

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14040

研究課題名（和文）相互架橋網目ゲルのデジタルファブリケーションによるセルフクリーニング表面の創製

研究課題名（英文）Investigation of Inter Crosslinking Network Gels for Self-cleaning Surfaces using Digital Fabrication

研究代表者

渡邊 洋輔（Watanabe, Yosuke）

山形大学・有機材料システムフロンティアセンター・助教

研究者番号：30891527

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、デジタルファブリケーションツールを用いてInter Crosslinking Network (ICN)ゲルの3D造形手法を確立し、成形した構造体の表面の性状を評価した。得られた知見からポンプやアクチュエータといった実応用タスクに取り組みうるICNゲルの構造体を検討し、試作を行い、それぞれの用途に応じた評価手法によってICNゲルを用いる利点と課題を抽出した。また、繊維状ゲル吐出機構による表面性状の改質手法を提案し、ハイドロゲルによるセルフクリーニング表面が創製可能性を示した。提案手法を組み合わせることで、表面をクリーンに保ちながらタスクをこなすソフトロボットへの実装が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

固体表面の濡れ性の制御は、防汚表面やセルフクリーニング表面の構築の上で非常に重要である。例えばエアコンや調理場のファン、今後活躍しうるやわらかいロボットといった製品の固体表面は、その設置環境で想定される汚れを防ぐ必要がある。これまで、有機フッ化合物で表面を覆うことで汚れにくい表面は開発されてきたが、製造コストと環境負荷が大きかった。本提案では、表面に特殊なコーティングをせずに汚れを落としやすいハイドロゲルと微細加工技術を組み合わせることで、簡易的にセルフクリーニング表面を形成できる。本技術は、セルフクリーニング表面構築への応用の上で極めて有用であり、本分野発展に資する。

研究成果の概要（英文）：This study established a 3D modeling method for Inter Crosslinking Network (ICN) gel using digital fabrication tools and evaluated the surface properties of the molded structures. Based on the obtained knowledge, ICN gel structures that can be applied to real tasks such as pumps and actuators were investigated, prototypes were fabricated, and the advantages and challenges of using ICN gel were extracted through evaluation methods for each application. In addition to the performance of the gel itself, we proposed a surface modification method using the discharge mechanism of the fibrous gel, and confirmed that a self-cleaning surface can be created by the hydrogel. Combined with the proposed method, it is expected to be implemented in soft robots that can perform tasks while keeping the surface clean.

研究分野：高分子ゲルの造形・加工・応用技術

キーワード：相互架橋網目ゲル デジタルファブリケーション 4Dプリンティング 高分子ゲル

1. 研究開始当初の背景

特定の液体に対して液滴をはじく、もしくは液滴が広がるように、環境に合わせた濡れ性を表面に付与する技術開発が進められている。特に防汚性という観点では、汚れとなる液滴の静的な接触角を極限まで大きくするべく、蓮の葉に着想を得た表面の微細構造化や有機フッ素化合物を用いた低表面エネルギー化が検討されている。ところが、油や有機溶剤は水に比べて表面張力が低いため静的な接触角を大きくすることは困難であり、環境負荷の高い有機フッ素化合物を使用した低表面エネルギー化が必須条件であった。加えて、静的な接触角では真の濡れ性の評価が困難であるとして、液滴が動く際の濡れ性(動的接触角、滑落角など)を評価するべきではないか、という考え方が広まり、これを解決するために動的な濡れ性の制御に対する注目が大きくなってきている。

このような状況の中、申請者は複数のハイドロゲルの中でも相互架橋網目(Inter Crosslinking Network: ICN)ゲルにのみ、特異的に滑落角が小さいことを発見した。ICNゲルは、特殊な合成手法、微細構造化プロセス、フッ素化合物は用いていない。ICNゲルの特異的な油滴除去メカニズムを利用し、表面物性の制御が可能になれば、表面張力の低い液体に対して除去性能の大きいスマートセルフクリーニング表面の創製を実現することができるのではないかと。そして、表面の微細構造化プロセスを用いることで、表面物性の制御が可能ではないかと。

2. 研究の目的

本研究の目的は、油滴に対して動的濡れ性が優れた ICN ゲルの特異的な油滴除去性のメカニズムと微細構造化プロセスを組み合わせ、動的な濡れ性が制御可能な、フッ素フリーのスマートセルフクリーニング表面の創製とその応用技術を開発することである。また、構築した造形手法を用いて実応用タスクに取り組みうる ICN ゲルの構造体について議論する。

