

## DEVELOPMENT OF BEAM DUCTS WITH ANTECHAMBERS FOR HIGH INTENSITY ACCELERATORS

Yusuke Suetsugu<sup>1, A)</sup>, Kyo Shibata<sup>A)</sup>, Ken-ichi Kanazawa<sup>A)</sup>, Hiromi Hisamatsu<sup>A)</sup>, Mitsuru Shirai<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

R&D on beam ducts with antechambers has been progressing at KEK for future high current accelerators. Copper beam ducts with one or two ante-chambers were designed to dilute the synchrotron radiation (SR) power density, to decrease the beam impedance, and also to suppress photoelectrons around beams. The beam ducts have been installed into the positron ring of the KEK B-factory (KEKB), and the performances have been investigated using an intense beam of up to 1.7 A. At the same time, various vacuum components have been also developed to establish a unified vacuum system adaptable to the antechamber scheme.

## 大強度加速器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

将来の大強度加速器のビームダクトにおいては、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・陽子リングの場合)電子雲不安定性を抑制できること、等が大きな課題となる。ビームチェンバーの傍に側室(アンテチェンバー)を持つ銅製ビームダクトは、その有望な解決策の一つである。我々は、KEKB-Factory (KEKB)の陽電子リングを用いて、アンテチェンバー付き銅製ビームダクトの開発を行っている<sup>[1]</sup>。

ダクトの材質は、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)である<sup>[2]</sup>。一例として、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付いた、ウィグラー部用試作ビームダクトを図1に示す。ダクトの厚みは6 mm、ビームチェンバー部の直径は94 mm、アンテチェンバー部の高さとお行きはそれぞれ18 mmと65 mmである。全長は約5 mである。



図1：試作したウィグラー部用アンテチェンバー付きビームダクト。

これまで、アーク部用2本、ウィグラー部(直線部)用3本を試作し、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。設置後、最大ビーム電流1.7A (1389バンチ)にて数年間大きな問題は生じていない。また、電子雲抑制の観点からビームチェンバー内の電子数を測定した結果、単純な円形断面のダクトよりも明らかに電子数が低減することを確認した。一方、アンテチェンバー付きビームダクトに対応した真空システムを構成するために、ダクトと同じ断面を持つ接続フランジ、ベローズチェンバー、ゲートバルブ等も平行して開発してきた<sup>[3,4]</sup>。

ここでは、これまでの試作・ビーム試験の結果、および開発の現状などを報告する。

### 2. ビームダクトの試作

アンテチェンバー付き銅製ビームダクトの製作方法として、下記二つの方法を試みてきた。

#### 2.1 プレス法

厚さ6 mmの銅板をプレスで変形させ、それらを電子ビームで溶接して製作する方法である<sup>[1]</sup>。図1に示したビームダクト用の、成形後の銅板を図2に示す。プレスは1回で行われた。これら2枚の板と2本の冷却チャンネルを電子ビームで溶接して1本のダクトを形成する。製作上の大きな問題は無かった。次節の冷間引き抜き法に比べると(少なくとも少数の試作では)安価ではあるが、最終的な製作精度を保障することが難しかった。また、素材の機械的特性によりスプリングバック量などが変化するので、プレス圧などの微妙な調整が必要であった。アンテチェンバー部のポンプ室用仕切り板の取り付けは比較的容易と思われる。ただし、偏向電磁石用の曲率を持ったダクトを製作する際には、曲げ部分の溶接の強度が問題となるかもしれない。

