

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540357

研究課題名(和文)大強度直流ビームのための非接触型ビーム強度モニタの実用化

研究課題名(英文)Development of residual gas ionization beam current monitor for high-intensity DC beams

研究代表者

里 嘉典(SATO, Yoshinori)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：30342603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、J-PARCハドロン実験施設において、加速器からDC的に取り出される大強度陽子ビームの強度を、非接触かつ10%以下の精度で監視できるビームモニタを開発することである。試作された残留ガスビーム強度モニタを大阪大学核物理研究センターの50MeV陽子ビームを用いて信号応答測定試験を行った。試験の結果、真空度一定の条件でビーム強度の直線性からのずれは最大7%であった。その後試作機をハドロン実験施設に移設して、30GeV陽子ビームの強度を測定した。30GeV陽子ビームに対しても相対的な安定性は10%以下であり、このビーム強度モニタは、安定して使用できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We have developed a residual gas ionization beam current monitor (RGICM), which can monitor intense semi-DC proton beams at J-PARC Hadron Experimental Facility with non-destructive feature and less than 10% accuracy. A prototype RGICM has been tested with 50 MeV proton beam at Research Center for Nuclear Physics, Osaka University, and showed good linearity of less than 7%. The prototype monitor has been installed in the proton beam line at J-PARC Hadron Experimental Facility, and tested with 30 GeV proton beams. The relative stability of the monitor with 30 GeV proton beams was less than 10%. The results indicate that the residual gas ionization profile monitor is useful for semi-DC proton beams at J-PARC.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ビーム強度モニタ 非接触測定

1. 研究開始当初の背景

(1) 大強度陽子加速器施設 (J - P A R C) ハドロン実験施設では、750 kW (50 GeV-15 マイクロ A) の大強度陽子ビームを用いて、大強度の K 中間子ビームを用いた素粒子物理実験及び原子核物理実験が行われる。図 1 に J - P A R C ハドロン実験施設の全体図を示す。

(2) 750 kW の陽子ビームにおいては、僅かのビーム損失でも残留放射線レベルは相当高くなり、機器の保守等に重大な障害が生じる。このため、大強度の陽子ビームを安定に利用する上でビーム強度モニタの役割は非常に重要である。

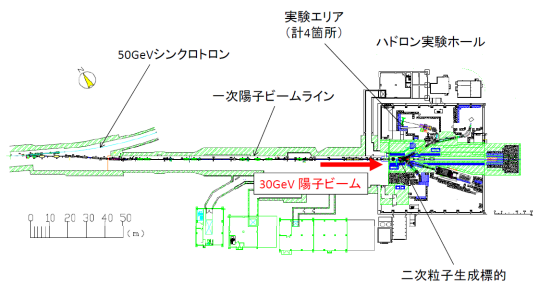


図 1 J - P A R C ハドロン実験施設全体図

(3) J - P A R C ハドロン実験施設において、加速器から直流的に取り出される大強度陽子ビームを安定に利用するためには、強い放射線に耐え、かつビーム強度を非接触に測定できるビームモニタを用意することが重要である。我々はこれまで、1 Pa 程度の真空度において、残留ガスのビームによるイオン化で生じる電離電子を電場と磁場で収集して陽子ビームのプロファイル測定する残留ガスビームプロファイルモニタを開発し、実際の運転に使用している。真空度が一定の条件では、残留ガスビームプロファイルモニタで収集される電荷の総量はビーム強度と比例関係にあるので、ビーム強度モニタとしても使用できる可能性がある。

(4) 図 2 は残留ガスビームプロファイルモニタの実証機および東北大サイクロトロン R I センターの 50 MeV 陽子ビームを用いたテスト実験結果の一部を示す。図 1 に示すように、真空度一定の状態での陽子ビームの強度を 0.2 マイクロ A から 3.2 マイクロ A まで変化させ、電離電子の収量(グラフの縦軸はビーム強度および真空度で規格化)を測定したところ、比較的よい直線性を示していることがわかった。これは残留ガスビームプロファイルモニタがビーム強度モニタとしても使用できる可能性を示している。つまり真空度と残留ガスビームプロファイルモニタの信号収量から逆算してビーム強度の絶対値を得ることができる。

