

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05494

研究課題名（和文）木質バイオマスの合成・分解プロセスに学ぶ植物構造ユニットの力学的最適化戦略

研究課題名（英文）Dynamic optimization strategy of plant structural unit learning from synthesis and degradation process of woody biomass

研究代表者

五十嵐 圭日子（Igarashi, Kiyohiko）

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・教授

研究者番号：80345181

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 53,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では（Ⅰ）セロデキストリンホスホリラーゼを利用した、セルロース結晶形成プロセスの解明、（Ⅱ）シミュレーションによる結晶性セルロース分解機構の解明、（Ⅲ）プロセスビティの進化、（Ⅳ）植物細胞壁分解酵素の構造機能相関、（Ⅴ）セルロース分解機構の解明を目指した。（Ⅰ）ではセルロースの微小重力下での合成に世界ではじめて成功した。（Ⅱ）ではセルロース結合性ドメインの大きさが活性に重要であることを示した。（Ⅲ）ではプロセッシブセルラーゼが収斂進化したことを示し、（Ⅳ）では、ガラクトサンおよびキシラン分解酵素の構造機能相関を示した。そして（Ⅴ）では70年に及ぶセルロース分解の議論に終止符を打った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、植物細胞壁構成成分同士または構成成分と分解酵素の分子間相互作用に関する情報を多角的に集め、植物構造ユニットの力学的最適化戦略にせまることができた。in vitroでの実験によって、植物細胞壁の観測では得ることが出来ない様々な分子、化学レベルでの知見を得る事ができた。植物細胞壁を分解、変化させる酵素の機能解析は多様な構成成分、分子が関わる植物細胞壁の力学的変化を起こすメカニズムを紐解く一助となった。これ結果から、酵素を用いたin vitroでの植物細胞壁の再現による新規材料の創生や、木質バイオマスの効率的分解機構の解明とそれによるサステナブル社会の実現につながる事が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to elucidate (I) the cellulose crystal formation process using cellodextrin phosphorylase (CDP), (II) the degradation mechanism of crystalline cellulose by cellulase using simulation, (III) the evolution of processivity in cellulase, (IV) the structure-function relationship of enzymes degrading plant cell walls, (V) the cellulose degradation mechanism. (V) the mechanism of cellulose degradation. (In (I), we succeeded in synthesizing cellulose under microgravity for the first time in the world. (In (II), we showed that the size of the cellulose-binding domain is important for the activity. (In (III), we showed the convergent evolution of processive cellulases, and in (IV), we showed the structure-function relationship of galactan- and xylan-degrading enzymes. And in (V) we put an end to the 70-year debate on cellulose degradation.

研究分野：バイオマス生物学

キーワード：セルラーゼ セルロース 植物細胞壁 ガラクトサン キシラン シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

自然界において木は、多様な酵素を用いて木質バイオマスを生合成している。しかしながら、生合成酵素は単量体の重合を触媒しているに過ぎず、生産された高分子化合物が自己組織化し、物理的に強靱な素材が形作られることが、植物構造ユニットの構築に重要な要素である。一方、自然界では様々な微生物が植物細胞壁を分解しているが、それらの分解酵素は植物構造ユニットの細かな違いを認識し、選択的に分解することで、植物細胞壁の力学的強度を落とすようにデザインされている。すなわち、木質バイオマスは壊すプロセスまでデザインされた強靱な素材であり、その生合成と生分解プロセスは循環型社会のお手本であると言える。

本研究計画は植物細胞壁構成成分同士または構成成分と分解酵素の分子間相互作用に関する情報を多角的に集め、植物構造ユニットの力学的最適化戦略にせまることを目的とする。*in vitro*での植物細胞壁構成分子の形成機構解明は通常様々な物質の混合物として得られる植物細胞壁そのものの観測だけでは得ることが出来ない様々な分子、化学レベルでの知見を得る事が出来る。また植物細胞壁を分解、変化させる酵素の機能解析は多様な構成成分、分子が関わる植物細胞壁のダイナミックな力学的変化を引き起こすメカニズムを紐解く一助となる。これにより本研究を通じ得られる成果は、酵素を用いた *in vitro*での植物細胞壁の再現による新規材料の創生や、木質バイオマスの効率的分解機構の解明とそれによるサステナブル社会の実現につながる事が期待される。

2. 研究の目的

本研究では酵素による木質バイオマスの”形成プロセス”と、”分解プロセス”の側面から、植物の構造システム形成戦略を読み解く事を目的とした。

(I) セロデキストリンホスホリラーゼ (CDP) を利用した、セルロース結晶形成プロセスの解明

木材を構成する主要成分であるセルロースはそれぞれの高分子鎖が規則正しく配向し、結晶性の繊維構造を形成する事で力学的強度を発現する。一方で、このセルロース分子鎖の配向、結晶化機構は未だ明らかになっていない。申請者らは可溶性 β -1,4-グルカン分子の過リン酸分解の逆反応によりセルロース分子鎖を合成可能な酵素、セロデキストリンホスホリラーゼ(CDP)を用いた *in vitro*でのセルロース合成を行い、得られた物質の解析を行う事でセルロース分子鎖の配向・結晶化機構を明らかにする。

(II) シミュレーションを用いた、セルラーゼによる結晶性セルロース分解機構の解明

セルラーゼによる結晶性セルロースの分解はバイオリファイナーの実現等に向けて重要な技術である。本研究では新たな切り口でのセルラーゼ研究として、シミュレーションを用いた分解機構の解析を行う。

