

APPLICATION OF COMB-TYPE RF SHIELD TO BELLOWS CHAMBERS AND GATE VALVES

Yusuke Suetsugu^{1,A)}, Kyo Shibata^{A)}, Mitsuru Shirai^{A)}

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

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

Abstract

A comb-type RF shield has been applied to bellows chambers and gate valves in a chain of R&D for future high intensity accelerators. The comb-type RF shield has a structure of nested comb teeth, and has higher thermal strength and lower impedance than the conventional finger-type one. Various types of seven bellows chambers have been installed in the KEK B-Factory (KEKB) positron ring since 2003 in series. The temperature of the bellows corrugation decreased by a factor of 3-6 in most cases. No significant problem has been found in these bellows chamber up to a stored beam current of 1.8A (1.3mA/bunch). A circular-type gate valve with the comb-type RF shield was also installed in the positron ring in January 2005 and promising results were obtained.

櫛歯型RFシールドのベローズおよびゲートバルブへの応用

1. はじめに

加速器に使用されるベローズチェンバーやゲートバルブは、内部にRFシールドと呼ばれる機構を備えている。RFシールドは、機器内部の隙間や空洞を埋め、そこでの高調波成分(Higher Order Modes, HOM)の発生を防ぎ、ビームインピーダンスを下げる役割を持つ。これらの機器のRFシールドは、特に、伸縮機能を保ちながら電氣的接触を維持する必要があり、薄い金属製のフィンガーをダクト断面形状に並べたもの(フィンガー型)が従来用いられてきた^[1]。しかし、この型のRFシールドは、蓄積電流が高くなるとフィンガー間の隙間から漏れる高調波(HOM)によって機器が発熱しやすく、また、熱的にも弱いという問題がある。実際、1.3-1.8Aの電流を蓄積しているKEKのBファクトリー(KEKB)ではHOMによる発熱やRFシールドの損傷が見られている^[2,3]。さらに大電流を蓄積し、低インピーダンスが要求される将来の加速器ではより深刻な問題となる。このような状況の中、最近提案された櫛歯型のRFシールドは、フィンガー型に比べてインピーダンスが低く、熱的強度も高いと期待される^[4]。そこで、我々はこの櫛歯型RFシールドを適用したベローズチェンバーやゲートバルブの開発を行ってきた^[4,5]。ここではそれらの試験器をKEKB陽電子リングに実際に設置して行った試験の結果および今後の計画を報告する。

2. 櫛歯型RFシールド

櫛歯型RFシールドは、フィンガーを使用せず、櫛歯が互いに噛み合った構造をしている^[4]。典型的な歯の寸法は、長さ10mm、幅1mm、櫛歯間隔2mmである。櫛歯の半径方向の厚みは10mmである。原理的には、ビームが誘起する壁電流の高周波成分は噛み合った

櫛歯間の容量で、低周波成分は櫛歯間の奥にあるフィンガー(バックフィンガーと呼ぶ)や背後(外側)の通常のRFコンタクト(バックシールドと呼ぶ)を通して流れる。この櫛歯型RFシールドの特徴は、(1) 歯が厚さ1mmの銅製なので熱的に強い。(2) ダクト内面に段差が無くインピーダンスが小さい。(3) TEモードのHOMが漏れにくい。(4) ダクト内面にスライド部が無いので伸縮時にダストの発生が少ない。(5) 各種のダクト断面に適用できる、等である。一方、フィンガー型に比べ、ストローク長が短い($\leq \pm 4\text{mm}$)、許容曲げ角が小さい($\leq \pm 30\text{mrad}$)という制限がある。

3. ベローズチェンバーへの応用

3.1 円形断面ベローズチェンバー

最初の試験器は円形断面(内径94mm)を持つ、KEKB陽電子リング用であった^[4,5]。自然長は160 mmである。櫛歯は無酸素銅で、ベローズやフランジはステンレス製である。2本の冷却水チャンネルがフランジの付け根を冷却している。この試験器では、バックシールドとバックフィンガーが併用されている。

2個の試験器は2003年夏にKEKB陽電子リングに設置された。試験器は、可動マスクと呼ばれる真空機器の近くに設置された。この可動マスクは、リングの中でもHOMを発生しやすい機器の一つであり^[6,7]、従来のフィンガー型RFシールドを持つベローズチェンバーでは大きな発熱が見られていた。実際、1.7Aのビームによって可動マスクで励起されるHOMのパワーは約11kWである。

運転中のベローズひだの温度は1.5A蓄積時35℃

¹ E-mail: yusuke.suetsugu@kek.jp



図1：レーストラック型断面(76x48)の櫛歯型RFシールド付ベローズチェンバーの内面

($\Delta T = 11^\circ\text{C}$)であり、温度上昇はフィンガー型に比べて約1/6となった。この温度はフランジの温度とほぼ同じであった。内部の櫛歯部分の温度は 50°C ($\Delta T = 26^\circ\text{C}$)で、全く問題のない範囲であった。また、ベローズひだの温度は、バンチフィルパターンの変化に対して鈍感であった。これもHOMの漏れが少ないことを意味している。設置1年後に内部を目視点検したが、放電痕などは見られなかった。現在まで約2年間問題なく使用されている。

