

兵庫県食品残渣等小規模地産エネルギー導入促進事業
メタン発酵施設の導入ガイドライン

2019 年 10 月

兵 庫 県

目次

1. 本ガイドラインについて.....	1
1. 1 目的.....	1
1. 2 ガイドラインの考え方と構成.....	1
2. メタン発酵とは？.....	3
2. 1 メタン発酵.....	3
2. 2 メタン発酵の特性.....	3
2. 3 メタン発酵原料選定の指標.....	3
2. 4 メタン発酵の分類.....	4
2. 5 メタン発酵施設の構成設備.....	5
2. 6 国内のメタン発酵施設.....	5
2. 7 メタン発酵技術動向.....	6
3. 兵庫県内における動植物性残渣の処理状況.....	7
3. 1 アンケート調査の結果.....	7
3. 2 メタン発酵施設導入における課題／問題点.....	7
4. メタン発酵施設導入の基本的な考え.....	9
4. 1 導入の諸条件（主要因子）.....	9
4. 2 メタン発酵施設の処理能力別導入パターン.....	12
5. メタン発酵施設導入の流れとポイント.....	14
5. 1 メタン発酵施設導入の流れ.....	14
5. 2 メタン発酵施設導入のポイント.....	15
5. 2. 1 メタン発酵原料の選定及び受入量の検討.....	15
5. 2. 2 バイオガスの利用方法.....	17
5. 2. 3 発酵残渣（消化液）の利用方法.....	19
5. 2. 4 発酵残渣（脱水ケーキ）の利用方法.....	26
5. 2. 5 水処理設備導入の検討.....	28
5. 2. 6 メタン発酵施設の設備構成と設備能力の検討.....	29
5. 2. 7 メタン発酵施設の事業性評価.....	44
5. 2. 8 CO ₂ 削減効果に関する検討.....	59
5. 2. 9 メタン発酵施設の敷地面積.....	63
5. 2. 10 安全対策・環境対策の検討.....	64
6. 参考資料.....	71
6. 1 メタン発酵技術に関する資料.....	71
(1) メタン発酵のバイオガス生成過程.....	71
(2) メタン発酵の特性.....	72
(3) メタン発酵処理方式の比較.....	74
(4) メタン発酵施設の概要.....	75

(5) 国内メタン発酵施設の状況	77
(6) メタン発酵施設の事業性成立を図るための技術課題と対策	80
6. 2 兵庫県内動植物性残渣の処理状況（アンケート調査）	82
(1) アンケート調査概要	82
(2) 動植物性残渣の賦存量	82
(3) 動植物性残渣の種類	85
(4) 動植物性残渣の輸送距離	85
(5) 動植物性残渣の受入れ条件	86
(6) 動植物性残渣の処理方法	87
(7) メタン発酵施設導入の検討及びメタン発酵施設に関する評価	88
(8) 公的支援への期待	89
6. 3 メタン発酵施設の導入検討に用いる補足資料	90
(1) メタン発酵施設の事業者別導入パターン	90
(2) 各種原料のバイオガス発生量	92
(3) ガスエンジンの発電特性	93
(4) 消化液組成の原料依存性	94
(5) 兵庫県の肥料年間需要量	95
(6) 脱水ケーキの利用方法及び利用設備	97
(7) 脱水ろ液の各種水処理方法	100
6. 4 メタン発酵施設モデルケース	102
(1) メタン発酵施設モデルケースの仕様	102
(2) メタン発酵施設の事業性評価における費目と単価（基本仕様書に基づく）	105
(3) メタン発酵施設の基本仕様書に基づく事業性評価 試算例	106
(4) 費用関数に基づく事業性評価（損益分岐点の試算結果）	111
6. 5 CO ₂ 削減効果に関する検討	120
(1) CO ₂ 算定のモデルケースの設定	120
(2) CO ₂ 削減量の算定方法	120
(3) 各プロセスの条件・データ設定	122
(4) CO ₂ 削減量及びCO ₂ 削減コストの算出結果	124
(5) メタン発酵施設建設時に伴うCO ₂ 削減効果への影響評価	125
6. 6 関連法令及び許認可申請	126
(1) 安全面・環境面の関連法令及び許認可申請項目	126
(2) バイオガスホルダーに関わる許認可	130
(3) メタン発酵施設導入に関する許認可申請届出に関する注意点	132
(4) 消化液脱水ろ液を公共用水域へ排出もしくは下水放流する場合の関連法令等と排水基準等	135
6. 7 メタン発酵バイオガス発電プラントの固定価格買取制度（FIT）	138
6. 8 補助金制度等	140

用語の定義

本ガイドラインで用いる用語を以下の通り定義する。

用語	説明
3R	Reduce(リデュース)、Reuse(リユース)、Recycle(リサイクル)の3つの英語の頭文字である。
動植物性残渣	食料品製造業、飲料・たばこ・飼料製造業(たばこ製造業を除く。)医薬品製造業、香料製造業において原料として使用した動物または植物に係る固形状の不要物(野菜くず、発酵粕、パンくず、おから、コーヒー粕等)をいう。動植物性残渣は、産業廃棄物に分類され、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(廃棄物処理法)により、家庭系ごみ、飲食店、食品小売店から排出される一般廃棄物とは異なる扱いが定められている。
食品製造業者	生ものである原材料を購入し、食品・飲料の製造を行い、製造した製品を販売する者をいう。
食品加工事業者	食品の加工を業として行う者をいう。加工は「新しい属性を付加する行為」をいい、加工行為を行う前後で比較して、本質的な変更を施されていない(切断、整形、破碎、混合、小分け、冷凍などが加工に属する)。本ガイドラインでは、食品製造業者を含めて食品加工事業者と呼ぶ。
賦存量	種々の制約条件を考慮せず理論的に求められる、潜在的なバイオマス資源の上限値であり、1年間に発生するバイオマスの資源量をいう。 本ガイドラインでは、動植物性残渣の排出量(発生量)を賦存量と定義し、食品加工事業者で発生する動植物性残渣に関する「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」等の計画値・実績値を集計することにより、得られた動植物性残渣の排出量(食品加工事業者による自己処理量と外部委託処理量の合計)で賦存量を代用する。
多量排出事業者	産業廃棄物を年間1,000 t以上排出する事業者をいう。
処理委託量	食品加工事業者の外部事業者に委託処理量であり、食品加工事業者で発生する動植物性残渣量から食品加工事業者自らが行った処理量を減算した量に等しい。
外部事業者	本ガイドラインでは、食品加工事業者から委託されて動植物性残渣を処理する事業者であり、産業廃棄物中間処理業者(単に中間処理業者という)、最終処分業者等をいう。
再生利用量	動植物性残渣賦存量のうち、堆肥、飼料、発電等のエネルギー利用により、既に利用している動植物性残渣量をいう。
再生利用率	賦存量に対する再生利用量の占める割合をいう。
中間処理業者	産業廃棄物の発生から最終処分までの一連の処理工程の中途において、廃棄物の性状に応じて焼却、破碎などの操作を行い、廃棄物の減量・減容化、無害化、資源化を行う者をいう。
バイオガス	メタン発酵において発生するメタン、二酸化炭素を主成分とするガスをいう。
メタンガス化 (バイオガス化)	有機物をメタン生成菌等により嫌気性発酵(消化)してバイオガスを得る技術をいう。
メタンガス化施設	動植物性残渣、生ごみ等をメタン発酵させバイオガスを得るための施設をいう。
メタン発酵バイオガス発電プラント	バイオガス発電プラントを有するメタン発酵施設をいう。
メタン発酵施設	本ガイドラインでは、バイオガス発電プラントの有無にかかわらず、メタン発酵設備を有する施設をメタン発酵施設という。
バイオガス発生原単位	投入したバイオマス量当たりのバイオガス発生量をいう。単位はNm ³ /tである。バイオガスの発生量をメタン濃度50%に換算して原単位を算定する場合がある。循環型社会推進交付金の交付対象基準となるバイオガス発生原単位はこのメタン濃度:50%に換算した値を用いる。
混合原料	本ガイドラインでは、メタン発酵で使用される原料であり、複数の種類から構成される原料をいう。
希釈混合原料	本ガイドラインでは、湿式メタン発酵において、混合原料に希釈水を混ぜた原料をいう。
湿式メタン発酵	原料(混合原料)の固形物濃度を10%程度に水分調整した後にメタン発酵処理を行う方式をいう。
乾式メタン発酵	原料(混合原料)の固形物濃度を15~40%程度に水分調整した後にメタン発酵処理を行う方式をいう。

用語	説明
発酵残渣	メタン発酵により残渣として生ずるものをいう。本ガイドラインでは、湿式メタン発酵の場合、発酵残渣は液状であるため、発酵残渣は消化液と同意味である。乾式メタン発酵の場合、発酵残渣が固形状であるため、消化液という表現は使用せず、発酵残渣の表現を使用する。
脱水ケーキ、脱水ろ液	メタン発酵における発酵残渣を脱水して得られる固形分と分離された液のことをいう。
発電効率	投入エネルギーに対する得られた発電端での電力エネルギー割合のことをいう。バイオガス中のメタンによる理論発熱量に対する電力エネルギー（熱量換算値）の割合をいう。
熱回収効率	投入エネルギーに対して発電機排熱回収エネルギー割合のことをいう。バイオガス中のメタンによる理論発熱量に対する排熱回収エネルギーの割合をいう。
発電総合効率	発電効率と熱回収効率の合計をいう。
FIT（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）	再生可能エネルギーで発電された電気を、その地域の電力会社が一定価格で買い取ることを国が約束する制度である。
バイオガス発生効率	本ガイドラインでは、バイオガス発生効率として、「混合原料 1t 当たりのバイオガス発生量（単位：Nm ³ /t-混合原料）」、「希釈混合原料 1t 当たりのバイオガス発生量（単位：Nm ³ /t-希釈混合原料）」、「分解有機物量 1t 当たりのバイオガス発生量（単位：Nm ³ /t-VS）」の 3 種類の単位を使用する。「混合原料 1t 当たりのバイオガス発生量（単位：Nm ³ /t-混合原料）」は、混合原料 1t 当たりに含まれる各バイオマスの「バイオマス含有量」と「バイオガス発生原単位」の積和で算出される。
ボイラー	燃料を燃焼させることにより発生した排ガスから熱回収を行い、所定の圧力及び温度をもつ蒸気を発生する圧力容器のことをいう。
メタン発生効率	分解有機物量当たりのメタン発生量をいう。単位は Nm ³ /t-VS。
TS（固形物量）	動植物性残渣中の固形物量をいう。TSと表現するとき、固形物の割合を表す場合がある（本ガイドラインでは、TS%と表記する）。含水率を W(%) で表すとき、TS% = 100 - W(%)。
VS（有機物濃度）	動植物残渣中の有機物量のことで、強熱減量ともいう。TS と VS の間には、TS = VS + 「無機物量」の関係が成り立つ。
VS/TS（有機物比率）	固形物中の有機物の割合を示す。単位は%-TS。
VS 分解率	有機物のうち、メタンガスに分解する有機物の割合をいう。
設備稼働率	メタン発酵施設の設計仕様の原料処理能力に対する実際の原料処理量の比率である。
液肥	消化液を使用した液体肥料のことをいう。
COD（化学的酸素要求量）	代表的な水質の指標であり、水中の被酸化性物質を、酸化するために必要とする酸素量で示したものである。メタンガス化の検討では、酸化剤により有機物の補足率が高いニクロム酸カリウムを用いることがある。このときの COD を「COD _{Cr} 」という。
損益分岐点	本ガイドラインでは、メタン発酵施設の原料受入価格（円/t）、処理能力（t/日）の 2 変数を使用して、メタン発酵施設の収益が支出を上回る場合の原料受入価格と処理能力を算出しているため、損益の境界は分岐点ではなく分岐線で示されている。
メタン発酵施設の規模（処理能力）	本ガイドラインでは、メタン発酵施設の規模と処理能力（t/日）を同意味で使用する。処理能力：2 t/日以下を小規模、処理能力：2～50 t/日を中規模、処理能力：50 t/日以上を大規模のメタン発酵施設と定義する。
イニシャルコスト	メタン発酵施設の建設費と同意味である。
ランニングコスト	メタン発酵施設の経費と同意味である。
水処理設備有り	水処理設備の導入が必要であることをいう。
水処理設備無し	水処理設備の導入が必要でないことをいう。

兵庫県食品残渣等小規模地産エネルギー導入促進事業支援業務 ーメタン発酵施設の導入ガイドラインー

1. 本ガイドラインについて

1. 1 目的

真の循環型社会の実現には、3R¹⁾の徹底に加え、焼却時のごみ発電や熱利用の他、メタン発酵によるバイオガス回収等のエネルギー生産の取組を進め、温室効果ガスの削減を図る必要がある。

このため、兵庫県では、兵庫県廃棄物処理計画を平成30年度に改定し、施策展開の方向として「循環型社会と低炭素社会の実現に向けた統合的な取組の推進」を掲げるとともに、県民、事業者、市町等あらゆる主体の参画と協働により、「食品廃棄物・食品ロスの削減」、「古紙回収の促進」及び「バイオマスの利活用の促進」を重点的に取組み、より一層3Rを推進していくこととしている。

「バイオマスの利活用の促進」を具体的に推進することを目的に、「動植物性残渣²⁾（産業廃棄物）」を対象に、メタン発酵によるバイオガス生成を行い、発電やその予熱を回収して利用するなど温室効果ガス削減に資するエネルギー回収の取組及びメタン発酵により発生する発酵残渣の有効利用を計画する産業廃棄物処理業者や食品加工事業者等にとって参考となるガイドラインを作成した。本ガイドラインを活用することにより、産業廃棄物処理業者や食品加工事業者等におけるメタン発酵施設の導入、動植物性残渣のエネルギー利用、温室効果ガスの削減が進展していくことを期待する。

1. 2 ガイドラインの考え方と構成

本ガイドラインは、メタン発酵施設の導入及び事業化を目指している産業廃棄物処理業者や食品加工事業者等が広く活用することを目的に作成している。このため、メタン発酵の理論、設備に関しては、メタン発酵施設の導入に関連するポイントに絞って概要を述べるに留める。詳細な説明は、他の解説書を参照されたい。

本ガイドラインは、以下の6つの章から構成されている。

第1章では、ガイドラインの作成の目的、構成について紹介する。

第2章では、対象としているメタン発酵とは何かを整理しつつ、国内での取組状況、技術動向を紹介する。

第3章では、県内の「動植物性残渣」の賦存量と有効利用に関する取組状況、メタン発酵施設導入の課題／問題点等のアンケート調査（対象者：産業廃棄物処理業者及び食品加工事業者）・ヒアリング調査（対象者：産業廃棄物処理業者）による結果を示す。

¹⁾ 3RはReduce（リデュース）、Reuse（リユース）、Recycle（リサイクル）の3つの英語の頭文字を表し、その意味は次の通りである。「Reduce（リデュース）」とは、製品を製造する際に使用する資源の量を削減すること、廃棄物の発生を低減することである。「Reuse（リユース）」とは、使用済みの製品を回収し、必要に応じて適切な処置を施して製品として再使用を図ることである。または、再使用可能な部品の利用を図ることである。「Recycle（リサイクル）」とは、廃棄物等を原材料やエネルギー源として有効に利用することである。

²⁾ 「動植物性残渣」とは、食料品製造業、飲料・たばこ・飼料製造業（たばこ製造業を除く）、医薬品製造業、香料製造業において原料として使用した動物または植物に係る固形状の不要物（野菜くず、発酵粕、パンくず、おから、コーヒー粕等）をいう。また、動植物性残渣は、産業廃棄物に分類され、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法）により、家庭ごみ、飲食店、食品小売店から排出される一般廃棄物とは異なる扱いが定められている。

第4章では、アンケート調査（対象者：産業廃棄物処理業者及び食品加工事業者）・ヒアリング調査（対象者：産業廃棄物処理業者及びメタン発酵プラント業者）、メタン発酵施設導入に関する事業性評価から得られた結果に基づき、メタン発酵施設導入の基本的な考え方を示す。

第5章では、メタン発酵施設導入モデルの構築方法を紹介する。本ガイドラインの中心となる章であり、メタン発酵原料の選択からメタン発酵施設の損益分岐点評価までの各段階での留意事項・ポイントを整理し、モデルケースによるメタン発酵施設の仕様・事業性評価・CO₂削減効果に関する結果を示す。

第6章では、安全面・環境面の関連法令、固定価格買取制度、補助金制度、メタン発酵施設導入の許可認可制度に関する参考情報を示す。

2. メタン発酵とは？

2. 1 メタン発酵

メタン発酵とは、酸素の存在しない嫌気性条件下で活動する嫌気性細菌により、バイオマスを分解してメタン及び二酸化炭素（CO₂）を生成し、副生成物である発酵残渣（消化液）を安定化・減容化する方法である。メタン発酵法は嫌気性消化法とも呼ばれている。メタン発酵により、バイオマスが酸生成相とメタン生成相の2段階を経て、「バイオガス」と「消化液」の生成物へ変換される。詳細は、**参考資料6. 1（1）**に記載する。

2. 2 メタン発酵の特性

メタン発酵の特性を支配する因子は、「温度」、「pH」、「アンモニア濃度」、「C/N 比」（原料中の炭素（C）と窒素（N）の質量比）である。これらの支配因子により、メタン発酵効率、安定性が支配されるため、各支配因子に及ぼす影響を理解する必要がある（**表1**）。詳細は**参考資料6. 1（2）**に記載する。

表1 メタン発酵の支配因子

メタン発酵の支配因子	メタン発酵の特性との関係	メタン発酵技術との関係
発酵温度	・発酵効率 ・発酵時間（HRT ³⁾ ）	中温（35℃） 高温（55℃）
pH	低 pH による酸敗 （メタン生成阻害）	酸生成相：pH=5～6 メタン生成相：pH=7
アンモニア濃度	メタン菌不活性化 （アンモニア阻害）	-
C/N 比	・高 C/N 比：酸敗 ・低 C/N 比：アンモニア阻害	適切な C/N 比：20～40

2. 3 メタン発酵原料選定の指標

メタン発酵に使用される原料の質を示す指標と定義を**表2**に示す。また、指標に関する補足説明を**表2**の備考欄に示す。「原料投入時の固形分濃度（TS 濃度）」はメタン発酵の方式（湿式メタン発酵、乾式メタン発酵）を分類するための指標となる。「有機物含有量（VS）⁴⁾」はバイオガス発生量を予測するための指標である。「含水率」は TS 濃度とともにメタン発酵の方式を分類するための指標である。TS 濃度が高い原料を使用して湿式メタン発酵を適用する場合には、多量の希釈水を注入し、TS 濃度を10%以下に抑える必要がある。「希釈水を注入した原料を処理するために必要なメタン発酵槽の容量」は、希釈水の増加により増大し、大きなメタン発酵槽が必要になるため、建設コストが高くなる。したがって、TS 濃度が高い原料を使用してメタン発酵を行う場合には、希釈水を必要としない乾式メタン発酵を適用することにより、建設コストの増加を抑える。

³⁾ HRT：水理学的滞留時間

⁴⁾ 「固形分濃度：TS」、「有機物濃度：VS」、「無機物固形分濃度」の間には「TS（%）=VS（%）+『無機物固形分濃度（%）』」の関係が成立し、「固形分濃度：TS」と「含水率」の間には「TS（%）+『含水率（%）』=100%」の関係が成立する。

表2 原料の質を示す指標

指標	定義	単位(例)	備考
TS(固形物量)	液体を蒸発乾固したときに残留する固形物のこと。	kg/t-原料、 %	・TS 濃度はメタン発酵の方式(湿式、乾式)を分類するための重要な指標である。 ・TS 濃度は「有機物固形分濃度」と「無機物固形分濃度」の合計である。 ・発酵槽への原料投入時の固形分濃度とメタン発酵方式の関係は以下の通りである。 湿式メタン発酵:TS% = 5~10% 乾式メタン発酵:TS% = 15~40%
VS(強熱減量)	蒸発残留物を 600℃で強熱したときに揮散する物質を指し、有機物含有量の指標になる。	kg/t-原料、 %	・VS は有機物濃度に該当する。 ・有機物含有量はバイオガス発生量を予測するために必要である。
T-N(全窒素)	窒素化合物の窒素の総量をいう。	kg/t-原料	・タンパク質に含まれる窒素は、アミノ酸の分解に伴い、アンモニアを生成する。アンモニアはメタン発酵において不可欠な成分であるが、濃度が許容値を超えるとメタン発酵阻害を起こす。
BOD(生物化学的酸素要求量)	微生物が水中の有機物を分解するために消費する酸素要求量のこと。COD とともに排水中の有機物含有量の指標の一つとして用いられる。	kg/t-原料	・有機物含有量はバイオガス発生量を予測するために必要である。
COD _{Cr} (ニクロム酸カリウムによる化学的酸素要求量)	還元性有機物を分解するために必要な酸化剤(ニクロム酸カリウム)の量を当量酸素量で表した値。	kg/t-原料	・有機物含有量はバイオガス発生量を予測するために必要である。
含水率	処理対象物中の水分含有率。	kg/t-原料、 %	・TS 濃度(%) + 含水率(%) = 100(%)。 ・TS 濃度とともにメタン発酵の方式(湿式、乾式)を分類するための重要な指標である。 ・含水率が低い原料を対象とする場合、湿式メタン発酵では多量の希釈水を注入し、TS 濃度が 10%以下になるように調整する。
異物混入率	メタン発酵に適さない物質の混入率をいう。	%	(例)プラスチック、皮革、石・陶磁器、ゴム、ガラス、金属、甲羅、卵殻、貝殻等

出典：「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」、環境省大臣官房廃棄物
リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）より改変（単位欄と備考欄を追加）

2. 4 メタン発酵の分類

メタン発酵の処理方式には、原料の固形分濃度の違いにより「湿式と乾式」、発酵温度の違いにより「中温発酵方式と高温発酵方式」に分類できる。メタン発酵処理方式の比較は参考資料 6. 1 (3) に示す。

- 湿式は固形分濃度:10%程度、乾式は固形分濃度:15~40%程度である⁵⁾。湿式では高温発酵(約 55℃)または中温発酵(35℃)が用いられる。
- 乾式では高温発酵(約 55℃)が用いられる⁶⁾。発酵温度が高いとメタン発酵速度が速くなり、発酵期間(滞留時間)を短縮できる。
- 湿式は乾式に比べて駆動部が少なく、電力使用量が少ない。湿式では希釈水量が多くなるため、消化液発生量が多くなる。
- 乾式では希釈水を必要としないため消化液は少なく、消化液の排水設備を必要としない。乾式では原料に紙等を混合することにより、含水率を調整できる点に特徴がある。

⁵⁾ 固形分濃度:10~15%の原料処理方式を「半湿式」と呼ぶ場合がある。

⁶⁾ 社団法人地域環境資源センターの「バイオマス利活用技術情報データベース」によれば、中温発酵の乾式メタン発酵施設が国内に存在している。

2. 5 メタン発酵施設の構成設備

メタン発酵施設を構成する設備を図 1 に示す。構成設備は、受入・前処理設備、メタン発酵設備、エネルギー利用設備、固液分離設備、好気性発酵設備（堆肥化設備）、殺菌設備、液肥貯留設備、消化液処理設備（水処理設備）等に大別される。

メタン発酵施設の標準的な設備の概要は、**参考資料 6. 1（4）**に記載する。

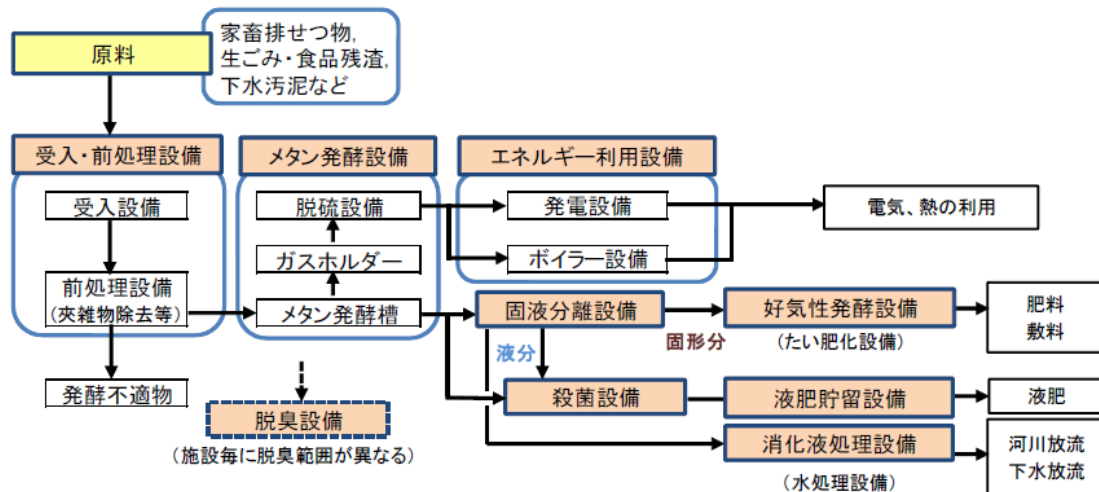


図 1 メタン発酵施設の構成設備

出典：「消化液の肥料利用を伴うメタン化事業実施手引 報告書」
一般社団法人 地域環境資源センター（平成 28 年 3 月）

2. 6 国内のメタン発酵施設

社団法人地域環境資源センターの「バイオマス利活用技術情報データベース」を基に国内メタン発酵施設（59 施設）の分析を行った。メタン発酵施設で採用されている主な技術は表 3 の通りである。国内のメタン発酵施設の詳細は、**参考資料 6. 1（5）**に記載する。

表 3 国内メタン発酵施設における主なメタン発酵技術

項目	分類	施設数
メタン発酵方式	乾式	2
	湿式	57
メタン発酵温度	高温	17
	中温	40
メタン発酵槽内攪拌方式	機械攪拌方式	38
	ガス攪拌方式	6
	機械攪拌方式+ガス攪拌方式	4
	無動力攪拌方式	3
メタン菌担持方法	浮遊生物法	34
	固定床法	10
	UASB 法	2
槽構成	二相式	12
	単相式	47

2. 7 メタン発酵技術動向

メタン発酵施設の事業性成立の観点から、メタン発酵技術及びバイオガス利用技術に関する技術課題と対策事例を調査した。得られた結果から「メタン発酵施設の事業性成立のための目標」、「課題」、「対策例」を一覧表にまとめた（表4）。

メタン発酵施設の事業性成立のための目標として、「メタン発酵設備の小型化（処理量が同じ場合の小型化）」、「バイオガス発生効率の向上」、「エネルギー利用効率の向上」、「消化液発生量の低減（液肥利用困難地域の場合）」等が挙げられる。各目標に対する課題と対策の詳細は、参考資料6. 1（6）に記載する。

表4 メタン発酵施設の事業性成立を図るための技術課題と対策例

事業性成立のための目標	課題	対策例
メタン発酵設備の小型化 (処理量が同じ場合の小型化)	発酵時間(HRT)の低減	二相式の採用による酸敗抑制／発酵効率向上
	メタン生成菌保持／基質高濃度化	消化液のメタン発酵槽への返送及び循環
	希釈水量低減	無希釈水(+ アンモニア除去 or 消化液返送)
バイオガス発生効率／発生量の向上	高バイオガス発生効率及びメタン発酵阻害抑制	高バイオガス発生効率の原料選択
エネルギー利用効率の向上	高発電効率	発電規模に応じた最適な発電機構成
	高発電機総合効率	コージェネレーション(排熱利用)
消化液発生量の低減 (液肥利用困難地域の場合)	希釈水量低減	無希釈水(+ アンモニア除去 or 消化液返送)

3. 兵庫県内における動植物性残渣の処理状況

3. 1 アンケート調査の結果

兵庫県内の食品加工事業者⁷⁾、産業廃棄物処理業者（中間処理業者）に対してアンケート調査を行い、動植物性残渣を原料にしてメタン発酵を行うための情報を収集した。アンケート調査の詳細内容は、**参考資料 6. 2**に記載する。

- 動植物性残渣の賦存量は 37,390 t/年（2015 年⁸⁾）～32,592 t/年（2017 年）であり、平均 85%の動植物性残渣が中間処理業者等により委託処理され、再生利用率は 68%である。
- 再生利用は堆肥化、飼料化が大半である。
- 動植物性残渣の主な種類と性状（含水率）は、「飲料抽出残渣」（含水率：70～98%）、「惣菜・弁当類加工廃棄物」（含水率：20～80%）、「野菜くず」（含水率：70～90%）である。

事業者の「メタン発酵事業に対する考え」に関する質問の回答から、メタン発酵は食品残渣のエネルギー有効利用、発酵残渣物の農地還元等、循環型社会の形成に有望であると認識されているものの、消化液の液肥需要やメタン発酵施設の建設費、ランニングコスト等の経済性に大きな不安を抱えていることが明らかになった。

事業者の不安を解消するために、「国内における消化液の農地還元の成功事例」、「高効率・低コストのメタン発酵技術を利用した国内メタン発酵施設の導入事例」、「メタン発酵施設の経済性が成立するための条件を提示など、メタン発酵施設を導入する際に有益な判断材料」を提示することが必要である。

3. 2 メタン発酵施設導入における課題／問題点

アンケート調査の結果に基づき、メタン発酵施設導入の課題／問題点を整理した。本ガイドラインとの対応関係は次の通りである。

① 高効率・低コスト化のためのメタン発酵技術に関する課題／問題点

高効率、低コストのメタン発酵施設の導入を検討するためには、ある程度のメタン発酵技術に関する基礎知識が必要である。そこで、高効率・低コストの観点からメタン発酵技術に関する必要最小限の知識を本ガイドラインで提示する。

② 設備導入コスト・ランニングコストに関する問題

メタン発酵施設は、建設コスト及びランニングコストが高いという印象が強い。そこで、メタン発酵施設の原料処理量／メタン発酵施設の規模の設定に関する考え方、メタン発酵施設導入の事業性成立要件を本ガイドラインで提示する。

⁷⁾ 食品加工事業者のうち、多量排出事業者（排出量≧1,000 t/年）を対象としている。

⁸⁾ 廃棄物処理法に基づき、産業廃棄物の多量排出事業者が兵庫県に報告している「産業廃棄物処理計画実施報告書」に基づく。

③ 発酵残渣（消化液）の利用の問題

発酵残渣（消化液）の利用または処理がメタン発酵施設導入に対する大きな懸念材料となっている。そこで、消化液の液肥利用に関する取組事例を示し、兵庫県における液肥利用の可能性を本ガイドラインで提示する。また、消化液を液肥利用できないケースでの対策を提示し、消化液水処理設備を必要とするケースでの損益分岐点の評価結果を示し、メタン発酵施設導入の事業性成立要件を提示する。

④ その他の課題／問題点

メタン発酵施設を導入するために必要な「メタン発酵施設の安全面／環境面の法令」、「許認可制度」、「補助金制度」、「固定価格買取制度」等の予備知識は**参考資料 6. 6～6. 8**に記載する。

4. メタン発酵施設導入の基本的な考え

兵庫県内の産業廃棄物中間処理業者及び食品加工事業者に対するアンケート調査・ヒアリング調査、メタン発酵施設導入業者（プラントメーカー）に対するヒアリング調査、メタン発酵に関する特許・文献・インターネット調査、消化液液肥利用に関する文献・インターネット調査の結果を踏まえて、下記の3つの視点からメタン発酵施設の基本的な考え方を整理する。

- 1～2 t/日以下、2～50 t/日、50 t/日以上各処理能力別（スケールメリットの視点）
- 農村部、都市部の地域別（消化液の液肥利用の視点）
- 事業者別（保有施設の視点）

4. 1 導入の諸条件（主要因子）

メタン発酵施設導入の基本的な考え方は、「プラントの導入目的」、「バイオガスの活用方法」、「メタン発酵残渣の活用方法」と密接に関わっており、メタン発酵施設の処理能力は「原料」、「発酵残渣等の利活用」により決定される（図2）。

① メタン発酵施設処理能力の支配因子

- 安定に確保できる食品残渣（動植物性残渣）の安定受入量（t/日）（プラントの最大処理能力を決める支配因子）
- 原料受入収入（原料受入単価）、「バイオガス発生効率（バイオガス発生量・売電収入）」、「希釈水量（消化液発生量）」
- 建設費・経費（ランニングコスト）
- 発酵残渣の利用方法・処理方法（水処理設備導入の要否）

② 発酵残渣の活用によるコスト及びスケールメリットへの影響

- 消化液を液肥として農地還元できる地域では、消化液の水処理設備が不要であり、メタン発酵施設の建設費とランニングコストを大幅に抑制することができる。
- 消化液を液肥として農地還元することが困難な地域では、消化液を固液分離／脱水し、水分（脱水ろ液）と固形物（脱水ケーキ）に分離する。脱水ろ液は、水処理後に下水放流や公共用水域に排出することが一般的であり、水処理設備が必要である。水処理設備を必要とするメタン発酵施設の建設費とランニングコストは、水処理設備を必要としないプラントに比べて大幅に増加する。水処理設備を導入する場合、水処理設備導入に伴う建設費・ランニングコストの増加がメタン発酵施設の経済性（事業性）におけるスケールメリットに及ぼす影響を把握する必要がある。
- 脱水ケーキは堆肥化、燃料化して有効利用できるが、このような有効利用が困難な場合には、外部の中間処理業者に焼却処分を委託することになる。脱水ケーキの焼却処分には大きなコストがかかるため、脱水ケーキの減容化により含水率の低減を図る必要がある。メタン発酵施設のスケールメリットに対しては、脱水ケーキの焼却処分費が与える影響を把握しておくことが重要である。

③ 液肥農地還元が見込めない地域での対策

- 農地還元に必要な液肥需要量が多く見込めない地域では、メタン発酵消化液の発生量を抑制するためのメタン発酵技術が求められる。消化液の発生量は、メタン発酵原料と原料固形物濃度（TS%）を調整するための希釈水の総和で決まるため、「乾式法によるメタン発酵技術」、「原料調整槽・可溶化槽への消化液返送技術」等を活用することになる。
- 消化液を液肥として農地還元できない地域でも、消化液の水処理を必要としないことが望まれる。兵庫県では、瀬戸内海の貧栄養化の問題に対処するために、消化液の液肥による栄養塩類補給方法を検討している。まだ調査研究段階であるが、消化液の液肥による瀬戸内海海域への栄養塩類補給方法が実用化されれば、「海苔の色落ち」や「漁獲量の低下」の問題解決だけではなく、メタン発酵施設の導入コストとランニングコストの大幅な抑制が期待できる。

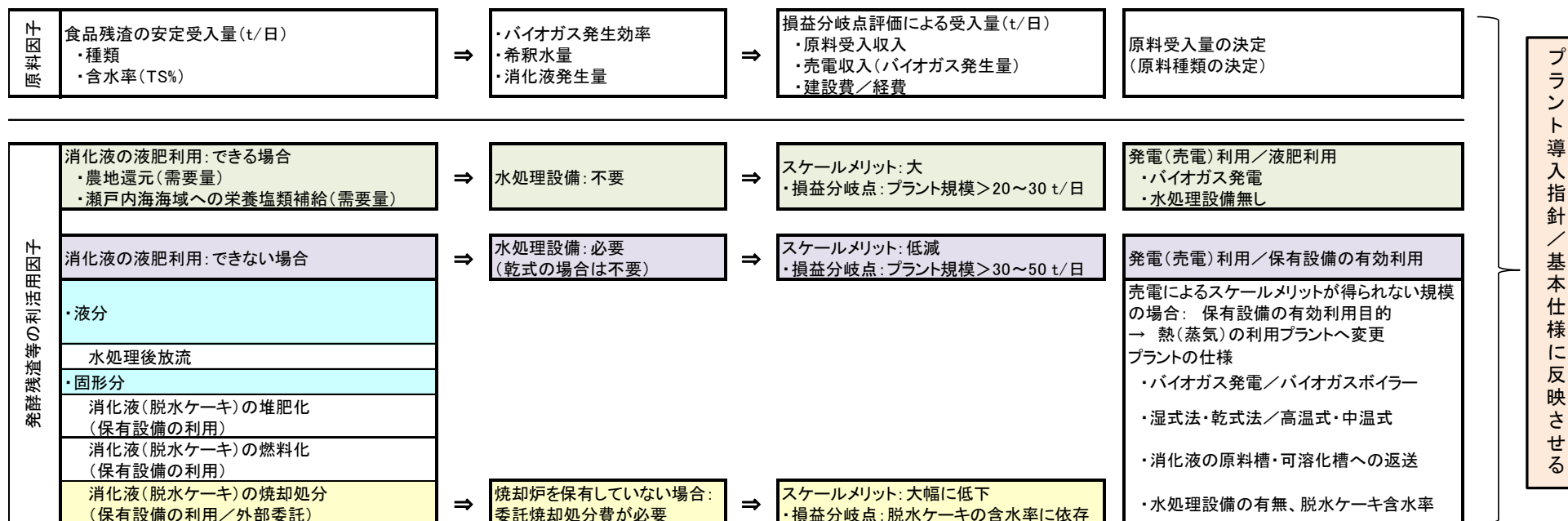


図2 メタン発酵施設導入の基本的な考え方(導入の諸条件)

4. 2 メタン発酵施設の処理能力別導入パターン

メタン発酵施設導入の諸条件（図2）に基づき、メタン発酵施設の処理能力別導入パターンを表5に示す。

① 1～2 t/日以下の処理能力を有するメタン発酵施設

1～2 t/日以下の処理能力を有するメタン発酵施設を導入する事業者の候補としては、「食品加工事業者（水処理施設保有）」等が挙げられる。食品加工施設等において、バイオガスを使用したボイラーによる熱（蒸気）の有効活用を図る（オンサイト型メタン発酵施設）。

② 2～50 t/日の処理能力を有するメタン発酵施設

2～50 t/日の処理能力を有するメタン発酵施設を導入する事業者の候補としては、「食品加工事業者（水処理施設保有）」、「中間処理業者（堆肥化施設または飼料化施設保有）」、「中間処理業者（焼却施設または燃料化施設保有）」等が挙げられる。

- 保有施設において、バイオガス発電による電気、バイオガス発電の排熱（蒸気）の有効活用を図る。
- バイオガス発電で得られた電気を固定買取制度（FIT）により売電する。
- 液肥の需要が少ない地域に立地する中間処理業者は、湿式メタン発酵による消化液の発生をできるだけ抑制するために、消化液を原料希釈水として利用することができる「原料槽（可溶化槽）への消化液返送方式」の採用を検討する⁹⁾。
- 「中間処理業者（焼却施設または燃料化施設保有）」の場合、焼却施設／燃料化施設の有効利用を図るために、乾式メタン発酵の導入を検討する¹⁰⁾。
- 経済性の観点からは、「処理能力：2～30 t/日」の場合、経済性が成り立ちにくく、「処理能力：30～50 t/日」の場合、経済性が成り立ちやすい。経済性成立条件は、水処理施設の導入要・不要、原料受入れ価格に強く依存する。

③ 50 t/日以上処理能力を有するメタン発酵施設

50 t/日以上処理能力を有するメタン発酵施設を導入する事業者の候補としては、「食品加工事業者（水処理施設保有）」、「中間処理業者（堆肥化施設または飼料化施設保有）」、「中間処理業者（焼却施設または燃料化施設保有）」が挙げられる。

- 保有施設において、バイオガス発電による電気、バイオガス発電の排熱（蒸気）の有効活用を図る。
- バイオガス発電で得られた電気を固定買取制度（FIT）により売電する。
- 消化液の液肥利用／固形物の堆肥化利用が見込めない地域に立地する「中間処理業者（堆肥化施設または飼料化施設保有）」では、水処理設備の導入が必須であり、消化液固形成分の焼却処理（外部委託）も必要となる¹¹⁾。
 - ・ 「中間処理業者（焼却施設または燃料化施設保有）」は、乾式メタン発酵の導入を検討する。

⁹⁾ 「消化液返送方式」を採用する場合、メタン発酵槽の消化液循環負荷を考慮したメタン発酵の設計を行う必要がある。

¹⁰⁾ 乾式メタン発酵による発酵残渣は含水率が低く、焼却／燃料化に有利である。

¹¹⁾ 「中間処理業者（堆肥化施設または飼料化施設保有）」の事業性評価に関しては、消化液の固液分離・脱水後に得られる固形物の焼却処理（外部委託）に必要なコスト（20,000～40,000 円/t・固形物）を考慮した損益分岐点評価を行うことが必要である。損益分岐点評価の際には、固形物の含水率が重要なパラメータとなる。湿式メタン発酵の場合、含水率は80%前後であるが、含水率が60%前後であるとの報告もある。

- ・ 「食品加工事業者（水処理施設保有）」は、発酵残渣の固形成分が少ない湿式メタン発酵の導入を検討する¹²⁾。

バイオガス利用設備における発電機の構成に関しては、発電規模を考慮して、小型、中型、大型の発電機の組合せを検討する必要がある。

なお、メタン発酵施設の事業者別導入パターンは**参考資料 6. 3（1）**に記載する。

表 5 メタン発酵施設の処理能力別導入パターン

バイオガス発電プラント導入指針における主要因子		メタン発酵施設の処理能力			
		1～2 t/日以下	2～30 t/日		30～50 t/日
メタン発酵プラント導入指針の 主要因子	メタン発酵導入事業者	・食品加工事業者 （水処理施設保有）	・食品加工事業者（水処理施設保有） ・中間処理業者（堆肥化施設保有） ・中間処理業者（飼料化施設保有） ・中間処理業者（焼却施設保有／燃料化施設保有）		
	利用目的	・保有施設における熱・蒸気・ （電気）利用 ・導入施設に対する経済性以外の 付加価値（地域貢献、CO ₂ 削減等） ・動植物性残渣の外部処理費低減	・保有施設における熱・蒸気・電気利用 ・発電 ・堆肥化／飼料化／燃料化困難な動植物性残渣の受入による地域貢献		
	経済性	・単純評価では経済性が成り立た ない ・他の価値を評価する必要がある （地域貢献、CO ₂ 削減等）	・経済性が成り立ちにくい （原料受入価格に依存する）	・経済性は何とか成り立つ （原料受入価格に依存する）	・経済性は成り立つ ・資源収集律速（商圏律速）の 可能性有り
	メタン発酵導入地域	・都市部（水処理後放流）	・都市部（水処理後放流） ・農村部（液肥利用）		・都市部（水処理後放流） ・農村部（液肥利用） ＊農村部では資源収集律速の 可能性有り
メタン発酵プラント	メタン発酵方式	・湿式（TS濃度：10%前後） ・乾式（TS濃度：15～40%）			
	事業者別のメタン発酵方式 および消化液の処理方法	・食品加工事業者：湿式メタン発酵 ＊消化液の固液分離後の固形物 処理コストの検討が必要 ＊固形物の減容化により焼却 （外部委託） 外部委託による固形物焼却処理コ ストは、固形物の含水率に強く依 存し、事業性支配因子の1つになる	・食品加工事業者：湿式メタン発酵、（乾式メタン発酵） ＊消化液の固液分離後の固形物処理コストの検討が必要 ＊固形物の減容化により焼却（外部委託により処理） ・中間処理業者（堆肥化施設保有、または飼料化施設保有）：湿式メタン発酵、（乾式メタン発酵） ＊消化液の一部は液肥・堆肥として農地還元への検討が必要。残りの消化液は、できるだけ減容化により 焼却（外部委託） ・中間処理業者（焼却施設／燃料化施設保有）：乾式メタン発酵、（湿式メタン発酵） ＊焼却施設／燃料化施設の処理能力の範囲内でメタン発酵の規模を設定 外部委託による固形物焼却処理コストは、固形物の含水率に強く依存し、事業性支配因子の1つになる （補足説明） ・乾式メタン発酵では、含水率の低い発酵残渣が得られるため、液肥としては利用困難であるが、 焼却／燃料化には有利である ・乾式メタン発酵プラントの国内導入実績は少ないが、海外導入実績は多く、処理規模が50 t/日以上 のプラントが主流である		
	バイオガス利用設備	・バイオガスボイラー ・（バイオガス発電機 ^{※1} ）	バイオガス発電機 （小型複数台、または中型1台）	バイオガス発電機 （中型複数台、または小型多数台）	バイオガス発電機 （大型 1台、または中型複数台、 または小型多数） ^{※2}
	原料槽（可溶化槽）への 消化液返送	・ディスポーザに原料を送る際に 水を使用するため、消化液の 返送は不要	・湿式メタン発酵の場合、希釈水量を低減する際には有効		・湿式メタン発酵の場合、 希釈水量を低減する際には有効 ・乾式メタン発酵の場合、 消化液は発生しない

※1 バイオガス発電機 小：25 kW、中：300 kW 級、大：700 kW 以上と想定

※2 700 kW と想定

¹²⁾ 消化液の固液分離・脱水処理後における固形物の含水率は、固形物焼却処理コストに強く影響を及ぼすため、固形物の含水率が多いと事業性が成立しない可能性がある。この場合には、固形物の堆肥化、燃料化を検討すべきである。

5. メタン発酵施設導入の流れとポイント

5. 1 メタン発酵施設導入の流れ

メタン発酵施設導入の流れを図3～図4に示す。メタン発酵施設の導入の流れは、「導入目的の決定」、「事前調査」、「事業化準備と各種許認可申請」、「メタン発酵施設の導入（設計・施工）」を経て運用開始に至る。本ガイドラインでは、「事前調査」（図3の赤色の枠で囲まれた範囲に該当）に関する流れとポイントをまとめている。

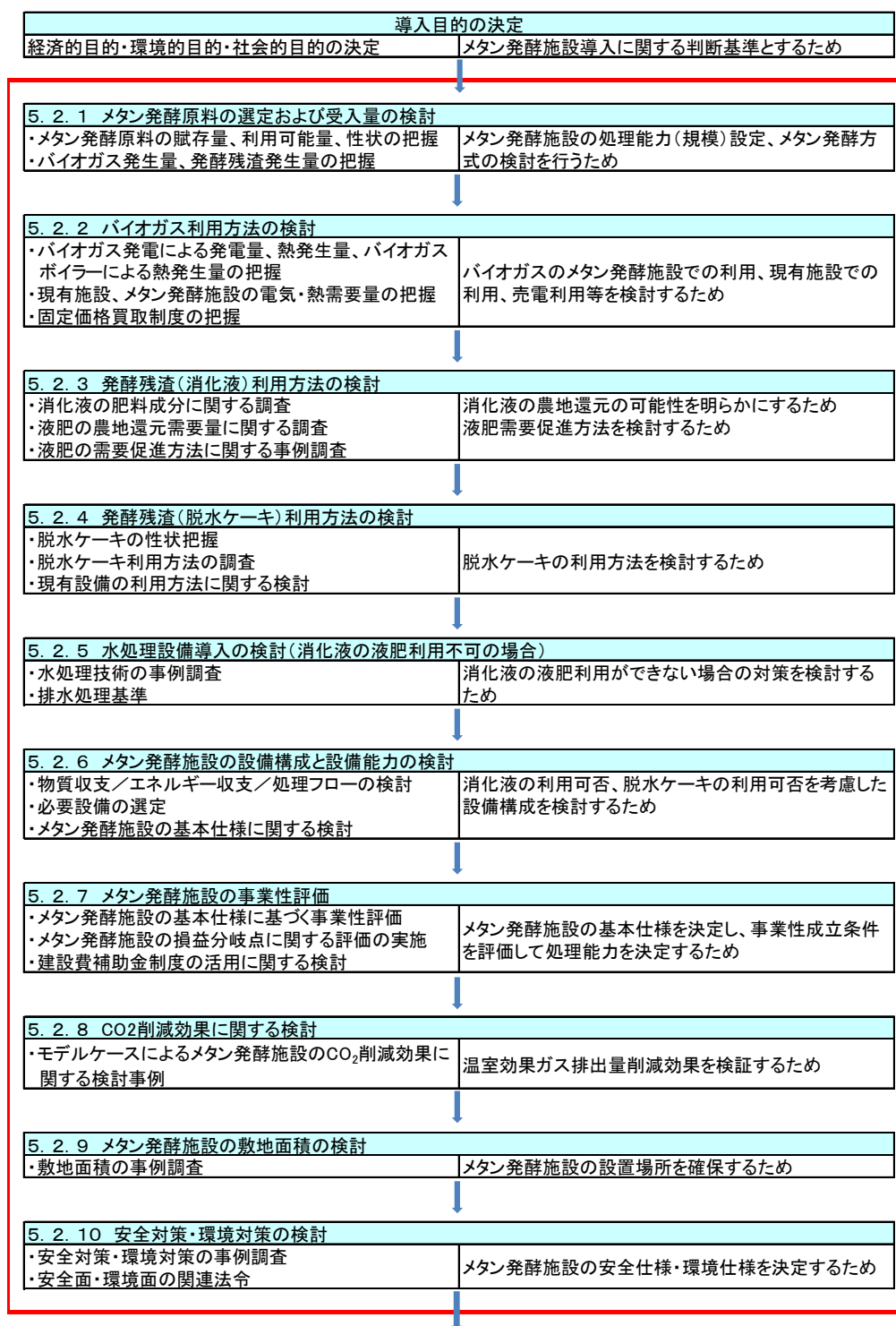


図3 メタン発酵施設導入の流れ

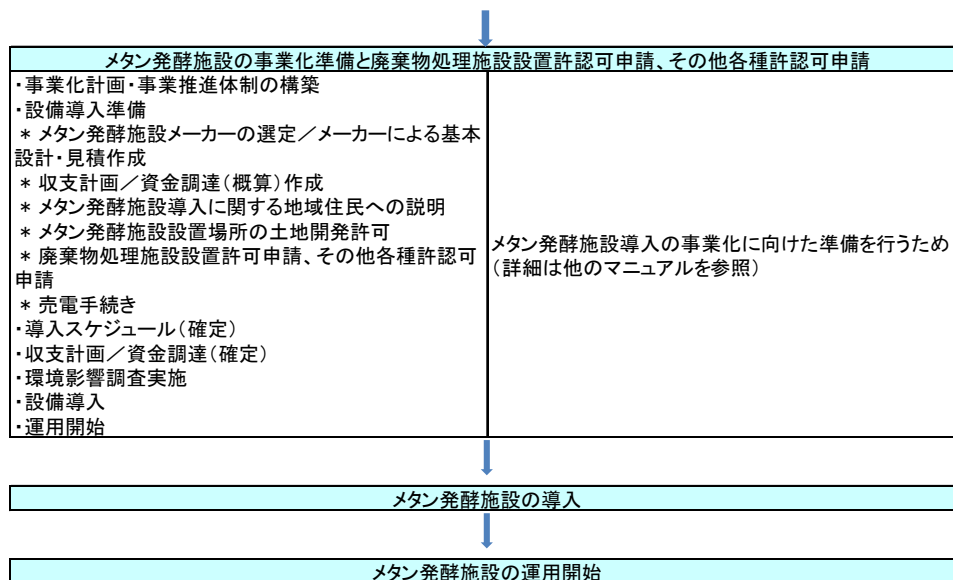


図4 メタン発酵施設導入の流れ（図3の続き）

5. 2 メタン発酵施設導入のポイント

5. 2. 1 メタン発酵原料の選定及び受入量の検討

メタン発酵原料の選定、受入量を設定するために、動植物性残渣の「賦存量（排出量）」、「利用可能量」、「性状」を把握する。これらについては、施設の規模（能力）、稼働率に大きな影響を与えるため、現状把握、将来動向予測を行い、適正な原料の選定、受入量の設定を行う必要がある。

（1）動植物性残渣の賦存量等の調査

動植物性残渣に関するメタン発酵原料の賦存量（排出量）、再生利用量（再生利用率）、性状を調査する。動植物性残渣の賦存量等を知るためのデータソースを表6に示す。

① 環境省による「産業廃棄物排出処理状況調査報告書」の利用

- ・ 兵庫県の動植物性残渣の賦存量：54,000 t/年（平成27年の推計値）
- ・ 全国の動植物性残渣の再生利用率：65%（平成27年の推計値）。

② 「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」の利用

- ・ 多量排出業者の実績値（集計値）

③ 本事業で実施したアンケート調査の利用

- ・ 平成27年～平成29年における動植物性残渣の賦存量に対する自社処理の割合：14～15%程度

①及び③の結果を踏まえると、毎年約8,000 t/年の動植物性残渣が食品加工事業者で自社処理され、残りの46,000 t/年の動植物性残渣が中間処理業者等により委託処理されていることになる。これらの状況

を踏まえて、利用可能量の調査を行う必要がある。調査方法としては、兵庫県等がとりまとめている「産業廃棄物中間処理業者一覧」の利用、関係機関へのヒアリング、市場調査等が挙げられる。

表 6 動植物性残渣の賦存量等のデータソース（例）

各種レポート	保管／記載場所	得られる情報	備考
産業廃棄物排出処理状況調査報告書	環境省保管	排出量（県別推計値）、再生利用率（全国推計値）	調査対象：全事業者 （平成 27 年の例） 兵庫県の動植物性残渣賦存量：54,000 t/年 全国の動植物性残渣の再生利用率：65 %
産業廃棄物処理計画実施状況報告書	兵庫県、兵庫県内政令指定都市等保管	排出量・自社処理量・外部委託処理量・再生利用量等（食品加工事業者別実績値・計画値）	調査対象：多量排出事業者（1,000 t/年以上）の事業者 集計データ：本ガイドライン3. 1 節 （平成 27 年の例：対象 43 事業者） 動植物性残渣賦存量：37,390 t/年 自社処理量：7,060 t/年 再生利用率：68 %
アンケート調査結果	本ガイドライン3. 1 節	排出量・自社処理量・外部委託処理量（実績値） その他、動植物性残渣の種類、性状（含水率等）	調査対象：多量排出事業者（1,000 t/年以上）の食品加工事業者 集計データ：本ガイドライン3. 1 節 （平成 29 年の例：アンケート回収 24 事業者） 動植物性残渣賦存量：32,592 t/年 自社処理量：5,992 t/年（18.4 %）

（２）動植物性残渣の性状の調査

メタン発酵の方式、メタン発酵の物質収支・エネルギー収支を検討するために、動植物性残渣の性状を知る必要がある。また、環境影響評価に関連する性状も調べておく必要がある。性状調査における主な項目を表 7 に示す。調査が困難な項目に関しては、文献値等を利用する。

表 7 性状調査における主な調査項目

調査項目	単位	備考
物質収支・エネルギー収支に関する項目	含水率	・既存施設で使用している原料をメタン発酵に転用する場合、実績データより季節変動を把握する。実績データが無い場合には文献値、実験値を使用する。 ・未経験の原料をメタン発酵に使用する場合、文献値、または実験値を使用する。
	固形物濃度 (TS%)	
	有機物濃度 (VS%)	
	異物割合	
	有機物分解率	
	バイオガス発生効率	
	メタンガス発生効率	
	バイオガス中メタン濃度	
環境影響に関する項目	pH	原料及び消化液に関する文献値、または実験値を使用する。
	BOD、COD、T-N、T-P	

（備考）各項目の間には下記の関係が成立する。

- （１）「含水率」＋「TS%」＝100%－「異物割合」
- （２）「TS%」＝「VS%」＋「無機物%」
- （３）「メタンガス発生効率」＝「バイオガス発生効率」×「バイオガス中メタン濃度」

含水率（固形物濃度）は、メタン発酵の方式（湿式メタン発酵、乾式メタン発酵）を決定する際に必要であり、それぞれのメタン発酵方式に適した含水率（固形物濃度）に調整するための希釈水量を決定する際にも必要である。

バイオガス発生効率（メタンガス発生効率）は、バイオガスの利用を検討する際に必要である。

異物はメタン発酵を阻害するため、異物を除去しなければならない。異物割合が高いほど異物除去効率が低下する。

各種原料の性状（例）を表 8 に示す。動植物性残渣の性状は「食品廃棄物」の性状に類似している。

表 8 各種原料の性状（例）

	固形物量 TS (kg/kg)	強熱減量 VS/TS (kg/kg)	VS 分解率 (%)	メタンガス 発生効率 (Nm ³ /t-VS)	メタン濃度 (%)
食品廃棄物	0.2～0.25	0.90～0.95	70～90	450～650	55～60
紙系廃棄物	0.93	0.96	66	500	55～60
草木系廃棄物	0.59	0.90	20	500	55～60
豚排泄物	0.04～0.09	0.70～0.80	45～55	650～750	65～75
乳牛排泄物	0.07～0.11	0.70～0.85	40～50	450～550	55～70
下水汚泥(濃縮汚泥)	0.03～0.04	0.80	50	550	57～63

