

# MEASUREMENT OF BEAM EXTINCTION AT J-PARC 50 GEV PS

Koji Yoshimura<sup>1,A)</sup>, Masaharu Aoki<sup>B)</sup>, Yoshinori Hashimoto<sup>A)</sup>, Yoichiro Hori<sup>A)</sup>, Yoichi Igarashi<sup>A)</sup>, Satoshi Mihara<sup>A)</sup>, Naoyuki, Nakadozono<sup>B)</sup>, Hajime Nishiguchi<sup>A)</sup>, Yoshihiro Sato<sup>A)</sup>, Masayuki Shimamoto<sup>A)</sup>, Yasuhiro Takeda<sup>A)</sup>, Takuto Tachimoto<sup>B)</sup>, Masahiko Uota<sup>A)</sup>

A) High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

B) Osaka University, 1-1 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560-0043

## Abstract

Proton beam extinction, defined as a ratio of the residual and the pulse beam intensity, is one of the most important parameter to realize the future muon electron conversion experiment (COMET) proposed at J-PARC 50 GeV PS. To achieve design sensitivity, i.e.  $10^{-16}$ , extinction of less than  $10^{-9}$  is required. We have developed a novel beam monitor method which can measure timing structure of MR beam pulse with high sensitivity. We have installed the monitor into the abort beam line and successfully performed measurement of beam extinction. In this paper, we report the first result of the extinction measurement.

## 1. はじめに

新しいミュオン電子転換過程の探索実験 (COMET) が J-PARC 50 GeV PS の実験として提案されている。実験には、MR で 8 GeV まで加速されたビームをバンチ化されたまま遅い取り出しで取り出すことにより、約  $1 \mu s$  の間隔でパルス化されたビームを生成することが必要となる [1]。現在の J-PARC の加速スキームで実現例を図 1 に示す。

RCS を  $h=2$  で運転し、ライナックで加速されたビームを RF チョッパーにより選別して 2 つのバケツのうち一つのみに入射する。RCS から 4 回にわたって MR に入射が行われ、その結果、MR には 1 つおきの RF バケツにビームが入ることになる。この場合、RF チョッパーの効率が十分でないとき、RCS の空のバケツにビームが入射され、そのまま MR に入射されることになり、MR の空バケツにビームが残存することになる。

このようなメインビームの間に残存するビームの相対量はビームエクステンクションと呼ばれている。COMET 実験では、図 2 に示すようにメインビームとほぼ同時に生じるバックグラウンドを除くために、タイミングをずらして測定を行うが、残存ビームがあると、測定領域にバックグラウンドが生じてしまうため、非常に低いレベルに抑える必要がある。COMET 実験の目的であるミュオン電子転換過程を  $10^{-16}$  のレベルまで探索するためには、エクステンクションは  $10^{-9}$  という低い値が要求される。

これまでに、AGS 加速器 (BNL) 等でエクステンクションの測定およびそれを改善するためのデバイスの R&D が行われた例があるが、 $10^{-9}$  まで到達したものはなく、また、ビームがメインパルス間に漏れ込む過程は、加速器の構造によって大きく異なるため、J-PARC MR でエクステンクションを測定することが、COMET 実験の実現のために、非常に重要なステップとなる。

