

&lt;研究発表&gt;

## 膜処理における膜破損検出技術

detecting system of the damage of the membrane in water treatment

○村山清一<sup>1</sup>, 居安巨太郎<sup>1</sup>, 金子政雄<sup>1</sup>, 内田祥司<sup>2</sup>, 金元幹男<sup>2</sup>, 川路 等<sup>3</sup>, 竹内賢治<sup>4</sup><sup>1</sup>(株)東芝 電力システム社 電力・産業システム技術開発センター / 〒 183-8511 東京都府中市東芝町1番地<sup>2</sup>(株)東芝 社会インフラシステム社 社会・産業システム事業部 / 〒 105-8001 東京都港区芝浦一丁目1番1号<sup>3</sup>(株)東芝 社会インフラシステム社 社会インフラシステムソリューション部 / 〒 183-8511 東京都府中市東芝町1番地<sup>4</sup>(株)東芝 社会インフラシステム社 制御・計測システム事業部 / 〒 183-8511 東京都府中市東芝町1番地SEIICHI MURAYAMA<sup>1</sup>, KOTARO IYASU<sup>1</sup>, MASAO KANEKO<sup>1</sup>  
SHOJI UCHIDA<sup>2</sup>, MIKIO KANAMOTO<sup>2</sup>, HITOSHI KAWAJI<sup>3</sup>, KENJI TAKEUCHI<sup>4</sup><sup>1</sup> Toshiba Corporation Power Systems & Services Company Power  
And Industrial Systems Reserach And Development Center  
/1, Toshiba-Cho, Fuchu-Shi, Tokyo, 183-8511, Japan<sup>2</sup> Toshiba Corporation Social Infrastructure Systems Company Public  
& Industrial Systems Div.  
/1-1, Shibaura 1-Chome, Minato-Ku, Tokyo 105-8001, Japan<sup>3</sup> Toshiba Corporation Social Infrastructure Systems Company Public  
Use Systems Solution Dept.  
/1, Toshiba-Cho, Fuchu-Shi, Tokyo, 183-8511, Japan<sup>4</sup> Toshiba Corporation Social Infrastructure Systems Company Control  
& Measurement Systems Div.  
/1, Toshiba-Cho, Fuchu-Shi, Tokyo, 183-8511, Japan

## Abstract

In this paper, we discuss detecting system of the damage of the membrane in water purification plant. When we supply pressured air to the membrane module, air permeates the membrane. In the case of damage membrane, the permeated air flow rate is much larger than that in the case of no damage membrane. We can detect the damage membrane by this difference of the air flow rate. Next, the point of the damage make its air flow rate. We made sure the fact by experiment.

**Key Words** : membrane technology, detecting system of the damage

## 1 はじめに

近年、浄水分野において病原性微生物除去が重要視されている。浄水場では、凝集、沈殿、砂ろ過という処理工程で濁質物を取り除き、その後塩素殺菌して各家庭へ配水している。この処理方法では、病原性微生物は塩素殺菌により死滅させる。しかし、塩素により殺菌できない耐塩素性病原性微生物は、凝集、沈殿、砂ろ過で除去しないと水道水として配水されてしまう。国内外を問わず、近年、耐塩素性微生物の水道水混入事故が発生している。そこで、凝集、沈殿、砂ろ過の代わりに膜ろ過により物理的に粒子を除去する方法が注目を集めている。膜は、1 $\mu$ m以下の孔径の穴を持っており、病原性微生物を

ほぼ完全に除去できるため、最近では小規模水道施設から中規模水道施設まで適用が拡大しつつある。

上記のように、膜処理では細孔径以上の物質をほぼ完全に除去できるが、劣化や異物混入などにより破損すると破損個所から濁質物が漏れ出してしまう。濁質物に病原性微生物が存在していた場合は破損個所から漏れ出してしまう可能性がある。そこで、我々は膜破損を確実に検出する技術が必要と考え、加圧空気を膜に供給し漏れ出す流出空気流量から膜破損を検出する方法について検討し、確実に検出できることを実験で証明できた。破損の位置による流出空気流量を計算し、実験値と比較した。

