

Thermal characteristics of synchrotron radiation absorbers
utilizing heat load of 100 keV and 20 MeV energy electron beams

Takashi MOMOSE, Osamu KON'NO*, Hideo HIRAYAMA, Yasuo AJIMA,
Masao TUCHIYA **, Kousaku NISHIDA**, and Hajime ISHIMARU
National Laboratory for High Energy Physics,
Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University*
Ishikawajima-Halima-Heavy Industries Co. Ltd. **

ABSTRACT

Considering the photon energy spectrum of the electron storage ring and energy absorption length difference in the photon energy, thermal characteristics of the thin (2 mm) and thick (20 mm) aluminum absorbers are investigated using electron beams with 100keV and 20MeV energy to increase the thermal durability of the absorber. At 20 MeV energy beam with several 10 mm absorption length, the thin absorber shows low temperature distribution and power absorption. At 100keV energy beam with several ten microns absorption length shows the highest temperature distribution and power absorption. Theoretical analysis also shows that the surface temperature of the absorber for the longer absorption length beam is lower than that for the shorter absorption length beam.

電子ビーム照射の熱負荷による放射光アブソーバーの特性

1 はじめに

電子蓄積リングの放射光の熱負荷の問題を考える際には電子ビームのエネルギーにより放射光のエネルギー分布が異なるため同一材料でも熱吸収長が異なる成分を含むことを考慮する必要がある（例えば、トリスタン入射蓄積リングでビームエネルギー2.5GeVでは光の臨界エネルギーは1.5 keV、6 GeVで同22 keV、8 GeVで同50 keVで、アルミの場合の吸収長はそれぞれ1ミクロン、2 mm、20 mmである¹⁾）。従ってリングの放射光を用いて評価すればもっとも現実に近い。しかしリング内の真空を破って冷却水系を含むテスト系を敷設するのは運転上問題が多い。かつ現状以上の光のパワー（に対する特性）を得ようとするのは無理である。一方10~100 keVの電子飛程はアルミで1~数ミクロン、数10 MeVで熱の吸収長は数十mmである。そこで

1) 後者の特性を利用すれば光と類似の熱分布の条件で高エネルギー電子ビームによるモデル実験を行うことができる。このような熱が分布する特性と十分なパワーが得られるという条件を満たす最適のものは高エネルギー電子ビームである。このように高エネルギービームを用いて得られる温度分布は熱負荷が分布しているために逆に熱分布が表面に極在している低エネルギー電子ビームの場合より総熱量が高い場合まで耐熱性がある。言い換えると後者の方が厳しい熱負荷条件である。したがって

2) 実際のアブソーバーの特性下限を見極めるにはこの低エネルギー電子ビームを用いる方法がよい。さらに光による熱分布が有限の広がりをもつことは

3) アブソーバーの構造をその範囲内にとどめればそこで吸収されるパワーは構造が無限の大きさの（言い換えると熱吸収長が構造に比べ十分に小さい）場合に比べ小さいこと、即ち耐熱性が改善されたア

ブソーバーの設計が可能であることを示唆する。以上の考えに因って本文では光による熱の分布の違いによる温度分布の違いを示し、実際に設計したアブソーバーに対する高、低エネルギー2種類の電子ビームによる温度特性を述べる。

2 熱分布の広がりによる表面温度の違い

断面積A、長さL、熱伝導率kの物体の左端から熱量 Q_c が照射され、表面で吸熱される場合1と表面から L_1 で Q_c が吸熱される場合2の表面温度 T_s の差を調べる。ただし右端は冷却面で温度 T_c とし、照射、冷却面以外は断熱状態とする。表面からxでの温度 $T(x)$ は

$$\begin{aligned} 1) \quad & T(x) = T + Q_c (L-x)/(kA), & 0 < x < L \\ 2) \quad & T(x) = T + Q_c (L-x)/(kA), & L_1 < x < L \\ & T(x) = T + Q_c (2LL_1 - L_1^2 - x^2)/(2kAL_1), & 0 < x < L_1 \end{aligned}$$