（備考）紙系廃棄物、草木系廃棄物のメタン発生効率は発酵温度：55℃の場合である。

出典：「廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル」、環境省大臣官房廃棄物
リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）

含水率が高い原料、大量の希釈水を必要とする原料では、有機物 1 t 当たりのバイオガス発生量が多くても、原料 1 t 当たりのバイオガス発生量、希釈原料 1 t 当たりのバイオガス発生量が少なくなる点に注意して、原料の選定を行う。各種原料のバイオガス発生量（例）は参考資料 6. 3（2）に記載する。

（3）メタン発酵原料の選定と受入量の検討

動植物性残渣の賦存量、利用可能量、性状の調査結果を踏まえて、メタン発酵原料の選定を行い、受入量を検討する。メタン発酵施設の稼働率の点から「安定して受入れ可能なメタン発酵原料の種類と受入量」を検討する必要がある。稼働率はメタン発酵事業の収支に直結するためである。

メタン発酵原料の種類と受入量の決定には、メタン発酵処理量に対して、「バイオガス発生量」、「発酵残渣発生量等の物質収支・エネルギー収支」、「バイオガス利用方法」、「発酵残渣利用方法」、「施設建設費」、「原料受入価格」等を総合的に考慮して、事業性評価（損益分岐点、設備投資回収期間の評価）を実施する。

5. 2. 2 バイオガスの利用方法

（1）バイオガスの利用方法の検討

バイオガスの利用方法としては、バイオガス発電機による「発電利用／熱（蒸気）利用」、バイオガスボイラーによる「熱（蒸気）利用」が挙げられる。電気・熱（蒸気）の具体的な利用方法としては、メタン発酵施設でのポンプ動力源、メタン発酵槽の加温・保温、保有施設での電気・熱（蒸気）利用、売電などが挙げられる。

発電やボイラーなどのバイオガス利用設備の選定においては、バイオガスからの発電量や回収熱量に関して、施設内の利用量と比較した適正な利用計画を策定し、設備仕様、規模、台数を決定する。

バイオガス発電機は、「ガスエンジン」、「ガスタービン」、「マイクロガスタービン」、「燃料電池」が開

発・販売されている。発電機の種類／発電規模、特徴を表 9 に示す。近年、小規模発電の高効率ガスエンジンが開発・発売され、小規模発電のガスエンジン発電機を複数台持たせた中規模発電により、効率的な施設運用が図られている。ガスエンジンの発電特性は参考資料 6. 3 (3) に記載する。

発電、熱・蒸気の両方の需要がある場合には、コージェネレーションシステム（熱・蒸気の利用が可能な発電システム）を検討すべきである。

表 9 バイオガス発電機の種類と特徴

バイオガス発電機	発電規模	特徴
ガスエンジン	小規模～大規模発電 数 10～数 1,000 kW	・ガスエンジンは、発電と同時にコージェネレーションシステムにより温水として排熱を回収するが、蒸気や温水として熱回収する場合もある。発電効率は 35～44%であり、排熱回収を含めた総合効率は 80～90%である。防音・防振対策が必要である。 ・近年、発電効率:35%前後、総合効率:80%前後の小規模のガスエンジン発電機が販売され始めている。 ・燃焼能力が重油換算で 50 l/h 以上のものは、大気汚染防止法の規制対象となる。
ガスタービン	大規模発電 数 1,000 kW	・ガスタービンは大規模発電用として用いられ、排ガスからの熱回収によって高温・高圧の蒸気を発生させるコージェネレーションシステムに使用されることから、大型の設備になる。 ・燃焼能力が重油換算で 50 l/h 以上のものは、大気汚染防止法の規制対象となる。 ・10～100 kW 程度のマイクロガスタービンが実用化されつつある。発電効率や熱回収を含めた総合効率は、ガスエンジンとほぼ同等である。
マイクロガスタービン	小規模発電 数 10 kW	・騒音・振動対策は容易である。ただし、出力:300 kW 以上の設備では電気事業法でボイラー・タービン主任技術者が必要であり、定期自主検査が定められている。
燃料電池	中規模発電 数 100 kW	・燃料電池には、リン酸形、熔融炭酸塩形、固体酸化物形、固体高分子形などの方式がある。燃料電池の特徴は、40%程度と高い発電効率と 80%程度の高い総合効率が得られる点にある。 ・燃料電池で発生した直流電力はインバーターで交流に変換され、燃料電池から発生する排熱は温水や蒸気の形で回収・利用される。 ・有害な排ガスをほとんど発生させず、低騒音である点が長所である。 ・課題として、長寿命化、低コスト化が挙げられるが、技術開発が進んでいる。

バイオガスボイラーは、バイオガスだけでなく、多種多様の燃料に対して使用実績がある。燃料を燃焼させて温水（90℃程度）や蒸気を得るが、バイオガスだけでなく、「バイオガスと重油」または「バイオガスと都市ガス」などの混焼方式も採用できる。設置場所の条件に応じて、最も安価に供給される熱源を利用する。バイオガスボイラーの熱効率は 80～95%である。バイオガスボイラーは、同規模出力のバイオガス発電機に比べて、低コストであるため、バイオガス発電による売電収入があまり見込めない小規模のメタン発酵施設（処理能力：1 t/日以下）では、バイオガスボイラーによる熱・蒸気利用を検討すべきである。

（２）バイオガス利用設備の運用の検討

① 注意点：発電機の運転方法

想定されるバイオガス発生量に基づき選定されるが、運転方法として電力消費の多い時間帯に稼働させる方法と 24 時間連続運転する方法がある。運転方法の違いにより、バイオガス貯留設備の容量が異なる。

② 注意点：発電機の構成とメンテナンス

発電機メンテナンス時には発電できないため、発電機を複数台設置する場合がある。制御と保証の関係から同一メーカーで揃えることを推奨する。

メタン発酵施設の処理能力別にバイオガス発電機出力及び発電機構成（例）を表 10 に示す。

表 10 メタン発酵施設の処理能力別発電機出力と発電機構成（例）

処理能力(t/日)	発電出力(kW)	発電機構成
2	17～26	小型発電機:1台
2～30	26～390	小型発電機:複数台、または中型発電機:1台
30～50	390～651	小型発電機:多数台、または中型発電機:複数台(2台)
60	521～781	小型発電機:多数台、または中型発電機:複数台、または大型発電機:1台

（注）発電出力は、各処理能力に対してバイオガス発生効率（Nm³/t-原料）：100、150 の 2 種類、発電効率（%）：35 の 1 種類を仮定して発電出力の範囲を評価（全ての条件に対してメタン濃度：60%、稼働時間：24 時間/日を仮定）

（備考）バイオガス発電機 小型：25 kW 級、中型：300 kW 級、大型：700 kW 以上を想定

排熱回収による熱で発酵槽などを加温している場合には、発電機メンテナンス時には熱回収ができないため、非常用ボイラーを設置する。複数の発電機でバイオガス発電を行うことにより、非常用ボイラーを小型化できる。また、ボイラー燃料をバイオガスにするか、その他の燃料（LPG など）にするかを検討する。定期的な点検とメンテナンスが必要になるため、その費用、期間、回数などを設備稼働前に確認する。

③ 注意点：防音対策

ガスエンジンやガスタービンは運転音を発生させるため、敷地境界において騒音の規制値を超えた場合、防音対策が必要となる。規制値は各地域によって異なる。

④ 注意点：売電

売電を行う場合には、逆潮流可能な系統連系を行う。この場合、単独運転検出装置の設置が必要になる。供給量については、計画値同時同量制度が適用され、計画どおりの供給が要求される。なお、FIT 制度（固定価格買取制度）などを活用して売電する場合、FIT 認定設備範囲とそれ以外を明確に区分する必要がある。また、下記の事項に留意する。敷地への引き込み回線数などについては、電気事業者と計画時点での事前相談を行う。

- ・ 建設予定地周辺の送配電線整備状況
- ・ 送配電事業者である各地域の電力会社との接続のための事前協議の実施
- ・ 送配電線整備に必要となる時間と経費
- ・ 経済産業省への認定手続き¹³⁾

5. 2. 3 発酵残渣（消化液）の利用方法

（1）消化液の主な利用方法と特徴を把握

メタン発酵により発生する発酵残渣（消化液）には、窒素、リン、カリウムの肥料成分が含まれるため、消化液を液肥、堆肥に利用できる。消化液を利用するための代表的な方法を図 5 に示す。

- ケース 1 では消化液を液肥利用する。必要に応じて殺菌処理を行う。液肥の利用は主に春と秋に集中するため、液肥貯留施設が必要となる。

¹³⁾ 以下のサイトを参照：

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/nintei_setsubi.html

- ケース 2 では消化液を脱水機により固液分離し、脱水ケーキを堆肥化处理して利用する。脱離液（脱水ろ液）は排水処理を行う。排水処理の負荷を軽減できるが、脱水ケーキ量が多く、嫌気性の脱水ケーキであるため臭気を発生する。このため、好気性発酵による堆肥化处理を行ってから農地還元する。

ケース 2 は消化液の液肥需要があまり見込めない場合に採用されるが、固液分離後の脱離液を排水するための排水処理施設が必要になることから、排水処理施設の建設費が高く、凝集剤等の薬品使用量が多くなり、多大なコスト、エネルギーがかかる。そのため、広い農地面積が確保できるような地域では、消化液を液肥として農地に散布することが望ましい。

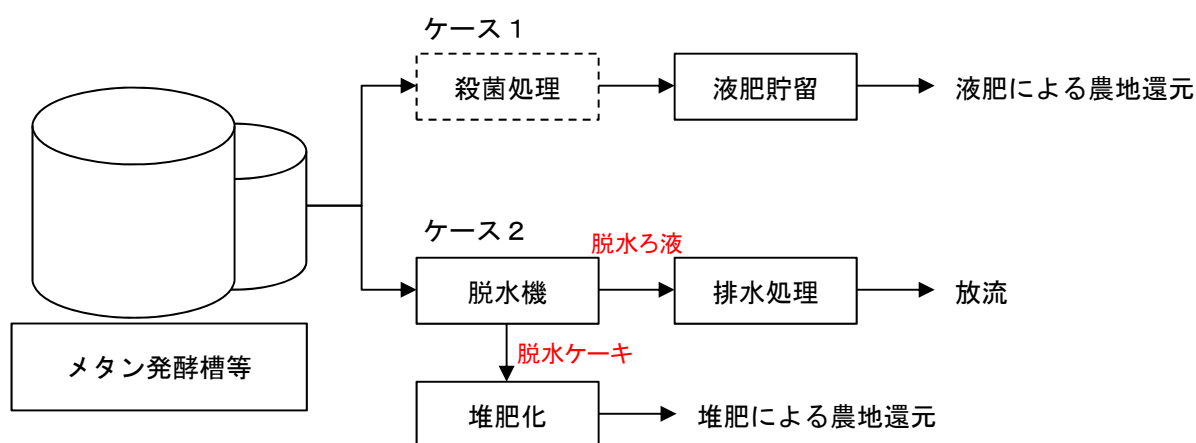


図5 メタン発酵消化液の有効利用と排水処理

消化液の液肥利用と排水処理の特徴を表 1 1 に示す。消化液の液肥利用は、メタン発酵施設の事業者にとって、施設の運転コストを削減できるというメリットがある。一方、耕種農家にとっても、肥料代の節約（消化液は一般的に、通常の肥料より安く提供されることが多いため）や肥料散布労力の軽減（消化液の輸送・散布作業もメタン発酵施設側が行うことが多いため）のメリットがある。

表 1 1 消化液の液肥利用と排水処理の特徴

	液肥利用	排水処理（浄化処理）
長 所	消化液に含まれる窒素、カリウム等の肥料成分を有効利用でき、化学肥料使用量を削減できる。	農家の意向や天候に左右されず、安定的に処理できる。
短 所	・ 散布するための十分な農地面積の確保が必要。 ・ 輸送・散布に要する労力が大きい。	凝集剤などの薬品の使用量が多く、多大なコスト・エネルギーがかかる。

（2）国内及び兵庫県での消化液利用状況の把握

近年、複数のメタン発酵施設では、消化液を液肥として積極的に利用しようとする動きが見られる。JARUS「バイオマス利活用技術情報データベース」に収録されているメタン発酵施設（59 施設¹⁴⁾）の消化液利用方法を図 6 に示す。

- 59 施設のうち、消化液を液肥利用しているのは 33 施設、堆肥利用しているのは 16 施設、消化液を適正な水処理後に公共用水域に排出しているのは 15 施設である。

¹⁴⁾ 2018 年 8 月 10 日検索。国内 59 施設のうち、3 施設が兵庫県であり、全て水処理後に公共用水域に放流している。

- 液肥利用している 33 施設では、北海道が 15 施設と最も多く、九州が 8 施設、本州が 10 施設¹⁵⁾となっている。北海道では牧草地、九州では水稻地中心の循環利用システムが構築されている。
- 堆肥利用している 16 施設では、本州が 8 施設と最も多く、九州が 5 施設、北海道が 3 施設となっている。
- 水処理後に公共用水域に排出している 15 施設では、本州が 10 施設と最も多く、このうち兵庫県の 3 施設が含まれる。

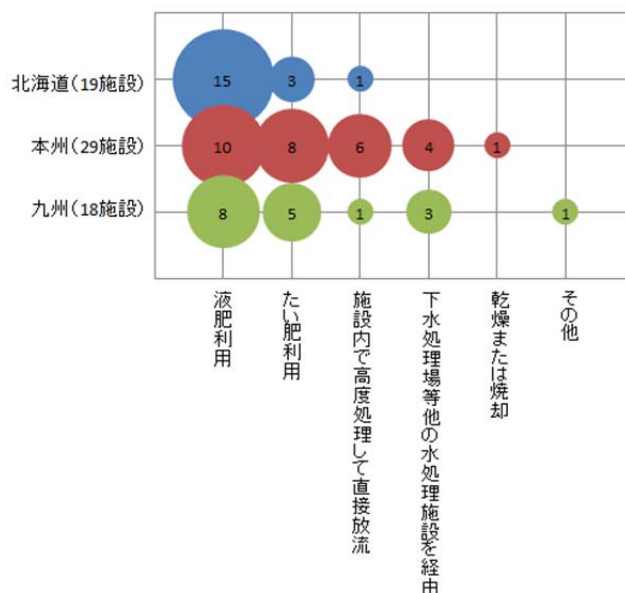


図6 各地域における発酵残渣の利活用方法件数
(備考) JARUS「バイオマス利活用技術情報データベース」より集計

(3) 消化液の組成の把握

メタン発酵消化液はそのまま液肥として利用することができるが、多くは加熱殺菌後に貯留され、農繁期の利用を待つ。主に、水稻や麦などの土地利用型作物の元肥・追肥として使用されることが多く、その他地域毎に栽培される野菜類にも使用される。消化液の肥料成分は窒素が主体であり、窒素を基準に施肥設計を行うとカリウム及びリン酸が不足するため、肥料成分の調整が必要になる。

消化液の窒素成分はアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) を多く含み、そのまま液肥として施用することにより、土壌環境下では土壌細菌がアンモニア態窒素を硝化することで植物の養分としている。しかし、養液栽培¹⁶⁾環境下では、土壌細菌が存在していないため、アンモニア態窒素は硝化されにくく、植物体へのアンモニア過剰障害の発生が問題となる。したがって、養液栽培などで消化液を施肥する場合は、硝化（アンモニア過剰の問題）について対策をとる必要がある。

(4) 散布方法の把握

散布方法としては、「液肥をメタン発酵施設内の貯留槽からバキューム車などで圃場まで運搬し、ホースで直接散布する」、「水田の水口から用水とともに流し込む」、「スラリースプレッタに積み替えて散布する」などが主流になっている。

¹⁵⁾ 本州（10 施設）の内訳は、青森県、岩手県、栃木県、千葉県、山梨県、石川県、静岡県、京都府である。

¹⁶⁾ 養液栽培は、植物の成長に必要な養水分を液肥として与える栽培方法である。

（５）液肥事業展開の検討

① 肥料取締法に基づく肥料登録

肥料取締法では、肥料の品質を保全して、公正な取引と安全施用を確保するため、肥料の規格及び施用基準を公定しており、肥料を「普通肥料」と「特殊肥料」に区分している。消化液を液肥として使用・販売する際も、肥料取締法に基づき、農林水産大臣または都道府県知事への届出が必要となる。

- ・ 特殊肥料：魚粕や堆肥など、農林水産大臣が指定したもの
- ・ 普通肥料：特殊肥料以外のもの

液肥や堆肥の成分を分析し、肥料登録することは、肥料の品質を保証し、肥料に含有される肥料成分量が確保されていることを証明することである。また、重金属類や大腸菌群などの有害物質に関しては消化液中に含まれる許容最大量が定められており、登録が認められるためには、有害物質が許容最大量以下であることが求められる。

また、肥料を他者に渡す場合は、無償であっても生産・輸入業者届が必要になる。販売する場合（無償譲渡含む）は、販売業者届も別途必要になる。

② 肥料成分の定期的分析による品質確認

メタン発酵原料に含まれる肥料成分の窒素、リン酸、カリウムは、ほぼ全量が消化液に移行するため、消化液の成分は原料の種類によって異なる。前処理の有無など、メタン発酵システムの方式によっても消化液の成分は異なる。そのため、メタン発酵消化液を利用する際には、消化液の成分分析を行うとともに、定期的な分析により品質を確認する必要がある。

メタン発酵消化液の施肥設計にあたり、消化液に含まれる窒素、リン酸、カリウムの肥料成分を分析し、慣行の施肥基準などを基に化学肥料と置き換えることにより、液肥の散布量を算出することができる。いずれか一成分が要求量に達したときが施用上限量となり、残りの成分を化学肥料で補う必要がある。

他にも消化液の利用知見として、以下の項目が挙げられる。

- ・ 各成分の肥効率（化学肥料と同じように効く割合）は窒素とリン酸が 60～70%、カリウムが 90～95%と考え、具体的数値は地域の農業試験場等に計算してもらう必要がある。
- ・ 水稻追肥の場合はアンモニア態窒素量で計算する。
- ・ 消化液だけでは地力が低下するため、最低でも 2 年に 1 回堆肥を施用する。
- ・ 消化液施用農地面積の目安は表 1 2 に示す通りである。

表 1 2 消化液施用の目安

メタン発酵原料	家畜ふん尿	生ごみ
農地必要面積	食用米、麦：20-30 t/ha・作 飼料稲・米：30-50 t/ha・作 飼料作物：50-60 t/ha・作	水稻：10t/ ha・作

③ 経済性の検討

液肥を利用する際、多くのメタン発酵施設では利用農家からの注文に応じて、事業者が農地への液肥の運搬及び散布を行っている。その料金は、液肥料金及び運搬・散布料金を含めて、概ね 500 円/t～1,500 円/t となっている。化学肥料に比べて安く、利用農家にとっては肥料代の節減のみならず、散布労力も

大幅に削減できるというメリットがある。一方、事業者にとっては、運搬車両、散布機械、人件費等がかかるものの、消化液を水処理することと比べて経済性を著しく損なうことはない。メタン発酵施設から散布農地までの距離が短ければ経済性が増すため、施設から近隣に効率的に散布する方法を検討する必要がある。

④ 液肥利用を推進するための方法検討

メタン発酵消化液の液肥利用の先進地域では、液肥利用を促進するための様々な仕掛けを政策的に実践している。

- 液肥の肥料成分や安全性への危惧という課題に対しては、肥料登録によって安全性を保障するとともに、研究機関の協力を得てデータを蓄積していくという手法をとっている。一般の耕種農家は液肥利用の経験が無いため、地元の農業改良普及センターや農業試験場と連携して、メタン発酵施設完成前から消化液を使った実証栽培を行うこと、地域の栽培体系に合わせた施肥設計をすることが望ましい。
- 液肥のマイナスイメージを払拭するために、有機認証制度に組み込むことや農家以外の一般住民への啓発も行われている。
- 先進地域においては、液肥を利用する農家の不安材料を除去するだけでなく、消費者として、あるいは観察者として地域住民の理解を醸成することが鍵とされている。
- いくつかの事例では、液肥を利用することにより肥料代の削減や散布労働の負担軽減といった耕種農家にとって明らかなメリットを打ち出している。
- 液肥利用に関する不安材料の払拭だけでなく、農家にとって実質的な利益が生じるシステムを構築することが有効である。
- 一方、液肥利用が軌道に乗ると、農家側からの新たな消化液利用方法の提案、液肥散布計画への協力など、農家側からのアクションが起こり、よりよいシステムが構築される。

（６）液肥利用の効果、課題、対策

メタン発酵消化液の液肥利用を推進している事業者（12 事業者）の事例を基に、農家側／施設側それぞれの視点から、液肥利用の効果、課題、対策をまとめて表 1 3 に示す。12 事業者のメタン発酵処理量、液肥生産量、液肥事業の詳細を表 1 4 に示す。

（７）液肥の需要量（最大施用可能量）の把握

液肥需要量把握の出発点としては、現在使用されている肥料を可能な限り液肥に置き換えたときの液肥使用量（最大施用可能量）を見積もることができる。ただし、最大施用可能量が液肥の需要量ではない点に注意する必要がある。

全窒素を基準に兵庫県内の年間肥料需要量を全量消化液に置き換えた場合、3,646,396 m³の消化液が消費される。液肥施用量の計算方法は参考資料 6. 3（５）に記載する。

液肥の使用に際しての農家の同意を得る必要がある。全農家が液肥を使用することはないため、実際の液肥需要は前記推算を下回るが、液肥需要推計の目安の一つとなる。

表 1 3 液肥利用の効果、課題、対策

	効果	課題	対策
農家側	・化学肥料の低減が図られる。 ・肥料代の節減と散布労力の削減が図られる。 ・堆肥に比べて即効性が高い。 ・土壌改良効果(痩せ土化抑制効果、炭素蓄積効果)が得られる。 ・水稻栽培の場合は水口から流し込んで散布できるため、作業負担を軽減できる。 ・特殊栽培・有機栽培のブランド力が図れる。 ・作物への好影響(生育状況改善、耐虫性向上、食味値向上など)。 ・環境保全型農業として助成金を受け取れる。	・取扱性(散布方法、作業性)が堆肥とは異なり、散布に要する経費負担が大きい。 ・散布後の臭気がある。 ・施用後にアンモニア態窒素が揮散する。 ・液肥に関する知識不足による液肥利用に対する不安がある。 ・ふん尿を使用した液肥に対して好ましくないイメージがある。 ・作物によっては、化成肥料と同等の収量を得ようとすると使用量が大きい。 ・過剰施肥による地表流出と地下水汚染の恐れがある。	⇒施設側が散布。 ⇒施用後に速やかに耕耘し、アンモニア揮散を抑制。 ⇒農業試験場の協力を得て施肥設計、生育調査、収量調査等を行い、不安をなくす(技術的対策)。 - 実証田の見学、栽培実績の宣伝(啓発的対策)。 - 有機認証制度、特殊栽培への認定登録(政策的対策)。 ⇒堆肥の併用、副資材の添加(その他リサイクル肥料の併用)。
施設側	・水処理のコストが低減できる。 ・液肥販売収入が得られる(ただし、無料の場合有り)。 ・液肥散布収入が得られる。 ・地域でのイメージ向上につながる。	・農家側の課題が液肥利用の拡大を妨げている。 ・JA との競合(化成肥料に対する影響)を考慮する必要がある。 ・貯蔵スペースの確保、散布量の平準化。 ・運搬性、取扱性の悪さ。 ・液肥散布コスト(人件費、車両費)。 ・原料の異物混入のリスク、成分変動。	⇒地元自治体や農家、農協の協力を得る。 - 液肥利用推進協議会等を組織。 - 液肥取扱いを農協等に委託する。 ⇒液肥の堆肥化、固液分離・濃縮。 ⇒近隣への効率的な散布方法を検討。 ⇒散布代を取得。

表 1 4 液肥事業に取り組んでいる事業者のメタン発酵処理量と液肥生産実績一覧

No.	事業主体	計画処理量 (t/日)	原料(t/日) 平成 26 年度実績	消化液生成量 (t/日)	液肥取扱	液肥事業の詳細
1	A	13.3	10.25(搾乳牛ふん尿 9.0、生ごみ(店舗、給食センター)1.2、グリセリン 0.05)	13	○	肥料登録:特殊肥料を申請中。 平成 27 年度、液肥については無償で提供する(運賃、梱包費用など諸経費は別途徴収)。 平成 28 年度以降は有償となる。
2	B	116	99.8(乳牛ふん尿 66.1、食品加工物残渣、有機汚泥等 33.7)	52	○	販売せず、農場内等で全量を有効利用。
3	C	定格 123	76.4(事業系生ごみ 11.0、家庭系生ごみ 1.8、食品産業廃棄物 63.6)	0.15～ 0.18	×	消化液の発生量(150～180m ³ /日)に見合う需要が期待できない。利用先があれば開拓すべきとは感じている。
4	D	85.5	61.64(し尿・浄化槽汚泥 56.1、農作物収穫残渣 5.5、水産残渣 0.04)	61(推定)	×	平成 28 年度から「消化液利活用検討会」を立ち上げ、代表的な農業者に試験液を提供し、実験試用を開始した段階。 運搬は事業主体 D が無償実施している。
5	E	4.9	食品残渣(事業系一般廃棄物、産業廃棄物)農業残渣、有機性汚泥、その他	4.9(推定)	○	水稻栽培の化学肥料の費用が 8,000～10,000 円弱/10 a に対して、液肥栽培の費用が 5,000 円/10a である。 液肥の運搬、散布主体:事業主体 E
7	F	5	乳牛ふん尿、農産加工物残渣	4.1	○	肥料登録:特殊肥料(消化液、脱水ろ液、RO 濃縮液肥の 3 種類) 年間 1,500 t の消化液を農業組合法人の 90 軒以上の組合員にほぼ全量散布。 液肥の運搬、散布主体:事業主体 F
8	G	94.8	メタン化施設:97.3(乳牛ふん尿(敷料含む)、97.3(生ごみ 0.01))	90.2	○	肥料登録:普通肥料(工業汚泥肥料) 液肥散布料:510 円/t+ 散布車両燃料(免税軽油) 液肥代金:受益者 51 円/t、耕種農家 102 円/t 液肥販売収益:20,531 千円(平成 26 年度)
9	H	20～30	14.4(家庭生ごみ 0.06、他食品廃棄物)		○	液肥利用の対価:1,000 円/m ³ (基本単価)
10	I	65	84.7(乳牛ふん尿 76.8、おから 0.4、豆乳、豆かす他 7.5)	15.7	○	肥料登録:特殊肥料 液肥の運搬、散布主体:事業主体 液肥散布収益:3,113 千円(平成 26 年度)
11	J	41	38.3(家庭生ごみ 2.1、事業系生ごみ 1.7、浄化槽汚泥 27.4、し尿汚泥 7.1)	38(推定)	○	肥料登録:普通肥料(工業汚泥肥料) 液肥代:0 円/t 液肥散布価格:1,000 円/10 a、液肥運搬価格:200 円/t 液肥散布収益:1,241 千円(平成 26 年度) 液肥年間利用量:約 6,000t/年
12	K	77.1	77.1(家畜排泄物 74.1、事業系生ごみ 1.0、家庭系生ごみ 2.0) 下水汚泥 730 t/年	46.6	○	肥料登録:普通肥料 液肥代:0 円/t リン酸強化液肥:400 円/t 散布代:500 円/t 年間契約により散布サービスを受けることも可能 年間 17,000t の消化液を全量液肥として農地還元している。

(備考)液肥取扱欄で「×」の事業者は、これから液肥事業を立ち上げの準備を行っている事業者または需要先開拓の必要性を感じている事業者である。

5. 2. 4 発酵残渣（脱水ケーキ）の利用方法

（１）脱水ケーキの発生量の検討

メタン発酵では、原料の1～2倍量の発酵残渣（消化液）が発生する。消化液を固液分離して得られる固形分（脱水ケーキ）の性状（含水率、成分等）及び発生量を把握し、脱水ケーキから得られる再生品の生産量、脱水ケーキの委託処理量・コストを見積もっておく必要がある。

脱水ケーキ発生量の概算値は次式により算出することができる。

$$\text{「脱水ケーキの発生量」} \times (1 - \text{「脱水ケーキの含水率」}) = \text{「消化液の発生量」} \times \text{「消化液の TS\%」} \quad (1)$$

ここで、

- ・ 「脱水ケーキの含水率」は80～85%程度（脱水方法に依存する）
- ・ 「消化液の発生量」は「希釈原料の投入量」（希釈原料：メタン発酵混合原料と希釈水の希釈混合原料）から「バイオガス発生量の質量換算値」を減算した量で代用する
- ・ 「消化液の TS%」は「消化液の発生量」×「消化液の TS%」＝「希釈混合原料の質量」×「希釈混合原料の TS%」－「バイオガス発生量の質量換算値」より概算する

例えば、50 t/日のメタン発酵混合原料（バイオガス発生効率：100 Nm³/t・混合原料）を希釈水 45 t/日で希釈した希釈混合原料（TS%=10%）を使用した場合、含水率：85%の脱水ケーキの発生量は約 25 t/日である。

（２）脱水ケーキの処理方法の検討

脱水ケーキを処理するために、脱水ケーキの用途に応じた処理施設が必要になる。堆肥化施設（コンポスト化施設）、燃料化施設、ごみ発電施設、焼却施設等の保有施設を利用することにより、設備投資を抑制でき、かつ保有施設の稼働率向上に役立つ。いずれの施設も保有していない場合は、外部の施設に処理を委託する。

脱水ケーキの処理方法（処理方式）と有効利用用途を図7に示す。脱水ケーキ処理により得られる生成物は、「コンポスト（堆肥）」、「燃料」、「発電」等、幅広く有効利用されている。それぞれの利用方法及び必要な設備は参考資料6. 3（6）に記載する。

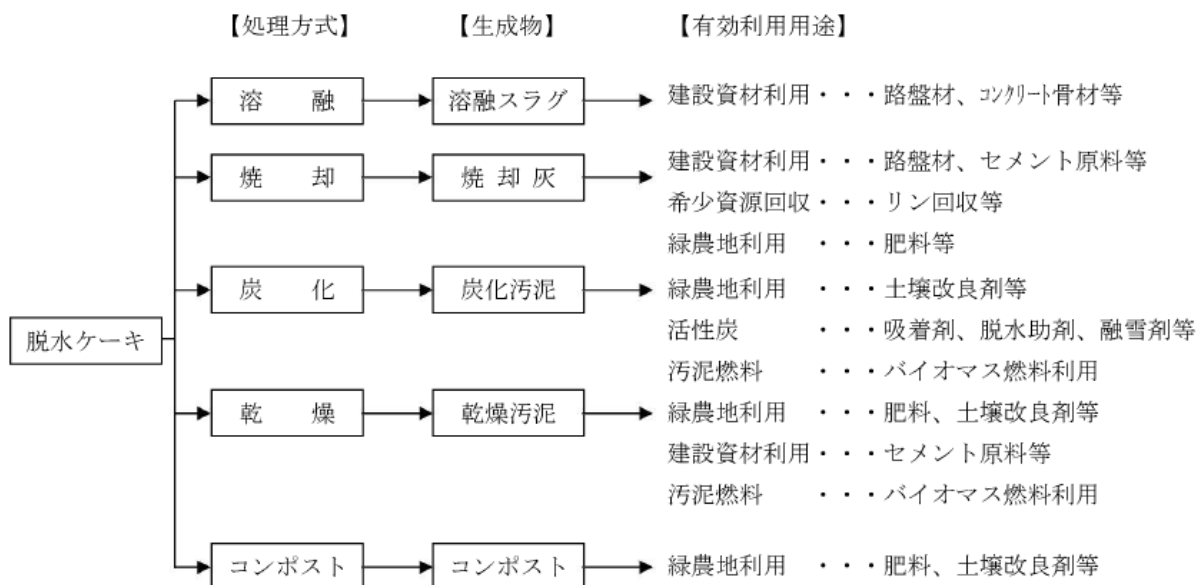


図7 脱水ケーキの処理方式と有効利用用途

出典：洛西浄化センター汚泥処理方式検討委員会〈第1回〉開催結果（平成23年11月）
<http://www.pref.kyoto.jp/shingikai/mizukantai-02/1321929049741.html>

5. 2. 5 水処理設備導入の検討

脱水ケーキの資源化を図る際には、固液分離により発生する「脱水ろ液」を公共用水域に排出するために水処理設備が必要である。

(1) 排水量の検討

脱水ろ液の排水量は、水処理コストに影響し、かつ排出先の排水基準による制限を受ける場合があるため、排水量を見積もっておく必要がある。

脱水ろ液の排水量（発生量）の概算値は次式により算出することができる。

$$\begin{aligned} \text{「脱水ろ液の発生量」} &= \text{「消化液の発生量」} \times (1 - \text{「消化液の TS\%」}) \\ &\quad - \text{「脱水ケーキの発生量」} \times \text{「脱水ケーキの含水率」} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{「脱水ケーキの発生量」} \times (1 - \text{「脱水ケーキの含水率」}) = \text{「消化液の発生量」} \times \text{「消化液の TS\%」} \quad (2)$$

ここで、

- ・ 「脱水ケーキの含水率」=80～85%程度（脱水方法に依存する）
- ・ 「消化液の発生量」=「希釈混合原料の投入量」－「バイオガス発生量の質量換算値」
（希釈混合原料：メタン発酵混合原料と希釈水の混合原料）
- ・ 「消化液の TS%」=100×「消化液の固形分量」/「消化液の発生量」
- ・ 「消化液の固形分量」=「希釈混合原料の投入量」×「希釈混合原料の TS%」－
「バイオガス発生量の質量換算値」

例えば、50 t/日のメタン発酵混合原料（バイオガス発生効率：100 Nm³/t・混合原料）を希釈水 45 t/日で希釈した希釈混合原料（TS%=10%）、脱水ケーキの含水率：85%と仮定した場合、脱水ろ液の発生量は約 65 m³/日である。

(2) 排出先の検討

排出先として、下水と公共用水域が挙げられる。排出先の排水基準や水処理前後の汚水及び排出水の汚染状態を把握して、水処理方式を決定する必要がある。排水水に関連する法令・条例及び排水基準はまとめて**参考資料 6. 6 (4)**に記載する。

(3) 水処理設備の構成の検討

消化液（脱水ろ液）の水処理方法は、生物学的処理、物理化学的処理の 2 種類に分類でき、それぞれの処理に対して多様な処理方法が開発・実用化されている。生物学的処理として「標準活性汚泥法」、「膜分離活性汚泥法」、「バチルス菌排水処理」、物理化学的処理として「アンモニアストリッピング法」、「オゾン処理法」、「活性炭処理法」が挙げられる。各種処理方法の比較は**参考資料 6. 3 (7)**に記載する。

生物学的処理に着目すると、「膜分離活性汚泥法」と「循環式硝化脱窒法」が他の方法に比べて総合的に優れている。国内のメタン発酵施設では、主に「循環式硝化脱窒法」が採用されている。

メタン発酵施設で採用されている脱水ろ液の水処理方法の例を以下に示す。実際の水処理では生物学的処理と物理化学処理が併用される。

河川への排出例：

消化液→固液分離（凝集剤添加）→脱水（脱水ろ液）→循環式硝化脱窒法【無酸素槽（脱窒槽）→好気槽（硝化槽）／一部無酸素槽へ返送】→固液分離（膜分離）→凝集沈殿（リン、色度除去）→オゾン処理（SS、リン、色度除去）→塩素消毒→河川へ排出

下水道への放流例：

消化液→固液分離（凝集剤添加）→脱水（脱水ろ液）→循環式硝化脱窒法【無酸素槽（脱窒槽）→好気槽（硝化槽）／一部無酸素槽へ返送】→固液分離（沈殿）→凝集沈殿（リン、色度除去）→下水放流

（４）水処理設備を含むメタン発酵施設の費用の検討

水処理設備の建設コスト算出においては、各種文献に記載されている費用関数（水処理量に対して建設コストを求める関数）を使用することができる。水処理設備の建設費は、メタン発酵施設全体（水処理設備含む）の建設費の25%～30%程度が目安となる。また、水処理設備のランニングコストは、曝気用の電気代、薬品代が大きくなる。

メタン発酵施設の導入検討段階で、メタン発酵施設（水処理施設含む）の建設費、ランニングコストの概算をプラントメーカーから入手し、損益分岐点評価を行うことにより、メタン発酵施設の処理能力を決定する必要がある。

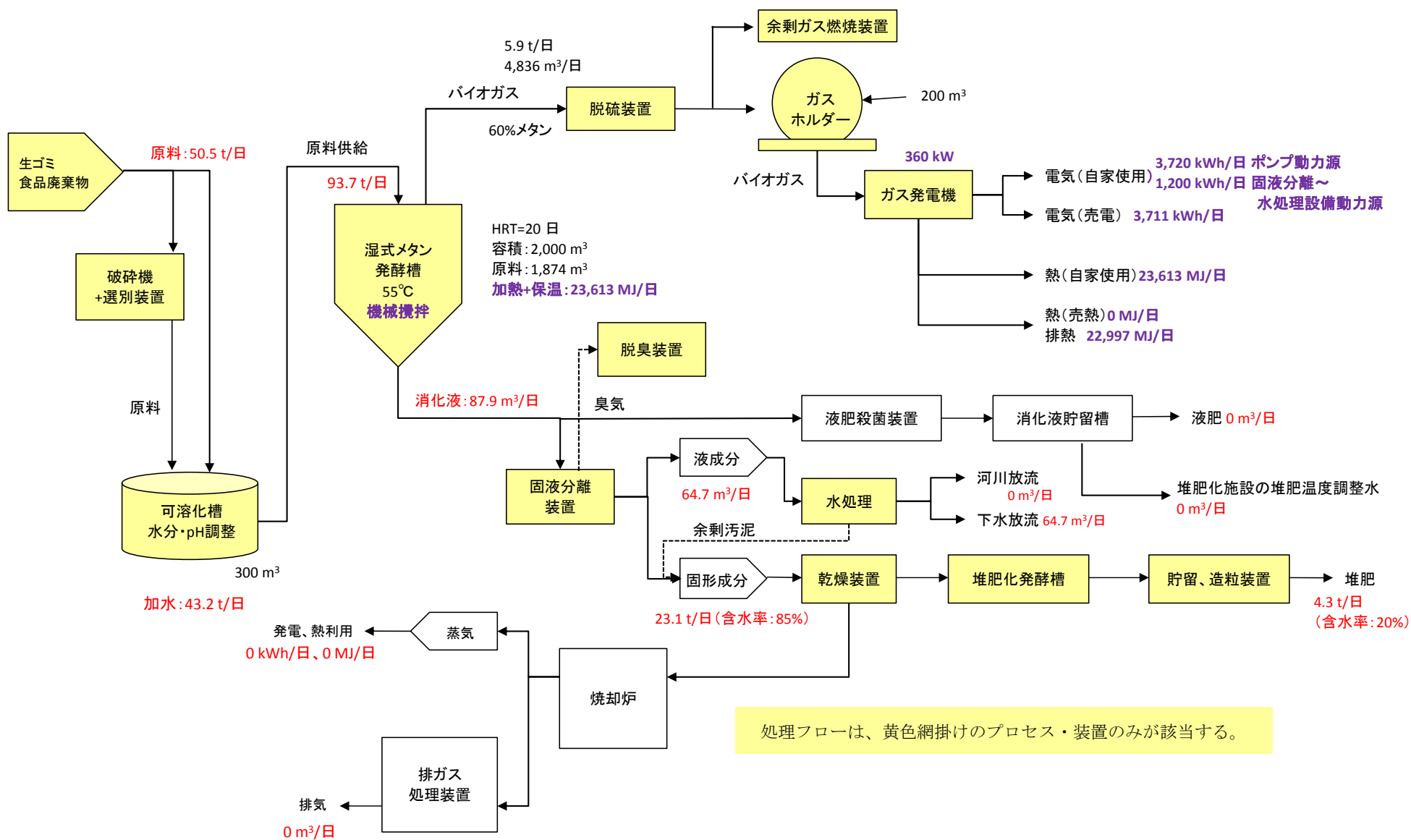
５．２．６ メタン発酵施設の設備構成と設備能力の検討

メタン発酵施設の設備能力を決定するためには、動植物性残渣の安定受入量、性状変動を考慮した上で、処理フロー、物質収支の検討結果及び発酵残渣から得られる液肥、堆肥、燃料等の需要の検討を踏まえて、メタン発酵事業の経済性評価を行う必要がある。

処理フロー、必要設備、物質収支、設備能力、エネルギー収支の順に検討を行う。

（１）処理フローの検討

メタン発酵施設における基本的な処理フローの例を図8～図9に示す。図8は、消化液を液肥として利用する場合の処理フローである。図9は、脱水ケーキを堆肥として利用する場合で、脱水ろ液の処理水を下水放流する場合の処理フローである。どちらの処理フローもメタン発酵方式は湿式メタン発酵である。また、図8～図9中のマテリアルフロー、エネルギーフローに示す数値は、50 t/日の処理能力を有するメタン発酵施設に対する結果である。乾式メタン発酵では、希釈水の注入が必ずしも必要ではない点、消化液が発生しない点が湿式メタン発酵と異なる。



① 原料受入からメタン発酵までの処理フロー

1.「原料受入」→2.「原料投入（受入槽）」→3.「原料の破碎・粉碎／異物選別除去（前処理）」→
4.「可溶化处理（可溶化槽）」→5.「メタン発酵（メタン発酵槽）」

1. 原料受入

原料種毎に原料を受け入れる。

2. 原料投入（受入槽）

TS%が高い原料は固形物として受入槽に投入する。

3. 原料の破碎・粉碎／異物選別除去（前処理）

固形原料を破碎・粉碎／異物の選別・除去後に TS%が低い原料と混合してスラリー状原料（混合原料）を得る。

4. 可溶化处理（可溶化槽）

混合原料移送ポンプにより可溶化槽に移送する。可溶化槽で混合原料と希釈水を混合して希釈混合原料を得る。TS%が低い原料が少ない場合、希釈水の注入を受入れ槽で行っても良い。

- ・ 可溶化槽に貯蔵される希釈混合原料の均質化を図るために、可溶化槽循環ポンプにより希釈混合原料の循環を行う。また、原料受入日の違いによる原料性状のばらつきが希釈混合原料の性状のばらつきに及ぼす影響を低減するために、希釈混合原料を可溶化槽で数日間貯蔵して、希釈混合原料の性状均一化を図る。
- ・ 可溶化槽では、「可溶化・加水分解と酸発酵に適した pH に調整するために pH 調整用の薬品注入」、「希釈水量を低減するために可溶化槽へ消化液の返送」等を行う場合がある。

5. メタン発酵（メタン発酵槽）

希釈混合原料を可溶化槽で数日貯蔵した後、スラリー移送ポンプで希釈混合原料をメタン発酵槽に移送する。メタン発酵は湿式メタン発酵である。メタン発酵温度は、原料分解速度が大きい高温式の 55℃である。

- ・ 発酵槽温度を 55℃に保つために、「バイオガス発電（コージェネレーションシステム）により得られる温水¹⁷⁾」を活用して、希釈混合原料及びメタン発酵槽を温水で加温・保温する。
- ・ メタン菌を固定床で担持し、メタン発酵槽内で希釈混合原料と活性汚泥中のメタン菌との接触効率を向上させるために、機械攪拌方式または無動力攪拌方式を採用する。発酵槽内での堆積物／スカムが少ない場合には、機械式攪拌方式で必要な電力は少ないことが期待される。
- ・ メタン発酵により、バイオガスと発酵残渣（消化液）が発生する。発酵槽で発生するバイオガスの成分は、メタン：約 60%、CO₂：約 40%、硫化水素：微量である。

メタン発酵以降の処理フローは、メタン発酵により発生するバイオガス、発酵残渣（消化液）それぞれを利用するための処理フローに分かれる。

¹⁷⁾ バイオガス発電機の仕様を蒸気利用仕様に変更することにより、温水利用だけでなく温水・蒸気の両方を利用できるようになる。

② メタン発酵～バイオガス発電利用までの処理フロー（バイオガス利用フロー）

5.「メタン発酵（メタン発酵槽）」→6.「脱硫（脱硫塔）」→7.「バイオガス一時貯蔵（ガスホルダー）」→8.「バイオガス発電（バイオガス発電機）」→9.「電気・熱の利用」

6. 脱硫（脱硫塔）

メタン発酵で発生するバイオガスは微量の硫化水素を含むため、乾式脱硫方式によりバイオガス中の硫化水素を脱硫塔で除去する。酸化鉄で脱硫を行った後の硫化水素濃度は 10 ppm 以下となり、バイオガス利用設備の腐食を防止できる。

7. バイオガス一時貯蔵（ガスホルダー）

発電機のメンテナンス、停止時を考慮して、バイオガスのバッファータンク（ガスホルダー）を設置する。バッファータンクとして、バイオガス発生量の 1～2 時間分の容量を有するガスホルダーを設置する。

バイオガスが大気放出される事態を未然に防止するために、余剰バイオガスを脱硫後全量処理できる余剰ガス燃焼装置を設置する。

8. バイオガス発電（バイオガス発電機）

バイオガス発電機により、バイオガス発電を行う。電気、熱全ての利用を考慮して、発電機としては、コージェネレーションシステムを導入する。

- ・ バイオガスの発生量を考慮して、バイオガス発電機の発電能力（出力）と発電機の構成（能力と台数）を決定する。
- ・ 発電機のメンテナンス時には、バイオガス発電による熱を利用できないため、メタン発酵槽に加温・保温用温水（蒸気）を利用できるボイラーを設置する。
- ・ 処理能力が小さいメタン発酵施設を導入する場合には、バイオガス発電に代わってバイオガスボイラーを設置する。

下水汚泥や生ごみを嫌気性発酵して得られるメタンを主成分とするバイオガスを利用する場合、その中に不純物として微量（1 mg/m³～200 mg/m³）含まれる有機ポリシロキサン（以下シロキサン）は利用先の燃焼機器に悪影響を及ぼす。バイオガスをバイオガス発電機、バイオガスボイラー等の燃焼機器で問題なく利用するためには、このシロキサンを完全に除去する必要があり、これを実現する除去装置を燃焼機器の前段に設置する。

9. 電気・熱の利用

メタン発酵施設での電源、熱源としてバイオガス発電（コージェネレーション）から得られる電気・熱を利用する。また、保有設備での電源・熱源として利用することや売電についても検討する。

③ メタン発酵～発酵残渣消化液の液肥利用までの処理フロー（消化液の液肥利用フロー）

消化液の処理フローは、「A 液肥を利用できる場合（水処理設備無し）」と「B 液肥を利用できない場合（水処理設備有り）」の二つの異なるパターンに分かれる。液肥を利用できない場合には、消化液の固液分離／脱水後に「B1 脱水ろ液処理フロー」と「B2 脱水ケーキ処理フロー」の二つのフローに枝分かれする。

<A>液肥を利用できる場合（水処理設備無し）

液肥を利用できる場合における消化液処理フロー（水処理設備無し）

5.「メタン発酵（メタン発酵槽）」→10.「消化液殺菌」→11.「消化液貯留（消化液貯留槽）」→12.「液肥利用」

10. 液肥殺菌

消化液液肥の安全性を確保して肥料登録を行うために、消化液液肥を加熱殺菌することにより、消化液に含まれる大腸菌類を基準値以下の濃度に抑制する。高温式メタン発酵の場合には、高温殺菌を行わない場合でも、消化液中の大腸菌類含有率が基準値以下を示す場合がある。

11. 消化液貯留（消化液貯留槽）

消化液の発生量は、希釈混合原料からバイオガスの質量を減じた値である。消化液の液肥需要の季節変動などを考慮して消化液貯留槽を設置する。

12. 液肥利用

液肥の散布計画を立てて、農地への液肥運搬、液肥散布を行う。メタン発酵施設側が有償で液肥運搬・散布を行っている事例がある。

液肥を利用できない場合（水処理設備有り）

消化液の処理フローの例を図10に示す。処理設備は、「固液分離／脱水設備」、「水処理設備」、「堆肥化設備」の各ブロックにより構成される。

消化液は「固液分離／脱水処理」の後、水分と固形分に分離される。水分は、「排水処理」で浄化した後に下水放流を行う。一方、固形分（脱水ケーキ）は、堆肥化施設を保有している場合、脱水ケーキを有機肥料の原料として利用する。

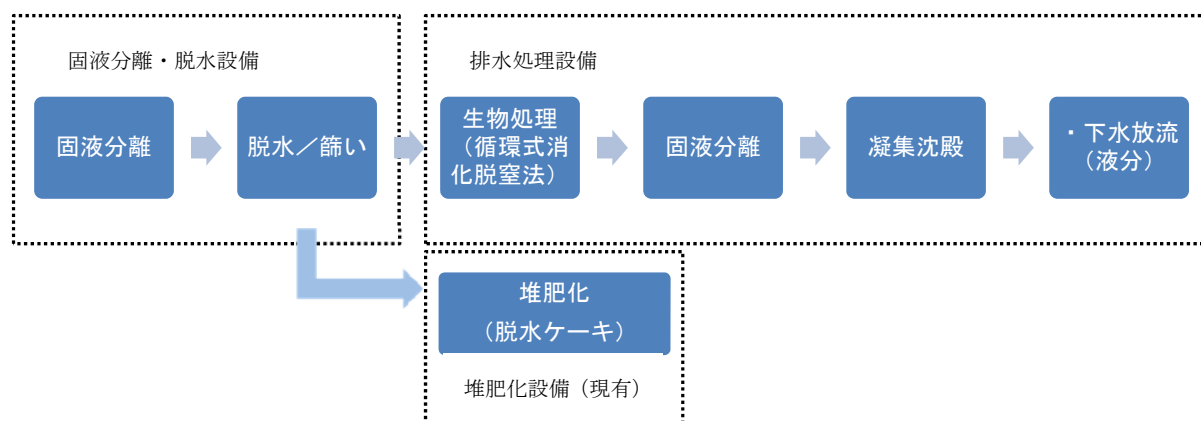


図10 消化液の処理フローの例

<B1>液肥を利用できない場合における脱水ろ液処理フロー（水処理設備有り）

5.「メタン発酵（メタン発酵槽）」→13.「固液分離／脱水」→14.「水処理」→15.「放流」

13. 固液分離／脱水

固液分離では、凝集槽で消化液に高分子凝集剤（ポリアクリルアミド等）を添加して、フロックを形成させた後、加圧分離槽で消化液を水分（脱水ろ液）とフロック（汚泥）に分離する。脱水装置により汚泥を脱水し、含水率：80～85%程度の脱水ケーキを得る。

14. 水処理

脱水ろ液を下水放流するために、脱水ろ液を「循環式硝化脱窒法（生物処理）」、「固液分離（沈殿）」、「凝集沈殿」の順で浄化する。

循環式硝化脱窒法では、生物反応槽を無酸素槽（脱窒槽）、好気槽（硝化槽）の順に配置し、好気槽の硝化液（硝化された水分）の一部を無酸素槽（脱窒槽）へ循環させることにより、脱水ろ液中の微生物を利用して BOD、窒素を除去する。好気槽（硝化槽）では、曝気により、脱水ろ液中の有機態窒素やアンモニア性窒素が硝酸性窒素に硝化する。無酸素槽では攪拌により脱窒を促進させる。微生物の餌としてエタノールを使用する。

「固液分離」では、沈殿による固液分離を行う¹⁸⁾。

「凝集沈殿」では、リン、色度の除去を行う。凝集剤としてポリ硫酸第二鉄を使用する。

15. 下水放流

水処理後の脱水ろ液が下水放流基準を満たしていることをモニタリングした後、下水放流を行う。

<B2>液肥を利用できない場合における脱水ケーキ処理フロー（水処理設備有り）

（脱水ケーキの堆肥利用の場合の処理フロー）

5.「メタン発酵（メタン発酵槽）」→13.「固液分離／脱水」→16.「乾燥（乾燥装置）」→17.「堆肥化（堆肥化発酵槽）」→18.「貯留・造粒」→19.「堆肥利用」

16. 乾燥

固液分離／脱水により発生する脱水ケーキを想定した堆肥化に利用する場合、堆肥化工程の前に、乾燥装置で脱水ケーキを加熱乾燥させて、発酵に適した含水率に調整する。乾燥工程を経ないで堆肥化を行う場合もある。

17. 堆肥化（堆肥化発酵槽）

好気性発酵により脱水ケーキから堆肥を製造する。

¹⁸⁾ 固液分離の方法として、「沈殿法」または「膜分離法」が挙げられる。膜分離法は、中空糸膜等を使用するため、沈殿法に比べて高コストになる。

(2) 必要な設備の検討

処理フローに沿って必要な設備、特徴を整理して表 15 に示す。各設備の能力は、物質収支・エネルギー収支を踏まえて決定する。

表 15 メタン発酵施設における処理フローと主な設備（例）

処理フロー	主な設備(例)	備考
1. 原料受入れ	計量機、受入れホッパ	食品廃棄物運搬業者からの受入れのため、運搬車両を配備しない。
2. 原料投入	受入槽	
3. 前処理	破碎・粉碎・異物選別装置 混合原料スラリー移送ポンプ	混合原料スラリーを可溶化槽へ移送する。
4. 可溶化処理	可溶化槽 可溶化槽循環ポンプ スラリー移送ポンプ	希釈混合原料の性状調整・均質化を行う。 希釈混合原料の性状調整・均質化を行う。 希釈混合原料スラリーをメタン発酵槽へ移送する。
5. メタン発酵	メタン発酵槽 メタン発酵槽加温設備 メタン発酵槽保温設備 機械攪拌装置 消化液循環ポンプ 消化液排出ポンプ	嫌気性条件を満たすため密閉した槽であり、熱の放散を防止するために断熱構造である。 バイオガス発電の熱を利用し、希釈原料スラリーの温度を 55℃に加温する。 バイオガス発電の熱を利用し、メタン発酵槽を 55℃に保温する(発酵槽からの放散熱を補填する)。 嫌気性微生物と原料の接触効率向上、スカム発生・堆積物発生を防止、原料内に滞留するガス抜きを目的として、攪拌を行う。電気代節減のため、無動力攪拌方式を採用しても良い。 消化液を発酵槽または可溶化槽へ返送する場合に使用する。 消化液を発酵槽から引き出すときに使用する。
6. 脱硫	脱硫塔	乾式脱硫方式(脱硫剤)によりバイオガスに含まれる硫化水素を除去する。
7. バイオガス一時貯蔵	ガスホルダー ガスホルダー加圧ファン 余剰ガス燃焼装置	24 時間連続発電を仮定する。発電機のメンテナンス、停止時を考慮してバイオガスのバッファータンクを設置する。 バイオガスが大気放出される事態を防止するために、余剰バイオガスを全量燃焼させる。
8. バイオガス発電	バイオガス発電機 バイオガスボイラー	電気・熱の利用を考慮して、コージェネレーションシステムを採用する。熱(蒸気)のみを利用する場合にはボイラーを採用する。 発電機のメンテナンス、停止時を考慮してバックアップ用バイオガスボイラーを設置する。シロキサン除去装置を燃焼機器の前段に設置する。
9. 電気・熱の利用	各利用施設・設備	電気・熱を利用する設備(メタン発酵施設での利用、保有設備での利用、売電等)。
10. 液肥殺菌	加熱装置	消化液液肥の安全性確保、肥料登録のため、加熱殺菌を行う(高温メタン発酵では、加熱殺菌前、菌類濃度が基準値以下の場合有り)。
11. 消化液貯留	消化液保留槽	液肥需要の季節変動などを考慮して消化液貯留槽を設置する。
12. 液肥利用	運搬車両、散布装置	運搬・散布は、有償・無償等有り。
13. 固液分離／脱水	凝集槽(固液分離) 脱水装置 篩	高分子凝集剤を消化液に加えて固液分離させる。 スクリーンプレス式脱水装置等で消化液を脱水ろ液と脱水ケーキに分離させる。脱水ケーキの含水率は 80～85% 程度が得られる。 網目 1 mm メッシュ程度の篩で脱水ケーキの水分を除去する。
14. 水処理(脱水ろ液)	循環式硝化脱窒法(無酸素槽(脱窒槽)、好気槽(硝化槽)、硝化液循環ポンプ、攪拌装置、曝気装置一式) 固液分離槽 凝集沈殿槽	BOD、窒素を除去する。 沈殿法(下水放流の場合)または膜分離法(公共用水域への排出の場合)。 凝集剤(ポリ硫酸第二鉄など)で凝集沈殿させて、リン・色度を除去する。
15. 下水放流、公共用水域への排出	モニタリング(BOD、窒素、色度等)	下水排除基準、排水基準を満足していることを確認する。

