

令和 2 年 4 月 28 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03070

研究課題名(和文) 1,2-グリコシド型ポリマーを用いる糖鎖エンジニアリングの新機軸

研究課題名(英文) New Glycotechnology Exploiting 1,2-Glycosidic Polymer

研究代表者

小山 靖人 (Koyama, Yasuhiro)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：10456262

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では生理活性物質の特性改変と、高機能性材料及び生体適合性材料の創製を目的とし、1,2-グリコシド型ポリマーの導入法の開発とその動的な構造特性の解明、及び新物質の物性評価を目標とする。その他の天然糖鎖(1,3-, 1,4-, 及び1,6-グリコシド型ポリマー)との物性の比較を通して、糖の連結位置が機能に及ぼす効果を明らかとするとともに、官能基化された糖鎖を直接導入できる本手法の利点を活かした新物質創製を推進する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は糖鎖化学で欠落していた1,2-グリコシド型ポリマーについて研究したため、糖の重合位置・構造が糖鎖の高次構造に及ぼす効果を体系的に理解できるようになると期待され、糖鎖化学の観点からも重要な成果であると考えている。糖鎖は様々な研究分野で取り扱われる標的分子であり、新材料を目指す研究だけでなく、基礎化学、医療、製薬分野において極めて重要な分子群である。そのため、本研究で合成した糖鎖は、糖鎖の全研究分野で縦断的に利用される有用なライブラリーになると期待される。

研究成果の概要(英文)：This work was aimed to manipulate the properties of bioactive natural glycosides and to create high performance polymers and biomaterials exploiting 1,2-glycosidic polymer as a scaffold. We investigated (i) the development of modification method of 1,2-glycosidic polymer, (ii) the elucidation of dynamic structure of the polymer single chain, and (iii) the evaluation of the physical properties of new materials. Through the comparison of properties with those of the other polysaccharides, we evaluated the impact of glycosidic position on the properties of polysaccharides.

研究分野：有機化学

キーワード：糖鎖 高分子合成 生体分子 自己組織化 超分子化学

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外における研究動向と位置づけ

糖鎖は多機能性から様々な研究分野で取り扱われる重要な標的分子である。高親水性、非毒性、生体適合性などの材料として機能のみならず、分子集積に有用な官能基や不斉情報を多く含むという構造上の利点を有するためである。糖鎖をビルディングブロックとして活用した低分子薬剤、機能性食品、生体医工材料などの生体内使用を意図した分子・材料に加え、光学分割材料、非線形光学材料などの高機能性材料の開発についても研究されている¹。

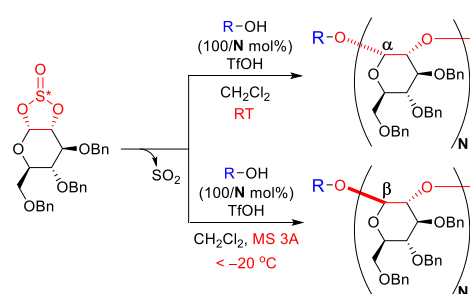
糖鎖を合成するためには、複数の保護基やアノマー位活性化法を組み合わせたオルトゴナル合成法²が最もよく用いられる。多段階反応が必要で、合成、分離、精製の連続的なルーティンが必要でありながらも、時間、資金、及び体力があれば目的物を単一分子として調製できるためである。機能素材の実用化や省力的な方法として、無保護の糖を酵素で触媒する重合法も報告されている³。酵素重合によって糖鎖を構造明確に、且つ迅速に得ることができる。しかし、酵素の活性ポケットに基質が入ることが重要で、立体化学の異なる糖モノマーや、置換基を有する糖モノマーはしばしば重合しない。一方、糖鎖の構造はアノマー位の連結位置でおおよそ分類することができる。これまでの糖鎖に関する研究のほとんどは、1,3-、1,4-、及び1,6-グリコシド型ポリマーを用いるもので、1,2-グリコシド型ポリマーの検討のみが完全に欠落していた。

