

福島第一原子力発電所のトリチウムの状況について

平成25年4月26日

東京電力株式会社



除去技術の調査

- トリチウムは水素の同位体として多くは水（HTO、T₂O）の形態で存在するため、分離が困難
 - H：質量1の水素で自然界の存在率は99.98%
 - T：質量3の水素でトリチウムと呼ばれ、自然界でも宇宙線の作用で生成されている
- 一方、トリチウムを不純物として除去する必要がある原子力（重水炉など）や、トリチウムを燃料物質として扱う核融合では取り扱いの開発が行われている
- これらについて福島第一に適用できるものがあるか調査を行っている
 - 福島第一の滞留水に含まれるトリチウム： $1 \times 10^6 \text{Bq/㍓} \sim 5 \times 10^6 \text{Bq/㍓}$
 - タンクに貯留している水が均一だと仮定すると、福島第一で貯留している汚染水は、H25.4.16現在で約28万m³であるため、トリチウム総量は $2.8 \times 10^{14} \sim 1.4 \times 10^{15} \text{Bq}$ と想定
- 調査方法
 - ✓ 文献調査
 - 過去の研究や国内外で採用されている技術を論文などから調査
 - ✓ 聞き取り調査
 - 国内研究者ならびに、技術者に直接お話を伺って調査
 - 例）大学研究者、有識者、研究機関（JAEA、NIRSなど）
- 福島第一に適用できるものは見つかっておらず、今後も引き続き調査を行う

除去技術の例

○これまでの調査の結果、主な除去技術としては以下のものがあった

- ① 水蒸留法
採用例……マンハッタン計画（米）
- ② 深冷蒸留法
採用例……実機では見あたらず
- ③ 水－水素交換法（気層法）
採用例……ダーリントン原子力発電所（加）、ラウエ・ランジュバン研究所（仏）
- ④ 水－水素交換法（液層法）
採用例……チョークリバー原子力研究所（加）、月城原子力発電所（韓国）
- ⑤ 電解法
採用例……単独採用は実機では見あたらず
- ⑥ 水－水素交換法（液層法）＋電解法
採用例……「ふげん」の「重水精製装置Ⅱ」
- ⑦ 二重温度交換法
採用例……実機では見あたらず

その他、GS法（Girdler-Sulfide法）、アンモニア法、アミン法などの化学交換法や極低温における吸着材による分離などがあるが、取り扱いが困難であり、処理可能量も少ない。

トリチウムの除去技術 ①

- ① 水蒸留法
 - ✓ H_2O 、 HTO 、 T_2O の蒸気圧の違いにより分離する方法
 - ✓ 理論的に環境レベルまで除去することが可能だが、比揮発度がほぼ「1」に近い
ため、単位段数あたりの分離性能は小さく、建屋を含め、非常に大規模な設
備になる。
 - ✓ エネルギー消費が大きいことに加え、故障時の対策に十分な留意が必要。
- ② 深冷蒸留法
 - ✓ 水素ガス（ H_2 、 HT 、 T_2 ）の沸点の違いにより分離する方法
 - ✓ 極低温にする必要があり、エネルギー消費が大きく、処理量も小さい
 - ✓ 冷媒喪失時のガス漏洩対策に十分な留意が必要
- ③ 水－水素交換法（気層法）
 - ✓ 触媒を用いて高温下で水素原子の置換反応を行う方法
 - ✓ 高濃度トリチウムを対象とした技術で、ガス－ガス反応であることから多段効
果を得ることはできない。
- ④ 水－水素交換法（液層法）
 - ✓ 触媒を用いて低温で水素原子の置換反応を行う方法
 - ✓ 高濃度トリチウムを対象とした技術で、塔内に液を均一に分散させるための内
部構造が複雑なため、処理流量に上限がある。

トリチウムの除去技術 ②

⑤ 電解法

- ✓ カソードで発生する水素ガスには電解液中の同位対比に比べ重成分が少なくなることを利用
- ✓ エネルギー消費量が大きく、多段カスケードを構築するとその消費量は甚大になる他、不純物の影響を受けやすく、当手法単独では不利。

⑥ 水-水素交換法（液層法）+電解法

- ✓ 二種類の技術を組み合わせたもの
- ✓ 高濃度トリチウムを対象とした技術で、処理量に上限がある
- ✓ 「ふげん」で採用されたアルカリ電解槽はアルカリを取り除く工程が必要

