

バンチモニタの応用

北條 悟^{A)}、本間壽廣^{A)}、坂本幸雄^{A)}、宮原信幸^{A)}、河野耕二^{A)}、
岡田高典^{B)}、小松克好^{B)}、辻 那由多^{B)}、山田 聡^{A)}、

^{A)} 放射線医学総合研究所

〒263-8555 千葉県稲毛区穴川 4-9-1

^{B)} 加速器エンジニアリング株式会社

〒263-0043 千葉県稲毛区小仲台 2-13-1

概要

放医研サイクロトロンでは、固定型のバンチモニタと位置可動型のバンチモニタを増設した。2カ所のバンチモニタにより、ビームバンチ間隔距離を測定し、サイクロトロンからの平均取り出し半径を求めるエネルギー測定や、周期の速い内部イオン源アーク状態の変動の監視、また、高周波加速電圧との位相差を観測し、ビームの安定化に用いる計画である。その測定方法等についての報告を行う。

1 はじめに

放医研サイクロトロン[1]では、ビーム診断用モニタとして3台のバンチモニタを設置している。1台は、ビーム輸送系の最上流に配置し、Ion 源の調整及びビーム安定化に用いる。2台はセットとして、輸送系の直線部に設置しビームエネルギーを測定する。この報告では、後者について述べる。

この測定方法は、ビーム輸送系の直線部に固定型と位置可動型バンチモニタの2カ所のバンチモニタにより、サイクロトロンからの平均取り出し半径を求めることによってエネルギーを測定する方法である。

2 理論

バンチモニタは、ビームを止めてカレントをモニタするのではなく、ビーム軌道の上に円筒状の電極をおき、ビーム粒子の電荷による誘導電荷を検出するビームモニタであるため、ビームを止めることなくモニタすることができる。また、バンチモニタでは、ビームバンチ毎の観測が可能となる。これにより、カレントモニタではみられない速い時間でのビーム変動をとらえる事ができる。

一般的なバンチモニタを用いた TOF エネルギー測定では、2つのバンチモニタをバンチ間隔内に設置し、通過時間の測定を行いエネルギーの測定が行われる。しかし、ここで、バンチ間隔距離 L は、サイクロトロンの取り出し平均半径を $R-ext$ とし、ハーモニック数を h すると、 $L = 2\pi R_{ext} / h$ の距離となる。そのため、図1の様に $2\pi R_{ext}$ の位置にモニタを設置することにより、ハーモニック数に関係なく同じタイミングでの観測ができ、その距離が L となる。

ここで、運動エネルギー T は、

$$T = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$$

ここで、 T は、 $T = E - E_0$

E_0 は、静止エネルギーである。

また、 β は、

$$\beta = \frac{v}{c} = \frac{L}{hc} f_{RF} \quad (1)$$

ここで、 c は光速、 f_{RF} は加速周波数である。

従って、 L を測定することによりエネルギーを求めることができる。

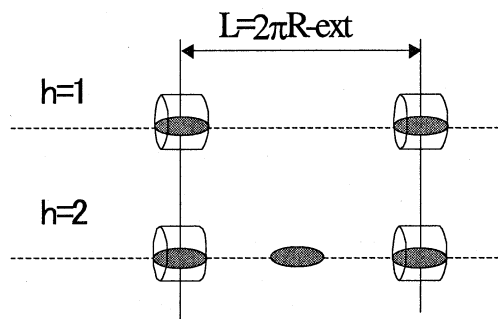


図1：バンチ間隔とモニタの位置関係

3 構成

今回導入されたバンチモニタは、口径φ52mm 長さ 32mm の円筒型のもので2台、サイクロトロン本体室と汎用照射室間のストレート部に設置されている(図2参照)。下流側のモニタは、上流側のモニタ位置からの距離がサイクロトロンの最外周長と、同じ程度の距離 577 cm の位置を基準位置とし、ビーム軸方向に±90mm の範囲を 0.1mm 間隔で可動できる。

現在、バンチモニタ電極からの出力信号は、直接 1 W アンブ (20~300MHz 55dB 50Ω) に入力されるため、入力インピーダンスが低くなっており、観測波形は、微分波形になっている。この波形は、ビーム周期であるためサイクロ

