

回転円板法における生物膜内酸素濃度分布のシミュレーション

佐賀大学理工学部 ○学 後藤田和由 松永秀章
 正 荒木宏之 正 古賀憲一
 鹿児島工業高等専門学校 正 西留清

1. はじめに 回転円板法の実用上の設計法としては、面積負荷や水量負荷を用いるのが一般的であるが、これらは経験的なものであるため理論性に欠けており、合理的設計法が確立されているとは言い難いようである。このような背景から、本法の浄化機構を明らかにするための研究が多くなされている。著者らは、シミュレーションモデルの検討を行ってきており、これにより、分子拡散レベルの輸送速度では生物膜内酸素濃度分布や Flux を十分には説明できにくいことを指摘した。また、岡部・渡辺らは、水中部での物質輸送は分子拡散のみではなく、生物膜内への直接的な移流によって輸送される可能性の高いことを指摘している。²⁾ そこで、本研究では、このような移流的輸送現象について検討するために、生物膜を固定生物膜と流動生物膜とに分け、流動生物膜内へ液本体の水を浸入させた場合の酸素濃度分布のシミュレーションを行い、微小酸素電極を用いた実測結果³⁾ との比較を行った。

2. 解析方法 (1)従来モデル 従来モデル¹⁾は図-1に示すように空中部では付着水膜及び生物膜、水中部では液本体、拡散層(濃度境界層)、生物膜からなる。空中部での付着水膜表面の溶存酸素は、空中に出た瞬間に飽和となり、その後付着水膜内を一定の拡散係数で拡散する。また生物膜内では酸素は分子拡散により拡散され、生物化学的反応により消費される。水中部では、液本体濃度は一様濃度とし、分子拡散、生物反応は空中部と同様である。以下に従来モデルの基礎式を示す。

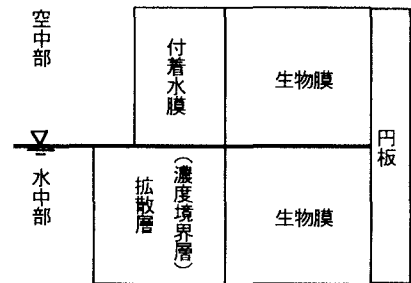


図-1 従来モデル

$$\text{付着水膜、濃度境界層} \cdots \frac{\partial O}{\partial t} = D_w \frac{\partial^2 O}{\partial Z^2}$$

$$\text{生物膜(空中部、水中部)} \cdots \frac{\partial O}{\partial t} = D_B \frac{\partial^2 O}{\partial Z^2} - R$$

ここで、O : 溶存酸素濃度、t : 時間、D_w : 水中部分子拡散係数、D_B : 生物膜内分子拡散係数、Z : 支持体方向深さ、R : 酸素消費速度

しかし、著者らは、従来モデルでは基質除去速度(生物濃度)を大きくすると、Flux は実測の基質除去量と一致するが、DO 分布は一致せず、特に生物膜が水中に入った数秒間は殆ど一致しないという知見を得ている。一方、岡部・渡辺ら²⁾はラテックスビーズをトレーサーとして用いた生物膜内における微粒子の挙動について報告している。これによると、微粒子は短時間に生物膜の最深部まで達することが分かっており、この素早い侵入は分子拡散のみでは説明がつかず、生物膜内に水路や間隙が存在し移流によって輸送されたのではないかとしている。これらのことから、以下のような修正モデルで生物膜内への水の流入を考慮し、シミュレーションを行う。

(2)修正モデル 本モデルは図-2に示すように空中部では付着水膜、生物膜からなり、水中部では液本体、拡散層(濃度境界層)、流動生物膜、固定生物膜からなるものとする。

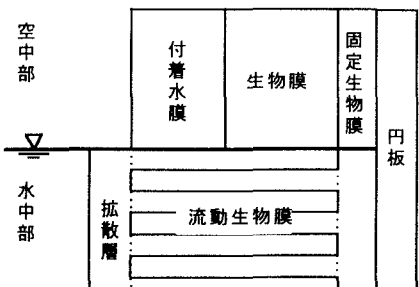


図-2 修正モデル

以下に、従来モデルからの修正点を記す。

空中部 : 従来モデルでの付着水膜表面 DO 濃度は、空中に出た

瞬間に飽和としていたが、本モデルでは水中部で生物膜内に水を浸入させているため、空中部に上がって数秒間は生物膜から水の排出が起こり飽和されないとした。このため、計算では付着水膜表面 DO 濃度の初期値として実測値を用いた。また分子拡散係数は生物膜表面方向に小さくなるものとする。

