

[研究報告]

膜分離型高負荷脱窒素処理施設の維持管理状況 に関するアンケート調査結果について

Maintenance condition of night soil treatment facility by high loading biological
biological denitrification system with UF membrans separation.

稲田隆治*、岡崎貴之*、森田 昭*

Takaharu INADA, Takayuki OKAZAKI and Akira MORITA

1. はじめに

昭和29年に嫌気性消化処理方式の施設が稼働して以降、し尿処理の技術的変遷はめざましく、現在では生物学的脱窒素処理方式（標準脱窒素処理方式及び高負荷脱窒素処理方式）が建設の主流となっている。

生物学的脱窒素処理方式は最も効率的なし尿処理方式であるが、固液分離装置が重力分離によるものであり、高濃度活性汚泥混合液の固液分離性能に不安定さを残していた。そこで、より安定した処理を実現するために、高負荷脱窒素処理の固液分離装置に限外ろ過膜を適用した方式が注目され始めた。

膜分離型高負荷脱窒素処理方式によるし尿処理施設は、昭和62年度に最初の施設が稼働を開始して以降、建設数が増加しており、平成6年4月現在で50施設以上が稼働し、建設中の施設も多い。しかし、これらの施設の維持管理については、実態が把握されていない状況である。

そこで、膜分離型高負荷脱窒素処理方式によるし尿処理施設の維持管理状況を把握するために、1年以上の運転実績が得られる平成5年4月以前に稼働を開始（竣工）した施設を対象にアンケート調査を実施したので、その結果を報告する。

* (財)日本環境衛生センター東日本支局環境工学部
Department of Environmental Engineering,
East Branch, Japan Environmental Sanitation
Center

2. 調査の概要

(1) 調査対象

調査対象施設は、膜分離型高負荷脱窒素処理方式を採用し、次の条件を満たす27施設とした。

- 1 計画処理能力が10kl/日以上である。
- 2 平成5年4月以前に竣工し、1年以上の稼働実績が得られる。

(2) 調査期間

平成6年6月に対象施設へ調査用紙を郵送し、同年7月15日までに回収できたものについて集計した。

(3) 回収率

回答施設は22施設で、回収率は81%である。

(4) 調査施設の概要

調査施設の規模及び稼働年数は表-1のとおりである。

投入状況は、投入率50%以下が1施設、51~80%が2施設、81~100%が14施設、100%以上が5施設であり、計画処理量に近い施設が多い。また、

表-1 調査施設の規模及び稼働年数区分

計画処理能力 稼働年数区分	10~25M/日	26~50M/日	51~75M/日	76~100M/日	計
2年未満				1	1
3年未満	1	7	1	2	11
4年未満		2	1		3
5年未満	1		3		4
5年以上	1			2	3
計	3	9	5	5	22

浄化槽汚泥混入率は、20%以下が11施設、21~50%が7施設、51~80%が2施設、81%以上が2施設である。

3. 調査結果

調査結果は、運転実績、維持管理費、処理水質の状況、膜分離装置の運転状況について以下にまとめた。

また、設備内容の違いによるバラツキをさけるために、集計対象は調査項目に応じて次のとおりとした。

1 電力や重油の使用量、維持管理費に関する項目については、生物処理限外ろ過膜（以下生物膜）と凝集処理限外ろ過膜（以下凝集膜）及び活性炭吸着設備を有し、かつ、汚泥を焼却処理している10施設を対象とした。

2 汚泥発生量及び水質に関する項目については、生物膜と凝集膜及び活性炭吸着設備を有する18施設を対象とした。

3 膜分離装置の運転状況については全22施設を対象としたが、凝集膜については、当該設備を有する17施設を対象とした。

3.1 運転実績

汚泥処理量、電力及び重油の使用量の平成5年度実績は表-2~4のとおりである。なお、他の処理方式と比較するために、当センターが平成元年度~3年度に実施した精密機能検査の集計値を表中に併記した。

(1) 汚泥処理量

処理し尿1klあたりの汚泥発生量は、乾物換算で平均8.1kg/klである。嫌気性消化処理方式と比較すると、処理水質向上等の理由から汚泥発生量は増加しているが、標準脱窒素処理及び高負荷脱窒素処理と比較して、有意な差はみられない。

