

## 無人観測を目的とした環境トリチウム捕集装置の開発

○加藤ひろみ<sup>#,A)</sup>、千村大樹<sup>A)</sup>、平尾茂一<sup>B)</sup>、田中将裕<sup>C)</sup>、鈴木直之<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup>自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部

<sup>B)</sup>福島大学 環境放射能研究所

<sup>C)</sup>自然科学研究機構 核融合科学研究所 研究部

### 1. はじめに

大型ヘリカル装置 (Large Helical Device :LHD) では平成29年3月から令和4年12月までの6年の間、重水素実験を行った。この間僅かではあるが水素の放射性同位体であるトリチウムが発生した。トリチウムを回収除去する排気ガス処理システム (以下、EDS[1, 2]) を建設し、運用を行っている。EDSの除去性能を確認するため、トリチウム捕集装置[3]の設計・製作を行い、運用を行ってきた。EDSの吸排気口から排気ガスを取込み、トリチウムを水の形で捕集する。捕集したトリチウム水は、液体シンチレーション計数装置などで測定する。その開発経験から環境中に存在する水蒸気状トリチウムの捕集装置を福島大学 環境放射能研究所と核融合科学研究所で開発する運びとなった。既往研究[4]をふまえ、環境トリチウム捕集装置の使用環境は屋外であり、電源の無い場所で行うことや運搬できる小型軽量化などが求められた。

### 2. 装置の概要

環境中に存在するトリチウムはその殆どが水の形で存在し水蒸気状 (HTO)、水素ガス状 (HT) および有機トリチウム状 (CH<sub>3</sub>T など) の化学形態で存在する[5]が今回は水蒸気状のトリチウムを捕集する装置の設計・製作を行った。装置はエアポンプ、マスフローメーター、流量調整弁、流路切替用電磁弁、水蒸気状トリチウムを捕集する捕集カラム (以下、捕集カラム) (図1) およびプログラマブルロジックコントローラー (PLC) から構成される。捕集カラムに充填する吸湿剤には、モレキュラーシーブス : MS-3A (FUJIFILM Wako Pure Chemical Corporation) を使用し充填量は1系統あたり約500gとした。捕集カラムには通常、ガラス製が使用されるが軽量化と低コスト化の面からポリプロピレン樹脂製の浄水用空ケース (環境テクノス) をニップルで2本連結して1系統を構成することにした。本装置では、最大6系統まで設置可能とした。

モレキュラーシーブスに吸着させた水分は、水分を脱離し回収して低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置等で測定するが、今回の装置開発は環境中トリチウムを捕集する装置のみである。

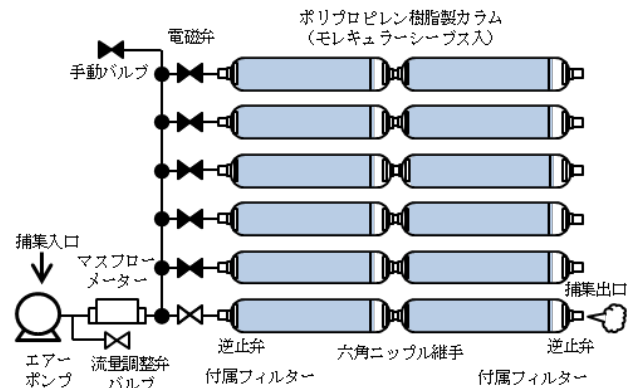


図1. 環境トリチウム捕集装置の系統図

### 3. 装置の設計、検討

これまで設計製作してきた捕集装置の捕集時間は168時間~336時間で運用を行っているが今回の捕集時間は6時間~8時間程度と短時間であるため、ポンプの選定や流量の設定など検討を行った。また、電源のないフィールドでの運転となるため、ポータブル電源の検討も行い準備することにした。

