

1. 装置の詳細説明

(1) 対象汚泥について

下水処理場に流入した下水を標準活性汚泥法にて処理する際に初沈汚泥や余剰汚泥が発生するが、これらを混合した汚泥を混合生汚泥と呼ぶ。また混合生汚泥などを嫌気性条件の下で微生物処理し、メタンガスや二酸化炭素などに分解（嫌気性消化）した際に発生する汚泥を嫌気性消化汚泥と呼ぶ。なお混合生汚泥は消化されずそのまま汚泥脱水機で処理するケースも多く、本装置においてはこれらの嫌気性消化汚泥及び混合生汚泥を対象汚泥とする。

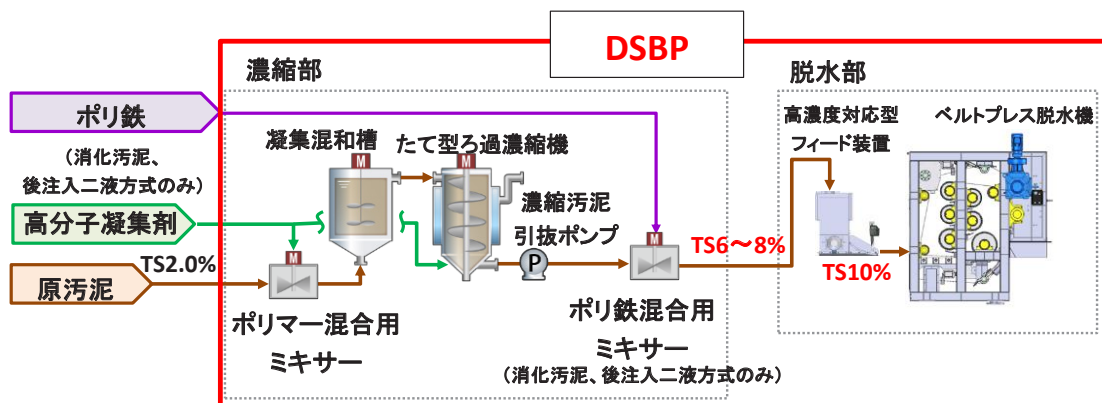
(2) 概略フロー及び構造

本装置の概略フローを図表 1 に、構造を図表 2 にそれぞれ示す。本装置は大きく分けて濃縮部と脱水部から構成され、それらを組み合わせるとして一体型とした装置である。濃縮部は、ポリマー混合用ミキサー、凝集混和槽、たて型ろ過濃縮装置、濃縮汚泥引抜ポンプ、ポリ鉄混合用ミキサーから構成される。なおポリマーとは高分子凝集剤を、ポリ鉄とはポリ硫酸第二鉄を意味する。脱水部は、高濃度対応型フィード装置、ベルトプレス脱水機から構成される。

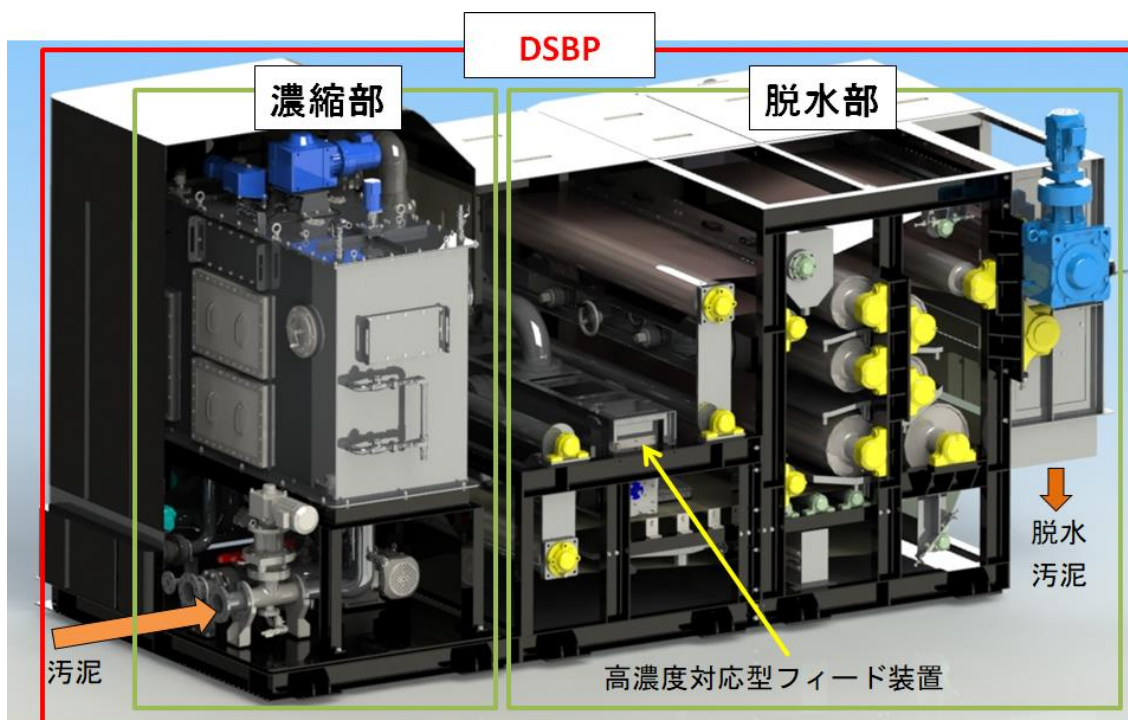
濃縮部においては、処理対象となる原汚泥（TS2.0%程度）にポリマーが注入され、ポリマー混合用ミキサーで 500min^{-1} 程度の急速攪拌を行った後、凝集混和槽による攪拌で凝集汚泥を形成させる。凝集汚泥はたて型ろ過濃縮装置の上部に投入され、(3)の1)で後述するようにスクリーンで下方に搬送されながらスクリーンにより固液分離が行われ、汚泥濃度 6~8%程度まで高濃度濃縮される。濃縮汚泥は濃縮汚泥引抜ポンプによりポリ鉄混合用ミキサーを経て、高濃度対応型フィード装置に供給されるが、この際に濃縮汚泥にポリマーが再度注入される。

