

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01071

研究課題名(和文) レーザー誘電体スイッチ型卓上マイクロビーム源の開発と応用

研究課題名(英文) Development and Application of Tabletop Source of Microbeam by Utilizing Laser Driven Dielectric Switch

研究代表者

上坂 充 (UESAKA, Mitsuru)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：30232739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,400,000円

研究成果の概要(和文)：卓上マイクロイオン加速システムのメインのコンポーネントのイオン源、光伝導スイッチ(協力関係にある中国SICCASから供給)、加速管、イオンビーム検出システムの開発を行い、加速のための試験を行った。理化学研究所の既存のペレトロン加速器を用いたガラスキャピラリー(出口内径：10 $\mu$ m, フタ厚：7.5 $\mu$ m)マイクロビーム細胞照射実験を行った。線内用療法を念頭におき、既存の理化学研究所のペレトロン加速器とガラスキャピラリーによるHe<sup>2+</sup>イオンマイクロビーム(4.5 MeV)照射にて、RPE細胞のDNA損傷修復可視化実験に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レーザー光伝導スイッチ卓上マイクロイオン加速システムの詳細設計を行い、レーザーイオン源と高電圧光伝導スイッチを実証した。線内用療法を念頭におき、既存の理化学研究所のペレトロン加速器とガラスキャピラリーによるHe<sup>2+</sup>イオンマイクロビーム(4.5 MeV)照射にて、RPE細胞のDNA損傷修復可視化実験に成功した。その様子は、He<sup>2+</sup>イオントラック線上に、複数のDNA2重鎖切断が並ぶ、世界で初めての観察結果となった。Ac225等を用いた線内用療法の基礎研究がこれから進展することが示唆された。この結果は放射線医療・生物学の権威ある学術誌に論文投稿する。

研究成果の概要(英文)： Table-top laser-induced micro-ion beam source has been developed by using laser ion source, photoconductive high voltage switch, accelerating structure, ion diagnostic system. C ion beams have been measured.

By using Pelletron ion beam accelerator at Riken, we have performed glass capillary micro-ion (He<sup>2+</sup>) beam generation and application experiments. We are successfully obtained DNA DSB (Double Strand Break) cluster along the He<sup>2+</sup> track in an RPE cell by the H2AX method. The next stage is to get time-resolved DNA DSB images, to perform the gene analysis to know mechanism of DNA damage and repair, and finally to use the table-top laser-induced micro-ion source.

研究分野：量子ビーム工学、放射線生物学

キーワード：卓上マイクロイオンビーム源 ガラスキャピラリー 放射線誘起DNA損傷修復 DNA損傷修復時間分解分析 GFP-XRCC1 H2AX DNA化学安定 Ac225 線がん治療

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

放射線がん治療の研究開発および安全性・品質向上のためには、既存の大型加速器の共同利用で限られたマシンタイムと条件での放射線生物学的研究では不十分である。それを解消すべく、卓上マイクロ電子・イオンビーム生成システムが開発されれば、装置を占有して、X線・電子・陽子・ヘリウム・Cのマイクロビームによる細胞照射 DNA 損傷回復実験が可能になる。新しい放射線がん治療手法としては、Ac225の内用 $\alpha$ 線治療が有望である。

### 2. 研究の目的

卓上マイクロイオンビーム源を、ファイバーレーザースイッチ型誘電体イオン加速システムを活用して開発する。加速対象は炭素/リチウムイオンとし、Blumlein回路によって構成された数センチ角・ $\mu\text{m}$ 径の高電圧孔の加速基盤を20枚程度10cm程度に積層し、0.5-1MeVの加速を目標とする。マイクロイオンビームは、現状では大型サイクロトロンや静電加速器と電磁レンズ・コリメータ・ガラスキャピラリー等を用いて、大部分のビームを切り捨てて生成し、利用されている。本申請では、元々 $\mu\text{m}$ 径のイオンビームのみを卓上レベルで加速する。これにより、発生放射線量も激減し、放射線安全管理も合理的になる。並行して、既存のマイクロビーム源での放射線生物学応用実験も行い、装置開発後速やかに応用研究ができるようにする。

### 3. 研究の方法

Ybファイバーレーザーと多段光伝導スイッチ誘電体 Blumlein回路を用いた、放射線生物実験用の卓上スケールの誘電体イオン加速器を開発する。Ybファイバーレーザーは $4.12 \times 109\text{W}/\text{cm}^2$ 以上の出力レベルを目指す。誘電体としてはGaAsを選定し、厚さを最適化して1つの加速基盤あたり10kV高電圧を目指す。レーザーイオン源より炭素イオンを入射し、Blumlein回路によって構成された数センチ角・ $\mu\text{m}$ 径の高電圧孔の加速基盤を20枚程度10cm程度に積層して、0.5-1MeVの加速を目標とする。冷却器の中に多段加速基盤が積層され、外部から炭素イオンを入射し、加速基盤内の移動速度に合わせ、ファイバーレーザーでユニットごとにスイッチングを行い多段に加速を行う。並行して、理化学研究所での薄膜付きガラスキャピラリーDNA損傷実験と放射線医学総合研究所にてDNA損傷誘発の生化学分析を行い、最終的に新装置で実証する。

### 4. 研究成果

卓上マイクロイオン加速システム(図1参照)のメインのコンポーネントのイオン源、光伝導スイッチ、加速管、イオンビーム検出システムの開発を行い加速のための試験を行った。レーザー強度を上げるためレーザー増幅器を増強し1J近い出力が得られるようになった。これを利用してイオン源についても6価の炭素イオンでもさらに大電流が得られるようになった。また光伝導スイッチについてはGaAsでは耐久性に問題があったため、協力関係にある中国SICCASから供給されたSiCの光伝導スイッチの試験を行い、耐電圧に関しては20kV以上で安定に動作する事が確認でき、これによって高い加速電圧でイオンが加速可能となった。マイクロイオンビーム源の改良については、当初光伝導スイッチを用いた加速スキームを想定していたが、加速部には同軸構造を有するスネーク型resonant ring構造を採用することを検討し、1周構造の同軸加速構造の基礎

