

KEKB SRM 銅チェンバーの開発

池田仁美、金澤健一、平松成範、フラナガンジョン、三橋利行

高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

KEKB では放射光を用いたモニター (SRM) でビームサイズ計測を行っている。光取り出しのためのベリリウム反射鏡を真空中で扱うため、光取り出しチェンバーは2重構造になっているが、大電流運転に伴い、ここでの発熱が問題となった。問題解決の為、熱伝導率の良い銅を使ったチェンバーを新たに開発製作したので、前期運転の発熱状況と合わせて報告する。

1 放射光モニター

運動する電子が磁場中で曲げられると放射光を発生し、この放射光の強度はビームの電流に比例する。そこで放射光強度を測定することによってビームの横方向、長手方向の大きさ、およびそのダイナミックな変化の計測が可能になる。

KEKB ファクトリーでは、通常の偏向磁石よりも磁場の弱いウィークベンドからの放射光を、約 10m 下流に設置したベリリウム反射鏡に反射させ、クォーツ製の窓を通してビームパイプの外部へ取り出している。取り出した放射光は約 40m の光路を通過して地上まで送られ、干渉計やストリークカメラでの測定に使用される[1]。

2 ステンレスチェンバー

2.1 構造

KEKB 加速器の運転開始時(1998年)には SRM の光取り出しチェンバーとして電子リング(HER)、陽電子リング(LEP)の両方にステンレス製のチェンバーがインストールされた(図1)。このチェンバーは2重構造になっており、内側のビームパイプ部は電気的に滑らかなように円筒形を取っている。外側の円筒型のチェンバーによって全体の真空封じを行っており、またベリリウム鏡の角度調整のためのマニピュレータが装着されている。水冷式のベリリウム鏡は内側のビームパイプ切りかき部に45°の角度で押し付けられている。接触面は RF コンタクトフィンガーを溶接して鏡とチェンバー間の放電を防いでいる。

ビームパイプには放射光を取り出すためのものと、鏡の状態を監視するための2つの窓を並べてつけた。窓は壁電流を最小化するためにチタンで薄く(0.5 μm)コーティングされている。円筒チェンバーにはそれぞれの窓の延長線上にガラス窓を付けて放射光の取り出しと、鏡やコンタクトフィンガーの状態確認を可能にした。

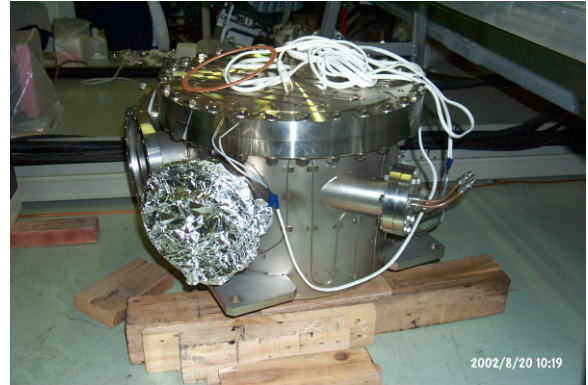


図1: ステンレスチェンバー

2.2 発熱問題

運転開始後チェンバーの発熱状況をモニターするために円筒チェンバーの外側に温度計をつけていたが、SRM部での真空度は常に他と比べて悪く、ビーム電流が上がるにつれて真空度の悪化が見られたため、チェンバー内部の温度も測定することにした。

電流値の大きな LER のチェンバー内側のビームパイプに熱伝対を貼り付けて測定した結果が図2である。最大電流が700mAでの運転であるが、チェンバー温度が200度をを超えていることがわかる。この測定の後、熱伝対は HOM に炙られたためと思われるが、放電を始め使用不能となった。

壁電流によるステンレス製チェンバーの発熱量を計算すると700mAで175度の温度上昇が予測された。これは加速器トンネル内の通常温度が25度であることを考慮すると測定結果と一致している。2000mAでの運転を仮定すると温度上昇は500度になると予想される。

