

# 経済産業省 産業技術環境局長賞

## し尿等の細砂除去装置

三菱重工環境エンジニアリング株式会社

### 1. 開発の経緯

#### 1) 開発の趣旨

汚泥再生処理センターやし尿処理施設（以下「汚泥再生処理センター等」）に搬入されるし尿及び浄化槽汚泥等（以下「し尿等」）の中には、搬入量のおおよそ0.3%程度に相当する小石、砂利、砂など（以下「砂等」）の処理プロセスに障害を与える異物が混入していると言われており、以降の処理を円滑に行うためにはそれらをあらかじめ取り除いておく必要がある。

汚泥再生処理センター等では、それらの砂等を沈殿除去するための設備として「汚泥再生処理センター等の施設整備の計画・設計要領」（古くは「し尿処理施設構造指針」）にて、受入直後に沈砂槽を設置するものとしている。

その設計要領は、搬入される砂等の50%が除去されるものとし、除去した砂等の一週間分の貯留容量を確保し、溜まった砂等は真空吸引などにより毎週除去して適性に処理するものとしている。

しかるに、沈砂槽で除去できなかった残りの50%に相当する砂等（沈殿しにくい細かな砂等（以下「細砂」））は、必然的にし尿等と共に後段の貯留槽や生物処理水槽に流入して堆積することになり、ポンプ類を磨耗させたり配管を閉塞させるなどのトラブル要因となるほか、処理水槽への堆積腐敗や容量減少、散気阻害など生物処理に弊害を与えることから、貯留槽においては一年に数回、生物処理水槽においては数年に一回程度の頻度で処理を停止して水槽を清掃し、槽底に堆積した腐敗汚泥混じりの細砂をまとめて槽外に取り出して処分することで対応してきた。

汚泥再生処理センター等においては、し尿等の主処理システムは窒素・りん除去などの高度処理要求や資源化要求などによりめざましく発展してきたが、し尿等の中の細砂の除去は唯一システム開発が取り残された部分であり、大部分の施設は旧来どおり大掛かりな水槽の浚渫作業から浚渫物の海洋投入処分まで一括して請け負える専門業者への委託に頼ってきた。

そのような中で、国際的な環境汚染対策の一環としてわが国がロンドン条約に批准したことから、これまで業者に頼ってきた浚渫物の海洋投入処分の道が完全に閉ざされ、多くの施設が陸上処理費用の高騰との狭間で困窮することになった。

本申請装置は、かかる時代の要求に応えるものとして、これまで浚渫に頼ってきたし尿等の中の細砂を、施設の処理機能を停止することなく、全自動で安全かつ安定して効率良く分離除去して減量化し、任意の場所に容易に移送できる装置として開発し、環境への負荷を大幅に低減可能な装置として実用化に成功したも

のである。

## 2) 開発目標

既存の汚泥再生処理センター等への適用を前提に次の開発目標をたてた。

- ① 除去効果：後段の水槽に細砂が堆積しないこと
  - ・除去対象物：し尿等に含まれる細砂（50～1,000 $\mu$ m）
  - ・除去率：90%以上
- ② 処理安定性：液体サイクロンが閉塞しないこと
  - ・濃縮分離細砂の定量、安定排出
- ③ 減量化特性：余分な有機物を回収しないこと
  - ・分離回収細砂の有機物率：50%以下
  - ・分離回収細砂の水分：80%以下
- ④ 経済性：設備費の投資効果が7年以内で回収可能なこと
  - ・構造がシンプルで設備費・メンテナンス費用が軽微なこと
  - ・設備費＋運転・維持補修費 < 水槽清掃費・処分費＋機器損耗費
- ⑤ 操作性・安全性：
  - ・全自動運転可能なこと
  - ・密閉性が高く、汚損・臭気が無く衛生的なこと
- ⑥ 適用性：
  - ・コンパクトで既存施設に設置が容易なこと
  - ・配置の自由度が高いこと

## 3) 開発経緯

- 1994.10 旧方式（サイクロン＋サト<sup>®</sup>スクリーン方式）細砂除去装置納入
- 1999.10 細砂除去の基礎調査開始（粒度分布調査）
- 2001.8 細砂除去装置開発着手
- 2002.1 サイクロン分離・濃縮部実験機試験開始（協力：米子浄化場様）
- 2004.10 水切コンベヤ導入試験機・連続自動運転開始（協力：米子浄化場様）  
完成形初号機（米子浄化場様）
- 2005.3 2号機納入（MH I 納入（I市様））
- 2006.5 初号機改修（試験機→実機に改造）（米子浄化場様）
- 2006.12 3号機納入（行橋市様）
- 2007.2 4号機納入（MH I 納入（唐津市様））

