

機関番号：82509

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20350109

研究課題名 (和文) ハイブリッド型ソフトマテリアルの基盤構築
- 超機能性の発現と機構解明 -研究課題名 (英文) Study on hybrid soft materials
- High functionalities and their mechanisms -

研究代表者

原口 和敏 (HARAGUCHI KAZUTOSHI)

財団法人川村理化学研究所 理事・所長 (兼 室長)

研究者番号：10373391

研究成果の概要 (和文)：特異的な有機 (高分子) / 無機 (クレイ) ネットワークからなるハイブリッド型ソフトマテリアルの基盤構築研究を行い、ナノコンポジット (NC) ゲルの新規合成や変性 (光重合法、PEG 系 NC ゲル等)、ネットワーク構造解析と構造/物性相関による機能発現機構の解明 (小角中性子散乱、高分子鎖特性、超疎水性等)、新たな機能性の発現 (パターン形成、薬物徐放、異常膨潤、細胞培養/剥離、相転移制御等) について新たな知見を得た。

研究成果の概要 (英文)：We have studied on hybrid soft materials (e. g., nanocomposite (NC) gels and soft NC (M-NCs)) with unique organic (polymer)/inorganic (clay) network structures. Novel NC gels consisting of PEG/clay system and a new synthetic procedure using photopolymerization have been developed. Also, we analyzed the network structure in detail and revealed the structure-property relationships. Further, we explored to find new functions of NC gel and M-NCs, such as pattern formation, drug delivery, abnormal swelling, cell culture and subsequent detachment, control of phase transition, etc.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

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

1. 研究開始当初の背景

近年、高度化する物性要求に対応した新規 (高分子系) 材料創製のための研究手法として、無機ナノ材料との複合化による「有機/無機ハイブリッド化」が大きな注目を浴びており、ナイロン/クレイハイブリッドやシリカ系ハイブリッドなど実用化に達した研究もある。

しかし、これまでの有機/無機ハイブリッドの研究ターゲットは、上記例を含め、殆ど

が「ハード材料」を対象としたものであり、高弾性率、ガスバリア性、耐熱変形性等といったハード材料に特有な物性の向上が研究されてきた。一部、ゴムやエラストマーのハイブリッドも取り上げられてきたが、ハード材料と同じ方向の研究であった。これに対して、申請者らは、有機/無機ハイブリッド研究の将来可能性は、ソフトマテリアルに展開することで大きく前進すると考え、世界に先だって幾つかの独創的な研究を推進し、ハイ

ブリッド型ソフトマテリアルの驚異的な潜在可能性を初めて明らかにした。

その一つが、ナノコンポジット型ヒドロゲル（NCゲル）である。NCゲルは、特異的な有機（高分子）／無機（クレイ）ネットワーク構造を構築することにより、従来の化学架橋ヒドロゲルの持つ本質的な課題（力学的脆弱性、構造不均一性、低刺激応答性）の全てを一挙に解決することに成功した。また、多くの新しい機能性を見いだした。

更に、申請者らは、疎水性高分子（PMEA）の中にnmレベルのクレイ凝集体からなる三次元ネットワーク（壁構造）を構築させた非水系ハイブリッドソフトマテリアル（M-NC）の創製に成功し、50wt%に達する無機クレイ含有率で、極めて高い透明性など、正に超機能性と言える特性を実現させた。

以上のように、世界の注目を受ける「ハイブリッド型ソフトマテリアル」であるが、かかる機能の更なる高度化や新たな機能性の創出、また機能性発現のメカニズムを明らかにする研究が強く望まれていた。

2. 研究の目的

かかるハイブリッド型ソフトマテリアルの優れた物性・機能性は、主にその固有な構造、及び外部との特異的な相互作用に基づいている。本研究では、ナノ構造を制御したハイブリッド型ソフトマテリアル（水系および非水系）を合成し、構造解析と機能性評価からそれらの関連を明らかにし、更なる機能性の発現を目指す。具体的には、二種のハイブリッド型ソフトマテリアル（NCゲル及びM-NC）に関して、（1）新たなソフトマテリアルの合成と変性、（2）ネットワーク構造解析と構造／物性相関による超機能性機構解明、（3）新たな機能性の探索を行う。

