

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」
研究課題「植物バイオマス原料を利活用した微生物工場による新規バイオポリマーの創製および高機能部材化」

研究終了報告書

研究期間 平成24年10月～平成30年 3月

研究代表者：田口 精一
(東京農業大学生命科学部、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究プロジェクトでは、草本・木質系糖質および油脂脂肪酸から、独自に開発した多元ポリ乳酸とホモ PHA を微生物生産し、それらの特質に合った機能材料を開発することを目的とした。すなわち、一気通貫の「CREST 法」ともいうべきプロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーションに焦点を当てた。

多元ポリ乳酸に関しては、2系統の非可食バイオマス由来原料を用いて研究を推進した。まず、北大農場で栽培されている、ススキとオギの雑種強勢によって育種された「ジャンボススキ」を調達原料化し、主に大腸菌を用いて微生物生産する系を確立した。試行錯誤の結果、次亜塩素酸ナトリウムとアルカリを用いた前処理と酵素分解法によって得た糖化液(単糖主成分)を原料に、正常に増殖しポリマー生産できる条件を見出した。そのポリマー生産量は、グルコース/キシロース成分比を調整した混合糖液から合成したケースとほぼ同等レベルであった。本多元ポリ乳酸生産一貫プロセスは、「CREST 法」と命名し、以後の高機能部材化へ展開するための基盤となった。ポリマー合成のためのもう一つの原料として、王子 HD が製紙事業中に廃棄される未利用成分であるキシラン分解物を利活用することを産学連携で推進することを計画した。脱リグニン処理され、セルロースが除去された残りのヘミセルロース画分の主成分はキシランである。本多糖は、一部結晶核剤としてエステル化反応に供し、残りの未利用画分を数段階の簡易カラム操作を経て、五単糖(主成分:キシロース、ガラクトース)混合液として調製した。こちら、微生物増殖に対する影響を入念にケアし、正常にポリマー合成できる条件を見出した。

多元ポリ乳酸の微生物合成に関して注目すべきは、その生産性と乳酸分率の制御である。両パラメーターは、独立あるいは相互に関係することがあるが、特に酵素と代謝の複合改変を基軸に、これらパラメーターを使用する炭素源に応じて、最大化あるいは制御できるファクターを抽出し、その Proof-of-Concept を行った。このように、一細胞あたりのポリマー生産の技術開発から微生物の高密度化のステージへ移行する段階で生じた課題も、増殖フェーズとポリマー合成フェーズの切り替え機構に基づいた培養操作により、フラスコ培養で約 20g/L の生産レベルに達してきている。これは、国内企業の株式会社カネカが事業化しているアオニレックス(P(3HB-co-3HHx))に迫る水準である。乳酸分率に関しては、その機能特性から「約 30%~約 40%」を対象にした。

ホモ PHA については、側鎖長に依存した結晶形態を示すなど、これまでのヘテロ PHA には見られない興味深い性質を備えていることを明らかにした。また、微生物で合成できるホモ PHA 量は僅かであり、単一組成(第二成分モノマーが 1 mol%以下)が達成できるホモ PHA は一部に限定されていたが、微生物代謝を改変することにより生産性の向上と単一組成化の同時達成を可能にした。さらに、重合活性が向上した改変体酵素を取得し、これを利用することで、ホモ PHA 微生物工場をチェーンアップした。一方で、原料を精製された脂肪酸からバイオマス由来の混合脂肪酸へと転換し、特定のモノマーを主成分とするリッチポリマーの生合成法を開発した。

CREST 法で生合成された多元ポリ乳酸とホモ PHA の熱分解温度や融解温度などの熱的性質、破壊強度などの機械的物性、透明性などの光学特性などの基礎物性の評価を行うとともに、溶媒への溶解性、結晶化速度、熱流動性、熔融紡糸性などの成型加工に必要な様々な性質の検討を行った。さらに、成型加工条件を精査することにより、ナノファイバー、高強度フィルム、高光透過性フィルム、しなやかでタフな射出成型体、熔融紡糸繊維の作製に成功した。また、これらの材料の長期安定性および生分解性に関する実験も行い、多元ポリ乳酸やホモ PHA が様々な分野で利用可能な部材になり得ることを証明することができた。今後は、大量合成を行うとともに、難燃化剤、光劣化防止剤、可塑剤などの様々な添加剤との相溶性などを検討し、より性能の優れた生分解性バイオベース部材の開発を目指す。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1.

概要:

北大農学部で栽培されているジャンボスキを原料に、独自に創出した乳酸重合酵素搭載微生物工場によって多元ポリ乳酸を合成する一貫プロセス(CREST 法)を開発した。同時に、製紙会社との連携で、廃棄性未利用のヘミセルロース原料からの一貫プロセスも完成させ、パルプ産業に資する新たなプロセスを提案した。ポリマー生産の向上は、酵素工学・代謝工学・ゲノム改変・培養工学の協働で、現行の産業レベル(フラスコ培養)に迫る水準を達成した。一方、乳酸分率を制御する技術開発により、ポリ乳酸の透明性を維持し、硬軟多様な物性を発現するポリマー合成に成功した点が重要な成果である。

2.

概要:

側鎖長が揃ったホモ PHA(C10 および C12)の生産性を、宿主である大腸菌の代謝改変や培地の変更、高活性型重合酵素の創出により大幅に向上させた。また、中鎖ホモ PHA(C6～C12)の物性を系統的に解析し、側鎖長と熱的および機械的物性の相関関係を明らかにした。これは、合目的な材料物性を有する PHA を合成する際の指針となる重要な成果である。

3.

概要:

北大および東工大からそれぞれ提供される多元ポリ乳酸およびホモ PHA の結晶構造および基礎物性解析を行い、多元ポリ乳酸における共結晶化現象及び、極めて珍しい形態である正三角形型の単結晶形成など特異な結晶化挙動を見出した。また、ホモ PHA において高い透明性と力学物性の両立が可能な部材化条件を見出した。植物バイオマスから一貫生産される P(LA-co-3HB)について実用部材化に最適なモノマー組成を見出すと共に、成形体、溶融紡糸繊維、ナノファイバー、微粒子という多様な形態の材料化が可能であることを示した。

さらに、多元ポリ乳酸およびホモ PHA から作製されたナノファイバーについて細胞培養足場材料としての特性評価を行い、心筋細胞および軟骨細胞に対して既存足場材料であるコラーゲンよりも高い細胞増殖能を示す足場材料としてのポテンシャルを見出した。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1.

概要:

産学連携からの観点からは、王子 HD から紙パルプ産業廃棄未利用成分として調達されたヘミセルロース分解物と多元ポリ乳酸微生物生産とを連結した一貫プロセス開発は、基本特許出願と学術論文発表として結実した。本プロセスは、ジャンボスキ原料からの CREST 法一貫プロセスとの併用により、他種植物バイオマス利用あるいは同業製紙産業へ大きなインパクトを与えるものと期待される。

2.

概要:

PHA 合成の原料を、精製された脂肪酸からパーム核油の精製工程で生じる副産物である非可食性混合脂肪酸へと転換し、ホモ PHA と同等材料(C12 リッチ PHA)を合成することに成功した。C12 リッチ PHA は、天然微生物が合成する中鎖ヘテロ PHA とは異なり、C10 および C12 ホモ PHA の中間的な材料物性を有し、かつ、透明で加工しやすい材料であることを明らかにした。

3.

概要:

植物バイオマスより一貫生産される P(LA-co-3HB) およびホモ PHA が、高い柔軟性を長年にわたって保持する優れたプラスチック材料であることを見出した。また P(LA-co-3HB)およびホモ PHA(C10 および C12)より作製したナノファイバーについて、高性能な細胞培養足場材

料としてのポテンシャルを見出した。

§ 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①「田口」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
田口 精一	北海道大学工学研究院	教授	H24.10～H29.3
田口 精一	東京農業大学生命科学部	教授	H29.4～H30.3
大井 俊彦	北海道大学工学研究院	准教授	H24.10～H29.3
松本 謙一郎	北海道大学工学研究院	准教授	H24.10～H29.3
石井 大輔	東京農業大学生命科学部	准教授	H29.4～H30.3
廣江 綾香	東京農業大学生命科学部	助教	H29.4～H30.3
門屋 亨介	北海道大学工学研究院	CREST研究員	H25.4～H29.3
門屋 亨介	東京農業大学生命科学部	CREST研究員	H29.4～H29.6
滝沢 憲治	北海道大学工学研究院	CREST研究員	H27.7～H29.3
伊藤 慎一郎	北海道大学工学研究院	研究補助員	H26.7～H28.10

研究項目

多元ポリ乳酸微生物工場の開発

1. 酵素代謝複合改変による多元ポリ乳酸(PLA)生合成系の確立

- ・多元 PLA の組成制御と基礎物性解析
- ・多元 PLA の生合成
- ・多元 PLA の物性解析
- ・不飽和 PLA の生合成
- ・不飽和 PLA の物性解析

2. 培養工学によるポリマー生産性向上

- ・P(LA-co-3HB)
- ・多元 PLA

3. 植物バイオマスから調製した単糖およびキシロースからのポリマー合成・化学修飾

- ・単糖調製とポリマー合成

②「柘植」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
柘植 丈治	東京工業大学物質理工学院	准教授	H24.10～H30.3
廣江 綾香	同上	研究員	H25.4～H29.3
雑賀 あずさ	同上	研究員	H26.4～H26.5
水野 匠詞	同上	研究員	H29.4～H30.3

研究項目

ホモ PHA の微生物工場開発

- ・ポリマー生産性の向上
- ・脂肪酸高増殖株への移行
- ・ホモ PHA 種類の拡充
- ・誘導生産法の開発

- ・混合有機酸の原料化
- ・高分子量化の検討

③「岩田」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
岩田 忠久	東京大学 大学院農学 生命科学研究科	教授	H24.10～H30.3
加部 泰三	同上	特任研究員	H24.10～H27.6
加部 泰三	(財)高輝度光科学研究セ ンター	研究員	H27.7～
石井 大輔	東京大学 大学院農学 生命科学研究科	特任助教	H25.4～H29.3

研究項目

新規バイオポリマーの高性能化

- ・化学構造および物性解析
- ・大型放射光を用いた高次構造解析
- ・結晶核剤のチューニング
- ・ブレンドによる機能付与
- ・生体内吸収性評価
- ・実バイオマスからのサプライチェーン

④「松本」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
松本 謙一郎	北海道大学工学研究院	准教授	H29.4～H30.3
大井 俊彦	同上	准教授	H29.4～H30.3
堀 千明	同上	助教	H29.4～H30.3
山本 彩音	同上	研究補助員	H29.4～H30.3

研究項目

- ・多元ポリ乳酸の高密度生産法の開発

- (2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について
特になし

§ 3 研究実施内容及び成果

3. 1 酵素代謝複合改変による多元ポリ乳酸(PLA)生合成系の確立(田口グループ)

(1)研究実施内容及び成果

・多元ポリ乳酸 P(LA-co-3HB)の微生物合成系の構築

グルコースを炭素源とした大腸菌での P(LA-co-3HB)コポリマー合成系の構築を進展させるために、乳酸重合酵素は、本研究グループが開発した *Pseudomonas* sp. 61-3 由来の PHA 重合酵素の改変体(STQK 二重変異)を使用し、D体乳酸合成量の異なる数種の大腸菌株にモノマー供給系酵素と共に遺伝子導入した。特にギ酸合成経路遮断株(JW0885)では、好氣的培養条件で良好にポリマー合成できることがわかった。

次に、植物バイオマスの利用を見据え、ポリマー生産のための炭素源をグルコースからキシロースに替えたところ、乳酸ユニットの取り込みが向上する新発見をした。P(3HB)ホモポリマーの合成にキシロースの方が不利という事実とは逆であった。その効果は、乳酸重合活性を向上させた進化型乳酸重合酵素の利用によりさらに増強され、キシロース濃度に依存していた。(図1)

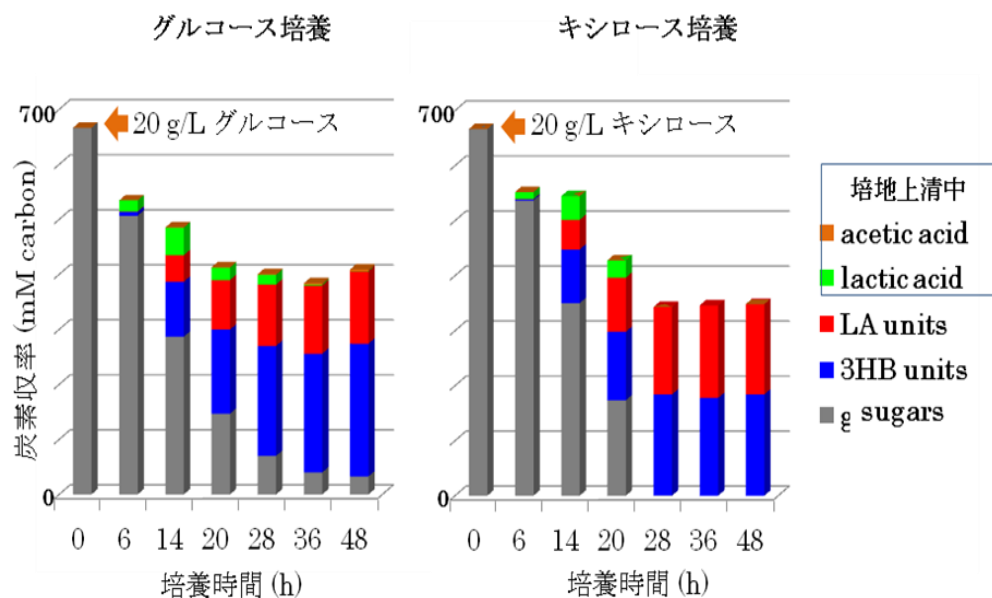


図1 グルコースおよびキシロースを炭素源に用いた多元ポリマー生産の経時変化

加えて、GatC というキシローストランスポーターを過剰発現させることでキシロースの細胞内取込みが改善することで消費が向上し、多元ポリ乳酸生産における相乗効果が確認された。(図2)

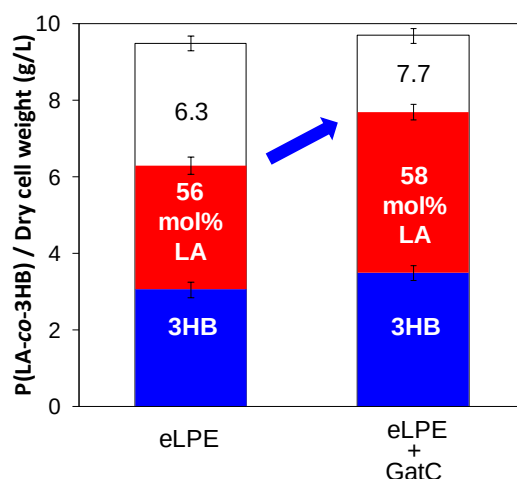


図2 キシローストランスポーター高発現株における多元ポリ乳酸合成の向上

・単位細胞あたりのポリマー生産性向上を目的に、宿主大腸菌をゲノム工学的手法により生産性を向上させた。トランスポゾン変異により得られたポリマー高生産株は、変異が細胞骨格形成の中核である大腸菌細胞壁のペプチドグリカン合成に關与する MtgA 遺伝子の欠損であることがわかり、ポリマー生産時には細胞内に蓄積したポリマーの内圧によって細胞自身が肥大化する表現型を示した。グルコースを炭素源として培養した場合、野生株と比較して細胞内ポリマー蓄積率は同程度であったが、ポリマー生産性は約 40%向上した²⁾。同時にグルコース消費能が野生型大腸菌に比べて対糖収率が向上しており、この変異株を用いた効率的な多元ポリ乳酸の生産法の確立に資する重要な知見を得ることができた。(図3)

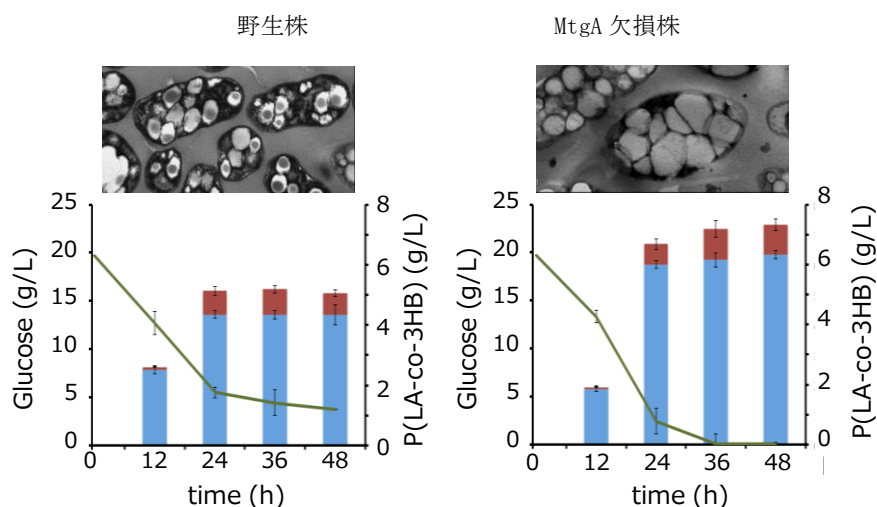


図3 MtgA 欠損株による P(LA-co-3HB)生産性の向上

・さらなる単位細胞あたりのポリマー生産性向上を目指し、宿主大腸菌をゲノム工学的手法による改変を試みた。ゲノムレベルでの改変によるポリマー生産への影響を観察するために、転写因子に着目し、その欠失株コレクションのシステムチックスクリーニングを行なった。転写因子欠失変異株 252 個について、ポリマー生産量を測定した。グルコースを炭素源として培養した場合、野生株と比較して明らかにポリマー生産量が増加した株が 8 株存在し、最大で約 2 倍の生産量を示した。また、細胞内ポリマー蓄積量も増加していた。同時にグルコース消費能、対糖収率が野生株と比較し向上していた。(図4) これら変異株を基盤とし、これまでに開発した高活性酵素、代謝改変、大腸菌宿主のゲノム改変などのノウハウを集積することで、大量生産に適した大腸菌株を選択しポリマー生産を行うことが可能となった。

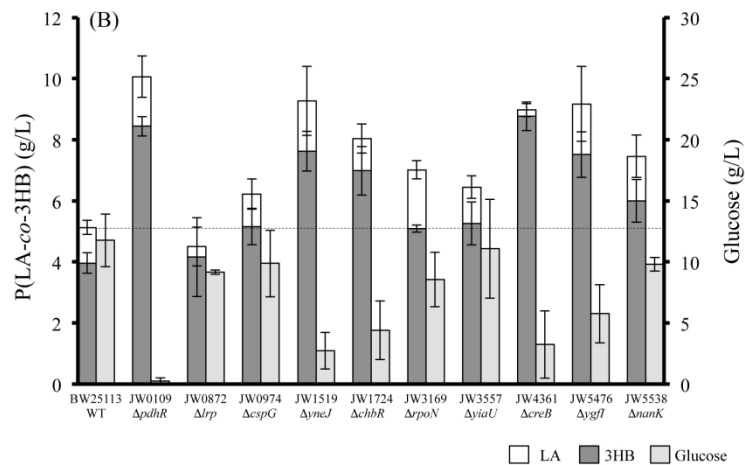


図4 転写因子欠失株によるポリマー生産

3. 2 培養工学によるポリマー生産性向上(田口・松本グループ)

(1)研究実施内容及び成果

キシロースが主成分の植物バイオマス糖質原料であるパルプ抽出液から多元ポリ乳酸が生産可能であることが判明したので、初めに大規模生産に向けて、2 L ジャーファーマンターによるポリマー生産の予備検討に着手した。バッチ培養においては、キシロースとガラクトースをパルプ抽出液と同組成とした混合糖液を炭素源に、培養時の通気量、攪拌速度、初発糖濃度を検討することで、本プロジェクト当初の目標を超える 10.2 g/L の P(LA-co-3HB)共重合体を生産できる培養条件を確立した。(図5)

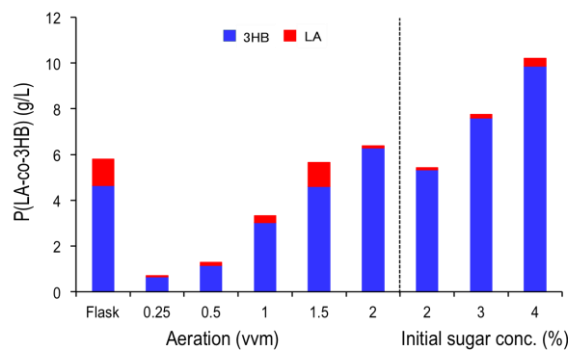


図5 培養条件の検討による P(LA-co-3HB)の生産性向上

次に多元ポリ乳酸の大量生産に向けて、ポリマー生産遺伝子群の発現制御が可能なプラスミドを導入した組換え大腸菌を用い、流加培養の検討を行った。その結果、ポリマーの生産性を高めるためには、培養の前期をポリマーの蓄積を伴わない増殖期とし、菌体をある程度増殖させた後に、ポリマー合成を誘導し生産期へと移行することが有効であると確認された。また今回用いた遺伝子発現制御系では、グルコースは遺伝子発現に影響しない一方で、キシロースは発現誘導剤として働くことが分かった。この性質を利用し、培養初期はグルコースを炭素源として培養し、24 時間後からキシロースを流加する二段培養法を採用した。その結果、グルコースまたはキシロースを単独で用いた場合に比べ、高いポリマー生産量(26 g/L)が得られ、当初の目標であった 15 g/L を大きく上回る生産量が達成された(図6)。

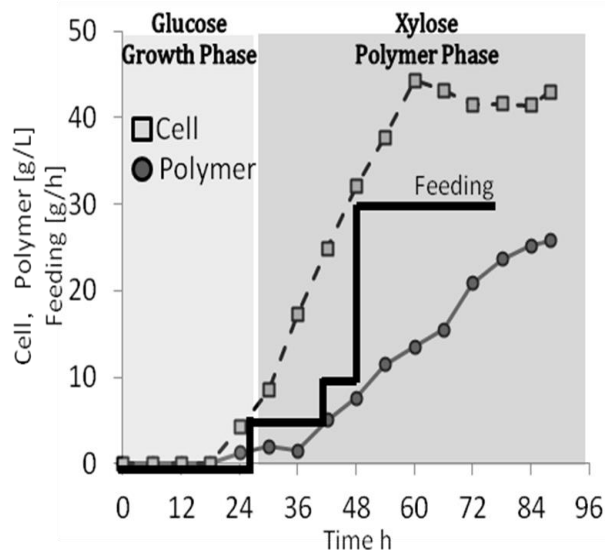


図6 二段培養によるポリマー生産

3. 3 植物バイオマスから調製した単糖混合液からのポリマー合成 (田口グループ)

(1)研究実施内容及び成果

多元ポリ乳酸生産として利用する植物バイオマス由来の多糖類を、精製・抽出・加水分解することで得られるグルコースやキシロースなどの単糖混合物が炭素源としてポリマー合成に応用可能かを評価した。

寒冷地での生育に適し、高いバイオマス収量を持つ草本系バイオマスであるジャンボススキを多元ポリ乳酸の合成原料として利用することを検討した。ジャンボススキと、比較対象として用いた稲ワラの2種の原料を乾燥・粉砕した後、脱リグニン処理して多糖サンプルを得た。このサンプルをセルラーゼによって糖化し、グルコースが主成分でキシロースを含む混合糖化液を調製した(図7)。この混合糖化液を炭素源としてポリマー合成系遺伝子群を導入した組換え大腸菌を培養した結果、純粋混合糖液に匹敵する多元ポリ乳酸を生産することができた。(図8)

