

Development of foil charge stripping system for RCS of J-PARC

Yasuhiro Takeda^{1,A)}, Isao Sugai^{A)}, Yoshio Arakida^{A)}, Yoshio Irie^{B)}, Michikazu Kinsho^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

2-4 Haposhirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

Abstract

We have designed the charge stripping device for 3-GeV RCS of J-PARC. This device consists of 3 parts. The H^- beam from linac is converted into H^+ beam by the first stripping foil. The H^0 and H^- beam not converted by the first stripping foil is converted into H^+ beam by the second and the third stripping foils. The driving mechanism is operated by the transfer-rod. By using these devices, it results in the length of about 2/3 and lightening, compared with system used bellows.

J - PARC荷電変換駆動システムのデザイン

1. はじめに

現在、茨城県東海村に建設中の J - P A R C 計画では、線形加速器により加速された 1.80-MeV の H^- ビームを炭素荷電変換膜で H^+ ビームに荷電変換させ、3-GeV シンクロトロンに入射させる。その後、3-GeV シンクロトロンで周回した陽子ビームは、50-GeV シンクロトロンや物質・生命科学実験施設へ送られる。荷電変換膜による荷電変換入射は、入射する H^- ビームと周回している H^+ ビームを同一軌道に乗せるため、ビームロスが少なく、陽子ビームの強度を高めることが出来ることで、世界の大強度陽子加速器では一般的な入射方法である。ここで使われる荷電変換膜は入射ビームのみならず周回ビームにさらされるため、ビーム照射によるダメージにより破損が起こる。また、ビームによる発熱 (1500 K 以上) や、放射線損傷によっても変形や破損が起こると考えられている。我々は、この悪条件に耐えうる長寿命の炭素荷電変換膜を開発中ではあるが、破損の起こらない膜を製作することは不可能である。このため、膜が変形や破損をした際、加速器の運転になるべく影響しないよう速やかに炭素フォイルを交換する装置を設計する必要がある。高放射線下になることが予想され、材質や駆動方式には十分検討を行い設計した。ここでは荷電変換装置の開発状況について報告する。

2. 荷電変換

線形加速器で加速された H^- ビームは、第一荷電変換膜で H^+ ビームに荷電変換され、3-GeV シンクロトロンへ入射する。その際に使用する炭素薄膜の厚さは、1.80 MeV 入射の場合、 $200 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、将来予定されている 4.00 MeV 入射の場合、 $300 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ である。入射ビームの大部分はこの第一荷電変換膜で荷電変換されるが、変

換効率との兼ね合いから、1%程度は H^0 ビームや H^- ビームとして残る。この残ったビームはそのままにしておくとビームロスとなり、周辺のビームダクトやチャンバーを放射化させてしまう。ビームロスによる放射化をなるべく抑えるため、我々のシステムでは、第一荷電変換膜後方に第二荷電変換膜と第三荷電変換膜を配置し、それぞれ H^0 ビーム、 H^- ビームを H^+ ビームに荷電変換した後、ビームバンブへ導く。(図1)

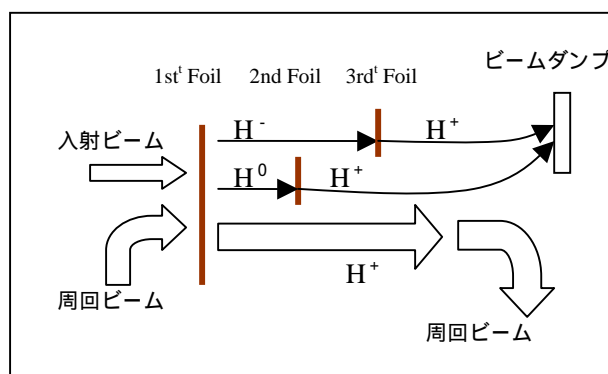


図1 荷電変換概略

3. 試験機によるテスト

実機を製作する前に大気中で動作させる試験機を製作し、機器の問題点の洗い出し及び、カーボンワイヤーで固定した荷電変換膜の振動による影響の観察を行なった。100数回の試験の結果、フレームと収納ラックの衝突やフレーム収納時の回収ミスなど問題点が多数見つかった。問題点及び原因 (主なもののみ)

- ・フレームと収納ラックの衝突 > 制御プログラムのミス

¹ E-mail: yasuhito.takeda@kek.jp

- ・フレーム収納時の回収ミス>フレームと収納ラックの摩擦力が大きい
- ・スペアfoil駆動ギアが摩擦で削れる>片持ち構造のためギアに負担がかかる
- ・モーターが高温（最高91度）>負荷が大きい
- ・衝突等のトラブル時に前の状態を再現できない>位置決めがしっかりされていない

