

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02804

研究課題名(和文)力学/化学的性質の独立制御によるメカノバイオロジカル高分子ゲルの創製

研究課題名(英文)Preparation of mechanobiological polymer gels by independent control of mechanical/chemical properties

研究代表者

上木 岳士 (UEKI, Takeshi)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主任研究員

研究者番号：00557415

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)：生命現象に及ぼす「力」の効果を探求するメカノバイオロジーと呼ばれる研究分野では、材料の力学的性質と化学的性質の独立制御が可能な高分子ゲルの設計論の確立が望まれている。本研究では液体物性制御の容易なイオン液体(IL)を溶媒に用いた高分子ゲル細胞足場材料の創製を目指した。主な成果として1. IL中のラジカル重合反応を利用すると高分子の絡み合いに基づくイオンゲル材料が形成され、2. この材料の力学/化学的性質はILおよび高分子構造で自在に制御可能であること、さらに3. アゾベンゼン含有高分子ゲルからなる細胞足場材料を創製し、MCF-7細胞への力学刺激に対する応答を調査、報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細胞は生理化学的要因のみならず力学的要因によっても、その動態や運命を決定することが知られている。本研究により、力学操作のみによって生命現象を制御できるような医療技術が開発されれば、既存の薬物による治療法から脱却した画期的治療法「メカノセラピー」が可能になり次世代の健康社会創出(医療費の抑制、健康寿命の延伸、社会活動時間の増加、介護負担・費用の低減など)に貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：In the research field of mechanobiology, which explores the effects of "force" on biological phenomena, it is desirable to establish a functional polymer gels that allows independent control of the mechanical and chemical properties of materials. In this study, we aimed at realizing polymer gel scaffold using ionic liquids (ILs) as solvents, whose liquid properties can be easily controlled. The main results of this study are as follows: (1) radical polymerization in ILs can form ion gels based on unique polymer entanglement as a dynamic cross-linking point, (2) the mechanical/chemical properties of ion gels can be controlled by changes in ILs and polymer structures, and (3) cell scaffold materials consisting of azobenzene-bearing polymer gels have been prepared to investigate the response to mechanical stress. The response of MCF-7 cells against mechanical stimuli was investigated and reported.

研究分野：高分子材料

キーワード：高分子ゲル イオン液体 イオンゲル ブロック共重合体 メカノバイオロジー 細胞足場材料

1. 研究開始当初の背景

力学刺激が細胞にどのように感知され、その制御機構がどのように働くかを解明し、利用しようとする学問領域を「メカノバイオロジー」と呼ぶ。究極的に力学操作のみによって生命現象を制御できるような医療技術が開発されれば、既存の薬物による治療法から脱却した画期的治療法「メカノセラピー」が可能になり、次世代の健康社会創出(医療費の抑制、健康寿命の延伸、社会活動時間の増加、介護負担・費用の低減など)に貢献することができる。Englerらは架橋密度を系統変化させたアクリルアミド系ハイドロゲル界面においてヒト間葉系幹細胞(hMSCs)の分化誘導を行ったところ、ハイドロゲルの硬さ(ヤング率)に応じて細胞の分化先が決定される事実を報告した。(Cell, 2006, 126, 677.)分化した細胞のヤング率は足場に用いたハイドロゲルのそれと一致したことから細胞は生理科学的要因のみならず周囲の力学環境をも認識し、判断し、自身の運命を導いていることを示唆する。しかし一方、奇妙なことに、こうした hMSCs の力学応答性は、同様の力学特性を持つポリジメチルシロキサン(PDMS)エラストマー上では、途端に失われる。(Nat. Mat., 2012, 11, 642.)このような力学刺激に対する細胞応答の逆転現象すなわち細胞の力学“非”応答性はメカノバイオロジー分野でしばしば逆説的に議論されており、ときに上記したような医療技術開発ないしは、その材料設計戦略を妨げる問題になっていた。