#### 3.1 モレキュラーシーブスと捕集時間

設計仕様として、捕集カラム1系統の捕集時間は6~8時間程度が求められた。モレキュラーシーブスは、重量の15~20%の水を吸着することができるが、それ以上の水分は破過してしまう。本装置は捕集時間が短く、捕集流量を大きくする必要があるので、環境中の湿度と捕集時間を考え破過しない、また環境レベルの極低濃度トリチウム測定に必要な捕集水分量65gを条件となるよう評価を行った。

捕集時の温度と湿度を知るためにおんどとり : TR-73U (T&D Corporation) を使用し、モレキュラーシーブスの吸湿と破過状態を評価するため、捕集カラム出口に露点計 : DMT132 (VAISALA KK) を設置して試験をした。実験室の絶対湿度8g/m<sup>3</sup>、モレキュラーシーブス200g、流量23L/minの条件下で室内空気の捕集を行ったところ、2時間で破過し始め、水分の吸着が完全に無くなるまで更に2時間30分を要した (図2)。重量測定から約40gの水分を捕集することができたが、絶対湿度と捕集体積から計算すると32g程度となり、試験結果と計算とでは誤差が発生することも分かった。そこで、過去の業務で行っていたトリチウム捕集装置の捕集水分量とおんどとりで測定した相対湿度から絶対湿度を計算し、捕集体積から算出した水分量を確認した。結果として絶対湿度を約1.2倍した値から捕集体積を算出すると

良い値となることが分かった。このことから、捕集開始する時のおんどりの相対湿度から絶対湿度を計算し、1.2倍した値から65g捕集できる設定流量を計算した(図3)。

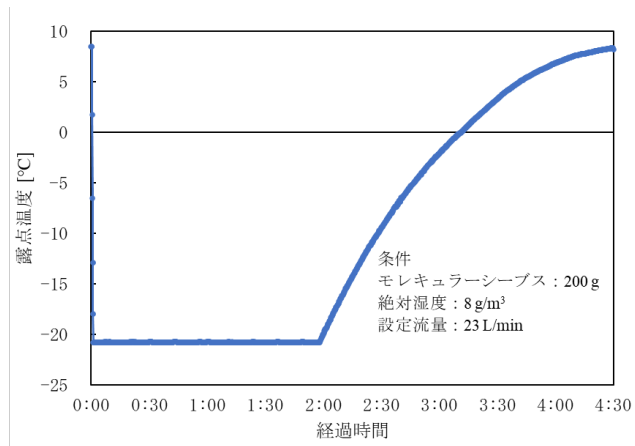


図2. モレキュラーシーブス水分破過試験

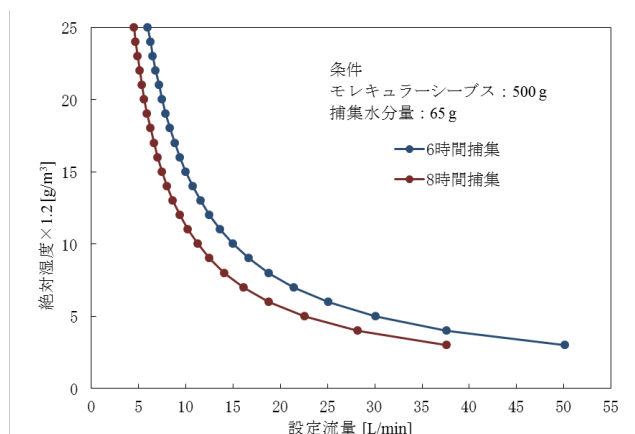


図3. 設定流量と絶対湿度の関係

### 3.2 部品の選定

ポンプは消費電力が高い回転機器であるため選定に苦労したが、今回は電磁式エアポンプ: AP-40P (YASUNAGA AIR PUMP INC.) を選定した。このポンプは40 L/minの定格風量がありながら消費電力が27 Wと低消費電力が選定の決め手となった。次に捕集システムの流路を分けるため、電磁弁の選定を行った。電磁弁は通常、開状態(もしくは閉状態)を維持するために電圧をかけ続けなければならない。電圧をかけ続けると電力を消費してしまう。そこで開閉動作後電源をOFFにできる小型電動式アクチュエータバルブ: EA100-UTE-10A (KITZ Corporation) を選定した。消費電力は開閉時間約6秒で最大9 Wである。

