム缶の表面線量が $5\mu\text{Sv/hr}$ 以下であることを確認して廃棄物保管室に保管した。最終的に廃棄タイルの撤去では、実質人員59名を投入し、延べ人工数は483人日、作業期間はH22.8.18から10.25までの44日間であった。徹底した作業管理によって作業期間は当初の計画よりも約1ヶ月間短縮した。一方、JT-60解体に伴う内部タイルの取外しにおいても作業員のローテーション等による効果が現れた。研究用タイルの取外しでは、個人被ばく線量が最大で 0.42mSv 、集団で 1.86mSv （図8）であったのに対し、研究用タイル取外しの経験を活かすことにより、放射線管理を徹底した結果、廃棄タイルの取外しでは、作業日数が1.6倍に延びたのにもかかわらず、個人被ばく線量は最大でも 0.09mSv 、集団では 1.51mSv （図9）である。この値は計画被ばく線量の1/10以下で、かつ、GBの線量評価においても検出限界（ 0.1mSv ）以下である。

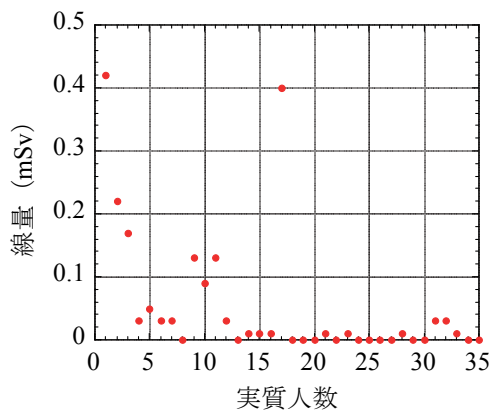


図8 研究用タイル取外しにおける被ばく線量

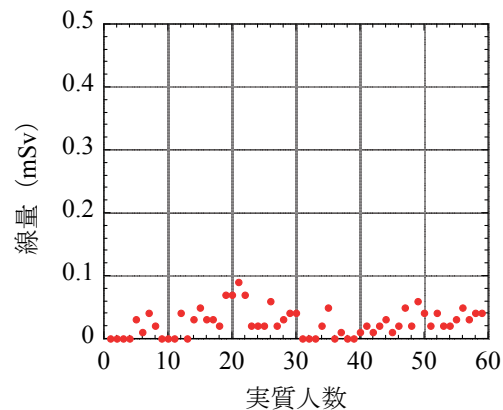


図9 廃棄タイル取外しにおける被ばく線量

5. まとめ

JAEAでは、国内で初めてとなる核融合装置の解体作業に取り組んでいる。JT-60解体に伴う内部タイルの取外しによって既に1.2万枚ものタイルが撤去され、JT-60の解体は順調に進んでいる。JT-60の解体に向けて多くの職員が一致団結した結果、閉鎖空間という厳しい環境にも拘らず、廃棄タイルの撤去においては計画工期を1ヶ月も短縮し、その上作業員の最大被ばく線量を極めて低く抑えることにも成功した。特に、被ばく線量の低減では、約2年のクーリング期間を確保するとともに多くの作業員（11人/日）を投入して、1人当たりの被ばく低減に努めた。その結果、徹底した作業管理と作業員のローテーションの効果もあって、作業員の個人被ばく線量を最大 0.09mSv （APD）に抑えることができた。この値は計画被ばく（ 1mSv ）の1/10以下で、かつ、GBの検出限界以下である。