

J-PARC RCS における荷電変換フォイルの回収

RETRIEVEMENT OF THE CHARGE STRIPPING FOIL IN J-PARC RCS

飛田教光^{#,1)}, 吉本政弘¹⁾, 山崎良雄¹⁾, 佐伯理生二¹⁾, 岡部晃大¹⁾, 金正倫計¹⁾
竹田修^{#2)}, 武藤正義²⁾

Norimitsu Tobita^{#,1)}, Masahiro Yoshimoto¹⁾, Yoshio Yamazaki¹⁾, Riuji Saeki¹⁾, Kota Okabe¹⁾, Michikazu Kinsho¹⁾
Osamu Takeda^{#,2)}, Masayoshi Mutoh²⁾

¹⁾ Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC)/Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

²⁾ Nippon Advanced Technology Co.,Ltd

Abstract

Amorphous carbon-based stripping foils are installed for the beam injection at the 3GeV RCS (Rapid Cycling Synchrotron) in J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex). Three stripping foils are installed in the RCS. Especially, 1st stripping foils with thickness of about 200 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ is irradiated with not only injecting H⁺ beam from the LINAC but also circulating H⁺ beam in the RCS during beam injection period. Thus the 1st stripping foil becomes radioactive and its strength was deteriorated after the beam operation.

The 1st foils are stored into a holder storage rack and installed in the vacuum chamber. But the holder storage rack is unclosed state. Then, retrieving the holder storage rack including the irradiated stripping foils from the vacuum chamber in maintenance work puts the serious risk of internal exposure and propagating contamination. Therefore foil retrieval is one of the most important issues in the RCS. In order to enhance safety in foil maintenance work, radioactive foils should be hermetically sealed. Thus we developed a foil retrieving booth and a sealing box. The foil retrieving booth was assembled on the vacuum chamber additionally, and the holder storage rack including radioactive foils is taken in the sealing box using the booth.

1. はじめに

Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) において、3GeV シンクロトロン (Rapid Cycling Synchrotron; RCS) ではビーム入射方式として 181MeV の H⁺ビームを荷電変換用フォイルで陽子に荷電変換し、リング内に入射する荷電変換多重入射方式が採用されている。この方式では、ビーム入射中にリニアックから入射される H⁺ビームと RCS で周回する H⁺ビームが同一軌道に乗るため、荷電変換フォイルは入射ビームのみならず周回ビームにもさらされることになる。従って、荷電変換フォイルの放射化、フォイル自体の劣化、及び、破損が問題となり、使用済みフォイルはメンテナンス時に定期的に交換する必要がある。しかしながら、放射化したフォイルを剥き出しで取り扱っていると、フォイルが破損し、飛散することによる汚染の拡大や体内被ばく等の被害が生じる恐れが大きい。この使用済み荷電変換フォイルをいかに回収するかは加速器メンテナンスの観点から非常に重要な課題の一つであった。

そこで我々は新たに荷電変換フォイル交換用ブースを開発し、密閉された領域内でフォイルをマガジンラックごと密閉ボックス内に保管して安全に回収する手法を構築した。また、グローブボックス内でマガジンラックからフォイルフレームを取り出し、単体で保護ケース内に収納することで照射後のフォ

イルを個別に観察・分析することが可能となった。

本発表では、ビーム照射後の第 1 荷電変換フォイルを回収するために開発した交換ブースと、それを用いたフォイル回収手法について詳細に報告する。

2. 荷電変換フォイルの回収

RCS では、荷電変換用フォイルとして非結晶性炭素薄膜を採用した^[1-2]。入射ビームを荷電変換するために用いられる第 1 荷電変換フォイルは膜厚が 200 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ と薄く、且つ、大強度陽子ビームにさらされるため、その破損、劣化頻度が高いものと想定されている。しかし、第 1 荷電変換フォイルは RCS のビーム入射において重要な機器であり、ビーム利用運転を円滑に進めるためには、加速器の運転中にフォイルが完全に破損する前に新しいフォイルと交換することが要求される。

そこで、RCS においては荷電変換フォイルを専用のフレームに固定し、フォイルフレームを操作することによってフォイルの交換や位置調整ができるようにした。それら 15 枚のフォイルフレームを 1 つのマガジンラック内に装填し、加速器運転時に迅速に交換できるよう真空容器内で保管されている。Fig.1 にマガジンラックとそれに装荷された荷電変換フォイルフレームの外観写真を示す。

