

20-P27

## Design of a Transport System for Heavy-ion-induced Plasmas Experiments at TIT-RFQ

K.Sasa, Y.Oguri, T.Hattori  
Research Laboratory for Nuclear Reactors,  
Tokyo Institute of Technology,  
Oh-okayama 2-12-1, Meguro-ku, Tokyo 152, JAPAN

### ABSTRACT

A 80 MHz RFQ-Linac at TIT (TIT-RFQ) is to be applied for basic research on Inertial Confinement Fusion (ICF) and a heavy ion pumped laser. For these experiments, this linac and transport system are required to create a high intensity and high brightness beam. The TIT-RFQ accelerates particles with a charge to mass ratio ( $q/A$ ) greater than  $1/16$  from  $5\text{keV}/\text{amu}$  to  $214\text{keV}/\text{amu}$ . A transport system after the TIT-RFQ is designed by using three Q-magnets and a beam kicker. Ion beam of  $\text{O}^+$  with currents of  $7\text{mA}$  is expected to be focused to about  $1\text{mm}^2$ .

### 東工大重イオンRFQ型線形加速器におけるプラズマ発生実験用 照射システムの設計

#### 1. はじめに

東京工業大学原子炉工学研究所では、慣性核融合及び重イオン励起レーザーの基礎研究を行う目的で、RFQ型線形加速器とIHQ型線形加速器からなる高強度重イオンビーム照射システムの建設を予定している。このうち前段加速器である重イオンRFQ型線形加速器(TIT-RFQ)<sup>[1]</sup>については、すでに設計及び建設が行われ、1993年11月に $\text{He}^+$ の加速テストに成功した。また1994年4月には $\text{C}^{2+}$ についての加速も成功している<sup>[2]</sup>。

現在、後段用のIHQ型線形加速器はまだ設計検討をおこなっている段階であるので、実験はまず前段のRFQ型加速器のみでおこなう予定である。TIT-RFQは4ベインタイプで、電荷数対質量比 $1/16$ 、出射エネルギー $214\text{keV}/\text{amu}$ 、ビーム透過効率は $0\text{mA}$ と $10\text{mA}$ の入射電流に対してそれぞれ $92\%$ と $68\%$ という設計値を得ている。ここではTIT-RFQにおけるプラズマ発生実験を行う目的で設計及び製作した照射システムについて報告を行う。

#### 2. ビーム輸送系の設計

TIT-RFQの目的であるプラズマ発生実験においては、ターゲットへのエネルギー付与密度を高めるために、照射時のビームスポットを最小化する必要がある。しかし、TIT-RFQでは場所的及び予算的な制約から、ターゲット位置までのビーム輸送系の長さ、収束用の四重極電磁石の性能などがある程度限られたものになった。ビーム輸送系としては、RFQのベイン先端からおよそ $2\text{m}$ の位置にターゲットがくるようにし、その間にRFQ加速器の出口におけるビーム電流を測定するためのファラディカップ及びゲートバルブを各々1台、ビームKicker、四重極電磁石3台の各コンポーネントを配置するよう設計をおこなった(Fig-1)。

Table-1

Design Parameters of the TIT-RFQ

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Charge-to-mass ratio              | $\geq 1/16$ |
| Operating frequency (MHz)         | 80.9        |
| Input energy (keV/amu)            | 5           |
| Output energy (keV/amu)           | 214         |
| Duty factor (%)                   | 10          |
| Transmission (%)                  |             |
| Considering the higher order mode |             |
| 0mA input                         | 91.8        |
| 10mA input                        | 68.4        |

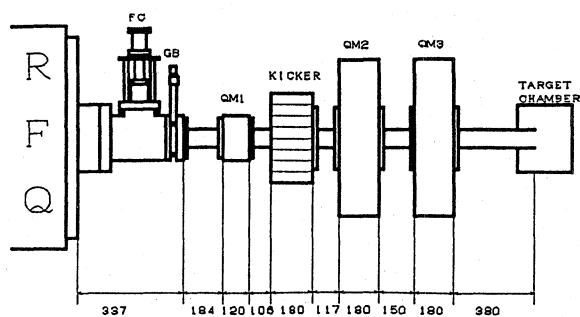


Fig-1 各エポネットの配置

設計する上において、四重極電磁石の QM1 と QM2 については、主要パラメータであるボア径と最大磁場勾配をそれぞれ、 $\phi 60\text{ mm}$ 、 $3\text{ kG/cm}$  と仮定し、磁極付近で鉄の磁気飽和限界に近い設計を行った。

