

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22069

研究課題名(和文)立体化学的に反転したキラルポリマー材料の合成

研究課題名(英文)Biosynthesis of chiral polymer with stereochemical reversion

研究代表者

田口 精一(Taguchi, Seiichi)

神戸大学・科学技術イノベーション研究科・特命教授

研究者番号：70216828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：生分解性ポリマー P(3HB)は、3-hydroxybutyrate(3HB)から成り、(R)-3HB-CoAモノマーを前駆体として、重合酵素により合成され、100%のR体から構成される。CoA転移酵素(PCT)の緩慢な立体化学選択性に基づき、PCT搭載大腸菌をベースに「S体」の3HB-CoAが合成可能な培養条件を最適化し、(S)体の3HB-CoAに対しても反応性を示すことが判明した。重合反応においては、脂肪族モノマーの主鎖基準で3位水酸基から2位水酸基に重合反応性が拡張された変異酵素だと、厳密な立体化学選択性が緩慢になり、鏡像異性モノマー-CoA体に反応性を獲得した可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子材料における光学純度は、物性を規定する重要な要因である。生分解性プラスチック素材であるバイオポリマーPHAも同様である。PHAの微生物重合系では、関わる酵素の立体化学認識により、(R)体モノマーから成る高光学純度ポリマーが合成される。本研究では、立体化学反転した(S)体モノマー3HBから成るポリマーの微生物合成に挑戦した。本取り組みは、国内外を問わず全く新規のチャレンジであり、独創性に富んでいる。本研究により、モノマー及びポリマーの合成において、この難度の高いハードルを突破できる基礎的な可能性を得ることができた。本知見は、微生物重合に新しい視点とポリマー材料を提供できる点で意義がある。

研究成果の概要(英文)：Biodegradable polyester, P(3HB), consists of 3-hydroxybutyrate (3HB) monomer with a (R) stereochemical conformation can be synthesized by P(3HB) polymerase. I attempted to generate (S)-3HB-CoA via modification of propionyl-CoA transferase (PCT) with a loosen stereochemical reaction. As for final polymerization step, a weak reactivity of evolved PHA synthase with a main chain-based 2-hydroxy reactivity towards (S)-3HB-CoA was detected through fluorescent microscopic observation.

研究分野：合成生物学

キーワード：バイオポリマー バイオプラスチック 立体化学特異性 鏡像異性体 CoA転移酵素 重合酵素 PHA 3HB

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

多くの微生物が、エネルギー貯蔵物質として細胞内に合成蓄積するポリヒドロキシアルカン酸(PHA)は、再生可能バイオマス原料から生産できる生分解性プラスチック素材である。PHA は、熱可塑性ポリマーとして利用されるカーボンニュートラルな資源循環型の環境材料として有望視されている。PHA を構成するモノマーユニットは、160 種類以上が同定報告されている。モノマー基質はすべて「*R* 体」であることがわかっており、光学純度の極めて高いキラルポリマーであることが特徴である。標準的な PHA ポリマーである P(3HB)は、(*R*)-3HB-CoA (補酵素 A) モノマー前駆体として、重合酵素の触媒作用により、オール *R* 体から構成される。このモノマーの立体化学が反転した(*S*)-3HB ポリマーを微生物合成した事例は、これまでに皆無であった。

2. 研究の目的

本研究では、モデル微生物である大腸菌内に、*S* 体の 3HB-CoA が合成できる生合系の構築を試み、立体的に反転したキラルポリマーを微生物重合することを目的とした。このように合成できたキラル反転ポリマーは、材料物性的にも興味深い。

3. 研究の方法

本目的を達成する上で重要な 2 種酵素の一つ、プロピオニル CoA 転移酵素 (PCT) のモノマー 3HB の(*S*)体認識はルーズであるが、選定する酵素の種類に依る。保有ライブラリーと新たな進化学で得られたものから、目的に合う候補をスクリーニングする。(*S*)-3HB-CoA の細胞内生成は、外部添加法による培養で実施する。また、(*S*)体認識の重合酵素は、天然酵素に加え進化学によって創製されたライブラリーを対象に、細胞内に合成蓄積する蛍光染色法にて判定する。まず、高価な CoA がフリーのモノマー基質を外部添加法で細胞内への導入実験に着手する。比較的安価に入手可能な *R* 体と *S* 体の混合ラセミ体の 3HB・Na を細胞外から添加し、膜透過し細胞内に導入されるかを検証する。検証法として、3HB→3HB-CoA の合成反応を触媒するプロピオニル CoA 転移酵素 (PCT) を大腸菌に遺伝子導入し、アセチル-CoA を CoA ドナーとした生合成を設計する。PCT 遺伝子の発現は、抗 PCT 抗体を用いたウエスタン法で確認する。PCT も試した数種の中で、ある嫌気性細菌由来のもの (情報機密非公開) を選択する。PCT の CoA 転移活性は、P(3HB)のホモポリマーが合成できるかによって判定する。重合酵素としては、最も標準的な P(3HB)のような短鎖 PHA モノマーに反応性の高い水素細菌由来のものを選定する。最終的な、細胞内におけるポリマーの合成・蓄積は、蛍光顕微鏡を駆使して、ポリマーに特異的に染色する色素を用いて行う。

