

汚泥減量化システム レセルシステム®

"RESER® System" for Sludge Volume Reduction



技術開発本部
水・汚泥技術開発部汚泥処理室
立 光 伸 行
Nobuyuki Tateko
斉 藤 彰
Akira Saitoh

地球環境の保全や資源の枯渇が大きな問題としてクローズアップされている今日、汚泥・生ごみ等の高含水有機性廃棄物の減量化、有効利用やエネルギー化が循環型社会構築に向け大きな課題となっている。その課題解決のため、従来の汚泥消化技術に高濃度濃縮と加水分解プロセスで構成される汚泥可溶化装置を組合わせたレセルシステムを開発した。下水処理場において実証試験を実施し、汚泥可溶化装置の283日安定運転、汚泥減量化率52%の成果がえられた。また、既存の汚泥消化設備に特別な改造が必要ないことも確認した。

Reduction and recycle of the organic waste with high moisture content is the main theme in these days when conservation of global environment and depletion of resources are public concern. The system, designed for the solution, is the combination of the conventional sludge digestion system and the sludge solubilization system composed of a thickened sludge concentrator and the hydrolysis unit. The result on the demonstration test, using sewage sludge confirmed the steady operation for 283 days and sludge reduction rate of 52%. The test also proved that simply adding the sludge solubilization system could retrofit the conventional sludge digestion system without special reconstruction.

Key Words :

汚 泥 減 量 化
可 溶 化
消 化

Sludge reduction
Solubilization
Digestion

まえがき

有機物濃度1~10%の廃棄物である下水汚泥、工場排水汚泥も、最終処分場の不足により処分費用が高騰しており、汚泥の減量化が強く求められている。この対策として、消化設備で汚泥中の有機物をメタンガスとして回収した後、脱水汚泥をそのまま堆肥化しての利用などが進められている。しかしながら、消化設備は滞留時間が20日以上必要であるため設備必要面積が大きいこと、消化汚泥が難脱水性であるため含水率が低減できず大幅な減量化ができないこと、メタンガスの自己消費量が気温の影響を

受けるため季節変動が大きく、有効利用量の確保が困難であること等の課題がある。ただし、消化設備は下水処理場で唯一エネルギー回収可能な設備であり、上記の課題が解決できれば今後普及が期待できる。