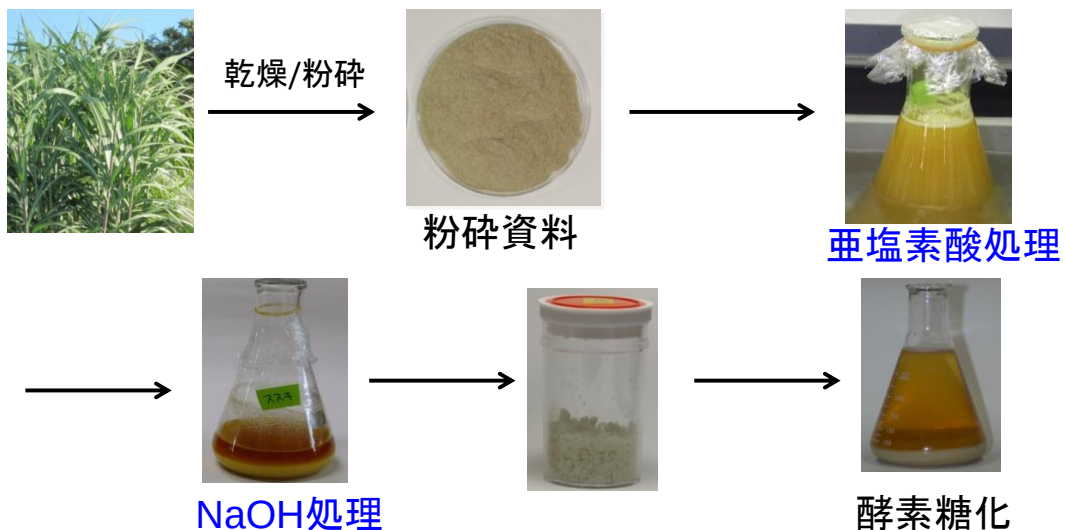


図7 ジャンボススキから単糖糖化液の調製

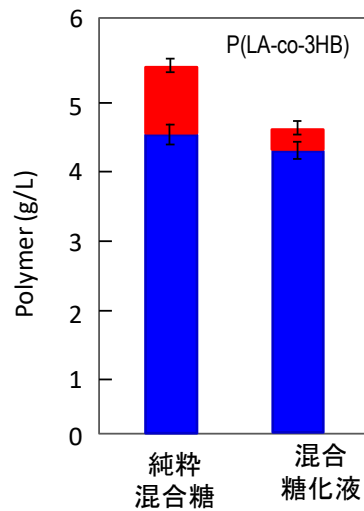


図8 ジャンボススキ由来混合糖化液からのポリマー生産

さらに既存の産業から廃棄物として大量に得られる糖質バイオマスとして、溶解パルプ製造時に副生される水熱処理糖化物にも着目した。産学連携によって王子製紙から供給可能なパルプ水熱処理糖化物はキシロースに富むことから、多元ポリ乳酸の合成に適すると期待された。まず、パルプ水熱処理糖化物を活性炭処理し、夾雑物を除去した粗精製糖化物を得た。この糖液を利用して P(LA-co-3HB)生産の検討を行ない、パルプ製造過程の水熱処理で生じる未精製糖液中の酢酸がポリマー合成の阻害要因の一つと考えられたため、純粹混合糖液に酢酸を添加した培地で多元ポリ乳酸の合成を行ったところ、酢酸がポリマー生産とくに乳酸ユニットの取り込みを強く阻害することが分かった。これらの問題を解決するため、粗精製した糖化物をさらにイオン交換樹脂により精製した精製糖化物を調製し、ポリマー生産について検討した。(図9)

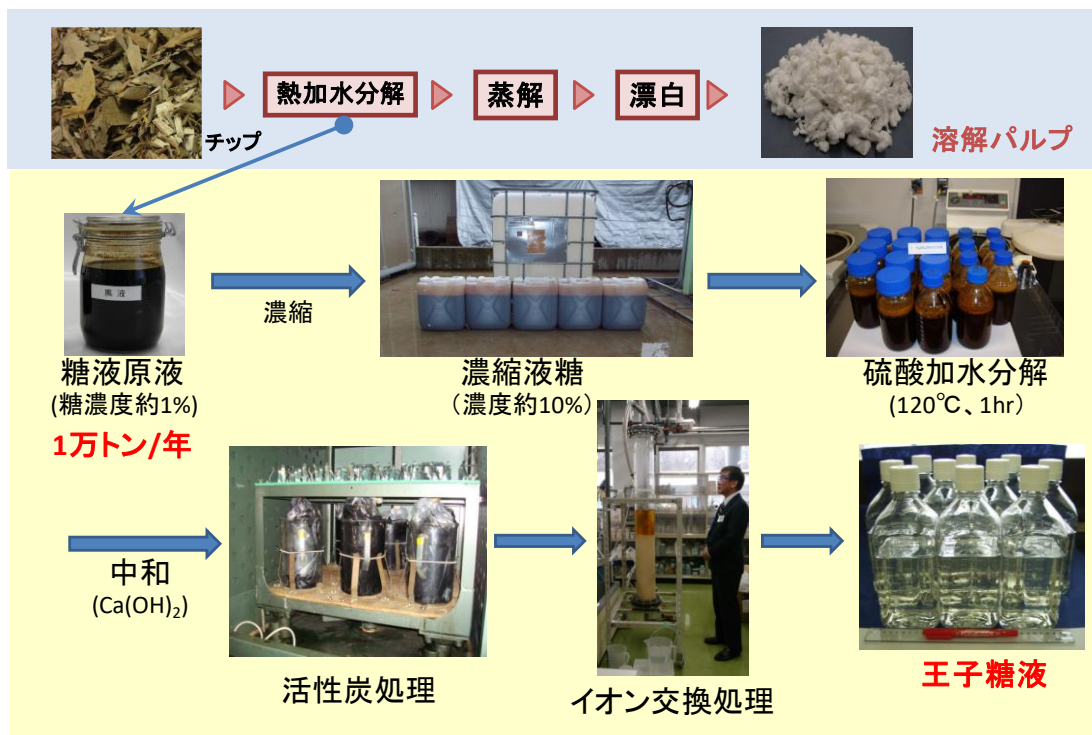


図9 パルプ製造時に副生される水熱処理糖化物の精製

その結果、フラスコレベルで P(LA-co-3HB)を同組成の純粋糖混合物を用いた場合に迫る生産量で合成することに成功した。(図10) 以上のことから糖質バイオマス糖化物から多元ポリ乳酸を合成する際には、酢酸の除去がカギとなることが分かった。(国内特許出願)

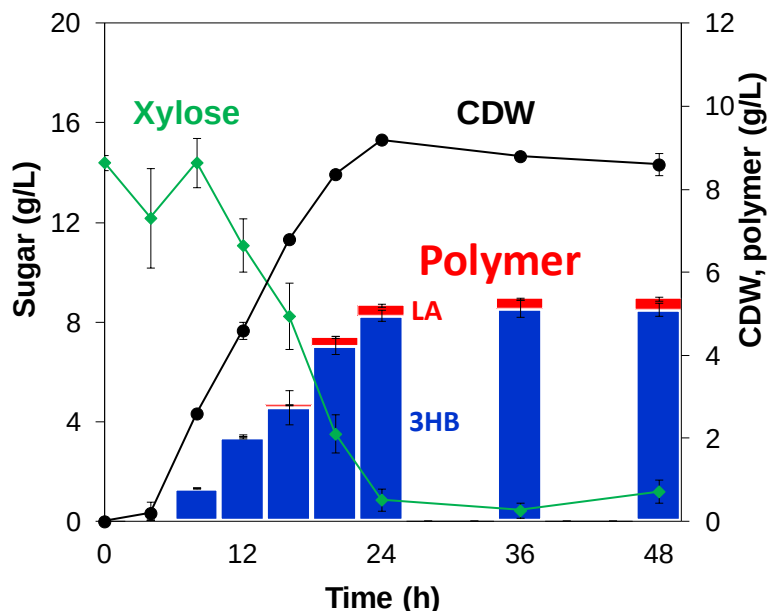


図10 精製水熱処理糖化物からのポリマー生産

並行して、2 L スケールのジャーフェーマンターを用いてモノマー組成が制御された P(LA-co-3HB)の合成培養条件の検討を行った。パルプ水熱処理糖化物と同組成に調整したガラクトースを含むキシロースベースの混合糖を炭素源に、大腸菌の乳酸合成関連の代謝変異株と乳酸重合能の異なる乳酸重合酵素を適切に組み合わせることで、乳酸分率が6%から67%の範囲で制御されたコポリマーを効率よく生産できる培養条件を確立した。(図11) 抽出精製された 10 g程度の各コポリマーサンプルは、東大岩田 G に提供し、詳細な熱的性質や機械物性等の解析を行い、さらに、ナノファイバーなど部材化を目指した有用コポリマーとして検討したところ、乳酸分率が30%～40%の P(LA-co-3HB)が部材化に適していることが明らかとなった。

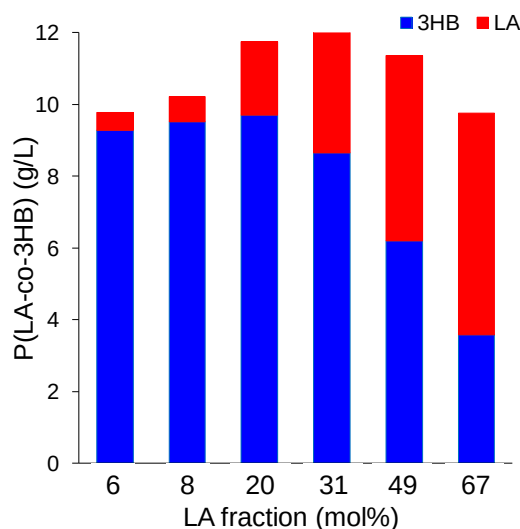


図11ジャーフェーマンターによる乳酸分率を制御した P(LA-co-3HB)の生産

3.4. ホモ PHA の微生物工場開発(柘植グループ)

ホモ PHA は(図1)、透明材料であり、側鎖長に依存した結晶形態を示すなど、これまでのヘテロPHAには見られない興味深い性質を備えている。一方で、プロジェクト開始当時、微生物工場で合成できるホモ PHA 量は僅かであった。さらに、単一組成(第二成分モノマーが 1 mol%以下)が達成できるホモ PHA は一部に限定され、かつ、そのためには炭素源に精製された脂肪酸を与える必要があった。本研究では、このような

課題を解決するために、生産性の向上、ホモ PHA の種類拡張(C6~C14)、混合脂肪酸からの生合成法開発などについて、微生物代謝を改変することにより取り組んだ。具体的には、ホモ PHA を



図1 C10 ホモ PHA のキャストフィルム

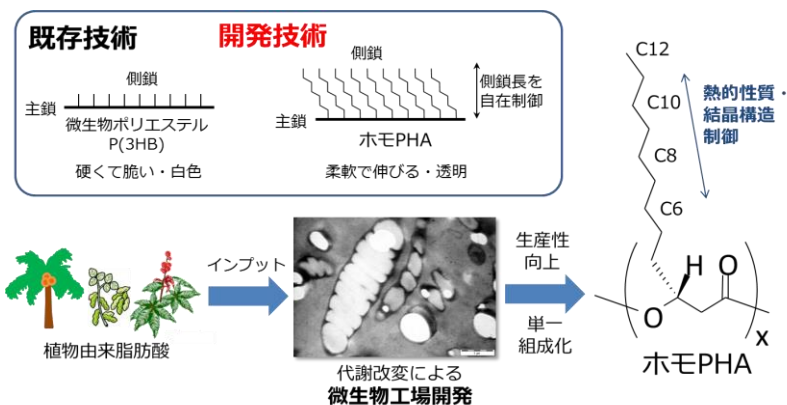


図2 ホモ PHA の微生物工場開発

生合成するのに必要な酵素の遺伝子を異なる微生物資源から単離し、生産宿主で発現させ調査することで、生産性の向上と組成の均一化が可能な組み合わせを探索した。また、使用する宿主に応じて塩

基配列の最適化を行い、プロモーターの選択により発現量および発現時期の制御を行うことで、ホモ PHA 微生物工場をチューンアップすることを検討した(図2)。

なお、本プロジェクトでは、ホモ PHA 系統として、C10・C12・C12 リッチ PHA に焦点を当てた(図3)。C10・C12 ホモ PHA は市販の精製脂肪酸から、C12 リッチ PHA は非可食バイオマスであるパーム核油副産物から一貫通貫プロセスで合成することを目指した。

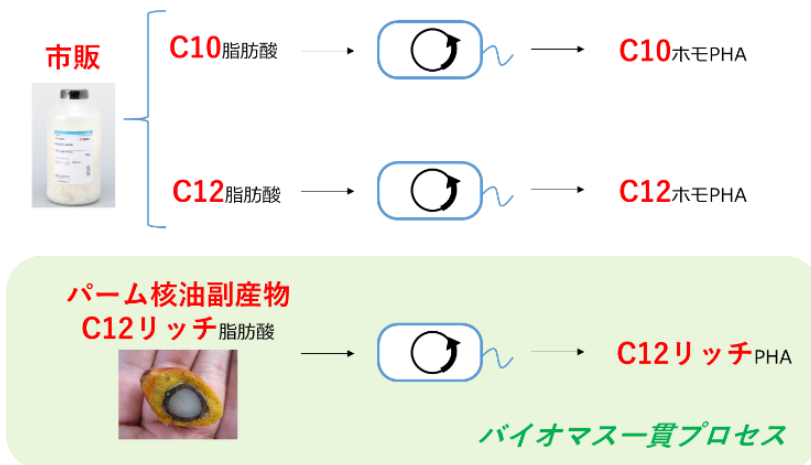


図3 ターゲットとするホモ PHA 系統とプロセス

・ポリマー生産性の向上

遺伝子組換え大腸菌の菌株、発現プロモーター、重合酵素遺伝子の組み合わせや培養条件を検討し、C10 ホモ PHA のさらなる生産性の向上を目指した。

表 1 ホモ PHA 生産性と均一組成化

	C10 ホモ PHA		C12 ホモ PHA	
	生産量	単一組成化	生産量	単一組成化
CREST 前	0.14 g/L	○ (99%以上)	0.008 g/L	× (70-95%)
平成 30 年 3 月現在	2.51 g/L	○ (99%以上)	1.44 g/L	○ (99%以上)

まずは、菌株を *E. coli* CAG 株 ($\Delta fadAB$) から LSBJ 株 ($\Delta fadR, \Delta fadB, \Delta fadJ$) に変更することで、生産量が 5 倍向上し、さらには M9 培地から微量金属を強化した MR 培地に変更することで 9 倍の向上を達成した。そして、進化工学的手法を導入して育種した重合酵素を利用することで更に生産量が 1.3 倍向上し、プロジェクト前から比べると 18 倍に向上させることができた(図3)。最終的に C10 ホモ PHA 濃度 2.51 g/L を得ることができた(表1)。

C12 ホモ PHA に関しては、生産性が低く、また、ポリマー組成の単一化が達成できていなかった。そこで、C12 ホモ PHA に関しても C10 ホモ PHA と同様に生産性の向上とポリマー組成の単一化を検討した。

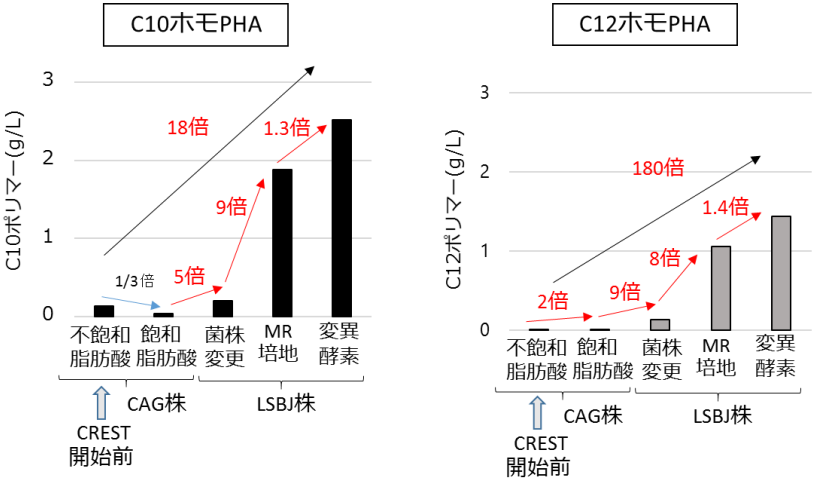


図 3 C10 および C12 ホモ PHA の生産性の向上

その結果、プロジェクト開始当初 5～30 mol%程度であった第二成分モノマーを 1 mol%以下までに低下させることができ、単一組成化に成功した(表1)。また、PHA の合成量もプロジェクト開始前と比較して 180 倍に増加させることができた(図3)。なお、精製した C6～C12 のホモ PHA サンプルは、系統的な物性解析や立体構造解析に供するために、適宜、東京大学の岩田 G に提供した。

また、ポリマー生産性向上の過程で得られた改変型の PHA 重合酵素 (*Pseudomonas* 属細菌由来) の解析を行ったところ、N398 部位のアミノ酸がポリマー生産性に寄与し、さらに飽和アミノ酸変異導入により、半径が小さく、疎水性の高いアミノ酸ほどポリマー重合能が向上することが明らかとなった(図 4)。

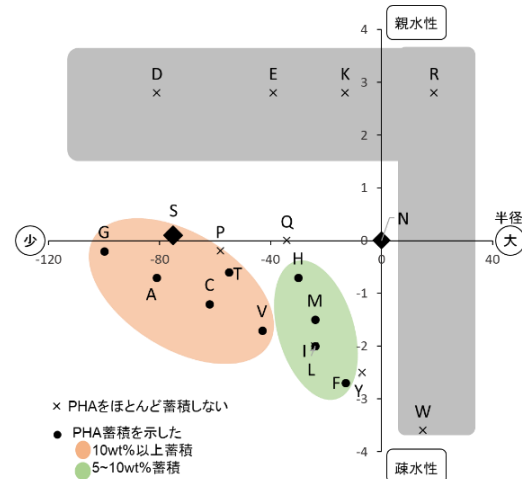


図 4. PHA 重合酵素(PhaC1_p)N398 部位への飽和変異導入効果

・脂肪酸高増殖株への移行

大腸菌は脂肪酸資化性が高くないので、大腸菌以外の宿主生産株として *Pseudomonas putida* および *Ralstonia eutropha* などの脂肪酸高増殖株の利用について検討した。具体的には、PHA 合成と脂肪酸分解系に関する遺伝子を破壊し、新たに外部からホモ PHA を合成するための遺伝子を導入した。しかしながら、脂肪酸炭素源での生育は良好であったが、モノマー組成の単一化を成し遂げることが困難であった。これは、宿主に用いた菌株がもともと PHA を合成するため、PHA に関連する代謝制御系が思いのほか複雑に関与していることが原因と考えられた。この結果を受け、生産宿主には大腸菌のように元来 PHA を合成しない細菌を利用することにした。

・ホモ PHA 種類の拡充

中鎖ホモ PHA とは、C6～C14 の単一モノマーから成るポリエステルである。まず、生合成が可能であった C6～C11 のホモ PHA を合成し、熱物性および機械物性を系統的に解析することで、材料物性的に最も有望なホモ PHA を選定、大量培養へとフィードバックさせることを目的とした。東工大 G で合成した C11 までのホモ PHA を東大 G で解析したところ、C10 以降のホモポリマーは物性的に似た性質を有することが推測された。例えば、平衡融点 (T_m^0) は C10 以降では変化しないことが示唆された(図 5)。したがって、プロジェクト開始当初 C14 までのホモ PHA を合成することを目標としていたが、目新しい物性が期待できないことから、C14 のホモ PHA 合成は取りやめ、研究対象を C12 までとすることにした。

また、C10 ホモ PHA では延伸処理を施すことで、著しく機械的強度および弾性率を向上させることが可能であった(表2)。例えば、室温延伸した C10 ホモ PHA フィルムは、機械的強度が 8 MPa から 45 MPa へ、弾性率が 40 MPa から 360 MPa へと増加した。この物性は、ポリプロピレンやレジ袋と比較しても遜色ないものであり、材料として十分な実用性を備えていることがわかった。また、延伸してもホモ PHA の透明性は維持されていた(図 6)。

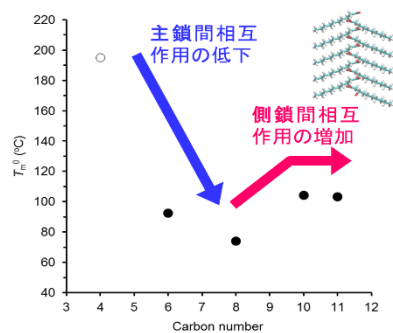


図5 ホモ PHA の側鎖長と平衡融点 (T_m^0) の関係

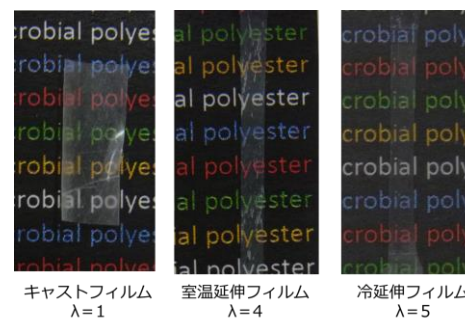


図6 C10 ホモ PHA の延伸フィルム

表2 C10 ホモ PHA 延伸フィルムの機械特性

	破壊強度 (MPa)	破壊伸び (%)	弾性率 (MPa)
キャストフィルム	8	313	40
室温延伸フィルム	45	49	360
冷延伸フィルム	18	68	120
ポリプロピレン	35	600	—
レジ袋(成形方向)	33	245	860

・誘導生産法の開発

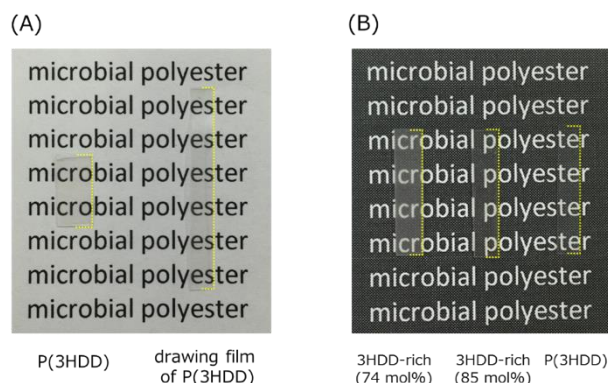
天然型の PHA 合成微生物には、PHA を細胞内に蓄積しながら細胞分裂をするための仕組みが備わっている。しかしながら、大腸菌などの本来 PHA を蓄積しない微生物を用いて PHA 合成を行うと、細胞分裂の際にセブタムが正常に形成できず、細胞分裂が阻害され、細胞がフィラメント化する現象が観察される。このような問題を解決する方法として、モノマーとなる脂肪酸を細胞増殖が終了した後に添加することで PHA の合成を誘導する方法を採用した。その結果、細胞増殖はフラスコ培養と比較して飛躍的に向上させることができた。一方で、ポリマー蓄積量は低く抑えられ、培養前半から後半への代謝の切り替えがスムーズに行われていないことが判明した。よって、細胞増殖からポリマー蓄積への切り替えをスムーズに行う手法を開発することで、ホモ PHA の大量合成に取り組んだ。

・混合有機酸の原料化

バイオマス由来の混合脂肪酸については、パーム核油精製時の副産物である遊離脂肪酸 (Palm Kernel Fatty Acid Distillate, PKFAD) を利用する。現状では混合脂肪酸から完全なホモ PHA を合成することは技術的に不可能なので、なるべく単一の脂肪酸からなる基質をホモ PHA 合成の原料とする方針で研究を進めた。具体的には、PKFAD から中鎖脂肪酸、特にラウリン酸 (C12) を濃縮するための前処理条件を検討した。液液抽出、固液抽出、溶融固化、クロマトグラフィー分画など諸検討の結果、尿素処理にて、固層側にラウリン酸を含む長鎖脂肪酸リッチな画分が得られることがわかった (図6)。この画分からメタノールを除去して脂肪酸固化物を得、培養の炭素源として利

用したところ、比較的良好な培養結果を得ることができた。混合脂肪酸及び前処理した混合脂肪酸を用い得られポリマーを解析すると、C12 分率が 74 mol%及び 85 mol%の C12 リッチ PHA を合成することができた。得られた PHA は C12 ユニットの主成分とするヘテロ PHA ではあったが、その溶媒キャストフィルムは透明性が高く、また、延伸しても透明性は維持されていた(図 6)。モノマー組成に依存した材料物性を系統的に調べると、C12 リッチ PHA は鎖長が1つ短い C11 ホモ PHA と同等の性質を示し、十分に実用に耐え得る材料であることがわかった(図 7)。

