# 科学研究費助成事業

研究成果報告

科研費

<del>۳</del> ۳۸	ι 29	<del>4</del>	о Д Т Э	口現住
関番号: 2 7 1 0 1				
究種目: 若手研究(B)				
究期間: 2014~2016				
題番号: 2 6 8 7 0 5 1 2				
究課題名(和文)熱力学と流動解析の統合による嫌気性消化槽内の無機物析出反	反応のメ	カニ	ズム解明	
究課題名(英文)Study of Inorganic Precipitation in the Anaerobic Diges thermodynamic and hydrodynamic model	ter usi	ng th	ne	
究代表者				
寺嶋 光春(Terashima, Mitsuharu)				
北九州市立大学・国際環境工学部・准教授				
研究者番号:60706969				

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文):嫌気性消化槽における無機物の析出に影響を与えるカルシウム、マグネシウム、リン酸および炭酸について、特に難溶性のリン酸塩と炭酸塩の挙動を計算するモデルを開発した。また、反応のための混合流動に影響を与える嫌気性消化汚泥のレオロジー特性を調べ、汚泥のチクソトロピー性を定量的に表現するモデルを開発した。難溶性カルシウム塩、マグネシウム塩であるリン酸カルシウム系化合物、リン酸マグネシウム化合物、炭酸カルシウムおよび炭酸マグネシウムの析出溶解反応を表すための反応マップを作成し、これを用いて嫌気性消化プロセスにおけるリン酸塩、カルシウム塩およびマグネシウム塩の析出反応を数学モデルによって再現した。

研究成果の概要(英文): The objective of this research is to reveal the mechanism of precipitation and dissolution in the anaerobic digester. To investigate the thixotropic behavior of high concentration anaerobic digested sludge, effecting the mixing of anaerobic digestion sludge for the reaction, a mathematical model was developed to express the thixotropic behavior, abatement and recovery caused by past shear application and rest. A laboratory scale experiment was also operated where Mg and Ca ions were added to the digester. Based on the solution's thermodynamic equilibrium the data was analyzed to determine the change in precipitation complexes with elapsed time. The mathematical model that expresses anaerobic digestion and dissolution and precipitation of the inorganic component was constructed.

研究分野: 環境工学,用排水処理,流体力学,

キーワード: 嫌気性消化 無機物 レオロジー チクソトロピー 反応速度

#### 1.研究開始当初の背景

嫌気性消化汚泥には約40%もの無機分が 含まれており、含有量の面からは無機物は有 機物に匹敵している。しかしながら嫌気性消 化プロセスは主たる目的が有機物の減量安 定化とメタンガス発生であるため、有機物の 分解率向上や分解のモデル化など有機物の 分解率向上や分解のモデル化など有機物の 参動に着目された研究が多く行われている ものの、無機物についての研究は極端に少な く、無機物挙動についての学術的な知見は有 機物に比べて極端に不足している。これによ って無機物に起因する多くの課題が解決さ れずに残ったままになっている。

#### 2.研究の目的

生活廃水に含まれる無機物の中で、特にリ ンは枯渇が懸念される資源であることから、 循環型社会形成のためには「除去する」から 「回収する」への転換が重要である。個々の 嫌気性消化槽においてはヒドロキシアパタ イト (HAP) やストラバイト (MAP)として 晶析させる方法が生活廃水処理系からリン を回収する方法として検討されている。

しかしながら、熱力学的・反応速度論的な 解析やモデル化が十分に行われていないた め一般的な最適化技術は確立されていない。 また、いままでの実験的な検討や解析は完全 混合型リアクターを想定した装置で行われ ているが、実際の嫌気性消化槽では完全な混 合はありえず、溶液中の物質濃度分布の不均 ーが生じ、これが晶析反応制御に大きな影響 を与えると予想されるため流動の解析が重 要である。嫌気性消化汚泥は剪断速度が大き いほど粘性が小さくなるという非ニュート ン性流体であり、また、剪断の履歴によって 粘性が変化する(チクソトロピー性)という、 複雑なレオロジー特性を持っており、これが 流動の解析を困難にしている。

