

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21H01973
研究課題名（和文）キチンを再生可能炭素・窒素資源として利用するための効率的な触媒反応法の開発

研究課題名（英文）Development of catalytic reactions for the utilization of chitin as a renewable carbon and nitrogen resource

研究代表者
小林 広和（Kobayashi, Hirokazu）
東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：30545968
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：バイオマスは再生可能な炭素資源であるが、二番目に豊富な資源であるキチンを用いれば、分子内に窒素原子を含むため、窒素資源としても利用することができる。しかし、キチンは極めて難分解性であり、その化学資源としての利用はほとんど進んでいない。本研究では、メカノケミカル反応条件において、弱酸点を持つ活性炭がキチンを選択的に加水分解し、キチンオリゴ糖を高収率で与えること、そして機械的な力が化学反応を促進する機構を明らかにし、キチンオリゴ糖の用途開発も行った。また、キチンオリゴ糖の分解物であるN-アセチルグルコサミンをポリマー原料に転換する新反応機構を作り出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

キチンは豊富に存在する一方で、化学資源としての利用はほとんど進んでいない。本研究ではキチンをメカノケミカル反応により選択的にキチンオリゴ糖に変換することに成功し、その植物免疫賦活化能を利用して農業用途の開発にも至った。低農薬かつ高収穫量の農業に貢献できると考えている。また、キチンオリゴ糖をさらに分解して得られるN-アセチルグルコサミンから有用なモノマーを合成するための新反応機構を開発し、反応効率を大幅に高めることができ、また実際にポリマーが得られるところまで示すことができた。キチン誘導体を化学品原料として利用する道筋をつけることができたと考えている。

研究成果の概要（英文）：Biomass is a renewable carbon resource, and chitin, the second most abundant resource, is also a nitrogen resource because it contains nitrogen atoms in its monomer units. However, chitin is very recalcitrant, and the utilization of chitin has been hampered. This work clarified that an activated carbon with weak acid sites selectively hydrolyzes chitin under mechanochemical conditions, giving chitin oligosaccharides in a high yield. We clarified the mechanism of how mechanical forces accelerates the hydrolysis reaction. In addition, we developed an application of chitin oligosaccharides in agriculture. In the utilization of N-acetylglucosamine, the compound was converted to a potential monomer for producing N-containing polymers by a new reaction mechanism.

研究分野：触媒プロセス、資源化学プロセス

キーワード：キチン 窒素循環 触媒 メカノケミストリー ポリマー

1. 研究開始当初の背景

バイオマスは唯一の有機化合物からなる再生可能資源であり、その構造を活かして化学変換を行えば様々な化学品を合成できる。バイオマスとしては、これまで木質、デンプン、油脂などが原料として主に検討されてきた。これらのバイオマスの構成元素は、いずれも C、H、O のみである。一方、海洋バイオマスであるキチン(Fig. 1)は、分子内に窒素を有することに特徴があり、有機窒素化合物の合成原料にできる。さらに、キチンは、推定で年間 1000 億トン発生し、大部分が *N*-アセチルグルコサミン(NAG)という糖からなる高分子であるため、特定の化合物を大量に合成しやすい。有機窒素化合物は、ポリアミドなどに代表されるように、窒素なしでは得られない優れた機能を示すため、不可欠な物質群である。

キチンは、このように化学品原料として有望であるが、水に溶けず、強固な会合構造を持つため、その分解は極めて困難である。工業的なキチンの加水分解は、大量の濃塩酸を溶媒として使用し、さらに酵素反応も必要としている。この難分解性のために、キチンはその 99% が利用されずに廃棄されており、キチン分解物を利用した研究もごく限られている。

キチンと構造が類似するセルロース分解の研究は広く行われてきたが、分子内に窒素を持つキチンは、窒素官能基の求核性と塩基性によって著しく異なる反応性を示すため、従来のバイオマス変換反応はキチンにはそのまま適用できない。したがって、効率的な分子変換のためには新たな学理の開拓が必要である。特に、バイオマス変換として環境負荷の低減に貢献するためには、大量に生産されるバルクケミカルの合成に適用できる触媒反応の開発が必須である。

