

溶存オゾン濃度計によるオゾン自動注入制御

—猪名川浄水場の事例—

須原敏樹 表 義雄 上月慶治 津田秀樹

阪神水道企業団
神戸市東灘区西岡本3丁目20-1

概要

阪神水道企業団では、近年問題となっている水道水の異臭味除去やトリハロメタン等の消毒副生成物の抑制を目的に、平成5年7月より猪名川浄水場において、オゾンと活性炭処理を新たに付加した高度浄水施設の運転を開始している。本施設のオゾン処理は、従来の前塩素処理に代わる微生物の不活化や、臭味の改善とともに、後段の活性炭の前処理プロセスとしての位置づけで組み入れられている。オゾン設備の運転は、処理の性格上目標残留オゾン濃度を定め、オゾン注入率を変化させ目標値に制御する方法をとっている。稼働当初は手分析により残留オゾン濃度を把握し、オゾン注入率を手動で設定する制御方法であったが、今日までに残留オゾン濃度連続測定計器及びオゾン自動注入制御システムの導入により省力化、残留オゾン濃度の制御性が格段に向上した。

キーワード

高度浄水処理、残留オゾン、自動制御、溶存オゾン濃度計

1. はじめに

阪神水道企業団（以下企業団）は、神戸市、芦屋市、西宮市及び尼崎市の阪神間4市を構成団体とする用水供給事業体である。水源は現在のところ、全量を淀川に依存しており、阪神間250万人市民の70%強の水道水を賄っている。

近年、淀川本川流量の70%を占める琵琶湖流出水中に、珪藻類、藍藻類等の生物数の増加が顕著にみられ、これらの生物から分泌されるいわゆるカビ臭物質の影響により、昭和44年よりカビ臭の発生が確認されるようになった。そこで企業団においては、原水に混入するカビ臭を含む臭気物質の除去を行うとともに、その他微量有機化学物質、農薬等の除去や、浄水処理する際に生成される消毒副生成物の低減化を目的に、平成5年7月より猪名川浄水場において高度浄水処理を開始した。

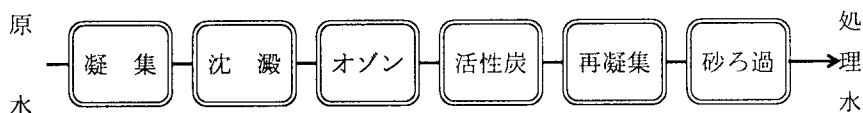


図-1 猪名川浄水場高度浄水施設フロー

猪名川浄水場の高度浄水施設は、図-1に示すように、従来の沈澱、ろ過処理の間にオゾン、活性炭

(Biological Activated Carbon :BAC)、再凝集の各処理を付加したフローとなっている。このうちオゾン処理設備では、安定した処理を行うために、処理水中の目標残留オゾン濃度を設定し、オゾン注入率の制御を行うこととしているが、より制御性を向上させるため稼働以来、数回のシステムの改良を実施してきた。

本報では、これら改良の経緯とその制御性について報告するものである。

2. 高度浄水プロセスにおける残留オゾン濃度制御

猪名川浄水場の高度浄水施設は、前項で述べたように主に臭気物質、有機化合物等の除去、消毒副生成物の低減化を目的としているが、各プロセス毎での主たる役割は表-1のとおりとなっている。

表-1 企業団高度浄水フローにおける各プロセスの主たる役割

プロセス	主な役割	摘要
凝集・沈澱	懸濁成分の除去 水質の安定化	後段プロセス群のための
オゾン	微生物の不活化 異臭味成分の除去 有機物の低分子化 凝集の促進	従来の前塩素処理の代替 後段のBACのための
活性炭	異臭味成分の除去 化学物質の除去 消毒副生成物前駆物質の除去 オゾン処理副生成物の除去	THMs、TOX等 ALDs、BrO ₃ ⁻ 、AOC等
凝集・ろ過	懸濁成分の除去 鉄・マンガン除去 微生物安全性の確保	粒子付着細菌等活性炭流出成分の捕捉