## 2. 装置説明

### 2.1 細砂除去装置の概要

申請の細砂除去装置は、スクリーンを通過したし尿等に含まれる細砂を「分離→濃縮→水切り→移送」するシステムで、スクリーンと貯留槽の間に設置する。全体フローを図2-1、外観を写真2-1にそれぞれ実施例で示す。

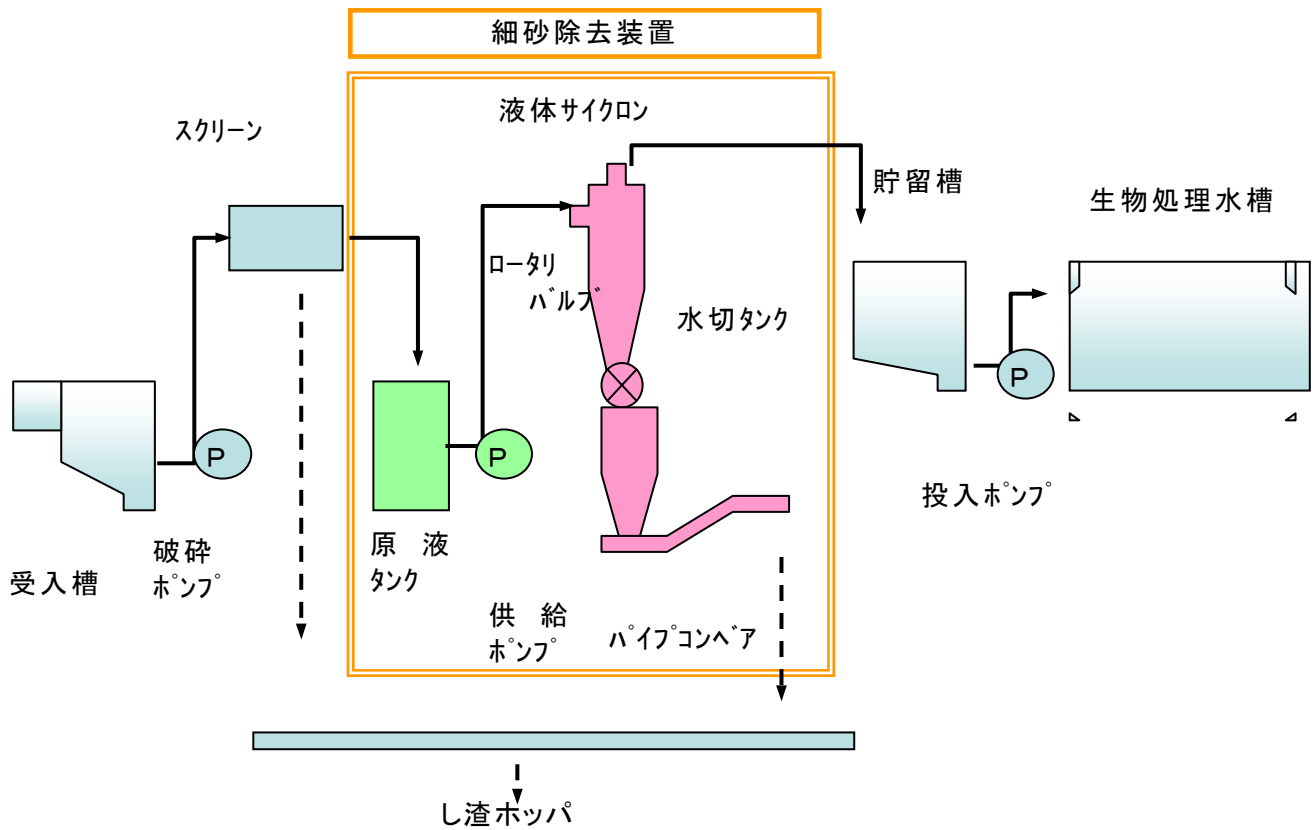


図2-1 細砂除去装置全体フロー



本装置は、スクリーンから流入したし尿等を一時仮受して圧送する原液供給装置、細砂類を遠心力で分離濃縮する液体サイクロンによる分離機構、濃縮細砂を定量排出するロータリバルブ型の細砂排出機構、排出された濃縮細砂をさらに重力沈降させ有機物と細砂を分離し再度濃縮する再濃縮分離・水切機構、沈殿分離した細砂を除水しながら任意のルートで自在に移送可能なパイプコンベヤ式の移送機構で構成している。

## 2.2 細砂分離の原理及び構造

[装置の構成]

本申請の細砂除去装置は、原液の移送装置と、液体サイクロンとロータリバルブ、水切タンク、パイプコンベヤを連結した分離・回収機構より成り、原液をポンプで液体サイクロンに供給し、分離濃縮した細砂をロータリバルブで定量排出、水切タンクで再濃縮、パイプコンベヤで水切して移送するように構成し設計されている。

