

木更津高専 正員 高橋 克夫
東京大学工学部 正員 大垣眞一郎
東京大学工学部 正員 藤田 賢二
東京大学工学部 正員 神子 直之

1. はじめに

膜分離プロセスの水処理分野での適用の範囲が広がってきている。ウイルスは精密濾過膜を透過するが、処理水中の物質が膜に吸着、堆積することによりある程度のウイルスの除去が期待できる。バクテリオファージ粒子は膜の粒子除去機構を探る点からも、モデルウイルスとして利用できる。そこで、膜に堆積層が形成されウイルス除去が期待される条件での中空糸精密濾過膜の除去特性をバクテリオファージを用いて実験した。

2. 実験方法

使用した膜はポリエチレン製外圧式中空糸精密濾過膜（三菱レイヨン（株）製）で、濾過は全量濾過方式である。公称分画径 $0.1\mu\text{m}$ 、公称膜面積 0.4m^2 の膜を用いた。濾過流速は濾過開始時においては 0.03m/h に設定した。時間の経過により流速が低下した場合には濾過水側の流量弁で調整した。また、条件により流入側の膜加圧力を変化させた。原水は膜透過水（孔径約 $0.03\mu\text{m}$ ）で、バクテリオファージ液（本液は $\text{TOC } 7000\sim 10000\text{ mg/L}$ 程度の液体培地を含む）を1000倍に希釈したものをを用いた。バクテリオファージはQ β （粒子径約 25nm ）とT4（頭部と尾部がある。頭部は $65\times 95\text{nm}$ 、尾部 $25\times 110\text{nm}$ ）を用いた。原水中のQ β は 10^7PFU/mL 、T4は 10^5PFU/mL のオーダーである。実験条件を表1に示す。runDは濾過抵抗がほぼ一定の条件下で膜間差圧を変化させた時の除去率を調べたもので、runD1

表1 実験条件

- run A:新膜のQ β 濾過実験。Q β の濾過実験後T4を透過しその除去率を確認。
run B:膜間差圧 $0.3\sim 1.52\text{kgf/cm}^2$ での濾過実験。原水はQ β とT4混合液。[初期膜間差圧低い]
run C:膜間差圧 $0.9\sim 1.5\text{kgf/cm}^2$ の濾過実験。原水はQ β のみ。[初期膜間差圧高い]
run D:膜間差圧を $0.3\sim 1.5\text{kgf/cm}^2$ の範囲内で段階的に変え、各膜間差圧に対するQ β を測定。
run E:空気洗浄（空気量は 25NL/min ）を1時間ごとに行う。膜間差圧は $0.23\sim 0.27\text{kgf/cm}^2$ の範囲。

3. 実験結果と考察

図-1は、新膜を濾過した場合のバクテリオファージの除去率と濾過水量（累加水量）の関係である。除去率は濾過水中と膜モジュール水中のファージ濃度から求めた。濾過水量が100Lで99.999%、400Lでは99.4%であった。以後除去率は減少するが、濾過水量690L（この時点の除去率は94%）以後は再び増加し、除去率は99%のオーダーに達する。877L以後、T4ファージは検出限界以下であり、99.9~99.99%以上の除去率であった。Q β とT4では除去率に1~2オーダー以上の差があることになる。濾過水量400Lまでを吸着による除去とみなすと約 $1.5\times 10^{11}\text{PFU}$ のQ β 量が吸着されたことになる。この間の膜の濾過抵抗を図-2（runA）に示す。690mL以後のQ β の除去率の増加は濾過抵抗の増加に対応している。runB、Cの濾過抵抗の変化は図-2に示されている。初期の膜間差圧の低い方が高い場合より急激な濾過抵抗の増加を示した。図-3に

