

平成 29 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

調査研究報告書(公開版)

【研究題目】 ゲノム改変・極端非平衡材料創製のための準相対論的巨大クラスター照射センターの調査研究

【整理番号】 TK17-031

【代表機関】 高エネルギー加速器研究機構

【調査研究代表者(氏名、連絡先 TEL & Mail)】

高山 健、029-864-5290, takayama@post.kek.jp

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】

産総研	織田 望
物質・材料研究機構	雨倉 宏
筑波大	鈴木岩根

【TIA 外連携機関】

東京工業大学 長谷川 純

【報告書作成者】 【報告書作成年月日】

高山 健 平成 30 年 3 月 30 日

【連携推進(具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等)】

■ ワークショップ・シンポジウム開催

1. かけはし：TIA 連携プログラム探索推進事業シンポジウム

表題：準相対論的巨大クラスターイオンビームが拓く世界：ゲノム改変・極端非平衡材料創製に向け

時：2017 年 9 月 11-12 日(2 日間)

場所：つくば国際会議場 3 階 小会議室 303

主催：準相対論的巨大クラスターイオンシンポジウム実行委員会

TIA 連携プログラム参加チーム：産総研、筑波大、物材機構、KEK)

共催：量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 東京工業大学

事務局：KEK デジタル加速器研究室

参加者：国内 30 名

国内に於ける、巨大クラスターイオン研究者のほぼ全員が参加、研究の現状とドライバー実現に向けての課題と問題点をサーベイすると共に、高エネルギー巨大クラスターイオンの応用分野のポテンシャルを確認し、それを参加者でシェアした。

2. フランス IPN-Orsay と巨大クラスターイオン源共同研究会開催

ワークショップ「Giant Cluster Ion Source」

時：2018 年 2 月 26-27 日(2 日間)

場所：仏 IPN-Orsay

主催：仏 IPN-Orsay

共催：KEK、東京工業大学

連携研究機関の東工大と KEK は巨大クラスターイオンの静電加速の長い実績も持つ IPN-Orsay と共同で、研究会を開催する。両機関と他ヨーロッパ研究機関における巨大クラスターイオン源の

稼働現状と将来の高電離イオン源について意見交換を行った。高エネルギー域への加速手法として誘導加速マイクロトロン概念を解説し、大きな関心を集めた。今後、密接な連携を確認した。

3. かけはし：TIA 連携プログラム探索推進事業シンポジウム

国際シンポジウム「the Next Hadron Therapy and its Driver」

時：2018年3月13-14日（2日間）

場所：つくば国際会議場 3階 小会議室

主催：国際シンポジウム実行委員会

共催：筑波大学陽子線医学利用研究センター

事務局：KEK デジタル加速器研究室

参加者：海外6（スイス1、イタリア1、フランス1、インド2、インドネシア1）、国内34名
巨大クラスターイオンの近未来ドライバーとして期待されているKEK デジタル加速器の加速器の特性は次世代ハドロンセラピードライバーとしても期待されて来た。速い繰り返し誘導加速シンクロトロンから1加速周期内でエネルギーをスイープして駆動ビームを取り出す事が可能になるが、これを最大限活かすKEK設計のESCORT、これと対抗するBNL・BML共同設計の早い繰り返し高周波シンクロトロンiRCMS、ILC加速器技術のスピノフとしてのCERN・ADAMS設計の線形加速器ベースにしたLIGHTがそれぞれの利点と優劣を議論した。一方、既存ハドロンドライバーのstate of artsの技術について供給企業から関係者が集い、向こう30年を展望する議論をした。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

■ 研究活動

KEK： 近未来巨大クラスターイオンの加速器と位置付けられているKEK デジタル加速器の真空改良を目的とした真空排気系、真空容器の大幅改造を実施。重イオン加速実験通して認識されていた電子捕獲による加速ビームの寿命は真空度によって決まる。巨大クラスターイオンではより深刻な課題であり、真空改造は不可欠であった。

