

3. 革新的技術の詳細

(2) バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム



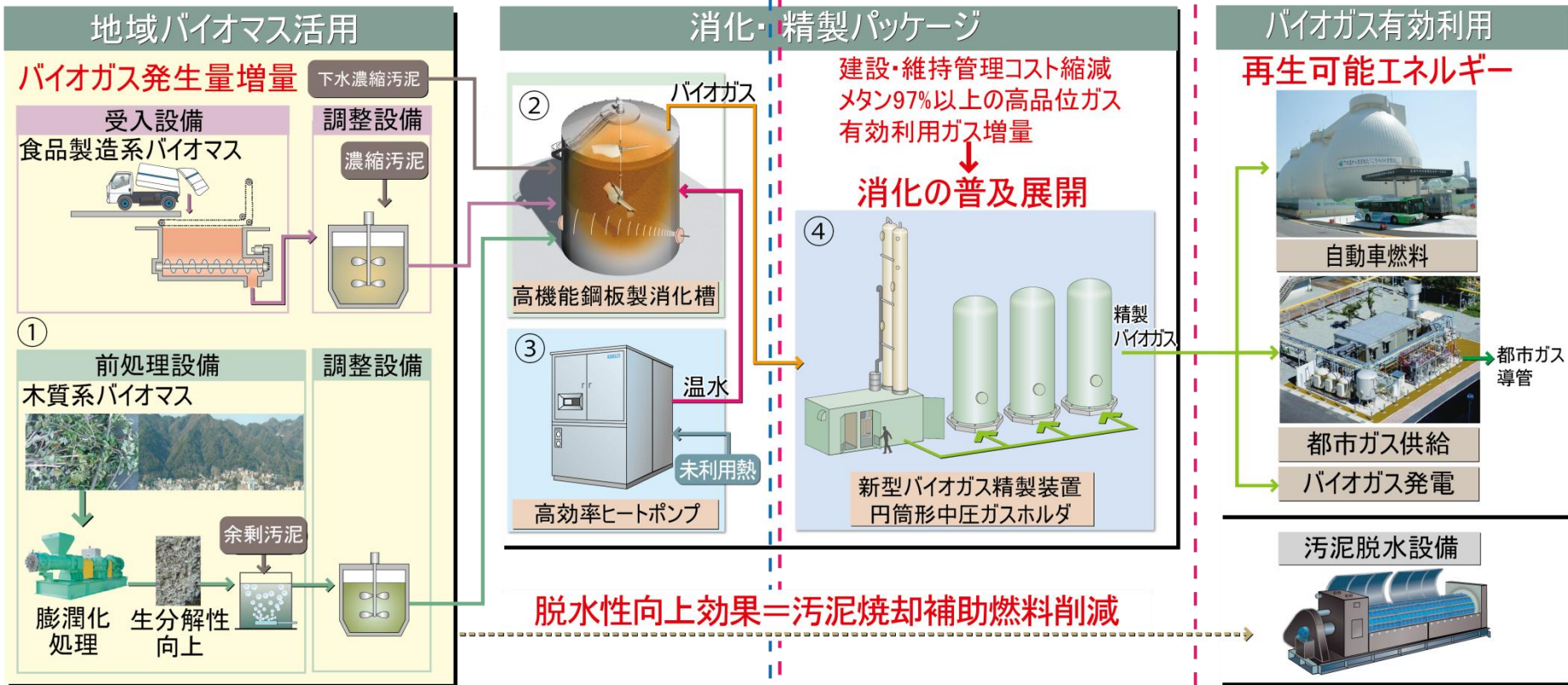
神鋼環境ソリューション・神戸市 共同研究体



1. 全体構成

バイオガス回収技術

バイオガス精製技術



①地域バイオマス受入・混合調整設備

②高機能鋼板製消化槽

③高効率ヒートポンプ

④新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

2. 適用範囲

条件	導入範囲
近隣に下水道への受け入れに好適な地域バイオマスが賦存する	システム全体
消化槽の増設・更新を検討中	鋼板製消化槽
消化槽の新規導入を検討中	鋼板製消化槽 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム
脱硫設備・低圧ガスホルダの更新予定あり	新型バイオガス精製・貯留・圧送システム
バイオガスの有効利用を検討中	新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

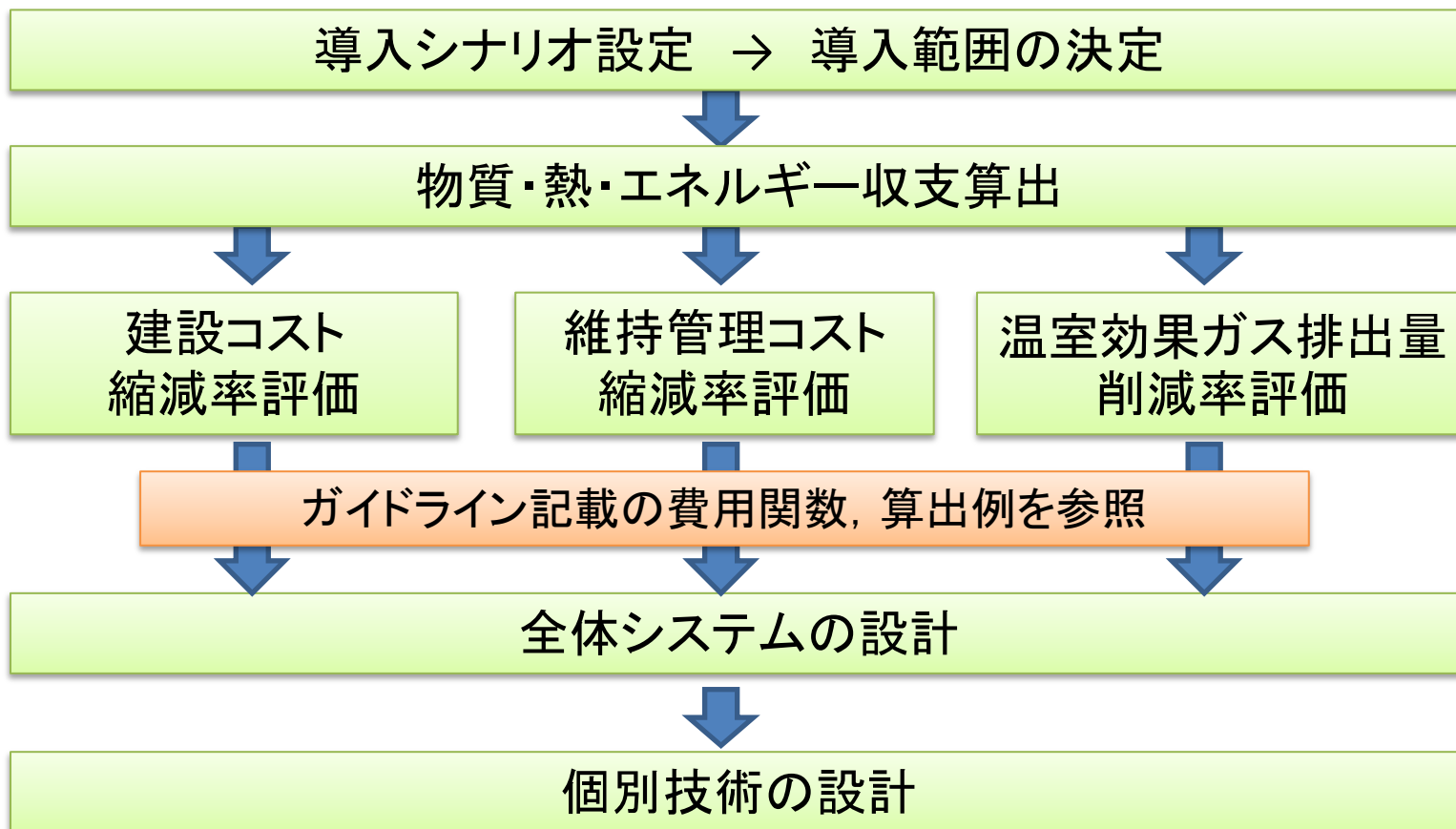
- ・システム全体を同時にまたは段階的に導入する場合
- ・一部の技術要素のみを導入する場合



