

Wire-Scanner Beam-Profile Monitor for the KEKB Injector - (I)

Otake Y., Urano T. and Kobayashi H.

KEK, National Laboratory for High Energy Physics
Oho 1-1, Tukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

In order to obtain stable operation of the KEKB injector which accelerates 10nC electron beams for positron production, diagnosis of the beams such as non-destructive measurements of their profiles is important. The measurement accuracy of less than 50 μ m is necessary. A wire-scanner system for the measurements has been designed and fabricated. The linear-motor system of the scanner was employed for increasing its movement accuracy, reducing a noise like a pulse-motor and being free from a backlash caused by a gear system. Repositioning accuracy by the mover is around 1 μ m that is enough for our requirement.

KEKB入射器用ワイヤスキャナービームプロファイルモニター (I)

1. 概要

KEKB入射器では10nCのSバンド単バンチ電子ビームを陽電子生成等の為に加速せねばならず、安定なビームトランスポートの難しいことが予想される。また同じくリニアックからリングへの効率よい電子/陽電子入射を常時実現する事は、KEKBリング加速器の様な短時間の大量電流積み上げをめざすことに対して、非常に重要な点である。このような入射をするためには、加速ビームのツイストパラメーターをリングリニアック間トランスポートに整合させること。またビーム調整等のために入射中でも測定可能なリアルタイム非破壊型プロファイルモニターで、加速ビームパラメーターの常時監視を行うこと等が必要である。

1本の細いワイヤを加速ビーム断面に沿って動かすワイヤスキャナーは、従来よりビームのプロファイルを非破壊的に精度よく測定するためのデバイスとして、多くの加速器で使用されている。[1]この点に注目しKEKB入射器でも、ワイヤ

スキャナーを採用することにした。以下に入射器のワイヤスキャナーシステムについての、設計と製作及び機械的な性能について述べる。またビームテストについては現在進行中であり、解析を行っている最中なので述べない。

2. ワイヤスキャナー本体

2-1. 対象ビームと測定精度

測定しなければならないビームサイズはビームトランスポートの計算、既存加速器でのビームサイズ等から予想でき、10mmから1mm弱の範囲である。その条件から1本のワイヤの移動範囲はビーム中心軌道から約±10mmあれば十分で、測定ステップは1mmのプロファイルを計算機上で再構成するために、50 μ mあればよい。測定精度を決定する指針となるのは、横方向ウェークによるビームの発散防止やアライメント等から、ビームが加速管中心軌道からずれることのできる許容値で、この値はKEKB入射器の場合は100 μ m以下である[2]。このことから測定及び機械的精度は容易に達成できる10 μ m程度とした。

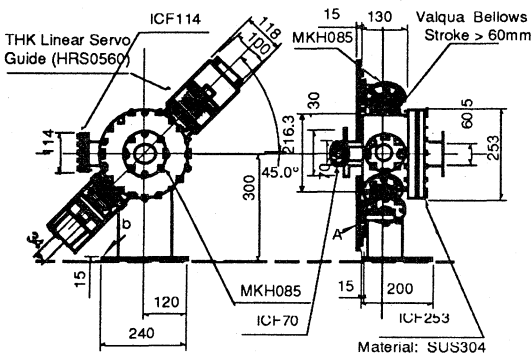


図1、ワイヤスキャナー本体

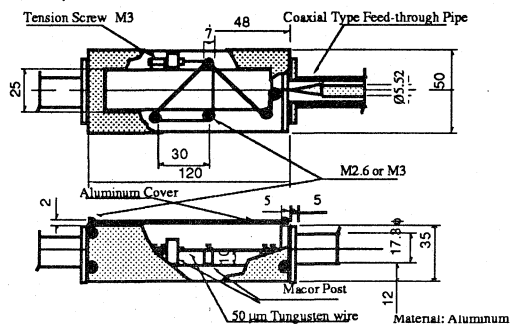


図2、ワイヤスキャナーヘッド

2-2、検出方法とワイヤーの選定

検出方法は電子ビームとワイヤーの相互作用から、代表的な次の3種類がある。1)電離過程等によるワイヤー電流を検出する。2)制動輻射の過程で生じるガンマー線を検出する。3)90度方向にワイヤーからたたき出された2次電子を検出する。[3,4] 以上から実際に採用する方法を検討するが、3)については信号強度が弱く信号/ノイズ比が悪いことが報告されており[5]、今回は詳細検討から外す。よって主に1)と2)から他の事例を参考にし、実験により結果が良好なほうを選択する方針である。ちなみに設計等の計算は、スキャナーのビーム試験を当面2.5GeVの電子ビームで行うので、そのエネルギー領域で計算する。

