

Development of RF knockout system for Central Japan Synchrotron Radiation Research Facility Project

Y. Furui^{1(A),B)}, M. Hosaka^{A)}, N. Yamamoto^{A)}, Y. Takashima^{A)}, M. Adachi^{B)}, H. Zen^{B)}, K. Hayashi^{B)},
A. Mochihashi^{C)}, H. Hori^{D)}, S. Sasaki^{C)}, S. Koda^{F)}, M. Katoh^{B)}

^{A)} Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan

^{B)} UVSOR facility, Institute for Molecular Science, Myodaiji-cho, Okazaki, 444-8585 Japan

^{C)} Japan Synchrotron Radiation Institute (JASRI/SPring-8), 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

^{D)} KEK, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

^{E)} SAGA-LS, Tosu, Saga, 841-0005, Japan

Abstract

An RF knockout (RFKO) system for Central Japan Synchrotron Radiation Research Facility Project is under development. Purposes of the system are to measure betatron tune and to control bunch filling. We designed RFKO chamber. By using the existing RFKO system at the UVSOR booster synchrotron we have tested three signals for the betatron tune measurement during the acceleration: white noise, frequency modulated sine waves, and frequency modulated sine wave multiplied by sawtooth pulses synchronized with the acceleration. The best performance was obtained with the third one.

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）計画のための RFノックアウトシステムの開発

1. はじめに

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）（中部SR施設）ではベータトロンチューン測定用に高周波ノックアウト（RFKO）システムを利用する予定であり、現在その開発を進めている^[1]。本RFKOシステムに要求されることは、確実に動作すること、なるべく低コストに抑えることである。そのため無理なく実現可能であり、コストパフォーマンスの優れたRFKOシステムの設計を目指している。

これまでにRFKOチャンバーの設計を行い、POISSON^[2]により磁場をシミュレーションした。また、UVSORブースターシンクロトロンRFKO装置を用いて予備実験を行った。これらの結果について報告する。

2. RFKOチャンバーの設計

図1に、中部SR施設の蓄積リングのためのRFKOチャンバーの案を示す。チャンバーは真空ダクトの直線部標準形状を元に設計しており、ダクト内に溝を作り、電極を配置した。1つのチャンバーで垂直キック、水平キックの両方を可能にするため、また製作コストも考慮して電極は4本とした。溝の深さや電極の配置は、特性インピーダンスが50Ωとなり、かつ磁場の平坦部が広がるようにした。磁場シミュレーションにはPOISSONを使用した。特性インピーダンスはPOISSONによるシミュレーションで得られた電場分布から電極に誘導された電荷を求め、電極とチャンバー外壁の溝との静電容量を求めて算

出した^[3]。図2に、チャンバーの中心を $x=0$ 、 $y=0$ として座標をとり、POISSONによって磁場分布をシミュレーションした結果を示す。図より水平キック時では0.22 Gauss/A、垂直キックでは0.20 Gauss/Aとなった。このRFKO電極の長さを300 mmとすると、キック角は、水平キック、垂直キックそれぞれで1.6 $\mu\text{rad/A/turn}$ 、1.49 $\mu\text{rad/A/turn}$ となった。このキック力は適当なRFの入力によってベータトロン振動数の測定には十分であると考えられる。

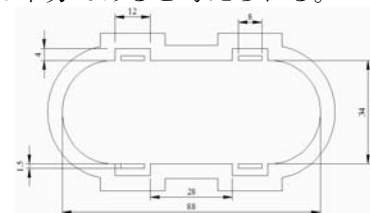


図1：RFKOチャンバーの設計案

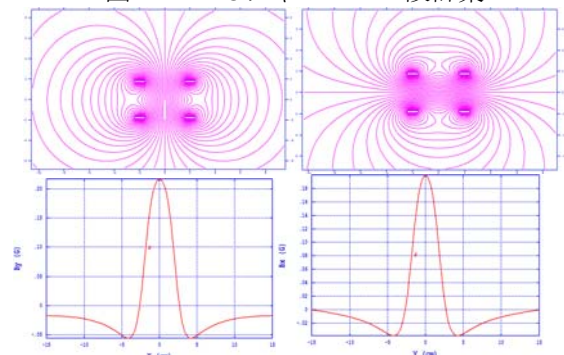


図2：POISSONによる磁場シミュレーション
（左：水平キック、右：垂直キック）

¹ E-mail: furui.yuta@c.mbox.nagoya-u.ac.jp

3. UVSORにおける予備実験

3.1 測定システム

図3に測定システムのブロック図を示す。UVSORブースターシンクロトロンには、垂直キック用、水平キック用にRFKOチャンバーが2つ設置してある。RFKOチャンバーの写真を図4に示す。RFKO入力信号を高周波アンプで増幅した後、RFKO電極に入力し、RFKOチャンバー内に電磁場を発生させ、ビームのベータトロン振動を励起した。ビームがピックアップ電極に誘起した信号をハイブリッド結合器で差信号とし、Tektronix 3026リアルタイムスペクトルアナライザーに入力した。11.26 MHzの周波数の8次の高調波90.1 MHzのアップサイドバンドでベータトロンチューンを測定した。入射に同期したトリガー信号を受けてRFKO信号を発生させ、同時にスペクトルアナライザーとCTでビーム情報を取得した。

