

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25810123

研究課題名(和文)階層的デザインによるスマートなサーマルメカニカルゲル材料の創製

研究課題名(英文)Smart Thermal-mechanical Gel Developed by Hierarchical Design

研究代表者

宮 瑾(Gong, Jin)

山形大学・理工学研究科・助教

研究者番号：30631759

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)：本研究は申請者の高分子構造制御に関する研究成果に立脚し、(1)申請者が独自に「メゾ・デコレーション(Meso-Deco)」と名付けた階層的構造デザインにより、(2)結晶化とエントロピー弾性が共存する場合の複雑な熱-力学変換の制御可能性に注目して、スマートデバイスに適用しうるサーマル・メカニカル(TM)ゲル材料を開発した。さらに、スマートTMゲル材料の熱-力学変換制御の最初の応用例として、TMゲルを用いてスマートなボタンスイッチを試作し、その実証実験を行った。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to develop smart thermal-mechanical (TM) gel by using special hierarchical structure design method, which is named as Meso-Decoration. In the previous research, the researcher succeeded in controlling simultaneously the primary structure and morphology of high-performance aromatic polymers, and in synthesising the shape memory gel. The TM gel capable of being applied in smart devices is synthesized successfully in this research on the ground of the researcher's hierarchical structure control technology. Furthermore, a prototype of smart button switch unit is made to verify the thermal response function of TM gel.

研究分野：高分子・繊維材料

キーワード：ゲル 合成 結晶 機能性

1. 研究開始当初の背景

当該研究者は、1次構造形成と同時に高次構造を作り上げる階層的デザイン(「メゾ・デコレーション(Meso-Deco)」と名付けた)手法を用いて、ポリベンズイミダゾール(PBI)の高次構造制御を行い、多様なモルフォロジーのPBI結晶の作製に成功した[1-4]。また、当該研究者らは2012年に形状記憶機能を有する形状記憶ゲル(SMG)を新規開発した[5]。以上のように、高分子の階層的構造デザインと熱応答性ゲルの合成に関する先行研究を行い、両方とも成功したため、当該研究者は本研究の新しいタイプのスマートな熱-力学変換(サーマルメカニカル、TM)ゲル材料の開発を提案した。

2. 研究の目的

本研究は当該研究者が独自に「メゾ・デコレーション(Meso-Deco)」と名付けた階層的構造デザインにより、スマートデバイスに適用しうるTMゲル材料を開発する。これにより開発されたTMゲルは、(1)転移温度のデザインにより、加熱⇔冷却時の変形挙動が制御できる【熱⇔力学変換制御】、(2)エントロピー変化のデザインにより、変形時の吸発熱を制御できる【力学⇔熱変換制御】、というスマートさを獲得する。スマートTMゲル材料の熱⇔力学変換制御の最初の応用例として、スマートなボタンスイッチを試作し、その実証実験を行った。

3. 研究の方法

モノマー、架橋剤と開始剤等をよく混ぜるまで攪拌した後、二枚のガラス板の間に1mmのシリコンスペーサーを挟んだ鋳型にゲル溶液を流し込む。パラフィルムでゲル溶液の導入口を閉じた後、UVランプを約9時間照射することでTMゲルを合成した。得られたTMゲルについて、DSC、広角X線回折(WAXS)等の結晶構造解析を行った。また、合成したTMゲルシートを用いて、スマートなボタンスイッチを設計試作した。

4. 研究成果

(1) TMゲルの合成に成功

TMゲルのDSC測定結果を図1に示す。2つ結晶の融解ピークが観察された。1つは43°Cくらいの低温側のピークで、もう1つは134°C前後の高温側のピークである。つまり、TMゲルに2種の結晶が存在することが分かった。図2に示すように広角X線回折(WAXS)結果により、強度の高いシャープなピークが観察され、TMゲルは高い結晶性を有することが示された。TMゲルの構造については、化学架橋点から形成された3次元網目構造、物理架橋点となる結晶構造、さらに非晶部分が共存していることが推測された(図3)。また、TMゲルは透明であることから、結晶が十分小さいことが推測される。TMゲルの透明

