

第4章 計画・設計

第1節 基本計画

§ 25 計画・設計手順

導入施設の計画・設計は、基本事項の検討、基本検討、導入効果の算定、全体システム
の設計、個別技術の設計の順序で行う。

【解 説】

第3章導入検討において、最も導入効果が見込まれるとして選定された導入シナリオに沿って、
施設の導入計画・設計を行う。検討手順の全体フローを図4-1に示す。

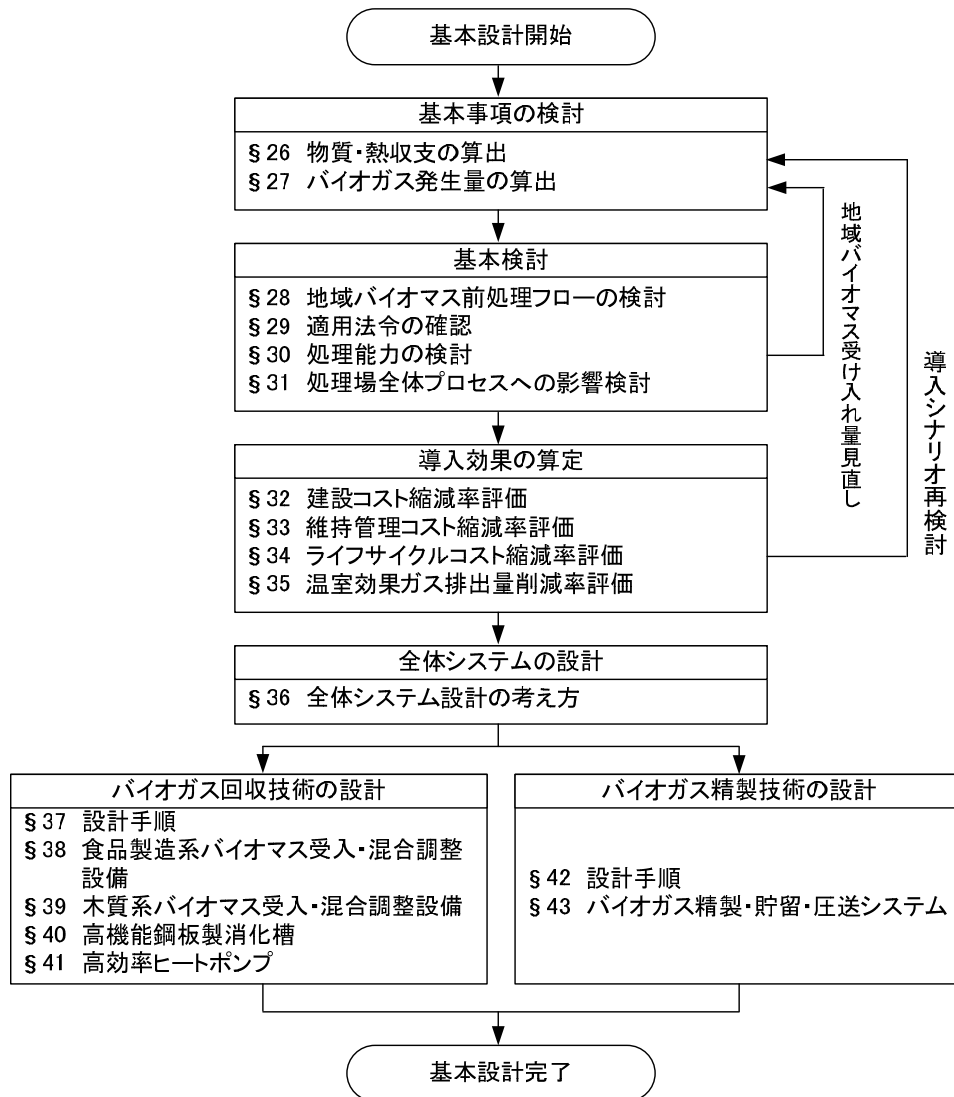


図4-1 導入施設の計画・設計手順

§ 26 物質・熱収支の算出

計画投入汚泥量，汚泥性状等を踏まえて，導入施設の物質収支を算出する。同様に，導入施設のエネルギー使用量および熱収支を算出する。

【解 説】

導入施設の物質収支，エネルギー使用量および熱収支を算出する。

まず，物質収支を算出する。地域バイオマス受け入れありの場合の革新的技術システム全体の算出例（下水汚泥 7 t-ds/日＋地域バイオマス 3.4 t-ds/日規模）を表 4-1 に示す。

表 4-1 革新的技術の物質収支（下水汚泥 7 t-ds/日＋地域バイオマス 3.4 t-ds/日規模）

		単位	下水汚泥		地域バイオマス		合計
			濃縮汚泥	余剰汚泥（木質希釈用）	食品製造系	木質系	
処理量 （消化槽 投入量）	湿重量	t-wet/日	172.0	20.8	8.8	1.3	202.9
	固形物量	t-ds/日	6.9	0.1	2.2	1.2	10.4
	水分量	t/日	165.1	20.7	6.6	0.1	192.5
	有機物量	t-VS/日	5.5	0.1	2.0	1.1	8.7
計算条件	固形物濃度（TS）	%	4.0	0.6	25	95	5.1
	有機物濃度（VS）	%	3.2	0.5	22.5	90.3	4.3
	VS 分解率	%	50		85	30	55.3
	バイオガス発生量 （メタン 60%換算）	m³N/t- 投入 VS	500		556	526	516
	脱水汚泥含水率	%	79.6				79.6
計算結果	分解有機物量	t-VS/日	2.80		1.68	0.34	4.83
	消化汚泥中有機物量	t-VS/日	2.80		0.30	0.80	3.90
	消化汚泥中固形物量	t-ds/日	4.20		0.52	0.86	5.58
	バイオガス発生量	m³N/日	2,802		1,100	600	4,502
	精製バイオガス量	m³N/日	1,681		660	360	2,701
	脱水汚泥量	t-wet/日	20.6		2.5	4.2	27.3

表 4-1 に示される計算結果は，以下の計算式を用いて求めることができる。下水汚泥や地域バイオマスの消化槽への投入量や濃度等の計算条件が異なる場合にも，適用可能である。

分解有機物量（t-VS/日）＝投入有機物量（t-VS/日）×VS 分解率（%）/100

消化汚泥中有機物量（t-VS/日）＝投入有機物量（t-VS/日）－分解有機物量（t-VS/日）

消化汚泥中固形物量 (t-ds/日) = 投入固形物量 (t-ds/日) - 分解有機物量 (t-VS/日)

バイオガス発生量 (m³N/日) = 投入有機物量 (t-VS/日) × 投入 VS 当たりバイオガス発生量 (m³N/t-VS)

精製バイオガス量 (m³N/日) = バイオガス発生量 × 60/100

脱水汚泥量 (t-wet/日) = 100/(100-脱水汚泥含水率(%)) × 消化汚泥中固形物量 (t-ds/日)

また、木質希釈用の余剰汚泥量は、以下の式によって求める。詳細は § 39 を参照のこと。

余剰汚泥量 (t-wet/日) = (木質系バイオマス固形物濃度(%) - 6) / (6 - 余剰汚泥固形物濃度(%))
× 木質系バイオマス投入量 (t-wet/日)

比較対象となる従来技術について、物質収支の算出例（下水汚泥 7 t-ds/日 + 地域バイオマス 3.4 t-ds/日規模）を表 4-2 に示す。革新的技術と同様の計算式を用いて、算出することができる。

表 4-2 従来技術の物質収支（下水汚泥 7 t-ds/日 + 地域バイオマス 3.4 t-ds/日規模）

		単位	下水汚泥（消化処理）	地域バイオマス	合計
			濃縮汚泥	（別途処理）	
処理量	湿重量	t-wet/日	175	10.1	185.1
	固形物量	t-ds/日	7	3.4	10.4
	水分量	t/日	168	6.7	174.7
	有機物量	t-VS/日	5.6	3.1	8.7
計算条件	固形物濃度 (TS)	%	4.0	34	5.6
	有機物濃度 (VS)	%	3.2	31	4.7
	VS 分解率	%	50	—	50
	バイオガス発生量 (メタン 60%換算)	m³N/t- 投入 VS	500	—	500
	脱水汚泥含水率	%	82.9	—	82.9
計算結果	分解有機物量	t-VS/日	2.8	—	2.8
	消化汚泥中有機物量	t-VS/日	2.8	—	2.8
	消化汚泥中固形物量	t-ds/日	4.2	—	4.2
	バイオガス発生量	m³N/日	2,802	—	2,802
	精製バイオガス量	m³N/日	1,681	—	1,681
	脱水汚泥量	t-wet/日	24.6	—	24.6

次に、エネルギー使用量を算出する。地域バイオマス受け入れありの場合のエネルギー使用量算出例を、従来技術と比較して、表4-3に示す。なお、電気エネルギーは、発電効率を40%として1次エネルギーに換算した量を用いる。

従来技術では、トータルのエネルギー使用量が正の値であり、精製バイオガスの供給エネルギーよりも、投入エネルギーの方が上回っている。

一方、革新的技術では、1次エネルギー換算した消費電力量から精製バイオガスの供給エネルギーを差し引くと、負の値となる。すなわち、投入エネルギーよりもバイオガスとして回収できるエネルギーの方が大きいことがわかる。

表4-3 エネルギー使用量（下水汚泥7 t-ds/日＋地域バイオマス3.4 t-ds/日規模）

		消費電力量		精製バイオガス供給量		エネルギー 使用量
			1 次エネ ルギー換算		熱量換算	
		kWh/日	MJ/日	m³N/日	MJ/日	MJ/日
革新的 技術	地域バイオマス 受入・混合調整設備	721	6,489	—	—	
	消化槽 設備	加温以外	376	2,701	106,149	
		加温	2,368			
	バイオガス 精製・貯留設備	1,833	16,497	—	—	
	合計	5,298	47,682	2,701	106,149	-58,467
従来 技術	消化槽設備	625	5,625	883	34,702	
	バイオガス 精製・貯留設備	2,065	18,585	—	—	
	地域バイオマス 処理施設	1,364	12,276	—	—	
	合計	4,054	36,486	883	34,702	1,784

続いて、熱収支を算出する。地域バイオマス受け入れありの場合の、システム全体の熱収支算出例を表4-4に示す。また、比較対象である従来技術について、下水汚泥のみを対象としシステム全体の熱収支算出例を表4-5に示す。なお、従来技術の熱収支の算出に当たっては、消化槽加温用ボイラでの精製バイオガスの自己消費分の熱量を、入熱と出熱の両方に算入した。

