

J-PARC MR 静電セプトムリボンのアライメント測定

MEASUREMENT OF ELECTROSTATIC SEPTUM RIBBONS ALIGNMENT AT J-PARC MR

沼井一憲^{#, A)}, 武藤亮太郎^{A)}, 富澤正人^{A)}, 村杉茂^{A)}, 柳岡栄一^{A)}, 岡村勝也^{A)}, 木村琢郎^{A)},
白壁義久^{A)}, 松村秋彦^{B)}

Kazunori Numai^{#, A)}, Ryotaro Muto^{A)}, Masahito Tomizawa^{A)}, Shigeru Murasugi^{A)}, Eiichi Yanaoka^{A)}
Katsuya Okamura^{A)}, Takuro Kimura^{A)}, Yoshihisa Shirakabe^{A)}, Akihiko Matsumura^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

^{B)} Nippon Advanced Technology Co.,Ltd

Abstract

The high intensity proton beam for Hadron experimental hall is provided by slow extraction at J-PARC Main Ring. The electrostatic septum is one of the devices used for slow extraction. The electrostatic septum consists of an electrode and a yoke inside a chamber, and rhenium-tungsten ribbons are stretched over the yoke. The alignment accuracy of these ribbons affects the beam loss, so we measure it and replace the poorly aligned ribbons. As a result of the first ribbon alignment measurement in 2022, two peaks were observed in the measured values. Since the ribbon used this time had had the oxide film removed, we decided to replace it, including for the purpose of confirming the cause. In order to replace the ribbon, we conducted a survey on the correlation between the surface condition of the ribbon and alignment accuracy, which had not been done before, measured the ribbon with a single-axis stage, and changed the press metal cap of the ribbon. Since we obtained good results, we report on the ribbon alignment measurements we have made so far.

1. はじめに

J-PARCの陽子加速器は様々な実験をおこなっているが、そのうちハドロン実験施設とニュートリノ実験施設に大強度の陽子ビームを供給しているのがメインリングと呼ばれるシンクロトロンである。タイトルにある静電セプトム(以下 ESS)はメインリングで加速された陽子をハドロン実験施設に向けて供給する際に使われる機器のうちの一つで、その方式は遅い取り出しと呼ばれる。ESSはチェンバーの中にヨークと電極が向かい合って入った構造をしており、ヨークにはレニウム-タングステンのリボンが張られている。電極に電圧をかけることによってリボンとの間に電場を形成し、この電場を利用し陽子ビームを取り出している[1]。リボンのアライメント精度が悪いと漏れ電場が大きくなりビームロスに影響するため、測定を行いアライメントの悪いリボンは張り替えを行う。この測定には定盤に設置されたリニアガイドによって走るレーザー変位計を用いる。2022年に製作したESS予備機ヨークのリボンアライメントを測定したところ2013年と比べ、アライメント精度が悪くなっており、測定値にも2つのピークが見えた。今回使用したリボンは酸化皮膜を除去したものであり、原因確認の目的も含め張り替えを決定した。リボン張り替えにあたり、今まで行っていなかったリボンの表面状態とアライメント精度の相関関係についての調査、1軸ステージによるリボンの測定、リボンのかしめ金具の変更を行い、その結果良好な結果が得られた。

2. 2022年のリボンアライメント測定

アライメント測定ステージは2022年にKEKつくばキャンパスのミュオン第2実験棟からJ-PARCのリニアック棟クライストロンギャラリーのクリーンブース内に移動された。アライメント測定のセットアップをFig. 1に示す。定盤にヨークを設置した後、レーザー変位計を移動させながらリボンアライメントを測定する。測定条件として、ステージはヨークの長手方向に1 mm/sで動かし、Samplingは10 msとして測定した。レーザー変位計の焦点距離は5 mm±0.3 mmである。この条件は2013年の測定と同等である。2022年のリボンアライメントの測定結果についてFig. 2に示す。ここでx[μm]はリボンの焦点距離からのズレ量、z[mm]はヨーク長手方向についてのレーザー変位計の位置である。今回の測定の結果、リボンアライメン



Figure 1: Measurement setup.

