

限外濾過膜を利用したし尿処理に関する研究

久保田鉄工株式会社

○石田宏司

同 上

和泉清司

同 上

師 正史

1 はじめに

し尿の高負荷処理における活性汚泥の固液分離性能は、汚泥の凝集性に左右され、運転管理に熟練を要していた。我々は、深層反応槽と限外濾過膜を組み合わせた処理能力 $10 \text{ K}\ell/\text{日}$ の実証プラントを昭和60年9月から3ケ年にわたり運転し、膜のライフ、難分離性物質の蓄積及びそれが生物反応に及ぼす影響などについて実験的検討を行った。

2 実証試験装置と試験方法

実証試験装置は、千葉県東金市山武郡市広域行政組合環境管理センタ内に設置し、粗目スクリーンにより1次除渣を行ったし尿の供給を受けた。図-1に実証試験装置のフロー・シートを示す。

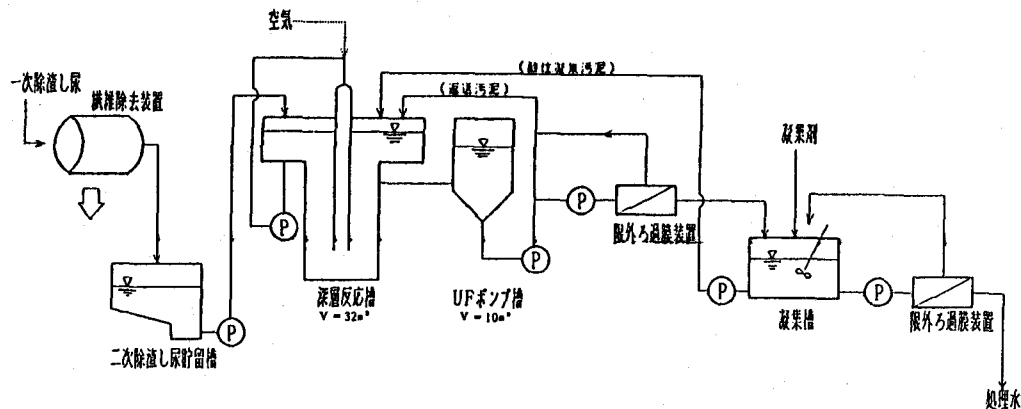


図-1 実証試験装置のフロー・シート

膜モジュールの流路閉塞を防ぐため、2次除渣設備として遠心分離機を設け、し尿中の繊維分を除去した。深層反応槽は、水深10mの完全混合型曝気槽（容量 32 m^3 ）であり、ポンプ循環式曝気装置（Uチューブ）を備えている。

し尿は、過負荷及び過少負荷時をのぞき、投入量を $10 \text{ K}\ell/\text{日}$ に調整し、無希釈で3時間を1サイクルとして、間欠的に投入した。空気量は、1サイクル中の80～95%の時間帯において、DOが $1 \text{ mg}/\ell$ 以下となるよう自動制御した。

その状態を図-2に示す。限外濾過膜は、分画分子量2万の管状ポリオレフィン膜を用いた。操作条件は、平均圧力 $2.5 \text{ K}\ell/\text{cm}^2$ 、流速 $2.4 \text{ m}/\text{S}$ 、MLSSは、 $16000 \sim 25000 \text{ mg}/\ell$ 。

活性汚泥膜分離液の高度処理として、 FeCl_3 を $1000 \sim 1500 \text{ mg}/\ell$ 注入し、pHを4～4.5に調整し、形成されたフロックを分画分子量10万の管状ポリスルホン膜で固液分離した。

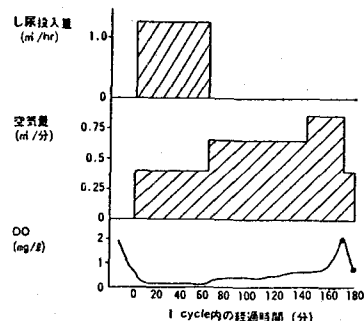


図-2 深層反応槽の運転方法

操作条件は、 $Flux$ が $100\text{ l/m}^2 \cdot \text{hr}$ となるよう透過水壓の自動制御を行った。

余剰汚泥は、1日1回UFポンプ槽より直接引き抜き、高分子凝集剤を添加後フィルタプレスで加圧脱水した。 FeCl_3 凝集汚泥は、SS濃度が 10000 mg/l を越えないよう凝集槽より引き抜き、深層反応槽へ返送する場合と返送を行わない場合の2方法について比較検討を行った。

