

## OPERATION STATUS OF THE J-PARC H<sup>-</sup> ION SOURCE

Hidetomo Oguri<sup>1</sup>, Akira Ueno, Kiyoshi Ikegami, Yuya Namekawa, Kiyonori Ohkoshi

J-PARC Center

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

### Abstract

A cesium-free H<sup>-</sup> ion source driven with a LaB<sub>6</sub> filament is being operated for J-PARC. The beam commissioning of J-PARC accelerators started in November 2006. As of June 2009, there have been 25 beam commissioning or supply runs. In these runs, the ion source has been successfully operated in two different modes. One is a low beam current mode, in which approximately 5 mA is produced. The other is a high beam current mode, in which approximately 30 mA is produced. According to the task of the run, one of the two modes was selected. Since the beam current can be maintained within a few percent errors by tuning the ion source parameter once a day, 24 hours beam operation with an ion source operator only in day time was started in April 2008. The total interruption time during the runs due to the ion source failure is approximately 50 hours as of June 2009. The availability of the ion source is calculated to be 99 %. The interruptions were mainly caused by the insufficient lifetime of the filament. By a few modifications on the filament shape administered until August 2007, we succeeded in achieving the lifetime of 2,030 hours, which included 1,250 hours in the low beam current mode and 780 hours in the high beam current mode.

## J-PARC負水素イオン源の運転状況

### 1. はじめに

日本原子力研究開発機構 (JAEA) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の共同プロジェクトである大強度陽子加速器施設 (J-PARC) は、2006年秋のリニアックの運転開始を皮切りに順次施設の稼働が始まり、2009年4月のニュートリノビームの生成をもって第1期計画で予定されていた全ての施設が稼働するに至った。J-PARC用イオン源は実働運転を開始して間もなく3年となるが、現在までのところ大きなトラブルはなく順調に加速器にビームを供給している。本学会では、運転当初からのイオン源の運転状況について報告する。

### 2. J-PARCイオン源システム

J-PARCがスタートする以前から、JAEAとKEKにおいてそれぞれ独立に大強度負水素イオン源の実現を目指した開発研究が進められていた<sup>[1][2]</sup>。これらの成果を基に、J-PARC第1期計画ではセシウムを使用しない六ホウ化ランタン (LaB<sub>6</sub>) 製フィラメント型の負水素イオン源を採用することとなった<sup>[3]</sup>。J-PARCで現在稼働中の負水素イオン源の構造図を図1に示す。プラズマ生成室の形状は内径100mmφ、内長130mmの円筒形であり、天板フランジ中心にLaB<sub>6</sub>製フィラメントを1本設置してアーク放電にてソースプラズマを生成している。LaB<sub>6</sub>製フィラメントはKEK-PS用イオン源で使用されていた二重らせん構造のものをJ-PARC用に改造して使用している<sup>[4]</sup>。ソースプラズマは、プラズマ生成室の側面及び天板フランジに配置した永久磁石にて生成するマルチカスプ

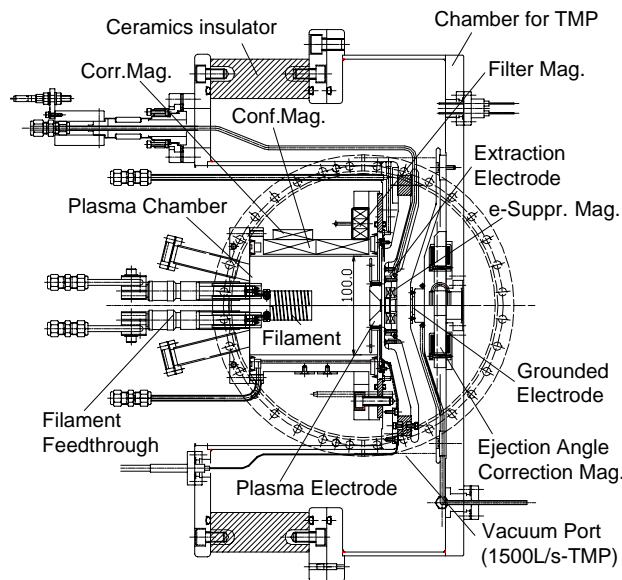


図1 J-PARC負水素イオン源の構造図

磁場にて生成室内に閉じ込められる。負イオン生成に必要な磁気フィルターは、プラズマ生成室下流側の側面に永久磁石を配置して生成している。また補正磁石と呼ばれる永久磁石を生成室上流側に配置し、フィラメント先端部に高密度プラズマが発生するゼロ磁場領域を生成させることでビーム電流を向上させている<sup>[4]</sup>。ビーム引出系は、プラズマ電極 (PE)、引出電極 (EXE) 及び接地電極 (GE) の3枚の電極で構成され、PEとEXE間には約10kV (引出電圧)、EXEとGE間には約40kV (加速電圧) の電圧を印加し、

