

## BEAM LOSS MONITORING IN RIKEN RIBF USING IONIZATION CHAMBERS

Masato Nakamura, Hiroshi Watanabe, Hiroki Okuno, Masayuki Kase  
RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science  
2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

### Abstract

Since 2004 various beams have been successfully accelerated at the RIKEN RIBF. As a beam intensity becomes higher, beam losses in accelerators become one of serious problems. In fact, a beam loss limited the maximum beam intensity at the recent acceleration of  $^{48}\text{Ca}$ . To detect beam loss, we used very simple ionization chambers that could monitor radiation from accelerator during beam extraction time. In this report, we discuss a trial performed to detect radiations from the RRC and the SRC. For the trial, we positioned eight ionization chambers at suitable positions and simultaneously measured the signals from these chambers. Consequently, we could observe the signals of radiations by beam loss which correspond to the operation conditions of accelerators.

### 理研 RIBF における電離箱によるビーム損失の計測

#### 1. はじめに

理研 R I ビームファクトリー (RIBF) の各々の加速器は 2004 年の完成以来順調に駆動し続け、様々なビームを加速し、BigRIPS へ供給している。この BigRIPS で生成された RI ビームを利用して様々な実験が行われ、大きな成果を出しつつある。

その一方で、これらの加速器全体でさらにビーム強度を上げるなどの試みがなされている。しかしながら、この過程で、各加速器内でのビーム損失が、ビームの強度を制限する大きな問題の一つとして持ち上がってきている。事実、最近加速された  $^{48}\text{Ca}$  ビームでは、超伝導サイクロトロン (SRC) のデフレクターでのビーム損失によってビームの最大強度が 200pnA に制限された。

重イオンビームを高エネルギー ( $>100\text{MeV}$ /核子) で使用するとき、これらのビームの一部が加速器の電極や側壁などの各部に衝突すると、核破碎反応を顕著に起こす。その際に、多くのエネルギーの高い軽粒子や放射線を、主に入射ビームに対して前方に放出することが知られている。これらの放出粒子の中に、真空容器を通り抜けて大気中に放出されるもの (主に陽子や中性子と考えられる) がある。

そこで我々は、きわめて簡単な構造をしており、かつ大強度・大量の放射線を浴びても壊れにくいと考えられる電離箱を用いて、RIBF の加速器運転時のビーム損失によって発生するこれらの放射線を測定することを試みた。

#### 2. 電離箱の試作と特性の評価

我々は、市販のアルミシャーシ内に二枚の電極を取り付けただけの簡単な構成の電離箱を試作した。アルミシャーシの大きさはおよそ  $400\text{mm} \times 250\text{mm} \times 100\text{mm}$  である。このシャーシ内に厚さ  $1.5\text{mm}$  のアルミプレートを用いて電極を設置する。電極の大きさは  $360\text{mm} \times 200\text{mm}$  とした。これら

の 2 枚の電極を、テフロンスペーサーを用いて  $50\text{mm}$  の間隔を設けてアルミシャーシ内に固定した。この電離箱の写真を図 1. 1、1. 2 に示す。図 1. 2 の写真で、下側の電極に高電圧を印加し、上側の電極で、放射線によって電離されたイオンを集めて電流値として検出する。ただし、これはあくまでも標準的な電離箱の設計であり、設置する場所によって電極のサイズや間隔を変えることもある (後述)。



図 1.1 電離箱の全体図



図 1.2 電離箱の内部

# gakkai@kasokuki.com

この電離箱を理研 RIBF の各所に設置するのだが、加速器運転時の放射線強度や線量が非常に大きいことや設置・測定 の簡便性などを考慮して、電離箱の内部には特殊な気体を封入せず、大気中に放置するのみにした。つまり、電離箱の中には空気が封入されており、本測定では、放射線によって発生する空気のイオンを検出することになる。電離箱中に Kr や Xe などの気体を封入すればさらに高感度の検出が出来るのだが、これらの W 値を空気と比較すると約 1/2 程度であり、大量の放射線を発生させる加速器運転中に本測定を行うことを考えれば、空気中に電離箱を設置するだけで十分と推定される。

