

(78) 高濃度二酸化炭素溶解水を用いた 水の殺菌・殺ウイルス技術の開発に関する研究

山口淳基¹・承雪航¹・今井剛^{1*}・樋口隆哉¹・関根雅彦¹・山本浩一¹

¹ 山口大学大学院理工学研究科環境共生系専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

* E-mail: imai@yamaguchi-u.ac.jp

本研究では水の殺菌・殺ウイルス技術として、高濃度気体溶解水を用いた殺菌処理法を開発した。これは殺菌対象の微生物の細胞内に高濃度に溶解した気体はその濃度差により浸透し、その後瞬時に除圧されることで細胞内の高濃度溶解気体がガスとして発生・膨張し、微生物を内側から破裂させ殺菌する方法である。本研究では様々な気体を用いて殺菌実験を行い、二酸化炭素を溶解気体とすることで消毒前下水処理水中の各種微生物に対して殺菌が有効であることが明らかとなった。さらに、細胞を持たないウイルスに対しても殺ウイルス効果の実験的検討を行い、結果からウイルスのような極微小生物に対しても高い殺ウイルス効果が得られることが明らかとなった。以上から、本法による殺菌・殺ウイルス効果の有効性が示されたと考えられる。

Key Words : sterilization, high-dissolved carbon dioxide water, *E.coli*, virus

1. 研究背景および目的

わが国の浄水処理における現行の殺菌・消毒方法では塩素によるものがその大多数を占め、上水道においては水道法により消毒に塩素を用いることと規定されている。塩素による消毒は、その効果が確実であること、大量の水が処理可能であり、取り扱いも比較的容易で価格が安価などの特徴を持つことから、これまで広く用いられてきた。しかし近年では、塩素処理によるトリハロメタン類の生成、残留塩素による生態系への悪影響、そして塩素耐性を持つ微生物(クリプトスポリディウム原虫やノロウイルスなど水系感染の原因となる微生物)の確認など種々の問題が浮き彫りになっており、塩素消毒の信頼性が問われている¹⁻³⁾。このような背景から、代替塩素殺菌技術としてオゾンや紫外線、膜分離などを用いた技術開発⁴⁾がなされている。その中で本研究では、薬品を用いず、低コストで殺菌が行える水の殺菌・

殺ウイルス技術として高濃度気体溶解装置⁵⁾を用いた高濃度気体溶解水による殺菌・殺ウイルス技術の実用化を最終的な目標とする。本研究の特徴としては、トリハロメタンの生成がなく、塩素のような残留性がないため、公共用水域への悪影響が小さいことである。本研究の目的は、この技術の実用化を目指すにあたり、高濃度気体溶解水を用いた微生物への殺菌・殺ウイルス効果の有効性の検討を行うことである。この検討を行うにあたり、その殺菌対象として、わが国の水質基準より一般細菌、環境基準から大腸菌群、また大腸菌群より糞便汚染に関する指標性があるに高い指標細菌である糞便性大腸菌群を選定した。さらに、前述のウイルスについても対象とした。これは、ウイルスのようにサイズの小さい微生物による水系感染を防ぐことは非常に難しいのが現状であるため、本法による殺菌・殺ウイルス技術の開発において、ウイルスは無視できるものではないと考えられるためである。そこで、比較的扱

いが容易で、大腸菌に寄生させることでその生死が確認しやすいウイルスであるバクテリオファージ T4, MS2 を対象として、それらに対する本法による殺菌・殺ウイルス効果の検討を行う。

2. 高濃度気体溶解水の生成方法及びそれによる微生物への殺菌効果

本研究では図 1 に示すような高濃度気体溶解装置⁵⁾を用いて高濃度気体溶解水を生成させた。高濃度気体溶解水生成の流れは以下の通りである。まず、ポンプで処理対象水を吸引し、孔径数 mm のノズルを通過、流速を上昇させて装置内へ流入させる。その後、装置内に設置してある内筒へ衝突させ液薄膜を形成させる。この液薄膜とは、気泡の集合体(泡の塊)のことである。液薄膜の内外は気体であるため気液接触面積が増加し気体溶解効率が上昇する⁶⁾。さらに、装置内はポンプ吐出圧により加圧されているため気体溶解効率はヘンリーの法則にしたがい上昇する。その後、装置底部で液薄膜は液体に戻って装置外へ吐出される。このとき、処理水は短時間で常圧に戻り除圧されるため、溶存気体が微細気泡として発生し、白濁した状態となる。この高濃度気体溶解水を生成するにあたっての高濃度気体溶解装置の運転操作は、ポンプ吐出圧可変抵抗つまみによる吐出圧の調整および装置内圧調整用バルブの開閉によ