捕集カラム内のモレキュラーシーブスには捕集時以外に水を吸着させたくないため本来なら出口側にも電磁弁を接続し閉止したいが消費電力と軽量化の面から逆止弁: AKB02A-02S (SMC Corporation) を取り付けることで捕集時以外の空気の流入を止めることにした。

制御はプログラマブルロジックコントローラ(PLC): FX5U-64MR/ES (Mitsubishi Electric Corporation) を選定し制御プログラミングを作成した。消費電力は、40 Wと消費電量が一番大きい機器となった。捕集時間・捕集本数などの設定を行い、捕集が開始されるとポンプに電源が供給され運転を開始する。同時に1系統目の電磁弁に電源が10秒間供給され開操作を行い、捕集を開始する。設定時間分をカウントし終了すると、再度電磁弁に電源が10秒間供給され閉操作されるなどの制御をできるようにした。また、データロギング機能を使用して流量などのデータをSDカードに保存できるようにした。消費電力は、40 Wと消費電量が一番大きい機器となった。捕集運転で消費される電力は、68 W程度と試算した。

### 3.3 ポータブル電源の選定

ポータブル電源を扱っている各社ホームページより、使用機器と稼働時間を掲載していたものから変換効率を62%と試算し、使用可能な実効容量を計算した。実効容量と拡張性の高さからポータブル電源: DELTA Max (EcoFlow Technology Japan Co.,Ltd.) を選定した。本体のバッテリー容量は2016 Whで専用エクストラバッテリーを接続することで更に2016 Whを追加することができる。選定した機器を接続して使用した場合、約37時間の運転ができる試算となった。

## 4. 試験運転と不具合の洗い出し

制作した装置の写真を図4に示す。商用電源から供給をして試験運転を行ったところ不具合が確認された。



図4. 本装置の実際の写真

### 4.1 流量調整弁

手動調整バルブ付きマスフローメーターで流量を調整しようと考えていたがエアポンプに負荷が掛かってしまうため、分岐して流量調整バルブを設置し、空気の一部を逃がして流量調整をすることにした。また、捕集を行う前に設定流量を調整するための排気口が必要であったため、手動バルブを流路の一番後ろに追加した。

### 4.2 PLCプログラムでのデータ保存

PLCのデータロギング機能を使用して瞬時流量データを収集し、データファイルをSDメモリーカードに

保存しようと試みた。仕組みを理解することに時間を要し、SDメモ리카ードに保存されず苦勞した。

#### 4.3 逆止弁からの微量リーク

施設内では、捕集が終了したら直ぐに捕集以外の空気の流入を防ぐため入出口ともに閉止をして、回収することができる。しかし、フィールドでの捕集の場合は難しい。そのため、捕集カラムの閉止として逆止弁を採用した。逆止弁の閉止状態を評価するためモレキュラーシーブスを充填した捕集カラムを4ヶ月間、実験室内に静置した。図5に捕集カラムの重量変化と室内の絶対湿度の変動を示す。絶対湿度8~11 g/m<sup>3</sup>の条件で、1日あたり約0.014 gの空気中水分の流入が確認された。数時間から数日の運転で1系統あたり65 gの水分を捕集すると仮定した場合、流入量は0.1%程度であり、逆止弁からのリーク量は問題ないと判断した。

