

OPERATION STATUS OF THE J-PARC ION SOURCE

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

^{A)} J-PARC center

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

^{B)} NIPPON ADVANCED TECHNOLOGY CO. LTD

Hibara Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1112

Abstract

The J-PARC was extensively damaged by the earthquake in March 2011. The ion source had some damages such as dew condensation on the ion source surface due the flooding in the accelerator tunnel, vacuum leakage due to the breaking of the viewing port and vacuum pump failure due to the strong quake. The restoration work was accomplished on schedule, and the linac beam operation was restarted in December 9th. The ion source supplies the beam to the accelerator without serious aftereffects of the earthquake. Availability of the ion source is one of the important issues because it is directly related to the operation time of the J-PARC. To evaluate the lifetime of the present ion source, we started 2 months beam operation. The results of recent four beam runs show the ion source is capable of continuous operation for approximately 1,200 hours with the beam current of 17 mA. For another attempt to enhance the ion source availability, we tried to decrease the time for maintenance to replace consumable elements. By shortening the duration of ion source vacuuming from twenty to five hours, the maintenance is completed within 24 hours without any beam performance degradation of the ion source.

J-PARC 負水素イオン源の運転状況

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災により J-PARC は長期間の運転停止を余儀なくされた。リニアックの加速器トンネルは床面に亀裂が多数生じ、そこから浸水した地下水が床面から約 10cm の高さには達し、イオン源で使用している床置きスクロールポンプ 7 台のうち 4 台が故障した。また、地震による振動でターボ分子ポンプ 5 台のうち 1 台に、再起動しても定格回転数に到達しない不具合が生じた。イオン源本体では、プラズマ生成部のビューイングポートのガラス部に亀裂が入り、そこから真空リークが発生した。また、建家停電のためトンネル内の換気設備が長時間停止したためトンネル内の湿度がほぼ 100% に上昇し、イオン源本体表面が全面的に結露した。しかし幸いにも復旧に長期間を要するようなダメージではなく、破損部品の交換や修理を行った後、イオン源ビーム引出系のアライメント確認作業やイオン源電源の動作チェック等を順次進めた。同年 10 月 11 日に、他の機器に先んじてイオン源単独のビーム調整運転を再開し、イオン源のビーム性能及び安定性について震災前と比較して特に大きく変化していないことを確認した。同年 12 月 9 日にリニアックの復旧作業が終了し、イオン源からリニアックにビーム供給を行い、J-PARC の運転再開に漕ぎ着けた。本学会では、主に震災後のイオン源の運転状況等について報告する。

2. J-PARC イオン源

現在 J-PARC で稼働中の負水素イオン源は、J-PARC の運転開始当初から大きな構造変更はなく、LaB₆ (六ホウ化ランタン) 製のフィラメントを使用してアーク放電にてソースプラズマを生成している。大強度負イオンビーム生成に有効なセシウムは使用していない。イオン源の典型的な運転パラメータを表 1 に示す。現在、イオン源はビーム電流 17mA を基本として加速器にビームを供給している。ビームのパルス条件はユーザ側からの要求により随時変更しているが、アーク放電のパルス条件はビームが不安定になるのを防ぐために常時一定としている。

表 1 イオン源の典型的な運転パラメータ

| Parameters | Value |
|------------------------------------|--------------------|
| H ⁻ ion current | 17 mA (routinely) |
| Beam Energy | 50 keV |
| Beam pulse length/ repetition rate | 50-500 μs/ 1-25 Hz |
| Arc pulse length/ repetition rate | 800 μs/ 25 Hz |
| Arc voltage/ current | 144 V/ 125 A |
| Hydrogen gas flow rate | 12 SCCM |
| Beam tuning frequency | Once a day or less |
| Cesium | Free |