3. 研究の方法

ICNゲルとデジタルファブリケーションツールを用いて成形した3D構造体の表面粗さや摩擦係数、接触角といった表面の性状を評価し、セルフクリーニングの機構を構築する。また、3D構造体の利活用できる分野を検討し、試作を行い、ICNゲルを主としたハイドロゲルの活用手法を提示する。これらの実現のため、研究期間内に以下の項目を実施した。

- ① 3Dゲルプリンターを用いた ICN ゲルの 3D 造形手法の確立とその表面特性の評価
- ② (知財化検討中につき省略)
- ③ 繊維状ゲルの吐出によるセルフクリーニング表面の構築
- ④ 3Dゲルプリンターによる ICNゲルステータの造形と一軸偏心ねじポンプにおける活用
- ⑤ 膨潤駆動型 ICNゲルアクチュエータの検討

4. 研究成果

- ① 3Dゲルプリンターを用いた ICN ゲルの 3D 造形手法の確立とその表面特性の評価

ICNゲルの3D造形には、自由液面方式を採用した独自開発の3Dプリンターと、市販の規制液面方式の3Dプリンターを用いた。各方式の模式図と、造形した構造体の例を図1に示す。硬化前の前駆体溶液には、405nmに吸収をもつ光開始剤と硬化領域を調整する光吸収剤を添加している。両方式に採用されている波長405nmの光源によって局所的にゲルを硬化し、硬化物を積層することで構造体を成形した。

ICNゲルの造形寸法は、硬化条件(照射時間や一層の厚み)に依存する。そこで硬化条件を変化させ、多数のICNゲルの造形を行った。それぞれのICNゲルの様子を図2(次ページ)に示す。造形されたゲルの寸法は照射時間によって変化する。紫外線照射時間が長いと、重合反応が停止せずに露光領域外まで材料が硬化してしまうため、設計寸法よりもゲルが大きく造形され、照射時間が短いと、境界部分の重合反応が不十分であるため、設計寸法より小さく造形される。ICNゲルの3D造形する際に最適な紫外線照射時間を選択することで、3D造形条件を決定した。

次に、3Dで造形された構造体の底面(1st Layer)と上面(Last Layer)における表面の状態に差異があるか、ボールオンプレート摩擦試験によって評価した。本実験では、図3(a)に示すような造形物の表面に光源のパスに沿った造形物のライン(造形痕)が形成されるような造形条件を選択した。表面の凹凸はレーザー顕微鏡(VK-X1000, キーエンス社)によって観察したものである。

