

高効率・省スペース型オゾン発生装置

尾台佳明* 江崎徳光***
 和田 昇** 竹田智昭***
 中谷 元*

High Efficiency Space-saving Ozone Generator

Yoshiaki Odai, Noboru Wada, Hajime Nakatani, Norimitsu Esaki, Tomoaki Takeda

要 旨

オゾンは自然界ではフッ素に次ぐ強い酸化力を持ち、反応後は酸素に戻るため環境に優しい酸化剤として期待され、水処理、脱臭、脱色、殺菌等をはじめとし、広い分野で利用されている。三菱電機は1968年のオゾン発生装置の販売開始以来、これまで1,700台以上の装置を納入しており、国内上下水向けでトップシェアを維持している。

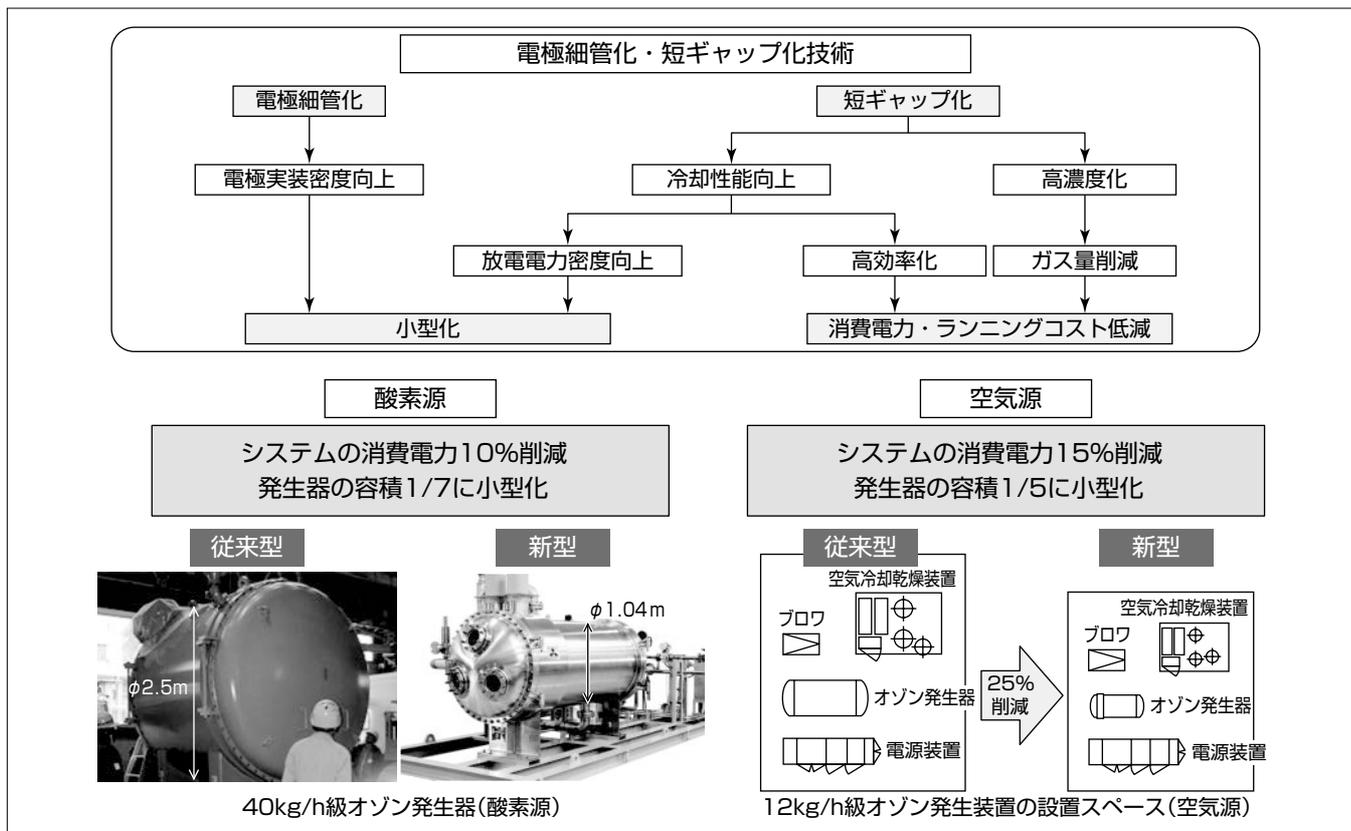
近年の当社オゾン発生装置の開発は電極の細管化と短ギャップ化に特徴づけられる。細管化は電極の実装密度向上を可能とし、装置の小型化に大きく貢献する。また、短ギャップ化は冷却性能の向上につながるため、高効率化すなわちランニングコストの低減に寄与する。