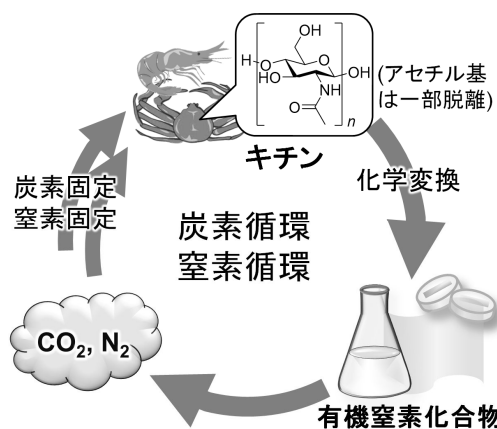


Fig. 1 キチンを用いた含窒素バイオリファイナリー

2. 研究の目的

キチンから有用な有機窒素化合物を効率的に合成するための触媒反応を開発するとともに、その学理を構築することが目的である(Fig. 2)。まず、キチンを効率的に加水分解して NAG を合成するための新規触媒設計と学術的な機構解明を行う。次に、NAG から付加価値が高く、かつ大きな需要が見込める化学品への変換経路を考案し、その実現に必要な触媒反応を開発する。本研究を通じて、含窒素糖化合物の反応制御に関する学理の構築を目指す。

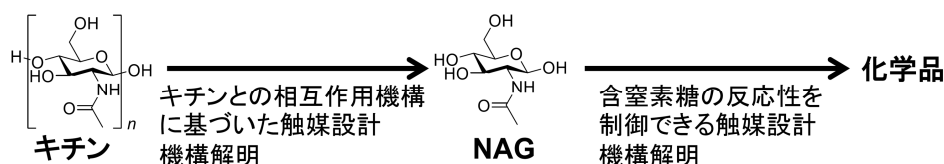


Fig. 2 本研究の目的

3. 研究の方法

キチンは極めて強固な固体であるが、報告者らはボールミル処理の機械的な力を援用すると、硫酸存在下で触媒的なキチンの加水分解が進行することを見出している。硫酸よりも優れた固体触媒を開発し、キチンの効率的かつ選択的な加水分解を目指すこととした。また、機械的な力が反応を促進する機構の解明をモデル実験や物理化学的な方法を用いて行った。

次に、キチン分解物である NAG の変換反応を検討した。窒素を含有するポリマーに変換できれば、付加価値が高く、かつ使用量も多いので有意義であると考え、ポリマー原料となるモノマー構造を提案し、実際にそのモノマーを合成するための触媒反応開発や反応開発指針を得るための詳細な研究を行った。

4. 研究成果

4.1 固体触媒によるキチンのメカノケミカル加水分解

キチンはセルロースと類似して、エキシアル面には多数の極性官能基を持つ一方で、アキシアル面には非極性の C-H 基のみを持つ。炭素材料は多環芳香族を持つため、CH₂ 相互作用によって、キチン分子をアキシアル面から強く吸着できる可能性がある。しかも、グラフェンシートから成る炭素は構造に柔軟性があり、固体のキチンと物理的な接触も形成しやすいと考えられる。このような理由から、活性点としてエッジサイトにカルボキシ基などの弱酸点をもつ炭素を触媒に用いればキチンを加水分解できるのではないかと考えた。活性炭(AC)を空気酸化することによって弱酸点(カルボキシ基: 約 2mmol/g)を導入し、AC-Air と名付ける触媒を得た。キチンを AC-Air とともにアルミナポットに入れ、12 時間遊星ミル処理を行ったところ、NAG と 2~6 量体程度のオリゴ糖が合計収率 35% で得られた(Fig. 3)。特にオリゴ糖の選択率が 90% 程度と高かった。空気酸化していない活性炭(AC)を用いると糖収率は 6% に低下し、活性点として弱酸が機能していることを示している。また、典型的な固体酸としてゼオライトなどを用いたが、AC-Air の方が活性が高く、炭素上の酸点の方がキチンに対してアクセスしやすいことを反映したものと考えられる。また、AC-Air を触媒に用いて反応時間を 48 時間まで伸ばすと NAG とオリゴ糖の合計収率は 74% に増加した。この時のキチンの転化率に相当する可溶性率は 72% であり、誤差範囲で両者が一致している。つまり、未同定副生成物がほとんど生じなかった。

