

産業排水における新しい排水処理・回収技術 Novel Wastewater Treatments and Reclamation Technologies for the Industrial Wastewater Treatments

オルガノ株式会社 江口 正浩

ORGANO Corporation Masahiro EGUCHI

キーワード； 電子産業工場、水回収システム、資源回収システム、高効率化技術

Keywords； electronic industry, wastewater reclamation system, resource recovery system, high-efficiency treatment

1.はじめに

従来の排水処理設備は、公害防止を目的とした水質汚濁防止法に基づき工場から有害物質が流出することを防ぐことを主眼に設計されている。このような排水処理設備では、工場内の各製造工程から排出される排水の分別をせず混合して総合排水処理する end of pipe 方式が主流となっている。end of pipe 方式では、従来の水質指標に関して良好に処理することは可能であるが、種々雑多な物質を含む排水が混合されるため処理対象物質の濃度が薄く処理効率が低いこと、また処理水量が多く大規模な処理装置になりやすいという課題があった。また、新たな排水規制が出た場合に全排水量に対応した処理装置を付加する必要があり、装置改造が大規模になりやすいなどの課題もあった。

近年、各分野において環境負荷削減、二酸化炭素排出量削減、資源回収が進み始めているが、排水処理分野においても従来の公害防止を目的とした処理から、適切に排水分別して排水処理を効率化する技術、排水から資源を回収する技術の実用化が始まっている。

今回の講演では、特に電子産業工場における排水処理システムの事例を中心に、排水分別による処理の最適化、排水からの水・資源回収技術、排水処理装置の高効率化技術、汚泥削減技術の動向について紹介する。

2.水回収システム

2-1 電子産業工場

半導体製造工場や液晶製造工場などの電子産業工場では、大量の純水、超純水を使用するため、排水を回収再利用することは用水確保、環

境への負荷、コスト低減の点で、非常に重要であり、排水の分別・回収再利用が盛んに行われている。図1に、電子産業工場における全体の水処理設備の概略フローを示す。

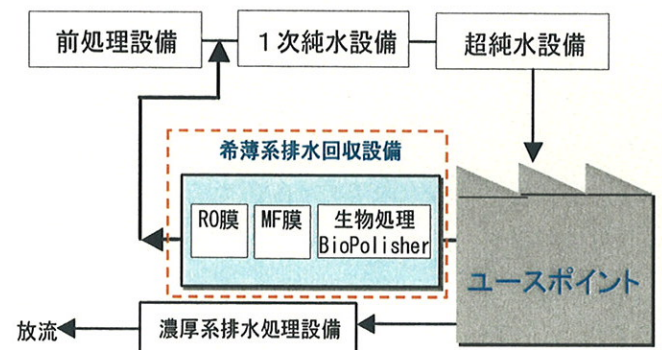


図1 電子産業工場の水処理フロー概略

分別された希薄系排水は、生物処理、MF膜処理、RO膜処理を経て、再び超純水の原水として再利用されている。この希薄系排水には、全有機態炭素 (TOC) として1~5 mgC/L程度の有機物が含有されている。従来、この微量有機物の処理法として、オゾンや紫外線などを利用した化学酸化処理や活性炭処理が採用されていたが、生物分解性の高い有機物が残存することで後段の活性炭、樹脂、膜に微生物が繁殖し目詰まりを生じるため、運転管理上の大きな課題となっていた。そこで、TOC10mgC/L以下の非常に低濃度の系で増殖可能な低栄養性細菌を活用した生物処理と膜処理を組み合わせた処理システムが開発され導入された。本システム

では、微生物が資化し易い低濃度の有機物を低栄養性細菌により分解し、生物処理水中に残存する微生物を膜処理装置で除去することで、後段の設備における微生物起因のトラブルを抑制することが可能となる。

