

# J-PARC リニアックバンチシェイプモニタの真空圧力改善 IMPROVEMENT OF THE VACUUM PRESSURE OF THE BUNCH SHAPE MONITOR AT J-PARC LINAC

宮尾智章<sup>#,A)</sup>, 三浦昭彦<sup>B)</sup>, 川根祐輔<sup>B)</sup>, 田村潤<sup>B)</sup>, 根本康雄<sup>B)</sup>, 青寛幸<sup>C)</sup>, 林直樹<sup>B)</sup>, 小栗英知<sup>B)</sup>, 大内伸夫<sup>B)</sup>,  
真山実<sup>D)</sup>, 吉川宗良<sup>D)</sup>, 鈴木隆洋<sup>D)</sup>

Tomoaki Miyao<sup>#,A)</sup>, Akihiko Miura<sup>B)</sup>, Yusuke Kawane<sup>B)</sup>, Jun Tamura<sup>B)</sup>, Yasuo Nemoto<sup>B)</sup>, Hiroyuki Ao<sup>C)</sup>,  
Naoki Hayashi<sup>B)</sup>, Hidetomo Oguri<sup>B)</sup>, Nobuo Ouchi<sup>B)</sup>, Minoru Mayama<sup>D)</sup>, Hirokazu Yoshikawa<sup>D)</sup>, Takahiro Suzuki<sup>D)</sup>  
A) KEK, B) JAEA, C) Michigan State Univ., D) Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd.

## Abstract

In the J-PARC linac, a diagnostic for the longitudinal beam profile is important to suppress the excess beam loss due to longitudinal mismatching. because the radio frequency of the annular-ring coupled structure (ACS)cavity which started to be used since 2013 is thrice (972 MHz) of the SDTL frequency (324 MHz). We installed three bunch shape monitors (BSMs) once in the beam line and tested them in 2012. Although the profile measurement was successful, the vacuum pressure in vicinity of BSM increased  $\sim 10^{-4}$  Pa by outgassing during measurement period and it suspended the beam operation. In order to reduce the outgas from the BSM, baking operation of BSM at the beam line was addressed, by adding vacuum pumps. As the result, the vacuum pressure was improved to  $\sim 10^{-7}$  Pa.

## 1. はじめに

J-PARC リニアックでは 2013 年度にインストールされた ACS(Annular-ring Coupled Structure)空洞にビームを入射する際、加速周波数が 324MHz から 972MHz にジャンプする。そのため、ビーム位相方向のプロファイル測定が重要である。そこで、我々はロシアの原子力研究所(INR)のメンバーと共同でバンチシェイプモニタ(BSM)の開発を行い、ACS 空洞をインストールする前年度にビームラインにインストールした。<sup>[1]</sup>

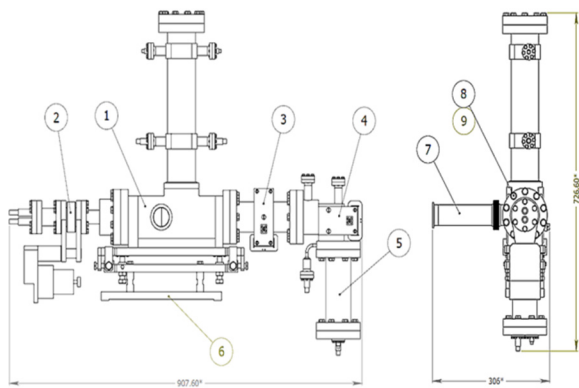


Figure 1: The Structure of Bunch Shape Monitor.

Figure 1 にバンチシェイプモニタの全体図と原理を示す。ビームを-10kV のポテンシャルを持ったタングステンワイヤーに当てて 10keV の電子を放出させ、これを円筒の中にある偏向板で収束させる(①)。その後、補正電磁石(③)、偏向電磁石(④)で電子のエネ

<sup>#</sup>tomoaki.miyao@j-parc.jp

ルギーを選別して、電子増倍管(⑤)で信号を増幅させる。BSM の測定パラメータは主に、タングステンワイヤーのポテンシャル、偏向板にかかる収束電圧、及び RF パワーに依存する。