2002年2月に LER の SRM チェンバー部で突然真空度が跳ね上がった。加速器運転を一時停止し調べたところ、チェンバー内のビームパイプに溶接されていた窓枠(図3)が下に落ちていることがわかった。約10,000回に上るビーム電流の熱サイクルによる膨張収縮によって外れたと思われる。この後、窓枠は真空中から取り出し、夏季シャットダウンまでそのまま運転を続けたが、特に問題は起こらなかった。取り出した窓のチタンコーティングは蒸発してなくなっており RF シールドとして働いていなかったことがわかった。

チェンバーの発熱は SR 光取り出し鏡の歪みをも引き起こしていた。チェンバーの伸び縮みにより鏡が動くためである。その結果、ビーム電流の変化に従って光軸がずれ、加速器運転中は光軸をフィードバック (FB) 調整しなければならなかった。干渉計に使う CCD カメラでの SR 光のプロファイルを常にモニターし、光が正しい位置

に来るようにSRMチャンバーのすぐ外に設置した可動鏡を自動的に縦横に動かすことで光軸を保持した[2]。特に縦方向についての最大偏移量は 1mrad になり(図 4)、FB なしでは約 30m 下流にある干渉計システムに光が届かず、加速器運転中のビームサイズ測定は不可能であった。

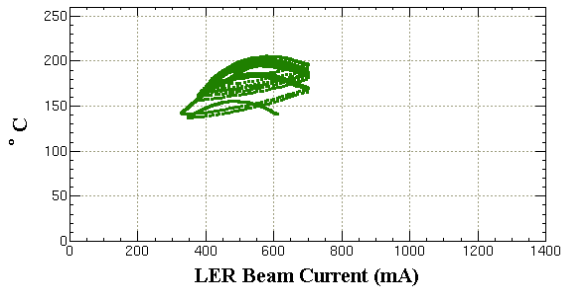


図 2: ステンレスチャンバーでの加速器運転中の温度のビーム電流依存性。

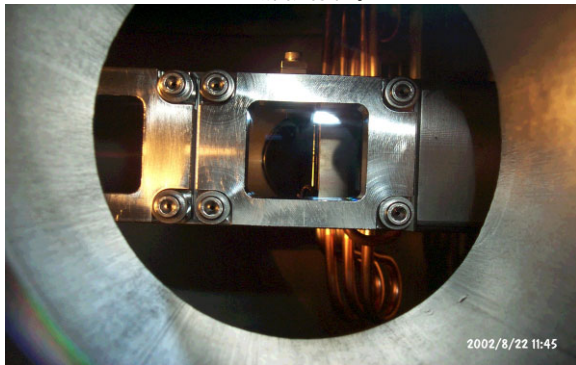


図 3: ステンレスの窓枠つきのぞき窓からベリリウム鏡を見る。

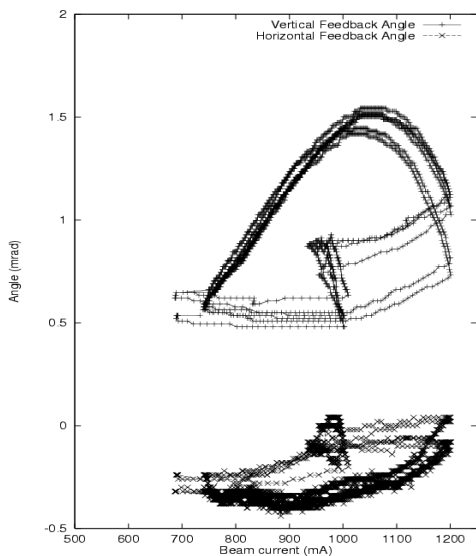


図 4: ステンレスチャンバーでの光軸変動のビーム電流依存性。

3 銅チャンバー

3.1 構造

前節で述べた問題点を解決するために、ステンレスに替わって銅を使ったチャンバーを製作することにした。銅で作るのは内側のビームパイプの部分であり、外側のチャンバーと、ビームラインに繋ぎこむフランジ部分はステンレス製である(図 5 上)。

