

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550253

研究課題名(和文)新規有機高分子系エアロゲルの開発

研究課題名(英文)Development of novel polymeric aerogels

研究代表者

金森 主祥(KANAMORI, Kazuyoshi)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：60452265

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文):本研究は、透明かつ低密度の多孔体であり、優れた断熱性能を示すエアロゲルの化学組成および作製法を拡張し、高い機械的特性や新しい物性・機能をもった有機高分子系エアロゲル合成法の開発を目的とした。透明かつ低密度のエアロゲルとしてシリカエアロゲルが知られているが、本研究では有機成分を多く導入した有機ポリシロキサン(いわゆるシリコン)エアロゲルやエポキシ樹脂系エアロゲルの新規開発を行い、シリカエアロゲルの高い脆性を改善することに注力した。いくつかの系で透明かつ機械的特性の優れたエアロゲルが得られ、溶媒蒸発による単純な乾燥法によりエアロゲル状キセロゲルも得ることができた。

研究成果の概要(英文): Aerogels are known as low-density, transparent porous materials with high thermal insulation ability. Improvement of mechanical properties and introduction of new functions to aerogels have been explored in this study. As silica aerogels with low density and transparency are already known, introduction of different organic moieties to siloxane polymer networks (so-called silicones) or development of purely organic polymer aerogels of epoxy resin have been investigated. In some cases in organo-substituted polysiloxane gels, aerogels with transparency and good mechanical properties have been developed. Aerogel-like xerogels have also been obtained through simple evaporative drying due to the improved 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 多孔体 機械的特性 シリコン エポキシ樹脂

1. 研究開始当初の背景

我々の身の回りで活躍する多孔体の中でも、エアロゲルと呼ばれる多孔性物質群は、シリカ組成を中心に研究されており、数十ナノメートル程度の微細な細孔構造と 90 % に達する高い気孔率、および高い比表面積をもつことが特徴である。このため、高可視光透過性、低屈折率、低誘電性、低熱伝導性などの特異な物性を示し、機能性材料としても注目されている。とりわけ、熱伝導率は全ての固体中で最低値を示し(約 $15 \text{ mW m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、一般的なグラスウールや高分子発泡体の 1/4 以下)、高性能断熱材としてエネルギー利用の効率化に大きく貢献できる材料として注目を集めている。

しかしながら、シリカエアロゲルは機械的強度が極めて低いためハンドリングや成形加工性に問題があり、また湿潤ゲルを乾燥してエアロゲルを得る際には微細な細孔構造を保持するために表面張力の無視できる高圧の超臨界流体を用いた乾燥法が必要である。これらのことから、シリカエアロゲルを高性能断熱材として用いるための技術的・コスト的ハードルは高く、実用的なエアロゲル材料はこれまでに報告されていない。

研究代表者である金森らは、シリカの有機-無機ハイブリッド誘導体であるメチルシロセスキオキサラン (MSQ, $\text{CH}_3\text{SiO}_{1.5}$) 組成において世界で初めて透明エアロゲルを作製し、圧縮応力に対して高強度で、可逆圧縮-再膨張変形が可能であることを見出した。さらに、常温・常圧下での乾燥によりエアロゲルと同様の透明・低密度キセロゲルが得られることを実証し、非超臨界プロセスでのエアロゲル状キセロゲル製造への道を開いた。

2. 研究の目的

上述のように MSQ 組成において機械的強度に優れたエアロゲル状キセロゲルが得られるようになったものの、曲げ変形に対しては依然脆性が高く、ハンドリング性や成形性には改善の余地が存在する。そこで本研究では、MSQ のような有機ポリシロキサン系を基本骨格とするゲル中により高い柔軟性を示す有機成分をより多く導入した前駆体を用いてエアロゲルを合成し、機械的特性の変化を観察することとした。

さらに、有機成分のみからなる前駆体としてエポキシ化合物とアミン化合物から開環付加反応で形成されるエポキシ樹脂系は、簡便な反応で強固な重合体が得られることで知られている。このような系においてもエアロゲル状の多孔体が得られないか検討することとした。

