

STATUS OF THE J-PARC RFQ

Kazuo Hasegawa^{1,A)}, Takatoshi Morishita^{A)}, Yasuhiro Kondo^{A)}, Hidetomo Oguri^{A)}, Tetsuya Kobayashi^{A)},
Fujio Naito^{B)}, Masakazu Yoshioka^{B)}, Hiroshi Matsumoto^{B)}, Hiroshi Kawamata^{B)}, Yoichiro Hori^{B)},
Yoshio Saito^{B)}, Seiya Yamaguchi^{B)} and Chikashi Kubota^{B)}

A) Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4, Shirakata, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

B) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

Abstract

The J-PARC RFQ (length 3.1m, 4-vane type, 324 MHz) accelerates a beam from the ion source to the DTL. The beam test of the linac was started in November 2006 and 181 MeV beam was successfully accelerated in January 2007. Since then, the linac has been delivered beams for commissioning of the linac itself, downstream accelerators and facilities. Trip rates of the RFQ, however, unexpectedly increased in Autumn 2008, and we have been suffering from this issue for user run operation since then. We tried to recover by tender conditioning, modification of RF control, improvement of vacuum properties and so on. By taking these measures, we manage to have 2 to 3 days continuous beam operation. In this report, we describe the status of the RFQ.

J-PARCにおけるRFQの現状

1. はじめに

J-PARCリニアックは、2006年11月にコミッショニングを開始し、2007年1月に所定のエネルギー181MeVの達成、9月からは後段の加速器である3GeVシンクロトロンへのコミッショニングへ向けたビーム供給など、順調に推移してきた^[1]。しかし、2008年9月、物質・生命科学実験施設への24時間のビーム供給試験を開始したところ、トリップ回数が増加し、電圧がかかりにくくなった。

そこで、インターロックの条件、イオン源からのビームの扱い、コンディショニング方法、真空排気系などを見直した。定期的にコンディショニングを入れることで運転を継続し、並行してバックアップ機の検討を進めている^[2]。本稿では、電圧がかかりにくくなった不調の状況と対策について報告する。

2. 不調発現直後の対策

不調発現直後の対策として、インターロックの見直しとイオン源からのビーム入射の見直しを行った。

それまで、RFパワーのインターロック条件として、進行波の上限インターロックを立ち上げ時にマスクし、反射が起きて速くパワーを入れて立ち上がるように設定していた。これは反面、クライストロンから過大なパワーが供給されてRFQにダメージを与える可能性があるため、インターロックを常に動作させるように変更した。また、RFQがトリップ（これは必ずしもRFQが放電等でトリップしたときだけでなく、下流の機器保護システム（MPS）が発報

したときも、速やかにビームを停止させる目的でRFQをトリップさせるように動作をしている）したときは、運転状態に速やかに回復するように自動復帰の設定をしており、そのトライの回数を最大12回としていた。しかし、電圧がかかりにくい状況になったときに12回まで自動的にパワーを入れようとすることは、ダメージを与える原因になるため、不調発現直後は5回に減らした。その後、状況をオペレーターが判断してから立ち上げるものとして自動復帰を現在は外してしている。

上流のイオン源のアークは、ビーム加速の500 μ sほど前に立たせて安定させている。それまで、引出電圧を印加した状態でアークを発生させており、その時点からイオン源よりビームがRFQに入射されていた。しかしそのタイミングではRFQにはRFが入っていないため、RFQに入射したビームはすべて中で落ち、電極へのダメージを与える可能性があった。不調後は、引出電圧をビーム加速の可能な限り直前（とはいっても、空間電荷が中和される時間は最低必要である）に印加するようにし、イオン源からの不要なビーム入射を極力少なくするように改善した。

3. 2008年12月～2009年2月の運転

2節で示した対策を取り、2008年11月にコンディショニングを実施して12月に運転を再開した。数日の加速器スタディ運転後、24時間連続運転を開始したところで再度電圧がかかりにくくなった。その後数日間コンディショニングを行ったところ回復し、年末のメインリング（MR）のビーム試験やMLFの共

¹ E-mail: hasegawa.kazuo@jaea.go.jp

用運転に何とか対応することができた。

何度か不調、あるいはその兆候の経験を見ると、加速器のスタディ運転のように、日中にビーム運転、夜間にコンディショニングのパターンの繰り返しでは不調になりにくく、24時間の連続運転に入ると不調に陥るようであった。運転中はイオン源から水素ガスが流れ込んでくるが、条件を一定にしてもRFQの真空度がゆっくり悪化してくるのが観測された。夜間のコンディショニングによりガス流入の抑制で真空度の回復と高周波による空洞内面状態の回復が期待されるが、連続運転ではこの回復のプロセスが無く不調に陥るものと推定される。

2009年1月以降は、リスクを冒さず無理をしない（ビーム条件は12月の運転時から変えずにピーク電流5mA、繰り返し25Hz、ビームパルス幅 100 μ s）方針を取って運転することにした。さらに、共用運転のユーザーに迷惑をかけないように、あらかじめ運転スケジュールにコンディショニング日を入れ、予定外の運転停止を避けることとした。