銅はステンレスに比べ電気伝導率が非常に高いため、壁電流による抵抗加熱が小さくなる。また熱伝導度が良いためチャンバー内で発生したエネルギーが分散され、局所的に温度が上昇することを押さえられる。

ステンレスの場合、1000mA、8n 秒スเปーシングのビームを走らせた場合、チャンバー壁での発熱量は 20 W になる。冷却装置なしの場合、この発熱量は 140 度/10 cm の温度勾配をチャンバーにもたす。チャンバーを銅に変えた場合の温度勾配は 3.5 度/10 cm となり問題にならず、冷却システムの整備も容易である。

MAFIA コードを使ったシミュレーションによると、元のデザインではビームパイプからの HOM パワーは最大電流になったときに問題となるレベルであることがわかった。そこで新しいチャンバーではビームパイプにあける穴は光を取り出すのに問題ない範囲で出来るだけ小さくすることにした。またビームパイプと外側のチャンバー間の空間も、チャンバー内の HOM パワーが最低になるように設計した(35mm x 30mm)。

チタンコートの窓は役に立たなかったことがわかったので、新しいチャンバーには窓は取り付けず、光の取り出しに必要な穴を開けるのみとした。

古いチャンバーの光取り出しのためのベリリウム鏡は、位置の微調整のためのマイクロメータステージと共に、チャンバーの上部の蓋に取り付けられていた。新しいチャンバーでは鏡を取り外すことなくチャンバー内部の様子を確認できるように鏡はチャンバーの下部から取り付けた(図 5 中)。これで鏡を取り付けた後の微調整も上蓋を開けることにより直接目で確認できるようになった。上蓋全体を開けるのはクレーンをつかった作業になるので、内部の確認等の小作業のための小さな蓋が 4 つつけられた。また更なる大電流運転で HOM が問題となったときに HOM 吸収体を取り付けることを考慮して、チャンバー下部には小さなフランジを取り付けた(図 5 下)。

チャンバー内部の温度を測るためには、ビームパイプに銀でコーティングした熱伝対を設置した。熱伝対リード線の通路は HOM の影響を受けないように選んだ。

3.2 性能

図 6 に銅チャンバーに換えた後の温度のビーム電流依存性を示すが、1200mA で 1.5 度に抑えられていることがわかる。図 7 に示すとおり温度上昇による鏡の変動もなくなったため、チャンバー交換後は LER に関しては光軸調整 FB 必要がなくなった。

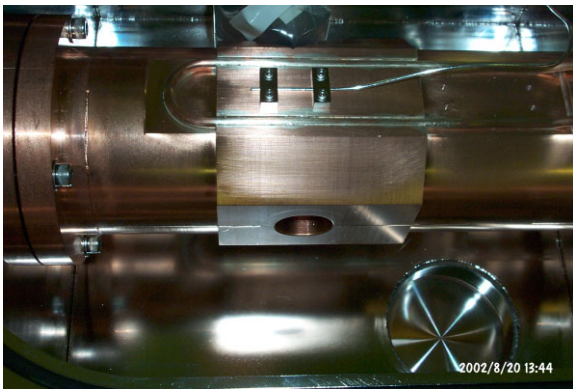
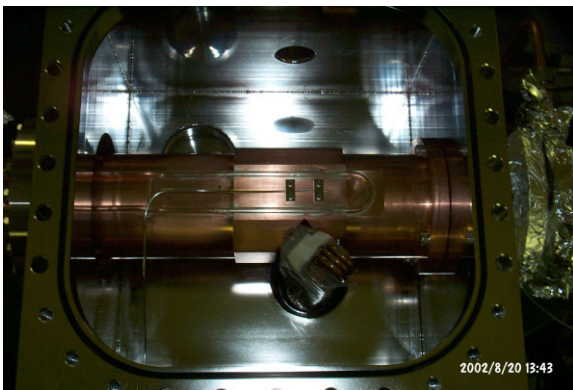
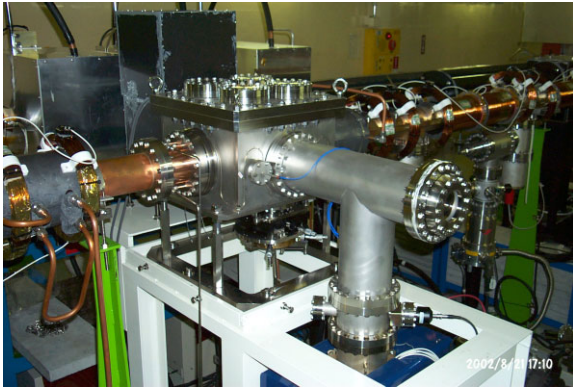