海外水処理分野を中心に広く用いられている、酸素を原

料とするオゾン発生装置において、細管・短ギャップ化の開発によって当社従来比で消費電力10%削減と発生器の容積1/7への小型化を実現し、北米・中国の浄水場、下水処理場に多数納入している。また、短ギャップ化によって高濃度オゾン(180g/m³(N))を高効率で安定的に発生できるようになり、上下水道用に比べて数十倍のオゾンを必要とする紙パルプ漂白用として大規模オゾン発生装置(総発生量400kg/h)が採用された。

一方、国内水処理で広く用いられている空気を原料とするオゾン発生装置についても、細管化及び短ギャップ化の開発を完了した。オゾン濃度の最適化によってシステムの消費電力を15%削減し、発生器の容積を1/5に小型化した。

特集
I



オゾン発生装置の細管化、短ギャップ化技術

オゾン発生装置の細管化、短ギャップ化が、小型化及び消費電力削減につながる過程を示した。写真は、発生量40kg/h級の酸素源オゾン発生器の新旧比較である。電極の細管化と短ギャップ化による放電電力密度向上によって、従来比で直径1/2.4、長さ4/5、容積1/7に小型化を実現した。設置面積でも2/3に小型化、消費電力も10%削減されている。

一方、空気源では設置スペースの削減例を示した。オゾン発生器の小型化のほか、高濃度化による原料空気量低減によって空気冷却乾燥装置も小型化できるので、システム全体で25%の削減が可能となる(当社従来比)。

1. ま え が き

オゾンは3つの酸素原子が結合した分子であり、オゾン(O₃)という状態で長い間存在できず、酸素原子1個を放出して酸素(O₂)に戻ろうとする性質がある。この放出された酸素原子は非常に活性が高いため、オゾンは自然界ではフッ素に次ぐ強い酸化力を持ち常温で各種有機物を瞬時に酸化分解する。脱臭、脱色に効力を発揮するとともに、病原性微生物・ウイルスなどの殺菌効果もある。また、塩素を用いた酸化剤は使用後も塩素が残留するため環境に悪影響を及ぼすのに対して、オゾンの場合は使用後にオゾンが酸素に戻るため二次汚染を引き起こさないという特長がある。

オゾンの利用分野を図1に示す。オゾンは、その強力な酸化力、殺菌力、脱色力、脱臭力を生かして、様々な分野で利用されており、今後も発展が期待されている。

当社は1968年のオゾン発生装置の販売開始以来、これまで1,700台以上の装置を納入しており、国内上下水向けでトップシェアを維持している。

本稿では、当社の特長である細管化、短ギャップ化技術を中心に最近の技術開発の成果について述べる。

2. オゾン発生とオゾンの原料

2.1 オゾン発生原理

オゾン発生にはいくつかの方式があるが、工業用のオゾン発生器では一般的に無声放電方式が用いられている。これは、図2に示すように、ガラスなどの絶縁物を挿入した電極間に交流高電圧を印加し、空間的に均一な放電を得る方式である。この放電空間に原料である酸素または空気を供給することによってオゾンが生成される。

