

BEAM TEST OF LOW BACKGROUND PRE-BUNCH SYSTEM

Masashi Okada^{1A)}, Hironobu Ishiyama^{A)}, Ichiro Katayama^{A)}, Hiroari Miyatake^{A)},
Kazuaki Niki^{A)}, Yutaka Watanabe^{A)}, Hiroyuki Makii^{B)}, Shigeaki Arai^{C)}

^{A)}High Energy Accelerator Research Organization

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

^{B)}Japan Atomic Energy Agency

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

^{C)}RIKEN

2-1, Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

Abstract

TRIAC (Tokai Radioactive Ion Accelerator Complex) is an accelerator complex that consists of 26MHz SCRFQ and 52MHz IH Linac. In TRIAC, low background intense bunched α beams are planned for measurements of $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ reaction. This experiment requires that the width of the pulsed α beam is 20ns or less and the background during 250 ns just before the pulse is $1/10^4$ or less. Therefore, pre-bunch system that consists of 2-4MHz sawtooth-wave pre-buncher and multilayer chopper is developed. As a result of the beam test, pulse width and the background during 250ns become 13ns $1/2.3 \times 10^4$. It satisfies the experimental request.

低バックグラウンドなプリバンチシステムのビームテスト

1. はじめに

TRIACは26MHz SCRFQと52MHz IH Linacからなる重イオン加速器で、 $A/q \leq 9$ の粒子を2keV/uから1.1MeV/uまで加速できる。

現在、TRIACでは $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応の測定実験が計画されている。この測定では標的に微量に混入している ^{13}C と α 粒子との反応により中性子が発生し γ 線検出器のバックグラウンドとなる、これを除去するため、 α ビームをバンチ化してTOF法により γ 線と中性子を分離する。十分なS/N比を確保する為にバンチから250ns前までの時間帯におけるビーム粒子混入率が $1/10^4$ 以下、バンチの時間幅 (1/10 値幅) 20ns以下であることが要求される。[1] しかし、通常の運転ではイオン源からのCWビームをそのまま26MHzのSCRFQで加速する為、バンチの間隔は約38nsとなってしまうのでなんらかの方法でビームを間引いてやる必要がある。

そこで、バンチ間隔を2~4MHzに広げ、尚且つバンチ内のビーム量を通常の運転時より増やす事で実験効率を上げる事の出来るプリバンチシステムを作製することにした。今回、完成したプリバンチシステムを用いて α ビームによるテストを行ったので、その結果について報告する。

2. プリバンチシステム

プリバンチシステムは、加速器の上流に設置された2-4MHz周期可変鋸歯状波プリバンチャーとさらにその上流のF2チャンバー内に設置された多層

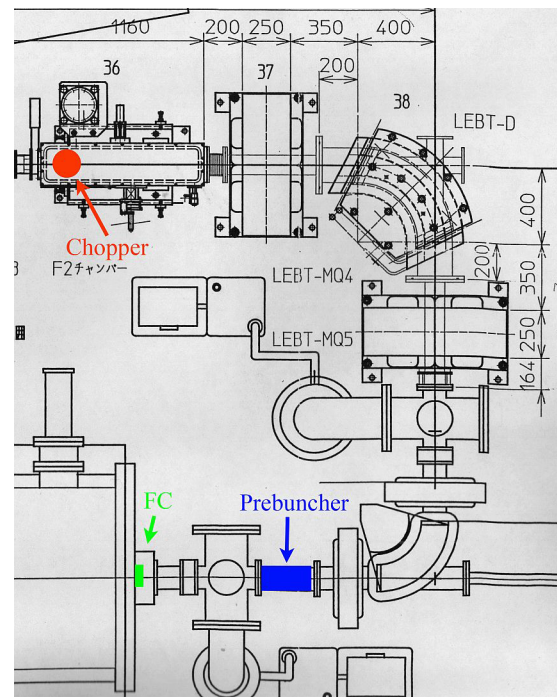


図1 プリバンチシステム配置図

チョッパーによって構成されている。(図1)

プリバンチャーはドリフトチューブを用いた2Gap型のバンチャーである。ただし共振空洞ではなく電極に直接任意の波形を印加して、その電圧のみでバンチを行う。ドリフトチューブは長さを変えられるようになっており、運転周波数やGap間のRF位相差

¹ masashi.okada@kek.jp

に合わせて長さを変更する事が出来るようになってきている。(図2)

このプリバンチャーのGap間隔の長さをRFの位相差にして140度になるよう設定し、基本波に2・3倍波を適当な振幅と位相差で重ね合わせた歪み波形を印加する事により2つのGapを通過したビームに

