

コリメータ付きピローシールの開発

DEVELOPMENT OF COLLIMATOR-INTEGRATED PILLOW SEAL

森川祐^{#,A)}, 榎本嘉範^{A)}, 保住弥紹^{A)}

Yu Morikawa^{#,A)}, Yoshinori Enomoto^{A)}, Mitsugu Hosumi^{A)}

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

Abstract

The positron target generates an intense electromagnetic shower that causes significant heat load and activation in surrounding components. To protect downstream devices such as accelerator cavities, collimator is required, while remote handling of vacuum connections is also required in the high-radiation area. For this purpose, our design employs a pillow seal to enable remote connection and disassembly. In this study, a combined structure of a collimator and a pillow seal was developed. The device provides sufficient vacuum tightness and cooling performance, while allowing easy connection and disassembly in a high-radiation environment.

1. はじめに

国際リニアコライダー等の将来加速器に向けた電子駆動陽電子源の開発を進めている[1]。具体的には Fig. 1 に示す陽電子源試作機を製作し、テストスタンドにて性能評価を行うことを目指している。電子駆動方式では電子ビームをタングステンなどの重金属に照射し、材料内で生じた電磁シャワーから陽電子を取り出す。本開発が想定している駆動電子ビームの強度は 74 kW (3 GeV × 24.7 μA) であり、陽電子源の駆動電子ビームとしては過去最大強度である。この駆動電子ビーム由来の電磁シャ

ワーはターゲット周辺を高度に放射化させ、また下流装置に対して大きな熱負荷をもたらす。特に陽電子の捕獲および減加速に用いる L バンド APS 加速管では、共振周波数等の RF 特性を維持するため温度管理が重要であり、熱負荷を低減するためのコリメータ設置が望ましい。一方で、これらの装置は高放射線環境下に設置されるため、真空ライン接続には遠隔により脱着可能な機構が望ましい。本研究では、これら二つの要求“熱負荷対策と遠隔保守性”を同時に満たすことを目的として、Fig. 2 に示すコリメータとピローシール[2]を一体化した“コリメータ付きピローシール”を開発した。