産総研・筑波大連携チーム： 巨大クラスターイオンの前哨戦として量研機構・高崎量子応用研のTIARAサイクロトロンからの重イオンを重油産生藻類に照射し、重油産生能力を大幅に高めた突然変異種の作出実験を実施中。可能性のある変異種が最近見いだされている。

産総研・東工大： 電子衝撃法による低電荷数C-60イオン源の開発を継続するとともに、カスケード電子衝撃イオン源の設計研究を行った。

2018年2月26~27日にフランスのパリ郊外のIPN-Orsay（オルセー核物理研究所）を東工大の堀岡と長谷川の2名が訪問した。現地でのホストはSerge Della-Negra博士とClaude Deutsch博士であった。初日はクラスターイオン源に関するミニワークショップがあり、Deutsch博士によるクラスター核融合の解説、Della-Negra博士によるアンドロメダプロジェクトの紹介、その共同研究者らによるクラスター／ナノ粒子イオン源に関する報告があった。アンドロメダプロジェクトではECRイオン源もしくは液体金属イオン源（LMIS）搭載4MVバンデグラーフ加速器によるナノ粒子を加速し、MeV領域SIMSによる表面分子の高効率検出を目指す。現在IPNでは、C60⁺で0.6 μA、C60³⁺で0.1 μA程度のビーム電流、またLMISでは金のナノ粒子イオンが得られている。日本側からは、長谷川が東工大およびQST高崎で開発中のフラーレンイオン源と産総研で開発されたSiクラスター源について紹介した。2日目は、Della-Negra博士およびDeutsch博士とクラスターイオンと物質の相互作用に関する議論を行った。誘導加速マイクロトロンを用いたGeV級のクラスターイオンと物質との相互作用について議論を行った。

物材機構： 準相対論的巨大大クラスターイオンビームを用いた材料照射の予備段階として、量研機構・高崎量子応用研において、金属ナノ粒子材料への大電流C-60クラスターイオンビーム照射を実施し、ビーム誘起ナノ粒子楕円化現象についての検討を進めた。

■ 研究発表

2017年加速器学会

1. “Lattice Design of the 144 MeV Induction Microtron for C-60”, Taufik^{1,2}, Toshikazu Adachi^{1,2}, Masayoshi Wake², and Ken Takayama²（ポスター発表）

- 「完全電離炭素イオンの Fast-Cycling Induction Synchrotron への直接入射・バリアバケットによる閉じ込め」、宗本尚也^{#, A)}, 高野進^{A)}, Taufik^{A, B)}, 由元崇^{C)}, 劉星光^{D)}, 安達利一^{A, B)}, 池田光男^{A)}, 川久保忠道^{A)}, 岡村勝也^{A)}, 高山健^{A, B)}, 和氣正芳^{A)} (口頭発表)