従来型細砂除去技術の構成例を図2-2、申請の細砂除去技術の構成例を図2-3に示す。

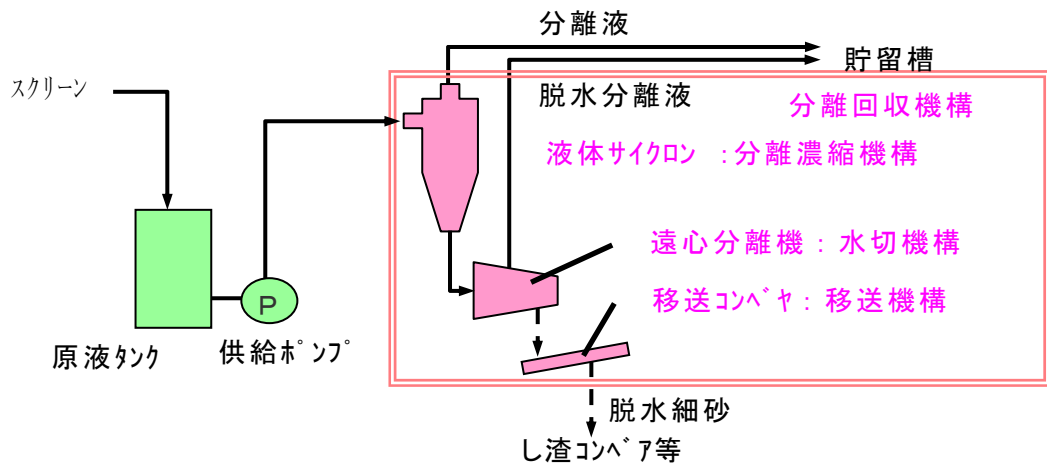


図2-2 従来型細砂除去技術（例）

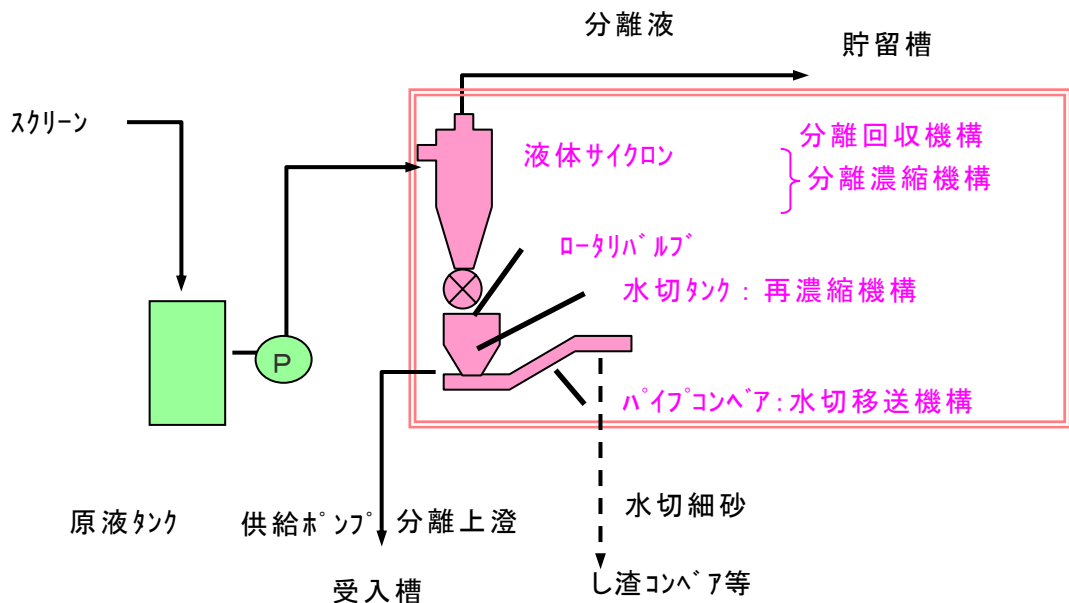


図2-3 申請の細砂除去技術（例）

## [原 理]

細砂の分離は従来技術同様に液体サイクロンを用い、し尿等を所定の速度以上の流速で液体サイクロンに供給することにより供給し尿等に高速の回転運動を与え、その遠心効果によって比較的比重の大きな細砂等の異物粒子がケーシングの側壁に沿って下降しながら移動して濃縮させる原理を用いている。

