

Study on the Temporal Structure of the Electron Beam from a linear Accelerator with a Streak Camera.

Ryukou Kato, Yasuhiro Iwase, Yasuyuki Nakajima,
Goro Isoyama and Shoji Suemine*

Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan.

*Unicon System Co. Ltd.

Abstract

The temporal structure of the electron beam from the ISIR linac has been measured with a streak camera. Several problems deteriorating the time resolution of the measurement system are discussed and basic criteria are given for measuring the length of a very short bunch with the streak camera. The bunch length thus measured is shown as a function of the beam current injected from the electron gun.

ストリークカメラによる線形加速器からの電子ビームの時間構造の研究

1. はじめに

ライナックで加速された電子は、高周波加速の原理からバンチ構造をしている。通過時間で測った電子バンチの長さは、一般に L バンドライナックでは数 10ps、S バンドライナックでは数 ps 程度と言われている。この電子バンチの時間構造は、ライナック入射部でのパラメータを反映しており、サブハーモニックバンチャー(SHB)の RF 電圧や位相の変化、ビーム電流を変えたときの空間電荷効果などにより大きく変化し得る。

阪大産研の L バンドライナックの時間構造の測定は以前にも行われている。我々は、ライナックの運転状態と電子ビームの時間構造の関係を調べる研究を再び始めた。今回の報告では、ストリークカメラを用いて電子バンチの時間構造の測定を行う上での基本的な問題点について考察する。

2. 実験方法

阪大産研の L バンドライナックを単バンチモードで運転する。電子ビームのエネルギーは 27MeV で、1 バンチに含まれる電子は約 30nC である。直線部ビームライン上で真空窓(材質:チタン、厚さ: 30 μ m) から大気中に出た電子ビームの放射する Cerenkov 光を測定室まで導いてストリークカメラで測定する。真空窓から約 0.6m のところに平

面鏡を置いているので、この間が Cerenkov 光の発光領域となる。Cerenkov 光は電子の進行方向に対し、 $\theta = \cos^{-1}(1/n\beta)$ の角度で放射される。ここで、 β は電子の速度を光速で割った値であり、 n は空気の屈折率である。今、電子のエネルギーが 27MeV、UV 入力光学系付きストリークカメラの分光感度特性が 220~850nm であるので、 θ は 0.935~0.793° となる。最初の平面鏡から 1.7m の位置に焦点距離 2m の凹面鏡をおき、光の主要な部分を平行光束に近づける。3 枚の平面鏡で約 25m 光をガイドした後、焦点距離 0.3m の凸レンズでストリークカメラのスリット上に集光する。この光は光電面で電子に変換された後、高速掃引により時間構造を空間構造に置き換えられる。電子はマイクロチャンネルプレート (MCP) で増幅され、蛍光面で再び光となり、SIT カメラで画像情報として取り込まれる。

ストリークカメラを用いて電子バンチの長さを測る場合には以下のような点をふまえて測定を行う必要がある。

3. ストリークカメラでの時間拡がり

1) 電子 1 個の時間拡がり

光電面から放出される 1 個の電子の蛍光面上で

の像の大きさであり、時間に換算すると、このシステムで計測できる最小の時間幅を与える。ノイズとしてストリークカメラ内に飛び込んでくる電子の時間幅をMCP電圧の関数として測定した。

(Fig.1) これは掃引速度 $0.3\text{ns}/15\text{mm}$ のときに、 $0.6\sim 1.5\text{ps}$ であった。

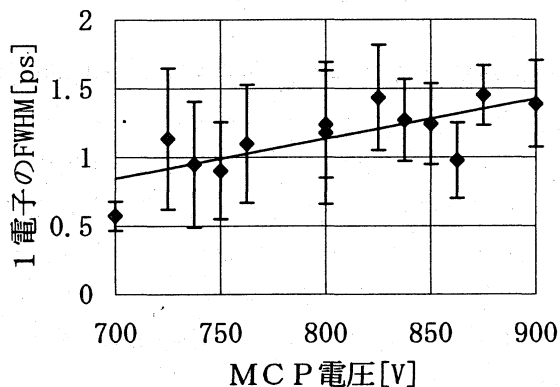


Fig.1 電子1個の時間幅

2) スリット幅による時間幅

測定に必要な光量を得るために時間方向のスリット幅を上げる。これによる時間幅を focus モードでの像の大きさより評価した。この値はスリット幅 $5\ \mu\text{m}$ の時、 4.0ch である。掃引速度 $0.3\text{ns}/15\text{mm}$, $1\text{ns}/15\text{mm}$ での時間に焼き直すと、各々 1.9ps , 3.3ps である。

