

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K05171

研究課題名（和文）ナイロン代謝関連酵素群の統合的利用と産業応用への展開

研究課題名（英文）Industrial application of nylon-degrading enzymes

研究代表者

根来 誠司（Negoro, Seiji）

兵庫県立大学・工学研究科・特任教授（名誉教授）

研究者番号：90156159

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：合成ポリマーの生分解は環境負荷を低減化する上で有効な手法である。高温や高圧を必要とする化学的手法と比較しても、酵素反応は室温程度の温和な条件下で反応を行うことができ、環境面、エネルギー面からも優位性が高い。我々はナイロン分解酵素の立体構造に基づき、同酵素の触媒機構と熱安定化機構を解明した。化学的前処理を行ったナイロンに、耐熱化ナイロン分解酵素を作用させることで、ナイロン-6やナイロン-6,6をはじめとする各種脂肪族ナイロンの高効率的分解（80%以上）を達成した。一方、繊維産業では酵素による繊維加工が行われているが、同酵素は耐熱性が高いことから、ナイロン繊維の表面改質への応用も期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リサイクルの中でも特に、高分子を構成ユニットにまで分解し再重合するケミカルリサイクルは究極の資源循環方法と目されている。これまでに様々なケミカルリサイクル手法が提案されているが、微生物・酵素を用いるアプローチは、構成ユニットへの優れた再生技術として高い可能性を秘めている。天然に存在しない分子構造を有し、強固な分子間相互作用を有することから、ナイロンは生分解を受けない素材であるというのが一般的な認識である。我々は、酵素の立体構造に基づくタンパク質工学と分子進化工学的手法により、実用レベルにて高分子ナイロンを加水分解可能な酵素（ナイロン加水分解酵素）を創出することに成功した。

研究成果の概要（英文）：Biodegradation of synthetic polymers is recognized as a useful way to reduce environmental load causing pollution, loss of natural resources, increase of energy consumption, and generation of greenhouse gases. The potential use of enzymes responsible for the degradation of the targeted polymers is an effective approach which enables the conversion of the used polymers to original monomers and/or other useful compounds. As for the hydrolytic degradations of nylons to smaller metabolites, three enzymes, NyIA, NyIB and NyIC have been found. We have determined the three-dimensional structure and catalytic mechanisms of the enzymes. By customization of the enzymatic reaction and the pre-chemical treatment conditions toward nylon polymers, the efficiency of the hydrolytic reaction was remarkably increased, and they succeeded in converting more than 80% of polymeric nylons into monomers.

研究分野：酵素工学

キーワード：ナイロン ケミカルリサイクル ナイロン分解酵素 NyIC 生分解 X線結晶構造解析

### 1. 研究開始当初の背景

ナイロンはその強靱性、柔軟性、耐熱性、耐薬品性から、繊維製品、包装、漁網など汎用性の高い熱可塑性プラスチックとして日常生活のさまざまな用途に使用されている。ナイロンの世界年間生産量は、2020年には890万トンを超えたと報告されており、ナイロン-6とナイロン-6,6の2種類だけで総生産量の90%以上を占めている。ナイロン原料が化石燃料から合成されることを考えると、エネルギー消費と温室効果ガス (GHG) 排出の両面において地球環境に多大な影響を及ぼしている。アメリカでは、ナイロンのサプライチェーンにおいて297 MJ/kgものエネルギーが消費され、それによって、10.4 kg-CO<sub>2</sub>e/kgのGHGが排出されていると試算されており、生産工程のみならず使用後の問題点も指摘されている。ナイロンの生分解性は低く、マイクロプラスチックや海洋ゴミとして潜在的な環境蓄積に対する懸念を残しているからである。持続可能な開発目標 (SDGs) に対する社会的要請が高まる中、化石燃料への依存度を低下させ、GHG排出量を削減するだけでなく、環境への負荷を最小限に抑えるために、ナイロン素材についてもリサイクルを通じた本格的な資源循環システムの構築が求められつつある。