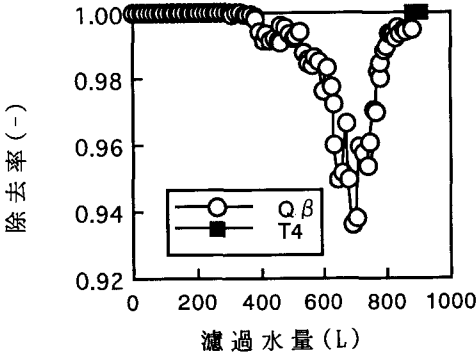


図-1 除去率と濾過水量

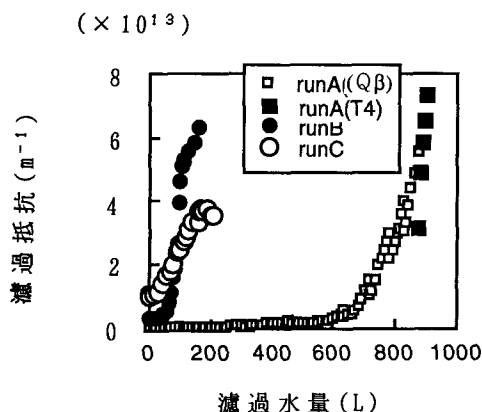


図-2 濾過抵抗と濾過水量

runB、Cのファージの除去率を示した。図中、runB(Qβ)はQβ、runB(T4)はT4の結果を示す。図-2、3から、runB(Qβ)、runCとも、濾過抵抗の増加に伴い除去率は増加した。runB、runCでは実験中、濾過抵抗が大きく変化しているが、濾過抵抗が大きく変化しない範囲で、膜間差圧を段階的に変えた実験がrunDである。濾過抵抗と膜間差圧の関係を図-4に示した。各実験ごとの濾過抵抗は膜間差圧の増加に伴い増加している。図-5にrunDの除去率と膜間差圧の関係を示す。runD1、D2、D3とも膜間差圧が大きくなると除去率は低下した。膜間差圧が大きくなると濾過抵抗は増加傾向を示したが、ファージの除去率は低下する。つまり、濾過抵抗がほぼ同じであれば、膜間差圧が大きいほど除去率は低下する傾向を示す。図-6に、runEの除去率を示す。除去率はQβ、T4とも空気洗浄直後は低く、その後増加することを繰り返す。このことから、膜処理水におけるウイルスの監視は膜洗浄直後に行う必要がある。

4. まとめ

中空糸精密濾過膜の除去特性をバクテリオファージを指標として調べ、以下の結果を得た。

- 1) T4の除去率はQβに比較して1～2オーダー以上大きい。
- 2) 同じ濾過抵抗の場合には、膜間差圧が大きくなるとファージの除去率は低下する。
- 3) 膜処理水のウイルスの監視は膜洗浄直後に行うことが安全である。

注)「濾過抵抗」とは、 $J = \Delta P / \mu R$ 、のRのことである。ここに、J:フラックス ms^{-1} 、 ΔP :膜間差圧Pa、 μ :水の粘性係数 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、R:濾過抵抗 m^{-1} 。

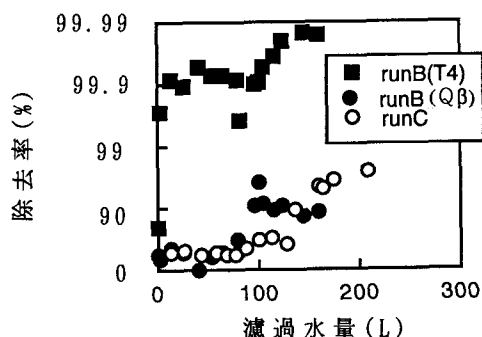


図-3 除去率と濾過水量

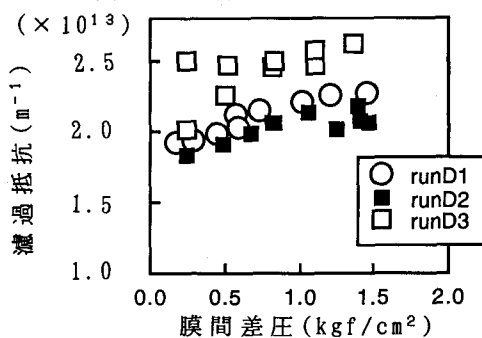


図-4 濾過抵抗と膜間差圧

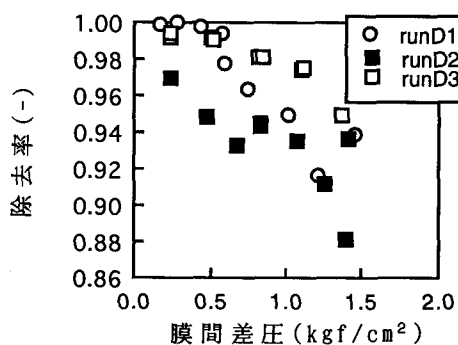


図-5 除去率と膜間差圧

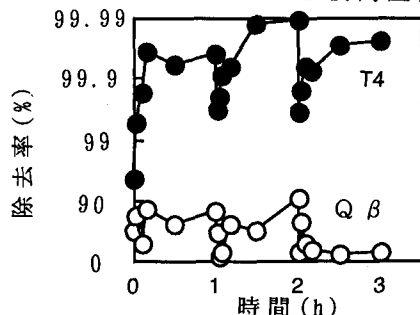


図-6 除去率と濾過時間