検討を行った。これにより、多段加速スキームをさらにコンパクトにするシステム設計ができた。装置写真を図2に示す。

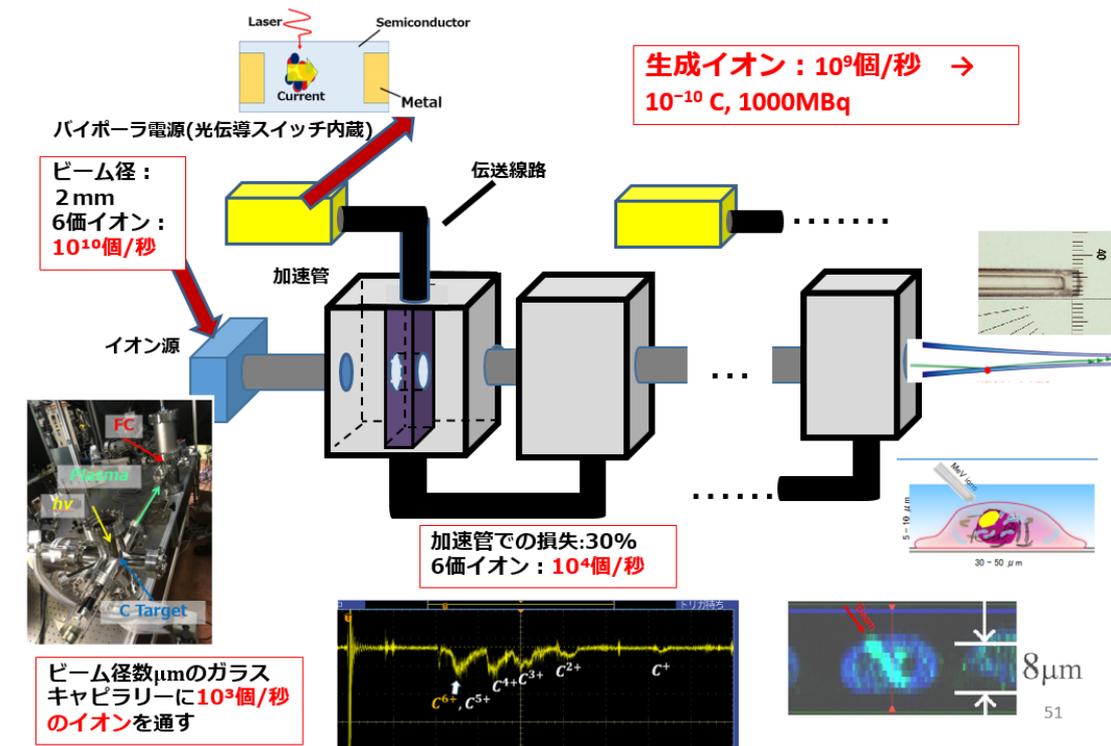


図1. 卓上レーザー駆動マイクロイオン加速システムの構成図

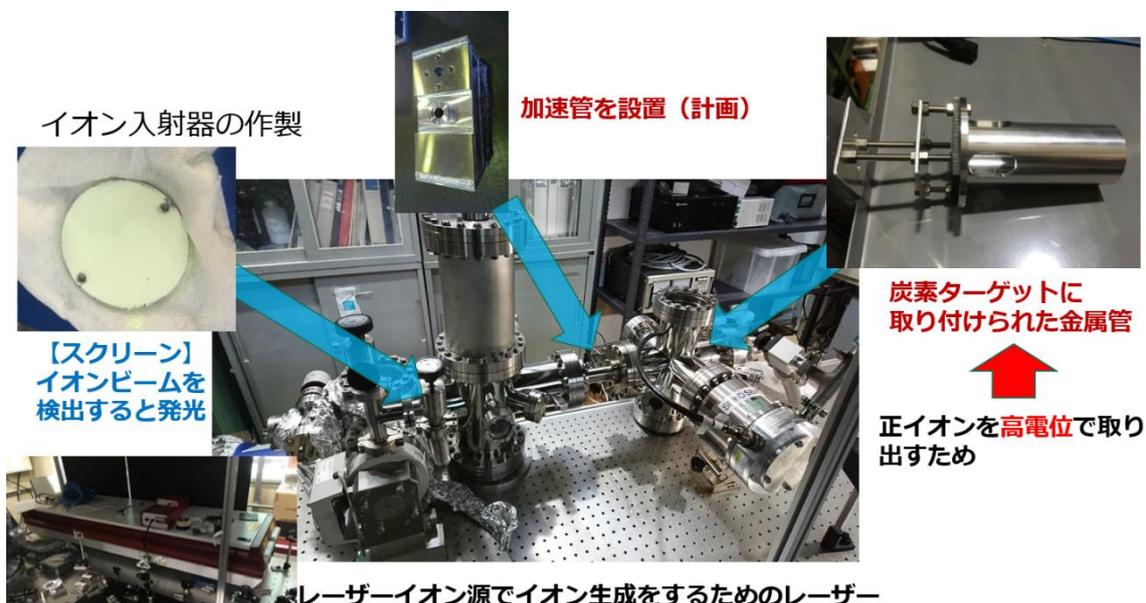


図2. 卓上レーザー駆動マイクロイオン加速システムの装置写真

理化学研究所の既存のペトロロン加速器を用いたガラスキャピラリー（出口内径：10 $\mu$ m、フタ厚：7.5 $\mu$ m.）マイクロビーム細胞照射実験を行った。本実験は東北大学加齢医学研究所安井明教授の卓上UVレーザーを用いたマイクロビーム照射による一本鎖切断の生成とXRCC1タンパク質による修復の動画像取得（図3参照）と同等の観察を卓上マイクロイオンビーム源で実現しようとするものである。 $\alpha$ 線内用療法を念頭におき、既存の理化学研究所のペトロロン加速器とガラス

