

MEASUREMENTS OF LINAC BEAM PARAMETERS USING STREAKCAMERA AT NEWSUBARU STORAGE RING

T. Matsubara¹, S. Hisao, Y. Shoji, T. Asaka^{A)}, S. Suzuki^{A)}

NewSUBARU, Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigoori-cho, Aka, Hyogo 678-1205

^{A)} SPring-8, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Sayo, Hyogo 679-5198

Abstract

We measured beam parameters of the linac using a streak camera in the storage ring. The SPring-8 linac is an injector, which supplies 1.0-GeV electron beam to "NewSUBARU". The synchrotron radiation facility NewSUBARU is a 1.5-GeV storage ring at the SPring-8 site. We observed a synchrotron oscillation of the injection beam in the storage ring using a streak camera. We got energy distribution and energy deviation of the injection beam from the storage ring energy for each linac bunch in a macro pulse. We also clarified an effect of the Energy Compression System (ECS) on linac beam.

ニュースバル蓄積リングのストリークカメラを用いた線型加速器 ビームパラメータの計測

1. はじめに

ニュースバル¹⁾は兵庫県立大学（旧姫路工業大学）高度産業科学技術研究所（LASTI）の付加設備であり、軟X線から真空紫外線までの領域をカバーする1.5GeV電子蓄積リングである。ニュースバルの主要パラメータを表1に示す。ニュースバルへのビーム入射はSPring-8の1.0GeV線型加速器を用いている。線型加速器の主要パラメータを表2²⁾に示し、シンクロトロンを含む全体の概要図を図1に示す。

線型加速器は両リングへの入射条件によってビームパルス幅を設定し、生成した電子ビームを1.0GeVまで加速してそれぞれのビーム輸送系へ振り分ける。線型加速器は入射ビームエネルギーの安定化とエネルギー幅の圧縮のため、2000年よりエネルギー圧縮・安定化システム（ECS）^{2,3)}を導入している。ECSはエネルギー分散 $\Delta E/E = 1\%$ のシケイン軌道を形成する4台の偏向電磁石と、それに続く加速管からなる。電子ビームはシケイン部を通過する際、エネルギー幅に応じた行路差をバンチ内に生じる。このため、後段の加速管で有意なエネルギー変動を与えることでバンチのエネルギー幅を圧縮し、エネルギー変動の安定化をする。加速管は長さ3mの進行波型定勾配加速管であり、エネルギー幅2%（full width）、バンチ長20psのビームに対して7MV/mの電界強度で0.6%まで圧縮が可能である²⁾。通常、ECSの評価測定は線型加速器とシンクロトロンを結ぶビーム輸送系（LSBT）のエネルギー分散 $\Delta E/E = 2.3\%$ の位置に設置したビームプロファイルモニターで行っている。しかし、この方法では電子ビームのベータトロン振動の寄与を補正す

る必要がある。また、得られるビームプロファイルはビームパルス幅内の複数のバンチを積分したものであり、個々のバンチを単独に計測することはできない。このため、我々はニュースバルに設置したストリークカメラを用いた計測方法を導入した。この方法ではリング入射直後のシンクロトロン振動を観測して入射ビームのエネルギー分布や中心エネルギーを計測する。この場合、電子ビームのエネルギー振動のみを観測するため、ベータトロン振動の寄与を補正する必要はない。また、ビームパルス幅内に複数のバンチを含む場合でも、リングへの入射位相が個々のバンチで異なることを利用してバンチ毎の計測を行うことが可能である。

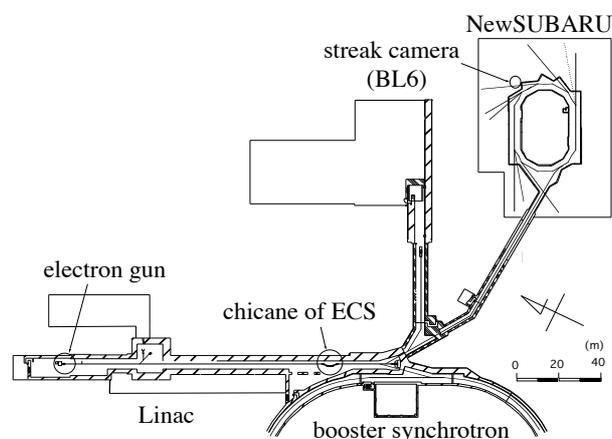


図1：SPring-8線型加速器、ブースターシンクロトロン及びニュースバル

¹ E-mail: taka@lasti.u-hyogo.ac.jp

表 1 : ニュースバルの主要パラメータ

Parameters	Value (at 1.0GeV)
RF frequency	500 MHz
RF voltage	130 kV
Synchrotron oscillation frequency	6 kHz
Synchrotron oscillation Damping time	12 ms
Harmonic number	198
Natural emittance	30 nmrad.
Natural energy spread	0.048 %
Natural bunch length	40 ps (FWHM)

表 2 : SPring-8 線型加速器主要パラメータ^[2]