こうした背景の下、筆者はごく最近 1,2-グリコシド型ポリマーの新合成法の開発に成功している⁴。置換基を有するモノマーからワンポットで任意の重合度の糖鎖を合成できるため、分子構造が十分に設計された生体材料や機能材料を簡便に得る新しい方法論になると期待される。本研究を通し、糖鎖エンジニアリングの新機軸を提案し、有用物質を創製することを目標に研究を開始した。

(2) これまでの研究成果と着想に至った経緯

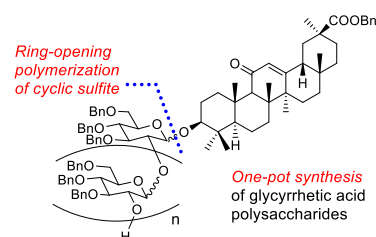
1) 重合度と立体化学が制御可能な 1,2-グリコシド型ポリマーの新合成法の開発⁴

環状サルファイト型糖モノマーを用いる 1,2-グリコシド型ポリマーの新合成法について報告している。アルコールを開始剤とし、環状サルファイトを TiOH で処理すると SO₂ の完全な脱離に伴うカチオン開環縮合重合が進行し、任意の重合度のポリマーが得られることを報告している。アノマー位は温度や MS 3A の使用により α 及び β 選択的に制御可能であることも明らかとしている。



2) 1,2-グリコシド型オリゴ糖のワンポット配糖化法⁴

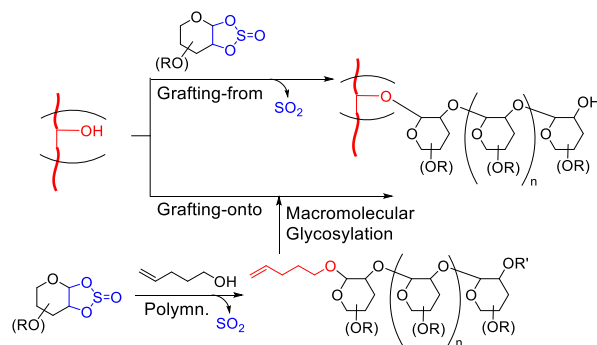
アグリコンであるグリチルリチン酸を開始剤として、環状サルファイトを重合することで、任意の重合度のオリゴ糖を配糖した生理活性物質の母骨格がワンポットで得られることを明らかとしている。



3) 1,2-グリコシド型ポリマーのグラフト化法⁴

1,2-グリコシド型ポリマーの重合に伴いながらグラフト化する Grafting-from 法に加え、グリコシル化活性なペンテノイル基を末端に持つオリゴ糖を事前に調製し、これを用いるグリコシル化によってグラフトポリマーを得る Grafting-onto 法を開発している。本研究で

は、分子設計された環状サルファイト型糖モノマーを用いた重合により、(i)オリゴ糖を配糖した天然物合成と(ii)超分子化学的な特性評価並びに(iii)バルク材料の糖化による外部刺激応答性材料の創製を目的として、有機化学・超分子化学・高分子化学の全サイドから研究を推進した。



References: 1) 機能性配糖体の合成と応用, CMC, 2013. 2) Y. Ito et al. J. Am. Chem. Soc. 1994. 3) S. Shoda, et al. J. Am. Chem. Soc. 1991. 4) (a) Y. Koyama, et al. Chem. Lett. 2016. (b) Y. Koyama, et al. Tetrahedron Lett. 2016.