脱水部においては、高濃度対応型フィード装置に濃縮汚泥が投入され、フィード装置内部でろ過濃縮が進行することでフィード出口の汚泥濃度は TS10%程度にまで達し、厚み・幅方向とも均一化された後、ベルトプレス脱水機の圧搾ロールにより脱水されて脱水汚泥として排出される。

なお上記したように汚泥にポリマーを注入し凝集させた後濃縮を行い、濃縮汚泥にポリマーを再度注入させた後、脱水を行う方式を以下「一液方式」とする。また汚泥にポリマーを注入し凝集させた後濃縮を行い、濃縮汚泥にポリマーとポリ鉄を注入させた後、脱水を行う方式を以下「後注入二液方式」とする。



図表1 本装置の概略フロー



図表2 本装置の構造

(3) 要素技術の解説

1) たて型ろ過濃縮装置

① 本体構造

たて型ろ過濃縮装置の外形図及び、各部の名称を図表3に示す。たて型ろ過濃縮装置は、汚泥をろ過するための円筒型スクリーンユニット、汚泥を下方へ移送するスクリーユニット、スクリーンを汚泥とろ液で水没させるためのケーシング、スクリーユニットを駆動するためのスクリー駆動部、スクリーンユニットを回転させるためのスクリーン駆動部から構成される。

スクリーンユニットは主にパンチングプレートで構成され、運転中はスクリーン面の更新を

目的としてスクリーユニットとは逆方向に常時回転する。

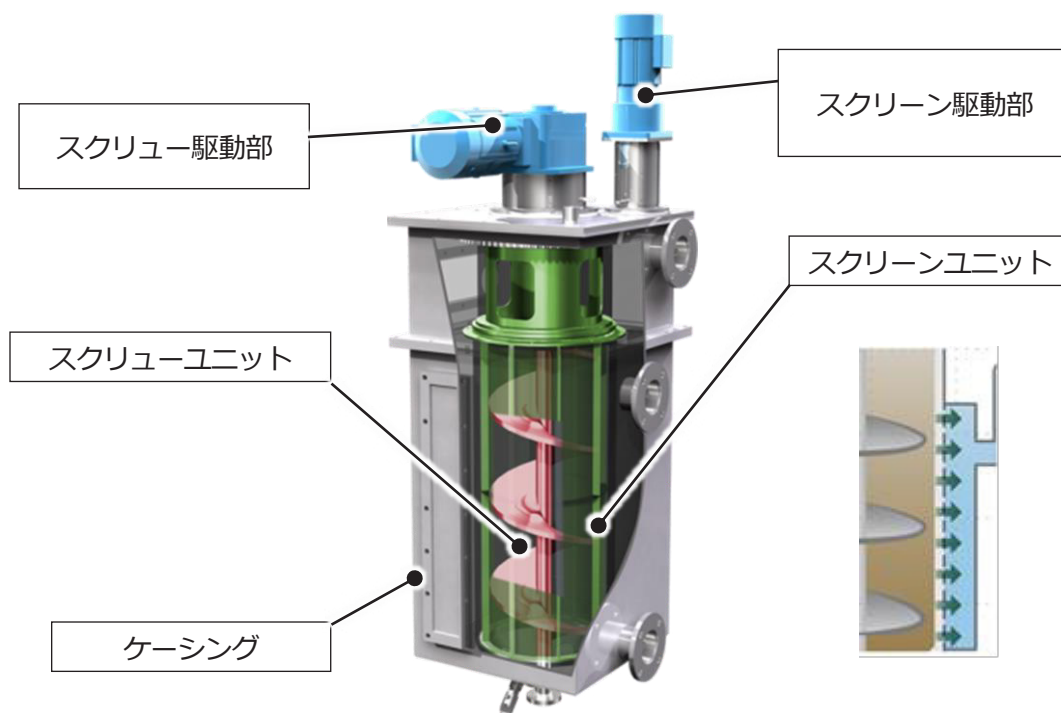
スクリーユニットはスクリー軸にスパイラル上の羽根を取り付けたものであり、スクリーン内側に充填された汚泥を下方へ移送する機能を有している。