いずれにも
適用可能

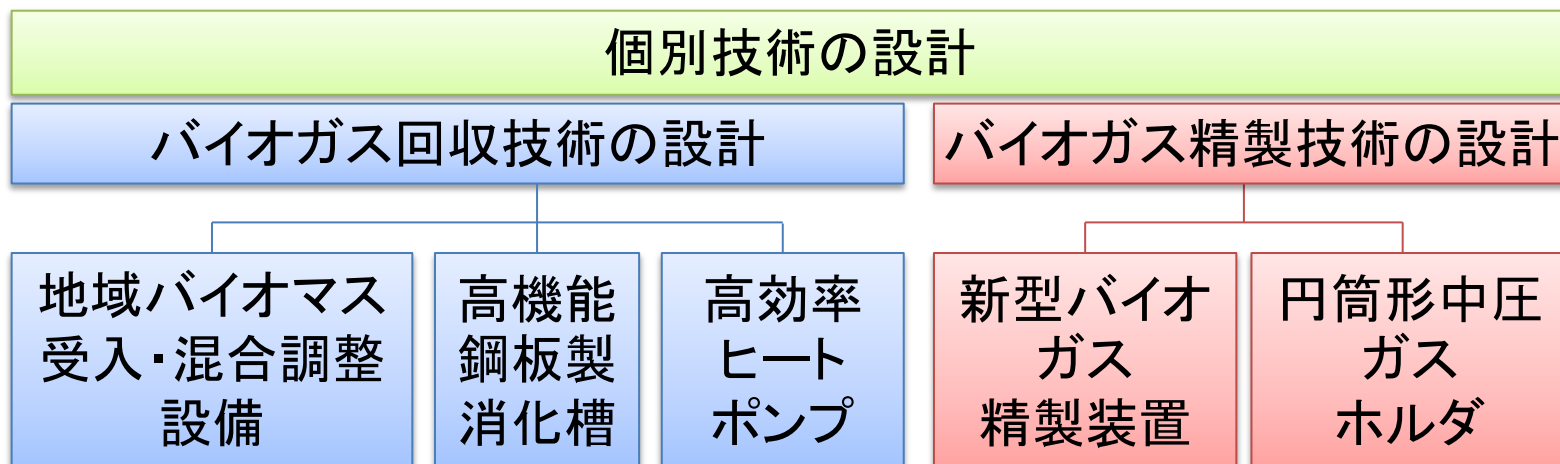
3. 設計の流れ

- 計画・設計手順



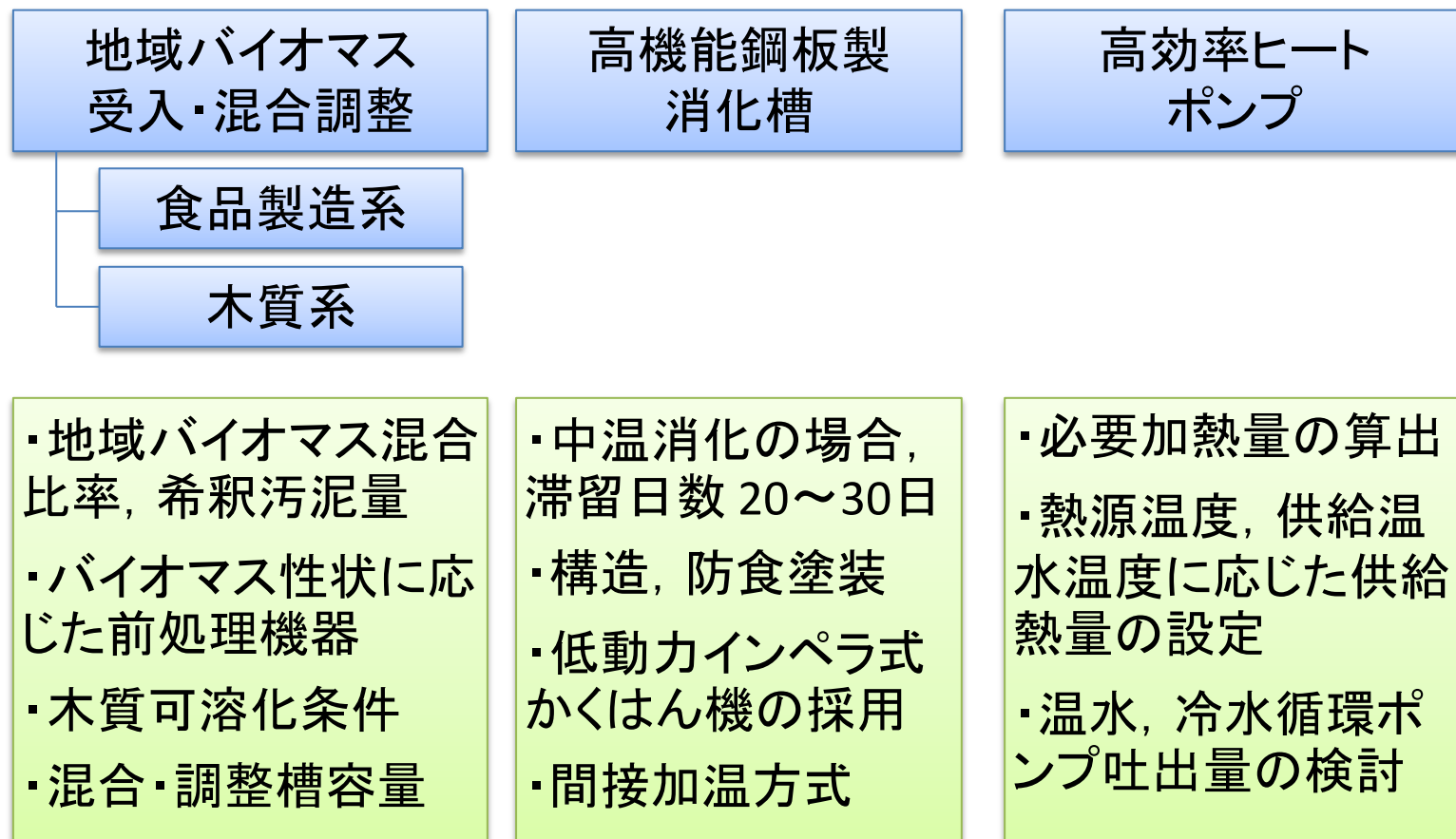
3. 設計の流れ

- 基本計画



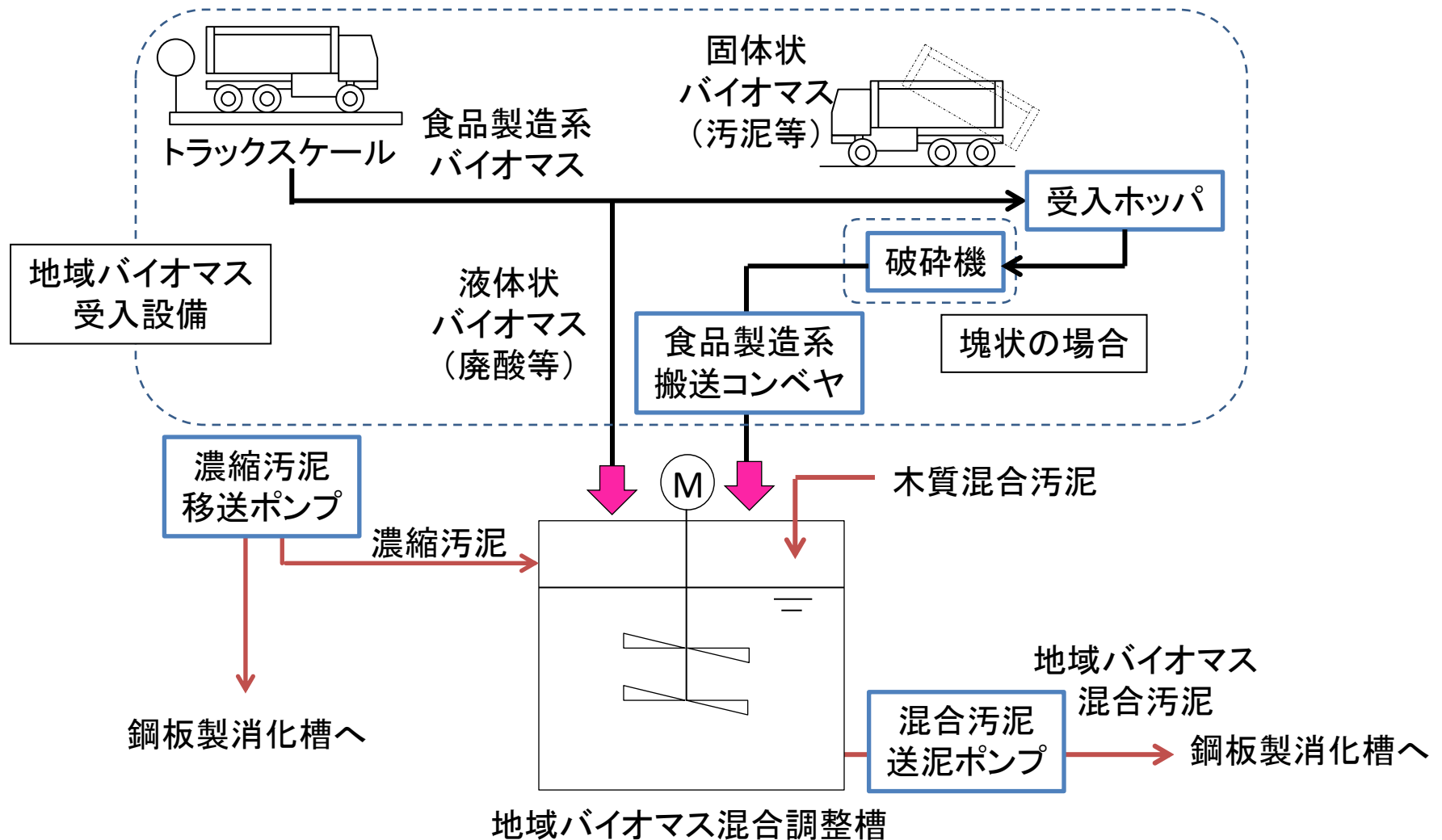
3. 設計の流れ

・ バイogas回収技術の設計



3. 設計の流れ 地域バイオマス受入・混合調整

・食品製造系バイオマス受入・混合調整設備のフロー



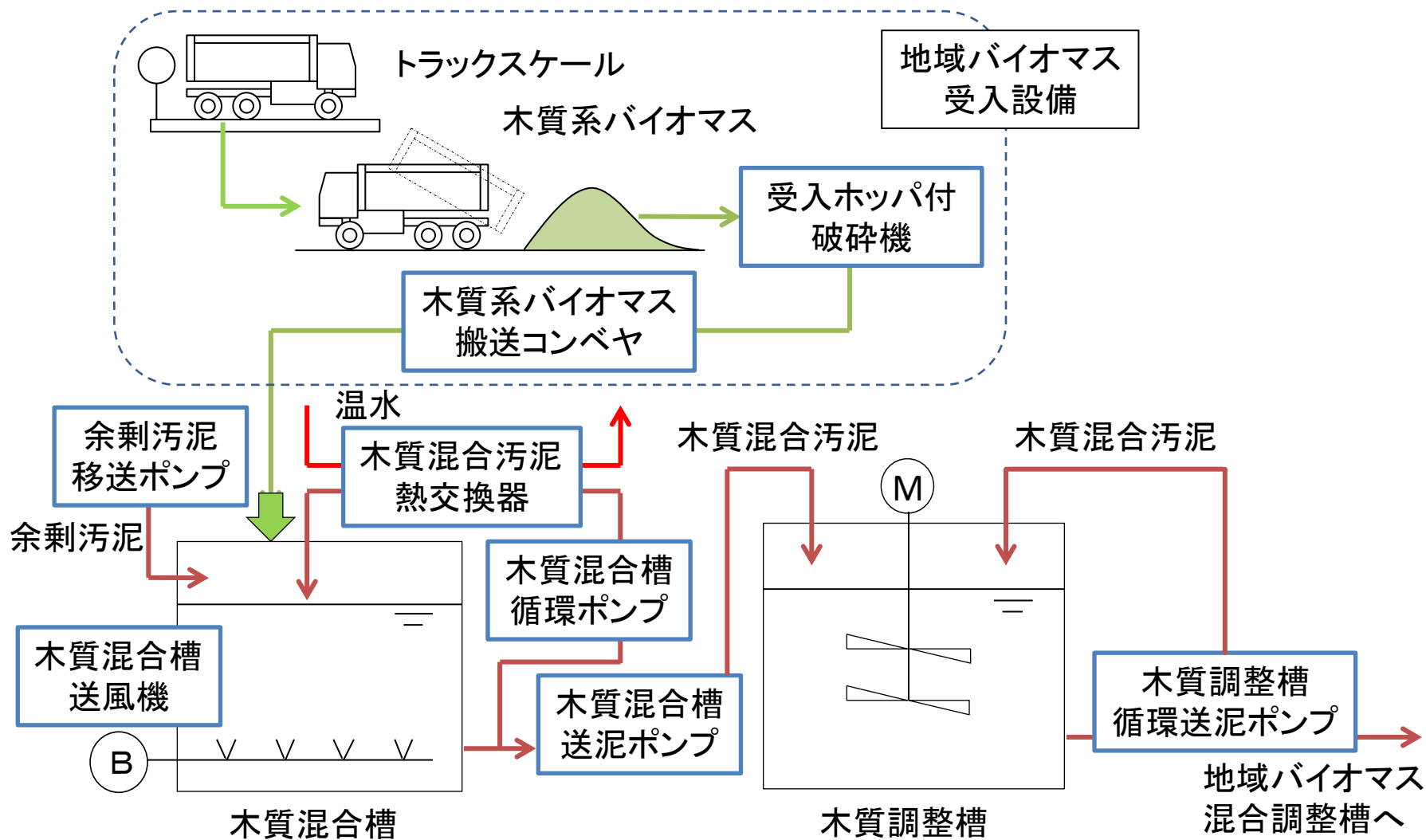
3. 設計の流れ 地域バイオマス受入・混合調整

食品製造系バイオマス受入・混合調整設備の設計

- 受け入れバイオマスの検討
下水道への受け入れの好適性を有するもの
- 前処理フローの検討
破碎の要/不要, 加温の要/不要
- 下水汚泥(濃縮汚泥)との混合・調質
ポンプでの移送性確保のためTS:10%程度以下
- 混合調整槽の容量
滞留日数:2日程度(受入量変動の影響軽減)

