

## IMPROVEMENT OF BEAM INTENSITY CONTROL SYSTEM WITH METALLIC MESH

Tomohisa Ishizaka<sup>#</sup>, Takashi Agematsu, Yosuke Yuri, Takahiro Yuyama, Ikuo Ishibori, Susumu Okumura  
 Takasaki Advanced Radiation Research Institute, Japan Atomic Energy Agency  
 1233 Watanuki, Takasaki, Gunma, 370-1292

### Abstract

Beam current control over a very wide range is required for various experiments and beam tuning in the JAEA cyclotron. For this purpose, a beam attenuation system (ATT) is installed in the injection line of the cyclotron. ATT is composed of metallic meshes with many holes. The opening ratio of each mesh is  $1/2$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  or  $10^{-3}$ . By inserting one (or more) of the meshes into the beam line, the beam current is supposed to be controlled quickly in the attenuation range of  $1/2$  to  $5 \times 10^{-13}$  without significantly affecting the beam characteristics. However, there arose practical problems when ATT was used. For example, the beam profile on a target was excessively changed, and the beam current was reduced at an attenuation rate very different from the opening ratio of inserted meshes. ATT has been, therefore, refurbished as follows. The distance between meshes has been lengthened so that, after passing through one mesh, the beam sufficiently spreads out on the next mesh when two (or more) meshes are used. The diameter and the pitch of holes on a mesh have been decreased so that the beam is attenuated uniformly. After this improvement, we have confirmed that the change of the beam profile is reduced considerably and the beam current is controlled more precisely in the attenuation range between  $10^0$  and  $10^{-6}$ .

### 金属メッシュを用いたビーム制御システムの改良

#### 1. はじめに

JAEA 高崎研のサイクロトロンでは、ビーム調整や各種実験で、数個/秒から数 $\mu\text{A}$ まで非常に広範囲なビーム強度制御が求められており、ビーム強度を減衰させるためのアッテネータ(以下、ATT)が設置されている<sup>[1]</sup>。ATTはビームサイズやエミッタンスを変えずに強度を減衰させるために、金属シートに多数の穴が等間隔に配置されたメッシュを入射系に設置し、ビーム軸上に挿入することにより、サイクロトロンや入射系のパラメータを調整せずにはやくビーム強度を制御できる。図1にATTメッシュ穴の配置図を示す。ATTは開口率が $1/2$ 、 $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$ のメッシュ複数枚を組み合わせることにより、広範囲な(単純な積で $1/2$ から $5 \times 10^{-13}$ )ビーム強度制御が可能である。

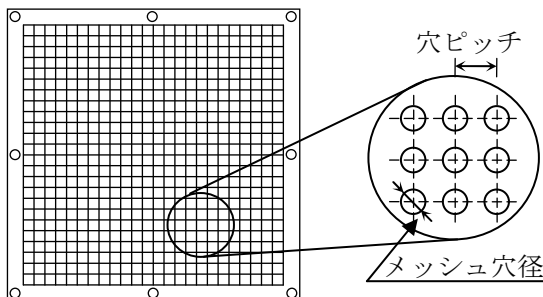


図1: ATTメッシュ穴の配置図

しかし、このATTは限られたスペースに設置し

たため、メッシュ間の距離が十分確保できず、メッシュの組合せによってはメッシュ穴を通過したビームが十分に広がらないうちに次のメッシュに到達し、ビームを均一に間引けず、計測した減衰率が開口率の積と大きく異なったり、ビームが消えてしまったり、ビーム形状が極端に変化してしまうなどの事象が発生した。

そこで、これらの解決のためにATTシステムを改良し、性能評価を行ったので報告する。

#### 2. 改造前の評価

入射系のビームエンベロープとATT設置位置を図2に示す。改造前は、IS2ステーションに7連式ATT(取付け可能なメッシュ7枚、メッシュ間隔各20mm)1台、IS5ステーションに2連式ATT(取付け可能なメッシュ2枚、メッシュ間隔40mm)1台、合計2台が設置されていた。図3に改造前のIS2ステーションと7連式ATTの概観を示す。

