

IH Linac Design for Unstable Nuclei Beam

Masahito TOMIZAWA and the Working Group for Heavy Ion Linac

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo

3-2-1 Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo 188 Japan

Abstract

We have designed an interdigital H (IH) linac system to accelerate unstable beam with the energy of 170 keV/u and a charge-to-mass ratio greater than 1/10 up to 1 MeV/u in a prototype E-arena project at INS. The IH linac system consists of four acceleration tanks and three magnet quadrupole-triplets placed between tanks. The IH linacs have a stable synchronous phase to obtain stable longitudinal motion. And no focusing element is installed in the drift tubes to obtain high acceleration efficiency. Further the output energy of the IH linacs is continuously varied by adjusting the rf power or phase in each tank.

短寿命核用 IH リニアックの設計

1 はじめに

東京大学原子核研究所で進められている E-arena 開拓研究計画においては、ISOL イオン源により生成されたエネルギー 2 keV/u、荷電質量比 1/30 以上の不安定核ビームは、SCRFQ (split coaxial RFQ) により 170 keV/u まで加速される [1]。このビームはさらに荷電変換器で荷電質量比 1/10 以上にされた後、リバンチャー・四重極磁石により軸方向・横方向の収束をうけ IH リニアックに入射される [2]。我々はこの不安定核ビームの後段加速器としての IH ライナックの設計・検討を行っている。

安定位相を -30° 付近にとった低 β 領域のリニアックにおいては、高周波電場による発散が強く、一般にドリフトチューブ内に収束要素を仕込むスペースを確保するために $\pi-3\pi$ モードが採用される。しかしこの方式は、加速効率 (シャントインピーダンス) の低下をもたらす。そこで我々は、安定位相を 30° 付近にとることにより軸方向の安定性を持たせ、しかも高い加速効率を実現するために、ドリフトチューブ内には収束要素を入れないで加速するタイプの検討を行ってきた。その結果、加速タンクを幾つかに分割し、タンクとタンクの間には横方向のための収束要素を置く組み合わせとなった。さらに加速タンクを分割することのメリットとして、ギャップ電圧と高周波の位相を調節することにより出力エネルギーを連続可変できることがわかった。この IH リニアックシステムが実現すれば、高加速効率、ライナック本体でのエネルギー可変性などの幾つかの大きな特徴をもち、大きな意味をもつと考えられる。

IH リニアックのパラメーターは次の通りである。

出力エネルギー	170 keV/u ~ 1046 keV/u (連続可変)
荷電質量比	$\geq 1/10$
共振周波数	51 MHz
加速モード	$\pi-\pi$ モード
加速タンク数	4つ
収束要素	三連四重極電磁石 3式 (タンクとタンクの間設置)
安定位相	-25°

ギャップ間電圧はキルパトリックリミットの80%を越えないように設定しドリフトチューブ表を作成した。その結果をまとめると、

	ギャップ電圧 (KV)	セル数	加速エネルギー (KeV/u)	タンク長 (m)
タンク 1	200	9	170 ~ 292	0.59
タンク 2	250	10	292 ~ 471	0.84
タンク 3	315	11	471 ~ 721	1.15
タンク 4	370	12	721 ~ 1046	1.53

となる。ただしギャップ電圧は荷電質量比1/10に対するものである。タンクのみ全長は約4.1mとなるが、タンクとタンクの間にはQ磁石の為のスペースを置くので全体では約5.5mとなる。

2 軸方向の運動

低 β 領域で、我々が考えているような収束用マグネットを設定するスペースを別に設けることは、そこでのデバンチングの効果が大きく軸方向のアクセプタンスを低下させる。そこで、この空間はできるだけ短いことが必要である。現在のところこのタンクとタンクの間スペースは47.5cm程度を考えている。タンク1入り口でのビームのエミッタンスを $200\pi\text{keV/u}\cdot\text{deg}$ としたときのエネルギーの広がり、位相の広がりのシュミレーションの結果を図1-(a), (b)に示す。SCRFAQからのビームのエミッタンスは、約 $75\pi\text{keV/u}\cdot\text{deg}$ と推測されているので、十分なアクセプタンスを持っていると考えられる。

