

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

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 研究副主幹
氏名	福田 祐仁

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	118,000,000	118,000,000	0	118,000,000	117,999,998	2	0
間接経費	35,400,000	35,400,000	0	35,400,000	35,400,000	0	0
合計	153,400,000	153,400,000	0	153,400,000	153,399,998	2	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	99,960	31,825,537	46,174,332	11,601,440	89,701,269
旅費	46,580	1,872,754	2,092,964	3,863,787	7,876,085
謝金・人件費等	0	4,812,155	6,419,464	5,132,000	16,363,619
その他	0	2,440,417	373,430	1,245,178	4,059,025
直接経費計	146,540	40,950,863	55,060,190	21,842,405	117,999,998
間接経費計	0	20,775,835	4,249,060	10,375,105	35,400,000
合計	146,540	61,726,698	59,309,250	32,217,510	153,399,998

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
波面センサー HASO3-32	イマジンオプティクス社製 型番:HASO 3-32・感度波長領域:633~1100 nm	1	1,496,250	1,496,250	2011/4/27	独立行政法人日本原子力研究開発機構
蛍光顕微鏡 80i	ニコン社製 型番:蛍光顕微鏡 80i	1	1,599,150	1,599,150	2011/6/10	独立行政法人日本原子力研究開発機構

様式20

防振ゴム式除振台 RB-1812T-1	日本防振工業 株式会社製 型番:RB- 1812T-1 仕様: 全体寸法: 1800x1200x800 H (mm) 定盤寸法: 1800x1200x209 .5T (mm) 定盤上面:端面 25mmより内部 25XY-M6タップ 加工、着磁性 ステンレス SUS430 5Tmm 定盤下面:ス チール材 4.5T(裏面黒色 塗装) 定盤側面:レ ザシート貼り	1	617,400	617,400	2011/8/25	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
広領域画像高速取得顕微鏡	(1)顕微鏡ユ ニット ・オートフォー カス装置:ライ ンセンサ方式 ・Z軸モータ ・X-Y移動ス テージ ・撮像用TDIラ インセンサ (2)制御コン トロー ・制御用PC ・制御用ボード ・制御用ソフト ウェア付	1	15,120,000	15,120,000	2011/9/27	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
超音速パルスバルブ	・超音速ハル スバルブ本体1 個 ・超音速パル スバルブに接 続ノズル各1個 ・超音速パル スバルブに使用 されるガス ケット各10個 ・電源ドライ バーユニット	1	2,835,000	2,835,000	2012/2/7	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
極低温冷凍装置	(1)冷凍機ユ ニット (2)圧縮機ユ ニット (3)付属品	1	3,727,500	3,727,500	2012/3/16	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
パルスバルブ(消耗品)	パーカーハネ フィン社製 型番: 009-0442-900 009-0347-900 009-1669-900 009-PEEK-KIT	1	539,700	539,700	2012/4/23	独立行政法人日本原子力 研究開発機構

様式20

フィルム厚み測定器 計太郎G	ミリマール1240 1301/Se0.14N 演算測定用ブ レート付 824NT+827b34 速度制御付 R6接触面超硬 902H R30接触面超 硬908H	1	1,085,700	1,085,700	2012/7/27	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
オプティカルフラットミラー(消耗品)	エドモンド・オブ ティクス・ジャパ ン株式会社製 1/10λ 101.6MMAU ゼ ロデュア 31392566-L 1/10λ 101.6MMAU ゼ ロデュア 43420566-L	1	631,522	631,522	2012/9/28	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
軸外し放物面鏡(消耗品)	SORL社製 型番: OAP18- 05-04Q Bare goldコー ティング付き	1	927,360	927,360	2012/12/5	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
ターボ分子ポンプ	大阪真空機器 製作所製 TG450FCAB 空冷	1	1,596,000	1,596,000	2012/12/11	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
NDフィルター(消耗品)	光伸光学社製 低反射NDフィ ルターセット サイズ: 100× 100×6.35mm 入射角: 0° OD: 0.1,0.3,0.5,1.0,2. 0,3.0 材質: 合成石英 平行度: 3分以 下 面積度: λ/4 S/D: 60/400 コート有効エリ ア: 90%	1	1,470,000	1,470,000	2012/12/27	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
固体飛跡検出器(消耗品)	ハーツラス TD-1 サイズ: 280× 280×0.9mmt パリオトラック P(CR) サイズ: 280× 280×0.9mmt	1	641,550	641,550	2013/1/9	独立行政法人日本原子力 研究開発機構
デフォーダブルミラー用ミラーホルダー	イマジンオブ ティクス社製 ILA0180-45用 ミラーホルダー SUS製	1	1,732,500	1,732,500	2013/2/22	独立行政法人日本原子力 研究開発機構

様式20

デフォーダブルミラー格納用真空チャンバー	アルミ製角ダクト: 900×900×t75mm アルミ製底板フランジ: 900×900×t20mm	1	2,209,200	2,209,200	2013/3/13	独立行政法人日本原子力研究開発機構
デフォーダブルミラーシステム	イマジンオプティクス社製ILA0180-4	1	28,350,000	28,350,000	2013/3/27	独立行政法人日本原子力研究開発機構
トムソンパラボラ分析機器設置部品(消耗品)	トムソンパラボラ、蛍光板付MCP、及びCCDカメラを設置するための治具	1	813,750	813,750	2013/8/7	独立行政法人日本原子力研究開発機構
冷却CCDカメラ(消耗品)	BU-58LIR	2	664,000	1,328,000	2013/8/20	独立行政法人日本原子力研究開発機構
PhaRAOドライバーソフトウェア(消耗品)	PhaRAO multi X	1	567,000	567,000	2013/8/29	独立行政法人日本原子力研究開発機構
イオン・電子計測用チャンバー	クラスターターゲットから発生するイオンと電子のエネルギー分布を計測する。	1	1,538,250	1,538,250	2013/9/3	独立行政法人日本原子力研究開発機構
高次補間電荷保存型電流ソルバー(消耗品)	高密度プラズマと高強度レーザーとの相互作用を高精度でシミュレーションする。	1	997,500	997,500	2014/1/17	独立行政法人日本原子力研究開発機構
				0		
				0		

5. 研究成果の概要

「冷却機構付きパルスバルブ」を組み立て、「水素クラスターターゲット」を生成させ、Mie散乱を利用したターゲット評価装置を用いて、「水素クラスターターゲット」の評価を行った。その結果、25-45 Kまでパルスバルブを冷却することにより、直径200-800 nm程度の水素クラスターが生成していることを示唆する結果を得た。リアルタイムイオン検出装置を改良し、これをイオン加速実験に導入し、イオンのリアルタイム検出を試みた。その結果、1 MeV程度の比較的低エネルギーの「1個のイオン」をシングルショット、かつ、リアルタイムで検出することに成功した。ファラデー回転法を用いた電磁場計測装置を開発し、これをイオン加速実験に導入し電磁場計測を行った。プロトンバックライト法による電磁場計測について、フランスエコールポリテクニークLULI研究所で実施された共同実験に参加し、クラスターターゲットから生成する相対論プラズマ中の電磁場計測を行った。その結果、プラズマ中に形成されたチャンネルに沿って電磁場が生成されていることを示唆する画像取得に成功した。シミュレーション研究において、超相対論領域におけるシミュレーション研究を実施し、レーザー光圧(=輻射圧)で、核子あたり1 GeVにまでイオンが加速されることを確認した。