次に、この電離箱の印加電圧と電離電流の特性を調べる。740Bq の  $^{241}\text{Am}$  線源を下側の電極に置く。その後、下側電極に電圧を印加し 線によって発生した空気のイオンを上側電極で検出する。この時の電流 - 電圧特性を図 2 に示す。この図から、印加電圧がおおよそ 1 - 2kV 程度で電流値が一定になることが分る。

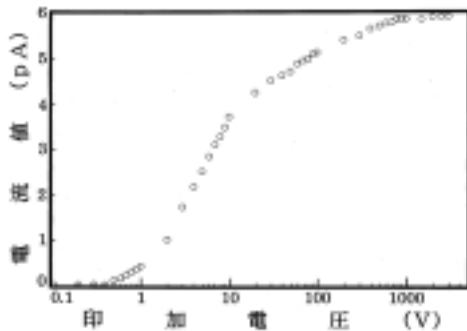


図 2 電離箱の電圧 - 電流特性

### 3. 電離箱の設置と測定

作成した電離箱を加速器の各所に設置する。この時に、特にビーム損失が大きそうな箇所や、本計測が加速器運転の際の指標になるとと思われるような箇所に電離箱を配置した。

現在、理研リングサイクロトロン (RRC) の Electrostatic deflection channel (EDC) 付近に 1 箇所、SRC 内の EDC 付近や出口などに 7 箇所、RRC から RI ビーム生成分離装置 (RIPS) に到るビームラインに沿って 3 箇所と、計 11 個の電離箱を設置して、マシンタイムごとに電離箱によるビームロスの計測を行っている。ここでは、主に RRC と SRC に設置した電離箱の測定結果について述べる。