### 2. 研究の目的

地球温暖化を始めとする地球環境問題は、生態系への影響のみならず、気候変動・自然災害を誘起し、将来的には人類の存続にも影響を与える可能性が危惧されている。そのため、多方面からのアプローチが試みられている。循環型社会の構築を実現するためには、合成段階で再資源化を考慮した生産システムへの変換が必要となる。高分子を構成ユニットにまで分解し再重合するケミカルリサイクルは、究極の循環方法と言える。これまでに様々なケミカルリサイクル手法が提案されているが、微生物・酵素を用いるアプローチは、構成ユニットへの優れた再生技術として高い可能性を秘めている。我々はナイロン合成段階で、重合が途中で停止したオリゴマー (ナイロンオリゴマーと称する) を分解・資化可能な微生物が発見し、加水分解に関わる3種類の酵素 Ny1A、Ny1B、Ny1C を見出した (図1)。本研究ではこれらの酵素の構造機能解析、機能・熱安定性の改良、反応条件の検討から、実用レベルでナイロンの酵素分解が可能なシステムの構築を目指す。

### 3. 研究の方法

ナイロン分解の効率化として、i) 酵素の高機能化、ii) 高温反応を実現するための酵素の耐熱性化、iii) モノマー化が容易なポリマーの探索、iv) ポリマーを溶解可能な有機溶媒中での反応などのアプローチが考えられる。タンパク質の熱安定化は、生化学分野の重要課題である。これまで、Ny1Cについては、サブユニット会合・熱安定性の変化、非特異的な凝集、自己消化を方向付ける変異効果を見いだした。ここでは、ナイロン分解酵素の特徴、触媒残基と熱安定化、および、耐熱化酵素を用いたナイロン分解への応用について述べる。

### 4. 研究成果

#### (1) ナイロン加水分解酵素の特徴

アミド結合を有する高分子は、例えばタンパク質のように生体内ではありふれた存在であり、それらを加水分解する酵素も多数存在する。しかし、同様のアミド結合を有するにもかかわらず、ナイロンはそれらの酵素によって加水分解を受けることはない。ナイロンのアミド結合を加水分解可能な酵素はこれまでに3種類同定されている (図1)。Ny1Aはナイロン-6の構成ユニットである6-アミノヘキサノ酸 (Ahx) が2分子環状に結合した環状二量体に対して、一方のアミド結合を切断し直鎖状二量体を生成する酵素である。また、Ny1Bは直鎖状に連なったAhxオリゴマーに対してN-末端側のアミド結合を切断し、Ahxを1分子ずつ切り出していくエキソ型の加水分解酵素である。一方、Ny1Cは重合度が3以上の直鎖状または環状のAhxオリゴマーに対して、内部のアミド結合をランダムに切断するエンド型の加水分解活

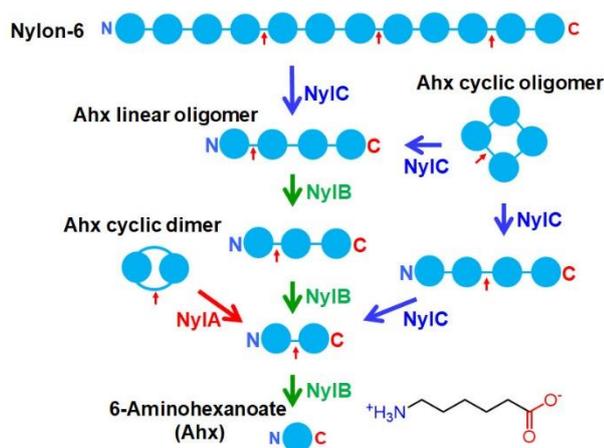


図1. ナイロン-6の酵素分解

性を示す。ナイロン分解微生物中ではこれら3種類の酵素が作用することによって、直鎖状あるいは環状の Ahx オリゴマーを Ahx モノマーへと変換し、さらなる代謝経路によってエネルギーを得ることができる。各酵素の立体構造と触媒残基についてまとめると次のようになる。

**NylA:** 472 アミノ酸からなり、活性発現に必須の触媒3残基は Ser174-Ser150-Lys72 であり、Ser150 の主鎖のコンホメーションは珍しいシス型をとっている (図 2A)。酵素-基質複合体解析から、基質の Ahx 環状二量体は酵素内部に埋もれた状態で結合していることが明らかとなっている。基質結合の前後で主鎖や側鎖の位置に変化は見られず、酵素の分子表面からも内部に結合した基質分子は見えない状態であることから、基質を取り込む際に大きな構造変化を伴うことが予想されている。酵素分子内での密接状態での取り込みに加えて、Cys316-S<sub>γ</sub> が同基質の結合切断部位と反対側のアミド結合性窒素原子 (Acid-N7) と水素結合を形成することによって基質を厳密に識別する。