課題番号	LR035
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	革新的レーザー駆動イオン加速手法の開発
	Development of an Innovative Method for Laser-Driven Ion Acceleration
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	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
	Japan Atomic Energy Agency, Quantum Beam Science Directorate, Principal Research Scientist
氏名 (下段英語表記)	福田 祐仁
	Yuji Fukuda

研究成果の概要

(和文):

独自技術のクラスターターゲットを用いた“革新的レーザー駆動イオン加速手法”を用い、「がん治療に使える粒子線」を発生させる手法の確立を目指した。当初計画通り、ターゲットの初期状態を評価する装置、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する装置、を新たに開発し、レーザー光の波面制御装置を導入した。特に、ターゲット評価装置は、世界的に注目される性能を有する。また、イオン加速の新たなシミュレーションモデル開発に成功し、加速機構に関する新たな知見を得た。100 MeV 級陽子線の同定において予期せぬ困難に遭遇し、「がん治療に使える粒子線」発生手法を確立することは出来なかったが、レーザー駆動の粒子線がん治療装置の実用化へ向けて、今後の明確な研究開発指針が得られた。

(英文):

We have conducted a series of research which aims to establish a method to produce energetic protons applicable to the particle cancer therapy by utilizing the innovative laser-driven ion acceleration method with cluster targets. As planned, we have developed an evaluation apparatus for the cluster targets, and real-time measurement systems for the particle energies and the accelerating conditions. We have also introduced an adaptive optics to control a wavefront of a laser pulses. It should be noted that the evaluation apparatus for the cluster targets has the world's

most sophisticated property. In addition, we have developed a new simulation model for the ion acceleration and obtained novel ideas for acceleration mechanisms. Because we have encountered an unforeseen difficulty in the identification of 100-MeV class protons, we could not accomplish the primary goal. However, we can say that we have accumulated valuable experiences for the future development of the laser-driven particle cancer therapy system.

1. 執行金額 153,399,998 円
 (うち、直接経費 117,999,998 円、 間接経費 35,400,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年 3月31日

3. 研究目的

近年、高強度レーザーと物質との相互作用研究が急速に進展する中、レーザー駆動イオン加速研究が大きな注目を集めている。高強度レーザーと物質の相互作用によって作り出されるプラズマ中の局所電場(～10 TV/m=～10 MV/μm)は、従来型高周波発生装置が作る電場(～10 MV/m)をはるかに超える。従って、この急峻な電場勾配を上手く利用することが出来れば、超小型省電力の「レーザー加速器」の実現も夢ではない。例えば、80-250 MeV の陽子線の発生が可能となれば、粒子線がん治療装置の粒子線源として用いることができ、装置の小型化による「切らずに治せる」粒子線がん治療普及の一助となると期待できる。

しかし、1990 年代後半から始まった、固体薄膜ターゲットを用いたイオン加速実験は、レーザーエネルギーからイオンエネルギーへの変換効率が悪く(図 1 参照)、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いた。従って、既存のレーザー技術を用いてイオンの加速エネルギーを増大させるには、固体薄膜ターゲットに代わる、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。

このような状況下、我々は、2009 年に世界に先駆けて、クラスターターゲットをイオン加速研究に導入し、レーザー光を効率よく吸収する状態(サブ臨界密度プラズマ)を作り出すことに成功し、核子あたりのエネルギーが 10-20 MeV/n という、従来手法による同規模クラスのレーザー装置を用いた場合よりも約 10 倍高いエネルギーまで重イオンを加速することが出来ることを実証した。我々の実験結果は、固体薄膜ターゲットを用いた従来研究のスケールング則から大きく逸脱しており、これは、レーザー駆動イオン加速の新しい手法を世界に先駆けて実証したことを物語っている。実際、実験条件を模したプラズマ粒子コードによるシミュレーションは、サブ臨界密度プラズマ中で磁気渦が異常成長して強力な加速電界を生成し、イオンを非常に高いエネルギーに加速するという、“磁場イオン加速”と呼ばれる新しい加速メカニズムが作用していることを示唆している。様々な条件が整えば、我々が所属する原子力機構所有の J-KAREN レーザー装置を用いて、100 TW クラスの出力で 200 MeV を超える高エネルギーイオン生成が可能である。しかし、“磁場イオン加速”が起こるための磁場の異常成長の最適条件(プラズマ密度とプラ

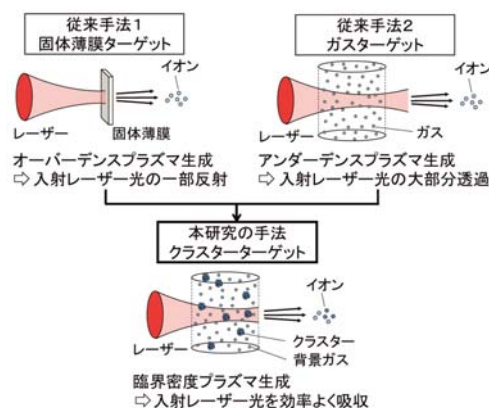


図 1. クラスターターゲットを用いたレーザー駆動イオン加速と従来手法との比較。

ズマ密度構造)はとても狭く、さらに、実験条件が最適化されていない現時点では、発生するイオン総数は少ないという問題点を抱えており、医療応用可能なエネルギーレベルにまで十分な数のイオンを加速するために解決すべき課題は多い。

本研究では、これらの課題を解決するために、(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、及び、(4)リアルタイム磁場計測装置、及び、をおこない、イオン加速の最適条件探索と物理機構解明に取り組む。そして、医療応用可能な 80-250 MeV のイオンを発生させるレーザー駆動イオン加速手法の確立を目指す。

4. 研究計画・方法

(1) クラスターターゲット評価装置の開発:

レーザー照射によって生成するサブ臨界密度プラズマの状態は、レーザー光パラメータのみならず、クラスターターゲットのパラメータに強く依存している。このため、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。これまで、クラスターターゲットの評価は、レイリー散乱法によるサイズ計測のみが行われており、背景ガスは存在しないものとして取り扱われていた。2006年に我々は、世界に先駆けて、高強度レーザーとクラスターターゲットとの相互作用における背景ガスの重要性を指摘した。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。さらに、陽子線発生を目的として(これまでの実証実験で加速に成功したのはヘリウム、炭素などの重イオンである。)、高圧の水素ガスから「水素クラスターターゲット」を生成させる装置開発を行う。

(2) レーザー光波面制御装置の導入:

長焦点集光光学系を用いるクラスターターゲットを用いたイオン加速においては、レーザー光波面の制御は特に重要である。原子力機構関西研の1PW級J-KARENレーザーは、最大で20Jのエネルギーを30分間隔で供給可能な状態にある。しかし、このような高いエネルギーを伝送光学系の損傷閾値以下で伝送するために、ビーム径は、直径200mm程度にもなる。このため、レーザー光の波面制御を行わなければ、これを、回折限界近くにまで集光することは難しくなる。本研究では、波面センサー、及び、波面補償光学系を導入し、波面制御による集光強度の増大を試みる。

(3) リアルタイムイオン計測器の開発:

プラズマ粒子コードによるシミュレーションは、イオン加速のための最適条件(プラズマ密度とプラズマ密度構造)はとても狭いことを示唆している。実際、実験条件が最適化されているとは言えない現時点の実験では、発生するイオン総数は従来の固体薄膜ターゲット実験に比べても少ない。このため、現在用いている、計測後に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、最適実験条件の探索は事実上不可能な状態にある。従って、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は、クラスターターゲットによるイオン加速の実験条件最適化と物理機構解明をおこなうために不可欠である。そこで、永久磁石と電極プレートとから構成されるトムソンパラボラの後方に、蛍光板付MCPを設置して2次元イオン検出し、これを高感度CCDカメラで取り込んで画像解析し、イオンエネルギー分布、イオン種類、および、イオン数をリアルタイムで表示するリアルタイムイオン計測システムを設計制作する。

(4) プラズマ中のリアルタイム電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。そこで、プラズマ中の磁場計測のため、光をプローブとして用いるファラデー効果を利用した磁場計測

様式21

装置を設計製作する。この磁場計測では、プローブ光は、レーザーとクラスターターゲットとの相互作用領域全体を照らすため、CCD カメラの画像解析から、相互作用領域のどの位置で磁場が生成しているかを知ることが出来る。これ以外にも、粒子線をプローブとして用いるプロトンバックライト法による電磁場計測も試みる。

以上の研究に加え、理論家の強力を得て、イオン加速機構を理解するためのシミュレーションモデル開発を並行して行う。

5. 研究成果・波及効果

(1) クラスターターゲット評価装置開発(H22-25 年度実施):

平成 22-23 年度にかけて、クラスターターゲット評価装置を開発し、平成 24 年度に、ノイズ低減などデータの質の向上を目的とした改良を実施した。標準シリカ粒子を用いた評価装置の較正実験を行い、開発した装置は 10 %以内の誤差で粒子サイズを決定できる能力があることを確認した。この後、三段コニカルノズルを用いて、6 Mpa 圧の $\text{CO}_2(30\%)/\text{H}_2(70\%)$ 、及び、 $\text{CO}_2(10\%)/\text{He}(90\%)$ の混合ガスから生成される CO_2 クラスターのサイズ計測を実施した。その結果、ターゲット中に約 0.22-0.25 μm の CO_2 クラスターが生成されていることが明らかとなり、三段コニカルノズル設計に用いた Boldarev モデルの有効性を証明した。平成 25 年度には、冷却ノズルを用いた水素クラスターターゲット開発にも成功し、本評価装置を用いたターゲット状態評価も実施し、直径 200-800 nm 程度の水素クラスターが生成していることを示唆する結果を得た。

研究は、水素クラスターターゲット開発の成功など、当初計画以上に進展した面もあり、本評価装置開発の成功により、実験とシミュレーションとのより現実的な比較が可能となり、クラスターターゲットを用いたイオン加速の物理機構を議論する上で重要な役割を果たしている。

(2) レーザー光波面制御装置の導入(H23-24 年度実施):

平成23年度に波面計測を実施し、平成 24 年度にデフォーマブルミラーシステムをインストールし、波面補正を実施した。その結果、デフォーマブルミラーによる波面補正後のレーザー光の RMS 波面歪みは 40 nm(補正前 363 nm)に改善された。これをもとに計算された点像強度分布(集光スポットに相当)のストレール比(=点像強度分布の最大強度比)も 0.9(補正前 0.1)と大幅に改善された。しかし、平成 25 年度初めに発生したデフォーマブルミラーの不具合と補正予算措置によるレーザー装置の高度化の実施により、平成 25 年度中に、デフォーマブルミラーによる波面補正を行い、 10^{20} W/cm² 以上の集光強度における実験を実施することは出来なかった。デフォーマブルミラーシステムを用いた波面制御を行ったイオン加速実験は、高度化後の新しい J-KAREN-P レーザー装置を用いて実施予定である。

研究はやや遅れた、と言わざるを得ないが、デフォーマブルミラー導入により、低次の波面歪みについては、ほぼ完全に補正されうることを実証し、波面制御による集光強度の増大が可能であることを確認したことは、今後の研究に大いに役立つと考えている。

(3) リアルタイムイオン計測器開発(H22-25 年度実施):

平成 22-24 年度にかけて開発した「特殊蛍光スクリーンと CCD カメラを用いたトムソンパラボラ」に対してノイズ低減策を実施し、平成 25 年度に「改良型リアルタイムイオン検出装置」により、核子あたり 1 MeV/n 程度の比較的低エネルギーの「1個のイオン」をシングルショット、かつ、リアルタイムで検出することに成功した。リアルタイムイオン検出装置は、核子あたり 10 MeV/n 程度のイオン検出にしか用いることは出来ないが、今後、この装置をスケールアップし、さらに、フィードバックによる実験条件コントロール機能を追加することで、100 MeV/n 級高エネルギーイオン発生最適条件探索に用いる予定である。また、固体飛跡検出器 CR-39 スタックを用いた 100 MeV 級陽子線検出への試みからは、多くの試行錯誤の末、100 MeV 級陽子線検出の際は、原子核の巨大共鳴(10-30 MeV に存在)による核反応生成物に起因するノイズ成分に注意を払う必要があることが分

かった。

研究はやや遅れた、と言わざるを得ないが、未踏分野である 100 MeV 級イオン検出の世界は、10 MeV/n 級イオン検出の世界とは質的に異なっている、ということ学んだことは、今後の研究の進展に大いに役立つと考えている。

(4) プラズマ中のリアルタイム電磁場計測装置の開発(H24-25 年度実施):

平成 24-25 年度にかけて、ファラデー回転法を用いた電磁場計測装置を開発し、平成 25 年 9 月に実施したイオン加速実験において、この装置を用いた電磁場計測を試みた。しかしながら、プラズマの自発光に起因する強いノイズのため、プラズマ中に磁場が生成することを明確に示すデータは得られなかった。今後、磁場計測用のプローブレーザー光として、メインレーザー光の第二高調波を発生させて用いることで、プラズマの自発光の効果を抑制した計測を行うことを計画している。一方、プロトンバックライト法による電磁場計測について、平成 26 年 1 月から 2 月にかけて、フランス LULI 研究所で実施された共同実験において、プラズマ中に形成されたチャンネルに沿って電磁場が生成されていることを示す画像取得に成功した。

