

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02764

研究課題名（和文）珠数玉構造デザインによる物性間トレードオフを解消する革新的ゲート絶縁膜の開拓

研究課題名（英文）Development of Innovative Gate Insulators Solving Trade-Off Properties by Beads-On-String-Shape Design

研究代表者

中 建介（Naka, Kensuke）

京都工芸繊維大学・分子化学系・教授

研究者番号：70227718

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は革新的ゲート絶縁膜の設計戦略創出のため、二官能性POSSモノマーと種々のコモノマーとの重合により系統的に構造を変化させたPOSS主鎖型ポリマーの合成を行い、数珠玉構造に由来する物理架橋の分子レベルの機構を明らかにすることと既存の高分子材料では達成できない物性間のトレードオフを解消した革新的材料設計戦略への展開を目的とした。その結果、得られた高分子の構造とレオロジー物性等との関係性を評価することで、疎水性ブロック(POSS)と架橋部位からなる数珠玉構造に由来する物理相互作用を明らかにした。また、高熱伝導性透明樹脂、表面改質剤および紫外線耐性材料への可能性も見いだした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

塗布形成法による有機TFT構成層のゲート絶縁膜として既存の高分子材料が検討されているが課題は多く、革新的材料の開発が求められている。これらに対して本研究では二官能性かご型シルセスキオキサン(POSS)モノマーを用いて得られる数珠玉構造高分子はキャストのみで耐溶剤性に加えて柔軟性と機械的強度、および熱耐性を有し、かさ高い疎水性ブロックのため、平滑で表面エネルギーが低い薄膜が得られる点で著しい優位性を有している。さらに分子設計容易性のため、高い絶縁性と高誘電性との両立など、既存の高分子材料では達成できない物性間のトレードオフを解消した革新的材料設計戦略への展開が期待できる創造性を有する。

研究成果の概要（英文）：This study has conducted to create innovative organic gate insulators based on POSS main-chain polymers by polymerization of bifunctional POSS monomers with various comonomers by systematically change their structures. This study was also to clarify the molecular-level mechanism of physical cross-linking derived from their bead-on-string-shaped structures and to develop an innovative material design strategy that resolves the trade-off between properties that cannot be achieved with existing polymers. In this project the relationship between the structures and rheological properties of the resulting polymers has clarified the physical interactions originating from the bead-on-string-shaped structures consisting of the hydrophobic blocks (POSS) and the polar linker units. The potential applications of the resulting polymers in transparent resins with high thermal conductivity, surface modifiers, and UV-resistant materials were also identified.

研究分野：高分子化学

キーワード：かご型シルセスキオキサン ゲル化 表面改質剤 紫外線耐性 ゲート絶縁膜

1. 研究開始当初の背景

フレキシブルディスプレイや高性能センサーなどの次世代電子デバイスを作製する上で、有機電界効果トランジスタ (有機 TFT) は不可欠なコンポーネントである。従来の真空プロセスで作製する有機 TFT は製造コストが高く、社会的ニーズに応えるためには、低コストプロセスである塗布法による有機 TFT 製造が重要となっている。有機 TFT 構成層のひとつであるゲート絶縁膜の塗布材料として、ポリスチレンなどの高分子材料が検討されているが、それらの絶縁特性は無機系絶縁膜に比べて低く、さらに耐溶剤性に劣るためポリ 3-ヘキシルチオフェン (P3HT) などの有機半導体層を塗布で作製する場合、ゲート絶縁膜を溶かさないう交溶媒の選択または硬化処理が必須であるなど、積層薄膜構造のデバイスを作製するためには最適とは言い難い(図1)。塗布法で作製するゲート絶縁膜には高い絶縁性と高い誘電率の両立、柔軟性と機械的強度、および熱耐性を有し、P3HT の結晶性向上のため平滑性と高撥水表面であり、後硬化処理等を経ずに低温簡便に有機溶剤への不溶化の達成をすべて両立できる革新的材料の開発が求められている。

