

リン資源回収を目的とした包括固定化担体の馴養方法について

日本大学理工学部土木工学科 学生会員○松橋 学
非会員 平川 真一
菌 和希
正会員 齋藤 利晃

1.はじめに

現在、平成 18 年 3 月現在のところ下水道普及率は 69.3%であるのに対し高度処理の普及率は 1 4 %である。²

このような状況のなかで、排水中の有機物の多くは除去されるものの、リン・窒素などの栄養塩類は未処理のまま放流されている。そのため、日本全国の閉鎖性水域での富栄養化の問題は、近年少しずつ改善されてはいるが、未だ大きな問題である。一方で、富栄養化の原因物質でもある。リンは、日本の抱える資源問題の一物質であり、現在、肥料等の原料となるリン成分をリン鉱石という形で 100%輸入に頼っている。このように、リンは、資源として求められる一方で、環境を汚染してしまうといに面性をもっている。このような現状から脱却するとともに、世界的に求められている、持続可能な循環形社会の達成には、現在の輸入・使用・排水という一方通行の流れを見直し、排出されたリンを再資源化するシステムが必要である。現在実用化されている技術にMAP法や、蓄積されたポリリン酸を加熱し取り出す方法が考えられているが、より安価にリン回収を行うには生物学的な方法が有効である。しかし、汚泥の使用は、余剰汚泥の処理や固液分離などの問題が考えられるため、包括固定化担体を用いることで、汚泥の減少と、固液分離の問題を解決し、より純度の高いリン回収が可能になると考える。

2.実験方法

(1) 連続実験

ポリエチレングリコールを主成分とする包括固定化担体を用い、図 1 のような回分実験 4 L に 5%添加し、流入量は有機物、栄養塩は共に 5 0 m l、水 3 L を流入とし、3/4 排水で運転をし、RUN1~7 まで実験条件を変更しながら連続運転をし、p H 7、水温 2 0 度、攪拌、曝気量を自動制御・監視するとともに、DO、ORP、自動監視を行った。

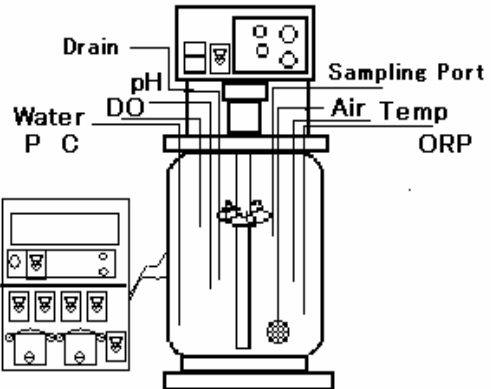


図 1 実験装置

RUN1・2 では担体のみを対象に嫌気－好気比、有機物－栄養塩濃度を変更しながら運転をし、RUN3~6 では汚泥を混合し嫌気－好気比、SRT、を変更しながら運転をした。また RUN7 では、汚泥をすべて抜き取り担体のみでの運転に戻し担体にリン除去活性があるかを観察した。下に各期間の運転工程を示す。

表 1 運転工程

RUN	日付	工程時間				流入濃度		SRT (day)	
		流入 (min)	嫌気 (min)	好気 (min)	排水・沈殿 (min)	リン (mgP/L)	有機物 (mgC/L)		
1	0~54	5	175	165	15	10	50	—	担体
2	55~70	5	235	105	15	10	50		担体
3	71~154	5	220	100	35	10	50	0	汚泥+担体
4	155~175	5	240	100	30	10	50	10	汚泥+担体
5	176~198	5	240	100	30	10	50	8	汚泥+担体
6	199~210	5	225	115	30	10	50	5	汚泥+担体
7	211~	5	210	140	5	10	50	—	担体