図 6 (A) C12 ホモ PHA (P(3HDD)) 溶媒キャストフィルムとその延伸フィルム



(B) PKFAD から合成した C12 リッチ PHA の溶媒キャストフィルム

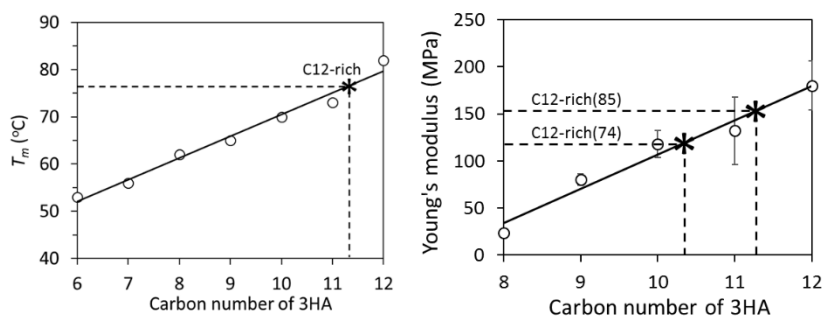


図 7 C12 リッチ PHA (74 mol%および 85 mol%) の融点(T_m)とヤング率

・高分子量化の検討

ホモ PHA の分子量の向上を目指して、高分子量 PHA を合成する大腸菌の代謝解析を行った。大腸菌において PHA の分子量は、重合酵素の発現量とモノマーの比率に加え、宿主により生産されたエタノールが連鎖移動剤としてポリマーの伸長反応を阻害して、分子量に大きく影響していることを明らかにした(図 8)。また、乳酸ポリマーを高分子量化する因子についていくつかの可能性(ポリエステル顆粒タンパク質やレギュレータータンパク質の影響)を示唆する結果を得た。一方で、東工大 G で育種した菌株が 2-ヒドロキシ-4-メチル吉草酸の新規モノマーを含む多元ポリ乳酸を合成することを見出した。

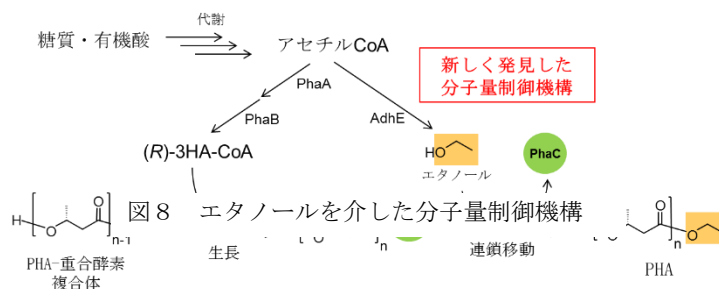


図 8 エタノールを介した分子量制御機構

3. 5. 新規バイオポリマーの高機能化(岩田グループ)

本グループは、北大 G と東工大 G により微生物工場で生産された様々な組成・構造の多元ポリ乳酸とホモ PHA の機械物性、熱的性質、透明性などの基礎物性を測定し、繊維、ナノファイバー、フィルム、射出成型品などの実部材化に向け必要な物性を有する有用なポリマーの選定を行うことを第一の目的とした。さらに、東大 G が開発した新規成形加工法(冷延伸法、微結晶核延伸法など)を用いて、実験室レベルではあるが、熔融紡糸繊維や高強度フィルムの作製に成功すると共に、大型放射光(SPring-8)の超強力 X 線を用いた分子レベルでの構造解析を行い、構造と物性の相関を解明し、生合成グループにその結果をフィードバックさせ、新たなポリエステル合成に向けた基礎的知見の提供を目的とした(図 1)。また、これらのポリマーは優れた生体吸収性を持っていると考えられることから、細胞増殖足場材としてのナノファイバー開発や手術用縫合糸などの生体吸収性医療材料としての可能性を検討することを目的とした。

さらに、バイオポリマーを部材化するためには、その成型性(主に、結晶化速度の増大)や他のバイオポリマーとのブレンドにおける相溶性が大きな課題である。東大 G が開発したキシランエステルは、ポリ乳酸に添加すると、既に市販されている鉱物系および有機合成系結晶核剤以上の性能を発揮するだけでなく、バイオマス由来結晶核剤としての優位性も合わせ持っている。このキシランエステルを、多元ポリ乳酸やホモ PHA に適応できるように、置換基の種類や分子量を調整し、最適な核剤へとチューニングする。さらに、多元ポリ乳酸やホモ PHA を、混ざり合わない 2 種類のバイオベースポリマーの相溶化剤として利用することを検討し、「オールバイオマス複合材料」として新たな機能を発現する材料カテゴリーを開拓することを目的とした。そのために、王子ホールディングス(王子製紙(株))の協力を得て、広葉樹からのキシランの効率的な抽出、大量生産を考慮した環境低負荷型のキシランエステル合成法の開発に着手し、樹脂添加剤メーカーである ADEKA(株)において実機におけるポリ乳酸との熱混練を行い核剤としての性能評価を行った。以下に、具体的な研究成果について § 2 と § 3 の研究テーマに沿って詳述する。

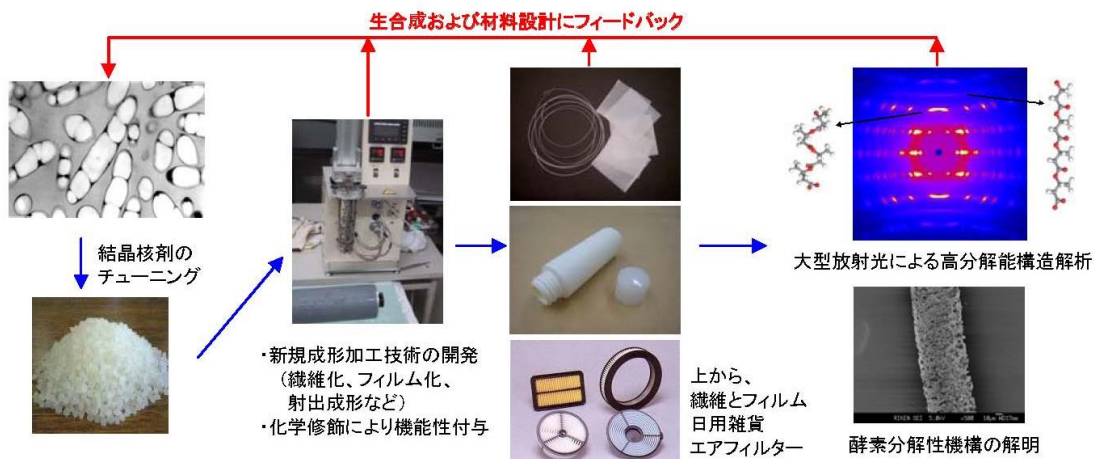


図 1 本グループの研究概略図

・多元ポリ乳酸及びホモ PHA の基礎物性解析(機械物性、熱物性、光特性)

北大Gで生合成された多元ポリ乳酸と東工大Gで生合成されたホモ PHA の破壊強度・破壊伸びなどの機械物性、ガラス転移点・結晶化温度・融点などの熱的性質、フィルムの光透過率・複屈折率などの光学特性を測定した。

多元ポリ乳酸の機械的性質に関しては、乳酸分率 30 mol%から 40 mol%までの範囲において破壊強度の低下を伴わず、100%を超す破壊伸びを示した。特に乳酸分率 30 mol%付近においては汎用プラスチックであるポリエチレンに匹敵する 400%という高い破壊伸びを示すことが分かった。さらにこの柔軟性は室温下、空气中で 5 か月以上保管しても維持されることがわかった。ホモ PHA

に関しては、側鎖長が長くなるにつれ柔軟性が向上すると共に側鎖結晶化により融点の上昇も合わせて認められた。C10 ポリマーにおいてこの柔軟性は室温下 2 年保管後も維持されることがわかった。

多元ポリ乳酸とホモ PHA の熱分解温度を測定したところ、多元ポリ乳酸はこれまでの微生物産生ポリエステル 5% 熱分解温度 ($T_{d5\%}=250^{\circ}\text{C}$) よりも 50°C 以上も高い 300°C 付近に $T_{d5\%}$ が存在しており、高い耐熱性が認められた。次に、ホモ PHA については、側鎖炭素数の増加と共に $T_{d5\%}$ は 275°C 程度まで上昇した。TGA 測定と同様な速度で昇温したサンプルの分子量測定から、熱分解温度の上昇はこれまでとは異なる新たな熱分解機構によるものであることが示唆された。

溶剤キャストフィルムの光透過率及び複屈折率を測定したところ、多元ポリ乳酸のうち P(85%LA-co-2HB) は複屈折および濁り値が非常に小さく、光学特性に優れた材料であることがわかった。またホモ PHA においては C12 ポリマーが濁り値 9% と市販の透明樹脂に匹敵する高い透明性を示した。これら新規バイオポリマーの透明性発現には透明化剤などの添加剤を必要としないことから、長期間にわたり安定した光学特性を維持することが期待される。

・多元ポリ乳酸の結晶構造解析

北大 G で合成された多元ポリ乳酸のシリーズの一つである P(LA-co-2HB) が、全ての成分分率で共結晶化するという非常に特異な現象を見出した。さらに、北大 G で合成された多元ポリ乳酸の一つであるポリ(2-ヒドロキシブチレート) (P(2HB)) ホモポリマーから配向結晶性フィルムを作製し、撮影した X 線繊維図を基にした結晶構造解析を行った。非常に高分解能な X 線回折図を撮影することに成功し、格子定数、回折強度などの構造解析に必要な情報の獲得に成功した (図 2)。さらに、溶液成長単結晶を生成することにも成功した。また、成型試料中で成長する結晶の成長を可視化するために、温度制御装置の付いた偏光顕微鏡を用いて球晶成長様式を時分割で撮影することに成功した。

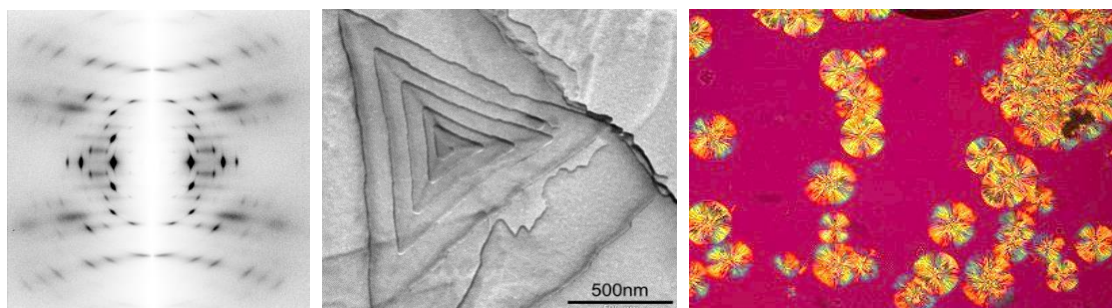


図 2 P(2HB)配向結晶性フィルムのX線繊維図(左)、単結晶の透過型電子顕微鏡像(中)、球晶形態(右)

繊維周期と消滅則の情報をもとに、コンピュータを用いて 6 残基および 7 残基からなる孤立分子鎖の構築を行った。孤立分子鎖のエネルギー鳥瞰図とらせん対称より、P(2HB)の最適分子鎖構造は 7 回らせん構造をとることが分かった (図 3 上)。X線繊維図から得られる各回折点の黒化度を用いて、結晶格子中への分子鎖充填を行った。現在、赤道線反射を用いた構造因子は 9.6% であり (図 3 下)、今後は繊維軸方向の分子鎖シフトを行い、全ての層線上の回折点を用いて最終的な三次元構造解析を完了させる予定である。

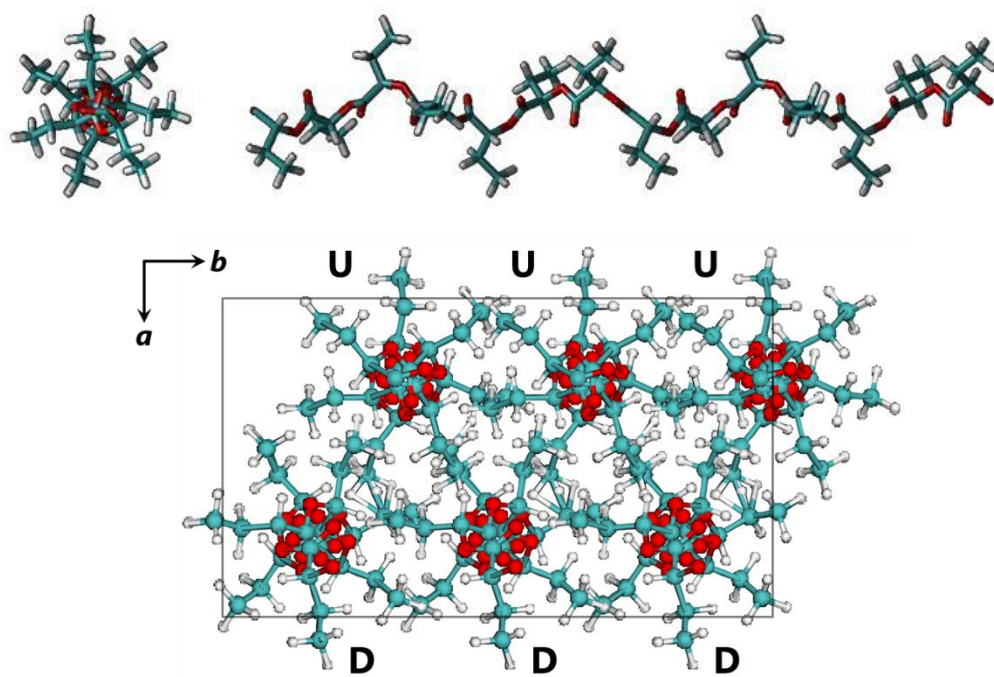


図3 P(2HB)の孤立分子鎖構造(7回らせん構造)と *ab* 面における分子鎖充填構造

・ P(2HB)単結晶の構造と酵素分解

P(2HB)の溶液成長単結晶は図4に示すように非常に珍しい様々な形態を示す。正三角形の単層ラメラ結晶（左上）と積層ラメラ結晶（中央上）が最も頻繁に観察された。興味深いことに、ラメラ結晶がらせん転移を起こしながら成長する様子も観察された（右上）。図4右上は、同一基盤ラメラ上に右巻きのらせん転移結晶と左巻きのらせん転移結晶が同時に観察された。これは、P(2HB)分子鎖の構造が右巻きと左巻きに大きなエネルギー差がないことに起因するとも考えられる。さらに、三角形の結晶が同一平面上に集まり、双晶となって成長した長方形の結晶も観察された（左下）。また、小さな三角形結晶が群生している結晶（中央下）および2等辺三角形（右下）も観察された。

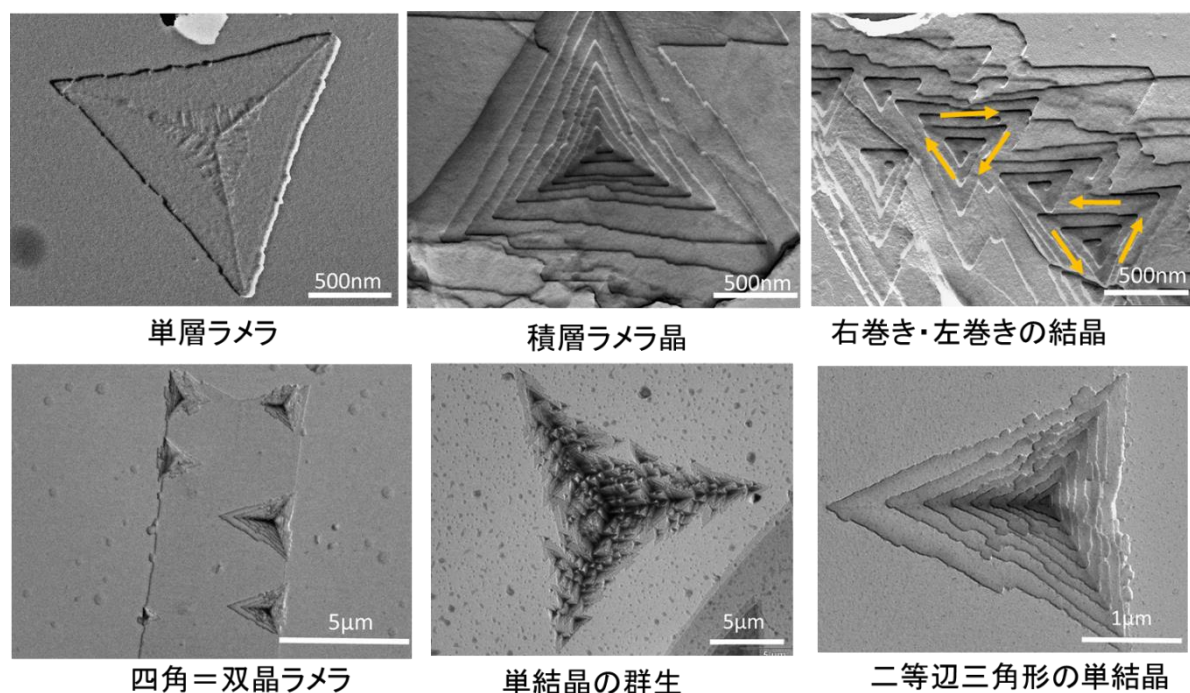


図4 P(2HB)単結晶の様々な形態TEM像

リパーゼであるNovozyme 42044を用いて、単結晶の酵素分解を試みた。単結晶を表面に成長させたTEM観察用グリッドを30℃に等温保持した酵素溶液に浸し、所定の時間、酵素分解を行った。

図5に酵素分解途中の単結晶の形態像を示す。9時間経過後の単結晶に注目すると、結晶の辺に対して鉛直方向に縞が入っていることが確認できた。これは、単結晶が側面から鉛直方向に酵素分解されたことを示していると考えられる。酵素分解前後で分子量に大きな変化は見られなかった。また、低分子量のポリマーは検出されなかった。したがって、酵素分解は表面から進行せず、側面から鉛直方向に優先的に酵素分解は進行することがわかった。

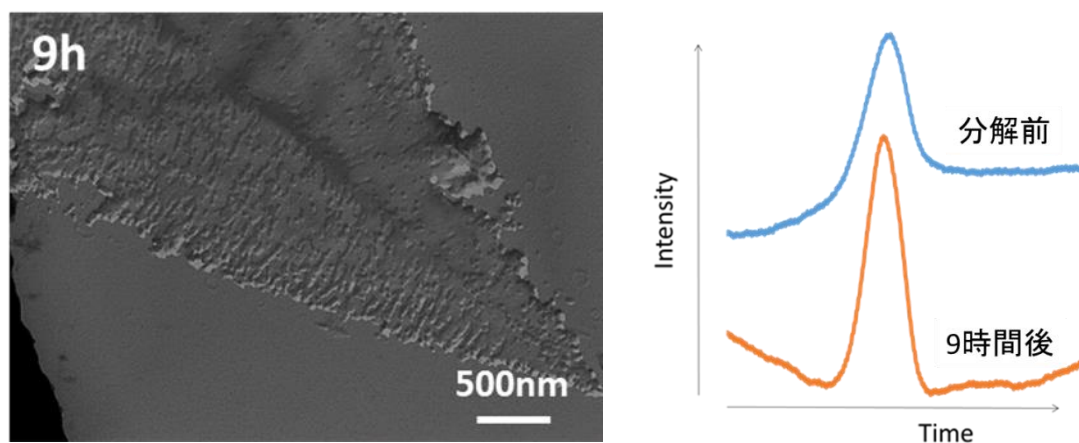


図5 P(2HB)単結晶の酵素分解途中の形態と酵素分解前後の分子量

・ホモ PHA の結晶構造解析

東工大柘植 G で生合成されたC6～C12のホモ PHA のうち、C10の分子鎖構造および結晶構造の解析を行った。分解能の高い X 線繊維図から得られた繊維周期を基に、分子鎖構造のエネルギー的に安定構造を解明した(図 6)。その結果、P(3HB) (C4)と P(3HD) (C10)のいずれの分子鎖構造も 2 回らせん構造をとるが、C10 の方が、側鎖が主鎖に対してより外に広がるように、主鎖のらせん周期が短い構造となることが分かった。エネルギー的に安定な分子鎖を結晶格子に充填し、最終的な結晶構造解析を行ったところ、P(3HD)分子鎖の側鎖は結晶格子中で平行に配列していることがわかった。さらに、側鎖は平面ジグザグ構造に近い構造を取っていることも判明した。

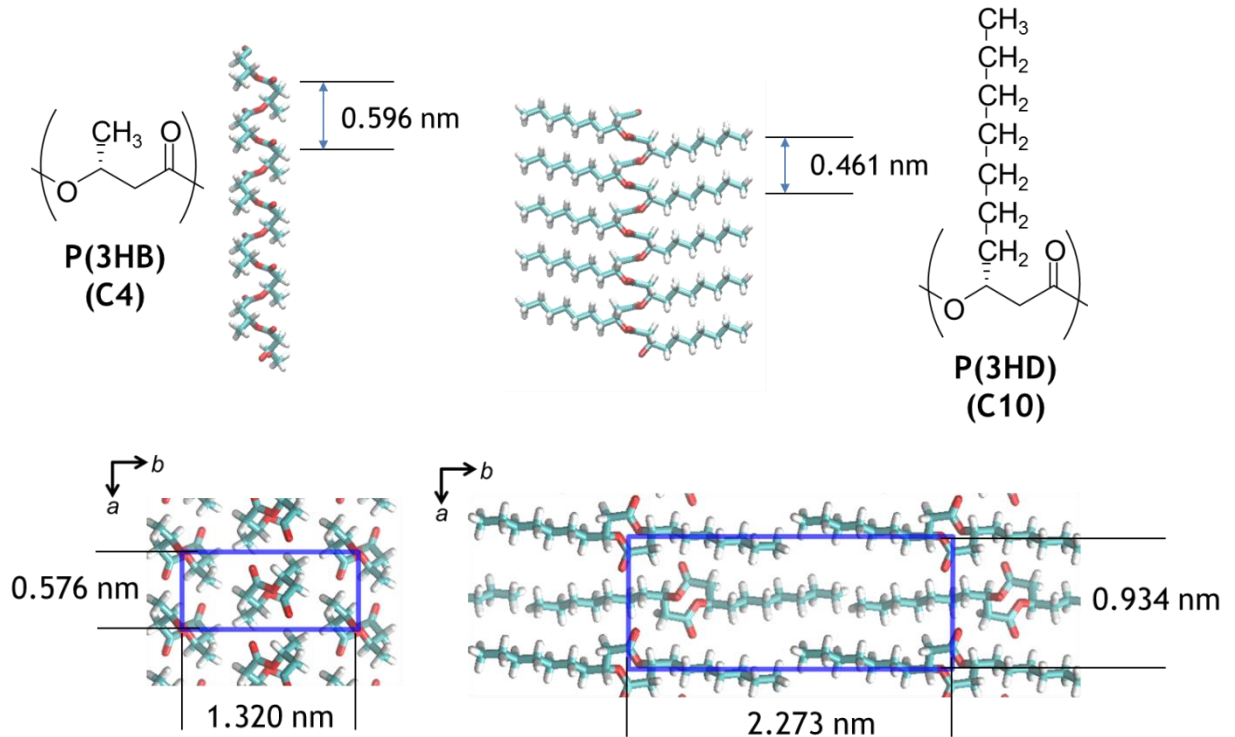


図 6 P(3HD) (C10)の分子鎖構造および結晶構造
(比較として、P(3HB)の分子鎖構造と結晶構造も合わせて示す)

・実バイオマスからのポリ乳酸用結晶核剤の開発

北大 G で生合成される多元ポリ乳酸は、これまで市場で実用部材化が進んでいるポリ(L-乳酸) (PLLA)の光学異性体であるポリ(D-乳酸)(PDLA)を共重合組成として含んでいる。これまで東大 G で開発したキシランエステル誘導体は、PLLA に対し効果的な結晶核剤効果を示すことがわかっている。本研究では、PDLA に対して同様の効果が出るか否かの検討を行った。その結果、PLLA に対してよりもさらに優れた核剤効果を示すことがわかった(図 7)。さらに、PLLA および PDLA からなる高耐熱性ポリ乳酸ステレオコンプレックスに対するキシランエステル誘導体の核剤効果を検討した。その結果、溶液状態および熔融状態のポリ乳酸ステレオコンプレックスにキシランエステル誘導体を添加して結晶化を行うことで、溶液状態での添加により半結晶化時間が短縮し(図 8(a))、熔融状態での添加により融点と結晶化度が増大した(図 8(b))。さらに、これらの結果を踏まえ、王子製紙(株)と共同で、広葉樹からのキシラン抽出、キシランエステル誘導体の合成を行い、ADEKA (株)において熱混練によるポリ乳酸への添加および核剤効果の評価を行った。その結果、キシランエステルの核剤効果発現にはポリ乳酸樹脂中でキシランエステルが分子レベルまで分散することが必要であり、実用プロセスである熱混練で核剤効果を発現させるにはキシランエステルの低分子量化が有効であることが明らかとなった。