3. 研究の方法

ゾル-ゲル法において用いられるアルコキシシラン化合物の中でも比較的有機成分の多いものとして、ジメチルジメトキシシラン (DMDMS)、ビニルトリメトキシシラン

(VTMS)、ビス(メチルジメトキシシリル)ポリプロピレンオキシド (BMPO)、1,6-ビス(トリメトキシシリル)ヘキサン (BTMH) を用いた低密度多孔体の作製を検討した。これらの前駆体および重合体は疎水性が高く、適切な pH 条件下において界面活性剤を用いて相分離を抑制することで均一なゲルの作製を試みた。

また、エポキシ系においては、*N,N'*-(シクロヘキサン-1,3-ジイルビスメチレン)ビス(ジグリシジルアミン)(商品名 TETRAD-C)と 4,4'-メチレンシクロヘキシルアミン(BACM)を用いた検討を行った。この系は、ポリエチレングリコール(PEG)を溶媒・相分離誘起剤として反応させることで、マイクロメートル領域の整った細孔を有する強靱かつ柔軟な多孔体が得られることが既に知られている。本研究では、エアロゲルに特徴的な数十ナノメートル領域まで細孔サイズを微細化させるための検討を行った。

4. 研究成果

前述の各種有機置換アルコキシシランを用いたゾル-ゲル系において、MSQ 系と同様の設計思想を用いた検討をまず行った。すなわち、界面活性剤の存在下で最適な pH 制御を行うことでアルコキシシラン前駆体の加水分解・重縮合反応を進行させ、相分離の制御に基づく微細構造の制御を試みた。

BMPO とテトラメトキシシラン(TMOS)の共重合系では、アルコール溶媒中塩基触媒による 1 段階反応や酸-塩基 2 段階反応で柔軟なゲルが得られることが明らかとなり、前駆体比や溶媒の種類・量を変化させることでマイクロメートル領域での微細構造を制御できた。しかしながら、BMPO による柔軟性の導入と、乾燥に耐えうるゲルの固さ(ヤング率)や強度の両立が難しく、制御可能なゲルの多孔構造および物性の範囲は比較的狭かった。前駆体分子である BMPO のプロピレンオキシド部が長すぎたため機械的特性の細かい制御が困難だったことと、TMOS との共重合が均一に進行しなかったことが主な原因であると考えられた。また、BMPO 導入によるネットワークの疎水性増大効果も大きく、水溶液中では相分離が進行して数十ナノメートル領域の微細な構造制御が難しくかった。このため、溶液系の極性を下げる目的で、酢酸を溶媒・反応物として用いた非水溶液プロセスも検討したが、構造・物性の制御可能範囲が大きく広がることはなかった。

次に、やや短い有機架橋部をもち、得られるゲルのシロキサン架橋密度が前述の BMPO-TMOS 系と同程度となる BTMH を単一の前駆体とした検討を行った。この前駆体を用いた不透明エアロゲルの報告は米国のグループよりすでになされており、若干の曲げ柔軟性を示すことが報告されている。本研究では、*N,N'*-ジメチルホルムアミドを溶媒とする塩基 1 段階反応を行うことにより、これ

までに報告例のない透明エアロゲルを得ることができた。出発組成や合成条件の最適化により、バルク密度約 0.2 g cm^{-3} で光透過率が 60 % (@550 nm, 10 mm 厚換算) に迫るエアロゲルを得ることができた。3 点曲げ試験では MSQ エアロゲル同様の脆性破壊挙動を示したが、曲げ強度は MSQ の 1/2 程度、曲げひずみは 1/5 程度となり、MSQ よりも強度・柔軟性の高いエアロゲルは得られていない。また、一軸圧縮試験において 50 % の圧縮変形までに破壊は起こらず、除荷することでやや体積回復を示したが、線形の永久圧縮ひずみは 40 % と大きかった。これらの挙動は、BTMH から得られるネットワークが比較的固いが脆く、未反応のシラノール基を多く含むことを示唆しており、MSQ とシリカゲルの中間的な機械的特性を示していると言える。実際に、近赤外分光などにより残存シラノール基を多く含むことが示されたが、シラノール基を除去するためにヘキサメチルジシラザン (HMDS) 処理を行うことで圧縮変形に対する可逆応答性が向上し、圧縮永久歪みは 22 % に低下することが分かった。今後は、このような有機架橋されたアルコキシシラン前駆体系においても疎水性の導入と架橋部長さの違いによる機械的特性への寄与を調べ、未だ報告例のない常圧乾燥でのエアロゲル状キセロゲルの作製を目指す予定である。

