

# BEAM LOSS PARTICLE TRACKING IN J-PARC LINAC

Hiroyuki Sako <sup>#,A)B)</sup>, KenIchi Imai<sup>A)</sup>, Susumu Sato<sup>A)B)</sup>, Hitoshi Sugimura<sup>A)</sup>, Akihiko Miura<sup>B)</sup>, Tomofumi Maruta<sup>B)</sup>,  
Nobuhiro Kikuzawa<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

<sup>B)</sup> J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

## Abstract

J-PARC linac has been operated at 7.2 kW since November 2007. The most significant beam loss has been observed from SDTL (Separated-type Drift-Tube Linac) to ACS (Annular-Coupled Structure linac), which is due to  $H^0$  that is generated by interaction of  $H^-$  beam with remnant gas. Beam loss at the linac has been measured with proportional counters, with which we have not succeeded to estimate absolute amount of  $H^0$ 's. In this work, we have developed scintillating fiber hodoscopes to measure the number of  $H^0$ 's. We observed straight charged particle tracks.

## J-PARC リニアックにおけるビームロス粒子の飛跡測定

### 1. J-PARC リニアックのビームロス

J-PARC では 2007 年 11 月以来 7.2kW での運転が行われている。現状最も強いビームロスが ACS 部において観測されている。図 1 にリニアックにおけるビームロス分布を示す。このビームロスは主として以下のような過程で発生すると考えられている。 $H^-$  ビームがビームダクト中の残量ガスで電離され  $H^0$  になる。 $H^0$  は中性電荷をもつため四重極磁石による収束を受けず、電離した瞬間の運動量を保持したまま直進する。この  $H^0$  の一部がビームダクトに到達し、ビームダクトを貫通する際に電離し  $H^+$  になってビームダクト外に放出される。このシナリオを裏付ける実験結果は、ACS 部の真空度とビームロスがほぼ比例する観測結果[1]と、第一アーク部の 2 極磁石で曲げられなかった中性電荷粒子、すなわち  $H^0$  のプロファイルの直接測定である[2]。

GEANT4 シミュレーション[3]により  $H^0$  を期限としダクト外に放出された  $H^+$  の分布を計算した。図 2 に SDTL から L3BT 直線部までのビーム軸に関する放出角とエネルギーの計算結果を示す。平均放出角は約 5 度、エネルギーは SDTL より下流で  $80 \pm 10$  MeV と広い分布を持っている。

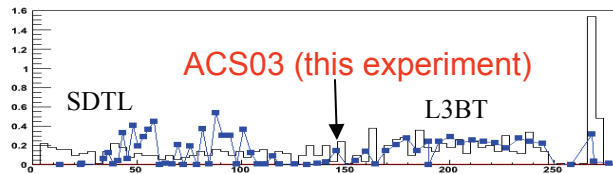


図 1: リニアックにおけるビームロスの分布。青点は測定値を、黒線は  $H^0$  を仮定した計算値を示す。

本研究は、シンチレーションファイバー検出器に

よりビームダクト外に放出された  $H^+$  の飛跡を測定し、さらに飛行時間を測定することにより  $H^+$  の粒子同定を行うことを目的とするものである。

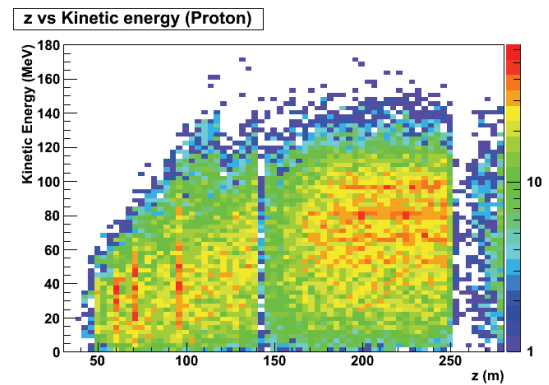
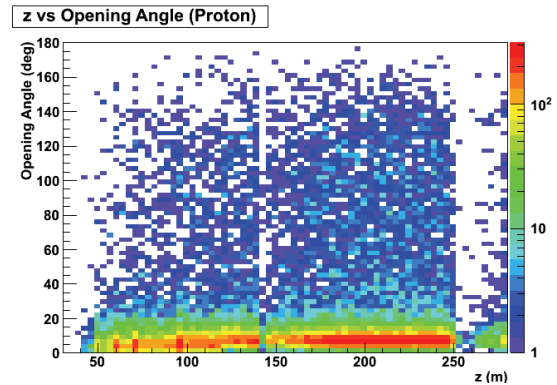


