

混合濃縮運転による影響調査

西水環境センター施設課（玉津処理場）

1. 背景

玉津処理場では、濃縮汚泥移送配管の高級脂肪酸塩による配管閉塞対策として、生汚泥と余剰汚泥をそれぞれ別々に濃縮した後、混合汚泥槽で濃縮汚泥を混合し消化タンクへ投入するよう平成 28 年度に運転方法を変更した（図 1）。これにより、濃縮汚泥混合後の配管閉塞は減少したが、生濃縮汚泥を混合汚泥槽へ移送する配管では高級脂肪酸塩による閉塞が依然として生じていた。そこで、生濃縮汚泥移送配管の閉塞低減を期待して、濃縮を行う前に 2 つの汚泥を混合した後濃縮する運転（以下、「混合濃縮」と表記）へ、令和 2 年 11 月より処理方法を変更した（図 2）。

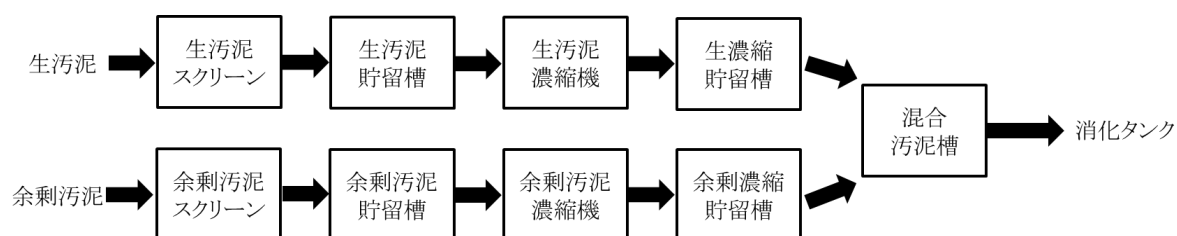


図 1 玉津処理場の汚泥濃縮フロー

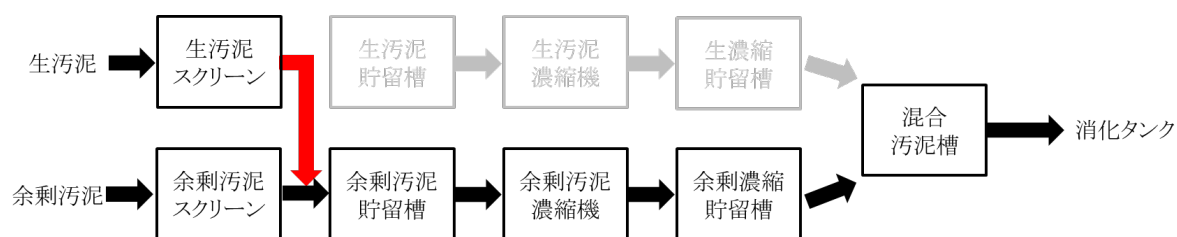


図 2 混合濃縮運転の汚泥濃縮フロー

その結果、混合濃縮でも令和 2 年度冬季に高級脂肪酸塩による配管閉塞等のトラブルが生じたことから、この対策には更なる検討が必要であることが確認された¹⁾。一方、以前のビーカー試験¹⁾で示唆されていた①消化ガス発生量の増加、②消化汚泥中のりの減少、については運転方法を変更してから約 1 年が経過したため、実施設のデータおよびビーカー試験による結果について評価を行った。

2. 消化率の向上と消化ガス発生量の増加について

表 1 に混合濃縮運転変更前後での各運転データを示す。ここで、令和 2 年度は 6 月～11 月までは 3 号消化タンクの浚渫を実施していたため、その前後の期間のデータについて比較を行うこととする。消化タンクに投入された固形物は、消化ガスまたは消化汚泥として系外へ排出されるので、今回の検討では消化ガスに移行した固形物量と消化汚泥中の固形物量の合計を投入固形物量とした（有機物量についても同様）。運転変更前後での投入有機物量を比較すると大きくは変わっていない。一方、投入有機物のガス・汚泥への移行率（図 3）についてみると、運転変更によってガスへの移行率が上昇している。これは、濃縮前の生汚泥と余剰汚泥の混合によって、生汚泥中の溶解性有機物等が吸着^{付録}したことで易分解性の有機物量が増加

