

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02442

研究課題名(和文) X線マイクロCTによる革新的生体イメージングに向けた無機系造影剤の開発

研究課題名(英文) Development of inorganic contrast agents for innovative biological imaging using X-ray micro-CT

研究代表者

徳留 靖明 (Tokudome, Yasuaki)

大阪公立大学・大学院工学研究科 准教授

研究者番号：50613296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：X線マイクロCTは、非破壊的な手法により物体の三次元画像を取得するための技術の一つである。本研究では、層状複水酸化物(LDH)ナノ粒子を濃厚に分散させた液体を用いて均一にゲル化可能な無機系血管造影剤を開発することおよびそれを用いた新しいX線マイクロCTイメージング手法を開拓することを目的とした。高濃度なLDH粒子を含有したゾル-ゲル反応系を構築し、材料の構造特性やゲル化過程を基礎科学的な視点から明らかにした。また、LDH粒子の細胞傷害性評価を行い、生体適合性の観点から本材料系を整理することに成功した。放射光X線マイクロCT測定系の改良を行い、高感度高速イメージングの実現に向けた検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発されたX線マイクロCT造影剤は高い精度の画像情報を提供することができる。これにより、医療診断や治療計画の精度向上が見込まれ、病気の早期発見や治療効果の評価に役立つ。今回用いた材料開発アプローチは材料科学分野における新しい取り組みである。X線マイクロCT造影剤だけでなく、機能材料や医療材料の設計と開発に向けた基盤技術を提供したと考える。本研究において行われたX線マイクロCT測定系の改良は、高感度かつ高速なイメージングの実現を目指したものである。これにより、撮影時間の短縮や撮影品質の向上が期待され、放射線イメージング技術の進化にも寄与した。

研究成果の概要(英文)：X-ray micro computed tomography (X-ray micro-CT) is a technique used to obtain non-destructive three-dimensional images of objects. In this study, our aim was to develop an inorganic vascular contrast agent that can be uniformly gelled, based on a ceramic nanoparticle concentrated dispersion, and to pioneer a novel X-ray micro-CT imaging method using this contrast agent. We constructed a sol-gel reaction system containing highly dispersed nano-layered double hydroxide (LDH) particles and elucidated the structural characteristics of the material and the gelation process from a fundamental scientific perspective. We also successfully organized this material system from a biocompatibility standpoint by evaluating the cytotoxicity of LDH particles. Furthermore, we improved the setup of the synchrotron X-ray micro-CT measurement system and conducted investigations towards achieving high-sensitivity and high-speed imaging.

研究分野：無機材料化学

キーワード：層状複水酸化物 ナノ粒子 分散液 コロイド セラミックス 生体材料 X線CT

1. 研究開始当初の背景

画像診断は生命現象に関する細胞や分子レベルでのメカニズムを解明するための基礎的な手法であり、疾病の診断や治療計画においても重要な役割を果たしてきた。X線マイクロCTは、高い空間分解能を持つことで、骨、心臓、血管などの内部微細構造の詳細な画像を提供する。高解像度なX線マイクロCTイメージング技術開発は古くから進められており、今や50 nmの空間分解能を有するX線ナノCTイメージングすら汎用装置として利用可能なレベルにある。一方で、この高い解像度を生体組織のイメージングに生かせない理由はX線造影剤にある。最先端イメージング技術で求められる要求に対して、既存のX線血管造影剤の性能は全く到達していない。

生体組織診断の血管造影にはメチルメタクリレート系樹脂が現在用いられている。アクリル系の重合性レジン、低粘度、高均一性、低吸収、硬化(ゲル化)性、および臓器全体をイメージング可能にするレベルで低コストという重要な要件を満たしている。しかし、アクリルポリマーはX線の吸収係数が低いため、この造影剤での血管組織の可視化は容易ではない。この問題を解決するために、周囲の組織を溶解(浸軟)して血管キャストを残し(Macerationプロセス)それを撮影するという方法が用いられる。この方法の主な制約は、浸軟工程で微細な毛細血管が損傷や喪失することがあり、結果として得られる血管ネットワークの画像/データの品質と完全性が低下することである。ここに、毛細血管の3次元造影がこれまで困難であった理由がある。