処理フロー	主な設備(例)	備考
16. 乾燥(脱水ケーキ)	乾燥装置	脱水ケーキを堆肥化に利用する場合、好気性発酵に適した含水率の脱水ケーキを得るために、堆肥化前に加熱乾燥により含水率を調整する(乾燥工程を経ないで直接堆肥化を行う場合もあり)。
17. 堆肥化	堆肥化発酵槽	好気性発酵により脱水ケーキから堆肥を製造する。
その他	脱臭設備	臭気的主要な発生場所は、受入れ・前処理設備、脱水設備、貯留設備等。脱臭方法は生物脱臭、薬液洗浄脱臭、活性炭脱臭等有り。

(3) メタン発酵施設の基本仕様の検討(堆肥化施設を保有する事業者のモデルケース)

メタン発酵施設の基本仕様を作成するためには、処理フロー・主要な設備に基づいて、物質収支・エネルギー収支及び設備能力を検討する必要がある。

「メタン発酵施設で処理する原料」、「バイオガスの利用方法」、「発酵残渣(消化液)の利用方法」、「メタン発酵施設の処理フロー及び主な設備」のモデルを設定することにより、メタン発酵施設の設備能力及び基本仕様を決定できる。

ここでは、堆肥化施設を保有する事業者をモデルケースとしてメタン発酵施設の基本仕様を検討する際のポイントをまとめる。

(3-1)「メタン発酵施設で使用する原料」のモデル設定

堆肥化施設で使用している原料を利用することにより、メタン発酵施設で安定的に確保できる混合原料のモデルを設定する。混合原料の投入量：50.5 t/日に対する内訳(原料の種類、投入量、含水率、TS濃度)及びバイオガス発生量を表16に示す。混合原料のTS濃度は19%であり、乾式メタン発酵に適した原料である。ここでは、希釈水：43.2 t/日を追加して、湿式メタン発酵に適したTS濃度：10%に調整している。近年、国内でも乾式メタン発酵施設の導入が始まっており、希釈水を追加せずに、乾式メタン発酵を採用しても良い。乾式メタン発酵の場合には、発酵残渣が固形状であるため、発酵残渣は液肥に利用できない。

混合原料・希釈混合原料のバイオガス発生効率、バイオガス発生量は、各種原料のバイオガス発生効率を文献値より引用し算出した。混合原料のバイオガス発生効率は95.72 Nm³/t・混合原料であり、希釈混合原料のバイオガス発生効率は51.59 Nm³/t・希釈混合原料である。混合原料に希釈水を混合した場合、希釈混合原料：1 t当たりのバイオガス発生効率が小さくなる点が課題となる。混合原料：50.5 t/日、希釈混合原料：93.7 t/日のどちらの場合もバイオガス発生量は4,836 Nm³/日である。

表 16 モデルケースにおける混合原料および希釈混合原料のバイオガス発生効率と発生量の算出

メタン発酵原料	種類	投入量 (t/日)	含水率	固形 分量 (t/日)	TS 濃度	バイオガス 発生効率 (Nm ³ /t-VS)	バイオガス 発生効率 (Nm ³ /t-原料)	バイオガス 発生量(Nm ³ / 日)
動植物性残渣	ハムソーセージ等	1.341	0.65	0.469	0.35	612	214	171
	野菜くず	11.011	0.90	1.101	0.10	350	35	229
	米	0.138	0.90	0.014	0.10	341	34	3
	肉くず	1.087	0.65	0.38	0.35	612	214	138
	ゆで卵(卵殻無し)	14.649	0.76	3.516	0.24	638	153	1,332
	糖蜜	0.03	0.65	0.01	0.35	650	228	4
	廃棄クリーム	0.958	0.95	0.048	0.05	649	32	18
	菓子麵くず	0.43	0.10	0.387	0.90	342	308	79
	弁当惣菜くず	0.37	0.90	0.037	0.10	450	45	10
	コーヒー粕	0.635	0.65	0.222	0.35	298	104	39
	乾燥飼料くず(草等)	0.066	0.65	0.023	0.35	230	81	3
廃酸	牛乳	0.026	1.00	0	0.00	649	0	0
汚泥	食品工場脱水ケーキ	9.576	0.84	1.532	0.16	450	72	409
	下水処理施設脱水ケーキ	10.201	0.84	1.632	0.16	450	72	436
混合原料		50.518	0.81	9.373	0.19	515.9	95.72	4,836
希釈混合原料		93.725	0.90	9.373	0.10	515.9	51.59	4,836

(備考)「VS 1t あたりのバイオガス発生効率」から「原料 1t あたりのバイオガス発生効率」を算出する際に、各原料の VS 濃度が不明であったため、VS 濃度を TS 濃度で代用した。

(3-2)「バイオガスの利用方法」のモデル設定

バイオガスの利用方法に関しては、バイオガス発電（コージェネレーションシステム）で発生する電気・熱をメタン発酵施設の電気・熱源として利用する。余剰電力は売電する。また、余剰熱は必要に応じて、保有施設（堆肥化施設）において、脱水ケーキの乾燥用熱源として利用する。本モデルでは、脱水ケーキの乾燥を行わずに堆肥化を行うため、メタン発酵槽の加温・保温に排熱利用した後の余剰熱は全て廃熱する。

(3-3)「発酵残渣の利用方法」のモデル設定

発酵残渣（消化液）の利用方法に関しては、「液肥利用」、「脱水ケーキの堆肥化利用」を検討し、それぞれの利用モデルを設定する。「液肥利用」モデルは液肥需要の可能性がある場合に採用し、「堆肥化利用」モデルは保有している堆肥化施設を有効利用する場合に採用する。なお、焼却炉・炭化施設などを保有している事業者の場合には、これらの施設を有効に活用するために、「脱水ケーキの燃料化利用」モデル等を検討する。

ここでは、堆肥化施設を保有している場合の「脱水ケーキの堆肥化利用」モデルを設定する。

(3-4)「メタン発酵施設の処理フロー及び主な設備」のモデル設定

バイオガスの利用方法、発酵残渣（消化液）の利用方法を設定した後、「メタン発酵施設の処理フロー及び主な設備」のモデルを設定する（表 15）。表 15 は「消化液の液肥利用（フロー1～フロー12）」及び「脱水ケーキの堆肥化利用（フロー1～フロー17）」を一つの表にまとめたものである。

（３－５）物質収支の検討

「消化液を液肥として利用する場合」及び「脱水ケーキを堆肥化利用する場合」の物質収支の検討フローを図 1 1 に示す。消化液を液肥として利用する場合には、「原料の投入量・性状（TS%、含水率）及びバイオガス発生効率」から「バイオガスの発生量」「メタンの発生量」「消化液の発生量¹⁹⁾」「消化液の性状（TS%、含水率）²⁰⁾」を算出することができる。

脱水ケーキを堆肥化利用する場合には、脱水ろ液、脱水ケーキそれぞれの TS%（含水率）を設定して²¹⁾、脱水ろ液、脱水ケーキの発生量を算出することができる²²⁾。脱水ケーキから得られる堆肥（有機肥料）の TS%（含水率）を設定して、有機肥料の生産量を推定できる。

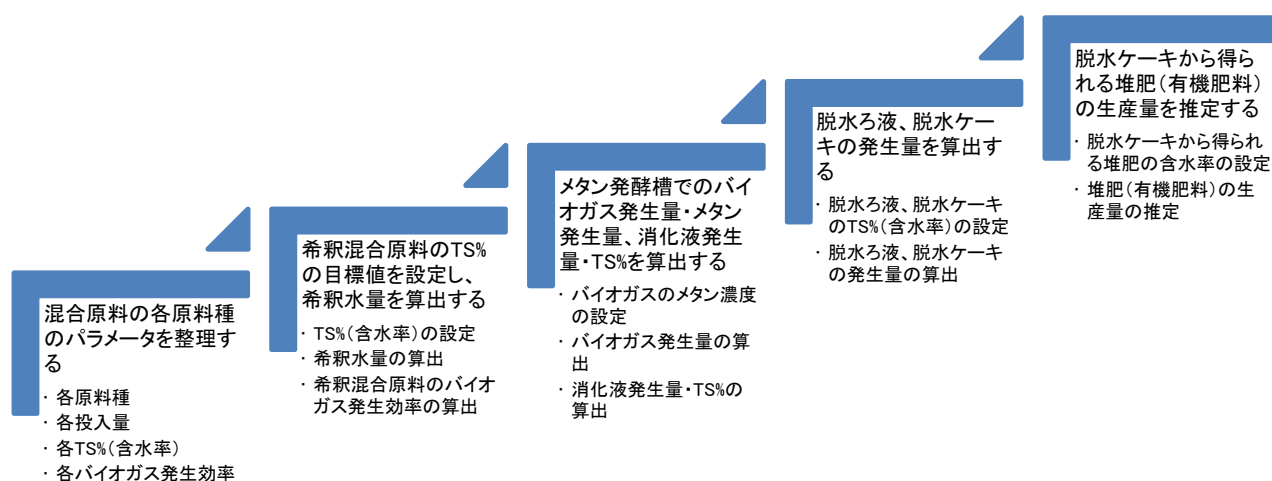


図 1 1 メタン発酵施設の物質収支の検討フロー（堆肥化施設を保有している場合）

保有している堆肥化施設を利用して脱水ケーキの有効利用を図る場合を例にして、メタン発酵施設における物質収支の算出結果を表 1 7 に示す²³⁾。また、物質収支の詳細を表 1 8 に示す。物質収支の計算において、脱水ろ液の含水率、脱水ケーキの含水率をそれぞれ 100%、85%に設定した。また脱水ケーキ

¹⁹⁾ 「消化液の発生量（t/日）」＝「希釈混合原料の投入量（t/日）」－「バイオガス発生量の質量換算値（t/日）」の関係式が成立する。

²⁰⁾ 「消化液の固形分量（t/日）」＝「希釈混合原料の固形分量（t/日）」－「バイオガス発生量の質量換算値（t/日）」の関係式から、「消化液の TS%」＝ $100 \times \frac{\text{消化液の固形分量（t/日）}}{\text{消化液の発生量（t/日）}}$ より、消化液の TS%を算出する。

²¹⁾ 脱水ろ液の TS%を 0%（含水率：100%）、脱水ケーキの TS%を 15%（含水率：85%）と仮定する。

²²⁾ 脱水ろ液の発生量は次式により算出することができる。

$$\begin{aligned} \text{「脱水ろ液の発生量（t/日）」} &= \text{「消化液の発生量（t/日）」} \times (1 - \text{「消化液の TS\%」} / 100) - \\ &\quad \text{「脱水ケーキの発生量（t/日）」} \times \text{「脱水ケーキの含水率（\%）」} / 100 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{「脱水ケーキの発生量（t/日）」} \times (1 - \text{「脱水ケーキの含水率（\%）」} / 100) = \text{「消化液の発生量（t/日）」} \times \text{「消化液の TS\%」} \quad (2)$$

ここで、「脱水ケーキの含水率」＝85%（脱水方法に依存する）、

「消化液の発生量（t/日）」＝「希釈混合原料の投入量（t/日）」－「バイオガス発生量の質量換算値（t/日）」、

「消化液の TS%」＝ $100 \times \frac{\text{消化液の固形分量（t/日）}}{\text{消化液の発生量（t/日）}}$

「消化液の固形分量（t/日）」＝「希釈混合原料の投入量（t/日）」×「希釈混合原料の TS%」/100－

「バイオガス発生量の質量換算値（t/日）」

²³⁾ バイオガスは、60%-CH₄、40%-CO₂の混合ガスであり、1 mol 当たりの質量は 27.2 g である。したがって、バイオガス発生量：4,836 Nm³/日に相当するバイオガスの質量は 5.87 t/日（＝{4,836（Nm³/日）/22.4（L/mol）}×27.2（g/mol））である。

から得られる堆肥の含水率は、原料を直接堆肥化した場合の堆肥の含水率（20%）と同等であると仮定した。

表 1 7 物質収支

物質収支	
混合原料(t/日)	50.5
希釈混合原料(t/日)	93.7
消化液(t/日)	87.9
脱水ケーキ(t/日)	23.1
有機肥料(t/日)	4.3
バイオガス(Nm ³ /日)	4,836
(参考)直接堆肥化混合原料(t/日)	50.5
(参考)直接堆肥化有機肥料(t/日)	8.2

表 1 8 物質収支の詳細

物質収支(詳細)	含水率(%)	固形分(t/日)	水分(t/日)	合計(t/日)
混合原料	81.4%	9.37	41.13	50.5
希釈混合原料	90.0%	9.37	84.33	93.7
消化液	95.9%	3.47	84.33	87.9
脱水ケーキ	85.0%	3.47	19.66	23.1
有機肥料	20.0%	3.47	0.87	4.3
バイオガス	-	-	-	5.9
(参考)直接堆肥化混合原料	81.4%	9.37	41.13	50.5
(参考)直接堆肥化有機肥料	20.0%	6.58	1.62	8.2

(3-6) メタン発酵施設の設備仕様及びエネルギー収支の検討

メタン発酵施設の設備仕様及びエネルギー収支の検討フローを図 1 2 に示す。

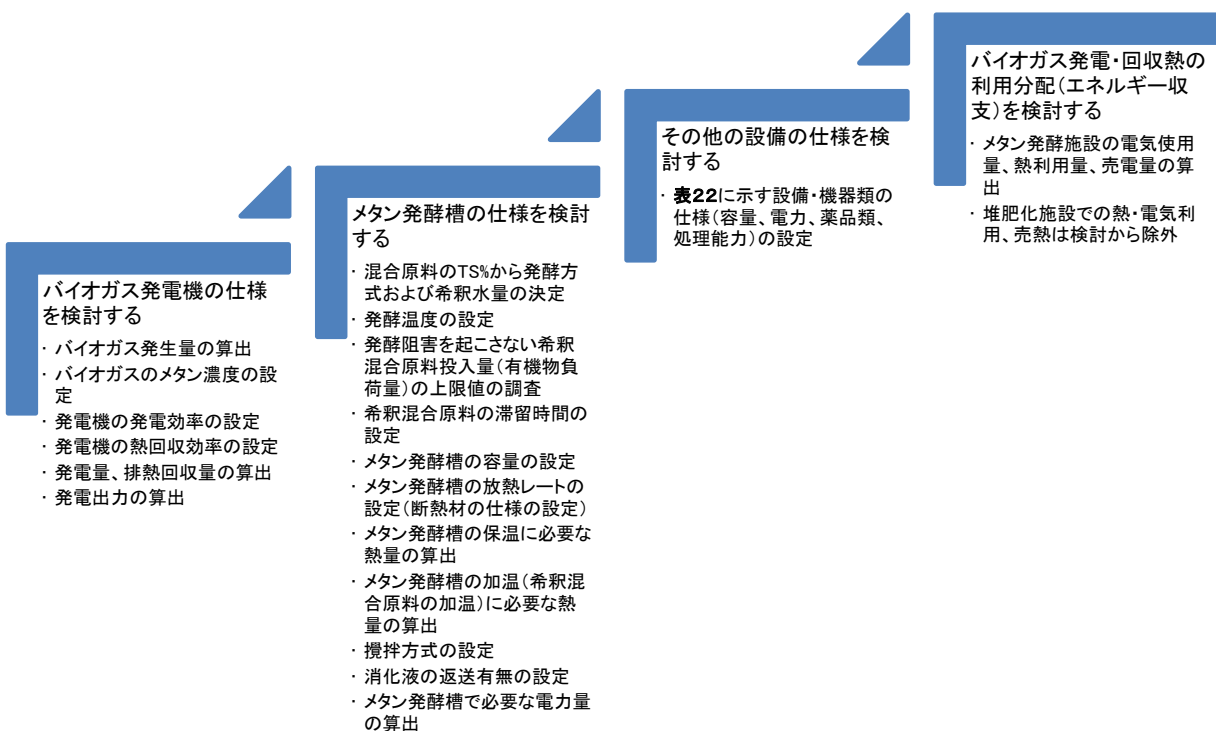


図 1 2 メタン発酵施設の設備仕様及びエネルギー収支の検討フロー（堆肥化施設を保有している場合）

① バイオガス発電機の仕様の検討

バイオガス発生量より、バイオガス発電機の仕様を検討する。バイオガス中のメタン濃度：60%、メタン理論発熱量：35.7 MJ/Nm³から、メタンの理論熱量：103,578 MJ/日を得る（表 19）。

表 19 バイオガス中のメタンおよび理論熱量

バイオガス発生量 (Nm ³ /日)	バイオガス中のメタンガス			
	メタン濃度 (%)	メタン (Nm ³ /日)	メタン理論発熱量 (MJ/Nm ³)	理論熱量 (MJ/日)
4,836	60	2,901	35.7	103,578

発電効率：30%、熱回収率：45%のバイオガス発電機を使用した場合、バイオガス：4,836 Nm³/日から、発電量：8,631 kWh/日、排熱回収量：46,610 MJ/日、発電出力：360 kW（24 時間連続発電）を得る（表 20）。

表 20 発電機仕様

発電機性能								
発電 効率	発電量 (MJ/日)	発電量 (kWh/日)	発電時間 (h/日)	発電 出力(kW)	排熱回収量 (MJ/日)	排ガス熱回収 量(MJ/日)	熱回収率	発電機 総合効率
0.3	31,073	8,631	24	360	46,610	0	0.45	0.75

（備考）発電量の MJ⇔kWh 単位換算係数：3.6 MJ/kWh（0.2777 kWh/MJ）

② メタン発酵槽の仕様の検討

メタン発酵槽の仕様は、「希釈混合原料投入量（t/日）」、「発酵温度（℃）」、「TS 濃度（%）」、「汚泥滞留時間（日）」が主要なパラメータである。メタン発酵槽容積は次式より得られる。

$$\text{メタン発酵槽容量 (m}^3\text{)} = \{ \text{「希釈混合原料投入量 (t/日)」} \div \text{「密度 (t/m}^3\text{)」} \} \times \text{「滞留時間 (日)」}$$

ここで、希釈混合原料の TS%は 10%であり、希薄液状スラリーであるため、希釈混合原料の密度を 1 t/m³と仮定する。

希釈混合原料の投入量、滞留時間は、メタン発酵阻害が生じない有機物負荷量²⁴⁾（kg-VS/m³/日）の上限値を超えないようにする。有機物負荷量の上限値に関しては、プラントメーカーや研究機関の協力を得て、実際に実験室レベルでデータを取得しておく必要がある。

メタン発酵槽の保温に必要な熱量は、メタン発酵槽の放熱レートを設定することにより算出する。放熱レートはメタン発酵槽の形状・表面積、断熱材の厚さと熱伝導率に依存する。また、メタン発酵槽の加温（希釈原料の加温）に必要な熱量は、発酵温度（55℃）と年間平均温度（例えば、15℃）の差から算出する。メタン発酵槽の基本仕様（例）を表 21 に示す。

²⁴⁾ 投入希釈混合原料において、「有機物負荷量 (kg-VS/m³/日)」＝「投入希釈混合原料に含まれる VS 量 (1,000×t-VS/日)」÷「滞留時間 (日)」×「希釈混合原料投入量 (m³/日)」＝「投入希釈混合原料に含まれる VS 量 (1,000×t-VS/日)」÷「メタン発酵槽容量 (m³)」＝{ (TS%/100) × (VS%/100) × 「希釈混合原料投入量 (1,000×t/日)」} ÷ 「メタン発酵槽容量 (m³)」となる。ここで、VS%は TS に含まれる VS の 100 分率である。TS%=10、VS%=100、希釈混合原料投入量=93.7 t/日の場合、「有機物負荷量 (kg-VS/m³/日)」＝100×93.7[kg-VS/日]÷「メタン発酵槽容量 (m³)」。有機物負荷量の最大値が 5.0 kg-VS/m³/日であると仮定した場合、「メタン発酵槽容量 (m³)」>9,370/5.0=1,874 (m³) である。したがって、メタン発酵槽容量：2,000 m³（希釈混合原料：93.7 t/日、滞留時間：20 日）は、妥当な有機物負荷を有するメタン発酵槽になっているといえる。

表 2 1 メタン発酵槽の基本仕様例

メタン発酵槽仕様項目	メタン発酵槽仕様内容
メタン発酵方式	湿式メタン発酵 ・含水率:90% (TS%:10%)
メタン発酵温度	55℃(高温)
メタン発酵槽の材質・形状	鋼板製円筒形(鋼板:6 mm、吹付発砲ウレタン:10 cm) ・放熱レート:2.5%/日
メタン発酵槽の保温方法	外部保温方式(バイオガス発電利用) ・供給熱量:7,871 MJ/日
メタン発酵槽の加温方法	外部加温方式(バイオガス発電利用) ・供給熱量:15,742 MJ/日
混合原料処理量	50.5 t/日
混合原料固形分濃度(TS%)	18.6%
希釈水量	43.2 t/日
希釈混合原料処理量	93.7 t/日
希釈混合原料固形分濃度(TS%)	10.0%
汚泥滞留時間(HRT)	20 日
メタン発酵槽容量	2,000 m ³ ×1 槽 ・マスフロー計算上は、1,874 m ³ (=93.7 t/日 × 1 m ³ /t × 20 日)の容積とする。 ・希釈混合原料の比重は 1 と仮定している。
攪拌方式	機械攪拌方式 ・「堆積物／スカムが少ないため、機械攪拌動力は小さい」と仮定
バイオガス発生効率及び発生量	バイオガス発生効率: ・ 95.72 Nm ³ /t-混合原料 ・ 51.59 Nm ³ /t-希釈混合原料 バイオガス発生量:4,836 Nm ³ /日
消化液のメタン発酵槽への返送	無し

③ その他の設備の仕様の検討

表 1 5 に示す設備・機器類の仕様（容量、電力、薬品類、処理能力）を検討する。

可溶化槽での希釈混合原料の滞留日数を 3 日と設定し、原料の受入れ変動を平準化する。メタン発酵施設では、原料の移送用ポンプ、固液分離後の脱水、脱水ろ液の水処理に大きな電力が必要になる。

図 9 に示すメタン発酵施設及び表 2 1 に示すメタン発酵槽の基本仕様を基に、メタン発酵施設の基本仕様を検討した結果を表 2 2 に示す。

表 2 2 メタン発酵施設の基本仕様例

プロセス・設備	設備・機器	数量	使用電力 (kW)	使用時間 (h/日)	使用電力 (kWh/日)	使用熱量 (MJ/日)	上水 (t/日)	容積 (m ³)	備考
原料受入・前処理設備	運搬車両	0							産業廃棄物運搬業者からの食品残渣受入のため、運搬車両を配備しない。
	異物選別装置	0							異物混入は無いと仮定し、異物選別装置を配備しない。
	粉碎機	1		8					原料の受入・混合・粉碎を行う。
	原料移送ポンプ	1	15	24					「小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業」(NEDO 他、平成22年3月)のp.13に記載の0.75 kWを20倍とした。
可溶化設備	可溶化槽	1						300	可溶化槽は混合原料を3日分貯蔵可能とした。
	希釈水	-					43.2		湿式メタン発酵方式を採用し、希釈混合原料の固形分濃度(TS%)が10%になるように希釈水を添加する。
	希釈水供給ポンプ	0							上水道による供給によりポンプ不要とした。
	可溶化槽循環ポンプ	1	110	24					「小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業」(NEDO 他、平成22年3月)のp.13に記載の5.5 kWを20倍とした。
	スラリー移送ポンプ	1	15	24					「小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業」(NEDO 他、平成22年3月)のp.13に記載の0.75 kWを20倍とした。
	pH調整薬剤	-							pH調整用薬剤供給は実施しない。
メタン発酵設備	メタン発酵槽	1						2,000	メタン発酵槽の仕様： 方式：湿式メタン 発酵温度：55℃(高温発酵) メタン発酵槽：銅板製円筒形、外部保温構造 発酵槽容量：2,000 m ³ ×1槽 攪拌方式：機械攪拌方式 滞留時間：20日 メタン発酵槽放熱率：2.5%/日
	メタン発酵槽加温装置	1				15,742			メタン発酵槽加温方式：メタン発酵槽外部加温方式(バイオガス発電排熱利用)
	メタン発酵槽保温装置	1				7,871			メタン発酵槽保温方式：メタン発酵槽外部保温方式(バイオガス発電排熱利用)
	温水発生用水	-							メタン発酵槽加温・保温に使用する温水
	機械攪拌装置	1							攪拌方式：機械攪拌方式
	消化液循環ポンプ	0							消化液の発酵槽または可溶化槽への返送は実施しない。 * 消化液を希釈水として利用し、消化液発生量を抑制する場合は、消化液循環ポンプが必要になる。
	消化液排出ポンプ	1	15	24					「小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業」(NEDO 他、平成22年3月)のp.13に記載の0.75 kWを20倍とした。
バイオガス利用設備	脱硫塔	2							脱硫方式：乾式脱硫方式 脱硫剤：酸化鉄
	脱硫剤								脱硫剤：酸化鉄
	ガスホルダー	1						200	発電は、24時間連続発電を仮定し、バイオガスの最低限のバッファータンクとして、ガス発生量の1時間分の容積を有するガスホルダーを使用する。 ガスホルダー容積：200 m ³
	ガスホルダー加圧ファン	1							
	シロキサン除去装置	1							
	発電機	15							バイオガス発電機の仕様： 出力：360 kW(25 kW×15台) 発電効率：30% 温水排熱回収効率：45% 排ガス排熱回収は行わない。
	ボイラー設備	1				23,613			バックアップ用温水ボイラーを設置する。 仕様：商用ガス/バイオガス切替可能、発生熱量：23,613 MJ/日
	余剰ガス燃焼装置	1							余剰ガス燃焼装置の仕様 処理量(m ³ /h)：202 Nm ³ /h(バイオガス)、121 Nm ³ /h(メタンガス)
脱臭設備	脱臭装置	1							活性炭吸着による脱臭を実施する。
	脱臭剤								
消化液貯蔵設備	消化液貯留槽	1							消化液貯留槽の仕様 容積：5,300 m ³ (2ヶ月分の消化液発生量の相当する)
消化液固液分離・脱水設備	固液分離(脱水前)								固液分離に投入される消化液量：87.9 (t/日) 高分子凝集剤：ポリアクリルアミド
	脱水機	2	50	24					脱水方式：スクリーンプレス式 台数：2台 消化液処理量：87.9 (t/日) 脱水ケーキ：23.1 t/日 脱水ろ液：64.7 t/日 脱水ケーキの含水率：85%
	篩い処理								網目1 mm□
	生物処理(BOD・窒素除去)								メタノール添加
水処理設備(下水放流)	固液分離								沈殿または膜分離
	凝集沈殿(リン・色度除去)								凝集剤：ポリ硫酸第二鉄など

④ エネルギー収支の検討

バイオガス発電による発電・熱をメタン発酵施設で優先的に利用し、余剰電力を売電する。また、余剰熱は排熱する。**表 2 2**に示したメタン発酵施設におけるエネルギー収支の試算結果を**表 2 3**に示す。

表 2 3 電気・熱の利用目的とエネルギー収支（例）

エネルギー	エネルギー利用	電気(kWh/日)	熱(MJ/日)
電気	メタン発酵施設のポンプ動力源	3,720	－
	機械攪拌動力源	－	－
	水処理設備動力源(脱水設備含む)	1,200	
	売電	3,711	－
熱	メタン発酵槽加温	－	15,742
	メタン発酵槽保温	－	7,871
	排熱	－	22,997
合計(MJ/日)		31,073	46,610
発電機電気・熱利用量(MJ/日)		77,683	
発電機総合効率		75%	

(3-7) 基本仕様書の作成

メタン発酵施設の設備構成と設備能力の検討結果を整理し、メタン発酵施設の基本仕様書を作成する。基本仕様書を基に、プラントメーカーへのヒアリングを行う。基本仕様書の作成が困難である場合には、プラントメーカーの協力を得て基本仕様書を作成する。基本仕様書の例は**参考資料 6. 4 (1)**に記載する。

5. 2. 7 メタン発酵施設の事業性評価

メタン発酵施設の基本仕様書が得られれば、基本仕様書に基づいて、メタン発酵施設の事業性評価（経済性評価）を行う。損益分岐点、設備投資回収期間等の経済性を評価するためには、メタン発酵施設における主要設備の建設費・維持管理費に関するデータが必要になる。

プラントメーカーへのヒアリング、見積要求により、建設費・維持管理費のデータを収集することが基本であるが、情報が十分に集まる場合とあまり集まらない場合がある。それぞれの場合に応じて、事業性評価を行う方法を**表 2 4**に示す。

- 「建設費・維持管理費に関する情報が十分に集まる場合」には、基本仕様書に基づいて事業性を評価する。建設費・維持管理費に関する詳細なデータより、事業成立の可否を判定する。
- 「建設費・維持管理費に関する情報があまり集まらない場合」には、メタン発酵施設を構成する設備の「費用関数」を用いて事業性を評価する。各設備の「費用関数」から建設費・維持管理費を算出し、事業が成立するための処理能力、原料受入価格の目安を得る。

表 2 4 事業性評価方法

事業性評価方法	方法	必要な情報	特徴
基本仕様書に基づく評価	メタン発酵施設の基本仕様書を基にプラントメーカーへのヒアリングにより各設備の建設費・維持管理費のデータ入手し、メタン発酵施設の経済性を評価する。	・基本仕様書 ・各設備の建設費／維持管理費 (不足している情報に関しては、費用関数で補完する。)	詳細データにより、事業成立の可否を判定することができる。
設備の費用関数に基づく評価	メタン発酵施設を構成する設備の費用関数を基にメタン発酵施設の建設費・維持管理費を見積り、メタン発酵施設の経済性を評価する。	・メタン発酵施設の構成設備 ・各設備の建設費・維持管理費に該当する費用関数	事業成立条件(処理能力／原料受入れ価格設定条件)の目安を得ることができる。 (最終的に、基本仕様書に基づき事業成立の可否を判定する。)

(1) 基本仕様書に基づく事業性評価

メタン発酵施設の基本仕様書を基に、プラントメーカーへ建設費・維持管理費に関するヒアリングを行い、プラントメーカーにより得られなかった設備の建設費・維持管理費は、文献情報により補完する。これらの方法で得られた建設費・維持管理費に関するデータを使用して、設備投資回収期間を評価する。

設備投資回収期間の評価結果からメタン発酵施設の処理能力、水処理設備の要否、メタン発酵施設導入の可否などを決定する場合、「処理能力」、「水処理設備の有・無」などの条件を組み合わせ、複数の条件を設定して設備投資回収期間を評価する。

事業性評価の検討方法は、モデルケースの具体例を用いて以下に示す。

(1-1) 設備投資回収期間を評価するための条件設定

① 条件設定：事業性評価パターン

設備投資回収期間の評価における設定条件を表 2 5 に示す。

- 消化液の利用に関しては、ケース 1～ケース 3 が消化液を液肥として 100% 利用する場合であり、ケース 4～ケース 6 が脱水ケーキを有機肥料の原料として 100% 利用する場合である。
- ケース 1～ケース 3 の液肥利用では、消化液の運搬・散布は、農家が負担すると仮定する。
- ケース 4～ケース 6 の有機肥料の原料として利用する場合には、保有設備である堆肥化施設を有効活用する。

バイオガス発電の利用は、メタン発酵施設の電気・熱をバイオガス発電で得られる電気・熱で賄い、余剰電力は売電し、余剰熱は排熱することを基本とする。

表 2 5 投資回収期間評価における設定条件

ケース	原料使用量 (堆肥化施設の 原料使用率)	原料の種類	水処理設備の 導入	消化液の 利用	バイオガス発電の利用
ケース1	50.5 t/日 (100%)	堆 肥 化 施 設 で 使 用 さ れ て い る 原 料 の 全 て の 種 類 を 使 用 (表 1 6)	無し	・消化液を全量液肥として利用する。 ・液肥の運搬・散布は農家(受益者負担)が実施する。	【補助金制度の利用無しの場合】 メタン発酵施設での電気利用・熱利用を優先し、余剰電力を売電する。 【補助金制度の利用有りの場合】 ① FIT 利用不可の場合 メタン発酵施設での電気・熱利用を優先し、余剰電気を堆肥化施設で利用する(売電無し)。 ② FIT 利用可の場合 メタン発酵施設での電気利用・熱利用を優先し、余剰電力を売電する。 【いずれの場合も】 ・保有設備である堆肥化施設での熱利用は行わない(熱を必要としないため)。 ・堆肥化処理前の脱水ケーキの乾燥は行わない。 ・売熱は行わない。 ・設備投資回収期間を評価するため、メタン発酵施設の事業性評価のみを行い、堆肥化施設における電気料金削減効果については評価を行わない。
ケース2	30 t/日 (60%)				
ケース3	10 t/日 (20%)				
ケース4	50.5 t/日 (100%)		有り	・消化液の固形分(脱水ケーキ)を有機肥料の原料として利用する。 ・消化液の水分は水処理により下水放流する。	
ケース5	30 t/日 (60%)				
ケース6	10 t/日 (20%)				

建設に補助金制度を利用する場合、一般に FIT を利用できないが、補助金制度の中には、FIT を併用することができる場合がある。「補助金制度利用の有・無」と「FIT 利用の可・否」を組合せとして、事業性を評価する(表 2 6)。

表 2 6 事業性評価における補助金制度の利用と FIT の利用

補助金制度の利用	FIT の利用	備考
無し	有り	メタン発酵施設で発電自己消費し、余剰電力を売電する。
1/3 補助 有り	有り/無し	
1/2 補助 有り	有り/無し	
2/3 補助 有り	有り/無し	

また、モデルケースの事業性評価では、メタン発酵施設のみを対象とし、堆肥化施設を対象に含めない。したがって、「堆肥化施設の原料をメタン発酵施設で流用することによる堆肥化施設の経費減少・肥料売上減少」、「メタン発酵施設で発生する脱水ケーキを堆肥化施設で使用して肥料を製造することによる堆肥化施設の経費増加・肥料売上増加」は考慮しない。

② 条件設定：メタン発酵原料

ケース 1 ～ケース 6 でメタン発酵に使用する混合原料の仕様を表 2 7 に示す。混合原料：50.5 t/日(ケース 1 / ケース 4) の詳細は表 1 6 を参照する。

表 2 7 モデルケースにおけるメタン発酵原料の設定

メタン発酵施設の仕様、計算条件		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
メタン発酵方式		湿式、高温(55℃)					
原料	混合原料の種類	ハムソーセージ、野菜くず、ゆで卵(卵殻無し)、下水処理施設脱水汚泥など					
	混合原料処理能力(t/日)	50.5	30	10	50.5	30	10
	希釈水量(t/日)	43.2	25.8	8.6	43.2	25.8	8.6
	希釈混合原料処理量(t/日)	93.7	55.8	18.6	93.7	55.8	18.6
	混合原料の TS 濃度(%)	18.6					
	希釈混合原料の TS 濃度(%)	10					

③ 条件設定：メタン発酵技術

メタン発酵技術の現状調査、技術動向調査の結果に基づき、メタン発酵の適用技術を選定する。

モデルケースへの適用技術は、高効率・低コスト化に優れるメタン発酵技術（表 2 8）及びメタン発酵槽技術（表 2 9）の中から、実績を考慮して選定している。

表 2 8 高効率・低コスト化に優れるメタン発酵技術

事業性成立のための目標	課題	対策例	モデルケースへの適用
メタン発酵設備の小型化 (処理量が同じ場合の小型化)	発酵時間(HRT)の低減	二相式の採用による酸敗抑制／発酵効率向上	○
	メタン生成菌保持／基質高濃度化	消化液のメタン発酵槽への返送及び循環	—
	希釈水量低減	無希釈水(+ アンモニア除去 or 消化液返送)	—
バイオガス発生効率／発生量の向上	高バイオガス発生効率及びメタン発酵阻害抑制	高バイオガス発生効率の原料選択	—
エネルギー利用効率の向上	高発電効率	発電規模に応じた最適な発電機構成	○
	高発電機総合効率	コージェネレーション(排熱利用)	○
消化液発生量の低減 (液肥利用困難地域の場合)	希釈水量低減	無希釈水(+ アンモニア除去 or 消化液返送)	—

表 2 9 高効率・低コスト化に優れるメタン発酵槽技術

国内メタン発酵施設のメタン発酵技術	実績例	モデルケースへの適用
発酵方式	湿式:57 乾式:2	湿式 実績が多い
発酵温度 (湿式)	高温:16 中温:39	高温 高発酵速度／短 HRT
槽構成 (湿式)	2 相式:12 単相式:45	2 相式 酸敗抑制等
攪拌 (湿式)	機械攪拌:37 ガス攪拌:5 機械+ガス攪拌:4 無動力攪拌:3	機械攪拌 実績が多い
メタン菌担持方法 (湿式)	浮遊生物法:33 固定床法:10 UASB 法:2	固定床法 消化液返送不要

④ 条件設定：発電効率・熱回収効率

モデルケースでは、バイオガスエンジン発電機（コージェネレーションシステム）を想定し、発電効率：30%、熱回収効率：45%を使用している。

⑤ 条件設定：メタン発酵槽

メタン発酵槽の容積を決定するために、TS 容積負荷量(kg-TS/m³/日)、HRT（日）を設定する。これらの設定値は、実験室規模のメタン発酵装置より得られる値を使用することが望ましい。実験が困難な場合は、文献値等を利用する。

モデルケースでは、TS 容積負荷量：4.7 kg-TS/m³/日、HRT：20 日を使用している。

⑥ 条件設定：バイオガス発電の電気利用方法

モデルケースでの売電量は「発電量」から「メタン発酵施設での自家消費電力量」を減じた値を使用している。「メタン発酵施設での自家消費電力量」は、メタン発酵施設のポンプ動力源の電力使用量に、24 hr/日連続運転を仮定している²⁵⁾（表 3 0）。

表 3 0 バイオガス発電の電気利用方法

メタン発酵施設の仕様、計算条件		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
バイオガス 発電の電気 利用方法 (24 時間 100%稼働 の場合)	メタン発酵施設(固液分離／脱水 設備・水処理設備除く)のポンプ動 力源(kWh/日)	3,720	2,232	744	3,720	2,232	744
	メタン発酵施設(固液分離／脱水 設備・水処理設備除く)の機械攪拌 動力源(*1)	-	-	-	-	-	-
	水処理施設(固液分離／脱水設 備・水処理設備)の動力源(kWh/ 日)	0	0	0	1,200	840	456
	売電(kWh/日)(*2)	4,911	2,894	965	3,711	2,054	509

備考(*1) 食品加工事業者からの動植物性残渣の場合、異物混入が少なく、メタン発酵槽内での堆積物／スカムが少ないため、機械攪拌の動力は小さいと仮定する。

備考(*2) FIT を利用できる場合の 1 日あたりの売電量を示す（発電機の稼働率：100%の場合）。

条件設定①～⑥及び消化液の利用方法を踏まえて、メタン発酵施設の設備構成及び物質フローを整理し、基本仕様書を作成する。ケース 1 及びケース 4 の設備構成は既に図 8 ～図 9 に示している。

（１－２）メタン発酵施設の仕様の整理

メタン発酵施設の仕様を整理する。モデルケースの仕様は参考資料 6. 4（１）に記載する。

（１－３）建設費・維持管理費の詳細整理

メタン発酵事業の損益を見積り、設備投資回収期間を算出するために必要となる「費目」、「価格単位」、「価格単価及び価格単価の設定根拠」、「費目の固定費・変動費区分」、「費目の稼働率依存性」を整理する。「建設費」、「装置消耗品費・補修費」、「薬品代」は、混合原料ではなく希釈混合原料の処理量で決まる点に留意する。したがって、大量の希釈水を必要とする原料を使用する場合、少量の希釈水を必要とする原料を使用する場合に比べて、混合原料投入量あたりの建設費が増加する。

モデルケースでは、費目として、「建設費」、「原料受入収入」、「売電収入」、「人件費」、「装置消耗品費・補修費」、「電気代」、「水道代」、「下水道代」、「薬品代」を考慮している。詳細については、参考資料 6. 4（２）に記載する。

²⁵⁾ 8 h/日の電気使用時間であれば、表に示す売電量はケース 1 ～ケース 3 で 5 割増し、ケース 4 ～ケース 6 で 7 ～10 割増しになる。

(1-4) 設備投資回収期間の試算

費目、単価、単価設定根拠から、ケース1～ケース6の設備投資回収期間を試算する。経済性成立の判定基準を表3-1に示す。

表3-1 経済性成立の判定基準

設備投資回収期間	8年未満	8～12年	12～15年	15年以上
経済性	成り立つ	何とか成り立つ	成り立ちにくい	成り立たない

メタン発酵施設の設備投資回収期間の試算結果（原料受入価格：15,000 円/t の場合）に基づき、メタン発酵施設の処理能力別に経済性を整理した結果を表3-2に示す。

「水処理設備：無し」の場合、処理能力>30 t/日であれば経済性が成り立つが、「水処理設備：有り」の場合、処理能力<50 t/日であれば経済性が成り立たない。これらの結果は、混合原料のTS濃度：19%に対して、湿式メタン発酵を適用していることが理由の一つに挙げられる。

水処理設備の有無にかかわらず、処理能力：10 t/日～30 t/日のメタン発酵施設の経済性を成り立たせるためには、以下の対策が必要である。

- ・ 高稼働率の維持
- ・ 希釈水無添加湿式メタン発酵技術の開発
- ・ 混合原料の最適化（TS濃度：10%程度、かつ高発酵効率）
- ・ 半湿式メタン発酵方式の採用（TS濃度：15%程度）または乾式メタン発酵技術の採用（TS濃度：15%以上）
- ・ 原料受入価格の最適化
- ・ 建設費補助金の利用

表3-2 メタン発酵施設の処理能力別経済性評価のまとめ（原料受入価格：15,000 円/t の場合）

処理能力	水処理設備無しの施設（稼働率：80%以上）	水処理設備有りの施設（稼働率：80%以上）
10 t/日	一般に、経済性は成り立たない。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ● メタン発酵装置の技術開発（希釈水無添加／TS容積負荷最適化及び消化液返送／無動力攪拌） ● 稼働率の向上、TS%が10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、及び補助金の利用 ● メタン発酵施設需要増による量産効果	経済性は成り立たない。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ● メタン発酵装置の技術開発（希釈水無添加／TS容積負荷最適化及び消化液返送／無動力攪拌） ● 稼働率の向上、TS%が10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、及び補助金の利用等 ● メタン発酵施設需要増による量産効果
30 t/日	経済性は成り立ちにくい。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ● メタン発酵装置の技術開発（希釈水無添加／TS容積負荷最適化及び消化液返送／無動力攪拌） ● 稼働率の向上、TS%が10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、及び補助金の利用等 ● メタン発酵施設需要増による量産効果	経済性は成り立たない。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ● メタン発酵装置の技術開発（希釈水無添加／TS容積負荷最適化及び消化液返送／無動力攪拌） ● 稼働率の向上、TS%が10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、及び補助金の利用等 ● メタン発酵施設需要増による量産効果
50.5 t/日	経済性が何とか成り立つ。	経済性は成り立たない。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ● メタン発酵装置の技術開発（希釈水無添加／TS容積負荷最適化及び消化液返送／無動力攪拌） ● 稼働率の向上、TS%が10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、及び補助金の利用等 ● メタン発酵施設需要増による量産効果

（備考）混合原料のTS%：18.6%に対して湿式メタン発酵（目標TS%：10%）を採用した場合の経済性評価結果である。

（備考）混合原料のTS%が湿式メタン発酵の目標値（10%）に近い混合原料を使用すれば、経済性は大きく改善される見込みである。

発電の全電力を売電した場合の設備投資回収期間を評価した結果、余剰電力を売電した場合に比べて、投資回収期間が1～2年程度短くなり、採算が改善する。比較評価結果の一例を表33に示す。

なお、詳細な結果は、参考資料6.4(3)にまとめる。

表33 余剰電力売電と全電力売電における設備投資回収期間（年）の比較（50.5 t/日、水処理設備無し）

(1) 余剰電力売電					(2) 全電力売電				
補助金の条件	FIT利用	稼働率100%	稼働率80%	稼働率60%	補助金の条件	FIT利用	稼働率100%	稼働率80%	稼働率60%
補助金無し	可	8.5	11.2	16.3	補助金無し	可	7.6	9.9	14.3
1/3補助	不可	7.6	10.1	15.3	1/3補助	不可	7.6	10.1	15.3
1/2補助	不可	5.7	7.6	11.5	1/2補助	不可	5.7	7.6	11.5
2/3補助	不可	3.8	5.1	7.7	2/3補助	不可	3.8	5.1	7.7
1/3補助	可	5.7	7.4	10.9	1/3補助	可	5.1	6.6	9.6
1/2補助	可	4.2	5.6	8.1	1/2補助	可	3.8	5.0	7.2
2/3補助	可	2.8	3.7	5.4	2/3補助	可	2.5	3.3	4.8

(2) 設備の費用関数に基づく事業性評価

メタン発酵施設における構成設備の費用関数²⁶⁾を基に、メタン発酵施設の建設コスト、維持管理費を算出し、処理能力及び原料受入価格に対する損益分岐点を評価する。

損益分岐点の評価結果からメタン発酵施設の事業性（経済性）が成立するための「処理能力」、「原料受入価格」の設定条件を見い出すことができる。メタン発酵原料の「バイオガス発生効率」、メタン発酵施設の「稼働率」、「水処理設備の有・無」が損益分岐点に与える影響を評価する。

(2-1) 損益分岐点評価のための条件設定

損益分岐点を評価するために、「メタン発酵の仕様と売電・補助金などに関する条件」（表34）、「メタン発酵施設の設備仕様」（表35）を設定する。メタン発酵施設の構成設備は、図8（水処理設備有り）、図9（水処理設備有り）と同等である（図に記載されている数値は除く）。

また、水処理設備が無い場合、消化液の液肥運搬・散布等に関する条件を表36に示す。

「費用関数に基づく事業性評価」で設定したメタン発酵施設の仕様と「基本仕様書に基づく事業性評価」で設定したメタン発酵施設の仕様は、設備構成の点では同じであるが、採用しているメタン発酵方式の点では異なる。

● 「費用関数に基づく事業性評価」の場合

混合原料のTS濃度：19.2%に対して、半湿式メタン発酵方式（希釈混合原料のTS濃度：14.4%）を採用する。

● 「基本仕様書に基づく事業性評価」の場合

混合原料のTS濃度：18.6%に対して、湿式メタン発酵方式（希釈混合原料のTS濃度：10%）を採用する。

²⁶⁾ メタン発酵施設における費用関数は、設備の処理能力や容量（タンクの場合）から該当する設備の建設費、維持管理費を算出することができる関数である。様々な事例を基に、建設費－処理能力、維持管理費－処理能力等の分布からそれぞれの内挿曲線（費用関数）を見出すことができる。費用関数は官公庁などが発行した資料やメタン発酵のコストに関する学術文献に掲載されている。

表 3 4 損益計算の対象としたメタン発酵施設の仕様および計算条件

仕様や計算条件の項目	仕様や計算条件の内容	比較検討条件
メタン発酵方式	湿式(半湿式) 55℃	←
混合原料	乳製品、コーヒー粕、パン粉(重量比で 15:10:5)	仮想原料
混合原料の TS 濃度	19.2%	←
混合原料処理能力	30 t/日	1 t/日、10 t/日、60 t/日
希釈混合原料の TS 濃度	14.4%	←
希釈水量	10 t/日 (混合原料:30 t/日の場合)	0.33 t/日(混合原料:1 t/日の場合) 3.3 t/日(混合原料:10 t/日の場合) 20 t/日(混合原料:20 t/日の場合)
汚泥滞留時間(HRT)	20 日間	←
バイオガス発生効率	114.17 Nm ³ /混合原料-t	80 Nm ³ /t、150 Nm ³ /t
バイオガスメタン含有率	60%	←
発電機発電効率	30%	←
売電条件	固定価格買取制度(FIT)による全量売電、売電 価格:39 円/kWh	←
設備稼働率 ²⁷⁾	85%	100%、70%
減価償却	プラントの設備建設費(イニシャルコスト)を償却 期間:8 年間で定額法で償却	←
補助金	利用しない	1/3 補助、1/2 補助、2/3 補助(各条件に対して FIT 利用有り・無し)
電気料金(買電価格)	15 円/kWh	←

表 3 5 損益計算の対象としたメタン発酵施設の設備仕様

メタン発酵施設の設備仕様	仕様や計算条件の内容	比較検討条件
メタン発酵槽容量(m ³)	「希釈混合原料」(m ³ /日)×20(日)×1.25 *希釈混合原料の密度=1 t/m ³ と仮定 混合原料:30 t/日の場合、希釈混合原料:40 t/日 より、1,000 m ³	←
発電出力(kW)	「混合原料」(t/日)×「バイオガス発生効率」 (Nm ³ /t-混合原料)×「バイオガスメタン含有率」 ×35.7 MJ/Nm ³ (メタン理論発熱量) ÷(24×60×60×1000) 混合原料:30 t/日の場合、255 kW	←
可溶化槽(m ³)	「希釈混合原料処理能力」(m ³ /日)×3(日) 混合原料:30 t/日の場合、120 m ³	←
消化液貯留槽(m ³) (液肥利用の場合)	「希釈混合原料処理」(m ³ /日)×60(日) 混合原料:30 t/日の場合、2400 m ³	←
消化液貯留槽(m ³) (液肥利用不可の場合)	「希釈混合原料処理」(m ³ /日)×60(日)÷2 混合原料:30 t/日の場合、1,200 m ³	←
水処理設備	無し(消化液の液肥利用)	有り(脱水ろ液の水処理後の放流)

表 3 6 その他の条件

その他の項目	条件
液肥の運搬・散布	メタン発酵施設の事業者負担
液肥散布用車両	メタン発酵施設の事業者負担 バキューム車、クローラ式散布機

²⁷⁾ 設備稼働率は、プラント設計仕様の原料処理能力に対する実際の原料処理量の比率である。

(2-2) 建設費の費用関数の設定

「発酵槽」、「発電機」などのプラントを構成する各装置の設備建設費の費用関数を使用し、これらの和をメタン発酵施設の建設費とする。費用関数の設定に係わる参考文献を表37に示す。損益計算に使用する設備建設費の費用関数及びそれぞれの出所を表38に示す。

表37 費用関数およびデフレーターに関する参考資料

資料No.	資料・文献タイトル	発行機関、または、雑誌名	発行年度
1	メタン活用いしかわモデル導入の手引き	石川県、(公益財団法人)日本下水道新技術推進機構	2015 年
2	下水污泥エネルギー化技術ガイドライン -改訂版-	国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部	2016 年
3	消化液の肥料利用を伴うメタン化事業実施手引き	一般社団法人 地域環境資源センター	2015 年
4	建設物価(2018 年 12 月号)	一般財団法人 建設物価調査会	2018 年
5	建設工事費デフレーター	国土交通省	2018 年
6	バイオマス再資源化技術の性能・コスト評価	柚山義人ほか、農工研技法、204、pp.61～103	2006 年
7	メタン発酵消化液の液肥利用に関する経済的、技術的な側面からの調査検討結果について	岡原弘明ほか、季刊 JARUS、109、pp.21～30	2012 年
8	メタン発酵プラントの経済性評価	柚山義人ほか、H23 農業農村工学会大会講演会要旨集、pp.638～639	2011 年

表38 損益計算に使用した設備建設費の費用関数とそれぞれの出所など

装置	費目	費用関数 Y(費用)の単位は百万円	算定基準数量	出所 青字は表50で の資料No.	デフレーター係数
発酵槽(鋼板製)	機械設備	$Y=124 \times (Q/500)^{0.6}$	Q: 発酵槽容量(m ³)	資料 No.1	1.118
	土木建築	$Y=44.1 \times (Q/500)^{0.6}$			
発電機(275 kW 以下) 25 kW ガスエンジン	機械・電気設備	1 台当たり 25 百万円		資料 No.1	1.072
発電機(276 kW 以上) ガスエンジン	機械・電機	$Y=4.8485 \times Q^{0.7556}$	Q: 発電量(kW)	資料 No.2	1.059
	土木・建築	$Y=0.0407 \times Q^{1.288}$			
可溶化槽(混合設備)	機械設備	$Y=8.26 \times Q^{0.400}$	Q: 可溶化槽(混合層)容量(m ³)	資料 No.1	1.088
	電気設備	$Y=0.836 \times Q^{0.535}$			
	建築	$Y=2.01 \times Q^{0.583}$			
ガスホルダー	機械設備	$Y=10.4 \times Q^{0.437}$	Q: 貯留容量(m ³)	資料 No.1	1.088
ボイラー	設備など全般	$Y=0.9993 \times Q^{0.4776}$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	資料 No.4 などを基に作成	1
消化液貯留槽	設備など全般	$Y=57 \times (Q/30)^{0.6}$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	資料 No.3 を基に作成	1.020
液肥散布車両	車両など	$Y=24 \times (Q/30)^{0.6}$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	資料 No.3 を基に作成	1.020
破砕機+選別装置、脱硫装置、脱臭装置、余剰ガス燃焼装置	設備など全般	$Y=393 \times (Q/30)^{0.6}$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	プラントメーカーの情報など	1
水処理に必要な設備(水処理設備、固液分離装置など)	設備など全般	$Y=14.887 \times (Q \times 1.33)^{0.8332}$	Q: 希釈混合原料 ²⁸⁾ 処理能力(t/日)	資料 No.6～No.7 を基に作成	1.118

表38に示す費用関数は2011年のデータに基づいている。2017年の費用関数は、物価変動を考慮し

28) 本報告書では、水で希釈した後の混合原料を「希釈混合原料」と呼ぶ。

た「デフレーター係数（2017年）」を「2011年の費用関数」に乘じることにより求める。

費用関数を用いて、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」のメタン発酵施設（稼働率：100%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料）の設備建設費を混合原料処理能力：1 t/日、10 t/日、30 t/日、60 t/日の場合について計算した結果を図13に示す。また、同様に「水処理設備を持つ場合」の設備建設費を計算した結果を図14に示す。

「水処理設備を持つ場合」の建設費は、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」に比較して、混合原料処理能力：30 t/日において約1.23倍大きい。また、建設費は混合原料処理能力と比例関係ではなく、スケールメリットがある。

「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」（混合原料処理能力：30 t/日）では、「発酵槽」、「発電機」、「破碎机+選別装置、脱硫装置、脱臭装置、余剰ガス燃焼装置」の各建設費が建設費全体の21%、26%、30%を占める。また、「水処理設備を持つ場合」（混合原料処理能力：30 t/日）では、水処理に必要な設備（水処理設備、固液分離装置など）が建設費全体の22%を占める。

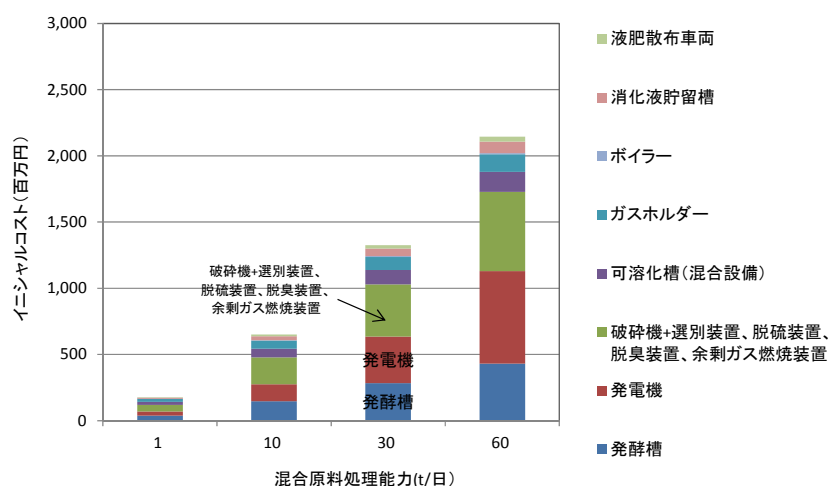


図13 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の設備建設費
（稼働率：100%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料）

