

SYSTEM DESIGN OF T.I.T. HEAVY ION LINAC

T.Hattori, Y.Oguri, K.Hayashi and E.Arai

Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology.

ABSTRACT

Heavy Ion Accelerator system is constituted by the injector tandem peleton for material science and the interdigital-H type linac for nuclear physics. The linac was designed to accelerate particles with charge to mass ratio of $1 - 1/4$ injected at 240 keV/u up to 2.5 MeV/u. Brass $1/4$ scale models were made and beam optics was analyzed with computer program LINOR.

1. はじめに

東京工業大学原子炉工学研究所の核融合炉ブランケット工学実験装置計画中の照射実験装置として、タンデムペレトロン型静電加速器を入射器とした重イオンライナックシステムを設計した。全体システムは、質量数100程度までの重イオンビームを用いて核融合炉ブランケット材料等の研究をする材料科学コースと、質量数40程度の核子当り2.5 MeV程度の重イオンビームを用いて重イオン物理の研究をするコースに大別できる。以下に全体システムのこと及び重イオンライナックの設計のための軌道解折及びモデル加速空洞による試験結果について述べる。 図ノに加速器システム全体図を示す。

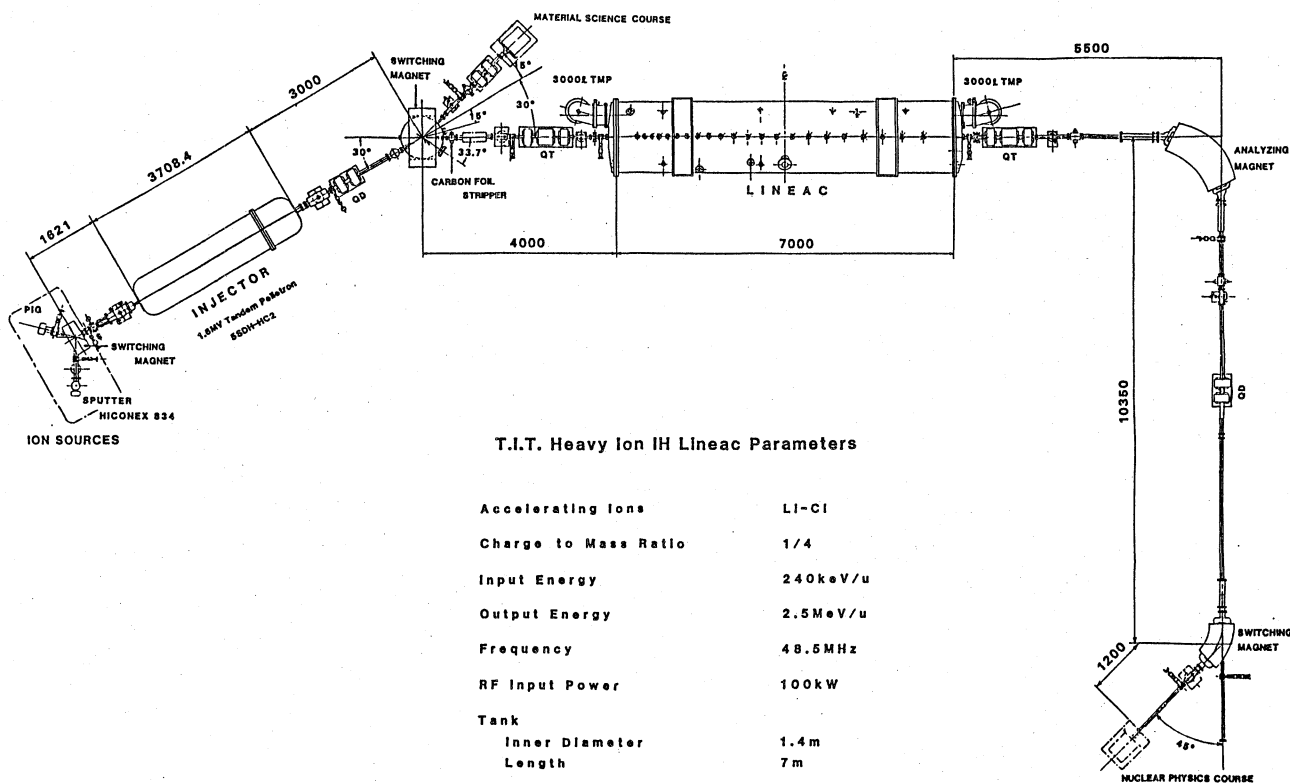


図1 東工大 重イオン加速器システム 全体図

2. 全体システム設計

最初に材料科学コース用として、負イオン源を持ったタンデム型ペレトロン静電加速器を設定する。重イオンの加速効率を上げるために、ライナック入射前に炭素薄膜により荷電変換をおこなう。ライナックの直径も2 m 以下で共振周波数は50 MHz 近ほうとする。又ライナックの加速は $\pi - \pi$ 構造が可能である。ライナック出口での透過効率も数%程度ある等を考慮した。

