

# 活性汚泥による糖類の生物吸着

材料・化学系（応用化学科） 武者一宏

## 1 緒言

活性汚泥法は、都市下水や有機性廃水中に含まれる各種有機物を基質として、溶存酸素の存在下で微生物の混合集団（活性汚泥）を培養し、有機物の吸着と分解、細胞合成、酸化分解および沈降等の作用で水中の有機物を除去する方法である。

活性汚泥が多種の微生物を混合しているのと同じように、都市下水もまた雑多な成分を混合している。この両者はともに季節（時間）や地域によって構成混合比を異にする。従って、これらを不用意に用いた活性汚泥法の研究データは、再現性に乏しく研究者によっては異なった報告に遭遇する。この欠点を補うために速度論的研究では、活性汚泥中の主要微生物を単離し、これと基質（炭素源）に一成分（主に糖類）を用いた報告が多い。

活性汚泥法では、曝気槽中で活性汚泥と廃水との初期接触により、廃水中の有機物が急激に除去される現象を生物吸着と称し、この除去量を活性汚泥による有機物（基質）の生物吸着量と定義されている。<sup>1)~16)</sup>

従来の報告では、生物吸着の現象が複雑であるにもかかわらず、基質の違いによる選択吸着はないものとし、生物吸着量を総体量であるCODまたは(BOD)<sub>5</sub>値で表わしている。これから得られた吸着等温式は、Fueundlichの式<sup>6), 7), 13), 14)</sup>またはLangmuirの式<sup>13), 14)</sup>で表現できると報告されている。

ここでは、基質に単糖類として $\beta$ -D-グルコース、二糖類にサッカロースとラクトース、多糖類に可溶性デンプンを用い、生物吸着量の求め方に工夫を凝らして、基質の相違による吸着等温式から活性汚泥の生物吸着機構を検討した。

## 2 実験

### 2.1 試料および試薬

活性汚泥は、都市下水処理場の最終沈殿池からの返送汚泥を、各々の糖で2ヶ月以上訓養し、活性汚泥上の糖が完全に除かれるまで水洗いし、24時間空曝気したもの（飢餓状態の活性汚泥）を実験に供した。

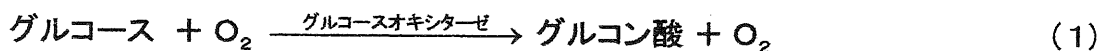
実験に用いた試薬は市販特級試薬をそのまま用いた。

## 2. 2 分析方法

活性汚泥濃度：活性汚泥懸濁水溶液単位体積中に含まれる浮遊物の乾燥質量を活性汚泥濃度とした。すなわち、飢餓状態の活性汚泥懸濁水溶液の一定容積をとり、105～110℃で水分を蒸発させた。