34~47 日までトラブルで栄養塩、有機物を半分にした。

キーワード 担体, 下水, 汚泥, 富栄養化, 水処理, 酢酸, 環境

連絡先 ; 〒101-8308 東京都千代田区駿河台 1-8-14 日本大学理工学部 TEL03-3259-0875

(2) 回分実験

汚泥と担体の混合後に、それぞれが、どの程度リン除去性能をもっているのかを観察するために行った。実験方法は、担体の活性を調べる方法として、担体の一部をメインリアクターから抜き取り、125 mL バイアルビンに担体を添加する。嫌気工程では、バイアルビンを密閉し、有機物・リン酸を添加しその後シェイカーに乗せ攪拌を行いながらサンプルを採取した。好気工程では、有機物をいったん抜き取り、高濃度のリン溶液を添加し、ディスポーザーを用いて曝気をし、サンプルを採取した。サンプルは嫌気工程で、リン酸が0分、5分、10分、15分、20分30分、60分以後240分まで1時間おきに採取し、有機物は、0分と240分にTOCで測定し、好気工程では、リン酸が0分、5分、10分、15分20分30分、60分以後180分まで1時間置きに採取した。

汚泥の活性を調べる方法として、メインリアクターから担体をすべて抜き取り、汚泥のみで運転した。運転方法としては、有機物、リン酸を添加し、嫌気工程、好気工程を行い、リン酸のサンプリングは担体の回分実験と同様に行いその際TOCもサンプリングした。

3 結果・考察

(1) 連続運転

RUN 1、2 には、担体のみで実験を行った。RUN1 において担体が嫌気時間中に有機物を摂取しきれていないことから、RUN2 において嫌気時間を延ばし担体内のリン蓄積細菌が有機物を摂取しやすい環境を与えた。しかしながらリン挙動に大きな変化はみられなかった。

そこで、担体の有機物摂取量から担体内部の生物量が少なく、担体のみの運転では、DOの影響などリン蓄積細菌に有利な、環境を構築できないと考え、RUN3 において汚泥を投入し、リン蓄積細菌が優先化できる条件をしっかりと整えることで、担体内の細菌増殖を早めよう考えた。

RUN3 では、汚泥投入され、汚泥のリン除去性能がすぐに見られるようになったことから、リン蓄積細菌の育成環境は整ったと考えられる。また、汚泥引き抜きを行わずに運転したため、汚泥量が増加した。これに伴い、汚泥引き抜きをSRT10(日)として実施し、これを、RUN4 とした。その後RUN5 では汚泥滞留時間8日、RUN6 では5日、と汚泥を抜いてゆき、汚泥量を減少させることで、担体への有機物負荷を増やしリン除去活性を高くすることを試みた。図2、7に示すように、リン蓄積細菌が汚泥として留まることのできないSRTでもリン除去が行われていることから担体がリン除去性能を備えたと考えられる。最終的にRUN7では、担体のみでのリン除去性能がえられた。

