

BEAM CHARACTERISTICS of the RIKEN HEAVY-ION LINAC

M. Kase, T. Kambara, A. Goto, Y. Yano and M. Odera

RIKEN : The Inst. of Physical and Chemical Research

2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama 351 JAPAN

Abstract

The RILAC (RIKEN variable frequency linac) is a heavy-ion linac with six tunable (17~45 MHz) cavities. By adjusting the rf parameters of the last cavity in use, the beam quality (such as energy, energy spread and longitudinal emittance) can be varied to some degree.

1. RF パラメータ調整によるビーム性質の変化

理研重イオンリニアックは、従来の周波数固定方式と異なる周波数可変方式を取り入れた6段加速のリニアックである。各々の加速タンクは、17~45 MHzの周波数範囲にわたって同調可能な共振構造となっているが、高い周波数での運転時に、タンクの各加速ギャップ電圧のビーム軸方向の分布の一様性が大きくくずれないように、キャビティの長さは、それぞれ3mに制限されている。このため一つの加速タンク内のドリフトチューブの数は表1に示すように一般のリニアックに比較して少ない。この傾向は、後段へ行くほど顕著になる。こうした事実には、運転時に調整すべきRFパラメータ(電圧、位相)の数が多くなるという欠点があるが、一方、逆にこれを利用することによって目的に応じてビームの諸性質(エネルギー、エネルギー幅、パンチ幅)をある程度調整することが可能になる。

図1に第3、第6タンクにおける位相-エネルギー面上の加速イオンの運動の様子を示す。加速ギャップの少ない後段のタンク内の位相-エネルギー面上での回転角が小さい。(表1参照) 図2に運転中の最終段の加速タンク(Nで表示)の位相に対するビームエネルギーの変化の様子を示す。位相をコントロールすることによりエネルギーを規定値の数%増からほぼ前段タンクのエネルギーレベルまで連続的に変化させる事が可能である。位相のマイナス領域ではエネルギー変化はスムーズで位相コントロールに適している。

図3に第5タンクの出口におけるビームの位相平面上のエミッタンスの計算結果を示す。入射位相、 ϕ_{in} 、が 0° に近づくとエミッタンスが変化してエネルギー幅が狭くなるのがわかる。SSDによるエネルギースペクトル測定より、エネルギーの半値幅は、 $\phi_{in} = -120^\circ$ で2%、 ϕ_{in} が増すにつれて除々に減少し、 $\phi_{in} = 0^\circ$ で最小値0.6%になること

表1 各加速タンクのパラメータ

タンク No.	加速モード	タンク長	加速Gap数	位相回転角
#1	$\pi/3\pi$	3 m	16	380°
#2	π/π	"	18	165°
#3	"	"	14	120°
#4	"	"	12	90°
#5	"	"	11	70°
#6	"	"	10	65°
#1*	$\pi/3\pi$	5.5 m	36	
#4*	π/π	7.3 m	26	

*UNILAC のワイドレタンクの場合

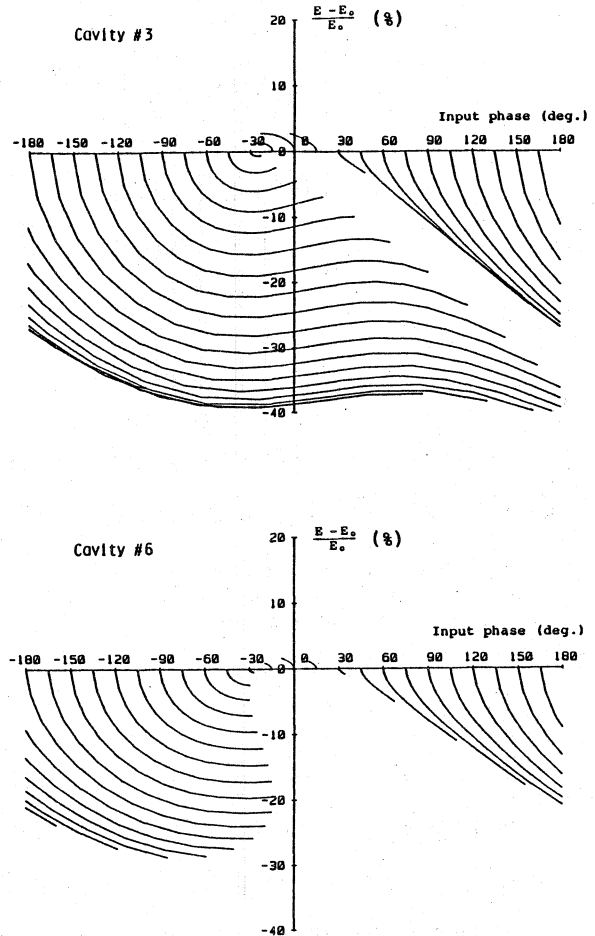


図1 第3、第6タンク内部での、イオンの位相運動の様子。縦軸は、各々加速段階における規定エネルギー (E_0) に対する変化の割合を示す。曲線は、位相 15° おきに、規定エネルギーで入射した場合のイオンの軌跡をしめす。