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

3. イオン源運転状況

J-PARC は震災後に運転を再開して約 7 か月が経過した。イオン源については、今のところ明らかに震災の影響と思われる性能劣化は見つかっていないが、2012 年 4 月に、高圧電源内の絶縁トランスに取り付けているサーモスタットが故障しビームが 4 時間程度停止した。メーカーで故障したサーモスタットの内部調査を行ったところ、内部の接点に腐食が見つかった。腐食の原因は定かではないが、接点に悪影響を及ぼす腐食性ガスがコロナ放電等で発生したか、または震災によるイオン源電源室内の空調設備の停止で、イオン源電源が高温かつ多湿環境下に長時間置かれたことと推測できる。

RUN#20 (2009 年 1 月) から RUN#43 (2012 年 6 月) までのイオン源の運転履歴を図 1 に示す。図中の左軸及び右軸は、RUN 毎の運転時間及びビーム電流を示す。2008 年に RFQ で放電が頻発し安定な運転が困難になったため^[1]、しばらくビーム電流 6mA の運転を行っていたが、徐々に RFQ の安定性が回復したため、RUN#27 (2009 年 11 月) からはビーム電流を 17mA まで引き上げた。RUN#37 以降は、ビーム利用運転の合間にビームスタディ等を目的に一時的に 24mA に上げて運転を行っている。RUN#43 ではビーム電流を 19mA に上げて連続運転を実施し、この電流値でもイオン源のビーム安定性等に特に問題が無いことを確認している。

運転時間については、RUN#35 (2010 年 10 月) までは 1 か月 (約 600 時間) を RUN の一単位としていたが、J-PARC の稼働率向上のために RUN#36 以降は 2 か月 (約 1,200 時間) に延長している。ただし、RUN#38 (2011 年 3 月) は地震による運転中断、RUN#39 (2011 年 12 月) は震災復旧後の健全性確認運転、RUN#41 (2012 年 3 月) はリニアックのクライストロン用高圧電源故障による運転中断により、例外的に短い運転時間となった。これまで実施した 4 回の 2 か月連続運転の実績から、現行機は、ビーム電流 17mA の条件において 1,200 時間程度の連続運転が可能であることが分かった。

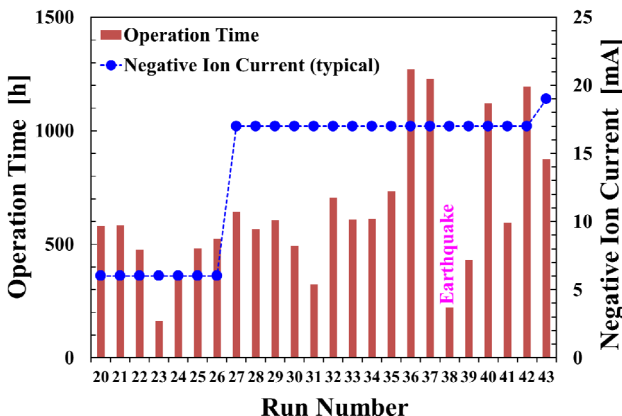


図 1 イオン源の運転履歴

現在、イオン源で実施可能な連続運転は、フィラメントの寿命によって制限されている。代表的な RUN におけるフィラメント加熱電流の経時変化を図 2 に示す。各 RUN のビーム電流は、RUN#36 と #40 では 17mA 一定、RUN#42 は最初の 836 時間は 17mA、その後 359 時間は 19mA、RUN#43 は 19mA 一定である。全ての RUN で共通しているのは、フィラメント電流が運転開始からしばらくは増加を続け、ある時点で減少に転じるような変化をしている点である。これは、運転に伴いフィラメント表面が次第にホウ素で覆われ^[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るが、しばらくすると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されその部分のみが損耗するため、エミッション領域の温度を一定にするためにフィラメント電流を下げる必要があるからである。図 2 のデータから、フィラメント電流が減少に転じてからの電流減少率を見積もると、17mA 及び 19mA 運転時で、おおよそ 1.7A/100h 及び 2.5A/100h となる。ビーム電流はアークパワーに依存し、17mA 及び 19mA 出力時のアークパワーはそれぞれ 20kW 及び 27kW である。従ってアークパワーを増やすとフィラメント加熱電流減少率もほぼ同じ割合で増加することが分かる。イオン源の実用的なアークパワーの上限は、イオン源の安定性等を考慮して 45kW と考えており、20kW (17mA) 時のフィラメント寿命が 1,200 時間程度であることから、イオン源を最大限のパワーで運転した場合のフィラメント寿命は約 530 時間程度と推測できる。