照射済みフォイルを回収して新規フォイルと交換する際には、真空容器内から照射したフォイルを含む

tobita.norimitsu@jaea.go.jp

マガジンラックごと取り出す仕組みになっている。そのとき、放射化したフォイルが剥きだしになっているため、交換作業中にフォイルの破損等が発生した場合、作業エリアに放射化したフォイル片が飛散する危険性が高い。入射ビームの大強度化に伴い、この放射化したフォイルの飛散による汚染や体内被ばくといった危険性への対策が、RCS のメンテナンス時の重要な課題の一つとして挙げられていた。

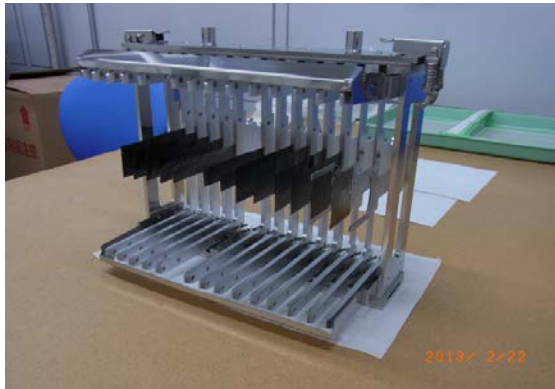


Figure 1 : A photograph of the holder storage rack include the 1st stripping foils.

3. フォイル交換ブースの概要

前節で挙げられた問題を解決するため、我々は安全且つ確実に放射化したフォイルを回収するためのフォイル交換ブースと専用の密閉ボックスを新たに開発した。Fig. 2 に交換ブースの外観写真、Fig. 3 にその構成図を示す。

開発した荷電変換フォイル交換ブースは、それぞれの作業エリアを密閉することで、汚染のレベルをコントロールしながら作業を進めることができる構造にした。本装置はフォイル交換ブースを、マガジンラックを収納している真空容器の上に組み立てており、さらに密閉構造とすることで、フォイル破損時に周辺への放射化物の飛散を防止できるようになっている。仮にフォイルを飛散させた場合でも、交換ブース内のみ放射化したフォイルが留まり、除染しやすい構造とした。これにより、作業員の被ばくや作業エリアの汚染も防ぐことが期待できる。

真空容器内は汚染の可能性のあるエリアであり、開閉ハッチを介して第 1・第 2 ブースと接続されている。実際に真空容器から取り出したマガジンラックをフォイル持ち運び用の密閉ボックス(Fig.4)に収める作業は第 1 ブース内で行い、第 2 ブースは密閉ボックスの移動等で使用される。第 1・第 2 ブースは、汚染しても除染が可能なエリアとして、シャッターによって導入ブースと分離することで、フォイル破損時の作業エリアの汚染リスクを軽減している。導入ブースは、汚染のリスクは小さいエリアであり、ブース扉を介して作業エリアと隔離されている。こ

のようにフォイル交換ブースは、交換作業ごとに作業ブースを区切ることで、フォイル破損時における周辺への放射化物の飛散リスクを低減する構造となっている。

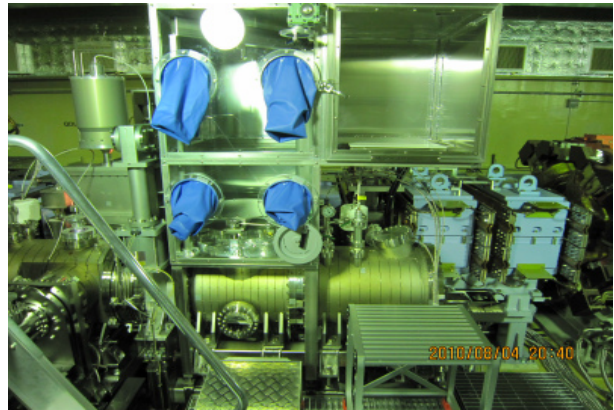


Figure 2 : A Photograph of the foil retrieving booth assembled on the vacuum chamber.