2. 研究の目的

以下の4つの目標を立てて、研究を推進した。

- 1) 1,2-グリコシド型オリゴ糖を配糖した生理活性天然物の合成と活性評価
- 2) 1,2-グリコシド型ポリマーの動的な構造特性の評価
- 3) 官能基化されたポリマーの合成と機能評価
- 4) バルク表面の糖化による培養細胞の刺激応答性剥離システムの開発

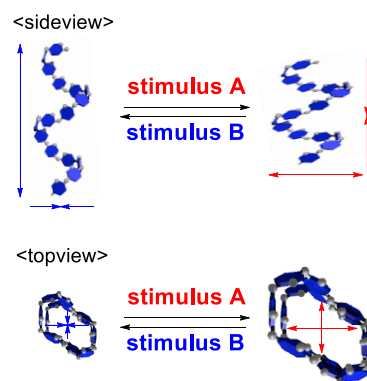
3. 研究の方法

[1] 1,2-グリコシド型オリゴ糖を配糖した生理活性天然物の合成と活性評価

筆者らはすでにグルコース型環状サルファイトを用いるカチオン性開環縮重合について報告している。本項では、1,2-グリコシド結合で2糖以上の糖鎖が連結した生理活性天然物骨格の1段階合成に挑戦する。慢性肝炎薬や SARS, HIV の抗ウイルス薬として用いられるグリチルリチンや、フラボノイドをアグリコンとする配糖体天然物の合成にも極めて効果的な方法論となると期待した。また糖の数が異なる類縁天然物も同様に合成できると期待されるため、糖鎖数のことなる各種分子を合成した後で、糖鎖長が天然物の生理活性や溶液挙動、薬物動態に及ぼす影響を明らかとする。

[2] 1,2-グリコシド型ポリマーの動的な構造特性の評価

1,2-グリコシド型ポリマーはポリオキシエチレン鎖を主鎖とする柔軟ならせん構造を最安定配座として形成すると期待した。1,2-グリコシド結合型ポリマーを、外部刺激によって構造を動的に変化する片巻きらせんフォルダマーと見なし、構造変化に伴い物性をスイッチするようなシステムの創出について検討する。



[3] 官能基化されたポリマーの合成と機能評価

1,2-グリコシド型ポリマーの基礎物性を明らかとすることを目標に、水酸基を任意の官能基で修飾したポリマーの合成について検討する。水酸基の修飾法を確立した後で、得られたポリマーの熱物性、機械的特性、光学特性などの各種物理的性質を明らかとし、新材料を創製する。アミロース、セルロースなどのその他の糖鎖の誘導体の物性と比較することで、グリコシド結合の連結位置が物性に及ぼす効果を評価する。

[4] バルク表面の糖化による培養細胞の刺激応答性剥離システムの開発

本項目では、まずバルク表面への 1,2-グリコシド型ポリマーのグラフト化法について検討する。具体的には 1,2-グリコシド型ポリマーのための Grafting-onto 法と Grafting-from 法について検討する。その後、官能基化された 1,2-グリコシド型ポリマーの特性に由来した刺激応答性を示すような表面を得る。