2. 研究の目的

細胞の力学(非)応答性はこれまで足場の化学的要因(足場材料の表面官能基、吸着タンパク質のコンフォメーション状態の違い等)と、構造力学的要因(トポロジー、摩擦、表面弾性率の違い等)の複合効果により説明されてきた。(PNAS, 2018, 115, 4631.)その一方、究極の目標である「生命を操る力学材料」を実現するにあたって重要な役割を担う、材料サイドのキープレーヤーは特定できていない。そこで本研究では材料のバルクから界面まで含めた力学/化学環境の合理設計と、それに対する細胞応答観測の実現を目的とした。具体的には細胞足場材料の力学的/化学的性質のデカップリングを実現し、なおかつそれぞれの要素を独立に制御できるような高分子ゲル足場材料を合成、細胞に力学刺激を効率よく送達するメカノバイオロジカル材料の構築を目指した。

3. 研究の方法

高分子ゲルの三大構成要素は「高分子網目」、「架橋」、「溶媒」である。本研究では高分子ゲル材料の設計論として見逃されてきた、溶媒成分のエンジニアリングにより材料の力学/化学的環境の系統変化が可能な新規細胞足場材料を創製する。具体的には細胞に毒性を示さず、かつ疎水性のアルキルホスフォニウム系イオン液体(APIILs)を溶媒としたゲル足場材料を探索する。一般的にイオン液体(IL)は使用者が目的に応じて、その構造や物性を設計できる特長からデザインーソルベントという異名を持つ。また(APIILs)は本質的に疎水性でありながらヘキサン程度の低極性から、低級アルコール、ジメチルスルフォキシドのような高極性環境を提供することも可能である。(APIILs)を主成分として含むゲル(界面)を設計した場合、材料自身に広範な極性環境を担保させることが可能となる。研究開始当初、この液体は種々の汎用架橋高分子をよく膨潤させ、細胞観察に適した透明な自立薄膜を形成することを突き止めていた。高分子ゲルの化学的性質および損失弾性率、あるいは比較的短い緩和成分を担う APIILs と、貯蔵弾性率や応力緩和、および比較的長い緩和成分を担う高分子(網目)成分の合理かつ精密な設計により材料サイドからメカノバイオロジー分野に切り込む。

4. 研究成果

(APIILs)を細胞足場材料として利用すべく、これと高分子を複合化した自立薄膜を形成するための方法論を検討した。APIILsとしては既に我々が細胞無毒性かつ疎水性であることを見出していた、トリエチルペンチルホスフォニウムビス(トリフルオロメタンスルフォニル)イミド([P2,2,2,5][TFSI])、トリブチルメチルホスフォニウムビス(トリフルオロメタンスルフォニル)イミド([P4,4,4,1][TFSI])、およびトリヘキシルテトラデシルホスフォニウムビス(トリフルオロメタンスルフォニル)イミド([P6,6,6,14][TFSI])の3種類を用いた。これら IL を溶解(膨潤)させる高分子(網目)構造を決定すべく汎用ビニルポリマーの溶解性試験を行った。総じてメタ(ア)クリル酸エステル類、アクリルアミド類、ポリエーテル類がこれら APIILs に相溶した。ポリスチレン類はいずれも非相溶系を与えた。IL に対する高分子の溶解性は多くの場合アニオン構造で決定されることが多く、今回の結果もおおむね既報と矛盾無かった。一方、メタ(ア)クリル酸エステル類でも比較的長いアルキル側鎖を有する高分子は[P6,6,6,14][TFSI]に相溶するが、[P2,2,2,5][TFSI]には相溶せず、逆にポリ(メタクリル酸メチル)(PMMA)のような短いアルキル側鎖を有するメタクリル酸エステルは[P6,6,6,14][TFSI]に非相溶系を与えるなど、カチオン構造の変化によって高分子の溶解傾向が若干異なる結果も見てとれた。結論として側鎖に炭素数 4 のアルキル鎖を有するポリ(メタクリル酸 *n*-ブチル)(PnBuMA)モノマーは、これら 3 種類の APIILs と良く相溶し、かつ重合後も透明性を維持したことから細胞足場材料イオンゲルのマトリックスとして選択した。各種 APIILs に所定量のモノマーを溶かし、アゾイソブチロニトリル(AIBN)を開始剤に用いたフ