4. 研究成果

微生物細胞内に合成蓄積する PHA ポリマーの光学純度は、材料特性上極めて重要である。PHA を構成する天然モノマーユニットは、全て「*R* 体」であり、光学純度が極めて高いキラルポリマーである。典型的な PHA ポリマーである P(3HB)は、3HB から成るホモポリマーで、(*R*)-3HB-CoA (補酵素 A) モノマーを前駆体として、重合酵素の触媒作用により重合され、100% ee の *R* 体から構成される。PCT の緩慢な立体化学選択性に基づき、ラセミ体の 3HB・Na を細胞外から添加し、3HB→3HB-CoA の反応を触媒する PCT 遺伝子搭載の大腸菌をベ

ースに、「*S*体」の 3HB-CoA が合成可能な培養条件の最適化を行った。アセチル-CoA を CoA ドナー、添加 3HB をアクセプターとした生合成を、P(3HB)のホモポリマー合成の可否（細胞内蓄積による蛍光観察）によって判断した。その結果、微弱ながら(*S*)体の 3HB-CoA に対しても反応性を示すことが判明した。さらに、細胞内における(*S*)体 3HB-CoA モノマーの供給フラックスの強化と *S* 体モノマー認識に対する重合能力の開発に注力した。評価系として、市販のラセミ体・3HB モノマーを系外から添加し、3HB→3HB-CoA を触媒するため、外来の PCT を大腸菌に遺伝子導入し、P(3HB)ホモポリマーの合成の可否を指標に判断した。PCT を組換え発現させたサンプルを用いて作製した抗体はインビボで使用可能できることを今回確認できた。*(S)*体の 3HB-CoA は、(*R*)体の 3HB-CoA と同様に定法に従って化学合成した。機能的に発現させた PCT 組換えタンパク質を使用して、両鏡像異性体のモノマー基質に対して相対的反応性比を評価したところ、(*R*)体の 3HB-CoA に対して高い反応性を示したが、微弱ながら(*S*)体の 3HB-CoA に対しても反応性を示すことが判明した。一方、インビトロの重合系にて 3HB-CoA の両鏡像異性体に対して、使用した重合酵素の活性試験を行ったところ、本重合反応が代謝上律速になることが示唆された。関連酵素の立体化学認識としては、重合酵素は厳密であることは知られている。そこで、重合酵素のバリエーションを他種に拡充することで、(*S*)-3HB-CoA に対する重合反応を示す酵素スクリーニングを行った。当初計画した水素細菌由来重合酵素の進化変異体に加え、他種 PHA ファミリーメンバー中 2 位に水酸基を有する乳酸にも反応性を獲得した乳酸重合酵素も試したところ、蛍光顕微鏡下にて微弱ながら重合体顆粒を Nile Red 染色大腸菌細胞内に観察した。その蛍光強度から、高分子量ポリマーが形成する顆粒というよりも、低分子量のオリゴマーサイズからなる重合体が観察されていることが示唆された（特許出願を予定していることから、一定期間 data not shown）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Sangho Koh, Michio Sato, Yuki Usukura, Masanori Toyofuku, Nobuhiko Nomura, Seiichi Taguchi	4. 巻 12
2. 論文標題 Controllable secretion of multilayer vesicles driven by microbial polymer accumulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-07218-z	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 Saki Goto, Yuki Miyahara, Seiichi Taguchi, Takeharu Tsuge, Ayaka Hiroe	4. 巻 10
2. 論文標題 Enhanced production of (R)-3-hydroxybutyrate oligomers by coexpression of Molecular Chaperones in Recombinant Escherichia coli Harboring a polyhydroxyalkanoate synthase derived from Bacillus cereus YB-4	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microorganisms	6. 最初と最後の頁 458-470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/microorganisms10020458	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 Tetsuo Sakurai, Shoji Mizuno, Yuki Miyahara, Ayaka Hiroe, SEIICHI TAGUCHI, Takeharu Tsuge	4. 巻 10
2. 論文標題 Optimization of Culture Conditions for Secretory Production of 3-Hydroxybutyrate Oligomers using recombinant Escherichia coli	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Bioengineering and Biotechnology: Bioprocess Engineering	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbioe.2022.829134	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 Huibin Zou, Seiichi Taguchi, David Bernard Levin	4. 巻 9
2. 論文標題 Editorial: Microbial Production of Biopolyesters and Their Building Blocks: Opportunities and Challenges	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front. Bioeng. Biotechnol.	6. 最初と最後の頁 777265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbioe.2021.777265	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 Mizuno S, Sakurai T, Nabasama M, Kawakami K, Hiroe A, Taguchi S, Tsuge T	4. 巻 67
2. 論文標題 The influence of medium composition on the microbial secretory production of hydroxyalkanoate oligomers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of General and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 134-141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2323/jgam.2020.09.002	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 Hiroe Ayaka, Sakurai Tetsuo, Mizuno Shoji, Miyahara Yuki, Goto Saki, Yamada Mariko, Tsuge Takeharu, Taguchi Seiichi	4. 巻 167
2. 論文標題 Microbial oversecretion of (R)-3-hydroxybutyrate oligomer with diethylene glycol terminal as a macromonomer for polyurethane synthesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1290 ~ 1296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.083	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 Nduko John Masani, Taguchi Seiichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Microbial Production of Biodegradable Lactate-Based Polymers and Oligomeric Building Blocks From Renewable and Waste Resources	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbioe.2020.618077	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 Miyahara Yuki, Hiroe Ayaka, Sato Shunsuke, Tsuge Takeharu, Taguchi Seiichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Microbial Polyhydroxyalkanoates (PHAs): From Synthetic Biology to Industrialization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biotechnology Journal	6. 最初と最後の頁 231 ~ 264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/9783527818310.ch8	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 Yajima Taito, Nagatomo Mizuki, Wakabayashi Aiko, Sato Michio, Taguchi Seiichi, Maeda Michihisa	4. 巻 10
2. 論文標題 Bioconversion of biphenyl to a polyhydroxyalkanoate copolymer by <i>Alcaligenes denitrificans</i> A41	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AMB Express	6. 最初と最後の頁 155 ~ 163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13568-020-01093-5	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 Hori Chiaki, Sugiyama Tomohiro, Watanabe Kodai, Sun Jian, Kamada Yuu, Ooi Toshihiko, Isono Takuya, Satoh Toshifumi, Sato Shin-ichiro, Taguchi Seiichi, Matsumoto Ken'ichiro	4. 巻 179