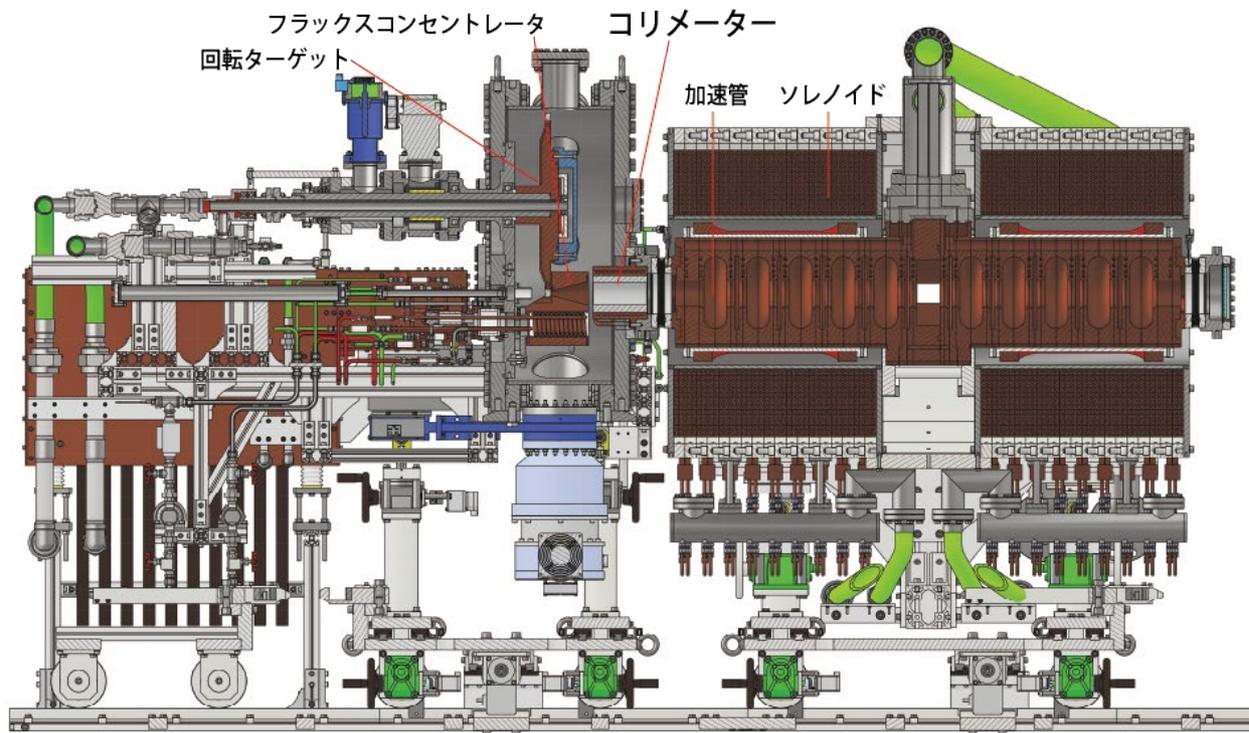


Figure 1: Overall view of the positron source prototype.

[#] yu.morikawa@kek.jp

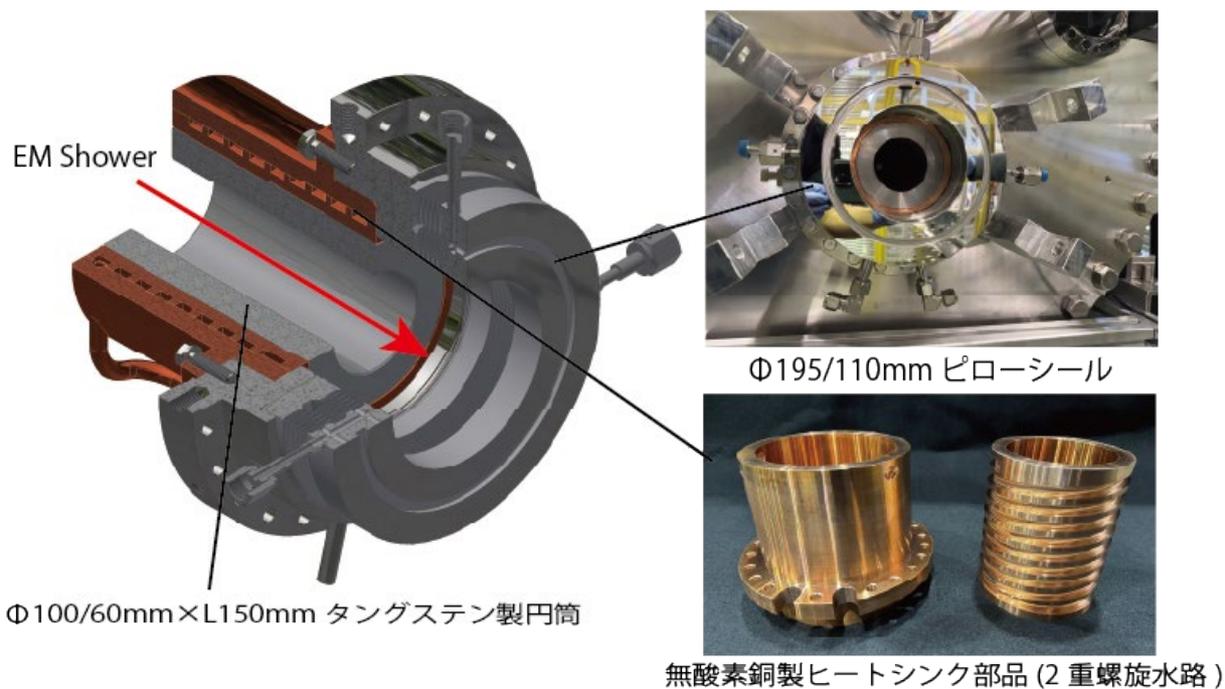
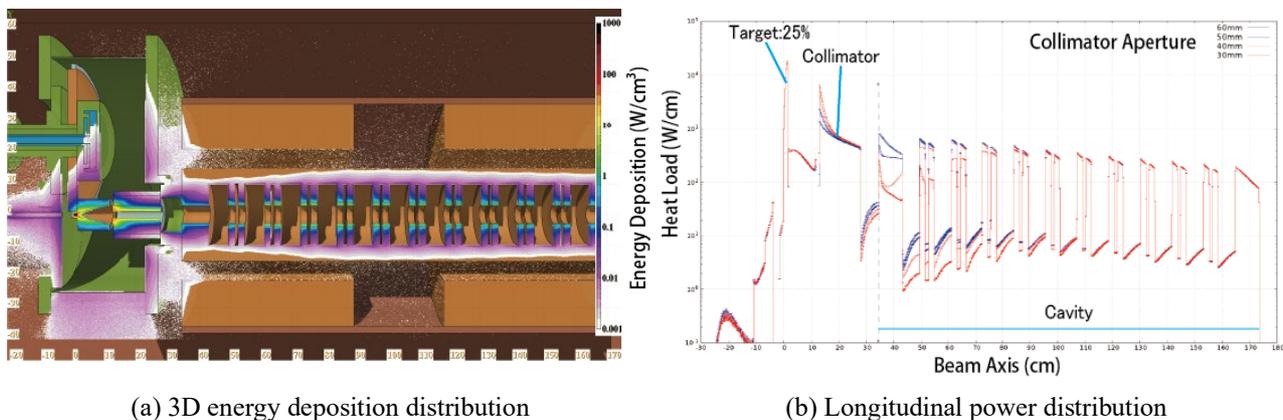