3. 設計の流れ 地域バイオマス受入・混合調整

・木質系バイオマス受入・混合調整設備のフロー



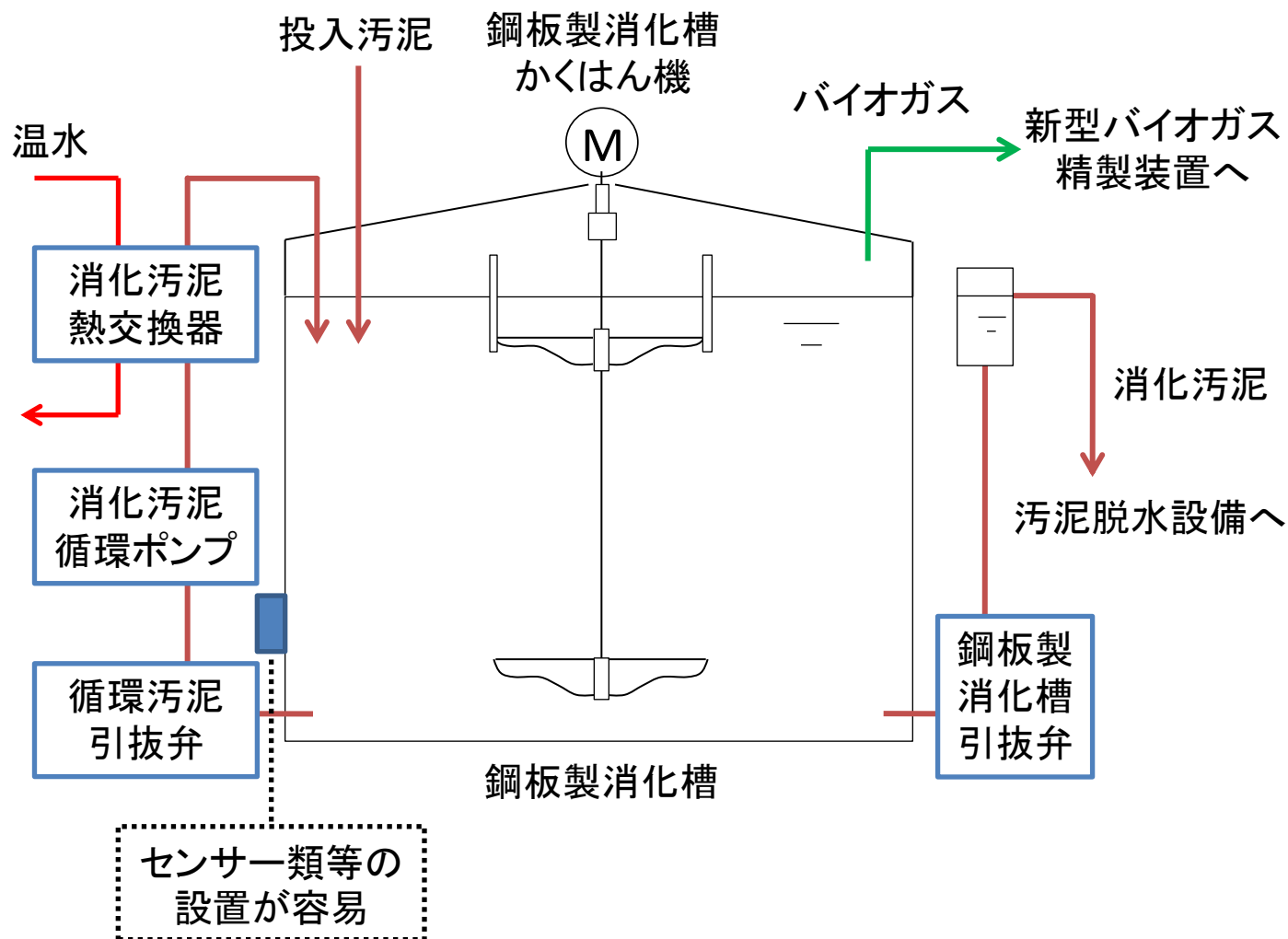
3. 設計の流れ 地域バイオマス受入・混合調整

木質系バイオマス受入・混合調整設備の設計

- 受け入れバイオマスの検討
下水道への受け入れの好適性を有するもの(樹種, 異物)
- 前処理フロー・機器の検討
膨潤化, 可溶化, 破砕ポンプの活用
- 下水汚泥(余剰汚泥)との混合・加温(可溶化)
余剰汚泥と混合し, 固形物濃度6%程度以下
40℃程度での好気処理
- 混合槽, 調整槽の容量
混合槽 → HRT: 1日程度(可溶化)
調整槽 → HRT: 2日程度(受入量変動の影響軽減)

3. 設計の流れ 高機能鋼板製消化槽

高機能鋼板製消化槽のフロー



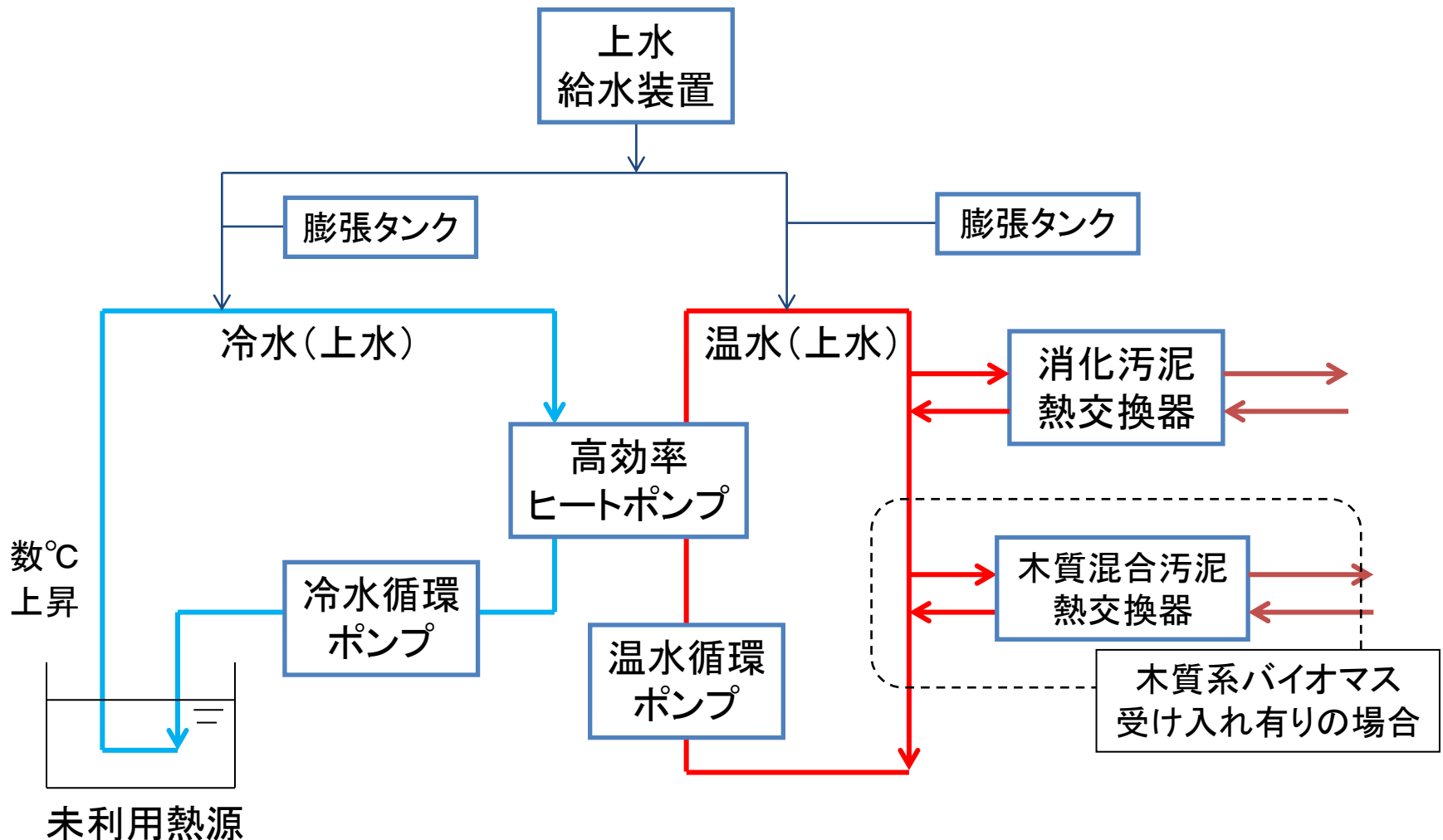
3. 設計の流れ 高機能鋼板製消化槽

高機能鋼板製消化槽の設計

- 容量の検討
HRT: 20～30日, VS容積負荷 $1\sim 3\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{日})$, 最大 $6,000\text{ m}^3/\text{基}$
- 構造
円筒形, 内径:水深=1:1程度, 平底, 外面への保温材施工
- 防食塗装
ビニルエステル系のD種相当防食塗装により20年の耐用年数を確保できるとの評価
「鋼板製消化タンク技術マニュアル ー2013年3月ー」(財団法人下水道新技術推進機構)
- 低動力かくはん機の採用
インペラ式 ……大型のかくはん羽根の低速回転
- 加温方式
間接加温とし, ヒートポンプの活用を検討

3. 設計の流れ 高効率ヒートポンプ

高効率ヒートポンプのフロー



3. 設計の流れ 高効率ヒートポンプ

高効率ヒートポンプの設計

- 熱源

処理場内の20℃程度以上の未利用熱源
(処理水, 放流水, 汚泥焼却設備洗煙排水等)
熱源温度が高いほどCOP(成績係数, 取り出せる
熱量÷消費電力)は上昇

- 加温熱量

消化槽, 木質可溶化での必要加温熱量

- 供給温水温度

高温になるほどCOPは低下 → 熱交換器設計に反映

3. 設計の流れ バイオガス精製技術

・ バイオガス精製技術の設計

新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

新型バイオガス 精製装置

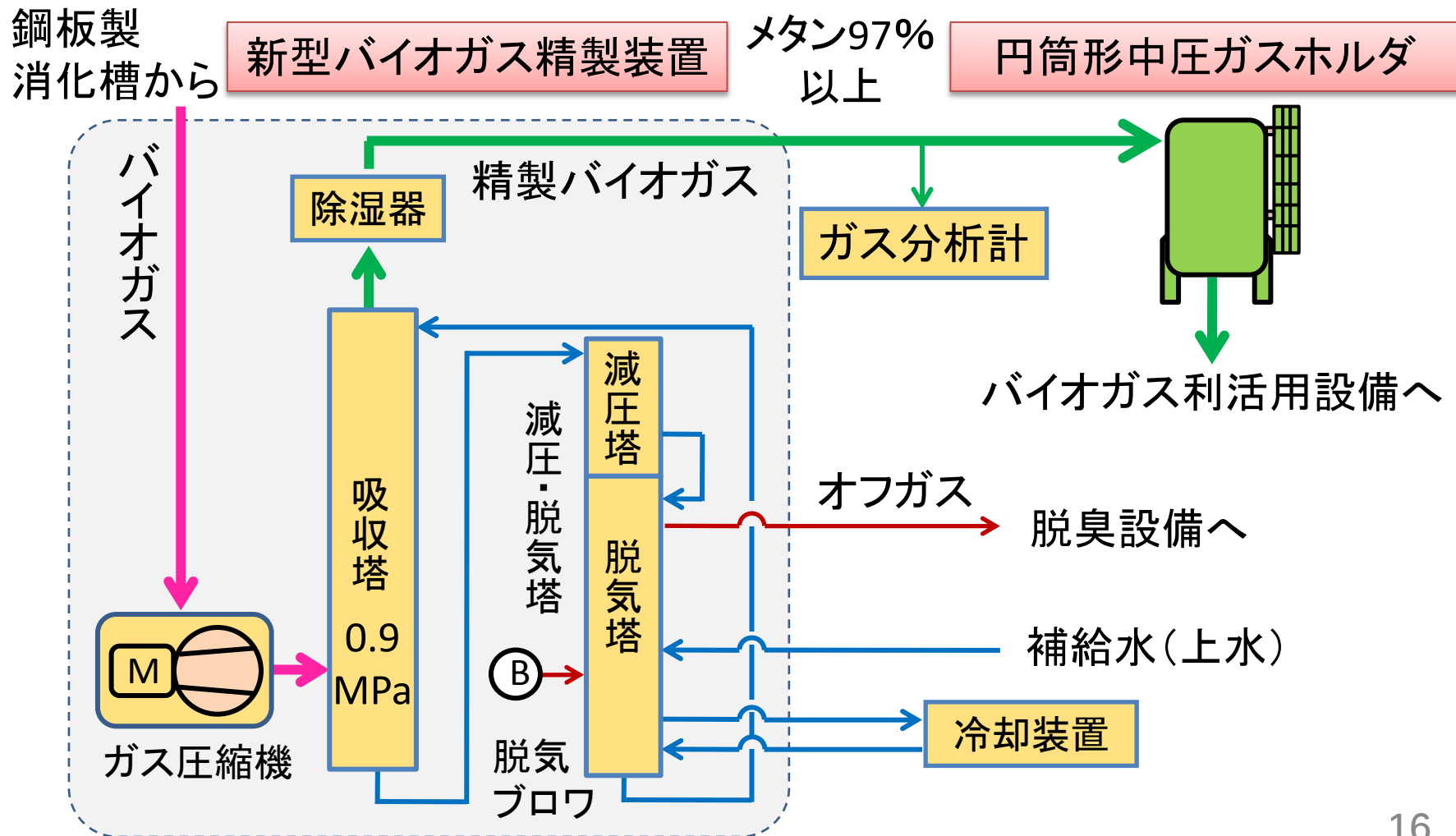
- ・低動力型高圧水吸収法
- ・多様な用途に利用可能な高品位ガス精製
- ・ガス工作物技術基準への適合

円筒形中圧ガス ホルダ

- ・貯蔵圧力0.8 MPa
- ・精製バイオガス12時間分の貯蔵容量
- ・トラック輸送可能な寸法
- ・離隔距離の確保

3. 設計の流れ バイオガス精製技術

- バイオガス精製・貯留・圧送システムフロー



3. 設計の流れ バイオガス精製技術

新型バイオガス精製装置の設計

- 型式
高圧水吸収法(低動力型)
- 性能
精製バイオガスのメタン濃度97%以上(標準管理値)
→ 多様な用途での有効利用が可能
(天然ガス自動車, 都市ガス導管注入, 発電)
- 構造
ガス圧縮機: 水冷スクルー式(等温圧縮可能)
吸収塔: 充填物内蔵, SUS316L製円筒形容器(2圧)
- ガス事業法への対応
ガス工作物技術基準(構造, 防爆, 離隔距離等)

