

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)}

^{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, Tukuba-city, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The J-PARC ion source has succeeded in providing the required beam to the accelerator for approximately 3.5 years without any serious trouble. At the recent beam run, approximately 600 hours continuous operation was achieved. Although the ion source can produce a maximum beam current of 36 mA, the beam current has been restricted to less than 16 mA for the stable operation of the RFQ linac which has serious discharge problem. After each beam run, we perform the ion source maintenance to replace some elements for the plasma production such as a filament, a plasma chamber and so on. Approximately three days was necessary to accomplish the maintenance. In order to enhance the availability of the accelerator, reduction of the maintenance time is indispensable. At present, we succeed in cutting the maintenance time in half by using the filament pre-baking system. We will make another attempt to shorten the time by unitizing the periodic replacement elements of the ion source in the near future.

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から約 4 年が経過した。J-PARC で使用中のイオン源は、現在までのところ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等について報告する。

2. イオン源の状況

J-PARC で稼働中の負水素イオン源^[1]では、内径 100mm φ、内長 130mm のプラズマ生成室に LaB₆ (六ホウ化ランタン) 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。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、プラズマ電極と引出電極間には約 10kV (引出電圧)、引出電極と接地電極間には約 40kV (加速電圧) の電圧をそれぞれ印加して 50keV のビームを引き出している。現在までに達成しているビーム性能は、パルス幅 500μs、パルス繰り返し率 25Hz のパルス条件にてビーム電流 36mA である^[1]。しかし、前回の加速器学会で報告したとおり、現在、RFQ の放電対策のためにプラズマ電極のビーム引出し孔口径を従来の 9mm φ から 8mm φ に縮小しているため、現状の最大ビーム電流は 28mA に減少している^[2]。

J-PARC イオン源は、運転開始初期にはフィラメント断線など加速器の稼働率に影響を及ぼす重故障が数回発生したが^[1]、ここ 1 年間は重故障の発生は無く安定に動作している。最近のイオン源の運転状況をまとめた表を表 1 に示す。1 回のビーム RUN は約 1 か月単位で行われ、現在までで 34 回を数える。各 RUN におけるイオン源の連続運転時間は、600 時間程度である。2009 年 10 月までは最大 6mA でイオン源の運転を行っていたが、RFQ が比較的安定に運転できるようになったため、同年 11 月からは 16mA 運転を行っている。また加速器ビームスタディからの要請で、数時間単位であるが 25mA 運転も数回行っている。

RUN 中にイオン源システムのトラブルが原因でビームが停止する事象は、各 RUN で 1 時間程度、長いときで 6 時間発生しているが、イオン源の稼働率は概ね 99% 以上である。ビーム停止の原因はイオン源電源や真空排気系の不具合が大部分を占め、イオン源本体に起因するものはほとんど無い。

RUN #	Date	Source oper. time [h]	Beam cond. (typical)		Availability [%]	Trouble [] : Accelerator stop time
			Current [mA]	Pulse width [μs]		
25	Jun-09	482	6	100	~100	(non)
26	Oct-09	526	6	100	98.87	Vacuum pump failure [6h]
27	Nov-09	642	16	200	99.23	Vacuum guage failure [2h] Vacuum pump failure [3h]
28	Dec-09	568	16	200	99.65	Vacuum guage failure [1h] IS-PS failure [1h]
29	Jan-10	605	16	200	99.75	Arc voltage O.V. [1h] IS-PS failure [0.5h]
30	Feb-10	492	16	200	99.69	Vacuum pump failure [1.5h]
31	Mar-10	323	16	200	99.94	IS-PS interlock error [0.2h]
32	Apr-10	704	16	200	~100	(non)
33	May-10	609	16	200	99.93	IS-PS failure [0.4h]
34	Jun-10	613	16	200	99.89	IS arc current OC [0.7h]

表 1 最近のイオン源の運転状況

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

J-PARC では RFQ を安定に運転するために、この 1 年間に様々な対策を試みた^[3]。その一環として、イオン源から RFQ へ流入する水素ガス量を最小限に抑えるために、LEBT に設置している真空チェンバを一新して真空排気系の強化を行った。現在のイオン源及び LEBT の真空排気系の模式図を図 1 に示す。新チェンバの大きな特徴は、真空ポンプ設置用の大型ポートを多数備えることで、これにより LEBT 設置の真空ポンプは、従来の排気速度 500L/s の TMP (ターボ分子ポンプ) 2 台から、1500L/s 及び 500L/s の TMP を 1 台ずつ、さらに 4,000L/s のクライオポンプを 1 台設置できるようになった。さらに新チェンバには、その内部に仕切り板を設置してチェンバを 2 部屋構造とし、仕切り板のビーム通過孔に 15mm φ のオリフィスを設けて水素ガスを差動排気できるようにした。このようにプラズマ電極の口径の縮小、真空排気系の増強及び差動排気の実施により、ビーム運転中 (6mA) の LEBT 真空チェンバの真空度は 8.9×10^{-4} Pa から 7.8×10^{-6} Pa に改善された。また、水素ガス中に含まれる水分を除去するためのフィルタをイオン源の水素ガス導入系に設置し、さらに真空排気系のドライ化を図るため、イオン源及び LEBT の全ての粗引き真空ポンプをロータリーポンプからスクロールポンプに変更した。現在、RFQ は比較的安定に動作しており、イオン源及び LEBT で行ったこれらの措置も十分安定化に寄与していると考えている。

