

プロジェクトの詳細説明

議題 6.1 前段嫌気処理技術の開発

(有機物の可溶化とメタン化技術の研究開発)

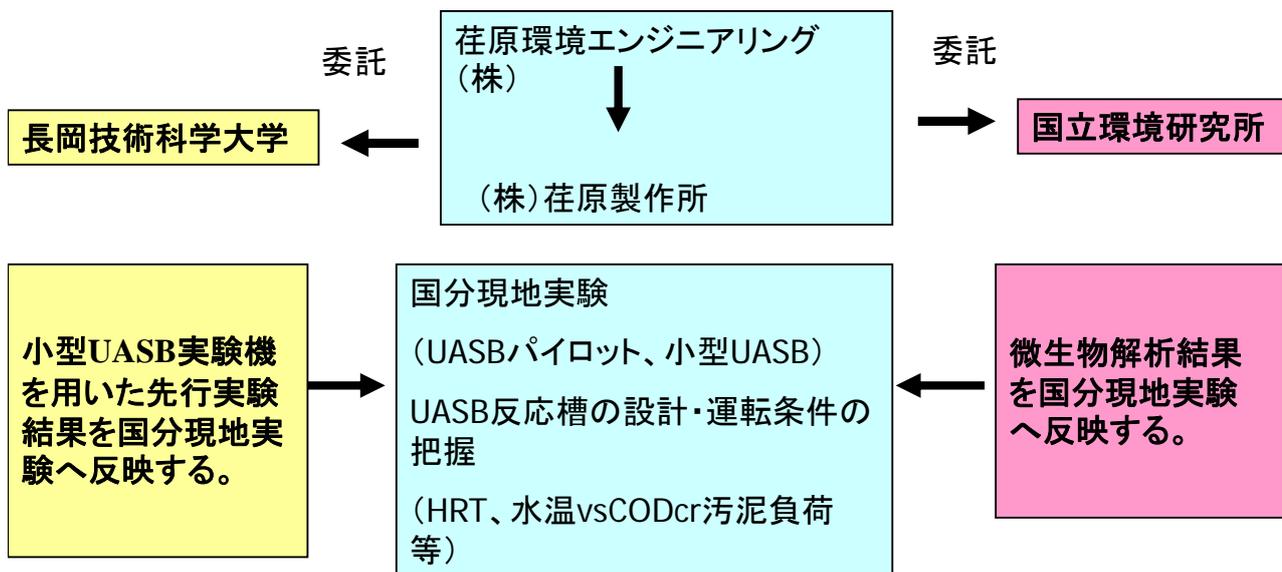
- 6.1.1 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発
荏原エンジニアリングサービス(株)
- 6.1.2 無加温嫌気処理における有機物分解特性の評価
(独)国立環境研究所
- 6.1.3 嫌気廃水処理制御方法の研究
長岡技術科学大学

2009年 10月 16日

1/34

Ⅲ. 研究開発成果について 前段嫌気性処理に関する研究開発(1)

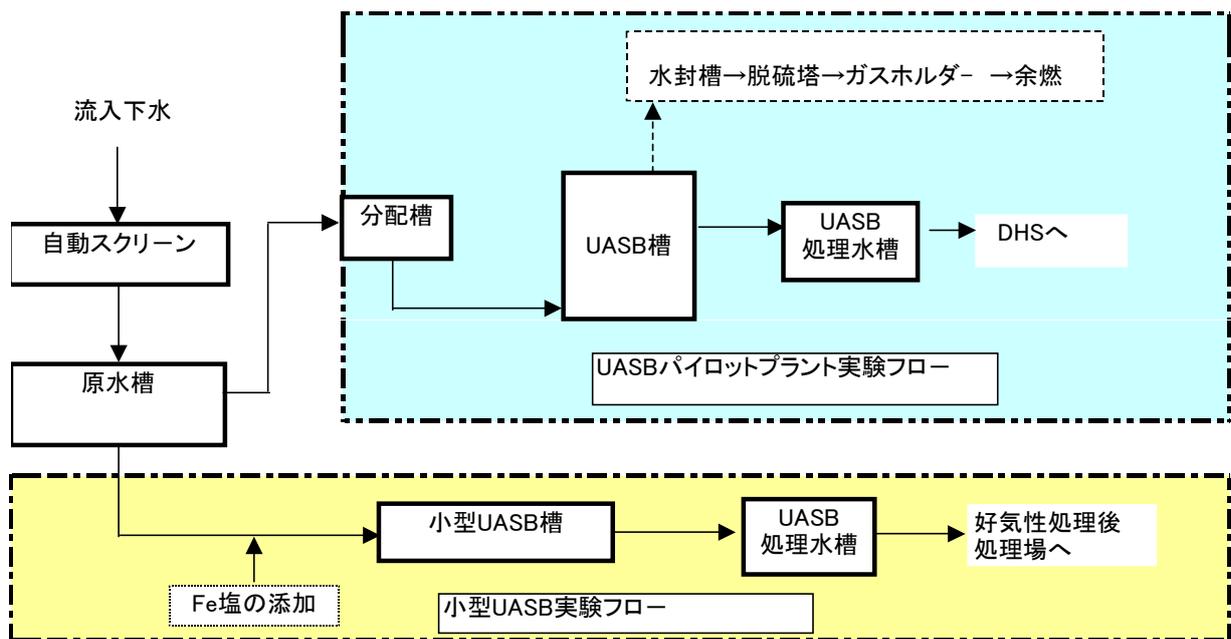
前段嫌気処理に関する研究開発 (有機物の可溶化とメタン化技術の研究開発)



研究の実施内容と工程

			項目	平成18年度	平成19年度	平成20年度
荏原	国分現地実験	UASBパイロット	(1)UASBプラントの設計と製作	←→		
			(2)UASB運転データ収集とデータ解析		←→	→
			(3)UASB設計・運転方法のまとめ			←→
	補完実験	高水温時におけるHRTの検討			↔	
	小型UASB	Fe塩添加効果の検討			→	
長岡技大	長岡下水	小型UASB	有機物分解特性とマスバランスの把握	←→		→
			国分パイロットUASBのマスバランス評価			←→
国環研			(1)集積培養による有機物分解特性の評価	←→		
			(2)国分UASBパイロットUASB保持汚泥性状		←→	→