(III) セルラーゼにおけるプロセッシビティの進化

結晶性セルロースの分解には、セルラーゼが一旦掴んだ分子を連続的に加水分解していくプロセッシビティが重要な役割を担っている。そこで本研究ではプロセッシブセルラーゼが進化的にどのように発生したかを調べた。

(IV) 植物細胞壁を分解する酵素の構造機能相関

植物細胞壁の分解酵素は成分の多様性に対応するために様々な形をとる。本研究ではアラビノガラクトンプロテイン (AGP) およびキシランの分解に関わる酵素のキャラクタライズを行い、基質の多様性に対して酵素がどのように対応してきたかを調べた。

(V) セルロース分解機構の解明

セルロースの酵素による分解は、長年様々なメカニズムが提唱されてきたが、その決定打となる確証は得られていない状態であった。そこで本研究では、木材腐朽菌のセルラーゼによるセルロースの分解機構を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(I) セロデキストリンホスホリラーゼ (CDP) 酵素を利用した、セルロース結晶形成プロセスの解明

本研究では、安定して CDP によるセルロース合成反応を実施する為、CDP への変異導入による安定化 CDP の作出を行った。具体的には CDP の表面に存在するジスルフィド結合の形成に関与しないシステイン残基に着目し、これを変異させる事により安定化 CDP の作出を行った。次に得られた安定化 CDP 変異体を用い、*in vitro*でのセルロース合成実験を行った。通常、地上条件でのセルロース合成実験

では反応溶液の対流や、生成したセルロース結晶の沈降などセルロース分子そのものの配向、高次構造形成に影響する多くの要因が問題となる。そこで、本研究では宇宙空間でのセルロース合成実験を行う事により、これらの外的要因を排除した条件下でのセルロース結晶形成の観察を目指した。

(II) シミュレーションを用いた、セルラーゼによる結晶性セルロース分解機構の解明

糖質加水分解酵素ファミリー6 および7 に属するセルラーゼは、結晶性のセルロース繊維表面に取り付き連続的にセルロースを分解する。一方で、分解の途中でそれぞれのセルラーゼ分子が接触し、停止する(渋滞する)事が効率的な分解の障壁となると考えられて来た。本研究ではこの渋滞によるセルラーゼ活性の低下メカニズムと、その対策手法を得る為、セルラーゼによる結晶性のセルロース分解反応をシミュレーションにより表現する事を目的とした。

(III) セルラーゼにおけるプロセシビティの進化

セルロース分解性細菌 *Cellulomonas fimi* が生産するセルラーゼ4種 (*CfCel16A*, *CfCel16B*, *CfCel19A*, *CfCel148A*) の組換え酵素を生産し、それらの酵素によるセルロースの分解性と高速原子間力顕微鏡を用いて分子の観察を行った。

(IV) 植物細胞壁を分解する酵素の構造機能相関

植物細胞壁の AGP は高等植物に広くみられ、細胞膜や細胞壁、細胞間層に存在し、植物の生理機能に深く関与していることが知られている。しかしながら、AGP の糖鎖構造は非常に複雑で、構造と機能の相関を調べるのは非常に難しいことが知られていた。そこで、植物のアラビノガラクトタンプロテイン (AGP) 糖鎖を分解するこのガラクトタン分解酵素 *Pe1*, *3Gal143A* の立体構造を明らかにした。

また、 β -キシロシダーゼ (*Bx1*) は、木材の三大成分の一つであるヘミセルロース、キシランの分解で最も下流に位置する酵素であり、キシロースのような五炭糖の代謝に大きく関与している。木材腐朽担子菌 *Phanerochaete chrysosporium* および子嚢菌 *Trichoderma reesei* が生産する GH ファミリー3 に属する β -キシロシダーゼの組換え酵素を生産し、その反応性および結晶化を行った。

(V) セルロース分解機構の解明

木材腐朽担子菌 *Phanerochaete chrysosporium* は、古くからセルロース分解のモデルとして使われてきた菌であることから、本菌が生産する GH ファミリー6 および7 に属するセロピオヒドロラーゼ (*Ce16A* および *Ce17D*) の反応性を、溶解性多糖モノオキシゲナーゼ (*AA9D*) の存在下で調べた。さらに *Ce17D* による結晶性セルロース分解の様子を高速原子間力顕微鏡で観察するとともに、*AA9D* 反応前後の結晶性セルロース表面における水分子の挙動を、分子動力学シミュレーションによって明らかにした。