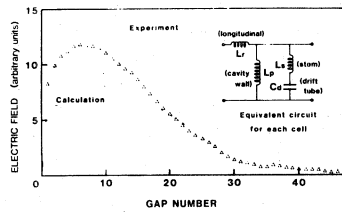
その結果ライナックでとりあえず加速できる重イオンは質量数40程度とし、例題として ^{32}S イオンについて述べる。静電加速器の加速電圧を1.55 MV とし、入射器からの S^{4+} イオン(核子当り240 keV)を荷電変換の結果8価イオンにしてライナックに入射する。入射ビーム強度は約8%ほどである。予算、大きさ電力等を考え合わせて、ライナックは東大核研 IH ライナックグループが開発している加速構造を採用した。この特徴は加速エネルギーが10倍以上変化しても十分安定に加速できることである。収束用四重極電磁石をドリフトチューブ内にそう入しても、電圧分布をインダクティブに調整しているために加速器のシャント・インピーダンスは GSI (同軸) 型の3倍程度ある。ライナックの直径は1.4 m 長さは7 m とし、出射エネルギーは後段の加速器を当てにして核物理研究には少し低い核子当り2.5 MeV とした。

図1に東工大重イオン加速システムとライナックの主要パラメータを示す。イオン源としては、スパッター型と横引出しPIG型を振分け電磁石で切り変えて使う。固体試料はスパッター型、気体試料はPIG型と使用目的を大別している。振分け電磁石、アインツエルレンズ等を経てビームは1.6 MVのタンデムペレトロン(NEC 5SDH-HC 2型)に入射される。ターミナル中には炭酸ガスのストリッパーとその排気のためのサブリメーションポンプが付いている。正イオンになり加速された重イオンは振分け電磁石により3方向に振分けられ、2コースが材料科学用である。30度方向が第3のコースで線型加速器用である。線形加速器コースのビームは炭素薄膜のストリッパーにより重イオンの価電数を上げられ、ライナックの加速効率を高めている。重イオンは四重極トリプレットで収束されたのちライナックに入射する。核子当り2.5 MeV(塩素イオンで全エネルギーは88 MeV)に加速されたビームは四重極トリプレットで収束後、ビーム分析電磁石で90度偏向される。その後四重極ダプレットで収束された後ビームは加速器室を出てターゲット室に入る。ここでビームは振分電磁石により2つの重イオン物理コースに分けられる。

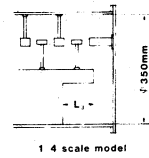
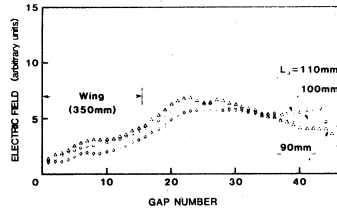
3. モデル加速空洞試験