ワイヤーは上記の測定精度と検出方法、ビームの損失による熱的な問題から、原子番号が大きく、細く、強度的にも強いものが望ましい。そのため他の事例等から、50 μ m以下の金メッキタングステンかカーボン製のものが候補として上げられる。1号機のスキャナー用ワイヤーとしては、試作と言う観点から取り扱いの容易さを重視し、50 μ mのタングステンワイヤーを採用した。

2-3、本体及び駆動機構

2-1、2の条件を基にKEKB用に設計及び製作したワイヤースキャナーを図1に、ワイヤーを搭載したヘッドを図2に示す。本体は真空容器とヘッドを搭載した駆動部からなっており、その駆動部は斜め45度に取り付けられている。図2のようなワイヤーの展開により、1本のワイヤー及び1つの駆動機構でビームの2次元断面プロファイルを取得できる。このためヘッドの移動範囲は60mm強である。またワイヤーは50 Ω の同軸真空フィードスルーに接続されており、その電流を真空容器外に取り出せる構造である。

精度を確保するために駆動用モーターとしてTHK製リニアサーボガイドを採用した。このモーターはギア等を使用せず、バックラッシュ等の問題がない。さらにモーターと一体になったマグネスケールに相当する位置読み取り機構及び、位置制御のサーボ機構を有している。これによりステージとモーターが一体となった単純構造の駆動部を実現でき、パルスモーター等に存在するノイズも避けることが可能である。動作精度は絶対値で10 μ m、相対的位置の再現性は1 μ mである。

電子数N

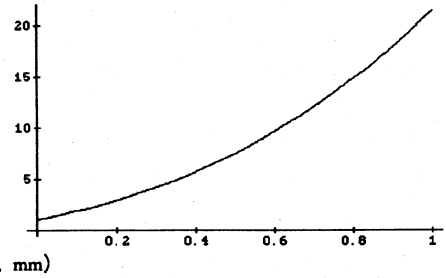


図3、2.5GeV、10nCビームによる50 μ mタングステンホイルでの、カスケードシャワーの電子増倍率

3、信号検出系

3-1、得られる信号強度の算出

*ワイヤー電流、入射器における2.5GeVの電子/陽電子ビームでは、電離損失が非常に小さくなる。そのエネルギーで解析的に求められる損失は1.6MeV程度で、この値ではワイヤー電流を観測する事は難しく過去の実例に合わない。ワイヤー電流収量を算出するためには、EGS等の解析コードの使用も考えられが、しかし解法が明確ではない。そこで今回は実験によりその収量を評価することにした。

*制動輻射によるガンマー線検出、金属中に入射されるGeV程度の電子で、制動輻射によるカスケードシャワーの電子増倍率は

$$\frac{d \text{Log}_e N}{dt} = \frac{1}{2}(S-1-3\text{Log}_e S)$$

で与えられ、ここで $S = \frac{3t}{t+2\beta_0}$ 、 t は金属の厚さ、 β_0 はワイヤー金属の臨界エネルギー(タングステン、10.81MeV)である。これをタングステンについて計算した図3から、入射器の2.5GeV、10nCビームで、50 μ mタングステンホイルによる電子増倍率は約1であり、ワイヤーのビーム断面に対する面積比を 10^{-5} 程度としたときに、 10^6 個程度の電子が得られることになる。この値は、シンチレーター付き光電子増倍管で観測するための強度としては十分なものである。しかしながらシャワーの角分布が数mrad程度なので、検出器をかなり前方に置く必要がある(80m以上前方)、この為にバックグラウンドによるノイズの問題も出てくる。

