

オゾン水生成システムの設計・製作

—開発課題の取り組み報告—

沖縄ポリテクカレッジ 応用課程
(沖縄職業能力開発大学校)

仲宗根喜長・比嘉孝満
山崎國廣・石川 功

1. はじめに

開発課題は、応用課程2年次において54単位で展開する課題製作実習で、ものづくり課題学習の最終段階である。標準課題と違い、提示されたテーマから企画開発、設計、製作、制御、組立、調整、検査、評価までの一連の製品開発行程をグループ学習により習得する。当校の開発課題は、そのほとんどが企業ニーズによる課題を取り組んでいて、今回そのなかで「オゾン水生成システムの設計・製作」についての内容と成果を報告する。

2. テーマ設定の経緯

オゾンガス(O₃)は塩素の6倍という自然界ではフッ素に次ぐ強力な酸化作用がある。その酸化力を殺菌、脱臭、漂白に利用できるため近年注目されていて、殺菌作用を利用した装置の開発が望まれている。

本課題では、地元企業（以下O社と呼ぶ）の依頼を受け、ホテル、レストラン等業務向けのオゾン水生成システムの設計・製作を目指した。設計・製作のポイントは、O社既存システムをベースとし、主としてオゾンガス発生装置（オゾナイザ）の改良、システムの小型化、コストダウン、安全性の向上に取り組んだ。また、制御方式として、既存の有接点方式に替え、マイコン（PIC）、CPLD、PLCの3種類で製作し、いずれの方式がより適しているかを検証した。また、課題をO社に納品する製品と位置づ

け、納期・完成度の高さ等を意識させて取り組みを行わせた。

3. 仕様

O社との数回のミーティングにより要望に沿った基本仕様を決定し、設計・製作に当たった。実際に完成した装置の仕様を表1に示す。

表1 基本仕様

本体外形寸法	400×495×450 mm
オゾン水濃度範囲	0.5~2.0mg/L (ppm)
オゾンガス生成方式	無声放電方式
オゾン水生成量	12 L/min
オゾン水混合方式	スタティックミキサー エジェクター
オゾナイザ冷却方式	空冷方式
供給ガス	酸素 (99.95%)
本体質量	約40kg
電源電圧	AC100V
オゾナイザ供給電圧	AC9000V 10KHz
消費電流	約2A
制御方式	PIC or CPLD or PLCを用いたストアードプログラム方式

4. 機構部

4.1 オゾナイザの設計

オゾナイザとは、オゾンガス(O₃)を発生させる

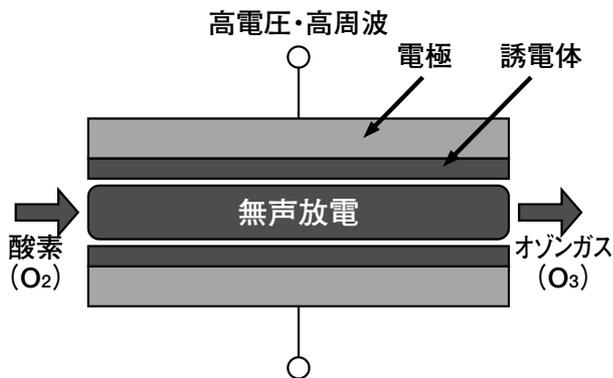


図1 オゾナイザの概要

装置で、その発生法には光化学反応法・放射線照射法・電解法・放電法がある。本課題では、一般的に採用されている放電法で設計した。放電法とは、図1に示すとおり、電極の表面に誘電体（ガラス・セラミック・マイカ等）を配置し、電極間に高圧・高周波の電源を印加すると、無声放電が発生する。この放電内に酸素を供給すると、高エネルギー電子と酸素分子との衝突等によりオゾンガスが発生するメカニズムである。

〇社既存システムでは、誘電体としてガラス管を使用していたが、長時間使用すると破損する恐れがあるため、ガラス管以外の誘電体を用いた設計が必要となった。本設計では、純アルミニウムを電極とし、誘電体としてセラミックのコーティングを電極表面に施した設計とした。誘電体をセラミックにしたのは、ガラスを上回る耐久性（耐熱性）、誘電率の特性、基礎実験の結果から選定した。セラミックコーティング（ホーロー膜）は、実際に大型オゾナイザの誘電体としても使用されている。