ライナックの設計パラメータ、例えば入射粒子の価電と質量の比 q/A 、入射エネルギー、出射エネルギー、周波数、タンク長、タンク径、加速ギャップ数、ドリフトチューブ内外径、安定位相、ドリフトチューブ内四重極電磁石の収束力等は各々相互に関係しあう量である。これらを総合的に決定するためにモデル加速空洞試験とビームの軌道計算を行った。実機の4分の1モデルを真ちゅうで製作し、共振周波数、Q値の測定、加速ギャップの電界分布の測定及びその調整を行った。モデル空洞は直径35 cm 長さ1.7 m で、内部には片側からリッジが立ちドリフトチューブは空洞の壁側及びリッジ側から相互に支えられたいわゆるインターデジタル構造をしている。電界分布測定は摂動球法で行い、摂動球として、直径5 mmのアクリル棒と、直径2 mmのアルミの球を用いた。図2に電界分布調整前後の電界分布測定データと、2種類のインダクティブチューナー(ウイングチューナーと出射側リッジの切り欠きチューナー)の効果を示す。

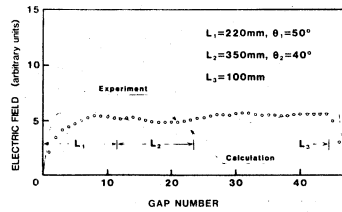
Accelerating field distribution before adjustment.



Effect of the extended beam



Accelerating field distribution after the optimization.



Effect of the wings.

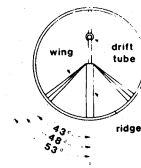
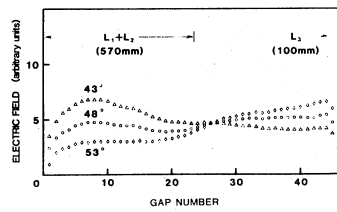


図 2 モデル加速空胴の電界分布

インダクティブチューナーを調整の結果、電界分布がほぼ一定で、前後で電界が下がる放電及び軸方向アクセプタンスを考慮した場合、ほぼ理想的な電界分布にすることが出来た。さらにこの調整の結果は加速構造を無視した空胴の単なる電気的シャントインピーダンスは最高値に比べて1割程度低いのに対し、調整前の倍程度になったことである。このことはほぼエネルギーロスなしに電界分布の調整ができたことを示している。

4. ビーム軌道解析

最終的軌道解析はモデル加速空胴の電界分布測定に基づいて行った。加速空胴共振周波数 48.5 MHz、加速構造は π - π モードで、収束は FODO モード、安定位相は -30 度を採用し最大磁場こう配は四重極電磁石の試作テストの結果 4 KG/cm とした。

理研重イオンライナックの軌道計算用に開発されたプログラムの「LINOR」を借用しモデルテストの測定結果を入れて粒子の位相運動及び加速軸に直角な方向の運動を計算した。図3に位相運動の結果を示す。このライナックは D.C. 的に入射した粒子の約4分の1 (90度) を安定に加速できることが分かった。図4に加速軸に直角な方向の粒子の軌道と、ビームのアクセプタンスと出口でのビームのエミッタンスを示している。入射器からのビームが炭素薄膜を通過した後のエミッタンスは $40 \sim 50 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ と予想されるのでこのライナックで十分加速可能である。