図 2: GEANT4 シミュレーションによるビーム軸に関する角度 (上) とエネルギー (下) をビーム進行方向距離の関数としてプロットした。

### 2. シンチレーションファイバー検出器

この  $H^+$  測定のために図 3 のような 16 本のシンチレーションファイバーからなるホドスコープを開発

<sup>#</sup>hiroyuki.sako@j-parc.jp

した。ファイバー断面は 2mm x 2mm の正方形である。ファイバー長は 64mm なので全体で 64mm x 64mm の有感領域を持つ。各シンチレーションファイバーはそれぞれライトガイドである長さ 600mm、3mmΦ のファイバーと接続され、光電子増倍管までシンチレーション光を伝播する。光電子増倍管は 64チャンネルのマルチアノード型（浜松ホトニクス H8500C）を採用した。ホドスコープ 2 面分、つまり 32チャンネルを一本の光電子増倍管で、残りの 2 面分の 32チャンネルをもう一本の光電子増倍管で読み出す。

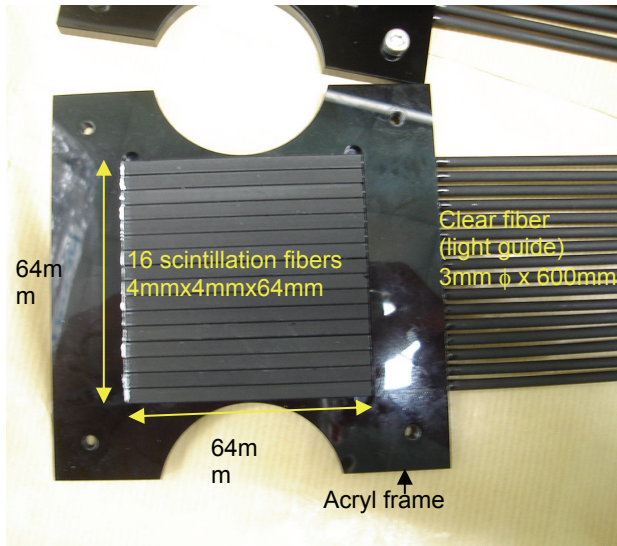


図 3：ホドスコープ面の写真

このようなホドスコープを ACS 部上流部（図 2 の z=150m 付近）に設置した。図 4 のように各ホドスコープ面はビーム軸と垂直に、ファイバーを鉛直向きにして、4 面（上流から H0,H1,H2,H3）をビームダクトの真横に密接させる。H0-H1、H2-H3 の対は近接させ、アクシデンタルバックグラウンド除去に使用する。一方 H1-H2 間の距離は約 925mm と広く取り、飛行時間を測定する。

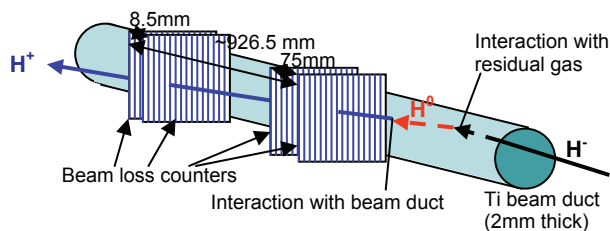


図 4：シンチレーションファイバー検出器の配置図。

図 5 に検出器と読み出し回路、データ収集系の全体構成図を示す。検出器は地下約 20m の地下トンネルに設置されるため、ビーム運転中はアクセスが不可能となる。従って、読み出し回路とデータ収集系は地上階に設置する必要がある、地下検出器から地上

部の読み出し回路まで約 55m の信号ケーブルを使用している。光電子増倍管からの信号は、増幅器で増幅し 2 つの信号に分岐させる。1 番目の信号は ADC(Analog-to-Digital Converter)による電荷測定に使用する。2 番目の信号は discriminator（信号弁別器）を通して立ち上がり時間を TDC(Time-to-Digital Converter)により測定する。これらの ADC と TDC は VME 規格であり、データ収集は VME のオンボード CPU で行う。この CPU は Linux 上で動き、収集系のソフトウェアは C++言語で開発した。データ収集系のトリガーと ADC のゲート信号、TDC のスタート信号は J-PARC リニアックのマクロバンチのタイミング信号から作っている。

