Title	三次元多光子レーザープロセシングによる機能因子放出スキャフォールドの実現
Sub Title	Multiphoton-based laser 3D processing for functional scaffold
Author	寺川, 光洋(Terakawa, Mitsuhiro) 尾上, 弘晃(Onoe, Hiroaki)
Publisher	
Publication year	2022
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2021.)
JaLC DOI	
Abstract	光学特性を任意に制御するための三次元微細構造を生体親和性材料の内部に作製する革新的レーザープロセシング技術を研究し、高機能な足場創出に資することを目的とした。具体的には、要素技術として機能性金属微細構造をソフトマテリアル内部に作製する技術、金属微細構造に光を導波・局在させる構造の作製技術を創出した。ハイドロゲル内部に金属微細構造を作製する多光子還元技術を展開することで光学特性の付与を実現するとともに、多光子過程を活用して力学的特性を変化できることを実験実証した。 The objective of this study was to research innovative laser processing technology to fabricate three-dimensional microstructures inside biocompatible materials to control optical properties, and to contribute to the creation of highly functional scaffolds. Specifically, we developed a technology to fabricate functional metallic microstructures inside soft materials, and a technology to fabricate structures that guide and localize light to metallic microstructures. By developing a multi-photon reduction technology to fabricate metallic microstructures inside hydrogels, we have realized the tunable optical properties and experimentally demonstrated that mechanical properties can be changed.
Notes	研究種目：基盤研究 (B) (一般) 研究期間：2018～2021 課題番号：18H03551 研究分野：レーザープロセシング
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_18H03551seika

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　４ 年　 ５ 月 ２７ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：１８Ｈ０３５５１

研究課題名（和文）三次元多光子レーザープロセシングによる機能因子放出スキャフォールドの実現

研究課題名（英文）Multiphoton-based laser 3D processing for functional scaffold

研究代表者
寺川　光洋（Terakawa, Mitsuhiro）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授

研究者番号：６０５８００９０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　13,400,000円

研究成果の概要（和文）：光学特性を任意に制御するための三次元微細構造を生体親和性材料の内部に作製する革新的レーザープロセシング技術を研究し、高機能な足場創出に資することを目的とした。具体的には、要素技術として機能性金属微細構造をソフトマテリアル内部に作製する技術、金属微細構造に光を導波・局在させる構造の作製技術を創出した。ハイドロゲル内部に金属微細構造を作製する多光子還元技術を展開することで光学特性の付与を実現するとともに、多光子過程を活用して力学的特性を変化できることを実験実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
ハイドロゲルは柔軟性、保水性、高い生体親和性を有し、骨格と軟組織から構成される人体との適合性が極めて高く、足場として有望なバイオマテリアルである。光刺激によりハイドロゲルの特性を制御できれば、光ファイバを用いたリモート光制御デバイスへの拡張が期待できる。本研究では多光子還元技術を展開することでハイドロゲルへの光学特性の付与を実現するとともに、多光子過程を活用して力学的特性を変化できることを実験実証した。ソフトマテリアルを対象としたレーザープロセシングの基礎学理の解明ならびに生体親和性の高い機能性ソフトデバイスの実現に資する。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to research innovative laser processing technology to fabricate three-dimensional microstructures inside biocompatible materials to control optical properties, and to contribute to the creation of highly functional scaffolds. Specifically, we developed a technology to fabricate functional metallic microstructures inside soft materials, and a technology to fabricate structures that guide and localize light to metallic microstructures. By developing a multi-photon reduction technology to fabricate metallic microstructures inside hydrogels, we have realized the tunable optical properties and experimentally demonstrated that mechanical properties can be changed.