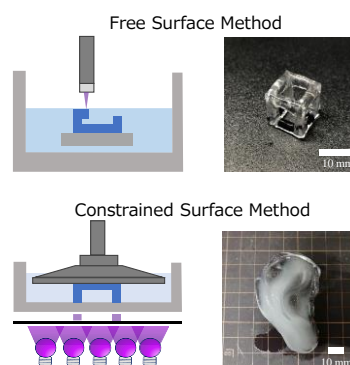


図1 (a)自由液面方式、(b)規制液面方式の造形物

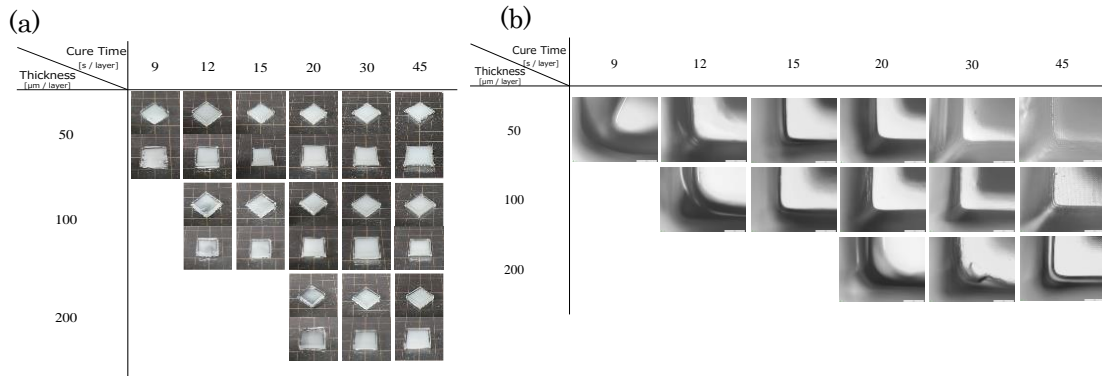


図2 各造形条件における (a) ICN ゲル構造体の様子, (b) 角の形状

図3(b)に摩擦試験の結果を示す. 傾きは小さいが, すべてのデータにおいて摺動速度の増加とともに摩擦係数が増加しており, 摺動面は流体がリッチな流体潤滑状態であることがわかる. 造形痕と摺動方向に対する摩擦係数の傾向は, 構造体の 1st Layer と Last Layer において差があるため, それぞれの表面の凹凸構造は異なることが示唆された.

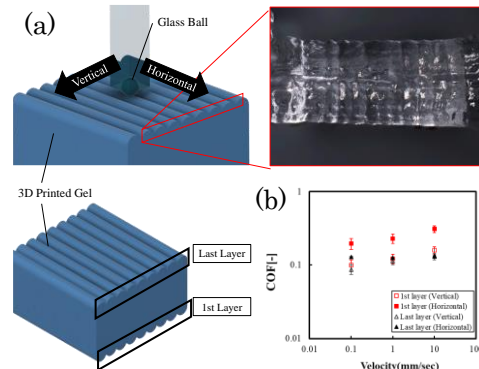


図3 (a) ICN ゲル構造体の凹凸構造, (b)各面の摩擦係数

② (知財化検討中につき省略)

③ 繊維状ゲルの吐出によるセルフクリーニング表面の構築

セルフクリーニング表面として, 図4に示すような繊維状のゲルの吐出機構を考案した. シリコンチューブに硬化前の前駆体溶液を流し込み, ポンプによって移送し, 吐出口直前で紫外線を照射することで繊維状に硬化したゲルを基板表面に吐出する. 繊維状のゲルは外部からの汚れや基板表面の汚れを回収した後, 取り除かれる. 繊維状ゲルの長さは, 移送溶液中に空気を入れることで制御する. 吐出を繰り返し行い, 汚れの除去率を評価した. 汚れ散布前後の差分画像を用いた画像解析によって除去率を求めた.

使用した汚れは, 水溶性汚れ, 親油性汚れ, ほこりの三種類とした. 水溶性汚れには精製水と着色のための Methylene Blue の混合液を使用した. 親油性汚れにはオレイン酸と着色のための Methyl Red を使用した. ほこり汚れはフライアッシュ(粒子密度 2.3 g/cm^3)とコットンリント(粒子密度 4.0 g/cm^3)を体積比で 27.5 : 56.2 の割合で混合して作成した. また, 繊維状ゲルは, ICN ゲルの事前実験として, ノニオン性のジメチルアクリルアミド (DMAAm) ゲル, DMAAm とアニオン性の 2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸ナトリウム(NaAMPS)の共重合ゲル, DMAAm と親油性のアルキル鎖をもつステアリルアクリレート (SA) の共重合ゲルの三種類のゲルを用いた.

繊維状ゲルを吐出後に汚れを散布し, 繊維状ゲルを取り除いた場合の除去率の結果を図5(a)に示す. 繊維状ゲルの吐出量は一定量になるようにポンプを制御している. 付着させる汚れの量の増加に伴って除去率は低下する. 水溶性汚れに対しては吸水性能の高い NaAMPS ゲル, 親油性汚れには吸油性の高い SA ゲルが高い除去率を示した. また, ほこり汚れに対しては高いタック性を持つ SA ゲルが高い除去率を示した.