(2) 電力使用量

処理し尿1klあたりの電力使用量は平均75kwh/klであり、標準脱窒素処理及び高負荷脱窒素処理方式よりやや少ない。有意な差があるとはいえないが、コンピュータ自動制御による効率的な処

理、あるいはインバータ等による省エネ効果が考えられる。

(3) 重油使用量

処理し尿1klあたりの重油使用量は、平均7.3l/klである。

表-2 処理方式別汚泥発生量

処理方式	試料数	平均汚泥発生量 (kg-乾物/kg-処理)	標準偏差
膜分離型高負荷脱窒素処理	18	8.1	2.1
高負荷脱窒素処理	7	9.0	2.6
標準脱窒素処理	50	8.8	1.9
嫌気性消化処理	19	5.1	2.3

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は平成元年度~3年度の精密機能検査の集計値である。

表-3 処理方式別電力使用量

処理方式	試料数	平均電力使用量 (kWh/kl-処理)	標準偏差
膜分離型高負荷脱窒素処理	10	75	23
高負荷脱窒素処理	12	82	23
標準脱窒素処理	63	83	27
好気性消化処理	30	61	26
嫌気性消化処理	71	31	15

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は平成元年度~3年度の精密機能検査の集計値である。

表-4 処理方式別重油使用量

処理方式	試料数	平均重油使用量 (l/kl-処理)	標準偏差
膜分離型高負荷脱窒素処理	10	7.3	2.3
高負荷脱窒素処理	—	—	—
標準脱窒素処理	58	9.3	5.6
好気性消化処理	21	7.5	5.5
嫌気性消化処理	73	5.3	4.1

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は平成元年度~3年度の精密機能検査の集計値である。

3.2 維持管理費

維持管理費をまとめると、表-5のとおりである。なお、運転実績と同様に精密機能検査の集計値を表中に併記した。

処理し尿1klあたりの維持管理費は平均2,583円/klで、高負荷脱窒素処理方式よりやや少なく、標準脱窒素処理方式とほぼ同等である。維持管理費の内訳は他の処理方式と大きな差異はなく、電力費が全体の50%を占めている。

なお、補修に係る費用は、処理し尿1klあたりで平均1,462円となっている。

3.3 処理水質の状況

(1) 工程別処理水質

各施設で行っている水質試験結果を基に、主処

表-5 処理方式別維持管理費

処理方式	項目	電力費	燃料費	薬消費	合計
膜分離型 高負荷脱窒素処理	試料数	10	10	10	10
	平均 (円/日)	1,286(50%)	340(13%)	950(37%)	2,583
	最大値	2,443	643	1,514	3,701
	最小値	785	224	497	1,537
	標準偏差	495	131	303	692
高負荷脱窒素処理	試料数	7	7	7	7
	平均 (円/日)	1,275(44%)	238(8%)	1,368(48%)	2,879
	標準偏差	457	140	969	1,283
	試料数	52	50	52	52
	標準偏差	428	201	380	746
標準脱窒素処理	試料数	5	6	6	6
	平均 (円/日)	1,359(55%)	333(14%)	762(31%)	2,433
	標準偏差	428	201	380	746
	試料数	16	16	16	16
	標準偏差	208	162	242	401
好気性消化処理	試料数	5	6	6	6
	平均 (円/日)	721(43%)	238(14%)	706(42%)	1,625
	標準偏差	127	112	225	244
	試料数	16	16	16	16
	標準偏差	208	162	242	401
嫌気性消化処理	試料数	5	6	6	6
	平均 (円/日)	577(43%)	242(18%)	527(39%)	1,346
	標準偏差	208	162	242	401

