

## CURRENT STATUS OF A 1.2 GeV STB RING AT TOHOKU UNIVERSITY

F. Hinode, H. Hama, M. Kawai, A. Kurihara, A. Miyamoto, M. Mutoh, M. Nanao, Y. Noguchi, Y. Shibasaki, K. Shinto,  
S. Takahashi, T. Tanaka

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University  
1-2-1 Mikamine, Taihaku, Sendai, 982-0826

### Abstract

A 1.2 GeV Stretcher-Booster Ring (STB ring) has been routinely operated at Laboratory of Nuclear Science (LNS), Tohoku University. The STB ring has functions of a pulse-beam stretcher and a booster-storage ring. In the booster-mode operation, high energy  $\gamma$ -ray beam generated via Bremsstrahlung from internal target wire is utilized for experiments of nuclear physics. The quality of the  $\gamma$ -ray beam has been recently improved by modifying the lattice functions of the ring, and we mainly report the improvement in this issue.

## 東北大学 核理研における1.2 GeV STBリングの現状

### 1. はじめに

東北大学 原子核理学研究施設 (核理研) に設置されている1.2GeVストレッチャーブスターリング (STBリング) は、LINACで生成されたパルスビームを連続ビームに変換するパルスストレッチャーの機能と、最大1.2GeVまで加速可能なブスターの機能を備えている [1,2]。現在、高エネルギーのガンマ線を用いた原子核実験のために、主としてブスターモードでのビーム運転が行われている。表1に、基本的なマシンパラメータを示す。平成14年秋には、ガンマ線実験用施設 (GeV- $\gamma$  照射室) の建設に伴い、新たなガンマ線ビームラインの運用が可能になった。ここでは、この新ビームラインにおいて、ワイヤー標的からの制動放射で生成されるガンマ線ビームの特性を向上するために、ビームオプティクスの変更を行ったので、この内容を中心に現状の報告を行う。

### 2. ワイヤー標的を用いたガンマ線生成

原子核実験で用いられる高エネルギーガンマ線は、偏向電磁石上流部で周回電子ビーム軌道に radiator (ワイヤー標的) を挿入した際の制動放射により得られる。制動放射を起こした電子の運動量は、偏向電磁石の磁場を用いて測定されている (図1参照)。標的ワイヤーには直径10 $\mu$ mのカーボンファイバーが用いられており、ワイヤーを固定するアルミ製フォークの内側の幅は22mmである。生成されたガンマ線は、ワイヤー標的から約17m離れた GeV- $\gamma$  照射室内の原子核ターゲットに照射される。

偏向電磁石内部に設置されたtagger (標的ワイヤーで散乱された電子の位置検出器) には、実際には、制動放射によって散乱された電子以外にも多数の信号がバックグラウンドとして存在することが観測され、致命的な問題となっていた。更に、生成されたガンマ線のプロファイルを見ると、電子ビームの鉛直方向の軌道に依存して、複数個の発光点が存在

表1: Parameters and status of the STB ring

Lattice type	Chasman-Green
Superperiodicity	4
Circumference	49.7 m
Maximum energy	1.2 GeV
Injection energy	0.2 GeV (nominal)
Betatron tune	(3.22, 1.15) *
Chromaticity	( $\sim -5.5, \sim -4.7$ ) *
RF frequency	500.14 MHz
RF voltage	140 kV
Harmonics	83
Natural emittance	170 nrad (@ 1.2 GeV)
Momentum compaction $\alpha$	0.0378
Dispersion	< 10 cm *
x-y coupling coefficient	0.005 *
Beam current	< 20 mA* (@ 1.2 GeV)
Lifetime	$\sim 10$ min* (@ 1.2 GeV)

