

R&D WORKS ON JAERI BTA

J. KUSANO, M. MIZUMOTO, K. HASEGAWA, H. OGURI, N. ITO,
 H. MURATA^{A)}, M. KAWAI^{D)}, K. SAKOGAWA^{B)}, Y. OKUMURA,
 S. TATSUMI^{A)}, Z. KABEYA^{B)}, H. YOKOBORI^{C)}

Japan Atomic Energy Research Institute
 Tokai-mura, Naka-gum, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

ABSTRACT

The R&D works for construction of a 10MeV/10mA proton linear accelerator (BTA) has been carried out at JAERI for last three years. A high brightness ion source, an RFQ, an RF power source and a DTL hot test model were fabricated and examined. During February '94, the beam test was made to achieve 2MeV proton beam combined with the ion source, the RFQ and the RF source. The observed peak beam current at 2MeV is 52mA on a duty of 5%, repetition rate of 50Hz and pulse duration of 1.0ms. A high power test of model DTL was succeeded to obtain characteristics of RF heating.

原研 BTA の要素技術開発

1. はじめに

原研ではTRU消滅処理の研究を始めとする高エネルギー陽子ビームの工学的利用を目的とした大強度陽子リニアック(ETA)の建設を計画している。加速器開発の第一ステップとして、大電流ビーム加速で最も取扱いの難しいイオン源・入射部を中心とする前段加速部の技術開発を目的とする加速器 BTA (Basic Technology Accelerator, 加速エネルギー 10MeV, 平均ビーム電流 10mA, ピークビーム電流100mA, Duty 10%) 実現のための要素技術開発(R&D)をこれまでの3年間進めてきた^{1),3)}。R&Dでは、高輝度イオン源、RFQ、高出力RF源およびDTLホットテストモデルの製作・試験を行ってきた。

技術開発用加速器BTAのシステム概念図とR&D範囲を Fig-1 に示す。

本年の2月にはそれぞれ個別に性能確認したR&Dの機器を組み合わせ、2MeVの陽子ビーム加速試験を住友重機械(株)新居浜製造所で行ったので、ここにR&Dの概要とビーム試験の結果を併せて報告する。

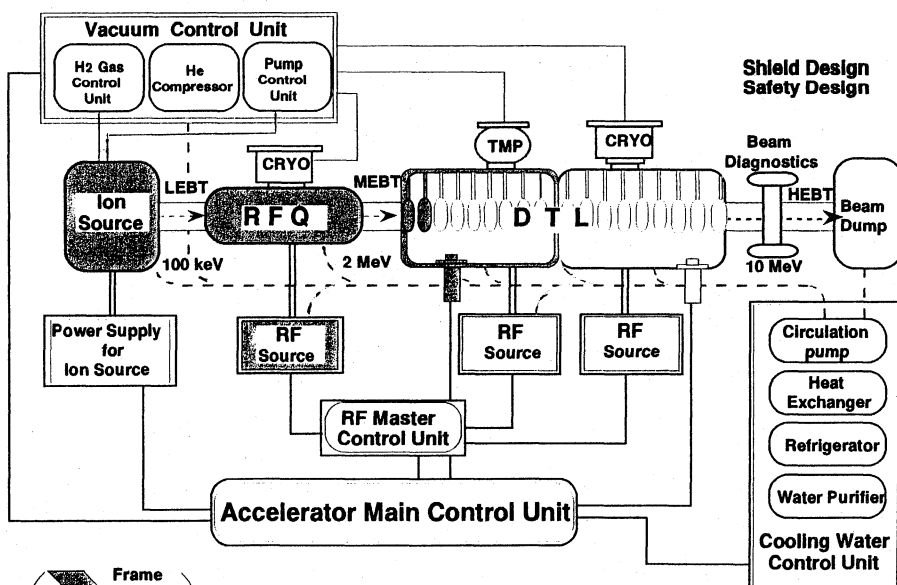


Fig-1 BTA System Diagram

A) Sumitomo Heavy Industries
 B) Mitsubishi Heavy Industries
 C) Mitsubishi Atomic Power Industries
 D) Toshiba Corporation



2. R&Dの概要

[1] イオン源：マルチカスプ型イオン源を製作し、100keV、100mAの陽子加速に成功した(Fig-2)。90%エミッタンス：0.5πmm mrad、プロトン比：85%を達成し、BTAで必要とする高輝度イオン源の性能を実現した²⁾。