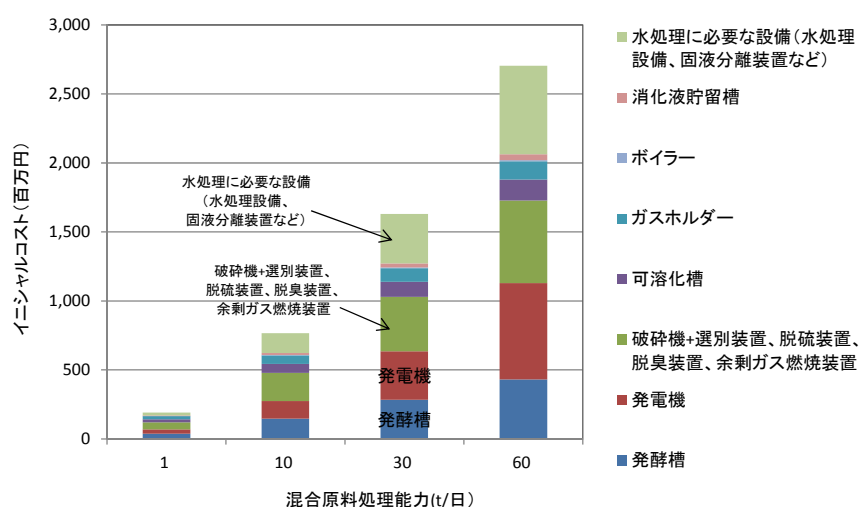


図14 「水処理設備を持つ場合」の設備建設費
（稼働率：100%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料）

(2-3) 維持管理費の費用関数の設定

メタン発酵施設の維持管理費も、(2-2) 項の設備建設費と同様な方法で計算する。計算に使用する維持管理費の費用関数とそれぞれの出所を表 3 9 に示す。これらの費用関数は、各装置で使用する電力費、薬品費、燃料費、補修費などを含んでいる。また、発酵槽の費用関数などは人件費を含んでおり、これらの費用関数の和にはプラントに必要な人件費も含まれている。なお、これらの費用関数の積算で算出される「メタン発酵施設の維持管理費」は、設備稼働率：100%の場合での維持管理費である。

表 3 9 損益計算に使用した維持管理費の費用関数とそれぞれの出所など

装置	費目	費用関数 Y(費用)の単位は百万円	算定基準数量	出所 青字は表 3 7 での 資料 No.	デフレーター 係数
発酵槽	維持管理費	$Y=0.171 \times Q^{0.390}$	Q: 希釈混合原料処理能力(t/年)	資料 No.1	1.156
発電機(275 kW 以下) 25 kW ガスエンジン	維持管理費	1 台当たり 1,054 千円		資料 No.1	1.072
発電機(276 kW 以上) ガスエンジン	維持管理費	$Y=0.0296 \times Q + 5.9964$	Q: 発電量(kW)	資料 No.2	1.059
可溶化槽(混合設備)	電力費	$Y=9.45 \times Q^{0.493} \times 0.0015$	Q: 可溶化槽(混合層) 容量(m ³)	資料 No.1	1.088
	補修費	$Y=0.184 \times Q^{0.4}$			
ガスホルダー	補修費	$Y=0.283 \times Q^{0.302}$	Q: 貯留容量(m ³)	資料 No.1	1.088
ボイラー	維持管理費	$Y=0.9993 \times Q^{0.4776} \times 0.05$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	資料 No.4 など を基に作成	1
液肥散布経費	維持管理費	$Y=4.01 \times (Q/30)^{0.6}$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	資料 No.3 を基に 作成	1.020
破砕機+選別装置、脱 硫装置、脱臭装置、余 剰ガス燃焼装置	維持管理費	$Y=0.8804 \times Q^{0.5665}$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	プラントメーカーの 情報など	1
水処理に必要な設備 (水処理設備、固液分 離装置など)	電力費	$Y=4.473 \times (Q/30)^{0.6}$	Q: 混合原料処理能力(t/日)	資料 No.8 を基に 作成	1
	維持管理費	$Y=1.173 \times Q^{0.892} - 3.54 \times (Q/55)^{0.892}$	Q: 希釈混合原料処理能力(t/日)	資料 No.6~No.7 を基に作成	1.118

(注) 資料 No. は、表 3 7 の資料 No. に対応する。

表 3 9 の費用関数を用いて、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」のメタン発酵施設（稼働率：100%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料）の維持管理費を混合原料処理能力：1 t/日、10 t/日、30 t/日、60 t/日の場合について計算した（図 1 5）。また、同様に「水処理設備を持つ場合」の維持管理費も計算した（図 1 6）。

「水処理設備を持つ場合」の維持管理費は、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」に比べて、混合原料処理能力：30 t/日において約 1.9 倍であり、大きな差がある。また、維持管理費は混合原料処理能力と比例関係ではなく、スケールメリットがある。

「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」（混合原料処理能力：30 t/日）では、「発酵槽」、「発電機」、「破砕機+選別装置、脱臭装置、余剰ガス燃焼装置」の各維持管理費がメタン発酵施設全体の 23%、35%、18%を占める。また、「水処理設備を持つ場合」（混合原料処理能力：30 t/日）では、水処理に必要な設備（水処理設備、固液分離装置など）に係わる維持管理費が水処理設備・固液分離装置を含むメタン発酵施設全体の 53%と大きな割合を占める。

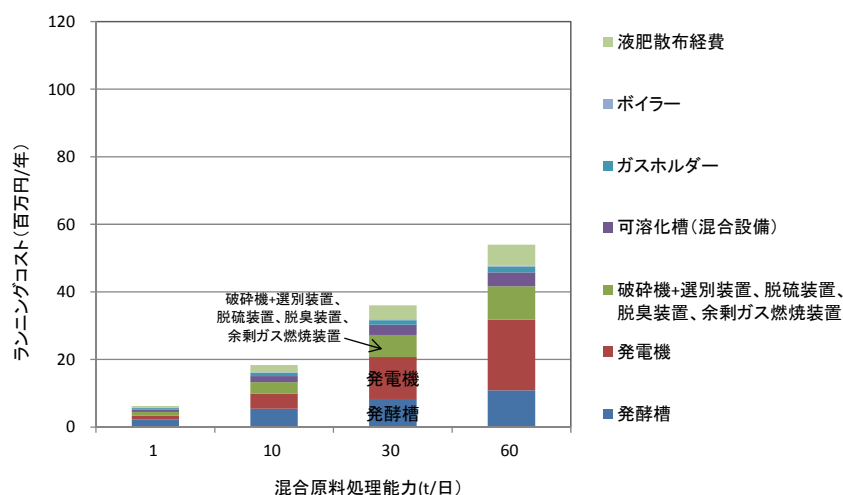


図 15 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の維持管理費
(稼働率：100%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料)

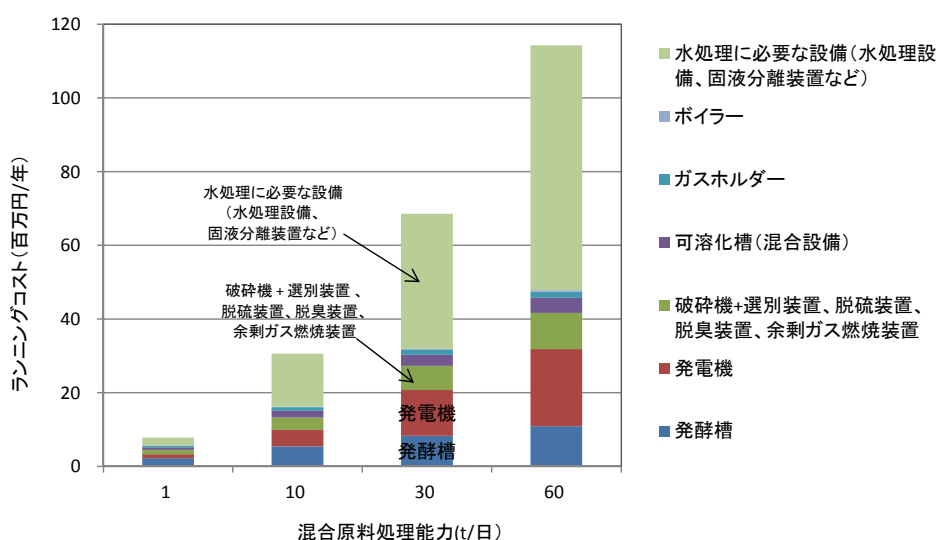


図 16 「水処理設備を持つ場合」の維持管理費
(稼働率：100%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料)

(2-4) コスト構造の評価

メタン発酵施設のコスト構造（支出と収入の割合）を評価する。支出は「ランニングコスト（維持管理費）」、「減価償却費」であり、収入は「混合原料受入れ費」、「売電収入」である。

「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」、「水処理設備を持つ場合」のメタン発酵施設（稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、混合原料受入れ費：16,000 円/t）のコスト構造をそれぞれ図 17～図 18 に示す。減価償却費に関しては、(2-2) 項で算出した建設費（各設備建設費の積算値）を減価償却期間：8 年で除した値を使用した²⁹⁾。また、維持管理費は稼働率に比例すると仮定した。

「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」（図 17）には、混合原料処理能力：30 t/日では、

²⁹⁾ 補助金制度を利用する場合には、建設費から補助金を減じた金額が減価償却費の対象となる。

支出は減価償却費：84%、ランニングコスト：16%であり、収入は売電収入：33%、混合原料受入れ収入：67%である。また、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」には、混合原料処理能力が30 t/日と60 t/日のメタン発酵施設では、収入が支出を上回る。つまり、30 t/日より規模の大きなメタン発酵施設では、混合原料受入れ価格：16,000 円/t の場合に利益が得られる。

「水処理設備を持つ場合」(図18)には、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」(図17)に比べて支出が大きい。このため、混合原料処理能力：60 t/日では収入が支出を上回っているが、30 t/日では支出が収入を上回っている。つまり、「水処理設備を持つ場合」には、60/t 日程度より規模の小さなプラントでは、混合原料受入れ価格：16,000 円/t では利益が得られない。

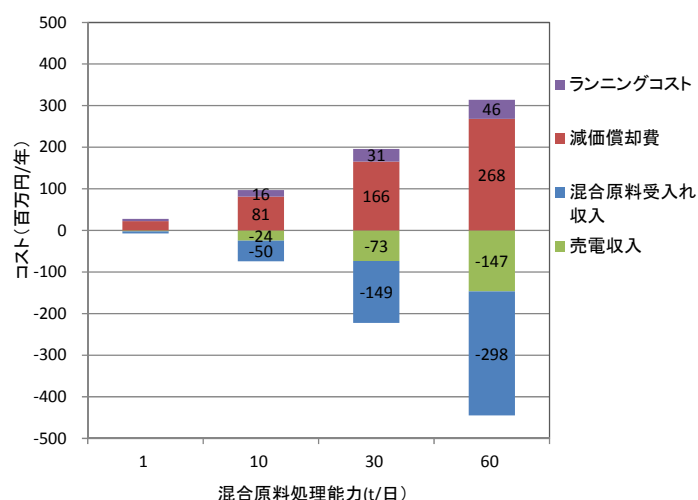


図17 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」のコスト構造
(稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、混合原料受入れ費：16,000 円/t、補助金：無し)

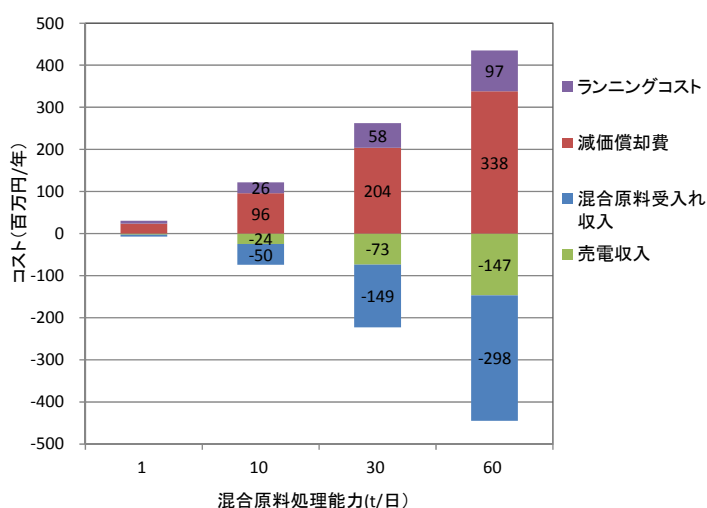


図18 「水処理設備を持つ場合」のコスト構造
(稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、混合原料受入れ費が16,000 円/t、補助金：無し)

「水処理設備を持つ場合」には、脱水ケーキの焼却処分を外部の事業者へ委託する場合、処分費用が必要になる。この点を考慮して、メタン発酵施設のコスト構造を評価した結果を図19に示す。脱水ケーキの発生量は、次式により算出した。

- ・ 固体成分重量 (t/日) = 希釈混合原料重量 (t/日) × 希釈混合原料の TS 濃度 (14.4%)
- ・ 液体成分重量 (t/日) = 希釈混合原料重量 (t/日) × 希釈混合原料の TS 濃度 (14.4%) × 含水率 ÷ (1 - 含水率)
- ・ 脱水ケーキの重量 (t/日) = 固体成分重量 (t/日) + 液体成分重量 (t/日)

脱水ケーキの焼却処理費は、脱水ケーキの含水率：75 %、焼却処分料：20,000 円/t を仮定した場合の焼却処理費である。この場合には、混合原料処理能力：60 t/日でも支出が収入を上回る。つまり、「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」には、混合原料処理能力：60 t/日でも混合原料受入れ価格：16,000 円/t では利益が得られない。

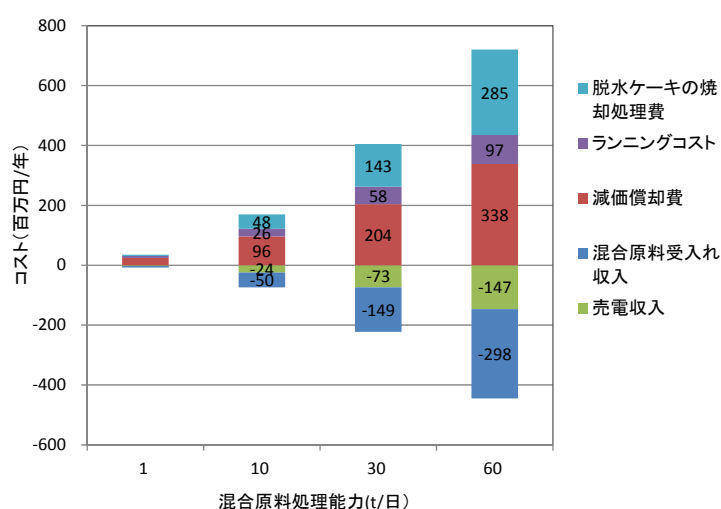


図19 「水処理設備を持つ場合」において、脱水ケーキの焼却処理費（外部委託）を考慮した場合」のコスト構造（稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、混合原料受入れ費：16,000 円/t、脱水ケーキの含水率：75%、焼却処分料：20,000 円/t)

（2－5）損益分岐点の計算

コスト構造の評価結果を用いてメタン発酵施設の損益分岐点を求める。具体的には、収入が支出を超えるために必要な混合原料受入れ費を計算する。各種条件での損益分岐点の計算結果は、**参考資料6. 4（4）**にまとめる。

損益分岐点（原料受入れ価格）の「水処理設備有無」「稼働率」「バイオガス発生効率」「補助金有無」等、各種パラメータが損益分岐点（原料受入れ価格）を**表40**に示す。

表 4 0 損益分岐点の各種パラメータによる影響（減価償却期間：8 年の場合）

水処理施設	稼働率	バイオガス発生効率 (Nm ³ /t-混合原料)	補助金	FIT	損益分岐点（15,000～ 16,000 円/t 以下を得る ための処理能力）	損益分岐点の稼働率、 バイオガス発生効率の依存性
無し	85%	114.17	無し	有	20 t/日以上	—
無し	85%	114.17	1/2 補助	無	10 t/日以上	—
有り	85%	114.17	無し	有	50～60 t/日以上	—
有り	85%	114.17	2/3 補助	無	10 t/日以上	—
無し	5%上昇 (60%～100%)	114.17	無し	有	—	1,100 円/t 低減（30 t/日） ※「小規模かつ水処理あり」で効果大
無し	85%	10 上昇 (80～150)	無し	有	—	700 円/t 低減（30 t/日） ※処理能力の大小、水処理設備の有無 の影響を受けにくい

小型メタン発酵施設（1～2 t/日）の損益分岐点を評価すると、バイオガス発電の場合、損益分岐点は 80,000 円/t 以上になる。バイオガス発電をバイオガスボイラーに切り替え、オンサイト型メタン発酵施設として利用することにより、損益分岐点は 32,000 円/t 程度まで低減でき、大幅な改善が見込める。さらに「設備建設費の 2/3 補助金利用」により、損益分岐点は 15,000 円/t 程度まで低減でき、経済性が成り立つ。

損益分岐点評価結果（減価償却期間：8 年の場合）に基づき、メタン発酵施設の処理能力別経済性評価をまとめる（表 4 1）。表 4 1 に示す経済性評価結果は半湿式メタン発酵において、混合原料、希釈混合原料の TS%がそれぞれ 19.2%、14.4%に対する試算結果である。

「水処理設備：無し、処理能力：50 t/日以上」の場合、原料受入価格：16,000 円/t で設備投資金額を 8～10 年以内に回収でき、経済性が成り立つ。

「水処理設備：有り」または「処理能力：50 t/日未満」の場合、下記のいずれかの対策を組み合わせることにより、経済性が大幅に改善され、メタン発酵事業が成り立つ。

- ・ 高稼働率の維持（100%程度）
- ・ 希釈水無添加半湿式メタン発酵技術の開発（半湿式メタン発酵の TS 濃度：10%～15%）
- ・ 混合原料の最適化（高発酵効率：115 Nm³/t-混合原料、14%程度の TS 濃度）
- ・ 原料受入価格の最適化（15,000～30,000 円/t）
- ・ 建設費補助金の利用 等

ただし、処理能力：1～2 t/日以下の場合、バイオガス発電をバイオガスボイラーに置き換え、オンサイト型メタン発酵施設として熱・蒸気を利用する必要がある。

「基本仕様書に基づく事業性評価結果」（表 3 2）と「費用関数に基づく事業性評価結果」（表 4 1）はほぼ同等の結果を示しているが、「費用関数に基づく事業性評価結果」は「基本仕様書に基づく事業性評価結果」と比較して、経済性が成り立ちやすい。この理由は、事業性評価方法の違いによるものではなく、混合原料に対するメタン発酵方式の違いによる。混合原料の TS 濃度に適したメタン発酵方式を採用することにより、経済性をさらに改善できることを示している。

表 4 1 メタン発酵施設の処理能力別経済性評価のまとめ（減価償却期間：8 年の場合）

メタン発酵プラントの処理能力	水処理無しのプラント(稼働率:85%以上)	水処理有りのプラント(稼働率:85%以上)
1~2 t/日以下	一般に、経済性は成り立たない。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ・バイオガス発電をバイオガスボイラーに置き換えたオンサイト型メタン発酵プラントの導入 ・高効率・低コストのオンサイト小型メタン発酵装置の技術開発(希釈水無添加/TS 容積負荷最適化及び消化液返送/無動力攪拌) ・稼働率の向上、TS%が 10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、及び補助金の利用 ・メタン発酵施設需要増による量産効果	
2~30 t/日	経済性は成り立ちにくい。(20 t/日以上;何とか成り立つ) 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ・メタン発酵装置の技術開発(希釈水無添加/TS 容積負荷最適化及び消化液返送/無動力攪拌) ・稼働率の向上、TS%が 10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、補助金の利用等	経済性は成り立たない。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ・メタン発酵装置の技術開発(希釈水無添加/TS 容積負荷最適化及び消化液返送/無動力攪拌) ・稼働率の向上、TS%が 10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、補助金の利用等
30~50 t/日	経済性が何とか成り立つ。	経済性は成り立ちにくい。 経済性を成り立たせるために、以下を検討する。 ・メタン発酵装置の技術開発(希釈水無添加/TS 容積負荷最適化及び消化液返送/無動力攪拌) ・稼働率の向上、TS%が 10%に近く、高バイオガス発生効率の原料選択、補助金の利用等 ・メタン発酵施設需要増による量産効果
50 t/日以上	経済性は成り立つ。	経済性は何とか成り立つ。

(備考) 損益分岐点(原料受入価格)による経済性区分の定義:

15,000 円/t 以下 : 経済性が成り立つ 15,000~20,000 円/t : 経済性が何とか成り立つ

20,000~30,000 円/t : 経済性が成り立ちにくい 30,000 円/t 以上 : 経済性が成り立たない

メタン発酵施設の基本仕様書に基づく事業性評価と同等の結果が得られている。経済性評価結果の違いは、原料の TS 濃度及び湿式/半湿式の差異による。

5. 2. 8 CO₂削減効果に関する検討

CO₂削減効果は、「循環資源のリサイクル及び低炭素化に関する効果算出ガイドライン (Ver. 1.0)」(平成 28 年 3 月環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部企画化リサイクル推進室)により算定する。

メタン発酵施設の処理規模の違い(50.5 t/日、30 t/日、10 t/日)、メタン発酵残渣(消化液)の処理方法の違い(水処理有り、水処理無し)を組み合わせ、合計 6 種類の組合せ(表 4 2)に対して CO₂削減効果を評価した。ケース 1~ケース 6 に対応するメタン発酵施設の基本仕様は、「基本仕様書に基づく事業性評価」で使用した基本仕様書と同一である。

なお、各プロセスの詳細な条件設定は、参考資料 6. 5 に記載する。

表 4 2 CO₂削減の検討ケース

	設定条件
ケース 1	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の全量をメタン発酵 処理規模:50 t/日 水処理無し
ケース 2	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模:30 t/日 水処理無し
ケース 3	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模:10 t/日 水処理無し
ケース 4	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の全量をメタン発酵 処理規模:50 t/日 水処理有り
ケース 5	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模:30 t/日 水処理有り
ケース 6	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模:10 t/日 水処理有り

モデル事業者の堆肥化施設の現状調査結果、ケース1～ケース6のメタン発酵施設の基本仕様書等を基に、メタン発酵事業実施前後のフロー図を作成し、メタン発酵事業実施によるCO₂削減量を算出した(図20～図24)。

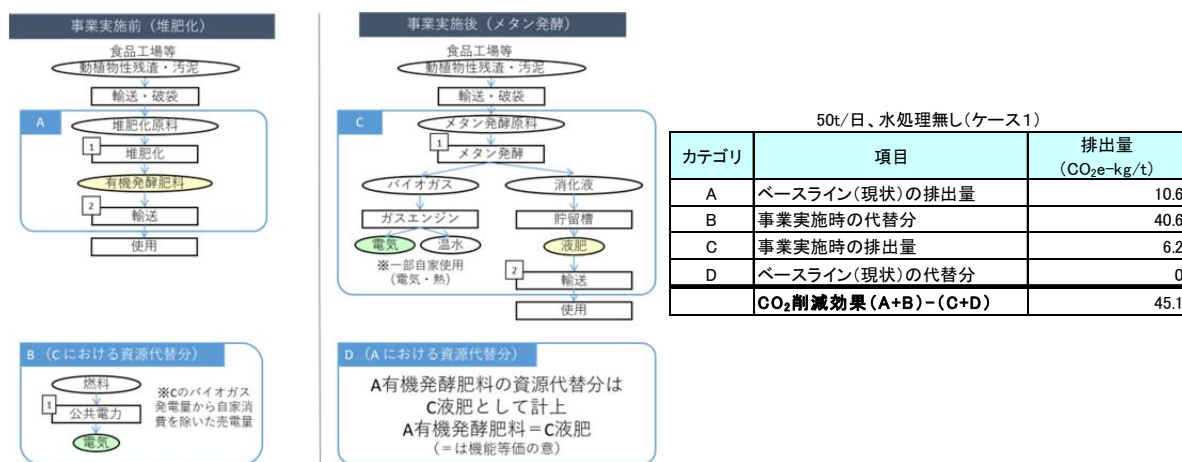


図20 ケース1のメタン発酵施設導入によるフロー図及びCO₂削減効果

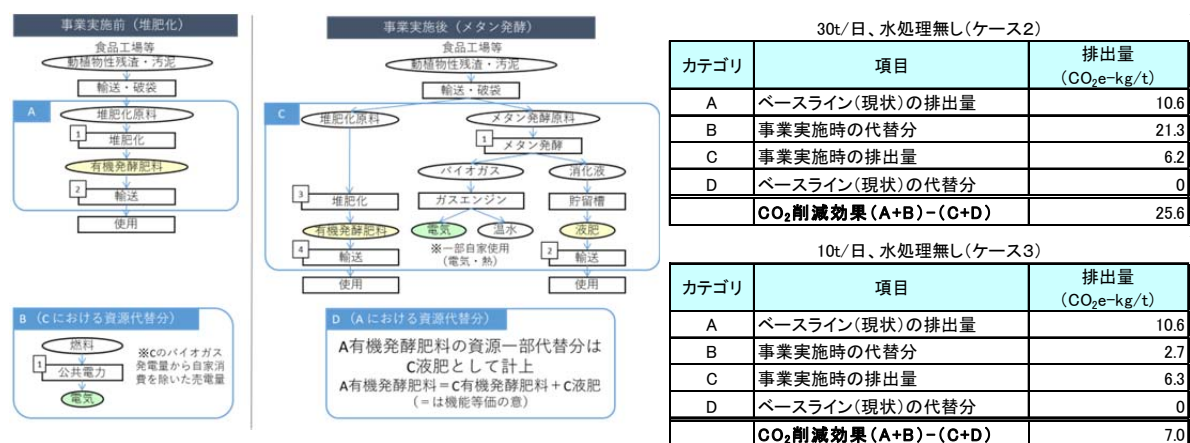


図21 ケース2～ケース3のメタン発酵施設導入によるフロー図及びCO₂削減効果

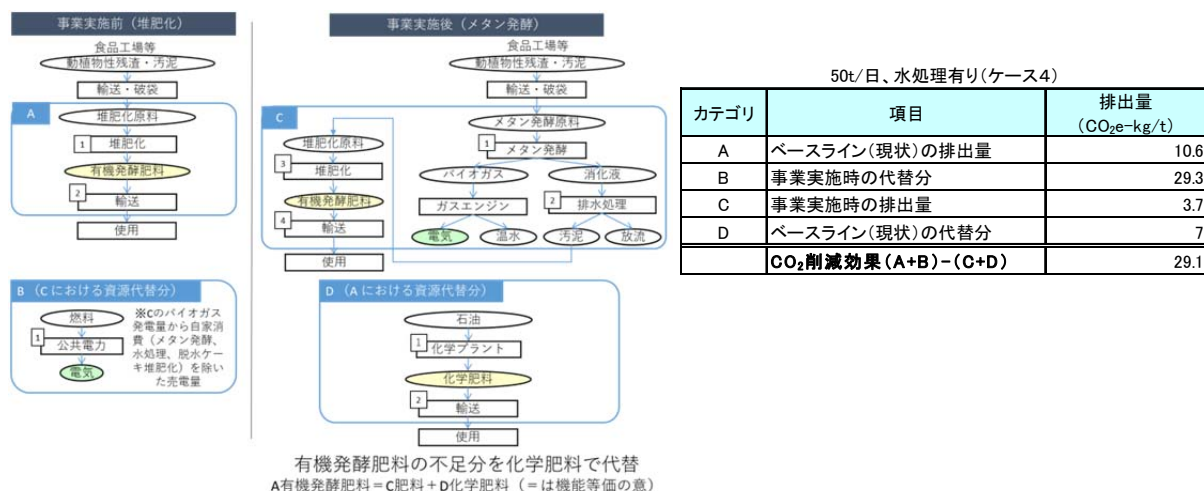


図22 ケース4のメタン発酵施設導入によるフロー図及びCO₂削減効果

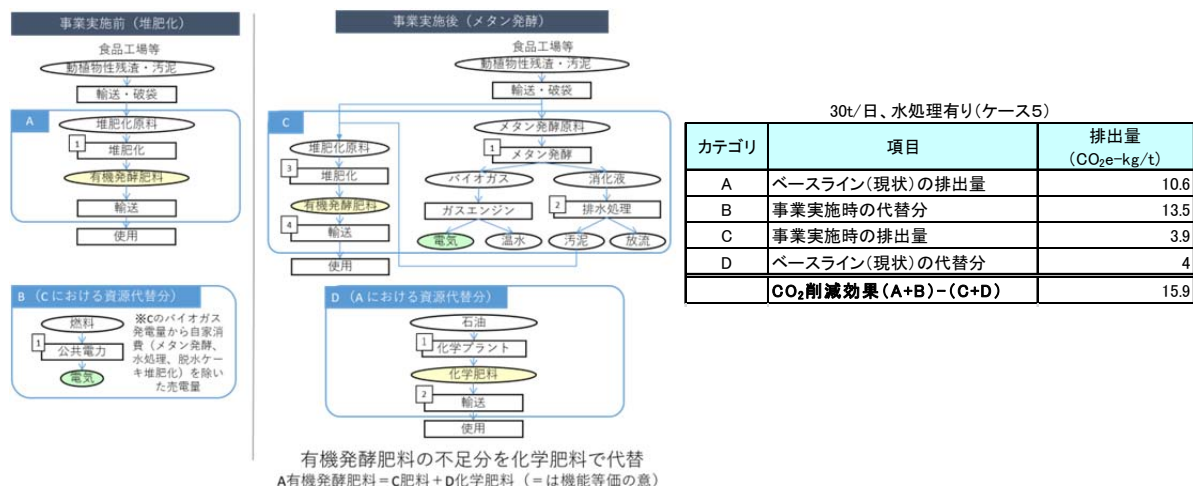


図 2 3 ケース 5 のメタン発酵施設導入によるフロー図及び CO₂ 削減効果

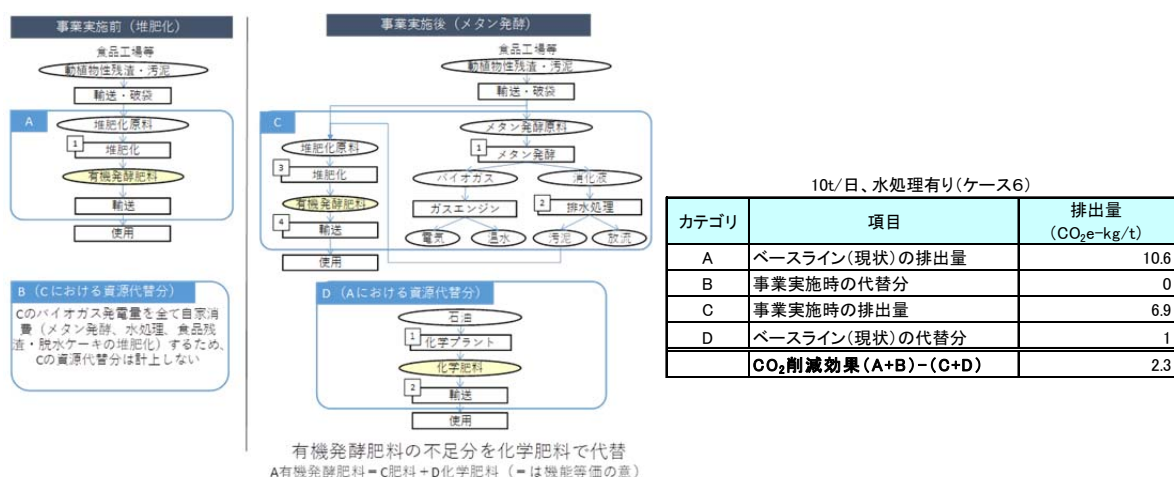


図 2 4 ケース 6 のメタン発酵施設導入によるフロー図及び CO₂ 削減効果

ケース 1 ～ケース 6 の CO₂ 削減コストを比較検討し、下記の結果を得た。

- 消化液の農地還元が困難で水処理を導入せざるを得ない場合でも、一定の CO₂ 削減効果が得られる。
- CO₂ 削減効果を高めるためには、バイオガス化発電と消化液の農地還元を併せて適用することが有効である。
- 水処理の有無や施設規模の違いにより、事業実施時の CO₂ 排出の構造（フロー図）が影響を受ける。ケース 6 ではバイオガス発電のみでは所内動力と堆肥化プロセスでの動力を賄うことができず、事業実施時の代替分の CO₂ 削減効果が見込めない。
- 基本ケース（50 t/日規模、水処理無し）のメタン発酵導入に伴う、処理量 1 t あたりの CO₂ 削減量は 45 CO₂e-kg/t であり、特に B のバイオガス発電に伴う CO₂ 削減効果が顕著である。
- 基本ケースの場合、「イニシャルコスト」、「ランニングコスト」、「売電収入を減じたランニングコスト」の各 CO₂ 削減コストは、18 万 9 千円/CO₂e-t、8 万 3 千円/CO₂e-t、-1 千円/CO₂e-t である。

表 4 3 メタン発酵事業実施に伴う CO₂削減コスト

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
CO ₂ 削減量(CO ₂ e-t/年)	831	472	128	562	293	42
イニシャルコスト(百万円/年)	157	109	51	209	146	68
ランニングコスト(百万円/年)	69	49	26	136	98	42
売電収入(百万円/年) (a)	70	41	14	53	29	7
売電収入(百万円/年) (b)	69.9	36.6	4.6	50.4	23.1	0
CO ₂ 削減コスト (イニシャル、百万円/CO ₂ e-t)	0.189	0.232	0.395	0.372	0.498	1.625
CO ₂ 削減コスト (ランニング、百万円/CO ₂ e-t)	0.083	0.104	0.203	0.241	0.335	0.998
CO ₂ 削減コスト (ランニングコストから売電収入(a)減算、 百万円/CO ₂ e-t)	-0.001	0.017	0.096	0.147	0.235	0.824

(注) コスト試算条件として、メタン発酵方式：湿式メタン発酵、混合原料 TS%：18.6%、希釈混合原料 TS%：10%、
バイオガス発生効率：95.72 Nm³/t-混合原料。メタン発酵設備の稼働時間：24 h/日、
水処理設備の動力稼働時間：24 h/日を採用している。

(注) 売電収入 (b) は堆肥化電力消費を控除した後の売電収入である。

(注) 売電収入に関しては、メタン発酵施設の消費電力を「動力源 24 h/日フル稼働」と仮定しているため、厳しい条件下での
売電収入となっている。この点を考慮すれば、ケース 1～ケース 6 の CO₂削減コストはさらに改善される。

表 4 3 に示す CO₂削減コストの試算では、混合原料 TS%：18.6%、希釈混合原料 TS%：10%、バイオガス発生効率：95.72 Nm³/t-混合原料の「湿式メタン発酵施設」において、メタン発酵設備の動力稼働時間：24 h/日、水処理設備の動力稼働時間：24 h/日と仮定した場合のコスト試算結果を使用している。

メタン発酵設備の動力稼働時間：8 h/日、水処理設備の動力稼働時間：24 h/日と仮定した場合のメタン発酵事業に伴う CO₂削減コストを表 4 4 に示す。

また、混合原料 TS%：19.2%、希釈混合原料 TS%：14.4%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料の「半湿式メタン発酵施設」において、メタン発酵設備の動力稼働時間：8 h/日、水処理設備の動力稼働時間：24 h/日と仮定した場合のメタン発酵事業に伴う CO₂削減コストを表 4 5 に示す。

(1) メタン発酵設備の動力稼働時間を 24 h/日から 8 h/日に変更した場合 (表 4 4)

ケース 1～ケース 6 のいずれの場合も、メタン発酵設備の動力稼働時間を 24 h/日から 8 h/日に短縮することにより、売電収入の増加による収支の改善、CO₂削減コストの低下が見られる。特に、ケース 1～ケース 2 では、メタン発酵事業により、CO₂削減：1t 当たりのランニングコストは、それぞれ－3 万円/CO₂e-t、－1 万 9 千円/CO₂e-t であり、収益側に振れる。

ケース 6 の場合、バイオガス発電によりメタン発酵事業による堆肥化プロセスの動力代替分を賄うことができ、CO₂削減効果を見込める。

(2) メタン発酵原料 (TS%、バイオガス発生効率)、メタン発酵方式、メタン発酵設備の動力稼働時間を変更した場合 (表 4 5)

ケース 1～ケース 6 のいずれの場合も、メタン発酵事業による CO₂削減コストの大幅な低減が見られる。特に、ケース 1～ケース 3 (水処理設備無し) 及びケース 4 (水処理設備有り) のいずれの場合も、ランニングコストの低減、売電収入の増加による収支の改善により、CO₂削減：1t 当たりのランニングコストは、それぞれ－5 万 1 千円/CO₂e-t、－4 万 4 千円/CO₂e-t、－1 万 6 千円/CO₂e-t、－1 万円/CO₂e-t であり、収益側に振れる。

表 4 4 メタン発酵事業実施に伴う CO₂ 削減コスト

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
CO ₂ (CO ₂ e-t/年)	1,209	699	204	940	520	117
イニシャルコスト(百万円/年)	157	109	51	209	146	68
ランニングコスト(百万円/年)	69	49	26	136	98	42
売電収入(百万円/年) (a)	105	62	21	88	50	14
売電収入(百万円/年) (b)	105	58	12	86	44	5
CO ₂ 削減コスト (イニシャル、百万円/CO ₂ e-t)	0.130	0.156	0.249	0.222	0.281	0.577
CO ₂ 削減コスト (ランニング、百万円/CO ₂ e-t)	0.057	0.070	0.128	0.144	0.189	0.354
CO ₂ 削減コスト (ランニングコストから売電収入 (a)減算、 百万円/CO ₂ e-t)	-0.030	-0.019	0.026	0.050	0.092	0.232

(注) コスト試算条件として、メタン発酵方式：湿式メタン発酵、混合原料 TS%：18.6%、希釈混合原料 TS%：10%、
バイオガス発生効率：95.72 Nm³/t-混合原料、メタン発酵設備の動力稼働時間：8 h/日、
水処理設備の動力稼働時間：24 h/日を採用している。

(注) 売電収入 (b) は堆肥化電力消費を控除した後の売電収入である。

表 4 5 メタン発酵事業実施に伴う CO₂ 削減コスト

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
CO ₂ (CO ₂ e-t/年)	1,530	891	268	1,248	699	181
イニシャルコスト(百万円/年)	125	87	40	166	116	54
ランニングコスト(百万円/年)	54	39	22	103	70	33
売電収入(百万円/年) (a)	132	78	26	116	67	20
売電収入(百万円/年) (b)	132	74	17	114	61	11
CO ₂ 削減コスト (イニシャル、百万円/CO ₂ e-t)	0.082	0.097	0.150	0.133	0.165	0.296
CO ₂ 削減コスト (ランニング、百万円/CO ₂ e-t)	0.036	0.044	0.081	0.083	0.100	0.184
CO ₂ 削減コスト (ランニングコストから売電収入 (a)減算、 百万円/CO ₂ e-t)	-0.051	-0.044	-0.016	-0.010	0.005	0.073

(注) コスト試算条件として、メタン発酵方式：湿式メタン発酵、混合原料 TS%：19.2%、希釈混合原料 TS%：14.4%、
バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、メタン発酵設備の動力稼働時間：8 h/日、
水処理設備の動力稼働時間：24 h/日を採用している。

(注) 売電収入 (b) は堆肥化電力消費を控除した後の売電収入である。

5. 2. 9 メタン発酵施設の敷地面積

敷地面積については、隣接する施設や安全性を考慮して、各設備や構内道路の配置を検討する。

社団法人地域環境資源センターの「バイオマス利活用技術情報データベース」に掲載されている国内メタン発酵施設（59 施設）の敷地面積（m²）とメタン発酵処理能力（t/日）に関するデータによると、処理能力 1 t 当たりの敷地面積は約 100～300 m²である³⁰⁾。

環境省「メタンガス化施設整備マニュアル」及び町田市の試算事例³¹⁾では、1 t 当たりの建築面積（管理棟、バイオガス貯留設備、焼却施設は含まず）は、50～120 m²となっている（表 4 6）。

³⁰⁾ ノイズをカットして算出している。

³¹⁾ 出典：

https://www.city.machida.tokyo.jp/kurashi/kankyo/keikaku/kankyogomishingikai/junkangata/seibi_keika.files/20111208-7syuushi.pdf

表 4 6 一部メタン施設における処理能力と建築面積の関係

施設名称	建築面積	残渣等の処理方式	処理量	処理能力	処理能力 1t 当たりの建築面積
北空知衛生センター	780 m ²	分別残渣:焼却、埋立 発酵残渣:脱水後焼却 排水:処理後下水道放流	3,283 t/年	16 t/日 (1 系列)	49 m ²
リサイクルセンター	5,300 m ²	分別残渣:焼却、埋立 発酵残渣:堆肥化利用 排水:処理後公共用水域へ排出	8,352 t/年	55 t/日 (3 系列)	96 m ²
クリーンプラザくるくる	2,567 m ²	分別残渣:焼却 発酵残渣:土壌改良材利用 排水:処理後下水道放流	3,633 t/年	22 t/日 (2 系列)	116 m ²
防府市クリーンセンター	4,404 m ²	セメント原料化	発酵槽ごみ投入量: 5,410 t/年 発酵槽汚泥投入量: 5,560 t/年	51.5 t/日	85.5 m ²
南但クリーンセンター	2,300 m ²	焼却灰、飛灰をセメント原料化	6,175 t/年	36 t/日	64 m ²
町田市試算ケース1	6,500 m ²	分別残渣:焼却 発酵残渣:脱水後焼却	23,500 t/年	115 t/日	56.5 m ²
町田市試算ケース2	4,000 m ²	分別残渣:焼却 発酵残渣:脱水後焼却	25,500t/年	70 t/日	57 m ²

5. 2. 10 安全対策・環境対策の検討

メタンガス化施設を導入するにあたり、設備の構成、容量、用途等に対して各種の法的規制が適用される。安全面・環境面の関連法令及び許認可申請事項はまとめて**参考資料 6. 6 (1)**に記載する。

メタンガス化施設のうち、ガス貯留設備については、都市計画法上の用途地域によってはその容量に上限があり、また基本的に立地できないことがある。(例えば、住居地域では設置ができない。商業地域や準工業地域では容量に上限がある。)この点について留意が必要であり、必要に応じて用途変更を行うこともある。

メタンガス化の各種の設備によっては、その運転操作に資格が必要な場合もある。法規制等を整理して、有資格者を配置する体制も検討する必要がある。具体的には、発電設備(ガスエンジン、ガスタービン)を設置する際には、電気主任技術者が必要であり、ガスタービン等を設置する際(300 kW 以上の場合)には、ボイラータービン主任技術者が必要となる。また、排水処理施設の排水量が法律、条例の基準以上の場合、公害防止管理者(排水)が必要となる。

(1) 安全面対策

メタン発酵施設は、可燃性ガスであるメタンガスを回収・取り扱う施設である。「ごみ処理施設整備の計画・設計要領」[(2006(改訂版)(社)全国都市清掃会議)]、「メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル」、「廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き」等では、最も留意すべき安全対策として、「爆発・火災事故」と「酸欠」防止対策を挙げており、これらに配慮した万全の体制をとる必要がある。

(1-1) 爆発・火災対策

メタン発酵では可燃性のバイオガスが発生するため、取扱いには十分注意する必要がある。メタン発酵槽、貯留施設、燃焼施設には異常圧を防止する安全弁と逆火防止装置等を設置するとともに、メタン

ガスを取り扱う機器を収納する部屋にはメタンガス検知器を設置する。メタンガスの漏洩を検知した場合には、関連機器の停止や警報の発信を行う。室内換気設備の設置も検討する必要がある。

バイオガスの主成分であるメタンガスは二酸化炭素以上に温暖化に影響を与える気体であるため、余剰なバイオガスは大気放散させずに、余剰ガス燃焼装置等で燃焼させて適切に処理する必要がある。ガス利用設備配管や余剰ガス燃焼装置には、ガスホルダーに火種が逆流しないように、逆火防止装置を設ける。

また、発酵対象物を機械選別する際、スプレー缶や使用済みライター等の危険物が混入する可能性がある場合、機械選別の方式によっては火災、爆発対策が必要になる。

（１－２）酸欠防止対策

「労働安全衛生規則」では、密閉式の発酵処理施設を「酸素欠乏危険箇所」として規定しており、作業を行う場合は従事者の教育と安全対策を講じる必要がある。主な対策として下記手段が有効と考えられる³²⁾。

- ・ 酸素濃度を定期的に測定する（検知管等）。
- ・ 局所給排気対策装置を設ける。
- ・ 十分な換気を行う（酸素濃度：18%以上に保つ）。
- ・ 換気不十分のときは呼吸用保護具（酸素マスク、防毒マスク等）を装備する。
- ・ 避難用具などを備え付ける。
- ・ 酸素欠乏危険作業主任者を選任する。
- ・ 人員の点検と立ち入り禁止措置を行う。

（１－３）硫化水素、アンモニア対策

バイオガスの中には微量な制限対象物質が含まれてる場合があり、その種類と含有濃度を表47に示す。

メタン発酵では、タンパク質の分解に伴ってアンモニアが生成する。アンモニアはメタン生成菌増殖の不可欠な栄養成分であるが、濃度が高くなると有機酸の蓄積やメタン生成速度の低下をもたらす、メタン発酵が阻害される。

密閉型の発酵槽内には高濃度のアンモニアが充満していることも多く、アンモニアガスを吸い込むと鼻やのどの粘膜が激しい刺激を受け、高濃度（0.1%以上）のガス吸引や長時間の吸入により、気管や肺が炎症を起こす。目に入ると結膜や角膜が炎症を起こし、失明の危険がある。

また、メタン発酵原料中の硫黄成分が硫化水素の生成をもたらす。バイオガス中の硫化水素濃度は数百 ppm～4,000 ppm の範囲で変化するが、食品廃棄物が多い場合にはさらに硫化水素濃度が高くなる可能性がある。濃度が高くなると、バイオガスの品質低下、メタン発酵の阻害、金属部品の腐食の原因になるため、除去する施設が必要になる。稼働後においても、これらが適切に取り除かれているかを常時確認する必要がある。

³²⁾ 出典：酸素欠乏危険作業の業務に関わる教育

<https://www.roaneikyo.or.jp/shibu/hiratsuka/HP-Materials/kon-kyo/sannketu20170301124425.pdf>

家畜排泄物処理施設の酸欠事故対策

<https://www.pref.chiba.lg.jp/kh-toubu/documents/annzennsagyo.pdf>

硫化水素は人体への影響が大きく、労働安全衛生法による許容限界値は 10 ppm であり、200 ppm では急性中毒、さらに 600 ppm では死に至る危険性がある。

表 4 7 バイオガス中の制限対象物質の含有濃度例

制限対象物質	含有濃度	備考
硫化水素	500～2,000 ppm	発酵槽内脱硫を行う場合は 100～500ppm 程度
アンモニア	50～200 ppm	
水分	(備考参照)	ガス温度による飽和水分
シロキサン類	20～50 ppm	
メチルメルカプタン	10～30 ppm	
ジメチルサルファイド	10 ppm 以下	

出典：「バイオガス化マニュアル」 (社) 日本有機資源協会
(平成 18 年 8 月) を一部改変

以上のことから、「酸欠防止対策」と並行してバイオガスの漏洩や脱硫装置の管理が必要であり、施設の運転・点検等においても十分な注意を払わなければならない。

硫化水素等の発生が認められる箇所には、密閉化または局所排気装置等を設け、発散抑制対策を十分考慮する。特に、ばく露する恐れのある箇所には、有害ガス用防毒マスク等の有効な呼吸用保護具を完備する。また、作業等が見やすい場所に「硫化水素が人体に及ぼす作用」「施設維持管理上の取扱い上の注意事項」「中毒が発生した場合の応急処置」等を記載したパネルを掲示する等、厚生労働省、関係官庁からの通知、指導を遵守し、硫化水素等のばく露防止に努めなければならない。

主な脱硫設備の種類と機能を表 4 8 に示す。

表 4 8 主な脱硫設備の種類と機能

種類	機能
乾式脱硫	・酸化鉄系の脱硫剤により硫化水素を除去する。 ・鉄粉や粘土などでペレット状に加工した成形脱硫剤が用いられる。例えば円筒形の容器に成形脱硫剤を充填し、バイオガスを通気するといった方法がとられる。除去率は 90%以上である。 ・酸化鉄が硫化鉄に変化してそれ以上硫化水素を除去できなくなると、急激に硫化水素濃度が上昇するため、脱硫剤は定期的な交換を実施する必要があるとともに、検知管等で日常的に点検することが望ましい。 ・脱硫剤の交換・処分方法について予め定める必要があり、使用済みの脱硫剤は発熱することがあるため取扱いに注意が必要である。 ・バイオガスの安定的な利用を実現するためには、脱硫塔を 2 基直列に設置し、上流の脱硫塔が消耗した時点で下流の脱硫塔を使用し、その間に上流の脱硫塔の再生を行う等の運用が望ましい。その他メリーゴーラウンド方式などの方式もある。
湿式脱硫	・アルカリ水による洗浄塔により除去する。 ・水酸化ナトリウム溶液等の濃度調整や排水処理が必要となる。 ・吸収剤には消石灰、水酸化マグネシウム、アンモニア、水酸化ナトリウム等が使用されるが、使用吸収剤の種類により種々の反応が起きるため、最適な吸収剤を選択する必要がある。
生物脱硫	・硫黄酸化細菌が酸素を利用して硫化水素を酸化する反応を利用する。 ・発酵槽内の気相部に少量の空気を注入する方式と発酵槽とは別に反応塔を設置し、担体を充填して除去する方式がある。 ・除去後の硫化水素濃度が数百 ppm 程度(脱硫効果にして 85~95%)に留めることもあるため、さらに乾式脱硫を後段に設置する場合もある。 ・発酵槽内で行う場合、発酵槽内の気相に空気を少量加えても、嫌気性のメタン生成菌への影響は無くバイオガス化効率は低下しないと考えられている。 ・硫黄酸化細菌の生育場所は、通常の発酵槽では主に気相と液相の境界部付近の壁面となる。硫黄酸化細菌は窒素などの栄養分が供給される必要があるが、原料スラリーが供給されれば問題ないとされる。 ・空気の量はバイオガス発生量の 3~5%を目安とすることが望ましい。なお、バイオガス中の酸素濃度をモニタリングして酸素が検出されない最大量に調整する。 ・薬品・消耗品を使用しないため、比較的維持管理費が安く、高濃度にも適用可能であるが、硫黄酸化細菌の保持のための環境(空気など)を維持する必要がある。

出典：NEDO「バイオマス設備技術指針」

(2) 環境対策

メタンガス化施設で発生する排ガス、粉じん、排水、騒音、振動、悪臭については、関連法及び条例に基づき、建設予定地の公害防止条件を満足するとともに、地域ニーズを考慮して検討する。

(2-1) 考慮すべき環境課題

① 排ガス、粉じん

大気汚染防止法の規制を満足するための対策を講じる必要がある。

② 排水

水質汚濁防止法の規制を満足するための対策を講じる必要があり、下水道に放流する場合には、下水道の受入基準を満足するための対策を講じる必要がある。

③ 騒音

建設予定地が騒音規制法に基づき知事が指定する地域の場合は規制の対象となるが、指定地域外においても騒音規制法の規制に準じた騒音対策を講じることが望まれる。

対策例として、騒音が発生する機械設備は、騒音の少ない機種を選定することとし、必要に応じて防

音構造の室内に収納し、騒音が外部に漏れないようにする。排風機・ブロワー等の設備には消音器を取り付けるなど、必要に応じて防音対策を施した構造とする。

④ 振動

建設予定地について、振動規制法に基づき知事が指定する地域の場合は規制の対象となるが、指定地域外においても振動規制法の規制に準じた振動対策を講じておくことが望まれる。

対策例として、振動が発生する機械設備は、振動の伝播を防止するため独立基礎、防振装置を設けるなど対策を施す。

⑤ 悪臭

建設予定地について、悪臭防止法に基づき知事が指定する地域の場合は規制の対象となるが、指定地域外においても悪臭防止法の規制に準じた悪臭対策を講じておく。

⑥ 条例に基づく規制

①～⑤の他、都道府県や各市町の条例を遵守し、条例に規定された条件に該当する場合には必要な対策を講じておく。

（２－２）臭気対策

悪臭防止法では 22 種類の規制対象物質（許容限度）が悪臭として定められており、敷地境界線において許容限度以下でなければならない（表 4 9）。

表 4-9 悪臭防止法における規制対象物質及び規制基準

物質名	敷地境界における規制基準 (単位:ppm)		
	A 区域	B 区域	C 区域
アンモニア	1	1	2
メチルメルカプタン	0.002	0.002	0.004
硫化水素	0.02	0.02	0.06
硫化メチル	0.01	0.01	0.05
二硫化メチル	0.009	0.009	0.03
トリメチノレアミン	0.005	0.005	0.02
アセトアルデヒド	0.05	0.05	0.1
プロピオンアルデヒド	0.05	0.05	0.1
ノルマルブチルアルデヒド	0.009	0.009	0.03
イソブチルアルデヒド	0.02	0.02	0.07
ノルマルパレルアルデヒド	0.009	0.009	0.02
イソパレルアルデヒド	0.003	0.003	0.006
イソブタノール	0.9	0.9	4
酢酸エチル	3	3	7
メチルイソブチルケトン	1	1	3
トルエン	10	10	30
スチレン	0.4	0.4	0.8
キシレン	1	1	2
プロピオン酸	0.03	0.07	0.07
ノルマル酪酸	0.001	0.002	0.002
ノルマル吉草酸	0.0009	0.002	0.002
イソ吉草酸	0.001	0.004	0.004

A 区域:B、C 区域以外の区域

B 区域:農業振興地域 C 区域:工業・工業専用地域

出典: https://www.city.saitama.jp/001/009/008/p008711_d/fil/akushubussitu.pdf

メタン発酵の原料(家畜ふん尿、食品残渣)には有機酸、メチルメルカプタン、アンモニアなど代表的な悪臭物質が含まれているため、受入設備、前処理設備及び発酵残渣処理設備が臭気の発生源になりやすい。臭気対策としてメタン発酵施設を導入する事例もあり、メタン発酵設備自体で臭気が問題になることは少なく、設備からの臭気あるいはプロセスの異常によるものがほとんどである。プロセスの異常については、原料の供給を停止し、原因の排除を急ぐ必要がある。

臭気は拡散すると捕集することが難しくなるため、臭気が発生するエリアは極力密閉構造にすることが望ましい。必要最小限の風量で高濃度に捕集できるよう考慮する。施設内で発生した臭気は、生活環境の保全上支障が無いようにする。また、周辺環境を良好に保つために、脱臭設備を設置し、処理して大気放出する。

「メタンガス化+焼却方式」では、臭気を含む空気を燃焼用空気として利用することにより臭気防止を図ることができる。この際、ごみ焼却施設が補修、点検等により休炉した際に、脱臭設備を設置する等の措置を講じておく。

主な臭気対策として下記の手段が挙げられる。

- ・ 生ごみは、水分が多く有機性であるため腐敗が速く、悪臭も強い。プラットホームの出入り口や受入ホッパには開閉シャッターを設け、できるだけ密閉構造にする。
- ・ 受入れ部分は負圧構造にして臭気の拡散を防止する。
- ・ できるだけ最小限のガス量を高濃度で吸引できるようにする。
- ・ メタン発酵槽は密閉構造であることから、臭気対策については対象外である。

脱臭処理技術として、微生物を利用した生物脱臭法は運転コストが最も安価である。生物脱臭法以外の主な脱臭法には、「酸化分解を利用する燃焼方式」、「溶解度を利用した水・薬液洗浄」、「吸着力を利用した活性炭脱臭」がある。これらいずれも臭気濃度が高くても対応でき、臭気の温度に影響を受けず、設置面積も小さいので一般に多くの脱臭施設で採用される優れた脱臭方法であるが、化石燃料、薬液、吸着剤の交換などを必要とするため運転コストが高くなる。