オゾン発生器の電極基本構造を図3に示す。片端が封止されたガラス管の内側に高压電極となる金属導電膜が形成されている。ガラス管は、接地電極となる金属管の中に均一なギャップを維持した状態で挿入されている。接地電極の外側は冷却水が流れ、放電による発熱を冷却している。オゾン発生器は、図4に示すように、タンク内に電極が複

数本収納された構造をしており、大容量機(発生量約40kg/h超)の場合は電極本数は1,000本以上となる。

2.2 酸素原料と空気原料

オゾンの原料としては酸素源と空気源がある。酸素源オゾン発生装置の構成を図5に示す。海外の水処理を中心に幅広い分野で利用されている。酸素供給源として、海外では液体酸素が、国内では空気中から酸素を取り出す酸素発生装置が使われることが多い。

一方、主として国内の高度浄水処理やし尿・下水処理に用いられている空気源のオゾン発生装置の構成を図6に示す。この装置では、オゾン発生器の中で、空気中の酸素からオゾンが生成される。室内空気の圧送には、圧力や流量に応じて空気圧縮機またはブロワが用いられる。オゾン発生に使われる空気は超低露点(-60℃以下)の乾燥空気である必要があるため、空気冷却装置と空気乾燥機が用いられる。

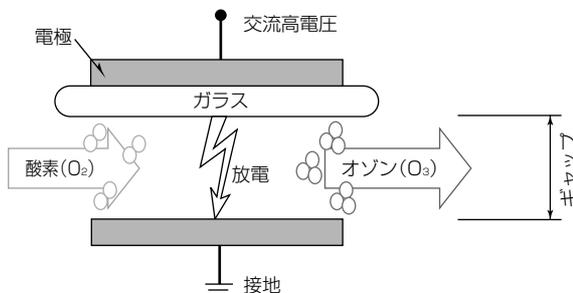


図2. オゾン発生原理

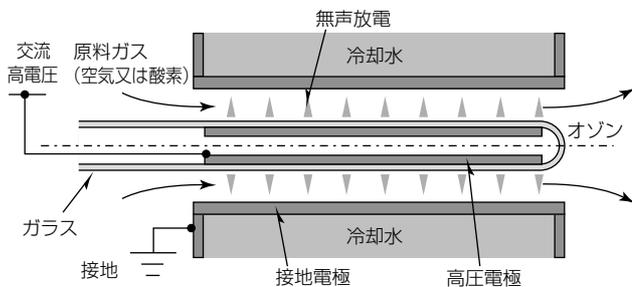


図3. オゾン発生器の電極基本構造

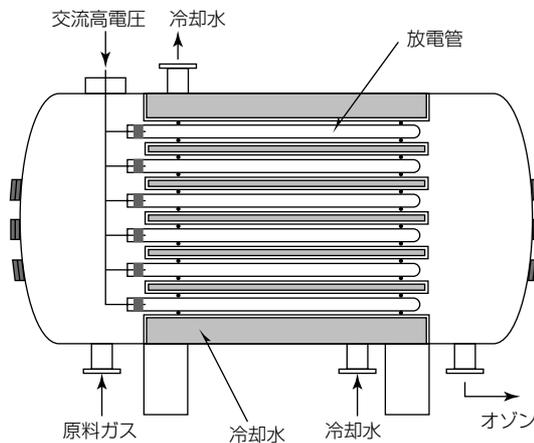


図4. オゾン発生器の構造

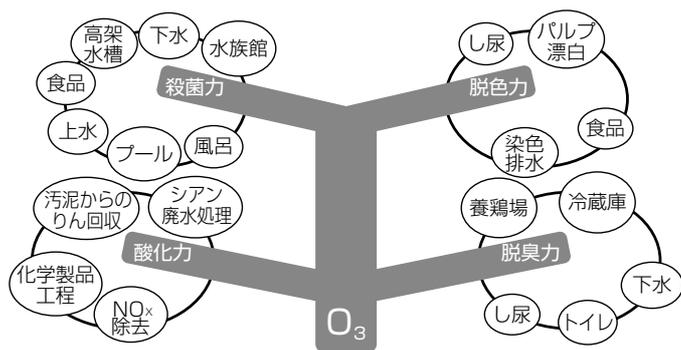


図1. オゾンの利用分野

3. 酸素源オゾン発生装置

3.1 当社の酸素源オゾン発生装置の技術的特長

3.1.1 電極細管化

