

＜ フロー型オゾン反応装置の開発 ＞

研究年度 令和 4年度
 研究期間 4年度～ 4年度
 研究代表者名 倉橋 拓也
 共同研究者名

・ はじめに

オゾンは、消毒剤に含まれる過酸化水素やカビ除去洗浄剤に含まれる次亜塩素酸ナトリウムと同じ酸化剤である。酸化電位を指標にこれら酸化剤の強さを比較すると、過酸化水素(HOOH)や次亜塩素酸塩(CIO-)に比べて、オゾン(O₃)の酸化電位が際立って高い(図1)。このことからオゾンには極めて高い化学反応性が期待される。

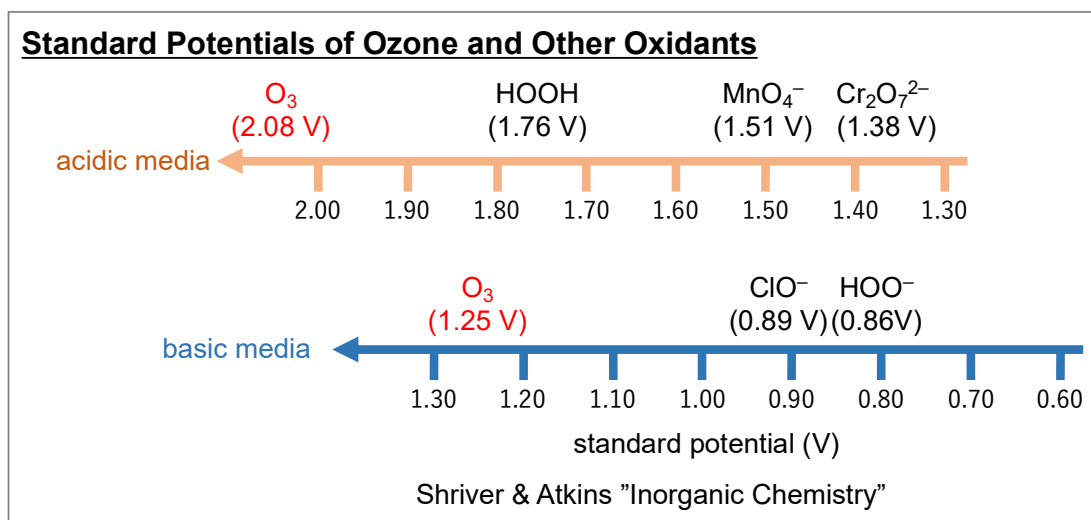


図1 酸化電位の比較

しかしながらオゾン本来の高い反応活性をこれまでのところ十分に活用することができていない。その最も大きな理由は、オゾンが常温常圧でガス状であって、化学反応を行いたい位置に必要な量を留めおくことが極めて困難である点にある。本研究では、反応処理を行いたい液状・ガス状有機物を、オゾンの微細気泡と一緒に螺旋状の長距離配管をフローさせることのできる小型反応装置の開発に取り組んだ。オゾンとの接触時間を増やすことで、反応効率の向上を試みた。

・ 研究内容

筆者が現在運用しているオゾンファインバブル反応装置では、機械的に剪断することでオゾンバブルを微細化している。しかし従来のこの反応装置では、機械的な剪断に要する駆動部がコスト面に加えてメンテナンス上も問題になっている。本研究では、流水中に0.1mmの細孔からオゾンガスを導入してオゾンバブルを微細化する簡単な仕組みで新しく反応装置を構築する(図2)。この仕組みが機能するかどうかは、完成後に粒度分布測定を実施して従来のオゾンファンバブル反応装置との比較を行って判定す