1. レセルシステム概要

当社では従来消化処理における課題を解決するため、ノルウェーのCambio社より導入した加水分解プロセスを組んだ汚泥処理システム「レセルシステム」を開発した。

図1にレセルシステムの標準的なフローを示す。従来の消化処理は、下水処理場の水処理系から発生

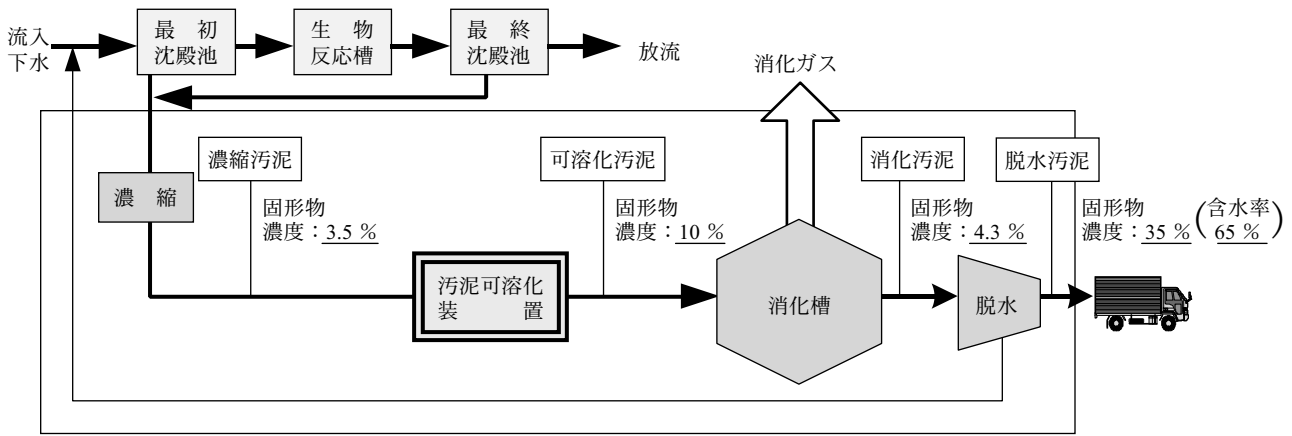


図1 レセルシステム標準フロー

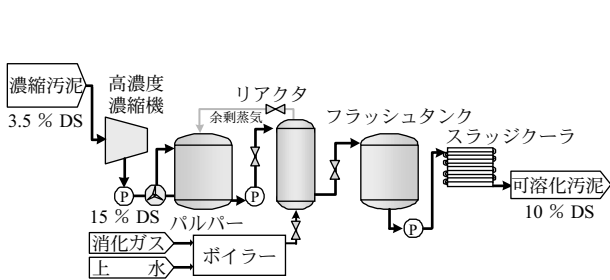


図2 汚泥可溶化装置フロー

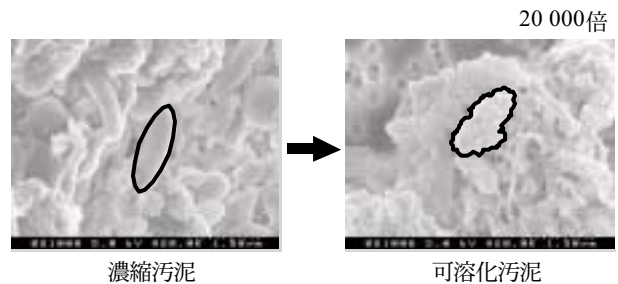


写真1 汚泥可溶化装置前後の汚泥顕微鏡写真

する汚泥を濃縮設備—消化槽—脱水設備というフローで処理をおこなうが、レセルシステムは、消化の前で高濃度濃縮設備—加水分解プロセス設備（以下2つ合わせて「汚泥可溶化装置」と称す）を追加設置する。この濃縮設備—汚泥可溶化装置—消化槽—脱水設備をすべて含んだ汚泥処理全体をレセルシステムと称している。

1.1 汚泥可溶化装置

汚泥可溶化装置のフローを図2に示す。汚泥可溶化装置は、高濃度濃縮機、パルパー、リアクタ、フラッシュタンクの圧力容器、汚泥温度をコントロールするスラッジクーラで主に構成される。

ここでは、高濃度濃縮機で汚泥を固形物濃度約15%まで濃縮した後、パルパーでその高濃度濃縮汚泥を受け入れ、リアクタの余剰蒸気により約100℃まで予熱をおこなう。次に、リアクタで蒸気をもちいて高温・高圧の状態で汚泥内の細胞壁を破壊し、汚泥を可溶化状態にする（以下この汚泥を「可溶化汚泥」と称す）（写真1）。フラッシュタンクは、リアクタより排出される可溶化汚泥を貯留する。ここでは常圧に戻るため、約100℃の温度となるが、スラッジクーラで熱回収後、消化に適切な温度にして固形物濃度約10%で消化槽へ供給する。

1.2 汚泥可溶化装置の効果

汚泥可溶化装置を既存消化槽の前処理設備として

追加設置し蒸気をもちいて汚泥を可溶化状態にすることで、消化槽での生物分解性が高まり、従来消化処理にくらべ消化ガス発生量が増えるとともに汚泥中の有機物量が減少し、固形物量が減少する。

また、脱水機では圧搾力を上げれば上げるほど良く絞ることができ、脱水汚泥含水率を低減でき、含水率は65%程度まで低減できる。

この消化槽での固形物量低減、脱水機での含水率低減の2つの効果により脱水汚泥量が半減できる。

加えて、従来消化処理では消化槽内温度を一定に保つため、消化ガスを消化槽加熱用ボイラー燃料として使用しているが、当然その使用量は気温の影響を受け、気温の高い夏季には少なく、気温の低い冬季には多くなるといった季節変動の影響を大きく受け、安定して有効利用できる消化ガス量が限られる。