そこで本研究では、嫌気性消化プロセスに おける主たるイオン種の結晶析出の挙動を 熱力学的及び反応速度論的にモデル化して、 実際のデータを合理的に説明できるように すると同時に混合の把握に重要な嫌気性消 化汚泥のチクソトロピー特性を明らかにす ることを目的とした。

3.研究の方法

(1) 無機物析出反応のモデル化

活性汚泥中の無機物(窒素・リン・Ca・ Mg...)は、微生物の嫌気的自己消化反応によって液相に放出される。これら無機物は微生 物の細胞成分なので、有機物の分解と対応し て液相に移行すると仮定できる。従って、活 性汚泥有機物(COD成分)の分解に関するパ ラメータ(活性汚泥の微生物濃度および比自 己消化速度)と活性汚泥の無機物比率を求め れば、嫌気性消化槽の液相に放出される窒 素・リン・Ca・Mg等の量・速度を算出する ことができる。これらを Gujer matrix で表 1 と表 2 に示した。また、嫌気性消化槽に投入

される活性汚泥の濃度が高い場合は、消化に 従って液相に放出される Ca、Mg、アンモニ ウム、リン酸、炭酸等が特定の化学種につい て飽和濃度に達し、析出が起きる。これらの 反応は熱力学(溶解度積)で定まる。例えば、 リン酸 Caの反応では、飽和となった Caイオ ンとリン酸イオンからいったん CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O が析出し、これは次第に無水塩 である CaHPO4 に変化する。この無水塩は更 に Ca イオンを取り込み、Ca<sub>3</sub>(HPO<sub>4</sub>)。に変化 する。リン酸 Ca はこの順に難溶性(小さい 溶解度積)になるので、リン酸イオンや Ca イオンの飽和濃度はこの順に低くなる。嫌気 性消化槽では、CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、CaHPO<sub>4</sub>、 Ca<sub>3</sub>(HPO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, MgHPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O, Mg<sub>3</sub>(PO4)<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O, MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>、CaCO<sub>3</sub>とMgCO<sub>3</sub>の8化学種(12 の反応)が検討対象となる。これらの反応を 表3にまとめた。

(2)連続実験による析出溶解モデルの検証 2Lの中温消化槽(35℃)にK市H下水処理場の嫌気性消化槽から採取した嫌気消化汚泥 を種汚泥として投入し、K下水処理場の余剰 汚泥を 20-30 g/Lの TVS 濃度に濃縮して HRT

表1活性汚泥有機物の嫌気性消化物質収支

	Anaerobic decay of methanogens	Anaerobic decay of acidogens	Growth of methanogens	Growth of acidogens	Hydrolysis of particulate substrate	Anaerobic decay of WAS microorganisms	
WAS microorganisms (mg-COD/L)						-1	$X_{B_{-}AS}$
Slowly biodegradable substrate (mg-COD/L)	$1-f_{\rm U}$	$1-f_U$			<u>-</u>	$1-f_{\rm U}$	Xs
Substrate for acidogens (mg-COD/L)				-1/Y	+1		$\mathbf{S}_{\mathbf{S}}$
Substrate for methanogens (mg-COD/L)			-1/Y	1/Y-1			$\mathbf{S}_{\mathrm{AC}}$
Methane (mg-COD/L)			1/Y-1				$S_{ch4}$
Unbiodegradable cell product (mg-COD/L)	$\mathbf{f}_{\mathrm{U}}$	$\mathbf{f}_{\mathrm{U}}$				$\mathbf{f}_{\mathrm{U}}$	$X_{U}$
Acidogens (mg-COD/L)		-1		+1			$X_{B\_AC}$
Methanogens (mg-COD/L)			+1				$X_{B_ME}$
Inert organic particulate (mg-COD/L)							X
F <sub>U</sub> :0.08 gCOD/gC Y: 0.107 gCOD/g 0.054 gCOD/g	First-order	First-order	Monod	Monod	Contois	First-order	Rate expression
.OD COD (acidogens) COD (methanogens)	$X_{B_ME}$	$X_{B_AC}$	$X_{B_ME}$	$X_{B_AN}$	$rac{X_{ m B}AS}{X_{ m B}AC}$	$X_{B_AS}$	Microorganisms