る。

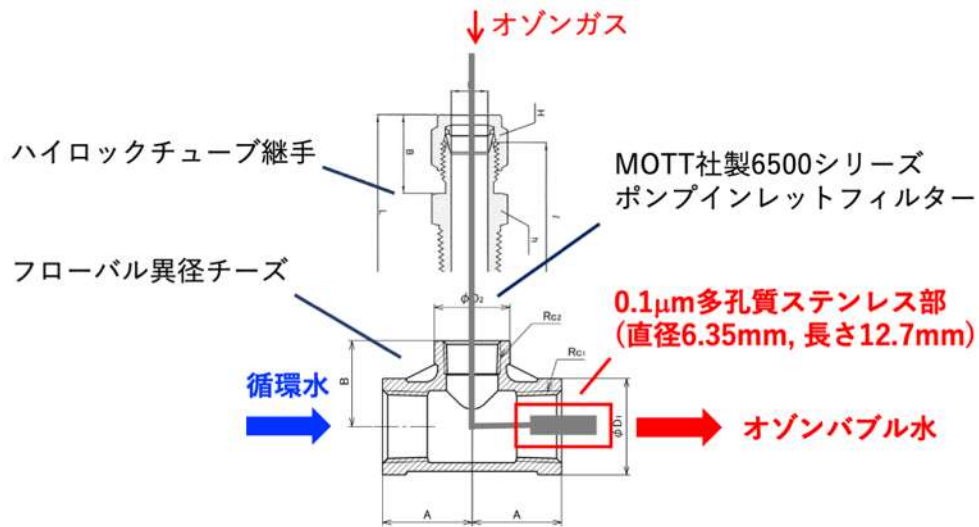


図2 オゾンバブル生成部の設計（ガス基質導入部も同様の設計）

循環水に継続的にガス導入をするためには、継続的にガスを放出する仕組みも必要である。一方で、腐食性の高いオゾンが未反応のまま放出される場合もあるので、ガス放出部は密閉を保ったままオゾン分解装置に導く必要もある。これらの要件を満たすために、図3の装置を設計した。

ステンレス反応容器に循環水の出し入れを可能にするニップルを2つ取り付ける特殊加工を行う（見積書「3_特注ステンレス反応容器」）。ステンレス反応容器は上部を完全密閉できる仕様になっており、蓋に標準装備されているノズルにテフロンアダプターを取り付けて未反応オゾンを経由してオゾン分解装置に導く。

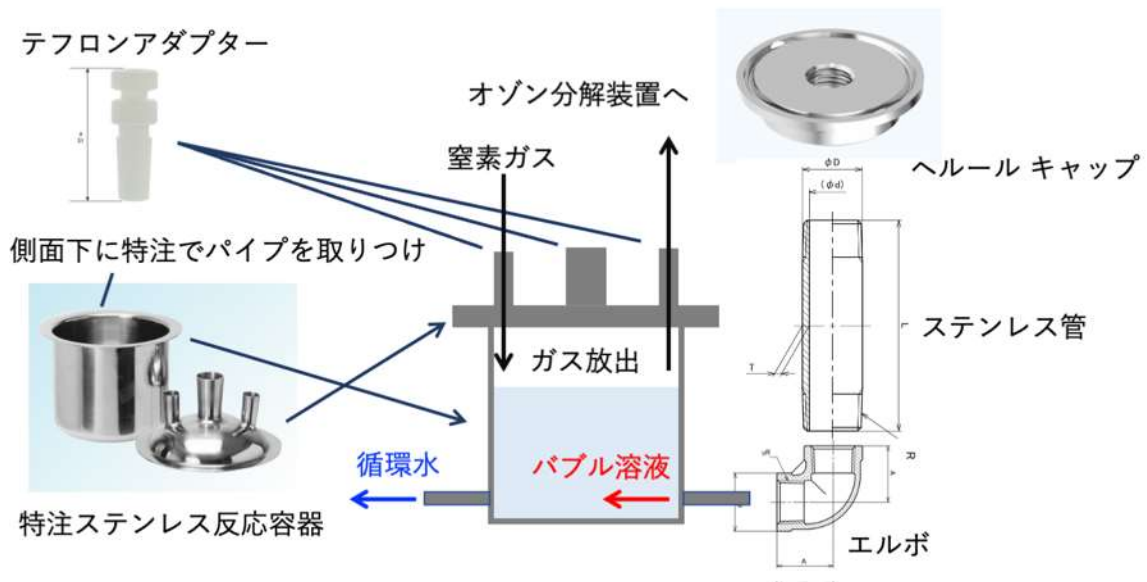


図3 ガス放出部の設計

このガス放出部は一回の実験ごとに取り外して内部の水を入れ替える必要がある。そこで組み立て分

解が容易なヘルール継手を組み込むことにした（図3）。

反応媒体の水を循環させる送液ポンプとして、1.0L/min程度までをカバーする流量可変のダイヤフラム式送液ポンプを選定した。流量可変式のものを選定した理由は、装置性能に関して流量とバブル生成の関係を粒度分布測定により実験的に確認することが必須だと考えるからである。一般的に流量が大きいかほどファインバブル生成には望ましいが、そうするためにはより高性能の送液ポンプを使用する必要が出てくる。図2のオゾンバブル生成部の流路を絞ることによって線流速を増加させて、より低コストの送液ポンプでファインバブル生成を実現したい。