研究はおおむね順調に進展した、と考えており、イオン加速のメカニズムとプラズマ中の電磁場発生の研究を推進するための第一歩を踏み出せたと考えている。

イオン加速研究全般

イオン加速実験では、NEXT プログラム採用前の 2010 年から開始した実験において、後方散乱粒子による簡便なイオンビーム診断手法を用いて、2013 年に核子あたり 50 MeV/u のヘリウムイオンの検出を実証した。特に、この実験では、イオンのエネルギースペクトルが準単色であることを示唆する結果が得られている点が興味深い。2009 年と 2013 年の2つの実証実験結果を外挿すると、 10^{20} W/cm² の集光強度で、100 MeV を超えるイオン加速が可能というところまで到達した(図2参照)。

一方、NEXT プログラム採用後の 2012 年から開始した、水素ガスを含むクラスタターゲットを用いた 100 MeV 級陽子線発生を目指した実験では、100 MeV 陽子線発生を示唆する結果が得られたものの、原子核の巨大共鳴(10-30 MeV に存在)に起因すると考えられる核反応生成物が、CR-39 によるレーザー駆動陽子線の同定を阻害する事態が発生し、100 MeV 陽子線発生について、現時点で確定的に結論づけることは出来ていない。今後の実験により、これを明らかにして行く予定である。なお、2012年9月(英国で実施)、2013年9月(日本で実施)、2014年1月(仏国で実施)には、海外の若手研究者らとの共同実験を実施し、本研究を通じた科学技術外交への貢献、若手研究者を惹きつけ切磋琢磨する研究環境の構築、にも務めた。

シミュレーション研究では、イオン加速におけるクラスタの役割を明確にするシミュレーション結果が得られた。クラスタターゲットによるイオン加速の新たなモデル開発を開始し、背景ガスを含むマルチクラスタのシミュレーションが可能となるようにコードの改良を行った。いくつかのシミュレーションを実施した結果、背景ガスが、クラスタのクーロン爆発電場による加速とシース電場による加速の“二段階加速”を受けることにより、より高いエネルギーにまで加速されるという新しい加速メカニズムが存在することを見いだした。さらに、超相対論領域(6×10^{24} W/cm²)におけるシミュレーション

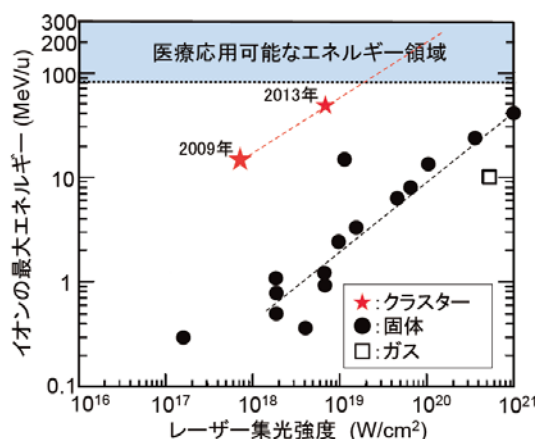


図 2. レーザー駆動イオン加速における、最大イオンエネルギーのレーザー集光強度依存性。

様式21

ミュレーション研究を実施し、レーザー光圧(=輻射圧)で、核子あたり1 GeVにまでイオンが加速されること等、を見いだした。

以上をまとめると、2012年から開始した100 MeV級陽子線発生実験において、原子核の巨大共鳴(10-30 MeVに存在)に起因すると考えられる核反応生成物が、CR-39によるレーザー駆動陽子線の同定を阻害するという予期せぬ事態が発生し、「がん治療に使える粒子線」発生手法の確立には至らなかった。従って、本研究により得られた成果は、直ぐに国民生活における社会的・経済的な課題解決につながるものとはなっていない。しかし、本研究プログラムにより開発した計測装置、及び、シミュレーションモデルから得られた様々な知見は、今後のレーザー駆動の小型・低価格の粒子線がん治療装置の実用化へ向けて、今後の研究開発に大いに役立つものであり、関連研究分野の進展に与える影響は大きく、今後、研究分野をリードしてゆくに十分に値する研究成果を得たと考えている。

6. 研究発表等

雑誌論文 計 22 件	(掲載済み一査読有り) 計 20 件 1. 金崎真聡、福田祐仁、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「CR-39 を用いたレーザー駆動陽子線計測における光中性子起因エッチピット弁別手法の開発」、レーザー研究 第 42 巻、p168 (2014). http://www.lsj.or.jp/laser/42/ab42_2.pdf 2. A. Yogo, K. Kondo, M. Mori, H. Kiriya, K. Ogura, T. Shimomura, N. Inoue, <u>Y. Fukuda</u> , H. Sakaki, S. Jinno, M. Kanasaki, and P. R. Bolton, “Insertable pulse cleaning module for high-intensity ultrashort-pulse lasers and its application to laser-proton acceleration”, Optics Express 22, pp.2060-2069 (2014). http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-22-2-2060 3. <u>Y. Fukuda</u> , H. Sakaki, M. Kanasaki, A. Yogo, S. Jinno, M. Tampo, A. Ya. Faenov, □T. A. Pikuz, Y. Hayashi, M. Kando, A.S. Pirozhkov, T. Shimomura, H. Kiriya, □S. Kurashima, T. Kamiya, K. Oda, T. Yamauchi, K. Kondo, S. V. Bulanov, “Generation of 50-MeV/u He ions in laser-driven ion acceleration with cluster-gas targets”, Proc. of SPIE Vol. 8779 87790F-1 (2013). http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1686151 4. S. Jinno, <u>Y. Fukuda</u> , H. Sakaki, A. Yogo, M. Kanasaki, K. Kondo, A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T.A. Pikuz, A.S. Boldarev, and V.A. Gasilov, “Mie scattering from submicron-sized CO ₂ clusters formed in a supersonic expansion of a gas mixture”, Optics Express 21, pp20656-20674 (2013). http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-21-18-20656 5. <u>Y. Fukuda</u> , H. Sakaki, M. Kanasaki, A. Yogo, S. Jinno, M. Tampo, A. Ya. Faenov, T. A. Pikuz, Y. Hayashi, M. Kando, A.S. Pirozhkov, T. Shimomura, H. Kiriya, S. Kurashima, T. Kamiya, K. Oda, T. Yamauchi, K. Kondo, S. V. Bulanov, “Identification of high energy ions using backscattered particles in laser-driven ion acceleration with cluster-gas targets”, Radiat. Meas. 50 , 92 (2013). http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350448712003058 6. S. Jinno, <u>Y. Fukuda</u> , H. Sakaki, A. Yogo, M. Kanasaki, K. Kondo, A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, A. S. Boldarev, and V. A. Gasilov, “Characterization of submicron-sized CO ₂ clusters formed with a supersonic expansion of a mixed-gas using a three-staged nozzle”, Appl. Phys. Lett. 102 , 164103 (2013). http://apl.aip.org/resource/1/applab/v102/i16/p164103_s1 7. H. Sakaki, M. Kanasaki, <u>Y. Fukuda</u> , M. Nishiuchi, T. Hori, A. Yogo, S. Jinno, and K. Niita, “Development of a single-shot-imaging thin film for an online Thomson parabola spectrometer”, Rev. Sci. Instrum. 84 , 013301 (2013). http://rsi.aip.org/resource/1/rsinak/v84/i1/p013301_s1 8. M. Kanasaki, A. Hattori, H. Sakaki, <u>Y. Fukuda</u> , A. Yogo, S. Jinno, M. Nishiuchi, K. Ogura, K. Kondo, K. Oda, T. Yamauchi, “A high energy component of the intense laser accelerated proton beams detected by stacked CR-39”, Radiat. Meas. 50 , 46 (2013). http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350448712003046 9. 福田祐仁、「クラスターターゲットを用いた高効率高工エネルギーイオン発生」、レーザー研究 Vol. 40 , p863 (2012). http://www.lsj.or.jp/laser/40/40_11.pdf 10. 金崎真聡、福田祐仁、榊泰直、西内満美子、近藤公伯、倉島俊、神谷富裕、服部篤人、小田啓二、山内知也、「イオンビーム特性評価を目的とした固体飛跡検出器CR-39の利用」、プラズマ・核融合学会誌 Vol. 88 , p261 (2012). http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2012_05/jspf2012_05-261.pdf 11. 福田祐仁、「クラスターターゲットを利用したイオン加速の研究」、プラズマ・核融合学会誌、Vol.88、p13 (2012). http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2012_01/jspf2012_01-13.pdf 12. M. Kanasaki, T. Yamauchi, <u>Y. Fukuda</u> , H. Sakaki, T. Hori, M. Tampo, S. Kurashima, T. Kamiya, K. Kondo, “A diagnosis of intense ion beam by CR-39 detectors analyzing the
----------------	--

