



平成 27 年 1 月 8 日
独立行政法人日本原子力研究開発機構
TANAKA ホールディングス株式会社

核融合炉でトリチウムを効率的に回収するための新たな触媒開発に成功 ～世界最高効率を達成、核融合炉の技術的課題解決に見通し～

【発表のポイント】

- 核融合炉の燃料として必要なトリチウムを回収する、新たな触媒の作製法を確立。
- 触媒体積あたり従来の最高性能品の約 1.3 倍に相当する世界最高のトリチウム交換効率を実現。
- 核融合炉の技術的課題とされた、トリチウム回収システムの信頼性向上と高効率化の技術的ハードルを越える見通しを得た。

独立行政法人日本原子力研究開発機構(本部:茨城県那珂郡、理事長:松浦 祥次郎、以下、原子力機構)、田中貴金属工業株式会社^[1](本社:東京都千代田区、代表取締役社長:田苗 明、以下、田中貴金属工業)は、核融合炉の実現に向け、トリチウム^[2]を回収するための新たな疎水性^[3]白金触媒の開発に成功しました。

核融合炉では、トリチウムは重水素とともに燃料として使用します。トリチウムは希少な物質であり、核融合炉内では、触媒反応を利用してトリチウム水として濃縮し、最終的にトリチウムガスの形で回収するシステムが必要^[4]となります。

トリチウム回収に使用する触媒は、白金などの貴金属をベースとした「疎水性貴金属触媒」と呼ばれますが、日本では高分子から作製された疎水性貴金属触媒が、新型転換炉ふげん^[5]の重水精製^[6]に使用された実績があります。しかしこの触媒は、放射線に対する脆化や耐熱性に関する課題が有り、高濃度のトリチウム水からの回収が必要となる核融合炉への適用については技術的な課題を解決することが必要でした。

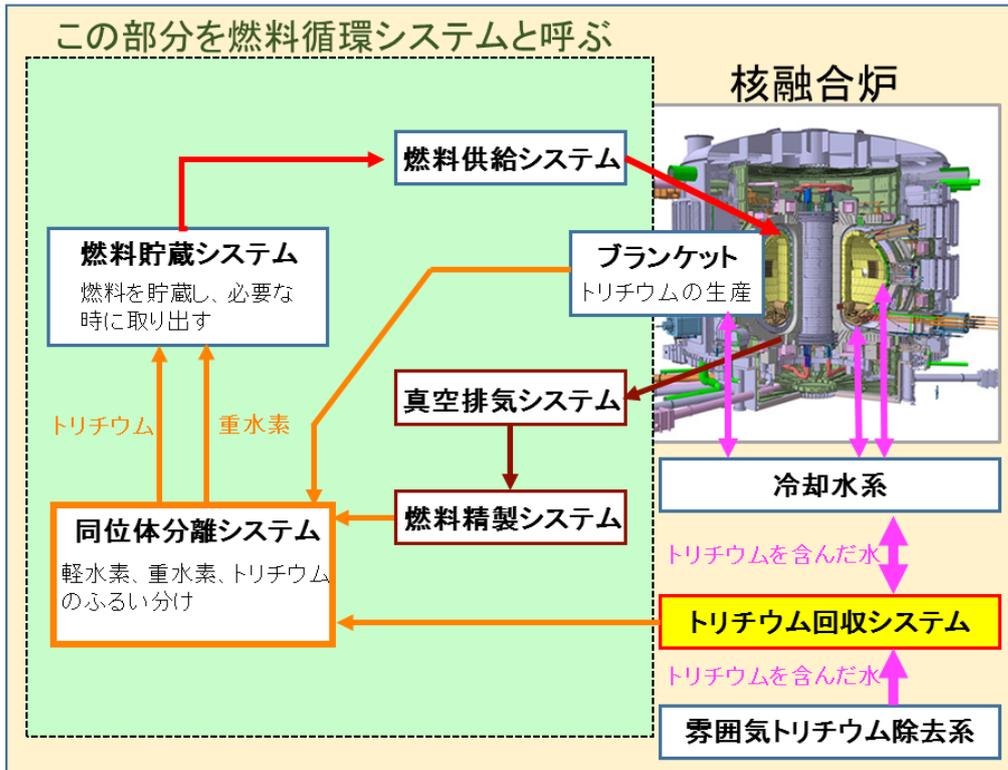
そのため、原子力機構と田中貴金属工業では、無機物質をベースに疎水化処理を施すという新たな触媒作製法を開発しました。その結果、耐放射線性の目安となる 530kGy の放射線照射に対して性能劣化がないこと、また通常使用される温度の 70℃を大きく上回る 600℃超の耐熱性確保にも成功し、これまでの技術的課題を解決しました。さらに、この方法で作製した触媒は、従来の約 1.3 倍に相当する世界最高の交換効率を達成することも確認しました。