表4-4 革新的技術の熱収支（下水汚泥 7 t-ds/日＋地域バイオマス 3.4 t-ds/日規模）

革新的 技術	入熱	種類		系内への 流入・供給量		熱量への 換算係数		入熱量		
								MJ/日	割合 %	
		電気		kWh/日	5,298	MJ/kWh	3.6	19,073	8	
		下水汚泥		t-ds/日	7.0	MJ/kg-dry	19	133,000	53	
		地域バイオ マス	食品製造系	t-ds/日	2.2	MJ/kg-dry	29	63,800	25	
			木質系	t-ds/日	1.2	MJ/kg-dry	19	22,800	9	
		ヒートポンプ 回収熱		COP2.7	kWh/日	3,910	MJ/kWh	3.6	14,076	6
		合計						252,749	100	
	出熱	種類		系外への 流出・供給量		熱量への 換算係数		出熱量		
								MJ/日	割合 %	
		精製バイ オガス	系外利用	m³N/日	2,701	MJ/m³N	39.3	106,149	42	
		消化汚泥		t-ds/日	5.58	MJ/kg-dry	17	94,860	38	
		熱損失		—	—	—	—	51,740	20	
		合計						252,749	100	

革新的技術では、下水汚泥の入熱の約 80%（＝106,149/133,000）を系外へ供給可能な精製バイオガスの熱量として取り出すことが可能となっている。これは、地域バイオマスの保有熱量およびヒートポンプでの回収熱を、精製バイオガスの熱量へと転換できているためであり、従来技術の約 26%（＝34,702/133,000）に対して大きく増加している。

表4-5 従来技術の熱収支（下水汚泥 7 t-ds/日規模）

従来技術	入熱	種類		系内への 流入・供給量		熱量への 換算係数		入熱量	
								MJ/日	割合
								%	
		電気		kWh/日	4,054	MJ/kWh	3.6	14,594	8
		下水汚泥		t-ds/日	7.0	MJ/kg-dry	19	133,000	74
		精製バイオガス	ボイラ利用	m³N/日	798	MJ/m³N	39.3	31,361	18
		合計						178,955	100
	出熱	種類		系外への 流出・供給量		熱量への 換算係数		出熱量	
								MJ/日	割合
								%	
		精製バイオガス	ボイラ利用	m³N/日	798	MJ/m³N	39.3	31,361	18
				m³N/日	883	MJ/m³N	39.3	34,702	19
		消化汚泥		t-ds/日	4.20	MJ/kg-dry	16	67,200	38
		熱損失		—	—	—	—	45,692	25
		合計						178,955	100

§ 27 バイオガス発生量の算出

バイオガス発生量は、基礎検討段階では、一律の仮定値を用いて算出する。詳細検討において精度を高める場合は、個別バイオマスからのガス発生量予測値を積み上げて算出する。

【解 説】

地域バイオマスからのバイオガス発生量は、基礎検討段階では、単純化して仮定した値を用いる。詳細検討段階において精度を高める場合は、個別バイオマスからの予測値を積み上げることによってガス発生量を算出する。実証処理場において地域バイオマスを投入している鋼板製消化槽（220 m³）および既設卵形消化槽（10,000 m³）でのガス発生量は、ラボ実験に基づく個別バイオマスのガス発生量から積み上げて算出した予測値と大きな差異は認めらず、十分な精度で予測可能である（表4-6、図4-2および図4-3参照）。

表4-6 ラボ実験における個別バイオマスの分析値とガス発生量の関係

		分析値			バイ アル	ジャーファーマンター				
		TS	VS	COD _{Cr}	ガス 発生量	ガス発生量			VS分 解率	メタン 濃度
単位		%	%	mg/kg-wet	m ³ N/t -wet	m ³ N/t -wet	m ³ N/t- 投入 VS	m ³ N/t- 投入 COD _{Cr}	%	%
食 品 製 造 系	汚泥	26.1	23.9	270,000	230	196	820	726	81	76
	廃酸	3.3	3.3	270,000	130	125	3,790	463	76	73
	動植物 性残さ	88.2	83.0	850,000	620	492	593	579	87	58
木 質 系	広葉樹 間伐材	83.0	82.3	1,300,000	450	551	670	424	28	56
	針葉樹 間伐材	68.8	68.3	1,000,000	50 以下	—	—	—	—	—
下水汚泥※		2.8	2.3	41,600	—	12	530	290	45	60～65

※初沈汚泥と濃縮余剰汚泥を容量ベースで2：1の比率で混合したもの

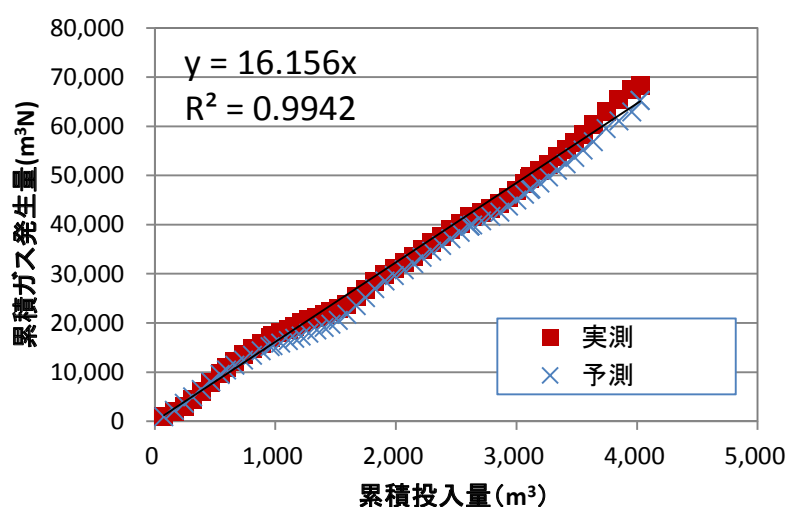


図4-2 ジャーファーマンター実験に基づくガス発生量予測値と鋼板製消化槽（220 m³）におけるガス発生量実績

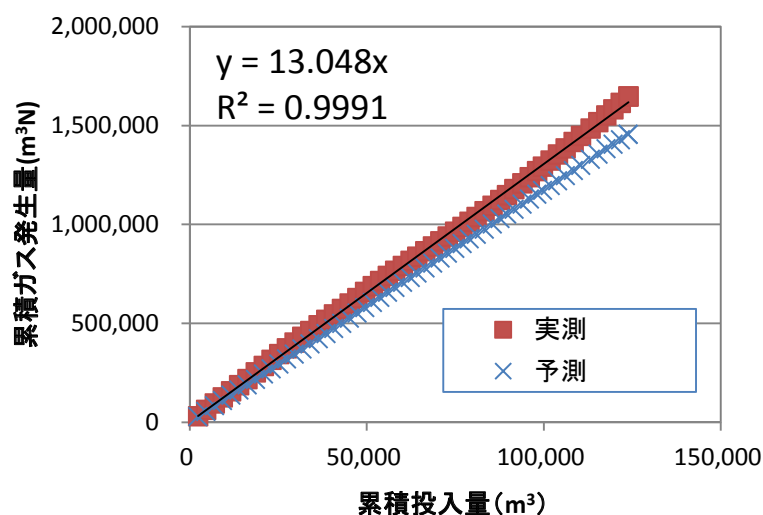


図4-3 ジャーファーマンター実験に基づくガス発生量予測値と卵形消化槽（10,000 m³）におけるガス発生量実績

(1) バイオマス種類ごとのバイオガス発生量予測方法

1) 食品製造系バイオマス

基礎検討段階では、種類によらず、125 m³N/t-wet（メタン 60%）と仮定する。これは、循環型社会形成推進交付金要領における「高効率原燃料回収施設」の該当条件である、ガス発生量 150 m³N/t-wet（メタン 50%）に相当する値である。

詳細検討において、検討の精度を高める場合には、図4-4に示すVS濃度（湿重量ベース。以

下、同様とする)とガス発生量の関係を用いることができる。種類の異なる食品製造系バイオマスについての、回分式のバイアル試験でのガス発生量のデータであり、VS 濃度が 20%以上であれば、上述の仮定値である 125 m³N/t-wet を上回るガス発生量が期待できることを示している。

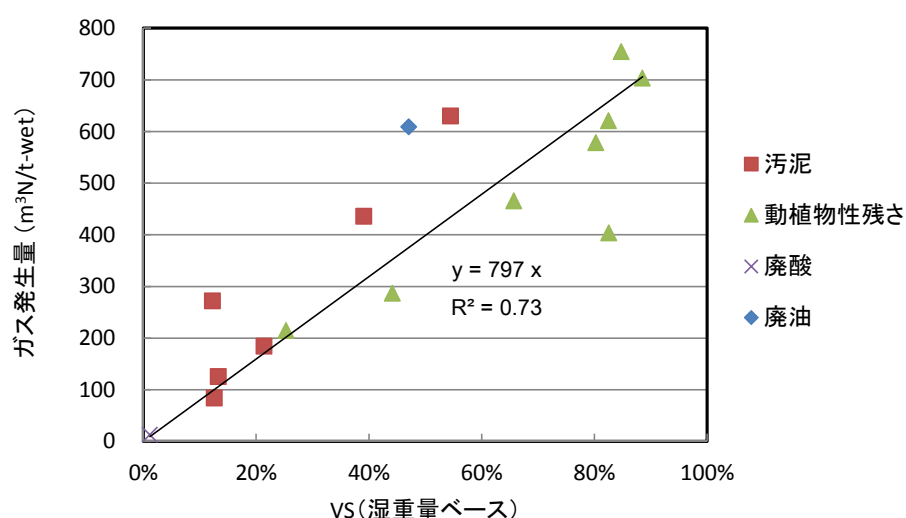


図 4-4 回分式バイアル試験における食品製造系バイオマスの VS 濃度とガス発生量の関係

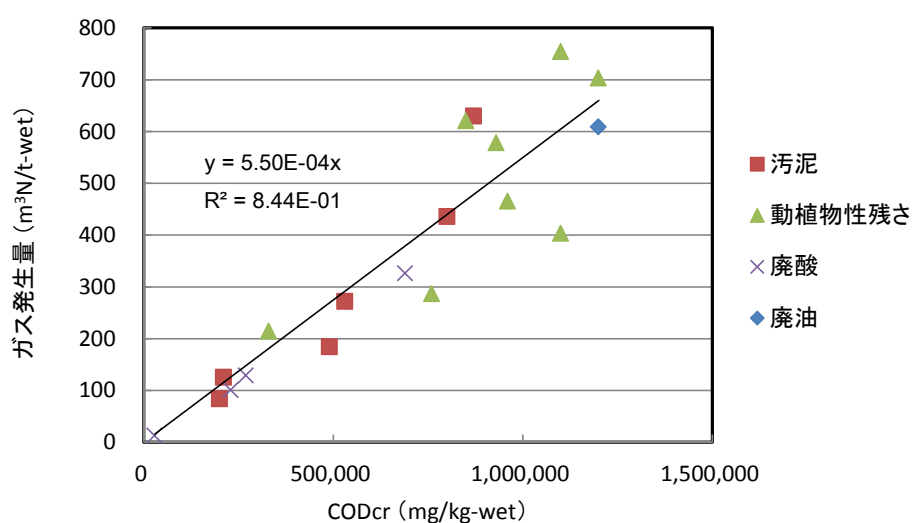


図 4-5 回分式バイアル試験における食品製造系バイオマスの COD_{Cr} 濃度とガス発生量の関係

なお、食品製造系バイオマスのなかで、廃酸のような液状バイオマスは、VS 濃度が測定不可能なほど低い場合がある。その場合、図 4-5 に示されるように、COD_{Cr} 分析値を用いれば液体状か固体状にかかわらず、バイオガス発生量との相関が高いことから、受け入れ対象バイオマスの COD_{Cr} を分析し、図 4-5 を用いて個別バイオマスからのバイオガス発生量を算定すれば、VS 濃度を用いるよりも、さらに精度の高い予測が可能である。