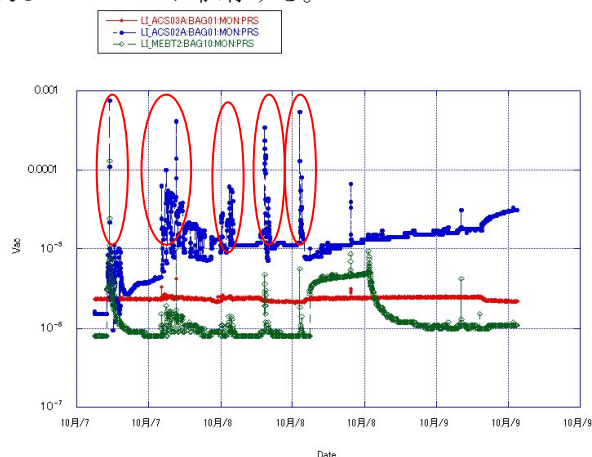


Figure 2: Vacuum trend at 181MeV beam operation.

Figure 2 に BSM 周辺の BA ゲージによる真空圧力のトレンドグラフを示す。当時は ACS 空洞がインストールされていないが、使用している BA ゲージは将来の SDTL 空洞から ACS 空洞までのビーム輸送系(MEBT-2)及び、ACS02 付近の BA ゲージを使用しており、その付近において、圧力の上がる事象 (Figure 2 赤丸部分)が頻発していることがわかる。ACS 空洞インストール前オフラインで測定した ACS 空洞の到達真空圧力は $2.0 \times 10^{-6}$  Pa<sup>[2]</sup>であるが、定常運転での真空度は $1.0 \times 10^{-7}$  Pa まで改善されたため、BSM からの放出ガスの影響で ACS 空洞に安定なビーム運転に支障をきたす恐れがあることが分

かった。そこで今回、BSM の放出ガス量の低減と真空排気ポンプの増強を検討した。

## 2. 真空改善方法

BSM は ACS 空洞の直近に設置されることから、BSM の目標到達真空圧力は ACS 空洞と同等レベルである  $5.0 \times 10^{-7} \text{Pa}$  とした。また、真空引きを開始して目標値まで到達する所要時間は、1 週間以内を当初の目標とすることにした。

### 2.1 オフラインでの真空試験

上記の目標を達成するための方策を検討するために、BSM を一旦ビームライン取り外して、オフラインで試験を行うことにした。

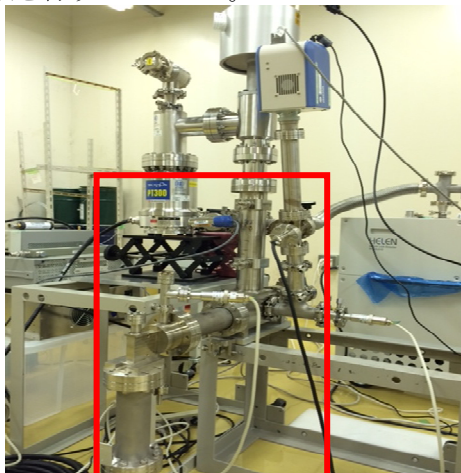


Figure 3: Layout of BSM vacuum test.

まずは、BSM から放出されるガスを本体から直接排気するために、BSM(上図の赤枠)本体の上側フランジを使用して 300L/s ターボ分子ポンプを設置した。本ポンプを使用したときの真空圧力の時間変化を Figure 4 に示す。真空圧力は、インストール時にビームラインに相当する場所と、BSM 本体にあるビューポートの 2 ヶ所に BA ゲージ設置して測定した。

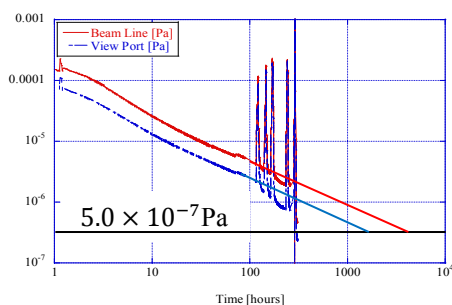


Figure 4: Vacuum trend of BSM.