不調の状態を解析すると、ガスが出やすいタンクレベル（電圧）があり、このガスがタンクレベル上昇を阻害していることがわかった。設計運転のレベルを100%としたとき、65%と85%の2箇所にマルチパクタリングによるものと推定されるガスが多量に発生しやすいレベルがあった。2009年2月まで、この2つのレベルを狙いガス出しを促進するコンディショニングを取った。コンディショニングの時間経過に伴って枯れてくるように見えたが、短時間で同様な症状を呈すようであった。また、この方法のガス出しは、積極的にマルチパクタリングを起こすために表面状態を悪化させる可能性があった。そこで3月からは、立ち上がり時間をなるべく速くしてマルチパクタリング領域を越えて電圧を上げ、ウィスカーを飛ばして耐圧を確保してからパルス幅を伸ばしてゆくコンディショニング方法に変更した。

4. 2009年3月の真空増強作業

空洞内面を清浄にし、耐電圧を確保するためには真空特性を良好にすることが重要と考え、3月にはRFQ本体へのイオンポンプを2台追加した。さらに、イオン源から流れ込む水素ガスを抑制するために輸送系へのターボポンプの増設、オリフィス等によるコンダクタンスの減少を図った。また、イオン源に供給する水素ガスに含まれる微小な水の不純物を除去するためのフィルターを挿入した。

ベークングでの脱ガス促進を試みたが、40 まで上げたところで分子数28番のガスが顕著に発生することが確認され、1日で中止した。真空槽の封止に用いているOリングがニトリル製との懸念があり、このまま温度を上げるのは危険と判断したためである。

5. 2009年4月～6月の運転

真空対策とともに、4月からの運転では、それまでビーム運転時のタンクレベルを102%としてい

たのを95%に下げて運転することにした。これは、以前のビームスタディの結果、タンクレベルを上げることで中間パルスの切れが良くなり、後段の3GeVシンクロトロンでのビームロスが低減できる結果が得られていたためであった。しかし、ビームパワーを抑制した現時点での運転条件では、3GeVシンクロトロンでのロスが容認できる範囲内であるとしてRFQのタンクレベルを下げ、安定な運転を優先することにしたものである。

図1に5～6月の運転時のタンクレベルと真空度を示す。真空ガス圧が高い部分がビーム運転時（タンクレベルは95%）、低いところはコンディショニング時（タンクレベルは102%）である。徐々に長時間連続運転を試しながら、5月28日のMLF施設検査の後、原則的に48時間連続運転、24時間のコンディショニングのパターンで運転を継続した。スケジュールの都合上、3日の連続運転を行ったときもあるが、このように定期的にコンディショニングを入れるパターンでは不調にならずに運転を継続できることが実証された。

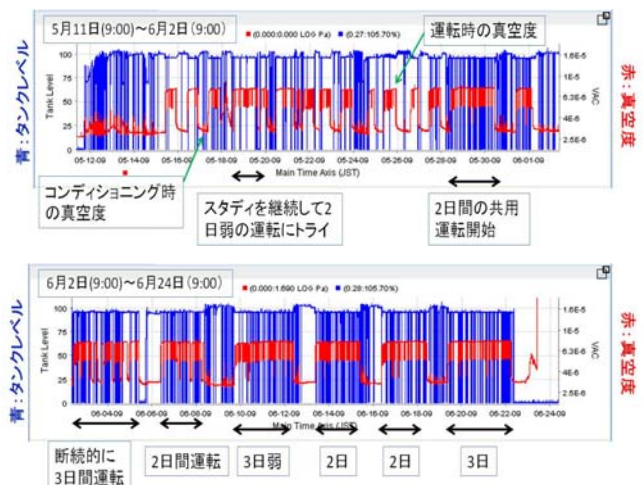


図1 5月～6月の運転時のRFQタンクレベル（青）と真空度（赤）

6. 2009年夏の作業

6月23日から夏期停止期間に入り、その間、RFQへはクライオポンプ2台を増強し、真空排気能力の更なる向上を図った。

一方、図2に示すように、ビーム運転時にイオン源との間のゲートバルブを開けることで、水素以外にも12, 28, 44などの分子量成分がRFQに入ってくることが観測されていた。これらはそれぞれ、C, CO (N₂の可能性もあるが) やCO₂と推定され、イオン源、LEBT、RFQのターボポンプの粗引きに使っているオイル式ロータリーポンプに由来するものではないかと考えている。このため、9月にスクロールポンプへ交換して粗引き系のオイルフリー化を実施するとともに、LEBTへのクライオポンプ追加とそれに合わせた真空チャンバーの交換を予定している。