荷電変換膜やカーボンワイヤーは装置の振動によって破損等の問題点は特に感じられなかった。真空中でも問題ないと思われる。

実機では、全くトラブルの起こらない、誰でも使用できる装置を製作する必要がある。試験機の問題点を踏まえ実機の設計を行なった。



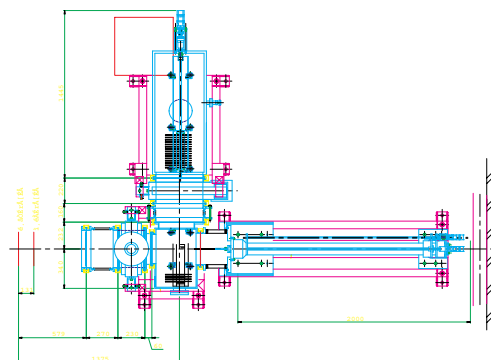
図2 荷電変換装置試作機

4. 第一荷電変換装置

第一荷電変換装置は第一荷電変換膜が変形や破損した場合、速やかに他の膜に交換するために、1) アーム部駆動機構、2) フレーム保持機構、3) スペアfoil交換機構を持つ構造とし、各駆動系が連動して膜を交換する。(図3)

4.1 アーム部駆動機構

スペアfoil収納ラックから荷電変換膜の装着したフレームを引き抜き、約1300mm先のビーム軌道まで移動、保持させる機構。アーム部駆動機構のビーム軸方向には溶接ペローが設置されており、鉛直駆動機構によって±10mmの上下補正を行なえるようにしている。試作機製作段階では、駆動部伝送方法に長尺ペローズを使用し行なう予定であったが、荷電変換部のトンネルの寸法が長尺ペローズを使用した場合に収まりきれないことがわかり、伝送方法の再検討を行った。その結果、長尺ペローズ方式に変わる、トランスファーロッド方式と真空搬送ロボット方式の2方式に絞り込んだ。表1に利点と弱点を示す。



CP

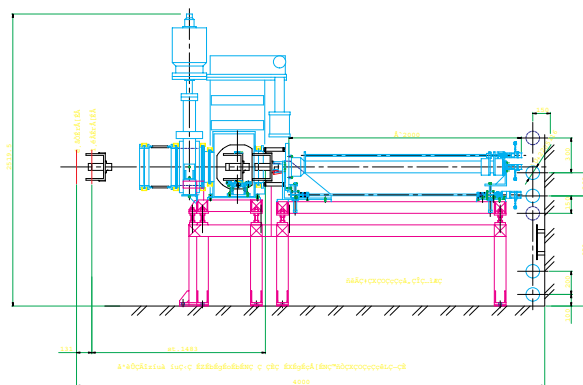


図3 第一荷電変換装置

表1

| | 利点 | 弱点 |
|--------------|--|---|
| 長尺ペローズ方式 | 内部軸と外部が連動する | ペローズ寿命が短い 駆動部が非常に長い |
| トランスファーロッド方式 | ペローズ方式に比べ長さが約3分の2になる。 真空と大気が完全に遮断できる。 | 内部と外部が磁力で結合している (直接伝動できない) 磁石の放射線での影響 |
| 真空搬送ロボット方式 | ペローズ方式に比べ長さが約2分の1になる。 | 駆動パーツが多い エンコーダーなどの放射線に対する技術課題が多い |

装置の設置スペースから真空ロボット方式が望ましいが、放射線に対する技術的課題が多く、開発期間がないことから、最終的にトランスファーロッド方式で設計を行なうことにした。アーム部駆動とフレーム保持駆動の2駆動の動作が必要のため、2軸のトランスファーロッドを使用する。開発段階では、様々な問題が出てきた。1) 市販されているロッド径(外径16mm×内径11mm)を使うと、先端でのロッドのたわみが非常に大きくなる。先端でのたわみを1mm以内に収めるためには、外径60mm×内径50mmにする必要がある。トランスファーロッドの内部構

造や磁石などを見直した再設計した結果、太いロッドを持つトランスファーロッドを開発し、実用化に目処が立った。2) 放射線下で磁石の磁力が減少する可能性があるため、磁石はなるべく放射線に強いものにする必要がある。サマリウムコバルト系の磁石だと他の材質に比べ磁力が強いため、これを使うことにした。また、万が一の磁力低下に備え、通常配置する磁石より多目の磁石を配置して磁力を補う。3) 真空内部のロッドと外部駆動機構とは磁力で結合しているため、不用意な力によってロッドが外れることが考えられる。通常配置する磁石より多目の磁石を配置して磁力を補うことで、外れない構造とした。万が一外れた場合に備え、真空外部に検出器を置いて監視も行なう。