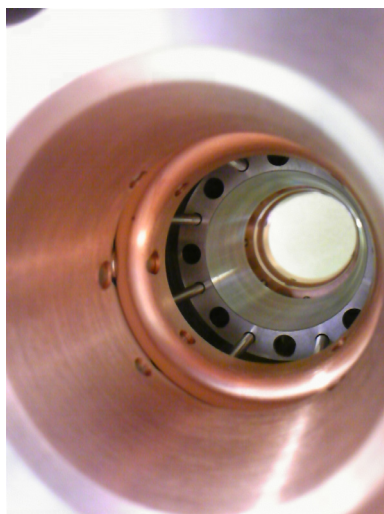


図2 可動ドリフトチューブ

対して鋸歯状波の電圧によるシングルGapのバンチングと同等の効果を与える事が出来る。[2]

しかしながら、3波合成による鋸歯状波は理想的な鋸歯状波と異なりバンチ出来ない時間帯が存在する為、どうしても目的のバンチの外に残る粒子が出てしまう。それらを取り除くのが多層チョッパーである。

多層チョッパーは幅40mm×奥行10mm×厚さ0.1mmリン青銅製の電極を1.9mm間隔で20枚重ねた物である。(図3)これをビームライン上に設置し、1枚おきに電圧を印加する事でビームを上下に散らしてビームをチョップするようになってきている。電極がビームライン上に設置されるため、ビーム透過時においても一定のビームロスが生じてしまうが、一般的な平行平板によるチョッパーより電極間隔を狭く出来るので印加電圧を低く抑える事が出来るのと電



図3 チョッパー写真

極の前後への漏れ電場が少なくなるのでチョッピングの時間的な切れを良くする事が出来る。[3]

3. ビームテスト

テストは、イオン源からのαビームを加速器で1.1MeV/uまで加速し、ターゲット位置まで輸送して行った。この時、加速器の運転は繰り返し周波数200Hz、パルス幅1.65msのDuty33%であった。プリバンチシステムのバンチング周波数は2MHzとした。ビーム電流はチョッパーの上流と加速器の前後、ターゲット位置にファラディカップを設置して測定した。また、ターゲット位置にはAl薄膜を設置し、それにより弾性散乱された粒子をSSDで測定する事でビームの時間構造を測定した。測定結果を表1に示す。

測定はまずチョッパーとプリバンチャーに電圧をかけない状態(通常運転)で行った。チョッパー上流での電流値は2.0μA、ターゲット位置での電流値は0.32μAであった。この時の時間構造を図4に示す。プリバンチシステムの繰り返し周期500nsの中にSCRFFQによる26MHzのバンチが13個入っている事が分かる。ビームはプリバンチシステムによる影響を受けずに連続して入射される為、13のバンチ全てに等しく入る。その為、1つのバンチに入っているビームの量は1周期の全ビームの約7.7%となる。ここで、プリバンチシステムの繰り返し1周期のビーム強度を0.32とすれば、1バンチあたりのビーム強度は0.025と言える。

次に、プリバンチャーを起動して、同様の測定を行った。この時、プリバンチャーの電圧は計算による定格電圧とした。その結果、チョッパー上流でのビーム電流1.9μAに対しターゲット位置での電流値は0.17μAであった。この時の時間構造を図5に示す。プリバンチャーによるバンチングの収束点である中央バンチの時間幅は12nsであった。また、全ビームのうち79%が中央バンチに集まっている事もわかる。先ほどと同じように中央バンチのビーム強度を計算するとその値は0.134となる。先に測定した通常状態の1バンチと比べ中央バンチのビーム強度が何倍に増えたかをバンチゲインとすると、その値は5.4

表1 ビームテスト結果

	電流値(μA)			
	CP上流	加速器入口	加速器出口	ターゲット位置
通常運転	2	1.58	0.38	0.32
PBのみ	1.9	1.6	0.25	0.17
PB+CP	2	0.6	0.18	0.12

	センター比率(%)	ビーム強度	バンチゲイン
通常運転	7.8	0.025	1
PBのみ	79.1	0.134	5.46
PB+CP	99.4	0.119	4.84

でこの値はシミュレーションとほぼ等しい。一方で、図からも分かる様に中央バンチ以外のバンチにも少なくないビームが残っており、中央バンチの前250nsの区間での混入率は10%を超える。

つづいて、プリバンチャーに加えてチョッパーも起動して測定を行った。チョッパーはカット率を33%として、中央バンチのビームが減らさないよう留意しつつバンチ前方に粒子が来ない様にタイミング等を調整した。その結果、ターゲット位置での電流値は0.12 μ Aでそのうちの99.4%が中央バンチに集まり、バンチ前のビーム混入率は $1/2.3 \times 10^4$ と大きく減じる事が出来た(図6)。中央バンチのビーム強度は0.119となりバンチゲインは4.8であった。中央バンチのビーム強度はプリバンチャーのみの時より若干減少したが許容できる範囲内であった。中央バンチのバンチ幅は13nsでプリバンチャーのみの場合と殆ど変わっていない。この結果は実験の要求を満たすものであった。

