

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19068

研究課題名(和文)水溶性高分子ブロック共重合体の自己組織化能の解析と機能性分子集合体の創製

研究課題名(英文)Self-Assembling Ability of Water-Soluble Block Copolymers and Functions

研究代表者

三浦 佳子(Miura, Yoshiko)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：00335069

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、親水性の高分子による分子集合体の合成、及びその特性について検討した。親水性高分子を精密重合した上で、それらによる水溶液中での分子集合体の形成、分子間相互作用の解析、自己組織化能、刺激応答性などについて検討した。親水性の高分子として、糖鎖を側鎖に有する糖鎖高分子、イオンを有する双性イオン型の高分子、ポリエチレングリコールなどを検討した。マンノースを有する糖鎖高分子はカルシウムイオン応答的な分子間相互作用を発揮し、イオン応答型の分子集合体を形成した。双性イオンとフェニルボロン酸のブロック高分子については、塩基性pH下で糖によって崩壊する分子集合体を形成することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水溶液中の分子集合体の形成は、分散剤、ナノマテリアル、ドラッグキャリアなど多くの用途があり、需要が多い。水溶液中の分子集合体は疎水性相互作用によって駆動されることが多いことから、両親媒性分子によって形成するものとほぼ考えられている。一方で、水溶液中での分子集合体は多様な刺激応答性の分子集合体のニーズがあることから、別種の分子集合体が求められている。本研究では、カルシウムイオンや、グルコースに応答する分子集合体を創製し、同時にこれらの高分子の物性を明らかにした。分子集合体の化学の上で重要性が高い。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the synthesis of molecular assemblies by hydrophilic polymers and their properties. Hydrophilic polymers were precisely synthesized by RAFT living radical polymerization. The molecular assemblies in aqueous solution, analysis of intermolecular interactions, self-assembling ability, and stimulus responsiveness were investigated. As hydrophilic polymers, glycopolymers, and zwitterionic polymers were investigated. Glycopolymers with mannose exhibited calcium ion-responsive intermolecular interactions and formed ion-responsive molecular assemblies. For the block polymers of zwitterionic ions and phenylboronic acid, it was found that the polymers were glucose-responsive molecular assembly under basic pH.

研究分野：高分子化学、生体機能性高分子

キーワード：高分子 精密重合 双性イオン 糖鎖高分子 自己組織化 ブロック共重合体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水溶液中の分子集合体は、分散剤、ナノマテリアル、ドラッグキャリア、界面活性剤など種々の応用があり、重要性が高い。水溶液中での分子集合体は疎水性相互作用を駆動力として集合していることが殆どである。そのため、水溶液中の分子集合体は両親媒性分子として設計されている。両親媒性分子による分子集合体の形成原理はパッキングパラメーターとして整理して確立されている。両親媒性分子による分子集合体は設計が明確である一方で、刺激応答性をはじめとする多様な物性のニーズに対応できない。

一方で、水溶性高分子でも、親水性の官能基が分子間相互作用によって、他の官能基と相互作用すれば、水と相互作用しなくなるので、水溶液中でも疎水的に振る舞い、分子集合体の形成の駆動力となる。すなわち、親水性の分子についても、水溶液中で分子集合体を形成することが可能である。親水性分子による超分子集合体を形成することで、分子集合体の形成原理を自在に設計することができ、多様な刺激に応答する分子集合体の創製などの応用が考えられる。

一方で、申請者(三浦)と分担者(檜垣)は水溶液中で、水溶性の高分子も分子集合体を形成する事例についてそれぞれ発見し、検討してきた。申請者は高分子の側鎖に糖鎖を有する糖鎖高分子の一部が、分子集合特性を有することを発見していた。分担者は双性イオン型の高分子のブロック高分子が分子集合体を形成することを検討してきた。

2. 研究の目的

本研究では水溶液中で、親水性高分子が超分子様の分子集合体を形成することを基礎として、水中の親水性の高分子による分子集合体の創製、及びその解析を通じて、水溶液中での分子集合体に関する新しい形成原理と学理について明らかにすることを目的とした。また、親水性高分子の物性と生体分子認識に関する関係性についても検討を行った。