	<p>back scattered particles”, in Proceedings of International Symposium on Laser-Driven Relativistic Plasmas Applied for Science, Industry and Medicine, AIP Conf. Proc. 1465, 142 (2012). http://www.deepdyve.com/lp/american-institute-of-physics/a-diagnosis-of-intense-ion-beam-by-cr-39-detectors-analyzing-the-back-l3kwx3WWkh</p> <p>13. A.Ya. Faenov, I.Yu. Skobelev, T.A. Pikuz, S.A. Pikuz, Jr., V.E. Fortov, <u>Y. Fukuda</u>, Y. Hayashi, A. Pirozhkov, H. Kotaki, T. Shimomura, H. Kiriya, S. Kanazawa, Y. Kato, J. Colgan, J. Abdallah, Jr., M. Kando, and J-KAREN Laser Operation Group, “X-ray spectroscopy diagnoses of clusters surviving under prepulses of ultra-intense femtosecond laser pulse irradiation”, Laser Part. Beams 30, 481 (2012). http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=8661443</p> <p>14. M. Kanasaki, <u>Y. Fukuda</u>, H. Sakaki, T. Hori, M. Tambo, K. Kondo, S. Kurashima, T. Kamiya, K. Oda, and T. Yamauchi, "A New Diagnosis Method for High Energy Ion Beam utilizing Back Scattered Particles with CR-39 Detectors", Jpn. J. Appl. Phys. 51, 056401 (2012). http://jjap.jsap.jp/cgi-bin/getarticle?magazine=JJAP&volume=51&page=056401</p> <p>15. I. Yu. Skobelev, A. Ya. Faenov, T. A. Pikuza, S. A. Pikuz Jr., V. E. Fortov, <u>Y. Fukuda</u>, Y. Hayashi, A. Pirozhkov, K. Kawase, H. Kotaki, T. Shimomura, H. Kiriya, Y. Kato, and M. Kando, "Effects of the Self-Absorption of X-ray Spectral Lines in the Presence of the Laser-Cluster Interaction", JETP Lett. 94, 270 (2011). http://www.springerlink.com/content/fj435057371022k1/</p> <p>16. 福田祐仁、反保元伸、榊泰直、近藤公伯、金崎真聡、山内知也、「クラスターターゲットを用いた革新的レーザー駆動イオン加速研究における固体飛跡検出器CR-39の利用」、放射線 Vol.37、 p 169 (2011)。 ISSN 0285-3604</p> <p>17. 金崎真聡、山内知也、福田祐仁、榊泰直、堀利彦、反保元伸、近藤公伯、倉島俊、神谷富裕、「PADC飛跡検出器を用いた後方散乱粒子による高強度イオンビーム特性簡易診断法」、放射線 Vol.37、 p 1 27 (2011)。 ISSN 0285-3604</p> <p>18. 福田祐仁、「クラスターターゲットを利用したイオン加速の研究」、プラズマ・核融合学会誌、Vol.88、 p13 (2012)。 http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2012_01/jspf2012_01-13.pdf</p> <p>19. <u>Y. Fukuda</u>, A.Ya. Faenov, M. Tambo, T.A. Pikuz, T. Nakamura, M. Kando, Y. Hayashi, A. Yogo, H. Sakaki, T. Kameshima, K. Kawase, A.S. Pirozhkov, K. Ogura, M. Mori, T.Zh. Esirkepov, J. Koga, A.S. Boldarev, V.A. Gasilov, A.I. Magunov, T. Yamauchi, R. Kodama, P.R. Bolton, K. Kondo, S. Kawanishi, Y. Kato, T. Tajima, H. Daido, and S.V. Bulanov, Ion acceleration in sub-critical density plasma via interaction of intense laser pulse with cluster-gas target, in Progress in Ultrafast Intense Laser Science VII by K. Yamanouchi et al. (eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p225 (2011). http://www.springerlink.com/content/978-3-642-18326-3/contents/</p> <p>20. Yukio Hayashi, Alexander S. Pirozhkov, Masaki Kando, <u>Yuji Fukuda</u>, Anatoly Faenov, Keigo Kawase, Tatiana Pikuz, Tatsufumi Nakamura, Hiromitsu Kiriya, Hajime Okada, and Sergei V. Bulanov, Efficient generation of Xe K-shell x rays by high-contrast interaction with submicrometer clusters, Opt. Lett. 36, 1614 (2011). http://www.opticsinfobase.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-36-9-1614</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 1 件</p> <p>21. 神野智史 「ミー散乱」, 原子衝突学会誌 しょうとつ 第 10 巻 4 号、p99 (2013). http://www.atomiccollision.jp/collision/syoutotsu/13_1004s.pdf</p> <p>(未掲載) 計 1 件</p> <p>22. S. Jinno, <u>Y. Fukuda</u>, H. Sakaki, A. Yogo, M. Kanasaki, K. Kondo, A.Ya. Faenov, I.Yu. Skobelev, T.A. Pikuz, A.S. Boldarev, and V.A. Gasilov, “Development of an Apparatus</p>
--	---