研究分野：レーザープロセシング

キーワード：超短パルスレーザープロセシング　二光子還元　内部加工　ソフトマテリアル

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

再生医療において効率の高い細胞組織構築および組織再生は重要な技術的課題である。例えば気管・血管・心筋組織・皮膚など軟組織欠損の修復において、足場と自家細胞から成る移植用組織を迅速に構築できれば、大幅な治療効果の向上と完治までの時間短縮が期待できる。足場表面の細胞接着・増殖・分化の促進には、必要な時・場所(標的)にサイトカイン・遺伝子等の機能因子を送達する技術が必要不可欠である。機能因子を放出する機構を生体親和性材料から成る足場に付与できれば、細胞組織構築・組織再生の質と速度は飛躍的に向上する。

ハイドロゲルは柔軟性、保水性、高い生体親和性を有し、骨格と軟組織から構成される人体との適合性が極めて高く、足場として有望なバイオマテリアルである。熱、pH 変化、超音波、光を使った外部刺激応答性をハイドロゲルに付与する研究が進められているが、それらの中で光刺激による方法は時間・エネルギー制御性が高く、光ファイバを用いたリモート光制御デバイスへの拡張が容易である。ハイドロゲルに光応答性を付与する方法はフォトクロミック色素を用いるものと、金属を組み合わせる方法がある。金属微細構造をハイドロゲルに組み合わせた作製事例は、これまでに転写印刷により金属マイクロ構造を作製する方法、半導体プロセス技術を基にした金属薄膜微細構造作製がある。しかし、これらは主としてハイドロゲルの表面への二次元構造作製であった。

研究代表者は、伸縮性材料内に三次元金属微細構造を作製する上で二光子過程による光還元が極めて有用であると考え、これまでに超短パルスレーザーを用いて人工高分子由来のハイドロゲルの内部に三次元金属微細構造を作製できること[1]、さらに構造の伸縮性により構造の光学特性が可変となること[2]を実験実証した。作製した構造はその伸縮により光共鳴特性が変化し、ミー散乱近接場理論とナノプラズモニクス理論による局在増強光を介して空間的・時間的な光制御による相互作用を得ることが期待できる。

２．研究の目的

本研究の目的は、光学特性を任意に制御するための三次元微細構造を生体親和性材料の内部に作製する革新的レーザープロセシング技術を研究し、高機能な足場創出に資することである。具体的には、要素技術として機能性金属微細構造をソフトマテリアル内部に作製する技術、金属微細構造に光を導波・局在させる構造の作製技術を創出し、得られた成果と知見により複合構造の作製に挑戦する。

３．研究の方法

(1)ハイドロゲル内部への金属微細構造の作製と構造解析

支持体となるソフトマテリアルに金属イオンを含有させ、内部に超短パルスレーザーを集光・走査することで三次元の金属微細構造を作製した。ハイドロゲルはポリエチレングリコール(PEG)ハイドロゲル、金属イオンは硝酸銀と塩化金酸を使用した。さらに、ハイドロゲルの液体浸透性に着目することで、同一 PEG ハイドロゲルの内部に異種の金属微細構造を空間選択的に作製することを試みた。ハイドロゲル内部に作製した金属微細構造の電子顕微鏡観察ならびにエネルギー分散型 X 線分析を行った。

(2)作製した金属構造の光学特性解析

ハイドロゲル内部に作製した金微細構造、銀微細構造、ならびに金と銀のコアシェルナノ粒子から構成される微細構造の光学特性を分光計測により調べた。また、作製した構造の TEM 観察結果から明らかにした粒子寸法の値をもとに、有限差分時間領域法による電磁界シミュレーションを行った。

(3)ハイドロゲル内部における局所的光重合

ハイドロゲル内部に作製した金属微細構造への光エネルギーの伝搬と局在を目的として、レーザーによる局所的ダブルネットワークゲル作製によりハイドロゲル内部の光学特性変化を試みた。ハイドロゲル内部に異なる材料もしくは分子量のハイドロゲルを局所的に重合させた。

(4)ハイドロゲルの力学的強度変化

デバイス化においては目的によりハイドロゲルの力学的強度が異なる。任意の力学的強度を付与することを目的として、ハイドロゲルの架橋時にフィラーとしてセルロースナノファイバー（CNF）を加えた検討を行った。ハイドロゲルブロック２つの間をつなぐように CNF 混合ハイドロゲル微細構造を作製し、引張試験により力学的特性を調べた。また、フーリエ変換赤外分光計測（FT-IR）によりポリエチレングリコールジアクリアラート(PEGDA)構造への CNF の内包を評価した。

(5)細胞親和性の評価

高機能足場へ応用させるにあたり必要となる細胞親和性の評価を行った。レーザーを用いて除去加工を行ったハイドロゲル表面ならびに生分解性ポリマー表面に細胞を播種し、接着および分裂を評価した。