Figure 2: 3D model of collimator-integrated pillow seal (left) and its components (right).



(a) 3D energy deposition distribution

(b) Longitudinal power distribution

Figure 3: Energy deposition distribution simulated by FLUKA.

2. 装置設計

放射線輸送シミュレーション FLUKA[3]により評価した陽電子源近傍の熱負荷分布を Fig. 3 に示す。結果から陽電子生成ターゲットで約 18 kW、残りの 56 kW が下流機器に到達することが確認された。コリメータを設置しない場合の加速管の熱負荷は約 29 kW となる。現在の設計では加速管等の熱負荷抑制の為、内外径 ϕ 100 mm/60 mm×長さ L150 mm の円筒形状タングステンをコリメータとして加速管前に設置するよう設計している。Figure 4 はコリメータ内径を ϕ 30~60 mm に変化させた場合のコリメータと加速管の熱負荷を示している。コリメータと加速管の合計熱負荷はコリメータ内径によらず約 36 kW であり、コリメータ内径を小さくするに応じて加速管の熱負荷が抑えられる。加速管の熱負荷を考えるとコリメータ内径を小さくすることが望まれるが、その分陽電子の捕獲量も小さくなることが予想される。最終的なコリ

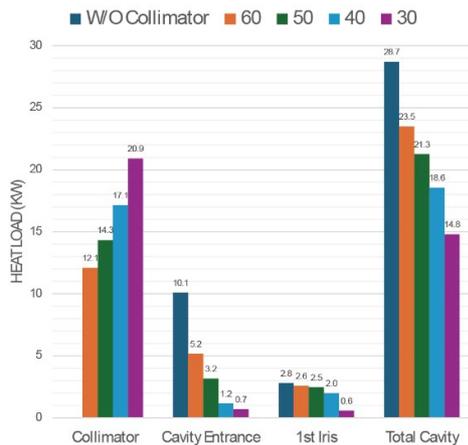


Figure 4: Dependence of heat load on collimator inner diameter.



Figure 5: Fabrication Process of collimator-integrated pillow seal. Heat sink cold fit (left), tungsten cold fit (middle), finished product (right).

