

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05170

研究課題名(和文)新規アミロースアナログ多糖の精密酵素合成と超分子形成挙動の解析

研究課題名(英文) Precision Enzymatic Synthesis and Supramolecular Formation of New Amylose Analog Polysaccharides

研究代表者

門川 淳一 (Kadokawa, Jun-ichi)

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：30241722

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：酵素触媒重合が構造明確な多糖を得る有力な手法として注目されている。本研究で用いたグルカンホスホリラーゼ(GP)は、実用的な多糖合成に用いられている代表的な酵素である。GPは基質特異性の緩さを有することが知られており、アナログ基質を用いた酵素触媒重合により構造明確な非天然型(1,4)-多糖(アミロースアナログ多糖)の合成が可能である。本研究では、GP触媒の基質特異性の緩さをより詳細に検討することで適用可能なモノマーの構造範囲を広げ、新規なアミロースアナログ多糖の合成を検討した。さらに、生成多糖の超分子(結晶構造)形成挙動の解析やネットワーク多糖の合成を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、非天然型多糖という研究分野での大きな進展に貢献することができた。また、本研究を推進することでアミロースアナログ多糖をキーワードとする超分子(結晶構造)やネットワーク多糖のさらなる発展が可能となった。更に様々な研究分野に生成多糖を供給することが可能となり、新たな性質や機能と多糖構造との関わり合いが明らかになると考えられる。このことから、生体分子化学や生物化学との連携により実用的生体材料への発展が期待される。

研究成果の概要(英文)：Enzymatic polymerization is attracting attention as a powerful method for obtaining polysaccharides with well-defined structures. Glucan phosphorylase (GP), used in this study, is a typical enzyme, that is used in practical polysaccharide synthesis. GP is known to have weak substrate specificity, which induces a possibility in synthesizing a non-natural (1,4)-polysaccharide (amylose analog polysaccharide) with a well-defined structure by enzymatic polymerization using analog substrates. In this study, we expanded the structural range of applicable monomers by examining in more detail the weak substrate specificity of GP catalysts, and investigated the synthesis of novel amylose analog polysaccharides. Furthermore, we analyzed the supramolecular (crystalline structure) formation behavior of the produced polysaccharides and performed network polysaccharide synthesis.

研究分野：多糖化学

キーワード：アミロースアナログ多糖 酵素触媒重合 グルカンホスホリラーゼ 超分子 結晶構造 ネットワーク
高分子 ナノゲル 疎水性多糖

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生体高分子は生体組織を構成する主要成分であり、その一次構造および高次構造が規則正しく制御されることによって、それぞれ特有の高度な機能を発現している。多糖は、構成単糖残基の種類が多さと、それらをつなぐグリコシド結合の位置および立体配置によって多様で複雑な構造を構築できるため、他の生体高分子と比較して自然界に多くの種類が存在している。その構造のわずかな違いによって、多糖はそれぞれ固有の性質や機能を発現するため、多糖から新規な機能性高分子材料を得るためには構造明確な構造の構築が必要である。近年、酵素触媒により単糖残基どうしをグリコシド結合でつなげて糖鎖を構築するグリコシル化反応が構造明確な多糖を得る有力な手法として注目されている。これは、酵素触媒反応が位置および立体選択的に進行するためである。

