

塩素消毒による新型コロナウイルスの 不活化に関する調査

目的と調査方法

- ◆ **目的** : 下水処理水を塩素消毒した際に、新型コロナウイルスがどの程度不活化するかを確認
(調査検討の一環として行ったものであり、検討結果を踏まえ、何らかの見解を示すものではない。)
- ◆ **調査方法** : 今回は、新型コロナウイルスと同様にエンベロープを持つ代理ウイルスφ6 (バクテリオファージ) を用いて不活化実験を実施。実処理場の処理水にφ6を添加、塩素消毒後のφ6の活性を調査
 - ・代理ウイルス: φ6 (バクテリオファージ)
 - ・処理水: T市より提供

●接触時間と塩素注入率の設定

ケース	接触時間 [min]	塩素注入率 [mg/L]	備考
ケース1 標準条件	15	3.0	日最大水量時想定
ケース2 消毒強化 (1.5倍)		4.5	
ケース3 消毒強化 (2.0倍)		6.0	
ケース4 標準条件	10	2.0	時間最大水量時想定
ケース5 消毒強化 (1.5倍)		3.0	
ケース6 消毒強化 (2.0倍)		4.0	

※ケース0としてブランク試験を実施

●供試水 (下水処理場処理水) 水質

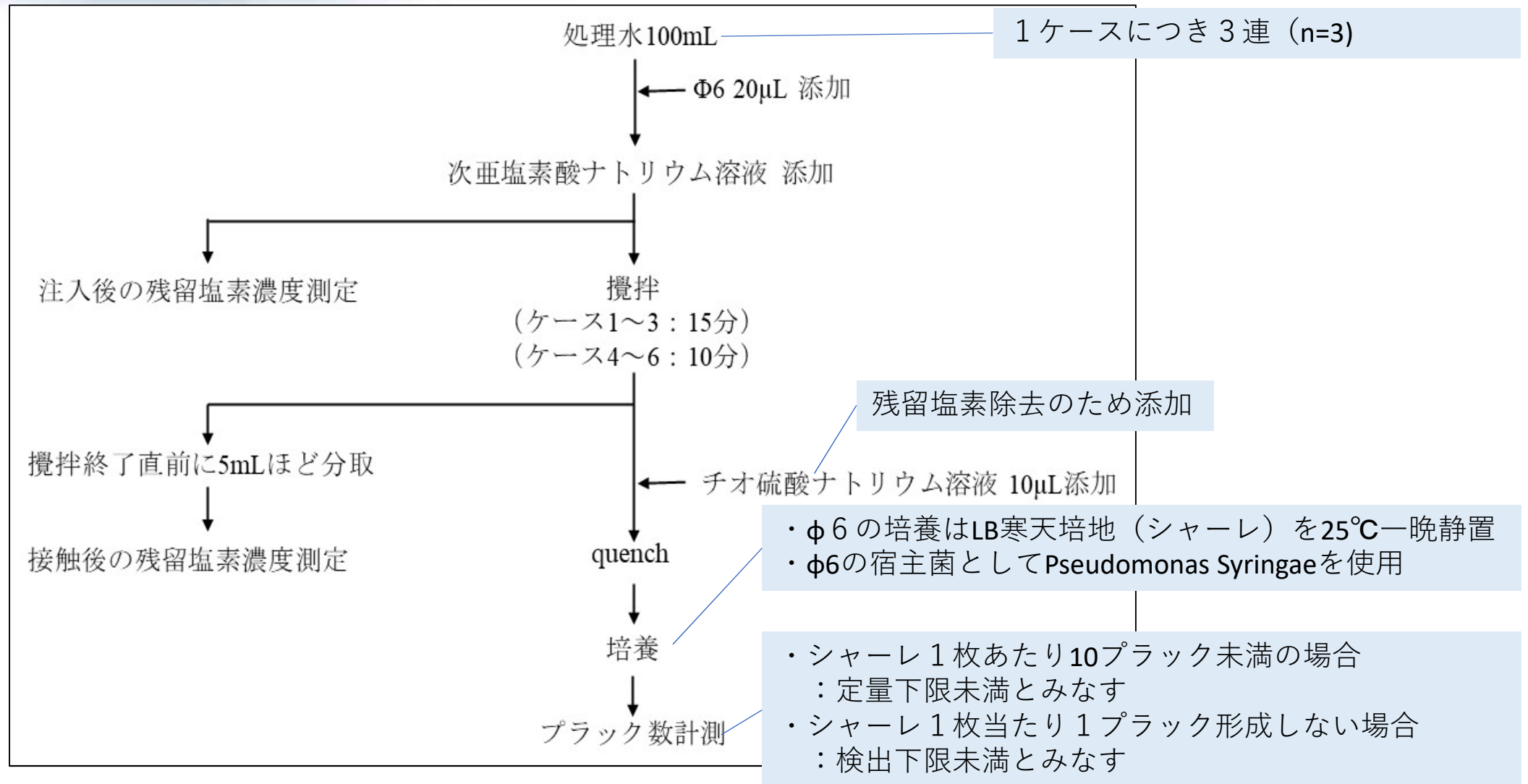
項目	数値	単位
浮遊物質 (SS)	5 未満	mg/L
化学的酸素要求量 (COD)	8.8	mg/L
アンモニア性窒素 (NH4-N)	17	mg/L
全有機炭素 (TOC)	5	mg/L
亜硝酸性窒素 (NO2-N)	0.2	mg/L
大腸菌群数	2.1×10 ³	CFU/mL

