

## DEFORMATION OF A HBC STRIPPING FOIL DUE TO BEAM IRRADIATION IN J-PARC RCS

Riuji Saeki<sup>1</sup>, Masahiro Yoshimot, Yoshio Yamazaki

Osamu Takeda, Michikazu Kinsho

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

2-4 Shirane, Shirakata, Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki-Ken, JAPAN, 319-1195

### Abstract

The HBC stripping foils are installed for the beam injection at the 3GeV RCS in J-PARC. The RCS started user operation with a high power beam of 120kW for the MLF experiments since November 2009. Results of the beam study with the HBC foils will be presented including the outgassing from the foil and the deformation the foil during the beam irradiation.

### J-PARC RCS 荷電変換フォイルのビーム照射による形状の変化と

### 真空容器内の圧力推移

#### 1. はじめに

Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC)は3基の加速器から構成されており、その中の早い繰り返しの3GeVシンクロトロン(Rapid Cycling Synchrotron; RCS)は2007年9月から初期ビームコミッションを開始し2008年2月まで行った。初期ビームコミッションの結果を踏まえて、RCSのビーム供用運転に向けて、2009年夏期加速器運転停止期間中に荷電変換フォイルを新たに交換した。

本論文は2009年10月から使用した新しい荷電変換フォイルについてまとめたものである。2010年6月までの約1年間のビーム供用運転期間で、ビーム照射による真空圧力の変化と、フォイル形状の変形について報告する。

#### 2. 荷電変換装置概要

RCSでは、3枚の荷電変換フォイルを用いた荷電変換多重入射方式を採用している。図1にRCSでの荷電変換フォイルを用いたビーム入射の概念図を示している。第1荷電変換フォイルでリニアックから入射されるH<sup>-</sup>ビームをH<sup>+</sup>ビームに変換する。第1荷電変換フォイルでH<sup>-</sup>に変換し損ねたH<sup>0</sup>ビーム及びH<sup>-</sup>ビームは、それぞれ第2、3荷電変換フォイルでH<sup>+</sup>ビームに変換してH<sup>0</sup>ビームダンプに廃棄する。

この3枚の荷電変換フォイルを制御するための3台の荷電変換装置を開発した<sup>[1]</sup>。図2は荷電変換装置の外観写真である。フォイル位置調整には3台ともトランスファーロードを採用している。さらに第1荷電変換装置には、ビーム照射によるフォイルの損傷を考慮して、遠隔で且つ真空中でフォイル交換できる仕組みを開発した。図3に第1荷電変換装置の

概略図を示す。トランスファーロードが設置されている真空容器1と予備フォイル(全部で15枚)を保管している真空容器2から構成されている。またリング側の真空容器と真空容器1との間にゲートバルブ320(GV320)を、真空容器1と真空容器2との間にゲートバルブ400(GV400)を設置しており真空の仕切りを行っている。荷電変換フォイルはフォイルフレームに装着されており、このフレームを介して、フォイル交換及びフォイル位置の調整を行っている。図4にフレームに装着されて荷電変換フォイルの写真を示す。荷電変換フォイルは2組のC型フレームに直径10 $\mu$ mのSiCファイバーを網状に張り、そのファイバー付C型フレームでフォイルを挟み固定している。

現在使用している荷電変換フォイルは、KEK菅井氏により開発されたボロンを僅かに含む、複合炭素薄膜(HBCフォイル)<sup>[2]</sup>で幅40mm×長さ110mmで厚みは196 $\mu$ g/cm<sup>2</sup>である。2009年夏期加速器運転停止期間中にフォイルの交換を行い、2009年10月のビーム供用運転再開から2010年6月までの1年間で合計9回のビームラン(RUN26-34)を行った。この間フォイルは変形こそ見られるが、荷電変換効率等の性能劣化はなく、またフォイル本体も破損することなく使用することが出来た。

