

最先端・次世代研究開発支援プログラム  
事後評価書

研究課題名	革新的レーザー駆動イオン加速手法の開発
研究機関・部局・職名	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・研究主幹
氏名	福田 祐仁

【研究目的】

「切らずに治す」がん治療法として「粒子線治療」が注目されている中で、大型で高価な治療装置を小型化・低価格化する技術として、「レーザー駆動イオン加速」がある。しかし、2000年代後半になっても10 MeV程度の陽子線発生に留まる状態が続いており、がん治療に使える80-250 MeVの陽子線発生のためには、より高効率の新しいイオン加速手法の開発が必須の状況となっていた。申請者らは、クラスターと呼ばれるナノ粒子を含むガスターゲット（以下「クラスターターゲット」という）の特異性に着目し、強力なレーザー光を用いて「がん治療に使える粒子線」を生成しうる革新的なイオン加速手法を発見したが、そのメカニズムについては明らかになっていないのが現状である（図1参照）。

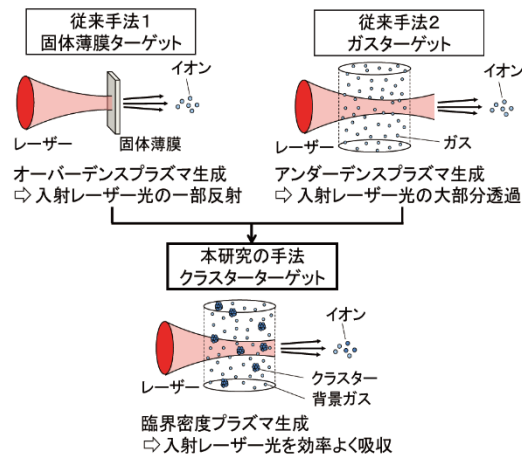


図1. クラスターターゲットを用いたレーザー駆動イオン加速と従来手法との比較

本研究では、粒子(=イオン)が加速される様子と粒子線のエネルギーを同時に観測出来る装置を開発し、イオン加速メカニズムを明らかにし、「がん治療に使える粒子線」を発生させる手法を確立することで、小型・低価格の粒子線がん治療装置の早期実用化を目指している。

この研究目標達成のため、4つの研究テーマを設定している。

1. クラスターターゲット評価装置の開発：

ターゲットの初期状態（クラスターサイズ、背景ガス密度など）を正確に把握することは、実験結果とシミュレーション結果とを定量的に比較し、イオン加速の物理機構を議論する上で重要である。本研究では、クラスターサイズと背景ガス密度の同時計測を試みる。

2. レーザー光波面制御装置の導入：

原子力機構関西研の1 PW級 J-KAREN レーザーは、高いエネルギーのレーザー光

を伝送光学系の損傷閾値以下で伝送するために、ビーム径が直径 150 mm 程度になり、光学素子の歪みに起因するレーザー光の波面歪みを補正しなければ、これを、回折限界近くにまで集光することは出来ない。本研究では、波面センサー、及び、波面補償光学系を導入し、この問題を解決する。

3. リアルタイムイオン計測器の開発：

現在用いている、測定後のエッチング処理を要する積分型固体飛跡検出器 CR-39 では、イオン加速の実験条件最適化と物理機構の解明は、事実上不可能な状態にある。したがって、本研究では、レーザー1ショットごとに、リアルタイム、かつ、一個のイオンから検出可能な計測装置の開発をおこなう。

4. プラズマ中のリアルタイム磁場計測装置の開発：

サブ臨界密度プラズマ中で成長する磁気渦の計測は、磁場が関係すると考えられているクラスターターゲットによるイオン加速において、その加速機構を明らかにする上で必要である。本研究では、プラズマ中の磁場計測のため、ファラデー効果を利用した磁場計測装置を設計製作する。

**【総合評価】**

	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
○	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

