

汚泥処理施設における創エネルギー化に関する検討

1. 目的

現在、汚泥処理施設において、様々な創エネルギー技術が導入されている。東部スラッジセンターにおける将来的な改築更新を見据え、札幌市の脱炭素対策に貢献できる創エネルギー技術の導入方策について、隣接する清掃工場との連携も視野に入れた検討、提案を行うことを目的としている。併せて、将来的な公社の資源・エネルギー事業への展開に向けた検討材料とする。

2. 調査の概要

東部スラッジセンターでは汚泥の濃縮・脱水・焼却処理を行っており、バイオガスを発生させる消化処理は行っていない。本調査では、東部スラッジセンターの処理過程に消化工程を組み込んだ創エネルギー化を検討する。その際には、隣接する白石清掃工場に搬入される生ごみ等を下水汚泥と混合して消化処理を行い、より多くのバイオガスの発生を目指すとともに、両施設が協力連携した効率的、効果的なシステムを検討する。

また、下水汚泥の肥料利用の拡大が求められていることから、肥料利用も加味した検討を行う。

3. 東部スラッジセンターにおける消化工程の導入検討

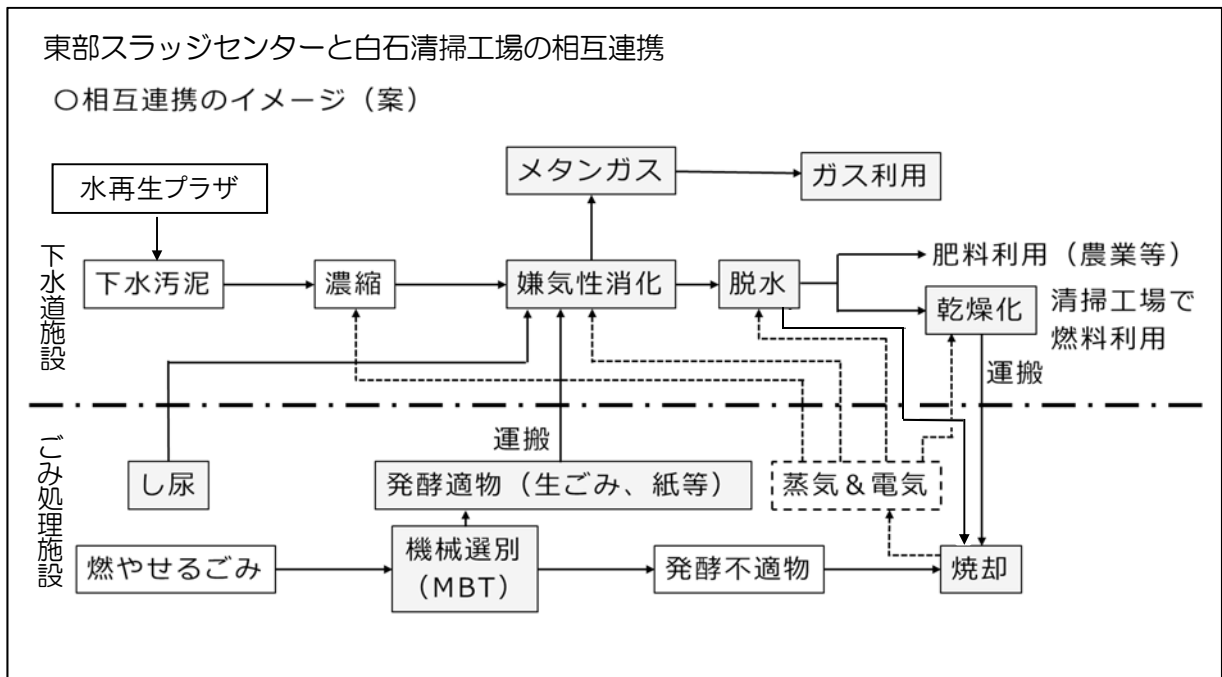
東部スラッジセンターで発生する下水汚泥及び白石清掃工場の可燃ごみを対象に、東部スラッジセンターにおいて嫌気性消化（以下、消化）を行うことを想定し、発生する消化ガス量の算出や必要な設備、効率的な処理方法の検討を行う。

1) 検討方針

検討方針を以下のとおりとする。また、この方針に基づく東部スラッジセンターと白石清掃工場の相互連携のイメージは図-1のとおりである。

- ①東部スラッジセンターに消化工程を導入する。
- ②白石清掃工場に可燃ごみ全量（106,000t/年、290t/日）を対象とした機械選別装置（MB T）を導入し、選別された発酵適物と下水汚泥の混合消化を行い、両施設における最大限の消化ガスの発生を目指す。
- ③清掃工場で選別された発酵適物には、可燃ごみに由来する紙類やプラスチック等の混入が予想される。今後想定している汚泥の肥料利用への影響を考慮して、消化槽は下水汚泥のみと混合消化の二種類とし、混合消化槽の数は最小限とする。
- ④敷地内には東部水再生プラザがあり、将来の増設等を考慮し、消化槽設備の用地面積をできるだけ小さくすることを基本とする。消化槽の施設規模を小さくするため、機械濃縮により消化槽投入汚泥を高濃度（4%、6%、8%）として検討を行う。その際、アンモニア阻害が発生する10%以上とならないよう、下水汚泥と発酵適物との混合率の検討を行う。
- ⑤消化後の汚泥は脱水し、その一部は堆肥化による緑農地利用を目指す。堆肥化は下水汚泥のみの場合とする。緑農地利用以外の脱水汚泥は、白石清掃工場のごみ焼却炉でごみと混焼することを基本とする。その際、汚泥の乾燥工程を導入することで、燃料としての利用も可能となる。（清掃工場以外での利用も可能）
- ⑥発生した消化ガスの全量を有効利用するため、消化槽の加温の熱源として白石清掃工場の排熱

を利用する。また、乾燥工程を導入する場合も同様とする。



図ー1 東部スラッジセンターと白石清掃工場の相互連携のイメージ

2) 固形物収支の検討結果

消化槽へ投入する下水汚泥の含水率を以下の2つのケースとし、固形物収支計算を行った。なお、参考として、消化槽投入固形物濃度を8%とした固形物収支計算も行った。

ケースA：白石清掃工場に設置するMBTからの発酵適物を東部スラッジセンターに送り、下水汚泥と混合して消化を行う。なお、消化槽への投入固形物濃度は4%とした高濃度消化とする。また、MBTで選別される発酵適物は、投入する燃やせるごみの40%とし、発酵適物量を290t/日×0.4=116t/日とする。

ケースB：ケースAでの消化槽への投入固形物濃度を6%とした超高濃度消化とする。

検討条件である設計負荷を表-1に示す。検討ケース別の固形物収支計算の結果を表-2～表-4、図-2～図-4に示す。

また、参考として消化槽投入固形物濃度を8%とした場合の結果を図-5に示す。

表-1 設計負荷一覧

区分	項目	数値	単位	摘要
固形物回収率	重力濃縮	85.0	%	※1
	機械濃縮	95.0	%	
	消化	100.0	%	
	機械脱水	95.0	%	
薬品注入率	機械濃縮	0.3	%	
	脱水薬注率	1.0	%	
消化投入汚泥 (平均)	VTS/TS	89	%	令和4年度実績値
	消化効率	50	%	
消化ガス発生量	投入有機物当りガス発生量(設計指針0.5~0.6)	0.60	m ³ /kg	
含水率	重力濃縮汚泥	97.0	%	
	機械濃縮汚泥(高濃度消化)	96.0	%	ケースA
	機械濃縮汚泥(超高濃度消化)	94.0	%	ケースB
	機械濃縮薬品	99.8	%	
	脱水汚泥(消化無)	80.0	%	
	脱水汚泥(消化有)	82.0	%	
	脱水汚泥(消化有+発酵適物投入有)	75.0	%	想定値

区分	項目	数値	単位	実証試験結果
MBT機械選別前	固形物濃度	48	%	48.2
	VTS/TS	50	%	49.6
MBT機械選別後 発酵適物	固形物濃度(機械選別後)	38	%	37.9
	VTS/TS(機械選別後)	77	%	77.6
	消化効率(有機物分解率)	92	%	92.4
	固形物量当りバイオガス発生量	0.8	m ³ /kg	0.8

