

DEVELOPMENT OF AN INJECTOR SECTION FOR THE HIGH INTENSITY PROTON ACCELERATOR AT JAERI

Hidetomo OGURI, Michikazu KINSHO, Nobuo OUCHI, Kazuo HASEGAWA, Joichi KUSANO, Motoharu MIZUMOTO, Yoshikazu OKUMURA and Yutaka TOUCHI*

Japan Atomic Energy Research Institute
 *Sumitomo Heavy Industries, Ltd.
 Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11 JAPAN

Abstract

Construction of a 8MW proton linac has been proposed for the Neutron Science Project at JAERI. The 2 MeV beam test has been performed to study the characteristics of the injector section of the linac. We have obtained a peak beam current of 80 mA at the RFQ. To obtain higher beam current, we measured the RFQ input beam current by using a current transformer and evaluated the beam transmission rate in the LEBT and the RFQ. We have also developed a volume production type negative ion source. The extracted negative hydrogen ion beam current of 5.5 mA was obtained at an arc discharge power of 18 kW.

原研大強度陽子加速器入射部の開発

1. はじめに

原研で提案している中性子科学研究計画に使用する大強度陽子加速器は、ビームエネルギー1.5GeV、ビームパワー8MWを想定しており、現存する加速器の性能をはるかに上回る¹⁾。そのため原研では現在、大強度陽子加速器の入射部に相当する水素イオン源とRFQを製作してビーム加速試験を行い、加速器建設のための要素技術開発を実施している。本研究では、RFQビーム試験とイオン源開発の現状について報告する。

2. 2MeV ビーム試験

現在原研に設置している2MeVビームラインの概念図を図1に示す。本ビームラインは、水素イオン源およびLEBT、RFQ、MEBTで構成される。現在のRFQの性能は、出力ピーク電流80mA、

デューティー8%であり、両者とも設計値の8割程度である²⁾。今回、さらに電流値を上げるための手掛かりを検討するために、CTをRFQ入口に設置してRFQ入射ビーム電流を測定し、LEBT、RFQのビーム透過率の評価を行った。測定結果を図2、図3にそれぞれ示す。両図中の Γ は、正イオン源2段ビーム引出部における、1段目と2段目の印加電圧の比である。 Γ 値を大きく選ぶと、

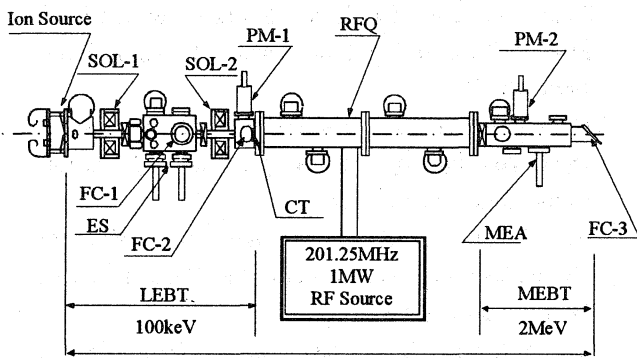


図1 原研2MeVビームライン

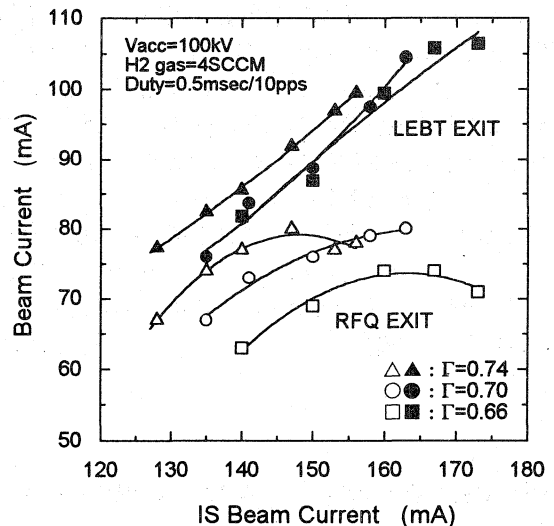


図2 LEBTとRFQの出力ピーク電流

イオン源の出力ビーム電流は減少するがエミッタンスは向上する³⁾。LEBTにおいてはイオン源ビーム電流の増加に伴いピーク電流、透過率は単調に増加し、透過率は最大で約65%である。イオン源出力ビームの陽子比が80%程度である