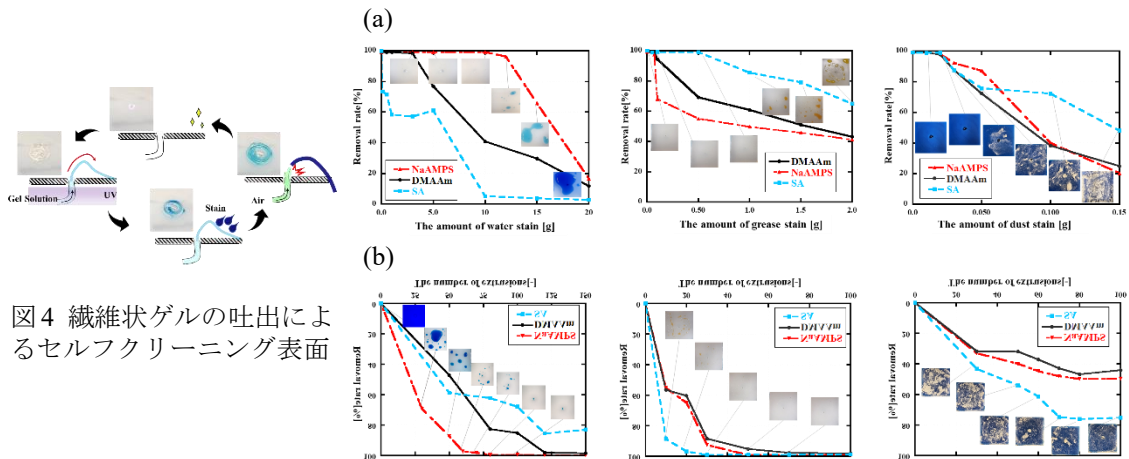


図4 繊維状ゲルの吐出によるセルフクリーニング表面

図5 繊維ゲル(a)吐出前, (b)吐出後の汚れ散布時の除去率

次に、基板に汚れを散布後、繊維状ゲルを吐出し取り除いた場合の除去率の結果を図5(b) (前ページ) に示す。横軸は吐出回数を示し、一回の吐出量はポンプの稼働時間によって定めた。各ゲルの除去率の傾向は、吐出後に汚れを散布した場合と同様であった。一方で、ほこりのような固形汚れに対しては繊維状ゲルの表面に付着させることで除去しているため、よごれと繊維状ゲルの接触がない場合は除去が難しい。さらに、基板に採用したシリコン樹脂はマイナスの電荷を帯びやすく、ほこり汚れが留まり、最終的なほこりの除去率が低下したと考えられる。

本実験により、ゲル材料を起源としたセルフクリーニング機能に加え、アクティブな機構を設けたセルフクリーニング表面の有用性を示すことができた。本機構はソフトロボットへの応用が可能で、ソフトロボットの表面洗浄だけでなく、テクスチャや外観の変化を生み出すことができる。また、外界との接触が多いソフトロボットでは材料の劣化により機能が低下することが予想されるため、本機構による表面のセルフクリーニングによってソフトロボットの長期運用の道が拓かれるだろう。

④ 3D ゲルプリンターによる ICN ゲルステータの造形と一軸偏心ねじポンプにおける活用

ICN ゲル構造体の応用例として、流体を輸送する一軸偏心ねじポンプに注目した。一軸偏心ねじポンプはロータ・ステータから構成されるポンプであり、容積式の回転ポンプである。ロータは剛体で構成されるが、移送流体によってはシール性向上を目的としてシリコンゴムのようなソフト材料をステータに用いる。本実験では、ステータの形状で3D造形したICNゲルを一軸偏心ねじポンプに組み込み、ポンプの吐出量とトルクを評価することで、ポンプの構成部品としてICNゲルの適用可能性を検証した(図6)。輸送流体はシリコンオイルを使用し、ステータは、シリコンゴムであるHTV-100、3D造形したICNゲル、型成形によるICNゲルを比較した。

回転数を固定し回転速度を変化させたときの吐出量と、回転速度を固定し回転数を変化させたときの吐出量をそれぞれ図7(a), (b)に示す。理論吐出量は、一軸偏心ねじポンプの形状から幾何学的に算出した。型成形によるICNゲルはHTV-2000に匹敵するほど吐出可能である一方で、3D造形したICNゲルは吐出量が最も少ない。3D造形のプロセスに由来する輸送空間(キャビティ)体積の減少によるものと考えられる。

次に、20rpmで一軸偏心ねじポンプを回転させたときの回転軸にかかるトルクを図7(c)に示す。HTV-2000のステータと比較しICNゲル製のステータはトルク値が低いことがわかる。回転時に輸送流体の漏れは確認されなかったため、キャビティ部以外でロータとステータの間に隙間は存在しない。HTV-2000と比較してICNゲルステータが約60~80%のトルク値を減少可能な要因は、ハイドロゲル特有の低摩擦性に由来するものと考えられる。

本実験により、ICNゲルステータを用いた一軸偏心ねじポンプは、吐出量を確保しつつ低トルク性を有する、低環境負荷型のポンプの可能性を示した。吐出圧を求め、連続稼働時のポンプとしての性能を示すことで、よりポンプとしての適用範囲が明確になると予想される。また、現状の3D造形の精度では、吐出性能に大きく影響を与えることがわかった。ICNゲルのようなハイドロゲルを一機械要素として扱うには、さらに造形精度を高める必要がある。