研究実施者は、かご型シルセスキオキサン (POSS) に反応性官能基を選択的に2個導入した二官能性 POSS モノマーを開拓し、これらを用いた重合について検討を行っている。その中で、図1に示すビスアミノ POSS モノマーを用いたテレフタルアルデヒドとの重合により得られる POSS 主鎖型ポリアゾメチンは、重合後は溶媒に均一溶解しているが、キャストして得られるフィルムに重合溶媒を含めた有機溶媒に対して耐溶剤性を有することを見出した。これは塗布プロセスのみで有機溶剤への不溶化が達成できることを示すものであり、本ポリマーは有機 TFT のゲート絶縁膜として有望ではないかという発想により、大阪府立大学の内藤博士との共同研究を行ったところゲート絶縁膜として直交溶媒を用いることなく良好な TFT 特性を示す有機 TFT が作製できることを明らかにした。¹⁾

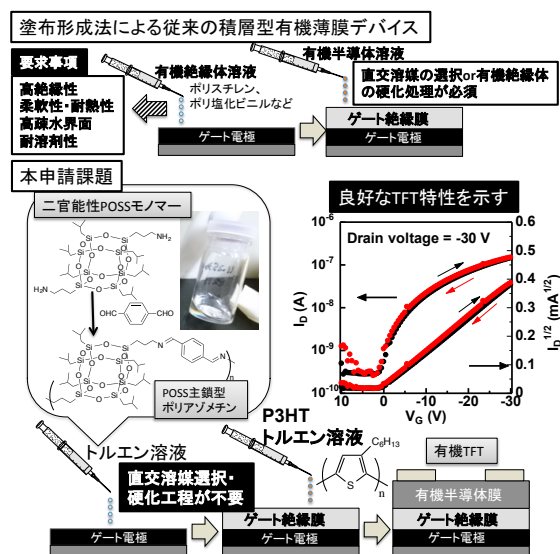


図1 本研究の背景

耐溶剤性発現のメカニズムを調べるために本学の浦山教授 (現京都大学) の協力で重合溶媒の濃度を変えながらレオロジー測定を行ったところ、臨界濃度でゾルゲル転移が見られ、得られた弾性ゲルは繰り返し歪みを加えても弾性値が回復することから物理架橋であることが明らかとなった(図2)。このような挙動は従来の線状高分子鎖では見られないものである。二官能性かご型シルセスキオキサンの例として工業的な手法で効率よく合成できる不完全かご型シルセスキオキサン的一种であるダブルデッカー型シルセスキオキサン (DDSQ) があげられる。これより誘導される二官能性 DDSQ モノマーを用いて熱安定性に優れたポリイミドや、極めて低い熱線膨張率を示す DDSQ 主鎖型シロキサンポリマーの合成など様々な次元高分子材料が報告されている。DDSQ を主鎖に有するポリマーのこれまでの報告においては、溶解性に優れたポリマーが得られており、本研究で見られた物理架橋に類する報告は見られない。研究実施者はフェニル基を有する不完全かご型シルセスキオキサンは他の置換基を有するものより著しく結晶性が低下することを報告している。²⁾ DDSQ の有機置換基はフェニル基に限定されており、イソブチル置換 POSS に特有の効果である可能性が高く、かご型シルセスキオキサン誘導体の分子構造と物性との関係には、未だに体系的な理解が確率しているとは言い難い。

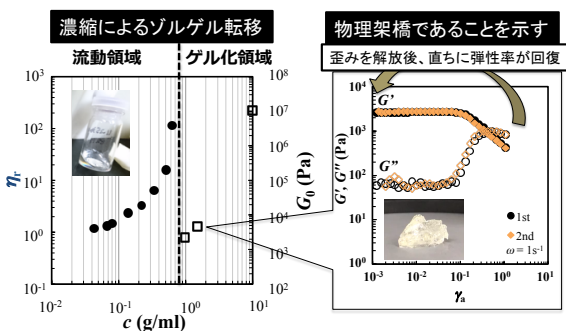


図2 POSS 主鎖型ポリアゾメチンのゾルゲル転移と弾性値

2. 研究の目的

本研究は、二官能性 POSS モノマーと種々のジアルデヒドとの重合により系統的に架橋部位の長さや極性を变化させた POSS 主鎖型ポリアゾメチンの合成を行う。レオロジー測定などの物性評価と理論解析の支援により、架橋部位の構造と特異な物理相互作用との関係を調査することで、数珠玉構造に由来する物理架橋の分子レベルの機構を明らかにすることを目的とする。さらに、後処理等を経ずに簡便に有