近年さらに、環境保全、水資源の確保等の点から、より有機物濃度が高い排水回収の検討事例が増加しており、生物処理+凝集沈殿+膜処理の組み合わせや、浸漬膜活性汚泥法（MBR）を活用した水回収システムの適用検討が進められている。

2-2 ビル中水回収

ビル内の中水回収設備の導入事例として、ホテル厨房排水処理向けに納入したシステムについて紹介する。処理フローの概略を図2に示す。厨房排水に含有される油脂は、高濃度で流入すると生物処理の性能、および MBR 膜閉塞の懸念があるため、油脂分解微生物製剤にて油分の前処理を行っている。油脂処理後、固定床式生物処理を経て半量を下水放流とし、半量をトイレ洗浄水への再利用を目的として MBR 処理を実施している。本 MBR 装置の膜は、ポリエチレン製平膜型で孔径 $0.4\mu\text{m}$ の MF 膜である。MBR 処理で、BOD 濃度は 5mg/L 以下、懸濁物質濃度は 1.3mg/L まで処理され、中水への回収再利用水として満足する水質を安定して得ている。本システムの採用により、従来の排水処理設備で設置されていた凝集加圧浮上装置、沈殿槽、汚泥脱水機の設定を削減すると共に、水回収が可能な処理システムとして稼働している。

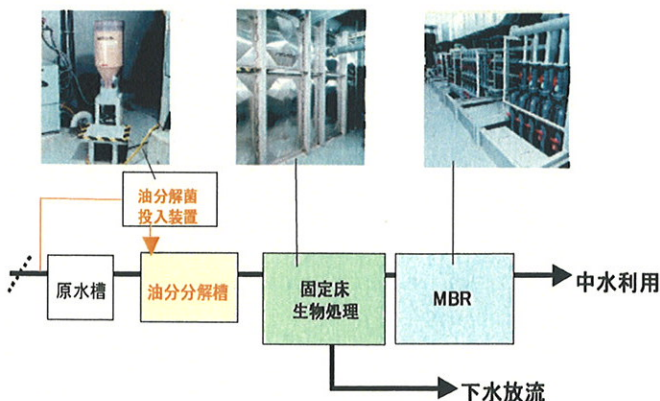


図2 ホテル厨房排水回収システム例

3.資源回収システム

半導体工場特有の排水として、エッチングなどに使用されるフッ酸やフッ化アンモニウムなどのフッ酸排水がある。通常、フッ素イオンは、カルシウムと不溶性のフッ化カルシウムをつくるため、消石灰を添加し沈殿除去し処理を行っている。ただし、この処理方法では、沈殿槽が非常に大きく設置スペースが広大となる。また、汚泥は廃棄物として場外処分する必要があり、環境負荷および処理費用が高いという課題がある。

これらの課題に対応して、近年、コンパクトかつ高純度フッ化カルシウムを回収可能な晶析装置の開発、導入が始まっており、現在、実機の納入・安定運転、フッ酸リサイクルシステムの稼働に至っている（図3）。

pHを適切に調整した後、原水を晶析反応塔に供給し、処理水の一部を循環する。原水、循環水およびカルシウム剤は、晶析反応塔に別々に供給され、塔内で反応するように構成されている。このような構成により、フッ化カルシウムの高純度結晶を生成させることが可能となる。このため、フッ素汚泥を廃棄物として排出させることなく、純度の高いフッ化カルシウムとして資源の回収・再利用が可能となる。