\* Measured value

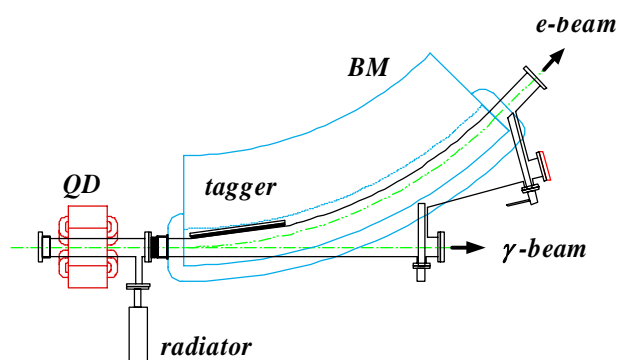


図1:  $\gamma$ -線生成用ワイヤー標的の配置

しているような様子も確認された。その後の調査の結果、これらの原因が、クーロン散乱された電子や僅かにエネルギーを損失した電子が、標的ワイヤーの固定用フォークに衝突したことに起因しているこ

とが判明した。標的ワイヤーや真空ダクト内部の残留ガス分子とクーロン散乱した電子は、大きなベータatron振幅を持ったまま、リング内部で1周以上の周回をすることが可能である。しかし、このような電子は、標的ワイヤーが設置されている鉛直方向ベータ関数の大きな箇所で、標的ワイヤーの固定用フォーク内側の幅よりも大きなビーム広がりを持っており、これがtaggerのバックグラウンド源となっていることが解った。また、制動放射で僅かなエネルギーしか失わなかった電子も同様に周回可能であるが、標的ワイヤー部ではエネルギー分散がないため、この電子は再び中心付近に戻って来てしまい、これが事態を更に悪くしていた。図2には、トラッキングシミュレーションにより得られた電子ビームのプロファイルを示してある。このシミュレーションでは、ワイヤー標的でのクーロン散乱と制動放射の影響が考慮されている。図から、散乱された電子の一部が、完全にフォークと重なっていることが解る。図3は、散乱角に対するビーム損失の比率を示す。約1mrad以上の角度で散乱されると、散乱後の電子は急激に失われるようになり、約7mrad以上の散乱角ではビームは完全に周回しなくなることも解った。

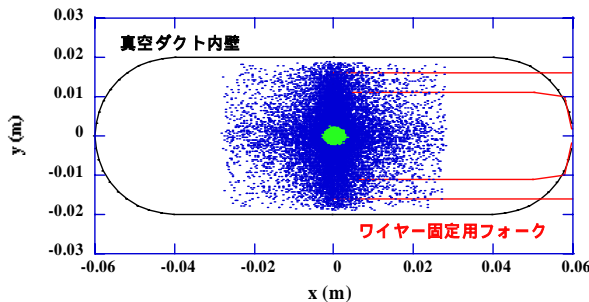


図2：標的ワイヤー位置での散乱前後の電子ビームのプロファイル。

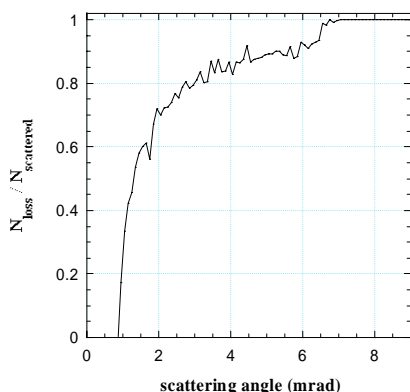


図3：散乱角に対するビーム損失の割合。

### 3. ビームオプティックスの変更とガンマ線ビームの特性向上

標的ワイヤーの位置での鉛直方向ベータ関数を小さくすることで、固定用フォークに当たる電子を減

らすことができればバックグラウンドの問題を軽減できる。更に、標的ワイヤー位置でのエネルギー分散関数を大きな値にすることができれば、エネルギーのずれた電子が、標的ワイヤーやフォークと再び衝突することも回避できる。またこれらにより、ガンマ線ビームの品質も改善できると期待される。