機溶剤への不溶化が達成でき、無機材料並に耐熱性や弾性を有しつつ、有機材料のような成形加工性、伸縮性を有する材料や、高い絶縁性と高誘電性との両立など、既存の高分子材料では達成できない物性間のトレードオフを解消可能な革新的ゲート絶縁膜の設計戦略創出を目的とする。耐溶剤性発現のメカニズムを調べるために本学の浦山教授（現京都大学）の協力でレオロジー測定を行ったところ、臨界濃度（ 0.66 g mL^{-1} ）でゲル化し、得られた弾性ゲルは繰り返し歪みを加えても弾性値が回復することから物理架橋であることを明らかとした。¹⁾ このような物理架橋挙動は従来の線状高分子鎖では見られないものであることから、既存の高分子材料では達成できない物性間のトレードオフを解消可能な、革新的コンセプトのゲート絶縁膜の創出ができるという本研究の着想に至った。

3. 研究の方法

1) POSS 間距離を変化させた数珠玉構造ポリマーの合成と物理架橋相関評価

特異な物理架橋を示すことを見出しているテレフタルアルデヒドを用いた POSS 主鎖型ポリアゾメチンに加えて、テレフタルアルデヒドよりも鎖長の短いイソフタルアルデヒドまたは鎖長の長い 4,4'-オキシジベンズアルデヒドなど POSS 間の鎖長を系統的に変化させたポリマーの合成を行うことで POSS 間距離と物理架橋特性との相関を解析する。

2) 架橋部位設計による革新的ゲート絶縁膜設計指針の確立

これまでに POSS 主鎖型ポリアゾメチンをゲート絶縁膜として作製した有機 TFT は良好な TFT 特性を示した。しかし、実用化レベルの性能を示すためには抵抗値をさらに2桁ほど低くすることが求められる。また誘電率は 3.0 と既存の高分子材料と同程度であり、有機 TFT をより低電圧で駆動させるために高誘電率化が必要である。架橋部位の芳香環同士のネットワークが抵抗値を下げている可能性から、架橋部位の鎖長を短くして POSS ユニットの立体障害で芳香環同士の接触を抑制することや、飽和結合からなるジアルデヒドを用いた検討を行う。

3) 新たな POSS 主鎖型ポリマーの創出

POSS 主鎖型ポリアゾメチンの他に POSS 主鎖型ポリウレア等も加えて POSS の構造および POSS 間の鎖長や構造を系統的に変化させた高分子合成を行うことで POSS 間距離および構造と物理架橋特性相関を体系的に解析し、理解する。得られた高分子材料の熱特性と力学特性を調査することにより数珠玉構造に由来する分子レベルでの材料特性の学術的検討を推し進めることで、耐熱性と柔軟性、硬さと柔らかさ、低膨張と柔軟などのトレードオフを解消する分子設計指針を見出すことで、これまでにない革新的高分子材料を開拓する。

4. 研究成果

1) POSS 間距離を変化させた数珠玉構造ポリマーの合成と物理架橋相関評価³⁾

二官能性のビスアミノ POSS モノマー(1)にテレフタルアルデヒド(2a)に加えて、2a よりも鎖長の短いイソフタルアルデヒド(2b)、または鎖長の長い 4,4'-オキシジベンズアルデヒド(2c)を重合させることで POSS 主鎖型ポリアゾメチン(3)を合成した。これらの重合溶液の濃度を変えて粘度測定を行ったところ、粘度が無限大になるゲル化臨界点における臨界濃度がジアルデヒド(2)の構造により変化し、2c を用いた場合が、最も低濃度でゲル化することが分かった(図 3 a)。次に相対粘度の濃度依存性に関して、異なるゲル化臨界濃度の値を用いてプロットを行ったところ、3種のポリマーとも単一の指数関数式で表すことができることがわかった(図 3 b)。この結果は化学構造が異なるにも関わらず、同一の機構でゲル化が起きていることを示唆するものであり、明確な相互作用サイトによってゲル化する通常のゲル化機構とは異なるものである。これらの結果より、疎水性の二官能性 POSS モノマーと極性基であるアゾメチン部位と溶媒とのバランスにより、ゲル化を起こしているという機構を提案した。

