

環境負荷を低減する上水道用水処理装置

Water Treatment Equipment for Environmental Load Reduction

環 省二郎 森川 彰 松代 武士

■ TAMAKI Shojiro ■ MORIKAWA Akira ■ MATSUSHIRO Takeshi

地球温暖化による環境破壊が深刻化し、水道においても環境問題への対応が求められている。東芝はこれまで、各種省エネ機器、プロセス個々の効率的な運転制御方式、及び施設管理の広域化に対応して総合効率化を実現する広域水運用システムなどの監視制御システムを提供してきた。当社は、水道施設への今後の普及拡大が見込まれているサイクロン型紫外線消毒装置や膜ろ過装置の製品化を進めており、それらの装置も環境に配慮した仕様を特長としている。

With the increasing seriousness of environmental degradation due to global warming, measures to deal with environmental issues are also necessary in the water supply field. Toshiba has been providing various energy-saving equipment as well as monitoring and control systems, ranging from systems for the effective operational control of individual processes to water management systems covering wide-area facilities to achieve comprehensive efficiency.

We intend to continue our efforts in such areas as the development of ultraviolet (UV) disinfection equipment and membrane filtration equipment, which are expected to play a role in the future expansion of water supply facilities while also meeting the requirements for environmental preservation.

1 まえがき

2007年にIPCC（気候変動に関する政府間パネル）により承認された第4次評価報告書には、人類の活動が地球温暖化を進行させていることや、それにより深刻な被害が生じる危険性が指摘されている。水道事業において、水道ビジョン⁽¹⁾の長期的政策目標の一つである環境問題への対応の重要性がいっそう高まっている。今後増加する水道施設の更新では、原水の水質に応じて目標とする浄水水質を得ることができる最適な水処理方式の適用と、環境負荷低減が可能なシステムや製品の適用が求められる。

2007年に、クリプト^(注1)対策として、地下水を水源とする水道施設への紫外線消毒装置の適用が認められた⁽²⁾。紫外線消毒装置は、膜ろ過装置などに比べてイニシャルコストが安く、UV（紫外線）ランプ出力が100Wで300～400m³/日程度の処理が可能であり、環境に優しい処理方式である。東芝のサイクロン型紫外線消毒装置は、更に、3次元流動解析技術による効率の良い紫外線照射量分布と、保護管破損時の破片回収機能を備えていることが特長である。

膜ろ過方式は、処理の確実性と運転管理の容易性から急速に適用が拡大している。その環境負荷への影響は、運転段階の負荷が大きな割合を占めており、その内訳は原水供給ポンプなどの動力、薬品洗浄や消毒用の次亜塩素酸ナトリウム及び前処理用凝集剤などの薬品である。当社の膜ろ過装置は、

(注1) 湖沼などに生息する耐塩素性病原生物。正式名称をクリプトスポリジウムと言う。

河川を原水とする浄水処理をターゲットに製品化を進めている。膜表面の機能化と温水洗浄により膜差圧の上昇を抑制することで、前処理（凝集剤注入）の簡素化と薬品洗浄間隔の大幅な延長を実現した、環境に優しい製品である。

2 サイクロン型紫外線消毒装置

紫外線消毒装置は、既に数社で製品化されており、浄水場への納入例も出始めている。当社は、製品化にあたり、図1に示すサイクロン型リアクタを採用し、自動洗浄機構を標準で装備した。