これにより、本触媒を液相化学交換プロセス^[7]に適用させることで、トリチウム水からのトリチウム回収システムの信頼性向上と高効率化に関して、大きな技術的ハードルを越えられる見通しが得られました。

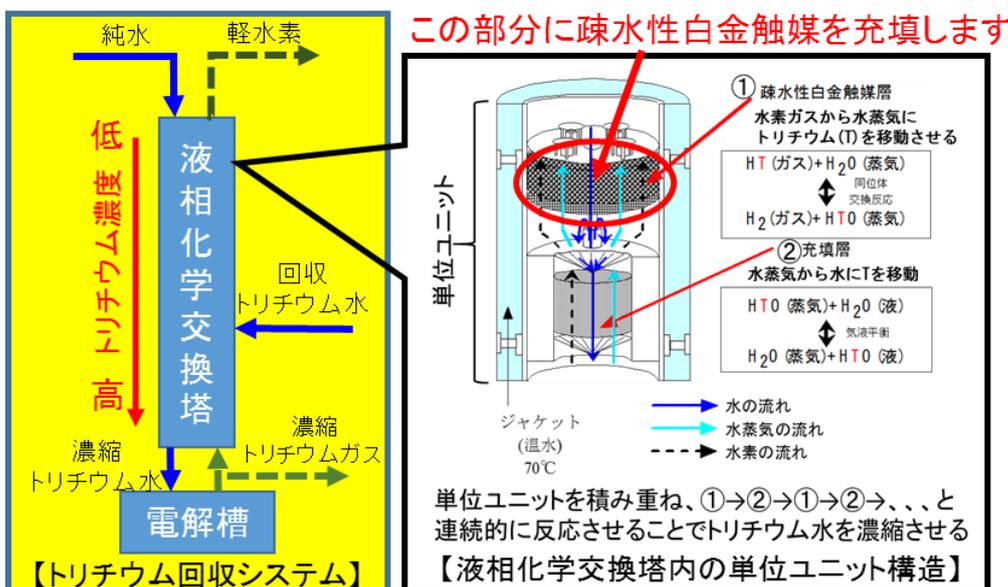
さらに、本触媒に適用している疎水性白金触媒の製作技術は、核融合研究のみならず幅広い分野への応用も期待でき、水素酸化触媒^[8]に適用した場合には、室温でも水素の効率的酸化が可能であることを実証しました。また、本触媒は上記の脆弱性を解決したことで、原子力分野以外の一般水素取扱プラントの安全性向上にも寄与できます。

【研究開発の背景と目的】

核融合の実現に向けた研究開発として、核融合炉で発生する1kgあたり数百億から数千億ベクレルのトリチウムを含む水の減容・濃縮技術の開発は重要な課題です。水素の同位体であり放射性のトリチウムを燃料として大量に使用する核融合プラントでは、炉内でトリチウムと中性子の反応を利用してトリチウムが生産されます。そのトリチウムの一部は高温の金属を介して冷却水に混入しトリチウム水となります。また環境中へのトリチウム放出を抑制する目的のために、炉内機器を保守補修する施設内の雰囲気内のトリチウムは酸化反応器にて酸化処理し、トリチウム水にしたのちに水分吸着剤等で回収・除去を行う雰囲気トリチウム除去系を設けます。貴重な資源であるトリチウムを燃料として再循環させるために、核融合プラントでは回収したトリチウム水を濃縮し、ガス形に再変換するトリチウム回収システムを設けます。