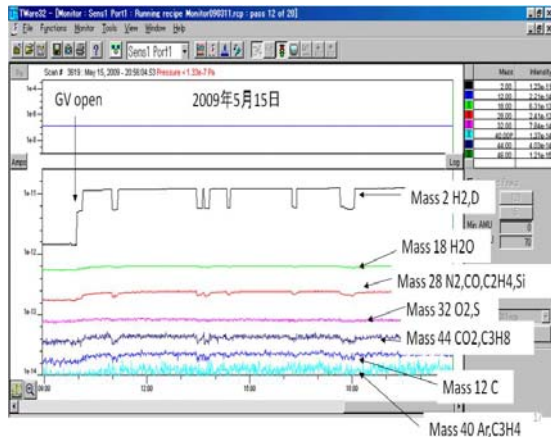


図2 RFQに設置したQマスフィルターによる測定結果

さらに、空洞内面の脱ガスを促進させる目的で、7月に10日間ベーキングを実施した。3月にニトリルではないかと心配したOリングは、製作者や予備品の材質を確認したところバイトンであることを確認し、数十度の温度上昇では問題無いと判断した。もともと構造自体ベーキングを行う設計にはなっていないため、ベーキングと呼ぶような温度上昇ではなく、温水を使ったウォーミングというのが正しい表現かもしれない。

図3に示すように、温度コントロールできる温水器を整備して冷却水系に接続し、RFQ本体の周りにはシーシヒータを巻いてその上を保温した。局所的な温度上昇によって破損するのを避けるため、温度上昇や下降はゆっくり(1/1時間)と、また、温水に合わせて構造の温度変化を与えるようにヒーター制御を行った。ベーキング中の真空度と温度を図4に示す。4日間で27 から60 まで上げた後に週末は60 の一定とし、最終的に最高温度67 まで上げてから3日かけて40 まで下げ、その後は自然空冷とした。

BAゲージで測定したベーキング前の真空度は7e-6Paで、27 から40 まで上げたときに非常に多くのガスが発生し5e-5Paまで上昇した。夜間に一定温度で保持すると次第に枯れてきて真空度が良くなってくるが、翌日に温度を上げるとガス出しが再度促進される、という経過を繰り返した。ベーキング開始後と終了近くの約50 で比較すると、それぞれ3.9e-5Paから1.0e-5Paと4分の1の真空度に、40 同士では4e-5から6e-6と6分の1に改善された。

ベーキング中に発生したガスを分析すると、ほとんどが水(分子量18)であった。それ以外、ハイドロカーボンに由来するものなどが観測されたが、真空分圧が時間的に速く上がる成分(12(C), 22(Ne, CO₂), 44(CO₂, C₃H₈))と遅い成分(2(H₂), 14(N, CH₂), 18(H₂O), 28(N₂, CO, C₂H₄), 32(O₂, S), 40(Ar, C₃H₄))の2グループに大別できた。

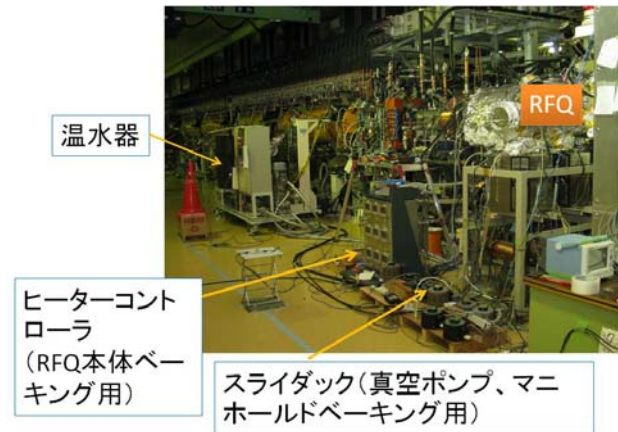


図3 RFQベーキングのセットアップ

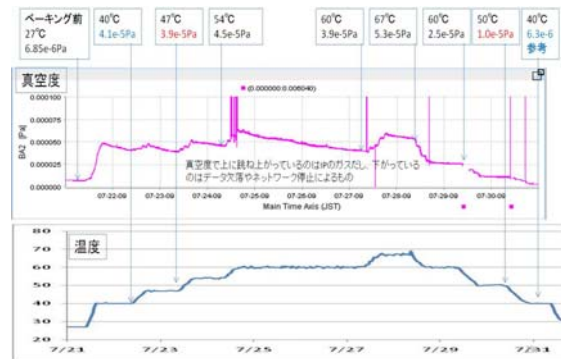


図4 ベーキング時の真空度(上)と温度(下)

7. まとめ

2008年9月に顕在化したRFQの不調に対し、インターロック条件の見直し、真空排気の強化、タンクレベルの見直しなどを行うとともに、定期的なコンディショニングを行って2~3日の24時間連続運転での共用運転を確保した。ただし現状では、共用運転の計画外停止を極力避けるためにリスクを避ける運転とし、電流やデューティは最低限に抑えている。

今夏にはクライオポンプの増設やベーキングによる脱ガスなどの真空強化を図った。それらの正否は、9月から開始されるコンディショニング、10月からの運転結果によって示されるであろう。その結果にもよるが、電流やデューティ、連続日数を向上した運転に移行する予定である。

参考文献

- [1] T.Morishita, et al., "RECENT PROGRESS IN BEAM COMMISSIONING OF J-PARC LINAC" Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp.81-83 (August 6-8, 2008, Higashihiroshima, Japan)
- [2] T. Morishita, in these proceedings