

生物膜表面の凹凸の変化と定量化について

—— 好酸性鉄酸化バクテリアの生物膜の場合 ——

函館高専 正会員 大久保 孝 樹
 函館高専 正会員 芦 立 徳 厚
 東北大学 正会員 野 池 達 也

1. はじめに

生物膜の構造形態としては、現在、Base film と Surface film に分けられているのが一般的である。Base film は分子拡散が卓越した生物密度の密な領域で、一方 Surface film は、表面が凹凸を呈しており、水平対流(移流)も生じる可能性のある生物密度が小さい領域と考えられている。Surface filmは、表面形態の凹凸及び流体力学的影響を大きく受ける領域である。本研究では、好酸性鉄酸化バクテリアによって形成された生物膜を対象としているが、従来からの実験を通して、生物膜表面の凹凸の形状が剥離(sloughing)なしに経過日数とともに変化してくることが観察されていた。今回は、経過日数によってどのように凹凸が変化し、基質除去フラックスに影響を与えるかを考察してみた。凹凸の定量化については前回の講演集で述べたスペクトルを用い、さらに rms(root mean square)を用いてみた。なお、Surface filmの影響については、凹凸に加え流体力学的影響が入ってくるが、この影響の定量的分離については、今後の課題である。

2. 実験及び生物膜表面の凹凸の測定、定量化について

(実験) 三つのCSTR(Run1, Run2, Run3)を用い、同一流量(約0.96~1.0ℓ/hr)で、さらに同一の環境条件で連続実験を行なった。各系列では、それぞれ7日、20日、54日目に、これらの反応槽を用いた回分実験を行い、生物膜のサンプルを反応槽の上層、中層、下層から各4個ずつ計12個取り出し、凹凸の測定を行った。連続実験は、投入基質濃度700mg/l, 流入pH 2.6~2.8, 水温20℃で行った。

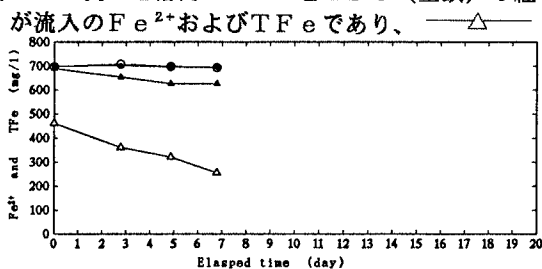
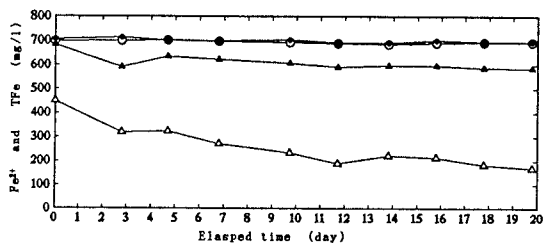
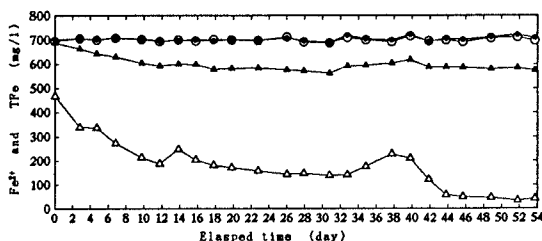
(生物膜表面の凹凸の測定と定量化)

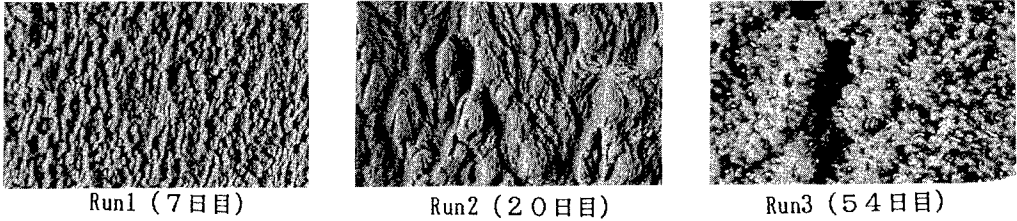
接写カメラで撮った生物膜表面の凹凸の写真(ポジフィルム)をアダマ図化機(MPS-2 MICRO PHOTOGRAMMETRIC SYSTEM)で測定し、200~300の非等間隔の高さのデータ(凹凸の地形変換点で測定)を得た。スペクトルの計算に用いるため、これらのデータを数学応用のFORTRANサブルーチンINSLのAKIMAによるスプライン補間によって、等間隔(0.005mm)の約3300~4600個のデータを新たに計算した。そして、このデータから縦断曲線長とrmsを計算すると共に、MEM(最大エントロピー法)でスペクトルを計算した。なお、rmsとスペクトルの計算ではリニアトレンドを除去している。

3. 連続実験結果

(図-1)~(図-3)は、それぞれRun1, Run2, Run3の流入と槽内の Fe^{2+} とTFe(全鉄)の経日変化を示したものである。○●が流入の Fe^{2+} およびTFeであり、△が槽内の Fe^{2+} およびTFeである。