3 エネルギー可変性

1つの加速タンクのセル数を少なくすることのメリットとして、ギャップ電圧もしくは高周波位相を調節することにより、出力ビームのエネルギーの広がりをそれほど大きくすることなしに出力エネルギーを連続可変できることがわかった。図2は、タンク1入り口でのビームのエミッタンスを $100\pi\text{keV/u}\cdot\text{deg}$ にとってギャップ電圧を変化させ、その出力エネルギーとその広がりをプロットしたものである。この図から、ギャップ電圧を変化させることにより、170~1046keV/uの全範囲で出力エネルギーを連続可変できることがわかる。例えば、タンク3の加速領域(471~721keV/u)でエネルギーを可変にするときは、後ろのタンク4は運転せず、タンク3のギャップ電圧を調整する。この場合エネルギーの広がりには $\pm 2\sim 6\%$ 程度であるが、高周波位相も同時に調整することにより、さらにエネルギーの広がりを小さくできることがわかっている。ただし、タンク1でエネルギーの広がりが大きいのは、もともとのタンク1の入り口でのエネルギーの広がりが大きいことが影響していると思われる。

4 横方向の運動

基本方針は、横方向のアクセプタンスをできるだけ大きくするためにタンクの入り口でビームサイズ・収束角度を大きくしてビームを入射し、高周波電場による強い発散力により、ビームサイズが大きくなったところで、タンクとタンクの間設置する三連四重極電磁石でビームを収束させ後段のタンクに入射させるというものである。一次ビームの加速・ストリッパでのエミッタンス増大を考慮し、IHリニアックの規格化アクセプタンスは $0.6\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 以上ほしい。ただし、不安定核ビームの規格化エミッタンスは $0.1\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 以下と予想されている。図1-(c), (d)は規格化エミッタンス $0.6\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ のビームを入射した場合の横方向の運動のシュミレーション結果で、軸方向のエミッタンスは $200\pi\text{keV/u}\cdot\text{deg}$ である。この結果より横方向のアクセプタンスは $1.7\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 以上あることかわかる。収束用の四重極電磁石の強さは、デバンチングの効果を小さくするため47.5cmという短い距離に3つの四重極電磁石を設置するため、コンパクトで強い磁場勾配が必要であるが、ポアソン等による磁場計算の結果では十分実現可能なものであることが分かっている。

5 構造の検討

現在我々が検討している加速空洞は普通の場合と異なり軸方向の長さがタンクの直径より短い。さらに軸方向のアクセプタンスを減らさないために、エンド板とリッジ端の間に十分なスペースを確保できない。そこで我々は構造決定のための見通しを得るために、各セルの静電容量、インダクタンスを近似的に求め、等価回路解析を行った [3]。その結果ではドリフトチューブ径を調整する事によって各タンクの外径を同じ (~134 cm) にし、51 MHz で共振させ電場分布も平坦にできた。図3は、タンク1の電圧分布の計算例である。これらの予測をもとに今年度中にモデルによるテストを行なう予定である。

参考文献

- [1] 新井重昭 他、今研究会
- [2] 仁木和昭 他、今研究会
- [3] 新井重昭、JHP-20, October 1991, INS.

