特集2・食品産業から排出される廃棄物の減容化

物理破碎と化学処理を利用した 余剰汚泥減容排水処理技術

渋谷 吉 昭*

キーワード：減量（容）、汚泥、破碎、排水、可溶化、アルカリ

1. はじめに

食品産業においては、排水中に占める有機物の含有量が多いため、現状の排水処理技術（活性汚泥法）では大量の汚泥が発生する。この発生した汚泥は、現状では脱水して焼却処分されるか、または、脱水ケーキのまま産業廃棄物として最終処分されているなど十分な減量対策が講じられていないことから、これらの汚泥の有効利用とともに排水処理技術対策と組み合わせた汚泥発生の低減化が緊急の課題となっている。

このため、物理破碎と化学処理を組み合わせた方法で処理することにより効率的に可溶化し、汚泥発生量が大幅に少ない食品工場向けの汚泥減容排水処理技術を提供することを目的とした。

2. 可溶化条件の検討

2.1 化学的処理方法の検討

物理破碎は様々な方式があるが、本研究においては連続して破碎処理が可能な湿式ビーズミル方式を

採用した。この方法は横型円柱容器中で、汚泥を破碎するためのビーズ（ガラスなど）と共に攪拌羽根で高速に回転することにより試料を微粉碎していく方式である。しかしながら、物理破碎機の単独使用では消費電力が大きいと、物理破碎の時間を短縮して消費電力を抑えてコンパクト化する一方、可溶化効率低下を補う化学的処理法を検討した。酵素処理、アルカリ処理、オゾン処理の3法を抽出（物理破碎後の化学処理法として）最適条件を比較した。

2.1.1 実験方法

食品工場より採取した余剰汚泥を、図-1の破碎機を用いて破碎処理し、その後、破碎した汚泥をビーカーに均等にとりわけ、化学処理をそれぞれの条件に従って行い、処理後の汚泥について比較検討した。実験条件等は下記の通り。

2.1.2 実験装置（図-1、表1）

2.1.3 処理条件

- (1) 処理汚泥：食品加工排水処理設備の返送汚泥
- (2) 汚泥濃度（MLSS）：約14000 mg/ℓ
- (3) 汚泥処理速度SV：10,20/hr

図-1 ビーズミル式破碎機

表1 ビーズミル式破碎機運転条件

項目	設定値
ミル容積 (ℓ)	600
破碎用メディア	ガラスビーズ
ビーズ粒径 (mm)	0.5~0.75
ガラスビーズ添加量 (ℓ)	510 (容積の85%)
ミル内実容積 (ℓ)	約300
ディスク周速 (m/sec)	11

Waste water treatment method on a loss in weight of excess sludge by physical smashing and chemical treatment

*アクアス(株) Yoshiaki SHIBUYA

(4) 化学的処理法

a. 酵素処理：溶菌酵素，プロテアーゼ A，B，C，G の 5 種類選定

i. 添加量：500 mg/ℓ

ii. 反応時間：1 時間

b. アルカリ処理：pH = 10, 11, 12（反応時間：1 時間）

c. オゾン処理：添加量：0.5, 1, 2 %（w/w-MLSS）

(5) 評価方法

汚泥 1 g 当たりの上澄水への有機物の溶出量（mg-COD/g-SS 及び mg-BOD/g-SS）（汚泥）として調査

※溶解性：破砕汚泥を 10000rpm で遠心分離して得た上澄水。

2.1.4 結果と考察

結果を図-2 に示す。尚、図中の酵素処理の結果については、酵素自体の COD, BOD 分を差し引いた値を記した。全般に、物理破砕のみに比べ、溶解性の有機物量は増加する傾向が認められ、物理破砕の処理速度を速めた場合、全体的に化学処理による溶解性有機物量の上昇が小さくなる傾向が認められたが、アルカリ処理（pH12）では、SV10 と SV20 での溶解性有機物量の上昇の変動はあまりみられなかった。

以上からアルカリ処理（pH12）は、変動が少なく、つまり物理破砕での可溶化効率の影響をカバーしつつ汚泥を安定して可溶化できると判断した。

2.2 回分試験による汚泥減容性の確認

排水負荷をかけながら可溶化汚泥を活性汚泥処理した場合の汚泥の減容程度を短期間で調査した。

2.2.1 実験方法

食品工場より採取した汚泥を、図-1 の破砕機を用いて破砕処理し、その後、破砕した汚泥をビーカーに 1000 ml とり、下記のアルカリ処理条件に従って可溶化を行った。次に、可溶化汚泥を所定量、曝気槽へ添加し（ブランクとして可溶化処理していない汚泥でのテストも並行して実施）、24 時間曝気処理後、曝気槽汚泥の減少程度を確認した。

