

# BEAM DIAGNOSIS IN NEWSUBARU ～CORRECTION THE INJECTION MISMATCH～

K. Takeda<sup>1</sup>, Y. Shoji,  
New SUBARU, LASTI, University of Hyogo,  
1-1-2 kouto,kamigori-cho,ako-gun,Hyogo,678-1205

## Abstract

The top-up injection has been a routine operation mode of NewSUBARU since 2003. The injection efficiency, which is one of the most important parameters of the operation, is about 70% with the undulator gap closed. For a better injection efficiency, we started R&D to improve the transverse quadrupole mismatch of the injected beam. This article reports the results of the beam parameter measurements at the transport line from the injector linac, the adjustment of the Twiss parameter, and the mismatch measurement in the storage ring.

## New SUBARUのビーム診断 ～蓄積リングでの入射ミスマッチ～

### 1. 概要

現在, New SUBARUではTop-UP運転を行っている. Top-UP運転には様々な利点があるが利用運転中に入射を行うため,入射時のビーム損失などが問題となる. 本研究では,入射時のミスマッチの存在を確認し,その解消を行い,ビーム損失を軽減する事を目的とする. 想定されている調整手順では,線形加速器からのビームパラメータをトランスポートで測定し,ここでQ電磁石を調整してマッチングのとれるTwissパラメータに合わせる. ここでは蓄積リング内でプロファイルを計測し,マッチング状況の確認も行う事にした.

本報告では2章で入射ミスマッチの概要を述べる. 3章では高速ゲートカメラについて述べる. 4章ではQスキャン法による測定結果を述べ,この結果を利用してミスマッチを計算により予測する. 5章で高速ゲートカメラを用いて,ミスマッチを測定した結果について述べる. この時,4章の結果と比較して整合性がとれているか調べる. 6章ではQを調整する方法について述べる.

### 2. 入射ミスマッチ

蓄積リング内で電子はリングの電磁石の集束力によりベータトロン振動をする. 軌道中心からの,位置のズレをX,角度のズレをX' とする( $X=x, y$ とする)とX, X'空間内で蓄積リングの定常状態での個々の電子の軌跡は楕円を描く. ここでは簡単に説明する為に,軌跡が円になる場合で説明する. 入射ビームの電子集団の電子分布が,蓄積リングの定常状態の分布と一致している場合,蓄積リング内で

ベータトロン振動によって電子分布はFig. 1の様に変わらない. しかし,入射ビームの電子分布が, Fig. 2の左端の図の様に蓄積リングの分布と一致していない場合は,ビーム幅が,ベータトロン振動周期の半分の周期(2倍の振動数)で振動する. この振動は実効的に入射ビームのエミッタンスを増す事になり,トップアップ入射時のビーム損失を引きやすくする.

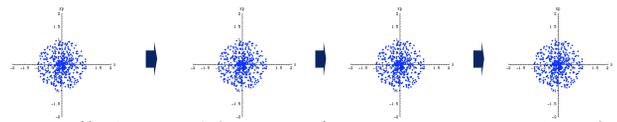


Fig.1:蓄積リング内での入射ビームの電子分布の変化.集団の電子分布が定常状態の分布と一致する場合.リングの周回に従って,電子分布は左から右へと移る.



Fig.2; 蓄積リング内での入射ビームの電子分布の変化.入射ビームの電子分布が定常状態の分布と一致しない場合.

### 3. 高速ゲートカメラ

本研究で用いた高速ゲートカメラは内部にイメージンシファイアを内蔵したCCDカメラである[1]. 高速ゲートカメラには2つの特徴がある.一つ目は高速ゲート動作である. 光電面とMCP面の電位が,高電位の時だけ光子を計測することが可能となるので,この電位を高速変化させる事により,最短ゲート幅10nsまでの高時間分解能の測定が可

能となる. NewSUBARUはビーム1周にかかる時間が396nsだが, 高速ゲートカメラを用いればターン毎のプロファイルを観測する事が可能になる. 2つ目は高感度計測である. 光を光電面で電子に変換して, MCPで電子を増幅し,これを蛍光面で光に戻してCCDで観測する. そのため, ゲート幅が短く弱い光も観測が可能となる.

#### 4. Q-スキャン法

##### 4.1Q-スキャン法による測定

Q-スキャン法とは, Q電磁石の収束力を変化させて下流のスクリーンに写ったビームプロファイルの変化を計測し, ビーム半径と収束力との関係から, ビームのTwissパラメータとエミッタンスを求める方法である[2].