2) 木質系バイオマス

木質系バイオマスについては、樹種による差が大きいため、表3-6に示した樹種ごとの値を用いて、ガス発生量を算定する。

3) 下水汚泥

下水汚泥からのガス発生量は、「下水道施設計画・設計指針と解説（後編）」に従って、500～600 m³N/t-投入 VS とする。

(2) 他都市・他地域バイオマスへの適用

表4-6および図4-2～図4-5に示されるデータは、実証場所である神戸市東灘処理場の下水汚泥と当該処理場周辺に賦存する地域バイオマスの消化特性を示すものである。これらのデータの他都市への適用および他の地域バイオマスへの適用可能性を調査した、独立行政法人土木研究所における調査結果を、以下に引用する「土木研究所調査結果提供資料」。

他都市の下水汚泥および地域バイオマスで馴致した消化汚泥を用いた回分式実験を行い、種々の地域バイオマスのメタン転換率を、中温および高温条件にて調査した。生成メタンガスに対する投入基質の割合を、COD_{Cr}基準で図4-6に示す。

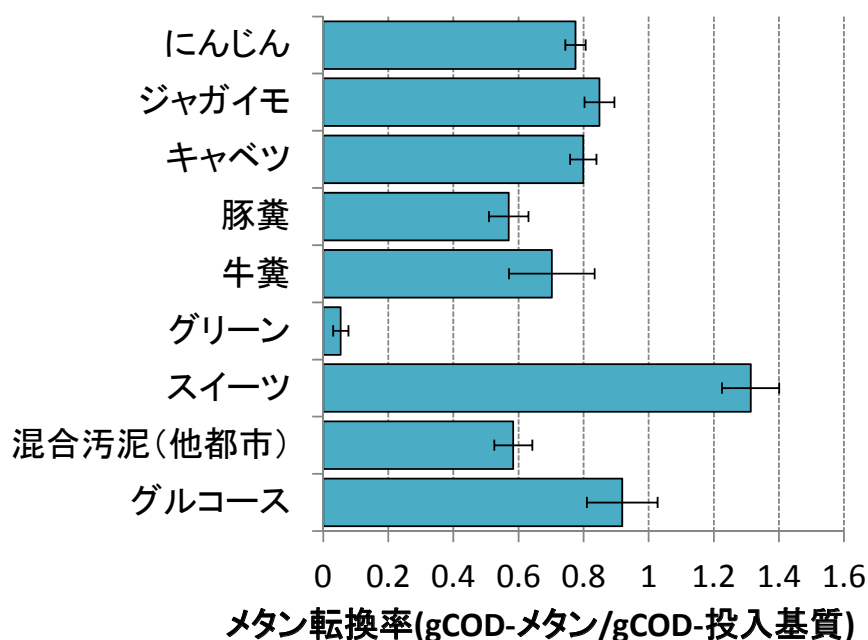


図4-6 種々のバイオマスのメタン転換率 (COD_{Cr}基準)

全体として、他都市の下水汚泥による消化汚泥を用いても、実証実験と同様のメタン転換率が得られ、中温消化と高温消化とで大きな差はなかった。

グルコースは実験の精度確認のため行ったものであり、おおむね収支がとれていることが確認

できる。

混合汚泥では、実証実験と同程度の、メタン転換率 0.6 程度が得られている。

スイーツは、食品製造系汚泥および廃酸の混合物である。COD_{Cr} 測定値が低いために、メタン転換率が 1 を超過している。実証実験でも同様の傾向が見られる。

グリーンのメタン転換率が実証実験より低いのは、破碎後に実証実験と同様の余剰汚泥と混合したうえでの前処理（可溶化处理）を行っていないことが原因の 1 つに考えられる。

その他、牛糞のメタン転換率は、0.7 程度で、豚糞のメタン転換率は、0.6 程度であった。

また、野菜屑や規格外野菜を想定して調査した、キャベツ、ジャガイモおよびにんじんのメタン転換率は、いずれも 0.8 程度であった。

以上より、本技術の様々な地域バイオマスへの適用が期待できる。

§ 28 地域バイオマス前処理フローの検討

受け入れ対象の地域バイオマスの種類に応じて、破碎や加温等の適切な前処理フローを検討する。

【解 説】

(1) 食品製造系バイオマス受入・混合調整フローの検討

表3-4の好適性判断条件を満足する食品製造系バイオマスについて、性状に応じて前処理フローを決定する。なお、図4-7において点線の枠で囲っている地域バイオマス受入設備の建設に当たっては、社会資本整備総合交付金制度の効果促進事業の適用等、国土交通省と環境省の各種事業制度の活用が検討できる。

1) 汚泥、廃酸および動植物性残さのうち塊のないもの

地域バイオマス混合調整槽に投入し、濃縮汚泥と混合することによって溶解・均質化を図ったうえで、消化槽に投入する。

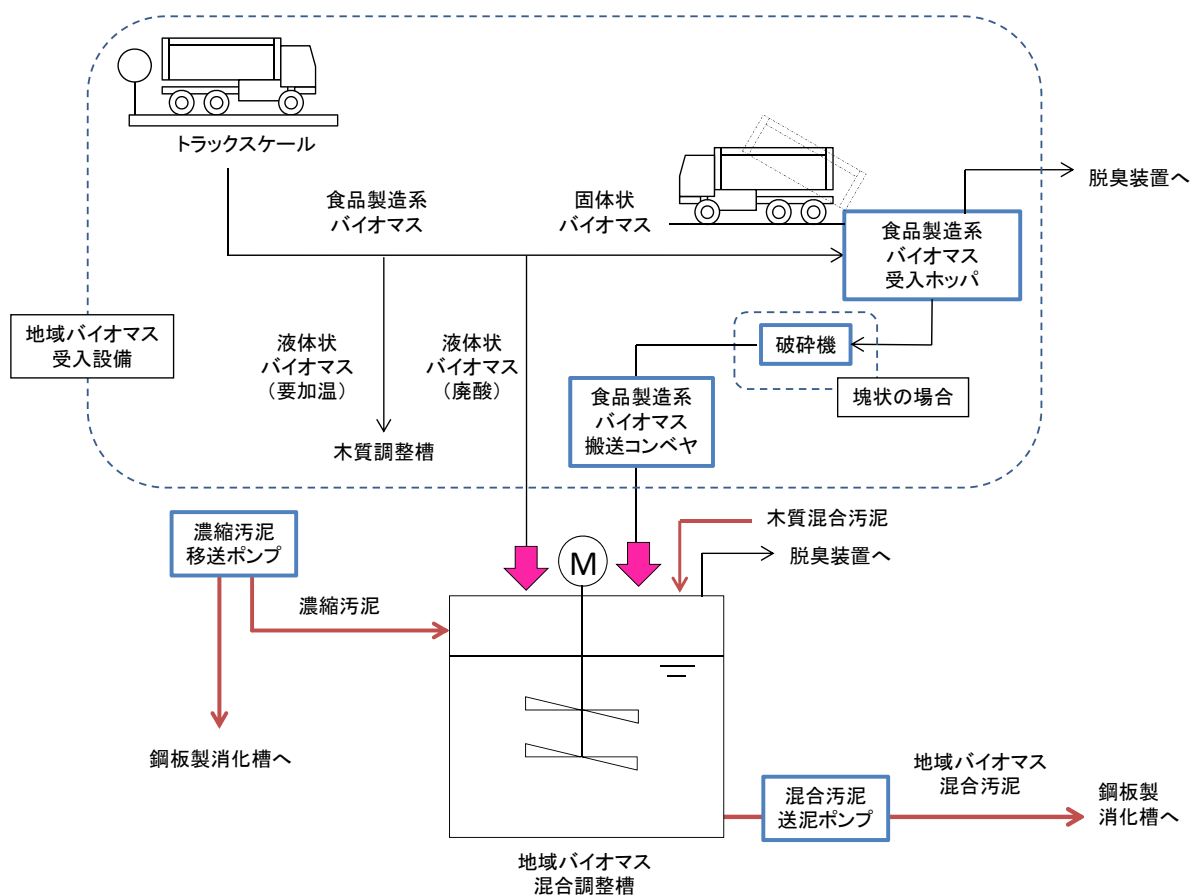


図4-7 食品製造系バイオマス受入・混合調整フロー

2) 動植物性残さのうち塊のあるもの

破碎をして、その後に地域バイオマス混合調整槽に投入し、濃縮汚泥と混合することによって溶解・均質化を図ったうえで、消化槽に投入する。

3) 加温の必要があるもの

木質調整槽に投入し、加温されている木質混合汚泥と混合して均質化を図ったうえで、混合調整槽に投入する。

(2) 木質系バイオマス受入・混合調整フローの検討

木質系バイオマスは生物分解性を高めるために前処理が必要である（図4-8参照）。受け入れホッパ付き破碎機で粗破碎および膨潤化处理によって生物分解性を高めた後、余剰汚泥と混合したうえで木質混合槽で可溶化处理を行う。

前処理後の木質混合汚泥は、木質調整槽に移送・貯留し、受け入れ量の変動の影響を軽減させる。その後、地域バイオマス混合調整槽に投入し、さらに食品製造系バイオマスと混合、均質化を図った後に消化槽に投入する。

なお、図4-8において点線の枠で囲っている地域バイオマス受入設備の建設に当たっては、社会資本整備総合交付金制度の効果促進事業の適用等、国土交通省と環境省の各種事業制度の活用が検討できる。