設計のビームエンベロープなどからATT位置におけるメッシュ穴を通過したビームの広がりを評価した結果、2つのことが明らかになった。①図4(a)に示すように開口率の小さい $10^{-3}$ のメッシュ同士を短い距離で2枚組合せた場合に、1枚目のメッシュ穴(0.1mm $\phi$ )を通過したビームの広がりは不十分で、2枚目のメッシュ穴の間隔(以下、穴ピッチ)より小さく、開口率通りにビームを減衰できない。また、メッシュのズレなどによりビームが全て止まることもある。②ビームサイズが小さい位置IS5で開口率が小さい $10^{-3}$ のメッシュを使用した場合、穴ピッチ(2.8mm)が広すぎてビームを一様に間引く

<sup>#</sup>ishizaka.tomohisa@jaea.go.jp

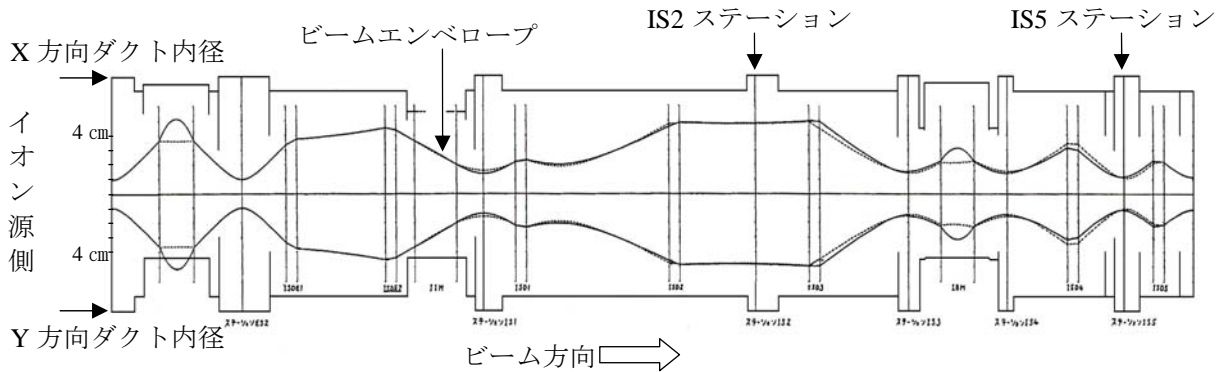


図2：ビームエンベロップとアッテネータの設置位置 (IS2 及び IS5 ステーション)

ことができず、開口率通りに減衰できない。図 4(b)に示されるように、実際のビームは数個の穴しか通過しない。①, ②いずれの場合も減衰前のビーム強度分布は保存されず、加速した後のビーム形状に影響をおよぼす可能性がある。

サイクロトロンで加速したビーム形状の ATT による影響を実ビームで調べた結果、前述の評価と一致した。 $^{129}\text{Xe}^{23+}$  450MeV で Gaf フィルム HD-810 と PC スキャナを用いて測定<sup>[2]</sup>した結果を図 5 に示す。メッシュを単体で使用した場合、図 5(a)及び図 5(b)に示すように形状変化は無く、開口率の小さいメッシュ  $10^{-2} \times 10^{-3}$  を短距離で組合せた場合、図 5(c)に示すようにビーム形状に大きな変化が見られた。また、入射系のビーム軌道を変更することによりビームが消えること、ビームサイズが小さい位置 IS5 に  $10^{-3}$  を 1 枚入れた場合でもビーム形状が変化することも観測した。

### 3. ATT システムの改良と性能試験

#### 3.1 ATT システムの改良

旧 ATT システムでビーム形状が変わってしまう原因は、穴ピッチが広すぎること、ATT メッシュ間の設置距離が短すぎることであった。これらの問題を改善するために、2 つの改造を行った。①開口率を変えずに穴ピッチを狭くするため穴サイズを小さくした。②メッシュ間の距離を延長した。

①穴ピッチの狭いメッシュを化学エッチング法により製作した。新旧メッシュの比較を表 1 に示す。新  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  メッシュは、旧メッシュ穴径 0.1mmφ に比べ 0.01mmφ と非常に小さく、同じ開口率の ATT では穴径、穴ピッチ共に従来の 1/10 にすることができた。