この真空圧力変化をみると、 $5.0 \times 10^{-7} \text{Pa}$  まで到達するのにビームライン部で約 2000 時間要しており、目標の所要時間には遠く及ばないことが分かる。そこで、本体からのガス放出量自体を低減するために BSM 本体のベーキングを実施した。ベーキング温度

は BSM 本体で最大  $200^\circ\text{C}$ 、アングルバルブは仕様上、 $150^\circ\text{C}$  まで。ベーキング時間は 8 時間を 1 セットとし、5 セット実施した。ベーキング処置を経た時の真空圧力の時間変化を Figure 5 に示す。ベーキング処理により真空排気速度は 300~400 時間まで短縮することができた。

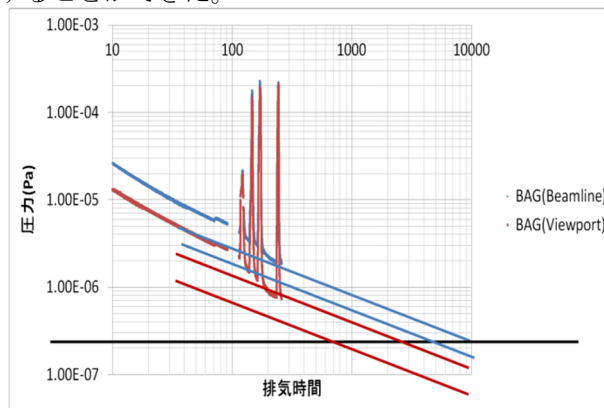


Figure 5: Vacuum trend of BSM offline baking.

### 2.2 ビームラインでのレイアウトとベーキング

オフラインの真空試験により、BSM 本体への真空ポンプ設置及び本体のベーキング処理だけでは、目標の真空圧力には達したものの所要時間は目標の 2 倍程度要することが分かった。そのため、さらなる改善が必要であり、その対策として、BSM 近辺のビームライン上にも真空ポンプを設置することを検討した。

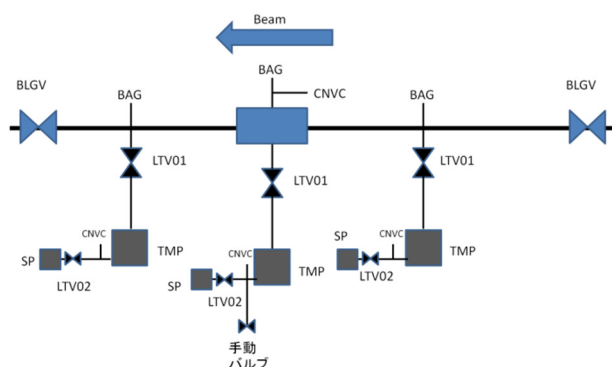
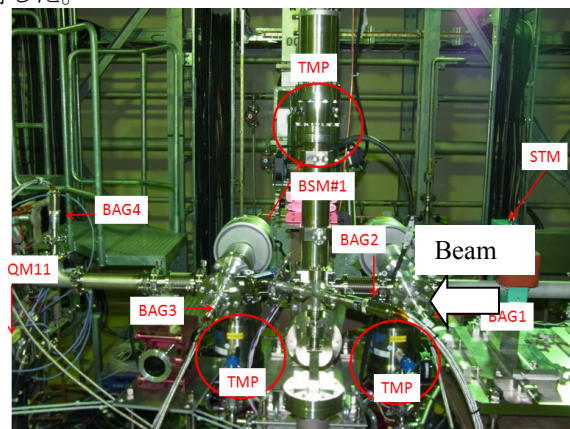


Figure 6: Layout of vacuum equipment at J-PARC Linac.

BSM は元々、ACS 空洞入口にある四極電磁石の間に設置予定だったが、この場所は非常に狭いため真空ポンプを設置する場所を確保できない。そのため、BSM の設置位置を変更し、比較的空きスペースの多い SDTL 空洞から、ACS 空洞までのビーム輸送系(MEBT-2)に設置することにした。BSM とその周辺の真空装置のレイアウトを Figure 6 に示す。本レイアウトでは、BSM 本体及び上下流のビームラインに 300L/s ターボ分子ポンプを合計 3 台設置している。また、BSM 上下流のビームラインにゲートバルブを設置し、BSM ベーキング中にこれを閉鎖することで、ベーキング時に発生するガスによって加速空洞が汚染されるのを防ぐ。J-PARC Linac において、ビームラインベーキングすることは今まで実施したことがなかった。オフラインでのベーキングは到達目標値の  $5.0 \times 10^{-7}$  Pa 以下を達成したが、一旦 BSM 本体を大気開放すると、再度、ベーキングしなければ、再現することができない。リボンヒーターは BSM 本体の中でも、円筒部、ボディ部、ダクトを重点的に 200°C 以内まで、ベーキングできるように巻いた。また、BSM 本体に接続している TMP に排気させるため、BSM 上下流部も温度勾配を作るため、多めに巻いた。ただし、クランプ部分はベーキング時の熱変形を防ぐため、直接ヒーターを巻かないように施した。