<sup>1</sup> E-mail: yusuke.suetsugu@kek.jp

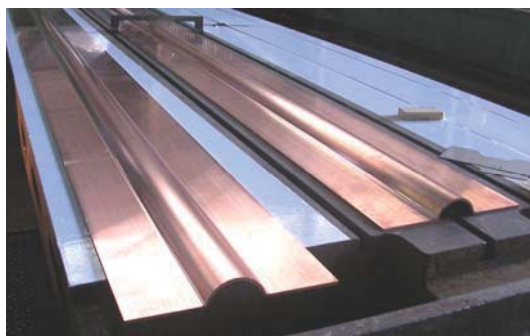


図2：プレスで成形された銅板。



図3：冷間引き抜き法で形成されたダクトのカットモデル。

## 2.2 冷間引き抜き法

丸パイプの素材から、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。途中何度か焼鈍工程が入る。引き抜いたダクトのカットモデルを図3に示す。アンテチェンバー部両端にCチャンネルの冷却チャンネルを溶接してビームダクトとする。この手法でも製作上大きな問題はなかった。溶接線が少ないので真空システムの立場からは好ましい。プレス法に比べると高い製作精度が得られた。ただし、試作ではプレス法より高価である。また、素管の段階で厚みが均一でないと、最終引き抜きの段階で表面が荒れる場合があった。ポンプ室の仕切り板の挿入方法については検討が必要である。曲率を持ったチェンバーは引き抜き後曲げることで対応できそうである。

## 3. ビーム試験

試作したビームダクトは、KEKBの3.5GeV陽電子リングのアーク部またはウィグラー部に設置された。運転時の最大蓄積ビーム電流は約1.7 A (1389バンチ)である<sup>[5]</sup>。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、これまでのところ大きな問題はない。ただし、初期の1本のアーク部用試作ダクトにおいて、ビーム方向と垂直な接合部分での放電による圧力のバーストが頻繁に見られたが、これは接続部の構造上の問題と考えられる<sup>[1]</sup>。

陽電子リング用のアンテチェンバー付きビームダクトの効能として、ビームチャンネル内の電子数の

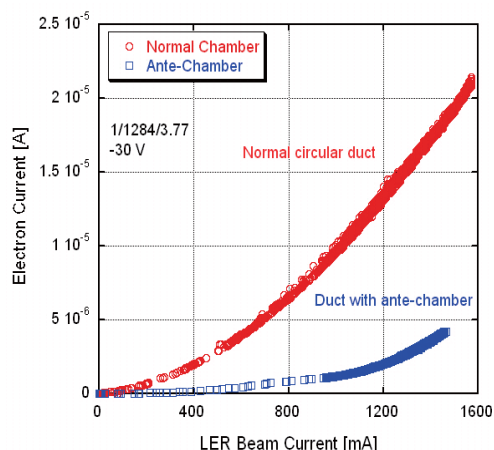


図4：円形断面のダクト(Circular Duct)とアンテチェンバー付きビームダクトで測定した電子電流( $I_e$ )。この電子電流はビームチャンネル内の平均電子数に相当する。

低減が挙げられる。これは、電子雲不安定性抑制に有効である。同じ電子モニターを用いて測定した、試作ダクト内の電子数と通常円断面ダクトの電子数とを比較した結果を図4に示す<sup>[1]</sup>。アンテチェンバー付きビームダクトの電子数が明らかに少なかった。ただし、光電子が主となる100 mA程度の低いビーム電流領域の差は一桁以上であったが、1500 mA程度の高電流領域での差は数倍であった。これは、高電流領域ではダクト内表面からの二次電子が電子雲生成に効いてくるためである。このことは、アンテチェンバーは光電子を低減するのには有効であるが、二次電子に関しては表面からの二次電子放出を低減するなんらかの手立てをとる必要があることを示唆している<sup>[6,7]</sup>。

## 4. 関連する真空コンポーネントの開発

アンテチェンバー付きビームダクトに対応した真空システムを構築するために、ビームダクトの試作と平行して、同じ断面を持つ各種真空コンポーネントの開発を平行して進めてきた。