トロンの加速周波数と同期した周期で、その加速周波数との関係は、ハーモニック数により異なっている。

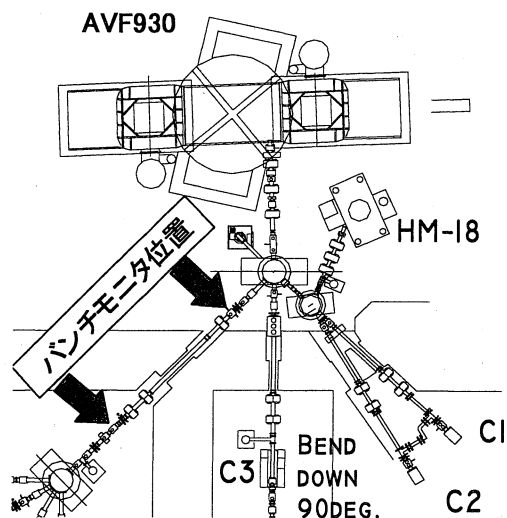


図2：エネルギー測定用バンチモニタ配置図

4 測定

アンプの出力を直接オシロスコープで観測を行い、2つの波形を見ながら、最外周長の測定を行う事により、ビームのエネルギー測定を行った (図3参照)。

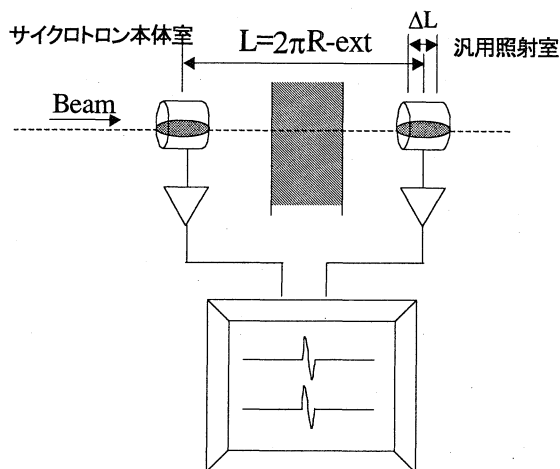


図3：測定配置図

上流下流それぞれのバンチモニタ用アンプおよびケーブルの長さによる時間差は、0.2nsec 以下にした。両波形をみながら、下流側の可動型モニタの位置を動かす、両波形の重なる位置での上流モニタとの距離が実際の加速におけるサイクロトロン最外周長となり、この最外周長と加速周波数から、式(1)よりエネルギーを求めた。(図4, 5観測波形)

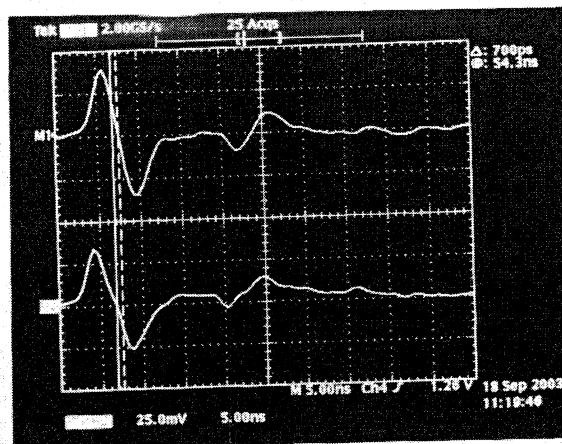


図4：観測波形 (原点位置 0mm $\Delta T=70\text{psec}$)
 ビーム条件 $\alpha 40\text{MeV}$ $0.5\mu\text{A}$
 ch1:上流側 ch2:下流側

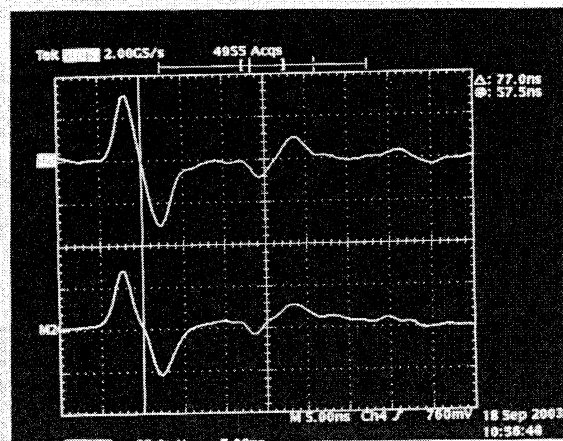


図5：観測波形 (原点+30.5mm $\Delta T=0\text{sec}$)
 ビーム条件 $\alpha 40\text{MeV}$ $0.5\mu\text{A}$
 ch1:上流側 ch2:下流側

5 測定結果

エネルギー測定の結果を表1に示す。この結果より、公称値との比較を行うと、各ビームエネルギーにより、差が生じた。 $\alpha 40\text{MeV}$ では、公称値に非常に近い値を得ることができた。これに比べ $\alpha 65\text{MeV}$ では、3%程度高いエネルギーであった。この原因としては、まず、セプタムの入り口の位置が、 $\alpha 65\text{MeV}$ では、 $\alpha 40\text{MeV}$ よりも外側の位置でビームを取り出している為だと考えられる。一方、 $\alpha 65\text{MeV}$ と $P65\text{MeV}$ では、公称値のエネルギーと加速周波数から算出した取り出し半径は、 $\alpha 65\text{MeV}$ では、91.8cm、また、 $P65\text{MeV}$ では、92.6cmとなり、実際に測定されたデータより大きくずれている。今後、ビーム各種のデータをセプタム入り口の位置や、加速周波数の影響等について引き続き測定を行っていく。

