

## UF膜を用いたし尿処理システムについて

徳西原環境衛生研究所 縄村義晴 ○土屋之也

### 1. はじめに

著者らは、新しいし尿処理技術として従来の高負荷処理技術と膜分離技術を組み合わせたし尿処理システムを開発・実用化した。ここではこの処理システムを紹介すると共に実証試験により得られた結果の概要を報告する。

### 2. 実証試験及び施設概要

実験はS市し尿処理場内に一部新設の実証プラント（ $Q=10\text{kl}/\text{日}$ ）を設け、表-1に示す平成元年度の約1年間に行われた。実証試験施設のフローシートを図-1に示す。図中、点線で囲まれた部分は既設設備を利用したことを表している。除渣し尿は既設処理場の調整槽よりポンプアップし、無汚濁で24時間連続投入を行った。主反応槽は5Qの有効容積を持つ有効水深5mの曝気槽であり、間欠ばう気方式によって単一槽での窒素・BODの同時除去を行った。また、窒素の処理を行う槽として約0.5Qの有効容積を持つ仕上げ槽を後段に設けた。膜分離装置の原水槽は1.2Qの有効容積であり、混合液はこの原水槽と膜分離装置との間を循環する内に濃縮される。

表-2に生物膜分離装置の主な仕様を示す。生物処理水はさらに混和凝集槽において凝集剤の添加を行い、COD、色度、T-P成分の除去を行った。凝集条件を表-3に示す。凝集液の固-液分離は凝集膜分離装置によって行った。凝集膜分離装置の概要を表-4に示す。凝集処理水は最後に活性炭処理され既設し尿処理場へ戻した。各プロセスから生じた余剰汚泥および凝集汚泥は既設し尿処理場の汚泥脱水機、焼却装置を利用して処分したが、日汚泥発生量が汚泥処理施設に対して少量であるため汚泥を一時貯留し、貯量が満杯となった時点（7日から10日間）に汚泥処理を行った。

なお、シール水等施設用水の混入により希釈倍率は約1.2倍となっている。

### 3. 実験結果

表-5に 秋季における実証プラントの運転状況を、表-6に投入除渣混合し尿の性状と各処理工程の本質を示す。

表-1 実証試験期間

| 試験区     | 期 間               | 平均処理量 | 浄化槽汚泥の<br>混入率% |
|---------|-------------------|-------|----------------|
|         |                   | kl/日  |                |
| 冬 季     | 平成元年<br>2月7日～3月8日 | 10.73 | 47             |
| 春 季     | 4月3日～4月28日        | 10.53 | 29             |
| 夏 季     | 7月16日～8月12日       | 10.65 | 34             |
| 秋 季     | 9月18日～10月20日      | 10.62 | 39             |
| 四季平均    |                   | 10.65 | 37             |
| 過負荷     | 5月17日～6月8日        | 13.65 | 21             |
| 軽負荷     | 11月6日～12月2日       | 6.54  | 41             |
| 全試験期間平均 |                   | 10.40 | 35             |

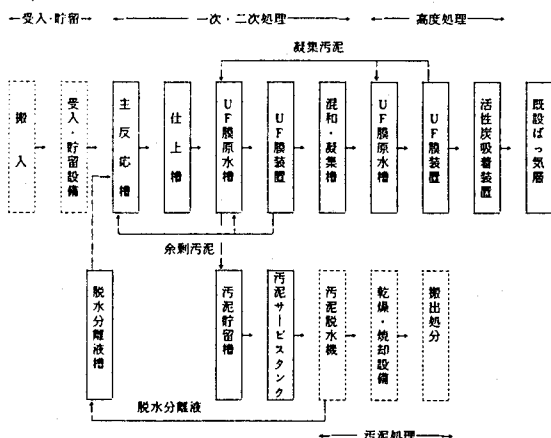


図-1 実証プラントフローシート

表-2 生物膜分離装置仕様

|          |                                                |
|----------|------------------------------------------------|
| 膜モジュール   | チューブラー型（並列接続タイプ）                               |
| 総膜面積     | 13.8m <sup>2</sup> （2.3m <sup>2</sup> /本 x 6本） |
| 膜材質      | ポリオレフィン（分画分子能 20,000）                          |
| 段組形式     | 1列6段（一部分2列3段）                                  |
| 原水供給ポンプ  | 渦巻型ポンプ                                         |
| プレススクリーン | 複式ストレーナ（メッシュ 10mm）                             |

