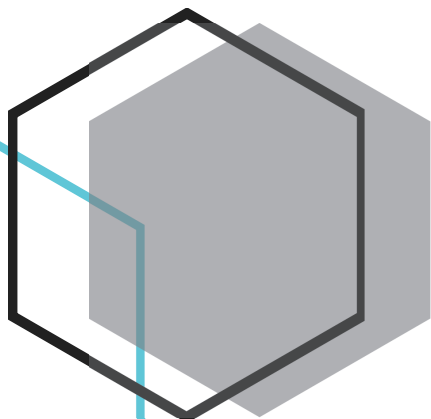


令和3年度 経済産業省資源エネルギー庁委託事業  
「新エネルギー等の導入促進のための広報等事業委託費における  
再エネ導入・運転人材育成支援事業」  
メタン発酵バイオガス発電における人材育成テキスト

---

経済産業省資源エネルギー庁







経済産業省資源エネルギー庁委託事業

令和3年度新エネルギー等の導入促進のための広報等事業委託費における

再エネ導入・運転人材育成支援事業(メタン発酵バイオガス発電における人材育成)

## テキスト目次

### はじめに

1. 本テキストの目的と利用方法…………… 1
2. 用語の説明…………… 3

### 第1章 メタン発酵とバイオガス発電の概要

- 第1節 メタン発酵技術の基礎知識…………… 9
- 第2節 メタン発酵バイオガス発電システムの全体像…………… 25
- 第3節 バイオガス発電機について…………… 31
- 第4節 メタン発酵バイオガス発電に関する政策動向…………… 37
- コラム 地域バイオマス活用による脱炭素…………… 50

### 第2章 事業化及び関連法規等

- 第1節 事業化のポイント…………… 51
- 第2節 関連法規、必要な資格、安全・衛生管理…………… 61
- コラム グリーン成長戦略におけるメタン発酵…………… 66

### 第3章 運転管理上の課題と対策…………… 67

- 第1節 運転管理上の課題…………… 68
- 第2節 各工程におけるトラブルとその対応…………… 75
- 第3節 運転管理上の課題を克服する方法…………… 125
- 第4節 運転上のデータ収集と分析・活用事例…………… 133
- コラム 家畜ふん尿パイプライン…………… 139

### 第4章 副産物・バイオガスの利用

- 第1節 バイオ液肥（農地利用する消化液）…………… 141
- 第2節 消化液と汚泥の処理①…………… 147  
消化液と汚泥の処理②…………… 151
- 第3節 再生敷料と堆肥…………… 155
- 第4節 バイオガスの熱利用…………… 165
- 第5節 バイオガスの直接利用…………… 171
- 第6節 バイオガス由来の水素製造及び利用…………… 175

第7節	ブラックアウト対応の具体的手法	179
第8節	地域レジリエンスへの貢献①	183
	地域レジリエンスへの貢献②	187
コラム	水素発酵について	193

## 第5章 今後に向けて

第1節	温室効果ガス削減効果の定量化及び持続可能性の確保	195
第2節	ノンファーム型接続の可能性と課題	201
第3節	FIT から FIP への移行、脱 FIT・FIP に向けた対応	207
コラム	バイオマス産業都市について	217
コラム	バイオマス利用技術の現状とロードマップについて	218

## 事例集

・事例一覧	219
・事例1 鹿追町環境保全センター 中鹿追バイオガスプラント	220
・事例2 鹿追町環境保全センター 瓜幕バイオガスプラント	221
・事例3 清水町美蔓バイオガスプラント	222
・事例4 ながめやまバイオガス発電所	223
・事例5 バイオエナジー株式会社	224
・事例6 株式会社J バイオフードリサイクル	225
・事例7 三浦バイオマスセンター	226
・事例8 長岡市生ごみバイオガス化事業	227
・事例9 豊橋市バイオマス利活用センター	228
・事例10 南丹市八木バイオエコロジーセンター	229
・事例11 京都市南部クリーンセンター	230
・事例12 株式会社富士クリーン	231
・事例13 宗像終末処理場	232
・事例14 みやま市バイオマスセンター「ルフラン」	233
・事例15 佐賀市上下水道局	234

索引	235
----	-----

検討委員会の委員及び事務局

執筆者一覧

協力自治体及び事業者一覧

## はじめに 本テキストの目的と利用方法

第6次エネルギー基本計画（2021年10月に閣議決定）における2030年のエネルギーミックスの実現、2050年カーボンニュートラルに向けての脱炭素化に資する経済的に自立した再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取組の中で、バイオマス発電設備の開発・増強及び施設運営を担うエンジニアリング人材等の育成は、早急な対応が求められる課題となっている。

バイオマス発電で使用する機器は海外から輸入しているものが多く、故障した際にいち早く復旧対応ができる人材の不足により、復旧に時間がかかる分、発電が滞り、採算が取れないなどの悪循環に陥っている事例も見受けられる。

FIT制度の見直しにおいては、地域活用電源の地域活用要件として、災害時に電気を活用できる仕組みが必要とされており、ブラックアウト対応や地域住民に安心感を持って理解される再エネ施設としての適切な施設運営は必要不可欠な要素となっている。また、FITからFIPへの移行、ノンファーム型接続、卒FIT、脱FIT・FIPをにらんだ設備導入や施設の運転管理計画の立案、柔軟な施設の運転管理の実施の必要性も高まっている。

2022年2月4日に調達価格等算定委員会は、「令和4年度以降の調達価格等に関する意見」を公表した。その中で、メタン発酵バイオガス発電のコストデータについては、資本費・運転維持費の平均値・中央値はいずれも2022年度の調達価格における想定値を大きく下回り、設備利用率も平均値・中央値いずれも想定値を大きく下回るとの分析結果が示された。その上で、資本費・運転維持費については、500kW未満の原料混合案件の中央値に着目して、2023年度の資本費の想定値を243万円/kW、運転維持費の想定値を18.4万円/kW/年とされた。設備利用率については、これまで想定値を90%とされていたが、業界団体からは、原料混合利用について、設備利用率70%を目指すことと示されていることも踏まえ、2023年度の想定値を70%とされた。また、2023年度のFIT調達価格及びFIP基準価格は、35円/kWhとされた。

こうした状況を踏まえて、バイオマス発電についてトータルに理解した上で、現場で運転維持費を削減し、設備利用率を向上させるとともに、それぞれの年度で定められた制度や周辺条件のもとで最適な施設運転をリーダーとして遂行できる人材を育成するためのツールを整備することを、本テキストの目的とする。

本テキストは、メタン発酵とバイオガス発電に関する基礎的な部分、関連法規、政策動向やその対応を踏まえ、さらに運転管理上の知識や技術に踏み込んだ内容として、「運転管理上の課題と対策」という章を設けている。この章では、具体的なトラブル対応事例をメタン発酵の工程別に整理した情報を掲載している。約100件のトラブル対応事例の収集には、多くの自治体や事業者に協力いただいた。これらトラブル対応事例の蓄積から得られる知識が、今後のメタン発酵プラントの設備利用率向上や運転維持費の低減につながるよう、本テキストを各プラントにおける人材育成のツールとして活用いただきたい。

なお、本テキストは、経済産業省資源エネルギー庁のホームページ上で公開され、自由にダウンロードすることが可能である。



## 用語の説明

本テキストで使用している用語について、以下に解説を示す。本用語の解説は、メタン発酵に関わる記述に特化しているため、全ての分野の用語解説に適用できるとは言えない。なお、テキスト巻末の索引に使用している用語も、以下の用語をもとに作成している。

用語	解説
B BCP	<b>Business Continuity Planning</b> (事業継続計画) は、災害や事故等の緊急事態が発生した時に、企業が損害や影響を最小限に抑え、事業の継続や復旧を図るために策定する計画。
B BOD	<b>Biochemical oxygen demand</b> (生物化学的酸素要求量) は、最も一般的な水質指標のひとつ。水中の有機物の量を酸化分解のために微生物が必要とする酸素の量で表したものの。BOD の値が大きいほど、その水質は悪い。
C COD <sub>Cr</sub>	<b>Chemical Oxygen Demand</b> (化学的酸素要求量) は、酸化剤により分解した時の酸素消費量として水中の有機物量の指標である。酸化剤については、日本では過マンガン酸カリウムを用いるが、メタンガス化の検討では、より有機物の補足率が高い二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 <sub>Cr</sub> 」(「COD クロム」)という。
C CHP	<b>Combined Heat and Power</b> (熱電併給システム) は、エネルギー供給システムの方式のひとつで、熱と電力を同時に供給するシステム。熱エネルギーを使ってエンジンで発電し、エンジンからの排熱を利用して温水を作る等、熱の有効利用を行う。コージェネレーション (Cogeneration) や、短く「コージェネ」とも呼ばれる。
C CCS (CCUS)	<b>Carbon dioxide Capture and Storage</b> (二酸化炭素回収・貯留技術) は、発電所や工場などから排出された CO <sub>2</sub> を、他の気体から分離して集め、地中深くに貯留・圧入すること。 <b>Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage</b> (二酸化炭素回収・貯留技術と利用) は、分離・貯留した CO <sub>2</sub> を利用すること。
C C/N 比	C/N 比 (炭素率) は、有機物に含まれる炭素と窒素との比率を表す指標。
D DO	<b>Dissolved Oxygen</b> (溶存酸素濃度) は、採取された水にどれだけの濃度で酸素が溶存しているかという水質の指標のひとつ。溶存酸素量が高いほど、水質は良好とされる。
D DBO 方式	<b>Design Build Operate</b> 方式とは、PFI に類似した事業方式のひとつで、公共が資金調達を担い、設計・建設、運営を民間に委託する方式。
E EGSB	<b>Expand Granular Sludge Bed</b> は、基本的には UASB と原理は変わらないが、処理水を積極的にリアクターに返送することによって、高い上向流速を与えてグラニュールを流動させると共に水の流れを完全混合に近づけることで、UASB よりも高い負荷での処理を可能とする。
F FIT	<b>Feed-in Tariff</b> (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。買取費用の一部は、国民から賦課金という形で回収される。
F FIP	<b>Feed-in Premium</b> は、再生可能エネルギー発電事業者が発電した電気を、卸電力取引市場や相対取引で売電をした場合に、基準価格 (FIP 価格) と市場価格の差額をプレミアム額として交付する制度。
G GHG	<b>Greenhouse Gas</b> (温室効果ガス) は、地球の大気、および海水温度を上昇させる性質を持つ気体のこと。京都議定書ではメタン (CH <sub>4</sub> )、一酸化二窒素 (N <sub>2</sub> O)、ハイドロフルオロカーボン類 (HFCs)、パーフルオロカーボン類 (PFCs)、六フッ化硫黄 (SF <sub>6</sub> ) の 6 種類、2013 年からの第二約束期間では三フッ化窒素 (NF <sub>3</sub> ) を追加した 7 種類を削減すべき温室効果ガスと定義している。

H	HRT	Hydraulic Retention Time (水理的滞留時間) は、下水や汚泥が生物反応槽や沈殿池に流入してから流出するまでの平均的な時間。
L	LNG	Liquefied Natural Gas (液化天然ガス) は、天然ガスを液化したもので、主な成分はメタンとエタンである。液化すると体積は気体の 1/600 になる。
L	LPG	Liquefied Petroleum Gas (液化石油ガス) は、プロパンとブタンを主成分とするガスを液化したもの。液化すると体積は気体の 1/250 になる。
L	LHV	Lower Heating Value (低位発熱量基準) は、燃料が燃焼した時に発生するエネルギー (発熱量) を表示する際の条件を示すもの。燃料の総発熱量から生成した水蒸気の潜熱を差し引いた熱量であり、燃焼によって生成された水蒸気の潜熱を含んだ高位発熱量 (総発熱量) より小さいので、見かけ上の熱効率が高く表示される。低位発熱量基準は、ボイラ設備の熱効率、原動機の熱効率、IPCC の CO <sub>2</sub> 排出量計算等に用いられている。
L	LCA	Life Cycle Assessment (ライフサイクルアセスメント) は、製品やサービスの原料採取から生産、消費、廃棄までの全てのプロセスにおいて、環境に与える負荷を定量的に分析し評価すること。
O	O&M コスト	Operation and Maintenance cost の略。運用および保守点検に要する経費のこと。
O	ORP	Oxidation Reduction Potential (酸化還元電位) は、ある酸化還元反応系における電子のやり取りの際に発生する電位のこと。脱窒槽の嫌気条件の指標のひとつ。
P	PFI	Private Finance Initiative は、公共施設等の設計、建設、維持管理及び運営に、民間の資金とノウハウを活用し、公共サービスの提供を民間主導で行い、効率的かつ効果的な公共サービスの提供を図るという考え方。
p	pH	pH (ピーエイチ、ペーハー) とは水素イオン濃度の略称であり、溶液中の水素イオンの濃度を示す。「水素イオン」の濃度であり、「水素」の濃度ではない。
P	PSA	Pressure Swing Adsorption (圧力変動吸着方式) は、吸着剤の持つ選択性 (物質それぞれに対する吸着力の差) と特性 (圧力変動に伴う吸着力の変動) を利用して、圧力を増減させながら特定の物質を吸脱着させてガスを精製させる装置のこと。メタン精製ではバイオガス (消化ガス) 中の CO <sub>2</sub> を除去することで精製を行う。
P	PCS	Power Conditioning Subsystem (パワーコンディショナー) は、太陽電池、燃料電池、ガスエンジン等の発電電力を系統電力に変換する機能を備えた装置のことをいう。発電電力の制御、運転制御、系統連系保護機能を有している。
R	RPS	Renewables Portfolio Standard (再生可能なポートフォリオ標準) は、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保及び新エネルギー等の普及を目的に、電気事業者に対して、毎年その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付けた制度。日本では、RPS 法 (2002) に基づく RPS 制度が 2003 年 4 月から施行されている。
S	SS	Suspended Solid (浮遊物質または懸濁物質) は、水を濁している不溶性の物質で、この値が高いほど水の濁りが高い。BOD や COD と深い関連があり汚泥生成量にも関係する。
S	SRT	Sludge Retention Time (汚泥滞留時間) は、汚泥 (SS) が処理系内に滞留している平均時間のこと。
S	SPC	Special Purpose Company (特別目的会社) は、限定された目的のために設立された法人のこと。
T	TS	Total Solids (全蒸発残留物) 廃棄物系バイオマス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。含水率を W (%) とするとき、TS (%) = 100 - W (%) である。

U	UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket（上向流嫌気性汚泥ろ床法）は、嫌気性細菌が自己凝集と造粒する性質を利用して、沈降性に優れたグラニューール状の汚泥をリアクター内で形成・保持させることによって排水中の有機物を高速で除去するもの。
V	VS	Volatile Solids（揮発性物質）は、廃棄物系バイオマス中の有機物量のことで、強熱減量とも言われる。
V	VFA	Volatile fatty acid（揮発性脂肪酸）は、6以下の炭素鎖からなる脂肪酸のこと。悪臭物質のノルマル酪酸、プロピオン酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸などが属し、これらのうちプロピオン酸とノルマル酪酸は、ふんの悪臭の主要な原因となる。
あ	アルカリ度	酸を中和する溶液の容量を示す指標であり、メタン発酵プロセスの安定性に関わる。アルカリ濃度が高くなると、バイオガスの品質を低下させるだけでなく、メタン発酵を阻害する場合がある。
あ	アンモニア態窒素	アンモニア態窒素（NH <sub>4</sub> ・N）は、タンパク質のような窒素を含む有機物が分解してなる窒素化合物。アンモニア態窒素は、酸化されて亜硝酸態窒素を経て硝酸態窒素になる。
い	インベントリ分析	製品やサービスを原料の調達から製造、流通、使用、廃棄、リサイクルにわたるライフサイクル全体を対象として考え、各段階で投入される資源、エネルギー又は排出物を定量的に把握すること。分析の結果が一覧表（inventory）として示される。
お	汚泥日令（SA）	Sludge Age（汚泥日令）は、曝気槽で活性汚泥が曝気を受けている時間の指標。活性汚泥が余剰汚泥として引き抜かれるまでの、曝気槽内での滞留日数のこと。
か	家畜排せつ物	家畜排せつ物は、『家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律』（家畜排せつ物法）によって適切に処理される。本テキストでは、文脈によって「ふん尿」、「牛ふん」、「豚ふん」、「鶏ふん」、「ふん」、「尿」等の別の用語を用いている箇所もある。
か	ガスエンジン	燃料となるバイオガスと空気を混合した混合気を、シリンダ内で圧縮・燃焼させ、その動力で発電機を駆動する方式。
か	活性汚泥法	曝気処理を行い好気性微生物により、汚濁物質を分解・除去させ、水処理を行う方法。
か	活性炭	ヤシ殻などの炭素物質を原料として、高温でガスや薬品と反応させて作られる微細孔（直径10～200Å）を持つ炭素体。この微細孔は、炭素内部に網目状に構成されており、その微細孔の壁が大きい表面積となり、その表面に種々の物質を吸着する。バイオガスプラントで発生した臭気物質（高分子）を活性炭表面に吸着させることにより防臭を行う。
か	カリ	カリ（K）は元素名としては「カリウム」だが、肥料では単に「カリ」と呼ぶ。通常、植物を栽培する場合は必ず肥料として必要になる三大要素のひとつ。
か	乾式メタン発酵（乾式発酵）	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。生ごみ以外に水分の低い紙や草木等を原料としたメタン発酵にも適している。本テキストでは、「乾式発酵」や「乾式方式」とも記述される。
こ	コージェネレーション	CHPの用語を参照。
さ	再生敷料	敷料は家畜の安楽性や安全性に役立ち、畜舎内の衛生状態の改善や疾病防止などの目的で使用されるが、家畜排せつ物等をメタン発酵した後の固形分残さを、好気性発酵などの手段によって乾燥させたものを、家畜飼養の敷料として使用すること。
さ	栽培暦	栽培暦は、農作物の生育を栽培法などとともに時間を追って記録した暦。新しい栽培技術の普及や栽培試験結果のとりまとめ等、様々な目的で作成されている。
し	硝化	水中のアンモニア態窒素が、細菌（硝化細菌）の働きによって、亜硝酸態窒素や硝酸態窒素に酸化される現象のこと。

し	消化液	消化液とは、メタン発酵でバイオガスを回収した後の発酵残さのこと。原料とほぼ同量が排出される。消化液には、窒素、リン酸、カリ等の肥料成分を含み、化学肥料の代わりに利用できる有機質肥料である。農地利用する消化液のことを「バイオ液肥」と呼ぶ。
し	シロキサン	シロキサンは、ケイ素と酸素を骨格とする化合物で、シロキサン結合を持つものの総称。特に下水汚泥が原料の場合のバイオガス中には、生活排水が含有するシロキサンが含まれており、これが発電装置の重大故障に繋がるため、予防としてバイオガス中のシロキサン除去が必要である。
し	湿式メタン発酵 (湿式発酵)	原料の固形物濃度を 3~10%程度に水分調整した後にメタン発酵処理を行う方式。し尿処理や下水処理では、古くから採用されている。生ごみ等、分解率の高い原料に適した方式。本テキストでは、「湿式発酵」や「湿式方式」とも記述される。
す	スカム	沈殿池等の流れが緩く、よどんだ場所の水面に浮上した油脂や固形物の集まったもの。
た	脱窒 (脱窒処理、 脱窒素処理)	無酸素状態で、脱窒細菌が有機物をエネルギー源として亜硝酸態窒素や硝酸態窒素を窒素ガスなどに還元する作用。硝化作用と組み合わせることによって汚水中の窒素を除去することができる。
ち	地域レジリエンス	<b>Resilience</b> (レジリエンス) は、「対応力」、「回復力」、「復元力」、「強靭さ」等で訳される語で、「地域レジリエンス」とは、災害や外的リスクへの対応力の概念として用いられる用語。
ち	窒素	チッ素 (N) は、アミノ酸やタンパク質などに含まれ、生物にとって重要な成分であり、通常、植物を栽培する場合は必ず肥料として必要になる三大要素のひとつ。
ね	燃料電池	燃料であるメタンより水素を変換し、水素と酸素の化学反応により電気を取り出す方式。駆動部分が無く、燃料の持つ化学エネルギーを直接電力に変換するため効率が低い。
は	バイオ液肥	消化液のうち、農地や牧草地で、液体肥料として利用する場合、バイオ液肥と呼ぶ。消化液の用語も参照。
は	バイオガス (消化ガス)	メタン発酵において発生する、メタン (約 55~70%) と CO <sub>2</sub> を (約 30~45%) 主成分とするガスのこと。下水処理では、「消化ガス」とも呼ばれる。
は	バイオメタン (バイオ天然ガス)	メタン発酵により発生したバイオガス中に約 40%存在する二酸化炭素を、何らかの方法で除去し、高濃度のメタンに精製したもの。このバイオメタンから水素を製造することも可能。本テキストでは「バイオ天然ガス」とも記述されている。
ふ	ファーム接続 ノンファーム接続	<b>Firm</b> (ファーム) 接続は、発電に必要な系統接続の容量が確保されていること。 <b>Non-firm</b> (ノンファーム) 接続は、必要な系統接続の容量が確保されていない接続方式のことで、送電線などの送変電設備の空き容量を活用して、新しい電源をつなぐ方法。
ふ	ブラックアウト	停電の中でも特に、発電・送電・変電・配電を併せた電力の供給システムの全ての停止状態のこと。日本では、2018年の北海道胆振東部地震で発生した。
ま	マイクロガスタービン	ガスタービンは内燃機関の一種で、空気を圧縮機で加圧し、燃焼器でその加圧した空気によって燃料を燃焼し、高温高压ガスを発生させる。この高温高压ガスでタービンを回転させて動力を発生させる。バイオガス発電に小型のガスタービンが用いられることがあり、マイクロガスタービンと呼ばれる。
め	メタン	分子式は CH <sub>4</sub> 。常圧での融点は -183 °C、沸点は -162 °Cであり、常温常圧では無色、無臭の気体である。温室効果ガスの 1 つでもある。空気などと一定割合で混合されると爆発するので注意が必要である。なお、天然ガスの主成分がメタンである。
め	メタン生成菌	嫌気条件でメタンを合成する微生物群の総称。 <i>Methanosarcina</i> sp など多くのメタン菌が存在する。



り	硫化水素	Hydrogen Sulfide (H <sub>2</sub> S) は、硫黄化合物の 1 種で、腐った卵のようなにおいのする物質。悪臭防止法により指定されている悪臭物質の 1 つであり、バイオガス中には硫化水素が数百～数千 ppm 含まれている。硫化水素により、ボイラ機器やガスエンジンの腐食が発生するため、脱硫設備で 10ppm 以下まで除去する必要がある。
り	リン酸	リン酸 (P) は遺伝子の元になる DNA (核酸) の重要な構成成分であり、生物の細胞膜の構成成分でもある。通常、植物を栽培する場合は必ず肥料として必要になる三大要素のひとつ。

#### 参考文献

- 1) 環境省：メタンガス化に関する用語集, <http://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/keywords.html>
- 2) 環境省：メタンガス化施設整備マニュアル (改訂版)  
[https://www.env.go.jp/recycle/waste/3r\\_network/7\\_misc/metangasu\\_full.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/waste/3r_network/7_misc/metangasu_full.pdf)
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁：なっとく再生可能エネルギー,  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/index.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/index.html)
- 4) 農林水産省中国四国農政局：バイオマス用語集, [https://www.maff.go.jp/chushi/biomass/yougo/yougo\\_2.html](https://www.maff.go.jp/chushi/biomass/yougo/yougo_2.html)
- 5) (株)エネルギーフォーラム：「電気事業事典」, <https://www.power-academy.jp/learn/glossary/id/1138>
- 6) 公益社団法人日本下水道協会：「下水汚泥有効利用促進マニュアル」,平成 27 年 8 月 27 日
- 7) 兵庫県：水処理専門用語の解説, [https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks16/wd18\\_000000051.html](https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks16/wd18_000000051.html)
- 8) 宮崎県：汚水処理用語の意味, [http://miyazaki.lin.gr.jp/osui/osui\\_manual/yougo.html](http://miyazaki.lin.gr.jp/osui/osui_manual/yougo.html)
- 9) 一般財団法人畜産環境整備機構：用語解説, <http://www.chikusan-kankyo.jp/osuiss/trouble/yougo.htm>
- 10) 独立行政法人海上技術安全研究所：<https://www.nmri.go.jp/oldpages/env/lca/index.html>
- 11) 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,  
[https://www.nedo.go.jp/library/biomass\\_shishin.html](https://www.nedo.go.jp/library/biomass_shishin.html)



# 第 1 章 メタン発酵とバイオガス発電の概要

## 第 1 節 メタン発酵技術の基礎知識

石井 一英

### 1. メタン発酵における物質変換

#### 1.1 メタン発酵とは

メタン発酵は、嫌気性微生物の働きを通して、食品廃棄物、家畜排せつ物や下水汚泥などの有機性廃棄物をエネルギー（バイオガス）と液肥（または堆肥）に変換するプロセスである。バイオガスの主成分はメタンであり、ボイラによる熱利用、CHP によるコジェネ利用、改質によるバイオメタンや水素などとして利用される。液肥は有機性廃棄物原料成分にも依存するが、農作物の栽培に必要な窒素、リン酸、カリを豊富に含むことから肥料成分として、また有機質に富むことから土壌改良材として利用される。

#### 1.2 二相四段説<sup>1)</sup>

メタン発酵の生分解性有機物の分解過程は、二相四段説によると酸生成相及びメタン生成相の 2 相及び下記①～④の 4 つの段階からなる（図 1）。

- ①固形物をはじめとする高分子有機物からモノマー（糖、アミノ酸や高級脂肪酸）を生成する可溶化・加水分解過程
- ②加水分解産物であるモノマーから揮発性脂肪酸（酪酸、プロピオン酸、酢酸や蟻酸等）やアルコール等を生成する酸生成過程
- ③酪酸やプロピオン酸をはじめとする C<sub>3</sub> 以上の脂肪酸から酢酸と水素を生成する酢酸生成過程
- ④水素と酢酸等からメタンと二酸化炭素を生成するメタン生成過程

メタン発酵に関与する主たる微生物は、図 1 に示すように(a)加水分解・酸発酵に関与する酸生成細菌、(b)プロピオン酸や酪酸等の脂肪酸の分解に関与する水素生成性酢酸生成細菌、(c)糖類や水素から酢酸のみを生成するホモ酢酸生成細菌、(d)これと逆に酢酸を酸化して水素を生成する嫌氣的酢酸酸化細菌、(e)メタン生成を行うメタン生成細菌、等がある。

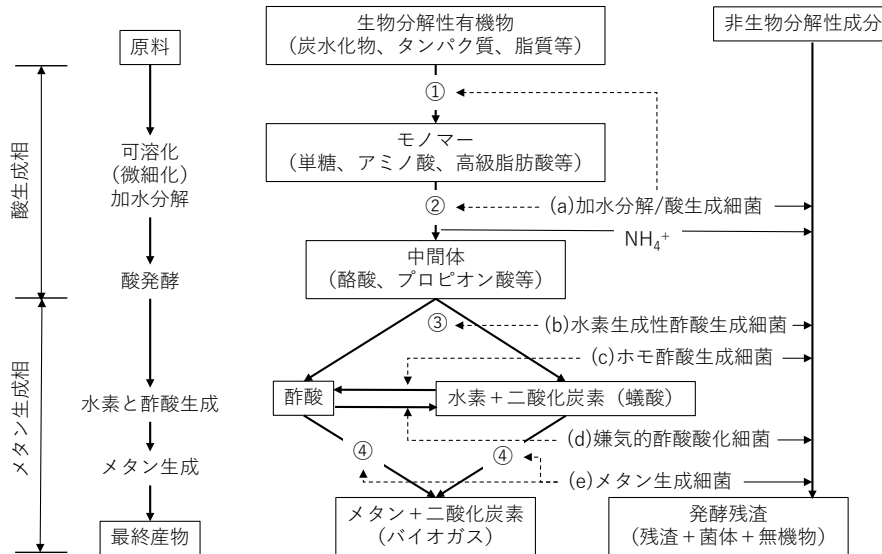


図1 メタン発酵における物質変換の概要 (参考文献 1)を修正)

### 1.3 メタン生成量の推定

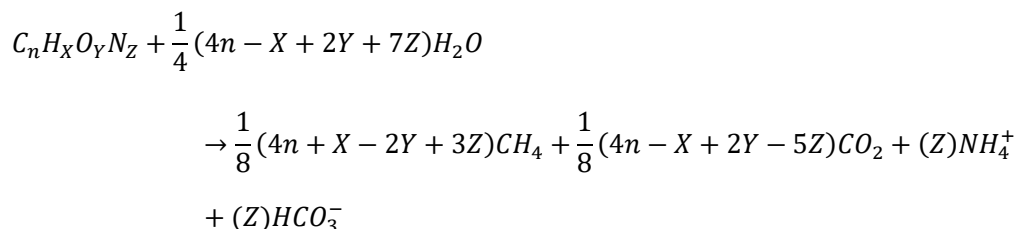
#### (1) 元素組成の利用<sup>1)</sup>

メタン発酵プロセスに投入される有機物の組成によって、バイオガス発生量や組成が異なる。下記の仮定するとき、有機物とバイオガスの発生量やメタン含有率を簡易的に関連付けることができる。

- ①生物分解される成分の元素組成は、投入有機物の元素組成と等しい。
- ②生物分解される成分ならびに投入有機物は、 $C_nH_xO_yN_z$  で表される。
- ③メタン発酵プロセスで増殖した菌体の量は、無視できるほど少ない。
- ④投入有機物の分解産物は、メタン、二酸化炭素とアンモニウムだけである。
- ⑤メタン発酵プロセスで生成したアンモニウムイオンは、全て重炭酸イオンと化学的に平衡する。

このときの有機物 ( $C_nH_xO_yN_z$ ) の分解反応式は、式(1)のように表される。

式(1)



式(1)に基づき、代表的な有機物及び有機性廃棄物について、有機物(VS)当たりバイオガス発生倍率とメタン含有率を表1に示す。

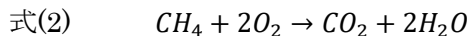
表1 メタン発酵における様々な有機物の化学量論 (参考文献<sup>1)</sup>を修正)

有機物	有機物の化学式	バイオガス		
		ガス発生倍率 (NL*/g-分解 VS)	メタン濃度 (%)	生成メタン (NL-CH <sub>4</sub> /g-分解 VS)
炭水化物	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>m</sub>	0.830	50	0.415
タンパク質	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> O <sub>5</sub> N <sub>4</sub>	0.764	69	0.527
脂質	C <sub>50</sub> H <sub>90</sub> O <sub>6</sub>	1.425	70	0.980
リグニン	(-CH <sub>2</sub> -) <sub>m</sub>	1.600	75	1.200
調理くず	C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> O <sub>10</sub> N	0.880	58	0.510
乳牛排せつ物	C <sub>22</sub> H <sub>31</sub> O <sub>11</sub> N	0.970	56	0.543
生ごみ	C <sub>46</sub> H <sub>73</sub> O <sub>31</sub> N	0.887	53	0.470
紙ごみ	C <sub>266</sub> H <sub>434</sub> O <sub>210</sub> N	0.832	51	0.424
下水汚泥 (混合物)	C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> O <sub>3</sub> N	1.003	69	0.690
余剰汚泥	C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> N	0.793	63	0.500
最初沈殿池 汚泥	C <sub>22</sub> H <sub>39</sub> O <sub>10</sub> N	0.986	62	0.611
し尿汚泥	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub> N	0.772	60	0.463

\*NL (ノルマル リットル)

## (2) COD 収支の利用<sup>1)</sup>

メタン 1 mol (22.4 L) を酸化するには式(2)のように 2 mol の酸素(64 g)が必要になる。64 g の酸素が 22.4 L のメタンの COD に等しいので、1 g の COD は 0.35 L のメタンと等価である(22.4 / 64 = 0.35)。アセトアルデヒドやベンゼンのようなある種の化学物質を除いて、重クロム酸カリウムを用いた COD<sub>cr</sub> の値を COD に近似して、メタン発生量が推測されることが多い。



## (3) VS 成分の利用<sup>1)</sup>

メタン発酵プロセスの運転や設計では、原料が化学分析されず、投入物の種類を基に検討されるケースが多い。投入物の種類ごとに VS 成分(有機物)の分解率やメタン濃度が予め把握されていれば、これを用いてバイオガスの発生量を計算できる。表 2 を参考例として示す。

表2 様々な有機物 (VS) 成分の分解率<sup>1)</sup>

有機物	分解率の典型的な範囲 (分解 VS/投入 VS)	メタン濃度 (%)	生成メタン (NL-CH <sub>4</sub> /g-分解 VS)
豚排せつ物	0.45~0.55	約 65%	約 0.650
豚排せつ物 (分離液)	0.5	約 65%	約 0.650
乳牛排せつ物	0.25~0.35	約 60%	約 0.500
肉牛排せつ物	-	約 60%	約 0.500
鶏ふん	0.43~0.53	-	-
生ごみ・食品残さ	0.75~0.85	約 60%	約 0.500

(4) VS 成分と COD の換算<sup>1)</sup>

VS 濃度や COD<sub>cr</sub> 濃度等が分析できる場合には、これを基にメタンガスの発生量を推定できる表 3 を参考例として示す。

表3 様々な有機物の化学分析値<sup>1)</sup>

有機物	含水率 (%)	COD <sub>cr</sub> (mg/kg-wet)	全窒素 (mg/kg-wet)	VS/TS 比 (%)
調理くず	73.4	480,000	12,200	95.4
生ごみ	82.3	215,000	4,260	93.5
水産加工残さ	74.7	380,000	165,000	91.7
牛排せつ物	66.2	300,000	8,630	84.9
豚排せつ物	74.7	310,000	9,470	78.8

(例題)

- 1) 投入 COD<sub>cr</sub> 量 1,000 kg/d、汚泥として排出された COD<sub>cr</sub> 量が 150 kg/d の時のメタン発生量 (答: 297.5 Nm<sup>3</sup>/d)
- 2) 豚排せつ物が 7%の VS 濃度の時、1,000 L/d 処理した場合のバイオガス発生量 (答: 35 Nm<sup>3</sup>/d)
- 3) 1,000 kg-wet/d の調理くずのメタンガス発生量 (ただし、VS 成分の分解率は 83%) (答: 139.4 Nm<sup>3</sup>/d)

2. メタン発酵プロセスの分類

メタン発酵プロセスは、溶解性成分主体の排水処理と固形物が主体の固形廃棄物処理によって種類が異なる (表 4)。

表4 メタン発酵プロセスの種類（参考文献<sup>1)</sup>に加筆）

処理対象	排水	固形廃棄物	
		湿式発酵	乾式発酵
メタン発酵プロセスの種類	嫌気性接触法	完全混合法	横型
	嫌気性濾床法	嫌気性接触法	縦型
	嫌気性流動床法	ABR 法	—
	UASB 法 (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	二相消化法	—
	EGSB 法 (Expanded Granular Sludge Bed)	—	—
	ABR 法 (Anaerobic Baffled Reactor)	—	—
運転温度	無加温、中温、高温	無加温、中温、高温	中温、高温

排水処理のリアクターでは、菌体濃度を高くして水理的滞留時間(HRT)を短くできるように、濃縮汚泥のメタン発酵槽への返送（嫌気性接触法、ABR 法）、生物膜の利用（嫌気性濾床法、嫌気性流動床法）、菌体の固定化（UASB 法、EGSB 法）等の工夫が施されている。

固形廃棄物処理のリアクターでは、固形物の微細化・可溶化が反応の律速段階となることが多く、水理的滞留時間を短くすることが難しい。そのため、投入原料の濃度を上げて運転できる工夫がなされている。リアクターの種類は、投入原料またはリアクター内の固形物濃度の乾燥重量換算濃度(TS 濃度)によって、湿式（投入 TS 濃度<15%、リアクター内 TS 濃度<8%）と乾式（投入 TS 濃度>25%、リアクター内 TS 濃度>10%）に大別される<sup>1)</sup>。