UASB実験装置の処理フロー



UASB槽の概略仕様

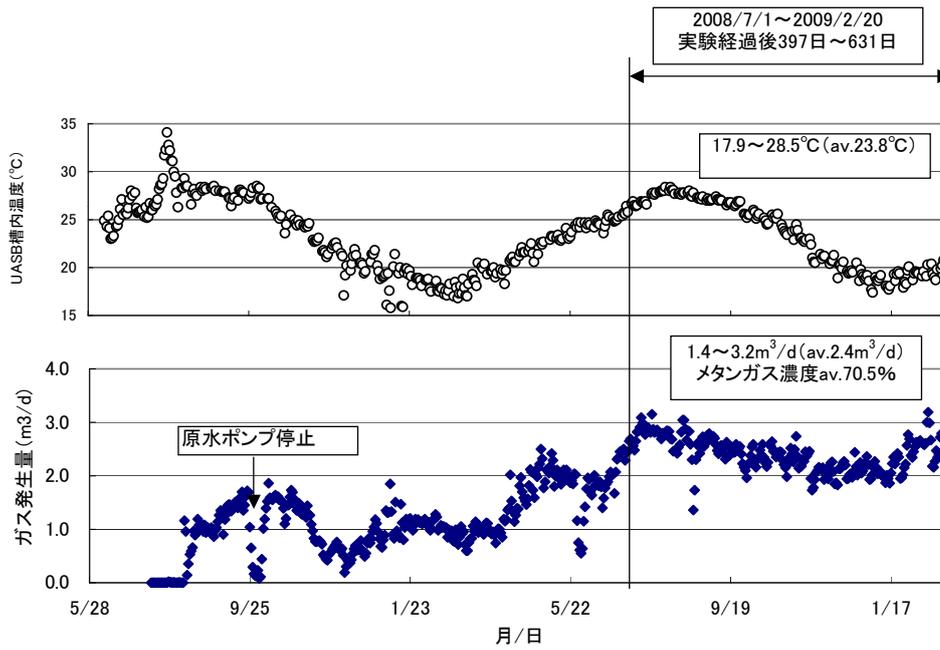
パイロットプラント	小型プラント
1.5m × 2.8m × 高さ5m 有効容量20.2m ³	直径0.5m × 高さ5m 有効容量 0.94m ³



国分隼人現地実験 流入下水(UASB原水)性状
(07/10/30~09/2/26)

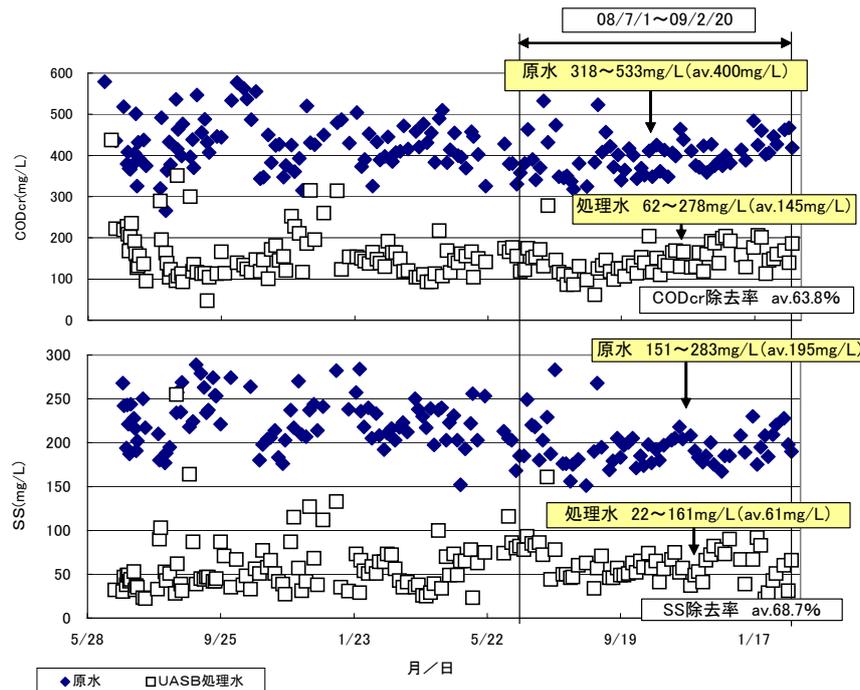
	範囲	平均
原水槽の水温 (°C)	13.8~28.7	22.7
pH (-)	7.1~7.8	7.5
SS(mg/L)	151~312	208
CODcr (mg/L)	315~520	402
S-CODcr (mg/L)	39~158	96.3
BOD (mg/L)	114~248	165
S-BOD (mg/L)	18.2~73.9	38.5

UASBパイロットプラント実験結果(水温とガス発生量の変化)



実験開始1年以降はガス発生量は安定した。

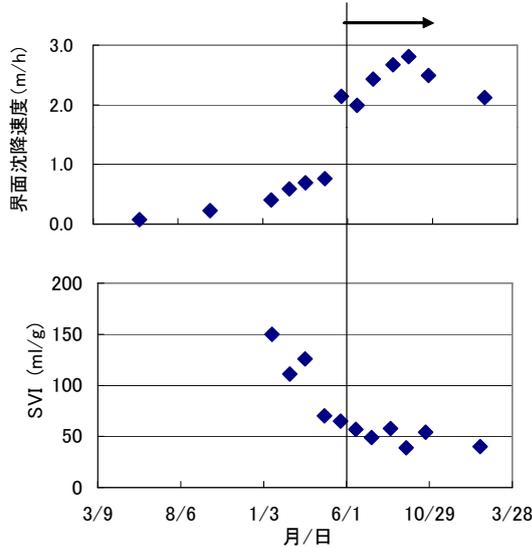
UASBパイロットプラント実験結果 (COD_{Cr}、SS変化)



COD_{Cr}除去率63.8%、SS除去率68.7%の安定した処理結果が得られた。

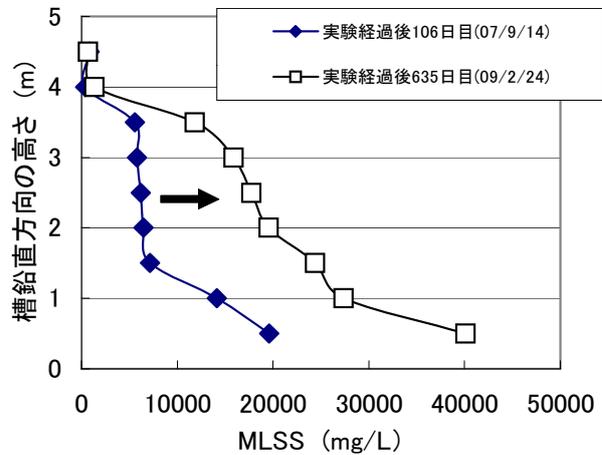
UASBパイロットプラント実験結果

下部汚泥の沈降速度、SVIの変化



(MLSS濃度4000~6000mg/L)
 サンプル位置: 槽底部から0.75m)