キャピラリーによるHe<sup>2+</sup>イオンマイクロビーム (4.5 MeV) 照射にて、RPE細胞のDNA損傷修復可視化実験を行った。照射時の細胞の乾燥影響を防ぐために、ペリスタルティックポンプを用いて培養液をサンプルに滴下しながら照射できるようなセットアップを組み立てた。このセットアップで、ペレット加速器を用いたガラスキャピラリーマイクロビーム照射法により、自然損傷が比較的少ないRPE細胞で線状イオントラックの可視化実験を行なった。ガラスキャピラリーの射出口を細胞に押し付けるようにして照射を行い、 $\gamma$ H2AX蛍光免疫染色によりヒットポイントを可視化することに成功した(図4参照)。その様子は、He<sup>2+</sup>イオントラック線上に、複数のDNA2重鎖切断が並ぶ、世界で初めての観察結果となった(図5参照)。Ac225等を用いた $\alpha$ 線内用治療の基礎研究がこれから進展することが示唆された。この結果は放射線医療・生物学の権威ある学術誌に論文投稿する。

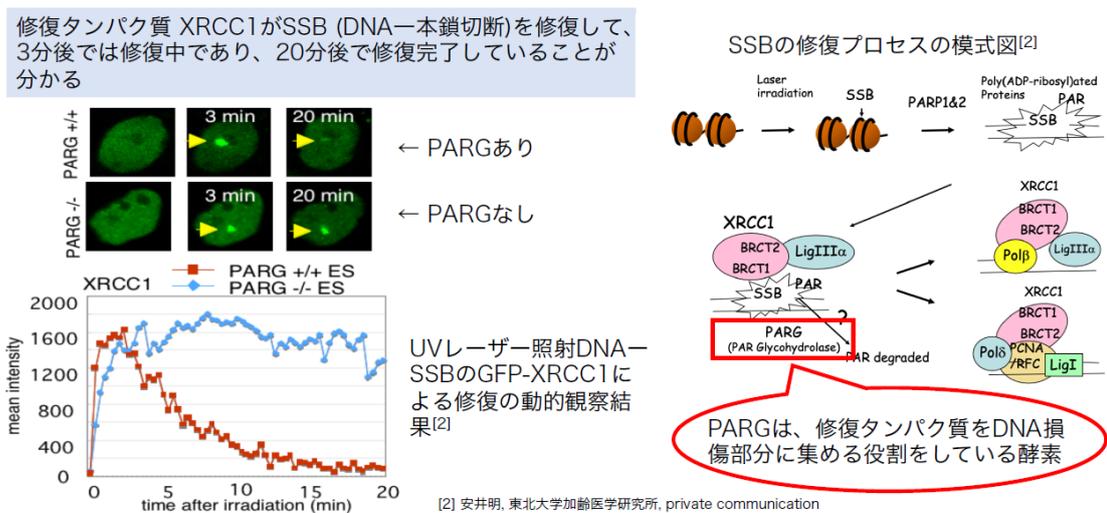


図3. 卓上マイクロUVレーザー照射によるDNA一本鎖切断生成とXRCC1修復の動画画像化

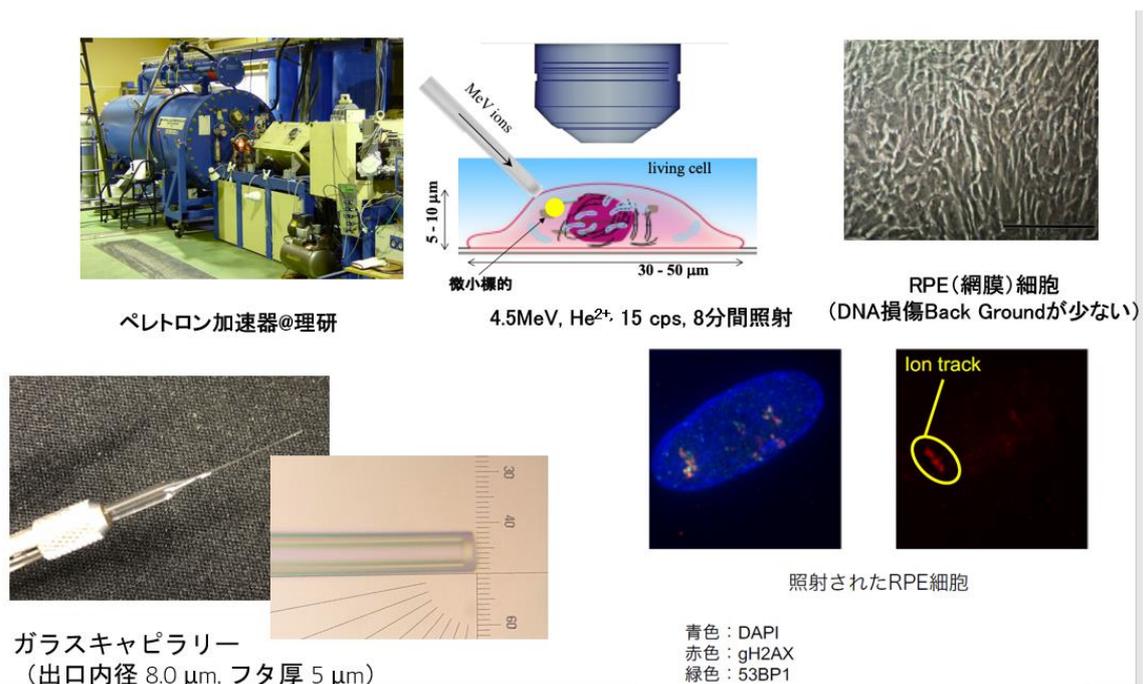
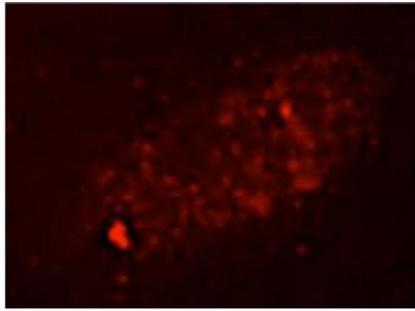