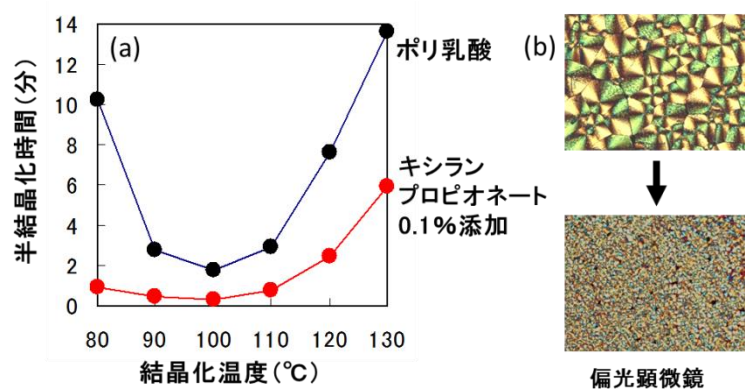


図7 PLLAに対するキシランプロピオネートの核剤効果：(a)半結晶化時間、(b)球晶形態

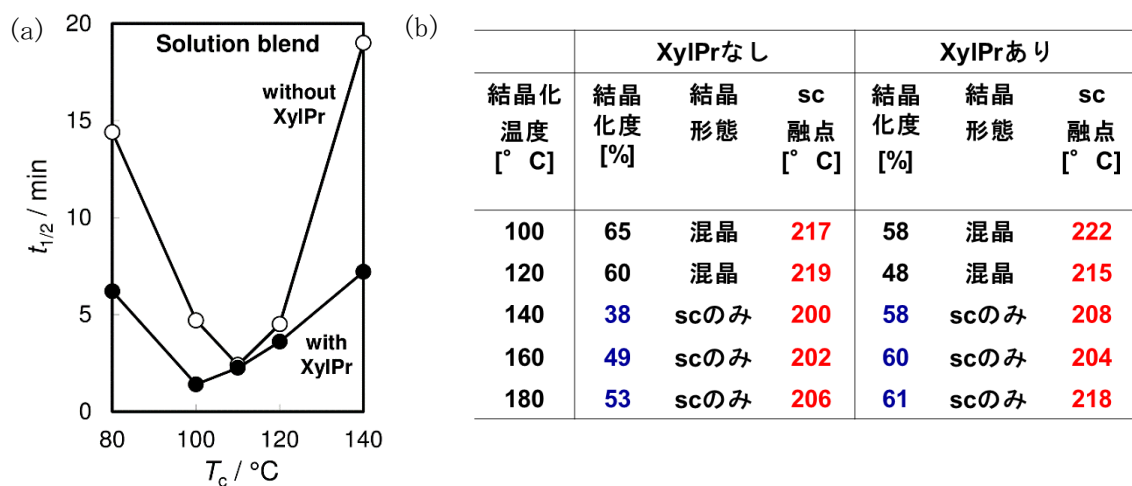


図8 ポリ乳酸ステレオコンプレックスに対するキシランプロピオネートの核剤効果：(a)溶液状態で添加後の半結晶化時間、(b)熔融状態で添加後の融点及び結晶化度

・多元ポリ乳酸及びホモ PHA の熱成形による部材化

多元ポリ乳酸である P(45%LA-co-3HB)から射出成型法により、既存バイオポリエステルである PLA および PHBH に比べて高い透明性を示す成形体の作製に成功した(図 9(a))。

ホモ PHA においてもホットプレス法により板状の C10 ポリマー成形体の作製に成功した(図 9(b))。この C10 ポリマー成形体は折り曲げが可能な高い柔軟性を示したことから、シリコン樹脂など既存の軟質樹脂の代替となることが期待される。

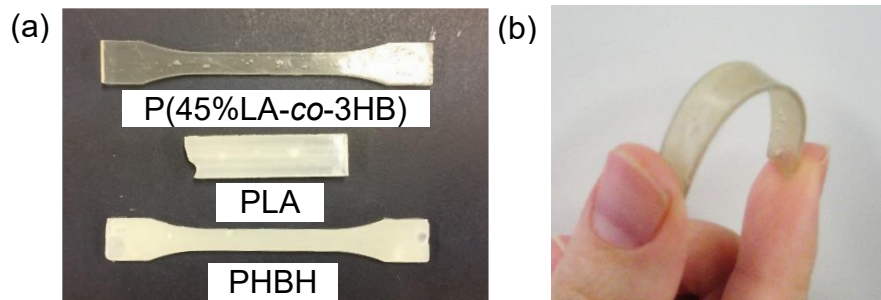


図 9 (a) P(45mol%LA-co-3HB) (上)、PLA (中)、PHBH (下) の成形体
(b) C10 ホモ PHA の成形体

・多元ポリ乳酸及びホモ PHA のナノファイバー化および生体材料としての機能評価

既存バイオポリエステルである PLA は、加水分解による生体内吸収性および生体適合性を有することから、人工骨やステントなどの生体材料としての実用化がこれまでに行われてきた。これまでの実用例は骨などの高い剛性を必要とする部位への応用が中心であったが、心筋や軟骨など、より柔軟な組織に適応した生体材料の開発が求められている。また心筋や軟骨は自己修復性が低い組織でもあることから、こうした組織の細胞を培養するための足場材料の重要性が増大している。ここで足場材料に用いる素材には、細胞ごとに適した力学特性を持つことや、細胞の組織形成のために様々な形態(フィルム・繊維・ゲル・多孔体など)への加工性が求められる。既存のもっとも汎用的な足場材料であるコラーゲンは、高い細胞増殖性を示す一方、形状付与の自由度という観点では制約がある。一方、バイオポリエステルは熱成形などの多様な方法で自在に形態付与が可能であるという利点を有する。さらに、生理的条件下での加水分解性を持つことから、培養細胞にダメージを与えずに足場からの分離が可能である。特に、多元ポリ乳酸およびホモ PHA は、モノマー組成による力学特性の制御が可能であり、形態制御により細胞ごとに適した培養環境を提供できることが期待される。こうした観点から、多元ポリ乳酸およびホモ PHA に関して、エレクトロスピンニング法によるナノファイバー化条件の検討を行った。

既存バイオポリエステルである P(3HB)および PLA の最適溶媒である 1,1,1,3,3,3-ヘキサフルオロ-2-プロパノールではナノファイバー化ができなかったが、溶媒の極性、誘電率および沸点をパラメータとして探索した結果、P(LA-co-3HB)においてはジクロロメタンを用いることでナノファイバー化に成功した(図 10(a))。一方ホモ PHA では長いアルキル側鎖に起因して分子全体の極性が低いため、単一組成の溶媒ではナノファイバー化ができなかった。しかしながら、溶媒である 1,2-ジクロロエタンに、紡糸液の極性を増大させるため臭化テトラブチルアンモニウムを添加することで、C10 および C12PHA のナノファイバー化に成功した(図 10(b))。

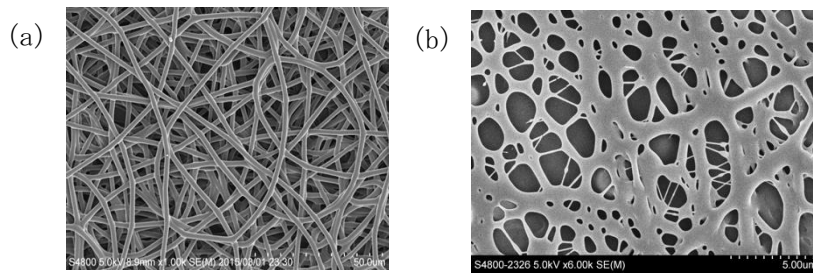


図 10 新規バイオポリマーナノファイバーの走査型電子顕微鏡像。(a) P(31mol%LA-co-3HB) (b) C12 ホモ PHA

これらのポリエステルナノファイバーマット上にウサギ由来軟骨細胞またはラット由来心筋細胞を播種し、1 週間培養を行い細胞の増殖性を評価した(図 11)。P(45%LA-co-3HB)ナノファイバー上では、いずれの種類の細胞に関しても、既存の足場材料であるコラーゲンや PLA ナノファイバーよりも高密度に細胞が増殖することが分かった。さらに、アルシアンブルー染色による増殖後の軟骨細胞の軟骨成分分泌能の定性的評価を行ったところ、P(45%LA-co-3HB)ナノファイバーは PLLA よりも高い軟骨成分分泌能を持つことが明らかとなった(図 12)。一方、ホモ PHA(C10 および C12)ナノファイバー上では軟骨細胞の増殖は見られなかったが、心筋細胞については高い増殖性が認められた。これらの結果より、バイオポリマーの種類(それぞれ異なる力学特性を有する) および形態を制御することにより、様々な種類の細胞に対してチューニングされた足場材料を提供できる可能性が示された。

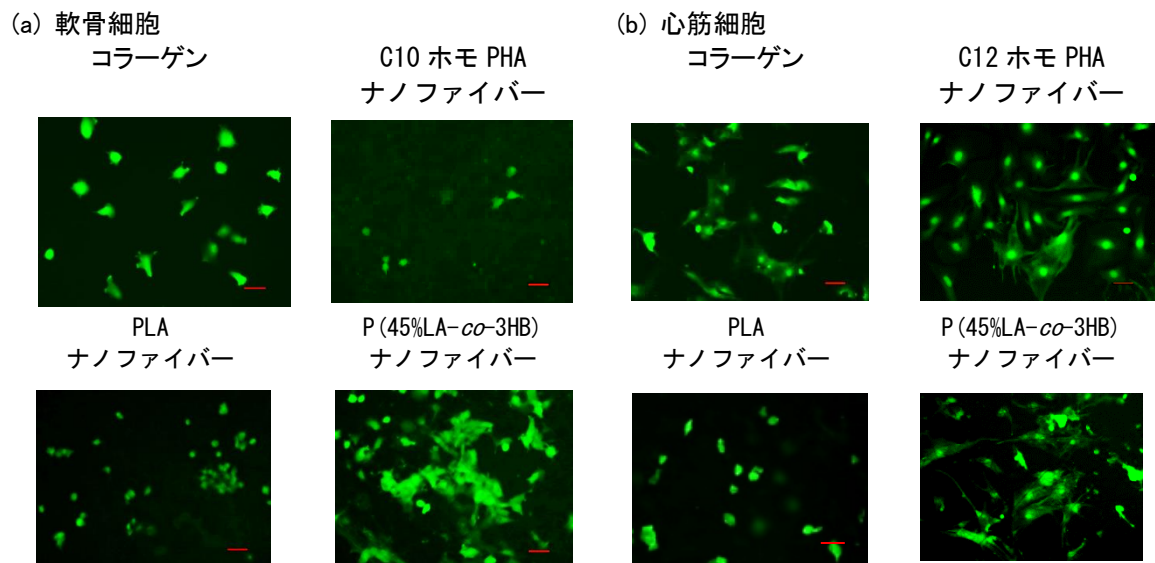


図 11. 各種バイオポリマーおよびコラーゲン上における培養細胞の増殖挙動 (1 週間培養後)。

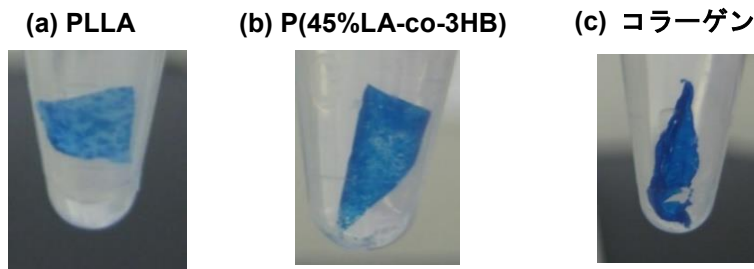


図 12. ナノファイバーマットおよびコラーゲン上における軟骨成分分泌能のアルシアンブルー染色による評価

・多元ポリ乳酸及びホモ PHA の微粒子化

粒径がサブミクロンオーダーから数百 μm の範囲にある、微粒子化されたプラスチック(マイクロビーズ)は、化粧品や歯磨き、スクラブ等に加えられる研磨剤、ドラッグデリバリーのための薬物担体や塗料の添加剤として、広範に利用されている。近年、プラスチックマイクロビーズが生活排水から環境中に放出され、魚類などの水生生物に取り込まれて生育に悪影響を及ぼすなどの問題点が指摘されており、既に国内外で製造および使用の規制が行われつつある。こうした社会的要請から、マイクロビーズの原料として、既存のポリエチレン等非分解性プラスチックから、生分解性プラスチックへの置き換えが急務となっている。以上の背景から、本研究で開発を行ってきた多元ポリ乳酸およびホモ PHA に関して微粒子化の条件検討を行った。

P(LA-co-3HB)については、クロロホルム(溶媒)/水(非溶媒)/SDS(界面活性剤)を用いて超音波照射によるエマルジョン化を行い、各成分の比率を変えることでおよそ 200 nm から 30 μm の範囲での粒径制御に成功した(図 13 (a)(b)).ホモ PHA についても、C12 リッチ PHA/ジクロロメタン(溶媒)/水(非溶媒)系への超音波照射により、粒径約 1 マイクロメートルの微粒子の作製に成功した(図 13(c)).ホモ PHA 微粒子は特に高い球状性および平滑性を有しており、水系塗料添加剤などへの応用が期待される。

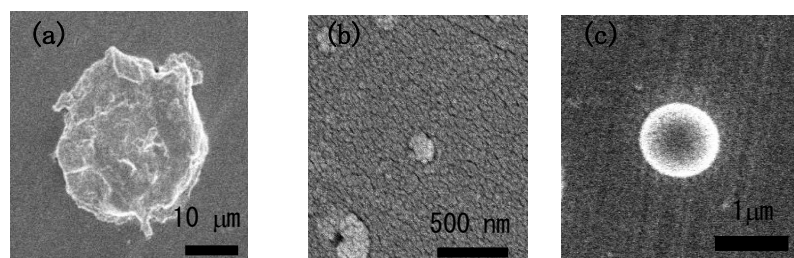


図 13. 多元ポリ乳酸およびホモ PHA より作成した微粒子.

(a), (b): P(45%LA-co-3HB) (c): C12 リッチ PHA

・多元ポリ乳酸の溶融紡糸による繊維化

既存バイオポリエステルのうち、PLA についてはすでに溶融紡糸による繊維化が行われており、釣り糸等としての製品化の実績がある。一方 P(3HB)に代表される PHA 系ポリマーについては、熱分解による曳糸性の低下により溶融紡糸が困難であり、超高分子量体を用いるなど繊維化には特殊な条件が必要であった。これは既存 PHA において融点と熱分解温度が近接していたことが主な原因である。本研究で開発を行ってきた多元ポリ乳酸およびホモ PHA は、既存 PHA に比べて高い熱分解耐性を有しており、より繊維化に適したポリマーであることが期待される。一方繊維化の条件検討を行う上で、1 バッチ数 g 程度のポリマーが必要となる。こうした観点から、100L スケールで

の微生物合成に成功した P(45%LA-co-3HB)に関して熔融紡糸による繊維化の検討を行った。

紡糸時の炉体温度や押出速度、巻取速度など様々な条件を検討した結果、図 14 に示すように連続的な繊維の巻き取りに成功した。得られた繊維は既存の PLA と比較して高い光沢性を示すものであることが分かった。

P (45%LA-co-3HB)



PLA



図 14. P (45%LA-co-3HB) (左) および PLA(右) の熔融紡糸繊維

§ 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 3 件、国際 (欧文) 誌 44 件)

[国内(和文)誌]

1. 大井俊彦、松本謙一郎、門屋亨介、田口精一：植物バイオマスから微生物バイオポリマー生産のための一貫プロセス開発、*高分子論文集*、**70**:675-683 (2013).
2. ロジャース有希子、上高原浩、高野俊幸、ノリーン・フンダドール、岩田忠久：セルロース、キシランおよびグルコマンナン誘導体の合成とその材料化、*高分子論文集*, **70**, 529-538 (2013).
3. 加部泰三、岩田忠久：微生物産生ポリエステルの物性と分子構造及び高次構造の相関、*高分子論文集*、**71**:527-539 (2014).

[国際(欧文)誌]

1. J. M. Nduko, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi: Effectiveness of xylose utilization for high yield production of lactate-enriched P(lactate-co-3-hydroxybutyrate) using a lactate-overproducing strain of *Escherichia coli* and an evolved lactate-polymerizing enzyme, *Metabolic Engineering*, **15**:159-166, (2013). (DOI: 10.1016/j.ymben.2012.11.007)
2. A. Hiroe, K. Ushimaru, T. Tsuge: Characterization of polyhydroxyalkanoate (PHA) synthase derived from *Delftia acidovorans* DS-17 and the influence of PHA production in *Escherichia coli*, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **115**: 633-638, (2013). (DOI: 10.1016/j.jbiosc.2012.12.015).
3. N. G. Fundador, Y. Enomoto-Rogers, A. Takemura, T. Iwata: Xylan esters as bio-based nucleating agents for poly(L-lactic Acid), *Polymer Degradation and Stability*, **98**:1064-1071, (2013). (DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.01.010).
4. K. Matsumoto, S. Terai, A. Ishiyama, J. Sun, T. Kabe, Y. Song, J. Nduko, T. Iwata, S. Taguchi, One-pot microbial production, mechanical properties and enzymatic degradation of isotactic P[(*R*)-2-hydroxybutyrate] and its copolymer with (*R*)-lactate, *Biomacromolecules*, **14**(6):1913-1918 (2013). (DOI: 10.1021/bm400278j)
5. K. Matsumoto, Y. Tanaka, T. Watanabe, R. Motohashi, K. Ikeda, K. Tobitani, M.

- Yao, I. Tanaka, S. Taguchi: Directed evolution and structural analysis of NADPH-dependent acetoacetyl-CoA reductase from *Ralstonia eutropha* reveals two mutations responsible for enhanced kinetics, *Applied Environmental Microbiology*, **79**: 6134-6139 (2013). (DOI:10.1128/AEM.01768-13)
6. A. Hiroe, M. Hyakutake, N. M. Thomson, E. Sivaniah, T. Tsuge: Endogenous ethanol affects biopolyester molecular weight in recombinant *Escherichia coli*, *ACS Chemical Biology*, **8**: 2568-2576 (2013). (DOI: 10.1021/cb400465p)
 7. N. G. V. Fundador, Y. Enomoto-Rogers, T. Iwata: Esterification of xylan and its application, in Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Materials II, H. N. Cheng, R. A. Gross, P. B. Smith (Eds.), (American Chemical Society, 2013), pp. 393-406.
 8. J. M. Nduko, K. Matsumoto, S. Taguchi, Microbial Plastic Factory: Synthesis and Properties of the New Lactate-Based Biopolymers: Biocatalysis and Materials II, H. N. Cheng, R. A. Gross, P. B. Smith (Eds.), (American Chemical Society, 2013), pp. 175-197.
 9. N G. V. Fundador, T Iwata: Enhanced crystallization of poly(D-lactide) by xylan esters, *Polymer Degradation and Stability*, **98**: 2482-2487 (2013). (DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.06.013).
 10. T. Kabe, T. Sato, K. Kasuya, T. Hikima, M. Takata, T. Iwata: Transition of spherulite morphology in a crystalline/crystalline binary blend of biodegradable microbial polyesters, *Polymer*, **55**: 271-277 (2014). (DOI: 10.1016/j.polymer.2013.11.038).
 11. J. M. Nduko, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi: Enhanced production of poly(lactate-co-3-hydroxybutyrate) from xylose in engineered *Escherichia coli* overexpressing a galactitol transporter, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **98**: 2453-2460 (2014). (DOI: 10.1007/s00253-013-5401-0)
 12. J. Sun, K. Matsumoto, J. M. Nduko, T. Ooi, S. Taguchi: Enzymatic characterization of a depolymerase from the isolated bacterium *Variovorax* sp. C34 that degrades poly(enriched lactate-co-3-hydroxybutyrate), *Polymer Degradation and Stability*, **110**: 44-49 (2014). (DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.08.013)
 13. K. Matsumoto, K. Tobitani, S. Aoki, Y. Song, T. Ooi, S. Taguchi: Improved production of poly(lactic acid)-like polyester based on metabolite analysis to address the rate-limiting step, *AMB Express*, **4**: 83 (2014). (DOI: 10.1186/s13568-014-0083-2)
 14. J. Zhang, H. Fujizawa, A. Isogai, T. Hikima, M. Takata, T. Iwata: Crystallization behaviors of Poly[(R)-3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate]/ polyethylene glycol graft TEMPO-oxidized cellulose nanofiber blends, *Polymer Degradation and Stability*, **110**: 529-536 (2014). (DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.09.022)
 15. S. Mizuno, S. Katsumata, A. Hiroe, T. Tsuge: Biosynthesis and thermal characterization of polyhydroxyalkanoates bearing phenyl and phenylalkyl side groups, *Polymer Degradation and Stability*, **109**: 379-384 (2014). (DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.05.020)
 16. L. Salamanca-Cordona, R. Scheel, N. Bergey, A. Stipanovic, K. Matsumoto, S.

- Taguchi, C. Nomura: Effect of acetate as co-feedstock on the production of poly(lactate-co-3-hydroxyalkanoate) by pflA-deficient *Escherichia coli* RSC10, *Bioengineered*, **5**(5): 284-287 (2014). (DOI: 10.4161/bioe.29595)
17. J. Sun, K. Matsumoto, J. M. Nduko, T. Ooi, S. Taguchi: Enzymatic characterization of a depolymerase from the isolated bacterium *Variovorax* sp. C34 that degrades poly(enriched lactate-co-3-hydroxybutyrate), *Polymer Degradation and Stability*, **110**: 44-49 (2014). (DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.08.013)
 18. T. Kabe, C. Hongo, T. Tanaka, T. Hikima, M. Takata, T. Iwata: High tensile strength fiber of poly[(*R*)-3-hydroxybutyrate-co-(*R*)-3-hydroxyhexanoate] processed by two-step drawing with intermediate annealing, *Journal of Applied Polymer Science*, **132**:41258-41265 (2015). (DOI: 10.1002/app.41258)
 19. R. Kadoya, Y. Kodama, K. Matsumoto, S. Taguchi: Enhanced cellular content and lactate fraction of the P(lactate-co-3-hydroxybutyrate) produced in recombinant *Escherichia coli* by the deletion of sigma factor RpoN, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **119**: 427-429 (2015). (DOI: 10.1016/j.jbiosc.2014.09.001)
 20. R. Kadoya, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi: MtgA deletion-triggered cell enlargement of *Escherichia coli* for enhanced intracellular polyester accumulation, *PLoS ONE*, **10**: e0125163 (2015). (DOI: 10.1371/journal.pone.0125163)
 21. J. Sun, K. Matsumoto, Y. Tabata, R. Kadoya, T. Ooi, H. Abe, S. Taguchi: Molecular weight-dependent degradation of D-lactate-containing polyesters by polyhydroxyalkanoate depolymerases from *Variovorax* sp. C34 and *Alcaligenes faecalis* T1, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **99**: 9555-9563 (2015). (DOI:10.1007/s00253-015-6756-1)
 22. R. Kadoya, Y. Kodama, K. Matsumoto, S. Taguchi: Indirect positive effects of a sigma factor RpoN deletion on the lactate-based polymer production in *Escherichia coli*, *Bioengineered*, **28**: 1-5 (2015). (DOI:10.1080/21655979.2015.1069449)
 23. K. Ushimaru, Y. Watanabe, A. Hiroe, T. Tsuge: A single-nucleotide substitution in phasin gene leads to enhanced accumulation of polyhydroxyalkanoate (PHA) in *Escherichia coli* harboring *Aeromonas caviae* PHA biosynthetic operon, *The Journal of General and Applied Microbiology*, **61**: 53-66 (2015). (DOI: 10.2323/jgam.61.63)
 24. Y. Watanabe, K. Ishizuka, S. Furutate, H. Abe, T. Tsuge: Biosynthesis and characterization of novel poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxy-2-methylbutyrate): thermal behavior associated with α -carbon methylation, *RSC Advances*, **5**: 58679-58685 (2015). (DOI: 10.1039/C5RA08003G)
 25. A. Hiroe, M. Shiraishi, K. Mizuno, T. Tsuge: Behavior of different polyhydroxyalkanoate synthases in response to the ethanol level in *Escherichia coli* cultures, *Polymer Journal*, **47**: 767-770. (2015). (DOI: 10.1038/pj.2015.53)
 26. T. Tsuge, S. Sato, A. Hiroe, K. Ishizuka, H. Kanazawa, Y. Shiro, T. Hisano: Contribution of the distal pocket residue to the acyl-chain-length substrate specificity of (*R*)-specific enoyl-CoA hydratases from *Pseudomonas*: site-directed