2. 研究の目的

本研究では、セラミックナノ粒子濃厚分散液をベースとして均一にゲル化可能な無機系血管造影剤を提案することを目的とした。これにより、既存の有機ポリマー系血管造影剤を遥かに凌ぐ造影能の達成を目指した。血管内に導入した造影剤が周辺組織に対して十分なコントラストを有していれば、Macerationを経ることなく微細組織の自在な可視化を実現できると着想し研究を開始した。また、これを用い新たな造影手法を開拓するために、利用するセラミックナノ粒子に関する基礎科学的な知見の蓄積やイメージングセットアップの改良をおこなった。以下では、本プロジェクト実施した内容のうち主要な研究方法および結果を示す。

3. 研究の方法

(1) NiAl系層状複水酸化物ナノ粒子

NiCl₂·6H₂O および AlCl₃·6H₂O をエタノールと蒸留水の混合溶液に溶解した。その後、アセチルアセトン(acac)を添加した。混合溶液を30分以上攪拌したのちに、ここにプロピレンオキサイド(PO)を添加し1分攪拌し均質な溶液を得た。24時間のエージング後、NiAl LDH分散液を凍結乾燥しNiAl LDH粉末を得た。

(2) 造影剤の合成

上記のNiAl LDH粉末を造影剤合成に利用した。NiAl LDH粉末とTEOS、MTES、およびEtOHを混合し均質な溶液とした。その後、H₂Oを加え、さらに1分間攪拌した。直ちに、反応する造影剤をシリカガラスチューブまたはキャピラリーに注入、あるいは血管に灌流した。

(3) X線マイクロCT測定

ヒト胎盤とマウス肝臓の2つの検体に対して、合成した造影剤の造影効果を評価した。研究協力研究者として参画している海外共同研究者のもとで検体の作製及びイメージングをおこなった。造影剤が注入された組織は、Diamond Light Source(DLS)施設(Harwell, UK; Manchester Imaging Branchline, I13-2)で評価した。高解像度のシンクロトロン源インライン位相コントラストX線マイクロCTを使用して3D画像を生成した。エネルギーが8-30 keVの多色X線ビームをフィルタでフィルタリングし試料に照射した。試料と同じラインに配置されたsCMOS検出器(2560×2160 px; pco.edge 5.5; PCO AG, Germany)で透過したX線を検出した。検出光はさまざまな対物レンズで拡大され、有効な等方性ピクセルサイズが0.81 μmとなるようにした。露光時間は80~200ミリ秒の間で、0°~180°の回転で3001~4001回のプロジェクションを記録した。ダークおよびフラットフィールド補正、リングアーティファクトの抑制、およびレンズのぼかし効果補正を組み込んだアルゴリズムを使用して、3Dデータセットに再構築した。

九州シンクロトロン光研究センター(佐賀LS)のBL-07でも単色光シンクロトロンX線(エネルギー12 keV)を使用してイメージングを行った。造影剤をキャピラリー管に封入し、これを回転ステージ上に配置した。透過X線はCsIシンチレータ(厚さ1mm)5倍対物レンズ、およびsCMOS(2048ピクセル×2048ピクセル)で構成されたマイクロX線カメラ(Kenvy-2)によって検出した。有効な等方性ピクセルサイズは1.3 μmである。0°~360°の回転で1000のX線プロジェクションが記録した。プロジェクションはシェップ-ログアンフィルタを使用したバックプロジェクションアルゴリズムを使用して、3Dデータセットに再構築した。相対コントラストはImageJで評価した。12 keVでの線形減衰係数は、造影剤の密度を0.97 g/cm³と設定し、Victoreen

3D 画像セグメンテーションが可能となった。重要なことは、Maceration を伴うことなく血管の 3D 画像セグメンテーションが可能であったことである。人間の胎盤 3D レンダリングにおいては、5 μm の直径を持つ最も小さな血管へ造影剤のかん流が確認できた。一方で、造影剤の含まない多数の胎盤末端絨毛が存在するため、胎児の血管系の一部のみが灌流された可能性がある。今後、灌流する造影剤量の増加や、使用するカニューレシオン方法を変更する等の改善が必要である。

心臓を介して造影剤が灌流されたマウスの肝臓は、隅々まで綺麗に灌流された。肝臓の底面から始まるさまざまな血管系が、肝臓内で広がり分岐している様子が綺麗に観察できた。このことは、今回開発した造影剤が X 線 $\mu\text{-CT}$ に適したコントラスト剤であり、人間および動物の組織や臓器で血管系をイメージングおよび定量化することができることを実証している。