3. 研究の方法

（1）新規ハイブリッドの合成と変性：

- ①光重合法によるNCゲル合成、
- ②新しいポリマー系でのNCゲル合成、
- ③有機-無機ネットワークの変性、に取り組み。

（2）有機／無機ネットワーク構造解析と構造／物性相関による機能発現機構の解明：(a)

- ①水系重合による温度応答性高分子の特性、NCネットワーク構造中の高分子の特性、ネットワーク形成におけるクレイナノ粒子の役割などを解明する。

- ②小角中性子散乱による微細構造解析、延伸に伴う構造変化挙動解明を行う。

- ③NCゲル表面の超疎水挙動の詳細検討（ゲル組成、経過時間、表面ラフネス、吸着等）

（3）新たな機能性の探索：

- ①NCゲルのパターン形成、
- ②NCゲルの薬物担持および徐放性、

- ③NCゲルの水分率による物性変化、
- ④NCゲルやM-NCの新たな機能性：相転移温度制御、異種無機成分複合化、細胞培養／剥離性、新規刺激応答性ゲル、NCゲル異常膨潤性等について探索する。

4. 研究成果

上述の背景・研究目的のもと、平成20～22年度において「ハイブリッド型ソフトマテリアルの基盤構築」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）新規ハイブリッド型ソフトマテリアルの合成と変性：

- ①光重合法によるNCゲルの合成：従来の熱重合法（水系レドックス）NCゲルのネットワーク構造形成機構を基礎として、これに光開始反応を組み込んだ光重合型NCゲルの合成法を確立した。光重合開始剤の選定と極少量の使用を含む合成条件最適化を行い、光重合プロセスでのネットワーク形成機構を光透過率変化、粘度変化、NMR、力学物性変化などから明らかにした。また、得られた光重合NCゲルは従来の熱重合NCゲルとほぼ同じ優れた力学物性、透明性、膨潤・収縮性を示し、且つ、フィルムやバルクの他、コーティング（塗膜）、薄膜、パターンニング形成などが可能となった。また、光重合NCゲルを用いることで、優れた防曇性、高培養性と酵素処理無しでの自発的細胞シート剥離性、外部環境に応答した特異的な表面滑り摩擦性、マイクロチャンネル内で形成したNCゲルによる温感性バルブ機能などの具体的な新機能例を明らかにした。

- ②新規NCゲルの合成：これまでのN-アルキルアクリルアミド誘導体ポリマーと異なるポリエチレングリコール（PEG）系について検討し、層状剥離クレイと4分岐PEGモノマーから、力学物性、構造均一性（透明性）に優れたテトラPEG型NCゲルの合成に成功した。優れた物性を有するテトラPEG型NCゲルの最適合成条件（特にバッファー選定、成分混合ルート、成分組成）を確立し、また、各成分間の相互作用、NCネットワークでのクレイ・ポリマー間相互作用をFTIRで解明した。

- ③有機-無機ネットワークの変性：NCゲルの乾燥・膨潤プロセスにおけるネットワーク変性挙動を精査し、膨潤プロセスではネットワークは安定であるのに対し、臨界含水率以下に達する乾燥処理により不可逆的なネットワーク変性が生じ、弾性率や強度が向上すること、かかる変性は非共有結合によるクレイ-ポリマー架橋に特異的であり、化学架橋ゲルでは一切生じないことなどを明らかにした。

（2）有機／無機ネットワーク構造解析と構造／物性相関による機能発現機構の解明：

①水系（レドックス）での温度応答性高分子（ポリN-イソプロピルアクリルアミド：PNIPA）の重合を詳細に検討し、得られたPNIPAの分子鎖特性を解明した。例えば、分子量のモノマー濃度依存式の導出、臨界モノマー濃度以上でのゲル形成とゲル分率のモノマー濃度依存性、相分離温度（LCST）以上での重合挙動変化、自発的ゲル形成メカニズムの解明を行った。

