

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18960

研究課題名(和文) 廃棄ナノマテリアルの生体影響と安全性評価に関する研究

研究課題名(英文) Basic study on toxicity of nano-sized material waste for safe evaluation

研究代表者

川西 優喜 (Kawanishi, Masanobu)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70332963

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：多層カーボンナノチューブ(MWCNTs)とフラーレンに放射線・紫外線照射による劣化処理をおこない、物性と毒性の変化を観察した。放射線・紫外線照射によりMWCNTs、フラーレンともに大きな構造変化は生じなかった。しかし格子欠陥やチューブ間距離などの変化が示唆された。哺乳動物細胞に対する細胞毒性や遺伝毒性は変化した。毒性の増加・減少ともみられた。この分子メカニズムは未解明であるので、今後の研究がまたれる。将来的にはナノ材料の遺伝毒性がもっとも低くなるような処理を特定することによって、各ナノマテリアルの適切な廃棄処理方法を提案できると考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ材料は消費財への使用量の顕著な増加が予想されており、これに伴い廃棄物処理系に流入するナノ材料の増大も必至である。現在のところナノ材料の安全性を確保するための十分な情報は得られておらず、特に廃棄後のナノ材料及びナノ材料含有製品の生物影響は不明であり、廃棄処理・廃棄環境中でのナノ材料の劣化や、劣化したナノ材料の生物影響は全く未解明である。本課題が明らかにした劣化ナノ材料の物性と毒性の変化は廃棄ナノ材料の安全取り扱いに貢献する。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate cyto- and geno-toxicity of waste (deteriorated) nanomaterials, two nanomaterials MWCNTs and C60 were irradiated with gamma-ray and UV, and subjected to physical property tests and toxicity assay. Minor changes of physical properties were observed. The toxicities were also changed. The results contribute safe handling of deteriorated nanomaterials in waste environment.

研究分野：環境毒性学

キーワード：ナノマテリアル 毒性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ナノ材料は消費財への使用量の顕著な増加が予想されており、これに伴い廃棄物処理系に流入するナノ材料の増大も必至である。現在のところナノ材料の安全性を確保するための十分な情報は得られておらず、特に廃棄後のナノ材料及びナノ材料含有製品の生物影響は不明であり、廃棄処理・廃棄環境中でのナノ材料の劣化や、劣化したナノ材料の生物影響は全く未解明である。

研究代表者(川西)は活性酸素種生成を介しナノ製材が動物細胞に遺伝毒性をもつことを明らかにし、研究分担者の堀はナノ材料の格子欠陥や反応性の研究、宮丸は放射線場解析やイオンビームによる表面分析をおこなっている。ところで 2008 年 *Chem. Res. Toxicol.* 誌 (21, 1698-1705)に、破碎処理で格子欠陥を導入した多層カーボンナノチューブ(MWCNTs)は細胞の炎症反応や染色体異常を増強するという研究結果が発表された。これは劣化したナノ材料が製剤ナノ材料とは異なる毒性を持つことを示唆している(図1)。

ところがこれまで、ナノ材料の毒性(生物影響)データは製剤ナノ材料を用いてしか評価されていない。そしてこの *Chem. Res. Toxicol.* 誌の報告は、製剤を用いた安全性試験の結果からは、劣化したナノチューブの毒性は必ずしも予測できないことを示している。粉碎、焼却や野積みといった廃棄処理・廃棄環境中でのナノ材料の劣化や、劣化したナノ材料の生物影響は現在のところ全く不明である。つまり廃棄物としてのナノ材料、すなわち製剤とは異なる構造・性状をもつナノ材料の生物影響のデータは皆無である。従って、本研究で得られる結果は、適正な廃棄物管理システムの構築や、安全・安心を確保する管理技術の開発に必須である。

