

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06015

研究課題名(和文)有機架橋部を有するシリコンエアロゲルの開発

研究課題名(英文)Development of silicone-based aerogels with organic bridges

研究代表者

金森 主祥 (KANAMORI, Kazuyoshi)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：60452265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ポリシロキサンネットワーク中に様々な有機架橋部位を含む低密度の多孔体(エアロゲル)をゾル-ゲル法により作製し、その分子レベルの構造と光学・熱・機械的物性との相関について検討した。前駆体として2つのケイ素原子間にプロピレン基などの有機部位を含むいわゆる有機架橋アルコキシシランや、ビニル基やアリル基を含むアルコキシシランをラジカル重合して得られるポリマーを前駆体として用いることにより、シリカエアロゲルや非架橋有機部位を含むポリメチルシルセスキオキサンエアロゲルと比較して弾性率や曲げ変形性に優れたエアロゲルを得ることができた。これらのエアロゲルは高性能透明断熱材としての応用が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機-無機ハイブリッド多孔体において、その分子レベルの構造を精密に制御し、構造-物性相関について詳細に検討した研究例は世界的にも類をみない。本研究において新たに作製した多孔体の光学・熱・機械的物性や機能性を詳細に検討した結果は一流国際学術誌に掲載され、高い学術的評価を得た。また、機械的強度や柔軟性を向上させたことで、省エネルギー材料として注目を集めるエアロゲルの実用化可能性を引き上げることができた。研究結果はプレスリリースや新聞報道などにより広く周知され、社会的意義の高い研究となったといえる。

研究成果の概要(英文)：Low-density porous materials (aerogels) based on organically bridged polysiloxane network have been prepared by the sol-gel process, and relationships between molecular-level structure and optical, thermal and mechanical properties have been investigated. Starting from two types of alkoxy silane precursors, organically bridged alkoxy silanes and radically polymerized vinyl- and allyl-substituted alkoxy silanes, new aerogels have been obtained with higher elastic moduli and flexibility as compared to the conventional silica and polymethylsilsesquioxane aerogels. Applications of these new aerogels as transparent thermal superinsulator can be expected because of the superior mechanical properties.

研究分野：無機・高分子材料化学

キーワード：エアロゲル 有機-無機ハイブリッド 機械的物性 透明断熱材

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現代社会における喫緊の課題のひとつとして、化石燃料への依存度の低減および低炭素化社会への移行が挙げられる。これらの課題を解決するため省エネルギー化や再生可能エネルギー利用をはじめとするエネルギー源の転換などが模索されているが、特にエネルギー消費に関しては、住宅やビルにおける消費量が全体の約 4 割を占めるなど、社会インフラや工業生産プロセス以外の消費量が意外と大きいことが分かる。そこで、住宅やビルにおける冷暖房などのエネルギー効率を高めることで省エネルギー化・低炭素化に貢献する取り組みが活発に行われているが、そのひとつの有効策が建物の断熱性能を向上させることである。このためには高性能の、つまり熱伝導率のより低い断熱材を開発する必要があるが、現在知られている中でもっとも熱伝導率の低い材料はシリカエアロゲルである。エアロゲルは一般に、メソスケールの細孔構造と高い気孔率を有する材料であり、多孔体中の気体熱伝導が抑制されるため極めて低い熱伝導率を示す。加えて、均一なメソ多孔構造をもつエアロゲルは可視光透過性を示し、高性能透明断熱材としても期待される。しかしながらその機械的強度は低く、湿潤ゲル中の液体を高圧下において超臨界状態にして除去する超臨界乾燥が必要であることと、材料としてのハンドリングが難しいという問題点がある。

研究代表者である金森らはこれまでに、エアロゲルを構成する骨格を有機-無機ハイブリッドとすることで機械的柔軟性を付与することに成功している。例えば、テトラアルコキシシランから得られるシロキサン (Si-O) 骨格のみからなるシリカエアロゲルに対して、メチルトリアルコキシシランを出発物質とすることで全てのケイ素原子にメチル基が結合したメチルシロキサン ($\text{CH}_3\text{Si-O}$) 骨格からなるポリメチルシルセスキオキサン (PMSQ) エアロゲルが作製できる。この PMSQ エアロゲルはシリカエアロゲルと同様に透明かつ低熱伝導性であり、圧縮変形に対する強度と柔軟性が高いことから超臨界乾燥ではなく常温・常圧での乾燥 (常圧乾燥) によりエアロゲルが得られることが分かっている。また、PMSQ 系のような非架橋有機部位ではなく、2 つのケイ素原子を連結するエチレン基などの架橋有機部位を導入することで弾性率や曲げ変形性などの機械的物性が向上することも明らかになっている。