# 表 2 活性汚泥無機物(N、P、Ca、Mg)の嫌気性 消化物質収支

	Anaerobic decay of methanogens	Anaerobic decay of acidogens	Growth of methanogens	Growth of acidogens	Hydrolysis of particulate substrate	Anaerobic decay of WAS microorganisms	
Biodegradable Nitrogen in biomass (mgN/L)	$(1-f_U) \times f_N$	$\stackrel{(1-f_U)}{\times f_N}$	f <sub>N</sub>	$\mathbf{f}_{N}$	-f <sub>N</sub>	$(1-f_U) \times f_N$	X <sub>N</sub>
Soluble annmonium (mgN/L)			-f <sub>N</sub>	-f <sub>N</sub>	$\mathbf{f}_{N}$		$\mathbf{S}_{N}$
Biodegradable Phosphate in biomass (mgP/L)	$(1-f_U) \times f_p$	$\stackrel{(1-f_U)}{\times f_p}$	fp	$f_p$	-fp	$\stackrel{(1-f_U)}{\times f_p}$	X <sub>p</sub>
Soluble phosphate (mgP/L)			-fp	-fp	fp		$\mathbf{S}_{\mathbf{p}}$
Biodegradable Calcium in biomass (mgCa/L)	$(1-f_U) \times f_{Ca}$	$(1-f_U) \times f_{Ca}$	$f_{Ca}$	$f_{Ca}$	-f <sub>Ca</sub>	$(1-f_U) \times f_{Ca}$	$X_{Ca}$
Soluble Calcium (mgCa/L)			-f <sub>G</sub>	-f <sub>Ca</sub>	$\mathbf{f}_{\mathrm{Ca}}$		$\mathbf{S}_{\mathrm{Ca}}$
Biodegradable Magnesium in biomass (mgMg/L)	$(1-f_U) \times f_{Mg}$	$(1-f_U) \times f_{Mg}$	${\rm f}_{\rm Mg}$	${\rm f}_{\rm Mg}$	-f <sub>Mg</sub>	$(1-f_U) \times f_{Mg}$	$X_{Mg}$
Soluble Magnesium (mgMg/L)			-f <sub>Mg</sub>	$^{-f}_{Mg}$	${\rm f}_{\rm Mg}$		$\mathbf{S}_{Mg}$
Inorganic inert particulate excluding precipitants (mgAsh/L)							X <sub>ii</sub>
f <sub>N</sub> : 0.1 gN/gCOE f <sub>1</sub> : 0.01 gP/gCO f <sub>2</sub> : 0.003 gCa/gC f <sub>Mg</sub> : 0.003 gMg/g f <sub>Mg</sub> : 0.003 gMg/g	First-order	First-order	Monod	Monod	Contois	First-order	Rate expression
	$X_{B_{-ME}}$	$X_{B_AC}$	$X_{B_ME}$	$X_{B_{-AN}}$	$X_{B_AC}$	$X_{B_{-AS}}$	Microorganisms