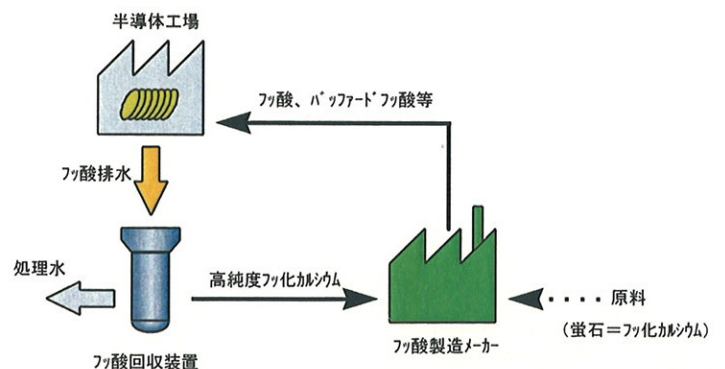


図3 フッ酸リサイクルシステムの概念図

本品析法は、資源枯渇が懸念されるリンに関しても有効であり、今後下水や産業排水からリン資源を回収し再利用できる社会的なリサイクルシステムの構築が望まれる。

4. 高効率化技術(窒素含有排水処理)

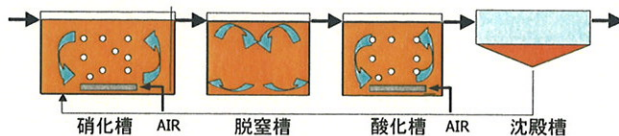
排水中の窒素化合物はリンと共に富栄養化の原因物質として規制されている。食品工場や家庭排水ではタンパク質を中心とした有機態窒素の排出が多く、電子産業や発電所ではアンモニア化合物および有機窒素化合物を多く使用しており、これらの窒素化合物を含んだ水が排水として排出されている。

窒素含有排水はその多くが微生物の代謝を利用した生物処理法により処理されている。この生物処理法は硝化菌の働きによりアンモニウムイオンを硝酸へと酸化する「硝化」、脱窒菌の働きにより有機物を添加して硝酸を窒素ガスに還元する「脱窒」、添加した有機物の余剰分を処理する「有機物酸化」の3つの工程により処理されている。この窒素処理は通常の有機物処理と比較して反応速度が遅いため、排水処理設備全体における窒素処理設備の割合が大きく、システムのコンパクト化、低コスト化が強く望まれている。これらの課題に対応して、近年、担体に微生物を付着させて処理を効率化する流動床式窒素処理装置の導入が増加している。

流動床式生物処理装置は、各細菌（硝化菌、脱窒菌、酸化菌）に適した担体を選定し棲み分けさせることで各細菌の活性が最大限に発揮され処理速度を2~3倍に向上させることが可能である。また、広大な沈殿槽を削減し設置面積が従来と比較して1/2から1/3程度にまでコンパクト化することが可能となる(図4)。

さらに、最近では新規の窒素処理装置として、グラニュールを用いた高速処理、アナモックス菌による低エネルギー処理技術の開発も盛んに進められている。

従来法(活性汚泥法)



流動床式窒素除去システム

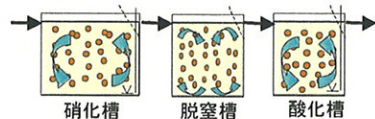


図4 窒素処理システム概略フロー

5. 汚泥削減技術

廃棄物処理費用の高騰、環境意識の高まりから汚泥発生量の削減技術の開発が進んでいる。特に、排水処理設備の活性汚泥処理から発生する余剰汚泥は、食品工場、下水処理場等で主要な産業廃棄物となっており、各種物理化学的、生物学的処理による汚泥削減法が提案されている。

当初、オゾンや超音波等を用いた物理化学的手法により可溶化した余剰汚泥を活性汚泥に戻すことで、80%程度削減する処理方法が実用化された。しかし、オゾン発生装置、超音波発生装置等の処理設備が高価なため中小規模工場への導入は困難であった。

この課題に対応して、近年、アルカリ性薬剤で汚泥を可溶化する方法(図5)、生物学的な食物連鎖を利用する方法が開発されている。汚泥削減率は多少低くなるが設備投資が安価であり、今後の普及が期待される。なお、実際の導入に当たっては、活性汚泥処理装置の処理状況、処理水質への影響を事前に検討した上で導入することが必要となる。

