

プラスチックのバイオリサイクルを目指した分解酵素の耐熱化と高活性化

中村彰彦 (静岡大学)
飯野亮太 (分子科学研究所)



関連するSDGsゴール



背景

プラスチックは高耐久性かつ成形が容易であり、現代の生活に欠かせない素材である。その多くは化石燃料を原料にして化学合成されており、生分解性は低い。よって自然環境へ流出すると分解されずに蓄積し、大きな社会問題となっている。中でもポリエチレンテレフタレート(PET)は飲料ボトルやポリエステル繊維などに使用されており、非常に身近な材料である。機械的強度が優れているためエンジニアリングプラスチックの一種として工業的な利用もなされている。2019年の生産量は36万トンであり、プラスチックの中で6番目に多い(石油化学工業協会)。PETは丈夫だが、テレフタル酸(TPA)とエチレングリコール(EG)が脱水重合した高分子であるため、加水分解で原料に戻すことが可能である。よって安価で簡単に分解する方法があれば、積極的に回収して再利用することで諸問題を解決できる。

PET加水分解酵素はカビやバクテリアが産生するエステラーゼであり、比較的温和な条件下で、危険な薬品を使用せずにPETを原料にまで分解可能である。しかし、近年までPETは自然界に存在していなかったため、生物が産生する酵素はPET分解に特化してはいない。そこで、人為的に変異を導入することでPET分解活性を向上させた改変PET分解酵素の創出を行なった。さらに、工業的な利用に向けて酵素の耐熱性の向上も行った。その結果、天然型酵素の6.8倍、分解活性が高い酵素の開発に成功した。さらに、改変した酵素変異体のX線結晶構造解析および1分子観察により、活性向上と耐熱性向上の機構を解明した。



将来像 (既存法に対する優位性)

循環型社会を達成するためには、使用されたPETを再生する循環型リサイクルが必要となる。現在のPETのリサイクル法は以下の2つに大別されるが、再生PETの使用率はいまだに低い。

①メカニカルリサイクル法

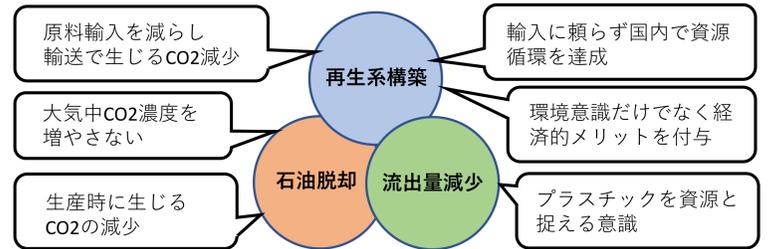
PETを粉碎後、熱をかけて汚染物質を除去し、再成型する。コストが安いですが、色素の沈着や分子量の低下による品質の低下が起こる。

②ケミカルリサイクル法

金属触媒と化学薬品を使用して200°C程度で原料に分解する。完全に分解するので不純物が取り除け、新品と同様の性質を持つボトルが得られる。しかしながらコストが高い。



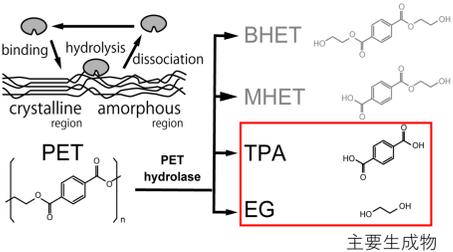
第3の選択肢として酵素を用いた環境に優しく安価なバイオリサイクル法を確立することで、新規生産よりも資源循環を推進する



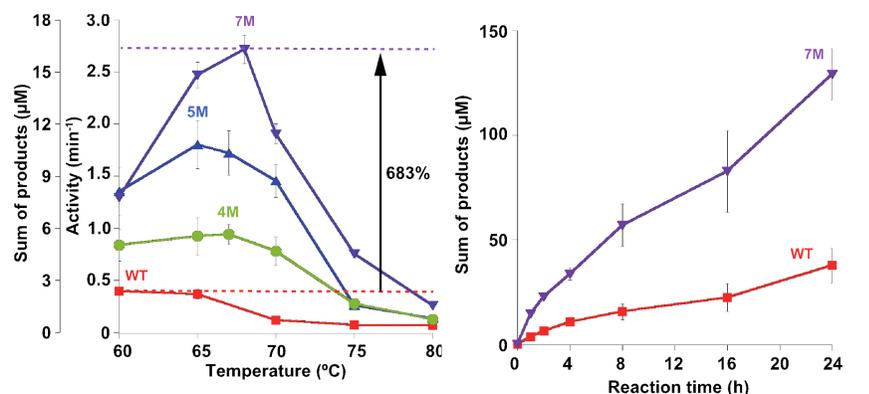
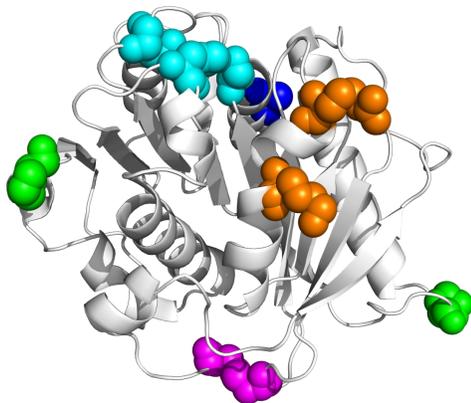
環境保護意識だけでなく経済的にも資源循環を選択可能に

