

汚染水処理対策技術検証事業(トリチウム分離技術検証試験事業)に係る
補助事業者の採択結果

平成 26 年 10 月 24 日
汚染水処理対策委員会事務局

トリチウム分離技術に関する最新の知見を得るため、「トリチウム分離技術検証試験事業」の公募を実施し、審査の結果、3 者の採択を決定いたしました。

<実施内容>

福島第一原発内で発生する汚染水については、62 核種を取り除く取組を実施しているものの、トリチウムが分離できずに残るため、トリチウム分離技術に関し、任意の規模の設備を用いて、分離性能、建設コスト・ランニングコストを評価できる検証試験を実施する。

<募集期間>

平成26年5月15日(木)～平成26年7月17日(木)

<採択結果(3 件)>

- Kurion, Inc. 【アメリカ】
(分離手法 : Combined Electrolysis Catalytic Exchange (CECE))
- GE Hitachi Nuclear Energy Canada Inc. 【カナダ】
(分離手法 : Water Distillation)
- Federal State Unitary Enterprise “Radioactive Waste Management Enterprise “RosRAO” 【ロシア】
(分離手法 : Combination of CECE and Water Distillation)

<事業実施期間>

平成28年3月まで

トリチウム分離技術検証試験実証プロジェクト

Kurion, Inc.

※和訳：廃炉・汚染水対策事業事務局（株式会社三菱総合研究所）

1. 使用予定分離技術の原理および手法の概要

当社が特許出願中のトリチウム分離技術である「モジュール式トリチウム分離システム (MDS™ : Modular Detritiation System™)」は、化学交換電解セル複合法 (CECE) を改良したものである。当技術は、液相の水と気相の水素との間の水素の同位体交換反応に基づく。初めに、トリチウムを含んだ水が、その構成分子である水素と酸素に電気分解される。電気分解により生成された水素に、トリチウムのすべてが入っているため、これらの水素が独自設計の「水 - 水素液相交換」カラム（従来の CECE の性能を向上する営業秘密の集約された部位）に送り込まれる。そして、上記のカラム内で、トリチウムが分離され、トリチウムを含有しない水素が出口側から放出される。このような処理を経て、トリチウムは、システム内を循環し、時間をかけて、非常に小さな分量の水の中に凝集される。トリチウムは、このようにして小容量の水に捕獲された後、さらに処理され、最終的には、そのすべてが、非常に小さな、乾燥・安定した形態の廃棄物に、固定される。

2. 技術および手法の特徴と長所

当提案技術に関しては、プロトタイプスケールの MDS™ に、完全な機能を持たせたうえで、以下の三点を既の実証済みである。i) 軽水からのトリチウム除去、ii) 福島第一原発の廃水に特有の、低トリチウム濃度の廃水からのトリチウム除去 (DF900 以上)、及び、iii) 福島第一原発で想定される特別に大規模の水処理を前提としつつ、エンジニアリングスケールの概念に基づいた、コストに関する確認。MDS™ から廃水は生ぜず、トリチウムを含有しない水素および酸素のみが、出口側から放出される。実質的にすべてのトリチウムが、(その量を計測しつつ) 乾燥・安定した形態の廃棄物中に捕獲され、保管される。保管形態について、1つの選択肢では、福島第一原発の廃水を 160 万分の 1 に減容できる。すなわち、福島第一原発における廃水中のすべてのトリチウムを、小型冷蔵庫程度の体積中に、捕獲できるのである。従来のトリチウム分離手法に対して、当技術は、必要な敷地面積がはるかに小さく、かつ、稼働に要するエネルギーもはるかに少ない。その結果として、大幅に、建設コスト及びオペレーションコストを削減できる。

3. 当提案の優れている点

当提案は、下記の点で優れている。

- (1) 当提案においては、従来、常識とされてきたコストよりも、はるかに低コストで、福島第一原発の汚染水の全量を処理できるとの主張がされている。
- (2) 当提案においては、フルスケールのシステムを、短期間で設置することができ、小さな敷地面積で済むと主張がされている。さらに、
- (3) 当提案においては、上記二点のフルスケールに関する主張を、本実証事業の終了時までには証

明するとしている。

上記(3)で述べた迅速な実証が可能なのは、MDS™が、必要な全構成要素・機能を保持した、プロトタイプスケールのトリチウム処理施設（米国所在）により、福島第一原発の廃水と同濃度のトリチウム含有水を用いて、実証を終了していることによる。当社は、また、NASA が先駆者として開発し、米国エネルギー省（DOE）が放射性廃棄物管理技術について採用した、「技術準備度評価」（TRA：Technology Readiness Assessment）と呼ばれる、非常に厳格なスケールアップの手法に従う。この手法上では、ベンチスケールのプロトタイプ（現状）とフルスケールとの間に、エンジニアリングスケールと呼ばれるステップのみが存在する。DOEの「TRAガイドライン」の共著者を委員長とする、国際的な専門家からなる独立委員会が、本実証事業終了時に、当技術が、エンジニアリングスケールを充足し、フルスケールへとスケールアップする段階にあるかを評価する。日本の一流企業や米国の国立研究所を含む、著名な組織による国際的なチームも、本実証事業の実施を支援し、据付までの工程、敷地面積、およびコストを正確に見積もることを支援する。

当提案は、実証済の技術、専門家のチーム、権威あるガイドラインを利用したスケールアップ手法に基づいているから、福島第一原発におけるトリチウムの除去の問題に関して、高い信頼性と費用対効果を有する解決方法を提供することにつながると強く期待されるものである。

トリチウム分離技術検証試験実証プロジェクト

GE Hitachi Nuclear Energy Canada Inc.

