

BUNCH COMPRESSION USING THE TRANSPORT LINE AND SHORT BUNCH REVOLVING IN NEWSUBARU

Shinsuke Suzuki^{A)}, Takao Asaka^{A)}, Takahiro Matsubara^{B)}, Shintarou Hisao^{B)}, Yoshihiko Shoji^{B)}

^{A)} SPring-8/JASRI

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

^{B)} LASTI, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Hyogo, 678-1205

Abstract

We have demonstrated the idea of circulating a short, intense linac bunch for some tens of turns in an isochronous ring. We compressed a bunch from the SPring-8 linac to a few picoseconds rms by means of an energy compression system and a beam transport line from the linac to NewSUBARU. The NewSUBARU storage ring was set to a quasi-isochronous condition and the bunch circulated for some tens of turns after injection while maintaining the short bunch length.

トランスポート系を用いたバンチ圧縮及び NEWSUBARUでの短バンチ周回

1. はじめに

放射光リングでの短バンチの周回は、ポンプ&プローブなどの実験の増加に伴って、ますます重要度を増してくる。Low-alphaリングにおいて短バンチ蓄積の実験が行われているが、十分な電流を蓄積できているとは言いがたい。X-FELやERLなどの開発が進めば、それらのビームは上記の研究には強力な武器になると思われるが、いずれも建設や研究途中である。それらのビームと従来の放射光リングをつなぐ架け橋として線形加速器からのバンチ圧縮されたビームを蓄積リングに入射し、短バンチの放射光を従来のビームラインで使用するというアイデアがある。

本実験では既存の加速器を利用しそのアイデアの実現性を確認するものである。SPring-8線形加速器及びNewSUBARU蓄積リングへのビームトランスポートラインを用いて電子ビームバンチの圧縮を行い、NewSUBARUへの入射を行った。また、NewSUBARUにおいて低モードでの運転を行い、短バンチのまま周回させた。

2. バンチ圧縮

SPring-8線形加速器からNewSUBARUへのビームトランスポートラインは、図1に示されるように2つの偏向電磁石により60°曲げられている。この間はアクロマティック系が組み立てられており、エネルギーの高い電子は外側のパスを通る。それを利用し、最適な設計になっているとはいえないが、線形加速器最終段の加速管にてエネルギー変調をかけることにより、バンチ圧縮を行った。

トランスポート系での関数および、バンチ圧縮のパラメーターを図2に示す。トランスポート系のダクトサイズが±0.5%しかないので実際にはcの

ビームは輸送不可能である。

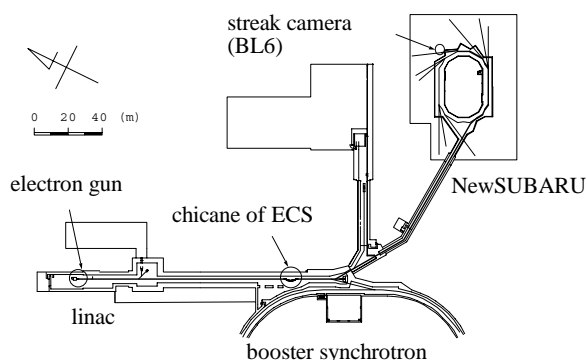


図1 線形加速器とNewSUBARUのレイアウト

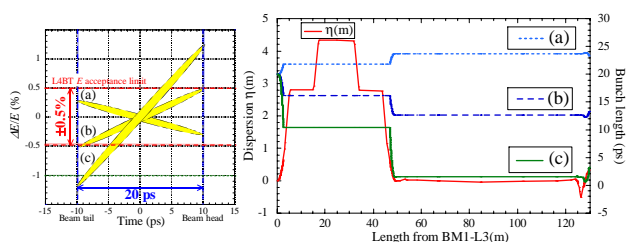


図2 ECS後段の偏向電磁石(BM1-L3)からNewSUBARU入射点までの関数とバンチ長の計算値。a, b, cは左図の位相空間での分布の違いによる。

バンチ長の測定はNewSUBARUの放射光ビームラインBL6で浜松ホトニクスC6860を使用し行った^[1]。加速管の加速電界を調整し、バンチ長の長さを測定したところ、図3、4に示されるように、2.2ps(1)のバンチ長まで圧縮したビームを得ることが出来た。なお、通常の入射における線形加速器からのビームのバンチ長は約5.5psである。