糖類の濃度：水溶液中の糖類の濃度は、シュガーアナライザー（島津製 YSI モデル 27）を用いて測定した。

シュガーアナライザーの原理は、グルコースと酸素がグルコースオキシターゼを触媒として、グルコン酸と過酸化水素を生成する。



生成した過酸化水素は陽極上で酸化され、グルコース量に比例した電流が生じるが、この電流値からグルコース濃度を測定する。



多糖類は、加水分解酵素によってグルコースに変換されてから、上記の原理によって測定される。

## 2. 3 実験装置および操作方法

実験装置の概略を図 1 に示した。

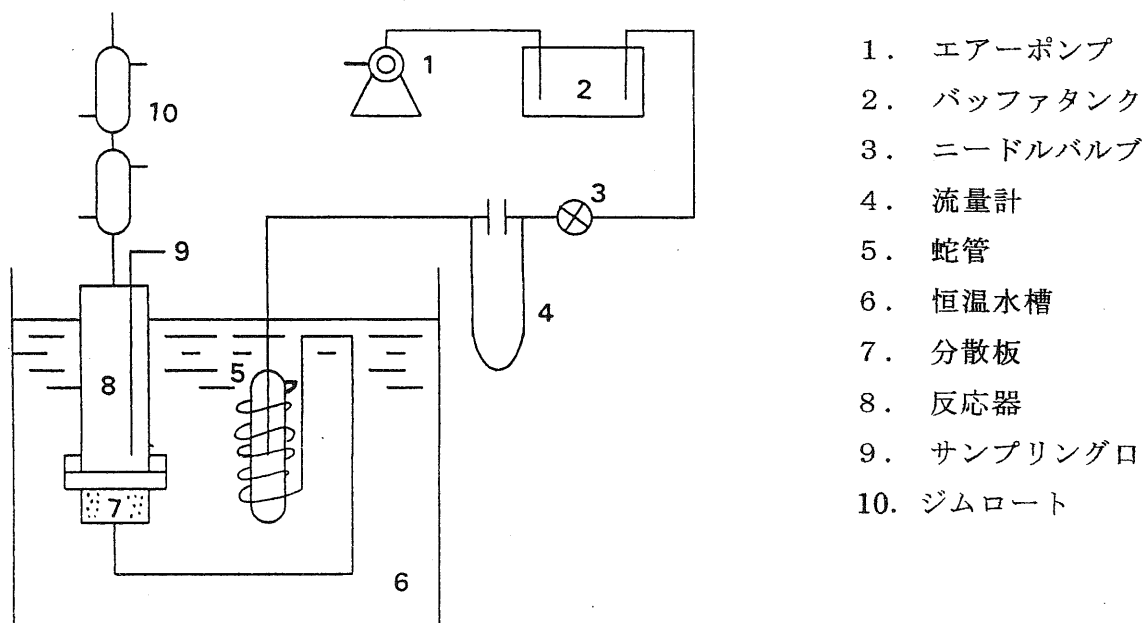


図 1 実験装置

反応器（8）は、容積 800 ml の気泡塔である。反応器にはエアポンプ（1）とニードルバルブ（3）によって、流量 4 [l/min] に調整された空気が蛇管（5）

から反応器下部の分散板（7）を通して吹き込まれる。反応後の空気は反応器上部のジムロート（10）を経て、排出される。

反応器に所定量の緩衝水溶液と基質水溶液を加えた後、飢餓状態の活性汚泥を添加し、反応開始とした。所定時間ごとにサンプリング口（9）から反応水溶液を採取し、メンブレンフィルターで活性汚泥と水溶液とに分離し、水溶液を80℃以上の温度で熱処理した後、シュガーアナライザーで糖濃度を測定した。

### 3 結果および考察

β-D-グルコース水溶液に活性汚泥を添加したときのβ-D-グルコース濃度の経時変化（糖消費曲線）の一例を図2に示す。β-D-グルコース濃度は、活性汚泥を添加したA点から時間の経過に伴いC、D、Eへと変化した。すなわち、活性汚泥との初期接触でβ-D-グルコース濃度はA点から30分後C点へと急激に減少し、C点からD点へと時間に対して直線的に一定の消費速度で減少した。さらに、D点とE点の間では、時間とともにβ-D-グルコースの消費速度は緩慢になった。以上のことから、従来はβ-D-グルコースの消費曲線上のA点とC点との