電極を加工するに当たっては、局所的な放電（アーク放電）の発生を防止する対策として、電極の放電面のエッジはすべてR面取りを施し、コーティング膜が均等になるよう配慮した。

電極間のギャップ（隙間）は実験結果から、1mm以下が適切であり、ギャップの確保には耐オゾン性の性質を持つフッ素樹脂を加工し、電極間に挟み込むことで調整した。また、電極間からオゾンガス漏れが無いよう、電極とフッ素樹脂との間に〇リ

ングを埋め込んで密閉度を確保した。

4.2 機構部構成

本装置の機構部システム構成および機構部外観を図2、3に示す。

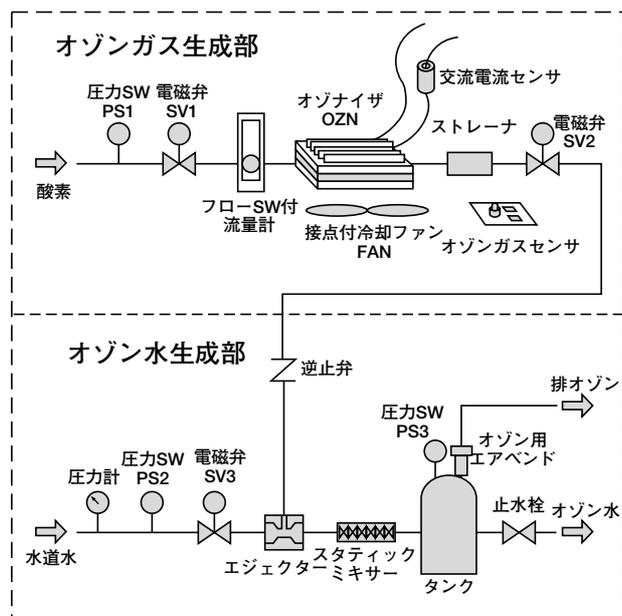


図2 機構部システム構成

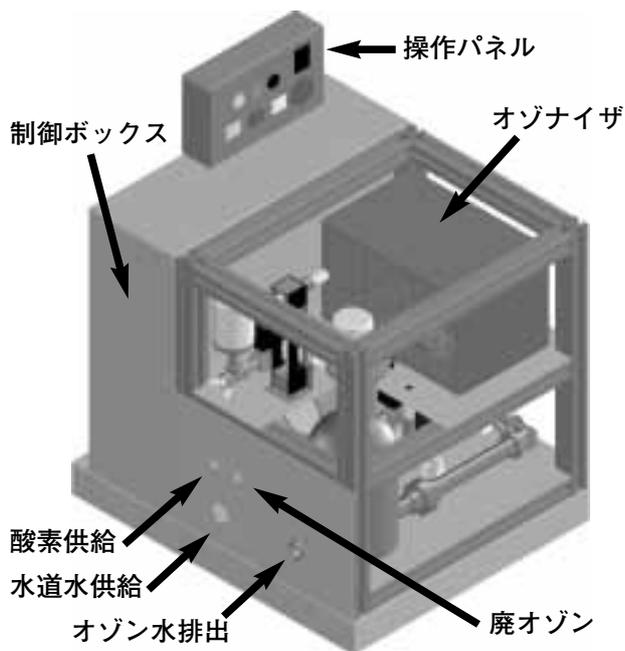


図3 機構部外観

構成としては、オゾンガス生成部と、オゾン水生成部に分けられる。

オゾンガス生成部は、酸素をオゾナイザに供給することによってオゾンガスを生成し、オゾン水生成部に送る。オゾン水生成部では、水道から供給され



図4 製作したオゾン水生成システム

表2 各 부품の役割

区分	部品名	役割
オゾンガス生成部	圧力SW (PS1)	酸素供給確認
	電磁弁 (SV1, 2)	流路の開閉
	フローSW付流量計	流量調整, 流量確認による各装置の故障検出
	オゾナイザ	オゾンガス生成
	ストレーナ	粉塵の除去
	冷却ファン	オゾナイザ, 電源装置の冷却
	オゾンガスセンサ	オゾンガス漏れ検出
	交流電流センサ	オゾナイザの異常検出
オゾン水生成部	圧力計	水道水圧力確認
	圧力SW (PS2)	水道水供給 (断水) 確認
	電磁弁 (SV3)	流路の開閉
	エジェクター	水とオゾンガスの混合
	スタティックミキサー	水とオゾンガスの混合
	タンク	オゾン水貯水
	圧力SW (PS3)	タンク満水確認
	オゾン用エアバンド	廃オゾンガスの排出
	止水栓	開閉によりオゾン水使用