3.2 レーストラック型断面ベローズチェンバー

円形断面に引き続き、図1のようなレーストラック型の断面を持つ試験器を製作し、KEKB陽電子リングに設置した。断面は、幅76mm、高さ48mmである。この断面は陽電子リングでは最も小さいものであり、壁を流れる電流密度は最も厳しいものである。このベローズチェンバーでは、試験的にバックシールドを省き、バックフィンガーのみとした。材質は上述の円形断面のものと同じである。

ベローズひだの温度は1.7A蓄積時に 45°C ($\Delta T = 21^\circ\text{C}$)であったが、これはフィンガー型での温度とほぼ同等であった。このことは、バックシールドを省くとフィンガー型とほぼ同じRFシールド特性になることを意味する。しかし一方、計算上はバックフィンガーのみでも十分という結果が得られており^[4]、さらに検討が必要である。2004年夏に設置してから約1年、問題は発生していない。

3.3 可動マスク用の円形断面ベローズチェンバー

上述した可動マスクには、ユニバーサルベローズと呼ばれる、ベローズと短管を組み合わせたチェンバーが必要である^[6,7]。可動マスクのすぐ傍であるため、このベローズでも大きな発熱が観測されている。可動マスク用のベローズは約 $\pm 20\text{mrad}$ の曲げが要求されるが、櫛歯型RFシールドでも適用可能な範囲である。構造は3.1節で述べたベローズチェンバーとほぼ同じである。2004年夏にKEKB陽電子リングの可動マスク傍に計4個設置された。

フィンガー型および櫛歯型RFシールド付ベローズ

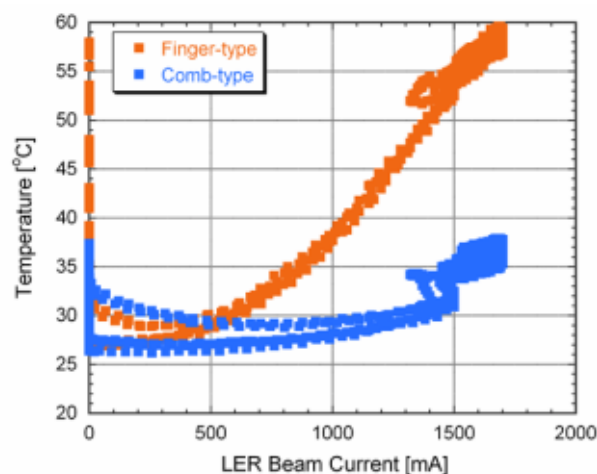


図2：フィンガー型および櫛歯型RFシールド付ベローズチェンバー(可動マスク用)のユニバーサルベローズのひだの温度比較



図3：アンテチェンバーを両側に持つ円形ビームダクト用の櫛歯型RFシールド付ベローズ試作器

ひだの温度の比較を図2に示している。櫛歯型では1.7 A蓄積時でも 37°C ($\Delta T = 11^\circ\text{C}$)と、フィンガー型の温度 58°C ($\Delta T = 32^\circ\text{C}$)より低く、温度上昇は約1/3となった。ただし、フィンガー型は空冷ファンで冷却されている。櫛歯型RFシールド付ベローズのひだの温度もバンチフィルパターンの変化に鈍感であった。このベローズも約1年間問題なく使用されている。

3.4 今後の計画

第1の計画は、バックシールドだけを持つRFシールド構造の特性を調べることである。バックフィンガーを省くことで、構造・製作工程が単純化される。後述するゲートバルブにて既に試験されているが、ゲートバルブと違い、ある程度の曲げが要求されるベローズチェンバーでの試験が別途必要である。現在レーストラック断面と円形断面の2種類のベローズチェンバー試験機を製作しており、2005年夏にKEKBリングに設置する予定である。

第2の計画は、将来の大電流加速器のビームダクトを念頭に置いた、より複雑な断面形状を持つベ

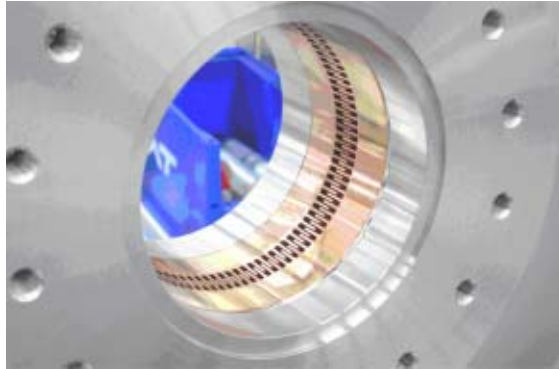


図4：櫛歯型RFシールド付円形ゲートバルブの内面

ローズチェンバーへの適用である^[8]。例えば、両側にアンテチェンバー部を持つ円形ビームダクトである。図3はその断面を持つベローズチェンバー試験機である。これも2005年夏に設置し試験する予定である。