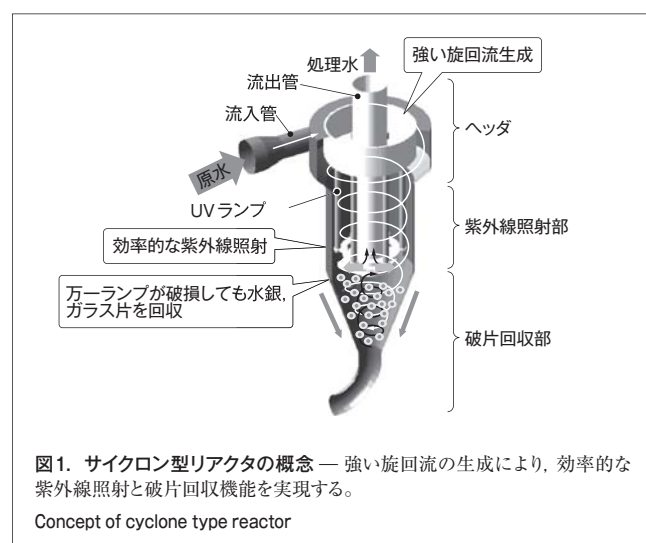


図1. サイクロン型リアクタの概念 — 強い旋回流の生成により、効率的な紫外線照射と破片回収機能を実現する。

Concept of cyclone type reactor

2.1 サイクロン型リアクタ

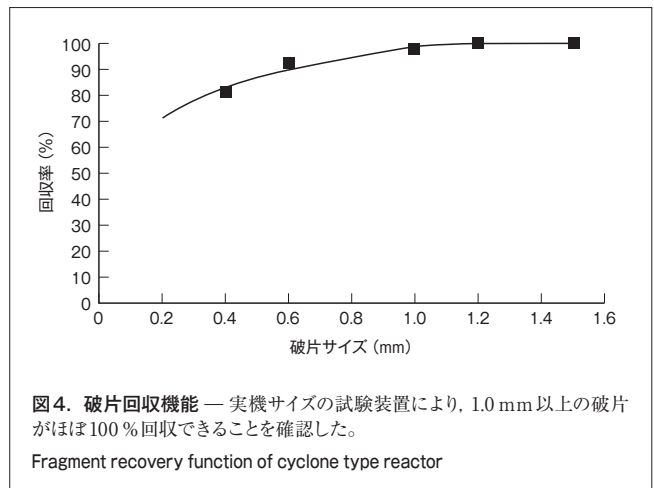
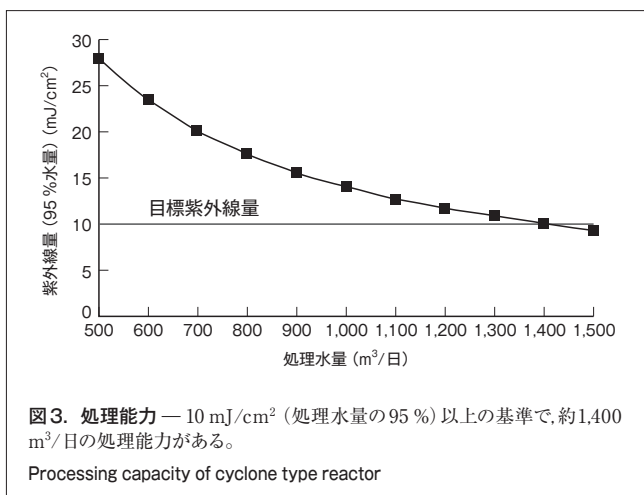
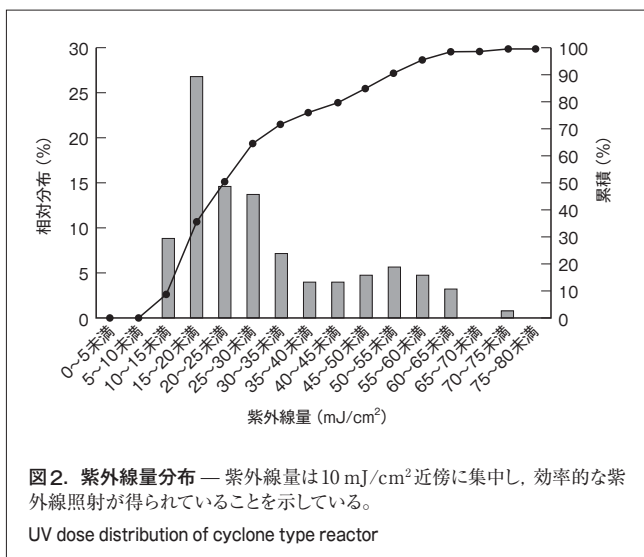
2.1.1 紫外線量分布 紫外線による消毒性能は、原水がリアクタ内を通過する間に受ける紫外線量 (= 紫外線照度 (mW/cm^2) \times 照射時間 (s)) で評価する。

