

# サイフォン式ろ過濃縮装置を用いた上下水汚泥処理

山口 幹昌(やまぐち みまさ)

数井 宏信(かずい ひろのぶ)

田中 義郎(たなか よしお)

## 1 まえがき

上下水道の発汚泥は、通常、重力濃縮槽で濃縮されたあとで脱水あるいは消化処理されている。濃縮は、処理効率を高めるために行われるが、発汚泥の有機質分増加、変質、供給濃度低下などの理由により、重力濃縮槽からの引抜汚泥濃度が低下する傾向にある。

この結果、後段設備の処理量不足が生じ、脱水不足による処分費の増大、稼働時間の延長による電力消費の増大や、返流水質の悪化による水処理の不安定化などの問題が生じている。

本稿では、上下水汚泥処理施設における汚泥濃縮不足の問題を解消し、施設運転の効率化・合理化に高い効果が得られる自然ろ過を利用したサイフォン式ろ過濃縮装置の原理、性能、特長および上下水汚泥処理への適用について紹介する。

## 2 サイフォン式ろ過濃縮装置の基本構造と特長

### 2.1 基本構造

図1に示すように、ろ過槽内に平行・垂直にろ過板が設置され、ろ過板上端に取り付けたろ液排出管が槽外部のヘッドタンクを經由してサイフォン管に接続されている。また、ヘッドタンクには、サイフォン形成のための排気弁と、ろ布から濃縮汚泥をはく離するためのブロー用の圧縮空気槽が接続されている。

図2に示すように、ろ過板は排水ネットの両表面に、ろ布を当て、周縁を閉じるように、そして内側の領域では垂直等間隔に両面のろ布が縫合された板材である。上端部には水平にろ液排出管が内蔵され、サイフォン管との接続によりろ液が外部に排出されるようになっている。また、ろ過板は、枠にばねを介して固定され、ろ過槽側板のガイドにカセット式に装着されるので、装着を容易に行うことができる。

図1 ろ過濃縮装置の基本構造

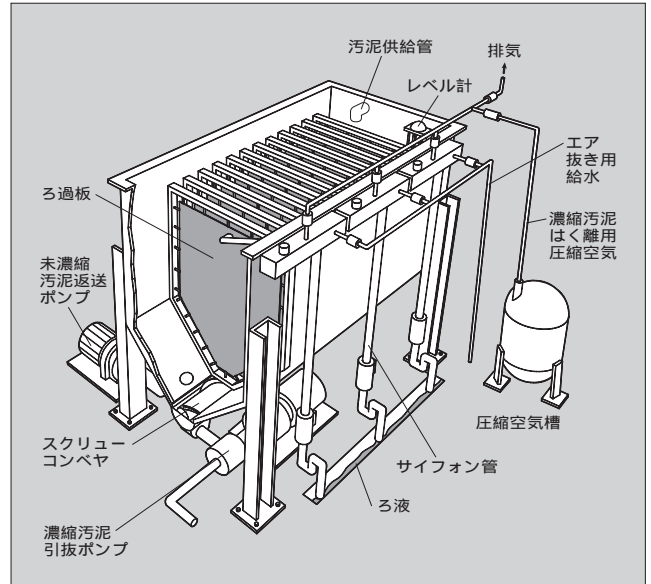
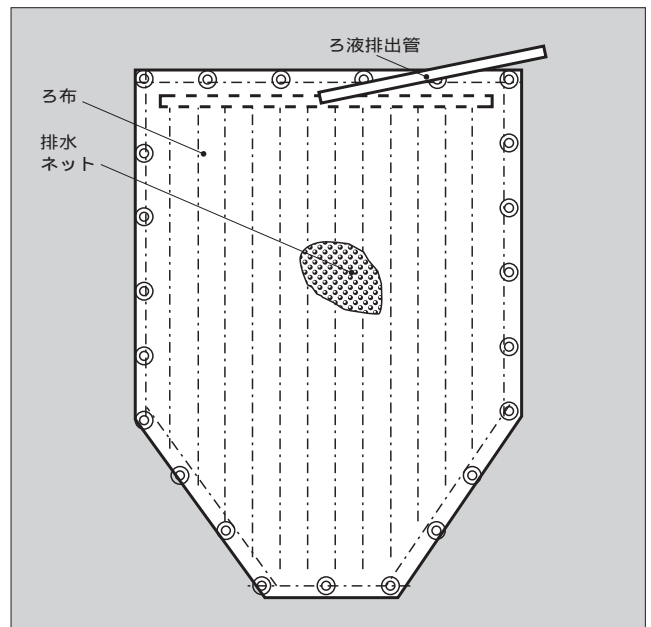


