

N-2 高流束膜分離活性汚泥システムの実用化

(株)西原環境衛生研究所 ○張博苒、李冬青、品田司

1. はじめに：現在、公共事業費の削減や処理施設の敷地取得難等から、低コストでコンパクトな処理技術へのニーズが高まってきている。また、クリプトスポリジウムなどの病原性微生物への安全性や、排水の再利用への関心も高まっており、これらの解決法として膜分離技術の水処理への適用が実証化されつつある。そこで①処理の高度化と効率化、②建設・維持管理コストの削減、③必要建設面積の低減を開発目標として実証プラントを建設し、高いろ過流束を持つ中空糸膜を適用した膜分離活性汚泥処理システムの実用化を行った。

2. 実証実験方法及び膜仕様：

2. 1 実証実験施設

本実証実験は、N、P の除去を主体とした下水高度処理である。実験施設のフローを図 1 に示す。膜分離設備は 2 基のマックバイオ ZeeWeed®-500 型膜モジュールを硝化槽に設置し、完全に独立した 2 系列とした。ろ過工程、逆洗工程などの運転工程を全自動化し、データ収集システムを設備している。本実験では、流量調整槽が不要で、膜透過流束及び生物反応槽水位の制御によって、ピーク係数 3 倍まで対応する。また、膜透過水の水質を濁度計により常時監視する。

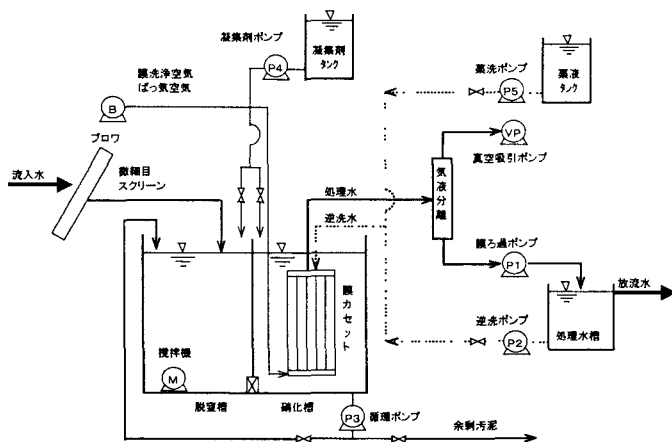


図 1. 実証施設フロー

有効容積：脱窒槽 11.6m³、硝化槽 11.6m³、処理水槽 1m³、
薬品タンク 1m³、凝集剤タンク 0.2m³。

2. 2 実験条件

基本的な運転条件等を表 1 に示す。

ろ過性能実験は定流量ろ過と流量変動ろ過を行った。定流量ろ過は膜ろ過吸引ポンプの回転数の制御によって、一定の膜ろ過水量で運転する。流量変動ろ過では流入量変動部分を吸収するため、設定の膜ろ過水量を硝化槽水位によって段階的に変化させる。

2. 3 膜洗浄

膜の洗浄は汚染状況に応じて以下の三段階によって行う。通常はろ過水による逆圧

洗浄（日常洗浄工程）を定期的に行い、必要に応じて次亜塩素酸ナトリウムを用いた自動洗浄（メンテナンス洗浄工程）を行う。ろ過流束が著しく低下した場合、または膜差圧が急激に上昇した場合、膜を洗浄槽に移して薬品洗浄（薬品洗浄工程）を行う。各洗浄工程の間隔は運転条件などによって異なる。

表 1. 実証実験の運転条件

膜モジュール	ZeeWeed®-500
処理水量 (m ³ /d)	69
日平均透過流速 (m ³ /m ² /d)	0.75
ろ過時透過流速 (m ³ /m ² /d)	0.4~1.5
MLSS (mg/l)	10,000-15,000
設計 HRT (h)	8 以下
総膜表面積 (m ²)	46×2
生物反応槽実容積 (m ³)	23
BOD 容積負荷 (kg/m ³ /d)	0.6
BOD 汚泥負荷 (kg/kg/d)	0.06-0.04
T-N 容積負荷 (kg/m ³ /d)	0.1
T-N 汚泥負荷 (kg/kg/d)	0.01-0.007

本実験では、日常洗浄工程は 9 分間ろ過・30 秒逆洗の 10 分間サイクルであり、メンテナンス洗浄工程は 200mg/l の次亜塩素酸ナトリウム水溶液で週に 1 回 1 時間行う。また、薬品洗浄を 1 年に 1 回～2 回程度行う。