- mutagenesis, chimera genesis, X-ray crystallographic analysis, and homology modeling. *Applied Environmental Microbiology*, **81**: 8076-8083 (2015). (DOI: 10.1128/AEM.02412-15)
27. D. Ishii, M. Kimishima, K. Otake, T. Iwata: Enhanced crystallization of poly(lactide) stereocomplex by xylan propionate, *Polymer International*, **65**: 339-345 (2015). (DOI: 10.1002/pi.5061)
 28. J. Sun, C. Utsunomia, S. Sasaki, K. Matsumoto, T. Yamada, T. Ooi, S. Taguchi: Microbial production of poly(lactate-*co*-3-hydroxybutyrate) from hybrid Miscanthus-derived sugars, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **80**: 818-820 (2016) (DOI: 10.1080/09168451.2015.1116933)
 29. L. Salamanca-Cordona, R. Scheel, N. Bergey, A. Stipanovic, K. Matsumoto, S. Taguchi, C. Nomura: Consolidated bioprocessing of poly(lactate-*co*-3-hydroxybutyrate) from xylan as a sole feedstock by genetically-engineered *Escherichia coli*, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **122**(4): 406-414 (2016). (DOI: 10.1016/j.jbiosc.2016.03.009)
 30. K. Tajima, X. Han, Y. Hashimoto, Y. Satoh, T. Satoh, S. Taguchi: *In vitro* synthesis of polyhydroxyalkanoate using thermostable acetyl-CoA synthase, CoA transferase, and PHA synthase from thermotolerant bacteria, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **122**: 660-665 (2016). (DOI: 10.1016/j.jbiosc.2016.06.001)
 31. T. Kabe, K. Matsumoto, S. Terai, T. Hikima, M. Takata, M. Miyake, S. Taguchi, T. Iwata: Co-crystallization phenomena in biosynthesized isotactic poly[(*R*)-lactate-*co*-(*R*)-2-hydroxybutyrate]s with various lactate unit ratios, *Polymer Degradation and Stability*, **132**: 137-144 (2016). (DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.005)
 32. T. Kabe, T. Tanaka, H. Marubayashi, T. Hikima, M. Takata, T. Iwata: Investigating thermal properties of and melting-induced structural changes in cold-drawn P(3HB) films with α - and β -structures using real-time X-ray measurements and high-speed DSC, *Polymer*, **93**: 181-188 (2016). (DOI: 10.1016/j.polymer.2016.04.028)
 33. A. Hiroe, N. Ishii, D. Ishii, T. Kabe, T. Iwata, H. Abe, T. Tsuge: The uniformity of monomer composition and material properties of medium-chain-length polyhydroxyalkanoates biosynthesized from pure and crude fatty acids. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **4**: 6905-6911 (2016). (DOI: 10.1038/pj.2017.20)
 34. S. Mizuno, A. Hiroe, T. Fukui, H. Abe, T. Tsuge: Fractionation and thermal characteristics of biosynthesized polyhydroxyalkanoates bearing aromatic groups as side chains, *Polymer Journal*, **49**: 557-565, (2017). (DOI: 10.1038/pj.2017.20)
 35. T. Kihara, A. Hiroe, M. Hyakutake, K. Mizuno, T. Tsuge: *Bacillus cereus*-type polyhydroxyalkanoate biosynthetic gene cluster contains *R*-specific enoyl-CoA hydratase gene, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **81**: 1627-1635 (2017). (DOI: 10.1080/09168451.2017.1325314)
 36. D. Ishii, K. Takisawa, K. Matsumoto, T. Ooi, T. Hikima, M. Takata, S. Taguchi, T. Iwata: Effect of monomeric composition on the thermal, mechanical and crystalline properties of poly[(*R*)-lactate-*co*-(*R*)-3-hydroxybutyrate], *Polymer*,

- 122**: 169-173 (2017). (DOI: 10.1016/j.polymer.2017.06.039)
37. L. Salamanca-Cordona, R. Scheel, N. Bergey, A. Stipanovic, K. Matsumoto, S. Taguchi, C. Nomura: Effect of acetate as co-feedstock on the production of poly(lactate-co-3-hydroxyalkanoate) by pflA-deficient *Escherichia coli* RSC10, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **123**(5): 547-554 (2017). (DOI: 0.1016/j.jbiosc.2016.12.019. Epub 2017 Feb 23)
 38. R. Kadoya, Y. Kodama, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi: Genome-wide screening of transcription factor deletion targets in *Escherichia coli* for enhanced production of lactate-based polyesters, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **123**(5): 535-539 (2017). (DOI: 10.1016/j.jbiosc.2016.12.018)
 39. K. Takisawa, T. Ooi, K. Matsumoto, R. Kadoya, S. Taguchi: Xylose-based hydrolysate from eucalyptus extract as feedstock for poly(lactate-co-3-hydroxybutyrate) production in engineered *Escherichia coli*, *Process Biochemistry*, **54**: 102-105 (2017). (DOI: 10.1016/j.procbio.2016.12.019)
 40. S. Furutate, H. Nakazaki, K. Maejima, A. Hiroe, H. Abe, T. Tsuge: Biosynthesis and characterization of novel polyhydroxyalkanoate copolymers consisting of 3-hydroxy-2-methylbutyrate and 3-hydroxyhexanoate, *J. Polym. Res.*, 2017. (DOI: 10.1007/s10965-017-1392-3)
 41. S. Mizuno, Y. Enda, Saika A, Hiroe A, Tsuge T: Biosynthesis of polyhydroxyalkanoates containing 2-hydroxy-4-methylvalerate and 2-hydroxy-3-phenylpropionate units from a related or unrelated carbon source. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **125**(3): 295-300 (2018).
 42. K. Matsumoto, C. Hori, R. Fujii, M. Takaya, T. Ooba, T. Ooi, T. Isono, T. Satoh, S. Taguchi: Dynamic changes of intracellular monomer levels regulate block sequence of polyhydroxyalkanoates in engineered *Escherichia coli*, *Biomacromolecules*, **19**(2): 662-671 (2018).
 43. R. Kadoya, K. Matsumoto, K. Takisawa, T. Ooi, S. Taguchi: Enhanced production of lactate-based polyesters in *Escherichia coli* from a mixture of glucose and xylose by Mlc-mediated catabolite derepression, *J. Biosci. Bioeng.*, Jan 9. pii: S1389-1723(17)30935-0. doi: 10.1016/j.jbiosc.2017.11.003. (2018).
 44. C. Hori, K. Oishi, K. Matsumoto, S. Taguchi: Site-directed saturation mutagenesis of polyhydroxyalkanoate synthase for efficient microbial production of poly[(R)-2-hydroxybutyrate], *J. Biosci. Bioeng.*, (2018) in press.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 加部泰三、岩田忠久: 微生物産生ポリエステルの高性能化、プラスチックエージ, **12**: 78-83 (2012).
2. 岩田忠久、ノリーン フンダドール、ロジャース 由希子: ヘミセルロースの有効利用を目指して、マテリアルステージ, **1**: 1-3 (2013).
3. 岩田忠久: 微生物産生ポリエステルの高性能化を目指して、日本結晶学会誌 **55**: 188-196 (2013).
4. 岩田忠久: キシランおよびグルコマンナンのプラスチック材料化と応用; 機能材料, **8**: 3-8 (2013).

5. 松本謙一郎、ジョン・マサニ・ンドウコ、田口精一：乳酸発酵と乳酸ポリマー発酵のメタボリックケミストリー、*化学と生物*、**51**: 448-456 (2013).
6. 松本謙一郎、田口精一：バイオポリエステルの生産システム工学 (第9章)、PART III 細胞システム工学、「生命システム工学」、化学同人、pp. 177-197 (2013).
7. 田口精一：進化分子工学のケーススタディー：産業酵素と抗菌ペプチド、酵素進化工学によって創出される多様なバイオポリマー、第2・3章、「進化分子工学 高速分子進化によるタンパク質・核酸の開発」、NTS、pp. 319-329 (2013).
8. 廣江綾香、柘植丈治：バイオマス資源からの高性能ポリエステル合成、*ケミカルエンジニアリング*、**58**: 598-605 (2013).
9. 岩田忠久、柘植丈治、石井大輔：未利用バイオマスからの新規バイオベースプラスチック開発の取り組み、*オレオサイエンス*、**14**: 123-130 (2014).
10. 岩田忠久：高機能性繊維の最前線 ～医療、ヘルスケア分野への挑戦～、第四編医療用機能性繊維、第6章 微生物産生ポリエステルの医療用繊維としての応用を目指して、シーエムシー出版、監修：阿部康次、森川英明、梶原完爾、pp.140-147 (2014).
11. 岩田忠久：環境にやさしい繊維素材のこれから、*繊維学会誌*、**70**: 512-515 (2014).
12. ロジャース有希子、檀上隆寛、石井大輔、岩田忠久：天然多糖類および植物由来芳香族からの新規バイオベースプラスチックの開発、*バイオプラジャーナル*、**53**: 12-17 (2014).
13. 岩田忠久：進化する医療用バイオベースマテリアル ～第1章 バイオポリエステルの基礎物性～、シーエムシー出版、監修：大矢裕一、相羽誠一、pp.13-20 (2015).
14. 岩田忠久：バイオマスプラスチックの最新研究動向にあたり、*バイオインダストリー*、**2**: 5-6 (2015).
15. 岩田忠久：高分子多糖類からの高性能バイオマスプラスチックの創製、*バイオインダストリー*、**2**: 36-43 (2015).
16. 田口精一：乳酸重合酵素が駆動する乳酸ポリマー微生物工場とポリ乳酸の高機能化～「多元ポリ乳酸」への展開～、『バイオマスプラスチックの新展開』、*BIO INDUSTRY*、**32**: 26-35 (2015).
17. 田口精一：微生物プラスチック工場 ―石油化学工業から生物化学工業へ―、「特集」「ポリマー生産プロセスの現状と将来展望」、*化学工業*、**79**: 310-312 (2015).
18. ロジャース有希子、上高原浩、岩田忠久：セルロースおよびキシラン誘導体の合成とその機能化、*Cellulose Communications*、**22**: 131-136 (2015).
19. 田中稔久、岩田忠久：環境に優しい生分解性素材の特性と加工技術～微生物より生合成される生分解性ポリエステル材料の高強度化～、*加工技術*、**50**(9): 7-18 (2015).
20. 岩田忠久、石井大輔：バイオマスプラスチックの新たな展開～バイオマスの持つ特徴的な構造を活かして～、*日本接着学会誌*、**51**: 848-490 (2015).
21. 石井大輔、岩田忠久：高耐熱性・高加工性バイオマスプラスチックの開発、*プラスチックスエージ*、**61**: 62-67 (2015).
22. 門屋亨介、滝沢憲治、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：乳酸ベースバコンバーテッドプラスチックの創成と「風船型」微生物工場の誕生、*コンバーテック*、**44**: 125-127 (2016).
23. 田口精一：多種多芸の微生物バイオポリマー：透明で硬軟多様で接着性も、*日本接着学会誌*、**52**: 44-49 (2016).
24. 田口精一：合成生物学によって創発される「多元ポリ乳酸」、*バイオプラジャーナル*、**62**: 18-26 (2016).
25. 田口精一：バイオプラスチックの本格的生産に資する風船型微生物工場、*プラスチ*

ックス、**67**: 30-33 (2016)

26. 古舘祥、柘植丈治：第9章第4節 植物油からのバイオポリエステル合成と自動車部材への応用、自動車・航空機用樹脂の最新技術、技術情報協会、pp. 311-318 (2016).
27. 岩田忠久：高分子多糖類からの高性能バイオマスプラスチックの創製、バイオプラスチックの開発と市場、CMC 出版、pp.97-104 (2016).
28. 柘植丈治：微生物によるバイオポリエステル合成の多様化、バイオプラジャーナル、**66**: 5-11 (2017).
29. 岩田忠久：バイオベースプラスチックの最近の進歩、高分子、**66**: 73-78 (2017).
30. 大井俊彦、松本謙一郎、田口精一：植物バイオマスから合成される高分子、「Polymers synthesized from plant biomass」、高分子科学最近の進歩、高分子、**66**: 296-300 (2017).
31. 田口精一、石井大輔：多元ポリ乳酸の生合成及び物性・機能、プラスチックエージ、**63**: 71-75 (2017).

■著作物(総説、解説、著書)詳細情報(国際)

総説・解説

1. Ken'ichiro Matsumoto, Seiichi Taguchi: Biosynthetic polyesters consisting of 2-hydroxyalkanoic acids: current challenges and unresolved questions, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **97**: 8011-8021 (2013). (DOI: 10.1007/s00253-013-5120-6)
2. Ken'ichiro Matsumoto, Seiichi Taguchi: Enzyme and metabolic engineering for the production of novel polymers: crossover of biological and chemical processes, *Current Opinion in Biotechnology*, **24**: 1054-1560 (2013). (DOI: 10.1016/j.copbio.2013.02.021)
3. Tadahisa Iwata: Biodegradable and bio-based polymers: Future and prospects of eco-friendly plastics, *Angewante Chemie International Edition*, **53**: 3210-3215 (2015). (DOI: 10.1002/anie.201410770)
4. Takeharu Tsuge, Manami Hyakutake, Kohei Mizuno: Class IV polyhydroxyalkanoate (PHA) synthases and PHA-producing *Bacillus*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **99**: 6231-40 (2015). (DOI: 10.1007/s00253-015-6777-9)
5. Seiichi Taguchi, Toshihiko Ooi, Kohei Mizuno, Hiromi Matsusaki: Advances and needs for endotoxin-free production strains, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **99**: 9349-60 (2015). (DOI: 10.1007/s00253-015-6947-9)

著書

6. Tomohiro Hiraishi, Seiichi Taguchi: Protein engineering of enzymes involved in bioplastic metabolism, Protein Engineering – Technology and Application, INTECH, pp. 133-165 (2013). (ISBN 978-953-51-1138-2)
7. Tadahisa Iwata, Takeharu Tsuge, Seiichi Taguchi, Hideaki Abe, Toshihisa Tanaka: Polyhydroxyalkanoate, Handbook of R&D Information Japan, Bio-Based Polymers, Y. Kimura (Ed.), CMC Publishing, pp. 71-85 (2013). (ISBN-13: 978-4-7813-0271-3)
8. Noreen Grace Fundador, Yukiko Enomoto-Rogers, and Tadahisa Iwata: Esterification of xylan and its application, Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Materials II, ACS Symposium Series No. 1144, H. N. Cheng, Richard A. Gross, and Patrick B. Smith (Eds.), American Chemical Society, pp. 394-406 (2013). (ISBN-13: 9780841228955)
9. John Masani Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Seiichi Taguchi: Microbial plastic factory: Synthesis and properties of the new lactate-based biopolymers, Green

- Polymer Chemistry: Biocatalysis and Materials II, ACS Symposium Series Vol. 1144, Edited by H. N. Cheng, Richard A. Gross and Patrick B. Smith (Eds.), American Chemical Society, pp. 175-197 (2013). (ISBN-13: 9780841228955)
10. Yuyang Song, John Masani Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Seiichi Taguchi: Microbial factory for the production of polyesters: A new platform of *Corynebacterium glutamicum*, *Corynebacterium glutamicum*: From systems biology to biotechnological applications, Prepress Projects, pp.137-148 (2014). (ISBN: 978-1-910190-05-0)
 11. John Masani Nduko, Jian Sun, Seiichi Taguchi: Biosynthesis, properties, and biodegradation of lactate-based polymers, Green polymer chemistry: Biobased materials and biocatalysis, ACS Symposium Series Vol. 1192, H. N. Cheng, Richard A. Gross and Patrick B. Smith (Eds.), American Chemical Society, pp. 113-131 (2015). (ISBN13: 9780841230651)
 12. Ken'ichiro Matsumoto, Kenji Tajima, Seiichi Taguchi: Biosynthesis of polymers, Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-12 (2015).
 13. Ayaka Hiroe, Syo Furutate, Shoji Mizuno, Takeharu Tsuge: 3HB-based copolymers and unusual PHA homopolymers, Microbial Biopolyester Production, Performance and Processing, Bentham Science Publishers, Vol. 2, Chapter 7, pp. 403-435 (2016). (DOI: 10.2174/97816810832541160101)
 14. Fakhrul Ikhma Bin Mohd Fadzil, Takeharu Tsuge: Bioproduction of polyhydroxyalkanoate from plant oils, Microbial Applications, V. C. Kalia (Ed.), Springer, Vol.2, pp. 231-260 (2016). (DOI: 10.1007/978-3-319-52669-0_13)
 15. Tomohiro Hiraishi, Seiichi Taguchi: Enzymes catalyzing the synthesis and degradation of beta-linked biopolymers and theirs applications, Biodegradable polymers: recent developments and new perspectives, Mini-Reviews in Organic Chemistry, IAPC publishing, 14(6), 1-32 (2017).
 16. Seiichi Taguchi: Bioengineering of Polyhydroxyalkanoates (PHAs), Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Chapter 13. Microbial Plastic Factory: Synthesis and Properties of the New Lactate-Based Biopolymers, Wiley Blackwell (John Wiley & Sons), DOI:10.1002/0471440264.pst655 (2017).

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

招待講演（国内会議 59 件、国際会議 50 件）

[国内会議]

1. Tadahisa Iwata: High-functionability of Biodegradable Biomass-based Plastics、先端材料科学セミナー、(北陸先端科学技術大学院大学、小松、2012 年 11 月 15 日)
2. 岩田忠久: 微生物産生ポリエスエテルの現状と展望; 持続社会構築のためのバイオマス由来高分子材料、(東京大学生産技術研究所、東京、2012 年 12 月 4 日)
3. 岩田忠久: バイオマスプラスチックの高性能化を目指して; FAMCO 先端機能材料特別講演会、(名古屋、2012 年 12 月 17 日)
4. 田口精一: モノ作りのための合成生物学: 微生物ポリマーのケース、協和発酵バイオ株式会社技術研究所講演会 (協和発酵バイオ株式会社防府工場、防府、2013 年 4 月 23 日)
5. 岩田忠久: 環境にやさしいプラスチックの高性能化を目指して、日本バイオマス製品推進協議会平成 25 年度講演会 (馬事畜産会館、東京中央区、2013 年 6 月 25 日)
6. 柘植丈治: 微生物ポリエスエテル生産と R 特異的ヒドラターゼの利用、日本農芸化学会関東支部講演会 (東京農業大学、東京、2013 年 7 月 6 日)

7. 岩田忠久：農工医連携による高性能バイオマスプラスチックの開発を目指して、新化学技術推進協会（JACI）エネルギー・資源技術部会 バイオマス分科会（三番町KSビル、東京、2013年7月26日）
8. 廣江綾香：大腸菌を用いた超高分子量ポリヒドロキシアルカン酸生産と生合成メカニズム、高分子討論会、（金沢大学、金沢、2013年9月12日）
9. 松本謙一郎、森本健二郎、大場貴史、横尾俊憲、田口精一：微生物産生ポリエステルの植物合成 -植物の脂質代謝系はポリエステル合成に利用できるか-、第26回植物脂質シンポジウム、（北海道大学学術交流会館、札幌、2013年9月15日）
10. 柘植丈治：微生物ポリエステル発酵における分子量制御法：低分子量体から超高分子量体まで、東京大学・生物材料科学専攻セミナー（東京大学、東京、2013年11月14日）
11. 田口精一：夢の"プラ"ライフ～二酸化炭素を資源に～、第74回サイエンス・カフェ札幌、（紀伊國屋書店札幌本店1Fインナーガーデン、札幌、2014年2月16日）
12. 岩田忠久：未利用バイオマスからの新規バイオベースプラスチック開発の取り組み、インテリジェントマテリアル研究会（積水化学、京都、2014年2月19日）。
13. 松本謙一郎、前田理久、田口精一：バイオマスから高効率で乳酸プラスチックを生産する微生物工場の開発とポリマー物性評価、日本農芸化学会2014年度（平成26年度）大会シンポジウム、（明治大学生田キャンパス、川崎、2014年3月30日）
14. 岩田忠久：環境にやさしい高分子材料における大型放射光利用、日本化学会第94春季年次大会、（名古屋大学東山キャンパス、名古屋、2014年3月30日）。
15. 岩田忠久：未利用バイオマスからの新規バイオベースプラスチック開発の取り組み、DuPont 株式会社産学特別講演会（DuPont Japan Innovation Center、名古屋、2014年5月27日）
16. 岩田忠久：糖質を利用したバイオマスプラスチックの新展開、第54回澱粉研究懇談会（ホテルラヴィエ川良、伊東、2014年6月5日～7日）
17. 岩田忠久：高分子の性能を構造から考える！-電子線、X線、大型放射光を用いて-、関東高分子若手研究会2014春の講演会、主題＝高分子を「観る」、（東京大学工学部11号館1階講堂、東京、2014年6月28日）
18. 田口精一：二酸化炭素の資源化を目指した環境バイオテクノロジー：バイオの力でプラスチックを！、日本工学アカデミー北海道・東北地区札幌講演会、（北海道大学工学部アカデミックラウンジ、札幌、2014年7月10日）
19. 松本謙一郎、横尾俊憲、大井俊彦、田口精一：二酸化炭素からプラスチックを合成する人工生命システムの創成 -最短の合成ルートは？-、日本生物工学会大会シンポジウム、（札幌コンベンションセンター、札幌、2014年9月9日）
20. S. Taguchi, K. Matsumoto: Microbial plastic factory driven by renewable carbon sources, 第8回 日本-韓国バイオマスシンポジウム、（札幌コンベンションセンター、札幌、2014年9月10日）
21. ロジャース有希子：セルロースおよびキシランの誘導体の合成とその機能化、セルロース学会関東支部ミニシンポジウム、（東京大学弥生キャンパス、東京、2014年9月19日）
22. 柘植丈治：バイオマス資源からの微生物ポリエステル合成と材料展開、バイオジャパン、（パシフィコ横浜、横浜、2014年10月17日）
23. 柘植丈治：微生物ポリエステルの新展開：中鎖脂肪酸から作るPHAを中心として、高分子同友会、（高分子同友会事務局、東京、2014年11月26日）
24. 柘植丈治：微生物ポリエステルPHAの多様化と高性能化、産業技術総合研究所・ISCセミナー、（産業技術総合研究所、つくば、2014年12月1日）
25. 廣江綾香：バイオポリエステル：ポリヒドロキシアルカン酸の超高分子量化はなぜ起こるのか？、北海道大学 フロンティア化学教育研究センター講演会、（北海道大学、札幌、2015年5月13日）

26. 柘植丈治：バイオポリエステル PHA の多様化と高性能化、エコマテリアル研究会、（東京大学弥生キャンパス、東京、2015 年 7 月 17 日）
27. 田口精一：多元ポリ乳酸のバイオマス原料からの微生物合成一貫プロセス開発、第 5 回合成生物工学シンポジウム、（神戸大学統合研究拠点コンベンションホール、神戸、2015 年 8 月 5 日）
28. 田口精一：プラを作る植物、バイオプラスチックの合成生物学、公益社団法人自動車技術会中部支部 第 3 回技術講習会、（刈谷市産業振興センター、刈谷、2015 年 8 月 21 日）
29. 岩田忠久：バイオベースポリマーの高機能化を目指して、近畿バイオインダストリー振興会議、バイオマス研究会公開セミナー、（大阪科学技術センター、大阪、2015 年 9 月 11 日）
30. 廣江綾香、柘植丈治：植物性バイオマスからの中鎖ホモポリヒドロキシアルカン酸生合成、高分子討論会、（東北大学、仙台、2015 年 9 月 15 日）
31. 柘植丈治：微生物ポリエステルの超高分子量化と末端構造制御、高分子討論会（東北大学、仙台、2015 年 9 月 16 日）
32. 田口精一：高性能バイオポリマー微生物生産のための合成生物学研究、（Spiber 社、鶴岡、2015 年 9 月 29 日）
33. 田口精一：風船大腸菌でバイオプラスチックを作る、BioJapan2015・World Business Forum・バイオジャパン 2015、（パシフィコ横浜・アネックス、横浜、2015 年 10 月 15 日）
34. 田口精一：Microbial Plastic Factory 開発の進捗：たとえば風船型大腸菌など、エコマテリアル研究会（理化学研究所大河内記念ホール、和光、2015 年 10 月 16 日）
35. 柘植丈治：植物油からのバイオポリエステル合成とその利用、（技術情報協会、東京、2015 年 10 月 23 日）
36. 岩田忠久：高分子多糖類および植物由来芳香族化合物からの新規バイオベースプラスチックの開発とその可能性、技術情報協会技術セミナー（技術情報協会、東京、2015 年 10 月 23 日）
37. 門屋亨介、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：バイオプラスチック合成のための「風船型」大腸菌の創成：もう一つの物質生産プラットフォーム改良法、（明治大学生田校舎、川崎、2015 年 10 月 31 日）
38. 柘植丈治：植物資源からのバイオポリエステル発酵生産、近畿バイオインダストリー振興会議、（大阪科学技術センター、大阪、2015 年 11 月 25 日）
39. 岩田忠久：バイオプラスチックの挑戦 ～バイオマスの特徴を活かした分子・材料設計～、新化学技術推進協会 ライフサイエンス技術部会・反応分科会講演会、（新化学技術推進協会、東京、2015 年 12 月 2 日）
40. 岩田忠久：微生物産生ポリエステルおよび高分子多糖類からの高性能バイオプラスチックの創製、繊維学会東海支部講演会、（名古屋工業大学、名古屋、2016 年 3 月 1 日）
41. 田口精一、松本謙一郎、大井俊彦：酵素代謝複合改変による「多元ポリ乳酸」生合成システムの創成、第一回デザイン生命工学研究会、（東京工業大学すずかけ台キャンパス大学会館、東京、2016 年 3 月 8 日）
42. 松本謙一郎、門屋亨介、滝沢憲治、大井俊彦、田口精一：バイオマスを利用した非天然バイオプラスチックの生合成、日本農芸化学会大会シンポジウム、（札幌コンベンションセンター、札幌、2016 年 3 月 30 日）
43. 田口精一：酵素進化工学と合成生物学に基づいて創製する環境調和型キラルポリマー、2016 年度 ポリマーフロンティア 21、（積水化学京都研究所講堂、京都、2016 年 6 月 10 日）
44. 岩田忠久：生分解性バイオポリエステルの高性能化を見ることから考える、日本真空学会関西支部&日本表面科学会関西支部合同セミナー2016、（京都大学桂キャンパ