図2 ろ過板外形図



山口 幹昌

汚泥処理装置の開発、汚泥処理装置のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部新事業統括部水環境技術部副参与。



数井 宏信

凍結融解処理、ろ過濃縮装置などの上下水汚泥処理設備のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部新事業統括部水環境技術部。



田中 義郎

上下水道の水処理プロセスにおける機械設備・電気計装設備のシステムエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部新事業統括部水環境技術部長。

2.2 運転方法

図3に運転原理を示す。浄水汚泥は無薬注で、下水汚泥は凝集剤を添加し凝集汚泥とし、ろ過槽に供給される。運転は、汚泥充てん・サイフォン形成、ろ過・汚泥補給、未濃縮汚泥排出、濃縮汚泥はく離・排出、の順に進められる。

浄水汚泥と下水汚泥では、同じ操作でろ過濃縮されるが、濃縮汚泥の取出し方だけが異なる。浄水汚泥では、汚泥粒子が層状にろ過板表面に付着し、流動性がない濃縮汚泥層が形成する。この濃縮汚泥層は、周辺の未濃縮汚泥を排出したあと、圧縮空気をろ過板内部に供給し、ろ布からはく離することにより、ろ過槽から濃縮汚泥を排出する。一方、下水汚泥では、槽全体に汚泥の濃度が上昇する。このため、濃縮汚泥はろ過が終了した時点で、ポンプにより引き抜く方式としている。

なお、運転工程の詳細は次のとおりである。

1) 汚泥充てん・サイフォン形成

ヘッドタンク上部の排気バルブを開き、ろ過槽に汚泥を充てんすると、ろ過板内およびサイフォン管内にろ液が充満する。

2) ろ過・汚泥補給

排気弁を閉じ、下部のろ液排出弁を開くとサイフォンろ過が開始する。ろ液の排出が進み、汚泥水位が低下するので、汚泥を補給しろ過を継続する。

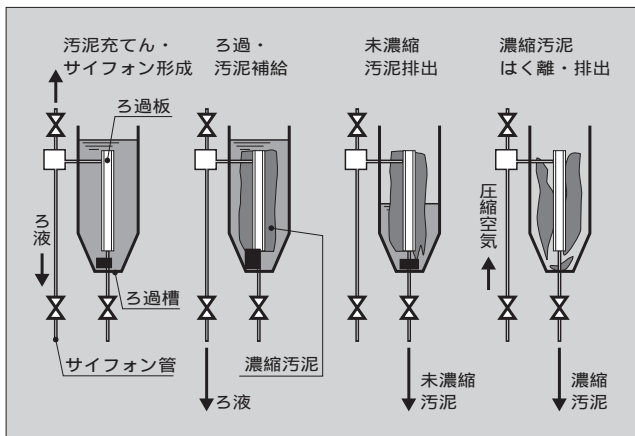
3) 未濃縮汚泥排出

ろ液の排出が少なくなった時点で底部のバルブを開くと、浄水汚泥では濃縮汚泥層の周囲に残っている流動性がある未濃縮汚泥が排出される。下水汚泥では、濃縮汚泥が排出される。