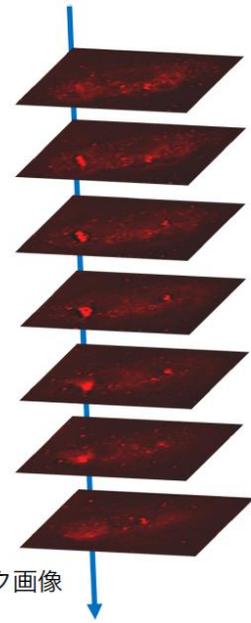
図4. 理研ペレット加速器+ガラスキャピラリーによるHe<sup>2+</sup>マイクロイオンビーム生成とRPE細胞DNA二重鎖切断クラスターの観察

✓ Z軸方向に、0.25  $\mu\text{m}$  間隔でスライスした画像

深さ方向の動画像



ペレトロン故障により、  
動画像のデータが取得できなかったため



$\gamma\text{H2AX}$  のスタック画像

図5. He<sup>2+</sup>イオンによる RPE 細胞 DNA の二本鎖切断クラスターの3次元画像化

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>神野智史、金崎真聡、松井隆太郎、岸本泰明、小田啓二、山内知也、上坂 充、桐山博光、福田祐仁  | 4. 巻<br>95                  |
| 2. 論文標題<br>マイクロメートルスケール水素クラスター発生装置の開発とmulti-MeV高純度陽子線の高繰り返し発生  | 5. 発行年<br>2019年             |
| 3. 雑誌名<br>プラズマ・核融合学会誌  | 6. 最初と最後の頁<br>483-489       |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Mitsuru Uesaka   | 4. 巻<br>-                   |
| 2. 論文標題<br>Updated Applications of Advanced Compact Accelerators   | 5. 発行年<br>2019年             |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of 2019 North American Particle Accelerator Conference (NAPAC)   | 6. 最初と最後の頁<br>-             |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Jaewoong Jang and Mitsuru Uesaka   | 4. 巻<br>3                   |
| 2. 論文標題<br>Influence of enriched 100Mo on Mo reaction yields   | 5. 発行年<br>2019年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics Communications  | 6. 最初と最後の頁<br>055015-055015 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1088/2399-6528/ab1d6b  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Tokihiko Ikeda, Mayuka Ikekame, Yuka Hikima, Mitsumasa Mori, Shunya Kawamura, Tatsuya Minowa and Wei-Guo Jin                 | 4. 巻<br>470                 |
| 2. 論文標題<br>Profile measurements of MeV ion microbeams in atmosphere extracted from single tapered glass capillaries with an end window | 5. 発行年<br>2020年             |
| 3. 雑誌名<br>Nucl. Instrum. Meth. B   | 6. 最初と最後の頁<br>42-47         |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.nimb.2020.03.004  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                   |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>Shunya Kawamura, Tokihiro Ikeda, and Wei-Guo Jin  | 4. 巻<br>89             |
| 2. 論文標題<br>Transmission Characteristic of Ultraviolet-laser Microbeam with Tapered Glass Capillary Optics | 5. 発行年<br>2020年        |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Physical Society of Japan  | 6. 最初と最後の頁<br>in press |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-              |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Michel Pohl, Kazuyuki Demachi, Ritu Bhusal Chhatkuli, Akihiro Haga and Mitsuru Uesaka                              | 4. 巻<br>38        |
| 2. 論文標題<br>Combination of optical flow and principal components analysis for tumor motion analysis during X-ray radiotherapy | 5. 発行年<br>2018年   |
| 3. 雑誌名<br>Japanese Journal of Medical Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>144 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-         |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Jinno S, Kanasaki M, Uno M, Matsui R, Uesaka M, Kishimoto Y, Fukuda Y     | 4. 巻<br>60                    |
| 2. 論文標題<br>Micron-size hydrogen cluster target for laser-driven proton acceleration | 5. 発行年<br>2018年               |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Physics and Controlled Fusion                                      | 6. 最初と最後の頁<br>044021 ~ 044021 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6587/aaafa8                                | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Zhaofu Chen, Kazuyoshi Koyama, Mitsuru Uesaka, Mitsuhiro Yoshida, and Rui Zhang   | 4. 巻<br>112         |
| 2. 論文標題<br>Resonant enhancement of accelerating gradient with silicon dual-grating structure for dielectric laser acceleration of subrelativistic electrons | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>Applied Physics Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>34102 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1063/1.5010144   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-           |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Aizawa Yasushi, Sunada Shigeaki, Hirakawa Hirokazu, Fujimori Akira, Kato Takamitsu A, Uesaka Mitsuru | 4. 巻<br>59              |
| 2. 論文標題<br>Design and evaluation of a novel flavonoid-based radioprotective agent utilizing monoglucosyl rutin | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Radiation Research  | 6. 最初と最後の頁<br>272 ~ 281 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/jrr/rrx090   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-               |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Cartwright Ian M., Su Cathy, Haskins Jeremy S., Salinas Victoria A., Sunada Shigeaki, Yu Hao, Uesaka Mitsuru, Hirakawa Hirokazu, Chen David J., Fujimori Akira, Kato Takamitsu A. | 4. 巻<br>19                |
| 2. 論文標題<br>DNA Repair Deficient Chinese Hamster Ovary Cells Exhibiting Differential Sensitivity to Charged Particle Radiation under Aerobic and Hypoxic Conditions                          | 5. 発行年<br>2018年           |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Molecular Sciences   | 6. 最初と最後の頁<br>2228 ~ 2228 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/ijms19082228  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                 |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Zhaofu Chen, Kazuyoshi Koyama, Mitsuhiro Yoshida and Mitsuru Uesaka  | 4. 巻<br>45            |
| 2. 論文標題<br>Optimized Silicon Asymmetric Dual-Pillar Grating for Dielectric Laser Acceleration of Subrelativistic Electrons with Enhanced Accelerating Gradient | 5. 発行年<br>2017年       |
| 3. 雑誌名<br>レーザー研究   | 6. 最初と最後の頁<br>104-107 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-             |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>YU Hao, 山下真一, 上坂充                                   | 4. 巻<br>105         |
| 2. 論文標題<br>抗酸化剤 MG-Rutin の放射線防護効果：パルスラジオリシス法によるラジカル捕捉と化学回復の観測 | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>放射線化学   | 6. 最初と最後の頁<br>57-60 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                                | 査読の有無<br>無          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                        | 国際共著<br>-           |