2. 4 膜仕様

本実験に用いたマックバイオ ZeeWeed®膜の仕様を表 2 に示す。膜の特長は次の四つが挙げられる。

- ①物理的強度が高く、耐久性に優れている。
- ②独特の洗浄機構により高いろ過流速を保持する。

③中空糸膜と配管を一体化しているため膜分離設備がコンパクトとなり、設置が容易である。

④膜モジュールが着脱容易なカセット式であり、膜洗浄が自動化されているため、維持管理が容易である。

3. 結果及び考察

3. 1 処理性能

平成11年4月24日から8月31日までの4ヶ月間の水質平均値を表3に示す。各水質項目とも目標値を十分に満足した。

4月24日から6月15日までの間は、汚泥循環率が低く、流入原水の2倍以下に設定した。また、硝化槽DO濃度が4mg/l以上と高かったため、脱窒反応が不完全となっていた。6月15日以後、汚泥の循環量を流入原水量の約3倍に設定し、硝化槽の曝気風量を下げて、硝化槽DO濃度を2mg/l以下と調整したため、処理水のT-Nを10mg/l以下にすることができた。

T-P除去は原水濃度5.4mg/lに対して処理水濃度0.3mg/lであった。凝集剤(PAC)の添加率が8.8mg-Al/lで処理水平均濃度は目標値以下の0.3mg/lが得られた。

3. 2 ろ過性能

3. 2. 1 定流量ろ過

5月10日から8月10日までの3ヶ月間の定流量実験期間を通じて、ろ過時流速0.85m³/ m²/d、日平均ろ過流速0.75m³/ m²/dの値で運転した。ろ過時流速と膜差圧の経日変化を図2と図3に示す。膜洗浄効果を確認するため、膜を6月24日に薬品洗浄を行った。

表 2、 実証実験の膜仕様

膜種類	MF 膜
ろ過方式	浸漬吸引ろ過
材質	有機高分子膜
公称孔径 (μm)	0.1、0.4
膜表面積 (m²/モジュール)	46
寸法 (mm)	幅 750×厚さ 230×高さ 2000
中空糸内径(mm)	0.8
中空糸外径(mm)	1.95
重量 (kg/モジュール)	38
設置方法	基本的に縦型設置

表 3、水質の平均値

(平成 11 年 4 月 24 日～8 月 31 日)

項目	期間	原水 (mg/l)	処理水 (mg/l)	除去率 (%)
BOD	4/24～8/31	157.4	1	99.3
COD	4/24～8/31	91.6	6.7	92.4
SS	4/24～8/31	172.7	<0.4	100
T-N	4/24～6/15	34.7	11.5	66.3
	6/15～8/31	32.9	6.8	79.6
NH4-N	4/24～8/31	20.2	0.4	-
NOx-N	4/24～6/15	0.0	9.7	-
	6/15～8/31	0.2	5.8	-
T-P	4/24～8/31	5.4	0.3	92.1

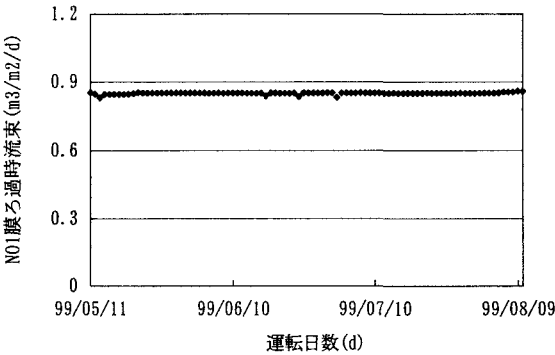


図2、NO1膜ろ過時流速経日変化図

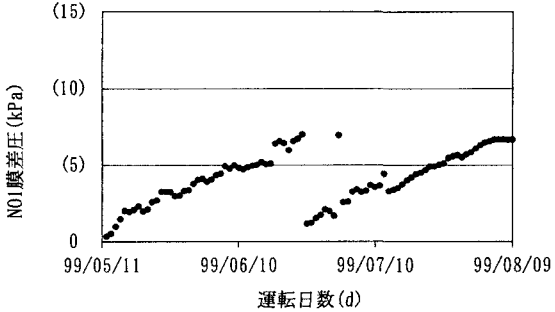


図3、NO1膜差圧の経日変化図

3. 3. 2 流量変動ろ過

8月24日から1ヶ月半の流量変動ろ過を行った。流量変動パターンを図4に示す。流量変動部分を吸収するため、設定の膜ろ過時流束を硝化槽水位によって $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ から $1.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の間に段階的に変化させる。1日の膜ろ過時流束と硝化槽水位及び吸引膜差圧の経時変化を図5と図6に示す。吸引膜差圧はサイクルごとにも元に戻っていることが分かった。