3. 研究の方法

水溶液中で分子集合体を形成する分子として、幾つかの親水性官能基に関する高分子のブロックコポリマーを検討した。親水性の高分子として、糖(マンノース)が側鎖に結合した糖鎖高分子、双性イオン型高分子、ポリエチレングリコール(エントロピーによる水和)を用いた。これらの組み合わせによって、親水性のブロック高分子の合成を行った。

マンノースを側鎖に有するメタクリレートを合成し、RAFTリビングラジカル重合によって高分子を調製した。また、マンノースを側鎖に有する、アクリレート、アクリルアミドについても調製した。そして、ガラクトース、グルコースを側鎖に有するメタクリレートを合成した。これらのモノマーについてもRAFTリビング重合によって高分子体を得た。また、PEGとRAFT剤を結合させたマクロRAFT剤を合成して、これを用いて、PEG-糖鎖高分子の親水性ブロック高分子を調製した。

また、その他に、カルボン酸と4級アンモニウム基からなる双性イオンを有するモノマー、フェニルボロン酸を有するモノマーについてもRAFTリビングラジカル重合によってブロック高分子を合成した。

高分子の合成については核磁気共鳴スペクトル($^1\text{H NMR}$)、サイズ排除クロマトグラフィー(GPC)によって確認した。分子間の相互作用については、高分子を固定化した水晶発振子(QCM)によって測定した。水溶液中の分子集合体のサイズについては動的

4. 研究成果

1) 糖鎖高分子の分子間相互作用

マンノース側鎖に有するメタクリレート型の糖鎖高分子について、水溶液中での分子集合体の創製が示唆された。この相互作用について詳細に解析した。RAFT剤によって合成した高分子の末端を還元してチオールとし、Au-S結合によってQCM基板に結合させた。QCMに結合させた糖鎖高分子に対して、高分子の相互作用の測定を行った。水溶液中にカルシウムイオン(Ca^{2+})が存在するときに、糖鎖高分子間は強い相互作用を示し、 10^{-4} M^{-1} オーダーの見かけ上の結合定数を示した。糖鎖高分子間の相互作用については、カルシウムイオン依存性があり、その他の2価イオン(Mg^{2+} , Sr^{2+})を含む溶液中では糖鎖高分子間の相互作用は非常に弱く、見かけ上の結合定数は6分の1以下であった。また、側鎖の糖鎖構造に関しても依存性があり、グルコースやガラクトースでは相互作用が見られなかった。また、糖鎖高分子の分子鎖長に関して検討したところ、100mer程度の分子鎖長について明確な相互作用が見られ、短鎖高分子については相互作用が減じることがわかった。また、高分子の骨格について、メタクリレート以外に、アクリレート、アクリルアミドも検討し、ほぼ同じ分子鎖長(約100mer)の分子の分子間相互作用を検討したところ、メタクリレート型のマンノースを有する高分子が特異的に強い相互作用を示すことが分かった。糖鎖間の相互作用については、シアリルルイスX、ラクトースなどの高分子によって報告されており、マンノースのようなシンプルな糖鎖構造によって発現する場合があることが示唆されたが、同時に高分子の分子骨格の重要性が示されたことから、マンノース間の相

相互作用は一般的な相互作用であるかは明確ではなかった。

また、RAFT 剤の末端に芳香族（ベンゼン）を有する分子とアルキル鎖の分子によって、マンノースを有するメタクリレート分子集合体について検討した。また、この分子の PEG との親水性ブロック高分子についても検討した。これまでの検討で、親水性ブロック高分子の重要性を見出していたが（Lagngmuir 2018, 34, 8591）、ブロック共重合体が誘起する相分離による分子集合体形成能よりも、わずかな疎水性の駆動力の違いによる疎水性相互作用がトリガーになっていることが示された。この分子集合体についてはカルシウムイオン依存的であり、カルシウムイオンを取り除くカルシウムキレート剤（EDTA）を加えたところ、分子集合体は解離し、カルシウムイオンに応答する分子集合体になることが示唆された。

