

高濃度・高効率オゾン発生装置の適用例と水処理特性

石田稔郎*
安永 望**
山内登起子***

Examples of Application and Characteristics of Water Treatment by Higher Concentration and More Efficient Ozone Generators
Toshiro Ishida, Nozomu Yasunaga, Tokiko Yamauchi

要 旨

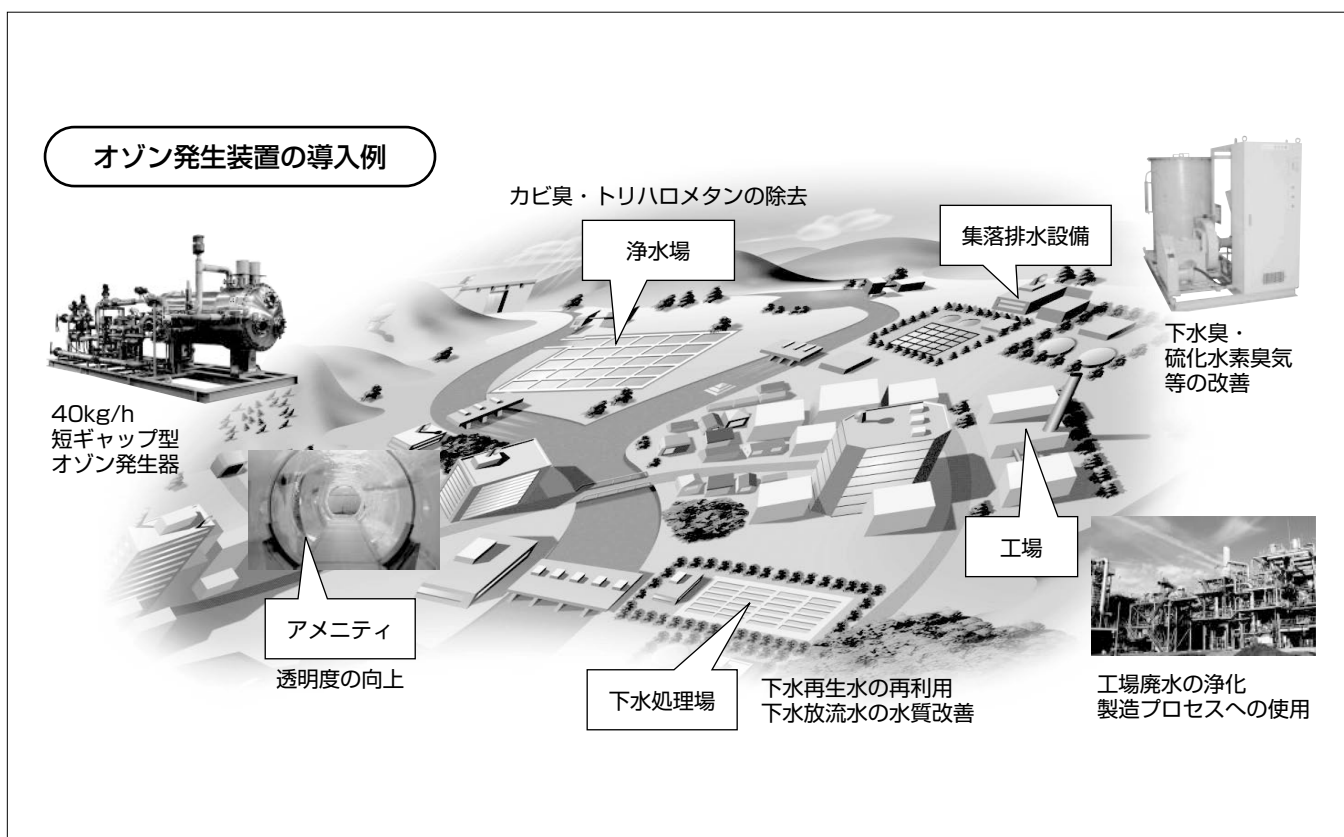
オゾンは酸素原子が3つ結合した分子で、自然界ではフッ素に次いで2番目に酸化力の強い気体である。この強い酸化力を利用して、上下水や工業分野の水処理に適用されている。上水ではかび臭除去・トリハロメタン前駆物質の低減、下水や工場排水では脱色・脱臭、工業分野では漂白・酸化など多岐にわたって適用されているが、更なる適用拡大に向けて、運転にかかる電力消費量低減とオゾン処理水の安全性向上が求められている。