※1 指針は80~90%(指針後編 P401)であり、中間値85%を採用

表-2 ケースA：固形物収支計算（高濃度消化【4%】、生ごみMBT）

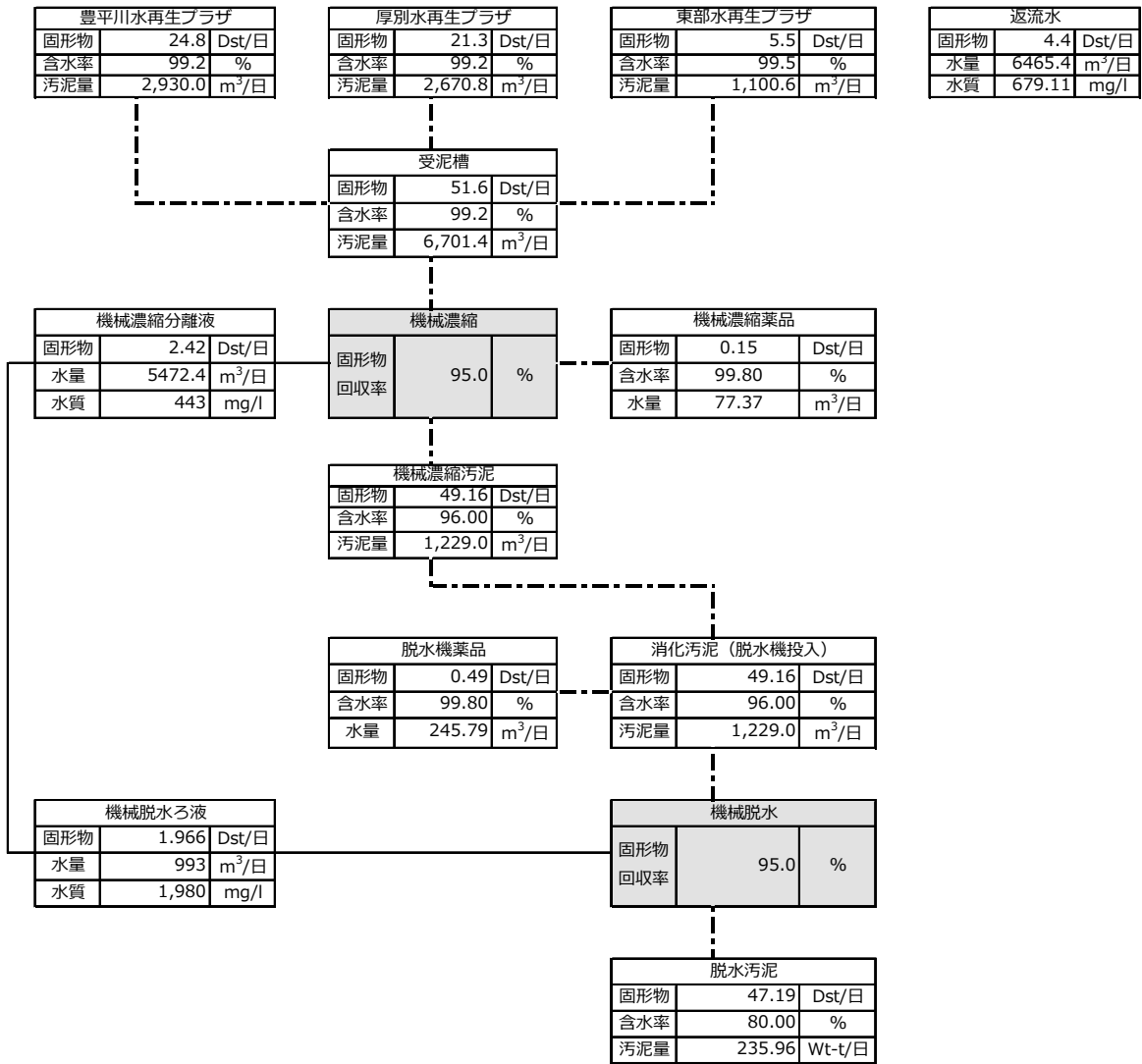
項目	単位	現況		導入技術			摘要
		消化無	下水道 嫌気性消化有 ①	MBT 発酵適物消化槽 ②	下水道+MBT発酵適物 ③=①+②		
固形物回収率	重力濃縮	%	85.0	85.0			
	機械濃縮	%	95.0	95.0			
	消化	%	100.0	100.0	100.0		
	機械脱水	%	95.0	95.0	95.0		
薬品注入率	機械濃縮	%	0.3	0.3			
	脱水設備	%	1.0	1.0	1.0		
消化（脱水） 投入汚泥	VS/TSS	%	89	89	77		
	消化効率	%		50	92		
豊平川水再生 ブラザ 送泥量	固形物量	Dst/日	24.8	24.8			
	含水率	%	99.2	99.2			
	汚泥量	m ³ /日	2,930	2,930			
厚別水再生ブ ラザ 送泥量	固形物量	Dst/日	21.3	21.3			
	含水率	%	99.2	99.2			
	汚泥量	m ³ /日	2,671	2,671			
東部水再生ブ ラザ 送泥量	固形物量	Dst/日	5.5	5.5			
	含水率	%	99.5	100			
	汚泥量	m ³ /日	1,101	1,101			
受泥槽 受入量	固形物量	Dst/日	51.6	51.6	44.1		発酵適物投入固形物量は設定値
	含水率	%	99.2	99.2	62.0		
	汚泥量	m ³ /日	6,701	6,701	116		清掃工場機械選別後116t/d
機械濃縮薬品	固形物量	Dst/日	0.155	0.155			
	含水率	%	99.8	99.8			
	水量	m ³ /日	77.4	77.4			
機械濃縮汚泥	固形物量	Dst/日	49.16	49.16			
	含水率	%	96.0	96.0			
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	1,229.0			
消化投入汚泥	固形物量	Dst/日		49.16	44.10	93.26	
	含水率	%		96.0	62.0	93.1	混合汚泥の含水率は加重平均値
	汚泥量	m ³ /日		1,229.0	116.1	1,345.0	
消化ガス	投入有機物量	Dst/日		43.75	33.96	77.71	
	分解有機物量	Dst/日		21.88	31.24	53.12	
	投入有機物当たり発生量	m ³ /kg		0.60	0.800	0.792	混合汚泥の発生量は加重平均値
	消化ガス発生量	Nm ³ /日		26,251	35,280	61,531	
消化汚泥	固形物量	Dst/日		27.28	12.86	40.14	
	含水率	%		97.8	88.9	97.0	
	汚泥量	m ³ /日		1,229.0	116.1	1,345.0	
脱水機投入	固形物量	Dst/日	49.16	27.28	12.86	40.14	
	含水率	%	96.0	97.8	88.9	97.0	
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	1,229.0	116.1	1,345.0	
脱水機薬品	固形物量	Dst/日	0.49	0.27	0.13	0.40	
	含水率	%	99.8	99.8	99.8	99.8	
	水量	m ³ /日	245.8	136.4	64.3	200.7	
脱水ケーキ	固形物量	Dst/日	47.19	26.19	12.35	38.54	
	含水率	%	80.0	82.0	75.0	80.2	
	汚泥量	Wt-t/日	236.0	145.5	49.4	194.9	
返流水 固形物量	機械濃縮	Dst/日	2.42	2.42			
	脱水	Dst/日	1.97	1.09	0.51	1.61	
	計	Dst/日	4.39	3.52	0.51	4.03	
返流水 水量	機械濃縮	m ³ /日	5,472	5,472			
	脱水	m ³ /日	993	1,083	67	1,150	
	計	m ³ /日	6,465	6,556	67	6,623	
返流水 SS水質	機械濃縮	mg/l	443.0	443.0			
	脱水	mg/l	1,980.2	1,007.3	7,715.1	1,396.1	
	平均	mg/l	679.1	536.3	7,715.1	608.5	