<sup>1</sup> E-mail: oguri.hidetomo@jaea.go.jp

50keVの負水素イオンビームを引き出している。PEとEXE間及びEXEとGE間のギャップ長はそれぞれ3.0mm、12.0mmである。EXE-GE間の12mmは、RFQのビーム透過率が最大になるように調整されたギャップ長である<sup>[4]</sup>。負イオンビームと同時に引き出される電子を除去するために、EXE内部に永久磁石を設置して2極磁場を生成している。ビーム引き出し系には排気速度1,500L/sのターボ分子ポンプを2台設置し、差動真空排気を行っている。イオン源の出口フランジには偏向電磁石を組み込み、RFQの透過率が最大になるようにビーム軸補正を行っている。

イオン源高圧電源はメンテナンス性を考慮して、加速器トンネル上流部のコンクリート壁を隔てて隣接するイオン源電源室内に設置している。イオン源に電力を供給するケーブルはコンクリート壁を貫通させる必要があるため、壁に貫通孔を設けケーブル敷設用の高電圧ダクトを設置している。高電圧ダクトの概念図及び配置図を図2に示す。本ダクトは、外部ダクト（接地電位）と内部ダクト（-50kV印加）の同軸構造であり、ケーブルは内部ダクト内に敷設される。加速器トンネル内の放射化空気がイオン源電源室に漏えいするのを防ぐために、両ダクトの間隙に高絶縁性のガラスFRP製気密板を設置してこれを建築用高气密ゴムガスケットで両ダクトに固定するとともに、内部ダクト内に難燃性シール材を充填して気密性を確保している。また、加速器トンネルのコンクリート壁は防火区画に指定されているため、国土交通大臣認定の25mmケイカル板壁工法に準じて両ダクトの間隙に高絶縁性を有する耐火シール材をコーティングしたケイ酸カルシウム板を設置し、本ダクトに防火区画性能を付加している。

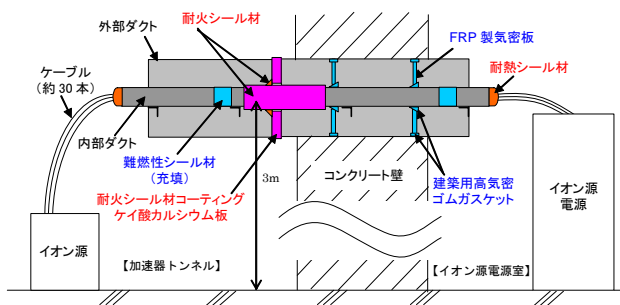


図2 高電圧ダクトの概念図と配置図（立面図）

### 3. J-PARCイオン源の性能

#### 3.1 イオン源の運転状況

J-PARCイオン源は、2006年9月に加速器トンネルに設置され、約2か月の試運転を経て同年11月よりリニアックへのビーム供給を開始した。以後、2009年6月まで、加速器調整またはビーム供用のためのビーム供給運転を25回実施してきた。2009年6月までのイオン源の運転履歴（日毎のビーム電流値）を図3に示す。図中の赤色及び青色で示す値は、ビーム供給運転及びイオン源単独R&D運転時のビーム電流をそれぞれ示す。ビーム供給運転は夏期を除きおよそ1か月単位で行い、ビーム運転に3~4週間、メンテナンスに1~2週間充てられる。ビーム供給運転では、イオン源は加速器のビームスタディの目的により約5mAの低出力運転または約30mAの高出力運転が選択される。しかし、2008年9月下旬にRFQで放電トラブルが深刻化したため<sup>[5]</sup>、それ以降イオン源は低出力運転のみに限定されている。RFQの放電対策の一環としてイオン源から放出される水素ガスのRFQへの流入量を低減するために、2009年3月にイオン源プラズマ電極のビーム口径を従来の9mmから8mmに縮小している。メンテナンス期間は、必要に応じてイオン源のオーバーホールを実施するほか、R&D運転を実施している。