2.2.2 処理条件

(1) 処理対象汚泥：食品加工業排水処理設備の返送汚泥

(2) 排水処理テスト条件

a. 模擬排水：市販牛乳を BOD 測定用希釈水（蒸

図-2 物理破砕後の化学処理方法の検討

留水に無機塩類を添加) で希釈したもの。

b. 曝気槽容積：10 ℓ

c. 排水投入量：2000 ml（一括投入）

d. BOD 負荷量：約 0.15 kg-BOD/kg-SS/d

e. 曝気処理時間：24h

f. 曝気槽汚泥濃度：約 5000 mg/ℓ

(3) 汚泥の処理条件

a. 物理破砕処理速度 SV：20/hr

b. アルカリ処理：pH = 12，1 時間処理

(4) 可溶化汚泥添加量：曝気槽汚泥重量の約 10 %

(5) 評価方法

可溶化汚泥を添加していない（ブランク）と可溶化汚泥添加したものとの前後の汚泥濃度（mg/ℓ）から可溶化汚泥分の減少量を調査。

2.2.3 結果と考察

排水負荷をかけながら可溶化汚泥を活性汚泥処理した場合の汚泥の減容程度を図-3 に示す。尚、ブランクとは、可溶化汚泥の代わりに無処理汚泥と模擬排水を添加したものである。

可溶化処理した汚泥は、24h 曝気処理することにより、およそ 60 % 程度減少することがわかった。この結果から、余剰汚泥発生量の約 2 倍弱を可溶化処理すると余剰汚泥が発生しない試算となると考えられた。

図－3 回分試験による汚泥減容性

3. ベンチテスト機での汚泥減容性の確認

上述の回分試験結果を考慮しつつ、通常の排水処理と同様のフローで小スケールのテスト機を用い汚泥の減容効果を確認した。

3.1 実験方法

食品工場より採取した汚泥を、図－1の破碎機とその後の化学処理としてアルカリ処理で可溶化を行った。処理後の可溶化汚泥を曝気槽へ原水と共に添加し、通常の活性汚泥処理を実施した。これを毎日、一定期間繰り返し実施した。

3.2 実験装置

3.2.1 物理的破碎機

図－1の破碎機を使用した。

3.2.2 活性汚泥テスト機 (図－4)

3.3 処理条件

3.3.1 排水処理テスト条件

- (1) 汚泥：食品加工業排水処理設備の汚泥
- (2) 模擬排水：蒸留水に市販牛乳と無機塩類を添加調整。

- (3) 曝気槽容積：30 ℓ
- (4) 排水投入量：30 ℓ/d
- (5) MLSS：4000～5000 mg/ℓ
- (6) BOD負荷量：約0.15 kg-BOD/kg-SS/d
- (7) テスト期間：約1ヶ月

3.3.2 汚泥の処理条件

- (1) 物理破碎処理速度SV：20/hr
- (2) 1日当たりの処理汚泥量：余剰汚泥発生量の約2倍量（余剰汚泥発生量：汚泥転換率30%として計算）
- (3) アルカリ処理：pH＝12，反応時間：1時間（処理後中和）

3.3.3 評価方法

評価は曝気槽中の汚泥濃度 (mg/ℓ) として調査

3.4 結果と考察

連続式活性汚泥処理装置でテストした場合の余剰汚泥発生量の推移を図－5（次頁）に示す。未処理（ブランク）期間中の汚泥発生量は上昇する傾向を示したが、余剰汚泥発生量の約2倍量弱可溶化処理を施した場合の汚泥発生量は、わずかに上昇するに

図－4 連続式活性汚泥テスト機

図－5 連続式活性汚泥処理による減容効果

とどまった。今回の汚泥減容結果も前述の回分試験の結果とほぼ一致していることから、余剰汚泥発生量の2倍程度の可溶化で汚泥の減容は可能と推定した。

4. パイロットテスト機での汚泥減容性の確認

4.1 実験方法

汚泥減容テスト（可溶化処理）を実施する前に、予め、工場排水設備での余剰汚泥発生量を事前に把握した。その後、下記の条件で汚泥を可溶化処理し、それを曝気槽へ原水と共に添加し、通常の活性汚泥

処理を実施した。これを毎日、一定期間繰り返し、余剰汚泥発生量を調査し汚泥減容効果を確認した。

4.2 テスト装置

4.2.1 処理フロー

図－6に処理フローを示す。破線部内が今回テスト機として仮設した部分であり、それ以外は既設の排水処理設備である。

4.3 処理条件

4.3.1 排水処理条件

- (1) 排水：某食品産業工場排水
- (2) 排水量：150 m³/d

図－6 処理フロー概略

(3) BOD：約500mg/ℓ

(4) テスト期間：約40日

4.3.2 汚泥の可溶化処理条件

(5) 処理汚泥量：余剰汚泥発生量の約1.5倍量を目安とした（余剰汚泥発生量：汚泥転換率30％として計算）。

(6) 物理破碎処理速度SV：20/hr（対破碎部容積）

(7) アルカリ処理：pH＝11.5～12，反応時間1時間（処理後中和）

4.3.3 評価方法

排水処理設備中の汚泥増加量及び処理水水質とした。

4.4 結果

4.4.1 汚泥減容性の確認

各槽の汚泥濃度の推移及び、余剰汚泥発生量の推移を図－7に示す。ブランク運転時とテスト時の余剰汚泥発生量の積算値を表したものである。未処理（ブランク）の汚泥発生量は、上昇する傾向を示したが、可溶化処理を施した場合の汚泥発生量は、わずかに上昇するにとどまった。