その他、本研究プロジェクトでは本材料の生体組織への利用を念頭に為害性評価等も行った。LDH 材料は生体親和性材料として知られている通り、本材料も適正な組成系で粒子を合成し適度な添加量を添加することで為害性及ばすことなく、材料の機能性を活用可能であることが明らかになり始めている。

【関連文献】

1. Y. Tokudome,* G. Poologasundarampillai,* K. Tachibana, H. Murata, A. J. Naylor, A. Yoneyama, A. Nakahira, "Curable Layered Double Hydroxide Nanoparticles-Based Perfusion Contrast Agents for X-Ray Computed Tomography Imaging of Vascular Structures" *Adv. NanoBiomed Res.*, 2, 2100123, 2022.
2. W. M. Tun, G. Poologasundarampillai, H. Bischof, G. Nye, O. N. F. King, M. Basham, Y. Tokudome, R. M. Lewis, E. D. Johnstone, P. Brownbill,* M. Darrow,* and I. L. Chernyavsky*, "A massively multi-scale approach to characterising tissue architecture by synchrotron micro-CT applied to the human placenta" *J. R. Soc., Interface* 18, 20210140, 2021.
3. 徳留靖明, 「最先端医療の今 - ナノ造影剤を利用した微小血管観察」 *Medical Science Digest*, Vol 48(14), pp46- pp47, ニューサイエンス社, 2022

