

膜分離技術を用いた下水二次処理水の有効利用 〔芦屋市環境処理センターにおける実施例・稼動状況報告〕

NKK ○藤野正人 厚浦裕 堀江稔典 前園健司 谷地田修一

1 はじめに

芦屋市は、以前から修景用水やごみ焼却施設のガス冷却水として、下水処理水を使用していた。しかし、ごみ焼却施設ではガス冷却塔や煙道内にクリンカーが生成し、2週間に1回程度の頻度でクリンカーの除去作業を行っていた。クリンカー生成の原因はいくつか考えられたが、下水処理水の性状（濁質、塩類等）が原因の一つとして確認された。そこで、ごみ焼却施設を新設するにあたってクリンカーの生成を防止するため、精密ろ過膜（以下「MF膜」という）と逆浸透膜（以下「RO膜」という）を主体とする下水処理水の高度処理設備（以下「膜処理設備」という）を設置した。平成8年3月にごみ焼却施設が本稼動して以来、その高度処理水をガス冷却水として使用しているが、クリンカーの生成は認められず安定操業の確保をしている。本報では、この高度処理設備のうち膜処理設備を中心に、その概要と運転状況について報告する。

2. 高度処理設備の概要

2.1 フローシート

下水処理水（塩素消毒済み）を、原水槽に一時貯留したのち前処理ストレーナで夾雑物を除去し、重亜硫酸ナトリウム（残留塩素の還元）とPACを添加し、凝集槽で攪拌混合する。続いてMF膜ユニットで浮遊物質および凝集フロックを除去したのちろ過水槽に一時貯留する。MF膜ユニットは15分に1回の頻度で高圧空気（600kPa）による逆洗をおこなって、常に安定したろ過性能を維持している。さらに、MF膜ユニットのろ過水をRO膜ユニットに供給し、塩類等の溶解性物質を除去する。RO膜モジュールの配列はクリスマスツリー方式を採用し回収率の向上を図っている。

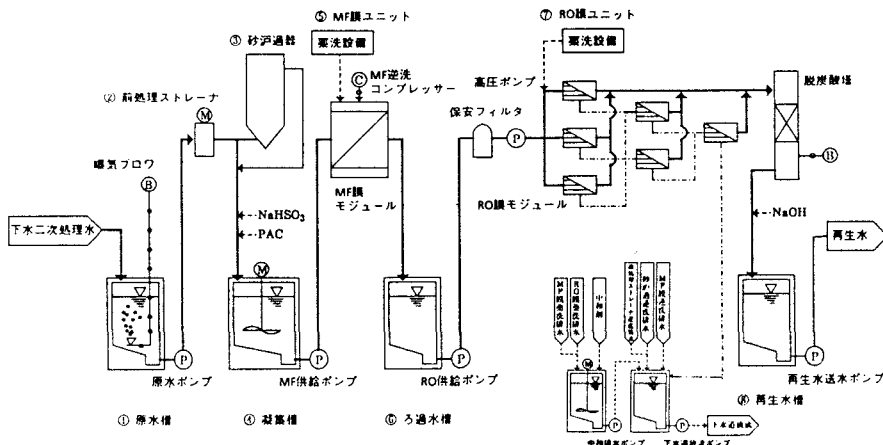


図-1 下水処理水の膜処理設備フロー

2.2 設備仕様

膜処理設備における再生水量は400m³/日で、下水再利用のための膜処理設備としては、日本で最大規模の設備である。また、受入れる下水処理水の計画流入量は640m³/日で、本設備の回収率は62.5%となっている。主要な設備であるMF膜ユニットとRO膜ユニット（以下両方を総称して「膜装置」という）の仕様を表-1に示す。

【表－１】 膜装置の仕様

項目	MF 膜ユニット	RO 膜ユニット
ろ過方式	全量ろ過方式	クロスフロー方式
膜材質	ポリプロピレン	ポリビニルアルコール
膜形状または膜エレメント形状	中空糸膜 (外径 620 μ m, 内径 320 μ m)	スパイラル膜 (8 インチ)
膜モジュール形状	ケーシング収納型	圧力容器収納型
性能	0.2 μ m 以上の粒子を 99.9%除去	食塩排除率 93%
流束	2.5 m ³ /m ² ・日	0.6 m ³ /m ² ・日
膜面積	240m ² (24 本×10m ² /膜モジュール)	672 m ² (膜エレメント数 24 本×28 m ² /本)
ユニット外形寸法	幅 2.2 m×長 5.4 m×高 2.3 m	幅 2.9 m×長 7 m×高 4.3 m
回収率	89 %	75 %

2. 3 計画時の留意点

膜装置を安定して運転するためには、夾雑物による膜モジュール内の閉塞を防止し、浮遊物質、コロイド状物質、および溶解性物質による膜面細孔の目詰まりやファウリングをできるだけ抑制する必要がある。本膜処理設備の計画にあたってはこれらの点に留意し、以下に示す対策を講じることとした。