液体サイクロンの上部からは細砂等を除去されたし尿等のみが後段の処理工程に流れていくことになる。

一方、液体サイクロンの分離性能を左右する濃縮分離した細砂等の排出には、ゴム製ロータで密閉度の高いロータリバルブを採用することによって液体サイクロン下部からの濃縮物引き抜き流量を定量化し、液体サイクロン回りの流量収支を安定化させることによってサイクロン性能を安定化させると同時に、次工程の再濃縮機構への濃縮物の供給量を定量化することで水切タンクの容積負荷、水面積負荷を安定化させている。(図2-4参照)

その結果、液体サイクロンで細砂と共に濃縮分離された種子や汚泥などの本来回収しなくても良い有機物については細砂と分離して除去することが可能になり、細砂等のみを高い比率で再濃縮することに成功した。

水切タンクで分離した有機物類はオーバーフローにより再度スクリーンの供給元である受入槽に返送することによって主工程に戻し、再濃縮した細砂等は水切タンク下部のパイプコンベヤで沈殿した細砂類を巻き上げることなく掬うように掻き揚げ、水切りを行ないながら任意の排出先に移送できる機構とした。

ここでは、再濃縮した細砂類が微細な粒度でしかも揃っており、いわゆる「ダイラタンシー流体」として90%以上の保水性の高い状態になり、水分分離がしにくい状態であることが判ったことから、除去細砂の回収・移送には常時搬送する細砂に力が加わるスクリーコンベヤを用いず、パイプの中でゆっくりと円形のフライトがチェーンに引っ張られて移動するチェーン式のパイプコンベヤを採用した。

(図2-5参照)

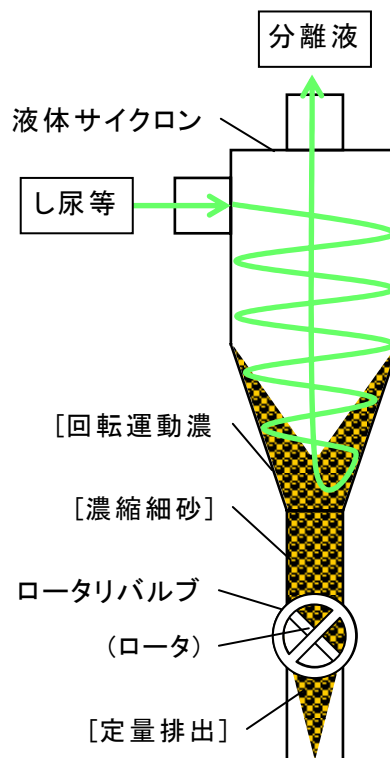


図2-4 分離回収機構

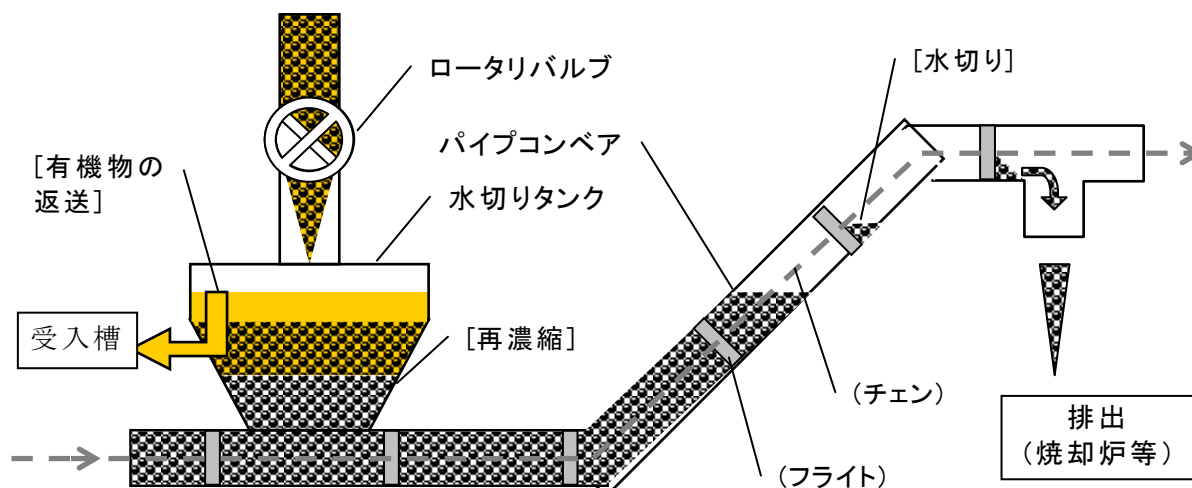


図 2 - 5 再濃縮・水切機構

その結果、水切タンクとパイプコンベアの組み合わせにより、細砂等からの有機物の分離性を高め、回収細砂の水分を低減して排出することを可能とした。又、密閉性の高い構造のパイプコンベアの採用は、特にし尿等の臭気対策に対し効果を発揮するほか、3次元の移送経路設計が可能な事から、自由な移送経路を選択して目的場所まで移送することを容易にし、既存施設へも適用しやすいものにした。

