

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

Part VI: Issues on tritium treatment during maintenance and storage of activated devices in hot cell

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

6. ホットセルにおける放射化機器の保守・保管時のトリチウム管理

Takumi HAYASHI

林 巧

Blanket Research and Development Unit, Fusion Energy Research Directorates, Japan Atomic Energy Agency
Mukouyama 801-1, Naka-city, Ibaraki Pref., 311-0193, Japan

(独)日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 ブランケット研究開発ユニット
〒311-0193 茨城県那珂市向山 801-1

核融合炉における保守・リサイクル・バックエンド対策で最も考慮すべき観点は、本シンポジウムの1. 趣旨説明にもあるように、放射化機器の取扱とトリチウム管理である。本報告では、3～5の報告に詳細な記載があるように、保守が必要な炉内機器を大型セクター毎に分割し、ホットセルへ移送して交換する方式を例として、その時に考慮すべきトリチウム管理の考え方と課題を、ITERで採用されている考え方と比較しつつ整理する。

【はじめに】

核融合炉では、3GW程度の熱出力を想定すると、1日に約500 g程度のトリチウムを重水素との融合反応により燃焼し消費することになる。一方、トリチウムは大気と宇宙線の反応で生成するが、地球上の天然で作られる分の存在量は3kg程度と非常に少なく、燃料確保のために毎日燃焼量以上のトリチウムをブランケットで生産する。炉設計にも依存するが、原型炉クラスでも炉内のトリチウム滞留量（ブランケット内を含む）は1kg程度、炉外の燃料循環処置設備群内でも1kg程度は定常運転で存在すると想定される。核融合炉サイト全体のトリチウム保有量は、上述に加え、燃料備蓄の考え方（通常の火力発電などでは1ヶ月程度の備蓄が考慮されており、同等だと15kg程度のトリチウムを常備することとなる）や、保守時の炉内交換部や廃棄物へのトリチウム量の考え方（ITERでは1kg程度を想定、原型炉以降では発電系などへのトリチウム分散も考慮要）に依存する。

【多重隔壁格納概念とトリチウム監視・制御装置】

これらのトリチウムは基本的に多重隔壁格納概念により安全に取り扱う(図1参照)。隔壁の数や異常時の被ばく管理の考え方（内側の隔壁内を外側に比べて負圧に管理するなど）に若干の相違があるが、ITERを含めて世界の核融合開発に係るトリチウム取扱施設で採用されている。保守時の作業も通常運転の一部であり、図中の下線部のように多重の考え方が異なるだけである。それぞれの隔壁には複数のトリチウム濃度の監視モニターを設置し、取り扱うトリチウムの状態に応じて、常時又は濃度上昇時に

切り替えてトリチウム除去設備と連結し、雰囲気トリチウム濃度管理を行う。雰囲気中のトリチウム濃度管理には、通常電離箱や比例計数管などが用いられるが、ガンマ線や中性子線など外部線源からの放射線や他の放射性ガス（⁴¹Arなど）との適切な弁別計測管理が必要である。

トリチウム除去設備では、一般に触媒で酸化してトリチウム水とし、水バブラーや気液交換塔により同位体置換するか、除湿/水分吸着塔などにより吸着捕集する。除湿/水分吸着塔を用いる方式は、世界のトリチウム施設で実証されてきているが、吸着容量

