

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 21 日現在

機関番号：82509

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350117

研究課題名(和文)有機-無機ネットワーク構造を有するソフトマターの科学 - 精密構造制御と機能創出 -

研究課題名(英文) Science of soft materials with organic-inorganic network structure - structure control and creation of new functions -

研究代表者

原口 和敏 (HARAGUCHI, Kazutoshi)

一般財団法人川村理化学研究所・材料化学研究室・室長

研究者番号：10373391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,600,000円、(間接経費) 4,680,000円

研究成果の概要(和文)：ハイブリッド型ソフトマターの精密構造制御と機能創出研究を行い、ナノコンポジット(NC)ゲルで新たな機能(例：自発的収縮性、自己修復性、細胞培養/剥離性等)を見出しその機構を解明した。また、新たな機能性ハイブリッド材料(例：新規刺激応答性ゲル、双性イオン型NCゲル、NCマイクロスフェア分散液、Pt/クレイナノ複合体、コアシェル型ナノ複合体、層状銀ベルト、LDH/Au複合体、トリブロック共重合体)を開発した。

研究成果の概要(英文)：We have studied on the precise controls of organic/inorganic network structure, morphology, stimuli-sensitivities, mechanical and catalytic properties, and phase transition in soft hybrid materials such as nanocomposite (NC) gels and N-NCs. We found many new functions such as self-healing, autonomous deswelling, cell cultivation and thermoresponsive detachment, etc. Further, we created novel soft NC and clay-mediated noble metal nanoparticles/clay hybrid materials, such as new stimuli-sensitive MD-NC gel, zwitterionic NC gel, aqueous dispersion of NC microspheres, MDM and (MD)₄ block copolymers, Ag/clay hybrid, Pt/(f)clay hybrids, and core-shell nanostructured Pt-Pd/clay and Pt-Au/clay hybrids.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学/高分子・繊維材料(4804)

キーワード：ナノ材料 複合材料物性 表面・界面物性 ヒドロゲル 触媒

1. 研究開始当初の背景

近年、新規材料創製のための研究手法として、少量無機成分のナノ分散技術を基本とした「有機-無機ハイブリッド化」が大きな注目を浴びている。これまでのハイブリッド研究において、弾性率、硬度、ガスバリア性、熱変形温度といったハード材料に特有な物性が大きく向上され、幾つかの実用化に達した材料が報告されている。これに対して、申請者らは「有機-無機ハイブリッド」の概念を「ソフトマテリアル」に展開する重要性に着目し、且つ、ナノ分散強化機構ではなく、新たな「有機-無機ネットワーク構造」構築による新材料創製研究を世界に先駆けて推進してきた。その結果、ナノコンポジット型ヒドロゲル(NCゲル)およびソフトナノコンポジット(M-NC)を創製し、ハイブリッド材料における、真に驚異的な特性の実現に初めて成功した。例えば、NCゲルは、従来の化学架橋ゲルの持つ本質的課題(力学脆弱性、構造不均一性、低膨潤/収縮性)の全てを一挙に解決すると共に、多くの新たな機能を発現することに成功した。新機能の例としては、分子鎖転移による応力出力、高選択吸着、環境応答型滑り摩擦、pH・温度両応答、表面マイクロパターン形成、二重架橋構造、水温不感型ゲル構築、無機ナノ粒子によるCoil-to-Globule 転移の完全制御、新規多孔質性材料、光学異方性発現と特異的变化、NCゲル表面での超疎水性発現など。

一方、M-NCにおいても、疎水性高分子とクレイ凝集体(層間化合物)からなる三次元ネットワーク(ナノ壁構造)を構築させることで、高無機含有率において極めて高い透明性と柔軟性を併せ持ち、且つ、可逆的超延伸性、ネッキング現象を示すことを見いだした。更に、UV 重合法によるNCゲルの合成、ネットワーク構成高分子の分離解析、M-NCでの新たな機能創出(温度応答性や細胞培養/剥離性など)を達成した。

以上のように、従来の限界を打破し多くの(超)機能性を発現して世界から注目されている「ハイブリッド型ソフトマター」であるが、本質的な役割をしている有機-無機ネットワークの精密構造制御および新機能発現に関しては、まだ多くの可能性と未知なる点が残されていた。有機-無機ネットワークのナノ構造・形態・組成を精密に制御すると共に、他の高分子系や複合系に展開することにより、より多彩なハイブリッド材料の開発および新機能の発現が期待される。

