

大強度・低速 H^- ビーム用バンチシェイプモニタを用いた ビーム計測手法に関する研究

STUDIES OF BEAM DIAGNOSTICS WITH BUNCH-SHAPE MONITOR FOR HIGH- POWER AND LOW-BETA H^- BEAM

北村遼^{*A)}、林直樹^{A)}、平野耕一郎^{A)}、小坂知史^{B)}、宮尾智章^{C)}、根本康雄^{B)}、森下卓俊^{A)}

Ryo Kitamura^{*A)}, Naoki Hayashi^{A)}, Koichiro Hirano^{A)}, Satoshi Kosaka^{B)},

Tomoaki Miyao^{C)}, Yasuo Nemoto^{B)}, and Takatoshi Morishita^{A)}

^{A)}Japan Atomic Energy Agency

^{B)}NAT Co.

^{C)}High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

In the J-PARC linac, a new bunch-shape monitor (BSM) is developed to stably measure the high-intensity and low-energy negative hydrogen ion (H^-) beam by improving the strength of the target probe for the heat loading. The new target probe is made of the graphite. Since the beam profile can be measured with the new BSM at any transverse position thanks to the new target probe, we propose the advanced application of the beam diagnostics with the BSM. In this research, some new approaches of the beam diagnostics with the BSM; the transverse profile measurement using the secondary electrons and the beam current evaluation from the transverse profile measurement are discussed beyond the original usage of the BSM.

1. イントロダクション

大強度陽子加速器施設 J-PARC リニアックでは、フロントエンドの大強度かつ低速な負水素イオン (H^-) ビームを測定するために熱負荷への耐久性を向上させたバンチシェイプモニタ (BSM) の導入を進めている [1-4]。BSM 内部でビームと相互作用する標的プローブに高配向性グラファイトを導入することで、これまで標的損傷の影響から測定困難であったビーム中心領域での安定したプロファイル測定が可能となった。ビーム辺縁部・中心部を問わず任意の位置でプロファイル測定できる点に着目して、本来の縦方向プロファイルモニタとしての機能に加えて応用的なビーム計測手法を提案する。本研究ではビーム由来の二次電子計測を利用した横プロファイルの測定について試験結果を紹介する。さらに横プロファイル測定結果からビーム電流を評価する手法についても実証試験を行った。

2. 試験セットアップ

本研究では J-PARC リニアック棟のテストスタンドにグラファイト標的を搭載した BSM を設置した。図 1 に試験セットアップを示す。テストスタンドではイオン源と RFQ により H^- ビームを 3 MeV まで加速する。試験時のビーム条件は最大ピーク電流 53 mA、マクロパルス長 50 μs 、繰り返し 1 Hz である。図 2 に BSM の動作原理を示す。BSM で縦プロファイルを測定する場合、ビームと標的の相互作用で生じた二次電子をデフレクタ空洞へと導き、ビームと同期した高周波電場で変調する。本研究では横プロファイルを測定するため、高周波電場は印加せずに試験を実施した。

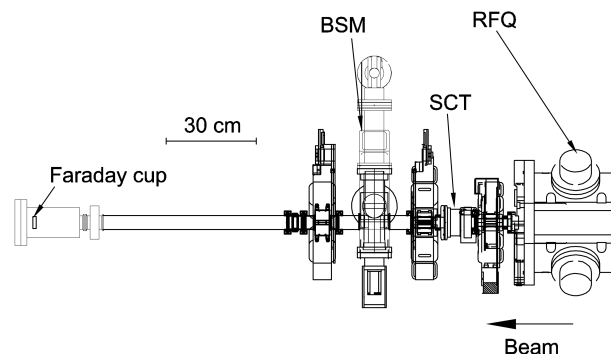


Figure 1: Experimental setup in the J-PARC linac building [3].

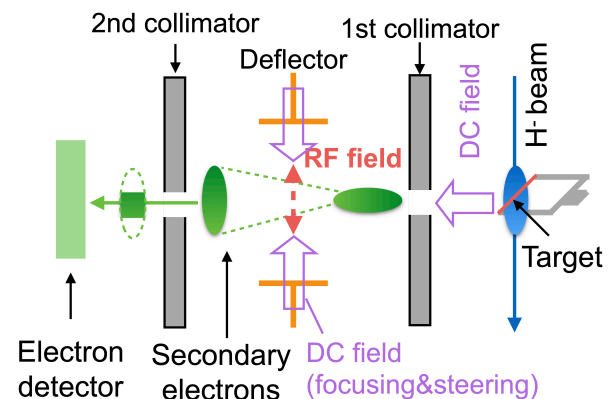


Figure 2: Principle of BSM.

* rkita@post.j-parc.jp

3. 二次電子計測による横プロファイル測定

図2において、標的位置はアクチュエータにより水平方向へ走査できる。従って一般的なワイヤスキャナモニタ (WSM) [5,6] と同様に、各水平位置でのグラフィット標的を流れるビーム由来の電流量を計測することで横プロファイル測定できる (WSM 法)。また、標的位置を走査しながら BSM で検出されるビーム由来の二次電子量を計測することで横プロファイル測定できる (二次電子計測法)。この二次電子計測法による BSM での横プロファイル測定は、BSM で一般に用いられるタングステンワイヤ標的を使った場合の試験結果 [7] が報告されている。本研究ではフロントエンドの大強度ビーム計測用に導入したグラフィット標的を用いて、二次電子計測法による横プロファイル測定を試みた。

図3に WSM 法で測定した水平プロファイルと、二次電子計測法で測定した水平プロファイルを示す。両者はよく一致しており、グラフィット標的でも二次電子計測法により横プロファイル測定ができることを確認した。