RRC と SRC の電離箱の設置箇所についてはそれぞれ図 3.1 と 3.2 に示す。これらの電離箱の具体的な設置場所については以下に記す。

- RRC の EDC 付近
- SRC の EDC 付近
- SRC の 2 番目の電磁石付近
- SRC の 3 番目の電磁石付近

- SRC のビーム取出用偏向電磁石の入口付近
- SRC のビーム取出用偏向電磁石の出口付近
- SRC のビーム出口付近
- IRC 室内の電磁石付近

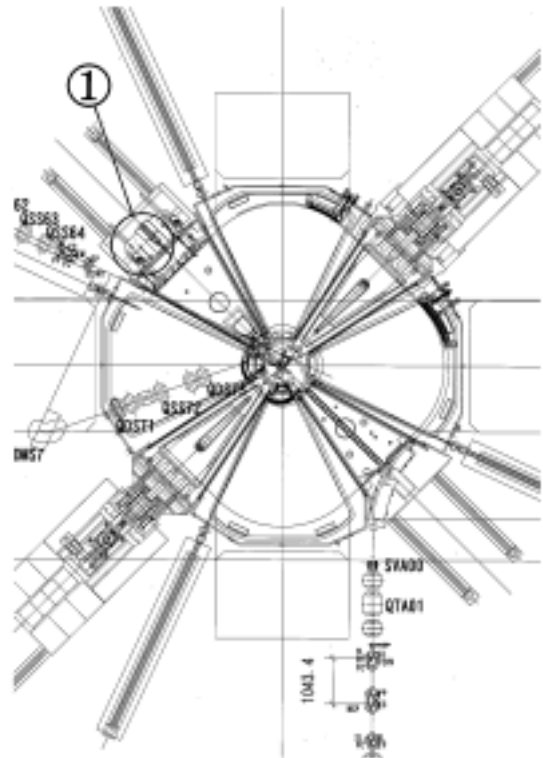


図 3.1 RRC 用の電離箱の配置

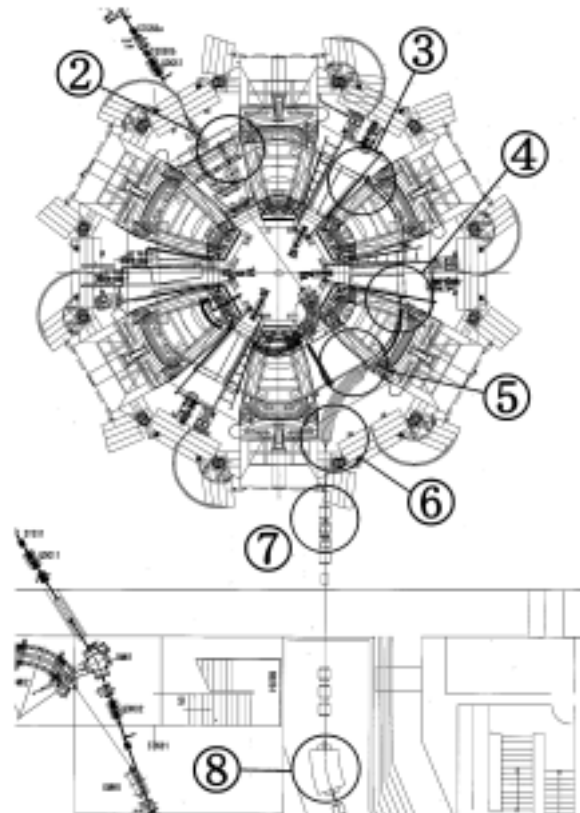


図 3.2 SRC 用の電離箱の配置

これらの電離箱で測定された電流値を信号増幅器 (AMP) を使って電圧に変換し、データロガーでモニターしていく。

この時、の SRC の EDC 付近では、ビーム調整時にイオンビームが EDC の電極に当たるなどしてトラブルが起きやすく、その際に大量の放射線が発生する。このため、この箇所に設置した電離箱の電極間を 2.5cm とした<sup>[1]</sup>。これは、放射線によって発生したイオンを検出する領域を小さくして、検出されるシグナル強度を抑えて、測定しやすくするためである。

理研 RIBF では、2010 年 5 - 6 月にかけて、 $^{48}\text{Ca}^{20+}$ 、345MeV/核子のイオンビームを加速する実験が行われた。この時に、上記の - 番までの電離箱を用いて、加速器の各部分でのビーム損失によって発生した放射線を計測する。計測時には、2kV の高電圧を電離箱に印加した。ここで検出される電流値は AMP によって電圧に変換・増幅してデータとして表示されるが、この AMP の抵抗は 1G である。従って、観測された電圧値と電流値との比は 10nA/10V ということになる。ただし、上記の実験期間中、

RRC の EDC 付近の電離箱の信号の値が小さくモニターしにくかったため、この電離箱用の AMP のゲインのみを 10 倍にして (1nA/10V 相当となる) 測定を行った。これらのデータは 5 秒に一回の間隔でデータロガーに読み込まれていく。

## 4. 電離箱の測定結果

### 4.1 測定結果の校正

測定した結果がどれだけのビームロスを示しているかを検討する。RRC や SRC の EDC を例にとって考えると、イオンビームが全て EDC 電極に当たって、ビームがそこで止まってしまった状態が「ビームロスが 100% の状態」である。そこで、イオンビーム強度を通常の 1/10 にして直接 EDC 電極に照射して、その時の電離箱の信号強度を測定する。この信号強度の 10 倍の信号強度が、通常運転の際のビームロスが 100% の状態に対応していると考えられる。

通常の強度の 1/10 の Ca イオンビームを共振器の電圧を変えることで EDC 電極に近づけていき、全て電極に当たるようにし、再び EDC から遠ざけて行く。この時の電離箱の信号強度の変化をモニターして行く。このような測定を、Ca イオンビームを使った実験が全て終了した 6 月 11 日の 11 時 25 - 30 分頃まで RRC の EDC で、22 - 27 分頃まで SRC の EDC で行った。これらの結果を図 4.1 と図 4.2 に示す。

図 4.1 の RRC の場合は、SRC の場合と比べてはっきりとしないデータであるが、11 時 28 分頃に約 0.7V のピークが現れる。従ってビームロス 100% の時の電離箱の観測値は約 7V ということになる。