紫外線照度は、ランプ表面からの距離と原水の紫外線吸光度に依存し、照射時間は流速と流れ経路に依存する。そこで、紫外線量分布を評価するために、3次元流動解析に紫外線照度分布解析を組み合わせたシミュレーション技術を開発した。

図2は、125 WのUVランプ3本を用いたサイクロン型リアクタをモデルに、このシミュレーション技術を使って求めた紫外線量分布である。紫外線量が $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 近傍に集中した効率的な紫外線照射が得られていることを示している⁽³⁾。

このモデルの処理水量と紫外線量の関係を図3に示す。厚生労働省のクリプト対策指針⁽²⁾の基準 ($10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$: 処理水量95%以上) によれば、約 $1,400 \text{ m}^3/\text{日}$ の処理能力がある。

2.1.2 破片回収機能 UVランプを使用した紫外線消毒装置を浄水処理工程へ適用する場合、ランプ破損によるガ



ラス片や水銀漏出の危険が懸念される。そこで、実機サイズの試験装置で、ガラスビーズを使用した破片回収機能の試験を行なった。その結果、1.0 mm以上の破片がほぼ100%回収できることを確認した(図4)。

2.2 自動洗浄機構

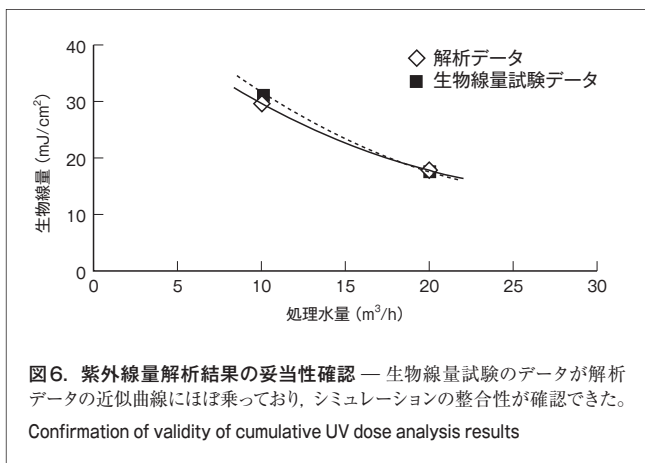
UVランプを保護している石英ガラス製保護管には、原水に含まれる無機性及び有機性の物質が稼働中に付着し、紫外線透過率が低下して消毒性能に影響を及ぼす。そのため、図5に示す清掃ブラシを取り付けた自動洗浄機構を設けた。

中心に配した流出管をガイドとし、台形ねじで上下する構造としている。また、安定した動作を確保するために、台形ねじの対角位置にリニアベアリングを取り付けたガイドを設け、オーバーラン防止のための位置センサを搭載している。浄水処理工程で適用するためさびの発生を防ぐ必要があり、すべての部品は、加速腐食試験で問題のないことを確認したステンレス鋼を使用している。

2.3 生物線量試験の結果と解析結果の整合性

浄水紫外線消毒装置の消毒性能は、生物に紫外線を実際





に照射し、その生存率から紫外線量を求める生物線量試験で確認した。実機サイズの試験装置で指標菌を使用して実施した生物線量試験の結果と、今回開発したシミュレーション技術による解析の結果を図6に示す。

