

# ダイナミックろ過を用いた活性汚泥処理法

葛 甬 生\* 田 中 俊 博\*  
水 岡 亜 聖\*\* 西 本 将 明\*\*

## Activated Sludge Treatment System using Dynamic Filtration

by Yosei KATSU, Toshihiro TANAKA, Asei MIZUOKA, & Masaaki NISHIMOTO

Activated sludge treatment using dynamic filtration was studied by conducting continuous treatment of actual sewage. Dynamic filter modules were equipped in a denitrification process for apartment complex wastewater, as well as in a food wastewater activated sludge process. Favorable filtration and stable nitrogen removal was indicated for the former. As for the latter, a mean flux exceeding 2 m<sup>3</sup>/day and a mean filtrate SS concentration of 10 mg/l were attained by a pilot plant (capacity: 100 m<sup>3</sup>/day max.). These results suggested the high filtration performance of the dynamic filters, as compared to that of conventional sedimentation ponds.

**Keywords:** Activated sludge, Solid-liquids separation, Dynamic filtration, Flux, Turbidity, Denitrification

### 1. はじめに

下水や工場廃水などの有機性廃水に対する処理としては、一般的に活性汚泥法が多く採用されている。活性汚泥法は自然界の微生物を利用した浄化方法で、曝気槽と沈殿池から構成されており、ランニングコストがほかの物理化学処理に比べ比較的安価である。

活性汚泥法において、清澄な処理水を得るためには安定した固液分離が不可欠である。固液分離手段として、従来から沈殿池方式が用いられている。活性汚泥の沈降速度は通常20～30 mm/min程度であり、清澄な処理水を安定して得るためには、分離面積の広い沈殿池が必要となる。更に活性汚泥の沈降速度は汚泥性状に大きく影響される。とりわけ、糸状菌等によるバルキング発生時には、汚泥沈降性が悪化し、固液分離ができず、処理不能となることがある。

近年、沈殿池を不要にした膜分離活性汚泥法が開発さ

れている<sup>1)</sup>。本法では活性汚泥粒径よりはるかに小さい孔径(0.1～0.4 μm)をもつ高分子膜を用い、物理的な力で強制的に処理水が得られる。このため、汚泥沈降性に影響されず、SSを含まない清澄な処理水が得られる。また、曝気槽のMLSS濃度を高く維持できることから、高い容積負荷での処理が可能である。しかし、膜分離ではろ過流速(以下フラックス)が低く、しかも膜面の曝気洗浄やポンプ吸引などによる所要動力が大きいの。更に安定したフラックス維持のため薬品洗浄が不可欠である。このことから、大水量への対応が困難であり、処理動力の低減が求められている。

北尾らは活性汚泥の分離法として、ダイナミックろ過法を検討し、わずかな水頭圧で高いフラックスが得られることを明らかにしている<sup>2)</sup>。著者らはろ過水量及び水質が安定化するダイナミックろ過の操作条件を基礎実験などで明らかにした<sup>3, 4)</sup>。ここでは実廃水処理における活性汚泥の固液分離に、ダイナミックろ過を適用した実証試験を行い、本システムの有効性を検討した。以下に実験で得られた知見を報告する。

### 2. ダイナミックろ過法の概要

ダイナミックろ過による活性汚泥の固液分離を模式化して図1に示す。ダイナミックろ過は汚泥粒径より大き

\* 環境エンジニアリング事業本部 水環境開発センター  
水環境プロセス開発室 (工博)