具体的には回収したトリチウム水は軽水素(通常の水素ガス)と水蒸気-水素間の水素同位体の交換を可能にする触媒下で接触させ、減容・濃縮します。一般の触媒では水蒸気雰囲気下では触媒性能が失われるため、触媒には高濃度の水蒸気雰囲気でも触媒の活性を維持するために高度な疎水性が必要となります。トリチウム水からのトリチウム回収システムはその技術的難易度ゆえに疎水性触媒の開発がその大きな技術的ハードルとなっていました。



【研究の手法】

トリチウム水の濃縮・減容の用途に使用できる疎水性貴金属触媒は疎水性高分子から作製されたものが過去に数例開発された実績があり、日本では新型転換炉ふげんの重水精製に使用した実績があります。しかし高分子から作製された触媒は放射線影響や耐熱性の技術的観点から核融合への適用に向けた問題点が顕在化していました。また製造コストが高いという問題も顕在化していました。本研究では新たな発想として無機材料を疎水化させたのちに触媒化する技術を適用しています。触媒製造工程では無機材料を疎水化させる方法のほかに、触媒となる白金の担持量^[9]、無機材料の表面状態や細孔径^[10]など多岐にわたるパラメータが存在しており、それらの触媒性能に与える影響につき、トリチウムと水蒸気間で水素の同位体を交換する効率を実験にて評価を行い、製造パラメータの最適化を実施して、高性能な触媒開発の成功にいたりました。

【得られた成果】

一般的に放射線に対して弱い高分子から作製されていた新型転換炉ふげんの重水精製に使用した実績を持つ従来品と比較して、本品は二年の期間、1kgあたり9兆ベクレルのトリチウムを含む水を連続処理した場合の線量に相当する530kGyの放射線の照射に対しても性能への影響がありません。また一般的に耐熱性が弱く、条件によっては焼損する可能性が指摘されていた高分子を使用していた従来品と比較して、本品は通常使用温度の70℃を大きく上回る600℃超の耐熱性を確認しています。このようにトリチウム安全を担うシステムへの適用に向けて懸念されていた諸問題を本品は解決できています。また、トリチウムと水蒸気間で水素の同位体を交換する効



開発した粒状疎水性白金触媒（粒径3mm）

率が、触媒体積あたり従来品の約1.3倍(世界最高)となることを示しました。これは同様の性能を得るのに触媒量が従来品の3/4で済むことを意味します。本触媒を液相化学交換プロセスに適用させることでトリチウム水中のトリチウム濃度を高めることができ、効率的なトリチウム水からのトリチウム回収が可能となります。また本触媒により触媒使用量を低減できるほか、無機材料からできているため製造コストも低減でき、大量の触媒を必要とするトリチウム水からのトリチウム回収に対してコスト的にも有利です。トリチウム水からのトリチウム回収システムは、本触媒の開発により、実証に向けた大きな技術的ハードルを越える見通しを得ました。本触媒技術については原子力機構と田中貴金属工業株式会社で特許を共同出願済みです。

【今後の予定】

本触媒は新規の手法で作製されているため、実用化に向けては同一の条件で長期間繰り返した際に性能の低下が見られないことを確認する長期性能安定性などの着実な確認試験の進展が、現在の課題と捉えています。なお、本触媒に適用している疎水性白金触媒の製作技術は幅広い応用が期待できます。一例として、水素酸化触媒に適用した場合には、従来品は触媒を加熱しなければ水素酸化ができなかったのに対して、本品は室温でも幅広い濃度で水素の効率的酸化が可能であることを既に実証しています。この性能は大量の水素を取り扱う水素社会の到来を迎える今、事故時や電力喪失時において水素爆発を防止する再結合器用途に有望と考えます。このように、本触媒は上記の脆弱性を解決したことで、核融合炉全体の安全性を大きく高めることが期待できるとともに、原子力分野以外の一般水素取扱プラントの安全性向上にも寄与できると考えております。