表-3 ケースB：固形物収支計算（超高濃度消化【6%】、生ごみMBT）

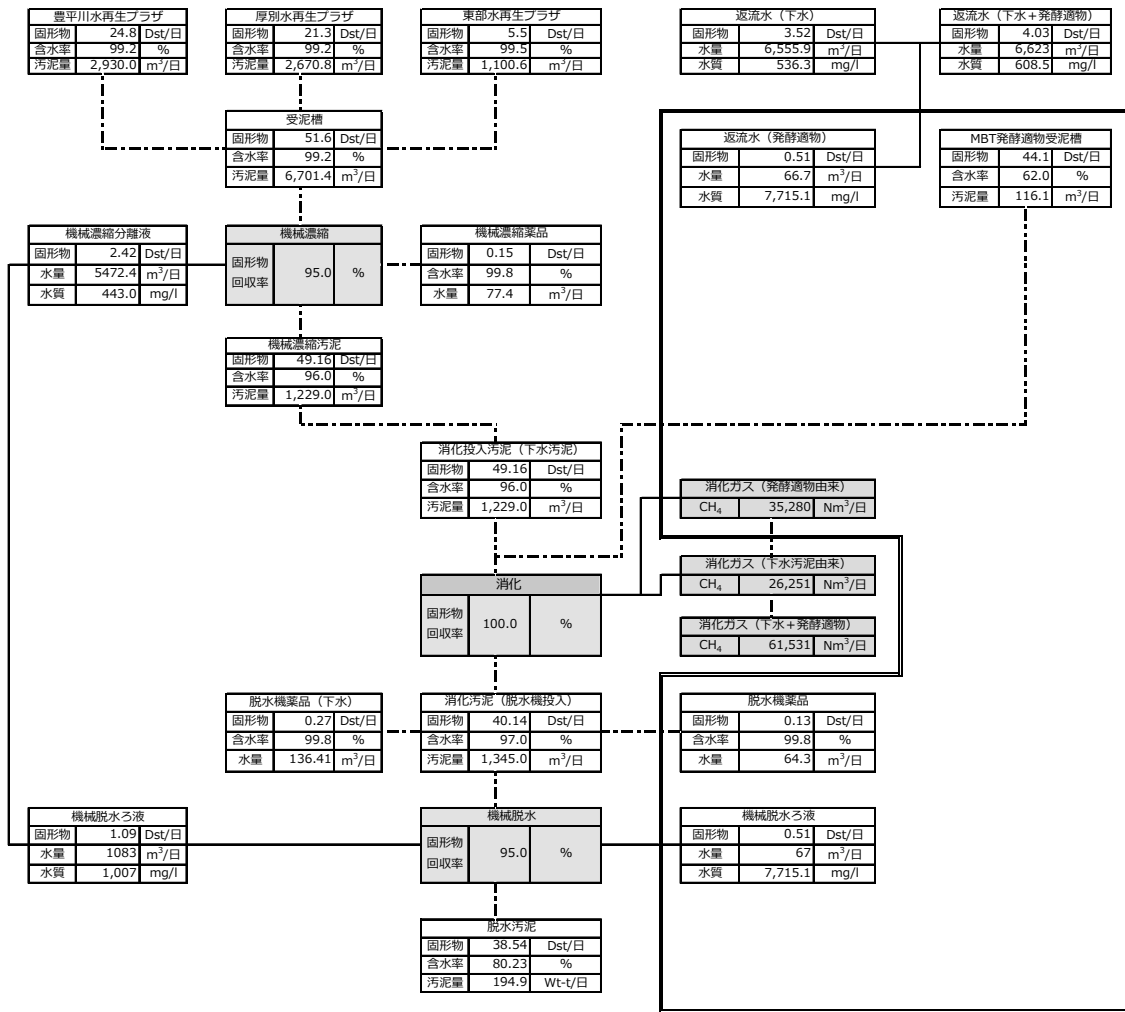
項目	単位	現況		導入技術			摘要
		消化無	下水道 嫌気性消化有 ①	MBT 発酵適物消化槽 ②	下水道+MBT発酵適物 ③=①+②		
固形物回収率	重力濃縮	%	85.0	85.0			
	機械濃縮	%	95.0	95.0			
	消化	%	100.0	100.0	100.0		
	機械脱水	%	95.0	95.0	95.0		
薬品注入率	機械濃縮	%	0.3	0.3			
	脱水設備	%	1.0	1.0	1.0		
消化（脱水） 投入汚泥	VS/TS	%	89	89	77		
	消化効率	%		50	92		
豊平川水再生 ブラザ 送泥量	固形物量	Dst/日	24.8	24.8			
	含水率	%	99.2	99.2			
	汚泥量	m ³ /日	2,930	2,930			
厚別水再生ブ ラザ 送泥量	固形物量	Dst/日	21.3	21.3			
	含水率	%	99.2	99.2			
	汚泥量	m ³ /日	2,671	2,671			
東部水再生ブ ラザ 送泥量	固形物量	Dst/日	5.5	5.5			
	含水率	%	99.5	100			
	汚泥量	m ³ /日	1,101	1,101			
受泥槽 受入量	固形物量	Dst/日	51.6	51.6	44.1		発酵適物投入固形物量は設定値
	含水率	%	99.2	99.2	62.0		
	汚泥量	m ³ /日	6,701	6,701	116		清掃工場機械選別後116t/d
機械濃縮薬品	固形物量	Dst/日	0.155	0.155			
	含水率	%	99.8	99.8			
	水量	m ³ /日	77.4	77.4			
機械濃縮汚泥	固形物量	Dst/日	49.16	49.16			
	含水率	%	96.0	94.0			
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	819.3			
消化投入汚泥	固形物量	Dst/日		49.16	44.10	93.26	
	含水率	%		94.0	62.0	90.0	混合汚泥の含水率は加重平均値
	汚泥量	m ³ /日		819.3	116.1	935.4	
消化ガス	投入有機物量	Dst/日	43.75	33.96	77.71		
	分解有機物量	Dst/日	21.88	31.24	53.12		
	投入有機物当たり発生量	m ³ /kg		0.60	0.80	0.792	混合汚泥の発生量は加重平均値
	消化ガス発生量	Nm ³ /日		26,251	35,280	61,531	
消化汚泥	固形物量	Dst/日		27.28	12.86	40.14	
	含水率	%		96.7	88.9	95.7	
	汚泥量	m ³ /日		819.3	116.1	935.4	
脱水機投入	固形物量	Dst/日	49.16	27.28	12.86	40.14	
	含水率	%	96.0	96.7	88.9	95.7	
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	819.3	116.1	935.4	
脱水機薬品	固形物量	Dst/日	0.49	0.27	0.13	0.40	
	含水率	%	99.8	99.8	99.8	99.8	
	水量	m ³ /日	245.8	136.4	64.3	200.7	
脱水ケーキ	固形物量	Dst/日	47.19	26.19	12.35	38.54	
	含水率	%	80.0	82.0	75.0	80.2	
	汚泥量	Wt-t/日	236.0	145.5	49.4	194.9	
返流水 固形物量	機械濃縮	Dst/日	2.42	2.42			
	脱水	Dst/日	1.97	1.09	0.51	1.61	
	計	Dst/日	4.39	3.52	0.51	4.03	
返流水 水量	機械濃縮	m ³ /日	5,472	5,882			
	脱水	m ³ /日	993	674	67	740	
	計	m ³ /日	6,465	6,556	67	6,623	
返流水 SS水質	機械濃縮	mg/l	443.0	412.2			
	脱水	mg/l	1,980.2	1,619.6	7,715.1	2,168.5	
	平均	mg/l	679.1	536.3	7,715.1	608.5	

表-4 (参考) 固形物収支計算 (超高濃度消化【8%】、生ごみMBT)

