

## 膜破断検出装置の実機稼働状況報告

## Broken Membrane Detection System for Water Purification

○村山清一, 新山雅永, 城田昭彦, 松代武士  
株式会社 東芝

○Seiichi Murayama, Masanaga Niiyama, Akihiko Shirota  
Toshiba Corporation

## Abstract

Recently, a membrane system has been introduced into a water purification plants. The system removes turbidity, bacteria and viruses. However, when the membrane is broken, turbidity, bacteria and viruses in the feed water leak into the treated water. A sensitive detection system is needed for a highly reliable membrane system. In this connection, a broken membrane detection system, which uses pressured air, has been developed. When pressured air is supplied to a membrane module, air leaks from the membrane. In the case of a broken membrane, the leak air flow rate is much larger than that in the case of an unbroken membrane. Whether the membrane is broken or not can be detected by the leak air flow rate.

This detection system has been introduced in a membrane filtration plant of an operation scale of hundreds of m<sup>3</sup>/day. The detection process is fully automatic, and is carried out once every day. The detection system can detect one broken fiber among tens of thousands of fibers. This paper reviews the performance during operation.

Key Words : membrane filtration, broken membrane, membrane leakage, detection system, pressured air

## 1 はじめに

浄水処理分野において、膜処理は病原性微生物をほぼ完全に除去できるため注目を集めており、耐塩素性病原性微生物であるクリプトスポリジウム対策としても有望な技術である。2004年6月現在、国内の水道用膜処理設備導入件数は374件<sup>(1)</sup>となっており、中小規模のみならず大規模浄水場へも導入が始まっている。

上記のように、膜処理では細孔径以上の濁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膜が破断すると破断箇所から濁質や病原性微生物が漏れ出す事故が懸念される。

膜処理装置運用に際して、膜破断を確実に検出できる技術の開発が課題であり、報告者らは加圧空気を膜に供給し漏れ出す空気流量から膜破断を検出する方法について検討してきた<sup>(2)(3)</sup>。今回は、実機浄水膜処理設備にて稼働している膜破断検出装置の運転状況について報告する。

## 2 膜破断検出の原理

Fig.1に膜破断検出の模式図を示す。中空糸膜の外側を原水で満たされた状態とし、内側に加圧空気を供給する。膜表面の細孔には毛管吸引力が働くため、加圧空気が細孔から外へ流れ出るには毛管吸引力以上の高い圧力が必要となる。従って、1MPa程度の圧力では膜細孔から空気は殆ど流れ出ることではない。

一方、膜が破断すると破断箇所から大量の空気が流れ出る。破断時と破断無し時の過大な空気流量差から膜の破断を高感度に検出することが可能となる。

本原理は、有機膜、無機膜(セラミック膜)両者に適用可能である。

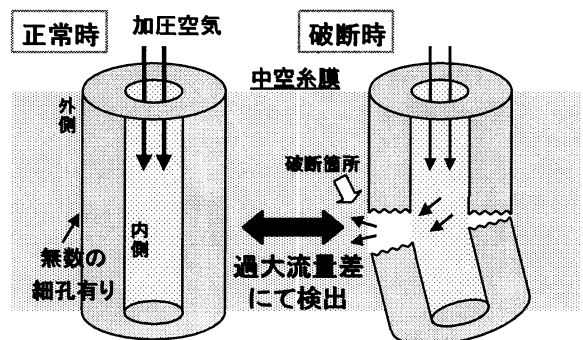


Fig.1 中空糸膜の破断検出模式図

### 3 膜破断検出の基礎特性

#### 3.1 実験

##### 3.1.1 加圧空気による膜破断検出

Fig.2 に膜破断検出実験装置図を示す。表1 に実験に供した膜モジュール仕様を示す。2種類の外圧型中空糸膜モジュールを使用し、加圧空気による膜破断検出方法の評価を行った。加圧空気は、空気圧縮機で加圧された空気を減圧弁にて圧力を調整し、膜モジュール上部、膜2次側配管より中空糸膜の内側へ供給する。膜モジュール内部(中空糸膜の外側)は水で満たされた状態とし、加圧空気により押し出された水や膜を透過した空気はドレンから膜モジュール外部へ流出する。ドレンを介して、膜モジュール内(中空糸膜の外側)は大気開放となっている。膜を通して外部へ流出する空気流量(以下、流出空気流量)は、Fig.2の膜破断検出ラインにある流量計にて測定し、20℃、0.1MPaの空気流量に換算した。加圧空気圧力は、Fig.2の圧力計(2次側用)で測定する。実験前に、配管の漏れをチェックし、中空糸膜以外から空気が流出しないことを確認した。