\*\* 同 同

水環境プロセス開発室

\*\* 同 水処理統括 新規技術室

「用水と廃水」, Vol.45 No.9, 2003年9月号に掲載

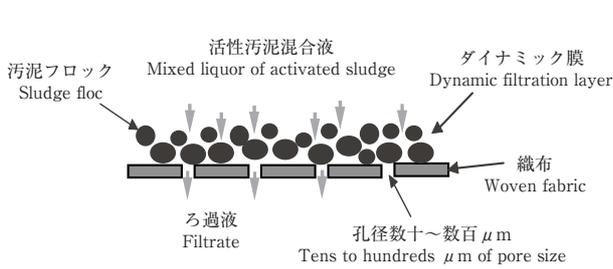


図1 ダイナミックろ過の原理  
Fig. 1 The principle of dynamic filtration

い孔径をもつ、ろ過体表面に汚泥フロックからなる付着層を形成してろ過水を得るもので、この付着層を一種のダイナミック膜と見なすことができる<sup>5)</sup>。すなわち、汚泥フロックからなるダイナミック膜が活性汚泥を排除することによって、清澄なるろ過水が得られる。

汚泥のダイナミック膜を用い、汚泥を分離する方法は以前から行われている。その一例として、汚泥脱水時のケーキろ過が挙げられる。しかし、ケーキろ過では、ケーキ層の圧密化によるろ過抵抗の増大やろ布の目詰まりが生じることから、ろ過抵抗を常時少なくし、清澄なる液を安定して得ることが大きな課題であった。鈴木らは不織布を用いたダイナミックろ過の実験的検討を行い、活性汚泥固液分離としての実用性が高いことを示している<sup>6)</sup>。

ダイナミックろ過の特長としては以下の点が挙げられる。

- (1) ダイナミックろ過層の抵抗が小さいため、数cm～数十cmの水頭圧でろ過ができ、ろ過水用の吸引ポンプが不要となる。
- (2) 従来のMF膜使用時に比べてフラックスが高く、同水量の処理水を得る場合、ろ過装置の小型化が可能である。
- (3) ろ過体モジュール洗浄が定期的な空洗で対応できるため、常時曝気洗浄の浸漬型MF膜使用時に比べ、曝気動力が小さい。

図2にダイナミックろ過方式を、沈殿池方式及び膜分離活性汚泥方式と比較した場合の概念図を示す。

従来の沈殿池方式では上澄み液を処理水とする一方、沈降濃縮した汚泥を曝気槽に返送し、曝気槽のMLSS濃度を維持している。汚泥沈降性が悪い場合、広い曝気槽及び沈殿池が必要となる。