Parameters	Without ECS	With ECS
RF frequency	2856 MHz	
Peak current	2 A	
Macro bunch length	1 ns (0.25 ns, 40 ns is possible)	
Micro bunch length	20 ps (FWHM)	
Natural emittance	31 nmrad. / 58 nmrad.	
Energy spread (full width)	2 %	0.6 %
Energy stability (rms)	0.06 %	0.01 %

2. 測定

2.1 実験セットアップ

入射ビームの観測にはニュースバルのビームライン 6 番 (BL6) に設置したストリークカメラ (Hamamatsu C6860 FESCA) を用いた。BL6 の光学系、及びカメラまでの入力光学系の概要図を図 2 に示す。シンクロトロン振動の観測にはカメラの 2 時間軸掃引機能を使用した。高速掃引はニュースバルの RF 信号を 6 分周した 83.3MHz を使用し、低速掃引のタイミングはビーム入射に合わせて励磁されるパルスセパタム電磁石と同期をとった。

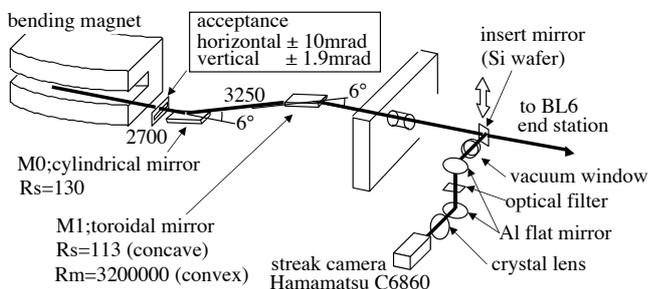


図 2 : BL6 とストリークカメラへの入力光学系

2.2 0.25ns ビームパルス幅における計測

線型加速器のビームパルス幅を 0.25ns に設定してニュースバルにビーム入射を行い、入射ビームのエネルギー分布、及び中心エネルギーを計測した。0.25ns の設定ではパルス内の線型加速器のバンチ数は 1 となる。ECS の最適化を行う前の入射ビーム

の計測結果を図 3 に示す。図 3 は入射 20 回分の積算であり、フレームの縦軸は高速掃引方向、横軸は低速掃引方向にあたる。また、それぞれのフルスケールは 500ps、100 μ s である。500ps はニュースバル RF の 1/4 周期に相当し、100 μ s はビームのリング約 250 周分で、シンクロトロン振動の約 1/2 周期分に相当する。また、縦軸は上下がそれぞれバンチの先頭、及び後方に対応する。ニュースバルのシンクロトロン振動の減衰時間は約 12ms で振動数約 6kHz に比べて十分に長い。入射点から 1/4 周期振動した位置での時間構造はビーム入射点におけるエネルギー分布構造にほぼ等しい。このため、ここでの時間幅 (full width) を計測し、図 4 に示したニュースバルの RF パッケージ^[4]上に入射ビームを図示することで、エネルギー分布、及び中心エネルギーのニュースバルエネルギーアクセプタンス中心からの相対的ずれに換算できる。今回計測されたビームのエネルギー幅は 1.1% で、中心エネルギーはニュースバルリングエネルギーよりも 0.55% 高かった。

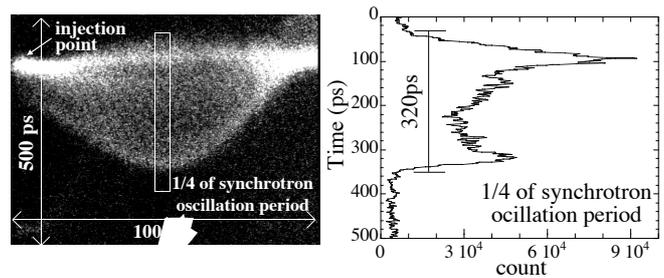


図 3 : ストリークカメラで観測した線型加速器 1 バンチのシンクロトロン振動の様子。右は 1/4 周シンクロトロン振動した位置の強度分布で時間幅は約 320ps (full width) であった。これは線型加速器のエネルギー幅 1.1% に対応する。

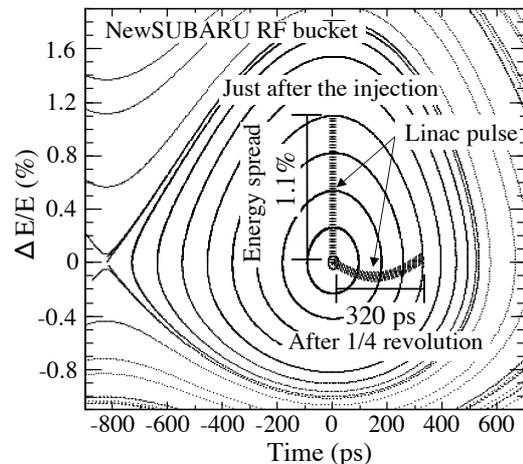


図 4 : 高次のモーメントコンパクションファクターを取り込んだニュースバルの RF パッケージ^[4]上に、バンチ長 20ps (full width)、エネルギー幅 1.1%、中心エネルギー 0.55% の線型加速器ビームを入射した場合のシミュレーション結果。