#### (1) 完全混合法<sup>1)</sup>

下水汚泥の嫌気性消化装置で最も一般的であり、TS 濃度が数～12%のスラリーが処理対象である。し尿、家畜排せつ物、生ごみ等の有機性廃棄物にも広く用いられている。

図2に示すように、メタン発酵槽に供給されたスラリーは、速やかに層内の発酵汚泥と混合され、同量の発酵汚泥が引き抜かれる。水理的滞

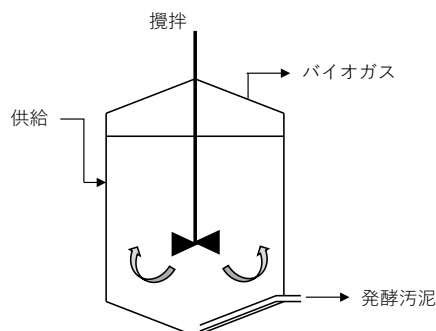


図2 完全混合メタン発酵槽のフロー

留時間と汚泥滞留時間(SRT)が等しいので、スラリーの供給流量で滞留時間は制御される。バイオガスはメタン発酵槽の上部から排出され、発酵汚泥は下部から排出される。

攪拌装置には、ガス攪拌、機械攪拌、混合攪拌、無重力攪拌、ポンプ循環がある。

ガス攪拌：メタン発酵槽上部のバイオガスをブローで吸引し、層内に設置したパイプでバイオガスを吹き込むことで層内の発酵汚泥を攪拌するものである。

機械攪拌：回転機械をメタン発酵槽に設置して層内の汚泥を攪拌するものである。ガス攪拌に比べて高濃度の汚泥に対する適応範囲が広く、攪拌領域が広い、汚泥や砂の堆積が生じにくい、低動力の運転が可能などの特徴がある。採用率が最も高く、機械攪拌の80%以上がスクリー式である。

複合攪拌：ガス攪拌、機械攪拌及びポンプ循環を組み合わせたものであり、高濃度の固形物を攪拌することに加えて、スカム除去の機能も付加されている。生ごみの処理を目的に1990年代にフィンランドで開発されたものであり、国内でも実績がある。

無動力攪拌：発生したバイオガスの圧力を利用した攪拌方式である。

ポンプ循環：ポンプによって層内の汚泥を循環して攪拌する方式である。

完全混合法における適切なHRTは、原料の種類と運転温度によって異なるが、中温メタン発酵では20～30 d、高温発酵では15 dである。発酵槽の規模は、小規模は2,500 m<sup>3</sup>以下、中規模で5,000 m<sup>3</sup>程度、大規模は10,000 m<sup>3</sup>にまで達する。大規模のリアクターほど汚泥を混合しにくいので、攪拌に留意が必要である<sup>1)</sup>。

加温には、外部加温、内部間接加温及び蒸気直接注入の3種類がある。大型プラントでは、維持管理が容易な外部加温の方式が多く採用されている傾向にある。

外部加温：メタン発酵槽の外部に熱交換器を設置して、発酵汚泥を循環して加熱する。

内部間接加温：メタン発酵槽の内部に温水管を設置して温水を循環して加熱する。

蒸気直接注入：加温設備が単純で、熱効率も高い。しかし、蒸気由来の水が水理学的負荷に加算されるため、槽容積の増加やボイラ用水の補充が必要である。



## (2) 嫌気性接触法(嫌気性活性汚泥法)<sup>1)</sup>

図3に示すように、メタン発酵槽と沈殿槽から構成されており、メタン発酵槽から流出した嫌気性微生物を後段の沈殿槽によって回収し、適当量をメタン発酵槽に返送して供給された原料と混合する。メタン発酵槽と沈殿槽の間に設けられた脱気装置でガスが分離されるので、沈殿槽でガスによる水の乱れが抑制される。HRTとSRTを独立して制御できるので、メタン発酵槽の微生物濃度を高く維持でき、高負荷で運転することが可能となる。

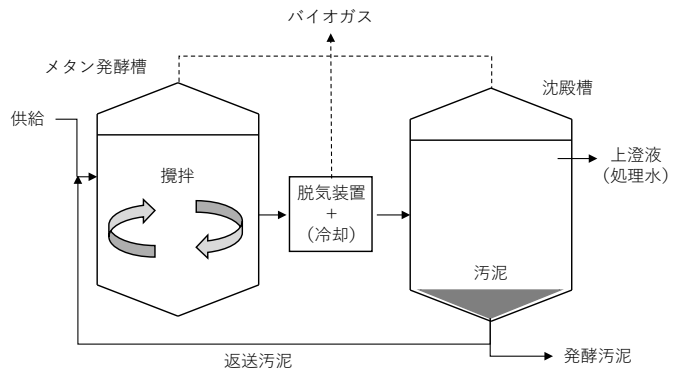


図3 嫌気性接触法のフロー

完全混合型メタン発酵槽と比較すると、①有機物濃度及びSS成分の多い廃水・廃棄物に適用でき、②槽負荷が高くて運転が可能であり、③汚泥の沈降分離により比較的良好的な処理水質が得られるなどの利点がある。一方で、汚泥の返送と脱気装置が必要なので複雑なプロセスになる。

## (3) 嫌気性濾床法(固定床法)<sup>1)</sup>

上向流式と下向流式に大きく分類される。図4に示す上向流式の嫌気性濾床法では、濾床下部から供給されたスラリーは、嫌気性微生物が付着・補足したプラスチック濾材や採石の濾床を緩速で上昇する。濾材は軽く、比表面積と空隙率が大きく、閉塞しにくいことが望ましい。プラスチック製のポールリング(切れ目が入った円筒形)やハニカム(蜂の巣のようなクロス形)が使われることが多い。濾床では生物膜のみならず、濾材の間に補足されている多量の汚泥が処理に関わるので、汚泥の流出を防ぐために低い上昇流速が必要である。

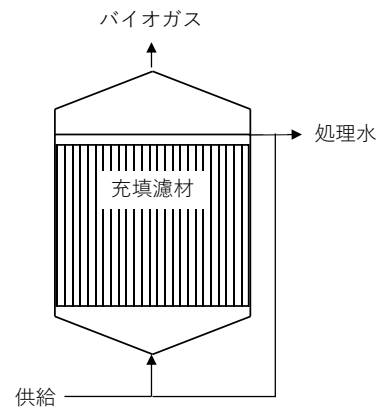


図4 嫌気性濾床法のフロー

汚泥の濃度はリアクターの鉛直方向で異なることに留意が必要である。上向流式の場合、濾床底部での生物汚泥濃度は上部の数10倍に達することもあるので、底部での汚泥の蓄積による閉塞が見られる。

嫌気性濾床法は、①菌体濃度が高いため高い槽負荷で運転でき、②菌体の滞留時間が長いHRTを短縮できるだけでなくショックロードにも強い、③立ち上げが容易、④汚泥の返送が不要、⑤水量や質の変動に強いのが特徴である。

一般に、中低濃度で固形物の少ない排水の処理に適しているが、食品廃棄物の処理に関

発された嫌気性濾床は、下向流の高温プロセスである。このプロセスでは、生ごみを 10% 以内の TS 濃度に希釈して、別途の可溶槽でスラリーに変換した後に濾床に供給し、汚泥の一部は内部循環されるものである。

#### (4) 嫌気性流動床法<sup>1)</sup>

図 5 に示すように、層内に充填した小粒径の活性炭や砂の表面に生物膜を形成させて、流入水もしくは反応槽の内部循環によってこの担体を流動させながら処理を行う方法である。

COD 濃度が 100 mg/L 程度の下水から数万 mg/L の工場排水までを 10 min から数 100 h の HRT で良好に処理できる。特徴をまとめると以下のようなになる。

- ・担体の比表面積が大きいため菌体濃度が高く反応活性も高い。
- ・担体が常に流動しているため閉塞が起こらない。
- ・生物膜が液と均一に接触するため、接触効率が低い。
- ・生物膜が薄いため、生物膜内への基質拡散が律速になりにくい。

なお、担体を流動させるための動力が必要であり、付着生物量の制御が難しいといった課題も有している。

担体を全く使用しない流動床である EGSB がヨーロッパで実用化され、また次節の UASB 法が産業排水処理の分野で普及したため、嫌気性流動床法はあまり採用されなくなった。

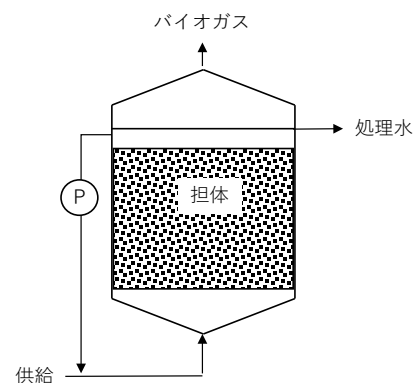


図 5 嫌気性流動法のフロー

#### (5) UASB 法と EGSB 法

UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 法は、嫌気性細菌が自己凝集と造粒する性質を利用して、沈降性に優れたグラニュール状の汚泥をリアクター内で形成・保持させることによって排水中の有機物を高速で除去するものである。

UASB リアクターは、図 6 に示すように、原水の流れを分散して均一な上向流を分配するための導入部（底部）、微生物分解が進む反応部（中部）、気固液の 3 相を分離するための上部、処理水の越流部と余剰汚泥排出部（図 6 では省略されている）の 5 つから構成されている。

易生物分解性の COD 成分を高濃度に含む排水の処理に UASB 法は適しており、世界の嫌気性排水処理システムにおいて UASB 法が占める割合は 60%（2000 年度）に達してお

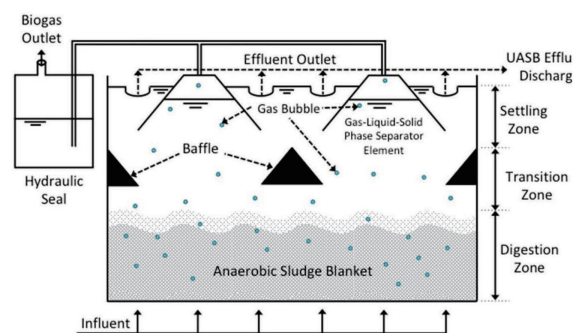


図 6 UASB 法のフロー<sup>2)</sup>

り、国内においても食品工場排水処理施設を中心に多くの導入事例がある<sup>1)</sup>。さらに高い負荷で処理を実現できる EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) 法も開発された。EGSB 法では、処理水を積極的にリアクターに返送することによって、高い上向流速を与えて、グラニュールを流動させるとともに水の流れを完全混合に近づけ、リアクター内における pH の低下や揮発性脂肪酸の蓄積を制御することが可能である。

### (6) 乾式メタン発酵(縦型、横型)<sup>1)</sup>

縦型の乾式メタン発酵槽の代表として、図 7 にフローを示す。原料の固形物は発酵残さと均等混合し、蒸気による加温をポンプにより行いながら、リアクター上部から投入され、処理物は下部から引き抜かれる。層内の固形物濃度は 15~40% と高濃度で運転するため、層内で固液分離は生じない。

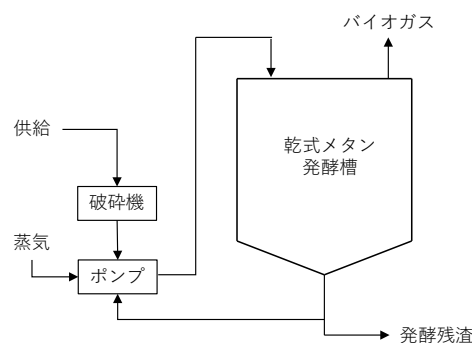


図 7 縦型の乾式メタン発酵槽のフロー

図 8 に横型の乾式メタン発酵の代表例を示す。原料の投入と排出によって、リアクター内の固形物がゆっくり横方向に移動する。このため反応は押し出し流れに近い。ただし、微生物と原料の混合を促進するため、排出される汚泥を原料の供給側へ返送する循環装置が取り付けられている。また、固形物濃度が高いので、発生したバイオガスによってリアクター内の固形物が膨張する。これを制御するために、リアクターの内部にはガス抜きを強制的に進めるための低速で回転する攪拌パドルが設置されている。

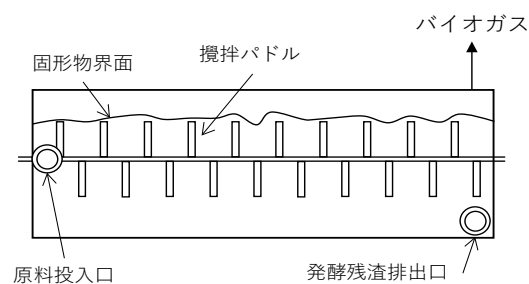


図 8 横型の乾式メタン発酵槽のフロー

### (7) 二相プロセス<sup>1)</sup>

メタン発酵プロセスは、リアクターの構成によって一相プロセスと二相プロセスに大別される。1 相プロセスは 1 基のメタン発酵槽を使って処理を行うのに対して、二相プロセスは酸生成相とメタン生成相それぞれの微生物反応を最適化するために、各々に相を設けるものである。これは、二段消化または二段嫌気性消化と呼ばれることもあり、図 9 に示されるような様々なバリエーションがある。

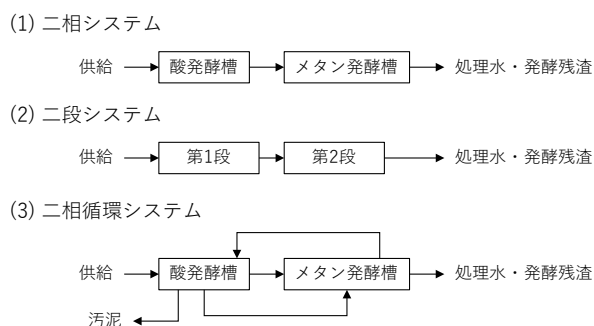


図 9 二相プロセスの種類 (参考文献<sup>1)</sup>を修正)

二相システム：一般に SS 濃度が低く、易生物分解性の COD 成分を多く含む排水の処理に適する。酸生成相には完全混合リアクターを用い、メタン発酵槽には UASB 法、EGSB 法を用いる。

二段システム：SS 濃度が高く、加水分解が律速となるような排水の処理に適する。第 1 段と第 2 段ともに、完全混合リアクターを用いる。

二相循環システム：生ごみ、食品残さ及び農業廃棄物等のように、含水率の低い固形廃棄物の処理に適する。酸生成相は可溶化を促進するので、スラリー状のメタン発酵流出水を返送循環して酸生成相を濾床にすることもできる。

二相プロセスの効果は多くの文献で確認されており、中間代謝産物の生成状況、プロセス全体の処理効率及びプロセスの安定性等の観点から評価されている。特に、原水にメタン生成細菌を阻害する物質が含まれる場合、酸生成相を設置することで、その阻害度合いが緩和されることもよく知られている。

### 3. メタン発酵の制御因子

#### 3.1 温度<sup>1)</sup>

温度は、メタン発酵の効率に大きな影響を及ぼす。図 10 に示すように、30～37℃の中温発酵または 50～55℃の高温発酵として運転される。

両者の違いを表 5 にまとめる。まず高温発酵の方が分解速度が大きいため、有機物負荷量は大きく、発酵期間も短くできるため、発酵槽をコンパクトにできるという利点がある。一方で、高温発酵の方が発酵槽の温度維持に必要なエネルギー量は多く、またアンモニア阻害も生じやすいと言われている。中温発酵の方が、供給される原料の量や質の変動に強いとも言われている。

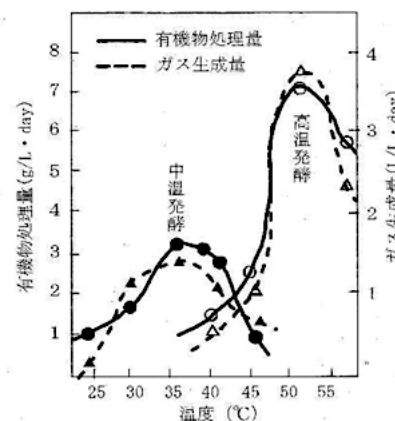


図 10 発酵温度と有機物負荷・バイオガス量の関係性

参考文献<sup>2)</sup>より(3)を改変)

表 5 発酵温度による特性の比較<sup>4)</sup>

特性	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 (滞留時間 HRT)	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	～3,000 ppm	～2,500 ppm

### 3.2 滞留時間<sup>1)</sup>

水理学的滞留時間(HRT)とは、基質が反応槽に滞留する時間であり、これより反応槽の容積は決定される。一方、汚泥滞留時間(SRT)は、反応槽や返送汚泥系等の水処理系内に汚泥が滞留する時間のことである。汚泥返送を行わない完全混合型反応槽では HRT と SRT は等しいが、生物膜形反応槽や UASB リアクター等では HRT と SRT を別に制御できる。参考までに表 5 に中温発酵及び高温発酵時の HRT を示しておく。

### 3.3 有機物負荷<sup>1)</sup>

有機物負荷は、メタン発酵槽の必要容積を決定するものであるが、投入する基質の種類、反応槽の形式、HRT についても注意を払う必要がある。例えば、反応槽内の攪拌を行わない下水汚泥の中温標準消化タンクにおいては 0.6~1.6 kg-VSS/m<sup>3</sup>/d、攪拌を行う中温消化タンクでは 2.4~6.4 kg-VSS/m<sup>3</sup>/d が代表的な設計基準値とされている。

一方、菌体を固定化する方法では、高い有機物負荷での運転が可能であり、UASB では有機物負荷 15~25 kg-COD/m<sup>3</sup>/d での運転が可能であると考えられており、設計負荷としては 10 kg-COD/m<sup>3</sup>/d が用いられているようである。

高温発酵の場合の有機物負荷に関しては、中温発酵の 2.5 倍もの高負荷で運転が可能であるという報告もある<sup>3)</sup>。

### 3.4 攪拌及び混合<sup>1)</sup>

反応層内の攪拌および混合は、投入基質を層内に分散させ、発酵を担う微生物との接触効率を高めると共に、反応層内の温度分布を均一にし、処理効率を上げるために行われる。時間の経過と共に、反応層内の堆積物等により死空間が増加するなど、実際の施設では攪拌による層内の攪拌状況が好ましくないこともある。そのような場合には、反応槽内の清掃や攪拌機器の改善が必要である。

### 3.5 pH、アルカリ度、VFA<sup>1)</sup>

メタン生成細菌は、ほぼ中性付近の pH を好む。メタン生成の最適 pH 範囲は、6.6~7.6 にあると言われている。一方で、酸生成相に関与する微生物の最適 pH 域はより幅広いものと考えられている<sup>6)</sup>。メタン発酵プロセスでは、酸生成相とメタン生成相の相分離を行わないで運転される場合が多いので、pH の中性域への保持はメタン発酵プロセスの基本となる。これまでの報告によれば、良好に運転されているメタン発酵槽の pH はほとんど 6.5~8.2 の範囲にある。

メタン発酵プロセスの pH に影響を与えるのは、基質そのものの組成が第一であり、その際にアルカリ度と揮発性脂肪酸(VFA)濃度がポイントとなる。実際のメタン発酵プロセスでは、消化ガス中の二酸化炭素の溶解に伴う炭酸濃度がその濃度に対応する重炭酸イオンと拮抗して pH がほぼ中性に保たれている(アルカリ度による緩衝機能)。アルカリ度の要因になるものは、重炭酸イオンの他に、水酸イオン、炭酸イオン、アンモニウムイオ

ン、リン酸イオン、ケイ酸イオンなどがある。発酵層内の汚泥のアルカリ度は、一定の緩衝能を要する点で 1,000 mg/L 以上、アルカリ性にあまり偏らないという点で 5,000 mg/L 以下が推奨されている。

メタン発酵の中間生成物である VFA 濃度によっても pH は著しく影響を受ける。VFA 濃度が 100 mg/L では pH を下げるに至らないが、1,000~2,000 mg/L の濃度を超えるとその可能性も出てくるので所定の濃度以下の管理が要請される。特に、易生物分解性の基質を大量に一度に投入した際は、反応槽内の VFA 濃度が上昇し pH が低下する恐れがある。pH を中性に保持するためにアルカリ度を補充する際には、重炭酸ソーダが用いられる（他、カ性ソーダ、ソーダ灰、石灰）。

### 3.6 C/N 比とアンモニア阻害<sup>1)</sup>

メタン発酵プロセスでは、生物分解性有機物はメタンと二酸化炭素に変換されるが、タンパク質系の有機物の成分はアンモニア態窒素を同時に生成するので、これが発酵残さに残留する。表 6 に示すとおり、C/N 比が小さい基質ほど発酵残さのアンモニア態窒素が高いことが分かる。

アンモニアは水中でアンモニウムイオンと遊離アンモニアの双方で存在するが、毒性としては遊離アンモニアの方が強い。遊離アンモニアの存在比率は、pH が高いほど、温度が高いほど増加するので、アンモニアの毒性は高 pH 領域または高温発酵でより顕著になる。

基質の種類によっても、阻害となるアンモニア濃度には違いがあるようである。例えば、下水汚泥の嫌気性消化の場合は、200~1,000 mg/L で悪影響なし、1,500~3,000 mg/L では pH7.4~7.6 以上で阻害要因、3,000 mg/L 以上で毒性とされている。し尿の消化では 3,000 mg/L 程度あり、pH も 8.0~8.5 で運転されている場合もあり、何らかの阻害環境下で運転がなされてきたと考えられる。一方で、生ごみのメタン発酵槽では、アンモニア態窒素の安全濃度を中温発酵では 4,500~5,000 mg/L 以下、高温発酵では 2,500 mg/L 以下と見なす成果が得られている<sup>5)</sup>。

表 6 廃棄物系バイオマスの C/N 比と発酵残さのアンモニア態窒素濃度<sup>1)</sup>

基質	C/N 比	TS 濃度 (mg/L)	アンモニア態窒素濃度 (mg/L)
下水汚泥 (混合)	5.5	37,000	1,008
最初沈殿池汚泥	10.0	39,000	574
余剰汚泥	3.9	37,000	1,386
し尿	6.0	25,000	3,000
食品生ごみ	14.6	50,000	876

### 3.7 重金属等による阻害と反応の促進<sup>1)</sup>

ガス発生量に影響を及ぼす重金属の毒性の強さは、クロム>銅>亜鉛>カドミウム>ニッケルの順という報告がある<sup>6)</sup>。しかしながら、重金属の毒性に対しかなりの馴化を示し、相当量の濃度まで耐性をしめす場合もある。重金属の阻害の影響が現れるのは、主として溶存する金属によってであり、クロム 3 mg/L、ニッケル 2 mg/L、亜鉛 1 mg/L、銅 0.5 mg/L の溶存濃度が目安となっている<sup>7)</sup>。

一方で、ある種の金属は、メタン発酵を司る嫌気性細菌に対して必須元素である。メタン生成細菌の増殖活性に促進効果を及ぼす元素として、鉄、銅、セレン、コバルト、マンガ、タングステン、ニッケル、モリブデン、ホウ素、亜鉛の 10 種類が報告されている。このうち、最も重要な元素は、鉄、ニッケル、コバルトの 3 種類である<sup>8)</sup>。これらの必須元素の欠乏による運転障害は、運転初期に現れなくても、種汚泥起因のものが利用し尽くされる 2~3 ヶ月後で顕著になる場合が多い。下水汚泥の嫌気性消化の場合よりも、生ごみや食品廃棄物のメタン発酵を行う場合に留意が必要である。

## 4. バイオガスの成分と特徴

### 4.1 バイオガスと他のガスの比較

バイオガスは、メタンと二酸化炭素を主成分とするガスで、その熱量価は 1 Nm<sup>3</sup> 当たり 21~25 MJ(5,000~6,000 kcal)である。表 7 に下水汚泥消化タンクの場合のバイオガスの成分を示す。

表 7 バイオガスの成分 (下水汚泥消化タンク)<sup>1)</sup>

成分	濃度 (v/v%)
メタン	60~70
二酸化炭素	30~40
窒素	<5
硫化水素	<0.1

表 8 にバイオガスと他のガスの熱量価の違いを示す。一般に用いられている都市ガスと比較すると、熱量価が高い液化天然ガス(LNG)を原料とする都市ガス 13A を除いて、他の都市ガスの熱量価とほぼ匹敵することが分かる。

表 8 各種ガスの熱量価 (低位発熱量)<sup>1)</sup>

ガスの種類	低位発熱量 kJ/Nm <sup>3</sup> (kcal/Nm <sup>3</sup> )	
バイオガス	21,000~25,000	(5,000~6,000)
メタン	35,900	(8,580)
プロパン	93,300	(22,280)
都市ガス 13A	41,540	(9,920)
6A	27,170	(6,490)
5C	16,800	(4,010)

## 4.2 硫化水素の除去

投入原料にもよるが、バイオガス中には硫化水素が数百～数千 ppm 含まれており、ボイラ機器あるいはガスエンジンの腐食が問題となっている。そのため、下記の方法によりボイラやガスエンジンに利用する場合は 10ppm 以下にまで除去する必要がある<sup>4)</sup>。

乾式脱硫：酸化鉄系の脱硫剤により硫化水素を除去する。湿式方式に比べ水処理の必要がなく、取り扱いが簡便なことから広く普及している。除去率は 90%以上である。脱硫剤は硫化鉄となり吸着力が低下していくため、定期的な交換が必要となる。そのため、通常は 2 基設置する場合が多い。

湿式脱硫：アルカリ水による洗浄塔により除去する方式である。水酸化ナトリウム溶液の濃度調整や水処理が必要であるが、除去率は高い。

生物脱硫：硫黄酸化細菌の働きにより除去する方法で、発酵槽内に少量の空気を注入する方式と反応塔を設置し、担体を充填させて除去する方式がある。除去後の硫化水素濃度が、数百 ppm 程度にとどまることもあることから、乾式脱硫を後段に設置する場合もある。

その他：メタン発酵槽内に鉄化合物を供給して硫化水素を硫化鉄にし、除去する方法もある。

## 4.3 二酸化炭素の除去

バイオガス中に約 40%存在する二酸化炭素を除去することでバイオガス中のメタンを濃縮し、バイオメタンとして利用することができる。二酸化炭素を除去するには、主に溶液による吸収、固体への吸着、膜への浸透、あるいはこれらを組み合わせた方法が用いられる。

溶液による回収には、水を用いる水吸収法、高圧水吸収法、圧縮冷却による分離、アミンを含む溶液を用いる方法、水酸化ナトリウム溶液を用いる方法がある<sup>9)</sup>。固体への吸着は、ゼオライトなどの吸着剤を使用する PSA (Pressure Swing Adsorption) 法がある。それから膜への浸透については、メタンと二酸化炭素の拡散速度の差を利用する膜分離法が利用される<sup>1)</sup>。

## 4.4 シロキサンの除去

バイオガス中には、特に下水汚泥が原料の場合は、香粧品に属するシャンプーやリンス等の頭髮仕上げ材に含まれると考えられる環状の高分子であるシロキサンが含まれており、これがガス発電システムの添加プラグの劣化を早める問題の原因となっている<sup>1)</sup>。下水汚泥メタン発酵によるバイオガス中のシロキサン濃度の例として、鎖状低分子シロキサンが 0.1 ppm 程度、鎖状高分子シロキサンが 0.1～0.8 ppm、環状シロキサンは 0.05～2.9 ppm であり、環状シロキサン濃度が比較的高かった<sup>10)</sup>。バイオガス中のシロキサンは、水吸収法ではあまり除去できず活性炭吸着法がよく用いられる<sup>10)</sup>。



参考文献

- 1) 野池達也編著者 (2009) : 『メタン発酵』. 技報堂出版株式会社, 東京.
- 2) Rajagopal et al. (2019) : Influence of Pre-Hydrolysis on Sewage Treatment in an Up-Flow Anaerobic Sludge BLANKET (UASB) Reactor: A Review. *Water*, 11, 372.
- 3) 小野英男 (1978) : 紙・パルプ工場の廃液及び廃棄物のメタン発酵処理について, 紙パルプ技術協会会誌, 32, 3, 71-178.
- 4) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課 (2017) : メタンガス化施設整備マニュアル (改訂版) .
- 5) Li et al. (2004) : Comparison of Ammonia Inhibition between the Methophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Municipal Solid Wastes, Proc. of 10<sup>th</sup> World Congress on Anaerobic Digestion, 1, 507-514
- 6) 松元淳一郎、野池達也 (1973) : 汚泥消化に及ぼす重金属類の影響 (II) - 半連続投入実験による検討 -, 下水道協会誌, 10, 115, 2-18.
- 7) U.S. EPA (1979) : Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA625/1-79-011, 6-37.
- 8) 李玉友、西村修 (2007) : メタン発酵法による廃棄物バイオマスの循環利用, 混相流, 21, 1, 29-38.
- 9) Haseinipour et al. (2019) : Comparison of the biogas upgrading methods as a transportation fuel, *Renewable Energy*, 130, 641-655.
- 10) 山田昭捷ら (1995) : シロキサンに着目した脱硝・脱臭触媒の劣化, 下水道協会誌, 32, 389, 76-78.



## 第2節 メタン発酵バイオガス発電システムの全体像

石井 一英

### 1. メタン発酵システムの全体像

メタン発酵システムの全体像を図1に示す。メタン発酵システムを考える時は、まず処理対象となる投入基質の決定、投入基質の性状に応じた前処理や発酵槽の選択、生成するバイオガスの利用法、そして発酵残さの利用・処理方法の全てを地域条件やステークホルダーの協力、コスト等を考慮しながら総合的に検討する必要がある。

#### 1) 投入基質～前処理～発酵槽

投入基質の種類としては、牛ふんや豚ふんといった家畜排せつ物、生ごみ（食品廃棄物）、下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥、そしてこれらの混合物の場合がある。システム構築のためのポイントは、「量と質の確保」と「分別・収集運搬」である。

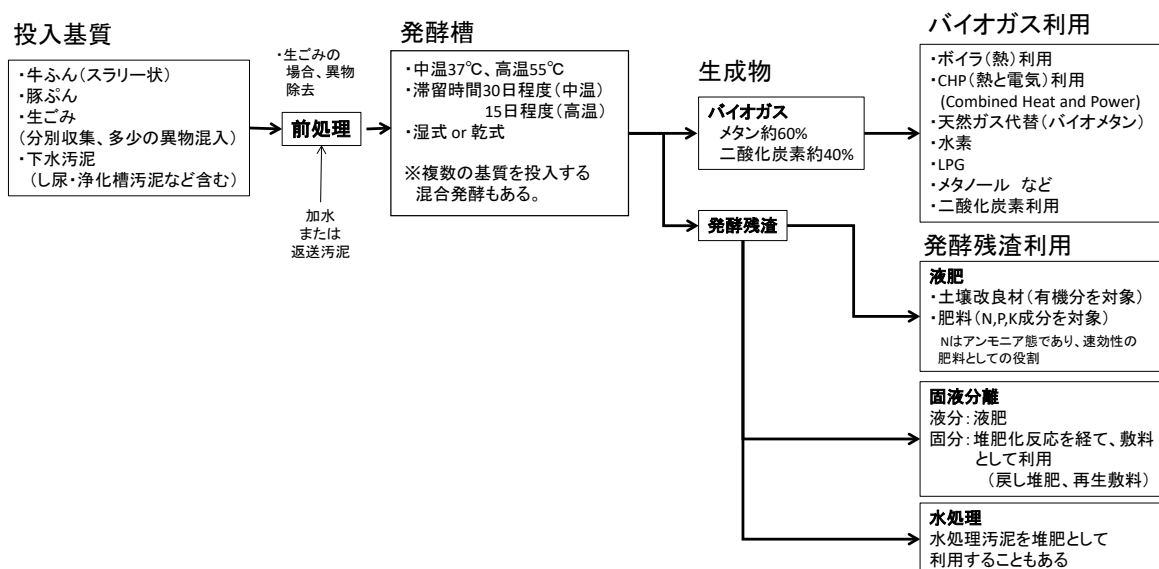


図1 メタン発酵システムの全体像

牛ふんの場合は、一般にスラリー状のふん尿と敷料の混合物が対象となり湿式の発酵槽が用いられることが多い。一方、固形状の敷料混じりのふんは、破碎後スラリー状にしてから湿式発酵を行うか、そのまま乾式発酵を行う場合がある。固形状のふんは、実例はあるがまだ普及には至っていない。また、酪農家が単独でメタン発酵システムを構築する個別型の場合と、複数の酪農家からのふん尿を対象にして建設される集中型があり、この場合は、ふん尿の収集・運搬体制を新たに構築する必要がある。また、酪農家によって飼養形態や敷料の材質や量が異なるなどシステム構築の際には留意が必要である。

生ごみの場合は、食品製造工場から排出される動植物性残さなどの産業廃棄物を扱う場合と一般家庭やレストラン、スーパーなどから排出される一般廃棄物を扱う場合では大きく異なる。産業廃棄物の場合は、一度に排出される量が多く、質も比較的均質であるとい

った特徴を有するため、量と質の確保は比較的しやすいが、易分解性有機物を一度に大量に発酵槽に投入すると、VFA 濃度の著しい上昇を招き、結果として pH 低下による発酵阻害を引き起こす恐れがある。

一方、一般廃棄物を扱う場合では、事業系・家庭系共に、ごみ袋、フォークなどの異物の混入を前提とした前処理を施す必要がある。また、事業者や市民の分別協力が必要であり、想定していた量の確保が困難な場合も少なくない。市民の生ごみ分別協力率は、50～90%と地域によって大きく異なる。

分別された生ごみの場合は、攪拌とアンモニア阻害を考慮して加水後、湿式発酵される。近年は一般廃棄物の場合で、分別収集なしで可燃物を機械選別により、発酵適物（主に生ごみと紙）と発酵不適物（主にプラスチック）に選別し、発酵適物を乾式発酵し、その脱水された発酵残さを発酵不適物と一緒に焼却処理するコンバインド型の処理システムの例も増えている。

下水汚泥については、国内の消化槽の歴史は古く、多くの経験の蓄積があるため詳細は述べないが、近年施設の集約が進む中、下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥、生ごみの混合発酵の例が少しずつ増加している。この場合は、分別収集された生ごみが前処理（異物除去＋破碎処理）された後、また別途ピットで投入されたし尿・浄化槽汚泥と下水汚泥と混合され発酵槽に投入される。

## 2) バイオガスの利用方法

バイオガスの利用方法は、ガスボイラによってバイオガスが直接燃焼され、温水や蒸気を提供する熱利用が一般的であったが、近年、CHP による発電利用が主流となっている。発電時の排熱も利用することで、全体効率の改善が図られている。固定価格買取制度

(FIT) により、発電利用を採用するメタン発酵システムの導入例が増加すると共に、既存の下水処理施設でのガスボイラから CHP への切り替えも進んでいる。また、FIT 接続が困難な場合やノンファーム接続などにより制約がある場合もある。太陽光発電との競合などを考慮して、太陽光発電時以外の時間帯にバイオガス発電を行うなどのアイデアもあるが、バイオガスホルダの容量、発電機の起動から安定発電までの時間短縮や追従性などの課題もまだ多い。また、ロボット搾乳機などの導入が進み、発電された電力を自家利用する例も増えている。

バイオガス中に約 40%存在する二酸化炭素を除去すると、結果的に 90～95%にまでメタンが濃縮される（バイオメタンと呼ばれている）。スウェーデンやフィンランドでは、バイオガスを発電せずに、天然ガスと混焼した地域熱電併給や車両燃料（ディーゼルエンジンとバイオメタンエンジンのデュアルエンジンシステム）として利用されている。国内においてもバイオメタンの清掃車利用や液化バイオメタンの事例がある。除去された二酸化炭素もあわせて利用することが望まれる。

その他、北海道鹿追町で実証試験が行われているバイオガスの水素利用、今後実証が期待されるメタノール、LPG としての利用が期待される。

### 3) 発酵残さ利用方法

発酵残さの利用方法は、そのまま液肥として草地や畑地、水田などに、土壌改良や肥料成分を期待して散布するのが最もシンプルかつ実用的な利用方法である。発酵残さ中の肥料成分の含有量やその成分割合は、投入基質の種類によって大きく異なる。また、ふん尿や敷料の未分解物などの固形分が残存している、粘性が高いといった散布上の課題も存在する。最も考慮すべきは、発酵残さ中の窒素成分は、大半がアンモニア態窒素であり、植物にとっては速効性の窒素成分として有用であるが、発酵残さ散布時や散布後の揮発や地下水への流出に留意する必要がある。

発酵残さを固液分離することにより、液分を SS 成分の少ない液肥として散布し、固形分は堆積し堆肥発酵により乾燥工程を経て、あるいは強制乾燥工程を経て、もう一度敷料として再利用する事例が増えている。敷料として利用されてきた木質バイオマスがバイオマス発電工場に高値で大量に取引されるようになって、敷料の入手が困難になりつつある背景も手伝ってこうした事例が増えている。発酵工程を得た再生敷料の利用により乳房炎が減少するなどの効果も見られている。

草地・畑地に散布できない発酵残さは、水処理プロセスを経て、河川や下水道に放流される。水処理プロセスは、いわゆる凝集沈殿、微生物処理（活性汚泥法、脱窒処理）、脱水、汚泥処理などの一般的な工程を要する。特に、脱窒処理にコストがかかるため、水処理を選択すると、メタン発酵事業全体の収支に影響を及ぼすことになる。水処理工程の脱水過程で生じる汚泥を堆肥利用することも可能である。