2. 研究の目的

本研究では、エアロゲルにおける分子構造、特にポリシロキサンネットワーク中の有機架橋部位の構造を拡張し、多孔構造や各種物性との相関を調べることで、優れた機械的物性をもつエアロゲルを作製することを目的とした。このことは、エアロゲルの作製プロセスの簡素化とハンドリング性の向上に繋がると期待され、高性能断熱材としての応用可能性の拡大に資するものである。

3. 研究の方法

アルコキシシランの重縮合・加水分解過程 (いわゆるゾルゲル法) により生成するポリシロキサンネットワーク中に有機架橋部位を導入する方法として、前駆体中に有機架橋部位をもつアルコキシシランを出発物質とする方法と、ビニル基やアリル基をもつアルコキシシランをラジカル重合することで有機架橋部位を形成し、その後加水分解・重縮合を行う複合手法を試みた。

前者の方法では、研究開始時点までに検討を行ったエチレン基・エチレン基をもつアルコキシシラン系を拡張するため、プロピレン基やブチレン基をもつアルコキシシランを合成し、これらを用いてゲルを作製した。後者の方法では、ビニルシランやアリルシランをラジカル重合することで高分子量化し、その後、水溶液系で加水分解・重縮合を行うことによりゲルを得た。いずれの場合も超臨界乾燥を行うことでエアロゲルとし、その細孔特性や光学・熱・機械的物性を評価した。さらに、良好な物性を示すゲルについては常圧乾燥を試み、乾燥方法によるエアロゲルの物性の違いについても検討した。

4. 研究成果

第一の方法により有機架橋ポリシロキサンネットワークを得るために、前駆体である 1,3-ビス (メチルジメトキシシリル) プロパンと 1,4-ビス (メチルジメトキシシリル) ブタンをまず試みた。1,3-ビス (メチルジメトキシシリル) プロパンは、アリルメチルジメトキシシランとメチルジメトキシシランを塩化メチレン溶媒中、ジ- μ -クロロビス [(η^5 -シクロオクタ-1,5-ジエン)イリジウム(I)] を触媒としてヒドロシリル化することにより高効率に合成できることが分かった。また、1,4-ビス (メチルジメトキシシリル) ブタンは、対応するクロロシランが市販品として入手できたので、酸補足剤としてトリエチルアミンの存在下、メタノールを用いてこれをメトキシ化することで得た。これらの前駆体を用い、酸性条件で加水分解および塩基性条件で重縮合を行う 2 段階酸-塩基反応や、塩基性条件で加水分解および重縮合を行う 1 段階塩基反応を用い、界面活性剤溶媒中でゲルを作製したところ、ポリオキシエチレン イソデシルエーテル (HLB = 14.3) 中、1 段階塩基反応を行うことで比較的透明なエアロゲルを得ることができた。しかしながら、シリカエアロゲルや PMSQ エアロゲルにおいて熱伝導率が十分に低下する密度の範囲はおおよそ $0.10\text{-}0.15\text{ g cm}^{-3}$ 程度であるが、本研究においては 0.25 g cm^{-3} 程度にしか低密度化することはできなかった (図 1)。これは比較的長い有機架橋部が存在することにより、ネットワークの強度が低く、乾燥収縮が大きくなるためと考えられる。



