

B-50 水道配水管内における従属栄養細菌の増殖特性と管理手法に関する研究

○笠原 伸介^{1*}・石川 宗孝¹

¹大阪工業大学工学部環境工学科（〒535-8585大阪市旭区大宮5-16-1）

* E-mail: kasahara@env.oit.ac.jp

1. はじめに

従属栄養細菌は、上水道システムにおける微生物の挙動を評価するうえで有効な指標であり、平成20年4月からは水質管理目標設定項目に指定されている。しかし、配水システムにおける従属栄養細菌の現存量や再増殖に伴う変化量などが明確ではないため、その目標値（2,000 CFU/mL）は暫定である。今後、従属栄養細菌を的確に管理するには、配水管内における基質消費と菌体増殖に関する定量的な情報が必要である。

著者らは、水道配水管内の微生物再増殖を模擬的に再現できるアニュラーリアクターを用い、微生物管理に関する一連の研究を行ってきた。ここでは、これまでに得られた結果の中から、(1) 水道水中に生息する微生物の付着および浮遊状態での増殖速度、(2) AOCの消費に伴う従属栄養細菌の増殖収率、(3) 残留塩素等による微生物の削減効果について整理、検討した結果について報告する。

2. 実験装置と実験方法

図1に実験装置の概要を、写真1および表1にアニュラーリアクターの概要をそれぞれ示す。供試水として、チオ硫酸ナトリウムおよび膜分離操作（孔径 $0.2\mu\text{m}$ ）により残留塩素と菌体濃度を調整した本学実験室水道水（表2）を、HRT 0.1~72 hrの条件でアニュラーリアクターに通水した。定常状態における従属栄養細菌数（以下、HPC）および全細菌数（以下、DTMC）を測定し、式(1)および(2)を用いて比増殖速度（見かけ値）を、AOCの測定結果より式(3)を用いて増殖収率をそれぞれ算出した⁴⁾。

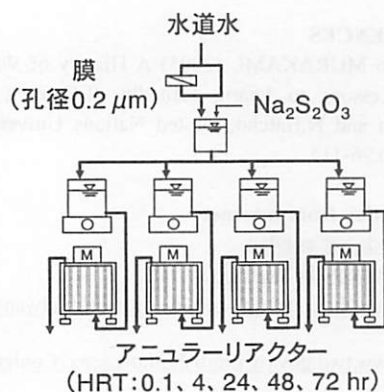


図1 実験装置概要



写真1 アニュラーリアクター

表1 アニュラーリアクターの仕様

容積	1.4 L
水接触表面積	$2,300\text{cm}^2$
回転ドラム直径	14 cm
ドラム回転速度	60 rpm
スライド寸法	$1\times 15\text{cm}$
ドラム・スライド材質	PVC
設定水温	25°C

表2 実験室水道水

濁度 (度)	0.1
TOC (mg C/L)	1.5
AOC (mg C/L)	0.01~0.08
T-N (mg N/L)	1.2
T-P (mg P/L)	N.D.

$$Q(X_{out} - X_{in}) = \mu_p X_{out} V + \gamma_d X_b A \quad \cdots (1)$$

$$\mu_b = \gamma_d \quad \cdots (2)$$

$$Y_{X/C} = \frac{X_{out} - X_{in}}{C_{in} - C_{out}} \times 10^3 \quad \cdots (3)$$

Q : 流量 (mL/h), V : 容積 (cm³), A : 表面積 (cm²)

X_b : 付着菌体密度 (CFU or cells/cm²)

$X_{in} \cdot X_{out}$: 流入・流出菌体濃度 (CFU or cells/mL)

$\mu_b \cdot \mu$: 付着・浮遊菌体の見かけ増殖速度 (h⁻¹)

γ_d : 付着菌体の比剥離係数 (h⁻¹)

$Y_{X/C}$: 増殖収率 (CFU or cells/ μ g)

$C_{in} \cdot C_{out}$: 流入・流出AOC濃度 (μ g/L)

3. 結果と考察

(1) 増殖速度の検討

付着菌体密度と浮遊菌体濃度の経時変化によると、いずれの条件においても、付着菌体密度は通水開始後約1~2ヶ月で、浮遊菌体濃度は約2週間でそれぞれ一定となった(データは掲載せず)。図2に、定常状態における