また TIT-RFQ はパルス運転され、パルスの繰り返し幅は最大  $30\text{ ms}$ 、最大稼働率が  $10\%$  であることより、ビームのパルス幅は  $3\text{ ms}$  程度になる。しかし、TIT-RFQ の加速空洞の Q 因子 ( $Q \sim 10,000$ ) による時間的遅れから、大変立ち上がり時間の遅いパルスになっており、そのままターゲットにビームを照射すればビームパワーが最大になる前にターゲットが予備加熱され散逸してしまうことになる。そこで立ち上がりの良いパルスビームを照射するため、RFパルスに同調した高速の偏向高電圧をビームに与えられるビーム Kicker の設計も行った。Kicker は、 $15\text{ kV}$  のキック電圧で、 $^{16}\text{O}^+$  ビームをターゲット位置において  $15\text{ mm}$  変位できるよう設計を行った。

ビームの軌道計算は、RFQ 加速器内においては計算機コード PARMTEQ-H<sup>[3]</sup> を用いて行い (Fig-2)、加速器を出た後の輸送系においては、計算機コード MS-TR を用い (Fig-3)、最終的に空間電荷反発力を考慮して各コンポーネントの最適化をはかった。最終的にターゲット位置でのビームスポット面積は、 $1.089\text{ mm}^2$  となった。

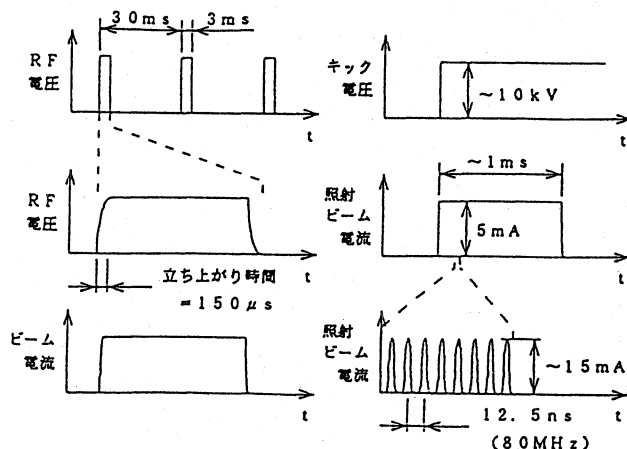


Fig-2 RFQ パルスビーム

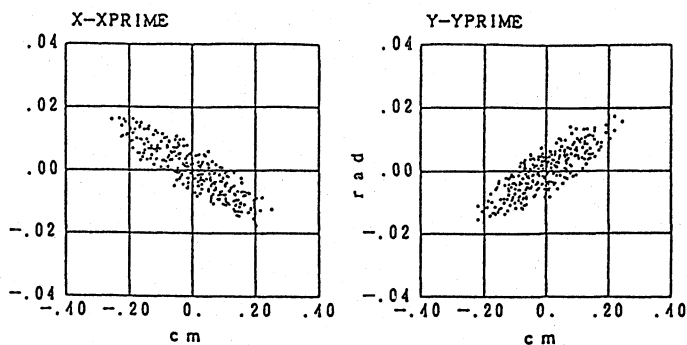


Fig-3 PARMTEQ-H により計算された RFQ 出口における粒子座標 ( $\text{He}^+ : 2.5\text{ mA}$ )

RFQ FOCUS SYSTEM

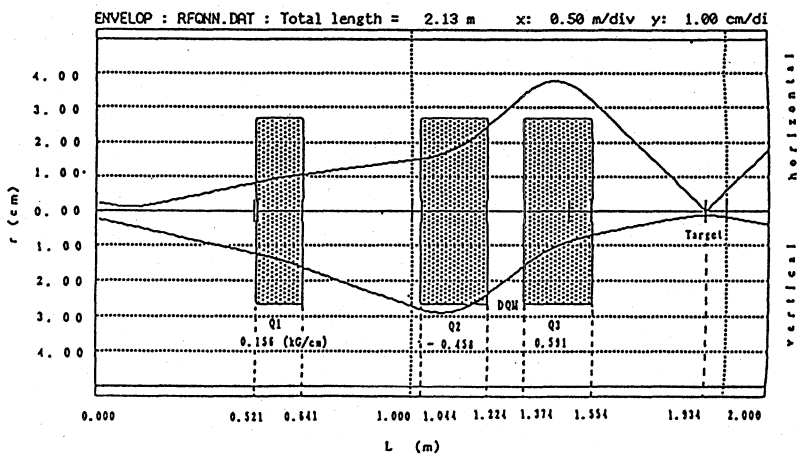


Fig-4 MS-TR によるビーム軌道計算 ( $\text{He}^+ : 2.5\text{ mA}$ )

