

PF-AR に建設した測定器開発テストビームラインにおける ターゲットと真空系の設計と整備

DESIGN OF TARGET AND VACUUM COMPONENTS FOR PF-AR TEST BEAMLIN

佐々木洋征^{#, A)}, 本田 融^{A)}, 野上隆史^{A)}, 内山隆司^{A)}, 谷本育律^{A)}, 花垣和則^{A)}, 満田史織^{A)},
高木宏之^{A)}, 長橋進也^{A)}, 坂中章悟^{A)}, 山本尚人^{A)}, 内藤大地^{A)}, 外川 学^{A)}, 森 隆志^{A)},
小田川高大^{B)}, 鷺見一路^{C)}, 前田朱音^{C)}

Hiroyuki Sasaki^{#, A)}, Tohru Honda^{A)}, Takashi Nogami^{A)}, Takashi Uchiyama^{A)}, Yasunori Tanimoto^{A)},
Kazunori Hanagaki^{A)}, Chikaori Mitsuda^{A)}, Hiroyuki Takaki^{A)}, Shinya Nagahashi^{A)}, Shogo Sakanaka^{A)},
Naoto Yamamoto^{A)}, Daichi Naito^{A)}, Manabu Togawa^{A)}, Takashi Mori^{A)},
Takahiro Odagawa^{B)}, Kazumichi Sumi^{C)}, Akane Maeda^{C)}

^{A)} KEK

^{B)} Kyoto Univ.

^{C)} Nagoya Univ.

Abstract

A test beamline is currently under construction at PF-AR synchrotron radiation source ring. Gamma rays are produced by installing a carbon target around the halo of the stored electron beam, and electron-positron pairs are generated by irradiating a copper converter installed at the end of the ring bending magnet chamber. This GeV-range electron beam will be used for the development of particle nuclear experimental instruments. Since the target and the converter are exposed to strong synchrotron radiation, the heat generation and temperature distribution have been analyzed after careful consideration of the materials. In addition, heat generation due to parasitic mode loss by the target should be taken into account. We report the status of installation and commissioning of each component fabricated.

1. はじめに

現在、KEK の放射光源リング PF-AR において、GeV オーダーの電子を供給する測定器開発用テストビームラインの計画が進行中である[1, 2]。その原理は、加速器リング内において電子ビームのハロー部までターゲットワイヤを挿入することで、制動放射によりガンマ線が生成される。これを、リング偏向電磁石チェンバーの端部に配置した無酸素銅製コンバーターで電子・陽電子対に変換し、電子テストビームを生成する。この際リングで発生した放射光がターゲット及びコンバーターに照射されるため、適切な冷却およびその温度分布のシミュレーションが不可欠であり、その詳細については前回報告した[3]。本論文では、リングにインストールされた各コンポーネントの設計と設置について報告する。

2. 各真空コンポーネントについて

Figure 1 に今回加速器リングに設置した各コンポーネントの概略を示す。以下、各部の詳細について述べる。

2.1 カーボンターゲット

当初、ガンマ線を発生させるためのカーボンターゲットとして、一般的な炭素繊維が想定されていたが、入手性や取扱いに多大な困難があった。そこで、繊維状のカーボンナノチューブを紡績した CNT ヤーンと、グラフェンを積層して圧着させたグラファイトシートの二種類の材料を

導入した。CNT ヤーンは糸状のため強度および屈曲性が高い。また、グラファイトシートはシート面内方向への熱伝導に優れており、シート状であるために加工も容易である。これらの材料をターゲットとしたときの放射光照射による温度分布のシミュレーション結果は前回報告した通りである[3]。

Figure 2 にこれらのカーボンターゲットを固定する治具を示す。これらのターゲットは二連のターゲット挿入機構を備えた真空チャンバーに設置された(Fig. 3)。ステップモーター駆動により 0.1mm 単位での位置制御が可能で、CCD カメラによりターゲットの状況を監視できる。チャンバーはリング導入前に挿入機構を外した状態でベークを行った。