我々の成果と技術

PET分解酵素：温和な条件でPETを原料まで分解



改良したPET分解酵素変異体の立体構造とPET分解活性

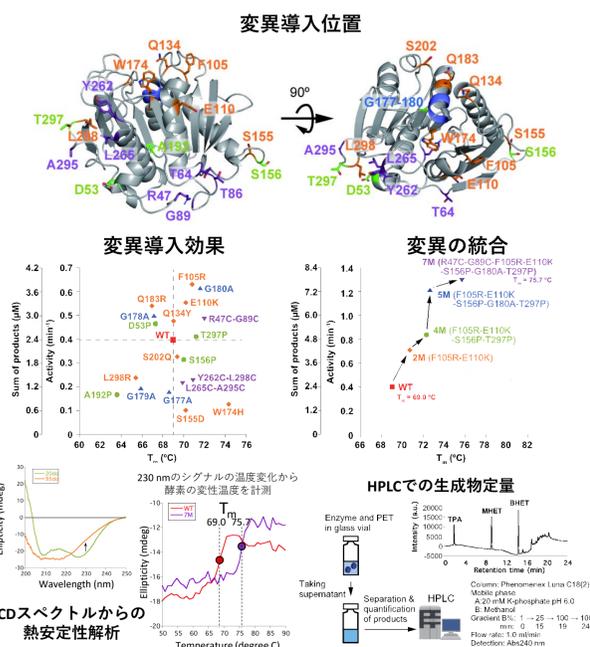


- S175、D221、H253：PET分解反応の触媒部位
- F105R、E110K：アルギニン、リジン残基を導入 (PET結合促進)
- S156P、T297P：ループにプロリン残基を導入 (構造安定化)
- R47C、G89C：2つのシステイン残基でS-S架橋 (構造安定化)
- G180A：ヘリックスにアラニン残基を導入 (構造安定化)

- 変異体は至適温度でのPET分解活性が天然型の6.8倍
- 68°Cで長時間安定的に反応できる

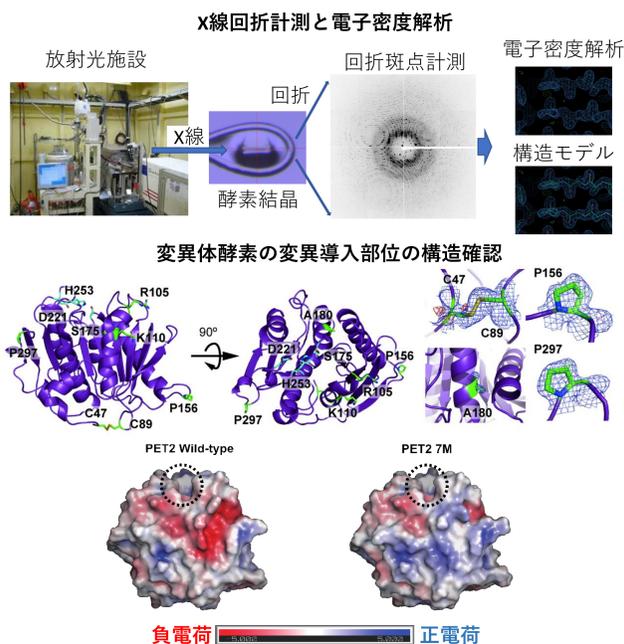
➡ PETリサイクルに向けた応用研究を開始予定

立体構造に基づいた酵素改変



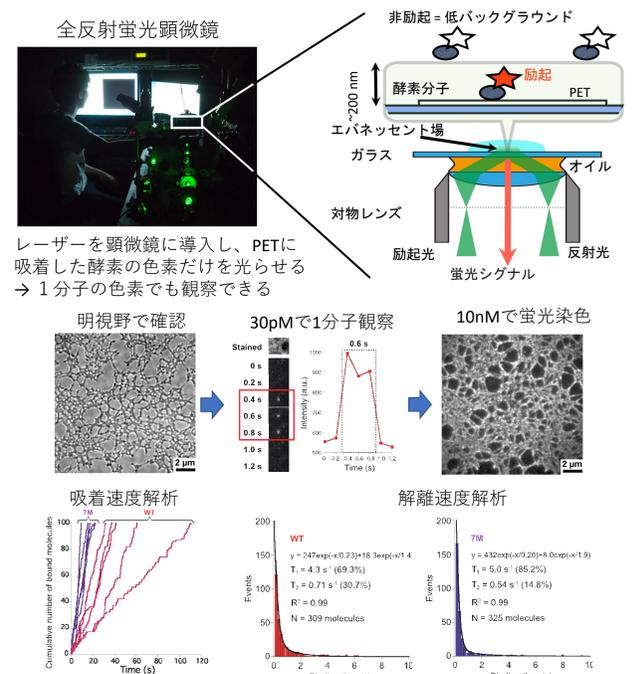
変異体は耐熱性が6.7°C上昇
60°Cの反応で分解活性が3倍向上

X線結晶構造解析による検証



変異体は酵素の表面電荷がプラスに変化

1分子観察による吸脱着特性解析



変異体はPETへの吸着速度が3倍増加