一方、レセルシステムは、消化ガスを加水分解プロセスの昇温・昇圧用のボイラー燃料として使用する。したがって、高濃度なものを昇温すること、加熱する容器が小さいことから消化ガス使用量が年間を通して安定する。これにより、消化ガス発生量が増加することと使用量が安定していることから、余剰消化ガスによる発電等の有効利用がやりやすく、安定して有効利用できる消化ガス量は、従来消化処理にくらべ1.4倍以上になる。

また、可溶化汚泥は、固形物濃度が約10%となり、

従来処理と比較すると約3倍の高濃度で消化槽へ汚泥を投入することになる。したがい、消化槽内の消化汚泥も約3倍の高濃度になることと可溶化効果も加わって、従来消化処理の約3倍の高負荷でも消化として問題なく運転が可能である。したがい、同じ消化日数であれば、消化槽容積が1/3に低減することが可能である。

なお、消化槽内の消化汚泥は、従来消化汚泥とくらべて固形物濃度が約3倍になるが、可溶化効果により粘度はほぼ同じであり、既存の消化槽攪拌機をそのまま使用できる。

1.3 加水分解プロセスの運転条件

加水分解プロセスの運転条件は、すでに数件ヨーロッパで実機稼動中の実績からえられた情報や国内の知見等¹⁾を参考とし、実証に先立ち、実験室レベルで条件検討の予備試験を実施した上で決定している。

その運転条件について図3に一例をもちいて示す。この図3の条件としては、比較対象となる従来処理系の消化率が50~55%で、消化槽有機物負荷が1.0

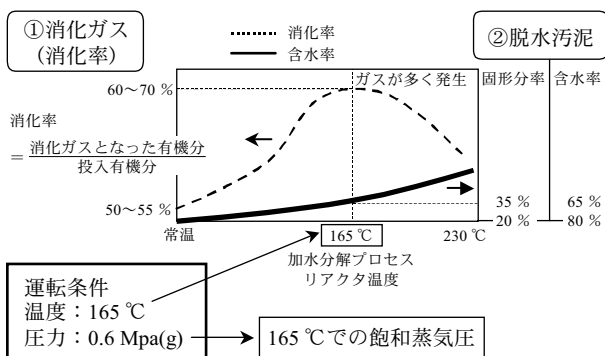


図3 加水分解プロセス運転条件

~1.3 kgVS/m³・d程度（消化日数：30~23日相当）の従来消化処理としては比較的高負荷の条件、脱水汚泥含水率が80%と想定している。これに対し、レセルシステムでは、従来処理系と同じ消化槽容積を使い消化槽有機物負荷を同等（高濃度濃縮により消化日数が85~66日相当へ延長）としてリアクタ温度・圧力を変化させたときの効果を示す。

消化率（消化ガス発生率）については、熱処理温度が165°C前後までは上昇するが、それを超えると汚泥中のたんぱく質等が熱変性し、生物分解しにくい難分解性物質が多くなり消化率は下がる。この165°Cで消化率が60~70%となり、消化処理にとって最適な温度となる。

一方、脱水汚泥の含水率については、熱処理温度を上げれば上げるほど細胞壁の破壊が進み、脱水性が向上する。脱水機の機種にもよるが、熱処理温度約230°Cで含水率50%台も可能である。

このレセルシステムでは、もっともエネルギー回収率が高く（消化ガス発生量が多い）、汚泥中の有機物=固形物量を削減でき、環境負荷の低い（難分解性物質の少ない）165°C（飽和蒸気圧0.6 Mpa(g)）という温度（圧力）を運転条件として選択した。この場合、脱水汚泥含水率は、脱水機の機種にもよるが、もっとも圧搾力の高いスクリーブレス脱水機で約65%まで低減することができる。