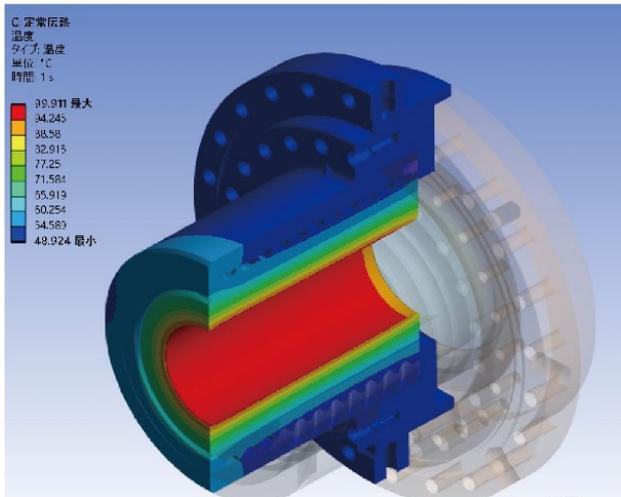


Figure 6: Temperature distribution simulated by ANSYS.

メータ内径は今後の陽電子輸送シミュレーションの詳細をもって決める。

2.1 コリメータ部

コリメータはタングステン製円筒(φ 100 mm/60 mm×長さ L150 mm)を電磁シャワー吸収体とし、無酸素銅製ヒートシンク内部にタングステン円筒を冷やしバメで締結した。ヒートシンクは二重螺旋水路を有し、冷却面積の拡大を図っている。無酸素銅製ヒートシンクは KEK 機械工学センターにて製作した。冷却水配管を除きヒートシンクは 2 部品で構成されており、1 つが 2 重螺旋水路を持つ。2 部品は冷やしバメにて固定し、電子ビーム溶接により封止した。冷却水配管は気中ロウ付けにて接続した。これら製作工程を Fig. 5 に示す。

内径 60 mm の設計においては約 12 kW のビーム熱を受けるが、Fig. 6 に示す伝熱解析の結果から最高温度は 100°C 以下に保たれることが示されている。

2.2 ピローシール部及びブランクフランジ

ピローシールは内外径 φ 110/195 mm の物を購入し

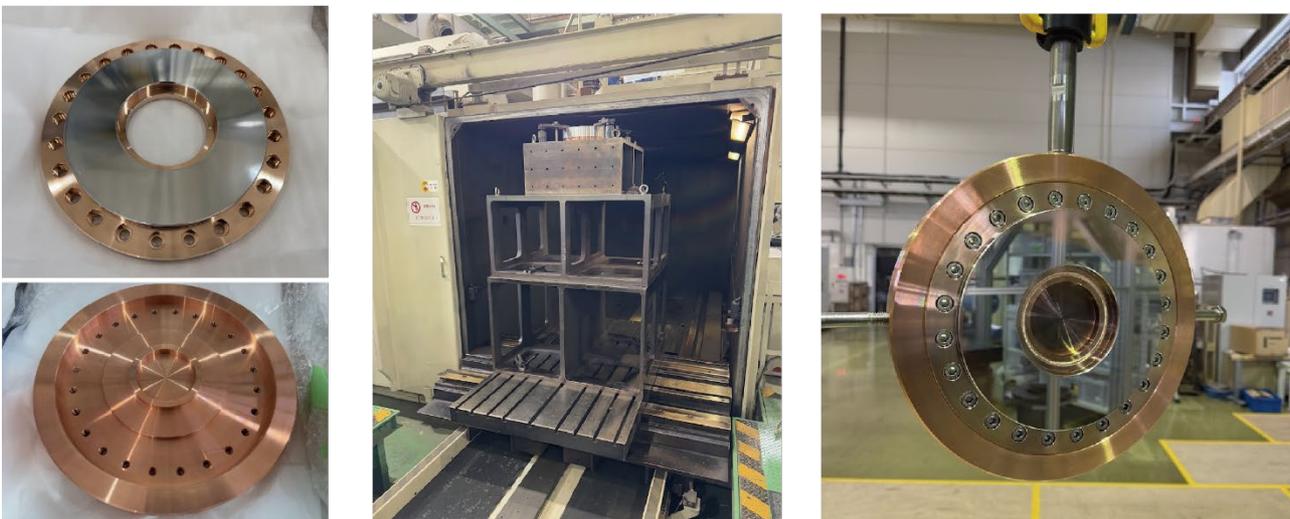


Figure 7: Fabrication Process of blank flange. Blank flange components (left), electron beam welding (center), finished product (right).