3 試験結果と考察

実証試験結果を表-1に、活性汚泥分離膜の $Flux$ の経日変化を図-3及び図-4に、 FeCl_3 凝集汚泥を反応槽へ返送した場合と返送しなかった場合の比較試験結果を表-2に示す。

(1) 限外透過膜の耐久性について

活性汚泥膜分離液の水質は、3年間にわたり $\text{BOD } 10\text{ mg/l}$ 以下、SS不検出、無機性窒素 15 mg/l 以下の良好な水質が安定して得られた。また、COD、色度の阻止率もそれぞれ $47 \sim 49\%$ 、 $51 \sim 50\%$ で安定しており、運転開始後3ヶ年経過した現在においても、阻止率の低下はみとめられない。 $Flux$ は、液温が 25°C 以下となった特殊な場合を除いて $50\text{ l/m}^2 \cdot \text{hr}$ 以上が運転開始後3ヶ年後においても維持されており、膜透過性能の低下はみとめられない。

膜の薬液洗浄(200 mg/l NaOCl 溶液で一昼夜浸漬)は、 $Flux$ が $50\text{ l/m}^2 \cdot \text{hr}$ を下回ったとき実施した。

その頻度は、運転開始後3ヶ年経過した現在においても、2～3ヶ月に1回であり、洗浄回復性も低下していない。

(2) 限外透過膜の高度処理への適用

活性汚泥膜分離液に FeCl_3 を $1000 \sim 1500\text{ mg/l}$ 注入し、 pH を $4 \sim 4.5$ に調整して、凝集フロックを形成し、限外透過膜による固液分離を行ったところ、表-1に示すような良好な処理水質が安定して得られた。 $Flux$ は、活性汚泥の膜分離とは全く異なり、圧力をかければ、それに比例して上昇するが、 $Flux$ を過大に設定すると膜面にケーキ層が形成され、 $Flux$ が急速に低下する傾向がみとめられたので、実証試験では $Flux$ が $100\text{ l/m}^2 \cdot \text{hr}$ になるよう透過水壓を自動制御した。

$Flux$ を一定に制御する方法は、薬液洗浄頻度を少なくする上で効果的である。

また、 pH 値を凝集沈殿法にくらべて低く設定することができるので、COD及び色度の除去率が凝集沈殿法にくらべて高い点も有利である。

表-1 実証試験結果

	単位	61年	62年	63年
運転条件				
し尿処理量	(kl/d)	9.9	8.5	8.1
空気量	(m^3/d)	839	862	798
MLSS	(mg/l)	29617	23293	16950
液温度	($^\circ\text{C}$)	29.1	30.6	28.7
二次除渣し原				
pH	(-)	7.9	8.1	8.1
BOD	(mg/l)	5822	6950	6189
COD	(mg/l)	4188	3461	3540
SS	(mg/l)	5515	7941	8565
硝化遊動	(mg/l)	47	49	91
$\text{NH}_4\text{-N}$	(mg/l)	2678	2473	2435
PO_4	(mg/l)	554	544	683
Cl	(mg/l)	2558	2371	2485
循環液				
COD	(mg/l)	—	548	544
色度	(度)	—	2545	2556
限外透過膜透過液				
pH	(-)	7.1	7.8	7.1
BOD	(mg/l)	6.5	7.2	7.9
COD	(mg/l)	—	288	278
SS	(mg/l)	ND	ND	ND
$\text{NH}_4\text{-N}$	(mg/l)	7.3	8.1	6.7
$\text{NO}_2\text{-N}$	(mg/l)	2.5	2.1	4.2
$\text{NO}_3\text{-N}$	(mg/l)	2.2	1.7	1.8
PO_4	(mg/l)	—	—	130
Cl	(mg/l)	2344	2050	1939
色度	(度)	—	1249	1303
凝集沈殿液				
pH	(-)	—	4.2	4.1
色度	(度)	—	123	114
COD	(mg/l)	—	82	87
PO_4	(mg/l)	—	8.5	0.7

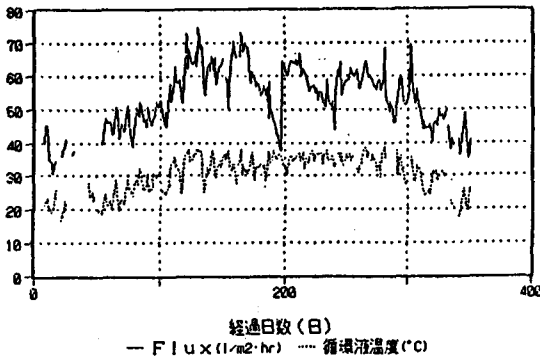


図-3 $Flux$ ・液温の経日変化(62年度)