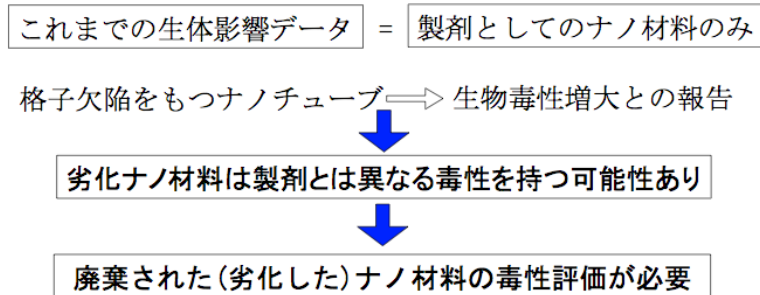


図1 廃棄環境でのナノ材料の毒性は未解明

2. 研究の目的

廃棄後のナノマテリアル(ナノ材料)及びナノ材料含有製品の安全性評価を目的に、廃棄を模した劣化処理をナノ材料に施し、その物性と毒性の変化を明らかにする。ナノ材料は消費財への使用量の顕著な増加が予想されており、これに伴い廃棄物処理系に流入するナノ材料の増大も必至である。現在のところナノ材料の安全性を確保するための十分な情報は得られておらず、特に廃棄後のナノ材料及びナノ材料含有製品の生物影響は不明であり、廃棄処理・廃棄環境中でのナノ材料の劣化や、劣化したナノ材料の生物影響は全く未解明である。そこで本課題では、劣化ナノ材料の物性と毒性の変化を解析する(図2)。



図2 模擬廃棄処理で物性と毒性の変化を評価

3. 研究の方法

炭素系ナノ材料のMWCNTsとフラーレンを対象とした。太陽光露光を想定しつつ、同じ光子・電磁波による過酷条件として、ガンマ線と紫外線の照射による劣化処理を施した。ガンマ線源として⁶⁰Coをもちいた。紫外線は波長の異なるUV-A、UV-B、UV-Cを照射した。

照射後の物性の変化を、X線、赤外吸収スペクトル(IR)、ラマン分光などによる結晶構造解析で評価した。

毒性の変化は、ヒトおよびげっ歯類培養細胞を用いた細胞毒性試験、遺伝毒性試験で定量した。

照射作業と解析作業をそれぞれ別の実験従事者がおこなう盲検法で本課題の実験を実施した。

4. 研究成果

放射線照射前後のMWCNTsとフラーレンの、赤外吸収スペクトル(IR)の比較から表面構造など大きな構造変化を、ラマンスペクトルの比較から格子構造を解析した。その結果、MWCNTs、フラーレンともに大きな構造変化は生じなかった。しかしラマン解析からMWCNTsの格子欠陥は減少することがわかった。

ほ乳類培養細胞を使った毒性試験をおこなった結果、放射線照射によりMWCNTsの細胞毒性が減少することがわかった。またC₆₀の遺伝毒性を増強しうることも判明した。

引き続き同様にUV-C照射による変化を解析した。UV-C照射でMWCNTsとフラーレンに大き

な構造変化は認められなかった。しかし X 線解析から、UV-C 照射によって MWCNTs のチューブ間の距離が変わったことを示唆するデータが再現性をもって得られた。データ解釈には検討の余地があるため、今後も研究を継続する必要がある。

紫外線照射による毒性の変化は主にヒト肺がん由来 A549 細胞に対する増殖阻害試験、小核毒性およびリン酸化ヒストンガンマ H2AX 定量試験で評価した。

MWCNTs に曝露した細胞の増殖率は、UV-A、UV-B、UV-C いずれの波長でも、照射、非照射間で差は見られなかった。

一方、遺伝毒性の指標となる小核保有細胞頻度は、UV-A、UV-B、UV-C すべての波長の照射後は UV 非照射の MWCNTs に比べて高くなった(図 3)。

フラーレンに曝露した細胞の増殖率は、UV-A、UV-B、UV-C いずれの波長でも、照射、非照射間で差は見られなかった。

フラーレンで処理したときの小核保有細胞出現頻度は、MWCNTs とは反対に、UV-A、UV-B、UV-C すべての波長の照射後は、UV 非照射に比べて低くなった。

小核試験において、2 種の炭素系ナノ材料で正反対の結果が得られたことから、これら MWCNTs、フラーレンだけでなく、同じ炭素系である別のナノ材料グラフェンの解析が待たれる。

小核は DNA の切断や染色体不分離で生じる。そこでナノ材料によって DNA 鎖切断が生じたかガンマ H2AX を指標に検出を試みた。しかし、試験した条件ではガンマ H2AX シグナルの増加を観察することはできなかった。

以上、放射線・紫外線照射によって MWCNTs とフラーレンに構造変化が生じ、また遺伝毒性の変化もおこることがわかった。しかし分子メカニズムは未解明であるので、今後の研究がまたれる。将来的にはナノ材料の遺伝毒性がもっとも低くなるような処理を特定することによって、各ナノマテリアルの適切な廃棄処理方法を提案できると考える。