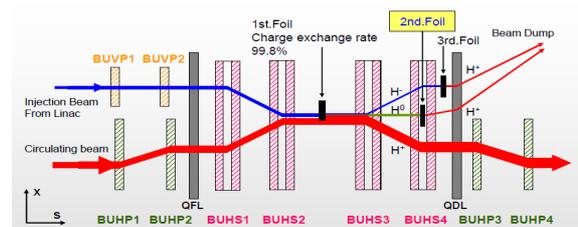


図1: RCSの荷電変換方式

<sup>1</sup> saeki.riuji@jaea.go.jp

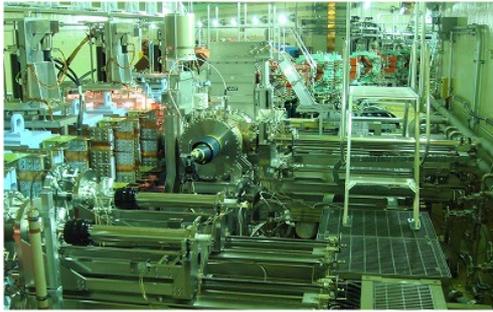


図2：3台の荷電変換装置の外観写真

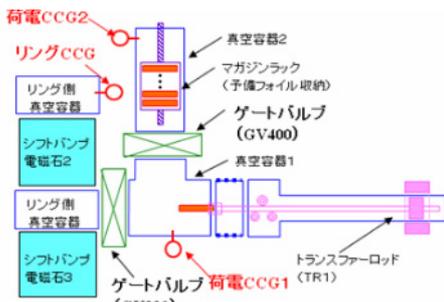


図3：第1荷電変換装置の概念図

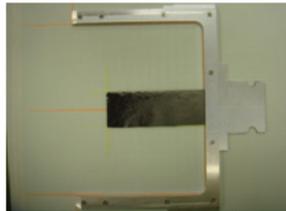


図4：荷電変換フォイルおよびフレーム

### 3. ビーム運転時の真空圧力の推移とフォイル形状の変化

ビーム運転時には、荷電変換フォイルにビームが照射されることにより真空圧力が上昇する。そこで、荷電変換フォイル周辺の真空圧力の監視を行い、ビーム照射量と真空圧力の推移についての相関をしらべた。真空圧力計測には、コールドカソード真空計 (CCG) を使用し、図3に示すゲートバルブで区切られる真空領域毎に真空容器圧力を取得した。デー

タ収集系は各真空系のアナログ出力を KEYENCE 製 データロガー (NR600) で取り込み、1秒サンプリングでデータを収集した。ビーム照射量は J-PARC 全体の粒子数カウンターから RCS に入射されるもののみ切り出し、ビームラン毎にまとめた。図5は2009年10月のビーム供用運転再開から2010年6月までの1年間の真空圧力の推移と荷電変換フォイルに照射される粒子数をまとめたものである。図5をみると、ビーム照射に伴い真空圧力が上昇していることが分かるが、それ以外にも真空圧力が大きく跳ね上がる現象がみられる。これは、第1荷電変換装置を駆動させた時にゲートバルブ及び駆動軸系からのアウトガスが原因である。代表的な例として、図6にフォイル交換を行った時の真空圧力の変化を示す。この様に、ゲートバルブの開閉操作及び駆動軸系の操作により真空圧力が約2ケタも上がることが確認された。しかし、フォイル交換等の作業が終了するとすぐに真空圧力が低下し、ビーム運転までには元の真空圧力まで回復するため、ビーム照射と真空圧力上昇との相関関係には影響を与えないことを確認した。

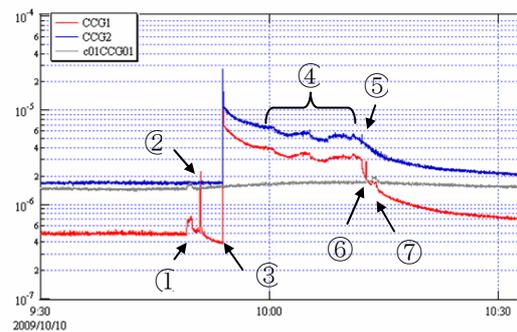


図6：荷電変換措置機器の真空圧力の変化

- ① TR 軸移動 (退避)
- ② GV320 閉操作
- ③ GV400 開操作
- ④ マガジンラック 軸移動
- ⑤ GV400 閉操作
- ⑥ GV320 閉操作
- ⑦ TR 軸移動 (挿入)