〔学会発表〕 計69件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 14件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yuji Fukuda, Masato Kanasaki, Satoshi Jinno, Keita Sakamoto, Takafumi ASai, Kazuki Shimizu, Alexander S. Pirozhkov, Akito Sagisaka, Koichi Ogura, Yasuhiro Miyasaka, Kotaro Kondo, Ryutaro Matsui, Kunihiro Morishima, Satoshi Kodaira, Keiji Oda, Tomoya Yamauchi, Mitsuru Uesaka et al. |
| 2. 発表標題<br>Generation of Quasimonoeenergetic Proton Bunch via Interaction of Micron-Scale Hydrogen Cluster Targets with PW-Class Laser Pulses", 11th International Conference on Inertial Fusion Science and Applications  |
| 3. 学会等名<br>IFSA2019 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Mitsuru Uesaka  |
| 2. 発表標題<br>Updated Applications of Advanced Compact Accelerators                 |
| 3. 学会等名<br>2019 North American Particle Accelerator Conference(NAPAC2019) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>酒井雅哉、池田時浩、柴田淳史、泉 雅子、竹本健人、上坂 充   |
| 2. 発表標題<br>線治療のためのHeイオンマイクロビームDNA照射分析の基礎研究 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2020年春の年会                |
| 4. 発表年<br>2020年                            |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>竹本健人、柴田敦史、秋光信佳、酒井雅哉、上坂 充 |
| 2. 発表標題<br>細胞への放射線照射による遺伝子発現変動解析    |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2020年春の年会         |
| 4. 発表年<br>2020年                     |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>澤田 優                   |
| 2. 発表標題<br>熱による放射線増感作用における遺伝子発現変化 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2020年春の年会       |
| 4. 発表年<br>2020年                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>尾関政文、山本昌志、三好邦博、愛知昭人、上坂 充                |
| 2. 発表標題<br>電子ライナックによるAc-225国内製造の検討 (1)電子ライナックの基礎設計 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2020年春の年会                        |
| 4. 発表年<br>2020年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>202知昭人、尾関政文、三好邦博、上坂 充   |
| 2. 発表標題<br>電子ライナックによるAc-225国内製造の検討 (2)PHITSによる電子ライナック 線源のRa-226照射条件の基礎検討 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2020年春の年会  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Pohl Michel1, Mitsuru Uesaka, Kazuyuki Demachi, Chhatkuli Ritu Bhusal, Akihiro Haga |
| 2. 発表標題<br>3D CT image prediction with optical flow for X ray lung radiotherapy                |
| 3. 学会等名<br>第118回日本医学物理学会学術大会   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>酒井雅哉、池田時浩、柴田淳史、竹本健人、上坂 充        |
| 2. 発表標題<br>線治療のためのHeイオンマイクロビームDNA照射分析の基礎研究 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2019年の秋の大会               |
| 4. 発表年<br>2019年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>尾関政文、上坂 充、ジャン ジェウン、山本 昌志                     |
| 2. 発表標題<br>実用99Mo/99mTc製造用35MeV/35kW小型Sバンド電子ライナック 線源の設計 |
| 3. 学会等名<br>第16回日本加速器学会年会                                |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>酒井雅哉、池田時浩、柴田淳史、竹本 健人、上坂 充   |
| 2. 発表標題<br>線治療のためのHeイオンビームDNA照射分析の基礎研究 |
| 3. 学会等名<br>第16回日本加速器学会年会               |
| 4. 発表年<br>2019年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>橋本英子、山下真一、上田 徹、安見厚志、土橋克広、三津谷有貴、草野謙一、田辺英二、上坂 充 |
| 2. 発表標題<br>東大ライナック・レーザー施設報告 2019                         |
| 3. 学会等名<br>第16回日本加速器学会年会                                 |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>上坂 充                         |
| 2. 発表標題<br>小型電子加速器応用                    |
| 3. 学会等名<br>第1回応用超伝導加速器コンソーシアムセミナー（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2019年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Mitsuru Uesaka   |
| 2. 発表標題<br>Advanced Compact Linacs for Radiation Medicine and On-site Nondestructive Inspection |
| 3. 学会等名<br>Accelerator on a Chip 2019（招待講演）（国際学会）   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Mitsuru Uesaka   |
| 2. 発表標題<br>S-band linac for 99Mo/99mTc/225Ac production / X-band linacs Xray&neutron sources for bridge inspection and nuclear fuel debris analysis / Laser dielectric accelerators for radiation biology |
| 3. 学会等名<br>Seminar at SLAC National Accelerator Laboratory（招待講演）（国際学会）  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tokihiko IKEDA  |
| 2. 発表標題<br>Profile measurement of MeV ion microbeam in atmosphere extracted from single tapered glass capillary with an end window |
| 3. 学会等名<br>13th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART13)（国際学会）                            |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>池田 時浩, 浜垣 学, 佐藤 広海,                  |
| 2. 発表標題<br>理化学研究所におけるタンデム加速器の現状 (2018 - 2019年度) |
| 3. 学会等名<br>第32回「タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」            |
| 4. 発表年<br>2019年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>池田時浩   |
| 2. 発表標題<br>フタ付ガラスキャピラリーによるMeVイオンマイクロビーム照射で生じた細胞核内イオントラックの解析 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2019年秋季大会                                  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>池田時浩, 佐藤広海                    |
| 2. 発表標題<br>タンデム加速器によるキャピラリーマイクロビームの生成と応用 |
