

EMITTANCE MEASUREMENT SYSTEM FOR 7MeV PROTON LINAC

Masanori IKEGAMI, Yoshihisa IWASHITA, Hiromi OKAMOTO, Hirokazu FUJITA
Shigeru KAKIGI, Toshiyuki SHIRAI, Hideki DEWA, Akira NODA and Makoto INOUE

Nuclear Science Research Facility
Institute for Chemical Research, Kyoto University
Gokanosho, Uji-city, Kyoto 611, Japan

ABSTRACT

The proton linac at ICR which consists of an RFQ and an Alvarez linac has successfully accelerated protons up to the energy of 7 MeV. An emittance measurement system of the 7 MeV beam and its control system have been developed. This system can measure an emittance with an accuracy of 0.2 mm x 0.2 mrad. The measurement is synchronized with the RF timing of the Alvarez linac. This system can measure an emittance in 5 minutes.

7 MeV陽子線形加速器のエミッタンス測定装置

1. はじめに

京都大学化学研究所原子核科学研究施設のイオン線形加速器は2 MeVのRFQ型線形加速器と7 MeVのアルバレ型線形加速器からなり、7 MeVのビーム加速に成功している[1]。図1は当施設の線形加速器の配置を表わしたものである。今後、7 MeVのビームの照射利用のほか、コンパクトな蓄積リングをアルバレ型線形加速器の下流に設置し、7 MeVの陽子ビームを入射することが検討されている。こうした

ビーム利用のためにはエミッタンスや運動量分布の測定が不可欠である。これらのうち、7 MeVのビームのエミッタンスを測定する装置について述べる。

当施設の7 MeVのビームは、繰り返しが18~180Hzのパルスビームである。そのため、RFのタイミング信号を用いて、測定をRFのタイミングに同期させるよう工夫した。また、エミッタンス測定装置の設置に際して、7 MeVのビーム輸送系の設計を行った。