3. 1 生物処理

試験期間中、主反応槽におけるBOD負荷は汚泥負荷 0.102kg/kg・日、容積負荷1.68kg/m<sup>3</sup>・日であり、またT-N負荷は汚泥負荷0.037kg/kg・日、容積負荷0.61kg/m<sup>3</sup>・日であった。この値は従来の高負荷脱窒素処理方式と概ね同等の値であった。この運転条件で処理水質はBOD4.1mg/l、T-N28.7mg/lであり、各々の除去率が平均99.95%、99.0%という高値が得られた。主反応槽はコンピューターによる散気装置の制御によって管理された。

3. 2 生物膜分離

本実験施設では膜分離装置は基本的に24時間の連続運転を行った。膜分離装置の造水能力は図-2に示すように運転日数の経過と共に低下する事がわかった。試験期間の後半において一旦低下したFluxが再度増加しているが、これは膜汚染に伴って低下した造水量を一定レベルに維持する目的で操作圧力を調整したためである。この様に膜分離装置の造水能力を作業レベルで操作する因子は運転時の圧力操作を行う事になるがその頻度は試験期間中数回程度と少なかった。造水能力の低下に対処した調圧操作が一定のレベルに達した場合は、それ以上の調圧操作による造水能力の維持は困難となり、膜の洗浄が必要となった。本試験において膜の洗浄は50~60日に1回の割合であった。膜洗浄時期の目安となる膜の造水能力低下度合いに関しては、その因子が膜面を通過する汚染物質の総量に起因する事が容易に推測され、水質の安定した条件下では造水量に比例すると考えられる。図-4に造水量に対するFluxの関係を、また、図-5には透過汚濁物量に対するFluxの関係を示す。図中Fluxは解析のため2kg/cm<sup>2</sup>の操作圧換算値で表されている。両図共相関性に明確な差異が見られないため、膜の洗浄時期を運転日数からだけでなく造水量からも予測する事が実用上可能である事を示している。

なお、UF膜分離装置のCOD阻止能による、原水槽でのCOD濃縮作用は本実験では確認されなかった。

3. 3 凝集膜分離

凝集膜分離装置も生物膜分離装置と同様に24時間の連続運転を行った。凝集膜に用いた分画分子量100,000のUF膜モジュールは生物膜に用いたものと比較して処理水の透過性が高く、膜洗浄後の水運転では約20m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日ものFluxが得られる。しかし、運転当初のFluxが高いことと、凝集汚泥が

表-3 混和凝集槽凝集条件

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 凝集剤   | 塩化第二鉄 (3.8%溶液)      |
| 注入量   | 流入汚水量に対して 400mgFe/L |
| pH調整剤 | 苛性ソーダ (2.4%溶液)      |
| 凝集pH  | 4.2~4.5             |
| 接触時間  | 流入水量に対して30分         |

表-4 凝集膜分離装置仕様

|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
| 膜モジュール  | チューブラー型 (並列接続タイプ)                             |
| 総膜面積    | 2.3m <sup>2</sup> (2.3m <sup>2</sup> /本 x 1本) |
| 膜材質     | ポリスルフォン (分画分子量100,000)                        |
| 段組形式    | 1列1段                                          |
| 原水供給ポンプ | 渦巻型ポンプ                                        |