図5:(上)新しいSRM チェンバー外観。奥の暗箱に光軸調整用鏡が入っている。(中)SRM チェンバー内側。中央に走っている銅のビームパイプに右下からベリリウム鏡が45度の角度で取り付けられた。(下)SRM チェンバー内側の拡大図。ビームパイプ上部に熱伝対がねじ止めされている。右下にHOM 吸収剤取付用フランジが見える。

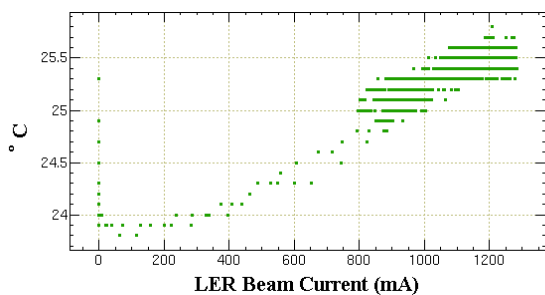


図6: 銅チェンバーの温度のビーム電流依存性。

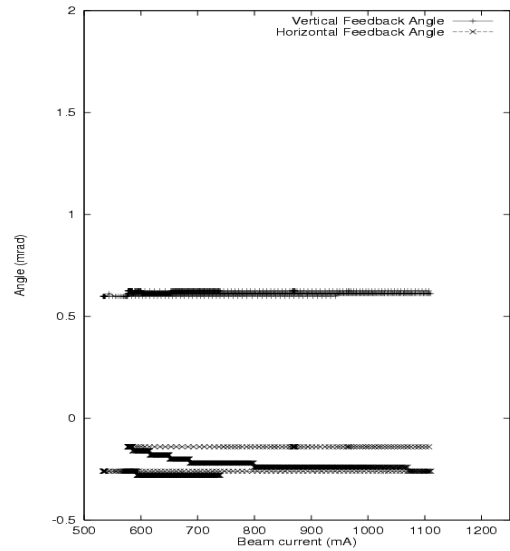


図7: 銅チェンバーでの光軸変動のビーム電流依存性。

4 まとめ

KEKB 運転開始時から HER、LER 両リングに放射光を取り出すための SRM チェンバーを設置していた。しかし、大電流運転になるに従ってステンレスで出来たチェンバーの発熱が問題となった。そこで 2002 年夏季シャットダウン中に LER 側のチェンバーを銅で出来たものと交換することにより、発熱問題は収まった。そこで 2003 年夏季シャットダウン中に HER 側のチェンバーも銅製に取替え、今後の更なる大電流運転に備えている。

謝辞

この場を借りて、チェンバー取替え作業を助けてくださった有永洋三氏、嶋本真幸氏、白井満氏、にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] M. Arinaga, *et al.*, "KEKB Beam Instrumentation System" KEKB Accelerator Papers, KEK Preprint 2001-157(2001).
- [2] J.W.Flanagan, *et al.*, "Improvement to Automated Beam-size Measurement System at KEKB," Proceedings of the Second Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China (2001) pp. 639-641.