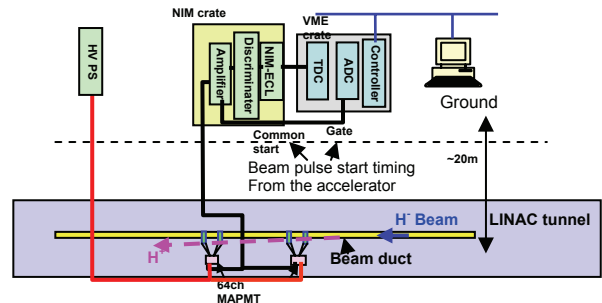


図 5：検出器、読み出し、データ収集系全体構成図。

### 3. 測定結果

2011 年 2 月、3 月のリニアックの共用運転中にビームロスの測定を行った。図 6 に信号波形を示す。

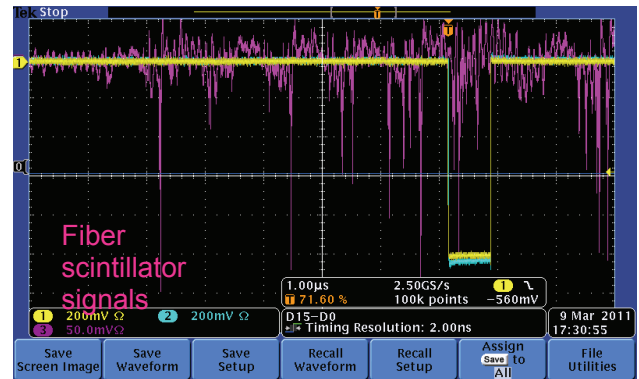


図 6：増幅後のシンチレーションファイバーの信号（紫色）。黄色と水色はそれぞれ ADC のゲート信号、TDC のスタート信号を示す。

リニアックビームは 25Hz 繰り返し、パルス長 600 マイクロ秒のマクロバンチのパルスを持ち、その中に約 1 マイクロ秒間隔、パルス長約 600 ナノ秒の中間バンチ構造を持つ。図 6 のように各ビームロスの信号は立ち上がり数ナノ秒、パルス幅数 10 ナノ秒の非常に鋭く短い波形を持ち、信号のレートは数 MHz と非常に高いことがわかった。各ファイバー間のタイミングオフセット校正のために隣接したファイバー間を貫いた荷電粒子のタイミングを用いる。図 7 は H1 において、隣接したファイバー間の TDC 値の差 (1bin=0.2 ナノ秒) を各ホ

ドスコープのファイバー番号の関数としてプロットしたものである。各ファイバーにおいて、このファイバー自身と隣接したファイバーを同時に通過した荷電粒子による時間相関のピークが見られる。このピークの TDC 差を 0 にあわせるように最初のファイバーからファイバー番号順に TDC オフセットを決定する。図 7 はこのような較正後の結果である。

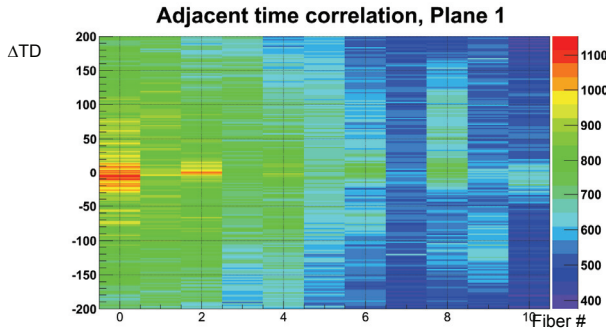


図 7 : H1 における各ファイバーの隣接したファイバー間の時間差。

さらに H0-H1、H2-H3 間の時間較正をそれぞれ行った。各対の 2 面のホドスコープにおいて、それぞれ同じファイバー番号のファイバーを 1 本ずつ選び、時間相関を取る。2 面間の距離は非常に近いので、2 面を貫いた荷電粒子による、各ファイバーでの時間差のピークを 0 に近似的に合わせることができる。この方法と上記隣接ファイバー間の較正を組み合わせ、各ファイバーの時間オフセットの較正を行った。次に直線的な荷電粒子飛跡を探すため、以下のような解析を行った。まず最上流、最下流の H0 と H3 から任意のヒットの対を選び、直線を引く。この直線は、ビーム進行方向の位置  $z$  (mm) と水平方向の位置  $x$  (mm)、ビーム進行方向の位置  $z$  とヒット時間  $t$  (nsec) の 2 つの面上での直線、つまり 3 次元直線とする。図 8 は、この直線と内側のホドスコープ 2 面 H1、H2 のとの交点とこれらのホドスコープ上で測定したヒット位置の水平方向 (横軸)、時間方向 (縦軸) 方向の座標の差をプロットしたものである。H0-H1、H2-H3 対ともに鋭いピークが見えており、ビーム軸に近い角度で放出された直線的な荷電粒子飛跡の証拠を示すものである。さらにこの分布を H0-H1 対について時間方向に射影したものが図 9 である。このピークを Gaussian でフィットした結果、標準偏差 4.9 TDC カウントが得られた。1 TDC カウントは 0.2 ナノ秒であり、一本のファイバーの時間分解能として  $4.9 \cdot 0.2 / \sqrt{2} = 0.69$  ナノ秒が得られた。