一方、これと対比する形で、NCゲル中のPNIPAの特性評価を行った。具体的には、NCゲル中の無機クレイを選択的に分解除去して、PNIPAのみを取り出し分子鎖特性を測定した。その結果、重合プロセスにおけるクレイの特異的な働きにより、高モノマー濃度でもクレイ存在下では自発的ネットワークが形成しないこと、PNIPA分子量が550万と非常に高いこと、且つ、クレイ濃度によらず一定であることなどが明らかとなり、NCゲルの優れた特性とネットワーク構造との関係が明らかとなった。

②小角中性子散乱（SANS）を用いて、NCゲルの微細構造解析を行い、特に相分離温度以上で形成されるポリマー及びクレイの凝集構造について詳細構造を明らかにした。また、NCゲルの延伸に伴うクレイ-高分子ネットワークの変形挙動をコントラストバリエーション型SANS測定により解析し、延伸に伴うクレイおよび高分子の配向挙動、クレイ周囲に存在する高分子凝集鎖の高延伸過程での引き剥し挙動などを明らかにした。

③NCゲルの超疎水性に関して、切断により新たに作製したNCゲル切断面でも優れた超疎水性（高い水接触角）を示すことを見だし、その特性を詳細に調べた。その結果、超疎水表面を示すNCゲルの成分組成範囲（PNIPA系）が明確となり、また、時間経過依存性や切断後保持による水接触角変化挙動が明らかとなった。例えば、緩いネットワークでは一定時間後にカタスロフィー的に接触角が1/10以下に低下すること、高弾性率ネットワークでは安定した高接触角を示すこと、また、表面の微小浸水と乾燥により、超疎水と超親水を繰り返して発現すること、更に、NCゲルの表面ラフネスや吸着の超疎水性に及ぼす影響などを明らかにした。

（3）新たな機能性の探索：

①NCゲルのパターン形成に関して、NCゲルの強靱性および反応液低粘性に基づき、ダイレクトレプリカモールドニング法により、ミクロンサイズの微細凹凸模様を有するテンプレートから同パターンを直接NCゲルに転写することが出来ることを見いだした。明らかにした。また、温度応答性NCゲルを用いることでパターンサイズを外部温度に

より拡大・縮小することも可能となった。

②NCゲルの薬物徐放性や冷却性に関して、NCゲル中に薬物や保湿剤などの化合物を担持し、且つ、徐放することが可能であること、また、ネットワーク制御により放出速度が制御できることを確認した。

③NCゲルの水分率による物性変化に関して詳細検討を行い、NCゲルは含水率変化に伴い、熱可塑性エラストマー（例：SBS）やゴムの温度変化で見られる特異的な破損包絡線（引っ張り破断曲線の終点を結んだ線）と同じ挙動を示すこと、即ち、NCゲルの含水率はSBSの温度に相当し（メカニズムは異なる：エントロピー弾性と可塑性効果）、NCゲルのクレイ濃度はSBSの架橋密度に相当することなどを明らかにした。

④NCゲルやM-NCの新たな機能性について検討し、以下の点に関して優れた予備的知見を得た

- ・界面活性剤や塩添加によるNCゲルの相転移温度の制御。
- ・異種無機成分（具体的にはゾルゲル法調製シリカ）との効果的な複合化と弾性率/強度の大きな向上。
- ・M-NCフィルム上での優れた細胞培養性と温度低下による引き続く細胞剥離の実現。
- ・親水性/疎水性高分子-クレイ複合ゲルによる新規刺激応答性ゲルの創製。
- ・NCゲルにおける異常膨潤性（膨潤プロセスにおける自発的収縮）の発現。

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21件）

- (1) Kazutoshi Haraguchi, Synthesis and Properties of soft Nanocomposite Materials with novel Organic/inorganic network structures., Polym. J., 査読有, Vol. 43, 2011, 223-241.
- (2) Kazutoshi Haraguchi, Stimuli-responsive nanocomposite gels., Colloid. Polym. Sci., 査読有, Vol. 289, 2011, 455-473.
- (3) Kazutoshi Haraguchi, Huan-Jun Li, Hydrophobic Surface Characteristics of Nanocomposite Hydrogels., Macromol. Symp., 査読有, Vol. 291-292, 2010, 159-167.
- (4) 原口和敏, 有機・無機ナノコンポジット機能性ゲル、Polyfile、査読無、2月号、Vol. 49、2011、36-37.