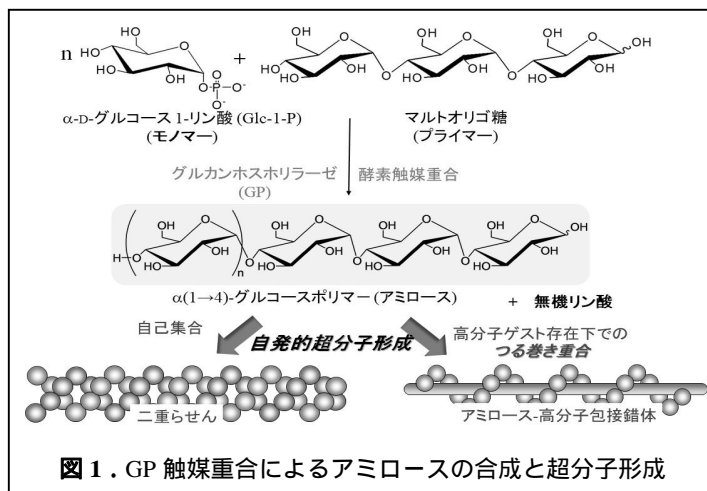


図1. GP 触媒重合によるアミロースの合成と超分子形成

本研究で用いたグルカンホスホリラーゼ(GP)は、実用的な多糖合成に用いられている代表的な酵素である。GP は、 α -D-グルコース 1-リン酸 (Glc-1-P) をモノマー、マルトオリゴ糖をプライマーに用いた酵素触媒重合を進行させて、天然多糖の (1-4)-グルコースポリマー(アミロース)を構造明確に得ることができる(図1)。酵素合成されたアミロースは自己集合的に平行鎖の二重らせんを形成し、また、らせん内部は疎水性であるため、内部に疎水性ゲスト化合物を取り込んで超分子(包接錯体)を形成する(図1)。さらに、GP 触媒重合がマルトオリゴ糖プライマーの片末端(非還元末端)から選択的に成長するという特徴を活かして、階層構造的にネットワークしたアミロース含有材料も開発されている。

一方、GP は基質特異性の緩さを有することが知られており、この性質を利用していくつかの Glc-1-P のアナログ基質(異なる単糖の 1-リン酸エステル)を用いた酵素触媒重合により構造明確な非天然型 (1-4)-多糖(アミロースアナログ多糖)の合成が達成されている。しかし、酵素合成アミロースアナログ多糖の種類は多くなく、超分子(結晶構造)形成挙動は全く検討されていない。

2. 研究の目的

本研究では、GP 触媒の基質特異性の緩さをより詳細に検討することで適用可能なモノマーの構造範囲を広げ、その GP 酵素触媒重合を行うことで、新規なアミロースアナログ多糖の合成を検討した。さらに、生成多糖の超分子(結晶構造)形成挙動の解析を行い、新規な機能性高分子材料素材としての利用に結び付けることを目的とした。

3. 研究の方法

耐熱性 GP (*Aquifex aeolicus* VF5) による 2-デオキシ- α -D-グルコース 1-リン酸(2dGlc-1-P)の酵素触媒重合を、リン酸二水素カリウム含有 Tris-酢酸緩衝液中(pH 6.9)にプライマーのマルトトリオース(Glc₃)に対して 30 当量の D-グルカールを溶解させ、酵素存在下、40°Cで行った。生成物の粉末 X 線回折(XRD)測定から結晶構造を解析した。また、2dGlc-1-P と Glc-1-P の耐熱性 GP 酵素触媒共重合は、リン酸二水素カリウム含有 Tris-酢酸緩衝液中(pH 6.9)にプライマーの Glc₃ に対して D-グルカール、Glc-1-P を溶解させ、酵素存在下、40°Cで行った。

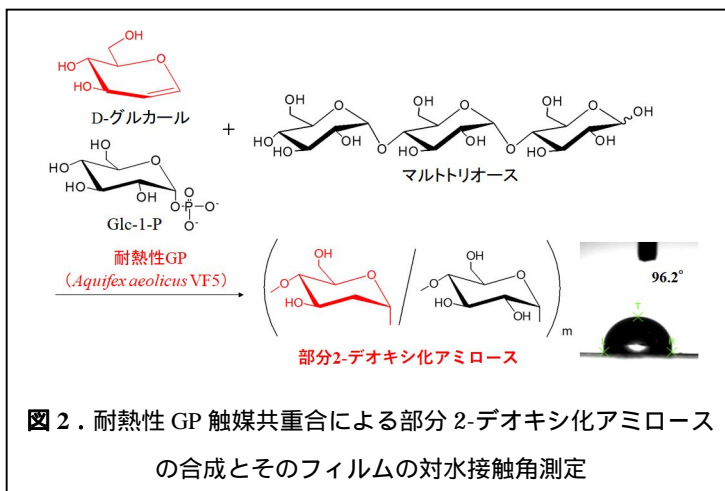
グリコーゲン、カルボキシメチルセルロース(CMC)およびポリ(γ -グルタミン酸)からの酵素触媒共重合を、リン酸二水素カリウム含有の Tris-酢酸緩衝液中(pH 6.9)、D-グルカール、Glc-1-P、耐熱性 GP 存在下、40°C、24 時間で行うことで、部分 2-デオキシ化アミロースを修飾した。