A膜、B膜の2種類の膜で、破断の無い膜(以下、正常膜)と破断の有る膜(以下、破断膜)について加圧空気圧力と流出空気流量の関係を調べた。加圧空気圧力は0.01~0.3MPaの範囲で変化させた。破断膜は最下部で中空糸膜を切断したもので、破断本数を変化させた。A膜、B膜共に中空糸膜長さは約1mである。

Tab.1 膜モジュール仕様

	A膜	B膜
公称孔径	0.01 μm	0.1 μm
中空糸内径/外径	0.4mm/0.7mm	0.6mm/1.0mm
中空糸本数	約4,000本	約2,000本
ろ過方式	外圧式全量ろ過方式	外圧式全量ろ過方式
膜材質	ポリアクリロニトリル (PAN)	ポリスルホン

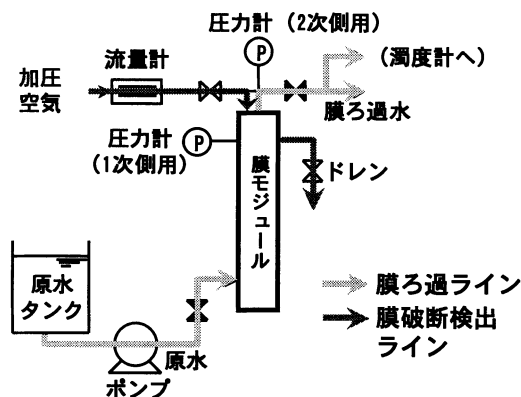


Fig.2 膜破断検出実験装置

##### 3.1.2 膜ろ過水濁度による膜破断検出

Fig.2の装置を用い、濁度計による膜破断検出方法に関する評価を行なった。Fig.2の膜ろ過ラインのバルブのみ開とし、原水としてカオリン懸濁液(濁度20度)を原水ポンプにより膜モジュールに供給し、全量ろ過方式により膜ろ過を実施した。膜はA膜の正常膜、及び破断膜を用いた。破断本数、破断位置は、3.1.1項と同様の条件とした。膜ろ過水濁度を、表面散乱光式高感度濁度計(測定下限値:0.001度)を用いて測定し、破断本数と膜ろ過水濁度の関係を調べた。尚、実験に際して、配管内の僅かな汚れや気泡などの濁度計指示値変動要因を取り除き、濁度指示値の微妙な変化も評価できるよう注意しながら実施した。

### 3.2 結果

#### 3.2.1 加圧空気による膜破断検出

Fig.3にA膜、Fig.4にB膜の正常膜と破断膜の加圧空気圧力と流出空気流量の関係を示す。A膜、B膜共に、膜モジュール中の(中空糸膜数千本中の)中空糸膜1本が破断した場合、正常膜と比較すると過大な流出空気が流れていることがわかる。この関係は、材質の異なるA膜、B膜において成り立っており、加圧空気供給時の空気流量を測定することで容易に膜破断を検出できることを示している。

また、Fig.3、及びFig.4より、破断時の空気流量は中空糸膜の破断本数と比例関係にある、即ち、破断の程度に比例した空気流量が流れることがわかる。また、上述のように、中空糸膜1本破

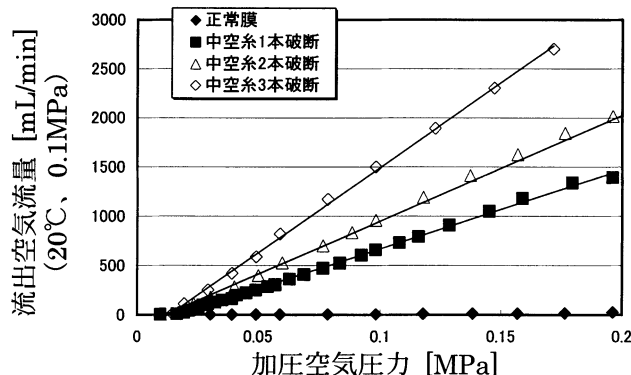


Fig.3 中空糸膜の加圧空気による破断検出特性 (A膜)

断時は過大な空気が流れることから、中空糸膜が僅かに損傷し1本破断未満の損傷状態であっても、流量として十分に測定可能な空気が流れることが推測される。従って、加圧空気供給時の空気流量から膜破断を検出する本方法は、中空糸膜1本破断より程度の小さな損傷も十分に検出できる高感度な検出方法であると考えられる。

### 3. 2. 2 膜ろ過水濁度による膜破断検出

Fig. 5 にA膜における中空糸破断本数と膜ろ過水濁度の関係を示す。中空糸破断本数に比例して膜ろ過水濁度が上昇しているのがわかるが、この時の膜ろ過水濁度は非常に小さく、例えば中空糸破断本数が1本の時は濁度計の測定下限値0.001度程度であり、膜ろ過水濁度から膜破断検出を行なうことは困難なことがわかる。

