

加圧型下方注入オゾン接触槽の制御方法に関する基礎検討

○鮫島正一、島崎弘志、津倉 洋、渡邊哲文

(株)明電舎製品開発研究所
東京都品川区大崎2-1-17

概要

オゾン処理の高効率化を図るため、処理時間の短縮、処理水質の向上を目指した水質の制御方法の構築は重要な課題である。筆者らは、下方注入管内を加圧することでオゾン溶解・反応効率を高める加圧型下方注入オゾン接触槽を試作し、オゾン溶解・反応特性について検討した。その結果、溶存オゾン濃度、E260 除去率は圧力の関数であることを利用して、下方注入管内圧力を制御することで溶存オゾン濃度、処理水質の一定制御ができる可能性が示唆された。

キーワード

上水、オゾン、接触効率、水質制御、THMFP除去

1. はじめに

地球環境問題が深刻化している現在、環境保護や省資源・省エネルギーの推進が重要となっている。高度浄水処理におけるオゾン処理法では、トリハロメタン生成能（以下THMFP）、臭気物質等の低減が可能であるものの、省エネルギーの観点から、無駄のないオゾン注入法を構築する必要がある。そこで、筆者らはオゾン処理の高効率化を目指し、深層Uチューブ方式や散気管方式の構造上の問題点等について検討した。散気管方式と同等の深度の加圧型下方注入オゾン接触槽を試作し、水理学的な操作因子とその処理特性について基礎検討を行った結果、散気管方式と比較して高いオゾン吸収効率を得られること、短時間でTHMFPが除去できることを示した。^{1) 2) 3)}

本研究では、加圧型下方注入オゾン接触槽を用いた水質制御方法の構築を目的とし、オゾン吸収特性、処理性能の安定化・高効率化に必要な基本特性のデータ解析を行った。特に本方式における制御因子となりうる圧力の効果について基礎的な検討を行った結果、若干の知見が得られたので報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置

実験装置の概略図を図1に示す。本装置の特徴は、オゾンガスと原水の気液混合部として加圧型渦流ポンプを使用したことにある。この加圧型渦流ポンプは、オゾンガスをポンプ流入部直前から注入し、ポンプ内のインペラでオゾンガスを混合・微細化することができる。次に気液二層流は下方注入管に導水される。下方注入管内では先端にオリフィスを設けている。そのため、オリフィス径を操作し、同時にインペラで回転数を調節することで、管内の加圧調整、処理水の流量調整ができる。接触槽下部で圧力が解放され、大量の微細気泡が生成され処理水とともに気液並流で上昇し、流出する。下方注入管は内径20mmφ、上昇部は内径240mmφ、接触槽高さは5mである。下方注入管の先端に設けた急縮部内径と下方注入管内径との比（急縮比）は0.25～0.6である。

表1 実験条件

	RUN1	RUN2	RUN3-1	RUN3-2
水温(°C)	8.0	5.6 ~ 8.3	8.0 ~ 12.4	5.9 ~ 9.2
通水量 Q_L (L/min)	39.7	25.5 ~ 45.3	25.1 ~ 43.5	25.1 ~ 25.5
ガス流量 Q_G (L/min)	2.1	1.5 ~ 2.1	2.0 ~ 2.1	2.0
気液比の逆数L/G(-)	18.9	12.1 ~ 30.2	12.6 ~ 20.7	12.6 ~ 12.8
注入オゾン濃度(g/Nm ³)	11.8 ~ 48.0	19.0 ~ 47.0	19.0 ~ 28.5	30.0 ~ 31.0
オゾン注入率D (mg/L)	0.62 ~ 2.54	1.55 ~ 1.70	1.24 ~ 1.51	2.39 ~ 2.43
加圧値(kgf/cm ²)	2.8	2.1 ~ 2.6	1.7 ~ 3.9	0.25 ~ 3.9
原水E260(abs.)	0.225	0.174 ~ 0.184	0.188 ~ 0.225	0.194 ~ 0.227

2.2 実験方法

本実験では原水に浄水場の凝集沈殿水を用い、加圧型下方注入オゾン接触槽を用いて連続処理を行った。排オゾン濃度が一定に達したときを定常状態とみなし、そのときの処理水溶存オゾン濃度、波長260nmの紫外線吸光度(以下E260)、THMFPを測定した。オゾン処理試験は3種類実施した。RUN1ではオゾン注入率操作、RUN2ではL/G操作、RUN3では2種類のオゾン注入率で圧力操作を行い、溶存オゾン濃度、E260除去率に及ぼす影響を調査した。それぞれの実験条件を表1に示す。水質分析は以下の通り行った。