た水を、エジェクターおよびスタティックミキサーにてオゾンガスと混合し、オゾン水とする。オゾン水はタンクに溜められ、ユーザは止水栓の開閉によりオゾン水を使用する。混合できなかったオゾンガスは、タンク上部より配管を通して排出する。各 부품の役割は表2に示すとおりである。

各 부품の配置は安全性を考慮し、図3, 4に示すとおり水と電気とを離して配置するように設計した。上段がオゾンガス生成部, 下段がオゾン水生成部となっている。制御ボックスは防水型を選定し、システムの側面に取り付けた。操作パネルは、別ボックスで制御ボックスとコネクタにて接続し、ユーザが使用しやすい場所に設置が可能な設計とした。

4.3 基礎実験

前述したオゾナイザおよび機構部構成を設計するに当たり、以下のような基礎実験を行い設計の妥当性を確かめた。

① 誘電体および電極

数種類の材質の誘電体および電極を用いて放電状態のチェックを行った。その結果、誘電体をセラミック、電極を純アルミとした。

② 放電ギャップ・放電面積・酸素流量の濃度特性

放電ギャップ, 放電面積, 酸素流量を調整し、最も高い濃度がどの値になるかを実験した。その結果をもとに、オゾナイザの形状を設計した。

③ 混合方式

既存システムのポンプによる混合方式に替わる方式として、スタティックミキサーおよびエジェクターを組み合わせた仕様を選定し実験を行った。その結果、ポンプによる混合より多少劣るが、基本仕様のオゾン水濃度 (0.5~2.0mg/L) を超えることを確認した。図5に両者の性能実験の結果を示す。

④ 冷却ファンの有無による濃度特性

オゾナイザの冷却の有無によるオゾンガス濃度の比較実験を行った結果、冷却が必要であることを確認した。

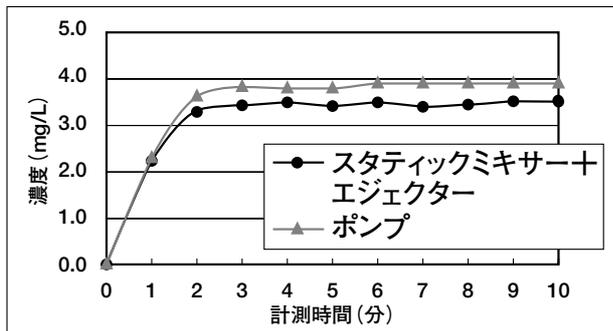


図5 混合方式による濃度の比較

⑤ 水道水圧力変化による濃度特性

オゾン水濃度は、水道水圧力の変化による影響は少なく、流量に関係することを確認した。その結果、既存システムに用いていた減圧弁は、水道水供給圧が高い場合必要とし、外部オプションとした。

5. 制御部

制御部はPIC, CPLD, PLCの3種類のコントローラを用いておのおの製作し、コスト面、生産の容易さ等を比較し、どのコントローラが適しているかを検証した。

制御部構成は図6に示すとおりで、主な制御フローは以下のとおりである。

- ① 本装置の電源をON。
- ② 酸素 (0.35Mpa), 水道水 (0.1Mpa) の供給が設定値以下であれば警告表示。
- ③ 起動ボタンを押すと電磁弁 (SV1, SV2, SV3) が開き、2秒後にオゾナイザが起動し、オゾン水を生成。
- ④ 起動後タンク内オゾン水が満水になり圧力SW (PS3) がONになると、オゾナイザが停止する。タンク内水量が減少し、圧力SWがOFFになると再びオゾナイザが起動する。
- ⑤ 起動中は、装置に設置された各センサにより監視を行い、異常があれば警告表示およびブザーにより知らせる。

