

## DEVELOPMENT OF AUTOMATIC TUNE MEASUREMENT AND CORRECTION SYSTEM AT NewSUBARU

Yosuke Hamada<sup>1,A)</sup>, Satoshi Hashimoto<sup>A)</sup>, Yasuyuki Minagawa<sup>B)</sup>, Takahide Shinomoto<sup>B)</sup>, Shuji Miyamoto<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> NewSUBARU / Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo  
1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

<sup>B)</sup> JASRI/SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

### Abstract

Betatron tune shifts during energy ramping are observed in NewSUBARU electron storage ring. An operating point in tune diagram should be kept the optimized value for the stable beam operation. We developed an automatic measurement and correction system and could successfully control tunes. The system also can automatically measure a tune survey for beam lifetime.

## チューン自動補正によるニュースバル蓄積電子ビームの安定化

### 1. はじめに

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所のニュースバル放射光施設は軟X線から真空紫外線領域の放射光を発生できる電子蓄積リングを有する。現在、1GeV利用運転では適時ビームを入射し、蓄積電流を一定に保つTop-up mode 運転を行っている。またビーム蓄積後に1GeVから1.5GeVへエネルギー加速することも可能である。ニュースバルの主要なパラメータを表1に示す。

表1 ニュースバルの主要なパラメータ

蓄積エネルギー	1GeV~1.5GeV
入射エネルギー	1GeV
リング周長	118.73m
最大蓄積電流	500mA
ベータトロンチューン	6.28 (H)、2.23 (V)

蓄積リングの重要なパラメータの一つであるベータトロンチューンが変動し共鳴線に近づけば、寿命の低下やビーム損失の恐れがあるため、ビーム安定化のためにはチューン変動をビーム寿命が悪化しない程度に抑える必要がある。

ニュースバルではベータトロンチューンの蓄積電流依存性 (図1)、あるいはエネルギー加速途中における変動 (図2) が観測されている。特にエネルギー加速途中では、各ステップで全ての電磁石の通電量をエネルギーに合わせてスケールリングするものの偏向電磁石だけは磁場強度が落ち着くまで極僅かな時間遅れがあるため、四極電磁石やステアリング電磁石との間に設定のずれが生じ、ビーム軌道とチューンに大きな変動が見られる。

