

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04391

研究課題名(和文)リン酸基結合分子の変化によるリン吸収端構造変化とそのクロマチン可視化応用

研究課題名(英文) Spectral Changes of Phosphorus Absorption Edge by Changing Phosphate Molecules and its Application to Chromatin Visualization

研究代表者

江島 丈雄 (EJIMA, TAKEO)

東北大学・国際放射光イノベーション・スマート研究センター・准教授

研究者番号：80261478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、軟X線顕微鏡を用いてDNAの位置と構造変化がP-L2,3吸収端構造に反映されることを実験的に見出し、更にDNA中のリン酸基を可視化し、その形状変化をリン酸基に結合する分子の変化として理解することを試みた。具体的には、アポトーシス単離核の各段階において赤外とP-L吸収端の吸収測定を行い、それらのスペクトル形状変化からDNA中のリン酸基の変化を明らかにした。その結果、アポトーシスの進行につれて、赤外吸収からは主であったB-DNA構造が減少しA-DNAまたはZ-DNAに変化した。P-L吸収端スペクトル形状からはDNAが分解されP04クラスターに変化したことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生物学や医学の基礎となる細胞核中の変化の観測は、光学顕微鏡に蛍光染色技術を組み合わせた超解像顕微鏡による形状変化を追う手法が主である一方、退色や染色剤による構造変化が問題となる場合があり、蛍光染色法以外の超解像技術が求められている。

本研究で対象としたリン酸基は安定な結合単位の一つで、その電子状態は配位する分子に応じて変化する。本研究ではアポトーシス中の細胞核DNAの変化を赤外吸収と軟X線吸収の二つの波長域を用いて測定し、DNA中のリン酸基の振動状態および電子状態の変化と対応する細胞核の形状変化を明らかにした。その結果、これらの手法が超解像法として有用な手法である可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we experimentally found that changes in the position and the structure of DNA are reflected in the infrared and P-L2,3 absorption edge structure using soft X-ray microscopy, and attempted to visualize the phosphate groups in DNA and understand the spectral shape changes as changes in the molecules binding to the phosphate groups. Specifically, we measured the absorption of the infrared and P-L absorption edges at each stage of apoptotic nucleus isolation, and clarified the changes in the phosphate groups in DNA from the changes in their spectral shapes. The IR spectra showed that the B-DNA structure decreased and changed to A-DNA or Z-DNA as apoptosis progressed, while the P-L spectra suggested that the DNA was degraded and changed to P04 clusters.

研究分野：軟X線光学

キーワード：軟X線 誘導放出抑制 シンチレーター STED 超解像

1. 研究開始当初の背景

細胞は複製と消滅の際に DNA の集合と離散を行っている。細胞分裂に際して DNA は自己集合により染色体を形成し、アポトーシスでは DNA は分断される。その集合・離散機構は不明な点が多い。例えば、研究分担者の刀祢は、アポトーシスの進行が通常細胞核(段階0)から、環状凝縮(段階1)、ネックレス様凝縮(段階2)、細胞核崩壊/分解(段階3)の4つの形状を経て分解し(図2)(S. Tone et al., *Exp. Cell Res.* **313**, (2007) 3635-3644.)、段階1から段階2への移行は DNA 中のリン酸基を介したホスホジエステル結合の切断に起因することを明らかにしたが、その他の形状変化機構は不明である。

2. 研究の目的

本研究では、リン酸基を含む各種有機化合物のリン吸収端の吸収測定を行い、リン吸収端構造の変化とリン酸基への結合分子との関係を明らかにする。の結果に基づき波長を変えて各段階のアポトーシス単離核の部分状態密度変化を軟 X 線顕微鏡により可視化する。得られた像とスペクトルからアポトーシス単離核の各段階とリン酸基結合分子の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

リン酸基は正四面体構造を持ち sp^3 混成軌道を形成する。この sp^3 混成軌道は、配位子場により a_1 軌道と t_2 軌道を形成し占有状態と非占有状態に分裂する。占有状態は安定な結合を形成する一方、図3を基に非占有状態を考えると、構造 A~D は分裂した a_1+t_2 軌道に、更に構造 E~F は $P3d+O2s2p$ 軌道に由来すると考えられる。J. Kruse らの実験結果に基づくと、 a_1+t_2 軌道は主としてリン酸基を反映し、 $P3d+O2s2p$ 軌道はリン酸基に配位する分子変化に敏感である (J. Kruse et al., *J. Sync. Rad.* **16** (2009) 247.)。

