

## DEVELOPMENT OF A WIRE SCANNER FOR A LOW ENERGY AND HIGH CHARGE ELECTRON BEAM

Shigeru Kashiwagi<sup>1,A)</sup>, Yuki Yoshi Kon<sup>A)</sup>, Ryukou Kato<sup>A)</sup>, Tetsuya Igo<sup>A)</sup>, Goro Isoyama<sup>A)</sup>,  
Junji Urakawa<sup>B)</sup> and Hitoshi Hayano<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University  
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, Japan, 567-0047

<sup>B)</sup> Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 305-0801

### Abstract

A wire scanner monitor was developed to measure precisely for a low energy and high charge electron beam at the Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR), Osaka University. A detector for the wire scanner was applied to Cherenkov counter with aerogel emitter. The detector has been tested using 37 MeV electron beam at injector linac of the Accelerator Test Facility (ATF) in KEK. The wire scanner and the detector were installed to L-band linear accelerator of ISIR in January 2006. We performed a beam size measurement using the wire scanner for a 27 MeV electron bunch with 30 nC. The details of the wire scanner and the detector are presented in this report.

## 低エネルギー・大電荷量電子ビーム用ワイヤスキャナーの開発

### 1. はじめに

阪大産研Lバンドライナックは、3台のサブハーモニックバンチャー (SHB) を使用して、エネルギーが10~30 MeV、電荷量が20 nC/bunchを超える大強度シングルバンチ電子ビームの生成が可能である。我々は、阪大産研Lバンド電子ライナックにおいて、この大電荷量の電子ビームを使い遠赤外線領域のSASE-FELの開発研究を行っている。SASEの発生パワーはウイグラーを通過する電子ビームの品質に強く依存するため、その高輝度電子ビームの発生と電子ビームの正確な診断と精密な制御が必要不可欠である。

阪大産研Lバンド電子ライナックの電子ビームサイズは、従来、アルミナ蛍光板を用いたプロファイルモニターで計測していたが、蛍光板では発光像のにじみがあるため、正確なビームサイズの絶対値測定が困難である。今回、平成17年度より始まったKEKの大学等連携支援事業において、阪大産研のLバンド電子ライナックで作りに出される、低エネルギー・大電荷量の電子ビームサイズを精度良く測定するためワイヤスキャナーの開発を行った。ワイヤスキャナーは、KEK-ATFで開発されたものをモデルに電子ビームサイズの絶対値を精度良く測定できるように設計・製作した[1]。また、阪大産研Lバンド電子ライナックで生成される電子ビームは比較的lowエネルギー (10~30 MeV) であり、電子ビームがワイヤーに衝突した際に発生する $\gamma$ 線のエネルギーはそれ以下である。このlowエネルギーの $\gamma$ 線に対する測定感度を上げるために、検出器は発光体にエアロジェルを用いたチェレンコフカウンターを使

用した。この検出器については、阪大産研Lバンド電子ライナックにインストールする前にKEK-ATFにおいてその有効性を確認するための試験実験を行った。その後、平成18年1月にワイヤスキャナーおよびその検出器を阪大産研Lバンド電子ライナックに設置し、ビーム実験を行った。

### 2. 阪大産研用ワイヤスキャナー

#### 2.1 ワイヤスキャナー

阪大産研Lバンドライナックの大電荷量電子ビームは、単バンチモードにおいて通常電荷量は20~30nC、エミッタンスは約150~200 $\pi$ mm mrad、トランスポートラインでの平均ビームサイズ ( $\sigma$ ) は大よそ2~3mmと大きい。今回製作したワイヤスキャナーは、KEK-ATFで使用されているワイヤスキャナーに比べ、ワイヤマウントやビームダクト部を大きくし、ワイヤーの移動ストロークも1.5倍程度長いものにした。図1にあるようにマウント