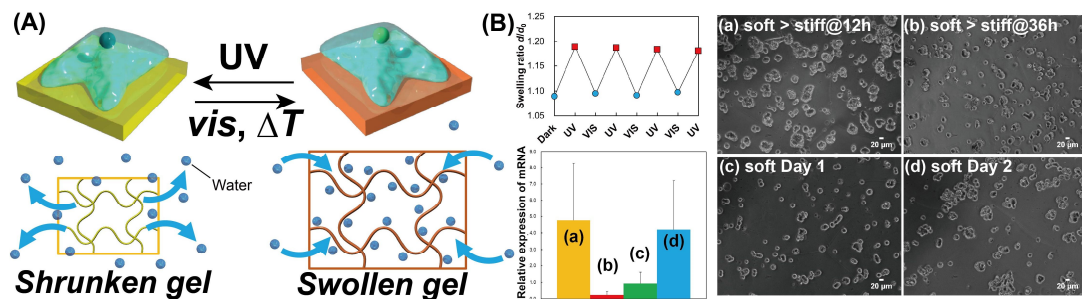


Fig. 2 (A) 光刺激に応じて膨潤収縮を起こすことで細胞にメカニカルストレスを与えるアゾベンゼン含有ハイドロゲルの概念図(B)(左上)37 における P(AzoMA-r-DMAAm) ハイドロゲルの光刺激に応じた平衡膨潤度変化(右)P(AzoMA-r-DMAAm)ハイドロゲル界面において各種、力学状態を与えた際の MCF-7 細胞の概観(左下)各種力学状態において培養した MCF-7 における E-cadherin の rt-PCR 測定によって同定した mRNA 発現量。(Acta Biomaterialia 2021, 132, 103.)

本材料を用いて MCF-7 細胞に周期的な力学刺激を与えると、上皮間葉転換(EMT)のマーカータンパク質である E-cadherin の mRNA レベルでの遺伝子の発現量が変化することを見出した。(Acta Biomaterialia 2021, 132, 103.)

アゾベンゼン含有高分子の相転移現象に関して予想外の現象に接した。上述したように通常、アゾベンゼン含有高分子の温度応答性は光照射により、アゾベンゼン側鎖の極性に応じた相転移温度変化が観測される。例えば水やイオン液体のような高極性溶媒中では極性の高い *cis* 型ポリマーがよく溶解(LCST 型相転移温度は高温、上限臨界溶液温度(UCST)型相転移温度は低温にシフト)し、*trans* 型ポリマーの溶解性は低下(LCST 型相転移温度は低温、UCST 型相転移温度は高温にシフト)する。逆にシクロヘキサン等の低極性有機溶媒中では *trans* 型ポリマーの溶解性が高く、*cis* 型は低くなることが知られている。

しかしアゾベンゼン含有高分子(ゲル)におけるこれまでの既往研究を概観すると低極性の *trans* 型ポリマーの方が水中で溶解性が高くなることなどもあり、必ずしも極性の高低だけではその溶解性が説明できない報告も散見される。そこで我々は P(AzoAA-r-DMAAm)ランダム共重合体の分子量に対する相転移温度変化シフトを丁寧に調査した。結論としてアゾベンゼン含有高分子の相転移温度は高分子自身の極性変化だけでは決定されず、分子量が重要なファクターであることを見出した。具体的には AzoAA を約 4mol% 導入した P(AzoAA-r-DMAAm)リニアポリマーにおいて、その数平均分子量(M_n)が 36, 16, 5.9 kDa と変化させたとき、*trans* 型は転移温度が単調に上昇していくのに対して *cis* 型は 42 程度と分子量依存性をもたず変化しなかった。すなわち高分子量領域(36 kDa)では極性の高低のみで転移温度の序列が説明つくが($T_{c-trans} < T_{c-cis}$)、低分子量(オリゴマー)領域(5.9 kDa)では逆転し($T_{c-trans} > T_{c-cis}$)、かつ遷移領域(16 kDa)では相転移温度差がほとんど無くなる。($T_{c-trans} = T_{c-cis}$)この結果は従来、紫外光を照射しなければ達成できなかった高分子の可溶化やミセル崩壊等のプロセスが、フォトクロミック分子に対する複雑な化学修飾等を施さずとも、ターゲット高分子の分子量を制御することのみで達成できる可能性を示す。現在、分子量による相転移温度の逆転現象が、アゾベンゼン以外の極性スイッチ可能な側鎖をもつ高分子系にも適用できるのか、本現象の普遍性を調べている。(Macromolecular Rapid Commun., 2023 in press. DOI: 10.1002/marc.202300118.)