解析データの近似曲線に生物線量試験データがほぼ乗っており、シミュレーション技術の整合性が確認できた。

3 膜ろ過装置

処理対象が河川水の場合は、微小で粘着性の高い懸濁物が含まれており、これらによって通常の物理洗浄ではろ過性能が回復しにくいファウリング（膜閉そく）が生じる。その結果、薬品洗浄の頻度が高くなり、排水処理による環境負荷やコストの増大につながるなどの課題があった。

当社は、膜表面を温度応答性高分子で処理した機能性中空糸膜と温水洗浄を採用することで、それらの課題を克服した⁽⁴⁾。

3.1 機能性中空糸膜の特長

機能性中空糸膜は、温度により膜表面の物性が変化するため、温水で逆洗することにより膜表面の汚れを効率良く除去できるという特長がある（図7）。室温では温度応答性高分子が伸びた状態にあるため、水が通過する際に濁質を捕獲しやすい。膜表面の汚れを除去する場合は、膜が接する水を約40℃以上に加温して温度応答性高分子を収縮させ、濁質を開放する。

3.2 膜ろ過装置の仕様

600 m³/日の処理能力を想定した膜ろ過装置の概略配置構成を図8に示す。この装置は、導水ポンプ、前処理装置、原水槽、原水ポンプ、膜ユニット、逆洗ポンプ、ヒートポンプユニット、膜損傷検知装置、及び監視制御盤などから構成される。

1系列の膜ユニットは、温水で汚れを効率良く除去できる機能性中空糸膜モジュール10本で構成される。前処理装置は薬品が不要なオートストレーナを採用し、また、圧縮空気を用いた当社独自の高感度な膜損傷検知システムで、膜の健全性を1

