



Title	膜処理のための凝集制御と膜異常検知システム
Author(s)	山口, 太秀; 大戸時, 喜雄; 渡辺, 義公 他
Description	第4回衛生工学シンポジウム (平成8年11月7日 (木) -8日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 計画展望、モデリング . P3-5
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 114-119
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7835
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-3-5_p114-119.pdf



3-5

膜処理のための凝集制御と膜異常検知システム

○山口太秀、大戸時喜雄（富士電機総合研究所）
渡辺義公、下如林、小澤源三（北海道大学工学部）

1. はじめに

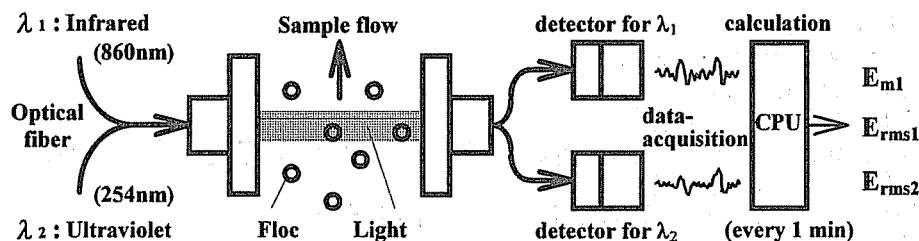
最近、水処理の分野で注目を集めている膜処理は、一定以上の大きさの懸濁質や細菌の除去に関して凝集沈殿ろ過より卓越した効果があり、簡易水道においてシステムの導入が開始されるなど、実用化は着実に進んでいる。近い将来に、1) 安定した処理水流量の確保、2) 溶解性有機物の除去、3) より安全な膜処理システムの構築、の課題をクリアーして、膜処理システムは多くの浄水場に普及していくと予想される。

筆者らは、安定した膜透過水流束の確保と溶解性成分除去率向上を目的とした凝集制御と膜処理水の異常を検知するシステムについて検討したので報告する。

2. 凝集制御

MF膜、あるいはUF膜による溶解性成分の除去は依然として不十分であり、1) NF膜、2) 凝集、3) 高度処理（オゾン、活性炭等）、のような他のプロセスを組み合わせたシステムの研究が盛んに行われている。今後の膜処理システムの構成は上記の組み合わせ処理を基本として、原水水質や処理上の用地面積などの事情で、多岐にわたっていくと考えられるが、本報では凝集と膜の組み合わせ処理における凝集の制御についてのみ考察してみた。

凝集と自動運転が比較的容易に行える膜処理を組み合わせたシステムを考えた場合、凝集制御を自動化すれば、比較的容易に水処理システム全体の自動運転が可能となる。我々は、混和池におけるフロックの粒径をリアルタイムで計測する「凝集センサ」と、この計測値により凝集剤注入率を自動的にフィードバック制御する「凝集コントローラ」を開発し、従来の凝集・沈殿・ろ過のシステムにおいて試験運用している。センサの原理は図1のように紫外線と近赤外線2波長の光をフロックを含んだ処理水に照射したとき、照射



$$D = \sqrt{\frac{4A E_{rms1} E_{rms2}}{\pi Q_2 E_{m1}}}$$

D : average diameter of those flocs (cm)
 A : cross section of the light beam (cm²)
 Q_2 : light extinction coefficient of those flocs at λ_2
 E_{m1} : time-average absorbance for λ_1
 E_{rms1} : root mean square of fluctuating absorbance for λ_1
 E_{rms2} : root mean square of fluctuating absorbance for λ_2

図 1 凝集センサの原理

光路中をフロックが通過することによって生じる2波長の吸光度のゆらぎを計測し、それらの統計量からフロックの平均粒径を測定するものである(2波長吸光度変動解析法)¹⁾。混和池におけるフロック粒径は図2に示すように、沈澱処理後の濁度除去率を決定し、カオリン濃度や水温などの原水の性質を変化させてもフロック粒径が30 μ mを越えると、濁度除去率は飽和する。排泥量やろ過池負荷の観点から、凝集剤の注入率はできるだけ抑えた方がよいので、今回の実験での濁度除去に關しての最適フロック粒径は30 μ mである。凝集コントローラでは、フロック粒径が前記の値になるように凝集剤

