配水過程における生物膜生成能に及ぼす異なる浄水処理プロセスの影響

北海道大学大学院　正○岡部　聡、　F　渡辺　義公
前澤工業（株）　小鍛冶　利彦、小澤　源三

1．はじめに

配水管内における細菌の二次増殖は、飲料水の生物学的安全性の低下、構造物の腐食の促進、異臭味の発生、病原微生物・原虫の増殖等を引き起こす。現在、それらの抑制は主に残留塩素によって管理されている。しかしながら、過剰な塩素添加はトリハロメタンに代表される消毒副生成物の生成を伴うえ、管壁に付着している生物膜に対しては、浮遊系微生物と比較して残留塩素は効果的に浸透しない。塩素注入を基本とする現行の我が国の上水処理システムにおいても、水道水の細菌学的リスクを軽減するためには、生物易分解性有機物や栄養塩類などの細菌の二次増殖ポテンシャルを処理過程において可能な限り除去し、微生物学的に安定した処理水を作り出すことが重要である。しかしながら、様々な浄水処理プロセスにおいて、処理水中に残存する生物易分解性有機物や栄養塩類と配水管内における細菌の二次増殖ポテンシャルに関する知見は殆ど存在しない。

そこで本研究では、物理化学的処理（凝集沈殿－三層ろ過、凝集沈殿－膜分離）と凝集沈殿処理に生物学的処理を付加したハイブリッド処理（凝集沈殿－三層ろ過－生物活性炭、凝集沈殿－回転平膜）が、AOC(Assimilable Organic Carbon) や栄養塩類濃度を中心とする処理水水質や生物膜生成能に及ぼす影響を実験的に検討した。

2．実験方法

図-1 に示す 120m^3/d の高度浄水処理パイロットスケールの実験装置を北海道江別市上江別浄水場内に設置した。原水は、比較的高色度で濁度変動の大きい千歳川表流水である。凝集沈殿後水を三層ろ過したもの（三層ろ過水）、三層ろ過水をさらに粒状活性炭に導水・接触させたもの（活性炭処理水）、沈殿後水を UF 膜ろ過（膜透過水）および回転平膜表面に生物膜を固定し、生物酸化と膜ろ過を行ったもの（回転平膜透過水）の４種類を用い、各処理水を模擬配水系（annular reactor；AR）に連続通水し、生物膜形成能を測定した。AR への通水条件は、流量 250ml/分、滞留時間 3.8 分である。内筒の回転速度は 60rpm で、AR の外部に恒温水を循環させることにより、AR 内の水温を 20℃前後に保った。処理水の二次増殖ポテンシャルの指標として AOC を、Huck ら[1)]の方法で *Pseudomonas fluorescens* P17 株と *Spirillum* sp. NOX 株を植種し、25℃で培養した後、最大コロニー数に収率係数を乗じて酢酸当量に換算した。蓄積生物量は ATP(アデノシン三リン酸)と従属栄養性細菌数(HPC: Heterotrophic Plate Counts)を指標として表現した。ATP はルシフェラーゼ、ルシフェリンによる生物化学発光法で、HPC は R2A 培地を用いて測定した。