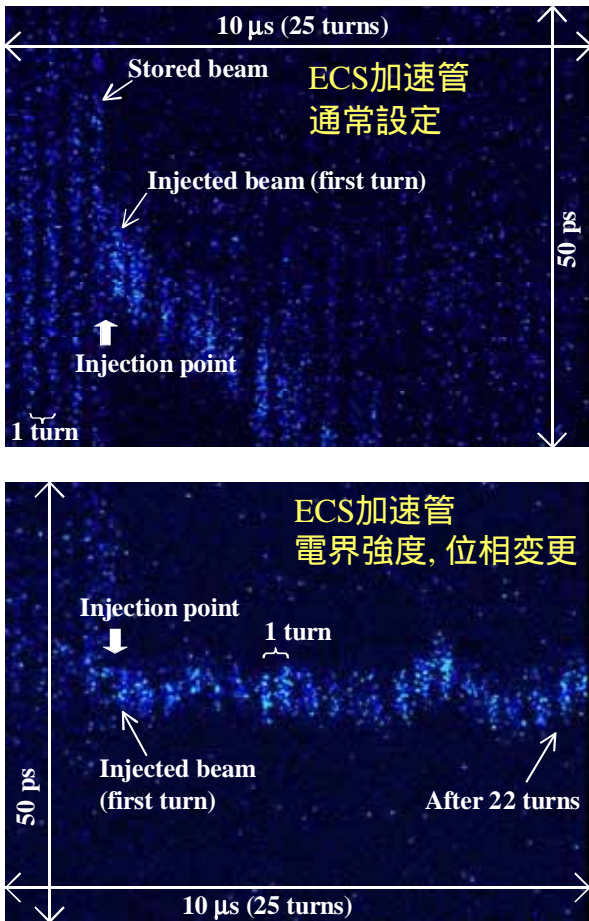


図3 BL6で測定されたストリーク像

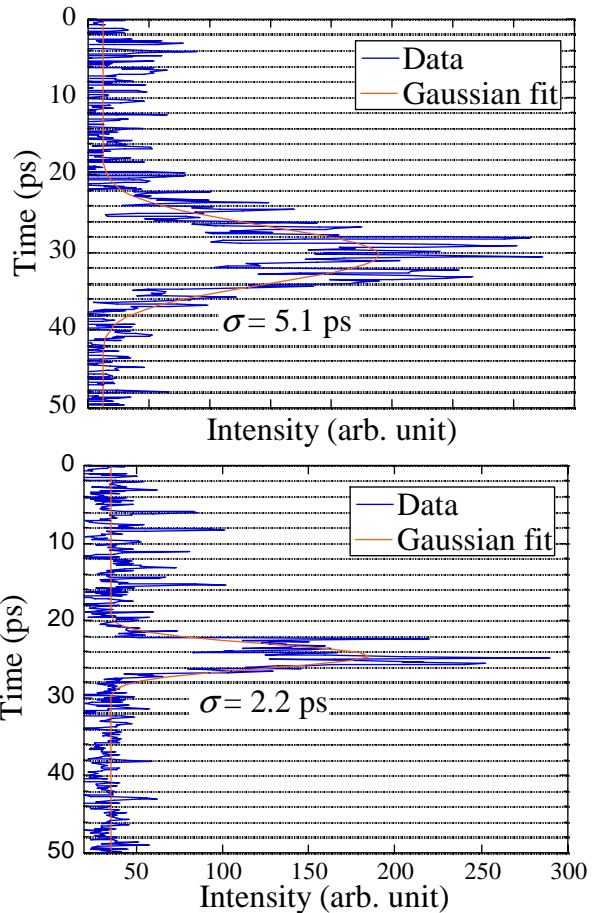


図4 BL6で測定されたバンチ長. 上は通常入射時のビーム、下はバンチ圧縮かけたもの。

表1, 2に線形加速器およびNewSUBARUのパラメータを示す。

表 1: Main parameters of the linac with the ECS.

RF frequency	2856 MHz
Transverse emittance at 1GeV	$71\pi\text{nm}$
Micro bunch length (FWHM)	20 ps
Energy spread (full width)	0.6 %
Micro bunch charge	0.03-0.3 nC

表 2: Main parameters of NewSUBARU at 1 GeV.

RF frequency	500 MHz
Harmonic number	198
Linear momentum compaction factor	0.0013
Natural energy spread (σ)	0.047 %

3. 短バンチ周回

3.1 依存性

蓄積リングの通常入射では入射電子ビームのエネルギー差により、バンチ長は急速に伸び、平衡状態に達する。NewSUBARUでは逆偏向電磁石があるためにモーメントコンパクションファクターを変える自由度が大きい。リングのラティスを低に設定し、入射ビームのバンチ長を維持したまま周回させることを試みた。

その結果、1次の (η_1)が -6×10^{-5} のときに20 μs の間、バンチ長があまり変わらない周回をさせることが出来た。

η_1 を変化させて入射した時のバンチ長の変化を図5に示す。最適と思われる $\eta_1 = -6 \times 10^{-5}$ の時でも20 μs 以降(約50turn)になるとバンチ長が伸びていく様子がわかる。図6に $\eta_1 = -6 \times 10^{-5}$ の時のストリークカメラ像を示す。