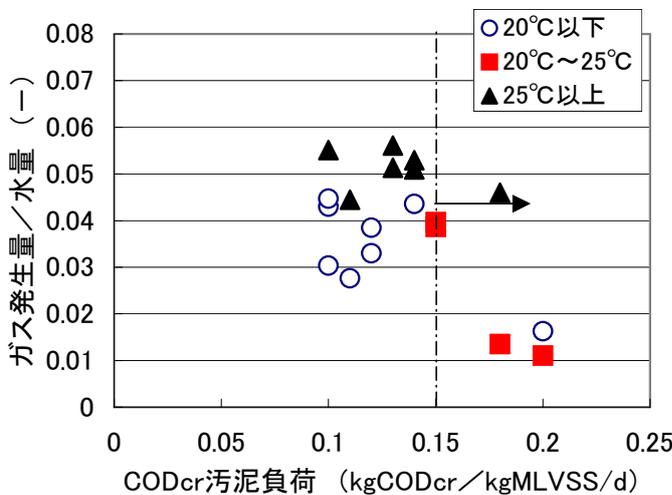
鉛直方向の汚泥濃度分布の変化



実験開始1年後において汚泥の沈降性が改善し、UASB槽内汚泥濃度が増加することにより安定した処理が可能となった。

UASBパイロットプラント実験結果

CODcr汚泥負荷とガス発生量／水量比との関係

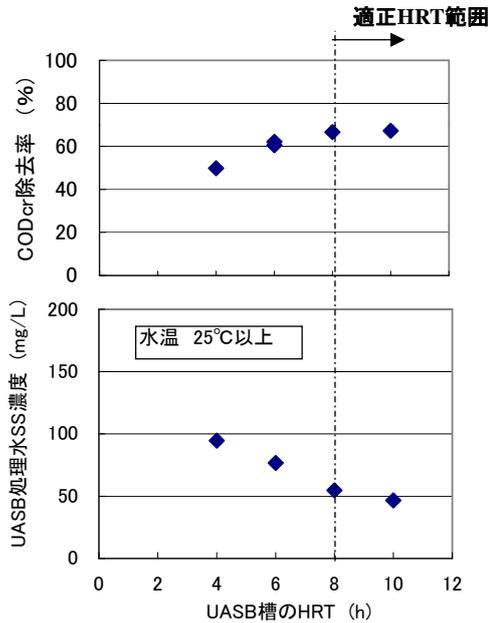


- ・水温20°C以下、20~25°C、25°C以上
- ・CODcr汚泥負荷と流入水量あたりのガス発生量の関係
- ・CODcr汚泥負荷0.15kg/kgMLVSS/d以上になるとガス発生量が低下

UASB槽のCODcr汚泥負荷は0.15kg/kgMLVSS以下に維持する。

小型UASB実験結果

HRTとCOD_{cr}除去率、UASB処理水SS濃度との関係



水温25℃以上
HRT 4、6、8、10 h

COD_{cr}除去率、処理水SS濃度より
HRT 8 h以上が必要である。

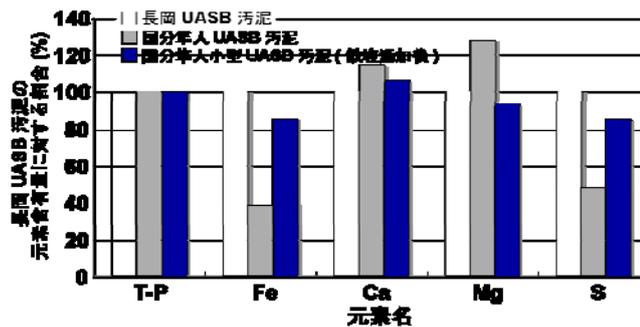
研究課題

- ・国分UASB汚泥中のFeとS含量が長岡UASB汚泥の約半分で沈降性が悪い。
- ・流入下水中のFe、SO₄濃度の差は少ない。

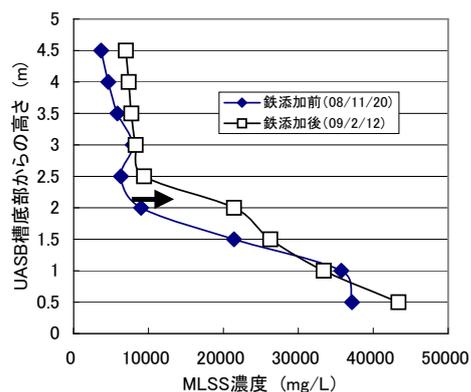
主要成果

- ・塩化第二鉄を2mg/L添加することにより汚泥の沈降性改善出来た。
- ・汚泥の沈降性にFeSが関与していることが確認できた。

UASB実験プラント保持汚泥の無機元素含有量の比較



槽鉛直方向のMLSS濃度分布の変化(国分準人小型UASB)



現地UASB実験の結果のまとめ

1. UASBパイロットプラントにおいて 水量 $50\text{m}^3/\text{d}$ (HRT10h)の処理条件で、COD_{Cr}除去率63.6%、SS除去率 68.7%の安定した処理結果が得られた。
2. COD_{Cr}汚泥負荷 $0.15\text{kg}/\text{kgMLVSS}/\text{d}$ に維持することで安定したメタン発酵処理できることがわかった。
3. 高水温時(25℃以上)のUASB処理の適正HRTは 8h以上が必要であることがわかった。
4. 原水に塩化第二鉄を2~4mg/l(asFe)添加することで、汚泥の沈降性を改善できることが確認できた。

都市下水の嫌気性処理(メタン発酵):

熱帯地域(水温 25-35℃)の一部で
実用化 (メキシコ, ブラジル, インド)



- ・ 固形有機物(SS)を多く含み冬季の水温低下時に処理性能が悪化
→ 日本など寒冷地域での実用化例無し
- ・ 処理性能の発揮に関わる保持汚泥の微生物学的な知見が欠如

目的: 低水温期におけるUASB槽安定運転のための基礎知見収集

- (1) 集積培養による固形有機物の常温分解特性の評価
- (2) パイロットプラントUASB槽における保持汚泥性状
(物性, 微生物活性)の評価

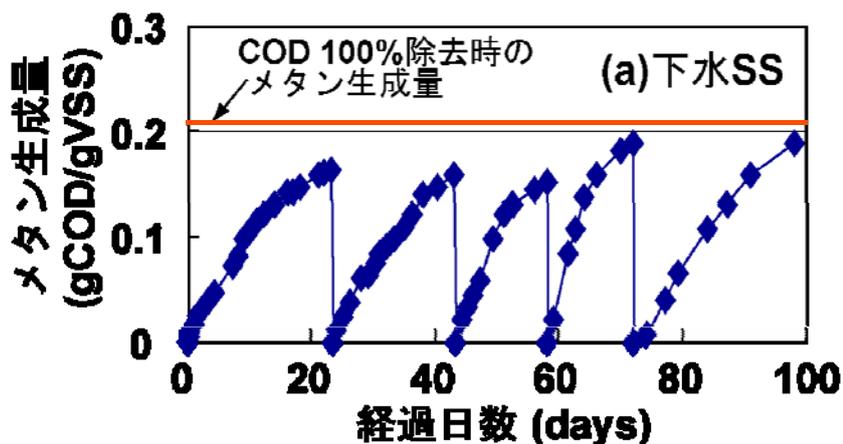
(1) 集積培養による固形有機物の常温分解特性の評価

- ・炭素源:
下水SS(初沈汚泥), セルロース,
タンパク質 等
- ・バイアル瓶(720 ml容量)を用いた
20°Cでの半回分培養
- ・植種: 下水処理UASB汚泥(長岡) + グラニュール汚泥