４．研究成果

(1) ハイドロゲル内部への金属微細構造の作製と構造解析

PEG ハイドロゲル内部に銀微細構造と金微細構造ならびにそれらの複合構造を作製できることを実験実証した。金微細構造は赤色の発色を示し、銀微細構造は黄色の発色を示した。これはそれぞれのナノ粒子の表面プラズモン共鳴から説明することができる。図 1 に同一ハイドロゲル内部に金と銀の微細構造を作製した結果を示す。この結果はガルバニック反応を抑制しながら多段階の工程で作製したものであり、研究代表者の知る限り、多光子還元により同一ハイドロゲル内部に異種金属から成る構造を作製したはじめての実験実証である。

電子顕微鏡観察ならびにエネルギー分散型 X 線分析を行った結果、構造は数ナノメートル寸法のナノ粒子から構成されていること、その多くはクラスター状態であることを明らかにした。また、条件によって銀と金のコアシェル構造が作製できることを実験実証した(図 2)。また、金属イオンの還元時におけるゲル内部の条件ならびに荷電分子の存在が金属微粒子生成量に関係することを明らかにした。

(2) 作製した金属構造の光学特性解析

ハイドロゲル内部に作製した金微細構造、銀微細構造、ならびに金と銀のコアシェルナノ粒子から構成される微細構造が異なる光吸収の波長特性を示すことを分光計測により明らかにした。金微細構造および銀微細構造はそれぞれ 550 nm および 458 nm に吸収極大を示した。これは粒径 60 nm から 80 nm の金および銀ナノ粒子のプラズモン共鳴波長と一致する。さらに、複数回のレーザー走査を行った条件では、それぞれの吸収極大が長波長側にシフトすることを明らかにした。吸光極大は粒子の粒径の増大に伴い長波長側にシフトすることが知られている。既存構造への後続レーザーパルス照射により粒子径が増大したことが原因であると考えられる。異なる粒子径における吸収波長特性を有限差分時間領域法による電磁界シミュレーションにより計算したところ、粒子径の増大に伴い吸収極大が長波長側にシフトすることを確認し、実験結果の考察と一致した。また、計算により既存の金属ナノ粒子周囲に光増強場が得られることを明らかにし、この光増強場がコアシェル構造作製に寄与したと考察した。金属の種類、ナノ粒子の大きさ、コアシェル構造形態を変化させることでハイドロゲルの光学特性を変化させることができることが実験的ならびに電磁界シミュレーションにより示され、高度光学機能付与への多光子還元法の有用性を示した。

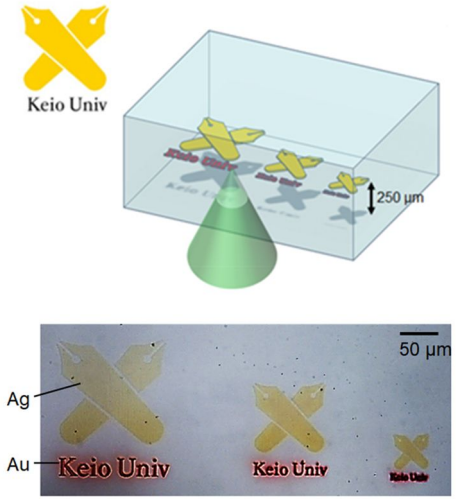

図 1 ハイドロゲル内部に作製した金および銀微細構造

(3)ハイドロゲル内部における局所的光重合

ハイドロゲル内部へのフェムト秒レーザーパルス集光により PEGDA 内部にポリエチレングリコールジメタクリラート(PEGDMA)の微小構造を作製した。未架橋の高分子を含有したハイドロゲル内部にフェムト秒レーザーパルスを集光照射し、三軸自動ステージを掃引することで二次元および三次元の構造を作製した。PEGDMA のグレーティング構造を作製し、0 次回折光と 1 次回折光の回折効率を測定したところ、屈折率変化が生じることを明らかにした。レーザー集光部における局所的なダブルネットワークゲルの生成は FT-IR により確認された。屈折率変化量はレーザーパワーと走査速度に依存することを明らかにした。また、高分子鎖のハイドロゲルを作製した後に異なる分子量のゲルモノマーを浸透させ、超短パルスレーザーを用いてマイクロメートル寸法のハイドロゲル三次元構造を異なる種類のハイドロゲル内部に作製できることを実証した。ハイドロゲルの組み合わせにより屈折率差が生じるため、光導波が期待できる。

