

付着生物膜の動的变化について

国立鹿児島高専 学 ○今吉 英明
 国立鹿児島高専 正 西留 清
 国立鹿児島高専 正 山内 正仁
 九州大学工学部 正 楠田 哲也

1. はじめに 半水没型回転円板の付着生物膜を形成する細菌の濃度分布は、空中部酸素分圧、液本体のDO、基質(有機物、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$)、pH、温度等により決められる。逆に、液本体および付着生物膜内の基質濃度は、付着生物を形成する細菌の濃度分布の影響を受ける。この様に液本体基質濃度および付着生物膜内の基質濃度と付着生物を形成する細菌濃度とは相互に作用を及ぼしあっている。そこで、本報では、半水没型回転円板付着生物膜の代謝活性と内部菌種分布の関係を明らかにするため、液本体基質濃度が異なる場合に主眼を置いてシミュレーションを行ない、①生物膜内の生物濃度分布と②生物膜内の基質濃度分布について検討を行う。

2. 回転円板付着生物膜増殖過程のシミュレーション^{1,2,3,4,5)}

半水没型回転円板支持体に付着している生物膜は、つぎの過程をへて形成されると考えられる。①有機物酸化細菌および硝化細菌等を含む液本体のSSが円板支持体に付着し、支持体表面に薄い膜を形成する。②この膜表面にさらに液本体のSSが付着し、主に空中部で酸素が、水中部で基質が膜中に拡散し、膜中の生物は増殖・死滅・分解する。③生物膜は付着増殖しつつ一部は剝離する。

2-1. 仮定 仮定については参考文献(4, 5, 6)を参照されたい。

2-2. 計算方法 計算方法は参考文献(4, 5)を参照されたい。

3. シミュレーション結果と考察 以下に示すシミュレーション結果は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を 1mg/l 、DO濃度を 1mg/l 、初期付着活性有機物酸化細菌および活性硝化細菌濃度を 1000mg/l 、それぞれの死滅細菌を共に 9000mg/l 、総付着生物濃度を 20000mg/l として求められたものである。なお、生物膜の剝離はある生物膜が最大分割数(100、生物膜厚 $2\sim 4\text{mm}$)になったら生物膜の表面から生じるものとしている。

3-1 生物膜内の生物濃度分布 図-1, 2は液本体 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(以下Nと称す)が 10mg/l 、液本体有機物濃度(以下Cと称す)が 10mg/l ($\text{C/N}=1$)の場合の運転開始後の経過日数が5日と13.5日における生物膜内の生物濃度分布である。経過日数が大きくなるにつれ生物膜表面の活性を持つ硝化菌濃度は増加し、膜深部の活性のある有機物酸化細菌、硝化菌は減少する。図-3, 4はNが 10mg/l 、Cが 100mg/l ($\text{C/N}=100$)の場合の経過日数が5日と13.5日における生物膜内の生物濃度分布である。経過日数が大きくなるにつれ生物膜表面近傍の生物膜は剝離するため、活性を持つ有機物酸化細菌濃度はほぼ膜表面から深部膜に様に分布し、生物膜内には硝化菌は殆ど存在しなくなる。

3-2 生物膜内の基質濃度分布 図-5はNが 100mg/l 、Cが 10mg/l ($\text{C/N}=0.1$)の場合の経過日数が13.5日における生物膜内の生物濃度分布である。C/Nが1の場合の同分布と殆ど変わらない。図-6はNが 10mg/l 、Cが 10mg/l ($\text{C/N}=1$)の場合の経過日数が10日における生物膜内の基質濃度分布である。酸素は約 $100\mu\text{m}$ (DO濃度が 0.01mg/l 以上)生物膜内に浸入し、膜深部の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は約 6mg/l 、有機物濃度は約 0.5mg/l である。図-7はC/Nが1の場合の経過日数が10日における生物膜内の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布である。図中の記号