THMs:トリハロメタン
BrO₃⁻:臭素酸イオン

TOX:全有機ハロゲン化合物
AOC:同化可能有機炭素

ALDs:アルデヒド類

オゾン処理での主たる役割は、従来の前塩素処理に代わる微生物の不活化、異臭味成分の酸化分解による除去、難分解性の高分子有機物の低分子化、後段の再凝集における凝集の促進等があるが、うち微生物の不活化の点においては、従来の前塩素処理のCT値（処理水中の残留消毒剤濃度と接触時間との積）を確保する目的から、後段の活性炭流入部における残留オゾン濃度を一定濃度保持する操作を行っている¹⁾。このことは同時に、活性炭設備流入部の状態を良好に維持する役割も併せ持っている²⁾。

これらの要件を満足する活性炭流入部の残留オゾン濃度は、オゾンが有する微生物不活化効果や調査実験の実績から、0.2mg/L以上と定めている。ただし、過剰なオゾン注入は運転コストを引き上げるばかりでなくオゾン処理副生成物の増加やオゾンに接触する部材の劣化につながるため、必要最小限の注入が望ましい。

平成5年7月の稼働当初は、残留オゾン濃度の測定は電流滴定法（手分析）で行い、その都度適正注入率を手動設定していた。すなわち、この方法では残留オゾンの把握頻度も限られ、また、設定注入率は職員の経験により決定されていたため、残留オゾン濃度制御目標値を0.2～0.5mg/Lと幅を持たせ、オゾン注入率の設定値（Setpoint Variable：SV値）の変更単位を0.5mg/Lとしていた。（第1段階）

その後、後述の回転電極式ポーラログラフ法溶存オゾン濃度計による残留オゾンの連続測定の目途がついたため、平成7年7月に同溶存オゾン濃度計を導入し、中央管理室での連続的な残留オゾン濃度の監視を開始した。そこで目標残留オゾン濃度を0.3mg/Lに固定化し、SV値変更単位を0.1mg/Lと小さくすることで、手動の制御周期も短い、より細やかな制御が行えるようになった。（第2段階）

さらに同溶存オゾン濃度計の信頼性の確認及び制御系の改良を進め、平成9年7月より残留オゾン濃度SV値0.3mg/Lとしたフィードバック制御を導入し、人の手を介さないオゾン注入システムの自動制御運転を開始した。（第3段階）

3. オゾン自動制御の方法

(1) 溶存オゾン濃度計

活性炭処理の良好な機能維持と効率的なオゾン注入には、残留オゾン濃度の一定化が必要で、これには十分な精度と信頼のおけるオンライン形溶存オゾン計が不可欠である。

溶存オゾンの測定には、ヨウ素滴定法、紫外線吸光度法、隔膜電極式ポーラログラフ法などの測定方法があるが、猪名川浄水場にオゾン処理施設を導入した当時は、連続測定に適した分析計器を入手することができなかった。そこで、溶存オゾンの連続測定手法の調査より着手し、その後、製品化直前であった回転電極式ポーラログラフ法による溶存オゾン濃度計について調査を実施した。

溶存オゾンの連続測定手法の調査としては、まず、酸化還元電位(ORP)計及び回転電極式ポーラログラフ法残留塩素濃度計を用い、測定試験を行った。

その結果、ORP計においては、残留オゾン濃度と測定値に直線的な相関がなく、用途としては溶存オゾンの存在が確認できる程度のものであった。回転電極式ポーラログラフ法残留塩素濃度計の場合は、図-2に示すように塩素非共存下では、残留オゾン濃度と測定値にほぼ原点を通る相関が得られ、溶存オゾン濃度測定用としての流用も可能と思われた。

ただし、塩素共存下においては、当然のことながら塩素の阻害影響が認められ、測定精度が大きく落ちる結果となった。

猪名川浄水場の高度浄水施設のフローにおいては、塩素の注入を、凝集池において 0.5mg/L、再凝集池において 2 ~ 3mg/L 注入しており、オゾン処理水中にも若干の結合残留塩素が存在する。したがって、同フロー中に残留塩素濃度計を残留オゾン濃度計として導入するためには、残留塩素の影響を取り除くことが必要である。そこで、原理的には同様の溶存オゾン濃度計が開発されていたことから、企業団の高度浄水処理実証プラントに設置し、連続測定を行うことにより、その測定値の信頼性、維持管理性について調査した。