最終年度にはイオン液体と高分子を複合化

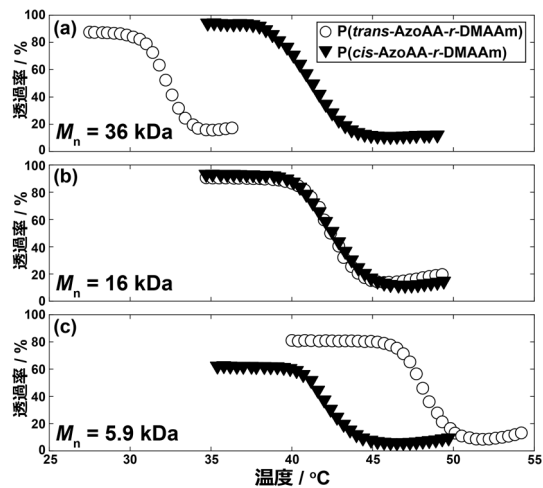


Fig. 3 (a) $M_n = 36$ kDa, (b) $M_n = 16$ kDa, および(c) $M_n = 5.9$ kDa の各種分子量における P(AzoAA-r-DMAAm)水溶液(pH=7.4 リン酸緩衝液)中における LCST 型相転移。P(AzoAA-r-DMAAm)の分子量が 36 kDa 程度では従来の考え通り LCST 型相転移温度の序列がアゾベンゼンの極性変化で説明できるが($T_{c-trans} < T_{c-cis}$)、分子量 5.9 kDa 程度の低分子量(オリゴマー)領域では相転移温度が逆転する($T_{c-trans} > T_{c-cis}$)。遷移領域となる分子量 16 kDa 程度においては相転移温度が *trans*-型、*cis*-型において、ほぼ一致する($T_{c-trans} = T_{c-cis}$)。(Macromolecular Rapid Commun., 2023, in press. DOI: 10.1002/marc.202300118.)