⑦ 二重温度交換法

- ✓ 高温状態と低温状態の同位体化学平衡シフトを利用した方法
- ✓ 重水製造を目的としたもので、トリチウムに適用する場合は濃度の制御や操作性に難点を持つ

新型転換炉原型炉「ふげん」の重水精製装置における重水精製（トリチウム分離）実績について

平成 25 年 4 月 26 日

JAEA 山本

1. 趣旨

- 重水精製技術とトリチウム分離技術の基本原理は同じ。
- 日本における小規模での重水精製（トリチウム分離）実績として「ふげん」の例を紹介。

2. 「ふげん」における重水精製装置設置の背景

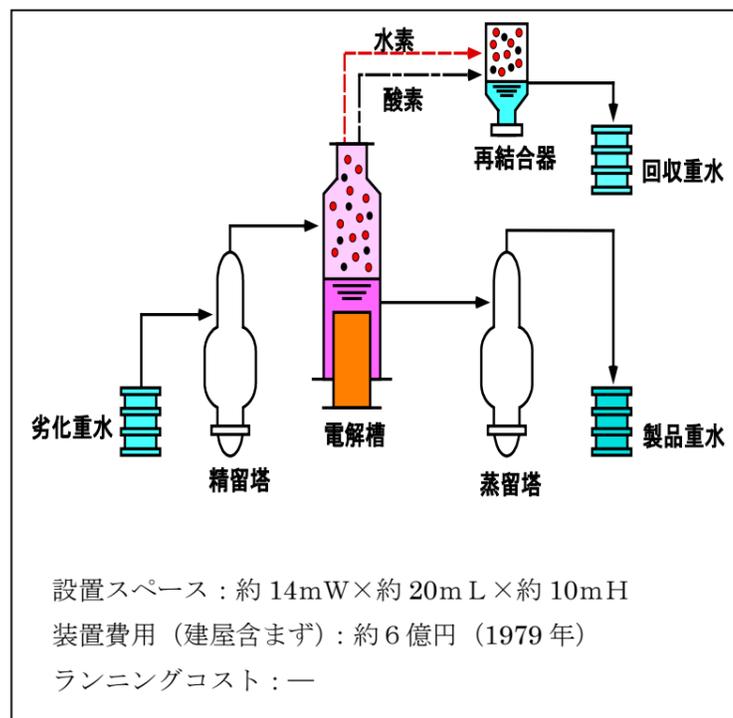
- 新型転換炉原型炉「ふげん」は、重水減速・軽水冷却の熱中性子炉。
- 重水浄化系のイオン交換樹脂の交換等の保守作業に伴い、軽水が混入し重水の濃度が低下（劣化重水の発生）。
- 劣化重水を精製（約 99.8%）し再利用することを目的に、重水精製装置を設置。
- 原子炉の運転に伴い重水中に生成したトリチウムも、劣化重水の精製と同時に軽水から分離（除去）。

3. 主な重水精製技術（トリチウム除去技術）

- 蒸留法（水精留、水素精留）
- 同位体交換反応法（水／水素、水／硫化水素）
- 電解法

4. 「ふげん」の重水精製装置(I), (II)

4-1 重水精製装置(I)



4-2 重水精製装置(II)

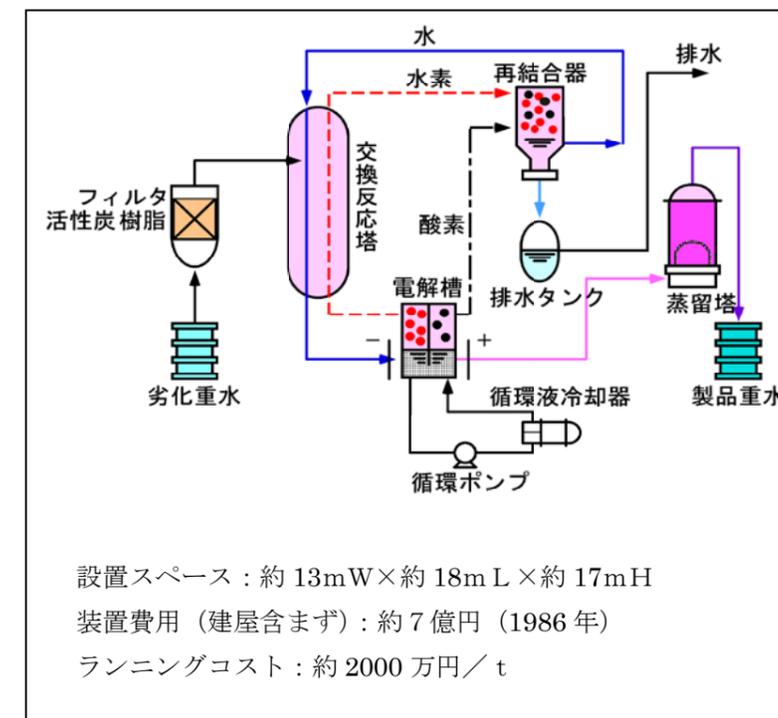


表-1 「ふげん」の重水精製装置 (I), (II)におけるトリチウム除去実績等

装置名	目的	方法	原理	運転形態	処理実績					
					運転期間	処理能力 (m3/day)	Feed T (Bq/ml)	濃縮側 T (Bq/ml)	排水側 T (Bq/ml)	備考
重水精製装置 (I)	約 80～90%重水を 99.8%重水に精製	電解法	重水電解電圧は軽水電解電圧より高い よって、電解液中に重水が濃縮される	○電解液が所定重水濃度になるまでバッチ運転 ○電解ガスは水に酸化して回収。再度電解処理(回収水中の重水濃度が 60～80%になるまで繰り返し処理) ○電解助剤を使用(K ₂ CO ₃ /KOH)	1979～1999	0.015 (約 131t の劣化重水から、約 54t の 99.8%重水を得た)	約 4E+8	約 4E+8	約 1E+8 (回収重水)	運転開始後約 1 年で分離係数が徐々に低下 (Cr 溶出が原因→電解槽の電気防食)
重水精製装置 (II)	約 10～95%重水を 99.8%重水に精製	水／水素同位体交換反応法 + 水電解法	水素ガスと水間で同位体交換 (水側に重水 (トリチウム含む) が濃縮) + 電解	○連続運転 ○電解ガスの水素を交換反応塔に通し、重水素 (トリチウム含む) 除去後、電解ガスの酸素と再結合。 ○再結合水の一部は交換反応塔に還流、残りは排水。 ○電解助剤を使用(KOH)	1986～2003	0.03 (約 87t の劣化重水から約 52t の 99.8%重水を得た)	約 1E+8	約 1E+8	約 4E+3 (排水に当たっては、更に 100 倍希釈)	電解により水素ガスを製造 疎水性白金触媒の利用 (90 段)

福島滞留水の処理に求められる規模等の想定

> 500 (注1)	1E+3～5E+3	—	< 6E+1
------------	-----------	---	--------

注1: 増加量を 300m³/d とすると、240000m³ の処理に 1200d (於: 500m³/d 処理) を要す。