項目	単位	現況		導入技術			摘要
		消化無	下水道 嫌気性消化有 ①	MBT 発酵適物消化槽 ②	下水道+MBT発酵適物 ③=①+②		
固形物回収率	重力濃縮	%	85.0	85.0			
	機械濃縮	%	95.0	95.0			
	消化	%	100.0	100.0	100.0		
	機械脱水	%	95.0	95.0	95.0		
薬品注入率	機械濃縮	%	0.3	0.3			
	脱水設備	%	1.0	1.0	1.0		
消化(脱水) 投入汚泥	VS/TS	%	89	89	77		
	消化効率	%		50	92		
豊平川水再生 プラザ	固形物量	Dst/日	24.8	24.8			
	含水率	%	99.2	99.2			
送泥量	汚泥量	m ³ /日	2,930	2,930			
	固形物量	Dst/日	21.3	21.3			
厚別水再生ブ ラザ	含水率	%	99.2	99.2			
	汚泥量	m ³ /日	2,671	2,671			
東部水再生ブ ラザ	固形物量	Dst/日	5.5	5.5			
	含水率	%	99.5	100			
送泥量	汚泥量	m ³ /日	1,101	1,101			
	固形物量	Dst/日	51.6	51.6	44.1		発酵適物投入固形物量は設定値
受泥槽 受入量	含水率	%	99.2	99.2	62.0		
	汚泥量	m ³ /日	6,701	6,701	116		清掃工場機械選別後116t/d
機械濃縮薬品	固形物量	Dst/日	0.155	0.155			
	含水率	%	99.8	99.8			
	水量	m ³ /日	77.4	77.4			
機械濃縮汚泥	固形物量	Dst/日	49.16	49.16			
	含水率	%	96.0	92.0			超高濃度8%投入
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	614.5			
消化投入汚泥	固形物量	Dst/日		49.16	44.10	93.26	
	含水率	%		92.0	62.0	87.2	混合汚泥の含水率は加重平均値 <90%
	汚泥量	m ³ /日		614.5	116.1	730.5	
消化ガス	投入有機物量	Dst/日		43.75	33.96	77.71	
	分解有機物量	Dst/日		21.88	31.24	53.12	
	投入有機物当たり発生量	m ³ /kg		0.60	0.80	0.792	混合汚泥の発生量は加重平均値
	消化ガス発生量	Nm ³ /日		26,251	35,280	61,531	
消化汚泥	固形物量	Dst/日		27.28	12.86	40.14	
	含水率	%		95.6	88.9	94.5	
	汚泥量	m ³ /日		614.5	116.1	730.5	
脱水機投入	固形物量	Dst/日	49.16	27.28	12.86	40.14	
	含水率	%	96.0	95.6	88.9	94.5	
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	614.5	116.1	730.5	
脱水機薬品	固形物量	Dst/日	0.49	0.27	0.13	0.40	
	含水率	%	99.8	99.8	99.8	99.8	
	水量	m ³ /日	245.8	136.4	64.3	200.7	
脱水ケーキ	固形物量	Dst/日	47.19	26.19	12.35	38.54	
	含水率	%	80.0	82.0	75.0	80.2	
	汚泥量	Wt-t/日	236.0	145.5	49.4	194.9	
返流水 固形物量	機械濃縮	Dst/日	2.42	2.42			
	脱水	Dst/日	1.97	1.09	0.51	1.61	
	計	Dst/日	4.39	3.52	0.51	4.03	
返流水 水量	機械濃縮	m ³ /日	5,472	6,087			
	脱水	m ³ /日	993	469	67	536	
	計	m ³ /日	6,465	6,556	67	6,623	
返流水 SS水質	機械濃縮	mg/l	443.0	398.3			
	脱水	mg/l	1,980.2	2,327.0	7,715.1	2,997.7	
	平均	mg/l	679.1	536.3	7,715.1	608.5	

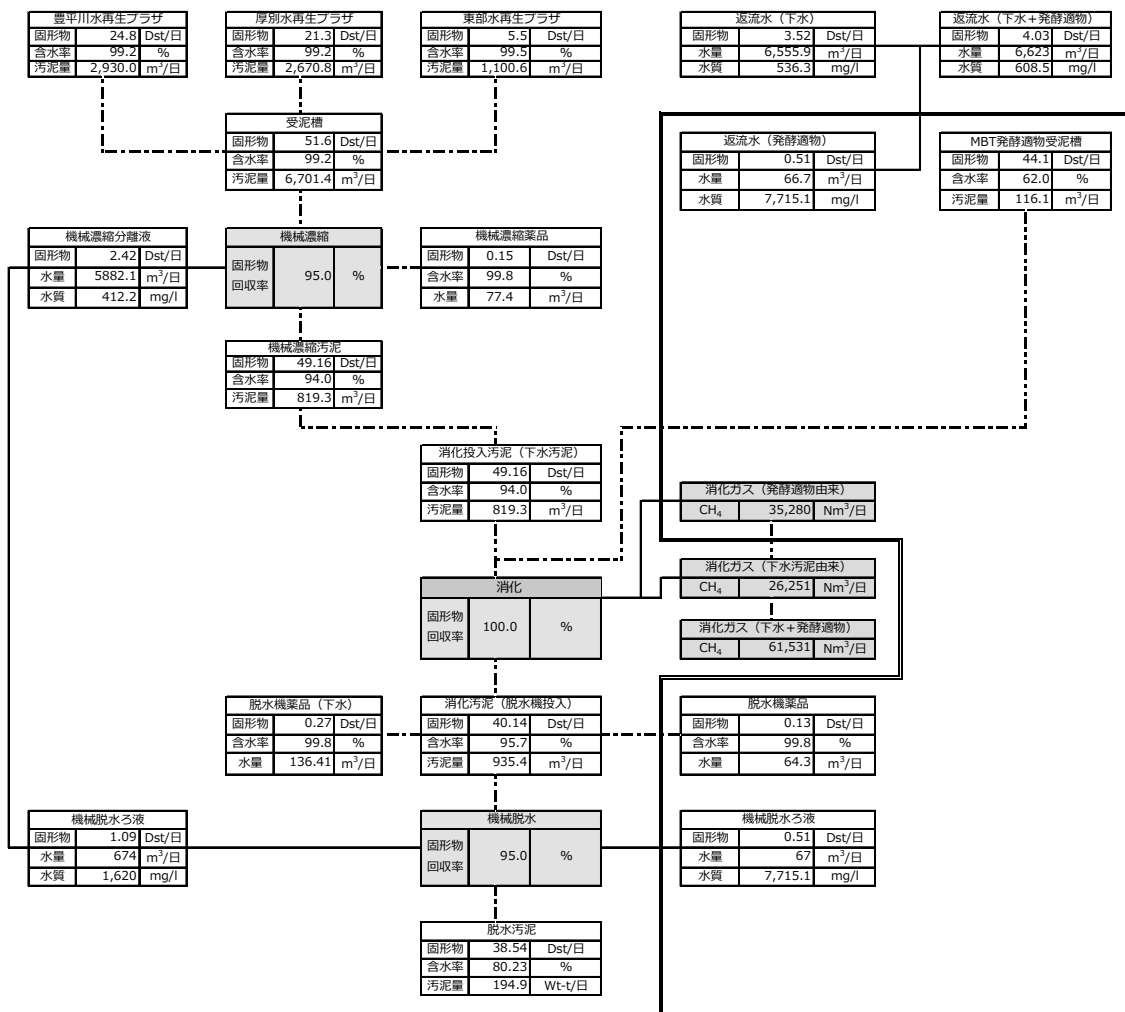


図一 2 固形物収支計算 (現況 : 下水汚泥のみ)



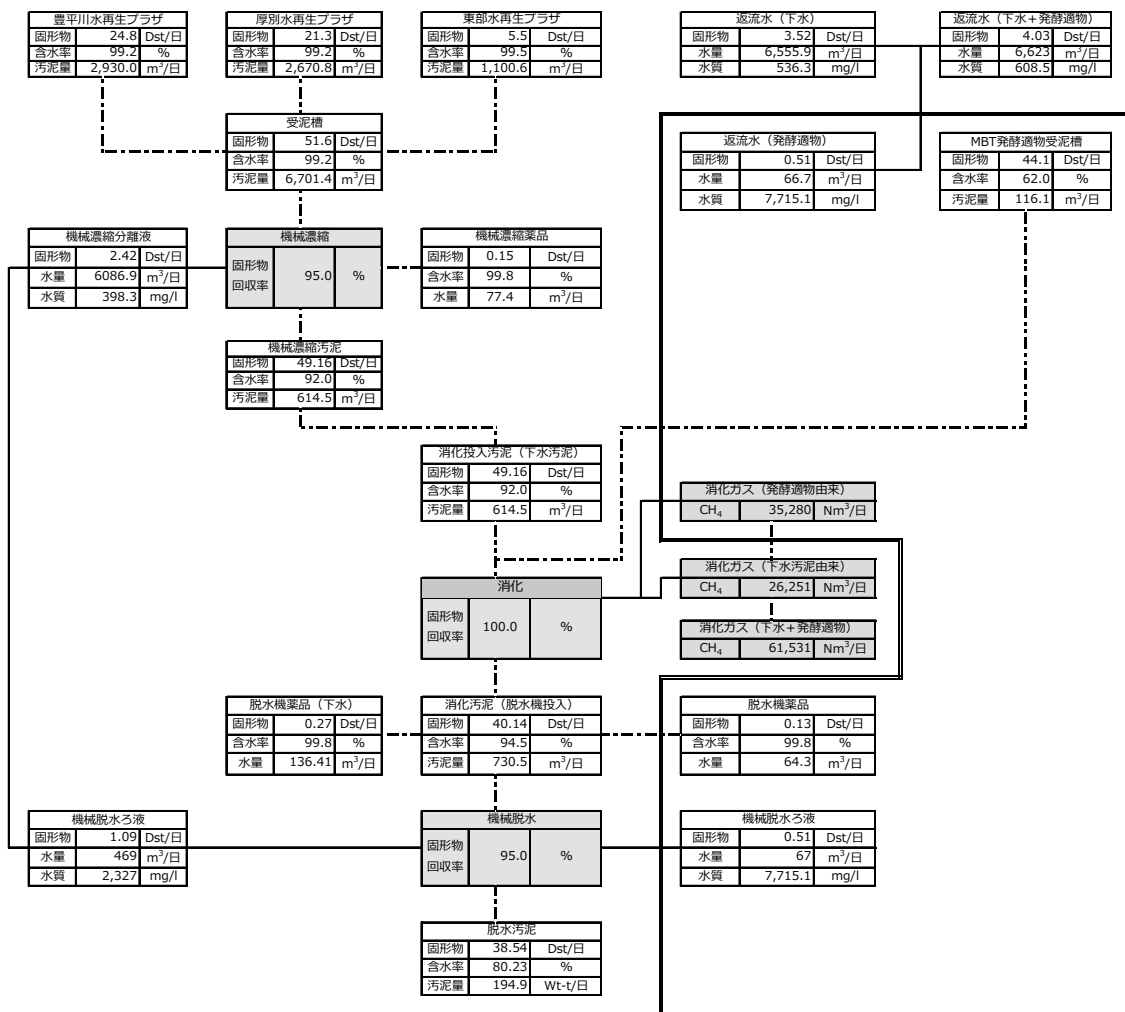
□ : 清掃工場側の収支

図-3 ケースA : 固形物収支計算 (東部 SC 消化工程導入、高濃度消化【4%】)