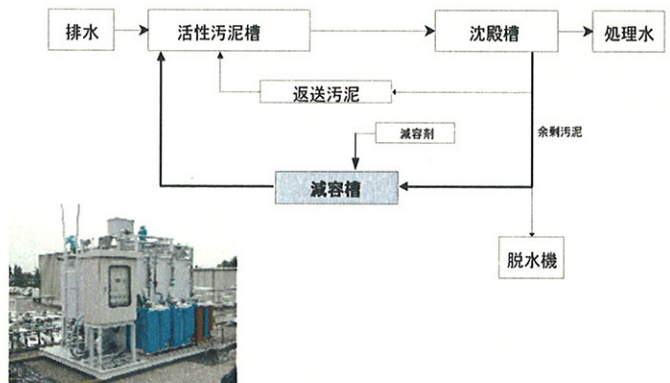


図5 薬剤法による汚泥減量システム

6. おわりに

排水処理設備に求められる機能として目標処理水質を満足することはもちろんであるが、近年は、「水回収」「資源回収」「処理の効率化」「廃棄物の削減」「CO₂発生量の削減」など工場内の水供給、排水処理を総合マネジメントすることが重要になっている。本講演で紹介した最新の排水処理装置が、今後の水のマネジメントの一助になれば幸いである。

産業排水における 新しい排水処理・回収技術

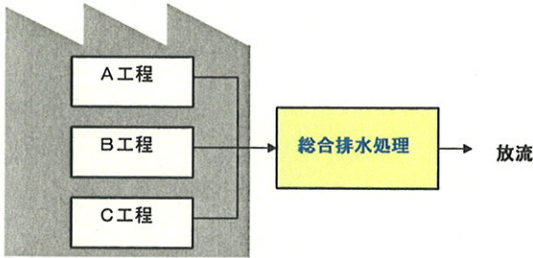
オルガノ株式会社 開発センター
江口 正浩

講演内容

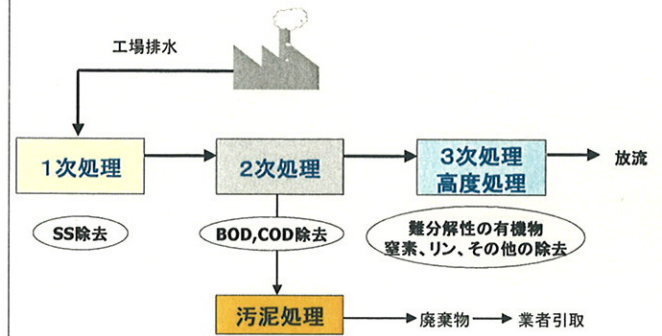
1. 産業排水処理の動向
2. 水回収システム技術
3. 資源回収技術
4. コンパクト化技術
5. 汚泥削減技術

1 従来の産業排水処理

- End of Pipe 処理が主流
- 従来の水質指標に関しては、良好な処理状況が多い



1 排水処理の基本プロセス



1 End of Pipe 処理の問題点

- 全ての排水を混合後に処理しているため、以下の問題点がある

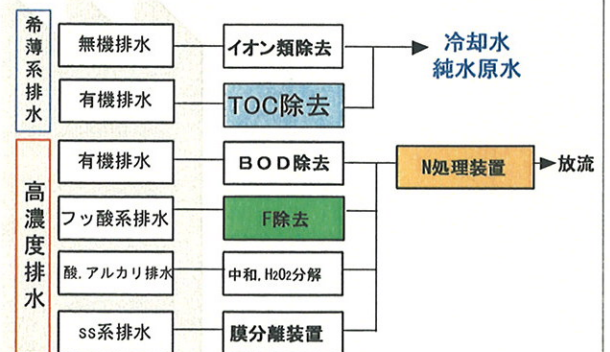
- ・ 処理対象物質に対する除去技術を、直列につなげる処理となる
(ex. P除去 ⇒ BOD除去 ⇒ 難分解性物質除去)
- ・ 処理対象となる水量が多くなる ⇒ 処理装置が大きくなる
- ・ 処理対象物質濃度が薄くなる ⇒ 処理効率が低下
- ・ 排水回収が困難となる
- ・ 新規な処理対象物質が出た場合に、全水量対応となりやすい