し、汚泥の消化が促進された結果であると考えられる。

このことは消化率にも表れており（図 5）、運転変更前後で比較すると 6.9%上昇していた。

その結果、投入有機物量は変わっていないが、消化ガスへの移行率が上昇し、ガス発生量が約 200Nm³/日（3.4%）増加している。特に夏季における消化ガス発生量の減少を抑えられた効果が大きいと考えられる（図 6）。

表 1 混合濃縮運転変更前後での運転データ

			R1.7～ R2.6月	R2.12～ R3.11月	
消化ガス	発生量	Nm ³ /日	6,066	6,271	3.4%
	固形物量	t/日	7.0	7.3	3.9%
消化汚泥	固形物量	t/日	6.7	5.8	-13.4%
	有機物量	t/日	4.8	4.2	-12.6%
投入汚泥	固形物量	t/日	13.7	13.1	-4.5%
	有機物量	t/日	11.8	11.5	-2.8%
消化率		%	59.4	63.5	6.9%

* R2.6～11月：3号消化タンク浚渫により不使用（消化日数減）

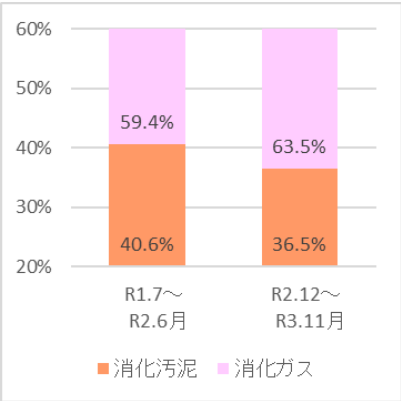


図 3 投入有機物移行率

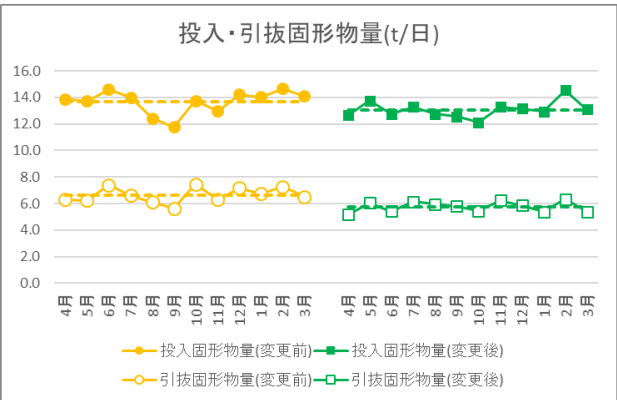


図 4 消化タンク投入・引抜固形物量の比較

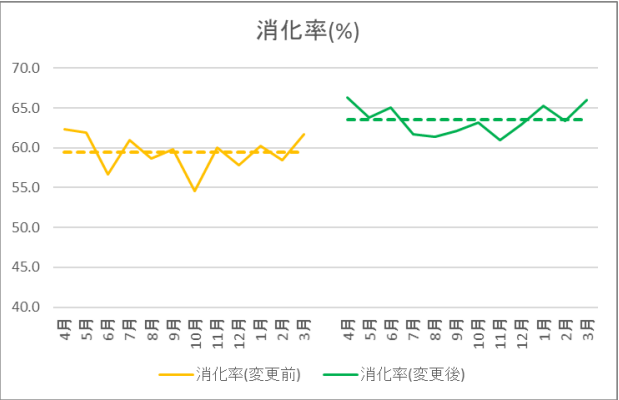


図 5 消化率の比較

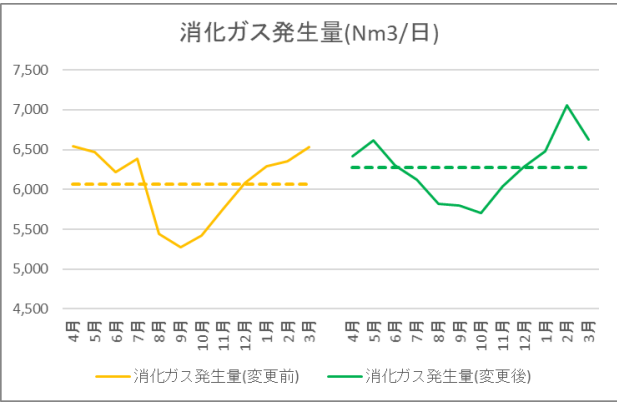


図 6 消化ガス発生量の比較

図 4～6 は表 1 の期間について、
同じ月ごとに並べなおしている。

3. 混合濃縮運転による消化タンクへ投入されるりん酸態りん (PO₄-P) の減少について

○ 調査内容

令和2年度のビーカー試験¹⁾で、生汚泥と余剰汚泥を混合・攪拌することで、余剰汚泥中のりん蓄積細菌によるりん酸の吐き出しが示された。濃縮前に吐き出されたりん酸は濃縮ろ液として水処理へ返るため、結果として消化汚泥のりん濃度が減少し、脱水工程で生じる MAP の低減が期待された。

そこで、混合濃縮への運転変更によるりん酸態りんの挙動について調査するため、生汚泥・余剰汚泥・混合汚泥を採取し濃度を分析した。ただし生汚泥・余剰汚泥はスポットで採取し、混合汚泥は汚泥貯留槽から採取した。

○ 結果及び考察

各汚泥中のりん酸態りん、全りんの濃度を表2に示す。