化メカニズムを解明するため、さらなる研究を進行中である。

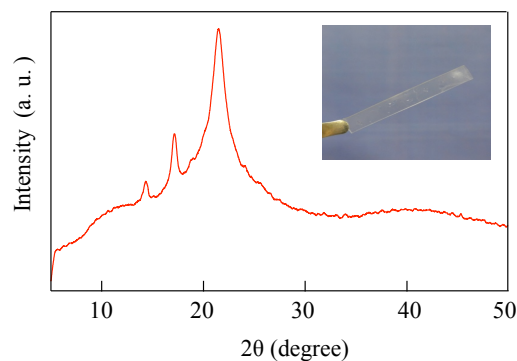


図1 TMゲルのWAXS測定結果

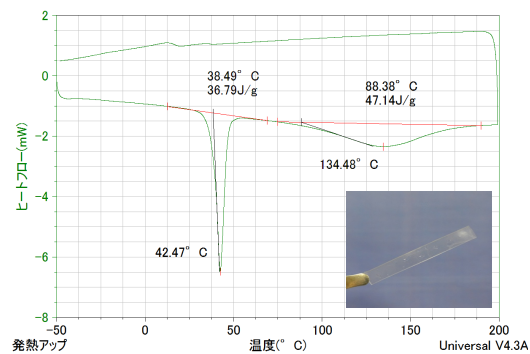


図2 TMゲルのDSC測定結果

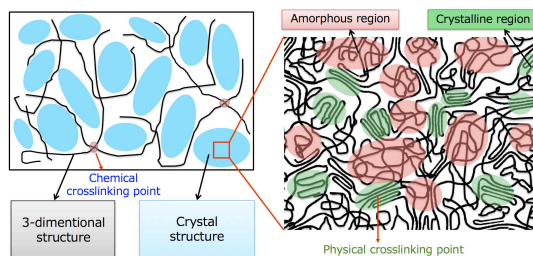


図3 推測したTMゲルの構造

(2) 応用例の一つとして、スマートなボタンスイッチの試作に成功

TMゲル材料の機能評価をするため、スマートなロック機構が付与されたゲルボタンスイッチユニットモデルを作成した。このユニットはカバー、ボタン、TMゲルディスク、ベースの4つパーツで構成されている。このボタンスイッチユニットモデルを用いて、実際に回路に組み込み、電球を点灯させる実証テストを行った。室温ではTMゲルが硬化しているため押すことができず電球が点灯しない。加熱時はTMゲルが軟化し押せるようになり電球が点灯した。TMゲルボタンスイッチは上手く動作し、実証テストに成功した(図4)。

<引用文献>

(1) J. Gong, Y. Yakushi, T. Uchida, S. Yamazaki and K. Kimura, One-pot Preparation of Aromatic Poly(azomethine ester) Fibrillar Crystals Using Journal

of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 49, 2011, 127-137.

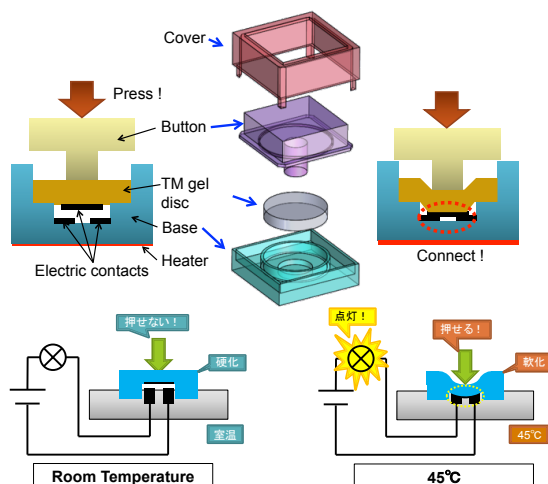


図4 TMゲルボタンスイッチと検証実験

- (2) J. Gong, T. Uchida, S. Yamazaki, K. Kimura, Morphology Control of Various Aromatic Polyimidazoles Using Reaction-induced Crystallization, *Journal of Applied Polymer Science*, 121, 2011, 2851-2860.
- (3) J. Gong, T. Uchida, S. Yamazaki, K. Kimura, Poly [2,6-(1,4-phenylene)-benzobisimidazole] Nanofiber Networks, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 211(20), 2010, 2226-2232.
- (4) J. Gong, S. Kohama, K. Kimura, S. Yamazaki, K. Kimura, Preparation of Brush-like Crystals of Poly [2,6-(1,4-phenylene)- benzobisimidazole], *Polymer*, 49(18), 2008, 3928- 3937.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件、すべて査読有)