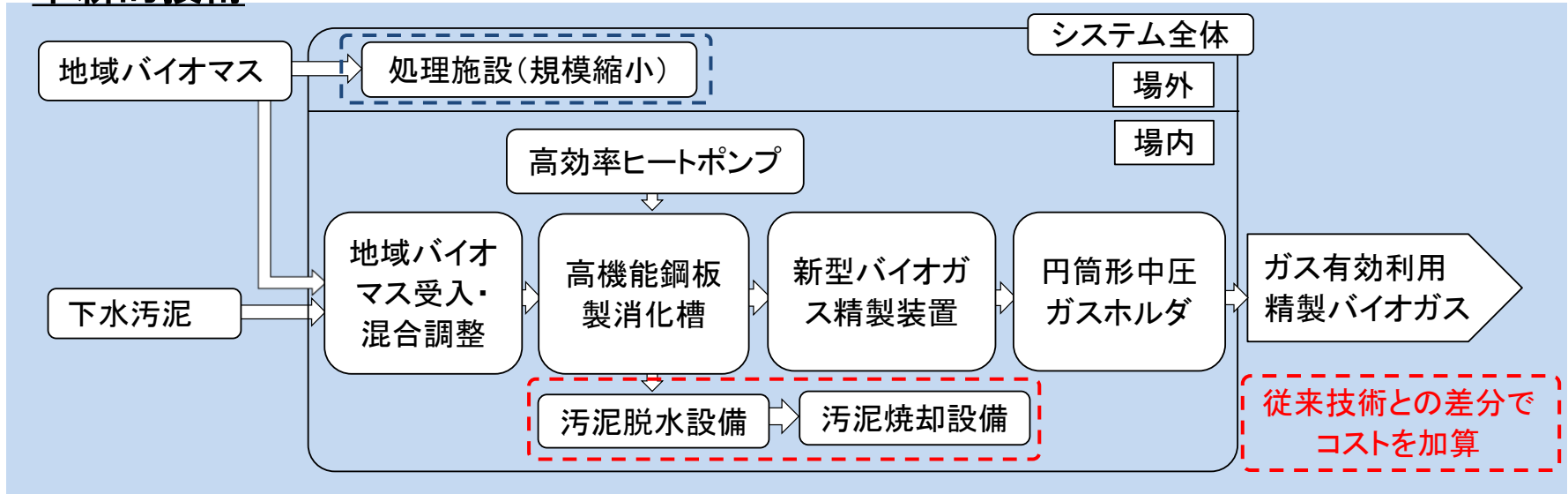
3. 設計の流れ バイオガス精製技術

円筒形中圧ガスホルダの設計

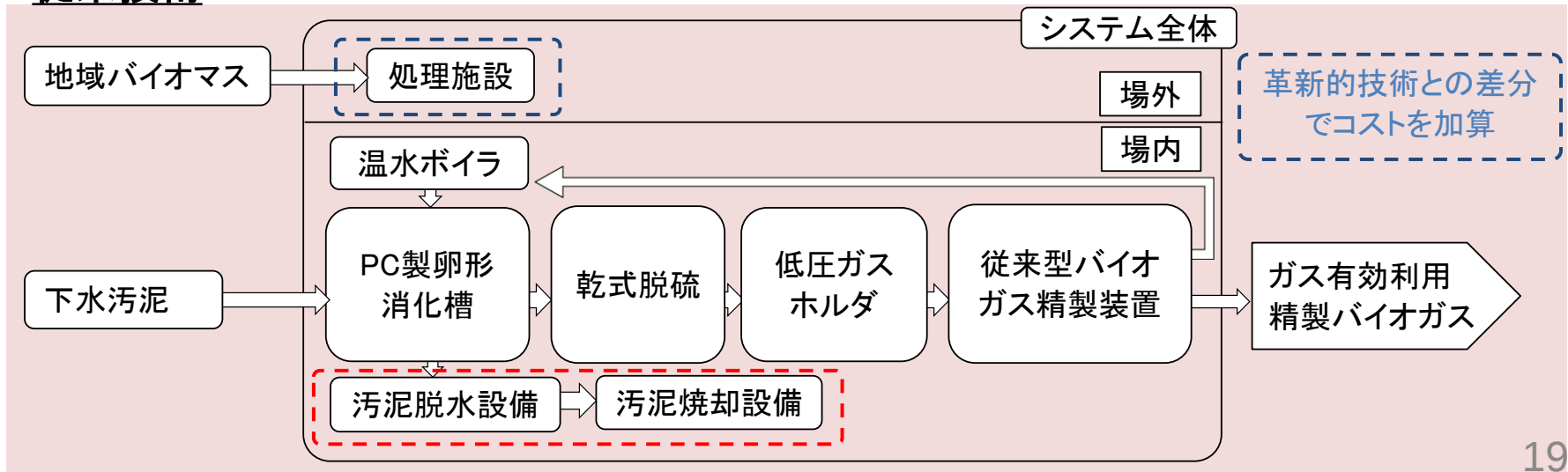
- 型式
中圧貯蔵(0.8 MPaG程度)
- 貯蔵容量
精製バイオガス量(バイオガス発生量の60%)の
12時間分
- 形状
円筒形, トラック輸送可能な寸法
- ガス工作物技術基準の遵守
構造, 防爆, 緊急遮断措置, 離隔距離等

4. 導入による効果 全体システムフロー

革新的技術



従来技術



4. 導入による効果

●導入範囲と期待される効果(1/2)

条件	導入範囲	期待される効果
近隣に下水道への受け入れに好適なバイオマスが賦存	システム全体	バイオガス有効利用量増 地域バイオマス処理施設の規模縮小 木質受け入れによる脱水性向上・汚泥焼却補助燃料削減
消化槽の増設・更新を検討中	鋼板製消化槽	建設・維持管理コスト縮減 建設工期短縮 槽本体と付帯設備の耐用年数が同程度のため、将来柔軟な更新検討が可能 ヒートポンプを用いた未利用熱回収による、エネルギー使用量削減

4. 導入による効果

●導入範囲と期待される効果(2/2)

条件	導入範囲	期待される効果
消化槽の新規導入を検討中	鋼板製消化槽 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム	後段の汚泥脱水・焼却設備の規模縮小 下水汚泥からのエネルギー回収が可能
脱硫設備・低圧ガスホルダの更新予定あり バイオガス有効利用の拡大を検討中	新型バイオガス精製・貯留・圧送システム	バイオガス有効利用拡大による維持管理コスト縮減・温室効果ガス排出量削減 建設コスト縮減 設置面積削減

4. 導入による効果

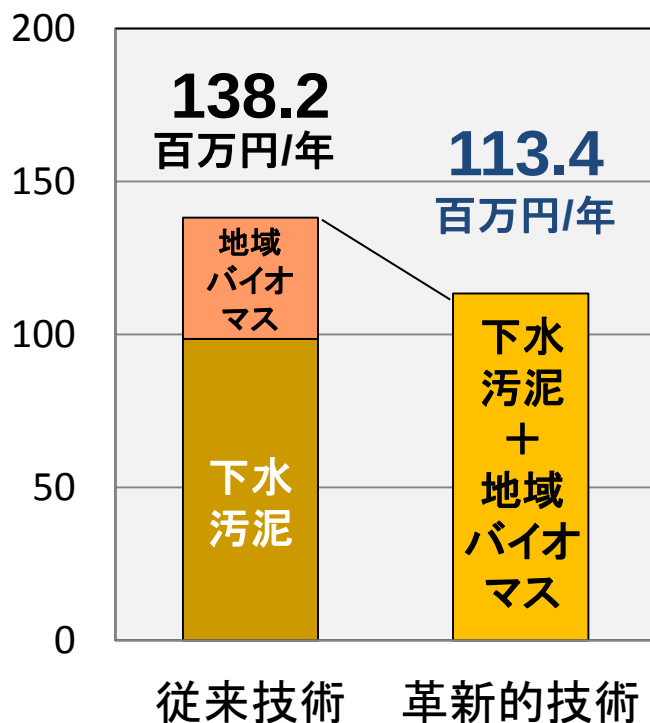
●システム全体での導入効果

試算条件	流入下水量(日最大)	m ³ /日	25,000	50,000	75,000
	流入下水量(日平均)	m ³ /日	20,000	40,000	60,000
	下水汚泥発生量	t-ds/日	3.5	7.0	10.5
	地域バイオマス受入量	t-ds/日	1.7	3.4	5.1
導入効果	発生バイオガス量増加率	%	61	61	61
	精製バイオガス売却可能量増加率	%	206	206	206
	建設コスト縮減率(初期投資)	%	17	21	21
	建設コスト縮減率(年価)	%	13	18	17
	維持管理コスト縮減率	%	55	123	172
	ライフサイクルコスト縮減率	%	23	40	45
	温室効果ガス排出量削減率	%	211	463	1,356

4. 導入による効果

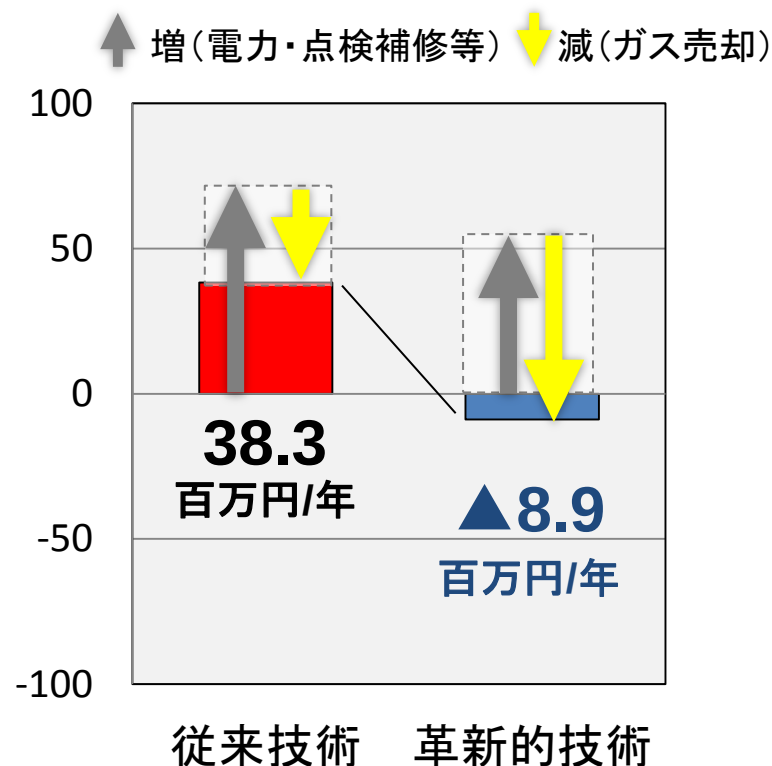
システム全体(下水汚泥7t-ds/日＋
地域バイオマス3.4 t-ds/日規模)

建設コスト 18%縮減



- ・算出方法
機械・電気：積算
土木・建築：費用関数
地域バイオマス処理施設：費用関数
- ・耐用年数
機械・電気：20年
土木・建築：45年
地域バイオマス処理：20年
- ・割引率：2.3%

維持管理コスト 123%縮減



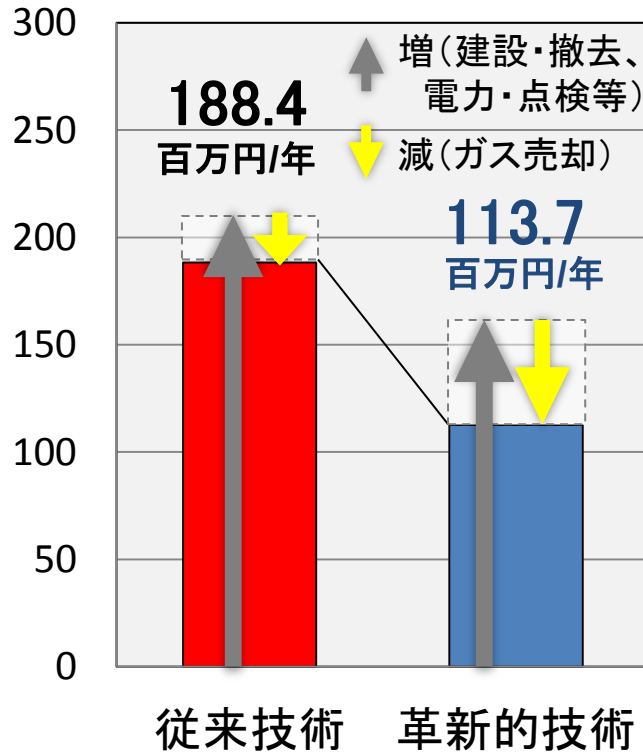
- ・算出方法
電力：選定電動機容量×負荷率
精製ガス：ガス発生量実験値
点検補修：メーカー見積
地域バイオマス処理：文献値
- ・用役単価
電気：10円/kWh
精製ガス：70円/m³N