従って、吸収端構造変化とリン酸基の数との対応関係は、配位する分子による構造変化に敏感であろうと考えた。DNA 中の分子結合状態が P 吸収端構造にどのように反映されているかを明らかにする。これをアポトーシス細胞に適用し、可視像と軟 X 線像の相関からリン酸基の変化を得る。主として UVSOR BL4U の STXM を用いて P-L_{2,3} 吸収実験を行い DNA の変化と吸収構造変化の対応、並行して赤外吸収による振動構造の変化との対応を調べることとした。

4. 研究成果

アポトーシス中の細胞核が段階0から段階1へと変化する際の DNA の変化を調べるために赤外吸収実験を行い、特に DNA のらせん構造に敏感な PO_4^{2-} の振動構造に注目し $1150cm^{-1}$ から $1250cm^{-1}$ 付近のスペクトルを取得し、ピーク分離による解析を行った。図1は横軸にアポトーシス過程の各段階を、縦軸に規格化した振動子強度をプロットし、アポトーシス過程においてらせん構造の異なる DNA の増減を調べた。その結果、段階0では B-DNA が主であつたらせん構造が段階が進むにつれて減少し、A-DNA または Z-DNA に変化した。この結果は、通常細胞核中で DNA のらせん構造は B-DNA であること、ステージ1からステージ2で DNA が切断される状況において強度がすべて減少していること、ステージ3では DNA に由来する信号強度が消失する事などから、既知の結果と矛盾がない。

次に赤外吸収の実験結果から DNA の構造変化がリン酸基に反映されるはずと考えて、細胞核の P-L_{2,3} 吸収端構造を測定することで各段階における DNA の変化の様子を捉えることを試みた。試料は各段階の単離核を包埋し、ウルトラマイクロームで約 100nm 厚の切片試料にした。得られた切片試料を光学顕微鏡で撮像し、各ステージの代表的な形状を示す細胞核を選んだ。測定は測定時間の制限により、ステージ0とステージ2の単離核を選択し、それぞれの C-K 吸収端、P-L 吸収端の STXM 測定を行った。

得られた STXM 像を PCA 解析し、ノイズ成分を除去した後で再構成を行い、クラスター分析を行った。図2に P-L 吸収端におけるステージ2単離核の STXM 像と得られた吸収スペクトルを示す。スペクトル形状は、まずスピン軌道相互作用により分裂した P-L₂ と L₃ の二つのピーク構造をしめし、それぞれの形状は PO_4 のスペクトルによく似ている。画像と合わせて、アポトーシスが進むにつれ

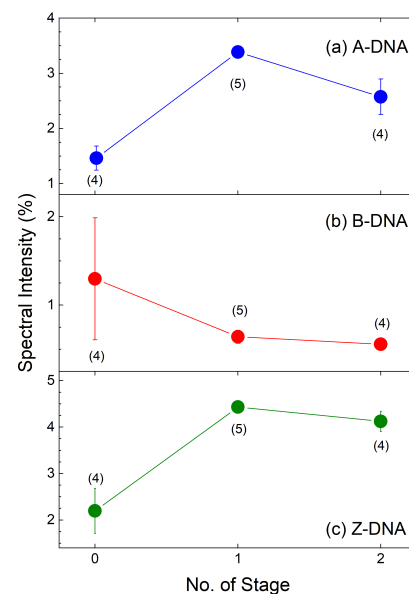


図1: A-DNA、(a)、B-DNA、(b)、Z-DNA、(c)のスペクトル強度変化。縦棒は標準誤差、括弧内の数字は評価したサンプル数を示す。

て DNA が分解され、 PO_4 クラスターに変化したものと考えられる。

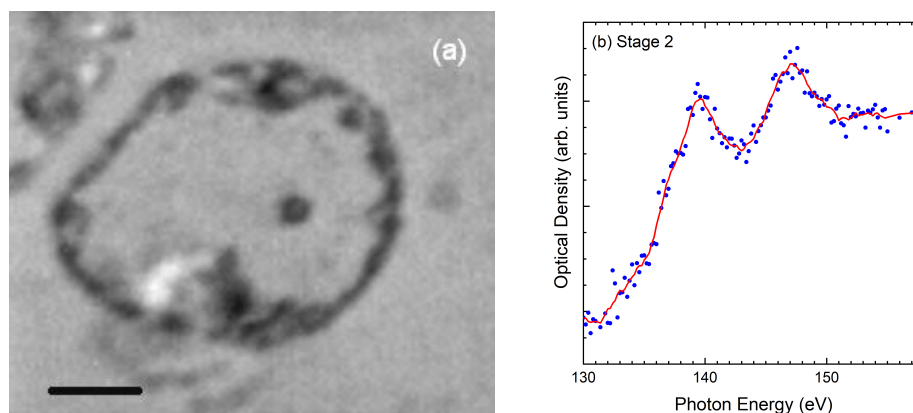


図2. ステージ2のアポトーシス核のP-L吸収端におけるX線吸収像(a)、X線吸収スペクトル(b)。バーの長さは $2\mu\text{m}$ 。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7件)

