

下水高度処理におけるオゾン発生装置制御システムの開発

Power Control System for Ozone Generator in Advance Sewage Treatment

品川 三佐人★、谷岡 隆★★、寺田 充夫★★
M.Shinagawa T.Tanioka M.Terada

★) (株)神戸製鋼所 都市環境事業部 計電装技術室

★★) (株)神戸製鋼所 都市環境事業部 環境エンジニアリングセンター

〒657-0845 神戸市灘区岩屋中町4丁目2-15

概 要

下水道の普及により二次処理水の脱臭、脱色、殺菌等による再生水利用目的またはトリハロメタンなどの有害物質を副生する塩素に代わり、下水、上水の殺菌技術として大規模なオゾン処理と大型オゾン発生装置が今、注目されている。

当社のオゾン発生装置は従来の高圧ヒューズによる異常検出方法を用いず、各放電体別に流れる電流を常に検出する当社独自の方法を考案し、各放電体別の異常を未然に検出/制御する業界初の画期的なヒューズレス高圧電源制御システムを開発して装置に組み込み、放電破壊を未然に防止する技術を確立した。

更に運転中に急激な負荷変動に依る外乱条件が加わった場合でも、投入電力を放電体の負荷状況に応じてフィードバック制御する事により外乱による負荷変動を最小限に抑制し、かつ、応答性と追従性に優れた排オゾン濃度一定制御を実現した。

キーワード：高周波電流検出、放電破壊防止、排オゾン濃度一定制御

1. はじめに

通常、オゾン発生装置の放電体を駆動する高圧電源部は高圧電源と高圧トランス1台で数10~100台の放電体を同時に駆動する方式を用い、放電体に投入する電力は高周波であり、高電圧である事から、技術面および製造コスト面から考えて従来技術では各放電体の個別運転状況を監視する事が非常に難しいとされ、放電体の定格仕様に合わせて高圧ヒューズを各々の放電体別に組み込み、放電破壊時にはヒューズを溶断させて不良の放電体を負荷側から切り離し、電源装置の保護を行う方法を採用している。

しかし、高圧ヒューズを用いる方法では放電破壊した後の放電体を高圧ヒューズによって強制的に切り離し装置を非常停止させる必要があり、数10台の放電体を一度に駆動する場合、放電エネルギーのバラツキによって放電破壊時でもヒューズが溶断しない場合がある等の問題点が生じている。

当社は、上記の問題点を解決する為に各放電体別の異常を未然に検出/制御する電源制御システムの開発を行い、同時にオゾンガスの高濃度化、装置の省メンテナンス、省エネルギー化、省スペース化を目的として複合放電式高濃度オゾン発生装置を実用化したので報告する。

2. 装置の特徴および機能説明

装置は大きく分けてオゾン生成するオゾン発生機（放電部、高周波電源）、原料ガス供給装置（コンプレッサー及び酸素発生機）、冷却機器のチラーとポンプの3つに大別される。

写真1に代表的なオゾン発生装置制御盤の外形写真を示す。

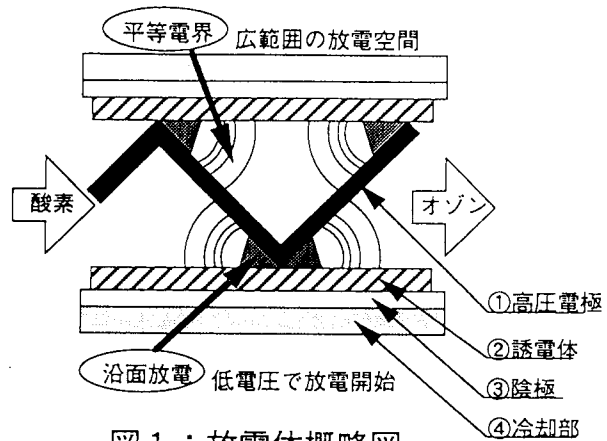
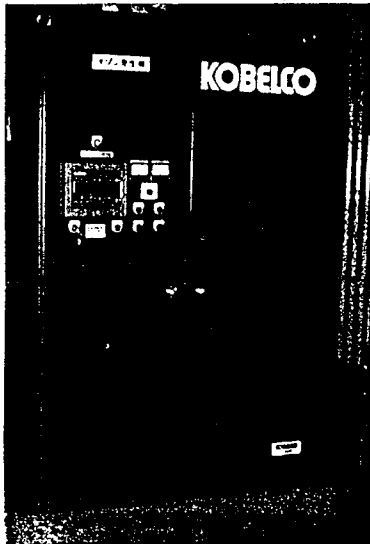


