

# イオン注入機の故障対応（続編）

伊藤 暢晃

ナノマテリアルテクノロジーセンター

## 概要

本学にはクリーンルーム内にイオン注入機があり、基本的に全ての運用を私が行っている。2014年度中には発生した不具合の原因が掴み切れず対処療法で凌いでいたが、2015年度にはさらに深刻な異常が発生したため、抜本的な対策を行って最終的に完治することができた。今報告はその顛末を纏めたものである。

### 1 装置概要（昨年と同じため、割愛）

### 2 去年よりも更に深刻な故障発生

前回の報告（2014年度版）にあるように、騙し騙し装置を運用していたのだが、7月14日に重大な故障が発生した。

マニュアルに従って2次加速系の主電源スイッチを入れ、質量分析などビーム関連の調整をしていたとき、突然ブザー音が鳴るとともにエラーコード7番が表示された。操作盤上では加速エネルギーの値が読めなくなっていたため、慌てて裏に回り2次加速電源そのものに付いているメータを読んだところ、最大値の200kVを超えて振り切れていた。

本当に直流の200kVが発生しているのか、人によって意見はあると思うが、万一のことを考えると下手に手を出すべきではない。また装置自体が暴走して内部放電により破壊が進む可能性もあるため、すぐに装置メーカーと連絡して修理に来ていただくことにした。

修理作業は8月10日に行われた。結論から言うと電源箱の内部にあるIC（集積回路）が故障しており、実際に高電圧を出力していたわけではなく、表示だけの異常だった。この電源箱は昨年も故障が疑われて電源メーカー側で検査を受けたものであるが、製造後20年経って経年劣化が起きていると考えられるため、これを機に丸ごと新品へと更新することにした。

また、せっかく装置メーカーの方に来ていただいたのだから、同時に細かい不具合も纏めて検査していただくことにしたが、その際にアーク電流の表示が出なくなっていることに気づいた。アーク電源箱内部の電子基板をみたところ、複数のダイオード、コンデンサ、3端子レギュレータが壊れていた。そのためアーク電源箱ごと交換したのだが、その後も同じ症状が起き続け、解決まで時間のかかる問題となった。

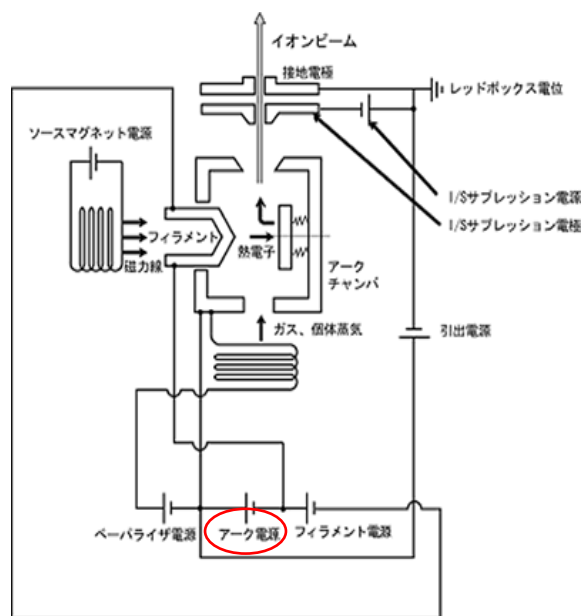


図1. イオン源の模式図（日新イオン機器のHPより転載）。この図はバーナス型で、本学装置はフリーマン型（フィラメントが直線）という違いはあるが、基本的には同じ構成である。問題となったアーク電源は中央下側（赤丸）に描かれている。

### 3 アーク電源箱の調査

まずアーク電源とは何かということから述べる。本学イオン注入機のイオン源の仕組みはおおよそ前頁の図1のようにになっている。①まずはタングステン製のフィラメントに高電流をかけ、熱電子を放出させる。②その熱電子はアーク電源によって作られた電場によってアークチャンバに進み、ソースマグネット電源によって作られた磁力線に巻きついて滞在する。③そしてその真空中に流されてきたガスと衝突し、ガス分子をプラズマ化させる。④プラズマ化されたガス元素は引出電源によりイオンビームとして取り出される。

具体的に本学装置の場合、アーク電圧は 100V に固定し、電流値を変化させてビームの強弱を変更するが、それ以上にアーク電流値の表示はイオン源で放電が起きているか否かを確認する手段であり、運転時に必要不可欠な値なのである。つまり表示されない状況は放置できない問題である。



図2. テスト運転時の操作盤の全景。  
右端の中央がアークの値。000を指しているのがアーク電流（異常）。  
099を指しているのがアーク電圧（正常）。

アーク電源の機能調査として、まず電源本体の電流計に表示が出ていることを確認したうえで、測定しやすい1A程度を出力させ、途中をクランプメータで測定した。この時は直流を測定できる高性能のクランプメータが必要になり、本学の防災センターにお願いして借りることになった。この場を借りてお礼申し上げます。

測定結果はアーク電源箱の表示：0.8Aの時にクランプメータの値が0.6Aとなっており、誤差の関係で少し少なめに出ていたが、大きな問題はなかった。また、電流を上下させた際の相関関係も良好だった。



図3. (左) アーク電源の箱。左が電圧計で右が電流計である。  
(右) テスト用に繋いだクランプメータ。直流で0.6Aを表示している。

次にシーケンサの異常か、アーク電源箱に問題があるのかを切り分けるために、電源から出ている BNC ケーブルをオシロスコープに繋いで調べた。

この信号は 5A/10V というスペックだったため、アーク電流値が仮に 1A の場合、2V という結果になるはずである。しかし実際に測ってみると、【アーク電源メータで 0.7A の時、-1.43V を計測】という結果になった。おおよそ 2 倍という絶対値は良いものの、正負が逆になっているのが問題である。