電極細管化によるオゾン発生装置小型化の原理を図7に示す。電極の直径を当社従来比で約1/4に小型化した。電極長さはほぼ同じであるため、電極表面積が約1/4となり、電極1本あたりのオゾン発生量は約1/4に減少する。しかし、電極の断面積は約1/16となるため、同じタンク径の場合は電極実装本数が約16倍となる。よって、 $1/4 \times 16 = 4$ より、同一タンク径の場合は、オゾン発生量が約4倍になり、同一発生量の場合は、タンク断面積が1/4(タンク径が1/2)に小型化が可能である。

3.1.2 短ギャップ化

オゾン発生器の進歩の歴史は短ギャップ化の歴史と言っても過言ではなく、常に当社が業界をリードしてきた⁽¹⁾⁽²⁾。オゾンは高温で熱分解しやすい性質があるため、短ギャップ化により冷却性能を向上させることによってオゾン発生効率を高めることが可能となる。また、冷却性能の向上によって、放電電力密度を上げることが可能となり小型化にも寄与する。

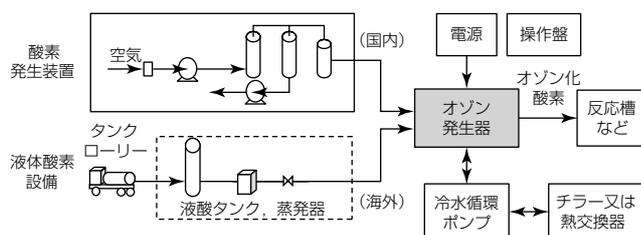


図5. 酸素源オゾン発生装置の構成

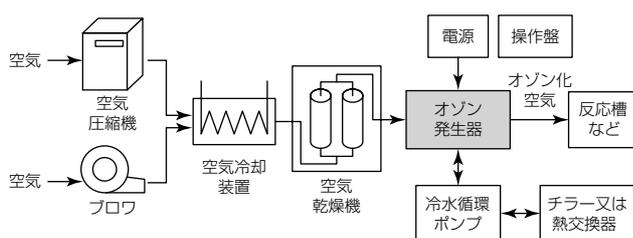


図6. 空気源オゾン発生装置の構成

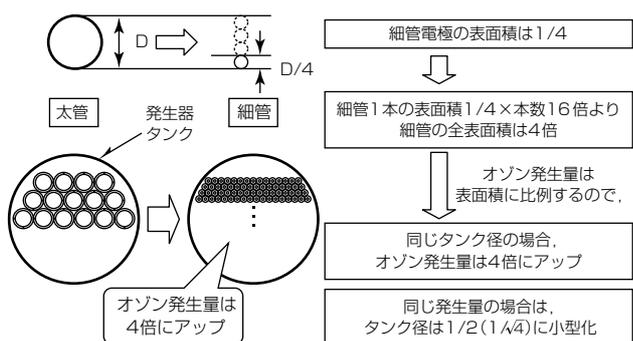


図7. 電極細管化による小型化

短ギャップ化のもう1つの重要な効果が高濃度化である。長年の研究によって、高濃度化を妨げるオゾンの分解は低エネルギー電子が支配的であることがわかってきた。電子のエネルギー分布は放電空間の電界強度と相関がある。電界強度を上げると電子エネルギー分布は高い方に移行し、オゾンの分解を生じる低エネルギー電子が減少し(図8)、高濃度オゾンを効率よく発生できる。ここで、電界強度を上げるのにもっとも有効な方法がギャップを狭くすることである⁽³⁾⁽⁴⁾。