2) 糖鎖高分子の自己組織性

マンノースを側鎖に有する糖鎖高分子について、メタクリレート、アクリレート、アクリルアミドについてそれぞれ、RAFT リビングラジカル重合を利用して合成した。この高分子の自己組織性、収縮について調べた。それぞれの高分子は 100 量体で設計して重合し、DMF と水溶液の GPC によって、溶液中における分子の広がりを検討した。メタクリレート型、アクリレート型の高分子は 60% 程度の分子の相対サイズの違いがあることがわかり、糖鎖高分子のモノマーの両親媒性から、自己組織化能を有し、自己収縮性を示した。分子の収縮性はモノマーの $c\text{LogP}$ 値に一定レベルで一致した。この高分子について、NMR によって T2 緩和測定を行ったところ、糖部分、主鎖部分について、メタクリレート型高分子の運動性は著しく抑えられていた。一方で、アクリレート型の高分子については運動性が非常に大きいことがわかった。アクリルアミドはその中間であった。これらの高分子について糖認識タンパク質であるコンカナバリン A (ConA) との相互作用を赤血球凝集阻害試験によって調べたところ、マンノースを有するメタクリレート型の高分子が強い相互作用を示したのに対して、アクリレート型の高分子の分子間相互作用は非常に弱いことがわかり、分子認識性と高分子の分子運動性に強い相関がみられた。