- (5) 原口和敏、武久敢、
ナノコンポジットゲルの特性と化粧品
素材としての可能性、
FRAGRANCE J.、査読無、
Vol.38、2010、58-64.
- (6) Kazutoshi Haraguchi, Huan-Jun Li,
Huai-Yin Ren, Meifang Zhu,
Modification of Nanocomposite Gels by
Irreversible Rearrangement of
Polymer/Clay Network Structure
through Drying., 査読有,
Macromolecules, Vol.43, 2010, 9848-9853.
- (7) Yingjia Xu, Guang Li, Kazutoshi
Haraguchi,
Gel Formation and Molecular
Characteristics of
Poly(N-isopropylacrylamide) Prepared
by Free-Radical Redox Polymerization
in Aqueous Solution., 査読有,
Macromol. Chem. Phys., Vol.211, 2010, 977-987.
- (8) Kazutoshi Haraguchi, Yingjia Xu,
Guang Li,
Molecular Characteristics of
Poly(N-isopropylacrylamide)
Separated from Nanocomposite Gels by
Removal of Clay from the Polymer/Clay
Network., 査読有,
Macromol. Rapid Commun., Vol.31, 2010, 718-723.
- (9) Mieko Fukasawa, Takamasa Sakai,
Ung-il Chung, Kazutoshi Haraguchi,
Synthesis and Mechanical Properties
of a Nanocomposite Gel Consisting of
a Tetra-PEG/Clay Network., 査読有,
Macromolecules, Vol.43, 2010, 4370-4378.
- (10) Kazutoshi Haraguchi, Tetsuo Takada,
Synthesis and Characteristics of
Nanocomposite Gels Prepared by In
Situ Photopolymerization in an
Aqueous System., 査読有,
Macromolecules, Vol.43, 2010, 4294-4299.
- (11) 原口和敏、
ナノコンポジットゲル -有機/無機ネッ
トワーク構築によるヒドロゲルの物性
革新-、
物性研究、査読有、
Vol.93、2010、558-568
- (12) Kazutoshi Haraguchi, Huan-Jun Li,
The Effect of Water Content on the
Ultimate Properties of Rubbery
Nanocomposite Gels.,
J. Polym. Sci. Part B, Polym. Phys.,
査読有, Vol.47, 2009, 2328-2340
- (13) Toshihiko Nishida, Hitoshi Endo,
Noboru Osaka, Huan-Jun Li, Kazutoshi
Haraguchi, Mitsuhiro Shibayama,
Deformation Mechanism of
Nanocomposite Gels Studied by
Contrast Variation Small-angle
Neutron Scattering., 査読有,
Phys. Rev. E, Vol.80, 2009, 030801-1 - 030801-4
- (14) Noboru Osaka, Hitoshi Endo, Toshihiko
Nishida, Takuya Suzuki, Huan-Jun Li,
Kazutoshi Haraguchi, Mitsuhiro
Shibayama, Microphase Separation in
Nanocomposite Gels., 査読有,
Phys. Rev. E, Vol.79, 2009, 060801-1 - 060801-4.
- (15) 原口和敏、
S A N Sによる高分子ゲルの架橋構造
解析、高分子、査読有、
Vol.58、2009、748-749.
- (16) 原口和敏、
「ナノコンポジット型ヒドロゲル」を用
いた新規医療部材の実用化研究、Web
JournalWeb増刊号、査読無、
No.105、2009、43-46.
- (17) 原口和敏、
ナノコンポジットゲルの機能性、
未来材料、査読有、
Vol.8、2008、23-30.
- (18) Kazutoshi Haraguchi, Huan-Jun Li,
Liyuan Song,
Unusually High Hydrophobicity and Its
Changes Observed on the Newly-Created
Surfaces of PNIPA/Clay Nanocomposite
Hydrogels., 査読有,
J. Colloid. Inter.Sci., Vol.326, 2008, 41-50.
- (19) Kazutoshi Haraguchi,
Nanocomposite Hydrogels.,
Curr. Opin. Solid. State. Mater. Sci.,
査読有, Vol.11, 2008, 47-54.
- (20) Liyuan SONG, Meifang ZHU, Yanmo CHEN,
Kazutoshi Haraguchi,
Surface-Patterning of Nanocomposite
Hydrogel Film by Direct Replica
Molding and Subsequent Change in
Pattern Size., 査読有,
Polym. J., Vol.40, 2008, 800-805.
- (21) 原口和敏、
ナノコンポジットゲル—その本質と多
様な機能—、
高分子論文集、査読有、
Vol.65、2008、619-633.