#### 4. まとめと展望

J-PARC リニアック ACS 部において、ビームロスによりビームダクト外に放出された陽子を測定するためシンチレーションファイバー検出器を開発した。

2011 年 2-3 月に測定を行った結果、ビーム軸と近い角度で放出された荷電粒子飛跡を観測した。2011 年 3 月 11 日の震災後測定は中断しているが、2011 年 12 月の運転再開後に飛行時間測定を行う予定である。

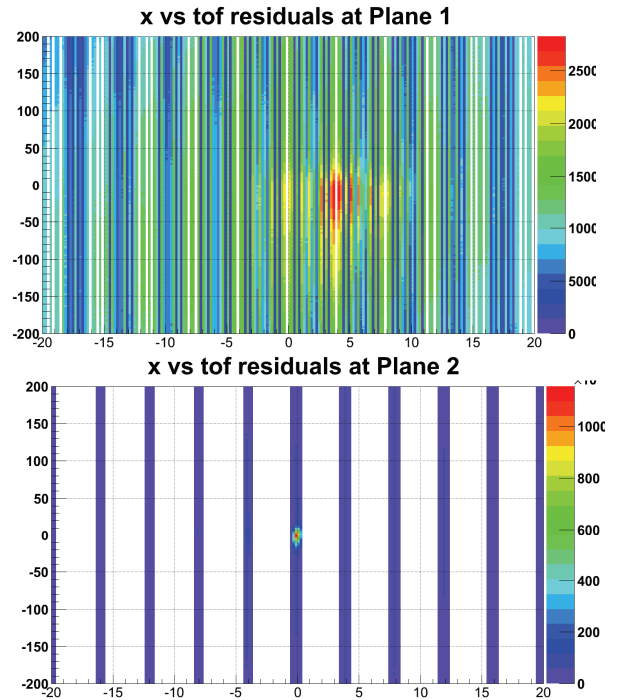


図 8 : H0-H1 (上)、H2-H3 (下) の間の水平方向位置 ( $x$  軸)、TDC ( $y$  軸) の相関。

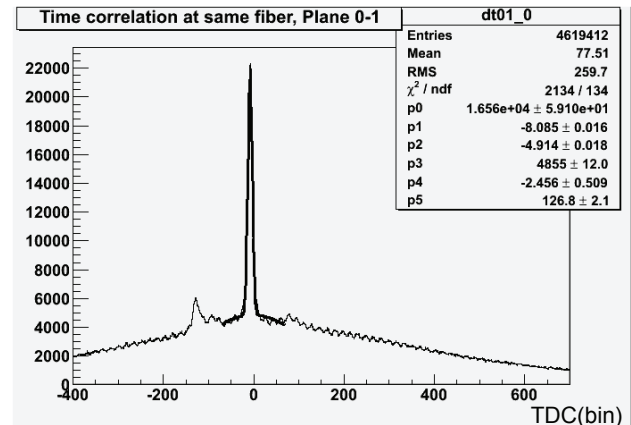


図 9 : H0 と H1 の同じファイバー番号のファイバー対の TDC 差。

#### 参考文献

- [1] M. Ikegami, A. Miura, G. H. Wei, H. Sako, "Recent Progress in the Beam Commissioning of J-PARC Linac", IPAC2010, Kyoto, Japan, MOPD041, pp.774.
- [2] A. Miura, H. Akikawa, M. Ikegami, H. Sako, "Operational Performance of Wire Scanner Monitor in J-PARC Linac", IPAC2010, Kyoto, Japan, MOPE021, pp.1008.
- [3] S. Agostinelli et al., "GEANT 4 - a simulation toolkit", Nucl. Instr. Meth. A 506 (2003) 250-303