当社では、高精度の電極製造技術、高精度ギャップ保持技術等を開発することによって、従来比1/5以下の短ギャップ化を実現した。その結果、相対的にオゾンを分解する電子が減少、オゾンを生成する電子が増加し、オゾン発生の高濃度化と高濃度領域での高効率化が実現でき(図9)、製品で業界最高レベルの240g/m³(N)を達成した。

3.2 小型化と消費電力の削減

図10に発生量40kg/h級の酸素源オゾン発生器の新旧比較を示す。電極の細管化と短ギャップ化による放電電力密度向上によって、従来比で直径1/2.4, 長さ4/5, 容積1/7への小型化を実現した。設置面積でも2/3に小型化, 消費電力も10%削減されている(当社従来比)。

3.3 納入事例

現在の細管短ギャップ仕様の機種は2007年から市場投入しており、国内のほか北米, 中国にも多数の納入実績がある。

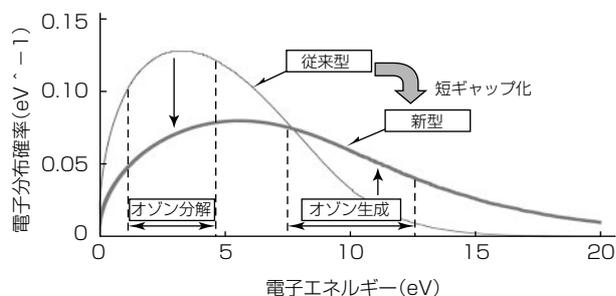


図8. 短ギャップ化による電子エネルギー分布

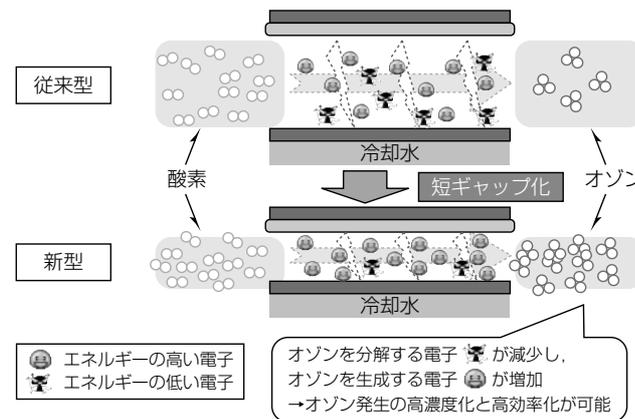


図9. 短ギャップ化による高濃度化

	従来型	新型
写真		
設置スペース	100%	約 35%
容積	100%	約 13%
消費電力	100%	約 90%

図10. 40kg/h級酸素源オゾン発生器の新旧比較

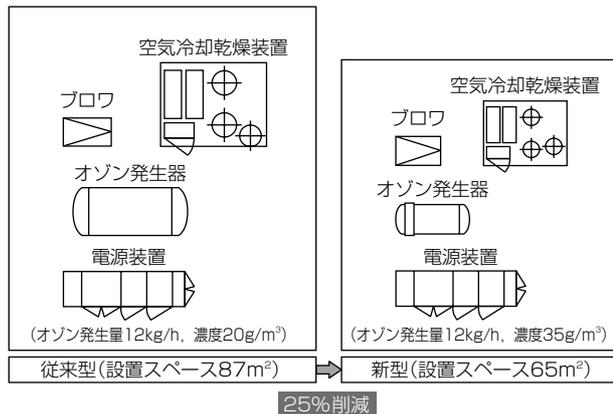


図11. 空気源オゾン発生装置の設置スペース比較

特に、短ギャップ化によって高濃度オゾン(180g/m³(N))を高効率に安定的に発生できるようになり、紙パルプ漂白用として総発生量400kg/hの大規模オゾン発生装置が採用された。