ターゲット及び固定治具は小さく、寄生モードによる発熱が懸念された。ターゲット挿入機構の軸を水冷し、さらに RF フィンガーも備えた。さらに、チャンバーも含めた寄生モードのシミュレーションを行った。その結果を Fig. 4

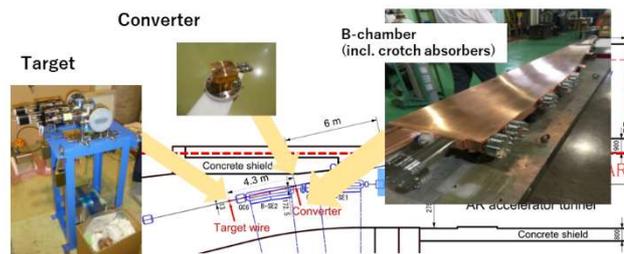


Figure 1: Components installed into PF-AR ring.

[#] hiroyuki.sasaki@kek.jp

に示す。チャンバー全体での損失は 26.6 W と見積もられ、ターゲット部の温度上昇は 40 °C 程度となった。放射光照射による温度上昇と合わせても十分小さいと考えられる。

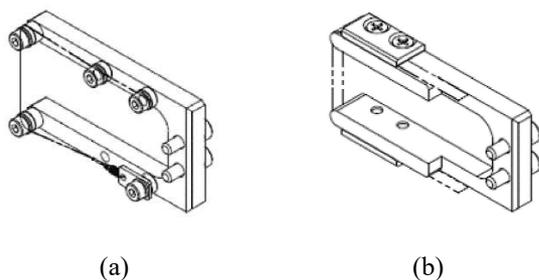


Figure 2: Zigs fixing carbon targets, (a) CNT yarn, (b) Graphite sheet.



Figure 3: Vacuum chamber for introducing carbon targets.

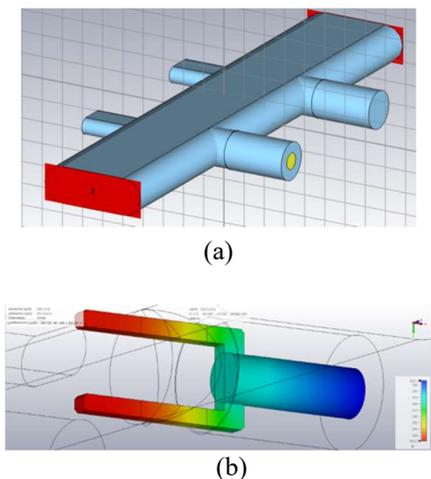


Figure 4: Simulations for parasitic modes of (a) target chamber, (b) target.

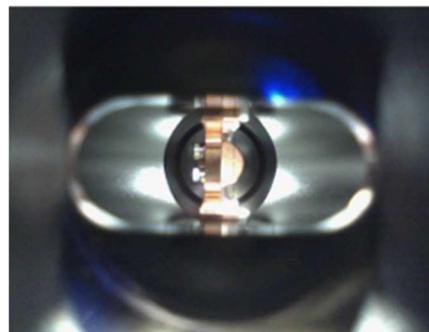
2.2 偏向電磁石チェンバーおよびコンバーター

Figure 1 にある偏向電磁石チェンバーは、末端部に、ターゲットで発生したガンマ線を電子・陽電子対に変換するための銅製のコンバーターを備えたものが新規に製作された。また偏向電磁石チェンバー内部には、放射光からチャンバーを守るクロッチアブソーバーが装着されているが、カーボンターゲットで発生したガンマ線を通わせるために切り欠きのあるものに交換された。同時に通過した放射光がコンバーターに照射されるため、水冷を施している。これらの温度シミュレーションについては前回報告した[3]。これらはプリベークしたうえで、旧来のチェンバーと交換している。約 3 週間の光焼きだしにより、ビーム寿命 $I\tau=12\text{A}\cdot\text{min}$ 、真空度 10^{-5}Pa/A に到達した。