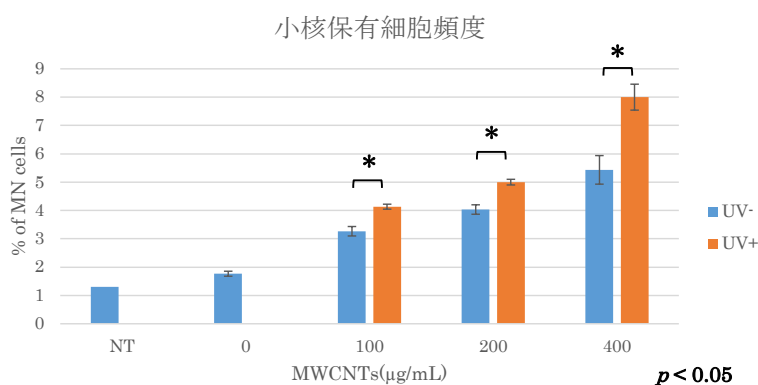


図 3 小核試験結果の例

UV-C (245 nm) 300, 000J/m² を照射した MWCNTs を 0.05% Tween80 含有生理食塩水に懸濁しヒト肺がん由来 A549 細胞に処理した。5 時間後にメディアウムを交換し 42 時間培養し、細胞を回収、固定後アクリジンオレンジで染色した。各 1,000 細胞を蛍光顕微鏡下観察することで小核保有細胞頻度を算出し評価した。