**【所見】**

① 総合所見

本研究代表者が所期の目標として設定した、粒子線がん治療装置などの医療に応用可能な 100MeV 級の陽子線の発生法の確立は、非常に重要な技術開発である。これを世界に先駆けて実現しようとしている。本研究課題により、当初より具体的なテーマ：1) クラスターターゲット評価装置の開発、2) レーザー光波面制御装置の導入、3) リアルタイムイオン計測器の開発、4) プラズマ中のリアルタイム磁場計測装置の開発、5) イオン加速の最適条件の探索と加速機構の解明、を設定し、そのそれぞれにおいて、研究を進展させることができたことは評価できる。ただし、それぞれのテーマは完結に至っていない。また、最終目標である 100MeV 級の陽子線の発生を示唆するデータについても、確定できていない。今後、再現性のチェックやデータ解析、ノイズ対策等を早急に行い、その信憑性を確認することが必要となっている。

② 目的の達成状況

・ 所期の目的が

(□全て達成された ・ ■一部達成された ・ □達成されなかった)

この研究課題には2つの大きな目的が掲げられている。一つは強力なレーザーが物質に衝突した際に作る強力な電磁場が 100MeV くらいのエネルギーの陽子を作るメカニズムを明らかにすることであり、もう一つはクラスターターゲットを導入することでより高いエネルギーの陽子を生成し、そのメカニズムを明らかにすることである。そのためには、レーザー光を衝突した際に作られる陽子のスペクトルを測定することが必要だが、それが当初の目的通りの働きをしていない。特殊構造の蛍光薄膜とその光を測定するための CCD カメラからなるリアルタイムイオン計測装置を作製したが、レーザー光を衝突するターゲットの近くに測定器を持ってくると、電子や中性子のバックグラウンドのためにきっちりとは陽子のエネルギースペクトルの解析を行えていない。早急にレーザー光で作られる陽子のエネルギースペクトルの解析を進める必要がある。

一方で、本研究代表者は自ら設定したテーマのそれぞれについて、それを達成すべく真摯に取り組み、問題点を明らかにしつつ、研究を前進させてきたことは評価できる。

### ③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が  
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が  
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

2つの技術が開発された。一つはクラスターサイズをミー散乱の方法で決めることである。ターゲットには大きなサイズのクラスターと小さなナノスケールの粒で構成されていることを明らかにした。後一つは、レーザーの収束能力を高めることである。これも、波面センサーと波面補償光学系を導入することで達成した。これらの技術は今後、レーザー光を使う科学に大きな役割を果たすものと思われる。

クラスターにレーザー光を衝突させた時に生じる 100MeV 級の高エネルギーの陽子を得ることが大きな目的だが、その兆候を見出しているものの、確定的な成果は得られていない。従って、現時点ではブレークスルーといえるような成果までには至っていない。その意味でも、陽子のエネルギースペクトルの測定と、それを再現するための理論モデルの確立を早急に行う必要がある。

### ④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

クラスターターゲット評価装置は、実用性を実証している。リアルタイム磁場計測装置とレーザー波面計測装置は、関連分野に役に立つ情報が得られると思われる。

100MeV クラスの陽子線発生装置の兆候を見出しているのも、もしこれを定常的に得るための条件が見いだされれば、がん治療に利用されるレーザー駆動方式の超小型粒子線発生装置が得られるかもしれない。現在は陽子のエネルギースペクトルが測定できていないので、この方法の実効性が確かめられていない。現時点での研究成果は、最終目標を実現するためのステップとしては重要であるが、それ自体では、まだ、社会的、経済的課題の解決への貢献が見込まれるものではない。

#### ⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが（行われた ・ 行われなかった）

所期研究目的の一部が達成出来ていないことは、研究計画全体のマネジメントにやや難があったといわざるを得ない。ただし、論文や会議発表を積極的に行っており、評価できる。また、知的財産権の出願も行われており、適切であると評価できる。所属機関その他を利用した国民との科学・技術対話について積極的に取り組んでおり、評価できる。