

ろ過法と担体投入法から構成される新しい下水高度処理プロセスの処理特性

石山 明*・吉田忠広*・石丸賢二*・早瀬伸樹(農博)**・谷村博司**・保野健治郎(工博)***

*都市環境本部・環境エンジニアリングセンター **技術開発本部・化学環境研究所 ***近畿大学・工学部

Characteristics of New Process Using Filters and Fluidized Biofilm Reactor for Waste Water Treatment

Akira Ishiyama・Tadahiro Yoshida・Kenji Ishimaru・Dr. Nobuki Hayase・Hiroshi Tanimura・Dr. Kenjiro Yasuno

A new waste water treatment process using filters and a fluidized biofilm reactor was developed to upgrade waste water treatment without tankage enlargement. The new process showed high removal potentiality for BOD, COD, SS and NH₄-N compared with conventional activated sludge processes in field experiments. The new process provided a high and stable effluent quality without sludge bulking. Trial designs of this process indicated it required only 60% of the area required by activated sludge plants.

まえがき = わが国の下水処理施設においては、標準活性汚泥法がもっとも広く普及している。しかし、近年、処理水放流先である閉鎖性水域の富栄養化防止や水道水源の水質保全、また渇水時・災害時の水需要への対応など下水処理水の有効利用のために、高度処理が必要とされている。また、都市部などの処理場においては新たな敷地の確保が非常に難しくなっているため省スペースな下水処理施設が求められている。さらに、標準活性汚泥法では処理水質悪化の原因となる最終沈殿池の固液分離障害(パルキング)、塩素滅菌によるトリハロメタン発生などの問題が生じることがある。

当社では、このような問題を解決するため、従来の処理法とは異なり、ろ過法と担体投入法から構成される新しい下水高度処理プロセス(以下、新下水処理プロセスと称す)を提案し¹⁾²⁾、実下水をもちいて実証実験をおこなった。以下その結果について報告する。

1. 新下水処理プロセスの概要

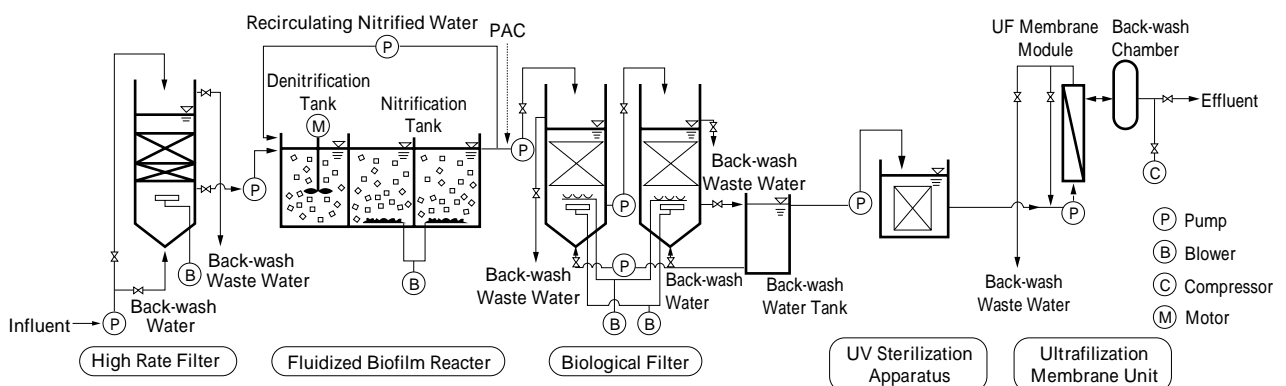
本プロセスは高速ろ過 担体投入生物流動槽 生物ろ過 紫外線滅菌 膜処理という処理フローで構成されている。実験装置の概略図を第1図に、主要仕様を第1表に示す。一次処理の固液分離には、プラスチックろ材