用語説明

- [1] 田中貴金属工業株式会社…TANAKAホールディングス株式会社を持株会社とする田中貴金属グループにおいて、製造事業を展開するグループの中核企業。
- [2] トリチウム…水素の放射性同位体。三重水素。
- [3] 疎水性…水に対する親和性が低く、水に溶解しにくい性質。
- [4] トリチウム回収システムの必要性…核融合炉の炉心で生成された不純物を未燃焼の燃料とともに排気し、これを処理して燃料成分を再利用のため抽出し、再び炉心のプラズマへ供給するシステムを燃料循環システムと呼びます。燃料循環システムは、1) 炉心からプラズマ排ガスを排出する真空排気システム、2) プラズマ排ガスから水素同位体成分を分離・回収する燃料精製システム、3) 水素を同位体別に分離することで燃料成分を分離回収する同位体分離システム、4) 燃料成分を貯蔵する燃料貯蔵システム、5) 炉心のプラズマへ燃料を供給する燃料供給システム、に大別されます。また核融合では燃料として消費した量のトリチウムは炉内のブランケットで生産・増殖することで補います。その際、長期運転に起因して、トリチウムが金属を介して冷却水に混入するため、大型のトリチウム水からのトリチウム回収システムが必要です。よってこのトリチウム水からのトリチウム回収システムの高濃度対応および小型効率化に向けた触媒開発が課題でした。
- [5] 新型転換炉ふげん：熱中性子炉として世界で最大のMOX(混合酸化物)燃料集合体の利用を通じて、日本のプルトニウムリサイクル技術を確立。現在は廃止措置中。
- [6] 重水精製…軽水が混入し濃度が低下した劣化重水を、原子炉の減速材として使用できる濃度の原子炉級重水に再濃縮することです。
- [7] 液相化学交換プロセス…トリチウム水からのトリチウム回収システムは水素から水蒸気を介して水にトリチウムを移行させることでトリチウム水を濃縮する液相化学交換塔と濃縮したトリチウム水を電気分解し濃縮トリチウムガスとする電解槽から構成されます。液相化学交換塔内には反応部と吸収部(充填層)がセットとなったユニットを塔内に積み重ね、反応部ではトリチウムを水素から水蒸気に移行させ、吸収部ではトリチウムを水蒸気から水に移行させます。この反応を連続させることで塔の下部に向けて徐々にトリチウム水を濃縮させます。今回開発した触媒は、本プロセスの触媒部に使用します。触媒プロセスを長時間にわたり行うためには、触媒の高い安定性が必要になります。今回開発した触媒は、トリチウムを取り扱う設備が有すべき難燃性の確保とトリチウム水の高濃縮時に問題となる耐放射線性の向上にあわせて、高い反応率を実現しており、トリチウムの濃度に関わらず、トリチウム水の濃度を高めることができます。
- [8] 水素酸化触媒…疎水性能を付した触媒は水蒸気による反応抑制効果を受けることなく、室温近傍温度での使用においても水素の効率的な酸化が可能です。酸化効率が悪い極低濃度水素においても室温酸化ができます。
- [9] 白金の担持量…触媒は多くの白金の微細な粒子が無機材料の表面に散らばってできています。表面に乗せる白金の量が担持量です。無機材料の容積あたりの白金の重さで表わします。
- [10] 細孔径…触媒となっている無機材料には多くの細かな孔があいています。その孔の平均径のことです。多くの孔があいていることで、容積あたりの白金が担持できる表面積を増やすことができます。