

令和 4 年 10 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02738

研究課題名(和文) 含ホウ素ナノ粒子による薬物送達と中性子捕捉療法を組み合わせたがん治療法の開発

研究課題名(英文) The combined cancer therapy of drug delivery and boron neutron capture therapy by boron-containing nanoparticles

研究代表者

小松 直樹 (Komatsu, Naoki)

京都大学・人間・環境学研究科・教授

研究者番号：30253008

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)によるがん治療では、腫瘍への効率的かつ選択的なホウ素製剤送達システムを開発する必要がある。先行研究では、ホウ素製剤の生体環境下における分散性や腫瘍組織への選択性に問題があり、BNCTによる治療効果はさほど高くなかった。そして今回、まず、ホウ素を高濃度で含む含ホウ素ナノ粒子(B-NP)を親水性ポリマーであるポリグリセロール(PG)で被覆することにより B-NP-PG を合成し、その高い水分散性を確認した。次に、これを担がんマウスに導入し、中性子線を照射した後、マウスの腫瘍サイズを約1カ月間モニターしたところ、顕著な腫瘍成長抑制効果が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

BNCTにおいて、中性子は人体に取ってほとんど無害であり、また、ホウ素が崩壊して生成する線やリチウム原子の飛程は、数十 μm であり、腫瘍近傍の健全な細胞を殺傷することはない。したがって、今回、B-NP-PGを用いて得られた結果は、副作用のない、非侵襲的ながんの治療法としてのBNCTのより効率的な治療に繋がる可能性があり、学術的のみならず、社会的にも大きな意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In the cancer therapy by boron neutron capture therapy (BNCT), we need to establish efficient and selective delivery of boron-based drug to tumor. The cancer treatment by BNCT reported so far is not so efficient because of low dispersibility and/or low selectivity. In our research, we successfully prepared boron-containing nanoparticles (B-NP) functionalized with polyglycerol; (PG), characterized structure of the resulting B-NP-PG, and found its high dispersibility. We then injected B-NP-PG to cancered mice, irradiated neutron, and monitored the tumor size for a month. We saw the clear inhibition of the tumor growth rate.

研究分野：材料化学

キーワード：がん ホウ素 中性子 治療 ナノ粒子

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

天然に存在する非放射性ホウ素 ^{10}B に低エネルギーの熱中性子線を照射すると、核捕捉および核分裂反応によって α 線 (He^{2+}) が生成されます。ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) は、この現象を利用した癌治療法です。腫瘍組織に選択的に取り込まれた ^{10}B に中性子線を照射し、生成した α 線で癌細胞の核を破壊することで癌の増殖を抑えることができます(図1)。これにより、 ^{10}B を取り込んだ癌細胞だけを殺傷すると同時に、健全な細胞への副作用を最小限にして治療を行うことができると期待されています。

一方、腫瘍組織は正常組織に比べ血管透過性が著しく亢進しているため、ナノ材料は血管から腫瘍組織へと浸透しやすく、また、腫瘍組織ではリンパ系が発達していないため、腫瘍組織に到達したナノ材料はリンパ系から排除されることなく、腫瘍組織に蓄積されます(図2)。これを EPR 効果といい、腫瘍組織に対してナノ材料を送り込むうえで重要な因子となります。

BNCT による癌治療では、効率的で選択的なホウ素送達システムを開発する必要があります。先行研究では、ホウ素製剤の生体環境下における分散性や腫瘍組織への選択性に問題があり、BNCT による治療効果はさほど高くありませんでした。一方、含ホウ素ナノ材料を用い、その EPR 効果を利用すれば、腫瘍組織への高い選択性が期待されます。

