

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20254

研究課題名（和文）体液によるぬれメカニズムの解明と内視鏡レンズの応用

研究課題名（英文）Elucidation of wetting mechanism by body fluid

研究代表者

西野 朋季（Nishino, Tomoki）

京都大学・工学研究科・特定研究員

研究者番号：00756538

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：実際に用いられている内視鏡ガラスレンズへのナノ凹凸構造体の作製を示した。内視鏡レンズとしてクリアな画像が得られるナノ凹凸構造体（100nm）と球面の形状が良いことを明らかにした。また、医用への応用にとどまらず、インフラ構造物への適用として、カメラのレンズや対象物の表面への外来物の付着制御による機能確保に取り組んでおり、回帰性反射効果を保持しつつ、表面保護樹脂に外来物を寄せ付けない防汚技術の開発である。また、ターゲット防汚シートに前年度に得られた防汚機能を有するメタマテリアル技術により、カタツムリの殻を模した撥油効果を持つターゲット防汚シート【樹脂】を開発し、その効果を新規に検証している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

どういった凹凸構造があれば、水・汚濁をはじくかを明らかにする。また、それが生体内の体液に対しても有効であるかどうか、条件はどのようなものであるか、凹凸構造・形状を変化させて進める必要がある。現在までに、レンズ表面に超ナノ粒子（セラミックの原料であるZrO<sub>2</sub>ナノ粒子など）を焼成により焼き付け付着させたり、プラズマ溶射処理条件の変更やすることで、ガラス基材の透明性を失わない範囲で表面形状の微細な凹凸をコントロールし、十分な防曇性・防汚性が得られることはわかってきたが、微細なナノ粒子を付けるだけでは超親水性は得られないことははっきりとしてきた。系統的に基礎から解明していく必要がある。

研究成果の概要（英文）：The fabrication of nano-concavo-convex structures on endoscope glass lenses that are currently being used is presented. It has been demonstrated that a nano-concavo-convex structure (100 nm) combined with a spherical surface shape is sufficient for achieving clear images as endoscope lenses. Moreover, we are not only focusing on medical applications but also working on enhancing the functionality of camera lenses and objects used in infrastructure structures. We are developing techniques to control the adhesion of foreign substances to the lens surfaces and implementing antifouling technology to prevent the accumulation of foreign substances on the surface protective resin while maintaining the retro-reflective effect. Furthermore, we have utilized metamaterial technology from the previous year to create target antifouling sheets with an oil repellent effect, imitating the properties of a snail's shell. We are currently conducting new tests to verify their effectiveness.

研究分野：半導体工学

キーワード：メタマテリアル 防汚技術 表面機能抑制効果 医療機器開発技術 インフラメンテナンス技術 半導体微細加工技術 リソグラフィ技術 バイオミメティクス

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

従来は、曇らない内視鏡レンズを作製するためには、レンズの表面を疎水性に表面コーティング、ガラスの表面を性状等していた。これらは、手術器具の消毒・性状による過酷な環境にさらされることによって、ガラス表面に損傷を受けて、曇り止めの機能を失うことが多い。生体内で手術中に接触する血液成分であるたんぱく質や脂質等がレンズ表面に接触・付着することにより曇りが発生する。これを防ぐために、従来は、コーティングなどのレンズ表面に処理が行われていた。ところで、ハスの葉などにみられるような表面に微細な凹凸構造を付けることにより、撥水性をもたせて汚濁を防ぐことが出来る。本研究では、この機能を用いて、内視鏡レンズの光学的な特性をそこなわない光学的平面を保ちつつ、半導体のナノインプリント手法を用いて、表面に微細な凹凸構造をつけて、汚濁のメカニズムを明らかにする。これにより、手術中の曇らない内視鏡レンズを実現する。

## 2. 研究の目的

腹腔鏡手術では、医療用内視鏡を用いた腹腔鏡カメラが術者の目である。しかし、手術中に温度差による曇り、また血液や電気メス切除による体液の飛散などで、レンズが汚れ、視界が得られなくなることがある。現状では、途中で、スコープカメラを取り出し、レンズ先端を洗浄しているが、そのたびに手術が中断され、手術患者に大きな負担をかけている。これらの課題を解決する案として、腹腔鏡スコープカメラレンズ表面をカタツムリの殻構造を模倣したナノメタマテリアル構造として、防曇・防汚機能を有するスコープカメラレンズの開発・実用化を目指す。医療用内視鏡では、体外と体腔内での環境温度差により結露やレンズ表面に付着する血液、脂肪などの汚れが大きな問題となる。その問題を解決すべく、内視鏡先端の表面改質技術に着目した。つまり、表面改質技術により半永久的に曇らない、セルフクリーニング性を有する内視鏡の開発が可能になると考えた。そして実際にガラス表面の表面改質による予備実験で明確な防曇・防汚効果を実証した。半導体微細加工技術を用いることにより、内視鏡の防曇及び防汚効果を生み出すと考えた。現在、整列されたナノ微細加工技術を行い、撥油に対する基礎技術の確立に着手している。