4) 濃縮汚泥はく離・排出

浄水汚泥の場合に濃縮汚泥をろ布からはく離し取り出す工程であり、ろ液排出弁と排気弁を閉じ、サイフォン管内に圧縮空気を供給することにより、ろ過板に付着している濃縮汚泥をはく離・落下し、ろ過槽から排出する。一方、下水汚泥の場合、工程3で、濃縮汚泥の排出が終了するので、この工程では、ろ布表面にわずかに残る付着汚泥が除

図3 ろ過濃縮装置の運転原理図



去される。

2.3 特長

- 1) 各種の上下水汚泥を、高濃度に濃縮できる。
- 2) 供給濃度が変化しても濃縮濃度が安定している。
- 3) ろ液が清澄なため返流水の影響が少ない。
- 4) サイフォンろ過のため、電力消費が少なく静粛性が高い。
- 5) ろ過面積あたりの設置面積が少ない。
- 6) 目開きの大きいろ布を用いるため、ろ布の目づまりが少なく性能が安定している。
- 7) ろ過板の寿命が10年以上で長い。

③ ろ過濃縮を用いた浄水汚泥処理

3.1 浄水汚泥処理への適用と効果

図4に浄水汚泥処理への適用フローを示す。ろ過濃縮装置は凍結融解設備、加圧脱水機あるいは天日乾燥設備の前濃縮装置として適用することにより設備容量の削減、運転効率化、省エネルギー化、運転安定化を図ることができる。

具体的な適用例は次のとおりである。

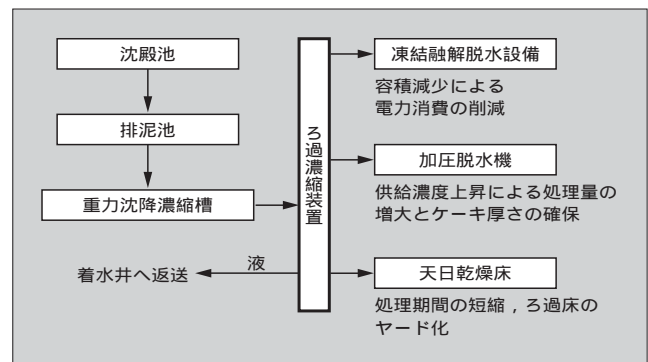
1) 凍結融解脱水の前濃縮装置とし凍結電力削減

凍結槽に供給する汚泥容積が1/2 ~ 1/7に削減されるため、凍結の電力消費および凍結槽容量が濃縮倍率に逆比例して削減される。また、既設の遠心濃縮との置換えにより遠心濃縮機の電力消費の95%程度が削減される。この結果、電力、ろ布交換など消耗品を含む運転費は、加圧脱水方式より凍結融解脱水方式が少なくなる。

2) 加圧脱水機の前濃縮装置とし処理量増大

重力濃縮の2倍以上に濃縮された高濃度汚泥が、ろ室内に短時間で充てんされ、直ちに圧搾脱水が開始できる。このため、脱水時間が短縮でき、ケーキが厚くなるため、ケーキ排出が容易になる。図5に、短時間型加圧圧搾脱水機に供給する汚泥濃度を变化させた場合のろ過速度の変動を示す。ろ過速度は供給濃度にほぼ正比例して増大する。例えば、B浄水汚泥の場合、重力濃縮汚泥は、濃度が2.0%であり、脱水汚泥の含水率を60%とする場合、加圧脱水ろ過速度は0.87 kg-ds/(m<sup>2</sup>・h)であったが、ろ過濃

図4 ろ過濃縮装置を用いた浄水汚泥処理フロー



縮装置により濃縮した 4.1 % 汚泥（濃縮倍率 2.0）および 6.5 % 汚泥（濃縮倍率 3.0）を加圧圧搾脱水した場合、ろ過速度はそれぞれ 1.6 kg-ds/(m<sup>2</sup>・h) および 2.49 kg-ds/(m<sup>2</sup>・h) となり、重力濃縮汚泥を直接、加圧脱水する場合のろ過速度に対する比率は、それぞれ 1.8 倍、2.9 倍であり、濃縮倍率に比例したろ過速度の向上が認められた。