図 4. オシロスコープを用いて BNC ケーブルを調べている図。(左) アーク電源を入れる前。0V になっているため中央の線と重なっている。(右) アーク電源投入後、マイナスに振れているため下側に線があるところに注目。

#### 4 BNC ケーブルを逆転させる、オリジナルの対処法

正負が逆になっている信号が悪いのではないかと、という方針が見えてきたため、早速逆にする配線を取り付けた。BNC-バナナソケットターミナルを 2 つ用意し、バナナ部分で正負逆に取り付けるのである。(図 5) その結果、無事にアーク電流値が表示されるようになった！(実際の運転時は図 6 の状態)

余談ではあるが、これらは全て、通常は高電位になるイオン源部分に手を入れて行っている作業である。安全のため、全てのドアを閉めて、インターロックがドアを閉じたと判断した状態でなければ、高電圧が掛からない仕組みになっている。この時はそれを避けるため、ドア類のインターロックには鉄板を添えて金属探知を働かせてドアが閉じていると判定させた他、静電気を流すためにドアに取り付けられている導電用の棒(ドアが開くと棒が繋がって電気を流し、電位差を作れないようにする仕組み、図 3 右のクランプメータの右隣に映っている)も全て離れるようにテープで固定して、高電圧を運転できるようにした。もちろん運転中は手で触ることができる状況だが、「おさわり厳禁」である。

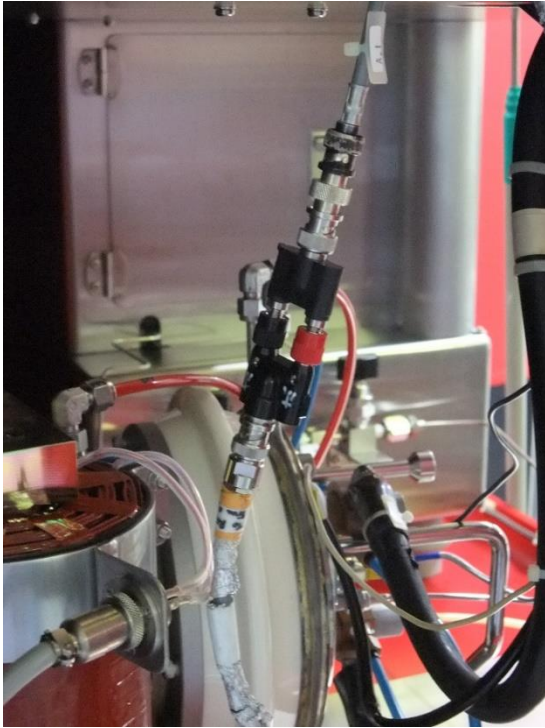


図 5. 正負を逆にするバナナソケットターミナル部。上下は BNC ケーブルで、中央に向かい合わせで正負逆に接続にしたバナナソケットターミナルが見える。



図 6. (右) 絶縁対策として目立つ黄色のビニールテープでぐるぐる巻きにしたバナナソケットターミナル部。正負を逆にする仕組みが絶縁面でとても心配である。本装置は 2 段階の加速器を持ち（詳しくは昨年の報告書を参照）、それに伴って 2 段階の絶縁が用意されている。このアーク電源は最上流部の電位に入るため、同電位の箱の中に格納しておいた。図 5 は逆転回路の試験をしたときの写真であり、そのまま高電圧を掛けると次の段の異なる電位と短絡する恐れがあるため、このようになった。

## 5 装置メーカーとしての対処

装置メーカーのサービスマンは上記の対処について感心しつつも、「装置メーカーの責任ある立場としては、使用可能とは言えない」との回答だった。よってサービスマン氏にも来学していただいて最終決着とすることにした。

最終的な顛末としては 3 台のアーク電源を取り扱った。それぞれの顛末を下記に示す。

- ✧ 最初についていたアーク電源（初代と呼称）：1993 年 3 月製。アーク電流値が出ない最初の問題の時に付いていた。内部の半導体基板が焦げており、複数のダイオード、コンデンサ、3 端子レギュレータが破損。そのまま廃棄される。
- ✧ 送られてきたアーク電源（2 代目と呼称）：1996 年 6 月製。アーク電流値が表示されず、信号が正負逆になっていたのはこの電源箱の時。内部基板は目視上で正常に見えるものの、アーク電流値が出ない症状はそのまま。電源メーカー側は「正常」だと主張し、上手くいかない理由は接触不良くらいしか残らないところまで探したが、ともかく使えないため送り返すことになった。
- ✧ 難交渉の末にさらに送ってもらったアーク電源（3 代目と呼称）：実は一番古い 1989 年製。渋る電源メーカー側との長い交渉の末に送ってもらったもの。実はこれも電流量が大きく異なる問題を抱えていた。サービスマン氏の活躍により調整していただき、最終的に使用可能となる。

## 6 まとめ

本学のイオン注入装置は納入後 20 年以上が経過しており、最終オーバーホールからも 15 年経っている。そのため、口の悪い人からは「新しいのを買えという意味で、メーカー側は本腰をあげて対処してくれないだろう」とも言われるが、大事な大学資産であることは変わらない。今回の一連の問題では「表示されないまま有耶無耶にしない」「業者との交渉も粘り強く行い、主張することは主張して、同時に聞くことは聞く」という態度で臨んだことが最終的に 3 代目の電源箱を送ってもらえることに繋がり、完治するところまで辿り着く結果を生んだ。今後も同じように取り組んで、装置を維持していきたい。