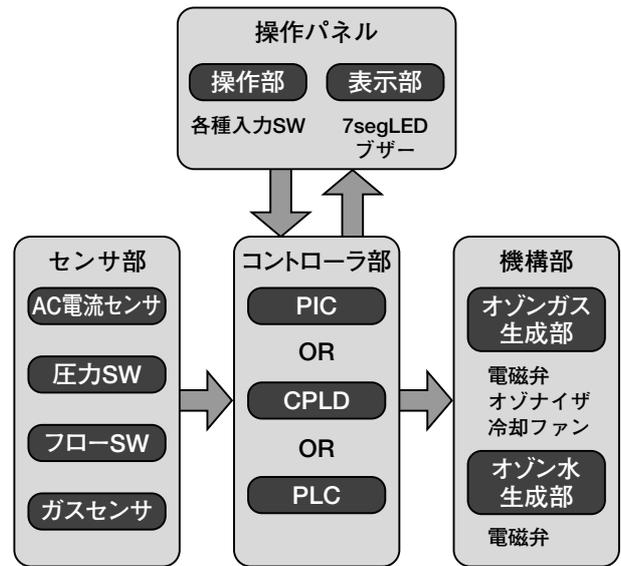


図6 制御部構成

6. 既存システムとの比較

前述した本装置設計の目標であるオゾンガス発生装置 (オゾナイザ) の改良、システムの小型化、コストダウン、安全性の向上についてO社既存システムとの比較を以下に述べる。

6.1 オゾナイザの性能比較

酸素流量を一定 (1L/min) とし、既存オゾナイザと考案オゾナイザの濃度測定実験を行った結果を図7に示す。結果から考案オゾナイザが既存オゾナイザよりも高濃度であることを確認した。

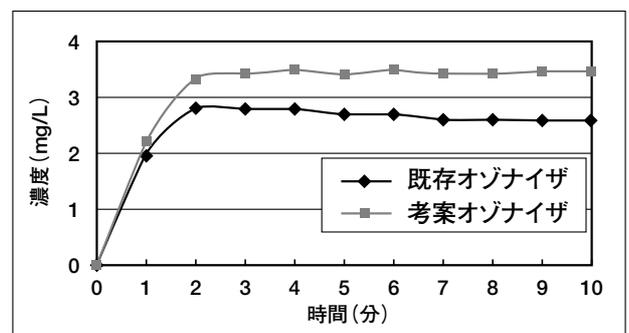


図7 オゾナイザの性能比較

6.2 安全性の向上

システムの安全性を向上させるため、オゾナイザの誘電体の変更や各部に安全対策用のセンサ等を設置した。表3に既存システムからの変更事項、追加事項を示す。

表3 システムの安全対策

非常項目	対策
オゾナイザの安全対策	①誘電体は既存のガラス管からセラミックコーティングに変更 ②過電流対策として、既存のヒューズから交流電流センサに変更
電磁弁(SV1,2)の故障確認	フローSW(FS)の追加
断水時は停止させる	圧力SW(PS2), 電磁弁(SV3)の追加
オゾンガス漏れ	オゾンガスセンサの追加
冷却ファン異常	検出SW内蔵に変更

以上の事項より本装置の安全性は、既存システムより大きく向上したと思われる。また、表示部では7segLEDを追加し、異常をエラーコードで表示できる仕様にした。このため異常事項をエラーコードで確認でき、ユーザからの問い合わせに対しても的確な対応が行いやすくなると思われる。

6.3 システムの小型化

既存システムの外形寸法は、制御ボックス、タンクを除いた本体のみでW450×D450×H465となっている。それに対し本装置は、制御ボックス、タンクも含めた寸法でW410×D410×H400で、全体として約1/2サイズとなりシステムの小型化が図れた。

その要因として、以下の事項があげられる。

- ① 混合方式の変更 (ポンプの除去)
- ② 制御方式の変更 (ストアードプログラム方式への変更)

③ タンクの小型化

6.4 コストダウン

図8は既存システムを100%として、3種類のコントローラをおのおの用いた場合のコスト比較をしたものである(ただし、加工費および人件費等は含まない)。

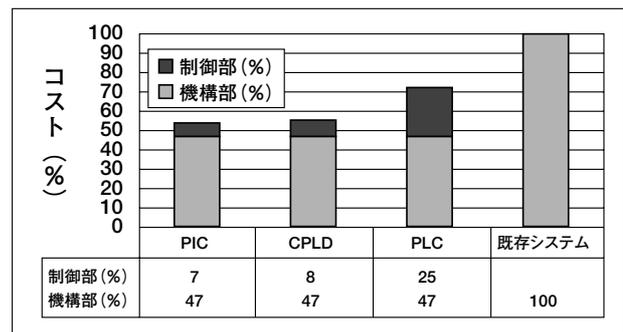


図8 既存システムとのコスト比較

混合方式をポンプからスタティックミキサーとエジェクターの組合せに変更したこと、制御方式を有接点方式からストアードプログラム方式に変更したこと等より、既存のシステムよりも約30~45%程度のコストダウンが可能となった。