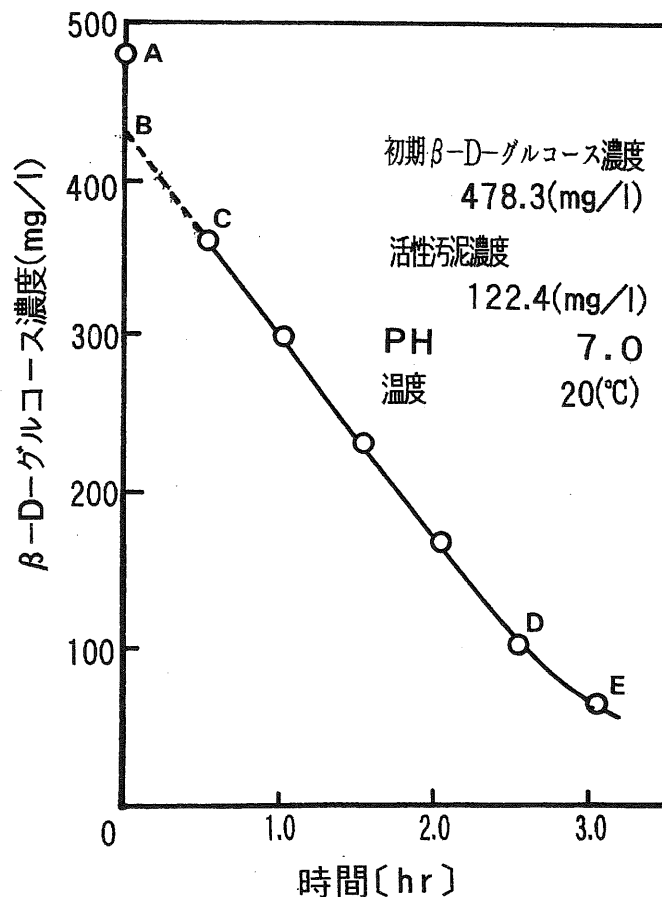


図 2 β-D-グルコース消費曲線

濃度差から生物吸着量を求め<sup>7), 8), 11), 14)</sup>ていたが、ここではC点とD点の延長線上にB点を求め、A点とB点との差から生物吸着量を算出した。またB点をこの場合の吸着平衡濃度とした。

$\beta$ -D-グルコース、サッカロース、ラクトースおよび可溶性デンプンの各基質で馴養した活性汚泥に、同一基質の生物吸着量を求め、吸着等温線を図3に示した。

$\beta$ -D-グルコース、サッカロースおよびラクトースでは、吸着平衡濃度の低い領域で生物吸着量は基質濃度の一次に比例して増加した。また、吸着平衡濃度の高い領域では、生物吸着量は基質濃度に依存せず飽和に達しているものと考え、この量を飽和吸着量とした。

一方、可溶性デンプンでは実験範囲内での生物吸着量は基質濃度の一次に比例して増加した。可溶性デンプンの飽和吸着量はより高い基質濃度で出現すると考えられる。

飽和吸着量は、単糖類 < 二糖類 < 多糖類の順に増加

し、サッカロースとラクトースのそれはほぼ一致した。二糖類の飽和吸着量は単糖類のその二倍であった。すなわち、飽和吸着量は基質の分子量が大きくなる程大きくなる傾向を示した。

これらの吸着等温線から活性汚泥による糖類の吸着等温線は、Langmuir の式で表現できた。これに対し、単糖類と二糖類の低濃度領域や可溶性デンプンのような高分子量物質の生物吸着は、Fueundlich の式でも表現できることから従来より生物吸着が両式で表現されてきたのはこの理由によると推測される。

次いで、活性汚泥の馴養に用いた基質の他に異種基質を加えた混合水溶液と活性汚泥を接触させ、各基質の生物吸着の選択性について表1に示す。

活性汚泥に生物吸着した基質は馴養に用いた基質であり、混合した他の基質の生物吸着は認められぬ程少なかった。

$\beta$ -D-グルコースで馴養した活性汚泥を用い、 $\beta$ -D-グルコースと可溶性デンプンとの同量混合水溶液との生物吸着等温線を図4に示す。図3の $\beta$ -D-グルコース生物吸着等温線も併記した。

