

浄水の高度処理とプロセス制御

高橋和孝*、本山信行**、高橋龍太郎**

* 富士電機(株) 環境システム技術部
東京都日野市富士町1番地

**富士電機(株) 水環境事業推進プロジェクト
東京都品川区大崎1-11-2

概要

水道水は「おいしさ」と「安全性」を求め、高度処理の要求が高まっている。高度処理は、従来の処理では解決できない化学物質や異臭味対策の強化を目的とした処理方法である。特にオゾン処理は殺菌、脱色、脱臭など優れた処理技術であるが、活性炭処理、膜処理と組合せることにより、一層処理効果を上げることができる。オゾン・活性炭プロセスは実際の稼動状況、オゾン・膜プロセスは実証実験状況より、安定的な高度処理の運転制御についてのべる。

キーワード

浄水、高度処理、プロセス制御

1. はじめに

近年、水道水の異臭味、トリハロメタンなどの有機化合物、病原性原虫等の問題が大きな関心を集めている。安全でおいしい水への要望がますます高まる中、都市部を中心として各地の水道事業では、主にオゾン処理と活性炭処理の高度処理システムの導入が進められてきている。

安全な処理システムの構築にあたっては、水質から見た最適な水の高度処理システムおよび安定した処理プロセス制御を行うことが、さらに重要となってきた。このオゾン処理、活性炭処理を組み合わせた高度処理と最近の膜処理等、効力的な処理とプロセス制御について報告する。

2. 高度処理による処理効果

2.1 異臭味

水道で問題とされる臭気は、富栄養化した湖沼やその放流水に発生する藻類および放線菌などの微生物に由来する臭気である場合が多い。異臭味問題のほとんどはかび臭で、藍藻(らんそう)類、放線菌に由来するかび臭物質としてジオスミン、2-メチルイソボルネオール(2-MIB)の2物質が確認されている。

オゾン・活性炭処理による高度処理異臭味除去効果の実際のデータを図1に示す。高度処理の導入で異臭味はほとんど除去できることが分かる。

2.2 トリハロメタン

水道により供給される水におけるトリハロメタンの当面の制御目標は、総トリハロメタンの年間平均値で0.1mg/l以下とされている。トリハロメタン前駆物質の高度浄水処理における除去率に関して、除去率推移を図2に示す。運転当初には、活性炭が新しいこともあり除去率は100%あったが、生物活性炭に移行することにより、夏期に除去率が上がり冬期に若干低下するという周期を繰り返し、その除去率は60~70%を推移している。

2.3 クリプトスポリジウムなどの消毒

オゾン処理効果として消毒があげられる。最近、クリプトスポリジウムなどの病原性微生物の問題が発生している。クリプトスポリジウムは原生動物の一種で、ほ乳動物の消化管内で増殖し、ふん便排出され、水環境を汚染する。水道水源に混入した場合、クリプトスポリジウムのオーシストの大きさは4.5~5.4 μmであるので、この濁度粒子を浄水過程で十分除去する必要がある。

クリプトスポリジウムは周りに厚いオーシストがあるため、通常の水道で行っている塩素消毒ではオーシストの不活性化はほとんど期待できない。オーシストの不活性化にはオゾンが有効²⁾とされ、2 log10 不活化CT値は、動物感染法による評価で3.5~17mg・min/Lなどの成果が得られているが、水処理においてはオゾン処理レベルを確定するためにはなお一層の知見の集積が必要な状況にある。