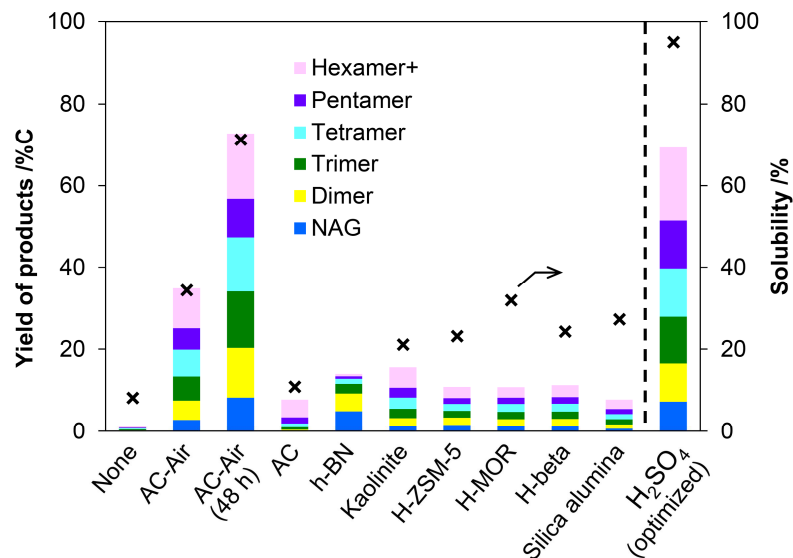


Fig. 3. キチンのメカノケミカル加水分解における固体触媒のスクリーニングと硫酸との比較. 500 rpm, 12 h. AC-Air: 空気酸化活性炭. AC: 活性炭.

比較のために硫酸を触媒に用いて反応条件を最適化したところ、NAG とオリゴ糖合計の収率は 69% となり、AC-Air を用いた場合と近い値になったが、20% 以上の未同定生成物が副生した。したがって、AC-Air を用いることにより、単に触媒を固体化しただけではなく、選択率も向上させることができた。この触媒系はキチンオリゴ糖の選択的な合成に非常に適している。

キチンオリゴ糖は NAG の原料とすることができるが、キチンオリゴ糖のまま用いる用途があることがわかってきた。キチンオリゴ糖は植物の免疫を活性化するための材料(エリシター)として働く。そのため、ppm オーダーの微量のキチンオリゴ糖を含む水を農作物に散布すると、作物の免疫が活性化され、病害抵抗性を高められることが分かった。メカノケミカル法によるキチンオリゴ糖合成は 2023 年に実用化され、2024 年から本オリゴ糖を含む製品が本格販売に至っている。

AC-Air を用いたキチン加水分解の反応選択性を明らかにするために経時変化を測定した。その結果、転化率が向上するにつれて、いずれのオリゴ糖もほぼ直線的に増加し、逐次的な加水分解が遅いことが分かった。この挙動を理解するために、高分子を加水分解する時の選択性をシミュレートするモンテカルロ法に基づいたプログラムを作成した。メルセンヌツイスターにより発生させた乱数を用いて 200 量体のキチンが例えば 50 回加水分解されるシミュレーションを 100 万回繰り返すことで確率論的な生成物分布を求めることができる。その結果、全てのグリコシド結合が完全にランダムに切断された場合と実際の生成物分布がよく一致することが分かった。これに従えば、例えばグリコシド結合を 9 個持つ 10 量体は、1 つしか持たない 2 量体よりも 9 倍速く加水分解される。これは、比較的小さいオリゴ糖を高収率で蓄積できることを意味しており、本系がオリゴ糖合成に適していることを示している。

4.2 メカノケミカル加水分解の機構解明

メカノケミカル法による多糖の加水分解は有用な反応であるが、ボールミルによりかかる力とそれが及ぼす影響は明らかにされておらず解明が俟たれる。まず、ボールミル処理中に進行するキチンの加水分解が、ボールの衝突によって発生する機械的な力と熱のどちらによって促進されているのか識別する必要がある。そこで、キチンに対して触媒としてリン酸を担持し、遊星ミル処理を行う実験と、キチンを単独で遊星ミル処理して非晶質化させたのちにリン酸を担持して加熱する実験の二つを行った。その結果、ミル処理反応では、試料は淡黄色を維持し、キチンオリゴ糖が得られ、酢酸は全く検出されなかった。一方、加熱実験では、温度と時間の調整によってオリゴ糖が生成する場合はあるものの、試料の褐色化が顕著であり、多量の酢酸が生成した。したがって、ミル処理による反応は熱だけの反応では再現できず、機械的な力が重要な役割を果たしていることが明らかになった。これは、メカノケミカル反応であると結論した。