これを解決するためにチューンを自動で測定、補正するシステムの開発を行った。またチューンの最適値を見つけるためにチューンサーベイ機能を付加

した。この機能はチューンを自動で変更し、そのときのビーム寿命を計測するものである。

本報告ではチューン自動測定・補正システムの詳細、加速途中のチューン自動補正の結果、チューンサーベイを用いたビーム寿命の評価について述べる。

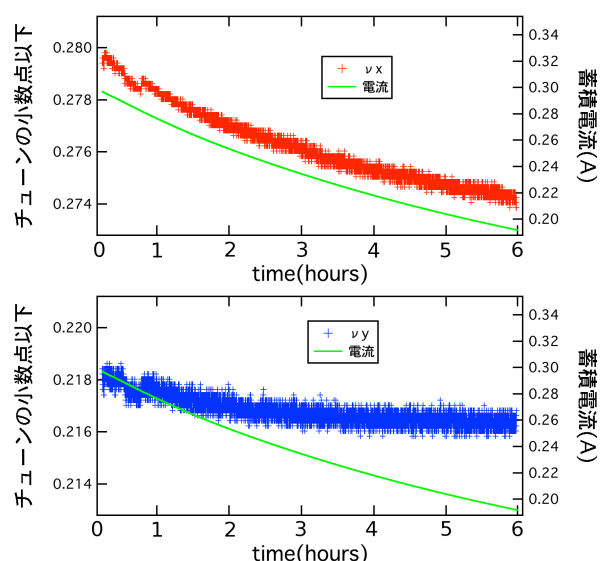


図1. 水平(上)および垂直(下)チューンの蓄積電流依存性

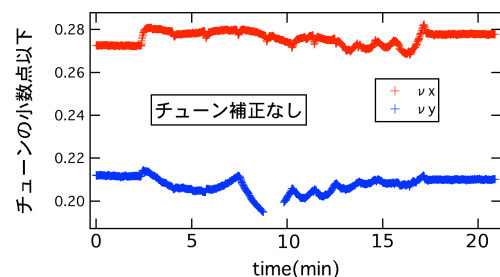


図2. 1.5GeV加速途中のチューン変動

<sup>1</sup> E-mail: yhamada@lasti.u-hyogo.ac.jp

## 2. チューン自動測定補正システムの概要

### 2.1 チューン自動測定

蓄積電子ビームの水平・垂直方向の振動を同時に観測するため、一台のビームポジションモニターの対角にある二つ電極の差信号を用いた。可変アテネーターで振幅調整、位相シフターで位相調整した後、180°ハイブリッドで差信号を生成し、スペクトルアナライザーで周波数解析する(図3)。スペクトル波形をGPIB経由で0.5秒毎にPCに取り込んで、リアルタイムに波形ピークを検出してチューンを評価する。しかし、そのままではノイズが大きくピーク値の自動検出は困難であったので、平均化(10回)および最小二乗法による平滑化を行った(図4)。またピーク値検出の際には予想される水平・垂直チューンの付近の周波数だけを切り取り、閾値を越えるピークのみを検出するようにした。波形データの取得および信号処理プログラムは日本ナショナルインスツルメンツLabVIEWを用いて開発した。長期的な計測評価が出来る様に、チューンの計測値はSPRING-8データベースへ保存されている。

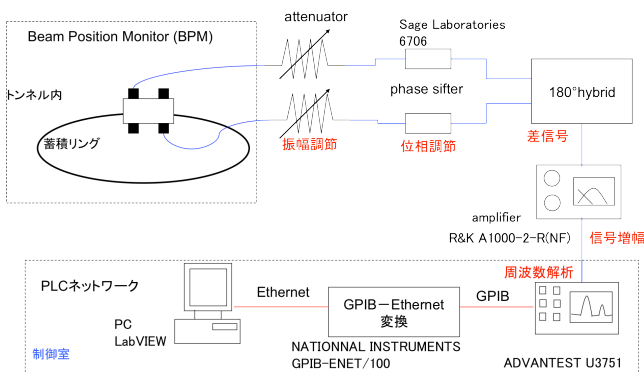


図3. チューン自動計測のハードウェア概要

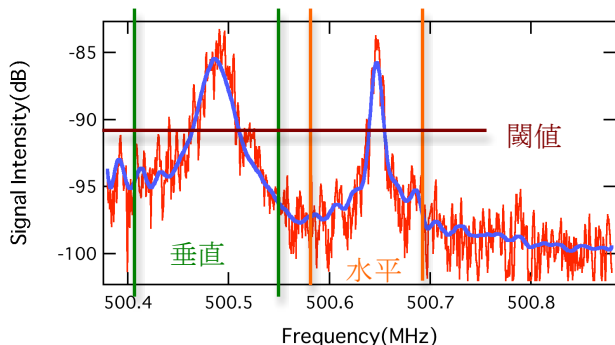


図4. スペアナから取得した波形(赤)と平均化・平滑化後の波形(青)

### 2.2 チューン自動補正

図5にチューン自動補正システムのハードウェア構成を示す。チューン補正は蓄積リングの7種類ある四極電磁石の内、2種類(Q1、Q2)計8台の電磁石

を用いた。また磁場調整の際は電磁石の主電源の電流値を変更するのではなく、これらの電磁石に設置されている補助巻線の電流を調節した。これにより設定変更が速くなり微調整も可能となる。