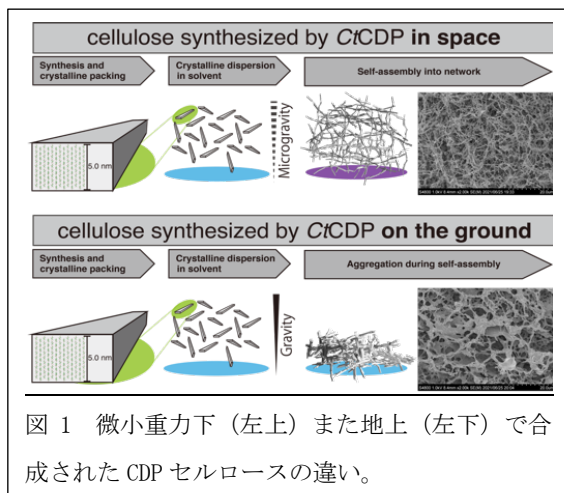


図1 微小重力下(左上)また地上(左下)で合成された CDP セルロースの違い。

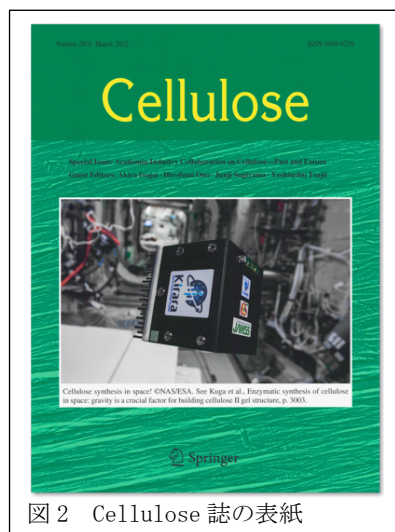


図2 Cellulose 誌の表紙

4. 研究成果

(I) セロデキストリンホスホリラーゼ (CDP) 酵素を利用した、セルロース結晶形成プロセスの解明

CDP 分子表面のジスルフィド結合に関与しないシステインをすべてセリンに変異させる事により、野生型と比較して保存安定性、反応性共に向上した安定型 CDP を取得する事に成功した。これを用いた宇宙空間でのセルロース合成実験を有人宇宙

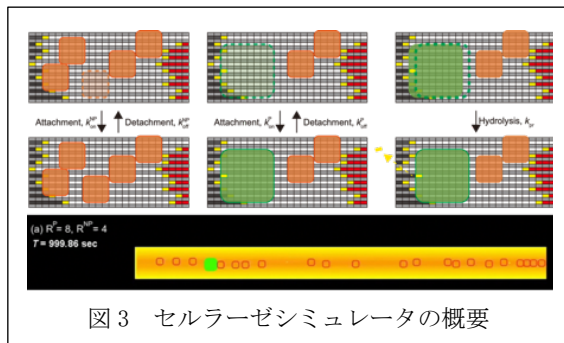


図3 セルラーゼシミュレータの概要

システム株式会社 (JAMSS) と共同で実施した結果、世界で初めての宇宙空間におけるセルロース合成に成功した。地上での対照実験では、微粒子状・塊状のセルロースが合成された一方、宇宙空間で反応を行ったサンプルでは均一なフィルム、あるいはゲル状にセルロースが合成される事を明らかにした。これは反応場の対流や、生成物の沈降等の外乱が無い条件下ではセルロース分子が自発的に高次構造を形成する事を示す結果であった。具体的な分子配向等の解析を進めたところ、合成されたセルロース自体にはほとんど違いはないのに対して、セルロースの積層され方に大きな違いがあることが分かった (図1)。本研究成果は Cellulose 誌 29 巻 5 号 2999-3015 頁に公表され、表紙に選ばれた (図2)。

(II) シミュレーションを用いた、セルラーゼによる結晶性セルロース分解機構の解明

従来、交通渋滞の解析に用いられてきたシミュレーション技法をセルラーゼによる結晶性セルロースに適用する事により、生化学的な反応をシミュレーションにより再現することが出来た。またシミュレーションから分子サイズを変えることが出来れば、渋滞による反応性の低下を解消出来るという知見を得ることが出来た (図3)。本結果は Phys. Rev. Lett. 誌 122 巻 9 号 5 章 098102 頁に掲載された

(III) セルラーゼにおけるプロセッシビティの進化

今回の実験で、セルロース分解性バクテリアの一種である *Cellulomonas fimi* 由来のプロセッシブセルラーゼである CfCel16B と CfCel148A が、セルロース表面上で1方向に動いている様子を観察することに成功した。今回の結果から「同じファミリー6の酵素でもプロセッシブと非プロセッシブな酵素が混じっており、その度合いは様々である」という結論が導かれた。そこで、同じファミリーの酵素がどのようにしてそのような違いを出しているのかそれぞれの酵素の三次元構造から推測したところ、バクテリア由来の非プロセッシブなセルロースをランダムに切断する酵素では、基質結合部が対称な構造で、基質をカバーするループ構造もないのに対して、糸状菌由来の酵素では非対称性とループの数が若干上がり、さらにバクテリア由来のプロセッシブ酵素では極端に非対称になり、ループの数が増えることが分かった (図4)。そのような傾向は全くファミリーが異なる TrCel17A や CfCel148A でも共通して起こっていると考えられた。つまり、もともと骨格が異なる蛋白質であっても、基質結合部を非対称にして、そこをカバーするようにループを配置することで、非プロセッシブな酵素がプロセッシブな酵素に変化、すなわち「収斂進化」することができ、自然界ではそのような共通の戦略で結晶性セルロースを分解できるようになってきたと考えられた。本結果は Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A. 117 巻 33 号 19896-19903 頁に掲載された。

(IV) 植物細胞壁を分解する酵素の構造機能相関

Pc1, 3Gal43A はガラクトランの分解に関わる触媒ドメインとガラクトランを認識する糖質結合モジュールの二つのドメインから構成されている酵素で、どちらのドメインにおいてもガラクトランがはまるくぼみ (基質ポケット) がみられた。触媒ドメインに注目すると、末端のガラクトースの 6 位メチロ