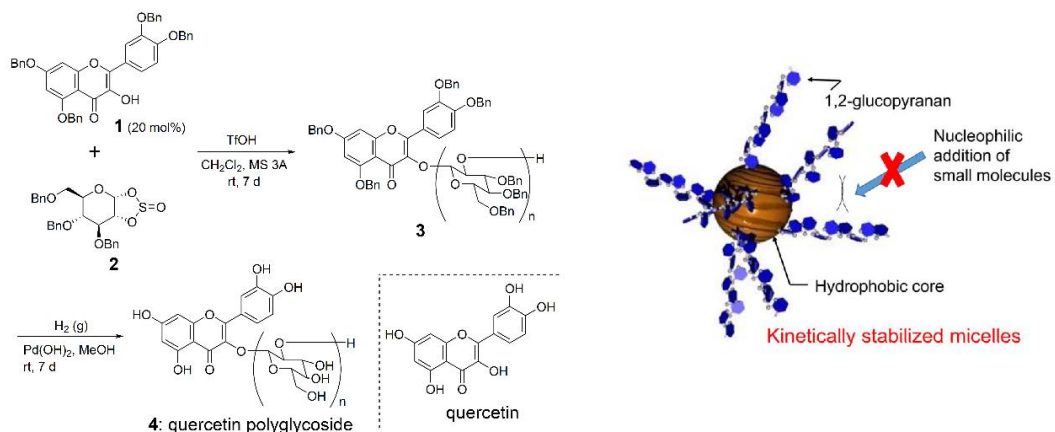
4. 研究成果

[1] 1,2-グリコシド型オリゴ糖を配糖した生理活性天然物の合成と活性評価

ケルセチン誘導体 **1** を開始剤、環状サルファイト **2** を糖モノマーとして用い、重合を行った。TfOH を触媒として用い、モレキュラーシーブス 3Å 存在下、CH₂Cl₂ 中、室温で重合すると SO₂ の脱離を伴う開環重合が進行し、対応する **3** (DP 9.2, M_n 4600, M_w/M_n 1.2) を得た。また **3** のベンジル基を水素添加で除去して、ケルセチンポリグリコシド **4** を得た。

ケルセチン単体、単糖を配糖したイソケルシトリン、及び **4** の臨界ミセル濃度 (CMC) を pH 4.0、7.0、及び 10.0 の水溶液中で測定した。その結果、ケルセチンは酸性～中性ではミセルを形成するが、塩基性領域ではミセルを形成しないことが分かった。その一方、イソケルシトリンや **4** はいずれの pH 領域においてもミセルを形成することが明らかとなった。そのため、糖鎖はミセルの pH 安定性に関与することが分かった。また、形成したミセルの経時変化についても評価した結果、**4** のミセルは半年後でも安定である一方、イソケルシトリンからなるミセルは経時変化に伴って 2 次会合体であるファイバー状ミセルを形成することが分かった。**4** からなるミセルの表面には嵩高い糖鎖が集積しており、これがミセルの立体保護基として機能し、ミセルの速度論的な安定性に寄与することを明らかとした。

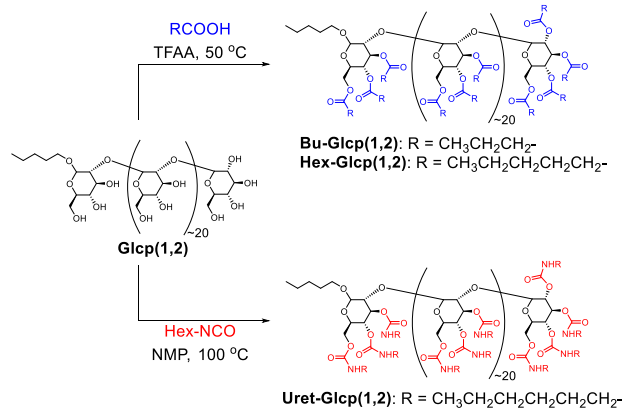
さらに、グルチルリチン配糖体については崇城大学の黒岩教授と連携研究を進め、糖鎖長が自己組織化挙動に及ぼす影響について、主に TEM 観察によるモルフォロジー解析を進めた。以上の検討より、配糖体天然物の自己組織化に関する研究領域を新規に開拓することができた。



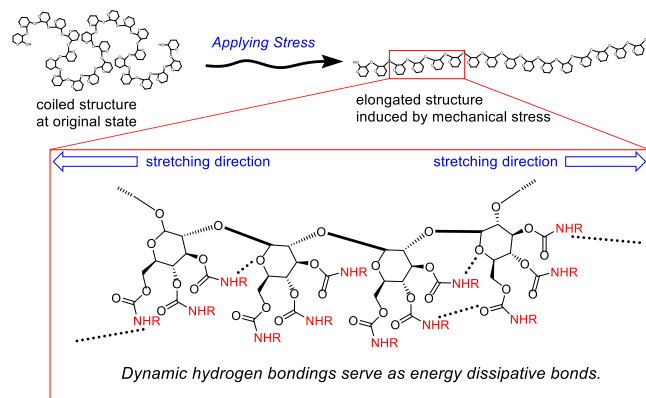
[2,3] 官能基化された 1,2-グリコシド型ポリマーの合成と動的な構造特性、及び機能評価