主な脱臭処理技術を表 5 0 に示す。

表 5 0 脱臭処理技術一覧表

処理法		概要	長所	短所
燃焼法	直接燃焼法	・高温で加熱し、無害の炭酸ガスと水に酸化分解して脱臭	・広範囲の有機溶剤を脱臭できる ・脱臭効率の経年劣化は無い	・廃熱回収しなければ運転費が高価 ・アルカリ性臭気ガスは分解困難 ・S 含有物がある場合は SOx が発生 ・NOx の発生
	触媒燃焼法	・触媒によって低温で酸化分解して脱臭	・直接燃焼法より運転費が安い ・NOx 発生少ない	・設備費が高く、大風量の脱臭は困難 ・触媒劣化物質が含まれているとき対策が必要
化学的方法	薬液洗浄法	・化学反応によって臭気成分を分解 ・悪臭物質の種類によって酸、アルカリ、酸化剤水溶液等が使用される	・設備費が安価 ・ミストダストも同時処理できる ・ガスの冷却効果がある	・廃水処理が必要 ・薬液濃度調整計器点検等日常管理がシビアに必要 ・薬品に対する安全対策、装置の腐食対策が必要
物理的方法	水洗法	・悪臭成分を水に溶け込ませる	・装置が比較的簡単、運転費は安価 ・薬品を使用しないので安全	・溶解度の小さいガスには効果小 ・大量の水が必要で排水処理を必要とする場合がある
	活性炭吸着法	・活性炭の微細孔やこれに添着した薬剤により臭気ガスを吸着させる	・歴史が古く実績大 ・装置も簡単であり、特別な維持管理は不要	・水分により吸着能力が低下 ・イニシャル、ランニングコストとも高価
生物脱臭法	土壌脱臭法	・悪臭を土壌に通風して土壌中の微生物によって分解脱臭	・運転費が非常に安価 ・維持管理が用意 ・土壌の上層は花畑等、緑地に利用できる	・処理できる悪臭物質に制限あり ・高濃度臭気には不適 ・降雨時に通気抵抗が大きくなり、リークが生じる
	充填塔式	・微生物をつけた担体を充填した塔に通風し、微生物によって分解脱臭	・装置がコンパクト ・維持管理が安価 ・運転費が非常に安価	・処理できる悪臭物質に制限がある ・微生物の馴致期間が必要 ・酸性廃液処理が必要な場合あり
	活性汚泥処理法	・悪臭を水に溶解させ、その水溶液を微生物により分解脱臭	・曝気槽があれば特別な装置は不要 ・運転費が非常に安価	・曝気槽を別に設置する必要がある ・曝気槽の持つ臭気が残る

出典：環境省「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部
廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）

臭気の課題として、消化液液肥の農地還元において「消化液液肥の臭気が利用拡大の妨げになっていること」が挙げられている。臭気対策としては、消化液液肥の施肥後、直ちに耕耘する方法がとられている。

消化液臭気の問題は、「技術的な問題」と「人の感性による問題」がある。「技術的問題」に対しては、メタン発酵により原料を十分に消化して、アンモニアなどの臭気成分を除去することにより、臭気を抑えることができる。また、メタン発酵のプロセスの安定化を図り、突発的な臭気発生を防止することも重要である。消化液の臭気を外部に出さないために、定期的に臭気成分の濃度を測定し、基準値以下に抑えられていることをチェックすることも大切である。このような客観的なデータを蓄積することにより、「人の感性の問題」に対して、粘り強く理解を得ていく必要がある。

6. 参考資料

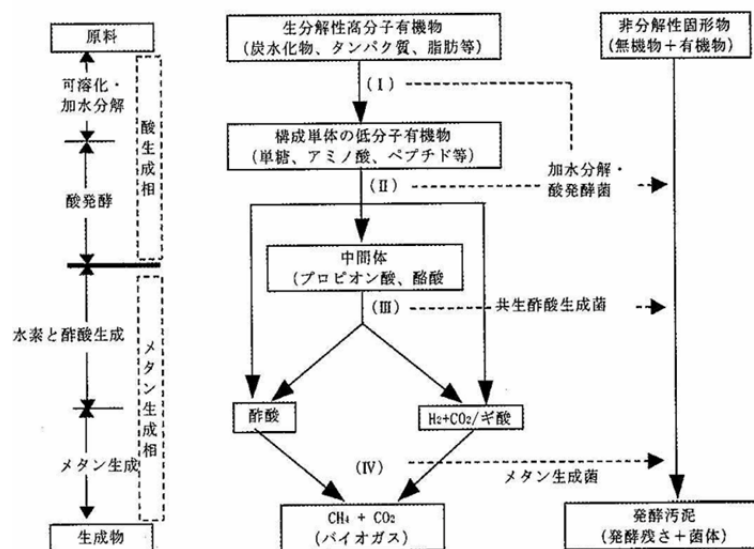
6. 1 メタン発酵技術に関する資料

(1) メタン発酵のバイオガス生成過程

メタン発酵における酸生成相とメタン生成相の2段階過程と生成物を図参1に示す。

酸生成相は、「細菌の細胞外に分泌される細胞外酵素が多糖類、タンパク質、脂質などの高分子有機物を単糖類、アミノ酸、脂肪酸、アルコールなどの低分子有機物に加水分解する過程（可溶化・加水分解過程）」と「低分子有機物質を低級アルコール、低級揮発性脂肪酸（VFA）、水素、二酸化炭素に分解する過程（酸発酵過程）」の2過程から構成される。

メタン生成相は、「酸生成で生じた低級揮発性脂肪酸をさらに分解して、酢酸、ギ酸、 H_2/CO_2 を生成する過程（水素と酢酸生成過程）」、「次いで「酢酸、 H_2/CO_2 /ギ酸のそれぞれからメタンを生成する過程（メタン生成過程）」から構成される。



図参1 メタン発酵における酸生成とバイオガス生成の段階

出典：「ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版」

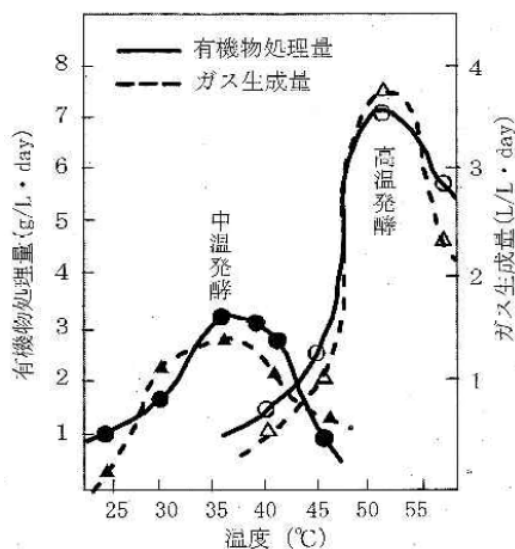
（公社）全国都市清掃会議（平成 29 年 4 月）

(2) メタン発酵の特性

① 温度

メタン生成菌には、活動範囲が中温域 (30～40℃) と高温域 (50～60℃) の 2 種類の細菌が存在する。メタン発酵温度と有機物負荷・バイオガス量の関係を図参 2 に示す。高温発酵では、中温発酵に比べて発酵速度が 2～3 倍速く、中温メタン発酵の 2.5 倍の高負荷運転が可能である。バイオガス生成量は、有機物負荷に比例して増加する。しかし、高温発酵と中温発酵では、最終分解率及び累積ガス発生量に大きな差異は見られない³³⁾。

同じ有機物処理量であれば、メタン発酵槽の容積は処理速度に反比例して小さくできるため、高温発酵は中温発酵よりもメタン発酵槽の容積を小さくすることができ、メタン発酵施設の建設コストの低減につながるが、発酵槽内の有機物を加熱するための投入熱量が増加する。発酵槽の加温には、バイオガス発電により発生する熱を効率良く利用する必要がある。



図参 2 発酵温度と有機物負荷・バイオガス量の関係例

出典：「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」、環境省大臣官房廃棄物
リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）

温度によるメタン発酵の分類をまとめて表参 1 に示す。中温発酵は、35℃付近で活性化するメタン生成菌により発酵を行う方法である。高温発酵は、55℃付近で活性化するメタン生成菌により発酵を行う方法である。高温発酵は、中温発酵よりも有機物処理量（有機物負荷）を増やすことができる。また、高温発酵は、中温発酵よりも発酵速度が速いため、発酵時間（HRT：水理学的滞留時間）を短縮することができる。メタン発酵槽の容積は、有機物処理量（m³/日）と HRT（日）の積で定まるため、同じ有機物処理量であれば、メタン発酵槽の容積を小さくすることができ、メタン発酵施設の建設コストを低減できるというメリットがある。しかし、高温発酵では、発酵槽内の原料を加熱するためのエネルギーが大きくなる他、負荷変動及びアンモニア阻害に弱いというデメリットがある。

³³⁾ 「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」、環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）より引用。

表参 1 発酵温度によるメタン発酵の特徴の比較

	中温発酵	高温発酵
発酵温度	約 35℃	約 55℃
有機物負荷	小さい	大きい
発酵期間	20～25 日程度	10～15 日程度
必要とするエネルギー	少ない	多い
アンモニア濃度の上限	～3, 000ppm	～2, 500ppm

出典：「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」、環境省大臣官房廃棄物
リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）

② pH

メタン発酵の「酸生成相」では、pH=5～6 の弱酸性環境が好適であり、「メタン生成相」では、pH=7 程度の中性環境が好適である。酸生成相での酸生成とメタン生成相での酸利用のバランスが崩れると、発酵槽内で有機酸が蓄積される。pH が 6.5 以下に低下すると、メタン生成が阻害されてメタン生成が停止する（酸敗）。酸生成相とメタン生成相では細菌活性化に適した環境が異なるため、酸生成相を「酸発酵槽（または可溶化槽）」で行い、メタン生成相を「メタン発酵槽」で行う 2 相式を採用することにより、酸敗を防止して、メタン発酵効率を向上させることができる。

③ アンモニア濃度

メタン発酵では、タンパク質系の原料からメタンと CO₂ の他にアンモニア性窒素が同時に発生する。アンモニアは消化液の中で「アンモニウムイオン」及び「メタン菌に対して毒性を有する遊離アンモニア」として存在し、消化液の温度が高く、かつ pH が高いほど遊離アンモニアの濃度が上昇する。したがって、メタン発酵では、タンパク質（N 成分）を多く含む原料を処理する場合、高温、高 pH 条件において、メタン菌の不活性化が生じやすい（アンモニア阻害）。

④ C/N 比

メタン発酵においては、投入原料の C/N 比が重要なパラメータになる。C/N 比とは、物質中の炭素 C と窒素 N の質量比のことであり、一般に 20～40 程度とされている。C/N 比が高いと炭素過多となり低級揮発性脂肪酸（VFA）による pH 低下を招きやすい。C/N 比が低いと窒素過多となり、アンモニアによる pH 上昇が生じて遊離アンモニアが発生しやすくなる。

(3) メタン発酵処理方式の比較

メタン発酵の処理方式には、原料の固形分濃度の違いにより「湿式と乾式」、発酵温度の違いにより「中温発酵方式と高温発酵方式」に分類できる（表参2）。

表参2 メタン発酵処理方式の比較

	湿 式		乾 式
	中温(約 35℃)	高温(約 55℃)	高温(約 55℃)
固形分濃度 (投入時)	10%程度	10%程度	15～40%程度
発酵物	・生ごみ (その他、家畜糞および尿、下水汚泥、し尿処理汚泥等も対象となる)	・生ごみ (その他、紙、家畜糞および尿、下水汚泥、し尿処理汚泥等も対象となる)	・生ごみ ・紙、植物(剪定枝類) (その他、家畜糞、下水汚泥、し尿処理汚泥等も対象となる)
電力使用量 エネルギー 使用量	・発酵槽の機械などの駆動部が少なく省電力でメンテナンスコストが低い ・加温のためのエネルギーが少ない ・排水処理量は乾式に比べて多いため、排水処理にかかる電力が大きくなる可能性がある。	・発酵槽の機械などの駆動部が少なく省電力でメンテナンスコストが多い ・加温のためのエネルギーが多い ・排水処理量は乾式に比べて多いため、排水処理にかかる電力が大きくなる可能性がある。	・湿式に比べて選別機、発酵槽駆動部の電力消費が多くなる。 ・加温のためのエネルギーが多い
増殖速度 ガス発生量	・増殖速度が高温に比べて遅い。	・増殖速度が速くガス発生量も多い	・増殖速度が速くガス発生量も多い。
発酵槽容量	・メタン発酵日数が多くなるため、高温式より発酵槽容量は大きくなる	・増殖速度が速いため、中温式より発酵槽容量は小さくてすむ。	・有機物負荷が同等であれば、発酵槽容量は、湿式、乾式とも基本的には大差ない。
希釈水・ 排水量	・希釈水量が多い傾向にあり、排水量は多くなる。	・希釈水量が多い傾向にあり、排水量は多くなる。	・希釈水量は少なく、排水量は少なくなる。
設置 スペース	・滞留時間が長いため、湿式高温に比べて必要面積は大きい。	・滞留時間が短いため必要面積は小さい。	・横型の発酵槽では必要面積が大きい。 ・縦型の発酵槽(DORANCO 等)は横型に比べて設置面積を小さくできる。
アンモニア 阻害	・アンモニア阻害に対する安定性が高い。	・アンモニア阻害に対する安定性が問題。	・アンモニア阻害に対する安定性が問題。
維持管理	・メタン発酵菌の種類が多く、維持管理が比較的容易に行える。(原料の変動に強い)	・メタン発酵菌の種類が少ないため、投入する発酵対象物の質・量の変動に留意する必要がある。	・メタン発酵菌の種類が少ないため、投入する発酵対象物の質・量の変動に留意する必要がある。
その他	・ガスエンジンへのシロキサンの影響に配慮する必要がある。	同左	同左

出典：「廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル」、環境省大臣官房廃棄物
リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）

（４）メタン発酵施設の概要

メタン発酵施設の標準的な設備の概要を以下に記載する³⁴⁾。

① 受入設備

原料受入設備は、計量器、プラットホーム、受入ホップ、受入ピットにより構成される。防臭の観点から脱臭設備が設けられる。

② 前処理設備

前処理設備は、破袋、破碎、選別、調質の機能に大別される。

生ごみを原料の一部とする場合には、ごみ袋で搬入される場合が多いため、破袋・選別が必要になる。原料が動植物性残渣の場合には、動植物性残渣の排出事業者と調整を行い、破袋・選別の手間を省くようにする。

破袋、選別された原料は、調整槽（可溶化槽）に移送される。調整槽には、メタン発酵槽に可溶化した原料を定量的に投入する機能と酸発酵を促進する機能がある。調整槽を設けずにメタン発酵槽に原料を直接移送する例もある。

③ メタン発酵設備

メタン発酵設備は、前処理設備から供給される原料を嫌気性条件下で温度を一定に保つことにより、メタン発酵で発生するバイオガスを回収することを目的としている。

メタン発酵槽は、嫌気性条件を維持するために密閉槽であり、熱の放散を抑制するために断熱構造になっている。原料とメタン生成菌の接触効率を向上させるために、発酵槽内に攪拌装置が設置されている。攪拌装置には、発生するバイオガスを抜き取る機能もある。また、装置閉塞及び有効容積減少の要因となるスカム・堆積物（汚泥）を発酵槽底部から抜き取るための汚泥引き抜き装置が設置されている。汚泥引き抜きは、トラブル時を除けば 10 年に 1 回程度の頻度で行われるものであり、度々行うものではない。

④ バイオガス貯留設備

バイオガス貯留設備は、脱硫装置、ガスホルダー、余剰ガス燃焼装置から構成される。

バイオガスは約 60%のメタンと約 40%の CO₂ から構成されるが、一般に硫化水素が数百 ppm～数千 ppm 含まれており、後段設備の腐食を防止するために、脱硫装置により硫化水素を除去する。

発生したバイオガスは、圧力調整、供給量調整を行うために、一時的にガスホルダーに貯留する。ガスホルダーの容量は、発生するバイオガス量及び供給先での利用状況に応じて設計する。ガスホルダーの種類は、液体でガスを水封する湿式方式、二重膜式のメンブレン方式、メンブレンを鋼板で覆った方式等がある。

余剰ガス燃焼装置は、点検時や異常時などでバイオガスを利用できない場合に燃焼処理し、地球温暖化係数が CO₂ の 25 倍であるメタンガスを無処理で大気放出させないための装置である。

³⁴⁾ メタン発酵施設の標準的な設備の概要は、「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」、環境省大臣官房廃棄物リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）より一部抜粋し、加筆した。

⑤ バイオガス利用設備

バイオガス利用設備は、発電と熱利用を組み合わせたコージェネレーションシステムが一般的である。バイオガスは発電機・ボイラーに利用する他、「バイオガスを精製・圧縮させて自動車の燃料化」、「都市ガスとの混合利用」、「燃料電池の水素源としての利用」等も可能である。

⑥ 発酵残渣処理設備（必要に応じて）

湿式メタン発酵では、メタン発酵により発酵槽から消化液が排出される。消化液は、肥料成分（N、P、K）を含有するため、液肥の需要があれば、消化液を液肥として利用することが可能である。

- ・ 「消化液の液肥需要が期待できる場合（農地還元）」には、消化液の固液分離を行わずに直接液肥として利用することができる。また、消化液を液肥として利用する場合、消化液の殺菌に適した温度・時間で加熱殺菌が行われる³⁵⁾。
- ・ 「消化液の液肥需要が期待できない場合」には、消化液を固液分離し、液分は水処理設備で排水基準を満たした後に、公共用水域に排出／下水放流される。固形分は、堆肥化または燃料化が可能である。堆肥化・燃料化が困難な場合、固形分は焼却される。

乾式メタン発酵では消化液は発生しないが、多量の固形物発酵残渣が発生する。固形物発酵残渣は、堆肥化、燃料化に利用できるが、これらの需要が見込めない場合には焼却処分される。

³⁵⁾ 高温発酵では、加熱殺菌を行わなくてもバクテリア、細菌量が基準値以下になるケースもある。

（５）国内メタン発酵施設の状況³⁶⁾

国内メタン発酵施設で採用されているメタン発酵方式及び発酵温度を**表参 3**に示す。乾式メタン発酵は 2 件のみであり³⁷⁾、ほとんどのメタン発酵施設が湿式メタン発酵を採用している。湿式メタン発酵では、中温発酵：39 施設、高温発酵：16 施設となっている。

表参 3 メタン発酵方式および発酵温度

メタン発酵方式	施設数	温度	施設数
乾式	2	高温	1
		中温	1
湿式	57	高温	16
		中温	39
		無加温	2

（備考）2007 年～2010 年に調査されたデータベースを使用

国内メタン発酵施設における可溶化槽の有無に関する分析結果を**表参 4**に示す。乾式メタン発酵では、可溶化槽を備えた施設は無いが、湿式メタン発酵では、57 施設のうち 12 施設が可溶化槽を備えている。

表参 4 メタン発酵可溶化槽の有無

メタン発酵方式	施設数	可溶化槽	施設数
乾式	2	無し	2
		有り	0
湿式	57	無し	45
		有り	12

（備考）2007 年～2010 年に調査されたデータベースを使用

国内メタン発酵施設における発酵槽内攪拌方式に関する分析結果を**表参 5**に示す。攪拌方式としては、ガス攪拌方式、機械攪拌方式、ポンプ攪拌方式、バイオガス圧力利用攪拌方式（無動力攪拌方式）等が採用されており、このうち、「機械攪拌方式（羽根式）」が最も多く採用されている。攪拌時の電力使用量を抑制するために、複数のメタン発酵施設で「無動力攪拌方式」が採用されている。攪拌方式の代表事例の模式図を**図参 3**～**図参 5**に示す。

図参 3は「機械攪拌方式」の模式図であり、スクリュウ攪拌機により攪拌水流が発酵槽底部まで達し、槽全体の攪拌を安定に行うことができる。

図参 4は「ガス攪拌方式」の模式図であり、バイオガスをドラフトチューブに吹き込むことにより発生するエアリフト現象を利用した攪拌方式である。原料をドラフトチューブ内に供給することにより初期攪拌を行い、攪拌効果を高めることができる。

図参 5は「バイオガス圧力利用の無動力攪拌方式」の模式図であり、バイオガスの圧力によって消化液を上部室に押し上げる。バイオガスを開放することによって押し上げられた消化液を短時間で降下させることにより、強力な攪拌渦流を生み出す攪拌方式である。「バイオガス圧力利用の無動力攪拌方式」は動力源を必要としないが、「ガス攪拌方式」ではガスを発酵槽に吹き込むためのブロワーが必要になる。

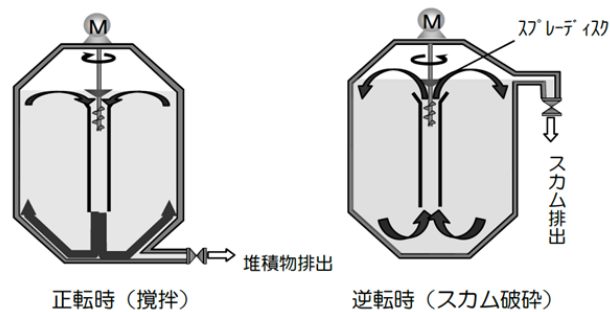
³⁶⁾ 「バイオマス利活用技術情報データベース」（社団法人地域環境資源センター）を利用し、国内メタン発酵施設で採用されているメタン発酵技術を分析した。

³⁷⁾ 乾式メタン発酵は国内での採用が進みつつあるが、海外では既に多くの施設で採用されている。

表参5 メタン発酵槽内攪拌方式

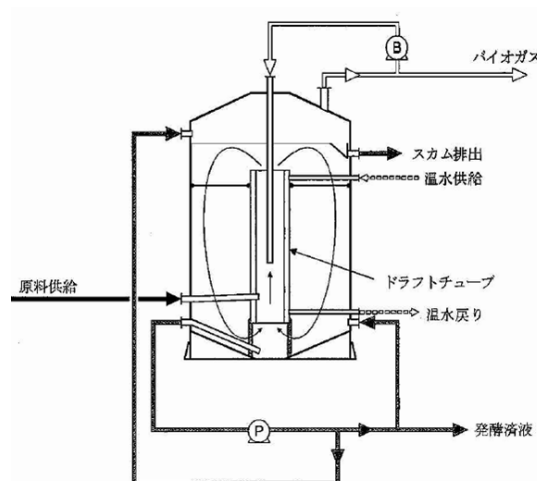
メタン発酵方式	施設数	メタン発酵槽内攪拌方式	施設数
乾式	2	ガス攪拌	1
		機械攪拌(羽根式)	1
湿式	57	機械攪拌方式(羽根式)	28
		機械攪拌方式(水中ポンプ式)	5
		ガス攪拌方式	5
		ガス攪拌方式+機械攪拌方式(羽根式)	4
		無動力攪拌方式	2
		バイオガス圧力利用の無動力攪拌方式	1
		ポンプ攪拌方式	2
		ブローワー及びビー軸ネジポンプ攪拌方式	1
		水中ミキサー+ポンプ攪拌方式	1
		不明	8

(備考) 2007 年～2010 年に調査されたデータベースを使用



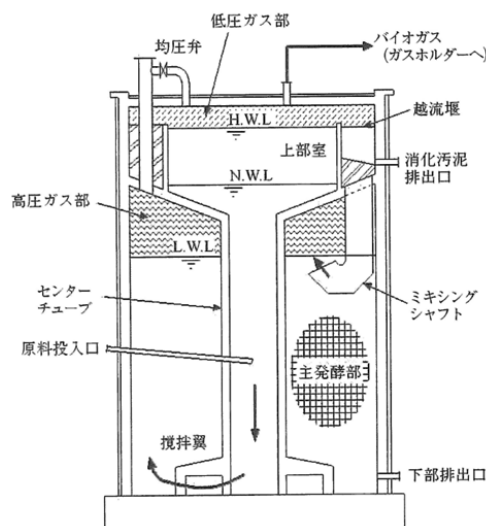
図参3 機械攪拌方式(スクリー攪拌式)

出典:「メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル(改訂版)」、
環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課(平成20年1月)



図参4 ガス攪拌方式

出典:「メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル(改訂版)」、
環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課(平成20年1月)



図参5 バイオガス圧力利用の無動力攪拌方式

出典：「メタンガス化（生ごみメタン）施設整備マニュアル（改訂版）」、
環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課（平成20年1月）

メタン発酵を効率良く行うためには、メタン生成菌を発酵槽内に保持する必要がある。メタン生成菌を発酵槽内に保持するための方式を分析した結果を表参6に示す。メタン生成菌を発酵槽内に保持する方法として、「固定床法」、「浮遊生物法（流動床法）」、「UASB法（上向流嫌気性汚泥床方式）」が挙げられる。

- ・ 「浮遊生物法」が一般的に採用されている。浮遊生物法では、メタン生成菌が消化液とともに槽外へ流出するため、消化液を発酵槽へ返送して、メタン生成菌を槽内に保持する必要がある。浮遊生物法を採用している33施設のうち、いずれの施設で消化液の返送が行われているかは不明である。
- ・ 「固定床法」は、プラスチック、砕石などの担体を発酵槽内部に充填し、表面にメタン生成菌の生物膜を付着増殖させることにより、担体に保持したメタン生成菌と原料（スラリー状原料）を接触させる方法である。固定床法は10施設で採用されている。
- ・ 「UASB法」は2施設で採用されているが、一般に数%程度の低TS濃度の原料に対するメタン発酵で採用される方式であるため、動植物性残渣のメタン発酵では採用されない。UASBは、主に水の前処理に使用されている。

表参6 メタン生成菌の発酵槽内保持方法

メタン発酵方式	施設数	メタン発酵槽内メタン生成菌の保持方式	施設数
乾式	2	その他	1
		浮遊生物法	1
湿式	57	浮遊生物法	33
		固定床法	10
		UASB法	2
		その他	5
		不明	7

（備考）2007年～2010年に調査されたデータベースを使用

（６）メタン発酵施設の事業性成立を図るための技術課題と対策

メタン発酵技術及びバイオガス利用技術に関する技術課題と対策事例に対して、文献調査³⁸⁾、特許調査³⁹⁾、Web 調査⁴⁰⁾を行った。その結果を下記に記載する。

① メタン発酵設備の小型化（処理量が同じ場合の小型化）

同一処理量でメタン発酵設備の小型化を図るための課題として、「発酵時間（HRT）の低減」、「メタン生成菌保持／基質高濃度化」、「希釈水量低減」等が挙げられる。

- ・ 「発酵時間（HRT）の低減」に対しては、二相式のメタン発酵を採用することにより、酸敗抑制／発酵効率向上を図る。
- ・ 「メタン生成菌保持／基質高濃度化」に対しては、消化液をメタン発酵槽へ返送及び循環することにより、メタン生成菌をメタン発酵槽内に保持する。基質を高濃度化するために、消化液の返送前に消化液を濃縮する。
- ・ 「希釈水量低減」に対しては、消化液を希釈水として利用し、希釈水の低減を図る。アンモニア阻害を抑制するために、消化液返送前にアンモニアを除去する。

メタン発酵槽の小型化に関しては、上記の他に、発酵槽容積の低減のために機械攪拌装置の簡素化（無動力攪拌等）、高温発酵等が挙げられる。

② バイオガス発生効率／発生量の向上

バイオガス発生効率／発生量の向上を図るための課題として、「高バイオガス発生効率及びメタン発酵阻害抑制」等が挙げられる。

- ・ 「高バイオガス発生効率及びメタン発酵阻害抑制」に対しては、高バイオガス発生効率の原料をできるだけ多く選択する。その際には、C/N 比=20～40 の原料を選択することにより、発酵阻害を抑制する必要がある。

バイオガス発生効率／発生量の向上に対しては、上記の他に、高温発酵の採用、可溶化槽の導入、メタン発酵槽内での攪拌効率の向上、メタン発生菌の保持等が挙げられる。

③ エネルギー利用効率の向上

エネルギー利用効率の向上を図るための課題として、「高発電効率」、「高発電機総合効率（高い総合効率の発電機）」等が挙げられる。

- ・ 「高発電効率」に対しては、バイオガス発生量／発電規模に応じた最適な発電機の組合せを選択する。

³⁸⁾ 文献調査は、文献データベース：「JSTPlus」（日本科学技術振興協会）を使用し、国内で発行された文献（対象発行期間：2000年1月1日から2018年8月17日）を対象に、検索キーワード：「メタン発酵」×「食品廃棄物」等により文献検索を行った。ヒット件数は200件、ノイズカット後の件数は26件（タイトル、抄録の精査後）である。

³⁹⁾ 特許調査は、データベース：「HYPAT-i2」（発明通信社）を使用し、2010年1月1日～2018年8月9日の期間に公開された国内特許を対象に、「メタン発酵」（タイトル検索）×「食品、生ごみ、他」（全文検索）により特許検索を行った。ヒット件数は93件、ノイズカット後の件数は61件（特許明細書の精査後）である。

⁴⁰⁾ Web 調査は、インターネットを使用し、2018年12月以前の公開情報を対象に、検索キーワード：「メタン発酵」等により Web 検索を行った。

- ・ 「高発電機総合効率」に対しては、発電時に発生する熱の有効活用の観点から発電機の総合効率が
高いコージェネレーションシステムを選択する。この際にもバイオガス発生量／発電規模に応
じた最適なコージェネレーションシステムの組合せを選択する。

エネルギー利用効率の向上に対しては、上記の他に、小規模メタン発酵施設（処理量 ≤ 2 t/日）においてバイオガスの熱利用を目的とする場合には、「バイオガス発電機からバイオガスボイラーへの置き換え」が事業性成立の対策として挙げられる。

④ 消化液発生量の低減（液肥利用困難地域の場合）

消化液発生量の低減を図るための課題として、「希釈水量低減」等が挙げられる。

- ・ 「希釈水量低減」に対しては、消化液を希釈水として利用し、希釈水の低減を図る。アンモニア
阻害を抑制するために、消化液返送前にアンモニアを除去する。

消化液発生量の低減に対しては、上記の他に、乾式メタン発酵の採用が挙げられる。ただし、乾式メタン発酵では、動植物性残渣のみで乾式メタン発酵の条件：TS 濃度=15～40%を満たすことが困難な場合がある。乾式メタン発酵では、TS 濃度を調整するために、動植物性残渣と紙ごみ等の混合原料を使用する方法が採用されている。

6. 2 兵庫県内動植物性残渣の処理状況（アンケート調査）

兵庫県内の食品加工事業者、産業廃棄物処理業者（中間処理業者）を対象に実施したアンケート調査の概要を以下に記載する。

（１）アンケート調査概要

アンケート調査の内容は下記の通りであり、回収結果を表参 7 に示す。

① 動植物性残渣の中間処理を行っている中間処理業者に対するアンケート内容

- ・ 動植物性残渣の取引量、取引先（輸送距離）等の取引実態、取引量の将来予測
- ・ 動植物性残渣の種類、性状、課題
- ・ 現有処理システムの実態：「処理方法」、「再生利用目的」、「処理システム選定条件」、「再生利用の課題」等
- ・ メタン発酵施設に関する考え・意識

② 動植物性残渣を排出している食品加工事業者に対するアンケート内容

- ・ 動植物性残渣の種類、性状、排出量の将来予測
- ・ 取引先の選定理由、動植物性残渣の取引量等の取引実態
- ・ 自社処理の可能性、処理システム選定条件
- ・ メタン発酵施設に関する考え・意識

表参 7 中間処理業者及び食品加工事業者からのアンケート回収結果

中間処理業者：14 社 14 拠点
（回答率：60%）

地域	回収件数
神戸市	4
東播磨地区	2
姫路市	4
北播磨地区	4

（備考）アンケート回収期間：
2018 年 9 月 7 日（金）～10 月 9 日（火）

食品加工事業者：25 社 26 拠点
（回答率：62%）

地域	回収件数
神戸市	11
阪神南地区	1
阪神北地区	3
東播磨地区	3
北播磨地区	2
姫路市	2
中播磨地区	1
西播磨地区	2
丹波地区	1

（備考）アンケート回収期間：
2018 年 9 月 7 日（金）～11 月 2 日（金）

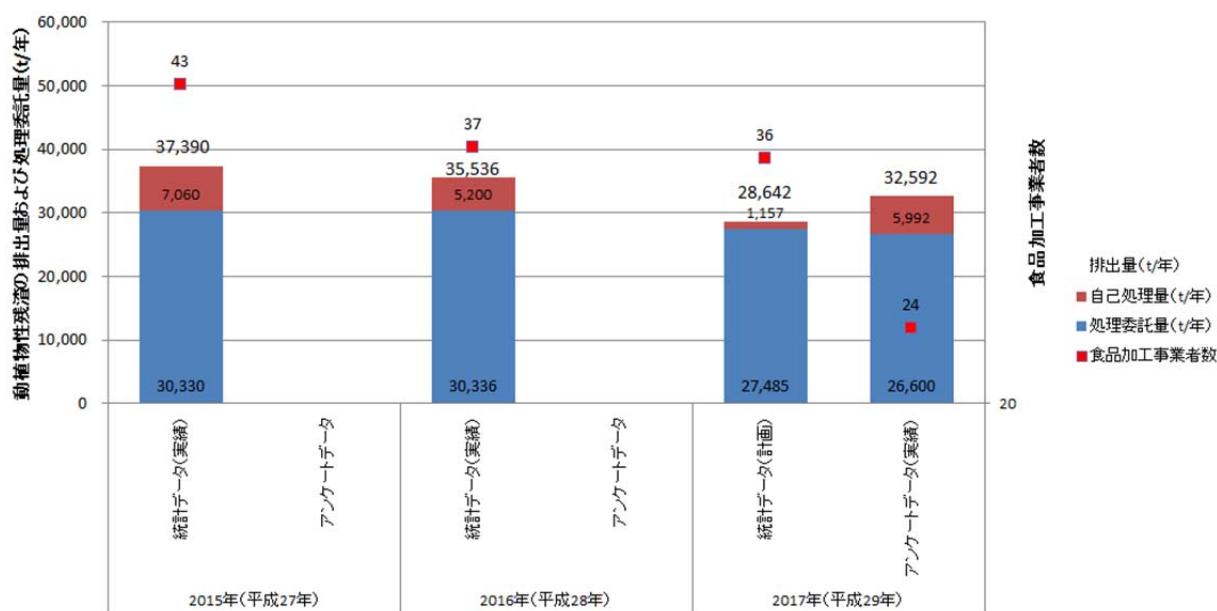
（２）動植物性残渣の賦存量

兵庫県における動植物性残渣の賦存量は、「多量排出事業者の産業廃棄物処理計画実施状況報告書」及びアンケート調査結果を基に集計した値を使用した。

兵庫県における食品加工業事業者による動植物性残渣排出量及び処理委託量の推移を図参 7 に示す。

「統計データ」は兵庫県の「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」に基づき、多量排出事業者の「動植物性残渣の排出量」、「自己処理量」、「処理委託量」それぞれの集計結果を示している。「動植物性残渣の排出量」等の集計結果⁴¹⁾は、「食品加工事業者」のうち、「産業廃棄物の多量排出事業者（排出量 $\geq$ 1,000 t/年）」の集計であり、多量排出事業者の食品加工事業者数の増減による影響が大きい。

図参6より、アンケート未回収の食品加工事業者及び多量排出事業者に含まれない食品加工事業者を考慮すると、兵庫県の食品加工事業者から排出される動植物性残渣は、最低でも 35,000 t/年の規模になると推察される。このうち、約 85%の動植物性残渣は食品加工事業者で自己処理されず中間処理業者、その他の外部処理業者により処理されていると推察される。

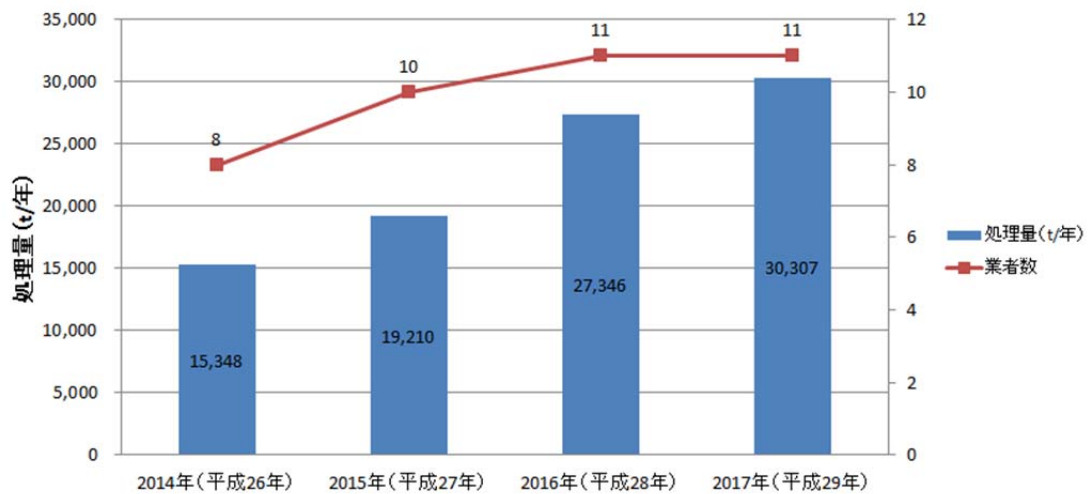


図参6 食品加工事業者による動植物性残渣の排出量、処理委託量のトレンドおよび食品加工事業者数
(備考) 食品加工事業者：24 社からの回答を集計

兵庫県における中間処理業者による動植物性残渣処理量の推移を図参7に示す⁴²⁾。中間処理業者による動植物性残渣の処理量は増加傾向を示している。この結果は、アンケート調査において、2014 年、2015 年のデータが未記入である中間処理業者が存在していることが影響している。また、中間処理業者個別の処理量推移は事業者毎に異なり、増加傾向、減少傾向、横ばい傾向を示すなど、一様ではない。2017 年（平成 29 年）において、中間処理業者の動植物性残渣処理量が食品加工事業者の動植物性残渣処理委託量を超えている。この理由の一つとして、県外の食品加工事業者から動植物性残渣を受け入れていることが挙げられる。

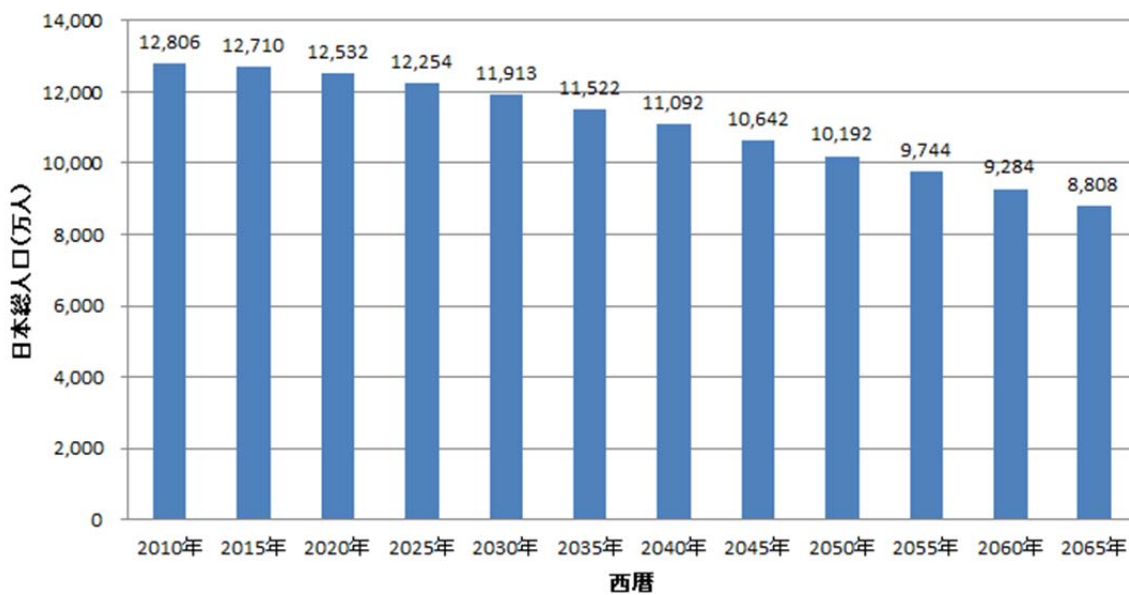
⁴¹⁾ 動植物性残渣の「排出量」および「自己処理量」に関する統計データは、産業廃棄物多量排出食品加工事業者が兵庫県または政令指定都市等の行政に提出した「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」に記載されているデータの集計である。「多量排出事業者」の定義は産業廃棄物を年間 1,000 t 以上排出する事業者である。したがって、排出量が年間 1,000 t 以下の場合、その年の「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」を行政に提出することが求められない。このため、図参6に示す統計データの「食品加工事業者数」、「動植物性残渣の排出量」、「動植物性残渣の処理委託量」は、「多量排出事業者」の増減に依存する。

⁴²⁾ 動植物性残渣の取引先食品加工事業者の中には、兵庫県外の食品加工事業者も含まれている。したがって、図参7に示す動植物性残渣の推移量には、兵庫県外で排出された動植物性残渣量も含まれている。



図参7 中間処理業者による動植物性残渣の処理量トレンドおよび中間処理業者数
(備考) 中間処理業者：11社からの回答を集計

動植物性残渣の賦存量の長期予測に関しては、人口減少による食品需要量の減少に伴い、動植物性残渣の処理量が減少する可能性がある。日本の総人口推移予測を図参8に示す。2030年の人口は、対2015年比で約6%減少すると予想されている。



図参8 日本の総人口の推移予測

(備考) 2010年と2015年における日本人総人口は総務省「国勢調査」、2016年の総人口は総務省「人口推計(平成28年10月1日確定値)」、2020年以降の総人口は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成29年推計)」の出生中位・死亡中位仮定による推計結果である

（３）動植物性残渣の種類

食品加工事業者から排出される動植物性残渣の種類、中間処理業者で処理している動植物性残渣の種類をまとめて表参8に示す。

表参8 排出される動植物性残渣の種類

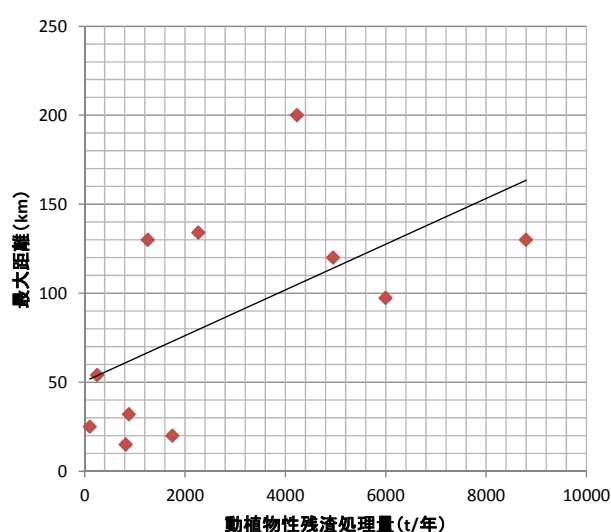
動植物性残渣の種類	含水率
飲料抽出残渣(コーヒー粕、茶粕)	70～98%
惣菜・弁当類加工廃棄物	20～80%
お菓子	1～2%
炭水化物(小麦粉・そば粉、澱粉、麺等)	小麦粉・そば粉、澱粉:10%前後 麺:50%前後
水産加工残渣(くらげ、貝類、魚卵、蒲鉾、ちくわ)	蒲鉾・ちくわ:17～28% その他:不明
肉(加工品含む)	不明
調味料(マヨネーズ、ドレッシング)	不明
卵の残渣(卵殻、ゆで卵等)	卵殻:20% ゆで卵:不明
野菜くず	70～90%
その他(植物、乾燥酵母等)	不明

備考：食品加工事業者（24社）、中間処理業者（14社）からの回答からの回答を集計。

（４）動植物性残渣の輸送距離

取引先の食品加工事業者から中間処理業者までの輸送距離（最大距離）と中間処理業者の動植物性残渣処理量の相関図を図参9に示す。

中間処理業者と食品加工事業者（取引先）までの輸送距離については「比較的近隣の食品加工事業者から動植物性残渣を入手している場合（50 km 以下）」と「遠方の食品加工事業者から入手している場合（100 km 以上）」に二極化している。動植物性残渣の処理量が 2,000 t/年を超える中間処理業者は、遠方まで範囲を拡げて動植物性残渣を入手していることがわかる。したがって、中規模以上の処理能力（ ≥ 5 t/日）を有するメタン発酵施設を導入する場合、施設の稼働率を一定の水準で維持するために、近隣だけではなく遠方の食品加工事業者から動植物性残渣を入手することが求められる可能性が高い。



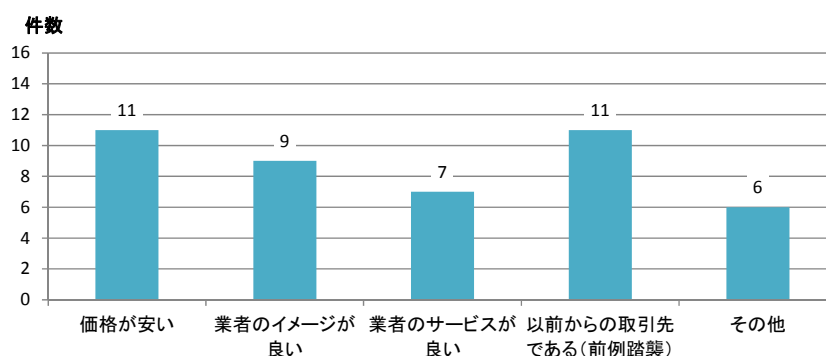
図参9 動植物性残渣獲得のための最大輸送距離と処理量の相関
（中間処理業者：11社からの回答）

（５）動植物性残渣の受入条件

食品加工事業者：7社から得られた回答から、食品加工事業者が中間処理業者に期待する受入条件を列挙する。

- ・ 適正な受入価格
- ・ 生産計画・実績（排出計画・実績）に合致した動植物性残渣の受入計画・実績
- ・ 排出量に見合う処理能力
- ・ 適正な処理
- ・ 法令遵守
- ・ 信頼、他

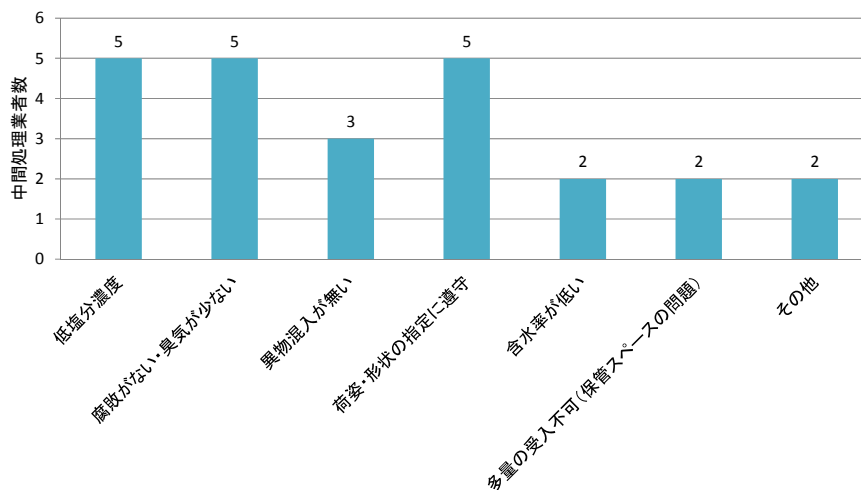
食品加工事業者が中間処理業者を選定する際の理由を図参10に示す。選定理由として、「受入価格が安い」、「業者のイメージが良い」、「業者のサービスが良い」等が挙げられている。また、「その他」では、「連絡・取引などがしやすく利便性が良い」、「適切に処理されていること」、「コンプライアンスが守られていること」、「再資源化が行われること」等が選定理由に挙げられている。これらの選定理由は、いずれも食品加工事業者が中間処理業者に期待する受入条件を反映した結果になっている。



図参10 食品加工事業者による中間処理業者の選定理由
(食品加工事業者：21社からの回答を集計)

食品加工事業者が中間処理業者に求める「業者のイメージが良い」、「業者のサービスが良い」に対する具体的なイメージは、「産業廃棄物処理の優良認定を受けている」、「自社の要望に柔軟に対応してくれる」、「地域住民との共生、社会貢献」などである。

中間処理業者が食品加工事業者に求める受入条件を図参11に示す。動植物性残渣の受入条件として、「低塩分濃度」、「腐敗が無い／臭気が少ない」、「異物混入が無い」、「荷姿・形状の指定を遵守」、「含水率が低い」、「多量の受入れ不可」等が挙げられている。「その他」では、「食べられるもの」、「繊維質が少ないもの」等が挙げられている。

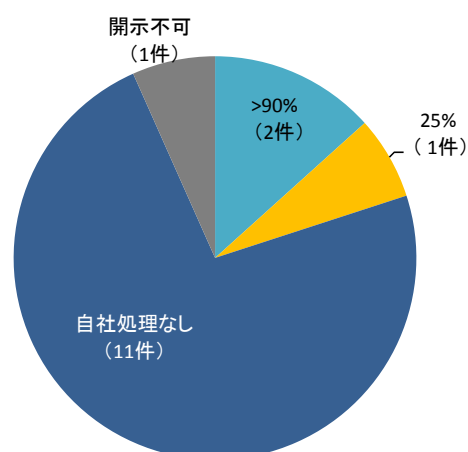


図参 1 1 食品加工事業者を求める中間処理業者の受入条件
(中間処理業者 10 社からの回答を集計)

動植物性残渣を受け入れる際のトラブルとして、「異物混入」(プラスチック等)を挙げている中間処理業者が 3 社あった。一方、「異物混入の可能性有り」と回答した食品加工事業者は 8 社あり、「惣菜・弁当類加工廃棄物」、「お菓子」、「水産加工残渣」、「炭水化物」を排出する処理業者からの回答が多い。

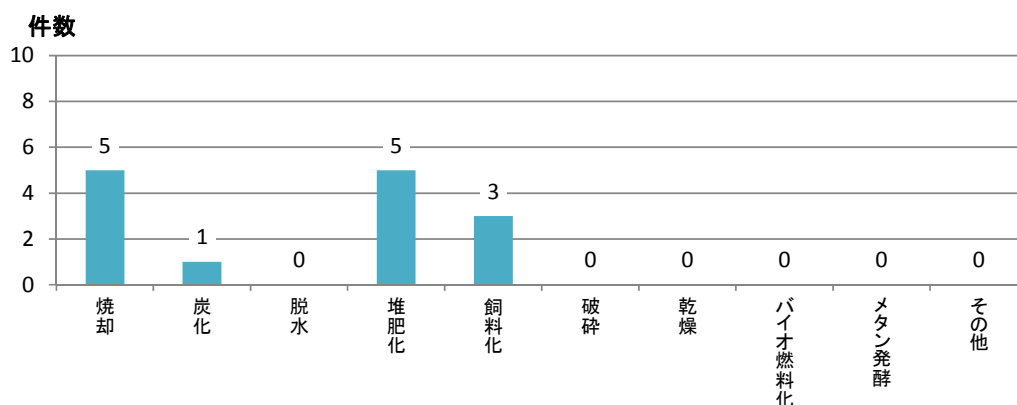
(6) 動植物性残渣の処理方法

食品加工事業者における動植物性残渣排出量に対する自社処理の割合を図参 1 2 に示す。アンケートに回答した 15 社のうち、11 社は自社処理を行っていない。自社処理を行っている食品加工事業者は 3 社あり、そのうち、2 社は動植物性残渣排出量のうち、90%以上をそれぞれメタン発酵処理、乾燥・肥料化処理している。残りの 1 社は、動植物性残渣排出量の 25%を自社処理している(処理方法は不明)。



図参 1 2 食品加工事業者における動植物性残渣の自社処理の割合
(食品加工事業者：15 社からの回答を集計)

兵庫県の間接処理業者による動植物性残渣の処理方法を図参 1 3 に示す。処理方法は、「堆肥化」、「飼料化」、「炭化」、「焼却」であり、「メタン発酵」は行われていない。

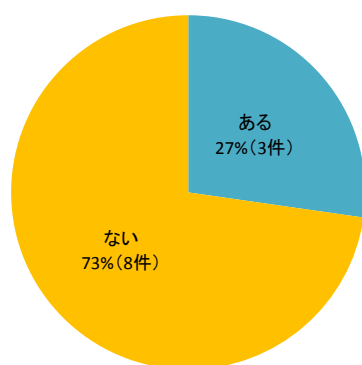


図参 1 3 中間処理業者による動植物性残渣の処理方法
(中間処理業者：14 社からの回答を集計)

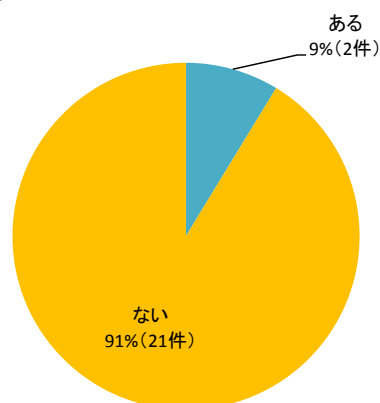
(7) メタン発酵施設導入の検討及びメタン発酵施設に関する評価

メタン発酵施設導入の検討有無に関するアンケート調査の結果を食品加工事業者、中間処理業者別に図参 1 4 に示す。メタン発酵施設の導入を検討したことがある食品加工事業者、中間処理業者はそれぞれ 2 社、3 社である。食品加工事業者：2 社のうち、1 社はメタン発酵施設の導入に至っている。中間処理業者：3 社のうち、1 社はメタン発酵施設の導入を検討中である。他の食品加工事業者、中間処理業者では、メタン発酵の導入に至っていない。

(a) 中間処理業者 11 社の集計



(b) 食品加工事業者：23 社の集計



図参 1 4 メタン発酵施設の導入に関する検討の有無

メタン発酵施設の導入に至った理由（食品加工業者 1 社）は下記の通りである。

- ・ 補助金、ESCO サービスを活用することにより、コストメリットがある。
- ・ 産業廃棄物の量を削減できる。

メタン発酵施設の導入に至らなかった理由（食品加工業者 1 社、中間処理業者 2 社）は下記の通りである。

- ・ 発酵後の消化液を処理するために、再度堆肥化処理が必要。（堆肥化処理施設を持つ中間処理業者）
- ・ 液肥の利用先の開拓が必要である。（中間処理業者）
- ・ 水処理の問題を解決することが必要。（中間処理業者）
- ・ 「発酵残渣の処理が課題。発酵速度が遅い。自社材料だけでは発酵が不安定。（食品加工事業者）

メタン発酵施設の導入を検討しなかった食品加工事業者、中間処理業者は、それぞれ 21 社、8 社である。食品加工事業者がメタン発酵施設の導入を検討しなかった理由は下記の通りである。

- ・ メタン発酵に関する情報不足。
- ・ 設備コストが高い（予算面の問題）。
- ・ 現状で満足。
- ・ 自社での管理ができない。
- ・ 臭気の問題がある。
- ・ 排出している動植物性残渣がメタン発酵に適していない。

中間処理業者によるメタン発酵施設の評価は下記の通りである。

- ・ なんらかの施設（既存施設）にメタン発酵施設を併設することにより、経済性効果が高まる。
- ・ 消化液の処理先確保が必要な設備であり、消化液の処理先確保ができれば、メタン発酵施設により電気、熱、燃料を取り出すことができる。ただし、設備費が高い。

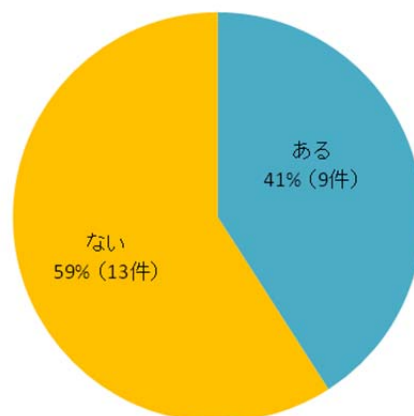
食品加工事業者はメタン発酵施設に対して、「メタン発酵によりエネルギーを取り出すことができ、残渣物を有効利用できる」という点に期待している。

不安材料として、「安定に稼働できるのか、確立された技術なのか?」、「動植物性残渣の受入量を確保できるのか?」、「消化液排水処理における技術及びコストは?」、「脱水汚泥の処理コストは?」、「臭気・周辺環境への影響は?」、「含水率の低い原料を使用する場合のメタン発酵は?」等がある。

（８）公的支援への期待

食品加工事業者において、メタン発酵に取り組む場合の公的支援に対する興味の有無を図参 15 に示す。約 40%（9 社）の業者がメタン発酵施設の公的支援に興味を示している。メタン発酵施設の導入に様々な不安を持ちながらも、公的支援に強い関心を示していることがわかる。

中間処理業者において、メタン発酵に取り組む場合の公的支援に対する興味を示している業者は 1 社のみであった。「技術指導」、「費用補助」、「副産物処理（消化液などの処理）」等様々な公的支援を期待している。