## 2 実験

### 2.1 加圧空気による破損検出

Fig.1に膜処理実験装置フロー図を、Table.1に膜モジュール仕様を示す。膜破損検出は、膜ろ過処理

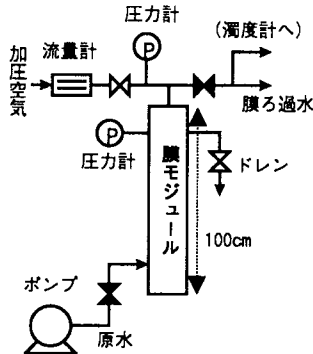


Fig.1 膜処理装置フロー図

後の逆洗処理に続けて実施する。Fig.1において、膜モジュール内を水で満たした状態とし、膜ろ過出口側よりモジュール内に加圧空気を供給する。今回は外圧型中空糸膜を使用したため、中空糸内部に加圧空気を供給した。中空糸の内側から外側に向かって、破損無し膜なら膜孔から、破損膜なら破損箇所から空気が原水側に流れる（以下、流出空気と呼ぶ）。

Fig.2に破損無し膜の検出の様子、Fig.3に破損膜の検出の様子を模式図で示した。破損無し膜では、膜孔内に入り込んだ水を加圧空気が押し出すのだが、図中の膜の場合  $0.01\mu\text{m}$  という細管中の水を押し出すことになるため、高圧の空気が必要である。これに対し、膜が1本破損した場合、内径  $0.4\text{mm}$  の破損箇所から空気が流れることになり、容易に気泡として膜から流出する。

A膜、B膜の2種類の膜について、中空糸を切断し加圧空気圧力と流出空気流量の関係を調べた。切断した位置（破損位置）は最下部とした。

B膜については、別に破損位置を変えた場合の試験も行なった。破損位置は、上部から  $10\text{cm}$ （上部破損）、 $55\text{cm}$ （中央部破損）、 $98\text{cm}$ （先端部破損）の3種類とした。

Table.1 膜モジュールの仕様

	A膜	B膜
公称孔径	$0.01\mu\text{m}$	$0.1\mu\text{m}$
中空糸内径/外径	$0.4\text{mm}/0.7\text{mm}$	$0.6\text{mm}/1.0\text{mm}$
中空糸本数	約 4,000 本	約 2,000 本
ろ過方式	外圧式全量ろ過	外圧式全量ろ過

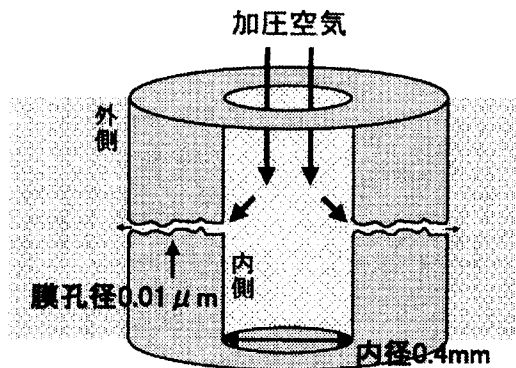


Fig.2 膜破損検出模式図（破損無し膜）

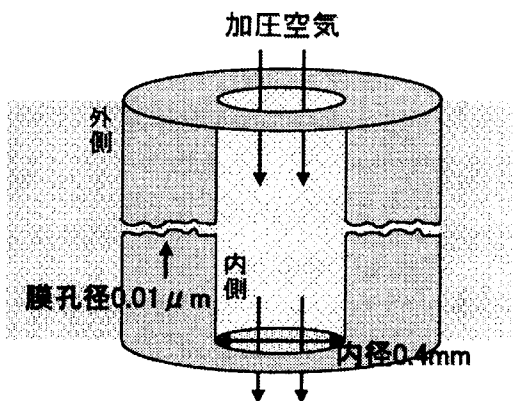


Fig.3 膜破損検出模式図（破損膜）

## 2.2 濁度計による破損検出

破損させた膜を用いて膜ろ過し、原水中の濁質分が濁度としてどれだけ漏洩するか実験した。A膜を用い、破損無し膜と破損膜に対してカオリン懸濁液20mg/Lを原水として膜ろ過し、表面散乱光式高感度濁度計を用いて膜ろ過水濁度を測定した。破損膜は中空糸を切断したもので、切断した位置(破損位置)は最下部とした。