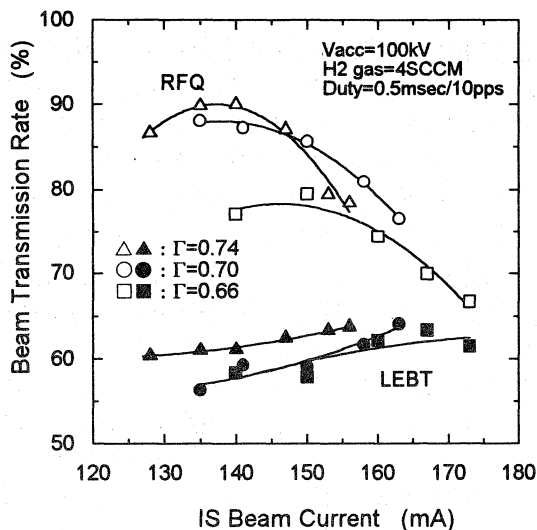


図3 LEBTとRFQのビーム透過率

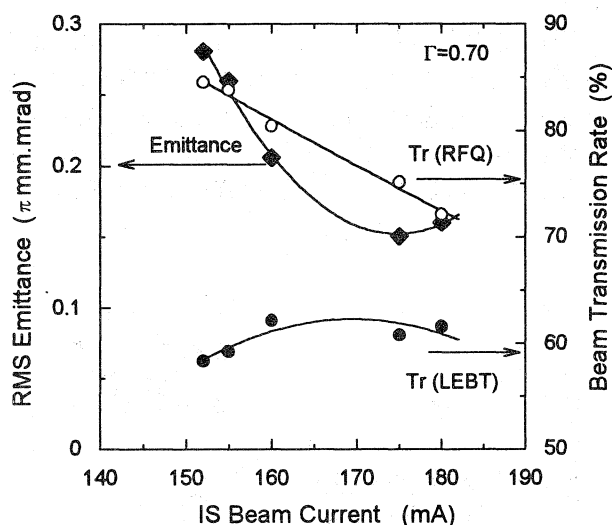


図4 イオン源出力ビームエミッタンスとLEBT、RFQのビーム透過率

ことを考慮すると、LEBTでの陽子ビームの透過率は約80%である。一方RFQについては、ピーク電流、透過率とも最大になる最適イオン源出力電流が存在する。また Γ 値に対する依存性も大きく、 Γ が大きい時ほどピーク電流、透過率とも高くなる。この結果から、イオン源出力ビームのエミッタンスを改良すれば、電流値、透過率とも向上することが期待できる。 $\Gamma=0.70$ の条件で測定した、イオン源出力ビームエミッタンスの変化に対するビーム透過率依存性を、図4に示す。図のエミッタンスは、イオン源下流約1mの場所での測定値である。またエミッタンス測定中は、LEBT設置のソレノイド電磁石は未使用とした(RFQビーム加速中はソレノイドを使用)。イオン源出力エミッタンスは、イオン源電流175mA付近で最小となる。しかしRFQビーム透過率は、この条件では最大にはならず、むしろ

電流値を下げてエミッタンスが増大するに従って向上する。これは、イオン源から発散性の強いビームが出力されると、ビーム周辺部はLEBT内で消失し、中心部のみがRFQ入口に到達するため、RFQ入射エミッタンスが小さくなり、その結果RFQビーム透過率が上昇したと考えられる。現在、RFQ入口付近にエミッタンス測定器を設置する方法を検討中であり、RFQ入射エミッタンスの大きさや形状についてRFQアクセプタンスと比較し、透過率、ピーク電流の定量的な評価を行う。またイオン源についても、ビーム引出部構造等の見直しを行い、エミッタンスの改善を試みる予定である。