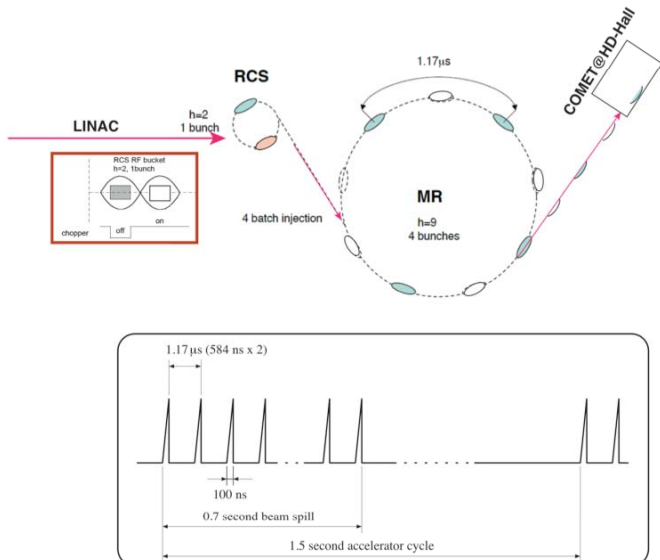


図 1 : COMET 実験のための陽子ビーム方法

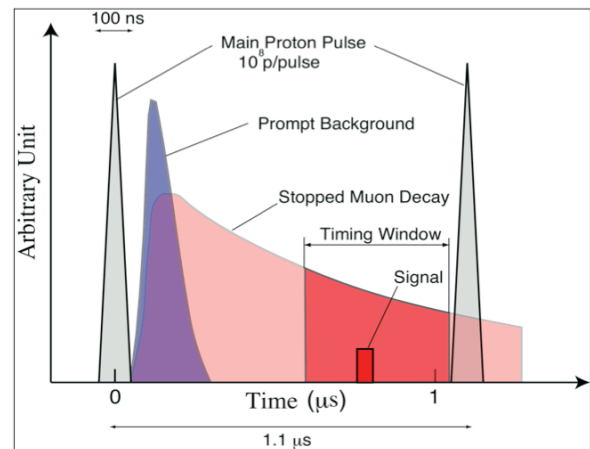


図 2 : COMET の信号とバックグラウンドの時間構造

<sup>1</sup> E-mail: koji.yoshimura@kek.jp

## 2. アポートラインでのエクステンション測定

メインビームに対して $10^{-9}$ のレベルで残存ビームを測定するためには、 $10^9$ のダイナミックレンジと10 nsの時間分解能を持つ測定器が必要とされる。ゲートをかけてメインビームに対して不感であるような測定器を開発する試みがなされているが、我々は、以下に示すようにMRビームをアポートラインに取り出して、ビームを診断する方法をとった(図3)。測定は以下の手順で行う。

1. 加速器をシングルバンチモードで運転し、ビームを1バンチのみMRの#0の位置に入射する。
2. キッカーをメインビームが通過した直後(#0と#1の間)に立ち上げ始める。
3. ビームは#3と#4の間からアポートラインに向けて、取り出され始める。
4. #4以降、ビームはMRの全周にわたってアポートラインを通過して、アポートダンプに導かれる。
5. アポートラインの途中においた測定器で取り出されたビームを診断する。

メインパルスが通過すると、測定器は飽和して、それ以後の測定は不可能になるが、その前に通過する#4~#8までのパルスの時間構造は高精度で測定することが可能である。ここで、RCSからの空バケツBがメインパルスの前(#8)に入射するようにすれば、空バケツの中に存在するビームを測定することが可能となる。また、アポートに取り出すタイミングをRCSから入射後、MR加速後、遅い取り出しの最中、など変化させることにより、各段階におけるMRビームのパルス時間構造を診断することが可能となる。

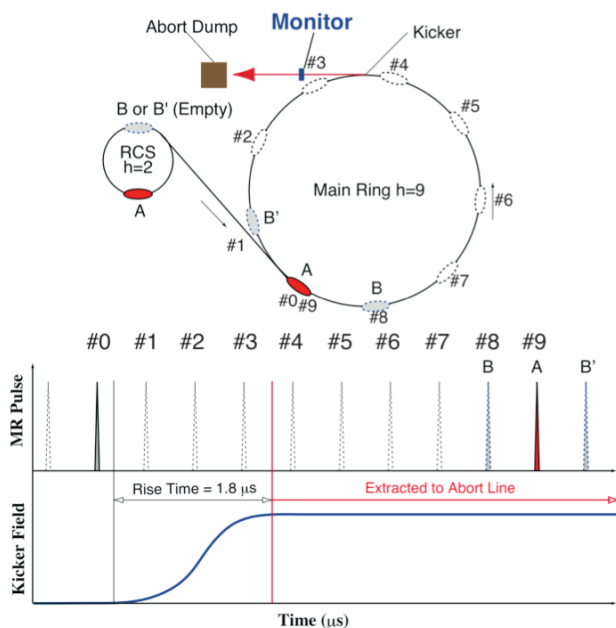


図3：アポートラインへの速い取り出しによるMRビーム診断

## 3. 測定のセットアップ

今回の測定のために、以下のような仕様を満たすモニタを開発した。

1. 10 nsの時間分解能で約10  $\mu$ sのフルスケールにおいてビーム時間構造を測定可能
2. ゲインを5桁にわたり、変化させることができる
3. ビームサイズ $\phi$ 150 mmをカバーする。
4. 放射線ロスを最小にするため低物質質量(<0.5% loss)

