

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 2 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22740268

研究課題名（和文） レーザー駆動陽子線の new エミッタンス計測手法の開発

研究課題名（英文） Development of the method for the emittance of laser-driven proton beam

研究代表者

西内（高井）満美子（NISHIUCHI MAMIKO）

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究副主幹

研究者番号：70391315

研究成果の概要（和文）：レーザー駆動陽子線のエミッタンス計測のための新しい手法の開発を行った。エミッタンス計測に必要な永久四重極磁石の磁場計測を行い 3D 軌道計算に反映させてより詳細な計算ができる環境が設備された。計測に必要な高エネルギーのレーザー駆動陽子線の安定発生がレーザーシステムの改良により達成され、40MeV までの陽子線が繰り返し供給可能なテーパーターゲットで発生され、エミッタンス計測を行うに十分な環境が整備された。

研究成果の概要（英文）：Development of the method of emittance measurement of laser driven proton beam is carried out. The measurement of the 3D distribution of the magnetic field within PMQs, which are used in emittance measurement are carried out. The results are reflected to the calculation of the 3D tracks of the particles through them. The improvement of the laser system brings us the stable proton beam upto 40MeV. Every necessary equipment is ready for the emittance measurements.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学/原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：ビーム物理、レーザー駆動陽子線加速器

1. 研究開始当初の背景

- (1) 近年のレーザー駆動陽子線加速の発展により、レーザー駆動陽子線加速器の実現が現実的なものとなってきた。レーザー駆動陽子線の持つ特徴、すなわち、超高ピーク電流性、極小ソースサイズ、低エミッタンス性、短パルス性、を活かした加速器を設計するには、既存の加速器

における伝送ラインとは異なった、固有のビーム伝送系が必要であり、陽子線源の統計精度のよいパラメータ計測が非常に重要となる。

- (2) 世界でも、レーザー駆動陽子線を用いた加速器の開発を目的とした大型プロジェクト（ドイツにおける MAP プロジェ

クト[1]、イギリスにおける LIBRA プロジェクト[2]、など) が立ち上がり、実際の加速器開発を始めている。申請者は、原子力機構関西研究所における光医療バレープロジェクト[3]において、レーザー駆動陽子線を用いた医療用加速器開発を行っている。すなわち、陽子線加速部分、及び伝送・照射系の開発を行っている。ごく最近 2MeV の陽子線に対するスポットスキニング照射システムの開発と実証実験に成功した(結果は現在執筆中)。このような実証実験に成功した例は、世界の大型プロジェクトを見渡しても世界初の快挙といえる。その際に課題として残ったものの一つは、陽子線の安定発生・伝送である。改善するためには陽子線の発生点における安定性が不可欠であるが、現状、レーザー駆動陽子線源の安定度は、既存の加速器レベルで得られているそれに比べ、まだまだ遠いと言える。理由の一つは、レーザー駆動陽子線発生分野において、高エネルギー化、単色化、などシングルショットレベルの、チャンピオンデータを狙う研究が主流であり、繰り返し安定に陽子線を発生するという観点での研究がほとんどなされていないことにある。従って、陽子線源そのものの統計のよいパラメータ測定を行い、ショットごとの陽子線源におけるふらつきの原因を調査する必要がある。現状で、エネルギースペクトル、空間分布に関してはすでにオンラインリアルタイムの計測法が導入されているが、陽子線の横エミッタンスに関してはそうはなっていない。

2. 研究の目的

本研究では、レーザー駆動陽子線の応用に向けて、加速からの陽子線に比べて「安定度が悪い」と言う問題を解決するために、現状精度が悪い陽子線のパラメータ「横エミッタンス」の新しい計測手法の開発・導入を行い、レーザー駆動陽子線の安定発生のための条件を統計的に解明することを目的とする。現状レーザー駆動陽子線の横エミッタンスは繰り返しの利かない方法

で計測しているため、本研究ではオンラインで繰り返し計測できる手法の確立を行い、レーザー駆動陽子線の安定発生のための条件を探る。

3. 研究の方法

原子力機構関西研における 100TW レーザーを 1Hz でテーブターゲットに照射し、安定なく 5MeV の陽子線を発生させる。その際、陽子線加速のカギを握るレーザーパラメータ(エネルギー、パルス幅、プリパルス等)、及びプリプラズマ状態等は、ショットごとに抑えてゆく(オンラインリアルタイムのシステムはすでに整備済み)。発生した陽子線を Q 磁石対に導く(本研究で制作予定の Q 電磁石及び原子力機構既存の永久四重極磁石からなる)、ターゲットからさらに下流に設置したビームプロファイルの様子を 2 次元オンラインリアルタイムビームモニタ(原子力機構既存の ZnS の蛍光膜)で計測する。ビームプロファイルの大きさの変化と Q 電磁石内部の磁場強度の関係の定量評価を行い、ビームプロファイルが最小になる点でのビーム径、及び磁場強度をもとめる。ビーム径の情報、すなわち計測位置での σ 行列と磁場強度及びジオメトリを反映した転送行列より、ターゲット位置におけるツイスパラメータが決まり、横エミッタンスが一意に決定する(図 1 参照)。