最終的に図1の概略図に従って、循環水路を構築する。腐食性の高いオゾンが流れるので、ステンレス配管あるいはフッ素樹脂配管とする。

・ 研究成果

図2の概念図で示したオゾンバブル生成部について、部品調達して実際に組み立てた（図4）。接液部はステンレス金属の中でも耐食性が高いとされるSUS316を使用した。図4にある通り、気泡を生じる多孔質ステンレス部はT字管からはみ出す形で施工した。これは、この部位を覆う金属配管の内径を変えることで、流速を変化させることを想定しているからである。

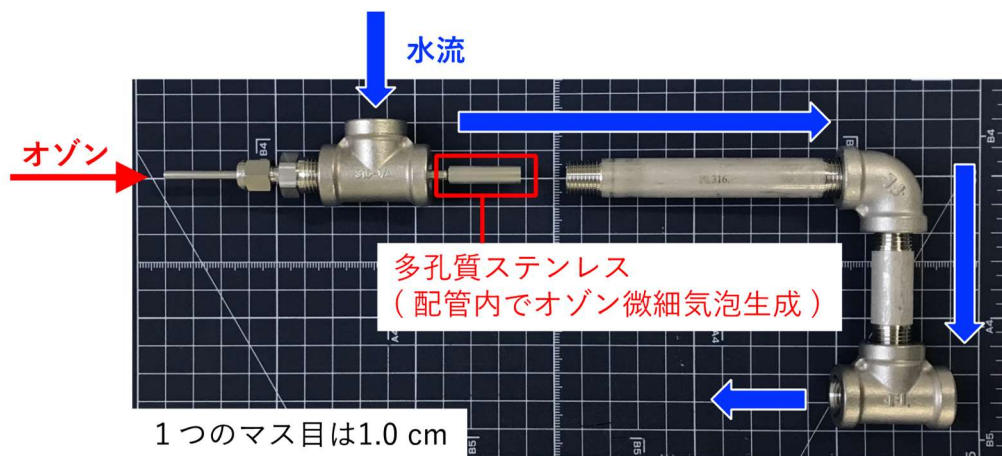


図4 オゾンバブル生成部の組み立て

一方、図3のガス放出部の製作状況は図5の通りである。市販されている一般的な1.0Lのステンレス製反応容器を元に、反応溶液本体には本研究目的に合致するようにニップルを取り付けた。そこから配管を接続して、反応溶液の入口と出口を製作した。一方、蓋部にもガス排出口とサンプル採取口となるニップルを取り付けた。排出ガスに有毒なオゾンガスが残留していることも想定されるので、反応容器本体と蓋部は可能な限り密閉性を上げるように配慮した。排出ガスは、二酸化マンガンを含めた筒を通すことでオゾンを完全分解する。

ガス放出部は、水槽に入れて温度制御する予定である。そのため反応溶液入口と出口をできるだけコンパクトになるように図面上で設計した。図5の写真で示す通り、かなりタイトではあるが配管の接続には問題はない。