2. 研究の目的

以上述べたように、ハイブリッド型ソフトマターの優れた物性・機能性は、その特異的な有機-無機ネットワーク構造及び外部との相互作用に基づいている。本研究では、有機-無機ネットワーク構造の本質にせまる基礎的評価・解析研究を行うと共に、有機-無機ネットワークの精密構造制御や外部と

の相互作用解明による新たな機能の探索を行う。更に、有機-無機系に限らず、ナノ構造を制御した新たな高分子-高分子系および無機-無機系のハイブリッド材料を探索し、新材料創出を行う。

3. 研究の方法

(1)有機-無機ネットワークの精密構造制御および動的挙動:

ネットワーク構成高分子の精密構造解析、ネットワーク中での高分子の特性変化、ネットワークの動的変化挙動解明、に取り組む

(2)外部環境・外部刺激・溶質導入によるネットワーク変化と機能:

水中での特異的膨潤挙動、外部イオンの膨潤挙動に及ぼす効果、創傷・切断面の自己修復挙動、溶質担持および放挙動、を明らかにする。

(3)生体および細胞との作用:

M-NC表面での細胞培養性と剥離挙動、新規刺激応答性ゲル表面での間葉系幹細胞の培養・剥離・分化を明らかにする。

(4)組成および形態制御による新ハイブリッド材料の開発と新機能:

共重合型新規刺激応答性ヒドロゲル、高分子-クレイ複合ナノ粒子分散液、双性イオン高分子及び物理・化学架橋ゲル、双性イオン型ナノコンポジットゲル、を開発し、その物性、機能を明らかにする。

(5)有機-有機系および無機-無機系の新たなハイブリッド材料の開発:

有機-有機系ハイブリッド:リビングラジカル重合による高機能ブロック共重合体の合成と機能(生体適合性)評価を進める。

無機-無機系ハイブリッド:貴金属ナノ粒子(Pd,Pt,Au)/クレイ及びLDHハイブリッド材料、形態制御材料の開発と機能評価を進める。

4. 研究成果

上述の背景・研究目的のもと、平成23~25年度において「有機-無機ネットワーク構造を有するソフトマターの科学」に関する研究を進めた。研究成果の内、特筆すべきものを以下に示す。

(1)有機-無機ネットワークの精密構造制御および動的挙動:

水系レドックス条件下、初期モノマー濃度を広範囲に変化させてN-イソプロピルアクリルアミド(NIPA)の重合を行い、PNIPAの分子量と極限粘度の関係(Mark-Houwink-Sakura 定数)の決定、自己架橋によるゲル分率のモノマー濃度依存性を明らかにした。クレイ共存下での重合(NCゲル合成)では、PNIPAの自己架橋は生じず、且つ、クレイ濃度によらず極めて高い分子量(約550万)を維持していることが明らかとなった。これらが高強度NCゲルの大きな要因と推定された。また、ネッ

トワークから高分子を分離する前後の示差熱測定から、クレイ（架橋点）による高分子鎖熱運動抑制が定量的に評価された。以上にに基づき、NCゲルで高強度が発現する要因について総合的に考察した。

NCゲルの延伸および回復過程を小角中性子散乱により観測し、分子鎖の形態変化・緩和に基づき延伸・回復現象を考察した。

(2)外部環境・外部刺激・溶質導入によるネットワーク変化と機能： NCゲルは水中で大きく膨潤した後、自発的な収縮挙動を示すことを見出した。その機構はクレイの電解質効果と対イオンの放出によると結論した。

多価イオン添加によりNCゲルの極大膨潤は消失するが、一価イオン添加で可逆的に再生することを確認した。NCゲルが創傷、切断された場合でも、傷（切断）面を密着して保持するだけで傷が修復し、切断したものが一体化して元に戻る自己修復性を示すことを見出した。自己修復は、切断面に存在する長いダングリング鎖が相手面内に拡散し新たなクレイ-高分子結合（水素結合）を形成するためと考察された。自己修復度はクレイ濃度および保持温度に大きく依存し、温度応答性の異なる2種のNCゲルの切断面の場合でも自己修復（一体化）することが明らかとなった。NCゲル内に水溶性または非水溶性薬物を担持し徐放できることを示した。

(3)生体および細胞との作用： ソフトハイブリッド（M-NC）表面で多様な細胞が効率的に培養され、温度刺激および軽いピペティングで酵素処理なしで培養細胞が剥離されることを見出した。共重合により新たに開発した新規刺激応答性NCゲル表面で、ヒト間葉系幹細胞（MSC）が未分化性を保持した状態で培養され、且つ、温度低下のみで培養細胞がシート状に剥離回収できること、その後、分化誘導できることを確認した。