これまでのビーム供給運転の間、イオン源が長時間停止したのは2回であり、いずれもフィラメントのトラブルに起因するものであった。最初のトラブルは2006年12月に発生したフィラメントの短絡である。フィラメントの熱変形により隣り合うらせんが短絡してビームが停止し、フィラメントの交換作業及びイオン源の調整運転のためビーム供給再開まで1.5日間を要した。この短絡トラブルは、らせん間のギャップ長を0.3mmから0.6mmに拡張することでそれ以降は一度も発生していない。2回目のトラブルは2008年6月に発生したフィラメントの断線であり、このときはビーム供給再開まで約0.5日を要した。断線したフィラメントは2007年8月のイオン源R&D運転中に断線したときに交換して以来、使い続けてい

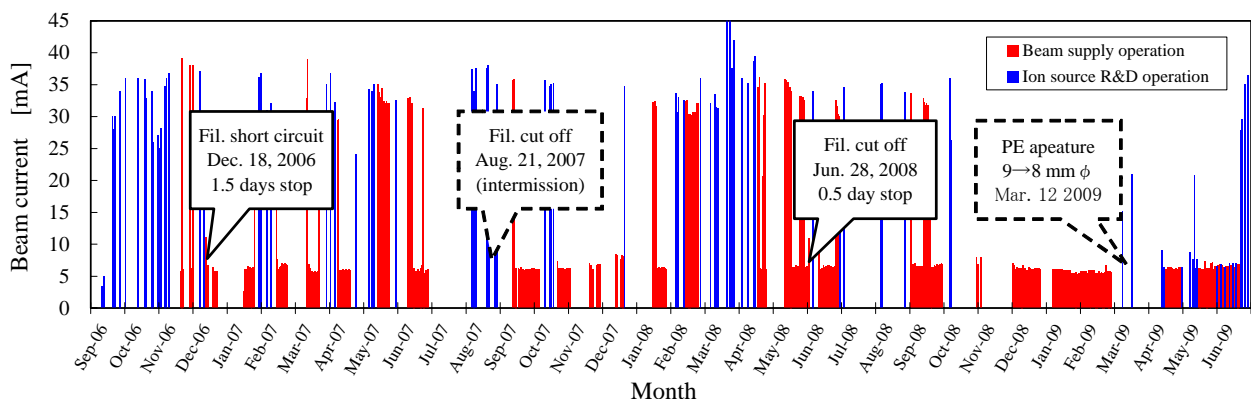


図3 J-PARC負イオン源の運転履歴（2006年9月～2009年6月）

たもので、断線までの総運転時間は2030時間、内訳は高出力運転が780時間、低出力運転が1250時間であった。フィラメントの破断面を電子顕微鏡で観測したところ結晶粒の成長が認められ、断線箇所にはアーク放電が集中していたことが分かった<sup>[4]</sup>。

イオン源の停止は、フィラメントトラブル以外にもセラミックスインシュレータ部での放電に起因するものが数回発生したが、最長でも1時間程度の調整でビーム供給運転を再開することができた。現在までのイオン源の総運転時間とその間のイオン源によるビーム停止時間からイオン源の稼働率を計算すると約99%であり、J-PARCイオン源は運転初期の段階から高い信頼性を有していると言える。

### 3.2 イオン源ビーム性能

J-PARCイオン源は、ビーム供給運転と同時に、プラズマ生成室の磁場形状やフィラメント挿入位置の最適化などのR&Dを進めてきた<sup>[3][4]</sup>。現在のビーム電流のアーク放電パワー依存性を図4に示す。図中の赤丸及び青三角のデータは、それぞれプラズマ電極の口径が9mm及び8mmのときの結果である。図4に示すとおり、本イオン源のビーム電流はJ-PARC第1期計画の目標値であるビーム電流36mAを達成していることが分かる。現在のビーム供給運転では、ビーム供給をより確実に遂行するためにビーム強度よりも安定性が重視されていることから、イオン源はビーム電流を32mA程度に抑えて運転を行っている。ビーム供給運転中のイオン源の典型的な運転パラメータ（高出力運転時）を表1に示す。ビームの繰返しはビームスタディの要求に応じて1shotから最大25Hzの間で任意に設定するが、アーク放電の繰返し率は25Hz固定としている。この理由は、アーク放電の繰返しを変えるとフィラメント温度が変わり、その都度プラズマ生成に係わる種々のパラメータの設定をやり直す必要が生じるためである。RFQ放電対策のためにプラズマ電極口径を8mmに変更すると、ビーム電流値は高アーク放電パワー領域で20%程度減少したが、運転ガス流量は9SCCM程度まで低減することができた。

