

活性汚泥の膜分離における大腸菌ファージの排除率に影響を与える因子

東京大学大学院 学生員 浦瀬太郎
 東京大学工学部 正会員 山本和夫
 東京大学工学部 正会員 大垣眞一郎

1. はじめに 水処理において、膜処理が実用に供されてきている。特に、活性汚泥法の固液分離部を膜で代替する方法は、良好な水質を安定して得ることができることから、ビル中水道などに利用されている。一方、近年、ウイルスレベルでの再利用水の安全性が議論されてきている。本研究では、ウイルスを含んだ活性汚泥の濾過実験を行いウイルスの排除率に影響を与える因子について考察した。

2. 実験方法 活性汚泥は、グルコース・ペプトンを主成分とする人工下水を基質として与え、3000mg/L程度の汚泥濃度に調製した。また、特に記述のあるRUNを除いて、pHを7-8にNaOHで調整した。活性汚泥に加えたウイルスは、大腸菌RNAファージの一種であるQ β で0.02 μ m程度の粒径を持つ。Q β は、粒径のそろった測定感度の良いたんぱく質の粒であると見なすこともできる。Q β は、E. Coli K12 A/ λ (F⁺)を宿主菌として二層寒天法¹⁾によってその濃度を測定した。

クロスフロー実験装置の概略をFig.1に示す。膜モジュールは平膜薄層流タイプで、使用した膜は、ポリフッ化ビニリデンでできた孔径0.1 μ mの精密濾過膜 および分画分子量20万の限外濾過膜である。操作圧力 $\Delta P = 50$ kPa, 膜面流速1m/secで装置を運転した。

実験の手順は、活性汚泥にQ β 懸濁液を加え、10⁷PFU/mL程度のファージ濃度とし、次にクロスフロー濾過を行いながら、濾液と循環バルク液の採水を行い、Q β の排除率を次式によって評価した。

$$\text{排除率}[\%] = 100 - 100 \frac{[\text{濾液中ファージ}]}{[\text{バルク液中のファージ}]}$$

また、透水量から濾過抵抗を次式によって求めた。

$$R = \frac{\Delta P}{\eta \cdot J} \quad \eta: \text{粘性} \quad J: \text{フラックス}$$

3. 精密濾過膜の実験結果 孔径0.1 μ mの膜を用いた場合の実験結果をFig. 2に示す。濾過の継続によって、膜が汚れ、濾過抵抗が時間とともに増加している。また、同様にファージ排除率も上昇している。汚れ成分(具体的には、ゲル状あるいは、ケーキ状の膜面堆積物と細孔内目詰まり物質からなる)が、濾過抵抗を生じると同時に、膜面に新たな膜を形成し、ファージの排除を行っていると考え、この排除率の変化がうまく説明される。

4. pHの影響 pH=5で孔径0.1 μ mの膜を用いた濾過実験を行ったところ、濾液中にファージは検出されなかった。これは、酸性側の条件では、ファージが電氣的に膜や膜面付着物に吸着し易くなるためと考えられる。

5. 限外濾過膜の実験結果 分画分子量20万の膜を用いた場合の実験結果をFig. 3に示す。バルク側の濃

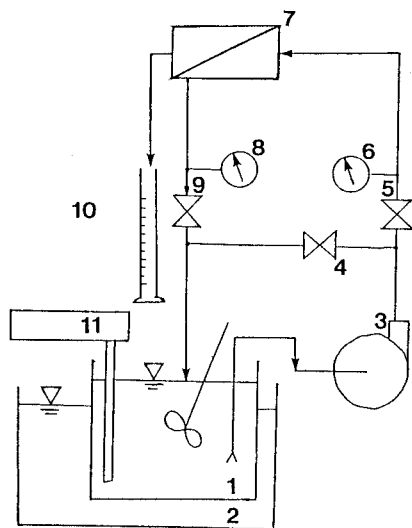


Fig.1 Schematic diagram of experimental set-up. 1:Feed tank, 2:Cooling tank, 3:Pump, 4,5,9: Valve, 6,8:Pressure gauge, 7:Membrane module, 11:Temperature controller