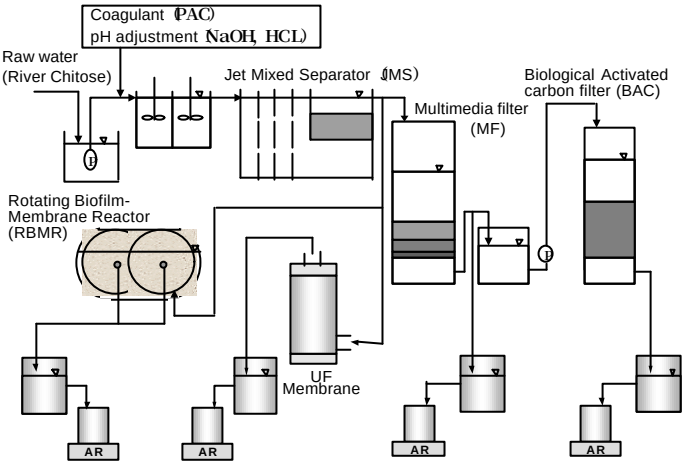

図-1　高度浄水処理パイロットスケール実験装置

3．実験結果と考察

通水期間中の各処理水の AOC、NH_4^+-N、および PO_4^{3-}-P 濃度を表-1 に示す。生物処理を付加した活性炭処理水と回転平膜透過水の AOC 濃度は、それぞれ 16-36μg ac-C eq/L、10-25μg ac-C eq/L であり、物理化学処理のみの三層ろ過水(20-70μg ac-C eq /L)と UF 膜透過水(14-128μg ac-C eq /L)の平均値の 1/2 倍程であった。回転平膜透過水を除いて（この系は硝化促進のため PO_4^{3-} 添加を行った）、NH_4^+-N および PO_4^{3-}-P 濃度には有意な差は見られなかった。また各処理水(AR 流入水)中の従属栄養性細菌数(HPC)は、回転平膜透過水で 4.0 –16×10^3 CFU/ml、UF 膜透過水で 1.7 – 16×10^3 CFU/ml であり、活性炭処理水（0.8 – 3.2×10^4 CFU/ml）、三層ろ過水（1.1 – 9.2×10^4 CFU/ml）の値より 1 オーダー高く、ろ層から細菌が漏出してきたことを示している。UF 膜および回転平膜透過水中の従属栄養性細菌数が 10^3 のオーダーであった理由として、膜ろ過では理論的には細菌を完全に阻止することができるが、膜透

Keywords: 配水システム、細菌の二次増殖、生物膜生成能、AOC、膜処理
北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻水質変換工学講座
〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目　TEL&FAX: 011-706-6267

過水側の送水ラインが既に細菌で汚染されたうえ、AOC 濃度も比較的高いことから、常に 10^3CFU/mL 程度の細菌を供給する結果となったと思われる。

図-2 は連続通水の結果、AR に付着した生物量の経日変化を、ATP 濃度を用いて示したものである。生物処理を付加した回転平膜透過水と活性炭処理水では、通水開始後約 30 日目から生物膜の付着が生じ、約 130 日後に最大付着生物量(712 – 994 pg-ATP/cm^2)に達した。一方、生物処理を付加していない UF 膜透過水では、AR 流入水中の細菌数が最も低くかったにもかかわらず、生物膜の付着が通水開直後より生じ、急激な増加を示し通水開始後約 80 日目に最大付着生物量(5100 pg-ATP/cm^2)に達した。その付着量は、回転平膜透過水と活性炭処理水の 5 倍以上、三層ろ過水の 1.6 倍と、他の系を大きく上回った。また、従属栄養性細菌数により蓄積生物量を表しても同様の傾向が得られた（図-3）。一方、回転平膜透過水については、通水開始後約 80 日目頃までは、生物膜の付着が低く抑えられていたものの、その後急激に増加し、約 100 日目には最大蓄積生物量(2100pg - ATP/cm^2/day）に達した。この値は同時期の三層ろ過水の蓄積生物量と同程度であった。蓄積生物量が急激に増加した時期と硝化促進のためにリンの添加を行っていた時期とが一致していること、また、リン添加中止後には、付着生物量が減少したことから、この期間の急激な蓄積生物量の増加はリン添加に起因するものであると考えられる。従ってこの処理系では、リンが細菌二次増殖の制限因子であり、有機物のみならずリン濃度についても監視する必要がある。

図-2 より、生物膜付着速度(pg-ATP/cm^2/day）[2)]を算出した(表-2)。その結果、活性炭処理水と回転平膜透過水で最も低い蓄積速度が得られ、三層ろ過水、UF 膜透過水の順で高い結果となった。この結果、UF 膜透過水では従属栄養性細菌数が最も低いにもかかわらず、最大付着生物量、生物膜付着速度はともに最も高かった。これは、UF 膜処理では、固液分離機能は極めて優れているが、生物学的処理を経ていないために、処理水中の AOC 濃度が高くかつ AOC 成分中でも、生物易分解性の低分子有機物が処理水中に透過するため、生物膜蓄積速度を増大させる結果となったと考えられる。本実験では、全ての処理系において、オランダでガイドラインとして示されている生物学的に安定な AOC 濃度(10 μg ac-C eq /L)、生物膜蓄積速度(10 pg-ATP/cm^2/day）をともに満たす処理水は得られなかった。故に本実験条件下で細菌二次増殖を抑制するためには、消毒が必要となると思われる。