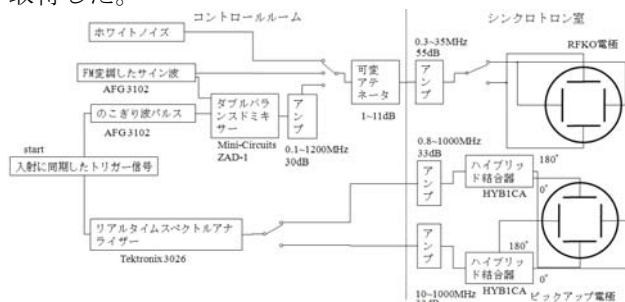


図3：チューン測定システムのブロック図



図4：UVSORブースターシンクロトロンのRFKOチャンバー

3.2 RFKO信号の検討

RFKO周波数 f_{RFKO} は $f_{RFKO}=f_{IV}(n+\Delta\nu)$ の条件を満たすとき、ビームのベータトロンチューンと共鳴し、ベータトロン振動が励起される^[4]。ここで f_{IV} は周回周波数、 n は任意の整数、 $\Delta\nu$ はチューンの小数部である。RFKO入力信号として、①全ての周波数成分を含む信号であるホワイトノイズ、②チューンに合わせた基本周波数をもつサイン波をランダムにFM変調した信号、③②の信号に入射に同期して振幅が増加するのこぎり波パルスをダブルバランスドミキサースーに入力し、合成した信号を用意した。それぞれの信号の波形を図5に示す。FM変調波の基本周波数はホワイトノイズを使ったチューン測定の結果か

ら導き、水平キックでは2.5 MHz、垂直キックでは5.0 MHzとした。それぞれの信号での水平チューンの測定の結果を図6に示す。測定は750 MeVマルチバンチ運転において行った。図中の水色で示されている部分が信号強度の強い部分である。図より③の信号を入力した場合が最も加速中全体のチューンが明瞭に観測できていることが分かる。②では0.17 s以降のチューンが良く観測できない。これは入射直後のビームを大きく振動させてしまったことで、ビーム電流が小さくなったためであると考えられる。以上の結果から、最初はホワイトノイズでおおよそのチューンを測定し、加速中全体のチューンの変化などを測定する時には③の信号を使うという手法が良いと判断した。

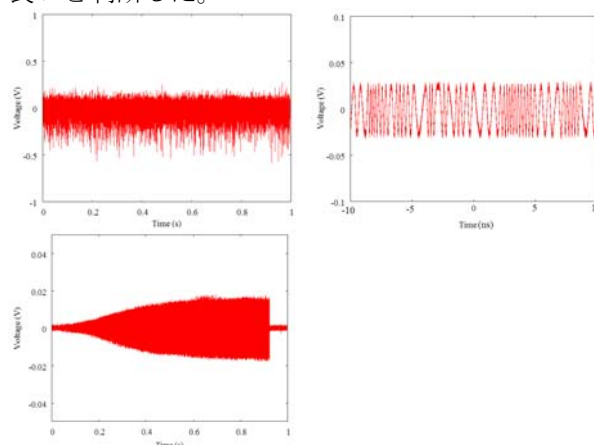


図5：3つのRFKO信号の波形(左上：①ホワイトノイズ、右上：②サイン波をランダムにFM変調した信号、左下：③②の信号をランプアップした信号)

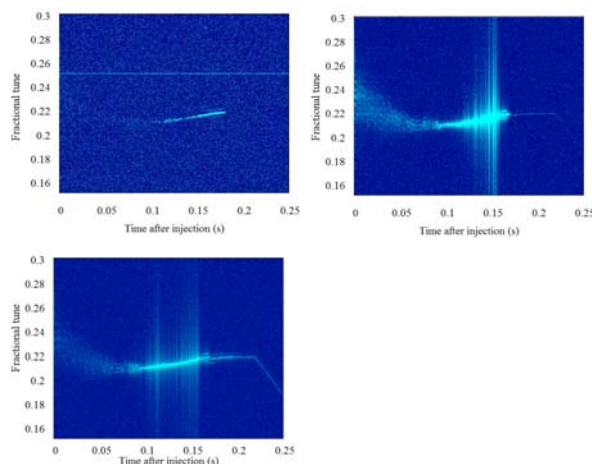


図6：3つのRFKO信号を用いた水平チューン測定結果(左上：①ホワイトノイズ、右上：②サイン波をランダムにFM変調した信号、左下：③②の信号をランプアップした信号)