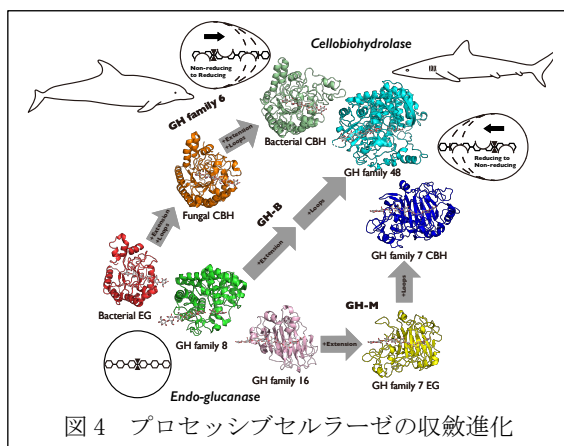


図4 プロセッシブセルラーゼの収斂進化

ール基の先が広く開いており、側鎖がはまること
 ができる空間があった。*Pc1*, *3Gal143A* と同様に枝を
 よけながら幹を切ることができる酵素と、そのよ
 うな活性を示さない酵素における基質ポケットの
 構造を比較してみると、バイパス可能な酵素はい
 ずれも末端の糖の隣に同じような空間が存在して
 いるのに対して、バイパスできない酵素には、この
 ような空間が存在しなかった。本成果は *J. Biol.*
Chem. 誌 295 巻 52 号 18539-18552 頁に掲載された。
 キシランの分解に関しては、キノコ的一种である
Phanerochaete chrysosporium とカビ的一种であ
 る *Trichoderma reesei* のキシラン分解系において
 最も下流で働く Bx1 の組換え酵素を生産し、X 線結
 晶構造解析結果とキシロオリゴ糖に対する活性を
 比較した。その結果、*PcBx13* は *TrXy13A* と比較し
 て N 末端側のループ構造が欠損しており、その分
 基質を認識するサブサイトが短くなっていることが分かった (図 5)。また、*PcBx13* はキシロースが二つづ
 ながったキシロピオース分解活性が高かったのに対して、*TrXy13A* ではキシロースが三つ以上繋がったキ
 シロオリゴ糖に対する活性が高いことが分かり、サブサイトの構造が活性にも影響していることが分かっ
 た。本結果は *J. Biol. Chem.* 誌 298 巻 3 号 101670 頁に掲載された。

(V) セルロース分解機構の解明

本研究では、きのこの一種である *Phanerochaete chrysosporium* が生産する LPMO の AA9D がその他のセル
 ロース分解酵素 (Ce16A, Ce17D) による結晶性セルロースの分解にどのような影響を与えるのかに関して実
 験を行った。その結果、AA9D が自身の生成物である酸化されたオリゴ糖をほとんど出さずに、その他の酵
 素の活性を高めることを発見しました。そこで、セルロース表面で働く Ce17D 分子の様子を高速原子間力
 顕微鏡によって観察したところ、AA9D が一緒に働いている時は、セルロース表面を動く酵素分子の数が多
 くなることが明らかになった (図 6)。さらに、スーパーコンピュータを用いて AA9D によって酸化されたセル
 ロース表面がどのように変化するかを分子動力学シミュレーションしたところ、AA9D によって酸化され
 たセルロースの表面では、酸化されたセルロース分子が浮いてくるだけでなく、周りのセルロース分子
 との水素結合も切れて、そこに水分子が流れ込んで溶ける (非晶化する) ことが分かった。以上の結果を全
 て統合して考えると、LPMO (本研究では AA9D) が一度セルロースを酸化的に開裂させると、その周辺の水
 素結合ネットワークが乱されて、酸化されていないセルロースも水和して非晶化し、その結果他のセルロ
 ース分解酵素 (本研究では Ce6A と Ce17D) が非晶
 化されたセルロース分子を容易に分解できるようになり、それらの酵素が反応するとさらにその周
 辺のセルロースが水和して非晶化されるという連鎖的な反応が始まることで「oxidative boost」が
 起こっていると考えられた。本結果は *Science*
Adv. 誌 8 巻 51 号 eade5155 頁に掲載された。

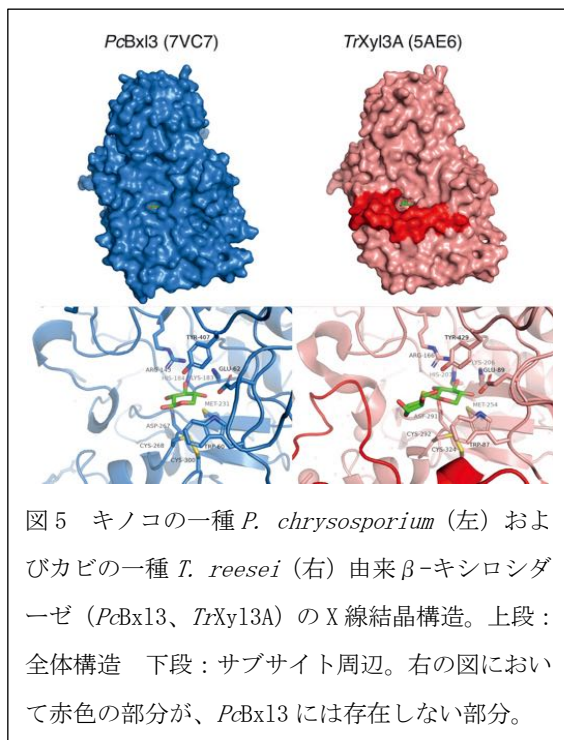


図 5 キノコ的一种 *P. chrysosporium* (左) およ
 びカビ的一种 *T. reesei* (右) 由来 β -キシロシダ
 ーゼ (*PcBx13*, *TrXy13A*) の X 線結晶構造。上段：
 全体構造 下段：サブサイト周辺。右の図におい
 て赤色の部分が、*PcBx13* には存在しない部分。