表2 各汚泥のりん酸態りん・全りんの濃度及び負荷量

		生汚泥	余剰汚泥	混合汚泥
PO ₄ -P	mg/L(kg/日)	16 (8.1)	1.4 (1.4)	37 (55.6)
T-P	mg/L(kg/日)	110 (55.6)	130 (129.9)	170 (255.7)
(PO ₄ -P)/(T-P)	%	14.5	1.1	21.8
汚泥量*	m ³ /日	505	999	1,504

*R2.12月～R3.8月までの平均。

全りん負荷量に占めるりん酸態りんの割合を見ると、生汚泥と余剰汚泥の合計と比較して混合汚泥の方が高くなっている。これは、混合汚泥では余剰汚泥中のりん蓄積細菌が生汚泥中の有機酸を利用して、りん酸態りんを吐き出したためと考えられる。濃縮前の汚泥中のりん酸態りんは、汚泥を濃縮する過程で分離液として水処理へ返るので、消化タンクへ投入されるりんの量が減少することとなる。

そこで混合濃縮運転前後での消化タンク引抜汚泥中の全りん負荷量について比較してみると、運転変更後の消化汚泥の全りん負荷量が減少している（表3）。このことから、混合濃縮へ運転変更することにより、消化以降の汚泥処理へのりん負荷が減少していると言える。

表3 混合濃縮運転前後の消化汚泥 T-P 量（単位：kg/日）

		R1.7～ R2.6月	R2.12～ R3.11月
平均	kg/日	288.6	243.0
偏差	kg/日	33.2	20.9

一方で、濃縮前にりん蓄積細菌から吐き出されたりん酸態りんは返流水として水処理へ戻り、流入負荷を上昇させることとなる。しかし次の理由により汚泥処理からの返流水負荷変動は減少し、汚水処理の安定性につながると考えられる。

- ①玉津処理場では脱水供給汚泥槽がなく消化槽を代用しているため、消化槽液位の変化により脱水機運転台数が数日単位で増減する。これにより脱水返流量も数日単位で増減する。
- ②汚泥濃縮量は生汚泥・余剰汚泥引抜量の増減による影響を受けるが、その変動幅は小さく、また数週間～月単位での変化である。したがって濃縮返流量もあまり増減しない。
- ③脱水ろ液は全りん濃度が高く（表4）、脱水返流量の増減が汚泥処理返流水の負荷を変動させる要因で

ある（図 7 左）。

- ④濃縮ろ液は濃度も低く、水量の変動も小さいため、りんの放出による負荷を脱水ろ液から濃縮ろ液へ移行させることは、水処理への負荷変動の低減につながる（図 7 右）。