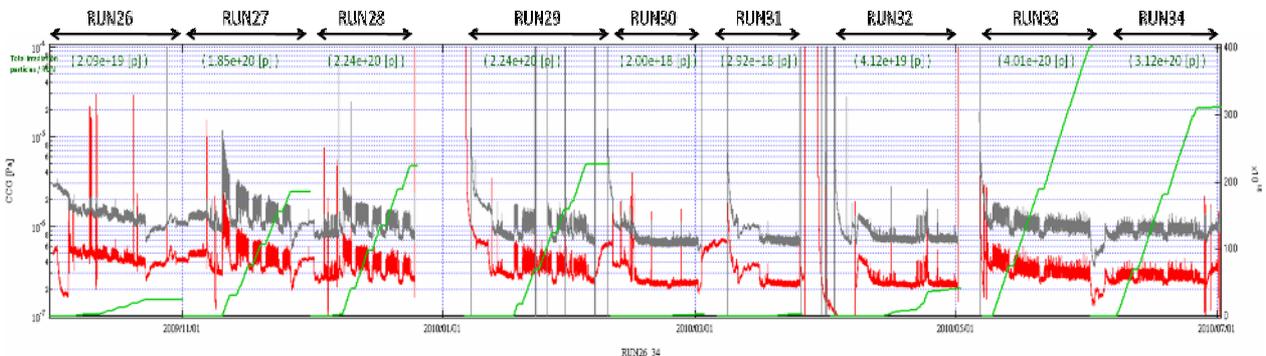


図5：2009年10月から2010年7月 (RUN26~34) までの真空圧力の推移とラン毎のビーム照射量

ビーム供用運転時の RCS からのビーム出力は、RUN26 はビーム出力 20kW 運転、それ以降は 120kW 運転で行った。ただし、RUN30-32 については MLF ターゲットのトラブルにより MR 運転のみである。

次にラン毎にビーム照射による真空圧力の推移と荷電変換フォイルの形状の変化の様子について詳しく見てみる。

### 3.1 RUN26

図7はRUN26のビーム照射時の真空圧力の推移とフォイル形状の変化をまとめたものである。RUN26の前半は旧フォイルを用いたビーム再現性確認を行い、その後フォイル交換を行い20kWでのビーム供用運転を開始した。ビーム照射による真空圧力の上昇はみられるが、その変化量は $1.5 \times 10^{-7}$  [Pa]と小さい。RUN26はセンター入射によるビーム調整を行ったため、フォイル上下方向のほぼ中心にビームを入射している。そのため、ビーム照射点でフォイル形状のゆがみが観測された。

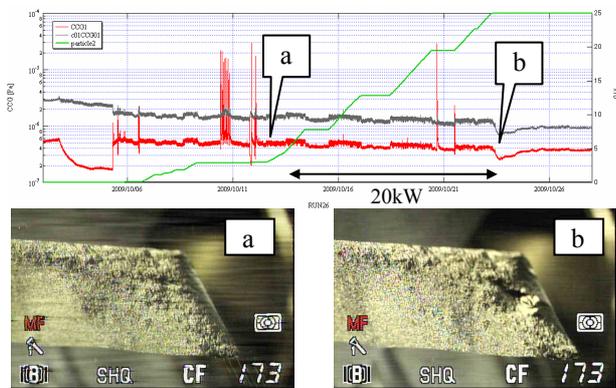


図6：RUN26 真空圧力の推移と荷電変換フォイルの変形

- ビーム運転条件：20kW出力、センター入射
- ビーム照射前の真空圧力： $4.0 \times 10^{-7}$  [Pa]
- 20kW運転時の真空圧力： $5.5 \times 10^{-7}$  [Pa]
- ビーム照射総量： $2.09 \times 10^{19}$  [p]

### 3.2 RUN27

RUN27から120kWビーム出力での供用運転を開始した。またRCSの入射方式もペイント入射を採用し、ビーム照射点はフォイル上下方向に10mm上側に変更した。図7はRUN27の結果をまとめたものである。120kWビーム運転を開始した直後の真空圧力は運転開始前に比べて1桁上昇した。しかし、フォイルへのビーム照射を継続するにつれて徐々に低下し、40時間後には $3 \times 10^{-6}$  [Pa]までになり、ラン終了時には $5 \times 10^{-7}$  [Pa]まで降下した。これは、ビーム照射により荷電変換フォイルからのアウトガスが徐々に枯れてきているために生じたものと考えられる。次にフォイル形状の変化についてみる。フォイルからのアウトガスが大きいaからbにかけてはフォイル形状が著しくゆがんでいることが分かった。その後、フォイルからのアウトガスが徐々に安定して真空圧力の上昇がほぼ一定になるにつれて(cからdにかけて)フォイルの変形はかなり小さくなっていることが確認できた。