排水分別による排水処理の最適化

1 電子産業排水処理システム例

- 排水の分別により、対象物質に適した処理技術と排水回収へ



1 産業排水処理技術の動向

● 基本的に要望されるもの(3小1高)

- ・ 設備投資費用 小
- ・ スペース 小
- ・ 運転管理費用 小
- ・ 水質 高

- ・ コンパクト化
- ・ 高度処理(窒素、リン、COD除去)
- ・ 廃棄物低減
- ・ 水回収、資源回収
- ・ CO₂発生量削減(省エネルギー技術)

7



講演内容

1. 産業排水処理の動向

2. 水回収システム技術

3. 資源回収技術

4. コンパクト化技術

5. 汚泥削減技術

8

2 水回収の目的と採用ポイント

目的

- 排水量の低減: 環境への負荷低減
- コスト削減: 水回収による用水、放流量等の削減

排水回収再利用システムの採用可否のポイント

- 排水の分別が如何になされているか
(ゴミは分別収集が常識。排水も分別すれば回収容易に)
- 回収先の用途が適切か (製造用水、冷却水、その他)
- 用水コスト、処理水放流コストとの関連でコストメリットが生じるか
- 取水量制限、排水量制限の有無

9



講演内容

1. 産業排水処理の動向

2. 水回収システム技術(電子産業工場)