⑤ 膨潤駆動型 ICN ゲルアクチュエータの検討

ICNゲルの3D造形時に光量を調節すると、ICNゲルの膨潤時に屈曲する現象を偶然発見した。これは、1st LayerとLast Layerの表面状態の差異や、ゲル内部組成の密度勾配に起因する1st LayerとLast Layerの膨潤速度の差を利用した現象である。そこで、ICNゲルの屈曲特性について調査し、アクチュエータへの適用可能性を検証した。3D造形後、片端を固定したICNゲルを純水に浸漬し、図8に示す屈曲角度を画像から算出した。

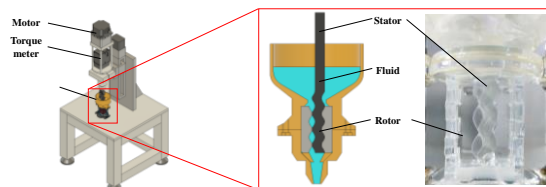


図6 ICNゲルを採用した一軸偏心ねじポンプ

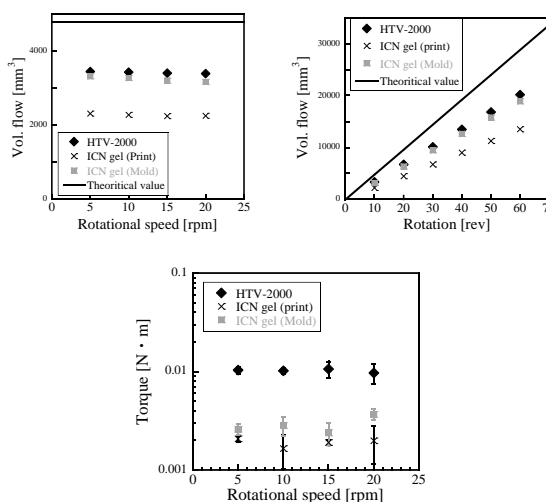


図7 ステータ材料を変えた時の一軸偏心ねじポンプの(a)回転数固定したときの吐出量, (b)回転速度固定したときの吐出量, (c)トルク

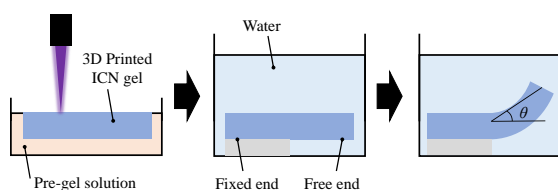


図8 膨潤時に屈曲する ICN ゲル

光の照射回数と屈曲角度の関係を図9(a)に示す。照射回数の増加に伴い屈曲角度が減少している。照射によってゲル内部の重合が促進され、ゲル内部組成の密度勾配の減少に伴い屈曲角度が小さくなったと予想される。屈曲角度を大きくするには光の照射具合を可能な限り小さくする必要があるが、2回照射のゲルは過度に柔軟で取り扱いが難しいため、以降の実験は照射回数3回で行った。材料のパラメータとして、前駆体溶液における開始剤濃度と架橋剤濃度を変化させた場合の屈曲角度の関係をそれぞれ図9(b), (c)に示す。開始剤濃度がモノマーに対して0.02mol%未満の添加では20度程度の小さな屈曲角度となる。一方で、架橋剤濃度は0.1Mが最も大きい屈曲角度となっており、屈曲角度を最大にする最適な濃度が存在することが示唆されている。架橋剤濃度の低下させることでゲル内部組成の密度勾配を大きくなると予想されたが、詳細な屈曲メカニズムを検討する余地がある。

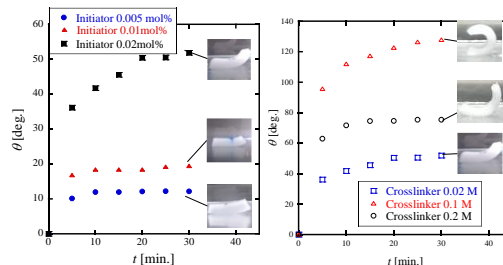
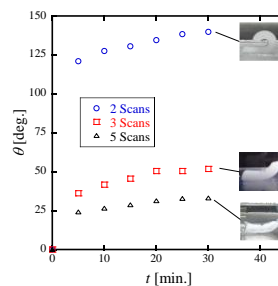