| 3. 学会等名<br>第80回応用物理学会秋季学術講演会             |
| 4. 発表年<br>2019年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>池田時浩, 引間宥花, 森光正, 河村俊哉, 金衛国                       |
| 2. 発表標題<br>フタ付ガラスキャピラリーで生成されたMeVイオンマイクロビームのCR-39によるスポット構造評価 |
| 3. 学会等名<br>日本放射線化学会   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>池田時浩, 酒井雅哉, 竹本健人, 柴田淳史, 泉雅子, 上坂充            |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリーで生成されたイオンマイクロビームによるRPE細胞のDNA損傷誘発実験 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第75回年次大会, 2020年                       |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>引間宥花, 池田時浩, 浜垣学, 金衛国                       |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリー-光学系によるイオンマイクロビームの照射距離とスポットサイズの相関 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第75回年次大会                             |
| 4. 発表年<br>2020年                                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Shunya Kawamura, Tokihiro Ikeda, Mitsumasa Mori and Wei-Guo Jin   |
| 2. 発表標題<br>Development of UV-laser microbeam cell irradiation system by glass capillary optics : Estimation of density enhancement |
| 3. 学会等名<br>16th International Congress of Radiation Research (ICRR2019) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tokihiro Ikeda, Mayuka Ikekame, Yuka Hikima, Mitsumasa Mori, Shunya Kawamura, Tatsuya Minowa and Wei-Guo Jin                |
| 2. 発表標題<br>Measurement of proton microbeam profiles in atmosphere produced by single tapered glass capillary optics with an end window |
| 3. 学会等名<br>30th International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC2019) (国際学会)                             |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Mitsumasa Mori, Shunya Kawamura, Tokihiro Ikeda, Tatsuya Minowa and Wei-Guo Jin  |
| 2. 発表標題<br>Profile Measurement of Laser Microbeam Produced by Glass Capillaries:Tilting Dependence  |
| 3. 学会等名<br>24th OptoElectronics and Communications Conference /International Conference on Photonics in Switching and Computing 2019 (OECC/PSC 2019) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuka Hikima, Tokihiro Ikeda, Mayuka Ikekame, Mitsumasa Mori, Shunya Kawamura and Wei-Guo Jin                     |
| 2. 発表標題<br>Fine structure evaluation by pattern recognition for ion microbeam extracted from tapered glass capillary optics |
| 3. 学会等名<br>23rd International Workshop on Inelastic Ion-Surface Collisions (IISC-23) (国際学会)                                 |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Alexa Barrios, Oiendriila Debnath, Koichi ITO, Kazuyuki Saito , Mitsuru Uesaka                         |
| 2. 発表標題<br>Blood Flow Effect in Combination of Hyperthermia with Radiation Therapy for Treatment in Breast Tumors |
| 3. 学会等名<br>2019 URSI Asia Pacific Radio Science Conference (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋 徹、上坂 充、小山和義、吉田光宏、陳 昭福            |
| 2. 発表標題<br>レーザー誘電体電子加速システムの基本設計のためのシミュレーションの研究 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2019年春の年会                    |
| 4. 発表年<br>2019年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>竹本健人、酒井雅哉、上坂 充、秋光信佳、安井 明、千葉奈津子、柴田淳史、池田時浩 |
| 2. 発表標題<br>マイクロビームを用いた局所的照射によるDNA損傷の3次元位置情報解析       |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2019年春の年会                         |
| 4. 発表年<br>2019年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>酒井雅哉、池田時浩、安井 明、千葉奈津子、竹本健人、上坂 充  |
| 2. 発表標題<br>線治療のためのHeイオンマイクロビームDNA照射分析の基礎研究 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2019年春の年会                |
| 4. 発表年<br>2019年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Pohl Michel, Uesaka Mitsuru, Demachi Kazuyuki, Chhatkuli Ritu Bhusal, Haga Akihiro                                    |
| 2. 発表標題<br>Two-dimensional CT Image Prediction from tracking with optical flow and linear regression for X ray lung radiotherapy |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2019年春の年会  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Jaewoong Jang, Mitsuru Uesaka   |
| 2. 発表標題<br>99Mo yields of Mo metal and MoO <sub>3</sub> with respect to Ta, W, Pt, and Au converters |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2019年春の年会  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>J. Jang and M. Uesaka   |
| 2. 発表標題<br>Decentralized production method of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ using high energy bremsstrahlung |
| 3. 学会等名<br>17th Radiation Process Symposium  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>于 嵩、山下真一、横谷明德、藤井健太郎、上坂 充                |
| 2. 発表標題<br>放射線によるDNA変異誘発における微量添加剤の影響：透析によるDNAの高純度化 |
| 3. 学会等名<br>第61回放射線化学討論会                            |
| 4. 発表年<br>2018年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Pohl Michel, 上坂 充, 出町和之, Chhatkuli Ritu, 芳賀昭弘   |
| 2. 発表標題<br>Optical flow and principal components analysis combination for 3D visualization during radiotherapy |