**NylB:** 392 アミノ酸からなり、βラクタマーゼファミリー酵素と高い構造類似性を示す。本スーパーファミリーには、DD-ペプチダーゼや β ラクタマーゼが含まれる。しかし DD-ペプチダーゼ活性や β ラクタマーゼ活性は示さず、また各種ペプチドにも作用しない。活性発現に必須の触媒3残基は Ser112-Lys115-Tyr215 である (図 2B)。本酵素がアミド分解活性を発現するためには、触媒3残基の他に、Tyr170 の関与が必要である。つまり、基質である Ahx 直鎖状二量体 (Ald)の加水分解には、Tyr170 の配向変化とループ移動が生じる誘導適合が起こらなければならない。誘導適合が起こらない Y170F 変異体ではナイロン分解活性が約 1/70 にまで低下し、本残基のアミド加水分解活性への関与は明らかである。また、基質のアミド結合距離とセリン求核攻撃距離を反応座標に設定した2次元自由エネルギー空間解析もなされており、本解析からも Tyr170 がナイロン分解過程に必須のアミノ酸残基であり、特に正四面体中間体からアシル化酵素への変換段階における誘導適合の果たす役割が指摘されている。

**NylC:** 同酵素は *Arthrobacter* (プラスミド pOAD2 保持株), *Agromyces*, *Kocuria* 細菌から見出され、それぞれ NylCp2, NylCA, NylCK と呼ぶ。NylC はアミノ酸配列の相同性から N 末端 求核性ファミリーに分類される。いずれも不活性な前駆体 (36kDa) として発現した後、Asn266/Thr267 間にて自己分断し、α鎖 (27kDa) と β鎖 (9kDa) に分かれた活性型酵素へと変化する (図 3)。認識配列の C-末端側残基 (Thr267) が自