(4)組成および形態制御による新ハイブリッド材料の開発と新機能： 親・疎水性の異なる異種モノマー（M, D）をクレイ共存下でin-situラジカル重合させることにより、新たな刺激応答性を有する（非PNIPA系）刺激応答性ゲル（MD-NCゲル）を開発した。MD-NCゲルは膨潤・乾燥状態のいずれでも透明性・柔軟性及び優れた力学物性を有し、且つ、温度に加えてpH、溶媒、塩濃度などの刺激に応答して、可逆的な体積および透明性変化を繰り返し示すことを見出した。

NCゲル、MD-NCゲル、M-NCの成分組成を有するクレイ-高分子NCミクロスフェア分散液を開発した。熱および光重合により合成された、クレイ-高分子NCミクロスフェア（複合ナノ粒子）は水分散液中で、明確な相転移を示し、その転移温度（下限臨界共溶温度（LCST））前後で、透明性、粒子径、構造が大きく変化した。また、重合条件や組成変化により、LCSTを広範囲に制御することができた。スルフォベタイン

基を有する双性イオン高分子の合成を広範囲な反応条件で行い、得られた双性イオン高分子およびその物理架橋ゲル、化学架橋ゲルについて解析した。高分子については、Mark-Houwink定数を決定し、相転移温度（上限臨界共溶温度（UCST））が高分子濃度により大きく変化すること、また、臨界濃度以上では物理架橋ゲルとなることを見出した。その他、物理架橋および化学架橋ゲルでのUCSTの架橋密度依存性や加熱・塩添加によるゲル溶解挙動を明きらかにした。クレイと適切な相互作用を有するスルフォベタインモノマーを選択し、in-situ重合により、優れた力学物性、透明性（均一性）及びUCST型相転移を示す双性イオン型NCゲル（Zw-NCゲル）の合成に成功した。また、相転移温度および力学物性の広範囲な制御を共重合型Zw-NCゲルにより達成し、これらZw-NCゲルのネットワーク構造、高分子濃度による構造・物性変化を詳細解析した。

(5)有機-有機系および無機-無機系の新たなハイブリッド材料の開発：（有機-有機系）リビングラジカル重合（RAFT重合）により、疎水性-親水性-疎水性のシーケンスを基本とするトリブロック（MDM）共重合体及び4分岐型ブロック（(MD)4）共重合体を新たに合成し、その特性を明らかにした。MDM及び(MD)4はOne-pot合成により、高収率、高分子量で得られ、医療部材で用いる多くの基材に強く接着すること、且つ、優れた低タンパク吸着性をコート表面で実現できること、また、その表面が細胞播種に対して優れた浮遊培養性（低細胞接着性）を示すことを見出した。（無機-無機系）クレイの特徴を詳細に検討した結果、層状剥離したクレイナノ粒子（ナノシート）は極めて穏やかな還元能を有していることが明らかとなった。これに基づき、いくつかの系でクレイナノ粒子存在下での貴金属イオンの還元を検討し、貴金属/クレイハイブリッドの合成を行った。(i)銀ナノ粒子の合成と集合形態の一括制御：クレイ存在下で、ポリエチレングリコールユニットを有する界面活性剤のつくるウオームライク構造（ゲル）をテンプレートとして銀イオンの還元を行い、銀ナノ粒子及びその凝集構造を一挙に形成させることに成功した。また、パラジウムに関しても同様な微粒子への還元と凝集構造制御を行えた。

(ii)微小な白金ナノ粒子/クレイハイブリッドの合成と特性解析：還元剤として層状剥離したクレイナノ粒子のみを用いることにより、白金化合物が高度に制御された状態で還元され、極めて微小（約3nm直径）でサイズのそろったPtナノ粒子/クレイハイブリッドが得られた。該ハイブリッドは、高表面積、優れた分散性および再分散性を有し、還元反応に対する高い触媒活性を保持することを見出した。更に、CO酸化反応にたいしても高い触媒活性を特に高温側で示すこ

とを見出した。

(iii)耐熱性白金ナノ粒子/クレイハイブリッドの合成と特性解析：クレイとしてフッ素化クレイを用いることにより、700 ~ 1000 に達する高耐熱性を有するPt/F化クレイハイブリッドを合成した。