図1 1,4-ビス(メチルジメトキシシリル)ブタンを前駆体とする1段階塩基反応により得られたエアロゲルの外観。図中の数字は用いた塩基触媒の濃度。

第二の方法として、ビニルシランおよびアリルシランのラジカル重合を用いた検討を行なった。一例としてビニルメチルジメトキシシラン (VMDMS) をまずラジカル重合し、得られたビニルポリマーを加水分解・重縮合することでポリビニルポリ(メチルシロキサン) (PV-PMS) エアロゲルを作製した例について述べる。ジ-tert-ブチルペルオキシド (DTBP) を重合開始剤として用いたやや高温での VMDMS のバルク重合を行なったところ、5 mol%・120 °C・48 時間の条件において重量平均分子量が約 9,000 (重合度が約 68) のポリマーが得られた。これに対しさらにベンジルアルコール中、強塩基触媒を用いた 1 段階塩基反応を行うことで、光透過性を示す多孔質のエアロゲルが得られることが分かった。VMDMS から得られた典型的なエアロゲルは 0.16–0.22 g cm⁻³ の範囲のバルク密度を示し、メソ孔領域の細孔構造からなることが分かった。一軸圧縮試験における弾性率は同程度の密度の PMSQ エアロゲルよりも高く、80 % 圧縮後に完全に変形回復した。圧縮-再膨張サイクルにおけるヒステリシスも小さく、迅速に変形回復するゲルであるといえる。また、100 回以上の繰り返し変形にも耐え、強度と柔軟性の非常に高いエアロゲルが得られることが明らかとなり、常圧乾燥も容易であることが分かった。

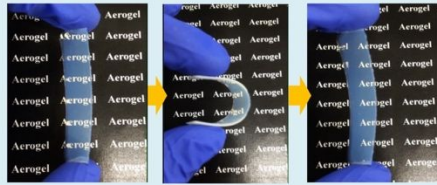
図2にはこの PVPMS エアロゲルにおける特異な性質を示す。厚さ 1 mm 程度の厚膜は 180° 折り曲げることができ、また変形回復を示すという高い曲げ柔軟性を示すことが分かった。また、乾燥させたキセロゲルを溶媒に浸漬しても細孔構造および巨視的なスケールでの破壊は起こらず、再び常圧乾燥させることが可能であった。さらに、刃物による成型加工も可能であった。これらは従来のエアロゲルでは見られなかった性質であり、圧縮以外の様々な変形モードに対して高強度かつ柔軟であることから発現できた性質であると考えられる。

これらの試料における熱伝導率を定常法により測定したところ、試料の密度に応じて熱伝導率は変化した。0.16 g cm⁻³ の試料において約 15 mW m⁻¹ K⁻¹ のあることが明らかとなり、シリカエアロゲルや PMSQ エアロゲルにおける最低値 (約 13 mW m⁻¹ K⁻¹) に匹敵する高い断熱性能を示すことが分かった。

同様の合成戦略により様々なビニルアルコキシシランあるいはアリルアルコキシシラン化合物を用いた柔軟な多孔体設計が可能であることも明らかにした。官能数 (アルコキシ基の数) を変化させることで得られる多孔体の細孔構造や性状も変化し、概ね官能数が多いほど透明性が高く曲げ変形性が低いエアロゲルが得られ、官能数が少ないほど透明性が低く曲げ変形性が高いエアロゲルが得られるようになった。官能数が低いほどポリシロキサンネットワーク中のメチル基が多く、より疎水性となるため系の相分離傾向が高まり、細孔構造がマイクロメートル領域まで粗大化する。このため、不透明なエアロゲルが得られやすくなると考えられる。さらに、不透明であるが高い柔軟性を示すエアロゲルは、導電性成分 (例えばグラフェン) と複合化させることで電気伝導性を示すようになり、かつゲルの圧縮変形度合いに応じて伝導度が変化するため、圧力・ひずみセンサーとして利用することも可能であることを示した。また、高分子量化したビニルアルコキシシランと MTMS との共重合により、密度と光透過性をより広範囲に制御できることも明らかとなった。

これらの成果により、ゲルの機械的強度や柔軟性を向上させ、よりハンドリング性の高いエアロゲルが得られるようになった。常圧乾燥プロセスの確立やスケールアップなどの問題を解決していくことで、エアロゲルを用いた高性能透明断熱材がより現実的になるものと期待できる。