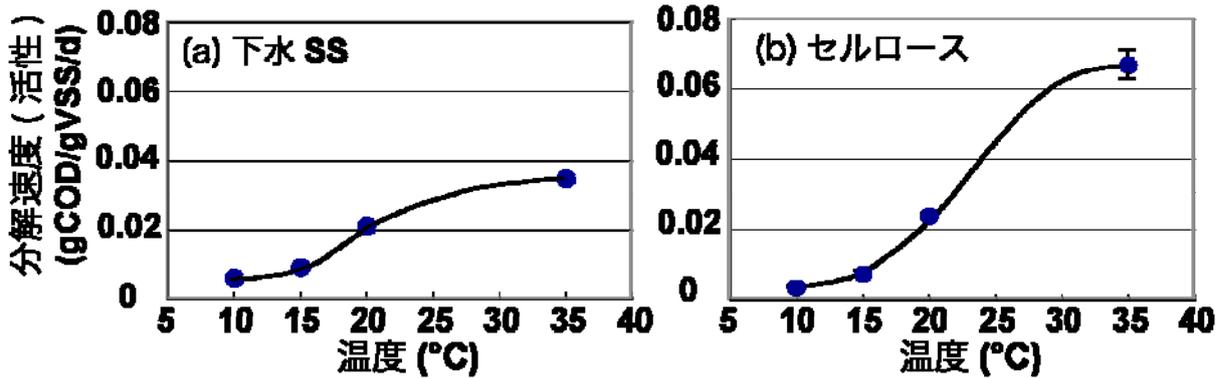
約100日間の培養後,
各固形有機物の分解速度と水温との関連を評価

下水SS集積培養におけるメタン生成の様相



- ・20°C条件でも下水SSの分解は進行し, 約80-90%
の有機物がメタン化された。
- ・中間代謝物の蓄積は観察されなかった。
(SS成分の加水分解・酸生成反応が律速)

固形有機物分解速度の水温による変化

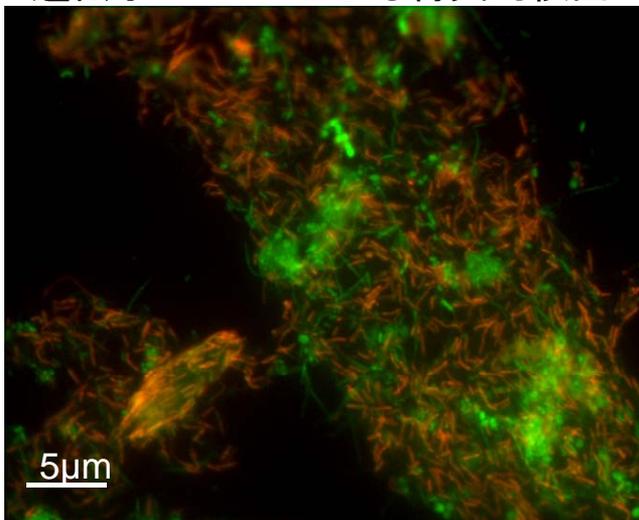


- ・下水に含まれる固形有機物(SS, セルロース等)の分解速度は, 20°Cまではある程度維持されるが, 水温15°Cでは大きく低下する傾向にあった。
- ・冬季に固形有機物の分解が律速となり易い。