2. 論文標題 Isolation of poly[d-lactate (LA)-co-3-hydroxybutyrate]-degrading bacteria from soil and characterization of d-LA homo-oligomer degradation by the isolated strains	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Degradation and Stability	6. 最初と最後の頁 109231 ~ 109231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polyimdegradstab.2020.109231	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 Kadoya Ryosuke, Tanaka Naoto, Fujita Nobuyuki, Shiwa Yuh, Taguchi Seiichi	4. 巻 176
2. 論文標題 Changed bacterial community in the river water samples upon introduction of biodegradable poly(3-hydroxybutyrate)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Degradation and Stability	6. 最初と最後の頁 109144 ~ 109144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polyimdegradstab.2020.109144	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 Furutate Sho, Kamoi Junichi, Nomura Christopher T., Taguchi Seiichi, Abe Hideki, Tsuge Takeharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Superior thermal stability and fast crystallization behavior of a novel, biodegradable methylated bacterial polyester	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NPG Asia Materials	6. 最初と最後の頁 11 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41427-021-00296-x	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 Yokoyama Keiichi, Ogaya Daisuke, Utsumi Hiroe, Suzuki Mototaka, Kashiwagi Tatsuki, Suzuki Eiichiro, Taguchi Seiichi	4. 巻 105
2. 論文標題 Effect of introducing a disulfide bridge on the thermostability of microbial transglutaminase from <i>Streptomyces mobaraensis</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Microbiology and Biotechnology	6. 最初と最後の頁 2737 ~ 2745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00253-021-11200-6	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 Mizuno Shoji, Sakurai Tetsuo, Nabasama Mikito, Kawakami Kyouhei, Hiroe Ayaka, Taguchi Seiichi, Tsuge Takeharu	4. 巻 67
2. 論文標題 The influence of medium composition on the microbial secretory production of hydroxyalkanoate oligomers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of General and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2323/jgam.2020.09.002	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 Y. Miyahara, A. Hiroe, T. Tsuge, S. Taguchi	4. 巻 14
2. 論文標題 Microbial secretion platform for 3-hydroxybutyrate oligomer and its end-capped forms using chain transfer reaction-mediated polyhydroxyalkanoate synthases	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biotechnol. J.	6. 最初と最後の頁 321 ~ 328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/biot.201900201. Epub 2019	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 Matsumoto Ken'ichiro, Saito Juri, Yokoo Toshinori, Hori Chiaki, Nagata Akihiro, Kudoh Yuki, Ooi Toshihiko, Taguchi Seiichi	4. 巻 128
2. 論文標題 Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO)-mediated de novo synthesis of glycolate-based polyhydroxyalkanoate in <i>Escherichia coli</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Bioscience and Bioengineering	6. 最初と最後の頁 302 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiosc.2019.03.002	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 Nduko John Masani、Taguchi Seiichi	4. 巻 9
2. 論文標題 Microbial Production and Properties of LA-based Polymers and Oligomers from Renewable Feedstock	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Part of the Biofuels and Biorefineries book series (BIOBIO, volume 9)	6. 最初と最後の頁 361 ~ 390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-3768-0_12	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11件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Seichi TAGUCHI
2. 発表標題 Advanced microbial polymer/oligomer factory: biosynthesis and biodegradation
3. 学会等名 AFOB (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田口精一
2. 発表標題 環境循環材料としての多元ポリ乳酸P(LAHB) : 生合成 & 生分解
3. 学会等名 高分子学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田口精一
2. 発表標題 天然ポリマーから創発した多元ポリ乳酸LAHB
3. 学会等名 (公益社団法人)日本化学会 第10回CSJ化学フェスタ(2020)招待講演 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田口精一
2. 発表標題 バイオプラスチックの生合成と生分解：多元ポリ乳酸研究の進展と関連分野の動向
3. 学会等名 (公益社団法人)新化学技術推進協会 ライフサイエンス技術部会・反応分科会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Taguchi
2. 発表標題 Bio-oligomer provides insights into secretion and mechanistic biodegradation of lactate-based polymers
3. 学会等名 The 7th International Conference on Bio-based Polymers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Taguchi
2. 発表標題 Synthetic biology for biocompatible and biodegradable polymers from renewable biomass
3. 学会等名 The 3rd International Biotechnology Congress (IBC-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Taguchi
2. 発表標題 Biocompatible and biodegradable PLA-copolymers biosynthesized by microbial platform from renewable feedstock
3. 学会等名 10th International Conference on Biopolymers and Bioplastics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田口精一
2. 発表標題 海洋分解など地球環境に貢献するバイオプラスチック、テーマ：海のゴミと食品ロス削減～命を思いやる想像力を育てる～（海と日本2019）
3. 学会等名 日本海老協会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田口精一
2. 発表標題 バイオプラスチックの合成生物学 = 生合成 × 高分子化学
3. 学会等名 (公益社団法人)新化学技術推進協会のライフサイエンス技術部会・反応分科会・技術セミナー、(公益社団法人)新化学技術推進協会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田口精一
2. 発表標題 多元ポリ乳酸;基礎物性・機能部材化・生分解性12316;、テーマ<<海洋プラスチック問題解決に向けた>>生分解、バイオマスプラスチックの材料設計、将来展望
3. 学会等名 (株)技術情報協会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田口精一
2. 発表標題 バイオプラスチック研究の醍醐味：微生物だからこそできること
3. 学会等名 日本放線菌学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計11件