4. 導入による効果

システム全体(下水汚泥7t-ds/日＋
地域バイオマス3.4 t-ds/日規模)

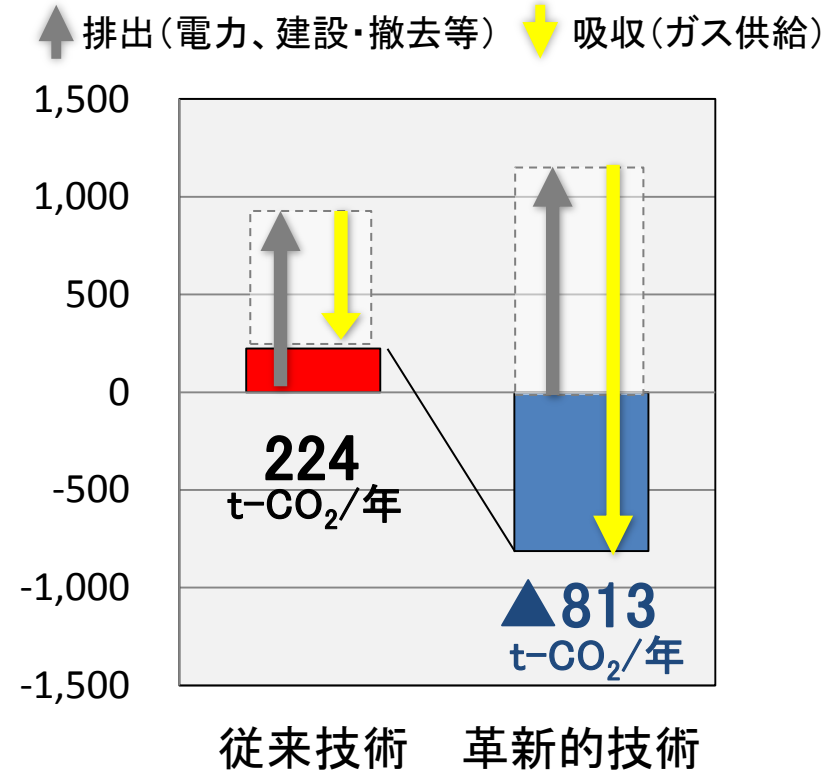
ライフサイクルコスト **40%縮減**

温室効果ガス排出量 **463%削減**



・算出方法
建設、撤去、維持
管理コストの合計

・撤去コスト算出方法
機械: 建設時工事コスト × 40%
電気, 土木・建築:
建設コスト × 機械工事費比率 × 40%



・運転時排出係数
電気: 0.550 kg-CO₂/kWh
都市ガス: 2.234 kg-CO₂/m³N
精製ガス: 1.960 kg-CO₂/m³N

・建設時
運転時 × 0.24
・撤去時
運転時 × 0.01

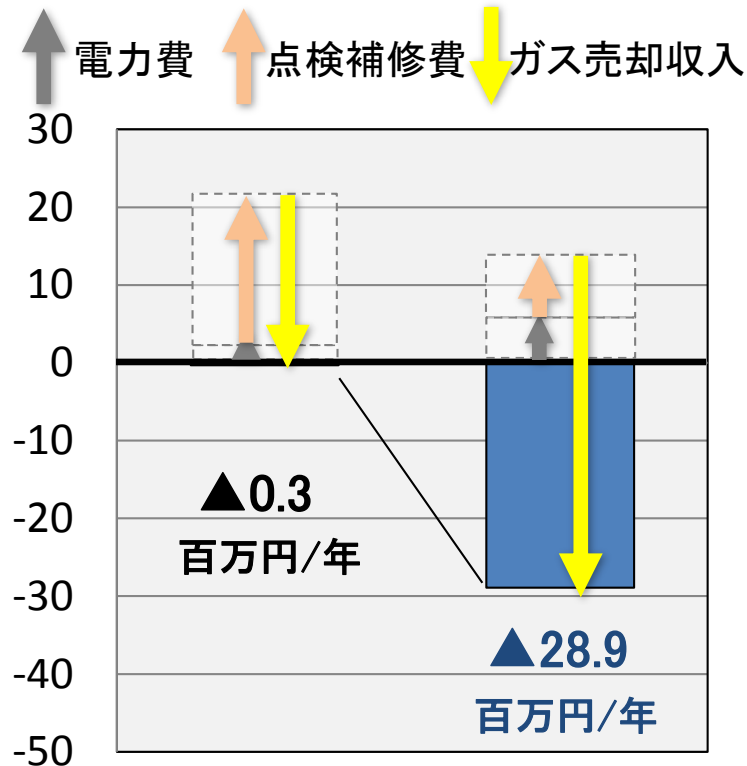
4. 導入による効果 個別技術(消化槽設備)

	比較フロー
革新的技術	鋼板製消化槽＋ 高効率ヒートポンプ
従来技術	PC製卵形消化槽＋ 温水ボイラ(燃料:バイオガス)

地域バイオマスの受け入れなしの場合

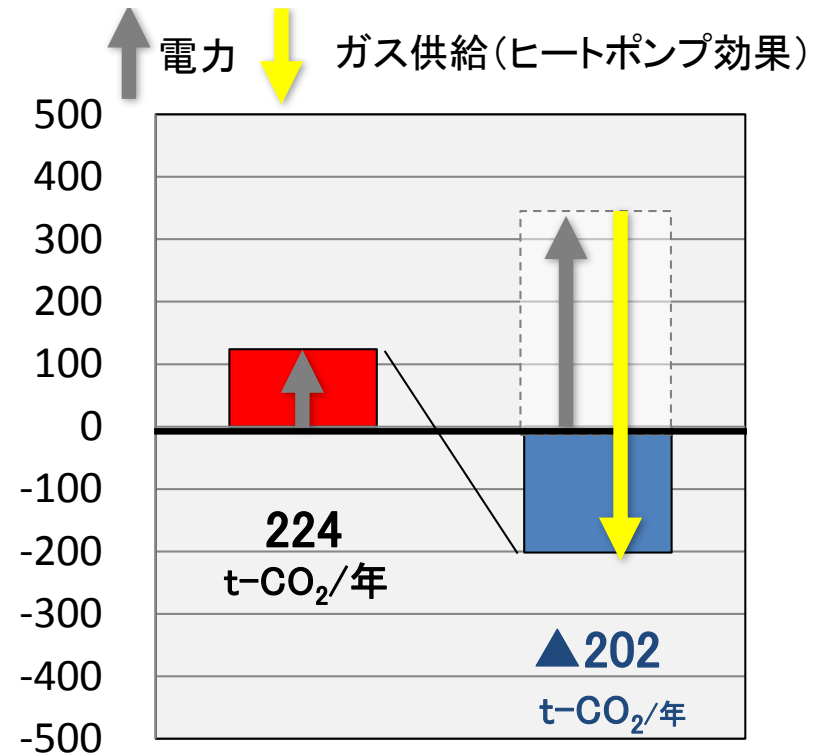
4. 導入による効果

・維持管理コスト



従来技術 革新的技術

・温室効果ガス排出量



従来技術 革新的技術

- ・電力: ヒートポンプにより増加, 低動力かくはん機により減少
- ・点検補修: ボイラからヒートポンプへの変更による縮減
- ・バイオガス: ヒートポンプによる売却収入増・温室効果ガス排出量削減

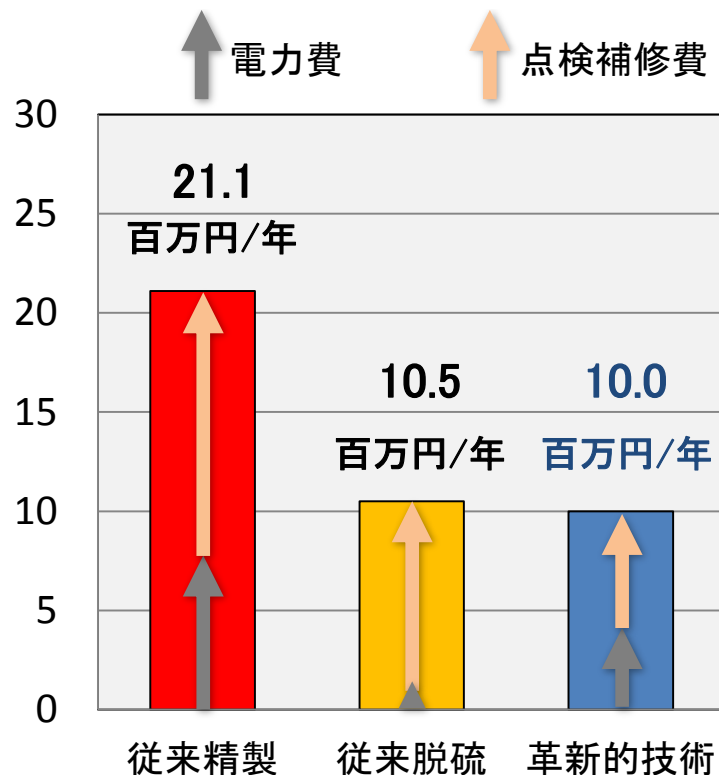
4. 導入による効果 個別技術(バイオガス精製・貯留)

	精製バイオガスの 主な利用用途	比較フロー
革新的技術	都市ガス(導管注入) 自動車燃料 発電	新型バイオガス精製装置＋ 円筒形中圧ガスホルダ
従来精製	都市ガス(導管注入) 自動車燃料 発電	乾式脱硫＋低圧ガスホルダ＋ 従来型バイオガス精製装置
従来脱硫	発電	乾式脱硫＋低圧ガスホルダ＋ シロキサン除去・除湿＋昇圧

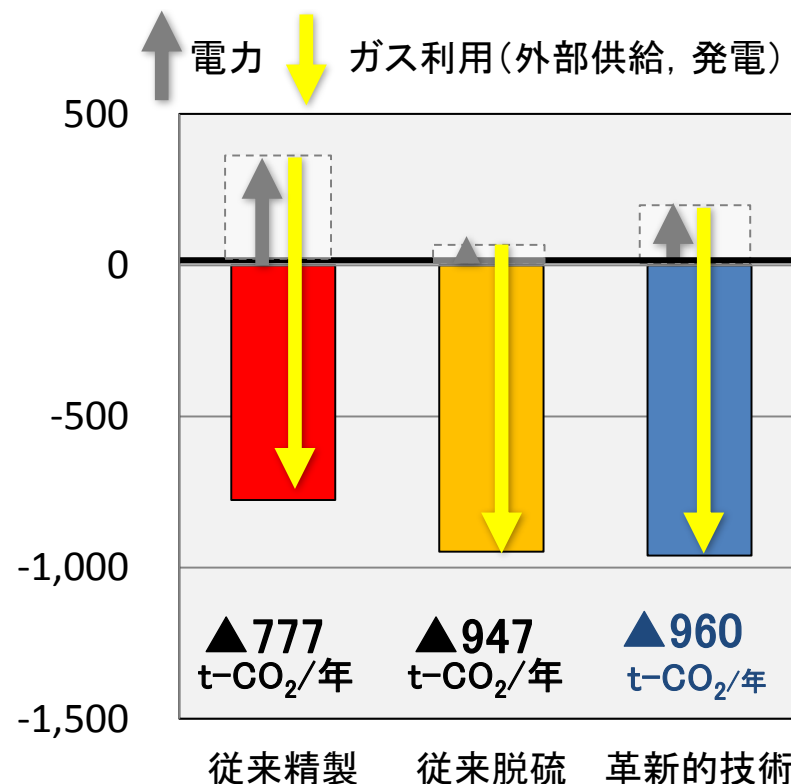
4. 導入による効果

個別技術, バイオガス精製・貯留
(バイオガス処理量2,800 m³N/日規模)