る装置内圧の調整のみで行うため、非常に簡便な操作で運転が可能である。

高濃度気体溶解水による殺菌効果としては、主に微生物の膨張・破裂による効果が挙げられる。微生物の殺菌に至るプロセスを模式的に図 2 に示す。まず、高濃度気体溶解装置内で処理対象水中の微生物が加圧される。加圧処理中に微生物の細胞内に高濃度に溶解した気体とその濃度差により浸透する。その後、加圧された微生物が短時間で常圧に戻る(圧力が大気圧へ開放され、除圧される)と細胞内の高濃度溶存気体がガスとして発生・膨張し、微生物を内側から破裂させ、殺菌される。

3. 一般細菌、大腸菌群、糞便性大腸菌群を対象とした高濃度気体溶解水を用いた殺菌効果の検討

本実験を行う際に、処理対象水にある程度の濃度の微生物が含まれていなければ殺菌効果を把握することは困難である。そのため、処理対象水として消毒前下水処理水を選定した。また殺菌対象として一般細菌、大腸菌群、糞便性大腸菌群を選定し、殺菌効果の検討を行う。

(1) 溶解気体の選定

本実験では、各種微生物に対し高濃度に溶解させる気体として最も有効性の高い気体について検討を行う。用いる気体としては、溶解度の高い二酸化炭素、安価である圧縮空気、酸化作用による殺菌が期待できる酸素、最後に溶解度が極めて低いヘリウムを選定した。殺菌対象微生物としては、糞便汚染の度合いや病原性の調査に適しているとされる糞便性大腸菌群を選定した。

a) 実験方法および実験条件

図 3 に実験装置の概略図および本実験の圧力条件を示す。本実験では高濃度に溶解させる気体として二酸化炭素、圧縮空気、酸素、ヘリウムをそれぞれ用い、処理対象水(約 7L)を各種気体で満たされた装置内とポンプの間をある一定時間内部循環させることで各種気体を十分に溶解させた(この操作は、微生物の細胞内により高濃度な溶解気体を浸透させるのに非常に重要である)。その後装置外へ吐出させ、高濃度気体溶解水を生成させた。図 3 中の 3 つの圧力