| 3. 学会等名<br>第116回日本医学物理学学会学術大会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>井上佳徳、山本昌志、上坂 充、ジャンジェウン                                      |
| 2. 発表標題<br>$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製造用Sバンド電子ライナックの基礎設計 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2018年秋の大会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Jaewoong Jang, Katsuyoshi Tatenoma, Mitsuru Uesaka                   |
| 2. 発表標題<br>Basic design of W-Mo targetry and its 99Mo/99mTc production capacity |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2018年秋の大会   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Alexa Barrios, Oiendrila B. Debnath, Koichi Ito, Kazuyuki Saito, Natsuko Chiba, Mitsuru Uesaka             |
| 2. 発表標題<br>Effect of Blood Flow for Combination of Hyperthermia with Radiation Therapy for Treatment in Breast Tumors |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2018年秋の大会   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Michel Pohl, Mitsuru Uesaka, Kazuyuki Demachi, Ritu Bhusal Chhatkuli, Akihiro Haga   |
| 2. 発表標題<br>3D image reconstruction for real-time monitoring and tumor tracking in radiotherapy through optical flow and principal components analysis |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2018年秋の大会   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Alexa BARRIOS, Oiendrila DEBNATH, Koichi ITO, Kazuyuki SAITO, Natsuko CHIBA, Mitsuru UESAKA               |
| 2. 発表標題<br>Effect of Blood Flow in Combination of Hyperthermia with Radiation Therapy for Treatment in Breast Tumors |
| 3. 学会等名<br>日本ハイパーサーミア学会第35回大会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>井上佳徳、山本昌志、ジャンジェウン、上坂 充          |
| 2. 発表標題<br>Mo-99/Tc-99m製造用Sバンド電子リニアックの設計検討 |
| 3. 学会等名<br>第15回日本加速器学会                     |
| 4. 発表年<br>2018年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Jaewoong Jang, Mitsuru Uesaka   |
| 2. 発表標題<br>Design of a W-Mo target assembly for production of 99Mo/99mTc using an electron linac |
| 3. 学会等名<br>第15回日本加速器学会   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>陳 昭福、小山和義、上坂 充、吉田光宏                     |
| 2. 発表標題<br>非相対論的エネルギー領域における電子の共振器型レーザー駆動誘電体加速の数値解析 |
| 3. 学会等名<br>第15回日本加速器学会                             |
| 4. 発表年<br>2018年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小山和義、Chen Zhaofu、上坂 充、吉田 光宏            |
| 2. 発表標題<br>放射線生物学研究応用に向けた光共振器構造を持つオンチップレーザー加速器の研究 |
| 3. 学会等名<br>第15回日本加速器学会                            |
| 4. 発表年<br>2018年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Tokihiko Ikeda   |
| 2. 発表標題<br>Transmission of keV and MeV ions through glass capillary for microbeam engineering   |
| 3. 学会等名<br>1st Mini-Workshop for Physics of Ions: Frontiers and Applications/Symposium on Physics and Applications of Ion Beams (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>池田 時浩, 浜垣 学, 佐藤 広海                   |
| 2. 発表標題<br>理化学研究所におけるタンデム加速器の現状 (2017 - 2018年度) |
| 3. 学会等名<br>第31回「タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」            |
| 4. 発表年<br>2018年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>池田 時浩, 廣瀬寛士, 佐藤謙太, 浜垣学, 河村俊哉, 松原充芳, 池亀真由佳, 引間宥花, 森光正, 箕輪達哉, 佐藤広海, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>キャピラリー光学系によるレーザーおよびイオンマイクロビームの同時生成                                    |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2018年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐藤謙太, 池田時浩, 廣瀬寛士, 幸島美輝子, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>キャピラリー光学系による可視光レーザーマイクロスポットの構造評価         |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2018年秋季大会                          |
| 4. 発表年<br>2018年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河村俊哉, 池田時浩, 松原充芳, 池亀真由佳, 引間宥花, 森光正, 箕輪達哉, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>キャピラリー光学系による紫外線レーザーマイクロスポットライトの開発             |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2018年秋季大会                               |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>池田時浩, 引間宥花, 森光正, 池亀真由佳, 河村俊哉, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリーによるイオンマイクロビーム照射で生じた細胞核内イオントラックの解析    |
| 3. 学会等名<br>第61回放射線化学討論会                                  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>池亀真由佳, 池田時浩, 森光正, 引間宥花, 河村俊哉, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリーによるマルチ量子マイクロビーム照射に向けたイオンビームプロファイル測定  |
| 3. 学会等名<br>第61回放射線化学討論会                                  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>森光正, 池田時浩, 池亀真由佳, 引間宥花, 河村俊哉, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国   |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリー光学系によるマイクロレーザービームプロファイルの測定: 微小ティルト角依存性 |
| 3. 学会等名<br>第61回放射線化学討論会                                    |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>引間宥花, 池田時浩, 森光正, 池亀真由佳, 河村俊哉, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国         |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリー光学系による紫外線マイクロビームの形状測定: フォトクロミックシートを使ったスポット転写 |