	for Characterization of Cluster-Gas Targets for Laser-Driven Particle Acceleration”, accepted for publication in <i>Progress in Ultrafast Intense Laser Science XI</i> , Springer Verlag (2013).
会議発表 計 50 件	<p>専門家向け 計 49 件 国際学会 (招待講演、口頭発表)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Y. Fukuda</u>, “Generation of 50-MeV/u He ions in laser-driven ion acceleration with cluster-gas targets”, SPIE Optics and Optoelectronics 2013, Prague, Czech Republic, April 2013. 2. <u>Y. Fukuda</u>, “Laser particle acceleration”, 11th International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS 11), Jeju, Korea, October 2012. 3. <u>Y. Fukuda</u>, “Laser-driven ion acceleration using molecular cluster gas targets”, The 7th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS7), Tokyo, Japan, November 2012. <p>(一般講演、口頭発表)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Y. Fukuda</u>, R. Matsui, N. Iwata, and Y. Kishimoto, "Cluster-Gas Targets as Efficient Media for Laser-Driven Ion Accelerations", Targetry for Laser-driven Proton (Ion) Accelerator Sources: First Workshop, Munich, Germany October 2013. 2. M. Kanasaki, <u>Y. Fukuda</u>, H. Sakaki, A. Yogo, S. Jinno, M. Nishiuchi, A. Hattori, K. Matsukawa, K. Kondo, K. Oda, and T. Yamauchi, "The Effect of Photo-Neutrons on Diagnostics Using CR-39 for Laser-Accelerated Ion Beam", CLEO-PR & OECC/PS 2013, Kyoto, Japan, June 2013. 3. Y. Kishimoto, N. Iwata, R. Matsui, and <u>Y. Fukuda</u>, "High power laser-matter interaction in cluster medium: particle acceleration, radiation, high pressure material state", APPC 2013, Chiba, Japan, July 2013. 4. N. Iwata, F. Wu, Y. Kishimoto, and <u>Y. Fukuda</u>, "Laser-matter interaction in cluster medium in the radiation dominated regime: Particle acceleration and radiation", IFSA 2013, Nara, Japan, September 2013. 5. <u>Y. Fukuda</u>, “Identification of high energy ions using backscattered particles in laser-driven ion acceleration with cluster-gas target”, Instrumentation for Diagnostics and Control of Laser-Accelerated Proton (ion) Beams, Paris, France, June 2012. 6. H. Sakaki, <u>Y. Fukuda</u>, M. Nishiuchi, S. Jinno, M. Kanasaki, A. Yogo, K. Kondo, F. Saito, T. Fukami, M. Ueno, K. Niita, “Evaluation of dose level in a laser-driven ion accelerator using PHITS code”, 12th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-12) and 17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society (RPSD-2012), Nara, Japan, September 2012. 7. Y. Kishimoto, N. Iwata, Y. Sugiyama, T. Uchida, <u>Y. Fukuda</u>, “Interaction between high power laser and clustered medium-propagation, acceleration, radiation-“, 54th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, Providence, USA, October-November 2012. 8. <u>Y. Fukuda</u>, "Highly-efficient laser-driven ion acceleration with cluster-gas targets", The 12th Symposium on Advanced Photon Research, Kizu, Kyoto, May 2011. 9. <u>Y. Fukuda</u>, M. Kanasaki, H. Sakaki, T. Hori, M. Tampo, S. Kurashima, T. Kamiya, K. Kondo, and T. Yamauchi, "A diagnosis of high energy ions by CR-39 detectors utilizing back scattered particles", The 12th International Conference on Multiphoton Processes and The 3rd International Conference on Attosecond Physics, Sapporo, Japan, July 2011. 10. <u>Y. Fukuda</u>, M. Kanasaki, H. Sakaki, T. Hori, M. Tampo, K. Kondo, S. Kurashima, T. Kamiya, K. Oda, T. Yamauchi, "Application of CR-39 in laser-driven ion acceleration experiments", 25th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Puebla, Mexico, September 2011. 11. <u>Y. Fukuda</u>, M. Tampo, M. Kando, Y. Hayashi, K. Kawase, A. Ya. Faenov, T.A. Pikuz, T. Nakamura, H. Sakaki, A.S. Pirozhkov, T. Shimomura, H. Kiriya, M. Kanasaki, T. Yamauchi, R. Kodama, K. Kondo, and S.V. Bulanov, Highly-Efficient Ion Acceleration in Laser Plasma via Interaction of Intense Laser Pulse with Cluster-Gas Target, OSA

	<p>Optics & Photonics Congress, HIGH INTENSITY LASERS AND HIGH FIELD PHENOMENA (HILAS), Istanbul, Turkey, February 2011.</p> <p>(一般講演、ポスター発表)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Y. Fukuda</u>, R. Matsui, N. Iwata, and Y. Kishimoto, "Ion Acceleration based on the Interaction between High Power Laser and Cluster Medium", ISUILS 12, Salamanca, Spain, October 2013. 2. M. Kanasaki, <u>Y. Fukuda</u>, H. Sakaki, A. Yogo, S. Jinno, M. Nishiuchi, K. Matsukawa, K. Kondo, K. Oda, and T. Yamauchi, "A diagnosis method of laser-accelerated protons using CR-39 in a field contaminated by photo-neutrons", IFSA 2013, Nara, Japan, September 2013. 3. S. Jinno, <u>Y. Fukuda</u>, H. Sakaki, A. Yogo, M. Kanasaki, K. Kondo, A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, A. S. Boldarev, V. A. Gasilov, "Characterization of Cluster-Gas Targets and its Application to Laser-Driven Particle Acceleration Experiments", IFSA 2013, Nara, Japan, September 2013 4. S. Jinno, <u>Y. Fukuda</u>, H. Sakaki, A. Yogo, M. Kanasaki, K. Kondo, A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, A. S. Boldarev, V. A. Gasilov, "Characterization of Sub-micron Sized Clusters in a Supersonic Gas Jet using Mie Scattering", 11th International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS 11), Jeju, Korea, October 2012. 5. M. Kanasaki, <u>Y. Fukuda</u>, H. Sakaki, A. Yogo, S. Jinno, M. Nishiuchi, A. Hattori, K. Matsukawa, K. Kondo, K. Oda, T. Yamauchi, "Design of a wide energy range stacked CR-39 detector diminishing contaminant photo-neutrons using Monte Carlo particle transport simulations", 11th International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS 11), Jeju, Korea, October 2012. 6. H. Sakaki, <u>Y. Fukuda</u>, M. Kanasaki, M. Nishiuchi, S. Jinno, A. Yogo, T. Fukami, Y. Watanabe T. Sato, K. Niita, "Evaluation of neutron properties from the (γ, n) reactions caused by laser-accelerated electron beam", 11th International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS 11), Jeju, Korea, October 2012. <p>国内学会 (招待講演、口頭発表)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>福田祐仁</u>、「クラスターターゲットを用いた高効率なレーザー駆動イオン加速」、プラズマ・核融合学会第30回年会、東京、12月2013年。 2. <u>福田祐仁</u>、「レーザー照射クラスターターゲットによる粒子線加速」、日本物理学会第69回年次大会、神奈川、2014年3月。 3. <u>福田祐仁</u>、「高強度レーザーパルスとクラスターターゲットとの相互作用による高エネルギーイオン発生」、第32回レーザー学会学術講演会、仙台、2012年1月。招待講演。 <p>(一般講演、口頭発表)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 金崎真聡, 神野智史, 榊 泰直, 西内満美子, 近藤公伯, 小田啓二, 山内知也, 松井隆太郎, 岸本泰明, D. Doria, M. Borghesi, <u>福田祐仁</u>、「クラスターターゲットから発生するMeV級イオンの空間分布」、第61回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2014年3月 2. 神野智史, <u>福田祐仁</u>, 榊泰直, 余語覚文, 金崎真聡, 近藤公伯, A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, A. S. Boldarev, V. A. Gasilov, 「ミー散乱を利用したクラスターターゲットの特性評価」、日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月 3. 松井隆太郎, 岩田夏弥, <u>福田祐仁</u>, 岸本泰明, 「高強度レーザーとクラスター媒質の相互作用によるイオン加速のシミュレーション研究」、日本物理学会第69回年次大会、神奈川2014年3月 4. 金崎真聡, 神野智史, 榊 泰直, 西内満美子, 近藤公伯, 小田啓二, 山内知也, 松井隆太郎, 岸本泰明, D. Doria, M. Borghesi, <u>福田祐仁</u>、「高強度レーザーとクラスターとの相互作用から発生するMeV級イオンの空間分布・エネルギー分布測定」、第28回固体飛跡検出器研究会、兵庫、2014年3月
--	--