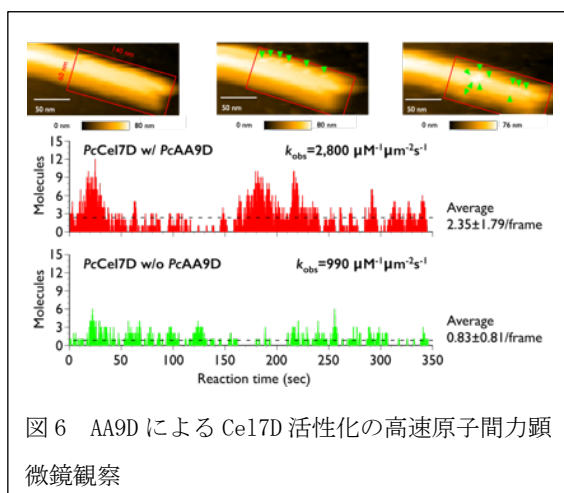


図 6 AA9D による Ce17D 活性化の高速原子間力顕
 微鏡観察

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 25件／うち国際共著 8件／うちオープンアクセス 26件）

1. 著者名 Uchiyama, T., Uchihashi, T., Ishida, T., Nakamura, A., Vermaas, J. V., Crowley, M. F., Samejima, M., Beckham, G. T., *Igarashi, K.	4. 巻 8
2. 論文標題 Lytic polysaccharide monoxygenase increases cellobiohydrolases activity by promoting decrystallization of cellulose surface	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Adv.	6. 最初と最後の頁 eade5155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.ade5155	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 該当する
1. 著者名 Nakagawa, T., Abe, H., Gessei, T., Takeda, K., Igarashi, K., Nakamura, N.	4. 巻 7
2. 論文標題 Biorefinery of galacturonic acid using a biofuel cell as a reactor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Reaction Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 2629-2635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2RE00202G	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 Katsuhara, S., Takagi, Y., Sunagawa, N., Igarashi, K., Takeuchi, Y., Takahashi, K., Yamamoto, T., Tajima, K., Isono, T., and Satoh, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of degree of substitution on the microphase separation and mechanical properties of cellooligosaccharide acetate-based elastomers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbohydr. Polymers	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbpol.2023.120976	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 Kojima, J., Sunagawa, N., Yoshimi, Y., Tryfona, T., Samejima, M., Dupree, P., and Igarashi, K.	4. 巻 69
2. 論文標題 Acetylated xylan degradation by glycoside hydrolase family 10 and 11 xylanases from the white-rot fungus Phanerochaete chrysosporium	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Appl. Glycosci.	6. 最初と最後の頁 35-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5458/jag.jag.JAG-2021_0017	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 該当する

1. 著者名 Kuga, T., Sunagawa, N., and Igarashi, K.	4. 巻 29
2. 論文標題 Enzymatic synthesis of cellulose in space: gravity is a crucial factor for building cellulose II gel structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 2999-3015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10570-021-04399-0	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 Kojima, K., Sunagawa, N., Mikkelsen, N. E., Hansson, H., Karkehabadi, S., Samejima, M., Sandgren, M., & Igarashi, K.	4. 巻 298
2. 論文標題 Comparison of glycoside hydrolase family 3 -xylosidases from basidiomycetes and ascomycetes reveals evolutionarily distinct xylan degradation systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Biol. Chem.	6. 最初と最後の頁 101670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbc.2022.101670	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 該当する

1. 著者名 Okmane, L., Nestor, G., Jakobsson, E., Xu, B., Igarashi, K., Sandgren, M., Kleywegt, G. J., and Stahlberg, J.	4. 巻 277
2. 論文標題 Glucomannan and beta-glucan degradation by Mytilus edulis Cel45A: Crystal structure and activity comparison with GH45 subfamily A, B and C.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Carbohydrates. Polymer	6. 最初と最後の頁 118771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbpol.2021.118771	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 該当する

1. 著者名 Katsuhara, S., Takagi, Y., Sunagawa, N., Igarashi, K., Yamamoto, T., Tajima, K., Isono, T., and Satoh, T.	4. 巻 9
2. 論文標題 Enhanced self-assembly and mechanical properties of cellulose-based triblock copolymers: comparisons with amylose-based triblock copolymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Sustain. Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 9779-9788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.1c02180	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 Nakamura, A., Kanazawa, T. Furuta, T., Sakurai, M., Saloheimo, M., Samejima, M., Koivula, A., Igarashi, K.	4. 巻 68
2. 論文標題 Role of tryptophan 38 in loading substrate chain into the active-site tunnel of cellobiohydrolase I from <i>Trichoderma reesei</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Appl. Glycosci.	6. 最初と最後の頁 19-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5458/jag.jag.JAG-2020_0014	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 該当する

1. 著者名 Yamaguchi, S., Sunagawa, N., Matsuyama, K., Tachioka, M., Hirota, E., Takahashi, S., Igarashi, K.	4. 巻 38
2. 論文標題 Preparation of large-volume crystal of cellulase under microgravity to investigate the mechanism of thermal stabilization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Int. J. Micrograv. Sci. Appl.	6. 最初と最後の頁 380103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011/jasma.38.1.380103	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 Matsuyama, K., Kishine, N., Fujimoto, Z., Sunagawa, N., Kotake, T., Tsumuraya, Y., Samejima, M., Igarashi, K., and Kaneko S.	4. 巻 295
2. 論文標題 Unique active site and subsite features in the arabinogalactan-degrading GH43 exo- α -1,3-galactanase from <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Biol. Chem.	6. 最初と最後の頁 18539-18552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.RA120.016149	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 Pylkkanen, R., Mohammadi, P., Arola, S., de Ruijter, J. C., Sunagawa, N., Igarashi, K., and Penttila, M.	4. 巻 21
2. 論文標題 In vitro synthesis and self-assembly of cellulose II nanofibrils catalyzed by the reverse reaction of <i>Clostridium thermocellum</i> cellodextrin phosphorylase	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biomacromolecules	6. 最初と最後の頁 4355-4364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biomac.0c01162	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 該当する