となる。表面温度の差は

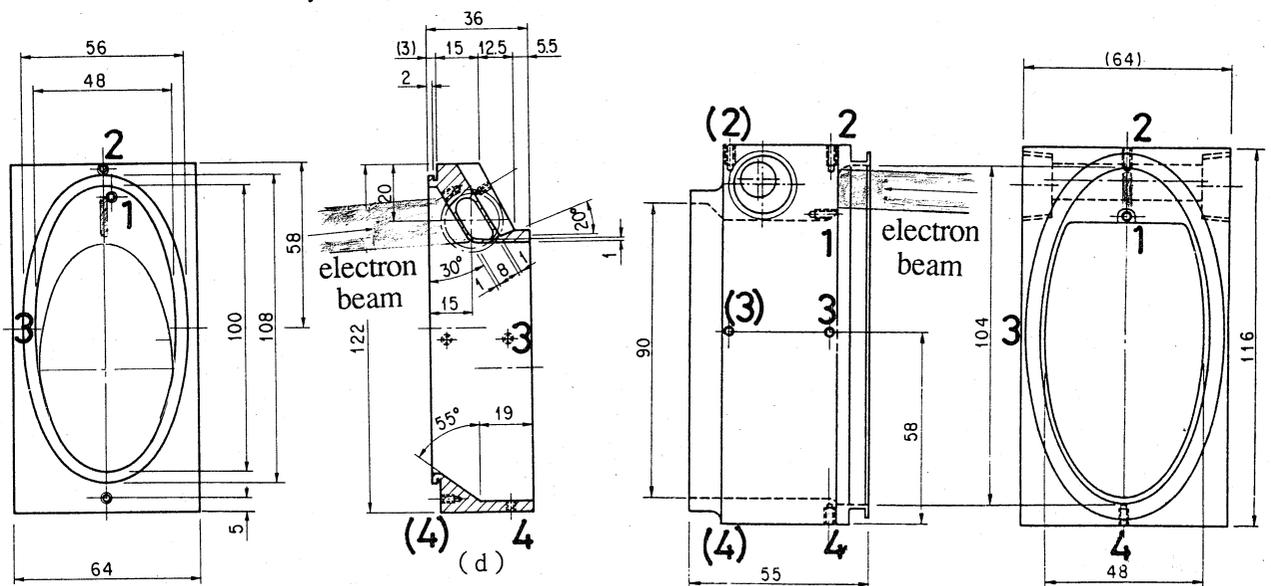
$$T_{s1}(0) - T_{s2}(0) = Q_c L_1 / (2kA) > 0$$

となり、1)の場合表面が融点に達しても2)では融点以下であることが示される。これは1で述べたように高エネルギーの光や粒子ビームが照射された(熱源が一定の広がりのある)場合の方が耐熱性があることを示す。

3 実験

2の場合の1)に対するものが100 keVの、2)に対するものが20 MeVの電子ビーム照射の場合に相当する。前者が耐熱性の下限、後者が上限を与える。ただし放射光の場合は単色ビームではないので1と2の中間に相当すると思えばよい。したがって両者の実験を行う意味がここにある。用いたものはトリスタン入射蓄積リング、セラミックチェンバー用アルミ合金製アブソーバー (Fig.1-(a) and (b)) で、水冷部までの肉厚が1 mmのもの (a) と20 mmのもの (b) がある。ただしボルト穴の横に付した数字によって温度計の分布場所を示した。(2), (3), (4)は図の2,3,4から厚さ分離れたところである。また3, (4), (3)はアルミ厚肉部で、若干のばらつきがあるが(4)は照射ビーム中心から100 mm, 3と(3)は照射ビーム中心から50 mm、(2)は水冷部から5 mm程度の所に位置する。水冷はチラーを用い16~20°Cにしている。高エネルギービーム照射時の試料の設置は大気中で、低エネルギー電子ビームの場合は電子ビーム溶接機のチャンバー内 (10^{-5} Torrオーダー) にて照射した。温度は照射を開始して定常態に達した後、ビーム電流が一定のとき数点記録し、平均値を

Fig.1 Structure of ceramic chamber absorbers(a) 1mm thick and (b) 20 mm thick), assembly of thermocouples, and area irradiated by beam; .