4. 空気源オゾン発生装置

4.1 電極細管化と短ギャップ化

3.1節で述べた細管、短ギャップ化技術を空気源にも適用した。空気源は酸素源と比較して原料ガスに多量の窒素を含むことから、電子エネルギー分布が異なるとともに放電に伴い生成される窒素酸化物の影響もあり、オゾン発生特性が酸素源とは大きく異なる。このため、放電ギャップ長、ガス圧力、放電電力密度、オゾン濃度等のパラメータの最適化や電極寿命評価を行った。その結果、空気源オゾン発生装置でも細管電極の採用が可能となるとともに、短ギャップ化による高濃度化が可能となった。

4.2 オゾン発生器及びシステムの小型化

酸素源と同様空気源でも、電極細管化による実装密度の向上及び放電電力密度向上によって、発生器容積を当社従来比1/5に小型化できた。また、高濃度化によって原料空気量を低減でき、空気冷却乾燥装置も小型化できるので、設置スペースを削減できる。メンテナンスも考慮した機器配置の一例を示したのが図11である。対象システムとして、比較的大規模な国内浄水場を想定し、ブロウ及び加熱再生式の空気乾燥機を採用し、オゾン発生量は12kg/hとした。設置スペースとして25%の削減が可能となる。

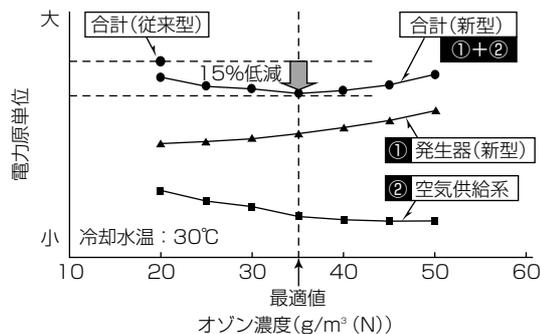


図12. オゾン濃度に対する電力原単位
(電力原単位：1kgのオゾンを生産させるのに必要な電力量)

4.3 消費電力の削減

一般的にオゾン発生器単体の消費電力はオゾン濃度の向上とともに増大する。一方、同じオゾン発生量を得る場合、オゾン濃度の増加に伴い原料空気量が減少するため、空気供給系(ブロウ及び空気冷却乾燥装置)の消費電力は低下する⁽⁵⁾。すなわち、オゾン発生器の消費電力と空気供給系の消費電力とはトレードオフの関係にあるので、システムの消費電力を最小にするためにオゾン濃度を最適化することが重要である。

4.2節と同様の対象システム(12kg/h)について、オゾン濃度に対する単位発生量あたりの消費電力(電力原単位)を示したのが図12である。放電ギャップ長、運転ガス圧力、オゾン濃度等を最適化することによって、システムの消費電力を当社従来比で15%低減することが可能となる。また、最適濃度は35g/m³(N)である。

5. むすび

当社の特長である細管化、短ギャップ化技術を中心に最近の技術開発成果について述べた。環境に関する関心が世界的に高まる中で、オゾン発生装置についても消費電力の低減や小型化は今後も引き続き進めていく必要がある。また、オゾンの特長を生かせる利用分野はまだまだ広がると考えられるため、用途開発にも注力したい。今後も鋭意研究開発を進めることによって、水処理分野さらには広く環境問題に対して、微力ながら貢献できるよう努力する所存である。

参考文献

- (1) 特許第3545257号
- (2) 特許第3592700号
- (3) 和田 昇, ほか: 円筒多管式短ギャップ高濃度オゾン発生器, 三菱電機技報, **81**, No.6, 429~432 (2007)
- (4) 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)
- (5) 北山二郎, ほか: 円筒多管式オゾン発生器の性能進捗, 三菱電機技報, **73**, No.4, 429~432 (1999)