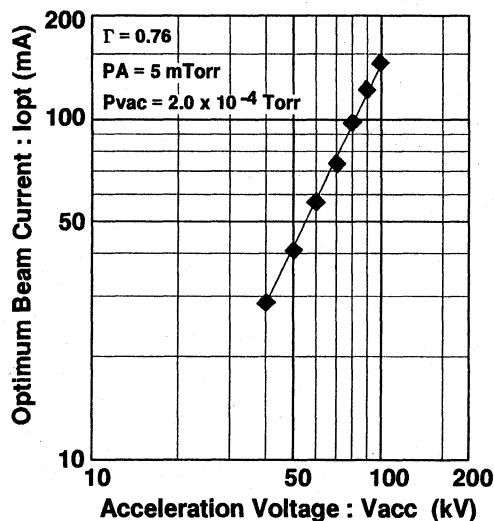


Fig-2 High Brightness Ion Source Beam Characteristics

[2] RFQ：ベーン、加速空洞本体、RFカップラー等の製作の後、全長3.3mの100keV-2MeVの加速管を組立てた。コールドレベルでのQ値測定 (9,420, 71%Q₀)、電場分布測定(Fig-3)、高出力RF源を用いたコンディショニング、ハイパワーテストを終え、ピーク電力として 5%Duty時に最大393kW、定格12%Duty時で最大260kWのRFパワー入力を記録した。この後、イオン源との組み合わせにより2MeVの陽子ビーム加速試験を行った。

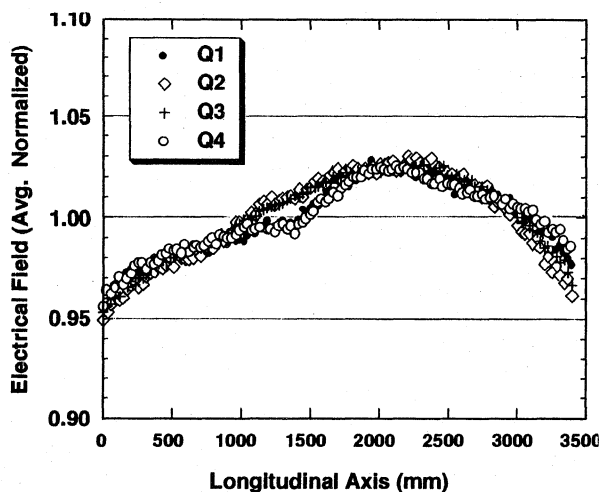


Fig-3 RFQ Electrical Field Distribution

[3] RF源：周波数201.25MHz、ピーク出力1MW、Duty12%の高出力RF源1台を製作した。ダミーロードを用いたハイパワーテストの結果、最大ピーク出力：1MW(Duty 0.6%)、定格12%Duty時の最大ピーク出力：830kWを達成した。

[4] モデルDTL：ビーム上流側2セルにホローコンダクタ型Qマグネットを組込んだ9セルモデルのホットテスト用加速空洞を製作し、コールドテストでのビーズ法による電場分布測定(Fig-4)、Q値測定 (42,000, 83%Q₀)及び上記RF源との組み合わせによるハイパワーテストを行い、定格12%Duty時の最大154kWのRFパワー入力を実現した。

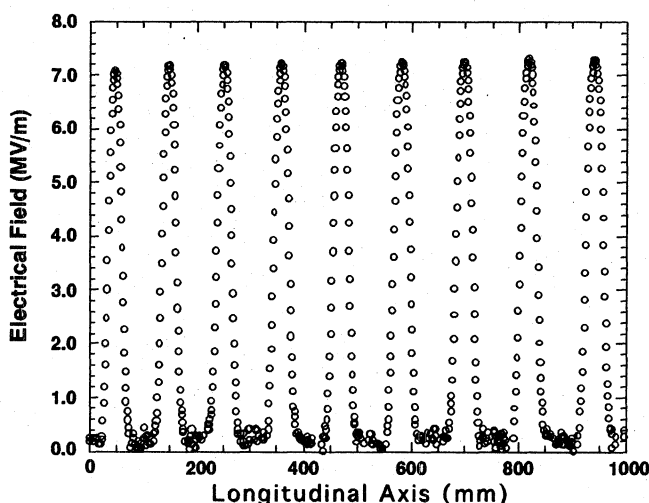


Fig-4 DTL Field Distribution

* Vertical value is normalized to designed field strength

以上のようにR&Dの機器単体での性能確認試験では、それぞれBTAで必要とする仕様条件を満たす結果を得た。

3. 2 MeVビームテスト

計画中のBTAの2MeVまでのビームラインを模擬した機器構成にビーム診断系を加えたビームラインを組立て、ビーム加速試験を行った (Fig-5)。イオン源加速エネルギーは100keVを定格とし、RFQは入力パワーの確認により、ベーン間電圧113kVの時にビーム到達エネルギー2MeVの推定の下にビームテストを開始した。ビーム電流はイオン源負荷電流と3個のファラデーカップ(FC)により測定し、この他にマルチワイヤ式のビームプロファイルモニタ(PM)2式とエネルギー分析には電磁石型のアナライザ(MEA)を用いた。主な測定項目をTable-1に示す。