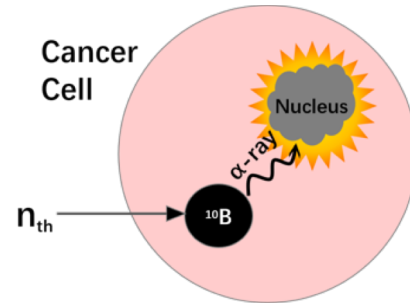


図1. BNCT の簡略化原理図

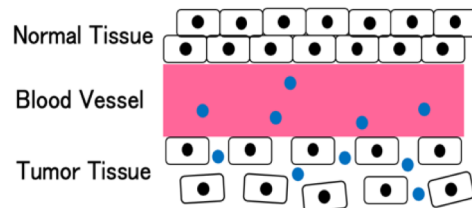


図2. EPR 効果の概略図

2. 研究の目的

報告者らは、これまで、生理学的条件で高い分散性を示す含ホウ素ナノ材料の開発に取り組んできました。そして、ホウ素含有ナノ粒子 (B/NP) を親水性ポリマーであるポリグリセロール (PG) で被覆することにより B/NP-PG (図3) とし、これを実際に担癌マウスに導入し、中性子を照射することによる癌治療を試みました。

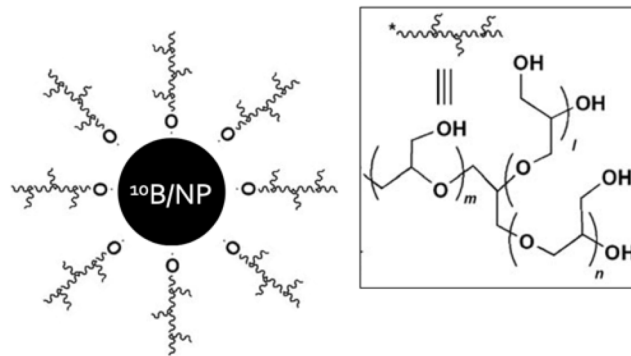


図3. $^{10}\text{B}/\text{NP}\text{-PG}$ ナノ粒子

3. 研究の方法

まず、癌細胞をマウスに移植することにより、担癌マウスを作製しました。B/NP-PG をリン酸緩衝液に分散させた後、これを担癌マウスに静脈内投与し、中性子線照射後、一か月間にわたり腫瘍のサイズをモニターしました。

4. 研究成果

マウスは健康な状態を保ちながら、腫瘍の成長が顕著に抑制されました。腫瘍が消失するマウスも散見されました。今後、さらに検討を重ねることにより、BNCT を外科手術、放射