三菱電機はオゾン発生装置を1968年に製品化して以来、高濃度・高効率・省スペースを課題として改良を続けてきた。特に近年では、細管型放電管を用いて放電空間の精度を向上させ、短ギャップ化することができた。この短ギャップ

化による各種高濃度・高効率オゾン発生装置の適用例について述べる。

また、高濃度オゾンを使用した水処理特性についてはオゾン吸収効率及び有機物分解率の向上が明らかになりつつあるが、健康への影響が懸念される臭素酸等の副生成物の生成特性については不明な点が多い。そこで、オゾン濃度をパラメータとして、オゾン吸収効率、臭素酸生成特性について評価した。

その結果、オゾン濃度が高いほどオゾン吸収効率が高いこと、及びオゾン吸収量に対する臭素酸生成量が少ないことがわかった。



高濃度オゾンのメリット

当社のオゾナイザの特長は高効率な高濃度オゾンの発生であり、高濃度オゾンによって必要な原料ガス量を低減できるとともに省スペースなシステムを構築できる。さらに高濃度オゾンを経水処理に適用することで、オゾンの溶解効率が高まり効率的にオゾンを利用できるとともに、健康への影響が懸念される副生成物(臭素酸)の生成量を低減できる。

*神戸製作所 **先端技術総合研究所(工博) ***同研究所

1. ま え が き

オゾンは酸素原子が3つ結合した分子で、自然界ではフッ素に次いで2番目に酸化力の強い気体である。この強い酸化力を利用して、上下水や工業分野の水処理に適用されている。上水ではかび臭除去・トリハロメタン前駆物質の低減、下水や工場排水では脱色・脱臭、工業分野では漂白・酸化などに適用されている。

オゾンはオゾン発生装置によって製造する。オゾン発生装置は原料ガス供給装置とオゾン発生器から構成される。原料ガス供給装置はオゾンの原料となる酸素を生成する装置である。オゾン発生器は無声放電によって酸素分子を分離し、もう1つの酸素分子と結合させてオゾンを生産する装置である。

当社はこのオゾン発生装置を1968年に製品化して以来、高濃度・高効率・省スペースを課題として改良を加えてきた。発生オゾンを高濃度化することによって、必要な原料ガス量が低減するため、原料ガス供給装置の電力コストを削減できる。オゾン発生器を高効率化することによって、放電に必要な電力を削減でき、オゾン発生装置全体の電力コストを削減できる。オゾン発生器を省スペース化することによって、オゾン発生器の設置スペースを削減でき、輸送車両の問題も解消できる。これらの課題を解決するために2008年に細管型オゾン発生器を製品化した⁽¹⁾。

一方、反応面ではオゾン処理の副生成物である臭素酸の低減と反応効率の向上が課題である⁽²⁾。臭素酸はオゾンと臭化物イオンが反応して生成される副生成物で、浄水処理過程でも生成されることから、健康への影響が懸念されている。臭化物イオン濃度は取水点が河口に近いほど大きくなる傾向にあり、オゾン処理によって生成される臭素酸もそれに伴い増加する。これらの課題を解決する手段として高濃度オゾンの適用が考えられる。高濃度オゾンを用いることでオゾン吸収効率の向上と、臭素酸の生成抑制が図られることをラボ実験レベルで確認した。

