

ナノ銀付着ろ材を用いた連続殺菌処理におけるタイダルフロー条件の影響

日本大学 学生会員 ○遠藤 直宏

日本大学 中村 和徳

日本大学 正会員 中野 和典

1. 背景と目的

一般的な殺菌方法として用いられている塩素消毒は、安価で大量の消毒を簡易に行えるだけでなく、殺菌効果が持続する有用な手法である。しかし、汚水をその場で浄化して循環利用する洗浄水自浄型トイレでは、残留塩素が浄化システムに悪影響を及ぼす可能性がある。本研究では、残留効果がない殺菌方法としてナノ銀を使用した殺菌処理システムの開発を目指すこととした。空気中の酸素がナノ銀に接触すると酸素分子は電位移動が促進され、マイナスの電荷を帯びた酸素原子が生じる。この酸素原子が細菌やウイルスに作用し、殺菌効果を発揮する。しかし、ナノ銀を水中の殺菌に応用した事例は無い。そこで本研究では、ナノ銀をろ材に付着させて使用することにより、水中の殺菌に応用することを試みることにした。水中でナノ銀の性能を発揮させるには、殺菌に必要な水との接触時間と酸素原子を生み出すための空気（酸素）との接触時間の両方が必要であることから、水との接触と空気との接触が交互に行えるタイダルフローが、ナノ銀付着ろ材による連続殺菌処理に適していると考えられる。本研究では、2種類のタイダルフローサイクルでナノ銀付着ろ材による連続殺菌処理を行い、殺菌効果の持続性を比較評価すると共に、接触時間と乾燥時間の時間比率が殺菌効果に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

連続殺菌処理実験は、ナノ銀を付着させた軽石 400g をろ材として充填した円筒カラムに大腸菌群が検出される河川水を流入させて行った。円筒カラム上部の流入口及び底部の排水口に取り付けた電磁弁をタイマー制御することにより、河川水の流入と排水のタイミングをずらすことで、円筒カラム内の水面が潮の満ち引きのように上下に変動するタイダルフローを実現させた。河川水とろ材との接触時間と河川水とろ材の接触がない乾燥時間との合計を 24 時間とした 24h サイクルと、その合計を 12 時間とした 12h サイクルの 2 つのタイダルフロー条件で連続殺菌処理実験を行った。実験開始から 25 日までの RunA では、接触時間と乾燥時間の比率を 1:1 とし、25 日から 53 日目までの RunB では比率を 3:1 に、54 日から 66 日までの RunC では比率を 5:1 とした。67 日以後の RunD では、接触時間と乾燥時間の比率を再び 1:1 に戻した。円筒カラムから排出された処理水とろ材に接触させず同時間放置した河川水の大腸菌群数を測定し、殺菌性能の評価をした。評価に用いた大腸菌群の生残率及び低減レベルは、それぞれ(1)及び(2)式により算出した。

$$\text{生残率} = \frac{\text{処理水中の生残数}}{\text{河川水中の生残数}} \quad (1) \quad \text{大腸菌群低減レベル} = -\text{Log} \left(\frac{\text{処理水中の生残数}}{\text{河川水中の生残数}} \right) \quad (2)$$

3. 結果と考察

24h サイクルの連続殺菌処理実験で得られた大腸菌群の生残濃度と生残率の推移及び各接触・乾燥時間比率で得られた大腸菌群低減レベルの平均値を、それぞれ図-1 及び表-1 に示す。図-1 に示されるように接触・乾燥時間比率を 1:1 とした RunA では、当初低かった大腸菌群の生残率は処理回数に伴い徐々に高くなり、大腸菌群低減レベルの平均値は 2.89Log となった。接触時間比率を増やした RunB では大腸菌群の生残率は増加せず、大腸菌群低減レベルの平均値は 2.62Log となった。さらに接触時間比率を増やした RunC ではわずかに大腸菌群の生残率が増加する傾向となり、大腸菌群低減レベルの平均値は 2.36Log となった。これらの結果より、接触時間の比率を増加させても殺菌性能は改善されないことが明らかになった。

12h サイクルの連続殺菌処理実験で得られた大腸菌群の生残濃度と生残率の推移及び各接触・乾燥時間比率で得られた大腸菌群低減レベルの平均値を、それぞれ図-2 及び表-1 に示す。図-2 に示されるように接触・乾燥時間比率を 1:1 とし

キーワード: ナノ銀、タイダルフロー、大腸菌群、殺菌

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字下河原 1 番地 日本大学工学部 土木工学科 環境生態工学研究室

た RunA では、大腸菌群の生残率は一定となる傾向を示し、大腸菌群低減レベルの平均値は2.56Logとなった。接触時間比率を増やした RunB では処理回数に伴い大腸菌群の生残率が増加する傾向となり、大腸菌群低減レベルの平均値は 2.47Log となった。さらに接触時間比率を増やした RunC では明らかに大腸菌群の生残率が増加し、大腸菌群低減レベルの平均値は 1.41Log となった。24h サイクルと比較すると 12h サイクルで得られた大腸菌群低減レベルは低く、処理サイクルの短縮が殺菌性能の低下につながったことが示唆された。12h サイクルの RunC における乾燥時間は 2 時間であり、ナノ銀と空気中の酸素の接触による酸素原子の生成が不十分であったことが推察された。これに対し、殺菌性能の低下がわずかであった 12h サイクルの RunB の乾燥時間は 3 時間であり、殺菌に必要な酸素原子の生成には少なくとも 3 時間程度の乾燥時間が必要であることが示された。