### 3. 各装置の製作

製作された各QMの性能パラメータをTable-2に示す。

Table.2 Parameters of quadrupole magnets

|                                    | QM1 | QM2, 3 |
|------------------------------------|-----|--------|
| bore diameter(mm)                  | 36  | 60     |
| core length(mm)                    | 120 | 180    |
| max field gradient(30A)<br>(kG/cm) | 2.0 | 3.0    |

Kickerについては、180mmの長さの電極板に15kVの偏向高電圧を100nsでスイッチングできる回路を製作した。5VのTTLパルス信号が入力されたときの電極間電圧の変化をFig-4に示す。

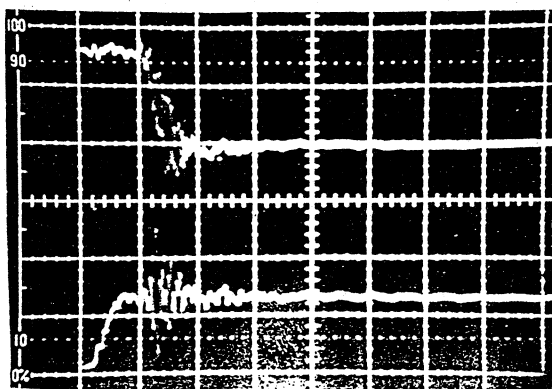


Fig-4 Kicker電圧(15kV) [上]  
TTLパルス(5V) [下] (100ns/div)

なおTTLパルス信号は、80MHzの運転周波数をDown counterを通して得る予定である。

### 4. まとめと今後の課題

TIT-RFQに本照射システムを設置し、ガスターゲットにビームを照射してプラズマを発生させる実験を予定している。モデル計算<sup>[4]</sup>によりH<sub>2</sub>(1atm)をターゲットにした場合、エネルギー付与密度15.1GW/g、プラズマ温度1.36eVという結果を得ている。測定はストリークカメラ系測定装置を用いて、プラズマの膨張等の動的振る舞い、プラズマ温度及び電子密度の測定などを行う予定である。なお Kickerとストリークカメラの連動試験は、東工大V.d.G 加速器を用いて行われ成功している。

今後は、現在開発中の中多価用ECRイオン源<sup>[5]</sup>をTIT-RFQにつなげ、まずHe<sup>+</sup>(2.5mA)ビームを用いて実験を開始する予定である。

### 参考文献

- [1] M. Okamura, Y. Oguri, K. Sasa, T. Hattori et. al : Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B89(1994)38-41.
- [2] M. Okada et. al:本研究会予稿
- [3] K. R. Crandall:LA-9695-MS(1983).
- [4] R. C. Arnold and J. Meyer-ter-Vehn: Rep. Prog. Phys 50(1987) 559-606.
- [5] 服部俊幸 他:原子核研究, Vol. 37 No. 3. 57-60.

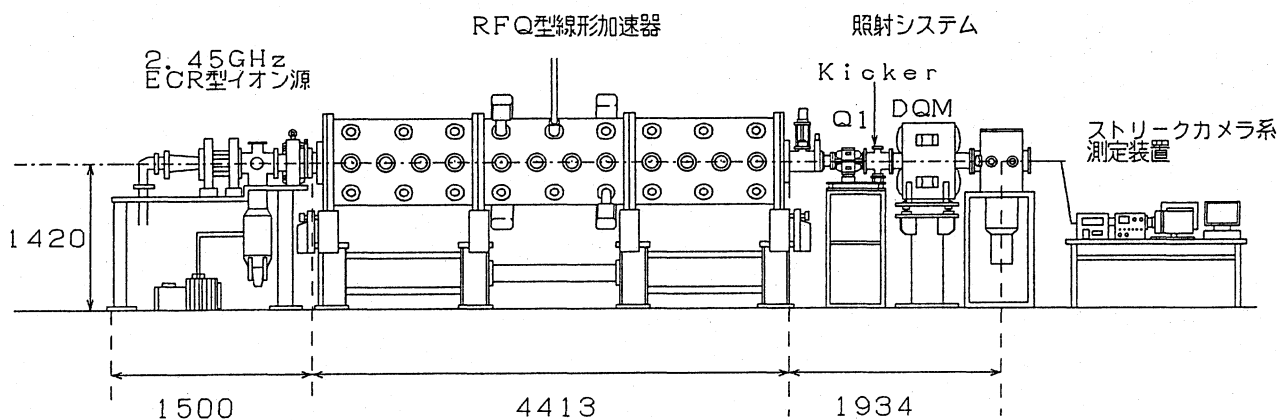


Fig-5 東工大高強度重イオンビーム照射システム外観図