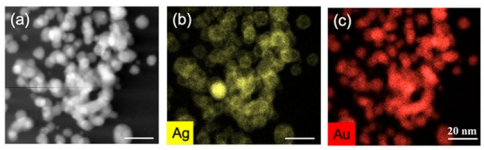

図 2 電子顕微鏡観察ならびにエネルギー分散型 X 線分析により観察されたコアシェル構造。

(4)ハイドロゲルの力学的強度変化

異なる高分子をフィラーとして組み合わせ

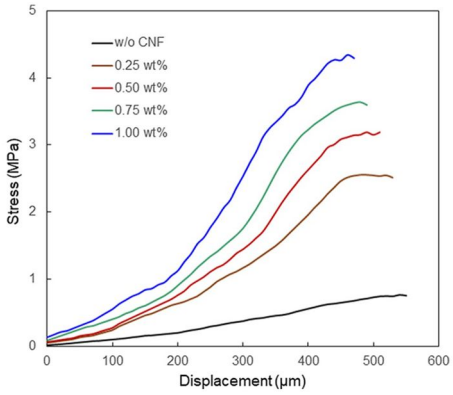

図 3 異なる CNF 濃度において作製したハイドロゲルの力学特性

ることで力学特性が異なるハイドロゲル三次元構造を作製した。FT-IR により CNF が内包された PEGDA 構造が作製されることを確認するとともに、フィラーにより力学的強度が向上することを確認した。図 3 に異なる CNF 濃度において作製した構造の力学的特性変化をまとめたグラフを示す。それぞれの濃度においてグラフ中に示した最大 CNF 濃度よりも大きい変位では破断が生じた。変位の増大に伴い応力が増大し、その後、応力の変化が小さくなることがわかる。作製した構造の力学的強度は、CNF 濃度の増大に伴いが増大した。作製構造の力学的強度の向上は、CNF と PEGDA マトリクス間で形成される水素結合が原因と考察される。

(5) 細胞親和性の評価

レーザーを用いて除去加工を行ったハイドロゲル表面ならびに生分解性ポリマー表面において細胞の接着を確認した。ただし、ハイドロゲル表面への細胞接着数はそれほど多くなく、今後の課題として細胞接着を促進させるための何らかの表面処理を検討することとした。ただし、ハイドロゲル表面への細胞接着数はそれほど多くなく、今後の課題として細胞接着を促進させるための何らかの表面処理を検討することとした。

＜引用文献＞

1. M. Terakawa, M. L. Torres-Mapa, A. Takami, D. Heinemann, N. N. Nedyalkov, Y. Nakajima, A. Hördt, T. Ripken, A. Heisterkamp, "Femtosecond laser direct writing of metal microstructure in a stretchable poly(ethylene glycol) diacrylate (PEGDA) hydrogel," Opt. Lett., 41, 1392 (2016).
2. M. Machida, Y. Nakajima, M. L. Torres-Mapa, D. Heinemann, A. Heisterkamp, M. Terakawa, ”Shrinkable silver diffraction grating fabricated inside a hydrogel using 522-nm femtosecond laser,” Scientific Reports 8, 187 (2018).

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計7件（うち査読付論文　6件／うち国際共著　3件／うちオープンアクセス　4件）

１．著者名 Manan Machida, Takuro Niidome, Hiroaki Onoe, Alexander Heisterkamp, Mitsuhiro Terakawa	４．巻 27
２．論文標題 Spatially-targeted laser fabrication of multi-metal microstructures inside a hydrogel	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Optics Express	６．最初と最後の頁 14657-14666
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.27.014657	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 寺川光洋	４．巻 30
２．論文標題 超短パルスレーザーによる多光子還元 : ソフトマテリアル内部への金属微細構造の作製	５．発行年 2019年
３．雑誌名 光アライアンス	６．最初と最後の頁 55-58
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 Naonari Kondo, Mitsuhiro Terakawa	４．巻 125
２．論文標題 Biodegradability of poly(lactic-co-glycolic acid) irradiated with femtosecond laser pulses without material removal	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Applied Physics A	６．最初と最後の頁 135/1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00339-019-2433-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 －