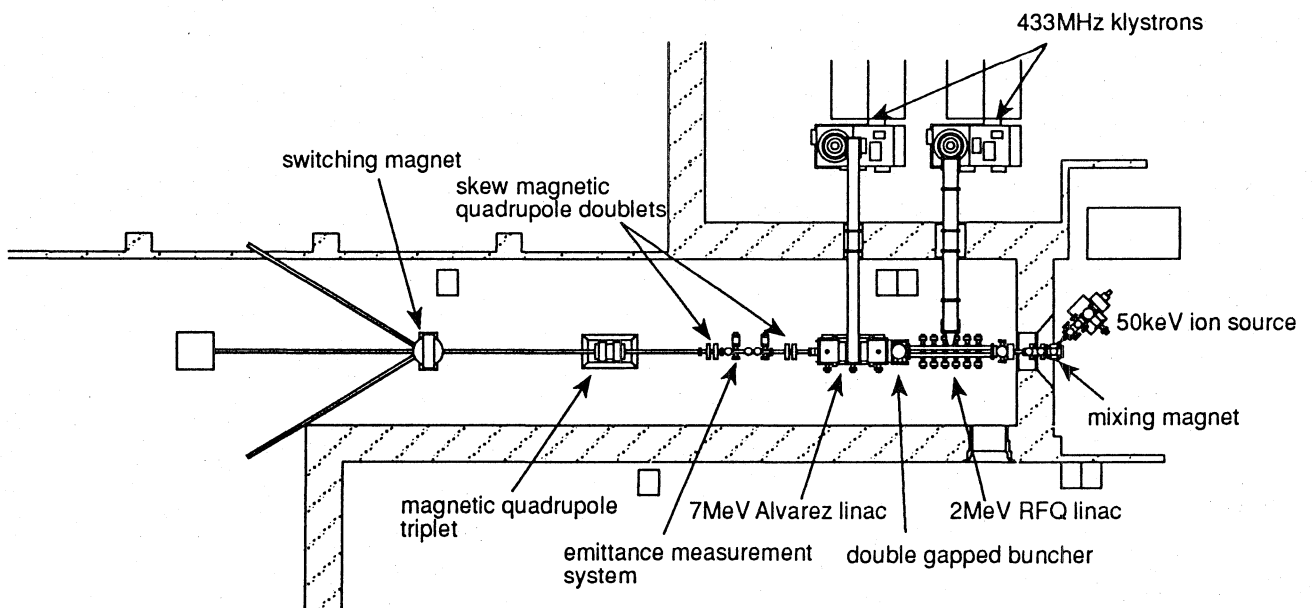


図1 陽子線形加速器の配置

表1 スキュー型四重極電磁石の主な仕様

磁場勾配	1.4kGauss/cm以上
ボア径	$\phi 50 \pm 0.1\text{mm}$
励磁電流	5A
励磁電圧	100V

2. エミッタンス測定装置の配置

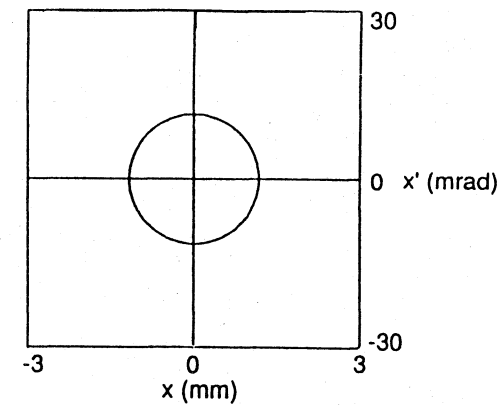
2-1. 7MeVのビーム輸送系の設計

図2はアルバレ型線形加速器の出力側の終端の永久磁石を用いた四重極磁石レンズ (Permanent Magnetic Quadrupole lense: PMQ) をフルセル (長さ28.8mm) にした場合と、ハーフセル (長さ14.4mm) にした場合の出力ビームの形状を、シミュレーションによって計算した結果である。この図からわかるように、フルセルにした場合のビーム形状は発散する傾向があり、長いドリフトスペースを輸送するには不適當である。そのため、ハーフセルのPMQを新たに作成し、設置した。

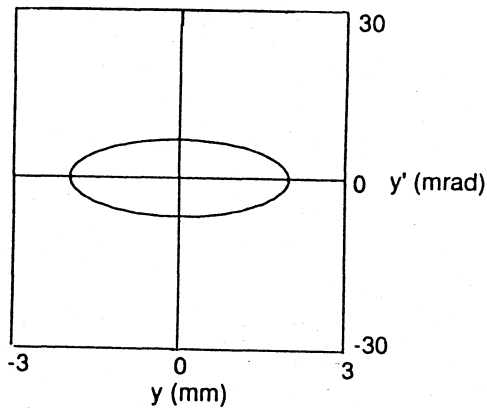
また、当施設のRFQ型線形加速器はRFのカップリングを容易にするため、ペーンが水平および鉛直方向に対して45度傾いている。このようなビームは、スイッチングマグネットによるビームの振り分けや、ベンディングマグネットによる運動量分析を行う際に、その扱いが不便である。そのため、下流のビーム輸送を容易にし、かつ下流の集束要素までの長いドリフトスペースを輸送するには、x、y両平面でビームを対称にし、ビームを平行ビームに近づけることが必要となる。そのため、ビームの集束要素として、ダブレットのスクュー型四重極電磁石を2セット用いることとし、その設計、製作を行った。表1はこのスクュー型電磁石の主な仕様をまとめたものである。また、図3は、これらの電磁石を図1のように配置したときのアルバレ型線形加速器の出口からトリプレットの四重極電磁石の入口までのビーム輸送を、TRACE-3Dを用いてシミュレーションした結果である。