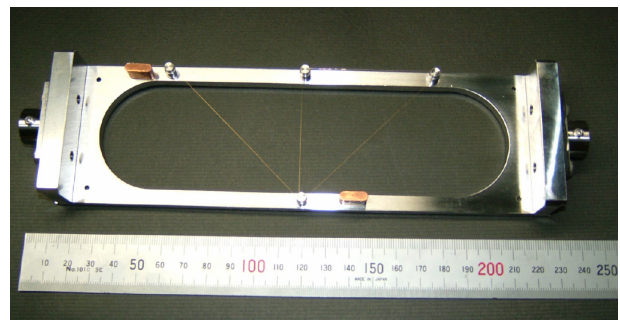


図1: ワイヤマウント部

<sup>1</sup> E-mail: shigeruk@sanken.osaka-u.ac.jp

部は、測定の際にビームがマウントにあたりバックグラウンドを発生しないために50 mmのビームアパーチャーが確保されている。ビームサイズを測定するためのワイヤーは、直径50 $\mu$ mの金メッキタングステンワイヤーを使用した。ワイヤーは水平・垂直方向および45度方向のビームプロファイルを測定するために、1本のワイヤーを互いが45度の角度になるように一筆書きでマウントに張り、適当な張力をかけ両端を半田付けした(図1参照)。このワイヤーマウントをリニアガイドとパルスモータステージを使い、45度の角度に直線移動させ3方向のビームサイズ $\sigma_x$ ,  $\sigma_{45}$ ,  $\sigma_y$ を測定する。ワイヤーの位置は、リニアステージ側面に取り付けたマグネスケールで高精度に測定される。製作したワイヤースキャナーのワイヤー全可動距離は150mmである。ビームが水平・垂直軸に対して回転している場合、測定された3方向のビームサイズを使いその回転角( $\theta$ )を式(1)より求める事ができる。また回転した直交座標系でのビームサイズ( $\sigma_{x'}$ ,  $\sigma_{y'}$ )は式(2)より算出することが可能である。

## 2.2 $\gamma$ 線検出器

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) - 2\sigma_u^2}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_{x'}^2 = \frac{\sigma_x^2 \cos^2 \theta - \sigma_y^2 \sin^2 \theta}{\cos 2\theta} \quad (2)$$

$$\sigma_{y'}^2 = \frac{\sigma_y^2 \cos^2 \theta - \sigma_x^2 \sin^2 \theta}{\cos 2\theta}$$

本開発では、タングステンワイヤーに電子ビームが衝突した際に発生する $\gamma$ 線の検出器にはチェレンコフカウンターを使用した。チェレンコフカウンターは、 $\gamma$ 線を荷電粒子に変化するコンバーターとチェレンコフ光を発生する発光部、ライトガイド、光電子増倍管で構成されている。ライトガイドは、バックグラウンドの $\gamma$ 線や荷電粒子が直接光電子増倍管に入るのを防ぐために、発光体と光電子増倍管の間にアルミ角パイプの内側にアルミマイラーを貼り付けたものを使用した。その断面積は約25cm<sup>2</sup>、光路長にして約1mである。

また、チェレンコフカウンターでは検出される荷電粒子のエネルギー閾値を発光体の屈折率により決めることができる。そのため、エネルギー閾値以下のバックグラウンドを測定から取り除く事が可能である。このエネルギー閾値( $E_s$ )は、 $m_e c^2 / \sqrt{1 - (1/n)^2}$ と表わすことができる。(n: 発光体の屈折率、 $m_e c^2$ : 電子の静止質量) 電子ビームエネルギーが空気チェレンコフ光を発生するエネルギー閾値の21.4MeVよりも十分に高い場合には、空気を発光体とするエアージェルチェレンコフカウンターが

大変有効である。阪大産研の場合には、電子ビームエネルギーが空気チェレンコフのエネルギー閾値と同程度かそれ以下であるので、測定感度を上げるために発光体に屈折率が1.015のエアージェル(SP-15: 松下電工株式会社製:  $E_s = 2.98$  MeV)を用いた[2,3]。また、検出器ヘッドには鉛などの金属コンバーターは使用せず、ワイヤーで発生した $\gamma$ 線がビームダクトなどで荷電粒子に変換されたものを検出するようにした。