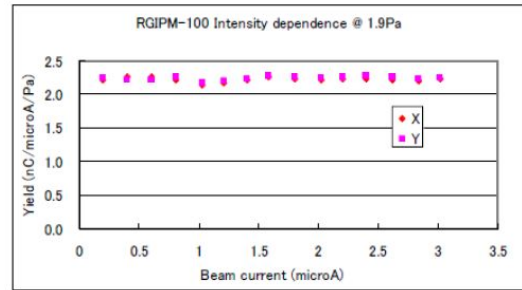


図 2 50 MeV 陽子での残留ガスビームプロファイルモニタの信号収量のビーム強度依存性

2. 研究の目的

(1) 本研究は、これまでの残留ガスビームプロファイルモニタの成果を応用し、直流的に取り出された荷電粒子ビームの強度を非接触かつ 10% 以下の精度で常時監視できるビームモニタを開発することである。

3. 研究の方法

(1) 本研究で開発するビーム強度モニタは、直流的に取り出された荷電粒子ビームが 1 Pa 程度の残留ガスをイオン化して生じる電離電子を電場及び磁場で収集し、得られた電荷量からビーム強度を測定する。これにより、陽子ビームに非接触でビーム強度の測定が可能となる。ビーム強度モニタの概念図を図 3 に示す。1 Pa 程度に真空引きされた角形のビームパイプ内部に電荷収集用の電極を設置する。電極に 100 V 程度の電圧を印加して 10 cm のギャップに一樣電場を発生させ、信号読み出し電極に電離電子を誘導する。1 Pa の真空度では電子の平均自由行程は約 3 cm であり、一樣電場のみで電子を誘導すると電子が拡散してしまい、ビーム強度が正確に測れない。これを防ぐため、真空容器の外側に永久磁石を取り付けて電場と平行に磁場を印加し、電子の軌道を磁束に巻き付けることにより、拡散を抑制する。電荷収集に必要な電場強度は 10 V/cm 程度、中心付近の磁場強度は 420 ガウスである。

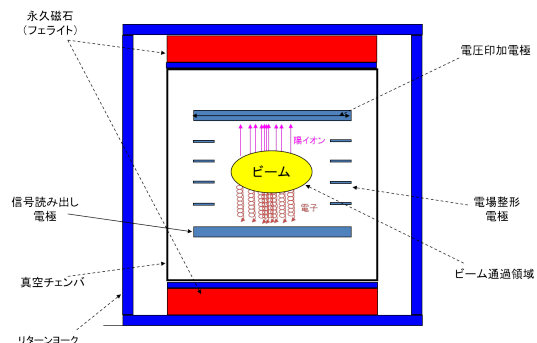


図 3 残留ガスビーム強度モニタの概念図

(2) 本研究では、図4に示す残留ガスビーム強度モニタの試作機を製作し、大阪大学核物理研究センターのENNコースにおいて、50 MeV陽子ビームを用いて最大3.5マイクロAのビーム強度でビームモニタの信号応答測定試験を行った。図5に実験セットアップを示す。大型サイクロトロンから取り出された直流ビームを残留ガスビーム強度モニタに入射し、高精度のエレクトロメータ(Keithley 6514)を用いて収集された電荷量を測定した。比較のため、入射ビームの強度は下流に設置されたファラデーカップによって測定され、精度及び直線性を調べた。残留ガスビーム強度モニタ内は真空ポンプにより排気され、容器内の真空度は電磁弁により一定値を保つよう自動制御された。

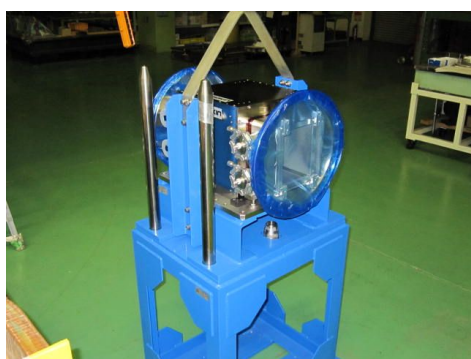


図4 残留ガスビーム強度モニタ試作機

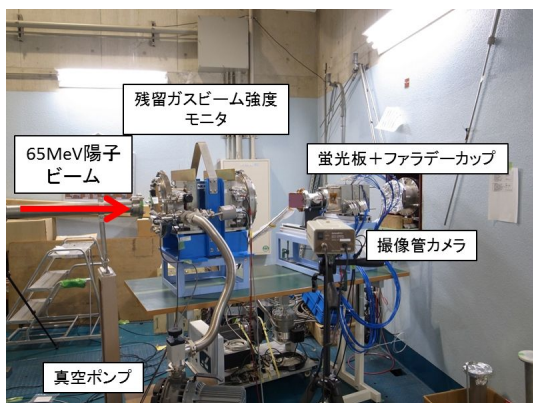


図5 大阪大学核物理研究センターENNコースにおける実験セットアップ

4. 研究成果

(1) 図6に示す通り、大阪大学核物理研究センターでのビーム試験の結果、最大3.5マイクロAまでのビーム強度において、真空度一定の条件では残留ガスビーム強度モニタのビーム強度の直線性からのずれは最大7%となり、ビーム強度モニタとして利用できることがわかった。