無保護の多糖類は水酸基の分子鎖内・分子鎖間水素結合や、その結晶性のために、可塑性をほとんど示さない。そのため、1,2-グリコシド型ポリマーの構造特性を精査すべく、水酸基をエーテル、エステル、及びウレタンで保護したポリマーを合成し、その各種物理的性質を評価した。右式にエステルとウレタン保護体の合成反応式を示す。これらの条件下で、水酸基は定量的に官能基化することが可能であった。エステル化したポリマーはオイル状物

質であったが、ウレタン体 **Uret-Glcp(1,2)**からは強靱な自立膜が得られた。**Uret-Glcp(1,2)**の力学特性を評価した結果、非常に高い破断強度（～1.4 MPa）と破断伸び（～800%）を示し、その仕事量は 4.0 MJ/m³にも達することが分かった。応力歪み曲線において明確な降伏点が観測されたため、引張試験の間に分子鎖間の相互作用が破壊されることが示唆された。



1,4-グリコシド型ポリマーであるアミロース誘導体 **Uret-Glcp(1,4)**と Mooney-Rivlin プロファイル、熱物性、及び応力前後の IR を比較した結果、1,2-グリコシド型の **Uret-Glcp(1,2)** のカルバメート N-H は **Uret-Glcp(1,4)** 上の N-H に比べると、グリコシド結合の連結位置の影響によって、分子鎖内で水素結合を形成しやすい傾向にあることが分かった。また、外部応力によって最初に破断されるのは分子鎖間の水素結合であり、選択的且つ容易に分子鎖間水素結合が破壊されることで応力が効果的に散失し、材料を強靱化させることが明らかとなった。

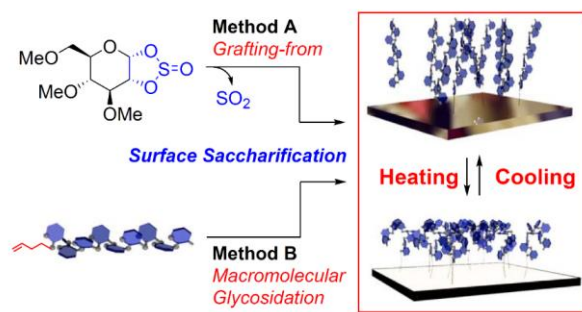


分子鎖間水素結合を設計・制御することが強靱な材料設計上で極めて重要であり、本コンセプトに基づいて、応力添加により接着強度が増加するという新規接着剤も開発している。