図参 15 メタン発酵に取り組む場合の公的支援に対する興味の有無
（食品加工事業者：22 社からの回答を集計）

6. 3 メタン発酵施設の導入検討に用いる補足資料

(1) メタン発酵施設の事業者別導入パターン

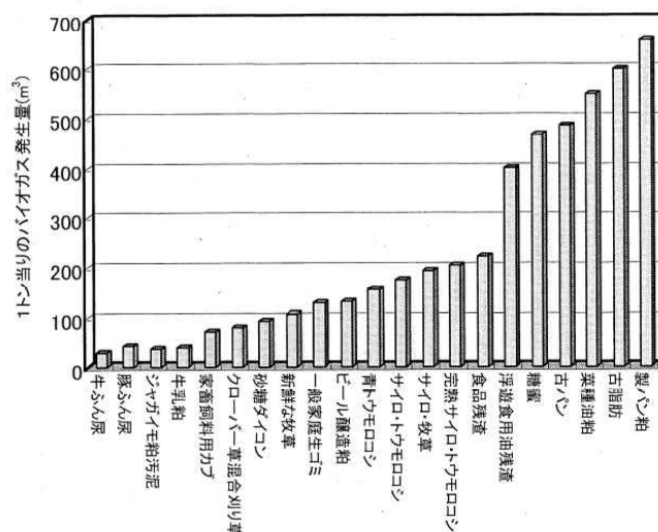
メタン発酵施設の処理能力別導入パターン（本文表5）を「メタン発酵施設の事業者別導入パターン」として再整理した結果を表参9に示す。「メタン発酵施設の事業者別導入パターン」は、各種事業者がメタン発酵施設の導入を検討する際に有用な参考資料になる。

表参9 メタン発酵施設の事業者別導入パターン

各種事業者	プラント導入目的	バイオガス利用	発酵残渣利用・処理に関する方針	発酵残渣利用・処理方法	処理規模	備考欄
食品加工事業者	- 食品加工事業者の食品残渣の自前処理による委託処理コスト削減 - 食品加工プラントでの熱(蒸気)・電気コスト削減 - バイオガス発電による売電収入	バイオガス脱硫→バイオガスボイラー／バイオガス発電→売電／食品加工プラントの熱(蒸気)・電気供給	- 既存の水処理設備を活用して消化液を水処理する - 固形分を排熱利用により減容化し、外部委託により焼却処理する	固液分離→脱水→ (液体)水処理→放流 (固形物)減容化→焼却(外部委託) 外部委託による固形物焼却処理コストは、固形物の含水率に強く依存し、事業性支配因子の一つになる。	食品加工事業者の食品残渣排出量に依存	- 小規模の処理量の場合 バイオガスボイラーを推奨する(ボイラーと発電機のコスト比較より) - 湿式メタン発酵では、原料槽(可溶化槽)への消化液返送を推奨する(目的:希釈水削減／消化液発生量削減)
中間処理業者 (堆肥化施設有り)	- 堆肥化施設の熱(蒸気)・電気コスト削減 - 消化液による堆肥化施設の堆肥化温度調整 - バイオガス発電による売電収入 - 消化液の液肥利用(農村地域)	バイオガス脱硫→バイオガス発電→売電／堆肥化施設の熱(蒸気)・電気供給	- 消化液の農地還元が可能であれば、消化液を液肥として利用する - 消化液の農地還元が困難であれば、 堆肥化施設で消化液の一部利用(液肥／堆肥化)し、残りの消化液をできるだけ減容化して外部委託により焼却処理する * 水処理施設の導入費・ランニングコスト・固形分焼却処理委託費と売電収入のバランスにより、水処理施設の導入と処理量の最適化を図る	- 消化液→堆肥化施設(堆肥化温度制御) - 消化液→液肥 - 消化液→固液分離* *→(液体)水処理 *→(固形物)堆肥化 *→(固形物)減容化→燃料化(助燃剤) *→(固形物)減容化→焼却(外部委託) 外部委託による固形物焼却処理コストは、固形物の含水率に強く依存し、事業性支配因子の一つになる。	- 消化液の利用量／売電量のバランスに依存 - メタン発酵バイオガス発電プラントの損益分岐点: * 水処理設備導入有りの場合の処理量:30～50 t/日以上 * 水処理設備導入無しの場合の処理量:20～30 t/日以上	消化液の液肥利用、固形分の堆肥利用が十分には見込めない場合 ・湿式メタン発酵では、原料槽(可溶化槽)への消化液返送を推奨する(目的:希釈水削減／消化液発生量削減) ・売電を主目的とする場合 水処理設備を導入し、30～50 t/日以上以上の処理量を推奨する * 消化液発生量を抑制するために、湿式メタン発酵において原料槽(可溶化槽)への消化液返送方式を推奨する ・乾式メタン発酵では固形物の発酵残渣が大量に発生する。固形物の焼却処理を必要とする場合、焼却施設を保有していなければ、乾式メタン発酵を推奨しない
中間処理業者 (飼料化施設有り)	- 飼料化施設の熱(蒸気)・電気コスト削減 - バイオガス発電による売電収入 - 消化液の液肥利用(農村地域)	バイオガス脱硫→バイオガス発電→売電／飼料化施設の熱(蒸気)・電気供給	- 消化液の農地還元が可能であれば、消化液を液肥として利用する - 消化液の農地還元が困難であれば、消化液をできるだけ減容化して外部委託により焼却処理する * 水処理施設の導入費・ランニングコスト・固形分焼却処理委託費と売電収入のバランスにより、水処理施設の導入と処理量の最適化を図る	- 消化液→液肥 - 消化液→固液分離* *→(液体)水処理 *→(固形物)堆肥化 *→(固形物)減容化→燃料化(助燃剤) *→(固形物)減容化→焼却(外部委託) 外部委託による固形物焼却処理コストは、固形物の含水率に強く依存し、事業性支配因子の一つになる。		
中間処理業者 (焼却施設／燃料化施設有り)	- 焼却施設／燃料化施設の稼働率向上 - 焼却施設の燃料・助燃剤コスト削減 - バイオガス発電による売電収入	バイオガス脱硫→バイオガス発電→売電	- 既存の焼却施設／燃料化施設を活用して発酵残渣を焼却処理／燃料化する - 固形分を排熱利用により減容化し、焼却施設／燃料化施設の負担を軽減する	減容化→焼却(自社焼却炉)／燃料化	・焼却炉／燃料化設備の空き容量に依存	- 乾式の高温メタン発酵を推奨する - 乾式では紙類との混合原料の使用を推奨する

(2) 各種原料のバイオガス発生量

各種原料のバイオガス発生量（例）を図参 16、表参 10 に示す。



図参 16 各種原料 1 t あたりのバイオガス発生量

出典：「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」

（社）環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課（平成 29 年 3 月）

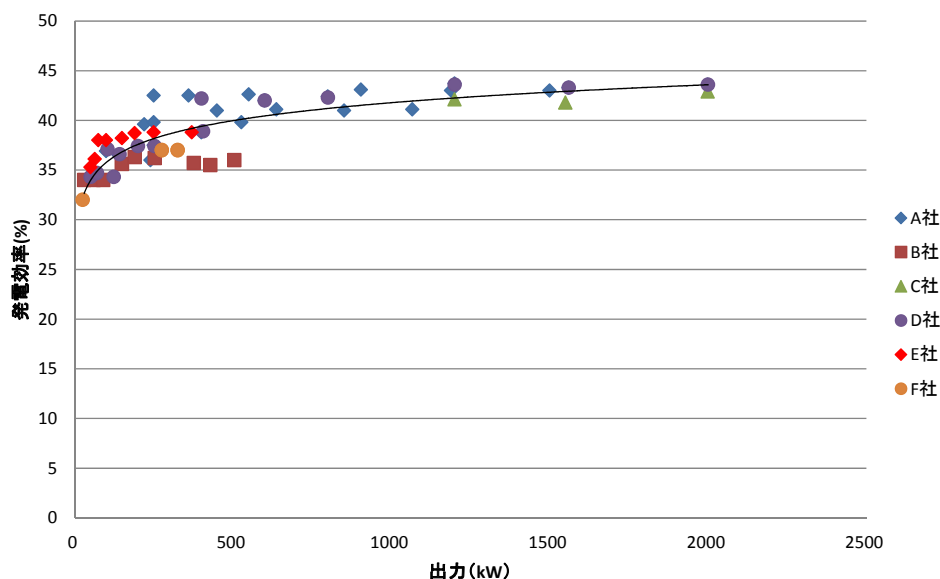
表参 10 各種原料のバイオガス発生効率

メタン発酵原料	種類	含水率	TS濃度	バイオガス発生効率 (Nm ³ /t-VS)	バイオガス発生効率 (Nm ³ /t-原料)
動植物性残渣	ハムソーセージ等	0.65	0.35	612	214
	野菜くず	0.90	0.10	350	35
	米	0.90	0.10	341	34
	肉くず	0.65	0.35	612	214
	ゆで卵(卵殻無し)	0.76	0.24	638	153
	糖蜜	0.65	0.35	650	228
	廃棄クリーム	0.95	0.05	649	32
	菓子・麵くず	0.10	0.90	342	308
	弁当総菜くず	0.90	0.10	450	45
	コーヒーかす	0.65	0.35	298	104
廃酸	牛乳	1.00	0.00	649	0
汚泥	食品工場脱水ケーキ	0.84	0.16	450	72
	下水処理施設脱水ケーキ	0.84	0.16	450	72

（備考）各種メタン発酵原料のバイオガス発生効率（Nm³/t-VS）は、文献値より引用した。「野菜くず：350、脱水ケーキ：450」は、「家畜糞尿利用バイオガスシステム導入の現状と課題—中国・新疆ウイグル自治区を事例として—（新潟大学）」、「肉くず：612（ハムソーセージ等も同等と仮定）、米：341（炭水化物系の数値代用）、ゆで卵：638、廃棄クリーム／牛乳：649（乳製品の数値代用）、菓子・麵くず：342、コーヒーかす：298、乾燥飼料くず（草等）：230（麦わらの数値代用）」は、「生ゴミ嫌気発酵によるメタン及び水素生成ポテンシャル（国立環境研究所、東北大、福島大）、環境技術、Vol. 40, No. 3 (2011) pp. 159-166」、「糖蜜：650（シロップの数値代用）」は、「シロップ廃液を用いたメタン発酵システムの開発とその後の展望（山梨罐詰株式会社）」、「弁当総菜くず：450（食品残渣の数値代用）」は、「メタンガス化施設整備マニュアル 平成 28 年 3 月（環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課）」よりそれぞれ抜粋した。各文献に複数の値が記載されている場合には、平均値を使用した。

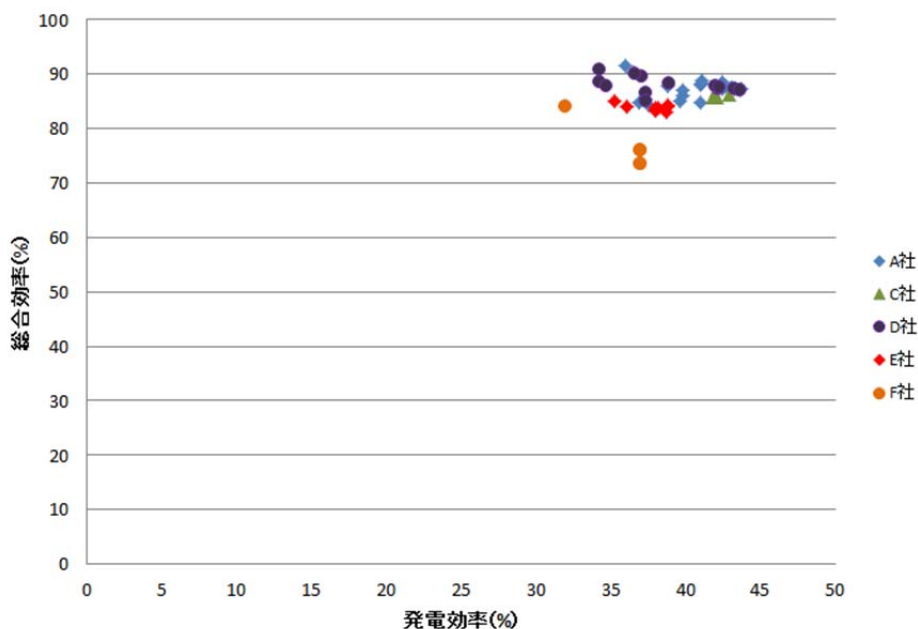
(3) ガスエンジンの発電特性

ガスエンジンの発電特性を図参 1 7 ～図参 1 8 に示す。



図参 1 7 バイオガスエンジン発電機の出力和発電効率

- 備考: (1) A/C/D/E は海外メーカー、B/F は国内メーカー
 (2) 各社の諸元データを使用して作成
 (3) 海外メーカーの諸元にはバイオガスのメタン濃度の記載が無いため、海外と国内のバイオガスエンジン発電機の発電効率を同一条件で比較できていない可能性がある。



図参 1 8 バイオガスエンジン発電機の発電効率と総合効率

- 備考: (1) A/C/D/E は海外メーカー、B/F は国内メーカー
 (2) 各社の諸元データを使用して作成
 (3) 海外メーカーの諸元にはバイオガスのメタン濃度の記載が無いため、海外と国内のバイオガスエンジン発電機の発電効率を同一条件で比較できていない可能性がある。

(4) 消化液組成の原料依存性

メタン発酵消化液の組成は、液肥化を行う上で重要な項目であるが、メタン発酵に投入する原料毎に消化液の組成は異なる（表参 1 1）。家畜ふん尿由来のバイオマスでは、リン酸（ P_2O_5 ）の含有量が多いのに対して、食品加工残渣由来ではリン酸の含有量は少ない。また、これらの消化液は、全窒素（T-N）に含まれる「アンモニア態窒素（ NH_4-N ）」の含有量が多く、「亜硝酸態窒素（ NO_2-N ）」と「硝酸態窒素（ NO_3-N ）」はほとんど含まれない。

表参 1 1 投入原料ごとの消化液組成

項目	単位	施設 A	施設 B	施設 C	施設 D	施設 E	施設 F
		乳牛ふん尿	乳牛ふん尿	豚ふん尿 (洗浄水含む)	生ごみ	食品加工残渣・ 生ごみ	野菜加工残渣・ 乳牛ふん尿
水分	%	93.9	95.9	98.3	98.2	97.4	97.5
pH		8.03	7.66	7.79	8.04	8.08	7.48
EC	S/m	1.97	1.96	0.82	2.05	1.49	1.43
C/N 比		5.2	2.9	2.8	1.8	2.4	4.5
全炭素	mg/L	17,000	9,790	3,620	4,930	3,900	8,180
全窒素(N)	mg/L	3,270	3,390	1,290	2,710	1,640	1,820
アンモニア態窒素(NH_4-N)	mg/L	1,480	1,740	731	1,550	961	798
亜硝酸態窒素(NO_2-N)	mg/L	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
硝酸態窒素(NO_3-N)	mg/L	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
リン酸(P_2O_5)	mg/L	2,175	1,228	612	733	545	926
カリ(K_2O)	mg/L	3,542	3,867	590	1,433	2,289	3,096
苦土(MgO)	mg/L	-	1,096	-	13	71	-
石灰(CaO)	mg/L	-	2,239	-	57	34	-
ナトリウム	mg/L	-	850	-	1,480	1,120	-
塩化物イオン	mg/L	1,100	1,390	307	1,520	1,030	786
粗脂肪(油分)	mg/L	-	-	-	17.8	26.2	24.6
SS	mg/L	33,900	26,700	9,630	10,500	15,900	14,900
VSS	mg/L	22,300	17,900	7,510	6,340	10,600	11,000
TS	mg/L	61,200	41,300	17,200	17,800	26,200	24,600
VS	mg/L	40,500	24,200	11,600	8,730	14,800	14,300
CODMn	mg/L	17,800	14,100	3,290	4,200	8,010	7,880
CODCr	mg/L	-	-	-	12,900	18,000	-
BOD	mg/L	2,710	2,320	1,150	1,890	2,430	1,640
TOC	mg/L	6,250	6,220	738	406	1,860	3,840

出典：畜産環境整備機構「メタン発酵消化液の濃縮改質による野菜栽培利用マニュアル」

(5) 兵庫県の肥料年間需要量

液肥の最大施用可能量は、農地面積と単位面積あたりの液肥施用量により求める。

兵庫県が開示している「作物品種別の作付面積」及び「兵庫県 環境負荷軽減に配慮した各種作物の施肥基準」に基づき、兵庫県における肥料成分（窒素、リン酸、カリウム）の需要量を算出する。

計算方法：

$$\text{作物の作付面積① (ha)} \times \text{各作物の施肥基準② (kg/ha/年)} = \text{各作物の年間肥料使用量③ (t/年)} \\ \times 1,000 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma \{ \text{各作物の年間肥料使用量③ (t/年)} \} = \text{兵庫県内の年間肥料需要量 (t/年)} \quad \dots (2)$$

算出の結果、兵庫県における肥料成分の年間需要量は窒素：5,980 t、リン酸：3,856 t、カリウム：6,257 tとなる。

「メタン発酵消化液の濃縮改質による野菜栽培利用マニュアル」（畜産環境整備機構）において、食品加工残渣・生ごみを原料としたメタン発酵施設の消化液成分事例が公開されている（表参12）。この消化液の成分（T・N：全窒素）を基本にして、上記肥料需要量に相当する消化液施用量を試算する。

消化液液肥量試算⑤（T・N 基準）（L/ha）＝

$$\{ \text{各作物の窒素施肥基準④ (kg/ha)} \times 1,000 \} / 1.64 \text{ (g/L)} \quad \dots (3)$$

$$\text{県内における液肥施用量⑥ (kL)} = \Sigma \{ \{ \text{各作物の作付面積④ (kg/ha)} \times 1000 \} \times \\ \{ \text{各作物の作付面積① (ha)} \} / 1.64 \text{ (g/L)} \} \quad \dots (4)$$

表参12 食品加工残渣・生ごみを原料としたメタン発酵施設の消化液成分

単位：無記載の場合は mg/L

水分(%)	97.4	石灰(CaO)	34
pH	8.08	ナトリウム	1,120
EC(S/m)	1.49	塩化物イオン	1,030
C/N 比	2.4	粗脂肪(油分)	26.2
全炭素	3,900	SS	15,900
全窒素(N)	1,640	VSS	10,600
アンモニア態窒素(NH ₄ -N)	961	TS	26,200
亜硝酸態窒素(NO ₂ -N)	<0.3	VS	14,800
硝酸態窒素(NO ₃ -N)	<0.3	CODMn	8,010
リン酸(P ₂ O ₅)	545	CODCr	18,000
カリ(K ₂ O)		BOD	2,430
苦土(MgO)	71	TOC	1,860

兵庫県における農作物品種別肥料年間需要量、液肥施用可能量の算出結果を表参13に示す。

表参 1 3 兵庫県内の肥料の年間需要量

品 種	①2016 年 作付面積 (ha)	②施肥量総量試算用 (kg/ha/年)			③県内における肥料の 年間需要(t/年)			⑤消化液施 肥量試算 (kL/ha)	⑥県内における 消化液施用量 (kL)
		④N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
水陸稲	37,000	80	55	80	2,960	2,035	2,960	49	1,804,878
麦	2,400	120	60	120	288	144	288	73	175,610
かんしょ	231	40	50	70	9	12	16	24	5,634
大豆	2,630	60	70	135	158	184	355	37	96,220
小豆	699	70	100	105	49	70	73	43	29,835
ばれいしょ	345	150	100	200	52	35	69	91	31,555
きゅうり	189	400	200	400	76	38	76	244	46,098
トマト	265	250	150	350	66	40	93	152	40,396
なす	214	600	200	600	128	43	128	366	78,293
すいか	256	150	100	200	38	26	51	91	23,415
キャベツ	828	400	150	400	331	124	331	244	201,951
はくさい	464	350	150	350	162	70	162	213	99,024
ほうれんそう	284	150	50	150	43	14	43	91	25,976
ねぎ	329	200	100	200	66	33	66	122	40,122
たまねぎ	1,720	200	150	200	344	258	344	122	209,756
レタス	1,260	200	100	200	252	126	252	122	153,659
だいこん	445	200	150	200	89	67	89	122	54,268
いちご	180	150	100	150	27	18	27	91	16,463
しゅんぎく	115	100	20	100	12	2	12	61	7,012
にんじん	121	150	150	150	18	18	18	91	11,067
かぼちゃ	191	100	150	100	19	29	19	61	11,646
メロン(注 3)	47	80	80	100	4	4	5	49	2,293
こまつな	129	80	30	80	10	4	10	49	6,293
ちんげんさい	54	80	30	80	4	2	4	49	2,634
ごぼう	33								
かぶ	46	160	60	120	7	3	6	98	4,488
さといも	167	150	100	180	25	17	30	91	15,274
れんこん	36	250	250	250	9	9	9	152	5,488
さやえんどう	92	130	150	120	12	14	11	79	7,293
グリーンピース	22	130	150	120	3	3	3	79	1,744
そらまめ	41								
スイートコーン	112	250	150	250	28	17	28	152	17,073
えだまめ	276	30	40	70	8	11	19	18	5,049
さやいんげん	78	240	150	240	19	12	19	146	11,415
ピーマン	102	400	300	400	41	31	41	244	24,878
セロリ	3	500	250	500	2	1	2	305	915
カリフラワー	10	350	200	400	4	2	4	213	2,134
やまのいも	103	250	200	250	26	21	26	152	15,701
にら	6	500	150	500	3	1	3	305	1,829
ブロッコリー	121	300	150	300	36	18	36	183	22,134
みかん	168	160	180	120	27	30	20	98	16,390
日本なし	65	150	90	120	10	6	8	91	5,945
くり	530	150	135	135	80	72	72	91	48,476
びわ	43	320	330	180	14	14	8	195	8,390
なたね	24								
青刈とうもろこし	151	140	120	140	21	18	21	85	12,890
牧草	1,010	210	70	210	212	71	212	128	129,329
ソルゴー	789	240	120	240	189	95	189	146	115,463
合計(t/年)					5,980	3,856	6,257		3,646,396

※「施肥基準」に記載されていない「ごぼう」「そらまめ」「なたね」については、作付け面積が小さいため試算から省略した。
 ※栽培条件や播種時期によって施肥量が異なる作物もあるが、平均値を用いて計算した。

※作付面積出典：「兵庫県統計書」 https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk11/ac08_1_000000124.html

（６）脱水ケーキの利用方法及び利用設備

① コンポスト化（堆肥化）

堆肥化として利用する場合、発酵残渣に含まれる栄養分を堆肥として農地還元／緑地還元する。必要な施設として、発酵残渣を固液分離するための脱水施設、必要に応じて含水率を調整するための乾燥施設、堆肥の性状を安定化させるための堆肥化施設（好気性発酵処理）等が挙げられる。

② 燃料化

燃料化として利用する場合、脱水ケーキを炭化处理または乾燥処理して、固形燃料または粉末燃料として利用する。必要な施設として、発酵残渣を固液分離するための脱水施設、必要に応じて含水率を調整するための乾燥施設（乾燥処理）、炭化施設（炭化处理）等が挙げられる。

炭化处理では、加熱炉等を利用して酸素の無い状態で脱水ケーキを熱分解させることにより、高い発熱量を持つ炭化物を製造することができる。炭化温度により、低温炭化（250～350℃）、中温炭化（400～600℃）、高温炭化（700℃以上）に区分される。高温炭化では炭化が進行するため、炭化物の発熱量は少ないが、廃熱利用量が大きくなるため補助燃料消費量は少なくなる。一方、低温炭化では炭化物の発熱量は大きい、補助燃料消費量が多くなる。

脱水ケーキを乾燥させて助燃剤として利用することにより、石炭、重油の使用量を節減でき、CO₂排出量を低減できる。脱水ケーキ、石炭、重油の各低位発熱量（例）、CO₂排出係数を表参 1 4 に示す⁴³⁾。

表参 1 4 各種燃料の低位発熱量（例）と CO₂ 排出係数

燃料	低位発熱量(例)	CO ₂ 排出係数
脱水ケーキ	15.0 MJ/kg(含水率 20%)	0 kg CO ₂ /kg(カーボンニュートラル)
石炭	25.3 MJ/kg	2.41 kg CO ₂ /kg
A 重油	37.1 MJ/L	2.71 kg CO ₂ /L

（備考）「高位発熱量は燃焼後の生成物を燃焼前の温度に戻し、生成した水蒸気がすべて凝縮したときに得られる凝縮潜熱を含めた発熱量」であり、「低位発熱量は、水蒸気のままで凝縮潜熱を含まない発熱量であり、高位発熱量から水蒸気凝縮潜熱を差し引いたもの」である。

脱水ケーキを石炭、A 重油の代替燃料として利用できると仮定すれば、脱水ケーキ：1 kg 当たり最大で石炭：0.59 kg、A 重油：0.40 L を削減できる。また、脱水ケーキ：1 kg 当たり石炭、A 重油に比べて最大で 1.42 kg CO₂、1.08 kg CO₂ の削減効果が見込まれる。

③ 建築資材化

建設資材化として利用する場合、セメント原料の場合は主に脱水ケーキをそのままセメント業者に処理委託することが考えられるが、この他に焼却処理による焼却灰、溶融処理による溶融スラグを路盤材、埋め戻し材等に加工して、販売する方法がある。必要な施設として、発酵残渣を固液分離するための脱水施設、必要に応じて含水率を調整するための乾燥施設、溶融施設（溶融処理）、焼却施設（焼却処理）が挙げられる。

⁴³⁾ 石炭、A 重油の低位発熱量、CO₂ 排出係数は、下記のリンク資料を参照した。

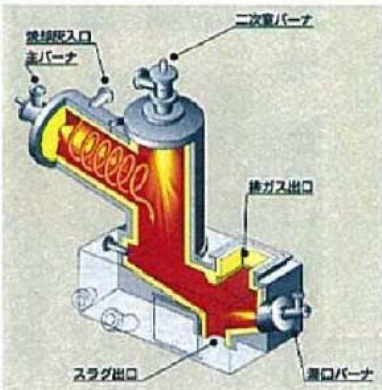
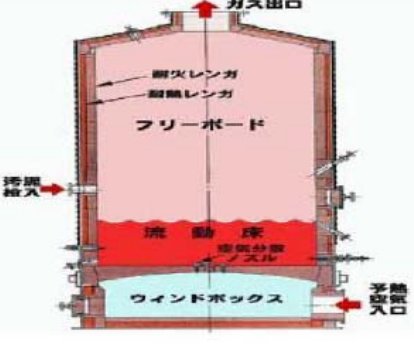
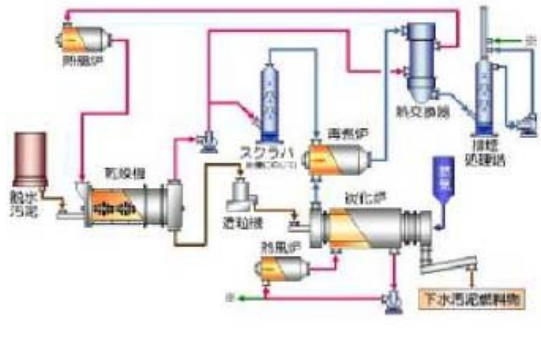
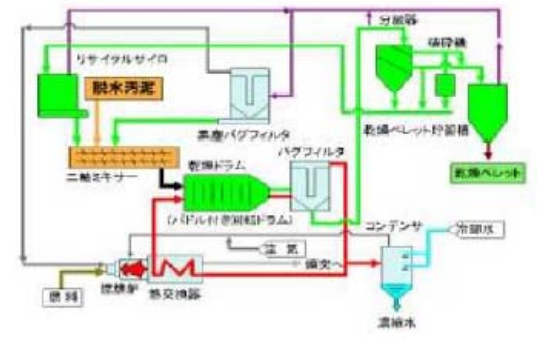
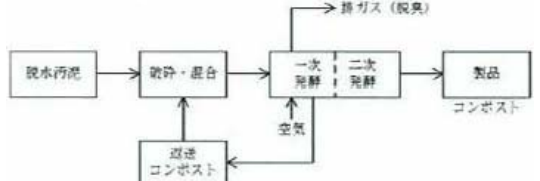
<https://www.pref.miyazaki.lg.jp/sanson-mokuzai/shigoto/ringyo/documents/000141336.pdf#search=%27%E7%9F%B3%E7%82%AD+%E7%99%BA%E7%86%B1%E9%87%8F%27>

④ その他

脱水ケーキを焼却炉で燃焼させて蒸気タービン発電を行うことができる。国内プラントメーカーでは、バイオガス回収メタン発酵施設と焼却炉が一体となったコンバインドシステムを開発している。焼却炉の廃熱ボイラーからの蒸気を利用する「蒸気タービン発電」とメタン発酵施設で発生するメタンガスを利用する「バイオガス発電」の二種類の発電が可能となり、焼却炉単独での処理に比べて、高効率にエネルギーを回収できる。焼却に適したごみは焼却炉、メタン発酵に適したごみはメタン発酵施設で処理することにより、ごみが持つエネルギーを最大まで引き出すことができる。

脱水ケーキの各種処理方法（処理方式）と特徴をまとめて**表参 15**に示す。なお、脱水ケーキの発電利用に関する例は**表参 15**には含まれていない。

表参 1 5 脱水ケーキの処理方法の方式と特徴

方式		溶融	焼却	炭化	乾燥	コンポスト
概要		 処理場において脱水汚泥を溶融、減量化する。発生する溶融スラグは建設資材として利用可能。	 処理場において脱水汚泥を焼却処分する。発生する焼却灰は建設資材、緑農地利用向け等で利用可能。	 処理場において脱水汚泥を炭化処理し、固形燃料として利用する。	 処理場において脱水汚泥を乾燥処理し、固形燃料として利用する。	 処理場において脱水汚泥を堆肥化させ、コンポスト汚泥を肥料等緑農地利用する。
	特徴	- 脱水汚泥を溶融し減量化する。 - 溶融スラグは建設資材として利用可能である。 - 経済的には最も高価になる。	- 脱水汚泥を焼却し減量化する。 - 焼却灰は建設資材、緑農地利用向けに利用可能である。 - 焼却灰からリン回収も可能である。 - 既存施設で知見があり、維持管理の観点で有利である。	- 脱水汚泥を炭化処理し減量化する。 - 炭化汚泥は活性炭、緑農地利用、固形燃料として利用可能である。 - 溶融、焼却に比べ比較的安価である。	- 脱水汚泥を乾燥処理し減量化する。 - 乾燥汚泥は建設資材、緑農地利用、固形燃料として利用可能である。 - 溶融、焼却に比べ比較的安価であるである。	- 脱水汚泥を堆肥化させ、コンポストを生成する。 - コンポストは緑農地利用が可能である。 - 溶融、焼却に比べ比較的安価である・広い設置スペースが必要になる。 - 製品の保管時に臭気が問題となる可能性があり留意を必要とする。
製造フロー		脱水汚泥(焼却灰) ↓ 溶融 ↓ 溶融スラグ ↓ 場外搬出 (建設資材利用)	脱水汚泥 ↓ 焼却 ↓ 焼却灰 ↓ 場外搬出 (建設資材利用、緑農地利用、リン回収)	脱水汚泥 ↓ 炭化施設 ↓ 炭化汚泥 ↓ 場外搬出 (燃料利用)	脱水汚泥 ↓ 乾燥施設 ↓ 乾燥汚泥 ↓ 場外搬出 (燃料利用)	脱水汚泥 ↓ コンポスト施設 ↓ コンポスト ↓ 場外搬出 (燃料利用)
製品品質		スラグ中に重金属類が封じ込められ、安全性が高い。	品質が安定しており、重金属等は土壤環境基準値以下である。	燃料の利用先で要求する品質を確保する必要がある。	燃料の利用先で要求する品質を確保する必要がある。	肥料取扱法が改正され、品質表示義務など、品質管理が強化された。
主な用途	建設資材	コンクリート骨材、路盤材、タイル等の利用。	・路盤材、セメント原料等の利用。			
	緑農地利用		・肥料として利用。	・土壌改良材等として利用。	・土壌改良材等として利用。	・肥料として利用。
	燃料化利用			・火力発電の燃料として利用。	・火力発電の燃料として利用。	
需要と安定性	建設資材	建設資材は公共事業での需要が見込まれるが、減少傾向に向かうものと考えられる。需要先の確保に相当な努力が必要であると考えられる。	建設資材は公共事業での需要が見込まれるが、減少傾向に向かうものと考えられる。需要先の確保に相当な努力が必要であると考えられる。		建設資材は公共事業での需要が見込まれるが、減少傾向に向かうものと考えられる。需要先の確保に相当な努力が必要であると考えられる。	
	緑農地利用		大きな規模での緑農利用は需要先の確保に相当な努力が必要であると考えられる。また、長期安定利用の面でも不安がある。	大きな規模での緑農利用は需要先の確保に相当な努力が必要であると考えられる。また、長期安定利用の面でも不安がある。	大きな規模での緑農利用は需要先の確保に相当な努力が必要であると考えられる。また、長期安定利用の面でも不安がある。	大きな規模での緑農利用は需要先の確保に相当な努力が必要であると考えられる。また、長期安定利用の面でも不安がある。下水汚泥の場合は重金属等が混入するリスクがあるため、品質管理が大きな問題である。
	燃料化利用			固形燃料は、近隣に都市があれば火力発電の代替燃料として需要が見込まれる。固形燃料の引き取り利用まで含めた長期契約ができる可能性がある。	固形燃料は、近隣に都市があれば火力発電の代替燃料として需要が見込まれる。固形燃料の引き取り利用まで含めた長期契約ができる可能性がある。	
周辺環境		周辺環境に配慮した、臭気対策を行うことで対応できる。	周辺環境に配慮した、臭気対策を行うことで対応できる。	炭化汚泥の場合、臭気が低減された製品に改質されている。	乾燥汚泥の場合、特に製品の臭気が強い、搬送時や利用先において対策が必要である。ただし、近年は臭気対策を行うことで対応できる場合もある。	コンポストの場合、製品の保管時に臭気が問題となる可能性があり、留意が必要な施設の一つといえる。
省エネルギー・温暖化対策		約 1300℃の高温で溶融するため、エネルギー消費が大きく、二酸化炭素の排出量が多い。	約 850℃の高温で焼却するため、エネルギー消費が大きく、二酸化炭素の排出量が多い。	燃料化利用は温室効果ガスの発生量を低減できるため、有効利用の形態では望ましい。	燃料化利用は温室効果ガスの発生量を低減できるため、有効利用の形態では望ましい。	緑農地利用は本来の意味での循環利用となり、有効利用の形態では望ましい。焼却や溶融に比べて、エネルギー消費が少なく、二酸化炭素排出量も少ない。
総合評価		経済性が劣る他、溶融スラグについて将来の安定利用の面で不確実性がある。	既存設備で知見があり、維持管理性で有利である。	将来の引き取り契約ができる可能性があり、最も安定的な利用が維持できる。また、比較的安価である他、温室効果ガス削減に寄与する。	将来の引き取り契約ができる可能性があり、最も安定的な利用が維持できる。また、比較的安価である他、温室効果ガス削減に寄与する。	比較的経済的であり、また、有効利用としては、本来の意味での循環利用となり価値がある。しかし、都市部では用地の確保が困難な可能性がある。

出典：洛西浄化センター汚泥処理方式検討委員会〈第 1 回〉開催結果（平成 23 年 11 月）より抜粋

（７）脱水ろ液の各種水処理方法

各種水処理方法について、「除去対象物質」、「処理時間」、「費用」、「スペース」の視点からプラントメーカーの協力を得て比較検討した結果を表参 16 に示す。

評価基準は以下の通りとした。

- ・ 「除去対象物質」では、有機物成分（BOD/COD）と窒素の両成分を除去できる場合は○、一方の場合は△とした。
- ・ 「処理時間」、「費用」、「スペース」では、生物学的処理で一般的な標準活性汚泥法を基準にした（標準活性汚泥法の基準は、「処理時間」：○、「費用」及び「スペース」：△である）。
- ・ 総合評価では、実験段階、実用段階を考慮し、「実験段階で製品事例が無い：1」、「実験段階でもメーカーが関与：2」、「実用段階でも単一では効果がない：2」、「実用段階技術：3」とし、「評価に×がある場合は評価点から減算」、「評価に○がある場合は評価点に加算」というルールで採点した。

ただし、生物学的処理と物理化学的処理を組み合わせた水処理方法、実験段階/実証実験段階の水処理方法が含まれているため、一概には比較できない。

各種水処理方法の「処理時間」は、下水処理（生活排水）を対象としているため、短時間（約 6 時間）の処理時間になっている。脱水ろ液の BOD、T-N、SS（固形物）は、生活排水の約 10 倍であるため、脱水ろ液の水処理には、生活排水の水処理の約 10 倍の時間（2～3 日）が必要になる。

表参 1 6 各種処理方法の比較

処理方式	生物学的処理							物理化学的処理				
	標準活性汚泥法	膜分離活性汚泥法	循環式硝化脱窒法	オキシデーションディッチ法	アナモックス法	人工湿地法	パチルス菌排水処理	アンモニアストリッピング法	オゾン処理法	活性炭処理法	電気分解法	高速濾過法
除去対象物質	SS、BOD、COD △	SS、BOD、COD、N、P、大腸菌群 ○	SS、BOD、COD、N ○				BOD、COD、N △	NH ₃ (NH ₄ -N) ×	難分解性有機物 ×	難分解性有機物 ×	SS、BOD、COD、N、P ○	SS、BOD、COD、N、P ○
特徴	主流技術であり、様々な改良方法が開発されている。	標準法と比較し、設備の小型化、キャリアーオーバ－、微生物の除去などの処理が容易になる。分離精度はメッシュサイズで制御できる。	窒素成分が多い排水処理に適する。	低負荷	独立栄養細菌であるため、メタノールなどの有機物添加や脱窒細菌に比べ増殖収率が小さく、余剰汚泥が削減できる。	伏流式の開発で面積が1/2～1/5 表面流式と伏流式があり、表面流式は灌水した浅い池を利用した方式であり、伏流式は砂利や砂の層を通して汚水を濾過する方式。伏流式は主にヨーロッパを中心に普及。	選択した菌株にて、高濃度の有機物を短期間で分解することが可能となる。	海外では主流との報告有り。	高度処理(仕上げ処理)。オゾンの酸化力により有機物などを分解。	高度処理(仕上げ処理)。多孔質の構造を持つため、様々なものを吸着させる。微生物を保持し生分解性有機物を除去する。	難生分解性物質(油分、COD・BOD成分、重金属など)の処理に用いられる。	ろ材を用いてSSなどの汚濁物質を取り除く。
使用状況	実用中国産メーカー有	実用中国産メーカー有	実用中国産メーカー有	実用中国産メーカー有	実用中国産メーカー有	実用中国産メーカー有	実験段階でもメーカーが関与	実用中国産メーカー有	実用中国産メーカー有	実用中国産メーカー有	実験段階で製品事例が無い	実験段階でもメーカーが関与
メリット	一般的に適用されており、処理能力や設備価格の基準として検討に使用される。	曝気槽から後の工程(沈殿槽、砂濾過、消毒)が膜分離設備に置き換わるため省スペース。	一般的に適用されている。	窒素の除去率が高く、標準活性汚泥法に比べて安定しており管理が容易。	NO ₃ -N を経ないため、酸素供給量が少ない。	2017 年 12 月時点で適用事例 31 年間にかけ安定して浄化可能であり、運転費用は一般的な活性汚泥処理の 5%程度である。	有機物分解に最適化した菌株をスクリーニングすることで、効率的に排水を処理。	設備がコンパクトで処理が安定しているので、自動運転が可能である。設備からの廃棄物が出ない。排ガス部分から硫安が回収できる。	色度低下と殺菌効果。	色度と脱臭など。	汚泥の発生量が少なくて済む生物処理に比べ、年間を通じ安定した処理能力を示す。	濾過速度を制御できるため、排水処理の計画が立てやすい。また、ろ材についても逆洗などが可能なろ材であればある程度の再利用が可能となる。
デメリット	正常稼働条件が厳しく負荷変動に弱い窒素やリンの除去率が比較的低い。	膜のメンテナンスが煩雑。	硝化工程は pH 調整(好気工程)、脱窒工程は有機物供給(嫌気工程)が必要。	長時間反応。	運 転 管 理 が 困 難。	規模に応じた畑地が必要であり、人口密集地においては利用困難。	パチルス菌を用いた排水処理システムに回転円板装置を組み合わせたシステムが発表済み。	NH ₃ 除去のみ。	単 独 で の 脱 窒 作用は無い。	単 独 で の 利 用 は 無い。	実験段階。	低コストで設置・撤去も簡単な対策を目指している。
処理時間(下水)	HRT(水理学的滞留時間)=6～8時間として他の方法の処理時間を仮定できる。 ○	膜透過時間に依存している。自然沈降よりも短時間。 ○	4～6 時間 ○	24～48 時間 △	比較不可。 —	オキシデーションディッチよりも長時間必要。 ×	比較不可。 —	生物処理ではないため、非常に早い。 △	比較不可。 —	比較不可。 —	比較不可。 —	比較不可。 —
費用(イニシャル)	消化液中の N 濃度を処理する場合、別途 N 処理施設が必要。		嫌気・好気槽が必要なため、イニシャルが活性汚泥法より高い。	設置面積が大きい ため、イニシャルは活性汚泥法より高い。								
費用(ランニング)	中規模以上の下水処理場で経済的な処理方法として採用されている。	膜の購入費用、メンテナンス費用などがかかる。	アルカリや有機物の添加が必要となるため標準活性汚泥法より高くなる。	安価とされている。	アナモックス処理槽の運転管理費が余分にかかる。	特別な管理は不要なのでランニングコストが安い。	ランニングコスト低減菌株に対する活性剤の添加費用。	pH 調整薬剤が高い消化液の昇温設備が必要。(回収能を高めるため)	ランニングコスト(電気代)が高い。	ランニングコスト(活性炭)が高い。	ランニングコストは主に電気代などの運転費。	ランニングコストは主に電気代。
総合評価	△	△	△	△	×	○	△	△	×	×	○	○
スペース	規模に応じた曝気槽と沈殿槽が必要。 △	膜分離ユニットに関しては、曝気槽内に設置か、膜分離槽のスペースが必要。 ○	一般に、標準活性汚泥法より大きい。 △	汚水が浅い水路を循環するため設置面積が大きくなる。 △	NH ₄ とNO ₂ までの前処理槽とアナモックス専用の処理槽が必要。 ×	都市部の利用は想定していないので、土地費用が安い。 ×	スクリーニング株の専用処理槽が必要。 ×	規模に応じたストリッピング装置が必要となる。 ○	処理槽の他にオゾン発生器などが必要。 △	活性炭による処理槽の設置が必要。 △	基本的には、処理槽に通電させるのみ。 ○	活性汚泥設備の 1/5。 ○
総合評価	3+	4	4	3+	3-	3	2	3-	2	2	2	3

※7 段階評価(1, 2, 3－, 3, 3+, 4, 5)

6. 4 メタン発酵施設モデルケース

(1) メタン発酵施設モデルケースの仕様

第5. 2. 7節(1)の事業性評価で使用したモデルケースのメタン発酵施設の仕様を表参17に示す。ケース1及びケース4の仕様に該当するメタン発酵施設の設備構成、物質フローを本文の図8(ケース1)、図9(ケース4)に示す。

表参17 各ケースに対するメタン発酵施設の仕様

メタン発酵施設の仕様、計算条件		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
メタン発酵方式		湿式、高温(55℃)					
原料	混合原料の種類	ハムソーセージ、野菜くず、ゆで卵(卵殻無し)、下水処理施設脱水汚泥など(表参16)					
	混合原料処理能力(t/日)	50.5	30	10	50.5	30	10
	希釈水量(t/日)	43.2	25.8	8.6	43.2	25.8	8.6
	希釈混合原料処理量(t/日)	93.7	55.8	18.6	93.7	55.8	18.6
	混合原料のTS濃度(%)	18.6					
	希釈混合原料のTS濃度(%)	10					
槽構成		二相式(可溶化槽/メタン発酵槽分離) *酸敗抑制/発酵効率向上のため、及び希釈混合原料投入量及び性状平準化のため					
メタン発酵槽	希釈混合原料の滞留時間 HRT (日)	20					
	メタン発酵槽容量(m ³)	2,000	1,200	400	2,000	1,200	400
	TS容積負荷量(kg-TS/m ³ /日)	4.7					
	メタン菌担持方法	固定床					
	攪拌方式	機械攪拌方式 *エネルギーコスト的には無動力攪拌方式が有利であるが、プラントメーカーが限定される					
	材質・形状・断熱構造	鋼板製円筒形(鋼板:6mm、吹付発泡ウレタン:10cm)	鋼板製円筒形(鋼板:6mm、吹付発泡ウレタン:12cm)	鋼板製円筒形(鋼板:6mm、吹付発泡ウレタン:17cm)	鋼板製円筒形(鋼板:6mm、吹付発泡ウレタン:10cm)	鋼板製円筒形(鋼板:6mm、吹付発泡ウレタン:12cm)	鋼板製円筒形(鋼板:6mm、吹付発泡ウレタン:17cm)
	メタン発酵槽の放熱レート(%/日)	2.5					
	メタン発酵槽の保温方法	外部保温方式(バイオガス発電の排熱温水利用)					
	メタン発酵相槽の保温供給熱量(MJ/日) *55℃保持のため	7,871	4,687	1,562	7,871	4,687	1,562
	希釈混合原料の加温方法	外部保温方式(バイオガス発電の排熱温水利用)					
	希釈混合原料の加温供給熱量(MJ/日) *原料の年間平均温度:15℃から55℃への昇温のため	15,742	9,375	3,125	15,742	9,375	3,125
	消化液のメタン発酵槽への返送	返送無し *固定床法採用のためメタン菌の槽外流出は少ないため					
可溶化槽	可溶化槽での希釈混合原料滞留時間(日)	3					
	可溶化槽の容量	300	170	60	300	170	60
	可溶化槽の希釈混合原料の循環	有り *混合原料の均質化のため					
	可溶化槽のpH調整	無し *薬品代削減のため					
	消化液の可溶化槽への返送	返送無し *設備簡略化及び設備管理項目簡略化のため					
バイオガス	バイオガス発生効率	95.72 Nm ³ /t-混合原料 51.59 Nm ³ /t-希釈混合原料 *バイオガス発生効率の文献値を利用する際にVS/TS=1と仮定					
	バイオガス発生量(Nm ³ /日)	4,836	2,872	957	4,836	2,872	957
	バイオガス発生量(t/日)	5.9	3.5	1.16	5.9	3.5	1.16
	バイオガス成分	60%-メタン、40%-CO ₂ 、微量の硫化水素					

	メタン発生量(Nm ³ /日)	2,901	1,723	574	2,901	1,723	574
	メタン理論発熱量(MJ/Nm ³)(*1)	35.7					
	理論発熱量(MJ/日)	103,578	61,510	20,563	103,578	61,510	20,563
バイオガス発電機	種類	ガスエンジン発電機(コージェネレーションシステム) *発電機排ガスによる蒸気利用無し					
	発電効率(%)	30					
	熱回収効率(%)	45					
	総合効率(%)	75					
	発電量(kWh/日)	8,631	5,126	1,709	8,631	5,126	1,709
	発電量(MJ/日) *熱量換算	31,073	18,453	6,151	31,073	18,453	6,151
	排熱回収量(MJ/日)	46,610	27,680	9,27	46,610	27,680	9,27
	発電時間(時間/日)	24 時間連続運転					
	発電機出力(kW)	360	214	71	360	214	71
発電機構成	25 kW×15 台	25 kW×9 台	25 kW×3 台	25 kW×15 台	25 kW×9 台	25 kW×3 台	
発電機バックアップ用ボイラー	種類	温水ボイラー 商用ガス／バイオガス切替可能					
	発生熱量(MJ/日)	23,613	14,062	4,687	23,613	14,062	4,687
脱硫塔	方式	乾式					
	脱硫剤	酸化鉄					
ガスホルダー	容量(m ³) *1 時間分のバイオガス発生量	200	120	40	200	120	40
	加圧ファン	有り					
余剰ガス燃焼装置	バイオガス処理量(Nm ³ /時間)	200	120	40	200	120	40
脱臭設備	方式	活性炭吸着					
消化液	発生量(t/日)	87.9	52.3	17.4	87.9	52.3	17.4
消化液貯留設備	消化液貯留槽の容量(m ³) *2 ヶ月分の消化液発生量	5,300	3,160	1,050	0		
水処理設備(下水放流)		無し *消化液を 100%液肥利用			有り *消化液を固液分離し、脱水ろ液を水処理		
固液分離／脱水設備	凝集剤	-			ポリアクリルアミド等		
	脱水機	-			スクリュープレス式		
	篩処理の網目サイズ	-			1 mm□		
	消化液処理量(t/日)	0.0	0.0	0.0	87.9	52.3	17.4
	脱水ろ液発生量(t/日)	0.0	0.0	0.0	64.7	38.4	12.7
	脱水ケーキ発生量(t/日)	0.0	0.0	0.0	23.1	13.9	4.7
	脱水ケーキ含水率(%)	-			85		
水処理設備	水処理フロー	-			循環式硝化脱窒法(BOD、窒素除去)→固液分離→凝集沈殿(リン、色度除去)		
	循環式硝化脱窒法	-			・無酸素槽(脱窒槽)→好気槽(硝化槽)／一部無酸素槽へ返送 ・メタノール添加有り ・曝気有り		
	固液分離	-			沈殿法		
	凝集沈殿	-			凝集剤:ポリ硫酸第二鉄など		
	放流先	-			下水放流		
脱水ケーキの処理	乾燥工程	-			無し		
	堆肥化方法	-			好気性発酵(有機肥料生産)		
	脱水ケーキ使用量(t/日)	-			23.1	13.9	4.7
	脱水ケーキ含水率(%)	-			85		
	有機肥料生産量(t/日)	-			4.3	2.6	0.9
	有機肥料含水率(%)	-			20 *混合原料から直接堆肥化により得られる有機肥料の含水率(20%)と同じと仮定		
メタン発酵施設の電力需要(水処理施設除く)(*2)	受入れ槽から可溶性槽への原料移送ポンプ(kW)	15	9	3	15	9	3
	可溶性槽循環ポンプ(kW)	110	66	22	110	66	22
	可溶性槽からメタン発酵槽への	15	9	3	15	9	3

	スラリー移送ポンプ(kW)						
	メタン発酵槽からの消化液排出ポンプ(kW)	15	9	3	15	9	3
	合計(kW)	155	93	31	155	93	31
水処理施設の電力需要(*3)	脱水機、脱水ろ液移送ポンプ、曝気など一式(kW)	-	-	-	50	35	19
バイオガス発電の電気利用方法(24時間100%稼働の場合)	メタン発酵施設(固液分離/脱水設備・水処理設備除く)のポンプ動力源(kWh/日)	3,720	2,232	744	3,720	2,232	744
	メタン発酵施設(固液分離/脱水設備・水処理設備除く)の機械攪拌動力源(*4)	-	-	-	-	-	-
	水処理施設(固液分離/脱水設備・水処理設備)の動力源(kWh/日)	0	0	0	1,200	840	456
	売電(kWh/日)(*5)	4,911	2,894	965	3,711	2,054	509
バイオガス発電の熱利用方法(24時間100%稼働の場合)	メタン発酵槽加温(MJ/日)	15,742	9,375	3,125	15,742	9,375	3,125
	メタン発酵槽保温(MJ/日)	7,871	4,687	1,562	7,871	4,687	1,562
	排熱(MJ/日)(*6)	22,997	13,618	4,540	22,997	13,618	4,540

備考(*1) メタン理論発熱量は(NEDO「バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針 第Ⅲ章技術指針 メタン発酵系バイオマス」により 35.7 MJ/Nm³を使用。

備考(*2) 各ポンプの電力(kW)は、「小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業」(NEDO 他、平成 22 年 3 月)の p.13「主要機器仕様」に掲載のポンプ電力を基準にメタン発酵施設の処理能力を加味して算出した。50.5 t/日、30 t/日、10 t/日の処理能力におけるポンプ電力は、「主要機器仕様」に掲載のポンプ電力をそれぞれ 20 倍、12 倍、4 倍にした値である。

備考(*3) 脱水設備/水処理設備の電力に関しては、費用関数 $(Y \text{ (百万円/年)} = 4.473 \times (Q/30)^{0.6})$ 、Q: 混合原料処理能力(t/日) (出典:「メタン発酵プラントの経済性評価」 柚山他、H23 農業農村工学会大会講演会要旨集、pp.638-639、2011 年)を使用し、電力=Y(百万円/年)×1,000,000/15(円/kWh)/365(日/年)/24(時間/日)により算出した。ここで、Q はそれぞれの混合原料処理能力に対応して、50.5、30、10 の値を使用した。

備考(*4) 食品加工事業者からの動植物性残渣の場合、異物混入が少なく、メタン発酵槽内での堆積物/スカムが少ないため、機械攪拌の動力は小さいと仮定する。

備考(*5) FIT を利用できる場合の 1 日あたりの売電量を示す(発電機の稼働率: 100%の場合)。

備考(*6) 堆肥化施設において熱需要が無いと仮定している。

(2) メタン発酵施設の事業性評価における費目と単価（基本仕様書に基づく）

表参 18 メタン発酵施設の事業性評価（損益計算&設備投資回収期間）において考慮した費目および単価

費目	価格単位	単価及び単価設定根拠	固定費／変動費区分	稼働率依存性
建設費	メタン発酵施設一式(水処理施設除く)	希釈混合原料処理能力: Q t/日のメタン発酵施設のうち、固液分離／脱水／水処理設備を除くメタン発酵施設(バイオガス発電設備含む)の建設費は、希釈混合原料: 40.0 t/日のメタン発酵施設の建設費(1,300,000,000 円)を基準として、 $1,300,000,000 \times (Q/40.0)^{0.7}$ のコスト関数より見積もった。	固定費 ・50.5 t/日の場合 2,350,000,000 円 (Q=93.7) ・30 t/日の場合 1,641,000,000 円 (Q=55.8) ・10 t/日の場合 761,000,000 円 (Q=18.6)	稼働率に依存しない
	水処理施設一式	メタン発酵施設一式(水処理施設除く)の建設費の1/3 と仮定して見積もった。	固定費 ・50.5 t/日の場合 783,000,000 円 ・30 t/日の場合 547,000,000 円 ・10 t/日の場合 254,000,000 円	稼働率に依存しない
原料受入収入	単価	15,000 円/t、30,000 円/t (2 条件)	変動費 ・原料受入量に比例する	稼働率に比例する
売電収入	売電単価	39 円/kWh(消費税抜き)	変動費 ・売電量に比例する	稼働率に比例する
人件費	単価	4,000,000 円/年/人	固定費	稼働率に依存しない
	要員	2 人	固定	
装置消耗品費・補修費	メタン発酵施設の消耗品費・補修費一式	建設費の 2%/年と仮定した(装置異常による稼働率低下の場合、修理費がかかるため、固定費として見做せる)。	固定費扱い	稼働率に依存しない
電気代	買電単価	15 円/kWh	変動費 ・メタン発酵施設の電気は全てバイオガス発電で賄うため、電気代は発生しない。	稼働率に比例する ・メタン発酵施設の電気はバイオガス発電で賄うため、電気代は発生しないが、売電に利用する電力量が稼働率で変動する。
水道代	単価	250 円/t-希釈水 (使用量及び市により単価が大幅に異なり、180～360 円/t の幅を持つ。)	変動費 ・希釈水量に比例する	稼働率に比例する
下水道代	単価	200 円/t-脱水ろ液 (使用量及び市により単価が大幅に異なり、150～250 円/t の幅を持つ。)	変動費 ・脱水ろ液量に比例する	稼働率に比例する
薬品代	メタン発酵施設一式(水処理施設除く)	300 円/t-希釈混合原料 (活性炭、脱硫剤等)・プラントメーカーへのヒアリング及び「バイオマス最資源化技術の性能・コスト評価」(柚山 他、農工技法 204、pp.61～103、2006 年)の付表参 10～付表参 12を参照して算出した。	変動費 ・希釈混合原料の処理量に比例する	稼働率に比例する
	水処理施設一式	水処理施設(固液分離／脱水／水処理設備)で使用する薬品代 =「水処理施設の維持管理費(費用関数 Y(百万円) $=1.173 \times Q^{0.892} - 3.54 \times (Q/55)^{0.892}$ [Q: 希釈混合原料処理能力(t/日 ay)]」-「固液分離／脱水／水処理設備の消耗品費・補修費(固液分離／脱水／水処理設備導入費の 2%/年)」により算出する。 ・固液分離／脱水／水処理設備導入費は、メタン発酵バイオガス発電プラント(バイオガス発電設備を含む)の導入費の 1/3 と仮定した。 ・費用関数 Y の作成:「バイオマス最資源化技術の性能・コスト評価」(柚山 他、農工研技法、204、pp.61-103、2006 年)及び「メタン発酵消化液の液肥利用に関する経済的、技術的な側面からの調査検討結果について」(岡原 他、季刊 JARUS、109、pp.21-30)を基に作成した。	変動費 ・希釈混合原料の処理量に比例する	稼働率に比例する