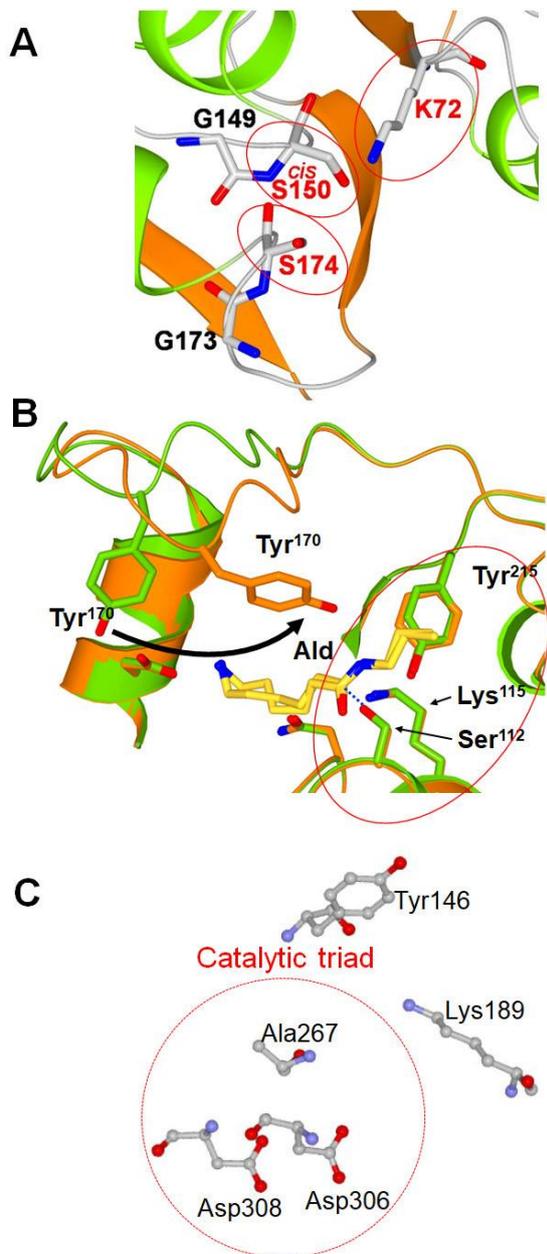


図 2. ナイロン分解酵素の触媒中心の構造  
A: NylA, B: NylB, C: NylC

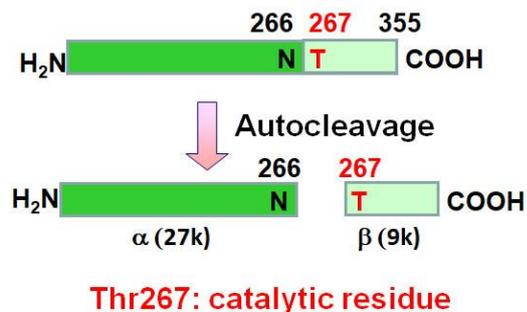


図 3. ナイロン分解酵素 NylC の自己分断

己分断を触媒するとともに、自己分断後は基質分解における触媒求核残基となる。活性発現に必須の触媒 3 残基は Asp308-Asp306-Thr267 であり、それ以外に、Tyr146 および Lys189 が基質認識に影響を与える (図 2C)。

成熟型 Ny1C は、 $\alpha$  鎖と  $\beta$  鎖がヘテロ 2 量体を形成し、この単量体ユニットが 4 分子会合しドーナツ型の分子構造を形成する。ただし、溶液中においては、単量体、二量体 (A/B または A/D 二量体)、三量体、さらに高次のオリゴマーの間でダイナミックに変化する (図 4)。オリゴマー形成過程では、まず A/B 二量体が生成された後、四量体構造が形成される。会合に伴うサブユニット間の安定化度合いが相対的に小さいため A/D 二量体は形成されにくく、A/B 二量体形成が優先される。

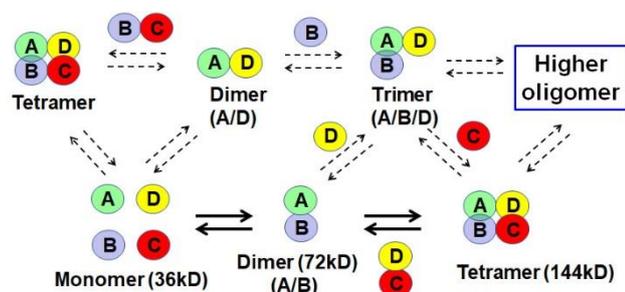


図 4. ナイロン分解酵素 Ny1C のサブユニット会合

### (2) Ny1C の熱安定化とサブユニット間相互作用に与えるアミノ酸置換の影響

分子界面に位置する 4 つのアミノ酸置換部位 (D122G, H130Y, D36A, E263Q) は、熱安定性とサブユニット間相互作用に大きな影響を与える。立体構造に基づき、以下にその効果をまとめた (図 5)。

122 位：本アミノ酸はモノマー A/D 間界面に位置しており、アミノ酸置換によって A-D ヘリックス間距離が変化する。野生型 Ny1Cp2 では酸性残基 Asp であるため近接する Glu1152 との間で静電的かつ立体的な反発が生じうるが、Gly 置換によってこれが解消し、強固なサブユニット間相互作用が可能となったことで耐熱性が 24°C も向上したと考えられる。また、本部位のアミノ酸によっては、モノマー A-D 間の部分的な非対称性が生じることがあり、これが 4 量体形成を阻害し、水溶液中での不規則な 3 量体構造を引き起こす原因となっていると示唆されている。

130 位：本アミノ酸は、ループ領域 (R127-G133) に位置し、分子 A のフェノール性水酸基 Y130-O $\eta$  は隣接する分子 D 上の D36-N と水素結合ネットワークを形成している。本アミノ酸がヒスチジン (H) に変化すると、この水素結合ネットワークが破壊され、サブユニット間相互作用が不安定化する。よって Ny1Cp2 に対して H130Y 変異を導入することで、サブユニット間相互作用が安定化し、耐熱性が 11°C 向上したと考えられる。

36 位：本アミノ酸は、隣接する A 分子上の E126 と 4.40Å の距離にある。このため側鎖カルボキシ基同士が静電的反発を生じている。

D36A 変異はこの静電的反発を減少させると期待できる。実際、Ny1C-GY と -GYQ への D36A 置換によって耐熱性が向上する結果となった。

263 位：本アミノ酸は  $\alpha$  サブユニット (V261-N266) の末端領域に位置し、野生型およびこれまでに報告したすべての Ny1C 変異酵素 (自己分断後) の X 線回折実験では電子密度が不明瞭である。本部位が酸性アミノ酸 (E) から中性のグルタミン (Q) に置き換えられることで、サブユニット間の静電的相互作用が改善する。