を充填した高速ろ過を適用して固形物を高効率に低減する。生物流動槽では高機能な微生物固定化担体により溶解性の生物学的酸素要求量(BOD)と窒素を除去する。

第1表 実験装置主要仕様

Table 1 Main specification of experimental apparatus

Equipment	Size and Description
High Rate Filter	Gravitational Down Flow Type Size : 286 × 3 000hmm Filter Depth : 700mm (Upper) 300mm (Lower) Media : Polyethylene Particle Media Size : 15 × 15mm (Upper) 5 × 5mm (Lower) Specific Gravity : 1.1 (Upper) 1.5 (Lower)
Fluidized Biofilm Reactor	Fluidized Type Size : 300w × 300l × 650hmm Carrier : Polyurethane Foam Carrier Size : 10 × 10 × 10mm Filled Carrier Ratio : 30%
Biological Filter	Gravitational Down Flow Type Size : 100 × 3 000hmm Filter Depth : 800mm Media : Porous Carbon Media Size : 2 ~ 4mm (1st) 1 ~ 3mm (2nd)
UV Sterilization Apparatus	Lamp : High Pressure Mercury Vapour Lamp Output : 4kW
Ultrafiltration Membrane Unit	Cross Flow Type Membrane : Polysulfonate Capillary Cutoff Molecular Weight : 20 000 Filter Area : 0.4m ²



第1図 新下水処理プロセス実証実験装置の概略図

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for new waste water treatment

生物ろ過では浮遊物質 BOD (SS) の除去と同時に 生物流動槽処理水に残存している化学的酸素要求量(COD), アンモニア性窒素 (NH₄-N) を除去する。

以上のプロセスにより、負荷変動にも確実な下水高度処理への対応および処理施設の省スペース化を図った。またトリハロメタンの発生を防止するため塩素滅菌のかわりに紫外線滅菌を適用し、さらに処理水有効利用の観点から安全で高度な水質を確実にするために限外ろ過膜による処理をおこなった。各プロセスユニットの概要と特長を以下に述べる。

1.1 高速ろ過

最初沈殿池の水面積負荷(35~70m³/m²/day)に対し、200m/day 以上のろ過速度で処理するため省スペース化を図ることができる。また、最初沈殿池のSS除去率(40~60%)よりも高いSS除去率で処理が可能である。ろ材がプラスチック製であり、ろ層が大小2種類のろ材から構成される2層構造のため、原水のSSが高濃度であっても表層ろ過になることなく、高いSS捕捉量がえられる。ろ材へのSSの蓄積によりろ層が閉塞すると、自動的に空気と流入水で逆洗をおこなう。

1.2 担体投入生物流動槽

高濃度に微生物が固定化された担体を槽内で流動させることにより、溶解性主体のBOD、窒素などの除去を高効率におこなうため、省スペース化を図ることができる。また、浮遊活性汚泥を使用せず微生物を安定に保持した微生物固定化担体で処理をおこなうため、槽内の活性汚泥濃度の管理が不要となる。

1.3 生物ろ過

最終沈殿池の水面積負荷(20~30m³/m²/day)よりも、高速のろ過速度で処理できるため省スペース化を実現できる。さらに、ろ材には微生物が付着しているので、固液分離と同時にBOD、COD、NH₄-Nなどの除去をおこなうことができる。また、沈殿法ではなくろ過法によって固液分離をおこなうので、パルキングを完全に防止できる。ろ材へのSSの蓄積によりろ層が閉塞すると、自動的に空気と生物ろ過処理水で逆洗をおこなう。

1.4 紫外線滅菌

塩素滅菌の際に生成するトリハロメタンを発生させることなく滅菌をおこなう。

1.5 膜処理

処理水の再利用を目的として、濁質や大腸菌などの除去を確実にこなうことにより清浄で安全な処理水質をえることができる。

2. 各プロセスユニットの処理特性

実証実験装置における連続通水条件を第2表に示し、この運転条件に基づいた高速ろ過、担体投入生物流動槽、生物ろ過の処理特性を以下に述べる。なお、紫外線滅菌および膜処理の処理特性については次節の連続運転実証実験で述べる。