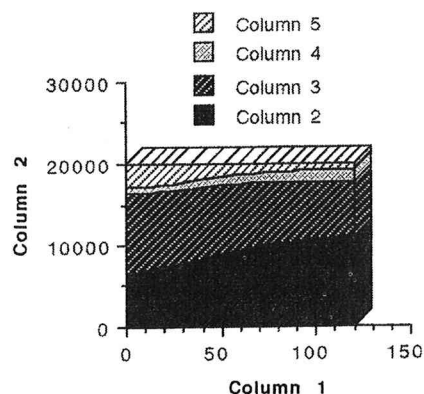


図-1 生物膜内の生物濃度分布
C/N=1, 経過日数 5 日

Column 1: 生物膜深さ(μm)
 Column 2: 死滅有機物酸化細菌(mg/l)
 Column 3: 活性有機物酸化細菌(mg/l)
 Column 4: 死滅硝化菌細菌(mg/l)
 Column 5: 活性硝化細菌(mg/l)

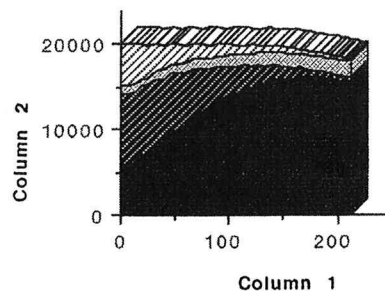


図-2 生物膜内の生物濃度分布(C/N=1)
13.5 日, 図中の記号は図-1 に同じ

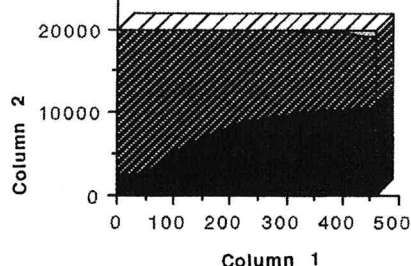


図-3 膜内の生物濃度分布(C/N=100)
5 日, 図中の記号は図-1 に同じ

Column 9と14はそれぞれ生物膜内で硝化・脱窒が生じている場合の生物膜が空中から水中に入る寸前と水中から空中に出る寸前の生物膜内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布である。また、図中の記号のColumn 10と15はそれぞれ、生物膜内で硝化のみが生じ、脱窒が生じない場合の生物膜が空中から水中に入る寸前と水中から空中に出る寸前の生物膜内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布である。したがって、Column 10と9の差が空中部生物膜内で、Column 15と14の差が水中部生物膜内で脱窒により $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が減少した。図-8はNが 10mg/l 、Cが 20mg/l ($\text{C/N}=2$)の場合の経過日数が10日における生物膜内の基質濃度分布である。酸素は約 $150\mu\text{m}$ (DO 濃度が 0.01mg/l 以上)生物膜内に浸入し、膜深部の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は約 4mg/l 、有機物濃度は約 1mg/l である。 $\text{C/N}=1$ に比較して生物膜表面近傍の硝化菌濃度が低下したため、酸素浸入深さは高くなる。また、 $\text{C/N}=1$ に比較して活性のある有機物酸化細菌は高く、このため菌体生成に使われる $\text{NH}_4\text{-N}$ は高くなり、膜内部の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は低下したと考えられる。

4. おわりに 本研究では、未だ完全に解明されていない付着生物膜の構造を明らかにする一助として、非定常半水没型回転円板付着生物の増殖、死滅、および分解を考慮した生物膜モデルにより半水没型回転円板付着生物膜の動的変化をシミュレーションにより求めた。そして、その結果以下のことが明らかとなった。
①経過日数が大きくなるにつれ膜深部の活性のある生物は減少する。
② C/N が高くなればに伴い生物膜内には硝化菌は殆ど存在しなくなる。
③生物膜内への酸素浸入深さは約 $100\sim 150\mu\text{m}$ であり、 C/N が高くなると、若干深くなる。本研究を遂行するに当たり、本校の榎並利征文部技官に多大な御協力を頂きました。ここに、感謝申し上げます。尚、本研究の一部は平成3年度文部省科学研究費(一般研究C、研究代表者:西留清)の助成を受けて遂行されたことを記す。