## 2. 原料の異なるメタン発酵の例

### 2.1 下水汚泥

下水汚泥のメタン発酵は、汚泥処理の一環として嫌気性消化法の呼名で採用されてきた。全国に 2,000 箇所以上ある下水処理場のうち、約 300 施設ほどでメタン発酵が採用されている（残りは汚泥焼却、農地還元、埋立処分）。

下水汚泥のメタン発酵の事例として、神戸市東灘処理場の取組を紹介する。水処理工程から発生する汚泥を濃縮後、減量化と安定化を目的に嫌気性消化している。このとき発生するバイオガスを高圧水吸収法により、メタン濃度 98% のバイオメタンに精製し「こうべバイオガス」として 2008 年 4 月から自動車燃料として活用している（写真 1）。2010 年からはさらに高度精製し、都市ガス導管への注入を行っている。



写真 1 こうべバイオガス精製設備<sup>1)</sup>

さらに、2012年1月から、未利用の地域バイオマスとしての食品系、木質系を下水汚泥に添加し、ガス発生量の増加と汚泥処理効率化を目指している。

## 2.2 食品廃棄物(生ごみ)

国内では、汚泥再生処理センター事業により、生ごみとし尿及び浄化槽汚泥との混合発酵の実例が増えた経緯がある。一般廃棄物、産業廃棄物、あるいは一般・産業廃棄物の両者を対象とする生ごみ単独のメタン発酵の事例も近年増加している。

国内では、北海道空知地方の一般廃棄物処理の広域化の際に、焼却施設検討と同時に生ごみの分別が検討され、砂川市、滝川市及び深川市に、一つずつ生ごみ単独のメタン発酵施設が建設された。施設の概要を表1に示す。

表1 北海道中北空知地域のメタン発酵施設概要<sup>2)</sup>

施設	砂川	滝川	深川
発酵方式	高温発酵	中温発酵	高温発酵
処理能力 (t/d)	22	55	16
平均処理量 (t/d)	*10.1	**25	***9.7
バイオガス発生量 (m <sup>3</sup> /d)	*1,600	**3,000	***1,100
排水量 (m <sup>3</sup> /d)	*18	**50	***24
エネルギー利用方法	発電・温水	発電・温水	発電・温水
発酵残さの利用・処理方法	堆肥化	堆肥化	焼却
対象人口	41,000	94,000	42,000

\* : 4~11月平均    \*\* : 10月平均    \*\*\* : 10~12月平均

## 2.3 家畜排せつ物

牛ふんを主原料としたメタン発酵施設が、FITを追い風にして広く普及してきた。本節では、日本で初めて複数の酪農家を対象とした集中型バイオガスプラントで、バイオガスの利用方法についても、バイオメタンや水素利用を行っている北海道鹿追町の先進事例を紹介する(表2)。

表2 中鹿追施設概要<sup>3)</sup>

発酵方式	嫌気性発酵 (中温式)
原料	乳牛ふん尿 85.8 t/d 敷料等 4.0 t/d 車両洗浄水 5.0 t/d
処理能力	94.8 t/d
主要設備	発酵槽・ガスホルダ・ 貯留槽・ガス発電機等
建設費	834,750 千円

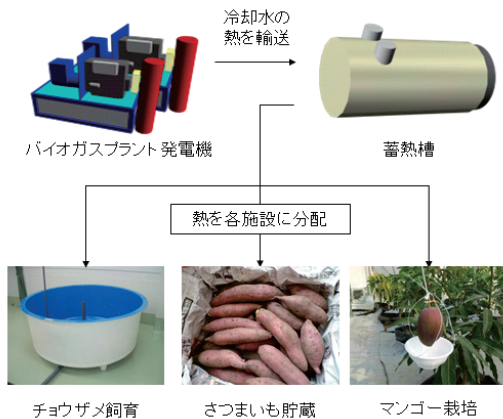


図2 中鹿追施設の熱利用<sup>13)</sup>



写真2 水素ステーションと水素自動車<sup>4)</sup>

図2に示すように、発電に伴い発生した余剰熱を、約70℃の温水として、100tの蓄熱槽に一度貯め、チョウザメ飼育、サツマイモの貯蔵、マンゴー栽培に利用している。また環境省の実証事業で家畜排せつ物由来の水素サプライチェーンの実証事業を行っている。製造された水素は、FCV（写真2）及びFCフォークリフトの他、燃料電池（チョウザメ施設、おびひろ動物園）で利用されている。

## 2.4 混合発酵

家畜排せつ物と乳製品の廃棄物（産業廃棄物）、下水汚泥と生ごみ（食品廃棄物）など混合発酵の事例が増えている。メタン発酵に必要な複数の基質の成分の相乗効果により、発生バイオガス量の増加が期待できるが、その増加量やメカニズムは研究段階である。

北海道の北広島市と恵庭市において、下水処理場の既存消化タンクに分別された家庭系及び事業系の一般廃棄物の生ごみを投入したエネルギー事業が行われている。北広島市は、メタンガスを汚泥乾燥に利用することにより、化石燃料の大幅削減を達成した。恵庭市においては、隣接する一般廃棄物の焼却炉からの排熱を発酵槽の加温に用いることにより、発生するバイオガスの全量をFIT発電に利用している。

今後、基質の混合発酵だけではなく、他施設とのエネルギーの融通などの複合的なシステムの構築が望まれていると言えよう。

### 参考文献

- 1) 神戸市建設局：神戸バイオマスの現状 新型バイオガス精製システムの展開,  
<https://www.city.kobe.lg.jp/a78445/kurashi/sumai/sewage/gesuishorijo/higashinada-gaiyo.html>, 2021.11.6 閲覧
- 2) 古市徹監修, 有機廃棄物資源循環システム研究会編著(2010)：循環型社会の廃棄物系バイオマスー利活用事業成功のためのシステム化ー, 環境新聞社.
- 3) 鹿追町ホームページ：<https://www.town.shikaoi.lg.jp/work/biogasplant/tokucho/>, 2021.11.6 閲覧
- 4) 国土交通省ホームページ：エネルギー拠点化事例,  
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/content/001330637.pdf>, 2021.11.6 閲覧





## 第3節 バイオガス発電機について

林 清史

### 1. 発電装置の種類

バイオガスを燃料とした発電機には、燃焼を伴うガスエンジン方式とガスタービン方式、バイオガス中の水素を取り出して化学反応で電力を取り出す燃料電池があり、その特徴は以下の通りである。

#### (1) ガスエンジン

燃料となるバイオガスと空気を混合した混合空気をシリンダ内で圧縮、燃焼させ、その動力で発電機を駆動する方式であり現在の主力方式である。発熱量、供給圧力等を規定した燃料ガスを対象とするメーカ独自の燃料制御技術で、品質確保・維持するガスエンジンを搭載している。そのエンジン軸動力源として同期発電機、誘導発電機、逆変換式発電機等の発電機で構成されている。

#### (2) マイクロガスタービン

空気を圧縮機で加圧し、燃料器でその加圧した空気を利用し燃料を燃焼し、高温高圧ガスを発生させる。この高温高圧ガスでガスタービンの羽根を回転させ、発電機を駆動させる方式である。マイクロガスタービンの特徴としては、発電効率が低いというデメリットはあるが、構造がシンプルで部品点数が少なく、メンテナンスが容易であり、また、ガスエンジンとは異なってタービンの回転で発電する為、振動が少なく、ガスエンジンと比べると NOx や煤じん排出量が少ないという利点があるが取り扱っているメーカは少ない。

#### (3) 燃料電池

燃料であるメタンより水素を取り出し、水素と酸素の化学反応により電気を取り出す方式である。エンジンやタービンと異なり駆動部分が無く、燃料の持つ化学エネルギーを直接電力に変換するため効率が低いという特徴がある。但し、メタンから水素を取り出すための改質装置が必要であることによりコスト面ではガスエンジンやガスタービンよりも高く採用数は少ない。

### 2. 市場別バイオガス特性

#### (1) 下水汚泥、家畜排せつ物、食品残さ、工場排水ごとの傾向

バイオガスは様々なバイオマスを嫌気性発酵する事で発生するガスであるが、主に投入される原料によってメタン濃度に差異が見られる。下水汚泥や家畜排せつ物はメタン濃度が 55～65%が多く、有機物の多い食品残さ物や食品工場の排水は、メタン濃度が 65～75%と高めのガスが発生する傾向があり、特に成分中のたんぱく質や脂質の含有量が多いとその傾向が如実である。メタン濃度に応じたエンジンの選定やマッチングが必要となる。また、発酵方式には発酵温度の違いにより中温発酵と高温発酵、発酵槽へ投入する固形分濃度の

違いにより、湿式方式と乾式方式があるが、主に処理対象物の性状や発酵残さの取り扱いによって選択され、有機物の分解率に違いはあるものの、発生ガス中のメタン濃度には影響しない。

### (2)脱硫装置の重要性

嫌気性発酵をした場合は、比較的到高濃度の硫化水素成分が含まれることから、脱硫を行う事が重要である。脱硫が不十分な場合、燃料配管、ガス圧調整器（昇圧、減圧）、発電装置の搭載機関等の金属性部品を腐食させて重大なトラブルに繋がる。下水汚泥の場合、脱硫剤を定期交換する脱硫装置での脱硫が主流で、複数台ある脱硫装置の切替管理等の脱硫性能の維持管理が重要であり、発電機を提案する場合は脱硫を含めた維持管理体制の確認も必須となる。

### (3)シロキサン除去の重要性

一般的には下水汚泥には生活排水に含まれる「高沸点化合物やシロキサン」が含まれており、バイオガスにもその成分が含まれる。この「高沸点化合物やシロキサン」の濃度が高い場合、発電装置の搭載機関のピストン等の主要な摺動部で異常摩耗等の不具合を発生させ、潤滑油の異常消費、排気系閉塞、機関出力低下、回転制御不良等の重大故障を誘発させる。この予防として、シロキサン除去装置の導入と、その定期的な保守運用が必要で、また、定期的なガス分析での濃度管理が必要となる。

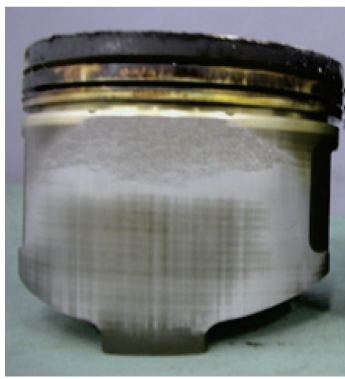


写真1 高濃度シロキサンの影響（ピストン摺動面）



写真2 影響のない長時間品（比較用）

## 3. バイオガス発電の設計のポイント・注意点

### (1)複数台設置の重要性

大容量発電装置の単機設置は、小容量発電装置を複数台設置と比較すると初期導入コスト抑制となる。一方、複数台設置をすることで消化ガスの発生量に見合った運転台数制御効率運用を行う事が可能となり、発電装置メンテナンス時や突発故障による長期間停止リスクを最小化ができる利点がある。また、投入原料が季節毎に変動する可能性がある場合においても単機設置の場合はガス量不足による効率低下や停止リスクが発生する。重要となるのは発電容量（kW）ではなく発電電力量（kWh）であるため、初期投資となる建設コスト

だけの選定ではなく、運用や将来予測を加味して、設備の計画段階から発電量設備維持を発電計画として検討すべきポイントである。

## (2) ローテーション(運転号機の切替)による運転時間の平準化

複数台設置機場での運転台数制御には、発電装置毎の運転時間差が最小化となる号機切替制御を推奨する。一般的に発電装置には「定期点検の実施周期」が運転時間毎に設定されているが、運転時間差が大きいと長時間運転号機を基準とした整備運用となり、保守の費用対効果から過剰整備や維持費増大に繋がる可能性がある。号機間の運転時間の平均化は設備維持する上での重要ポイントと言える。

表1 集合設置(10,000時間毎の定期点検)

設置号機	前回点検後の運転時間(HR)
1号機	5,500
2号機	9,000
3号機	10,000
⋮	
7号機	7,700
8号機	7,000

- ・最長運転機基準の「点検整備」では他号機で過剰整備となる。
- ・平均運転時間基準の「点検整備」では長時間機の故障リスクが高まる。

## (3) 耐塩害仕様の必要性

主要なバイオガス(消化ガス)設備を有する下水処理場は、河川下流や海岸の近傍である場合が多く、屋外設置する発電装置には塩害対策が必要となる。塩害は外板塗装の腐食等の外観品質の問題から、電気系部品の絶縁低下による漏電等の様々な故障に繋がる。発電装置導入の計画段階で、「耐塩仕様」の機器設定、仕様確認が有効と考える。

## (4) 寒冷地仕様(外気温度がマイナス10℃以下の場合)

燃料ガス配管の断熱不足や、冬季の低外気温環境下では、バイオガス中に含まれる水分が燃料ガス経路内部での結露が生じる可能性がある。凝縮水分離器が設置してあっても、結露量が過大となると発電装置への燃料ガスの供給量、供給圧力の低下や燃料ガスの偏流となって、機関運転の制御不良に繋がる。その為ドレン水排出管の加温、排気ガスの排出用延長配管への凍結対策が必要となる。



写真3 燃料配管端のドレン水排出



写真4 燃料配管の母管のドレン水排出



写真5 配管内部で凍結、排気閉塞

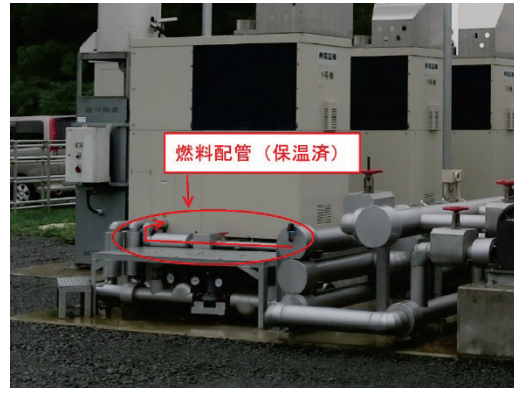


写真6 配管内結露予防（断熱処置）

### 3. メーカー選定のポイント

バイオガス発電は15年もしくはFIT制度で運用する場合は20年間の長期運用が必要となるため、メーカー選定は現時点のみのカタログ値や仕様だけで判断するのではなく、長期間の運用実績の有無やメンテナンス体制が信頼に足るか否かも見極める必要がある。

#### (1) 長期間の部品供給

バイオガス発電に限らず常用発電機は年に1～数回のメンテナンスや部品交換が必要である。エンジン部品だけではなくモデルチェンジサイクルの早い電装品も長期にわたる共有が可能かどうかや、後継品に上位互換が可能であるかのヒアリングを行う事も必要である。保守点検の整備部品に加えて、故障修理の交換部品が長期に亘って安定供給される体制を整備・確保しているメーカーを選定することが重要なポイントとなる。

#### (2) 保守体制の有無

バイオガス発電が停止した場合、購入電力が設定デマンドを超過するリスクや、FIT売電の場合、停止期間中は売電収益を逸するため、早期復旧の対応可否が重要なポイントとなる。バイオガス発電は都心部よりも地方に設置されることも多いため、地域に根差した保守メンテナンス体制が充実していることもメーカー選定において重要と考える。

また、現地に行かずとも機器の状態を監視できる遠隔監視装置の搭載可否や、その監視体制の有無が、突発故障の停止期間を短縮化する利点としてメーカー選定がポイントとなる。

### 4. 試運転調整時のポイント

#### (1) 事前のガス分析

バイオガスでは、一般に都市ガスのような熱量調整は行われず、その発酵条件や施工環境等の影響を受けメタン濃度が変動する。各メーカーの発電機には、供給燃料ガスに組成毎の基準範囲が規定されており、装置導入前に供給ガスの適合性を事前確認しておくことが重要となる。分析項目はメタン濃度、CO<sub>2</sub>濃度、硫化水素濃度、シロキサン濃度が最低限の必要項目となる。



## (2) 引き渡し後のガス分析

通年での熱量変化（メタン濃度変化）が生じやすいバイオガスの特性を考えると、引き渡し以降も定期的なガス分析を通じた運用管理が必要と考える。メタン濃度は、年間変動に傾向性が見られることが多く、導入初期 1 年間の傾向把握することで効果的な設備運用を目指すため、夏季・冬季のメタン濃度の計測が長期運用において重要なポイントとなる。

## (3) 定期点検と設備点検、調整

バイオガス発電機は、搭載エンジンが最適空燃比で運転維持する制御を搭載しているが、その制御は、メタン濃度の許容範囲、許容変動幅、供給圧等をメーカー毎に設けており、供給ガスがこの規定範囲を外れると安定運転の継続ができず、機器故障にも繋がる。メタン濃度の低下や、制御用センサ等の経時的な特性劣化等から定期校正、定期的な調整が必要である。

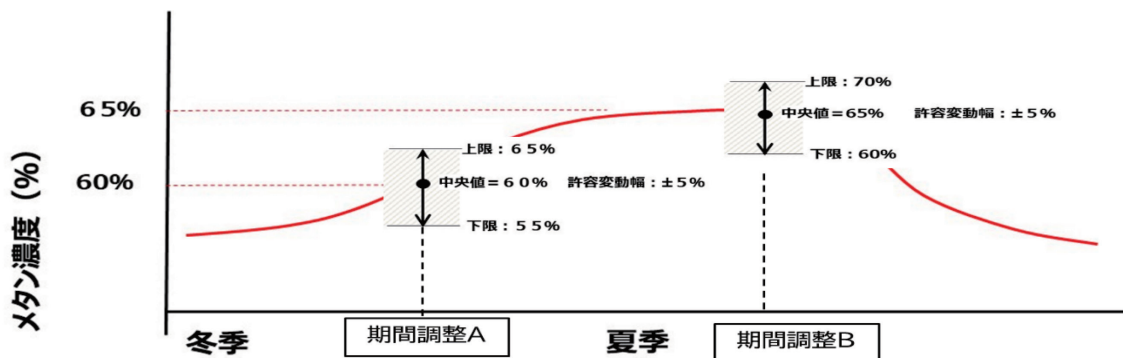


図1 メタン濃度変化に合わせた空燃比制御調整イメージ

## 5. 運用開始後の維持管理

### (1) 遠隔監視の重要性

消化発酵ガスは「固定価格買取制度」の買取単価が、太陽光発電との比較でも高く設定されている背景もあって、24 時間連続稼働する納入例が増加傾向であり、バイオガス発電の状態を常時監視できる遠隔監視の重要性が高い。遠隔監視では、故障前警報の受信、発電装置の故障パターンの統計分析から故障予知し、故障前の定期点検の前倒し等、未然予防することで効果的な設備維持が期待できるため、バイオガス発電を選定する場合は遠隔監視の有無を確認する事が重要である。

### (2) 日常点検

日常管理においては、発電装置、上位制御システムの「重故障、軽故障」の監視が重要で、発報時の対応体制を確立しておく必要がある。管理・監視項目は次の通りである。

- ・ 発電量の異常値管理…補機動力、送電端電力量、発電端の電力量等
- ・ 受変電設備…デマンド監視、漏電や連系保護装置の校正管理
- ・ 発酵システムの「軽故障、重故障」監視…脱硫装置、凝縮水排出装置、昇圧・減圧装置
- ・ 発電装置の供給ガスの管理…供給圧力（母管の最短、最遠の装置）、メタン濃度（変動）



## 第4節 メタン発酵バイオガス発電に関する政策動向

芋生 憲司

### 1. 再生可能エネルギーとしてのバイオマス

再生可能エネルギーとは一般に「利用しても自然界から定常的に補充されるエネルギー」を指すが、明確な定義はなく、各国の法令や制度で再生可能エネルギーに該当するエネルギー資源が定められている。日本では現在、法律でバイオマスを再生可能エネルギーと認めているが、現実には無条件で再生可能とは言い難い。太陽光や風力は変動があるとはいえ、自然に供給されるのに対し、バイオマスは人為的に供給する必要がある。またバイオマスは種別により供給のされ方が大きく異なる<sup>1)</sup>。人工林や草本系の資源作物は人工的に栽培する必要がある。収穫後に土地をそのまま放置すればバイオマスは再生されず、再生可能エネルギー資源とは言えなくなる。稲わらやPKSは食料の副産物なので、米とパーム油が生産される限りは産出される。廃棄物系バイオマスは人間の活動により排出される。これらのことから、バイオマスの種別により「再生可能」の意味をとらえて、持続可能性を考慮することが重要である。

### 2. 再生可能エネルギーに関わる制度の変遷

#### (1) 新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法

表1に日本における再生可能エネルギーに関わる主な制度の変遷を示す。日本では再生可能エネルギーの前に新エネルギーという言葉が用いられた。1997年に施行された「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」（通称新エネ法）は、非化石エネルギーの導入を促進するために制定された法律である。

表1 再生可能エネルギーに関わる制度の変遷

1997年施行 新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法 (新エネ法)
2003年施行 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法 (RPS制度)
2012年7月施行 (2011年3月11日(金)午前に閣議決定) 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法 (FIT制度)

表2に新エネ法における対象エネルギーの変遷を示す。新エネ法の施行時点ではバイオマスは含まれていなかった。再生資源は含まれていたが、その内容はバイオマス由来のものに限らずそれ以外の廃棄物も含まれていた。また天然ガスコージェネレーション等、化

石エネルギー利用であっても、その効率を飛躍的に向上させる利用技術として新エネルギーに含まれていた。

表2 新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法における対象エネルギーの変遷

1997 年施行時

- 太陽光発電
- 太陽熱利用
- 風力発電
- 温度差エネルギー
- 再生資源による燃料製造
- 再生資源の熱利用
- 再生資源による発電
- 天然ガスコージェネレーション
- 燃料電池
- クリーンエネルギー自動車

2002 年改正

- 追加項目
- バイオマス燃料製造
  - バイオマス熱利用
  - バイオマス発電
  - 雪氷熱利用

2008 年改正

- 削除項目
- 再生資源による燃料製造
  - 再生資源の熱利用
  - 再生資源による発電
  - クリーンエネルギー自動車
  - 天然ガスコージェネレーション
  - 燃料電池
- 追加項目
- 地熱発電（バイナリ方式）
  - 小水力発電（1,000kW 以下）

現在の「新エネルギー」

- 太陽光発電
- 太陽熱利用
- 風力発電
- 温度差エネルギー
- バイオマス燃料製造
- バイオマス熱利用
- バイオマス発電
- 雪氷熱利用
- 地熱発電（バイナリ方式）
- 小水力発電（1,000kW 以下）

新エネ法は 2002 年に改正され、バイオマスと雪氷熱利用が加えられた。バイオマスについてはバイオマス燃料製造、バイオマス熱利用、バイオマス発電が対象となった。バイオマスという言葉は元々生態学で生物有機体の量を表す用語であったが、新エネ法では「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの」と定義された。これにより日本でバイオマスという言葉が一般に認知され始めるとともに、エ



エネルギー資源としての側面が重視されるようになった。

新エネ法はさらに 2008 に改正され、再生資源に関わる 3 種類と、天然ガスコージェネレーション等の 3 種類が除外され、地熱発電（バイナリ方式）と小水力発電（1,000kW 以下）が追加された。再生資源は除外されたが、バイオマス由来の副産物と廃棄物はバイオマスに関わる 3 種類に含まれている。これにより現在は「新エネルギー」として、表 2 に示す 10 種類が定められている<sup>2)</sup>。

## (2) RPS 制度

2003 年に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」で、電力会社に一定割合以上の新エネルギーの利用が義務づけられ、RPS（Renewables Portfolio Standard）制度が導入された。RPS 制度では、風力、太陽光、地熱（熱水を著しく減少させないもの）、水力（1,000kW 以下のものであって、水路式の発電及びダム式の従属発電）、バイオマス（廃棄物発電及び燃料電池による発電のうちのバイオマス成分を含む）が対象となった。図 1 に RPS 制度における認定容量の推移を示す<sup>3)</sup>。ここで特定太陽光とは、2009 年 11 月から実施された余剰電力買取制度により、主に住宅などの小規模な太陽光発電の余剰電力を一定価格で買い取るものである。地熱発電は 2004 年度に 1 件（2,000kW）が認定されたが、容量が小さいのでグラフには入れていない。2012 年度には多くの設備が後述の FIT 制度に移行した。

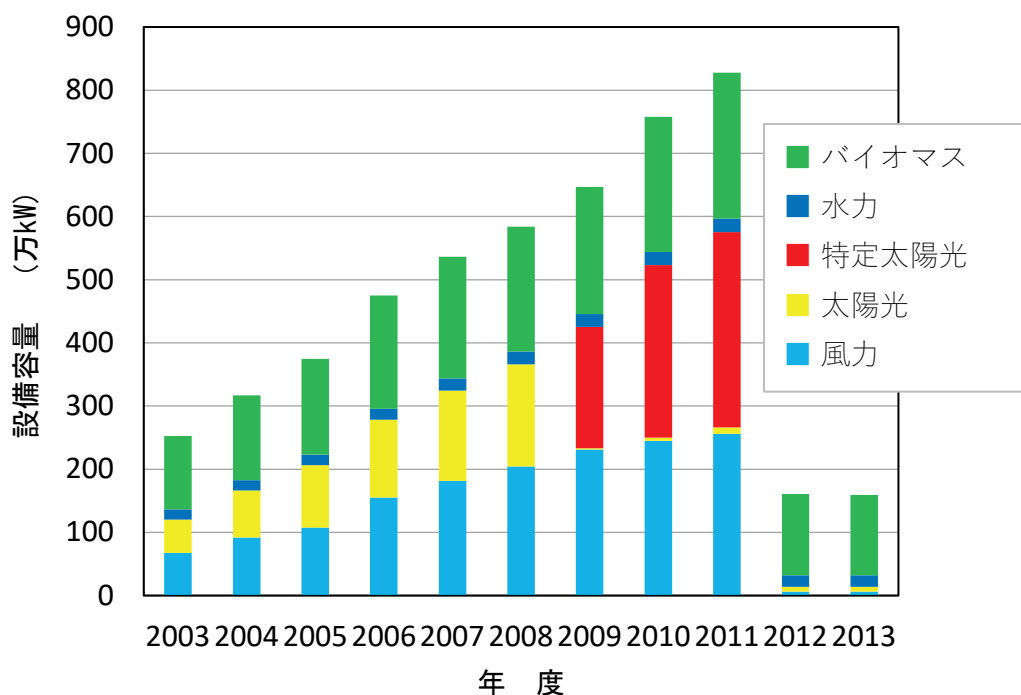


図 1 RPS 制度における認定容量（資源エネルギー庁の資料<sup>3)</sup>よりデータを引用）

RPS 制度によって多くのバイオマス発電所が建設されたが、廃木材を燃料とする発電所が多く、景気の悪化も影響して、燃料の廃木材が不足気味になった。このため未利用材も利用されはじめたが、収集・運搬コストが高いため事業性に難があった。そこで次の FIT 制度では未利用材による電力の買取価格が高く設定されることになった。

### (3) FIT 制度

日本における電力の固定価格買取制度（以下 FIT（Feed in Tariff）制度）は 2011 年 3 月 11 日の午前に閣議決定され、同日の午後に東日本大震災が発生した。続いて起きた福島第一原子力発電所の事故によって再生可能エネルギーへの期待が急激に高まり、2012 年 7 月に FIT 制度が施行された。FIT 制度では太陽光、風力、中小水力、地熱、バイオマス発電が対象となった。FIT 制度の施行後に、特に太陽光発電において未稼働案件や不適切事業のなどの問題が多かったことから、2017 年に大きい改正が行われた。また買取価格が頻繁に変更されて現在に至っている。

### 3. FIT 制度におけるバイオマス発電の現状と課題

図 2 に FIT 制度におけるバイオマス発電の認定容量と導入容量、および 2030 年度エネルギーミックスにおけるバイオマス発電の目標容量を示す<sup>4)</sup>。これは RPS 制度からの移行分を除いた数値である。またバイオマス比率を考慮している（バイオマスと非バイオマスを合わせて燃料にする場合にバイオマス分だけの容量を示している）。2021 年 3 月時点で認定されている容量は合計で約 796 万 kW であり、2030 年度目標量を上回っている。導入容量は最小目標量の半分程度であり、着実に増加している。2017 年に認定容量が急増したのは、買取価格改正前の駆け込み申請による。2018 年に減少したのは要件不適合での申請取下などによる結果である<sup>5)</sup>。

表 3 に買取価格の推移を示す<sup>6)</sup>。ここで「一般木質等」とは、現実にはほとんどが輸入バイオマスである。この区分の買取価格は 2016 年度まで 1kWh あたり一律 24 円であったが、2017 年度に規模別に分類され、2018 年度からは、液体燃料および 1 万 kW 以上の発電については入札制となった。現状ではパーム油が液体燃料に相当する。図 2 からわかるように、認定容量においても導入容量においても「一般木質等」が多い。日本のバイオマス発電が海外の資源に依存している現状がわかる<sup>5)</sup>。

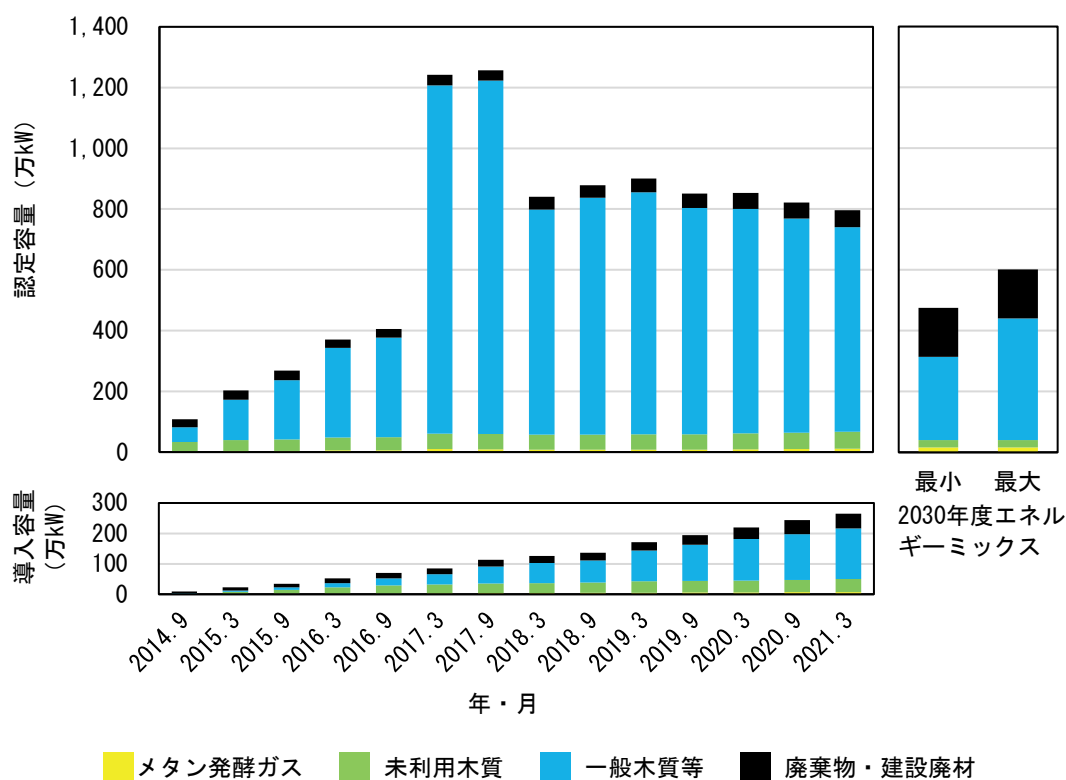


図2 FIT制度におけるバイオマス発電の認定容量と導入容量（資源エネルギー庁の資料<sup>4)</sup>よりデータを引用）

表3 FIT制度におけるバイオマス発電の調達価格の変遷（経済産業省の資料<sup>6)</sup>よりデータを引用）

1kWあたり調達価格（税抜）

年度	～2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
一般廃棄物	17円								
建設廃材	13円								
一般木質等	24円			24円 2万kW以上	21円 2万kW未満	バイオマス液体燃料：入札 一般木材1万kW以上：入札 一般木材1万kW未満：24円			
未利用木質	32円	2千kW未満：40円 2千kW以上：32円							
メタン発酵ガス	39円								

FIT制度におけるバイオマス発電のうち、バイオガス発電の状況を述べる。図3は認定件数と導入件数を、図4は認定容量と導入容量を示す<sup>4)</sup>、他のバイオマス発電と比べると容量が少ないが着実に増加している。バイオガス発電の2030年度エネルギーミックスにおける目標容量は16万kWとされており<sup>7)</sup>、2021年度末でその52%が達成されている。また「一般木質等」と比較すると、認定容量に対する導入容量の割合が高く、適正に導入が進んでいると言える。

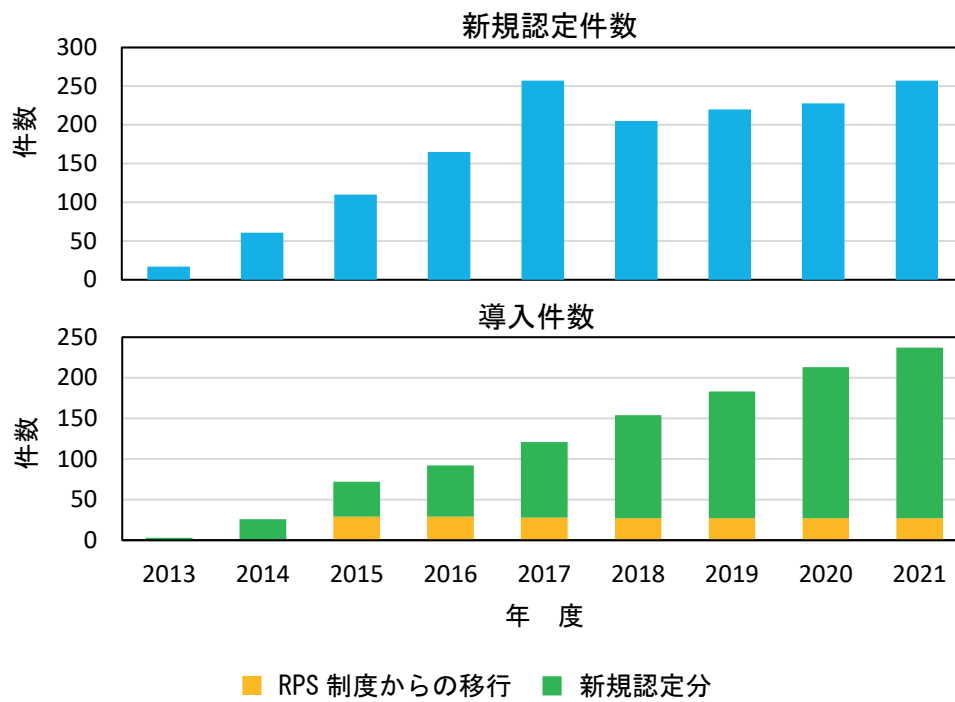


図3 FIT制度におけるバイオガス発電の認定件数と導入件数（資源エネルギー庁の資料<sup>4)</sup>よりデータを引用）

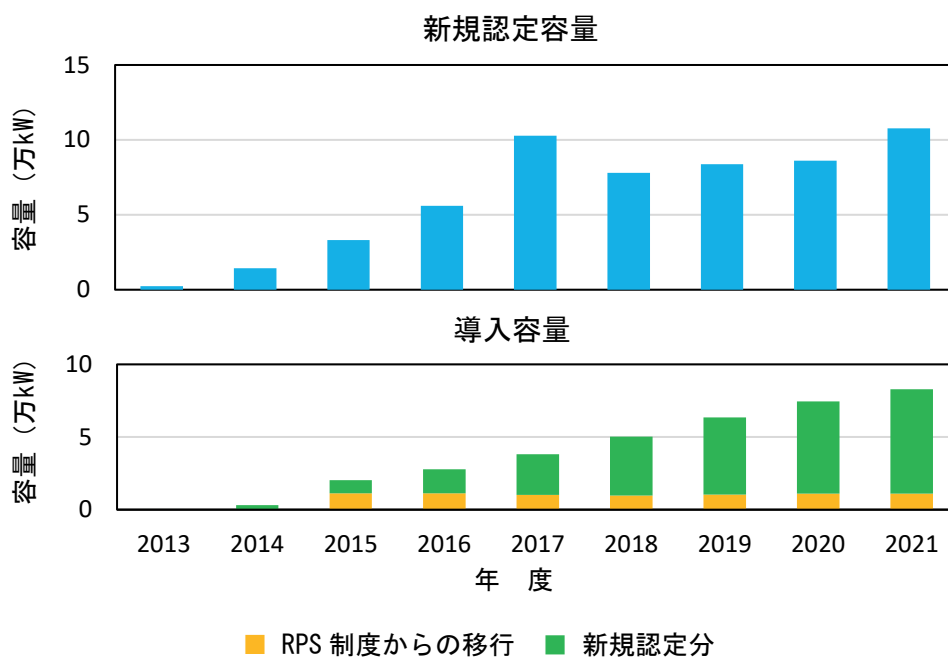


図4 FIT制度におけるバイオガス発電の認定容量と導入容量（資源エネルギー庁の資料<sup>4)</sup>よりデータを引用）

#### 4. FIT 制度後の展望

FIT 制度により再生可能エネルギーの導入量が飛躍的に増えたが、それによる国民負担の増大、実施しやすい太陽光発電への偏重、多数の未稼働案件などの問題が生じた。そこで 2017 年の改正により、入札制度の導入、事業計画の提出、太陽光については運転開始期限の設定が行われたものの、依然として国民負担が大きい。また太陽光発電による地域景観の悪化、系統制約の顕在化などの課題がある<sup>8)</sup>。