1. H. Kawasaki, A. Sunahara, Y. Shimada, **T. Ejima**, W. Jiang, G. O'Sullivan, M. Nishikino, S. Namba, and T. Higashiguchi, "Electron temperature and soft x-ray intensity scaling in laser heavy element plasma interaction" *AIP Adv.* **10**, 65306 (2020). <https://doi.org/10.1063/5.0009946>
2. **T. Ejima**, T. Wakayama, N. Shinozaki, M. Shoji, G. Hatayama, T. Higashiguchi, "Demonstration of stimulated emission depletion phenomenon in luminescence of solid-state scintillator excited by soft X-rays", *Sci. Rep.* **10**, 5391 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62100-0>
3. **T. Ejima**, S. Kurosawa, A. Yamaji, T. Hatano, T. Wakayama, T. Higashiguchi, M. Kitaura, "Luminescence properties of scintillators in soft X-ray region", *J. Luminescence*, **219** (2020) 116850. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2019.116850>
4. R. Lokasani, H. Kawasaki, Y. Shimada, M. Shoji, K. Anraku, **T. Ejima**, T. Hatano, W. Jiang, S. Namba, J. Nikl, M. Zeman, G. Cysullivan, T. Higashiguchi, J. Limpouch, "Soft X-ray spectral analysis of laser produced molybdenum plasmas using the fundamental and second harmonics of a Nd:YAG laser", *OPTICS EXPRESS* **27**(23) (2019) 33351-33358. <https://doi.org/10.1364/OE.27.033351>.
5. T. Wakayama, N. Shinozaki, M. Shoji, T. Ishiyama, K. Sakaue, T. Miura, **T. Ejima**, T. Higashiguchi, "Supercontinuum vector beam generation by independent manipulations of angular polarization and geometric phase", *Appl. Phys. Lett.* **114**, (2019) 231101, doi://10.1063/1.5093189.
6. C. John, M. Kishimoto, T. Johzaki, T. Higashiguchi, N. Kakunaka, Y. Matsumoto, N. Hasegawa, M. Nishikino, **T. Ejima**, A. Sunahara, T. Endo, and S. Namba, "Enhancement of water-window soft x-ray emission from laser-produced Au plasma under low-pressure nitrogen atmosphere," *Opt. Lett.* **44**, 1439-1442 (2019), doi://10.1364/OL.44.001439, IF=3.589.
7. K. Shinohara, S. Toné, **T. Ejima**, T. Ohigashi, A. Ito, "Quantitative Distribution of DNA, RNA, Histone and Proteins Other than Histone in Mammalian Cells, Nuclei and a Chromosome at High Resolution Observed by Scanning Transmission Soft X-Ray Microscopy (STXM)", *Cells* **8**(2), (2019), pp.164-1 - 164-20, doi://10.3390/cells8020164, IF=5.656.

[学会発表](計 8件)

1. **江島丈雄**, 若山俊隆, 篠崎夏美, 庄司美咲, 羽多野忠, 東口武史「軟 X 線励起蛍光における STED 現象」、第 34 回日本放射光学会年会(Online 開催)、2021 年 1 月 9 日 2D001

2. 羽多野忠、江島丈雄「keV 領域多層膜回折格子のための多層膜開発」第 34 回日本放射光学会年会(Online 開催)、2021 年 1 月 9 日 9P001
3. 東口 武史, 川崎 太夢, 庄司 美咲, 影山 稜, 若山 俊隆, 羽多野 忠, 江島 丈雄, 「レーザー生成プラズマ光源による水の窓軟 X 線顕微鏡と STED 現象による高解像度化への試み」レーザー学会研究会報告 = Reports the on topical meeting of the Laser Society of Japan 20(6) 7 - 12 2020 年 9 月 14 日 (フォトニクス・ワークショップ in 九州 : 呼子)
4. 江島 丈雄, 若山 俊隆, 石山 貴之, 安楽 響哉, 金田 凌祐, ロイ ショミット, 津田 準一, 坂上和之, 東口 武史「軟 X 線励起蛍光における SX-STED イメージング」第 67 回応用物理学会春季学術講演会 2020 年 3 月 14 日(上智大学四谷キャンパス)14a-B508-4
5. 川崎 太夢, 島田 悠太, 難波 慎一, 佐々木 明, 錦野 将元, 羽多野 忠, 江島 丈雄, 東口 武史「ビスマスプラズマ水の窓軟 X 線源の開発」電気学会研究会資料. IEE Japan 2019(57) 1-6 2019 年 5 月 17 日
6. 川崎 太夢, 島田 悠太, 難波 慎一, 佐々木 明, 錦野 将元, 羽多野 忠, 江島 丈雄, 東口 武史「ビスマスプラズマ水の窓軟 X 線源の開発」電気学会研究会. IEE Japan 2019(57) 1-6 2019 年 5 月 17 日