(2) 大阪大学核物理研究センターでの実験終了後、残留ガスビーム強度モニタの試作機を

J-PARCハドロン実験施設に移設し、実際の30GeV陽子ビームを用いて測定を行った。図7に残留ガスビーム強度モニタによるビーム強度測定値と加速器で直流変流器を用いて測定されている陽子ビーム強度の比較を示す。データ収集は高精度エレクトロメータKeithley 6514からのデータを遠隔制御で収集するため、横河電機製プログラマブルロジックコントローラFA-M3およびLinuxコントローラ(F3RP61-2L)を用いてGP-IB経由でビーム取り出しに同期してデータを収集した。データはJ-PARC加速器制御で広範に使用されているミドルウェアであるEPICS(Experimental Physics and Industrial Control System)レコードとして収集され、表示・記録される。陽子ビーム加速中でハドロン実験施設にビームが取り出されていない時間にデータを収集し、ビームが無い状態でのバックグラウンドを差し引き、ノイズの影響を低減している30 GeV-24kW相当の陽子ビーム運転時によるデータにおいて、真空度一定の条件では相対的な安定性は10%以下となっており、十分安定して使用できることがわかった。

(3) 本研究において、1 Pa程度の残留ガス中を陽子ビームが通過して生じた電離電子を電場と磁場によって効率よく収集し、陽子ビームの強度を非接触で測定できる残留ガスビーム強度モニタを試作し、ビーム試験を行った。大阪大学核物理研究センター及びJ-PARCハドロン実験施設におけるビーム試験の結果、残留ガスビーム強度モニタは真空度一定の条件の下ではよい直線性を示し、安定に動作することがわかった。このビーム強度モニタは、ハドロン実験施設において実際のビーム運転に十分実用的に利用できる。今後は実際のビーム運転でより多くのデータを収集し、長期間の安定性や真空度の変動による影響を確かめていく。

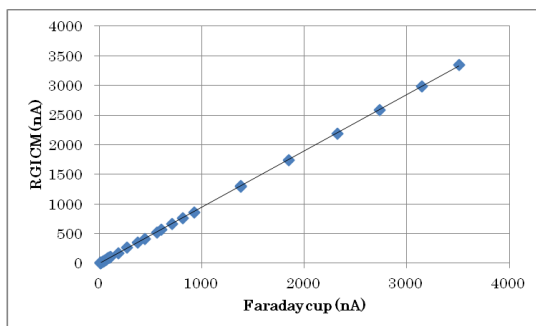


図6 RCNPにて50 MeV陽子ビームのビーム強度直線性を示すデータ。横軸はファラデーカップで測定された10秒間の平均ビーム強度(nA)、縦軸はRGICMで測定されたビーム強度(nA)を示す。

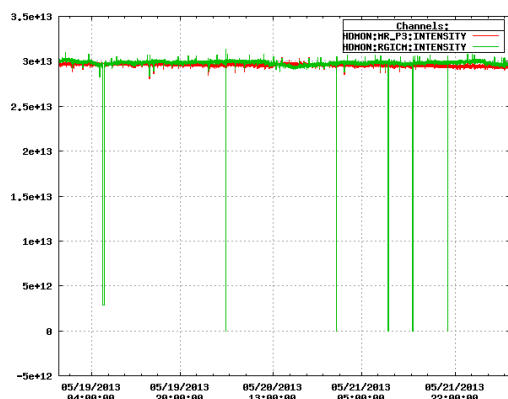


図7 J-PARCハドロン実験施設に移設された残留ガスビーム強度モニタで測定された 30 GeV 陽子ビーム強度 (緑線) と、加速器で直流変流器で測定された陽子ビーム強度 (赤線) の比較。横軸は 2013 年 5 月 18 日午後 10 時から 2013 年 5 月 22 日午前 7 時まで。縦軸は 6 秒毎に 1 回の陽子ビーム取り出しで記録された陽子数を示す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

里 嘉典 他、「残留ガスを用いた非接触ビーム強度モニタの開発」、日本加速器学会年会、2012 年 8 月 8 日、大阪大学豊中キャンパス

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

里 嘉典 (SATO, Yoshinori)

大学共同利用機関法人 高エネルギー
加速器研究機構 素粒子原子核研究所 准
教授

研究者番号：30342603

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：