7. 評価

7.1 コントローラの比較評価

3種類のコントローラの違いによる比較評価を以下に述べる。

<PIC>

PICを用いた制御部のコストは、本装置全体の約7%程度。プログラムはアセンブラ言語を用いて作成。出力端子1ピン当たりの出力電流が最大25mAとなっているため、回路の設計に注意を要する。

<CPLD>

CPLDを用いた制御部のコストは、本装置全体の約8%程度。プログラムはVHDL言語を用いて作成。コストはPICとさほど変わらないが、プログラミングが論理回路の組合せとなるため、PICよりも難易度が高い。出力端子1ピン当たりの出力電流につい

では、PICと同様で注意を要する。

<PLC>

PLCを用いた制御部のコストは、本装置全体の約25%程度。プログラムはラダー図やSFCで作成できるのでデバッグ作業も行いやすい。駆動回路用のリレーも不要となり配線も容易であるが、PLC本体が高価であるところがネックとなる。

以上の結果からコスト面ではPIC、CPLDが良く、生産性ではPLCが良い。大きさに関しては、どの方式でもほぼ同等であった。どの方式を採用するかはO社の判断に委ねたい。

本装置では比較が行いやすいよう、コントローラ部が交換できるような部品配置とした。そのため、それぞれのコントローラに最適な配置とは若干違っている。部品配置を各コントローラに最適にすることによって、配線・配管が見栄えよくまとめられ、さらなる小型化も可能と思われる。

7.2 システムの評価

O社から要望のあったオゾンガス発生装置（オゾナイザ）の改良、システムの小型化、コストダウン、安全性の向上、制御方式変更のすべてについて、前述のとおりほぼ満足する結果が得られた。特に濃度については、基本仕様の範囲を超えているので逆に下げる必要がある。濃度を下げるには、供給酸素流量を減らすことでよく、そのため酸素の節約にもつながる結果となった（1L/min → 0.5L/min）。

装置完成後の試運転においては、安全対策用センサ等の動作も無事確認でき、特に問題ないが、耐久性の実験については約4時間の連続運転しか試していない。現在、食品関連の事業所にモニタになってもらっていて、耐久性の評価については今しばらく時間を要する。

8. 今後の展開

本テーマの取り組みについては、報告書（仕様書、設計書、図面、プログラム、装置のマニュアル、関

連資料）をまとめ上げ、装置と一緒にO社に納品することによって、一応の区切りをつけた。しかし、これで完結にするのではなく、われわれのノルマでもある企業人スクールへと展開していくことによって、装置のみでなく開発のノウハウも納品することになる。O社にとっては商品化の必要があり、そのためにも装置全体の内容を熟知してもらう必要がある。本年度は、本装置をターゲットとした機構部、制御部、プログラム等の内容で企業人スクールの計画中である。

9. おわりに

今回製作した課題は、企業からの依頼ということもあり、課題を製品と位置づけ、納期・完成度の高さを意識させて取り組みを行わせることができた。

納期については完成予定の指示を行い、それを基準に作業項目ごとの日程表を作らせ、進捗状況の把握を行わせた。

月例の報告会には、O社や客員教授（工業連合会技術部会会長）に同席してもらい、アドバイスをいただいた。これは身内だけの報告会と違い、緊張感のある報告会となり、学生の取り組み姿勢にも期待ができ、訓練効果が上がったと思われる。

今回、企業ニーズをもとにして開発課題を取り組んできたが、以下の効果を期待し、今後も外へ向けた取り組みを行っていききたい。

- ① 課題を製品と位置づけることにより、学生の意識が向上する。
- ② 企業への貢献および応用課程のPRとなる。
- ③ 求人開拓へつながる。
- ④ 企業人スクールの展開へつながる。

<参考文献>

- 1) 杉光英俊：『オゾンの基礎と応用』，光琳。
- 2) 「第9回日本オゾン協会年次研究講演会」講演集，日本オゾン協会。