図1 各処理工程の2-MIB除去率¹⁾

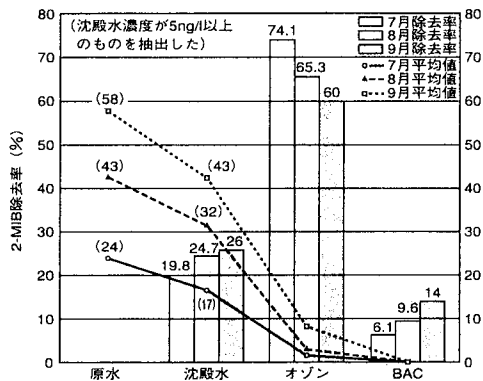
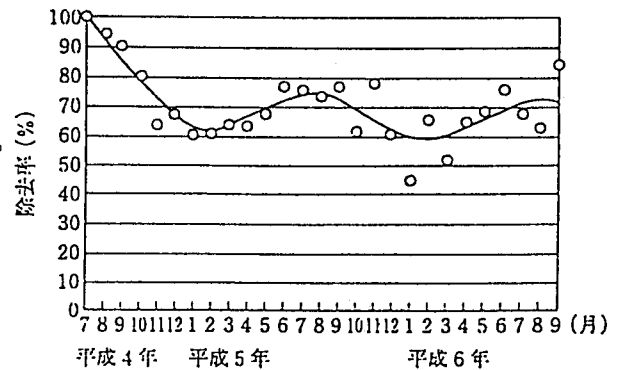


図2 THMFP除去率の推移



3. 高度処理プロセス

3.1 オゾン処理プロセス

高度処理プロセスのなかで、オゾン処理設備のシステム構成は、オゾン発生装置、オゾン反応設備、排オゾン処理装置および計装設備から構成されている。

3.1.1 オゾン注入量制御

現在、実用化されているオゾン注入量制御方法には、①総オゾン発生量制御、②比率制御、③濃度制御がある。

処理水質、水温の変化がほとんどない施設では、注入率制御だけで十分であるが、水質変動のある施設では、排オゾン濃度制御や溶存オゾン濃度制御が用いられる。しかし、通常のオゾン処理プロセスでは、オゾン発生装置から発生したオゾンが配管や反応槽を経て排オゾン濃度計または溶存オゾン濃度計で検出される時間（むだ時間）が数分あること、その濃度がほぼ平衡状態に達する（遅れ要素）まで十数分かかることにより、緩慢なPID制御を行う。PID制御による溶存オゾン一定制御の一例を図3に示す。

図3から設定値変更後の溶存オゾンのオーバーシュートは約12%、また整定時間は約30分であることが分かる。水質の変動に対しては特殊な事情がない限り、制御可能であるが、排オゾンまたは溶存オゾン濃度だけでは急激な水量変動には追従できないため、それらオゾン濃度から最適な注入率を求め、それと処理水量の積でオゾン発生量制御を行う方法を採用し、安定した制御が行われる。この濃度制御の原理、プロセス制御特性などについて以下に述べる。

(1) 濃度制御の原理

オゾン反応槽内では被処理水とオゾンとを接触させる場合、注入したオゾンは反応および自己分解によって消費され、されに一部は処理水中に溶存オゾンとして持ち出されるが、残りは排オゾンとして排ガス中に含

まれて放出される。目的とする反応に必要なオゾン量を過不足なく注入して、排オゾンや溶存オゾン濃度を0の状態にするのが理想である。しかし、実際には目的とする反応を達成させるために、多少余分のオゾンを注入しなければならない。排オゾン量、溶存オゾン量は、オゾンを過剰に注入すれば多くなり、オゾンが不足すれば一般的に少なくなる。このオゾン濃度量は反応槽内でオゾンの過不足状態を示す代替指標となる。この関係を利用してオゾン注入量制御を行うのが排オゾンまたは溶存オゾン濃度一定制御である。

(2) プロセス制御特性

溶存オゾン制御の計装フローを図4に示す。1ループ制御は溶存オゾン濃度の制御目的の設定と溶存オゾン濃度の実測値を比較し、その偏差に応じてオゾン発生器の電力調整用インバータに調整信号を出力する。この信号を受けてインバータは出力周波数を変化させて、溶存オゾン濃度が目標値に一致するようオゾン量を調整する。

また、カスケード制御は溶存オゾンを一次目標値とし、オゾナイザの電力を一定に制御することによって、処理水質に応じた追従性の速いオゾン発生量の制御を行うことができる。オゾナイザの電力はオゾン発生量との関連が高く、他の要因の影響を受けにくいので、オゾナイザの電力を一定に制御することによって、より安定したオゾン発生量の制御が行える。

図3 溶存オゾン濃度定値制御 (P I 制御)