[#] knuma@post.kek.jp

トは $45.0\ \mu\text{m}$ であった[2]。2013 年に製作した ESS は 1 号機が $28\ \mu\text{m}$ 、2 号機が $43\ \mu\text{m}$ であった。このうち、2 号機はヨーク本体が弓形になっておりその影響がエラーに現れていた。今回のヨークの直線性は 2013 年の 1 号機と同程度のため、リボンもしくはその張り方によってこのようなエラーが現れている。また、値のピークも 2 つあることが確認できる。これは特に 1000 から 1200 mm の区間で目立っている。

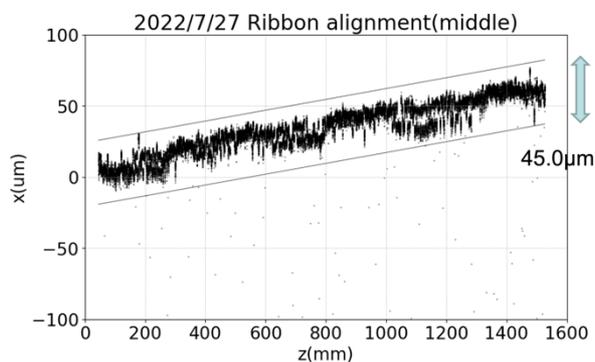


Figure 2: Ribbon alignment in 2022.

3. アライメントエラーの原因

今回製作したリボンは酸化皮膜を除去したものを使用している。そこで、リボン表面の状態とリボンアライメントエラーとの相関を調べた。リボンの表面はレーザー変位計に備え付けられているカメラの映像を利用した。

リボンの表面は (a)縞模様、(b)梨地、(c)暗めの 3 種類に分類できた。それぞれの写真を Fig. 3 に示す。表面状態ごとに、縦軸をリボンの数、横軸をリボン表面のヨーク面からの変位 [μm] についてヒストグラムをとったものを Fig. 4 に示す。縞模様に見えるリボンはヨーク面からの変位が $45\sim 50\ \mu\text{m}$ に分布している一方、梨地のリボンは $35\ \mu\text{m}$ 付近のものが多かった。これからリボンの表面状態が、リボンアライメントに影響していることが分かった。

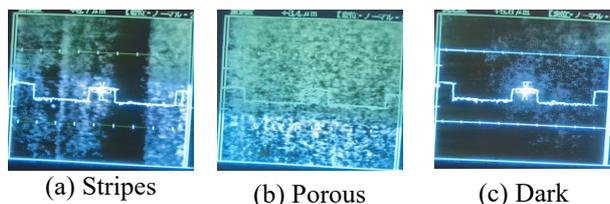
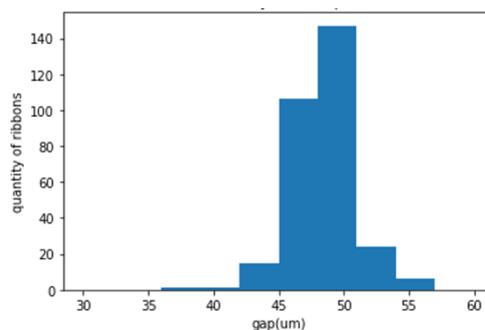


Figure 3: Ribbon surface.

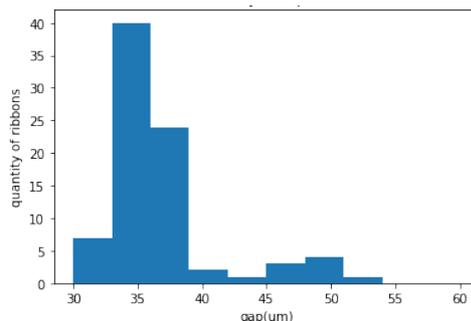
4. リボンの張り替え

4.1 かしめ金具の改良

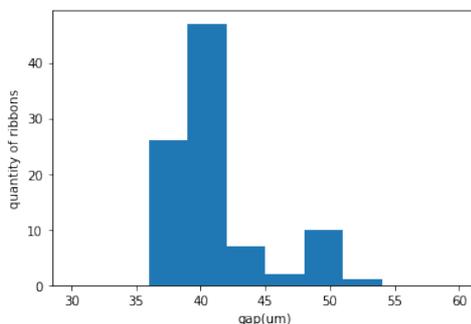
リボンの状態がアライメントエラーに影響していることが分かったため、リボンの全数張り替えを決定した。その張り替えには 2021 年製のリボンを使用した。リボンの張り替えにあたり、リボンのかしめ金具の改良と 1 軸ステージによる事前の測定を行った。このうち、リボンのかしめ金具改良の目的はリボンへの負荷を軽減することである。かし



(a) Stripes



(b) Porous



(c) Dark

Figure 4: Ribbon alignment.