VTMS を出発前駆体とするゾル-ゲル系では、液体界面活性剤を溶媒とする合成系を新たに開発することで、これまでに報告例のない透明エアロゲルが得られることが分かった。光透過率は最高で 64 % 程度となり、圧縮永久歪みは 35 % 程度であった。これらのゲルは、湿潤ゲル合成後にラジカル開始剤を含む溶液中でエージング処理を行うことにより固体ネットワーク内でビニル基の伸長が起こり、機械的特性が大きく向上することが見出された。特に、圧縮永久ひずみはほぼゼロに近づき、ヘキサンを乾燥溶媒とする常温・常圧乾燥によってもエアロゲル同等のキセロゲルが得られることが明らかとなった。このような低密度透明キセロゲルは MSQ に次ぐ 2 例目であり、今後のより詳細な研究・開発が望まれる。

MSQ ゲルに有機成分をより多く含ませ、同時に架橋密度を低下させることで、より柔軟なゲルが得られることが予想される。このような設計思想に基づき、MSQ の前駆体であるメチルトリメトキシシラン (MTMS) と DMDMS との共重合を試みた。DMDMS/MTMS 比が増大するに従って圧縮試験における柔軟性が増大し、最適な DMDMS/MTMS 比 (2/3) 付近では優れた曲げ柔軟性も示した。しかしながら、DMDMS/MTMS 比の増大に伴いネットワークの疎水性が増大するため相分離傾向が増大し、優れた機械的特性を維持できるのはマイクロメートルスケールの細孔構造を有するもののみであった。しかしながら、このよ

うな「マッシュマロ状」ゲルは撥水・撥油性などの表面機能性や低温での機械的特性に優れることが分かったため、これらの特性を利用した新しい応用可能性を見出すことが可能であると考えられる。

エポキシ樹脂系における検討では、低分子量の PEG を溶媒とすることでマイクロメートル領域の細孔を誘起でき、柔軟な多孔体が得られることが既に知られているため、制御可能な細孔サイズをより微細な領域にするために相溶化剤としてはたらく DMF を第 3 成分として添加することで、より広範な細孔構造制御を試みた。骨格形成成分である TETRAD-C と BACM の量を固定し、PEG (分子量 200 および 300) 量と DMF 量を変化させることで、サブミクロンからマイクロメートル領域での細孔構造制御ができた。バルク密度も 0.1 g/cm^3 以下の低密度のものから、 0.2 g/cm^3 を超えるものまで連続的に変化させることができた。詳細な機械的特性の測定には至らなかったが、MSQ 系と比べても同程度の密度でも比較的固く (ヤング率が高く) 強固なゲルが得られることが分かった。ただし、ゲルの表面には水酸基やアミノ基が残存していると予想され、やや親水的である。このことは、BTMH 系同様に常圧乾燥プロセス開発には不利であり、常圧乾燥前にゲルを疎水化する処理が必要になると思われる。しかしながら、純有機高分子系において常圧乾燥によるエアロゲル状キセロゲルの報告はなされておらず、本エポキシ系がその最初の例となる可能性を秘めていることから、今後のより詳細な検討が必要である。

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 9 件)