2-2. エミッタンス測定装置の配置

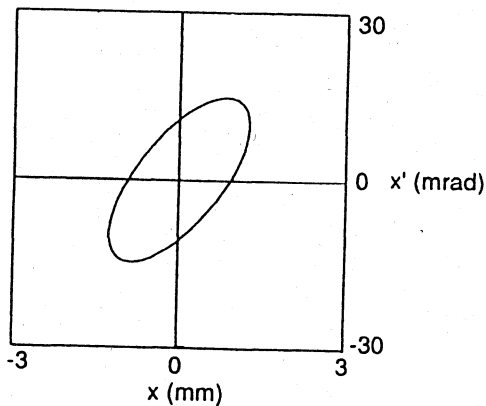
上述のビーム輸送系の設計に基づき、図1に示した位置にエミッタンス測定装置を設置することとした。アルバレ型線形加速器の出口から、x軸スリットまでの距離は1325mm、y軸スリットまでの距離は1475mmである。図4は、この位置におけるビーム形状をTRACE-3Dを用いてシミュレーションした



(a)



(b)



(c)

図2 アルバレ型線形加速器の出力ビームの形状

- (a) ハーフセル ($x-x'$ 平面)
- (b) ハーフセル ($y-y'$ 平面)
- (c) フルセル ($x-x'$ 平面)

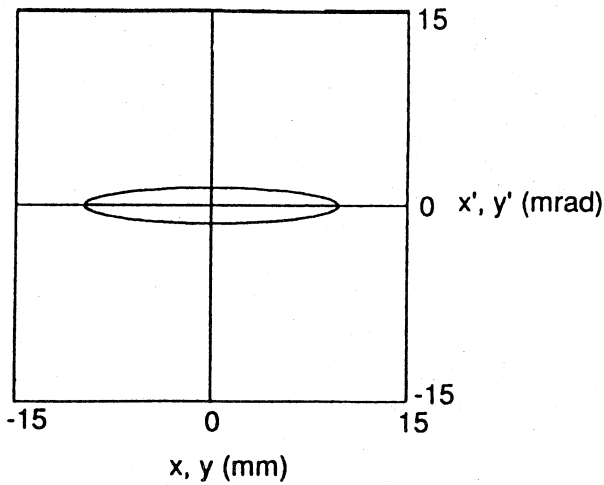


図3 7 MeVビーム輸送系のシミュレーション結果 $x-x'$ 平面のビーム形状を表わす楕円が実線で、 $y-y'$ 平面のビーム形状を表わす楕円が点線で描かれているが、重なって1つに見える。

結果である。この結果から、 $\pm 20\text{mm}$ 、 $\pm 20\text{mrad}$ の測定範囲をもつエミッタンス測定装置をこの位置に設置することによって、ビームのエミッタンスが測定できることが確かめられる。

3. エミッタンス測定装置の構成

3-1. 本体およびスリット部

測定に用いるエミッタンス測定装置は2軸 ($x-x'$ 平面および $y-y'$ 平面) のエミッタンス測定装置で、上流側、下流側に x 方向、 y 方向のスリットがそれぞれ1個ずつ、計4個のスリットをもつ。下流側の2個のスリットにはファラデーカップが取り付けられ、スリットを通過してきたビームの電流が測定できるようになっている。図5は、その測定原理を模式的に表わしたものであり、図6は、エミッタンス測定装置の構造を示したものである。また、表2はこのエミッタンス測定装置の主な仕様をまとめたものである。測定は、 x 方向と y 方向を分けて行い、上流側のスリットを固定して下流側のスリットを走査し、上流側のスリットを少し動かして固定し、再び下流側のスリットを走査するという手順を繰り返して行われる。スリットブロックは $0.2\text{mm} \times 40\text{mm}$ の貫通穴をもつ無酸素銅ブロックであり、上流側のスリットと下流側のスリットの間隔は 1m である。これは、 x および y の分解能