線治療、化学療法、免疫療法に続く、第5の癌治療法として確立することに寄与すると期待されます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Zou Yajuan, Ito Shinji, Yoshino Fumi, Suzuki Yuta, Zhao Li, Komatsu Naoki	4. 巻 14
2. 論文標題 Polyglycerol Grafting Shields Nanoparticles from Protein Corona Formation to Avoid Macrophage Uptake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c02289	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 Chen Zhuo, Yuan Shen-Jun, Li Ke, Zhang Quan, Li Tong-Fei, An Hui-Chao, Xu Hua-Zhen, Yue Yuan, Han Min, Xu Yong-Hong, Komatsu Naoki, Zhao Li, Chen Xiao	4. 巻 320
2. 論文標題 Doxorubicin-polyglycerol-nanodiamond conjugates disrupt STAT3/IL-6-mediated reciprocal activation loop between glioblastoma cells and astrocytes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Controlled Release	6. 最初と最後の頁 469 ~ 483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jconrel.2020.01.044	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 Kota Nagura, Yusa Takemoto, Fumi Yoshino, Alexey Bogdanov, Natalia Chumakova, Andrey Kh. Vorobiev, Hirohiko Imai, Tetsuya Matsuda, Satoshi Shimon, Tatsuhisa Kato, Naoki Komatsu,* and Rui Tamura*	4. 巻 11
2. 論文標題 Magnetic Mixed Micelles Composed of a Non-Ionic Surfactant and Nitroxide Radicals Containing a d-Glucosamine Unit: Preparation, Stability, and Biomedical Application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Pharmaceutics	6. 最初と最後の頁 42 (1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pharmaceutics11010042	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 Kota Nagura, Alexey Bogdanov, Natalia Chumakova, Andrey Kh Vorobiev, Satori Moronaga, Hirohiko Imai, Tetsuya Matsuda, Yohei Noda, Tomoki Maeda, Satoshi Koizumi, Koichi Sakamoto, Tsukuru Amano, Fumi Yoshino, Tatsuhisa Kato, Naoki Komatsu, and Rui Tamura	4. 巻 30
2. 論文標題 Size-tunable MRI-visible nitroxide-based magnetic mixed micelles: preparation, stability, and theranostic application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 224002 (1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab0627	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 Fumi Yoshino, Tsukuru Amano, Yajuan Zou, Jian Xu, Fuminori Kimura, Yoshio Furusho, Tokuhiko Chano, Takashi Murakami, Li Zhao,* and Naoki Komatsu*	4. 巻 15
2. 論文標題 Preferential Tumor Accumulation of Polyglycerol Functionalized Nanodiamond Conjugated with Cyanine Dye Leading to Near-Infrared Fluorescence In Vivo Tumor Imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1901930 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201901930	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 Giacomo Reina, Li Zhao,Alberto Bianco,* and Naoki Komatsu*	4. 巻 58
2. 論文標題 Chemical Functionalization of Nanodiamonds: Opportunities and Challenges Ahead	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 17918-17929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201905997	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 Gang Liu, Ping Zhao, Neng Liu, Fumi Yoshino, Hongmei Qin, Yajuan Zou, Shengwei Shi, Tsukuru Amano, Jose R Aguilar Cosme, Yasunobu Nagano, Hitoshi Tamiaki and Naoki Komatsu	4. 巻 6
2. 論文標題 Photosensitizer and anticancer drug-loaded 2D nanosheet: Preparation, stability and anticancer property	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2D Materials	6. 最初と最後の頁 045035 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2053-1583/ab377b	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 Ahmad Tayyebi, Naoko Ogino, Takuya Hayashi and Naoki Komatsu	4. 巻 31