12h サイクルにおける処理回数は、同時間で 24h サイクルの 2 倍であり、RunB 終了時の 53 日目までの処理回数は 106 回に達していた。12h サイクルの RunB で得られた大腸菌群低減レベルの平均値は 2.47Log であり、処理回数が 100 回を超えても 2.47Log の大腸菌群低減レベルの維持が可能であることが明らかとなった。しかし、接触・乾燥時間比率を 1:1 に戻した RunD で得られた大腸菌群低減レベルは RunA より明らかに低い 2.14Log であり、殺菌性能は回復しなかった。これに対し、接触・乾燥時間比率を 1:1 に戻した 24h サイクルの RunD では、大腸菌群低減レベルが RunA と同等の 2.76Log まで改善されており、ナノ銀と空気中の酸素との接触による酸素原子の生成能力が失われていないことが推察された。従って 24h サイクルのタイダルフロー条件では、RunD を終了した 69 回以降でも殺菌性能は持続することが考えられた。

4. まとめ

ナノ銀付着ろ材を用いた大腸菌群の連続殺菌処理におけるタイダルフロー条件の影響を評価した。結果、接触時間と乾燥時間の比率が 1:1 の条件で最も高い殺菌性能が得られた。また、12h サイクルより 24h サイクルの方が高い殺菌性能が得られることが分かった。さらに本殺菌システムでは、殺菌に必要な酸素原子の生成には少なくとも 3 時間程度の乾燥時間が必要であることが明らかになった。本殺菌システムでは、処理回数が 100 回を超えても 2.47Log の大腸菌群低減レベルの維持が可能であった。

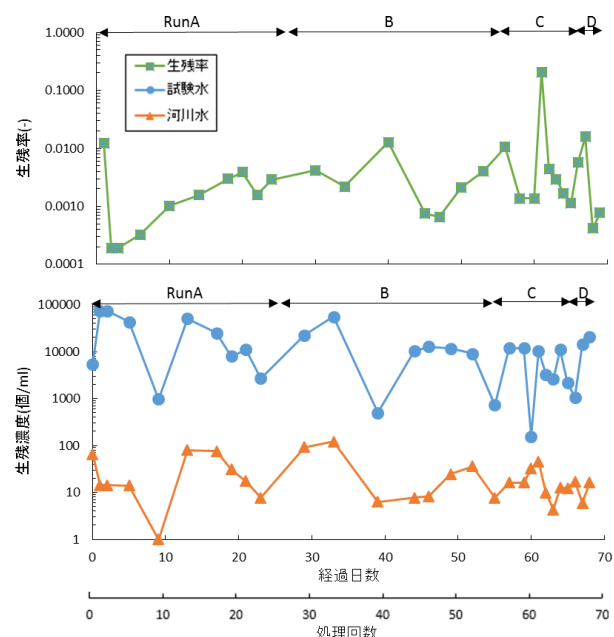


図-1 24h サイクルのタイダルフロー条件における大腸菌群生残濃度と生残率

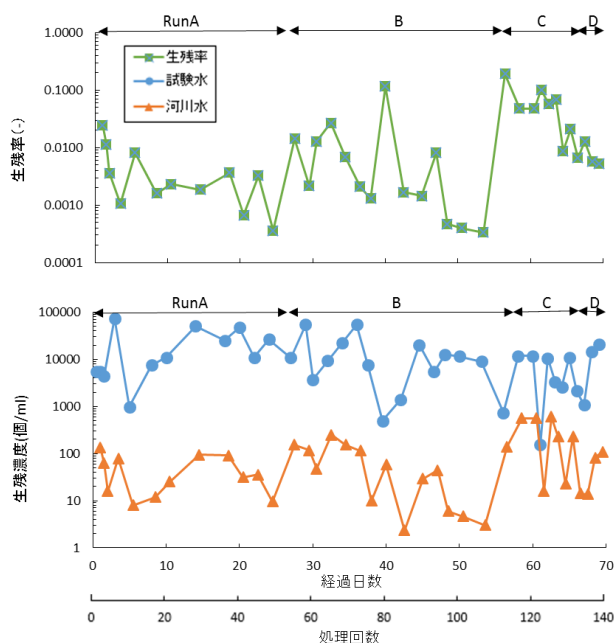


図-2 12h サイクルのタイダルフロー条件における大腸菌群生残濃度と生残率

表-1 接触時間と乾燥時間の時間比率を変えて行った連続殺菌処理における大腸菌群低減レベルの平均値

処理条件	接触時間と乾燥時間の時間比率(接触:乾燥)			
	RunA (1:1)	RunB (3:1)	RunC (5:1)	RunD (1:1)
24hサイクル	2.89Log	2.62Log	2.36Log	2.76Log
12hサイクル	2.56Log	2.47Log	1.41Log	2.14Log

謝辞 本研究は、環境省の環境研究総合推進費(5-1504)「小規模畜産農家のための低コスト・低炭素・グリーン化高度処理システムの構築に関する研究」により実施されたものである。ここに記して謝意を表する。