したイオンゲルの材料科学に関する総合論文を提出した。特に細胞にメカニカルストレスを印加できる足場材料創出に向けたイオンゲルに対する刺激応答性の設計論、およびイオンゲルの自己修復性の概念を啓蒙する内容にまとめた。(*Chem. Rec.*, **2023** in press. DOI: 10.1002/tcr.202300043)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Toshiki Yoshizawa, Michika Onoda, Takeshi Ueki, Ryota Tamate, Aya Akimoto Mizutani, Ryo Yoshida	4. 巻 59
2. 論文標題 Fabrication of Self Oscillating Micelles with a Built In Oxidizing Agent	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 3871-3875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201913264	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 Kamiyama Yuji, Tamate Ryota, Hiroi Takashi, Samitsu Sadaki, Fujii Kenta, Ueki Takeshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Highly stretchable and self-healable polymer gels from physical entanglements of ultrahigh molecular weight polymers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eadd0226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.add0226	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 Mizuki Tenjimbayashi*, Gen Hayase, Takashi Hiroi, Takeshi Ueki	4. 巻 9
2. 論文標題 Single-step wet-process formation of dual-layer superslippery coating with transparency and robust omniphobicity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Adv. Mater. Interf.	6. 最初と最後の頁 2200497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/admi.202200497	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 Toshiki Yoshizawa, Michika Onoda, Takeshi Ueki*, Ryota Tamate, Aya Mizutani Akimoto, Ryo Yoshida*	4. 巻 34
2. 論文標題 Self-oscillating triblock terpolymers exhibiting an autonomous sol/gel oscillation with a built-in oxidizing agent	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem. Mater.	6. 最初と最後の頁 6460-6467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.2c01161.	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 Takeshi Morita*, Hitomi Okada, Taisei Yamada, Ryo Hidaka, Takeshi Ueki, Kazuyuki Niitsuma, Yuzo Kitazawa, Masayoshi Watanabe, Keiko Nishikawa, Kenjiro Higashi*	4. 巻 24
2. 論文標題 Low mobility of the random coil of poly(benzyl methacrylate) dissolved in 1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethanesulfonyl)amide studied by small angle X-ray scattering and 1H high-resolution magic-angle spinning NMR	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 26575-26582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2cp02207a	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 Yuji Kamiyama, Ryota Tamate*, Kenta Fujii, Takeshi Ueki*	4. 巻 18
2. 論文標題 Controlling mechanical properties of ultrahigh molecular weight ion gels by chemical structure of ionic liquids and monomers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 8582-8590
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SM00853J	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 Ryota Tamate*, Takeshi Ueki*	4. 巻 in press
2. 論文標題 Adaptive ion-gels: Stimuli-responsive, and self-healing ion gels	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chem. Rec.	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.202300043	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 Kenta Homma, Alice C. Chang, Shota Yamamoto, Takeshi Ueki*, Jun Nakanishi*	4. 巻 in press
2. 論文標題 Polarity does not matter: Molecular weight reverses the photoisomerization-induced phase separation of an azobenzene-bearing polymer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Macromolecular Rapid Communications	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/marc.202300118.	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 Kenta Homma, Alice C. Chang, Shota Yamamoto, Ryota Tamate, Takeshi Ueki, Jun Nakanishi	4. 巻 132
2. 論文標題 Design of azobenzene-bearing hydrogel with photoswitchable mechanics driven by photo-induced phase transition for in vitro disease modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Biomaterialia	6. 最初と最後の頁 103-113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actbio.2021.03028	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 Maiko Kofu, Ryuta Watanuki, Toshiro Sakakibara, Seiko Ohira-Kawamura, Kenji Nakajima, Masato Matsuura, Takeshi Ueki, Kazuhiro Akutsu, Osamu Yamamuro	4. 巻 11