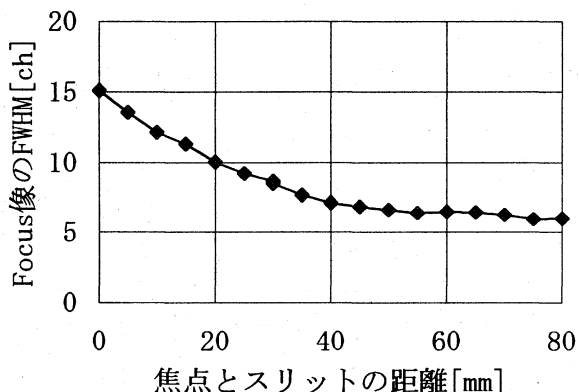


Fig.2 空間電荷効果による Focus 像の幅

3) ストリークカメラ内部での空間電荷効果

ストリークカメラは、入射した光を光電面で電子に変換する。入射光量が多すぎる場合には、電子は

光電面からMCPにたどり着くまでの間に空間電荷効果により幅がり、実際よりも時間幅は広がって観測される。この影響を調べるために入射スリット直前の集光レンズの位置を変え、スリットに入る光量を調節してスリット像の大きさを focus モードで測定した。(Fig.2) 光量を減らして空間電荷効果を抑えることによる Focus 像幅の減少はかなり顕著であった。

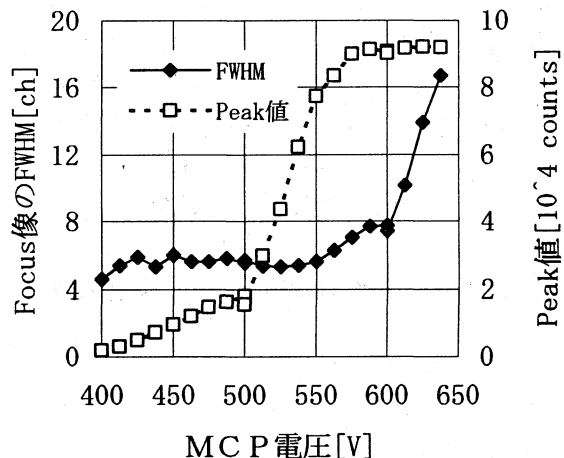


Fig.3 MCP電圧による Focus 像の幅と peak 値

4) SIT カメラの飽和

使用した SIT カメラとその AD 変換器は1回の走査当たり(1フレーム当たり)、1画素 8bit の強度分解能を持つ。MCP電圧を高くしすぎるとストリーク像は飽和し、見かけ上、時間幅は広がる。そこで、MCP電圧の関数としてストリーク像の時間幅を測定した。(Fig.3) このとき、暗電流補正なしの状態ですトリーク像を取得したとき、1画素当たりのカウントが 8bit に達したときのMCP電圧は 570V であった。MCP電圧がこの値以上になると、SITカメラは飽和し始め、見かけ上の時間幅は広がっていく。

5) SIT カメラの積算フレーム数

SITカメラは1回の走査(1フレーム)では、残像効果のために、画像データのすべてを取り込むことはできない。そのため、積算フレーム数が少ないときには、時間幅を過小評価することになる。ここでは、Streak 像の時間幅を積算フレーム数の関数