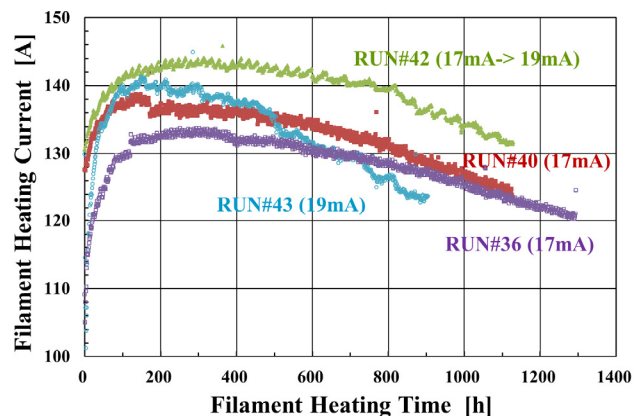


図 2 フィラメント加熱電流の経時変化

4. イオン源メンテナンス

イオン源には、フィラメント等の消耗品の交換を行うために定期的なメンテナンスが必要である。J-PARC 運転開始当初はメンテナンスに 3~4 日間要していたが、交換部品のユニット化や交換部品を実装直前まで真空状態に保つなどの措置により 2 日間程度まで短縮することができた^[3]。さらに現在、新

品のフィラメントを実装前に十分ベーキングするためのプレベーキング装置の整備等を行いながら、メンテナンス時間を 24 時間に短縮する試みを行っている。表 2 に、2012 年 5 月 25 日に実施した定期メンテナンスの作業プロセスを示す。なお、表に示した各プロセスのうち水素ガス配管リーク対策及び冷却水流量計分解清掃は、今回だけ特別に実施したものである。この日は午前 9:00 過ぎにイオン源の停止操作を行い、午前 11:20 からフィラメント等の消耗品の交換作業を開始し 1 時間程度で終了させた。これまでのメンテナンスでは、ビーム性能やフィラメント寿命劣化への懸念から、フィラメントベーキングに移るまで 20 時間程度真空引きを行っていたが、今回は、24 時間以内にメンテナンスを終了させるためにこの時間を約 3.5 時間に短縮した。その後、1 時間程度フィラメントのベーキングを行った後、17:22 よりビーム調整運転を開始した。

表 2 メンテナンス作業プロセスの一例

| 日時 | 作業内容 |
|------------------|--------------------------------------|
| 5/25 09:05-09:37 | イオン源停止操作 |
| 09:40-11:05 | 水素ガス配管リーク対策(イオン源電源側) |
| 11:20-12:30 | 水素ガス配管リーク対策(イオン源本体側) イオン源消耗部品交換作業 |
| 12:30 | イオン源真空排気開始 |
| 14:24-14:47 | クライオポンプ再生 |
| 15:00-15:30 | イオン源運転前点検(冷却水流量計確認) |
| 15:30-16:00 | 冷却水流量計分解清掃 |
| 16:09-17:21 | フィラメントベーキング |
| 17:22-翌09:00 | イオン源ビーム調整運転 |
| 5/26 09:00 | リニアックビーム供給開始 |