耐熱性 GP を用いて、還元末端を酸化したマルトオリゴ糖と α -D-グルクロン酸 1-リン酸(GlcA-1-P)の酵素的グリコシル化(グルクロニル化)を 50°Cで 48 時間行い、非天然型の両末端カルボキシレート化マルトオリゴ糖を合成した。これを架橋剤に用いて、縮合剤(1-エチル 3-(3-ジメチルアミノプロピル)カルボジイミド塩酸塩(EDC)/N-ヒドロキシスクシイミド(NHS))をカルボキシレート基に対して 1 当量存在下、水溶性キトサンとの縮合を室温で 7 時間行い、ナノゲルを合成した。

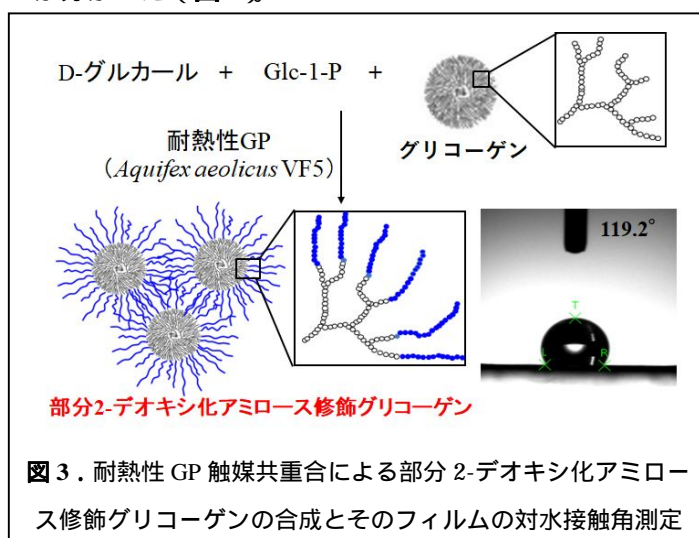
4. 研究成果

これまでの研究で、D-グルカールの GP 酵素触媒重合で得られる 2-デオキシアミロースの XRD 測定から、アミロースとは異なる回折パターンが観測され、固有の結晶構造を構築することを見

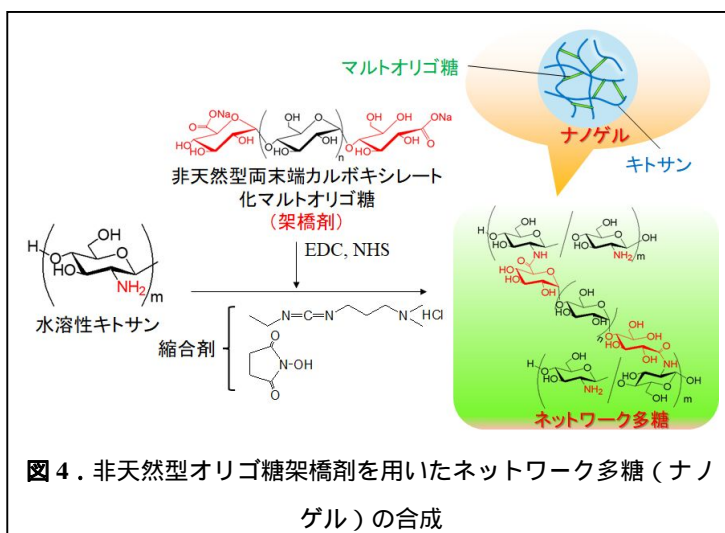
出している。そこで、2dGlc-1-P と Glc-1-P の耐熱性 GP 酵素触媒共重合を行った(図2)。単離した生成物の ¹H NMR 測定結果より、2-デオキシグルコース残基とグルコース残基がα(1→4)-グリコシド結合で繋がった非天然型の多糖であることが分かった。また、モノマーの仕込み比に応じて 2dGlc と Glc のユニット比は変化し、4:6 の生成物の XRD 測定から、アミロースや、2-デオキシアミロースと比較してブロードな回折パターンが観測された。すなわち、二つのユニットがランダムに配列することで非晶性になったと考えられる。この多糖の DMSO 溶液を薄くキャストし溶媒を留去することでフィルム形成が可能であった。このフィルムと水の接触角は 96.2°であり、部分 2-デオキシ化アミロースが疎水性を示すことが分かった(図2)。