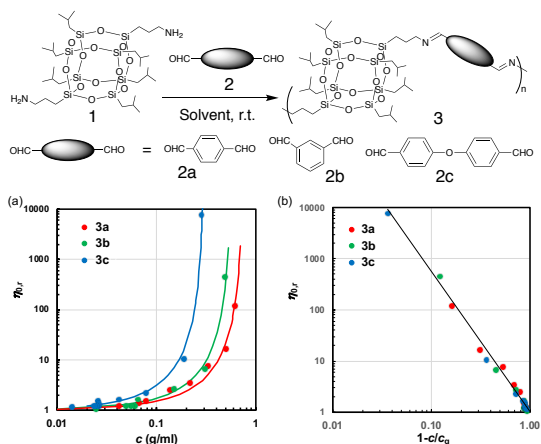


図 3 POSS 主鎖型ポリアゾメチン(3)の合成と濃度(c)と比粘度の両対数プロット(a)と比粘度と(1-c/c_g)のプロット(b)

2) 主鎖型 POSS ポリウレアの高熱伝導性透明樹脂への応用⁴⁾

既存の高輝度照明には水銀灯などの発光効率の低い高輝度放電ランプが使われ省エネルギー化が急務である。そこで、超高輝度 LED が代替照明機器として大きく期待されている。超高輝度 LED を実用化するために、耐熱性に加えて透明性と高熱伝導性という相反的性質を有する透明

封止剤が求められている。そこで、ビスアミノ POSS モノマー(1)と種々のジイソシアナート(4)の重合により得られる POSS 主鎖型ポリウレア(5)のキャストフィルムの透過スペクトル測定を行ったところ、可視領域で透過率 90%以上の透明性の高いフィルムであることが分かった。得られたキャストフィルムの熱伝導率評価の結果、一般的な透明樹脂であるエポキシ樹脂やシリコン樹脂の 0.1~0.2 W/m·K を超える高熱伝導率材料であることが分かった。自立膜の FT-IR 測定よりウレア基同士がランダムな水素結合ネットワーク構造を形成していることを明らかにした。剛直で高い疎水性 POSS ブロックと水素結合性有機ユニットが交互に結合した数珠玉構造デザインによる均一水素結合ネットワーク形成によって効果的フォノン熱伝導経路が達成できたと考えられる。

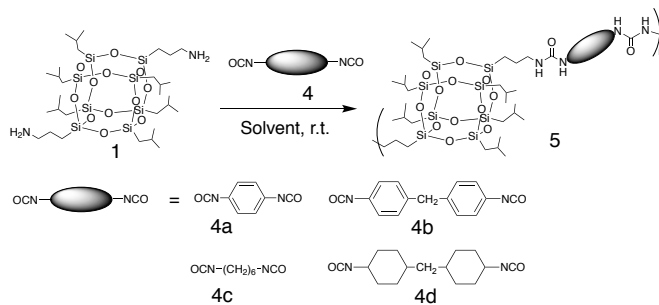


図4 ビスアミノ POSS モノマー(1)と種々のジイソシアナート(4)の重合により得られる POSS 主鎖型ポリウレア

3) 主鎖型 POSS ポリウレアのゲル化挙動⁵⁾

ビスアミノ POSS モノマー(1)と、等モル量の各種ジイソシアナート(4)を 4-メチルテトラヒドロピラン (MTHP)、テトラヒドロフラン (THF)、トルエン、または *p*-キシレン中で種々の濃度で重合し、POSS 主鎖型ポリウレア(5)の合成を行った。いずれのコモノマーも特定の濃度以上で重合を行うとゲル化し、そのゲル化濃度はポリマー間で水素結合していることに起因して、POSS 主鎖型ポリアゾメチン(3)の場合よりも比較的低濃度であった。特にコモノマーの構造が剛直な 5b のゲル化濃度は、MTHP 中で 0.034 g/ml と通常の低分子オイルゲル化剤と同程度あり、最もゲル化しやすいことがわかった。コモノマーの中で比較的低濃度でゲル化する 3a, 3b は不透明なゲルであったが、ゲル化が高濃度で進行する 3c, 3d は半透明なゲルであった。また、得られたゲル(3a-d)を乾燥させ、窒素下で熱重量分析を行ったところ、POSS 骨格由来の高い耐熱性を示すことが分かった。