[図書] (計6件)

- (1) 原口和敏、シーエムシー出版、2010
「機能性粘土素材の最新動向」 III編
第11章
「高分子ゲルハイブリッド」 290-298
 - (2) 原口和敏、化学同人、2010
CSJ化学レビュー「驚異のソフトマテリアル -最新の機能性ゲル研究-」
第II部 第3章
「NCゲルの創製によるゲル物性の革新 -力学物性を中心として-」 64-69
 - (3) 原口和敏、情報機構、2009
「ゲルコントロール」 第4章 第1節、
第5項
「ナノコンポジット型ヒドロゲル」
466-475
 - (4) 原口和敏、シーエムシー出版、2009
「有機-無機ハイブリッド材料の新展開
(中條善樹監修)」 第7章
「有機-無機ソフトハイブリッド材料」
80-96
 - (5) 原口和敏、エヌ・ティー・エス出版、2009
「自己組織化ハンドブック(國武豊喜
監修)」 第3章 第2節
「塗料技術-塗膜表面と散逸構造」
657-660
 - (6) 原口和敏、技術情報協会、2008
ファイラー大全集5章 第4節
「高クレイ含有ナノコンポジットにお
ける構造制御と透明性」 第、608-618
- [学会発表] (計61件) (内招待講演30件)
・学会発表 計31件 — 記載7件
- (1) 原口和敏、深澤三恵子、
PEG型ナノコンポジットゲルのネットワ
ーク構造と生分解挙動、
第59回高分子討論会、
2010. 9. 15、北海道 北海道大学
 - (2) 武久敢、寿典子、原口和敏、
ナノコンポジットゲルからの薬物徐放
とその効果、
第39回医用高分子シンポジウム、
2010. 7. 27、東京 東京大学
 - (3) 高田哲生、原口和敏、
光重合型ナノコンポジットゲルの合成
と分離材への応用、
第59回高分子学会年次大会、
2010. 5. 27、横浜 パシフィコ横浜
 - (4) 村田一高、原口和敏、
有機/無機ナノコンポジットにおける
クレイモルフォロジー制御、
第59回高分子学会年次大会、
2010. 5. 27、横浜 パシフィコ横浜
 - (5) Kazutoshi Haraguchi, Huan-Jun Li,
Ultimate Tensile Properties of
rubbery nanocomposite gels with
different water content,
The 8th International Gel Symposium,

2009. 12. 3、Kansai Univ. Osaka, Japan
 - (6) Yingjia Xu, Kazutoshi Haraguchi,
Characteristics of poly
(N-isopropylacrylamide) prepared by
free-radical redox polymerization and
PNIPA in network structure of NC Gel,
The 8th International Gel Symposium,
2009. 12. 2、Kansai Univ. Osaka, Japan
 - (7) Toru Takehisa, Kazutoshi Haraguchi,
Development of Nanocomposite.,
Hydrogels for Novel Wound Dressings
ASME2009 4th Frontiers in Biomedical
Devices Conference & Exhibition,
2009. 6. 8, CA, USA
- 他24件