- ①溶存オゾン濃度：DPD法による比色法
- ②E260：セル長50mmの石英セルを用いた分光光度法
- ③THMFP：溶媒抽出法を前処理法としたGC-ECD法

また、滞留時間は採水口までの理論滞留時間として計算した。

3. 実験結果

3.1 溶存オゾン濃度一定制御の操作因子に関する検討

オゾン接触槽に関する制御方法の一つとして溶存オゾン濃度一定制御がある。従来の散気管方式では、一般的には、オゾン注入率を可変させる。一方、加圧型下方注入方式においては、オゾン注入率のほか、圧力、L/Gも考慮しなければならない。その理由は、圧力に関しては、筆者らが以前示し²⁾、またBollykyの文献⁴⁾にもあるように、圧力が溶存オゾン濃度に影響を及ぼす因子として示されているからである。L/Gに関しては、深層Uチューブ方式において吸収効率に影響を及ぼす因子として知られているためである。ここでは、加圧型下方注入方式を用いた場合、それぞれの操作因子を変動させた場合、溶存オゾン濃度にどの程度影響を及ぼすかを調査した。

(1) L/Gの影響

RUN2における溶存オゾン濃度を、そのときの滞留時間 τ 、オゾン吸収効率 η と併せて図2に示す。本図から、L/Gが12.1から30.2に増加していくにつれて、溶存オゾン濃度は0.70mg/Lから0.56mg/Lに減少していくことがわかる。一方、L/Gを1操作したときの溶存オゾン濃度の変化は0.007mg/LとL/G操作量あたりの変動が小さい。したがって、L/Gが溶存オゾン濃度一定制御の制御因子となるものの、単位操作量あたりの変動が小さいことがわかった。

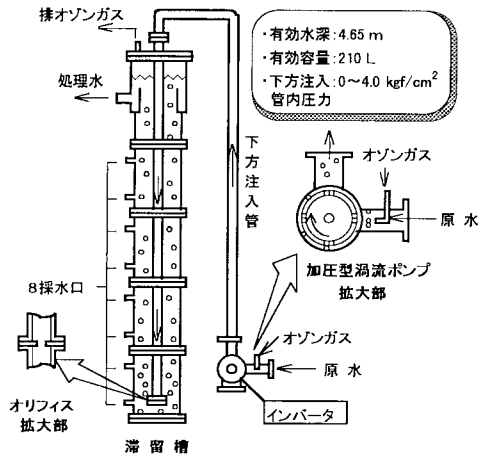


図1 加圧型下方注入オゾン接触槽の概略図

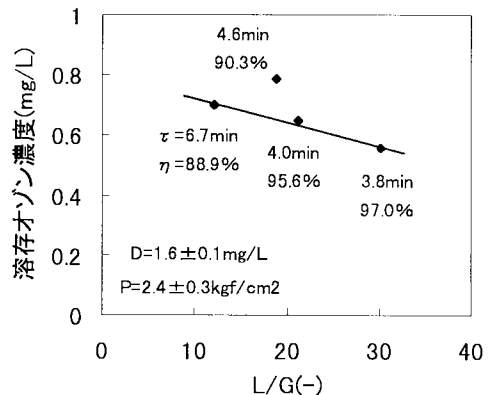


図2 溶存オゾン濃度のL/G依存性

(2) 圧力の影響

RUN3における溶存オゾン濃度を図3に示す。本図からわかることは、溶存オゾンの制御を行うのにオゾン注入率を下げずに、圧力調節を行って溶存オゾン濃度のコントロールができることである。例えば、溶存オゾン濃度を0.3mg/Lで一定制御を行うには、オゾン注入率1.3mg/L、2.4mg/Lでは、それぞれ圧力2.3kgf/cm²、0.5kgf/cm²に設定すればよい。このように、加圧型下方注入方式では、溶存オゾン濃度一定制御は、オゾン注入率を操作せず、圧力を操作因子とすることが可能である。