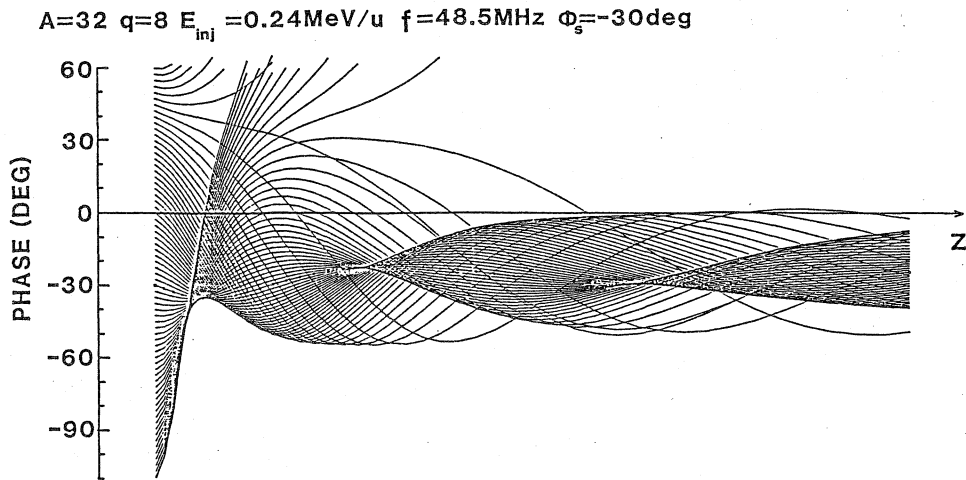


図 3 粒子の位相運動 (ギャップ内の電界は実験値を使用した場合)

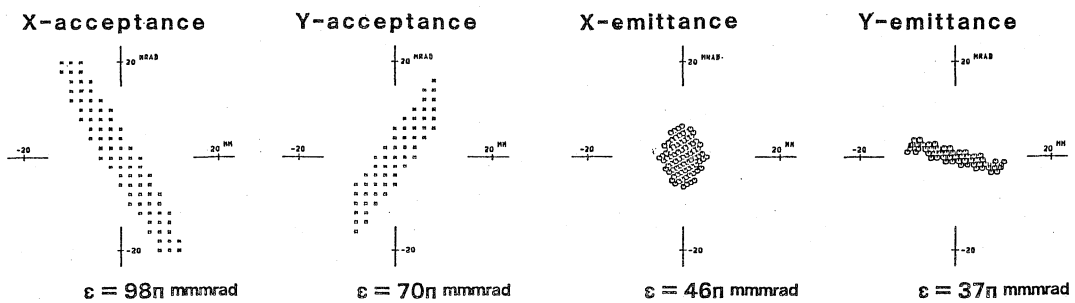
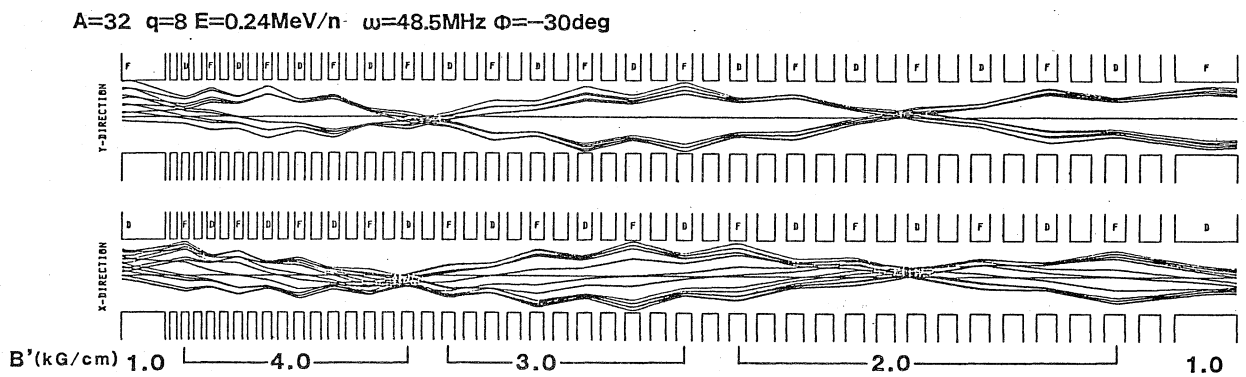


図 4 加速軸に直角な方向の粒子の運動

R References

1. S.Yamada, T.Hattori, T.Fujino, T.Fukushima, T.Morimoto, E.Tojo, K.Yoshida and T.Murakami. Proc. of International Ion Engineering Congress ISIAT '83 & IPAT '83 (1983) 59