☐ : 清掃工場側の収支

図-4 ケースB: 固形物収支計算 (東部 SC 消化工程導入、超高濃度消化【6%】)




 : 清掃工場側の収支

図-5 (参考) 固形物収支計算 (東部 SC 消化工程導入、超高濃度消化【8%】)

3) 消化ガス発生量

消化ガス発生量を表-5及び図-6に示す。ケースA、Bとも61,531 m³/日の消化ガス発生量となり、国内最大規模のバイオガス発生プラントとなる。

なお、消化ガス発生量は、固形物濃度の違いによって変化しない。

表-5 消化ガス発生量

種別	単位	導入技術		
		下水消化	MBT発酵適物消化	下水+MBT計
消化ガス発生量	m ³ /日	26,251	35,280	61,531

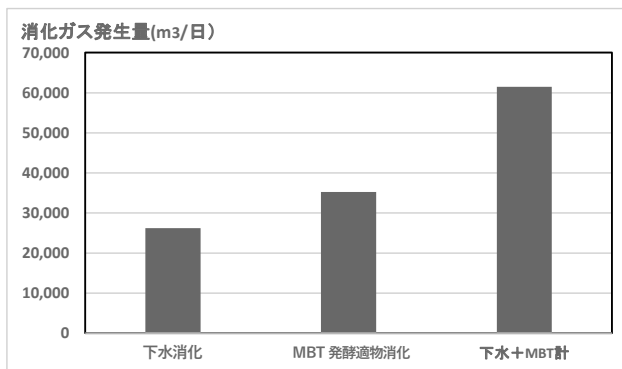


図-6 消化ガス発生量

4) 消化槽の必要槽数及び必要用地面積

東部スラッジセンターに消化槽を設置する場合の容量計算及び必要用地面積を以下に示す。

なお、下水汚泥について消化槽投入固形物濃度：8%の超高濃度消化を行う場合、発酵適物と混合した後の消化槽投入固形物濃度が10%を超えるため、導入不可となる。このため、4%及び6%の場合について検討する。

①ケースA（消化槽投入固形物濃度：4%）

消化槽投入固形物濃度が4%の場合の消化工程容量計算は表-6となる。また、必要用地面積は図-7のとおりである。

消化槽の必要基数は6槽となる。ただし、うち3槽は下水汚泥と発酵適物の混合槽となる。この構成で、消化槽投入固形物濃度を各槽10%以下とすることができる。

表-6 消化工程容量計算書（ケースA、高濃度消化【4%】）

項目	区分	単位	記号	嫌気性消化槽							摘要		
				全体	1 (下水専用)	2 (下水専用)	3 (下水専用)	4 (下水+発酵適物)	5 (下水+発酵適物)	6 (下水+発酵適物)		合計	
消化投入汚泥 含水率	下水	(%)	-	96	96	96	96	96	96	96	96	-	
	MBT	(%)	-	62	-	-	-	62	62	62	62	-	
消化投入汚泥 量	下水	(m ³ /日)	a	1,229.0	224.2	224.2	224.2	185.5	185.5	185.5	1,229.0		
	MBT	(m ³ /日)	b	116.1	-	-	-	38.7	38.7	38.7	116.1		
	計	(m ³ /日)	①=a+b	1,345.0	224.2	224.2	224.2	224.2	224.2	224.2	1,345.0		
消化投入汚泥 固形物量	下水	(Ds-t/日)	d	49.2	9.0	9.0	9.0	7.4	7.4	7.4	49.2		
	MBT	(Ds-t/日)	e	44.1	-	-	-	14.7	14.7	14.7	44.1		
	計	(Ds-t/日)	②=d+e	93.3	9.0	9.0	9.0	22.1	22.1	22.1	93.3		
消化投入汚泥 含水率	下水	(Ds-t/日)	100-d/a/100	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0		
	MBT	(Ds-t/日)	100-e/b/100	62.0	-	-	-	62.0	62.0	62.0	62.0		
	計	(Ds-t/日)	100-②/①/100	93.1	96.0	96.0	96.0	90.1	90.1	90.1	93.1	90%以上 ※1	
消化日数	計画	(日)	②	25	25	25	25	25	25	25	25	25日標準 ※1	
必要消化槽容量		(m ³)	③=①×②	33,625	5,604	5,604	5,604	5,604	5,604	5,604	33,625		
消化槽形式			-	円筒形鋼板製消化槽									
1基あたり容量		(m ³)	④	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	1千、2千、3千、6千 標準	
基数			⑤	6	1	1	1	1	1	1	6	最大6,000m ³ /基 最低2基	
消化容量		(m ³)	⑥=④×⑤	36,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	36,000		
消化日数	計算	(日)	⑦=⑥÷①	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	>25日	
タンク径		(m)	-	21	21	21	21	21	21	21	21	※1	
タンク径高さ		(m)	-	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	※1	
付属設備			-	MBT貯留槽、ごみ焼却炉排熱熱交換設備、余剰ガス燃焼炉、脱硫装置、消化ガス場外供給設備									