1. 著者名 Nakamura, A. Ishiwata, D., Visootsat, A. Uchiyama, T., Mizutani, K., Kaneko, S., Murata, T., Igarashi, K., and Iino, R.	4. 巻 295
2. 論文標題 Domain architecture divergence leads to functional divergence in binding and catalytic domains of bacterial and fungal cellobiohydrolases	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Biol. Chem.	6. 最初と最後の頁 14606-14617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.ra120.014792	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 Uchiyama, T., Uchihashi, T., Nakamura, A., Watanabe, H., Kaneko, S., Samejima, M., and Igarashi K.	4. 巻 117
2. 論文標題 Convergent evolution of processivity in bacterial and fungal cellulases	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.	6. 最初と最後の頁 19896-19903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2011366117	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 Matsuyama, K., Kondo, T., Igarashi, K., Sakamoto, T., and Ishimaru, M.	4. 巻 252
2. 論文標題 Analysis of substrate-recognition mechanism of tomato α -galactosidase 4 using X-ray crystallography and docking simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Planta	6. 最初と最後の頁 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00425-020-03481-4	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 de Ruijter, J. C., Igarashi, K., and Penttila, M.	4. 巻 20
2. 論文標題 The <i>Lipomyces starkeyi</i> gene Ls120451 encodes a cellobiose transporter that enables cellobiose fermentation in <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 FEMS Yeast Res.	6. 最初と最後の頁 foaa019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/femsyr/foaa019	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 該当する

1. 著者名 Tsutsui, S., Sakuragi, K., Igarashi, K., Samejima, M., and Kaneko, S.	4. 巻 67
2. 論文標題 Evaluation of ammonia pretreatment for enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse to recover xylooligosaccharides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Appl. Glycosci.	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.098102	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 Takeda, K., Ishida, T., Yoshida, M., Samejima, M., Hiroyuki Ohno, Igarashi, K., and Nakamura, N.	4. 巻 85
2. 論文標題 The crystal structure of the catalytic domain and the cytochrome b domain in a eukaryotic PQQ-dependent dehydrogenase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Environ. Microbiol.	6. 最初と最後の頁 e01692
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/AEM.01692-19	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 五十嵐圭日子, 立岡美夏子	4. 巻 32
2. 論文標題 セルラーゼの中性子構造解析で明らかにするタンパク質における互変異の重要性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 59-66
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 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 Kumakura, K., Hori, C., Matsuoka, H., Igarashi, K. and Samejima, M.	4. 巻 99
2. 論文標題 Protein Components of Water Extracts From Fruiting Bodies of the Reishi Mushroom Ganoderma Lucidum Contribute to the Production of Functional Molecules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Sci. Food Agric.	6. 最初と最後の頁 529-535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jsfa.9211.	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 The CAZyedia Consortium	4. 巻 28
2. 論文標題 Ten years of CAZyedia: a living encyclopedia of carbohydrate-active enzymes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Glycobiology	6. 最初と最後の頁 3-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/glycob/cwx089	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 該当する

1. 著者名 Sakuragi, K., Hori, C., Igarashi, K. and Samejima, M.	4. 巻 64
2. 論文標題 Secretome analysis of the basidiomycete <i>Phanerochaete chrysosporium</i> grown on ammonia-treated lignocellulosic biomass from birch wood.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Wood Sci.	6. 最初と最後の頁 845-853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10086-018-1770-4	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, K., Sunagawa, N., Terada, T., Takahashi, Y., Arakawa, T., Igarashi, K., Samejima, M., Nakai, H., Taguchi, H., Nakajima, M., and Fushinobu, S.	4. 巻 293
2. 論文標題 Structural and thermodynamic insights into α -1, 2-glucooligosaccharide capture by a solute-binding protein in <i>Listeria innocua</i> .	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Biol. Chem.	6. 最初と最後の頁 8812-8828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.RA117.001536	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 Sakuragi, K., Igarashi, K. and Samejima, M.	4. 巻 148
2. 論文標題 Application of ammonia pretreatment to enable enzymatic hydrolysis of hardwood biomass.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Degrad. Stabil.	6. 最初と最後の頁 19-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polydegradstab.2017.12.008	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 Kato, S., Hayashi, M., Kitagawa, M., Kajiura, H., Maeda, M., Kimura, Y., Igarashi, K., Kasahara, M. and Ishimizu, T.	4. 巻 475
2. 論文標題 Degradation pathway of plant complex-type N-glycans: identification and characterization of a key 1, 3-fucosidase from glycoside hydrolase family 29.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochem. J.	6. 最初と最後の頁 305-317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1042/BCJ20170106.	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 Sakuta, R., Takeda, K., Igarashi, K., Ohno, H., Nakamura, N.	4. 巻 6
2. 論文標題 Enzymes suitable for biorefinery to coproduce hexaric acids and electricity from hexuronic acids derived from biomass	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Energy Technology	6. 最初と最後の頁 273-279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ente.201700404	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 五十嵐圭日子	4. 巻 70
2. 論文標題 バイオエコノミートランスフォーメーション - 持続可能社会を真に実現するためのアプローチ -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 バイオプラジャーナル	6. 最初と最後の頁 10-14
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 -