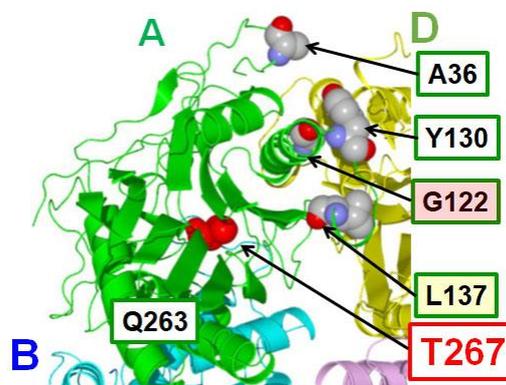


図 5. ナイロン分解酵素 Ny1C-GYAQ の変異部位

### (3) ナイロンの酵素分解

ナイロンの特徴である強靱性と柔軟性は、素材中に結晶領域と非晶領域が適切に混在していることによって発現し、融点、強度などの物性は結晶化領域の割合に依存する。酵素は、非晶領域の表面に露出した水素結合の形成に関与していない遊離のアミド結合を切断するが、高分子量であるため、隣接するアミド結合部位は、隣接する他分子と相互作用している。そのため、たとえ分子鎖が切断されたとしても、高分子表面から離脱できず、見かけ上不溶解したままとなる。非天然型の分子構造を有し、また強固な分子間相互作用による水に溶解しないことから一般的なペプチダーゼやアミダーゼはナイロンを加水分解できない。KI72 株から単離された

Ny1C も水溶性のオリゴマーに対しては加水分解活性を示すものの、高分子量ナイロンについては分解活性を示さない。しかし耐熱性化した Ny1C の四重変異体、Ny1C-GYAQ は高分子量ナイロンに対しても明確な加水分解活性を示すことを見出した。速度論解析より Ny1C-GYAQ の Ahx 環状オリゴマーに対するパラメータ  $k_{cat}$  および  $K_m$  値はそれぞれ、2.8 /s と 0.72 mg/ml である。野生型 Ny1C の速度論的パラメータ ( $k_{cat} = 6.5 /s$ ;  $K_m = 3.7 \text{ mg/ml}$ ) と比較すると、四重変異導入は酵素のターンオーバーを低下させるが、基質に対する親和性を大きく向上させていた。このように Ny1C-GYAQ は高い耐熱性と高い触媒効率を獲得したことによって高分子ナイロンの加水分解を実現できたと考えられる。

ガスクラスター二次イオン質量分析法 (GC-SIMS) を用いて固相表面上でのナイロン試料の分解挙動を追跡すると、その分子量分布は、酵素反応前よりも反応後の方が低分子量域へシフトしており、Ny1C-GYAQ はナイロン-6 やナイロン-6,6 を確かに加水分解していることが確認された。一方、重合度を低くすれば、崩壊のための閾値が低くなり分解速度も向上すると期待できる。そこでナイロン-6 に対してギ酸による化学的限定分解を行うことで分子量を低下させ、Ny1C-GYAQ による分解率を算出した。その結果、未処理のものは 1% 程度の分解率にとどまるが、ギ酸処理時間に従って分解率は上昇し、50 時間処理サンプルでは 40% 以上の分解率を示すことが確認された (図 6)。この際の重合度は 30 ~ 40 である。