として測定した。(Fig.4) 時間幅を過小に評価しないためには、最低でも積算フレーム数を10以上にする必要がある。

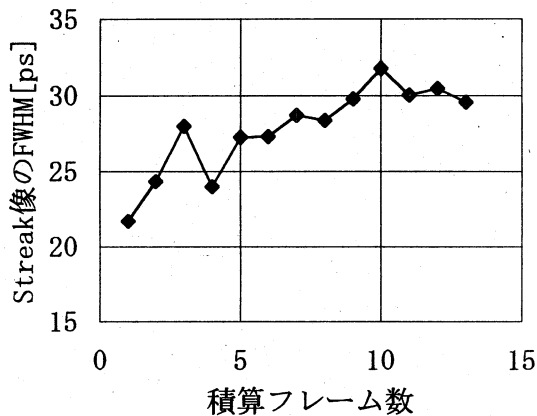


Fig.4 Streak 像の積算フレーム数依存性

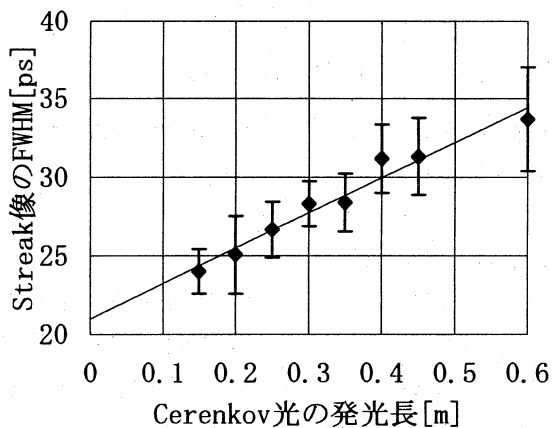


Fig.5 Cerenkov 光の発光長と Streak 像

4. 光学系での時間拡がり

一般にある発光点から出た光をレンズ等を用いて他の1点に集光する場合、単一波長では2つの焦点間ではどのような経路を選択しようとも到達時間の等時性が保証されている。

しかし、屈折率は波長により異なるので、測定波長範囲が広い場合には、波長により到達時刻が異なる。そのため、光パルスは時間的に拡がってくる。この影響は光学系の設計にもよるが、本測定では約3ps程度であると考えられる。バンチ長がこの値と同程度かそれ以下の場合には、バンドパスフィルタ等により単色化する必要がある。

Cerenkov 光の発光長をある程度の長さにとったことにより、異なる発光点間の経路差も含まれてくる。この影響を見積もるために、Cerenkov 光の発光領域上に遮光板(アルミホイル)をおいて発光長を変化させ、Streak 像を測定した。(Fig.5) 発光長が短いほど、真のバンチの長さに近いデータが得られていると考えられる。

5. 入射部パラメータと電子ビームの時間構造

ライナック入射部のパラメータを変えてバンチの長さを測定した例を示す。ここでは電子銃のグリッド電圧を制御して、ピーク電流を変化させた場合のバンチ長を測定した。(Fig.6) このとき、入射部の3台のSHBはビーム電流13Aで最適化されている。低電流側では電子の空間電荷効果が減少するために、オーババンチングとなり、バンチ長が増大していると考えられる。

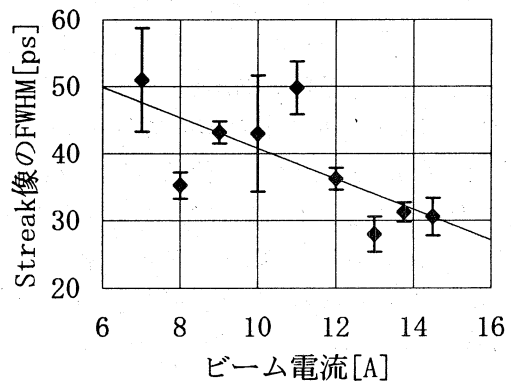


Fig.6 ビーム電流とバンチの Streak 像

6. まとめ

ストリークカメラを用いた電子バンチの時間構造の測定では、測定値が実際のバンチの長さを正しく反映しているか否かという疑問が常に付きまとう。しかし、先に挙げた項目を判断基準として測定条件を詰めていくことで、かなり確からしい測定値を手にすることができるようになった。

1) T.Hori et al.: Proceedings of the 12th Linear Accelerator Meeting in Japan (1987) p.54.