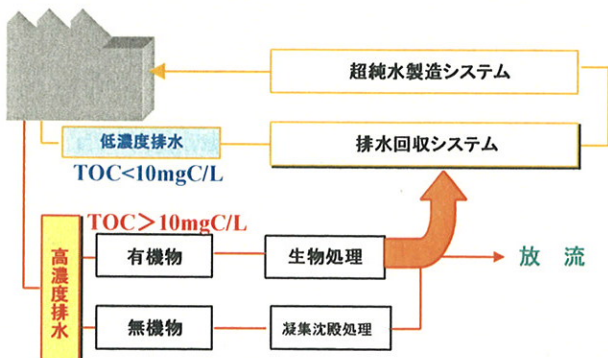
3. 資源回収技術

4. コンパクト化技術

5. 汚泥削減技術

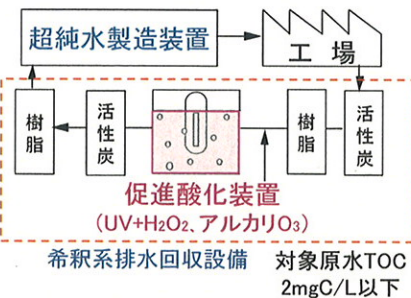
10

2 有機性排水回収システムの動向



11

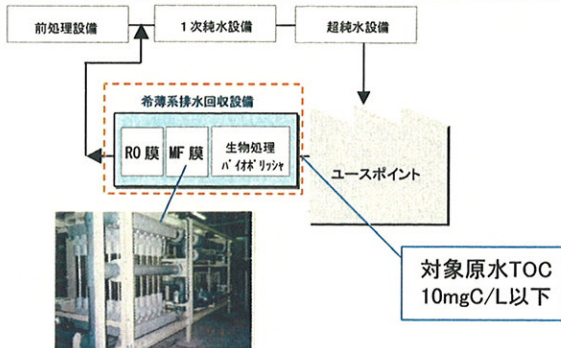
2. 水回収システムの技術動向



- ・ 従来、2mgC/L程度までの排水のみ回収し、超純水の原水に
- ・ 物理化学的処理が中心であったが、スライム発生が課題

12

2. 水回収システムの技術動向



・排水回収濃度の高濃度化とスライム対策として、低栄養性微生物を用いた生物+膜処理システムを実用化

13

2. 最近の水回収システムの動向

【水回収システム例】

①従来のシステム例



②MBRを利用した水回収システム



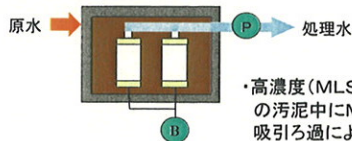
・運転管理の容易さと設備コスト、運転コストを意識した水回収システムの確立へ

14

2. MBRを用いた排水回収システム

■ MBRとは

MBR=Membrane Bio Reactor=膜分離活性汚泥法

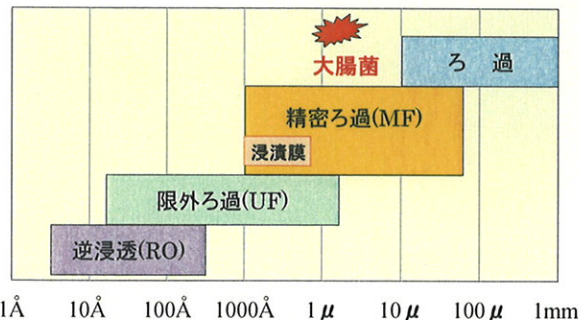


■ 特徴

- 極めて良好な処理水質
 - ・高濃度汚泥による十分な生物処理+膜による除濁
 - ・後段RO膜の目詰まり抑制に有効
- 省スペース
 - ・高濃度汚泥の保持により高負荷運転が可能
 - ・除濁設備である膜は反応槽内に設置

15

2. 浸漬膜活性汚泥法



16

2 MBRシステムの検討目的

■ 目的

- ①下水放流コストの削減
- ②工水使用量の削減

⇒ 下水放流水を回収し、クーリングタワー補給水として再利用する



17

2 代表水質まとめ

■ MBR

- 原水TOC 10~35mg/Lに対し、処理水TOCは4mg/L以下程度で安定
- 吸引圧力上昇は緩やかであり、安定運転が可能

■ RO

- TOC 500ppb以下、導電率 100 μ S/cm以下となり、ともに良好
- Flux・差圧ともに非常に安定

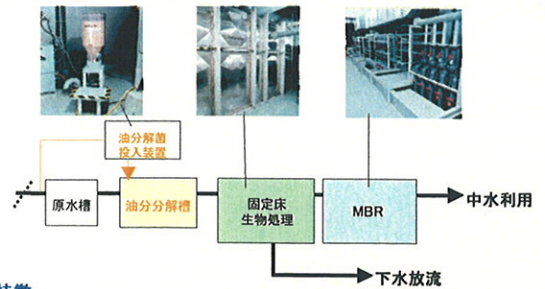
	回収原水	MBR処理水	回収水 (RO透過水)
pH	6~7	6~7	5~6
導電率 (μ S/cm)	1,500~3,000	1,500~3,000	30~100
TOC (mg/L)	10~30	2~4	0.2~0.5
BOD (mg/L)	25~75	<2	<2

18

講演内容

1. 産業排水処理の動向
2. 水回収システム技術(ビル中水設備)
3. 資源回収技術
4. コンパクト化技術
5. 汚泥削減技術

2 ホテル厨房排水回収システム概要



●特徴

- ・油分解槽の導入(加圧浮上の省略、MBR流入水n-hexの低減)
- ・下水放流、中水利用の各目標水質に応じた処理設備

2 微生物製剤を用いた含油排水処理

特殊微生物製剤の特徴

- 動・植物油に対する分解活性が非常に高い
調整槽内で通常の活性汚泥などで許容しうるレベルまで油分を分解します。
- 食品にも使用される安全な微生物を休眠状態で維持
特殊微生物は経路上に殺菌化されており、長期貯蔵性を確保します。