このような方針の基で、STBリングでのビームオプティックスの変更を行った。トラッキングシミュレーションから見積もられる散乱された電子の持つ分布は、真空ダクトの高さ40mmにまで広がっている。従って、ワイヤー固定用フォークをクリアするためには、ワイヤー位置での鉛直方向ベータ関数は、現状の半分の10m程度まで小さくする必要がある。また導入するエネルギー分散関数は、50cm以上を目指す。このような要求を実現するには、リングの対称性を崩したビームオプティックスを構成せざるを得ない。図4に、2回対称のラティス関数を示した。チューンの動作点は $(\nu_x, \nu_y) = (3.234, 1.085)$ である。図には、通常の運転時の4回対称のラティスも示した。ワイヤー位置でのベータ関数を小さくするためには、他方のベータ関数が大きくならざるを得ないが、これがあまり大きくなりすぎるとビーム寿命を著しく損なうため、適度な値に抑えておく必要がある。また、チューンの値も整数共鳴から適度に離しておくことも必要である。

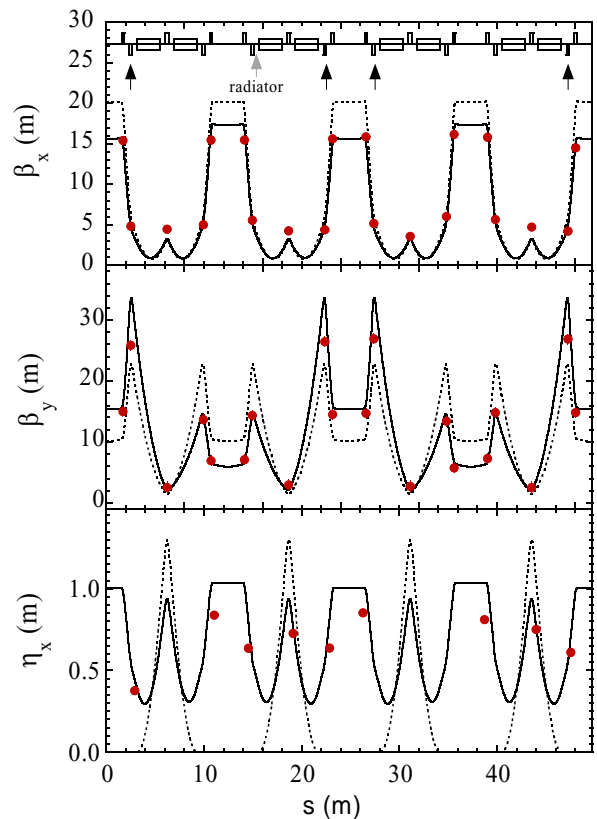


図4：変更後のラティス関数。波線は通常の運転時の4回対称のラティス。プロットは測定点。

目標とする2回対称オプティクスを作り出すために、図4の矢印で示した4つのQD-magnetに、電子負荷装置を接続して主コイルの電流を吸い取ることとした。この電子負荷装置は高砂製作所のFK-200Lで、最大40Aまでの吸い取り動作が可能な物である。安定度は0.1%程度である。実際の運転時には、1.2GeVの加速完了時のトリガーで電流吸い取りを開始し、約20ミリ秒間で目標値までの吸い取りを完了させている。COD補正用のステアリング電源は、加速開始時のトリガーでパターンを開始し、1秒間で目標値になるように運転している。

このようにして構成された2回対称のオプティクスに対して、局所ベータ関数を測定した結果を図4に併せて示してある。ほぼ意図した通りのベータ関数を実現できていることが確認できた。またトラッキングシミュレーションで得られた、この時の標的ワイヤー位置での散乱後の電子のプロファイルを図5に示した。オプティクスの変更の際して、ワイヤー固定用フォークの幅も22mmから30mmに広げる対処も同時に行われた。これらにより、散乱された電子がフォークに当たることをほぼ完全に回避することができるかと期待される。