膜分離活性汚泥方式では、曝気槽内に浸漬設置したMF膜によって活性汚泥混合液を吸引ろ過して処理水を

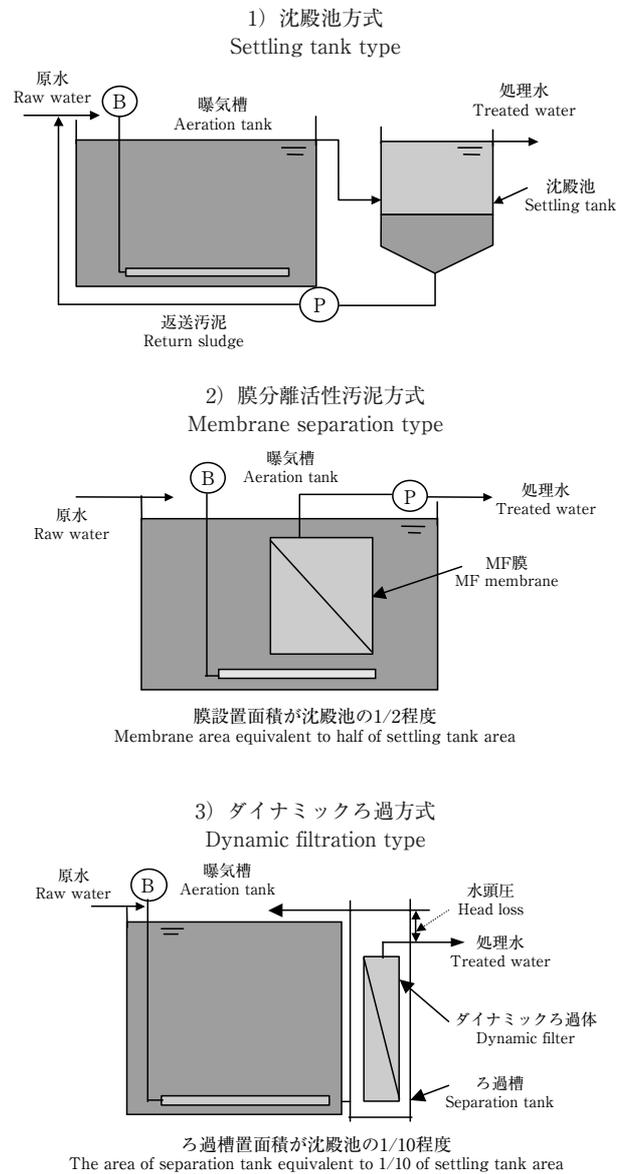


図2 ダイナミックろ過方式と沈殿池方式、膜分離活性汚泥方式の概念  
Fig. 2 Concept of dynamic filtration, settling tank and membrane filtration for activated sludge separate

得るものであり、沈殿池は不要となる。しかし、ろ過フラックスが低いため、安定した処理水量を得るためにはろ過面積の広いMF膜が用いられる。通常、沈殿池半分程度の設置面積が必要となる。有機物濃度の低い原水では、MF膜設置面積が必要曝気槽より大きくなることもある。また、膜表面の汚泥付着を抑制するため、膜下部の散気管から常時強い曝気を行っている。

ダイナミックろ過法では、ろ過体モジュールを設置したろ過槽に活性汚泥を導入して固液分離するものである。ろ過フラックスはMF膜を使用する場合より約10倍高く、コンパクトな装置でろ過可能であり、ろ過分離

槽の設置面積は沈殿池の約10分の1となる。また、ろ過体モジュールに対し、常時曝気を必要としないため、膜分離活性汚泥方式より省エネルギーとなる。

### 3. 実験目的及び実験内容

活性汚泥の固液分離にダイナミックろ過を用いた場合、固液分離装置のコンパクト化及び処理の安定化が期待できる。本実験では、糸状性バルキングで汚泥沈降性の悪い食品廃水及び団地下水の活性汚泥処理においてダイナミックろ過性能を検証することを目的として、以下の二つの連続実験を行った。

(1) 循環式硝化脱窒活性汚泥処理への適用 (実験 I)

団地下水を用いた循環式硝化脱窒活性汚泥処理におけるダイナミックろ過による長期処理性能の検討

(2) 食品廃水処理への適用 (実験 II)

清涼飲料廃水の活性汚泥処理施設において、ダイナミックろ過による長期処理性能の検討

### 4. 実験方法及び条件

#### 4-1 実験 I

実験 I は A 団地下水を原水とし、循環式硝化脱窒方式を採用した。硝化脱窒装置は脱窒槽 (2 m<sup>3</sup>)、硝化槽 (2 m<sup>3</sup>) から構成されている。実験では MLSS 濃度の異なる区間をそれぞれ RUN1 ~ RUN3 とした。図 3 にダイナミックろ過方式の循環式硝化脱窒処理フローを示す。表 1 に実験 I の処理条件を示す。

原水は脱窒槽、硝化槽の順に処理された後、硝化槽から汚泥混合液をろ過槽に供給してろ過を行った。ろ過後の汚泥混合液は循環硝化液として脱窒槽に原水の 2 倍量

を返送した。RUN1 では、MLSS を平均 3280 mg/l とした。原水量は 7.5 m<sup>3</sup>/d、循環汚泥量は 14.7 m<sup>3</sup>/d とした。全槽での原水 HRT (Hydraulic Retention Time 水力学的常留時間) は 12.8 h である。このときの原水量はろ過水量より少ないため、ろ過水の一部を硝化槽に補給して生物反応槽内の水位を一定とした。RUN2 では MLSS を平均 4470 mg/l として実験を継続した。原水と循環量はそれぞれ 11.3 m<sup>3</sup>/d と 23.2 m<sup>3</sup>/d に設定した。全槽での HRT は 8.4 h となる。RUN3 では、MLSS を平均 6100 mg/l とした。原水と循環量はそれぞれ 14.9 m<sup>3</sup>/d、30.8 m<sup>3</sup>/d とした。全槽での HRT は 6.4 h で RUN1 の半分となる。なお、RUN2 ~ RUN3 の原水量はろ過水量より多いため、処理水の一部は既設沈殿池から得た。