参考文献 (1)Characklis and Marshall: Biofilms, Wiley 1990 July ISBN, 255-264 (2)John C. Kissel: Numerical Simulation of Mixed-Culture Biofilm, Journal of Environmental Engineering, Vol. 110, No. 2, April, 1984 (3)O. Wanner and W. Gujer: A Multispecies Biofilm Model, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 28, March, 1986 (4)Nishidome K. and Kusuda T.: Mechanism and Simulation of Simulation of Biofilm Formation in a Rotating Biological Contactor, International Symposium ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY 22-25 April, 1991, Ostend Belgium (5)西留清, 楠田哲也, 他: 半水没型回転円板付着生物膜の動態型回転円板的变化のシミュレーション, 第6回生物膜法研究シンポジウム, pp. 93-96, 1991(11) (6)西留清, 楠田哲也, 渡辺義公: 半水没型回転円板付着生物膜内基質濃度と膜の動的変化のシミュレーション, 第28回衛生工学研究討論会講演集(自由投稿発表部門) 土木学会衛生工学委員会, PP19-21, 1992(1)

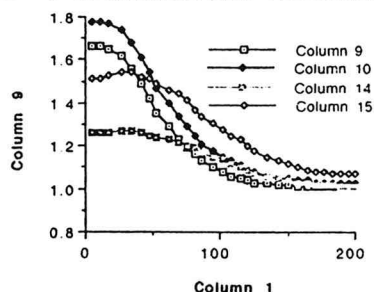


図-7 生物膜内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度

Column 9:
空中部硝化・脱窒素
Column 10:
空中部硝化
Column 14:
水中部硝化・脱窒素
Column 15:
水中部硝化

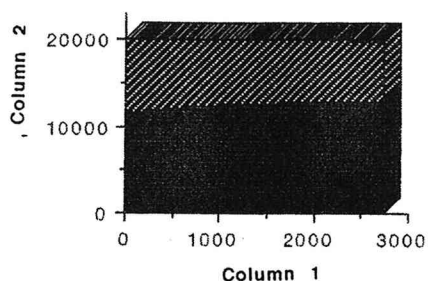


図-4 生物濃度分布($\text{C/N}=100$)
13.5日, 図中の記号は図-1に同じ

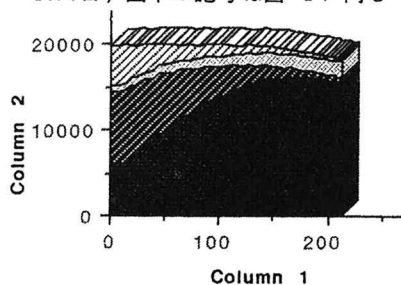


図-5 生物濃度分布($\text{C/N}=0.1$)
13.5日, 図中の記号は図-1に同じ

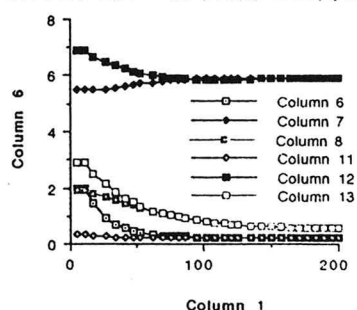


図-6 生物膜内の基質濃度($\text{C/N}=1$)
Column 6: 空中→水中 DO 濃度(mg/l)
Column 11: 水中→空中 DO 濃度
Column 7: 空中→水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度
Column 12: 水中→空中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度
Column 8: 空中→水中有機物濃度
Column 13: 水中→空中有機物濃度

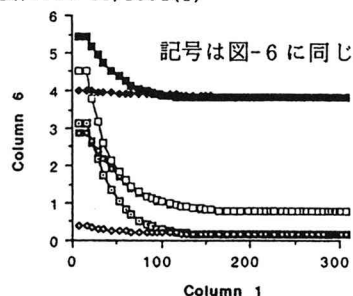


図-8 生物膜内の基質濃度($\text{C/N}=2$)