

核融合プラント内・環境中トリチウム移行経路分析とプラント設計

京大生存基盤科学研究ユニット 登尾一幸

エネルギーの取り出しを目的とした核融合プラントでは、そのために高温の熱媒体がプラント内を循環する。この媒体に含まれたトリチウムは、その流れに沿ってプラント内に分散することになり、また燃料処理系では多量のトリチウムが取り扱われる。熱交換器や配管等の壁を透過し、除去設備を通りぬけたトリチウムは通常運転時においても微量ながら環境中に放出されることになり、公衆環境への影響を考慮したうえで制御されなければならない。この放出されるトリチウムの化学形態や量は、ブランケットの増殖材や冷却材、エネルギー取り出し方式等、また、運転条件や使用する材料の物性等によっても大きく異なってくる。

本研究では、プラント内および環境中でのトリチウムフローを、各種ブランケット形式や冷却方式、熱利用系に応じ、構成する材料の透過係数や拡散係数などの物性値、配管や隔壁の厚みや表面積などの設計値、温度や圧力などの運転条件、トリチウム除去システムの規模等に応じて見積もり、あるいは文献調査を行い、比較検討した。さらに、このようにして放出されたトリチウムが環境中の大気や各要素間をどのように移行し、最終的に農作物や人体に蓄積されるかを、大気中移行拡散モデルとコンパートメントモデルを用いて求めた。

一例として、固体増殖、水冷却方式を採用する Slim-CS の場合の定常状態でのトリチウムフローを、その設計値と一般的な PWR 条件をもとに見積もったところ、ブランケットで生成されるトリチウム量が 10^{12}Bq/s オーダーであるのに対し、増殖層から一次冷却水、二次冷却水へと順に移行し、最終的に排水（海水）に含まれ放出される量が 10^6Bq/s オーダーと見積もられた。ただし、この値は配管の厚みや透過防止処理、トリチウム除去系の処理能力等により大きく変化する。事故時には、媒体中に含まれるトリチウムのインベントリーが重要な要素となる。前述の水冷却の場合の計算例では、一次冷却水量を 1000m^3 とした場合に $1.4 \times 10^{17}\text{Bq}(=390\text{gT})$ と見積もられた。

プラントから放出されたトリチウムの大気中拡散挙動は、海洋等の巨大水面によりトリチウムが吸収される効果を考慮しつつ（海水に吸収されたトリチウムは無限希釈されると仮定）、ガウスプルームモデルあるいは3次元移流拡散モデルにより求められる。その結果をもとに長期運転による蓄積・減衰の効果を考慮したコンパートメントモデルから環境中要素間の移行挙動が求められ、最終的に呼吸や飲食を通じた人体への被ばく線量が求められる。解析により、水面の効果により大気中トリチウム濃度を低減可能であることが示唆され、一方運転開始後数十年間は環境中トリチウム濃度が上昇を続けることが示された。

このような解析結果をもとに、規制値あるいは社会的に受容される値以下にトリチウム濃度を抑えるためのプラント設計とする必要がある。