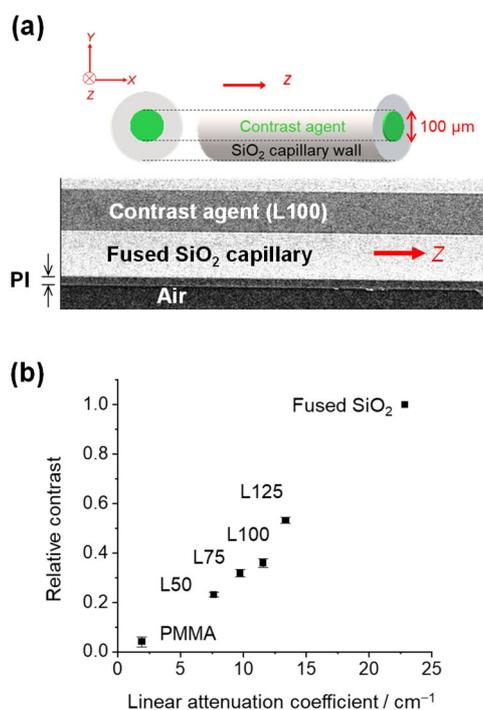


Figure 2. (a) 2D X-ray $\mu\text{-CT}$ image of NiAl LDH-based contrast agent prepared in the silica capillary. The inner and outer diameters of silica capillary are 100 and 375 μm , respectively. (b) Relationship between linear absorption coefficient and relative contrast. The contrast of fused SiO_2 (silica capillary wall) was used as a standard, and set at relative contrast of 1. PI: polyimide coating made on the outer surface of the capillaries.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tokudome Yasuaki, Poologasundarampillai Gowsihan, Tachibana Koki, Murata Hidenobu, Naylor Amy J., Yoneyama Akio, Nakahira Atsushi	4. 巻 2
2. 論文標題 Curable Layered Double Hydroxide Nanoparticles Based Perfusion Contrast Agents for X Ray Computed Tomography Imaging of Vascular Structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced NanoBiomed Research	6. 最初と最後の頁 2100123 ~ 2100123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anbr.202100123	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 KINO Daisuke, TOKUDOME Yasuaki, OKADA Kenji, TAKAHASHI Masahide	4. 巻 69
2. 論文標題 Size Tuning of Colloidal Co-Al LDH Nanoparticles by Dialysis Treatment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 131 ~ 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.69.131	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 Tokudome Yasuaki, Koyama Akihiro, Murata Hidenobu, Okada Kenji, Nakahira Atsushi, Nishimura Shigenori, Takahashi Masahide	4. 巻 104
2. 論文標題 Colloidal dispersion of chiral layered hydroxide salt (LHS) nanocrystals exhibiting chiroptical response	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	6. 最初と最後の頁 580 ~ 587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10971-022-05766-4	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 Itagaki Yoji, Takemoto Masanori, Murata Hidenobu, Kanzawa Tsuneki, Tokudome Yasuaki, Nakahira Atsushi	4. 巻 130
2. 論文標題 Supercritical hydrothermal synthesis of zirconia nanoparticles from zirconium basic carbonate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 861 ~ 866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.22083	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 Murata Hidenobu, Nakamura Takato, Kawanabe Ryo, Tokudome Yasuaki, Nakahira Atsushi	4. 巻 131
2. 論文標題 Reaction of stoichiometric hydroxyapatite with different crystallinity in Mg ²⁺ aqueous solution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 8~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.22117	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 Murata Hidenobu, Kawanabe Ryo, Tada Ayano, Tokudome Yasuaki, Nakahira Atsushi	4. 巻 131
2. 論文標題 Synthesis of stoichiometric hydroxyapatite nanoparticles via aqueous solution-precipitation at 37 °C	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 17~21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.22112	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 Kino Daisuke, Okada Kenji, Tokudome Yasuaki, Takahashi Masahide, Malfatti Luca, Innocenzi Plinio	4. 巻 97
2. 論文標題 Reactivity of silanol group on siloxane oligomers for designing molecular structure and surface wettability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	6. 最初と最後の頁 734~742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10971-020-05448-z	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 M. Takemoto, Y. Tokudome,* H. Murata, A. Nakahira	4. 巻 70
2. 論文標題 Synthesis of Colloidal Suspension of NiGa ₂ O ₄ Nanoparticles through Gel-Sol Method using Organic Base	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Soc. Mater. Sci., Jpn, (Zairyo)	6. 最初と最後の頁 429-434
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 Takemoto Masanori, Tokudome Yasuaki, Murata Hidenobu, Okada Kenji, Takahashi Masahide, Nakahira Atsushi	4. 巻 203
2. 論文標題 Synthesis of high-specific-surface-area Li-Al mixed metal oxide: Through nanoseed-assisted growth of layered double hydroxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Clay Science	6. 最初と最後の頁 106006 ~ 106006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clay.2021.106006	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 Tun W. M., Poologasundarampillai G., Bischof H., Nye G., King O. N. F., Basham M., Tokudome Y., Lewis R. M., Johnstone E. D., Brownbill P., Darrow M., Chernyavsky I. L.	4. 巻 18
2. 論文標題 A massively multi-scale approach to characterizing tissue architecture by synchrotron micro-CT applied to the human placenta	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Royal Society Interface	6. 最初と最後の頁 20210140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsif.2021.0140	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 P. Koilraj, M. Takemoto, Y. Tokudome, A. Bousquet, V. Prevot, C. Mousty	4. 巻 3
2. 論文標題 Electrochromic Thin Films Based on NiAl Layered Double Hydroxide Nanoclusters for Smart Windows and Low-Power Displays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Nano Mater.	6. 最初と最後の頁 6552-6562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c01026	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 M. Takemoto, Y. Tokudome, D. Noguchi, R. Ueoka, K. Kanamori, K. Okada, H. Murata, A. Nakahira, M. Takahashi	4. 巻 36
2. 論文標題 Synthesis of a Crystalline and Transparent Aerogel Composed of Ni-Al Layered Double Hydroxide Nanoparticles through Crystallization from Amorphous Hydrogel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 9436-9442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c01292	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. Takemoto, Y. Tokudome, H. Murata, K. Okada, M. Takahashi, A. Nakahira	4. 巻 203
2. 論文標題 Synthesis of High-Specific-Surface-Area Li-Al Mixed Metal Oxide: through Nanoseed-Assisted Growth of Layered Double Hydroxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Clay Science	6. 最初と最後の頁 106006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clay.2021.106006	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 徳留 靖明	4. 巻 45
2. 論文標題 水酸化物ナノ粒子濃厚分散液の合成と利用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Colloid & Interface Communication	6. 最初と最後の頁 17-19
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 -