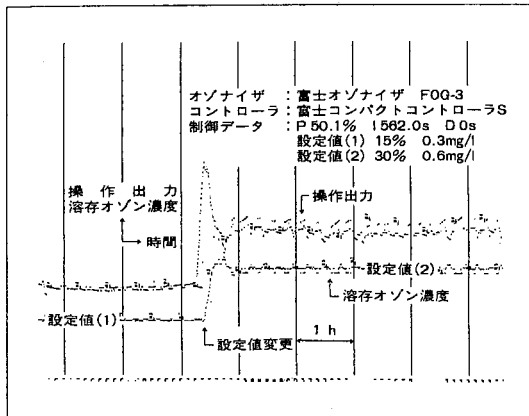
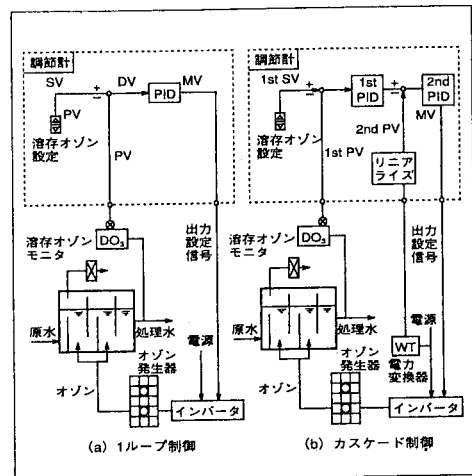


図4 溶存オゾン制御の計装フロー



(3) センサの設置および選定

溶存オゾン濃度制御は、センサ感度およびサンプリングシステムの汚れなどの問題で安定した計測が困難である場合が一般的である。溶存オゾン濃度制御を安定な制御特性とするためには、以下の点に留意する必要がある。

- (a) 滞留池出口などの水の流れが安定している位置からサンプリングする。
- (b) センサ前段のフィルタなどの設定は極力避け、検出感度の良い濃度計を選定する。

3.1.2 溶存オゾン濃度制御による最適運用実施例

溶存オゾン濃度制御は排オゾン濃度制御と違い、処理水中の残存オゾン濃度を測定しているため制御指標が水質に近く、水質の変動に対しより良い注入量制御が行える。図5に上水において約5年間運用されている溶存オゾン濃度制御の実施例を示す。

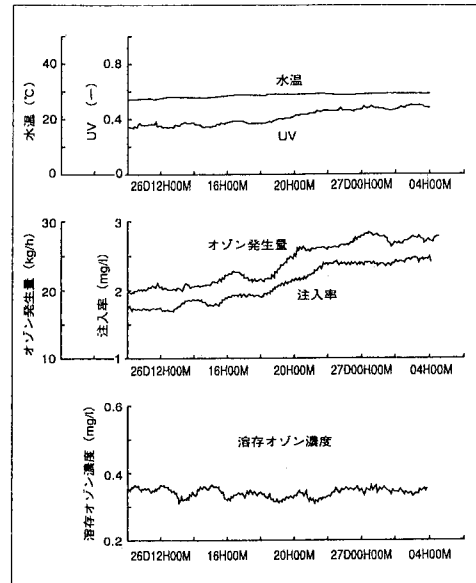
水質汚濁の指標であるオゾン接触池入口の紫外線吸光度 (UV 260) の値の上昇とともに、溶存オゾン濃度一定制御にてオゾン注入率が同時に上昇しており、水質の変動に対してオゾン注入量が十分に追従しているといえる。

オゾン注入量制御には、安定した処理水質を得るとともに、設備のランニングコストを低減させることが求められる。

目的とする反応が達成される溶存オゾン量は、被処理物質とオゾン反応速度、反応槽のオゾン溶解注入率などの要因で決まる。現在は、溶存オゾン制御目標を0.15mg/lと低い値で運用し、水質に応じ効果的に処理している。

本来、制御は水量に加え臭気物質や有機物濃度などの水質項目を制御指標とするのが望ましく、富士電機は、トリハロメタンや臭気物質などの水質データから最適注入率を求める本来の方法で行っているが、各種パラメータとオゾン注入率および処理水質の相関が複雑で、まだ試行中である。