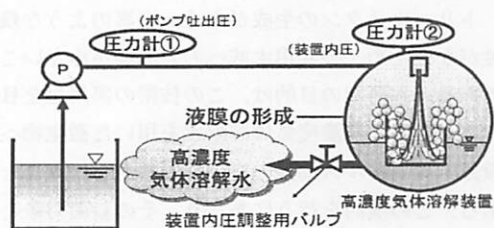


図 1 高濃度気体溶解装置による気体溶解の原理

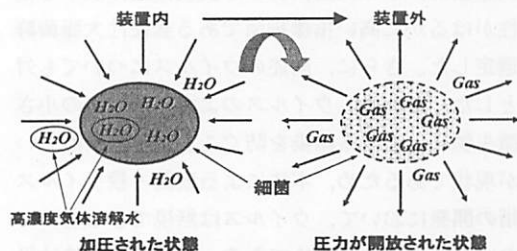


図 2 本法による微生物の膨張・破裂の概念図

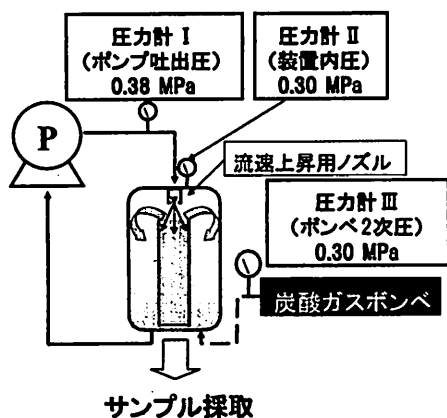


図3 実験装置概略図および圧力条件

計によりポンプ吐出圧(圧力計Ⅰ)、高濃度気体溶解装置内圧(圧力計Ⅱ)、ガス流入圧(圧力計Ⅲ)を調節し、実験条件を設定した。なお、本実験条件は別途実施した予備実験により把握した圧力条件(図3参照)とした。装置内を循環する流量は160/minと一定である。各ガスの溶解度は、二酸化炭素0.88、空気0.019、酸素0.031、ヘリウム0.0088である。(1atm=101325Paの気体が水の1cm³中に溶解する時の容積を、0℃、1atm=101325Paの時の容積に換算した値である。ただし単位はcm³とする。)

サンプリングは、ポンプを作動させ、ポンプ吐出圧が0.38MPaに安定した時点をも0分とし、処理時間1, 3, 5, 7, 10, 15, 20分後に行い、得られたサンプルについて、下水試験方法⁷⁾にしたがい、デオキシコール酸塩培地を用いた重層培養法により44.5℃、18～20時間で培養し、糞便性大腸菌群数を測定した。

b) 結果および考察

図4に各種高濃度気体溶解水を用いた場合の糞便性大腸菌群に対する生残率の経時変化、表1に各種気体を用いた実験時の初期菌数を示す。図4から、高濃度に溶解させる気体として二酸化炭素を用いると、他の気体と比べ直線の傾きが大きいことがわかる。また生残率でも、表1より初期菌数に多少ばらつきはあるものの、二酸化炭素とそれ以外の気体とでは、大きな差が生じた。二酸化炭素を用いた場合の20分循環後に確認できた菌数は5CFU/mlであり、他の3種の気体ではどれも100CFU/ml以上生残する結果となった。これより、前述のヘンリーの法則より、溶解度が高い二酸化炭素を用いることで微生物に対する膨張・破裂効果が促進され、微生物の

殺菌に最も有効であることが示された。なお二酸化炭素溶解による処理水pH低下が微生物(糞便性大腸菌群)に与える影響も考えられるため、以下の実験を行った。消毒前下水処理水のpHは6.9であり、装置内圧0.3MPaで20分間二酸化炭素溶解した後のpHは5である。これより、消毒前下水処理水のpHを5に調整して5分間放置し、pH低下が微生物に与える影響を確認した。5分間放置後には初期菌数227CFU/mlから173CFU/mlに減少していた。これより、pHの低下が微生物に影響を与えるとわかった。しかし、高い殺菌率を得るには本殺菌手法である微生物の膨張・破裂による効果が重要であると考えられる。

本実験において、高濃度に溶解させる気体として酸素を用いた場合、酸素の酸化による殺菌作用を見込んでいたが、空気を用いた場合と差がないことがわかった。これより、酸化による殺菌作用は期待できず、用いる気体の溶解度の差が生残率に大きく影響することがわかった。

表1 各種気体を用いた実験における初期菌数

気体	二酸化炭素	圧縮空気	酸素	ヘリウム
初期菌数(CFU/ml)	227	506	477	189

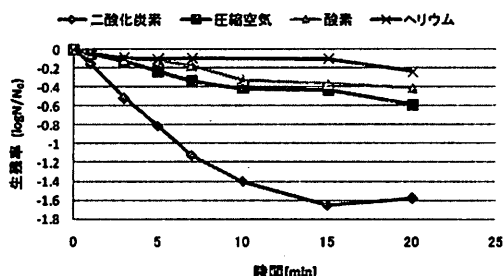


図4 各種溶解気体を用いた実験における糞便性大腸菌群の生残率の経時変化

(2) 溶解率上昇の必要性の確認

本実験では処理対象水を10～20分間、高濃度気体溶解装置とポンプの間で内部循環させている。この実験操作は、高濃度気体溶解装置内に設置してある内筒に、流入水を衝突させ液薄膜を形成させることで、より十分に二酸化炭素を処理対象水に溶解させるために必要不可欠である。しかし、二酸化炭素を装置内に充填し圧力を加えるだけでも、ある程度の量の二酸化炭素は水に溶ける。その後、本法のやり方通りに除圧することで微生物は膨張・破裂し、殺