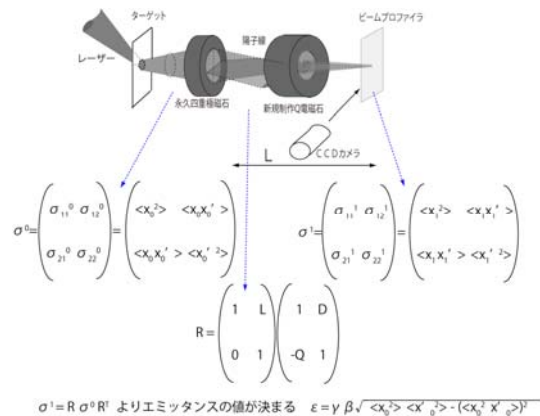


図 1 実験のセットアップおよびビームエミッタンスの導出方法

4. 研究成果

- (1) 当初制作予定であったQ電磁石は、科研費申請時に積んだ予算を下回る配分を受けたために購入不可となった。そこで、急ぎょ永久四重極磁石によるエミッタンス計測へと切り替えた。この場合重要になるのは、レーザー駆動陽子線の安定発生である。陽子線発生の安定化の一つの課題である、オンターゲット上の集光強度を上げる試みを行った。その結果として、最高エネルギー40MeVの陽子線発生に成功した。この結果は、繰り返し供給可能なテーパターゲットを用いて達成された結果であり、エミッタンス計測のために連続して高エネルギーの陽子線を安定に発生させるのに適した方法であり非常に意義が大きい。
- (2) 既存の4つの永久四重極磁石の3次元マッピング磁場測定を行った。それらより、磁場がほぼ均一とみなせる領域(multipole 効果が無視できる範囲)を決定し、それに見合ったコリメータを作成した。永久四重極磁石のダブレットを真空層内部にホールドするためのアライメント機構付ステージを作成し、微調整が可能なものとした。
- (3) 上記の4つの永久四重極磁石のうち、2MeVの陽子のエミッタンス測定を行うために、既存のチェンバー内部でのジオメトリカルな制限を考え、使用できるペアを決定し、PARMILAコードを用いて想定される軌道計算パターンの導出をおこなった。
- (4) 既存の4つの永久四重極磁石内部の3次元マッピング磁場測定結果を用いて、multipole効果を入れて粒子の軌道計算を行った。方法としては、市販の3D電磁場中の粒子トラッキングコードAMUZEのアプリケーションの一つである、OMNITRAKを用いて、PARMILAによる計算(2D計算による近似の効果)の誤差を見積もった。さらに、レーザー駆動陽子線に特有の「追従している低

エネルギー電子群」による軌道のずれの影響を見積もるため、計算に「追従している低エネルギー電子群」を取り入れて詳細計算を行った。これによりエミッタンス計測に必要な環境はすべて整った。

- (5) 今後の目標としては、これらの開発した技術をレーザー駆動陽子線のエミッタンス計測へ適応してエミッタンスの乱れを引き起こすパラメータを探り、加速器開発に役立てる。

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1件)

- ① M. Nishiuchi, A. S. Pirozhkov, H. Sakaki, K. Ogura, T. Zh. Esirkepov et al.、M. Nishiuchi, 1, a) A. S. Pirozhkov, 1 H. Sakaki, 1 K. Ogura, 1 T. Zh. Esirkepov, 1 T. Tanimoto, M. Kanasaki, 1, 2 A. Yogo, 1 T. Hori, 1 A. Sagisaka, 3 Y. Fukuda, 1 Y. Matsumoto, 4 S. Entani, 4, S. Sakai, 4 C. M. Brenner, 5 D. Neely, 5 T. Yamauchi, 2 S. V. Bulanov, 1 and K. Kondo, “Quasi-monochromatic pencil beam of laser-driven protons generated using a conical cavity target holder”, Physics of Plasmas, 査読あり、Vol 19, pp. 030706-1 – 030706-4, DOI: 10.1063/1.3697843

[学会発表] (計4件)

- ① 西内満美子 等、
ユニカルターゲットホルダを用いたレーザー駆動準単色ペンシル陽子ビーム生成、
日本物理学会 春の年会、2012年3月27日、兵庫県(関西学院大学)
- ② Mamiko Nishiuchi et al.,
“Laser driven ion acceleration from thin-foil target”, PLASMA 2011 International session, 2011/11/21 - 25,

Kanazawa/Ishikawa

- ③ 西内 満美子 等、
原子力機構における高コントラスト
Ti:Sap レーザーによる 高エネルギーイ
オン発生実験の現状、日本物理学会 春
の年会、2011年3月28日、新潟大学
(東日本大震災により、WEB 発表へ変更)

- ④ Mamiko Nishiuchi et al.、
“Applications of the Ultra Intense
Laser System: Laser Driven Proton
Accelerator for the Medical
Applications”, International
Committee on Ultra Intense Lasers
Conference, 26 September - 1 October,
2010, 2010年9月27日, Watkins
Glen, New York

[図書] (計0件)

[産業財産権] (計0件)

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西内満美子 (NISHIUCHI MAMIKO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

量子ビーム応用研究部門・研究副主幹

研究者番号：70391315

(2) 研究分担者

なし

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし

()

研究者番号：