

B-28 活性汚泥による生分解性プラスチック生産における PHA蓄積微生物集積条件の検討

東京大学大学院 ○高畠 寛生, 佐藤 弘泰, 味埜 俊, 松尾 友矩

1. はじめに

PHA(Polyhydroxyalkanoate)は、微生物にとって炭素やエネルギーの貯蔵物質であると同時に、抽出・精製すれば生分解性プラスチックとして利用することができる。すでに*Ralstonia eutropha* (旧名*Alcaligenes eutrophus*)の純粋培養によるPHA生産技術が実用化されており、3HB(3-ヒドロキシ酪酸)と3HV(3-ヒドロキシ吉草酸)を構成モノマーとするPHAがバイオボールという商品名で販売されている。現在、PHA生産に関して、生産効率を向上させるための検討や、生分解性や強度など物性の向上のための検討などが盛んに行われている。

一方、活性汚泥中にもPHAを蓄積する微生物は存在する。特に、生物学的リン除去法として知られている嫌気好気法で馴致された活性汚泥中には、嫌気工程でポリリン酸をエネルギー源として炭素源を摂取し、PHAとして蓄積するという代謝を行う微生物が卓越する。上野ら¹⁾は、嫌気好気活性汚泥を用いてPHA生産を試みたが、PHA含有率は最大で乾燥汚泥重量の30%程度だった。そこで、岩本ら²⁾は嫌気好気法の嫌気工程で微量の空気を供給する微好気好気法を導入した。嫌気好気活性汚泥は、PHA蓄積能力の他に、ポリリン酸蓄積能力やグルコース蓄積能力を備えている。しかし、PHA生産だけを目的とするならば、PHA蓄積能力以外は不要である。岩本らは、微好気好気法ではポリリン酸蓄積能力やグルコース蓄積能力を備えていないPHA蓄積微生物も、微量に供給される酸素を利用して基質を摂取するためのエネルギーを生み出すことができるために、活性汚泥のPHA蓄積能力は増加すると考えた。実際、活性汚泥を馴致しPHA生産を試みたところ、最大62%のPHA含有率が達成された。しかし、微好気工程で基質を摂取することはなく、何故微好気好気法を導入することによってPHA蓄積能力が増加するのかは不明であった。

このように、我々の研究グループは活性汚泥によるPHA生産について検討してきたのだが、それは、この技術が実用化されれば、現在エネルギーを消費して処理されている余剰汚泥や下水や工場排水などの廃棄物から有価物(生分解性プラスチック)が回収でき、廃棄物の有効利用やリサイクルの面で注目になるからである。

本研究では、活性汚泥による生分解性プラスチックの生産フローとして図1のような工程を考えている。ここで、下水処理においていかにPHA蓄積微生物を集積させるか、そして、PHA生産リアクターにおいていかにPHAを生産させるかを中心に検討している。特に今回は、PHA蓄積微生物の集積条件について検討した結果(嫌気好気法、微好気好気法、標準活性汚泥法の比較)について報告する。

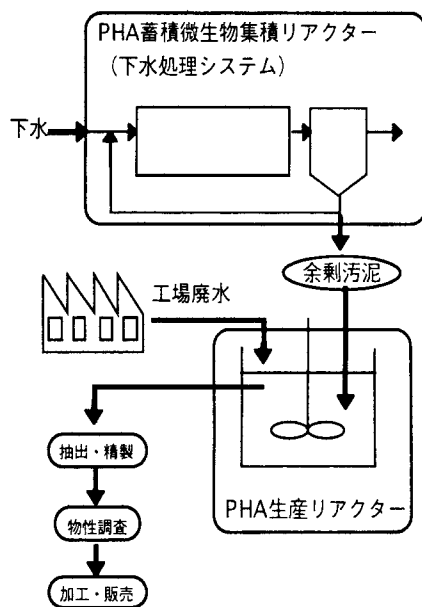


図1 活性汚泥による生分解性プラスチックの生産フロー

2. 実験方法

本研究では、PHA蓄積微生物集積リアクターによって活性汚泥を嫌気好気法、微好気好気法または標準活性汚泥法で馴致し、その活性汚泥に対してPHA生産能力を調査するバッチ実験に用いた。

