

OPERATION STATUS OF THE J-PARC NEGATIVE HYDROGEN ION SOURCE

Hidetomo Oguri^{#A)}, Kiyoshi Ikegami^{B)}, Kiyonori Ohkoshi^{A)}, Yuya Namekawa^{A)}, Akira Ueno^{A)}, Akira Takagi^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-city, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The availability of the ion source is directly related to the operation time of the J-PARC accelerator. To evaluate the lifetime of the present ion source, we tried to perform two months beam operation in RUN#36 (November 2010). As the result of the trial operation, 1270 hours continuous operation was achieved at the beam current of 16 mA. In RUN#37, the ion source was operated at 24 mA for 217 hours at first, then the beam current was decreased to 16 mA. After 1029 hours operation, the filament of the ion source was cut off and the beam run was interrupted. By considering the consumption rate of the filament is depended on the beam current, these operation results show the lifetime of the ion source is approximately 1200 hours. For another attempt to improve the ion source availability, we tried to decrease the required time for maintenance. By unitizing the replacement parts and keeping them under the vacuum condition until just before the installing, the maintenance time can be decreased from three to less than two days.

J-PARC 負水素イオン源の運転状況

1. はじめに

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) は、2006 年秋にリニアックの運転を開始して約 5 年が経過した。現在稼働中のイオン源は、今まで加速器の稼働率に多大な影響を及ぼすよう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、最近 1 年間のイオン源の運転状況と、3 月に発生した東日本大震災の影響について報告する。

2. イオン源の運転状況

現在 J-PARC で稼働中の負水素イオン源及び LEPT (低エネルギー部ビーム輸送系) の構造図を図 1 に示す。イオン源では、LaB₆ (六ホウ化ランタン) 製のフィラメントを 1 本用いてアーク放電にてソースプラズマを生成している。負イオンビーム電流向上に効果のあるセシウムは一切使用していない。ビーム引出系は、プラズマ電極、引出電極及び接地電極の 3 枚の電極で構成され、それぞれの電極間に約 10kV 及び 40kV の電圧を印加して 50keV の負水素イオンビームを引き出している。LEPT は主に 2 台とソレノイド電磁石と、ビーム診断機器等を設置するための真空チェンバで構成される。真空ポンプは、イオン源に排気速度 1500L/s の TMP (ターボ分子ポンプ) を 2 台、LEPT に 1500L/s の TMP を 1 台、500L/s の TMP を 2 台及び 4000L/s クライオポンプを 1 台設置している。現用機のビーム電流のアーク電流依存性を図 2 に示す。赤丸のデータが現用機の本来の性能であり、最大ビーム電流は約 36mA に達している。緑四角のデータは、2009 年に RFQ が不調になったときに^[1]、RFQ への水素ガス流入量を低

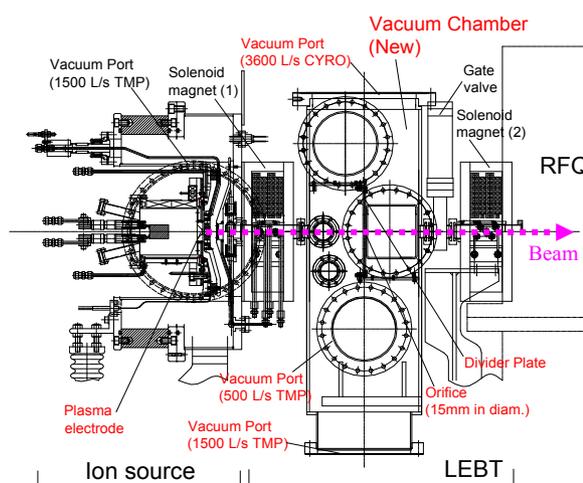


図 1: 稼働中のイオン源及び LEPT

減するためにイオン源プラズマ電極のビーム引き出し孔口径を 9mm から 8mm に変更し、さらに 2 部屋構造の LEPT 真空チェンバの内部仕切り壁に口径 15mm のオリフィスを設置したときの結果である。この状態で約 1 年間運転を続けたが、RFQ が比較的安定に運転できるようになったため、2010 年 10 月からはプラズマ電極口径だけ 9mm に戻し、青三角のデータに示す性能で現在、運転を行っている。