したがって、ろ過濃縮装置を前濃縮機として適用することにより、濃度を高めた分だけ脱水機の処理量が増加でき、脱水機の小型化が図れる。

3) 天日乾燥の前濃縮装置と処理期間短縮

図 6 に重力濃縮汚泥、ろ過濃縮装置により濃縮されたるろ過濃縮汚泥の天日乾燥実験結果を示す。重力濃縮汚泥は、沈降とろ過により濃縮が進んだあとで、初めて乾燥が開始するが、ろ過濃縮汚泥は、濃度が高いため、短期間で乾燥が開始する。このため、ろ過濃縮汚泥は、重力濃縮汚泥の場合の 1/2 程度の期間で乾燥が終了した。

このように、ろ過濃縮装置により汚泥を濃縮したのち天日乾燥する方式とすると、乾燥期間が短縮できるので天日乾燥床の使用効率が高まり面積が縮小できる。また、ろ過濃縮汚泥では沈降、ろ過の工程が省略されるため、ろ過砂層のないコンクリートヤードでの乾燥が可能となる。

3.2 濃縮性能

1) 各種浄水汚泥の濃縮

供給濃度に対する濃縮倍率は汚泥の種類により異なり、

図 5 加圧圧搾脱水機に供給する汚泥濃度の影響

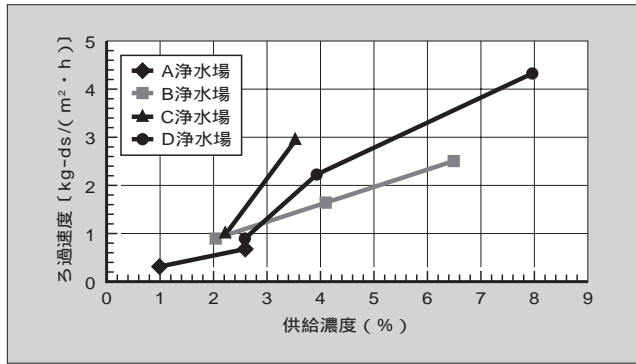


表 1 の濃縮処理例では濃縮倍率は 2.1 ~ 5.0 倍であった。後段の処理効率を高める効果は、濃縮倍率が高いほど大きい。例えば、A 浄水汚泥は、原水濁度が低く、ポリ塩化アルミニウムの注入により発生した水酸化アルミニウムを多く含む汚泥である。この重力濃縮濃度は 0.95 % であったが、ろ過濃縮汚泥濃度は 3.2 % であり、濃縮倍率は 3.4 倍であった。濃縮濃度の上昇による処理効率の増加効果は処理方式により異なるが、後段が凍結融解脱水の場合では、電力量は 70 % 程度削減され、後段が加圧脱水機の場合ではろ過速度が 2 倍程度に上昇する。

2) 供給濃度変化の影響

沈殿池の排水量が普段より増加すると、十分な滞留時間が取られずに、重力濃縮汚泥の引抜濃度が低下することが多い。このような場合でも、ろ過濃縮装置により重力濃縮汚泥は必要な濃度まで濃縮でき、十分な濃度の濃縮汚泥を後段設備に供給することができる。

この検証として、72 時間後の重力沈降濃度が 3 % の浄水汚泥を原試料とし、この試料汚泥に水を加え濃度を 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 % に調整した 4 種の試料汚泥のろ過濃縮試験を実施した。表 2 に実験結果を示す。供給汚泥濃度によらず濃縮汚泥濃度は、ほぼ一定であり 8.7 ~ 8.9 % であった。ただし、ろ過濃縮のろ過速度は供給濃度の低下に伴い小さ