集積培養と菌相解析によるセルロース分解細菌の同定

常温(20°C)条件下で, 集積化が生じたバクテロイダルス目のセルロース分解細菌を同定した。

遺伝子プローブによる特異的検出



オレンジ:
バクテロイダルス目
セルロース分解菌

緑:
その他真性細菌

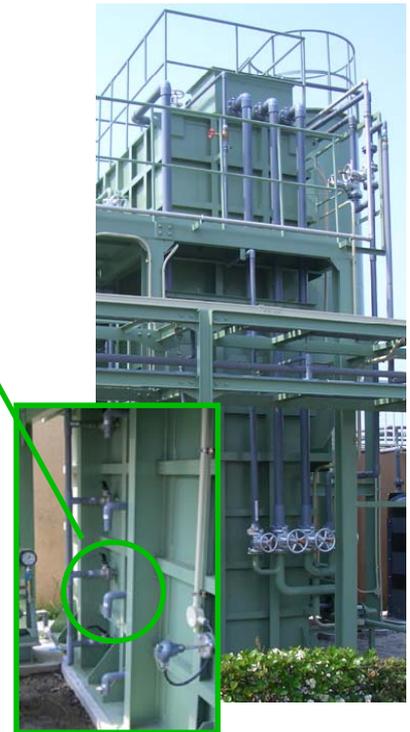
(2) パイロットプラントUASB槽における保持汚泥性状の評価

UASB槽底部0.75 mから約3ヶ月おきに
汚泥試料を採取

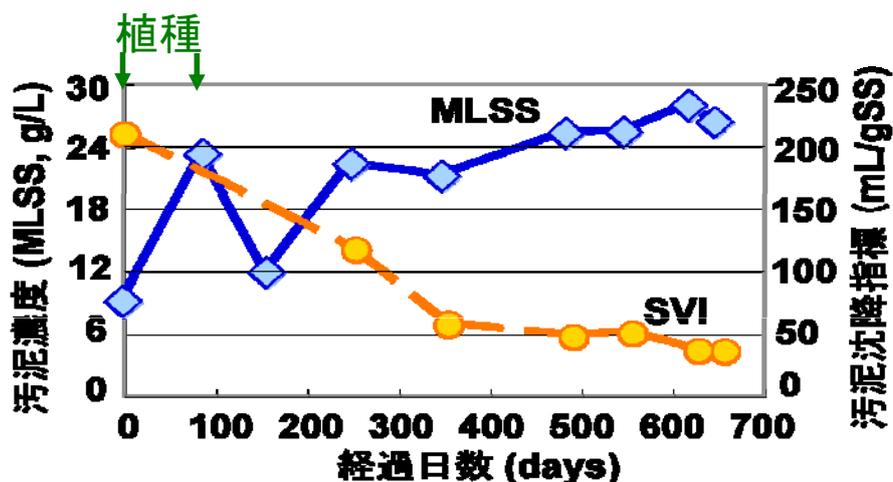


汚泥濃度(MLSS), 汚泥沈降指標(SVI),
セルロース含量, メタン生成活性, 菌相構造

水温変動と汚泥性状変化との関連を調査



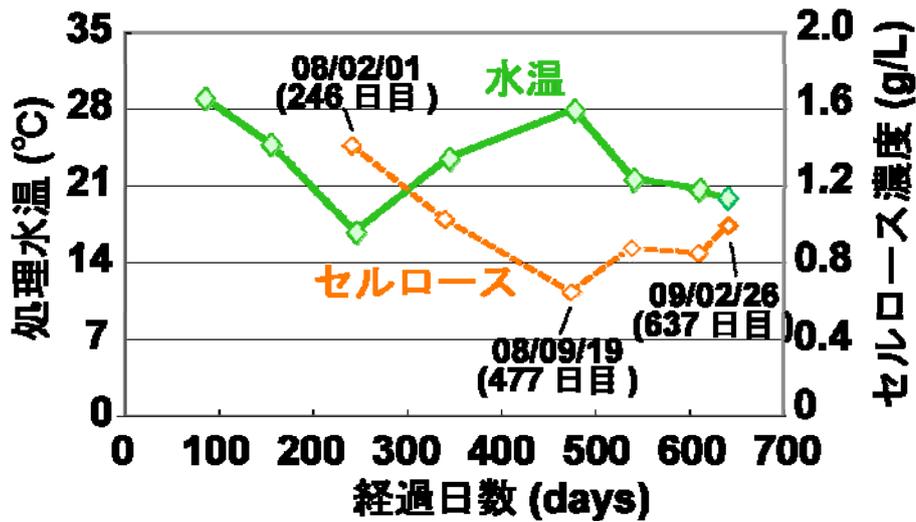
保持汚泥濃度(MLSS)と汚泥沈降指標(SVI)の経日変化



汚泥の沈降性改善(フロック化進行)により,
保持汚泥濃度は, 28 gSS/L程度に達した。

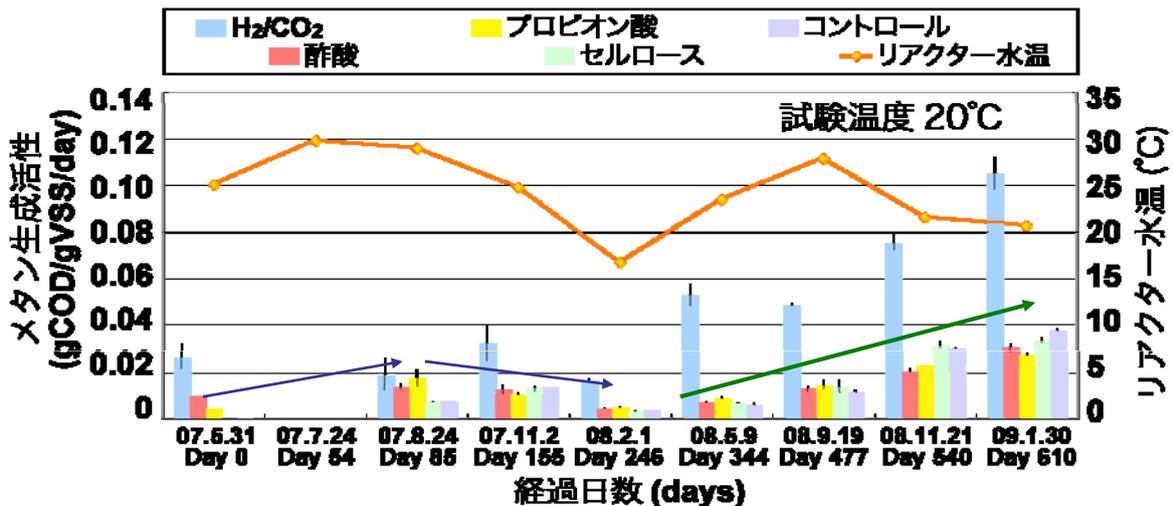
→ UASB槽の早期安定化には, 植種汚泥の選択や
沈降性改善への対応が必要

保持汚泥のセルロース濃度と水温との関係



低水温期における保持汚泥中への下水SS由来セルロースの蓄積と、高水温期における分解の進行が確認出来た。

保持汚泥のメタン生成活性の変化



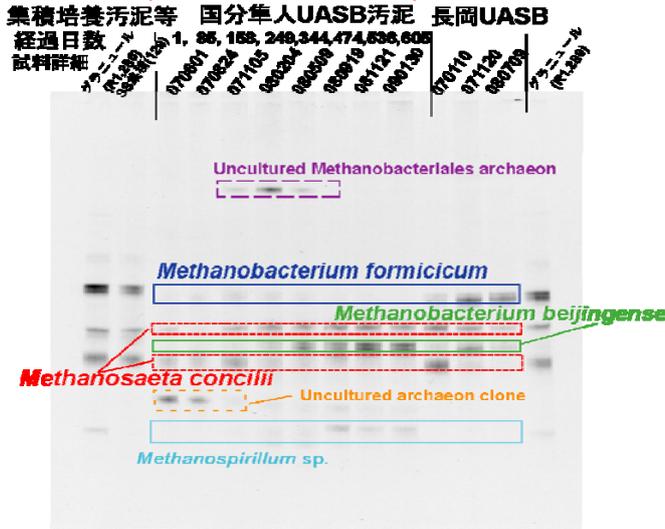
汚泥沈降性改善前 (Day 0～246):
メタン生成活性は低く、
水温に応じて増減

沈降性改善後 (Day 344～610):
水温の低下に依らず継続的に
活性が増加

➡ UASB槽汚泥の沈降性改善は、保持汚泥へのメタン生成細菌の集積化(保持)を促す

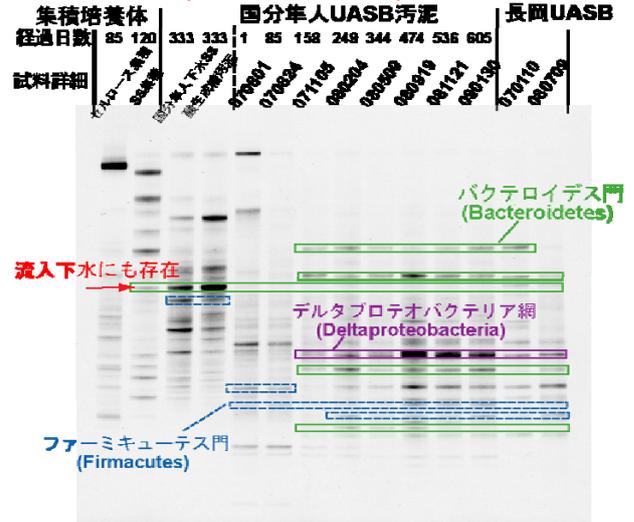
DGGE法による保持汚泥の菌相構造解析結果

古細菌(メタン生成細菌)



Methanosaeta属および
Methanobacterium属の
細菌の存在と集積化を確認した。
(定量PCRの結果)

真性細菌(酸生成細菌)