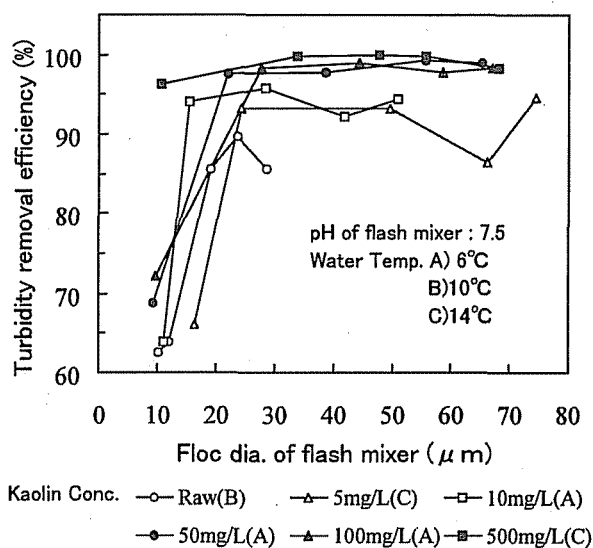


図2 混和池フロック粒径と沈澱処理後の濁度除去率

注入率を制御する。実際の浄水場における試験では、原水濁度の急激な変化にも関わらず、沈澱処理水の濁度は1以下に抑制され、凝集センサによる自動凝集制御が可能であることが確かめられている。

さて、膜処理前凝集の目的は、溶解性成分除去率向上と膜のファウリング抑制であり、凝集剤は少なくとも膜によって分離可能な大きさまで溶解性有機物を成長させる量を注入する。したがって、従来の凝集・沈澱・ろ過と同様、凝集制御は混和池フロック粒径制御でよいと考えられ、膜処理前段での凝集自動制御に凝集センサ・コントローラが適用できる。この時、制御目標とするフロック粒径は従来のシステムより小さくできるので、凝集剤の注入率はより低減できる。膜処理のための制御目標は現段階では、はっきりした値の決定はされていないが、従来のシステムでは浄水場によって制御目標が異なったので、膜処理前凝集の場合は膜の公称孔径や分画分子量と材質によって、フロック粒径最適値は異なると考えられる。さて、膜処理水の濁度は殆どゼロに近く、フロック粒径を変化させた時の処理水の影響を判断できないので、制御目標はフロック粒径と処理水色度、あるいは E_{254} の関係を基に決定する必要がある。また、凝集剤注入率が高いほど、溶解性有機物の除去率は高かったが、注入率が高すぎると膜表面に形成されるケーキ層により、膜透過水流束が低下する例が報告されており²⁾、フロック粒径と膜透過水流束、あるいは膜間差圧の関係も調べる必要がある。

上述のように凝集センサ・コントローラによる膜処理前凝集自動運転を行うには、データの積み重ねが必要であり、現在、様々な膜に関してフロック粒径と処理水色度や E_{254} 、あるいは膜透過水流束や膜間差圧の関係を調査している。

3. 膜異常検知システム

3.1 概要

膜処理システムの監視項目の中で重要なものの一つに、膜の異常検知があげられる。膜処理は砂ろ過と異なり、膜の厚さを境に原水と処理水が分かれているので、モジュールに亀裂や破断が生じると原水は処理水側へ簡単に流出してしまう。したがって、異常検知には細心の注意を払う必要がある。異常検知の方法は、膜の耐圧試験、膜処理水の濁度や、微粒子の数をモニターすることが主なやり方であり、以下の特徴がある³⁾。