ケーシング内部は運転中において常にろ液で浸漬された状態で運転され、ろ液はオーバーフローにてケーシングの外へ排出される。スクリーン駆動部はスクリーンユニットを回転させるための装置で、回転数を調整するためにインバーターモーターを採用している。スクリー駆動部はスクリーユニットを回転させるための装置で回転数を調整するため、同様にインバーターモーターを採用している。

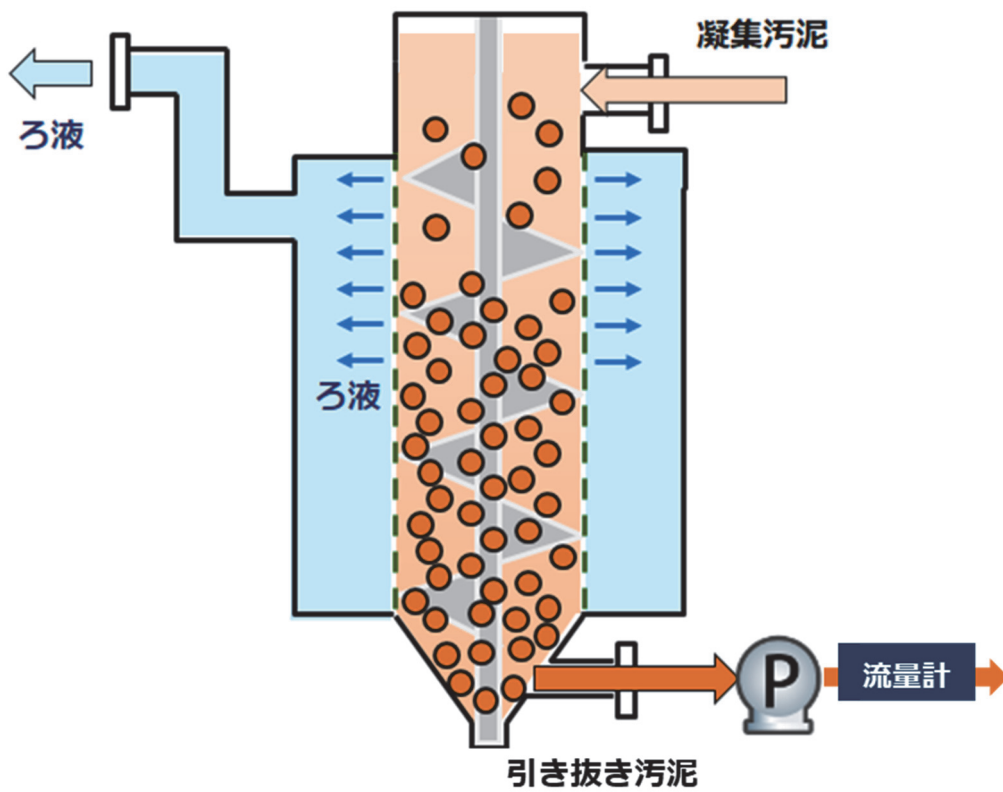
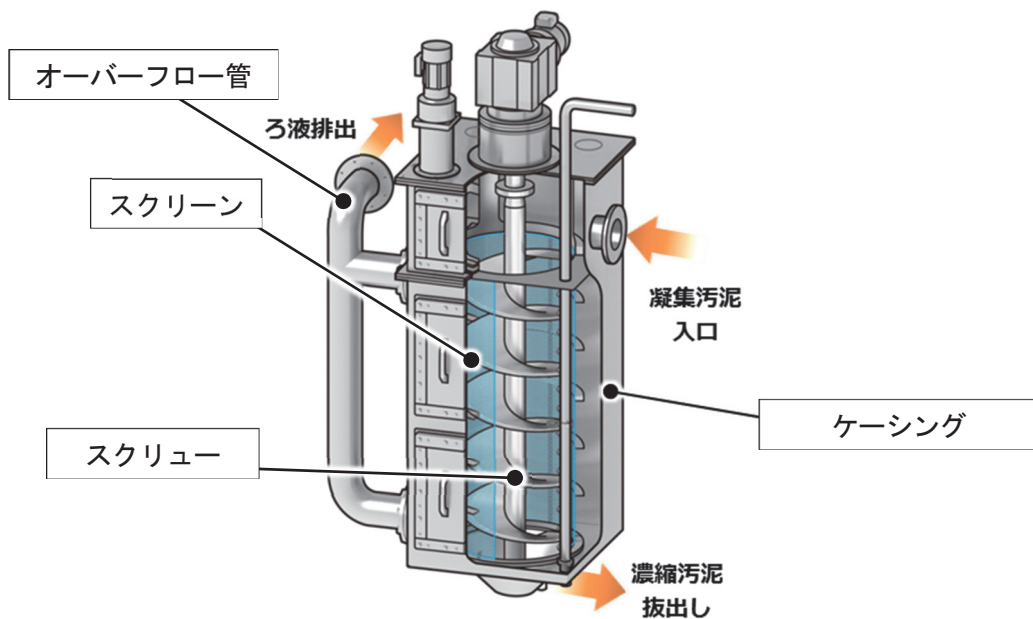
②濃縮原理