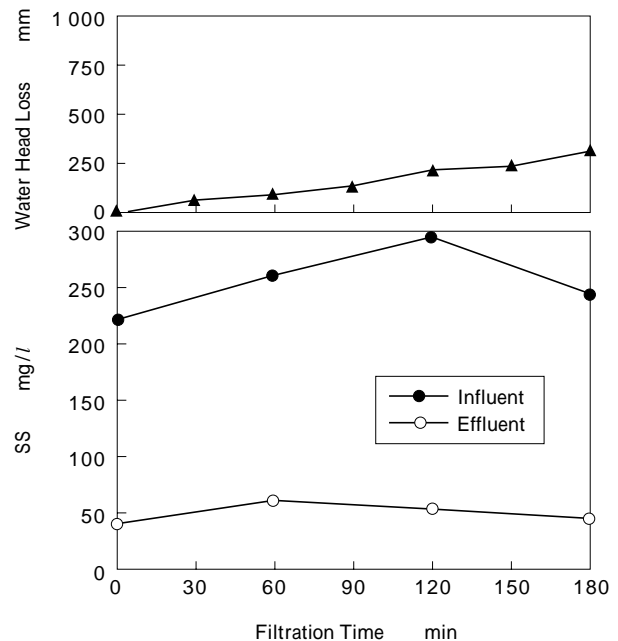
2.1 高速ろ過³⁾

省スペース化を図るため、ろ過速度は最初沈殿池の標準水面積負荷(50m³/m²/day)よりも大きい200m/day

第2表 連続運転条件

Table 2 Operational conditions for continuous treatment

Equipment	Conditions
High Rate Filter	Linear Velocity : 200m/day Back-wash Water Ratio : 4.8~7.7
Fluidized Biofilm Reactor	Retention Time : 2h x 3 Recirculating Ratio : 2
Biological Filter	Linear Velocity : 55m/day Coagulation Reagent : PAC (100mg/l)
UV Sterilization Apparatus	Retention Time : 1min Electric Power Consumption : 1.2kWh/m ³
Membrane Reactor	Flux : 4.5m ³ /day Back-wash Interval : 2h



第2図 高速ろ過におけるろ過性能の経時変化

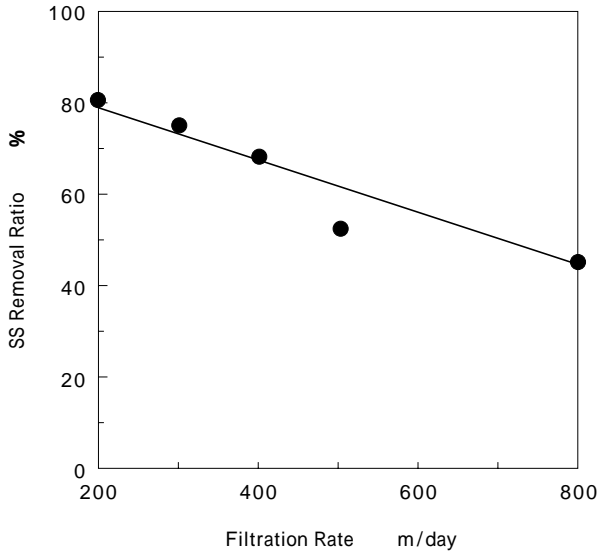
Fig. 2 Time course of filtration capacity in high rate filter

以上に設定した。ろ過速度200m/dayにおけるSS除去性能および損失水頭の経時変化を第2図に示す。原水の平均SS濃度283mg/lに対して、処理水の平均SS濃度52mg/l、SS平均除去率は81%ときわめて高い除去率を示した。損失水頭はろ過継続時間3時間でわずか320mmしか上昇せず、この後、ろ過継続時間を5時間まで延長することができた。5時間後までの処理水のSS除去率も80%前後で安定していた。ろ過継続時間は原水SS濃度により異なり、平均SS濃度が約200~300mg/lと高濃度の原水に対しては、5~8時間であった。また、このときの処理水のSS濃度は約40~60mg/lで非常に安定した性能がえられた。

第3図には、ろ過速度を200~800m/dayに変化させたときのSS除去率の変化を示した。ろ過速度が大きくなるにつれてSS除去性能が低下したが、ろ過速度200m/dayで約80%、400m/dayでは約70%のSS除去率を安定して維持し、流入下水量の変動に十分に対応することが可能であった。また、ろ過速度を500m/day以上にすると、SS除去率は60%を下回るが、それでも最初沈殿池と比較して、同等のSS除去性能を持ちながら、約10倍の水面積負荷で処理できることが明らかになった。