注

本報告書の生物学的データは、2019 年度 大阪府立大学 生命環境科学域 理学類 生物科学科 4 年 宮井琴里 卒業論文として発表されています。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kawanishi Masanobu, Yoneda Reimi, Totsuka Yukari, Yagi Takashi	4. 巻 42
2. 論文標題 Genotoxicity of micro- and nano-particles of kaolin in human primary dermal keratinocytes and fibroblasts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Genes and Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41021-020-00155-1	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 F. Hori, Y. Uchimura, S. Toda, T. Matsui, A. Iwase, N. Taguchi, S. Tanaka, Q. Xu	4. 巻 36
2. 論文標題 Synthesis of Au stabilized Cu nanoparticles by gamma-ray irradiation reduction method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2018	6. 最初と最後の頁 -
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 F. Hori, S. Toda, Y. Uchimura, T. Matsui, Y. Mizukoshi and Q.Xu	4. 巻 175
2. 論文標題 Synthesis of Pd Nanoparticles on Various Support Materials by γ -Ray Irradiation Reduction Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 KURNS Progress Report 2018	6. 最初と最後の頁 -
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 内村祐也、戸田晋太郎、田中元彬、水越克彰、田口昇、田中真悟、松井利之、徐ギウ、堀史説	4. 巻 -
2. 論文標題 照射還元法により合成した Cu 合金ナノ粒子の安定化と微細構造	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 京都大学原子炉実験所第53回学術講演会報文集2019	6. 最初と最後の頁 -
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 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、松井利之、田中慎吾、田口昇、堀史説、徐ギユウ、阿倍尚也	4. 巻 -
2. 論文標題 線照射還元によるCu系合金ナノ粒子の合成制御におけるイオン濃度効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 平成30年度大阪府立大学放射線施設共同利用報告書	6. 最初と最後の頁 12
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 Y.Mizukoshi, F.Hori, K.Okitsu	4. 巻 57
2. 論文標題 Comparison of reductive nanoparticle preparation using plasma and ultrasound irradiation in aqueous solution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. App. Phys.	6. 最初と最後の頁 0102A5
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 F. Hori, M. Tanaka, S. Toda, M. Tani, A. Iwase, K. Okitsu, Y. Mizukoshi and Q. Xu	4. 巻 2017
2. 論文標題 Synthesis of multi-component metal nanoparticles by γ -ray irradiation Reduction Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 KURRI Progress Report	6. 最初と最後の頁 NN
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 S.Toda, M.Tanaka, T.Matsui, A.Iwase, N.Taguchi, S.Tanaka, Q.Xu and F.Hori	4. 巻 2017
2. 論文標題 Characterization of Ni-Au nanoparticles synthesized by gamma-ray irradiation reduction method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report	6. 最初と最後の頁 #35
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 内村祐也、戸田晋太郎、田中元彬、水越克彰、田口昇、田中真悟、松井利之、徐Q、堀史説	4. 巻 2018
2. 論文標題 照射還元法により合成したCu合金ナノ粒子の安定化と微細構造	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 京都大学原子炉実験所第53回学術講演会報文集	6. 最初と最後の頁 NN
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 Akihiro Tokai, Kenji Okitsu, Fuminobu Hori, Yoshiteru Mizukoshi, Yoshimi Nishimura, Satoshi Seino, Akihiro Iwase	4. 巻 199
2. 論文標題 One-pot preparation of Pd nanoparticles supported on graphene from Pd electrodes by discharge plasma in graphene suspension and its catalytic activity for hydrogenation of nitrobenzene	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 24-27
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 M. Tanaka, S. Toda, T. Matsui, A. Iwase, N. Taguchi, S. Tanaka, Q. Xu, F. Hori	4. 巻 2016
2. 論文標題 Synthesis of Cu-Au nanoparticles by two-step gamma-ray irradiation reduction method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 KEK Photon Factory Activity Report	6. 最初と最後の頁 34
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 F.Hori, H.Nakanishi, A.Tokai, M.Tanaka, S.Toda, M.Tani, A.Iwase, K.Okitsu, Y.Mizukoshi and Q.Xu	4. 巻 2016
2. 論文標題 Synthesis of noble metal nanoparticles supported on graphene by irradiation reduction method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 KURRI Progress Report	6. 最初と最後の頁 71
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 田中元彬、戸田晋太郎、谷真海、岩瀬彰宏、水越克彰、田口昇、田中真悟、松井利之、徐ギユウ、堀史説	4. 巻 2017
2. 論文標題 線照射還元法を用いたCuナノ粒子合金化による耐酸化性向上に関する研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 京都大学原子炉実験所第52回学術講演会報文集	6. 最初と最後の頁 39