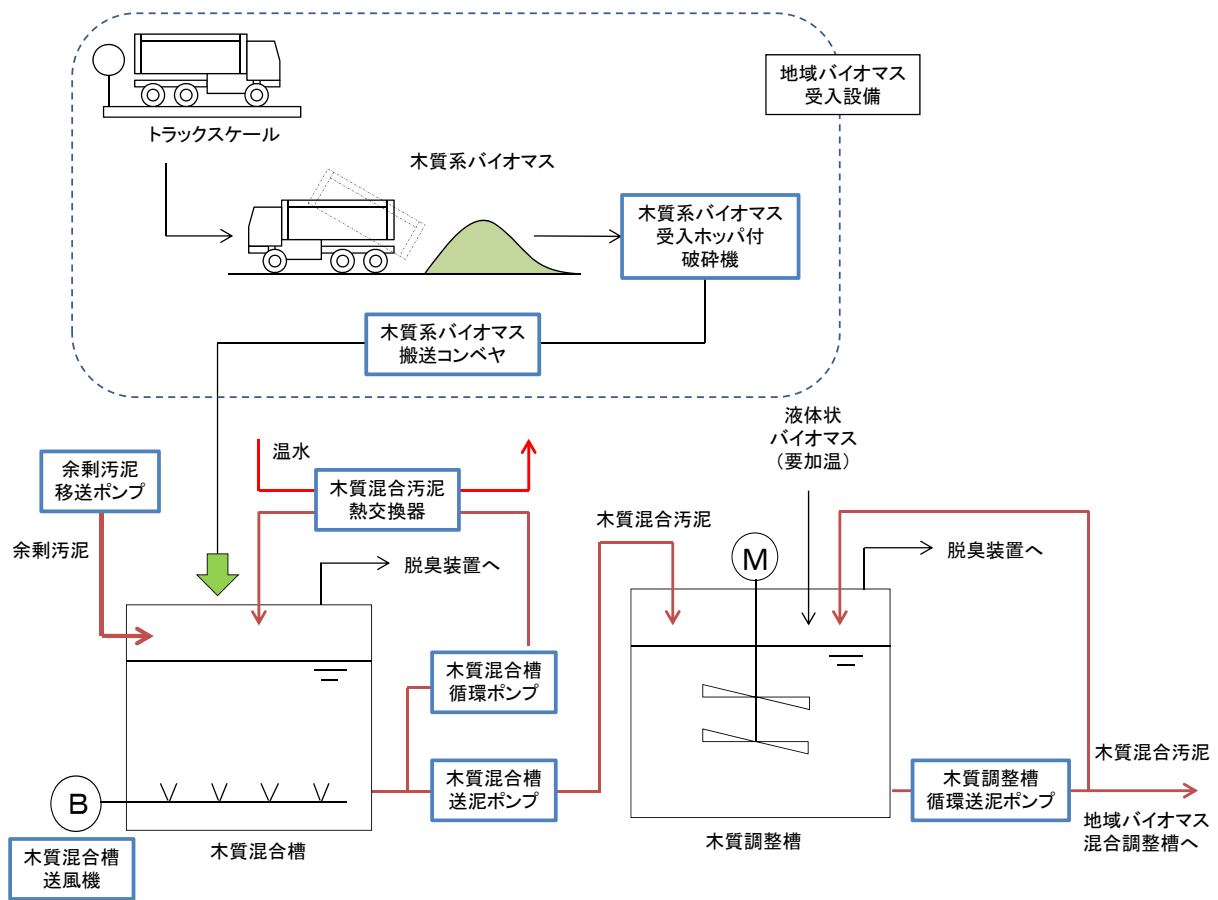


図4-8 木質系バイオマス受入・混合調整フロー

§ 29 適用法令の確認

地域バイオマスの受け入れおよびバイオガスの製造ならびに貯蔵に対する適用法令を確認する。

【解 説】

本ガイドラインに記載されている技術の導入に当たっては、適用法令の確認が必要となる。

(1) ガス事業法

バイオガスの供給事業（ガス事業を除く。）または自ら製造したバイオガスを使用する事業を行う者は、**ガス事業法第 38 条第 2 項**の規定により、準用事業者に該当する。したがって、新たに事業を開始する場合は、管轄の経済産業省産業保安監督部長に準用事業開始届出書の提出が必要となる（**ガス事業法第 39 条**、**ガス事業法施行規則第 105 条**）。また、消化槽は「ガス発生設備」に、ガスホルダは「ガスホルダー」にそれぞれ該当するため、消化槽またはガスホルダの設置または変更を行った場合、設置（変更）報告書の提出が必要となる（**ガス事業法第 46 条**、**ガス事業法施行規則第 111 条**）。

(2) 騒音規制法

木質系バイオマスの膨潤化処理を行う受け入れホッパ付き破砕機等に関して、騒音規制法の適用について環境規制部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

(3) 振動規制法

バイオガス精製装置のガス圧縮機等に関して、振動規制法の適用について環境規制部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

(4) 労働安全衛生法

ゲージ圧力 0.2 MPa 以上の気体をその内部に保有する容器（第一種圧力容器を除く。）で、内容積が 40 L 以上のものは、第二種圧力容器に該当するため、個別検定合格品を使用する必要があるほか、1 年ごとに定期自主検査を行う必要がある。また、危険場所に設置する電気設備は、防爆電気設備を使用する必要がある。

ミニショベルを用いて木質系バイオマスを破砕機へ投入する場合、機体重量 3 t 未満の車両系建設機械（整地・運搬・積込み用）に該当するため、特別教育修了者が運転しなければならない（**労働安全衛生法第 59 条第 3 項**、**労働安全衛生規則第 36 条第 9 号**）。

(5) 高圧ガス保安法

ヒートポンプに関して、高圧ガス保安法の適用について都道府県の高圧ガス規制部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

(6) 建築基準法

地域バイオマスの受入建屋を建造する場合は、建築基準法に基づく申請が必要となる。また、消化槽、ガスタンク等の工作物の設置について、建築部局に確認し、必要な手続きを行う必要がある。

(7) 廃棄物の処理および清掃に関する法律（廃掃法）

地域バイオマスを受け入れる場合は、廃掃法に関する必要な手続き等について、廃棄物規制部局に確認する必要がある。

(8) 都市計画法

下水処理場は下水道事業として都市計画決定を行い事業認可を受けているが、地域バイオマスを受け入れる場合は、廃棄物処理施設ともなり都市計画法の規制を受けるので、設置に先立ちあらかじめ関係機関と協議・調整しておくことが重要である。

§ 30 処理能力の検討

計画投入汚泥量および加温に必要な熱量ならびに各指針を踏まえて、各設備の処理能力および機器容量を算出する。

【解 説】

(1) 地域バイオマス混合比率

地域バイオマスを受け入れる場合、下水汚泥に対する地域バイオマスの混合比率は、実証施設における運転実績に基づき、固形分比率で、下水汚泥：地域バイオマス＝1：0.5以下とする。

また、木質系バイオマスの混合比率上限は、実証施設における運転実績に基づき、投入汚泥量の1%以下（湿重量ベース）とする。

(2) 高機能鋼板製消化槽の滞留日数

高機能鋼板製消化槽において、有機物の分解に必要な滞留日数は、中温消化の場合、20～30日程度である。また、「下水道維持管理指針（後編）」において、望ましいとされている有機物負荷1～3 kg/（m³・日）も考慮する。

(3) 高効率ヒートポンプの加熱能力

高効率ヒートポンプの容量は、消化槽加温に関する所要熱量に、木質系バイオマスの前処理に関する所要熱量を加算して決定する。

高効率ヒートポンプで供給可能な温水の最高温度は、型式によって異なっており、70℃と90℃の2種類がラインアップされている。機種によって用いられている冷媒の種類や圧縮機の段数が異なっており、供給する温水の温度に応じた高効率化が図られている。消化槽温度35～40℃程度の中温消化の場合、木質系バイオマスの前処理温度も40℃程度とすると、65℃の温水と熱交換を行うことで加温が可能のため、最高70℃の温水が供給可能な機種の採用が可能である。

ただし、中温消化の場合でも温水温度を80℃程度とした運用も可能であり、その場合は90℃の温水が供給可能な機種を選定する。

また、ヒートポンプのCOPは、熱源温度が高い方が、また、供給温水温度が低い方が高くなるため、高いCOPが得られるようにそれぞれ設定する。

(4) 新型バイオガス精製装置の処理能力

新型バイオガス精製装置の処理能力は、130、300、800 m³N/hの3機種がラインアップされているため、発生バイオガス量の処理が可能な機種を選定する。

(5) ガスホルダの貯蔵量

ガスホルダの容量は、「下水道施設計画・設計指針と解説（後編）」に準拠し、精製バイオガスの12時間分以上を貯蔵可能な値とする。精製バイオガス量は、容積ベースでバイオガス発生量の60%とする。

また、1基当たりの幾何容積の上限は、トラック輸送が可能なサイズであり、処理場の立地条件によって異なるため、事前に確認する。

§ 31 処理場全体プロセスへの影響検討

地域バイオマスの受け入れによる汚泥量の増加等を踏まえて、地域バイオマス受け入れに伴う水処理設備、汚泥処理設備および汚泥焼却設備への影響を算定する。

【解 説】

(1) 地域バイオマス受け入れによる水処理設備への影響

地域バイオマスを受け入れる場合の、増加する送風量 ΔQ (m³/分) および送風機軸動力 ΔL_s (kW) は、「下水処理場へのバイオマス（生ごみ等）受け入れマニュアル」に基づいて、それぞれ式（４・１）および式（４・２）で簡易的に計算できる。

$$\Delta Q = 2.46 \times (0.6 \times CL_{BOD,R} + 4.57 \times CL_{KN,R}) \times 10^{-2} \dots\dots\dots (4 \cdot 1)$$

$$\Delta L_s = 2.83 \times (0.6 \times CL_{BOD,R} + 4.57 \times CL_{KN,R}) \times 10^{-2} \dots\dots\dots (4 \cdot 2)$$

ここで、

$CL_{BOD,R}$: 地域バイオマス受け入れに起因する返流水の増加 BOD 量 (kg/日)

$CL_{KN,R}$: 地域バイオマス受け入れに起因する返流水の増加ケルダール窒素量 (≒T-N) (kg/日)

(2) 地域バイオマス受け入れによる汚泥処理設備への影響

地域バイオマスを受け入れる場合、消化汚泥量が増加するため、汚泥脱水設備の処理能力の余裕の有無をあらかじめ確認する必要がある。物質収支の計算例を § 26 物質・熱収支の算出に示す。

(3) 地域バイオマス受け入れによる汚泥焼却設備への影響

地域バイオマスを受け入れる場合、消化槽で分解し切らなかった有機物は脱水汚泥に移行するため、脱水汚泥量が増加するとともに、脱水汚泥の固形物ベースの発熱量が増加する。また、木質系バイオマスを受け入れる場合、消化汚泥中の繊維状物が増加することによって脱水性が向上するため、脱水汚泥の含水率が低下する。これらの効果によって、後段の汚泥焼却設備において、補助燃料を削減する効果が期待できる。

§ 32 建設コスト縮減率評価

費用関数または積算結果に基づき、革新的技術の導入による建設コストの縮減率を算出する。

【解 説】

システム全体の建設コスト算出範囲を表4-7に示す。一部の技術のみを導入する場合は、該当設備のみについて算出する。

消化槽規模 2,000, 4,000, 6,000 m³ での評価結果を資料編2．ケーススタディーに示す。また、従来技術との比較結果を資料編3．従来技術との比較例に示す。

表4-7 建設コスト算出範囲

項目	設備	機械・電気	土木・建築
導入施設建設コスト	地域バイオマス受入・混合調整設備	積算	費用関数
	高機能鋼板製消化槽	積算	積算
	高効率ヒートポンプ	積算	積算
	バイオガス精製・貯留設備	積算	本ガイドラインでは考慮していないが、設置面積削減分の基礎工事コスト縮減効果がある
既設必要能力増	汚泥脱水設備	費用関数	費用関数
既設必要能力減	地域バイオマス処理	費用関数	費用関数
既設改造コスト	ポンプ，配管類の増強	コスト小として考慮しない	