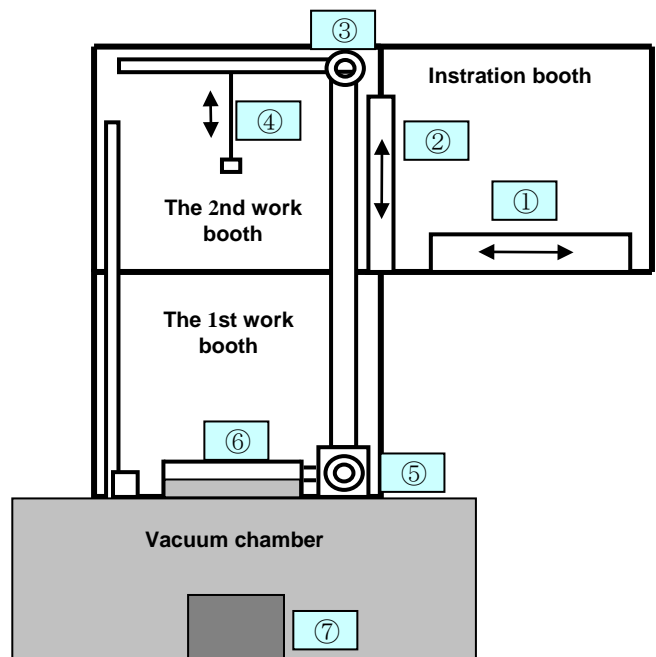


Figure 3 : A schematic diagram of the foil retrieving booth.

- ① Transverse sliding plate
- ② Slide type shutter with lock system
- ③ Operation handle for the lifter
- ④ Lifter for the holder storage rack
- ⑤ Operation handle for the hatch
- ⑥ Chamber hatch with rotation work table
- ⑦ holder storage rack

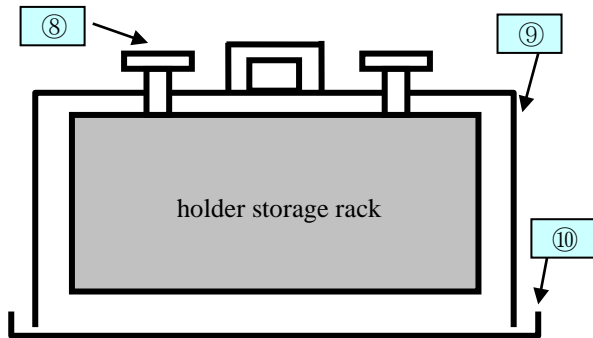


Figure 4 : A photograph and a schematic diagram of the sealing box.

- ⑧ Rack fixing bolt
- ⑨ Tubular cover with view window
- ⑩ Bottom tray with lock system

密閉ボックスは上筒と底蓋で構成されている。密閉ボックスからマガジンラックを取り出す時は、上筒のみを用いてマガジンラックを吊り上げる。そのため、固定ボルトを上から取り付ける構造になっている。

4. フォイル交換ブースを用いた荷電変換フォイルの回収方法

本章では交換ブースを用いたフォイル回収作業について説明する。ビーム照射後のフォイルを含むマガジンラックを安全且つ確実に回収できるように交換ブースには様々な工夫をほどこしている。以下に実際の作業手順をまとめた。

1) 密閉ボックスの準備

はじめに空の密閉ボックスを交換ブース内にセットする。同時に、密閉ボックスを取り出す前に汚染検査をするためのスミア用紙も同時にセットする (Fig.5)。

第1ブース及び第2ブースの前面には、グローブ付で且つ帯電防止機能を有した透明の亚克力板を取り付けており、内部を目視で確認しながら、フォイル回収作業を手でサポートできる様になっている。また、第1ブース右下に付いているハンドルはマガジンラックが入っている真空容器の開閉ハッチを

ブースの外から開閉させるためのハンドルである。

(1-1)	導入ブースの中に密閉ボックス、スミア用紙、袋を入れ込む。
(1-2)	第2ブースのグローブを用いてシャッターを開放する。
(1-3)	横行機構を第2ブースへ前進させる。
(1-4)	スミア用紙、袋を先に第1ブースの下まで降ろす。
(1-5)	密閉ボックスをフックに掛け吊り上げる。
(1-6)	横行機構を導入ブース側に退避させる。
(1-7)	シャッターを閉止する。

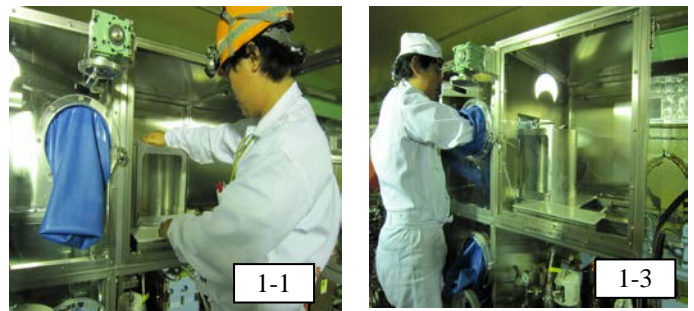


Figure 5 : Sealing box installation into the foil retrieving booth.