小児の内視鏡手術にこそ、半永久的に曇らない、セルフクリーニング性を有する医療用内視鏡の開発が望まれている。なぜなら小児内視鏡手術では working space が握りこぶし一つ分もないような狭いスペースのため、内視鏡を出し入れしながら、一度確保できた術野を保つことは非常に難しいからだ。迅速で正確、繊細な手術を行うためには良好な視野を長時間保ち続けることが必須である。少なくとも内視鏡レンズの汚れを毎回体外できれいに拭くことなく視界を良好に保てれば、内視鏡手術の作業効率が飛躍的に向上する。内視鏡が曇ることなく、セルフクリーニング性を保持できれば、一度できた視野を変更することなく手術を完遂でき、手術の正確性、手術時間が飛躍的に改善する。超ナノ親水効果は、水膜の存在が必要である。つまり、表面が濡れていることが必要となる。腹腔鏡手術下では、液体飛散などから、腹腔鏡スコープカメラレンズ表面は濡れており、手術中におけるスコープカメラレンズの表面の超ナノ親水効果が期待できる。そこで、スコープカメラレンズの表面に、このような超ナノ親水構造を付与することで、曇りにくく、汚れが付きづらい、腹腔鏡スコープカメラレンズを作ることが可能となる。このように、自然界の生物に存在する多様な機能を、人工的に模倣する技術をバイオミメティクスと呼ぶ。この技術を利用して、汚れづらい腹腔鏡スコープカメラレンズの製品化を進める。我々のコンセプトは内視鏡の先端を超親水性に保ち曇りおよび汚れに対するセルフクリーニング性を向上させることである。超親水性表面に水を落とすと水滴が果てしなく広がり、そのまま乾燥するため、曇りの発生が抑えられることはよく知られている。さらにレンズ表面に水の膜が張られるような状態となって、汚れが飛来しても、付着することがなく膜の上に浮いた状態となるため、すぐに自浄的に洗い流される、いわゆるセルフクリーニング効果を示す。

## 3. 研究の方法

本研究では、防汚機能・防曇機能、及び、セルフクリーニング性・持続性を有する内視鏡レンズの開発を行う。内視鏡レンズ表面をナノ構造構築によって、超親水性にすることで、上記2つの性質をクリアし、実用化に耐えうる製品開発を目指す。化学的処理によるコーティング効果によって、一時的に超親水性を手に入れるのではなく、内視鏡レンズ自体へのナノ凹凸構造物の作製を行うことにより、半永久的に持続可能な技術開発を行う。

現在までに、プラズマ溶射処理条件の変更やすることで、ガラス基材の透明性を失わない範囲で表面形状の微細な凹凸をコントロールし、十分な防曇性・防汚性が得られることはわかってきたが、微細なナノ粒子を付けるだけでは超親水性は得られないこともはっきりとしてきた。

【平成31年度】: 目的を達成するために解決すべき課題がある。まず1つは、このような超ナ

ノ親水構造をどのようにスコープカメラレンズ表面に作り込むかであり、その方法はいろいろある。

レンズ表面に超ナノ粒子（セラミックの原料である ZrO<sub>2</sub> ナノ粒子など）を焼成により焼き付け付着させる。（ナノ粒子焼成技術）

高硬度、高融点金属粒子、セラミックナノ粒子を高温で溶融させて微粒子を作り、レンズ表面に吹き付ける。（プラズマ溶射技術）

レンズ表面に半導体微細加工技術である電子ビーム露光法によりナノ構造を作り、ドライエッチング法を用いて、ナノパターンを転写する。（EB リソグラフィー法）

ドライエッチング技術を用いてレンズ表面にナノの凹凸を作り込む方法。（ドライエッチング法）

これら技術のどの方法が有用化を検討する必要がある。2つめは、レンズである以上、レンズ表面に超微細パターンを作ることで、レンズの特性を損ねないことである。特に、4K8Kカメラが導入される中、折角防汚性の高いレンズが出来ても、レンズが曇ってしまって、明瞭な画像が得られなければ意味がない。

目標は、

水中撥油性を有すること（防汚効果の確認）

高温・高湿度空間での曇り止め効果を有すること（防曇効果の確認）

レンズとしてクリアな画像が得られるために透過率低下を 10%以下に抑える（高透明性の確保）

#### 4. 研究成果

##### 【2020 年度】

腹腔鏡手術では、医療用内視鏡を用いた腹腔鏡カメラが術者の目である。しかし、手術中に温度差による曇り、また血液や電気メス切除による体液の飛散などで、レンズが汚れ、視界が得られなくなることがある。現状では、途中でスコープカメラを取り出し、レンズ先端を洗浄しているが、そのたびに手術が中断され手術患者に大きな負担をかけている。これらの課題を解決する案として、腹腔鏡スコープカメラレンズ表面をカタツムリの殻構造を模倣したナノメタマテリアル構造として、防曇・防汚機能を有するスコープカメラレンズの開発・実用化を目指す。