図4に測定器の概念図と写真を示す。測定器は2層で、それぞれ18(w)x2(t)x144(l)の寸法を持つ8つのシンチレータあるいは石英板で構成されている。信号はクリアファイバーのライトガイドでマルチアノードのPMT(HAMAMATSU H8711)に導かれる。モニタを設置した場所を図5に示す。ニュートリノラインと逆側にビームを蹴り出した後、約10m下流のビームパイプの内部に設置したモニタで測定を行う。

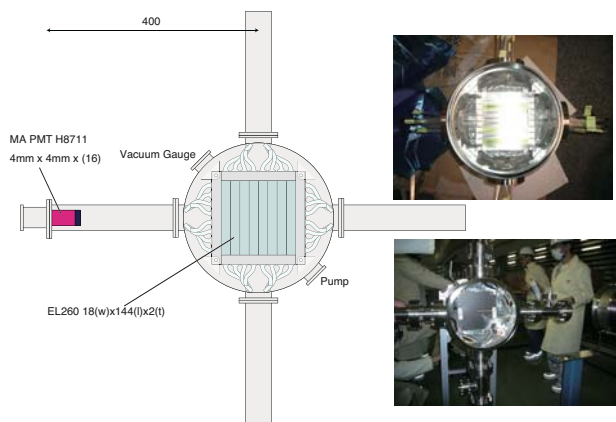


図4：エクステンションモニタ

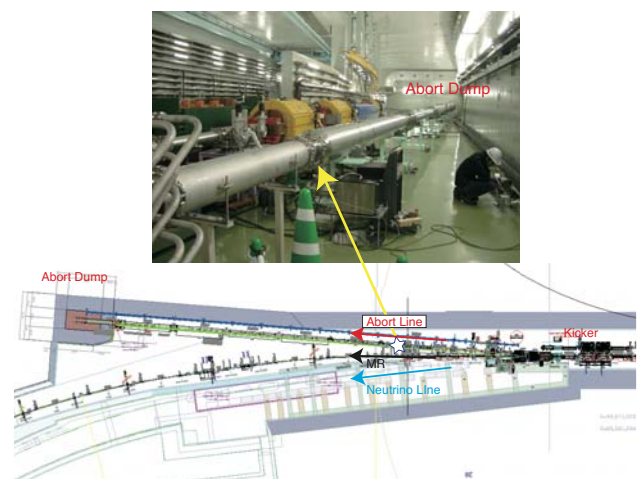


図5：アポートラインモニタ設置場所

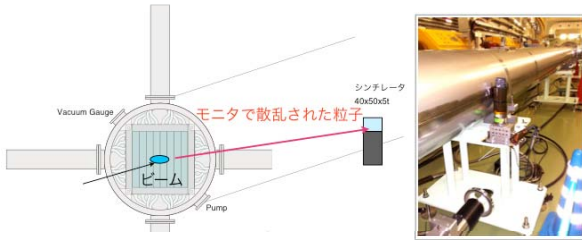


図6：ビームハロー・二次粒子モニタ

上記のモニタに加えて、すぐ下流のビームパイプの外部にシンチレーションカウンタを設置し、ビームハローおよび、散乱された二次粒子をモニタした(図6)。このモニタにより、エクステンクションモニタが飽和するような強度のビームに対しても測定を行うことが可能となった

## 4. MRビーム測定

### 4.1 実験経過

測定はRUN#25の6/11~6/22において加速器グループの協力のもとMRビームスタディの一環として行われた。ビーム強度は約 $4 \times 10^{11}$  ppsであった。