最近のイオン源の運転状況を表 1 に示す。現用機は現在、主にビーム電流 16mA の中出力運転を行っている。RUN#35 まではビーム供用運転は 1 か月単位とし、イオン源は 1 か月毎にメンテナンスを行ってきた。イオン源の構成部品の中で最も寿命の短い

[#] oguri.hidetomo@jaea.go.jp

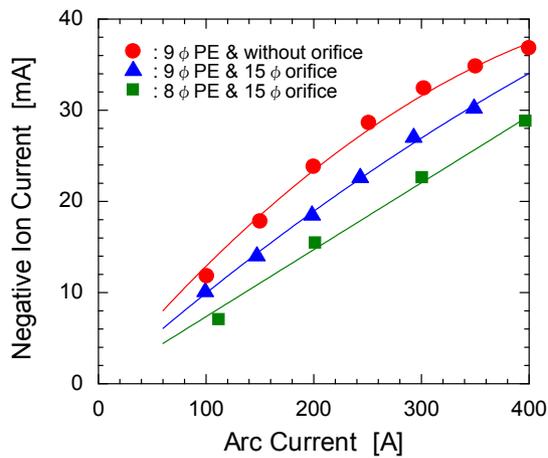


図 2: 現行機のビーム性能

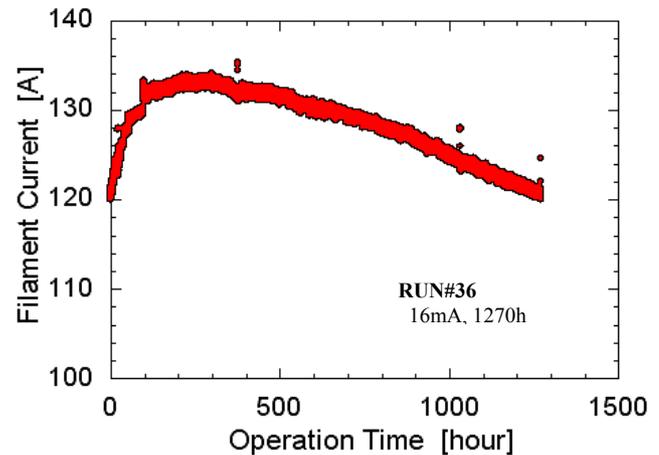


図 3: フィラメント電流の時間変化 (RUN#36)

フィラメントの運転後の状態を見ると、このまま運転を継続しても直ちに断線等を生じる兆候が無かったことから、RUN#36にて初めて2ヶ月連続のビーム供用運転を行った。その結果、イオン源は一度もメンテナンス作業を行わずRUNを終了することができ、1270時間の連続運転に成功した。運転中はフィラメントの損耗状態を確認するために、フィラメント加熱電流をモニタした。その結果を図3に示す。加熱電流は、運転開始から約200時間までは運転時間とともに増加している。これはフィラメント表面が運転を続けるうちに次第にホウ素に覆われるため^[2]電子エミッション領域が減少し、それを補うために加熱電流を上げる必要が生じたことに起因する。200時間経過後、加熱電流は減少に転じているが、これは、フィラメントの電子エミッション領域がある場所に固定し、その部分が損耗と同時に温度が上がり電子エミッション量が増加するために加熱電流を下げる必要が生じたことに起因する。

続くRUN#37では、前回と同じく2ヶ月連続運転を行ったが、最初の217時間はビーム電流24mAの高出力運転を行った後に、16mAの中出力運転に戻して運転を継続した。しかし1029時間経過後にフィラメントが断線し、RUN途中でイオン源のメンテナンス作業を行う結果となった。RUN#37で断線したフィラメントの様子を図4に示す。断線した