（３）メタン発酵施設の基本仕様書に基づく事業性評価 試算例

基本仕様書及び表参 18 の費目及び単価に基づき、本文 5. 2. 7 節（１）のモデルケースに対して事業性評価を行った結果を示す。

（３－１）損益試算例

原料受入単価：15,000 円に設定した場合のケース 1～ケース 6 の損益計算結果を表参 19～表参 24 に示す。

水処理設備を必要としないメタン発酵施設の場合、稼働率：100%であれば、処理能力：50.5 t/日、30 t/日を持つメタン発酵施設の投資金額を 8 年～10 年で回収できる。しかし、処理能力：10 t/日で水処理設備を必要としないメタン発酵施設では、設備投資金額の回収が難しい。また、水処理設備を必要とするメタン発酵施設の場合、メタン発酵施設の処理能力にかかわらず、設備投資金額は回収できない。

表参 19 「補助金制度の利用無し」×「売電有り」におけるケース 1（50.5 t/日、水処理無し）の試算結果

損益	項目	基本料単価		量		変動費 (円/日)	固定費 (円/年)	年間金額		
		単価(基準)	単位	基本数値	単位			稼働率 100%	稼働率 80%	稼働率 60%
収入	原料受入収入	15,000	円/t	50.5	t/日	757,500		276,487,500	221,190,000	165,892,500
	売電収入	39	円/kWh	4,911	kWh/日	191,529		69,908,085	55,926,468	41,944,851
	合計							346,395,585	277,116,468	207,837,351
支出	人件費	4,000,000	円/年/人	2	人	-	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
	装置消耗品費・補修費	2,350,000,000	円	2	%/年	128,767		47,000,000	47,000,000	47,000,000
	電気代	0	円/kWh	3,720	kWh/日	0		0	0	0
	水道代	250	円/t	43.2	t/日	10,800		3,942,000	3,153,600	2,365,200
	下水道代	200	円/t	0.0	t/日	0		0	0	0
	薬品代	28,110	円/日/一式	1	一式	28,110		10,260,150	8,208,120	6,156,090
	合計							69,202,150	66,361,720	63,521,290
収支								277,193,435	210,754,748	144,316,061
投資回収期間(年)								8.5	11.2	16.3

表参 20 「補助金制度の利用無し」×「売電有り」におけるケース 2（30 t/日、水処理無し）の試算結果

損益	項目	基本料単価		量		変動費 (円/日)	固定費 (円/年)	年間金額		
		単価(基準)	単位	基本数値	単位			稼働率 100%	稼働率 80%	稼働率 60%
収入	原料受入収入	15,000	円/t	30.0	t/日	450,000		164,250,000	131,400,000	98,550,000
	売電収入	39	円/kWh	2,894	kWh/日	112,866		41,196,090	32,956,872	24,717,654
	合計							205,446,090	164,356,872	123,267,654
支出	人件費	4,000,000	円/年/人	2	人	-	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
	装置消耗品費・補修費	1,641,000,000	円	2	%/年	89,918		32,820,000	32,820,000	32,820,000
	電気代	0	円/kWh	2,232	kWh/日	0		0	0	0
	水道代	250	円/t	25.8	t/日	6,450		2,354,250	1,883,400	1,412,550
	下水道代	200	円/t	0.0	t/日	0		0	0	0
	薬品代	16,740	円/日/一式	1	一式	16,740		6,110,100	4,888,080	3,666,060
	合計							49,284,350	47,591,480	45,898,610
収支								156,161,740	116,765,392	77,369,044
投資回収期間(年)								10.5	14.1	21.2

表参 21 「補助金制度の利用無し」×「売電有り」におけるケース 3（10 t/日、水処理無し）の試算結果

損益	項目	基本料単価		量		変動費 (円/日)	固定費 (円/年)	年間金額		
		単価(基準)	単位	基本数値	単位			稼働率 100%	稼働率 80%	稼働率 60%
収入	原料受入収入	15,000	円/t	10.0	t/日	150,000		54,750,000	43,800,000	32,850,000
	売電収入	39	円/kWh	965	kWh/日	37,635		13,736,775	10,989,420	8,242,065
	合計							68,486,775	54,789,420	41,092,065
支出	人件費	4,000,000	円/年/人	2	人	-	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
	装置消耗品費・補修費	761,000,000	円	2	%/年	41,699		15,220,000	15,220,000	15,220,000
	電気代	0	円/kWh	744	kWh/日	0		0	0	0
	水道代	250	円/t	8.6	t/日	2,150		784,750	627,800	470,850
	下水道代	200	円/t	0.0	t/日	0		0	0	0
	薬品代	5,580	円/日/一式	1	一式	5,580		2,036,700	1,629,360	1,222,020
	合計							26,041,450	25,477,160	24,912,870
収支								42,445,325	29,312,260	16,179,195
投資回収期間(年)								17.9	26.0	47.0

表参22 「補助金制度の利用無し」×「売電有り」におけるケース4（50.5 t/日、水処理有り）の試算結果

損益	項目	基本料単価		量		変動費 (円/日)	固定費 (円/年)	年間金額		
		単価(基準)	単位	基本数値	単位			稼働率 100%	稼働率 80%	稼働率 60%
収入	原料受入収入	15,000	円/t	50.5	t/日	757,500		276,487,500	221,190,000	165,892,500
	売電収入	39	円/kWh	3,711	kWh/日	144,729		52,826,085	42,260,868	31,695,651
	合計							329,313,585	263,450,868	197,588,151
支出	人件費	4,000,000	円/年/人	2	人	-	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
	装置消耗品費・補修費	3,133,000,000	円	2	%/年	171,671		62,660,000	62,660,000	62,660,000
	電気代	0	円/kWh	4,920	kWh/日	0		0	0	0
	水道代	250	円/t	43.2	t/日	10,800		3,942,000	3,153,600	2,365,200
	下水道代	200	円/t	64.7	t/日	12,940		4,723,100	3,778,480	2,833,860
	薬品代	154,110	円/日/一式	1	一式	154,110		56,250,150	45,000,120	33,750,090
	合計							135,575,250	122,592,200	109,609,150
収支								193,738,335	140,858,668	87,979,001
投資回収期間(年)								16.2	22.2	35.6

表参23 「補助金制度の利用無し」×「売電有り」におけるケース5（30 t/日、水処理有り）の試算結果

損益	項目	基本料単価		量		変動費 (円/日)	固定費 (円/年)	年間金額		
		単価(基準)	単位	基本数値	単位			稼働率 100%	稼働率 80%	稼働率 60%
収入	原料受入収入	15,000	円/t	30.0	t/日	450,000		164,250,000	131,400,000	98,550,000
	売電収入	39	円/kWh	2,054	kWh/日	80,106		29,238,690	23,390,952	17,543,214
	合計							193,488,690	154,790,952	116,093,214
支出	人件費	4,000,000	円/年/人	2	人	-	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
	装置消耗品費・補修費	2,188,000,000	円	2	%/年	119,890		43,760,000	43,760,000	43,760,000
	電気代	0	円/kWh	3,072	kWh/日	0		0	0	0
	水道代	250	円/t	25.8	t/日	6,450		2,354,250	1,883,400	1,412,550
	下水道代	200	円/t	38.4	t/日	7,680		2,803,200	2,242,560	1,681,920
	薬品代	112,740	円/日/一式	1	一式	112,740		41,150,100	32,920,080	24,690,060
	合計							98,067,550	88,806,040	79,544,530
収支								95,421,140	65,984,912	36,548,684
投資回収期間(年)								22.9	33.2	59.9

表参24 「補助金制度の利用無し」×「売電有り」におけるケース6（10 t/日、水処理有り）の試算結果

損益	項目	基本料単価		量		変動費 (円/日)	固定費 (円/年)	年間金額		
		単価(基準)	単位	基本数値	単位			稼働率 100%	稼働率 80%	稼働率 60%
収入	原料受入収入	15,000	円/t	10.0	t/日	150,000		54,750,000	43,800,000	32,850,000
	売電収入	39	円/kWh	509	kWh/日	19,851		7,245,615	5,796,492	4,347,369
	合計							61,995,615	49,596,492	37,197,369
支出	人件費	4,000,000	円/年/人	2	人	-	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
	装置消耗品費・補修費	1,015,000,000	円	2	%/年	55,616		20,300,000	20,300,000	20,300,000
	電気代	0	円/kWh	1,200	kWh/日	0		0	0	0
	水道代	250	円/t	8.6	t/日	2,150		784,750	627,800	470,850
	下水道代	200	円/t	12.7	t/日	2,540		927,100	741,680	556,260
	薬品代	31,580	円/日/一式	1	一式	31,580		11,526,700	9,221,360	6,916,020
	合計							41,538,550	38,890,840	36,243,130
収支							49.6	94.8	1,063.7	49.6
投資回収期間(年)								49.6	94.8	1,063.7

（３－２）損益分岐点試算例

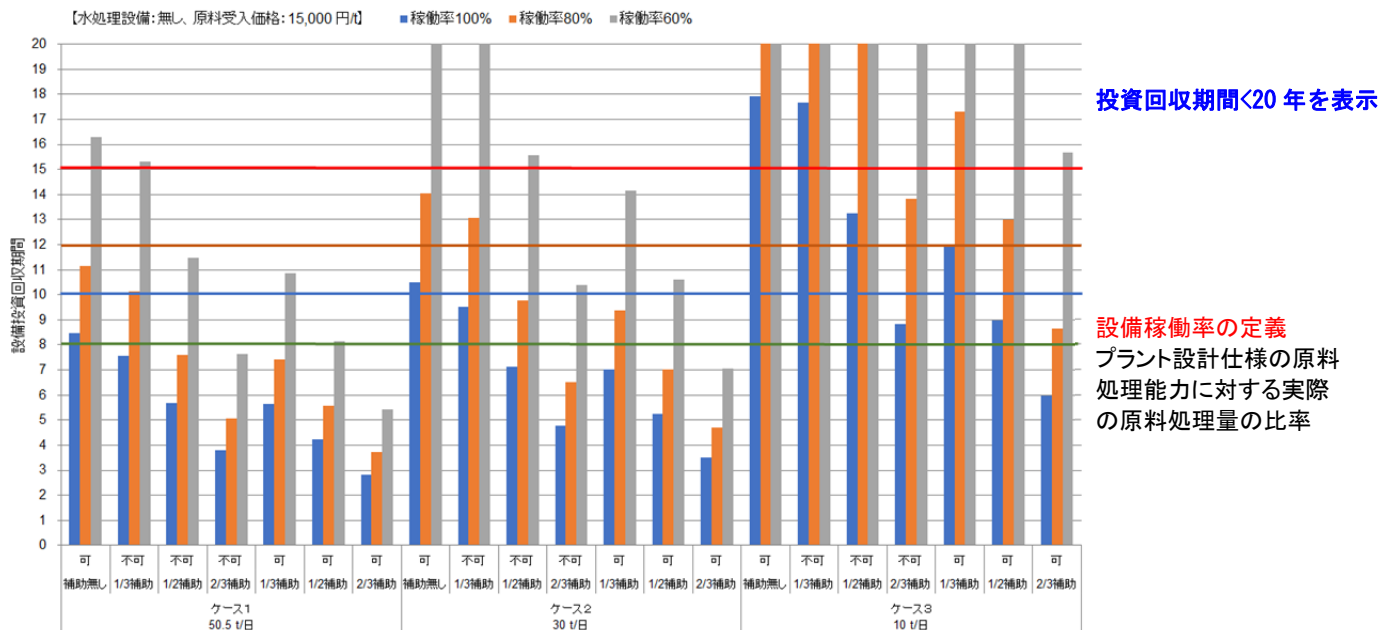
① 原料受入価格：15,000 円/t の場合

原料受入価格：15,000 円/t において、各種補助金利用率（補助金の設備投資金額に対する割合：無し、1/3 補助、1/2 補助、2/3 補助）と FIT 利用可・不可（売電：有・無）の組合せで、ケース 1～ケース 6 の設備投資回収期間を試算した結果を図参 19～図参 20 に示す。

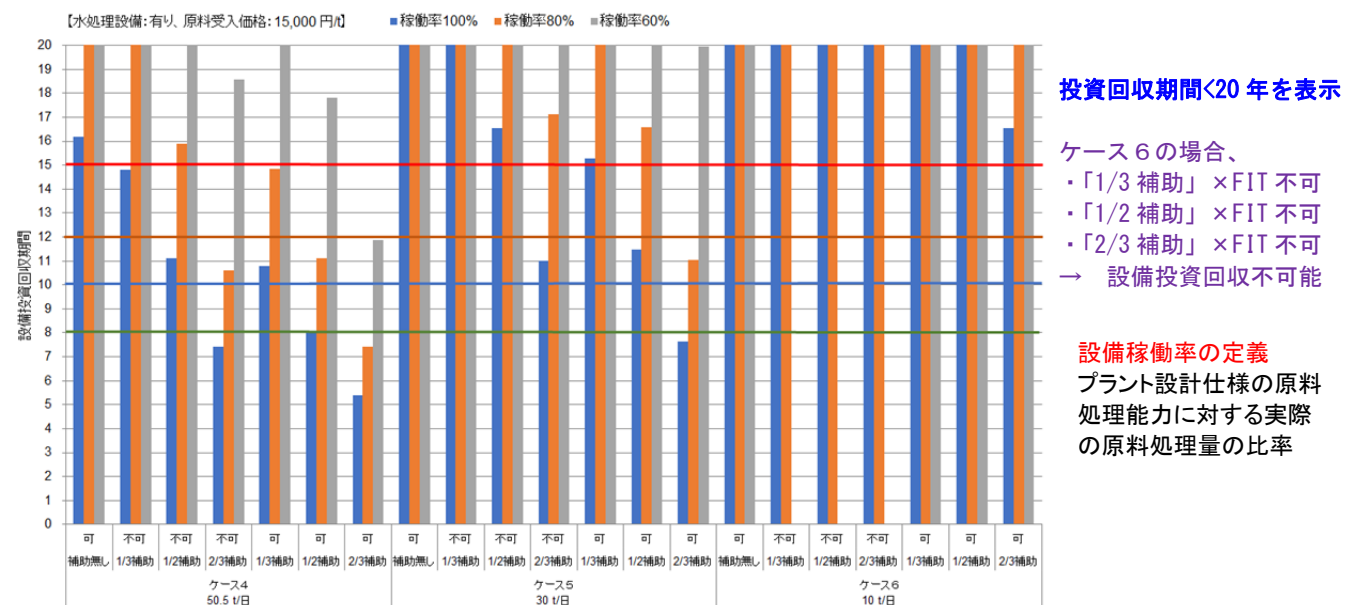
「水処理設備無し」の場合、処理能力：50.5 t/日のメタン発酵施設では、稼働率が 80%以上であれば、ほとんど全ての組合せにおいて、8～10 年以内に設備投資金額を回収できる。処理能力：30 t/日のメタン発酵施設では、稼働率：80%であれば、「1/2 補助」×「売電無し」、「1/3 補助」×「売電有り」の組合せにおいて、8～10 年以内に設備投資金額を回収できる。処理能力：10 t/日のメタン発酵施設では、稼働率：100%の場合、「2/3 補助」×「売電無し」の組合せにおいて、また、稼働率：80%の場合、「2/3 補助」×「売電有り」の組合せにおいて、8～10 年以内に設備投資金額を回収できる。

「水処理設備有り」の場合、処理能力：50.5 t/日のメタン発酵施設では、稼働率：100%であれば、「2/3 補助」×「売電無し」、「1/2 補助」×「売電有り」の組合せにおいて、また、稼働率：80%であれば、「2/3 補助」×「売電有り」の組合せにおいて、8～10 年以内に設備投資金額を回収できる。処理能力：30 t/日のメタン発酵施設では、稼働率：100%であれば、「2/3 補助」×「売電有り」の組合せにおいて、8～10 年以内に設備投資金額を回収できる。しかし、処理能力：10 t/日のメタン発酵施設では、いずれの条件でも、設備投資金額は回収できない。

メタン発酵施設での電力自己消費を優先し、余剰電力を売電した場合、各種条件による設備投資回収期間の評価結果より、原料受入価格：15,000 円/t、処理能力：10～30 t/日のメタン発酵施設の場合でも、稼働率：80～100%、水処理設備：無しであれば、補助金制度を利用することにより、10 年以内に設備投資金額を回収できる。水処理設備を必要とする場合は、処理能力：30～50 t/日のメタン発酵施設であれば、100%に近い高稼働率を維持し、補助金制度を利用することにより、10 年以内に設備投資金額を回収できる。しかし、処理能力：10t/日のメタン発酵施設（水処理設備有り）の場合、高稼働率を維持し、補助金制度を利用しても 10 年以内に設備投資金額は回収できない。



図参 1 9 各種条件での設備投資回収期間（水処理設備：無し、原料受入価格：15,000 円/t の場合）
（備考）図内の可／不可：FIT 利用の可否（売電有り／無しに対応）



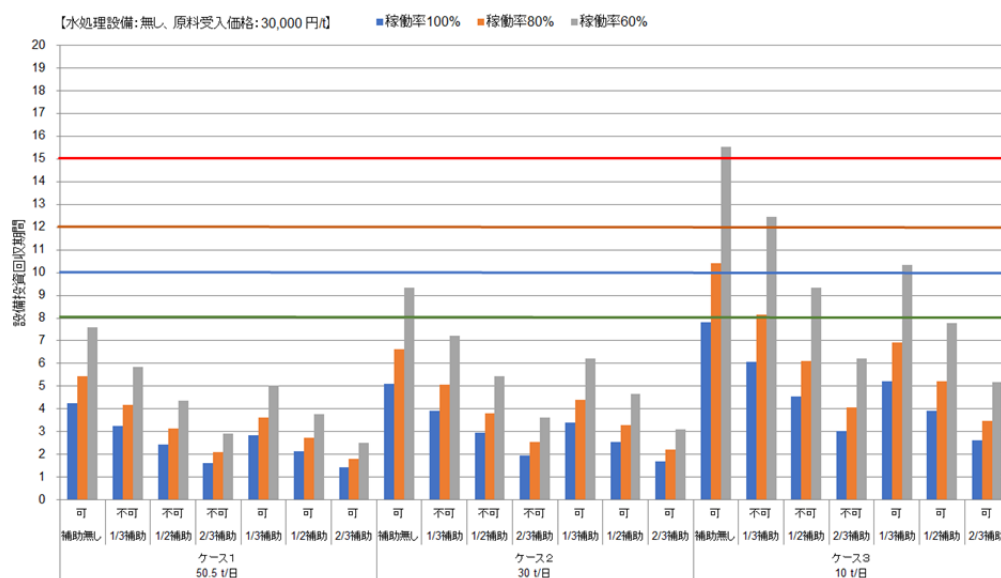
図参 2 0 各種条件での設備投資回収期間（水処理設備：有り、原料受入価格：15,000 円/t の場合）
（備考）図内の可／不可：FIT 利用の可否（売電有り／無しに対応）

② 原料受入価格：30,000 円/t の場合

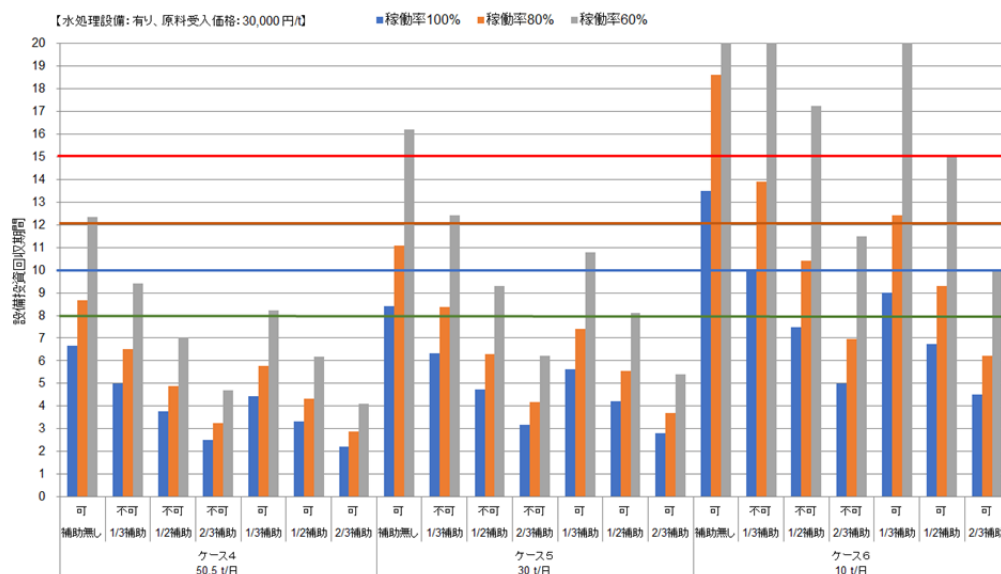
原料受入価格：30,000 円/t において、各種補助金利用率（補助金の設備投資金額に対する割合：無し、1/3 補助、1/2 補助、2/3 補助）と FIT 利用可・不可（売電：有・無）の組合せで、ケース 1～ケース 6 の設備投資回収期間を試算した結果を図参 2 1～図参 2 2 に示す。

「水処理設備無し」の場合、処理能力：10 t/日（稼働率：60%）を除外すれば、いずれの組合せでも、8～10 年以内に設備投資金額を回収できる。

「水処理設備有り」の場合、処理能力：10 t/日を有するメタン発酵施設の設備投資回収期間が大幅に改善され、稼働率：80%以上であれば、補助金を利用することにより、売電無しでも 8～10 年以内で設備投資金額を回収できる。



図参 2 1 各種条件での設備投資回収期間（水処理設備：無し、原料受入価格：30,000 円/t の場合）
（備考）可／不可：FIT 利用の可否（売電有り／無しに対応）



図参 2 2 各種条件での設備投資回収期間（水処理設備：有り、原料受入価格：30,000 円/t の場合）
（備考）可／不可：FIT 利用の可否（売電有り／無しに対応）

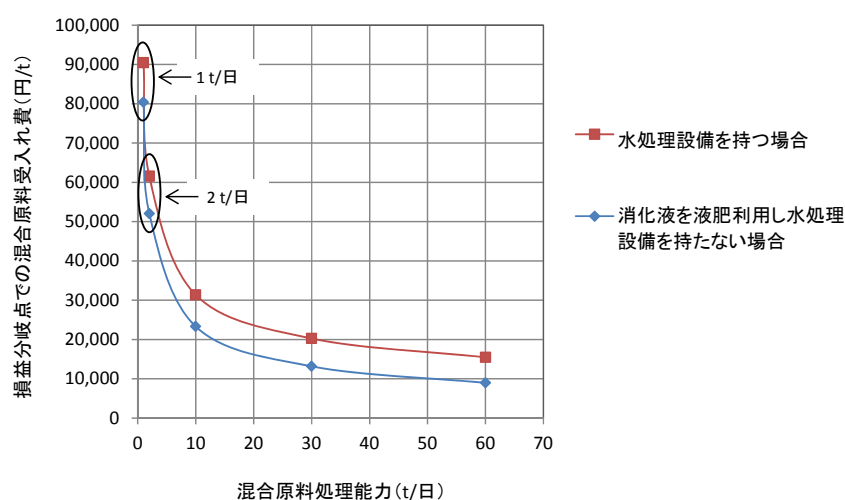
（４）費用関数に基づく事業性評価（損益分岐点の試算結果）

第５．２．７節（２）の事業性評価で使用したモデルケースのメタン発酵施設の条件設定に基づいて試算した損益分岐点の評価結果を以下に示す。

① 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」と「水処理設備を持つ場合」の損益分岐点

「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」と「水処理設備を持つ場合」における、混合原料処理能力が 1 t/日、10 t/日、30 t/日、60 t/日での損益分岐点を図参 2 3 に示す。

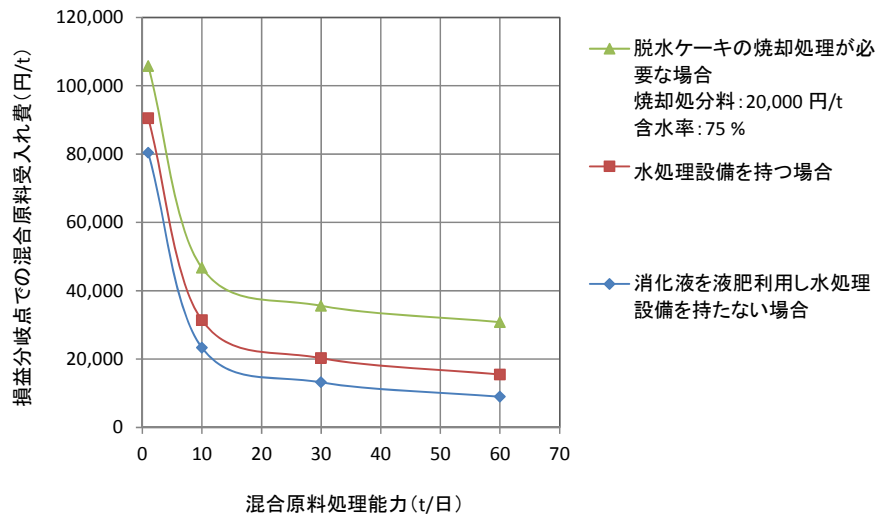
混合原料処理能力：30 t/日では、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の損益分岐点での混合原料受入費は約 13,200 円/t である。これに対して、「水処理設備を持つ場合」は約 20,300 円/t であり、約 7,100 円/t 高い。また、損益分岐点での混合原料受入費は、混合原料処理能力が大きくなるほど（即ち、プラントの規模が大きくなるほど）低い値になる。



図参 2 3 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」と「水処理設備を持つ場合」の損益分岐点
（稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料）

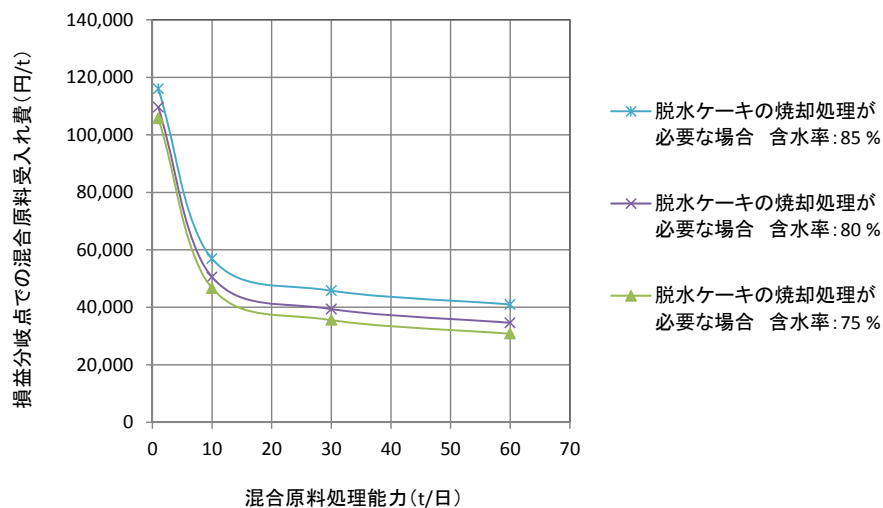
② 「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」の損益分岐点

「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」における、混合原料処理能力が 1 t/日、10 t/日、30 t/日、60 t/日での損益分岐点を図参 2 4 に示す。「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」は、「水処理設備を持つ場合」にさらに追加の支出が発生するため、損益分岐点での混合原料受入費は一層高い値になる。焼却処分料：20,000 円/t、脱水ケーキの含水率：75%とした場合、混合原料処理能力：30 t/日では、「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」の損益分岐点での混合原料受入費は約 35,600 円/t であり、「水処理設備を持つ場合」よりも約 15,300 円/t 高い。



図参 2 4 「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」の損益分岐点
 (稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、脱水ケーキの含水率：75%、
 焼却処分料：20,000 円/t)
 (注)「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」と「水処理設備を持つ場合」の損益分岐点も
 比較のために表示した。

また、「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」の損益分岐点への脱水ケーキの含水率の影響について計算した(図参 2 5)。焼却処分料を 20,000 円/t とし、脱水ケーキの含水率を 75%から 80%、85%に変化させた場合の損益分岐点への影響を調べた。含水率が大きくなると損益分岐点での混合原料受入費は高い値になる。混合原料処理能力：30 t/日では、含水率：80%の場合の損益分岐点での混合原料受入費(約 39,400 円/t)は、含水率：75%の場合(約 35,600 円/t)より約 3,800 円/t 高くなる。また、含水率：85%の場合(約 45,800 円/t)は、含水率：75%の場合より約 10,200 円/t 高くなる。

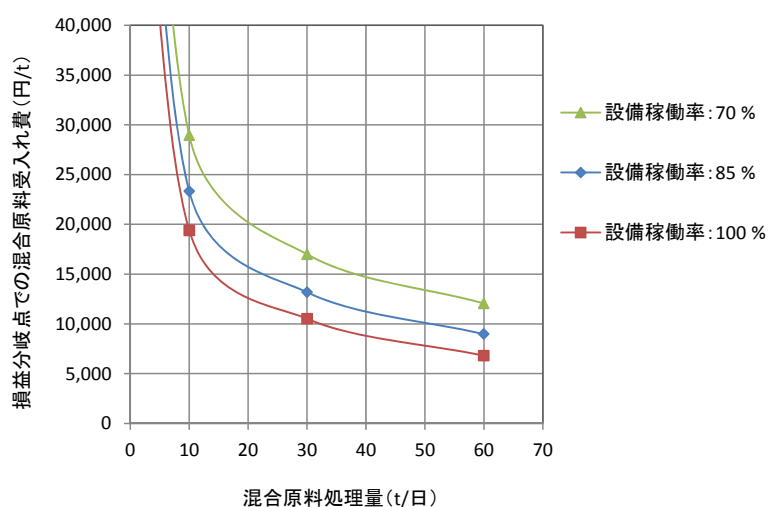


図参 2 5 「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」の損益分岐点への脱水ケーキ含水率の影響
 (稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、脱水ケーキの焼却処分料：20,000 円/t)

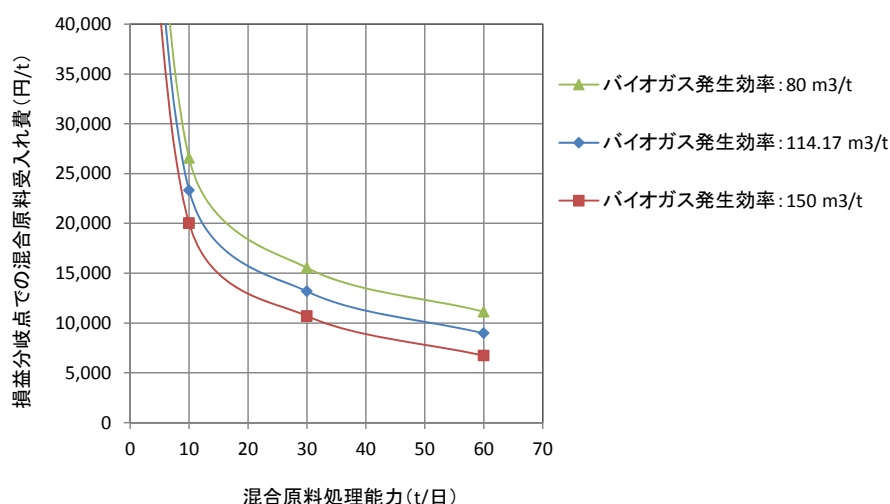
③ 損益分岐点への設備稼働率とバイオガス発生効率の影響

メタン発酵施設の損益分岐点に及ぼす設備稼働率とバイオガス発生効率の影響を計算した結果を図参 2 6～図参 2 9 に示す。

「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」、混合原料処理能力：30 t/日では、設備稼働率が 85%から 5%低下すると、損益分岐点での混合原料受入費が約 1,100 円/t 上昇する（図参 2 6）。このことから、原料を安定入手するなどしてプラントが設計値に近い量の原料を処理すること（即ち高い設備稼働率であること）が利益を得るために重要である。また、バイオガス発生効率が 114.17 Nm³/t-混合原料から 125 Nm³/t-混合原料に増加すると、損益分岐点となる混合原料受入費は約 13,200 円/t から約 700 円/t 下降する（図参 2 7）。このことから、できるだけバイオガス発生効率が高い原料を選択することが望ましい。

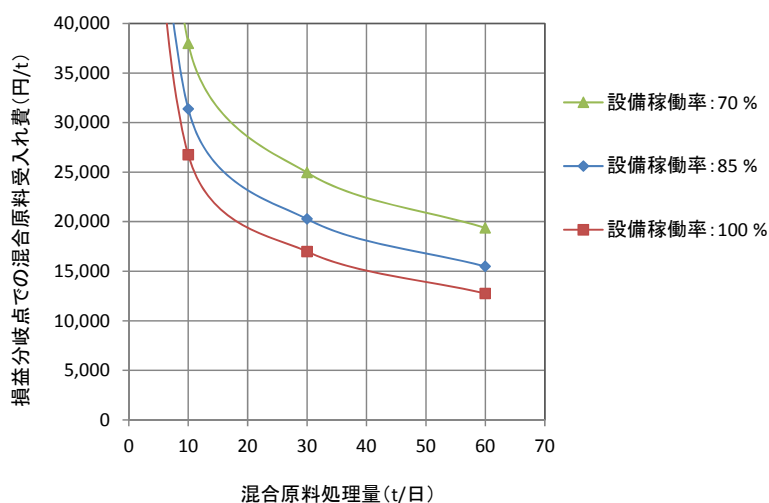


図参 2 6 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の損益分岐点への設備稼働率の影響
(バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料)

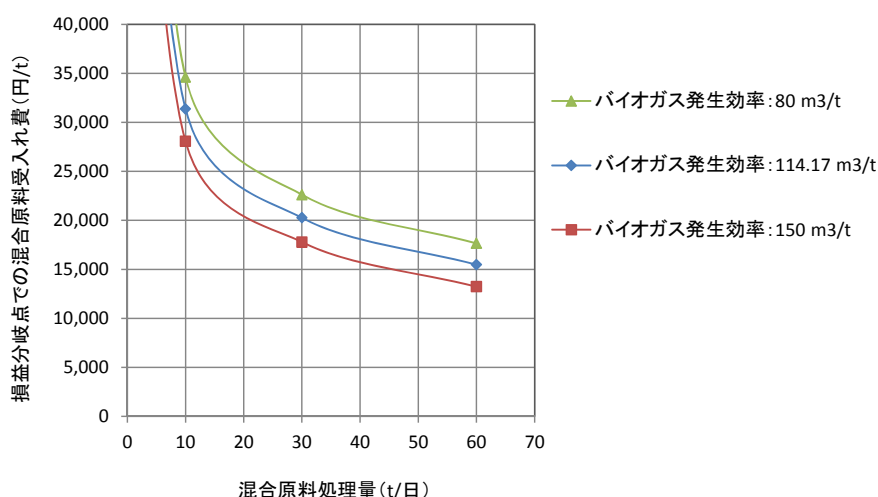


図参 2 7 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の損益分岐点へのバイオガス発生効率の影響
(稼働率：85%)

設備稼働率、バイオガス発生効率が「水処理設備を持つ場合」の損益分岐点に及ぼす影響をそれぞれ図参28～図参29に示す。



図参28 「水処理設備を持つ場合」の損益分岐点への設備稼働率の影響
(バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料)



図参29 「水処理設備を持つ場合」の損益分岐点へのバイオガス発生効率の影響
(稼働率：85%)

④ 補助金を利用した場合の損益分岐点への影響

補助金を利用してメタン発酵プラントの設備建設費を低減することによる損益分岐点の変化を評価した。補助金を利用して、「電力の固定価格買取制度（FIT）を利用できない場合」と「電力の固定価格買取制度（FIT）を利用できる場合」の両方を評価した。「電力の固定価格買取制度（FIT）を利用できない場合」には、発電した電力はプラントで消費し、維持管理費は電力費分少なくなり⁴⁴⁾、売電収入はなくなるとした。また、補助金を利用しない場合は、FIT を利用すると仮定した。この条件下での損益分岐点の計算結果を図参30～図参32に示す。

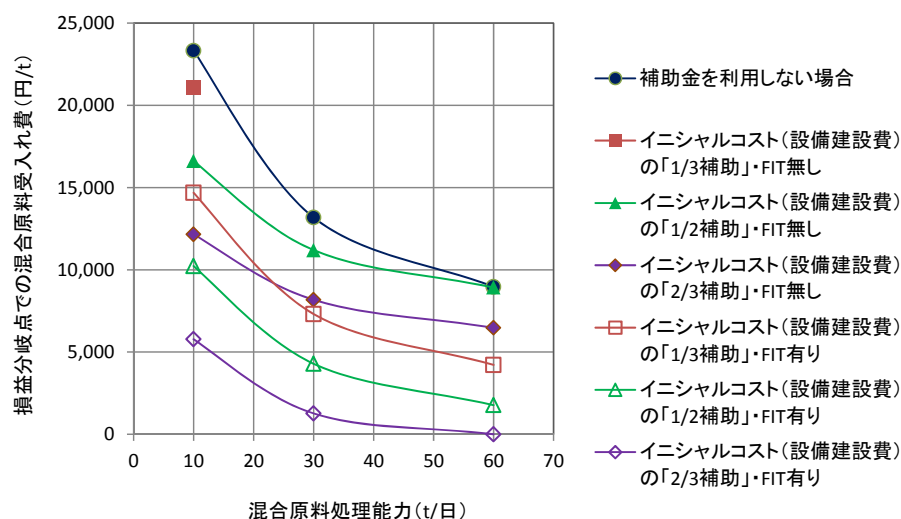
⁴⁴⁾ 電力費が維持管理費に占める割合を 30%と仮定した。

(a) 電力の固定価格買取制度（FIT）が利用できない条件下での補助金利用の効果の例

- 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の混合原料処理能力：10 t/日では、設備建設費の 1/2 の金額の補助（「1/2 補助」）を利用すると損益分岐点での混合原料受入費が約 23,300 円/t（「補助無し」・「FIT 有り」）から約 16,600 円/t に下降する（図参 3 0）。
- 「水処理設備を持つ場合」の混合原料処理能力：30 t/日では、「1/2 補助」を利用すると損益分岐点での混合原料受入費が約 20,000 円/t（「補助金無し」・「FIT 有り」）から約 15,000 円/t に下降する（図参 3 1）。
- 「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」（焼却処分料：20,000 円/t、脱水ケーキの含水率：75%）の混合原料処理能力：30 t/日では、「1/2 補助」の利用により損益分岐点での混合原料受入費が約 35,600 円/t から約 30,700 円/t に下降する（図参 3 2）。

(b) 電力の固定価格買取制度（FIT）が利用できる条件下での補助金利用の効果の例

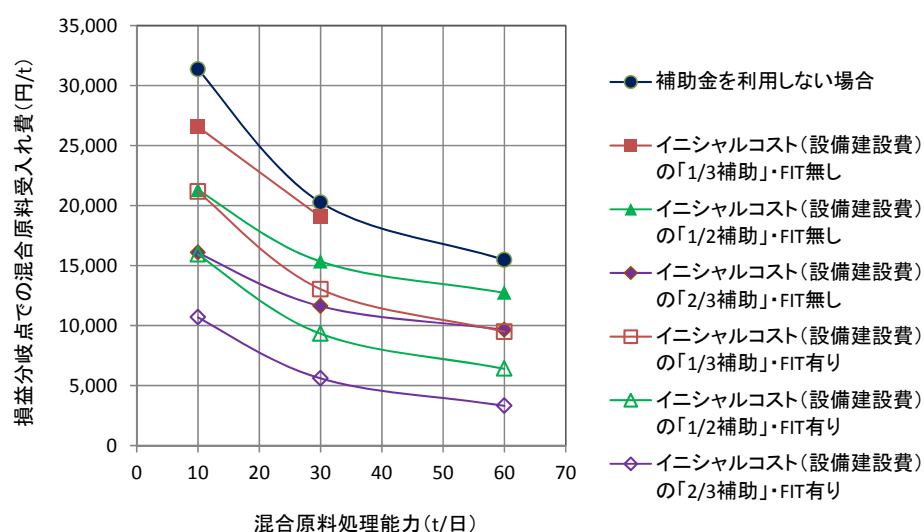
- 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の混合原料処理能力：10 t/日では、設備建設費の 1/3 の金額の補助（「1/3 補助」）を利用すると損益分岐点での混合原料受入費が約 23,300 円/t から約 14,700 円/t に下降する（図参 3 0）。
- 「水処理設備を持つ場合」の混合原料処理能力：30 t/日では、「1/3 補助」を利用すると損益分岐点での混合原料受入費が約 20,000 円/t（「補助金無し」・「FIT 有り」）から約 13,000 円/t に下降する（図参 3 1）。
- 「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」（焼却処分料：20,000 円/t、脱水ケーキの含水率：75%）の混合原料処理能力：30 t/日では、「1/3 補助」を利用すると損益分岐点での混合原料受入費が約 35,600 円/t から約 28,400 円/t に下降する（図参 3 2）。



図参 3 0 「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」の損益分岐点への補助金利用の影響
(稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料)

(注) 30 t/日と 60 t/日では、「1/3 補助」・FIT 無しの場合には損益分岐点が補助金を利用しない場合よりも上昇する。
このため、それらの点は表示していない。

(注) 「補助金を利用しない場合」は、「FIT 有り」の条件により試算。

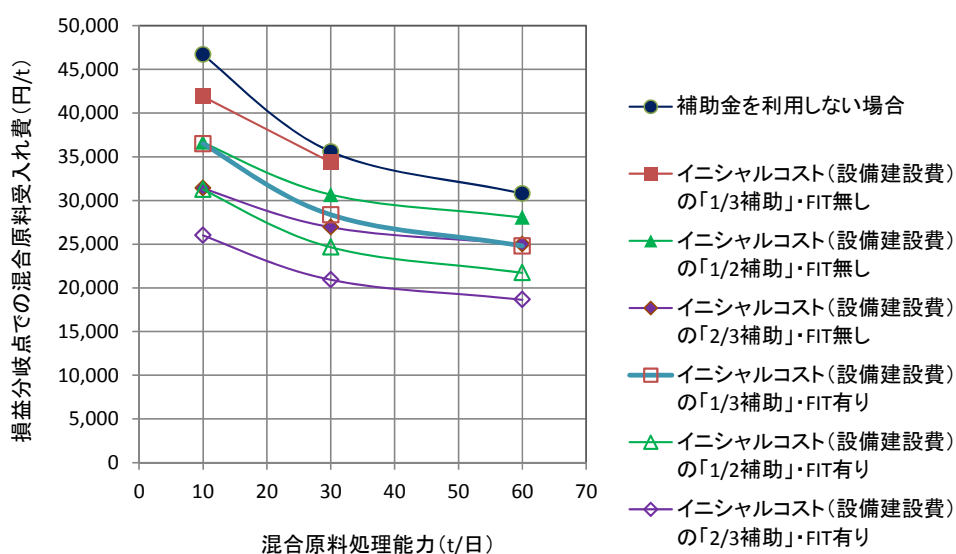


図参 3 1 「水処理設備を持つ場合」の損益分岐点への補助金利用の影響

(稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料)

(注) 60 t/日では、「1/3 補助」・FIT 無しの場合には損益分岐点が補助金を利用しない場合 (FIT 有り) よりも上昇する。このため、それらの点は表示していない。

(注) 「補助金を利用しない場合」は、「FIT 有り」の条件により試算。



図参 3 2 「脱水ケーキの焼却処理が必要な場合」の損益分岐点への補助金利用の影響

(稼働率：85%、バイオガス発生効率：114.17 Nm³/t-混合原料、焼却処分料：20,000 円/t、脱水ケーキの含水率：75%)

(注) 60 t/日では、「1/3 補助」・FIT 無しの場合には損益分岐点が補助金を利用しない場合 (FIT 有り) よりも上昇する。このため、それらの点は表示していない。

(注) 「補助金を利用しない場合」は、「FIT 有り」の条件により試算。

⑤ 小型メタン発酵プラント（1～2 t/日）のコスト改善の可能性

混合原料処理能力：1 t/日の小型メタン発酵施設では、「消化液を液肥利用し水処理設備を持たない場合」においても損益分岐点での混合原料受入費が約 80,400 円/t と高く（図参 2 3）、事業成立が難しい。そこで、プラントメーカーからの情報などに基づき、小型プラント（混合原料処理能力：1 t/日）のコスト改善の可能性を考察した。

その結果、「発電機を設置しない」、「ガスホルダーや消化液貯留槽などを設置せず設備構成を簡素化する」、「少量処理である故に可能な材質変更や設備の簡素化により設備建築費を低減する」などの条件下では、損益分岐点での混合原料受入費が約 31,900 円/t に低減できると計算された。以下にその詳細を記載する。

小型メタン発酵施設（混合原料処理能力：1 t/日）の場合には、本節（2－1）で示したメタン発酵施設の仕様条件とは異なるプラントの構成や仕様が適用できる可能性がある。具体的には、表参 2 5 の条件：①～⑥が適用できる可能性があり、その場合のコストを計算した。ボイラーによる熱を敷地内の保有設備に利用する場合のコスト節約分を算出する際に使用した条件を表参 2 6 に示す。

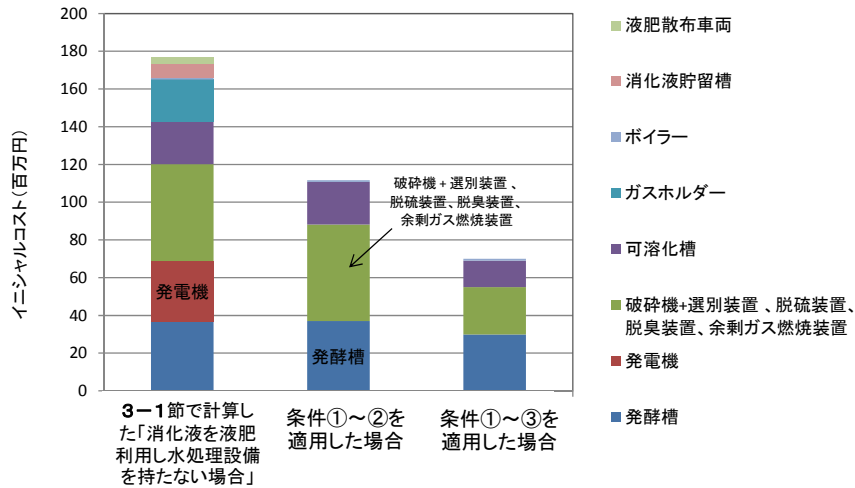
表参 2 5 小型プラント（混合原料処理能力：1 t/日）のコスト改善のために適用した条件

番号	条件
①	発電機は設置しない。 ボイラーによるバイオガスの燃焼熱の利用を行う。
②	ガスホルダー、消化液貯留槽を設置しない。また、液肥散布車両や液肥散布経費を必要としない。 これは、例えば、「消化液は敷地内の既存の設備で処理できる」などによる。
③	少量処理であるから可能な材質変更や設備の簡素化により設備建築費を低減する。 これは、例えば、「発酵槽を鋼板製から樹脂製に変更する」などによる。
④	ボイラーで発生させた熱エネルギーの利用による収入（熱利用収入）が得られる。 これは、例えば、「熱エネルギーを敷地内の別設備で利用でき、これによる燃料コストの節約で収入が得られる」などによる。
⑤	稼働率が高い(95%)。 これは、例えば、「隣接する設備で定常的に発生する動植物性残渣を原料に使用するなど、同じ種類の原料が安定して入手できる」などによる。
⑥	高いバイオガス発生効率(150 Nm ³ /－t 混合原料)の原料を使用する。

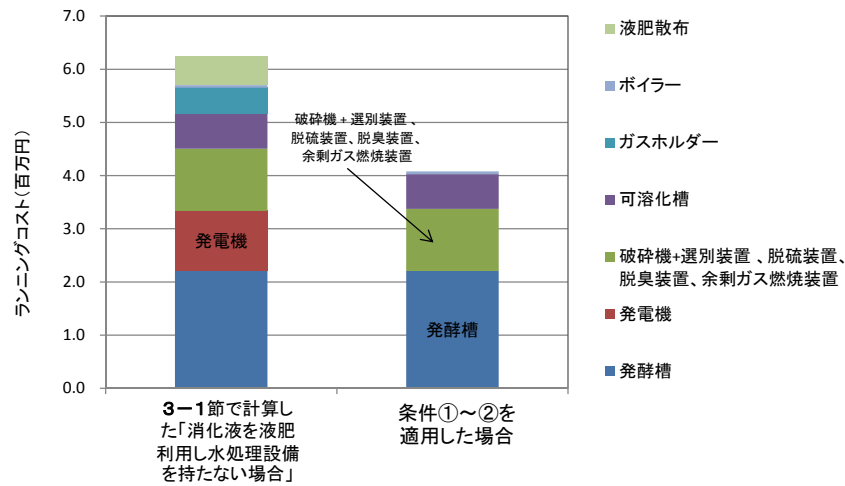
表参 2 6 その他の適用条件

項目	条件
ボイラーの熱エネルギー変換効率	90%
熱エネルギーの都市ガス換算	1.79 円/MJ

表参 2 5 の条件を適用することによる小型メタン発酵施設（混合原料処理能力：1 t/日）のイニシャルコスト（設備建設費）の低減を図参 3 3 に示す。ここで、条件③による設備建築費の低減は、条件①～②を適用した後の設備建築費を約 63%まで低減できると仮定した。また、表参 2 5～表参 2 6 の条件を適用することによるランニングコストの低減を図参 3 4 に示す。

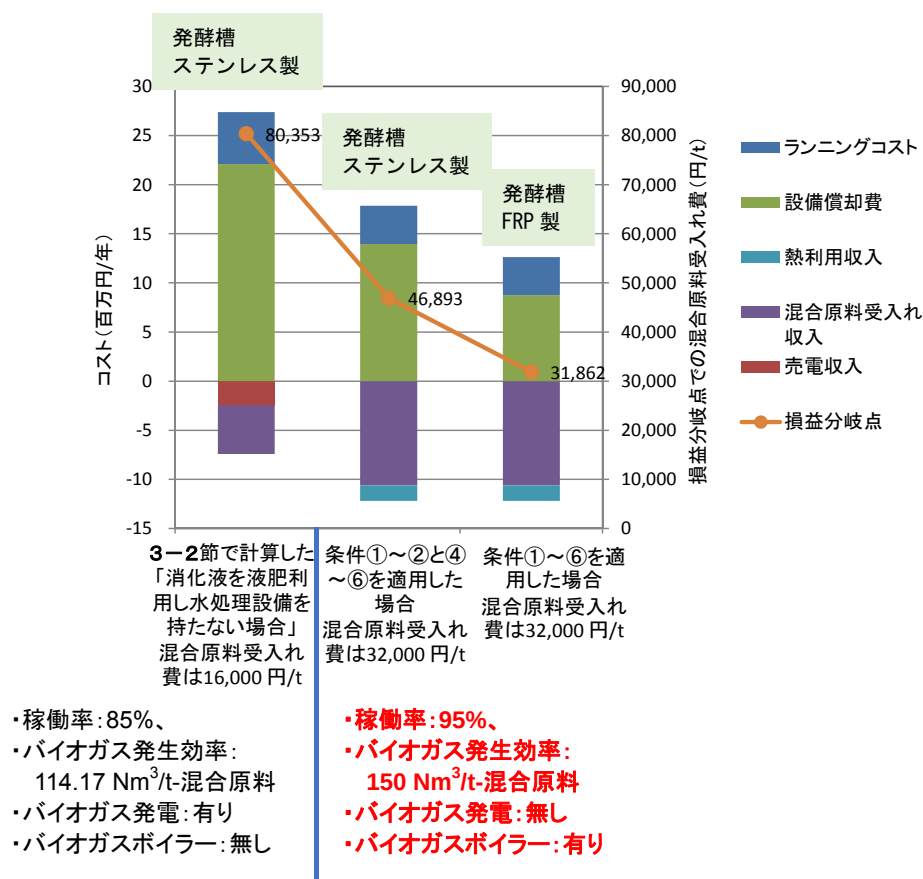


図参 3 3 小型メタン発酵施設（混合原料処理能力：1 t/日）のインニシャルコスト（表参 2 5 の条件の適用によるインニシャルコストの低減）



図参 3 4 小型メタン発酵施設（混合原料処理能力：1 t/日）のランニングコスト（表参 2 5 の条件の適用によるランニングコストの低減）
（注）発酵槽材質変更による発酵槽維持管理費の変更は無いと仮定

表参 2 5 の条件を小型メタン発酵施設（混合原料処理能力：1 t/日）に適用することにより、コスト構造と損益分岐点の変化を算出した結果を図参 3 5 に示す。損益分岐点での混合原料受入費は、条件①～②と④～⑥を適用することにより約 46,900 円/t まで低減され、また、条件①～⑥を適用することにより約 31,900 円/t まで低減される。



図参 3 5 小型メタン発酵施設（混合原料処理能力：1 t/日）のコスト構造と損益分岐点（表参 2 5～表参 2 6）の条件の適用によるコスト構造と損益分岐点の変化）

小型メタン発酵プラント（混合原料処理能力：1 t/日）に補助金を利用した場合の損益分岐点を計算した。表参 2 5 の条件①～⑥を適用した小型メタン発酵プラントの場合、イニシャルコスト（設備建設費）の 2/3 を補助で賄うと、損益分岐点での混合原料受入費が約 31,900 円/t から約 15,000 円/t に下降する（表参 2 7）。

表参 2 7 小型プラント（原料処理能力：1 t/日）のコスト改善のために適用した条件

条件	損益分岐点
条件①～⑥を適用した場合（図参 3 5 の右端の条件）	31,862 円
補助金:設備建設費の 1/3 利用	23,534 円
補助金:設備建設費の 1/2 利用	19,245 円
補助金:設備建設費の 2/3 利用	14,955 円

1 t/日の小型メタン発酵プラントでは、バイオガス発電をバイオガスボイラーに切り換えることにより、食品加工施設で熱・蒸気の有効利用が図られ、かつ、食品加工施設から排出される動植物性残渣をオンサイトのメタン発酵施設で処理することにより、高額の外部委託処理費用を節減できる。さらに、補助金の利用により経済性が十分に成り立ち、オンサイトの小型メタン発酵プラントの導入が進展するものと期待される。

6. 5 CO₂削減効果に関する検討

CO₂削減効果は、「循環資源のリサイクル及び低炭素化に関する効果算出ガイドライン（Ver. 1.0）」（平成 28 年 3 月環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部企画課リサイクル推進室）により算定する。

（１）CO₂算定のモデルケースの設定

CO₂削減効果を算定するために、5. 2. 7 節（１）の表 2 5 に示すケース 1 ～ケース 6 を使用する。ケース 1 ～ケース 6 の設定条件を表参 2 8 に再度示す。

表参 2 8 CO₂削減効果の検討ケース

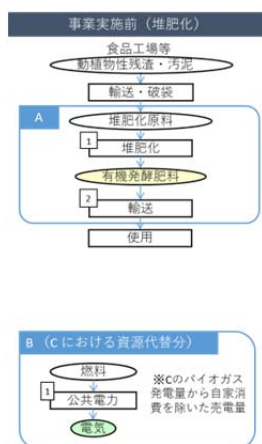
検討ケース	設定条件
ケース 1	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の全量をメタン発酵 処理規模: 50 t/日 水処理無し
ケース 2	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模: 30 t/日 水処理無し
ケース 3	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模: 10 t/日 水処理無し
ケース 4	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の全量をメタン発酵 処理規模: 50 t/日 水処理有り
ケース 5	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模: 30 t/日 水処理有り
ケース 6	堆肥化施設で受け入れている食品残渣等原料の一部をメタン発酵 処理規模: 10 t/日 水処理有り