また、グリコーゲンからの酵素触媒共重合を、リン酸二水素カリウム含有の Tris-酢酸緩衝液中(pH 6.9)、D-グルカール、Glc-1-P、耐熱性 GP 存在下、40°C、24 時間で行った。得られた生成物の ¹H NMR 測定結果より部分 2-デオキシ化アミロース修飾グリコーゲンが得られたことが分かった(図3)。また、D-グルカールと Glc-1-P の仕込み比に応じて、生成物中の dGlc/Glc のユニット比が変化した。次に、得られた生成物をそれぞれ DMSO に溶解し、キャスト後、60 °C で 12 時間減圧乾燥を行うことでフィルムを得た。dGlc/Glc のユニット比が 2.5:7.5 のフィルムと水の接触角は 119.2°であった。このことから、部分 2-デオキシ化アミロース鎖を修飾することで、疎水性グリコーゲン誘導体が得られることが分かった(図3)。



また、親水性の CMC やポリ(γ-グルタミン酸)にマルトオリゴ糖プライマーを修飾し、同様な条件で耐熱性 GP による D-グルカール/Glc-1-P の酵素触媒共重合を行い、部分 2-デオキシ化アミロースをグラフトした。得られた生成物をそれぞれ DMSO に溶解し、キャスト後、60 °C で 12 時間減圧乾燥を行うことでフィルムを得た。生成フィルムと水の接触角は 100°以上であり、本手法により親水性ポリマーを容易に疎水化できることが分かった。



一方、還元末端を酸化したマルトオリゴ糖への耐熱性 GP による酵素的グルクロニル化により、非天然型両末端カルボキシレート化マルトオリゴ糖を合成した。これを架橋剤に用いて、縮合剤存在下、水溶性キトサンとの縮合を行い、多糖超分子(ネットワーク多糖)を合成した(図4)。生成物の水分散液をスピコートして SEM 観察を行ったところ、粒子形態が観察され、アミノ基に対するカルボキシレート基の当量増加に伴い粒形が大きくなることが分かった。さらに、生成物の TEM 観察からは中空粒子形態が観察され、ネットワーク多糖からのナノゲルの形成が支持された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 J. Kadokawa	4. 巻 8
2. 論文標題 Fabrication of Nanostructured Supramolecules through Helical Inclusion of Amylose toward Hydrophobic Polyester Guests, Biomimetically through Vine-Twining Polymerization Process	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biomimetics	6. 最初と最後の頁 516
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/biomimetics8070516	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 Jun-ichi Kadokawa	4. 巻 54
2. 論文標題 Glucan phosphorylase-catalyzed enzymatic synthesis of unnatural oligosaccharides and polysaccharides using nonnative substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 413 - 426
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41428-021-00584-x	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 Jun-ichi Kadokawa, Shogo Abe, Kazuya Yamamoto	4. 巻 51
2. 論文標題 Hydrophobization of Carboxymethyl Cellulose by Enzymatic Grafting of Partially 2-Deoxygenated Amyloses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 646 - 649
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/cl.220146	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 Masa-aki Iwamoto, Ryuta Watanabe, Kazuya Yamamoto, Jun-ichi Kadokawa	4. 巻 300
2. 論文標題 Inclusion behavior of amylose toward hydrophobic polyester, poly(-butyrolactone), in vine-twining polymerization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Colloid and Polymer Science	6. 最初と最後の頁 999 - 1004
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00396-022-04989-9	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 Aina Nakamichi, Jun-ichi Kadokawa	4. 巻 27
2. 論文標題 Fabrication of Chitosan-Based Network Polysaccharide Nanogels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 8384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27238384	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 Tomoya Anai, Shogo Abe, Kosei Shobu, Jun-ichi Kadokawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Synthesis of Hydrophobic Poly(-Glutamic Acid) Derivatives by Enzymatic Grafting of Partially 2-Deoxygenated Amyloses	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app13010489	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 Masa-aki Iwamoto, Jun-ichi Kadokawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Vine-Twining Inclusion Behavior of Amylose towards Hydrophobic Polyester, Poly(-propiolactone), in Glucan Phosphorylase-Catalyzed Enzymatic Polymerization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life13020294	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 Abe Shogo, Yamamoto Kazuya, Kadokawa Jun ichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Hydrophobic Polysaccharides: Partially 2 Deoxygenated Amyloses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 e202100763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.202100763	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 -