| 3. 学会等名<br>第61回放射線化学討論会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河村俊哉, 池田時浩, 池亀真由佳, 森光正, 引間宥花, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>紫外線マイクロビーム細胞照射システムの開発: 微小距離でのプロファイル測定とエネルギー評価 |
| 3. 学会等名<br>第61回放射線化学討論会                                  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>池田時浩, 池亀真由佳, 森光正, 引間宥花, 河村俊哉, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリーで生成されたMeVイオンマイクロビーム形状の微小ティルト角依存性     |
| 3. 学会等名<br>原子衝突学会第43回年会                                  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河村俊哉, 池田時浩, 佐藤謙太, 松原充芳, 池亀真由佳, 引間宥花, 森光正, 箕輪達哉, 金衛国 |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリー光学系によるイオン・レーザーマイクロビーム生成とその応用               |
| 3. 学会等名<br>第39回 原子衝突若手の会                                       |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>池田時浩, 池亀真由佳, 引間宥花, 森光正, 河村俊哉, 松原充芳, 箕輪達哉, 金衛国  |
| 2. 発表標題<br>フタ付ガラスキャピラリー光学系で生成された大気中MeVイオンマイクロビームのプロファイル測定 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会 第74回年次大会                                |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>陳 昭福、小山 和義、上坂 充、吉田 光宏           |
| 2. 発表標題<br>非相対論的エネルギー領域で電子の共振器型レーザー駆動誘電体加速 |
| 3. 学会等名<br>第14回日本加速器学会年会                   |
| 4. 発表年<br>2017年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Zhaofu Chen, Kazuyoshi Koyama, Mitsuru Uesaka, Mitsuhiro Yoshida         |
| 2. 発表標題<br>Grating-Based Dielectric Laser Acceleration of Subrelativistic Electrons |
| 3. 学会等名<br>International Conference on High Energy Density Science 2017 (国際学会)      |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>池田直樹、佐藤大輔、吉田光宏、上坂充                                   |
| 2. 発表標題<br>Research and Development of Tabletop Ion Accelerator |
| 3. 学会等名<br>3rd EAAC Workshop (国際学会)                             |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Alexa Barrios, Oiendrila B Debnath, Malvina Supper, Koichi Ito, Kazuyuki Saito, Mitsuru Uesaka            |
| 2. 発表標題<br>Effect of Blood Flow for Combination of Hyperthermia with Radiation Therapy for Treatment in Breast Tumor |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2018年春の年会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>上坂 充、池田 直樹、佐藤 大輔、吉田 光宏            |
| 2. 発表標題<br>DNA損傷修復動画像化のための卓上マイクロイオンビーム源の基礎研究 |
| 3. 学会等名<br>日本原子力学会2018年春の年会                  |
| 4. 発表年<br>2018年                              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>山下真一   |
| 2. 発表標題<br>Pulse radiolysis study for radiation-induced sequential and early events: As a basis for nuclear engineering and radiation therapy |
| 3. 学会等名<br>the Workshop on Coherent Light Source and Sciences 2017 (CLSS-2017) (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>山下真一, YU Hao  |
| 2. 発表標題<br>パルスラジオリシス法による抗酸化剤ルチンの放射線防護メカニズムの研究                                  |
| 3. 学会等名<br>第11回 Quantum Medicine 研究会 / 茨城大学重点研究「がん放射線治療のための基礎生命科学研究」講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>YU Hao, 山下真一, 上坂充, 藤森亮 |
| 2. 発表標題<br>間接作用に対する抗酸化剤の防護メカニズム   |
| 3. 学会等名<br>第54回 アイソトープ放射線研究発表会    |
| 4. 発表年<br>2017年                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>YU Hao, 山下真一, 横谷明德, 藤井健太郎, 上坂充                   |
| 2. 発表標題<br>抗酸化剤MG-Rutinの放射線防護効果：パルスラジオリシス法によるラジカル捕捉と化学回復の観測 |
| 3. 学会等名<br>第60回放射線化学討論会                                     |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>池田時浩  |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリーを使ったイオンマイクロビーム小型生成装置による細胞内小器官ピンポイント損傷法 |
| 3. 学会等名<br>ビーム物理研究会 / 分子研研究会「量子ビームの物質生命科学への応用の新展開」         |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤謙太                                      |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリーによる細胞照射のためのフレネル型ピンポイントレーザー照準法の開発 |
| 3. 学会等名<br>ビーム物理研究会 / 分子研研究会「量子ビームの物質生命科学への応用の新展開」   |
| 4. 発表年<br>2017年                                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>廣瀬寛士   |
| 2. 発表標題<br>ガラスキャピラリー光学系によるレーザーマイクロビームピンポイント照射法開発：ビームパワー密度分布測定 |
| 3. 学会等名<br>ビーム物理研究会 / 分子研研究会「量子ビームの物質生命科学への応用の新展開」            |
| 4. 発表年<br>2017年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                           | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)  | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 池田 時浩<br><br>(IKEDA Tokihiro)<br><br>(80301745)     | 国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・専任研究員<br><br><br>(82401)                          |    |
| 研究分担者 | 吉田 光宏<br><br>(YOSHIDA Mitsuhiro)<br><br>(60391710)  | 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・准教授<br><br><br>(82118)                         |    |
| 研究分担者 | 山下 真一<br><br>(YAMASHITA Shinichi)<br><br>(20511489) | 東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授<br><br><br>(12601)                                     |    |
| 研究分担者 | 坂本 文人<br><br>(SAKAMOTO Fumito)<br><br>(60504818)    | 秋田工業高等専門学校・その他部局等・講師<br><br><br>(51401)  |    |
| 研究分担者 | 岡 壽崇<br><br>(OKA Toshitaka)<br><br>(70339745)       | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター・任期付研究員<br><br><br>(82110) |    |