（２）CO₂削減量の算定方法

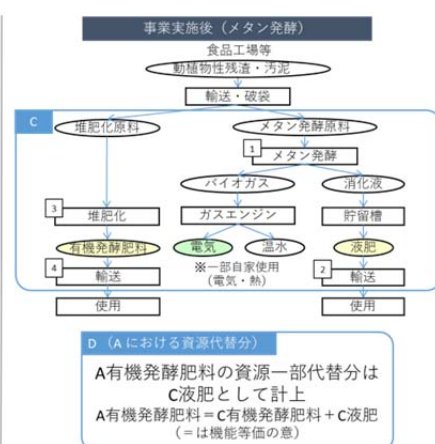
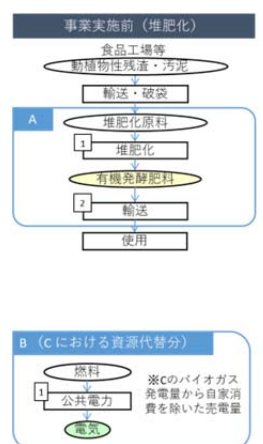
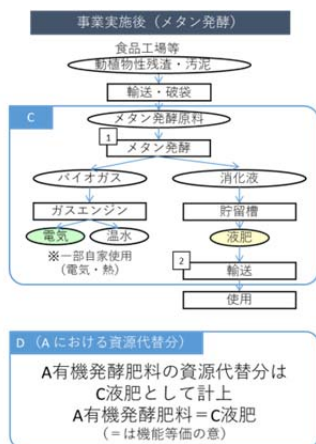
- ① 事業実施前（ベースライン）と実施後の事業範囲を比較できるよう、メタン発酵事業実施前後のプロセス範囲、プロセスフローを設定し、各プロセスの評価範囲を明示する。
 - ・ 事業実施前のプロセス範囲【バウンダリ A】
 - ・ 事業実施後のプロセス範囲【バウンダリ B】
 - ・ 事業実施後における資源代替と機能等価のプロセス範囲（B の事業がなかった場合に B で資源代替された製品やサービスを生み出すプロセス）【バウンダリ C】
 - ・ 事業実施前の従来事業 A において資源代替がなされていた場合にその資源代替と機能等価のプロセス範囲【バウンダリ D】
- ② バウンダリ A～D における二酸化炭素排出量を算出する。算出にあたっては、CFP プログラムの算定用二次データベース等、ガイドラインが推奨する「ライフサイクルを考慮した原単位」を使用する。
- ③ $A+B-(C+D)$ により二酸化炭素削減効果を算出する。

ケース 1 ～ケース 6 に対するプロセス範囲及びプロセスフローを図参 3 6 に示す。

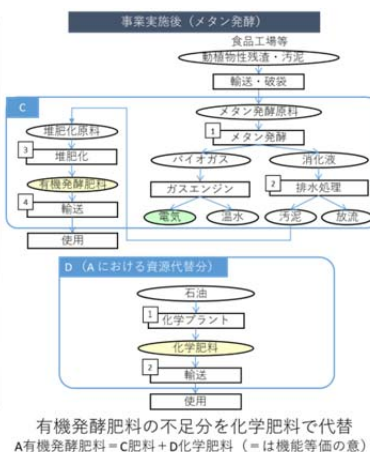
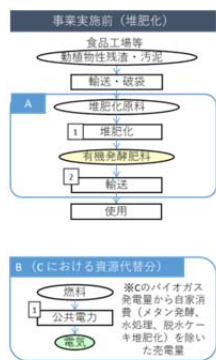
ケース1



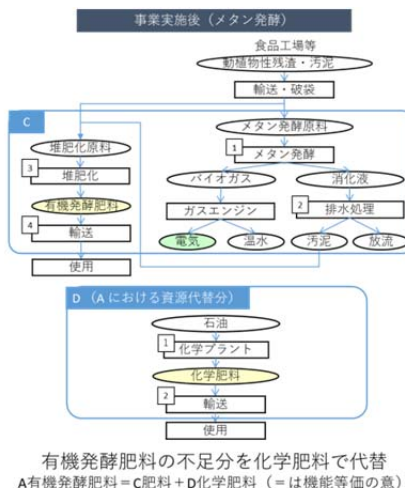
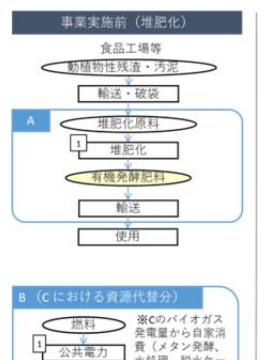
ケース2～ケース3



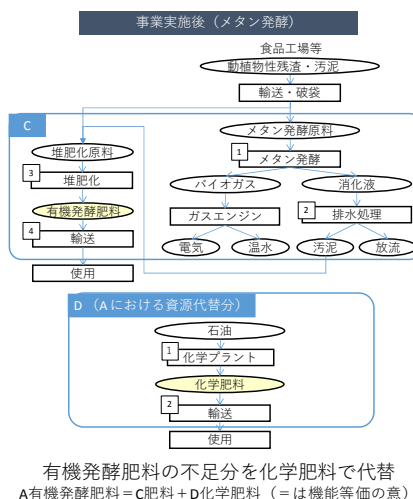
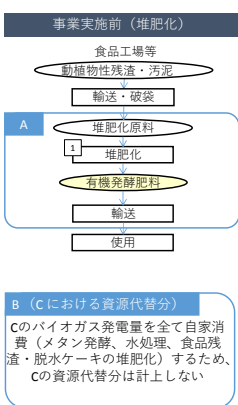
ケース4



ケース5



ケース6



図参 3 6 CO₂削減量の評価に使用したケース1～ケース6のプロセス範囲及びプロセスフロー

（３）各プロセスの条件・データ設定

ケース１を例として、プロセスの条件・データ設定の一例を示す。

A. 堆肥化

【A1】堆肥化プロセス

- ① １日あたりの食品残渣処理量（a）：50.5 残渣 t/日
事業者ヒアリングに基づき設定された、現状の堆肥化事業での食品残渣処理量。
- ② １日あたりの堆肥化電力消費量（b）：800 kWh/日
事業者ヒアリングに基づき、700～900 kWh/日の平均値を設定。
- ③ 食品残渣処理 1 t 当たりの電力消費量：15.8 kWh/残渣 t
①、②を基に、(b) / (a) により算出。
- ④ 1 kWh 当たりの CO₂ 排出（c）：0.418 kg-CO₂/ kWh
関西電力㈱の調整後 CO₂ 排出係数⁴⁵⁾。
- ⑤ １日あたりの堆肥化軽油消費量（d）：73 軽油 L/日
事業者ヒアリングに基づくホイールローダ用の軽油消費量（2,200 L/月）を 30 日で除して算出。
- ⑥ 食品残渣処理 1 t 当たりの軽油消費量：1.5 L/残渣 t
⑤、①を基に、(d) / (a) により算出。
- ⑦ 軽油 1 L 生産あたりの CO₂ 排出量（e）：0.152 kg-CO₂/L
産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO₂ 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP 共通 4.01」）（B-JP311005）により設定。
- ⑧ 軽油 1 L 燃焼あたりの CO₂ 排出量（f）：2.58 kg-CO₂/L
環境省「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル（Ver4.3.2）」（平成 30 年 6 月）より、軽油：
37.7 GJ/kL×0.0187 t-C/GJ×44/12 として算出。

【A2】輸送プロセス

- ① 食品残渣 1 t 当たりの堆肥生成量（a）：0.40 堆肥 t/残渣 t
事業者ヒアリングに基づき設定。歩留まり率。
- ② トラックの積載重量：2 t/台
堆肥の運搬、散布は現状、農家の負担であるため、農家の積載重量を想定して 2 t/日と設定。
- ③ 積載率：50%
通常の積載率を基に設定。
- ④ 輸送距離（b）：11.6 km
事業所から最遠の市内農地までの距離を WEB 地図を基に設定。
- ⑤ 食品残渣処理 1 t 当たりの堆肥輸送量：4.64 tkm
(a) × (b) より算出。
- ⑥ 1 tkm 当たりの CO₂ 排出量（c）：0.51 kg-CO₂/ tkm
トラック輸送（2 t 車：積載率 50%）（CFP 共通 4.01 2）

⁴⁵⁾ 出典：環境省「電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）－平成 29 年度実績－H30.12.27 環境省・経済産業省公表」による。

B. 発電

【B1】発電プロセス

- ① 1日あたりの食品残渣処理量 (a) : 50.5 残渣 t/日
A1①に同じ。
- ② 1日あたりの売電量 (b) : 4,911 kWh/日
50 t/日規模のメタン発酵で得られたバイオガスを燃料とするガスエンジン (360 kW、24 h 稼働) による発電量から自家使用分 (ポンプ動力源) を除いた売電量。プラント基本仕様書を基に設定。
- ③ 食品残渣処理 1 t あたりの売電量 (c) : 97.2 kWh/残渣 t
①、②を基に、(b) / (a) により算出。
- ④ 1 kWh あたりの CO₂ 排出 : 0.418 kg-CO₂/ kWh
A1④に同じ。

C. メタン発酵

【C1】メタン発酵プロセス

- ① 1日あたりの食品残渣処理量 (a) : 50.5 残渣 t/日
A1①に同じ。
- ② 1日あたりの希釈水量 (b) : 43.2 希釈水 m³/日
50 t/日湿式メタン発酵槽に投入する原料調整に要する希釈水量 (TS 濃度 10%)。プラント基本仕様書を基に設定。
- ③ 食品残渣処理 1 t あたりの希釈水投入量 : 0.9 希釈水 m³/残渣 t
①、②を基に (b) / (a) により設定。
- ④ 上水道 1 m³あたりの CO₂ 排出量 : 0.348 kg-CO₂/希釈水 m³
希釈水の供給に伴う CO₂ 排出量。希釈水として上水道を想定 (8 地域の水道局)。CFP 共通 4.01 により設定。

【C2】液肥輸送プロセス

- ① 1日あたりの食品残渣処理量 (a) : 50.5 残渣 t/日
A1①に同じ。
- ② 1日あたりの消化液発生量 (b) : 87.9 消化液 t/日
50 t/日規模のバイオガス化で減量化した残量。プラント基本仕様書を基に設定。
- ③ 食品残渣処理 1 t あたりの消化液 (c) : 1.7 消化液 t/残渣 t
①、②を基に (b) / (a) により算出。
- ④ 積載率 : 100%
液肥運搬車による運搬を想定して積載率を設定。
- ⑤ 輸送距離 (d) : 11.6 km
A2④に同じ。
- ⑥ 食品残渣処理 1 t あたりの液肥輸送量 : 20.19 tkm
③、⑤を基に、(c) × (d) により算出。

⑦ 1 tkmあたりのCO₂排出量：0.29 kg-CO₂/tkm

液肥運搬車の積載量を考慮し、トラック輸送（2 t 車、積載率：100%）のCO₂排出係数を、CFP 共通 4.01 を基に設定。

D. Aにおける資源代替の機能等価プロセス

A 有機発酵肥料の資源代替分は C 液肥として計上されているため、追加のプロセスは発生しないものとした。

ケース 2～ケース 3 では、1 日あたりの食品残渣の堆肥化仕向け量：20.5 t/日（ケース 2）、40.5 t/日（ケース 3）を考慮し、堆肥化施設の電力消費による売電量の低減、堆肥化経由消費量、堆肥輸送量に伴う CO₂排出量を考慮する。また、ケース 4～ケース 6 では水処理プロセスによる CO₂排出量、脱水ケーキの堆肥化プロセスによる堆肥化電力量、堆肥化経由消費量、脱水ケーキ輸送量、脱水ケーキにより生産した堆肥生成量・堆肥輸送量を考慮する。さらに、ケース 4～ケース 6 では、堆肥不足分を補填するための化学肥料製造プロセス及び化学肥料輸送に伴う CO₂排出量を考慮する。

（4）CO₂削減量及びCO₂削減コストの算出結果

CO₂削減量及びCO₂削減コストの算出結果を表参 2 9 に示す。イニシャルコスト及びランニングコストは、メタン発酵施設の基本仕様書に基づいて、表参 1 9～表参 2 4 に示す値（建設費、稼働率 100%の支出合計）を用いた。例えば、ケース 1 の場合、建設費：2,350,000,000 円、支出合計：69,202,150 円/年である。CO₂削減コストの算出では、装置の耐用年数を 15 年とした。

ここで、CO₂削減コスト算出で使用した「CO₂とコストのバウンダリ」について述べる。各コストはメタン発酵事業実施に伴う事業者の追加コストを計上したものであり、現状の堆肥化コストや、メタン発酵事業に伴う有機堆肥肥料の減少分を補うための化学肥料製造・供給に伴うコスト、メタン発酵後の消化液（液肥）の輸送コストは、農家の受益者負担となるため計上していない。一方、CO₂削減量については、現状の堆肥化事業で扱われた 50.5 t/日の食品残渣処理を対象とした機能等価の考え方に基づくものであるため、メタン発酵残渣に伴う有機堆肥肥料の減少分を補うための化学肥料製造・供給に伴う CO₂やメタン発酵後の消化液（液肥）を農地還元する際の輸送時の CO₂等は全て計上されている。このように、CO₂削減コスト評価のバウンダリが CO₂とコストでは、厳密には異なる部分があることに留意する必要がある。

表参 2 9 より、「水処理有りでも CO₂削減効果が得られること」、「高処理能力／水処理無しの場合に CO₂削減の費用対効果が大きいこと」がわかる。

表参 2 9 CO₂ 削減効果の検討ケース

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
CO ₂ (CO ₂ e-t/年)	831	472	128	562	293	42
イニシャルコスト(百万円/年)	157	109	51	209	146	68
ランニングコスト(百万円/年)	69	49	26	136	98	42
売電収入(百万円/年) (a)	70	41	14	53	29	7
売電収入(百万円/年) (b)	70	37	5	50	23	0
CO ₂ 削減コスト (イニシャル、百万円/CO ₂ e-t)	0.189	0.232	0.395	0.372	0.498	1.625
CO ₂ 削減コスト (ランニング、百万円/CO ₂ e-t)	0.083	0.104	0.203	0.241	0.335	0.998
CO ₂ 削減コスト (ランニングコストから売電収入 (a)減算、 百万円/CO ₂ e-t)	-0.001	0.017	0.096	0.147	0.235	0.824

(注) 売電収入 (b)は堆肥化電力消費を控除した後の売電収入である。

(注) 売電収入に関しては、メタン発酵施設の消費電力を「動力源 24 h/日フル稼働」と仮定しているため、厳しい条件下での売電収入となっている。この点を考慮すれば、ケース 1～ケース 6 の CO₂ 削減コストはさらに改善される。

(5) メタン発酵施設建設時に伴う CO₂ 削減効果への影響評価

表参 3 0 に示す CO₂ 削減効果は、メタン発酵施設建設時に伴って排出される CO₂ による CO₂ 削減効果への影響が含まれていない。

メタン発酵装置のプラント構成要素、部材に関する詳細な情報は十分ではないため、積み上げ法ではなく、CFP 利用可能データの「産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)」における、化学装置の GHG 排出原単位 (購入者価格ベース) $2.86 \times 10^{-3} \text{ kg-CO}_2\text{e/円}$ にメタン発酵装置建設コストを乗じて算出する。装置建設費はプラント基本仕様書による。装置の耐用年数は、機械及び装置の耐用年数表に基づき 15 年とする。3EID の年次は 2005 年であるため、GDP デフレーターによる 2005 年/2018 年比 = $107.95/103.59 = 1.04$ を用いて補正する。

メタン発酵施設建設時に伴って排出される CO₂ を含む場合の CO₂ 削減量、CO₂ 削減コストを表参 3 0 に示す。メタン発酵施設建設時の CO₂ を含む場合の CO₂ 削減コストは、メタン発酵施設建設時の CO₂ により CO₂ 削減効果がかかなり相殺される。特に、ケース 5～ケース 6 の場合、バイオガス発電のみではメタン発酵施設と堆肥化施設の動力を賄うことができず、メタン発酵事業実施時の代替分の CO₂ 削減効果が見込めない。

表参 3 0 CO₂ 削減効果の検討ケース (メタン発酵施設建設時に伴って排出される CO₂ を考慮)

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
CO ₂ (CO ₂ e-t/年)	520	255	28	96	-33	-109
イニシャルコスト(百万円/年)	157	109	51	209	146	68
ランニングコスト(百万円/年)	69	49	26	136	98	42
売電収入(百万円/年) (a)	70	41	14	53	29	7
売電収入(百万円/年) (b)	70	37	5	50	23	0
CO ₂ 削減コスト (イニシャル、百万円/CO ₂ e-t)	0.301	0.428	1.823	2.185	-	-
CO ₂ 削減コスト (ランニング、百万円/CO ₂ e-t)	0.133	0.193	0.936	1.418	-	-
CO ₂ 削減コスト (ランニングコストから売電収入 (a)減算、 百万円/CO ₂ e-t)	-0.001	0.032	0.442	0.865	-	-

(注) 売電収入 (b)は堆肥化電力消費を控除した後の売電収入である。

(注) 売電収入に関しては、メタン発酵施設の消費電力を「動力源 24 h/日フル稼働」と仮定しているため、厳しい条件下での売電収入となっている。この点を考慮すれば、ケース 1～ケース 6 の CO₂ 削減コストはさらに改善される。

6. 6 関連法令及び許認可申請

(1) 安全面・環境面の関連法令及び許認可申請項目

メタンガス化施設を導入するにあたり、設備の構成、容量、用途等に対して各種の法的規制が適用されている。主な関連法規及び許認可申請項目を**表参3 1**に示す。

メタンガス化施設のうち、ガス貯留設備については、都市計画法上の用途地域によってはその容量に上限があり、また基本的に立地できないことがある。（例えば、住居地域では設置ができない。商業地域や準工業地域では容量に上限がある。）この点について留意が必要であり、必要に応じて用途変更を行うこともある。

メタンガス化の各種の設備によっては、その運転操作に資格が必要な場合もある。法規制等を整理して、有資格者を配置する体制も検討する必要がある。具体的には、発電設備（ガスエンジン、ガスタービン）を設置する際には、電気主任技術者が必要であり、ガスタービン等を設置する際（300 kW 以上の場合）にはボイラータービン主任技術者が必要となる。また、排水処理施設の排水量が法律、条例の基準以上の場合は、公害防止管理者（排水）が必要となる。

表参 3 1 安全・環境等の関連法規及び許認可申請項目一覧

調査、許認可申請項目	許認可	根拠法令、 条例等	調査、確認内容
調査、計画段階			
土地売買届出	届出	国土利用計画法	土地売買等の契約を締結する場合に必要。(市街化区域 2,000 m ² 以上、市街化調整区域全て等)
土地区画整理事業の施行地区内における建築小売等の許可	許認可	土地区画整理法	施行地区内において、土地区画整理事業の施行の障害となる恐れのある土地の形質の変更もしくは建築物その他の工作物の新築、改築もしくは増築を行い、または移動の容易でない物件の設置もしくは堆積を行おうとする場合に必要。
開発許可	許認可	都市計画法	開発行為をしようとする場合に必要。(市街化区域 2,000 m ² 以上、市街化調整区域全て等)
農地転用の許認可手続	許認可	農地法	農地を農地以外のものにする場合または農地を農地以外のものにするために所有権等の権利を設定または移転する場合
工場立地に関する届出	届出	工場立地法	工場立地法に関する届出の該当性、届出内容の確認。
廃棄物の収集、運搬、処理業許可申請	許認可	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	収集・運搬、及び処分を業として行う場合には自治体の許可が必要。(業としての許可) また、一定規模以上の処理施設の設置にも許可が必要。(施設としての許可) 産業廃棄物の場合は、都道府県知事(保健所を設置する市または特別区にあっては、市長または区長)、一般廃棄物としてのバイオバスの場合は市町村長に届出。
環境影響評価	許認可	環境影響評価法、 環境影響評価条例	計画出力が法で定める第一種及び第二種事業に該当する場合に必要。地元条例も確認要。
計画、設計段階			
建築確認申請、工事完了検査	申請	建築基準法	建築物を建てる場合に申請。一定規模以上の建築物は適合性判定機関の審査も必要。
危険物(貯蔵所、取扱所、製造所)設置許可申請	許認可	消防法	重油タンク等は危険物貯蔵所として本法により規制され、指定数量以上の貯蔵または取り扱う場合は許可が必要。設置に関する事前相談及び指導等必要。
騒音発生施設の届出	届出	騒音規制法、 公害防止条例	騒音規制区域の確認と規制基準、該当する機器と基準の確認。 一定規模以上の施設について資格者が必要。
振動発生施設の届出	届出	振動規制法、 公害防止条例	振動規制区域の確認と規制基準、該当する機器と基準の確認。 一定規模以上の施設について資格者が必要。 空気圧縮機及び送風機(原動機の定格出力が 7.5 kW 以上のものに限り)は、本法の特定施設に該当し、知事が指定する地域では規制の対象となる。
ばい煙・粉じん発生施設の届出	届出	大気汚染防止法、 公害防止条例	ばい煙の排出基準、粉じん発生施設の該当性、届出の要否の確認。 ガスエンジンにて燃料を 35 l/h(重油換算)、ボイラー及びガスタービンにて 50 l/h(重油換算)以上利用する場合、またはボイラーで伝熱面積が 10 m ² 以上の場合は、本法の規制対象となる。
工事計画届出	届出	・発電用火力設備に関する技術基準を定める省令 ・電気事業法	発電所設置の場合、工事計画届出が必要。事前相談と個別指導等を受ける。
水質に関する特定施設の届出	届出	水質汚濁防止法、 公害防止条例	排水基準、特定施設としての該当性の確認。 自治体によっては上乗せ基準が設定されている。

土壌汚染に関する届出	届出	土壌汚染対策法	要措置区域、形質変更時要届出区域等の該当性の確認。
悪臭防止のための特定施設届出	届出	悪臭防止法、 公害防止条例	環境規制項目として事業場敷地境界線の地表における物質濃度規制がある。 本法においては特定施設制度をとっていないが、知事が指定する地域では規制を受ける。 ※兵庫県では①飼料や肥料製造施設、②動物飼育用飼料調理施設、③鶏ふん処理施設、④酵素剤乾燥施設を設置、変更する場合に市町への届出が必要。
公害防止協定	締結	公害防止条例	地元公害防止協定の有無、協定内容の確認。
公共下水道へ排水する場合の届出	届出	下水道法	処理水を公共下水道へ排出する場合に適用する。
主任技術者選任届出	届出	電気事業法	一定以上の発電所の場合、ボイラー・タービン主任技術者及び電気主任技術者の選任届出が必要。 ・電気主任技術者 出力 1000 kW 未満は不選任も可 ・ボイラータービン主任技術者 ボイラーを利用する場合 蒸気ボイラー6 m ² 以上 温水ボイラー28 m ² 以上 貫流ボイラー60 m ² 以上
保安規程届出、工事計画届出	届出	電気事業法	発電所の運用上の保安規程の制定と届出が必要。事前相談と個別指導等必要。 ・特別高圧(7,000 V 以上)で受電する場合 ・高圧受電で受電電力の容量が 50 kW 以上の場合 ・自家用発電設備を設置する場合及び非常用予備発電装置を設置する場合
熱供給事業登録申請供給規程認可、届出	許認可	熱供給事業法	複数の建物(自家消費は除く)へ熱を供給し、加熱能力の合計が 21 GJ/h 以上の熱供給者に許可が必要。
ボイラー及び圧力容器設置届出	届出	労働安全衛生法	ボイラー利用設備に対し、ボイラー技士が必要となるが、伝熱面積が 6 m ² (蒸気ボイラー)、28 m ² (温水ボイラー)未満の場合は不要となる。熱供給事業を行う場合、該当性の確認が必要。
着工、運転段階			
・溶接安全管理検査 ・使用前安全管理検査申請	許認可	電気事業法	発電用のボイラー、タービン及び電気工作物等を設置する場合に必要。審査機関も選定。
		高圧ガス保安法	高圧ガスの製造、貯蔵等を行う場合。
・導管工事計画届出 ・保安規程届出	届出	熱供給事業法	複数の建物(自家消費は除く)へ熱を供給し、加熱能力の合計が 21 GJ/h 以上の熱供給者に許可が必要。
・危険物(貯蔵所・取扱所・製造所)完成審査申請 ・予防規定認可申請 ・危険物保安監督者選任届出	許認可、 届出	消防法	危険物取扱設備の完成に伴う各種申請、届出が必要。
公害防止管理者・ 公害防止統括者選任届出	届出	特定工場における 公害防止組織の整備に関する法律	

準用事業者の届出	届出	ガス事業法	製造したガスを自ら使用するまたは、供給する事業を行う場合。 ガスの製造能力または供給能力のいずれか大きいものが 300 m ³ /日以上である場合、メンブレンガスホルダーはガス事業法技術基準への適合・維持義務が課せられる。
肥料の届出と表示	届出	肥料取締法	発酵残渣を利用してつくる堆肥については、届出や品質表示が必要。
特定建設作業実施の届出	届出	騒音規制法、 振動規制法	
		省エネ法	電力、燃料を一定以上利用する施設では有資格者が必要。エネルギー使用量の記録義務あるいは定期報告が必要。
建築工事届出、工事完了検査	届出	建築基準法	
・その他、場所等に応じて考慮すべき項目			
建築物等の新築等の届出	届出	景観法	該当性及び届出内容、景観配慮の内容の確認。
開発行為許可申請	許認可	都市計画法	都市計画法 29 条 1 項の許可が必要かどうかの確認。許可取得時期の確認。
道路法に基づく車両制限	届出	道路法	一般的制限値(最高限度):幅 2.5 m、長さ 12.0 m、高さ 3.8 m、総重量 20.0 t、軸重 10.0 t、輪荷重 5.0 t、最小回転半径 12.0 m 等の確認。
道路使用許可に関する届出	届出	道路交通法	道路において工事、作業を行う場合や工作物を設置する場合に必要。
臨港地区の利用に関する届出	届出	港湾法	立地場所が港湾に近い場合、港湾法や条例における該当性、届出内容の確認。
昼間障害標識設置物件の届出	届出	航空法	煙突、鉄塔その他国土交通省令で定める物件で地表または水面から 60 m 以上の高さのもの、航空機の航行の安全を著しく害する恐れがある場合に必要。
伝搬障害防止区域における高層建築物等に係る届出	届出	電波法	電波伝搬障害区域内に建築を予定している高層建築物(地表高 31 m を超える建築物)等が、重要無線通信に障害を及ぼすと判断される場合に必要。
労働者名簿、賃金台帳、時間外・休日労働に関する届出、就業規則等	届出	労働基準法	労働者を雇い入れた場合に必要。
クレーン設置届出	届出	労働安全衛生法	一定規模以上のクレーンを設置する場合、届出が必要。該当性の確認と届出時期の確認。
資材リサイクル措置の届出	届出	建設リサイクル法	届出の該当性、届出内容の確認。
		食品リサイクル法	食品関連事業者は、食品廃棄物の発生抑制、減量化、または食品循環資源の再生利用に取組まなければならない。取組が著しく不十分の場合、勧告、公表、命令及び罰則がある。

※「根拠法令、条例等」の色分け:赤:安全面、緑:環境面、青:事業面

出典:メタンガス化施設整備マニュアル(環境省)、廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き(環境省)、三重県バイオマスエネルギー利用ビジョン(三重県)、バイオマス設備技術指針(NEDO)等に基づき作成

（２）バイオガスホルダーに関わる許認可

国内のメタン発酵によるバイオガス事業は、ガス事業法と高圧ガス保安法による規制により、「大口ガス事業」あるいは「準用事業者」として展開することになる。固定価格買取制度（FIT）は、「準用事業者」に該当する。

適用するメタン発酵の種類にもよるが、食品廃棄物投入量：約 2.5 t/日以上の場合、「ガス工作物の技術基準」への適合維持義務が生じる。また、法解釈にもよるがガス製造能力が 100 m³/日以上の場合は、都道府県知事の許可と資格者が必要になる。さらに、立地条件について建築基準法の規制がある。

ガスホルダーについても、「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」で規制されており、配管やレイアウトに至るまで細かく定められている。

① バイオガスの製造と利用に関わる法律：ガス事業法

ガス事業法におけるガス事業区分を表参 3 2 に示す。メタン発酵によりバイオガスを発生させ、バイオガスを使用することは「準用事業者」に該当する。

表参 3 2 ガス事業法におけるガス事業区分

一般ガス事業（許可制）	供給区域内の需要家に対し導管によりガス（主に天然ガス）を供給する事業
簡易ガス事業（届出制）	一団地内に 70 戸以上の供給地点を設定し、その供給地点群の需要家に対し簡易なガス発生設備（特定ガス発生設備）を用いて導管によりガス（主にLPG）を供給する事業
ガス導管事業者	自らが維持し、及び運用する特定導管（主としてメタン、2 km もしくは 15 km を超える規模）により、大口供給等の事業を行う者のうち、一般ガス事業者や簡易ガス事業者に該当する者を除いた者
大口ガス事業（届出制）	一般ガス事業者、簡易ガス事業者、ガス導管事業者に該当する者を除いた者 大口供給を行う事業（10 万 Nm ³ /年（46 MJ 換算）以上）、一定数量以上の需要に応じて導管によるガスの供給
準用事業者	ガスを供給する事業または自ら製造したガスを使用する事業を行う者 （バイオガス、高炉ガス、コークスガス、化学工業の副産ガス等の可燃性ガスも対象）

出典：http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/gas/summary/
http://www.safety-hokkaido.meti.go.jp/sangyo_hoan/toshi_gas/bio/publicity/explanation.pdf

● 準用事業者に対する法規制

- ・ ガス工作物の技術基準への適合維持義務（ガス事業法 28 条）

300 m³/日以上の製造能力もしくは供給能力を持つ場合に適合維持が必要である。食品廃棄物の場合、湿式メタン発酵によるバイオガス発生量を 120 Nm³/t と仮定すると、食品廃棄物投入量：2.5 t/日ではバイオガス発生量が 300 m³/日に達する。

また、300 m³/日以上の製造能力もしくは供給能力を持つ準用事業者が所有するメンブレンガスホルダーは、そのホルダー容量によらずガス事業法技術基準への適合・維持義務が課せられる。

- ・ ガス主任技術者の選任（解任）届出・保安監督義務（ガス事業法 31 条）

配管長さ：500 m 以上の場合、甲種・乙種主任技術者が必要になる。

● バイオガス利用事業に必要な手続き

・ 開始（廃止）の届出

動植物性残渣などを原料として、メタン発酵により発生させたバイオガスを燃料として利用をする場合、下記の手続きが必要である。

- a. 「準用事業」の開始届出書に必要事項を記載する。
- b. 産業保安監督部長へ届出を行う。

・ 設備設置（変更）の報告書

バイオガスを燃料として利用をするための設備を設置（変更）した場合、下記の手続きが必要である。

- a. 設備設置報告書に必要事項を記載する。
- b. 添付書類を添える。
- c. 産業保安監督部長へ 20 日以内に報告する。

② バイオガスの製造と貯蔵・移動に関わる法律：高圧ガス保安法

高圧ガス保安法が適用されない条件、適用される場合の該当事項、適用時の条件をまとめて表参 3 3 に示す。

表参 3 3 高圧ガス保安法の適用について

適用範囲外の条件	該当事項	適用時の条件
1 MPa 未満の低圧	ガスを「1.0 MPa 以上に加圧する行為」は「高圧ガスの製造」に該当	高圧ガス保安法の取扱資格が必要
ガス製造能力が 100 m ³ /日	ガス製造能力が 100 m ³ /日以上は高圧ガス保安法の「第一種製造」に該当	都道府県知事の許可、資格者が必要
ガス貯蔵量 1000 m ³ 未満	1000 m ³ 以上の貯蔵の高圧ガスを貯蔵する	都道府県知事の許可が必要
ガス移動量 300 m ³ 未満	300 m ³ 以上の可燃性ガスを移動する	移動監視者の同乗が必要

出典：

http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/hipregas/kisei/index.html

<https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/info/journal/2018/201709-8.pdf>

③ 建築基準法における規制

建築基準法の適用条件をまとめて表参 3 4 に示す。

表参 3 4 建築基準法の適用について

地域	高圧ガスの製造施設、貯蔵所等
第一種及び第二種低層住居専用地域	原則として建築不可
第二種中高層住居専用地域 第一種及び第二種住居地域内準住居地域	下記数量を超えるもの 可燃性ガスの貯蔵量 35 Nm ³ 圧縮天然ガスの場合 350 Nm ³
近隣商業地域、商業地域	下記数量を超えるもの 可燃性ガスの貯蔵量 70 Nm ³ 圧縮天然ガスの場合 700 Nm ³
準工業地域	下記数量を超えるもの 可燃性ガスの貯蔵量 350 Nm ³ 圧縮天然ガスの場合 3,500 Nm ³
工業地域、工業専用地域	無制限

出典：建築基準法第四十八条地域区分より

[https://scf-s.db.aist.go.jp/sdb/scfdb/member/database/gas/file_houritsu/21116200\(1940\).htm](https://scf-s.db.aist.go.jp/sdb/scfdb/member/database/gas/file_houritsu/21116200(1940).htm)

④ その他の法規制

その他の法規制として、「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」（平成十二年通商産業省令第百十一号）が施行されている。同省令の第 3 章にガスホルダー及び液化ガス用貯槽に関する規制が含まれている。

また、経済産業省が平成 27 年 6 月に公開した「メメンガスホルダーに関わるガイドライン」⁴⁶⁾において、メメンガスホルダーが材質・設計を含めて詳細に定義されている。

（3）メタン発酵施設導入に関する許認可申請届出に関する注意点

産業廃棄物処理業及び一般廃棄物処理業の許認可の必要性については、兵庫県もしくは各市町の担当部局と事前に協議を行う必要がある。また、各届出の期限についても留意する必要がある。「現状（計画立案前）から進捗状況に対応した届出や処理」を図参 3 7、「進捗状況に応じた関係法令毎の許認可申請届出」を図参 3 8 に示す。

⁴⁶⁾ 出典： http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2015/06/270608-2-3.pdf

現 状	計画立案 1年程度	調 査 1年程度	着工前	完成時 1～2年程度	運転・保守
●都市計画法 - ー都市計画区域内に都市施設を整備する場合 (下水道, 汚物処理場, ごみ焼却場その他の供給施設又は処理施設)		都市計画決定(法第11条第2項) ・都市施設の種類, 名称, 位置, 区域, 面積等その他政令で定める事項 ・事業認可申請(法第59条)			
●廃棄物の処理及び清掃に関する法律 - ー廃棄物の収集・運搬・処分を業として行う場合 - ー処理施設を設置する場合		環境影響調査・予測・評価 (生活環境調査項目) ・大気汚染 ・水質汚濁 ・騒音、振動または悪臭	廃棄物処理施設設置許可申請 ↓ 公告・縦覧 設置許可	使用前検査	技術管理者の配置
●ガス事業法 - ガスを供給する事業又は製造・使用する設備を設置する場合 (本法上の「準用事業者」に該当)			・事業開始等の届出(法第39条) ・主任技術者の選任届出(法第31条) (ガス工作物) ・工事計画の届出(法第36条の2) (着工の30日前まで)		
●電気事業法 - ー電気を供給する事業を行う場合 (自家用で100kW未満の場合を除く)			・主任技術者の選任届出(法第43条) (電気及びボイラ・タービン) ・保安規定の届出(法第42条) ・工事計画の届出(法第48条)	・使用前安全管理検査(法第50条の2) ・溶接安全管理検査(法第52条)	・定期安全管理検査 (方第55条)

図参37 現状（計画立案前）から進捗状況に対応した法令毎の届出や処理

(注) 産業廃棄物処理施設設置の許可申請は、処理費用を徴収し集中方式で収集・運搬・処分を業とする場合に必要となる。メタン発酵施設自体は、許可対象ではない。
電気主任技術者は、出力 1000kw 未満の場合は不選任でも良い。

出典：「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第3版）」独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、石川県、福島県資料など

	計画立案 1年程度	調査 1年程度	着工前	完成時 1～2年程度	運転・保守
関係法令 －許認可および届出	高圧ガス保安法 ・高圧ガス製造許可申請 ・危害予防規定認可申請書 ・高圧ガス製造保安統括者等届出書、 同代理者届出書 ・冷凍保安責任者届出書、 同代理者届出書 ・特定高圧ガス取扱主任届出書 ・高圧ガス(一般高圧ガス)貯蔵所 設置許可申請書	消防法 ・危険物(取扱所、貯蔵所、製造所) 設置許可申請書 (着工の30日前まで) 工場立地法 ・特定工場新設届出書 (工事着工の90日前まで) 実施制限時間の短縮申請書	消防法 ・消防用設備着工届出書 (着工10日前まで) 騒音規制法/振動規制法 ・特定建設作業実施届出書 (開始の7日前まで)	消防法 ・危険物(取扱所、貯蔵所、製造所)完成審査申請書 ・予防規定認可申請書_危険物保安監督者選任届出書 高圧ガス保安法 ・製造施設完成検査申請書, 同開始届出書 ・高圧ガス(一般高圧ガス)貯蔵所完成検査申請書 ・高圧ガス(冷凍)製造事業届出書(製造開始20日前まで) ・特定高圧ガス消費届出書(消費開始20日前まで)	
			労働安全衛生法 ・共同企業体代表者届出書 ・総括安全衛生管理者選任報告 ・安全管理者選任報告 (以上, 工事開始14日前まで) ・排熱ボイラ設置届出(報告)書 (設置の30日前まで/報告はあらかじめ)	特定工場における公害防止組織の整備に関する法律 ・公害防止統括者選任届出書(事由発生日から30日以内) 労働安全衛生法 ・衛生管理者選任報告 ・作業医選任届出書 ・作業主任者の選任届出書(以上, 事由発生から14日以内)	
考慮すべき法令	○国土利用計画法 ○農地法 ○農業振興地域の整備に関する法律 ○鳥獣保護及び狩猟に関する法律 ○文化財保護法 ○電波法	○大気汚染防止法 ○水質汚濁防止法 ○騒音規制法 ○振動規制法 ○労働基準法 ○労働安全衛生法	○建築基準法	○建築基準法 ○電波法 ○航空法	

図参38 進捗状況に対応した関係法令毎の許認可申請届出

出典：「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第3版）」独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、石川県、福島県資料など

（４）消化液脱水ろ液を公共用水域へ排出もしくは下水放流する場合の関連法令等と排水基準等

消化液の脱水ろ液を公共用水域へ排出する場合、排水基準が国や地方自治体による各種法令・条例により定められている。

① 水質汚濁防止法⁴⁷⁾

水質汚濁防止法では、特定施設を有する事業場（特定事業場）から排出される水に対して、排水基準以下の濃度で排水することを義務づけている。消化液を直接に排水する場合、条件によっては同法の規制対象となる。

上記の「特定施設」とは、水質汚濁防止法で定められた要件（**表参 4 0 各号のいずれか**）を備える污水又は廃液を排出する施設で政令で定めるもののことである。

表参 4 0 水質汚濁防止法における特定施設の定義

水質汚濁防止法 昭和四五年一二月二五法律第一三八号	
第二条第三号	一 カドミウムその他の人の健康に係る被害を生ずる恐れがある物質として政令で定める物質（以下「有害物質」という。）を含むこと。 二 化学的酸素要求量その他の水の汚染状態（熱によるものを含み、前号に規定する物質によるものを除く。）を示す項目として政令で定める項目に関し、生活環境に係る被害を生ずる恐れがある程度のものであること。

排水基準により規定される物質は大きく二つに分類されており、一つは人の健康に係る被害を生ずる恐れのある物質（有害物質）を含む排水に係る項目、もう一つは水の汚染状態を示す項目（生活環境項目）である。有害物質に対しては 28 項目の基準が設定されており、有害物質を排出する全ての特定事業場に基準が適用される。生活環境項目については、15 項目の基準が設定されており、1 日の平均的な排水量が 50 m³ 以上（兵庫県の場合は 30 m³ 以上等）の特定事業場に基準が適用される。

排水に対する規制基準は、大別すると次の通りである。

- ・ 一律排水基準：国が定める全国一律の基準⁴⁸⁾。
- ・ 上乘せ排水基準：一律排水基準だけでは水質汚濁の防止が不十分な地域において、都道府県が条例によって定めるより厳しい基準⁴⁹⁾。また、上乘せ基準の一部として、排水量の裾下げがある。これは、1 日の平均的な排水量が 50 m³ 未満の事業場に生活環境項目の基準を適用できるよう同じく条例で定めている。
- ・ 総量規制基準：上記に挙げる事業場毎の基準のみによっては環境基準の達成が困難な地域（東京湾、伊勢湾、瀬戸内海）において、一定規模以上の事業場から排出される排水の汚濁負荷量の許容限度として適用される基準（COD、窒素、リン）。

② 瀬戸内海環境保全特別措置法

瀬戸内海環境保全特別措置法は瀬戸内海の環境の保全を目的とした法律であるが、近年、瀬戸内海（特

⁴⁷⁾ 出典：環境省 水質汚濁防止法関係資料 https://www.env.go.jp/air/info/pp_kentou/pem01/mat02_2.pdf

⁴⁸⁾ 環境省 HP で確認可能 <https://www.env.go.jp/water/impure/haisui.html>

⁴⁹⁾ 「兵庫県上乘せ排水基準」は兵庫県法規集で確認可能。

<http://www10.e-reikinet.jp/opensearch/SrMjF01/init:schsessionid=E0220CCBC4C6FF8827A13664CD317A09?jctcd=8A85CFF43A>

に播磨灘)では窒素及びリンの濃度が環境基準値を大幅に下回っており、海域の窒素及びリンの濃度低下が生物生産性や生物多様性に影響を及ぼすことが懸念されている。2015年10月に改正された同法では、生物の多様性及び生産性が確保されている等、瀬戸内海が有する多面的価値及び機能が最大限に発揮された「豊かで美しい海」とするという基本理念が明確化されている。

これを受けて、兵庫県では第8次水質総量削減計画⁵⁰⁾において、栄養塩類の適切な循環の確保に向けた水質の保全及び管理の取組を推進することとしている。この計画では、栄養塩供給の適正化を推進するために排出水について表参4-1のように記述している。

表参4-1 栄養塩供給に関連する水質総量削減計画の内容

化学的酸素要求量、窒素含有量及びリン含有量に係る総量削減計画（兵庫県）	
（4）栄養塩の供給の適正化の推進	ア 排出水の栄養塩濃度管理 下水道終末処理場等からの栄養塩の排出負荷量について、排水基準や総量規制基準の遵守及び窒素・リンの環境基準達成の維持を前提に、生物の多様性及び生産性の確保の重要性に鑑み、排出先の海域の利用の実情を踏まえ、湾・灘毎、季節毎の状況に応じたきめ細かい水質管理を行う栄養塩管理運転を、その実行可能性や影響を十分検討しつつ、順応的に実施する。

兵庫県内において消化液を直接排水する場合、下記の条件を全て満たす事業場は瀬戸内海環境保全特別措置法の対象事業場となり、それ以外の事業場は水質汚濁防止法の対象事業場となる。

- ・ 瀬戸内海環境保全特別措置法適用区域であること。
- ・ 1日当たりの最大排水量が50 m³以上であること。
- ・ 特定施設を有していること。(処理対象人員が201人以上500人以下のし尿浄化槽のみを有する事業場を除く。)
- ・ 下水道終末処理場でないこと。
- ・ 地方公共団体が設置するし尿処理施設、地方公共団体が設置する廃油処理施設及び廃油処理事業の用に供する廃油処理施設でないこと。

瀬戸内海環境保全特別措置法における栄養塩に関する事項は、表参4-2に示す通り検討条項となっている。

表参4-2 栄養塩に関する瀬戸内海環境保全特別措置法の内容（検討条項）

瀬戸内海環境保全特別措置法（瀬戸内法）	
附則	政府は、瀬戸内海における栄養塩類の減少、偏在等の実態の調査、それが水産資源に与える影響に関する研究その他の瀬戸内海における栄養塩類の適切な管理に関する調査及び研究に努め、その成果を踏まえ、法施行後5年を目途として、瀬戸内海における栄養塩類の管理の在り方について検討を加え、必要と認めるときは、その結果に基づいて所要の措置を講ずる。

出典：環境省 瀬戸内海環境保全特別措置法の一部を改正する法律について
https://www.env.go.jp/water/heisa/setonaikai_law_rev.html

⁵⁰⁾ 兵庫県第8次総量削減計画：https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk23/8th_souryou_result.html

③ 下水道へ排除される下水

特定事業場等から公共下水道へ排除される下水は、下水道法や市町村で定める下水道条例による規制がある。排除基準（排出基準）を**表参 3 8**に示す。

表参 3 8 下水道法（施行令）での排出基準（排出水の水質基準）

項目	排除基準値
水温	45(40)℃未満
水素イオン濃度(pH)	pH5.0を超え pH9.0 (pH5.7を超え pH8.7)
生物化学的酸素要求量(BOD)	600(300) mg/L 未満
浮遊物質量(SS)	600(300) mg/L 未満
アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素含有量	380(125) mg/L 未満
窒素含有量	240(150) mg/L 未満
磷含有量	32(20) mg/L 未満

※()内は製造業又はガス供給業の用に供する施設に適応する基準。

出典：下水道法施行令（昭和 34 年政令第 147 号）

http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=334CO0000000147

また、各市町は下水道条例を定めている。神戸市の場合は、**表参 3 9**に示すように、神戸市下水道条例により下水処理場に負荷をかける項目が示されている。

表参 3 9 下水処理場に負荷をかける項目

項目		排除基準			
		東灘・中央・垂水処理区	鈴蘭台処理区	ポートアイランド処理区	玉津・流域下水道処理区
水素イオン濃度(pH)	-	5を超え 9 未満			
生物化学的酸素要求量(BOD)	mg/L	2,000			
浮遊物質量(SS)	mg/L	2,000			
窒素含有量(N)	mg/L	1,200	600	600	1,200
磷含有量(P)	mg/L	160	80	80	160

出典：神戸市 HP

http://www.city.kobe.lg.jp/life/town/waterworks/sewage/img/haisui_gesuidou.pdf

http://www.city.kobe.lg.jp/life/town/waterworks/sewage/01_02.html

6. 7 メタン発酵バイオガス発電プラントの固定価格買取制度（FIT）

（1）メタン発酵バイオガス発電プラント

メタン発酵バイオガス発電プラントとは、**表参 4 3** に示す条件を満たすメタン発酵施設のことをいう。

表参 4 3 メタン発酵バイオガス発電プラントに関する諸条件

	メタンガス発酵施設
立地条件	市街地や住宅地では不適切であると考えられる。 搬入道路(6 m 以上)必要。
発電安定性	24 時間/通年
送電網に影響	最大電力:50 kW を超えると高圧受電(電力会社との事前相談必要)
施設規模	MW 規模まで可能(資源収集律速(商圏律速))
周辺影響	有(立地条件選択と処置・対応が必須) 道路の混雑、落下物や路面の汚れの発生(立地選択) 機器からの騒音・振動(措置必須) 受入れ物による悪臭、イメージ悪化(対応必須) 常に地域住民とのコミュニケーションを図ること
事業収益性	1~2 t/日以下(25 kW 以下) ・単純評価ではなく、他の価値を含めて評価する必要がある。 2~30 t/日(400 kW 未満) ・経済性が成り立ちにくい 30~50 t/日(700 kW 未満) ・経済性は何とか成り立つ 50 t/日以上(700 kW 以上) ・資源収集律速(商圏律速)の可能性有り *上記は「水処理設備無し」「補助金の利用無し」「FIT 利用有り」の条件における経済性評価結果である。「水処理設備の有・無」、「補助金/FIT の併用可・否」、「補助金の割合」の組合せにより、メタン発酵施設の規模と経済性の関係が異なってくる(図参 1 9 ~ 図参 2 2、図参 3 0 ~ 図 3 2)。
雇用貢献	少人数
経済波及効果	廃棄物処理へ貢献
発電原材料	産業廃棄物など
CO ₂ 削減効果	大
設置許認可	処理業者の場合は、廃棄物処理法等。 食品加工業者の場合は、設備と環境により異なる。 自治体(都府県や市町村)への相談必須。
手続きの難易度	高 許認可に関わるハードルが高い。 廃棄物中間処理業者や廃棄物排出事業者(食品業界、飲食業など)から関心を持たれている。

（２）固定価格買取制度

（２－１）固定価格買取制度の仕組み

「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」は、再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が約束する制度である。電力会社が買い取る費用の一部を電気利用者から賦課金という形で集め、コストの高い再生可能エネルギーの導入を支える。この制度により、発電設備の高い建設コストも回収の見通しが立ちやすくなり、より普及が進む。

（２－２）買取価格・期間など（2018 年以降）

調達価格や調達期間は、電源毎に、事業が効率的に行われた場合に通常必要となるコストを基礎に適正な利潤などを勘案して定められる。具体的には、中立的な調達価格等算定委員会の意見を尊重し、経済産業大臣が決定する。

バイオマス由来のメタン発酵ガスを用いた発電の買取価格を**表参 4 4**に示す。原則として、固定価格買取制度（FIT）と電源設備導入に関わる補助などの併用はできない。

表参 4 4 メタン発酵ガスを用いた発電の買い取り価格

	メタン発酵ガス (バイオマス由来)
2017 年度(参考)	39 円+税
2018 年	
2019 年	
2020 年	
調達期間	20 年

（２－３）バイオガス発電の事業計画条件

立地条件などについては「メタン発酵バイオガス発電プラントに関する諸条件」（**表参 4 3**）に記載している。詳細は下記 URL にある事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電）に記載されている。

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/legal/guideline_biomass.pdf

許認可以外の留意点を下記にまとめる。

- ・メタン発酵ガス発電においては、消化液などの副生成物を安定的・継続的に利用ないし処理する計画を策定するように努めること。
- ・メタン発酵ガスによる発電の場合は、発電設備に発酵槽が併設されていることが FIT 対象の必須要件となる。

参考) http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/index.html

6. 8 補助金制度等

経済産業省 資源エネルギー庁は、「バイオガスプラント導入にあたり利用可能な補助」について下記の様にまとめている。

- ・ FIT 制度を活用した場合

発電設備やメタン発酵施設等の設備に対して補助金を適用することはできない。ただし、下記の例外が存在する。

農水省関連の補助金：

FIT 制度を利用した場合でも、発電設備やメタン発酵施設等以外の設備に対してであれば、適用可能な場合がある。

バイオマス産業都市（兵庫県の場合は洲本市のみ）に認定され、「地域バイオマス利活用推進事業」の補助金を使うことは可能である。ただし、その場合でも、FIT 制度を活用する場合は、発電関連設備（メタン発酵槽、ガスホルダー、発電機等）に対しては補助金が適用されない。

環境省関連の補助金：

「地域低炭素投資促進ファンド事業」を通じて国に一部出資してもらうことは、FIT 制度を活用する場合でも可能である。

- ・ FIT 制度を活用しない場合

農水省関連の補助金（6次産業化、直接支払交付金、畜産・酪農経営安定対策、飼料生産型酪農経営支援事業等）、「再生可能エネルギー熱事業者支援事業費補助金」や「再生可能エネルギー電気・熱自立的促進事業」等の補助金が適用可能となる。

補助金制度、税制優遇制度（FIT 可）の概要を表参 4 5～表参 4 6に示す。

表参 4 5 支援金型の補助

所管	補助事業名	補助対象	補助率など	執行団体
環境省	循環型社会形成推進交付金	市町村が、廃棄物の3R(リデュース、リユース、リサイクル)を総合的に推進するため、広域のかつ総合的に廃棄物処理・リサイクル施設整備を計画(循環型社会形成推進地域計画)。計画に位置付けられた施設整備(対象施設例:エネルギー回収型廃棄物処理施設である(ごみ発電施設、熱回収施設、バイオガス化施設等))に対し交付金を交付。	交付対象経費の 1/3。ただし、高効率ごみ発電施設等の一部の先進的な施設については 1/2。	環境省
環境省	二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金(エコリース促進事業)	対象リース先は、中小企業、個人事業主等とする。環境省が定める基準を満たす低炭素機器に係る契約で日本国内での使用に限定などの条件がある。	リース料総額の 2~5%を補助する。東北三県(岩手県、宮城県、福島県)における補助率は 10%である。	環境省大臣官房環境経済課
経済産業省	地域の特性を活かしたエネルギーの地産地消促進事業費補助金(再生可能エネルギー熱事業者支援事業)	発電部分は対象外。 民間企業と個人事業主対象に再生可能エネルギー熱利用設備(太陽熱・温度差エネルギー・雪氷熱・地中熱・バイオマス熱の利用、バイオマス燃料製造)への経費補助。	補助率は、補助対象経費の合計額の 1/3 とする。	一般社団法人環境共創イニシアチブ(SII)
経済産業省	地域の特性を活かしたエネルギーの地産地消促進事業費補助金(分散型エネルギーシステム構築支援事業)	FIT は対象外。 先導的な分散型エネルギーシステムを構築する事業に対し、その構築に要する経費(設計費、設備費、工事費、諸経費)の一部を予算の範囲内で補助する。(ただし、消費税等は補助対象外)	事業費の 1/2 以内(民間団体等) 単年度当たりの上限は 3 億円	一般社団法人低炭素促進機構
農林水産省	地域バイオマス利活用推進事業(地域バイオマス利活用支援事業(地域段階))	バイオマス産業都市として選定された地域(兵庫県洲本市)のバイオマス産業都市構想に位置付けられた事業化プロジェクトの推進に必要な以下の内容の支援。 1 調査支援、2 基本設計支援、3 実施設計支援、4 協議・手続支援	補助金については、総額 14,016 千円以内とし、この範囲内で事業の実施に必要な経費(1/2 以内)を助成する。	農林水産省食料産業局
農林水産省	地域バイオマス利活用推進事業(地域バイオマス利活用施設整備事業)	バイオマス産業都市構想に位置付けられた事業化プロジェクトの推進に必要な次に掲げるバイオマス利活用施設の整備を行う。 1 新規施設 2 成果拡大施設 兵庫県は洲本市のみ。	補助金額については、総額 154,793 千円以内とし、この範囲で事業の実施に必要な経費(FIT 活用施設は 1/3 以内、それ以外の施設は 1/2 以内)を助成する。 ※不動産の取得費用、FIT を活用して売電するための発電設備に係る経費などは補助対象外となる。	農林水産省食料産業局

表参 4 6 税優遇型の補助 (FIT 可)

制度名	税制優遇対象	支援内容など	問い合わせ先						
省エネ再エネ高度化投資促進税制(再生可能エネルギー部分)	青色申告書を提出する個人及び法人が、対象設備を取得し、事業の用に供した場合(確定申告時)。 バイオマス利用メタンガス製造装置:熱電併給を行うもの。 <u>平成 30 年(2018 年)4 月 1 日から平成 32 年(2020 年)3 月末日までの間に対象設備を取得することが必要。</u>	普通償却に加えて取得価額の 20% 相当額を限度として償却できる特別償却。 ※ 固定価格買取制度との併用可。 ※国又は地方公共団体の補助金や、法人税や所得税等の国税に対する他の税制優遇措置との併用は不可。	税務手続き:税務署 省エネ部分:資源エネルギー庁新エネルギー課						
再生可能エネルギー発電設備に係る課税標準の特例措置(固定資産税)	再生可能エネルギー発電設備を取得した事業者 <u>平成 30 年(2018 年)4 月 1 日から平成 32 年(2020 年)3 月末日までの間に対象設備を取得することが必要。</u>	固定資産税が課せられることとなった年度から3年分の固定資産税に限り、課税標準を、以下の割合に軽減。 <table border="1"><thead><tr><th colspan="2">バイオマス発電設備</th></tr></thead><tbody><tr><td>1 万 kW 以上</td><td>2/3(1/2~5/6)</td></tr><tr><td>1 万 kW 未満</td><td>1/2(1/3~2/3)</td></tr></tbody></table> ※軽減率について、各自治体が一定の幅(上記の±1/6)で独自に設定できる「わがまち特例」対象である。 ※ 省エネ再エネ高度化投資促進税制(再エネ部分)との併用可。 固定価格買取制度の認定を受けたものに限る。	バイオマス発電設備		1 万 kW 以上	2/3(1/2~5/6)	1 万 kW 未満	1/2(1/3~2/3)	設備所在の都道府県・市区町村
バイオマス発電設備									
1 万 kW 以上	2/3(1/2~5/6)								
1 万 kW 未満	1/2(1/3~2/3)								
バイオ燃料製造事業者が取得した、バイオ燃料製造設備に係る課税標準の特例措置	「農林漁業バイオ燃料法(平成 20 年法律 45 号)」に基づく「認定生産製造連携事業計画」に従って、バイオ燃料製造設備を新設した場合、当該設備に係る固定資産税の課税標準の特例措置法に基づく「生産製造連携事業計画」の認定を受けた製造事業者。	「認定生産製造連携事業計画」に従って新設したバイオ燃料製造設備に係る固定資産税の課税標準を3年間 1/2 に軽減する。 ※ 固定価格買取制度との併用可。 ※ 省エネ再エネ高度化投資促進税制(再エネ部分)との併用可。	農林水産省食料産業局バイオマス循環資源課 TEL: 03-6738-6479						