トランスファーロッドは内部と外部を磁力で結合しているため、内部のロッドの位置を検出するには、リミットスイッチなどの位置検出器を真空中に置くことが必要である。しかし、真空中にはなるべくガスを出す物質を入れたくはない。そこで我々は、リードスイッチなどの磁気センサを使った位置検出を行なうことにした。真空中には磁石のみを設置し、真空外部にセンサとケーブルを這わすことで真空中にガスの発生する物質を入れなくて良い構造とした。

将来、荷電変換膜にあたっているビーム電流をモニターして荷電変換膜の状態やビームの状態を監視できないかとの要望がある。そこで、ロッドを支えるベアリングをセラミックブッシュで浮かせ、電流を外部に引き出す方向で考えている。しかし、微量電流であるため、その電流の引き出し方には、今後検討する必要がある。

4.2 フレーム保持機構

収納ラックに収められたフレームをクランクにより固定する機構。フレームの保持を引き出しから収納まで固定を持続し、途中で落とすことのないような設計を行なう。クランクは、モーターの回転を直線運動に変換し、2軸トランスファーロッドの内軸を介して上下運動に変換する。試作機では、フレームの回収ミスが頻繁に起きた。回収ミスをなくするためには、確実にフレームを掴み、収納ラック収納後は確実に離す必要がある。試作機では、フレームを上部より挟むことで固定し、引き出していたが、この方法では、収納ラックにフレームを擦る危険性がある。そこで、実機ではフレームを下から掴む方式に変更し、フレームを若干持ち上げてから引き出すことにした。この方式によりフレームと収納ラック間の摩擦は大幅に軽減され、フレームの回収ミスは改善されると思われる。

4.3 スペアフォイル交換機構

荷電変換膜を充填したスペアフォイル収納ラックを置いた後、荷電変換膜交換時に交換位置までの移動させる機構。交換時以外は、交換位置から遠ざけてゲートバルブで真空を区切り、予備の荷電変換膜から発生するガスがメインの真空に影響を与えることを防ぐ。試験機では、片もち駆動であったため、駆動精度が悪く、ギアに相当の負担がかかっていた。この為、実機ではボールネジによる直動機構に変更し、装置全体を均等に

荷重するようにした。また、駆動部の短縮化の為に、はしご車型の駆動方式に変更した。

トランスファーロッドの回転方向の精度は ± 1 degreeで、傾いた場合には収納ラックと接触する可能性がある。このため、収納ラックに上下左右に板状パネを設け、多少の傾きは補正できる構造とした。上下左右に ± 2 mm程度の動き代を設けたことにより、 ± 2 degree程度の回転誤差を吸収可能とした。

フレーム収納ラックは、スペアフォイル交換機構上面より交換を行う。容易に位置決めと脱着が出来る構造となっており、ガイドに沿って挿入することで、位置の再現が行われる。

5. 第二・第三荷電変換装置

第2・第3荷電変換膜の荷電変換に使用する膜は、厚い膜であり、かつ膜にあたるビーム量が少ないため、破損する可能性は低い。しかし、万が一のことが起こることを考え、同じフレームに2枚の膜を並列に並べて交換出来る機構とする。移動は第一荷電変換同様にトランスファーロッドで行い、交換時はトランスファーロッド全体をビーム軸から離す方向にリニアガイドを用いてスライドさせて膜を交換する。(図4)

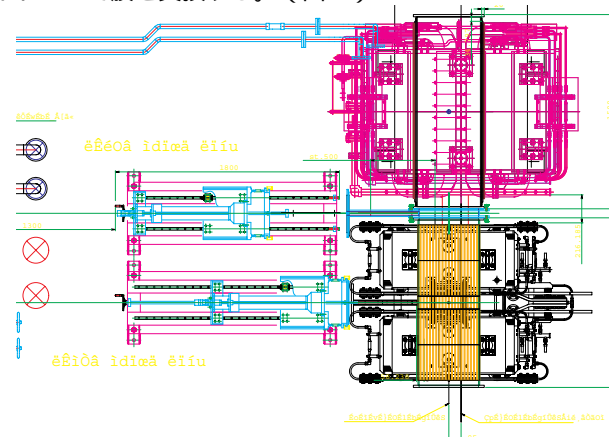


図4 第二・第三荷電変換装置

5. まとめと今後

荷電変換の移動機構にトランスファーロッドを採用したことで、短縮化と軽量化が図られ、ベローズ方式を採用したときに比べ、機器構成が非常にコンパクトになった。試作機の経験を生かした機器の構造や駆動方法の見直しを行い、トラブルを起こした場合でも誤差を吸収させたり、早期に復旧できる構造とすることができた。今後は、位置検出器の最適化を行いながら装置の詳細な設計、製作を行なっていく予定である。

参考文献

- [1] I.Sugai, Y.takeda et al., Development of Thick Hybrid Type of Carbon Stripper Foils with High Durability against 1800K for RCS of J-PARC, Nucl. Instr. And Metho. In Physics Research A in press