1. 著者名 五十嵐圭日子	4. 巻 61
2. 論文標題 バイオマスを利用して地球を守る	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 横河技報	6. 最初と最後の頁 33-34
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 五十嵐圭日子	4. 巻 41
2. 論文標題 中性子で解き直し	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 四季	6. 最初と最後の頁 1
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計48件 (うち招待講演 29件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Lignobiotech for the realization of Circular Bioeconomy
3. 学会等名 Lignobiotech2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 固液界面におけるセルラーゼの動的挙動とシミュレーション化
3. 学会等名 物性研短期研究会「理論タンパク質物性科学の最前線：理論と実験との密な協働」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 SX (サステナブルトランスフォーメーション) のためのサーキュラーバイオエコノミー
3. 学会等名 FIoTコンソーシアム第2回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 バイオエコノミーからサーキュラーバイオエコノミーへの転換
3. 学会等名 BioJapan2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 循環型で生物圏に負荷をかけない社会「サーキュラーバイオエコノミー」
3. 学会等名 第31回ポリマー材料フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 サーキュラーバイオエコノミーの世界潮流とバイオ戦略との関係
3. 学会等名 分離技術会年会2022特別シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武田 康太
2. 発表標題 バイオ燃料電池によるグルカル酸生産のための触媒としてのPQQ依存性酵素
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 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Nordic Polymer Conference/Nordic Polymer Days 2021
3. 学会等名 Enzymatic degradation and synthesis of crystalline cellulose (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 セルロース分解酵素の中性子構造と古くて新しい加水分解反応メカニズム
3. 学会等名 iBIXタンパク質構造研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 サーキュラーバイオエコノミー:循環型で生物圏に優しい経済活動
3. 学会等名 東京大学未来ビジョン研究センター研究報告会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 植物細胞壁の生分解と生合成を模した循環型もの作り
3. 学会等名 第38回日本植物バイオテクノロジー学会 (つくば) 大会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 宇宙と糖
3. 学会等名 日本応用糖質科学会第1回企画戦略会議（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Breaking and making cellulose by enzymes: Perspective on biomass research in Japan and Scandinavia
3. 学会等名 JSPS-ACD hybrid seminar: Biosustainable Chemistry from Biomass（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 サーキュラーバイオエコノミーにおける酵素学の重要性
3. 学会等名 第73回日本生物工学会大会シンポジウム「バイオエコノミーとグローバルバイオテクノロジー」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 サーキュラーバイオエコノミー革命：農業はただのバイオじゃない
3. 学会等名 「知」の集積と活用の中産学連携協議会 第1回畜産セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 次世代バイオマス変換技術：サーキュラーバイオエコノミー実現のためにいかに酵素を利用するか
3. 学会等名 神戸大ワークショップ2021（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 サーキュラー バイオエコノミー：世界の潮流
3. 学会等名 長岡バイオエコノミー・シンポジウム2022（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 サーキュラーバイオエコノミーと脱炭素・バイオマス研究の未来
3. 学会等名 日本バイオインダストリー協会植物バイオ研究会 第2回勉強会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島圭輔、砂川直輝、五十嵐圭日子、Paul Dupree
2. 発表標題 アセチルキシランに対するPhanerochaete chrysosporium由来キシラナーゼ二種の反応特性の比較解析
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口空、砂川直輝、松山佳織、古久保美樹、立岡美夏子、田仲広明、高橋幸子、広田恵理華、五十嵐圭日子
2. 発表標題 担子菌Phanerochaete chrysosporium由来CeI6 CBHの熱安定化メカニズム解明を目指した宇宙空間での大型結晶化
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川裕太郎、砂川直輝、五十嵐圭日子
2. 発表標題 コヘシンとドッケリンを用いた真菌セルラーゼの触媒ドメインとCBMの連結
3. 学会等名 第69回日本応用糖質科学学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久我友大、砂川直輝、鯨島正浩、五十嵐圭日子
2. 発表標題 加リン酸分解酵素を用いて合成したセルロースII結晶表面の原子レベル観察
3. 学会等名 第69回日本応用糖質科学学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐圭日子
2. 発表標題 セルラーゼの中性子構造から見える酵素におけるプロトンリレーの重要性
3. 学会等名 第93回生化学学会大会「タンパク質の高速分子動画撮影の汎用化に向けて」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐圭日子
2. 発表標題 糖加水分解酵素の機能と形：セルラーゼを例に
3. 学会等名 令和2年度 日本応用糖質科学会東日本支部ミニシンポジウム「埼玉の糖鎖研究の新展開 - 見えない動きを観る新技術を糖鎖研究にどう生かすか - 」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐圭日子
2. 発表標題 植物学のバイオエコノミートランスフォーメーション (BEX)
3. 学会等名 日本学術振興会産学協力研究委員会 地球環境・食糧・資源のための植物バイオ第160委員会 第12回研究会「植物バイオ産業におけるバイオエコノミー」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 砂川直輝、古久保美樹、五十嵐圭日子、望月誠、大野ふみ、松尾英典、伊賀光博
2. 発表標題 酵母による組換え酵素生産性向上に向けた自動化培養システムの構築
3. 学会等名 第70回日本木材学会鳥取大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松山佳織、五十嵐圭日子、金子哲、石田卓也、藤本瑞
2. 発表標題 白色腐朽菌Phanerochete chrysosporium由来 -1,3-ガラクタナーゼの結晶構造解析
3. 学会等名 第70回日本木材学会鳥取大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久我友大、砂川直輝、鯨島正浩、五十嵐圭日子
2. 発表標題 セロデキストリンホスホリラーゼにより合成されたセルロース微結晶の解析
3. 学会等名 第26回セルロース学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Sunagawa
2. 発表標題 New Cellulosic Materials via Cellulose Endo-Transglycosylases and Cellodextrin Phosphorylases
3. 学会等名 The 2019 Gordon Research Conference on Carbohydrate-Active Enzymes for Glycan Conversions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐 圭日子