PHA蓄積微生物集積リアクターとして図2のような10Lの回分式リアクターを20℃の恒温室に2系列設置し、放流水流出時間30分、窒素曝気30分、嫌気（嫌気好気法）或いは微好気（微好気好気法）或いは好気（標準活性汚泥法）60分、好気180分、沈殿60分の合計6時間を1サイクルとしたタイムスケジュールで運転した。また、窒素曝気の終わりには、酢酸、プロピオン酸ナトリウム、ペプトン、酵母エキスなどを含んだ濃厚基質（CODは約20,000mgO/l、TOCは約10,000mgC/l）を約300ml投与した。そして、窒素曝気の始めに水道水を流入させ、HRTを約10時間とした。更に、好気の終わりにはSRTが約5日となるように余剰汚泥を引き抜いた。pHコントローラーによりpHを6.8～7.5に調整した。

このようにして馴致された活性汚泥をPHA生産能力調査のためのバッチ実験に用いた（図3）。このバッチ実験は好気条件下で行い、炭素源として酢酸ナトリウムを実験開始から、0、6、12、24時間後に3000、1000、1000、1000mgC/l投与した。また、pHは7.0～7.2になるようにpHコントローラーを用いて調整した。

3. 実験結果及び考察

PHA生産能力調査のためのバッチ実験によって得られた最大PHA含有率の経日変化を図4に示す。嫌気好気活性汚泥は17～57%、微好気好気法は33～50%、標準活性汚泥法は20～30%の最大PHA含有率が得られた。

微好気好気活性汚泥についてはある程度の安定した高いPHA生産が達成されたが、今回の実験での最大PHA含有率は嫌気好気活性汚泥で達成され、56.9%だった。つまり、微好気好気法だけでなく嫌気好気法でも高いPHA生産能力を持った活性汚泥が生産できることが示唆された。

次に嫌気好気活性汚泥に注目すると、嫌気工程で基質の摂取やPHAの蓄積が観察されるときはPHA生産能力が低く（PHA含有率は17～25%程度）、観察されないときはPHA生産能力が高い（PHA含有率は40%以上）傾向があった。このような代謝は、微好気好気活性汚泥に良く見られる代謝である（図5参照）。通

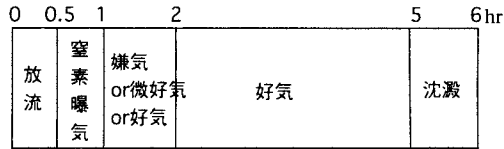
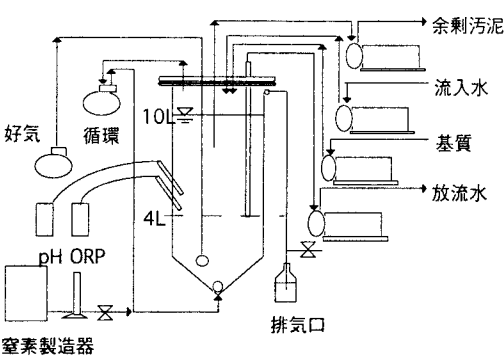


