Development of RF-KO system at SAGA-LS

Shigeru Koda^{1,A)}, Yuichi Takabayashi^{A)}, Yoshitaka Iwasaki^{A)}, Katsuhide Yoshida^{A)}, Takio Tomimasu^{A)},

Hideaki Ohgaki^{B)}

A) Saga Light Source

8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

^{B)} Institute of Advanced Energy, Kyoto University

Gokanosho, Uji, Kyoto 611-0011

Abstract

An RF knockout (RFKO) system to control bunch filling pattern of a storage ring is under development at a synchrotron radiation facility SAGA-LS. The RFKO performance to kick out the bunch was numerically estimated by beam tracking technique. The RFKO chamber was installed on the storage ring and preliminary test was performed using the stored beam. As preliminary result, the RF power to kick out the bunch was found to be roughly consistent with the estimation by the tracking calculation.

SAGA-LSにおけるRFノックアウトシステム開発の現状

1.はじめに

放射光用電子蓄積リング施設SAGA-LS[1]では現在、 開所に向け調整運転を行っている。今後の蓄積電流 増大に伴うビーム不安定性の制御に加え、シングル バンチ運転等のバンチ時間構造に関するユーザーの 要求にこたえるため、現在コミッショニングと並行 して、蓄積ビームのフィリングパターンを制御する 高周波ノックアウト(RFKO)システムの開発を進めて いる。

蓄積リングではビームを250MeVで入射蓄積し 1.4GeVに加速貯蔵する。250MeVのビームに比べ 1.4GeVではmagnet rigidityが5.6倍になり、ビームの ダンピングタイムが1/170になる。これらのことか ら1.4GeVでのRFKOでは強力な高周波パワーアンプ が必要となる。小規模で簡便なものとするため、 RFKOは250MeVでのみ運用することとし、高周波 アンプ等機器の電力容量を抑えた。

現在までにRFK0チャンバーの製作、蓄積リングへの設置を行った。また数値シミュレーションによる RFK0によるビーム蹴り出しの効果を計算した。現在 ビームを用いたRFK0システムの基本的な動作を確認 する段階に入っている。本報告では、RFK0チャン バーの概要、RFK0によるビーム蹴り出しの数値シ ミュレーション及びビームを用いたビーム蹴り出し 実験の現状について述べる。

2.RFKOチャンバー

基本構造

RFKOチャンバーの構造を図1に示す、チャンバーは、コスト、製作期間の観点からSAGA-LS蓄積リングの四極電磁石及び短直線部で使用された菱形アル

ミダクトの残材を利用し、ダクト両端にはICF152フ ランジを接続した。

ダクト内面に4箇所に溝を作り、ここへRFKO電極 (SUS316L)を固定した。溝の位置は、導入端子に接 続する外部ケーブルの取り合い、インピーダンス整 合上の電極サイズ、配置の兼ね合いから、図1に示 したようにダクト斜面に設置した。





ノックアウト電極及びこれが収まる溝部分の断面 形状は特性インピーダンスが50 で整合するように 決定した。インピーダンス計算は、以下の方法で 行った。(1)ノックアウト電極に仮想的に電圧Vを 印加し、その際発生する電場 E をPOISSON[2-4]に よって計算する。(2)これからRFK0電極に誘導され

¹ E-mail: koda@saga-ls.jp

る電荷 $Q = \varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ (ここで積分経路はRFKO電極 を1周する経路)を求める。(3)電極-チャンバー間 容量 $C_{KO} = Q/V$ を計算し、これに基づく特性イン ピーダンス $Z = 1/(cC_{KO})$ (ここでcは光速)を計 算する。以上の方法を用いて電極及び溝の寸法を調 整し、50 となるように決定した。

3.RFKOによるビームキック

RFKO電極からビームまでの距離Lに対する電磁波 の伝達時間が、RFKO信号の周期Tに比べ十分に長い という前提が成り立つ場合、ビームが感じるRF フィールドは、その瞬間にRFKO電極にかかる電圧V と電流Iをそれぞれ静電位V、定電流Iとして近似で きると考えられる。これらの静電場及び定電流によ る磁場によって受けるキック力の合成でビームが受 ける力を近似的に見積もることが出来る。

本 RFKO 電極では RFKO信号周期をT = 10^{-7} sec (10MHz)程度、ビーム-RFKO電極距離 $L \sim 10^{-1}$ m であるので $(L/c)/T = 3.3 \times 10^{-3} \geq (c \text{ は光速}) \geq$ なり、 この近似が成り立つ。そのためビームへかかる電場、 磁場をそれぞれ静電場と定電流による一定磁場の計 算に置き換えPOISSONによって計算した。電場磁場 の計算結果を図2に示す。計算はビーム蹴り出しを 水平、垂直方向に行う2つの場合で計算した(どち らの場合も磁場と電場のビームへのキックが同じ方 向となる条件)。



図2 RFKO電極を50 終端し、電極通過電力15W/rod の場合の(1)水平方向、(2)垂直方向へのビーム蹴り 出しに対する電場(左)、磁場(右)の計算結果。電場 は電位を、磁場は磁力線を示している。