第3表 担体投入生物流動槽の処理性能
Table 3 Treatment capacity of fluidized biofilm reactor

	Influent	Water from Denitrification Tank	Water from 1st Nitrification Tank	Water from 2nd Nitrification Tank
S-BOD mg/l	75.5	20.5	7.5	8.5
S-COD mg/l	37.3	20.9	15.4	15.0
S-T-N mg/l	47.0	20.5	20.5	21.5
S-NH ₄ -N mg/l	39.5	14.1	2.3	0.6
S-NO ₃ -N mg/l	0.1	0.2	14.0	17.0
S-T-P mg/l	5.1	3.3	3.6	3.6



第3図 高速ろ過におけるろ過速度とSS除去率の関係
Fig. 3 Relationship between filtration rate and SS removal ratio in high rate filter

2.2 担体投入生物流動槽

窒素除去を目的とした従来の活性汚泥循環変法では、反応タンク滞留時間が12~16時間必要である。これに対し本プロセスの担体投入生物流動槽では、浮遊活性汚泥を使用せず、担体を容量比30%で投入し、硝化液循環比を2とした場合に、水温15℃、滞留時間6hの条件で、溶解性NH₄-Nはほぼ完全に除去され、溶解性BODも高度に除去された(第3表)。なお、浮遊活性汚泥を使用していない生物流動槽では、生物学的りん除去がおこなわれず、溶解性りんはほとんど除去されていなかった。

2.3 生物ろ過

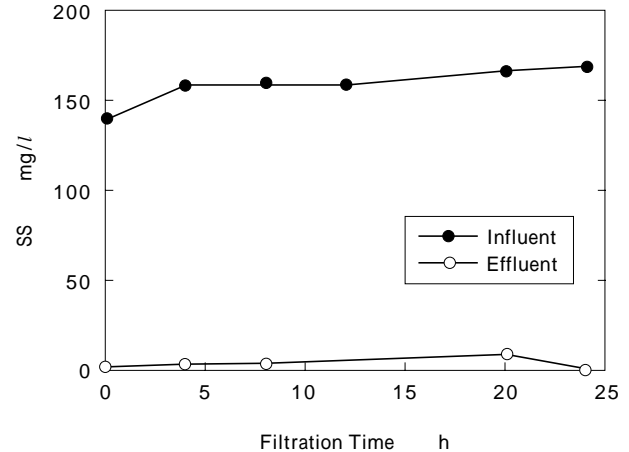
高速ろ過と同様に省スペース化を実現するため、ろ過速度を最終沈殿池の標準水面積負荷(20m³/m²/day)よりも大きい55m/dayに設定した。また、りん除去を目的として凝集剤(PAC:ポリ塩化アルミニウム)のライン注入をおこなって生物ろ過に通水した。

1) SS除去特性

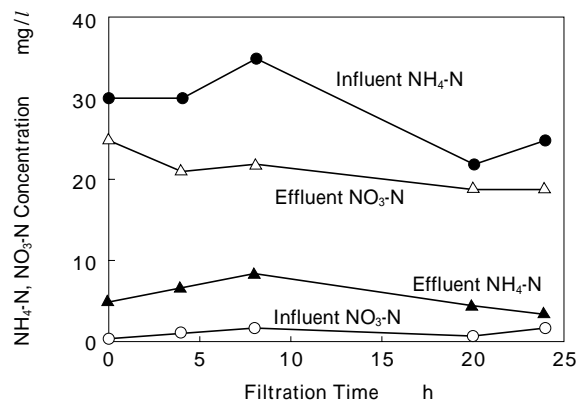
ろ過速度55m/dayにおける経時変化を第4図に示す。SSが140~170mg/lという比較的高い原水負荷に対し、処理水SSは10mg/l以下で安定していた。とくにろ過開始から8時間までは3.5mg/l以下に維持されていた。また、標準活性汚泥法の最終沈殿池とは異なり、ろ過法によって固液分離をおこなうのでバルキングを完全に防止することができた。

2) 生物処理特性

生物ろ過は、固液分離と同時にろ材に付着した微生物による生物処理が可能である。一例として、第5図に



第4図 生物ろ過におけるSS処理性能の経時変化
Fig. 4 Time course of SS removal capacity in biological filter



第5図 生物ろ過におけるNH₄-N除去性能の経時変化
Fig. 5 Time course of NH₄-N removal capacity in biological filter