## 表 3 Ca、Mg、リン酸と炭酸による塩の析出 -溶解モデル

	i	12	Ξ	10	9	~	7	6	s	4	ω	2	-	Process number
$r_p = K( \Lambda  \mathbf{B}  K_{NP})$ Type II (first-order & concentration gradient): $r_{D2} = K( C  (\Lambda  \mathbf{B}  K_{NP})$ $\Lambda_{D2} = K( C  (\Lambda  \mathbf{B}  K_{NP})$ $\Lambda_{D3} = K( C  (\Lambda  \mathbf{B}  K_{NP})$ $\Lambda_{D3} = Kacative ionic species; C Precipited material from \Lambda_{D3}.D_{13} Transformed material from \Lambda_{13}.D_{13} Transformed material from \Lambda_{13}.$	Type I (concentration gradient):	Precipitation/ dissolution of MgCO.	Precipitation / dissolution of CaCO <sub>3</sub>	Deposition / dissolution of Mg(NH <sub>4</sub> )(PO <sub>4</sub> )·6H <sub>2</sub> O	Transformation of Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O to Mg(NH <sub>4</sub> )(PO <sub>4</sub> )·6H <sub>2</sub> O	Deposition / dissolution of Mg3(PO4)2-8H2O	Transformation of MgHPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O to Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O	Precipitation / dissolution of MgHPO <sub>4</sub> -3H <sub>2</sub> O	Deposition / dissolution of Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Transformation of CaHPO <sub>4</sub> to Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> from	Deposition / dissolution of CaHPO <sub>4</sub>	Transformation of CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O to CaHPO <sub>4</sub>	Precipitation / dissolution of CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	State variables → Processes ↓
mmol Ca <sup>2+</sup> /L			-1						ა	-1/2	÷		<u>-</u>	Ca <sup>2+</sup>
mmol NH4+/L				÷	ს									$\mathrm{NH_4^+}$
mmol Mg <sup>2+</sup> /L		-		<u>-</u>		ట	-1/2	-						Mg <sup>2+</sup>
mmol proton/L								<u>-</u>			÷			$H^+$
mmol Ca <sup>2+</sup> /L				-1	÷	-2		<u>-</u>	-2		÷		-	HPO4-
mmol CaCO3/L			1											CaCO <sub>3</sub>
mmol CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O/L												<u>-</u>	1	CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
mmol CaHPO <sub>4</sub> /L										<u>-</u>	+	+		CaHPO <sub>4</sub>
mmol Ca3(PO4)2/L									-	1/2				Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
mmol MgHPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O/L							<u>-</u>							MgHPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O
mmol Mg3(PO4)2·8H2O/L					<u>-</u>	-	1/2							Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O
mmol Mg(NH <sub>4</sub> )PO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O/I				1	3									$\rm Mg(\rm NH_4)\rm PO_4{\cdot}6\rm H_2O$
mmol CO32-/L		-	<u>-</u>											CO32.
mmol MgCO3/L	·	-												MgCO <sub>3</sub>
	1992	Type I	Type I	Type III	Type II	Type III	Type II	Type I	Type III	Type II	Туре Ш	Type II	Type I	Rate

25日の条件で連続的に供給した。この連続実 験は MgCl<sub>2</sub>を余剰汚泥に混合した Mg 系と CaCl<sub>2</sub>を混合した Ca 系の 2 種類でおこなった。 これら陽イオン添加系においては、リン酸塩 が槽内に析出するよう、意図的に高濃度の塩 を添加することにした。ただし、それぞれの 嫌気性消化槽の状態を合わせるために初め の 25 日間はこれら陽イオンを添加しない運 転をおこなった。その後にそれぞれ 40 mmol/L の濃度で陽イオンを添加した運転を 59 日目まで継続し、再び陽イオンの添加を止 めて 100 日までの実験を進めた。この実験の 装置を模式的に図 1 に示した。

消化汚泥を槽から採取し、遠心分離で溶解 成分を得る操作では、操作中に脱炭酸によっ て pH が上がり溶解性無機物が析出してしま う懸念があった。このため、嫌気性消化槽に 小型の平膜(MF 膜)を設け、膜を経由して 濾液を採取して化学分析することにした。得 られた濾液を用いて、ICP-OES で Na、K、Ca、 Mg、Fe、P、TOC 計で無機炭素、分光光度計 でアンモニア態 N を測定した。実験を通して 濾液(消化槽)のpHはほぼ7.1-7.3の一定範 囲で推移した。この pH をもとに、無機炭素 と P からそれぞれ  $CO_3^{2-}$ 濃度と HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度を 算出して計算に用いた。これら無機物を含む 活性汚泥の嫌気性消化反応について表 1-~3 の構造をプロセスシミュレータ(GPS-X ver.6.4)でプログラムし、連続実験の結果をコ ンピュータ上で再現した。



図1 連続実験装置の模式図

(3) 嫌気性消化汚泥のチクソトロピー性の測 定とモデル化

粘度測定には LAMYRHEOLOGY 社製共軸 二重円筒型粘度計 RM-100 およびスピンドル MS-DIN11 を用い、K市H下水処理場の嫌気 性消化槽から採取した嫌気消化汚泥を遠心 濃縮して実験に供した(MLSS 濃度 60.4 kg/m<sup>3</sup>、 MLVSS 濃度 37.4 kg/m<sup>3</sup>)。温度 35±0.5 を維 持した。