図-3に溶存オゾン濃度計指示値と手分析値との相関を示す。結合塩素存在下であるにも係わらず、直線性は良好(相関係数 0.985)であった。なお、回帰直線は原点を通らずゼロ付近の測定には若干の問題が残るものの、猪名川浄水場の高度浄水処理における残留オゾン制御範囲(0.2 ~ 0.5mg/L)においては、十分使用でき得る精度が得られた。そこで、同分析計に測定電極やろ過器などに改良を加えつつ、実験フィールド

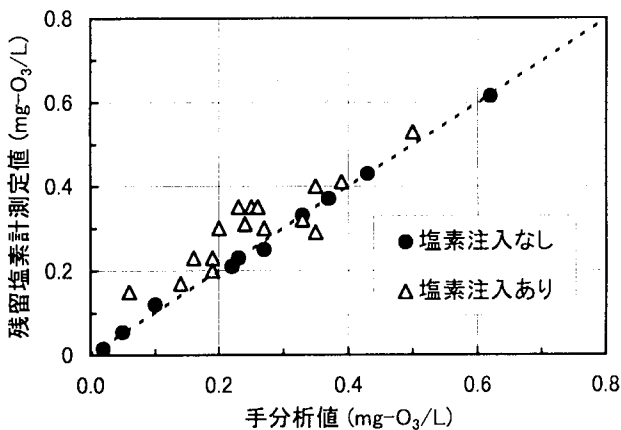


図-2 残留塩素計による手分析値との相関

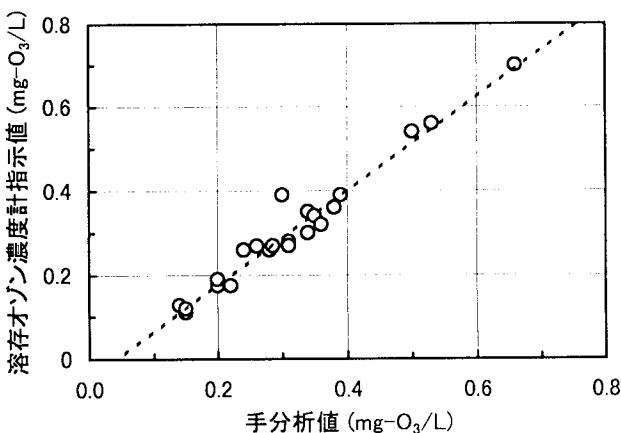


図-3 溶存オゾン濃度計による手分析値との相関

を実プラントへ移し、長期(約2年間)確認試験で実績を重ねて、最終目標である自動制御用検出端として採用するに至った。なお、溶存オゾン濃度計の主要諸元を表-2に、同ブロック図を図-4に示す。

表-2 溶存オゾン濃度計仕様

仕 様	測定対象	残留塩素共存化の水中溶存オゾン量
	測定方式	回転電極式ポーラログラフ法
	測定範囲	0~1mg/L
	出力信号	4~20mA DC
	電極洗浄	ガラスビーズ
	接点出力	ドライ接点
	電 極	回転金指示極：銀対極
サブル条件	試 薬	酢酸、塩化カリウム、硫酸アンモニウム
	温 度	0~50℃
	p h	3~9
	流 量	1~4L/min(浄水)
	圧 力	19.6~490kPa

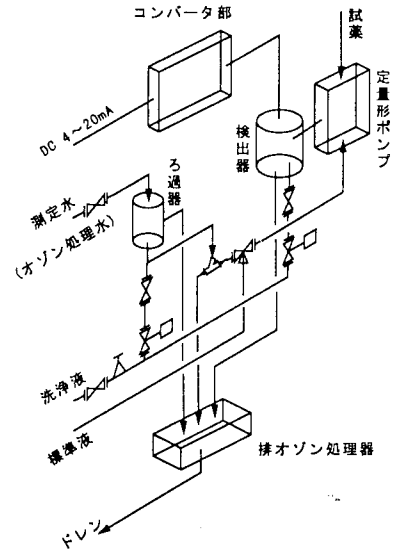


図-4 溶存オゾン濃度計 ブロック図

(2) 制御方法

オゾン発生制御の仕組みは、電極間隙に高電圧を印可しオゾン生成させるもので、発生器への供給空気量をコントロールすることと、インバータ(電流可変形)による印可電圧の変動により、無声放電量を調整することで、必要オゾン量を制御している。