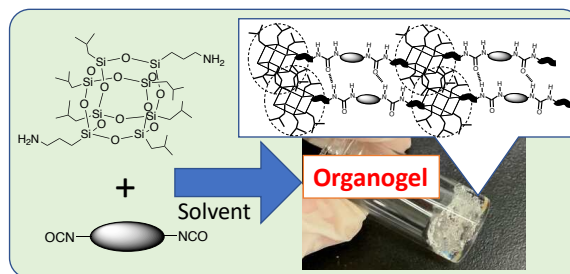


図5 POSS 主鎖型ポリウレア(5)のゲル化

4) 不完全かご型シルセスキオキサン主鎖型ポリウレタンの合成と表面改質剤への応用⁶⁾

POSS の頂点が一つ欠損した構造のトリシランールと呼ばれる不完全かご型シルセスキオキサン(IC-POSS)にかさ高いトリフェニルクロロシランを反応させると定量的にトリシランールの1個だけをキャッピングされ、そこにジメチルクロロシランを加えることでワンポット操作で二官能性 POSS モノマー(6)を合成できる。これに水酸基を有する末端アルケンをヒドロシリル化させることでジオール POSS モノマー(7)の合成に成功した。これと種々のジイソシアナートの重合により得られる IC-POSS 主鎖型ポリウレタン(8)をキャストして得られるフィルムは優れた光学的透明性、表面平滑性と高い疎水性表面を有することを見出した。IC-POSS 主鎖型ポリウレタンを PMMA に添加してキャストフィルムを作製すると 0.5wt% の添加でもその表面の水との接触角が 100°以上を示し、本ポリマーが優れた表面偏析を示す表面改質剤として有効であることが示された。

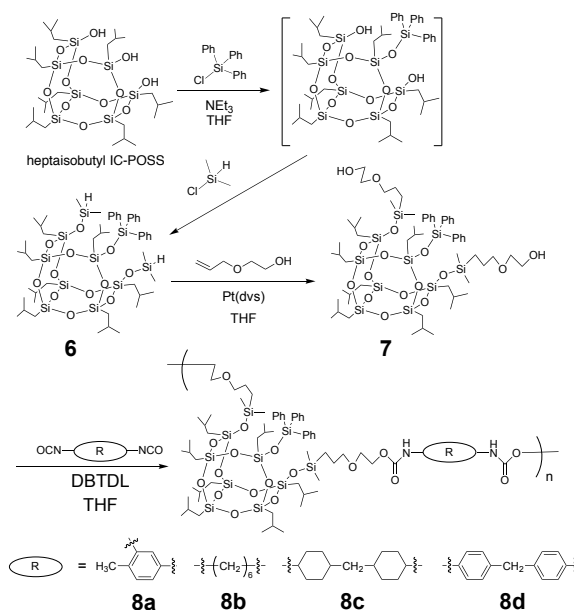


図6 ジオール POSS モノマー(7)の合成と重合

5) かご型シルセスキオキサン骨格制御による側鎖型 POSS ポリマー物性制御⁷⁾

側鎖に完全縮合型 POSS ユニットを有する側鎖型 POSS ポリマーには多数の研究例があるが、完全縮合型 POSS ユニットの対称性の高さに起因して、高濃度に POSS ユニットを含む側鎖型 POSS ポリマーから透明膜を得ることは困難である。そこで対称性を低下したジシラノールを一官能基化し、リンカー部位にウレタン基を導入したメタクリルモノマーを新たに合成し、これを基本骨格とするホモポリマー(9a)を合成した。また、IC-POSS にトリエチルクロロシランを反応させると定量的にトリシラノールの2個だけがキャッピングされ、そこにジメチルクロロシランを加えることによってワンポットで一官能性 POSS モノマーを合成できる。これを用いてリンカー部位にウレタン基を導入したメタクリルモノマーを新たに合成し、これを基本骨格とするホモポリマー(9b)も合成した。得られたポリマーは側鎖に導入したウレタン基同士の水素結合によって高い耐熱性を示すと同時に高い透明性も有する材料であることを見出した。対称性がより低い POSS ユニットを有する 9b が剛直なフィルムであるのに対して、9a は柔軟なフィルムであることがわかった。対称性がより低い POSS ユニットがウレタン基同士の水素結合をより促進させたためであることが FT-IR 測定から示唆された。