※1【鋼板製消化タンク技術マニュアル】（2013年3月 財団法人下水道新技術推進機構）

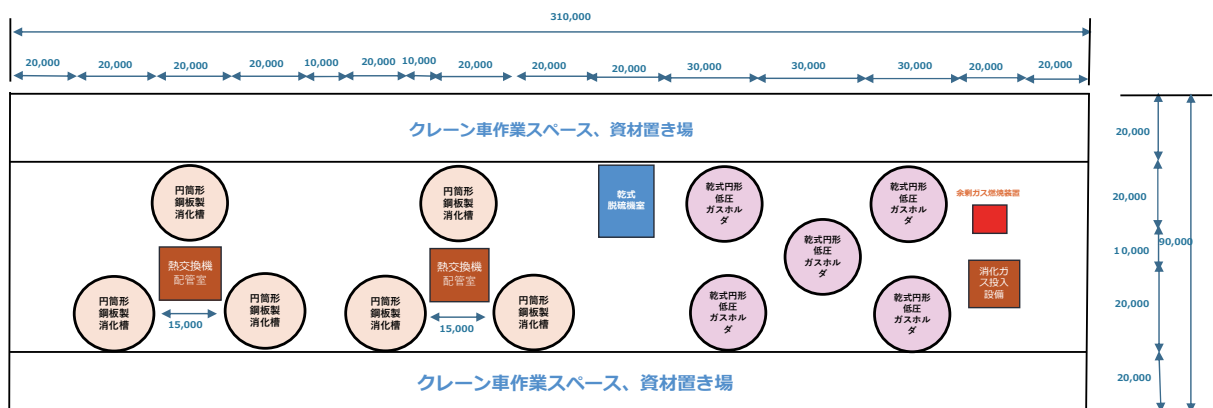


図-7 必要用地面積（高濃度消化、消化槽投入汚泥【4%】）

②ケースB（消化槽投入固形物濃度：6%）

消化槽投入固形物濃度を6%とした場合の消化工程容量計算は表-7となる。また、必要用地面積は図-8のとおりである。

表-7 消化工程容量計算書（ケースB、超高濃度消化【6%】）

項目	区分	単位	記号	嫌気性消化槽					概要	
				全体	槽別					
					1 (下水+発酵適物)	2 (下水+発酵適物)	3 (下水+発酵適物)	4 (下水+発酵適物)		合計
消化投入汚泥含水率	下水	(%)	-	94	94	94	94	94	-	
	MBT	(%)	-	62	62	62	62	62	-	
消化投入汚泥量	下水	(m ³ /日)	a	819.3	204.8	204.8	204.8	204.8	819.3	
	MBT	(m ³ /日)	b	116.1	29.0	29.0	29.0	29.0	116.1	
	計	(m ³ /日)	①=a+b	935.4	233.8	233.8	233.8	233.8	935.4	
消化投入汚泥固形物量	下水	(Ds-t/日)	d	49.2	12.3	12.3	12.3	12.3	49.2	
	MBT	(Ds-t/日)	e	44.1	11.0	11.0	11.0	11.0	44.1	
	計	(Ds-t/日)	②=d+e	93.3	23.3	23.3	23.3	23.3	93.3	
消化投入汚泥含水率	下水	(Ds-t/日)	100-d/a/100	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	
	MBT	(Ds-t/日)	100-e/b/100	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	
	計	(Ds-t/日)	100-②/①/100	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90%以上
消化日数	計画	(日)	③	25	25	25	25	25	25	25日標準 ※1
必要消化槽容量		(m ³)	③=①×②	23,384	5,846	5,846	5,846	5,846	23,384	
消化槽形式				円筒形鋼板製消化槽						
1基あたり容量		(m ³)	④	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	1千、2千、3千、6千 標準
基数			⑤	4	1	1	1	1	4	最大6,000m ³ /基 最低2基
消化容量		(m ³)	⑥=④×⑤	24,000	6,000	6,000	6,000	6,000	24,000	
消化日数	計算	(日)	⑦=⑥÷①	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	>25日
タンク径		(m)		21	21	21	21	21	21	※1
タンク径高さ		(m)		20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	※1
付属設備				MBT貯留槽、ごみ焼却炉排熱熱交換設備、余剰ガス燃焼炉、脱硫装置、消化ガス場外供給設備						

※1「鋼板製消化タンク技術マニュアル」（2013年3月 財団法人下水道新技術推進機構）

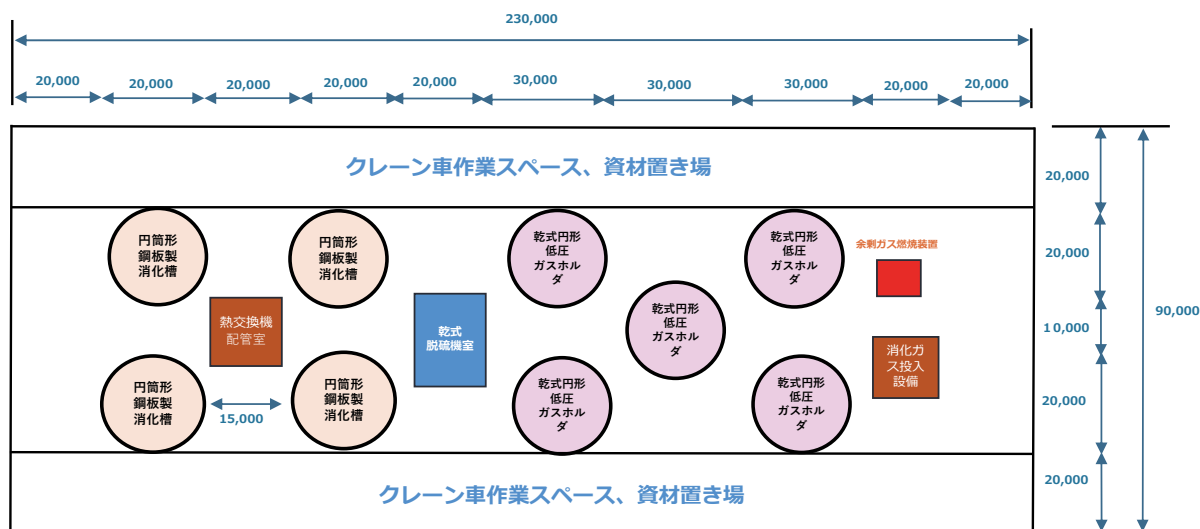


図-8 必要用地面積（超高濃度消化、消化槽投入汚泥【6%】）

消化槽の必要基数は4槽となる。ただし、全槽が下水汚泥と発酵適物の混合槽となり緑農地利用に適した脱水汚泥の生成はできない。この編成で消化槽投入固形物濃度を10%以下とすることができる。

下水汚泥のみの消化槽を確保するため下水汚泥と発酵適物の配分を再検討した結果は表-8に示すとおりである。下水汚泥のみの消化槽の規模が小さくなりすぎるため、現実的な結果が得られなかった。これは、発酵適物と下水汚泥の混合の場合に含水率を90%以上とするため、混合槽に含水率の高い下水汚泥を多量に混合する必要があるためである。

表－8 消化工程容量計算書（ケースB、超高濃度消化【6%】、1槽下水汚泥のみ）

項目	区分	単位	記号	嫌気性消化槽						摘要
				全体	槽別				合計	
					1 (下水+発酵 適物)	2 (下水+発酵 適物)	3 (下水+発酵 適物)	4 (下水専用)		
消化投入汚泥 含水率	下水	(%)	-	94	94	94	94	94	-	
	MBT	(%)	-	62	62	62	62		-	
消化投入汚泥 量	下水	(m ³ /日)	a	819.3	270.0	270.0	270.0	9.3	819.3	
	MBT	(m ³ /日)	b	116.1	38.7	38.7	38.7		116.1	
	計	(m ³ /日)	①=a+b	935.4	308.7	308.7	308.7	9.3	935.4	
消化投入汚泥 固形物量	下水	(Ds-t/日)	d	49.2	16.2	16.2	16.2	0.6	49.2	
	MBT	(Ds-t/日)	e	44.1	14.7	14.7	14.7		44.1	
	計	(Ds-t/日)	②=d+e	93.3	30.9	30.9	30.9	0.6	93.3	
消化投入汚泥 含水率	下水	(Ds-t/日)	100-d/a/100	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	
	MBT	(Ds-t/日)	100-e/b/100	62.0	62.0	62.0	62.0		62.0	
	計	(Ds-t/日)	100-②/①/100	90.0	90.0	90.0	90.0	94.0	90.0	90%以上
消化日数	計画	(日)	②	25	25	25	25	25	25	25日標準 ※1
必要消化槽容量		(m ³)	③=①×②	23,384	7,717	7,717	7,717	233	23,384	

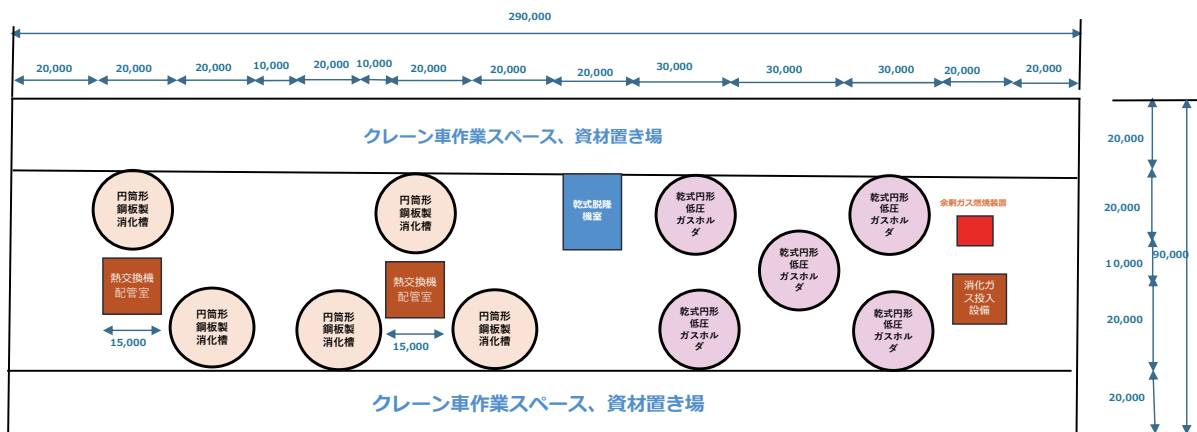
そこで、発酵適物の含水率をあげるために、下水処理ろ過水（SS 2%以下、計算上は固形物濃度 0%）を希釈水として混合し、含水率を 90%まで高めることとする場合、表－9 及び図－9 に示すとおり下水汚泥と発酵適物の混合槽 2 槽、下水汚泥専用槽が 3 槽の編成で、槽数は 5 槽となった。