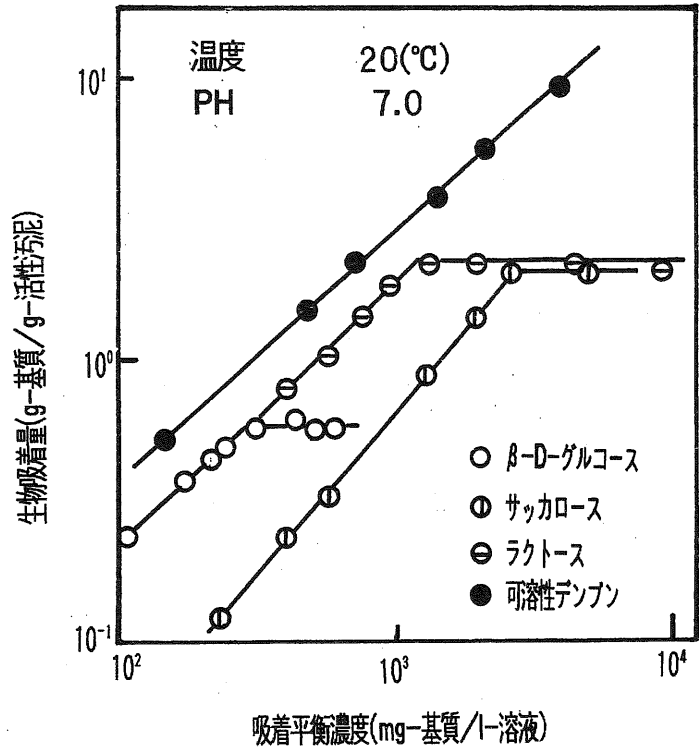


図 3 吸着等温線図

表 1 生物吸着の選択性

条件 実験	培養基質	混合基質	生物吸着した基質
1	$\beta$ -D-グルコース	$\beta$ -D-グルコース サッカロース	$\beta$ -D-グルコース —————
2	$\beta$ -D-グルコース	サッカロース ラクトース	————— —————
3	可溶性デンプン	$\beta$ -D-グルコース 可溶性デンプン	————— 可溶性デンプン
4	$\beta$ -D-グルコース サッカロース ラクトース 可溶性デンプン	$\beta$ -D-グルコース サッカロース ラクトース 可溶性デンプン	$\beta$ -D-グルコース サッカロース ラクトース 可溶性デンプン

————— 生物吸着は実験範囲内では認められなかった。

図 4 より  $\beta$ -D-グルコースの一成分基質および  $\beta$ -D-グルコースと可溶性デンプンの二基質の場合、ともに生物吸着量は基質吸着平衡濃度の低い領域では、基質濃度の一次に比例して増加した。

また基質濃度の高い領域では、飽和吸着量に達した。生物吸着量が基質濃度の一次に比例して増加する領域では、生物吸着量は一成分より二成分混合基質の方が小さい。

一方、可溶性デンプ

ンで馴養した活性汚泥を用い、可溶性デンプンと  $\beta$ -D-グルコースとの同量混合水溶液との生物吸着等温線は、図 3 と同じく飽和吸着量に達しなかった。

以上の結果より、活性汚泥と基質水溶液との初期接触による基質減少量を生物吸着とすると、生物吸着は活性汚泥の馴養条件によって異なる。すなわち、活性汚泥による生物吸着は活性汚泥を馴養した基質を選択的に吸着する。従って、廃水の活性汚泥処理には同一基質で馴養した活性汚泥を用いることがより有効であろうと考えられる。