そこで、機械的な力が化学反応に対してどのように作用しているのか明らかにするため、古典力学計算と量子力学計算を組み合わせる検討を行った。まず、古典力学計算により、ミル処理中のボールの運動速度を概算した後、そのボールの衝突によって発生する応力を求めた。その結果、最高で 7 GPa ほどの圧縮応力と、1.5 GPa ほどの引張応力が発生するという計算結果が得られた。これは、キチン 1 分子の断面積に対応させると、圧縮力は 2 nN、張力は 0.5 nN と算出される。応力集中も合わせて考えると、キチン分子に対して最高でナニュートンオーダーの圧縮力・張力がかかると推定できた。

このような力がキチン分子にかかる化学的どのような影響があるのか DFT 計算により調べた。まず、キチン分子の両端をナニュートンオーダーの力で引っ張ると分子が伸長し、その電子状態が変化することが分かった。特にグリコシド結合の酸素原子の電子密度が増大する。例えば 3 nN の力でセルロースやキチン分子を引っ張ると共有結合が伸びて分子全体として約 7.5% 伸長し、プロトン親和力は 30 ~ 35 kJ mol⁻¹ 増大した。この結果は、張力が存在すると、加水分解に必要なプロトン化の平衡が生成系側にかなりシフトすることを示している。一方、圧縮した場合には、共有結合が縮むよりも分子がねじれるなどのコンフォメーション変化が支配的であり、プロトン親和力はほとんど変化しなかった。

さらに、変形させた後に加水分解されやすさがどう変化するか調べた。その結果、張力をかけた場合にも圧縮力をかけた場合にもキチンのグリコシド結合が選択的に活性化され、加水分解されやすくなることが分かった (Fig. 4)。圧縮力をかけた場合に活性化が起こるのは、コンフォメーション変化によってジヒドロピラン環の酸素の非共有電子対とグリコシド結合がアンチペリプラナーの配座になり、グリコシド結合の *軌道との重なりが最大化するためである。機械的な力による分子活性化機構を定量的に明らかにできたことは、他のメカノケミカル反応を理解する上でも有用であると考えている。

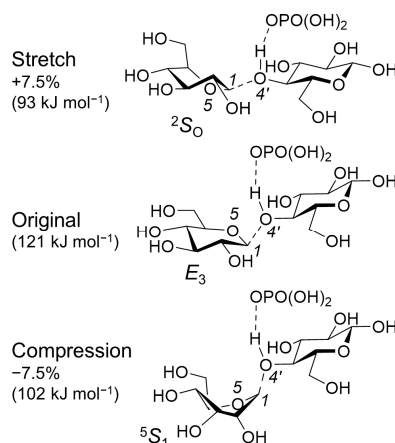


Fig. 4. 分子を力により変形させた場合の加水分解. 計算の軽量化のためセロピオースで計算、酸触媒としてリン酸を仮定. B3LYP/6-31+G(d,p). 比誘電率 = 4.3 を仮定.

4.3 NAG からの化学品合成

キチンオリゴ糖は比較的容易に加水分解でき、NAG が選択率よく得られる。NAG から誘導できる化合物として、水素化により 2-アセトアミド-2-デオキシソルビトール(ADS)とし、さらに 2 回の脱水を経ることで生成する 2-アセトアミド-2-デオキシイソソルピド(ADI)を報告者らはすでに提案している (Fig. 5)。ADI は、窒素を含むポリマー原料になると期待できる。

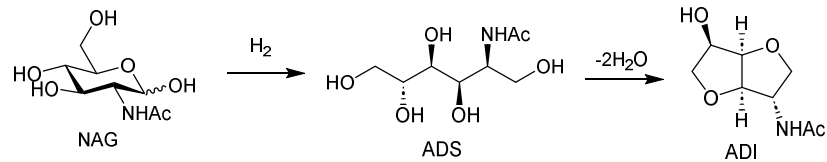


Fig. 5. NAG の ADI への変換.

しかし、これまでの検討では ADS から ADI を合成するためには超強酸を多量に使う必要があった。今回、別の発想によりあえて弱酸触媒のスクリーニングを行い、亜リン酸がとりわけ高い活性を示すことを見出した。反応機構を調べたところ、通常の酸触媒反応とは異なり、亜リン酸エステル中間体が生成し、それが脱離基として作用することにより ADI が生成するために必要な活性化エネルギーが大きく低下していることが示唆された (Fig. 6)。ADS の脱水反応では分子内に存在するアミド基が強酸を補足してしまうので、弱酸により脱水が進行したことは意義深く、ADS に限らずアミド基を持つ化合物に対して酸触媒反応を起こしたい場合の代替経路の候補になるものと考えている。

