

# 微生物の力で石油系樹脂代替原料を リグニン由来化合物から大量に作り出す

SATテクノロジー・ショーケース2025

## ■ はじめに

木材中に2~3割含まれているリグニンは地球上に最も豊富に存在する再生可能な芳香族有機化合物であるため、持続可能な社会の実現に向けてその有効利用法の開拓が求められている。近年では、複雑な構造の高分子化合物であるリグニンを化学分解により低分子化し、得られた雑多な低分子芳香族化合物を細菌の代謝機能により単一の化合物に変換して利用する技術が注目されている。

2-ピロン-4,6-ジカルボン酸 (PDC)は、リグニン生分解研究の過程で見出された細菌のリグニン代謝中間体である。PDCはジカルボン酸構造を持つため、PET原料のテレフタル酸のように重合反応によりポリマー化することが可能である。これまでに発表者の所属する研究グループでは、PDCを原料としたポリエステル、ポリウレタン、およびエポキシ接着剤を開発し、石油化学系の材料にない優れた特性を明らかにしてきた。一方で、PDCは石油化学原料から合成することが難しく、微生物による発酵生産が産業化可能な唯一の製造方法であるが、実用化に向けては大量発酵生産技術の開発が課題であった。本発表では、リグニン由来低分子芳香族化合物を原料としたPDCの大量発酵生産に関する成果を紹介する。

## ■ 活動内容

### 1. 高効率なPDC生産菌の作出

バニリン酸 (VA)は木材中のリグニンを酸化分解することで得られる主要な低分子芳香族化合物の一つである。VAからのPDC生産系を構築するために、芳香族化合物に対する耐性が高く増殖性の良い *Pseudomonas putida* PpY1100株を宿主に選定し、本株にリグニン分解細菌由来のPDC生産に必要な酵素遺伝子を導入することでPDC生産菌を作出した (図1 上段)。PDC生産菌をグルコースを含む無機塩培地中でVAと反応させたところ、95%以上のモル収率でPDCを生産することが明らかとなった。さらに、小型ジャーファーマンターを用いたVAからのPDC生産試験を行ったところ、約20 g/Lの濃度でPDCを生産できることが明らかとなった。

### 2. PDCの大量発酵生産技術の開発

小型ジャーファーマンターを用いることでVAからPDCを20 g/Lの濃度で生産することができたが、同時に培養後半にかけて未反応のVAの蓄積も観察された。VAの蓄積を解消しさらなるPDC生産量の増大を目的に、代謝産物を

網羅的に調べるメタボローム解析を実施し、PDC発酵生産における問題点の抽出と改善を行った。検証を重ねた結果、VAの蓄積解消にはPDC生産菌の細胞内エネルギー産生に関わる一次代謝の活性化が重要であることと、連続的なPDC生産には培地中の栄養源 (アミノ酸、金属イオン等)の増強が効果的であることが明らかとなった。以上を踏まえ、培地栄養源を増強した改良培地を調製し、増殖源であるグルコースの添加条件を検討することで、PDC生産菌の高密度培養を達成した。最終的に、ポリ乳酸の原料である商用レベル乳酸発酵と同等の、収量100 g/LでのPDCの生産に成功した (図1 下段)。本成果は、リグニン由来の芳香族化合物を原料にPDCを実用レベルで生産することに成功した世界初の成果である。

現在は木材のパルプ黒液 (リグニン由来の雑多な芳香族化合物が含まれる)を原料としたPDCの大量発酵生産技術の開発に取り組んでいる。

## ■ 関連情報等(特許関係、施設)

**特許:**特開 2021-141874 2-ピロン-4,6-ジカルボン酸の製造方法

**論文:**Otsuka *et al.*, *Bioresource Technology*, 377:128956 (2023)

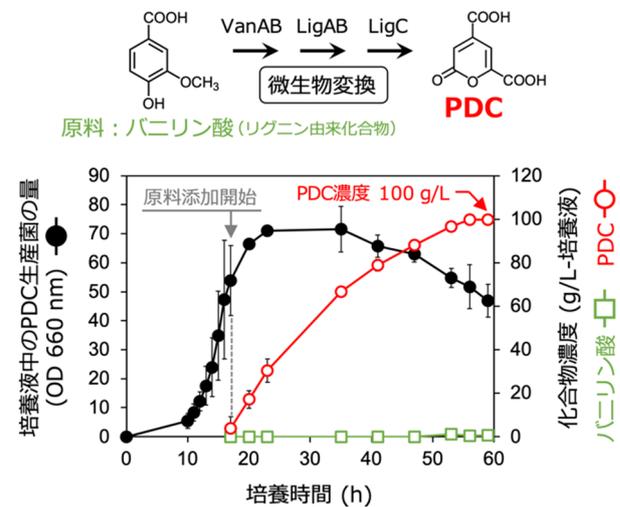


図1. 作出した PDC 生産菌のバニリン酸変換経路 (上段) とバニリン酸を原料とした PDC の高濃度生産結果 (下段)

代表発表者 **荒木 拓馬(あらき たくま)**  
 所属 **国立研究開発法人 森林研究・整備機構  
 森林総合研究所 森林資源化学研究領域**  
 問合せ先 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1  
 TEL: 029-829-8282 FAX: 029-873-3797  
 atakuma@ffpri.affrc.go.jp

■キーワード: (1)リグニン利用  
 (2)発酵生産  
 (3) *Pseudomonas* 属細菌  
 (4) 2-ピロン-4,6-ジカルボン酸 (PDC)  
 ■共同研究者: 大塚 祐一郎(森林総合研究所)  
 鈴木 悠造(森林総合研究所)  
 中村 雅哉(森林総合研究所)  
 政井 英司(長岡技術科学大学)  
 上村 直史(長岡技術科学大学)