１．著者名 Machida Manan、Shen Weilu、Onoe Hiroaki、Hiruta Yuki、Heisterkamp Alexander、Mazur Eric、Terakawa Mitsuhiro	４．巻 11
２．論文標題 Anionic fluorophore-assisted fabrication of gold microstructures inside a hydrogel by multi-photon photoreduction	５．発行年 2020年
３．雑誌名 Optical Materials Express	６．最初と最後の頁 48～48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OME.412066	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 Takayama Izumi、Katayama Akito、Terakawa Mitsuhiro	4．巻 10
2．論文標題 Fabrication of Hollow Channels Surrounded by Gold Nanoparticles in Hydrogel by Femtosecond Laser Irradiation	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Nanomaterials	6．最初と最後の頁 2529～2529
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nano10122529	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 Takayama Izumi、Kondo Naonari、Kalies Stefan、Heisterkamp Alexander、Terakawa Mitsuhiro	4．巻 13
2．論文標題 Myoblast adhesion and proliferation on biodegradable polymer films with femtosecond laser‐fabricated micro through‐holes	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Biophotonics	6．最初と最後の頁 e202000037
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/jbio.202000037	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 Sugiyama Hiroki、Tsunemitsu Kaneto、Onoe Hiroaki、Obata Kotaro、Sugioka Koji、Terakawa Mitsuhiro	4．巻 11
2．論文標題 Microfabrication of cellulose nanofiber-reinforced hydrogel by multiphoton polymerization	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Scientific Reports	6．最初と最後の頁 10892
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-90445-7	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 －

〔学会発表〕　計25件（うち招待講演　6件／うち国際学会　15件）

1．発表者名 常光兼人、渡辺明、尾上弘晃、寺川光洋
2．発表標題 多光子架橋により作製したダブルネットワークハイドロゲルの力学的特性変化
3．学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4．発表年 2021年

１．発表者名
長野陽、尾上弘晃、寺川光洋

２．発表標題
多光子還元により作製した金属微細構造を利用したハイドロゲルマイクロチャネル内の流速変化

３．学会等名
レーザー学会学術講演会第42回年次大会

４．発表年
2022年

１．発表者名
村中景輝、長野陽、寺川光洋

２．発表標題
多光子還元法によりハイドロゲル内部に作製した金微細構造を用いたバイオセンシング

３．学会等名
第69回応用物理学会春季学術講演会

４．発表年
2022年

１．発表者名
Hirofumi Tomikawa, Kaneto Tsunemitsu, Yo Nagano, Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Dynamically changing the transmission property of hydrogel using metal microstructures fabricated by multi-photon photoreduction

３．学会等名
2021 MRS Fall Meeting & Exhibit（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Kaneto Tsunemitsu, Akira Watanabe, Hiroaki Onoe, Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Double-network hydrogel microstructures fabricated by multi-photon cross-linking for changing three-dimensional mechanical strength

３．学会等名
SPIE Photonics West On Demand 2022（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Yo Nagano, Hiroaki Onoe, Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Light-driven flow control within the microchannel inside a hydrogel by utilizing metal microstructures fabricated by multiphoton photoreduction

３．学会等名
SPIE Photonics West On Demand 2022（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Mitsuhiro Terakawa, Shuichiro Hayashi, Fumiya Morosawa, Hirofumi Tomikawa, Yo Nagano, Manan Machida, Hiroaki Onoe, Alexander Heisterkamp

２．発表標題
Laser direct writing of functional microstructures in transparent soft materials using femtosecond laser

３．学会等名
SPIE Photonics West On Demand 2022（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
常光兼人，佐野諒，渡辺明，尾上弘晃，寺川 光洋

２．発表標題
フェムト秒レーザー照射によるダブルネットワークマイクロゲルの作製

３．学会等名
第 81 回応用物理学会秋季学術講演会

４．発表年
2020年

１．発表者名
Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Multiphoton photoreduction in hydrogel