消化槽への投入固形物濃度について、発生汚泥との混合や下水処理水による希釈などにより、投入固形物濃度を 10%以下まで低減可能であるが、消化槽の容量が増加する結果となった。

表－9 消化工程容量計算書（ケースB、超高濃度消化【6%】、発酵適物に対し希釈水混合）

項目	区分	単位	記号	嫌気性消化槽						摘要	
				全体	槽別				合計		
					1 (下水+発酵 適物)	2 (下水+発酵 適物)	3 (下水専用)	4 (下水専用)			5 (下水専用)
消化投入汚泥 含水率	下水	(%)	-	94	94	94	94	94	94	-	
	MBT	(%)	-	62	62	62				-	
	希釈水	(%)	-	0	100	100				-	
消化投入汚泥 量	下水	(m ³ /日)	a	819.3			273.1	273.1	273.1	819.3	
	MBT	(m ³ /日)	b	116.1	58.0	58.0				116.1	
	希釈水	(m ³ /日)	c	324.0	162.0	162.0				324.0	
計	(m ³ /日)	①=a+b+c	1,259.4	220.0	220.0	273.1	273.1	273.1	1,259.4		
消化投入汚泥 固形物量	下水	(Ds-t/日)	d	49.2			16.4	16.4	16.4	49.2	
	MBT	(Ds-t/日)	e	44.1	22.1	22.1				44.1	
	希釈水	(Ds-t/日)	f	0.0	0.0	0.0				0.0	
計	(Ds-t/日)	②=d+e+f	93.3	22.1	22.1	16.4	16.4	16.4	93.3		
消化投入汚泥 含水率	下水	(Ds-t/日)	100-d/a/100	94.0			94.0	94.0	94.0	94.0	
	MBT	(Ds-t/日)	100-e/b/100	62.0	62.0	62.0				62.0	
	希釈水	(Ds-t/日)	100-f/c/100	100.0	100.0	100.0				100.0	
計	(Ds-t/日)	100-②/①/100	92.6	90.0	90.0	94.0	94.0	94.0	92.6	90%以上	
消化日数	計画	(日)	②	25	25	25	25	25	25	25日標準 ※1	
必要消化槽容量		(m ³)	③=①×②	31,484	5,501	5,501	6,828	6,828	6,828	31,484	
消化槽形式				円筒形鋼板製消化槽							
1基あたり容量	(m ³)	④	-	5,600	5,600	6,900	6,900	6,900	31,900	1千、2千、3千、6千 標準	
基数		⑤	5	1	1	1	1	1	5	最低2基	
消化容量	(m ³)	⑥=④×⑤	-	5,600	5,600	6,900	6,900	6,900	31,900		
消化日数	計算	(日)	⑦=⑥÷①	-	25.5	25.5	25.3	25.3	25.3	>25日	
タンク径	(m)	-	-	21	21	21	21	21	-	※1 A=346m ²	
タンク径高さ	(m)	-	-	19	19	23.4	23.4	23.4	-	※1 有効水深=高さ×0.85	
付属設備				MBT貯留槽、ごみ焼却炉排熱熱交換設備、余剰ガス燃焼炉、脱硫装置、消化ガス場外供給設備							

※1 「鋼板製消化タンク技術マニュアル」(2013年3月 財団法人下水道新技術推進機構)



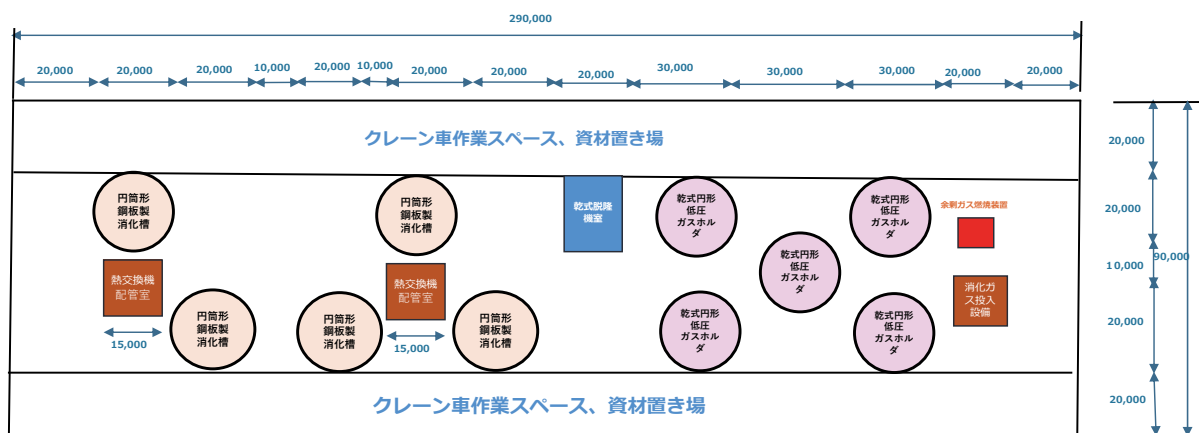
図－9 必要用地面積（超高濃度消化、消化槽投入汚泥【6%】、発酵適物に対し希釈水混合）

このため、下水汚泥と発酵適物との混合について、下水汚泥濃縮前の発生汚泥(含水率99.2%)と発酵適物を混合する場合を想定した。検討結果は表－10 及び図－10 のとおりである。また、この場合の固形物収支を表－11 に示す。機械濃縮投入汚泥の低減も可能であることから、これを採用案とする。また、ガスホルダの容量計算書を表－12 に示す。

表－10 消化工程容量計算書（ケースB、超高濃度消化【6%】、発生汚泥で希釈）

項目	区分	単位	記号	嫌気性消化槽								摘要		
				全体	槽別								合計	
				1 (下水+発酵適物)	2 (下水+発酵適物)	小計(1+2)	3 (下水専用)	4 (下水専用)	5 (下水専用)	小計	合計			
消化投入汚泥	下水	(%)	-	-	99.2	99.2	-	94	94	94	-	-		
含水率	MBT	(%)	-	62	62	62	-	-	-	-	-	-		
消化投入汚泥量	下水	(m³/日)	a	-	180.0	180.0	360.0	258.4	258.4	258.4	775.3	1,135.3		
	MBT	(m³/日)	b	116.1	58.0	58.0	116.1	-	-	-	-	116.1		
	計	(m³/日)	①=a+b	116.1	238.0	238.0	476.1	258.4	258.4	258.4	775.3	1,251.3		
消化投入汚泥固形物量	下水	(Ds-t/日)	d	49.2	1.4	1.4	2.9	15.5	15.5	15.5	46.5	49.4		
	MBT	(Ds-t/日)	e	44.1	22.1	22.1	44.1	-	-	-	44.1	44.1		
	計	(Ds-t/日)	②=d+e	93.3	23.5	23.5	47.0	15.5	15.5	15.5	46.5	93.5		
消化投入汚泥含水率	下水	(%)	100-d/a/100	-	99.2	99.2	99.2	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	95.6	
	MBT	(%)	100-e/b/100	62.0	62.0	62.0	62.0	-	-	-	62.0	62.0		
	計	(%)	100-②/①/100	19.6	90.1	90.1	90.1	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	92.5	90%以上
消化日数	計画	(日)	②	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25日標準 ※1	
必要消化槽容量		(m³)	③=①×②	2,901	5,951	5,951	11,901	6,461	6,461	6,461	19,382	31,284		
消化槽形式				円筒形鋼板製消化槽										
1基あたり容量		(m³)	④	-	6,000	6,000	12,000	6,500	6,500	6,500	19,500	31,500	1千、2千、3千、6千 標準	
基数			⑤	-	1	1	2	1	1	1	3	-	最低2基	
消化容量		(m³)	⑥=④×⑤	-	6,000	6,000	12,000	6,500	6,500	6,500	19,500	31,500		
消化日数	計算	(日)	⑦=⑥/③	-	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	>25日	
タンク径		(m)		-	21	21	-	21	21	21	-	-	※1 A=346m²	
タンク径高さ		(m)		-	20.35	20.35	-	22.1	22.1	22.1	-	-	※1 有効水深=高さ×0.85	
付属設備				MBT貯留槽、ごみ焼却炉排熱熱交換設備、余剰ガス燃焼炉、脱酸装置、消化ガス場外供給設備										

※1 「鋼板製消化タンクマニュアル」(2013年3月 財団法人下水道新技術推進機構)



図－10 必要用地面積（超高濃度消化、消化槽投入汚泥【6%】、発生汚泥で希釈）

表-11 (ケースB) 固形物収支計算 (超高濃度消化【6%】、発生污泥希釈)