たて型ろ過濃縮装置の濃縮原理は以下のとおりである。(図表 4)

- a. 凝集剤と調質された凝集汚泥が、ケーシングの凝集汚泥入口より連続供給される。
- b. 凝集汚泥は設置されたスクリーンを介して、ろ過されることにより濃縮される。
- c. スクリーン内に設置されたスクリーは一定速度で回転しているため、ろ過濃縮された汚泥が下方へ移送される。
- d. 汚泥出口まで移送された濃縮汚泥は、ポンプによって引き抜きが行われる。従来の高効率型ベルトプレス脱水機（高効率型 BP）ではろ過速度や薬注率等の調整を行うものの、結果として成り行きであった濃縮汚泥濃度を任意に設定することが可能である。
- e. ろ過濃縮時に発生するろ液は、オーバーフロー管より外部へ排出される。



図表 3 たて型ろ過濃縮装置の外形及び各部の名称



図表 4 たて型ろ過濃縮装置の濃縮機構

③微圧ろ過

図表 5 に従来の濃縮機とたて型ろ過濃縮装置の濃縮イメージを示す。従来のろ液側が大気開放された濃縮機械（スクリー濃縮機、ベルト濃縮機）ではスクリーン内面と外面の圧力差が大きく、ろ過流速が高くなるが、スクリーン内面への汚泥層形成によるろ過面の目詰まりを引き起こしやすい。一方で、ろ液排出口がスクリーンよりも上部に配置されているたて型ろ過濃縮装置の場合は、ろ過圧力が、投入汚泥液面とろ液排出口液面の差のみ（約 200mm、2kPa 程度）しかないため、スクリーン内面の汚泥層が形成されにくいという特徴がある。

④特長

たて型ろ過濃縮装置の特長は下記のとおりである。

a. 安定したろ過性能

微圧ろ過方式により、安定したろ過性能を長時間維持できる。

b. 濃度コントロールが容易

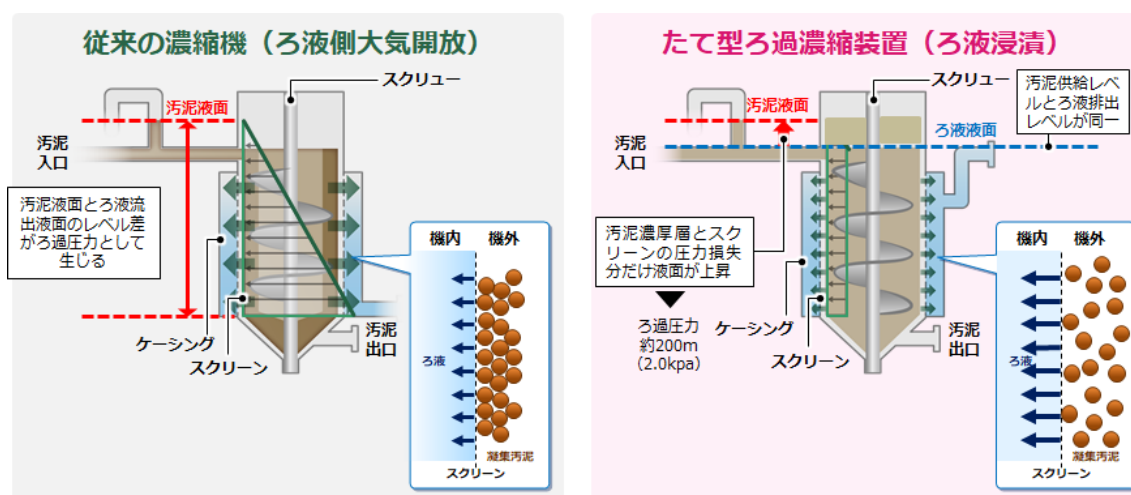
濃縮汚泥の引抜き量の制御により濃縮倍率を調整することが可能である。従来方式ではろ過速度や薬注率等の調整を行うものの、結果として成り行きであった濃縮汚泥濃度を、4～10%の範囲で任意に設定することが可能である。

c. 低振動・低騒音

スクリー及びスクリーンはともに $1\sim 8\text{min}^{-1}$ 程度の低速回転のため、振動、騒音が少ない。そのため防振装置や防音カバーの必要がなく、取扱いが容易で摺動部の磨耗が少ない。

d. 密閉構造であるため臭気対策が容易

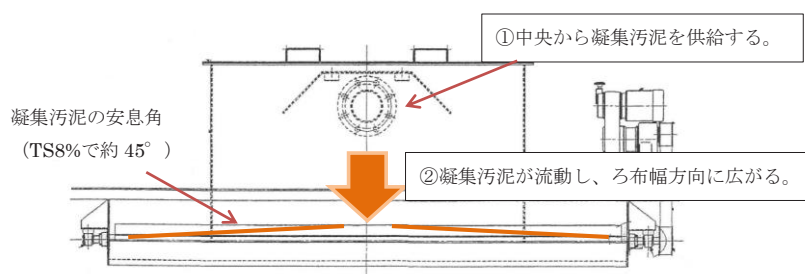
本体ケーシング内が密閉式のため臭気漏洩が発生しにくく、臭気対策が基本的に不要であり作業環境が良好である。