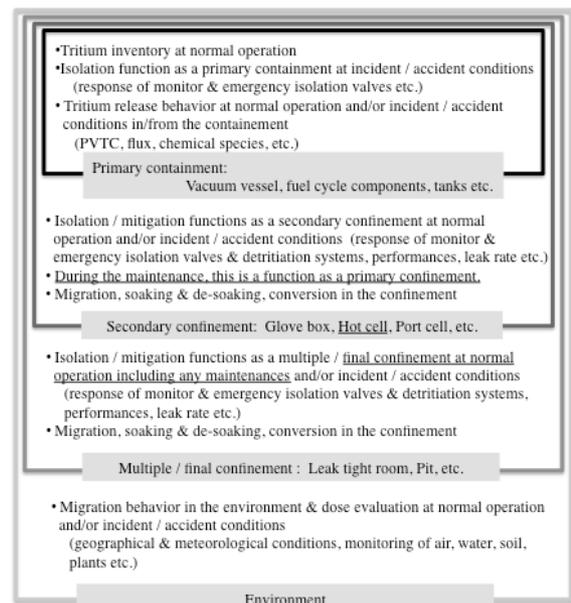


Figure 1. Multiple confinement concept of tritium in fusion reactor

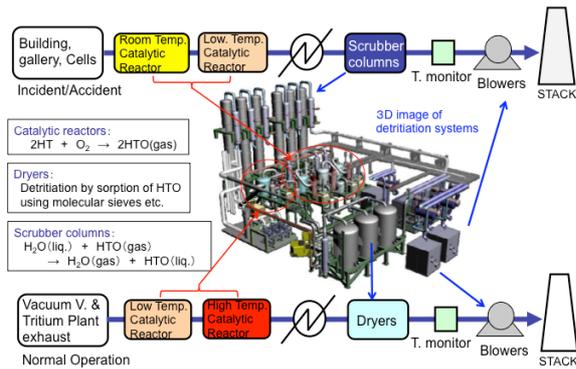


Figure 2. Detritiation system concept for ITER

に限りがあり、必要に応じ350℃程度の高湿乾燥ガスによる再生作業が必要で、電源喪失時などに適切な対応ができない可能性も有る。このため、ITERでは、kg規模のトリチウムをより安全に取り扱う観点から、主に常温でのトリチウム酸化触媒塔と交流型の水-水蒸気交換塔(scrubber column)を用いたトリチウム除去設備が採用され、最大の閉じ込め区画容積を十分に負圧維持できる処理容量を、冗長性をもって確保する(図2参照)。それぞれの隔壁において、最低限の独立した除去設備の配備が望ましいが、多重隔壁全体として、標準モジュール化した設備を多重化する、又は多様化するなどの考慮が必要である。特に最終障壁については、万一の異常時を想定して、トリチウム監視モニターでの迅速な検知、適切な隔離と除去設備起動のための隔離弁や制御系の配備などと統合して、除去設備群を整備することが重要である。

【ホットセル保守方式のトリチウム管理への考慮】

炉内機器は当然放射化していると共にトリチウムで汚染されている。セクター分割された機器群の崩壊熱除去の考え方にもよるが、機器温度に応じてトリチウムの雰囲気中への飛散が想定される。ITERの様に炉内から交換機器へアクセスする場合は、2重扉付きのキャスクを種々の真空容器ポートに接続することにより、本体室とのトリチウム障壁を確保できるが、大型セクター毎にホットセルへ移送する場合は本体建屋とホットセル建屋間に、炉本体外部(クライオスタット外壁など)とホットセルをつなぐ(若しくは内包する)トリチウム閉じ込め障壁を形成する必要がある(図1のSecondary confinementに対応)。この閉じ込め障壁は、建屋に対して常時負圧維持ができるか、最低でも建屋から炉本体に向けた風向管理ができることが重要であり、可能であれば区画を複数に分割し、分割後の最大区画容積を最小となるよう考慮することがトリチウム除去設備群の合理化に重要である。また、作業中のトリチウム汚染の低減や作業後の除染を考慮し、金属ライニングかそれに準ずる平滑で水浸透性の低い内壁が望ましい。この考え方はホットセルも同様である。

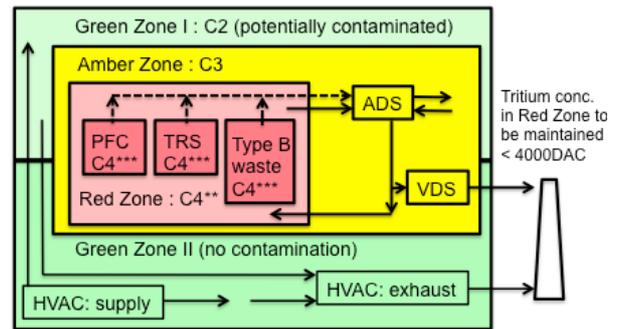


Figure 3. Conceptual flow diagram of ITER hot cell detritiation system and contamination zone control

ホットセルに移送された大型セクターは冷却のため一時保管されるが、汚染拡大防止の観点から、単一又は複数のセクター毎にホットセル内の気密室、若しくは連結した別のセルに収納し、本格的な解体交換作業まで、別途、空調管理することが望ましい。図3にITERのホットセルでの管理概念を示すが、フランスの空調管理基準に従い、汚染のレベル(C2, C3, C4)に応じて区画分類し、特に汚染の激しい炉内機器処理区画(PFC)、トリチウム回収装置区画(TRS)、高β廃棄物区画などは、それぞれホットセル内に気密区画を設けて別管理する。気密区画内(C4***)の濃度管理はせず(>4000DAC)、負圧管理のみとし、気密区画を収納するホットセル内(C4**)の雰囲気は、トリチウム除去設備(ADS)を介して常時循環処理しつつ別系統の除去設備(VDS)で負圧維持し、4000DAC以下にトリチウム濃度管理する。この管理基準濃度や汚染区分などは、我が国の廃棄物管理の考え方とも整合させ、より合理的に検討する必要があるが、本概念は採用できるものと考えられる。

ITERの場合と同様、トリチウムを内包する炉内機器の交換部品(第1壁タイルなど)は、主として廃棄体とした後の長期管理の観点から、トリチウム除染・回収措置を講じる必要がある。回収方法としては、加熱水素(水蒸気)パージによる同位体交換反応や酸素ベーキングなどの酸化反応の利用、紫外線レーザーなど局所加熱脱離の応用などが検討されている。いずれも、最終的には雰囲気濃度管理のためのトリチウム除去設備からと同様、水蒸気や水として回収される。このトリチウム水は、化学交換塔(水素と水蒸気、水蒸気と水の同位体交換)と水の電気分解(固体高分子電解膜)を組み合わせた水処理設備と、水素同位体分離設備により濃縮し、燃料として回収することになるが、大量の低濃度のトリチウム汚染水の発生は極力避けるべきである。その観点から、どの程度までにトリチウム除染をするのか、合理的な考え方を整理する必要がある。なお、最終的に廃棄体に内包されるトリチウムの計量管理も、適切な分析手法の開発を含め今後の課題であり、廃棄体の長期健全性の確証などとともに、ITER等の運転を通して実績を積み必要がある。