2. 発表標題 バイオエコノミーの実現に向けたセルラーゼの基礎研究：10 ¹⁵ の壁を越えて
3. 学会等名 バイオ・高分子研究会/バイオミメティクス研究会合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Neutron and high-resolution X-ray structural studies of cellulases
3. 学会等名 J-PARC Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Molecular mechanisms of cellulases
3. 学会等名 7th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Kine, Naoki Sunagawa, Kiyohiko Igarashi, Masahiro Samejima
2. 発表標題 Function of an α -L-arabinofuranosidase in the cellulosic biomass degradation by the white-rot basidiomycete Phanerochaete chrysosporium
3. 学会等名 LignoBiotech 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kaori Matsuyama, Tatsuya Kondo, Naoki Sunagawa, Tatsuji Sakamoto, Megumi Ishimaru, Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 The hydrolytic activity of α -D-glucanase from peach
3. 学会等名 LignoBiotech 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松山佳織、近藤辰哉、中江撰、五十嵐圭日子、阪本龍司、多田俊治、石丸恵
2. 発表標題 トマト α -ガラクトシダーゼ(TBG)4の基質認識機構について
3. 学会等名 第12回植物細胞壁研究者ネットワーク2018年定例研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島圭輔、砂川直輝、五十嵐圭日子、鮫島正浩
2. 発表標題 -キシロシダーゼの基質特異性から見えるきのこことかびにおけるバイオマス分解戦略の違い
3. 学会等名 第12回植物細胞壁研究者ネットワーク2018年定例研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Kojima, Naoko Sunagawa, Kiyohiko Igarashi, Masahiro Samejima
2. 発表標題 Substrate specificity and kinetics analysis of beta-xylosidase from the basidiomycete <i>Phanerochaete chrysosporium</i>
3. 学会等名 第6回アジアバイオマス科学会議（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 砂川直輝、五十嵐圭日子、鮫島正浩、篠原直貴、九鬼寛明、黒羽剛、横山隆亮、西谷和彦
2. 発表標題 植物由来新規XTH酵素が有するセルロース基質に対する糖転移活性の解析
3. 学会等名 セルラーゼ研究会第32回大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木根啓太、砂川直輝、五十嵐圭日子、鮫島正浩
2. 発表標題 担子菌 <i>Phanerochaete chrysosporium</i> における -L-アラビノフラノシダーゼの役割
3. 学会等名 セルラーゼ研究会第32回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松山佳織、砂川直輝、五十嵐圭日子、石丸恵、近藤辰哉、阪本龍司
2. 発表標題 モモ果実由来 -エクスパンシンの糖加水分解活性
3. 学会等名 セルラーゼ研究会第32回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島圭輔、砂川直輝、五十嵐圭日子、鮫島正浩
2. 発表標題 糸状菌由来GH family3 -キシロシダーゼの構造と反応特性の比較解析
3. 学会等名 セルラーゼ研究会第32回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉松竜宏、砂川直輝、五十嵐圭日子、鮫島正浩
2. 発表標題 担子菌Phanerochaete chrysosporium 由来エンドグルカナーゼPc Cel12Aの機能解析
3. 学会等名 セルラーゼ研究会第32回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Redox contribution of CDH and LPMO on lignocellulose degradation by the white-rot fungus Phanerochaete chrysosporium
3. 学会等名 2nd LPMO Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Molecular Mechanisms of Cellulases
3. 学会等名 5th Symposium of Biotechnology Applied to Lignocelluloses (Lignobiotech) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Enzymes degrading cellulose: from molecular mechanisms to traffic simulator
3. 学会等名 American Chemical Society's Cellulose and Renewable Materials Division, 255th ACS National Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十嵐圭日子
2. 発表標題 中性子結晶構造解析による立体反転型セルラーゼ反応メカニズムの解明
3. 学会等名 平成30年度J-PARC MLF産業利用報告会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyohiko Igarashi
2. 発表標題 Overview of Bioeconomy
3. 学会等名 Innovation for Cool Earth Forum (ICEF) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十嵐圭日子
2. 発表標題 化学者がスルーできないバイオエコノミー：次世代の物質変換を取り巻く新しい価値観
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>セルロースの表面を溶かして分解する酵素の機能を解明 70年にわたる議論に終止符 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20221224-1.html キノコとカビにおけるヘミセルロース分解戦略の微妙な違い https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20220225-1.html 枝をよけながら幹を切る:複雑な糖鎖を分解できる酵素のユニークな構造 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20201027-2.html 蛋白質レベルの収斂進化によって微生物は結晶性セルロースを壊せるようになった https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20200804-1.html 世界初、宇宙でのセルロース酵素合成に成功 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/news/news_20200316-1.html 真核生物初のピロロキノリンキノン依存性脱水素酵素の立体構造を決定 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20191216-1.html 希少なオリゴ糖 “ -1,2-グルコオリゴ糖 ” を細菌が捕まえるしくみを解明 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/2018/20180510-1.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	

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			
米国	National Renewable Energy Laboratory	Michigan State University		
英国	University of Cambridge			
フィンランド	Aalto University			
フィンランド	VTT Technical Research Centre of Finland			
英国	Cambridge University			

共同研究相手国	相手方研究機関			
スウェーデン	SLU			
ノルウェー	NTNU	Norwegian University of Life Sciences		
オーストリア	BOKU			