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 堀史説、谷真海、水越克彰、徐ギユウ
2. 発表標題 照射還元による金属ナノ粒子のワンポッド合成担持における照射線質依存
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、徐ギユウ、松井利之、堀史説
2. 発表標題 線照射還元法を用いた Cu 系合金ナノ粒子合成における添加イオン濃度依存性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、松井利之、田中慎吾、田口昇、堀史説、徐ギユウ、阿倍尚也
2. 発表標題 線照射還元によるCu系合金ナノ粒子の合成制御におけるイオン濃度効果
3. 学会等名 大阪府立大学研究推進機構・放射線研究センター平成30年度共同利用報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内村祐也、戸田晋太郎、山田智子、松井利之、徐ギユウ、堀史説
2. 発表標題 イオン濃度調整による 線照射還元Cu系合金ナノ粒子の合成制御
3. 学会等名 京大複合原子力研学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内村祐也、山田智子、戸田晋太郎、松井利之、徐ギユウ、田口昇、田中真悟、堀史説
2. 発表標題 ガンマ線照射還元による水溶液中でのCu-Au系ナノ粒子の合成制御
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸田晋太郎、田中元彬、岩瀬彰宏、田口昇、田中真悟、松井利之、XuQiu、堀史説
2. 発表標題 放射線照射還元によるNi基多元合金ナノ粒子の合成制御
3. 学会等名 ナノ学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大和田めぐみ、水越克彰、堀史説、西嶋雅彦、今野豊彦
2. 発表標題 TEM/EELSによる銀ナノ粒子/セルロースナノファイバー複合材料の界面および化学結合状態評価
3. 学会等名 日本電子顕微鏡学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 戸田晋太郎、田中元彬、岩瀬彰宏、田口昇、田中真悟、堀史説
2. 発表標題 ガンマ線照射還元を利用した水溶媒中での金属合金ナノ粒子の合成制御
3. 学会等名 日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 戸田晋太郎、田中元彬、岩瀬彰宏、田口昇、田中真悟、堀史説
2. 発表標題 ガンマ線照射還元を利用した水溶媒中での金属合金ナノ粒子の合成制御
3. 学会等名 放射線プロセスシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 戸田晋太郎、内村祐也、田口昇、田中真悟、松井利之、Xu Qiu、堀史説
2. 発表標題 放射線照射還元法を用いた卑金属合金ナノ粒子の水中合成
3. 学会等名 材料物性工学談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内村祐也、戸田晋太郎、田中元彬、水越克彰、田口昇、田中真悟、松井利之、徐Q、堀史説
2. 発表標題 照射還元法により合成したCu合金ナノ粒子の安定性と微細構造
3. 学会等名 京大複合原子力研学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀史説、谷真海、戸田晋太郎、水越克彰、Xu Qiu
2. 発表標題 照射還元ワンポッド合成による金属ナノ粒子合成担持過程におけるイオン吸着効果
3. 学会等名 2019年春期日本金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Tanaka, S. Toda, A. Iwase, N. Taguchi, S. Tanaka, Q. Xu, F. Hori
2. 発表標題 Cu-Au nanoparticles synthesis by two steps gamma-ray irradiation reduction
3. 学会等名 IUMRS-ICAM (Kyoto, Japan, Aug. 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Toda, M. Tanaka, A. Iwase, N. Taguchi, S. Tanaka, Q. Xu, F. Hori
2. 発表標題 Synthesis of multicomponent nanoparticles by irradiation reduction method
3. 学会等名 IUMRS-ICAM (Kyoto, Japan, Aug. 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Tani, H. Nakanishi, A. Tokai, Y. Mizukoshi, F. Hori, K. Okitsu, A. Iwase
2. 発表標題 Materials Modification by plasma generated in ammonia aqueous solution
3. 学会等名 IUMRS-ICAM (Kyoto, Japan, Aug. 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Tani, F. Hori, T. Kumada, M. Ohwada, A. Iwase, Y. Mizukoshi
2. 発表標題 Modification of Oxide Particles by Plasma Generated in Aqueous Solution
3. 学会等名 27th MRSJ Annual Meeting (Dec. 5, 2017, Yokohama) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中元彬、戸田晋太郎、岩瀬彰宏、田中真悟、田口昇、徐DZF、堀史説
2. 発表標題 線照射還元によるCuナノ粒子生成時の添加イオン効果
3. 学会等名 2017年秋期日本金属学会 (2017年9月, 札幌)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 戸田晋太郎、田中元彬、谷真海、岩瀬彰宏、田口昇、田中慎吾、徐ギユウ、堀史説
2. 発表標題 放射線還元法を用いたNi系合金ナノ粒子の合成
3. 学会等名 2017年秋期日本金属学会 (2017年9月, 札幌)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷真海、興津健二、水越克彰、岩瀬彰宏、徐DZF、堀史説
2. 発表標題 放射線を用いたPdナノ粒子担持グラフェン合成における担体へのイオン吸着の寄与
3. 学会等名 2017年秋期日本金属学会 (2017年9月, 札幌)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水越克彰、仲西穂高、大和田めぐみ、堀 史説、興津健二、岩瀬彰宏
2. 発表標題 水中プラズマを用いた非加熱プロセスによる酸化物微粒子への酸素欠陥導入
3. 学会等名 化学工学会 第49回秋季大会 (2017年9月、名古屋)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大和田めぐみ、水越克彰、堀史説、仲西穂高、西嶋雅彦、今野豊彦
2. 発表標題 TEM/EELSによる高分子/貴金属ナノ粒子複合材料の界面構造および化学状態の評価
3. 学会等名 第134回金属材料研究所講演会(東北大学、宮城、2017年11月29-30日)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中元彬、戸田晋太郎、谷真海、岩瀬彰宏、水越克彰、田口昇、田中真悟、松井利之、徐DZF、堀史説
2. 発表標題 線照射還元法を用いたCuナノ粒子合金化による耐酸化性向上に関する研究
3. 学会等名 京大原子炉学術講演会(2018年1月、京大)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 戸田晋太郎、田中元彬、岩瀬彰宏、松井利之、田口昇、田中慎吾、徐ギユウ、堀史説、谷本久典
2. 発表標題 放射線照射還元法によって合成されたAu-Ni合金ナノ粒子の構造解析
3. 学会等名 2018年春期日本金属学会 (2017年3月、千葉)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本報告書の生物学的データは、2019年度 大阪府立大学 生命環境科学域 理学類 生物科学科 4年 宮井琴里 卒業論文として発表されました。

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	堀 史説 (HORI FUMINOBU) (20275291)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (24403)	
研究分担者	宮丸 広幸 (MIYAMARU HIROYUKI) (80243187)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (24403)	