線形加速器からの取り合い点から最も近いスクリーンモニタ(M5)を使い,ここから上流のQ電磁石(Q10)の設定値を変えてM5でのビームプロファイルの変化を計測した. 横軸をQ10の集束力( $\delta$ ),縦軸をビーム幅の2乗( $Rms^2$ ,単位 $mm^2$ )でプロットした結果をFig.3に示す. 測定結果を $(幅)^2=A(\delta-B)^2+C$ でフィッティングし, Q10中心でのTwissパラメータが求まる.

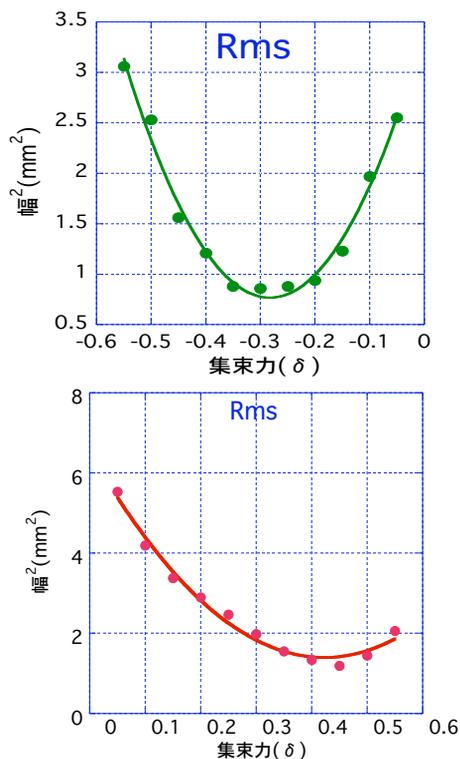


Fig.3 集束力( $\delta$ )に対する水平(上),垂直(下)方向のビーム幅の2乗の変化.曲線はフィッティングした二次関数.

##### 4.2;入射ビームのパラメータから推定した入射

Q-スキャン法で求めたTwissパラメータの測定値を使い, 蓄積リングの放射光プロファイルモニター位置までの入射ビームのTwissパラメータを計算した. M5の位置から約60m下流の入射点付近の $\beta$ 関数をFig.4に示す. 同図に蓄積リングの定常状態のTwissパラメータを点線で示した. 垂直方向, 水平方向ともに蓄積リングの定常状態のTwissパラメータと入射ビームのTwissパラメータは一致しておらず,ミスマッチが起こっていると考えられる. 特に垂直方向に不一致が大きく,大きなミスマッチ起きていると予測される.

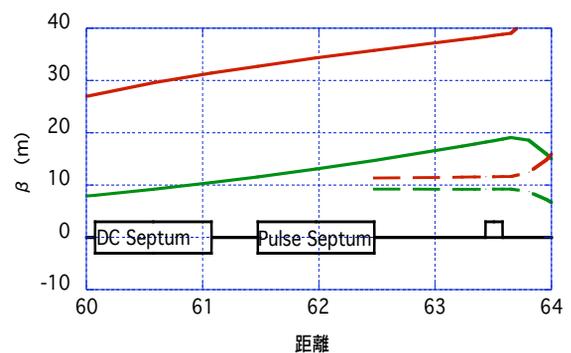


Fig.4 蓄積リングとビームトランスポートのTwissパラメータの比較. 緑が水平方向赤が垂直方向,実線が入射ビーム,破線が蓄積ビーム,横軸は取り合い点からの距離で単位はm,入射点は62.4m.

#### 5.蓄積リング(SR5)でのミスマッチの計測

前章の結果から予想されるミスマッチを確認するため, 蓄積リングの高速ゲートカメラを使い, 入射直後の入射ビームプロファイルを1 turn毎に9 turnまで測定した[3]. 撮影したターン毎のビームプロファイル画像をFig.5に示す. またこの図から計算したビーム幅の振動をFig.6に示す.

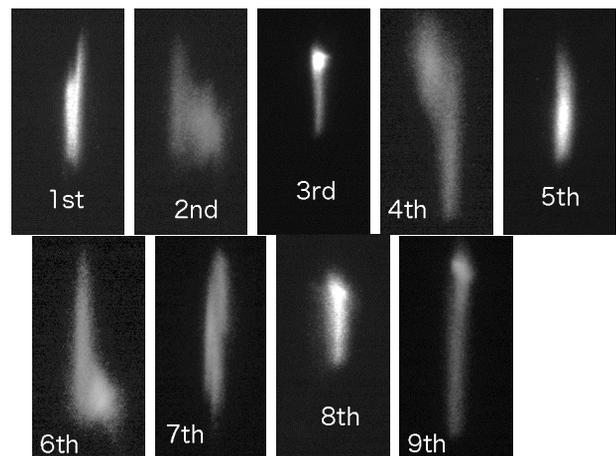


Fig.5 蓄積リング内のTurn毎のビームプロファイル.