・維持管理コスト



・温室効果ガス排出量



- ・電力: 低動力ガス圧縮機の採用等により, 従来精製に対して削減
- ・点検補修: 従来精製に対して, 圧縮機の交換部品少なく給脂も不要
従来脱硫に対しても, 脱硫剤不要, ガスホルダ点検補修費縮減
- ・ガス利用: 従来脱硫→発電, 従来精製・革新→外部供給として算出

4. 導入による効果 工期短縮(1)

• 鋼板製消化槽

		所要日数	
従来技術	PC製卵形消化槽 容積 4,000 m ³ 実績工程	592日	土木工事 105 本体工事 260 機械工事 181 電気工事 196
	高機能鋼板製消化槽 容積: 220 m ³ 今回実績工程	153日	土木工事 58 本体工事 135 機械工事 31 電気工事 31
革新的技術	高機能鋼板製消化槽 容積: 4,000 m ³ 評価規模での標準工程	273日	土木工事 105 本体工事 240 機械工事 60 電気工事 60

土木・機械工事の一括発注により全体工期短縮可能
工場製作範囲の増加により、現地工期を70%短縮可能

4. 導入による効果 工期短縮(2)

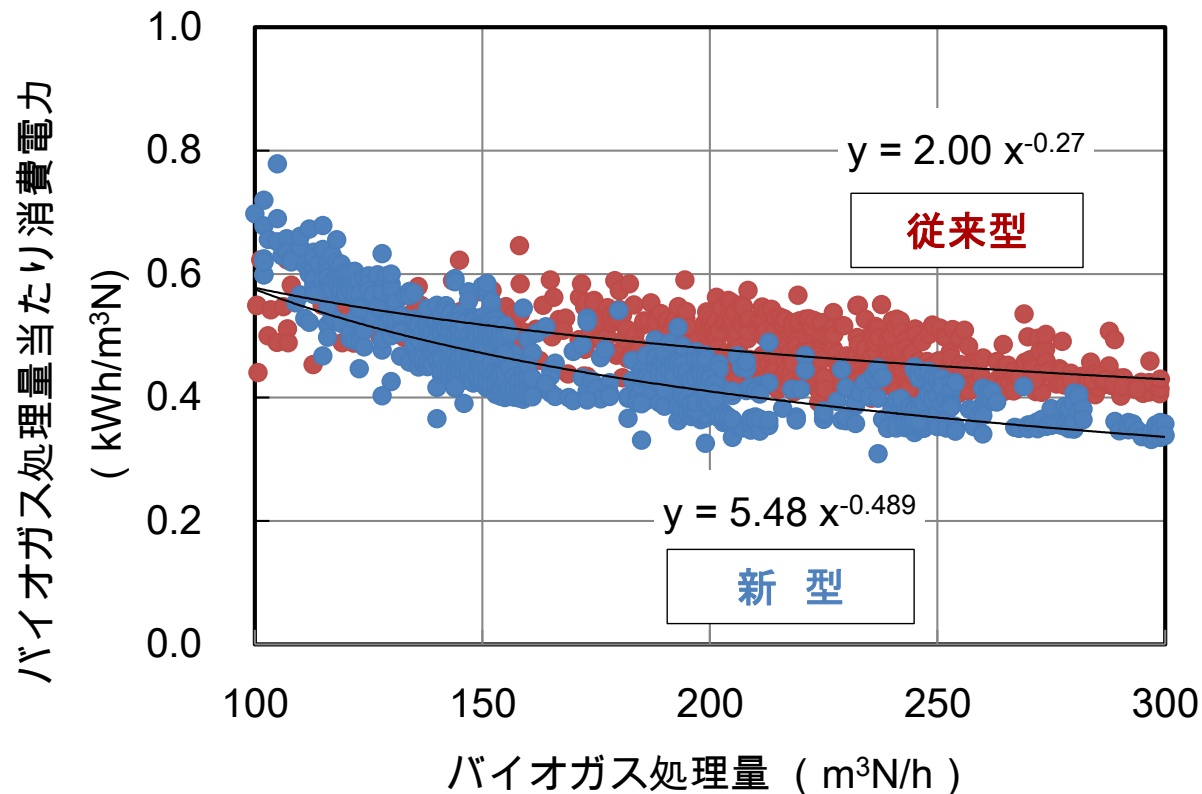
• 円筒形中圧ガスホルダ

		所要日数	
従来技術	低圧ガスホルダ 容量: 2,500 m ³ N 数量: 1基	243日	土木工事 45 工場製作 45 現地工事 197
	球形中圧ガスホルダ 容量: 1,500 m ³ N 数量: 1基 実績	155日	土木工事 59 工場製作 69 現地工事 85
革新的技術	円筒形中圧ガスホルダ 容量: 500 m ³ N 数量: 3基 今回実績	115日	土木工事 66 工場製作 79 現地工事 4

精製ガスの中圧貯蔵に伴う幾何容積減により完成品のトラック輸送が可能 → 全体工期50%減, 現地工期大幅短縮

4. 導入による効果 動力低減

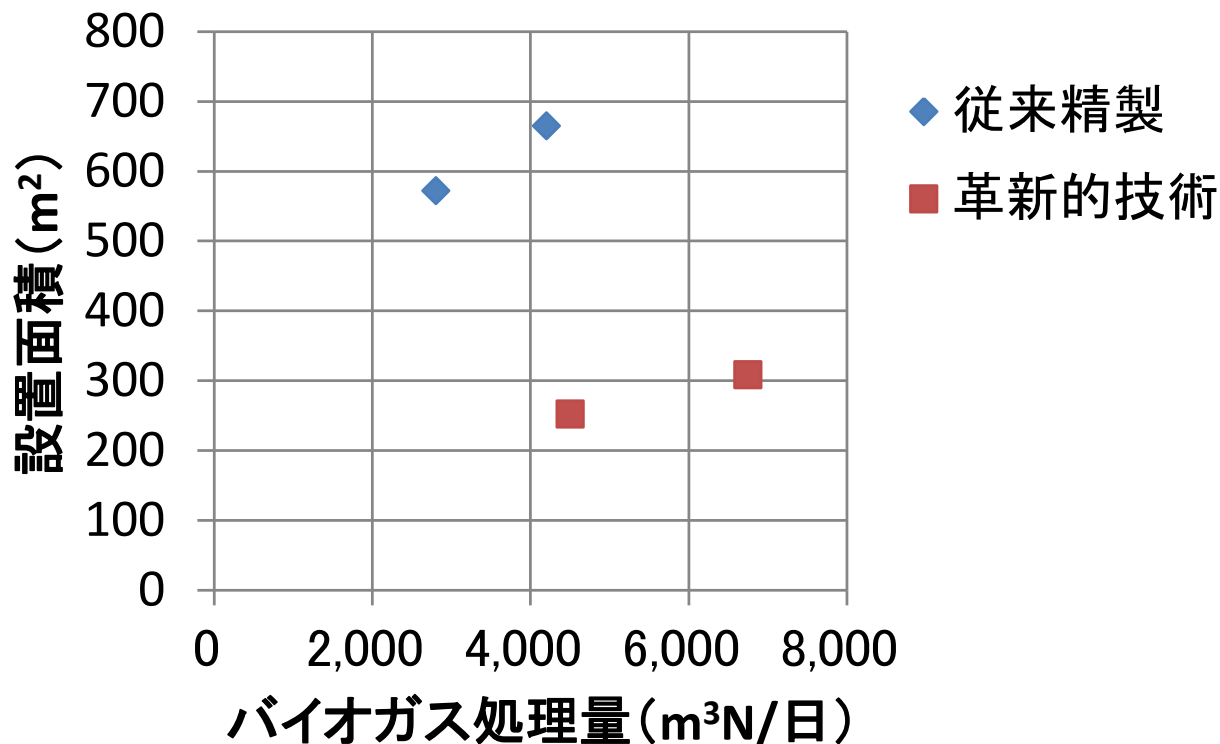
- 新型バイオガス精製装置の動力低減効果



低動力ガス圧縮機(等温1段圧縮)の導入により, 18%低減
バイオガス処理量当たり0.37 kWh/m³ (250 m³N/hのとき)

4. 導入による効果 設置面積低減

- 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム



精製装置のパッケージ化, ガスホルダの精製ガス中圧貯蔵により, 同じバイオガス処理量では, 50%以上の低減が可能

→ 土木工事コストの縮減が可能

4. 導入による効果 木質バイオマス受入

・脱水性向上

	脱水汚泥 含水率(%)	木質添加率
地域バイオマス あり	79.6	対下水汚泥0.8% (湿重量ベース)
地域バイオマス なし	82.9	—

- ・脱水試験機 回転加圧式
- ・処理能力 1m³/h規模
- ・高分子薬注率 1.6～1.7%—対TS
- ・ポリ鉄添加率 20%—対TS



脱水試験機

木質系バイオマスの添加によって、脱水性に3ポイント程度の向上が認められた

4. 導入による効果 木質バイオマス受入

・汚泥焼却設備補助燃料低減効果試算

	脱水汚泥				焼却設備補助燃料(都市ガス)		
	発生量	含水率	強熱減量 (600°C)	低位 発熱量	使用量	コスト	温室効果 ガス排出量
	t-wet/日	%	%-ds	kJ/kg-ds	m ³ N/日	百万円/年	t-CO ₂ /年
革新的 技術	27.3	79.6	78.4	16,700	1,110	32.0	893
従来 技術	24.6	82.9	72.6	15,800	1,550	44.6	1,247
削減率	—	—	—	—	28%		

- ・処理規模(革新) 下水汚泥7 t-ds/日＋地域バイオマス3.4 t-ds/日
木質添加率0.8%(湿重量ベース)
- ・処理規模(従来) 下水汚泥7 t-ds/日

5. 設備の維持管理 バイオガス回収技術の運転管理

- 鋼板製消化槽運転管理基準

地域バイオマスを受け入れる場合は、特にVFA, アンモニア性窒素等(自動分析の活用を検討)が上昇しないか管理する

対象	項目	管理基準
投入汚泥	有機物容積負荷	1～3 kg/(m ³ ・日)
消化性能	消化率	40～60%
	VS分解率	50～60%
消化汚泥	pH	7.3～8.0
	VFA(揮発性有機酸)	200 mg/L以下
	アルカリ度	1,500～5,000 mgCaCO ₃ /L
	アンモニア性窒素	1,500 mg/L以下
	Fe, Ni, Co	10 mg/kg-DS以上

5. 設備の維持管理 バイオガス回収技術の運転管理

- 鋼板製消化槽内部可視化

可視化によって良好な消化状況を維持する取り組みが可能

測定項目	測定方法	測定頻度
温度	測温抵抗体	連続
槽内流速	槽内挿入型電磁流量計	適宜(メーカ点検時)
板厚	非破壊検査	適宜(メーカ点検時)
底部堆積物高さ	超音波センサ	適宜(メーカ点検時)