- ・招待講演 計30件 — 記載16件
- (1) Kazutoshi Haraguchi,
Nanocomposite Gels Prepared by
in-situ Photopolymerization in an
Aqueous System Convention Center.,
International Chemical Congress of
Pacific Basin Societies (PACIFICHEM
2010) (Invited),
2010. 12. 17, Hawaii, USA
 - (2) 原口和敏、
有機/無機複合による機能性ゲル/ソフ
トマテリアルの創製と展開、
第19回ポリマー材料フォーラム(高分子
学会) (招待講演)、
2010. 12. 3、名古屋 名古屋国際会議場
 - (3) 原口和敏、
層状無機クレイによる高分子ゲルのハ
イブリッド化と機能、
第29回無機高分子研究討論会(基調講
演)、
2010. 11. 12、東京 東京理科大学
 - (4) 原口和敏、
ナノコンポジット型ヒドロゲル-クレイ
/高分子の創るネットワーク構造のもた
らす物性変化-、
第54回粘土科学討論会(招待講演)、
2010. 9. 7、名古屋 名古屋大学
 - (5) Kazutoshi Haraguchi, Yingjia Xu,
Molecular Characteristics of Poly
(N-isopropylacrylamide) Separated
from Nanocomposite Gels by Removal of
Clay from the Polymer/Clay Network.,
20th Polymer Networks Group Meeting
2010 (PNG2010),
2010. 8. 30, Goslar, Germany
 - (6) Kazutoshi Haraguchi,
Nanocomposite Gels: A Unique
Polymer/Clay Network and Their
Characteristics.,
Trilateral Meeting on Clays
(Invited),

2010. 6. 6, Madrid, Spain
- (7) 原口和敏、
有機／無機ネットワーク構造構築によるソフトナノコンポジット材料の創製と物性、
第59回高分子学会年次大会 学会賞受賞講演（招待講演）、
2010. 5. 26、横浜 パシフィコ横浜
- (8) 原口和敏、
NCゲルの力の原点を探る－水で出来たゴムへの近接、
国際高分子基盤研究センター 特別シンポジウム（招待講演）、
2010. 4. 23、東京 東京工業大学
- (9) Kazutoshi Haraguchi、
Ultra-high hydrophobicity on the surface of nanocomposite hydrogels with a poly(N-isopropylacrylamide)/clay network,
International Conference on Advanced Fibers and Polymer Materials (ICAFPM), 2009. 10. 21～23, Shanghai (Invited: Key note)
- (10) 原口和敏、
有機・無機ハイブリッド材料～ネットワーク構造とその基本特性、
日本化学会関東支部講演会（招待講演）、
2009. 7. 14、東京 日本化学会
- (11) Kazutoshi Haraguchi、
New Advanced Polymer/Clay Nanocomposites: Gels and Transparent Soft Materials.,
49th High Polymer Research Group Conference : HPRG 2009,
2009. 4. 28、Cheshire, UK
- (12) Kazutoshi Haraguchi、
Fundamental Properties of Nanocomposite Hydrogel With Organic / Inorganic Network Structure.,
IUMRS-ICA2008,
2008. 12. 13, Nagoya Congress Center, Nagoya (invited)
- (13) Kazutoshi Haraguchi、
Nanocomposite Gels Prepared by Using Clay Minerals.,
11th International Symposium on Natural Product Chemistry,
2008. 10. 30, Karachi University, Pakistan, (invited)
- (14) Kazutoshi Haraguchi、
Nanocomposite Gels and Soft Nanocomposites: Unique Organic/Inorganic Network Structures with Extraordinary Optical, Mechanical and Functional Properties.,
8th World Nanocomposites Congress

- 2008,
2008. 9. 15, San Diego, CA, (invited)
- (15) 原口和敏、
有機(PNIPA)／無機(クレイ)ネットワークの構築と特性、
日本ゴム協会 第44回夏期講座（招待講演）、
2008. 7. 10、奈良 猿沢荘
- (16) 原口和敏、
ナノコンポジット型ヒドロゲル－クレイ／高分子の創る超高分子構造のもたらす物性変化－、
高分子同友会総合講演会（招待講演）、
2008. 4. 23、東京 化学会館
- 他 14 件

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.kicr.or.jp/intro/material/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原口 和敏 (HARAGUCHI KAZUTOSHI)
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)
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)
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)
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

村田 一高 (MURATA KAZUTAKA)
財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 客員研究員

李 歆軍 (LI HUAN-JUN)
財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 客員研究員

政年 佐貴恵 (MASATOSHI SAKIE)
財団法人川村理化学研究所

材料化学研究室 派遣研究員

深澤 三恵子 (FUKASAWA MIEKO)
財団法人川村理化学研究所
材料化学研究室 派遣研究員