測定は3つのサイクルから構成される。まず「粘性測定」で各回転速度に対応する剪断 速度及び剪断応力を測定するためスピンド ル回転数を5-1500rpmまで段階的に上昇、各 回転速度でデータを3秒ごとに3点取得し、 その平均値を用いた。次の「剪断付与期間」 では30分間一定の回転速度(300、750、1500 rpm)を維持し、剪断を与えた。その後の「休 止期間」でスピンドルの回転を止め、汚泥を 一定時間(0、5、30、60min)静置状態に置いた。 「粘性測定」「剪断付与期間」「休止期間」を 計6回繰り返したものをひとつの実験とした。 例として剪断付与期間回転速度750rpm、休止 期間15minの実験操作におけるスピンドル回 転速度の一部を図2に示す。

高濃度嫌気性消化汚泥は擬塑性流体であるといわれる(1)式。本研究では汚泥のチクソトロピー性は汚泥粒子の破壊と再構成によって発生するものと考えた。流体に加えられた剪断速度の時間積分が粒子の破壊に関係すると考え、(1)式で定義するチクソトロピーパラメータ kを導入した。

$$\tau = \mu_P \left(\frac{du}{dy}\right)^n \tag{1}$$

$$k = \int_0^t \left(\frac{du}{dy}\right) dt \tag{2}$$

ここで、 $\tau$ : 剪断応力(Pa)、 $\mu_p$ : 擬塑性粘度(Pa s<sup>1-n</sup>)、n: 粘度指数(-)、(du/dy): 剪断速度(s<sup>-1</sup>)、t: 時間(s)である。



図2 チクソトロピーの測定方法

# 4.研究成果

(1)無機物析出反応のモデル化

Ca 添加系と Mg 添加系における Ca、Mg、 アンモニア態窒素とリン酸態リンの経過を それぞれ図 3 と図 4 に示す。

Ca 添加系においては、溶解性 Ca の濃度が CaCl<sub>2</sub>の添加直後から上昇し、添加の終了に



図 3 Ca 系の Ca、Mg、リン酸と炭酸の化学種 (上 2 段:溶解性成分の実測値と計算値、 下:析出物の計算値)



#### 図 4 Mg 系の Ca、Mg、リン酸と炭酸の化学種 (上2段:溶解性成分の実測値と計算値、 下:析出物の計算値)

伴って減少した。リン酸の濃度は、Caと逆の 挙動を示し、溶解性 Ca が高濃度に存在する 条件で濃度が低下した。これは、消化によっ て活性汚泥から液相に放出されたリン酸が 添加の Ca によって析出したことによる。溶 解性の Mg 濃度は、リン酸の濃度が高いとき に減少した。これは、Mg とリン酸の化合物 が有する溶解度積の影響を受けるためであ る。

また、シミュレーションによれば、リン酸 Ca の最初の析出物である CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O は固 形物中にほとんど存在せず、ただちに CaHPO<sub>4</sub>に変化するようであった。こ CaHPO<sub>4</sub> はCaCl2の添加直後である26日目から急激に 生成し、Caの添加を停止した 59 日以降に速 やかに減少した。Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>は徐々に CaHPO<sub>4</sub> から生成し、CaCloの添加停止に伴い、消化 汚泥とともに槽から引き抜かれた。炭酸塩で ある CaCO<sub>3</sub>の生成は CaHPO<sub>4</sub>よりもゆっくり しているようで、槽内濃度のピークは CaCl<sub>2</sub> の添加停止後の約 60 日目に出現した。もう ーつの炭酸塩である MgCO3も CaCO3とほぼ 似通った挙動を示し、わずかに槽内に蓄積し た。これらのことから、CaCloの添加を短期 間(例えば実験期間の26-40日のみ)にすれ ば、添加の Ca は炭酸塩にあまり固定するこ となく液相のリン酸を析出させることがで きると考えられる。Mg で固定されるリン酸 は、主に  $Mg_3(PO_4) \cdot 8H_2O$  と  $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ であり、MgHPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O はほとんど生成しな いようであった。 Mg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)·8H<sub>2</sub>O は MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O よりも先に析出し、いずれ も液相のリン酸を固定する特性を有する。-方で、液相のリン酸態窒素が低い 40-70 日で は、これら析出物濃度は緩やかに低下する。 これはリン酸の再溶出が発生していること を意味する。従って、液相のリン酸を析出物 として固定する目的には、Mg よりも Ca の方 が適していると考えられる。