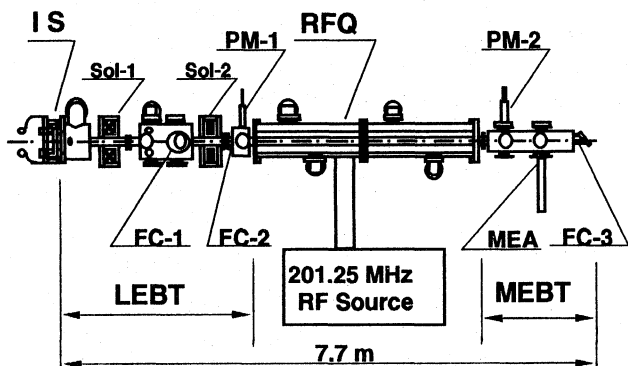


Fig-5 Layout of R&D Beam Test

[1] ビーム加速パラメータの確認

イオン源の定格加速電圧100kVの条件でLEBTの2台のソレノイドマグネット(Sol)によるビーム収束効果とLEBT・RFQビーム透過率の相関を求め、ソレノイド励磁電流の最適値(Sol-1, Sol-2 both $I=300A$, $B=5kG$)を決定した。この組合わせを前提条件とするRFQビーム透過率の他のパラメータ依存性を測定した。この時のRFQ入射ビームプロファイルはガウス分布から少し崩れた釣鐘形状となった。

アナライジングマグネット(MEA)によるエネルギー分析結果からRFQ出口でのビームエネルギー $2MeV \pm 5\%$ を確認した(Fig-6)。X線の測定(NaI検出器)結果からのベーン間電圧は、RFQ入力パワー260kWで定格113kV($V_n=1.0$)と推定できた。

測定項目	測定手法
ビームエネルギースペクトル	アナライジングマグネット
RFQベーン間電圧	X線の測定(NaI検出器)
ビームプロファイル	ビームプロファイルモニタ
RFQビーム透過率	ファラデーカップ

Table-1

[2] RFQビーム透過率

RFQ規格化ベーン間電圧： V_n が0.75以上ではビーム透過率がほぼ一定となる結果が得られた。RFQビーム透過率の検討過程で、FCでのビーム電流測定に大きな2次電子効果が認められたため熱量計法でも測定し、2次電子効果の補正を試みた。

RFQへのビーム入射エネルギー V_{is} をパラメータとしたビーム透過率では V_{is} が85kV以下では低透過率で、85kV以上で急激に増加し、95kV以上ではほぼ一定値となった。

[3] イオン源条件

加速ビームのイオン組成比はMEAをLEBTに設置して測定した。イオン源加速電流72mAの時にプロトン比74%を観測した。イオン源側の特性として、最

適水素ガス流量：4SCCMの存在が確認された。

[4] 2MeVビーム電流

R&DのRFQとイオン源を用い、初めてピーク電流100mA級の大電流加速を行った。結果として得られたFC-3で測定された2MeVのビーム電流最高値は、繰返し50Hz、パルス幅1.0ms (Duty5%)でピーク電流52mAであり、この時のLEBT及びRFQビーム透過率はそれぞれ78%と68%であった。

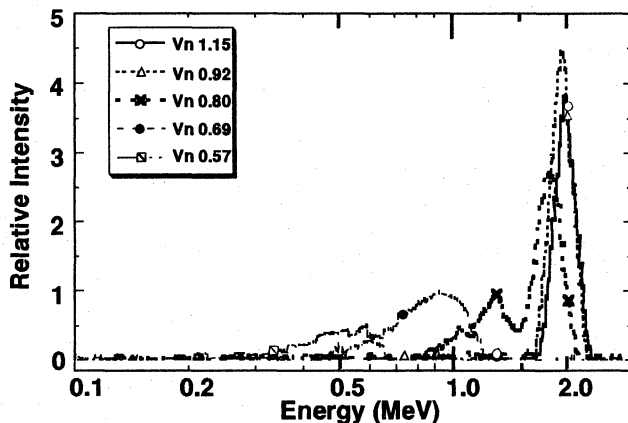


Fig-6 Energy Spectra of Proton after RFQ Passing

[5] ビームテストまとめ

今回の初ビームテストでは目標としていた10% Duty, ピーク電流100mA, 平均10mAにはおよばなかったが、大電流加速についての見通しを得たということと、種々の測定手法について経験を重ねたことに大きな意義があり、BTAの実現へ向けて確実にステップを進めたと評価している。

4. 今後の課題と見通し

ビームテストの結果から、RFQ入射条件の確定のためにLEBTでのビームエミッタンスの確認とビーム電流検出方法の改良が必要であることが分かった。また、イオン源条件をパラメータとしたイオン組成比とビーム空間分布の確認も重要であり、これらの項目を含めたビームテストをHigh-Duty条件でのビームプロファイル測定法の開発と並行して進める必要がある。原研では東海研究所にこのR&D機器のビームライン再組立を進めており、本年10月からビームテストを再開する予定である。

参考文献

- 1) K. Hasegawa et. al, Proc. of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan, pp173-175 (1993)
- 2) H. Oguri, et. al, Proc. of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan, pp131-133 (1993)
- 3) M. Mizumoto, et. al, Proc. of ICENES'93, Makuhari, p453 (1993)