電場、磁場計算から求められたデザインオービット(ダクト中心)におけるビーム周回あたりのキック角を表1に示す。水平方向のキックがやや垂直方

向に比べやや大きい。磁場に比べ電場の寄与が一桁 小さいのは、チャンバーを覆うRFKO電極の面積が 小さいことによると考えられる。

水平方向 垂直方向

磁場キック角[µrad/turn]	2.9	2.6
電場キック角[µrad/turn]	0.3	0.2
合計キック角[µrad/turn]	3.2	2.8
表1 水平垂直方向へRFKOを行	Fった場合のキッ	ノク角

4.RFKOシミュレーション

RFK0によるビーム蹴り角がビームを蹴り出す上で 十分かは、ビームが最終的にダクト等に衝突し、失 われる過程を考慮する必要がある。そのためにはリ ング固有のラティス関数、ビームとダクトとの幾何 学的関係に加え、ビームのダンピングとRFK0による ビーム広がりの競合を考える必要がある。そのため RFK0によるベータトロン振動の共鳴、空洞でのビー ム加速、偏向電磁石での放射損失の効果を入れたト ラッキングプログラムをつくりRFK0によるビーム 蹴り出し効果を数値的に調べた。

以下の計算では図2、表1のキック条件で計算を 行っている。図3では水平方向にRFKOをかけた直後 を示しており、位相空間中をビームが広がって行く 状況を示している。



図3 RFKOによるビーム軌道の位相空間での広が り(図2の条件のキック角で計算)。



図4 RFKOチャンバー位置におけるビーム位置の 時間発展(図2の条件のキック角で計算)。

図4にRFKOによるビーム軌道の時間発展を示す。蓄 積リングビームダクトのアパチャーのもっとも狭い ところは、水平面、垂直面ともに20mmである。図4 から水平、垂直方向のRFKOともに2000回程度でビー ムが失われると考えられる。RFKOによる蹴り出しの 効果はやや水平方向が大きいが、水平、垂直どちら においてもほぼ同様なビームけりだしが可能と考え る。

5.ビームを用いたRFKO試験

250MeVの蓄積ビームを用いてRFKOの基本動作を確 認するための実験を行った。蓄積リング長直線部 LS6下流部ゲートバルブ付近に設置した。RFKOチャ ンバーの設置状況を図5に示す。



図5 RFKOチャンバー設置状況。LS6下流側に設置 されている。右側が第7セルの6極電磁石。

RFK0回路系のブロックダイアグラムを図6に示す。 スペクトラムアナライザーのトラッキング出力を位 相が180°異なる2系統にわけ、それぞれ高周波パ ワーディバイダーでさらに出力を2つにわけRFK0電 極に接続した高周波アンプ(MAX15W)に接続した。ト ラッキング機能によって周波数をスキャンしつつ、 BPM用ボタン電極からバンチを検出した。また蓄積 リングDCCTによってビーム電流を測定した。



図6 RFKO基本動作試験時の回路系.。

RFKO電極あたり10W程度の高周波パワーで明らかな

ビームロスが確認された。図7にスペクトラムアナ ライザーで観測されたベータトロン振動のピークと、 この測定中にDCCTによって観測された階段的なビー ムロスを示す。



図7 観測されたベータートロン共鳴によるピーク (左)とビームロス(右)。周波数スキャン範囲は 9.4MHz~14.4MHz。

5.まとめ及び今後の課題

SAGA-LS蓄積リングでのバンチフィリングのため のRFKOチャンバーを製作し、蓄積ビームを用いた RFKOの基本的動作実験を行った。1周回あたりの キック力を静電的近似で計算し、ビームのダンピン グを考慮したトラッキングによる数値シミュレー ションした。250MeVのビームに対して15W/rod程度 の高周波パワーでビームを蹴り出せることがシミュ レーションからわかった。実験においても概ねこの 程度のRFパワーでビームロスが起こることを確認 した。

現在、蓄積リングはコミッショニングの最中であ り蓄積リングの性能、パラメータの詳細が十分明ら かではない。これを明らかにすることがRFKOの動作 を定量的に評価する上でも重要となっている。

またバンチフィリングパターンの制御については パルスパターンジェネレータを使ったフィリングパ ターン制御を行う予定である。現在、ハードウエア の整備がほぼ終了しソフトウエアの開発を行ってい る。間もなく蓄積ビームを用いたフィリングパター ン制御実験を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Tomimasu, et al. "The SAGA Synchrotron Light Source in 2003", Proceedings of the 2003 Paticle Accelerator Conference, 902-904. 2003.
- [2] J. H. Billen et al., "POISSON SUPERFISH," LA-UR-96-1834, P 217, May 1996
- [3] J. H. Billen et al., POISSON/SUPERFISH on PC Compatibles," Proceedings of the 1993 Particle Accelerator Conference Vol. 2 of 5, p 790-792
- [4] http://laacg1.lanl.gov/laacg/services/possup.html