〔学会発表〕 計38件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 岩本 雅明、渡辺 隆太、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 つる巻き重合によるアミロース ポリエステル包接錯体形成挙動
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 仲道 愛菜、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 水溶性キチン/キトサンからのネットワーク多糖合成
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 岩本 雅明、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 つる巻き重合場でのアミロースのポリエステルに対する包接挙動
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 仲道 愛菜、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 ネットワークキチンゲルの合成
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 Jun-ichi Kadokawa
2. 発表標題 Precision enzymatic synthesis of functional amylosic materials
3. 学会等名 ACS Fall 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲道 愛菜、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 ネットワークキチン/キトサンゲルの創製
3. 学会等名 第36回日本キチン・キトサン学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 門川淳一
2. 発表標題 グルカンホスホリラーゼ酵素触媒重合を利用した疎水性多糖の合成
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 仲道 愛菜、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 両末端修飾マルトオリゴ糖を架橋剤に用いるネットワークキチン/キトサンゲルの創製
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 岩本 雅明、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 つる巻き重合場でのアミロースのポリエステルに対する包接挙動の検討
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 穴井 友也、安部 省吾、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 酵素的グラフト化を利用した疎水性ポリ(- グルタミン酸)誘導体の合成
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲道 愛菜、山元 和哉、門川 淳一
2. 発表標題 キチン/キトサンのネットワーク構造化によるゲル形成
3. 学会等名 第31回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Anai, Kazuya Yamamoto, and Jun-ichi Kadokawa
2. 発表標題 Hydrophobization of Cellulose Nanofibers by Enzymatic Grafting of Partially 2-Deoxygenated Amyloses
3. 学会等名 Japan Taiwan Bilateral Workshop on Nano-Science 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaaki Iwamoto, Kazuya Yamamoto, and Jun-ichi Kadokawa
2. 発表標題 Inclusion Behavior of Amylose Toward Hydrophobic Polyesters in Vine-twining Polymerization
3. 学会等名 Japan Taiwan Bilateral Workshop on Nano-Science 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 門川 淳一、仲道 愛菜
2. 発表標題 水溶性キトサンからのネットワーク多糖の合成
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 穴井 友也、門川 淳一
2. 発表標題 多糖の酵素的グラフト化によるセルロースナノファイバーの疎水化
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安部省吾、山元和哉、門川淳一
2. 発表標題 2-デオキシアミロースグラフト化ポリ(γ-グルタミン酸)の合成
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 門川淳一
2. 発表標題 グルカンホスホリラーゼによるアミロースアナログ多糖の精密酵素合成
3. 学会等名 第70回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安部省吾・山元和哉・門川淳一
2. 発表標題 酵素触媒重合による疎水性多糖の合成
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安部省吾・山元和哉・門川淳一
2. 発表標題 酵素触媒重合による疎水化グリコーゲン誘導体 の合成
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安部省吾・山元和哉・門川淳一
2. 発表標題 2 デオキシ化アミロース鎖を有する疎水性多糖の酵素合成
3. 学会等名 第30回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun-ichi Kadokawa
