

[様式2 (汚染水処理対策委員会に報告し、一般公開となるものです)]

提案書	
技術分野	2. 汚染水処理
提案件名	トリチウム水の回収・検出システム
提案者	株式会社 エネルギー ソリューションズ 今仁和武

1. 技術等の概要 (特徴、仕様、性能、保有者など)

1. 特徴

大量600 t/dのトリチウムT (THO、TDO、またはT2O) を含む汚染水を回収するため、1℃から101℃に精密熱制御した間歇的に凍結吸着脱着法を使う。夜間寒気と太陽電池と蓄電池を活用して、汚染水をフィルター兼前置冷却器で3℃近くに冷却した後、冷凍吸着層で1℃から3℃にするため、ヒートパイプCCHPを使用した間歇精密凍結法と共に、合成ゼオライトMCM-41にT水を重力で接触させてMCM-41にT水を吸着させ、基準値60Bq/ccを下回る水約400 t/dはドレインし、残りは昼間に解凍脱着する。基準値60Bq/ccを上回る水の約200 t/dは中間タンク移送して、再び凍結吸着する。脱着は太陽熱コレクター熱と可変コンダクタンスヒートパイプVCHP (作動媒体アンモニアのガス封入型) を使い、吸着脱着塔又は精密蒸散塔で100℃から101℃に約180 t/d蒸散し、トリチウムを含む重水を回収する。残りの約20 t/dは、濃縮タンクでトリチウムを重水から電解法濃縮し、濃縮トリチウム約1 t/dは地下に貯蔵する。

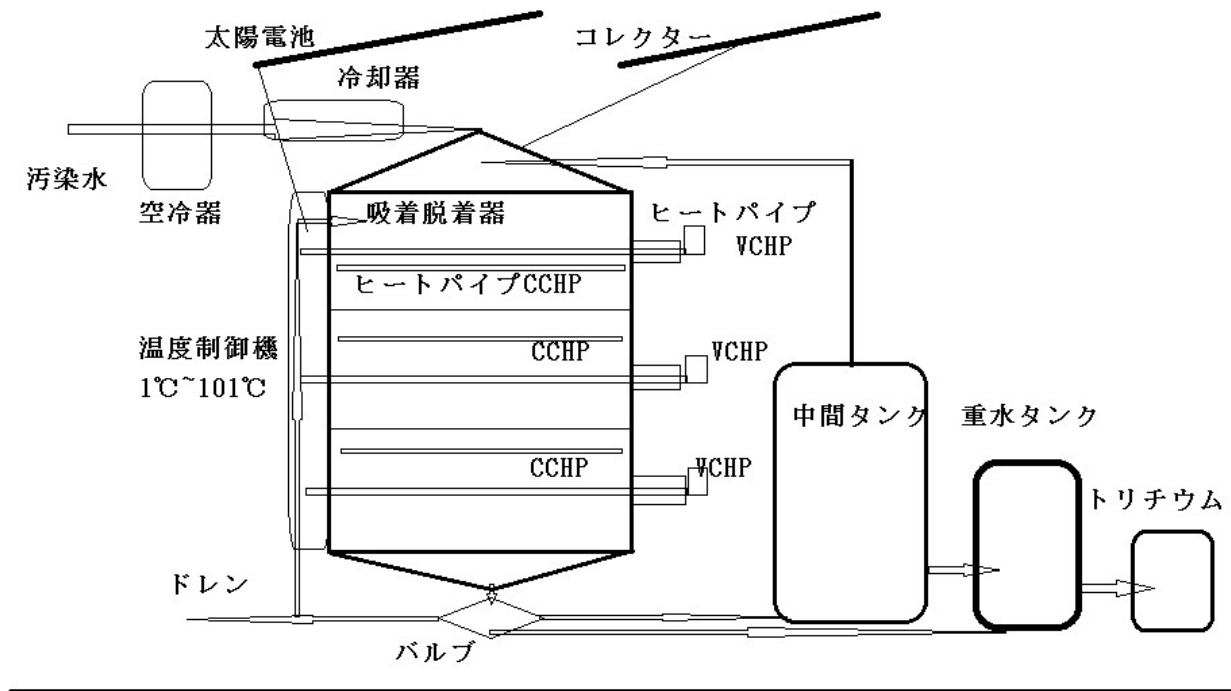


図1 トリチウム水の回収・検出システム

トリチウム水からのベータ線量をモニターするために、水の浸透膜として芳香族ポリアミドのセラミックハニカムを使った後に気化し、ガスCH<sub>4</sub>(1%Xe)シンチレーション比例計数