2. 実証試験

新潟県と2002年7月に共同研究契約を締結のうえ、信濃川下流域下水道長岡浄化センターにおいて、流入下水20,000 m³/dの大規模な実証試験を実施した。

2.1 実証試験設備

図4に長岡浄化センターの全体フローおよび実証

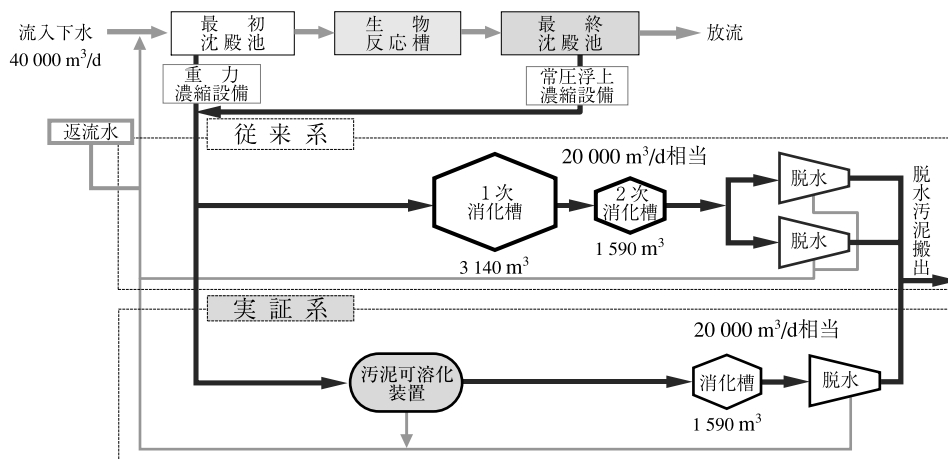


図4 レセルシステム実証試験フロー

系フローを示す。水処理は標準活性汚泥法が採用されており、汚泥処理は、濃縮—嫌気性消化—脱水の工程から構成され、2系列で処理されている。この汚泥処理の1系列へ汚泥可溶化装置を追加設置し、既存の消化槽と脱水機を流用し、配管等の改造を実施し、試験設備とした。(写真2)

消化槽は、2系2次消化槽(1590 m³)のみを使用し、従来消化槽容積の1/3で単段消化をおこなった。消化槽攪拌機、汚泥供給ポンプ等は既存の設備を使用し、脱水機は既存のベルトプレス脱水機を使用した。

これにより、従来处理系列(以下「従来系」と称す)とレセルシステム系列(以下「実証系」と称す)に汚泥処理をわけることができ、両系列を比較して評価をおこなった。

2.2 実証試験条件

今回の実証試験条件を表1に示す。

また、本実証実験の目標を表2に示す。



写真2 実証設備 (加水分解プロセス)

2.3 運転実績

2003年3月から連続実証運転を開始し、消化槽への可溶化汚泥固形物濃度を7.9%から定格の10%へ上げ、濃縮汚泥処理量も全体処理量の約33%から約50%へ負荷を上げた。8月末に可溶化汚泥供給量が、消化槽容積1590 m³の3倍になる4770 m³に到達したことで、消化槽が実証系の汚泥にほぼ入れ替わり、システムとしての評価ができる段階になった。(図5)

評価期間については、システム立ち上げ終了後の2003年9月～12月とした。

表1 実証実験条件

		従来系	実証系
A処理場平均流入水量	(m ³ /d)	40 000	
実証運転期間		2003年1月～2004年3月	
評価期間		2003年9月～12月(4ヶ月間)	
濃縮汚泥処理量日平均	(m ³ /d)	80～120	80～120
消化槽投入汚泥量日平均	(m ³ /d)	80～120	30～45
消化槽容積	(m ³)	4 730	1 590
消化槽温度	(℃)	35～38(中温)	35～38(中温)
消化日数	(d)	39～59	35～53
消化槽有機物負荷	(kg-VS/m ³ ・d)	0.6～0.9	1.9～2.7

表2 実証実験目標

項目	目標値	目的
(1)連続安定運転	連続安定運転 30日以上	高濃度濃縮/加水分解プロセス ⇒ポンプ等動機械の安定性確認
(2)汚泥減量化率	減量化率 50～60%	汚泥減量化効果の確認