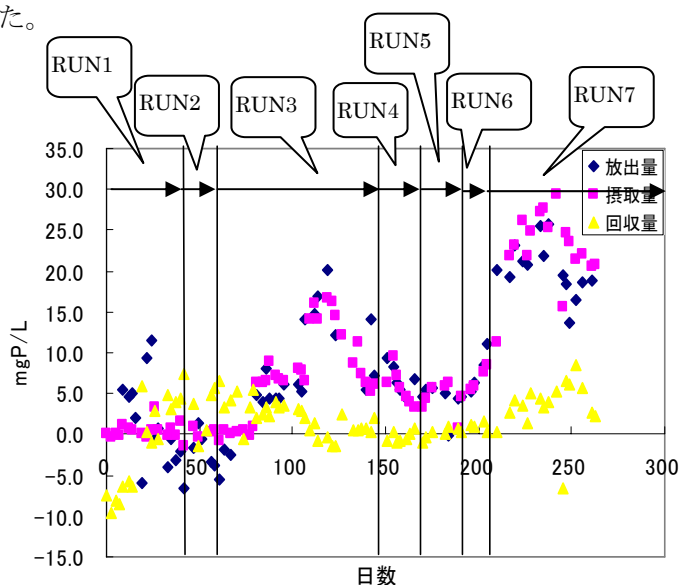


図2 リン回収能の経日変化

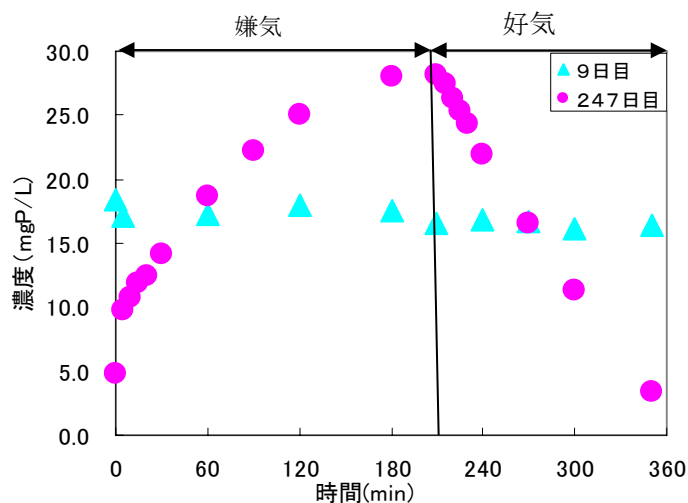


図3 連続槽におけるリン濃度変化

(2) 回分実験

回分実験では、メインリアクター内に汚泥を投入後どのように、担体の能力が変化したかを観察するために行った。より詳しく状況を把握するために、汚泥のみの回分実験も何度か実施した。

図 6 に示すように、担体の放出量、摂取量ともに、SRT を減少させていくと、増加傾向にあることが分かる。このことから、SRT を減少させたことで担体が次第にリン除去性能を備えたことが確認できる。

また、汚泥については、SRT を減少するにつれてリン除去能も減少した。

図 3 に示すように、担体では実験開始当初には、ほぼ、リン除去性能が無かったが、最終的には247日では大きく、向上した。一方で図 5 示すように汚泥投入直後は、汚泥のリン除去性能があったが、207日目では活性が無くなったことがわかる。

このように担体と汚泥、それぞれを観察することでも、汚泥投入後 SRT を減少させることで、担体のリン除去能活性を向上させることができることがわかる。

(3) リン蓄積細菌の汚泥滞留時間

図 7 に示すように Damir らによると、リン蓄積細菌の好氣的な SRT2 (日) 以下になると反応槽内に残ることができないとされている¹。そこで、本実験との比較をおこなうと、実験水温は 20℃ で SRT が 10、8、5 日で行ったので ASRT がそれぞれ 2.7、2.2、1.5 とるこれにより SRT が 5 では汚泥として槽内に残留できないことがわかる。実際に SRT5 (日) 図 7 図 5 を見ても分かるように、汚泥量、リン放出量共にかなり小さくなっていることがわかる。

(5) 担体と汚泥の分担率について

本実験では汚泥と担体を混合して行っているため、混合状態にあるときの汚泥・担体の状況がどのような競合関係になっているのかを 1 データからでは読み取ることができない。