②IS2 内でのメッシュ間距離を延長するために、IS2 ステーションを更新し、新 3 連式 ATT (取付け可能なメッシュ 3 枚、メッシュ間隔 55mm) 1 台を増設し、既設 7 連式 ATT と新 3 連式 ATT との間で距離を確保した。この改良により旧 ATT では IS2 ステーション内でのメッシュ間距離を最大で 120mm だったものを約 1100mm まで確保した。更新した IS2 ステーションを図 6 に、ATT メッシュ設置位置の概略を図 7 に示す。



図3：改造前の IS2 と取外した 7 連式 ATT

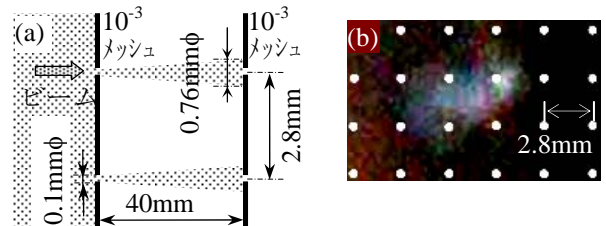


図4：旧メッシュを通過するビームの概念図

(a)IS2 位置でのビームの広がり。エミッタンス  $400\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$  とビームサイズ  $97\text{mm}\phi$  から、ビームの傾きを  $8.2\text{mrad}$  と算定した。そのため、1 枚目のメッシュ穴  $0.1\text{mm}\phi$  を通過したビームは、40 mm 下流のメッシュで  $0.76\text{mm}\phi$  までしか広がらない。(b) IS5 位置のメッシュ面に残ったビーム焼跡と  $10^{-3}$  メッシュのピッチ穴の関係。2~3 個のメッシュ穴しか通過しない。

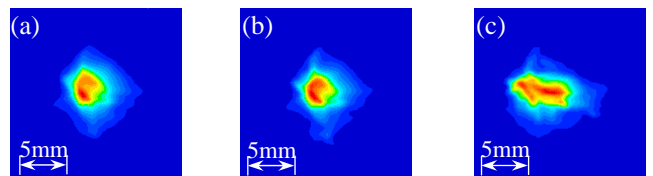


図5：ATT がビーム形状に及ぼす影響

HD-810 フィルムに対して、(a)開口率  $10^{-2}$  のメッシュを挿入し 2 秒照射 (比較基準)。(b) 開口率  $10^{-3}$  のメッシュを挿入し 10 秒照射 (形状変化無し)。(c) 開口率  $10^{-2}$  と  $10^{-3}$  メッシュを 2 枚挿入し 1000 秒照射 (形状変化有り)。ビームは  $^{129}\text{Xe}^{23+}$  450MeV で ATT を挿入しない場合の電流値が  $8\text{nA}$  であった。(LD 照射ポート)

### 3.2 ビーム分布で評価する ATT 性能

ビーム分布測定は、ATT のレンジが広いために全てをカバーして測定することは容易ではない。我々は容易にビーム形状を確認できる Gaf フィルム線量計の HD-810 と EBT を用いて ATT 無しからメッシュを組合せた積  $10^{-6}$  までのレンジについて計測を行った。照射量は照射時間のコントロールで行った。数 m 秒から数秒までの短時間照射は、パルス型ビームチョッパーを用いた。図 8 にビーム分布測定結果を示す。ATT を複数枚挿入してもビーム分布形状が著しく変化することは無くなり、改善したことを確認した。

### 3.3 ビーム強度で評価する ATT 性能

ATT でビーム強度の正確な制御が可能であるか確認を行った。ビーム強度の計測も分布測定と同様に ATT のレンジが広いために全てをカバーして測定することは容易ではない。我々は暗電流の少ないファラデーカップ (以下、FC) で数  $\mu\text{A}$  から pA レンジまでのビーム電流値を計測した。これにより、ATT 無しからメッシュを組合せた積  $10^{-6}$  までのレンジについて評価を行った。その結果、ATT を挿入してもビーム消えることはなくなり、減衰率は ATT メッシュを組合せて使用した際の開口率の積の  $1/2 \sim 1$  倍程度で、ほぼ開口率通りに制御できることを確認した。