オゾン注入制御と今回追加した溶存オゾンのフィードバック

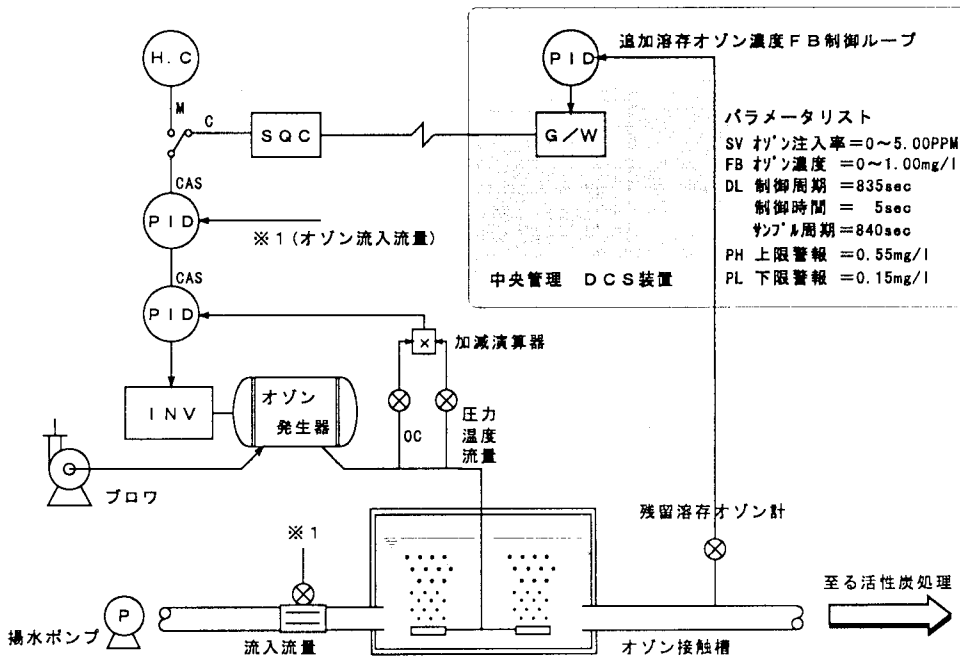


図-5 オゾン制御ループ図

パラメータリスト
 SV オゾン注入率=0~5.00PPM
 FB オゾン濃度 =0~1.00mg/l
 DL 制御周期 =835sec
 制御時間 = 5sec
 サンプル周期=840sec
 PH 上限警報 =0.55mg/l
 PL 下限警報 =0.15mg/l

ク制御のループ構成としては、図-5のとおり現場設置のシーケンサとワンループ調節計の組合せからなり、オゾン注入率設定を行うプラントループに中央管理室の集中監視用DCS (digital control system) 装置から注入率をカスケードさせる構成としている。

制御面の追加変更点は、活性炭処理槽入り口付近の残留オゾン量の連続計測値を、フィードバック要素として制御系に取り入れたもので、中央のCRT監視装置から目標残留オゾン値やパラメータ変更が容易に行えることや、従前の制御形態へ切替使用が可能な仕組みとなっている。

浄水場の監視制御装置は、DDC (direct digital control)形計算機により構成しているが、プラントの重要度や特性によりアナログ計装、SPC (set point control)、DDC、DDC+アナログ計装による2重化など、制御形態の使い分けをしている。

オゾン設備では、現場のアナログ計装で制御を構成し、DCSは状態監視のみを行うもので、互いにクローズした制御系としていた。しかし、新しい制御要素を組み込むことで中央監視を強化する必要と、現場改造を最小限にする目的から、DCSを用いた注入率のSPC方式を採用した。

活性炭流入サンプル水の溶存オゾン信号を水質分析用DCSへ取込み、内部計器の組合せで最適オゾン注入率を現場機器に出力するもので、これにより、最小限の追加変更工事で済むと共に、パラメータ変更などの設定替えにも柔軟性を持つ。また、異ベンダー間の信号処理もシーケンサ〜ゲートウェイ通信の変更だけで処理することが出来た。