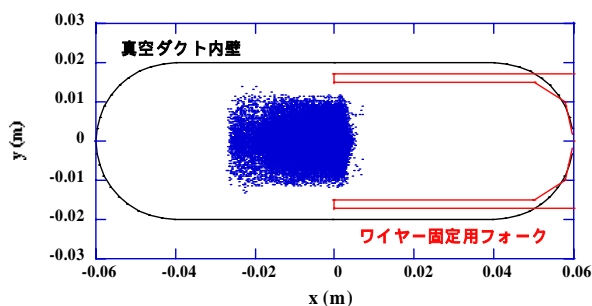


図5：標的ワイヤー位置における散乱された電子のプロファイル（オプティクス変更後）。

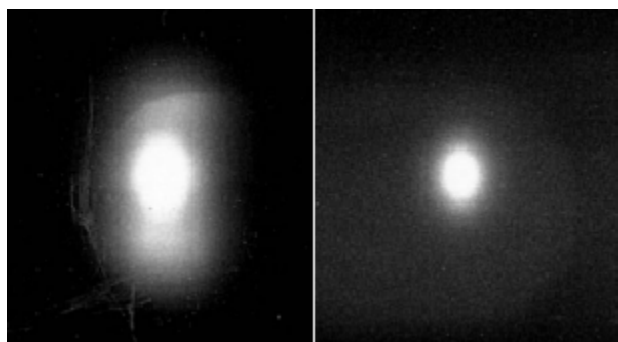


図6：ガンマ線ビームのプロファイル。  
（左：オプティクス変更前、右：変更後）

図6には、実際に偏向電磁石下流のフランジ部で観測した、ガンマ線ビームのプロファイルを示す。オプティクス変更前には、ガンマ線ビームの本体と思われる中心の上下に、フォークで散乱された電

子の生成するガンマ線が見えている。しかし変更後には、非常に明確なプロファイルが得られている。またこれと共に、taggerでのバックグラウンドのために当初は非常に低いtagging効率（20%）しか得られていなかったが、使用に耐えられるレベルの効率（80%）が得られるようになった（図7）。

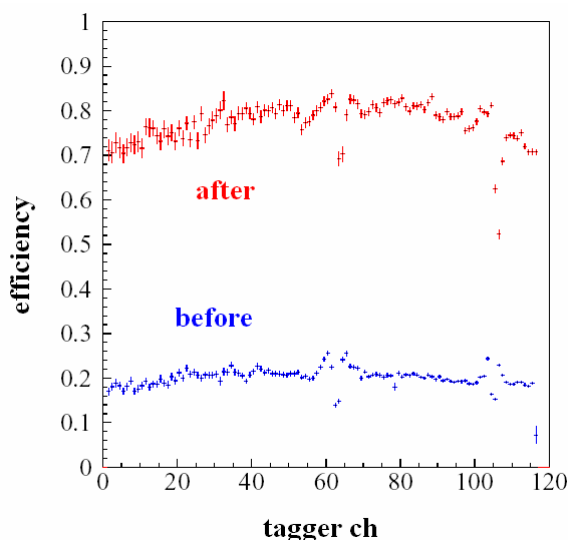


図7：tagging efficiency。

#### 4. まとめ

高エネルギーのガンマ線を用いた原子核実験のために、新たにガンマ線ビームラインが建設された。運転開始当初には、極めて低いtagging効率とガンマ線プロファイルの異常な広がり確認され、問題となっていた。調査の結果、これらはクーロン散乱のため広がった電子及び制動放射でエネルギーを僅かに失った電子が、ビーム軸上下に張り出した標的ワイヤー固定用フォークに衝突することに起因していることが判明した。このための対処として、STBリングのオプティクスを変更して、ワイヤー標的部分での鉛直方向ベータ関数小さくすると同時にエネルギー分散関数を導入することを試みたところ、企図したとおりの結果を得ることができた。現在、順調にマシンタイムを消化している。

#### 参考文献

- [1] F. Hinode, *et al.*, "Current Status of a Stretcher-Booster Ring at Tohoku University", Proc. of the second Asian Particle Accelerator Conference (APAC'01), Beijing, September 2001.
- [2] H. Hama, *et al.*, "Current Status of a 1.2 GeV Booster Electron Synchrotron and Implementation for Nuclear Study at Tohoku University", Proc. 18th International Conf. On High Energy Accelerators (HEACC2001), Tsukuba, March 2001.