§ 33 維持管理コスト縮減率評価

費用関数または積み上げ結果に基づき、革新的技術の導入による維持管理コストの縮減率を算出する。

【解 説】

維持管理コストとして、電力コスト、精製バイオガス売却収入および点検補修コストの評価を行う。各エネルギーの単価は表4-8に示される値を採用し、従来技術の下水汚泥処理に係る点検補修コストについては、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」の費用関数も用いて算出する。労務費については、従来技術との差がないとして、コスト算出対象外とした。

消化槽規模 2,000, 4,000, 6,000 m³ での評価結果を資料編2．ケーススタディーに示す。また、従来技術との比較結果を資料編3．従来技術との比較例に示す。

表4-8 エネルギー単価

電力	円/kWh	10
都市ガス（熱量：44.8 MJ/m ³ N）	円/m ³ N	80
精製バイオガス（熱量：39.3 MJ/m ³ N）	円/m ³ N	70

1) 電力コスト

「下水道におけるLCA適用の考え方」（国総研資料第579号）に従って、式（4・3）を用いて算出した電力消費量に、エネルギー単価を乗じて算出する。

$$E = N_d \times N_t \times R_l \times P_m \times N_m \cdots \cdots \cdots (4 \cdot 3)$$

ここに、

E	: 電力消費量 (kWh/年)
N_d	: 年間稼働日数 (=360 日/年)
N_t	: 稼働時間 (h/日)
R_l	: 負荷率 (=0.7 : ポンプ等の連続運転機器, 0.4 : その他の間欠運転機器)
P_m	: 電動機容量 (kW/台)
N_m	: 機器数量 (台)

2) 精製バイオガス供給量

物質収支に基づいて算出した精製バイオガス供給量に、エネルギー単価を乗じて算出する。

3) 点検補修コスト

メーカ見積にて算出する。

§ 34 ライフサイクルコスト縮減率評価

革新的技術の導入によるライフサイクルコストの縮減率を，建設コスト，維持管理コストおよび撤去コストの合算により算出する。

【解 説】

§ 32 に示される建設コストと § 33 に示される維持管理コストに撤去コストを足し合わせることによって，ライフサイクルコストを算出する。

撤去コストは，機械設備工事については，建設コストから機器コストを差し引いた建設時工事コストの 40%とする。電気設備および土木建築工事については，建設コストに対する撤去コストの比率が機械設備工事と同じと仮定し，それぞれの建設コストに機械設備工事の建設時工事コスト比率を掛けた額の 40%として算出する。

機械設備撤去コスト＝機械設備建設時工事コスト（＝建設コスト－機器コスト）×40%

電気設備撤去コスト＝電気設備建設コスト

×（機械設備建設時工事コスト÷機械設備建設コスト）×40%

土木建築撤去コスト＝土木建築建設コスト

×（機械設備建設時工事コスト÷機械設備建設コスト）×40%

§ 35 温室効果ガス排出量削減率評価

革新的技術の導入による温室効果ガス排出量削減率を評価する。排出量の算出に当たっては、建設時、運転時および撤去時の各段階における排出量を、§ 23 で示した排出係数を用いて算出する。

【解 説】

運転時と建設・撤去時の排出量を合計した、ライフサイクルでの温室効果ガス排出量を算出する。温室効果ガス排出量の計算に当たっては、表 3-22 および表 3-28 に示される排出係数を用いる。ただし、排出係数を定める法令は適宜改正されるため、試算時には適切な値を用いる必要がある。

(1) 運転に係る温室効果ガス排出量

§ 33 で算出した電力消費量および精製バイオガス供給量の算出値に、表 3-22 および表 3-28 の温室効果ガス排出係数を乗じて算出する。

(2) 建設時に係る温室効果ガス排出量

数量の積算を行っていない場合、排出量の積み上げ計算を行うことが困難であるため、「下水道における LCA 適用の考え方」（国総研資料第 579 号，平成 22 年 2 月，図 4-1-2）の下水道終末処理場を対象とした算定事例を参考にして、以下の式を用いて算出する。

$$\begin{aligned}\text{建設時排出量} &= \text{運転時排出量} \times (\text{参考事例建設時排出量比率} \div \text{参考事例運転時排出量比率}) \\ &= \text{運転時排出量} \times 19.3 \div 80.2\end{aligned}$$

(3) 撤去時に係る温室効果ガス排出量

建設時と同様に、数量の積算を行っていない場合、排出量の積み上げ計算を行うことが困難であるため、「下水道における LCA 適用の考え方」（国総研資料第 579 号，平成 22 年 2 月，図 4-1-2）の下水道終末処理場を対象とした算定事例を参考にして、以下の式を用いて算出する。

$$\begin{aligned}\text{撤去時排出量} &= \text{運転時排出量} \times (\text{参考事例撤去時排出量比率} \div \text{参考事例運転時排出量比率}) \\ &= \text{運転時排出量} \times 0.5 \div 80.2\end{aligned}$$

(4) ライフサイクルでの温室効果ガス排出量

(1)～(3)の排出量を合計することにより、ライフサイクルでの温室効果ガス排出量を算出する。

第2節 全体システムの設計

§ 36 全体システム設計の考え方

本技術の全体システムを設計するに当たっては、次の項目を考慮して定める。

- (1) 地域バイオマスの受け入れによる影響を十分に検討する
- (2) 構成する各設備の負荷変動の影響を検討する
- (3) 処理場の状況に応じて最適なバイオガス有効利用方法を検討する

【解 説】

本技術の全体システムの設計に当たっては、次の項目を考慮することが重要である。

(1) 地域バイオマスの受け入れによる影響を十分に検討する

地域バイオマスを受け入れる場合は、受け入れホッパ、混合調整槽等から周辺環境への臭気の拡散が生じないように、脱臭設備を適切に設置することが重要である。

(2) 構成する各設備の負荷変動の影響を検討する

全体システムを構成するバイオガス回収技術の各設備とバイオガス精製技術の各設備は、互いに影響を及ぼしあう。1つの設備で負荷変動が生じた場合に、他の設備で負荷を調節することによって、システム全体としての安定性を維持できるように、槽容量や制御システムを決定することが重要である。

(3) 処理場の状況に応じて最適なバイオガス有効利用方法を検討する

本システムの導入によって、有効利用可能なバイオガス量を増加させることができるため、処理場の状況に応じてコスト縮減効果と温室効果ガス排出量削減効果を最大化できるバイオガス有効利用方法を検討することが重要である。

第3節 バイオガス回収技術の設計

§ 37 設計手順

バイオガス回収技術の設計は，設計条件の設定，構成機器の計画，付属機器の計画の手順で行う。

【解 説】

バイオガス回収技術の基本設計は，導入対象の設備ごとに，図4-9に示される手順に従って行う。まず，設計条件として処理量，滞留日数，処理温度等を設定する。次に，構成機器の計画として，槽容量，機器容量，加熱容量，基数等を決定する。続いて，付属機器の計画として，熱交換器，ポンプ能力の検討等を行う。設備ごとの具体的な設計手順については，§ 38～§ 41を参照のこと。

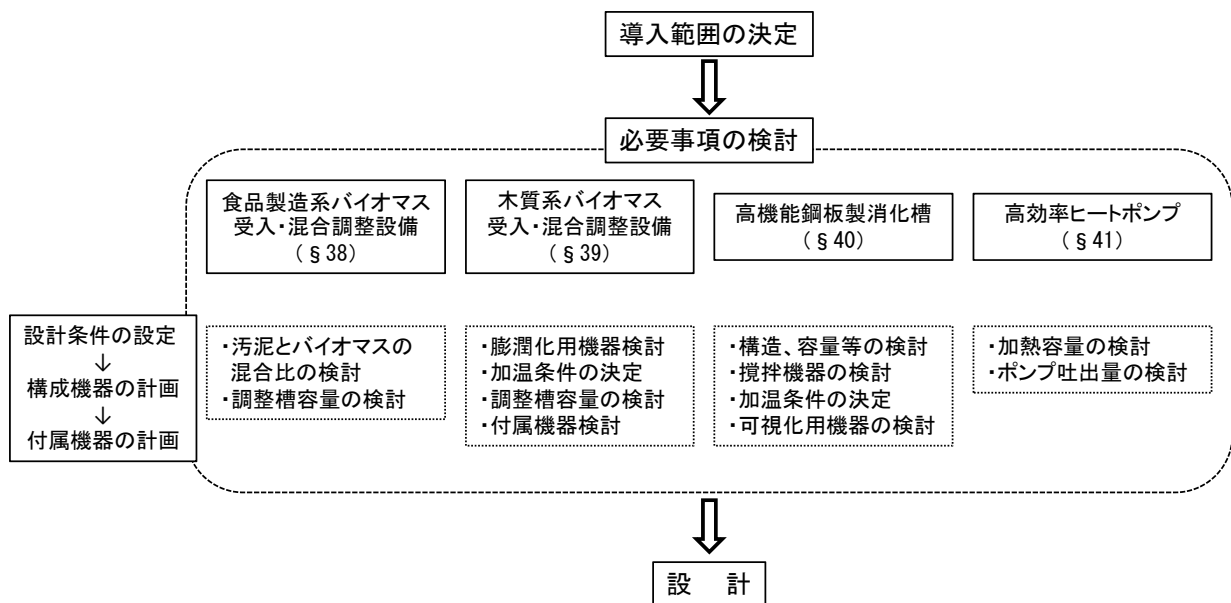


図4-9 バイオガス回収技術の設計手順

§ 38 食品製造系バイオマス受入・混合調整設備

食品製造系バイオマス受入・混合調整設備は、次の項目を考慮して定める。

- (1) 受け入れた食品製造系バイオマスを濃縮汚泥と混合し、均質な性状の混合汚泥とする
- (2) 混合調整槽の容量は、受け入れ量の変動を考慮する

【解 説】

食品製造系バイオマスを消化槽への投入原料として活用するためのポイントは、下水汚泥との比重差による配管・槽内での堆積・閉塞が生じることがないように、また、流動性が確保されるように、前処理を行うことである。

(1) 受け入れた食品製造系バイオマスを濃縮汚泥と混合し、均質な性状の混合汚泥とする

受け入れた食品製造系バイオマスは、混合調整槽に投入し、前処理として濃縮汚泥と混合する。混合調整槽には、かくはん機を設け、槽内をかくはんすることによって、食品製造系バイオマスを濃縮汚泥に溶解または分散させ、均質な性状の混合汚泥とする。

濃縮汚泥の混合量は、式(4・4)によって求める。

$$Q_{St} = \frac{D_F - D_{Sm}}{D_{Sm} - D_{St}} \times Q_F \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 4)$$