1) 耐圧試験

膜モジュール内の水を抜き、コンプレッサーから送られる空気により圧力をかけ、一定時間内の圧力の低下が所定の量を越えたら膜異常とする。膜処理の運転を中断させて試験するので、連続的な監視ができないという欠点がある

2) 濁度計

従来の水処理システムにおける処理水質の監視において実績があり、低価格であるが、膜のわずかな亀裂や破断を検知する感度は持ち合わせていない

3) 微粒子カウンタ

主に半導体分野で使用される純水や薬液の水質管理に使用されており、液体中の微粒子の数を測定する。高価ではあるが、異常検知に関しての感度は高い

上述の内容により、我々は膜の異常検知には、機能を絞り込み低価格とした微粒子カウンタ（以降パーティクルセンサ）が最適と判断し検討したので報告する。

まず、パーティクルセンサの設置場所であるが、図3のように膜モジュール1本毎に

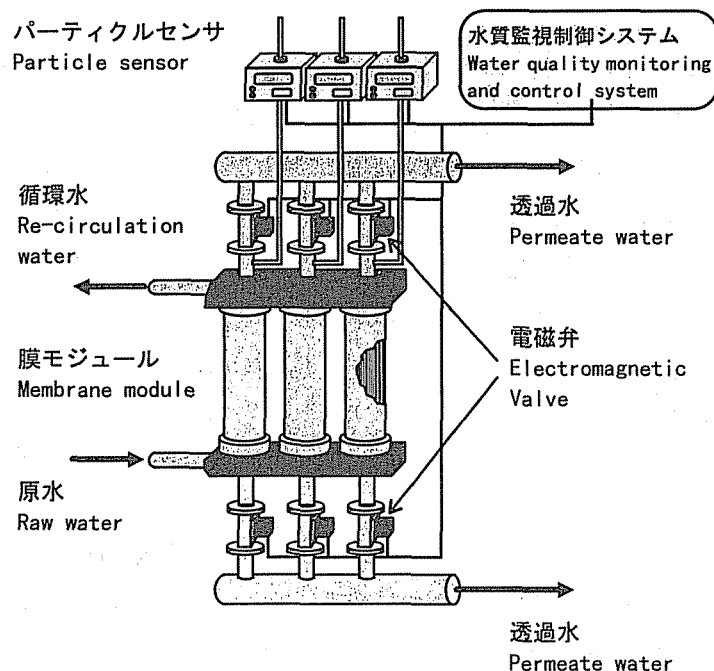


図3 膜異常検知システム

設置するのが望ましい。というのも数本から数十本のモジュールで構成される膜処理システムのうち、一部の膜モジュールに異常が検知された時、そのモジュールに接続されている電磁弁のみを閉じれば、残りの正常なモジュールで運転を継続できるからである。モジュールが百本近くあるような大規模なシステムの場合は、すべてに設置するとコストが高くなるので、数本単位に一台、センサを設置するのがよいであろう。また、センサからの異常信号を水質監視制御システムにて受け取り、異常のあるモジュールの量に対応させてポンプの制御を行うようにすれば、正常なモジュールへの負荷を軽減することも可能である。

3. 2 パーティクルセンサの原理

図4はセンサの光学系である。レーザーダイオードから光ビームを測定液体に向けて照射すると、液体中の微粒子により光ビームは散乱される。ビームストップにより直接光を排除した後、散乱光のみをレンズで集光してフォトダイオードで光電変換すると、ビーム照射領域を通過する微粒子の大きさに比例したパルス信号が観測される(図5 a)。このパルス信号をコンパレータにてしきい値Pで2値化し、カウントすることで微粒子の個数濃度を測定する(図5 b)。そして、その個数濃度が設定値を越える場合には警報信号Pを出力する(図5 c)。通常は上記の方法で個数濃度のみをモニターしておけば異常検知に関しての問題