酸生成細菌としては、
ファーミキューテス門に加え
未培養バクテロイデス門の細菌の
優占化が確認された。

1. 都市下水のメタン発酵処理では、セルロース等を含む固形有機物成分(SS)の分解が律速であり、水温20℃未満で分解速度が大きく低下する。
2. パイロットプラントUASB槽の汚泥保持能の改善(沈降性改善)は、メタン生成細菌(*Methanosaeta*, *Methanobacterium*)の集積化を促し、低温期の処理性能の安定化に大きく寄与する。
3. 保持汚泥の菌相解析より、未培養のバクテロイデス門細菌が高頻度に検出され、有機物分解(酸生成)への寄与が示唆された。また、常温でのセルロース分解に寄与するバクテロイダルス目の細菌を同定した(分解促進のための利用が期待される)。

都市下水処理UASBリアクターの低水温期における安定運転のための制御法に関わる基礎知見を収集することを目的とした。

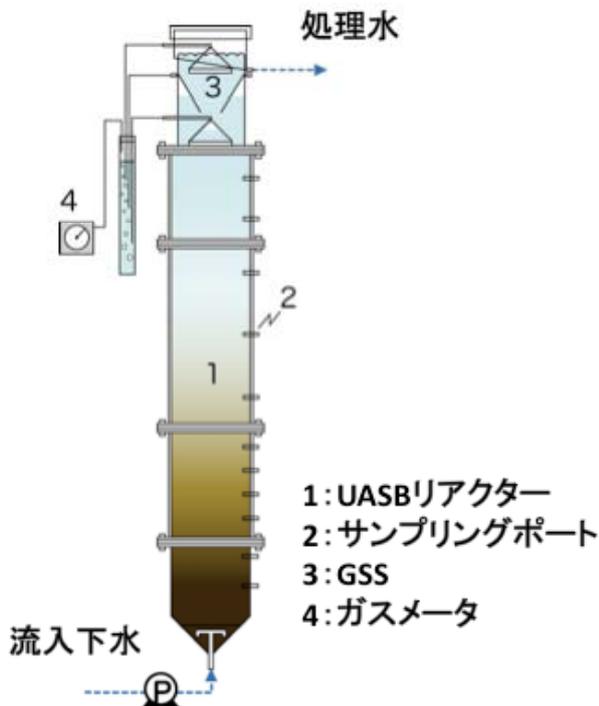
新潟県長岡市(寒冷地)に設置した小型UASBリアクターを連続運転し、以下のデータを収集した。

◆ 水温低下時における下水処理特性

- ◆ SS、COD_{Cr}、除去率

◆ 保持汚泥量および性状の変化

- ◆ MLSS、MLVSS、グラニューール粒径、SVI、VSS/SS



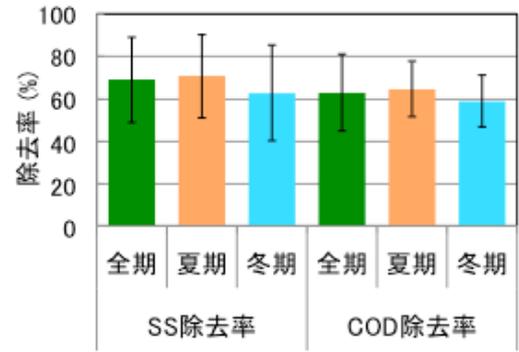
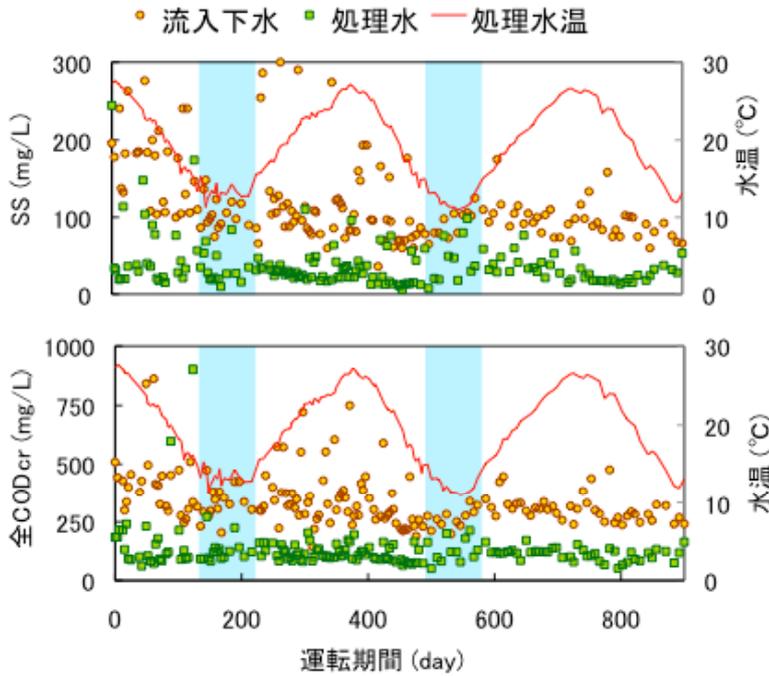
長岡中央浄化センターに設置されたUASBリアクター

◆ リアクター運転条件

- ◆ HRT 8時間
- ◆ 容積 1148 L (カラム 1022L)
- ◆ 高さ 4 m
- ◆ 内径 0.56 m
- ◆ 温度 外気温(10~27°C)

◆ 流入下水

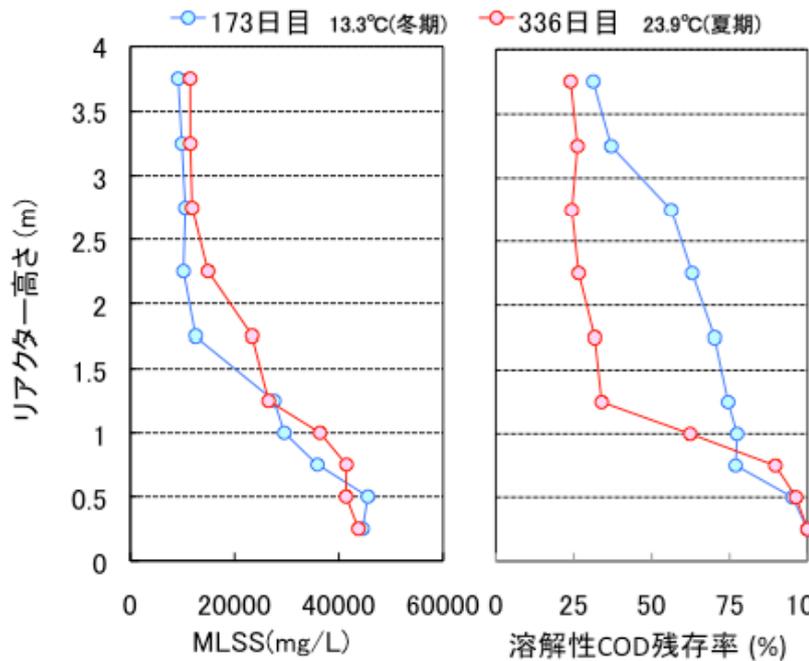
長岡中央浄化センターの初沈流入水



夏期: 20°C以上 冬期: 15°C以上

冬期における除去率の低下は、SS除去率は8%、COD除去率は6%に留まった。

水温15°C以下の低温期間が3ヶ月程度であれば、流入負荷を低下させることなく運転の継続が可能(水温10°C程度まで対応可能)