今回の実験データは原水濁度20度の結果だが、原水濁度が低い場合は、膜破断時の膜ろ過水濁度も低くなり、膜破断の検出感度は更に低くなる。

### 3. 3 大規模膜ろ過設備向け破断検出の検討

運転の単位である膜ろ過ユニットの処理規模を数千 $m^3$ /日、複数ユニットで数万 $m^3$ /日の大規模膜ろ過設備が構成される場合を想定する。

加圧空気による膜破断検出では、加圧空気を供給した際の破断膜と正常膜の過大空気流量差から膜の破断を検出する。膜ろ過ユニットを構成する膜モジュールの数が増えても、過大空気流量差は変わらないため、原理的には膜ユニットの規模に関わらず検出感度は変わらない。従って、大規模膜ろ過設備に対しても、膜ろ過ユニット毎に高感度な検出を実現できる膜破断検出方法であると考えられる。

## 4 実機適用例

### 4. 1 概要

膜破断検出装置を導入した浄水膜ろ過プラントは、外圧型中空糸膜を採用した処理規模数百 $m^3$ /日の設備である。原水濁度は通常1度前後であり、万が一膜が破断した場合でも膜ろ過水濁度に現れない危険性があることを懸念して、加圧空気による膜破断検出装置を併用することとなった。

膜破断検出は、複数本の膜モジュールで構成された膜ろ過ユニットに対して一括で、全自動で実施する。検出感度は、1ユニット中数万本ある中空糸膜のうち1本破断でも検出できるよう設計した。

Fig. 6 に膜破断検出装置外観、Fig. 7 に構成図を示す。膜破断検出装置は、コントローラ、空気圧縮機、減圧弁、流量センサ、圧力センサで構成されており、装置から出た空気配管は膜ろ過装置の配管へ接続されている。空気圧縮機で加圧された空気は、減圧弁により一定圧力に調整して、膜ろ過装置へ供給する。流れる空気流量は、膜破断検出装置内部の流量計で測定する。

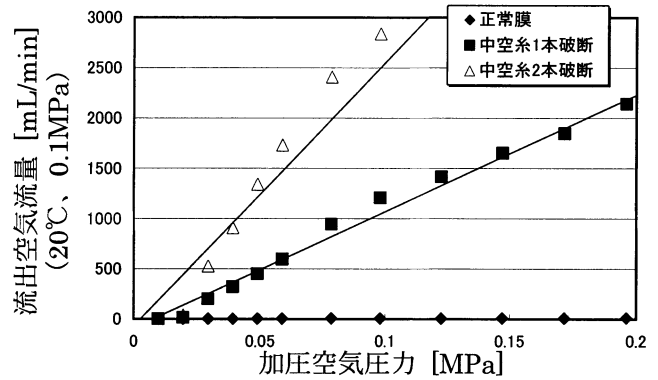


Fig. 4 中空糸膜の加圧空気による破断検出特性 (B膜)

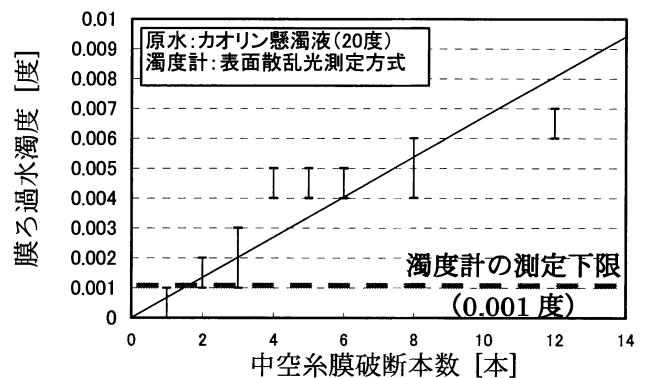


Fig. 5 膜破断時の膜ろ過水濁度 (中空糸膜 4000本)



Fig. 6 膜破断検出装置外観

## 4. 2 破断検出工程

破断検出は1ユニット毎に1日1回、膜ろ過→逆洗→膜ろ過→逆洗→膜ろ過→逆洗…のサイクルの中で膜ろ過工程中に実施する。破断検出工程は、①破断検出準備、②加圧空気供給、③破断有無の判断、④加圧空気供給終了、の4工程からなる。