RFQの入射器として現在使用している正イオン源では、ソースプラズマを生成するためにタングステンフィラメント(W)を使用している。これまでのビーム試験の結果、Wフィラメントの寿命は200時間程度である³⁾。一方、KEKで使用中のLaB₆フィラメントは、Wよりも寿命が10倍程度長いので⁴⁾、本イオン源でも使用できれば長寿命化の有力な手段となる。今回KEKよりLaB₆フィラメント⁴⁾を入手し、本イオン源に取り付けてビーム試験を行った。パルス運転(アーク電流幅1.0msec、繰返率100pps)では安定に運転することができ、アーク効率はW使用時よりも高い値を示した。しかしCW運転を行うと、運転開始後まもなくアーク電流が急上昇し、アーク電源の電流容量限界により、アーク電源が非常停止した。これは、フィラメント挿入位置がプラズマ生成容器の中心軸上に存在するため、高密度プラズマによるフィラメント加熱が著しく、熱暴走したものと考えられる。CW運転を行うには、フィラメントの形状や導入方法について最適化を行う必要がある。

3. 負水素イオン源開発

原研では昨年度、既設の正イオン源用高電圧電源を負イオン引き出し用に改造して負イオン源開発の準備を行った。そして今年度より、2MeVビームラインのLEBT機器を使用して負水素イオン源ビーム試験を開始した。負イオン源の概念図を図5に示す。今回使用した負イオン源は、正イオン源プロトタイプを、負イオン引き出し用に改造したものであり、外観形状は正イオン源と同じである⁵⁾。主な改造点は、①負イオンを得るために、局在したシート状横磁場をプラズマ生成室内に設置した。②4枚の電極を全て、負イオン源用に更新した。本来、本イオン源に

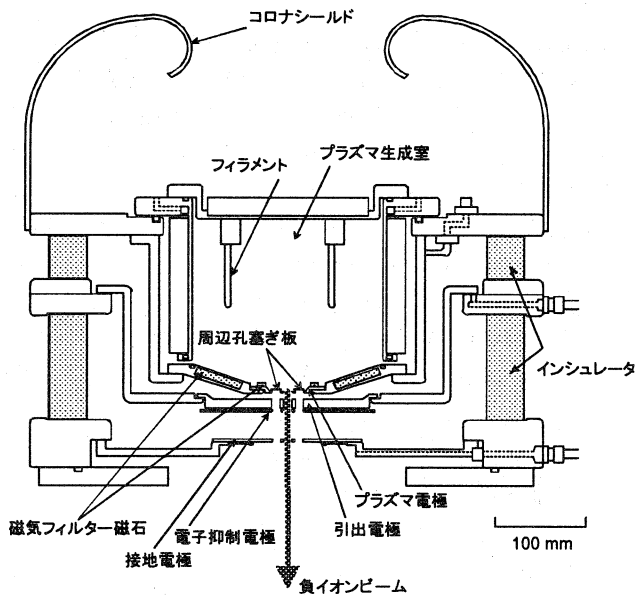


図5 体積生成型負水素イオン源 概念図

は多孔ビーム引出試験用のビーム引出孔が各電極に7個設けられているが⁵⁾、今回は単孔ビーム試験を行うために、プラズマ電極上に周辺孔塞ぎ板を設け、中心孔のみを使用した。引出孔の口径は9mmφである。入力アークパワー（アーク電圧とアーク電流の積）に対する負イオン電流と引出電流の依存性を、図6に示す。アークパワ