運転期間前半(1年目)

汚泥(MLSS)濃度

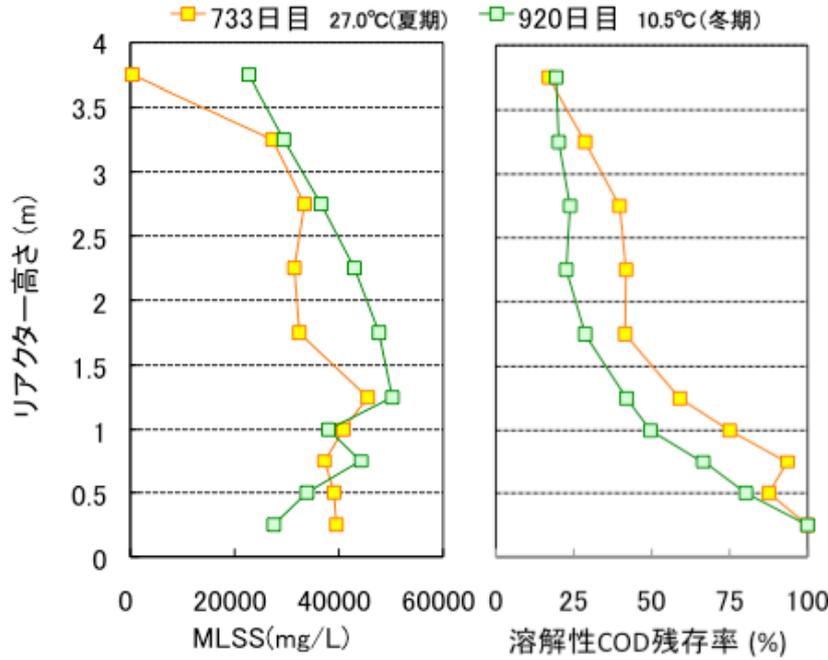
- 下部1mまで高濃度汚泥保持
- 汚泥濃度プロファイルは冬期、夏期ともに同じ傾向

COD濃度

- 夏期は高さ1.25mでほぼ一定
- 冬期は高さ3.25mまで徐々に減少

冬期には十分な反応時間(高さ)が必要であると考えられる。

※COD残存率: 0.25m(Port1)のCODを100%としたときの各高さのCODの割合



運転期間前半(3年目)