図 6 浄水汚泥の天日乾燥実験結果

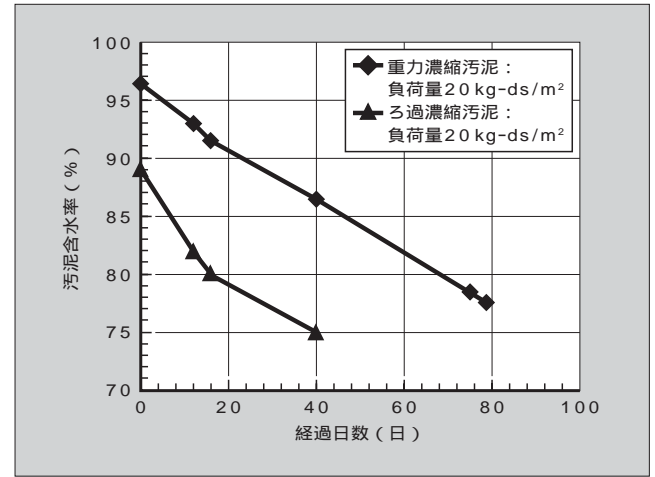


表 1 各種浄水汚泥のろ過濃縮処理例

浄水場	採取時期	原水	固形物組成 (wt%)					ろ過濃縮処理					
			lg.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	初期濃度 (%)	ろ過時間 (min)	濃縮汚泥厚さ (mm)	濃縮汚泥濃度 (%)	濃縮倍率	ろ過速度 [kg-ds/(m <sup>2</sup> ・h)]
A	2月	ダム水	29.5	28.2	34.5	1.8	0.2	0.95	120	17	3.2	3.4	0.29
B	8月	ダム水	17.8	40.2	26.3	6.3	0.3	2.0	120	13	10.2	5.0	0.54
C	11月	表流水	21.4	38.5	25.1	5.7	0.2	2.2	120	18	7.6	3.4	0.65
D	9月	沼水	39.9	30.6	18.0	4.3	0.4	2.9	120	20	7.7	2.7	0.78
E	1月	表流水	26.7	32.3	27.1	5.1	0.2	2.0	120	12	7.5	3.8	0.64
E	9月	表流水	17.0	40.7	25.0	7.5	0.3	4.9	120	16	16.6	3.4	1.29
F	12月	表流水	19.7	38.5	32.1	3.6	0.2	1.9	90	15	6.1	3.2	0.59
G	8月	地下水	12.8	10.5	1.0	43.6	23.5	2.5	20	20	5.3	2.1	2.22

表2 浄水汚泥ろ過濃縮装置供給汚泥濃度変化の影響実験結果

供給汚泥濃度 (%)	ろ過速度 [kg-ds/(m <sup>2</sup> ・h)]	濃縮汚泥濃度 (%)	処理汚泥量 [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ・h)]
1.0	0.37	8.85	0.037
1.53	0.44	8.90	0.029
2.0	0.48	8.75	0.024
3.04	0.66	8.88	0.022

くなったが、汚泥の処理量（容積）は濃度が低いほど増加した。

#### 4 ろ過濃縮を用いた下水汚泥処理

##### 4.1 下水汚泥処理への適用と効果

図7に下水汚泥および排水への適用フローを示す。ろ過濃縮装置を用いることにより、汚泥処理効率の向上が図れ、従来の汚泥処理施設の返流水の悪影響が削減できる。

###### 1) 各種引抜汚泥のろ過濃縮

最初沈殿地、最終沈殿地、消化槽の引抜汚泥を重力濃縮せずに直接、ろ過濃縮装置により濃縮し、数倍に濃縮したろ過濃縮汚泥を後段の脱水機や消化槽に供給する方式により汚泥処理効率の向上を図る。

この方式により次の効果が得られる。

高濃度汚泥が供給されるので、処理速度が濃縮倍率に比例して高まる。

重力濃縮槽が不要になり、供給汚泥濃度の影響がない安定した汚泥処理が可能になる。

脱水機の場合、汚泥の発生から脱水までの時間が短縮し、汚泥の変質が進む前に汚泥の脱水ができる。このため、凝集不良、脱水不良、ケーキのはく離不良の発生がなくなり凝集剤使用量が削減される。