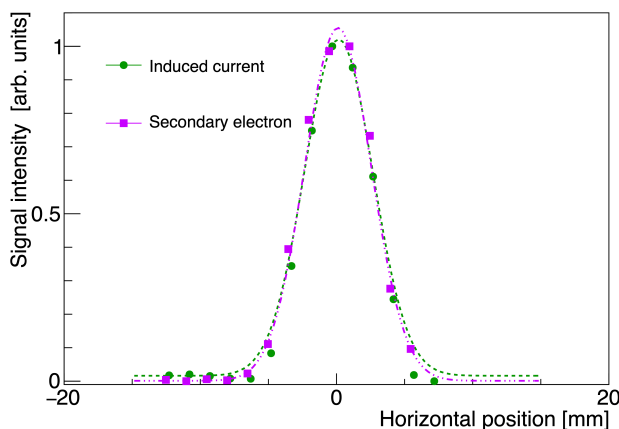


Figure 3: Measured horizontal profiles using the induced beam current and secondary electrons.

4. 横プロファイルを用いたビーム電流測定

図3において測定した横プロファイル分布の面積は H^- のビーム電流量に比例すると考えられる。WSM 法で測定した横プロファイルにガウシアンでフィッティングして、フィット結果から横プロファイルの面積分を求める。この横プロファイル面積分の値とビーム電流との相関を調べた。イオン源の出射ビーム電流を変えて、各ビーム電流毎に横プロファイル測定した。図4に、RFQ 出口に設置した SCT で測定したビーム電流と BSM を使って測定した横プロファイル面積分の相関を示す。測定結果からビーム電流と横プロファイル面積分は予想通り比例関係にある。ビーム電流が低い領域で面積分の値が低下しているのは、低ビーム電流設定における輸送系の調整が不十分で、SCT と BSM の間の生じたビーム損失が相対的に大きくなるためと考えられる。この相関関係を用いれば、横プロファイルの測定結果からビーム電流を評価できる。即ち、原理的に一台の BSM

でビームの縦横プロファイル及びビーム電流を測定することができる。

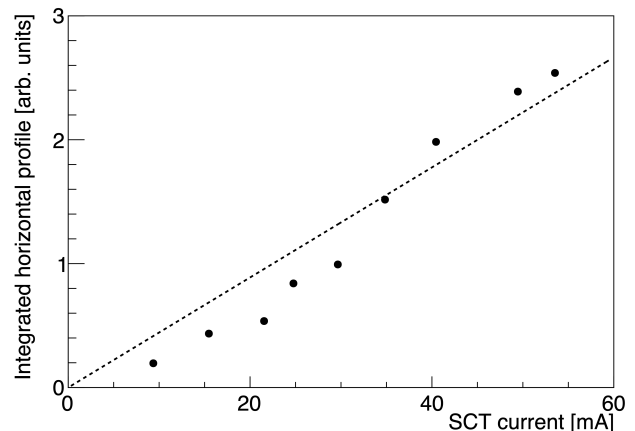


Figure 4: Correlation between the measured SCT current and integrated horizontal profile measured with the BSM.

5. まとめと展望

本研究ではフロントエンドの大強度・低速な H^- ビーム用 BSM を用いて、ビーム由来の二次電子計測を利用した横プロファイル測定の実証試験を行った。BSM で縦プロファイル測定の際には標的の横方向位置調整で WSM 法を使用している。しかし WSM 法では配線変更や BSM の電源調整などに手間がかかるため、高周波電場の調整などで済む二次電子法を用いることでより迅速な標的の横方向位置調整ができると期待される。

横プロファイル測定結果からビーム電流を評価する手法について実証実験を行った。フロントエンドはビームエネルギーが低いため輸送系の機器がビーム軸上に密集する。そのため必然的に設置可能なビームモニタ数が少なく、得られるビームの情報も制限される。一台の BSM で縦横プロファイルに加えてビーム電流まで計測できれば、より多角的な視点でフロントエンドのビーム状態を評価でき、ビーム調整や異常検知、ビームシミュレーションとの比較において強力なツールとなりうる。

参考文献

- [1] R. Kitamura *et al.*, “Bunch shape monitor for the high-intensity H^- beam with 3 MeV using the carbon material”, WEIO14, Proc. of PASJ2019, Kyoto, Japan, pp.517–523 (2019).
- [2] R. Kitamura *et al.*, “Evaluation of the bunch-shape monitor for the high-intensity proton beam”, WEPP15, Proc. of PASJ2020, Online, pp.51–54 (2020).
- [3] R. Kitamura *et al.*, “Bunch-Size Measurement of the High-Intensity H^- Beam with 3 MeV by the Bunch Shape Monitor”, JPS Conf. Proc. 33, 011012 (2021).
- [4] R. Kitamura, “First Measurement of Longitudinal Profile of High-Power and Low-Energy H^- Beam by Using Bunch Shape Monitor with Graphite target”, TH111, in Proc. of IBIC2022, Krakow, Poland (2022).
- [5] A. Miura, K. Hasegawa, T. Miyao, T. Maruta, Y. Liu, K. Ho-

- rioka, “Beam profile monitor for intense, negative hydrogen beams in the J-PARC linac”, *Journal of KPS* 69, pp.1005–1013 (2016).
- [6] A. Miura, T. Miyao, and K. Moriya, “Application of carbon nanotube wire for beam profile measurement of negative hydrogen ion beam”, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1067 (2018) 072020.
- [7] G. Bellodi, V. A. Dimov, J-B. Lallement, A. M. Lombardi, U. Raich, F. Roncarolo, F. Zocca, and M. Yarmohammadi Satri, “Longitudinal beam profile measurements in Linac4 commissioning”, MOPP025, in *Proc. of LINAC2014* (Geneva, Switzerland) pp.108–110 (2014).