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名 : 大山 隆

ローマ字氏名 : Ohyama Takashi

所属研究機関名 : 早稲田大学

部局名 : 教育・総合科学学術院

職名 : 教授

研究者番号 (8 桁) : 60268513

研究分担者氏名 : 刀裨 重信

ローマ字氏名 : Tone Shigenobu

所属研究機関名 : 東京電機大学

部局名 : 理工学研究科

職名 : 特別専任教授

研究者番号 (8 桁) : 70211399

研究分担者氏名 : 東口 武史

ローマ字氏名 : Higashiguchi Takeshi

所属研究機関名 : 宇都宮大学

部局名 : 工学部

職名 : 教授

研究者番号 (8 桁) : 80336289

研究分担者氏名 : 若山 俊隆

ローマ字氏名 : Wakayama Toshitaka

所属研究機関名 : 埼玉医科大学

部局名 : 保健医療学部

職名 : 教授

研究者番号 (8 桁) : 90438862

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kawasaki Hiromu, Sunahara Atsushi, Shimada Yuta, Ejima Takeo, Jiang Weihua, O' Sullivan Gerry, Nishikino Masaharu, Namba Shinichi, Higashiguchi Takeshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Electron temperature and soft x-ray intensity scaling in laser heavy element plasma interaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 065306 ~ 065306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0009946	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 EJIMA Takeo, WAKAYAMA Toshitaka, SHINOZAKI Natsumi, SHOJI Misaki, HIGASHIGUCHI Takeshi	4. 巻 37
2. 論文標題 Stimulated emission depletion phenomenon in luminescence of Ce:LSO excited by soft X-rays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2019	6. 最初と最後の頁 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Nakamura Daisuke, Tasaki Ryohei, Kawamoto Miki, Oshima Hiroki, Higashihata Mitsuhiro, Ikenoue Hiroshi, Wakayama Toshitaka, Sunahara Atsushi, Higashiguchi Takeshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Silicon twisted cone structure produced by optical vortex pulse with structure evaluation by radiation hydrodynamic simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 20512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-77323-4	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Shoji Misaki, Wakayama Toshitaka, Ishida Hirokazu, Kowa Hiroyuki, Sakaue Kazuyuki, Miura Taisuke, Higashiguchi Takeshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Detection of birefringence singularity by supercontinuum vector beam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 10846 ~ 10846
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.409477	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 久保田信 刀祢重信	4. 巻 75
2. 論文標題 Nutritional exchange of old and new body of just rejuvenated individual of Turritopsis sp. (Hydrozoa, Anthomedusae) from Wakayama Prefecture, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bull. biogeogr. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 140 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Murakami Tatsufumi, Yokoyama Takeshi, Mizuguchi Mineyuki, Tone Shigenobu, Takaku Shizuka, Sango Kazunori, Nishimura Hirotake, Watabe Kazuhiko, Sunada Yoshihide	4. 巻 156
2. 論文標題 A low amyloidogenic E61K transthyretin mutation may cause familial amyloid polyneuropathy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Neurochemistry	6. 最初と最後の頁 957 ~ 966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jnc.15162	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Shinohara Kunio, Tone Shigenobu, Ejima Takeo, Ohigashi Takuji, Ito Atsushi	4. 巻 8
2. 論文標題 Quantitative Distribution of DNA, RNA, Histone and Proteins Other than Histone in Mammalian Cells, Nuclei and a Chromosome at High Resolution Observed by Scanning Transmission Soft X-Ray Microscopy (STXM)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cells	6. 最初と最後の頁 164 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cells8020164	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 John Christian, Kishimoto Maki, Johzaki Tomoyuki, Higashiguchi Takeshi, Kakunaka Noboru, Matsumoto Yasuhiro, Hasegawa Noboru, Nishikino Masaharu, Ejima Takeo, Sunahara Atsushi, Endo Takuma, Namba Shinichi	4. 巻 44
2. 論文標題 Enhancement of water-window soft x-ray emission from laser-produced Au plasma under low-pressure nitrogen atmosphere	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1439 ~ 1439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.44.001439	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Wakayama Toshitaka, Shinozaki Natsumi, Shoji Misaki, Ishiyama Takayuki, Sakaue Kazuyuki, Miura Taisuke, Ejima Takeo, Higashiguchi Takeshi	4. 巻 114