〔学会発表〕 計41件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Y. Tokudome, G. Poologasundarampillai, K. Tachibana, H. Murata1, A Nakahira
2. 発表標題 Layered Double Hydroxide Gels: Contrast Agents for X-Ray Computed Tomography Imaging of Vascular Structures
3. 学会等名 XIVII International Clay Conference (ICC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Motoyoshi, Y. Tokudome, H. Murata, A. Nakahira
2. 発表標題 Synthesis of Porous Calcium Phosphate Monoliths in the Presence of Chiral Amino Acids
3. 学会等名 20th Asian BioCeramics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳留 靖明
2. 発表標題 水酸化物系ナノ粒子濃厚分散系の構築と利用
3. 学会等名 第 1 回 微小粒子に関する研究会；合成から応用まで（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yasuaki Tokudome
2. 発表標題 Concentrated Colloidal Dispersion of Nanometric Hydroxide Crystals for Nano/Macro Structuration
3. 学会等名 The International Conference on Nanospace Materials 2022 in Thailand（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuaki Tokudome
2. 発表標題 Studies on sol-gel derived monolithic porous alumina and aluminate
3. 学会等名 International seminar on the design and the characterization of nano materials 2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳留 靖明
2. 発表標題 毛細血管の可視化に向けたハイブリッド系X線マイクロCT用造影剤の開発
3. 学会等名 日本材料学会 第 66 回生体・医療材料部門委員会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Fujinari, Y. Tokudome, H. Murata, A. Nakahira
2. 発表標題 Ca-based nanocomposites prepared via a sol-gel method for CO2 capture with high cyclic stability
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanospace Materials (ICNM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西 一輝, 黒川 拓真, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 親水性ポリマー/硫化銅ナノ粒子ハイブリッド膜の作製と光熱変換材料としての応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾 拓哉, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 Fe, Nb共添加二酸化チタンの合成と可視光応答光触媒特性
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋季講演
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蔡 嗣閣, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 金属イオン交換LTL型ゼオライトのCO2吸着特性
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋季講演
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永墓克海, 北川虹花, 徳留 靖明, 小幡亜希子, 春日敏宏
2. 発表標題 葉酸修飾層状複水酸化物の作製と細胞への影響調査
3. 学会等名 2022 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北川 虹花, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦, 永墓 克海, 小幡 亜希子
2. 発表標題 葉酸修飾 Co-Al 系層状複水酸化物ナノ粒子の合成とイオン溶出量評価
3. 学会等名 第61回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大倉 主成, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 ベイス最適化による水熱環境用アルミナセメントの開発
3. 学会等名 第61回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 徳留 靖明
2. 発表標題 水酸化物ナノ材料のコロイド分散系：高濃度粒子のゲル化と分散を利用した材料開発
3. 学会等名 粘土学会若手の会 第12回若手研究者研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Muramatsu, K. Tachibana, Y. Tokudome, A. Obata, T. Kasuga
2. 発表標題 Fabrication of inorganic-organic hybrid fibermats for tissue engineering and improvement of their mechanical properties
3. 学会等名 The43rd Annual Meeting of the Japanese Society for Biomaterials & 8th Asian Biomaterials Congress
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板垣 陽地, 神澤 恒毅, 宮本 典彦, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 超臨界流体を用いた表面修飾金属酸化物微粒子の乾燥
3. 学会等名 第15回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 非晶質水酸化物ナノ粒子を前駆体としたZnGa ₂ O ₄ コロイド溶液の合成
3. 学会等名 第15回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川鍋 僚, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 溶液法により合成したハイドロキシアパタイトの組成への Mg イオン添加の影響
3. 学会等名 第15回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 村田 秀信, 岡田 健司, 高橋 雅英, 中平 敦
2. 発表標題 Li-Al 系層状複水酸化物ナノ結晶を前駆体とした複酸化物触媒の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立花 昂毅, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 LDH ナノ粒子分散液を用いた有機無機ハイブリッドゲルの合成とその応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤成 心太郎, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 ケイ酸カルシウムのナノコンポジット化による CO2固定化特性の向上
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 村田 秀信, 岡田 健司, 高橋 雅英, 中平 敦
2. 発表標題 エポキシド開環誘起アルカリ化反応を用いたLi-Al系層状複水酸化物ナノ粒子の合成