### 4.2 空バケツの残留ビーム測定

まず、RCSの空バケツにどのくらいのビームが存在するかの検証を行った。図7はいずれもRCSから2個のバケツを入射した場合であり、左図は最初のパルスが、右図は両方のパルスがチョッパーでカットされて、空であるはずのバケツが入射されている。水色、緑の波形はそれぞれ、エクステンクションモニタおよびハローモニタの出力である。空と思われたバケツにビームが残留し、加速され取り出されている様子が見られている。

次にチョッパーの幅を280nsから12.4nsに減らし強度を測定し、さらにRCSに入射される中間バンチの数を47から1まで減らすことにより(図8)、メ

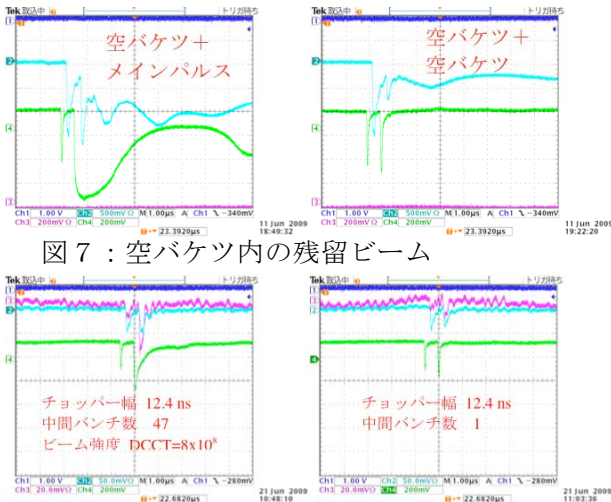


図7：空バケツ内の残留ビーム

図8：チョッパー幅と中間バンチ数によるメインパルスの変化

インパルスとの相対強度を得ることができた。残留ビーム強度は  $2 \times 10^7$  pps (メインの1/20000)と推定された。

### 4.3 チョッパーの位相による調整

チョッパーの位相を変化させて、チョッピング効率を変化させ残留パルスがどのように変化するかを調べた。図9は位相を変化させたときの残留パルスの波高の変化を表したものである。約 $16^\circ$ 変化させた時に波高は約1/3になりチョッパー効率が最大となり、さらに $25^\circ$ 以上変化させると急激に効率が悪くなるのがわかった。

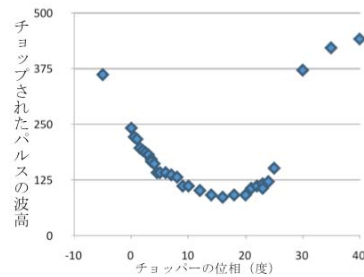


図9：チョッパーの効率の位相による変化

### 4.4 バケツ以外へのビームの漏れの測定

次にモニタのゲインを1粒子が見える程度まであげて測定を行った。図10に示すようにRCSから入射された場所より前にも微量のビームが存在する。このビームは入射または加速の際にバケツから漏れ出したビームと考えられる。右図はビーム測定のためにロスが増えたときに、急増する様子を示している。

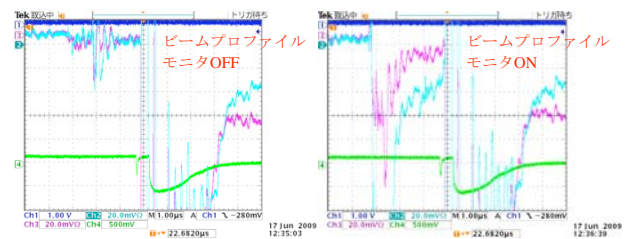


図10：ロスによるバケツからのビームの漏れ

## 5. おわりに

MRにおいてRCSの空バケツに含まれる残留ビームおよびバケツの外に漏れ出すビームの測定に成功した。今後さらにモニタの改良し測定を続けていく。

## 参考文献

[1] M. Tomizawa, et. al, "J-PARC ACCELERATOR SCHEME FOR MUON CONVERSION SEARCH", Proceedings of EPAC08, Genoa, Italy, 2008. pp 367-369.