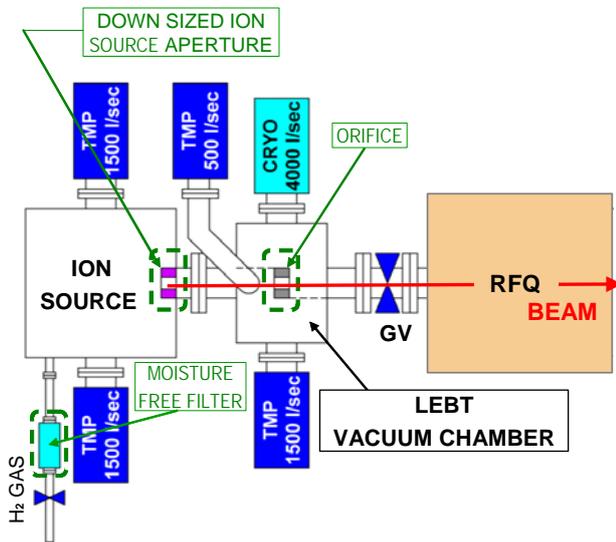


図 1 イオン源及び LEBT の真空排気系

3. イオン源の運転方法

ビーム RUN 中は、ビームユーザからの要請によりビームパルスの繰り返し率が頻繁に変更される。変化の幅は、定格の 25Hz から、1Hz、1shot (数分毎に 1 パルス) 及び数時間停止 (加速器の調整または軽トラブル時) 等と秒単位から数時間単位までの広範囲に及ぶ。イオン源では一般的に、ビームパル

スの繰り返し率の変更はアーク放電パルスの繰り返し率を変えることで行う。しかし J-PARC のように LaB₆ 製フィラメントを使用している場合は、アーク放電の条件変更はフィラメント温度の変化をもたらす、プラズマ生成条件が変わってしまう。そうするとビームパルス繰り返し率を変える毎に、ビーム電流を安定させるのに 1 時間程度のイオン源調整運転を要することになる。そこで J-PARC では、ビームパルス繰り返し率を変えるときにもアーク放電は常に定格の 25Hz 一定とし、ビームが不要なタイミングでは引出電圧を OFF にしてビームを間引く運転方法を採用している。間引き運転のタイムシーケンスの一例を図 2 に示す。

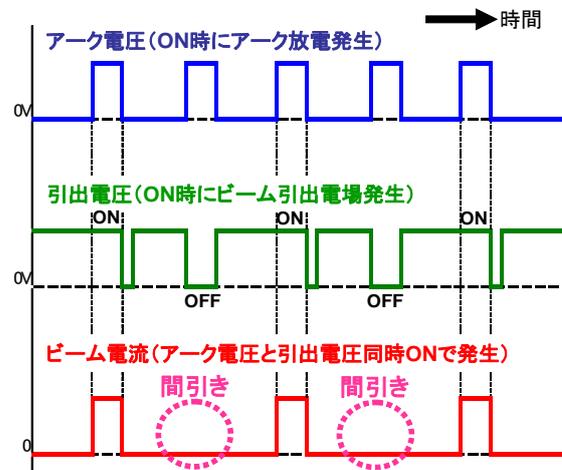


図 2 間引き運転のタイムシーケンスの一例

アーク電圧 ON 時にアーク放電が開始してプラズマが生成され、さらに引出電圧を ON にすることでプラズマ粒子がビームとして引き出される。この例では、アーク電圧 ON に対し一つ置きに引出電圧を OFF にすることで、ビームを半分だけ間引いている。この引出電圧の OFF のタイミングを任意に変えることで、アーク放電は一定でビームの繰り返し率のみを変えることができる。なお、引出電圧は ON を基調としているのは、引出電圧を常に印加することで、電極間の耐電圧性能を維持できるからである。これは将来、イオン源にセシウムを使用するとき有効になると考えている。

J-PARC イオン源のビーム停止事象の一例を図 3 に示す。このデータは、RFQ の放電問題が発生する前に取得したものである。グラフの縦軸は RFQ への入射ビーム電流、横軸は運転時刻である。この例では、加速器側の不具合により数分間または約 1 時間半イオン源のビームを停止させたが、上述の運転方法により引出電圧のみを OFF にしてアーク放電の状態はビーム停止前の状態を保持した。そのため、ビーム加速再開後もイオン源のビーム電流は停止前の状態が保持されており、ビーム加速再開前のイオン源単独の調整運転は不要であった。