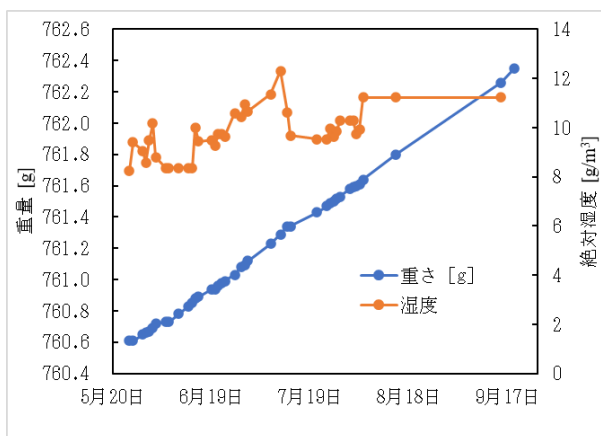


図5. 逆止弁空気流入調査

#### 4.4 ポータブル電源での試験運転

ポータブル電源（専用エクストラバッテリー接続）に接続して試験運転を行った。

各捕集カラムに約600 gのモレキュラーシーブスを充填し、3系統設置した。捕集時間は1系統8時間、捕集流量は25 L/minとし、試験運転開始から15時間後に捕集開始するように設定した。

ポータブル電源の残量表示は64%であった。試算した変換効率より、実験室内の使用状況下（温度：16.6℃ 湿度：32%）においては、変換効率はとても良く約91%であった。そこから実効容量を計算すると残りの残量は、約2500 Whとなり捕集本数が6系統で残り3系統あっても捕集できることが確認できた。絶対湿度（×1.2倍）と捕集体積から計算した値と、捕集水分量は良い値を示しており30~31 gであった。保存した運転データから、3系統とも設定した流量で捕集できており、時間通り切り替わって捕集できていることも確認できた（図6）。

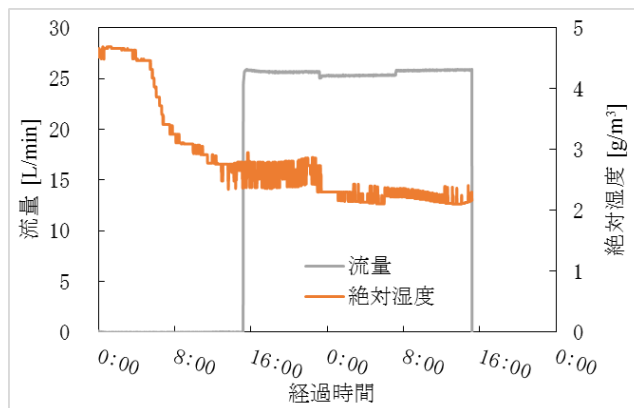


図6.3 系統、8時間捕集の試験結果

## 5. まとめ

捕集装置自体の大きさは外形寸法で幅840×奥行400×高さ380 mmの収納ボックス納めることができた。総重量はモレキュラーシーブス充填時で約10 kgとなり、運搬できる装置に仕上げることができた。消費電力も試算より低く44 W程度に抑えることができポータブル電源の稼働時間に少し余裕が持てるようになった。エアーポンプを使用したことにより短時間で多くの系統を捕集することができるようになった。

最後にここでの報告は避けるが、ユーザーインターフェイスプログラムをLabVIEW（National Instruments Corporation）で技術部の千村大樹技術員が製作した。このユーザーインターフェイスを使用することにより設定などが簡単に行えるようになった。

現在、屋外での実証試験により装置の動作確認および耐久性等の試験を実施している。

## 謝辞

今回の装置製作にあたり、核融合科学研究所技術部の岡田光司主任技術員、清水貴史技術員に支持具の加工などをしていただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] M. Tanaka, *et al.*, Fusion Eng. Des., 127, (2018), 275.
- [2] 加藤、他、平成28年度核融合科学研究所技術研究会、NIFS-Memo-82, (2018), 190.
- [3] M. Tanaka, *et al.*, J. Radioanal. Nucl. Chem., 318, (2018), 877.
- [4] S. Hirao, *et al.*, J. Radioanal. Nucl. Chem. 331, 3077-3083, (2022)
- [5] 原子力規制庁監視情報課、“トリチウム分析法”、令和5年10月年改訂