1. Kazuyoshi KANAMORI “Monolithic silsesquioxane materials with well-defined pore structure” *Journal of Materials Research*, 29, 2773-2786 (2014). DOI: 10.1557/jmr.2014.332
2. Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, Kentaro ABE, Hiroyuki YANO, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Kazuki NAKANISHI “Polymethylsilsesquioxane-cellulose nanofiber biocomposite aerogels with high thermal insulation, bendability and superhydrophobicity” *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6, 9466-9471 (2014). DOI: 10.1021/am501822y
3. Gen HAYASE, Kazuma KUGIMIYA, Mitsue OGAWA, Yasunori KODERA, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Thermal conductivity of polymethylsilsesquioxane aerogels and xerogels with varied pore size for practical application to thermal superinsulators” *Journal of Materials Chemistry A*, 2, 6525-6531 (2014). DOI: 10.1039/C3TA15094A
4. Xingzhong GUO, Huan YU, Hui YANG,

Kazuyoshi KANAMORI, Yang ZHU, Kazuki NAKANISHI “Pore structure control of macroporous methylsilsesquioxane monoliths prepared by in situ two-step processing” *Journal of Porous Materials*, 20, 1477-1483 (2013). DOI: 10.1007/s10934-013-9733-z

5. Kazuyoshi KANAMORI “Recent progress in aerogel science and technology” *Advanced Porous Materials*, 1, 147-163 (2013). DOI: 10.1166/apm.2013.1012

6. Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, George HASEGEWA, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Kazuki NAKANISHI “A superamphiphobic macroporous silicone monolith with marshmallow-like flexibility” *Angewandte Chemie International Edition*, 52, 10788-10791 (2013). DOI: 10.1002/anie.201304169

7. Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, Masashi FUKUCHI, Hironori KAJI, Kazuki NAKANISHI “Facile synthesis of marshmallow-like macroporous gels usable under harsh conditions for the separation of oil and water” *Angewandte Chemie International Edition*, 52, 1986-1989 (2013). DOI: 10.1002/anie.201207969

8. Xingzhong GUO, Wenyan LI, Hui YANG, Kazuyoshi KANAMORI, Yang ZHU, Kazuki NAKANISHI “Gelation behavior and phase separation of macroporous methylsilsesquioxane monoliths prepared by in situ two-step processing” *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 67, 406-413 (2013). DOI: 10.1007/s10971-013-3094-6

9. Masayuki KURAHASHI, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuyuki TAKEDA, Hironori KAJI, Kazuki NAKANISHI “Role of block copolymer surfactants on the pore formation in methylsilsesquioxane aerogel systems” *RSC Advances*, 2, 7166-7173 (2012). DOI: 10.1039/C2RA20799K

〔学会発表〕(計 47 件)

1. 早瀬元、野々村和也、金森主祥、中西和樹「ナノファイバーを構造に用いた有機-無機ハイブリッドエアロゲル」日本セラミックス協会 2015 年 年会(岡山大(岡山市) 2015 年 3 月 18-20 日)

2. 清水太陽、金森主祥、中西和樹「エチレン架橋部をもつ透明ポリメチルシロキサンエアロゲル/キセロゲルの作製」日本セラミックス協会 2015 年 年会(岡山大(岡山市) 2015 年 3 月 18-20 日)

3. Kazuyoshi KANAMORI “Monolithic porous silsesquioxanes and derived ceramics from sol-gel route and carbothermal reduction” 39th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC'15, Daytona Beach, USA, Jan. 25-30, 2015)

4. Reiichiro TSUCHIYA, Takumi TANAKA,

Kazuki NAKANISHI, Kazuyoshi KANAMORI, Gen HAYASE “Novel soft touch spherical beads from methyl (di-/tri-)methoxysilane, using easy aqueous solution reaction” 28th The International Federation of Societies of Cosmetic Chemists (IFSCC) Congress (Paris, France, Oct. 27-30, 2014)

5. 金森主祥「モノリス状ポリシロキサン系多孔体の合成と機能」日本セラミックス協会第 27 回秋季シンポジウム(鹿児島大(鹿児島市) 2014 年 9 月 9-11 日)