図2 PHA蓄積微生物集積リアクター概略図及びタイムスケジュール

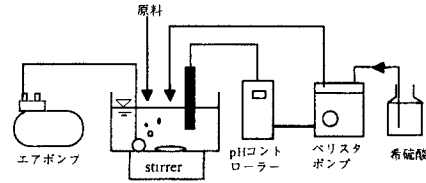


図3 PHA生産能力調査のためのバッチ実験

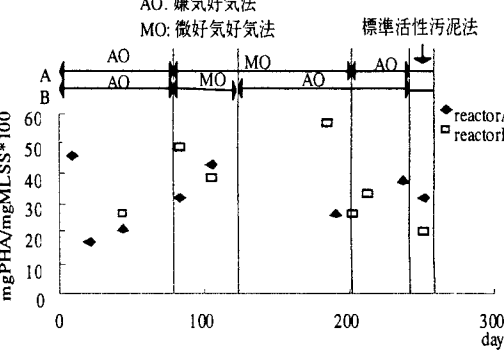


図4 PHA生産能力（最大PHA含有率）の経日変化

常、嫌気好気活性汚泥は、嫌気工程でポリリン酸を放出して基質を摂取しPHAとして蓄積する。そして、続く好気工程でPHAを酸化分解してエネルギーを得るという代謝を行う。しかし、図5(a),(b)に示すように、嫌気好気活性汚泥も微好気好気活性汚泥も酸素制限工程（嫌気或いは微好気工程）では基質の摂取もPHAの蓄積もリン酸の放出も行わなかった。そして、続く好気工程で急速に基質を摂取しPHAとして蓄え、摂取する基質が枯渇するとPHAを分解するという代謝を行っていた。酸素制限工程で本当に何の代謝も行っていないとすれば、標準活性汚泥の代謝と同じ代謝をしていることになるが、活性汚泥のPHA生産能力は酸素制限工程を設けることで増加している。つまり、この酸素制限工程は活性汚泥のPHA生産能力に何らかの影響を与えていることになるのだが、今回の実験からはそのメカニズムを解明することはできなかった。今後の研究課題である。

4. 結論

嫌気好気活性汚泥でも56.9%という高いPHA含有率が得られた。このときの活性汚泥は、生物学的リン除去を行う嫌気好気活性汚泥に見られる嫌気工程での基質の摂取、PHAの蓄積、リン酸の放出を行っていない。本研究によって、嫌気や微好気などの酸素制限工程を設けることでPHA生産能力の高い活性汚泥が得られることが明らかとなったが、そのメカニズムは不明である。活性汚泥によるPHA生産技術の実現に向けて、更なる研究の発展を望む。

5. 参考文献

- 1) 上野俊洋、佐藤弘泰、味埜俊、松尾友矩、嫌気好気式活性汚泥による生分解性プラスチックPHAの好気的生産、Polymer Preprints, Japan Vol. 42, No. 9 3673-3675 (1993)
- 2) 岩本友里奈、佐藤弘泰、味埜俊、松尾友矩、微好気好気法で馴養された活性汚泥による生分解性プラスチック(Polyhydroxyalkanoate)の生産、土木学会論文集, No.573, VII-4, 1997.8, 19-26

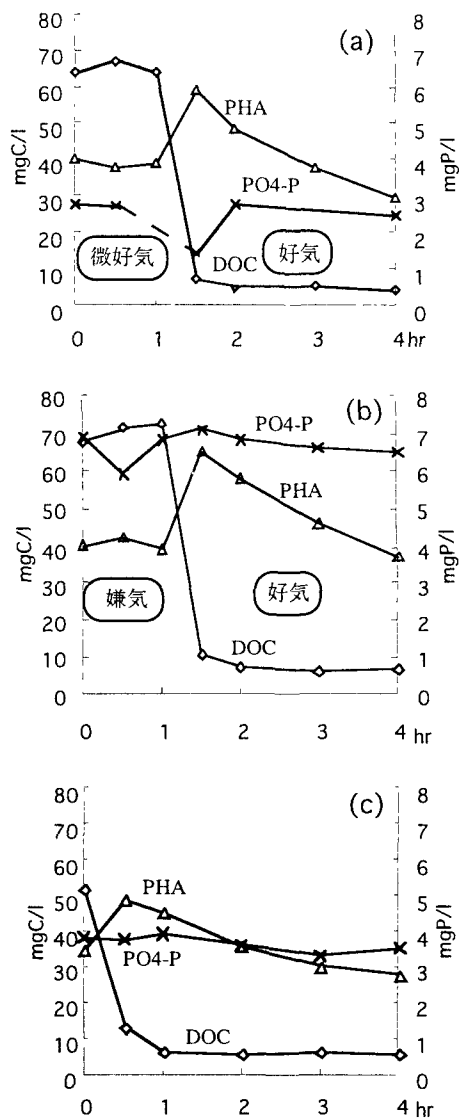


図5 各種PHA蓄積微生物集積法で馴致した活性汚泥（最大PHA含有率達成時）の1サイクル内の各成分（DOC、汚泥内多糖類、PHA、PO4-P）の挙動
(a) 微好気好気法 (b) 嫌気好気法
(c) 標準活性汚泥法