ろ過槽には平面型ろ過体モジュールを浸漬設置し、全体の有効面積は 3.3 m<sup>2</sup> とした。硝化槽の汚泥混合液をろ過槽に供給してろ過水を得た。ろ過体は孔径 72 μm と 114 μm の PET (Polyester ポリエステル) 製織布を使用し、ろ過時の水頭圧は常時 980 Pa {10 cmH<sub>2</sub>O} とした。

ろ過体モジュール洗浄は 2 時間ごとに空洗と水逆洗を実施した。洗浄直後数分間のろ過水は硝化槽に返送した。なお、前記自動洗浄まで 2 時間のフラックスとろ過水濁度を 1 日 1 回測定し、フラックスと濁度の経過を求めた。フラックスは積算流量計で求めた。濁度は HACH 社製

表 1 実験 I の処理条件

Table 1 Treatment conditions for NO.1 experiment

項目 Item	RUN1	RUN2	RUN3
MLSS (mg/l)	3380	4470	6100
原水量 (m <sup>3</sup> /d) Influent flow rate	7.5	11.3	14.9
循環量 (m <sup>3</sup> /d) Recirculation flow rate	14.7	23.2	30.8
全槽 HRT (h) Reactor HRT	12.8	8.4	6.4
処理水量調整方法 Arrangement of effluent flow rate	ろ過水補給 Supplying of filtrate	沈殿池より一部固液分離 A part of separation using settling tank	
BOD 負荷 [kg/(m <sup>3</sup> ·d)] BOD load	0.48	0.82	1.34
T-N 負荷 [kg/(m <sup>3</sup> ·d)] T-N load	0.13	0.23	0.32
モジュール面積 (m <sup>2</sup> ) Surface area of module	3.3		
使用ろ過体 Filter element	PET 織布 PET woven fabric		
ろ過体孔径 (μm) Pore size of element	72 及び 114 72 and 114		
ろ過水頭圧 [Pa{cmH <sub>2</sub> O}] Head loss	980 {10}		

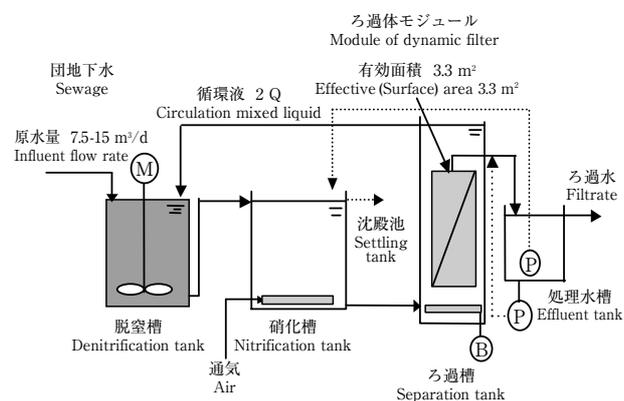


図 3 循環式硝化脱窒処理フロー (実験 I)

Fig. 3 Flow sheet of the denitrification process (NO.1 experiment)

携帯用濁度計2100P型で測定した。他の水質分析はJIS法に準じて行った。

#### 4-2 実験Ⅱ

連続実験の処理フローを図4に示す。実験は清涼飲料廃水の活性汚泥処理施設の曝気槽汚泥を用いて行った。

表2に実験期間中の処理条件を示す。

曝気槽からの活性汚泥混合液を供給ポンプでろ過槽に連続供給しながら、ろ過槽内のろ過体モジュールによりろ過を行った。ろ過水を得た後の濃縮汚泥混合液は既設曝気槽へ返送した。実験期間中の汚泥流量は264 m<sup>3</sup>/dとした。濃縮後の汚泥流量は約164～184 m<sup>3</sup>/dである。なお、流入汚泥のMLSSは3500～6000 mg/lであり、ろ過水頭圧は常時980 Pa {10 cmH<sub>2</sub>O}とした。