ス、京都、2016年7月4日)

45. 柘植丈治：生分解プラスチックの可能性と今後の課題、「ぐるなび」食の未来創成寄附講座シンポジウム、(東京工業大学大岡山キャンパス、東京、2016年7月20日)
46. 柘植丈治：油脂系バイオマスから中鎖ホモ PHA を生産する微生物工場、生物工学会北日本支部札幌シンポジウム「低炭素化社会に資する最先端バイオリファイナリー研究」、(北海道大学工学部、札幌、2016年9月2日)
47. 門屋亨介、滝沢憲治、Camila Ustunomia、石井大輔、松本謙一郎、大井俊彦、岩田忠久、田口精一：合成生物学的手法により創製した多元ポリ乳酸の物性および生分解性、第65回高分子討論会(神奈川大学横浜キャンパス、横浜、2016年9月15日)
48. 田口精一：新規バイオプラスチック創製のための合成生物学、平成28年度日本農芸化学会北海道支部第2回講演会、(北海道大学農学部、札幌、2016年11月23日)
49. 柘植丈治：バイオマスと微生物でつくる生分解性プラスチック、第3回神奈川県ヘルスケア・ニューフロンティア講座、(東京工業大学すずかけ台ホール、横浜、2017年3月10日)
50. 柘植丈治：バイオポリエステル微生物合成と生分解性プラスチックへの応用、(技術情報協会、東京、2017年3月15日)
51. 岩田忠久、「高分子多糖類の特徴を活かした新しいバイオプラスチック」、「未来へのバイオ技術」勉強会 バイオ素材百花繚乱 11〜強く、やさしく、うつくしく〜、(バイオインダストリー協会、東京、2017年5月25日)
52. 岩田忠久、「高分子多糖類の特徴を活かした新しいバイオプラスチックの創製と構造制御による高性能化」、第66回高分子学会年次大会、(幕張メッセ、千葉、2017年5月31日)
53. 岩田忠久、「多糖類から高性能なプラスチックはつくれるか? —虫歯菌の酵素から高耐熱性プラスチックをつくる—」、高分子学会 第116回プラスチックフィルム研究会、(東京工業大学大岡山キャンパス、東京、2017年7月6日)
54. 田口精一：生命と地球環境の架け橋：バイオプラスチック、第20回蘭岳セミナー、(室蘭工業大学、室蘭、2017年7月26日)
55. 岩田忠久、「高分子多糖類の挑戦—高性能なバイオマスプラスチックを目指して—」、第5回高知大学バイオマスプロジェクト講演会、(高知大学物部キャンパス、高知、2017年8月8日)
56. 岩田忠久、「高分子多糖類の特徴を活かした新しい高性能バイオプラスチックの創製」、応用糖質科学シンポジウム、(日本大学生物資源科学部、藤沢、2017年9月8日)
57. 田口精一、「農工連携で推進するバイオプラスチック研究」、繊維学会 関東支部 平成29年度研究交流会、(東京農業大学世田谷キャンパス、東京、2017年12月1日)
58. 廣江綾香、「PHA (polyhydroxyalkanoates) を巡る研究の最前線と新たな展開」、日本農芸化学会 北海道支部講演会、(北海道大学農学部、札幌、2017年12月8日)
59. 田口精一、「生命と地球環境の架け橋：バイオプラスチック」、第3回デザイン生命工学研究会・市民講座、(沖縄今帰仁村、2018年3月11日)

[国際会議]

1. Seiichi Taguchi: Microbial factory –Lactate-based polymers–, Institute of Chemical and Engineering Sciences, (Forum Room, Singapore, 16 May, 2013)
2. Seiichi Taguchi: Microbial plastic factory – Lactate-based polymers production, Singapore Catalysis Society – 6th Annual Forum, (Matrix Building, Biopolis, Singapore, 17 May, 2013)
3. Tadahisa Iwata: Synthesis and characterization of polysaccharide ester

- derivatives and their applications, 55th Anniversary Symposium of Beijing University of Chemical Technology, (Beijing, China, 8 July, 2013)
4. Takeharu Tsuge: Biosynthesis and characterization of polyhydroxyalkanoate copolymers consisting of 3-hydroxybutyrate and 3-hydroxy-4-methylvalerate, ACIKITA International Conference of Science and Technology, (Inna Garuda Hotel, Jakarta, Indonesia, 26 August, 2013)
 5. Seiichi Taguchi: Properties of newly biosynthesized lactate-based polymers and related polymers, ICBP 2013-International Conference on Biobased Polymers, (Hanyang Institute of Technology, Seoul, South Korea, 26 September, 2013)
 6. Takeharu Tsuge: New insights into chain transfer (CT) reaction during PHA biosynthesis, 4th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP2013), (Hanyang Institute of Technology, Seoul, South Korea, 26 September, 2013)
 7. Tadahisa Iwata: High performance materials from PHA and polysaccharide derivatives, The 4th International Conference on Biobased Polymers (ICBP2013), (Hanyang Institute of Technology, Seoul, South Korea, 27 September, 2013)
 8. Tadahisa Iwata: Recent progress of biomass-based plastics and biodegradable plastics, HPI-FAPS International Conference on Innovation in Polymer Science & Technology 2013, (Yogyakarta, Indonesia, 9 October, 2013)
 9. Seiichi Taguchi: Microbial plastic factory toward sustainable industry, Joint Symposium on Environmental Science 2013 - Bridging Finland and Japan -, (University of Helsinki, Helsinki, Finland, November, 2013)
 10. Tadahisa Iwata: Synthesis and characterization of polysaccharide ester derivatives and their applications, The 13th Pacific Polymer Conference, (Kaohsiung, Taiwan, 17-22 November, 2013)
 11. Seiichi Taguchi: Biosynthesis and properties of lactate-based and related polymers from renewable carbon sources, International Symposium for Green-Innovation Polymers & The 13th Symposium of the Research Center for Highly Environmental and Recyclable Polymers, (Ohmicho Kouryu Plaza, Kanazawa, 6-7 March, 2014)
 12. Tadahisa Iwata: Polysaccharide ester derivatives -Synthesis, characterization and their performances-, International Symposium for Green-Innovation Polymers, (Ohmicho Kouryu Plaza, Kanazawa, 6-7 March, 2014)
 13. Tadahisa Iwata: High performance materials from polysaccharide derivatives and microbial polyesters, The 8th International Conference on Green Composites (ICGC-8) (Seoul National University, Seoul, Korea, 21-23 May, 2014)
 14. Tadahisa Iwata: Synthesis and properties of environmentally benign polymers from polysaccharides, IUPAC World Polymer Congress Macro2014 (Chiang Mai International Convention and Exhibition Center, Chiang Mai, Thailand, 8 July, 2014)
 15. Ken'ichiro Matsumoto, Seiichi Taguchi: Biosynthesis, properties and enzymatic degradation of poly(2-hydroxyalkanoates), 248th ACS National Meeting and Exposition on August 10-14, 2014, Division of Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biobased Materials, (The Hilton San Francisco Union Square, San Francisco, CA, USA, 10 August, 2014)
 16. Tadahisa Iwata: High performance materials from microbial polyesters and polysaccharide derivatives, International Symposium on Materials for Enabling Nanodevices 2014 (ISMEN2014), (Tainan, Taiwan, 4 September, 2014)
 17. Ken'ichiro Matsumoto, Jian Sun, Toshiko Ooi, Seiichi Taguchi: Biosynthesis of polyesters consisting of 2-hydroxyalkanoates and their applications, ISBP 2014 – International Symposium on Biopolymers, (Mendes Plaza Hotel, Santos, Brazil, 29 September, 2014)
 18. Takeharu Tsuge: Polyhydroxyalkanoates biosynthesis and molecular weight regulation, International Symposium on Biological Polyesters 2014 (ISBP2014),

(Mendes Plaza Hotel, Santos, Brazil, 29 September, 2014)

19. Seiichi Taguchi: Microbial plastic factory: New lactate-based and related biopolymers, 2nd International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry & Materials, (Nice, France, 4 October, 2014)
20. Ken'ichiro Matsumoto, John M. Nduko, Jian Sun, Seiichi Taguchi: Engineering of bacteria and pathways toward efficient plastic production from renewable feedstock, 5th Symposium on Academic Exchange and Collaborative Research, (ETH, Zurich, Switzerland, 27 November, 2014)
21. Ken'ichiro Matsumoto, Masahiro Miyake, Satsuki Terai, Taizo Kabe, Tetsushi Shiba, Toshihiko Ooi, Tadahisa Iwata, Seiichi Taguchi: Production of unusual microbial polyesters, The 10th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2014), (Epochal Tsukuba, Tsukuba, Japan, 4 December, 2014)
22. Seiichi Taguchi: Biosynthetic PLA-related polymers improved by the metabolic engineering and enzyme engineering, The 5th International Conference on Bio-based Polymers, (The National University of Singapore (NUS), Faculty of Engineering, Singapore, 25 June, 2015)
23. Takeharu Tsuge: Amino acids make 3HB-based PHA copolymers more diverse, The 5th International Conference on Bio-based Polymers, (The National University of Singapore (NUS), Faculty of Engineering, Singapore, 25 June, 2015)
24. Tadahisa Iwata: Synthesis and properties of polysaccharide ester derivatives, The 5th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP2015), (National University of Singapore, Singapore, 27 June, 2015)
25. Tadahisa Iwata: High performance materials from polysaccharide ester derivatives, 7th GSC-7 and 4th JACI/GSC Symposium, (Hitotsubashi University, Tokyo, 5-8 July, 2015)
26. Seiichi Taguchi: Biosynthesis and properties of eco-friendly polymers, Japan-Taiwan Bilateral Polymer Symposium 2015 (JTBPS 2015), (Hokkaido University, Sapporo, 3 September, 2015)
27. Tadahisa Iwata: High-performance microbial polyesters and polysaccharide derivatives, 5th Asian Symposium on Advanced Materials (ASAM-5) (Pusan National University, Busan, South Korea, 1 November, 2015)
28. Tadahisa Iwata: Challenge of eco-friendly plastics -For the establishment of a sustainable society-, BASF Science Symposium: Sustainable Urban Living, (Jumeirah Himalayas Hotel, Shanghai, China, 10-11 November, 2015)
29. Tadahisa Iwata: High performance bio-based materials from polysaccharides, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2015) (Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA, 17 December, 2015)
30. Seiichi Taguchi: Advances in microbial system for production of PLA-related polymers, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2015) (Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA, 17 December, 2015)
31. K. Matsumoto, T. Shiba, Y. Hiraide, S. Taguchi: Microbial synthesis of P(glycolate-co-3-hydroxybutyrate) with hydrolytic degradability, (Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA, 17 December, 2015)
32. K. Matsumoto, Y. Hiraide, J. Sun, T. Ooi, S. Taguchi: Biosynthesis of glycolate-based polyesters with hydrolytic degradability, The 4th Frontier Chemistry Center International Symposium, (Hokkaido University, Sapporo, Japan, 23 February, 2016)
33. Tadahisa Iwata: High performance bio-based materials from microbial polyesters and polysaccharides, JAIST Internatinoal Symposium (JAIST, Komatsu, Japan, 26 February, 2016),
34. Seiichi Taguchi : Biosynthesis and properties of PLA-related polymers, Institute of Chemical and Engineering Sciences, (Jurong Island, Singapore, 15 April, 2016)

35. Tadahisa Iwata: High-performance Microbial Polyesters and Polysaccharide Derivatives, 3rd International Symposium on Advances in Sustainable Polymers (ASP-3) (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 4 August, 2016)
36. Seiichi Taguchi : Biosynthesis and properties of eco-friendly polymers, CUST Seminar (Changchun Univ., Changchun, China, 23 September, 2016)
37. Seiichi Taguchi : Characterization and biodegradation of lactate-based polymer biosynthesized from renewable carbon sources, International Conference on Sustainable Bioplastics, (Melia Alicante Hotel, Alicante, Spain, 10 November, 2016)
38. Tadahisa Iwata: High Performance Polysaccharide: From Synthesis to Property Control, The 11th SPSJ International Polymer Conference (Fukuoka International Congress Center, Fukuoka, Japan, 13 December, 2016)
39. Seiichi Taguchi : Synthetic biology for the lactate-based polymers and oligomers from renewable feedstock, Special lecture, National Central University, (National Central University, Taiwan, 21 February, 2017)
40. Takeharu Tsuge: Biosynthesis of 3-hydroxydodecanoate-rich polyhydroxyalkanoate copolymers from fatty acid mixtures, The 6th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP2017), (Yuan Ze University, Taipei, Taiwan, 15 May, 2017)
41. Seiichi Taguchi: Can bacterium secrete the polymerized products?, The 6th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP2017), Yuan Ze University, Taiwan, 15 May, 2017)
42. Seiichi Taguchi: Synthetic biology for intracellular and secretory production of polymerized ester-products in *Escherichia coli*, Kick-off Symposium in Osaka University “Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study”, (Osaka University, Osaka, Japan, 31 July, 2017)
43. Tadahisa Iwata: High-Performance Bio-based Plastics from Natural and Unnatural Polysaccharide, Kick-off Symposium in Osaka University “Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study”, (Osaka University, Osaka, Japan, 1 August, 2017)
44. Takeharu Tsuge: Amino acids make polyhydroxyalkanoate copolymers more diverse, Kick-off Symposium in Osaka University “Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study”, JSPS-Core-to-Core Program Kick-off Symposium (Osaka University, Osaka, Japan, 1 August, 2017)
45. Tadahisa Iwata: High performance biomass-based plastics synthesized from various natural and unnatural polysaccharide, Green Polymer Chemistry: Biobased Materials & Biocatalysis, 254th ACS National Meeting (Mariott Marquis, Washington DC, USA, 21 August, 2017)
46. Seiichi Taguchi: Synthetic biology for the lactate-based polymers and oligomers: Intracellular and secretory production, 254th ACS National Meeting (Mariott Marquis, Washington DC, USA, 21 August, 2017)
47. Tadahisa Iwata, “High-Performance Bio-based Plastics From Natural and Unnatural Polysaccharides”, 6th International Conference on Biobased and Biodegradable Polymers (BIOPOL2017) (MiCX Congress Centre, Mons, Belgium, 11 September, 2017)
48. Ken'ichiro Matsumoto, Ryosuke Kaodya, Kenji Takisawa, Tochihiro Ooi, Chiaki Hori, Toshiko Yamada, Seiichi Taguchi: Microbial synthesis of unusual polyhydroxyalkanoate (PHA) from lignocellulosic biomass, International Symposium on Biomass Refinery: From Biomass Crops to Chemicals and Fuels, Hokkaido University, Sapporo, 2018.
49. Ryuunosuke Fujii, Ken'ichiro Matsumoto, Chiaki Hori, M. Takaya, T. Ooba, Seiichi Taguchi, Tochihiro Ooi, Toshifumi Satoh: Effects of plant defensive

substances on growth and CAZy production, International Symposium on Biomass Refinery: From Biomass Crops to Chemicals and Fuels, Hokkaido University, Sapporo, 2018.

50. Seiichi Taguchi: Synthetic biology for intracellular and secretory production of polymerized enantiopure ester-products in microbial platform”, 3rd Edition of International Conference and Exhibition on Polymer Chemistry (Vienna, Austria 28 March, 2018)

① 口頭発表 (国内会議 41 件、国際会議 18 件)

[国内]

1. 加部泰三, 佐藤朋子, 粕谷健一, 引間孝明, 高田昌樹, 岩田忠久: 微生物産生ポリエステルブレンドにおける球晶成長機構の解明、第 62 回高分子学会年次大会 (京都国際会館、京都、2013 年 5 月 29 日)
2. 丸林弘典, 岩田忠久, 勝又しおり, 柘植丈治, 引間孝明, 高田昌樹: ポリ[(R)-3-ヒドロキシデカノエート]の結晶及び高次構造、第 62 回高分子学会年次大会 (京都国際会館、京都、2013 年 5 月 29 日)
3. 加部泰三, 丸林弘典, 引間孝明, 高田昌樹, 田中稔久, 岩田忠久: 大型放射光のリアルタイム X 線測定を利用した昇温過程における P(3HB)冷延伸フィルムの高次構造変化、平成 25 年度繊維学会年次大会 (タワーホール船堀、東京、2013 年 6 月 12 日)
4. 張佳奇, 藤澤秀次, 磯貝明, 岩田忠久: ポリ[(R)-3-ヒドロキシブチレート-co-4-ヒドロキシブチレート]/PEG-セルロースナノファイバーブレンドの熱的特性及び物性解析、平成 25 年度繊維学会年次大会 (タワーホール船堀、東京、2013 年 6 月 12 日)
5. 後藤早希, 佐藤美咲, 田中賢、松本謙一郎、田口精一、松崎弘美: *Lactobacillus acetotolerans* HT 株の乳酸脱水素酵素遺伝子のクローニングと乳酸ユニットを含む生分解性プラスチックの生合成、日本生物工学会九州支部佐賀大会 (佐賀大学、佐賀、2013 年 12 月 7 日)
6. 三宅政裕, 松本謙一郎, 寺井彩月、加部泰三、岩田忠久、田口精一: 微生物を利用したキラル P(2-ヒドロキシ酪酸)の合成とポリマー解析、日本農芸化学会 2014 年度大会 (明治大学、東京、2014 年 3 月 28 日)
7. 大井俊彦, 佐々木勝平、松本謙一郎、田口精一: 植物バイオマス由来の酵素糖化物を炭素源としたバイオポリエステルの生産、日本農芸化学会 2014 年度大会 (明治大学、東京、2014 年 03 月)
8. 門屋亨介、田口精一: ゲノム変異導入法による微生物ポリマー高生産化宿主の創成、日本農芸化学会 2014 年度大会 (明治大学、東京、2014 年 3 月 28 日)
9. Jian Sun, John Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi: Purification and characterization of a polymer degrading enzyme from an isolated bacterium、日本農芸化学会 2014 年度大会 (明治大学、東京、2014 年 3 月 28 日)
10. 廣江綾香、百武真奈美、白石雅也、柘植丈治: 微生物産生ポリエステル・ポリヒドロキシアルカン酸の分子量制御における細胞内エタノールの影響、日本農芸化学会 2014 年度大会 (明治大学、川崎、2014 年 3 月 28 日)
11. 加部泰三、松本謙一郎、引間孝明、丸林弘典、高田昌樹、田口精一、岩田忠久: 微生物産生ポリ[(R)-ラクテート-co-(R)-2-ヒドロキシブチレート]の結晶性および熱的性質、第 63 回高分子学会年次大会 (名古屋国際会議場、名古屋、2014 年 5 月 29 日)
12. 丸林弘典、勝又しおり、廣江綾香、柘植丈治、引間孝明、高田昌樹、岩田忠久: X 線繊維回折法を用いたポリ[(R)-3-ヒドロキシデカノエート]の結晶構造解析、第 63 回高分子学会年次大会 (名古屋国際会議場、名古屋、2014 年 5 月 29 日)
13. 丸林弘典、勝又しおり、廣江綾香、柘植丈治、引間孝明、高田昌樹、岩田忠久: 中鎖ポリ[(R)-3-ヒドロキシアルカン酸]の結晶及び高次構造解析、平成 26 年度繊維学会年次大会

(タワーホール船堀、東京、2014 年 6 月 12 日)

14. 加部泰三、岩田忠久、引間孝明、高田昌樹: 二段階延伸法の適用による微生物産生ポリエステル繊維の高強度化、平成 26 年度繊維学会年次大会 (タワーホール船堀、東京、2014 年 6 月 12 日)
15. 牧野恭平、加部泰三、武村彰夫、岩田忠久、田口精一、松本謙一郎、引間孝明、高田昌樹、丸林弘典: ポリ[(R)-2-ヒドロキシブチレート]の基礎物性評価と構造解析の試み、平成 26 年度繊維学会年次大会 (タワーホール船堀、東京、2014 年 6 月 12 日)
16. 加部泰三、岩田忠久、松本謙一郎、田口精一、柘植丈晴、引間孝明、高田昌樹: 微生物産生ポリエステルの熱分解特性と紡糸条件に関する研究、第 63 回高分子討論会 (長崎大学、長崎、2014 年 9 月 26 日)
17. 岩田忠久: 天然多糖類エステル誘導体の合成と高性能化、第 63 回高分子討論会 (長崎大学、長崎、2014 年 9 月 26 日)
18. 三吉大地、瀬戸望、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一: 組換え大腸菌を用いた高光学活性 (R)-3-ヒドロキシブタン酸の生産における CoA 転移酵素工活性変異体の効果、日本農芸化学会 2015 年度大会 (岡山大学、岡山、2015 年 3 月 27 日)
19. 瀬戸望、大井俊彦、松本謙一郎、田口精一: 組換え大腸菌を利用した高光学純度(S)-3-ヒドロキシブタン酸の生産、日本農芸化学会 2015 年度大会 (岡山大学、岡山、2015 年 3 月 27 日)
20. 児玉悠、門屋亨介、松本謙一郎、田口精一: 大腸菌転写制御因子欠損株を用い P(LA-co-3HB)の高生産化、日本農芸化学会 2015 年度大会 (岡山大学、岡山、2015 年 3 月 27 日)
21. 門屋亨介、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一: 組み換え体大腸菌で生産する資源循環型微生物ポリマーの高生産化に関与する新規遺伝子の探索、日本農芸化学会 2015 年度大会 (岡山大学、岡山、2015 年 3 月 27 日)
22. Camila Utsunomia, Jian Sun, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi: Production of poly(lactate-co-hydroxybutyrate) from Miscanthus-derived sugars、日本農芸化学会 2015 年度大会 (岡山大学、岡山、2015 年 3 月 27 日)
23. Jian Sun, Ken'ichiro Matsumoto, Ryosuke Kadoya, Yuta Tabata, Toshihiko Ooi, Hideki Abe, Seiichi Taguchi: Characterization of the substrate specificity of a poly(enriched lactate-co-hydroxybutyrate) depolymerase、2015 年度日本農芸化学会大会 (岡山大学、岡山、2015 年 3 月 27 日)
24. 水野匠詞、柘植丈治: 熱特性に優れた新規フェニル基導入型微生物ポリエステルの合成、日本農芸化学会 2015 年度大会 (岡山大学、岡山、2015 年 3 月 28 日)
25. 牧野恭平、木村聡、竹村彰夫、加部泰三、岩田忠久、松本謙一郎、田口精一、引間孝明、高田昌樹: ポリ[(R)-2-ヒドロキシブチレート]に対する結晶構造解析の試み、平成 27 年度繊維学会年次大会 (タワーホール船堀、東京、2015 年 6 月 10 日)
26. 加部泰三、松本謙一郎、柘植丈晴、檀上隆寛、信川省吾、山口政之、田口精一、岩田忠久: 様々な新規微生物産性ポリエステルの熱物性と光学特性、第 64 回高分子学会年次大会 (札幌コンベンションセンター、札幌、2015 年 5 月 28 日)
27. 門屋亨介、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一: ゲノム変異導入法を用いた資源循環型微生物生産ポリマー高生産化株の創成、平成 27 年度日本農芸化学会北海道支部講演会 (とかちプラザ、帯広、2015 年 8 月 9 日)
28. Camila Utsunomia, Jian Sun, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi: Miscanthus X giganteus hydrolysate as the carbon source for the microbial production of poly(lactate-co-3-hydroxybutyrate)、平成 27 年度日本農芸化学会北海道支部講演会 (とかちプラザ、帯広、2015 年 8 月 9 日)
29. 松本謙一郎、カミーラウツノミア、門屋亨介、孫健、John Nduko、石井大輔、加部泰三、小泉亜里紗、大井俊彦、岩田忠久、田口精一: バイオマスを原料とした D 乳酸ポリマーのワンステップ微生物合成と高機能化、第 64 回高分子討論会 (東北大学、仙台、2015 年 9 月