2) マガジンラックの回収

次に、密閉ボックスを分解してマガジンラックを回収する (Fig.6)。

本フォイル交換ブースは、ハッチの開閉操作中にハンドルを途中で止めてもハッチは倒れずにそのままの位置を保持できる様に、ハンドルのギア比を調整している。第2ブース右上に付いているハンドルは、昇降機構を操作する時に使用するハンドルである。第1ブースのハンドルと同様に、第2ブースについているハンドルも密閉ボックスの昇降操作中にハンドル操作を止めても落下はせず、そのままの位置を保持できるように調整した。尚、導入ブースには密閉ボックスを第1ブースへと受け渡す為の横行機構を取り付けている。

(2-1)	密閉ボックスを開閉ハッチ上の回転テーブルまで吊り下げる。
(2-2)	密閉ボックスの底蓋を取り外す。
(2-3)	密閉ボックスの上筒のみ吊り上げる。
(2-4)	第1ブースのハンドルを回し真空容器のハッチ開放を行う。
(2-5)	真空容器内のマガジンラックの固定用ロックを開放する。
(2-6)	密閉ボックスの上筒をマガジンラックまで吊り下げる。
(2-7)	マガジンラックを密閉ボックスへ固定する。
(2-8)	マガジンラックを含んだ密閉ボックスを吊り上げる。

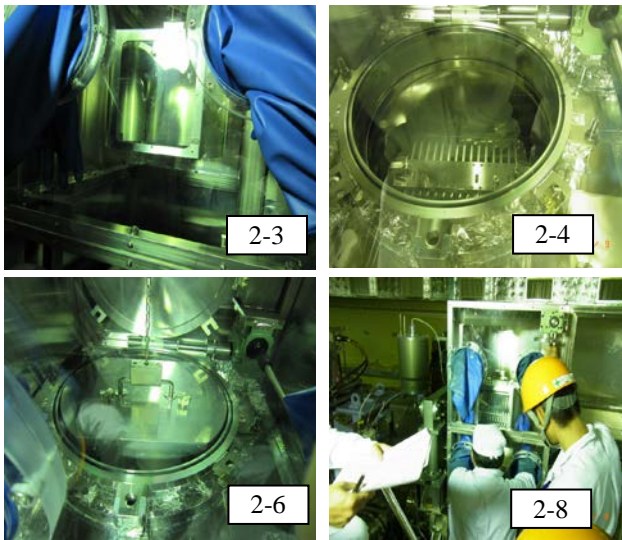


Figure 6: Retrieval of the holder storage rack including the irradiated foils.

3) 汚染検査

開閉ハッチを閉じる前に真空容器の内側をスミアし、汚染がないことを確認する。また、閉じた後に密閉ボックスと第1・第2ブース内のスミアも行う。(Fig.7)

(3-1)	真空容器内のスミアを行う。
(3-2)	真空容器のハッチを閉止する。
(3-3)	密閉ボックスの底蓋を取付ける。
(3-4)	第1・2ブース内のスミアを行う。
(3-5)	密閉ボックスを少し吊り上げる。
(3-6)	密閉ボックスの底、開閉ハッチの回転テーブルのスミアを行う。
(3-7)	スミアをまとめて袋に入れる。
(3-8)	グローブでシャッターを少し開け、スミア入り袋を導入ブースに移動させる。
(3-9)	放射線管理室に依頼し、スミアのサーベイを行う。

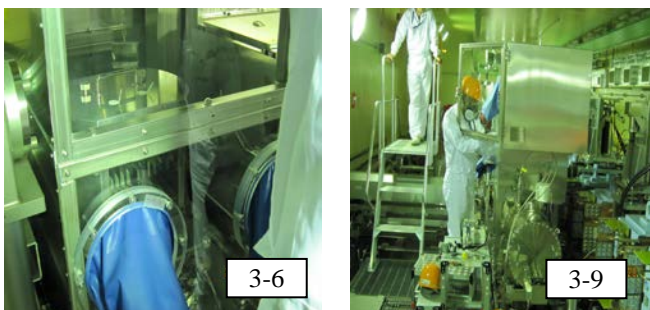


Figure 7 : Smear test to measure surface contamination.