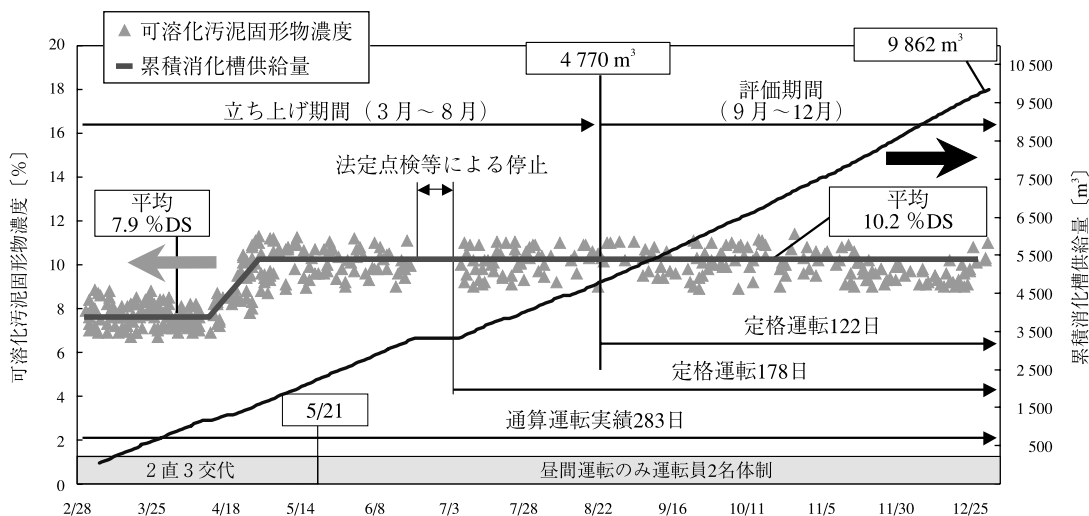


図5 可溶化汚泥固形物濃度と消化槽累積供給量の推移

図6に各評価項目の推移を示す。

① 混合濃縮汚泥：混合濃縮汚泥中の固形物処理量は平均3.9 t/dと定格処理となったが、混合濃縮汚

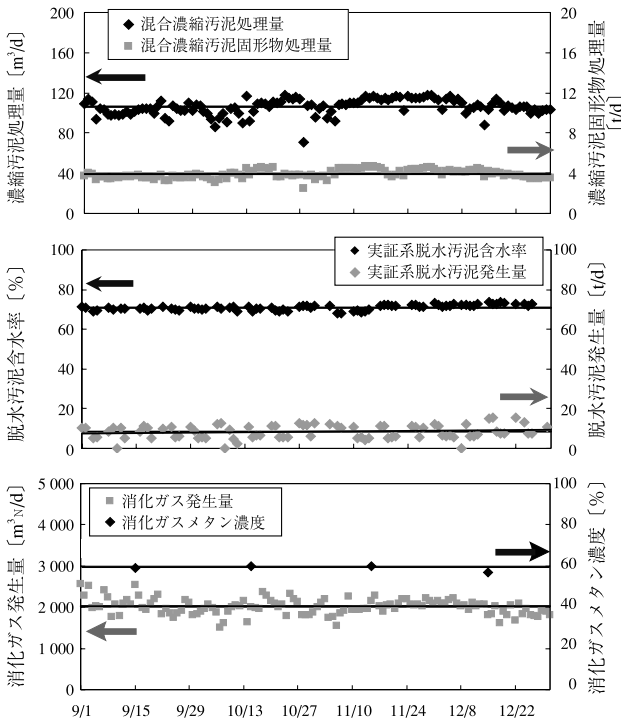


図6 各評価項目の推移

泥の固形分濃度の変動が激しく、濃縮汚泥量としては80~120 m³/dとかなり変動したが設備は十分対応でき、ほぼ全体処理量の半分処理を継続できた。

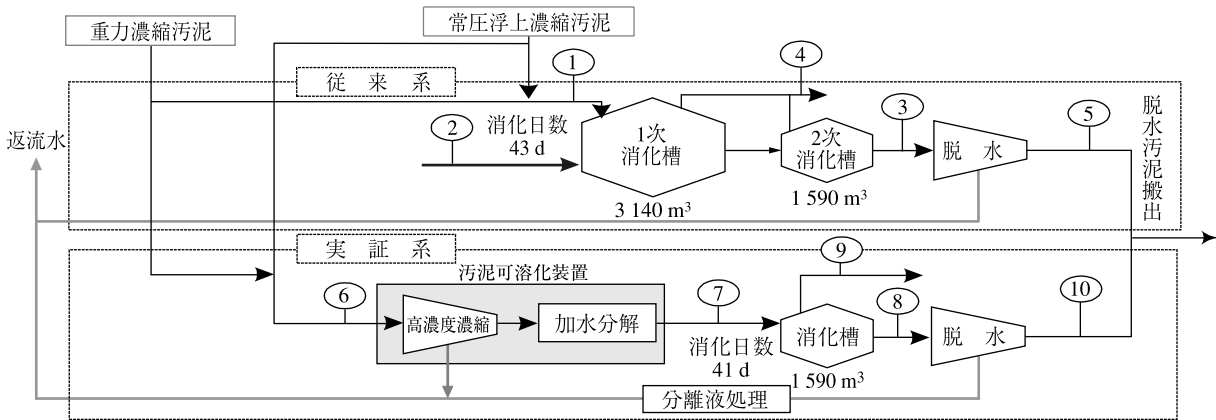
② 脱水汚泥：実証系から発生する脱水汚泥量は、ほぼ安定しており、汚泥処理の運転に支障をきたさなかった。含水率も従来処理系82%に対して実証系で約70%と安定して低減することができた。

③ 消化ガス：消化ガスの発生量は投入汚泥の有機物濃度等の性状変化及び運転条件等に影響されるため、12月の消化ガス発生量がやや低調であったが、1月に入り約2,200 m³/dで安定してきた。評価期間での平均では約2,000 m³/dで安定しており、また、メタン濃度もほぼ60%で安定して推移した。

この結果、定格負荷条件のもと目標である30日以上連続運転を大きく上回る122日間の連続運転が達成できた。なお、立ち上げ期間も含めた通算運転日数は、総計283日間となった。