図 4.2 の SRC では、11 時 23 頃から EDC 電極にビームの一部が当たり始めて 25 分頃にはビーム

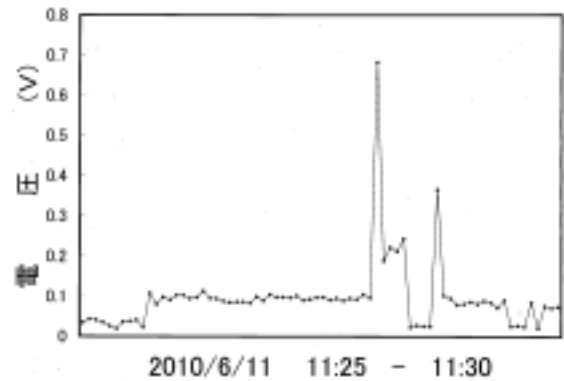


図 4.1 RRC の EDC 付近の電離箱校正試験の結果

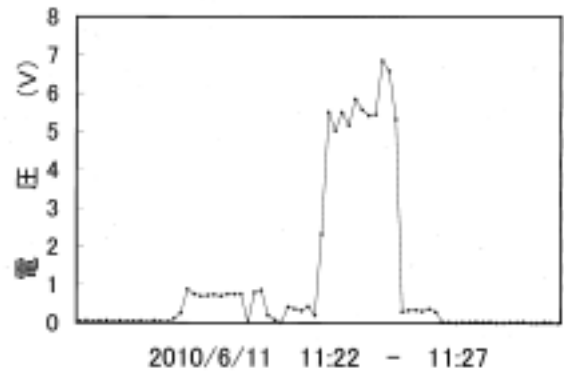


図 4.2 SRC の EDC 付近の電離箱校正試験の結果

が全て電極に照射されている状態にある。その後再びビームが電極を離れ始めて、26 分頃には完全に電極からビームが離れていることが分る。ここでのピーク値は約 7V である。従って通常のビーム強度でのビームロスが 100% の時は、EDC 付近の電離箱で約 70V の電圧値が観測されることになる。

### 4.1 測定結果の一例

電離箱の測定結果の一例を図 5.1、図 5.2 に示す。これは 2010 年 5 月 23 日 9 時から翌日の 24 日 9 時まで、の RRC の EDC 付近の電離箱と の SRC の EDC 付近の電離箱で計測されたデータである。

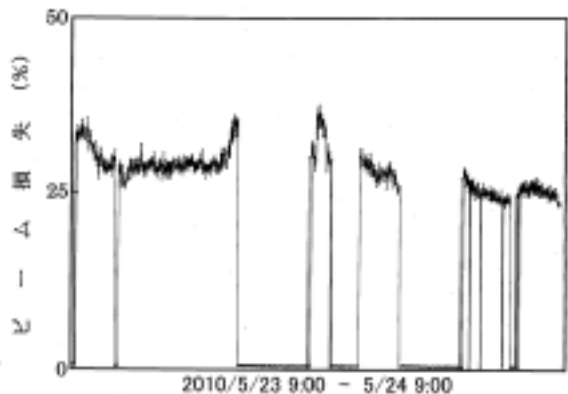


図 5.1 RRC の EDC 付近の電離箱の計測結果

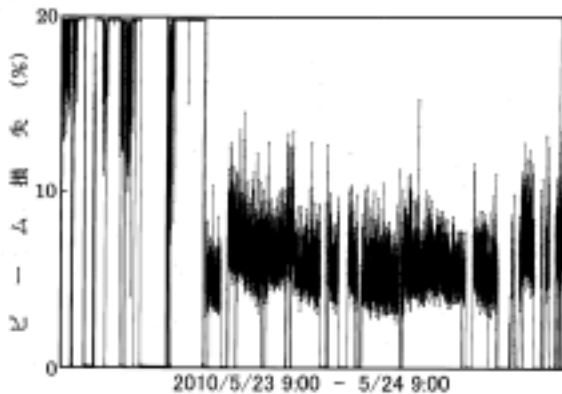


図 5.2 SRC の EDC 付近の電離箱の計測結果

の RRC の EDC 付近の電離箱の測定結果を見ても、最大で約 2.5V の電圧が観測されているが、この様な部分では比較的ビームロスが大きく、運転に多少の問題があり、また、0.1V 以下の電圧しか見られない部分は、ビームロスが少なく、順調に運転が行われたことを示している。ここから図 5.1 の観測結果を見ると、ビームロスは最大で約 35%、順調に運転されている時で約 1% 以下、ということになる。