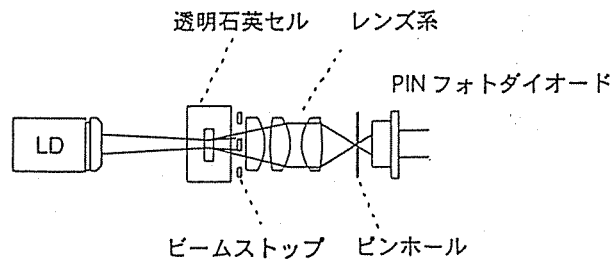


図4 パーティクルセンサの光学系

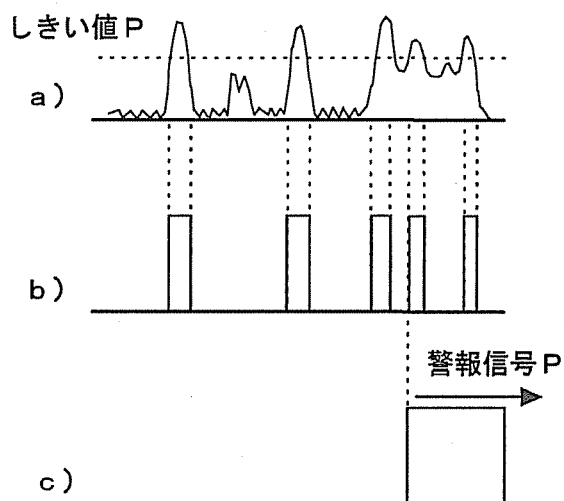


図5 微粒子個数濃度異常

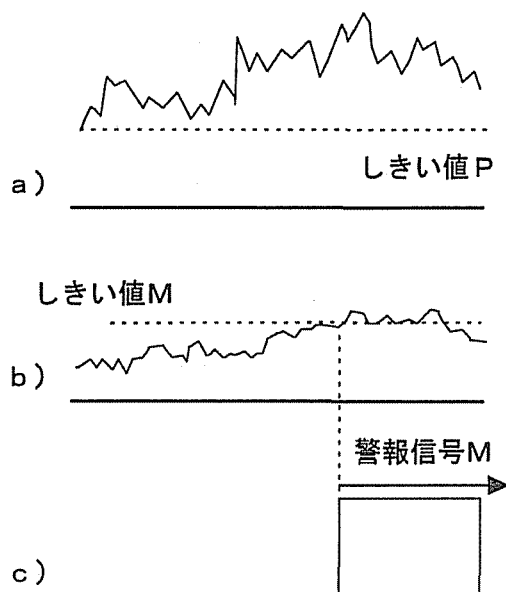


図6 散乱光平均値異常

はない。しかし、微粒子の個数が多いために散乱光パルスが重なり合い、パルスカウントができない場合には(図6 a)、微粒子カウンタの測定値は実際の値より極端に小さくなる可能性があるので、処理水中への急激な濁質の流入は検知できないことがある。そこで、本センサには微粒子による散乱光の検出信号平均値がしきい値Mを越えた場合(図6 b)にも警報信号Mを出力する機能を持たせている(図6 c)。この平均値は濁度と相関があり、通常の膜処理水やわずかな微粒子の混入では、殆ど変化しないが、大量の微粒子の流出があると、散乱光パルスが重なり合うため値は増加する。

上記のように微粒子個数濃度と散乱光平均値の2項目で膜異常検知を行うことにより、膜の僅かな亀裂等の異常、つまり処理水の濁度はゼロであるが微粒子カウントは可能である領域から、膜の著しい破断による処理水中への急激な濁質の混入、つまり微粒子カウントは出来ないが濁度の測定は可能である領域まで確実な膜異常検知が出来ることになる。

3. 3 実験

パーティクルセンサによって純水中の0.5 μm標準粒子(PSL粒子)を測定してみた。図7は標準粒子の濃度を変化させた時のパーティクルセンサの測定値である。測定時間は1分としたが、さらに長くすれば1×10²個/mL以下の低濃度領域でも測定可能となる。

