

SII-4

Study on Maintenance, Recycle, and Radioactive Waste Management of Fusion Reactor

Part IV: Remote-maintenance technology in hot-cell facility and fusion reactor

核融合炉の保守・リサイクル・バックエンド対策に関する検討

4. 核融合炉、ホットセルでの遠隔保守技術

Ken-ichi FUKUMOTO

福元謙一

Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui

1-2-4, Kanawa, Tsuruga, Fukui, 914-0055 Japan

福井大学附属国際原子力工学研究所

〒914-0055福井県敦賀市鉄輪町1-2-4

原型炉における保守方式としてホットセル方式が提案されており炉本体施設に隣接する大型ホットセル施設の運用が見込まれている。本講演では原型炉における保守補修用大型ホットセル施設の概要について説明し、運用上問題となる課題について示す。

【はじめに】

核融合炉のブランケットなどの炉内構造物の保守点検及び交換のため、原型炉における保守方式は炉内保守方式とホットセル保守方式に大別される。ホットセル保守方式では使用済みの機器をホットセルに搬送後、スペアを装着し直ちに核融合炉運転に復帰させることにより保守所要時間の大幅な短縮が可能になることが見込まれる。各ブランケットモジュールの交換作業や検査はホットセルにおいて運転と並行して実施される。しかしながら炉本体施設からの搬送作業やホットセル内での保守管理作業ではITER施設や原子力発電所施設の環境とは大きく異なる点があるため従来の保守管理施設とは異なる仕様を要求される。

【ホットセル保守方式の概要】

ホットセル保守方式には大型モジュール方式とセクター方式があるが、両者ともブランケットモジュールをポロイダル方向に分割した集合体として取扱い、炉本体から搬出・搬入を行う。JAEAでは原型炉設計の中で特に水平引抜セクター保守方式を中心に検討を進めている。図1にセクター方式における保守ホットセル施設及び一時貯蔵施設の概念図を示す。セクター方式は接続配管の切断・再溶接数がモジュール方式に比べ少ないため保守時間の低減につながり高稼働率が見込める。また複雑な炉内での保守機器移動等がないため高空間線量率である炉内での遠隔保守機器の使用が概念上不要となる。配管の切断・再溶接点をセクター外部に設置することにより作業を炉外で行うことが可能となる。一方で遮へい体とブランケット及びダイバータを一体化するため一セクター当たりの重量はモジュール方式に比べ

遥かに巨大になり、炉外搬送システムは大型システムになるため炉格納容器や建屋は巨大なものにならざるを得ない。

搬送時においてブランケット部位で発生する崩壊熱を除去するため冷却システムを炉停止中も継続して稼働する必要がある。このため搬出時に冷却システムを搬送システムと一体化させた可動型のシステムにあらかじめ組み込んでおく必要がある。またダイバータやブランケット自体が真空雰囲気ではなく大気圧雰囲気にさらされるため、炉内に生成・付着したトリチウムが炉外環境にさらされることになる。このため搬送システムを取り囲む炉内建屋は外部環境と隔離される必要があり、その環境下でホットセル施設までの搬送を行う必要がある。このため炉本体施設の大半を不活性ガス雰囲気で充填するセル構造の建屋とすることが考えられ、その中で搬送システムの稼働・保守管理を行う。また建屋の空調管理ではトリチウム漏えい防止とそのモニタリング設備を常時稼働させる。この炉本体施設と保守、補修用ホットセル施設は、トリチウムの外部漏洩を防止する観点から、外部環境と連絡することなく連結される必要がある。

ホットセル施設内ではセクター冷却のための保管サイトが設置される。セクター全数(8-12サイト)の保管施設が必要であり、各セクターに対する独立した冷却設備が必要であるため設備が大型化することが想定される。セクター冷却方式では、リユース、リサイクルを考える場合トリチウム付着を防止するため不活性雰囲気大気圧下での冷却設備である必要があり、解体・廃棄を想定する場合には大型プールのような冷却水中での保守管理が想定される。

ホットセル内での保守管理ではセクター部位の保

守点検とともに解体・廃棄などを行ってリユース、リサイクルされるような部位を選別するなどの作業工程も含まれる。この場合冷却期間を数年経たとしても高線量率における作業環境であることが予想される。原型炉で10年運転後に炉内機器交換して残留トリチウム回収を冷却期間中に行い、炉停止後2年経ったところでブランケット部位の解体作業を行う場合表1のような最大表面線量と構造材表面温度が想定されている。

表1 主要機器の最大表面線量及び構造材温度[1]

部位名称	最大表面線量 (Sv/h)	受入時表面温度 (°C)
OB ブランケット	4750	178
IB ブランケット	3210	281
ダイバータ	570	126