そこで、回分試験の結果を用いて連続反応槽における汚泥と担体との競合関係について解析を試みた。

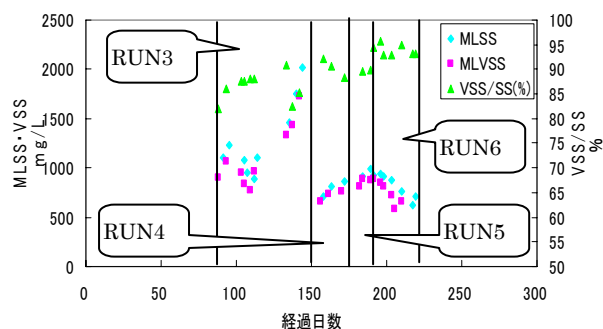


図 4 汚泥濃度の経日変化

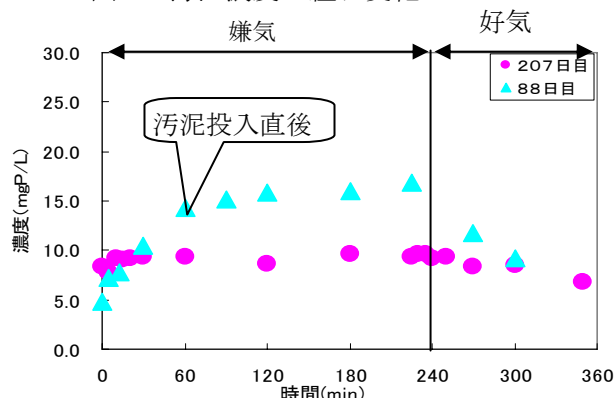


図 5 回分試験におけるリン濃度変化 (汚泥)

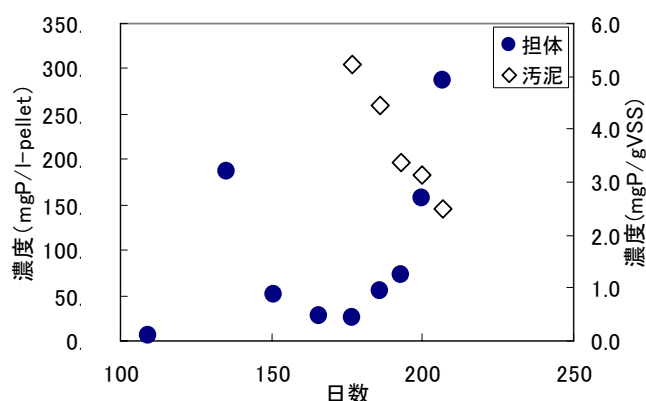


図 6 リン放出能の経日変化

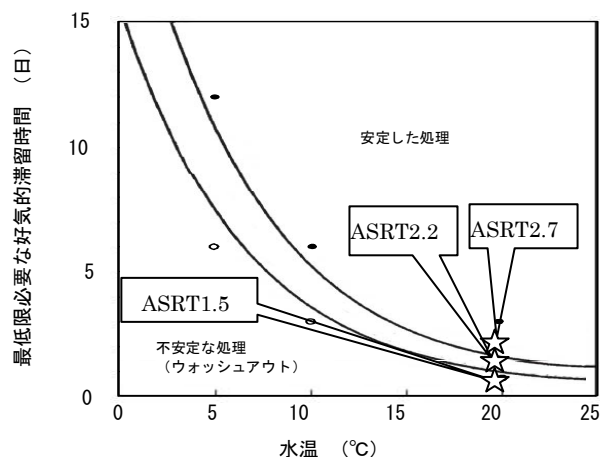


図 7 リン蓄積細菌に必要な好気滞留時間¹
注 Damir らの図を改変¹

ここで担体と汚泥のリン放出の分担比について、回分実験と連続槽のデータ使用し、次の式によって求めた。

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_s = \alpha_p * \Delta C_p + \alpha_s + \Delta C_s$$

$$\Delta C = \Delta C_p + \Delta C_s$$

α_p ; 回分実験の担体のP/C比

α_s ; 回分実験の汚泥のP/C比

ΔC_p ; 連続運転の 1 サイクルの担体の有機物摂取量 ΔC_s ; 連続運転の 1 サイクルの汚泥の有機物摂取量 ΔP_p ; 連続運転の 1 サイクルの担体のリン放出量 ΔP_s ; 連続運転の 1 サイクルの汚泥のリン放出量

ΔC ; 連続運転の 1 サイクルの有機物摂取量

ΔP ; 連続運転の 1 サイクルのリン放出量

回分実験より求めた担体と P/C 比 (α_p 及び α_s) を用いて連続運転における 1 サイクルのリン放出量 ΔP 及び有機物摂取量 ΔC の実測値を満足するように担体と汚泥の有機物摂取量 (ΔC_p 及び ΔC_s) を変換し担体と汚泥のリン放出量 ($\Delta P_p + \Delta P_s$) を求める。