表1 ビーム供給運転時（高出力）のイオン源の主要パラメータ（PE口径：9mm）

Parameter	Value
Beam Energy	50 keV
Beam current	~32 mA
Beam pulse length / repetition	100 $\mu$ s / $\leq$ 25 Hz
Arc pulse length / repetition rate	350 $\mu$ s / 25Hz
Filament voltage / current	10.2V / 120A
Arc voltage / current	146V / 326A
Arc power	48 kW
H <sub>2</sub> gas flow rate	17.9 SCCM

ビーム供給運転時のイオン源ビーム電流の経時変化を図5に示す。本データは夜22:00から翌朝9:00ま

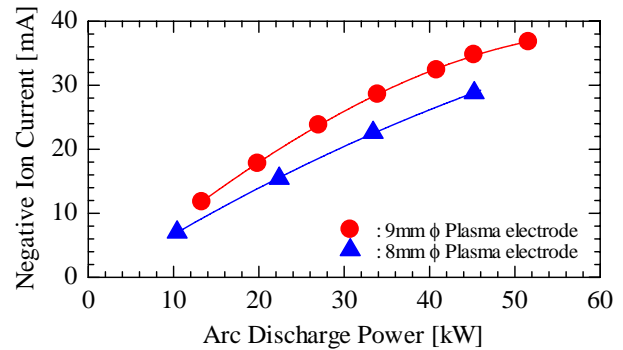


図4 ビーム電流のアーク放電パワー依存性

での11時間、イオン源オペレータ不在時の運転状況を示す。ビーム電流値の変動は6%程度、ビーム減少率は0.01~0.02mA/h程度であり、ビームは非常に安定していると言える。現在、日中は加速器オペレータがイオン源の運転監視を行っているが、ビーム電流調整操作は1日1回程度であり、オペレータ業務の負担軽減に貢献している。

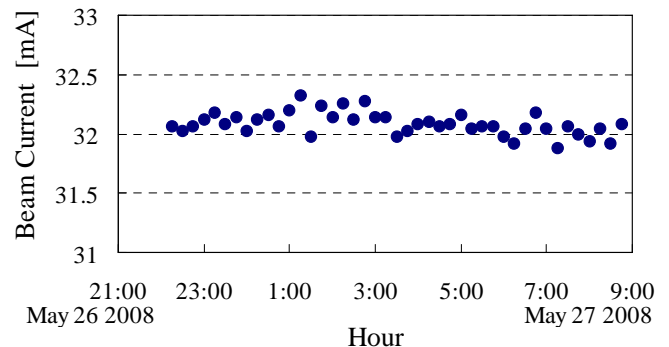


図5 イオン源無人運転時のビーム電流経時変化

## 4. まとめ

J-PARCで稼働中のイオン源は、長時間フルスペック運転の実証などいくつかの課題がまだ存在するが、概ね実用機として十分なビーム性能と信頼性を有していると言える。現在、専用のイオン源テストスタンドを用いてフィラメント形状の最適化実験<sup>[6]</sup>や、セシウム添加実験<sup>[7]</sup>を実機運転と並行して実施しており、J-PARCイオン源の更なる性能向上とJ-PARC最終目標に対応する負イオン源の実現を目指している。

## 参考文献

- [1] H. Oguri, et al., Rev. Sci. Instrum. 73 (2) 1021 (2002)
- [2] A. Ueno, et al., Rev. Sci. Instrum. 75 (5) 1714 (2004)
- [3] H. Oguri, et al., Rev. Sci. Instrum. 79, 02A506 (2008)
- [4] H. Oguri, et al., PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 12, 010401 (2009)
- [5] K. Hasegawa, et al., Proceedings of the 6th Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Aug. 5-7, 2009
- [6] K. Ikegami, et al., Proceedings of the 6th Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Aug. 5-7, 2009
- [7] Y. Namekawa, et al., Proceedings of the 6th Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Aug. 5-7, 2009