

蓄積リングバンチフィリング制御システムの開発

江田茂、岩崎能尊、高林雄一、吉田勝英、富增多喜夫

九州シンクロトロン光研究センター

大垣英明・京都大学エネルギー理工学研究所

SAGA-LS では電子蓄積リングにおいて、シングルバンチ等ビームの時間構造に対するニーズ及びビーム不安定性の制御を目的に、高周波ノックアウト(RFKO)によるバンチフィリング制御システムの開発を行った。このシステムは電子ビームのベータトロン振動数に同期した高周波信号をリングダクト内に設置した RFKO 電極から発生し、共鳴的にビームを振動させることによってビームを蹴り出す。

RFKO 電極は蓄積リング長直線部 LS6 に設置した。電極の形状は、ストリップラインタイプとレインピーダンス整合及び電子ビームへのキック力の観点から寸法が決定された。バンチパターン制御には、電子の周回周波数に同期したパルスパターンジェネレータを用いて 2 バンチを単位とする任意パターンのフィリングを可能とする回路構成とした。

電子ビームを用いた実験でほぼ見積り程度の高周波パワーでフィリングを制御できることを確認した。またフィリング制御の実験を行い、2 バンチ単位の任意フィリングパターン制御に成功し、さらに一旦 2 バンチだけを残すフィリング制御を行い、さらに RFKO 信号を遅延させることによってシングルバンチも実現した。本フィリングシステムは現在ユーザー運転においてビーム不安定性制御に定常的に運用されている。