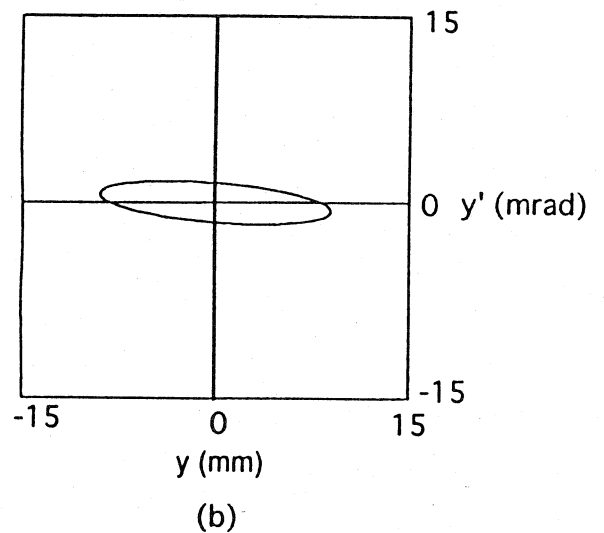
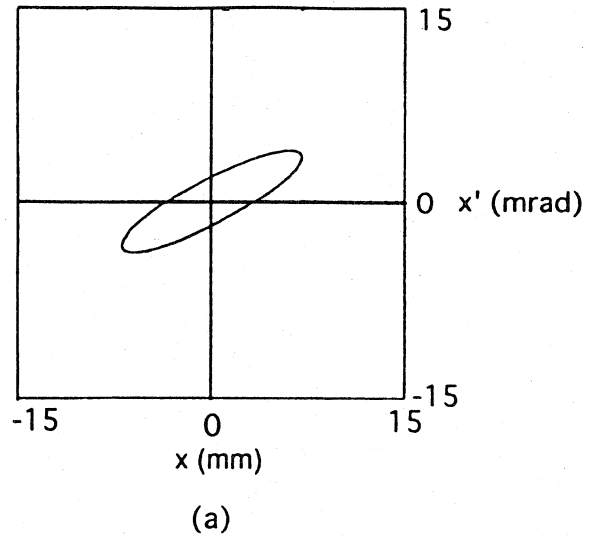