2.4 汚泥減量化効果

2003年9月~12月の連続安定運転期間での物質収支を検討した。物質収支結果を図7に示す。



	①	②	③			④			⑤
	混合濃縮汚泥 (t/d)	加温用蒸気等 (t/d)	消化汚泥 (t/d)	有機物減少率 (%)	有機物容積負荷 (kg-VS/m³·2)	消化ガス (m³/d)	含水率 (%)	脱水機供給固形物量 (t/d)	脱水汚泥発生量 (t/d)
有機物量	3.4		1.4						
無機物量	0.6		0.6						
水分量	106.4	13.5	120.2						
消化ガス量						1 872			
計	110.5	13.5	122.3	59	0.7		82.2	2.0	10.5
	⑥	⑦	⑧			⑨			⑩
	混合濃縮汚泥 (t/d)	可溶性汚泥 (t/d)	消化汚泥 (t/d)	有機物減少率 (%)	有機物容積負荷 (kg-VS/m³·2)	消化ガス (m³/d)	含水率 (%)	脱水機供給固形物量 (t/d)	脱水汚泥発生量 (t/d)
有機物量	3.3	3.2	1.2						
無機物量	0.6	0.5	0.5						
水分量	101.6	35.4	38.5						
消化ガス量						2 011			
計	105.4	39.1	40.2	62	2.0		68.9	1.7	5.1