とっている。高エネルギー電子ビームではビーム電流が1-2分間程度数%以内に安定するのはむずかしかった。これは温度の測定精度にも影響すると同時に不要なビーム照射をすることにもなっている。さらにビーム性能に関して言えば予想に反してアルミに対して溶融限界に近い高パワー密度のビームを得ることができなかった。その理由としてはビームが大気にてたところで既に直径が10 mmあることで、それ以上にするのは困難であった。我々の実験でもし直径が3 mmであれば見かけ上溶融限界のパワー密度にして比較が可能であった。

4 結果と考察

測定結果をTable 1 に示す。1 mm厚さで20 MeVビームでの最高測定温度は入射パワー1.2 kWで88° C、1.3-1.4 kWで110° Cであった。一方20 mm厚に対する20 MeVビームの場合は1kW程度で最高測定温度は128° Cである。同じ電流ではないがこの2例で厚さの大小の影響を比較すると厚いほうが温度は高い。これは吸収長が長い場合堆積されるパワーの大小（計算では50 Wと500 W)²とに対応し薄肉アブソーバーの考え方の正しさが裏付けられた。100 keV, 9 mA電子ビーム照射の場合は最高測定温度は185° Cであった。この場合は吸収長が0.1 mm以下であるから実質吸収パワーも0.9 kWで、20 MeVビームの二者に比し大きいからである。100 keV電子ビームの場合14 mAにしたところアルミ表面がとけ、水洩れを起こした。したがってこのアブソーバーの使用限界1.4 keW以下である。このアブソーバーにはトリスタン入射蓄積リングで200 mmの光が入るから7kW/mに相当し、6.5 GeVではほぼ150 mAである。しかし安全性が確認されているのは0.9 kWだから4.5 kW/mで同90 mAと考えてよい。最近トリスタン入射蓄積リングのビーム電流を30 mAから40 mAへ増加した。現在ビーム電流は他の真空コンポーネントの耐熱性で制限を受けている³。他の金属試料への照射実験結果も、電子ビームエネルギーをパラメーターとして板厚とパワー分布の相対的な関係を考慮した説明および計算と凡そ合致した⁴。

Table 1 Temperature distribution during 100keV and 20 MeV electron beam irradiation on the ceramic chamber absorbers.

	apparent power on (a) or (b)	absorbed power	Temperature (° C)						
			1	2	(2)	3	(3)	4	(4)
20MeV 60 μA	1200W on (a)	50W	88	56	60	27	16	25	/
20MeV 50 μA	1000W on (b)	500W	128	93	51	50	41	48	/
100keV 9 mA	900W on (a)	900W	185	48	/	40	32	33	34

5 まとめ

トリスタンARの8GeVの放射光の吸収長に近似的に等しい20MeV電子ビームと電子ビーム溶接機の100keV電子ビームを用いてトリスタン入射蓄積リングキッカーセラミックチャンバー用アブソーバーの熱負荷テストをおこなった。照射テスト結果はセラミックチャンバー用のアブソーバーの耐熱性向上のため透過パワーを増やすという考え方に基づく薄肉型アブソーバーの優位さを厚肉型のそれとの比較で示すことができた。

謝辞

本実験の内、20MeV電子ビームによるものは東北大学核理研のリニアックで行われた。ご協力頂いた東北大学核理研の皆様へ深謝いたします。

参考文献

- 1 T. Momose, O. Konno, H. Horayama, and H. Ishimaru: Proc. of the 2nd European Particle Accelerator Conference, Nice, France, June 12-16, 1990, 1344. または KEK Preprint 90-59, July 1990 A.
- 2 H. Hirayama, W.R. Nelson, and D.W.O.Rodgers: KEK internal, 89-15, Jan. 1990.
- 3 百瀬丘, T R memo, 359, 1992, 7, 15.
- 4 百瀬丘, 今野収, 平山英夫, 石丸肇, 核理研研究報告, 23, 2, 1990, 271. および 同 24, 1, 1991, 199.