管を使う。

## 2. 仕様

福島第一 F1 で貯蔵される ALPS 処理後の滞留水から、トリチウムを告示濃度以下 60Bq/cc に分離する。処理水 600 t/d に含まれるトリチウム (約  $1\sim 5\times 10^6$  Bq/l) を告示濃度 ( $6\times 10^4$  Bq/l) 以下へ分離できる。装置の設置面積当たりの処理能力は (Bq/日/m<sup>3</sup>)、設備がコンパクト 1 t/d m<sup>2</sup> である。投入エネルギーの電力 500kWe, 熱 400kWh は、大半は太陽からとし、福島の夜間寒気も活用する。低濃度のトリチウム線量 1 Bq/cc をモニターするため、浸透膜として芳香族ポリアミドを使い、CF<sub>4</sub> ガスに混入して比例計数管でベータ線を測定すると共に、一対の PMT でシンチレーションも同時に測定する。

## 3. 性能

図 1 のように、トリチウムベータ線量が最大 5000 Bq/cc の汚染水の約 600t/d を、夜間寒気と太陽電池と蓄電池を活用して、汚染水フィルターで 3℃ 近くに冷却した後、表 1 を参考にして、冷凍吸着層 MCM-41 を 1℃ から 3℃ にするため、NH<sub>3</sub> 封入の定コンダクタンスヒートパイプ CCHP を使用する。水 H<sub>2</sub>O 封入の可変コンダクタンスヒートパイプ VCHP を使用して、1℃ から 101℃ に精密熱制御して、間歇的に凍結吸着脱着法を使う。

表 1 軽 H<sub>2</sub>O、重水と三重水素水の性質

	軽水	重水		三重水	
密度 g/cc	1.00	1.11		1.22	
拡散係数 A <sub>2</sub> p / s	0.229	0.234		0.244	
粘性 mPa s	0.9	1.1		1.4	
結合エネルギー	459 kJ/Mole	466 kJ/Mole		8481 keV	
構造式	H-O-H	D-O-D	D-O-H	T-O-T	T-O-H
沸点 °C	100	101	100.7	101.5	100.8
凝固点 °C	0.0	3.8	2.1	4.5	2.4

図 2 のように、ゼオライト MCM-41 に T 水 (THO、TDO、または T<sub>2</sub>O) を低温度で接触させて、ゼオライトに T 水を低温吸着させ、昼間に解凍・脱着して、図 3 のようにベータ線量 200 Bq/cc 以下で回収する。ベータ線量が 60 Bq/cc 以下の場合、冷凍吸着層からの排水は約 400t/d ドレインできる。