Mg 添加系においては、溶解性 Ca の濃度が MgCl<sub>2</sub>の添加直後から上昇し、添加の終了に 伴って減少した。これは Mg の添加によって リン酸 Ca の析出が抑制されたことによる。 溶解性Mgの濃度はMgCloの添加後に上昇し 添加終了後は減少した。アンモニア態窒素は MgCl<sub>2</sub>の添加後で緩やかに減少し、リン酸 Mg の析出が起きていると考えられた。実際、 溶解性リン酸態リンの濃度は、Ca系の実験結 果と同じく、溶解性 Mg の槽内濃度と逆の増 減挙動を示した。Mg 系の析出物は、Ca 系と 同じく、主に  $Mg_3(PO_4) \cdot 8H_2O$ と MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O であり、炭酸塩の CaCO<sub>3</sub>と MgCO<sub>3</sub>の析出はわずかであった。Mg 系にお いても Ca 系の成分がわずかに析出されるよ うで、シミュレーションでは CaHPO<sub>4</sub>の析出 とこれに続く Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>の生成が認められた。

これらの析出-溶解反応に関する比反応速 度定数を表4に整理した。Type Iの反応では CaCO<sub>3</sub>の比反応速度定数が最も速く、Type I の化学種で推進力が等しい場合は CaCO<sub>3</sub>が 多く生成する。一方、CaCO<sub>3</sub>と他のリン酸 Ca の溶解度積はかなり異なるため、低濃度の Ca 塩濃度の条件下では CaCO<sub>3</sub>の析出は抑制さ れる。このことが槽内でリン酸 Ca が炭酸 Ca に先立って析出した理由と考えられる。

表4 析出-溶解比速度定数

¥	Process	Specific rate coefficient	Rate Expression
-	Free pitation / dissolution of CaHPO /2H O	0.04 d⊣	Type I
9	Transform ation of CaHPO 2H, O to CaHPO	1.45-2.03 d <sup>-1</sup>	Туре П
m	Deposition / discolution of CaHPO_	0.58-0.4 L/mm ol/d	Type III
4	Transform ation of CaHP 0, to Ca.(P0.), from	0.050.22 đ⁼	Туре П
Ś	Deposition / discolution of $Ca_4(PO_4)_2$	0.18 d <sup>-1</sup>	Type III
9	Precipitation / dissolution of MgHP0, 3H, 0	0.15-0.69 d <sup>-1</sup>	Type I
~	Transform attion of MgHP0, 3H, 0 to Mg (P0.), 8H, 0	11.1-18.08 d <sup>-1</sup>	Туре П
	Deposition / discontion of Mg(PO_); 8H_0	4.38-5.8L/mmol/d	Type III
9	Trunsform attion of Mg (PO.), 8H,0 to Mg NH, XPO.) 6H,0	0.04-0.01 d <sup>-1</sup>	Туре П
я	Deposition / discolution of Mg/NH [YP0] ) 6H 0	7.18-0.51L/hm oVd	Type III
Π	Precipitation / dissolution of CaCO,	5.8-2.3 đ <sup>.</sup> l	Type I
g	Precipitation/disolution of MgCO.	1.0-0.2 đ <sup>.</sup> !	Type I

# (2) 嫌気性消化汚泥のチクソトロピー性の測定とモデル化

実験によって得られた k と μ<sub>p</sub> 及び n の関係 を図 5 に示す。剪断付与期間の回転速度(300、 700 または 1500 rpm)に関わりなく、それぞれ を単一の近似式で表すことが出来た。

次に、休止期間が $k \ge \mu_p$ 及びnに及ぼす影響を図6に示す。休止時間が増大するにつれて、同じk値に対して $\mu_p$ が増加し、nは低下することが観察された。全体的な影響としては、休止時間増大につれて汚泥粘性が回復することが認められた。

以上のことから、剪断速度の時間積分とし て定義したチクソトロピーパラメータ k で、 剪断およびその休止による高濃度嫌気性消 化汚泥の変化挙動を整理できた。







#### 図 6休止期間が k と µ, 及び n に及ぼす影響

#### 5.主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計8件)

N. D. Q. Chanh, L. Bing, T. Van Quang, <u>M.</u> <u>Terashima</u>, R. Goel, H. Yasui. 2016. Dynamic Simulation of Trickling Filter Process with Hydraulic Stress Tests. J. of Wat. and Envron. Tech., 14(5), pp.398-410. 查読有, DOI:10.2965/jwet.16-026