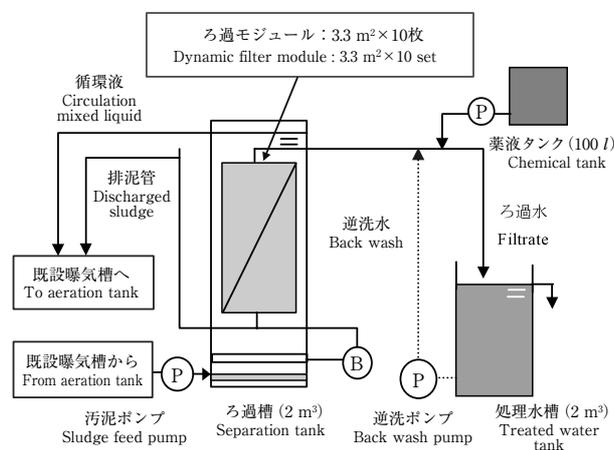


図4 食品廃水処理の実証実験フロー (実験Ⅱ)

Fig. 4 Flow sheet of pilot plant for food wastewater treatment (NO.2 experiment)

表2 実験Ⅱの処理条件

Table 2 Treatment conditions for NO.2 experiment

項目 Item	設定値 Conditions
ろ過水量 Filtration flow rate	(m <sup>3</sup> /d) 80～100
汚泥供流量 Sludge flow rate	(m <sup>3</sup> /d) 264
循環汚泥量 Recirculation sludge flow rate	(m <sup>3</sup> /d) 164～184
平均MLSS Average MLSS	(mg/l) 3500～6000
ろ過水頭圧 Head loss	[Pa {cmH <sub>2</sub> O}] 980 {10}
モジュール面積 Surface area of module	(m <sup>2</sup> ) 3.3 × 10枚 3.3 × 10 set
使用ろ過体 Filter element	金属製織布 SUS woven fabric

ろ過槽には高さ2 m、幅1 m、有効面積3.3 m<sup>2</sup>の平面型ろ過体モジュール10枚を浸漬設置した。ろ過体には金属製織布を用いた。ろ過槽の設置断面積は約0.65 m<sup>2</sup>である。写真1にろ過槽外観を示す。

ろ過体モジュールの洗浄はろ過2時間ごとに空洗と水逆洗により実施した。空洗は空洗ブロワからろ過槽下部散気管へ数分間通気して行った。水逆洗は逆洗ポンプで処理水をろ過体モジュール内部に供給して行った。なお、ろ過開始直後の数分間はSSの高いろ過水を、排泥管から既設曝気槽に返送した。また、フラックス及びろ過水濁度は実験Ⅰと同様に1日1回測定した。

### 5. 実験結果及び考察

#### 5-1 実験Ⅰ

表3には各RUNでの原水と処理水質の平均値を示す。

図5に処理期間中の原水と処理水のT-N経過を示す。

RUN1～RUN3において原水BODが126～159 mg/lであるのに対し、処理水BODは2.5～5.4 mg/lとなり、安定した生物処理ができた。また、処理水SSは平均3.7～10.6 mg/lであり、これは膜分離活性汚泥方式には及ばないものの、沈殿池方式の処理水とほぼ同じ水質となり、良好なろ過性能が得られたと考える。

原水NH<sub>4</sub>-Nが22.5～27.6 mg/lであるのに対し、処理水NH<sub>4</sub>-Nは常時0.1 mg/l以下とほぼ100%硝化した。T-Nは原水で34.2～41.7 mg/lであるのに対し、処理水で平均10 mg/l以下であり、原水に対し、約80%除去できた。