汚泥(MLSS)濃度

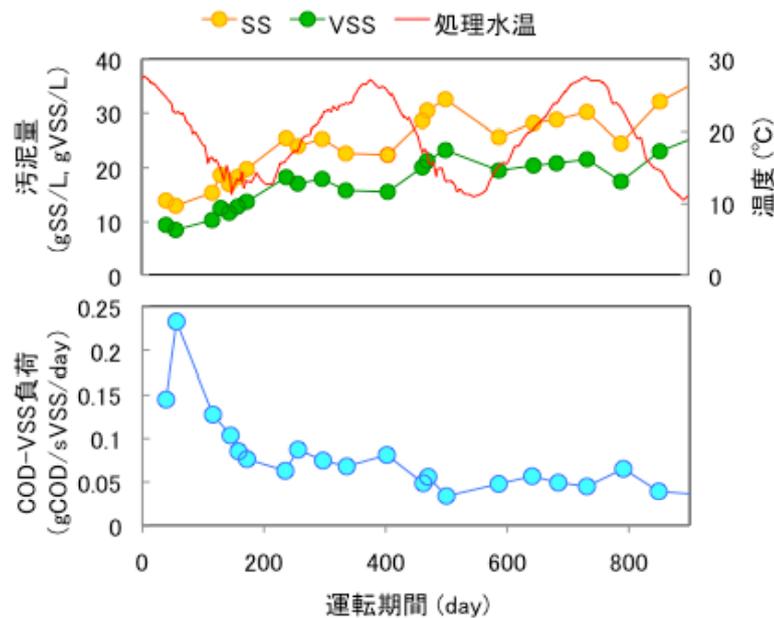
- 下部 3m まで高濃度汚泥保持
- 冬期にはリアクター中部で濃度増加

COD濃度

- 夏期、冬期ともに高さ 1.5m 一定

汚泥量の増加(COD-VSS負荷の減少)により冬期でも安定運転

※COD残存率:0.25m(Port1)のCODを100%としたときの各高さのCODの割合

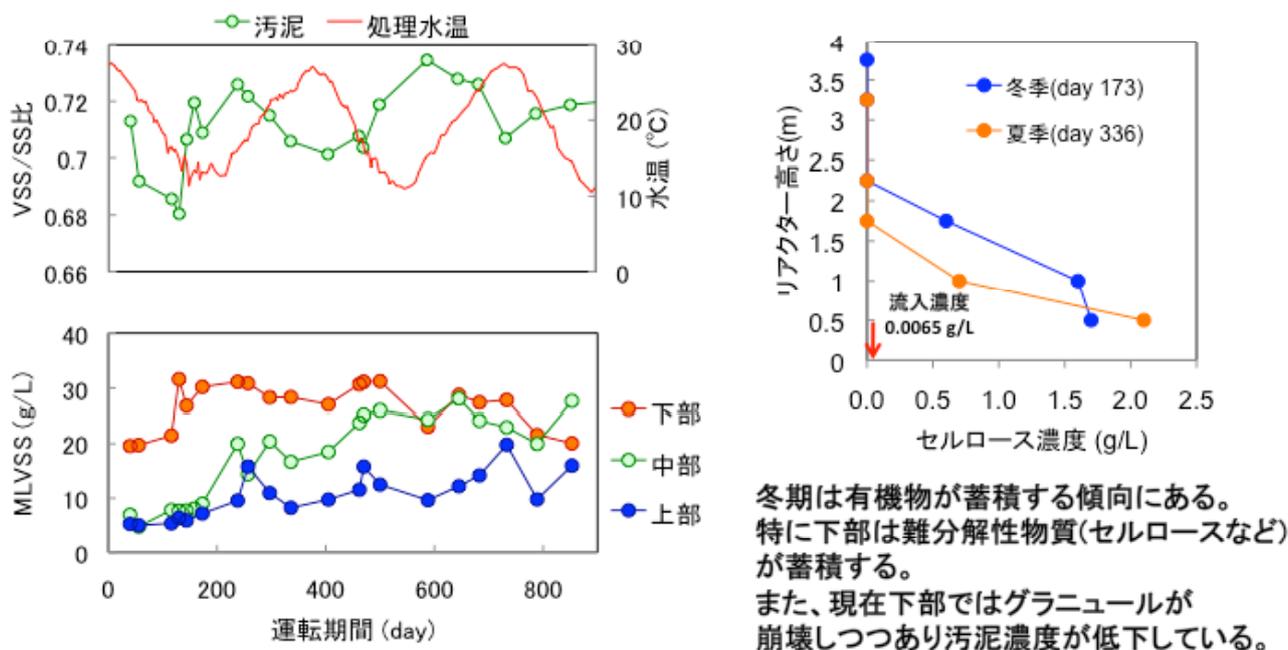
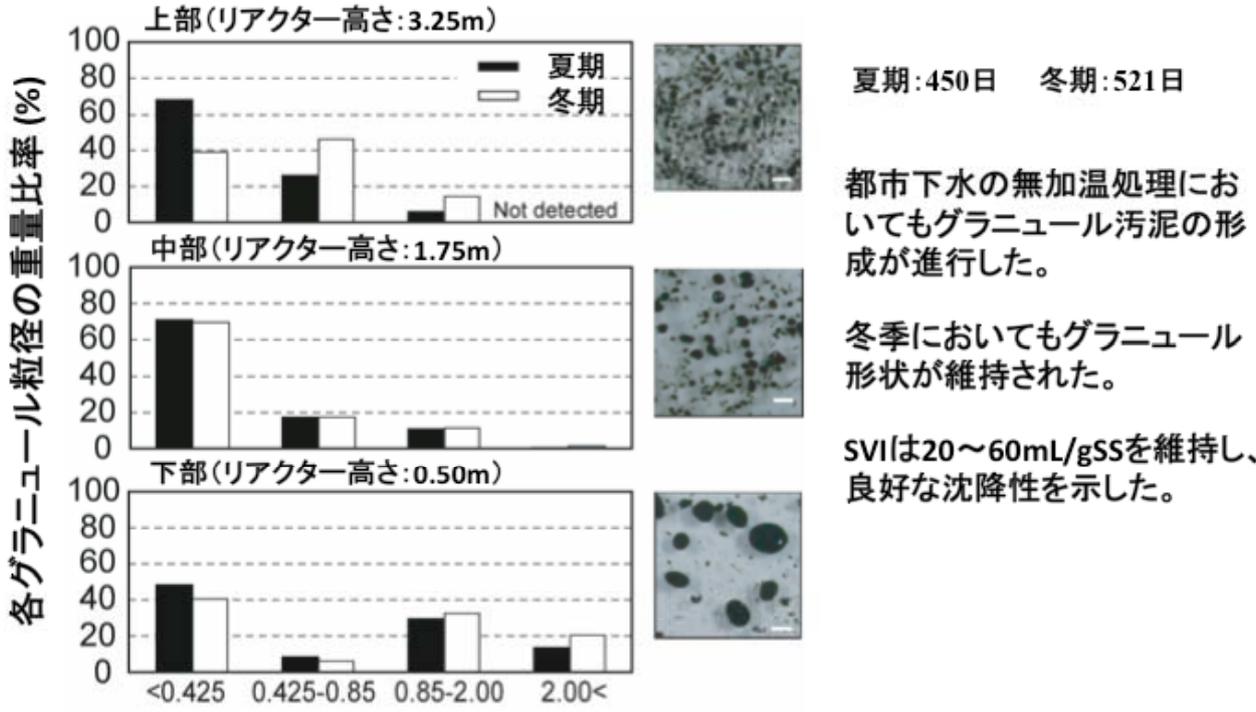


	COD-VSS負荷 (gCOD/gVSS/day)	汚泥(VSS)収率 (gVSS/gCOD _{removed})
40-297日	0.11 0.23(最大)	0.026
588-853日	0.047	0.013

保持汚泥は水温変化とともに増減を繰り返すが、長期的には増加する傾向にある。

汚泥の増加とともに、汚泥負荷は低下し汚泥の増加は抑えられた。

約3年間、汚泥の著しい流失もなく運転できたため、汚泥の引抜き頻度はで少なくて良い(1~2年に1度程度)と考えられる。



汚泥の引抜きを行う場合、SS成分の捕捉効果を維持するため低温水期(冬期)は避け春期以降の気温上昇期に最下部の汚泥を引抜くことが望ましいと考えられる。

1. 水温15℃以下の低温期間が3ヶ月程度であれば、流入負荷を低下させることなく運転の継続が可能である。(水温10℃程度まで対応可能)
2. 汚泥濃度の低い運転初期の冬期は十分な反応時間(高さ)を維持することが必要である。また、汚泥濃度が増加後は、負荷の低下により冬期においても安定運転した。
3. 都市下水の無加温処理においてもグラニュール汚泥の形成が進行した。また、SVIは20~60mL/gSSを維持し、良好な沈降性を示した。
4. 有機物は冬期に蓄積し、特に難分解性物質は下部に蓄積する。運転が長期化すると下部においてグラニュールが減少し保持汚泥濃度が低下した。

汚泥の引抜きを行う場合、
 頻度: 1~2年に1度程度
 時期: 春期以降の気温上昇期
 引抜箇所: 最下部
 が望ましいと考えられる。

前段嫌気処理技術の開発のまとめ

(1) 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発

実装置に近いUASBパイロットプラント(有効容量20m³ 1.5m×2.8m×高さ5m 処理量40~50m³/d)を用い、消化汚泥を種汚泥した場合の立ち上げ運転、処理の安定性の把握を行う。



実験開始1年後において、汚泥の沈降性が改善し、UASB槽内汚泥濃度が増加することで、年間を通してCOD除去率63.8%、SS除去率68.7%の安定した処理結果が得られた。

(2) 無加温嫌気処理における有機物分解特性の評価

- (1) 集積培養による固形有機物の常温分解特性の評価を行う。
- (2) UASBパイロットにおける汚泥性状(物性、微生物活性)の評価を行う。



- (1) セルロースを含む固形有機物の分解が律速で、水温15℃で分解速度が大きく低下した。
- (2) 汚泥保持性改善はメタン生成菌の集積化を促し、低水温期の処理性能の安定化に寄与した。

(3) 嫌気廃水処理制御方法の研究

- 小型UASB実験機を用い
- (1) 水温低下時における下水処理特性
 - (2) 保持汚泥量および性状変化
- についての把握を行う。



- (1) 水温10~15℃の期間が3ヶ月程度であれば、流入負荷を低下させることなく運転継続が可能であった。
- (2) 都市下水の無加温処理においてもグラニュール汚泥の形成が進行した。(SVI20~60mL/gSS)

当初計画の研究内容を十分遂行できた。



査読付き論文 9件