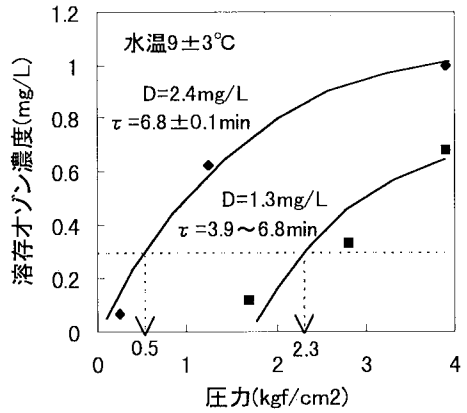


図3 溶存オゾン濃度一定制御に関する圧力の影響

3. 2 水質 (UV値) 制御の操作因子に関する検討

水質制御対象の一つとしてTHMFPがある。図4に示すように、THMFPはE260と相関がある。ここでは、THMFP除去の指標としてE260に着目し、E260除去に関する制御因子を検討した。

(1) オゾン注入率の影響

RUN1におけるE260除去特性を、そのときの溶存オゾン濃度DO₃と併せて図5に示す。本図から、実用的なオゾン注入率1mg/Lから3mg/Lの範囲では、E260除去率はあまり変わらないことがわかる。また、このとき溶存オゾン濃度が大きく増加した。したがって、加圧型下方注入方式においては、オゾン注入率を操作してもE260除去にあまり影響を及ぼさないことがわかった。

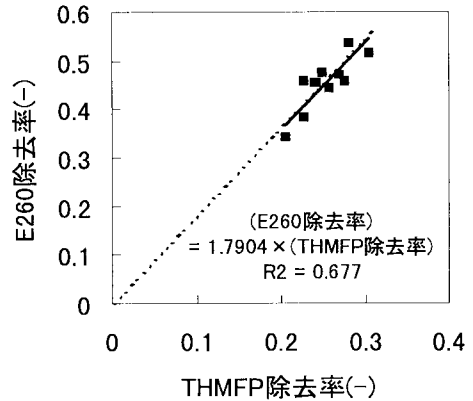


図4 E260除去率とTHMFP除去率

(2) L/Gの影響

RUN2におけるE260除去特性を図6に示す。本図で横軸は滞留時間、縦軸はE260残存率を示す。本図から、E260除去はL/Gに依存せず同じ曲線を描くことがわかる。しかしながら、L/Gを変化させると滞留時間が変化するため、除去率が変化するが、E260除去は下方注入管でほぼ終了しているためその変動幅は小さい。したがって、加圧型下方注入方式ではL/Gは制御因子になりうるが、E260除去に与える影響は小さいことがわかった。

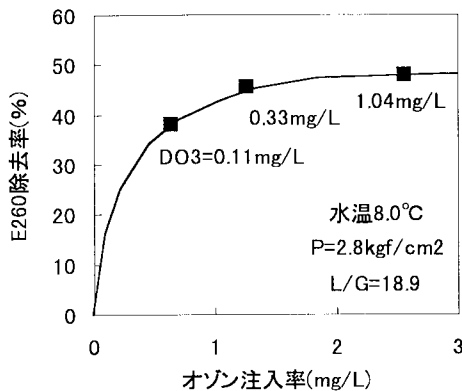


図5 E260除去のオゾン注入率依存性

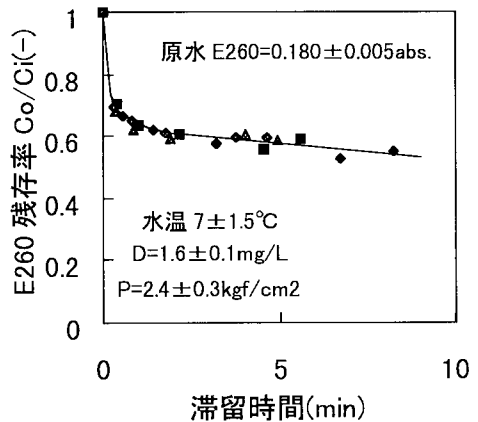


図6 E260除去のL/G依存性

(3) 圧力の影響

RUN3におけるE260除去特性を図7に示す。本図から、例えば、E260除去率40%を目標としたとき、圧力0.4kgf/cm²ではオゾン注入率2.4mg/L必要であるのに対し、加圧値1.8kgf/cm²にすると、注入率1.3mg/Lで除去可能であることがわかる。更に、E260除去率50%を目標にすると、加圧値2.3kgf/cm²では、オゾン注入率2.4mg/L必要であるのに対し、3.7kgf/cm²に加圧すると、オゾン注入率1.3mg/Lで処理できることがわかる。このように、下方注入管を加圧することで、E260がより少ないオゾン注入率で処理できることがわかった。また、圧力の制御がオゾン注入率の制御と変わらない役割を果たすことがわかる。よって、圧力が重要な制御因子であることが示された。