ここに、

- Q_{St} : 濃縮汚泥混合量 (m³/日)
- Q_F : 食品製造系バイオマス受け入れ量 (t-wet/日)
- D_{St} : 濃縮汚泥固形物濃度 (%)
- D_F : 食品製造系バイオマス固形物濃度 (%)
- D_{Sm} : 地域バイオマス混合汚泥固形物濃度 (%)

ポンプでの移送性を確保するため、混合汚泥の固形物濃度は10%を超えない範囲で設定する。

(2) 混合調整槽の容量は、受け入れ量変動を考慮する

混合調整槽の有効容量は、式(4・5)によって求める。

$$V_{ME} = Q_{St} \cdot T_{ME} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 5)$$

ここに、

- V_{ME} : 混合調整槽の有効容量 (m³)
- T_{ME} : 混合調整槽の滞留日数 (日)

なお、混合調整槽の滞留日数は、週間の受け入れ量の変動の影響を軽減させるため、2日程度とすることが望ましい。

§ 39 木質系バイオマス受入・混合調整設備

木質系バイオマス受入・混合調整設備は、次の項目を考慮して定める。

- (1) 受け入れた木質系バイオマスは、膨潤化処理を行う
- (2) 膨潤化処理後の木質系バイオマスは、木質混合槽で可溶化処理を行う
- (3) 木質混合槽・木質調整槽の循環ポンプには、破砕ポンプを用いる
- (4) 木質調整槽の容量は、受け入れ量の変動を考慮する

【解 説】

木質系バイオマスを消化槽への投入原料として活用するためのポイントは、消化槽で生物分解を受けやすくなるように、また、下水汚泥との比重差による配管・槽内での堆積・閉塞が生じなくするように、前処理を行うことである。前処理としては、まず膨潤化処理を行った後、余剰汚泥と混合したうえで可溶化処理を行う。

(1) 受け入れた木質系バイオマスは、膨潤化処理を行う

受け入れた木質系バイオマスは、まず、粗破砕を行った後、膨潤化処理を行う。膨潤化処理とは、破砕・圧縮・混練工程によって繊維状に破砕することで、これにより吸水性および生物分解性が高まる。木質系バイオマスの膨潤化処理が可能な機器も販売されており、当該機器を活用することを検討する。

(2) 膨潤化処理後の木質系バイオマスは、木質混合槽で可溶化処理を行う

膨潤化処理された木質系バイオマスは、木質混合槽に投入し余剰汚泥と混合したうえで、可溶化処理を行う。可溶化処理条件としては、好気状態で曝気しながら木質混合汚泥を加温する。

木質系バイオマスと混合する余剰汚泥量は、式(4・6)によって求める。

$$Q_{Se} = \frac{D_T - D_{Sm}}{D_{Sm} - D_{Se}} \times Q_T \dots\dots\dots (4 \cdot 6)$$

ここに、

- Q_{Se} : 余剰汚泥混合量 (m³/日)
 Q_T : 木質系バイオマス受け入れ量 (t-wet/日)
 D_{Se} : 余剰汚泥固形物濃度 (%)
 D_T : 木質系バイオマス固形物濃度 (%)
 D_{Sm} : 木質混合汚泥固形物濃度 (%)

木質混合汚泥の固形物濃度は、配管・槽内での木質の堆積を抑制するため、実証施設において安定運転実績を有する6%程度以下とすることが好ましい。

木質混合槽の有効容量は、式(4・7)によって求める。

$$V_M = Q_{Se} \cdot T_M \dots\dots\dots (4 \cdot 7)$$

ここに、

V_M : 木質混合槽の有効容量 (m³)

T_M : 木質混合槽の滞留日数 (日)

可溶化処理時間を確保するため、木質混合槽の滞留日数は、1 日程度以上とする。

木質混合汚泥の加温は、間接加温方式とし、高効率ヒートポンプでの加温が可能な範囲である 80℃以下での加温が望ましい。木質混合槽の外部に木質混合汚泥熱交換器を設置し、熱供給源である高効率ヒートポンプと木質混合汚泥熱交換器とを循環する温水によって、木質混合槽と木質混合汚泥熱交換器とを循環する木質混合汚泥を加温する。

木質混合汚泥熱交換器の伝熱面積は、式 (4・8) によって求める。

$$A = \frac{1,000 \cdot Q_{\max}}{K \cdot \Delta T} \times 1.2 \dots\dots\dots (4 \cdot 8)$$

ここに、

A : 木質混合汚泥熱交換器の伝熱面積 (m²)

$Q_{\max}$: 木質混合槽の加温最大熱量 (kW)

K : 総括伝熱係数 {W/ (m²・K)}

ΔT : 対数平均温度差 $\left(\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \right)$ (K)

ΔT_1 : 木質混合汚泥熱交換器の入口温水温度 T_w と出口汚泥温度 T_s' との差 (K)

ΔT_2 : 木質混合汚泥熱交換器の出口温水温度 T_w' と入口汚泥温度 T_s との差 (K)

なお、式 (4・8) 中の 1.2 は総括伝熱係数の変動に対する余裕を考慮した値である。また、対数平均温度差については、図 4-10 を参照のこと。

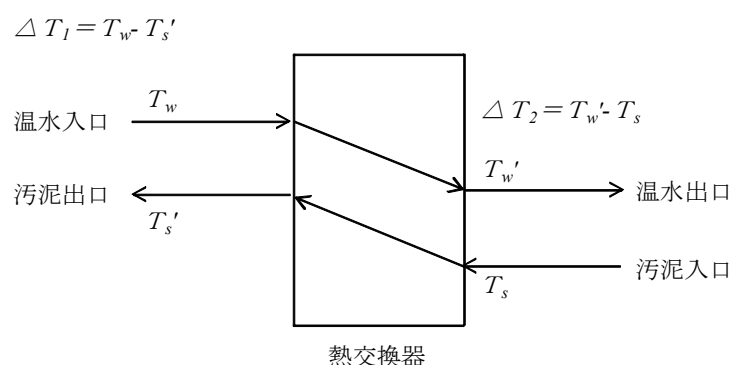


図 4-10 対数平均温度差

木質混合汚泥熱交換器での汚泥循環量を Q_s (m³/h)、温水循環量を Q_w (m³/h) とすれば、 T_s' および T_w' は式 (4・9)、(4・10) によって求めることができる。

$$T'_S = T_S + \frac{Q_{max}}{\rho_S \frac{Q_S}{3,600} \cdot C_S} \dots\dots\dots (4 \cdot 9)$$

$$T'_W = T_W - \frac{Q_{max}}{\rho_W \frac{Q_W}{3,600} \cdot C_W} \dots\dots\dots (4 \cdot 10)$$

ここに,

- ρ_S : 汚泥密度 (=1,000 kg/m³)
 ρ_W : 温水密度 (=1,000 kg/m³)
 C_S : 汚泥比熱 {=4.186 kJ/(kg・K)}
 C_W : 温水比熱 {=4.186 kJ/(kg・K)}

(3) 木質混合槽・木質調整槽の循環ポンプには、破碎ポンプを用いる

木質系バイオマスの槽内での沈降、配管・熱交換器等の内部での閉塞を防止するため、木質混合槽循環ポンプには破碎ポンプを用いる。後段の木質調整槽循環送泥ポンプについても、破碎ポンプとすることが望ましい。

(4) 木質調整槽の容量は、受け入れ量の変動を考慮する

前処理後の木質混合汚泥は、木質調整槽に移送される。木質調整槽の有効容量は、式(4・11)によって求める。

$$V_E = Q_{Se} \cdot T_E \dots\dots\dots (4 \cdot 11)$$

ここに,

- V_E : 木質調整槽の有効容量 (m³)
 T_E : 木質調整槽の滞留日数 (日)

木質調整槽の滞留日数は、週間の受け入れ量変動の影響を軽減させるため、2日程度とすることが望ましい。なお、木質調整槽には、木質系バイオマスの沈降を防止するために、かくはん機を設ける。

木質調整槽で貯留する木質混合汚泥は、単独で消化槽へ投入することも可能ではあるが、投入原料のさらなる均質化を図るため、地域バイオマス混合調整槽に移送し、食品製造系バイオマスと混合したうえで、消化槽へ投入することが好ましい。

§ 40 高機能鋼板製消化槽

高機能鋼板製消化槽は、次の項目を考慮して定める。

- (1) 消化槽の容量は、滞留日数を 20～30 日として決定する
- (2) 消化槽は、全溶接鋼板製とする
- (3) かくはん方式は、低動力インペラ式の機械かくはん機とする
- (4) 加温は、間接加温方式とする

【解 説】

高機能鋼板製消化槽（図 4-11 参照）のうち、主要機器である鋼板製消化槽、鋼板製消化槽かくはん機、消化污泥循環ポンプおよび消化污泥熱交換器について、以下に示す。

(1) 消化槽の容量は、滞留日数を 20～30 日として決定する

鋼板製消化槽の有効容量は、式 (4・12) によって求める。

$$V = Q \cdot T \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 12)$$

ここに、

- V : 鋼板製消化槽の有効容量 (m³)
- Q : 鋼板製消化槽への投入污泥量 (m³/日)
- T : 鋼板製消化槽の滞留日数 (日)

消化温度が 35～40℃程度の中温消化の場合、滞留日数は、20～30 日とする。

ところで、§ 30 処理能力の検討に記載したとおり、消化反応を良好に維持するために、一般的には有機物容積負荷を 1～3 kg/(m³・日)程度に設定することが望ましいとされている。投入污泥の湿ベースの有機物濃度を V_s (%)として、式 (4・12) の関係を用いて有機物容積負荷 L_{VS} {kg/(m³・日)}を表すと、式 (4・13) が得られる。この式から、投入污泥有機物濃度 V_s が 3～6 %の場合に滞留日数が 20～30 日となるよう消化槽を運転することによって、望ましい有機物容積負荷 1～3 {kg/(m³・日)}を安定的に維持できることがわかる。

$$L_{VS} = \frac{Q}{V} \times 1,000 \times \frac{V_s}{100} = \frac{10 \cdot V_s}{T} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 13)$$