- (1) M. H. Kabir, Y. Amano, S. Harada, J. Gong, H. Furukawa, Chemically Cross-linked Hydrogel Having High Mechanical Strength, *European Scientific Journal* **2015**, 11(6), 1-10. <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/5119>
- (2) J. Gong, M. Shitara, R. Serizawa, M. Makino, M. H. Kabir, H. Furukawa, 3D Printing of Meso-Decorated Gels and Foods, *Materials Science Forum* **2014**, 783-786, 1250-1254. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.1250
- (3) M. H. Kabir, M. Makino, J. Gong, H. Furukawa, Structural Analysis of Shape Memory Gel, *Advanced Materials Research* **2014**, 922, 248-253. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.922.248
- (4) H. Furukawa, N. Tan, Y. Watanabe, J. Gong, M. H. Kabir, et al, High-Strength Network Structure of Jungle-Gym Type Polyimide Gels Studied with Scanning Microscopic Light Scattering, *Mechanics and Model-Based Control of Advanced Engineering Systems* **2014**, 223, 103-111. DOI: 10.1007/978-3-7091-1571-8_12
- (5) M. H. Kabir, T. Hazama, Y. Watanabe, J. Gong, K.

Murase, T. Sunada, H. Furukawa, Smart hydrogel with shape memory for biomedical applications, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineering* **2014**, 45, 3134-3138. DOI: 10.1016/j.jtice.2014.09.035

- (6) J. Gong, S. Igarashi, K. Sawamura, H. Furukawa, Gel Engineering Materials Meso-Decorated with Polymorphic Crystals, *Advanced Materials Research* **2013**, 746, 325-329. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.746.325
- (7) J. Gong, Y. Watanabe, R. Hidema, M. H. Kabir, H. Furukawa, Development of A Novel Standard Type of Gel Engineering Materials via Simple Bulk Polymerization, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering* **2013**, 7(3), 455-462. DOI:10.1299/jmmp.7.455
- (8) M. H. Kabir, J. Gong, Y. Watanabe, M. Makino, H. Furukawa, Hard-to-soft transition of transparent shape memory gels and the first observation of their critical temperature studied with scanning microscopic light scattering, *Materials Letters* **2013**, 108, 239-242. DOI: 10.1016/j.matlet.2013.07.002
- (9) 天野吉貴, 宮瑾, 古川英光, 高機械特性と透明性を併せ持ち高分子ゲル材料の開発と応用展開, *Polyfile* **2013**, 50(6), 34-37. <http://ci.nii.ac.jp/naid/40019719332>
- (10) J. Gong, H. Furukawa, Smart Optical Device of Varifocal Lens Developed with High Transparent Shape Memory Gels, *Expected Materials for the Future* **2013**, 13(1), 5-8. <http://www.nts-book.co.jp/mirai/bn.html>
- (11) 山本晃己, 日出間り, 宮瑾, 古川英光, 導電性を持つ記憶ゲルのジュール熱制御, *日本機械学会論文集 A 編* **2013**, 79(800), 512-516. DOI:10.1299/kikaia.79.512
- (12) H. Muroi, R. Hidema, J. Gong, H. Furukawa, Development of Optical 3D Gel Printing for Fabricating Free-Form Soft & Wet Industrial Materials and Evaluation of Printed Double-Network Gels, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering* **2013**, 7(2), 163-168. DOI: <http://doi.org/10.1299/jmmp.7.163>
- (13) M. Wada, R. Hidema, T. Chiba, K. Yamada, N. Yamada, J. Gong, H. Furukawa, Surface and Bulk Mechanical Properties of Soft and Wet Materials, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering* **2013**, 7(2), 228-234. DOI: 10.1299/jmmp.7.228
- (14) Y. Watanabe, K. Maekawa, R. Hidema, M. H. Kabir, J. Gong, H. Furukawa, Structural Analysis and Mechanical Properties of Dry-Synthesis Gels, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering* **2013**, 7(2), 224-227. DOI: 10.1299/jmmp.7.224
- (15) H. Furukawa, R. Hidema, G. Takada, Y. Amano, M. H. Kabir, J. Gong, Smart Hydrogels Developed With Inter-crosslinking Network (ICN) Structure, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering* **2013**, 7(2), 245-250. DOI: 10.1299/jmmp.7.245