	<p>5. 神野智史、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、金崎真聡、近藤公伯、A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, A. S. Boldarev, V. A. Gasilov、「クラスターターゲットによるイオン加速—電子スペクトルのターゲット状態依存性—」、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、厚木、2013年3月。</p> <p>6. 金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、神野智史、西内満美子、服部篤人、松川兼也、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「レーザー駆動イオンビーム計測における光中性子の影響評価」、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、厚木、2013年3月。</p> <p>7. 榊 泰直、<u>福田祐仁</u>、金崎真聡、西内満美子、神野智史、余語覚文、深見智代、前田祥太、渡辺幸信、佐藤達彦、仁井田浩二、「レーザー駆動型加速における(γ, n)反応による中性子発生の評価」、日本物理学会第 68 回年次大会、東広島、2013年3月。</p> <p>8. 岸本泰明、杉山裕一、岩田夏弥、内田智之、<u>福田祐仁</u>、「強度レーザーとクラスター媒質との相互作用と粒子加速・輻射特性II」、日本物理学会第 68 回年次大会、東広島、2013年3月。</p> <p>9. 金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、神野智史、西内満美子、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「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実験における光中性子の評価」、第 27 回固体飛跡検出器研究会、神戸、2013年3月。</p> <p>10. 金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、神野智史、倉島 俊、神谷富裕、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「後方散乱粒子によるレーザー駆動イオンビームの簡易診断法」、第 27 回固体飛跡検出器研究会、神戸、2013年3月。</p> <p>11. 金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、神野智史、西内満美子、小倉浩一、赤城 卓、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「CR-39 および ZnS(Ag) 蛍光膜による固体ターゲットを用いたレーザー駆動イオンビームの計測」、第 27 回固体飛跡検出器研究会、神戸、2013年3月。</p> <p>12. 服部篤人、金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、神野智史、堀 利彦、倉島俊、神谷富裕、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「飛跡検出器の重イオンに対する真空効果を考慮した応答特性」、第 27 回固体飛跡検出器研究会、神戸、2013年3月。</p> <p>13. 神野智史、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、金崎真聡、近藤公伯、A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, A. S. Boldarev, V. A. Gasilov、「ミー散乱を用いたクラスターサイズ評価におけるガス密度依存性の検討」、レーザー学会学術講演会第 33 回年次大会、姫路、2013年1月。</p> <p>14. 金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、神野智史、西内満美子、服部 篤人、松川 兼也、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「レーザー駆動イオン加速実験における光中性子を考慮したイオン計測」、レーザー学会学術講演会第 33 回年次大会、姫路、2013年1月。</p> <p>15. 榊 泰直、<u>福田祐仁</u>、金崎真聡、西内満美子、神野智史、余語覚文、深見智代、渡辺幸信、佐藤達彦、仁井田浩二、「レーザー駆動型イオン加速における(γ, n)反応による中性子特性の評価」、レーザー学会学術講演会第 33 回年次大会、姫路、2013年1月。</p> <p>16. 余語覚文、井上典洋、榊泰直、<u>福田祐仁</u>、神野智史、金崎真聡、桐山博光、下村拓也、小倉浩一、森道昭、Paul R. Bolton、近藤公伯、「レーザー駆動イオン加速のための 10TW 級高コントラストレーザーの開発」、レーザー学会学術講演会第 33 回年次大会、姫路、2013年1月。</p> <p>17. 神野智史、<u>福田祐仁</u>、榊 泰直、余語覚文、金崎真聡、近藤公伯、A. Ya. Faenov, I. Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, A. S. Boldarev, V. A. Gasilov、「Mie散乱によるマイクロメートルサイズクラスターの同定」、日本物理学会2012年秋季大会、横浜、2012年9月。</p> <p>18. 岸本泰明、杉山裕一、岩田夏弥、内田智之、<u>福田祐仁</u>、「強度レーザーとクラスター媒質との相互作用と 粒子加速・輻射特性」、日本物理学会2012年秋季大会、横浜、</p>
--	--