返流水のSS（懸濁物質）の減少により水処理が安定する。

消化処理の供給汚泥濃度が上昇することにより汚泥容積が減少し、有機物含有率が高まる。このため、高温消化が可能になり消化効率が高まる、また、汚泥濃度が高いので、濃縮せずに脱水ができるため、従来の消化汚泥の沈降濃縮が不要になるなどの効果が得られる。

###### 2) ろ過濃縮装置を用いた分離水のSS除去

遠心分離機、重力濃縮槽、消化槽、脱水機などからのSSが高い返流水をろ過し濃縮汚泥と清澄水に分離する。

この方式により水処理系へのSS返送が削減され、水処理への返流水の悪影響が解消でき、処理水質の向上が図れる。

##### 4.2 濃縮処理例

###### 1) 余剰汚泥のろ過濃縮装置運転例

最終沈殿池から引き抜いた余剰汚泥は、高分子凝集剤が添加され、ろ過濃縮装置で濃縮される。表3にろ過面積55m<sup>2</sup>のろ過濃縮装置の運転結果を示す。ろ過時間が長く、

図7 ろ過濃縮装置を用いた下水汚泥処理フロー

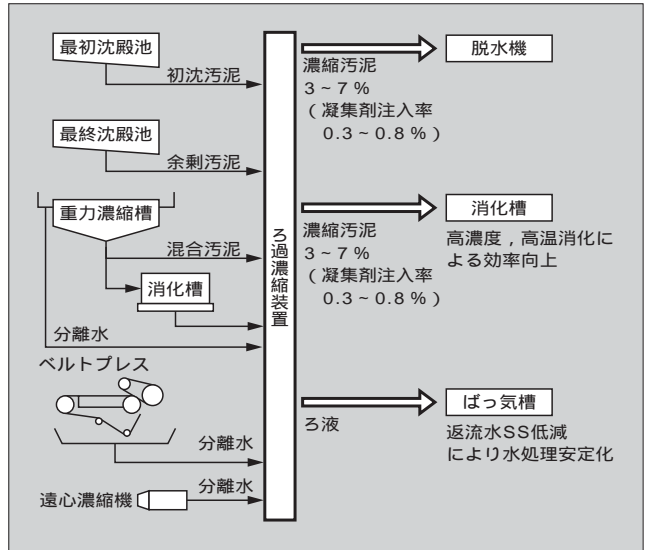


表3 下水汚泥のろ過濃縮処理例

種類	供給濃度 (%)	凝集剤添加率 (%対ds)	ろ過速度 [kg-ds/(m <sup>2</sup> ・h)] (ろ過120分時)	濃縮汚泥濃度 (%)			
				30分ろ過	60分ろ過	90分ろ過	180分ろ過
余剰汚泥	0.8	0.5	2	1.8	2.4	3.0	4.2
		0.8	3	2.4	3.5	4.4	5.8
混合汚泥	1.2~2.2	0.8	6	4.3	6.0	6.8	—

凝集剤の添加率が高い条件ほど濃縮濃度が高く、例えば添加率0.8%の場合、3時間ろ過により濃縮濃度は5.8%に達した。凝集剤の添加率は0.5%では3時間ろ過により濃縮濃度は4.2%となった。また、いずれの条件でもろ液のSSは10~30mg/L程度で、回収率は99.7%であった。

###### 2) 最初沈殿池引抜混合汚泥のろ過濃縮

余剰汚泥が返送される方式の最初沈殿池から引き抜いた混合汚泥（濃度1.6%）に高分子凝集剤を添加し、ろ過面積が60m<sup>2</sup>のろ過濃縮装置によりろ過濃縮する長期実験を実施した。凝集剤添加率0.8%の場合、ろ過時間に比例して高濃度になった。例えば、1.5時間のろ過では濃度は6.8%に達した。また、いずれの条件でも、ろ液のSSは10~60mg/L程度で、回収率は99.9%であった。