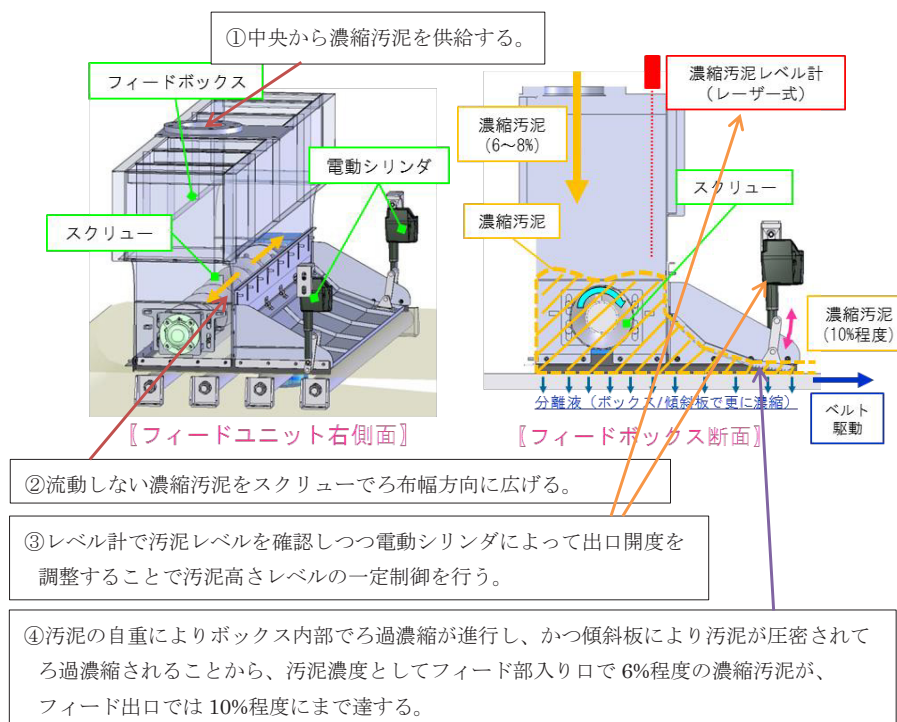
図表 5 微圧ろ過のイメージ

2) 高濃度対応型フィード装置

図表6に従来フィード装置の概念図を、図表7に高濃度対応型フィード装置の概念図を示す。たて型ろ過濃縮装置によりTS6～8%程度まで汚泥を濃縮し、流動性を失った状態で脱水機に投入されるため、図表6に示す従来フィード装置ではろ布上に均一にフィードすることが困難である。そこで、図表7に示す高濃度対応型フィード装置を用いる。濃縮汚泥は、フィードボックスの中心に投入され、汚泥の安息角（TS8%で約45°）により汚泥をろ布幅方向に広げつつ、スクリュウを駆動させることで汚泥が左右に均される。汚泥がフィードボックスの内部全体に広がった状態で、ろ布を駆動させ、ろ布と汚泥との摩擦力によりボックスから汚泥が引き出される。フィードボックスの上部にはレーザー式のレベル計が、汚泥出口部には開度を調整する傾斜板がそれぞれ設けられている。レベル計でフィードボックス内部の汚泥高さレベルを確認しつつ電動シリンダーで出口開度を調整し、汚泥高さレベルが一定となるようにフィード量を制御している。



図表6 従来フィード装置の概念図



図表7 高濃度対応型フィード装置の概念図

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

下水処理場に流入した下水の処理過程で発生する汚泥の水分を減らし、汚泥を減容化させる汚泥脱水機には様々な種類が存在する。その中でも主流とされている圧入式SPは、脱水性の良い混合生汚泥の場合、低動力、低含水率、高処理量で運転できるものの、消化汚泥などの難脱水汚泥の場合、SS回収率が悪化し、高薬注率の運転や処理量を落とした運転を余儀なくされるケースが多い。一方、従来の高効率型BPは難脱水汚泥に対して安定した運転ができるが、処理量が少ない、機器が大きく臭気対策が難しいといった課題を持つ。そこで高効率型BPの長所を維持しつつ上記課題を克服することをコンセプトとした新型ベルトプレス脱水機の開発に着手し、日本下水道事業団とともに共同研究に取り組んだ。以下に開発経緯を示す。