## 3. ビーム実験

### 3.1 KEK-ATFにおける試験実験

KEK-ATFの入射器部において、チェレンコフカウンター検出器の試験実験を行った。ATFの入射部は、Sバンドの光陰極RF電子銃と3m長のSバンド加速管で構成されている。この入射部下流には、エネルギー分析電磁石を含む診断部があり、検出器の試験実験ではその中にあるワイヤースキャナーを使用しビームサイズ測定を行った。阪大産研のビーム条件に近づけるため、通常のATF運転では約70MeVある電子ビームエネルギーを37MeVまで下げ、電荷量が約2nCの電子バンチに対して測定を行った。実験では、発光体に屈折率が $n=1.015$ のエアージェル(断面積25cm<sup>2</sup>、厚さ10mm x 3枚)を使用した場合と使用しない空気の場合についてビームサイズ測定を行い、光電子増倍管で検出される信号強度を比較した。光電子増倍管からの信号はゲート付の電荷蓄積型ADC(12bit)を使い処理を行った。

図2に測定された電子ビームプロファイルを示す。横軸がワイヤー位置、縦軸が検出された信号強度(ADCカウント)である。図2より、エアージェルを使用した方が空気チェレンコフの場合に比べ、良いS/Nでビームサイズ測定ができていている事が分かる。この時、ワイヤーで発生する $\gamma$ 線の最大エネルギーは電子ビームエネルギー(37MeV)以下であり、荷

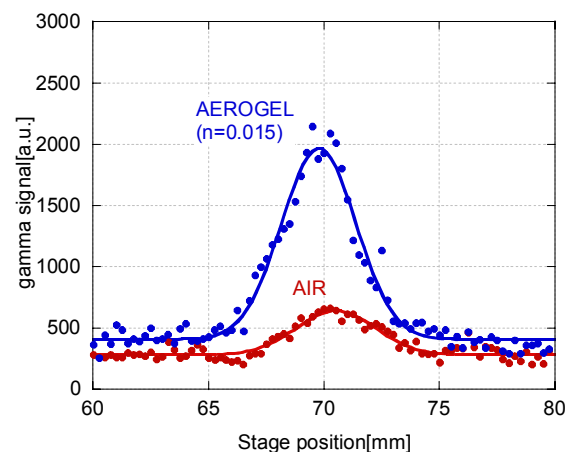


図2: 測定されたプロファイル (発光体: 空気(赤)、エアージェル(青))

電粒子への変換を考慮するとチェレンコフカウンターに入射した荷電粒子のエネルギーは37MeVよりも十分低い事が予想される。エアロジェルを使用した場合のチェレンコフ光発生の閾値は約2.98MeV、空気チェレンコフでは約21.4MeVである。図2での信号強度の差は、約3~21MeVのエネルギーを持った荷電粒子に対する感度の有無により生じたものであると考える。一方、エネルギー閾値の低いエアロジェルを使うことによりバックグラウンドが増える事が懸念されたが、信号強度の増大に比べバックグラウンドの増加は僅かであった。この試験実験の結果から、低エネルギー電子ビームの測定に、発光体にエアロジェルを用いたチェレンコフカウンターが有効である事が確認できた。

### 3.2 阪大産研におけるビームサイズ測定

製作したワイヤースキャナーは、平成18年1月に阪大産研Lバンドライナックのビームトランスポートラインに設置された(図3)。検出器はワイヤから前方方向に散乱されてくる $\gamma$ 線を検出するため、ワイヤースキャナーの下流約3mの位置にチェレンコフ発光体をビームラインにできる限り近づけて設置された。光電子増倍管(HAMAMATSU: H7195)はビームラインより約1m離れた位置にライトガイドをかいして設置し、その周りを鉛で遮蔽した。ビームサイズ測定では、ワイヤをステップモータステージにより100 $\mu$ mステップで移動させ、光電子増倍管からの信号はオシロスコープを使いその波高を測定した。これらの制御は全てGPIBで行った。