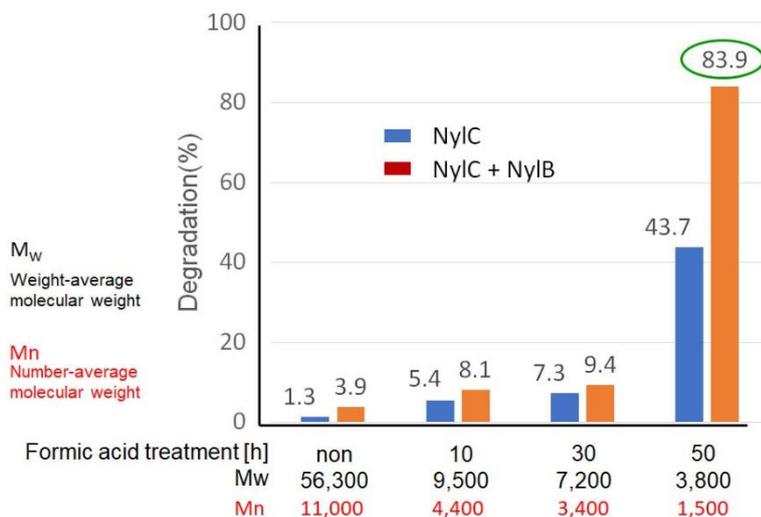


図 6. ナイロンの平均分子量と酵素分解と関連性

Ny1C-GYAQ は Ald を加水分解することができないため、系中にはダイマーが残存してしまう。そこで Ny1C-GYAQ による反応後に、エキソ型酵素 Ny1B を添加しモノマーへの完全分解を目指した。その結果、期待通り分解率は飛躍的に向上し、ギ酸処理を 50 時間行ったものでは 84% の分解率を示した (図 6)。さらに、ギ酸処理を 150 時間まで延長すると完全分解できることも確かめた。

#### (5) まとめと今後の展望

ナイロン酵素分解の研究は、現在までに、適切な化学処理を併用することでナイロン-6 やナイロン-6,6 をはじめとする各種脂肪族ナイロンの効率的な加水分解を達成するに至っている。また、繊維産業では古くから酵素による表面加工が行われている。セルラーゼは綿繊維やレーヨン繊維の風合い改良剤として使用されており、プロテアーゼもウールの風合い改良剤として使用されている。ナイロン分解酵素は耐熱性も高いことから、今後、工業的な酵素反応によるナイロン繊維の表面改質への応用も期待される。一方、SDGs に対する社会的要請が高まる中、ナイロンの再資源化だけでなく、環境負荷を軽減する生分解性ナイロンへの代替も重要な課題となっている。ただし、この際に利用される生分解性試験は 1 ヶ月 (活性汚泥法) から 4 ヶ月 (土壌分解性試験) という長期間を要する。ナイロン分解酵素による分解試験を指標とすれば、数時間で酵素分解性を判定することができ、生分解性ポリアミドの開発期間を大幅に短縮できる可能性が高い。現状では、生分解性を示すポリアミドの報告はほぼ皆無であるが、北陸先端科学技術大学院大学の金子ら (現: 江南大学) は、イタコン酸から誘導されるピロリドン骨格を有する構成ユニットを導入した新規ナイロン (iNylon, アイニーロン) を提案している。アイニーロンは水中での光照射によってポリマーが水溶性化するという性質を示すことから、次世代型ナイロンの候補の一つとして注目を集めている。現在アイニーロンの生分解性やそのリサイクルにナイロン分解酵素を活用する研究プロジェクトが進行している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Seiji Negoro, Naoki Shibata, Dai-ichiro Kato, Yusuke Tanaka, Kengo Yasuhira, Keisuke Nagai, Shohei Oshima, Yoko Furuno, Risa Yokoyama, Kaito Miyazaki, Masahiro Takeo, Kowit Hengphasatporn, Yasuteru Shigeta, Young-Ho Lee, Yoshiki Higuchi	4. 巻 290
2. 論文標題 X-ray crystallographic and mutational analysis of the NylC precursor: catalytic mechanism of autocleavage and substrate hydrolysis of nylon hydrolase	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 FEBS journal	6. 最初と最後の頁 3400-3421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/febs.16755	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 Seiji Negoro, Dai-ichiro Kato, Taku Ohki, Kengo Yasuhira, Katsumasa Kamiya, Yasuteru Shigeta, Yasuyuki Kawashima, Keisuke Nagai, Masahiro Takeo, Naoki Shibata,	4. 巻 648
2. 論文標題 Structural and functional characterization of nylon hydrolases	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Methods in Enzymology	6. 最初と最後の頁 357-389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/bs.mie.2020.11.004.	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 根来誠司, 武尾正弘, 柴田直樹, 樋口芳樹, 加藤太一郎, 重田育照	4. 巻 36
2. 論文標題 ナイロン分解酵素NylBの構造進化、触媒機構とアミド合成への応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオインダストリー	6. 最初と最後の頁 4-16
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 -