3-2、信号検出システム

前記の検出方法/強度に対応するために、信号検出は図4に示す様なクリアーパルス社製の荷電増幅器と[6]、アナログデーターをデジタル化可

能なピークホールド回路（KEK設計）によりなっている。この増幅器は1V/pcの荷電／電圧変換率でノイズが500electron(FWHM)、パルスの波形減衰時定数が1msのものであり、光電子増倍管出力用に関しては問題ない。ワイヤー電流に関しては明確ではないが、ビームの輻射によるエネルギー損失が1.5%程度であることから、かりにワイヤーに当たる電子ビーム 10^6 個の1%がワイヤー電流になったと仮定すると、荷電増幅器の荷電／電圧変換率から数mVの出力が得られることになる。この値からするとノイズ等を考慮すると問題であるが、過去の事例から検出可能であるので実験で確認する。

4、制御系

制御系は図4に示すようなTCP/IPによりリニアック制御系に接続されたワークステーション（HP9000/715）と図8、そこから光ラインで拡張されたGP-IBインターフェースにより接続されるモーターコントローラー、ピークホールドのデータを読みとるDI/Oにより構成されている。

モーターコントローラーはインテリジェントなマイクロプロセッサ内蔵のもので、以下の機能を有する。1)モーターを指定のパルス数だけ移動する。（ $1\mu\text{m}$ ステップ）。2)原点を規定する動作、駆動部が原点センサーが反応するまで移動する。3)ワークステーションからの1命令で、ある一定回数および一定距離の動作／停止（測定）を繰り返す動き。停止時に測定用トリガーを出力する。また4)2点間の連続動作で、その間に一定距離ごとに測定用トリガーを発生する動作。

ピークホールド及びDI/Oは上記測定用とビームのトリガーのANDにより、自動的にワークステ

ーションにデータを読みとるような指示ができる機能を有する。これによりワークステーションは1回のモーターコントローラーへの測定命令で、後はDI/Oからのデータ読みとりのみを処理をすればよく負荷を軽減できる。それは同様の多くのスキャナーシステムをサポート可能になることを意味する。

制御用のソフトウェアとしては、ワークステーション上で動作するHP製のプログラムレス計測制御システムVEEを採用し図8、モーターの制御、DI/Oデータの読みとり等は問題なく行われている。

5、まとめ及び製作したスキャナーの性能

試作機のワイヤースキャナーは、真空等の問題もなく製作された。動作精度はダイヤルゲージによる動作の位置再現性チェックと、トランシットで数メートルの距離から定盤上のスキャナーのワイヤーを監視することで確認した。その結果 $1\mu\text{m}$ 程度の精度を有していることがわかった。現在、電子銃の200KeVのビームを使用し、プロファイル測定試験を現在進行中である。また最終的には加速器に3台一組でスキャナーを挿入し、ワークステーションによりツイスパラメータを計算で取得する計画である。その結果は続報で報告する。

謝辞

ビーム試験を行うにあたって入射器グループ、栗原氏の協力に感謝します。また仕事を進める上での全般的な協力に対して、入射器グループメンバー各位に感謝します。

参考文献

- [1]M. C. Ross et al., "Wire Scanner for Beam Size and Emittance Measurements at the SLC", SLAC-PUB-555, May 1991.
- [2]Y. Ogawa et al., "Wake-Field Issues Concerning the KEK B-Factory Injector Linac", KEK Preprint 94-94, Sept. 1994.
- [3]小田 稔, "宇宙線", 11月 1972年。
- [4]Bruno Rossi, "High Energy Particles", Prentice-Hall
- [5]菊池光男 "私信"
- [6]THK社リニアサーボガイドカタログ, 1993年。
- [7]クリアーパルス社荷電増幅器カタログ, 1994年。
- [8]横河ヒューレットパカードカタログ, 1995年。

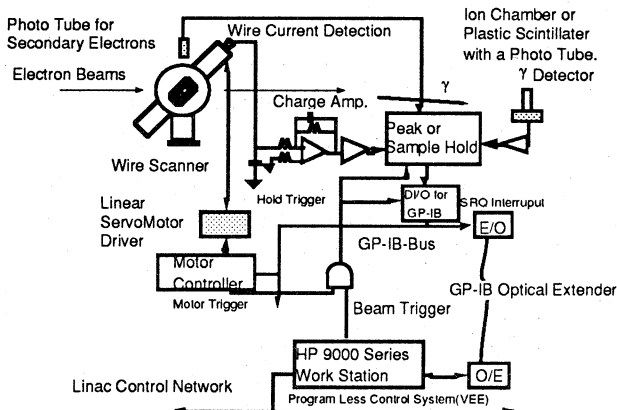


図4、ワイヤースキャナー計測制御システム