次に、純水を満たしたテフロン製容器からパーティクルセンサへ、純水を10 mL/分の流量で供給し、数分後にPSL粒子を容器に混入してみた。この時の容器内微粒子個数濃度は1×10⁵個/mLである。図8は、微粒子による散乱光パルスが出現する様子を観察したもので、このパルスはコンパレータのしきい値Pによって2値化された信号である。以上、パーティクルセンサーによって、微粒子の混入を検知することができた。

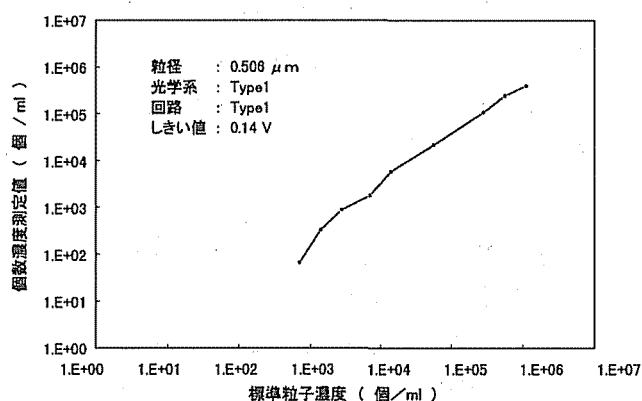


図7 個数濃度測定値と標準粒子濃度

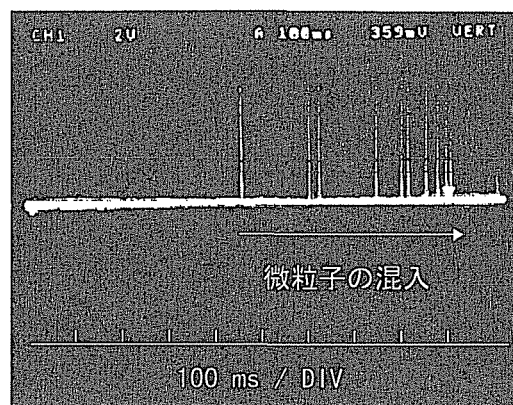


図8 微粒子の混入の瞬間

4. おわりに

凝集センサ・コントローラに膜処理前凝集の制御に関しての今後の展開は、1) フロック粒径と溶解性有機物除去率、2) フロック粒径と膜透過水流束、の関係が膜の公称孔径や、分画分子量、あるいは膜材質の違いによってどのように変化するかを調査し、膜処理前凝集自動運転の指針にする予定である。

膜異常検知システムに関しては、パーティクルセンサを実際に膜モジュールに接続し、フィールド試験を行うと同時に、異常検知した時の自動的な電磁弁の開閉やポンプの制御など、膜処理システムの動作に関して検討していく予定である。また、最近の膜モジュールの信頼性はかなり高くなっているが、膜の厚さだけで原水と処理水を隔てていることと、塩素やオゾン処理を膜と組み合わせた場合には、予期せぬ膜の劣化があることなどを考慮すると、パーティクルセンサの他に耐圧試験や処理水色度のモニターなど、いくつかの膜異常検知方法を併用する必要があると考えられる。特に色度は膜の異常検知とあわせて前凝集制御の評価も行うことができるので有効であるので、今後の膜処理システム異常検知の試験項目に加える予定である。

参考文献

- 1) 大戸時喜雄、井上公平、財津靖史、松井佳彦、丹保憲二：2波長吸光度変動解析による2成分凝集状態の計測理論と計測装置、電気学会研究会資料、IIC-93-35, pp23, 1993
- 2) 下如林、渡辺義公、小澤源三：UF膜システムにおける凝集・操作圧力の影響、第3回衛生工学シンポジウム論文集、pp12, 1995
- 3) Samer S. Adham etc. : Low-pressure Membranes : Assessing Integrity, Jour. AWWA, Vol. 87, No. 3, P62 (1995)