菌される可能性がある。そこで、ポンプ循環による溶解率の上昇が、本殺菌手法においていかに重要であるかを確認するため、以下のような実験を行った。

a) 実験方法

はじめに、装置内に処理対象水を流入させる。その後、装置内圧をこれまでの実験同様 0.3MPa になるように二酸化炭素を注入する。そして、ポンプを使用せずにそのまま 20 分間放置する。処理対象水はこれまで同様に消毒前下水処理水を用い、殺菌対象微生物は糞便性大腸菌群とした。

b) 結果および考察

図 5 に実験結果を示す。糞便性大腸菌群の初期菌数は 413CFU/ml である。20 分放置後の菌数は、386CFU/ml となった。これより、ポンプ循環を行わないと微生物を殺菌することが難しいことがわかった。したがって、ポンプ循環を行うことによる気体溶解率の上昇が、本殺菌手法に大変重要であることがわかった。

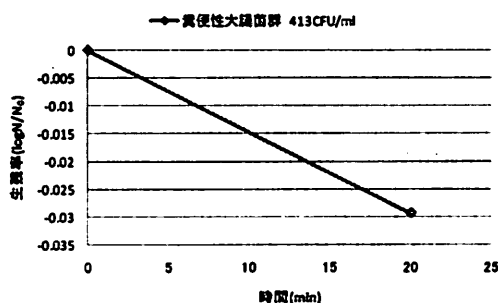


図 5 二酸化炭素充填のみの殺菌効果

(3) 高濃度二酸化炭素溶解水を用いた代替塩素殺菌技術の有効性の検討

3. (1) より本法で高濃度に溶解させる気体として溶解度の高い二酸化炭素が、微生物を殺菌するにあたり最も有効であることが確認できた。ここでは、高濃度二酸化炭素溶解水を用いて、以下の 3 点について検討を行う。

- ①一般細菌、大腸菌群に対して殺菌効果の検討を行う。なお、糞便性大腸菌群は 3. (1), a) のデータを用いる
- ②装置内圧の違いが微生物の生残率に及ぼす影響を把握するため、圧力を変えて実験を行う。
- ③初期菌数の違いが微生物の生残率に及ぼす影響を把握するため、初期菌数の異なるサンプルを用いて実験を行う。

a) 実験方法および実験条件

実験方法は 3. (1), a) と同様で、高濃度に溶解させる気体には二酸化炭素を用いる。分析方法は一般細菌の場合、下水試験方法⁹⁾にしたがい、標準寒天培地を用いた重層培養法により 36℃, 22~26 時間で培養する。大腸菌群の場合、下水試験方法⁹⁾にしたがい、デオキシコール酸塩培地を用いた重層培養法により 36℃, 18~20 時間で培養する。実験条件は、①では、3. (1), a) と同様である。

②では、殺菌対象微生物に大腸菌群を選定する。これは、糞便性大腸菌で行う予定であったが、実験時において対象水である消毒前下水処理水中の糞便性大腸菌群数が極端に少なかったため、大腸菌群とした。装置内圧は 0.2, 0.3, 0.5MPa である。③では、殺菌対象微生物に糞便性大腸菌群を選定する。装置内圧は 0.3MPa である。処理対象水には、 10^2 , 10^3 オーダーの初期菌数が含まれるものを用いる。

b) 結果および考察

3. (3) に記した①の結果(高濃度二酸化炭素溶解水を用いた一般細菌、大腸菌群に対する殺菌効果)を図 6 に示す。表 2 に実験開始時における各菌種の初期菌数を示す。図 6 から、糞便性大腸菌群同様に一般細菌、大腸菌群に対しても、ともに高い殺菌効果が得られたことがわかる。一般細菌は、他の 2 種と比べると少し直線の傾きが小さいことがわかる。一般細菌には、大腸菌群はもちろん、極めて広範囲の細菌が含まれる。一般細菌として検出される細菌のうち *Bacillus* 芽胞は極めて耐久性の高い細胞構造を持つ。これより、一般細菌には殺菌に対する強い抵抗性を持つ細菌も存在すると考えられる。そのため、他の 2 種と比べて殺菌に時間を要したものと考えられる。