[学会発表] (計 48 件)

- (1) 新井正徳, 熊谷大慧, 宮瑾, 牧野真人, 川上勝, 古川英光, 形状記憶ゲルを活用した Gel Chemical transistor の開発, 日本

- 機械学会東北支部, 東北大学工学部青葉記念会館, 仙台, 宮城県, 3月11日, 2016.
- (2). 宮瑾, 結晶性形状記憶ゲルの高透明と強靱化, 平成27年度東北地区先端高分子セミナー, 福島市穴原温泉 山房 月ヶ瀬, 福島県, 2016年3月8日. (招待講演)
 - (3). 宮瑾, 結晶性高透明ゲルの合成、構造と3Dプリンティング, 日本ゴム協会関東支部 技術講演会, 仙台市情報・産業プラザ(AER 6階)セミナールーム(1)AB, 宮城県, 2016年2月5日. (招待講演)
 - (4). 宮瑾, 毛宇辰, 佐藤高彰, 結晶性透明形状記憶ゲルの構造, 平成27年度繊維学会秋季研究発表会, 京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス, 京都, 10月22日~23日, 2015.
 - (5). 宮瑾, 熊谷大慧, 新井正徳, 透明形状記憶ゲルの3Dプリンティング, 第64回高分子討論会, 東北大学川内キャンパス, 仙台, 宮城県, 9月15日~17日, 2015.
 - (6). 新井正徳, 熊谷大慧, 宮瑾, 牧野真人, 川上勝, 古川英光, 形状記憶ゲルを活用したケミカルスマートバルブの開発, 第64回高分子討論会, 東北大学川内キャンパス, 仙台, 宮城県, 9月15日~17日, 2015.
 - (7). 熊谷大慧, 新井正徳, 宮瑾, 齊藤梓, 牧野真人, 川上勝, 古川英光, 透明形状記憶ゲルの屈折率, 第64回高分子学会年次大会, 札幌コンベンションセンター, 札幌, 北海道, 5月27日~29日, 2015.
 - (8). 宮瑾, 熊谷大慧, 新井正徳, 齋藤梓, M. Hasnat Kabir, 牧野真人, 川上勝, 古川英光, 高強度透明形状記憶ゲルの構造, 第26回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館, 東京, 1月19日-20日, 2015.
 - (9). 宮瑾, 形状記憶ゲル新素材と3Dゲルプリンターの活用, 第50回夏期講座「基礎研究に基づいたゴム技術イノベーション」, 京都大学 桂キャンパス 桂ホール, 京都, 2014年11月17日. (招待講演)
 - (10). 宮瑾, 機能性ゲル新素材と3Dゲルプリンターの活用, 日本学術振興会情報科学用有機材料第142委員会ABC部会合同研究会, 東京 PORTA (ポルタ) 神楽坂7F会議室, 2014年11月7日. (招待講演)
 - (11). 宮瑾, 新井正徳, 熊谷大慧, M. Hasnat Kabir, 古川英光, 透明形状記憶ゲルの透明化メカニズム, 第63回高分子討論会, 長崎大学, 長崎, 9月24日-26日, 2014.
 - (12). 宮瑾, 世界初 透明度自在制御可能な形状記憶ゲル, H26年度 最上夜学, 新庄しんきん文化ホール「レキシントン」, 山形県, 2014年9月18日. (招待講演)
 - (13). Jin Gong, Yoshitaka Amano, M. Hasnat Kabir, Masato Makino, Hidemitsu Furukawa, Thermal-mechanical Gels for Optical Devices, *Proceedings of the ASME 2014 Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, SMASIS2014*, September 8-10, 2014, Newport, Rhode Island, USA.
 - (14). Jin Gong, Mariko Shitara, Ryo Serizawa, Masato Makino, Hidemitsu Furukawa, Creation of the Food Ink Applicable in a 3D Food Printer, *Proceedings of the JSME/ASME 2014 International Conference on Materials and Processing, ICMP2014*, June 9-13, 2014, Detroit, Michigan, USA.
 - (15). Jin Gong, Yoshitaka Amano, M. Hasnat Kabir, Masato Makino, Hidemitsu Furukawa, Shape Memory Gel Having Inter-Crosslinking Network Structure, *Proceedings of the JSME/ASME 2014 International Conference on Materials and Processing, ICMP2014*, June 9-13, 2014, Detroit, Michigan, USA.
 - (16). M. Hasnat Kabir, Jin Gong, Yosuke Watanabe, Hidemitsu Furukawa, Mechanical properties of polymeric shape memory hydrogel, *Proceedings of the JSME/ASME 2014 International Conference on Materials and Processing, ICMP2014*, June 9-13, 2014, Detroit, Michigan, USA.
 - (17). Naoya Yamada, Kohei Yamada, Masato Wada, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Frictional Measurement of Gel Engineering Materials with Laser Processed Surface, *Proceedings of the JSME/ASME 2014 International Conference on Materials and Processing, ICMP2014*, June 9-13, 2014, Detroit, Michigan, USA.
 - (18). Yosuke Watanabe, Jin Gong, Shota Murata, Makino Masato, M. Hasnat Kabir and Hidemitsu Furukawa, Design Of Realistic Eye Model With Smart Shape Memory Gel (SMG), *Proceedings of the JSME/ASME 2014 International Conference on Materials and Processing, ICMP2014*, June 9-13, 2014, Detroit, Michigan, USA.
 - (19). Masato Wada, Kohei Yamada, Naoya Yamada, Masato Makino, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Sliding Frictional Properties of High Functional Gel Materials, *Proceedings of the JSME/ASME 2014 International Conference on Materials and Processing, ICMP2014*, June 9-13, 2014, Detroit, Michigan, USA.
 - (20). Jin Gong, Masanori Arai, Shota Murata, Md. Hasnat Kabir, Masato Makino, Hidemitsu Furukawa, High transparent shape memory gels, *Proc. SPIE 9056, Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) 2014*, March 11-12, 2014, San Diego, California, USA, 90561K, doi:10.1117/12.2044831.
 - (21). Ryo Serizawa, Mariko Shitara, Kouki Yamamoto, Jin Gong, Masato Makino, Md. Hasnat Kabir, Hidemitsu Furukawa, 3D jet printer of edible gels for food creation, *Proc. SPIE 9058, Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials and Composites 2014*, March 11-12, 2014, San Diego, California, USA, 90580A, doi:10.1117/12.2045082.
 - (22). Takuma Shibata, Jin Gong, Yosuke Watanabe, M. Hasnat Kabir, Makino Masato, Hidemitsu Furukawa, Koichi Nishitsuka, Non-destructive examination