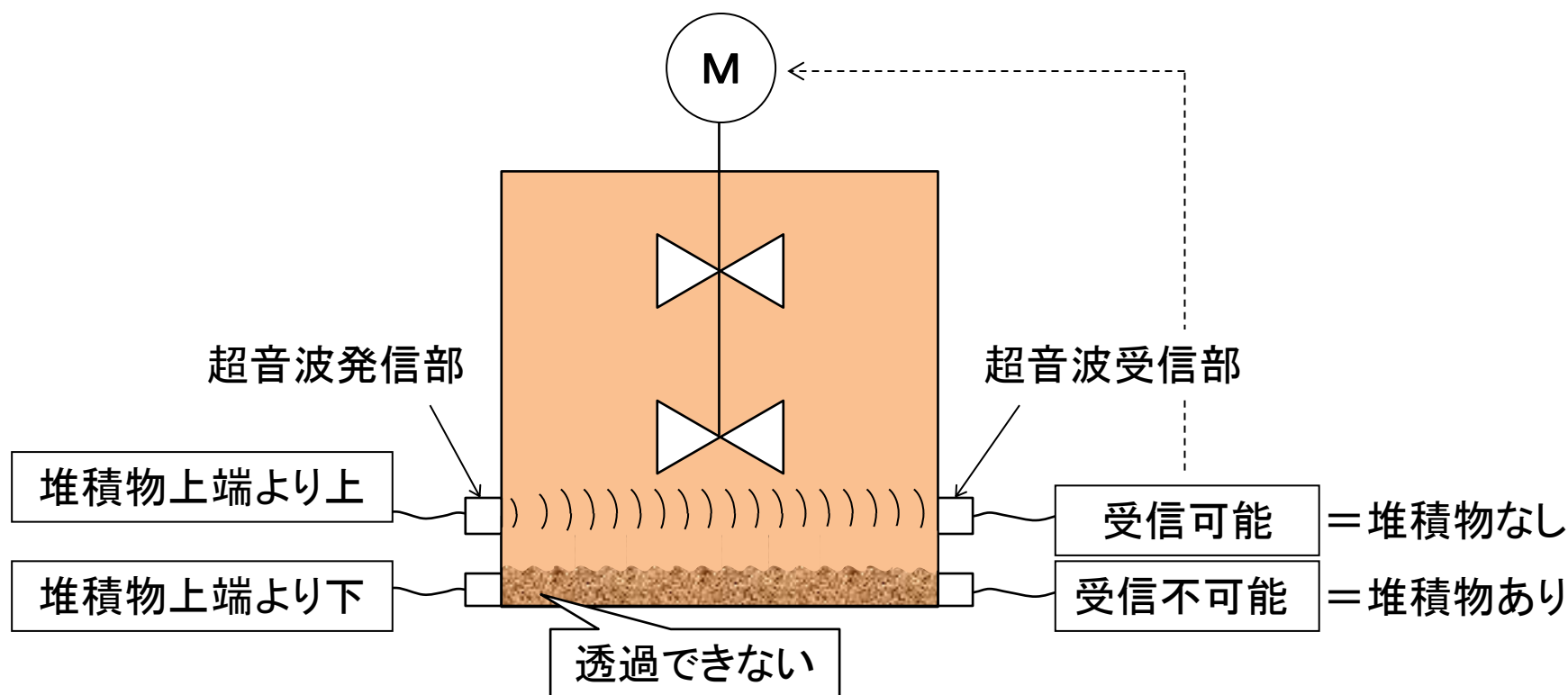
鋼板の材料特性を活かし、肉厚測定可能

→ 内面腐食状況の定量的な評価が可能

→ 長寿命化計画の策定に当たって有効に活用できる

5. 設備の維持管理 バイオガス回収技術の運転管理

- 鋼板製消化槽堆積物の蓄積抑制運転



堆積物の検出状況に応じてかくはん機の運転条件を変更
→ 堆積物が蓄積しない運転状況を維持する取り組みが可能

5. 設備の維持管理 バイオガス精製技術の運転管理

- 新型バイオガス精製装置

多様な用途で利用可能な標準管理基準を設定

項目	単位	管理基準	備考
メタン	Vol%	97以上	
酸素	Vol%	4未満	
硫化水素	ppm	0.1以下	
水分露点	°C	利用圧力で 結露しないこと	神戸市では -51°C
シロキサン	mg/m ³ N	1以下	

- ・天然ガス自動車 → そのままで利用可能(別途付臭は必要)
- ・都市ガス導管 → 要熱量調整(LPG添加, 必要に応じて微量成分除去)
- ・発電 → そのままで利用可能(除湿, シロキサン除去済み)

6. 普及への取り組み等

●導入範囲と期待される効果(1/2)

導入範囲	期待される効果
システム 全体	バイオガス有効利用量増 地域バイオマス処理施設の規模縮小 木質受け入れによる脱水性向上・汚泥焼却補助燃料削減
鋼板製消化槽	建設・維持管理コスト縮減 建設工期短縮 槽本体と付帯設備の耐用年数が同程度のため、将来柔軟な更新検討が可能 ヒートポンプを用いた未利用熱回収による、エネルギー使用量削減

6. 普及への取り組み等

●導入範囲と期待される効果(2/2)

導入範囲	期待される効果
鋼板製消化槽 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム	後段の汚泥脱水・焼却設備の規模縮小 下水汚泥からのエネルギー回収が可能
新型バイオガス精製・貯留・圧送システム	バイオガス有効利用拡大による維持管理コスト縮減・温室効果ガス排出量削減 建設コスト縮減 設置面積削減

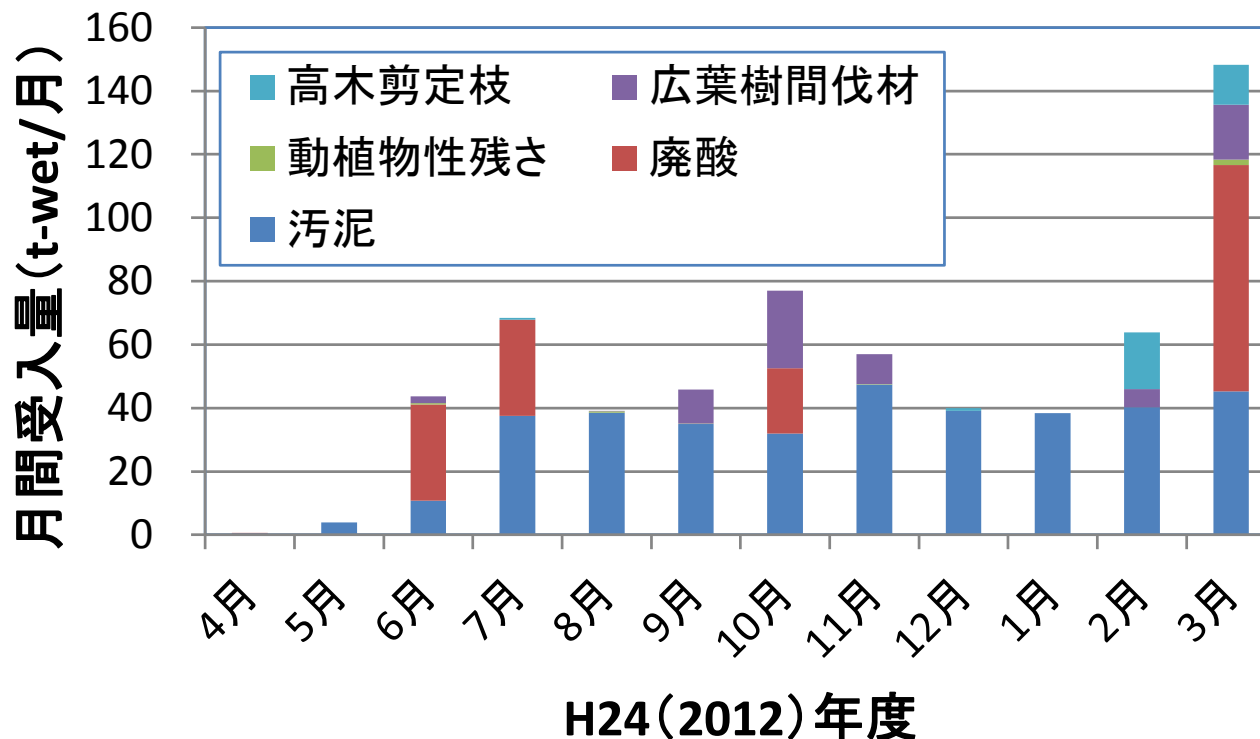
7. 実証研究成果

・ 実証実験条件

	単位	2012年 (H24)											2013年 (H25)		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
鋼板製消化槽滞留日数	日	21.9	22.0	22.0	26.5	25.8	22.8	19.4	20.0	20.1	21.2	25.0	25.1	19.7	16.6
鋼板製消化槽への投入量															
下水汚泥	m ³ /日	10.1	10.0	10.0	8.3	8.5	9.7	11.3	11.0	11.0	10.4	8.8	8.8	11.2	13.2
食品製造系バイオマス	t-wet/日	0.09	0.12	0.04	0.03	0.11	0.83	0.47	0.32	0.27	0	0.25	0.18	0.49	1.02
木質系バイオマス	t-wet/日	0.08	0.07	0.03	0	0	0	0	0	0.08	0	0.04	0.07	0.09	0.07
バイオガス発生量	m ³ N/日	166	224	168	87	83	168	188	189	190	114	174	169	257	272
高効率ヒートポンプ加温熱量	kWh/h	157	129	137	0	161	222	186	199	213	114	100	76	116	81
既設消化槽への投入量															
下水汚泥	m ³ /日	375	330	329	311	318	310	306	312	294	311	303	294	329	301
食品製造系バイオマス	t-wet/日	0	0	0	0	0.07	1.93	1.37	0.95	1.46	1.35	1.34	0.95	1.21	1.54
木質系バイオマス	t-wet/日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07
バイオガス発生量	m ³ N/日	4,422	4,456	4,547	4,194	3,988	4,090	3,652	3,646	3,548	3,950	4,306	4,176	4,780	4,597

7. 実証研究成果

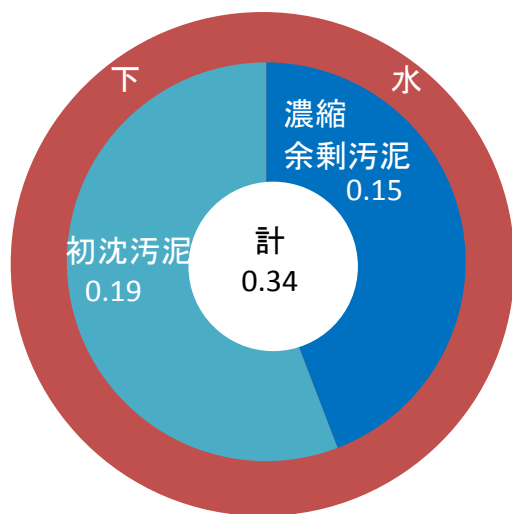
- 実証実験条件(地域バイオマス受入量)



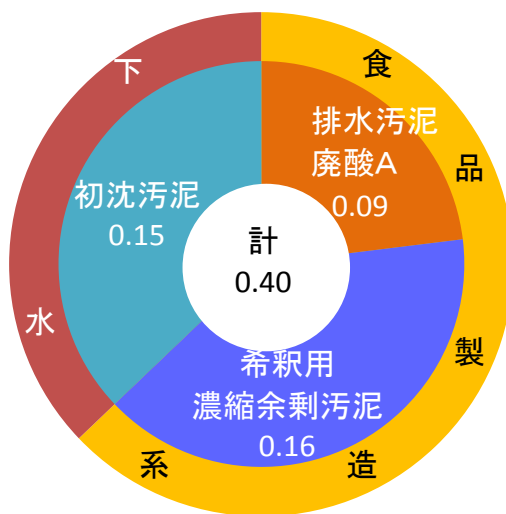
目視・ヒアリング, 分析, ラボ実験の結果, 好適性が認められ, かつ, 排出元との合意が得られた地域バイオマスについて, 順次受入れを開始
→年度後半にかけて受け入れ量を拡大

7. 実証研究成果

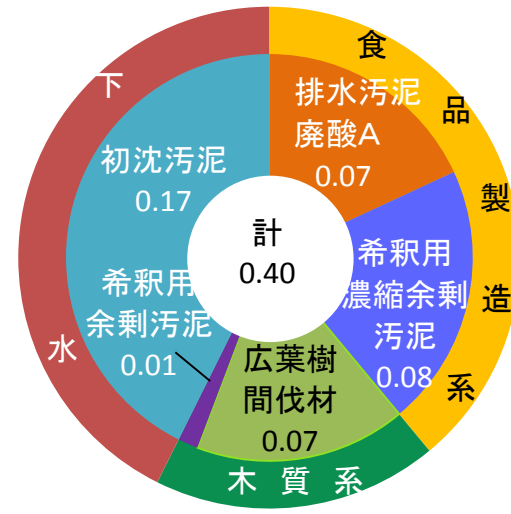
- 実証用鋼板製消化槽(220 m³)の固形物投入量, ガス発生量



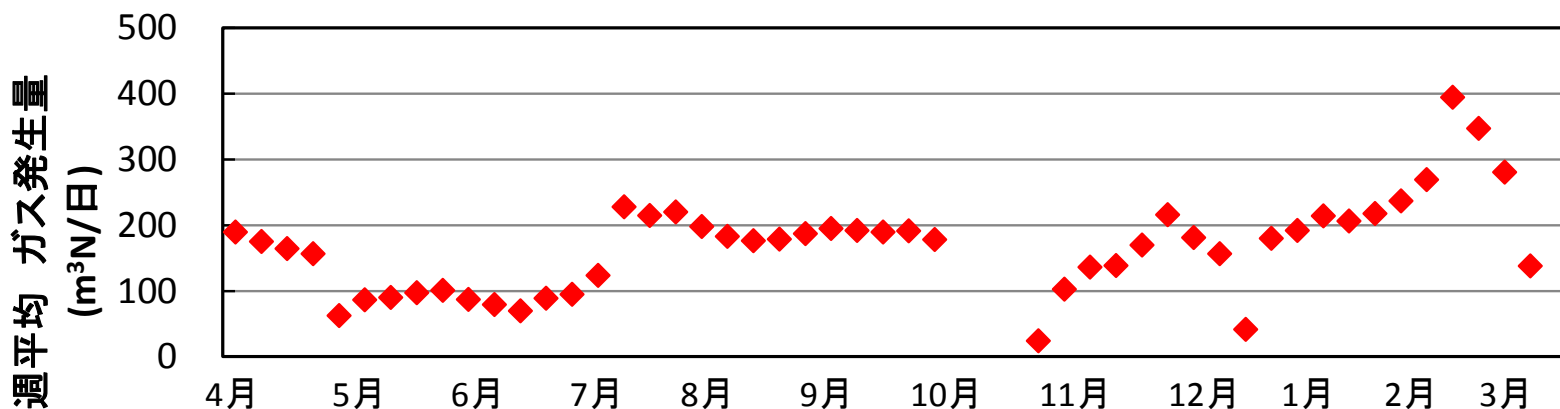
下水汚泥のみ(11/21~11/28)