図1：放電体概略図

写真1：オゾン発生装置制御盤

放電体

当社の放電体は平行平板型であり、その概略図を図1に示す。放電体は高圧電極、セラミックス誘電体、陰極、冷却部から構成される。高圧を印可する高圧電極を2枚の誘電体ではさみ、その外側にアースとなる陰極を形成した積層構造からなる。高圧電極と陰極間に約5kV、5kHz程度の高周波電圧を印可し、誘電体の全面に放電を発生させ、原料ガスが放電空間を通過する過程に酸素分子が放電のエネルギーによってオゾン生成する。また放電によって電極が発熱するため両側の陰極を水冷する構造としている。

原料ガス供給装置

オゾン発生装置は、使用する原料ガスによって空気原料式と酸素原料式の2種類に分類される。

当社は高濃度、省メンテナンス化を図るため酸素原料方式を採用している。

空気式の場合は放電によって窒素酸化物が発生して放電体に堆積するため、一般的には年1回程度の定期的な放電体の洗浄、交換などのメンテナンスが必要となる。

一方、当社が採用している酸素原料式の場合は、空気から窒素を吸着除去して90%以上の高濃度酸素を取り出す圧カスイング式酸素発生装置を用いているので、窒素酸化物の堆積がなく放電体のメンテナンスが不要で更に、生成されるオゾンの濃度が空気式の20g/Nm³と比べて120g/Nm³以上と非常に高い。

その為、高効率、省メンテナンス、維持管理が容易である。

放電体の冷却装置

放電体のオゾン発生効率を高めるため、陰極側電極の外側両面を冷却装置で水冷している。冷却水は、空冷チラー方式あるいは二次冷却水による熱交換器方式のいずれかにより閉ループで循環使用している。

3. オゾン発生装置の制御システム

従来技術の高圧ヒューズを用いる方法では以下の問題点が生じると考えられる。

高圧ヒューズ方式の問題点

- 1) 数10台の放電体を一度に駆動する場合、放電エネルギーのバラツキによって放電破壊時でもヒューズが溶断しない場合がある。(高圧ヒューズの誤動作)
- 2) 放電破壊の不良時に仮にヒューズが溶断しても何処の放電体が何台、放電破壊したか判定出来ない為、異常時の適切な制御処理が出来ない。
- 3) 運転中に放電破壊の異常が発生した場合、高圧電源異常となる為、装置を非常停止させる必要がある。
- 4) 運転中に複数個の放電体が同時または順次に地絡故障(放電破壊)が発生した場合、異常発生前の投入電力を継続させる様に電源側が動作する為にヒューズで不良の物を切り離した後に残りの正常な放電体に対してオーバーロードの電力を投入し、正常な放電体も次々に不良(放電破壊)に陥る危険性が生じる。
- 5) 高圧ヒューズを用いた保護の場合、不良になった放電体別にヒューズを交換する必要がある。

当社の制御システム

当社の制御システムは高圧ヒューズによる異常検出方法を用いず、放電体別に流れる電流を常に検出する独自の方法を考案/特許化し、放電破壊を未然に防止する下記の制御システムを確立させた。

当社のオゾン発生装置の制御方法で特筆すべき点を以下に記載する。

また、オゾン発生装置システムフローを図2に、オゾン濃度フィードバック制御を図3にを示し排オゾン濃度制御を図4に示す。

1) 投入電力フィードバック制御により安全かつ最適な自動運転実現。

運転中に急激な負荷変動に依る外乱条件が生じた場合でも個々の放電体を放電破壊させる事無く常に最適な投入電力および電流のフィードバック制御が可能となりオゾン濃度変動を最小限にする応答性と追従性に優れた画期的なオゾン濃度/生成量等の一定制御を実現できる。

