

脱窒生物膜形成に及ぼす細胞外ポリマーの影響

呉工業高等専門学校 正員 ○ 大橋 晶良
 長岡技術科学大学 正員 原田 秀樹
 長岡技術科学大学 正員 桃井 清至
 熊本大学工学部 学生員 竹田 信

1. はじめに

近年、支持体にバクテリアを付着増殖させ、高濃度の生物を維持できる等の特長を有した回転円板・浸漬ろ床・流動層型の水処理装置が適用されつつある。これらの生物膜内では、基質の拡散浸透と同時に細菌により基質が摂取され、生物膜は生長する。一方、細菌の死滅・流体せん断応力による剝離・脱落により生物膜は衰退する。処理性能を大きく支配する因子として生物膜量が考えられる。しかし、これを把握するには生物膜の形成・剝離機構を解明する必要がある。そこで本研究では、生物膜の付着・剝離強度に及ぼす細胞外ポリマーの影響を脱窒プロセスに適用された場合について実験的に検討した。

2. 実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。支持体として内径8mmの塩化ビニルチューブを用い、経時変化に対する生物膜特性を適時調べられるよう1mのチューブを10本設置してある。循環タンク内には、生物膜から剝離した生物を粒径別に捕獲できるように5種類のフルイ(2.0, 0.84, 0.42, 0.25, 0.105mm)が浸水設置してある。基質タンク内は、生物膜内が完全浸透となるように、水素受容体として硝酸ナトリウム 300 mg/ℓ、水素供与体としてメタノール 900mg/ℓと若干の無機塩類およびイオン強度0.01のりん酸緩衝液から成っており、pHを7に制御してある。水温は、ヒーター及びサーモスタットにより25℃に制御した。実験は、基質タンクから28.3ml/min、循環タンクから170ml/min、計198ml/minの流量をチューブに流下させ、一ヵ月余り行った。

3. 測定項目及び分析方法

生物膜厚 δ ・生物膜湿潤密度 ρ_{bw} は、チューブ付着生物膜の付着前後の重量及び内容積(チューブ内を水で充満させえる水の体積)から算出できる。生物膜量・剝離生物量はSS, VSS, 蛋白質(ローリー法)の3項目、また細胞外ポリマーは滝口の方法で抽出した液をアンスロン法により還元糖として定量した。

4. 実験結果及び考察

4-1 生物膜の生長 単位表面積当りの生物膜量(SS, VSS, Protein)の経時変化を図-2に示す。生物膜は30日経過後も特別な脱落現象は見られず、経過とともに生長し続けている。図-3に生物膜の蛋白質, SS, VSSの各割合を示した。蛋白質の含有量