2. 論文標題 Nanotechnology Paper Size-controlled MoS2 nanosheet through ball milling exfoliation: parameter optimization, structural characterization and electrocatalytic application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 075704 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab5077	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 Alejandro Lopez-Moreno , Yujing Jiang , Guoqing Cheng and Naoki Komatsu	4. 巻 24
2. 論文標題 Extraction of carbon nanotubes with porphyrin- and pyrene-based nanotweezers and nanocalipers: Insight from the association constants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins and Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 314-319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424619501086	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 Yajuan Zou and Naoki Komatsu	4. 巻 163
2. 論文標題 Quantitative investigation of the interaction between proteins and charged functional groups on the polyglycerol-grafted nanodiamond surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 395-401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.02.089	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 T.-F. Li, K. Li, Q. Zhang, C. Wang, Y. Yue, Z. Chen, S.-J. Yuan, X. Liu, Y. Wen, M. Han, N. Komatsu, Y.-H. Xu, L. Zhao,* X. Chen*	4. 巻 181
2. 論文標題 Dendritic cell-mediated delivery of doxorubicin-polyglycerol-nanodiamond composites elicits enhanced anti-cancer immune response in glioblastoma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biomaterials	6. 最初と最後の頁 35-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.biomaterials.2018.07.035	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 C. Wang, K. Li, T.-F. Li, Z. Chen, Y. Wen, X. Liu, X. Jia, Y. Zhang, Y.-H. Xu, M. Han, N. Komatsu, L. Zhao,* X. Chen*	4. 巻 13
2. 論文標題 Monocyte-mediated chemotherapy drug delivery in glioblastoma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanomedicine	6. 最初と最後の頁 157-178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2217/nnm-2017-0266	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 Li Xian, Zhao Li, Liang Qiming, Ye Jiandong, Komatsu Naoki, Zhang Qing, Gao Wendong, Xu Meiyun, Chen Xiaofeng	4. 巻 13
2. 論文標題 Cationic Polyarginine Conjugated Mesoporous Bioactive Glass Nanoparticles with Polyglycerol Coating for Efficient DNA Delivery	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 280 ~ 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1166/jbn.2017.2350	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 K. Nagura, Y. Takemoto, S. Moronaga, Y. Uchida, S. Shimono, A. Shiino, K. Tanigaki, T. Amano, F. Yoshino, Y. Noda, S. Koizumi, N. Komatsu, T. Kato, J. Yamauchi, R. Tamura*	4. 巻 23
2. 論文標題 Preparation of robust metal-free magnetic nanoemulsions encapsulating low-molecular-weight nitroxide radicals and hydrophobic drugs directed toward MRI-visible targeted delivery	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 15713-15720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201702785	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 T.-F. Li, K. Li, C. Wang, X. Liu, Y. Wen, Y.-H. Xu, Q. Zhang, Q.-Y. Zhao, M. Shao, Y.-Z. Li, M. Han, N. Komatsu, L. Zhao,* X. Chen,*	4. 巻 268
2. 論文標題 Harnessing the cross-talk between tumor cells and tumor-associated macrophages with a nano-drug for modulation of glioblastoma immune microenvironment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Control. Release	6. 最初と最後の頁 128-146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jconrel.2017.10.024	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