図5 ガス放出部の製作状況

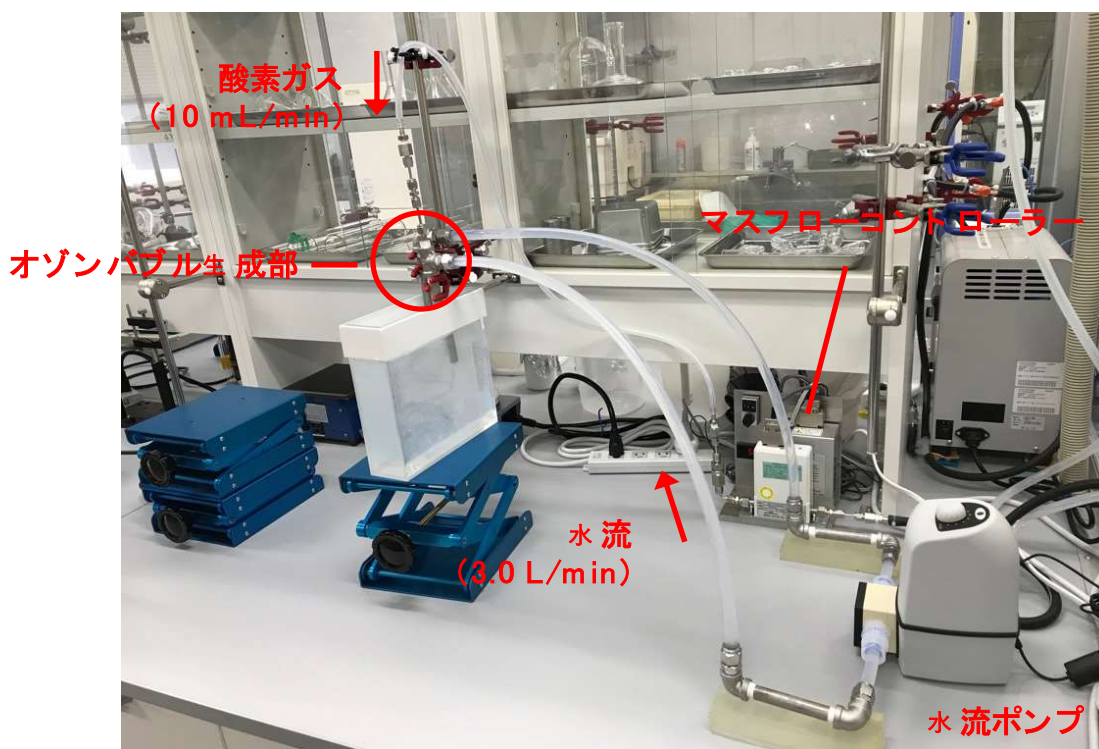


図6 オゾンバブル生成部の性能検証

図4のオゾンバブル生成部の性能を検証するために、水流ポンプを中心とする流路に組み込んだ（図6）。実際の反応実験と同様に、有機物を含む水溶液を 3.0 L/min の流速で循環させ、そこにオゾンの代

わりに酸素ガスを 10 mL/min の流速で投入した。その結果、大きなトラブルもなく、当初期待通りに動作することを示すことができた。ただし水流ポンプで設定する流速によっては、共振で装置全体の振動が非常に大きくなる現象に遭遇した。振動が激しいと配管断裂などのトラブルに発展する可能性もあるので、今後の改善が必要になると考えている。

今回新たに製作したオゾンバブル生成部で生成されたバブルの様子を図7に示す。有機物を含む水溶液中ではあるが、微小なバブルが多数生成していることが確認された。今回製作したオゾンバブル生成部はシンプルな構造であり、固形物が発生して固着するようなハードな使用にも耐えうる。また今回は SUS316 のステンレス金属で製作したが、チタン金属で製作することも可能である。その場合、高額にはなるが、オゾンに加えて強酸存在下で稼働させることもできる。反応検討の自由度が大幅に拡大すると期待される。

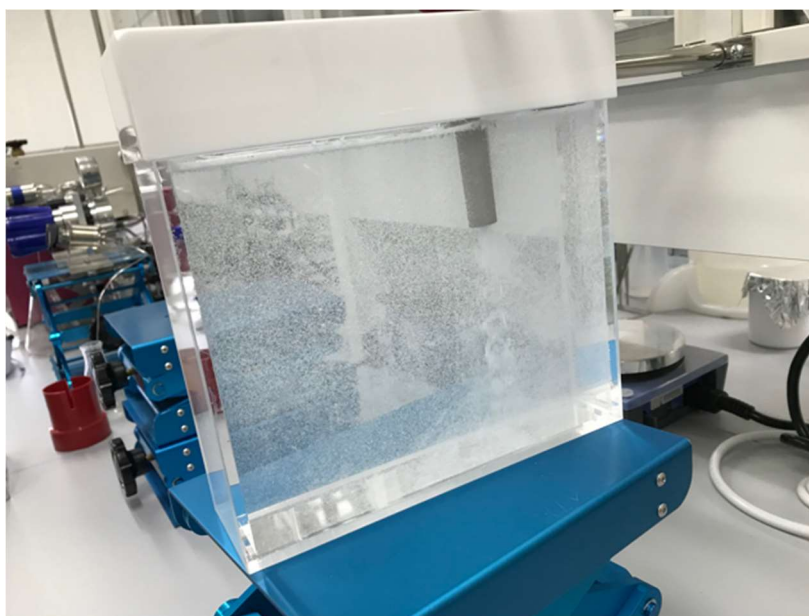


図7 バブル生成の様子

・ おわりに

当初計画では、新規の反応装置製作だけでなく、オゾン反応検討も実施する予定であった。しかし物品調達に最大で6ヶ月を要するものもあって、実際に実験室で装置開発に着手できたのは年明け2023年になってからであった。納入業者によると、以前から続く半導体素子の不足に加えて、プラスチックや金属素材の不足が原因だとのことであった。もうしばらくこのような状況が続くと懸念されるが、装置開発については長期的な視点に立って着実に進めていきたいと考えている。