※和訳：廃炉・汚染水対策事業事務局（株式会社三菱総合研究所）

水蒸留法（WD）は、同位体構成の異なる水の間での蒸気圧のわずかな差を利用している。たとえば、45℃で、水蒸気と平衡状態にある液体の水は、 H_2O に対応する元素分離係数 1.064 でトリチウム（HTO）が濃縮される。この効果は、WD カラムの長さ方向に沿って何倍にもなり、福島第一原子力発電所用のカラムの上端においては、トリチウム濃度にして少なくとも 100 倍の除去率に達する。少量の濃縮トリチウム水が、減容係数 6000 でカラムの底部に生成される。濃縮トリチウム水は、大部分は重水素であり、廃棄物として処理する代わりに、有用な重水補充用水製品として重水炉原子力発電所へ送ることができる。

WD では水素の重核同位体（重水素およびトリチウム）、および酸素（O-17 および O-18）をカラムの底部に濃縮できる。重酸素同位体 O-18 は水トリチウム分離の貴重な副産物であり、医療イメージングおよび代謝研究に用いるために分離・精製される。O-18 を製造・販売することによって、施設の耐用年数の間に亘って水蒸留のコストは軽減される。したがって、WD は、より好ましい経済性を持っており、水トリチウム分離だけにとどまらず社会に対して便益をもたらす。

WD においては、凝縮槽と再沸騰槽の間にヒートポンプを用いており、凝縮槽から取り出した熱を再沸騰槽に効率良く還流する。このことは、WD を、水からのトリチウム分離技術としては要求されるエネルギーが最も少ないものになっている。

水蒸留の操作は単純であり、優秀な安全性を記録している。40～65℃の温度範囲で真空下で操作するという、工程の条件はマイルドであり、他の技術のように水素もしくは毒性の化学物質による危険を伴うこともない。

WD は、福島第一原子力発電所用に相当する規模に対して立証された安全性および信頼性で、カナダの重水炉原子力発電所において重水の品質向上に使用されている。同位体分離技術検証試験は、第三者機関の処理施設に設置されている水蒸留装置を用いて実施する予定である。

「汚染水処理技術検証プロジェクト」の一環として、水蒸留の実測性能を含むカナダでの経験に基づいて、フルスケールの福島第一原子力発電所用トリチウム分離施設の予備設計を行う。予備設計および関連するコストの見積もりによって、福島第一原子力発電所の廃炉マネージメントに対して、最短の納期、最低のリスク、最低のコストの水トリチウム分離施設

を提供する。施設の経済性は、O-18 副生成物の販売と低エネルギー消費量とによって、好ましいものとなっている。

トリチウム分離技術検証試験実証プロジェクト

Federal State Unitary Enterprise “Radioactive Waste Management Enterprise “RosRAO” (RosRAO, FSUE)

※和訳：廃炉・汚染水対策事業事務局（株式会社三菱総合研究所）

当社が提案した、汚染水からのトリチウム除去技術は、水素同位体分離法として既知の工業的手法の組み合わせである。当技術には、水蒸留法（WD）、および電解と組み合わせた触媒化学同位体交換法（CECE）を取り入れている。水蒸留法では、分離係数 500 で水からトリチウムを除去し、トリチウム予備濃縮を行う。更なるトリチウム濃縮は、電解と組み合わせた触媒同位体交換法によって達成され、加えて、二次的放射性廃棄物の発生量を減らす。

当技術の能力は実験によって証明されており、また、当該システムの拡大係数も確認され、操業コストも見積もられている。

当社が提案した実証システムは、福島第1原子力発電所用の実規模システムの単一モジュールに相当することになる。実規模システムは、各々の処理能力 0.2 m³/h のモジュール 100 基で構成されることになる。

当技術の主要な優位点

- ・開発済みの制御アルゴリズムによって、処理能力、エネルギー消費量、および使用する装置の総額の観点で、WD 工程と CECE 工程の適正な組み合わせが得られる。
- ・当解決策は環境への影響が小さく、安全である。（H₂S 無しで、水素ガスの使用量は極小である。）
- ・当技術は、費用効率が高く、柔軟性が有り、かつ拡張性に富む：分離係数および処理能力は、施主の要求に対して容易に調整可能である。

当社のプロジェクトチームの主要な長所

- ・ Russian Nuclear Industry (RosRAO および Khlopin Radium Institute は、State Atomic Energy Corporation Rosatom の企業である) のエンジニアリング専門知識と科学的能力を集積している。
- ・当社は、トリチウムの取り扱いおよび同位体分離において、実証済みの技能（経験）を有する。