図4 測定位置におけるビーム形状
(a) $x-x'$ 平面 (b) $y-y'$ 平面

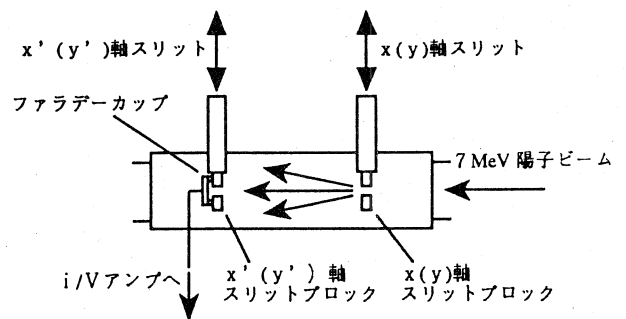


図5 測定原理

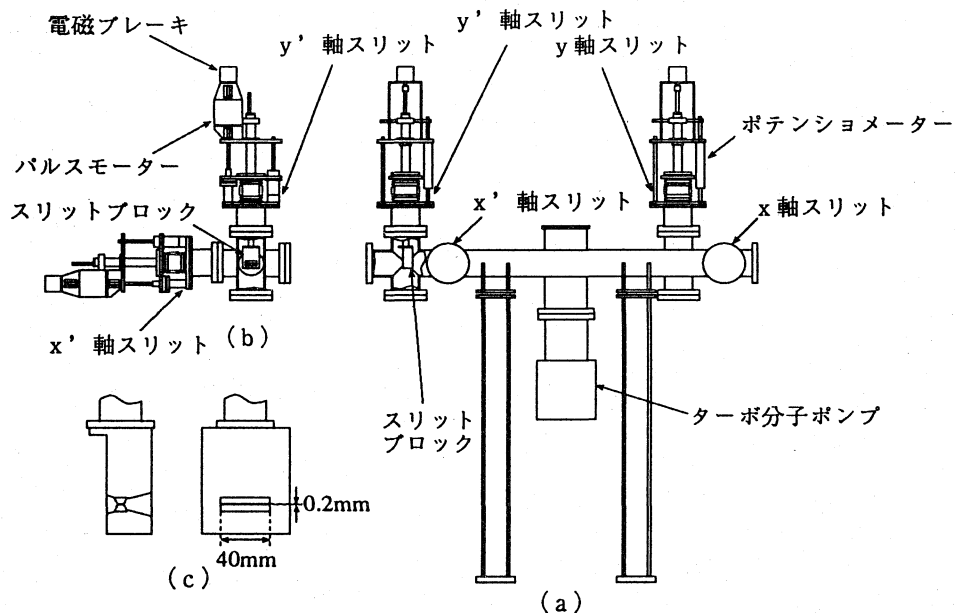


図6 エミッタンス測定装置の構造
 実際の装置は水平、鉛直方向にたいして45度回転している。
 (a) (b) 本体 (c) スリットブロック

0.2mm、 x' および y' の分解能0.2mradに相当する。各スリットはパルスモーターを用いて、8mm/秒の速さで、0.025mmきざみで動かすことができ、ビーム軸を中心として $\pm 20\text{mm}$ の範囲で測定を行うことができる。また、各スリットの位置は位置検出用ポテンシオメーターを用いて、読み取ることができる。

表2 エミッタンス測定装置の主な仕様

スリット可動範囲	$\pm 20\text{mm}$
スリット位置設定精度	$\pm 0.05\text{mm}$
スリット移動速度	8mm/sec (0.2mm/25msec)
測定範囲	$\pm 20\text{mm}$, $\pm 20\text{mrad}$
分解能	0.2mm, 0.2mrad

