

## 研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 高性能バイオプラスチック生産システムの確立

2. 研究代表者： 土肥 義治（東工大総合理工学研究科 教授）

3. 研究概要：

本研究はバイオテクノロジーを用いて糖や植物油などの再生可能資源から、高性能な生分解性ポリエステルを遺伝子組換え微生物を利用して効率的に生産するプロセスの開発である。

特にSORSTでは、CREST時代に見出した遺伝子工学などの生物工学的技術を用いて、高性能バイオポリエステルを生合成する遺伝子組換え微生物を分子育種し、それらのポリエステルを高い効率で生産するバイオプロセスの開発を進めた。さらに、バイオポリエステルを高強力繊維や高強力フィルムに加工する基盤技術を確立した。

以下、要点をまとめる。

① 人工進化によるポリエステル合成系酵素の改質

1) ポリ([R]-3-ヒドロキシブタン酸-co-[R]-3-ヒドロキシヘキサン酸) : P(3HB-co-3HHx)を生合成する *Aeromonas caviae* のポリエステル合成酵素遺伝子にランダム変異操作を施し、人工進化を通してポリエステル合成酵素の重合活性を向上させることに成功した。また、酵素の基質特異性を 変えることにも成功し、植物油から共重合組成の異なるP(3HB-co-3HHx)を生合成する手法を開発した。

2) ポリ([R]-3-ヒドロキシブタン酸-co-[R]-3-ヒドロキシアルカン酸) : P(3HB-co-3HA)を生合成する *Pseudomonas sp.61-3* のポリエステル合成酵素の活性と基質特異性を、進化分子工学の手法を用いて改変し、3HB組成が90%以上の高性能共重合ポリエステルを合成する酵素を創出した。ポリエステル合成酵素の変異構造(部位)と機能と相関を調べ、活性と基質特異性をそれぞれ制御するアミノ酸部位を明らかにした。

3) 結晶構造を解明したモノマー合成系酵素 PhaJ の活性と基質特異性をタンパク質工学的手法(特定アミノ酸部位の置換操作)により改変し、合目的な組成の共重合ポリエステルを生合成するための数種の改質酵素を創出した。

② 環境調和型の高性能ポリエステル微生物生産プロセスの開発

1) 人工進化した各種のポリエステル合成系酵素遺伝子を大腸菌あるいは微生物 *R. eutropha* に導入し、遺伝子発現機構を制御して、糖や植物油から合目的な分子量と重合組成のポリエステルを高速度・高効率で生合成する微生物を分子育種し、植物油から効率よく共重合ポリエステルを生産する高密度培養条件を確立した。

2) 開発したバイオ生産プロセスの実験室データを用いて、植物油を原料として年間5,000トンの

共 重合ポリエステルを製造するプロセスを想定して、PHA 製造におけるライフサイクルイベ  
ントリ (LCI) の分析を行い、石油プラスチックの製造プロセスと比較してどの程度環境に与える  
負荷が 低下できるのかを検討した。ポリエステルのバイオ生産プロセスは汎用の石油プラスチッ  
クと比較 して、二酸化炭素排出量は7～9割も削減できる環境低負荷型の製造プロセスであるこ  
とを明ら かにした。

### ③ バイオポリエステル繊維およびフィルムの高強度化と構造解析

1) 遺伝子組換え大腸菌で生合成した超高分子量ポリ([R]-3-ヒドロキシブタン酸):P(3HB)を用い  
て、熔融紡糸を行い、冷延伸、二段階延伸、熱処理を組み合わせた延伸技術を適用することに  
よって高強度P(3HB)繊維が作製できることを見出した。破壊強度 1.3Gpa、破壊伸び 35%、ヤ  
ン グ率 18.1Gpa の高強度P(3HB)繊維を得ることに成功した。

2) 各種バイオポリエステル(P(3HB), P(3HB-co-3HHx), P(3HB-co-3HA))を用いて、低温延  
伸法によってフィルムを作製し、フィルム強度とポリエステルの分子量、組成、延伸倍率との相関  
を調べ、高強度フィルムの作製条件がほぼ確立した。

④ その他バイオポリエステル材料の生分解メカニズムを解明した。

## 4. 中間評価結果

### 4-1 研究の進捗状況と今後の見込み

遺伝子組換え微生物を利用した高性能ポリエステルの効率的生産プロセスの開発において、土  
肥教授を中心とするチームのSORSTにおける成果は生産性の向上や機械的物性の向上などで  
著しいものがある。微生物生産のバイオポリエステルの研究は、日本はもちろん欧米でも盛んであ  
るが高分子化学と分子生物学の両面から一貫して取り組んでいるのは本研究グループのみであり、  
世界をリードしている。社会的要請も強いので、今までの成果をふまえて進めてもらいたい。

### 4-2 研究成果の現状と今後の見込み

バイオポリエステルの生合成メカニズムの解明、効率的生産プロセスの提案、高強度フィルム・繊  
維の開発基礎、生分解制御技術等で飛躍的な成果が出、多くは特許に裏打ちされている。ただし、  
これら基礎研究の成果をどのように具体化するかについてはその途の専門家や製造メーカー等も  
交えて研究する段階にあると言え、研究体制のシフトも考えてもらいたい。

### 4-3 総合的評価

CRESTの基礎研究をベースに、実用化に向けかなり成果があがっている。バイオプラスチック  
はその環境的に優れた特性から社会的に需要が大きく、本研究はそのような需要に応えた重要な  
研究といえる。まだコストの見積もり等には若干の甘さがあるが、この研究を更に発展させ、現実の  
工業生産に結びつけることが強くのぞまれる。