4.4.2 テスト期間中の平均データ一覧

テスト期間中に調査・分析した項目について表2（次頁）にまとめた。排水量はブランク時とテスト時であまり変わらなかったが、BOD濃度はテスト時のほうがやや高かった。また、ブランク運転時の

余剰汚泥発生量は1日の流入BOD量の約40％と、発生量としてはやや高い傾向を示した。処理水質は、窒素濃度がやや上昇したが、その他はブランク時とテスト時で顕著な差は認められなかった。沈降性についても同様ほぼ同レベルであった。

4.5 考 察

パイロットテスト機にて実排水設備での余剰汚泥の減容性能確認を試みた。今回の減容性能試験は、実質的に約1ヶ月弱程度の試験期間での評価であったが、余剰汚泥の減量効果は前回までのラボ試験の結果とほぼ一致している。以下に詳細を示す。

今までのラボ試験の結果を基に汚泥の処理量と減容率の関係から本テストでの処理汚泥倍数1.3倍での汚泥減容率から可溶化処理後の余剰汚泥発生率を求めると、余剰汚泥発生率（40％）×汚泥減容率（1-70/100）＝12％となり、実際の発生量10％とほぼ一致することが確認できた。このことから、本法において90～100％程度減容化するためには、余剰汚泥発生量の2倍程度有機性汚泥を可溶化処理することで目的を達することが可能と推定した。

また、テスト時における処理水水質は、前述のように窒素濃度が若干上昇したものの、その他では顕著な上昇は認められなかった。尚、この窒素濃度は高くてもブランク運転時の濃度変動の範囲内であり、極端に上昇するわけではないことが確認できた。

図－7 各槽の汚泥濃度と余剰汚泥発生量の推移

表2 テスト期間中の平均値

項目		単位	実データ	
			ブランク	テスト時
(1) 排水量	①原水流入量	m ³ /日	146	150
(2) 流入BOD	①BOD濃度	mg/ℓ	455	632
	②BOD量	kg/日	67	81
(3) 余剰汚泥発生量(率)		kg-DS/日	27 (40%)	8 (10%)
(4) 可溶化量	処理汚泥量	kg-DS/日	0	37
(5) 処理水質 ^{※2}	処理倍数 ^{※1}	倍	—	1.3
	①SS	mg/ℓ	8.6 (2～35)	10.8 (2～29)
	②BOD		4.2 (2～10)	7.1 (2～24)
	③BOD		28 (19～40)	23 (19～30)
	④N		16 (8～26)	23 (9～24)
	⑤P		2.3 (0.9～3.7)	2.2 (1.7～3)
(6) 沈降性	SVI	—	149	148

※1：倍数＝（処理する有機性汚泥量/余剰汚泥発生量）として試算

※2：（ ）内は最大値と最小値

以上のことから、今回と同程度の減容程度（汚泥処理量）であれば、活性汚泥処理水の水質にもほとんど影響しないと判断した。

今後は、全量処理での汚泥減容効果や長期的な効果などを確認し、本方式の完成度を高めていく予定である。

5. ま と め

本試験結果により、

- ・物理破碎とアルカリ処理を併用して汚泥を可溶化することで余剰汚泥の減容が可能である
- ・アルカリ処理は、物理破碎の効率変動をカバーしつつ可溶化量を向上させることができる
- ・実装置レベルでも余剰汚泥の減容効果があることが確認できた。また、本法において90～100%程度減容化するためには、余剰汚泥発生量の2倍程度有機性汚泥を可溶化処理することで目的を達することが可能と推定できた。

引用文献

- 1) Ir.H.W.vanGils：活性汚泥の細菌学，産業用水調査会
- 2) 中川輝雄，福島裕三，内山直明，渡辺常一：汚泥の前処理－嫌気性消化法のための湿式ミル前処理の効果－，第25回下水道研究発表会講演集，p472（1988）
- 3) 福島裕三，華嶽一郎，岡田正明，黒田彰夫，小川斉：湿式ミルを用いた汚泥の高速消化法，第27回下水道研究発表会講演集，p480（1990）
- 4) 武藤暢夫，野知啓子，井出昌樹：排水の生物学的処理に伴う余剰汚泥の分解促進に関する研究（1），建築設備工学研究所報，p37（1990）
- 5) 柴田雅秀，安井英斉：余剰汚泥を発生させない活性汚泥法の概要，PPM，6，p17（1996）