表 4 各汚泥中の全りん濃度と返流水量

		濃縮ろ液	脱水ろ液
T-P	mg/L	19	200
返流水量*	m ³ /日	1,133	334

*R2年度水質年報より

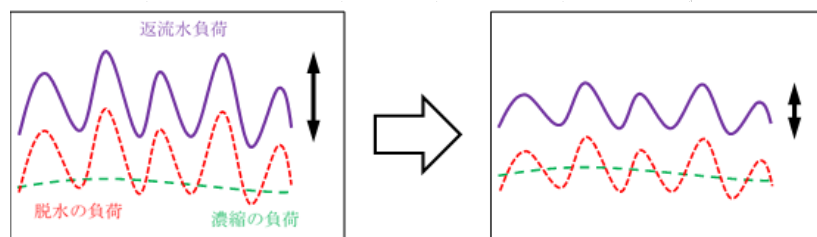


図 7 混合濃縮運転による返流水りん負荷軽減のイメージ

4. その他の効果

混合濃縮へ変更した効果として、汚泥濃縮関係の設備停止及び臭気減少に伴い作業環境の改善のほか、脱臭ファンの運転台数減（2 台→1 台）により約 400 kWh/日の電力が削減できている。

次に、混合濃縮を開始した令和 2 年度にも生じてしまっていた配管の閉塞¹⁾については、生汚泥、余剰汚泥の引抜パターンを見直し、さらに、各汚泥引抜量を注視し運転を行ったことで、令和 3 年度は配管閉塞もなく安定して移送できている。

5. まとめ

汚泥濃縮方法を生濃縮＋余剰濃縮から混合濃縮へ変更することで、生汚泥中の溶解性有機物等が余剰汚泥に吸着され、易分解性有機物量が増加し、投入有機物の消化ガス移行率および消化率が向上した。特に夏季の消化率低下を抑えることができおり、消化ガス発生量が約 200Nm³/日（3.4%）増加している。そして投入固形物の消化ガス移行率が上昇したことで、消化タンク引抜固形物量が減少し、脱水ケーキ量の削減も期待される。

また、濃縮前に生汚泥と余剰汚泥を混合することで、余剰汚泥中のりん蓄積細菌からりん酸態りんの吐き出しが起これ、汚泥処理のりん負荷（脱水工程での MAP 析出）が低減すると考えられる。

さらに、混合濃縮へ変更した効果として、汚泥濃縮関係の設備停止及び臭気減少に伴い作業環境の改善のほか、脱臭ファン停止により約 400 kWh/日の電力が削減できている。

最後に混合濃縮の導入にあたっては、配管が閉塞した場合を考慮して、移送配管の 2 条化をしておくことが望ましい。また管閉塞を予防するために、各汚泥引抜量の増減や引抜パターン（生汚泥のみ引抜く時間をなくす等）についても意識しておくべきと考えられる。

6. 参考文献

- 1) 令和 2 年度運転マニュアル・調査ワーキング「混合濃縮運転による処理への影響」

付録)

以前のビーカー試験にて、混合濃縮をすることで濃縮汚泥中の COD-Cr が増加することが示されている。そこで、濃縮前の混合・攪拌によって生汚泥中の溶解性有機物が余剰汚泥に吸着された効果であるか調査した（試験①）。

また、前回の調査では濃縮する際にスパチュラで押さえたことで、ろ液 SS が高かったため、自然ろ過で試験を行った（試験②）。

試験① 生汚泥・余剰汚泥・混合汚泥（生汚泥 1：余剰汚泥 2、30 分攪拌）それぞれを 1 μm ガラス繊維ろ紙でろ過し、溶解性 COD-Cr を測定する。

試験② 生汚泥・余剰汚泥・混合汚泥（生汚泥 1：余剰汚泥 2、30 分攪拌）400mL に高分子凝集剤を添加し、脱水キットを用いてろ過する。得られた汚泥・ろ液それぞれの COD-Cr を測定する。

表 5 R2 年度調査からの変更点

	R2年度調査	R3 年度調査
試験①	－ 濃縮時にスパチュラで押さえる	新規調査 自重ろ過
試験②	（ろ液SSが高くなった要因）	

○ 結果および考察

試験①の結果を表 6 に示す。混合汚泥の COD-Cr（溶解性）量を生汚泥・余剰汚泥の加重平均値（混合汚泥（計算値））と比較すると、混合汚泥の方が低くなっている。これは、汚泥を混合・攪拌することで生汚泥の溶解性有機物が余剰汚泥に吸着したためと考えられる。そして、汚泥の COD-Cr の増加により消化ガス発生量が増加する可能性が示される。