図5 溶存オゾン濃度制御の実施例



3.2 活性炭処理プロセス

活性炭吸着設備には固定式と流動式があり、代表的な処理フローを図6に示す。活性炭吸着設備の設計にあたっては、活性炭の吸着機能を有効に動かすために接触時間、空間速度(SV)、線速度(LV)、炭層の厚さ、粒径、集水装置などを考慮する必要がある。

運用にあたっては、活性炭層の洗浄方法、洗浄時間、洗浄水など集水装置に適した洗浄制御が重要となる。

オゾン処理との組合せは「中オゾン+活性炭」処理と「後オゾン+活性炭」処理が行われているが、処理方式の違いは洗浄目的、洗浄目標水質、洗浄制御プロセスにも大きな相違がある。

3.2.1 活性炭吸着池の洗浄目的

「中オゾン+活性炭」処理は、オゾン処理により難分解性の有機物を易分解性に変え、活性炭処理では生物的效果がより向上し、処理される。また、凝集沈殿の次工程に活性炭吸着池が設置されているためろ過処理の役割も果たす。したがって、活性炭処理設備の洗浄目的は粒状活性炭吸着池に蓄積した懸濁物質によって起こる損失水頭を取り除き、均等な線速度に回復することにより処理を安定させ、活性炭の寿命を延ばすことである。活性炭処理の洗浄方式は「水逆流洗浄」だけでは粒状活性炭に蓄積した懸濁物質の除去効果が小さいため、粒状活性炭層の洗浄は20~30%の膨張率で強く洗浄する必要がある。このため、「水逆流洗浄+空気洗浄」の組合せを採用している。図7に活性炭処理の洗浄制御の一例を示す。

洗浄開始は下記条件で行い、約3日に1回の洗浄頻度で行っている。

- (1) ろ過時間が96時間に達したとき
- (2) 損失水頭が2.0mmに達したとき
- (3) 処理水濁度が0.2度を超えるとき

「後オゾン+活性炭」処理の場合、前工程にてろ過処理が設置されているため、懸濁物質は取り除かれ、活性炭処理での損失水頭の上昇は少ない。したがって、月1回の洗浄頻度でも可能であるが、洗浄は生物漏出対策のため3日に1回程度の洗浄を行い、生物の漏出を抑えている。

3.2.2 活性炭吸着池プロセス制御

「中オゾン+活性炭」処理の場合、次工程にろ過処理があるため、処理→同時洗浄→水単独洗浄の順で洗浄工程が行われ、活性炭洗浄後の処理水濁度は0.2度以下に管理している。

しかし、「後オゾン+活性炭」処理の場合、次工程が配水池のため、処理→同時洗浄→水単独洗浄の順で洗浄が行われ、活性炭洗浄工程直後に処理水中の濁度の上昇が見られるため、ろ過水を排水する「捨水工程」が追加され、その後処理工程に進む。処理水は浄水水質の水質基準以下に管理するように、それぞれの処理方法に対応したプロセス制御が求められる。

図6 活性炭処理プラントフロー

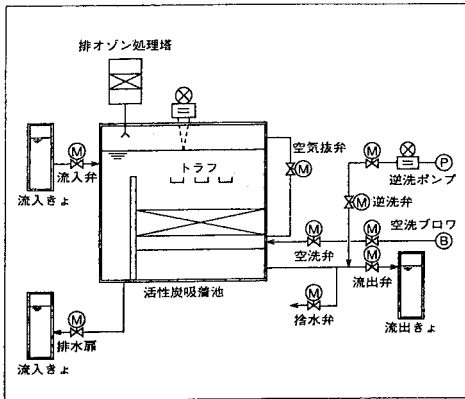
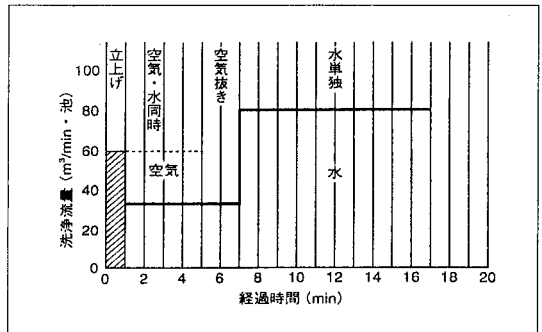