2016年	新型ベルトプレス脱水機の開発コンセプト、技術方針の検討
2017年	小型試験機を製作、同試験機による現地試験の実施
2018年～2019年	日本下水道事業団と共同研究を実施
2020年	日本下水道事業団の新技术I類にDSBP登録
2021年	第1号機納入

(2) 共同開発

本装置は、月島機械株式会社（当時※）、日本下水道事業団が共同で開発を行った。それぞれが担当した開発の内容は、次のとおりである。

- ・月島機械株式会社：
設備設計・施工、試運転、運転管理、データ収集
- ・日本下水道事業団：
研究計画の立案、設備設計・施工管理、試運転管理、実証評価

※ 現・月島ホールディングス株式会社。後に月島JFEアクアソリューション株式会社が水環境事業を承継

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

本脱水機は以下に示す3つの独創性がある。

- (1) ろ過速度の向上
- (2) 機器のダウンサイジング
- (3) 消化汚泥などの難脱水性汚泥に対して少ないポリ鉄消費にて脱水汚泥含水率を低減

(1) ろ過速度の向上

濃縮部と脱水部の独立により、各装置は濃縮及び脱水に適した構成となっている。これに伴い運転条件をそれぞれ最適化出来るため、本装置は従来の高効率型BPと比較し、ろ過速度が増加した。言い換えると従来の高効率型BPよりろ布幅の小さい本装置にて、同等の処理能力を発揮することが可能となり、ろ過速度の向上が可能となった。

(2) 機器のダウンサイジング

ベルトプレス脱水機の脱水部前段で投入前に汚泥のろ過濃縮が完了しているため、高効率型BPの重力ろ過ゾーン及び楔状加圧脱水域を省略することが可能となった。この省略及びろ過速度増加の複合効果により、本装置はたて型ろ過濃縮装置が付加されているが、総合的には高効率型BPに比べて全体容積及び設置面積、動荷重は削減され、機器のダウンサイジングが達成される。

(3) 消化汚泥などの難脱水性汚泥に対して少ないポリ鉄消費にて脱水汚泥含水率を低減

ポリマーに加えてポリ鉄を注入する二液方式は、汚泥とポリ鉄が接触することで高密度のフロック（微粒子の凝集物）が形成されるため、微粒子間の水分が抜けやすく脱水汚泥含水率の低減に有効である。しかし消化汚泥はアルカリ度が高く、濃縮前の汚泥に注入する場合、凝集に最適なpH調節を行うための必要量が多いこと、更に汚泥中の水分にポリ鉄が溶出することで汚泥との接触確率が下がることから、ポリ鉄の消費量が増えることが難点であった。

本装置では濃縮汚泥、つまり水分を一定量除去した汚泥にポリ鉄を注入する後注入二液方式が可能であることから、汚泥中水分へのポリ鉄流出を最小限に留め、汚泥に対して効率的にフロック化を促進させることが可能である。以上より少ないポリ鉄消費にて脱水汚泥含水率が低減できる。

4. 特許の有無

次のとおり、特許2件を取得済み。

特許番号：第6789261号 / 名称：濃縮装置、ベルトプレス型脱水機、およびベルト型脱水機

特許番号：第6927923号 / 名称：濃縮方法および脱水方法

5. 性能

本装置の脱水性能を高効率型 BP と比較する形にて示す。

(1) 嫌気性消化汚泥における脱水性能

嫌気性消化汚泥における本装置と高効率型 BP の脱水性能を図表 8 に示す。なお高効率型 BP の脱水性能は一般的な嫌気性消化汚泥に対する標準性能であり、本装置の脱水性能は実際に用いた嫌気性消化汚泥の性状における脱水性能である。本装置で用いた嫌気性消化汚泥は一般的な嫌気性消化汚泥と比べると TS 及び繊維状物がやや高い一方で VTS が 10pt 以上高く、標準より難脱水性の汚泥であると考えられる。難脱水性の汚泥であることから本装置のポリマー薬注率は高効率型 BP と比較し 0.5pt 増えてはいるものの、本装置の後注入二液時においては高効率型 BP の 1.5 倍のろ過速度であるにも関わらず、脱水汚泥含水率を-2pt 減少させることが可能である。

(2) 混合生汚泥における脱水性能

混合生汚泥における本装置と高効率型 BP の脱水性能を図表 9 に示す。なお高効率型 BP の脱水性能は一般的な混合生汚泥に対する標準性能であり、本装置の脱水性能は実際に用いた混合生汚泥の性状における脱水性能である。本装置で用いた混合生汚泥は一般的な混合生汚泥と比べると TS 及び繊維状物がやや低くかつ VTS が 2pt 高いことから、標準より難脱水性の汚泥であると考えられる。難脱水性の汚泥であるにも関わらず本装置は高効率型 BP と同等の脱水汚泥含水率をろ過速度 1.5 倍かつポリマー薬注率が 0.5pt 低い条件にて達成している。なお混合生汚泥においては消化汚泥のように後注入二液方式は設定していない。これは混合生汚泥が消化汚泥と比較し比較的脱水性が良く、一液調質でも脱水汚泥含水率を十分に低くすることができるためである。