めりボンの引張検査中にリボンの切断が発生しており切断箇所を確認したところ、かしめ金具の端面にてリボンへ負荷がかかっていた。これは主に金具製作時にできたバリによるものである。このときの切断荷重は $2.5\ \text{kgf}$ であった。かしめ位置を端面から $1\ \text{mm}$ オフセットさせたところ、切断荷重 $2.9\ \text{kgf}$ にて切断は発生しなかったため、このオフセット量で製作を決定した。組み付け後のかしめ金具とリボンを Fig. 5 に示す。



Figure 5: Press metal cap of ribbon.

4.2 1軸ステージでの測定

リボンの張り替えと1軸ステージによる測定は、J-PARCからヨークを輸送し厚木市のマイテックにて行った。1軸ステージ導入の目的はリボンアライメントの簡易測定にある。リボンの張り替え作業はヨークの姿勢を変更しリボン面を上面とするため、測定とリボンの張り替えを交互に行うと時間がかかってしまうためである。1軸ステージの構造は、架台の上部に吊り下げの形でレーザー変位計が取り付けられており、それをリニアガイドによって動かし、リボンを測定していく。そのセットアップを Fig. 6 に示す。

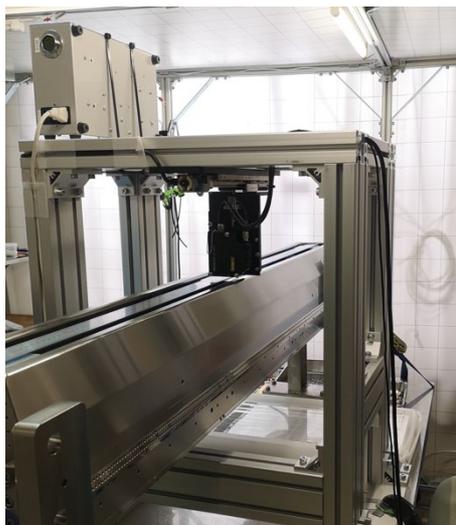


Figure 6: Single-axis stage.

5. 2023年のリボンアライメント測定

全数のリボンを張り替えた後、2023年4月に再度ヨークをJ-PARCリニアック棟へ輸送し、クリーンブース内でアライメント測定を行った。結果は $32.8 \mu\text{m}$ と改善されていた (Fig. 7)。また、2022年にあった2つのピークも見えなくなった。これは酸化して模様が見えるリボンや、反りが大きなりボンを除いたことが大きく貢献していると考えられる。酸化の問題については、密閉保管時に同梱されていたシリカ

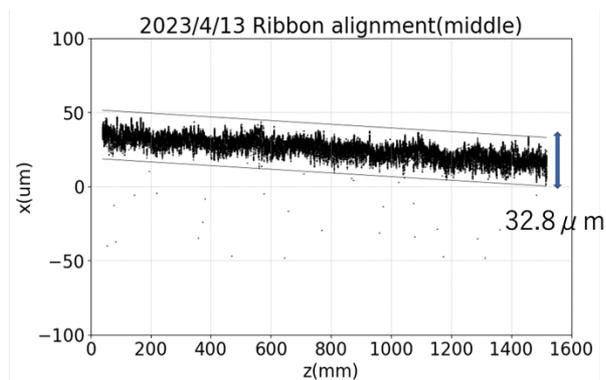


Figure 7: Ribbon alignment in 2023.

ゲルの影響があると思われるので2023年現在製作中のリボンは、梱包を見直し窒素置換したアルミ防湿袋として乾燥剤は入れないこととした。また、反りについては圧延する際の張力の掛け方が影響しており、圧延時に張力が足りないと反りが出てしまうが、強過ぎると切断してしまうため、強度向上としてリボン幅を広く作ることで対策している。

謝辞

今回、ESSや測定機器の製作、改良をしていただいたマイテック山田氏をはじめとする同社の皆様、タングステンリボンの測定にあたりご指導いただいた遅い取り出しグループの富澤氏、武藤亮太郎氏、NATの松村氏、メンバーの皆様に感謝いたします。最後に試験場所をいただいているLINACの皆様にも感謝いたします。

参考文献

- [1] R. Muto *et al.*, “J-PARCメインリングにおける遅い取り出し”, OHO’10 text (2010).
- [2] Y. Arakaki *et al.*, “Titanium electrostatic septa in J-PARC MR”, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan July 31 - August 3, 2019, Kyoto, Japan.