まず事前にラティス計算プログラムを用いてチューン補正に必要な四極電磁石のキック量および主電源の電流値を計算して補正用テーブルを作成する。さらに主電源および補助電源それぞれの電流を変更してチューンを測定したデータの比較から、補助巻線で補正する場合に必要な通電量に換算することが出来る。水平・垂直方向チューンの基準値からのシフト量を $\Delta v_x$ 、 $\Delta v_y$ とすると、Q1、Q2補助巻線に流す電流値 $I_{Q1}$ 、 $I_{Q2}$ はそれぞれ次式で表される。

$$I_{Q1} = I_0 - 3.02 \times 10^5 \Delta v_x - 3.87 \times 10^4 \Delta v_y$$

$$I_{Q2} = I_0 - 1.88 \times 10^5 \Delta v_x - 1.55 \times 10^4 \Delta v_y$$

ここで $I_{Q1(0)}$ 、 $I_{Q2(0)}$ はQ1、Q2補助巻線の現在の電流値を表す。

測定の誤差を考慮して、計測したチューンが基準値から0.002以上ずれていれば補正を行う。上式に従ってチューンのシフト量から補助巻線の電流値を計算し、PLCネットワーク経由で補助電源コントローラーに送る。補助巻線用の電源はモノポーラー電源であるので、外部信号で操作可能な極性切替モジュールにより必要に応じて極性を反転させる。これらを1秒毎に行いチューンを常に最適値に補正することが出来る。

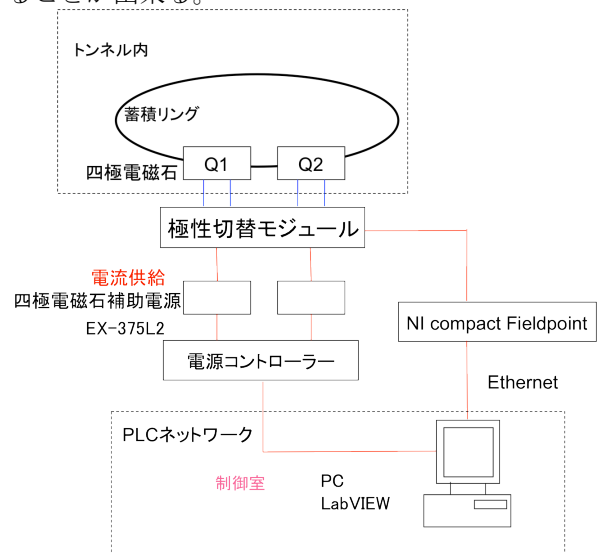


図5. チューン自動補正のハードウェア構成

### 2.3 チューン自動補正システムの動作試験

このシステムの動作を試験するために、四極電磁石の主電源の電流を変えて意図的に水平チューンを0.01変更し、自動補正システムで補正できるかどうかを確認した(図6)。補正システムを動作させた場合、チューンが大きく変わることなくほぼ一定に保たれているのがわかる。よってこのシステムが期待通り動作していることが確認できた。

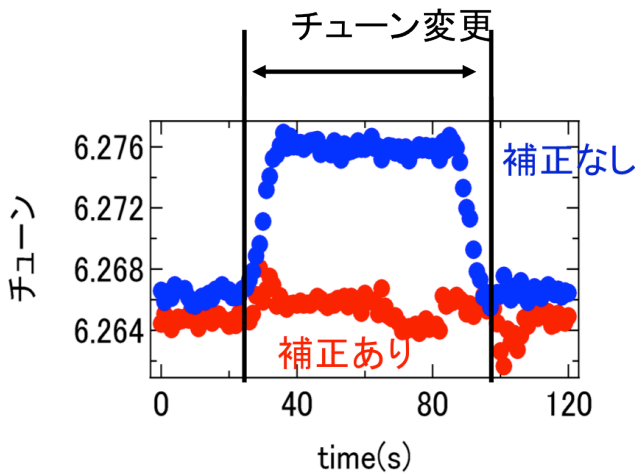


図6. 自動補正の有無によるチューンの変化

### 3. 1.5GeV加速途中のチューン補正

今回作成したシステムを使用して1.5GeV加速途中のチューン変動を補正した結果を図7に示す。補正を行っていない場合(図2)では水平、垂直チューンが共に0.02程度変動しており、共鳴線に近づく可能性がある。一方、図7ではチューンの変動は0.005程度の変動に抑えられており、この程度の変動ではビーム寿命が大きく悪化することはないと考えられる。