3. (3) に記した②の結果(装置内圧の違いが微生物の生残率に及ぼす影響)を図 7 に示す。図 7 より、圧力が高くなるにつれて直線の傾きが大きくなることがわかる。また、短い処理時間で菌をほとんど殺菌できていることがわかる。これは、圧力を高くすることで、圧力が低い時よりも二酸化炭素が水に多く溶解したため、2. に記した膨張・破裂による殺菌効果を促進したためと考えられる。

3. (3) に記した③の結果(初期菌数の違いが微生物の生残率に及ぼす影響)を図 8 に示す。図 8 より、初

期菌数に 227CFU/ml, 1515CFU/ml と差はあるものの、初期菌数の違いによって生残率に影響は生じなかったことがわかる。処理対象水中に含まれる菌が多いほど、装置内で菌同士がフロックを形成し、それにより二酸化炭素が浸透しにくくなり、殺菌に時間を

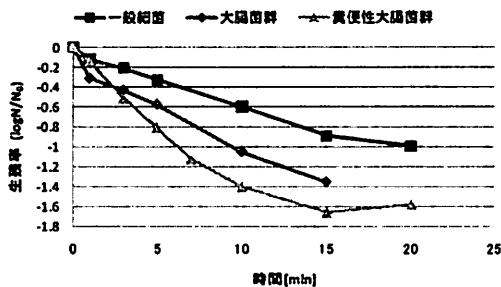


図 6 各種微生物を対象とした殺菌実験における生残率の経時変化

表 2 各菌種を対象とした殺菌実験における初期菌数

菌種	一般細菌	大腸菌群	糞便性大腸菌群
初期菌数(CFU/ml)	2160	340	227

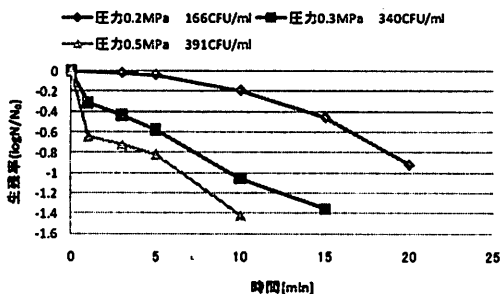


図 7 圧力を変化させた殺菌実験における大腸菌群の生残率の経時変化

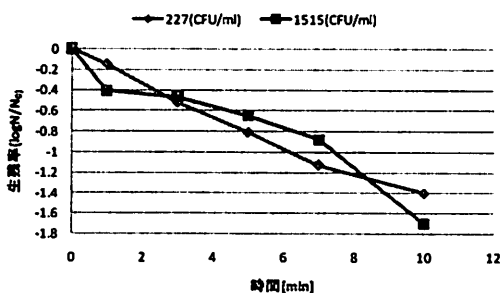


図 8 初期菌数を変化させた殺菌実験における糞便性大腸菌群の生残率の経時変化

要すると予想していた。しかし、処理対象水は絶えず装置とポンプの間を循環しているため、装置内に設置してある内筒へ衝突させて液薄膜が形成される際に、フロックは壊れてしまうものと考えられる。これより、図 8 のように初期菌数の差が生残率に影響を与えなかったと考えられる。

以上、3. (1)、3. (2)、3. (3)の結果から、一般細菌、大腸菌群、糞便性大腸菌群を本法により殺菌できることが確認された。一般細菌については、水道法に基づく水質基準を満たせず、水道水質基準である大腸菌については殺菌実験を行っていないため、現時点で水質基準を満たせる殺菌装置であるとは言えない。しかしながら、大腸菌群及び糞便性大腸菌群については十分に殺菌できたことが確認されたため、今後大腸菌に対しても本法による十分な殺菌効果が得られるか確認する必要がある。また、今後装置を改良(装置内に設置してある内筒の形状を変えたり、ノズル口径の調整など)することで将来的には水質基準を満たすことにつながる結果を、本実験で得ることができたと考えられる。

4. 高濃度二酸化炭素溶解水を用いたウイルスに対する殺ウイルス効果の検討

3. では、一般細菌、大腸菌群、糞便性大腸菌群を殺菌対象として検討を行い、それらについて本法による殺菌効果の有効性が示された。ここでは、本法を用いて、水系感染の原因ともなるウイルスに対しても殺ウイルス効果が得られるか確認する。