原液タンク、水切タンク、パイプコンベアについては臭気吸引ノズルを設置し、設置施設の臭気吸引ダクトに接続して装置を負圧に保つ構造としている。

### 3. 成果

試験の結果以下の成果を確認した。

#### 1) 性能

##### (1) 装置能力

###### 【運転条件】

原液性状： し尿及び浄化槽汚泥等

前処理条件： スクリーン通過後の除渣液

(サイクロンへの閉塞を考慮し、スクリーンは目開き 2mm 以下を標準とした)

p H : 5.8~8.6

浮遊物質： 20,000 mg/L 以下

土砂類： 0.15 重量% 以下 (原液中)

最大異物径： 2mm 以下

###### 【細砂除去性能】

処理量： 30 m<sup>3</sup>/時・基 (標準)

細砂除去率： 90% 以上 (強熱残留細砂に対する除去率)

除去細砂の有機物残存率： 50% 以下

除去細砂の水分： 50~80% (し尿等の性状により変化)

## (2) 装置性能

### 【安全性】

申請の装置は以下の通り操作性、環境面で安全性の高い装置となった。

#### ① 操作安全性

- ・装置の運転は全て自動化されており、前後の関連設備とインターロックを取ることにより安全に起動・停止を行なえるようにしている。
- ・駆動部分は供給ポンプ、ロータリバルブ、パイプコンベヤのみであり、遠心分離機のような高速回転体がない。

又、駆動部、回転体等には安全カバーを設けて巻き込まれ災害を防止し、さらに危険表示により注意喚起を図っている。

- ・原液移送から除去細砂の移送まで汚物に直接手を触れる作業がまったく無く、し尿等や除去細砂からの細菌感染の恐れが無いものとしている。

#### ② 環境安全性

- ・し尿等や除去細砂等の移送経路を全て密閉構造としていることから、汚物の飛散や臭気の漏洩が無く、作業環境を汚染する可能性が無いものとしている。
- ・高い騒音・振動を発生する機器が無いことから、設置場所の騒音・振動問題を発生させる危険性が無いものとしている。

### 【耐久性】

申請の装置全体として、I市2号機を2005年3月にMH Iが納入以降、2年以上の実施設での連続実績により長期の耐久性や安定運転に対する信頼性を確認している。

#### ① 耐久性

- ・サイクロン本体についてはいずれの施設も磨耗による交換実績は無く、2年以上の耐久性が確認できている。

但しサイクロン最下部の直管部分については浄化槽汚泥処理により最短6ヶ月で磨耗を確認した例が有り、磨耗部分を容易に交換できる構造に変更した上で、点検結果により最短で6ヶ月から数年単位で消耗品として交換することとしている。

- ・ロータリバルブのロータについては1年毎の交換を標準としているが、これまでのところ2年以上の運転実績でも交換することなく運転できており、長期の耐久性が望める状況である。
- ・パイプコンベアについては2年以上の運転実績により耐久性が確認できているが、チェーンの噛み合せ部の磨耗を確認しており、ほぼ3年程度での交換を標準としている。但し、摺動部であるフライトについては、ほとんど磨耗が見られない。

#### ② 安定運転の信頼性

以下の通り、設置施設において長期に渡る安定した処理を確認しており、十分に信頼できる装置であることを確信している。

- ・納入施設のいずれにおいても施設の前処理設備との連動により常時無人運転されており、安定した細砂除去性能を発揮している。
- ・本装置を設置した施設においては、本装置設置後の装置後段の水槽点検結果から、水槽底部への砂類の堆積がほとんど無いことを確認できているほか、後段に設置しているポンプや前脱水用遠心分離機のスクリュ磨耗について大

幅に低減されたことを確認している。

## 2) 特許の有無

本申請装置に関しては、以下の基本特許について出願し審査請求中であるほか、関連特許について出願中である。

	M J K 出願	M H I 出願
名称：	細砂除去装置、及び砂除去方法	し尿及び浄化槽汚泥の砂除去システム及び方法
出願番号	特願 2007-107846	特願 2005-177270
	審査請求中	審査請求中

## 3) 維持管理

### (1) 運転・操作性

- ・装置起動・停止はワンボタンによる連動自動運転が標準。
- ・原液供給量は基本的に一定とし調整を必要としない。
- ・負荷変動に対してはロータリバルブの回転数を調整し、濃縮細砂排出量を調整することで安定運転できる。
- ・細砂の排出量は必要に応じてパイプコンベアの速度により調整する。
- ・液体サイクロンおよびロータリバルブの閉塞は、ロータリバルブ下部の透明管により目視確認できるものとしている。万一装置故障があった場合には原液タンク液位により警報を発令すると同時に、スクリーンへの供給ポンプを停止するようなインターロック回路を標準としている。