(iv)コア-シェル構造型貴金属ナノ粒子ハイブリッドの合成と特性解析：クレイの穏やかな還元能を用いることで、2種の貴金属を層状剥離クレイ存在下で一緒に還元させる手法により、明確なコア-シェル構造を有する貴金属ナノ粒子/クレイハイブリッドを得た。具体的には、Pt-Au/クレイ、Pt-Pd/クレイ、Au-Pd/クレイにおいてコア-シェル構造ナノ粒子を実現し、いずれも優れた触媒活性を示すことを確認した。

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 37 件)

- (1) Kazutoshi Haraguchi, Dharmesh Varade Platinum-Polymer-Clay Nanocomposite Hydrogels via Exfoliated Clay-Mediated In Situ Reduction., *Polymer*, 査読有, 2014, in press
DOI: 10.1016/j.polymer.2014.03.040
- (2) Kazutoshi Haraguchi, Tetsuo Takada Polymer-Clay Nanocomposite Microspheres and their Thermosensitive Characteristics., *Macromol. Chem. Phys.*, 査読有, Vol.215, 2014, pp.295-305.
DOI: 10.1002/macp.201300593
- (3) Jinyan Ning, Guang Li, Kazutoshi Haraguchi Effects of Polymer Concentration on Structure and Properties of Zwitterionic Nanocomposite Gels., *Macromol. Chem. Phys.*, 査読有, Vol.215, 2014, pp.235-244.
DOI: 10.1002/macp.201300637
- (4) Dharmesh Varade, Kazutoshi Haraguchi Novel Bimetallic Core-Shell Nanocrystal/Clay Composites with Superior Catalytic Activities., *Chem. Comm.*, 査読有, Vol.50, 2014, pp.3014-3017.
DOI: 10.1039/C3CC49110B
- (5) Dharmesh Varade, Kazutoshi Haraguchi Preparation and Characterization of Highly Planar Flexible Silver Crystal Belts., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有, Vol.16, 2014, pp.880-884.
DOI: 10.1039/C3CP54214A
- (6) 原口和敏 ネットワーク再構築による高分子ゲルの自己修復., *科学と工業*, 査読有, Vol.88, 2014, pp.57-64.
- (7) Dharmesh Varade, Hideki Abe, Yusuke Yamauchi, Kazutoshi Haraguchi Superior CO Catalytic Oxidation on Novel Pt/Clay Nanocomposites., *ACS Appl. Mater. Inter.*, 査読有, Vol.5, 2013, pp.11613-11617.
DOI: 10.1021/am402998q
- (8) Dharmesh Varade, Kazutoshi Haraguchi Super-thermostable Platinum Nanoparticles on Fluorinated Clay., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有, Vol.15, 2013, pp.16477-16480.
DOI: 10.1039/c3cp52938j
- (9) Kazutoshi Haraguchi, Kazutaka Murata, Toru Takehisa Stimuli-Responsive Properties of Nanocomposite Gels Comprising (2-methoxyethylacrylate-co-N,N-dimethylacrylamide) Copolymer-Clay Networks., *Macromol. Symposia.*, 査読有, Vol.329, 2013, pp.150-161.
DOI: 10.1002/masy.201300026
- (10) Jinyan Ning, Guang Li, Kazutoshi Haraguchi Synthesis of Highly Stretchable, Mechanically Tough, Zwitterionic Sulfobetaine Nanocomposite Gels with Controlled Thermosensitivities., *Macromolecules*, 査読有, Vol.46, 2013, pp.5317-5328.
DOI: 10.1021/ma4009059
- (11) Jinyan Ning, Kazuomi Kubota, Guang Li, Kazutoshi Haraguchi Characteristics of Zwitterionic Sulfobetaine Acrylamide Polymer and the Hydrogels Prepared by Free-radical Polymerization and Effects of Physical and Chemical Crosslinks on the UCST., *React. Funct. Polym.*, 査読有, Vol.73, 2013, pp.969-978.
DOI:10.1016/j.reactfunctpolym.2012.11.005
- (12) Dharmesh Varade, Kazutoshi Haraguchi Synthesis of Highly Active and Thermally Stable Nanostructured Pt/Clay Materials by Clay Mediated in Situ Reduction., *Langmuir*, 査読有, Vol.29, 2013, pp.1977-1984.
DOI:10.1021/la3044945
- (13) Noriko Kotobuki, Kazutaka Murata, Kazutoshi Haraguchi Proliferation and Harvest of Human Mesenchymal Stem Cells Using New Thermoresponsive Nanocomposite

