

DEVELOPMENT OF COPPER BEAM DUCTS WITH ANTECHAMBERS FOR HIGH-INTENSITY ELECTRON/POSITRON STORAGE RINGS

Yusuke Suetsugu¹, Kyo Shibata, Hiromi Hisamatsu, Mitsuru Shirai, Ken-ichi Kanazawa
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-801, Japan

Abstract

R&D on vacuum beam ducts adaptable to high-current e^-/e^+ storage rings is progressing in KEK. We proposed copper beam ducts with antechambers that can withstand intense synchrotron radiation (SR), provide a beam duct with low beam impedance, and effectively reduce the electron cloud effect (ECE) in e^+ rings. Several trial models have been manufactured so far by using the electron beam welding. Special vacuum components, such as connection flanges, distributed pumps, and gate valves, were customized for the beam ducts. TiN coating on the inner surface of the beam duct was also investigated for the mitigation of ECE. The trial models were installed in the KEKB B-factory, and their performances were evaluated using real positron beams.

大強度電子・陽電子蓄積リング用 アンテチェンバー付き銅製ビームダクトの開発

1. はじめに

大強度の電子・陽電子蓄積リングのビームダクトでは、安定に超高真空を保持することはもちろん、強力なシンクロトン放射光に対応できること、ビームインピーダンスが低いこと、(陽電子リングの場合)電子雲効果を抑制できること、などが重要な課題となる。ビームチャンネルの傍に側室(アンテチェンバー)を持つビームダクトの採用は、その有望な解決策の一つである。我々は、KEKB Bファクトリーの陽電子リングを用いて、KEKBのアップグレードを念頭に、アンテチェンバー付きの銅製ビームダクトの開発を行っている[1, 2]。

これまで、ウィグラー部(直線部)用およびアーク部偏向電磁石用のビームダクトを試作し、リングに設置してビーム蓄積時の温度、圧力等を観察した。最大ビーム電流1.6~1.7A (1389~1585バンチ、バンチ長約6 mm)にて数年間大きな問題は生じていない。また、電子雲不安定性抑制の観点からダクト内の電子数を測定し、単純な円形断面のダクトの場合よりも減少することを確認した。ビームダクトの製作と並行して、それに対応した接続フランジ、ベローズチェンバー、ゲートバルブ、排気ポンプ等の真空コンポーネントも開発してきた [3-5]。

ここでは、主にビームダクトに関する最近のビーム試験の結果、および開発の現状などを報告する。

2. 製作

ビームダクトの材質は、熱的強度が高く、ガス放出率が小さく、また接合特性も良い無酸素銅(C1011相当)とした。接合方法としては、アンテチェン

バー部を持ったことで断面が複雑となって構造的強度が要求されるため(後述の図参照)、銅が軟化してしまうロー付けは用いずに、電子ビーム溶接を基本とした。ビームダクトの製作方法として以下の二つの方法を試みた。

一つはプレス法である。厚さ6 mmの銅板をプレスで変形させ、それら2枚を冷却チャンネル(パイプ)を両側に挟んで電子ビーム溶接し製作する方法である。製作上大きな問題は無かったが最終的に十分な製作精度を保障することが難しかった。もう一つは冷間引き抜き法である。素材の丸パイプから、室温で金型を何回か通して徐々に変形させ、所定の断面のダクトを得る方法である。アンテチェンバー部両端外側にC型の冷却チャンネルを溶接してビームダクトとする。プレス法に比べると、大気-真空間の溶接線が少ないので真空システムの信頼性の立場からは好ましく、また高い製作精度が得られた。偏向電磁石用の曲率を持ったチェンバーは引き抜き後に曲げることで対応することができた。最近の試作ビームダクトはこの冷間引き抜き法で製作している。銅表面には電子ビーム溶接前に酸洗いを施している。

3. 直線部ビームダクト

直線部用ストレートビームダクトの一例を図1に示す。円形断面ビームチャンネルの両側にアンテチェンバーがある。ダクトの厚みは6 mm、ビームチェンバー部の直径は90 mm、アンテチェンバー部の高さとお行きはそれぞれ14 mmと65 mm(すなわちダクト半幅110 mm)で、この断面で四極、六極電磁石に納まる。全長は約3.5 mである。ビームダクト

¹ E-mail: yusuke.suetsugu@kek.jp



図1：ウィグラー部用ストレートダクト

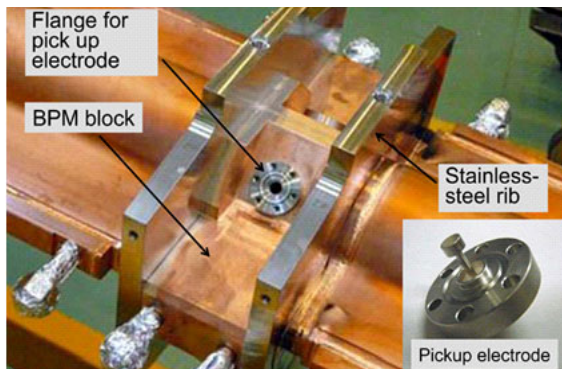


図2：BPMブロック

本体の試作と並行して、それに対応した接続フランジ(MOフランジ)、BPM、ベローズチャンバー、ゲートバルブなどの主要な真空コンポーネントの開発を進めた。図2はBPMブロックと電極で、電極はフランジを介して取り付けられている。図3にはゲートバルブの例を示している。

