

Demonstration Project for Verification Tests of Tritium Separation Technologies (創イノベーション)

目的と目標

目的

本プロジェクトの目的は、新規自社開発技術である「二段階ガスハイドレート法」によって、トリチウムを低濃度含む大量の水からトリチウムを効率良く分離できることをラボスケールで実証することにある。

目標

- 本技術によって、トリチウム濃度が 5×10^5 Bq/L以下の模擬処理水を分離係数100以上で分離できること。
- 本技術によって、分離濃縮後のトリチウム濃度を最終的に 10^9 Bq/L以上にできる可能性があること。
- 本技術によって、 $400 \text{ m}^3/\text{日}$ 以上の処理能力をもつ実機プラントが構成できること。
- 本技術によって、無機塩濃度が 350 mmol/L 程度の模擬処理水のトリチウム分離が可能であること。

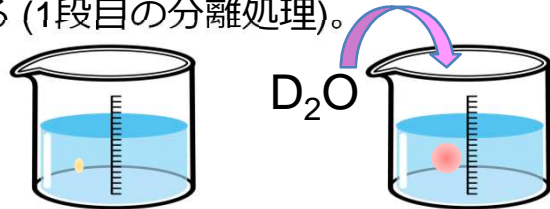
分離技術の原理／事業の概要

分離技術の原理、特長

トリチウム水 (HTO) のみを構成中に含むガスハイドレート結晶を析出させ、固液分離によりトリチウムを分離することが原理的には可能である。

しかし、トリチウムが低濃度だと、HTO量が少ないので、析出する結晶が小さく、実際には分離は不可能である。

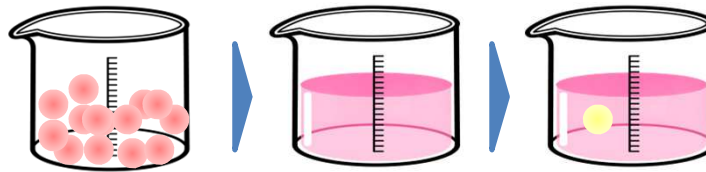
そこで重水 (D_2O) を添加し、HTOと D_2O を含むガスハイドレート結晶をT-P図中の■領域で析出させ固液分離する(1段階目の分離処理)。



析出結晶が小さく分離不能

D_2O で増量

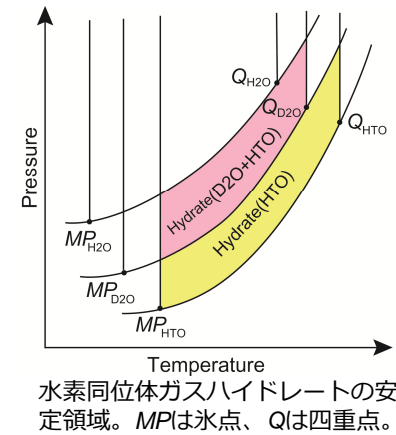
次にこのハイドレート結晶を集積後、溶解した後、HTOを高濃度に含むガスハイドレート結晶をT-P図中の■領域で析出させ固液分離する(2段階目の分離処理)。



結晶を集積

結晶を溶解

HTOを結晶化



試験の概要

- ラボスケール試験装置の設計・製造
- 擬似「処理水」に含まれる無機塩がガスハイドレート結晶化温度に与える効果の検討
- ゲスト分子となるガスの選定
- $\text{H}_2\text{O}+\text{D}_2\text{O}+\text{HTO}$ 系におけるトリチウム分離性能(1段階目分離処理：処理水のトリチウム濃度を低減する操作)の検討
- $\text{D}_2\text{O}+\text{HTO}$ 系におけるトリチウム分離性能(2段階目分離処理：分離したトリチウムをさらに濃縮する操作)の検討

試験結果

無機塩の影響

ガスハイドレート結晶の析出温度は、溶質の種類と圧力が一定であれば溶質分子数のみに依存し、次式に従う。

$$\Delta T [^{\circ}\text{C}] = -1.6 [^{\circ}\text{Cmol/kg}]/\text{ion conc. [mol/kg]}$$