[4] バルク表面の糖化による培養細胞の刺激応答性剥離システムの開発

糖型環状サルファイトの開環重合を利用し、バルク表面をオリゴ糖化する方法論の開発についても検討した。

多くのパーメチル化した多糖類は LCST 型の温度応答性を示すことが知られている。そこで、トリメチル化したグルコース型環状サルファイトを鍵化合物として用いた。水酸基を表面に有する材料の存在下で、このモノマーを酸性条件下で重合すると **Grafting-from** 型の反応が進行し、対応するグラフト表面が得られた。その一方、事前調製したペンテノイル基を末端に有する 1,2-グリコシド型のオリゴ糖のペンテノイル基を選択的に活性化し、バルク表面に対するグリコシル化反応を行うと、**Grafting-onto** 型の反応が進行した。どちらのグラフト表面共に、パーメチル化した 1,2-グリコシル化ポリマーに由来する LCST 型の温度応答性を示し、温度に応じて透明性や親疎水性が変化することが示唆された。表面構造を解析した結果、**Grafting-from** ではグラフト密度が高くなる一方でグラフト鎖の長さは短いことが分かった。**Grafting-onto** ではグラフト密度が低い一方で、事前調製したオリゴ糖と同等の長さのグラフト鎖を精密に導入できることが分かった。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sangeetha Srinivasa Shetty, Abu Bin Ihsan, Yasutomo Masugata, Yasuhito Koyama*	4. 巻 47
2. 論文標題 Direct grafting reactions of thermo-responsive (1,2)-glucopyranan derivatives using a sugar-based cyclic sulfite as monomer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1375-1378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180650	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 Abu Bin Ihsan, Yasuhito Koyama,* Toshiaki Taira, Tomohiro Imura	4. 巻 3
2. 論文標題 Thermo-responsive structure and surface activity of kinetically stabilized micelle composed of fluorinated alternating peptides in organic solvent	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 4173-4178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.201800590	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 Yasuhito Koyama,* Abu Bin Ihsan, Toshiaki Taira, Tomohiro Imura	4. 巻 8
2. 論文標題 Fluorinated polymer surfactants bearing an alternating peptide skeleton prepared by three-component polycondensation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 7509-7513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8ra00581h	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 Yasuhito Koyama,* Abu Bin Ihsan, Prashant Gopal Gudeangadi	4. 巻 219
2. 論文標題 Synthetic approach of thermally tunable nature-mimetic polypeptides from N-protected alternating peptoids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Macromolecular Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 1800303/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.201800303	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 Ishiwari Fumitaka, Nakazono Kazuko, Koyama Yasuhito, Takata Toshikazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Induction of Single-Handed Helicity of Polyacetylenes Using Mechanically Chiral Rotaxanes as Chiral Sources	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 14858 ~ 14862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201707926	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 Koyama Yasuhito, Gudeangadi Prashant G.	4. 巻 53
2. 論文標題 One-pot synthesis of alternating peptides exploiting a new polymerization technique based on Ugi's 4CC reaction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3846 ~ 3849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6cc09379e	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 Jang Keumhee, Iijima Keisuke, Koyama Yasuhito, Uchida Satoshi, Asai Shigeo, Takata Toshikazu	4. 巻 128
2. 論文標題 Synthesis and properties of rotaxane-cross-linked polymers using a double-stranded -CD-based inclusion complex as a supramolecular cross-linker	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 379 ~ 385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2017.01.062	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 Mahmuda Nargis, Abu Bin Ihsan, Yasuhito Koyama	4. 巻 9
2. 論文標題 Bolaamphiphilic properties and pH-dependent micellization of quercetin polyglycoside	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 33674-33677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra05711k	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 Abu Bin Ihsan, Yuta Kawaguchi, Hiromichi Inokuchi, Hiroshi Endo, Yasuhito Koyama	4. 巻 9
2. 論文標題 Structural factors of benzylated glucopyranans for shear-induced adhesion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 26214-26218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra02644d	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 Abu Bin Ihsan, Mahmuda Nargis, Yasuhito Koyama	4. 巻 20
2. 論文標題 Effects of the hydrophilic-lipophilic balance of alternating peptides on self-assembly and thermo-responsive behaviors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 4604/1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms20184604	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 Abu Bin Ihsan, Yuta Kawaguchi, Hiroshi Endo, Yasuhito Koyama	4. 巻 7