水中部：液本体は一樣濃度とし、図-3 に示すように、生物膜が水中部に入った瞬間から水が拡散層(濃度境界層)を介して流動生物膜部分に浸入する。この浸入長さを D_L とし、それに伴う生物膜の流動長さを、 D_P とする。

$$D_p = D_L = Vt \quad \text{ここで、} V: \text{水の浸入速度} \quad t: \text{時間}$$

これにより、流動生物膜が液本体側に一樣に広がり、液本体の DO・基質の流入により空中から持ち込んだ DO・基質と混合される。水の流動生物膜部分への浸入は、固定生物膜に達するまで続く。

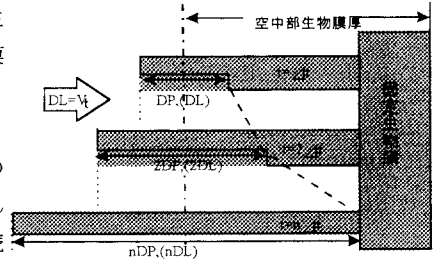


図-3 水の浸入モデル

3. 計算結果及び考察 修正モデルのシミュレーション結果を図-4(空中部)、図-5(水中部)に示す。なお、計算値を水中部での実測値と一致させるために、 D_P 部分の生物反応速度を浸水初期では大きくし、その後、徐々に小さくした。これらのシミュレーション結果から分かるように空中部、水中部ともに DO 濃度分布は実測値とほぼ一致し、再現性は良好である。このこと、すなわち、従来モデルと修正モデルの結果から、酸素や基質の輸送現象を表現するためには膜表面の分子拡散レベルではなく、生物膜内に水を移流させて拡散・混合させる必要があることが分かった。今回のシミュレーションから、本モデルのように水が流入(移流)するという考え方で、概ね実現象を表現できるものと考えられる。しかし、本モデルには、水中での流動生物膜の生物活性度を初期に高く、時間とともに低下すると仮定しなければならないといった問題点も残されている。このことは、浸入水と流動生物膜部との間の拡散・輸送も考慮する必要性を示唆しているとも考えられる。

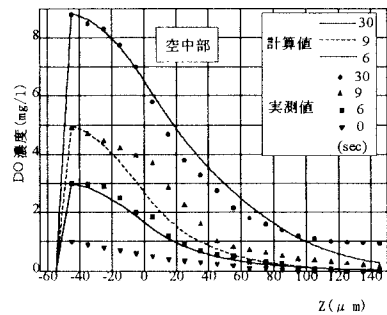


図-4 空中部 DO 分布

4. まとめ 本研究では、生物膜内への水の移流という仮説のもとで、回転円板法における酸素濃度分布のシミュレーションを行い、基本的には実現象を表現できることが確認できた。生物反応との整合性や、浸入機構の詳細なモデル化(移流や拡散係数の取り扱い)は今後の課題としたい。

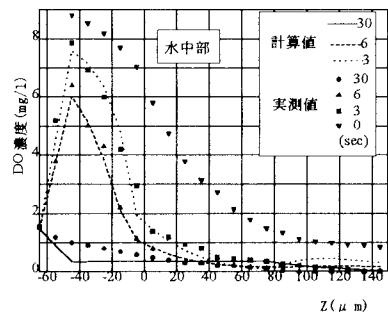


図-5 水中部 DO 分布

【参考文献】

- 1)西留清：半水没型回転円板法の生物膜内基質濃度分布に関する研究、鹿児島工業高等専門学校研究報告、第17号、1983年
- 2)岡部聡 渡辺義公等：生物膜内の微粒子の挙動に関する基礎的研究、土木学会第51回年次学術講演会、平成8年9月
- 3)西留清、楠田哲也：微小酸素電極による回転円板付着生物膜内酸素濃度の測定に関する研究、鹿児島工業高等専門学校研究報告、第21号、1987年