その後のイオン源のビーム電流、アーク電圧及びアーク電流の経過を図 3 に示す。図 3 には 2 種類のビーム電流（紫色及び緑色のデータ）が示されているが、紫色はイオン源調整運転中にファラデーカップで測定した値、緑色はビーム利用運転中に CT で測定した値である。調整運転開始から約 2 時間半でビーム電流は 20mA に達したが、この時点ではアーク電流が通常より高かったため、通常値に戻すためにバイアス電圧（プラズマ電極とプラズマ生成部間に印加する電圧）を数 10V 印加してプラズマ粒子によるプラズマ電極表面のクリーニングを行った。時々バイアス電圧を下げてアーク電流の変化を確認しながら調整運転を続け、計画どおり翌日 5 月 26 日の午前 9:00 にリニアックにビーム供給を行った。ビーム利用運転中は、フィラメント電流を自動調整してアーク電流を一定にし、ビーム電流の安定化を図っている^[4]。ビーム電流はアーク電流に大きく依存するが、運転開始直後はそれ以外のパラメータの依存性も大きいいためビームがやや不安定になる。これまでは運転開始後数日間は、一日に数回、オペレータがビームの調整を行っていたが、今回は利用

運転開始から 8 時間後には完全無人運転を行った。しかし図 3 に示すとおり、アーク電流を一定に保っているにも関わらずビーム電流は徐々に減少し、17.5mA まで低下した 5 月 27 日の 20:00 頃にビーム利用運転をいったん停止し、2 時間程度、オペレータがイオン源のビーム調整を行った。このビーム電流の減少は、ビーム電流が最大となるバイアス電圧の最適値が運転とともにシフトしたことが主な原因であったため、バイアス電圧を再調整することでビーム電流を 19mA に回復させた。その後は、数日に 1 回程度、ビーム利用運転中にオペレータがパラメータを微調整することで安定な運転を行うことができた（ただし、アーク電流は常時、自動調整）。これまでに 24 時間のメンテナンスを 2 回実施したが、いずれもビーム利用運転に大きな影響を及ぼすようなイオン源の不具合は見られないため、大きな作業を伴わない通常のメンテナンスであれば 24 時間で完了できる見込みが立ったと言える。

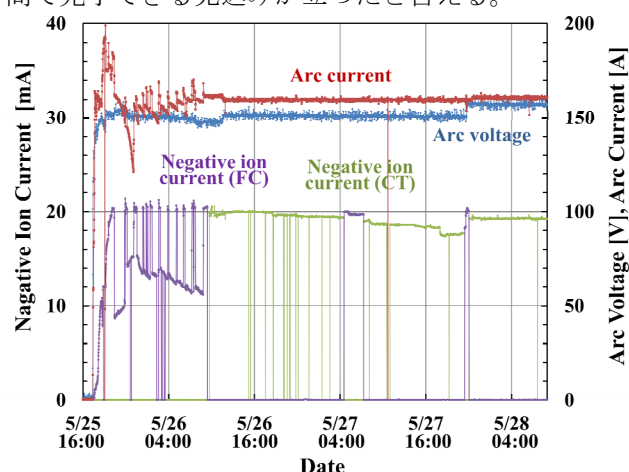


図 3 メンテナンス直後のイオン源運転状況

5. まとめと今後の課題

J-PARC で稼働中のイオン源は、これまでの運転実績からビーム電流 17mA の条件にて 1,200 時間程度の連続運転が可能であることが分かった。また、定期的実施するメンテナンスについては、24 時間以内に完了できる見込みを得た。今後は、J-PARC のビームパワーを増強するために、稼働率と両立させながらイオン源のビーム電流を増加させていく予定である。

参考文献

- [1] K. Hasegawa, et al., Proceedings of IPAC '10, Kyoto, Japan, p621 (2010)
- [2] H. Oguri, et al., Rev. Sci. Instrum. 81 02A715 (2010)
- [3] H. Oguri, et al., Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2011
- [4] K. Ohkoshi, et al., Proceedings of the 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2012