2. 論文標題 Supercontinuum vector beam generation by independent manipulations of angular polarization and geometric phase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 231101 ~ 231101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5093189	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Lokasani Ragava, Kawasaki Hiromu, Shimada Yuta, Shoji Misaki, Anraku Kyoya, Ejima Takeo, Hatano Tadashi, Jiang Weihua, Namba Shinichi, Nikl Jan, Zeman Michal, O'Sullivan Gerry, Higashiguchi Takeshi, Limpouch Jiri	4. 巻 27
2. 論文標題 Soft X-ray spectral analysis of laser produced molybdenum plasmas using the fundamental and second harmonics of a Nd:YAG laser	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 33351 ~ 33351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.033351	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Ejima Takeo, Kurosawa Shunsuke, Yamaji Akihiro, Hatano Tadashi, Wakayama Toshitaka, Higashiguchi Takeshi, Kitaura Mamoru	4. 巻 219
2. 論文標題 Luminescence properties of scintillators in soft X-ray region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 116850 ~ 116850
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2019.116850	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Ejima Takeo, Wakayama Toshitaka, Shinozaki Natsumi, Shoji Misaki, Hatayama Genta, Higashiguchi Takeshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Demonstration of stimulated emission depletion phenomenon in luminescence of solid-state scintillator excited by soft X-rays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5391-1 ~ 5391-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-62100-0	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 T. EJIMA, S. KUROSAWA, A. YAMAJI, T. HATANO, T. WAKAYAMA, T. HIGASHIGUCHI, , M. KITaura	4. 巻 36
2. 論文標題 Total luminescence yield of some scintillators in the photon energy region from 300 eV to 1.3 keV	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2018	6. 最初と最後の頁 69-1 ~ 69-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 T. HATANO, T. EJIMA, Y. ONO, T.-H. DINH, T. TAMURA, K. MAEDA, H. HARA, T. HIGASHIGUCHI	4. 巻 36
2. 論文標題 Fabrication of Cr/Sc/Mo multilayer illuminator for water window soft X-ray microscopes with Bi plasma sources	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2018	6. 最初と最後の頁 244-1 ~ 244-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 東口 武史, 川崎 太夢, 庄司 美咲, 影山 稜, 若山 俊隆, 羽多野 忠, 江島 丈雄
2. 発表標題 レーザー生成プラズマ光源による水の窓軟X線顕微鏡とSTED現象による高解像度化への試み
3. 学会等名 レーザー学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江島 丈雄, 若山 俊隆, 石山 貴之, 安楽 響哉, 金田 凌祐, ロイ ショミット, 津田 準一, 坂上 和之, 東口 武史
2. 発表標題 軟X線励起蛍光におけるSX-STEDイメージング
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎 太夢、島田 悠太、難波 慎一、佐々木 明、錦野 将元、羽多野 忠、江島 丈雄、東口 武史
2. 発表標題 ビスマスプラズマ水の窓軟X線源の開発
3. 学会等名 電気学会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎 太夢、島田 悠太、難波 慎一、佐々木 明、錦野 将元、羽多野 忠、江島 丈雄、東口 武史
2. 発表標題 ビスマスプラズマ水の窓軟X線源の開発
3. 学会等名 電気学会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江島丈雄
2. 発表標題 生物細胞観測のための軟X線相關顕微法の開発と現状
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江島 丈雄、若山 俊隆、篠崎 夏美、庄司 美咲、石山 貴之、坂上 和之、東口 武史
2. 発表標題 Ce:LSOの軟X線励起蛍光におけるSTED現象
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

X線撮像素子のピクセルサイズを従来の1/1000以下にする超解像現象の発見
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/03/press20200326-02-X.html>
X線撮像素子のピクセルサイズを従来の1/1000以下にする超解像現象の発見
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/03/press20200326-02-X.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大山 隆 (Ohyama Takashi) (60268513)	早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授 (32689)	
研究分担者	刀祢 重信 (Tone Shigenobu) (70211399)	東京電機大学・理工学研究科・特別専任教授 (32657)	
研究分担者	東口 武史 (Higashiguchi Takeshi) (80336289)	宇都宮大学・工学部・教授 (12201)	
研究分担者	若山 俊隆 (Wakayama Toshitaka) (90438862)	埼玉医科大学・保健医療学部・教授 (32409)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------