## 4. まとめ

JAEA 高崎研のサイクロトロンには、ビーム強度を広範囲に制御できる ATT が設置されている。しかし、ATT メッシュの開口率通りにビームが減衰できないなどの問題があり、これらの問題を解決するために ATT システムの改良を行った。

今回の改良の結果、測定対象とした ATT 無しから ATT メッシュ組合せで  $10^{-6}$  までのレンジでは、ビーム分布が大きく変化してしまう事象はなくなり、ATT によるビーム電流値の制御性能も改善した。しかしながら、メッシュの組合せによっては、開口率の積の  $1/2$  程度まで減衰率が低下してしまうなど、入射系やサイクロトロンのパラメータ調整無しにビーム電流強度を精密に制御することは容易ではないことも判明した。

さらに、非常にフルエンス率の低い条件となる実験、例えば、半導体材料研究などで用いられるデフォーカスビームと散乱箔を用いた均一照射などでは、 $10^{-6}$  未満に減衰させるため、この場合にもビーム分布が保持されているのか、今後確認する必要がある。

## 参考文献

- [1] S. Okumura, Y. Nakamura, W. Yokota, M. Fukuda, T. Nara, T. Agematsu, I. Ishibori, and K. Arakawa, JA EA TIARA Annual Report 1992(Vol.2), 196(1993)
- [2] T. Agematsu, H. Hanaya, and T. Kojima, RADIOISOTOPES, Vol.57, No.2, 87, February 2008

表 1: 新旧メッシュの比較表

開口率	旧メッシュ			新メッシュ		
	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
穴径 $\phi$ (mm)	0.1			0.01		
穴ピッチ(mm)	2.8	0.89	0.28	0.28	0.089	0.14
材質	SUS304			Cu		
板厚 t (mm)	0.076			0.03		

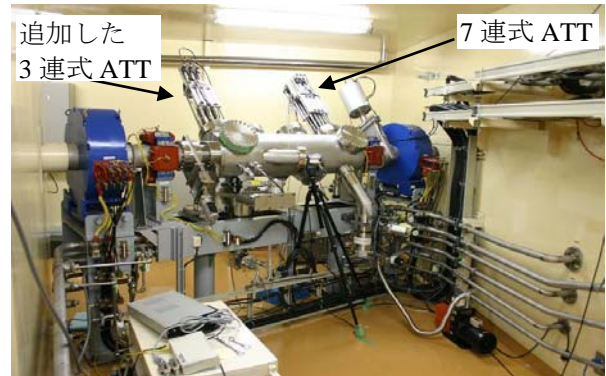


図 6: 更新した IS2 ステーション

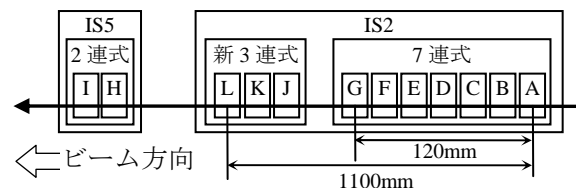


図 7: IS2 及び IS5 ステーションの ATT 設置概略図 (A-L はメッシュ呼称)

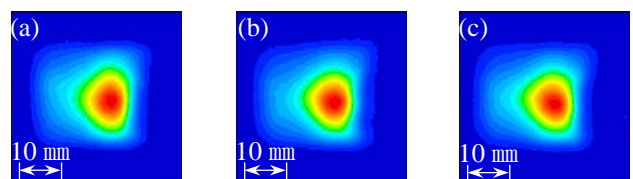


図 8: 改良後の ATT がビーム形状に及ぼす影響 (a) 開口率  $10^{-2}$  のメッシュを挿入し、HD-810 へ 10m 秒照射 (比較基準)。 (b) 開口率  $10^{-3}$  のメッシュを挿入し、HD-810 へ 5 秒照射 (形状変化無し)。 (c) 開口率  $10^{-2}$  と  $10^{-3}$  メッシュを 2 枚挿入し、EBT へ 10 秒照射 (形状変化無し)。ビームは  $\text{H}^+$  10MeV で ATT を挿入しない場合の電流値が  $3\mu\text{A}$  であった。(LB 照射ポート)