- system of vitreous body, *Proceedings of SPIE 9060, Nanosensors, Biosensors, and Info-Tech Sensors and Systems 2014*, March 11-12, 2014, San Diego, California, USA, 90600M, doi:10.1117/12.2045066.
- (23). Naoya Yamada, Jin Gong, Masato Makino, Md. Hasnat Kabir, Keisuke, Maekawa, Masato Wada, Hidemitsu Furukawa, Frictional properties of gel engineering materials with laser surface texturing, *Proceedings of SPIE 9058, Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials and Composites 2014*, March 11-12, 2014, San Diego, California, USA, 90580C, doi:10.1117/12.2046261.
- (24). Yosuke Watanabe, Jin Gong, Masato Makino, M. Hasnat Kabir, Hidemitsu Furukawa, 3D scanning of internal structure in gel engineering materials with visual scanning microscopic light scattering, *Proceeding of SPIE 9060, Nanosensors, Biosensors, and Info-Tech Sensors and Systems 2014*, March 11-12, 2014, San Diego, California, USA, 90601C, doi:10.1117/12.2045212.
- (25). Kouhei Yamada, Naoya Yamada, Yosuke Watanabe, Masato Wada, Jin Gong, Masato Makino, Md. Hasnat Kabir, Hidemitsu Furukawa, Development of a standard method to observe the surface friction of high-strength gels, *Proc. SPIE 9058, Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials and Composites 2014*, March 11-12, 2014, San Diego, California, USA, 90580G, doi:10.1117/12.2044841.
- (26). Masato Wada, Kohei Yamada, Naoya Yamada, Masato Makino, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Frictional properties of high functional gel materials, *Proceeding of SPIE 9058, Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials and Composites 2014*, March 11-12, 2014, San Diego, California, USA, 90580D, doi:10.1117/12.2045078.
- (27). Mitsuhiro Yamano, Daisuke Goto, Kenji Ujiie, Naoki Akiba, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Experiments of a Variable Stiffness Robot Using Shape Memory Gel, 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Kobe International Conference Center, Kobe (Japan), Dec 15-17, 2013.
- (28). 宮瑾, 新井正徳, 古川英光, 丈夫かつ透明な形状記憶ゲルを用いたアクチュエータ, 第23回日本MRS年次大会 スマート・インテリジェント材料・デバイスセッション, 横浜市開港記念会館, 横浜, 神奈川県, 2013年12月9日。(招待講演)
- (29). Hidemitsu Furukawa, Hisato Muroi, Jin Gong, M. Hasnat Kabir, Masato Makino, 3D Printing of Intricate Soft and Wet Systems, *Proceedings of 224th ECS (The Electrochemical Society) Meeting*, San Francisco, California, USA, Oct 27-Nov 1, 2013.
- (30). 宮瑾, 狭間貴博, 新井正徳, 村田奨太, 渡邊洋輔, 牧野真人, M. Hasnat Kabir, 古川英光, 透明形状記憶ゲルを用いたスマートレンズ, 情報計算法生化学会 (CBI学会) 2013年大会 -生命医薬情報学連合大会-, タワーホール船堀, 東京, 10月28日~31日, 2013.
- (31). M. Hasnat Kabir, Jin Gong, Masato Makino, Hidemitsu Furukawa, Biomedical Application of Smart Transparent Shape Memory Gel, *The 4th Asian Symposium on Advanced Materials-Chemistry, Physics & Biomedicine of Functional and Novel Materials (ASAM-4)*, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan, Oct 22-25, 2013.
- (32). Naoya Yamada, Masato Wada, Kohei Yamada, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, In-Situ Observation and Frictional Measurement of the Interface Between Gel and Other Materials, *The 4th Asian Symposium on Advanced Materials-Chemistry, Physics & Biomedicine of Functional and Novel Materials (ASAM-4)*, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan, Oct 22-25, 2013.
- (33). 宮瑾, 五十嵐進, 澤村健介, 牧野真人, カピルムハマドハスナット, 古川英光, メゾデコレーションによる機能性ゲル材料の開発, 第62回高分子討論会, 金沢大学角間キャンパス, 金沢, 石川県, 9月11日~13日, 2013, p. 4335.
- (34). 宮瑾, 澤村健介, 五十嵐進, 牧野真人, 古川英光, メゾ・デコレーションによるスイッチングゲルノットゲルの開発, 日本機械学会2013年度年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 岡山, 岡山県, 9月8日~11日, 2013.
- (35). M. Hasnat Kabir, Jin Gong, Yosuke Watanabe, Masato Makino, Hidemitsu Furukawa, The applications of shape memory gel as a smart material, *Proceedings of The 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS ASEPS3 The third Asia-Europe Physics Summit (APPC12)*, International Conference Halls, Makuhari Messe Chiba, Japan, Jul 14-16, 2013, p. 682.
- (36). Masato Wada, Jin Gong, Masato Makino, M. Hasnat Kabir, Hidemitsu Furukawa, Friction characteristic by the temperature change of the gels, *Proceedings of The 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS ASEPS3 The third Asia-Europe Physics Summit (APPC12)*, International Conference Halls, Makuhari Messe Chiba, Japan, Jul 14-16, 2013, p. 152.
- (37). Yuta Abe, Jin Gong, Masato Makino, M. Hasnat Kabir, Hidemitsu Furukawa, Silver Nanowires (AgNWs) Embedded Electrodes for Gel Actuator, *Proceedings of The 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS ASEPS3 The third Asia-Europe Physics Summit (APPC12)*, International Conference Halls, Makuhari Messe Chiba,