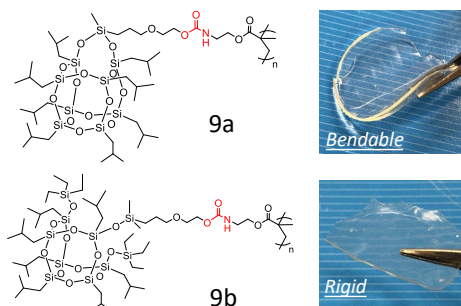


図7 リンカー部位にウレタン基を導入した POSS 側鎖型ポリメタクリレート

これを用いてリンカー部位にウレタン基を導入したメタクリルモノマーを新たに合成し、これを基本骨格とするホモポリマー(9b)も合成した。得られたポリマーは側鎖に導入したウレタン基同士の水素結合によって高い耐熱性を示すと同時に高い透明性も有する材料であることを見出した。対称性がより低い POSS ユニットを有する 9b が剛直なフィルムであるのに対して、9a は柔軟なフィルムであることがわかった。対称性がより低い POSS ユニットがウレタン基同士の水素結合をより促進させたためであることが FT-IR 測定から示唆された。

6) 含フッ素かご型シルセスキオキサンを用いた紫外線耐性材料⁸⁾

含フッ素かご型シルセスキオキサン化合物は剛直でかさ高いさいころ状の無機骨格に高密度に多数の含フッ素基が導入された構造であるため、優れた撥水性、撥油性、非粘着性、防汚性を得ることができるナノビルディングブロックとして注目されている。一般的に PSQ は Si-O 結合に起因して紫外線耐性を有する材料と考えられているが、トリアルコキシシラン類のゾルゲル反応において縮合が完全に進行せずにシラノール基が残存すると紫外線耐性は低下する。そのため化学的に安定である C-F 結合を有する含フッ素 POSS 骨格は紫外線耐性が期待できる。研究実施者は含フッ素トリシラノールの開口部にリンカー長が異なる 3 種類のジメトキシシリル基を三つ導入した新規シランカップリング剤(10)を合成し、これらを用いたゾルゲル反応と得られた材料の特性評価を行った。固体 NMR 測定によってこれらの構造がゾルゲル反応温度とリンカー長によってランダム構造と環状構造の比を制御できることを明らかにした。ゾルゲル反応により得られた材料は不完全縮合かご型構造とトリフルオロプロピル置換基、および柔軟なシロキサン結合により、優れた光学的透明性、熱安定性、疎水性を示すのみならず、優れた耐紫外線性を示すことを明らかにした。耐紫外線性を有する耐熱透明材料は LED 素子の封止剤として期待される。

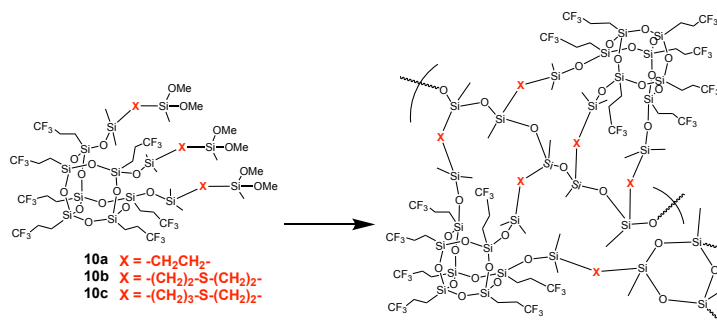


図7 含フッ素かご型シルセスキオキサンを基盤としたシランカップリング剤(10)のゾルゲル反応生成物

<引用文献>

- 1) Fujii, S.; Minami, S.; Urayama, K.; Suenaga, Y.; Naito, H.; Miyashita, O.; Imoto, H.; Naka, K. *ACS Macro Lett.* (2018), **7**, 641–645.
- 2) Yuasa, S.; Sato, Y.; Imoto, H.; Naka, K. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* (2019), **92**, 127–132.
- 3) Ishida, A.; Fujii, S.; Sumida, A.; Kamitani, T.; Minami, S.; Urayama, K.; Imoto, H.; Naka, K. *Polym. Chem.* (2021), **12**, 3169–3176.
- 4) Hashimoto, M.; Imoto, H.; Matsukawa, K.; Naka, K. *Macromolecules* (2020), **53**, 2874–2881.
- 5)
- 6) Ueda, Y.; Imoto, H.; Okada, A.; Xu, H.; Yamane, H.; Naka, K. *Polym. Chem.* (2021), **12**, 2914–2922.
- 7) Igarashi, A.; Imoto, H.; Naka, K. *Polym. Chem.* (2022), **13**, 1228–1235.
- 8) Li, L.; Imoto, H.; Okada, A.; Kanaori, K.; Naka, K. *ACS Appl. Polym. Mater.* (2021), **3**, 1368–1375.