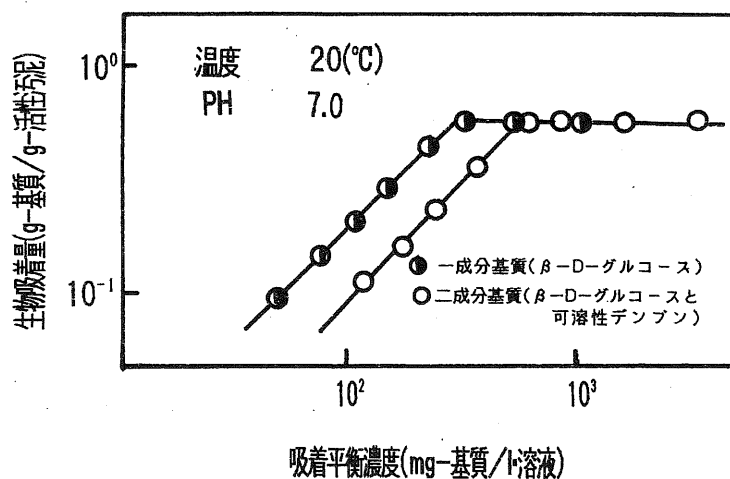


図 4 吸着等温線図

#### 4. 結 言

活性汚泥による糖類の生物吸着を測定して以下の結果が得られた。

1. 活性汚泥による糖類の消費曲線は [糖] / [活性汚泥] 比が大きい場合、糖水溶液と活性汚泥の初期接触により糖は急激に減少し、その後、時間の経過に伴い直線的に消費されるが糖濃度が減少すると消費速度は時間とともに緩慢になる。上記の比が小さい場合、初期に糖は急激に消費されるがその後の消費速度は時間に対して緩慢であった。
2. 吸着等温線は単糖類と二糖類では、Langmuir 式で表現されるが、これらの低濃度領域や可溶性デンプンのような高分子量物質の生物吸着等温線は Freundlich の式で表現される。従来、生物吸着が両式で表現されてきたのは、この理由によるものと推測した。
3. 活性汚泥による糖類の生物吸着には飽和吸着があったがその量は単糖類 < 二糖類 < 多糖類であり分子量が大きくなる程大きくなった。
4. 活性汚泥による生物吸着は活性汚泥を馴養した基質を選択的に吸着する。従って、廃水の活性汚泥処理には同一基質で馴養した活性汚泥を用いるのが有効である。
5. 活性汚泥の生物吸着は汚泥細胞外の酵素に基質が吸着結合すると考えられる。

#### 参考文献

- 1) Theriault: "Activated Sludge as a Biozeolite" Ind. Eng. Chem. 27, 683(1935)
- 2) Theriault: McNamee: "Adsorption by Activated Sludge" Ind. Eng. Chem. 28, 79(1936)
- 3) Theriault: "A Biozeolytic Theory of sewage Purification" Ind. Eng. Chme. 28, 83(1936)
- 4) Heukelekian: "Factors Influencing the Clarification of Sewage by Activated Sludge" Sewage Works Journal 9, No. 3, 431(1937)
- 5) Ingols: "Studies on the Clarification Stage of the Activated Sludge Process VIII Uptake of Soluble Organic Substances" Sewage Works Journal

- 10, No.3, 458(1938)
- 6) Ruchhoft, Kachmar, Moore: "Studies of Sewage Purification XI. The Removal of Glucose from Substrates by Activated Sludge" Sewage Works Journal 12, No.1, 27(1940)
  - 7) Katz, W.J. and Rohlich, G.A.: "Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes" Vol. 1. pp66~87 Reinhold Publishing Corporation.(1956)
  - 8) 合葉修一, 戸田清, 石田範子:「活性汚泥法におけるBOD減少機構について」第13回上下水道研究発表会概要集 P.244(1962)
  - 9) 合葉修一, 戸田清, 石田範子:「活性汚泥による下水BOD除去に関する二三の実験」醗酵工学雑誌 41, No.2, 92(1963)
  - 10) 藤井秀夫, 今利雄:「前ばっ気槽に関する一考察」水道協会誌 354, 23(1964)
  - 11) 加藤三千夫:「活性汚泥の下水浄化能力の示標に関する実験」水処理技術 6, No.13 (1965)
  - 12) 藤井秀夫, 岡田和男:「活性汚泥の初期浄化について」水道協会誌 47, 299(1955)
  - 13) 秋野由成, 杉本一次:「活性汚泥の吸着について」日本水処理生物学会誌 3, 1, 1 (1967)
  - 14) 橋本奨:「活性汚泥の浄化理論とその応用」水処理技術 9, 5(1968)
  - 15) 橋本奨, 藤田正憲:「活性汚泥の浄化反応理論とその機構に関する研究」醗酵工学雑誌 46, No.8, 658(1968)
  - 16) 渡辺勝俊:「活性汚泥における吸着阻害について」第5回下水道研究発表会概要集 P.217(1968)