軽水-プロパン系において総イオン濃度355 mmol/L、0.6 MPaの条件では、析出温度は5.5°Cから5.0°Cへ約0.5°C低下し、上式から得られる温度降下と良く一致した。

ガス（ゲスト分子）の選定

予備試験に使用してきたプロパンと比較して析出速度が大きく、常温、低圧でガスハイドレート結晶を析出させられるHFC-32 (CH₂F₂)+HFC134a (CH₂FCF₃) 混合系をゲストガスに選定し、以下の試験を行った。

H₂O+D₂O+HTO系トリチウム分離性能(1段目分離処理)

4.77×10⁵ Bq/kgのトリチウムを含む水からトリチウムを分離除去し、トリチウム濃度を1.40×10³ Bq/kgにすることに成功した。この分離係数は341であり、要求仕様を十分に満たしている。

D₂O+HTO系トリチウム分離性能(2段目分離処理)

3.11×10⁶ Bq/kgのトリチウムを含む重水からガスハイドレート法によりトリチウムの分離を試みた。液相のトリチウム濃度は約1/7に低減できたが、ガスハイドレートに含まれるトリチウム濃度は、ほとんど増大しなかった。

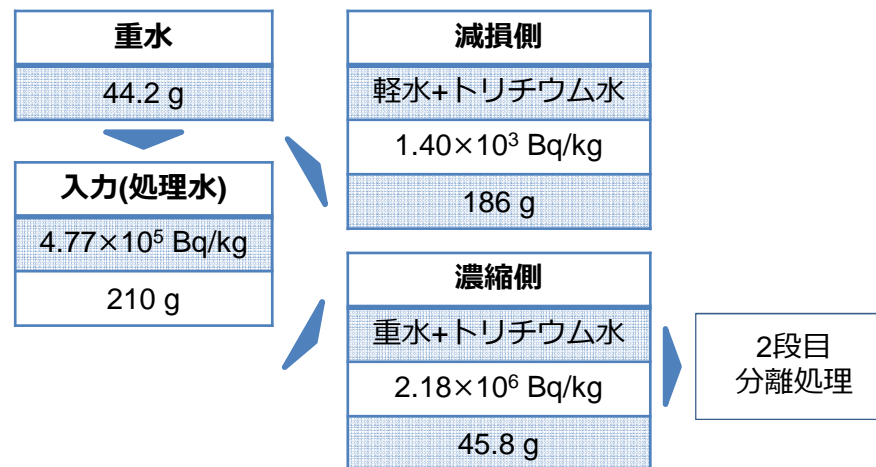
これは、トリチウムの絶対量が少ないため、重水を含まないガスハイドレート結晶を得ることができず、不純物として重水が含まれたことが原因である。従って、1 m³スケールのより大容量の試験による再検討が今後必要である。

得られた成果

低濃度トリチウム水のトリチウム分離に成功

反応容器容量 500mLのラボスケール試験装置による検討結果、1段目分離処理によってトリチウムを含む水からトリチウムを、分離係数最大341でトリチウム濃度を低減することに成功した。

本技術は福島第一原発処理水のフロントエンド処理技術としての要求仕様を十分に満たしている。



実機試算結果（400 m³/日規模、分離係数=分離比=341）

- 施設規模：2,160 m²×20 m
- 建設コスト：79億6千万円
- 建設工期：18か月
- 二次廃棄物総量：モレキュラシーブ5,000Bq/m³×0.5m³
- 運転コスト：62億円
(80万m³処理の場合)

今後の課題／留意点

- 2段階ガスハイドレート法によるトリチウム分離処理のうち、2段目の分離処理性能については、今回の最小規模の試験装置では実証することが原理的に困難であった。より大型の装置による検証が今後必要である。
- パイロットプラントによる実証試験を行い、システムとしての完成度を充実させる必要がある。