なお、構造計算結果に基づき、消化槽 1 基当たりの最大容量は 6,000 m³とする。

(2) 消化槽は、全溶接鋼板製とする

鋼板製消化槽は、材質を鋼板とした消化槽であり、形状および構造は、以下のとおりとする。

1) 形状

鋼板製消化槽の形状は円筒形とし、内径と有効水深との割合は 1 : 1 程度とする。

底部は平底とする。

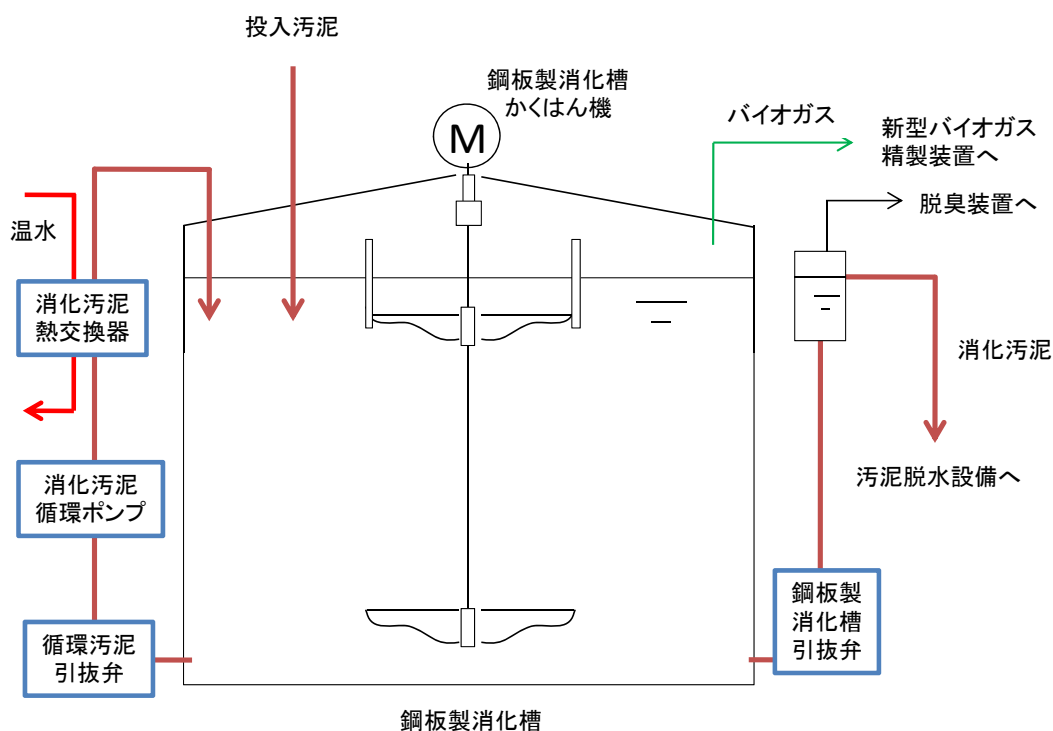


図4-11 高機能鋼板製消化槽構成図

2) 構造

消化槽の構造は、全溶接鋼板製とする。

耐食性を考慮し、消化槽内面に防食塗装を施工する。

熱の放散を防ぐため、消化槽外面に保温材を施工する。保温材は、断熱性能に優れるポリスチレンフォームを標準とする。

汚泥の投入管、引き抜き管等を設ける。

3) その他

消化槽は、ガス事業法における「ガス発生設備」、「ガス発生器」に該当するため、「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」に適合するものでなければならない。

また、「ガス工作物の技術上の基準の細目を定める告示」第2条第1項の規定により、事業場の境界線に対して、消化槽の外面から5 m以上の離隔距離を有する必要がある。

(3) かくはん方式は、低動力インペラ式の機械かくはん機とする

鋼板製消化槽のかくはん機は、以下のとおりとする。

鋼板製消化槽内の温度分布の均一化および汚泥の均質化を図るためのかくはん方式は、機械かくはん方式とし、槽外部に設置するポンプによる循環を併用する。

かくはん機は、次の事項を考慮する。

地域バイオマスまたは濃縮汚泥を投入する場合、汚泥の粘性が高くなるため、かくはん力の強い機械かくはん方式とし、大型のかくはん羽根を比較的低速で回転させるインペラ式とする。

正転および逆転運転が可能なものとする。

消化槽内に設置するインペラ、駆動軸等は、金属製で耐食性および耐久性に優れたものとする。駆動軸が大気中から消化槽内に貫通しているため、バイオガスが外部に漏えいしない軸封構造とする。

(4) 加温は、間接加温方式とする

1) 消化污泥循環ポンプ

加温は、間接加温方式とし、消化槽の外部に消化污泥熱交換器を設置し、熱供給源と消化污泥熱交換器とを循環する温水によって、消化槽と消化污泥熱交換器とを循環する污泥を加温する。

消化污泥循環ポンプの吐出量は、加温に必要な熱収支から求められる污泥循環量と、消化槽循環回数から求められる污泥循環量の、いずれか大きい方の値にて決定する。

① 熱収支から必要となる污泥循環量

$$Q_{Sc} = \frac{3,600 Q_{max}}{\rho_s \cdot C_s (T'_s - T_s)} \dots \dots \dots (4 \cdot 14)$$

ここに、

- Q_{Sc} : 消化污泥循環量 (m³/h)
- Q_{max} : 鋼板製消化槽の加温最大熱量 (kW)
- ρ_s : 污泥密度 (=1,000 kg/m³)
- C_s : 污泥比熱 {=4.186 kJ/(kg・K)}
- T'_s : 消化污泥熱交換器出口污泥温度 (K)
- T_s : 消化污泥熱交換器入口污泥温度 (K)

② 消化槽循環回数から必要となる污泥循環量

$$Q_{Sc} = V \frac{n}{24} \dots \dots \dots (4 \cdot 15)$$

ここに、

- Q_{Sc} : 消化污泥循環量 (m³/h)
- V : 鋼板製消化槽有効容量 (m³)
- n : 鋼板製消化槽循環回数 (=0.5 回/日)

消化污泥循環ポンプの能力算出に当たって用いる式(4・15)の消化槽循環回数の値は、「**污泥消化タンク改築・修繕技術資料**」における計算例に準じて、0.5 回/日とすることができる。

③ 消化污泥循環ポンプ吐出量

式(4・14)で求めた熱収支から必要となる污泥循環量と、式(4・15)で求めた消化槽循環回数から必要となる污泥循環量とを比較し、値が大きい方を採用する。なお、消化污泥循環ポンプの吐出量には、20%程度の余裕を見込む。

2) 消化汚泥熱交換器

間接加温方式であり，消化槽の外部に消化汚泥熱交換器を設置し，熱供給源と消化汚泥熱交換器とを循環する温水によって，消化槽と消化汚泥熱交換器とを循環する汚泥を加温する。汚泥を循環するので，消化槽内の汚泥のかくはんを助長する。なお，熱供給源は，高効率ヒートポンプとする。

消化汚泥熱交換器の伝熱面積は，式（4・16）によって求める。

$$A = \frac{1000 \cdot Q_{max}}{K \cdot \Delta T} \times 1.2 \dots\dots\dots (4 \cdot 16)$$

ここに，

A : 消化汚泥熱交換器の伝熱面積 (m²)

Q_{max} : 鋼板製消化槽の加温最大熱量 (kW)

K : 総括伝熱係数 {W/ (m²・K)}

ΔT : 対数平均温度差 $\left(\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \right)$ (K)

ΔT_1 : 消化汚泥熱交換器の入口温水温度 T_w と出口汚泥温度 T_s' との差 (K)

ΔT_2 : 消化汚泥熱交換器の出口温水温度 T_w' と入口汚泥温度 T_s との差 (K)

なお，式（4・16）中の 1.2 は総括伝熱係数の変動に対する余裕を考慮した値である。また，対数平均温度差については，図 4-10 を参照のこと。

消化汚泥熱交換器での汚泥循環量を Q_{sc} (m³/h)，温水循環量を Q_w (m³/h) とすれば， T_s' および T_w' は式（4・17），（4・18）によって求めることができる。

$$T_s' = T_s + \frac{Q_{max}}{\rho_s \frac{Q_{sc}}{3,600} \cdot C_s} \dots\dots\dots (4 \cdot 17)$$

$$T_w' = T_w - \frac{Q_{max}}{\rho_w \frac{Q_w}{3,600} \cdot C_w} \dots\dots\dots (4 \cdot 18)$$

ここに，

ρ_s : 汚泥密度 (=1,000 kg/m³)

ρ_w : 温水密度 (=1,000 kg/m³)

C_s : 汚泥比熱 {=4.186 kJ/ (kg・K)}

C_w : 温水比熱 {=4.186 kJ/ (kg・K)}

§ 41 高効率ヒートポンプ

高効率ヒートポンプは、次の項目を考慮して定める。

- (1) 高効率ヒートポンプは、60℃以上の温水が供給可能なものとし、加熱容量は、鋼板製消化槽および木質混合汚泥の必要加温熱量に基づき決定する
- (2) 冷水循環ポンプおよび温水循環ポンプの吐出量は、高効率ヒートポンプの必要量に基づき決定する

【解 説】

鋼板製消化槽および木質混合槽の加温設備である高効率ヒートポンプは、次の項目を考慮して定める。

(1)について

ヒートポンプは、スクルー式チラーとし、20℃程度以上の未利用熱源から熱を回収し、60℃以上の温水が供給可能なものとする。

ヒートポンプの構造等は高圧ガス保安法に基づくものとし、安定した運転が行えるものとする。冷媒にはフルオロカーボン等の低沸点物質を、温水および冷水には上水を、それぞれ用いる。

ヒートポンプの加熱容量は、鋼板製消化槽の必要加温熱量に基づき決定する。木質系バイオマスを受け入れる場合には、木質混合汚泥の必要加温熱量を加算する。

1) 鋼板製消化槽必要加温熱量

投入汚泥の昇温に要する熱量は、式(4・19)によって求める。

$$Q_I = \rho_s \frac{Q_{SI}}{3,600} \cdot C_s (T_D - T_S) \dots\dots\dots (4 \cdot 19)$$

ここに、

- Q_I : 投入汚泥の昇温に要する熱量 (kW)
- Q_{SI} : 投入汚泥量 (m³/h)
- T_D : 消化槽温度 (K)
- T_S : 投入汚泥温度 (K)

放散熱量は、式(4・20)、(4・21)によって求める。

消化槽からの放散熱量

$$Q_2 = \left\{ \sum K_1 \cdot A_1 (T_D - T_A) + \sum K_2 \cdot A_2 (T_D - T_B) \right\} \times \frac{1.2}{1000} \dots\dots\dots (4 \cdot 20)$$

ここに、

- Q_2 : 消化槽からの放散熱量 (kW)

- A_1 : 消化槽側壁・天板面積 (m²)
 A_2 : 消化槽底板面積 (m²)
 K_1 : 消化槽側壁・天板の総括伝熱係数 {W/ (m²・K)}
 K_2 : 消化槽底面の総括伝熱係数 {W/ (m²・K)}
 T_A : 外気温度 (K)
 T_B : 土中温度 (K)

熱交換器からの放散熱量

$$Q_3 = \sum K_3 \cdot A_3 (T_m - T_A) \times \frac{1.2}{1000} \dots\dots\dots (4 \cdot 21)$$

ここに,

- Q_3 : 熱交換器からの放散熱量 (kW)
 A_3 : 熱交換器の放熱面積 (m²)
 K_3 : 熱交換器の放熱総括伝熱係数 {W/ (m²・K)}
 T_m : 温水温度の平均値 (K)