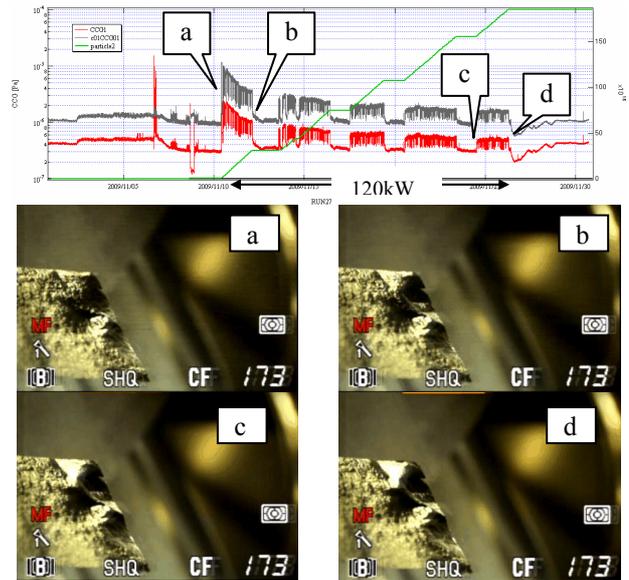


図7：RUN27 真空圧力の推移と荷電変換フォイルの変形

- ビーム運転条件：120kW出力、ペイント入射
- ビーム照射前の真空圧力： $3.0 \times 10^{-7}$  [Pa]
- 120kW運転時の真空圧力： $3.0 \times 10^{-6}$  [Pa]
- ビーム照射総量： $1.85 \times 10^{20}$  [p]

### 3.3 RUN28

RUN28では引き続き120kWビーム供用運転を行った。その途中で300kWビーム出力の試験運転も実施した。図8はRUN28の結果をまとめたものである。300kWビーム出力の試験運転は1時間×2セット実施した。このとき真空圧力は1セット目が $1.8 \times 10^{-5}$  [Pa]まで上昇し、2セット目は $5.8 \times 10^{-6}$  [Pa]まで上昇した。この間でのフォイル形状の著しい変形は見られなかった。これは照射されるビーム強度は増加したが、照射時間が短かったためにゆがみの進行がほとんどなかったと思われる。120kW供用運転時については、RUN27前半ほどではないが照射開始直後に上昇傾向がみられ、その後フォイルからのアウトガスが徐々に減少し安定しているように思われる。またフォイルからのアウトガス量の変化に伴い、フォイル形状の変形が進行していることが分かった。

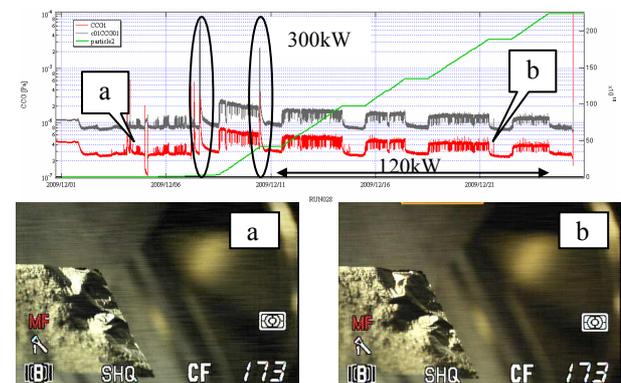


図8：RUN28 真空圧力の推移と荷電変換フォイルの変形

- ビーム運転条件：120kW出力、ペイント入射
- ビーム照射前の真空圧力： $3.0 \times 10^{-7}$  [Pa]

- 300kW 試験運転時の真空圧力 :  $1.8 \times 10^{-5}$  [Pa]
- 120kW 供用運転時の真空圧力 :  $7.0 \times 10^{-7}$  [Pa]
- ビーム照射総量 :  $2.24 \times 10^{20}$  [p]

### 3.4 RUN29

RUN29 も同様に 120kW 供用運転を行った。今ランについては、ビーム照射直後の真空圧力上昇はほとんど見られないが、ビーム照射を継続するに従い真空圧力が徐々に低下、つまりフォイルからのアウトガスが減少していく様子が見られる。フォイル形状の変形についても今ランの開始前と終了後では、わずかではあるがゆがみが進行している。