電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（再エネ特措法）では、2020 年度末までに FIT 制度の抜本見直しを行うと規定されていた。これにより 2019 年 9 月以降、FIT 制度の見直しの検討が進められ、2020 年 2 月に中間取りまとめが行われた<sup>9)</sup>。これを踏まえ、同年 6 月に再エネ特措法改正法を含む「強靱かつ持続可能な電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律」が成立した。これにより市場連動型の FIP（Feed in Premium）制度、系統増強費用への賦課金投入、太陽光発電設備の廃棄等費用の積立てを担保する制度、長期末稼働案件に対する失効制度等の抜本見直しの内容が措置され、2022 年 4 月から施行されることとなっている<sup>9)</sup>。

##### (1) FIP 制度への移行

FIT 制度では参入の障壁を引き下げて再生可能エネルギーの導入を拡大するために、買取を保証するとともに市場取引が免除され買取価格が固定された。またインバランス料金（計画量と供給量の差にともなうペナルティ料金）が免除された。しかし長期的には他電源と競争できるようなコスト低減と、市場における自立を目指す必要がある。そこで、将来の自立に向けて市場取引のリスクの一部を負いつつ、投資インセンティブを維持する制度として、欧州で導入されている FIP 制度が検討されてきた。

##### (2) FIP 制度の概要

図 5 に FIT 制度と FIP 制度の概要を示す。FIT 制度では市場価格にかかわらず、買取価格（売電価格）が一定である。これに対し FIP 制度では市場価格に一定のプレミアムを上乗せした金額で売電される。これにより市場価格の高いとき（概して需要の多いとき）に売電すれば収入が多くなる。例えば太陽光発電は通常正午頃に発電量が多いが、電力需要は夕方の方が多い。そこで、蓄電をして夕方に売電すれば収入が増える。FIP 制度にはこのようにして電力需給の逼迫を緩和し、電力供給システム全体のコストを低減する狙いがある<sup>8)</sup>。

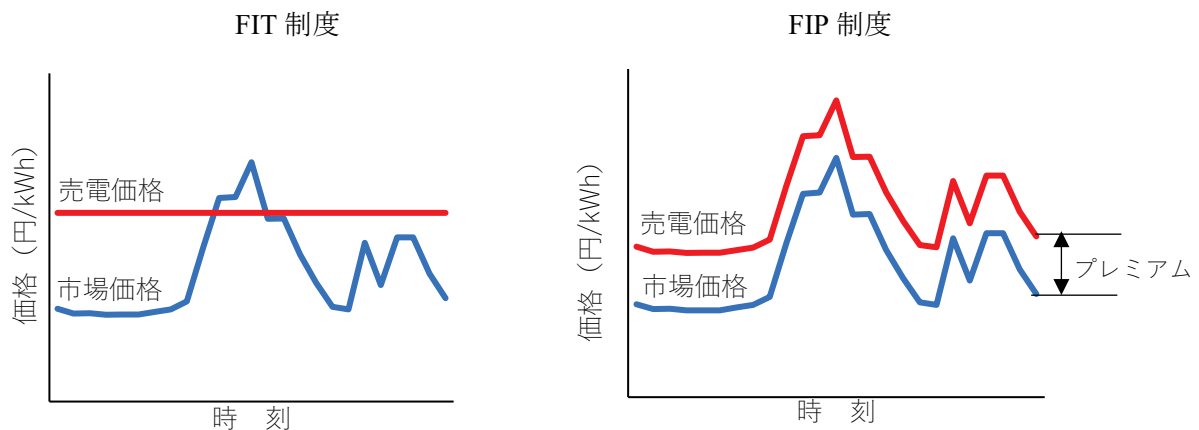


図 5 FIT 制度と FIP 制度の概要

表 4 日本の FIP 制度において予定されているプレミアムの設定法<sup>8)</sup>

<p>プレミアム = 基準価格 - 参照価格</p> <p>参照価格 = 前年度年間平均市場価格          + (当年度月間平均市場価格 - 前年度月間平均市場価格)          + 非化石価値市場価格 - バランシングコスト</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 基準価格：FIT 制度の買取価格と同じに固定する。</li> <li>● 参照価格は月ごとに算出する。</li> <li>● 平均市場価格は 30 分毎の市場価格の荷重平均値として算出する。</li> <li>● この計算式で仮に参照価格が基準価格を超えることがあっても、プレミアムをマイナスにせず 0 円とする。</li> </ul>
--

プレミアムの設定法は複数あるが、日本では表 4 のように予定されている。この制度では基準価格が固定されているので、参照価格が低いほどプレミアムが高くなる。参照価格には、参照期間の長い年間平均市場価格と、参照期間の短い月間平均市場価格の両方が反映される。欧州ではイタリアのように参照期間を 1 時間と短くしている例もあれば、オランダのように 1 年と長く設定している例もある。日本では長短両方の参照期間を取り入れることになった。これは以下の理由による<sup>8)</sup>。

○参照期間を短くする理由：

参照価格を決定するための市場参照期間を長くすると、プレミアムの決定に時間がかかって、事業者が収入の予見をしにくくなる。また支払いが遅くなり、事業者によっては経営が厳しくなる恐れがある。そこで短期の月間平均市場価格を反映させ、月ごとに参照価格を確定して支払いをする。

○参照期間を長くする理由：

参照期間を1年と長くすると、参照価格およびプレミアムが年間を通して安定する。これは事業者が市場価格が高いとき（需要が多いとき）に売電して収入を上げる工夫を促進させ、FIPの目的に合う。かといって当該年度の平均市場価格に基づいて参照価格を決めると、年度が終わるまでプレミアムが決まらず、事業者が収入の予見をしにくくなる。また支払いが遅くなる。そこで当該年度ではなく、前年度の平均市場価格を参照期間の計算に入れる。これによりある年の市場価格が低ければ、次の年の参照価格が低くなってプレミアムが高くなる。

### (3) 市場参照価格

市場参照価格に関しては、参考とする市場価格の指標として、全国統一のシステムプライスではなく、実際の取引価格に近いエリアプライスを元に算出される<sup>9)</sup>。参考までに図6に2021年10月15日の東京エリアの価格を示す。電力の市場価格はこのように一日の中で大きく変動する。季節による変動も大きい。また電力事情により急激に高騰することがある。

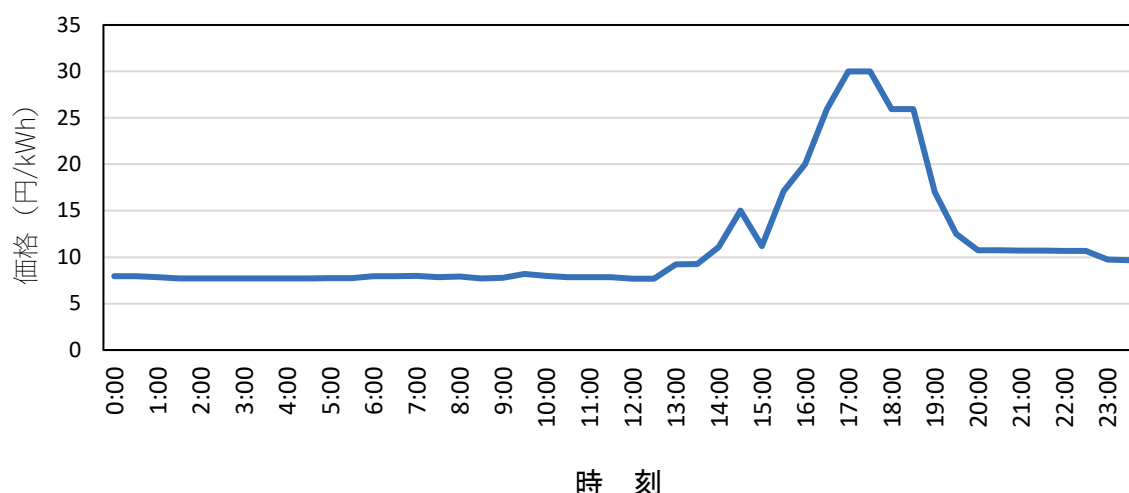


図6 電力の市場価格の例（東京エリア 2021年10月15日）

（日本卸電力取引所の資料<sup>10)</sup>よりデータを引用）

### (4) 非化石価値市場価格

表4の計算式で非化石価値市場価格は、電気そのものの価値とは別に非化石価値を非化石証書の形にして市場で取引されるものであり、売電収入に加わる。これまでは小売電気事業者（地域電力10社と新電力）のみが非化石証書を購入でき、需要家（電力を使用する企業）が非化石証書を得たい場合は小売電気事業者から電気料金とセットで購入していたが、2021年11月から需要家も直接に市場（日本卸電力取引所）で非化石証書のみを購入できることになっている<sup>(11)</sup>。参考までに2020年度第2～4回の取引では、非FIT（再エ

ネ指定)の非化石価値の約定価格は0.9~1.20円/kWh、2021年度第1回では0.60円/kWhであった<sup>10)</sup>。

#### (5) バランシングコスト

電力には供給量と需要量が同量でなければならないという前提がある。このため発電事業者は、電力広域的運営推進機関に発電販売計画を提出し、供給量を計画量に一致させる努力をする。計画値と実績値に差(インバランス)が出た場合、一般送配電事業者は不足分を補填するか、余剰分を買取ることになり。この調整コストがインバランス料金として算出され、発電事業者に請求される。上述のようにFIT制度ではこれが免除されていた。

表4の計算式で、バランシングコストとはこのインバランスリスクに対応するためのコストとして交付されるもので、例えば太陽光の場合、蓄電池の設置などによるインバランシングリスクの低減や、バランシングのための各種の業務コストに充てられると想定している。バランシングコストは、変動電源である太陽光と風力では「バランシングコスト目安」+「経過措置相当額」として、2022年度は1.0円/kWhとし、FIP制度施行から3年間は0.05円/kWhずつ減額、4年目以降は0.1円/kWhずつ減額して、「バランシングコスト目安」を目指す。バイオマス等の非変動電源では、FIP制度施行当初から「バランシングコスト目安」のみと予定されている。バランシングコスト目安には、現行のFIT制度においてインバランス清算主体(一般送配電事業者もしくは小売電気事業者)に交付されているインバランス料金が参照される予定である。参考までに2019年度のインバランス料金は0.04円/kWh、2020年度は0.07円/kWhであった<sup>13)</sup>。

#### (6) バイオマス発電に関わる2022年度のFIT/FIP制度

このように2022年度からFIP制度が導入されるが、全てがFITからFIPに移行するわけではなく、電源特性や規模に応じてFITと並列してFIPが入れられる。表5にバイオマス発電における2022年度のFIT/FIP制度を示す。

表5 バイオマス発電における2022年度のFIT/FIP制度(資源エネルギー庁の資料<sup>8)</sup>よりデータを引用)

一般木質等	FIT(地域活用要件あり)		FIP(入札)
	0 kW	FIP(入札対象外)選択可能	
液体燃料	0 kW	FIP(入札)	
その他	FIT(地域活用要件あり)		FIP(入札対象外)
	0 kW	FIP(入札対象外)選択可能	
	0 kW	50 kW	10,000 kW

バイオガス発電は「その他」に含まれ、10,000kW未満では地域活用要件を満たせばFITの存続が認められる。ただし50kW以上10,000kW未満ではFIPを選択することもできる。10,000kW以上はFIPに移行する。この規模範囲はその後段階的に変更されるこ



とが検討されている。地域活用要件は自家消費や地域一体的な活用を促すための要件で、レジリエンスの強化とエネルギーの地産地消を促進するために設定される。バイオマスについては地域一体型要件が求められる。

地域一体型要件は次の①～③のいずれかとする事が検討されている<sup>8)</sup>。

- ① 自治体の防災計画等に、再エネ発電設備による災害時を含む電気又は熱の自治体へ供給が位置付けられているもの。
- ② 自治体が自ら事業を実施又は直接出資するもの。
- ③ 自治体が自ら事業を実施又は直接出資する小売電気事業者等に、再エネ発電設備による電気を特定卸供給するもの。

### (7) FIP 制度に適合するバイオガス発電

バイオガス発電は、運転時間を調整しやすいこと、発電の開始と停止に時間がかからないことなど、FIP に適した性質を持っている。ただし多くのバイオガス発電は廃棄物を原料としているため、原料の受け入れを止めることが出来ない。またメタン発酵によるバイオガスの発生量を自由に調整するのは困難である。そこで FIP に対応して有利な出力調整を行うには、常時発生するバイオガスを大容量のガスホルダに貯留して、ガスエンジンの運転を調整することになる。しかし、可燃性ガスの貯留量は建築基準法により用途地域別に規制されており、ガスホルダの構造等は「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」により細かく規制されているので留意する必要がある。またガスホルダや発電機などの容量を大きくするには経費がかかるので検討が必要である。

## 5. 2050 年カーボンニュートラルに向けて

日本は 2030 年度に GHG（温室効果ガス、Greenhouse Gas）排出量を 2013 年度比で 46%削減し、2050 年にカーボンニュートラルを実現することを目指している。図 7 に示すように 2013 年度以後、GHG 排出量が減ってはいるものの、目標を達成するのは容易ではなさそうである。

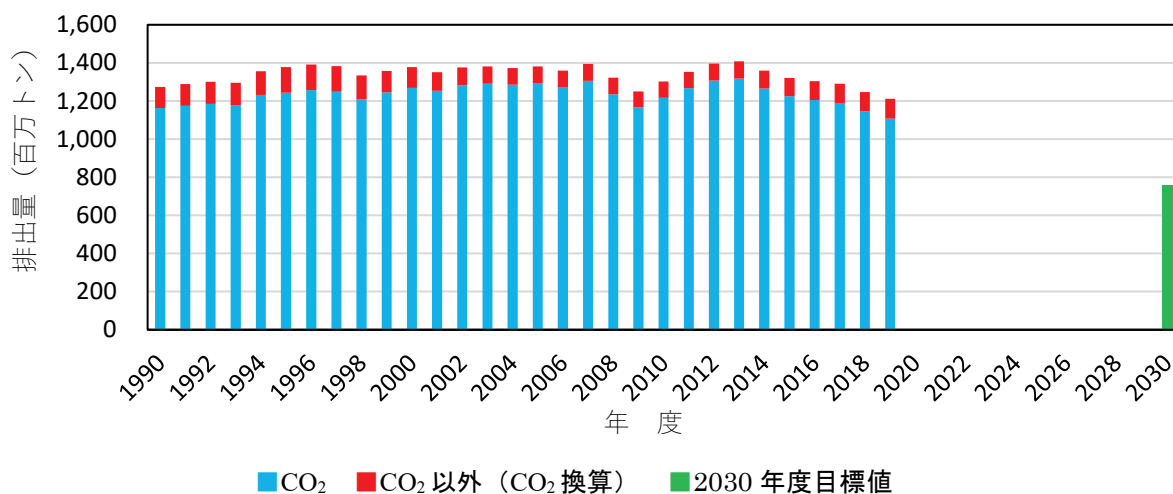


図 7 日本の GHG 排出量推移 (令和 3 年度版環境白書<sup>14)</sup>よりデータを引用)

今後、一層の省エネと再エネの利用拡大が期待されるが、おそらくそれで2050年の目標は達成できず、CCS（炭素隔離貯留、Carbon Capture and Storage）等の実施が必須であろう。CCSの技術開発は途上であり楽観できないが、2050年の目標はそれを前提にしていると考えざるを得ない。メタン発酵ではメタンとCO<sub>2</sub>を主成分とするバイオガスを発生させる。そこでメタンを濃縮して利用の幅を広げることは、バイオガス中のCO<sub>2</sub>を分離することになる。そのCO<sub>2</sub>をCCSで貯留できれば、CO<sub>2</sub>のゼロエミッションではなく、マイナスエミッションとしてGHGの排出削減に貢献でき、小規模事業でも高い存在価値を示すことができる可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 横山伸也, 芋生憲司 (2009) : 『バイオマスエネルギー』. 森北出版, 東京.
- 2) 新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法施行令, e-gov 法令検索,  
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=409CO000000208>, 2021年11月6日.
- 3) 資源エネルギー庁: 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法の施行状況について (H15-25年度版), <https://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/what.html>, 2021年11月6日.
- 4) 資源エネルギー庁: 固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト,  
<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>, 2021年11月6日.
- 5) 芋生憲司 (2020) : 固定価格買取制度におけるバイオマス発電, 農業食料工学会誌 82(5), 426-430.
- 6) 経済産業省: 第70回 調達価格等算定委員会 資料1, <https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/070.html>, 2021年11月6日.
- 7) 経済産業省: 総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 (第34回) 資料1,  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/saisei\\_kano/034.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/034.html), 2021年11月6日.
- 8) 資源エネルギー庁: 改正再エネ特措法に関する説明会資料および説明会,  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/FIP\\_index.html#fip\\_setsumeikai](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/FIP_index.html#fip_setsumeikai), 2021年11月6日.
- 9) 経済産業省: エネルギー供給強靱化法に盛り込まれた再エネ特措法改正法に係る詳細設計, 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 とりまとめ,  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/saisei\\_kano/20210226\\_report.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/20210226_report.html), 2021年11月6日.
- 10) 一般社団法人日本卸電力取引所: 2021年度スポット市場取引結果, <http://www.jepx.org/market/index.html>, 2021年11月6日.
- 11) 資源エネルギー庁: 再エネ価値取引市場 需要家アンケート, 日本・産業医療ガス協会 HP,  
<https://www.jimga.or.jp/news/detail.php?id=1006>, 2021年11月6日.
- 12) 一般社団法人日本卸電力取引所: 非化石価値取引市場取引結果, <http://www.jepx.org/market/nonfossil.html>, 2021年11月6日.
- 13) 新エネルギー財団: 新エネルギー「最近の話題・キーワード解説コーナー」, インバランス料金制度の見直し (そ

の4) インバランス料金制度の見直し(その4), [https://www.nef.or.jp/keyword/a/articles\\_i\\_02\\_04.html](https://www.nef.or.jp/keyword/a/articles_i_02_04.html), 2021年11月6日.

14) 環境省(2021): 令和3年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書, 第2部 第1章 第1節 地球温暖化対策.

## コラム 地域バイオマス活用による脱炭素

一般社団法人日本有機資源協会

2050年カーボンニュートラルは、実にハードルの高い目標である。創エネ・省エネやマテリアルの化石資源代替を最大限に進めた上で、CO<sub>2</sub>吸収量の増加が必要になる。温室効果ガスの排出量として何をどう計算するかという国際ルールとの整合も必要だ。

脱炭素を考えるにあたって、2050年目標で適用すべき現時点で確実性を見通せない技術は、2030年目標で適用すべき見通しが立ってきた技術と大きく異なると予想される点が、問題解決を複雑にしている。電気、ガス、液体燃料、水道、下水道、道路、鉄道、航空、通信などの社会インフラの整備に要した年月を考えると、先行投資すべき社会インフラの見極めが重要になる。

バイオマス活用は、現時点で電化や燃料電池では実用が困難な運輸部門のバイオ燃料の供給、プラスチック原料のバイオマス由来への切り替え、循環型社会形成にも資する。発電や熱利用では、バイオマス活用単独では効果が限定的になるため、再エネの組み合わせによる地域エネルギーマネジメントに組み込みたい。また、脱炭素は経済や社会と切り離しては考えられない。その点では、SDGs、ESG投資、カーボンプライシングに注目したい。

### 脱炭素の推進方向

脱炭素に貢献する地域バイオマス活用は、次の3つに大別される。1つ目は創エネであり、有機性廃棄物、未利用バイオマス、利用転換バイオマス、資源作物、藻類等を用いた、ガス、電気、熱、固体燃料、液体燃料の生産である。再エネの種類は多様なので、需要と供給のマッチングやライフサイクルでのコスト・エネルギー収支の分析が重要となる。

2つ目は、堆肥・液肥、セルロースナノファイバー・改質リグニン、バイオマスプラスチック、セメント材料等の資材の生産である。これらは化石資源の代替となる場合、間接エネルギーとして評価されるべきである。地域バイオマス資源は価値のある順に活用し資源循環させ、最後にエネルギー回収することが理想と言える。

3つ目は、樹木・植生による二酸化炭素吸収、炭素の土壌貯留で、持続的な適正管理が前提となる。

地域バイオマスの活用には、地域の支出が収入になる、搬送に要するエネルギーを低く抑えられる、持続性を担保しやすい、様々な相乗効果が発揮されるというメリットがある。取組を推進し効果をあげるためには、スマート農林畜産業とバイオマス活用の連携が重要と考えられる。持続可能性の見極めや温室効果ガス削減効果の算出は慎重に行う必要がある。

#### 参考文献

柚山義人(2021)：地域バイオマス活用による脱炭素，農村計画学会誌．40(2)，78-81．

## 第2章 事業化及び関連法規等

### 第1節 事業化のポイント

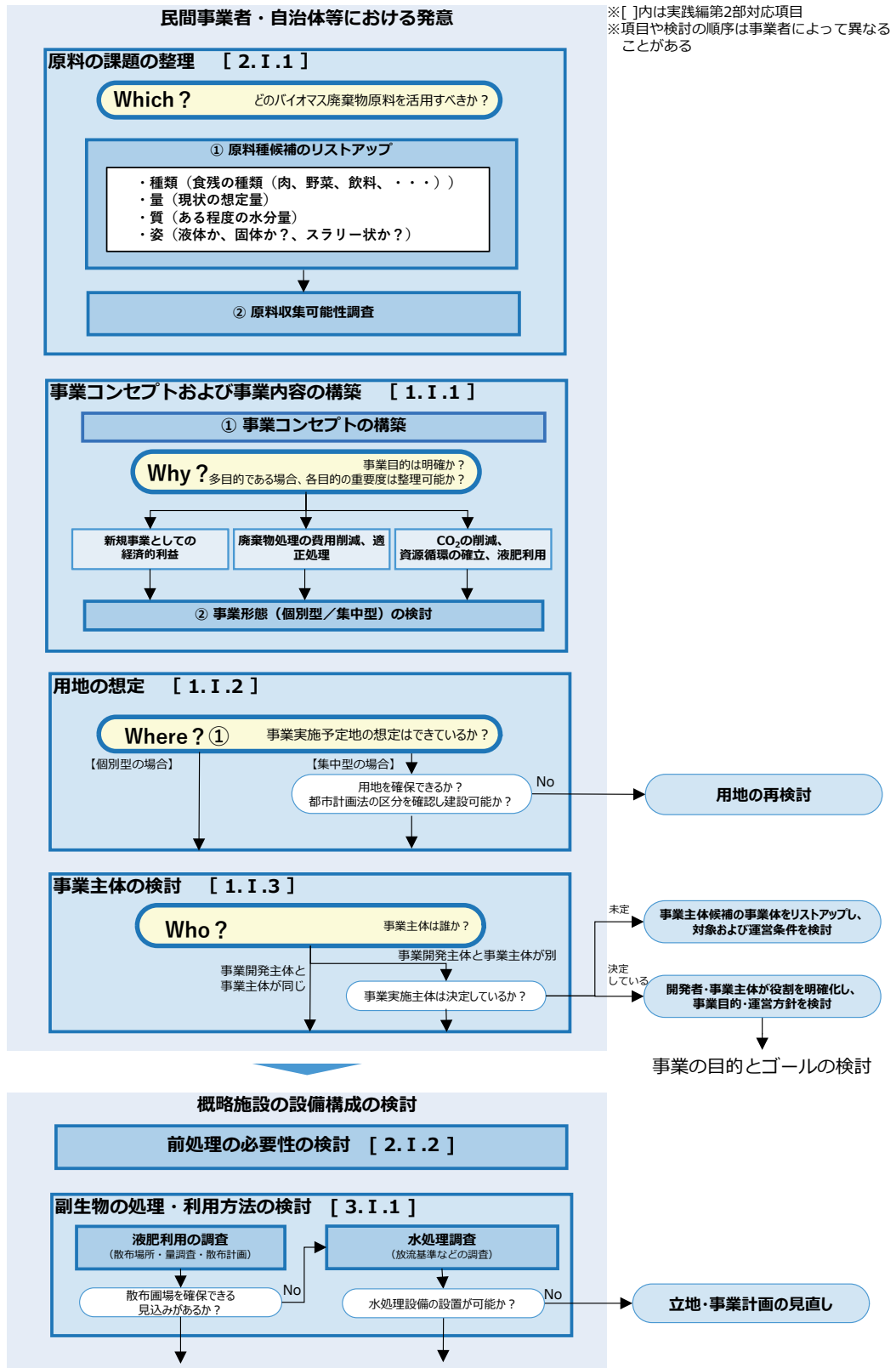
石井 伸彦

#### (1)メタン発酵事業の構想～運転稼働までの流れ

メタン発酵事業の実現までの実施事項の全体像を以下に示す。図のとおり、構想、FS、設計施工、運転段階において、それぞれ「システム全体」、「原料調達」、「エネルギー・副生物利用」、「エネルギー変換設備」に関する様々な事項に対応する必要がある。



図1 メタン発酵事業の実施事項の全体像のイメージ  
(出所) NEDO バイオマスエネルギー導入に係る技術指針・導入要件



(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

図 2 構想段階の実施事項および意思決定の流れの例 1/2  
(出所) NEDO バイオマスエネルギー導入に係る技術指針・導入要件

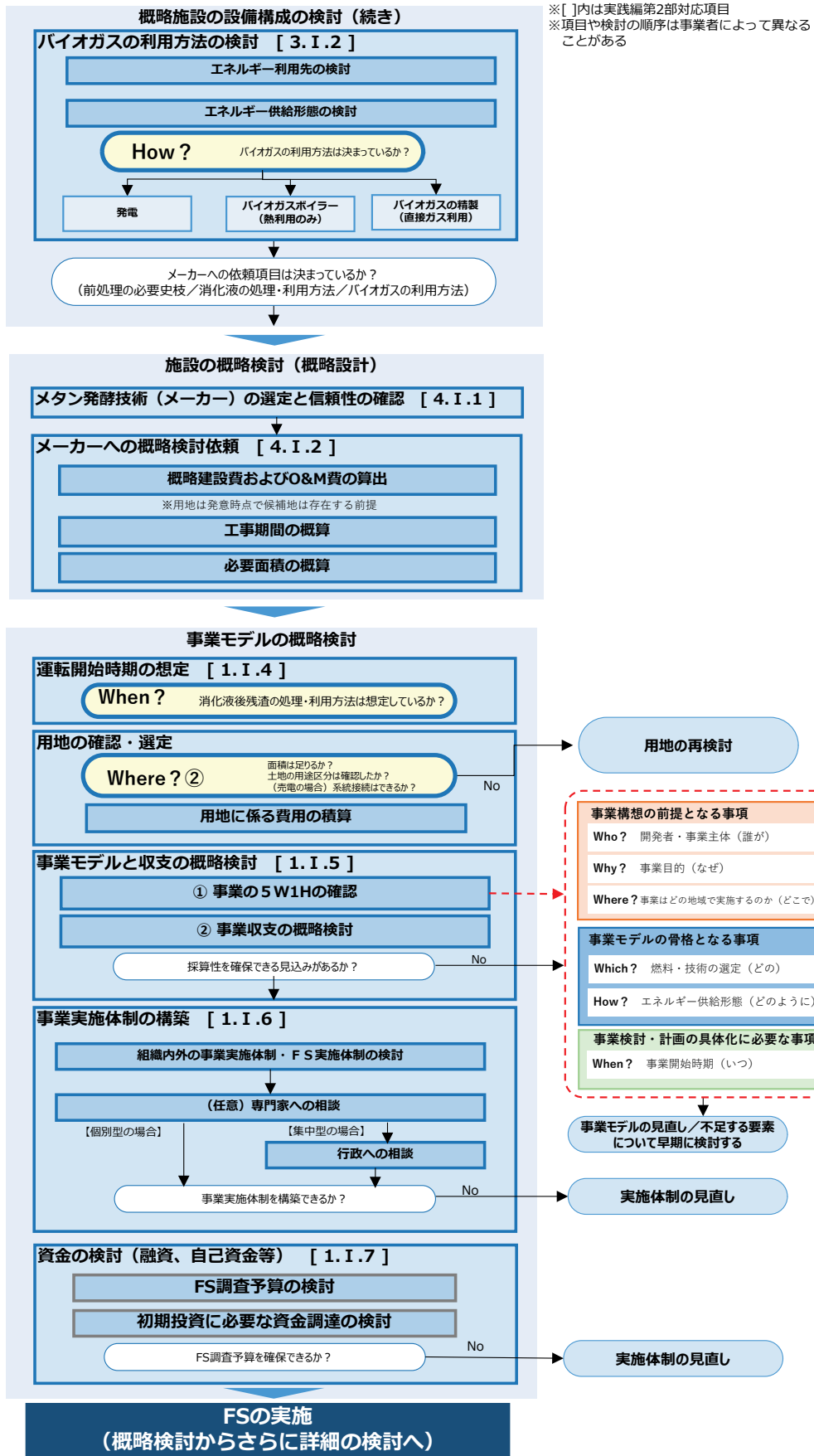
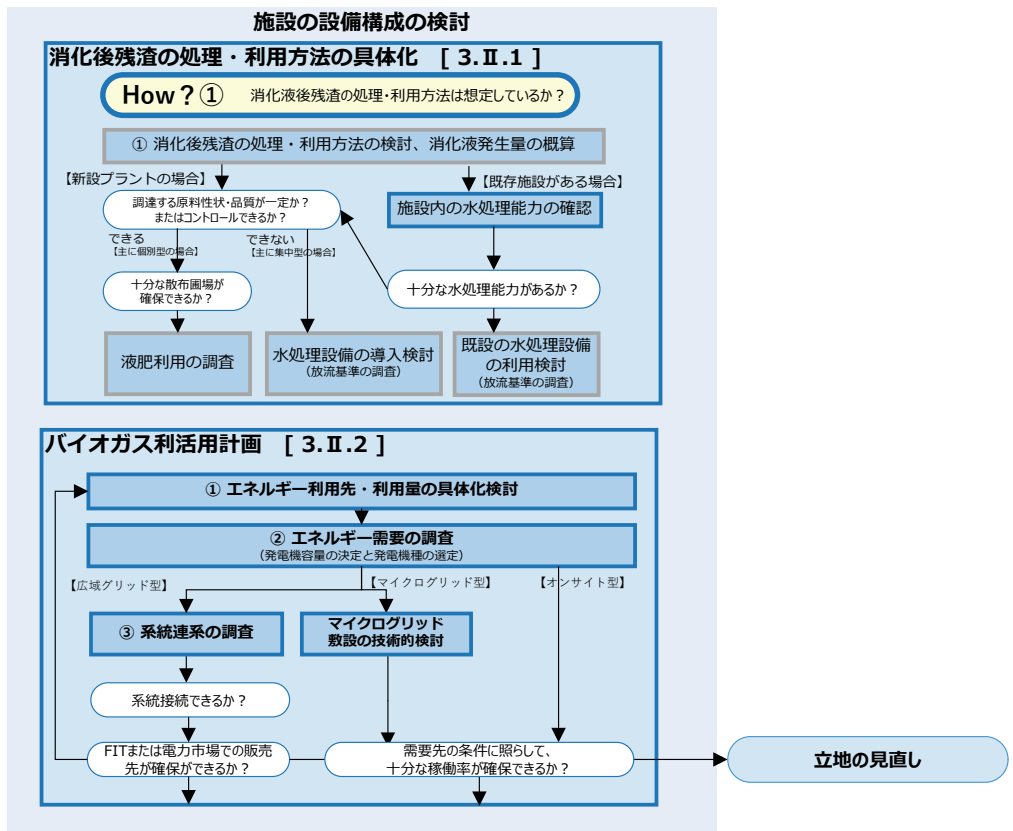
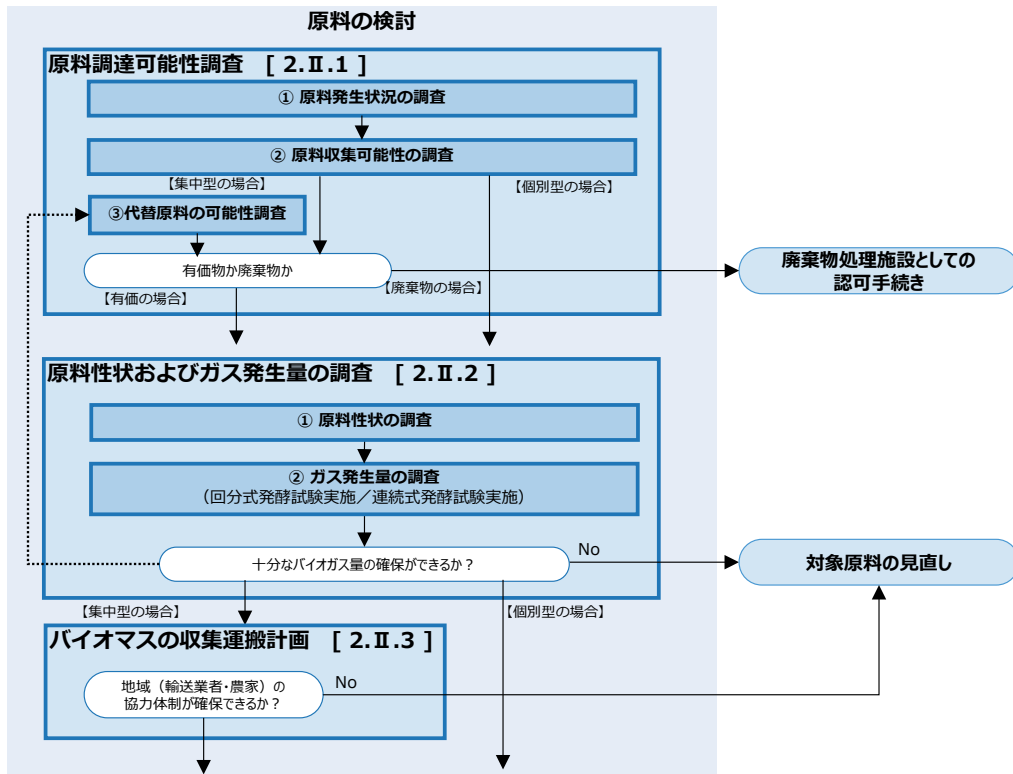


図3 構想段階の実施事項および意思決定の流れの例 2/2  
(出所) NEDO バイオマスエネルギー導入に係る技術指針・導入要件

事業化スケジュールの検討 [ 1. II. 1 ]