次に、膜破損検出の最大の目的である濁質成分流出の影響を検証するため、B膜を用いて破損位置も変化させて膜ろ過試験を実施した。破損位置は、上部から10cm(上部破損)、55cm(中央部破損)、98cm(先端部破損)の3種類とした。同様にカオリン懸濁液20mg/Lを原水として膜ろ過し、表面散乱光式高感度濁度計を用いて膜ろ過水濁度を測定した。

## 3 結果

### 3.1 加圧空気による破損検出

Fig.4にA膜、Fig.5にB膜の破損無し膜と破損膜の加圧空気と流出空気流量の関係を示す。A膜、B膜共に数千本中の1本の中空糸が破損した場合、破損無し膜と比較すると、大量の流出空気が流れていることがわかる。破損無し膜でも僅かに流出空気が流れており、図中に流出空気流量比(=破損無し膜の流出空気流量に対する中空糸1本破損膜の流出空気流量)も示しているが、中空糸1本破損した場合に、A膜では70~300倍、B膜では300~900倍の流出空気流量が流れていることを表している。十分に検出可能であることがわかる。

### 3.2 濁度計による破損検出

Fig.6に中空糸破損本数と膜ろ過水濁度の関係を示す。中空糸破損本数に比例して膜ろ過水濁度が増加している。ここで、中空糸破損本数が1本の場合は濁度計検出限界以下となっており、濁度値が非常に小さいことがわかる。

Fig.7に膜ろ過水濁度の中空糸を破損させた位置による影響を示す。加圧空気による破損検出方法の流出空気流量(0.06MPaにおける計測値)も合わせ

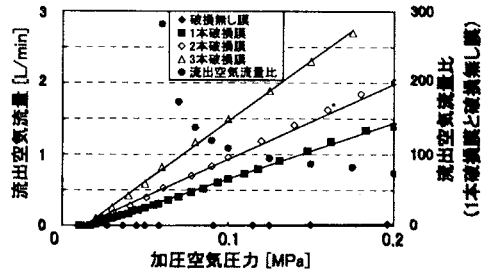


Fig.4 中空糸膜の加圧空気による破損検出特性 (A膜)

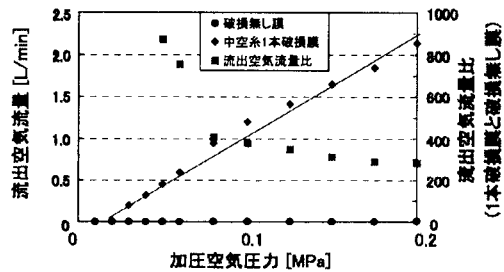


Fig.5 中空糸膜の加圧空気による破損検出特性 (B膜)

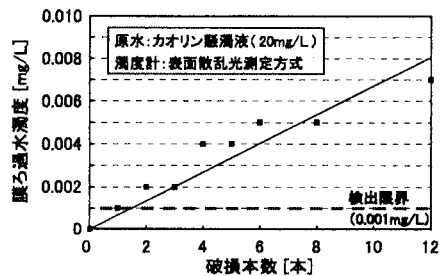


Fig.6 中空糸破損本数と膜ろ過水濁度の関係 (A膜)