04-06 01/203

写真1 ダイナミックろ過装置の外観  
Photo 1 Overview of dynamic filtration tank

表3 原水及び処理水質の平均値 (実験 I)  
Table 3 Average quality of raw and treated water

項目 Item	RUN1		RUN2		RUN3	
	原水 Raw water	処理水 Treated water	原水 Raw water	処理水 Treated water	原水 Raw water	処理水 Treated water
pH (-)	7.2	7.6	7.2	7.4	7.0	7.1
SS (mg/l)	101	3.7	117	10.0	92.1	10.6
COD (mg/l)	85.4	10.1	94.0	11.3	92.1	13.4
BOD (mg/l)	126	2.5	159	3.5	156	5.4
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	22.5	<0.1	27.6	<0.1	23.8	<0.1
NO <sub>x</sub> -N (mg/l)	0.13	6.8	<0.1	8.4	<0.1	6.5
T-N (mg/l)	34.2	7.4	41.7	9.3	41.2	8.3

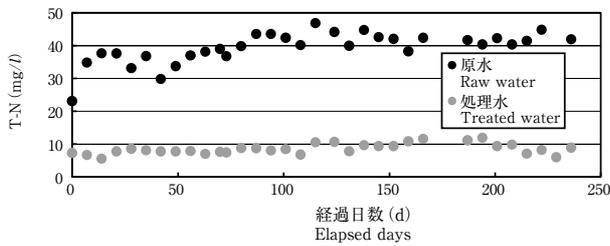


図5 T-Nの除去性能 (実験 I)  
Fig. 5 T-N removal performance (NO.1 experiment)

図6に連続実験中の硝化槽 MLSS, フラックス及びろ過水濁度の経過を示す。

MLSSを平均3380 mg/lとしたRUN1ではフラックスが4~6 m/dで、平均5.2 m/dとなった。ろ過水濁度が常時10 NTU以下で平均2.6 NTUと良好であった。

MLSSを平均4530 mg/lとしたRUN2ではフラックスが2.4~3.2 m/dとなり、平均2.9 m/dとなった。ろ過水濁度はRUN 1より若干高く、3~15 NTUで平均6.6 NTUとなった。

MLSSを平均6100 mg/lとしたRUN3ではフラックスがほぼ2 m/d以上となり、平均2.3 m/dと安定した水量が得られた。ろ過水濁度は4~20 NTUとやや変動した。平均濁度は8.8 NTUであった。高MLSS時、ろ過体内部侵入汚泥が多くなり、濁度上昇の一因と考えられた。

上記の結果より織布を用いたろ過体モジュールによるダイナミックろ過ではMLSS3000 mg/l程度で平均5 m/dのフラックスが得られる。ろ過槽面積当たりの処理水量はおよそ150~200 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・d)となる。従来の沈殿池に比べると10倍程度の分離速度があり、下水処理にダイナミックろ過を適用した場合、窒素除去だけでなく、雨水流入時の大水量にも対応可能と考える。

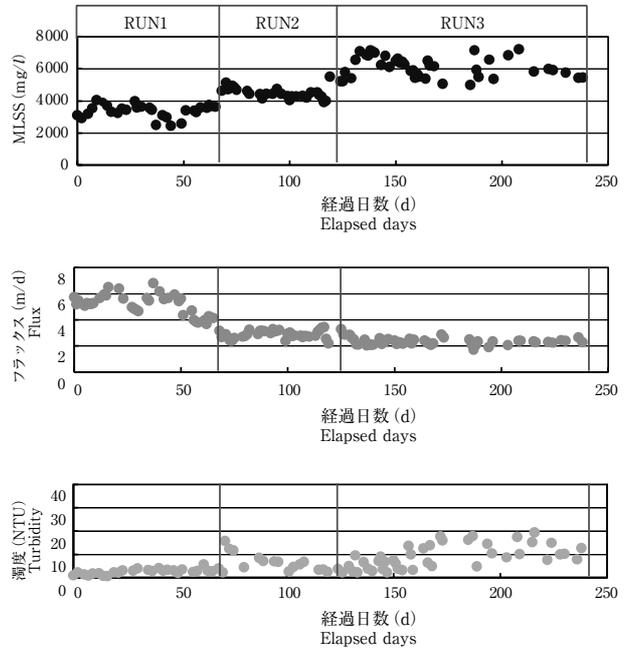


図6 循環式硝化脱窒実験でのMLSS, フラックス, 濁度の経過 (実験 I)  
Fig. 6 Change in MLSS, flux and turbidity (NO.1 experiment)