又、サイクロン上部には、万一の閉塞時に水洗浄を行なうことで閉塞を解消するための洗浄ノズルを装備している。

- ・パイプコンベアの故障に対しては原液供給ポンプを停止する回路を設けている。又細砂によるコンベアの閉塞と水切タンクの溢れを防止するための安全策として、水切タンクに液位警報を設けている。

### (2) メンテナンス性

構造がシンプルなことから、定期的なメンテナンス範囲は極めて少ない。

以下の通り、磨耗などによる部品交換も容易に行なえるよう工夫している。

- ・磨耗により定期交換が必要な液体サイクロン最下部の直管は、両フランジ短管とし、当該部分のみを容易に交換可能な構造としている。
- ・駆動部が少ないことから給油部分も少なく、日常のメンテナンスを必要とする部分は極端に少ない。
- ・除去細砂の移送にパイプコンベアを採用したことで、既存施設の通路やメンテナンススペースにほとんど影響を与えないレイアウトが可能となっている。

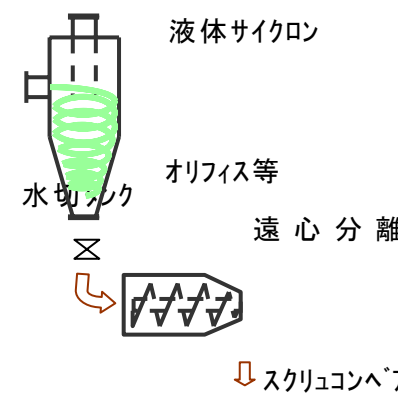
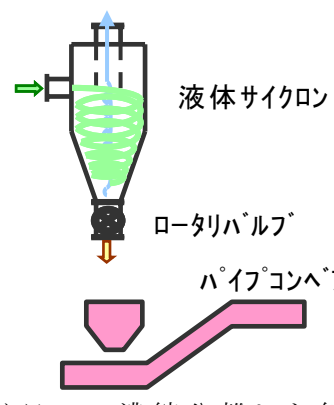
### (3) 維持管理コスト

施設の維持管理コスト面で、本申請装置の設置により小さなランニングコストで大きな低減効果を上げることが出来た。

- ・前処理段階で細砂を除去するため貯留槽及び生物処理水槽への堆積がほとんど無くなり、浚渫物清掃や処分がほとんど不要となる。
- ・前処理設備後段のポンプや機器の磨耗が少なくなり、装置設備の延命化になる。
- ・ロータリーバルブ、パイプコンベアは低速で稼動するため、従来装置に比べ電動機出力が小さく、特殊な補修部品も少なく施設内で交換可能である。

以上の成果を元に、申請装置と従来装置の比較を表2-1にまとめた。  
 従来装置としては、分離性能が最も近いと見られる「液体サイクロンと遠心分離機」の組み合わせによる技術を比較対象とした。

表2-1 申請装置と従来装置の比較（当社比）

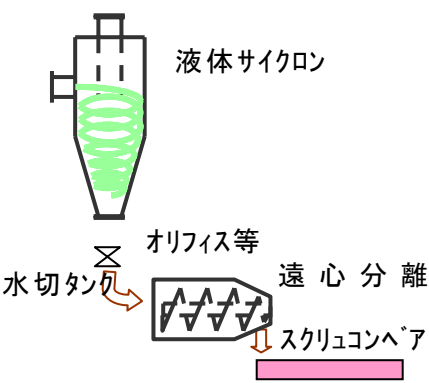
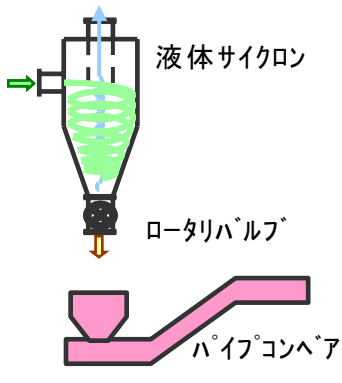
項目	従来装置	申請装置
分離・回収原理 (主要部比較)	 <p>液体サイクロンで分離した細砂は、閉塞しないよう低濃縮倍率で排出。細砂は近くに設置した遠心分離機で有機物と共に脱水しスクリュコンベア等により排出する。</p>	 <p>液体サイクロンで濃縮分離した細砂はロータリバルブにより高濃縮倍率で定量排出。細砂は下部に設置した水切タンクで沈降分離し有機分を除去して再濃縮、除去細砂はパイプコンベアで水切り・移送し排出する。</p>
一次濃縮倍率 (サイクロン排出)	5~20倍 (オリフィス等で排出調整のため安定排出が困難)	400~500倍 (ロータリバルブで容易に濃縮倍率調整)
細砂除去率	90%以上	90%以上
水切細砂水分	80%以下	50~80%程度
運転動力	遠心分離機は高速回転のため、動力が大。	ロータリバルブ、パイプコンベア共に低速回転で動力が小。
設置スペース	大きい	小さい
装置重量	遠心分離機の本体及び架台重量が集中し大。	構成部品が少なく、ほとんど配管同様分散荷重で軽量。
維持補修	磨耗による消耗部品が多く、必要に応じ工場整備を要する。	保守消耗部品が少なく、現地点検整備で対応可能。