今回測定したデータの中で最大の値を示したものは SRC の EDC 付近の電離箱である。現有の AMP の特性から、約 14V で信号が飽和してしまい、これ以上の電圧値は計測できない。従って、このグラフの前半部分で 14V 以上の値を示す部分の正確な値は不明である。前項の校正試験結果から図 5.2 のデータを見ると、信号が飽和して 14V 以上になっている時のビームロスについては正確に評価できないが、少なくとも 20% 以上であると推定される。その他の SRC 運転が順調にいっている時のビームロスはおよそ 8 - 9% 程度と見積もることが出来る。

ビームロスが 0% から急激に 20% 以上に電圧が上がっている箇所が何箇所もあり、この時点では、EDC にイオンビームが当たるなどして大きなビームロスが起き、大量の放射線が発生したことを意味する。以下、この結果を運転記録と照らし合わせてみる。12 時頃まで EDC の調整を行っていたが 12 時 43 分頃に共振器にトラブルが起き、運転が中止された。この時には 20% 以上あったビームロスが 0% となっている。14 時 10 分頃に共振器が復旧してビーム照射が再開されて EDC の調整が開始されたが、この時はビームロスが 0% から一気に 20% 以上に跳ね上がっている。15 時 55 分頃には EDC の調整が終わり、通常運転が開始される。この時にはビームロスが 20% 以上からおよそ 3 - 9% の範囲にまで下がり、SRC の運転が順調にいき始めたことを示している。16 時 40 分頃に電源室の室温が 40 度を超えたので運転を中断して点検作業を行い、58 分頃に運転が再開された。その後、ビームロスが 6 - 11% 位で上下している。

この間、5 月 23 日 21 時 30 分までは 2750nA の電流値が観測された。さらに、翌 24 日 6 時までは

3000nA の電流値が、それ以後 10 時までは 2700nA の電流値がそれぞれ観測された。

これと似たような信号は 1 番の電離箱の信号でも観測され、それぞれ、加速器の運転状況と、各地点でのビームロスとを示していると考えられる。

このように、現在のところ、電離箱の試作を行い、RIBF 各所へ設置して、加速器運転時の信号を測定できるところまで来ている。また、測定された各結果も、加速器の運転状況を良く反映していると思われる。従って、これらの電離箱計測によって、加速器各部分でのビームロスをモニターしていくことで、加速器運転の際の指標とすることが可能であると考えられる。

## 5. 今後の課題

本測定の目的は加速器各部のビームロスを計り、出来るだけこのロスが少なくなるように加速器の運転を行うことである。従って、これらのビームロス計測結果を加速器運転時にリアルタイムでモニターできるようなシステムを完備させる必要がある。これによって、加速器運転の際のビーム取り出し、輸送、フォーカスなどの状態を把握でき、加速器各部分の調整が最適となるようにすることが出来る。

また、加速器のある部分で、その装置を破損するほどビームロスが大きくなるような場合は、電離箱からの信号を加速器運転システムにフィードバックして自動的に加速器の運転を停止させるようなシステムを作っていくことも必要になってくる。このためには、測定した電離箱の信号強度が、何%のビームロスを示しているかを把握する必要がある。今回は電離箱測定値校正試験は RRC と SRC の EDC の 2 箇所行ったが、他の様々な核種を使った実験の時や、他の箇所での詳細な校正試験が必要と思われる。さらに、電離箱がどれだけの信号強度を示せば装置に異常が出るのかを調べ、加速器へのフィードバック信号をどれだけのレベルに設定するのかを検討する必要がある。

## 参考文献

- [1] M. Nakamura, et al.: RIKEN Accel. Prog. Rep. 42, 141 (2008)