6. 清水太陽、金森主祥、中西和樹「ビニルシロキサン系エアロゲルの作製と物性評価」日本セラミックス協会第 27 回秋季シンポジウム(鹿児島大(鹿児島市) 2014 年 9 月 9-11 日)

7. 青木陽輔、清水太陽、金森主祥、中西和樹「有機架橋アルコキシシランを用いた新規エアロゲルの合成と力学特性」日本セラミックス協会第 27 回秋季シンポジウム(鹿児島大(鹿児島市) 2014 年 9 月 9-11 日)

8. 早瀬元、金森主祥、中西和樹「常圧乾燥による低密度 PMSQ キセロゲル作製と熱伝導率評価」日本ゾル-ゲル学会第 12 回討論会(つくば国際会議場(つくば市) 会期 2014 年 8 月 7-8 日)

9. 清水太陽、金森主祥、中西和樹「ビニルシロキサン系エアロゲルの作製と表面反応性の検討」日本ゾル-ゲル学会第 12 回討論会(つくば国際会議場(つくば市) 会期 2014 年 8 月 7-8 日)

10. 青木陽輔、清水太陽、金森主祥、中西和樹「有機架橋アルコキシシランを用いた新規有機-無機ハイブリッドエアロゲルの合成」日本ゾル-ゲル学会第 12 回討論会(つくば国際会議場(つくば市) 会期 2014 年 8 月 7-8 日)

11. Kazuyoshi KANAMORI, Nirmalya MOITRA, Gen HAYASE, Taiyo SHIMIZU, Kazuki NAKANISHI “Functional porous silsesquioxane monolithic materials from organotrialkoxysilane-derived sol-gel systems” *Nanoporous Materials - 7 (NANO-7, Niagara Falls, Canada, Jun. 22-25, 2014)*

12. Taiyo SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Sol-gel synthesis and properties of ethyl- and vinylsilsesquioxane aerogels” *Nanoporous Materials - 7 (NANO-7, Niagara Falls, Canada, Jun. 22-25, 2014)*

13. Yosuke AOKI, Taiyo SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Synthesis and mechanical properties of aerogels from bridged alkoxy silanes” *Nanoporous Materials - 7 (NANO-7, Niagara Falls, Canada, Jun. 22-25, 2014)*

14. Kazuyoshi KANAMORI “Porous silsesquioxane materials from organotrialkoxysilanes” 2014 MRS Spring Meeting & Exhibit (San Francisco, USA, Apr. 21-25, 2014)

15. Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Facile synthesis of marshmallow-like silicone monoliths and their applications” 2014 MRS Spring Meeting & Exhibit (San Francisco, USA, Apr. 21-25, 2014)

16. 金森主祥「ゾル - ゲル法によるシルセスキオキサン系多孔体の開発」日本セラミックス協会 2014 年年会サテライトプログラム：第 2 回ケミカルフィールド研究討論会（慶応義塾大（横浜市）、2014 年 3 月 17-19 日）

17. 早瀬元、永山修也、野々村和也、金森主祥、中西和樹「界面活性剤を用いない有機ポリシロキサンエアロゲルの作製」日本セラミックス協会 2014 年年会（慶応義塾大（横浜市）、2014 年 3 月 17-19 日）

18. 青木陽輔、清水太陽、金森主祥、中西和樹「有機架橋アルコキシランを用いた新規エアロゲルの合成と力学特性」日本セラミックス協会 2014 年年会（慶応義塾大（横浜市）、2014 年 3 月 17-19 日）

19. 早瀬元、金森主祥、中西和樹「超臨界乾燥を必要としない透明エアロゲル断熱材の作製」日本化学会第 94 春季年会（2014）（名古屋大（名古屋市）、2014 年 3 月 27-30 日）

20. 早瀬元、金森主祥、中西和樹「PMSQ エアロゲル・マシュマロゲル：有機アルコキシランを用いた柔軟多孔性材料の創製」第 3 回 CSJ 化学フェスタ 2013（タワーホール船堀（東京都）、2013 年 10 月 21-23 日）