そこで今回は、高濃度オゾン生成が可能な細管型オゾン発生装置とその適用例並びに高濃度オゾンによるオゾン吸収効率、臭素酸生成特性の評価結果を述べる。

2. 細管型オゾン発生装置

2.1 オゾン発生方法

オゾン発生には、一般的に最も効率がよく経済的な無声放電法が採用されている。無声放電法の原理を図1に示す。

ガラスの誘電体を介した2つの電極間に原料ガスとなる酸素又は空気を流し、高圧・高周波の電源を印加する。すると、電極間で放電が発生して酸素からオゾンが生成される。この2つの電極の隙間を“放電ギャップ”と呼び、この隙間の長さを“放電ギャップ長”と呼んでいる。通常、放電ギャップ長は、0.数～1mm程度のごくわずかな隙間であ

る。この放電ギャップ長は、オゾン発生効率に影響を与える重要な因子である。

2.2 オゾン発生装置の構成

オゾンの原料となる酸素の供給には酸素発生装置や液体酸素が必要となる。酸素原料のオゾン発生装置の構成を図2に示す。オゾン発生装置は、酸素を供給する原料ガス供給装置、オゾン発生に適した電源を供給する電源装置、オゾンを発生するオゾン発生器、及びオゾン発生器で発生した熱を除去する冷却装置の4つの装置で構成されている。

オゾン発生器の構造を図3に示す。オゾン発生器は円筒型で、内部に放電管と接地電極管が対になって収納されている。一对の放電管と接地電極管の詳細図を合わせて示す。図3で述べた放電ギャップは、放電管の外側と接地電極管の内側の隙間に形成される。この隙間に原料ガスを流しながら無声放電を行うことによってオゾンが生成される。

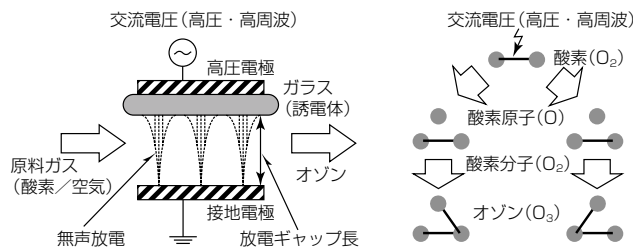


図1. 無声放電法の原理

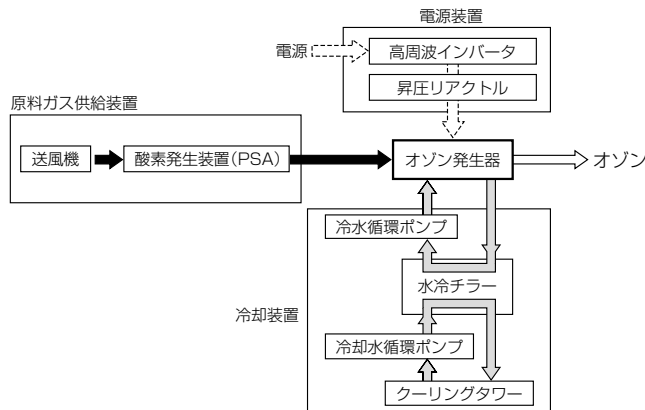


図2. オゾン発生装置の構成

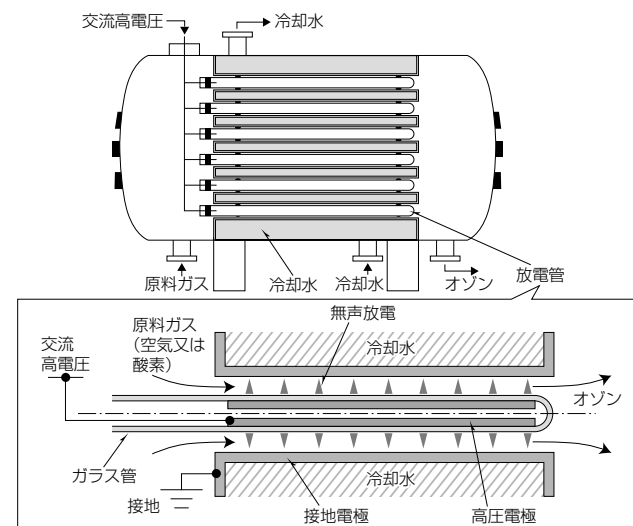


図3. オゾン発生器と放電管の構造

2.3 短ギャップ化によるオゾン発生の高濃度・高効率化

短ギャップ化によるオゾン発生特性の改善を図4に示す。短ギャップ化によって次の効果が確認できた。

- (1) 高濃度化：同じ電力であれば、高濃度のオゾン発生が可能。オゾン分解の抑制によって、飽和オゾン濃度が高い。
- (2) 高効率化：同じオゾン濃度であれば、少ない電力でオゾン発生が可能。

