

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) 実施状況報告書(平成23年度)

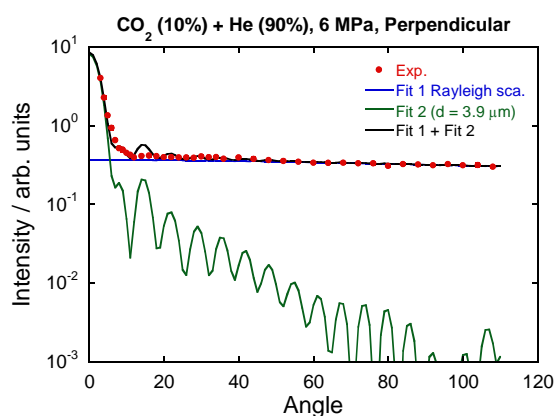
本様式の内容は一般に公表されません

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. 当該年度の研究目的

1. クラスターターゲット評価装置開発 (担当: 神野)	クラスターターゲット評価装置を開発し、計測を開始する。
2. レーザー光波面制御装置開発 (担当: 下村、福田)	波面センサーを用いて波面歪みに関するデータを取得し、波面制御ミラーの仕様を決定する。
3. リアルタイムイオン計測器開発 (担当: 榊、金崎)	市販の荷電粒子電磁場シミュレーションコードを用いた計算機を整備し、50-100 MeV 級イオンをリアルタイム検出可能な計測器開発を行う。
4. リアルタイム磁場計測装置開発 (担当: 西内、神野)	光をプローブとして用いるファラデー回転法に加え、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計測も検討する。荷電粒子電磁場シミュレーションコードを用いた装置デザインを開始する。

2. 研究の実施状況

1. クラスターターゲット評価装置開発 (担当: 神野)	<p>クラスターターゲット評価装置を開発し、ヘリウムを背景ガスとした二酸化炭素クラスターターゲットにレーザー光 (532 nm, 0.2 μJ) を照射し、(1) 散乱光の角度分布測定によるクラスターのサイズ測定、及び、(2) マイケルソン干渉計を用いた背景ガス密度分布の測定、を行った。</p>  <p>図1. ヘリウムを背景ガスとした二酸化炭素クラスターターゲットにレーザー光を照射した際の散乱光強度の角度分布。散乱光 (赤点) の角度分布は、光を前方 (小さい角度) に強く散乱する特徴 (Mie 散乱 (緑実線)) を示した。</p> <p>その結果、(1) については、図1に示すとおり、散乱光の角度分布 (赤点) は、光を前方に強く散乱する特徴 (Mie 散乱) を示した。Mie 散乱理論による解析 (緑実線) から、ターゲット</p>
------------------------------	--

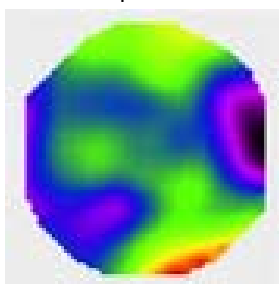
ガスは、3.9マイクロメートル程度の直径のクラスターを含んでいることが明らかになった。一方、前方以外の角度分布は、Rayleigh 散乱（青実線）によく従っており、これは、ナノメートルサイズのクラスターが混在していることを示している。(2)については、干渉縞の変化からターゲットガスの屈折率を求め、背景ガス密度を求めた。その結果、背景ガス密度は、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度と求めた。現在、計測結果とモデル計算との比較検討を行っている。

また、米国テキサス大の M. Downer 教授の研究室を訪問し、周波数領域干渉計を用いたクラスターターゲット評価の共同実験に関する打合せを行った。

2. レーザー光波面制御装置開発（担当：下村、福田）

波面センサーを用いて、J-KAREN レーザー光の波面歪みに関するデータを取得し、これを解析することで、H24 年度導入予定の波面制御装置の仕様を決定した。波面制御装置により、波面歪みを 20 nm (RMS) 以下に抑制し、200 MeV 級のイオン加速に必要な 10^{20} W/cm^2 以上の集光強度の達成を目指す。

Phase Map



波面歪み
PV : 421 nm
RMS : 68 nm

図2. パルスコンプレッサー通過直後のレーザー光（ビーム径：φ130 mm）の波面の位相図。波面歪みは、二乗平均（RMS）値で、68 nm と求めた。

3. リアルタイムイオン計測器開発（担当：榊、金崎）

市販の荷電粒子電磁場シミュレーションコード（AMaze Ver. 3）等を用いて、50-100 MeV 級イオンをリアルタイム検出可能な、「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」の開発を行った。兵庫県立粒子線治療センターの協力を得て、同センターのサイクロトロン加速器を用いた校正実験を実施し、装置が設計どおり動作することを確認した。その後、J-KANREN レーザー装置を用いたイオン加速実験において、このトムソンパラボラ計測器を用いた 50-100 MeV 級イオンのリアルタイム検出を試みた。しかし、高エネルギー電子線、X線に起因するノイズが予想以上に大きく、イオンシグナルのリアルタイム検出には、徹底したノイズ対策等の計測器の改良が必要であることがわかった。