表-5 実証プラント運転状況

| 運転区  | 項目                                     | 秋季    |       |       |
|------|----------------------------------------|-------|-------|-------|
|      |                                        | 平均    | 最大    | 最小    |
| 反応槽  | 処理量m <sup>3</sup> /d                   | 10.62 | 11.64 | 9.03  |
|      | 透過汚泥量m <sup>3</sup> /d                 | 21.63 | 22.41 | 21.15 |
|      | ばっ気風量m <sup>3</sup> /hr                | 229   | 301   | 156   |
|      | ばっ気時間hrs/d                             | 14.3  | 15.2  | 13.8  |
|      | 攪拌時間hrs/d                              | 9.7   | 10.2  | 8.8   |
|      | ばっ気回数c/d                               | 24.0  | 24.6  | 23.3  |
|      | MLSSmg/l                               | 16422 | 17936 | 14753 |
|      | 水温℃                                    | 35.7  | 37.8  | 34.2  |
|      | 処理日数d                                  | 4.72  | 5.54  | 4.30  |
|      | BOD負荷量kg/d                             | 84.0  | 120.6 | 59.5  |
| 仕上槽  | T-N負荷量kg/d                             | 30.5  | 48.3  | 21.5  |
|      | プラント用水(ろ-水)m <sup>3</sup> /d           | 0.71  | 0.74  | 0.68  |
|      | 処理日数d                                  | 0.57  | 0.66  | 0.52  |
|      | ばっ気風量m <sup>3</sup> /hr                | 9.0   | 13.5  | 9.0   |
|      | ばっ気時間hrs/d                             | 10    | 12    | 8     |
|      | 攪拌時間hrs/d                              | 14    | 16    | 12    |
|      | ばっ気回数c/d                               | 28    | 32    | 24    |
|      | 膜面流速m/s                                | 2.35  | 3.16  | 2.82  |
|      | MLSSmg/l                               | 22634 | 24841 | 20372 |
|      | 水温℃                                    | 35.7  | 37.5  | 33.8  |
| UF   | 平均圧力kg/m <sup>2</sup>                  | 2.78  | 3.01  | 2.66  |
|      | 膜フラックスm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d | 1.25  | 1.45  | 1.02  |
|      | 処理量m <sup>3</sup> /d                   | 10.06 | 10.30 | 9.60  |
|      | 膜和凝集時間min                              | 28.64 | 30.00 | 27.96 |
|      | FeCl <sub>3</sub> 注入量l/d               | 24.14 | 26.05 | 22.47 |
|      | 凝集pH                                   | 4.34  | 4.55  | 4.05  |
|      | 膜面流速m/s                                | 3.0   | 3.3   | 2.8   |
|      | MLSSmg/l                               | 10584 | 11627 | 9941  |
|      | 水温℃                                    | 34.9  | 37.2  | 33.2  |
|      | 平均圧力kg/m <sup>2</sup>                  | 1.2   | 2.85  | 0.6   |
| 凝集UF | 膜フラックスm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d | 4.3   | 4.5   | 4.1   |
|      | 処理量m <sup>3</sup> /d                   | 2.59  | 2.64  | 2.48  |
|      | 透水速度m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d   | 147   | 149   | 140   |
|      | 炭処理量l/h                                | 2.04  | 2.08  | 1.95  |

表-6 処理工程別水質一覧 (秋季)