4. まとめ

$^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ 反応の測定実験の為に低バックグラウンドな2~4MHzバンチビームを作る為のプリバンチシステムが完成し、 α ビームを用いて動作テストを行った。

その結果、プリバンチシステム無しの際に比べてバンチあたりの強度が4.8倍で時間幅が13nsのバンチを持ち、バンチから250ns前までの領域におけるビーム混入率が約 $1/2.3 \times 10^4$ である2MHzバンチビームを作る事が出来た。

この値は実験の要求を十分満たしており、今後、大強度化しながら実験に使用していく予定である。

参考文献

- [1] 牧井宏之 . Private Communication. H.Makii et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A547, 411, 2005.
- [2] 仁木和昭 他, "TRACでの2-4MHzプリバンチシステム的设计", Particle Accelerator Society Meeting 2009 - Proceedings, P1117-P1119, JAEA, Tokai, Ibaraki, Japan.
- [3] 岡田雅之 他, "多層チョッパーの開発", Particle Accelerator Society Meeting 2009 - Proceedings, P1114-P1116, JAEA, Tokai, Ibaraki, Japan.

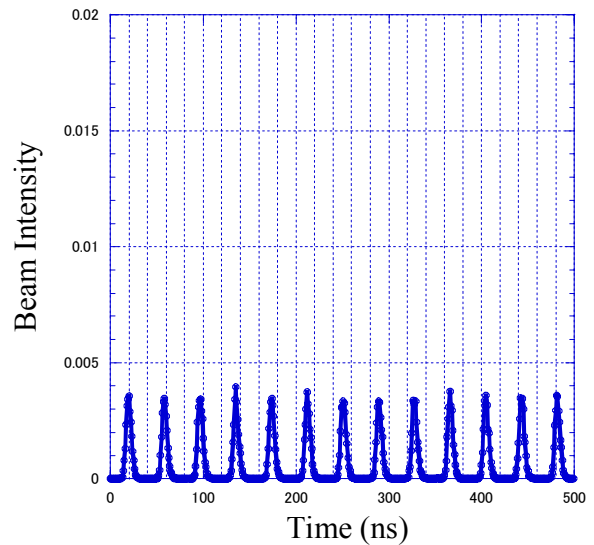


図4 通常運転時の時間構造

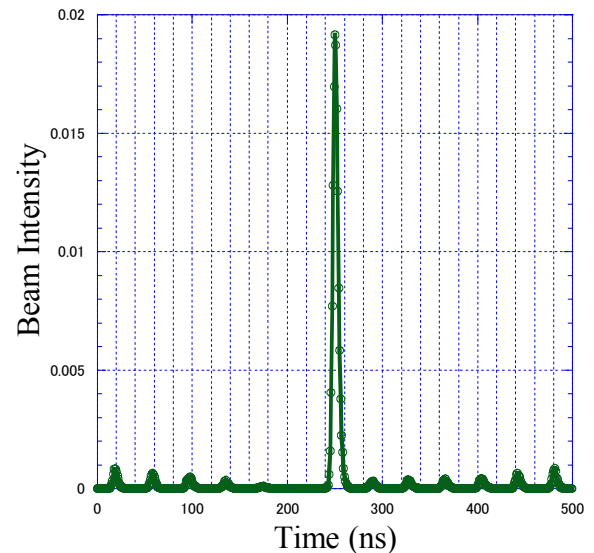


図5 PBのみの時の時間構造

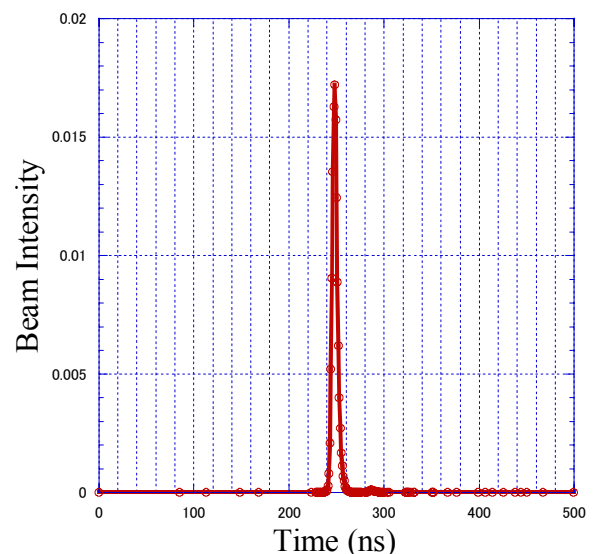


図6 PB, CP動作時の時間構造