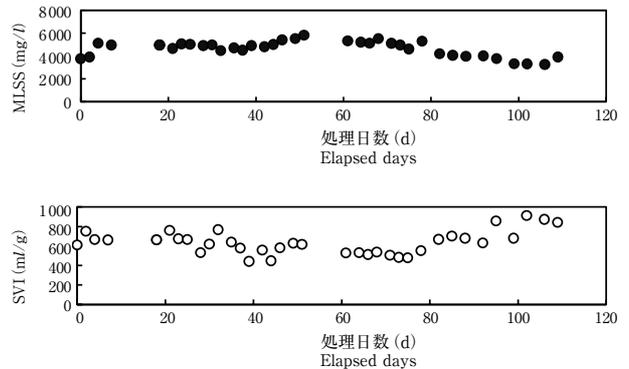


図7 食品廃水処理実験でのMLSS, SVI経過 (実験 II)  
Fig. 7 Change in MLSS, and SVI (NO.2 experiment)

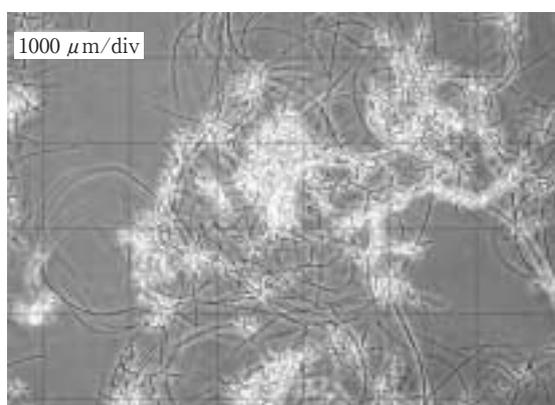
### 5-2 実験 II

図7に処理期間中のMLSS, SVIの経過を示す。ろ過槽入口のMLSSは3500~6000 mg/lであり、実験期間中の平均は約4700 mg/lであった。ろ過後濃縮汚泥のMLSSは5000~8000 mg/lで、平均6700 mg/lであり、約1.4倍の濃縮となった。また、既設活性汚泥は糸状性バルキングにより、SVIは約500~900 ml/gとなり、常時沈降性の悪い活性汚泥のため、沈殿池での沈降分離はかなり困難であった。写真2は実験期間中の活性汚泥検鏡写真を示す。糸状菌が多く存在することが認められる。

図8にダイナミックろ過でのフラックス，ろ過槽設置面積当たりの分離速度とろ過水SSの経過を示す。

フラックスは処理開始から25日目まで2.6 m/dから1.5 m/dに徐々に低下したが，その後空洗時間を延長した結果，フラックスは2.5～3.2 m/dとなり，平均2.9 m/dとなった。なお，ろ過槽設置面積当たりの分離速度は110～150 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・d)となり，沈殿池と比べると約10倍以上となる。

ろ過水のSSは実験期間中において，3～13 mg/lであり，平均7.7 mg/lと安定した処理水質が得られた。これ



04-06 02/203

写真2 曝気槽活性汚泥 (倍率100倍)

Photo 2 Microorganism in activated sludge (Magnification of ×100)