蓄積リングバンチフィリング制御システムの開発

江田茂^{A)}、 岩崎能尊^{A)}、 高林雄一^{A)}、 吉田勝英^{A)}、
富增多喜夫^{A)}、 大垣英明^{B)}

^{A)} 九州シンクロトロン光研究センター

^{B)} 京大エネルギー理工学研究所

要約

SAGA-LSでは、高周波ノックアウト(RFKO)による電子バンチのフィリング制御システムを開発している。

本システムはビームをフルバンチ(126)から最小2バンチまでの任意のパターンで蹴り出すことが可能である。

これまでにビームを用いたバンチパターン制御試験を行い、有効に動作することを確かめた。また本システムを利用してシングルバンチも実現可能であることを確認した。

はじめに

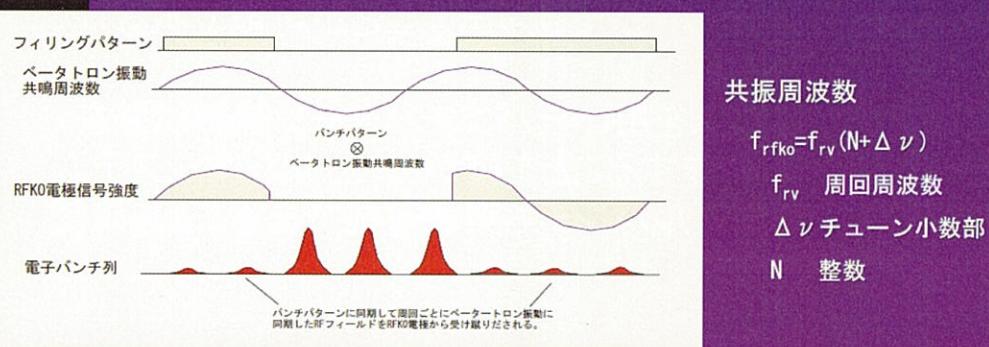
SAGA-LS では

- (1) 今後の蓄積電流増大に伴うビーム不安定性の制御
- (2) 電子バンチ時間構造へのユーザーニーズ

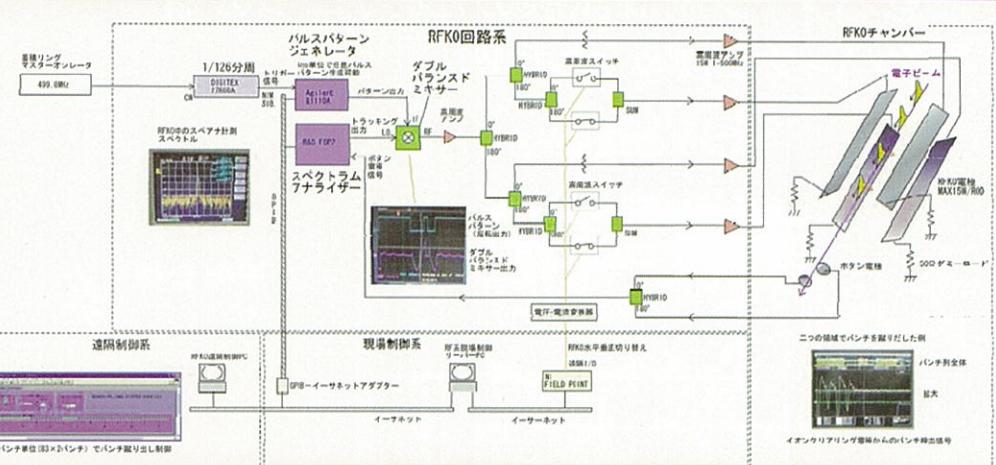
に応えるため、高周波ノックアウト(RFKO)を用いた蓄積電子ビームのバンチパターン制御系を開発している。

バンチフィリング制御原理

- ビームのベータトロン振動に共鳴する高周波信号に、蓄積リング周回周期に同期したバンチパターンを掛け合わせ、高周波アンプを介してRFKO電極に出力。
- RFKO電極からの高周波フィールドにより、特定のバンチがベータトロン振動との共振を起こしリング外へ蹴りだされる。



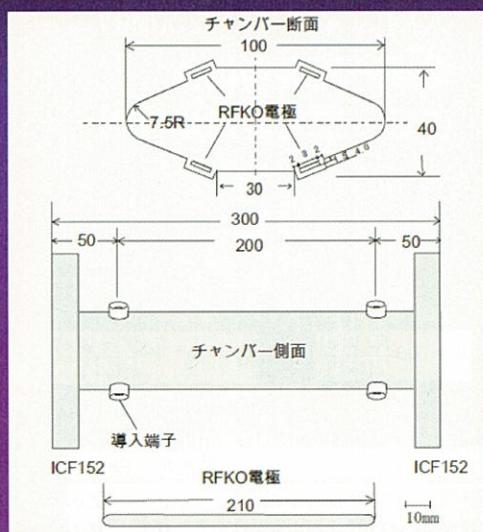
回路構成



RFKOチャンバー

電極

- 全長 210mm
- 電極数 4
- インピーダンス 50Ω
- 通過電力(定格) 15W/rod

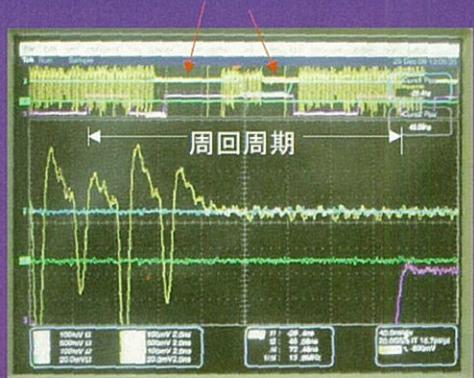


電極配置状況

バンチフィーリング制御デモ

- 任意パターン制御試験のため、二つの領域でバンチを蹴りだした例。

バンチの蹴りだされた領域



バンチ列全体

拡大

イオンクリアリング電極からピックアップしたバンチ信号

RFKOフィールド計算

- 入射エネルギー250MeV
- 電場→静電場近似
- 磁場→定電流磁場近似

キック力計算

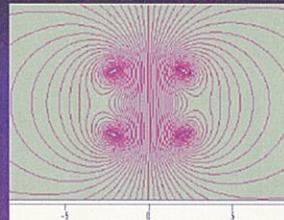
磁場キック

$$\theta_M \approx -0.3 \frac{B[T]L[m]}{E[GeV]}$$

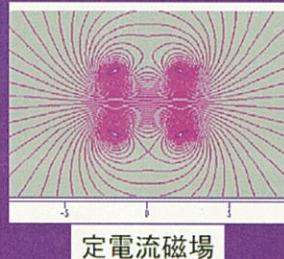
電場キック

$$\theta_E \approx -10^{-9} \frac{E_{RF}[V/m]L[m]}{E[GeV]}$$

水平方向 RFKO電極



垂直方向



	水平	垂直
磁場キック角 [μ rad/turn]	2.9	2.6
電場キック角 [μ rad/turn]	0.3	0.2
合計キック角 [μ rad/turn]	3.2	2.8