- ①下水処理水中の夾雑物を除去するため、目開き 0.8mm の自動逆洗式ストレーナを設ける。
- ② RO 膜の前処理には、濁質成分を確実に除去でき、コンパクトで、維持管理が容易な MF 膜を選定した。
- ③ PAC を添加し下水処理水中のコロイド状物質を粗大フロック化して、MF 膜の目詰まりを抑制することとした。(PAC の添加量は Al として最大 3 mg/l、一定量注入)
- ④ RO 膜の表面におけるスケール生成を抑制するため、RO 膜への供給水に塩酸を添加し、PH を 6 程度となるようにした。また、同時に塩素剤を添加し、RO 膜ユニット内での微生物の繁殖等によるスライムの発生を抑制することとした。(塩酸は PH 計、塩素剤は残留塩素濃度計による注入量自動制御)
- ⑤突発的に膜装置の機能が低下した際の再生水量を確保するため、砂ろ過器を設置して一時的に簡易処理ができるようにした。また、下水処理水の水質悪化した場合でも、MF 膜への負荷を低減する目的で運転可能なものとした。

3. 運転状況

3. 1 膜装置の処理水質

試運転時の処理水質と 1 年半経過した後の処理水質を表－2 に示す。試運転時の水質は、Na, Cl 等の濃度が非常に高くなっているが、これは、震災で受けた被害の影響で流入下水に地下水（海水）が混入していたためである。現在は震災前の水質に戻っている。

下水処理水中の濁質成分は MF 膜によって確実に除去されている。また、RO 膜によって溶解性物質も除去されており、安定した処理性能を現在も維持している。このような水質の再生水をガス冷却水として使用している結果、旧施設で起こっていたクリンカーの発生は 1 年半経過した現在も認められていない。

3. 2 膜装置の運転圧力

膜による物質の分離の推進力は機械的に加えられる圧力であり、膜の一次側と二次側での圧力差、いわゆる膜差圧は、MF 膜では透過流束に影響を与え、RO 膜の場合は透過流束と物質の除去率に影響を与える。

膜装置の運転を処理水量が一定量となるようにした場合は、目詰まりやファウリングによる透過性能の経時的低下を補うため、膜間差圧を徐々に高めてゆく操作を行う。そして、膜間差圧がある程度の値に達した時点で、薬液による洗浄を実施して膜の再生を図る。したがって、膜処理設備においてはこの膜間差圧が重要な運転管理指標のひとつとして用いられる。表－3 に膜装置の圧力に関するデータを示す。なお、これらの値は薬洗後のものであり、表の最下段に薬洗前の膜差圧を記載している。

【表－2】 試運転時と1年半後経過後の処理水質

項目	単位	試運転時			1年半経過後		
		原水	MF処理水	RO処理水	原水	MF処理水	RO処理水
色度	度	25	13	<1	11	4	<1
SS	mg/l	6	2 ※1	<1	17	<1	<1
BOD	mg/l	18.3	1.6	1.9 ※2	17	1	<1
COD	mg/l	16.0	11.9	4.9 ※2	10	3.9	<1
T-N	mg/l	15.9	—	11.1	6.9	—	5.0
T-P	mg/l	1.52	0.4	<0.01	1.0	0.09	0.05
大腸菌	個/ml	5	陰性	陰性	1,520	陰性	陰性
一般細菌	個/ml	530	22	検出せず	87,000	検出せず	検出せず
TDS	mg/l	2,320	—	1,110	1,480	—	730
Na	mg/l	575	—	345	350	—	190
Mg	mg/l	67.5	—	11.8	40	—	13
Ca	mg/l	79	—	22.2	49	—	18
Mn	mg/l	<0.01	—	<0.01	0.04	—	<0.01
Cl	mg/l	1,250	—	775	560	—	320
硬度	CaCO ₃ mg/l	467	—	106	290	—	99

※1) ろ過水槽の汚れがサンプリング時に混入したためSS分が検出されたものである。

※2) 再生水槽の汚れがサンプリング時に混入したためSS分が検出されたものである。

【表－3】 膜装置の運転時圧力の一例

項目	単位	MF膜ユニット			RO膜ユニット		
		試運転時	半年経過時	1年半経過時	試運転時	半年経過時	1年半経過時
膜入口圧力	kPa	215	210	215	843	637	588
膜透過側圧力	kPa	175	195	200	69	69	49
膜濃縮側圧力	kPa	—	—	—	333	373	314
膜差圧	kPa	40	15	15	520	436	402
透過水量	m ³ /h	25.2	25.2	25.2	17.6	15.9	16.2
薬洗前膜差圧	kPa	100	82	50	819	470	416

MF膜の場合、試運転時の薬洗後の膜差圧は40kPaで、半年経過時、1年半経過時の15kPaにくらべ高いが、これは、二次処理水の水質が震災の影響で悪化していたことにより、一回の薬洗では除去しきれない汚れが生じたためである。その後、二次処理水の処理水質が回復した以降は、薬洗によって膜差圧は回復し、安定した運転を続けている。

RO膜の場合も膜差圧が時期によって異なっているが、25℃に換算した単位膜差圧当りの透過水量を求めると試運転時は0.043 [m³/h・kPa, at25℃] に対し、半年経過後が0.041 [m³/h・kPa, at25℃]、1年半経過後が0.043 [m³/h・kPa, at25℃]であり、RO膜は現在も試運転時と変わらない透過性能を維持している。

4. おわりに

下水再利用施設としては極めて実績の少ない膜処理設備ではあるが、本稼動して1年半を経過した時点でも初期の性能を維持し、安定した運転を継続している。その再生水は、下水再利用用途としては実施例が少ないごみ焼却施設のガス冷却水として支障なく利用されている。

今後、本膜処理設備の運転状況を引き続き追跡し、膜寿命等の確認をしてゆきたいと考えている。

最後に、本報告の作成にあたって御協力いただいた、芦屋市環境処理センターの関係各位殿に感謝いたします。