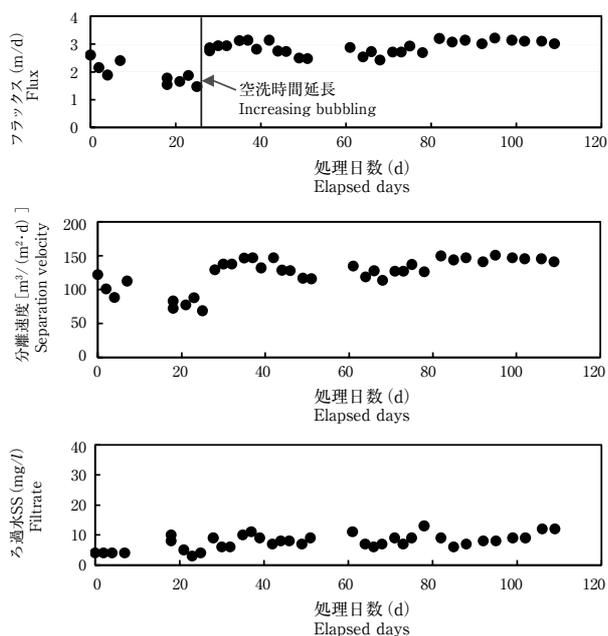


図8 食品廃水処理実験でのフラックス，分離速度及びろ過水SS経過 (実験Ⅱ)

Fig. 8 Performance of flux, separation velocity and SS (NO.2 experiment)

は従来の沈殿池処理水と比べると同程度かそれ以上清澄であると認められた。

## 6. まとめ

新規固液分離法であるダイナミックろ過特性を検証するため，団地下水処理の循環式硝化脱窒装置及び食品廃水処理の活性汚泥施設において，ダイナミックろ過を用いた連続実験を行った。その結果，以下のことが明らかとなった。

(1) 団地下水の循環式硝化脱窒処理では約240日連続実験の結果，MLSSを3000～6000 mg/lとした場合，ろ過フラックスが平均2.3～5.2 m/dとなった。また，ろ過水濁度が平均10 NTU以下で，SSが10 mg/l程度と安定したろ過性能が得られた。沈殿池型と比べるとろ過水質は同程度であり，かつ分離速度は約10倍となった。

(2) 循環式硝化脱窒処理において循環水量が2倍のとき，原水T-Nが平均34～42 mg/lであるのに対し，処理水T-N平均は10 mg/l以下と安定した処理が得られた。ダイナミックろ過との組み合わせでコンパクトな脱窒装置が可能であると認められた。

(3) 食品廃水の活性汚泥処理施設において，有効面積3.3 m<sup>2</sup>の平面型ろ過モジュール10枚を設置したパイロットプラントによる連続実験は約110日行った。その結果，MLSSが3500～6000 mg/lにおいて，フラックスは平均2.5～3.2 m/dが得られ，ろ過槽設置面積当たりの分離速度は110～150 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・d)となった。また，ろ過水のSSは平均10 mg/l以下であった。

(4) 食品廃水の活性汚泥処理施設において，糸状性バルキングにより汚泥沈降性が悪化し，SVIが常時500 ml/g以上あるにもかかわらず，ダイナミックろ過のフラックスは長期間安定していた。糸状性バルキング活性汚泥の固液分離にはダイナミックろ過が有効であると認められた。

## 参考文献

- 1) 須山 晃延, 山本 信二, 田中 俊博 用水と廃水 Vol.41 No.5 p 47-52 (1999)
- 2) 北尾 高嶺, 井手 敏文, 西田 耕治, 木曾 祥秋 下水道協会誌論文集 Vol.35 No.425 p 12-21 (1997)
- 3) 葛 雨生, 小西 聡史, 田中 俊博 京都大学環境衛生工学研究 Vol.16 No.3 p102-106 (2002)
- 4) 葛 雨生, 水岡 亜聖, 西本 将明, 田中 俊博 第40回下水道研究発表会講演集 p 718-720 (2003)
- 5) 井出 哲夫 水処理工学 技報堂 (1990) p 699-700
- 6) 鈴木 建, 小林 達也, 高橋 直哉, 永井 陸朗 第39回下水道研究発表会講演集 p692-694 (2002)