1. 著者名 P. Baranwal, K. Kimura, S. Mayilraj, S. Negoro, M. Takeo	4. 巻 8
2. 論文標題 Draft genome sequence of a biofloculant-producing bacterium, <i>Citrobacter freundii</i> IF013545.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbiol. Resour. Announc	6. 最初と最後の頁 e00524
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 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 白石雄樹、横山理沙、古野洋子、根来誠司、加藤太一郎
2. 発表標題 酵素による高効率なナイロンモノマー化のための前処理技術開発
3. 学会等名 日本農芸化学会2022年度西日本支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Risa Yokoyama, Yuki Shiraishi, Yoko Furuno, Seiji Negoro, Dai-ichiro Kato
2. 発表標題 Efficient nylon hydrolytic method using nylon hydrolase in combination with chemical pretreatment
3. 学会等名 Active Enzyme Molecule (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoko Furuno, Risa Yokoyama, Kaito Miyazaki, Tatsuo Kaneko, Seiji Negoro, Dai-ichiro Kato
2. 発表標題 Enzymatic hydrolysis of itaconate-derived nylons and isolation of a new bacterium degrading its monomer component
3. 学会等名 Active Enzyme Molecule (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤太一郎、柴田直樹、根来誠司
2. 発表標題 イタコン酸由来光スイッチポリアミドの酵素分解
3. 学会等名 74回日本生物工学会大会（シンポジウム）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 猪野 椋太, 王 許和, 根来誠司, 武尾正弘
2. 発表標題 ビスフェノールS無機化のための芳香族スルホン酸分解菌の分離
3. 学会等名 環境バイオテクノロジー学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 P. Baranwal, S. Negoro, M. Takeo
2. 発表標題 Concentration of a chitosan-like polysaccharide from the cultures of Citrobacter spp. and its crystalline nano/microfiber formation.
3. 学会等名 第71回日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田 直樹, 樋口 芳樹, 加藤 太一郎, 重田 育照, 武尾 正弘, 根来 誠司
2. 発表標題 エンド型ナイロンオリゴマー分解酵素Ny1Cの立体構造に基づく自己分断機構
3. 学会等名 第472回ビタミンB研究協議会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuki Shiraishi, Risa Yokoyama, Yoko Furuno, Tatsuo Kaneko, Seiji Negoro, Dai-ichiro Kato
2. 発表標題 Development of Chemical Pretreatment Techniques for High-Efficiency Enzymatic Nylon Monomerization
3. 学会等名 第23回生体触媒化学シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoko Furuno, Risa Yokoyama, Kaito Miyazaki, Tatsuo Kaneko, Seiji Negoro, Dai-ichiro Kato
2. 発表標題 A novel marine bacterium degrading the monomer unit of itaconate-derived nylon-6i
3. 学会等名 第23回生体触媒化学シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Seiji Negoro, Dai-ichiro Kato, Naoki Shibata
2. 発表標題 Structural and functional analysis of nylon hydrolase and enzymatic approach for recycling of nylons
3. 学会等名 第23回生体触媒化学シンポジウム (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Kato, D., Shibata, N., and Negoro, S. (ed. by Kaneko, T)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 13
3. 書名 Photo-switched biodegradation of bioplastics in marine environments	

1. 著者名 根来誠司, 武尾正弘, 柴田直樹, 樋口芳樹, 加藤太一郎, 重田育照	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 15
3. 書名 食品・バイオにおける最新の酵素応用	

1. 著者名 加藤太郎, 柴田直樹, 根来誠司	4. 発行年 2024年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 21
3. 書名 プラスチックのリサイクルと再生材の改質技術, 第2章 プラスチックのケミカルリサイクル技術	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 ナイロンの加水分解方法	発明者 加藤太郎, 白石雄樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-032566	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 細菌、ポリアミド処理剤及びポリアミド処理方法	発明者 加藤太郎, 古野洋子, 横山理沙	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-034081	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	武尾 正弘 (Takeo Masahiro) (40236443)	兵庫県立大学・工学研究科・教授  (24506)	
研究分担者	加藤 太郎 (Kato Daiichiro) (60423901)	鹿児島大学・理工学域理学系・准教授  (17701)	

#### 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
---------	---------