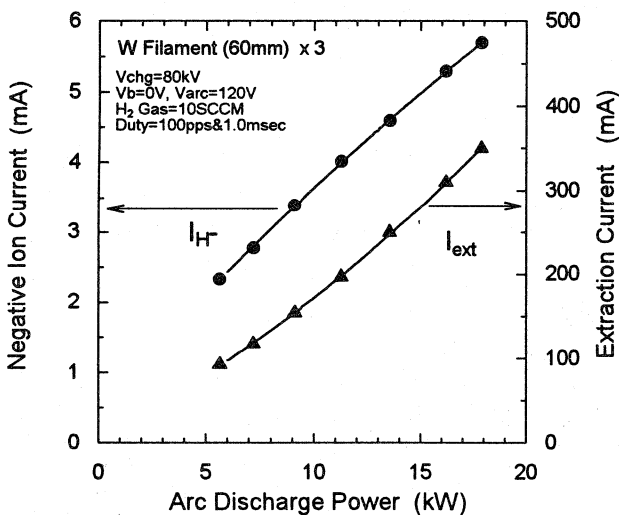


図6 負イオン電流と引出電流

ー18kWに対して、負イオンビーム電流は5.5mAである。アーク効率を計算すると0.3mA/kWとなる。一方、引出電流は350mAであり、負イオンに対して電子電流は60倍程度引き出されている。負イオンの場合、イオン源下流に存在する残留ガスとの荷電変換反応によるビーム損失が問題

となる。LEBT真空度に対する負イオン電流変化の測定結果を、図7に示す。測定中はアークパワー、水素ガス流量はそれぞれ17kW、10SCCMに保った。図中の曲線は、荷電変換によるビーム損失率を表す式を用いて、実験データを最小二乗近似して得られた結果である。その結果、イオン源直後の負イオンビーム電流は8.5mA程度と見積ることが出来る。真空度が 10^{-5} Torr台後半から、ビーム損失が著しくなるので、ビームを効率良くRFQまで輸送するには、LEBT内の真空度を 10^{-5} Torr台前半に保つ必要がある。これを実現するには、イオン源のガス効率を改善して低ガス流量運転を行い、またイオン源ビーム引出部から真空排気が可能なイオン源構造を採用し、LEBTへのガス流入量を低減させる必要がある。

現在まで得られている負イオンビーム電流は、目標値50mAに対して一桁低い。今回得られた実験データを基に、新たに負イオン源を製作し、同時に多孔ビーム引出方法やセシウム導入方法についても検討を行い、目標値実現を目指す。

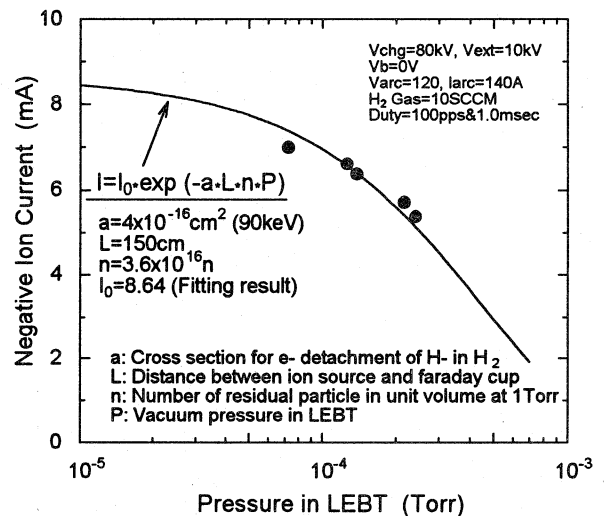


図7 残留ガスによる負イオンのビーム損失

参考文献

- 1) M. Mizumoto, et al., Proceedings of the 1996 Linac Conference, Geneva, Switzerland, (1996) 662
- 2) K. Hasegawa, et al., Proceedings of the 1996 Linac Conference, Geneva, Switzerland, (1996) 665
- 3) H. Oguri, et al., Proceedings of the 1994 Linac Conference, Tsukuba, Japan, (1994) 381
- 4) A. Takagi, Private communication (1996)
- 5) H. Oguri, et al., Rev. Sci. Instrum., 67 (3), 1051 (1996)