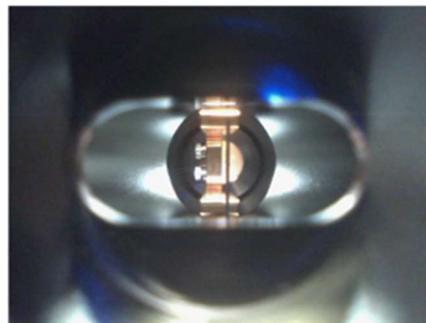
3. ターゲット稼働試験

二つのカーボンターゲットの挿入機構には、ビーム上流側に CNT ヤーンを、下流側にグラファイトシートを設置した。CCD カメラによる画像を Fig. 5 に示す。導入当初は真空悪化も見られたが、試運転を重ねるごとにガス放出は減少している。

Figure 6 (a) は蓄積電流値 20mA、ターゲット位置がビーム中心から 12.23 mm のときの CNT ヤーンの様子である。この後、数次に分けて慎重に蓄積電流値やターゲット距離を変更させるスタディを行ってきたが、CNT



(a)



(b)

Figure 5: Carbon targets installed into storage ring, (a) CNT yarn, (b) graphite sheet.

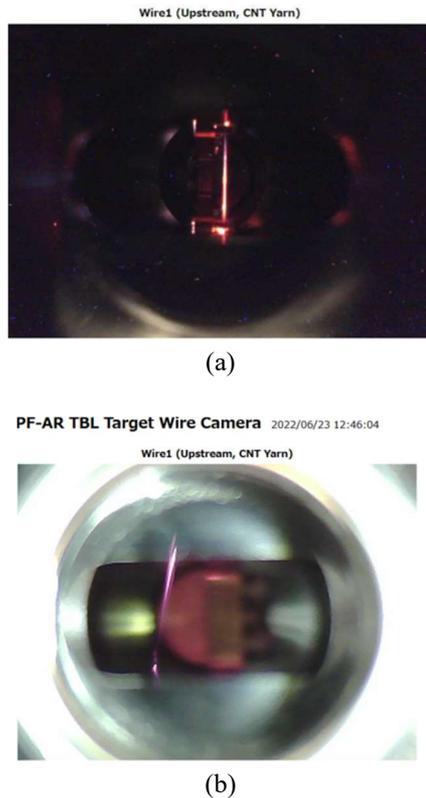


Figure 6: (a) CNT yarn at beam current 20mA and 12.23mm from the beam center. (b) damaged CNT yarn.

ヤーンターゲットが破損した(Fig. 6 (b))。一方グラファイトシートターゲットは安定して稼働し、ビームライン側ではターゲット位置 14.3 mm で安定して 1000 count/s の電子ビームが観測された[2]。CNT ヤーンは一時撤去しグラファイトシートに交換したため、現状では二つのターゲット挿入機構の双方にグラファイトシートが装着されている。ANSYS の温度シミュレーションでは、グラファイトシートの面内方向の高い熱伝導率を反映して温度が抑制されており、それが寄与している可能性がある。

過去にグラファイトシートをガンマ線発生ターゲットとして用いた例はなく、そのため劣化や寿命についての知見もない。継続的な観測と考察が必要である。

参考文献

- [1] T. Honda *et al.*, “PF-AR の測定器開発テストビームライン建設計画”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, QST-Takasaki Online, Japan, Aug. 9-12, 2021, pp.379-383.
- [2] C. Mitsuda *et al.*, “PF-AR における GeV 領域エネルギー電子を使った測定器開発用 テストビームラインの建設”, Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Kitakyushu Online, Japan, Oct. 18-21, 2022, to be published.
- [3] H. Sasaki *et al.*, “PF-AR に新設する測定器開発テストビームラインの熱解析”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, QST-Takasaki Online, Japan, Aug. 9-12, 2021, pp.951-953.