場所は黒変しておらず、電子のエミッションがここに集中したことが伺える。これまでのRUNで使用したフィラメントもほぼ同じ場所に損耗が生じていることから、今回の断線はこれまでのRUNと同様の損耗プロセスの延長上で生じたと考えられる。今後は、損耗場所のコイルの厚みを増すなどの対策を施して、フィラメントの寿命向上を図る予定である。RUN#37におけるフィラメント電流の経時変化について、断線発生から約200時間前までを拡大した結果を図5に示す。断線発生の約20時間前から、加熱電流の減少率が急に増加していることが分かる。別のイオン源にてタングステン製フィラメントの寿命試験を行ったときも^[3]、断線前に加熱電流の減少率が急激に上昇する現象が見られた。この現象を断線の予兆として捉えることができれば、ビーム供用運転中にフィラメント断線の予見が可能となり、事前にメンテナンスの準備を整えることで加速器の停止時間を低減することができ好都合である。

フィラメントの寿命はイオン源に投入するアーク放電パワーに大きく依存し、24mA運転時の所要アークパワーは16mA時の2.5倍程度であることを考慮すれば、RUN#37の結果からも現用機はビーム電流16mAの条件では1200時間程度の連続運転が可能であること示したことになる。

表 1: 最近のイオン源の運転状況

RUN #	Date	Source oper. time [h]	Beam current [mA]	Availability [%]	Trouble []: Beam stop time due to IS
30	Feb-10	492	16	99.69	Vacuum pump failure [1.5h]
31	Mar-10	323	16	99.94	IS-PS interlock error [0.2h]
32	Apr-10	704	16	~100 (non)	
33	May-10	609	16	99.93	IS-PS failure [0.4h]
34	Jun-10	613	16	99.89	IS arc current OC [0.7h]
35	Oct-10	734	16	99.42	IS arc voltage OV [4.3h]
36	Nov&Dec-10	1270	16	99.99	IS arc voltage OV [0.2h]
37	Jan&Feb-11	1228	16 (1011 h) 24 (217 h)	98.99	H ₂ gas inj. system failure [1.8h] Filament failure [10.7h]

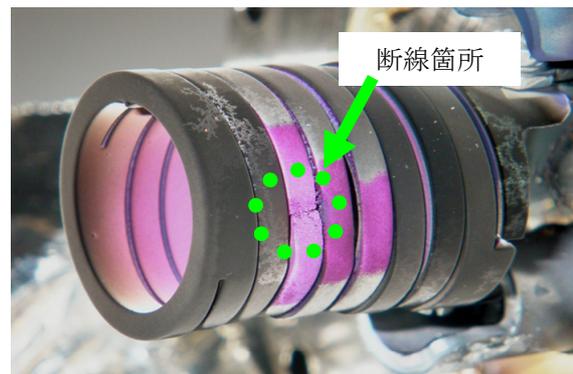


図 4: RUN#37にて断線したフィラメント

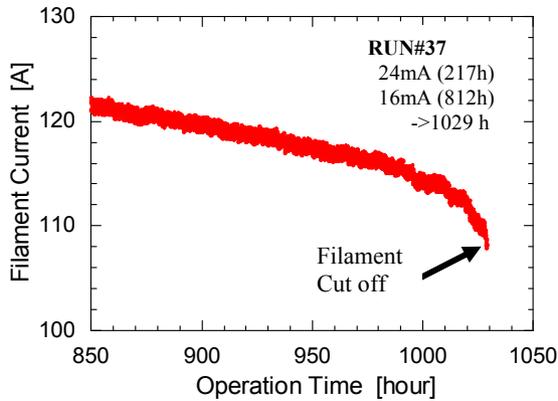


図5: フィラメント電流の時間変化 (RUN#37)

3. イオン源のメンテナンス

ビーム供用運転の合間に実施するイオン源の定期メンテナンスは、これまで3日間程度を要していたが、加速器の稼働率を向上させるには所要時間を低減する必要がある。定期メンテナンスは、①消耗部品の交換、②真空引き、③フィラメント脱ガス処理、④ビーム調整運転の4段階のプロセスを経て終了となる。そこで今回、各プロセスの所要時間の短縮を図り、メンテナンス時間の低減を試みることにした。