4) 密閉ボックスの取出し

スミアの結果から汚染がないことを確認したあと、ビーム照射後のフォイルを含むマガジンラックを収納した密閉ボックスを取り出す。(Fig.8)

(4-1)	放射線管理室に汚染がないことを確認する。
(4-2)	汚染がないことが確認されたら密閉ボックスを吊り上げる。
(4-3)	シャッター開放を行う。
(4-4)	導入ブースの横行機構を前進させる。
(4-5)	密閉ボックスを横行機構まで吊り下げる。
(4-6)	横行機構を導入ブース側に後退させる。
(4-7)	シャッターを閉止する。
(4-8)	導入ブースの扉を開放し、密閉ボックスを取出す。
(4-9)	密閉ボックスを袋で覆い保管庫まで運ぶ。

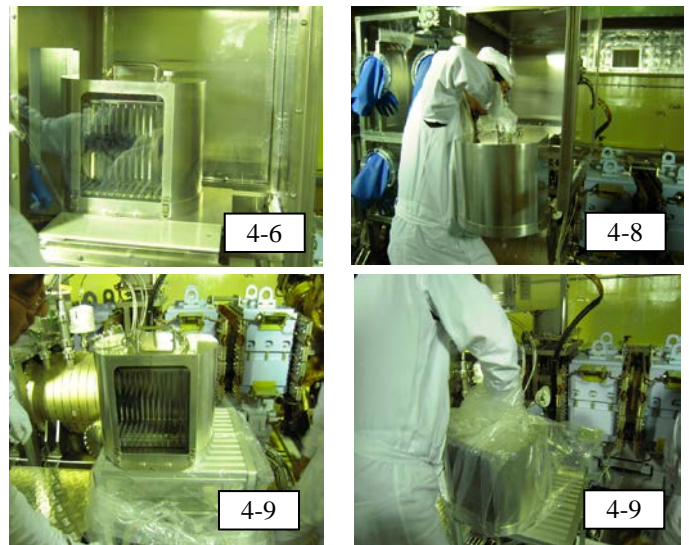


Figure8 : Ejection of the sealing box from the booth.

最後の工程として、密閉ボックスにある照射済フォイルを取り出して密閉された専用の保護ケースに収納する作業が残っている。Fig.9 に保護ケースへの収納作業写真を示す。

フォイルの性能向上の観点から見ると、照射済フォイルを観察・分析し、その結果をフォイル製作にフィードバックすることはRCSにとって重要な課題の一つである。回収した照射済フォイルの保護ケースへの収納について説明する。回収した照射済フォイルは性能向上の観点から分析・観察を行うのが重要な課題の一つである。保護ケースに求められる性能は、

- a) フォイルを壊さずに扱えること
- b) フォイルが観察しやすいこと
- c) 観察・分析、保管時にスリムでかさばらないこと

が挙げられる。

そこで、Fig.10 に示すような帯電防止機能付きの亚克力板で組み上げた保護ケースを開発した。保護ケースには、端部にスリット溝が切っており、フォイルフレームは溝に沿ってケース内に収納する。また、ケースの蓋にゴム板がついており、蓋

を閉めることでフレームがきちんと固定されて動かなくなる。保護ケースは、非常にスリムで内部の空気層も小さい。そのため、保護ケースを少々乱暴に扱ってもフォイルへの影響はまったくない程に、安定させることが出来た。保護ケースは透明なアクリル板で製作しているので、360°どこからでも光学的に観察ができる。また、(アクリル越しではあるが)フォイル及びフレームの残留線量分布やGe測定による放射化分析が可能となった。

参考文献

- [1] M. Yoshimoto, et. al., Proceedings of IPAC2010, pp.3930-3932 (2010)
- [2] R.Saeki, et al., The 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010



Figure9 : Retrieval of the radioactive foils from the holder storage rack.



Figure10 : A photograph of the foil preserving case.

5. まとめ

照射済の放射化したフォイルを安全に回収することを目的として、荷電変換フォイル交換ブース及び密閉ボックスの開発を行った。交換ブースを用いたフォイルの回収手法を確立することによって、フォイル回収作業時の作業員の体内被ばく、作業エリアの汚染リスクが大幅に軽減された。また、放射化したフォイルの分析と観察のために保護ケースを開発した。この保護ケースを用いることで放射化したフォイルの保管・管理がしやすくなり、観察のための取り扱いが容易になった。

今後のビーム運転に伴い、多くの照射済フォイルが回収されるので放射化したフォイルの分析を行い、フォイル製作へのフィードバックを行う予定である。