参考: 塩素消毒は、一般的に接触後の残留塩素濃度が0.1mg/Lあれば十分消毒効果があり、接触時間15分以上とされており¹⁾ 最低CT=1.5[mg/L・min]と考えられる。

CT = 塩素濃度 × 接触時間

(出典1) (社) 日本下水道協会「下水道施設計画・設計指針と解説-2019年版-」より)

不活化調査フロー



※quench：チオ硫酸ナトリウムによる残留塩素除去操作の終了。

本実験では残留塩素濃度が0.1mg/L未満となっていることの確認操作

プラック数：寒天培地において複製・拡散したφ6の溶菌斑。これを計測することでφ6濃度を把握

調査結果 残留塩素濃度とCT

ケース	接触時間 (分)	塩素 注入率 [mg/L]	注入直後 残留塩素濃度 (mg/L)			接触後 残留塩素濃度 (mg/L)			CT※ (mg/L・min)			処理水 NH4-N [mg/L]
			n-1	n-2	n-3	n-1	n-2	n-3	n-1	n-2	n-3	
1	15	3	1.0	1.2	1.3	1.0	1.0	1.2	15.5	15.8	18.5	17
2		4.5	2.1	1.3	1.0	1.7	1.8	1.2	27.5	20.3	15.9	
3		6	1.9	2.2	1.5	1.6	1.6	1.2	25.8	27.9	18.1	
4	10	2	0.65	0.87	0.78	0.45	0.44	0.54	5.1	5.8	6.1	
5		3	1.0	1.5	1.3	0.84	0.87	0.70	9.1	11.3	9.4	
6		4	1.5	2.0	1.5	1.0	1.1	1.3	12.1	15.8	13.9	

※CT＝塩素濃度×接触時間（添加濃度～注入直後を30secと仮定した積分値）

CTが高い場合には消毒の強度が高いといえる。

（接触後残留塩素濃度が高い場合は、測定誤差等のため注入直後と同値として算出）

例）設計指針3.0mg/L、15分の場合、残留塩素濃度0.1mg/L、注入直後に1.0mg/Lとなったとすると

$$CT = (3.0 - 1.0) \times 0.5 / 2 + (1.0 - 0.1) \times 15 / 2 + (1.0 - 0.1) \times 0.5 + 0.1 \times 15 = 9.2 \text{ [mg/L} \cdot \text{min]}$$

結果

塩素接触後の残留塩素はいずれも0.1mg/L以上残存しており、消毒効果が得られている。

調査結果 消毒後φ6濃度

※PFU：プラック形成単位(plaque-Forming Unit)