定期メンテナンスでは、イオン源構成部品のうちフィラメント、プラズマ生成室、天板フランジ及びプラズマ電極等を交換する。今まではこれらの部品を別々にイオン源本体に着脱していたが、作業の効率化を図るためにこれらをユニット化した。これにより消耗部品をまとめて着脱できるようになり、作業効率が向上した結果、交換作業時間をこれまでの1時間以上から30分間程度まで短縮することができた。さらに、ユニット化は交換作業時のイオン源の大気曝露時間の短縮にもつながり、これまでの1時間程度から15分間程度まで短縮できた。

消耗部品取り付け後の真空引き時間の短縮を図るために、消耗部品をイオン源本体に設置する直前まで真空状態に保つための専用真空容器を製作した。その結果、メンテナンス後のイオン源真空引きの所要時間を、24時間程度から10時間程度まで低減することができた。さらにフィラメントのガス出し処理中のアウトガス量も少なくなり、処理時間も7時間から2時間に短縮することができた。以上の対策により、イオン源のメンテナンス所要時間は以前の3日間から2日間以下まで低減することに成功し、加速器の稼働率向上につながる結果を得た。

4. 東日本大震災の影響

平成23年3月11日の東日本大震災の発生時、イオン源はビーム供給運転を行っていたが、何らかのインターロックが作動したためイオン源は緊急停止した。震災によりリニアック加速器トンネルの床面に亀裂が多数生じたため、そこから地下水がトンネル内に浸水し、一時期、床面から約10cmの水深に達した。そのためイオン源を設置しているシールド

ルーム内にも地下水が浸水し(図6)、床置きしていた粗引きポンプ7台のうち4台が浸水により故障した。さらに空調が停止したため気密性の高い加速器トンネルは湿度100%の状態がしばらく続き、イオン源機器全面に結露が生じた。浸水被害のほかには、地震の振動が原因で5台のターボ分子ポンプのうち1台が定格回転数に到達しない不具合が発生した。しかし幸いにもイオン源本体は深刻なダメージを受けずに済んだため、通常の定期メンテナンスとほぼ同様の作業だけで復旧できた。さらに耐圧試験器を用いて耐電圧試験を行い、セラミックインシュレータ等について絶縁性能が劣化していないことも確認した。現在イオン源は、ビームラインへの設置が完了し、連続真空引きを開始したところである。建家関係の復旧が順調に進めば今年10月よりイオン源のビーム調整運転を開始する予定である。

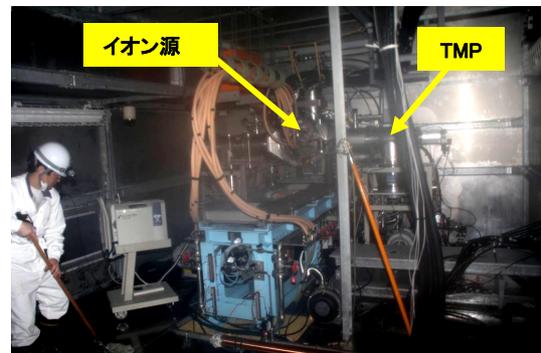


図6: 浸水したイオン源シールドルーム内

5. まとめ

J-PARC イオン源の現用機は、ビーム電流16mAにて1270時間の連続運転に成功した。また定期メンテナンスの所要時間も当初の3日間から2日間以下に短縮することができた。今後は高出力(～24mA)にて長時間運転を行うためにフィラメント寿命の改善を行うとともに、24時間以内メンテナンスの実現を目指す予定である。また、J-PARCは2年後にビームパワーを1MWに増強する計画であり、これにはイオン源から60mA以上のビームを引き出す必要がある。60mAを達成するために現在、テストスタンドを使用して高周波駆動型イオン源の開発にも着手している。

参考文献

- [1] K. Hasegawa, T. Kobayashi, Y. Kondo, T. Morishita, H. Oguri, Y. Hori, C. Kubota, H. Matsumoto, F. Naito, M. Yoshioka, Proceedings of IPAC '10, Kyoto, Japan, p621 (2010)
- [2] H. Oguri, A. Ueno, K. Ikegami, Y. Namekawa, and K. Ohkoshi, Rev. Sci. Instrum. 81 02A715 (2010)
- [3] K. Ohkoshi, Y. Namekawa, A. Ueno, H. Oguri, and K. Ikegami, Rev. Sci. Instrum. 81 02A716 (2010)