油脂分解剤「セビアR511」

システムの特徴

- 低コストでの排水処理が可能
従来の加圧浮上による方法と比較して、加圧浮上分離液槽・凝集剤・含油汚泥の処分が必要なくなるため、低コストでの処理が可能です。
- 省スペース化
加圧浮上分離装置と比較して、必要な設備は微生物製剤活性化ユニットのみとなるため、省スペース化が図れます。
- 運転管理が容易
凝集剤浮上設備のような調整が不要です。

2 代表水質

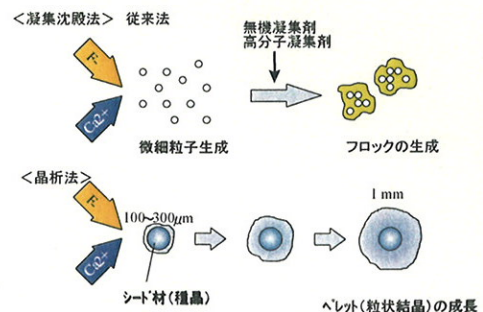
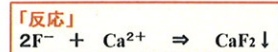
	n-ヘキサン抽出物質(mg/L)	BOD(mg/L)	ss(mg/L)	pH	濁度(度)	大腸菌群数(個/mL)
原水	112	1,040	220	4.5	-	-
油脂分解槽処理水	40.2	250	145	6.7	-	-
固定床生物処理水出口	2.6	22.1	26	7.5	-	-
浸漬膜活性汚泥処理水	<5	1.3	5以下	7.4	0.2以下	10以下

- 油分解槽と固定床生物処理によってn-hexは十分に処理されている
- 固定床生物処理水質は、下水放流に十分適合する
- MBR処理水質は、中水利用に十分適合する