ビームラインでのベーキング結果を Figure 7 に示す。ベーキング直前の真空度は  $5.0 \times 10^{-6}$  Pa 以下であった。9/16 17:40 にベーキングを開始して、9/17 11:20 にリボンヒーターの配線替えを実施した。これは、ベーキング開始から真空度が下がる速度が早いと判断したためである。原因は、温度コントローラーにスライダックのコンセントを差したことで、パルス運転になり、温度上昇ができていなかったことが考えられる。その後の保温温度は温度センサーを BSM 本体部、ビームラインクランプ、アングルバルブの 3 ヶ所に設置してそれぞれ、保温温度は 171.7°C、150.0°C、133.7°C であった。製品の仕様上、アングルバルブの加熱は 150°C までとされている。昇温再開しておよそ 48 時間後の 9/19 10:00 にヒーターの電源を切り、ベーキングを終了した。ベーキング時間は正味 65 時間程度である。

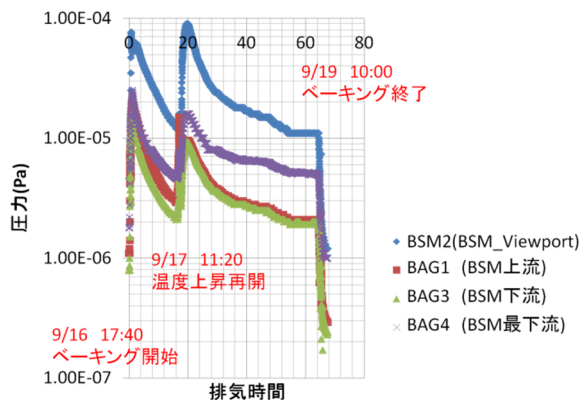


Figure 7: Vacuum trend with online baking.

一度、ビームラインを大気開放した状態から BSM のオンラインベーキング時を実施した。その時の真空圧力の時間変化を Figure 8 に、ビームラインベーキング時の温度の時間変化を Figure 9 に示す。昇温開始後 3 時間で平衡状態に達し、ベーキング時間は前回と同様の 65 時間程度であった。温度はいちばん高くても 140°C であるが、到達真空度は BSM 回りで  $5.0 \times 10^{-7}$  Pa 以下を達成した。ビームラインの大気開放の時間が関係しているものと考えられる。

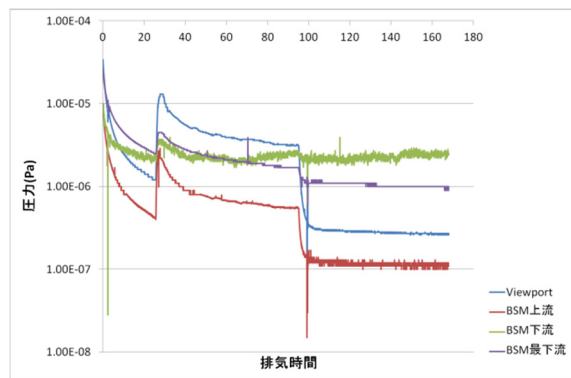


Figure 8: Vacuum trend with beamline baking.

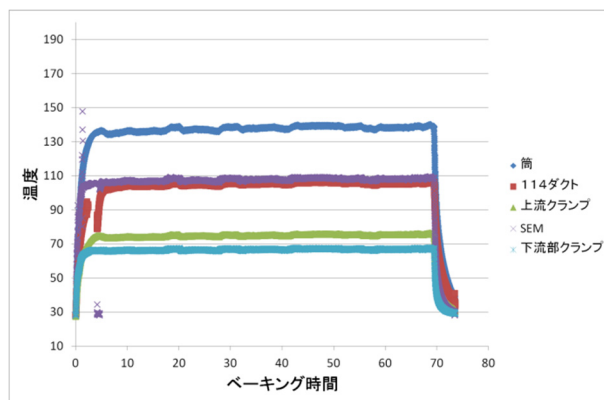


Figure 9: Temperature trend with beamline baking.