図9 (a)光の照射回数, (b)開始剤濃度, (c)架橋剤濃度と屈曲角度の関係

これらの屈曲現象を利用して、図10に示すような展開図から立体形状に折りたたむICNゲル構造体の造形に成功した。展開図にあらかじめ物体を設置すれば、物体を包むソフトアクチュエータやドラッグデリバリーシステムへの応用が考えられる。本現象は、最大屈曲角度に到達する時間は数分のスケールではないが、照射回数といった造形パラメータや材料の組成パラメータによって、最大屈曲角度と屈曲に要する時間を調節可能である。

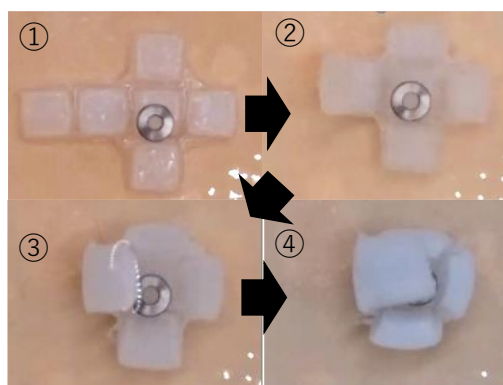


図10 屈曲現象を利用した物を包むアクチュエータ

以上より、主に3Dゲルプリンターを用いたICNゲルの微細構造化プロセスに基づき、ポンプやアクチュエータといった実応用タスクに取り組みうるICNゲルの構造体が存在していることを確認した。また、ゲル単体の性能のみならず、繊維状ゲルの吐出機構を利用した表面性状の改質手法を提案し、ハイドロゲルによるセルフクリーニング表面が創製可能であることを確かめた。提案手法を組みあわせることで、表面をクリーンに保ちながらタスクをこなすソフトロボットへの実装が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kameoka Masanari, Watanabe Yosuke, Shiblee MD Nahin Islam, Kawakami Masaru, Ogawa Jun, Khosla Ajit, Furukawa Hidemitsu, Zhang Shengyang, Hirai Shinichi, Wang Zhongkui	4. 巻 11
2. 論文標題 4D Printing of Hydrogels Controlled by Hinge Structure and Spatially Gradient Swelling for Soft Robots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Machines	6. 最初と最後の頁 103 ~ 103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/machines11010103	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 白井 昭子、登本 洋子、渡邊 洋輔、古川 英光	4. 巻 52
2. 論文標題 Chromebookで動作させたスライスソフトウェアの評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンピュータ&エデュケーション	6. 最初と最後の頁 83 ~ 84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14949/konpyutariyoukyouiku.52.83	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21件（うち招待講演 0件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Yosuke Watanabe, Masaru Kawakami, Shoko Usui, Hidemitsu Furukawa
2. 発表標題 An Open-Source 3D Gel Printer as Co-Creation Platform in Soft Matter Manufacturing
3. 学会等名 ICTSGS2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志賀 郁也、小川 純、渡邊 洋輔、MD Nahin Islam Shiblee, Ajit Khosla, 川上勝、古川英光
2. 発表標題 防汚に適した分子構成をもつ高分子ゲルのターンオーバー機構の開発
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masanari Kameoka, MD Nahin, Islam Shiblee, Yosuke Watanabe, Ajit Khosla, Jun Ogawa, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa
2. 発表標題 4D Printing of Inter-Crosslinking Network Structure Gel with Hinge Structure
3. 学会等名 ICTSGS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fumiya Shiga, Jun Ogawa, Yosuke Watanabe, MD Nahin, Islam Shiblee, Ajit Khosla, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa
2. 発表標題 Application of Regenerable Gel Dispensing Mechanism Inspired by Biological Turnover
3. 学会等名 ICTSGS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井 昭子, 登本 洋子, 櫻井 佑真, 渡邊 洋輔, 古川 英光
2. 発表標題 学校教育における3Dゲルプリンタを活用した立体造形の学習に関する一考察
3. 学会等名 Conference on 4D and Functional Fabrication 2021 (4DFF2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木康海, 川上勝, 渡邊洋輔, 小川純, エムディナヒンイスラムシプリ, アジットコースラ, 古川英光
2. 発表標題 3Dスキャンを可能とするゲルの表面修飾法の検証
3. 学会等名 Conference on 4D and Functional Fabrication 2021 (4DFF2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Funiya Sshiga, Jun Ogawa, Yosuke Watanabe, Masaru Kawakami, Ajit Khosla, MD Nahin, Islam Shiblee, Hidemitsu Furukawa