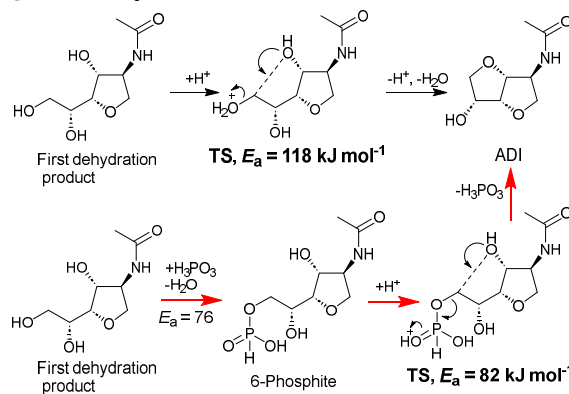


Fig. 6 一般的な酸反応機構と亜リン酸が関与した反応機構の違い。活性化エネルギーは B3LYP/6-31+G(d,p) により算出。

現在、ADI やそのフリーアミン体を用いて実際にポリマーが合成しうるところまで確認できている。

次に、ADS の変換反応を検討する中で、塩基触媒存在下、炭酸ジメチルを反応させると、キラルオキサゾリジノン **1** が得られることを見出した。キラルオキサゾリジノン類は、MRSA などの細菌に対し、抗生物質として機能するものが知られており、バイオマス由来の糖から、極めて容易な反応により、キラルオキサゾリジノンに誘導できたことは興味深い。

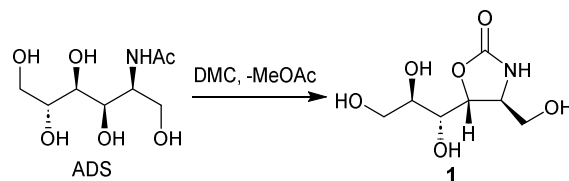


Fig. 7 ADS のオキサゾリジノンへの変換.

また、NAG の誘導体である 3-アセトアミド-5-アセチルフラン (3A5AF) は、芳香族化合物であり、バイオマス由来芳香族基材として注目されている。選択的に部分酸化できれば、分子内にカルボキシ基とアミノ基を持つ 3-アセトアミド-5-カルボキシフランになるので、ポリアミド原料として期待できる。しかし、この物質の反応性はよく分かっておらず、効率的な酸化反応も達成されていない。そこで、3A5AF の反応性について実験と理論計算の両面から検討を行い、フラン環とアセトアミド基の協奏的な効果により、2 位の炭素に対してラジカルが非常に付加しやすいことを明らかにした。これが副反応を引き起こし、部分酸化を阻んでいると考えられる。また、この反応性を抑えるためには、アセトアミド基のアセチル基部位を電子求引性の置換基に変換することが有効であることを提案した。これは選択酸化反応の開発指針になると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11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 6件）