図1に示したように蓄積電流に依存してチューンは変動するが、エネルギー加速途中における変動よりゆっくりしたものである。よってこのシステムを使用すれば1.5GeV利用運転における蓄積電流Decay mode時もチューンを一定に保つことが出来る。

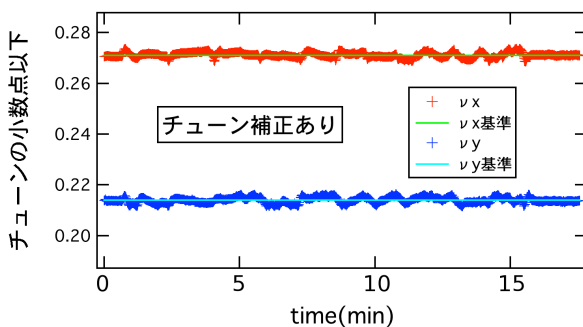


図7. 1.5GeV加速途中のチューン補正の結果

### 4. 自動チューンサーベイ

本システムの応用として自動的にチューンを変更し、そのときのビーム寿命を測定するチューンサーベイ機能を開発した。これを用いることで最適なチューンを自動測定で見つけることができる。

補助電源に通電できる電流の制限から、一度に測定できるチューンの範囲は水平、垂直共に約0.04である。水平6.213から6.330、垂直2.192から2.232の範囲で3度に分けてサーベイを行った結果を図8に

示す。水平チューンが6.3から6.31、垂直チューンが2.2から2.23あたりでビーム寿命が大きくなっているのがわかる。よってチューンはこの範囲内程度で一定に保たなければならない。また共鳴線付近ではビーム寿命が悪化しているのが確認できた。

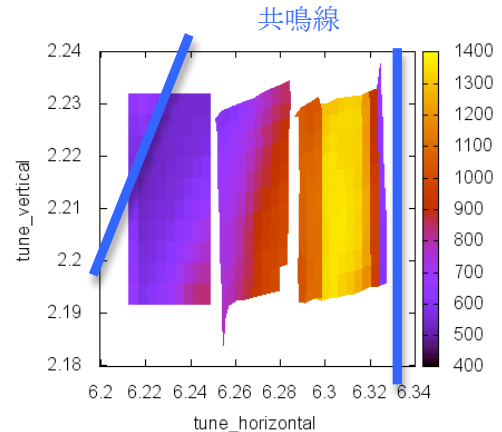


図8. チューンサーベイの結果

### 5. まとめ

エネルギー加速途中のビームの安定化に向けてベータatronチューンの計測・補正を自動で行うシステムの開発を行った結果、1.5GeV加速途中のチューンの変動を0.005以下に抑えることができた。本システムによりエネルギー加速途中のみならず、蓄積電流が変化するDecay mode時も常にチューンを最適値に保つことが可能となった。本システムの安定性、信頼性をさらに向上させ、利用運転中にも本システムを利用出来るようシステムを改善していきたい。

チューンを補正しても加速途中のビーム寿命の改善は見られなかった。これは偏向電磁石の磁場強度のズレによるCODが大きいためであり、今後改善していくことが課題である。

またシステムの応用としてチューンサーベイ機能を追加した。ビーム寿命のチューンサーベイを自動的に計測することで実測により最適なオペレーションポイントを検索でき、ビーム寿命の改善が可能になる。

### 6. 謝辞

LabVIEWで取得した各種データをSPRing-8データベース記録する上でご協力頂きましたJASRI制御情報部門の川田健二氏に感謝いたします。