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 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Li Lina, Imoto Hiroaki, Okada Arifumi, Kanaori Kenji, Naka Kensuke	4. 巻 3
2. 論文標題 UV-Resistant Trifluoropropyl-Substituted Open-Cage Silsesquioxane-Pendant Polysiloxanes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 1368 ~ 1375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c01236	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 Ueda Yukiho, Imoto Hiroaki, Okada Arifumi, Xu Huaizhong, Yamane Hideki, Naka Kensuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Hybrid polyurethanes composed of isobutyl-substituted open-cage silsesquioxane in the main chains: synthesis, properties and surface segregation in a polymer matrix	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1PY00329A	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 Ishida Ayano, Fujii Shunichi, Sumida Akifumi, Kamitani Tasuku, Minami Saori, Urayama Kenji, Imoto Hiroaki, Naka Kensuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Supramolecular organogel formation behaviors of beads-on-string shaped poly(azomethine)s dependent on POSS structures in the main chains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1PY00346A	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 Hashimoto Mari, Imoto Hiroaki, Matsukawa Kimihiro, Naka Kensuke	4. 巻 53
2. 論文標題 Coexistence of Optical Transparency, Hydrophobicity, and High Thermal Conductivity in Beads-on-String-Shaped Polyureas Induced by Disordered Hydrogen-Bond Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 2874 ~ 2881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00270	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 Igarashi Amato, Imoto Hiroaki, Naka Kensuke	4. 巻 13
2. 論文標題 Polymethacrylates containing cage-silsesquioxanes in the side chains: effects of cage and linker structures on film properties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 1228 ~ 1235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1PY01709H	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11件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Lina Li、井本 裕顕、中 建介
2. 発表標題 フッ素置換不完全かご型シルセスキオキサンを有するシロキサンネットワークポリマーの開発
3. 学会等名 第 69 回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐 天人、上田 幸歩、井本 裕顕、中 建介
2. 発表標題 不完全縮合かご型シルセスキオキサンを前駆体とするアクリレートの合成とその重合
3. 学会等名 第 69 回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 泰平、石田 彩乃、井本 裕顕、中 建介
2. 発表標題 主鎖に不完全かご型シルセスキオキサンを有するネックレス型ポリマーの合成と置換基効果
3. 学会等名 第 69 回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中 建介
2. 発表標題 無機高分子の新展開を目指した元素ブロック高分子材料設計
3. 学会等名 第 69 回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中 建介
2. 発表標題 Beads-On-String-Shaped Element-Block Polymers based on Cage Silsesquioxanes
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Silsesquioxanes-based Functional Materials (SFM20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kensuke Naka
2. 発表標題 Beads-On-String-Shaped Poly(azomethine) based on Cage Silsesquioxanes
3. 学会等名 12nd East Asian Symposium on Polymers for Advanced Technologies (EASPAT2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中 建介
2. 発表標題 元素ブロック高分子材料の基礎
3. 学会等名 平成30年度(第33回)新材料・新技術利用研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井 駿一、石田 彩乃、南 沙央理、浦山 健治、末永 悠、内藤 裕義、井本 裕顕、中 建介
2. 発表標題 かご型シルセスキオキサン主鎖型高分子による特異的物理相互作用を利用した直交溶媒フリー溶媒プロセスによる二層デバイスの作製
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中 建介
2. 発表標題 Beads-on-string-shaped polyureas based on cage silsesquioxanes
3. 学会等名 The Pacificchem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐天人, 井本裕顕, 中 建介
2. 発表標題 かご型シルセスキオキサン骨格の対称性により制御されるポリアクリレート の物性
3. 学会等名 第7回材料WEEK_ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐天人・井本裕顕・中建介
2. 発表標題 かご型シルセスキオキサン骨格の対称性制御によるポリアクリレート の物性評価
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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