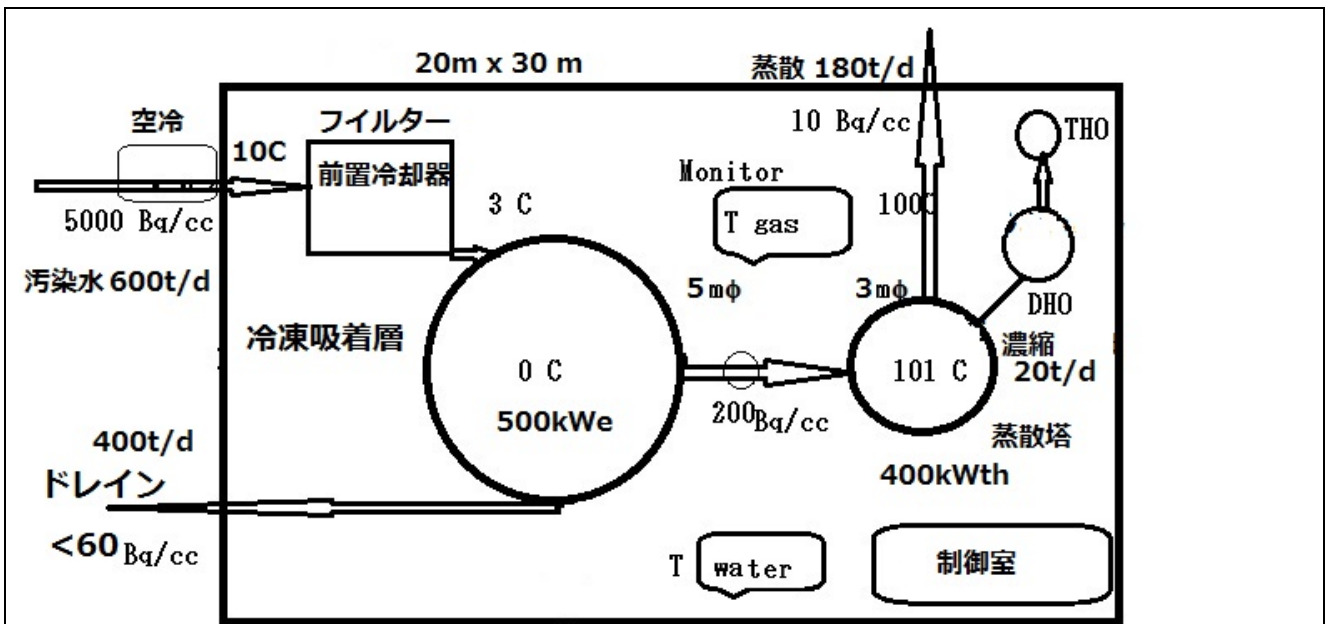


図2 トリチウム水の回収・検出システムの配置

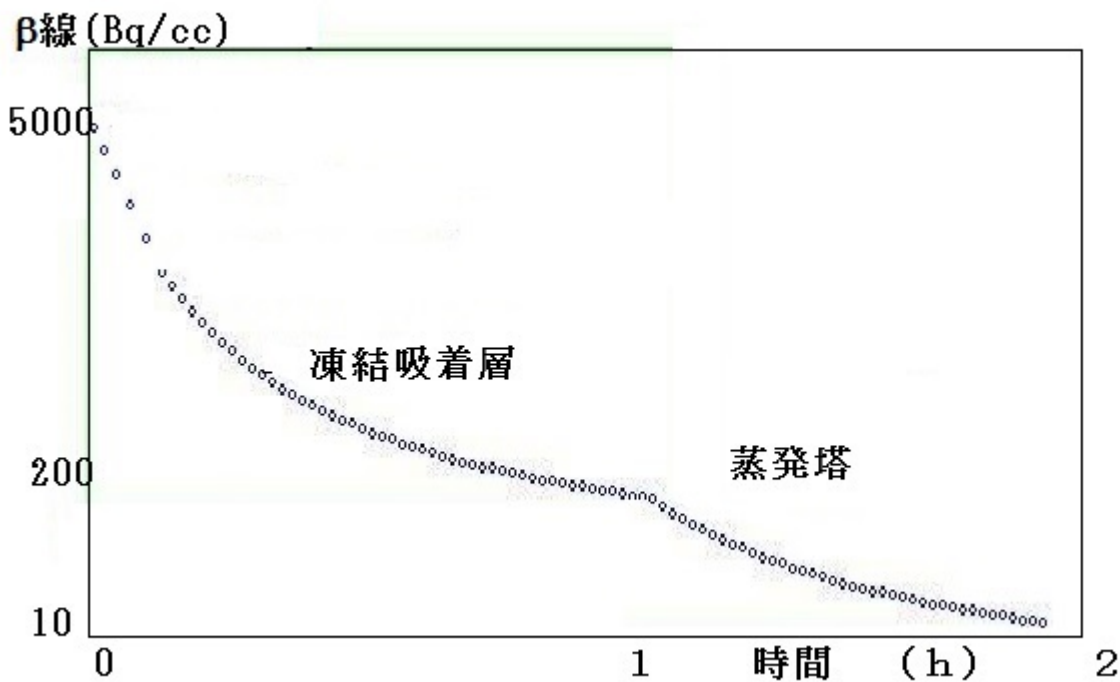


図3 トリチウム水の回収

ゼオライト MCM-41 に T 水を低温吸着させる解析によると、図 3 のように初期通過水のベータ線量  $Y$  は低温吸着の位置  $x$  に近似的による。

$$dy/dx = -a y - b y / x$$

図4のように、冷凍吸着層を1℃から3℃にするため、定コンダクタンスヒートパイプCCHPを水平に使用して、冷凍吸着層の温度を一定にする。ゼオライトのトリチウム水吸脱着特性に及ぼすシリカアルミナ構成比SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比を7.0から10.0へ変えると細孔分布が変わり、NaY10.0の室温近傍の可動水分吸着量はNaA2.0のおよそ4倍の値を示し、シリカアルミナ比が大きくなるにつれ水分脱着時の同位体差は顕著となる。

図3のように、トリチウムベータ線量が最大5000 Bq/ccの汚染水を、冷凍吸着層で処理してもベータ線量が60 Bq/cc以上の場合は、さらに図2のように、太陽熱コレクターからの101℃熱水とNH<sub>3</sub>封入のVCHPを使用した蒸散塔で、100℃から101℃の精密蒸留法により約180t/d蒸散し、トリチウムを含む重水をベータ線量20 Bq/cc以下で約20t/d回収する。図4のように、アンモニア封入の可変コンダクタンスヒートパイプVCHPを水平近くで使用して、100℃から101℃にほとんど太陽熱で制御する。