21. 早瀬元、金森主祥、中西和樹「有機ケイ素アルコキシドの共重合による有機 - 無機ハイブリッド多孔体の作製」日本セラミックス協会 第 26 回秋季シンポジウム（信州大（長野市）、2013 年 9 月 4-6 日）

22. Kazuyoshi KANAMORI, Gen HAYASE, Taiyo SHIMIZU, Hiroki SHIGENO, Kazuki NAKANISHI “Organopolysiloxane-based aerogels and related porous materials” The 17th International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2013, Madrid, Spain, Aug. 25-30, 2013)

23. Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, George HASEGAWA, Ayaka MAENO, Hironori KAJI, Kazuki NAKANISHI “Facile synthesis of marshmallow-like gels and their application” The 17th International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2013, Madrid, Spain, Aug. 25-30, 2013)

24. Hiroki SHIGENO, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Preparation of organic-inorganic hybrid aerogel particles” The 17th International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2013, Madrid, Spain, Aug. 25-30, 2013)

25. Taiyou SHIMIZU, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Preparation of organic-inorganic hybrid aerogels from ethyl- and vinyltrimethoxysilane” The 17th International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2013, Madrid, Spain, Aug. 25-30, 2013)

26. 重野紘輝、金森主祥、中西和樹「有機 - 無機ハイブリッドエアロゲル微粒子の作製」

日本ゾル - ゲル学会 第 11 回討論会（広島大（東広島市）、2013 年 8 月 1-2 日）

27. 清水太陽、金森主祥、中西和樹「ビニルトリメトキシシランを用いたエアロゲルの作製とその機械的特性」日本ゾル - ゲル学会 第 11 回討論会（広島大（東広島市）、2013 年 8 月 1-2 日）

28. 青木陽輔、清水太陽、金森主祥、中西和樹「有機架橋アルコキシランを用いた新規エアロゲルの合成と力学特性」日本ゾル - ゲル学会 第 11 回討論会（広島大（東広島市）、2013 年 8 月 1-2 日）

29. Kazuki NAKANISHI, Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, Kei MORISATO “Marshmallow gels: Monolithic macroporous PDMS analogue for versatile separations” High Performance Liquid Phase Separations & Related Techniques (HPLC2013, Amsterdam, The Netherlands, June 16-20, 2013)

30. Gen HAYASE, Kei MORISATO, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “A new stationary phase for solid-phase extraction with marshmallow-like silicone monoliths” High Performance Liquid Phase Separations & Related Techniques (HPLC2013, Amsterdam, The Netherlands, June 16-20, 2013)

31. 早瀬元、金森主祥、阿部賢太郎、矢野浩之、中西和樹「ナノファイバー物質との融合による新規低密度有機ポリシロキサン系エアロゲルの作製」平成 25 年繊維学会年次大会（タワーホール船堀（東京都）、2013 年 6 月 12-14 日）

32. 早瀬元、金森主祥、長谷川丈二、前野綾香、梶弘典、中西和樹「マシュマロ状有機ポリシロキサン多孔体の簡易合成と機械的特性および表面改質」平成 25 年繊維学会年次大会（タワーホール船堀（東京都）、2013 年 6 月 12-14 日）

33. 早瀬元、金森主祥、前野綾香、梶弘典、中西和樹「超撥水・撥油性マシュマロゲルの簡易合成」第 61 回高分子学会年次大会（京都国際会館（京都市）、2013 年 5 月 29-31 日）

34. 早瀬元、金森主祥、長谷川丈二、前野綾香、梶弘典、中西和樹「マシュマロゲルの簡易合成と応用」日本セラミックス協会 2013 年年会（東京工業大（東京都）、2013 年 3 月 17-19 日）

35. Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Facile synthesis of marshmallow-like gel derived from silicon alkoxides as co-precursor and their applications” Third International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials (Hybrid Materials 2013, Sorrento, Italy, Mar. 3-7, 2013)