電極通過電力15W/rad
電極インピーダンス50Ω

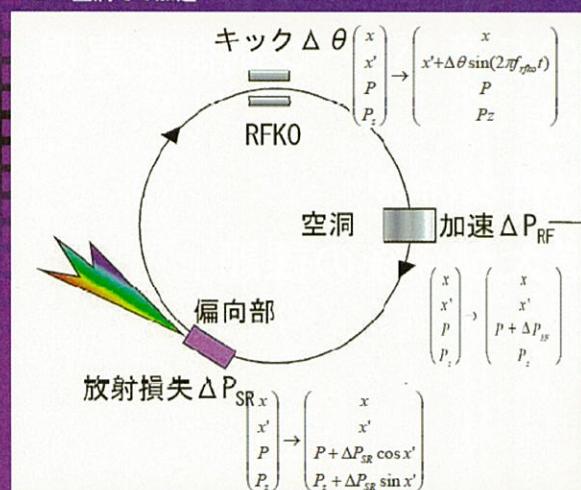
電場、磁場計算はPOISSONを行った

RFKO蹴り出し効果見積り

トラッキングモデル

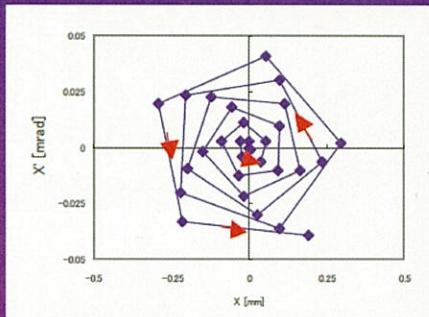
RFKOとダンピングのモデル化

- チューンに共鳴したRFKOキック
- 偏向部でのSR放射
- 空洞での加速



計算結果

水平、垂直方向のRFKOとともに
2000回(0.5ms)程度でビームが
ダクト外へ蹴りだされる。



位相空間におけるRFKO開始初期の
ビーム軌道の拡大

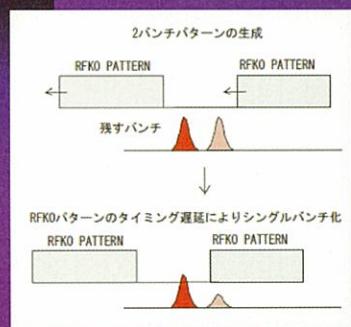
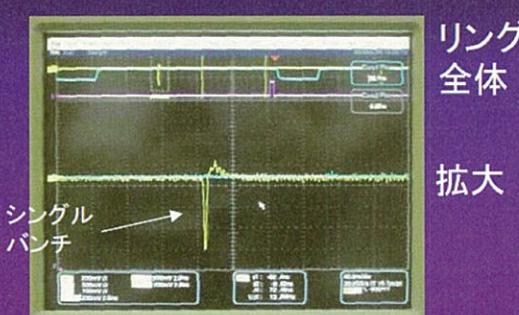
シングルバンチの実現

方法

- ◆ 全バンチのうち2バンチ残し、RFKOをマスター・オシレータに対しディレイすることでシングルバンチを実現

課題

- ◆ 残すべきバンチのロスも大きい。
◆ 回路系のタイムジッタの可能性



シングルバンチ時のイオンクリアリング電極ピックアップ信号(信号のオーバーシュートはバンチの信号帯域に比べオシロの帯域(15GHz)が狭いための歪み)。
シングルバンチ後1.4GeVに加速し撮影。
0.4mA/bunch

まとめ

■ バンチフィーリング制御

- ◆ 2バンチ単位の任意パターン制御を実現
- ◆ シングルバンチ
 - ◆ 手法の有効性を確認。
 - ◆ 蓄積電流増大が今後の課題。