NH₄-Nの経時変化を示したが、微生物によるNH₄-Nの硝化反応が進行していることがわかる。

3) りん除去特性

理論的には、1mg/lのりんを化学的に凝集して分離除去するためには、33mg/lのPAC(Al₂O₃として3.3mg/l)を必要とする。したがって、100mg/lの添加率でPACを注入すれば3.1mg/lのりんを除去することができる。第3表で生物流動槽処理水の平均全りん(T-P)濃度は3.8mg/lであり、この時の生物ろ過処理水のT-Pは0.5mg/lとほぼ理論値通りの水質であった。

3. 連続運転実証実験

3.1 連続運転における処理特性

新下水処理プロセスと標準活性汚泥法の処理結果の比較を第4表に示す。

1) 生物ろ過処理水の性能評価(放流水レベル)

第4表 新下水処理プロセスの連続運転処理結果

Table 4 Typical treatment results by new waste water treatment process

Water Quality Items	Influent	New Waste Water Treatment Process		Activated Sludge Process
		Water from Biological Filter	Water from UF Membrane Unit	
BOD mg/l	380	4.4	2.5	13
COD mg/l	154	5.9	4.3	14
SS mg/l	375	2.0	<0.5	10
T-N mg/l	67	21	21	36
T-P mg/l	10	0.5	0.5	2.4

第5表 汚泥発生量の比較

Table 5 Comparison of excess sludge production

	Excess Sludge Production kg / m ³	SS Concentration of Excess Sludge mg/l	Volatile Total Solid %
New Waste Water Treatment Process	0.29	1,000	69
Activated Sludge Process	0.37	9,240	82

全窒素 (T-N) を除いては、BOD 4.4mg/l、COD 5.9mg/l、SS 2.0mg/l、T-P 0.5mg/l と高度処理が達成され、T-N についても従来の標準活性汚泥法に比較すると良好な水質がえられた。本実験で使用した流入下水は通常の都市下水にくらべて約 1.5~2.0 倍窒素負荷が高いため処理水の T-N 濃度は高いが、窒素除去率は流入下水に対して約 70% とほぼ循環比 2 における理論値どおりの良好な除去率を示しており、通常の負荷であれば窒素の高度処理が達成されると考えられる。

2) 膜処理水の性能評価 (再利用水レベル)

紫外線滅菌においては、トリハロメタンの発生なく大腸菌群が完全に滅菌され、その後段の膜処理においては、浮遊物質が完全に除去され確実な高度処理が達成された。

3.2 処理スペース

新下水処理プロセスの紫外線滅菌設備および膜処理系設備を除いた所要総処理面積を概算したところ、標準活性汚泥法の約 60% の省スペース化が可能であると推定された。

3.3 発生汚泥量および汚泥性状

連続運転実験における発生汚泥量および汚泥性状を第 5 表に示す。単位流入下水あたりの発生汚泥量は、標準活性汚泥法にくらべて少ない傾向があり、20% 以上軽減することができた。これは、生物流動槽および生物ろ過槽に高密度に保持された微生物によって、汚泥の分

解が促進された結果であると推測される。また標準活性汚泥法と比較すると、新下水処理プロセスの汚泥濃度は希薄であったが、強熱減量は、新下水処理プロセスの値が小さく、汚泥脱水性が良好であることが推察された。

むすび= 標準活性汚泥法にかわる新下水処理プロセスの実証実験により次の結果がえられた。

- (1) 処理プロセスを従来の沈殿法・活性汚泥法とは異なるろ過法・担体投入法で構成することで、従来の 60% 程度に省スペース化され、さらに高度処理対応が可能となった。また、膜処理を含めてろ過法はバルキングなどの処理障害を防止した確実な処理法であることを確認した。
- (2) 処理水の滅菌法として塩素滅菌にかえて紫外線をもちいることにより、トリハロメタンの発生を防止し、安全な水質をえた。
- (3) プロセス全体で約 20% の発生汚泥量が低減できた。

参考文献

- 1) 保野健治郎ほか：第 30 回日本水環境学会年会講演集、(1996)、p.361。
- 2) 保野健治郎ほか：第 33 回下水道研究発表会講演集 (1996)、p.570。
- 3) 吉田忠広ほか：第 32 回下水道研究発表会講演集、(1995)、p.355。