3. 3. 3 洗浄効果

膜メンテナンス洗浄と薬品洗浄の前後1時間及び5日間後の膜ろ過時補正流束の変化を表4に示す。

膜メンテナンス洗浄は回復度が小さく、また、5日間後に洗浄効果がなくなることが分かった。それに対して、膜薬品洗浄は回復度が大きく、5日以上経過しても高いろ過性能を保っている。

膜メンテナンス洗浄は膜表面、細孔に付着した有機物質をろ過水側から剥離除去するために行い、膜閉塞の速度を遅らすことが目的である。

膜薬品洗浄はメンテナンス洗浄で除去しきれない膜内外表面に付着した有機物質及び無機物質を分解除去し、膜性能を回復させることが目的である。

4. まとめ

(1) 本実証プラントでは、全自動運転が安定してできることが実証され、日平均ろ過流束が $0.75 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ (ろ過時 $0.85 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$) と高く保っていることが実証された。今後、さらに長期的な安定性を確認していく予定である。

(2) $\text{BOD}=200\text{mg/l}$ 、 $\text{SS}=150\text{mg/l}$ 、 $\text{T-N}=35\text{mg/l}$ 、 $\text{T-P}=10\text{mg/l}$ の流入水に対して、 $\text{BOD}<5\text{mg/l}$ 、 $\text{SS}=0\text{mg/l}$ 、 $\text{T-N}<10\text{mg/l}$ 、 $\text{T-P}<0.5\text{mg/l}$ の処理水が安定して得られた。また、汚泥の循環率は3で、硝化槽 DO 濃度を 2mg/l 以下に調整し、凝集剤 (PAC) を 8.8mg-Al/l (流入原水量に対して Al の添加量) の低濃度での添加によって、N、P の除去に有効であることが実証した。

(3) 流量調整槽がなくても、膜透過流束及び生物反応槽水位の制御によって、ピーク係数 1.5 倍まで対応できることが確認できた。今後、ピーク係数 3 倍までの確認を予定している。

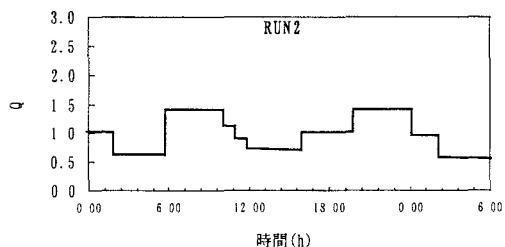


図4. 流量変動パターン

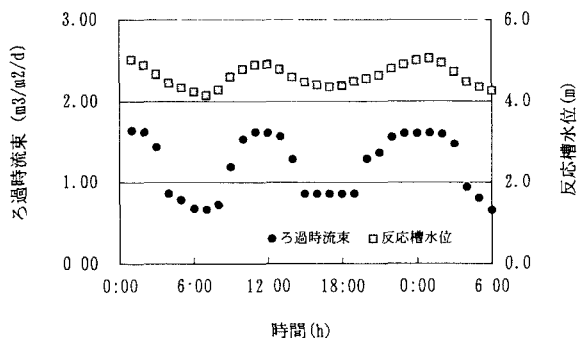


図5. 流量変動時のろ過流束と反応槽水位

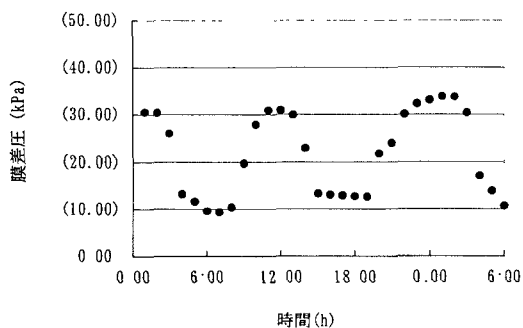


図6. 流量変動時の膜差圧の変化

表4. 膜洗浄効果

ろ過時補正ろ過流束 ($\text{m}^3/\text{d}/100\text{kPa}$, 25°C)				
日付	使用日数	1時間前	1時間後	5日間後
メンテナンス洗浄				
方法: 濃度 200mg/l の NaOCl ろ過水で 1 時間逆洗させる。				
6/9	30日	17.65	19.75	16.25
薬品洗浄				
方法: 濃度 1500mg/l の NaOC 液に膜を 3.5 時間浸漬させる。				
6/24	51日	12.34	30.48	20.03