※[ ]内は実践編第2部対応項目  
 ※項目や検討の順序は事業者によって異なる  
 ことがある



(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

図4 FS段階の実施事項および意思決定の流れの例 1/2  
 (出所) NEDO バイオマスエネルギー導入に係る技術指針・導入要件



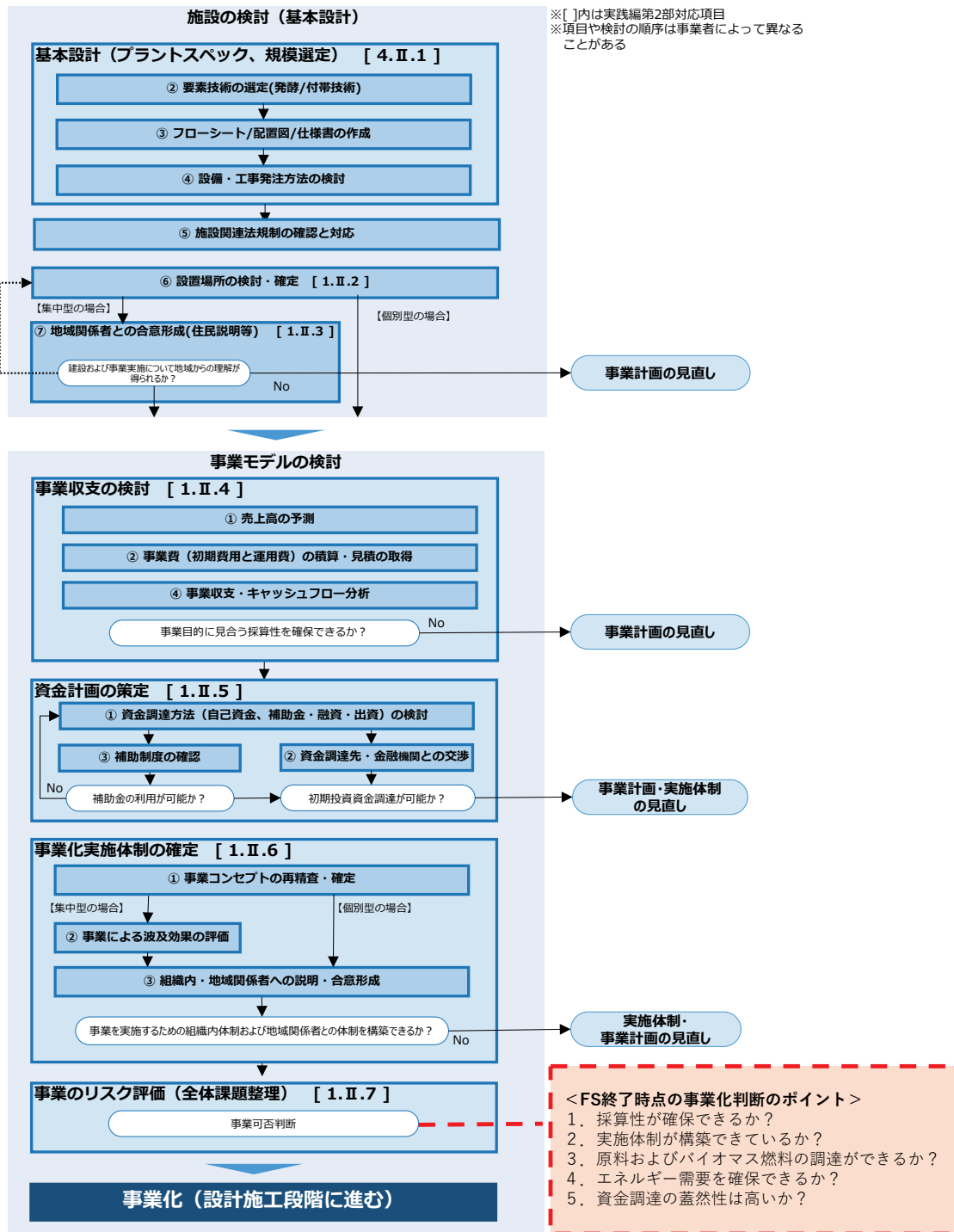


図5 FS段階の実施事項および意思決定の流れの例 2/2  
(出所) NEDO バイオマスエネルギー導入に係る技術指針・導入要件

## (2)メタン発酵事業における主要な課題と解決策

図6ではメタン発酵事業の実現までに直面する課題を類型化している。図の上部は事業の実現可否または施設の安定稼働に係る課題、下部は施設稼働後の経済性に係る課題である。

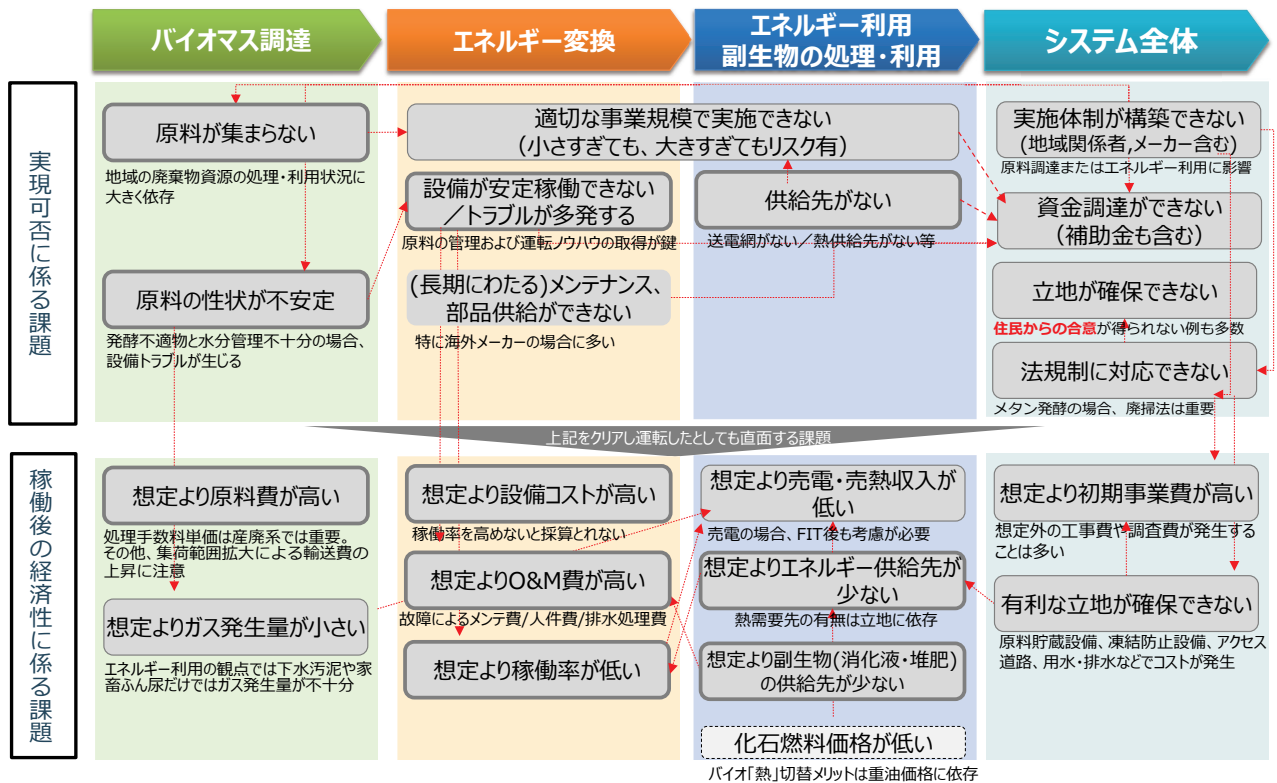


図6 メタン発酵事業の実現までに直面する主要な課題の例 (みずほリサーチ&テクノロジーズ作成)

### バイオマス調達の課題と解決策

メタン発酵事業計画時に直面する課題で最も多いのは十分量の原料が確保できないことであり、多くの事業者がFS段階で断念している。

また、調達できたとしても原料の性状の問題で断念するケースもある。家庭系生ごみや事業系の食品廃棄物は分別不徹底に伴うビニールやプラスチック等が問題となることが多い。畜産廃棄物の場合は食品系と比べてガス発生量が小さいため、売電収入が確保できず経済性の観点から断念するケースも少なくない。加えて、牛ふんの場合は敷料が前処理設備や発酵設備中でトラブルを引き起こすこともある他、鶏ふんの場合は窒素含有量が多いためアンモニアによる発酵阻害が生じることがある。

こうした原料調達に関する要素は地域性が強く、各課題について一義的な解決策はないが、次のような対応により解決を図った先事例も見られる。例えば原料調達の安定的な確保に関し、民間企業の某社では特別目的会社 (SPC) を設立するにあたり、地域の行政や廃棄物処理事業者、排出業者等の関係主体が一部出資するといった体制を組むことで原料確保の課題解決を図った。

原料性状の課題については、食品廃棄物を中心とする集中型のメタン発酵施設の場合は原料の分別度合いに応じた処理料金を設定することで発酵不適物排除に関するインセンティブを排出業者に与える方式を採用しているケースもある。分別の有無に着目するのではなく、高性能な分別処理装置・破袋装置を導入することで問題解決を図った事業者もいる。

原料のガス発生量および安定発酵の問題については、地域の畜産や食品関連産業と処理・利用状況に依存するためコントロールが難しいが、計画時点の想定値と設備稼働後のギャップを最小限にし、蓋然性を高めることである。ガス発生量に関しては2週間～1か月の回分式発酵試験を行うことで把握することができる。一方で、食品残さのように地域依存性が高い原料の場合は、回分試験のみの検討ではアンモニアの溶出量が実際の稼働後に想定を大幅に上回ることもある。そのため、3～5か月の期間は掛かるが連続試験を実施することで、発酵の安定性を確認することができる。

### エネルギー変換設備に係る課題と解決策

メタン発酵設備の設計に関しては適切な事業規模の設定が肝要である。事業規模は原料と、次節「エネルギー利用・副生物処理に係る課題と解決策」で記載するガス発生量の2点を考慮する必要がある。食品廃棄物等の処理手数料を主要な収益源とするモデルでは、原料規模の増減が事業収益に大きな影響を及ぼすことになる。また、原料規模が大きい程プラント全体のスケールメリットにより原料あたりの設備コストは下がる傾向にある。実際、設備コストを理由に計画段階で断念するメタン発酵事例は少なくない。ただし、事業性自体は設備コスト以外に原料の処理手数料やガス発生量、オペレーション&メンテナンスコスト（O&Mコスト）のバランスによって決まることに留意が必要となる。2021年末現在、部材コストや施工会社の人件費などの上昇に伴い、設備コストは拡大傾向にある。また、設備費用だけでなく系統接続費等の初期投資費用も重要な課題となりつつある。他地域に比べ系統容量が小さく、太陽光発電等の導入が進む北海道の一部の地域では数億円以上の系統接続費用が必要となるケースも散見される。

設備コストをはじめとする初期投資の削減は一義的な解決策はないが、先行事例では、液肥貯留槽や原料受入設備等を新設ではなく既存設備を改造等して活用する、設備部材を鉄からFRPに変更する、発電設備を安価な中国製を採用し数年サイクルで更新する等の工夫を行っているケースが存在する。

持続的な事業実現のために最も重要な課題は、いかにして安定発酵を達成するかという点である。これまでの国内のメタン発酵事例では事業開始後の発酵トラブルにより事業停止や断念に陥ったケースも存在する。特に多く見られる要因としては発酵槽内でのアンモニア阻害が挙げられ、主に食品廃棄物や鶏ふんなど窒素分が多い原料において発生しやすい。また、原料中のpHや不純物等によっても発酵が不安定になることがある。ガス発生量が不安定になると発電等のエネルギー利用設備の稼働率が下がり収益減につながる。一

一般的に、原料調達先が多岐にわたるほど投入する原料成分や性状をコントロールすることが難しくなり、安定稼働のノウハウをプラント運営者が取得するまでに時間を要する傾向にある。

安定発酵のためには第一にプラントを運転する事業者が地域の原料とメタン発酵菌の特性を理解し運転ノウハウを取得することが重要となる。集中型のプラントでは毎日、投入する原料（食品廃棄物）の種類と性状のデータを取得し最適な投入方法および原料同士の組み合わせ、発酵期間を分析している事例も多い。また、発酵槽に原料を投入する前に亜臨界水処理や水熱処理プロセスを加える前処理を行うことで発酵の安定性やガス発生量を向上させようとするケースも存在する。

### エネルギー利用・副生物処理に係る課題と解決策

上述のとおり、メタン発酵では適正な事業規模が存在し、その主要因の一つはガス発生量となる。特に廃棄物処理手数料を取得しない FIT 発電事業のように、エネルギー利用に重点を置く事業では、原料調達量以上にガス発生量が確保できないと採算性を確保できずに頓挫する事例も多数見られる。特に家畜ふん尿の場合はガス発生量が少ないため、設備の投資額に対して十分なガス量を確保できないことが多い。そのような場合は比較的ガス発生量が多い農作物残さ等を混合する事例もある。また、ガス発生量が大きいバイオマスを有価で購入することも有効であり、特に乾式メタン発酵では紙ごみを購入するケースや、湿式でも発酵助剤を投入するケースも存在する。

メタン発酵事業はバイオガスを発電だけでなく熱やガス体エネルギーとして利用することも可能であり、これらは FIT 終了後や系統接続が困難な地域での事業モデルとして注目されている。熱（発電機の廃熱やバイオガスのボイラー燃焼による温水や蒸気）およびガス体での供給はパイプラインを利用することが一般的であるが、敷設コスト等の観点から離れた場所の需要家への供給には適さない。バイオガスプラントは人口密度や建物密度が小さい地域に建設されることが多く、熱やガス需要先が近傍に存在しないために分量を供給できない場合が多いのが現状である。このような課題に対する取組の例として、北海道の某社では、地域内に点在する酪農家もつメタン発酵設備から汎用吸着剤を用いてバイオガスを捕集・運搬し、専用施設にてメタン生成を行い、液化バイオメタンの生産を行っている。近年、大企業を中心にカーボンニュートラルビジョンを掲げ、天然ガスや LNG についても削減・代替に取り組む動きが拡大しつつあり、今後さらにバイオガスのガス体エネルギーとしての需要は増加していく可能性がある。

消化液についても同様に、需要先確保ができずに農地還元を計画しながらもやむを得ず水処理を選択している事業者が本州の事例では特に多数存在する。先行事例では、消化液を外部の農地に液肥として利用する場合は作物へのリスクを最小限に抑え、農家への理解を醸成するために数年間かけて栽培試験を行い、またプラント稼働後も水処理と並行しながら徐々に液肥利用量を拡大している。特に湿式の場合は大量の消化液が発生し、また肥料密度が低いという、散布車両などの特殊な設備が必要なため農家から敬遠されることが少

なくない。そのため、近年は消化液を廃熱や膜技術で濃縮することで利用しやすい状態にして販売する事例も見られる。

### システム全体に係る課題と解決策

メタン発酵事業を計画する際、これまで述べた全ての課題に共通する最重要要素の一つとして実施体制の構築が挙げられる。実施体制は安定的な原料調達、エネルギー需要先、液肥需要先の確保の鍵となる。こうした直接的な事業関係者との体制構築可否は資金調達の際にも重要となる。ただし、プラントを運営する事業者と周辺の事業関係者の実績や技術があったとしても、財務状況を理由に資金調達ができないこともある。そのような場合は、資金力のある大手企業がスポンサーとして参画する、また一般社団法人グリーンファイナンス推進機構のような公的な金融機関が一部出資することでリスクを低減するなどの対応をする方策がある。

また、メタン発酵事業を計画する上では次項で記載する法規制への対応が一つのハードルとなる。特に敷地外から原料を調達し、処理手数料を徴収する事業では一般廃棄物、産業廃棄物それぞれで「廃棄物処理業」「廃棄物運搬業」「処理施設」の3つの許認可を取得する必要がある。これらの取得には2～4年の期間を要することがあるため、事業スケジュールの観点で計画を断念するケースも観られる。また、立地に関しては建築基準法や都市計画法における土地の区分や農地法における区分によっては、特定の用途以外の利用や開発が制限され、メタン発酵事業を行うためには自治体や地域住民との合意形成が必要となる場合がある。こうした法規制への対応も行政を巻き込んだ適切な実施体制で円滑に進めることができる場合があり、先行事例ではFS段階から主要な地域関係者や行政を含めた協議会を設立して合意形成を図ることで滞りなく事業実現に至ったケースもある。



## 第2節 関連法規、必要な資格、安全・衛生管理

石井 伸彦

メタン発酵事業では原料調達からエネルギー利用、副生物処理に至るまで様々な法規制への対応が求められる。調達する原料や立地、事業体制はこれらの法規制の制約を受けるため留意が必要である。

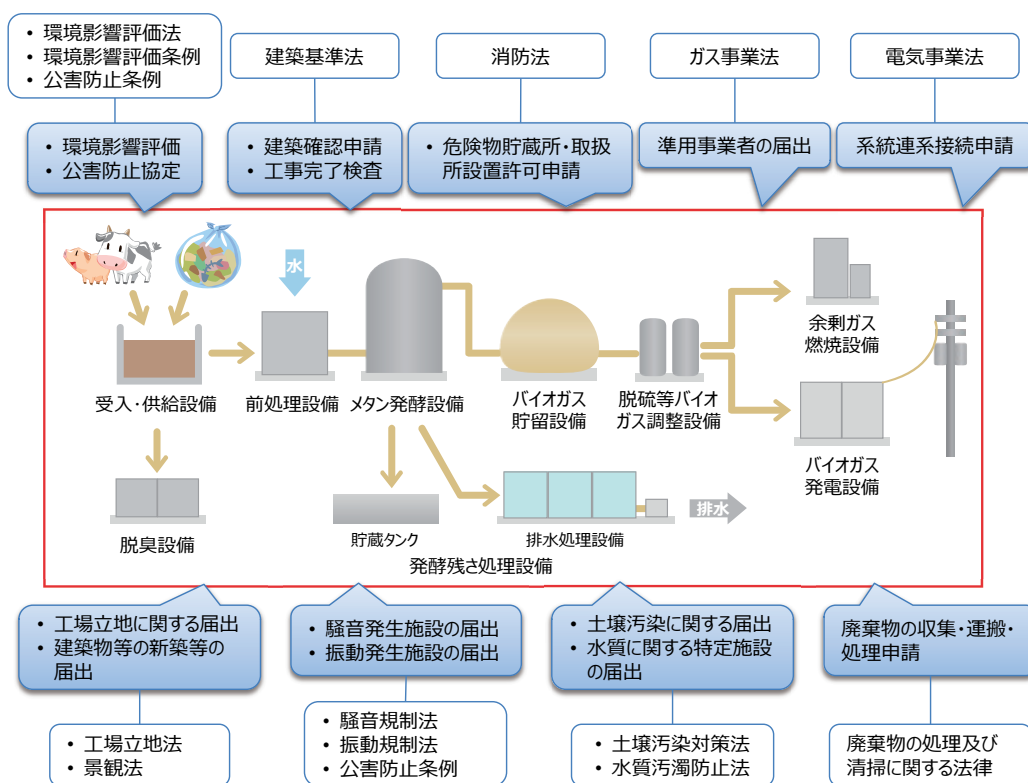


図1 メタン発酵系バイオマス施設に関する主要な法律

(出所) NEDO バイオマスエネルギー導入に係る技術指針・導入要件

特定の法規制については計画段階から許認可取得に向けた準備が必要となる。特に敷地外から一般廃棄物または産業廃棄物を調達する場合は廃棄物処理法への対応が必要となり、それぞれの廃棄物種毎に「処理業の許可」「運搬業の許可」「施設の許可」の3つが必要となるため留意が必要となる。また、新規に建設地を探す場合、候補地によっては都市計画法や農地法などによる制限を受け、煩雑な手続きが必要になる場合があるため、早い段階から立地場所の調査が必要である。

なお、悪臭や排ガス（発電機・焼却炉併設の場合）、水処理等に関する環境基準については、法律による基準値を満たすだけでなく、条例で自治体が別途定める基準値への対応も必要であり、地域の公害防止条例などを参照する必要がある。その際は自治体の関係部局に確認する。住民からの理解を得るために、やむを得ずさらに厳しい基準値を事業者自ら設定している事例も存在する。

表1 メタン発酵事業において必要となる許可と法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	管轄
廃棄物の処理及び清掃に関する法律	一般廃棄物または産業廃棄物処分業の許可	廃棄物処理費を徴収(逆有償)し、収集運搬、処分を業として行う場合	環境省 (市町村および都道府県)
	一般廃棄物または産業廃棄物収集運搬業の許可※		
	一般廃棄物または産業廃棄物処理施設の設置許可	一定規模以上の処理施設を設置する場合	
水質汚濁防止法	水質に関する特定施設の届出	施設から公共用水域に排水する場合	環境省
熱供給事業法	事業認可申請(登録)	熱を供給する事業を行う場合(加熱能力の合計が21GJ/h以上の場合)	資源エネルギー庁
電気事業法	業認可申請	電力供給事業を行う場合	経済産業省
	主任技術者の選任届出	電気を供給する事業を行う場合(自家用で1,000kW未満を除く)	
ガス事業法	ガス主任技術者の選任届出	ガス事業以外のガスを供給する事業又は自ら製造したガスを使用する事業を行う場合	資源エネルギー庁
	準用事業者の届出	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	資源エネルギー庁
消防法	危険物施設にかかる設置許可	設備の燃料に消防法で定める危険物の使用や、貯蔵、製造を行う場合	総務省消防庁 (市町村消防局)
	危険物保安監督者選任届出	設備の燃料に消防法で定める危険物を使用したり、貯蔵、製造する場合	
	ガス主任技術者の選任届出	ガス事業以外のガスを供給する事業又は自ら製造したガスを使用する事業を行う場合	
エネルギーの使用の合理化等に関する法律(省エネ法)	エネルギー管理者の選任届出	第一種エネルギー管理指定工場に指定された場合(年間エネルギー使用量が原油換算3000kl以上)	資源エネルギー庁
特定工場における公害防止組織の整備に関する法律	公害防止統括者および管理者の選任届出	ばい煙、汚水を排出し、常時従業員が20人以上の場合	環境省
労働安全衛生法	ボイラー取扱作業主任者の選任届出	(排熱ボイラー)発電用以外で、同法施行例で定義されたボイラーを使用する場合	経済産業省
建築基準法	建築物の建築等に関する申請及び確認	建築物を建設する場合	国土交通省
都市計画法	開発許可手続	政令及び自治体の指定する区域において一定以上の面積の開発行為をする場合	国土交通省
土地区画整理法	建築行為の許可手続	建築に伴い、盛土、切土、埋立等土地の形質の変更がある場合、または移動の容易でない物件の設置を行う場合	国土交通省
農地法	農地転用許認可手続	農地を農地以外のものに転用する場合	農林水産省

※食品循環資源の再生利用などの促進に関する法律により、食品関連事業者における食品廃棄物の収集運搬について許認可が一部不要となる。

(出所) 経済産業省「新エネルギー導入ガイド 企業のためのバイオマス導入A to Z」および各種資料を基にみずほリサーチ&テクノロジーズ作成



表 2 プラント立地に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
国土利用計画法	土地売買届出手続	土地売買等の契約を締結した場合 ・市街化区域:2,000 m <sup>2</sup> 以上 ・市街化調整区域:全て ・都市計画区域:5,000 m <sup>2</sup> 以上 ・上記以外の区域:10,000 m <sup>2</sup> 以上	FS 段階
都市計画法	開発許可手続	開発行為をしようとする場合 ・市街化区域:1,000 m <sup>2</sup> 以上 ・市街化調整区域:全て ・区域区分が定められていない都市計画区域及び準都市計画区域:3,000 m <sup>2</sup> 以上 ・都市計画区域及び準都市計画区域外の区域:1ha 以上 ※再生可能エネルギー施設の建設にあたり、建築物の建築を伴う土地の区画形質の変更があれば開発許可が必要となるものであって、すべての再生可能エネルギー施設の建設が開発許可の対象となるわけではない。	FS 段階
土地区画整理法	土地区画整理事業の施行地区内における建築行為等の許可手続	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おそれがある土地の形質の変更若しくは建築物その他の工作物の新築、改築若しくは増築を行い、又は移動の容易でない物件※の設置若しくは堆積を行おうとする場合 ※その重量が5tをこえる物件(容易に分割され、分割された各部分の重量がそれぞれ5t以下となるものを除く。)	FS 段階
農地法	農地転用許認可手続	農地を農地以外のものにする場合又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又は移転する場合	FS 段階
農業振興地域の整備に関する法律		なお、農用地区域内の土地については、農用地区域から除外するために市町村の農業振興地域整備計画を変更しなければならない。	FS 段階
工場立地法	特定工場新設届出書、実施制限時間の短縮申請書	敷地面積 9,000 m <sup>2</sup> 以上又は建築面積 3,000 m <sup>2</sup> 以上の規模の製造業等に係る工場を新設又は変更する場合(水力、地熱及び太陽光発電所は除かれている)	FS 段階

表 3 事業実施に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
廃棄物の処理及び清掃に関する法律	一般廃棄物または産業廃棄物収集運搬業の許可手続き等	<廃棄物処理業> 廃棄物処理費を徴収(逆有償)し、収集運搬、処分を業として行う場合 <廃棄物処理施設> 一定規模以上の処理施設を設置する場合	FS 段階
食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律(任意法)		食品関連事業者は、食品廃棄物の発生抑制、減量化、又は食品循環資源の再生利用に取組まなければならない。	FS 段階
家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律		一定規模以上の家畜排せつ物の処理が必要な畜産農業実施者は、処理施設の構造設備基準等に対応する必要がある。 ・牛 10 頭以上 ・豚 100 等以上 ・鶏 2,000 羽以上 ・馬 10 頭以上	FS 段階

表4 環境基準等に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
大気汚染防止法	大気汚染に関する届出	熱供給事業、電気供給事業など、ばい煙発生施設を有する事業を行う場合 なお、電気事業法で規定される電気工作物において発生するばい煙を排出する場合には、上記手続きに代わり、電気事業法に基づく届出が必要となる。	設計施工段階
騒音規制法	特定建設作業実施届出書	<特定施設の設置> 指定地域内において工場又は事業場(特定施設が設置されていないものに限る)に特定施設を設置しようとする場合 ※たとえば、破碎機などの設置が求められる機器を設置する場合など。なお、特定施設が電気事業法で規定される電気工作物である場合には、上記手続きに代わり、電気事業法に基づく届出が必要となる。	設計施工段階
振動規制法	特定建設作業実施届出書	<特定建設作業の実施> 指定地域内において特定建設作業を伴う建設工事を施工しようとする場合	設計施工段階
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、公害防止管理者等の届出	(公害防止統括者)常時従業員が20人以下の場合は不選任	設計施工段階

表5 プラント建設および設計に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
ガス事業法	ガス主任技術者の選任届出 準用事業者の届出	ガス事業以外のガスを供給する事業又は自ら製造したガスを使用する事業を行う場合 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	設計施工段階
消防法	危険物(取扱所、貯蔵所、製造所)設置許可申請書、消防用設備等着工届出書、予防規定認可申請書、危険物保安監督者選任届出書	潤滑油、非常用兼用発電装置の燃料等が指定数量以上ある場合	FS段階
高圧ガス保安法	高圧ガス製造許可申請、危険予防規定認可申請書、高圧ガス製造保安統括者等届出書、冷凍保安責任者届出書、特定高圧ガス取扱主任者届出書、高圧ガス貯蔵所設置許可申請書	(定義)常温で圧力が1MPa以上となる圧縮ガス等 (製造)ガスを製造する能力が100m <sup>3</sup> /日以上の場合 (貯蔵)LPG等の貯蔵量が300m <sup>3</sup> 以上の場合 (特定高圧ガス消費)LPG等と300m <sup>3</sup> 以上貯蔵・消費する場合	FS段階
道路法	道路法に基づく車両制限	一般的制限値(最高限度):幅2.5m、長さ12.0m、高さ3.8m、総重量20.0t、軸重10.0t、軸荷重5.0t、最小回転半径12.0m等	設計施工段階
道路交通法	道路使用許可等手続	道路において工事、作業、祭礼行事を行う場合や工作物を設置する場合	設計施工段階
航空法	屋間障害標識設置物件の届出	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60m以上の高さのもの、航空機の航行の安全を著しく害するおそれがある場合	設計施工段階
電波法	伝搬障害防止区域における高層建築物等に係る届出	電波伝搬障害防止区域内に建築を予定している高層建築物(地表高31mをこえる建築物)等が、重要無線通信に障害を及ぼすと判断される場合	設計施工段階
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専任報告、安全管理者専任報告、排熱ボイラー設置届出(報告)書、衛生管理者選任報告・産業医選任届出書・作業主任者選任届出書	(排熱ボイラー)発電用以外で、同法施行令で定義されたボイラーの場合	設計施工段階

労働基準法	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(常時 10 人以上を使用している場合)等	労働者を雇い入れた場合	設計施工段階
電気事業法	主任技術者の選任・保安規程・工事計画の届出 等	電気を供給する事業を行う場合(自家用で 1,000kW 未満を除く)	FS 段階
熱供給事業法	事業認可申請、供給規定認可・届出、導管工事計画届出、保安規程届出 等	熱を供給する事業を行う場合(加熱能力の合計が 21GJ/h 以上の場合)	FS 段階
エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネ法)	当該工場のエネルギー消費量に応じ一定人数(1~4 名)の「エネルギー管理者」を選任	第一種エネルギー管理指定工場に指定された場合(年間エネルギー使用量が原油換算 3000kl 以上)	FS 段階
大気汚染防止法	大気汚染に関する届出	熱供給事業、電気供給事業など、ばい煙発生施設を有する事業を行う場合 なお、電気事業法で規定される電気工作物において発生するばい煙を排出する場合には、上記手続に代わり、電気事業法に基づく届出が必要となる。	設計施工段階
騒音規制法	特定建設作業実施届出書	<特定施設の設置> 指定地域内において工場又は事業場(特定施設が設置されていないものに限る)に特定施設を設置しようとする場合 ※たとえば、チッパーを設置する場合など。なお、特定施設が電気事業法で規定される電気工作物である場合には、上記手続に代わり、電気事業法に基づく届出が必要となる。	設計施工段階
振動規制法	特定建設作業実施届出書	<特定建設作業の実施> 指定地域内において特定建設作業を伴う建設工事を施工しようとする場合	設計施工段階
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、公害防止管理者等の届出	(公害防止統括者)常時従業員が 20 人以下の場合は不選任	設計施工段階

## コラム グリーン成長戦略におけるメタン発酵

一般社団法人日本有機資源協会

政府は、2021年6月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を公表した。この中で、次に示す成長が期待される14分野の産業において、高い目標を設定し、あらゆる政策を総動員することとしている。

- ① 洋上風力・次世代型太陽光・地熱産業
- ② 水素・燃料アンモニア産業
- ③ 自動車・蓄電池産業
- ④ カーボンリサイクルに係る産業・マテリアル産業
- ⑤ 住宅建築物産業・次世代電力マネジメント産業
- ⑥ 次世代熱エネルギー産業
- ⑦ 原子力産業
- ⑧ 半導体・情報通信産業
- ⑨ 船舶産業
- ⑩ 物流・人流・土木インフラ産業
- ⑪ 食料・農林水産業
- ⑫ 航空機産業
- ⑬ 資源循環関連産業
- ⑭ ライフスタイル関連産業

このうちの1つ「13 資源循環関連産業」にメタン発酵に関わる記述がみられる。今後の主な取組としては、「今後のごみ質の大きな変化に伴うメタン化施設の大規模化を見据えた技術実証事業を進めるとともに、下水道バイオマスの活用拡大のため、下水道エネルギー拠点化コンシェルジュ事業の充実など、地方公共団体における案件形成促進を2025年度まで集中的に取り組む。」ことが記されている。

また、2021年度末を目途に各都道府県に対して「広域化・集約化計画」の策定を求めることで、広域化・集約化を推進し、廃棄物処理施設の地域のエネルギーセンターとしての活用、災害時の電源供給や避難所等の防災拠点としての活用等、地域の社会インフラとしての機能を高めた施設整備を進めていくという趣旨の方針が示されている。これらの取組により、地方公共団体における省エネ・創エネの推進や、CO<sub>2</sub>排出の低減、さらには廃棄物エネルギーを利用した産業振興、自立分散型の電力・熱供給等による災害時の防災拠点としての活用等、地域循環共生圏の核となる新たな価値を創出する施設整備が進むことが期待される。

### 参考文献

内閣府ほか：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和3年6月18日）

<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>

### 第3章 運転管理上の課題と対策

一般社団法人日本有機資源協会

メタン発酵バイオガス発電は、有機性廃棄物処理に付随する場合がほとんどであり、家畜排せつ物、食品残さ（食品廃棄物）、下水汚泥等を収集・搬入し、メタン発酵により、エネルギー利用（電気、熱）に繋げている。同時に生成される消化液は、バイオ液肥として農業利用が可能である。メタン発酵槽内での滞留日数は25日程度である。バイオガスを貯槽するタンクの容量は3時間分程度のものが多い。バイオガス発電施設の建設にあたっては、構想・計画の策定、地元合意形成、許認可、建設工事など、稼働までのリードタイムが長い。国内におけるバイオガス発電設備の規模は、平均すると1設備約400kW程度で、ほとんどが2,000kW以内であり、地域に密着した施設であると言える。

再エネ特措法及び再エネ特措法施行規則に基づき、事業計画の認定の申請を行うバイオマス発電事業者、及び認定を取得した事業計画に基づいて再生可能エネルギー発電事業を実施するバイオマス発電事業者には「事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電）」<sup>1)</sup>が適用されているので、遵守する必要がある。

FITにおけるバイオガス発電施設は、2021年6月末時点でFIT制度ができてからの累積の新規認定が259件、108.9MW、新規導入（稼働）が220件、77.2MW（バイオマス比率考慮あり）であり、FIT制度開始以来、年度ごとに認定施設が15～30件増加しており、FIT制度による促進効果が認められる。なお、これらの情報は、「固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト」<sup>2)</sup>にて、年に4回更新されている。

最近の動向としては、2050年カーボンニュートラル、再エネ導入拡大の方針を受け、案件形成が増加するとともに、これまでより施設規模の大きな計画が立案されてきている。また、出力制御、ブラックアウトへの対応、データの見える化による原料供給者とプラント運営者の連携、都市型サーキュラーエコノミーの中核を担うプラントの設置、無人運転可能な牧場型施設の設置など、運転管理の工夫の事例が出てきている。

本章では、1) 設備利用率と運転維持費の現状を踏まえた課題の整理、2) 各工程におけるトラブルとその対応に関するアンケート調査結果、3) 現地ヒアリング調査やアンケート調査等によって得られた運転管理上の課題を克服する方法についてとりまとめる。また、課題克服のために重要な運転上のデータ収集とその分析・活用事例を紹介する。

## 第1節 運転管理上の課題

### 1. 設備利用率の現状と課題

ここで言う設備利用率とは、

$$\text{設備利用率（実績）} = (\text{年間の買取電力量}) / (365 \times 24 \times \text{発電出力})$$

である。なお、分子を「年間の発電電力量」としないのは、電力買取側がエビデンスをもつデータを入手できないからと推察される。

2022年1月17日に開催された第74回調達価格等算定委員会の資料<sup>3)</sup>によると、メタン発酵バイオガス発電の設備利用率は、全体的に想定値（90%）を下回っており、分散が大きいと分析されている。原料種による差は見られるが、発電出力との関係は明確ではない。なお、これらの情報は毎年更新されていくので、最新情報の入手が望まれる。

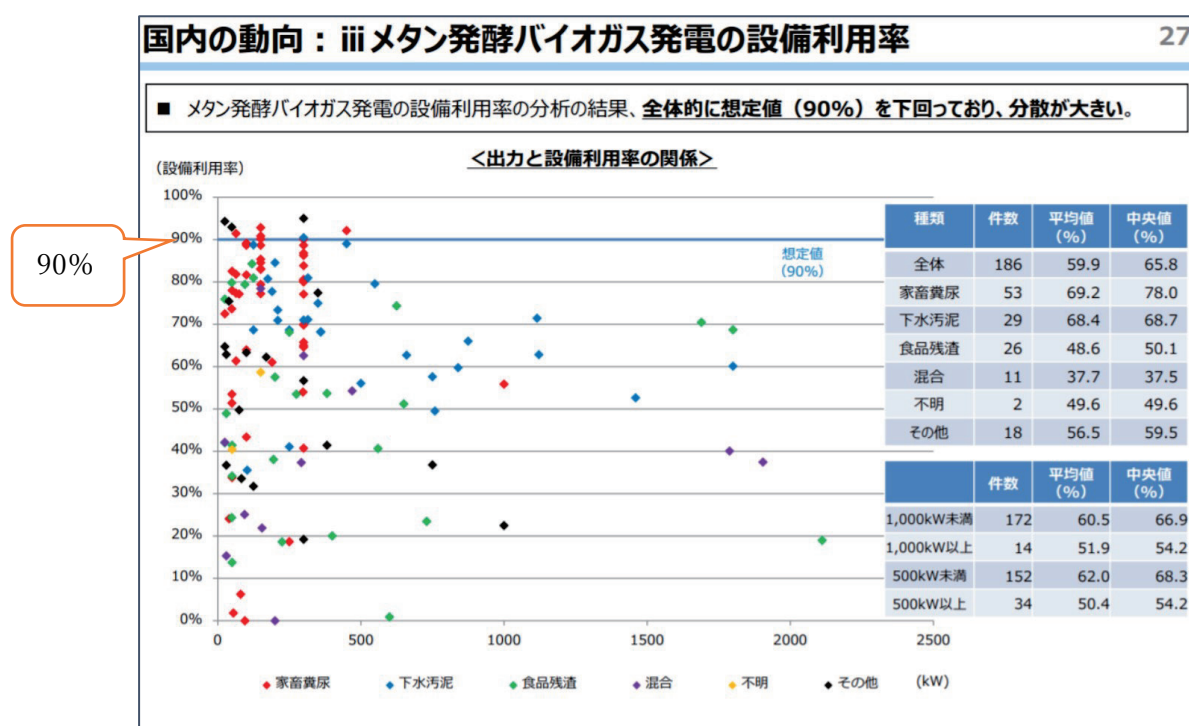


図1 メタン発酵バイオガス発電の出力と設備利用率の関係

(第74回調達価格等算定委員会<sup>3)</sup>資料より抜粋)