|                        | 除渣混合上清 |       |      |      | 生物膜処理水 |      |      |      | 凝集膜処理水 |      |      |      | 活性炭処理水 |    |    |   |
|------------------------|--------|-------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|----|----|---|
|                        | 平均     | 最大    | 最小   | 値    | 平均     | 最大   | 最小   | 値    | 平均     | 最大   | 最小   | 値    | 平均     | 最大 | 最小 | 値 |
| 水温℃                    | 22.74  | 26    | 18.0 | 35.8 | 37.7   | 34.0 | 33.3 | 36.4 | 31.6   | 31.6 | 34.5 | 29.9 |        |    |    |   |
| 透明度cm                  |        |       |      | 100↑ | 100↑   | 100↑ |      |      |        |      |      |      |        |    |    |   |
| pH                     | 8.38   | 9     | 8.5  | 9.5  | 1.32   | 6.43 | 8.81 | 5.24 | 4.36   | 6.57 | 6.72 | 6.45 |        |    |    |   |
| 濁度mg/L                 | 1754   | 12650 | 5050 | 1388 | 531    | 244  |      |      |        |      |      |      |        |    |    |   |
| TSmg/L                 | 4533   | 19570 | 9208 | 4002 | 4670   | 3567 | 4930 | 5469 | 4156   | 4804 | 5346 | 4254 |        |    |    |   |
| SSmg/L                 | 8182   | 11090 | 4916 | N.D. | N.D.   | N.D. | N.D. | N.D. | N.D.   | N.D. | N.D. | N.D. |        |    |    |   |
| BODmg/L                | 7906   | 10600 | 5540 | 4.1  | 8.0    | 2.0  | 1.5  | 2.0  | 1.0    | 1.4  | 2.0  | 1.0  |        |    |    |   |
| CODmg/L                | 4001   | 5571  | 2262 | 211  | 250    | 180  | 91   | 130  | 64     | 30   | 15   | 7    |        |    |    |   |
| T-Nmg/L                | 2870   | 4250  | 2030 | 28.7 | 38.3   | 21.2 | 33.4 | 16.9 | 8.7    | 5.9  | 11.2 | 2.6  |        |    |    |   |
| TK-Nmg/L               | 2253   | 3250  | 1420 | 27.9 | 38.0   | 21.0 | 32.8 | 16.0 | 8.0    | 5.1  | 8.0  | 2.0  |        |    |    |   |
| NH <sub>4</sub> -Nmg/L |        |       |      | 0.50 | 6.20   | 0.40 | 3.2  | 6.0  | 0.5    | 3.1  | 5.6  | 0.5  |        |    |    |   |
| NO <sub>2</sub> -Nmg/L |        |       |      | 0.31 | 2.70   | 0.05 | 0.28 | 2.50 | 0.02   | 0.51 | 4.15 | 0.02 |        |    |    |   |
| NO <sub>3</sub> -Nmg/L |        |       |      | 0.54 | 1.73   | 0.03 | 0.39 | 1.26 | 0.02   | 0.33 | 1.14 | 0.02 |        |    |    |   |
| T-Pmg/L                | 315    | 406   | 245  | 62   | 75     | 46   | 0.23 | 0.61 | 0.04   | 0.21 | 0.55 | 0.06 |        |    |    |   |
| Cl-mg/L                | 2044   | 2460  | 1510 | 1750 | 2060   | 1470 | 2702 | 2970 | 2350   | 2703 | 3000 | 2460 |        |    |    |   |
| 色度度                    |        |       |      | 417  | 1700   | 1195 | 150  | 205  | 105    | 15   | 22   | 10   |        |    |    |   |

微細であること、さらに凝集剤が分離膜に対して付着し易いことなどが重なっているため、造水能力低下の進行は著しく膜の洗浄間隔は必然的に短くなる。また、運転当初とその終盤において、Fluxが大きく異なるなど設計及び運転管理の面において考慮されるべき事項が生じる。この内膜素材への凝集剤の付着に関しては凝集処理を行う混和凝集槽と原水槽を別々に設けることによって凝集処理を充分に行うよう考慮した。Fluxの運転期間中における大幅な変動については図-3に示すように、造水量一定となるように調圧操作を行って対処した。これによって凝集膜の洗浄間隔は約2週間毎となった。