#### 5 経済性

##### 1) 電力消費

浄水汚泥では、電力量は遠心分離機の1/20程度で済む。例えば、固形物量1t-ds/日の浄水汚泥濃縮処理の場合、消費電力は20kWh程度である。

下水汚泥のろ過濃縮に必要な電力量は0.14kWh/m<sup>3</sup>である。例えば、下水量5万m<sup>3</sup>/日の処理場における余剰汚泥の分離濃縮では56kWh/日、混合汚泥濃縮では100kWh/日程度である。遠心分離機と比較すると電力消費は

1/5 程度である。

2) 運転要員

全自動運転のため、管理は巡回程度で済み専任者の配置の必要がない。

3) ろ過板交換費

高強度ろ布を使用しているため 10 年以上の耐久寿命があり、交換費は 3,000 円/m<sup>2</sup>/年程度で済む。

4) 高分子凝集剤

下水汚泥の場合、ろ過濃縮で添加する高分子凝集剤は 0.2 ~ 0.8 % である。ろ過濃縮汚泥をベルトプレスなどで脱水する場合、高分子凝集剤が追添加されるが、ろ過濃縮と脱水での合計添加量は従来と同等である。

6) あとがき

ろ過濃縮装置を用いた上下水汚泥処理について述べた。本装置はサイフォンろ過方式のため省エネルギー性が高く、

汚泥を高濃度汚泥と清澄な水に分離できる特長がある。汚泥の性状と濃度の影響を受けず濃縮ができるので各種の上下水汚泥の濃縮ができ、汚泥処理施設において多くの適用が期待される。今後も、この装置の一層の改良、適用を推進する所存である。

参考文献

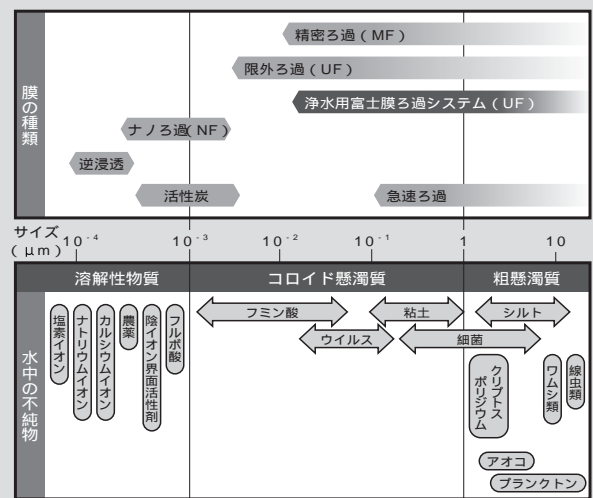
- 1) 山口幹昌ほか．汚泥のろ過濃縮装置．富士時報．vol.54, no.6, 1981, p.382-387.
- 2) 株式会社富士電機総合研究所，社団法人産業公害防止協会．下水汚泥の省エネ型重力式ろ過濃縮装置に関する研究．産業公害．vol.21, no.8, 1985, p.67-78.
- 3) 日本下水道事業団，民間開発技術審査証明報告書 サイフォン式ろ過濃縮装置．no.407, 1993.
- 4) 山口幹昌ほか．省エネルギー型汚泥処理システム．富士時報．vol.76, no.2, 2003, p.137-141.

解説 膜ろ過

従来の凝集沈殿ろ過システムが、どうしてもある割合でしか不純物を除去できなかったのに対して、膜ろ過は、膜の孔径よりも寸法の大きなものを膜表面で阻止し、小さなものが通過するという分離の明確な限界がある処理方法である。

使用される膜の種類とその除去物質の関係は右図のとおりで、水道に広く用いられている MF (精密ろ過) および UF (限外ろ過) においても、その孔径は 0.2 μm 以下であり、細菌類や濁質を確実に除去できる利点がある。

国内では厚生労働省により「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」が策定され、その対策が進められているが、膜ろ過はその利点から非常に注目されている処理方法である。



水中の主な不純物と各膜の分離領域



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。