３．学会等名
CLEO-Pacific Rim 2020（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Kaneto Tsunemitsu, Ryo Sano, Akira Watanabe, Hiroaki Onoe, Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Microfabrication of double-network hydrogel with enhanced mechanical properties by multi-photon polymerization

３．学会等名
SPIE Photonics West 2021（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Mitsuhiro Terakawa, Manan Machida, Kosuke Mizuguchi, Ryo Sano, Hiroaki Onoe, Takuro Niidome, Alexander Heisterkamp

２．発表標題
Spatially-targeted laser fabrication of multimaterial microstructures in hydrogel

３．学会等名
SPIE Photonics West 2020（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Takeshi Kubota, Yuta Kurashina, Hiroaki Onoe

２．発表標題
Ultrasound-triggered controlled release of nanoparticles from hydrogel microbeads by release-promoting particles

３．学会等名
The 23rd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (microTAS)（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
常光兼人、佐野諒、寺川光洋

２．発表標題
多光子重合法を用いたダブルネットワークハイドロゲルの作製

３．学会等名
第92回レーザ加工学会講演会

４．発表年
2019年

１．発表者名
佐野諒、常光兼人、寺川光洋

２．発表標題
フェムト秒レーザーを用いた複合ハイドロゲル微細構造の作製

３．学会等名
第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム

４．発表年
2019年

１．発表者名
Mitsuhiro Terakawa, Ryo Sano, Manan Machida, Hiroaki Onoe

２．発表標題
Laser based fabrication of composite structures in a hydrogel

３．学会等名
38th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2019)（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Manan Machida, Takuro Niidome, Hiroaki Onoe, Alexander Heisterkamp, Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Site-selective fabrication of dissimilar metal microstructures in hydrogel by multi-photon photoreduction

３．学会等名
15th International Conference on Laser Ablation (COLA 2019)（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Manan Machida, Maria Leilani Torres-Mapa, Alexander Heisterkamp, Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Fabrication of gold and silver microstructures inside a hydrogel by multi-photon photoreduction

３．学会等名
International Symposium on SSS Laser Processing at Keio University（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Mitsuhiro Terakawa, Yasutaka Nakajima, Akito Katayama, Nikolay Nedyalkov

２．発表標題
Femtosecond laser processing for fabrication of conductive composite microstructures

３．学会等名
20th International Conference and School on Quantum Electronics (ICSQE2018)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Naonari Kondo, Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Fabrication of micro through-holes in poly(L-lactic acid) film by femtosecond laser irradiation for patterning C2C12 cells

３．学会等名
The 19th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2018)（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
3S Laser Processing: Integrating Soft Materials and Metal Microstructures

３．学会等名
29th International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Mitsuhiro Terakawa

２．発表標題
Fabrication of microstructures composed of metal and soft material by using femtosecond laser

３．学会等名
International Workshop on Frontiers in Lasers and Applications (FLA 2018)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
佐野諒、片山暁人、町田茉南、尾上弘晃、寺川光洋

２．発表標題
多光子重合による複合ハイドロゲル微細構造の作製

３．学会等名
第66回応用物理学会春季学術講演会

４．発表年
2019年

１．発表者名
町田茉南、Maria Leilani Torres-Mapa、Alexander Heisterkamp、寺川光洋

２．発表標題
多光子還元によるハイドロゲル内部への異種金属微細構造の作製

３．学会等名
レーザー学会学術講演会第39回年次大会

４．発表年
2019年

１．発表者名
町田茉南、Maria Leilani Torres-Mapa、Alexander Heisterkamp、寺川 光洋

２．発表標題
フェムト秒レーザ直接描画によるハイドロゲル内部への金属微細構造の作製

３．学会等名
応用物理学会フォトニクス分科会第3回フォトニクス研究会

４．発表年
2018年

１．発表者名
久保田剛史、倉科佑太、尾上弘晃

２．発表標題
マイクロゲルビーズ担体を用いたナノ粒子の超音波放出

３．学会等名
日本機械学会　第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム

４．発表年
2018年

〔図書〕　計0件

〔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	尾上　弘晃 (Hiroaki Onoe) (30548681)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授 (32612)	

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			
ドイツ	Laser Zentrum Hannover e.V.	Leibniz University Hannover		
ブルガリア	Bulgarian Academy of Sciences			
米国	Harvard University			