### 3.4 膜装置洗浄について

膜分離装置の洗浄は膜表面に付着した汚泥の排除と膜汚染物除去の2つに分けられるが、実際には一連の作業は洗浄液による膜装置内の循環によって行われる。

使用した薬液は生物膜分離装置には主に次亜塩素酸ナトリウムであったが、あわせて苛性ソーダ、硫酸についても実施した。凝集膜分離装置には苛性ソーダと硫酸を用いた。生物膜装置については処理対象の活性汚泥とその有機性高分子物質が汚染の原因であるため次亜塩素酸ナトリウム及び

アルカリ剤による洗浄が効果的であった。一方、流入原水中の無機イオン性物質（カルシウム等）の長期にわたる膜素材への付着も考慮し、酸洗浄についても年3回行った。これに対して凝集膜分離装置の汚染は有機成分と無機成分が両方存在するため、アルカリ洗浄と酸洗浄を毎回行った。

### 4. まとめ

本報告を以下にまとめる。

1) 従来の高負荷脱窒素方式に膜分離装置を適用することにより、処理が安定し、運転管理が容易になった。

2) し尿の高負荷脱窒素処理において生物処理工程の運転をコンピュータ制御することが可能となった。

3) 膜分離装置は生物膜で約2ヶ月、凝集膜で約2週間にわたって安定した造水量を保つことが可能であった。

4) 膜洗浄の時期が造水量から予測可能となった。

5) 膜洗浄は薬液洗浄が有効であった。

なお、本研究は厚生省の事業として(財)ヒューマンサイエンス振興財団が実施する長期関連基礎科学官民共同プロジェクト研究の一環として行われた「膜を利用したし尿処理技術および安全評価支援システムの開発」に関するものである。

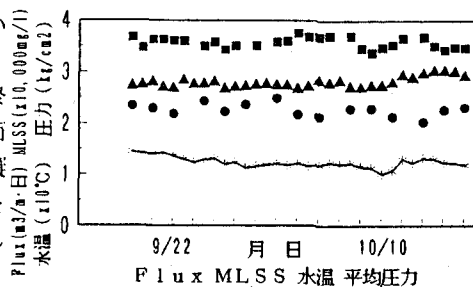


図-2 生物膜分離装置の運転状況(秋季)

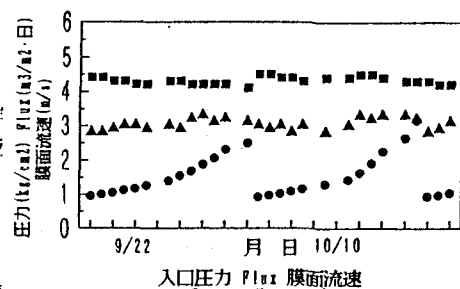


図-3 凝集膜分離装置の運転状況(秋季)

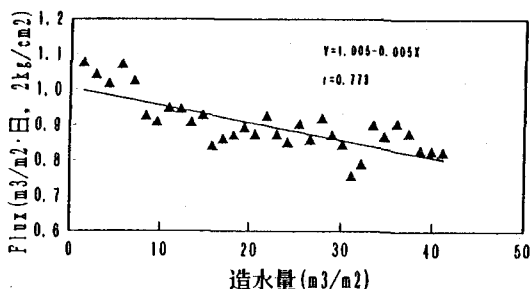


図-4 造水量に対するFluxの変化(秋季)

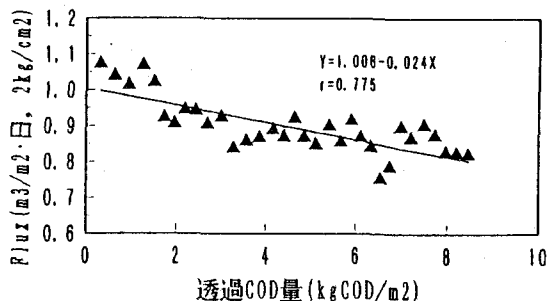


図-5 透過汚濁物量に対するFluxの変化(秋季)