食品製造系混合(7/23~10/1)

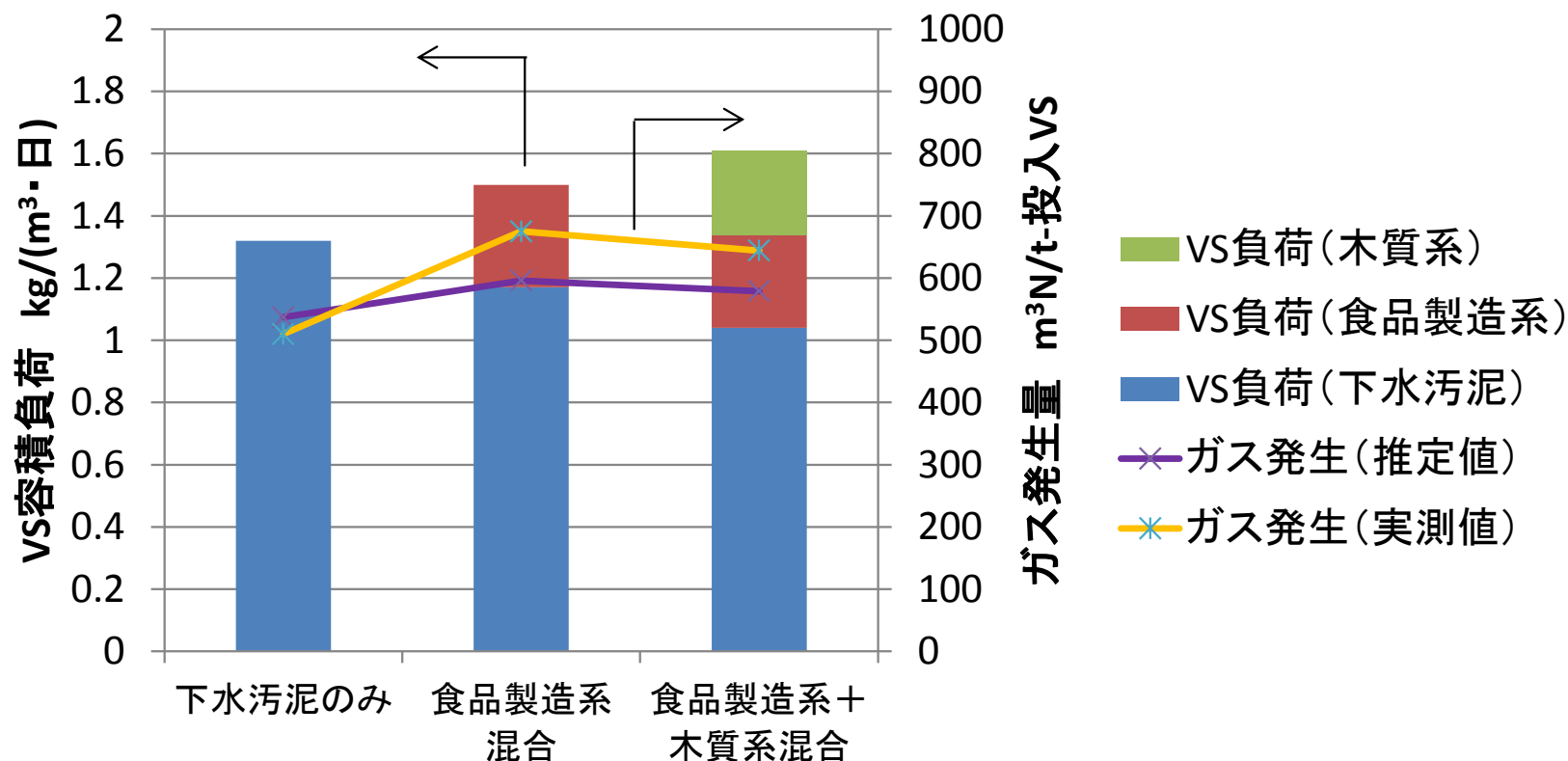


食品製造系+木質系混合(1/28~2/10)



7. 実証研究成果

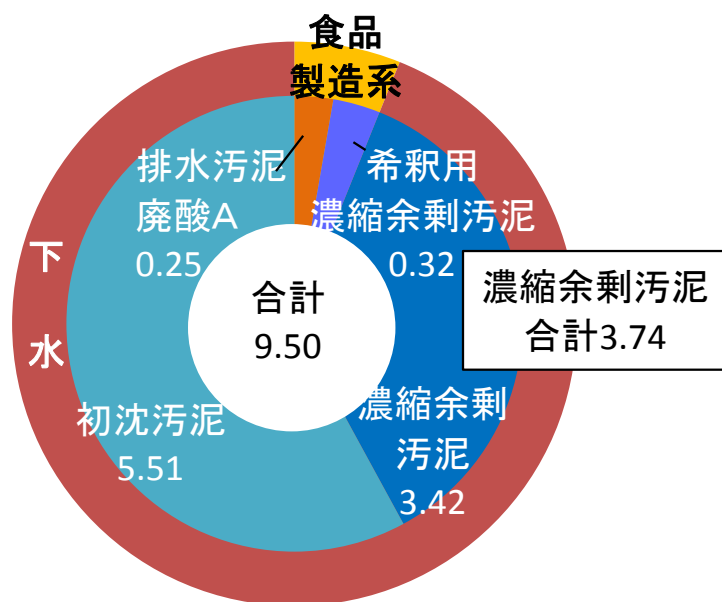
- 実証用鋼板製消化槽(220 m³)の有機物負荷とガス発生量



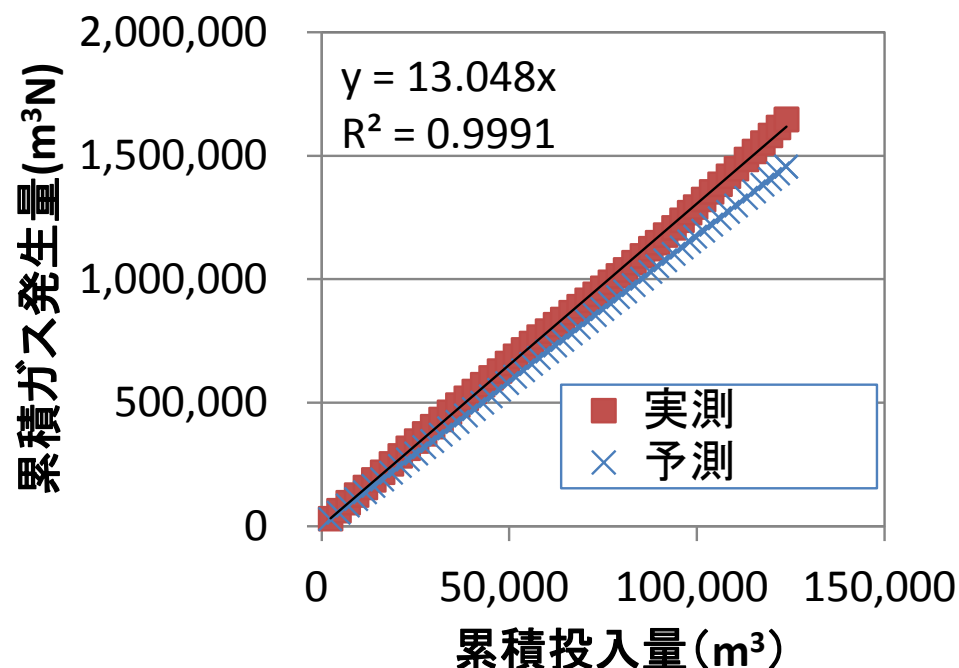
- 食品製造系をVS比で20%程度混合時, 675 m³N/t-投入VS(32%増)
- 食品製造系, 木質系をVS比で各20%程度混合時, 644 m³N/t-投入VS(26%増)

7. 実証研究成果

- 既設消化槽(10,000 m³)の固形物投入量, ガス発生量



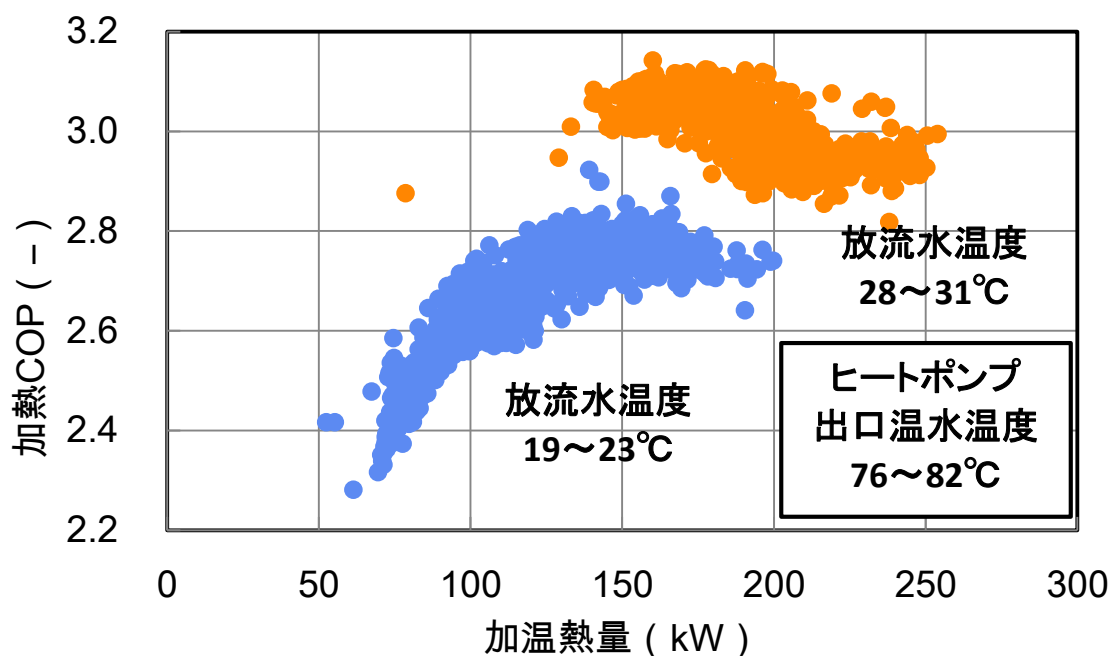
固形物投入量代表値 (t-ds/日)



- ・地域バイオマス投入比率は小さいものの, 下水汚泥のみ投入の他号機よりガス発生量は8%増
- ・ガス発生量は, ラボ実験に基づく予測値と同等以上
- ・既設の下水処理に支障を与えないことも確認

7. 実証研究成果

- 高効率ヒートポンプ(熱源:放流水)



熱源温度	COP	使用エネルギー削減率
20°C	2.7	20%
30°C	3.1	31%

試算条件

- ・ボイラ効率: 86%
- ・使用電力の発電所における発電効率: 40%

未利用熱を活用することで、バイオガスを燃料とする温水ボイラでの消化槽加温と比較して、1次エネルギー使用量を20%以上削減可能(供給温水80°Cの場合)