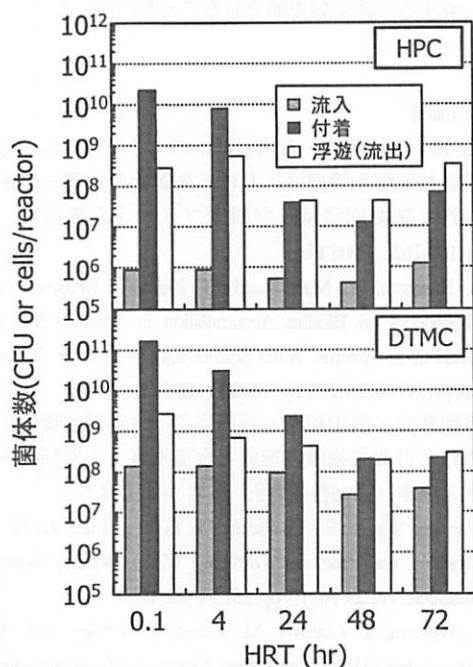


図2 定常状態における菌体数(残留塩素無し)

表3 μ (見かけ値) の計算結果

HRT (hr)	付着微生物		浮遊微生物	
	HPC	DTMC	HPC	DTMC
4	0.13	0.15	-1.62	-6.63
24	0.72	0.34	-0.67	-1.90
48	0.08	0.03	-0.05	-0.09
72	0.33	0.05	-0.28	-0.06
73*	0.00025*		-0.12*	

* E. van der Wende *et al.*, (1989)

単位: hr⁻¹

菌体収支(残留塩素無し)を示す。これによると、微生物の付着量はHRTが長いほど少なく、24 hr以上では浮遊量とほぼ等しかった。また、リアクター内での浮遊微生物増加量はHRTに関係なくほぼ一定で、HPCで約2 log, DTMCで約1 logであった。ここで、 μ (見かけ値) を計算したところ、表3に示すように、付着微生物の壁面上での世代交代時間 (μ^{-1}) は数時間程度と、Van der Wendeら⁹⁾が示した結果に比べて著しく短いことが分かった。このことは、既往の研究に用いられた供試水は塩素処理前の浄水であったのに対し、本実験供試水は残留塩素存在下で数時間輸送された末端の水道水であり、供試水中の微生物活性が低かったことに起因すると考えられる。また、浮遊微生物の μ (見かけ値) はいずれも負の値となり、浮遊状態の微生物は残留塩素が消失した状態でも増加せず、個体数は減少することが示唆された。

(2) 増殖収率の検討

図3に、残留塩素を除去した供試水中で土着細菌を回分培養した際のAOCおよび菌体濃度の経時変化を示す。これによると、培養開始から2日間はAOC消費と菌体増殖が認められず、残留塩素が消失しても浮遊微生物は直ちに増殖しないとした連続実験結果を裏付ける結果となった。また、回分培養の結果から従属栄養細菌の増殖収率を求めると $3.9 \sim 5.5 \times 10^6$ CFU/ μ gとなり、AOC測定

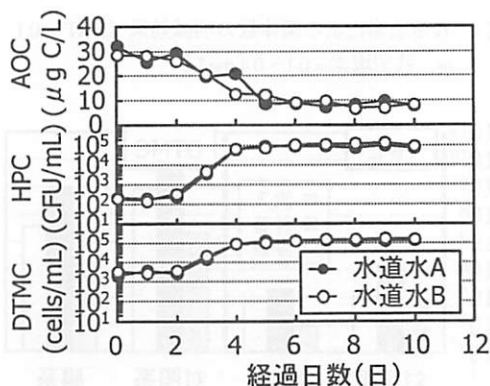


図3 供試水を用いた回分培養におけるAOCと菌体濃度の変化(残留塩素無し、水温15℃)

表4 連続実験（定常状態）におけるAOC濃度と菌体濃度の一例

	HRT = 0.1 hr		HRT = 48 hr	
	流入	流出	流入	流出
AOC ($\mu\text{g C/L}$)	50	35	52	47
HPC (CFU/mL)	1.1×10^3	4.9×10^4	3.0×10^2	3.1×10^4
DTMC (cells/mL)	2.0×10^4	1.7×10^5	1.9×10^4	1.4×10^5