このビームダクトは、KEKBの3.5 GeV陽電子リングのウィグラー部に設置された。ウィグラー部ではダクトの両側に放射光が照射されるため、両側アンテナチャンバー下部側にポート設け、局所的に排気ポンプを配置した。ビーム運転中、ビームダクト近傍の圧力、ダクト表面の温度等を監視したが大きな異常はなかった。ただし、ビーム電流増と共にステンレス製の接続フランジの発熱($>50^{\circ}\text{C}$)が観測された。これは、ステンレス部でのビームによる壁電流損およびビーム軌道上流からの放射光照射に因るものと考えられた。そこで、後述するように、アーク部用ビームダクトでは銅合金のフランジを採用した。

陽電子リングのECEの観点では、アンテナチャンバーは光電子を効率的に抑制できるが、高ビーム電流領域で問題となるビームチャンネル内表面からの二次電子放出については丸パイプと同等でしかない。そこで、ビームチャンネル部にTiNコーティングを施したビームダクトを用いて、ダクト内の電子数を測定した[6]。結果を図4に示す。TiNコーティングによって、特に高いビーム電流領域で電子数が減っていることが分かる。



図3：ゲートバルブ

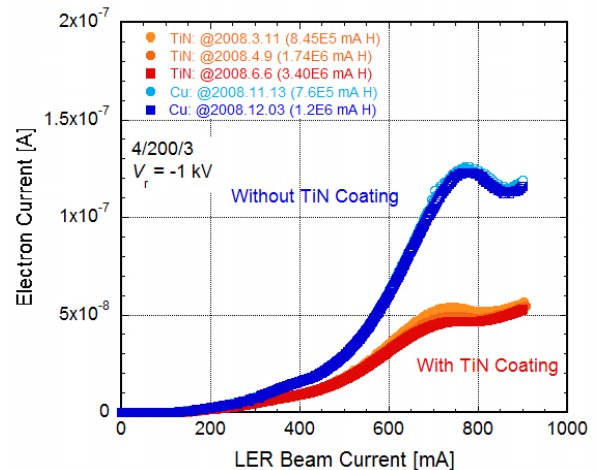


図4：ウィグラー部用ストレートダクト

4. アーク部用ビームダクト

アーク部用ビームダクトの一例を図5に示す。断面は直線部用と同じである。全長は5.1 mで、既存陽電子リングの偏向電磁石に合わせて、端部の約1 mにわたって曲率半径16.3 mを持っている。

アーク部用のビームダクトは、ビームチャンネルを効率よく排気するため、リング内側のアンテナチャンバー部にNEGストリップを使った分布型の排気ポンプを備えている[7]。試作したNEGポンプ(ST707、幅30 mm)を図6に示す。3層構造で、シースヒータによって加熱、活性化される。ポンプは接続フランジ側からポンプチャンネル内に挿入される。ポンプは、 $\phi 4$ mmの穴が多数あいたスクリーン(厚み3 mm)によってビームから高周波的に遮蔽される。

このビームダクトでは、先の直線部用ビームダクトで問題となったステンレスフランジの発熱を抑えるために、接続フランジを銅合金で製作した。銅合金を用いることによって内壁でのジュール損が減り、また熱伝導が良くなり温度上昇の緩和が期待される。また、銅ダクトとフランジを直接電子ビームで溶接