36. Kazuyoshi KANAMORI, Gen HAYASE, Taiyou SHIMIZU, Hiroki SHIGENO, Kazuki NAKANISHI “Polyorganosiloxane aerogels with no need for supercritical drying” Third International Conference on Multifunctional,

Hybrid and Nanomaterials (Hybrid Materials 2013, Sorrento, Italy, Mar. 3-7, 2013)

37. 早瀬元、金森主祥、福地将志、梶弘典、中西和樹「マシュマロ状柔軟多孔性ゲルの作製とその応用」日本セラミックス協会 第 25 回秋季シンポジウム(名古屋大(名古屋市) 2012 年 9 月 19-21 日)
38. 早瀬元、金森主祥、阿部賢太郎、矢野浩之、中西 和樹「セルロースナノファイバーとの融合による曲げ可能なポリメチルシルセスキオキサンエアロゲルパネルの作製」第 61 回高分子討論会(名古屋工業大(名古屋市) 2012 年 9 月 19-21 日)
39. 金森主祥、早瀬元、清水太陽、中西和樹「ポリシロキサン系有機-無機ハイブリッド多孔体の作製」第 61 回高分子討論会(名古屋工業大(名古屋市) 2012 年 9 月 19-21 日)
40. 金森主祥「有機修飾アルコキシランを用いた多孔体の開発」日本セラミックス協会 第 25 回秋季シンポジウム・第 61 回高分子討論会 サテライトシンポジウム「革新的ハイブリッド材料研究討論会」(名古屋大(名古屋市) 2012 年 9 月 18 日)
41. 清水太陽、金森主祥、中西和樹「エチルトリメトキシシランおよびビニルトリメトキシシランを用いた新規エアロゲルの作製」日本ゾル-ゲル学会第 10 回討論会(慶応義塾大(横浜市) 2012 年 7 月 26-27 日)
42. 重野紘輝、金森主祥、中西和樹「有機-無機ハイブリッドエアロゲル微粒子の作製」日本ゾル-ゲル学会第 10 回討論会(慶応義塾大(横浜市) 2012 年 7 月 26-27 日)
43. 早瀬元、金森主祥、中西和樹「3 官能性/2 官能性ケイ素アルコキシド共重合による柔軟多孔性ゲルの作製」日本ゾル-ゲル学会第 10 回討論会(慶応義塾大(横浜市) 2012 年 7 月 26-27 日)
44. 清水太陽、金森主祥、中西和樹「エチルトリメトキシシランおよびビニルトリメトキシシランを用いた新規エアロゲルの作製」第 7 回日本セラミックス協会関西支部学術講演会(神戸大(神戸市) 2012 年 7 月 13 日)
45. 重野紘輝、金森主祥、中西和樹「有機-無機ハイブリッドエアロゲル微粒子の作製」第 7 回日本セラミックス協会関西支部学術講演会(神戸大(神戸市) 2012 年 7 月 13 日)
46. Kazuyoshi KANAMORI, Hiroki SHIGENO, Takahiro TANAKA, Kazuki NAKANISHI “Preparation of polymethylsilsesquioxane xerogel spheres by suspension polymerization” 4th International Congress on Ceramics (ICC4, Chicago, USA, Jul. 15-19, 2012)
47. Gen HAYASE, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI “Facile synthesis of flexible macroporous monolith from tri- and di-functional organoalkoxysilanes: controlling pore and surface properties for applications” 4th International Congress on Ceramics (ICC4, Chicago, USA, Jul. 15-19, 2012)

〔産業財産権〕
出願状況(計 1 件)

名称: ポリシロキサン多孔体とその製造方法
発明者: 中西和樹、金森主祥、早瀬元、古野正浩、武井義之
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特許出願 2013-181138
出願年月日: 2013 年 9 月 2 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

<http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/mukibutsu/kanamori/>
にて、日本語で随時研究成果を公表している。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金森 主祥 (KANAMORI, Kazuyoshi)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 60452265