Bending flexibility of a thick film



Durability against solvents



Machinability



図 2 VMDMS から得られたエアロゲルの特異な性質。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Guoqing ZU, Xiaodong WANG, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI	4. 巻 -
2. 論文標題 Superhydrophobic highly flexible doubly cross-linked aerogel/carbon nanotube composites as strain/pressure sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	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/C9TB02953B	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 Guoqing ZU, Kazuyoshi KANAMORI, Xiaodong WANG*, Kazuki NAKANISHI, Jun SHEN	4. 巻 32
2. 論文標題 Superelastic triple-network polyorganosiloxane-based aerogels as transparent thermal superinsulators and efficient separators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1595-1604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b04877	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 Yuki NAKANISHI, Yosuke HARA, Wataru SAKUMA, Tsuguyuki SAITO, Kazuki NAKANISHI, Kazuyoshi KANAMORI	4. 巻 3
2. 論文標題 Colorless transparent melamine-formaldehyde aerogels for thermal insulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 49-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b02275	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 會澤守・川瀬昇・中西和樹・金森主祥	4. 巻 54
2. 論文標題 有機・無機ハイブリッドエアロゲルを基材とした断熱システムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 816-820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Guoqing ZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI, Xuanming LU, Kunhua YU, Jia HUANG, Hiroyuki SUGIMURA	4. 巻 11
2. 論文標題 Superelastic multifunctional aminosilane-crosslinked graphene aerogels for high thermal insulation, three-component separation, and strain/pressure sensing array	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 43533-43542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b16746	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 中西和樹・金森主祥・山地正洋	4. 巻 100
2. 論文標題 有機-無機ハイブリッドエアロゲルが実現する高性能断熱システム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 建築と社会	6. 最初と最後の頁 18-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Guoqing ZU, Kazuyoshi KANAMORI, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Kazuki NAKANISHI, Jun SHEN	4. 巻 10
2. 論文標題 Ambient-dried highly flexible copolymer aerogels and their nanocomposites with polypyrrole for thermal insulation, separation, and pressure sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 4980-4990
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9PY00751B	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 Ze ZHANG, Xiaodong WANG, Guoqing ZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI, Jun SHEN	4. 巻 183
2. 論文標題 Resilient, fire-retardant, and mechanically strong polyimide -polyvinylpolymethylsiloxane composite aerogel prepared via stepwise chemical liquid deposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 108096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2019.108096	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 Guoqing ZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI, Jia HUANG	4. 巻 31
2. 論文標題 Superhydrophobic ultraflexible triple-network graphene/polyorganosiloxane aerogels for high-performance multifunctional temperature/strain/pressure sensing array	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 6276-6285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b02437	査読の有無 無
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 Kazuyoshi KANAMORI*, Ryota UEOKA, Takayuki KAKEGAWA, Taiyo SHIMIZU, Kazuki NAKANISHI	4. 巻 89
2. 論文標題 Hybrid silicone aerogels toward unusual flexibility, functionality and extended applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	6. 最初と最後の頁 166-175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10971-018-4804-x	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 Guoqing ZU*, Kazuyoshi KANAMORI*, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Kazuki NAKANISHI	4. 巻 57
2. 論文標題 Superflexible multifunctional polyvinylpolydimethylsiloxane-based aerogels as efficient absorbents, thermal superinsulators, and strain sensors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9722-9727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201804559	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 金森主祥	4. 巻 43
2. 論文標題 シリコン系ネットワーク制御に基づく低密度ナノ多孔体の作製と機械的物性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 C&I Commun (コロイドおよび界面化学部会ニュースレター)	6. 最初と最後の頁 12-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Guoqing ZU*, Taiyo SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI*, Yang ZHU, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Jun SHEN, Kazuki NAKANISHI	4. 巻 30
2. 論文標題 A versatile double-crosslinking approach to transparent, machinable, super-compressible, highly bendable aerogel thermal superinsulators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 2759-2770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.8b00563	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 Guoqing ZU*, Taiyo SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI*, Yang ZHU, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Jun SHEN, Kazuki NAKANISHI	4. 巻 12
2. 論文標題 Transparent, superflexible doubly cross-linked polyvinylpolymethylsiloxane aerogel superinsulators via ambient pressure drying	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 521-532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.7b07117	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 Taiyo SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI*, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Cara M. DOHERTY, Kazuki NAKANISHI	4. 巻 33
2. 論文標題 Transparent ethenylene-bridged polymethylsiloxane aerogels: Mechanical flexibility and strength and availability for addition reaction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 4543-4550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.7b00434	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 金森主祥・中西和樹	4. 巻 52
2. 論文標題 シリコン系ネットワークに基づく柔軟なエアロゲルとキセロゲル	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 418-421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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44件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 24件）