た。ピローシールとコリメータは ICF253 フランジに TIG 溶接にて接続される。更にこの ICF253 フランジによりターゲットチャンバに接続される。

ピローシールは加速管鏡面部に接続するが、本開発における加速管の完成は 2026 年度を予定している。真空性能評価の為に加速管鏡面部を模擬したブランクフランジを製作した。Figure 7 にブランクフランジを示す。ブランクフランジは加速管部分である無酸素銅製基盤部分と鏡面部を有する接続部の 2 部品から構成される。接続部は剛性向上のために銅合金製 (NC50;Ni-SI 添加)とした。また接続部の鏡面部は銅表面保護の為に硬質クロムメッキを施した上でラッピング研磨により平面度 $1\ \mu\text{m}$ 以下かつ面粗度 $Ra10\ \text{nm}$ 以下まで平滑化した。接続部と基盤部は電子線溶接にて接続した。本番の加速管製作時にはこの接続部は製作最終工程にて電子線溶接により加速管本体(外形 $\phi 400\ \text{mm} \times 1400\ \text{mm}$)に接続される。今回、本番を想定して炉内許容高さ $2\ \text{m}$ 以上ある大型電子線溶接機で電子線溶接を行った。

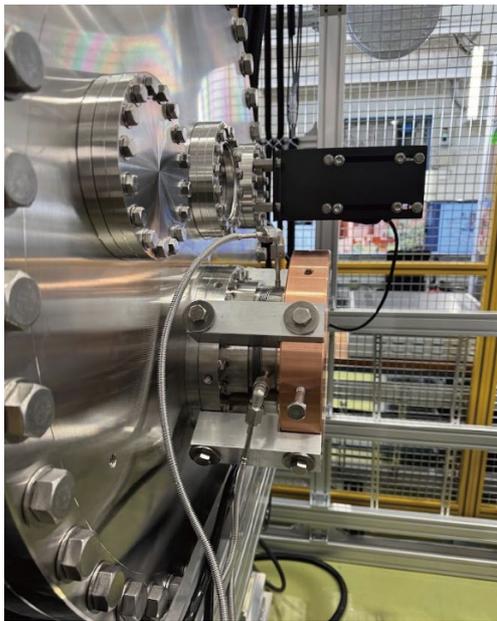


Figure 8: Installation to the vacuum chamber.

3. 実機取り付けと真空性能

完成したコリメータ付きピローシールとブランクフランジを仮の固定金具で連結し He リーク試験を行った。Figure 8 は真空チャンバへの取り付け状況を示している。ピローシールは圧縮空気によりベローズ部を伸張させることができ、本設計では 3~4 気圧で加圧してブランクフランジに圧接さる。本開発のコリメータ付きピローシールの He リークレートは約 $1 \times 10^{-10}\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ であった。この数値は装置要求性能から十分な気密性能である。

ピローシール及び相手フランジはこれまでオーステナイト系ステンレス材料で製作されてきた。本件の銅合金によるブランクフランジは初の試みであったが、十分な機密性能が得られた。

4. まとめ

本開発では、将来加速器の陽電子源における高放射線・高熱負荷環境に対応した「コリメータ付きピローシール」を開発した。伝熱解析では $12\ \text{kW}$ 級のビーム熱に対しても 100°C 以下の温度維持できることが示され、またその構造が製作可能であることが示された。また同装置で十分な真空気密性能を確認した。今後は加速管接続を含む統合試験を行い、将来加速器の陽電子源への実装を目指す。

謝辞

本研究は文部科学省「将来加速器の性能向上に向けた重要要素技術開発」事業 (JPMXP1423812204) の助成を受けて実施した。

参考文献

- [1] 榎本嘉範 他, “KEK iCASA における ILC に向けた陽電子源開発の現状と計画,” 第 20 回日本加速器学会年会, (2023).
- [2] 山野井 他, “J-PARC ハドロンビームライン向けピローシールの開発,” 第 2 回日本加速器学会年会, (2005).
- [3] C. Ahdida *et al.*, “New Capabilities of the FLUKA Multi-Purpose Code,” *Frontiers in Physics* 9, 788253 (2022).