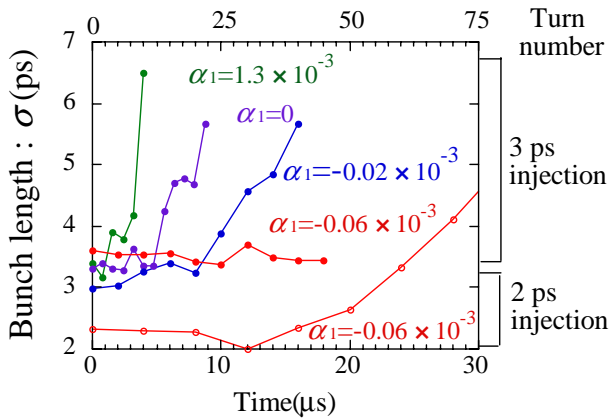


図5 NewSUBARU の α_1 を変えたときの周回毎のバンチ長の変化。

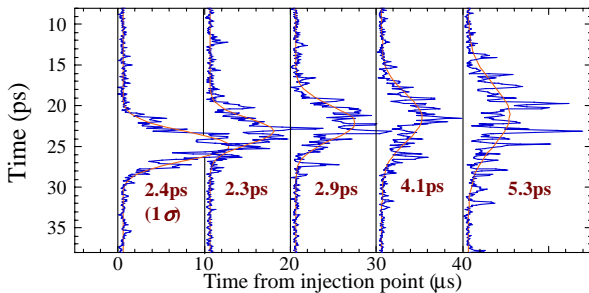


図6 $\alpha_1 = -6 \times 10^{-5}$ のときの周回毎のストリークカメラ像

3.2 CSRパワー測定

短バンチビームの特性を見るためにCSRの測定を行った。NewSUBARUのBM11にある光取り出しポートからのCSRをミラーで反射させ、ホーン付きのダイオード検出器(millitech DXP-08)でその出力を増幅し、オシロスコープにて測定した。この検出器の計測領域は90GHz-140GHzである。

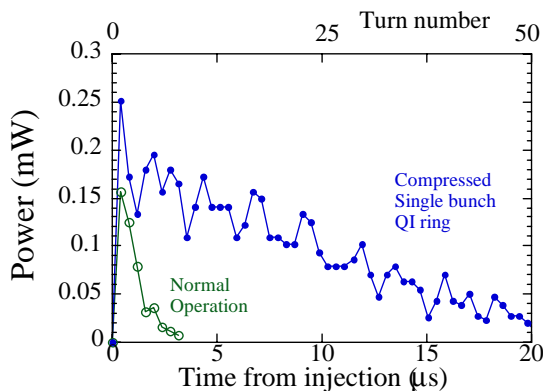


図7 周回毎のCSR出力の変化。このときの電荷量は約20 pC/bunchである。

ストリークカメラからの測定結果では20 μsまでは

ほぼバンチ長に変化がないが、CSRの測定では20 μs後では入射点の1/6程度まで減衰し、30 μs後ではほぼ0になっている。これは図6から見て取れるように入射直後のビームはガウス分布と言うより、三角に近い。このビームが周回するにつれてガウス分布に近づいていくことによりCSR出力が変化すると考えられる。

4.まとめ

本論文では極短パルス放射光が得られる新たな方法として線型加速器とアイソクロナスとした蓄積リングを組み合わせた方法の検証を行った。本方法では線型加速器ビームを直接圧縮するため、大電流で短バンチの電子ビームを利用できる可能性があり、それを実証することが出来た。また、線型加速器で生成した大電流の極短パルスビームをアイソクロナスリングに入射して短バンチのまま多重周回させるため、1つの短バンチビームから複数の短パルス放射光が得られる。これも約50turn周回させることが出来た。

本方法の更なるビーム性能向上のための取り組みとして、まず、線型加速器では

- 1) 加速管パラメータの最適化
- 2) L4BT光学系の非線形効果を含めた最適化
- 3) 入射タイミングジッターの改善
- 4) 電子銃部の性能向上(フォトカソード電子銃の設置)

などが今後の課題としてあげられる。また、蓄積リングでは

- 1) モーメントムコンパクションファクターの高次項の寄与の補正
- 2) ベータトロン振動によるバンチ長増大を抑えるためのリングラティスの最適化
- 3) CSRによるバンチ増大プロセスの調査とその補償方法の提案

などが課題としてあげられる。また、今回試験的に行ったダイオードディテクターによるミリ波計測に関しても、ミリ波計測に最適化されたビームラインと反射光学系が必要である

参考文献

- [1] "Bunch-by-bunch linac beam energy profile diagnostics using storage ring phase rotation and synchrotron radiation" Takahiro Matsubara, Shintarou Hisao, and Yoshihiko Shoji, Takao Asaka and Shinsuke Suzuki: Phys. Rev. ST Accel. Beams 9, 042801 (2006)