注) 1日の費用はランニングコスト(電力費+燃料費+薬品費)における割合を示す。
区分標準高負荷脱窒素処理の値は平成元年度~3年度の標準脱窒素処理の値から算出。

表-6 工程別処理水質

項目	生物膜分離処理水 平均 (範囲~数値)	凝集膜分離処理水 平均 (範囲~数値)	放流水 平均 (範囲~数値)	種別
BOD (mg/l)	6.5 (3.4~18)	2.2 (1.3~3.0)	1.76F (ND~6.5)	1.43
COD (mg/l)	150 (22~305)	49 (14~82)	9.3 (1.8~27)	
SS (mg/l)	2.58F (ND~9.2)	2.88F (ND~7.5)	1.62F (ND~5.0)	
T-N (mg/l)	35 (6.0~77)	24 (7.2~62)	8.9 (2.0~22)	
T-P (mg/l)	45 (3.7~107)	0.4 (0.1~1.3)	0.4 (ND~3.0)	
色度 (度)	858 (64~1,400)	120 (24~240)	7.76F (ND~28)	

注) 10%分析精度で測定以下を示す。

表-7 処理方式別BOD排出負荷量

処理方式	試料数	平均排出負荷量	標準偏差	
膜分離型高負荷脱窒素処理	7	0.0092	0.0087	
脱窒素処理	1	0.0041	-	
高負荷脱窒素処理水(凝集膜分離処理水)	11	0.013	0.012	
標準脱窒素処理	沈殿槽越流水	38	0.13	0.14
	凝集膜分離処理水	22	0.02	0.02
好気性消化処理水(二次処理水)	16	0.5	0.3	
嫌気性消化処理水(二次処理水)	47	0.6	0.5	

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は高負荷脱窒素処理標準調査報告書(1990年)による。

表-8 処理方式別COD排出負荷量

処理方式	試料数	平均排出負荷量	標準偏差	
膜分離型高負荷脱窒素処理	14	0.20	0.12	
脱窒素処理	10	0.062	0.035	
高負荷脱窒素処理水(凝集膜分離処理水)	19	0.13	0.06	
標準脱窒素処理	沈殿槽越流水	38	0.46	0.19
	凝集膜分離処理水	35	0.17	0.06
好気性消化処理水(二次処理水)	16	1.0	0.3	
嫌気性消化処理水(二次処理水)	47	1.2	0.5	

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は高負荷脱窒素処理標準調査報告書(1990年)による。

理工程処理水(生物膜分離処理水)、凝集膜分離工程処理水(凝集膜分離処理水)及び放流水の水質をまとめると表-6のとおりである(分析値はいずれも平成5年度の平成値であり、分析頻度は施設で異なっている)

(2) 処理水の排出負荷量

生物膜分離処理水及び凝集膜分離処理水について、項目別に投入し尿1klあたりの排出負荷量(濃度×水量/投入量)を求めた結果は表-7~11のとおりである。なお、他の処理方式と比較するため、これまでの実態調査結果(嫌気性消化及び好気性消化処理方式は54年度、標準脱窒素処理方式は昭和59年度、高負荷脱窒素処理方式は平成2年度)を表中に併記した。

各排出負荷量は、嫌気性消化、好気性消化、標準脱窒素、高負荷脱窒素、膜分離型高負荷脱窒素の順でおおむね低減しており、処理方式として実用化された年次順になっていることから、処理技術の進歩が確認できる。また、生物膜分離処理水と高負荷脱窒素処理水を比較してみると、SSは

表-9 処理方式別SS排出負荷量

処理方式	試料数	平均負荷量	標準偏差	
膜分離型高負荷脱窒素処理	生物膜分離処理水	5	0.0046	0.0039
	凝集膜分離処理水	4	0.0042	0.0030
高負荷脱窒素処理水(凝集膜分離処理水)	19	0.024	0.021	
標準脱窒素処理	沈殿槽越流水	40	0.31	0.44
	凝集膜分離処理水	33	0.06	0.06
好気性消化処理水(二次処理水)	16	0.7	0.4	
嫌気性消化処理水(二次処理水)	47	0.8	0.4	

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は高負荷脱窒素処理標準調査報告書(1990年)による。
膜分離型高負荷脱窒素処理は分析対象量以下の濃度が多いことから、実際の排出負荷量はこれよりも低減する。

表-10 処理方式別T-N排出負荷量

処理方式	試料数	平均負荷量	標準偏差
膜分離型高負荷脱窒素処理水(生物膜分離)	10	0.051	0.044
高負荷脱窒素処理水(凝集膜分離処理水)	15	0.035	0.019
標準脱窒素処理水(沈殿槽越流水)	21	0.15	0.11