	<p>2012年9月。</p> <p>19. 神野智史、<u>福田祐仁</u>、<u>榊 泰直</u>、余語覚文、金崎真聡、近藤公伯、A. Ya. Faenov、I. Yu. Skobelev、T. A. Pikuz、A. S. Boldarev、V. A. Gasilov、「レーザー駆動イオン加速のためのクラスターターゲット診断装置の開発」、秋季第73回応用物理学会学術講演会、松山、2012年9月。</p> <p>20. 金崎真聡、<u>榊 泰直</u>、<u>福田祐仁</u>、余語覚文、神野智史、近藤公伯、赤城 卓、服部篤人、松川兼也、小田啓二、山内知也、「レーザー駆動イオンビーム・オンラインイメージング解析用ZnS(Ag)蛍光膜の発光応答特性評価」、秋季第73回応用物理学会学術講演会、松山、2012年9月。</p> <p>21. 服部篤人、金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、<u>榊 泰直</u>、余語覚文、神野智史、堀 利彦、倉島俊、神谷富裕、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「飛跡検出器の重イオンに対する真空効果を考慮した応答特性評価」、秋季第73回応用物理学会学術講演会、松山、2012年9月。</p> <p>22. <u>福田祐仁</u>、「高強度レーザーとクラスターターゲットとの相互作用によるイオン加速」、プラズマ転移研究会、品川、2012年8月。</p> <p>23. 服部篤人、金崎真聡、<u>福田祐仁</u>、<u>榊 泰直</u>、余語覚文、神野智史、西内満美子、小倉浩一、近藤公伯、小田啓二、山内知也、「CR-39 によるレーザー駆動粒子線の高精度エネルギー評価」、春季第 59 回応用物理学関係連合講演会、東京、2012年3月。</p> <p>24. <u>福田祐仁</u>、<u>榊 泰直</u>、金崎真聡、余語覚文、神野智史、反保元伸、アナトリー フェエノフ、タチアナ ピカッツ、林 由紀雄、神門正城、アレクサンダー ピロシコフ、下村拓也、桐山博光、近藤公伯、セルゲイ ブラノフ、倉島 俊、神谷富裕、小田啓二、山内知也、「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における後方散乱イオンを用いた高エネルギーイオンの同定」、第 26 回固体飛跡検出器研究会、神戸、2012年3月。</p> <p>25. <u>福田祐仁</u>、レーザー駆動粒子加速研究における固体飛跡検出器の利用と課題、第 26 回固体飛跡検出器研究会、神戸、2011年3月。</p> <p>26. <u>福田祐仁</u>、<u>榊泰直</u>、堀利彦、反保元伸、倉島俊、神谷富裕、近藤公伯、金崎真聡、山内知也、後方散乱粒子を用いた高エネルギーイオンビームの特性診断、2011年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3月。</p> <p>一般向け 計 1 件</p> <p>1. <u>福田祐仁</u>、「革新的レーザー駆動イオン加速手法の開発」、FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」へのシナリオ、東京、2014年2月。</p>
<p>図 書 計 1 件</p>	<p>(未出版)</p> <p>1. <u>福田祐仁</u>、「原子分子クラスターと強光子場」、強光子場化学の展開 (CSJ カレントレビュー)、日本化学会編 (2014)。</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況 計 2 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 2 件</p> <p>1. 産業財産権の名称:イオン加速方法、イオン加速装置、及び、イオンビーム照射装置、医療用イオンビーム照射装置、核破砕用イオンビーム照射装置</p> <p>発明者:<u>福田祐仁</u>、<u>榊 泰直</u> 産業財産権の種類番号:特願 2012-163410 出願年月日:2012年7月24日 国内・外国の別:国内</p> <p>2. 産業財産権の名称:イオン加速方法、イオン加速装置、及び、</p>

	<p style="text-align: center;">イオンビーム照射装置、医療用イオンビーム照射装置</p> <p>発明者: <u>福田祐仁</u>、中村龍史 産業財産権の種類番号: 13/292871 出願年月日: 2011年11月9日 国内・外国の別: 外国(アメリカ)</p>
<p>Webページ (URL)</p>	
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 標題:「光の不思議」 実施日: 2013年6月7日(金) 場所(施設名): 日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所 多目的ホール棟 (京都府木津川市) 対象者: 中学生～一般 参加者数: 約90名 内容: 参加者全員に偏光板2枚を配布し、偏光板を通して物の見え方が変化する様子を体験してもらいながら、光の「波」としての性質を実体験してもらった。同時に、過去の著名な科学者が光を「波」として捉えていたのか、「粒子」として捉えていたのかを説明し、アインシュタインの光量子説を説明した。さらに、複屈折について説明し、参加者に複屈折性結晶である方解石を配布し、偏光板と組み合わせて、複屈折によって光の偏光方向が変化していることを実体験してもらった。最後に、偏光サングラス、偏光レンズを用いることで、物の見え方がどう変わるかについて説明した。 2. 標題:「夢のメス、超小型粒子線がん治療装置の実現をめざして」 実施日: 2013年3月16日(土)～17日(日) 場所(施設名): 京都パルスプラザ 大展示場(京都市伏見区) 対象者: 小・中・高・大学生、一般 参加者数: 170名程度 内容: 内閣府等主催で京都パルスプラザで開催された「科学・技術フェスタ2013」において、最先端の科学の話題として、レーザー駆動の超小型加速器開発に関する発表を行った。発表は、「光とは?」という基本的な質問に答える形で進め、光にも圧力があることを説明し、太陽光の光圧によって推進する「イカロス」を取り上げた。さらに、レーザー光の光圧で粒子を加速することで、粒子線がん治療に用いることが可能な小型レーザー駆動粒子加速器を作ることも夢ではない、という話をおこなった。さらに、参加型イベント「CD を使って虹を見よう」というタイトルの工作教室の説明補助を行った。 3. 標題: 体験科学授業 S-Cube 「今、何が問題? -原子力と放射線-」 実施日: 2011年7月28日 場所(施設名): きつづ光科学館ふおとん(京都府木津川市) 対象者: 京都府立亀岡高等学校1年生 参加者数: 42名 内容: 「原子力」と「放射線」について、用語の解説から丁寧に解説を行った。具体的には、「エネルギー」と「仕事」の基本事項について解説した。また、「手回し発電機」を用いて、実際に電球や蛍光灯を灯す体験を通して、エネルギーを作り出すことを実感し



	<p>でもらった。火力発電、原子力発電、水力発電について、そのしくみ、それぞれの発電方法の利点や問題点について説明した。さらに、“原子の構造”と“原子力”の基本事項について解説した。「核反応」、「放射性同位体」、「放射線」などについて解説し、ヨウ素131やセシウム137がなぜニュースに取り上げられ、問題視されるのかについて説明した。その後、簡易放射線検出器「はかるくん」を用いて、身の回りの物質の放射線計測を行い、放射線量の大小について実感してもらった。</p> <p>4. 標題:「光科学と放射線～霧箱を作ろう～」 実施日:2011年8月12日 場所(施設名):日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所(京都府木津川市) 対象者:福井県教育庁主催サイエンス研修参加の中高生 参加者数:7名 内容:「光科学」について、用語の解説から丁寧に解説を行った。具体的には、光、電磁波、レーザーの基本事項について用語の解説から丁寧に解説を行い、関西研でおこなっているレーザーを用いたイオン加速研究が放射線がん治療装置に応用可能であること等、について説明した。その後、“エネルギー”と“仕事”の基本事項について解説した。また、「手回し発電機」を用いて、実際に電球や蛍光灯を灯す体験を通して、エネルギーを作り出すことを実感してもらった。火力発電、原子力発電、水力発電について、そのしくみ、それぞれの発電方法の利点や問題点について説明した。さらに、“原子の構造”と“原子力”の基本事項について解説した。「核反応」、「放射性同位体」、「放射線」などについて解説し、ヨウ素131やセシウム137がなぜニュースに取り上げられ、問題視されるのかについて説明した。その後、簡易放射線検出器「はかるくん」を用いて、身の回りの物質の放射線計測を行い、放射線量の大小について実感してもらった。最後に、参加者1人1人が「霧箱」を実際に制作し、身の回りに存在する放射線の存在を目で見て確認してもらう実習を行った。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計0件</p>	
<p>その他</p>	

7. その他特記事項

2012年9月に奈良で行われたアメリカ原子核学会主催の国際会議「17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society (RPSD-12)」において、榊泰直、福田祐仁、西内満美子、他8名が行った口頭発表論文「PHITSコードを用いたレーザー駆動イオン加速器の線量評価」が優秀論文賞を受賞した。