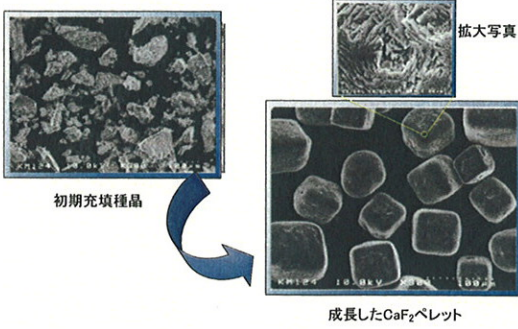
講演内容

1. 産業排水処理の動向
2. 水回収システム技術
3. 資源回収技術(フッ素)
4. コンパクト化技術
5. 汚泥削減技術

3. 従来のフッ素排水処理との比較

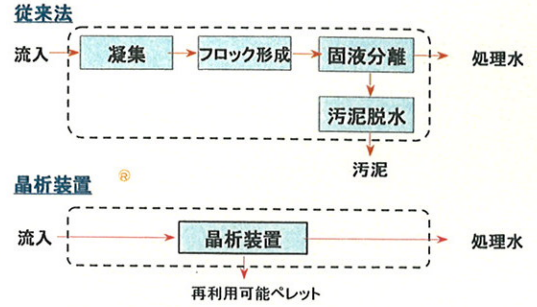


3. フッ化カルシウム高純度ペレット



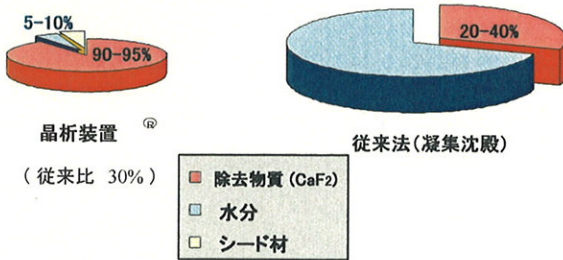
3. 資源回収型流動床式晶析装置

従来法の4工程を、晶析装置 単独で対応可能



3. 晶析装置と従来の脱水ケーキ

廃棄物ではない、再利用可能な“資源”を得る
純度90%以上、含水率 5-10%



3 攪拌晶析装置での回収ペレット



実装置で得られたペレット



ペレット乾燥品

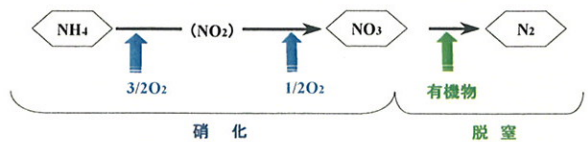


講演内容

1. 産業排水処理の動向
2. 水回収システム技術
3. 資源回収技術
4. コンパクト化技術 (窒素処理)
5. 汚泥削減技術

3. 新しい窒素除去技術

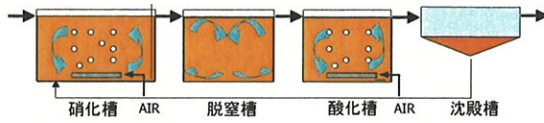
現行の窒素処理



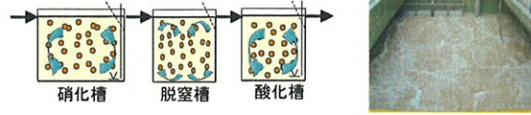
・アンモニア性窒素を硝酸性窒素に硝化した後、メタノールなどを添加して硝酸性窒素を窒素ガス化(脱窒)する。

3. 流動床担体利用窒素除去システム

従来法（活性汚泥法）



全槽流動床式窒素除去システム



◆適切な流動担体を投入することで、高い容積負荷を達成、また、広大な沈殿槽が不要となり、従来法に比べ設置面積を大幅に削減可能

31

講演内容

1. 産業排水処理の動向

2. 水回収システム技術

3. 資源回収技術

4. コンパクト化技術

5. 汚泥削減技術

32

4. 排水処理で発生する汚泥の減容化

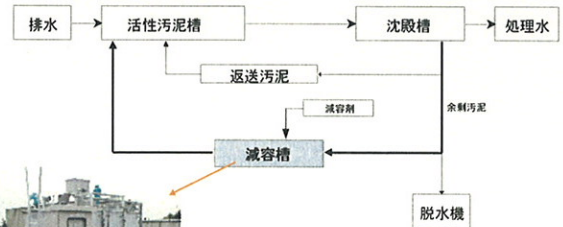
廃棄物処理費用の高騰、ISO14000等に関連して廃棄物排出量自体を低減しようという動き等から汚泥発生量の低減化技術が注目を集めている。

- 生物汚泥(余剰汚泥)減容化
生物処理装置から発生する余剰汚泥量を低減する技術。
発生汚泥を可溶化して、再度生物処理にかけることにより汚泥を低減
- 凝集汚泥減容化
凝集沈殿、凝集加圧浮上で発生する無機汚泥を低減する技術。
無機凝集剤添加量を低減することにより、凝集剤起因の汚泥量を低減。

33

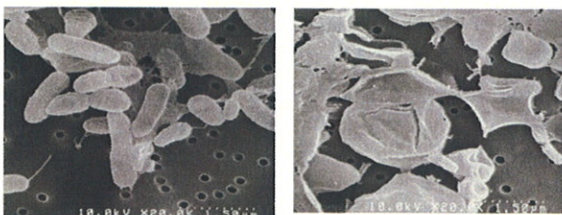
4. 余剰汚泥減容化：基本フロー

活性汚泥処理システムから発生する余剰汚泥を、減容剤を用いて可溶化処理を行い、その処理汚泥を活性汚泥槽で無機化することにより、余剰汚泥量を減容します



34

4. 可溶化処理前後の細菌



可溶化処理前汚泥

可溶化処理後汚泥

35

まとめ

総合排水処理から水のマネージメントへ

- 総合排水処理(End of Pipe 処理)
- ↓
- 排水分別による排水処理の最適化
- ↓
- 水回収、資源回収、高度処理、CO₂発生量削減の検討による水の総合マネージメントへ