2. 論文標題 Spin glass behavior and magnetic boson peak in a structural glass of a magnetic ionic liquid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 12098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-91619-z	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38件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 植田 まい、上山 祐史、上木 岳士、渡辺啓介、勝本之晶
2. 発表標題 Poly(2-isopropyl-2-oxazoline)のイオン液体中におけるLCST相分離とその溶液物性
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 HOMMA Kenta, CHANG Ching-Hsuan, TAMATE Ryota, YAMAMOTO Shota, UEKI Takeshi, NAKANISHI Jun
2. 発表標題 Design of photo-reversible hydrogel for investigating cellular responses to dynamic mechanics of the microenvironment
3. 学会等名 IUMRS-ICYRAM 2022 (The 5th International Union of Materials Research Societies International Conference of Young Researchers on Advanced Materials) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 逢坂 悠奈、本間 健太、山本 翔太、上木 岳士、中西 淳
2. 発表標題 可視光照射による双方向の弾性制御が可能なメトキシアゾベンゼン含有ハイドロゲル細胞足場の開発
3. 学会等名 第10回Chem-Bio Joint Seminar 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Osaka YUna, HOMMA Kenta, YAMAMOTO Shota, UEKI Takeshi, Kamimura Masao, NAKANISHI Jun
2. 発表標題 Development of Visible Light-responsive Dynamic Scaffold Materials
3. 学会等名 13th International Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 TAMATE Ryota, KAMIYAMA Yuji, HIROI Takashi, SAMITSU Sadaki, Fujii Kenta, UEKI Takeshi
2. 発表標題 Highly Stretchable and Self-healable Polymer Gels from Physical Entanglements of Ultrahigh Molecular Weight Polymers
3. 学会等名 13th International Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 UEDA Mai, KAMIYAMA Yuji, UEKI Takeshi, Watanabe Keisuke, Katsumoto Teruyuki
2. 発表標題 Solution property on the LCST-type phase transition of poly(2-isopropyl-2-oxazoline) in ionic liquids
3. 学会等名 13th International Gel Symposium. 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 KAMIYAMA, Yuji, TAMATE, Ryota, 藤井健太, UEKI, Takeshi
2. 発表標題 Mechanical and self-healing properties of ion gels based on ultra-high molecular weight polymers
3. 学会等名 13th International Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上山 祐史, 玉手 亮多, 藤井 健太, 上木 岳士
2. 発表標題 超高分子量ポリマーの絡み合いからなる物理架橋イオンゲルの力学特性および自己修復特性
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 逢坂悠奈, 本間 健太, 山本 翔太, 玉手 亮多, 猿渡 彩, 王 洪欣, 上木 岳士, 上村真生, 中西 淳
2. 発表標題 可視光照射による弾性制御が可能なメトキシアゾベンゼン含有ハイドロゲル細胞足場の開発
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 植田 まい, 上山 祐史, 上木 岳士, 渡辺 啓介, 勝本 之晶
2. 発表標題 Poly(2-isopropyl-2-oxazoline)およびpoly(N-isopropylacrylamide)/イオン液体系の相分離挙動
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上木岳士、上山 祐史、玉手 亮多、藤井健太、上木 岳士
2. 発表標題 イオン液体中における超高分子量ポリマー形成：高強度・自己修復ゲル電解質への応用
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上木岳士、上山 祐史、玉手 亮多、藤井健太、上木 岳士
2. 発表標題 イオン液体およびポリマーの化学構造による超高分子量イオンゲルの力学・自己修復特性制御
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 逢坂悠奈、本間健太、山本翔太、上木岳士、上村真生、中西淳
2. 発表標題 可視光による弾性制御が可能な動的足場材料の開発
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上山祐史、玉手亮多、藤井健太、上木岳士
2. 発表標題 超高分子量ポリマーの絡み合い架橋に基づく高強度・自己修復イオンゲル
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野貴裕、榎本孝文、小野田実真、上木岳士、玉手亮多、秋元文、吉田亮
2. 発表標題 RAFT重合誘起自己組織化(RAFT-PISA)によるプロトン供給部位を内包した新規コアシェル型自励振動高分子の作製
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田まい、上山祐史、上木岳士、渡辺啓介、勝本之晶
2. 発表標題 Poly(2-isopropyl-2-oxazoline)のイオン液体中におけるLCST相分離とその溶液物性
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenta Homma, Ching-Hsuan Chang, Ryota Tamate, Shota Yamamoto, Takeshi Ueki, Jun Nakanishi
2. 発表標題 Design of photo-reversible hydrogel for investigating cellular responses to dynamic mechanics of the microenvironment
3. 学会等名 The 5th international union of materials research societies international conference of young researchers on advanced materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 逢坂悠奈、本間健太、山本翔太、上木岳士、中西淳
2. 発表標題 可視光照射による双方向の弾性制御が可能なメトキシアゾベンゼン含有ハイドロゲル細胞足場の開発
3. 学会等名 第10回Chem-Bio joint seminar
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuna Osaka, Kenta Homma, Shota Yamamoto, Takeshi Ueki, Masao Kamimura, Jun Nakanishi
2. 発表標題 Development of visible light-responsive dynamic scaffold materials
3. 学会等名 13th international Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryota Tamate, Yuji Kamiyama, Takashi Hiroi, Sadaki Samitsu, Kenta Fujii, Takeshi Ueki