2) 放電電流監視によるオゾナイザー絶縁破壊防止(ヒューズレス自動制御)

放電体側に印可する高周波/高電圧を安全かつ、確実に制御するために各々の放電体に流れる電流を常に検出する独自の制御方法を基板化して採用した。(特許出願中) この高周波電流検出基板により正常運転中に外圧等の負荷の変動により、複数個の放電体に対して過電流が流れた場合でも即座に正常な電流値以下になる迄、投入電力を瞬時に低下させて放電破壊を未然に防止する事ができる。

投入電力を低下させても過電流を回避できない不良の放電体が存在する場合は、直ちに正常放電体の全接続数に対してオーバーロードさせない投入電力まで即時下げると同時に、不良放電体に接続されている高圧リレーの接点を電氣的に遮断して不良の物を切り離し、装置を非常停止させずにそのまま連続運転を継続させる事ができる技術を確立させた。

また、個別の放電体別に高圧リレー接点を設けている為に高圧ヒューズのように1回だけの保護では無く、半永久的に繰り返し、不良放電体の切り離しが自動的に行える。

3) 複合放電体と高効率電源との組み合わせにより省電力を実現。

高周波、大電流のスイッチングが可能なIGBT素子を用いた高効率高周波インバータを製品化した。

4) タッチパネルを標準装備し運転操作や監視が簡単に行える。

タッチパネル画面からの簡単な操作で運転条件の変更や日常の運転状況の監視が容易に行え、オゾン濃度一定制御運転を最適条件で24時間連続して安全に運用できる制御システムを標準装備している。