1. 著者名 田口精一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 NTS出版	5. 総ページ数 515
3. 書名 バイオリアクターのスケールアップと物質生産事例	

1. 著者名 田口精一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 11
3. 書名 生分解性プラスチックの環境配慮設計指針 多元ポリ乳酸の合成/分解の交差点：「オリゴマー」	

1. 著者名 松本謙一郎、田口精一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 11
3. 書名 生分解性プラスチックの環境配慮設計指針 非天然ポリヒドロキシアルカン酸の分解性とその評価法	

1. 著者名 田口精一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 12
3. 書名 バイオリアクターのスケールアップと物質生産事例集 乳酸ポリマーP(LAHB)の微生物生産	

1. 著者名 田口精一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (公益社団法人)日本農芸化学会	5. 総ページ数 7
3. 書名 化学と生物 セミナー室 多元ポリ乳酸」の生合成と生分解:メカニズム解明の鍵"オリゴマー"	

1. 著者名 田口精一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 包装食品技術協	5. 総ページ数 12
3. 書名 「食品の包装」特集:バイオプラスチック バイオプラスチック「多元ポリ乳酸」:生産プロセスから機能部材化・生分解性まで	

1. 著者名 J. M. Nduko, S. Taguchi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 30
3. 書名 Microbial production and properties of LA-based polymers and oligomers from renewable feedstock	

1. 著者名 田口精一	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 336
3. 書名 プラスチックの資源循環に向けたグリーンケミストリーの要素技術	

1. 著者名 田口精一、松本謙一郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 291
3. 書名 生分解性プラスチックの環境配慮設計指針	

1. 著者名 松本謙一郎、田口精一	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 291
3. 書名 生分解性プラスチックの環境配慮設計指針	

1. 著者名 田口精一、山田美和	4. 発行年 2019年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス出版	5. 総ページ数 366
3. 書名 生分解性プラスチックの素材・技術開発～海洋プラスチック汚染問題を見据えて～	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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

フランス	Frans Jean-Marie	Toulouse University		
------	------------------	---------------------	--	--