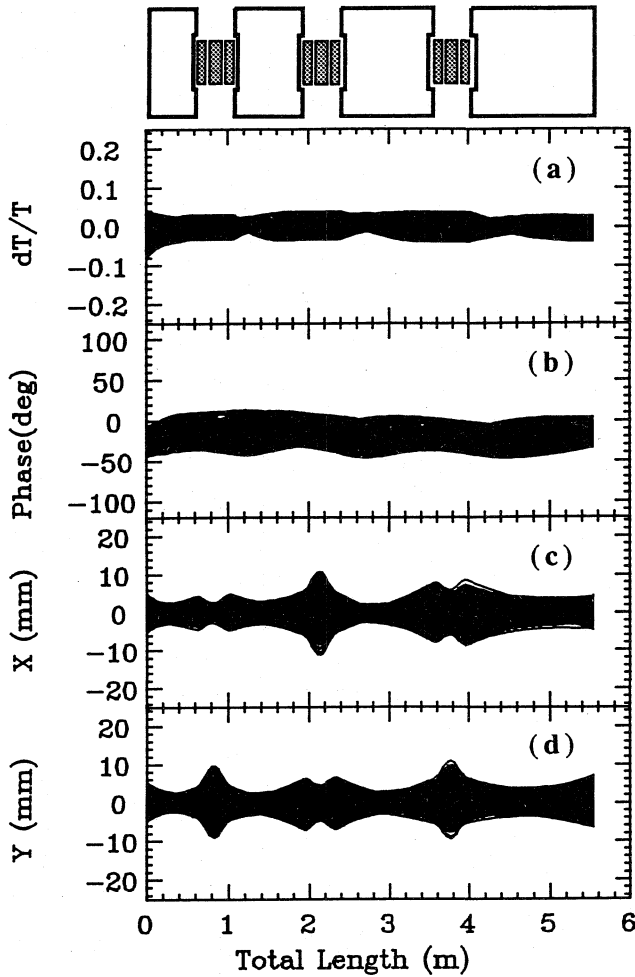


図1 ビーム運動の計算結果
(a), (b) エネルギーと位相振動
(c), (d) 横方向の運動

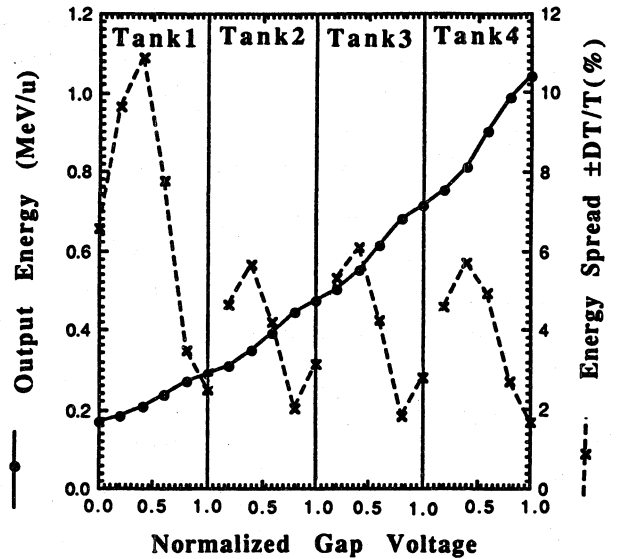


図2 各々のタンクのギャップ電圧に対する出力エネルギーとその広がり

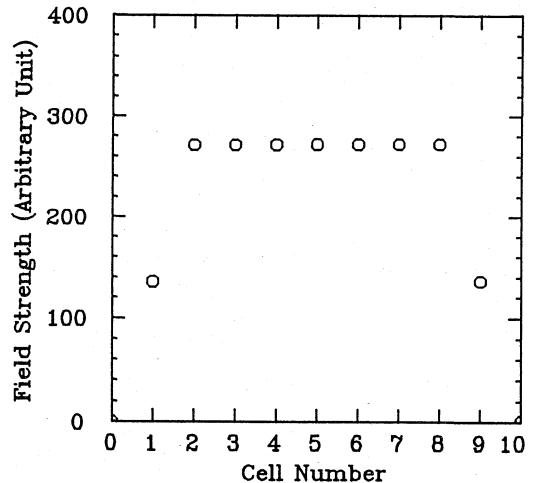


図3 タンク1の電場分布の予測