1. 発表者名 金森主祥
2. 発表標題 シリカ・シロキサン <small>の</small> 化学と柔らかい低密度多孔体の作製
3. 学会等名 京大テックフォーラム「社会・インフラに関わる身近なシリカの化学」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金森主祥・上岡良太
2. 発表標題 透明で柔軟なポリ有機シロキサンエアロゲルの作製と応用
3. 学会等名 第23回ケイ素化学協会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki NAKANISHI, Kazuki NAKANISHI, Kazuyoshi KANAMORI
2. 発表標題 New colorless and transparent organic polymer aerogels via non-aqueous sol-gel process
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rikuo SHIGETAKE, Kazuki NAKANISHI, Kazuyoshi KANAMORI
2. 発表標題 Preparation of amino- functionalized flexible polysiloxane porous materials from organoalkoxysilane having urea bond and their characterizations
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuyoshi KANAMORI, Ryota UEOKA, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Revisiting organic-inorganic hybrid aerogels toward advanced transparency and mechanical flexibility
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金森主祥
2. 発表標題 有機 - 無機ハイブリッドエアロゲルによる柔軟透明超断熱材料
3. 学会等名 第161回ニューガラス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuyoshi KANAMORI, Ryota UEOKA, Mamoru AIZAWA, Noboru KAWASE, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Polysiloxane-based organic-inorganic hybrid aerogels with mechanical flexibility
3. 学会等名 1st Conference on Aerogel-Inspired Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noboru KAWASE, Mamoru AIZAWA, Kazuyoshi KANAMORI
2. 発表標題 Novel drying method of polymethylsilsesquioxane xerogels suitable for large-sized monoliths
3. 学会等名 International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rikuo SHIGETAKE, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Preparation of flexible polysiloxane porous materials in non-aqueous condition and their characterizations
3. 学会等名 International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuyoshi KANAMORI, Ryota UEOKA, Mamoru AIZAWA, Noboru KAWASE, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Polysiloxane-based organic-inorganic hybrid aerogels via ambient pressure drying
3. 学会等名 International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki NAKANISHI, Kazuyoshi KANAMORI, Riichi MIYAMOTO, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Preparation of hierarchically controlled melamine- formaldehyde polymer monoliths via sol-gel process
3. 学会等名 International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota UEOKA, Kazuki NAKANISHI, Kazuyoshi KANAMORI
2. 発表標題 Highly transparent organic-inorganic hybrid aerogels with improved mechanical flexibility
3. 学会等名 International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中西祐樹・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 非水系ゾル-ゲル法による新規な無色透明有機ポリマーエアロゲルの作製
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第17回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 繁竹陸生・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 有機-無機ハイブリッド柔軟多孔体の新規作製法の検討と物性評価
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第17回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上岡良太・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 繊維状骨格を有する高可視光透過性かつ高曲げ柔軟性を示す有機-無機ハイブリッドエアロゲルの作製
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第17回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota UEOKA*, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Highly transparent and flexible organic-inorganic hybrid aerogels: Synthesis and mechanical properties
3. 学会等名 6th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rikuo SHIGETAKE, Kazuyoshi KANAMORI*, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Preparation of flexible polysiloxane porous materials in non-aqueous condition and their characterizations
3. 学会等名 6th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki NAKANISHI*, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Preparation of colorless and transparent organic polymer aerogel by non-aqueous sol-gel process
3. 学会等名 6th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金森主祥
2. 発表標題 ポリシロキサン系におけるネットワーク構造設計：低密度多孔体作製のための指針
3. 学会等名 第57回セラミックス基礎科学討論会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki NAKANISHI*, Kazuyoshi KANAMORI, Guoqing ZU, Ryota UEOKA, Jun SHEN
2. 発表標題 Transparent, superflexible doubly cross-linked polyvinylpolymethylsiloxane aerogels and xerogels for superinsulation
3. 学会等名 30th Symposium and Annual Meeting of the International Society for Ceramics in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金森主祥*
2. 発表標題 有機ポリシロキサン系エアロゲル：ネットワークの設計指針と柔軟性の発現
3. 学会等名 第22回ケイ素化学協会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金森主祥*
2. 発表標題 力学強度が飛躍的に向上 有機-無機ハイブリッドによるエアロゲル創製と特性・応用展望
3. 学会等名 サイエンス&テクノロジーセミナー「エアロゲルのブレークスルーと エアロゲル粒子の産業展開」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki NAKANISHI*, Kazuyoshi KANAMORI, Guoqing ZU, Taiyo SHIMIZU, Masayuki KURITA