2017 年度核融合科学研究所パルスパワー研究会

- 「Giant Cluster Ion Inertial Fusion Driver 設計概要」、○高山健, 百合庸介, 川久保忠通 (高エネルギー加速器研究機構) (口頭発表)
- “Study of an Injector (Induction Microtron) for Giant Cluster Ion Inertial Fusion Driver”, ○Taufik, T. Adachi, M. Wake, and K. Takayama (総合研究大学院大学, 長岡技術科学大学, 高エネルギー加速器研究機構) (口頭発表)
- 「巨大クラスターイオンビーム慣性核融合の最終段設計」、○菊池崇志, 高橋一匡, 佐々木徹, 曾我之泰, 堀岡一彦, 高山健 (口頭発表)
- 「巨大クラスターイオンビーム慣性核融合の燃料標的設計」 ○佐々木徹, 高橋一匡, 菊池崇志, 川田重夫, 堀岡一彦, 高山健 (口頭発表)
- 「大パワーSiC-MOSFET 駆動の加速器用パルス電源」 ○岡村勝也, 隈元大輝, 高山健 (高エネルギー加速器研究機構, 長岡技術科学大学) (口頭発表)
- 「13kV 級高耐圧 SiC-MOSFET を使用したパルス電圧発生方法の研究」、○隈元大輝, 岡村勝也, 高山健 (長岡技術科学大学, 高エネルギー加速器研究機構) (口頭発表)
- “Short ion-track formation and shape-elongation of nanoparticles induced by slow MeV C60 cluster ion irradiation”, H. Amekura, Y. Saitoh, A. Chiba, Y. Hirano, K. Narumi, D. Tsuya, N. Okubo, N. Ishikawa, International Conference on Radiation Effects in Insulators (REI-19) (Poster)
- 「MeV C₆₀⁺ クラスターイオン照射により引き起こされる SiO₂ 中に埋め込まれた金属ナノ粒子の楕円変形」○雨倉宏, 斎藤勇一, 千葉敦也, 平野貴美, 山本春也, 山田圭介, 鳴海一雅 QST 高崎サイエンスフェスタ 2017 (ポスター発表)

■ TIA シンポジウム発表

2017 年 10 月 2 日 第 9 回 TIA シンポジウム (東京) ポスター

2018 年 2 月 7 日 第 3 回 TIA 光・量子計測シンポジウム ポスター

【今後の活動予定】

KEK・産総研・物材機構・筑波大:

- KEK デジタル加速器の更なる高真空化対策と、寿命を延ばした重イオン加速実証、炭素薄膜による電子剥離法を使った C6+ビームの取り出し研究
- 巨大クラスターイオン加速専用の加速器「誘導加速マイクロトロン」の工学設計の完成
- 誘導加速マイクロトロン実現に向けた日・欧フォーラムの創出とシンポジウム開催
- ESCORT パイロット施設建設に向けた日・印共同シンポジウムの開催
- 量研機構での連携重点研究に 2018 年度から採択され、本事業の 4 組織に加え、京都大学、高知工科大学、民間企業などを加えて、高速クラスターイオン研究の国内主要研究者を一同に揃えた共同研究を開始する。

産総研・筑波大:

量研機構・高崎量子応用研究所の TIARA サイクロトロンからの重イオンを用いての重油産生藻類突然変異種の作成を引き続き実施し、より質量数の大きなイオンの有効性を実証していく。更にイオンビーム生物照射における遺伝子変異の定量化を目指した新たな照射手法の開発

KEK・東工大・仏 IPN-Orsay:

- 高電離巨大クラスターイオン源の共同開発研究開始、情報の共有開始

➤ 高電離巨大クラスターイオン源ワークショップの開催

KEK・University of Nants

➤ 液体ゼノン TPC を用いたリアルタイム全身 PET 実現に向けた共同研究、特にデータ処理時間短縮に向けた計算機プログラム開発

研究資金獲得に向けて：

科研費・挑戦（萌芽）「巨大クラスターイオン慣性核融合シナリオ研究」5,000,000 円（H29-31）

TIA かけはし 延長 関連ワークショップ、シンポジウムの開催 2,000,000 円（H30）

科研費・基盤研究 A「移動・変形する標的への高速全方位照射を可能にするコンパクト粒子線ドライバの研究」50,000,000 円（H30-32）

新未来技術「巨大クラスター加速用誘導加速マイクロトロン」2,000,000,000 円（H31）

新学術領域研究「準相対論的巨大大クラスターイオンの拓く物質世界」1,500,000,000 円

科研費・基盤研究 C「埋め込まれたナノ粒子の集団的同一方向へのロッド化変形：メカニズム解明」5,000,000 円（H30-32）

科研費・挑戦（萌芽）「 ^{15}N と陽子ビームの共鳴核反応を用いた遺伝子標的変異技術の研究」20,000,000 円（H30-33）

以上