項目	単位	現況	導入技術					摘要
			消化無	下水道 嫌気性消化有 ①	下水道 嫌気性消化有 ①-1 (混合消 化槽投入)	下水道 嫌気性消化有 ①-2 (混合消 化槽投入)	MBT 発酵適物消化槽 ②	
固形物回収率	重力濃縮	%	85.0	85.0		85.0		
	機械濃縮	%	95.0	95.0		95.0		
	嫌気性消化	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
	機械脱水	%	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	
薬品注入率	機械濃縮	%	0.3	0.3	0.3	0.3		
	脱水設備	%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
消化(脱水)	VS/TS	%	89	89	89	89	77	
	投入污泥 消化効率	%		50	50	50	92	
豊平川水再生 ブラザ	固形物量	Dst/日	24.8	24.8				
	含水率	%	99.2	99.2				
	送泥量	m ³ /日	2,930	2,930				
厚別水再生ブ ラザ	固形物量	Dst/日	21.3	21.3				
	含水率	%	99.2	99.2				
	送泥量	m ³ /日	2,671	2,671				
東部水再生ブ ラザ	固形物量	Dst/日	5.5	5.5				
	含水率	%	99.5	100				
	送泥量	m ³ /日	1,101	1,101				
受泥槽 受入量	固形物量	Dst/日	51.6	51.6	2.8	48.8	44.1	発酵適物投入固形物量は設定値
	含水率	%	99.2	99.2	99.2	99.2	62.0	
	汚泥量	m ³ /日	6,701	6,701	360	6,341	116	清掃工場機械選別後116t/d
機械濃縮薬品	固形物量	Dst/日	0.155	0.155		0.146		
	含水率	%	99.8	99.8		99.8		
	水量	m ³ /日	77.4	77.4		73.2		
機械濃縮汚泥	固形物量	Dst/日	49.16	49.16		46.52		
	含水率	%	96.0	94.0		94.0		
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	819.3		775.3		
消化投入汚泥	固形物量	Dst/日		49.16	2.77	46.52	44.10	93.39
	含水率	%		94.0	99.2	94.0	62.0	92.5
	汚泥量	m ³ /日		819.3	360.0	775.3	116.1	1,251.3
消化ガス	投入有機物量	Dst/日	43.75	2.47	41.40	33.96		77.82
	分解有機物量	Dst/日	21.88	1.23	20.70	31.24		53.17
	投入有機物当たり発生量	m ³ /kg	0.60	0.60	0.60	0.80	-	
	消化ガス発生量	Nm ³ /日	26,251	1,663	24,840	35,280		61,783
消化汚泥	固形物量	Dst/日	27.28	1.54	25.82	12.86		40.21
	含水率	%	96.7	99.6	96.7	88.9		96.8
	汚泥量	m ³ /日	819.3	360.0	775.3	116.1		1,251.3
脱水機投入	固形物量	Dst/日	49.16	27.28	1.54	25.82	12.86	40.21
	含水率	%	96.0	96.7	99.6	96.7	88.9	96.8
	汚泥量	m ³ /日	1,229.0	819.3	360.0	775.3	116.1	1,251.3
脱水機薬品	固形物量	Dst/日	0.49	0.27	0.02	0.26	0.13	0.40
	含水率	%	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8
	水量	m ³ /日	245.8	136.4	7.7	129.1	64.3	201.1
脱水ケーキ	固形物量	Dst/日	47.19	26.19	1.48	24.78	12.35	38.61
	含水率	%	80.0	82.0	82.0	82.0	75.0	80.2
	汚泥量	Wt-t/日	236.0	145.5	8.2	137.7	49.4	195.3
返流水 固形物量	機械濃縮	Dst/日	2.42	2.42		2.29		2.29
	脱水	Dst/日	1.97	1.09	0.06	1.03	0.51	1.61
	計	Dst/日	4.39	3.52	0.06	3.33	0.51	3.90
返流水 水量	機械濃縮	m ³ /日	5,472	5,882		5,566		5,566
	脱水	m ³ /日	993	674	352	638	67	1,056
	計	m ³ /日	6,465	6,556	352	6,204	67	6,622
返流水 SS水質	機械濃縮	mg/l	443.0	412.2		412.2		412.2
	脱水	mg/l	1,980.2	1,619.6	174.9	1,619.6	7,715.1	1,523.2
	平均	mg/l	679.1	536.3	174.9	536.3	7,715.1	589.3

表-12 ガスホルダ容量計算書 (ケースA、B共通)

項目	区分	単位	記号	ガスホルダ	摘要
消化ガス発生量	下水	(m ³ /日)	a	26,251	
	MBT	(m ³ /日)	b	35,280	
	計	(m ³ /日)	①=a+b	61,531	
消化ガス貯留時間	計画	(時)	②	12	
必要ガスホルダ容量		(m ³)	③ = ① × (②/24)	30,765	
形式			-	乾式円形低圧ガスホルダ	
1基あたり容量		(m ³)	④	6,000	
基数		-	⑤	5	最低2基
総容量		(m ³)	⑥ = ④ × ⑤	30,000	
タンク径		(m)	-	18	A = 254.34m ²
タンク高さ		(m)	-	24	
消化ガス貯留時間	計算	(時)	⑥/③ × 24時間	11.7	≒12時間

4. 検討結果のまとめ

検討結果のまとめを表-13に示す。

表-13 検討結果のまとめ

検討項目	ケースA	ケースB	ケースB（下水専用槽確保）
消化槽投入 固形物濃度	4%（高濃度消化）	6%（超高濃度消化）	6%（超高濃度消化） 発生汚泥との混合
必要面積	310m×90m=27,900m ²	230m×90m=20,700m ²	290m×90m=26,100m ²
消化槽	6,000m ³ ×6 槽 （内3基下水専用）	6,000m ³ ×4 槽 （すべて下水汚泥と発 酵適物との混合槽）	6,000m ³ ×5 槽 （下水汚泥と発酵適物との混合槽 2 槽、下水汚泥専用槽 3 槽）
消化ガス発生量	61,531 m ³ /日	同左	同左
ガスホルダ	6,000m ³ ×5 基	同左	同左

- 消化槽へ投入する固形物濃度を6%の超高濃度消化にすることで、4%の高濃度消化に比べて、消化槽の容量は2/3となり、必要用地面積も3/4となる。
- 一方で、投入固形物濃度を10%以下にする制約があるため、6%の超高濃度消化の場合、下水汚泥のみの消化槽が確保できない。
- そこで、6%の超高濃度消化のケースで、下水汚泥濃縮前の発生汚泥（含水率99.2%）と発酵適物を混合する場合を想定したところ、下水汚泥専用槽を3槽確保できる結果となった。濃縮前の発生汚泥との混合は、機械濃縮投入汚泥の低減につながることから、消化槽の数と必要面積はケースBに比べて大きくなるものの、最も現実的なケースである。
- 消化ガスの発生量は、どのケースも61,531 m³/日であり、国内最大規模の消化ガス発生施設となる。さらに、消化槽の加温等の熱源として、清掃工場の排熱を利用することで、全量有効利用が可能となる。
- ガスホルダについては、ガス発生量が投入有機物量で決まるため、必要容量は同じとなる。

5. 導入にあたっての課題

導入にあたっての課題は以下のとおりであり、具体的な導入計画を進めるに際しては、これらの課題について、事前検討を行う必要がある。

- ごみ焼却炉更新時にMB Tを導入する場合、ごみと下水と別々に処理を行う場合とごみ焼却炉にMB Tを導入し下水との共同処理を行う場合のLCC比較を行う必要がある。
- 今回の検討では、MB T後の発酵適物と下水汚泥の混合処理を行う消化槽については、投入固形物濃度をアンモニア阻害が発生しないとされている10%以下で投入する計画としているが、引き続き、投入汚泥と発酵適物混合時の固形物濃度の管理方法、槽内攪拌性や槽内温度の均一性に関する技術的課題など、アンモニア阻害の発生しない運転管理方法等について検討を進める必要がある。
- ガスホルダは従来からの下水処理の考え方に準じ貯留時間12時間で容量を決定しているが、需要側の条件により発生したメタンガスを連続的にガス導管へ注入できる場合には、貯留時間を短くできると考えられるため、需要者側との調整が必要である。
- MB T発酵適物が混合され、最終的に発生した脱水汚泥の一部については、プラスチックなどの混

入が見込まれるため、緑農地利用には不向きと考えられる。そのためごみ焼却炉での混焼が望ましいが、ごみ焼却炉の更新に際しては、混焼に適した投入及び混焼管理方法等を事前に検討しておく必要がある。