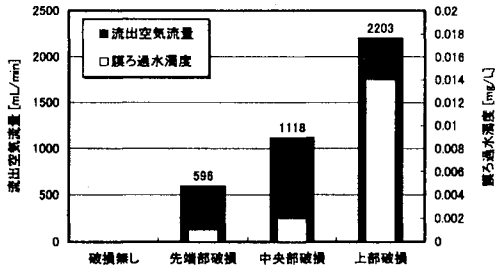


Fig.7 膜ろ過水濁度の破損位置による影響

て示してある。破損位置が上部に近くなるに従い、膜ろ過水濁度が増加している。破損の位置により、膜ろ過水濁度が変化することが確認された。流出空気流量も破損位置に従い変化しており、同様の傾向を示していると言える。

### 4 考察

中空糸が破損した場合の流出空気流量を、円管内を粘性流体が層流域で流れる時の圧力損失と平均流速の関係式、Hagen-Poiseuille の式 (1) 式) を用いて計算した。

$$\Delta P = \frac{32ux\mu}{gD^2} \quad (1)$$

(但し、 $\Delta P$ : 圧力損失、 $u$ : 平均流速、 $x$ : 円管の長さ、 $\mu$ : 粘性係数、 $g$ : 重力加速度、 $D$ : 円管内径) 粘性係数  $\mu$  は、今回の圧力範囲ではほとんど変化しないため、一定とした。 $u$  を平均流速、 $u_0$  を 20°C、大気圧 ( $P_{大気圧}$ ) での流速とすると、(1) 式は圧力  $P$  が  $x$  の関数であることから、

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{32u_0\mu P_{大気圧}}{gD^2} \times \frac{1}{P} \quad (2)$$

で表せる。境界条件として、

$x = 0$  で  $P = P(0)$  (加圧空気圧力)、 $x = L$  で  $P = P(L)$  (水深による圧力)

を考え ( $L$  は中空糸の長さ)、(2) 式を解くと、

$$P(0) = \sqrt{\frac{64u_0\mu LP_{大気圧}}{gD^2} + \{P(L)\}^2} \quad (3)$$

となる。Fig.8、9 に A 膜、B 膜における流出空気流量の計算値と実験値との比較を示す。図中の実験値

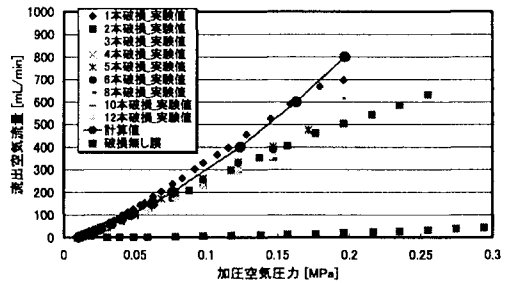


Fig.8 流出空気流量の計算値と実験値との比較 (A 膜)

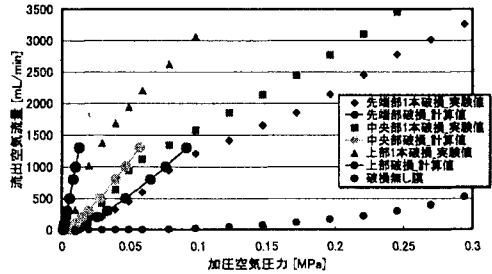


Fig.9 流出空気流量の計算値と実験値との比較 (B 膜)

は、流出空気流量を破損本数で除すことで中空糸 1 本当りの平均値としてプロットした。計算結果が実験値とほぼ一致していることがわかる。

### 5 結論

加圧空気による破損検出方法により、膜破損を確実に検出できることを実験で証明できた。また、膜ろ過水濁度が中空糸膜の破損位置により変化すること、及び破損位置が先端部である程漏れ出す濁質量が少ないことが確認できた。加圧空気による破損検出方法においても、破損位置で流出空気流量が変化した計算結果と実験値がほぼ一致した。

### 参考文献

- 1) 村山、金子、竹内、山下:「膜処理における膜破損検出技術」第 50 回全国水道研究発表会講演集 (1999 年 5 月) p.250
- 2) 村山、居安、川路、内田:「膜処理における膜破損検出技術-破損位置の影響-」第 52 回全国水道研究発表会講演集 (2001 年 5 月) p.240