2. 発表標題 Highly stretchable and self-healable polymer gels from physical entanglements of ultrahigh molecular weight polymers
3. 学会等名 13th international Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mai Ueda, Yuji Kamiyama, Takeshi Ueki, Keisuke Watanabe, Yukiteru Katsumoto
2. 発表標題 Solution property on the LCST-type phase transition of poly(2-isopropyl-2-oxazoline) in ionic liquids
3. 学会等名 13th international Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 逢坂悠奈、本間健太、山本翔太、玉手亮多、猿渡彩、王洪欣、上木岳士、上村真生、中西淳
2. 発表標題 可視光照射による弾性制御が可能なメトキシアゾベンゼン含有ハイドロゲル細胞足場の開発
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 上山祐史、玉手亮多、藤井健太、上木岳士
2. 発表標題 超高分子量ポリマーの絡み合いからなる物理架橋イオンゲルの力学特性及び自己修復特性
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 植田まい、上山祐史、上木岳士、渡辺啓介、勝本之晶
2. 発表標題 Poly(2-isopropyl-2-oxazoline)およびpoly(N-isopropylacrylamide)/イオン液体系の相挙動
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上木岳士、上山祐史、玉手亮多、藤井健太
2. 発表標題 イオン液体およびポリマーの化学構造による超高分子量イオンゲルの力学・自己修復特性制御
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上木岳士、上山祐史、玉手亮多、藤井健太
2. 発表標題 イオン液体中における超高分子量ポリマー形成：高強度・自己修復ゲル電解質への応用
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuji Kamiyama, Ryota Tamate, Kenta Fujii, Takeshi Ueki
2. 発表標題 Mechanical and self-healing properties of ion gels based on ultra-high molecular weight polymers
3. 学会等名 13th international Gel Symposium 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上木岳士
2. 発表標題 疎水性イオン液体の界面を用いた細胞培養
3. 学会等名 イオン液体先端課題研究会 -イオン液体学の構築を目指して Vol. 2 バイオ材料・ライフサイエンス応用への道 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上山祐史、玉手亮多、上木岳士
2. 発表標題 超高分子量ポリマーからなる高機能イオンゲル
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上山祐史、玉手亮多、上木岳士
2. 発表標題 超高分子量ポリマーの物理的絡み合いに基づく高強度・自己修復イオンゲルの開発とその力学制御
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上木岳士
2. 発表標題 イオン液体のデザイン性を基盤としたアクティブソフトマターに関する研究
3. 学会等名 溶融塩委員会（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上山祐史、玉手亮多、藤井健太、上木岳士
2. 発表標題 イオン液体と超高分子量ポリマーからなる高強度・自己修復ゲルの開発
3. 学会等名 第11回イオン液体討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 逢坂悠奈、本間健太、山本翔太、上木岳士、上村真生、中西淳
2. 発表標題 可視光による弾性制御が可能な動的足場材料の開発
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野貴裕、榎本孝文、小野田実真、上木岳士、玉手亮多、秋元文、吉田亮
2. 発表標題 RAFT重合誘起自己組織化(RAFT-PISA)によるプロトン供給部位を内包した新規コアシェル型自励振動高分子の作製
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上山祐史、玉手亮多、藤井健太、上木岳士
2. 発表標題 超高分子量ポリマーの絡み合い架橋に基づく高強度・自己修復イオンゲル
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野貴裕、榎本孝文、小野田実真、上木岳士、玉手亮多、秋元文、吉田亮
2. 発表標題 プロトン供給部位を内包したコアシェル型自励振動高分子の振動挙動
3. 学会等名 第71回高分子年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田まい、上山祐史、上木岳士、渡辺啓介、勝本之晶
2. 発表標題 イオン液体中のPoly(2-isopropyl-2-oxazoline)のLCST型相分離における溶液物性
3. 学会等名 第71回高分子年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本間健太、チャン チン シュエン、玉手亮多、山本翔太、上木岳士、中西淳
2. 発表標題 Design of photo-reversible hydrogel for investigating cellular responses to dynamic mechanics of the microenvironment
3. 学会等名 MRS-J (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Ryota Tamate, Takeshi Ueki	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Royal Society of Chemistry	5. 総ページ数 25
3. 書名 Chapter 11, "Dynamic Hydrogel" in Material-based Mechanobiology	

1. 著者名 玉手亮多、上山祐史、上木岳士（編集 大内幸雄）	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 320
3. 書名 第12章 ゲル 3. イオン液体を用いた自己修復性ソフトマテリアル（イオン液体の実用展開へ向けた最新動向）	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 組成物、部材、及び、保護具	発明者 上木岳士、佐光貞樹、玉手亮多	権利者 物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-029836	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 組成物、部材、及び、保護具	発明者 上木岳士、佐光貞樹、玉手亮多	権利者 物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-029835	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 コーティング用組成物、膜、及び、積層体	発明者 上山祐史、玉手亮多、上木岳士	権利者 物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-049328	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 イオンゲルの製造方法、イオンゲル、固体電解質、及び、アクチュエータ	発明者 上山祐史、玉手亮多、上木岳士	権利者 物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-049327	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

上木 岳士 研究者総覧SAMURAI
https://samurai.nims.go.jp/profiles/UEKI_Takeshi

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	中西 淳 (Nakanishi Jun) (60360608)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・グループリーダー (82108)	

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