2.4 ランニングコストの評価

オゾン濃度とランニングコストの関係を図5に示す。ランニングコストには、オゾン発生器と原料ガス供給装置の電気代が含まれている。オゾン濃度180g/Nm³で当社従来比約22%削減となる。また、従来のランニングコストは150g/Nm³を超えると悪化していたが、今回は180g/Nm³以上の高濃度領域でも悪化することなく低いランニングコストが維持できている。

2.5 細管採用によるオゾン発生器の大容量化

細管採用と短ギャップ化によって、同一サイズのオゾン発生器で、次のことが可能となった。

- (1) 細管採用：オゾン発生量が従来の4倍
 - (2) 短ギャップ化：オゾン発生量が従来の2倍
- (1), (2)から、オゾン発生量は従来の8倍に大容量化が可能となった。

また、同一オゾン発生量の場合、オゾン発生器の缶体径は従来の1/√8(≒1/2.8)に省スペース化が可能となった。

3. 高濃度オゾン発生装置の適用例

3.1 水処理装置への適用

高濃度オゾン発生装置の上下水や工業分野の水処理装置への適用例を述べる。図6はオゾンと水を接触反応させる水処理装置の一般的なフローである。オゾン反応槽はオゾンと水を接触反応させる装置で、排オゾン分解塔は接触反応時の余剰オゾンである排オゾンを分解し酸素に戻して排気する装置である。

高濃度オゾンを適用すると原料ガス量を減少させることができるため、散気管本数と排オゾン分解塔の容量をそれぞれ縮小できる。

3.2 循環型オゾン浄化装置への適用

高濃度オゾン発生装置の循環型オゾン浄化装置への適用例を述べる。循環型オゾン浄化装置は、水族館やプール、循環系冷却水など幅広い循環利用水の水質浄化に使用されている。

図7, 図8に循環型オゾン浄化装置の外観とフローを示す。オゾン注入にはインジェクタが用いられている。インジェクタは通水した配管の口径を絞って吸込圧を生じさせ、オゾンを配管内に吸引させる装置である。高濃度