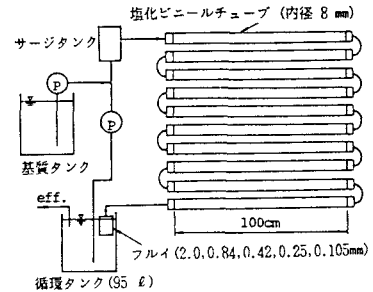


図-1 実験装置

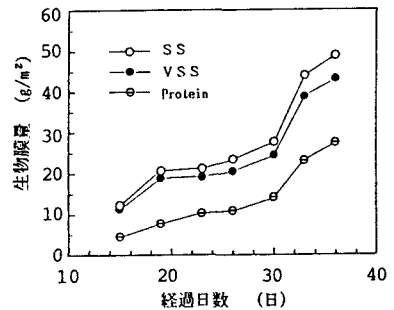


図-2 生物膜量の経時変化

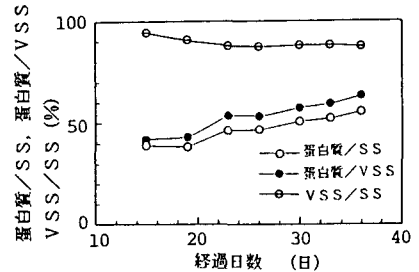


図-3 蛋白質/SS, VSS/SSの経時変化

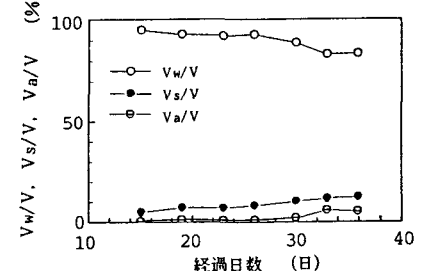


図-4 生物膜内構成の経時変化

は経過とともに大きくなっている。またVSS/SSは80数%まで減少し、無機成分が少し増えている。図-4は、生物膜内の液体の占める体積比 V_w/V 、細菌の占める割合 V_s/V 、気体(N_2 ガス等)の占める割合 V_a/V を示している。なお図中の値は、細胞内の水分が75%、細胞の乾燥密度が 1.3 g/cm^3 で一定と仮定し、生物膜厚とSSの測定から算出したものである。生物膜内はほとんど水で満たされているが、細胞の占める割合は徐々に増大しており、生物膜乾燥密度は増加する。また気体も増加しているが、これは脱室によって N_2 ガスが生物膜内に留まってくるために起こったと思われる。図-5は生物膜厚と湿潤密度の関係を示してある。生物膜厚は15日目に約1mmに達し30日目に一旦減少したものの、36日目には約2mmと厚い生物膜を形成した。ただし、生物膜の生長に対し湿潤密度は 0.95 g/cm^3 まで減少している。生物膜厚 δ と生物膜乾燥密度 ρ_{bd} の関係を図-6に示した。両対数紙上において正の関係が見られ、生物膜の生長は膜厚がただ単に厚くなるだけでなく乾燥密度も共に大きくなると推察される。この関係を式で表すと次式となる。

$$\delta = 0.157 \rho_{bd}^{0.753} \quad (1)$$

4-2 細胞外ポリマー 細胞外ポリマーは細胞間を連結し生物膜の付着力・剝離強度と密接な関係があると考えられる。図-7は蛋白質に対する細胞外ポリマー含有量を生物膜と剝離生物(粒別に)について示してある。剝離生物の細胞外ポリマー含有量は粒径による違いは見られない。生物膜の細胞外ポリマー含有量は経過とともに減少し、33日までは剝離生物よりも高い値を示した。図-8に生物膜量 V_s/V と細胞外ポリマー含有量の関係を示す。片対数紙上で負の線形関係が見られ、次式で表されるように細胞外ポリマー含有量は V_s/V に対して指数的に減少する。

$$\log(\text{細胞外ポリマー}/\text{SS}) = \log 40 - 0.093(V_s/V) \quad (2)$$

4-3 剝離生物量 剝離生物量と単位面積当り生物膜量の関係を図-9に示す。バラツキがあるものの線形関係の傾向が見られる。剝離量を支配する因子として生物膜密度・膜厚・流体せん断応力・細胞外ポリマー量等が考えられるが、本実験の流体せん断応力が一定の場合には生物膜量が大きな因子と推察される。

5. おわりに

生物膜の生長は、膜厚の増加とともに乾燥密度も増える。一方、細胞外ポリマー含有量は減少していき、少量のポリマー量で生物膜を形成できる。剝離生物量は細胞外ポリマー含有量の影響よりも生物膜量に大きく支配される。

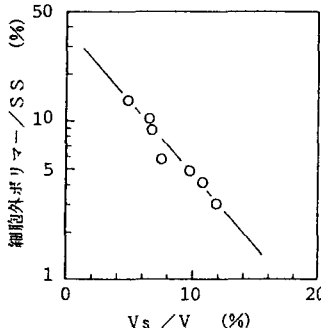


図-8 生物膜の細胞外ポリマー量

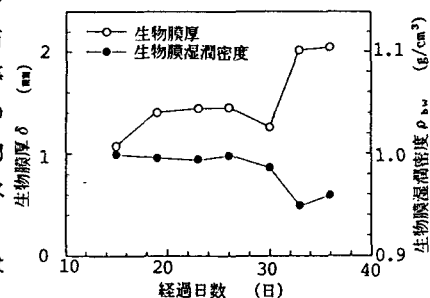


図-5 膜厚・湿潤密度の経時変化

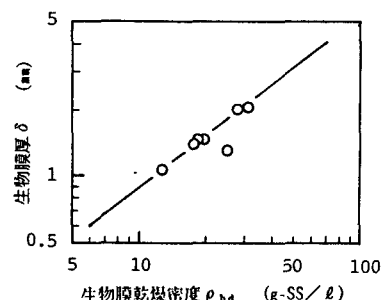


図-6 膜厚と乾燥密度の関係

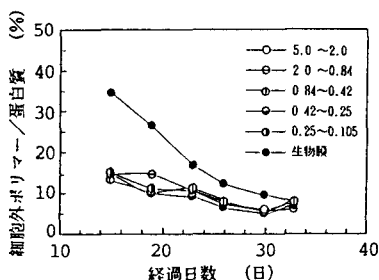


図-7 細胞外ポリマーの経時変化

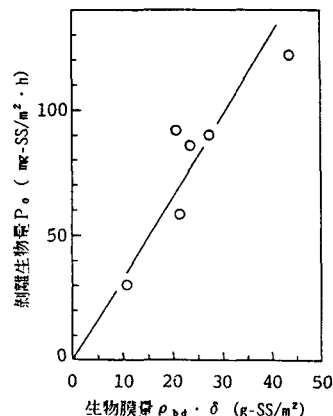


図-9 剝離生物量と生物膜量の関係