1. 著者名 Kobayashi Hirokazu, Suzuki Yusuke, Sagawa Takuya, Saito Makoto, Fukuoka Atsushi	4. 巻 62
2. 論文標題 Selective Synthesis of Oligosaccharides by Mechanochemical Hydrolysis of Chitin over a Carbon Based Catalyst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202214229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202214229	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 Fukuoka Atsushi, Kobayashi Hirokazu	4. 巻 66
2. 論文標題 Valorization of Cellulose and Chitin into Valuable Chemicals by Heterogeneous Catalysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Petroleum Institute	6. 最初と最後の頁 48-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1627/jpi.66.48	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 小林広和, Shrotri Abhijit, 福岡淳	4. 巻 65(1)
2. 論文標題 活性炭触媒を用いた多糖類バイオマスの加水分解	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 2-8
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 小林広和	4. 巻 -
2. 論文標題 物質循環に資するバイオマス変換触媒の研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 東京大学環境報告書2022	6. 最初と最後の頁 19-19
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 Hirokazu Kobayashi, Yusuke Suzuki, Takuya Sagawa, Kyoichi Kuroki, Jun-ya Hasegawa, Atsushi Fukuoka	4. 巻 23
2. 論文標題 Impact of tensile and compressive forces on hydrolysis of cellulose and chitin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 15908-15916
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP01650D	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 Cheng Yang, Takuya Sagawa, Atsushi Fukuoka, Hirokazu Kobayashi	4. 巻 23
2. 論文標題 Characteristic activity of phosphorous acid in the dehydration condensation of a chitin-derived nitrogen-containing sugar alcohol	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Green Chemistry	6. 最初と最後の頁 7228-7234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1GC02193A	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 Hirokazu Kobayashi, Takuya Sagawa, Atsushi Fukuoka	4. 巻 59
2. 論文標題 Catalytic conversion of chitin as a nitrogen-containing biomass	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 6301 ~ 6313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3CC00902E	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 Sreynich Pring, Hiroaki Kato, Sayaka Imano, Maurizio Camagna, Aiko Tanaka, Hisashi Kimoto, Pengru Chen, Abhijit Shrotri, Hirokazu Kobayashi, Atsushi Fukuoka, Makoto Saito, Takamasa Suzuki, Ryohei Terauchi, Ikuo Sato, Sotaro Chiba, Daigo Takemoto	4. 巻 175
2. 論文標題 Induction of plant disease resistance by mixed oligosaccharide elicitors prepared from plant cell wall and crustacean shells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physiologia Plantarum	6. 最初と最後の頁 e14052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pp1.14052	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 Hirokazu Kobayashi, Atsushi Fukuoka	4. 巻 89
2. 論文標題 Mechanochemical Hydrolysis of Polysaccharide Biomass: Scope and Mechanistic Insights	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 e202300554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202300554	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 小林広和, SHROTRI Abhijit, 福岡淳	4. 巻 65
2. 論文標題 活性炭触媒を用いた多糖類バイオマスの加水分解	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 2~8
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 小林広和, 福岡淳	4. 巻 -
2. 論文標題 ボールミル処理の機械的な力を利用した触媒的バイオマス分解反応	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 有機合成化学協会誌	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) なし	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10件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Hirokazu Kobayashi, Yusuke Suzuki, Takuya Sagawa, Mizuho Yabushita, Kota Techikawara, Atsushi Fukuoka
2. 発表標題 Hydrolysis of chitin with acid catalysts in the presence of mechanical forces
3. 学会等名 TOCAT9 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuya Sagawa, Hirokazu Kobayashi, Mineo Hashizume, Atsushi Fukuoka
2. 発表標題 Synthesis of oxazolidinone compounds from sugar alcohol derived from chitin
3. 学会等名 TOCAT9 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木悠介, 佐川拓矢, 小林広和, 福岡淳
2. 発表標題 固体酸触媒を用いたキチンの加水分解によるオリゴ糖の選択的合成
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐川 拓矢, 小林 広和, 福岡 淳, 橋詰 峰雄
2. 発表標題 キチン由来糖アルコールからオキサゾリジノン誘導体の選択合成
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Sagawa, Hirokazu Kobayashi, Atsushi Fukuoka
2. 発表標題 Acid-catalyzed dehydration of a sugar alcohol derived from chitin
3. 学会等名 1st Japan-China Symposium on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirokazu Kobayashi
2. 発表標題 Mechanocatalytic Conversion of Chitin to Nitrogen-Containing Compounds
3. 学会等名 Taiwan International Conference on Catalysis 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林広和
2. 発表標題 活性炭触媒と機械的な力を利用したキチンからのオリゴ糖合成
3. 学会等名 第37回日本キチン・キトサン学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤健人, 福岡淳, 小林広和
2. 発表標題 キチン由来縮環アミノアルコールの合成
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hirokazu Kobayashi
2. 発表標題 Catalytic conversion of polysaccharide biomass
3. 学会等名 ACS on Campus Symposium: Sustainable Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hirokazu Kobayashi, Atsushi Fukuoka
2. 発表標題 Mechanochemical hydrolysis of chitin over carbon-based catalysts
3. 学会等名 18th International Congress on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 キチンから水溶性多糖を製造する方法	発明者 小林広和、高野一史、神谷齊、上坊寺亨、福岡淳	権利者 株式会社アイシン、東京大学、北海道大学
産業財産権の種類、番号 特許、2023-140760	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

Researchmap https://researchmap.jp/read0148875 小林研究室web https://park.itc.u-tokyo.ac.jp/kobalabo/

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	福岡 淳 (Fukuoka Atsushi) (80189927)	北海道大学・触媒科学研究所・教授 (10101)	
研究分担者	佐川 拓矢 (Sagawa Takuya) (90829582)	東京理科大学・工学部工業化学科・助教 (32660)	

6. 研究組織（つづき）

	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	鈴木 悠介 (Suzuki Yusuke)		
研究協力者	楊 程 (Yang Cheng)		
研究協力者	佐藤 健人 (Sato Kento)		

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