15 日)

30. 廣江綾香、柘植丈治:植物性バイオマスからの中鎖ホモポリアルカン酸生合成、第 64 回高分子討論会(東北大学、仙台、2015 年 9 月 15 日)
31. 牧野恭平、加部泰三、松本謙一郎、引間孝明、高田昌樹、竹村彰夫、木村聡、田口精一、岩田忠久:配向結晶性フィルム及び単結晶を用いたポリ[(R)-2-ヒドロキシブチレート]の結晶構造解析、第 64 回高分子討論会(東北大学、仙台、2015 年 9 月 15 日)
32. 石井大輔、加部泰三、ンドウコ ジョン、松本謙一郎、田口精一、木村聡、岩田忠久:3-ヒドロキシ酪酸および乳酸をモノマーユニットに含む生分解性ポリエステルナノファイバーの作製と特性解析、第 64 回高分子討論会(東北大学、仙台、2015 年 9 月 15 日)
33. 加部泰三、檜山雅俊、岩田忠久:分解開始機能の付与を目的とした酵素包埋ポリ乳酸フィルムの開発、高分子学会第 65 回年次大会(神戸国際会議場、神戸、2016 年 5 月 25 日)
34. 加部泰三、杉浦高士、引間孝明、高田昌樹、岩田忠久:超高分子量ポリ[(R)-3-ヒドロキシブチレート-co-(R)-3-ヒドロキシヘキサノエート]を用いた高強度フィルムの作製、平成 28 年度繊維学会年次大会(タワーホール船堀、東京、2016 年 6 月 9 日)
35. 後藤早希、留野菜月、外村彩夏、松本謙一郎、田口精一、阿部英喜、田中賢二、松崎弘美: *Lactobacillus acetotolerans* HT の乳酸脱水素酵素遺伝子のクローニングと新規乳酸ベースポリマーの生合成、第 23 回日本生物工学会九州支部 飯塚大会(九州工業大学、飯塚、2016 年 12 月 3 日)
36. 大井俊彦、滝沢憲治、松本謙一郎、田口精一:パルプ製造廃液を炭素源とした乳酸ベースポリマーの生産、平成 29 年度 日本農芸化学学会大会、(京都女子大学、京都、2017 年 3 月 19 日)
37. 滝沢憲治、Ribordy Greg、山崎貴史、松本謙一郎、Zinn Manfred、田口精一:組換え大腸菌による乳酸ポリマー生産のためのキシロースを炭素源とした高密度培養、平成 29 年度 日本農芸化学学会大会、(京都女子大学、京都、2017 年 3 月 19 日)
38. 松本謙一郎、大石健太、大井俊彦、田口精一:非天然ポリエステル合成のための重合酵素の高活性化、平成 29 年度 日本農芸化学学会大会、(京都女子大学、京都、2017 年 3 月 19 日)
39. 後藤早希、留野菜月、外村彩夏、田口精一、松本謙一郎、阿部英喜、田中賢二、松崎弘美:組換え大腸菌による新規乳酸ベースポリマーの生合成、平成 29 年度 日本農芸化学学会大会、(京都女子大学、京都、2017 年 3 月 19 日)
40. 滝沢憲治、大井俊彦、松本謙一郎、田口精一:乳酸ベースポリマー生産のための木質抽出液の利用、環境プランニング学会 2017 年春季学術講演会、(東京大学山上会館、東京、2017 年 6 月 3 日)
41. 門屋亨介、児玉悠、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一:転写因子欠損株を用いた乳酸ベースポリマー生産大腸菌のリモデリング、平成 30 年度 日本農芸化学学会大会、(名城大学、名古屋、2018 年 3 月 16 日)

[国際]

1. Tadahisa Iwata: Synthesis and characterization of xylan and glucomannan ester derivatives and their application, The 3rd International Cellulose Conference, (Gateau Kingdom, Sapporo, Japan, 10 October, 2012)
2. Tadahisa Iwata: Synthesis and characterization of xylan and glucomannan ester derivatives, The 4th International Symposium of IWoRS, (Quality Plaza Hotel, Makassar, Indonesia, 6 November, 2012)
3. Narihiro Iio, Yukiko Enomoto-Rogers, Hironori Marubayashi, Taizo Kabe, Noreen Grace V. Fundador, Akio Takemura, Tadahisa Iwata: Syntheses and characterization of pullulan esters, Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)
4. Masatoshi Hiyama, Taizo Kabe, Akio Takemura, Tadahisa Iwata: Control of

enzymatic degradation in poly (L-lactic acid) by enzyme embedment and surface coating, Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)

5. Hironori Marubayashi, Tadahisa Iwata, Shiori Katsumata, Takeharu Tsuge, Takaaki Hikima, Masaki Takata: Crystal and higher-order structure analysis of poly[(*R*)-3-hydroxydecanoate], Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)
6. Risa Iwadate, Hironori Marubayashi, Yukiko Rogers, Akio Takemura, Tadahisa Iwata: The effects of P(3HB)-*b*-PLLA on the structure and properties of P(3HB) copolymers/PLLA blends, Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)
7. Hironori Marubayashi, Tadahisa Iwata, Takaaki Hikima and Masaki Takata: Synthesis and characterization of copolymers composed of L-lactic acid and side-chain-substituted lactic acids; The 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC2012), (Kobe Convention Center, Kobe, Japan, 12-14 December, 2012)
8. Noreen Grace Fundador, Yusuke Omomo, Yukiko Enomoto-Rogers, Tadahisa Iwata: Syntheses of xylan and glucomannan derivatives and their applications, The 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC2012), (Kobe Convention Center, Kobe, Japan, 12 December, 2012)
9. Tadahisa Iwata: Synthesis of xylan and glucomannan esters and their applications, 30th Polymer Degradation Discussion Group Meeting (Arts et Metiers Paris Tech, Paris, France, 1 September, 2013).
10. Ryosuke Kadoya, Yuyang Song, Ken'ichiro Matsumoto, Tsutomu Tanaka, Akihiko Kondo, Seiichi Taguchi: Single-step production of polyesters from starch in *Corynebacterium glutamicum* by using α -amylase cell-surface displaying system, Enzyme Engineering XXII, (Toyama International Conference Center, Toyama, Japan, September, 2013)
11. Ken'ichiro Matsumoto, Jian Sun, Seiichi Taguchi: Microbial synthesis of isotactic P(2-hydroxybutyrate) from racemic precursor and its property analysis, The 13th Pacific Polymer Conference, (Kaohsiung, Taiwan, November, 2013)
12. Tadahisa Iwata: High performance fibers from microbial polyesters and polysaccharide derivatives, International Symposium on Fiber Science and Technology (ISF2014), (Tokyo Fashion Town Building, Tokyo, Japan, 30 September, 2014)
13. Taizo Kabe, Takeharu Tsuge, Takaaki Hikima, Masaki Takata, Tadahisa Iwata: Crystallization behavior, mechanical properties and highly ordered structure of P(3HB)/ UHMW-P(3HB) blend fiber: effect of the addition of UHMW-P(3HB), International Symposium on Fiber Science and Technology (ISF2014), (Tokyo Fashion Town Building, Tokyo, Japan, 30 September, 2014)
14. Hironori Marubayashi, Shiori Katsuyama, Ayaka Hiroe, Takeharu Tsuge, Takaaki Hikima, Masaki Tanaka, Tadahisa Iwata: Molecular, crystal, and higher-order structures of medium-chain-length poly[(*R*)-3-hydroxyalkanoate]s, The 10th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2014), (Epocal Tsukuba, Tsukuba, Japan, 4 December, 2014)
15. Yukiko Enomoto-Rogers, Noreen G.V. Fundador, Tadahisa Iwata: Synthesis of xylan derivatives and their applications, International Symposium on Wood Science and Technology 2015 (IAWPS2015), (Tower Hall Funabori, Tokyo, Japan, 16 March, 2015)
16. Ayaka Hiroe, K. Maezima, Takeharu Tsuge: Biosynthesis of medium chain length homo polyhydroxyalkanoate from plant biomass, The 5th International Conference on Bio-based Polymers, (National University of Singapore, Singapore, 25 June, 2015)
17. Takeharu Tsuge: PhaC Box: Change the designation of lipase box-like sequence,

International Symposium on Biological Polyesters 2016 (ISBP2016) (Hotel Rafael Atocha, Madrid, Spain, 26 September, 2016)

18. Daisuke Ishii, Kenji Takisawa, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Takaaki Hikima, Masaki Takata, Tadahisa Iwata, Seiichi Taguchi: Long-term stability of flexibility of microbial poly(lactate-co-3-hydroxybutyrate) films, Kick-off Symposium in Osaka University "Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study", (Osaka University, Osaka, Japan, 31 July, 2017)

② ポスター発表 (国内会議 93 件、国際会議 31 件)

[国内]

1. 加部泰三、岩田忠久、引間孝明、高田昌樹: ポリ[(*R*)-3-ヒドロキシブチレート-co-(*R*)-3-ヒドロキシヘキサノエート]を用いた高強度繊維の作製、平成 25 年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2013 年 6 月 12 日)
2. 加部泰三、引間孝明、高田昌樹、岩田忠久: 二段階延伸法を用いた微生物産生ポリエステル繊維の高強度化、平成 25 年度第 44 回繊維学会夏季セミナー、(群馬県、2013 年 8 月 8 日)
3. 石井大輔、フンダドルノリーン、ロジャース有希子、岩田忠久: キシランアルキルエステルのポリ乳酸核剤効果に関する検討、第 62 回高分子討論会、(金沢大学、金沢、2013 年 9 月 11 日)
4. 白石雅也、廣江綾香、柘植丈治: ポリヒドロキシアルカン酸の微生物合成における分子量低下要因の研究、高分子学会第 62 回高分子討論会、(金沢大学、金沢、2013 年 9 月 11 日)
5. 石井大輔、フンダドルノリーン、ロジャース有希子、岩田忠久: キシランアルキルエステルのポリ乳酸核剤効果に関する検討、第 62 回高分子討論会、(金沢大学、金沢、2013 年 9 月 11 日)
6. 廣江綾香、柘植丈治: 大腸菌を用いた超高分子量ポリヒドロキシアルカン酸生産と生合成メカニズム、高分子学会第 62 回高分子討論会、(金沢大学、金沢、2013 年 9 月 12 日)
7. 飛谷康太、笹森哲弥、松本謙一郎、田口精一: 組換えコリネ型細菌によるポリ乳酸様ポリマー生産の増強、日本農芸化学会北海道支部夏季シンポジウム、(旭川国際会議場、旭川、2013 年 8 月 10 日)
8. 門屋亨介、Yuyang Song、飛谷康太、松本謙一郎、田中勉、近藤昭彦、田口精一: コリネ菌の細胞表層提示技術を用いたデンプンからの乳酸様ポリマーの生産、日本農芸化学会北海道支部夏季シンポジウム、(旭川国際会議場、旭川、2013 年 8 月 10 日)
9. 大井俊彦、佐々木勝平、ンドウコジョン、松本謙一郎、田口精一: 非可食性植物バイオマスからの P(3HB)の微生物生産、第 65 回日本生物工学会大会、(広島国際会議場、広島、2013 年 9 月 18 日)
10. 佐々木勝平、大井俊彦、ンドウコジョン、松本謙一郎、田口精一: 植物バイオマスを用いた共重合ポリエステルの生産、第 65 回日本生物工学会大会、(広島国際会議場、広島、2013 年 9 月 18 日)
11. 松本謙一郎、越智杏奈、大場貴史、高谷真宏、田口精一: ポリヒドロキシアルカン酸重合酵素の機能改変によるポリマー構造制御、第 65 回日本生物工学会大会、(広島国際会議場、広島、2013 年 9 月 18 日)
12. 斯波哲史、松本謙一郎、田口精一: 糖を利用した組換え大腸菌でのグリコール酸ベースポリマーの生産、第 65 回日本生物工学会大会、(広島国際会議場、広島、2013 年 9 月 18 日)
13. 崔允圭、松本謙一郎、田口精一: 不飽和モノマーを導入した 2-ヒドロキシブタン酸ベースポリマーの生合成とその応用、第 65 回日本生物工学会大会、(広島国際会議

場、広島、2013年9月18日)

14. 三宅政裕、寺井彩月、松本謙一郎、加藤泰三、岩田忠久、田口精一：2-ヒドロキシブタン酸ベースポリマーの微生物合成とその物性解析、第65回日本生物工学会大会、(広島国際会議場、広島、2013年9月18日)
15. 門屋亨介、Yuyang Song、飛谷康太、松本謙一郎、田中勉、近藤昭彦、田口精一：デンプンを炭素源に用いたポリ乳酸様ポリマーの合成、第65回日本生物工学会大会、(広島国際会議場、広島、2013年9月18日)
16. ロジャース有希子、ノリーン フンダドール、岩田忠久：キシランエステルおよびコポリマーの合成とその性質、第3回 JACI/GSC シンポジウム、(東京国際フォーラム、東京、2014年5月23日)
17. 水野匠詞、柘植丈治：フェニル基を有する新規微生物ポリエステルの合成、第3回 JACI/GSC シンポジウム、(東京国際フォーラム、東京、2014年5月23日)
18. 水野匠詞、柘植丈治：フェニル基を有する新規微生物ポリエステルの合成、第63回高分子学会年次大会、(名古屋国際会議場、名古屋、2014年5月28日)
19. 杉浦高士、加部泰三、竹村彰夫、岩田忠久、大竹勝人：微生物産生ポリエステルの物性および球晶形成に対する分子量効果、平成26年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2014年6月12日)
20. 牧野恭平、加部泰三、竹村彰夫、岩田忠久、田口精一、松本謙一郎、引間孝明、高田昌樹、丸林弘典：ポリ[(R)-2-ヒドロキシブチレート]の基礎物性評価と構造解析の試み、平成26年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2014年6月12日)
21. Jian Sun, John Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Saiichi Taguchi: Enzymatic characterization of a polymer degrading enzyme from isolated bacterium, The 3rd Frontier Chemistry Center Symposium Challenges at Frontier of Chemical Sciences、(北海道大学、札幌、2014年6月13日)
22. 飛谷康太、松本謙一郎、田口精一：乳酸ポリマー合成コリネ菌の細胞内モノマー解析に基づく高生産化、高分子学会北海道支部若手研究会、(定山溪ビューホテル札幌、2014年8月29日)
23. 青木駿介、松本謙一郎、田口精一：コンビナトリアルケミストリー的手法による2-ヒドロキシ酪酸重合酵素の重合能力の強化、高分子学会北海道支部若手研究会、(定山溪ビューホテル、札幌、2014年8月29日)
24. 横尾俊憲、平出幸和、田口精一、松本謙一郎：グリコール酸ポリマーの生合成経路の構築、高分子学会北海道支部若手研究会、(札幌、2014年8月29日)
25. 高谷真宏、松本謙一郎、田口精一：微生物合成法および化学合成法による配列が異なるPHA共重合体の合成、高分子学会北海道支部若手研究会 (定山溪ビューホテル、札幌、2014年8月29日)
26. 児玉悠、門屋亨介、松本謙一郎、田口精一：生合成乳酸ベースポリマーの高生産化を目指した宿主大腸菌の遺伝子改変、高分子学会北海道支部若手研究会、(定山溪ビューホテル、札幌、2014年8月29日)
27. 平出幸和、斯波哲史、孫健、大井俊彦、田口精一、松本謙一郎：グリコール酸ベースポリマーの微生物合成とポリマーの分解性評価、高分子学会北海道支部若手研究会、(定山溪ビューホテル、札幌、2014年8月29日)
28. 大野敦士、三宅政裕、松本謙一郎、田口精一：生合成P[(R)-2-ヒドロキシ酪酸]を用いたポリ乳酸ブレンドの作成と物性解析、高分子学会北海道支部若手研究会、(定山溪ビューホテル、札幌、2014年8月29日)
29. Jian Sun, John Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi: Improvement of biodegradability of PLA by introduction of 3-hydroxybutyrate units and characterization of its degrading enzyme、高分子学会北海道支部若手研究会、(定山溪ビューホテル、札幌、2014年8月29日)

30. 児玉悠、門屋亨介、松本謙一郎、田口精一：生合成乳酸ベースポリマーの高生産化を目指した宿主大腸菌の遺伝的改変、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
31. 青木駿介、松本謙一郎、田口精一：進化工学的手法によるポリヒドロキシアルカン酸合成酵素の乳酸重合能力の強化、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
32. 飛谷康太、笹森哲弥、松本謙一郎、田口精一：乳酸ポリマー合成コリネ菌の代謝工学に基づく高生産化、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
33. 門屋亨介、松本謙一郎、田口精一：ゲノム工学的手法を用いた微生物ポリマー高生産化宿主の創成、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
34. 平出幸和、斯波哲史、孫健、大井俊彦、松本謙一郎、田口精一：組換え大腸菌を用いたグリコール酸ベースポリマーの生合成と酵素分解性、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
35. 横尾俊憲、平出幸和、田口精一、松本謙一郎：グリコール酸ポリマーの生合成経路の構築、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
36. 高谷真宏、大場貴史、松本謙一郎、田口精一：高分子量 2-ヒドロキシブタン酸ベースポリマーの生合成および物性解析、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
37. Jian Sun, John Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi: Enzymatic characterization of a polymer degrading enzyme purified from an isolated bacterium, 第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 9 日)
38. 廣江綾香、白石雅也、水野康平、柘植丈治：エタノールによるポリヒドロキシアルカン酸の分子量低下と重合酵素種による影響差異の検証、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 10 日)
39. 前嶋洸紀、廣江綾香、柘植丈治：中鎖 PHA ホモポリマーの生合成と高生産化、第 66 回日本生物工学会大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2014 年 9 月 10 日)
40. 児玉悠、門屋亨介、松本謙一郎、田口精一：生合成乳酸ベースポリマーの高生産化を目指した宿主大腸菌の遺伝子改変、第 8 回日本ゲノム微生物学若手の会、(ろうきん研修所富士センター、静岡、2014 年 9 月 28 日)
41. Camila Utsunomia, Jian Sun, John Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi : Enzymatic characterization of a poly(enriched lactate-co-3-hydroxybutyrate) depolymerase from soil isolated bacterium、平成 26 年度日本農芸化学会北海道支部講演会、(北海道大学、札幌、2014 年 12 月 13 日)
42. 児玉悠、門屋亨介、松本謙一郎、田口精一：大腸菌 σ 因子欠失株による乳酸ベースポリマーの効率的生産、平成 26 年度日本農芸化学会北海道支部講演会、(北海道大学、札幌、2014 年 12 月 13 日)
43. 門屋亨介、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：ゲノム変異導入法による微生物ポリマー高生産化宿主の探索、平成 26 年度日本農芸化学会北海道支部講演会、(北海道大学、札幌、2014 年 12 月 13 日)
44. 平出幸和、斯波哲史、孫健、大井俊彦、田口精一、松本謙一郎：グリコール酸ベースポリマーの微生物合成とポリマーの分解性評価、平成 26 年度日本農芸化学会北海道支部講演会、(北海道大学、札幌、2014 年 12 月 13 日)
45. 三吉大地、松本謙一郎、田口精一：CoA 転移酵素変異体を用いた組換え大腸菌による (R)-3-ヒドロキシブタン酸の効率的生産、平成 26 年度日本農芸化学会北海道支部講演会、(北海道大学、札幌、2014 年 12 月 13 日)

演会、(北海道大学、札幌、2014 年 12 月 13 日)

46. 加部泰三、松本謙一郎、柘植丈晴、檀上隆寛、信川省吾、山口政之、田口精一、岩田忠久：様々な新規微生物産性ポリエステルの熱物性と光学特性、第 64 回高分子学会年次大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2015 年 5 月 28 日)
47. 石井大輔、君島未沙希、大竹勝人、岩田忠久：ポリ乳酸ステレオコンプレックスに対するキシランプロピオネートの核剤効果、第 64 回高分子学会年次大会、(札幌コンベンションセンター、札幌、2015 年 5 月 28 日)
48. 加部泰三、岩田忠久、叶芸、大竹勝人、引間孝明、高田昌樹：超高分子量ポリ[(R)-3-ヒドロキシブチレート-co-(R)-3-ヒドロキシヘキサノエート]を用いた高強度フィルムおよび繊維の作製と高次構造解析、平成 27 年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2015 年 6 月 11 日)。
49. 杉浦高士、加部泰三、竹村彰夫、岩田忠久、引間孝明、高田昌樹：超高分子量ポリ[(R)-3-ヒドロキシブチレート-co-(R)-3-ヒドロキシヘキサノエート]を用いた高強度フィルムおよび繊維の作製と高次構造解析、平成 27 年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2015 年 6 月 11 日)。
50. 石井大輔、加部泰三、ンドウコジョン、松本謙一郎、田口精一、木村聡、岩田忠久：3-ヒドロキシ酪酸および乳酸をモノマーユニットに含む生分解性ポリエステルナノファイバーの作製と特性解析、第 64 回高分子討論会、(東北大学川平キャンパス、仙台、2015 年 9 月 15 日)
51. 廣江綾香、柘植丈治：植物性バイオマスからの中鎖ホモポリヒドロキシアルカン酸生合成、第 64 回高分子討論会、(東北大学川平キャンパス、仙台、2015 年 9 月 15 日)
52. 大井俊彦、ウツノミアカミラ、松本謙一郎、田口精一：草本系植物バイオマスからの乳酸ベースポリマー生産、第 67 回日本生物工学会、(城山観光ホテル、鹿児島、2015 年 10 月 27 日)
53. Camila Utsunomia, Jian Sun, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi : Degradation mechanism of poly(lactate-co-3-hydroxybutyrate) by depolymerase from soil bacterium *Variovorax* sp. C34、第 67 回日本生物工学会、(城山観光ホテル、鹿児島、2015 年 10 月 27 日)
54. 門屋亨介、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：ゲノム変異導入法を用いた微生物生産ポリマー高生産株の創成、(城山観光ホテル、鹿児島、2015 年 10 月 27 日)
55. 渡邊鈴蘭、廣江綾香、柘植 丈治：中鎖ホモ PHA 合成に適した重合酵素改変体のスクリーニング、(城山観光ホテル、鹿児島、2015 年 10 月 28 日)
56. 大越鷹哉、廣江綾香、柘植丈治：ポリヒドロキシアルカン酸における不飽和結合位置の解析、(城山観光ホテル、鹿児島、2015 年 10 月 28 日)
57. 川上恭平、廣江綾香、松本謙一郎、田口精一、柘植丈治：遺伝子組換え大腸菌を用いた乳酸ベースポリマーの生合成、(城山観光ホテル、鹿児島、2015 年 10 月 28 日)
58. 牧野恭平、岩田忠久、加部泰三、松本謙一郎、田口精一、引間孝明、高田昌樹："ポリ[(R)-2-ヒドロキシブチレート]の基礎物性、結晶構造および酵素分解性",第 65 回高分子学会年次大会、(神戸国際会議場、神戸、2016 年 5 月 25 日)
59. 石井大輔、廣江綾香、柘植丈治、引間孝明、高田昌樹、岩田忠久：ポリ[(R)-3-ヒドロキシブチレート]・中鎖ホモ PHA ブレンドの構造と物性、第 65 回高分子学会年次大会、(神戸国際会議場、神戸、2016 年 5 月 25 日)
60. C. Utsunomia, J. Sun, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi : Mechanism of Poly(lactate-co-3-hydroxybutyrate) degradation by extracellular depolymerase from soil isolate *Variovorax* sp. C34、第 5 回 JACI/GSC シンポジウム、(ANA クラウンプラザホテル神戸、神戸、2016 年 6 月 3 日)
61. 石井大輔、木村聡、岩田忠久、松本謙一郎、田口精一：ポリ(乳酸-co-3-ヒドロキシ酪酸)ナノファイバーの作製と細胞培養基材への応用、平成 28 年度繊維学会年次大

会、(タワーホール船堀、東京、2016年6月9日)