2. 論文標題 Strong, tough, and repeatable adhesion of an alternating peptide comprising phenyl glycine as a repeating unit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Material Chemistry B	6. 最初と最後の頁 2766-2770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tb00391f	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 Abu Bin Ihsan, Yasuhiro Tawara, Shinya Goto, Hirokazu Kobayashi, Kiyotaka Nakajima, Atsushi Fukuoka, Yasuhito Koyama	4. 巻 51
2. 論文標題 Effects of 2,5-furanylene sulfides in polymer main chains on polymer physical properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 413-422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-018-0140-9	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 Abu Bin Ihsan, Yasuhito Koyama	4. 巻 161
2. 論文標題 Impact of polypeptide sequence on thermal properties for diblock, random, and alternating copolymers containing a stoichiometric mixture of glycine and valine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 197-204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2018.12.021	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 Kousuke Tsuchiya, Nao Ifuku, Yasuhito Koyama, Keiji Numata	4. 巻 160
2. 論文標題 Development of regenerated silk films coated with fluorinated polypeptides to achieve high water repellency and biodegradability in seawater	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Degradation and Stability	6. 最初と最後の頁 96-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymdegradstab.2018.12.016	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 小山靖人	4. 巻 26
2. 論文標題 オリゴ糖の直接導入を可能とする(1-2)グルコピラナンのグラフト法の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cellulose Communications	6. 最初と最後の頁 14-18
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13件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Abu Bin Ihsan, Sangeetha S. Shetty, Yasutomo Masugata, Yasuhito Koyama*
2. 発表標題 Surface Saccharification and Thermo-Responsive Behaviors of (1-2)-Glucopyranan
3. 学会等名 The 5th Toyama-Basel Joint Symposium on Pharmaceutical Research and Drug Development (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abu Bin Ihsan, Sangeetha S. Shetty, Yasutomo Masugata, Yasuhito Koyama*
2. 発表標題 Surface Saccharification and Thermo-Responsive Behaviors of (1,2)-Glucopyranan
3. 学会等名 平成30年度有機合成化学北陸セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abu Bin Ihsan, Yasuhito Koyama*
2. 発表標題 Molecular Design and Synthesis for Tuning Thermo-Response of Biopolymers
3. 学会等名 INTERNATIONAL CONGRESS ON PURE & APPLIED CHEMISTRY (ICPAC Langkawi) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abu Bin Ihsan, Yasuhito Koyama*
2. 発表標題 Thermally Tunable Nature-Mimetic Polypeptides from N-Protected Alternating Peptoids Towards Tough and Strong Adhesive Materials
3. 学会等名 第67回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山靖人
2. 発表標題 環状サルファイトの開環重合を利用した(1,2)-グルコピラナン類の合成と特性
3. 学会等名 福井マテリアル&テクノロジー研究会 秋季事例発表・技術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山靖人、Sangeetha S. Shetty
2. 発表標題 1,2-グリコシド型ポリマー配糖体のワンポット合成とフォルダマー特性
3. 学会等名 創薬懇話会2017 in 加賀
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuhiro Koyama, Sangeetha S. Shetty
2. 発表標題 Direct Grafting Reactions of 1,2-Glucopyranan Skeleton as a Fully Aliphatic Helical Foldamer
3. 学会等名 Chirality2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小山靖人
2. 発表標題 環状サルファイトの開環重合による1,2-グリコシド型ポリマー配糖体の合成
3. 学会等名 2017年度セルロース学会西部支部セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 チャン ティ ジウ ヒエン、小山靖人、黒岩敬太
2. 発表標題 グリチルレチン酸誘導体と発光性金属錯体の複合化による特異的ナノ構造の創製とその機能
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Nargis, A. B. Ihsan, Y. Koyama
2. 発表標題 ケルセチン多糖配糖体からなるミセルのpH依存性
3. 学会等名 2019年度有機合成化学北陸セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Nargis, A. B. Ihsan, Y. Koyama
2. 発表標題 閉環重合によるケルセチン多糖配糖体の合成とそのミセル化挙動
3. 学会等名 第68回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. B. Ihsan, Y. Koyama
2. 発表標題 Structural Effects of (1 2)-Glucopyranan on Shear-Induced Adhesion
3. 学会等名 第30回エラストマー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎 凌, M. Nargis, A. B. Ihsan, 小山靖人
2. 発表標題 天然配糖体のミセル化挙動における糖鎖の影響
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Toshikazu Takata, Yasuhito Koyama, Hiromitsu Sogawa	4. 発行年 2018年
2. 出版社 RSC Publishing	5. 総ページ数 248
3. 書名 Click Polymerization	

1. 著者名 小山靖人, アブ ビン イヘサン	4. 発行年 2019年
2. 出版社 株式会社シーエムシー出版	5. 総ページ数 269
3. 書名 バイオ3Dプリント関連技術の開発と応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室のweb cite http://www.pu-toyama.ac.jp/PH/koyama/

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