4．まとめ

4 種類の異なる処理水について、AR を用い生物膜生成能を評価した。その結果、生物処理を付加した処理系では、AOC 濃度及び生物膜生成能が低く、生物処理を経ていない UF 膜処理水は最も細菌の二次増殖ポテンシャルが高かった。この結果は、今後、膜処理の性能評価を行う場合には、従来の固液分離機能に加えて、細菌の二次増殖ポテンシャルを新たな監視項目としてモニタリングする必要性を示唆するものである。最後に、本実験に多大な協力を頂いた江別市水道部に感謝の意を表する。

【参考文献】1） P. M. Huck (1990) *J. AWWA.* 78-96. 2) D.van der Kooij (1995) *Wat. Res.* 29, 1655-1662.

表-1　AR に流入する各処理水の水質

項目	処理水			
	膜透過水	三層ろ過水	活性炭処理水	回転平膜透過水
水温(℃)	7.9-26.4（16.0）	8.6-24.6（17.8）	12.3-24.5（16.0）	3.1-16.2（6.9）
pH	6.6-7.5（7.4）	6.5-7.5（7.0）	6.5-7.3（6.9）	6.82-7.67（7.24）
E260 (cm^{-1})	0.011-0.089（0.037）	0.013-0.085（0.036）	0.009-0.031（0.017）	0.008-0.046（0.022）
DOC (mg/l)	0.86-3.4（1.8）	0.78-3.3（1.8）	0.69-1.7（1.3）	0.83-2.1（1.2）
AOC(μg-C/l))	14-128（49）	20-70（35）	16-36（23）	10-25（16）
NH_4^+-N (mg/l)	0-0.169（0.049）	0-0.271（0.033）	0-0.271（0.033）	0-0.192（0.087）
PO_4-P (μg/l)	2.1-2.9（2.5）	4.6-20.8（10.7）	3.8-6.3（5.1）	0.3-25.7（4.0）
HPC(CFU/ml)	1.7-16×10^3（6.8×10^3）	1.1-9.2×10^4（4.8×10^4）	0.8-3.2×10^4（2.0×10^4）	4.0-16×10^3（9.0×10^3）

最小値－最大値（）内の数字は平均値

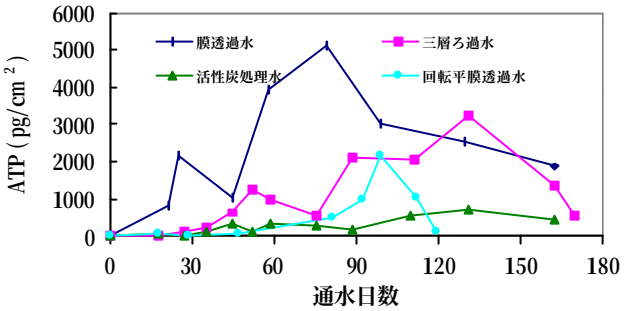

図-2　各処理水の蓄積生物量の経日変化(ATP)

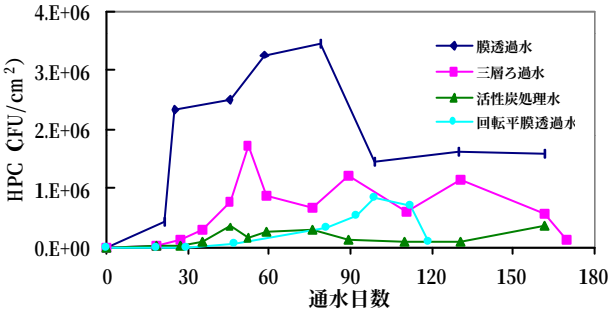

図-3　各処理水の蓄積生物量の経日変化(HPC)

表-2　各処理水の最大蓄積 ATP 濃度と生物膜蓄積速度

	生物膜パラメータ	
	最大蓄積ATP (pg-ATP/cm^2)	生物膜蓄積速度 (pg-ATP/cm^2/day)
膜透過水	5100	64.6
三層ろ過水	3200	30.9
活性炭処理水	710	60
回転平膜透過水	2100	21.6

＊　回転平膜透過水の値はリン添加時の値を示す。