#### 4) 経済性

申請装置と従来装置の比較を表2-2に示す。

従来装置としては、前記の「液体サイクロンと遠心分離機」による技術を比較対象とした。

表2-2 申請装置と従来装置の経済性比較(当社比)

項目	従来装置	申請装置
分離・回収原理 (主要部比較)		
設備費(比率)	100	55
a. 運転コスト(比率)	100	25
b. 点検補修費(比率)	100	30
維持管理費合計 (a+b) (7年間対比)	100	30

#### 5) 将来性

廃棄物処理法施行令の一部改正(平成19年2月1日施行)により、細砂等の浚渫残渣も海洋投入処分が全面的に禁止となった。

一部の汚泥再生処理センター等の整備においては、新設・更新施設において細砂除去設備が導入されたが、全国の既存約1,000施設においては槽浚渫物の陸上処理への転換について必要性を感じつつも、設備改善・改修事業に対する国庫補助がなかったことから対策が遅れ、法施行後になって陸上処理費用が急騰したことから多くの施設で問題が表面化してきた。

本申請装置は、これまで各施設で費用負担してきた水槽の清掃と浚渫物処分費用に見合う費用で、「設置と長期的な維持が可能な自営化設備」とすることを前提に開発したものであり、新たな経済負担無しに容易に導入でき、さらに環境負荷を低減できる装置として環境行政に大きく貢献できる。

よって、今後ますます求められてくる廃棄物の減量化、外部委託費の削減、他府県への廃棄物越境処分の縮減などの時代的・社会的要求から、汚泥再生処理施設における細砂除去装置の設置は必須であり、全国の既存施設へ普及していくものと予想される。

## 6) 独創性と効果

液体サイクロンとロータリバルブ、水切タンク、パイプコンベアを連結した分離・回収機構を構築したことにより、次の特長を併せ持つ装置としたこと。

(1) 液体サイクロン下部にロータリバルブを採用したことにより、

- ① サイクロン周りの流量収支を安定化させた。結果サイクロンの分離特性が安定化した。
- ② 濃縮細砂を 400～500 倍という高濃縮倍率で安定して定量排出する事で、水切タンクにおける細砂の重力沈殿分離の容積負荷、表面積負荷を極端に小さく且つ一定に保つことが可能になり、細砂回収率の安定化と同時に、比重差の小さい有機物と細砂の分離も可能にした。

(2) 濃縮細砂の再濃縮・移送に水切タンクとパイプコンベアを採用したことにより

- ① ロータリバルブからパイプコンベアまでの濃縮細砂の移動経路を垂直に且つ直線で構成することが可能になり、濃縮細砂の配管閉塞によるトラブルを回避した。
- ② チェン式のパイプコンベアを採用したことにより、水切タンク下部に沈殿した細砂の巻き上がりを防止した最適な速度で救い上げ、有機物分離と水分除去による再濃縮を可能とした。
- ③ パイプコンベアの採用で、除去細砂の再濃縮分離と搬送を同時に行なわせることが可能になり、しかも密閉状態で衛生的且つ低動力で3次元の自由な搬送経路を可能とした。

## 7) 今後の規制に対する対応策

本申請装置の設置により、以下の通り今後予想される法整備や規制強化に対しても対策が容易である。

(1) 環境負荷としてのCO<sub>2</sub>排出量規制強化

本申請装置は従来技術に比べ、きわめて小さな動力負荷で連続処理を可能とするものであり、すでにエネルギー消費(=CO<sub>2</sub>排出量)が少ないものとなっている。

さらに本装置の設置によって、これまで実施していたダンパー車やポンプ、高圧洗浄機、送風機などを用いる水槽清掃作業や、除去浚渫物の運搬車両に係るCO<sub>2</sub>排出量がほぼゼロにできる。

(2) 廃棄物削減と循環型社会への寄与

これまで水槽浚渫物として細砂と共に大量のスカムや汚泥が処分されていたが、本装置の設置によってわずかな細砂のみを選別して処分できたため、廃棄物処分量を激減させることが可能になり、最終処分場の延命化に寄与する。