- Japan, Jul 14-16, 2013, p. 685
- (38). Yosuke Watanabe, Jin Gong, Masato Makino, M. Hasnat Kabir, Hidemitsu Furukawa, Imaging of Internal Structure in Gel Engineering Materials with Visual Scanning Microscopic Light Scattering, Proceedings of The 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS ASEPS3 The third Asia-Europe Physics Summit (APPC12), International Conference Halls, Makuhari Messe Chiba, Japan, Jul 14-16, 2013, p. 684
- (39). Jin Gong, Masato Makino, M. Hasnat Kabir, Hidemitsu Furukawa, Meso-Decorated Gels: Preparation and Applications, International Conference of Smart System Engineering 2013 (Smasys2013), Denkokuno mori, Yonezawa, Japan, 2013 月 7 月 12 日. (招待講演)
- (40). Jin Gong, Kensuke Sawamura, Susumu Igarashi, Hidemitsu Furukawa, Meso-Decorated Self-Healing Gels: Network Structure and Properties, Proceedings of SPIE 2013, March 12-13, 2013, San Diego, California, USA, Vol. 8689, pp. 8689H-1-8689H-5. doi: 10.1117/12.2009340
- (41). Yuta Abe, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Silver Nanowires Embedded Gel Electrodes, Proceedings of SPIE 2013, March 12-13, 2013, San Diego, California, USA, Vol. 8687, pp. 86872B-1-86872B-3.
- (42). Yosuke Watanabe, M. Hasnat Kabir, Jin Gong, Furukawa Hidemitsu, Nanoscale Imaging of Mesh Size Distribution in Gel Engineering Materials with Visual Scanning Microscopic Light Scattering, Proceedings of SPIE 2013, March 12-13, 2013, San Diego, California, USA, Vol. 8689, pp. 86911C-1-86911C-6.
- (43). M. Hasnat Kabir, Yusuke Watanabe, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Characterization of Shape Memory Gels using Scanning Microscopic Light Scattering, Proceedings of SPIE 2013, March 12-13, 2013, San Diego, California, USA, Vol. 8689, pp. 86911D-1-86911D-7.
- (44). Naoya Yamada, Masato Wada, M. Hasnat Kabir, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Observation Instrument of Dynamic Frictional Interface of Gel Engineering Materials with Polarized Optical Microscopic, Proceedings of SPIE 2013, March 12-13, 2013, San Diego, California, USA, Vol. 8689, pp. 86890I-1-86890I-7.
- (45). Hidemitsu Furukawa, Hisato Muroi, Kouki Yamamoto, Ryo Serizawa, Jin Gong, GEM Printer: 3D Gel Printer for Free Shaping of Functional Gel Engineering Materials, Proceedings of SPIE 2013, March 12-13, 2013, San Diego, California, USA, Vol. 8689, pp. 86892W-1-86892W-4.
- (46). Jin Gong, Kensuke Sawamura, Susumu Igarashi, Yuta Abe, Hidemitsu Furukawa, Gel Engineering Materials Meso-Decorated with Polymorphic Crystals, Crosslinkable