設備利用率が想定値より低い要因は、表 1 のように整理される。

表 1 設備利用率が想定値より低い要因

要因	内容
想定値の考え方によるもの	想定値とされている 90%は、発電装置メーカーがカタログに出すチャンピオンデータである。稼働率が上がっても 70-80%が現実的な値であるとも言える。
	電力の自家地域消費分がある。
	メンテナンスに備えての予備発電機を入れているところが多い。
	原料である廃棄物の受入は停止できないので、複数ラインを設けているところもある。
事業計画設備導入計画によるもの	発電機の規模が、廃棄物処理の観点からの原料受入必要量、収益を確保するための原料確保必要量の最大値で設計導入されている。
	将来の家畜飼養頭数の増加を見込んだ規模の設備が準備されている場合がある。
	下水汚泥に加えて将来的に食品廃棄物などの地域バイオマスと合わせた混合利用を予定されている場合がある。
	原料受入停止曜日を設定している場合がある。
	原料の量に季節変動がある。
	予定した量の原料が確保できない場合がある。食品廃棄物の場合は競争あり。
	追加設備の負担ができない、消化液を散布する農地を確保できない、水処理などの維持管理費の上昇、人員不足などにより、事業が頓挫する場合がある。
設備の保守点検によるもの	発電機の定期メンテナンス、周辺設備のメンテナンスによる稼働停止がある。
設備の運転トラブルによるもの	トラブル（選別機、固液分離、破碎機、移送配管、異物混入等）による稼働停止がある。
	海外メーカー製設備の場合、トラブル解消のための装置機器の交換に時間を要する場合がある。
	メタン発酵の不良によりバイオガス発生量が少なくなっている場合がある。

設備利用率を向上させるためには、計画段階からの検討を含めて、次のような方法があると考えられる。

- ① 専門分野を異にする専門家の意見を踏まえてよりよい計画を立案する。特に、運転管理の実務経験者からの意見を反映させる。
- ② PFI 事業経験者から、計画、設計、建設、運転の一貫した取組を聞き取り、改善策の参考とする。
- ③ 事業者決定のための総合評価方式で、技術提案を受ける仕様書の精緻化を図る。
- ④ 計画時に受入れ予定の原料を用いて、ガス発生量予測の精度をあげる。
- ⑤ 原料の混合利用や分解率向上のための前処理追加により、バイオガス発生量を増加させる工夫を行う。
- ⑥ 適切なメンテナンス計画（日常、月間、年間、中期）を作成する。
- ⑦ 施設の長寿命化のための予防保全措置を講じる。
- ⑧ 日々の運転管理を指標（温度、pH、アンモニア濃度、有機酸濃度等）に基づき適切に行う。
- ⑨ 発電機に悪影響を及ぼすバイオガス中の水分、硫化水素、シロキサン類を除去する。
- ⑩ メーカーによる遠隔監視等による維持管理支援体制を整備する。

- ⑪ うまく運転できていない施設への指導、専門家によるフォロー（ハンズオン支援）を行う。
- ⑫ 国産設備、技術への切り替えを促進する。

施設稼働後に、運転管理によって設備利用率を上げるための課題は次のように整理され、発電量の最大化を目指すための課題に置き換える。

- ① 原料供給者とのコミュニケーションによる発酵不適物の混入防止、水分調整
- ② 運転データのモニタリングと解析による運転不良の予兆の把握と対応
- ③ 運転トラブルを最小限にするための作業員による作業と機械的処理の連携
- ④ 運転トラブルが発生した場合の早期復旧手順の確立
- ⑤ ガスホルダのバッファの有効利用
- ⑥ メンテナンス方法の工夫による稼働停止期間の最小化
- ⑦ 将来的には、ICT、AI 活用による運転管理の効率化

## 2. 運転維持費の現状と課題

ここで言う運転維持費は、「万円/kW/年」で算出されるものである。2022年1月17日に開催された第74回調達価格等算定委員会に提出された資料<sup>3)</sup>によると、これまでに得られた運転維持費のコストデータは164件であり、平均値は11.2万円/kW/年、中央値は6.2万円/kW/年となり、想定値（18.4万円/kW/年）を下回ったという結果になっている。また、原料種別、規模別に差が見られる。分析は、原料混合（500kW未満）、原料混合（全規模）に着目してなされ、500kW未満の原料混合について見ると、運転維持費の平均値は28.7万円/kW/年、中央値は18.4万円/kW/年となったと報告されている。なお、これらの情報は毎年更新されていくので、最新情報の入手が望まれる。



## 国内の動向：iiiメタン発酵バイオガス発電の資本費・運転維持費

25

- これまでに得られた資本費のコストデータは172件。平均値は244.2万円/kW、中央値は215.7万円/kWとなるが、**想定値（392万円/kW）を下回った。**

(※) 172件のうち68件が、過去に投資をしたメタン発酵バイオガス発電に必要な発酵槽を有効利用したケースである点を勘案し、こうしたケースの案件に発酵槽の費用相当額（121万円/kW）を加えて分析している。

- また、これまでに得られた運転維持費のコストデータは164件。平均値は11.2万円/kW/年、中央値は6.2万円/kW/年となり、**想定値（18.4万円/kW/年）を下回った。**

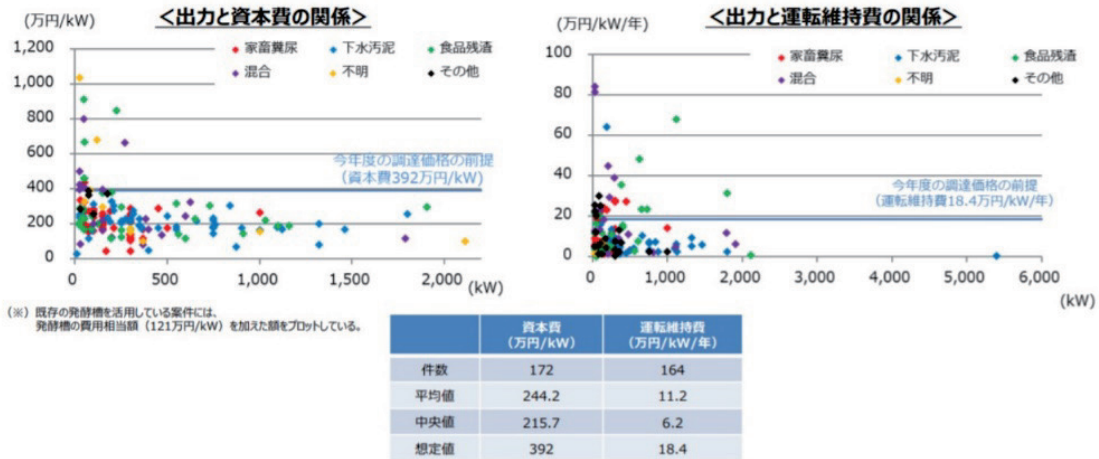


図2 メタン発酵バイオガス発電の出力と運転維持費の関係（第74回調達価格等算定委員会<sup>3)</sup>資料より抜粋）

## 国内の動向：iiiメタン発酵バイオガス発電の資本費・運転維持費

26

- メタン発酵バイオガス発電の区分は、制度開始当初から、「件数の大半を家畜糞尿のケースが占めることから、この場合の費用を採用した調達価格が設定されているが、**足下では家畜糞尿以外のケースも多い。**第71回の本委員会において、業界団体からは**今後は原料混合が増加する**との意見もあった。また、現在の想定値は小規模な設備を想定しており、**実際、500kW未満が認定件数の70%以上を占めている。**

- 500kW未満の原料混合について見ると、資本費の**平均値は321.7万円/kW、中央値は242.7万円/kW**となり、運転維持費の**平均値は28.7万円/kW/年、中央値は12.8万円/kW/年**となる。



(※) 既存の発酵槽を活用している案件の資本費には、発酵槽の費用（121万円/kW）を加えている。

※ 2021年11月末時点の件数。  
※ 改正FIT法による2017年4月以降の失効分については、2021年11月末時点までに確認したものを反映している。

図3 メタン発酵バイオガス発電の出力と運転維持費の関係（第74回調達価格等算定委員会<sup>3)</sup>資料より抜粋）

施設稼働後に、運転管理によって運転維持費を低減させるための課題は次のように整理される。安定した運転の継続、トラブルの最小化、ライフサイクルでの支出削減と収入の増加が肝要である。

- ① 熱の有効利用
- ② バイオ液肥の利用と水処理のバランスの検討
- ③ 凝集剤や脱硫に用いる資材の検討
- ④ 設備更新と予防保全の検討
- ⑤ 適切な人員配置と技術力向上
- ⑥ より合理的な液肥散布方法の検討（適正規模の適正台数の機械の導入、バイオ液肥の中間貯留槽設置、気象予報の利用を含む）
- ⑦ 原料供給者、生成物（バイオ液肥、堆肥、再生敷料等）の利用者との交渉による適正価格の設定。

### 3. 出力制御における課題

発電の出力制御には、需給バランスによるものと、送電線の容量（電力システムの安定性を含む）によるものがある<sup>4)</sup>。すなわち、出力の制御がなされるのは、特定の日の特定時間帯に需給バランスの調整の必要から出力制御を受ける場合（50%以下の出力にすることが目標とされている。さらにもっと出力を下げる検討がされている。）、系統接続の契約時に期間を特定して出力抑制を受けることが決まっている場合がある。ここでは、前者について整理する。

まず、念頭におくべきことは、各種電源種の中で、バイオマス発電は調整力が期待されているということである。これは太陽光発電、風力発電に比べて、自然条件によらずに発電が可能で、原料や燃料の貯蔵により発電量を制御しやすいと受け止められていることによると考えられる。しかし、有機性廃棄物を原料とするメタン発酵バイオガス発電の場合は、原料の受入れを停止することは現実的でなく、腐敗性のものであるため貯蔵は困難である。臭気発生の問題もある。ガスホルダの容量は意外と小さく3時間程度で、出力制限が長くかかる場合、せっかく生成したバイオガスを余剰ガス燃焼装置を通して大気放出せざるを得なくなる。

電力系統においては、電気を使う量と発電する量（需要と供給）のバランスをとることが重要になる。このバランスが崩れてしまうと周波数に乱れが生じて、最悪の場合は大規模停電が発生する。このため需要と供給の量が常にバランスするように調整することが必要となる。しかし、電気を使う量は1日の中においても常に変化することに加え、太陽光や風力などの再生可能エネルギーは天候によって発電量が頻繁に変動するので、バランスを保つのは非常に難しくなる。そこで、次に示す法令等であらかじめ決められた「優先給電ルール」に基づいて、需給バランスの維持が行われる。

電気の発電量がエリアの需要量を上回る場合には、まず火力発電の出力の抑制、揚水発電のくみ上げ運転による需要創出、地域間連系線を活用した他エリアへの送電が行われ

る。それでもなお発電量が需要量を上回る場合には、バイオマス発電の出力の制御がなされ、その後、太陽光発電、風力発電の出力制御が行われる。

このルールは、ノンファーム型接続の場合においても同様になると推察される。ノンファーム型接続には、混雑管理・出力制御に対応したシステムを開発・導入する必要があり、NEDOによる実証試験（2020～2023年度）が行われている。なお、ノンファーム型接続については、第5章第2節を参照されたい。

一方、「地域資源バイオマス発電」<sup>5)</sup>に認定されると、制御される順番が後になる場合がある。発電出力制御には、系統混雑時の無補償での出力制御（オンライン制御）を前提に、系統連系開始までに、出力制御指示と連動する出力制御ユニット及び出力制御対応パワーコンディショナー（PCS）が必要とされている。

いずれにしても、今後、出力制御への対応は不可欠と言える。出力制御やFIPへの対応のためにプラント側で増強すべき設備には、次のようなものがある。

- ① 熱電併給システム（CHP）の増設及び運用制御システム
- ② ガスホルダ
- ③ 系統の状況や電力需要を把握した運用制御システム
- ④ 系統に売電できない場合の電力自家利用システム
- ⑤ 電力以外のバイオガス利用システム
- ⑥ 余剰熱利用システム

一方、出力制御を低減するための措置も検討されている（図4参照）。これは、我が国全体の電力マネジメントにかかわることであるが、その制度設計は注視しておきたいところである。

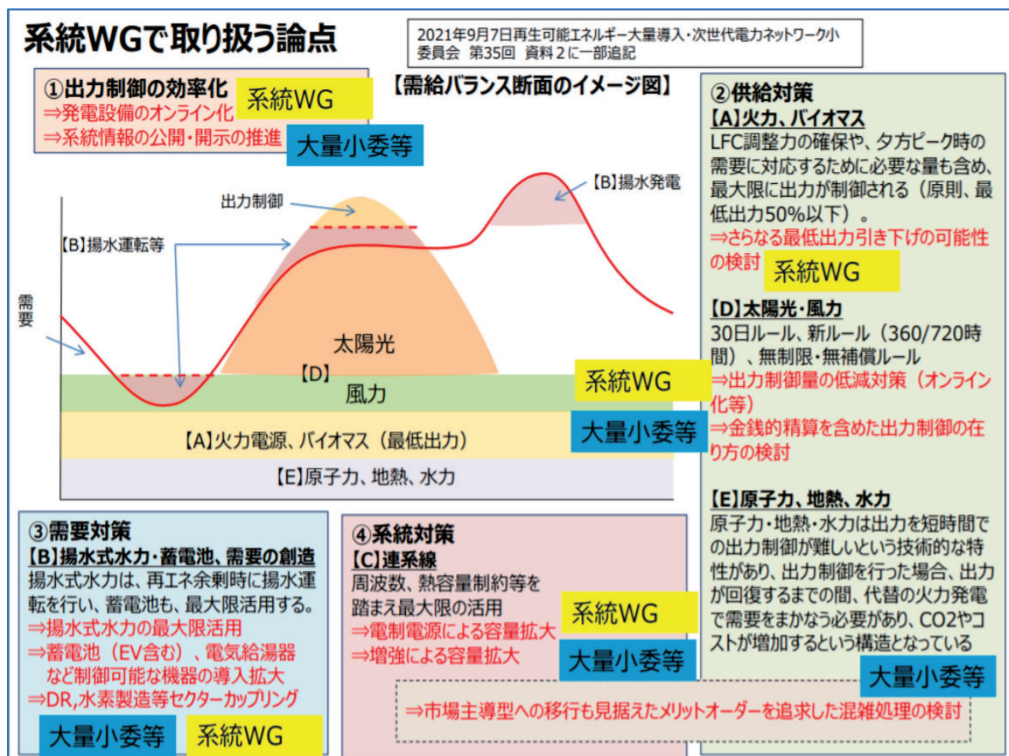


図4 出力制御の低減について（第31回系統ワーキンググループ資料<sup>6)</sup>より抜粋）

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁：事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電），  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/dl/fit\\_2017/legal/guideline\\_biomass.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/legal/guideline_biomass.pdf),  
2021年7月25日.
- 2) 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト：<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>
- 3) 調達価格等算定委員会：令和3年度以降の調達価格等に関する意見，  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/santei/pdf/074\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/santei/pdf/074_02_00.pdf), 2022年1月17日.
- 4) 資源エネルギー庁：出力制御について  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/grid/08\\_syutoryokuseigy.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/grid/08_syutoryokuseigy.html)
- 5) 農林水産省：農山漁村再生可能エネルギー法を活用してバイオマス発電に取り組みませんか，  
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/houritu-23.pdf>, 2021年11月14日.
- 6) 資源エネルギー庁；再エネ出力制御の低減に向けた取組について、第31回系統ワーキンググループ、  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/shin\\_energy/keito\\_wg/pdf/031\\_01\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/031_01_01.pdf), 2021年12月  
17日.

## 第2節 各工程におけるトラブルとその対応

一般社団法人日本有機資源協会

各工程におけるトラブルの発生とその対応の状況を把握するためにアンケート調査を実施し、その結果をとりまとめた。対象とした工程の件数は次のとおりである。

表1 工程別のトラブルの発生とその対応の状況

工程 No.	工程	回答件数
①	原料受入れ設備と前処理設備	30
②	メタン発酵槽	25
③	ガスホルダ	5
④	脱硫装置	5
⑤	発電装置	11
⑥	固液分離設備	8
⑦	好気性発酵設備（固形分の堆肥化設備）	4
⑧	液肥貯留設備	2
⑨	消化液の水処理設備	2
⑩	脱臭設備	3
⑪	その他	5
合計件数		100

工程別のトラブルの発生とその対応の状況は、次のとおりである。ここでは、アンケート調査結果について誤記等を修正したものをそのまま掲載する。工程別の報告件数から、どこでトラブルの発生が多いかを理解できる。また、対応方法は、第3節でまとめる運転管理上の課題を克服する方法につながる。

トラブルの事例を紹介した資料は少ない。トラブルの発生状況は公表し難いものであるが、本調査においてこの分野の進展のために、関係者には多大なる協力をいただいた。

### ①原料受入れ設備と前処理設備

#### 事例①-1 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	一廃系の受入物に大きな石が混入して、破袋分別機を破損させた。
トラブルへの対応	排出者・収集事業者に対し、分別徹底を依頼した。

#### 事例①-2 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備（破砕機の破損）
トラブルの概要	硬質物（金属・・・ハンマーヘッド等、石・・・漬物石）の投入により、破砕刃に破損と噛み込みが生じ、停止したほか、雑誌束の噛み込みにより停止した。
トラブルへの対応	排出者に通告し、展開検査の頻度と対象を再確認した。



### 事例①-3 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	家庭ごみから、破碎選別機へ石、氷の塊、鉄アレイなどが気づかれずに投入され、選別機を破損した。
トラブルへの対応	二軸破碎機を選別機の前段に設ける。事例を住民等に周知する。

### 事例①-4 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	厚手の本が複数冊投入されたため、破碎選別装置ブレードが変形した。また、金属製品類の混入も破碎選別装置のトラブル原因となる。
トラブルへの対応	受入れ時の目視確認と搬入業者へ持ち込み禁止を指導した。

### 事例①-5 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備（ホッパ）
トラブルの概要	① 雑誌の束が投入され、排出スクリーンコンベヤを閉塞させた。 ② 搬入トラックがホッパ蓋に接触し、蓋を破損した。 ③ 搬入車両が、受入れ室入り口のシャッターが閉まっているのを確認せず後進し、進入時に接触、破壊した。
トラブルへの対応	① 排出者に通告、展開検査の頻度と対象を再確認した。 ② 搬入車両の再度の寸法検査と要注意車両のリスト化を行った。 ③ 後退進入時における、ドライバーの目視確認と一時停止の義務化を行った。

### 事例①-6 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備（機械選別）
トラブルの概要	混合収集された一般廃棄物を破碎・選別し、メタン発酵対象ごみを取り出す機械選別装置で、前段の破碎装置で細かくできなかった物が機械選別装置内で絡みつき、選別率が低下し、機器が過負荷となり停止した。
トラブルへの対応	破碎装置内に投入するごみ量を調整し、機械選別装置については、運転毎に内部清掃を実施した。また、電流値での管理を行い上昇するようであれば内部点検を実施し、軽度な絡みつきの段階で除去作業を行う。


### 事例①-7 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	・搬入される下水道汚泥内にボルトが混入し、移送用ポンプが故障した。 ・冷凍物や硬い物が混入し、生ごみ用破碎機の回転ブレードが変形した。
トラブルへの対応	・ポンプの部品を交換し、異物の混入がないよう排出側へ周知した。 ・ブレードの交換と硬度があるものの分別を排出側に依頼した。

事例①-8 異物混入トラブル

<p>トラブル発生 の 工程</p>	<p>①原料受入れ設備と前処理設備（異物混入トラブル）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>ふん尿原料を受入れる2つの水槽内に異物が混入し、ポンプ等の詰まりが発生する場合があります。（下記写真参照）</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>異物1 果実類</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>異物2 根菜類および木片</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>異物3 ロープ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>異物4 動物の骨</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>異物5 動物の皮</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>異物6 大型の木片</p> </div> </div>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>異物による機器の破損や配管の詰まりを防止するため、バイオガスプラントを利用される方々に対して、バークリーナー、コンテナ周辺に異物が落ちていないか等の確認をお願いし、注意喚起を行っている。具体的には、異物を発見するごとに、異物の写真を添付し、注意喚起を行っている。この対応により、徐々に異物の混入は減少している。</p>

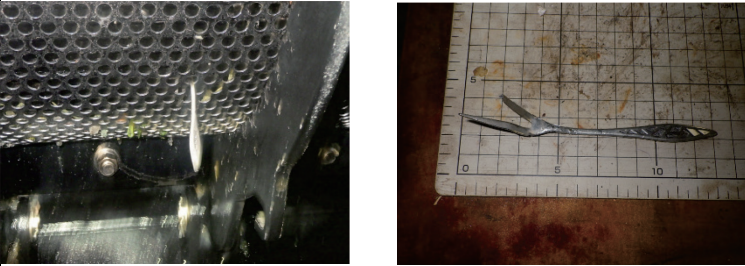
### 事例①-9 異物混入トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備（②メタン発酵槽にも掲載）
トラブルの概要	異物混入により破砕機が故障した。 残土により各水槽に堆積が生じた。
トラブルへの対応	搬入物を土篩機により篩（ふるい）を行う事により、残土の除去・異物の発見を行う。搬入者に注意喚起を行う。 

### 事例①-10 異物混入トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	原料搬入ごみ（一般可燃ごみ）中に、メタン発酵不適物の布類（カーテン、ジーン等の衣類）、漁網他の混入があり、コンベヤ及び選別装置（回転ドラム式）内での絡みつき、閉塞が発生した。
トラブルへの対応	1) 原料ごみピット内で、クレーン操作オペレーターの目視監視により、可能な範囲で除去を行った。 2) 選別装置内での衣類等の絡みつき状況の監視用にITVを追加設置した。 3) 選別装置内の定期的な清掃業務(不適物除去)を、維持管理項目に追加した。

### 事例①-11 異物混入トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	家庭系一般廃棄物の生ごみ前処理設備に、異物（金属や衣類等）が投入され破砕機や破袋装置が停止した。頻度は1回/月程度。
トラブルへの対応	破砕分別機はメッシュ部分に金属等の異物が引っかかり、機械を止めて清掃し対応する。破砕分別機から断続的に金属音がある場合は、混入異物がある可能性が高い。また市民・排出事業者への注意喚起も継続。 
	写真1 メッシュ部分の異物      写真2 混入異物のフォーク



事例①-12 異物混入トラブル

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>①原料受入れ設備と前処理設備（破砕機トラブル）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>本プラントでは、スラリーと同時に繋ぎ飼養のふん尿も受入れているため、長物等の異物も多く、ポンプ等の機械にトラブルが多く発生していた。これを改善するため、異物を除去し、長物をせん断する破砕機を増設した。破砕機内部に設置されたスクリーンにより、比重の大きい石などは除去されるものの、動物の皮などの異物がシャフトに巻き付く等のトラブルにより、メカニカルシールの破損や電動機シャフトの変形等が発生した。</p> <p>(写真1～5参照)</p> <div data-bbox="528 618 940 936" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="528 938 1246 967">写真1 破砕機内部に設置されたスクリーンによって除去された異物</p> <div data-bbox="502 985 896 1288" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="528 1292 880 1321">写真2 牧草用結束バンドの巻付</p> <div data-bbox="914 985 1307 1288" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="967 1292 1222 1321">写真3 動物の皮の巻付</p> <div data-bbox="499 1368 901 1675" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="528 1693 892 1722">写真4 メカニカルシールの破損部</p> <div data-bbox="922 1368 1307 1675" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="943 1693 1278 1722">写真5 電動機のシャフトの変形</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>機器の修繕を行った。また、破砕機メーカーより異物に強いバージョンアップ版のアナウンスがあり、メーカーと協議中である。なお破砕機に設置されているスクリーンについては、2か月に1度清掃を実施している。</p> <p>破砕機の設置に伴い、長物を多く含むふん尿の受入量を多くできるようになった点は、破砕機導入の大きな優位点であると考える。</p>

事例①-13 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	水分の高い原料（動植物性残さ）受入れにより、原料ごみピット内に汚水が蓄積した。※ごみピットクレーンで、ごみ投入時液だれが発生し、ごみピット上部の臭気拡散の要因となった。
トラブルへの対応	1) 水分の高い原料については、ごみピット内で他のごみ（紙ごみ類）とクレーン操作でよく混合する運転をマニュアル化した。 2) 水分の高い原料の受入れについて、投入口を別にすることを、搬入業者への指導・徹底を行った。

事例①-14 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備（フロー図参照）
トラブルの内容	<p>リチウムイオン電池は拠点回収等により収集ごみの「燃やすごみ」とは分別して回収しているが、バイオガス化施設に投入される家庭ごみの中には少なからず小型家電やモバイルバッテリー、電子タバコ等のリチウムイオン電池が入っている。</p> <p>破碎破袋装置（写真1）の二軸せん断機にて破碎されたリチウムイオン電池は破碎されるときにかかる圧縮荷重により発火することがあり、後段の中間貯槽に堆積するごみ（写真2）に引火、発煙が発生する。</p> <p>また、多くは破碎破袋装置直後の中間貯槽にて火災検知するが、ごく一部少量のリチウムイオン電池は後段の選別装置を通り、ごみピットへ返っていく選別残さコンベアで火災検知することがある。</p>
	<p>バイオガス化施設 処理フロー</p> <p>フロー図</p>



写真1 破碎破袋装置 内部（二軸せん断機）



写真2 中間貯槽 内部

トラブルへの対応内容

中間貯槽に火炎検知器（写真3）を設置し、火炎を検知したら即時に前処理設備を自動停止させ、自動散水を実施（写真3）するように制御している。

その後、運転員が現場に駆けつけ、安全を確認しながら点検口から手動で消火活動も実施する。運転員により鎮火を確認した後、前処理設備を順次点検しながら起動し、通常運転に移行する。

自動散水により検知後数秒経つと火炎は消火し、更に十分な手動散水によって大きなトラブルにはなっていないが、令和2年度で火炎検知回数134件のうち、原因物を特定した回数は33件あり、そのうち32件はリチウムイオン電池が原因だった。なお、原因物のリチウムイオン電池は写真4のように焼け焦げて発見されており、黒っぽいので他のごみと見分けがつきにくいのが実態である。



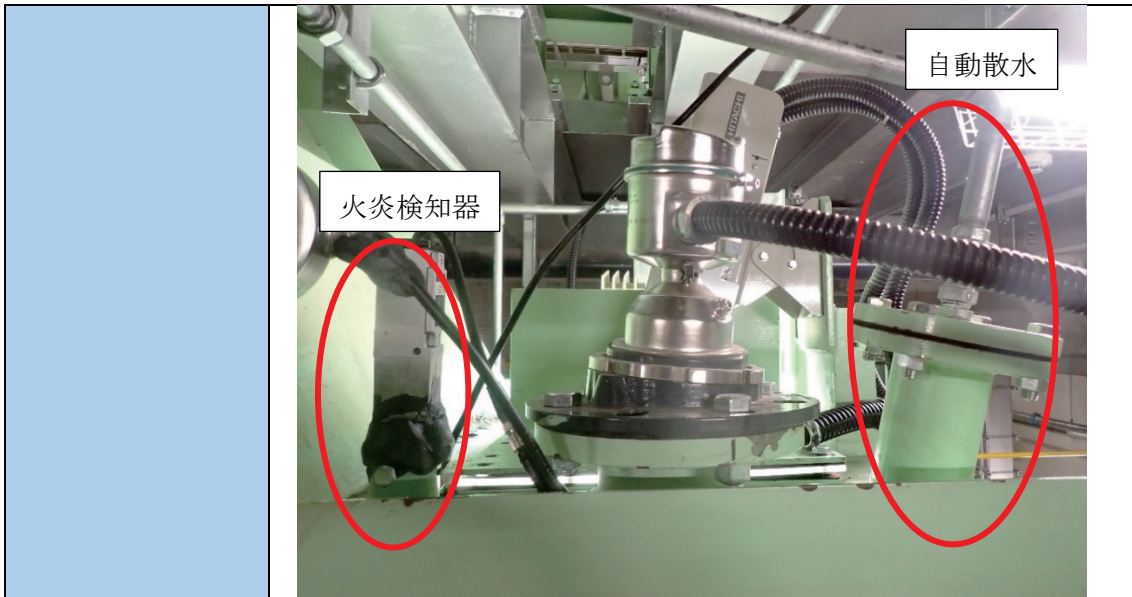


写真3 火炎検知器と自動散水弁



写真4 焼け焦げたリチウムイオン電池

事例①-15 異物混入トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	家庭系一般廃棄物の生ごみでは、市民への分別徹底をお願いしているが、受入設備で空き缶、リチウムイオン電池、家庭用ガスボンベの混入が見つかった。
トラブルへの対応	原料投入ピットに生ごみを投入する際に作業員が必ず立ち合い、目視で確認している。展開検査まで行わずとも、目視と金属音により、空き缶、リチウムイオン電池、家庭用ガスボンベ等がラインに混入することを未然に防ぐことができた。また家庭系生ごみでは、分別徹底の注意喚起を継続している。



### 事例①-16 異物混入トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	直接ダンプして投入する原料受入れピットでは、異物の除去ができなかった。また、原料の硫化水素により、鉄製部分の腐食が激しく、塗装等のメンテナンスが多かった。
トラブルへの対応	原料受入れ槽への投入前にコンクリート製のフラットな踊り場を設け、そこで異物除去を行う対応を行った。また、できる限りコンクリート製の仕切り板等を設けた。

### 事例①-17 配管トラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	畜産ふん尿に含まれる敷き藁などが配管閉塞の原因となる。
トラブルへの対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排出農家へ20cm以上の異物排除をお願いした。</li> <li>・固液分離後、原料として投入した。</li> <li>・配管の曲がり箇所を少なくし、閉塞が多く起こる場所の付近に配管内洗浄が可能なドレン、洗浄水接続口を設けた。</li> </ul>

### 事例①-18 ポンプトラブル

トラブル発生の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	発酵槽への移送ポンプが異物混入等によりポンプ詰まりが多い。
トラブルへの対応	<p>プラントメーカーに頼らず現場作業員等でも修繕ができるよう復旧マニュアルを作成した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>写真 発酵槽への移送ポンプ Rの部分の詰まりが多いため、詰まりを取り除いて復旧させるためのマニュアルを作成し、対応している。</p>

### 事例①-19 ポンプトラブル

トラブル発生時の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	穀物類を投入した時期があり、貯留槽で固形物として堆積しポンプ閉塞が発生した。
トラブルへの対応	比重が重く、所定日数で可溶化しない原料は受入れないこととした。

### 事例①-20 ポンプトラブル

トラブル発生時の工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	<p>ふん尿原料を受入れる水槽内に異物が混入し、ポンプの詰まりが発生することがある。(写真1～5)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真1 ふん尿原料を発酵槽に移送する ピストンポンプ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真2 異物が詰った状況(吸込側)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真3 異物が詰った状況(吐出側)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真4 異物(柄杓ほか)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真5 飼養マット</p> </div> </div>
トラブルへの対応	<p>異物による機器の破損や配管の詰まりを防止するため、バイオガスプラントを利用される方々に対して、バーンクリーナー、コンテナ周辺に異物が落ちていないか等の確認をお願いし、注意喚起を行っている。以前より異物の混入は減少しているものの、現在も異物トラブルは発生しており、ポンプの分解や清掃作業が発生している。利用者との情報共有により、意識が向上した上で異物トラブルは減少する。</p>







事例①-21 ポンプトラブル

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>①原料受入れ設備と前処理設備 (原料移送ポンプ ピストンポンプのトラブル)</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>本プラントを利用される酪農家の飼養形態は全てフリーストール<sup>※</sup>である。しかし、プラントに搬入されるふん尿原料の固形物濃度（TS）は、酪農家毎に大きな違いがある。</p> <p>ロボット搾乳を行っている酪農家のふん尿TSは9～10%程度、その他の酪農家は敷料の使用量および使用材料によっても違うが、13～15%程度である。</p> <p>（※牛ふん尿と下水汚泥においては、同じTSであっても粘性が違い、性状が違うことに注意が必要）</p> <p>本プラントでは、ふん尿原料を調整槽から発酵槽へ移送するポンプにピストンポンプを使用している。機構が単純であり、異物に強い優れたポンプではあるが、TS12%を超えてくると吸込み・吐出障害が発生する。</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>本プラントでは、発酵後の消化液を固液分離し、その分離液分を調整槽へ移送し、ふん尿原料を濃度調整できるように設計されている。</p> <p>原料移送ポンプの移送トラブルを回避するため、点検日ごとにふん尿原料の受入前と受入終了後の2回、水分計を用いて、簡易的にTSを測定している。その値によって調整槽へ移送する分離液分の量をコントロールしている。なお、調整槽におけるふん尿のTSは、これまでの運転経験に基づき9～10%になるように調整を行っている。</p> <p>さらに月に1度、全酪農家のふん尿をサンプリングし、自社分析センターでTSおよびVS（有機物量）を測定し、データの蓄積に努めている。同じ酪農家より排出されるふん尿であっても、季節変動は大きいことがわかっている。</p> <div data-bbox="515 1339 986 1704" data-label="Image"> </div> <p>写真1 調整槽のTSを簡易測定している</p>

※フリーストール：乳牛の飼育方法の一つ。乳牛が牛舎の中を自由に動くことができ、ふんと尿が混ざった状態で、含水率は高い傾向。従来の「つなぎ飼い」では敷料を多く使い、ふんと尿を分けて集める仕組みが多く相対的に含水率が低いため、「つなぎ飼い」ではメタン発酵よりも堆肥化されることが多い。

事例①-22 原料槽・調整槽の濃度トラブル

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>①原料受入れ設備と前処理設備（調整槽の異常発泡トラブル）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>ふん尿原料を受入れる調整槽内が異常発泡し、水槽外に漏出した。 （写真1～2参照）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">写真1 水槽外に漏出した状況</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">写真2 水槽内の発泡状況</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>発生原因については、現在も調査中であるが、一般的に発泡の原因はpHの変動によって、水溶液中に含まれる炭酸ガスが放散されるものと考えている。しかし、調整槽のpHは点検日ごとに測定しており、大きな変動は認められなかったため、さらに発生原因の検討が必要だと考えている。</p> <p>これまで若干の発泡は認められていたが、本事例ほど多くの発泡が発生したことはなかった。当該年の大きな違いとしては、異常に気温が高い状況が続き、ふん尿原料の温度が上昇していたことが確認されおり、pHとふん尿温度の上昇の2つの要因が影響しているのではないかと推測している。</p> <p>異常発泡後、水槽内の発泡状況を確認しつつ、調整槽の温度を通常よりも低くして制御したところ、水槽からあふれることはなく発泡量は抑制できた。発泡に対しては、消泡剤を用いることも有効な方法と考えられるが、シリコン系の消泡剤を用いる場合は、バイオガス中に混入するシロキサンに注意が必要と考える。</p>



事例①-23 原料槽・調整槽のトラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備（受入前処理）
トラブルの内容	受入槽に消化液を返送し、原料槽の水分調整を行う際に、受入槽からバイオガスが発生した。
トラブルへの対応	受入槽を密閉し、バイオガスラインに接続する。

事例①-24 攪拌機トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	原料槽内の原料攪拌が均一にならない。
トラブルへの対応	攪拌機の高さ、向きを調整できるように改良した。 

事例①-25 攪拌機トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	原料槽水中攪拌機が断線、漏電により故障が多い。
トラブルへの対応	予備の水中攪拌機を常備し、故障に応じて、取替作業を行っている。  <p>写真 原料槽水中攪拌機 故障時に予備の攪拌機を用意し対応している。</p>

事例①-26 攪拌機トラブル

<p>トラブル発生工程</p>	<p>①原料受入れ設備と前処理設備（水中攪拌機トラブル）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>ふん尿原料を受入れる2つの水槽内に4台の水中攪拌機が設置されている。</p> <p>この水中攪拌機に異物であるロープが巻き付き、それに起因して敷料等の長物が絡みつき、過負荷で停止することが頻繁にある。</p> <p>また、この槽に設置した水中攪拌機は過酷な状況下で運転しているため、約1年半の間に、水中攪拌機では以下の故障が発生している。</p> <p>ア. 電動機キャブタイヤケーブルの破損 （上部フックへの取り付け施工不良によるトラブル）</p> <p>イ. 電動機の焼き付き損傷 （メカニカルシール破損により、浸水が発生したトラブル）</p> <p>ウ. 減速機のギア破損 （過負荷を繰り返し、ギアに負荷をかけ続けたことで発生したトラブル）</p> <div data-bbox="512 842 1310 1144" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">写真 ロープ、長物等が絡まった水中攪拌機の状況</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>「ア. 電動機キャブタイヤケーブルの破損」「イ. 電動機の焼き付き損傷」「ウ. 減速機のギア破損」については、キャブタイヤケーブルの交換および機器の修繕を行った。</p> <p>過酷な条件下で水中攪拌機を運転せざるを得ない状況のため、水中攪拌機にかかる負荷を軽減させる方策が必要であった。その抜本的な対策として、インバーター盤を追加し、4台の水中攪拌機の回転数を制御することにより負荷軽減を行った。この対策により、水中攪拌機のトラブルは減少している。</p> <div data-bbox="504 1592 1315 1895" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">写真2 新たに設置した水中攪拌機のインバーター盤の状況</p>