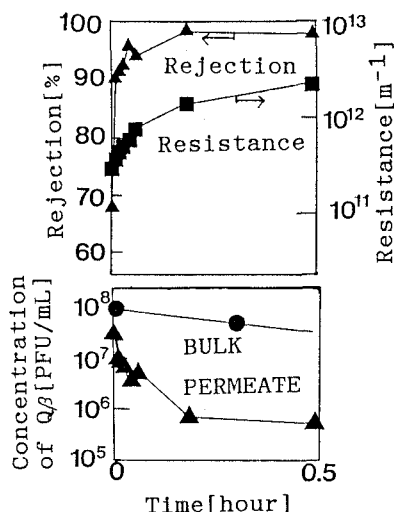


Fig.2 Changes in filtration resistance and rejection. The microfiltration membrane with pore size of $0.1\mu m$ was used.

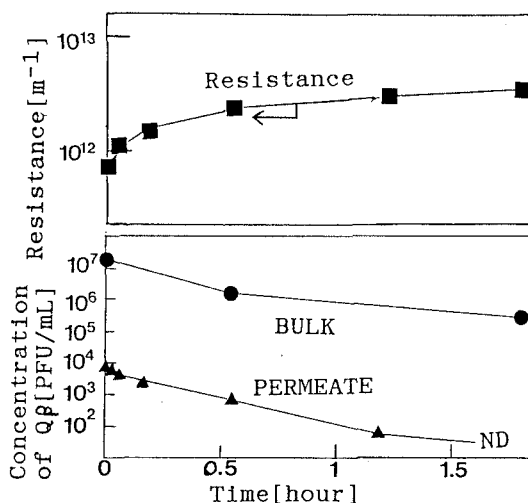


Fig.3 Filtration resistance and $Q\beta$ concentration. The ultrafiltration membrane with molecular weight cut-off size of 200,000 was used.

度が 10^7 PFU/mLのオーダーで、濾液の濃度はバルク側に比べ4桁以上小さいから、排除率は、99.99%以上であるが、完全な100%ではない。 $Q\beta$ は、この実験で用いた膜の分画分子量に比べ、はるかに大きい分子量を持つにもかかわらず、膜をほんのわずかは透過できたことになる。よって、限外濾過処理をおこなった水であっても必ずしもウイルスフリーの水ではないと考えられる。

6. 排除されたファージの行方 限外濾過実験で使用した2時間濾過後の膜を、汚れ成分も含めて、3%ビーフェキス pH=9 で洗い、膜や膜面の汚れ成分に吸着したファージの誘出を試みた。その結果、 2.8×10^6 PFU/cm²のファージが膜面積あたり誘出された。パッチ実験でファージ収支を取ったところ、この方法での誘出率は30%程度であり、その誘出率をそのまま適用して計算すると、濾過したファージ(=フラックス×バルク濃度×濾過時間)の約1/4程度が膜面で抑留されたことになる。菌体粒子そのものは、クロスフローの効果によって、膜面には、ほとんど堆積が見られなかったのに対して、ウイルスは膜や膜面の汚れ成分に吸着し易いことがわかった。あるいは、大腸菌ファージのような菌体より小さいたんぱく質の粒が、膜の汚れ成分を形成しているとも考えられた。よって、逆洗運転などをする場合、逆洗廃水は高濃度のウイルスを含んでいる可能性がある。

7. まとめ ウイルスのモデルとして大腸菌ファージ $Q\beta$ を混ぜた活性汚泥の精密膜濾過・限外膜濾過実験を行いファージ排除率を調べた。結論を要約すると以下のようになる。

- (1) 活性汚泥の濾過の際に生成する膜面の汚れ成分は、精密濾過膜の分画特性を 小さい粒径側へシフトさせた。膜の目詰まりの進行にともないファージ排除率は上昇した。
- (2) pH=5程度の酸性条件では、ファージは、精密濾過膜でも、ほぼ完全に排除できた。
- (3) 本研究で用いた限外濾過膜を、ファージは、わずかではあるが、透過することができた。
- (4) 排除されたウイルスは、膜や膜面の汚れ成分に多く吸着して存在していた。

参考文献1) 大垣ら, 生活環境水中に存在する大腸菌ファージの定量, 浄化槽研究, vol. 1, No. 1, pp. 19.