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川鍋 僚, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 ハイドロキシアパタイトナノ結晶の合成と焼結
3. 学会等名 第15回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤成 心太郎, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 酸処理によるケイ酸カルシウム系材料の表面改質とCO2固定化特性の評価
3. 学会等名 第15回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉住 真衣, 荒木 加永子, 榎村 眞一, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 強制薄膜式リアクターを用いた合金ナノ粒子の合成
3. 学会等名 第15回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳留 靖明, 立花 昂毅, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 均一ゲル化可能な濃厚ナノ粒子分散系の構築と医用画像処理診断への展開
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第19会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒川 拓真, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 エボキシド開環誘起アルキル化反応による硫化銅ナノ粒子の合成と光熱変換材料としての応用
3. 学会等名 日本材料学会第7回材料WEEK
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Tokudome, A. Koyama, H. Murata, K. Okada, A. Nakahira, M. Takahashi
2. 発表標題 Synthesis of Suspension of Layered Hydroxide Salt Nanocrystals Accommodating Chiral Molecules
3. 学会等名 4th Asian Clay Conference (ACC-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. D. Nunes, Y. Tokudome, B. Raimundo
2. 発表標題 Reduction of Nitroarenes with Cobalt Oxide-based Nanomaterials
3. 学会等名 11th International Conference on Environmental Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦, 岡田 健司, 高橋 雅英
2. 発表標題 ゲル-ゾル反応を用いたZnGa ₂ O ₄ ナノ結晶分散溶液の合成
3. 学会等名 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野口 大輔, 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 金森 主祥, 上岡 良太, 岡田 健司, 村田 秀信, 中平 敦, 高橋 雅英
2. 発表標題 層状複水酸化ナノ結晶から成るエアロゲル体の合成とCO ₂ 吸着特性の評価
3. 学会等名 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳留 靖明
2. 発表標題 ナノ複合カチオン水酸化物の濃厚分散系を利用した機能の開拓
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳留 靖明, 小山 晃広, 村田 秀信, 中平 敦, 岡田 健司, 高橋 雅英
2. 発表標題 キラル分子修飾LHSナノ結晶分散液の合成と評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 寺村 謙太郎, 吉川 聡一, 田中 庸裕, 岡田 健司, 村田 秀信, 中平 敦, 高橋 雅英
2. 発表標題 ZnGa ₂ O ₄ 系CO ₂ 光還元触媒の表面塩基性向上に向けたヘテロナノ界面を有する非晶質水酸化物前駆体の利用
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳留 靖明
2. 発表標題 厄介だけど役に立つ。ディスパージョン・濃厚分散系を使いこなす：濃厚ナノ粒子分散系の構築と 医用画像処理診断への展開
3. 学会等名 日本化学会 第10回CSJフェスタ2020（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南 雄也, 村田 秀信, 徳留 靖明, 吉田 要, 中平 敦
2. 発表標題 様々な骨格構造を持つAg添加ゼオライト蛍光体の合成
3. 学会等名 日本材料学会第6回材料WEEK
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野口 大輔, 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 金森 主祥, 上岡 良太, 岡田 健司, 高橋 雅英, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 結晶性水酸化物ナノビルディングブロックから成る構造均一性の高いエアロゲル体の合成
3. 学会等名 日本材料学会第6回材料WEEK
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 天斗, 村田 秀信, 徳留 靖明, 中平 敦
2. 発表標題 ハイドロキシアパタイト表面におけるMg ²⁺ の状態分析
3. 学会等名 日本材料学会第6回材料WEEK
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 村田 秀信, 岡田 健司, 高橋 雅英, 中平 敦
2. 発表標題 非晶質水酸化物ナノ粒子を前駆体としたZnGa ₂ O ₄ コロイド溶液の合成
3. 学会等名 日本材料学会第156回セラミック材料部門委員会第156回公開委員会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立花 昂毅, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 LDH ナノ結晶濃厚分散液をベースとするゲル化性 X 線 μ -CT 用造影剤の開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本 晶紀, 徳留 靖明, 村田 秀信, 中平 敦
2. 発表標題 エポキシド開環誘起アルカリ化反応を用いたゲル-ゾル法による NiGa ₂ O ₄ ナノ結晶分散溶液の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Medical Science Digest	4. 発行年 2022年
2. 出版社 ニューサイエンス社	5. 総ページ数 2
3. 書名 最先端医療の今 - ナノ造影剤を利用した微小血管観察	

1. 著者名 白幡直人、金森主祥、徳留靖明	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本セラミックス協会	5. 総ページ数 1
3. 書名 ハイブリッド材料の新潮流：はじめに セラミックス誌特集号、セラミックス	

1. 著者名 徳留靖明、竹本晶紀	4. 発行年 2021年
2. 出版社 New Glass Forum	5. 総ページ数 3
3. 書名 NEW GLASS「結晶性ナノ粒子分散液からの均一薄膜コーティングとエレクトロクロミズム」	

〔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	小幡 亜希子 (Obata Akiko) (40402656)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13903)	
研究分担者	米山 明男 (Yoneyama Akio) (70416981)	公益財団法人佐賀県産業振興機構(佐賀県産業イノベーションセンター産業振興部研究開発振興課、九州シンク・ビームライングループ・主任研究員 (87202)	

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
---------	---------

英国	University of Birmingham	St Mary ' s Hospital	Diamond Light Source	他5機関
フランス	CNRS			