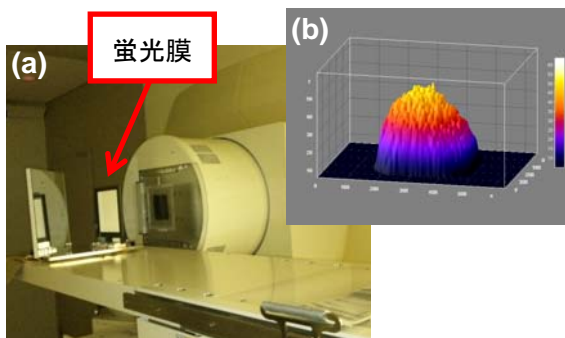


図3. (a) 兵庫県立粒子線治療センターでの蛍光膜発光特性試験の様子。80 MeV 陽子線（ $\sim 10^9$ 個）を照射した際の蛍光膜発光の様子を CCD カメラで測定し、三次元表示させた結果。

4. リアルタイム磁場計測装置開発（担当：西内、神野）

光をプローブとして用いるファラデー回転法、及び、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装置のデザインについて検討をおこなった。

様式19 別紙1

5. その他

- J-KANREN レーザー装置を用いたイオン加速実験において、「水素を背景ガスとしたクラスターターゲット」を用いて、10 MeV 以上のエネルギーを有する陽子線の発生を確認した。
- シミュレーション研究において、京都大学の岸本教授の協力を得て、クラスターターゲットによるイオン加速の新たなモデル開発作りを開始した。
- 市販の粒子シミュレーションコード (VORPAL Ver. 5.2) 用いた計算機を整備し、実験デザインや加速機構解明などの計算機シミュレーションを行える体制作りを開始した。
- 「レーザー加速器」のプロトタイプ機の開発に着手し、10 TWクラスのJLITE-X レーザー装置に対し、WCPA 法によるコントラスト比向上を目的とした改良に着手した。

3. 研究発表等

雑誌論文 計5件	(掲載済み一査読有り) 計4件 1. M. Kanasaki <u>Y. Fukuda</u> , H. Sakaki, T. Hori, M. Tampo, 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 2. I. Yu. Skobelev, A. Ya. Faenov, T. A. Pikuz, 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/ 3. <u>福田祐仁</u> 、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 4. 金崎真聡、山内知也、 <u>福田祐仁</u> 、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 (掲載済み一査読無し) 計1件 1. <u>福田祐仁</u> 、「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 (未掲載) 計0件
会議発表 計6件	専門家向け 計6件 国際学会 1. <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. 2. <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

様式19 別紙1

	<p>back scattered particles", The 12th International Conference on Multiphoton Processes and The 3rd International Conference on Attosecond Physics, Sapporo, Japan, July 2011.</p> <p>3. <u>Y. Fukuda</u>, M. Kanasaki, H. Sakaki, T. Hori, M. Tambo, 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.</p> <p>国内学会</p> <p>1. <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> <p>2. 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、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>3. <u>福田祐仁</u>、榊 泰直、金崎真聡、余語覚文、神野智史、反保元伸、アナトリー ファエノフ、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>一般向け 計0件</p>
<p>図書</p> <p>計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状況</p> <p>計1件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計1件</p> <p>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</p> <p>発明者：<u>福田祐仁</u>、中村龍史</p> <p>産業財産権の種類番号：13/292871</p> <p>出願年月日：2011年11月9日</p> <p>国内・外国の別：外国（アメリカ）</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>該当無し。</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>1. 標題：体験科学授業 S-Cube 「今、何が問題？-原子力と放射線-」</p> <p>実施日：2011年7月28日</p> <p>場所(施設名)：きつづ光科学館ふおとん（京都府木津川市）</p> <p>対象者：京都府立亀岡高等学校1年生</p> <p>参加者数：42名</p> <p>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</p>

様式19 別紙1

	<p>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>2. 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校生 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>	<p>特になし。</p>

4. その他特記事項

特になし。

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	118,000,000	79,998,000	0	38,002,000	0
間接経費	35,400,000	23,999,400	0	11,400,600	0
合計	153,400,000	103,997,400	0	49,402,600	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	79,851,460	0	0	79,851,460	40,950,863	38,900,597	0
間接経費	23,999,400	0	0	23,999,400	20,775,835	3,223,565	0
合計	103,850,860	0	0	103,850,860	61,726,698	42,124,162	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	31,825,537	実験用光学機器等
旅費	1,872,754	国内旅費、外国出張旅費(ICNTS国際会議)
謝金・人件費等	4,812,155	特定課題推進員人件費、社会保険料等
その他	2,440,417	学会参加費等
直接経費計	40,950,863	
間接経費計	20,775,835	
合計	61,726,698	

4. 当該年度の主な購入物品(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	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	2011/6/10	独立行政法人 日本原子力研 究開発機構

防振ゴム式除振台 RB-1812T-1	日本防振工業(株)社製 型番:RB-1812T-1 仕様: 全体寸法: 1800x1200x800H (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:レーザーシート貼付	1		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)制御コントローラ ・制御用PC ・制御用ボード ・制御用ソフトウ	1		15,120,000	2011/8/25	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	・超音速パルスバルブ本体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	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	2012/3/16	独立行政法人 日本原子力研究開発機構