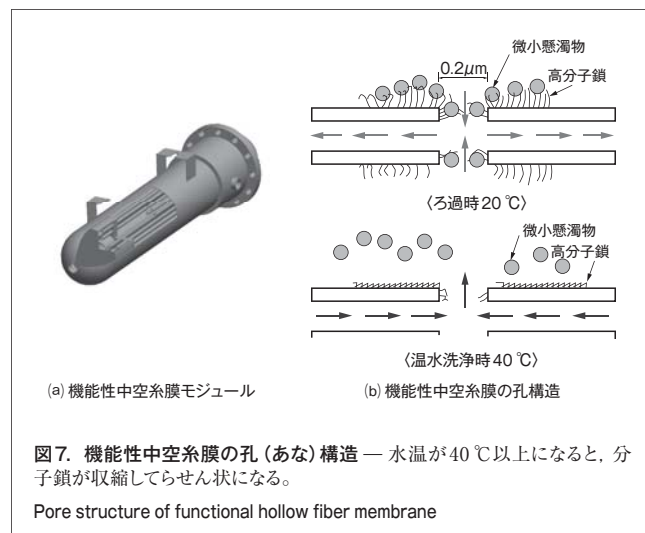


図7. 機能性中空糸膜の孔（あな）構造 — 水温が40℃以上になると、分子鎖が収縮してらせん状になる。

Pore structure of functional hollow fiber membrane

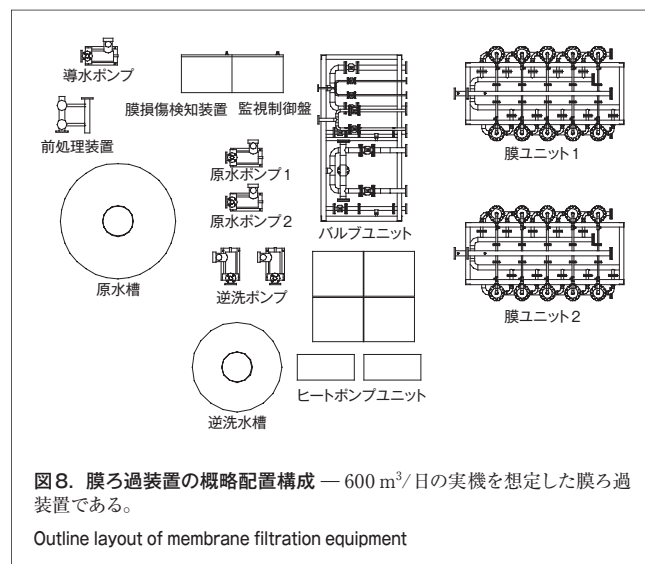


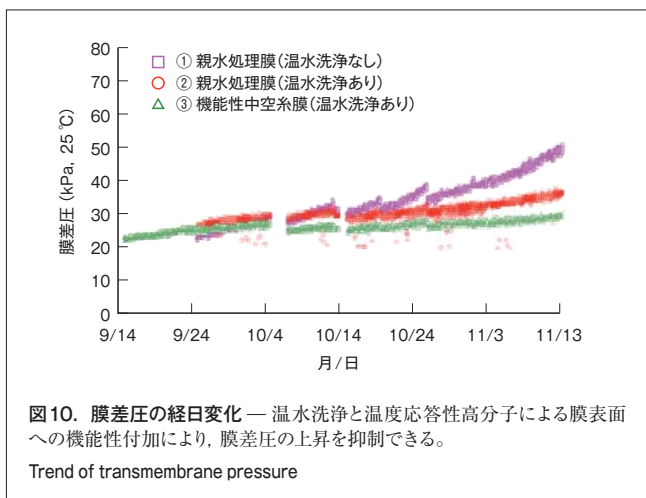
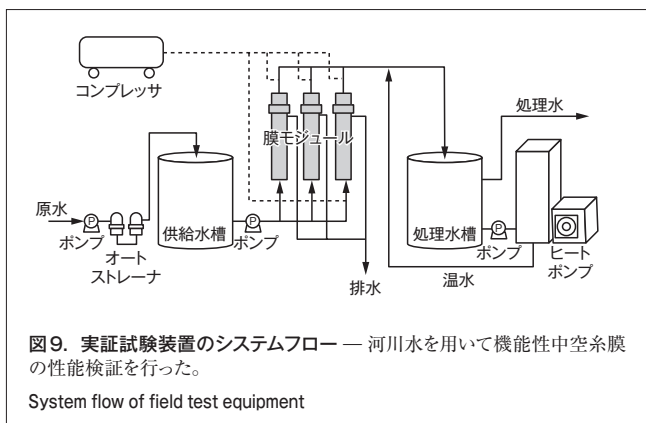
図8. 膜ろ過装置の概略配置構成 — 600 m³/日の実機を想定した膜ろ過装置である。

Outline layout of membrane filtration equipment

日1回確認する。更に、省エネ型の当社製ヒートポンプユニットの採用で、温水洗浄に要する動力費を抑制している。

河川水を原水として凝集剤を注入しないで運転する場合、単位膜面積 (m²) 当たりの処理水量 (m³/日) である膜ろ過流速は1.00～1.25 m/日、回収率は95%が標準的な運転条件となる。これらの条件を決定するにあたり、相模川水系の原水と図9に示す装置を用いてフィールド実証試験を実施した。

この実験は、3系列の膜モジュールを用いて、1系列当たりの計画処理水量を30 m³/日として行った。このうち1系列に機能性中空糸膜を使用し、ほかの2系列には従来の親水処理を施した中空糸膜（親水処理膜）を使用した。河川から取水した原水を流路サイズが200 μmのオートストレーナに通した後、全量ろ過を行った⁽⁵⁾。3系列とも通常の物理洗浄として、膜ろ過水による逆圧水洗浄（エアスクラビング併用）を45分周期で行った。機能性中空糸膜の1系列と親水処理膜1系列には、通常の物理洗浄に加え、1日1回の頻度で約50℃の温