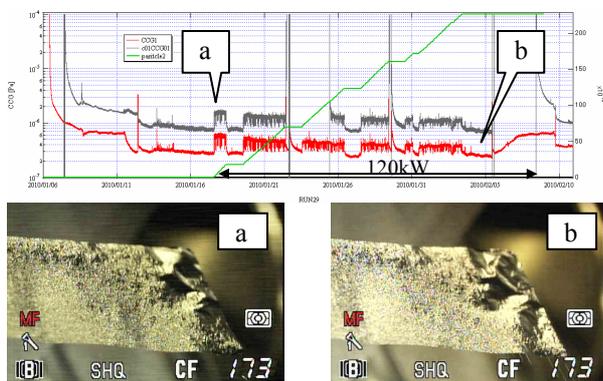


図 9 : RUN29 真空圧力の推移と荷電変換フォイルの変形

- ビーム運転条件 : 120kW 出力、ペイント入射
- ビーム照射前の真空圧力 :  $2.8 \times 10^{-7}$  [Pa]
- 120kW 供用運転時の真空圧力 :  $6.0 \times 10^{-7}$  [Pa]
- ビーム照射総量 :  $2.24 \times 10^{20}$  [p]

### 3.5 RUN30~32

RUN30 から 32 については、MLF ターゲットのトラブルにより、MLF への 120kW ビーム供用運転を停止し、MR への供用運転のみ行った。この間のビーム照射総量は著しく低下しており、真空圧力の上昇やフォイル形状の変形もほとんど生じていなかった。

### 3.6 RUN33~34

MLF ターゲットの復旧に伴い、RUN33 から 120kW 供用運転を再開した。RUN33 ではビーム照射直後真空圧力の上昇は  $3.5 \times 10^{-7}$  から  $6.0 \times 10^{-7}$  までとごくわずかしかなかった。またビーム照射継続による真空圧力上昇の変化についても、ほぼ一定になっている。RUN34 も、同様に真空圧力上昇も一定であり、荷電変換フォイルからのアウトガスがほぼ枯れたと思われる。さらにフォイル形状の変化もフォイルからのアウトガスの枯れによりほとんど進行していないように見える。

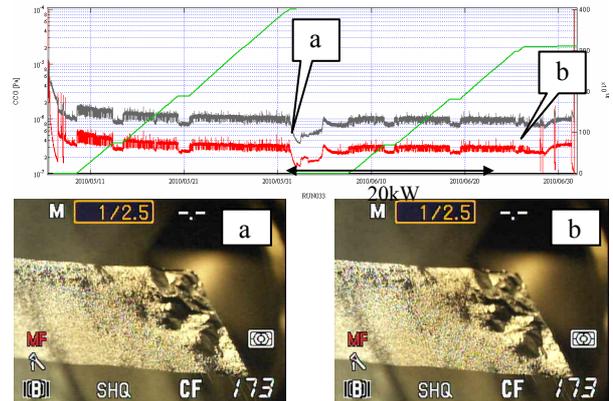


図 10 : RUN33 及び 34 真空圧力の推移と荷電変換フォイルの変形

- ビーム運転条件 : 120kW 出力、ペイント入射
- ビーム照射前の真空圧力 :  $2.3 \times 10^{-7}$  [Pa]
- 120kW 運転時の真空圧力 :  $3.0 \times 10^{-7}$  [Pa]
- ビーム照射総量 :  $4.01 \times 10^{20}$  [p] /  $3.12 \times 10^{20}$  [p]

## 4. まとめ

2009 年の夏期加速器運転停止期間中に荷電変換フォイルを新たに交換し、2009 年 10 月から 2010 年 6 月までの約 1 年間のビーム供用運転期間で、ビーム照射による真空圧力の変化と、フォイル形状の変形について継続的に観測を行った。ビーム照射により、荷電変換フォイルからのアウトガスと思われる真空圧力の上昇がみられ、ビーム照射を継続するに従い、アウトガスが枯れ真空圧力の上昇低下し安定する様子が見られた。またフォイル形状もビーム照射により変形するが、アウトガスが枯れるに従いそのゆがみの進行が遅くなっていることがわかった。

現在 2010 年の夏期加速器運転停止期間中であり、新たに予備として荷電変換フォイルを想定する予定であるが、現在使用中のフォイルは、この後ビーム照射によりどのように変形し、破損するかを観測するために、引き続き使用する予定である。

## 参考文献

- [1] M. Yoshimoto *et. al.*, "Improvements of the Charge Exchange System at the 3GeV RCS in J-PARC", Proceedings of IPAC10, Kyoto, May 2010, pp3930-3932.
- [2] I. Sugai, *et. al.*, "Development of thick hybrid-type carbon stripper foils with high durability at 1800K for RCS of J-PARC", Nucl. Inst. And Meth. A561(2006) 16-23.