図4に産研で測定された水平・垂直および45度方向の電子ビームプロファイルの例を示す。電荷量は約30 nC、ビームエネルギー27MeVであった。図4の水平および垂直方向のビームサイズは、ワイヤの移動距離を $\sqrt{2}$ で割った45度補正後の数値である。測定された3方向のビームサイズから、水平方向に僅かに扁平したビームだということが分かる。また、式(1)、(2)よりビームの回転角と回転した座標系でのビームサイズは、回転角 $\approx$ 16.9度、 $\sigma_x = 3.84$ mm、 $\sigma_y = 2.76$ mmという結果が得られた。光電子増倍管からの信号では約0.1Vのバックグラウンドが観測された。その値はワイヤを移動させても一定であるので、ビームがワイヤマウントまたはビームダクトに僅かに当たって発生した $\gamma$ 線が測定されていると思われる。また、隣り合うワイヤの(マウント移動軸方向の)間隔は約30mmである。円形ビームを仮定した時、全幅で25mmよりもビームサイズが大きくなると2本のワイヤに同時にビームが当たってしまうため注意が必要である。四極電磁石を使つてのエミッタンス測定(Qスキャン)では、ワイヤの位置で一方方向にビームサイズが極端に大きくなるような状態に上流のビーム光学系を設定

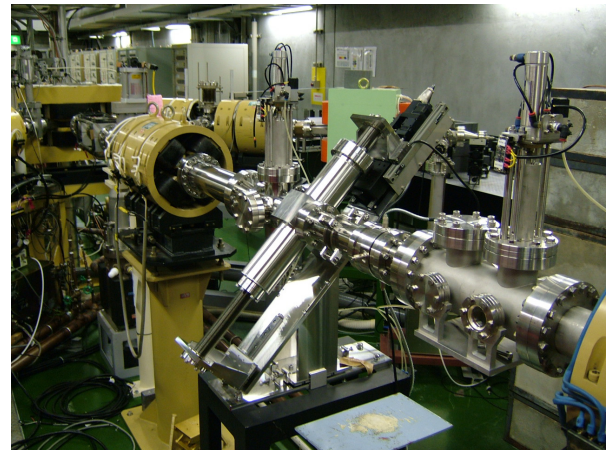


図3：産研Lバンドライナックに設置されたワイヤースキャナー(中央)

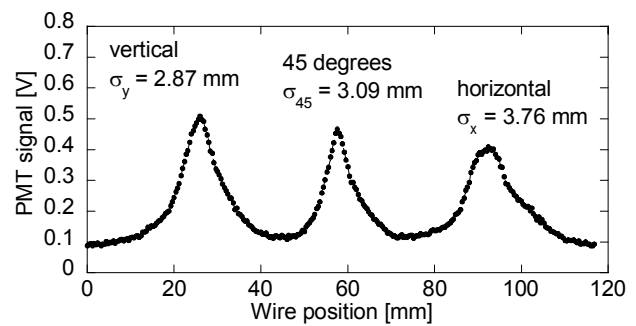


図4：測定された電子ビームプロファイル( $\sigma_y$ ,  $\sigma_{45}$ ,  $\sigma_x$ )

する必要がある。

今後、ワイヤースキャナーを用いたQスキャン法によるエミッタンス測定を行う。その他、蛍光スクリーン上での像のにじみとビームエネルギー、電荷密度、スクリーンの厚さの関係について詳しく調べるため、ワイヤースキャナーと何種類かの厚さの異なる蛍光スクリーンモニターを使いビームサイズの測定を行う。

### 謝辞

松下電工株式会社の横川弘様にはエアロジェルに関する貴重な情報などをご提供頂き大変感謝致します。KEK-ATFの武藤俊哉博士(現・東北大学)、福田将史博士、KEK素核研の大森恒彦博士には検出器製作に際してご協力頂いた事を感謝致します。検出器の試験実験にご協力頂いたATFグループの方々に感謝致します。本研究は平成17年度KEK大学等連携支援事業により行われました。

### 参考文献

- [1] H. Hayano, Proc. of Linac 2000, Monterey California, USA, August 2000, p.146
- [2] 福田将史、高エネルギーニュースVol23 No2 2004/7.8.9
- [3] D. McCormick et al., ATF Internal Report ATF-98-3 (January 1993)