図表 8 嫌気性消化汚泥における脱水性能

		高効率型BP 一液調質 標準性能		DSBP 一液調質 脱水性能		DSBP 後注入二液 脱水性能		
脱水対象汚泥性状	水処理方式	標準活性汚泥法		標準活性汚泥法		標準活性汚泥法		
	汚泥の種類	嫌気性消化汚泥		嫌気性消化汚泥		嫌気性消化汚泥		
	強熱減量(VTS)	(%)	70 ~ 67	81 ~ 77		81 ~ 77		
	供給汚泥濃度(TS)	機械式 (%)	1.0	1.3程度		1.3程度		
	繊維状物(100メッシュ)	(%)	5	—	5	10	5	10
ベルトプレス脱水機	脱水汚泥含水率	(%)	83	—	—	84	—	81
	ろ過速度[kg-DS/m ² ・h]		60	—	—	90	—	90
	固形物(SS)回収率	(%)	90以上	—	—	90以上	—	95以上
	薬注率(対TS:無機)	(%)	—	—	—	—	—	20以下
	薬注率(対TS:ポリマー)	(%)	1.7以下	—	—	2.2以下	—	2.2以下

図表9 混合生汚泥における脱水性能

高効率型BP 一液調質 標準性能	DSBP 一液調質 脱水性能
------------------------	----------------------

脱水対象汚泥性状	水処理方式		標準活性汚泥法		標準活性汚泥法		
	汚泥の種類		混合生汚泥		混合生汚泥		
	強熱減量(VTS)	(%)	86 ~ 83		88 ~ 85		
	供給汚泥濃度(TS)	機械式 (%)	3.5 程度		3.1程度		
	繊維状物(100メッシュ)	(%)	10	20	10	20	
ベルトプレス脱水機	脱水汚泥含水率		(%)	-	79	-	79
	ろ過速度[kg-D S/m ² ・h]			-	140	-	210
	固形物(SS)回収率		(%)	-	93以上	-	93以上
	薬注率(対TS:ポリマー)		(%)	-	1.3以下	-	0.8以下

6. 経済性

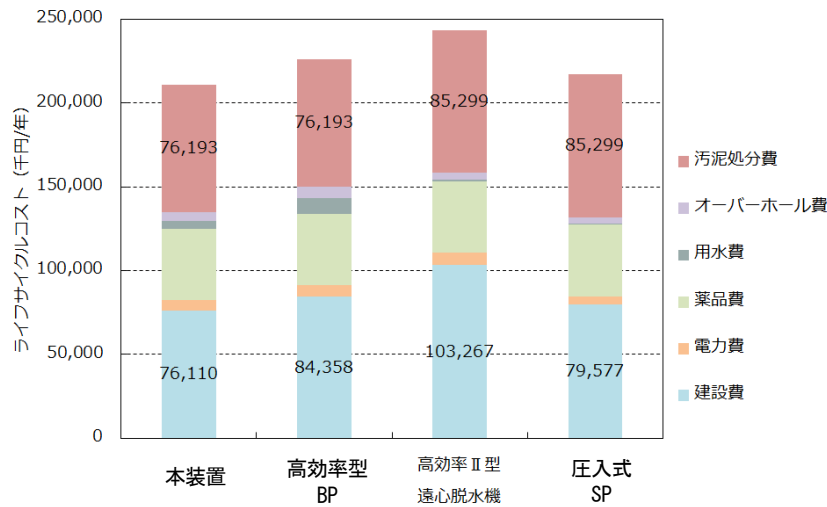
大規模下水処理場を対象とし、本装置と高効率型 BP、高効率Ⅱ型遠心脱水機、圧入式 SP における 15 年間のライフサイクルコスト算出及び比較を行った。算出における基本条件を図表 10 に、脱水機諸元表を図表 11 に示す。なお図表 11 にて示すように各脱水機の 1 台あたりの処理能力が異なることから、必要処理量に対する最適台数も異なるため、算出においては、維持管理コスト等も加味し設置台数を各脱水機における最適台数としている。各脱水機における年間辺りのライフサイクルコストを図表 12 に示す。本装置が最も安価なライフサイクルコストとなった。

図表 10 基本条件

条件	処理場規模 大規模下水処理場
計画 1 日最大汚水量	100,000 m ³ /日
計画流入 S S 濃度	150 mg/ℓ
計画放流 S S 濃度	10 mg/ℓ
排除方式	分流式
水処理方式	標準活性汚泥法
濃縮方式	重力+機械濃縮 (分離濃縮)
脱水対象汚泥	混合生汚泥
調質	一液調質
強熱減量 (V T S)	83~86%
汚泥濃度	3.5%
繊維状物 (100 メッシュ)	20%
脱水機運転時間	24 時間/日、7 日/週
脱水汚泥処分方法	焼却処分

