

複合微生物触媒で ポリ塩化ビフェニル類汚染廃棄物を分解

1. はじめに

ポリ塩化ビフェニル (PCB) は難分解性の有機塩素化合物の一種で、生体に対し内分泌攪乱作用を示す⁽¹⁾。PCBの化学構造は、母核となるビフェニル環の水素が1~10箇所塩素置換されたもので、置換基の位置と数の組合せで理論上209種の同族体ができる。廃棄物中の同族体は約120種で、これらが混合した旧鐘淵化学工業社のカネクロールシリーズなどは化学的に安定であり、トランスやコンデンサなどの絶縁油を含む多くの産業分野で利用された。しかし有害性認定後は廃絶となり、夢の物質は廃棄物へと変貌した。現廃棄物処理法は焼却などエネルギー消費型である。微生物触媒の利点は低温での反応を無機溶媒中で行えるため、省エネかつクリーンである。本稿では産学で開発を進めている「複合微生物触媒」による新しい微量PCB汚染廃電気機器の処理法を紹介する。

2. PCB分解性複合微生物触媒とは

山形大学で誕生した複合微生物触媒は、2種類以上の微生物触媒の複合体で構成される。中でも重要な要素がビフェニルジオキシゲナーゼ (BDO) という「酵素」である。BDOは酸素原子二つをPCBへ導入する最初の酸化反応を触媒して、分解へと導く。“複合”する理由はPCB製品が同族体の混合物だからである。酵素は「かぎ」と「かぎ穴」の関係のように、結合して反応する。相手(基質)を厳格に選ぶ性質を持っている。つまり1種類のBDOでは120種の基質を分解できない。本技術は、野生株と遺伝子組換え株に由来する基質選択性の異なるBDOを組み合わせて触媒に幅広い選択性を持たせた⁽²⁾。選択性は酸素導入位置の違いで大きく二つあり、オルト位とメタ位、あるいはメタ位とパラ位である。複合微生物触媒は、四塩素化PCBを主成分とするカネクロールKC-400をほぼ完全に分解した(データ非公認)。

3. 複合微生物触媒とマイクロバブルの融合

PCB分解性複合微生物触媒は大量

の酸素を消費する。われわれはマイクロバブル技術を採用し、濃度を28mg/L (ppm)以上にすると分解率が約12%向上することを報告した⁽³⁾。マイクロバブルは浮上速度が遅く、気体を効果的に液体へ溶解し、電荷を帯びることで液体中に均一に分散する。われわれはこの特性を活かすため、「加圧溶解型」と「超音波利用型」の二つのマイクロバブル発生機構を備えたバイオリアクターを試作した(図1)。加圧溶解型は反応溶液へ事前に酸素を過剰供給するため、超音波利用型は反応開始直前に溶液中のPCB分散性を高めるとともに、酸素濃度を高く維持する目的で用いた。酸素マイクロバブルと複合微生物触媒の併用で、微量PCB汚染濃度を想定した40ppmのカネクロールKC-300を24時間以内に環境省指定の基準値0.5ppm以下まで分解できた(図2)。KC-300は、かつて最も多用されたPCB製品で現存する廃棄物量も多いとされる⁽⁴⁾。また、有害性が高い同族体コプラナーPCBも高い効率で分解した⁽⁵⁾。コプラナーPCBはダイオキシンと同様に哺乳類でアリアル炭化水素受容体を介した内分泌攪乱作用を示す。以上から、複合微生物触媒によるPCB分解の高い実用性がうかがえる。

4. おわりに

本開発では「学」におけるPCB分解技術と同時に、「産」におけるPCB汚染電気機器類洗浄の検討も進んでいる。主流の洗浄剤はアルコール系や炭化水素系である。これらは高い洗浄性を示すが、大量の汚染有機廃液を生むだけでなく、労働衛生上も好ましいとは言えないため、安全な洗浄剤を検討している(図3)。将来は分解と洗浄を一連で行える小型システム化プラントが誕生する予定である。

本稿執筆に当たりKYB(株)より一部資料の提供を受けた。また、本開発は科学技術振興機構の産学共同実用化開発事業の支援で進められている。関係各位へ深謝する。

(原稿受付 2015年7月31日)

[原 富次郎 山形大学]

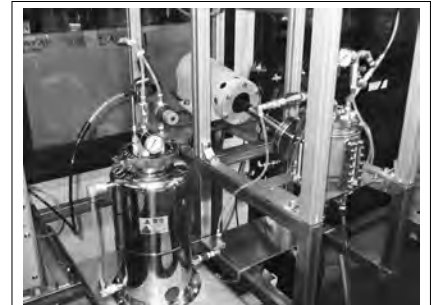


図1 マイクロバブル発生機構搭載バイオリアクター

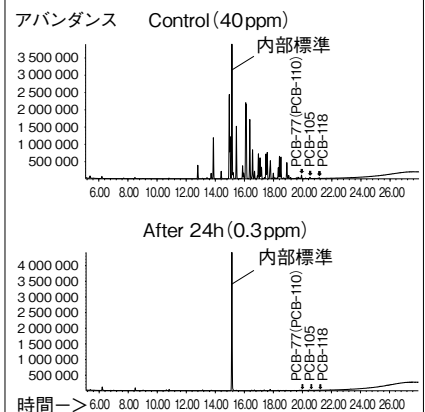


図2 複合微生物触媒によるKC-300の分解 (GC-MSデータ, 文献(5)から引用)



図3 汚染廃棄物の洗浄装置

●文献

- (1) 原富次郎・高塚由美子, 好気性細菌によるポリ塩化ビフェニル無害化研究と山形における実用化の将来展望, 産業と環境, 41-10 (2012), 65-69.
- (2) Hara, T. and Takatsuka, Y., Enzymatic Composition of Two Different Types of Bacterial Catalyst Efficiently Degrade Polychlorinated biphenyls, *American Society Microbiology 2015 General Meeting*, (2015-6).
- (3) 原富次郎・幕田寿典・ほか, ビフェニルジオキシゲナーゼ高発現細菌製剤の超音波利用型マイクロバブルによる触媒反応制御, 第23回環境工学総合シンポジウム2013講演論文集, (2013-7), 203.
- (4) 中西準子・小倉勇, コプラナーPCB, 16 (2008), 丸善.
- (5) 原富次郎, レドックスUPDATE, 「医学のあゆみ」別冊, (2015), 58, 医歯薬出版.