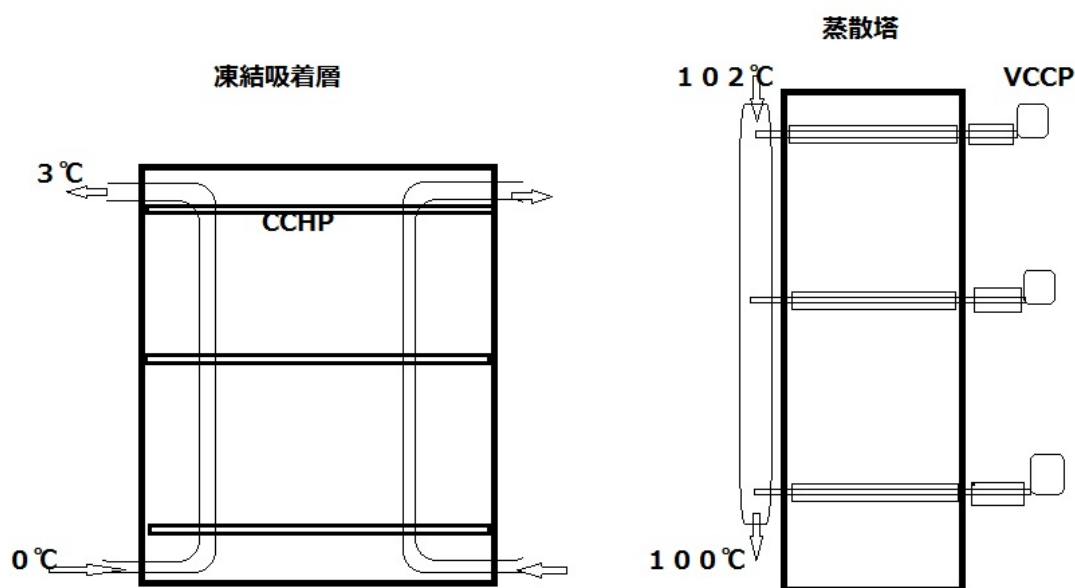


図4 冷凍吸着層の定コンダクタンスヒートパイプCCHP、蒸散塔のVCHP

図5のように、トリチウム水からのベータ線量18 keVモニターとして、水の浸透膜を比例計数管の窓とすることを考案した。水の浸透膜としては、アラミド(芳香族ポリアミド)は全芳香族ポリアミドの芳香環をアミド結合で結んだ高分子で、非常に優れた耐熱性と強度をもつ繊維が作られ、ポリ(p-フェニレンテレフタルアミド)繊維はデュボン社のケブラーKevlar などがある。汚染水が高濃度の場合は計数管窓に浸透膜を張り、低濃度の場合は計数管作動ガスをセラミック浸透膜ハニカムに通して常時検出する。固体シンチレータとしては、CaF<sub>2</sub>(Eu)やCsI(Tl)で1時間間隔でモニターする。