Pendent Chains and Silver Fibers, The 2nd Green MAP Center International Symposium, Yamagata University, Yonezawa, Japan, 2013 年 1 月 25 日. (招待講演)

- (47). 宮瑾, 横尾友博, 古川英光, “ゲルを用いたスマート光学素子”, 第 24 回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館, 東京, 1 月 16 日-17 日, 2013.
- (48). 原田翔, 宮瑾, 古川英光, 形状記憶ゲルを用いた入力装置の開発, 第 24 回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館, 東京, 1 月 16 日-17 日, 2013.

[図書] (計 2 件)

- (1). 宮瑾, 古川英光, 「ゲルテクノロジーハンドブック」第 3 編 第 4 章 第 5 節 3D ゲルプリンター —ゲル製造・成形加工の革命— 株式会社エヌ・ティー・エス・東京, 2014 年 10 月. 908p. pp.500-504
- (2). 宮瑾, 古川英光, 「次世代医療・ヘルスケア機器のデバイス技術と最新開発事例集」, 第 4 章 第 9 節, 3D ゲルプリンタの開発と医療・ヘルスケアへの応用可能性 株式会社技術情報協会・東京, 2014 年 5 月. 684p. pp. 546-552

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 液体移動制御用バルブ
発明者: 古川英光, 宮瑾, 新井正徳, カビルムハマドハスナット, 牧野真人
権利者: 国立大学法人山形大学
種類: 特許
番号: 特願 2015-4499
出願年月日: 2015 年 3 月 6 日
国内外の別: 国内

[その他]

<http://gong-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮瑾 (GONG, Jin)

山形大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 30631759

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

古川 英光 (FURUKAWA, Hidemitsu)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 50282827

木村 邦生 (KIMURA, Kunio)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科

教授

研究者番号: 40274013