

ドリフトチューブリニアックによるバンチング法

加藤隆夫

1. 序

ドリフトチューブリニアック (DTL) の縦方向のアクセプタンスは、その安定位相を $-\phi$ とすれば、約 3ϕ なので、その捕獲効率は普通 25% 程度である。そこで DTL の前にバンチャーをおいて捕獲効率が 60 - 70 % に高めている。最近 RFQ が良いバンチャーとして認められ、従来のコッククロフト + バンチャー + DTL の構成が RFQ + DTL の構成に変わりつつある。周波数を 432 MHz に選ぶと、RFQ のアクセプタンスが小さくなり、又、製作法にも色々な困難が生じるなど、解決すべき問題が多い。そこで RFQ と同じような高い捕獲効率を持ち、しかもアクセプタンスが大きくて、加速後のビームの性質が良いシステムの可能性を考えてみる。ここでは、静電型加速器で 3 MeV まで加速した後に、バンチング加速器に入射させる事にする。

簡単に考えられるのは、シングルセルを並べて、その加速電場の振幅と位相を RFQ で行っているように変える事である。縦方向の振舞いは、簡単にシミュレーションができて、よい結果が得られる。この場合の問題点は横方向の収束磁石を設置する空間を確保する事が難しい事であり、例えば空洞 (長さ 6 cm) の間に 4 極永久磁石 (長さ 3 cm) をはさんだユニットを 50 個以上並べるのでかなりの物といわざるを得ない。しかしこのシステムの持つ柔軟性 (電場と位相を自由に設定出来る) を考えると検討する価値はある。

2. DTL によるバンチング

よいバンチングをする為には、電場を次第に強めつつ、加速位相を例えば -90° から -30° までゆっくり変える必要がある。

電場を変える方法

1. ステムを利用する

DTL を構成するユニットセルの周波数を変えれば電場分布が変化する。図 1 に加速タンクの両端のステムによる周波数への摂動の差が 280 kHz の場合の加速電場分布の様子を示す。ステムの代わりにチューナーを使用してもほぼ同等の結果が得られる。

2. ポストカップラーのタブを利用する。

空洞をポストで安定化した後で、ポストの先端についたタブを回転すると、傾いた電場分布が得られる。

どちらの方法を選んでも、バンチングに必要な電場分布の勾配を得られると思われる。

安定位相を変える方法

DTL のユニットセルは普通は $\beta \lambda$ ($\beta = v/c$, $\lambda = c/f$) であり、これは、 2π の位相差に相当する。隣合うセルの間の位相差が $\Delta \phi (+ 2\pi)$ とすれば、

$$\Delta L = (\Delta \phi / 2\pi) \beta \lambda$$

だけ、ユニットセルの長さを伸ばせば安定位相を変える事ができる。この場合、単にドリフトチューブの長さを増やすような方法では、ユニットセルの周波数が変わってしまっただめである。周波数が変化しないように長さを伸ばし、しかもエネルギーは変化しないように（エネルギーはユニットセル長さ = $\beta \lambda$ と密接に関係している）プログラムを書き直す必要がある。

3. シミュレーションの結果

加速電場を 0.1 MV/m から 3 MV/m までセル番号に対してリニアに変え、安定位相を -90° から -30° まで変えた時のバンチングの様子を図 2 に示す。バンチングの後のビームの縦方向のエミッタンスを図 3 に示す。図 4 に得られた横方向のアクセプタンスを示す。横方向アクセプタンスは普通のアルバレ型と違わない事を示す為に、示した。図 5 に図 2 と図 3 に対応する入射ビームを示す。表 1 にバンチング DTL の主なパラメータを示す。捕獲効率はエネルギーが $\pm 7\%$ 以内のものを勘定した。