又、スクリーンで除去したビニールなどのし渣を施設内焼却設備で焼却処分している場合、あるいは場外に搬出して焼却処分している場合には、し渣とあわせて焼却することによって更なる減量化が可能であり、熱処理により再利用可能な状況まで衛生処理できる。

## 4. 応用分野

汚泥再生処理センター（し尿処理施設）のほか、小規模下水道・コミュニティプラント・生活排水処理施設・農業集落排水処理施設等の汚水・汚泥中の微細砂除去や、工場排水中の微破碎金属の回収などにも適用範囲を拡大できるものと期待している。

## 5. 第1号機

### 1) 装置の仕様

#### (1) 原液供給装置

##### (1) - 1 原液タンク

- ① 型式 : 角型鋼板製
- ② 数量 : 1基
- ③ 容量 : 約 2.5m<sup>3</sup> (有効容量)
- ④ 付属品 : 電極式液位計、臭気抜き口、オーバーフロー口

##### (1) - 2 供給ポンプ

- ① 型式 : 水中ポンプ
- ② 数量 : 1台
- ③ 能力 : 30m<sup>3</sup>/時 × 0.23MPa
- ④ 駆動機 : 3.7kw × 4P 60Hz × 3相 / 200V 級

##### (1) - 3 供給流量計

- ① 型式 : 電磁流量計 (現場指示式)
- ② 数量 : 1台
- ③ 口径 : 80A
- ④ 構成 : 検出器・変換器・指示計

#### (2) 細砂分離装置

##### (2) - 1 サイクロン

- ① 型式 : 液体サイクロン式
- ② 数量 : 1基
- ③ 能力 : 30m<sup>3</sup>/時
- ④ 材質 : 本体 : 鋳鉄 (FC250)、下部短管 : SUS304
- ⑤ 損失圧力 : 0.15 MPa

##### (2) - 2 ロータリバルブ

- ① 型式 : ロータリバルブ
- ② 数量 : 1台
- ③ 能力 : 0.25L/rev (定格排出量)
- ④ 回転数 : 約 3~9rpm
- ⑤ 駆動機 : インバータ付きサイクロ減速機 0.2kw × 4P  
60Hz × 3相 / 200V 級
- ⑥ 材質 : ケーシング : FC250、インペラ : ゴム

(2) - 3 水切装置

- ① 型式 : 水切タンク+パイプコンベア
- ② 数量 : 1式
- ③ 排砂能力 : 0.17m<sup>3</sup>/時 (最大)
- ④ コンベア速度 : 2.0~5.0m/分 (可変)
- ⑤ 駆動機 : ギヤードモータ+インバータ (1.5) kw×4P  
60Hz×3相/200V級
- ⑥ 付属品 : 水切りタンク(約30L) 1基  
臭気抜き口、電極式液位計、  
洗浄水供給口、オーバフロー口

(3) 現場制御盤

- ① 型式 : 鋼板製自立盤 (屋内仕様)
- ② 数量 : 1面
- ③ 寸法 : 約800mm×350mm×1400mmH
- ④ 表示 : 補機ON・OFFスイッチ 1式  
補機異常警報 1式  
液位異常警報 (原液タンク、水切タンク) 1式

2) 装置の納入先

鳥取県西部広域行政管理組合様 「米子浄化場」

3) 納入時期

2004年10月 (稼働開始)

4) 稼働状況

稼働時間 : 6時間/日×5日/週 (約250日/年程度)

前処理との連動にて自動運転

労働時間 : 始動時 : 始業点検

運転中 : 3回/日程度の定期巡回による流量、電流値の点検及び調整

終業時 : 水切タンク洗浄など

5) トラブル発生の有無

(1) サイクロン

① サイクロン下部の細砂による閉塞

対策 : サイクロン下部口径の再設計 (拡大と直管部の設置)  
サイクロン直上部に洗浄ノズル設置

対策後の状況 : 閉塞なし

閉塞時は上部から洗浄復旧可能になった

② サイクロン下部短管の摩耗

対策 : サイクロン下部短管 (消耗部品) の設置

対策後の状況 : 摩耗状況により定期交換

(2) 水切タンク

①水切タンクオーバーフロー配管の閉塞

対 策：管内洗浄水配管と自動弁の設置による定期自動洗浄

対策後の状況：閉塞なし

(3) パイプコンベア

①パイプコンベアチェンの伸びによる過負荷停止

対 策：調整金具設置によりチェン長さを調整可能な構造に変更

対策後の状況：定期調整によりトラブルなし

②コンベアチェンの摩耗（予測：現在まで交換なし）

対 策：定期点検整備により摩耗时交換