Q-スキャン法での測定結果から蓄積リング内で予想されるビーム幅の振動を計算し、Fig.6に太い実線で示した。計算からの予測は蓄積リングでの測定結果とほぼ一致している。また、予測ともフィッティングとも合わない測定点があるが、ショット毎のばらつきなどの原因が考えられる。

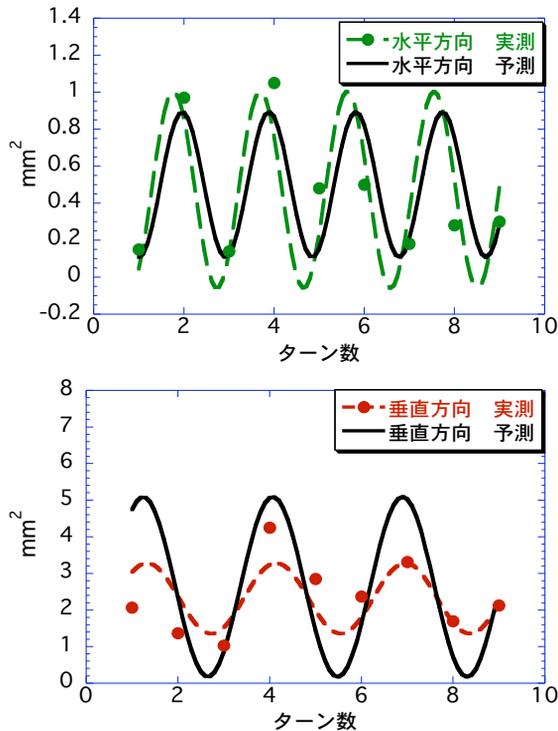


Fig.6 蓄積リング入社直後の、入射ビーム幅の振動。点は実測値、破線は測定点に対してフィッティングした関数。実線はQスキャンの結果からの予測

## 6.Q電磁石の調整

調整に用いるのは、線形加速器からの取り合い点からすぐ下流のQトリプレット電磁石群とQダブルット電磁石群である。調整の確認はその下流のM3のスクリーンモニターでQ-スキャン法の測定で行う。この測定結果がマッチングの取れるはずのTwissパラメータ、つまり理想値に近づく様にQの調整を行う。

トリプレット電磁石群は上流からQ12, Q11, Q10の3つのQ電磁石からなり、Q12とQ10は同じ強さでQ11が逆極性である。Q12=Q10とQ11を適当な割合で変化させると、水平方向と垂直方向のTwissパラメータを独立に変化させる事が出来る。

M3での測定結果に対して $\alpha_x, \beta_x, \alpha_y, \beta_y$ を理想値に合わせるトリプレット電磁石群の設定を計算した。その結果、トリプレット電磁石群の調整でほぼ同一のQ設定で $\alpha$ と $\beta$ を理想値に合わせる事ができるという結果を得た。実際に調整を実行しQ-スキャ

ン法で測定した所、Twissパラメータの値は垂直方向ではほぼ予想通りに変化した。水平方向は一致しなかったが、測定結果は $\alpha_x, \beta_x$ 、ともにQの変化量が設定の2/3であった状態に一致した。不一致の原因は分からないが、調整を繰り返すことで、値を合わせる事が出来る範囲にある。

## 7.まとめ

高速ゲートカメラで入射ミスマッチを測定する事が出来た。トランスポートでの、線形加速器からのビームを測定した結果、蓄積リングでの計測とほぼ一致していた。マッチングの調整はほぼトリプレット電磁石群で行う事が出来ると思われる。

今後マッチングを取る事により、ビーム損失軽減が期待できる。

## 参考文献

- [1] 浜松ホトニクス株式会社、「電子シャッター内蔵ICCDカメラ」5909-06[-07]取り扱い説明書。
- [2] 神野和、「ビーム輸送系の設計」<http://homepage3.nifty.com/canno/osu.ac.jp/transport.html>。
- [3] 粟島寛、「放射光用電子蓄積リングの高速光プロファイルモニタの開発」兵庫県立大学、平成18年卒業研究。