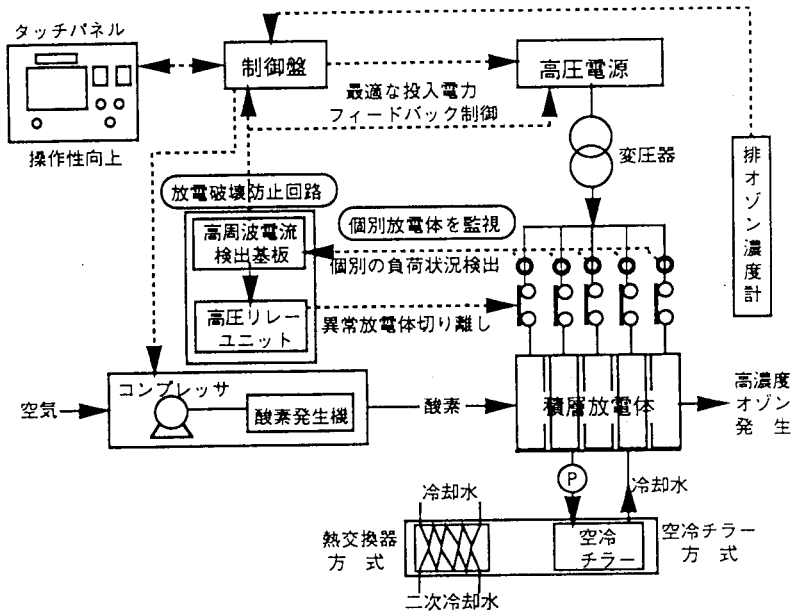


図2：オゾン発生装置システムフロー

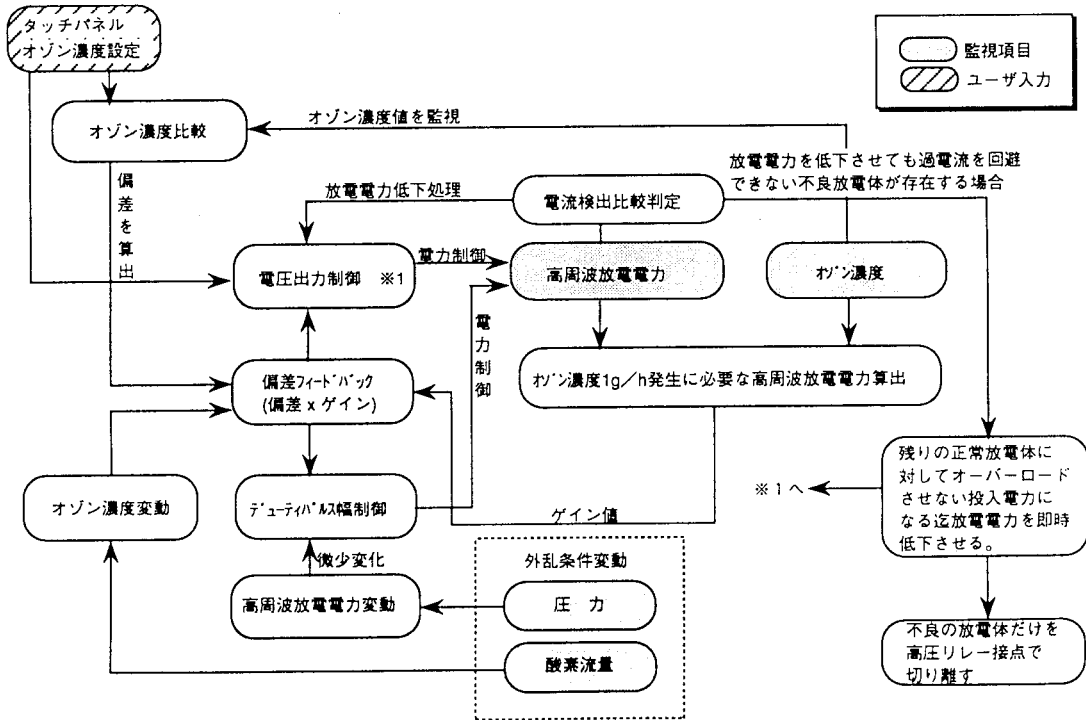


図3：オゾン濃度フィードバック制御

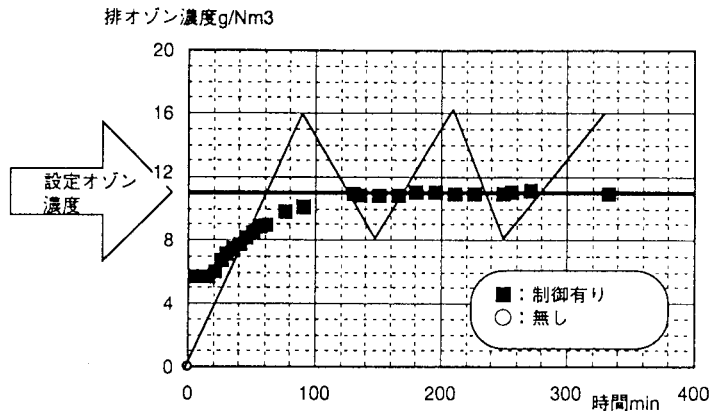


図4：排オゾン濃度制御

4. オゾン発生装置の運転仕様

表1に当社の代表的なオゾン発生装置の運転仕様を示す。

定格オゾン濃度は下水処理等でよく使用される120g/Nm3としている。オゾン発生の消費電力は、発生量1kg/hクラスで約8kWh/kg(1kg/hのオゾンを生成する為に必要な電力量)である。標準仕様としては、オゾンガス濃度120g/Nm3でオゾン発生量100g/h~30kg/hをシリーズ化している。

表1：オゾン発生装置の運転仕様

放電方式	平板型複合放電式（無声放電式）
原料ガス	90%酸素
オゾン濃度	120g/Nm3
オゾン圧力	1kgf/cm2
電力効率	8kWh/kg
冷却方式	水冷式