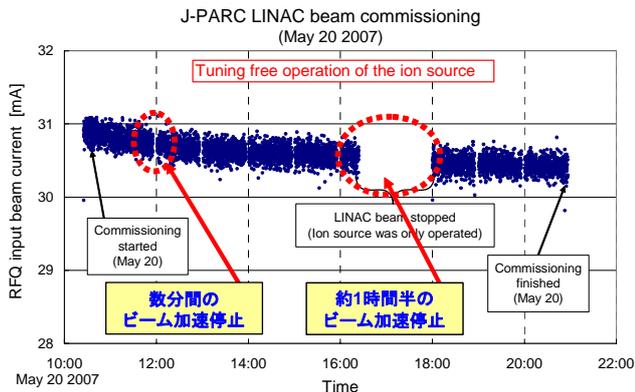


図3 イオン源のビーム停止事象の一例

4. イオン源メンテナンス

現在、約1か月のビーム RUN 終了毎にイオン源の定期メンテナンスを実施している。定期メンテナンスでは、図4に示すフィラメント、プラズマ生成室、天板フランジ及びプラズマ電極は毎回、引出電極は電子衝突による損傷が激しいときのみ（数回に一度程度）、それぞれ交換している。

消耗部品の代表格であるフィラメントについては、ビーム RUN 中に断線して加速器が計画外停止するのを防ぐためにメンテナンス毎に新品と交換している。約600時間運転後のフィラメントの状態を図5に示す。使用前の LaB₆ フィラメントは、全体が黄色丸で囲んでいるような紫色をしているが、使用後は写真のとおり大部分は黒変しており、EDS 分析の結果から黒変部分はボロンが付着していることが分かっている^[4]。黄色丸で囲んだ場所のみにわずかに損耗が見られ、この部分のみが電子放出に寄与して

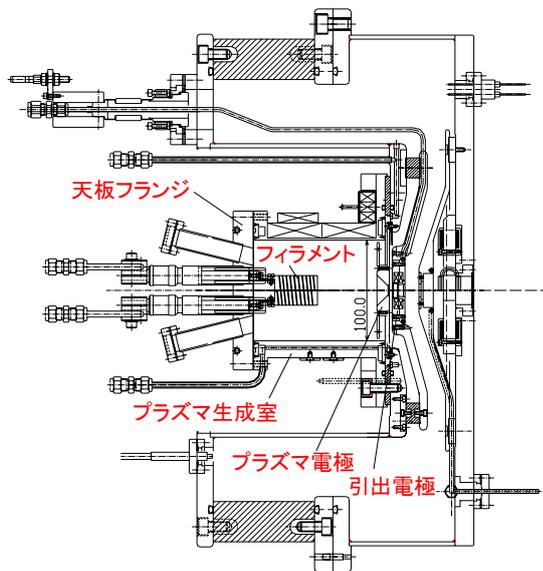


図4 イオン源の定期メンテナンス交換部品

いると考えられる。フィラメント以外の部品については、アルミナパウダを用いて表面を研磨して再利用している。

イオン源のメンテナンスは、現在3日間程度を使って実施しているが、最近、ビームユーザ側から加速器稼働率の向上を強く求められていることから、メンテナンス時間の短縮化が急務となっている。3日間のメンテナンスのうち、1日目は上述の部品交換作業及び真空引き、2日目はフィラメントの焼き出し運転、3日目はイオン源単独のビーム調整運転を行い、4日目に加速器にビームを入射するという状況である。部品交換作業については、交換部品のユニット化を行い作業工数の軽減を行うことを検討している。フィラメントの焼き出し及び真空引き時間については、専用のフィラメントベーキング装置を製作し、イオン源に装着する前に十分な脱ガス処理を行える体制を整えるとともに、交換部品を使用直前まで真空雰囲気内で保管して、真空引き及びフィラメント焼き出し時間の短縮を行う予定である。



図5 約600時間運転後のフィラメントの様子

5. まとめ

J-PARC イオン源は、現在必要とされているビーム電流 16mA での 600 時間の連続運転については十分な実績を積んでいる。現在、加速器の稼働率アップを行うためにイオン源のメンテナンス頻度の低減及び所要時間の短縮が課題であり、イオン源のさらなる長時間連続運転の実証試験や、メンテナンス作業の効率化を行う予定である。また稼働率の増加による加速器運転者の負担軽減のために、ビーム電流を自動補正する機能等も開発する計画である。

参考文献

- [1] H. Oguri, et al., PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 12, 010401 (2009)
- [2] H. Oguri, et al., Proceedings of the 6th Accelerator Meeting in Japan, p842, Tokai, Aug. 5-7, 2009
- [3] K. Hasegawa, et al., Proceedings of the 6th Accelerator Meeting in Japan, p693, Tokai, Aug. 5-7, 2009
- [4] H. Oguri, et al., Rev. Sci. Instrum. 81, 02A715 (2010)