- Gels.,
J. Biomed. Mater. Res. A, 査読有,
Vol.101, 2013, pp.537-546.
DOI: 10.1002/jbm.a.34355
- (14) Kazutoshi Haraguchi
Nanocomposite Gels Consisting of a
Unique Polymer/Clay Network and Their
Characteristics.,
CMC Workshop Lectures, 査読有,
Vol.18, 2013, pp.41-74.
DOI: 10.1346CMS-WLS-18.3
- (15) 原口和敏
機能性ソフトナノコンポジット.,
成形加工, 査読有,
Vol.25, 2013, pp.125-130.
- (16) 原口和敏
自己修復性高分子ヒドロゲル.,
高分子, 査読有,
Vol.62, 2013, pp.383-384.
- (17) Kazutoshi Haraguchi, Kazutaka Murata,
Toru Takehisa
Stimuli-Responsive Nanocomposite
Gels and Soft Nanocomposites
Consisting of Inorganic Clays and
Copolymers with Different Chemical
Affinities.,
Macromolecules, 査読有,
Vol.45, 2012, pp.385-391.
DOI: 10.1021/ma202114z
- (18) Dharmesh Varade, Kazutoshi Haraguchi
One-Pot Synthesis of Noble Metal
Nanoparticles and their Ordered
Self-Assembly Nanostructures.,
Soft Matter, 査読有,
Vol.8, 2012, pp.3743-3746.
DOI: 10.1039/c2sm07004a
- (19) Huai-Yin Ren, Meifang Zhu, Kazutoshi
Haraguchi
Effects of Counter Ions of Clay
Platelets on the Swelling Behavior of
Nanocomposite Gels.,
J. Colloid Interface Sci., 査読有,
Vol.375, 2012, pp.134-141.
DOI: 10.1016/j.jcis.2012.02.032
- (20) Toshihiko Nishida, Akira Ohbayashi,
Kazutoshi Haraguchi, Mitsuhiro
Shibayama
Stress Relaxation and Hysteresis of
Nanocomposite Gel Investigated by
SAXS and SANS Measurement.,
Polymer (United Kingdom), 査読有,
Vol.53, 2012, pp.4533-4538.
DOI: 10.1016/j.polymer.2012.07.038
- (21) Dharmesh Varade, Kazutoshi Haraguchi
Efficient Approach for Preparing Gold
Nanoparticles in Layered Double
Hydroxide: Synthesis, Structure, and
Properties.,
J. Mater. Chem., 査読有,
Vol.22, 2012, pp.17649-17655.
DOI: 10.1016/j.polymer.2012.07.038
- (22) Kazutoshi Haraguchi, Yingjia Xu
Thermal Analyses of
Poly(N-isopropylacrylamide) in
Aqueous Solutions and in
Nanocomposite Gels.,
Colloid Polym. Sci., 査読有,
Vol.290, 2012, pp.1627-1636.
DOI: 10.1007/s00396-012-2694-y
- (23) Kazutoshi Haraguchi
Development of Soft Nanocomposite
Materials and Their Applications in
Cell Culture and Tissue Engineering.,
J. Stem Cells Regenerative Medicine
(JSRM), 査読有,
Vol.8, 2012, pp.2-11.
- (24) 原口和敏
ナノコンポジットゲル材料.,
ファインケミカル9月号, 査読有,
Vol.41, 2012, pp.18-25.
- (25) 原口和敏
有機 無機ネットワークの分子論考察
その2.,
ネットワークポリマー, 査読有,
Vol.33, 2012, pp.341-353.
- (26) Kazutoshi Haraguchi
Stimuli-Responsive Nanocomposite
Gels.,
Colloid Polym. Sci., 査読有,
Vol.289, 2011, pp.455 - 473.
DOI: 10.1007/s00396-010-2373-9
- (27) Kazutoshi Haraguchi, Kazuhisa Uyama
Hisashi Tanimoto
Self-healing in Nanocomposite
Hydrogels.,
Macromol. Rapid Commun., 査読有,
Vol.32, 2011, pp.1253-1258.
DOI: 10.1002/marc.201100248
- (28) Kazutoshi Haraguchi, Yingjia Xu,
Guang Li
Poly(N-isopropylacrylamide)
Prepared by Free-Radical
Polymerization in Aqueous Solutions
and in Nanocomposite Hydrogels.,
Macromol. Symp., 査読有,
Vol.306-307, 2011, pp.33-48.
DOI: 10.1002/masy.201000149
- (29) Huai-Yin Ren, Meifang Zhu, Kazutoshi
Haraguchi
Characteristic Swelling-Deswelling
of Polymer/Clay Nanocomposite Gels.,
Macromolecules, 査読有,
Vol.44, 2011, pp.8516-8526.
DOI: 10.1021/ma201272j
- (30) Kazutoshi Haraguchi, Sakie Masatoshi,
Noriko Kotobuki, Kazutaka Murata
Thermoresponsible Cell Adhesion /
Detachment on Transparent
Nanocomposite Films Consisting of
Poly(2-methoxyethyl acrylate) and