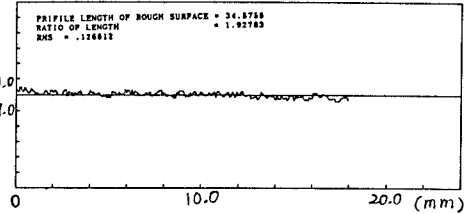
槽内の Fe^{2+} は、それぞれの系列で経過日数と共に減少しているのが示されている。この Fe^{2+} の減少については、初期には生物膜中のバクテリアの増加が考えられるが、日数が立つにつれ生物膜の凹凸が(図-4)の写真および(図-5)~(図-7)の縦断曲線に示されるように大きくなっており、この影響が卓越してくるものと考えられ

(図-1) Fe^{2+} とTFeの経日変化(Run1)(図-2) Fe^{2+} とTFeの経日変化(Run2)(図-3) Fe^{2+} とTFeの経日変化(Run3)

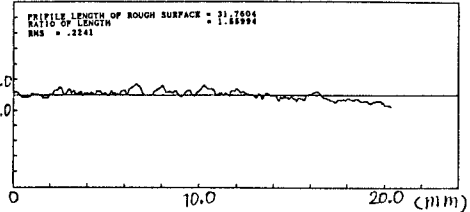


(図-4) 生物膜の接写写真

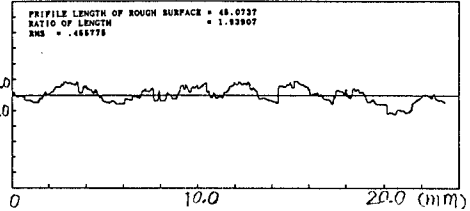
る。なお、(図-5)～(図-7)は写真測量によって槽内円周方向(x方向)の下層部の縦断曲線を測定したものであり、それぞれRun1, Run2, Run3の実験終了時に測定したものである。(図-8)は、これらの凹凸のスペクトルを両対数で表したものである。反応槽の中層、上層部のサンプル及び槽内鉛直方向(y方向)のデータについても同様の傾向が示されており、これについては発表時に示す。(図-7)のスペクトルは、Run1(——), Run2(-----), Run3(-----)を示したものであるが、低周波(凹凸の大きい成分)の部分で相違が現れており、Run3において凹凸の大きい成分が卓越しRun2, Run1と凹凸の大きい成分が少なくなっているのが示されている。このことは、(図-5)～(図-7)のデータをみても容易にわかる。(図-5)～(図-7)には、凹凸の定量化の指標として、縦断曲線の曲線長と支持体の直線長との比(線長比)、及びrmsを記してある。2次元的に考えた線長比は三次元的に考えれば面積増分比に関連するものである。一方rmsは、凹凸の曲線縦距の2乗を加え平均したものの平方根であり、この性質としては、大きな凹凸でrmsが大きくなり、細かな小さい凹凸ではrmsは小さくなる。(図-9)は、線長比と各Runの回分実験における基質除去フラックス(酸素律束の状態)の関係をプロットしたものである。ほとんど相関性がないことが示されている。(図-10)は、rmsと基質除去フラックスの関係を示したものであるが、何らかの関係があることが推察される。但し、線長比に関連する面積増分比が基質除去フラックスに影響を及ぼすことを否定しているわけでもない。



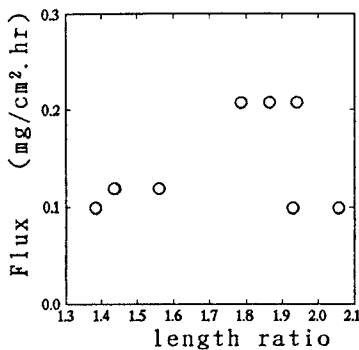
(図-5) 縦断プロファイル (Run1.下層部)



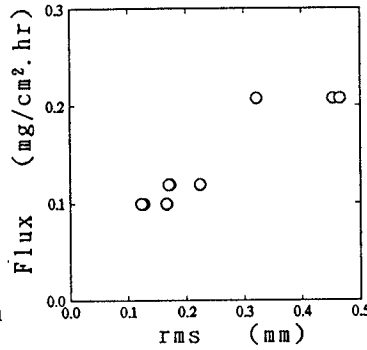
(図-6) 縦断プロファイル (Run2.下層部)



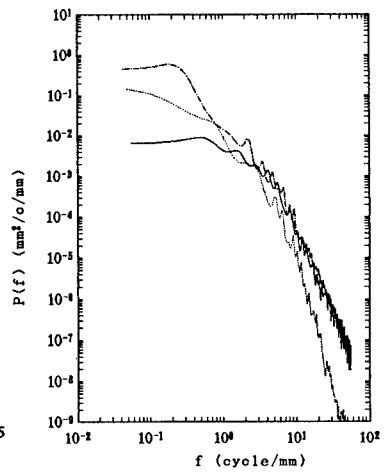
(図-7) 縦断プロファイル (Run3.下層部)



(図-9) 線長比とフラックスの関係



(図-10) rmsとフラックスの関係



(図-8) 凹凸のパワースペクトル (Run1, Run2, Run3, 下層部)