2.3 ECS パラメータ変更によるバンチへの効果

続いて線型加速器のビームパルス幅を 1ns に設定し、複数のバンチを含むマクロパルスを観測して ECS の効果を確認した。1ns の設定ではビームパルス内の線型加速器バンチ数は3となり、ニュースバルの1バケットには複数のバンチが入る。我々はニュースバルの RF 位相をシフトさせてビームの入射位相を変えることにより、線型加速器の個々のバンチについてパルス幅 0.25ns の場合と同様の計測を行った。

ECS の効果は ECS に到達するまでのビームの初期条件によって異なる。今回のビーム条件における観測結果を図5に示し、エネルギー幅、及び中心エネルギーの相対的ずれの計測結果を表3にまとめる。図5はいずれも入射10回分の積算であり、フレームの縦軸、横軸のフルスケールはそれぞれ 1ns、100 μ s である。縦軸の上下はそれぞれバンチの後方、前方に対応する。フレーム中の入射点よりも前の部分は蓄積ビームであり、縦軸における同期位相に相当する。蓄積ビームはバンパ電磁石を励磁することで入射と同時に廃棄する。ECS の電界強度を 3.3MV/m に設定した場合、個々のバンチのエネルギー幅は狭く、バンチ毎でほぼ同じ値となっていた。これに対して中心エネルギーはバンチ毎でばらついていた。通常運転に用いている電界強度 6.5MV/m の設定では、エネルギー幅は広く、バンチ毎でばらつきが見られた。これに対して中心エネルギーはバンチ毎で揃っていた。この結果は定性的な予測と一致する。

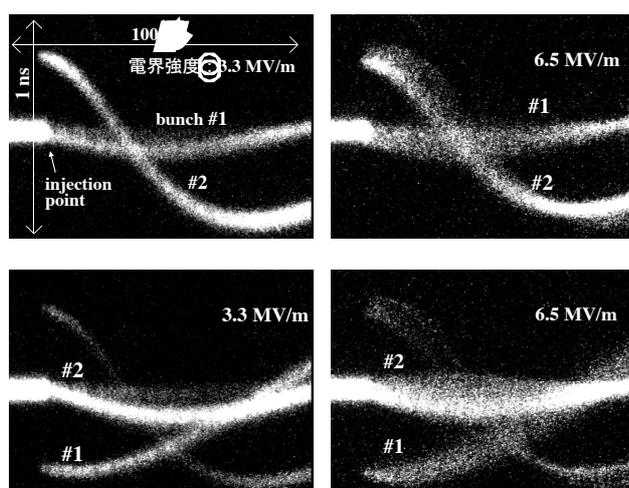


図5: ビームパルス幅 1ns における入射ビームのシンクロトロン振動の観測結果。左右では測定時の ECS の電界強度が異なり、上下ではニュースバルの同期位相に入った線型加速器のバンチが異なる。

表3: 異なる ECS 条件における線型加速器パラメータの計測結果

Energy gain (MV/m)	Bunch number	Energy deviation (from NewSUBARU)	$\Delta E/E$
3.3	1	- 0.25 %	0.25 %
	2	- 0.3 %	0.2 %
6.5	1	- 0.2 %	0.4 %
	2	- 0.2 %	0.55 %

3. まとめ

本研究で我々は、蓄積リングに設置したストリークカメラを用いて線型加速器のビームパラメータを計測する方法を構築した。実際の計測では線型加速器ビームのエネルギー分布、及び中心エネルギーが計測可能であり、ビームパルス内の複数のバンチを個々に計測することができた。また、この方法を利用して ECS パラメータ変更によるバンチへの効果が観測可能であり、バンチのエネルギー幅、及び中心エネルギーに関して ECS パラメータによる有意な差を確認できた。本計測以降、我々はこの計測方法を加速器調整時の定常測定に用いている。同測定はビームトランスポート部の運動量分散部に設置した OTR 等とストリークカメラを組み合わせることも観測可能である。しかし、本研究で用いた方法は電子ビームのエネルギー振動のみを観測するため、ベータatron振動の寄与を補正する必要がなく、測定精度が出易い。課題としては図5に示した複数のバンチを含むパルスの計測結果について、バンチごとのイメージが重なっていることがあげられる。これでは 1/4 周シンクロトロン振動をした位置で同期位相に入ったバンチのみの強度分布を得にくい。このため、我々はリングのモーメントムコンパクションファクターの高次項を調整して入射位相によるシンクロトロン振動の周波数の差を変え、イメージの重りを 1/4 周の位置からずらすことを検討している。

4. 参考文献

- [1] A.Ando, *et al.*, J.Synchrotron Rad. 5, 342-344 (1998).
- [2] T.Asaka, *et al.*, "Performance of the Energy Compression System at the SPring-8 Linac", Proceedings of EPAC 2002, Paris, France.
- [3] T.Asaka, *et al.*, "Design of the Energy Compression System at the SPring-8 Linac", Proceedings of EPAC 2000, Vienna, Austria.
- [4] Y.Shoji, *et al.*, "Estimation of Non-linear RF Bucket of NewSUBARU", Proceedings of SAST 2003, Tsukuba, Japan.