### 3. 結果

#### 3.1 到達真空圧力及び所要時間

Figure 10 に 1 週間分の真空圧力の時間変化を示す。真空引き開始(9 月 13 日 15:00 時点)を考慮すると、真空引き開始から 6 日間で BSM 上下流の到達真空度が  $5.0 \times 10^{-7}$  Pa 以下を達成することができた。到達時間の当初目標は達成できたが、今後はさらに時間を短縮できるよう、ベーキング時のヒーターの巻き方や温度制御の改善を図りたいと考えている。

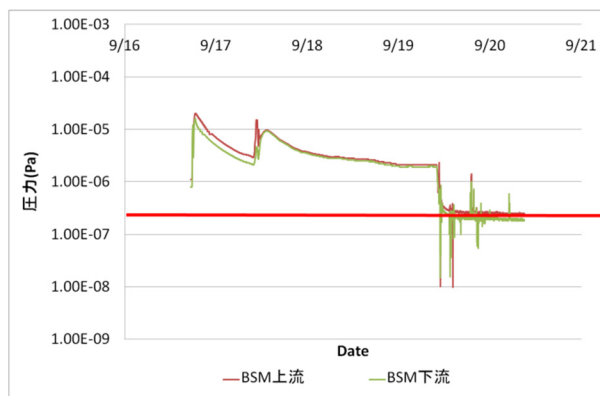


Figure 10: Vacuum trend with beamline baking and after baking.

### 3.2 測定時の真空度の変化

ビーム運転時の真空圧力変化を Figure 11 に示す。10/4 の 15 時 46 分に BSM を ON 状態にしたため、BAG1(BSM 上流側)と BAG3(BSM 上流側)の真空圧力は上昇しているが、 $5.0 \times 10^{-7}$  Pa 程度を保つことができた。

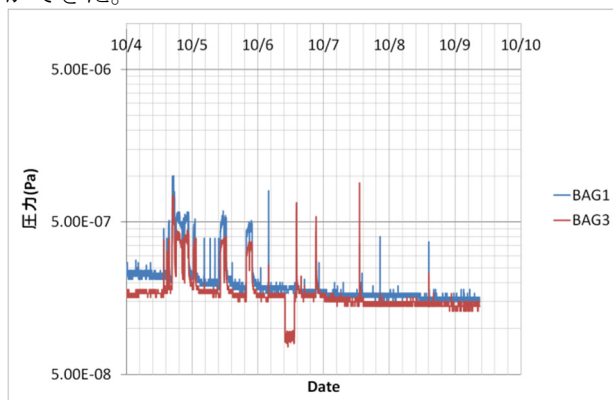


Figure 11: Vacuum trend in BSM operation.

## 4. まとめ

BSM からのガス放出が付近の ACS 空洞に影響を及ぼすことが懸念されたため、BSM の真空対策を実施した。BSM 本体及び近傍のビームラインに新たに真空ポンプを増設し、さらに本体をベーキング処理することで、真空引き開始から約 6 日間で目標の  $5.0 \times 10^{-7}$  Pa 以下を達成することができた。現在、本 BSM を使ってビームスタディを行っており、ACS が不安定になることもなく、ビームチューニングの重要なビーム診断ツールとして活用されている。

### 謝辞

BSM の真空改善において、当初の目標を達成できたのは共著者含め各専門の方々のご意見、ご指導あってのものです。現場で携わっていただいた方には、長時間作業のご協力ありがとうございました。御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] A.Miura et al., “VACUUM IMPROVEMENT OF BUNCH SHAPE MONITOR FOR J-PARC LINAC”, Proceedings of IBIC2014, Monterey, CA, USA.
- [2] J.Tamura et al., “RESUMING OF ACS HIGH-POWER TEST FOR J-PARC LINAC ENERGY UPGRADE”, Proceedings of PASJ2013, Nagoya, Japan.