図7 物質収支結果

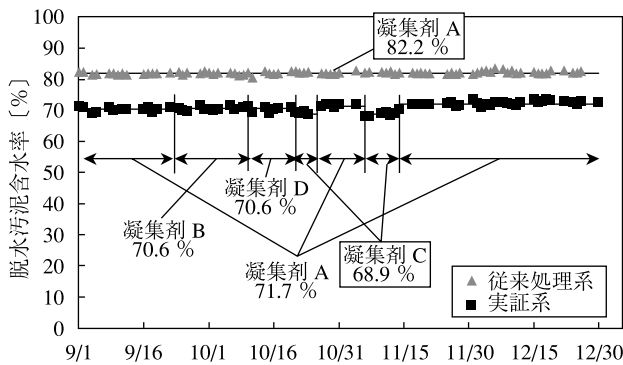


図8 脱水汚泥含水率推移（凝集剤選定試験含）

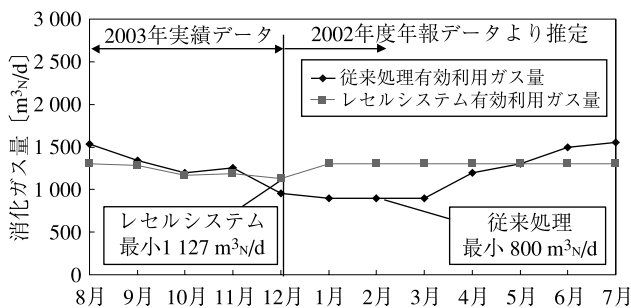


図9 消化ガス有効利用量

この結果より濃縮汚泥総発生量のほぼ1/2を実証系で処理しているため、実証系と従来系から発生する脱水汚泥量を比較し、汚泥減量化率を算出した。汚泥減量化率は、従来系と比較して実証系より発生する脱水汚泥量の減量化効果を表すものであり、下記の式で定義する。

$$\text{減量化率} = \left\{ \frac{\text{従来系発生汚泥量} - \text{実証系発生汚泥量}}{\text{従来系発生汚泥量}} \right\} \times 100$$

ここで脱水汚泥含水率については、図8に示すように既設ベルトプレス脱水機を使用し、実証系消化汚泥に最適な凝集剤を選定する試験をおこなった。試験にはメーカーの異なる4種の凝集剤を使用した。

この結果、凝集剤Cは従来品と性状が異なり、薬注率も従来品の1.5~2.0倍必要となったが含水率は他3種に比べて2%弱下げることが可能であった。よって、今回の減量化率の検討には、凝集剤Cを採用した際の脱水汚泥の含水率を採用した。

したが、従来系、実証系より発生する脱水汚泥量は、従来系：10.5 t/d、実証系：5.1 t/dであり、汚泥減量化率は52%となった。

$$\left\{ \frac{10.5 - 5.1}{10.5} \right\} \times 100 = 52\%$$

この結果より目標である汚泥減量化率50~60%はほぼ達成できたと考える。

2.5 消化ガス有効利用量増

図9に有効利用ガス量の推移を示す。これらの推

表3 消化槽運転管理指標

運転管理指標	基準	結果
消化ガスメタン濃度	55~65 (%)	平均60 (%)
消化汚泥 pH	7.2~8.2	平均7.5
消化汚泥 VFA 濃度	<3 000 (mg/L)	平均500 (mg/L)
消化汚泥 N-NH ₄ 濃度	<4 000 (mg/L)	平均3 200 (mg/L)

移のうち、年間を通して安定利用できる最小量は、従来系で800 m³N/d、実証系では1 127 m³N/dで、実証系が従来系にくらべて約1.4倍となった。

今回の実証試験では、レセルシステムの消化槽容積を1/3にした高負荷な運転であるにもかかわらず、エネルギー回収の観点でも優れたシステムであることが確認できた。

2.6 消化槽省スペース

消化槽における運転管理指標とその結果を表3に示す。レセルシステムの評価期間中において、運転管理指標である消化ガスメタン濃度、消化汚泥 pH、消化汚泥揮発性有機酸濃度、消化汚泥アンモニア濃度は、いずれも運転管理指標を満足し、ほぼ安定して推移した。

また、消化槽攪拌機についても既設攪拌機定格負荷の約60%であり、従来系の攪拌機とほぼ同じ負荷であること、従来系の消化汚泥と粘度がほぼ同じであること（従来処理系：139 mPa・S/レセルシステム：142 mPa・S）からレセルシステム用に特別に改造することなく既設流用可能であることがわかった。

したがって、消化槽容積1/3にした有機物負荷約3倍の高負荷条件でも消化を安定して運転できた。

むすび

今回の実証試験により、本システムの安定連続運転性と発生する脱水汚泥の半減化を確認することができた。また、消化ガス有効利用量の増量、消化槽省スペース化等の副次的な効果についても確認でき、本システムの実用化にほぼ目処がたった。

今後は、技術改良とコストダウンに努め、実機として導入していただきやすい設備に仕上げていく。

最後にレセルシステムの共同研究を進めるにあたり多大なご助言、ご協力をいただいた新潟県土木部都市局下水道課、長岡浄水センターの関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 李玉友、野池達也：「余剰活性汚泥の嫌気性消化に及ぼす前熱処理および滞留時間の影響」, 水質汚濁研究第12巻2号 (1989)