図7. 循環型オゾン浄化装置

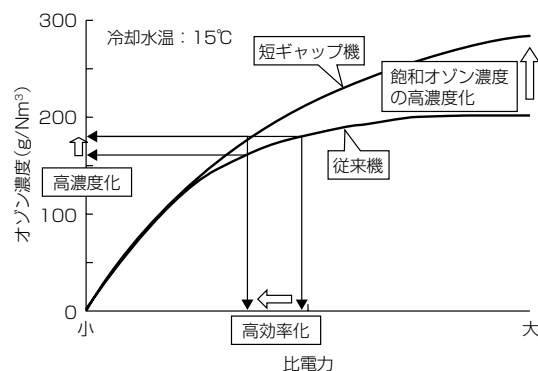


図4. オゾン発生特性の改善

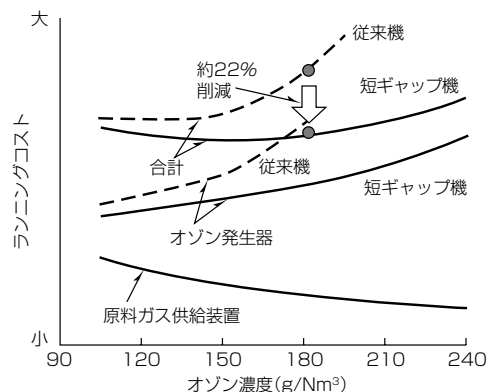


図5. オゾン発生装置のランニングコスト

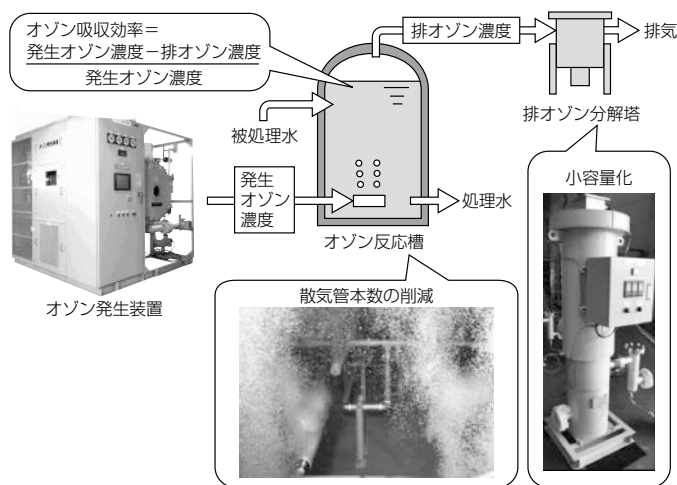


図6. オゾン水処理装置のフロー

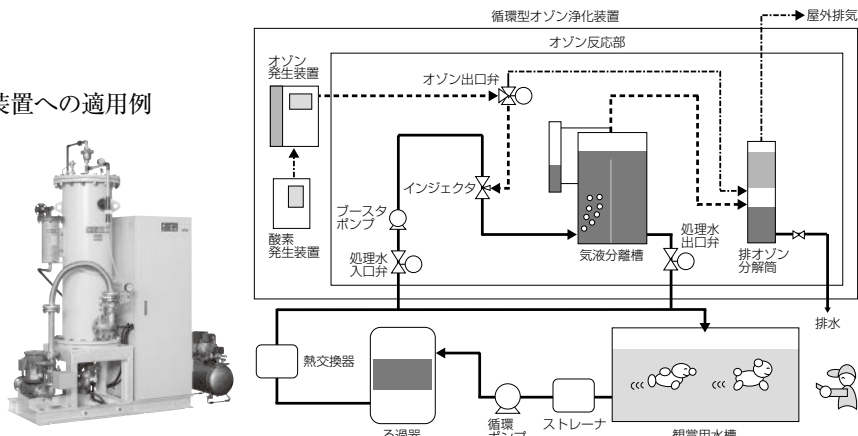


図8. 循環型オゾン浄化装置のフロー



図9. 乾式オゾン脱臭装置

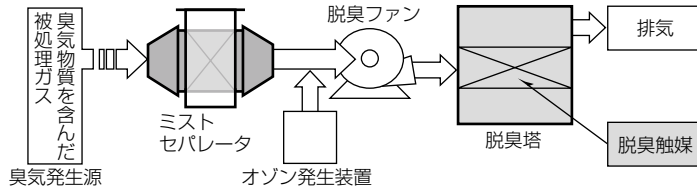


図10. 乾式オゾン脱臭装置フロー

水に所定量の臭化カリウム(KBr)を添加したものを用いた。オゾン反応槽は対向流型反応槽(内径50mm, 有効容量2.95L)に被処理水を循環させる経路を設けて流動状態を完全混合とした。オゾンガスはインジェクタを用いて

オゾン濃度20, 50, 150, 210g/Nm³でそれぞれ注入した。

4.2 オゾン吸収効率

オゾン濃度に対するオゾン吸収効率の変化を図11に示す。この図から、オゾン注入率10mg/Lではオゾン濃度が高いほどオゾン吸収効率が高いことが分かる。これは同じオゾン注入率ではオゾン濃度が高いほど原料ガス量を小さくできることを示している。

4.3 臭素酸生成特性

図12に一定オゾン吸収量(4mg/L)におけるオゾン濃度に対する臭素酸生成量及び臭化物イオン(Br⁻)濃度の変化を示す。臭素酸はBr⁻がオゾンで酸化されて副生物として生成される。この図から分かるように、オゾン濃度が高いほど臭素酸濃度が小さくなる傾向があることが分かる。これは、オゾン濃度が高いほどオゾン吸収量(=溶存オゾン濃度+オゾン消費量)に対するオゾン消費量の割合が増大する傾向があり、この消費オゾンが臭素酸の生成に寄与していないためであると推察される。