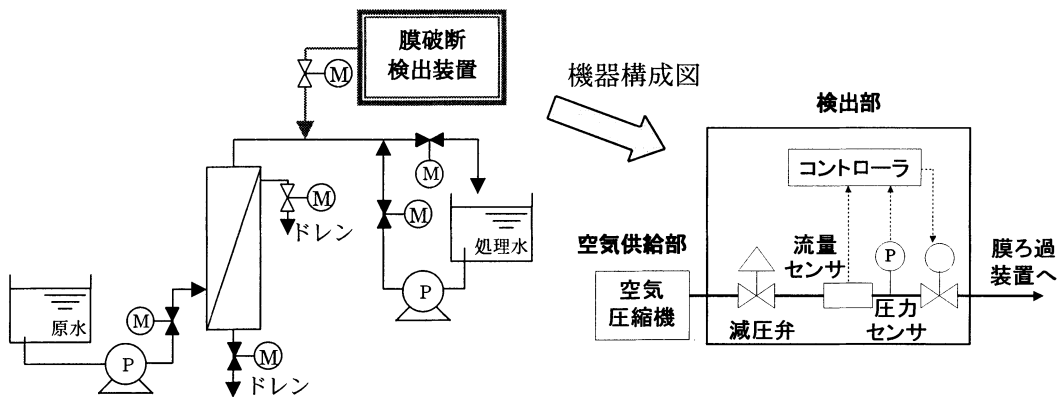


Fig.7 膜破断検出装置全体構成

膜破断が無い場合 (通常) は、次の工

程として膜ろ過工程に移る。膜破断が検出された場合は、膜モジュール内を水で充たした状態とし、膜ろ過装置の運転を止める。その後メーカーが各モジュールを調査し、破断膜を特定し、モジュールを取り替える。

## 4. 3 実機の検出特性

Fig. 8 に実機の膜破断検出特性を示す。正常膜の検出中の空気流量と試験的に実施した破断膜の検出中の空気流量を示している。正常膜、破断膜共に空気流量は、ユニット中の設置位置や、ユニットによる影響がなく、再現性が高かった。

破断膜の検出特性評価は、予め用意した破断膜 (中空糸膜1本破断) を、設置してあった正常膜と交換して検出工程を行った。流量計の測定上限値以上の空気が流れ、破断を確実に検出できた。

次に、Fig. 9 に実機の膜破断検出特性を示す。据付けから16ヶ月以上経過しているが、破断が無いことを確実に捉えている。

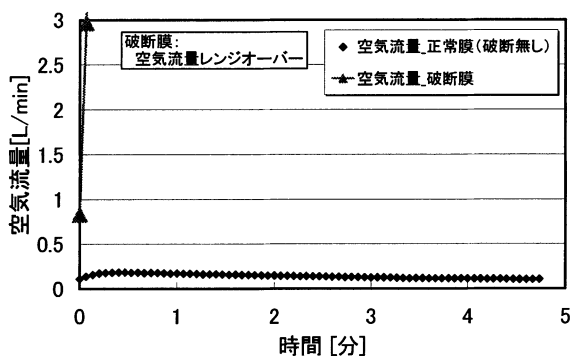


Fig.8 実機の膜破断検出特性

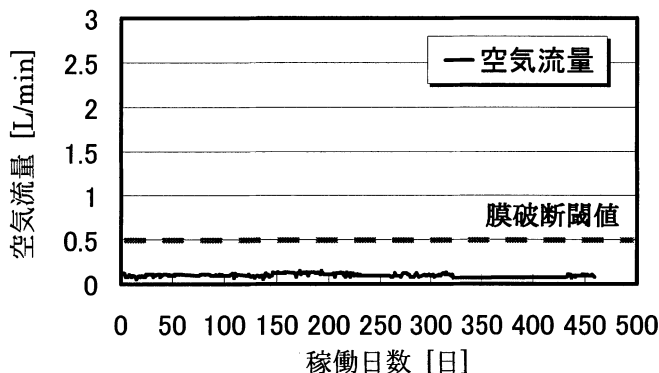


Fig.9 実機の膜破断検出特性

## 5 まとめ

加圧空気を用いた膜破断検出方法について、得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 中空糸膜1本未満の損傷も検出可能な感度を有している。
- (2) 日量数百 m<sup>3</sup> の実機膜処理設備に対して十分な検出感度があることを実証し、順調に稼働を続けている。
- (3) 規模に関わらず高感度検出が原理的に可能であり、大規模膜ろ過装置に対し有効な検出方法である。

## 6 参考文献

- (1) 井本、藤原、三井：「膜ろ過施設の維持管理の実態調査」、第55回全国水道研究発表会 p.194-195(2004)
- (2) 村山、居安、川路、内田：「膜処理における膜破損検出技術」、第54回全国水道研究発表会 p.188-189(2003)
- (3) 村山、居安、金子 他：「膜処理設備の膜破損検出システム」、環境システム計測制御学会誌、Vol. 6、No. 4、p.41-47(2002)