62. 工藤悠希、平出幸和、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：微生物合成したグリコール酸ポリマーの加水分解性評価、2016年度日本生物工学会北日本支部札幌シンポジウム、(北海道大学工学部、札幌、2016年9月2日)
63. 大石健太、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：酵素進化学による高活性化ポリ(2-ヒドロキシ酪酸)[P(2HB)]重合酵素の創出、2016年度日本生物工学会北日本支部札幌シンポジウム、(北海道大学工学部、札幌、2016年9月2日)
64. 石井大輔、岩田忠久、滝沢憲治、引間孝明、高田昌樹、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：ポリ(乳酸-co-3-ヒドロキシ酪酸)のフィルム物性および結晶性におけるモノマー組成の影響、2016年度生物工学会北日本支部札幌シンポジウム、(北海道大学工学部、札幌 2016年9月2日)
65. 石井大輔、岩田忠久、滝沢憲治、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一、引間孝明、高田昌樹：ポリ(乳酸-co-3-ヒドロキシ酪酸)の結晶化挙動および力学物性におけるモノマー組成の影響、第65回高分子討論会、(神奈川大学横浜キャンパス、横浜、2016年9月15日)
66. 廣江綾香、石井大輔、加部泰三、岩田忠久、田口精一、柘植丈治：脂質系バイオマスからの中鎖ホモポリヒドロキシアルカン酸の生合成とその物性解析、第68回日本生物工学会、(富山国際会議場、富山、2016年9月29日)
67. 木原崇博、廣江綾香、水野康平、柘植丈治： *Bacillus* 属由来酵素の PHA モノマー供給能解析、第68回日本生物工学会、(富山国際会議場、富山、2016年9月30日)
68. 南部友香、百武真奈美、廣江綾香、柘植丈治：シャペロン共発現がポリヒドロキシアルカン酸分子量に与える影響、第68回日本生物工学会、(富山国際会議場、富山、2016年9月30日)
69. 山崎貴史、Greg Ribordy、松本謙一郎、大井俊彦、Manfred Zinn、田口精一：キシロースを炭素源とした乳酸ポリマーを生産する組換え大腸菌の高密度培養、平成28年度 日本農芸化学会北海道支部第2回講演会、(北海道大学農学部、札幌、2016年11月23日)
70. 大石健太、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：酵素進化学による高活性化ポリ(2-ヒドロキシ酪酸)[P(2HB)]重合酵素の創出、平成28年度 日本農芸化学会北海道支部第2回講演会、(北海道大学農学部、札幌、2016年11月23日)
71. 滝沢憲治、大井俊彦、松本一郎、田口精一：木質抽出液の加水分解物を原料とした乳酸ベースポリマー生産、平成28年度 日本農芸化学会北海道支部第2回講演会 北海道大学農学部、(北海道大学農学部、札幌、2016年11月23日)
72. 門屋亨介、児玉悠、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：転写因子欠失株を用いた乳酸ベースポリマー生産大腸菌のリモデリング、平成28年度 日本農芸化学会北海道支部第2回講演会、(北海道大学農学部、札幌、2016年11月23日)
73. 後藤早希、留野菜月、外村彩夏、松本謙一郎、田口精一、阿部英喜、田中賢二、松崎弘美： *Lactobacillus acetotolerans* HT の乳酸脱水素酵素遺伝子のクローニングと新規乳酸ベースポリマーの生合成、第23回日本生物工学会九州支部飯塚大会、(九州工業大学飯塚キャンパス、福岡、2016年12月3日)
74. 小林誠、渡辺鈴蘭、石井直樹、廣江綾香、柘植丈治：優良改変酵素による中鎖ホモ PHA の合成およびその物性評価、エコマテリアル研究会、(理化学研究所、和光、2017年3月3日)
75. 南波佐間幹人、川上恭平、柘植丈治：PHA 顆粒結合タンパク質が乳酸ユニット含有 PHA の分子量に与える影響、エコマテリアル研究会、(理化学研究所、和光、2017年3月3日)
76. 黄鵬涛、大越鷹哉、廣江綾香、柘植丈治：不飽和ユニットを含む中鎖ポリヒドロキシアルカン酸の生合成、エコマテリアル研究会、(理化学研究所、和光、2017年3月3日)

77. 金子はるひ、石井大輔、木村聡、加部泰三、引間孝明、高田昌樹、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一、岩田忠久：ポリ[(R)-2-ヒドロキシブチレート]の結晶構造および高次構造解析、高分子学会 16・3 エコマテリアル研究会、(理化学研究所和光キャンパス、和光、2017 年 3 月 3 日)
78. 加部泰三、叶芸、大竹勝人、引間孝明、高田昌樹、岩田忠久：微生物産生ポリエステルに対する冷圧プレス処理延伸法の開発と高次構造変化、平成 29 年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2017 年 6 月 7 日)
79. 町田大地、石井大輔、木村聡、竹村彰夫、岩田忠久：微生物産生ポリエステルナノファイバーにおける細胞増殖性の評価、平成 29 年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2017 年 6 月 7 日)
80. 水町亮太、石井大輔、岩田忠久、大竹勝人：ポリ[(R)-3-ヒドロキシブチレート]/プルランエステルブレンドの構造と物性、平成 29 年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2017 年 6 月 7 日)
81. 金子はるひ、石井大輔、木村聡、加部泰三、引間孝明、高田昌樹、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一、岩田忠久：配向結晶化フィルム及び単結晶を用いたポリ[(R)-2-ヒドロキシブチレート]の結晶構造および高次構造解析、平成 29 年度繊維学会年次大会、(タワーホール船堀、東京、2017 年 6 月 7 日)
82. 廣江綾香、石井大輔、岩田忠久、田口精一、柘植丈治：脂質系バイオマスからの中鎖ホモポリヒドロキシアルカン酸生合成と材料物性解析、第 6 回 JACI-GSC、(東京国際フォーラム、東京、2017 年 7 月 4 日)
83. 飯島翠、滝沢憲治、門屋亨介、堀千明、松本謙一郎、大井俊彦、田口精一：バイオマスを原料とした多元ポリ乳酸の微生物生産、第 6 回 JACI-GSC、(東京国際フォーラム、東京、2017 年 7 月 4 日)
84. 堀 千明、松本謙一郎、田口精一：きのこゲノム情報を利用した植物バイオマス分解の効率化、第 6 回 JACI-GSC、(東京国際フォーラム、東京、2017 年 7 月 4 日)
85. 水野匠詞、柘植丈治：新規芳香族微生物ポリエステルの合成と熱物性解析、第 6 回 JACI-GSC、(東京国際フォーラム、丸の内、2017 年 7 月 4 日)
86. 南波佐間幹人、川上恭平、廣江綾香、柘植丈治：ポリエステル顆粒結合タンパク質が乳酸ユニット含有ポリエステルの分子量に与える影響、第 6 回 JACI-GSC、(東京国際フォーラム、東京、2017 年 7 月 4 日)
87. 廣江綾香、田口精一、柘植丈治：*Aeromonas caviae* 由来ポリヒドロキシアルカン酸重合酵素の C 末端改変とポリマー生産性向上、第 69 回日本生物工学会、(早稲田大学、東京、2017 年 9 月 12 日)
88. Fakhrul Ikhma Bin Mohd Fadzila, Koki Maezima, Suzuran Watanabe, Ayaka Hiroe, Takeharu Tsuge: Bioproduction of medium-chain-length polyhydroxyalkanoate (mcl-PHA) from fatty acid by using recombinant *Escherichia coli*, 第 69 回日本生物工学会、(早稲田大学、東京、2017 年 9 月 12 日)
89. 飯島翠、松本謙一郎、堀千明、田口精一、大井俊彦：: Lactyl-CoA 重合における乳酸重合酵素の反応機構解析、第 69 回日本生物工学会、(早稲田大学、東京、2017 年 9 月 13 日)
90. 黄鵬涛、大越鷹哉、廣江綾香、柘植丈治：不飽和ユニットを含む中鎖ポリヒドロキシアルカン酸の生合成、第 69 回日本生物工学会、(早稲田大学、東京、2017 年 9 月 14 日)
91. 木原崇博、廣江綾香、水野康平、柘植丈治：*Bacillus cereus* は PHA 合成遺伝子クラスターに R-ヒドラーゼ遺伝子を有する、第 69 回日本生物工学会、(早稲田大学、東京、2017 年 9 月 14 日)
92. 南波佐間幹人、廣江綾香、柘植 丈治：乳酸ユニット含有ポリエステル生合成における高分子量化因子の探索、第 66 回高分子討論会、(愛媛大学、松山、2017 年 9 月

20 日)

93. 小林誠、廣江綾香、柘植丈治：3HHx ユニットを主成分とする軟質系バイオポリエステルの生合成と物性評価、第 66 回高分子討論会、(愛媛大学、松山、2017 年 9 月 20 日)

[国際]

1. Narihiro Iio, Yukiko Enomoto-Rogers, Hironori Marubayashi, Taizo Kabe, Noreen Grace V. Fundador, Akio Takemura, Tadahisa Iwata: Syntheses and characterization of pullulan esters, Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)
2. Masatoshi Hiyama, Taizo Kabe, Akio Takemura, Tadahisa Iwata: Control of enzymatic degradation in poly (l-lactic acid) by enzyme embedment and surface coating, Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)
3. Hironori Marubayashi, Tadahisa Iwata, Shiori Katsumata, Takeharu Tsuge, Takaaki Hikima, Masaki Takata: Crystal and higher-order structure analysis of poly[(R)-3-hydroxydecanoate], Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)
4. Risa Iwadate, Hironori Marubayashi, Yukiko Rogers, Akio Takemura, Tadahisa Iwata: The effects of P(3HB)-*b*-PLLA on the structure and properties of P(3HB) copolymers/PLLA blends, Kyoto International Symposium on Bio-based Polymers 2012, (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, 10 December, 2012)
5. Hironori Marubayashi, Tadahisa Iwata, Takaaki Hikima, Masaki Takata: Synthesis and characterization of copolymers composed of L-lactic acid and side-chain-substituted lactic acids; The 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC2012), (Kobe Convention Center, Kobe, Japan, 12 December, 2012)
6. Chizuru Hongo, Hiroyuki Ichino, Toshihisa Tanaka, Kentaro Uesugi, Akihisa Takeuchi, Yoshio Suzuki, Masugu Sato, Takaaki Hikima, Masaki Takata, Tadahisa Iwata: Development of porous fibers produced from microbial polyester and highly-ordered structure analysis using synchrotron radiation, The 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC2012), (Kobe Convention Center, Kobe, Japan, 12 December, 2012)
7. Ayaka Hiroe, Takeharu Tsuge: Biosynthetic mechanism of ultrahigh-molecular-weight polyhydroxyalkanoate in genetically engineered *Escherichia coli*, The 4th International Conference on Biobased Polymers, (Hanyang University of Technology, Seoul, South Korea, 25 September, 2013)
8. Daisuke Ishii, Noreen Fundador, Yukiko Enomoto-Rogers, Tadahisa Iwata: Xylan alkyl esters as nucleation agents for poly(lactide)s, The 4th International Conference on Biobased Polymers (ICBP2013), (Hanyang University of Technology, Seoul, South Korea, 26 September, 2013)
9. Taizo Kabe, Takaaki Hikima, Masaki Takata, Tadahisa Iwata: Transition of spherulite morphology in crystalline/crystalline binary blend of microbial polyesters, HPI-FAPS International Conference on Innovation in Polymer Science & Technology 2013, (Inna Garuda Hotel, Yogyakarta, Indonesia, 9 October, 2013)
10. John Masani Nduko, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi: Efficient production of poly(lactate-co-3-hydroxybutyrate) using hemicellulose-derived sugar, xylose, in engineered *Escherichia coli* overexpressing a galactitol transporter, Frontier Chemistry Center International Symposium 2013, (Hokkaido University, Sapporo, Japan, 9 December, 2013)
11. Jian Sun, Ken'ichiro Matsumoto, John Masani Nduko, Seiichi Taguchi: Biosynthesis, physical properties and enzymatic degradation of isotactic (R)-2-Hydroxybutyrate-based polyester, Frontier Chemistry Center International

- Symposium 2013, (Hokkaido University, Sapporo, Japan, 9 December, 2013)
12. Daisuke Ishii, Yukiko Enomoto-Rogers, Noreen G. V. Fundador, Tadahisa Iwata : Xylan alkyl esters as biomass-derived nucleation agents for poly(lactide)s, IUPAC World Polymer Congress Macro2014 (Chiang Mai International Convention and Exhibition Center, Chiang Mai, Thailand, 10 July, 2014)
 13. Taizo Kabe, Ken'ichiro Matsumoto, Takaaki Hikima, Masaki Takata, Seiichi Taguchi, Tadahisa Iwata: Crystallization and thermal properties of microbial synthesized poly[(*R*)-lactate-co-(*R*)-2-hydroxybutyrate], International Symposium on Materials for Enabling Nanodevices 2014 (ISMEN2014), (National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, 4 September, 2014)
 14. Camila Utsunomia, Jian Sun, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi: Mechanism of poly(lactate-co-hydroxybutyrate) degradation by a soil bacterium depolymerase, Japan-Taiwan Bilateral Polymer Symposium 2015 (JTBPS 2015), (Hokkaido University, Sapporo, 3 September, 2015)
 15. Daisuke Ishii, Misaki Kimishima, Katsuto Otake, and Tadahisa Iwata: Nucleating effect of xylan propionate on poly(lactide) stereocomplex, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2015), (Hawaii Convention Center (Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA, 18 December, 2015)
 16. C. Utsunomia, K. Matsumoto, T. Ooi, Y. Kodama, S. Sato, S. Taguchi: Enzymatic degradation behavior of the biobased poly(D-lactate-co-D-hydroxybutyrate), The 4th International Symposium on AMBITIOUS LEADER'S PROGRAM Fostering Future Leaders to Open New Frontiers in Material Science, (Hokkaido University, Sapporo, Japan, 8 November, 2016)
 17. Daisuke Ishii, Kenji Takisawa, Takaaki Hikima, Masaki Takata, Ken'ichiro Matsumoto, Toshihiko Ooi, Seiichi Taguchi and Tadahisa Iwata: Effect of Monomeric Composition on Mechanical Properties and Crystallinity of Microbial Poly[(*R*)-lactate-co-(*R*)-3-hydroxybutyrate], The 6th Asia-Oceania Conference on Sustainable and Green Chemistry (AOC-SGC6), City University of Hong Kong, Hong Kong, China, 29 November, 2016)
 18. R. Fujii, M. Takaya, T. Ooba, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi : Chiral synthesis production of poly[(*R*)-2-hydroxybutyrate-co-(*R*)-3-hydroxybutyrate] from racemic precursors using engineered polymerizing enzyme with strict enantiospecificity、北海道大學/元智大學雙邊交流會、(元智大学、台北、台湾、20 February, 2017)
 19. K. Oishi, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi : Evolutionary engineering of poly(2-hydroxybutyrate) synthase for enhancing the enzymatic activity、北海道大學/元智大學雙邊交流會、(元智大学、台北、台湾、20 February, 2017)
 20. R. Fujii, M. Takaya, T. Ooba, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi : Chiral synthesis production of poly[(*R*)-2-hydroxybutyrate-co-(*R*)-3-hydroxybutyrate] from racemic precursors using engineered polymerizing enzyme with strict enantiospecificity、National Taiwan University -Hokkaido University Joint Student Symposium, (National Taiwan University、Taipei, Taiwan, 21 February, 2017)
 21. K. Oishi, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi : Evolutionary engineering of poly(2-hydroxybutyrate) synthase for enhancing the enzymatic activity National Taiwan University -Hokkaido University Joint Student Symposium, (National Taiwan University、Taipei, Taiwan, 21 February, 2017)
 22. R. Fujii, M. Takaya, T. Ooba, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi : Chiral synthesis production of poly[(*R*)-2-hydroxybutyrate-co-(*R*)-3-hydroxybutyrate] from racemic precursors using engineered polymerizing enzyme with strict enantiospecificity National Taipei University of Technology-Hokkaido University students joint symposium in 2017, (National Taipei University of Technology,

- Taipei, Taiwan, 23 February, 2017)
23. K. Oishi, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi : Evolutionary engineering of poly(2-hydroxybutyrate) synthase for enhancing the enzymatic activity National Taipei University of Technology-Hokkaido University students joint symposium in 2017, (National Taipei University of Technology, Taipei, Taiwan, 23 February, 2017)
 24. Fakhrul Ikhma Bin Mohd Fadzila, Koki Maezima, Suzuran Watanabe, Ayaka Hiroe, Takeharu Tsuge: Bioproduction of medium-chain-length polyhydroxyalkanoate (MCL-PHA) from plant oil by using fed-batch culture of *Escherichia coli*, The 6th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP2017), (Yuan Ze University, Taipei, Taiwan, 15 May, 2017)
 25. Camila Utsunomia, Ken' ichiro Matsumoto, Chiaki Hori, and Seiichi Taguchi. : Application of D-lactate-based oligomers secreted by engineered *Escherichia coli* on polylactide production, 6th JACI/GSC Symposium, (Tokyo, 4 July, 2017)
 26. Pengtao Huang, Takaya Okoshi, Ayaka Hiroe, Takeharu Tsuge: Biosynthesis of polyhydroxyalkanoates consisting of saturated and unsaturated monomers by *Pseudomonas* spp. from various carbon sources, Kick-off Symposium "Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study", Osaka University, Osaka, Japan, 31, July 2017)
 27. Yuka Nanbu, Takeharu Tsuge: Polymerization activity of polyhydroxyalkanoate synthase having point mutation at its active site, Kick-off Symposium "Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study", (Osaka University, Osaka, Japan, 31 July, 2017)
 28. Shoji Mizuno, Takeharu Tsuge: Biosynthesis and thermal characteristics of polyhydroxyalkanoates bearing aromatic groups as side chains, Satellite Symposium of JSPS-Core-to-Core Program in Todai, (The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 3 August, 2017)
 29. Takahiro Kihara, Kouhei Mizuno, Ayaka Hiroe, Takeharu Tsuge: (*R*)-hydratase from *Bacillus cereus* supplies short chain length PHA monomers via β -oxidation, Satellite Symposium of JSPS-Core-to-Core Program in Todai, (The University of Tokyo Tokyo, Japan, 3 August, 2017)
 30. Fakhrul Ikhma Bin Mohd Fadzila, Koki Maezima, Suzuran Watanabe, Ayaka Hiroe, Takeharu Tsuge: Biosynthesis of medium-chain-length polyhydroxyalkanoate (mcl-PHA) homopolymer by using recombinant *Escherichia coli* strain, Satellite Symposium of JSPS-Core-to-Core Program in Todai, (The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 3 August, 2017)
 31. Ryunosuke Fujii, Ken'ichiro Matsumoto, Chiaki Hori, Masahiro Takaya, Takashi Ooba, Seiichi Taguchi, Toshihiko Ooi, Takuya Isono, and Toshifumi Satoh: Dynamic changes of intracellular monomer levels regulate block sequence of polyhydroxyalkanoates in engineered *Escherichia coli*, International Symposium on Biomass Refinery: From Biomass Crops to Chemicals and Fuels, (Hokkaido University, Sapporo, Japan, 6 February, 2018)

(4)知財出願

①国内出願 (3 件)

- (ア) 発明の名称: MtgA 遺伝子を欠損した微生物、発明者: 田口精一、門屋亨介、出願人: 国立大学法人北海道大学、出願日: 平 27.05.29、出願番号: 特願 2015-1107772.
- (イ) 発明の名称: 高分子量微生物産生ポリエステルの合成法、発明者: 松本謙一郎、田口精一、出願人: 国立大学法人北海道大学、出願日: 平 27.08.03、出願番号: 特願 2015-153415.

②海外出願 (2 件)

1. 発明の名称:MtgA 遺伝子の欠損した微生物、発明者:田口精一、門屋亨介、出願人:国立大学法人北海道大学、出願日:平 27.05.01、出願番号:PCT/JP2016/065587、出願国:日本
2. 発明の名称:MtgA 遺伝子の欠損した微生物、発明者:田口精一、門屋亨介、出願人:国立大学法人北海道大学、出願日:平 30.01.12、公開日:平 30.04.11、出願番号:16803206.8、出願国:ヨーロッパ

③その他の知的財産権

特になし

(5)受賞・報道等

①受賞

1. 北海道大学研究総長賞、田口精一、2014 年 3 月 24 日
2. Best Poster Award, Macro2014, Daisuke Ishii: Xylan alkyl esters as biomass-derived nucleation agents for poly(lactide)s, 6-11 July 2014, Chiang Mai, Thailand
3. Poster Award, The 3rd FCC International Symposium, Jian Sun: Enzymatic characterization of a polymer degrading enzyme from isolated bacterium, 13 June, 2014, Sapporo, Japan
4. 矢崎学術賞(功績賞) 岩田忠久: 高耐熱性バイオマスプラスチックの開発と応用に関する研究、2015 年 3 月 12 日、矢崎科学技術振興財団、東京
5. 長瀬研究振興賞 岩田忠久: 微生物産生ポリエステルの超高分子量化と高性能繊維化、2015 年 4 月 1 日、長瀬科学技術振興財団、東京
6. 柘植丈治: 微生物ポリエステルの超高分子量化と末端構造制御、旭化成賞(高分子学会)、2015 年 9 月
微生物ポリエステルの分子量制御機構の一端を明らかにし、その機構を応用したポリマー鎖末端構造法を開発した業績が評価され、旭化成賞(高分子学会)を受賞した。
7. 平成 28 年度繊維学会年次大会若手優秀発表賞、加部泰三:
研究課題「超高分子量ポリ[(R)-3-ヒドロキシブチレート-co-(R)-3-ヒドロキシヘキサノエート]を用いた高強度フィルムの作製」 2016 年 6 月 8 日
8. *平成 28 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門): 田口精一、松本謙一郎、業績名「ポリ乳酸完全生合成に関する研究」
9. 平成 29 年度繊維学会年次大会若手ポスター賞、町田大地:
研究課題「微生物産生ポリエステルナノファイバーにおける細胞増殖性の評価」
2017 年 6 月 8 日

②マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要もお書き下さい。)

10. 田口精一: 「「微生物工場」で作る高付加価値バイオプラスチック」、JST news、2013 年 11 月 1 日
11. 田口精一: 「微生物の体内で直接乳酸ポリマーを合成」、Newton、2013 年 11 月 7 日
12. 柘植丈治 「透明・柔軟なバイオ樹脂 中鎖脂肪酸から菌が合成」、日経産業新聞、2014 年 7 月 2 日
東工大 G で進めているホモ PHA 合成に関して、新しいバイオ樹脂として、中鎖脂肪酸から合成する方法や透明で柔軟な物性、期待される用途について紹介された。

13. 田口精一「クラーク博士もびっくり！生物由来のバイオプラスチック」、TBS ラジオ「萩上チキ Session 知る→わかる→動かす」、2014 年 7 月 3 日、10 日、17 日、24 日、31 日放送（5 回） 22:00-24:55
14. 田口精一「新たな生物、人の手で作製 生産現場革新に期待」、日本経済新聞、2015 年 2 月 10 日
15. 田口精一「燃費よくバイオプラスチックを高生産する「風船型」微生物工場の開発」北海道大学プレスリリース 2015 年 6 月 4 日
微生物の形態形成を担うペプチドグリカンの合成に関わる一酵素の機能不全が功を奏して、合成されるバイオプラスチックの内圧によって膨張する「風船」の機能を獲得した大腸菌（微生物工場）を開発することに成功した。この「風船型」微生物工場は、バイオプラスチックを合成しない時は野生型微生物工場と全く同じ振る舞いをするが、バイオプラスチック合成に連動してより高い対糖収率（高効率燃費）でバイオプラスチック収量が向上する機能も獲得していた。
16. 田口精一「北大、風船のように膨らむバイオプラスチック生産微生物を開発」財経新聞 2015 年 6 月 6 日
17. 田口精一「バイオプラ生産微生物で効率化 変異遺伝子投入膨張細菌に蓄積」日刊工業新聞 2015 年 6 月 10 日
18. 田口精一「大腸菌でプラ効率よく 北大、高分子適用に道」日経産業新聞、2015 年 6 月 12 日

テレビ出演

19. 加部泰三、TBS「未来の起源」、2014 年 4 月 6 日放送 23:09 - 23:15 TBS

③その他

特になし

§ 5 研究期間中の活動

5. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2014 年 2 月 16 日	第 74 回サイエンス・カフェ札幌	紀伊國屋書店札幌本店	約 100 人	「夢のプラライフ」と銘打って市民向けに研究説明
2014 年 5 月 17・18 日	第 87 回東京大学五月祭	東京大学	約 220 人 (合計)	来場者向け研究室公開における研究紹介と模擬実験
2014 年 10 月 7 日	研究室見学	東京大学	7 人	東京都立南多摩中等教育学校の生徒向け研究紹介(研究説明、演示実験と質疑応答)
2015 年 6 月 4 日	研究室見学	東京大学	7 人	東京都立南多摩中等教育学校の生徒向け研究紹介(研究説明、演示実験と質疑応答)
2015 年 8 月 27・28 日	JST フェア 2015	東京ビッグサイト	約 150 人 (合計)	CREST 研究領域紹介ブースにおけるパネル展示および研究説明(廣江綾香博士 研究員+石井大輔博士研究員)
2015 年 9 月 8 日～12 日	学術講演会	北海道大学	28 人	スイスより、Manfred Zinn 教授を招聘し、招待講演と研究議論を行った(JST より支援)。