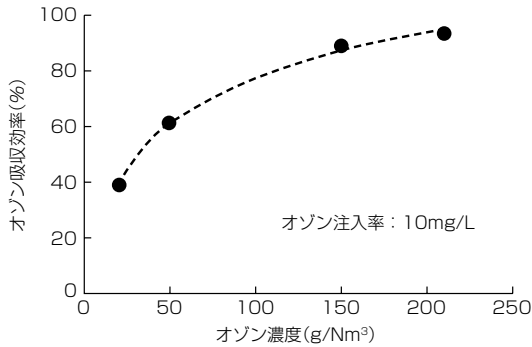


図11. オゾン濃度に対するオゾン吸収効率の変化

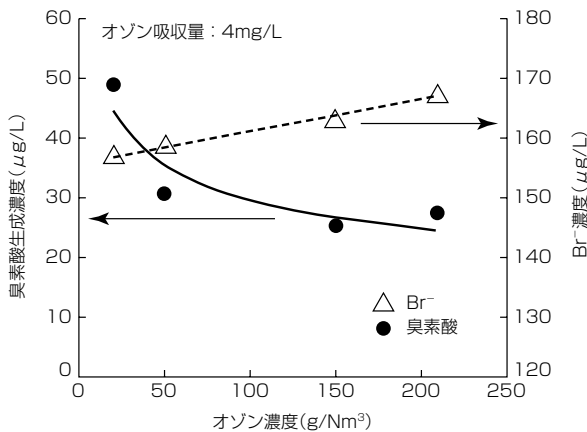


図12. オゾン濃度に対する臭素酸及びBr⁻濃度の変化

オゾンを適用すると原料ガス量を小さくできるので装置を省スペース・高効率化できる。

3.3 乾式オゾン脱臭装置への適用

高濃度オゾン発生装置の乾式オゾン脱臭装置への適用例を述べる。乾式オゾン脱臭装置は、下水やし尿の脱臭を始め、幅広い分野の脱臭に使用されている。

図9, 図10に乾式オゾン脱臭装置の外観とフローを示す。この装置には被処理ガスにオゾン注入後、臭気物質のオゾン分解を促進する脱臭触媒が充填されている。臭気強度が大きい場合、注入オゾン発生量を大きくする必要があり、脱臭ファンの容量が大きくなるが、高濃度オゾンを採用すると原料ガス量を小さくできるので装置を省スペース・高効率化できる。

4. 高濃度オゾンによる反応性向上と臭素酸生成抑制

4.1 高濃度オゾンによる実験条件

高濃度オゾンによる反応性の向上と臭素酸生成抑制効果について、実験によって評価した。実験の被処理水は、工業用

5. む す び

最新のオゾン発生技術として、当社で取り組んでいる短ギャップ化による高濃度・高効率化と細管採用による大容量化(省スペース化)について述べた。この技術を用いることによってオゾンの適用拡大に貢献できると考えている。

また、高濃度オゾンを実験に適用した場合の効果について検討した結果を次にまとめる。

- (1) 同じオゾン注入率ではオゾン濃度が高いほどオゾン吸収効率が高かった。したがって、オゾン濃度が高いほど、オゾンを有効に利用できる。
- (2) オゾン濃度が高いほどオゾン吸収量に対する臭素酸生成量が少なかった。

当社は高濃度・高効率オゾン発生技術の開発を更に進め、これらを中心とした水処理技術によってグローバルな水環境改善に貢献したい。

参 考 文 献

- (1) 倉橋一豪, ほか: 円筒多管式オゾン発生器の省エネルギー・省資源化, 三菱電機技報, **82**, No.11, 707~710 (2008)
- (2) 安永 望, ほか: 高濃度オゾンガス適用によるオゾン水処理特性-臭素酸生成抑制効果の検証-, 平成25年度全国会議(水道研究発表会)講演集, 140~141 (2013)