図7 活性炭処理の洗浄制御の一例



3.3 膜処理プロセス³⁾

UF膜、MF膜などの膜ろ過法は、処理水質に対する信頼性が高いこと、自動運転が可能なこと、設置面積が小さいことなどの利点から、近年小規模浄水場を中心に急速に広まりつつある。一方、大・中規模浄水場への適用を考えると、一層の浄水コストの削減が不可欠であり、水質面、膜の高効率ろ過の向上が望まれている。

富士電機は、オゾン処理と耐えオゾン性を有する有機系のMF膜とを組合せることにより、オゾン/オゾン耐性膜/活性炭から構成されるパイロットプラントを用い、オゾン注入方法、膜ろ過方法等の運転条件と膜ろ過流速との関係について検討した結果を報告する。実験場所は北千葉広域水道企業団北千葉取水場であり、オゾンの注入により、江戸川表流水で従来の4倍以上の高フラックスが得られることを確認している。膜モジュールは、ポリ弗化ピニリデン製の中空糸膜（公称孔径 $0.1 \mu\text{m}$ ）が 6.9 m^2 （膜面積）充填された3インチ径×1mの外圧式モジュールである。ろ過はクロスフローで行い、逆洗間隔20分、エアープリングを2時間毎に行った。処理フロー図8に示す。

図8 オゾン耐性膜プロセスフロー

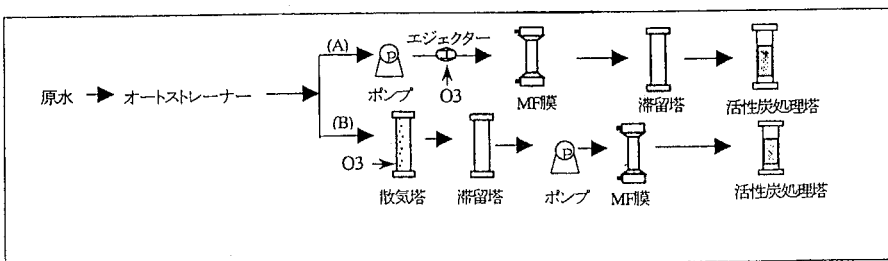


図9にエジェクター方式(RUN9)、散気管方式(RUN10)、散気管+滞留塔(RUN11)を用いてオゾン注入を行った場合におけるオゾン注入率、ろ水中溶存オゾン濃度、膜ろ過流束の経時変化を示した。なお、MF膜までのオゾンと原水との接触時間は、エジェクター方式で数秒、散気管方式で10分間、散気管+滞留塔で20分間であり、オゾン溶解効率はいずれの方式においても大差なく80%以上と高かった。オゾン注入率を2ミリグラム/Lに固定したところ、ろ水中の溶存オゾン濃度は、それぞれ0.6mg/L、0mg/L、0mg/Lであり、膜ろ過流束はろ水中の溶存オゾン濃度が高いエジェクター方式が最も高かった。以上の結果から、膜面における溶存オゾンとファウリング物質との相互作用が膜の高流束化に重要な影響を与えていると推定できる。

4. あとがき

淀川を水源とする大阪府や大阪市、および利根川などを水源とする東京都の水道事業者では高度浄水処理施設の建設がピークを迎えている。今後、地方の「安全でおいしい水」への要望に伴い、高度処理の整備が進展すると想定され、又小規模水道にオゾン・活性炭の高度処理と膜ろ過を組み合わせた新しいシステムも開発され、ますます水質に対応した高度処理プロセス制御が重要となる。プロセス制御の目的は運転しやすく、水質の安定した運用であり、監視、制御、計装を含めた、より効率的な高度処理プロセス制御の研究を今後も進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 村井修一：東京都金町浄水場のオゾン処理について、平成4年度オゾンに関する講演会後援要旨、日本オゾン協会(1992)
- 2) 金子光美(1997)特集:水のクリプトスポリジウム汚染と対策、環境技術研究協会、Vol. 26, No. 9、P547-549
- 3) 橋野富年他：オゾン耐性膜による高効率高度処理、第51回全国水道研究発表会、P204~205(2000)
(旭化成工業、磯村豊水機工、日本鋼管、富士電機共同実験報告)

図9 オゾン注入方式が膜ろ過流束へ与える影響