- Clay.,
J. Biomater. Sci. Polym. Ed., 査読有,
Vol.22, 2011, pp.2389-2406.
DOI: 10.1163/092050610X540459
Vol.48, 2011, pp.36-37.
- (31) Kazutoshi Haraguchi
Synthesis and Properties of Soft
Nanocomposite Materials with Novel
Organic/Inorganic Network
Structures.,
Polym. J., 査読有,
Vol.43, 2011, pp.223-241.
DOI: 10.1038/pj.2010.141
- (32) 原口和敏
超分子の視点からみたナノコンポジットゲルの創成.,
化学工業 12月号, 査読有,
Vol.62, 2011, pp.948-953.
- その他 5件

〔学会発表〕(計 71 件)

- ・学会発表 計 45 件
- ・招待講演 計 26 件

- (1) Kazutoshi Haraguchi
New Stimuli-Responsive Nanocomposite
Gels with LCST and UCST Type Phase
Transitions.,
Asian Polymer Association (APA2014)
2014. 2.19, India Habitat Centre, New
Delhi, India, (Plenary Lecture)
- (2) 原口和敏
有機/無機ハイブリッド材料の展開.,
無機マテリアル学会 第 124 回学術講演
会 特別講演
2012.6.7, 船橋市民文化創造館, 船橋,
- (3) 原口和敏
高分子ゲルの新展開
Webinar 講演会 (高分子学会),
2011. 8.23, 高分子学会, web 上での講
演(全国配信)
- (4) Kazutoshi Haraguchi
Soft Nanocomposite Materials with
Novel Organic/Inorganic Network
Structures
2011 International Conference on
Advanced Fibers and Polymer Materials
(ICAFPM)
2011. 8.16, Donghua Univ/Shanghai
(Plenary Lecture)

その他 67 件

〔図書〕(計 10 件)

- (1) 原口和敏
エヌ・ティー・エス出版, 2014,
「高分子ナノテクノロジーハンドブ
ック」
1120 (第 1 編 第 2 章 第 6 節, pp.86-93
クレイ系ナノコンポジットゲル
- (2) 原口和敏
シーエムシー出版, 2014

- 「ゾル - ゲル法の最新応用と展望」
320 (第 2 章 1, pp.142-157)
有機-無機ナノコンポジット型ヒドロ
ゲル
- (3) Kazutoshi Haraguchi
Taylor & Francis Group, 2014
「Encyclopedia of Biomedical Polymers
and Polymeric Biomaterials (Ed. by
Munmaya Mishra)」
8000 (Chapter.8, pp.510-535)
Polymer-Clay Nanocomposite Films and
Gels:
- (4) Kazutoshi Haraguchi
Woodhead Publishing Ltd, 2012
「Advances in Polymer Nanocomposites
(Ed. by Fengge Gao)」
6800 (Chapter.12, pp.351-397),
Soft Polymer Nanocomposites and Gels
- その他 6 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原口 和敏 (HARAGUCHI KAZUTOSHI)
一般財団法人川村理化学研究所
理事・所長 (兼 材料化学研究室 室長)
研究者番号: 10373391

(2) 研究分担者

高田 哲生 (TAKADA TETSUO)
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 主席研究員
研究者番号: 00425670
加藤 慎治 (KATO SHINJI)
一般財団法人川村理化学研究所
高分子化学研究室 室長
研究者番号: 10415458
武久 敢 (TAKEHISA TORU)
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 研究主任
研究者番号: 70425669

(3) 連携研究者

Dharmesh Varade
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 客員研究員
王林 明 (OHBAYASHI AKIRA)
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 研究員
野村 師子 (NOMURA MITSUKO)
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 派遣研究員
任 懷銀 (REN HUAI-YIN)
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 東華大学院博士学生
寧 金妍 (NING JINYAN)
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 東華大学院博士学生
李 鳳 (LI FENG)
一般財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 客員研究員