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は高負荷脱窒素処理標準調査報告書(1990年)による。

表-11 処理方式別T-P排出負荷量

処理方式	試料数	平均負荷量	標準偏差
膜分離型高負荷脱窒素処理(生物膜分離)	7	0.0005	0.0004
高負荷脱窒素処理水(凝集膜分離処理水)	12	0.0013	0.002
標準脱窒素処理(凝集膜分離処理水)	28	0.012	0.012

注) 膜分離型高負荷脱窒素処理の値は高負荷脱窒素処理標準調査報告書(1990年)による。

1/5程度に低減しており、膜分離装置の固液分離性能が高いことを裏付けている。

3.4 膜分離装置の運転状況

(1) 膜原水ポンプ

生物膜原水ポンプの吐出量調節方法は、1施設でフラックスによる自動制御を採用している以外、手動でポンプ変速機もしくはインバータを調節することにより行っている。調節方法の妥当性については、手動調節の施設のうち2施設が「フラックスによる自動制御が望ましい」と指摘している。

また、凝集膜原水ポンプの吐出量調節は全ての施設が手動で行っているが、各施設とも支障はないとしている。

(2) 膜モジュールの形式

生物膜モジュールの形式は、チューブラ型が10施設(45%)、平模型が12施設(55%)であり、凝集膜モジュールの形式は、チューブラ型が8施設(47%)、平模型が9施設(53%)である。

(3) 膜面積

計画処理能力1klあたりの膜面積(予備膜を除く)は表-12のとおりである。

生物膜の面積は、最小が0.4 m^2/kl 、最大が3.6 m^2/kl とバラツキがあるが、60%以上の施設が1.01~1.50 m^2/kl の範囲で運転されている。

また、凝集膜は一般に生物膜より大きなフラックスが得られることから、生物膜より小さな膜面積で運転できる。凝集膜の面積は、最小が0.31 m^2/kl 、最大が1.5 m^2/kl であり、50%以上の施設が0.51~1.00 m^2/kl の範囲で運転されている。

表-12 計画処理能力1klあたりの膜面積(m^2/kl)区分と該当施設数

区分	0.50以下	0.51~1.00	1.01~1.50	1.51~2.00	2.01以上	合計
生物膜	1	1	14	3	3	22施設
凝集膜	5	9	2	1	0	17施設

表-13 膜の予備率と該当施設数

区分	0%	13%	17%	28%	33%	50%	63%	69%	83%	100%	合計
生物膜	3	1	0	2	3	6	1	1	1	4	22施設
凝集膜	2	0	1	0	2	2	0	2	0	8	17施設

(4) 予備膜の面積

常用膜の面積に対する予備膜の面積比(予備率)と該当施設数をまとめると表-13のとおりであり、0%~100%までバラツキがある。該当施設が最も多い予備率は、生物膜が50%、凝集膜が100%であるか、計画処理能力との相関は低い。設計の考え方の相違もあろうが、予備膜の面積については統一性がない状況である。なお、生物膜と凝集膜の種類が同じ施設では、予備膜を共用しているケースもある。

(5) 予備膜の設置及び使用方法

生物膜の予備を設けている19施設と凝集膜の予備を設けている15施設について、その設置及び使用方法等をまとめると表-14~15のとおりであり、予備機を常設し、常用膜と予備膜とを定期的に切り換えて使用している施設が最も多い。

なお、常用膜と予備膜との切り換えは、1週間~1カ月の頻度で行っている施設が多い。

(6) 膜の洗浄

膜の洗浄は、水及び薬液(酸、苛性ソーダ、次亜塩素酸ソーダ等)により行う方法が主であり、平模型の場合は状況により開枠して洗浄を行っている。

洗浄頻度については、水洗浄が1週間~1カ月程度毎、薬液洗浄が2週間~2カ月程度毎で、生物膜では12施設(55%)、凝集膜では11施設(65%)が、フラックスの低下度合いを目安に洗浄を