に用いられる *Pseudomonas fluorescens* P17株と同程度であることが分かった。連続実験からも同様に従属栄養細菌の増殖収率を求めたところ $3.4 \sim 5.8 \times 10^6$ CFU/ μg となり、回分培養から求めた数値とほぼ一致した（表4）。水道水のAOCレベルは概ね数十 $\mu\text{g C/L}$ 以上であることが報告されており、収率の上では 10^4 CFU/mL以上の従属栄養細菌が増殖し得る環境にあることが示唆された⁹⁾。

(3) 微生物削減効果の検討

図4に、定常状態の菌体収支に及ぼす残留塩素の影響を、図5に、膜分離の影響をそれぞれ示す。図4に注目すると、HPCについては付着、浮遊微生物とも、残留塩素によって約3 log減少したのに対し、DTMCについては顕著な差が見られず、残留塩素は微生物の活性については低下させるものの、付着微生物を削減する効果については低いことが示唆された。しかし、図5に示すように、残留塩素を保持した状態で膜分離によってリアクターに

流入する菌体濃度を削減すると、流入菌体数の削減量に応じて付着、浮遊菌体数ともに減少することが明らかとなり、菌体濃度の削減は配水管内の清浄度の向上に大きく寄与することが示唆された。

4. おわりに

本研究では、様々な通水条件（HRT、残留塩素および流入菌体濃度）でアニュラーリアクターを操作し、増殖速度や増殖収率などの定量的な情報を求めた。得られた知見を要約すると、以下のとおりである。

- 1) 増殖速度を算定した結果、水中に検出される菌体濃度には、壁面上への微生物の付着性が大きな影響を及ぼしていることが示唆された。
- 2) 増殖収率を算定した結果、水道水のAOCレベル（数十 $\mu\text{g C/L}$ ）では、 10^4 CFU/mL以上の従属栄養細菌の増殖が可能であることが示唆された。
- 3) 残留塩素の保持と徹底した固液分離（菌体濃度の削減）を行うことが、配水管内の微生物を削減するうえで効果的であることがわかった。

【参考文献】

- 1) 山 鎮・笠原伸介・石川宗孝：バイオフィルムが形成された配水管壁面における夾雑物の付着・滞留特性，第45回環境工学研究フォーラム講演集，pp.160-162，2008.11
- 2) S. Kasahara, K. Maeda and M. Ishikawa: Influence of Phosphorus on Biofilm Accumulation in Drinking Water Distribution Systems, Water Science and Technology: Water Supply, Vol.4, No.5-6, pp.389-398, 2005
- 3) 笠原伸介・前田和孝・石川宗孝：水道配水管内における付着生物膜の形成と水道水質との関係，用水と廃水，第46巻 第2号，pp.47-54，2004.2
- 4) Van der Wende E., Characklis W. G. and Smith D. B.: Biofilms and Bacterial Drinking Water Quality, Water Research, Vol.23, No.10, pp. 1313-1322, 1989
- 5) J. Bartram, J. Cotruvo, M. Exner, C. Fricker and A. Glasmacher: Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety, pp. 210-212, IWA Publishing, 2003

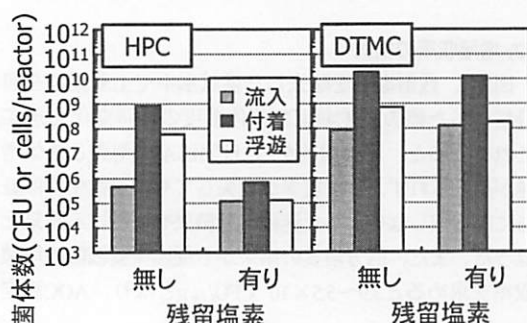


図4 残留塩素による菌体数の削減効果（HRT = 0.1 hr、残留塩素 = 0.1~0.4 mg/L）

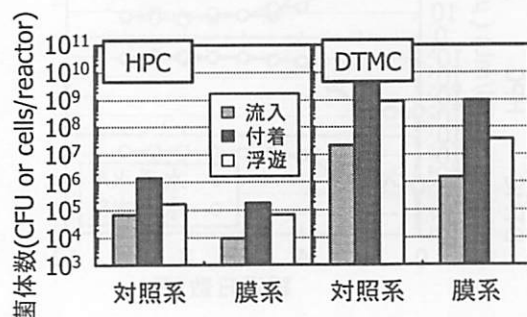


図5 膜分離による菌体数の削減効果（HRT = 0.1 hr、残留塩素 = 0.1~0.4 mg/L）