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 26件)

1. 発表者名 Naoki Komatsu
2. 発表標題 Diamond and Micelle: Hard and Soft Materials for Nanomedicine
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yajuan Zou, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Polyglycerol grafted nanoparticles improve stealth effect by resisting protein corona formation: A comparison study to PEG
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kota Nagura, Naoki Komatsu, Rui Tamura
2. 発表標題 Preparation and Characterization of Nitroxide-Based Magnetic Nanoemulsions Directed toward MRI-Visible Targeted Delivery System
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kota Nagura, Naoki Komatsu, Rui Tamura
2. 発表標題 Preparation and Characterization of Nitroxide-Based Magnetic Nanoemulsions Directed toward MRI-Visible Targeted Delivery System
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gang Liu, Naoki Komatsu
2. 発表標題 An efficient and scalable production of 2D material dispersions using hexahydroxytriphenylene as a versatile exfoliant
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gang Liu, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Readily Available Stock Solid of MoS ₂ and WS ₂ Nanosheets through Solid-Phase Exfoliation by Ball Milling
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ahmad Tayyebi, Naoki Komatsu
2. 発表標題 A Case Study for Nanoparticles on Nanodiamond: Facile Preparation of Nanodiamond-iron oxide Nanohybrid
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yajuan Zou, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Quantitative evaluation of polymer density and net charge effects on nanodiamond surface toward protein affinity
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yajuan Zou, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Polyglycerol-grafted nanoparticles confer stealth effect by resisting protein corona formation: A comparison study to PEG
3. 学会等名 FNTG バイオシンポ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Komatsu
2. 発表標題 Supramolecular nanoscience of 1D and 2D nanomaterials with porphyrinoids
3. 学会等名 International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kota Nagura, Rui Tamura and Naoki Komatsu
2. 発表標題 MRI-Visible Supramolecular Nanomicelles Containing Nitroxide Radicals: Preparation, Stability and Structural Elucidation
3. 学会等名 International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Komatsu
2. 発表標題 Platinum on diamond: A promising prodrug conjugated with polyglycerol, targeting peptide and anticancer drug
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yajuan Zou, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Quantitative evaluation of polymer density and net charge effects on nanodiamond surface toward protein affinity
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yajuan Zou, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Polyglycerol grafted nanoparticles improve stealth effect by resisting protein corona formation: A comparison study to polyethylene glycol
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kota Nagura, Satoshi Shimono, Tsukuru Amano, Fumi Yoshino, Tatsuhisa Kato, Naoki Komatsu, Rui Tamura
2. 発表標題 Preparation and Characterization of Nitroxide-Based Magnetic Nanoemulsions Directed toward MRI-Visible Targeted Delivery System
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gang Liu, Qin Hongmei, Tsukuru Amano, Fumi Yoshino, Naoki Komatsu
2. 発表標題 A One-Pot Fabrication of Chlorin e6-loaded MoS ₂ Nanosheet and Its Application to Cancer Phototherapy
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gang Liu, Naoki Komatsu
2. 発表標題 An efficient and scalable production of 2D material dispersions using hexahydroxytriphenylene as a versatile exfoliant
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gang Liu, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Readily Available Stock Solid of MoS ₂ and WS ₂ Nanosheets through Solid-Phase Exfoliation by Ball Milling
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Komatsu
2. 発表標題 Covalent and Noncovalent Chemistry for Nanocarbons: Biomedical Application and Structural Separation
3. 学会等名 WILEY-Yellow Crane Tower Summit on Advanced Nanomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Takayasu, Tsukuru Amano, Fumi Yoshino, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Application of polyglycerol-functionalized nanodiamond to cancer therapy,
3. 学会等名 Europeun Materials Research Society Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kyouhei Maruyama, Naoki Komatsu
2. 発表標題 Biomedical Applications of Hexagonal Boron Nitride
3. 学会等名 Europeun Materials Research Society Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Komatsu
2. 発表標題 Application of Organic Chemistry to Nanocarbon Materials: From Separation to Biomedical Applications
3. 学会等名 2nd Dijon/Nanjing Symposium on Fuctional Macrocylic Molecules (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Komatsu, Gang Liu, Hongmei Qin, Tsukuru Amano, Fumi Yoshino
2. 発表標題 A One-Pot Fabrication of Chlorin e6-loaded MoS2 Nanosheet and Its Application to Photothermal and Photodynamic Combination Cancer Treatment
3. 学会等名 NT18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Komatsu,, Gang Liu
2. 発表標題 An efficient and scalable production of 2D material dispersions using hexahydroxytriphenylene as a versatile exfoliant and dispersant
3. 学会等名 NT18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Komatsu
2. 発表標題 Exfoliation of 2D nanosheets and their biomedical applications
3. 学会等名 European Advanced Materials Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Komatsu
2. 発表標題 Non-covalent functionalization of carbon nanotubes for their separation
3. 学会等名 European Advanced Materials Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yajuan Zou, Naoki Komatsu
2. 発表標題 The influence of nanodiamond size and surface functionality on protein corona formation and subsequent macrophage cellular uptake
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. Liu, N. Komatsu
2. 発表標題 Stable Aqueous Dispersion of Graphene-Based Composite through Direct Graphite Exfoliation with a Photosensitizer and Its Application to Cancer Phototherapy
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Komatsu, G. Liu, T. Amano
2. 発表標題 Direct fabrication of the graphene-based composite for cancer phototherapy through graphite exfoliation with a photosensitizer
3. 学会等名 28th International Conference on Diamond and Carbon Materials (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山恭平、小松直樹
2. 発表標題 六方晶窒化ホウ素ナノシートの化学修飾と生物医療応用
3. 学会等名 第7回 ナノカーボンバイオシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小松直樹, Liu Gang, 天野創
2. 発表標題 Direct fabrication of the graphene-based composite for cancer phototherapy through graphite exfoliation with a photosensitizer
3. 学会等名 第44回炭素材料学会年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 N. Komatsu	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 17
3. 書名 Funtionalization of Nanocarbons	

1. 著者名 N. Komatsu	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 22
3. 書名 Carbon Nanomaterials for Bioimaging, Bioanalysis and Therapy	

〔産業財産権〕

〔その他〕

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	鈴木 実 (Suzuki Minoru) (00319724)	京都大学・複合原子力科学研究所・教授 (14301)	
研究分担者	石川 善恵 (Ishikawa Yoshie) (20509129)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	天野 創 (Amano Tsukuru) (20613467)	滋賀医科大学・医学部・助教 (14202)	

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