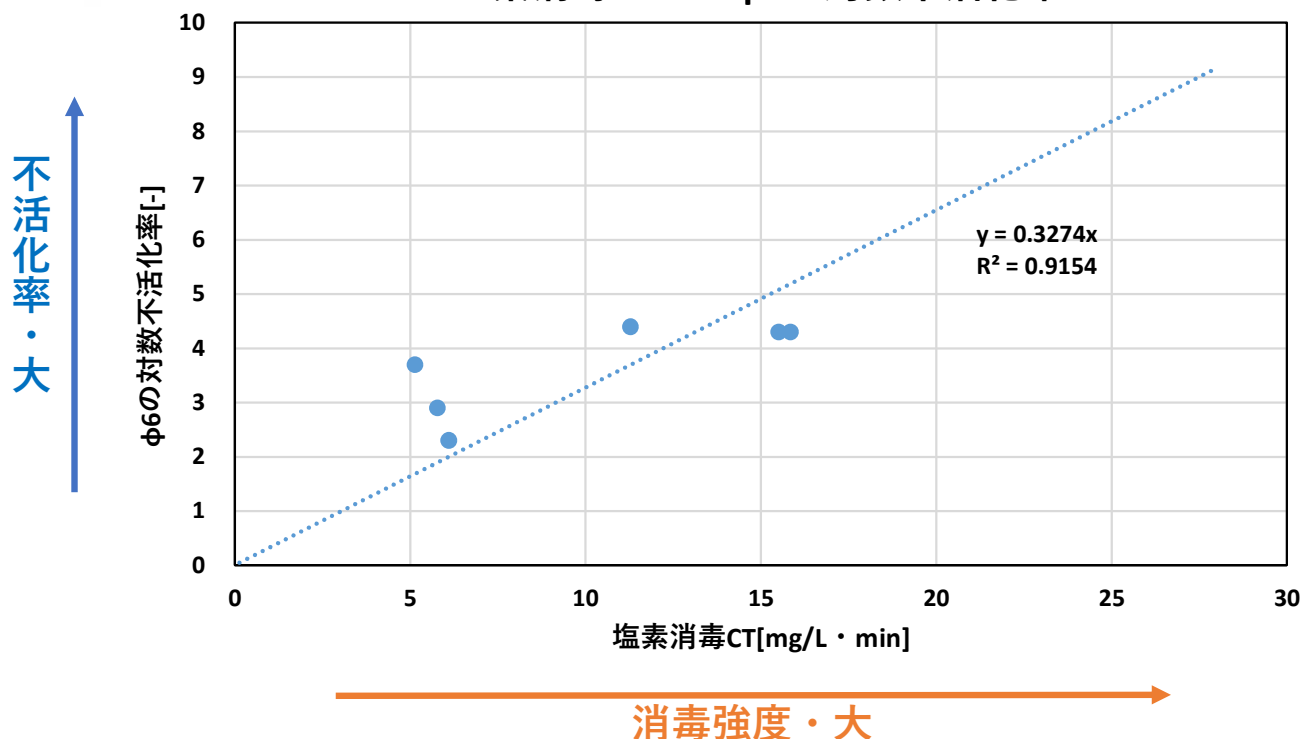
ケース	消毒前φ6 [PFU/mL]	接触時間[分]	塩素注入率[mg/L]	消毒後φ6 [PFU/mL]		
0	5.0 × 10 ⁵	15	3	Blank	検出下限値未満	
1		3	15	3	n-1	2.8 × 10 ¹
					n-2	1.4 × 10 ¹
					n-3	定量下限値未満
2		15	4.5	4.5	n-1	検出下限値未満
					n-2	検出下限値未満
					n-3	検出下限値未満
3		6	6	6	n-1	検出下限値未満
					n-2	検出下限値未満
					n-3	検出下限値未満
4		10	2	2	n-1	1.1 × 10 ²
					n-2	5.9 × 10 ²
					n-3	2.3 × 10 ³
5		10	3	3	n-1	定量下限値未満
					n-2	1.9 × 10 ¹
					n-3	定量下限値未満
6	10	4	4	n-1	検出下限値未満	
				n-2	定量下限値未満	
				n-3	検出下限値未満	

結果

ケース1, 4, 5において消毒後φ6濃度の定量値が得られたが、ケース2, 3, 6では消毒後φ6濃度が検出下限値未満もしくは定量下限値未満となった。同じ接触時間でも、塩素注入率を高めることで、φ6濃度が低減している。

塩素濃度・接触時間とφ6 の対数不活化率

塩素消毒によるφ6の対数不活化率



※ $\text{Log}_{10}(N/N_0) = -\text{対数不活化率}$
= $-\log(\text{消毒後}\phi 6\text{濃度} / \text{消毒前}\phi 6\text{濃度})$
絶対値が高いほど不活化率が高い

N : 消毒後φ6濃度 (反応後濃度)

N₀ : 消毒前φ6濃度 (初期値)

※消毒後に定量値が得られ、対数不活化率の算出ができたプロットに対する近似直線

考察

CT = 5[mg・min/L]付近が実験で得られた最小条件での不活化条件であり、約2Log程度が不活化できる結果となっている。本実験条件では新型コロナウイルス代理ウイルスであるφ6は、塩素消毒で期待される最低限のCT値1.5mg/L・minでも0.49log以上不活化される事が確認された。