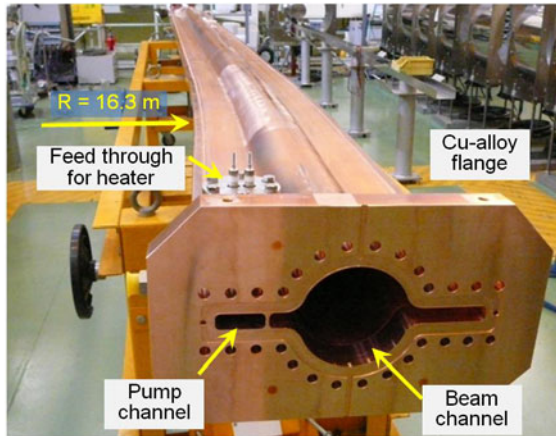


図5：アーク部用ビームダクト

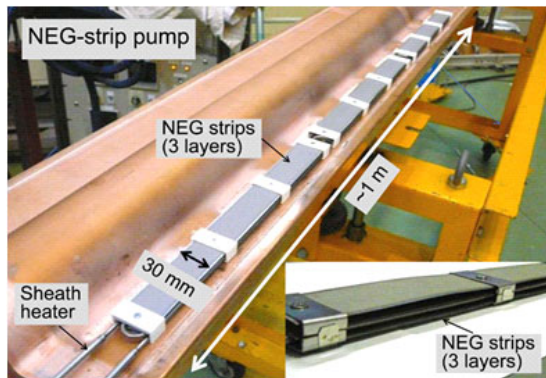


図6：NEGポンプ試作機

することが可能となった。

リングに設置したビームダクトを図6に示す。運転中ビームダクト近傍の圧力、ダクト表面の温度等を監視した。図8に示すように、銅合金フランジの温度上昇は、ステンレスの場合に比べて約1/8に減少した。ビーム運転中大きな問題は生じていないが、NEG加熱用シースヒータのフィードスルー部で予想以上の発熱が観測された。NEGチャンネルに侵入した高周波によってフィードスルー部が加熱されたものと考えられる。次期運転で改良型を試みる予定である。

5. まとめ

アンテチェンバー付き銅製ビームダクトの製作には一応目処が立ったと考えられる。今後の重要な問題は量産に向けた製作技術の確立およびコストダウンであろう。コストに関しては、リングの内、放射光強度が弱い部分については銅の代わりにアルミ合金を使うという方策もある。溶接も容易であり、引き抜きに関しては銅より柔軟性が高い。銅製ダクトの量産に向けた検討をさらに進めると共に、フランジやベローズチェンバーを含め、アルミ合金製のアンテチェンバー付きビームダクトについても今後検討・開発を進める予定である。

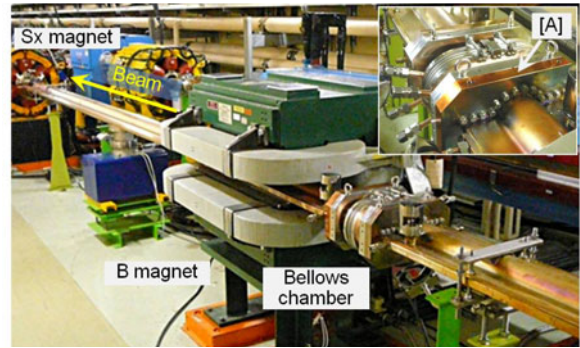


図7：リングに設置されたダクト

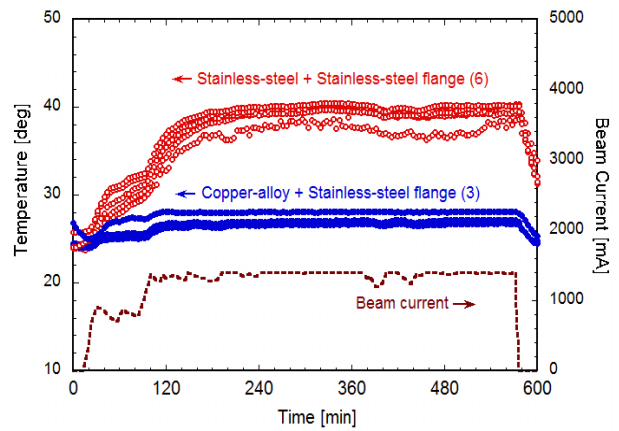


図8：銅合金フランジの温度

謝辞

本研究にあたり、KEKの生田勝宣氏を始め加速器研究施設の多くの方々から貴重な助言を頂きました。ここに深謝します。

参考文献

- [1] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, K. Shibata, H. Hisamatsu, K. Oide, F. Takasaki, A. E. Bondar, V. Kuzminykh, A. Gorbovsky, R. Dostovalov, K. Sennyu and H. Hara, NIM-PR-A, 538 (2005) 206.
- [2] K. Kanazawa, S. Kato, Y. Suetsugu, H. Hisamatsu, M. Shimamoto and M. Shirai, NIM-PR-A, 499 (2003) 66.
- [3] Y. Suetsugu, K. Shibata, H. Hisamatsu, M. Shirai and K. Kanazawa, Proceedings of APAC2007 (Indore, 28 January–2 February, 2007) p.41.
- [4] Y. Suetsugu, M. Shirai and M. Ohtsuka, JVST-A, 23 (2005) 1721.
- [5] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, K. Shibata, M. Shirai, A. E. Bondar, V. S. Kuzminykh, A. I. Gorbovsky, K. Sonderegger, M. Morii, K. Kawada, RSI, 78 (2007) 043302.
- [6] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, K. Shibata and H. Hisamatsu, NIM-PR-A, 556 (2006) 399.
- [7] Y. Suetsugu, K. Shibata and M. Shirai, NIM-PR-A, 597 (2008) 153.