表-14 予備膜の設置方法

区分	予備膜の設置方法	回答数
生物膜	常設予備	17
	倉庫予備	1
	一部常設、一部倉庫	1
凝集膜	常設予備	13
	倉庫予備	2

表-15 予備膜の使用方法

区分	予備膜の使用方法	回答数
生物膜	常用膜と定期的に切替で使用する	14
	常用膜の性能が低下した時に常用膜と併用して使用する	5
凝集膜	常用膜と定期的に切替で使用する	10
	常用膜の性能が低下した時に常用膜と併用して使用する	4
	常用膜を洗浄する時に使用する	1

行っている。

なお、洗浄効果については、1～2施設で「効果が不十分である」と指摘している。

(7) 膜の交換状況

生物膜の交換状況は表-16のとおりであり、22施設のうち13施設が膜の全量もしくは一部を交換している。交換量は施設で差異があるが、性能低下で膜を交換した場合の平均使用年数は3.0年である。

また、凝集膜の交換状況は表-17のとおりであり、7施設のうち11施設が膜の全量もしくは一部を交換している。生物膜と同様に交換量は施設で差異があるが、性能低下で膜を交換した場合の平均使用年数は3.2年である。

なお、これまでに生物膜もしくは凝集膜を交換したことがない施設は、すべて稼働年数が3年未満である。

(8) 膜の交換費用

膜の交換費用については、全部もしくは一部をメーカー保証の範囲で行った施設もあり、評価が困難である。また、膜モジュールの形式、交換量、施設所在地等によっても費用が相違するものと考えられる。

参考として、施設の負担で膜を交換した事例を表-18に示すが、生物膜、凝集膜ともに、膜面積1㎡あたり20万円程度の費用を要している。

4. まとめ

膜分離型高負荷脱窒素処理方式は、従来の処理方式と比べて固液分離性能が高いことに特徴があり、調査結果をみても、高負荷脱窒素処理方式と同等もしくはそれ以上の処理水質が安定して得られている。

今回の調査は実用化初期の施設も含まれていることから、竣工後に設備の細かい改良を行っているケースも多いと想像される。膜モジュールの運転はポンプやブロウ等と同様に一定期間で予備機と切り換えているケースが多いが、施設によって予備数量の差異が大きいため、今後は予備の考え方を整理する必要がある。なお、膜は消耗品として考えることが適当であり、維持管理にあたっては相応の費用を考慮しておく必要がある。

その他全般的な維持管理に関しては、従来の高負荷脱窒素処理方式と同様、負荷変動等に対する反応が早い分、処理計画や水質分析の重要性が高いと考えられる。また、自動制御への依存度がより高くなったことや膜の固液分離性能が高いことから、通常の運転に際しては高度な技術を必要としないが、各システムを細部まで理解し積極的に処理をコントロールするためには相応の技術力が要求されよう。特に嫌気性消化等の旧来の方式から更新するケースでは、運転技術者が種々のギャップを感じることも多く、効果的な運転指導教育の実施が望まれている。

表-16 生物処理限外ろ過膜の交換状況

交換理由	目数	交換量(種別別)と該当施設数							平均	
		20%以下	21~40%	41~60%	61~80%	81~100%	101%以上	部数	平均	範囲
性能低下(腐、凝集等)	9	1	3	1	0	2	1	1	3.0	2.0~3.5
破損、改良等	4	0	1	0	0	3	0	0	1.6	1.0~3.0

表-17 凝集処理限外ろ過膜の交換状況

交換理由	目数	交換量(種別別)と該当施設数							平均	
		20%以下	21~40%	41~60%	61~80%	81~100%	101%以上	部数	平均	範囲
性能低下(腐、凝集等)	8	0	2	1	1	3	0	1	3.2	2.0~4.0
破損、改良等	3	0	0	0	0	2	0	1	2.7	2.0~3.0

表-18 膜の交換費用例(単位:千円/㎡)

区分	生物膜	凝集膜
A施設	156.3	166.7
B "	164.3	164.3
C "	96.3	-
D "	206.3	-
E "	250.0	250.0
F "	194.3	-
G "	200.5	200.0
H "	-	262.1

参考文献

- (1) 日本環境衛生センター：高負荷脱窒素し尿処理施設実態調査報告書(1990)
- (2) 日本環境衛生工業会：膜分離技術の運転実績と課題、平成5年度廃棄物処理施設技術管理者等地方ブロック別研修会し尿関係テキスト(1993)