図5：アンテチェンバー付きビームダクト用のベローズチェンバー。フランジはMO型フランジである。



図6：ゲートバルブ。

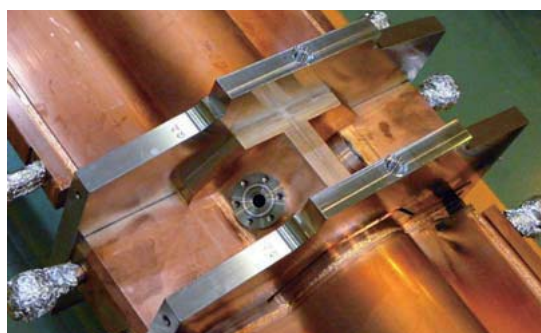


図7：ビームポジションモニター。

接続フランジには、MO (Matsumoto – Ohtsuka) 型フランジを採用した<sup>[8]</sup>。このフランジは、真空シールがその断面に沿って行われるので加速器ビームダクトのフランジに好都合である。また、複雑な断面にも対応できる。ガスケットは焼鈍した銅である。試験では数回の150°Cのベーキングでも問題は見られなかった。

ダクト間を連結するベローズチェンバーも重要な真空コンポーネントである。図5は試作したベローズチェンバーである。フランジはステンレス製MO型フランジである。このRFシールドには銅の櫛歯型が用いられている<sup>[9]</sup>。これまで2個のベローズを設置し、問題はない。図6に示す、同様の構造のRFシールドを持つゲートバルブも試作された<sup>[10]</sup>。今夏に設置し、秋以降の運転で試験する予定である。

ビームの位置を測定するビームポジションモニターの試作も行った。図7に示すように、変形を防ぐために、ステンレス製のリブを備えている。電極はフランジで取り付ける。マッピングはビームを利用して行う予定である。

## 5. 今後の課題

アンテチェンバー付き銅製ビームダクトの製作方法には一応目処が立ったと思われる。今後の課題として下記の項目が挙げられる。

- (1)内面のTiNコーティング：表面の二次電子放出を抑えるために行う<sup>[6, 7]</sup>。現在、KEK内に6 mまでのダクトに対応できるTiNコーティング装置を組み上げ中である<sup>[11]</sup>。近々に内面をコーティングしたダクトを試験的にリングに設置する予定である。
- (2)偏向電磁石用ダクト：曲率半径16 mを持つダク

トを、曲げ加工で製作できるかどうか、試験用ダクトで調べる予定である。試験用ダクトは冷間引き抜きしたものを用いる。

- (3)ポンプ：片方のアンテチェンバー部に挿入できる、NEGポンプ構造を検討する必要がある。NEGはST707ストリップを想定している。実効排気速度として、活性化直後で $0.1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$ を目標とする。

## 謝辞

本研究にあたり、KEKの生出勝宣氏、高崎文彦氏を始め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. Gorbovsk, 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, “R&D ON VACUUM COMPONENTS FOR HIGH-CURRENT ACCELERATORS”, Proceedings of APAC2007 (Indore, 28 January – 2 February, 2007), MOOPMA05.
- [4] Y. Suetsugu, K. Shibata, H. Hisamatsu, M. Shimamoto, M. Shirai and K. Kanazawa, “R&D on Copper Beam Ducts with ante-chambers and Related Vacuum Components”, Proceedings of EPAC2006 (Edinburgh, 26-30 June, 2006), 2822 (TUPCH179).
- [5] Y. Funakoshi et al., “RECENT PROGRESS OF KEKB”, Proceedings of PAC2007 (Albuquerque, 25-30 June, 2007), TUPAN041.
- [6] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, K. Shibata, H. Hisamatsu, K. Oide, F. Takasaki, R. V. Dostovalov, A. A. Krasnov, K. V. Zolotarev, E. S. Konstantinov, V. A. Chernov, A. E. Bondar and A. N. Shmakov, NIM-PR-A, 554 (2005) 92.
- [7] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, K. Shibata and H. Hisamatsu, NIM-PR-A, 556 (2006) 399.
- [8] Y. Suetsugu, M. Shirai and M. Ohtsuka, JVST-A, 23 (2005) 1721.
- [9] Y. Suetsugu, M. Shirai, K. Shibata, K. Murata, M. Kaneko, K. Sakamoto, K. Sugisaki and M. Kawahara, NIM-PR-A, 531 (2004) 367.
- [10] 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.
- [11] 柴田ら、“KEKB真空チェンバー用TiNコーティングシステムの開発”、本プロシーディングス (F027)。