式①を用いて消化ガス増加量（Δ Gas）を見積もると、約 100Nm³/日となる。

表 6 各汚泥の COD-Cr 分析結果（試験①）

	蒸発残	強熱残	COD-Cr	COD-Cr (溶解性)
	%	%	mg/kg	mg/L
生汚泥	3.13	0.31	26,000	860
余剰汚泥	0.43	0.09	4,000	15
混合汚泥	－	－	－	120
混合汚泥（計算値）*	1.33	0.17	11,333	297

*混合汚泥(計算値)の値は生汚泥・余剰汚泥の加重平均

$$\Delta \text{Gas (L)} = \Delta \text{COD-Cr (g)} \times 0.35 \text{ (L/g)} \times K / C (\%) \quad \dots \text{式①}^{2)}$$

Δ COD-Cr：COD-Cr 増加量、K：生汚泥のメタン転換率（0.6）、

C：消化ガスメタン濃度（56.8%：R2.11～R3.8 月平均）

次に混合濃縮運転による汚泥の COD-Cr 量の変化について調査した（試験②）結果を表 7 に示す。また汚泥・ろ液の COD-Cr 量を図 8 に示す。試験では混合汚泥は生汚泥と余剰汚泥を混合・攪拌した試料を用いてい

るので、COD-Cr の合計値は計算値と等しくなるはずであるが、分析誤差によりばらつきが生じているので、汚泥・ろ液の COD-Cr 量の割合で比較する。混合濃縮汚泥とろ液の COD-Cr を生汚泥と余剰汚泥の加重平均（混合濃縮汚泥（計算値））のものと比較すると、計算値の方が高くなっている（図 7）。予想とは逆の結果となっているが、これは試験に用いた生汚泥の濃度が高かったことで、平均値に生濃縮汚泥の影響が大きくなってしまったためであると考えられる。

表 7 濃縮試験の分析結果（試験②）

		SS	蒸発残	強熱残	COD-Cr		汚泥割合	ろ液割合	回収率	固形物量 (COD-Cr)**	高分子添加率
		mg/L	%	%	汚泥	ろ液					
		mg/L	%	%	mg/kg	mg/L	—	—	%	g	DS%
生濃縮汚泥	汚泥	—	5.01	0.50	56,000	—	0.62	—	98.7	13.80(96.4)	0.079
	ろ液	1,100	—	—	—	3,400	—	0.38	—	0.52(3.6)	—
余剰濃縮汚泥	汚泥	—	3.02	0.60	30,000	—	0.14	—	98.1	1.68(98.0)	0.122
	ろ液	94	—	—	—	100	—	0.86	—	0.03(2.0)	—
混合濃縮汚泥	汚泥	—	3.84	0.50	39,000	—	0.34	—	98.4	5.31(96.0)	0.091
	ろ液	320	—	—	—	840	—	0.66	—	0.22(4.0)	—
混合濃縮汚泥 (計算値)*	汚泥	—	4.39	—	47,890	—	0.30	—	—	5.72(96.7)	—
	ろ液	277	—	—	—	702	—	0.70	—	0.20(3.3)	—

*混合濃縮汚泥(計算値)の赤字は、生濃縮汚泥・余剰濃縮汚泥の加重平均

**固形物量はビーカー試験の汚泥量(400mL)で算出。括弧内の数値は全量に対する割合（単位：%）

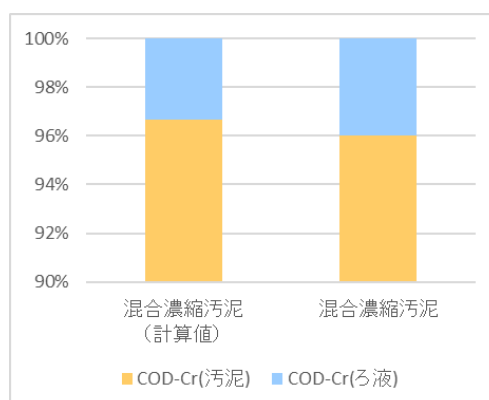


図 8 汚泥・ろ液の COD-Cr 量の割合

参考文献

- 2) 野池達也編著「メタン発酵」技報堂出版株式会社(2009)