表 1 バンチング DTL のパラメータ

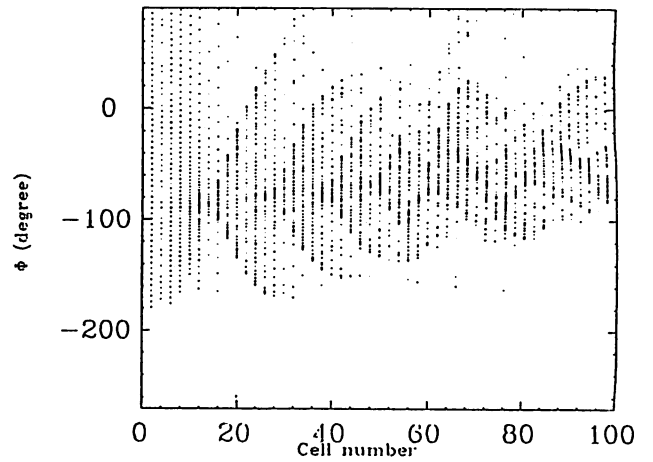
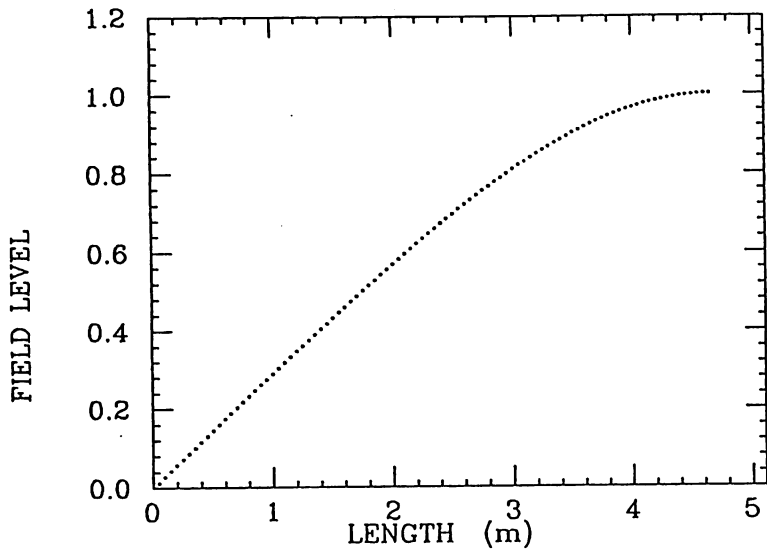
入射エネルギー	3 MeV
出力エネルギー	8.1 MeV
タンク長さ	6.44 m
セル数	98
励振電力	0.47 MW
周波数	432 MHz
加速電場	0.1 - 3 MV/m
安定位相	$-90^\circ - -30^\circ$
捕獲効率	88 %
横方向アクセプタンス	$0.74 \pi \text{ cm mrad}$

4. まとめ

バンチャーとして機能する事がわかった。入射エネルギーは低い方が望ましいが、ここでは、比較の為に 3 MeV を選んだ。図 3 からわかる様に、出力ビームの縦方向エミッタンスが大きい、例えば、エネルギーの広がりか 0.6 MeV くらいあって大きいので、後続の DTL の安定位相を -50° と大きめにとる必要がある。