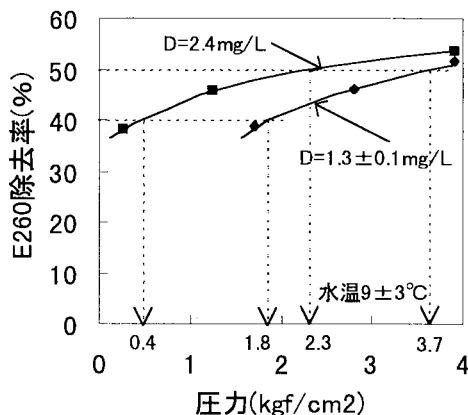


図7 E260除去率と圧力との関係

3.3 加圧型下方注入方式における圧力制御方案

前述の通り、溶存オゾン濃度一定制御、水質 (E260) 一定制御に、L/Gの操作、下方注入管の加圧が効果的であることがわかった。ここでは加圧型下方注入方式の特徴である圧力を操作因子としたオゾン接触槽の制御方案を図8に示す。溶存オゾン濃度、原水E260、処理水E260をフィードバック信号として、オゾン注入率を変化させずに、圧力を変化させる。具体的には、下方注入管の先端に設けられた急縮部を開閉させることで圧力が上下できる。しかしながら、それとともに通水量が変化するので、インバータを用いてポンプの回転数をコントロールすることで流量が変更できる。こうすることで、オゾン注入率、L/G一定の条件下で圧力のみの変更で溶存オゾン濃度一定制御、E260除去率一定制御が可能であることが示唆された。

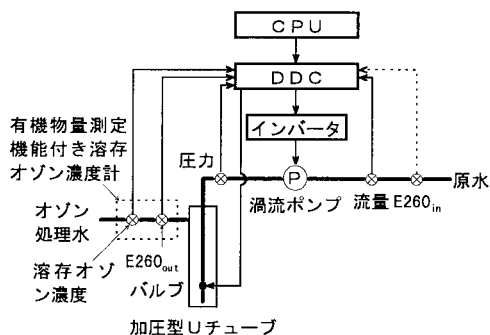


図8 加圧型Uチューブ方式による圧力制御の概念図

4. おわりに

加圧型下方注入オゾン接触槽の制御因子の検討を行った結果、以下のことがわかった。

- (1) 溶存オゾン濃度を変動させるには、L/G、圧力が操作因子となる。
- (2) 同じE260除去を得るためには、下方注入管を加圧することで、オゾン注入率を減少させる効果がある。また、E260除去率一定制御には、圧力操作がオゾン注入率操作と変わらない効果が得られる。
- (3) インバータ、バルブを操作することで、圧力制御が可能なオゾン接触槽が構築できた。これにより溶存オゾン濃度一定制御、水質一定制御の可能性が示唆された。

今後、更に加圧型下方注入方式における処理特性のデータ蓄積及び詳細検討を行い、より安定な水質制御方法の構築を行っていきたい。最後に、高度浄水処理プラント実験に多大な御協力を頂いた浄水場関係者並びに当研究所分析関係者各位に謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 鮫島ら：「Uチューブ方式オゾン接触槽の基本特性の検討」、第4回日本オゾン協会講演集、P165～168、(1995.3)
- 2) 鮫島ら：「Uチューブ方式オゾン接触槽の基本特性の検討(2)」、第5回日本オゾン協会講演集、P139～142、(1996.3)
- 3) 島崎ら：「加圧型下方注入オゾン接触槽に関する基本特性(1)」、第47回全国水道研究発表会講演集、P102～103、(1996.5)
- 4) L. J. Bollyky : "The Mass Transfer of Ozone into Water: Energy Requirements-State of the Art", Ozone Science and Engineering, vol.3, p.181-210, (1981)