3) 双性イオンを有する高分子の自己組織性と応答

フェニルボロン酸と双性イオン性カルボキシベタインからなるジブロック共重合体（PAEBB-b-PCBAAm）について RAFT リビングラジカル重合を行った。PAEBB-b-PCBAAm は中性 pH の水溶液中でミセル凝集体を生成し、pH11.0 では PBA がヒドロキシボロン酸アニオンに変化したため、高分子ミセルは崩壊した。グルコースとフェニルボロン酸部分は、ボロンに対する 4 級化を通じて結合を形成する。中性では分子集合体を形成していたが、pH11.0 では PBA がヒドロキシボロン酸アニオンに変化したため、高分子ミセルが崩壊した。pKa はグルコース存在下でホウ素酸エステル形成により低下した。ブロック共重合体について、PCBAAm 鎖は、分子集合体が解離する pH を著しく上昇させることがわかった。双性イオンの双極子相互作用によってボロン酸の pKa が上昇したため、および/または双性イオン性高分子コロナが PBA のイオン化とボロン酸アニオンの静電反発のスクリーニングに有効であるためと考えられる。双性イオン相互作用による pKa の調節に関するこの研究は、pH や糖に応答するバイオマテリアルの分子設計を促進することができることを示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Imoto Tomoki, Matsumoto Hikaru, Nonaka Seiya, Shichijo Keita, Nagao Masanori, Shimakoshi Hisashi, Hoshino Yu, Miura Yoshiko	4. 巻 14
2. 論文標題 4-Amino-TEMPO-Immobilized Polymer Monolith: Preparations, and Recycling Performance of Catalyst for Alcohol Oxidation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 5123 ~ 5123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym14235123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Nagao Masanori, Kimoto Yuri, Hoshino Yu, Miura Yoshiko	4. 巻 7
2. 論文標題 Facile Preparation of a Glycopolymer Library by PET-RAFT Polymerization for Screening the Polymer Structures of GM1 Mimics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 13254 ~ 13259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.2c00719	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 Nagao Masanori, Hoshino Yu, Miura Yoshiko	4. 巻 13
2. 論文標題 Synthesis of well-defined cyclic glycopolymers and the relationship between their physical properties and their interaction with lectins	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 5453 ~ 5457
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2PY00941B	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 Higaki Yuji, Maeda Saya, Miura Yoshiko	4. 巻 40
2. 論文標題 Impact of Zwitterions on the Acidity Constant and Glucose Sensitivity of Block Copolymers with Phenylboronic Acid	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 10355 ~ 10361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.4c01075	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 Matsumoto Hikaru, Iwai Tomohiro, Sawamura Masaya, Miura Yoshiko	4. 巻 e20240003
2. 論文標題 Continuous Flow Catalysis Using Phosphine Metal Complexes on Porous Polymers: Designing Ligands, Pores, and Reactors	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 e20240003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202400039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Miura Yoshiko, Nagao Masanori, Matsumoto Hikaru	4. 巻 53
2. 論文標題 De novo designed glycopolymer by precise polymer synthesis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 upad012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/chemle/upad012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nagao Masanori, Matsumoto Hikaru, Miura Yoshiko	4. 巻 18
2. 論文標題 Design of Glycopolymers for Controlling the Interactions with Lectins	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 e202300643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202300643	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 Matsumoto Hikaru, Hoshino Yu, Iwai Tomohiro, Sawamura Masaya, Miura Yoshiko	4. 巻 29
2. 論文標題 Sheltering Mono P Ligated Metal Complexes in Porous Polystyrene Monolith: Effect of Aryl Pendant Stabilizers on Catalytic Durability	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry -A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202301847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202301847	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33件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 T. Ishida, M. Nagao, H. Ise, Y. Miura
2. 発表標題 Investigation of the anti-inflammatory effect in macrophage-like cells using glycopolymers bearing sialyloligosaccharides
3. 学会等名 Pacific Polymer Conference 17 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 W.Jin, M. Nagao, Y. Miura
2. 発表標題 Synthesis of cyclic glycopolymers and evaluation of the interaction with target proteins
3. 学会等名 Pacific Polymer Conference 17 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiko Miura
2. 発表標題 Denovo design of glycopolymer for controlled molecular recognition
3. 学会等名 Pacific Polymer Conference 17 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金 文康、長尾 匡憲、星野 友、三浦 佳子
2. 発表標題 環状糖鎖高分子の合成および標的タンパク質との相互作用評価
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 匡憲、吉瀬 誠也、星野 友、三浦 佳子