2. 発表標題 Glucan phosphorylase as useful bio-catalyst for precision synthesis of amylose and its analogs
3. 学会等名 ACS Spring 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩本雅明、門川淳一
2. 発表標題 つる巻き重合場でのアミロースの疎水性ポリエステルに対する包接挙動
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 穴井友也、門川淳一
2. 発表標題 疎水性多糖の酵素的グラフト化による疎水化セルロースナノファイバーの開発
3. 学会等名 2023年繊維学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本直輝、仲道愛菜、門川淳一
2. 発表標題 疎水性多糖の酵素的グラフト化を利用したキチンナノファイバーの疎水化
3. 学会等名 2023年繊維学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 穴井友也、門川淳一
2. 発表標題 酵素的多糖のグラフト化を利用したセルロースナノファイバーの疎水化
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 山本直輝、門川淳一
2. 発表標題 酵素的多糖のグラフト化を利用したキチンナノファイバーの疎水化
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 山本 直輝、門川 淳一
2. 発表標題 部分2-デオキシ化アミロース鎖をグラフトした疎水性キチンナノファイバーの創製
3. 学会等名 第37回 日本キチン・キトサン学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Anai, J. Kadokawa
2. 発表標題 Hydrophobization of cellulose nanofibers by enzymatic grafting of hydrophobic polysaccharides
3. 学会等名 The 5th International Cellulose Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 穴井 友也, 門川 淳一
2. 発表標題 疎水性多糖のグラフト化によるCNFの疎水化
3. 学会等名 セルロース学会第30回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩本雅明, 門川淳一
2. 発表標題 つる巻き重合場でのアミロースのポリエステルに対する包接挙動
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 門川 淳一
2. 発表標題 酵素触媒による水中での α -グルカン類の精密合成と集合体形成挙動
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 J. Kadokawa
2. 発表標題 Precision Enzymatic Synthesis of Functional Polysaccharide Materials
3. 学会等名 2023 九州・西部・釜山・慶南 高分子(第 20 回)繊維(第 18 回)合同シンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuta Miyahara, Jun-ichi Kadokawa
2. 発表標題 Enzymatic Synthesis of Amylose Analog Aminopolysaccharides
3. 学会等名 2023 九州・西部-釜山・慶南 高分子(第 20 回)繊維(第 18 回)合同シンポジウム(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuta Miyahara, Jun-ichi Kadokawa
2. 発表標題 Enzymatic synthesis of unnatural aminopolysaccharides
3. 学会等名 8th KU-NDSU Joint Symposium on Biotechnology, Nanomaterials, and Polymers(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 穴井 友也, 門川 淳一
2. 発表標題 疎水性多糖の酵素的グラフト化によるセルロースナノファイバーの疎水化
3. 学会等名 2023年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoki Yamamoto, Jun-ichi Kadokawa
2. 発表標題 Hydrophonization of Chitin Nanofibers by Enzymatic Grafting of Hydrophobic Polysaccharides
3. 学会等名 国立成功大学(台湾)-大阪大学-鹿児島大学合同ワークショップ(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 直輝・戸谷 匡康・門川 淳一
2. 発表標題 部分2 デオキシ化アミロースの酵素的グラフト化によるキチンナノファイバーの疎水化
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 宮原 雄太・戸谷 匡康・門川 淳一
2. 発表標題 酵素触媒共重合によるグルコサミノ2-デオキシグルカンの合成
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 J. Kadokawa	4. 発行年 2023年
2. 出版社 American Chemical Society	5. 総ページ数 268
3. 書名 Sustainable Green Chemistry in Polymer Research. Volume 1. Biocatalysis and Biobased Materials, ACS Symposium Series	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	山元 和哉 (Yamamoto Kazuya) (40347084)	鹿児島大学・理工学域工学系・准教授 (17701)	削除：2022年12月8日

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