事例①-27 バイオガス及び揮発性物質由来トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	蛋白分の多い原料を偏って投入すると、バイオガス中の硫化水素濃度が、2,000~3,000ppmと高くなり、脱硫剤の交換頻度が高くなる。
トラブルへの対応	原料受入、投入計画の調整を行う。


事例①-28 バイオガス及び揮発性物質由来トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの概要	原料を希釈調整する調整槽のコンクリート防食が有機酸およびノルマルヘキサンにより侵食され、早期に剥がれた。
トラブルへの対応	防食仕様を変更した。

事例①-29 バイオガス及び揮発性物質由来トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備
トラブルの内容	調整槽内面が劣化・腐食した。
トラブルへの対応	運用から10年程度を目途に、内壁のメンテナンスや防塗装の施工を行った。

事例①-30 固液分離機トラブル

トラブル発生工程	①原料受入れ設備と前処理設備（固液分離機トラブル）
トラブルの概要	<p>本プラントでは、長物を多く含む繋ぎ牛舎のふん尿を受入れており、これらのふん尿を使った完熟堆肥の生産を前提としてプラントが設計されている。搬入されたふん尿を固液分離し、分離液分をバイオガスプラントで利用し、分離固形物を堆肥化している。その搬入されたふん尿を固液分離する「原料固液分離機」において次のトラブルが発生した。</p> <p>ア. 固液分離機の固形物排出口が詰まり、固形物があふれ出した。</p>
	
<p>写真 1 固形物排出口からあふれ出した分離固形物</p>	



イ. 固液分離機入口ホッパー内のオーバーフロー配管がワラにより、閉塞した。

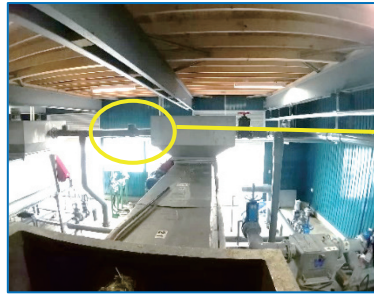


写真2 入口ホッパーの流出状況



写真3 入口ホッパー内部(閉塞状況)

ウ. 固液分離機のパンチングメタルのメッシュが、尿石により閉塞した。

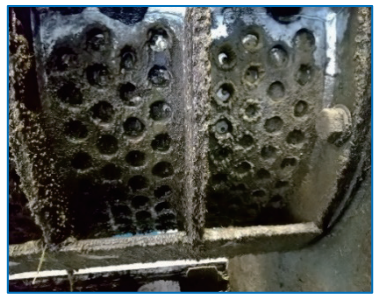


写真4 メッシュの閉塞状況



写真5 清掃後のメッシュ状況

#### トラブルへの対応

ア. 固液分離機の固形物排出口が詰まり、固形物があふれ出した。  
この対策は、破砕機により、長物を細かくせん断することにより、発生頻度は軽減された。しかし、時々トラブルが発生するため、分離固形物の排出のされ方を確認しつつ、対応を行っている。

イ. 固液分離機入口ホッパー内のオーバーフロー配管が藁により、閉塞した。

この対策については、ふん尿原料内の固形物量が少ない場合、固液分離機の処理能力が低下し、原料投入量と処理量のバランスが崩れ、トラブル発生することが判明した。

ふん尿原料内の固形物濃度を確認しながら運転を行うことにより、入口ホッパーであふれるトラブルは大幅に削減された。

ウ. 固液分離機のパンチングメタルのメッシュが、尿石により閉塞した。

2か月に一度、網目の清掃を実施し、対応している。



今後、清掃作業を軽減するため、水洗浄装置を追加装備する等、抜本的な対策を検討している。

## ②メタン発酵槽

### 事例②-1 発酵槽設備トラブル

<p>トラブル発生 の 工程</p>	<p>②メタン発酵槽</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>円柱型メタン発酵槽上部の木製の梁を支える金具が腐食により劣化し、梁が落ちた（写真参照）。</p> 
<p>トラブルへの対応</p>	<p>大規模改修により修繕を実施した。発酵槽上部に設置していたガスホルダを移設した。また、水中攪拌機を壁付攪拌機に変更した。</p> 

### 例②-2 圧カトラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（発酵槽攪拌機の水封切れトラブル）
トラブルの概要	<p>本プラントで導入している発酵槽攪拌機は、発酵槽との貫通部において水封されており、発酵槽の内部圧力が約3kPa以上になると、水封が切れ、バイオガスが放出され、安全弁としての機能を発揮する機構を有している。この水封部の水の残量を確認し、適宜、追加する必要があるが、夏場の気温上昇に伴い、水が蒸発し、発酵槽内のガスが漏れてしまった。</p> <p>（写真1～2）</p> <p>発酵槽内のバイオガスは、除湿器のプロアで常時引き抜かれているため、長時間水封が切れた状態が続くと、この個所から空気が混入し、バイオガス中の酸素濃度が上昇する。バイオガス中の酸素濃度が上昇すると、ガス発電機が酸素濃度の異常を感知し、緊急で停止する。</p>
	 
	<p>写真1 攪拌機と発酵槽の貫通部      写真2 攪拌機と発酵槽の貫通部(詳細)</p>
トラブルへの対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水封が切れた際には、水を補充し機能を回復した。</li> <li>・点検日ごとに水封状況を確認し、再発防止を図っている。</li> </ul>

### 事例②-3 圧カトラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽
トラブルの内容	消化液の引き抜きラインが開放となり、槽内が負圧になり発酵槽が歪んだ。
トラブルへの対応	発酵槽に負圧防止のバルブを設置した。

### 事例②-4 圧カトラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽
トラブルの内容	<p>発泡し、バイオガスラインに液交じりの泡が流れ込んだ。</p> <p>フレームアレスターが詰まり圧力警報が常時ONとなった。消泡水ラインでは賄いきれなかった。</p>
トラブルへの対応	消泡剤の注入設備を追加で設置した。泡検知器を設置した。



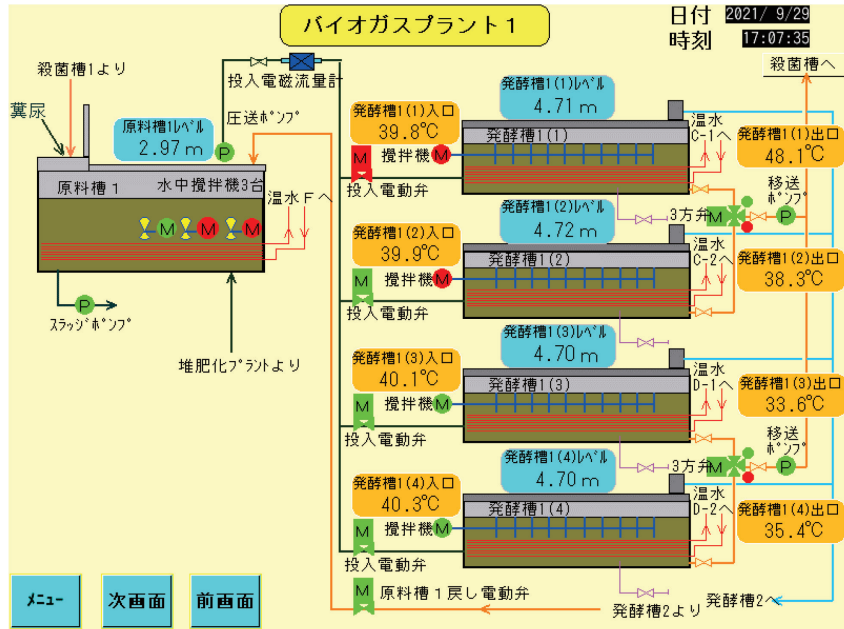
事例②-5 堆積物トラブル

トラブル発生工程	②メタン発酵槽（①原料受入れ設備と前処理設備にも記載）
トラブルの概要	残土が堆積した。
トラブルへの対応	搬入物を土篩機により篩（ふるい）を行う事により、残土の除去を行う。 搬入者に注意喚起を行う。

事例②-6 堆積物トラブル

トラブル発生工程	②メタン発酵槽
トラブルの内容	液面にスカム、底面に堆積物がたまり容量が少なくなった。 引き抜きに支障が出た。
トラブルへの対応	消化液を液肥貯留槽に移送し、スカムを人力で排出した。1週間を要した。

事例②-7 堆積物トラブル

トラブル発生工程	②メタン発酵槽
トラブルの概要	長年の使用によりスラッジ等が堆積し、発酵温度が計測場所により差が出ている。
トラブルへの対応	<p>攪拌時間を多くすることにより堆積しているスラッジ等を攪拌した。</p>  <p>原料槽水中攪拌機 入口温度と出口温度に差異が生じた場合、攪拌時間を多くしている。</p>

事例②-8 配管閉塞

トラブル発生工程	②メタン発酵槽、⑥固液分離設備
トラブルの内容	発酵槽への投入配管および脱水ろ液配管のスケーリングにより閉塞した。
トラブルへの対応	定期的な配管洗浄と投入ポンプを増強した。

事例②-9 残さ排出トラブル

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>②⇒⑥ 発酵槽から脱水機までの発酵残さの排出工程(フロー図参照)</p>
<p>トラブルの内容</p>	<p>メタン発酵槽に投入されたごみの中で生ごみや紙ごみ以外の発酵しなかった汚泥混じりのごみ（発酵残さ）を後端部から引抜装置（ピストンポンプ）により注射器の要領で引き抜いた後、脱水機に送り固液分離させ、固形分はごみピットへ、ろ液は排水処理へ送っている。</p> <p>引抜装置～脱水機までの配管内で搬送される発酵残さは通常写真1のようなものだが、これら泥状発酵残さの中には家庭ごみとして収集され、バイオガス化施設に投入された後に粉々になった砂、ガレキ成分（写真2）が一定割合混じっている。これらが配管内に堆積（写真3）し、流路を堰き止め、発酵残さが流れにくくなり、結果的に引抜装置の押出圧が上がり、配管中のゲート弁への負荷が高くなったり、脱水機へスムーズに残さが搬出されないため、排出運転が滞ったりと設備や運転に影響を与えることがある。</p>
<p>バイオガス化施設 処理フロー</p>	
<p>フロー図</p>	
<p>写真1 通常の発酵残さ</p>	





写真2 配管内に溜まっていた砂やガレキ

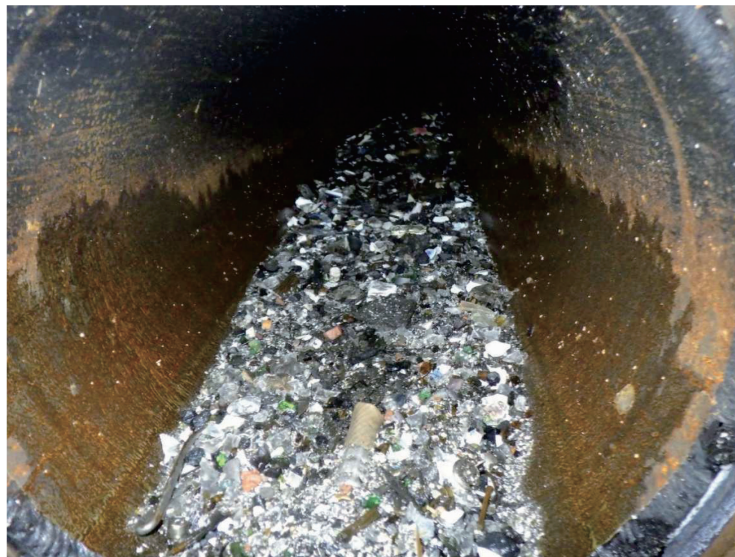


写真3 配管内の鉄・アルミくず、陶器ガラ等

トラブルへの対応内容

配管内に砂・ガレキが堆積し、発酵残さの流路が狭くなってくると、引抜装置の押出圧が高くなってくる。それを検知すると、プaster（※）によって配管内に堆積してきた砂、ガレキを崩し、更に引抜装置を押し引き運転することにより堆積物を揺らすことで発酵残さと混ぜて脱水機まで搬送している。

また、発酵残さと砂、ガレキが混ざりにくいときは、配管内に注水し、より混ざりやすくしている。

※ 付属のタンク（10L）に0.5MPaの窒素を貯蔵し、空気銃の要領で配管内に高圧噴射させる装置。約50mの排出配管に6基のプasterを設置している。

#### 事例②-10 残さ排出トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（乾式横型発酵槽・機械選別）
トラブルの概要	混合収集された一般廃棄物を破碎・選別し、メタン発酵対象ごみを取り出す機械選別により基質を分離し、発酵槽に供給するが、基質に含まれるプラスチック分が槽上部に浮上した。また、金属や砂分が槽下部に沈降することにより、残さの排出不良が発生した。
トラブルへの対応	発酵槽投入基質のTS濃度の管理及び発酵槽内でのTS濃度管理の強化により、固液分離を回避した。 メタン発酵槽攪拌機電流値の監視を強化した（電流値が上昇＝固液分離となり上部に固形物が固まる）。 発酵槽から発酵残さを引き抜く配管を槽上部（プラスチック用）と槽下部（重量物用）に設け、プラスチックや重量物を適切に引き抜く。

#### 事例②-11 残さ排出トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（機械選別）
トラブルの概要	基質・発酵残さ配管に使用している仕切弁で、基質・発酵残さ中の異物に起因する動作不良が発生した。
トラブルへの対応	仕切弁に水洗浄機構を追加し、弁動作後に洗浄した。

#### 事例②-12 残さ排出トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（機械選別）
トラブルの内容	メタン発酵槽に投入するための基質を作成する機器（選別ごみミキサー）で、発酵槽投入時に、選別ごみミキサーからの引抜ができない。排出部でのブリッジ等が発生する。
トラブルへの対応	選別ごみミキサーでの混ぜ方（スクリーの回転方法）を、排出部でブリッジを起こさない状況になるよう変更した。ミキシング方法の変更を実施した。 また、スクリーへの巻付き等が排出不具合の原因となる場合があるため、排出部の監視カメラでの監視強化と、現場点検時の除去作業を行い対応した。

事例②-13 計測器トラブル

<p>トラブル発生 の 工程</p>	<p>②メタン発酵槽（発酵槽水位計のトラブル）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>発酵槽の水位計は差圧式である。発酵槽上部（気相部）と下部（水中部）の圧力を測定している。発酵槽上部は屋外であり、外気温の影響を直接受ける。厳冬期、外気温がマイナス25℃以下まで低下したことに伴い、屋外に設置している水位計のセンサーチューブ内のオイルが硬化し、発酵槽水位が正常な値を出力できなくなった。このため発酵槽へのふん尿原料の投入及び発酵槽からの引き抜きに支障をきたすトラブルが発生した。</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>トラブル原因が、外気温によるセンサーチューブ内のオイル硬化であることが判明したため、対応方法としては、水位計のセンサーチューブに対し、テープヒーターを巻き、保温被覆を行うことで、水位計に使用されているオイルの硬化を防ぎ、発酵槽の水位出力の異常を回避できるようにした。 （写真1～3参照）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="517 815 887 1285" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="517 1352 887 1823" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="935 1352 1305 1823" data-label="Image"> </div> </div>

写真1 対応前の状況

写真2 テープヒーターの設置状況

写真3 保温被覆の状況

#### 事例②-14 計測器トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（酸生成槽）
トラブルの概要	メタン発酵槽（酸生成槽）のpHを適正値に制御する制御用pH計の更生不良により、酸またはアルカリが過剰に注入され適正値をオーバーした。
トラブルへの対応	pH計を更生し、適正値になるように循環運転を実施した。また、嫌気汚泥の入替（適正値を超え死滅した場合）を行った。

#### 事例②-15 計測器トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（酸生成槽）
トラブルの概要	メタン発酵槽（酸生成槽）のpHを適正値に制御する制御用pH計電極に、スケールが付着したことによる誤指示で、酸またはアルカリが過剰に注入され適正値をオーバーした。
トラブルへの対応	pH計電極を洗浄し、適正値になるように循環運転を実施した。また、嫌気汚泥の入替（適正値を超え死滅した場合）を行った。

#### 事例②-16 計測器トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（酸生成槽）
トラブルの概要	メタン発酵槽（酸生成槽）のpHを適正値に制御する制御用pH計電極が、硫化水素ガスによる劣化が原因による誤指示で、酸またはアルカリが過剰に注入され適正値をオーバーした。
トラブルへの対応	pH計電極の交換を行い、適正値になるように循環運転を実施した。また、嫌気汚泥の入替（適正値を超え死滅した場合）を行った。

#### 事例②-17 計測器トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽（酸生成槽）
トラブルの概要	メタン発酵槽（酸生成槽）の水温を適正値に制御する温度計センサー部に、スケールが付着したことにより誤指示し、加温するための蒸気過剰投入または蒸気不足により適正値をオーバーした。
トラブルへの対応	温度計を洗浄した。また、嫌気汚泥の入替（適正値を超え死滅した場合）を行った。

#### 事例②-18 TS濃度トラブル

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽
トラブルの概要	繊維物の大量投入で発酵槽内の固形物濃度が上昇し、攪拌機の電流値が上昇し、脱水機の負荷が増加した。
トラブルへの対応	繊維物は分解速度が遅いので、投入量の調整を行い対応した。



事例②-19 発酵阻害

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽
トラブルの概要	(1)発酵不良 (2)突沸
トラブルへの対応	(1)消化液の有機酸濃度の管理強化（上昇傾向の早期予知の実行） （毎日の測定を実施） (2)有機酸濃度の急速な上昇がありながら、バイオガスの発生がそれに追従しない場合に発生する可能性があることを認知し、事前回避（投入量の低下、発酵槽濃度の低下）を行う。事象が発生した場合は、発酵槽内部圧力の低下を実施する。緊急ガス抜き弁を開放し、消泡剤を投入する。

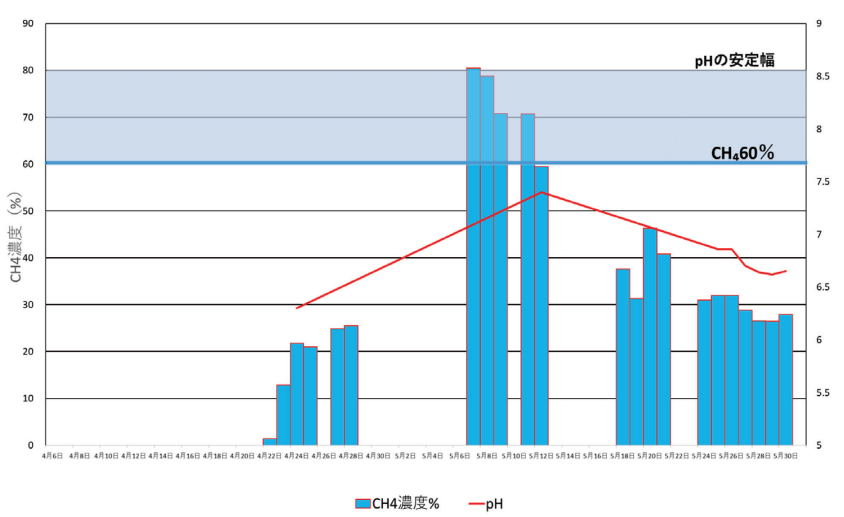
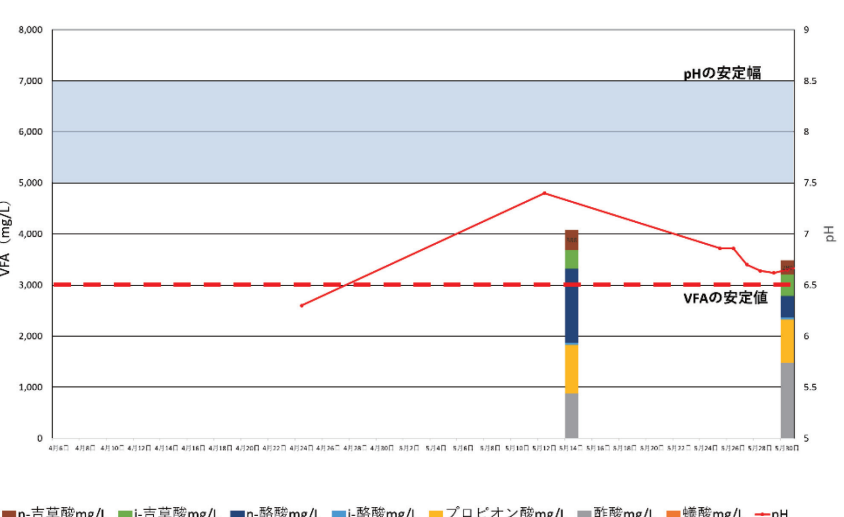
事例②-20 発酵阻害

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽
トラブルの内容	原料投入量、pH、温度、ORPなど、一通りの数値は問題ないにもかかわらず、少しでも有機分量が多いと、pHの低下やメタン濃度の低下がみられ、非常にシビアな原料コントロールを強いられていた。
トラブルへの対応	食品廃棄物のみで運転する場合、微量元素が足りなくなる傾向にあることがわかった。主に鉄、ニッケル、コバルトであった。測定してみると鉄はある程度入っていたが、ほかの2つの元素は全くなかった。この2種類を適量入れることにより解決し、安定した運転管理ができるようになった。客先に納めたプラントにも規模に応じて頻度や量を指示して定期的に入れるようにしてもらっている。また、数か月に一度、VFAの測定をお願いしている。

事例②-21 発酵阻害

トラブル発生の工程	②メタン発酵槽
トラブルの内容	納入したプラントのトラブルの中で最も多いトラブルは原料の投入過多である。逆にそれ以外のトラブルはないといっても過言ではないくらい、投入過多によるトラブルは起こる。原料を多く入れ過ぎると、メタン菌が処理しきれない酸が溜まり、それによってメタン菌が減少、メタン濃度の低下やpHの低下を招き、最終的には酸敗になりメタン発酵槽としては機能しなくなった。結果、中身を入れ替えることになり多額の費用が掛かった。
トラブルへの対応	メーカーとして、多すぎる原料の投入は、減らすか止めるように警告をしても、顧客としてはいつも以上にガスも電気も大量に発生するため少しくらい大丈夫だろうと考えるところが多い。最終的にダメになるまで数週間かかるが、全くガスが出なくなる日が突然来て慌てるケースがよくある。そのような個別具体的な事例を次の顧客に伝えて注意喚起している。

事例②-22 発酵阻害

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>②メタン発酵槽（メタン濃度異常とVFA蓄積トラブル）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>2020年2月27日より開始した発酵槽立上げ時において発生するバイオガス中のメタン濃度が異常に高い値を示し、不安定となり、発酵槽内のpHが酸側に傾き酸腐の兆候が確認された。(図1参照)</p>  <p>図1 CH<sub>4</sub>濃度とpHの関係（日量変化）</p> <p>発酵槽内のVFA(揮発性脂肪酸)を分析したところ、異常に高い値を示したため発酵槽への原料投入を一旦停止した。(図2参照)</p>  <p>図2 VFAとpHの関係（日量変化）</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>発酵槽の攪拌機は継続して稼働させ槽内が均一になるようにし、また、槽内の加温も継続して38℃を保ち続けるよう留意した。</p> <p>2020年5月27日から2020年6月17日までの22日間、原料投入を停止することにより、pHがメタン菌の活性が高いことを示すアルカリ側に回復し、さらにVFA値が下がり傾向を示すようになった。(図3参照)</p>

この状態を踏まえて2020年6月18日より原料投入を再開した。  
原料投入量の推移を図4に示す。

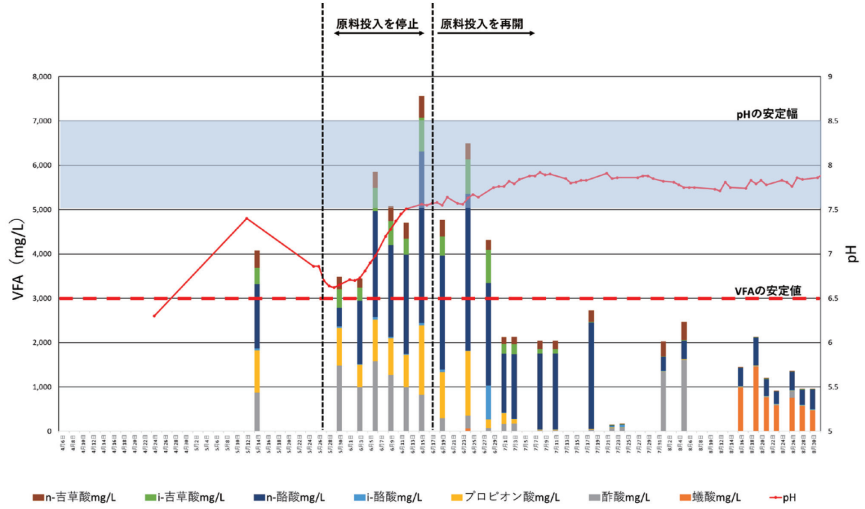


図3 VFAとpHの関係（日量変化）

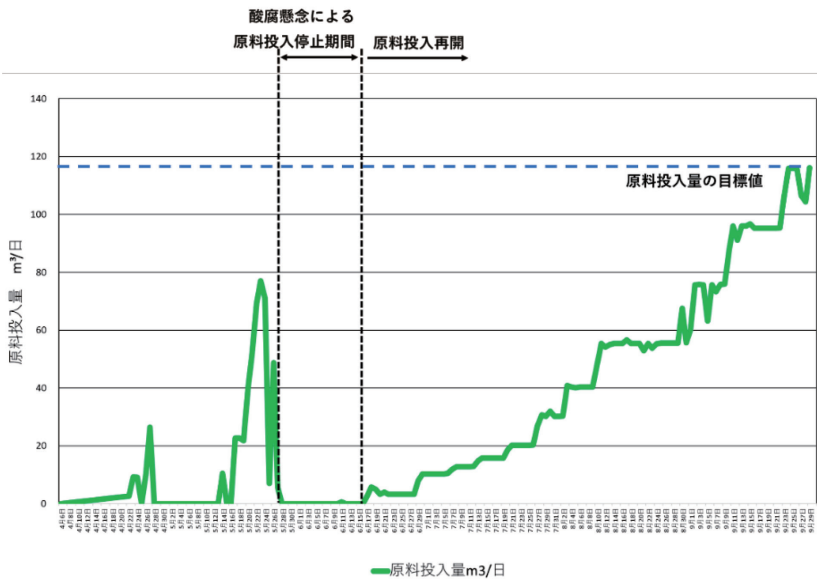


図4 原料投入量の推移（日量変化）

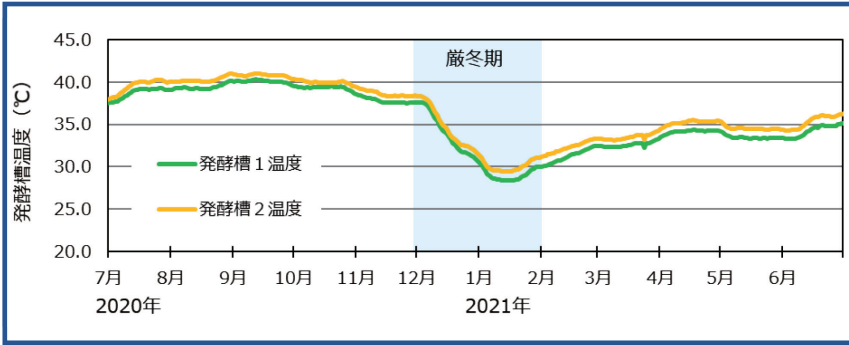

事例②-23 発酵阻害

トラブル発生工程	②メタン発酵槽
トラブルの概要	アンモニア濃度の上昇による発酵阻害が発生した。
トラブルへの対応	定期的にアンモニア濃度を測定し、濃度上昇時には適切に希釈した。

事例②-24 発酵阻害

トラブル発生工程	②メタン発酵槽
トラブルの内容	槽内のアンモニア性窒素濃度が6,000mg/lを超え、発酵不良となった。 水処理の窒素除去が能力オーバーとなった。
トラブルへの対応	原料の性状を分析し、窒素含有量の多い原料を排除した。

事例②-25 温度低下

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>②メタン発酵槽（急激な温度低下）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>厳冬期に、ガス発電機のトラブルが頻発し、熱供給量が著しく低下した。このため、発酵槽（有効容積：2,900m<sup>3</sup>）の温度が急低下し、急激な温度低下により（図1参照）、菌体の活性が低下したため発酵槽から発生するバイオガス量が一時的に激減した。（図-2参照）</p>  <p style="text-align: center;">図1 発酵槽温度の挙動</p>  <p style="text-align: center;">図2 ガス発生量の挙動</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>バイオガス発生量は激減したが、幸いにもメタン濃度は60%程度を維持しており、ガス発電機およびバイオガスボイラーを使用する濃度としては、問題が無かったため、以下の手順で発酵槽の安定化に努めた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ア. バックアップボイラ（灯油ボイラ）による熱供給を行った。 （※1日で約500リットルの灯油を消費×1週間程度）</li> <li>イ. ガス発電機の運転台数を2台→1台とし、更に発電出力を抑制（定格出力400kWを200～250kW程度）し、出来る限り、連続的にガス発電機の運転を行い、貯湯槽の温度維持を行った。</li> <li>ウ. 発酵槽の温度低下を抑制するため、発酵槽へのふん尿原料の投入量を一時的に減少させた。</li> <li>エ. 殺菌槽で加温された消化液を、バイパスルート確保した上で、発酵槽に一定量の移送を行った。</li> </ul> <p>なお、発酵槽が安定化し、バイオガス発生量が回復するまでに約1か月の期間が必要であった。（図3～5参照）</p>



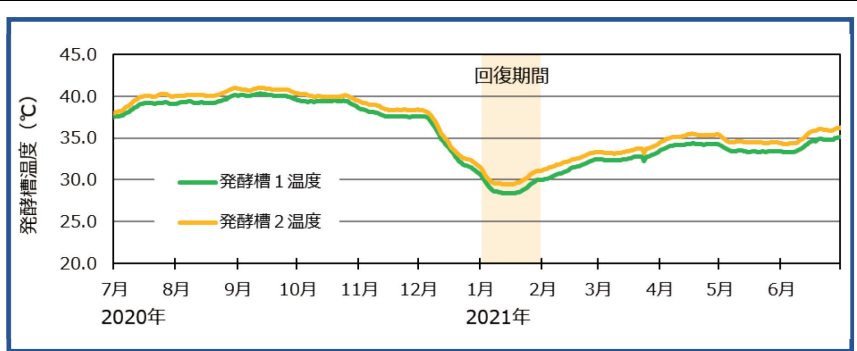


図3 発酵槽温度の挙動



図4 ガス発生量の挙動

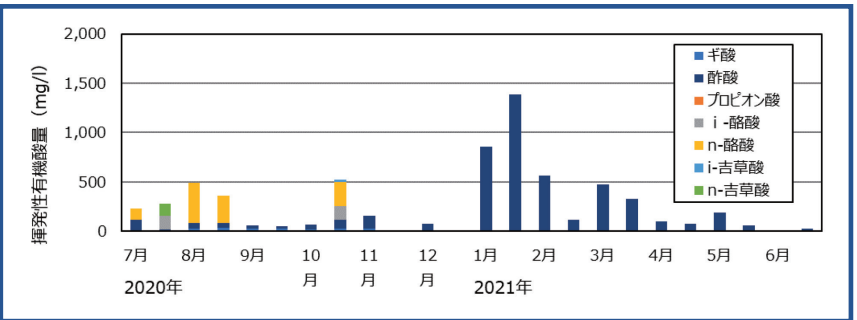


図5 VFA（揮発性脂肪酸）の挙動

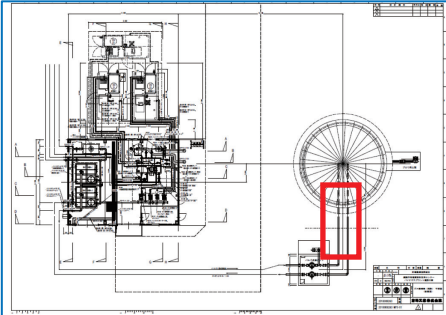



以下の項目（表1参照）について、月2回の分析を行い、ふん尿原料や発酵状況等の確認等を継続して行っている。

表1 分析項目

項目名	単位	項目名	単位
pH値	--	蟻酸	mg/L
蒸発残留物	mg/L	酢酸	mg/L
強熱減量	mg/L	プロピオン酸	mg/L
電気伝導度	mS/cm	i-酪酸	mg/L
化学的酸素要求量 (COD <sub>Cr</sub> )	mg/L	n-酪酸	mg/L
アンモニア性窒素	mg/L	i-吉草酸	mg/L
		n-吉草酸	mg/L

### ③ガスホルダ

#### 事例③-1

<p>トラブル発生工程</p>	<p>③ガスホルダ</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>本プラントでは、設備のレイアウト上、各設備が離れて配置されている。このため、発酵槽からガスホルダまでのバイオガス配管の一部を埋設している。また地域の特別な理由であるが、本プラントが設置されている地域は非常に軟弱な地盤が広がっている。施工時、バイオガス配管を埋設するにはレベルを出しながら施工したものの、躯体の沈下により、埋設配管が影響を受け、個所によっては逆勾配になってしまったところもある。</p> <p>バイオガスは発酵槽から発生した時点で100%の飽和水蒸気を含んでおり、ガスに含まれる水分を除湿器等で除去し利用している。しかし除湿器の能力では数℃程度の冷却が限界であり、厳冬期においてガスバックに貯留されたバイオガスは、更に冷却され、結露水を発生させる。発生した結露水はガスホルダ手前の水抜き配管で除去できるように設計しているが、前述の通り、地盤の悪さから逆勾配となってしまう配管においては、その個所に結露水が溜まり、バイオガスが流れなくなってしまう。この理由により発酵槽内部の圧力が上昇し、ガスの安全弁からバイオガスが流出した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">図1 結露水が溜まった配管                      写真1 結露水が溜まった状態</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>結露水が溜まる個所の配管（ガスホルダ入口配管および出口配管）に、結露水を抜くための配管を設置した。前述の通り、ガスバックに貯留されたバイオガスが冷却されて、結露水を発生、その結露水がバイオガス配管を閉塞するトラブルを回避するため、どの程度の頻度で水抜きが必要かを把握する必要がある。</p> <p>ア. 水抜きの回数、イ. 引き抜いた水の量、ウ. 外気温度、 エ. 延べバイオガス貯留量等のデータから推測できるように、データを蓄積していく。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">写真2 結露水が溜まった配管                      写真3 水抜き配管の設置状況</p>

事例③-2

トラブル発生の工程	③ガスホルダ
トラブルの概要	メンブレン式ガスホルダから、バイオガスの臭気が漏出した。
トラブルへの対応	外部鋼板製、内部メンブレン式のガスホルダとし、鋼板とメンブレンの間の空間については換気により負圧を確保した。

事例③-3

トラブル発生の工程	③ガスホルダ
トラブルの内容	メンブレン式ガスホルダにて玉ねぎ臭が外部に漏れる。
トラブルへの対応	ガスホルダ前段で活性炭脱臭を行い、臭気を除去する。

事例③-4

トラブル発生の工程	③ガスホルダ
トラブルの内容	ガスラインに凝縮水がたまりラインを閉塞させた。 凝縮水が凍結しラインを閉塞させた。
トラブルへの対応	除湿装置の性能をアップした。 凝縮水のたまりをなくすため、引抜ラインと弁を取り付けた。

事例③-5

トラブル発生の工程	③ガスホルダ
トラブルの内容	メンブレン式ガスホルダに飛来物が当たり破損した。
トラブルへの対応	強風時には貯留ガスを抜き取ることを徹底した。

## ④脱硫装置





### 事例④-1

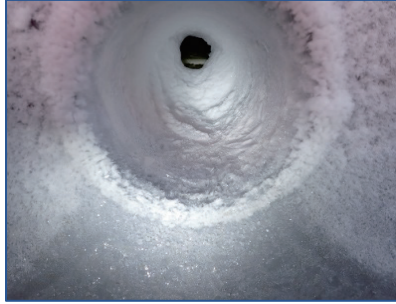

トラブル発生 of 工程	④脱硫装置
トラブル of 概要	冬期間 of 寒さにより生物脱硫 of 能力が落ちる。
トラブルへの対応	乾式脱硫資材 of 交換回数を増やしている。今後、生物脱硫装置 of 設置場所等について移設も含めて検討していく予定である。