2. 発表標題 improvement of structural/mechanical properties of low density hybrid gels based on siloxane and hydrocarbon crosslinks
3. 学会等名 Aerogel Seminar 2018（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Guoqing ZU*, Taiyo SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI, Jun SHEN, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Transparent, highly flexible doubly cross-linked polyvinylpolymethylsiloxane aerogel superinsulators
3. 学会等名 Aerogel Seminar 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Guoqing ZU, Kazuyoshi KANAMORI*, Jun SHEN, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Transparent, superflexible doubly crosslinked polyvinylpolymethylsiloxane aerogels and xerogels for superinsulators
3. 学会等名 ICG Annual Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金森主祥*
2. 発表標題 「有機アルコキシランを用いた柔軟エアロゲルの作製と応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上岡良太*・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 メチルトリエトキシランを出発物質とする透明エアロゲルの新規作製手法の検討
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田将行・祖国慶・金森主祥*・中西和樹
2. 発表標題 互いに架橋した長鎖炭化水素とポリシロキサンネットワークからなる エアロゲルの作製と物性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上岡良太*・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 強塩基触媒を用いたポリメチルシセスキオキサンエアロゲルの新規作製手法の検討
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田将行・祖国慶・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 互いに架橋した長鎖炭化水素とポリシロキサンネットワークからなるエアロゲルの作製と物性評価
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 繁竹陸生*・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 非水溶液系における柔軟なポリシロキサン多孔体の作製と物性評価
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西祐樹*・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 非水系ゾル-ゲル法による機械的強度の高い無色透明有機ポリマーエアロゲルの作製
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuyoshi KANAMORI*
2. 発表標題 Organic-inorganic hybrid aerogels and xerogels with high strength and flexibility
3. 学会等名 14th International Ceramics Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryota UEOKA*, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Preparation of polymethylsilsesquioxane aerogels with improved strength using strong base catalyst
3. 学会等名 14th International Ceramics Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masayuki KURITA*, Guoqing ZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Preparation of polyvinylpolymethylsiloxane aerogels with high bending strength and flexibility
3. 学会等名 14th International Ceramics Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuyoshi KANAMORI*, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Strong aerogels for thermal superinsulation
3. 学会等名 ARPA-E Energy Innovation Summit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuyoshi KANAMORI*, Taiyo SHIMIZU, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Bridged polymethylsiloxane aerogels and xerogels with ethylene and ethenylene crosslinks
3. 学会等名 19th International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Guoqing ZU*, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI, Taiyo SHIMIZU, Yang ZHU
2. 発表標題 Transparent, robust and superinsulating polyvinylpolysilsesquioxane aerogels
3. 学会等名 19th International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takayuki KAKEGAWA*, Tomoki KIMURA, Taiyo SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI
2. 発表標題 Preparation of polymethylsiloxane aerogel from organo-bridged alkoxysilanes
3. 学会等名 19th International Sol-Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuyoshi KANAMORI*
2. 発表標題 Silicone-based organic-inorganic hybrid aerogels and xerogels
3. 学会等名 2017 MRS Spring Meeting and Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 掛川貴之*・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 アミン部位を含む有機架橋アルコキシシランを用いたエアロゲルの作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 祖国慶*・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 Transparent, robust and superinsulating polyvinylpolysilsesquioxane aerogels
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 掛川貴之*・金森主祥・中西和樹
2. 発表標題 アミン部位を含む有機架橋アルコキシシランを用いたエアロゲルの作製
3. 学会等名 日本ゾル・ゲル学会第15回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金森主祥*
2. 発表標題 ポリ有機シロキサン系におけるエアロゲルの合成・構造解析・機械的物性
3. 学会等名 日本化学会コロイドおよび界面化学部会関西支部 第35回関西界面科学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 低密度ゲル体とその製造方法	発明者 中西和樹・金森主 祥・祖国慶	権利者 国立大学法人京 都大学
産業財産権の種類、番号 特許、2017-162308	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>本研究の結果の一部について、京都大学よりプレスリリースを行い、以下の新聞報道がなされた。</p> <p>プレスリリース： 超柔軟性エアロゲルの開発 - 有機ポリマーと無機ポリマーの精緻な架橋構造がもたらす可能性 - (2018年7月05日) http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2018/180630_1.html</p> <p>新聞報道： 毎日新聞2018年7月14日朝刊地方版（超柔軟エアロゲルに関する記事） 日刊工業新聞2018年7月2日29面（超柔軟エアロゲルに関する記事）</p>

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