3.3 チューン測定の結果

図7に750 MeVマルチバンチ運転時のチューン測定から解析によって重心値を求めたものと偏向電磁石及び、四極電磁石の励磁パターンをプロットした図を示す^[5]。解析は、リアルタイムスペクトルアナライザーで得られた信号強度に対して閾値を設定しノイズフロアのデータを落とした後、信号強度の重心を算出する式により算出した。設計値からチューンの整数部は既に分かっているの、図7より水平チューン、垂直チューンの値はそれぞれ2.22、1.44であった。また、水平チューン、垂直チューン共に、入射直後はチューンが広がっていることがわかる。加速されるにつれてチューンの広がりが狭くなっていくが、0.08 s付近でチューンが広がっており、0.23 sから急に下がっている。これは加速中に偏向電磁石が四極電磁石よりも先に飽和することに原因があり、電磁石の励磁電流値の更なる最適化が必要であることを示している。図7の解析データをチューンダイアグラムにしたものを図8に示す。チューンダイアグラムよりビーム取り出しの直前(約0.27 s)で3次の共鳴の線と交差していることがわかる。この共鳴は主に6極磁場によって励起される。UVSORブースターシンクロトロンには6極電磁石がない為、偏向電磁石の6極成分だけがこの共鳴に影響する。現在のところブースターシンクロトロンには問題となっていないが、電磁石励磁電流値の調整により共鳴線との交差を避けることができると考えられる。

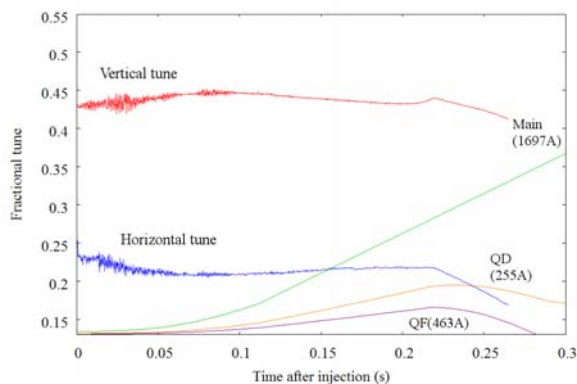


図7：加速中の水平チューン（青線）及び垂直チューン（赤線）の変化。電磁石の励磁電流値が併せて示してある。Mainは偏向電磁石と2種類の四極電磁石（QF、QD）用電源、QF及びQDは四極電磁石の補助コイル用電源。括弧内はそれぞれの電磁石に流す電流の最大値

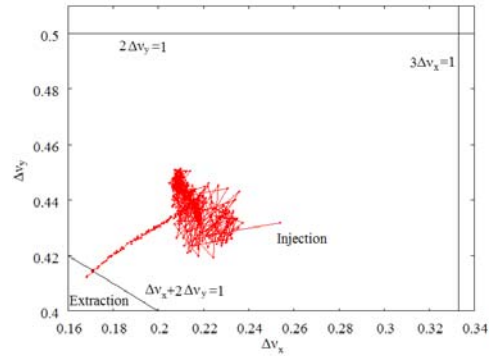


図8：750MeV運転時におけるチューンダイアグラム

4. まとめ

中部SR施設用のRFKOチャンバーの設計を行った。また、UVSORブースターシンクロトロンにおいてRFKOに対して3つの入力信号を試した結果、基本周波数をチューンに合わせ、FM変調したサイン波をランプアップした信号を入力することで加速中全体のチューンを最も明瞭に測定することができた。中部SR光利用施設のブースターシンクロトロンにおいてもこのような手法によりチューン測定が可能であると考えられる。

今後はシミュレーションによって中部SR施設において設計したRFKOチャンバーを使った時のベータatron振動の振幅の増加やチューン測定に必要な電力を求め、中部SR施設のためのチューン測定システムをより詳細に検討していきたい。また、より低コストなチューン測定的手法としてリアルタイムスペクトルアナライザーを使用しない手法も検討したい。

参考文献

- [1] N. Yamamoto, et al. "Central Japan Synchrotron Radiation Research Facility Project", In this proceedings
- [2] http://laacg1.lanl.gov/laacg/services/download_sf.phtml
- [3] S. Koda, et al. "Development of RF-KO system at SAGA-LS," Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, (2005).
- [4] T. Miura, et al. "Measurement of betatron-tune in the KEK 12GeV-PS/J-PARC", Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, (2004).
- [5] E.B. Blum, et al. "Tune measurement in the NSLS booster synchrotron", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 333, (1993) 244-250.