殺ウイルス対象微生物には、比較的扱いが容易で、大腸菌に寄生させることでその生死が確認しやすいウイルスであるバクテリオファージ T4、またウイルスのサイズにより、本法が与える殺ウイルス効果の影響を把握するため、T4 よりサイズが小さいバクテリオファージ MS2 (T4 がおよそ 200nm に対し、MS2 はおよそ 20nm)¹⁰⁾を選定する。ここでは、以下の 3 点について検討を行う。なお、本実験を行う前に、4. (1)の実験を行い、処理対象水の調整に用いる蒸留水の影響について調べた。

④バクテリオファージ T4、MS2 に対して殺ウイルス効果の検討を行う。

⑤バクテリオファージに対しても各種溶解気体が与

える影響を把握する。

⑥装置内圧の違いがバクテリオファージの生残率に及ぼす影響を把握するため、圧力を変えて実験を行う。

(1) 蒸留水が与える影響

本実験では、適量の T4, MS2 を蒸留水 7L に入れてよく混合したものを処理対象水として用いる。これまでの実験で用いた消毒前下水処理水とは異なり蒸留水により調整を行うため、蒸留水のバクテリオファージに対する影響を確認する。そのため、以下のような実験を行った。

適量の T4 ファージを蒸留水 7L に混合した直後を 0 分とし、そのまま 10 分間放置した後サンプル採取を行った。得られたサンプルについては、バクテリオファージ T4, MS2 に関する培養操作¹¹⁻¹²⁾にしたがって 36℃, 18~20 時間で培養し、バクテリオファージ T4, MS2 数を測定する。

図 9 に実験結果を示す。0 分で T4 ファージは 460PFU/ml 存在しており、10 分後では 445PFU/ml 存在していた。この結果より蒸留水が T4 ファージに与える影響はほとんどないことがわかった。

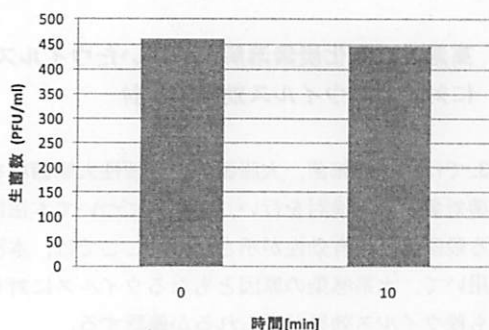


図 9 蒸留水が生菌数に与える影響

(2) 実験方法

本実験では 3. (1), a) に示す実験方法と同様の方法で実験を行った。本実験では高濃度に溶解させる気体として二酸化炭素を用い、処理対象水(適量のバクテリオファージ T4, MS2 を蒸留水 7L に入れてよく混合したもの)を用いた。

実験条件は、④では、3. (1), a) と同様である。

⑤では、殺ウイルス対象微生物に MS2 を選定する(理由は④の実験結果より、T4 より MS2 の方が殺菌に時間を要したため)。各種溶解気体には、二酸化炭素、圧縮空気、酸素を用いる。装置内圧は 0.3MPa