2. 発表標題 Design of Gel Fiber Turnover for Self Cleaning in Soft Robotics
3. 学会等名 240th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 大介, 渡邊 洋輔, シブリ エムディ, ナヒン イスラム, 小川 純, アジット コースラ, 川上 勝, 古川 英光
2. 発表標題 相互架橋網目ゲルの3Dプリンティングを活用したスラリー液の非損傷システムの検証
3. 学会等名 SmaSys2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊洋輔, 小川純, 川上勝 古川英光
2. 発表標題 弾性率分布を内包した3Dゲルプリンティング技術の開発
3. 学会等名 第14回日本複合材料会議 (JCCM-14)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 糸井麻夏, 小川純, 渡邊洋輔, MD Nahin, Islam SHIBLEE, 川上勝, 古川英光
2. 発表標題 パウチドジェルによる柔らかさの提示方法の検討
3. 学会等名 第53回東北学生会卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂下 大輔, 川上 勝, 渡邊 洋輔, エムディナヒン イスラム シブリ, 小川 純, 古川 英光
2. 発表標題 3Dゲルプリンターを用いた臓器の手術モデルの開発
3. 学会等名 第53回東北学生会卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤大介, 渡邊洋輔, イスラムシブリ MD ナヒン, 小川純, 川上勝, 古川英光
2. 発表標題 高分子ゲルステータを用いた低トルク軸偏心ねじポンプの開発
3. 学会等名 第34回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂下大輔, 渡邊 洋輔, 川上 勝, 小川 純, MD Nahin, Islam SHIBLEE, 古川 英光
2. 発表標題 3Dゲルプリンターを用いた臓器の手術モデルの作製
3. 学会等名 4DFF2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 糸井麻夏, 小川純, 渡邊洋輔, MD Nahin, Islam SHIBLEE, 川上勝, 古川英光
2. 発表標題 パウチドジェルによる触覚の保存方法の検討
3. 学会等名 4DFF2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤大介, 渡邊洋輔, イスラムシブリ MD ナヒン, 小川純, 川上勝, 古川英光
2. 発表標題 高分子ゲルステータを用いた一軸偏心ねじポンプの造形
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 佑真, 渡邊 洋輔, 川上 勝, イスラム ジブリ, エムディ ナヒン, 小川 純, 古川 英光
2. 発表標題 磁性粒子を内包した相互架橋網目ゲルの三次元造形
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 亀岡将成, イスラムシブリ MD ナヒン, 渡邊洋輔, 川上勝, 小川純, 古川英光
2. 発表標題 3Dゲルプリンターによる階層構造を応用した4Dプリンティングの開発
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke Sato, Yosuke Watanabe, Jun Ogawa, MD Nahin, Islam Shiblee, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa
2. 発表標題 Evaluation of Gel PCPs with Different Elasticity and Fabrication Methods
3. 学会等名 13th International Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masanari Kameoka, MD Nahin, Islam Shiblee, Yosuke Watanabe, Masaru Kawakami, Jun Ogawa, Hidemitsu Furukawa
2. 発表標題 Swelling-driven 4D printing using a 3D gel printer
3. 学会等名 13th International Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yosuke Watanabe, Masaru Kawakami, Jun Ogawa, Hidemitsu Furukawa
2. 発表標題 Custom 3D Gel Printers in Soft Matter Manufacturing: Free Surface and Constrained Surface Approaches
3. 学会等名 13th International Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 亀岡将成, 渡邊洋輔, イスラムシプリ MD ナヒン, 川上勝, 小川純, 古川英光
2. 発表標題 膨潤速度勾配を利用した4Dプリンティング技術の開発
3. 学会等名 第34回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 古川 英光、川上 勝	4. 発行年 2022年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 600
3. 書名 やわらかものづくりハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

山形大学SWELのHP
<https://swel.jp/>
山形大学SWELのfacebookページ
<https://www.facebook.com/swelbook/>
やわらか図鑑（3Dゲルプリンターやその造形物についてのHP）
<https://yawaraka3dcollections.studio.site>

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