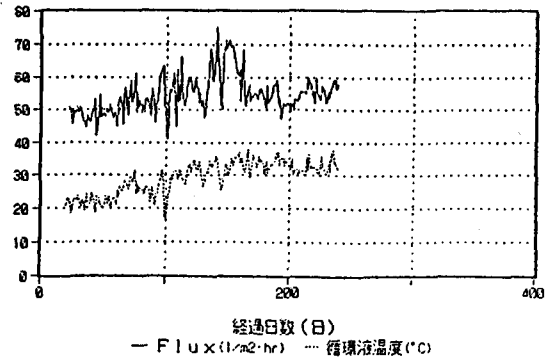


図-4 $Flux$ ・液温の経日変化(63年度)

(3) 難分解性物質蓄積の影響

活性汚泥を膜分離する場合、限外濾過膜は浮遊性物質の分離だけでなく、比較的高分子の溶解性有機物をも阻止する。これらの有機物は反応槽内に蓄積されると予想されるが、活性汚泥混合液の濾液（No. 5 C 濾紙濾過）のCODは、 540 mg/l 程度で一定値を示し、それ以上の増加はみとめられなかった。また、Fluxの低下あるいはBOD、窒素除去率の低下などの障害は、みとめられず安定した処理が維持されている。

溶解性高分子有機物の生成・分解のメカニズムは、よくわかっていないが、負に荷電した高分子有機物は、脱水用のカチオン系凝集剤と反応し、不溶化され、脱水汚泥（発生量 6 kg ds/k l ）として系外へ排出されるものと、反応槽内に長く滞留している間に徐々に低分子化され、限外濾過膜を透過して系外へ排出されるもの等によりある一定濃度でバランスするものと推測される。

(4) 凝集汚泥を反応槽へ返送することの影響

凝集汚泥を反応槽へ返送し、余剰汚泥と混合一元化することは、汚泥処理操作を容易にする利点がある。凝集汚泥を反応槽へ返送した場合と返送しなかった場合の比較試験を行った。結果は、表-2に示すように、活性汚泥膜分離液のCODが返送を行わなかった場合の 252 mg/l に対し、返送を行った場合には、 312 mg/l へと上昇した。しかし、凝集膜分離液のCODは、それぞれ 92 mg/l と 94 mg/l であり、同等の水質が得られた。一方、活性汚泥膜分離液のBOD及窒素については、凝集汚泥の返送の有無にかかわらず同等の水質が得られた。

4 まとめ

深層反応槽と限外濾過膜を組み合わせた処理能力 10 k l/日 の実証プラントを3ケ年にわたり運転し、膜ライフは3年以上が期待できること、難分解性有機物は反応槽内に蓄積されるが、ある一定濃度でバランスすること、活性汚泥膜分離液の高度処理として、凝集膜分離法が有効であること、凝集汚泥を反応槽へ返送しても、生物反応には障害を及ぼさないこと、凝集汚泥を反応槽へ返送することは、汚泥処理操作が容易になることなどの確証を得た。

表-2 凝集汚泥の反応槽への返送有無の比較試験結果

	返送無し		返送有り	
	平均値	標準偏差/サンプル数	平均値	標準偏差/サンプル数
一次除さし尿				
pH	8.2	0.2	45	8.1
BOD(mg/l)	10556	1105	16	10403
COD(mg/l)	4793	479	19	5359
SS (mg/l)	12056	1309	18	11871
T-N(mg/l)	3685	220	15	3508
P O 4 (mg/l)	638	55	16	631
cl (mg/l)	2436	116	19	2400
二次除さし尿				
BOD(mg/l)	7358	1199	16	7369
COD(mg/l)	3664	395	27	3658
SS (mg/l)	6912	509	18	6471
T-N(mg/l)	3140	255	20	3030
P O 4 (mg/l)	549	110	28	546
限外ろ過膜透				
pH	6.8	0.1	44	6.7
BOD(mg/l)	6.6	1.5	16	6.1
COD(mg/l)	252	19	43	312
NH4-N (mg/l)	7.8	2.5	42	8.1
NO2-N (mg/l)	0.2	0.1	42	0.2
NO3-N (mg/l)	1.5	0.3	42	1.8
T-N(mg/l)	38.0	3.4	20	37.2
P O 4 (mg/l)	299	20	41	93
cl (mg/l)	2018	154	44	2103
色度 (度)	1054	86	44	1306
凝集膜分離液				
pH (mg/l)	4.1	0.2	40	4.1
BOD(mg/l)	3.0	0.7	16	2.7
COD(mg/l)	92	10	28	94
色度 (度)	123	12	29	132
T-N(mg/l)	13.6	2.2	19	13.8
P O 4 (mg/l)	0.4	0.2	23	0.5