図表 11 脱水機諸元表

機種 項目	本装置	高効率型 BP	高効率Ⅱ型 遠心脱水機	圧入式 SP
	脱水機容量 及び設置台数	ベルト幅 1.5m ×3 台(内予備機 1 台)	ベルト幅 2.5m ×3 台(内予備機 1 台)	処理量 30m ³ /h ×2 台(内予備機 1 台)
1 台あたりの 処理能力	210kg-DS/m・h ×1.5m =315kg-DS/h	140kg-DS/m・h ×2.5m =350kg-DS/h	30m ³ /h (736kg-DS/h)	(1000/300) ^{2.2} ×47= 664kg-DS/h
薬注率	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%
脱水汚泥含水率	79%	79%	81%	81%
固形物回収率	93%	93%	95%	95%



図表 12 各脱水機における年間あたりのライフサイクルコスト

※図表 12 における各費用においては以下の算出とした。

汚泥処分費：A 重油費と焼却炉電力費の合算

オーバーホール費：定期修繕費用

用水費：脱水機の運転・洗浄時に必要とする水量と用水単価を乗算した費用

薬品費：高分子凝集剤及びポリ硫酸第二鉄それぞれの必要量と薬品単価を乗算し、それらを合算した費用

電力費：脱水機及び補機の運転・洗浄時に必要とする電力量と電力単価を乗算した費用

建設費：脱水機価格＋補機価格＋工事費の合算

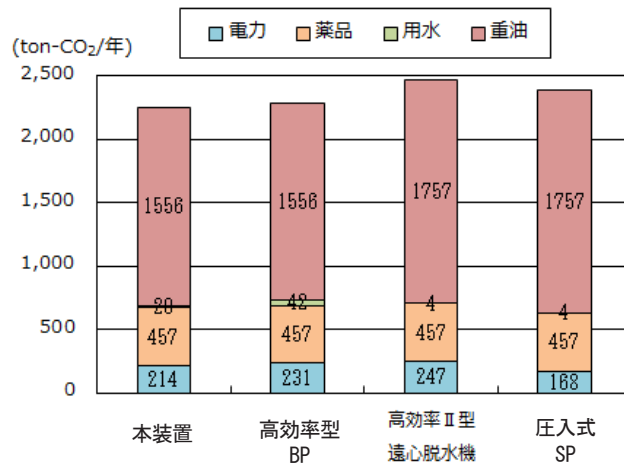
7. 将来性

(1) CO₂ 排出量削減による脱炭素貢献

大規模下水処理場を対象とし、本装置と高効率型 BP、高効率Ⅱ型遠心脱水機、圧入式 SP における年間 CO₂ 排出量の算出及び比較を行った。算出における基本条件及び脱水機諸元表は先に示した図表 10 及び図表 11 を用いている。比較結果を図表 13 に示す。本装置は他機種と比較し CO₂ 排出量が少なく、脱水機更新時において他機種から本装置に変更することにより CO₂ 排出量の削減効果が得られ脱炭素に貢献することができることから、普及拡大が見込まれる。

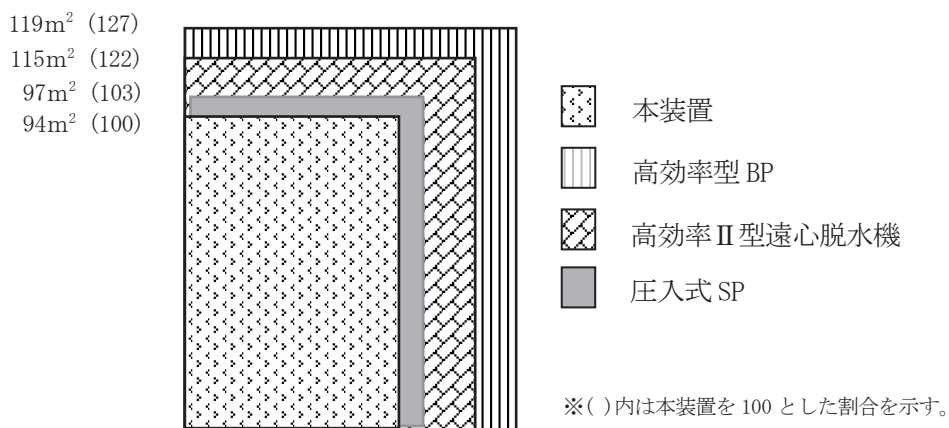
(2) 設置スペースの低減

大規模下水処理場を対象とし、本装置と高効率型 BP、高効率Ⅱ型遠心脱水機、圧入式 SP における設置スペースの確認及び比較を行った。確認における基本条件及び脱水機諸元表は先に示した図表 10 及び図表 11 を用いている。比較結果を図表 14 に示す。本装置は他機種と比較し設置スペースが少なく、設置場所の制限や制約が比較的少ない。また下水道事業の広域化に伴い下水処理場を統合する際においては、既存の限られたスペースにおいてより多くの台数を設置することが可能であり、広域化への対応も可能である。



図表 13 各脱水機における年間 CO₂ 排出量

※図表 13 における CO₂ 排出量においては、電力、薬品、用水、重油それぞれの必要量に、排出係数を乗算して算出した。



図表 14 各脱水機における設置スペース