4. ゲートバルブへの応用

4.1 円形断面ゲートバルブ

ゲートバルブもベローズチェンバーと同様の課題を持つ。ゲートバルブもRFシールド構造を内部に備え、フィンガー型が従来用いられてきた。KEKBでは、ベローズチェンバーと同じく、発熱やそれともなう圧力上昇が観測されている。そこで、櫛歯型RFシールドを適用したゲートバルブをVAT Vacuumventile AG^[9]と共同で開発した。

試験器は円形断面(直径94mm)を持つKEKB陽電子リング用である。ゲートバルブの構造は、RFシールド部を除き従来型と同じである。櫛歯は無酸素銅、筐体(ボディ)はステンレス製である。RFシールド部を図4に示す。基本的構造はベローズチェンバー試験器と同じであるが、ゲートバルブではダストによる真空シールド部への損傷が問題となるため、バックフィンガーを省いてバックシールドのみとした。ゲートバルブは、HOMの発生が大きい陽電子リングの可動マスクの近くに設置された。接続フランジ部とボディの温度、および近傍の圧力を測定した。

温度の変化を図5に示す。1.8A蓄積時、櫛歯型RFシールドを適用することにより、ボディの温度は38–45℃($\Delta T=14\text{--}26^\circ\text{C}$)から28℃($\Delta T=4^\circ\text{C}$)に下がった。ボディ温度の大幅な低下は、ボディ内部へのHOMの漏れが小さくなったことを意味する。なお、フィンガー型の場合、低いビーム電流で温度に幅があるのは、ボディの熱容量が大きく、ビームの蓄積に追従できないためである。約1年間の運転では問題は生じていない。このことから、櫛歯間のフィンガーを省いても問題ないと考えられる。ただし、ベローズ

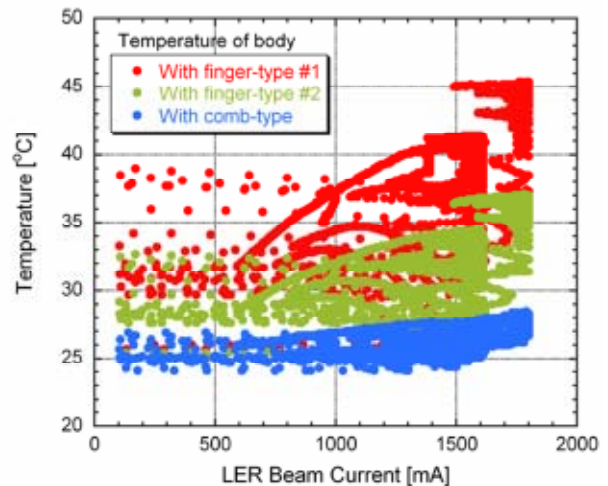


図5：フィンガー型および櫛歯型RFシールド付ゲートバルブのボディ温度比較

チェンバーの場合には曲がりも考慮しなければならず、検証が必要である。

4.2 今後の計画

現在、レーストラック型(幅150mm、高さ50mm)のゲートバルブに櫛歯型RFシールドを適用した試験器を製作中であり、2005年冬にKEKB電子リングに設置して試験する予定である。

謝辞

本研究にあたり、KEKの生田勝宣氏、金澤健一氏、影山達也氏には有益な助言を多数いただきました。ここに深謝します。

参考文献

- [1] Y. Suetsugu, K. Ohshima and K. Kanazawa, Rev. Sci. Instrum. **67** (1996) 2796.
- [2] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, S. Kato, H. Hisamatsu, M. Shimamoto and M. Shirai, J. Vac. Sci. Technol. A **21** (2003) 1436.
- [3] Y. Funakoshi, et al., “KEKB PERFORMANCE”, Proc. EPAC2004, Lucerne, July 2004, p.707.
- [4] Y. Suetsugu, M. Shirai and K. Shibata, PRST-AB **6** (2003) 103201.
- [5] Y. Suetsugu, M. Shirai, K. Shibata, K. Murata, M. Kaneko, K. Sakamoto, K. Sugisaki and M. Kawahara, NIM-PR-A **531** (2004) 367.
- [6] Y. Suetsugu, T. Kageyama, K. Shibata and T. Sanami, NIM-PR-A **513** (2003) 465.
- [7] Y. Suetsugu, T. Kageyama, Y. Takeuchi and K. Shibata, NIM-PR-A **533** (2004) 295.
- [8] Y. Suetsugu, Proc. PAC2003, Portland (OR), May 2003, p. 612.
- [9] Homepage of VAT Vacuumventile AG, <http://www.vatvalve.com/>