β ray spectrum

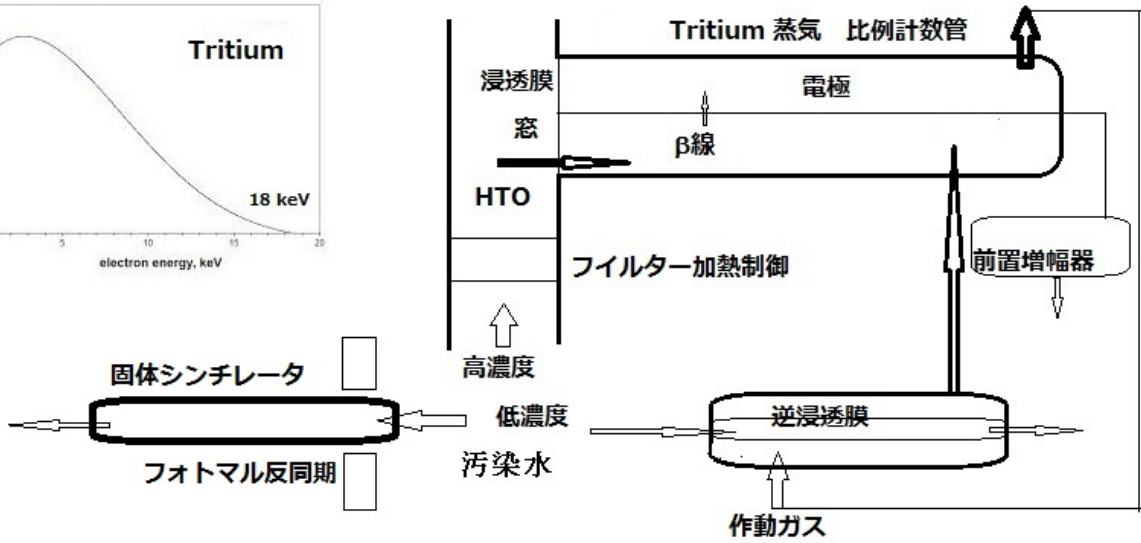
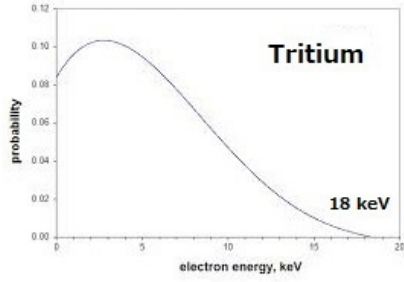
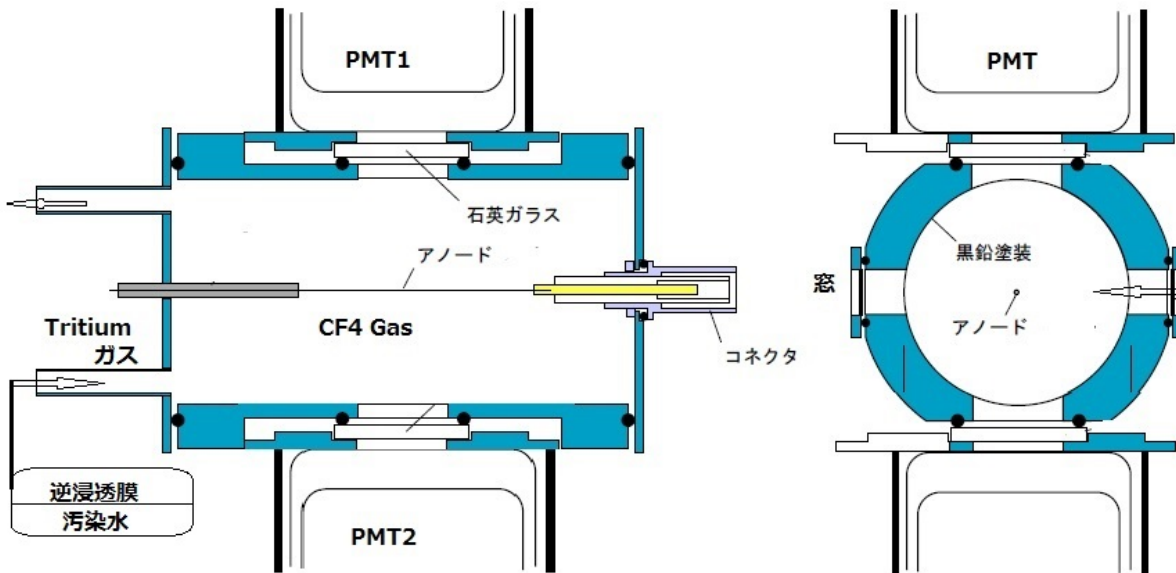


図5 トリチウム水からのベータ線量モニター

図6のように、さらに低濃度のトリチウム線量1 Bq/cc をモニターするため、浸透膜として芳香族ポリアミドのセラミックハニカムを使い、CF4(1%Xe)ガスに混入して比例計数管でベータ線を測定すると共に、一對のPMTでシンチレーションも同時に測定する。



4. 保有者 図6 ガスシンチレーション比例計数管  
株式会社 エネルギー ソリューションズ 今仁和武

## 2. 備考

- ・開発・実用化の状況（国内外の現場や他産業での実績例、実用化見込み時期を含む）

吸着層や蒸散塔は、米国では DOE のサバナリバー、フランスなどで、小規模な例はあるが、ヒートパイプ CCHP VCHP 使用や、吸着層にトリチウム凍結例の報告はない。

### 実用化工程管理

25年度	10月	11	12	1	2	3						
試作機	設計		試作		試験							
26年度	4月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
実機	設計		製作				運転					

- ・開発・実用化に向けた課題・留意点

吸着トリチウム凍結層のゼオライト MCM-41

蒸散塔のアンモニア封入可変コンダクタンスヒートパイプ VCHP

トリチウム水ベータ線量 18 keV モニターとして、ガスシンチレーション比例計数管

- ・その他（特許等を保有している場合の参照情報等）

特許出願中