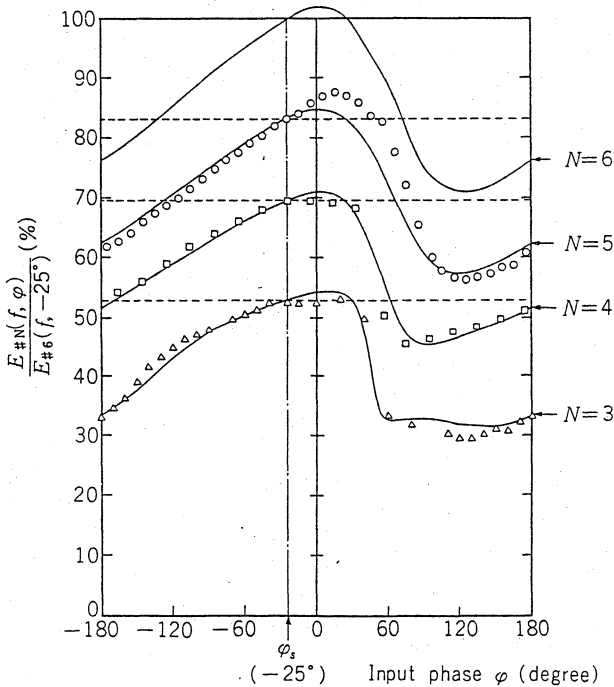


図2 N段で加速した時、最終段タンク(#N)への入射位相とエネルギーの変化。それぞれの場合第(N-1)タンクまでは、正常運転している。実線はN=3~6の場合の計算結果。
 Δ 、 \square 、 \circ は N=3, 4, 5 の場合の実測値を示す。縦軸は、第6タンクのエネルギーの設計値 $0.00202 \times f^2$ (MeV/n) (但しfはMHz)を100%として表わしている。

が確かめられていて、この計算結果とほぼ一致する。

RFの電圧を変えることによってもエネルギーを変更できる。この場合エネルギー可変範囲は位相コントロールよりは狭いがエネルギー幅の変化は少ない。実際のエネルギー調整の際は位相と電圧の両方で行なったほうが得策である。

エネルギーの連続的な調整は周波数を変化させても可能である。しかし、運転途中で周波数を変えることは総てのパラメータの再調整が必要となりかなりの時間がかかる。又、charge-mass 比の小さいイオンを加速する場合に、この目的のための周波数の選択可能範囲が狭くなる。こうした問題点は、RFパラメータ調整による方法には存在しないが、他方、この方法は、位相回転角の大きい低エネルギー領域つまり第1、第2タンクにはその適用が難しい。

2. 捕獲効率

RILACの同期位相は、 -25° なので、dc入射ビームに対して20%、バンチャーを用いれば60%以上の捕獲効率が期待される。しかし、当初の運転においては最大35%にしか達さなかった。加速パラメータの絶対値の校正、ビームのアライメントのチェック、Qマグネットの動作チェック、数値計算によるラジアル運動の解析によるアクセプタンスの再検討等を行ないバンチャーを使用して最大62%の捕獲効率を達成した。

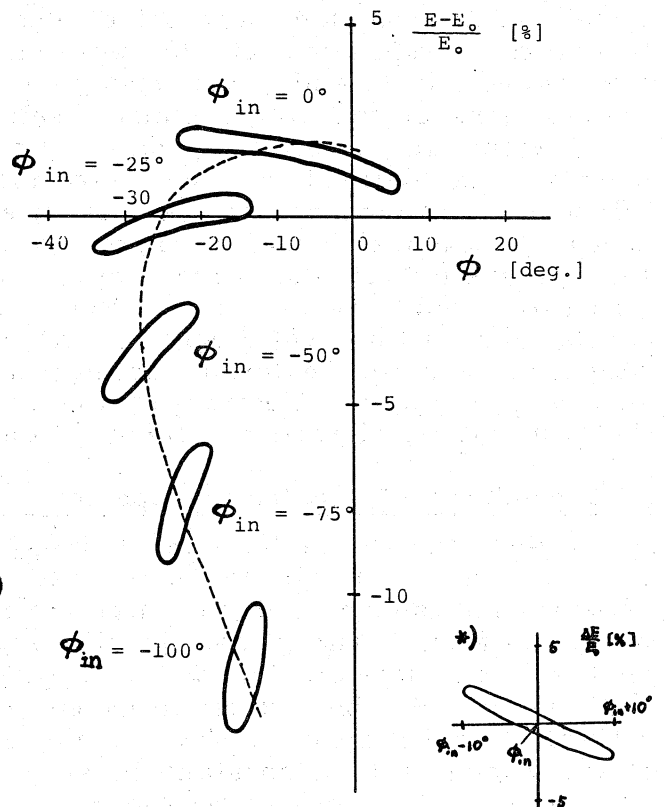


図3 第5タンク出口における位相平面上のエミッタンスの計算結果。入射位相 ϕ_{in} が 0° から 100° の場合を示す。図中*)は、タンク入口でのエミッタンスを示す。