2年経過後も遠隔操作による保守補修作業が必要であることが分かる。一般に市販されているカメラの耐放射線性は、民生部品・民生技術データベースで公開されている部品レベルの放射線耐性確認試験結果から推定して、数Gy～数百Gy程度である。CCDカメラを除くカメラ光学系部品の集積線量はおよそ10～100MGyと報告されており、適当な遮蔽材を装着することで、炉停止直後の一定期間での交換作業時における耐放射線性が得られる。保守時の線量率を10Gy/hを仮定した場合、検査に十分な時間を割くことができる。(10Gy/hは高速炉一次冷却管の運転時の表面線量に相当する)耐温度特性は、105°Cまでの温度環境での操作が保証されているCMOSカメラがある。現在200°C環境下での動作可能な検査システムが開発されているが、冷却系ラインを常備しなければ長時間の使用は困難であると報告され、耐高温用検査・補修用ロボットの開発も並行して進め

る必要がある。解体時に発生する部品の管理も放射能濃度が高いためにRIとして厳重な管理が必要となる。上述の部材条件で材料選別を行った場合の各主要機器の放射濃度は表2のように求められる。

表2 主要機器の放射能濃度[1]

部材	OB (GBq/g)	IB (GBq/g)	Div (GBq/g)
タングステン	12.8	9.65	5.15
F82H 鋼	359	248	29.6
混合ペブル (Li ₂ TiO ₃ &Be ₁₂ Ti)	367	225	-

原型炉のブランケット全体で、タングステン130トン、F82H1300トン、混合ペブル2000トンの使用が見込まれ、各部位での放射能強度に差はあるものの相当量の放射性廃棄物及びリユース、リサイクルの部材が発生する。それらを放射線管理区域内で管理するには一部持ち出しを考慮する必要はあるが、基本的にはサイト内での管理となり、大きな貯蔵施設を必要とする。またこれらの廃棄物の一時保管施設にもトリチウムの外部漏えいを防止する設備が必要であるため炉本体施設からホットセル施設及び一時貯蔵施設まで含めた空調管理システムが必要となるものと考えられる。本講演ではセクター方式における保守管理施設及びその工程について検討を行った。今後原型炉設計において保守システムを構築する上で大型モジュール方式による保守方式や他の方式での検討を行う場合、放射化による高線量下での作業性、トリチウム漏えい防止策、作業温度環境について十分留意する必要がある。

[1] 染谷洋二、「原型炉における廃棄物とリサイクルリング」

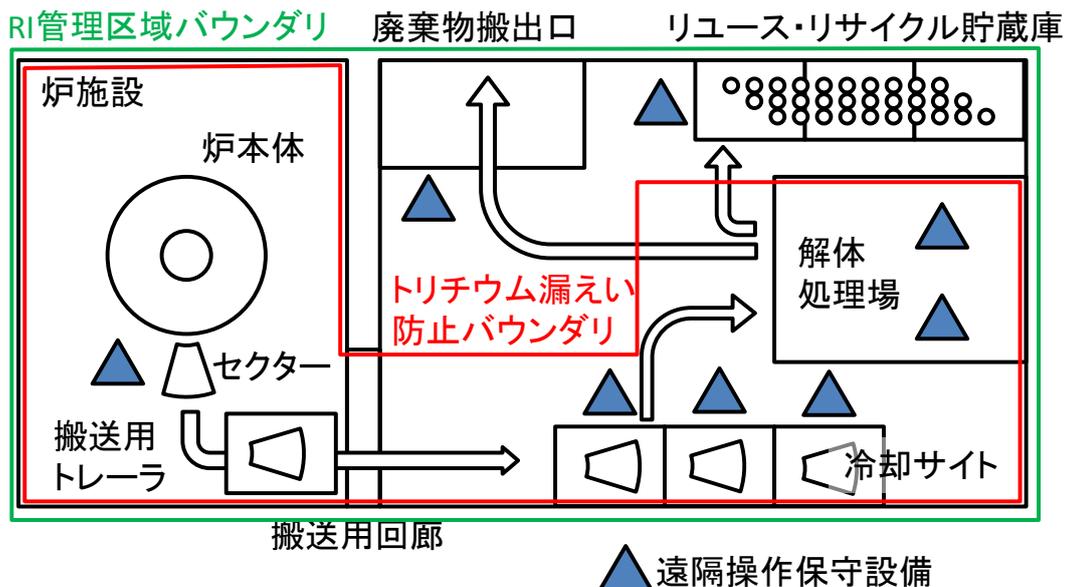


図1 セクター方式における保守ホットセル及び一時貯蔵施設の概念図