医療認可に耐えうるナノ凹凸構造作製として、半導体微細加工技術である EB リソグラフィー技術を用いて、石英ガラス表面上にナノ凹凸構造を作製した。プロセスが容易な Si 表面上とは違い、石英ガラス上の 200nm ナノ構造体は、EB リソグラフィープロセスにおいて、レジスト残りが重要な要因となるため、露光条件を幅広く評価し作製を行った。

また、ナノ凹凸微細構造(200nm)による水中撥油評価だけでなく、実際の現場で用いられる技術にするため、可視光領域以下のナノ凹凸構造物(100nm)の作製も新たに行っている。可視光領域 350nm～800nm の透過率評価を行ったところ、200nm のナノ凹凸構造体透過率は、40%（波長領域 350nm）、90%（波長領域 500nm）、100%（波長領域 600nm 以上）の結果であった。今後、石英ガラス表面に 200nm 以下の微細な凹凸構造をつけ、透過率評価を含めた汚濁のメカニズムを継続して評価している。

##### 【2021 年度】

実際に用いられている内視鏡ガラスレンズへのナノ凹凸構造体の作製を示した。今年度も変わらず、コロナ禍の影響もあり、大型装置類の使用状況が著しくないが、内視鏡レンズとしてクリアな画像が得られるナノ凹凸構造体(100nm)と球面の形状が良いことを明らかにした。また、医用への応用にとどまらず、インフラ構造物への適用として、カメラのレンズや対象物の表面への外来物の付着制御による機能確保に取り組んでおり、回帰性反射効果を保持しつつ、表面保護樹脂に外来物を寄せ付けない防汚技術の開発である。

現状、インフラ構造物に対して、メンテナンス作業の効率化は、解決したい課題の一つである。鉄道インフラにおいて、軌道の狂いを画像計測で測定する技術が開発されている。この方法では、デジタルカメラで円の重心座標を測定することで、軌道の歪みを測定している。デジタルカメラで円の重心座標を測定し、軌道の歪みを計測する方法である。しかし、繰り返しの列車走行により、測定する再帰性ターゲットの表面は汚れにより黒くなり、画像上では円の重心位置を正確に測定することができない問題がある。ポイントは、堆積物による汚れは重要な問題であり、測定対象物の表面を汚れから保護する技術が望まれている。

そこで、ターゲット防汚シートに前年度に得られた防汚機能を有するメタマテリアル技術により、カタツムリの殻を模した撥油効果を持つターゲット防汚シート【樹脂】を開発し、その効果を新規に検証している。

以上の研究成果は、論文 5 報、特許 1 件として業績をまとめました。研究成果と関連して、ナノ微細表面構造の特性評価（胆管ステントの詰りを低減する技術開発）は、文部科学省「ナノテ

クノロジープラットフォーム」事業における「令和元年度秀でた利用成果」の候補に京都大学ナノテクノロジーハブ拠点から推薦されました。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Risa Matsumoto, Kenichi Kuribayashi, Mizuho Okamoto, Akira Tanida, Hiroyoshi Tsujiie, Ko Ishibashi, Ryota Nobuhara, Sotaro Nishioka, Tomohiro Mamiya, Hiroyuki Mayama, Tomoki Nishino	4. 巻 33
2. 論文標題 Antifouling Effect on Measurement Target of Track Irregularity by Metamaterial Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 279-285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.215	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 Hiroyoshi Tsujiie, Risa Matsumoto, Kenichi Kuribayashi, Mizuho Okamoto, Akira Tanida, Ko Ishibashi, Ryota Nobuhara, Sotaro Nishioka, Tomohiro Mamiya, Hiroyuki Mayama, Tomoki Nishino	4. 巻 33
2. 論文標題 Component Analysis of Extraneous Stuffs Attached on Measurement Target of Track Irregularity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 215-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.451	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 Atsushi Sekiguchi, Tomoki Nishino, Hiroshi Tanigawa, Hiroko Minami, Yoko Matsumoto, Hiroyuki Mayama	4. 巻 33
2. 論文標題 Study of Nanoimprinting Plant Structures with Super Water Repellency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 205-213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.205	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 Sotaro Nishioka, Tomohiro Mamiya, Ryota Nobuhara, Ko Ishibashi, Tsuyoshi Yagi, Risa Matsumoto, Kenichi Kuribayashi, Mizuho Okamoto, Akira Tanida, Hiroyoshi Tsujiie, Hiroyuki Mayama, Takayoshi Ueda, Hiroshi Tanigawa, Tomoki Nishino	4. 巻 33
2. 論文標題 Dust Adhesion Suppression Effect by Meta-material Structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 603-608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.603	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 Tomohiro Mamiya, Sotaro Nishioka, Ryota Nobuhara, Ko Ishibashi, Tsuyoshi Yagi, Risa Matsumoto, Kenichi Kuribayashi, Mizuho Okamoto, Akira Tanida, Hiroyoshi Tsujiie, Hiroyuki Mayama, Takayoshi Ueda, Hiroshi Tanigawa, Tomoki Nishino	4. 巻 33
2. 論文標題 Anti-fouling Evaluation System Using Reflected Light	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 599-602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.599	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

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 貫通孔検出装置	発明者 西野朋季	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-003403	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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

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