である。

⑥では、殺ウイルス対象微生物に MS2 を選定する(理由は⑤と同様)。装置内圧は 0.3, 0.4MPa である。

(3) 結果および考察

4. に記した④の結果(高濃度二酸化炭素溶解水を用いたバクテリオファージ T4, MS2 に対する殺ウイ

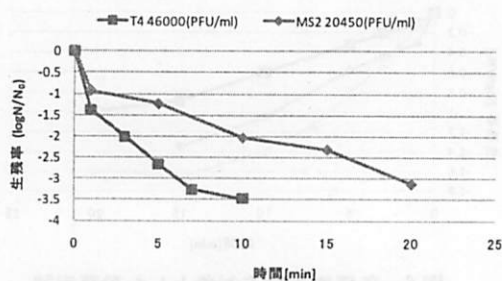


図 10 T4 および MS2 を対象とした殺ウイルス実験における生残率の経時変化

表 3 各種気体を用いた実験における初期ウイルス数

気体	二酸化炭素	圧縮空気	酸素
初期菌数(PFU/ml)	2.6×10^8	4.6×10^8	2.7×10^8

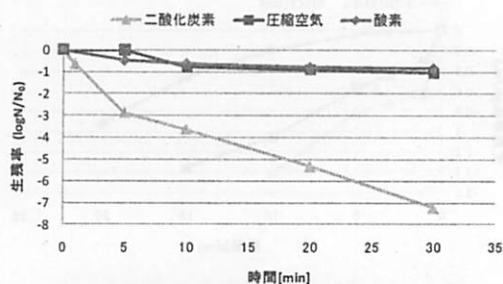


図 11 各種溶解気体を用いた実験における MS2 の生残率の経時変化

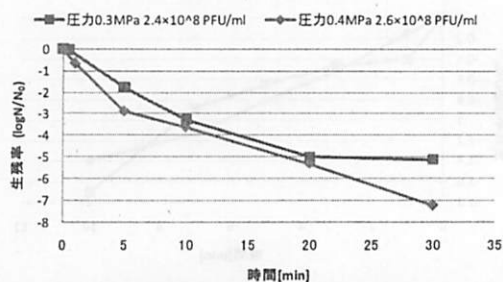


図 12 圧力を変化させた殺ウイルス実験における MS2 の生残率の経時変化

ルス効果)を図10に示す。図10より、糞便性大腸菌群と同様にバクテリオファージに対しても、本法における高い殺ウイルス効果が示された。これは、大腸菌や糞便性大腸菌群と同様に、2.に前述した高濃度気体溶解水を用いた殺菌効果と同様な理由によるものと考えられる。バクテリオファージT4には微生物にあるような細胞膜、細胞壁は存在しないが、DNAがある頭部には半透膜が存在する。その頭部にあるDNAを大腸菌内に注入することで大腸菌を感染死させる。したがって、本法による加圧処理中に半透膜を通じて、頭部に高濃度溶解二酸化炭素が浸透し、除圧されることで頭部内に気泡が発生し、膨張・破裂作用により頭部を破壊し、バクテリオファージT4が死滅したのと考えられる。バクテリオファージMS2もバクテリオファージT4同様に半透膜を通じて高濃度溶解二酸化炭素が浸透し、膨張・破裂作用により死滅したのと考えられる。

4.に記した⑤の結果(バクテリオファージに対して各種溶解気体を与える影響)を図11に示す。各種溶解気体を用いた際のMS2の初期ウイルス数を表3に示す。図11より溶解気体に二酸化炭素を用いた場合が最もバクテリオファージMS2を殺ウイルスさせることができたことがわかる。これより、ウイルスの様な極小微生物類に対しても二酸化炭素が最も有効であることが示された。

図10に装置内圧0.3MPaのMS2の殺ウイルスに関する結果を示す。この結果は、同条件の図11の結果とは大きく異なった。これは、図8で示した初期菌数の差が生残率に影響を与えなかったことに関する考察に反する。この理由として、糞便性大腸菌群での初期菌数の差は 10^1 オーダーであったが、MS2の初期ウイルス数の差は 10^4 オーダーと大きく差があったため、図8とは異なる結果になったと考えられる。また、初期ウイルス数(生残率を算出するための分母)が極めて大きいことも影響していると考えられる。

4.に記した⑥の結果(装置内圧の違いがバクテリオファージの生残率に及ぼす影響)を図12に示す。MS2の初期ウイルス数は圧力0.3MPaの時 2.4×10^8 PFU/ml、圧力0.4MPaの時 2.6×10^8 PFU/mlであった。図12より、圧力を高くすることで、低い圧力時より、多くのMS2を殺ウイルスすることができた。これは、3.(3), a)同様に圧力を高くすることで、圧力が低い

時より二酸化炭素が水に多く溶解したため、膨張・破裂による殺ウイルス効果を促進できたためと考えられる。

以上の結果から、バクテリオファージT4、MS2を本法により殺ウイルスできることが確認された。ウイルスは塩素に対して抵抗性がある¹³⁾とされる。しかしながら、図6および図10から大腸菌群と比較しても、本法がウイルスに対して高い殺ウイルス効果を持つことがわかる。これより、ウイルス汚染などの水質問題に対しても本法が十分活用できると期待される。