水による逆圧水洗浄（エアスクラビング併用）を行った。①親水処理膜（温水洗浄なし）、②親水処理膜（温水洗浄あり）、及び③機能性中空糸膜（温水洗浄あり）、の3条件における膜差圧の経日変化を図10に示す。通水開始から約2か月後の1日当たりの膜差圧の上昇は、①0.57 kPa/日、②0.21 kPa/日、③0.10 kPa/日となっている。①と②の結果から、1回/日の温水洗浄が膜ファウリングを抑制し、膜差圧の上昇を抑えることがわかった。また、②と③の結果から、膜表面を機能化することで、膜差圧の上昇を更に抑えられることがわかった。薬品洗浄を、膜差圧が150 kPaに到達したときに行うと仮定すると、その間隔は、①7.5か月、②19.8か月、③40.5か月となり、温水洗浄と温度応答性高分子による表面処理で、薬品洗浄の間隔を延長できる見通しが得られた。

3.3 温水洗浄と薬品洗浄のコスト比較

前述の3条件について薬品洗浄費と温水洗浄費（ヒートポンプの電力使用量）を試算した結果を表1に示す。①のコストを100とした場合、②と③は、薬品洗浄間隔の延長によりそのコストが大幅に削減され、両洗浄費の合計はそれぞれ49と30という結果になり、温水洗浄と温度応答性高分子による表面処理で、ランニングコストを低減できる見通しが得られた。

表1. ランニングコスト試算例

Example of trial calculation of running cost

項目	膜の種類		
	①親水処理膜 (温水洗浄なし)	②親水処理膜 (温水洗浄あり)	③機能性中空糸膜 (温水洗浄あり)
薬品洗浄間隔(月数)	7.5	19.8	40.5
コスト比	薬品洗浄費	100	37
	温水洗浄費	—	12
	合計	100	49

4 あとがき

水道施設への普及拡大が見込まれるサイクロン型紫外線消毒装置と膜ろ過装置について、当社の製品コンセプトと、その実証試験結果を述べた。

サイクロン型紫外線消毒装置は、現在は地下水を水源とする浄水施設に適用が限定されているが、河川系への適用拡大も視野に入れた製品開発が必要である。膜ろ過装置は、より効率的な運転制御が求められており、膜素材の開発に加えて、総合的な処理方法や制御についての研究開発を更に進めていく。

文献

- 厚生労働省 健康局水道課. 「水道ビジョン」について. (<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/vision2/vision2.html>), (参照 2008-03-26).
- 厚生労働省 健康局水道課. 「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」. (<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kikikanri/dl/ks-0330005.pdf>), (参照 2008-03-26).
- 阿部光法, ほか. “サイクロン型UVリアクターの紫外線量解析 (II)”. 第58回全国水道研究発表会講演集. 釧路市, 2007-05, 日本水道協会. p.264-265.
- 関 秀司, ほか. “機能性中空糸膜のろ過特性”. 第57回全国水道研究発表会講演集. 長崎市, 2006-05, 日本水道協会. p.198-199.
- 松代武士, ほか. “機能性中空糸膜の浄水処理への適用”. 第58回全国水道研究発表会講演集. 釧路市, 2007-05, 日本水道協会. p.166-167.



環 省二郎 TAMAKI Shojiro

社会システム社 水・環境システム事業部 公共ソリューション技術部主幹。公共システムの開発技術業務に従事。環境システム計測制御学会会員。技術士（上下水道部門）。
Environmental Systems Div.



森川 彰 MORIKAWA Akira

社会システム社 府中事業所 社会インフラシステムソリューション部主査。水環境システムの設計に従事。技術士（上下水道部門、総合技術監理部門）。
Fuchu Complex



松代 武士 MATSUSHIRO Takeshi

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 社会システム開発部主務。上水処理システムの研究・開発に従事。
Power and Industrial Systems Research and development Center