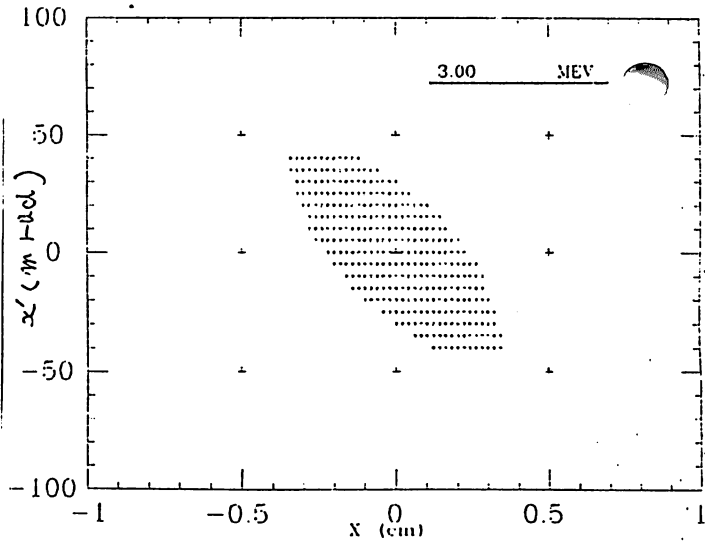
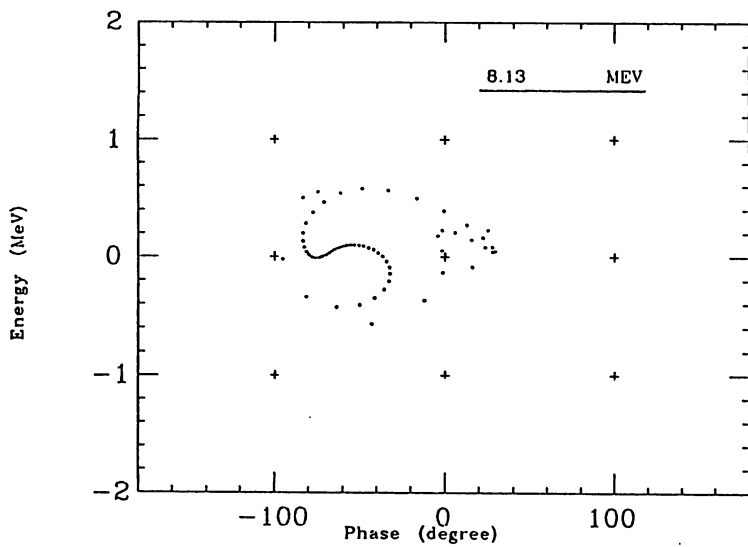
上に述べたシステムが検討に値するかどうかは、入射系全体の比較検討を行って判断する必要がある。というのは、単体ではあまりに大きさにみえるからである。そこで二つのシステムを並べて資料としよう。

A	B
1. ion source 加速電圧が 50 kV は駄目で、 70 - 100 kV 必要との 要請がある	1. ion source
2. beam transport	2. 静電線形加速器 3 MeV
3. RFQ 432 MHz, 50 keV - 3 MeV 入射エネルギーが高くなると 3 MeV はできない。2 MeV が 望ましい RFQ アクセプタンスは エミッタンスと同じ大きさ 程度である $An = 0.15 \pi \text{ cm mrad}$	3. bunching DTL 3 MeV - 8 MeV 98 cells $An = 0.7 \pi \text{ cm mrad}$
4. DTL 2 MeV になると横方向の 位相進みを 60° より下げるか Nd 系の永久磁石を用いる	4. DTL 8 - 10 MeV 以上の入射 エネルギー



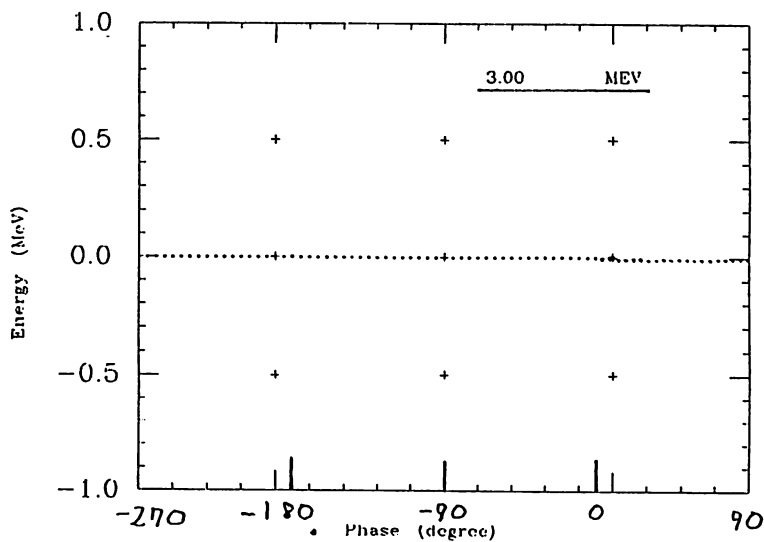
☒ 1 Inclined field due to perturbation of stems.

☒ 2 Longitudinal oscillation.



☒ 3 Output emittance.

☒ 4 Transverse acceptance.



☒ 5 Injection beam for Fig. 2 and Fig. 3. ($\phi = -270^\circ \sim +90^\circ$, $\Delta W=0$)