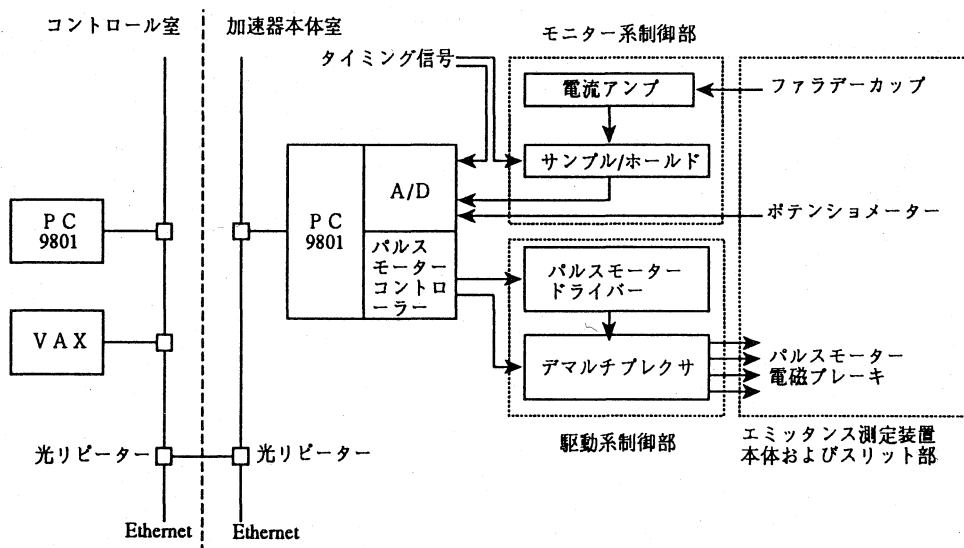


図7 エミッタンス測定装置制御部の構成

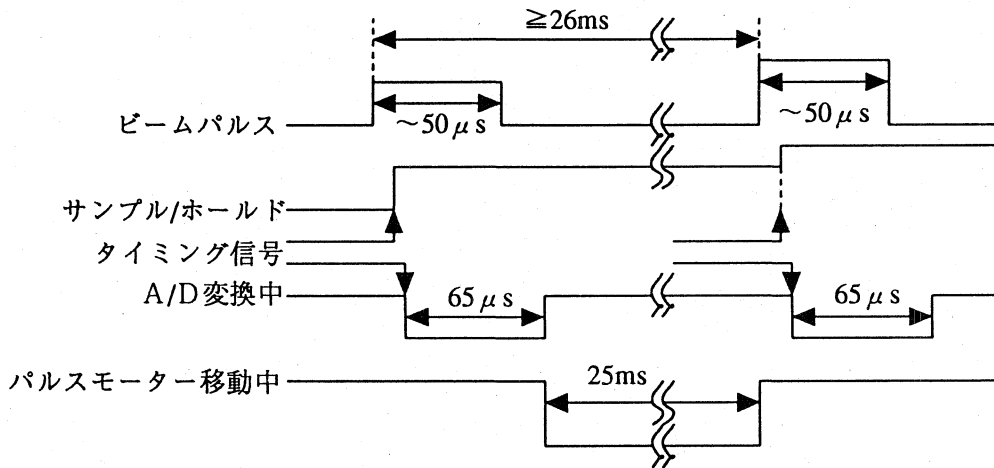


図8 測定のタイミングチャート

3-2. 制御部

図7は、エミッタンス測定装置の制御部の構成を表わしたものである。制御部はモニター系制御部、駆動系制御部から構成されており、エミッタンス測定装置本体とエミッタンス測定装置の制御に用いるパーソナルコンピューターとのインターフェイスを行う。現在、アルバレ型線形加速器からの7 MeVのビーム電流は $240 \mu\text{A}$ （ピーク値）であり、シミュレーションの結果から、上流、下流2つのスリットを通過してくるビームの電流は $1 \sim 100 \text{ nA}$ 程度であると考えられる。そのため、低バイアス電流のOPアンプを用いた電流アンプを用いて、ファラデーカップからの電流の増幅を行っている。また、アルバレ型線形加速器からの7 MeVのビームは、繰り返しが $18 \sim 180 \text{ Hz}$ のパルスビームであるため、電流の測定をRFのタイミングに同期させておく必要がある。そのため、モニター系制御部において、RFのタイミング信号を用いて電流アンプからの出力をホールドし、A/Dコンバーターに入力している。さらに、電流アンプの出力のホールドに用いた信号を適当に時間的に遅らせてA/Dコンバーターに入力し、A/D変換開始のトリガーとして用いている。図8は、 0.2 mm 間隔でスリットを動かしたときの測定のタイミングチャートである。この図から繰り返しが 36 Hz 程度のビームで測定したときに最も効率よく測定できることがわかる。このとき、 $\pm 10 \text{ mm}$ 、 $\pm 10 \text{ mrad}$ の範囲で測定を行ったとすると、1軸につき280秒でエミッタンスの測定ができる。また、ホールドのタイミングを適当にずらすことにより、ビームパルス内のエミッタンスの時間的な構

造を調べることができる。

4. まとめと今後の課題

7 MeVの陽子ビームのエミッタンス測定装置を開発した。このエミッタンス測定装置は $0.2 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mrad}$ の分解能をもち、線形加速器のRFのタイミングに同期して、1軸につき280秒でエミッタンスの測定を行うことができる。また、その設置にともない、7 MeVのビーム輸送系の設計を行った。その際、ハーフセルのPMQおよびスキュー型四重極電磁石の設計、製作を行った。今後、エミッタンス測定装置のデータ解析用のソフトウェアの開発を行った後、速やかに測定を開始したい。

参考文献

- [1] M.Inoue et al., "Linear Accelerators at ICR Kyoto University", Proc. 17th. Linac Meeting in Japan, Sendai (1992) pp.13