2. 発表標題 糖鎖高分子の側鎖の構造が標的タンパク質との相互作用に与える影響
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Iseri, Sotaro Akashi, Yusuke Saito, Hinako Iwamoto, Masanori Nagao, Yu Hoshino, Yoshiko Miura
2. 発表標題 A multifunctional diblock oligomer with a completely uniform steric structure that recognizes peptides
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiko Miura, Seiya Nonaka, Hikaru Matsumoto, Tomoki Imoto, Masanori Nagao, Yu Hoshino
2. 発表標題 Continuous flow synthesis process with polymer immobilized organo catalyst of polymer monolith
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田 尚斗、長尾 匡憲、伊勢 裕彦、星野 友、三浦 佳子
2. 発表標題 シアリルオリゴ糖を有する糖鎖高分子を用いたマクロファージ様細胞に対する炎症抑制の検討
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀江彩、長尾匡憲、三浦佳子
2. 発表標題 可視光を利用した触媒充填型フローリアクターの開発
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金 文康、長尾 匡憲、三浦 佳子
2. 発表標題 コレラ毒素認識能を持った環状糖鎖高分子の合成および相互作用評価
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦 佳子、王 尊弘、長尾 匡憲、星野 友
2. 発表標題 親水性ブロック糖鎖高分子による水溶液中での分子集合体の形成
3. 学会等名 第32回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 匡憲、松原 輝彦、星野 友、佐藤 智典、三浦 佳子
2. 発表標題 生体分子を標的とした合成高分子リガンドのトポロジー設計
3. 学会等名 第32回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩満 明佳、石田 尚斗、長尾 匡憲、伊勢 裕彦、三浦 佳子
2. 発表標題 シアル酸を用いた星型糖鎖高分子の合成と炎症抑制の検討
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金 文康、長尾 匡憲、三浦 佳子
2. 発表標題 ガラクトースを用いた環状糖鎖高分子の合成および標的タンパク質との相互作用評価
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦 佳子、松本 光、野中 聖也、井本 知希、長尾 匡憲
2. 発表標題 多孔質高分子触媒による連続流通合成法の検討
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 匡憲、山口 愛、松原 輝彦、星野 友、佐藤 智典、三浦 佳子
2. 発表標題 最適に設計された分子形状や大きさによって標的タンパク質に結合する合成糖鎖
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田 尚斗、長尾 匡憲、伊勢 裕彦、星野 友、三浦 佳子
2. 発表標題 マクロファージ様細胞に対し炎症抑制を示す糖鎖高分子構造のスクリーニング評価
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦佳子
2. 発表標題 光触媒を利用した高分子機能材料開発の展開
3. 学会等名 日本化学会第103年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦佳子
2. 発表標題 精密重合による分子認識性糖鎖高分子のデノボデザイン
3. 学会等名 高分子学会北陸支部 石川地区講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦佳子
2. 発表標題 両親水性糖鎖高分子の水溶液中分子集合体の調製と解析
3. 学会等名 高分子学会九州支部女性研究者創発フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦佳子
2. 発表標題 精密な構造を持つ生体分子認識性の糖鎖高分子の開発
3. 学会等名 日本化学会第103年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦 佳子
2. 発表標題 生体機能性糖鎖高分子の糖鎖モジュールPET-RAFT法に基づくライブラリーの調製とオリゴ糖ミミックの創製
3. 学会等名 第32回日本MRS年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiko Miura
2. 発表標題 De Novo designed glycopolymers
3. 学会等名 ISBOC-13（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H,Shiomitsu, T.Ishida, H.Matsumoto, M.Nagao, H.Ise, Y.Miura
2. 発表標題 Anti-inflammatory effect in macrophage-like cells with sialy oligosaccharide carrying star glycopolymers
3. 学会等名 ISBOC-13（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y.Miura,H.Matsumoto,M.Nagao
2. 発表標題 Catalyst immobilized polymer monolith for continuous flow synthesis
3. 学会等名 C&FC2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiko MIURA
2. 発表標題 Dendrimer interface to control the absorption of proteins and cells
3. 学会等名 ICMAT2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦 佳子
2. 発表標題 機能性高分子を利用した化学工学の展開
3. 学会等名 化学工学会第89年会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 洲村 知弥、松本 光、長尾 匡憲、三浦 佳子
2. 発表標題 カルシウムイオンを介したマンノース間相互作用の評価、
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩満 明佳、石田 尚斗、長尾 匡憲、伊勢 裕彦、三浦 佳子
2. 発表標題 星型糖鎖高分子を用いたマクロファージ様細胞に対する炎症抑制の検討
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦 佳子、石田 尚斗、塩満 明佳、長尾 匡憲
2. 発表標題 シアリルオリゴ糖 糖鎖高分子を用いたマクロファージ様細胞に対する炎症抑制効果検討
3. 学会等名 第42回日本糖質学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 洲村 知弥、松本 光、長尾 匡憲、三浦 佳子
2. 発表標題 金属イオンを介したマンノース間相互作用の評価
3. 学会等名 第33回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 洲村 知弥、長尾 匡憲、三浦 佳子
2. 発表標題 カルシウムイオンを介した糖鎖間相互作用の評価
3. 学会等名 第60回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木付 遥子、松本 光、長尾 匡憲、三浦 佳子
2. 発表標題 両親媒性糖鎖高分子の水中における自己収縮性評価
3. 学会等名 2023年度 九州地区高分子若手会・冬の講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究室ホームページ http://www.chem-eng.kyushu-u.ac.jp/lab9/index.html 九州大学 三浦佳子 情報 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K003608/index.html</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
研究分担者	檜垣 勇次 (Higaki Yuji) (40619649)	大分大学・理工学部・准教授 (17501)	

	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
研究協力者	長尾 匡憲 (Nagao Masanori) (40904008)	九州大学・大学院工学研究院・助教 (17102)	
研究協力者	松本 光 (Matsumoto Hikaru) (00981482)	九州大学・大学院工学研究院・助教 (17102)	

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