表 1 : エネルギー測定結果

粒子	公称値 [MeV]	測定値		運転パラメータ		
		実測値 [MeV]	R_{ext} [cm]	F_{RF} [MHz]	Septum Input Set	h
α	40	39.9	92.3	15.00	270	2
α	65	67.2	93.3	19.2	333	2
P	65	63.4	91.6	18.3	266	1

また、下流側の可動型モニタの位置による上流側との時間差(両波形のずれ幅)の変化を、図6に示す。これにより、時間差と位置のニアリティは、良いことが確認できた。

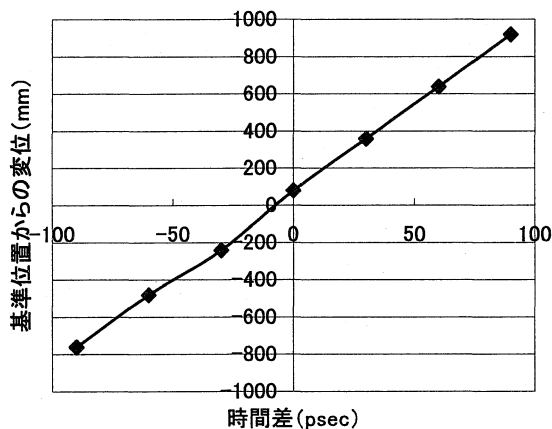


図 6 : 下流モニタ位置に対する時間差の変化 (P65MeV)

6 まとめと今後の課題

今回の報告では、直接オシロスコープにより波形を観測して、エネルギーの測定を行い、また、位置と波形のずれ幅、つまり時間差のニアリティの確認をすることができた事について述べた。今後、測定結果にMCAを用いた測定方法の検討を行っている。その方法としては、まず、ビーム周期のままでは、観測するのに速すぎるため、サイクロトロンメイン周波数発振器と同期をとった、同一のゲートパルスによりアナログゲートをかけて、周期を1/100程度に間引きし、周期の長くなった波形にたいして、TimingSCAにより、ゼロクロストリガをとり、タイミングパルスをつくる。このタイミングパルスをも、上流下流それぞれTACに入力し、その出力をMCA (1024ch)に入力することにより、時間差による分布、つまり、エネルギー分布を観測する事ができる。分解能としては、TACの出力によって変化するが、MCAの1chは約50psec程度になり、全チャンネルでは、50nsec程度の測定幅を持つことができる。ロジック構成図を図7に示す。

輸送系最上流側のもう1台のバンチモニタは、イオン源の

アーク状態の安定性を観測し、最善のアーク状態の調整に用いることができる。

また、高周波電圧とビームバンチの位相差を観測することにより、ビームの安定化を計ることも可能である。

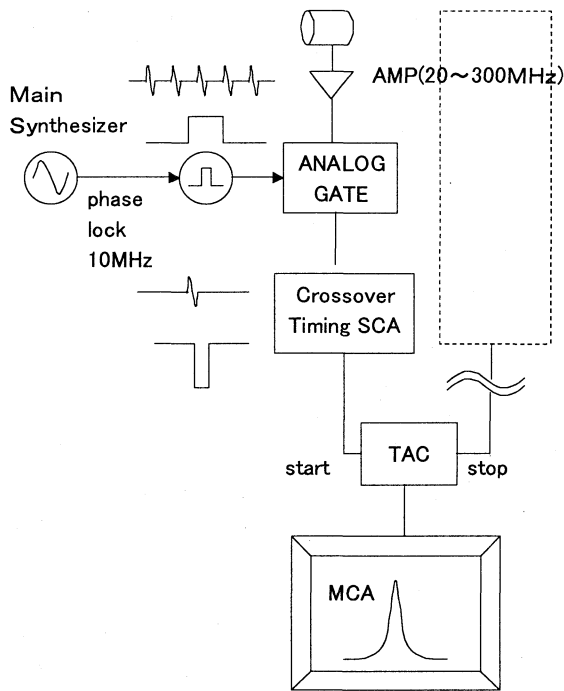


図 7 : MCA を用いたエネルギー測定ロジック図

参考文献

- [1] H.Ogawa, et al, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26, No2, (1978) 1988
- [2] Z.Kormany, Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. A 337 (1994) 258-264.