5. オゾンの下水高度処理利用例とその効用

オゾンの代表的な利用例として、下水処理水の再利用や放流水質の向上が上げられる。図4に下水処理場における砂ろ過水の処理水をオゾン処理した場合の時間と色度（水の濁り具合を示す値で小さい方が透明）の実例を示す。下水分野では、ほかに修景用水（せせらぎ、噴水等）、中水道、道路、樹木への散水等の再生水処理、下水放流水の高度化（CODの低減、脱色、脱臭、殺菌）汚泥の減容化処理、脱臭がある。

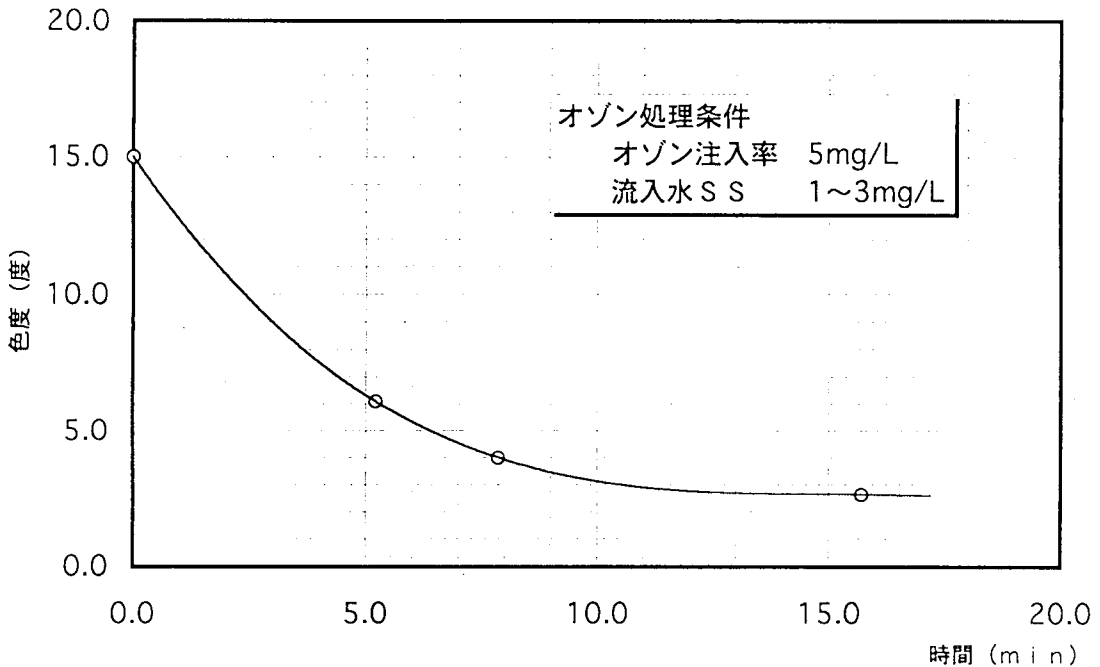


図5：下水処理場におけるオゾンの効果

6. おわりに

近年、下水は大都市での安定した水源と位置付けられ、高度処理による中水道、修景用水などの有効再利用などが進められている一方、下水放流水が水域汚濁源の一つとなっており、良好な水資源の確保に対し高レベルの下水処理が求められている。当社では、オゾン生成量 $100\text{g/h} \sim 30\text{kg/h}$ をシリーズ化し、各用途に応じてオゾンの適用を安全且つ、効率良く最大限に引き出せる様に当社の単体ハード製造技術、総合エンジニアリング技術、最先端研究開発技術を結集してオゾン処理システムの開発を継続して進めている。本装置は多くの特徴と高機能とを兼ね備えた次世代型オゾン発生装置として21世紀の環境事業に幅広く貢献できるものと確信する。

参考文献

- 1) 品川、寺田、谷岡：複合放電式高濃度オゾン発生装置：新製品・新技術：神戸製鋼技報,47-3,1997年
- 2) 品川、寺田：高濃度オゾン発生装置：(社)日本産業機械工業会誌「産業機械」1998年7月号
- 3) 神戸製鋼所：複合放電式高濃度オゾン発生装置：'98最新下水道技術百選：月刊下水道20-15,1998年