5. まとめ

- (1)高濃度に溶解させる気体として二酸化炭素を用いることで、微生物に対して最も効率的に殺菌・殺ウイルスができることがわかった。
- (2)装置内とポンプの間を一定時間循環させる内部循環式の処理で、消毒前下水処理水を対象水とした一般細菌、大腸菌群、糞便性大腸菌群に対し高い殺菌効果が得られた。
- (3)極微小生物であるバクテリオファージに対しても、本法により高い殺ウイルス効果が得られた。

水質基準を満たすまでには至らなかったものの、本法により水系感染を引き起こす恐れのある微生物を殺菌・殺ウイルスできることが明らかとなった。特に、塩素に抵抗性があるウイルス¹⁴⁾を殺ウイルスできたことは、特筆すべき本法の特徴であると考えられる。

以上より、本法の有効性が示されたと考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり、古里研吾氏(山口大学大学院博士前期課程(当時))に多大な協力を得た。また、本研究の一部は財団法人JFE21世紀財団および科学研究費補助金(基盤研究(C), No.21560571)の研究助成を受けて実施された。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 金子光美 編著：水道の病原微生物対策，丸善株式会社，pp.10-11，2006。

- 2) 佐藤利夫, 砂山俊二: 水の消毒技術の問題点と将来動向ーリスクマネジメントの観点からー, 防菌防黴誌, Vol.30, No.9, pp.571-582, 2002.
- 3) 南山瑞彦, 荒谷祐介, 平出亮輔: 生態系の観点からみた下水再生システムのあり方に関する研究, 平成 17 年度下水道関係調査研究年次報告集, pp.57-62, 2005.
- 4) 財団法人 水道技術研究センター 編著: 新しい浄水技術ー産官学共同プロジェクトの成果, pp.111-119 及び pp.173-191, 2005.
- 5) 今井剛, 山口淳基, 承雪航, Tawan Limpiyakorn: 高濃度気体溶解水による安全・安心な水の殺菌技術, 環境浄化技術, Vol.9, No.1, pp.36-40, 2010.
- 6) 寺岡聡, 今井剛, 朱花, 樋口隆哉, 関根雅彦: 新規発想に基づく高効率型液膜式酸素供給装置の開発に関する研究, 環境工学研究論文集, Vol.44, pp.167-174, 2007.
- 7) 下水試験方法, 上巻・第 3 章・第 7 節, pp.719-720, 日本下水道協会, 1997.
- 8) 下水試験方法, 上巻・第 3 章・第 7 節, pp.696-697, 日本下水道協会, 1997.
- 9) 下水試験方法, 上巻・第 3 章・第 7 節, pp.698-701, 日本下水道協会, 1997.
- 10) Raina M. Maier, Ian L. Pepper and Charles P. Gerba: Environmental Microbiology, 2000.
- 11) Adams, M. H. : Bacteriophages, Interscience Publishers, Inc., New York, 1959.
- 12) ISO 10705-1. 1995a. Water quality-detection and enumeration of bacteriophages – Part 1: enumeration of f-specific RNA bacteriophages, International Organization for Standardization, Switzerland, 1995.
- 13) 金子光美 編著: 水質衛生学, 技報堂出版, p300, 1996.

(2010.5.21 受付)

Development of novel water sterilization process with high-dissolved carbon dioxide water

Junki YAMAGUCHI¹, Xuehang CHENG¹, Tsuyoshi IMAI^{*},
Takaya HIGUCHI¹, Masahiko SEKINE¹ and Koichi YAMAMOTO¹

¹Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

Novel water sterilization process by high-dissolved gas water was developed in this study. The sterilization process by this novel sterilization technology is as below. Firstly, the microorganisms are put into the reactor (device of high concentrated gas dissolver). And then, high-dissolved gas water penetrates into the cell of microorganisms. A number of gas bubbles are generated and expanded rapidly when the pressure was released under air pressure suddenly. Finally, microorganism are burst and sterilized by the huge number of gas bubbles. The experiment of suitable gas selection for this sterilization process was conducted. As the results, it showed high-dissolved CO₂ water was effective to sterilization for several kinds of microorganisms in treated wastewater. Furthermore, the sterilization effects to the virus were also investigated by high-dissolved CO₂ water. The results indicate that high-dissolved CO₂ water has high sterilization effects to the virus. Therefore, the effectiveness of sterilization by this novel process was clearly shown.