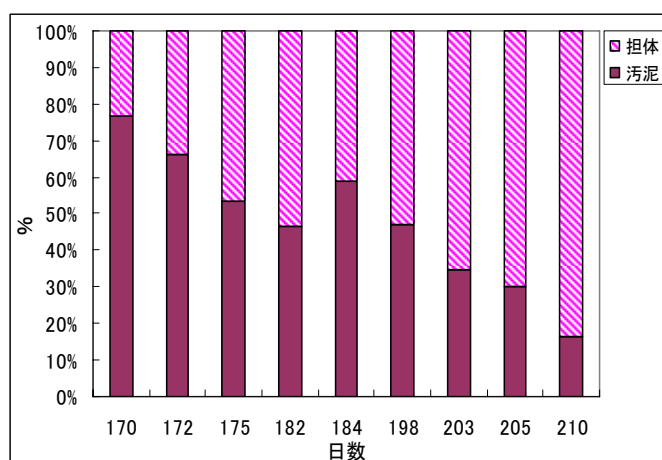


図8 連続槽内における有機物摂取の分担率

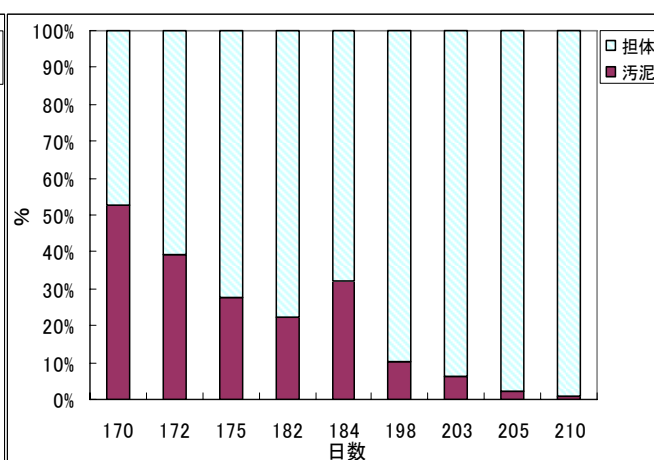


図9 連続槽内におけるリン放出の分担率

図8は汚泥と担体の有機物分担率を表すものである。このグラフから SRT 10 日の時には 8 割を汚泥が摂取していたのに対し、SRT を 5 日としたことで、汚泥の有機物摂取割合は 2 割になり 8 割が担体によって摂取されていることが分かる。

図9は担体と汚泥のリン放出分担率を表すもので、SRT10 日では汚泥が 5 割以上リン放出をしていたのに対し SRT10 日では、汚泥によるリン放出がなくなり、ほぼ担体によるリン除去活性がでていたことが分かる。これらのことから、汚泥投入後メインリアクターのリン除去性能は汚泥の SRT を減少させてゆくことで、担体の担う割合が多くなっていることが確認できた。

4 まとめ

包括固定化担体と汚泥を混合し、SRT を徐々に短くすることで、包括固定化担体にリン蓄積能を活性化できることがわかった。しかしながら、現在の運転では有機物負荷量が高いため、浮遊物質が発生していることや負荷が高いことで微生物増殖による担体の崩壊の可能性がある。今後は、包括固定化担体を用い、高濃度リン回収溶液の純度向上のための適正負荷量の検証と、担体からどのように、リンを回収するのかを検討し、生物学的リン回収の可能性を見出していきたい。

参考文献

- 1 Damir Brdjanovic ら (1998) BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING VOL.60,NO3
- 2 社団法人日本下水道協会ホームページ Web; http://www.jswwa.jp/05_arekore/07_fukyu/index.html
- 3 滝本 真理 (2004) 「包括固定化微生物を用いた同時硝化－脱窒およびリン回収に関する研究」