なお、式(4・20)(4・21)中の1.2は温水配管等の放熱を考慮した値であり、実証施設での実績によって妥当性が確認されている。

したがって、消化槽の加温に関する所要発生熱量は、式(4・22)によって求める。

$$Q_{max} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots (4 \cdot 22)$$

ここに,

- Q_{max} : 消化槽加温に関する所要発生熱量 (kW)
 Q_1 : 投入汚泥の昇温に必要な熱量 (kW)
 Q_2 : 消化槽からの放散熱量 (kW)
 Q_3 : 熱交換器からの放散熱量 (kW)

消化槽および熱交換器からの放散熱量は、1日最低気温の月平均値(冬季)を外気温度とし、投入汚泥の温度および土中温度を設定して計算する。

消化槽側壁、天板、底板の総括伝熱係数は、式(4・23)によって算出する。

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \dots\dots\dots (4 \cdot 23)$$

ここに,

- K_i : 消化槽側壁、天板、底板の総括伝熱係数 {W/ (m²・K)} (i=1, 2, 3)
 α_1 : 消化槽側壁、天板、底板の内面(ガスまたは汚泥)の熱伝達率 {W/ (m²・K)}
 α_2 : 消化槽側壁、天板、底板の外表面(空気または土壌)の熱伝達率 {W/ (m²・K)}
 λ : 保温材の熱伝導率 {W/ (m・K)}
 δ : 保温材の厚さ (m)

表 4-9 熱伝導率

項目	熱伝導率 {W/ (m・K)}
鉄筋コンクリート	1.6
ポリスチレンフォーム	0.03

表 4-10 熱伝達率

項目	熱伝達率 {W/ (m ² ・K)}
壁－空気	23
壁－高水分の汚泥	349
壁－湿った土壌	6

(2)について

温水循環ポンプおよび冷水循環ポンプの吐出量は、選定したヒートポンプに応じた必要量から決定する。

温水配管，冷水配管のいずれにも，膨張タンクを設けるほか，温度変化による膨張，収縮によって伸縮と偏心を受けるので，適所に伸縮管を設ける必要がある。また，温水配管は熱放散低減・火傷防止のため，冷水配管は結露防止のため，それぞれ保温材で覆う。

第4節 バイオガス精製技術の設計

§ 42 設計手順

バイオガス精製技術の設計は，設計条件の設定，構成機器の計画，配置検討の手順で行う。

【解 説】

バイオガス精製技術の基本設計は，導入対象の設備ごとに，図4-12に示される手順に従って行う。まず，設計条件としてバイオガスの発生量および有効利用設備での消費量に基づいて，必要となる処理量および貯留量を設定する。次に，構成機器の計画として，型式，処理能力・貯留容量，基数等を決定する。続いて，法令に基づく離隔距離を考慮して，配置検討を行う。設備ごとの具体的な設計手順については，§ 43を参照のこと。

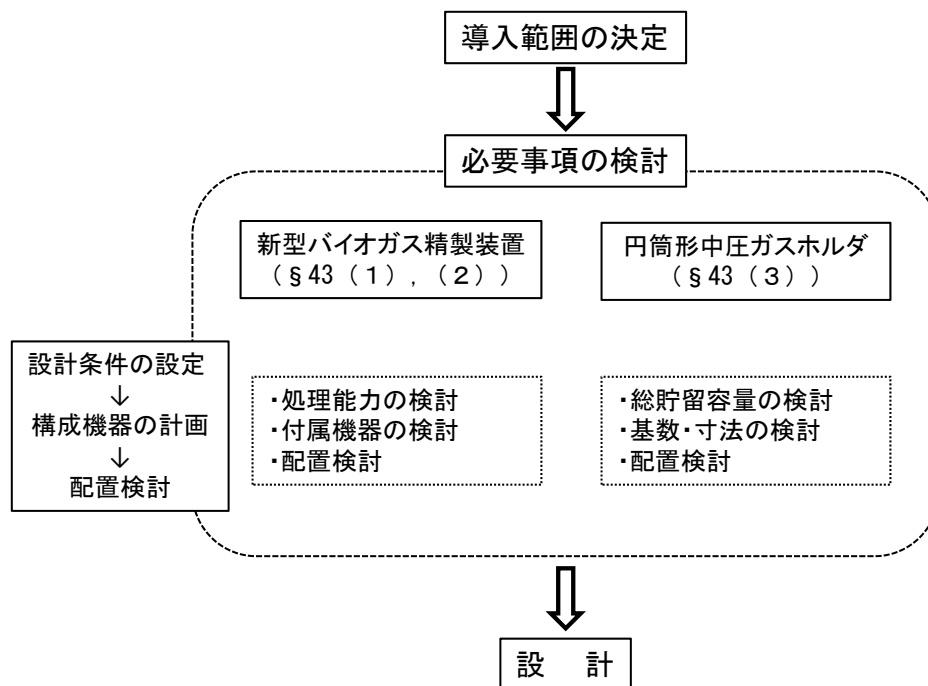


図4-12 バイオガス精製技術の設計手順

§ 43 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

新型バイオガス精製・貯留・圧送システムは、次の項目を考慮して定める。

- (1) 高品位な精製バイオガスを供給可能なバイオガス精製装置を設ける。
- (2) バイオガス精製装置は、メタン濃度を高めるとともに、脱硫、シロキサン除去、除湿等の能力を有するものとする。
- (3) 精製バイオガスの貯留装置として、ガスホルダを設ける。

【解 説】

バイオガスを天然ガス自動車燃料、都市ガス原料、発電機燃料等として有効利用するために、バイオガス精製装置およびガスホルダを設ける。

(1)について

バイオガスから自動車燃料、都市ガス原料、発電機燃料等に適した高品位ガスを取り出すために、バイオガス精製装置を設ける。バイオガス精製装置は、以下の各項目を考慮して定める。

1) 型式

精製方式は、高圧水吸収法とする。

2) 性能

バイオガス精製装置は、表 4-11 に示される標準的な管理値を満足する、高品位な精製バイオガスを供給できるものとする。

表 4-11 精製バイオガス標準管理値

成分	メタン	酸素	硫化水素	水分（露点）	シロキサン
単位	%	%	ppm	℃	mg/m ³ N
管理基準	97 以上	4 未満	0.1 以下	-51 以下	1 以下

3) 構造

ガス事業法に基づくガス工作物の技術上の基準を定める省令に従うとともに、最高使用圧力 0.2 MPa 以上、かつ、内容積 40 L 以上の圧力容器である、吸収塔、減圧塔および除湿器は、労働安全衛生法に基づく第二種圧力容器とする。

バイオガス圧縮機は、水冷式とし、バイオガスを 0.9 MPa 程度まで昇圧可能なスクリー式圧縮機（回転数制御可能）とする。硫化水素および水分を含むバイオガスによって腐食されない構造とする。

吸収塔は、SUS316L 製の円筒形容器で、下部から昇圧されたバイオガスを供給し、上部から供給される循環水と向流接触させる。また、バイオガスと循環水を効率良く接触させるため、

充填材を内蔵する構造とする。

除湿器は、2塔式の円筒形容器で、水分を吸着可能な除湿剤を内蔵する。吸収塔でメタン濃度が高められたバイオガスから水分を除去するもので、2塔の切り替えによって連続的に運転可能な構成とする。運転待機側の除湿器には、再生ガスヒータで所定温度に加熱した精製バイオガスを供給し、除湿剤を再生させる。

給水ポンプは、内圧約 0.9 MPa の吸収塔の頂部に循環水を供給可能な多段ポンプ（回転数制御可能）とする。

減圧・脱気塔は、SUS316L 製の円筒形容器で、上部が減圧部、下部が脱気部である。吸収塔下部から抜き出された循環水を減圧部で 0.1～0.4 MPa 程度に減圧した後、脱気部の上部に供給する。脱気部は充填材を内蔵しており、脱気ブロワによって脱気部下部から送り込まれる空気と循環水が向流接触することにより、循環水を再生させる。

冷却装置は、循環水を所定温度にまで冷却可能な空冷式チラーとする。

循環水の補給は上水で行うものとし、給水ユニットを用いて補給する。

4) その他

吸収塔、減圧・脱気塔および循環水配管は、保温材で覆い、外気の熱による循環水の温度上昇をできるだけ抑制する。

また、再生ガスヒータ、除湿器および付属配管は、放熱低減および火傷防止のため、保温材で覆う。

「ガス工作物の技術上の基準の細目を定める告示」第2条第3項の規定により、事業場の境界線に対して、バイオガス精製装置の外側から3 m以上の離隔距離を有する必要がある。

また、「ガス工作物技術基準の解釈例」第8条の規定により、火気取扱設備（ボイラ、燃焼炉、焼却炉、喫煙室等）に対して8 m以上の距離を有する必要がある。

(2)について

バイオガス精製装置は、メタン濃度を高めるとともに、硫化水素・シロキサン・水分の除去が可能なものとする。これにより、高機能な脱硫装置としての適用が可能で、脱硫装置の改築・更新時に導入することができる。

(3)について

精製バイオガスの貯留装置であるガスホルダは、以下の各項目を考慮して定める。

1) 型式

バイオガス精製装置における高圧水吸収方式の精製圧力を活用して、中圧式とする。常用圧力は、0.8 MPa 程度とし、最高使用圧力は、1 MPa 未満（0.97 MPa 程度）とする。

2) 基数

点検による運用休止に備えて、2基以上が望ましい。

3) 容量

ガスホルダの幾何容積（容器容積）と貯蔵量との関係は、式（4・24）で求められる。

$$Q = (10 \cdot P + 1) \times V \dots\dots\dots (4 \cdot 24)$$

ここに、

Q : 貯蔵量 (m³N)

P : 貯蔵圧力 (MPa)

V : 幾何容積 (m³)

また、§ 30 処理能力の検討に記載したとおり、ガスホルダの貯蔵量は、精製バイオガス量の12 時間分以上を貯蔵可能な量とし、精製バイオガス量は、容積ベースでバイオガス発生量の60%とする。

これらから、ガスホルダの幾何容積を決定する。

4) 形状

円筒形とし、完成品のトラック輸送が可能な寸法とする。

5) 構造

ガス事業法に基づくガス工作物の技術上の基準を定める省令に従うとともに、労働安全衛生法に基づく第二種圧力容器とする。

安全弁のほか、地震時等に閉鎖する緊急遮断弁を設ける。

6) その他

ガス事業法における「ガスホルダー」に該当するため、「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」に適合するものでなければならない。バイオガス精製装置と同様に、第二種圧力容器の個別検定合格品とすることが望ましい。

また、「ガス工作物の技術上の基準の細目を定める告示」第2条第1項の規定により、事業場の境界線に対して、中圧ガスホルダの外側から10 m以上の離隔距離を有する必要があるほか、「ガス工作物技術基準の解釈例」第8条の規定により、火気取扱設備（ボイラ、燃焼炉、焼却炉、喫煙室等）に対しても8 m以上の距離を有する必要がある。

「ガス工作物技術基準の解釈例」第76条第五号および第90条第二号の規定により、遠隔操作可能な緊急遮断装置で停電時も機能が失われないものをガスの受け入れ配管および送り出し配管に設ける必要がある。