なお、制御パラメータは図-5に示すように、オゾン発生器設定から残留オゾン測定ポイントまでの遅れ要素を考慮し、サンプルPI (DL=14min)とした。

4. オゾン注入制御の安定性

オゾン設備の稼働開始時からのオゾン注入率と残留オゾン濃度の経日変化を図-6に示す。

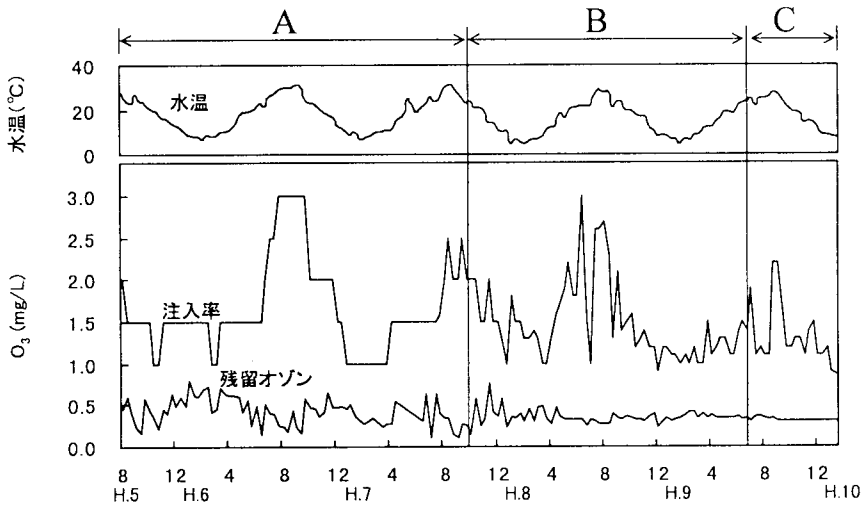


図-6 オゾン注入率・残留オゾンの経日変化

図中期間Aは、第1段階の制御を実施していた時期であるが、手分析により残留オゾン濃度を把握していたのに加え、オゾン注入率のSV値変更間隔を0.5mg/Lに設定していたことで、残留オゾン濃度の変動が大きくなっており、残留オゾン濃度目標値0.2~0.5mg/Lを外れることも度々発生している。

期間Bでは第2段階の制御を実施した時期で、回転電極式ポーラログラフ法溶存オゾン濃度計の導入による残留オゾン濃度の連続監視と、オゾン注入率のSV値変更間隔を0.1mg/Lとしたことで、残留オゾン濃度

の変化に対応したオゾン注入率設定が精細に行えるようになり、ほぼ目標残留オゾン濃度 (0.3mg/L) 付近で制御できるようになっている。

期間Cは、第3段階の制御を実施した時期であるが、期間Bと比較し、さらに目標残留オゾン濃度 (0.3mg/L) に対する制御性が向上し、残留オゾン濃度はほぼ直線で推移しており、回転電極式ポーラログラフ法溶存オゾン濃度計を含めたオゾン自動注入制御システムの効果がみられる。

また、各期間での変動係数は表-3に示すように、第1段階の制御における残留オゾン濃度の変動係数と比較し、第2段階では50%、第3段階においては70%向上しており、これからみても期間を追う毎に、運転管理に対する担当職員の経験の蓄積と制御システムの改良による効果が現れていることが判る。

表-3 残留オゾン濃度の変動係数

期 間	平 均 mg/L	標準偏差 mg/L	サンプル数 個	変動係数 %
A	0.40	0.177	340	45
B	0.35	0.093	637	26
C	0.31	0.037	153	13

5. おわりに

猪名川浄水場では高度浄水施設が稼働した平成5年から、①残留オゾン濃度の手分析-オゾン注入率の手動設定、②残留オゾン濃度の自動分析-オゾン注入率の手動設定、③残留オゾン濃度の自動分析-オゾン注入率の自動制御、とおよそ2年毎に計測・制御方法を改良してきた。そして今回導入したオゾン自動注入制御では、従来の方法と比較して残留オゾン濃度の制御精度は大幅に向上した。

高度浄水施設におけるオゾン注入制御には、本報の方式以外にいくつかの方法があるが³⁾、本方式は、処理効果のある程度の指標となる被処理水中の残留オゾン濃度による制御であることから、今後のオゾン注入制御の主流となるものと思われる。

引用文献

- 1) 水道事業体における高度浄水処理の実例-阪神水道企業団猪名川浄水場-、オゾン利用による水の蘇生技術、サンユー書房、(1997)
- 2) 佐々木ら、粒状破碎炭を用いた流動層吸着装置、第41回全国水道研究発表会講演集、pp269-271、(1990)
- 3) 出口富雄、オゾンを中心とした高度浄水処理技術、三琇書房、(1990)