B. Liu, I. Jarvis, H. Ren, C. N. Duong Quang, <u>M. Terashima</u>, H. Yasui. 2016. Biofilm Modelling and Kinetics in a Trickling Filter Process. J. of Wat. and Envron. Tech., 14(3), pp.200-210. 查読有, DOI:10.2965/jwet.15-059

B. Liu, K. Yoshinaga, J.-H. Wu, W.-Y. Chen, <u>M. Terashima</u>, R. Goel, D. Pangallo, H. Yasui. 2016. Kinetic Analysis of Biological Degradation for Tetramethylammonium Hydroxide (TMAH) in the Anaerobic Activated Sludge System at Ambient Temperature. Biochem. Eng. J., 114, pp. 42-49. 查読有,DOI: 10.1016/j.bej.2016.06.020

<u>M. Terashima</u>, M. So, R. Goel, H. Yasui. 2016. Determination of diffuser bubble size in computational fluid dynamics models to predict oxygen transfer in spiral roll aeration tanks. J. of Water Process Engineering, 12, pp.120-126. 査 読有, DOI:10.1016/j.jwpe.2016.07.001

A. Ngo, H. T. Nguyen, C. Le, R. Goel, <u>M.</u> <u>Terashima</u>, H. Yasui. 2016. A dynamic simulation of methane fermentation process receiving heterogeneous food wastes and modelling acidic failure. Journal of Material Cycles and Waste Management, 18(2), pp.239-247. 査読有, DOI:10.1007/s10163-015-0462-z

M. So, <u>M. Terashima</u>, R. Goel, H. Yasui. 2015. Modelling the Bio-Clogging of Multispecies Biofilms in Sponge Carrier Media. J. of Wat. and Envron. Tech., 13(3), pp.263-278. 查 読有, DOI:10.2965/jwet.2015.263

M. So, <u>M. Terashima</u>, R. Goel, H. Yasui. 2015. Modelling the Effect of Biofilm Morphology on Detachment. J. of Wat. and Envron. Tech., 13(1), pp.49-62. 査読有, DOI:10.2965/jwet.2015.49

<u>寺嶋光春</u>. 2015. 嫌気性消化槽における動 的シミュレーション: 無機物挙動に着目し て (特集 メタン発酵に関する新技術研究と 実用化の動向最前線). 水環境学会誌, 38(8), pp.283-287. 査読無し, https://www.jswe.or.jp/publications/journals/cont ents/2015/pdf/mokuji\_38\_08.pdf

〔学会発表〕(計4件)

木下将太郎,モハメドヤコビ,安井英斉, <u>寺嶋光春</u>,嫌気性消化槽へのアルカリ土類塩 の添加条件下における溶解性イオンの動的 変化.化学工学会第 82 年会研究発表講演集, 6-8/March/2017,芝浦工業大学 豊洲キャンパ ス (東京都江東区).

小手川陽子,<u>寺嶋光春</u>, 宗マグヌス, 安 井英斉,高濃度嫌気性汚泥のチクソトロピー 性の表現.日本水環境学会年会講演集, 16-18/March/2016,アクティとくしま(徳島県 徳島市).

小手川陽子,<u>寺嶋光春</u>, 宗マグヌス, 安 井英斉,嫌気性消化汚泥の非ニュートン性及 びチクソトロピー性の測定と CFD 解析.第 52 回環境工学研究フォーラム講演集, 27-29/Nov/2015,日本大学(福島県郡山市).

福永敦,<u>寺嶋光春</u>,安井英斉,嫌気性消 化槽における陽イオン添加による溶解性リ ン濃度低下と無機析出固体種の推定.日本水 環境学会年会講演集,16-18/March/2015,金沢 大学(石川県金沢市).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕 北九州市立大学国際環境工学部資源循環技 術研究室ホームページ研究内容; http://www.env.kitakyu-u.ac.jp/ja/kenkyuka/yasui /research.html

6.研究組織
(1)研究代表者
寺嶋 光春(TERASHIMA Mitsuharu)
北九州市立大学・国際環境工学部・准教授 研究者番号:60706969

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者 なし