### 事例④-2

トラブル発生 of 工程	④脱硫装置
トラブル of 内容	生物脱硫（発酵槽内）が季節的に性能が低下し、乾式脱硫（活性炭脱硫）装置 of 能力を超え発電機に悪影響を与えた。 立ち上げ時にも同様のことが起こった。
トラブルへの対応	生物脱硫後段 of 脱硫装置 of 能力をアップさせた。

### 事例④-3

トラブル発生 of 工程	④脱硫装置（乾式脱硫装置 of 内部配管凍結によるトラブル）
トラブル of 概要	屋外に設置した乾式脱硫装置内部 of 凍結により、配管がほぼ閉塞状態となった。このためバイオガス of 流れを阻害され、発酵槽 of 内圧が上昇した。確認作業 of 結果、乾式脱硫装置上部にてバイオガスが冷却され、結露水が発生していた。（写真1～4参照）脱硫装置内部 of 配管を、バイオガスが通過する際に、結露水も共に引き抜かれ、配管内部 of 凍結を助長し、閉塞状況となったと推測される。（写真5参照）
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真1 乾式脱硫塔の確認作業</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真2 乾式脱硫塔の上部蓋</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真3 乾式脱硫塔の上部</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真4 乾式脱硫塔の下部</p> </div> </div>

	 <p>写真5 乾式脱硫塔内部の配管の 閉塞状況</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>乾式脱硫塔の上部蓋の外側に、断熱材を取り付け、直接外気に触れないように対策を行った。この対策により、同様のトラブルの発生は回避できた。</p>  <p>写真6 乾式脱硫塔上部蓋に断熱材 を取り付けた状況</p>

事例④-4

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>④脱硫装置</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>バイオガス中の水分により脱硫剤が結露した。</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>メタン発酵槽と脱硫装置の間で除湿した。</p>

事例④-5

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>④脱硫装置</p>
<p>トラブルの内容</p>	<p>乾式脱硫装置内に結露（凝縮）が起こり、性能が低下した。</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>前段の脱湿装置の能力を上げた。</p>



## ⑤発電装置

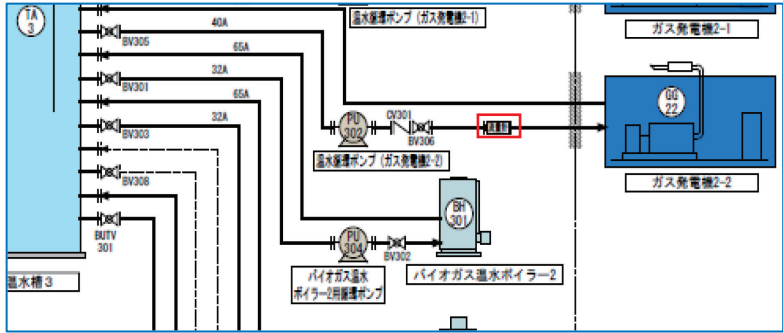

### 事例⑤-1

トラブル発生 of 工程	⑤発電装置
トラブル of 概要	発電機設置場所 of 環境が悪く（原料受入れ設備 of 隣）原料から発生するアンモニアや硫化水素等 of 影響により基盤部分 of 故障が多い。
トラブルへの対応	設置場所 of 環境改善のため、換気装置 of 増強を図った。  <p>発電設備 of 環境が悪く、故障が発生している。 換気装置 of 状況を行った。</p>

### 事例⑤-2

トラブル発生 of 工程	⑤発電設備
トラブル of 概要	発電機更新時に従来の発電機より大型となったため、既存の場所に設置できない。
トラブルへの対応	 <p>発電機が大型となったため、既存の場所に設置できない。 新たな建屋を整備し、設置を行った。</p>

事例⑤-3

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>⑤発電装置（ガス発電機の温水配管の凍結トラブル）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>厳冬期においてガス発電機にトラブルが発生し、長期間停止することになった。この際、屋外に設置した温水配管の凍結を考慮するべきであったが、大丈夫だろうと考え、対処を怠った。このため凍結により配管の継手部が破損した。</p>  <p style="text-align: center;">図 1 凍結箇所</p>  <p style="text-align: right;">写真 1 配管の破損状況</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>ガス発電機の運転制御を変更し、ガス発電機の長期運転停止時でも、温水循環ポンプを手動運転し、凍結防止を行っている。</p> <p>配管の凍結は、どこでも起こりうるトラブルであり、少し気をつければ防げるトラブルである。外気温の低下に注意を払うだけでなく、常時風が強く吹き付ける個所についても、同様の注意が必要である。</p>

事例⑤-4

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>⑤発電装置</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>発電機を立ちあげる際の着火トラブルや発電出力の大幅変動が生じた。</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>メタン濃度の変動について四季変動等の調査を行い、季節ごとに空燃比の調整を実施した。</p>

事例⑤-5

トラブル発生の工程	⑤発電装置
トラブルの概要	<p>ガス発電機の運転が不安定となった。</p> <p>厳冬期において、屋外に設置したガス発電機が、不着火となり燃焼が安定しないトラブルが発生した。</p>
トラブルへの対応	<p>原因を調査したところ、ガス発電機内部に結露水が溜まっており、これが不着火や燃焼が安定しない現象の原因であることが分かった。次に結露水がどこから発生するのかを検討したところ、建屋から屋外のガス発電機に接続されているバイオガス配管は被覆されておらず、距離は短いものの、暖かい建屋内と屋外の気温差は大きく、この気温差によって結露水が発生すると推測した。</p> <p>対応策として、ガス発電機内に溜まった結露水を排出できるように水抜き配管を取り付け、更にバイオガス配管が外気で直接冷却されないようにするため、保温被覆を行った。この対応策により、ガス発電機の不着火および燃焼の不安点は改善された。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真1 ガス発電機水抜き配管の設置</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真2 ガス発電機内の結露水</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真3 バイオガス配管の被覆</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真4 バイオガス配管の被覆</p> </div> </div>

事例⑤-6

トラブル発生の工程	⑤発電装置
トラブルの概要	バイオガスに含まれた水分により、エンジンが失火し停止した。
トラブルへの対応	バイオガスを冷却し、水分の除去（除湿装置の強化）を実施した。



事例⑤-7

トラブル発生の工程	⑤発電装置
トラブルの内容	バイオガス中の水分、異物混入により停止した。
トラブルへの対応	ミストセパレーターの設置、異物除去フィルターの定期清掃を行った。

事例⑤-8

トラブル発生の工程	⑤発電装置
トラブルの内容	ガス精製したバイオガス中の湿度が高くなり発電機の効率が下がった。
トラブルへの対応	脱湿設備の能力をアップした。

事例⑤-9

トラブル発生の工程	⑤発電装置
トラブルの内容	バイオガス中のシロキサンがエンジンシリンダーに付着した。
トラブルへの対応	シロキサン除去用活性炭の適切な量、品質の確保を行った。

事例⑤-10




トラブル発生の工程	⑤発電装置
トラブルの内容	下水由来のシロキサンにより、エンジンピストンに酸化シリカが付着し、エンジンが破損した。
トラブルへの対応	シロキサン除去装置により、バイオガス中からシロキサンを吸着除去する。

事例⑤-11

トラブル発生の工程	⑤発電装置
トラブルの内容	脱硫装置の能力不足で硫化水素濃度が500ppmにまで上昇し発電設備が停止した。
トラブルへの対応	脱硫装置の能力アップ（交換頻度の増加）を行った。

## ⑥固液分離設備


### 事例⑥-1

トラブル発生工程	⑥固液分離設備（固液分離機からの消化液の流出トラブル）
トラブルの概要	<p>本プラントでは、消化液を固液分離（無薬注）し、分離した固形分は再生敷料もしくは堆肥として利用している。</p> <p>固液分離機内部のスクリーンが詰った場合には、固液分離機に投入された消化液は、リターン（オーバーフロー）配管から、消化液槽に戻る構造となっている。このときはリターン配管が消化液に含まれる何らかの異物によって閉塞し、行き場を失った消化液があふれ出るトラブルが発生した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>写真 固液分離機から溢れ出た 消化液の状況</p> </div>
トラブルへの対応	固液分離機内部で使用されているスクリーン清掃を、3か月に1度行うとともに、リターン配管の清掃を1か月に1度行い、トラブルの再発防止に努めている。

### 事例⑥-2

トラブル発生工程	⑥固液分離装置（機械選別）
トラブルの概要	発酵残さ中のプラスチック等により、スクリー式脱水機が過負荷となる。
トラブルへの対応	プラスチックを過度に圧縮しないよう、スクリーをテーパタイプからストレートタイプに変更した。

事例⑥-3

トラブル発生の工程	⑥固液分離設備
トラブルの概要	配管、ろ布等へ炭酸カルシウムが付着した。
トラブルへの対応	<p>ベルトプレス機の配管、ろ布に炭酸カルシウムが付着し、流量低下、脱水不良等の影響が出る。</p> 

事例⑥-4

トラブル発生の工程	⑥固液分離装置
トラブルの概要	消化液を固液分離することが急速に悪化する（含水率が下がらない）
トラブルへの対応	脱水助剤（ポリマー）濃度を変更する。それでも変化が無い場合は、種類を変更する。

事例⑥-5

トラブル発生時の工程	⑥固液分離装置（無薬注）
トラブルの内容	フィルタースクリュープレスのスクリーンにスケールが付着し能力が低下した。
トラブルへの対応	スクリーンの目幅、洗浄頻度及び洗浄剤を変更した。

事例⑥-6

トラブル発生時の工程	⑥固液分離装置（薬注）
トラブルの内容	凝集剤の費用がかさむ。
トラブルへの対応	適切な凝集試験を定期的実施した。季節的にも薬剤が変わる。

事例⑥-7


トラブル発生時の工程	⑥固液分離装置（薬注）
トラブルの内容	無機凝集剤の使用により発泡が激しく装置が停止した。
トラブルへの対応	無機凝集剤の使用を中止し、適切な高分子凝集剤の選定を行った。

事例⑥-8

トラブル発生時の工程	⑥固液分離装置（⑩脱臭設備にも掲載）
トラブルの内容	臭気問題
トラブルへの対応	<p>消化液を固液分離（遠心分離）して液体を排水処理していたが、脱臭剤や換気設備で対処できなかった。発酵状態が良くBODがしっかりと消費されていても消化液からは臭気が発生していた。建屋で困ったり、脱臭設備を構えたり、いくつかの対策を行ったが効果はなく、臭気は発生・飛散した。</p> <p>排水処理設備を守るために入り口で固液分離をしていたが、それが臭気の原因となっていた。プロセスを変え、消化液は固液分離せずに排水処理設備で処理して、引き抜き汚泥を脱水することにして臭気問題は解決した。受入れ場など生ごみの臭気は建屋で困って清掃をきちんと行えば周囲に飛散することはほとんどないが、消化液の臭気はどのような対策に対しても効果はなかった。よって、弊社では消化液は発酵槽から排出されて以降、排水処理設備まではできるだけ管路を通るようにしている（空気に触れないようにしている）。一応、受入槽などは24時間定期的に脱臭剤を自動で散布するようにしているが、近隣住宅からのクレームなどは一切ないし、見学者も臭気に関しては特に指摘を受けたことはない。</p>

## ⑦好気性発酵設備（固形分の堆肥化設備）

### 事例⑦-1

トラブル発生の工程	⑦好気性発酵設備（固形分の堆肥化設備）
トラブルの内容	<p>【施設概要】堆肥化施設では脱水機で分離された固形分（脱水ケーキ：12.5t/日、含水率70%）が発酵棟へ運ばれ、肉牛や育成乳牛のふん尿と混ぜロータリー式の攪拌機で25日間攪拌しながら一次発酵する。二次発酵では、堆肥舎に搬送されて堆積発酵するが、約2週間に一度、ホイールローダで切り返ししながら約65日間で発酵を終了し、完熟堆肥として、バラあるいはフレコンバックや袋詰めして出荷する。</p> <p>発酵棟にコンクリート塊やブロック、石、ロープ、鎖、金属等の混入がある。異物によりロータリー式攪拌機の破損及び故障の原因になった。</p>
	
	写真1 混入異物のロープ
トラブルへの対応	利用者への口頭及び書面での注意喚起を行った。

### 事例⑦-2

トラブル発生の工程	⑦好気性発酵設備（固形分の堆肥化設備）
トラブルの内容	<p>ロータリー式攪拌機の脱線、及び墜落。</p> <p>台車がないにもかかわらず、攪拌機を動かし墜落した。台車がズレていたことで、攪拌機が脱線したという事例があり、いずれも人為的操作ミスであった。</p>
トラブルへの対応	攪拌機を全自動及び一部自動化することで事故発生はなくなった。

### 事例⑦-3

トラブル発生の工程	⑦好気性発酵設備（固形分の堆肥化設備）
トラブルの内容	<p>堆肥舎フロアの閉塞が発生した。</p> <p>フロア配管に堆肥が詰まり閉塞するため、頻繁に掃除をする必要があったが、業務多忙により清掃ができなくなりフロアが閉塞した。</p>
トラブルへの対応	フロアは発酵を促すための設備のため、フロアによるエアレーションではなく、ホイールローダで定期的に攪拌・切り返しを行い、堆肥化を行い問題を解消した。



事例⑦-4

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>⑦好気性発酵設備（固形分の堆肥化設備）</p>
<p>トラブルの内容</p>	<p>消化槽から引き抜いた汚泥の性状で、粘性度が高い状況が冬場に多くみられ、脱水ケーキの性状が不安定となり対応に苦慮している。</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>脱水ケーキの性状安定を図るため、凝集剤などの品質改良に努めている。また、各々の受託者により汚泥の状況について、常時情報交換を実施している。</p> <div data-bbox="512 544 1197 1512" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="574 1518 1077 1556">A3.2.10. 奥. w81.09% 手前. w76.40%</p> <p data-bbox="507 1585 1177 1621">写真1 奥：含水率81.09% 手前：含水率76.40%</p>

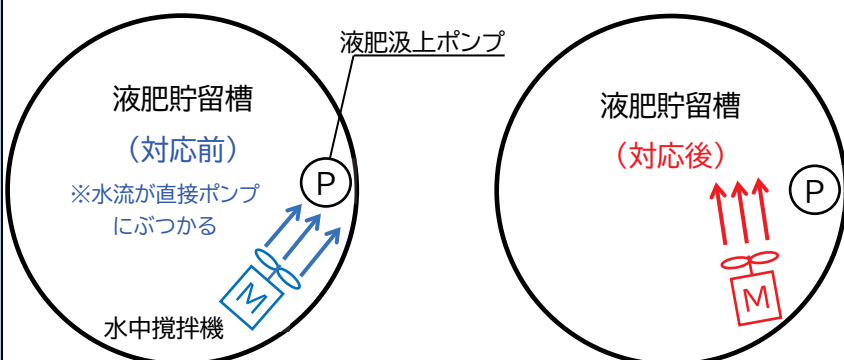
## ⑧液肥貯留設備

### 事例⑧-1

トラブル発生 of 工程	⑧液肥貯留設備
トラブル of 概要	スカムの堆積
トラブルへの対応	<p>トラクター-PTOによる攪拌機を整備し、攪拌能力を増強した。</p>  <p>PTO攪拌機</p>

### 事例⑧-2

トラブル発生 of 工程	⑧液肥貯留設備（液肥貯留槽の液肥汲上ポンプのトラブル）
トラブル of 概要	<p>消化液を散布するため、液肥貯留槽に設置した液肥汲上ポンプを使い、スラースプレッダーに消化液を投入する際、ポンプのサーマルがトリップするトラブルが発生した。</p> <p>液肥汲上ポンプの重量は約500kgあり、水槽内から人力による取り出しができないため、クレーン車を手配し、ポンプの取り外し作業を実施した。（写真-1参照）</p> <p>ポンプを確認したところ、吸込み部に異物が入り、始動不可となっていることが判明した。（写真-2参照）</p>   <p>写真-1 液肥汲上ポンプ 取り出し作業</p>   <p>写真-2 液肥汲上ポンプに絡まった異物</p>

<p>トラブルへの対応</p>	<p>液肥貯留槽内に設置した水中攪拌機の角度を調整し、直接、液肥汲上ポンプに水流があたらないようにした。この対応により、異物の絡みつきが少なくなり、問題なく運転することができている。</p>  <p>液肥貯留槽 (対応前) ※水流が直接ポンプにぶつかる 水中攪拌機</p> <p>液肥貯留槽 (対応後)</p> <p>液肥汲上ポンプ</p>
-----------------	--

### ⑨消化液の水処理設備

#### 事例⑨-1

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>⑨消化液の水処理設備</p>
<p>トラブルの内容</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>消化液中のごみが1軸ポンプに絡み付くことによるポンプの破損や、ポンプサククション側の閉塞が発生した。</li> <li>配管内部にMAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）が付着し、配管内部が狭くなり流量が低下した。</li> </ul>
<p>トラブルへの対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バースクリーンの目幅が狭い物に変更し、消化液中のごみを減らした。</li> <li>また、ポンプの手前にストレーナを増設した。</li> <li>消化液中に塩化第二鉄を注入しMAPの形成を防止した。</li> </ul>

#### 事例⑨-2

<p>トラブル発生の工程</p>	<p>⑨消化液の水処理設備</p>
<p>トラブルの内容</p>	<p>消化液の流入温度が35℃前後と高く、さらに水処理の生物反応による発熱で、処理水の温度が上がり、生物処理能力が低下した。</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>排水処理設備に冷却装置を追加した。</p>



## ⑩脱臭設備

### 事例⑩-1

トラブル発生時の工程	⑩脱臭設備
トラブルの概要	汚泥乾燥機からの排ガスのアンモニア濃度が数百ppmあり、脱臭設備が能力不足となった。
トラブルへの対応	乾燥機排ガス専用の水洗浄脱臭装置を追加した。

### 事例⑩-2

トラブル発生時の工程	⑩脱臭設備
トラブルの内容	薬液洗浄装置の酸洗浄ラインにスケールが発生する。
トラブルへの対応	酸系の薬品投入は停止し、水洗浄およびアルカリ洗浄にて運転した。 脱臭性能に問題は無し。

### 事例⑩-3

トラブル発生時の工程	⑩脱臭設備（⑥固液分離装置にも掲載）
トラブルの内容	臭気問題
トラブルへの対応	消化液を固液分離（遠心分離）して液体を排水処理していたが、脱臭剤や換気設備で対処できなかった。発酵状態が良くBODがしっかりと消費されていても消化液からは臭気が発生していた。建屋で困ったり、脱臭設備を構えたり、いくつかの対策を行ったが効果はなく、臭気は発生・飛散した。排水処理設備を守るために入り口で固液分離をしていたがそれが臭気の原因となっていた。プロセスを変え、消化液は固液分離せずに排水処理設備で処理して、引き抜き汚泥を脱水することにして臭気問題は解決した。受入れ場など生ごみの臭気は建屋で困って清掃をきちんと行えば周囲に飛散することはほとんどないが、消化液の臭気はどのような対策に対しても効果はなかった。よって、弊社では消化液は発酵槽から排出されて以降、排水処理設備まではできるだけ管路を通るようにしている（空気に触れないようにしている）。一応、受入槽などは24時間定期的に脱臭剤を自動で散布するようにしているが、近隣住宅からのクレームなどは一切ないし、見学者も臭気に関しては特に指摘を受けたことはない。

## ⑪その他

### 事例⑪-1

<p>トラブル発生時の工程</p>	<p>⑪その他（制御盤内）</p>
<p>トラブルの概要</p>	<p>ふん尿原料を受入れ、固液分離液を貯留する原料分離液槽付近にある制御盤内に設置しているシーケンサーおよびインバーターに不具合が発生した。（写真-1）</p> <p>原因は水槽内から発生している硫化水素および気散したアンモニア等腐食性のガスが制御盤内を冷却するファンにより吸い込まれ、シーケンサーおよびインバーターの内部基盤を腐食させたため、不具合が発生したものと推測される。</p> <div data-bbox="595 705 1262 1088" data-label="Image"> </div> <p>写真-1 固液分離機インバーターにてエラーが発生</p>
<p>トラブルへの対応</p>	<p>(1) 腐食性ガスが強制的に盤内に吸い込まれないように、冷却ファンを停止した。</p> <p>(2) 気化性防錆剤を盤内に設置した。（写真-2参照）</p> <p>気化性防錆剤は、効果の程は明確ではないものの、設置後は不具合の発生が軽減されたように思われる。（使用者の感想）</p> <p>今後、制御盤を乾燥空気でページする、水槽内から発生した腐食性ガスを処理する等抜本的な見直しを検討している。</p> <div data-bbox="577 1547 1283 1910" data-label="Image"> </div> <p>写真-2 制御盤内に設置した気化性防錆剤</p>

事例①-2

トラブル発生の工程	①その他
トラブルの概要	地階床排水ポンプが、コンベヤ等からのドレン中に含まれる固形物により閉塞した。
トラブルへの対応	通常的水中ポンプから破砕機構付き水中ポンプに変更した。

事例①-3

トラブル発生の工程	①その他（配管のスケール付着）
トラブルの概要	メタン発酵槽後の各種配管にスケールが発生し、配管閉塞を起こす。
トラブルへの対応	配管を塩ビ化し付着しにくい仕様に変更した。付着したスケールがはがれやすい素材に変更した（配管を外部からたたき、はがす場合に硬質の塩ビ管では管を割る懸念があり、ホースに変更中である）。

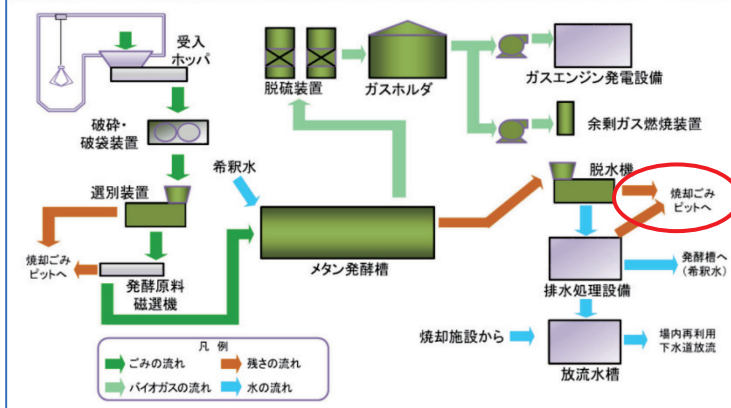
事例①-4

トラブル発生の工程	①駆動装置（減速機の故障）
トラブルの概要	コンベヤ、破砕機、脱水機、乾燥機等の各種装置の減速機の故障（ギアの欠損、オイルの漏れなど）
トラブルへの対応	前兆現象を見定めることが非常に困難である。駆動音、オイルの減り方を記録し、通常との変化があれば、すぐに交換を行う。予備機の購入は必須である。

事例①-5

トラブル発生の工程	①その他 脱水残さを焼却ごみピットへ搬送するコンベヤ（資料のフロー図参照）
トラブルの内容	<p>発酵槽で発酵しなかった残さは脱水機に送られ、固液分離処理し、固形分は焼却ごみピットへ返している。その脱水機からピットへ返送するベルトコンベアの乗継シュート部で閉塞（写真1）、ベルトコンベアのピット落ち口のリターン側（写真2）でのごみの堆積過多が発生し、閉塞解除や堆積した残さを取り除くために長時間コンベアの停止が必要となり、運転に支障をきたすことが多々あった。</p> <p>残さは脱水機で十分に水分を搾り取っているが、それでも含水率は約60%あるため、ベルトやケーシングに張り付くとブリッジの原因となり、それを起因として閉塞が発生する。また、ベルトに張り付いた残さはごみピットへ落ちずにリターン側に回り込み、クリーナーでも掻き落とされなかった残さはベルトから剥がれてケーシング下部へ堆積してしまう。</p>

バイオガス化施設 処理フロー



フロー図

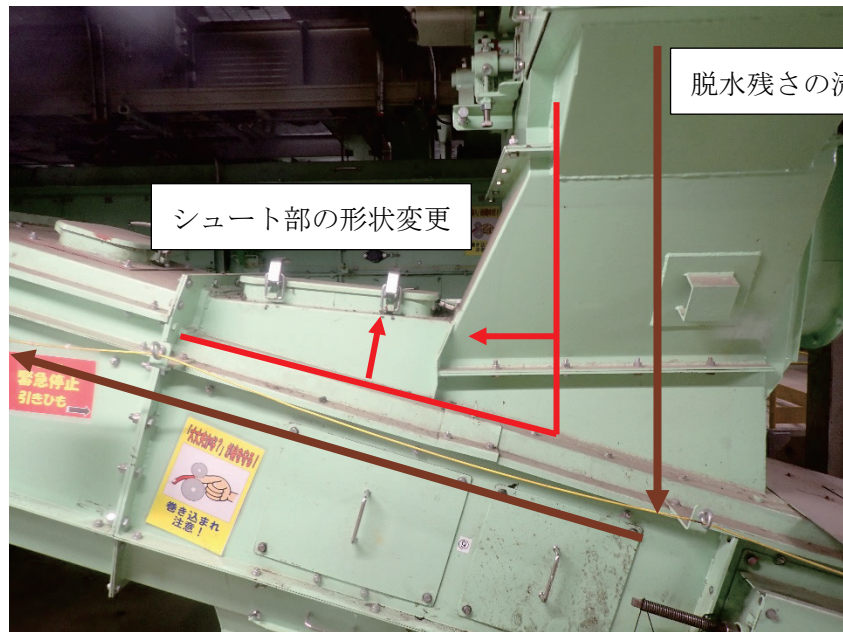


写真1 脱水残さコンベア乗継部

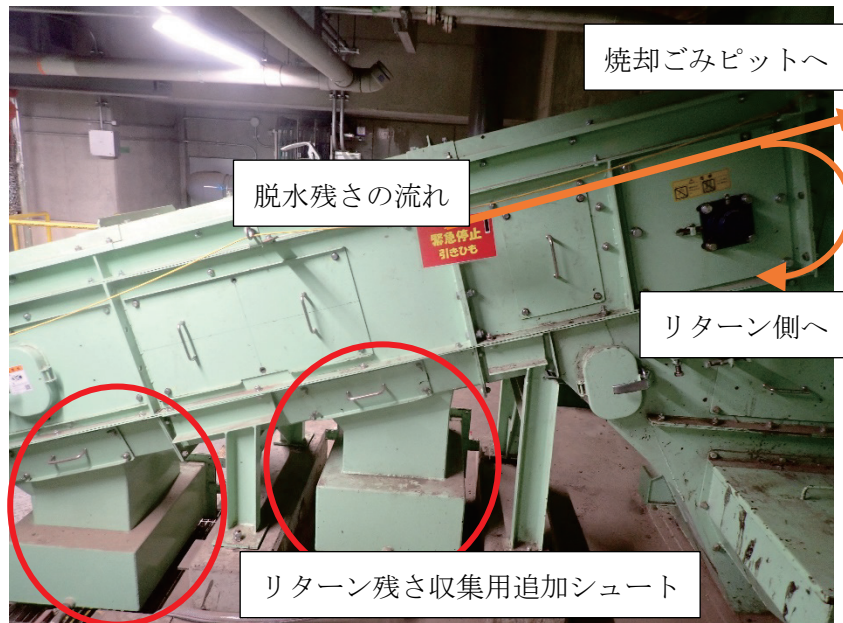


写真2 脱水残さコンベアヘッド部



## トラブルへの対応

ベルトコンベアのシュート部での閉塞に対しては、シュート部をできるだけ拡張し、乗継部の角度を鋭角から鈍角になるよう形状を変更した（写真1）。更に下流コンベアに落ちた残さがベルトとケーシングの間で閉塞しないようコンベアの天板を嵩上げた（写真3）。

ベルトコンベアのヘッド部リターン側に回り込む残さについては、ベルトのクリーナーをもう一つ追加し（図1）、クリーナーとベルトの接地位置やクリーナーの形状、材質等を変更した。更にケーシング下部に堆積しないよう引出し付きのホップシュートを追設した（写真2）。

その結果、シュート部の閉塞やリターン側の残さの堆積により長時間コンベアが停止することはなく、日常点検による清掃（2週間に1回程度）をすることでコンベアを常時稼働させている。

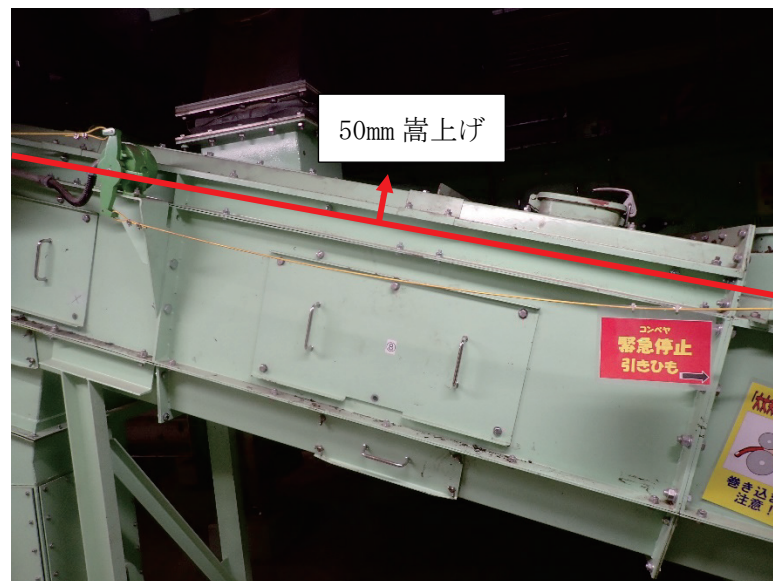


写真3 脱水残さコンベア嵩上げ

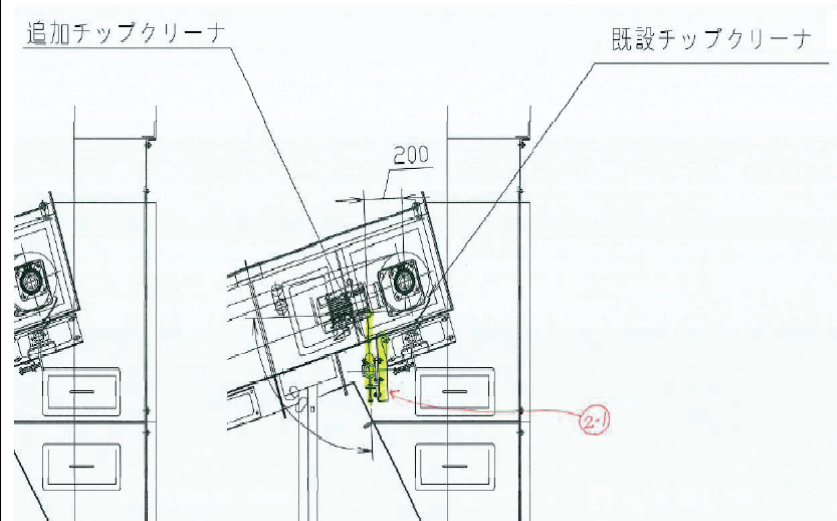


図1 脱水残さコンベアヘッド部リターン側追加クリーナー



## 第3節 運転管理上の課題を克服する方法

一般社団法人日本有機資源協会

設備利用率の向上、運転維持費の低減、その他の運転管理上の課題を克服する方法について、ヒアリング調査や各工程におけるトラブルとその対応に関するアンケート調査結果を踏まえて整理した。なお、モニタリング結果を運転方法の変更に活用する方法については第4節を参照されたい。また、出力制御への対応については第1節3.を参照されたい。

### 1. 工程別のトラブル最小化と点検作業

事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電）<sup>1)</sup>の第3節「運用・管理」に、保守点検及び維持管理について、計画の策定及び体制の構築、通常運転時及び非常時の取組、周辺環境への配慮に関する遵守事項が示されている。

トラブルが施設の設計や建設に起因する場合は、改修を行うこともある。一方、運転管理の工夫によってトラブルを最小化する方法も模索する価値がある。トラブルは発生するものであることを前提としたリスク管理が求められる。そのヒントは、第2節に記されている。運転管理において特に留意すべき事項には、次のようなものがある。

- ① 発酵不適物の混入防止、混入した場合の除去
- ② 安定した固液分離
- ③ 原料の量的及び質の季節変動対策
- ④ 厳冬期の低温対策
- ⑤ メタン発酵の不良の予見と対策
- ⑥ モニタリングセンサー自体の不良の発見と交換・修理
- ⑦ 腐食の発生防止
- ⑧ 効率的なバイオ液肥の散布
- ⑨ バイオ液肥散布の機械と人員の配置

このうち、①は多くの施設で共通の問題であった。破損、配管内の閉塞を招くとともに、リチウムイオン電池が誤って投入されると火災を引き起こすこともあり得る。どんなに注意していても避けられないこともあるので、閉塞した場合の解消を容易にする設備設計、火災に備えた火災検知器や自動散水装置の設置も検討する必要がある。

⑤は生物反応によりバイオガスを発生させて発電を行う施設におけるポイントである。古くからの実用技術であるが、それぞれの現場とそれぞれの状況において個別対応が行われる。原料の量的・質的变化や温度変化はバイオガス発生量に大きな影響をもたらす。カロリーの高い原料の大量投入は、数日間はガス発生量の増大という効果をもたらす一方で不調の原因にもなり得る。原料が投入される前処理設備での含水率・温度の調整も大切である。

トラブル防止の基本は日常点検とその結果を踏まえた予防措置である。それぞれの施設で独自の点検項目（チェックリスト）が準備されている。実際の日常点検の例を表1、表2、



表 3、表 4 に示す。表 1 は北海道鹿追町の事例であり、点検部位ごとの内容と頻度が示されている。表 2 は佐賀市下水浄化センターの消化槽と消化ガスの事例であり、点検項目、内容、方法、常用値が示されている点検日報である。表 3 は、A 施設の毎日の点検項目のうち、発酵分離棟・発酵槽・脱硫システムの部分のシートである。作業内容と変更点を記す欄も設けられている。表 4 は B 施設の毎日の点検箇所及び項目の中でガスエンジン室におけるモニタリング値の入力シートである。自動計測と目視確認、水質等の分析が組み合わせられて運転管理が行われている。

表1 北海道鹿追町の施設における日常点検

バイオガスプラント 日常点検項目チェックリスト NO.1											
部位	作業	内容	毎日	3日	週	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年	必要に応じて
原料室	確認	槽内のスラリー量（深さ）	○								
	確認	〃 〃 濃度	○								
	清掃	〃 〃 攪拌状態	○								
ELポンプ	確認	ミサーの位置	○								
	確認	異常振動の確認	○								
	グリスアップ	フード下にあるボルトナット		○							
	グリスアップ	架台にある2つのピボット		○							
	注油	架台にあるオイルカット				○					
	調節	ベルトの張り調整					○				
	確認・注油	オイルパールの確認							○		
ELミックスポンプ	グリスアップ	フックボルトのピボット		○							
	グリスアップ	ワークユニットのチェーンリップ					○				
	注油	リベーターモーターの可動部の注油							○		
	交換	ワークユニットのフィルター交換							○		
	清掃	ポンプ本体の清掃							○		
	確認・注油	ピストン部のオイルパール								○	
	注油・交換	ワークユニットのオイル							○		
発酵槽	確認	配管等の漏れ確認			○						
	確認	周辺のカス漏れ確認					○				
	確認	梁受けの状態確認							○		
	清掃	温水配管の清掃								○	
	確認	発酵槽内の確認								○	
	確認・注水	ガス圧力安全弁の液面パール確認	○								
発酵槽攪拌機	確認	ガスレガーの状態確認	○								
	確認	シャフト部の液漏れ	○								
	グリスアップ	カップリップにグリスアップ					○				
水中ミサー	確認・注油	ギヤボックスのオイル							○		
	オイル交換	ギヤボックスのオイル交換							○		
機械室	確認	発酵槽制御装置のI/F確認	○								
	確認	I/F発電機制御装置のI/F確認	○								
	交換	ガス分析計のフィルター交換									○
I/F発電機	交換	燃料フィルターの交換						○			
	交換	I/Fオイルフィルターの交換				○					
	交換	I/Fフィルターの交換					○				
	交換	I/Fオイルの交換				○					
	補給	I/Fオイル補給									○
	交換	冷却水の交換							○		
	交換	バッテリーの交換									○
	交換	Vベルトの交換							○		
	交換	オイル循環ポンプの交換								○	
	交換	燃料噴射バルブの調整・交換						○			

バイオガスプラント 日常点検項目チェックリスト NO.2											
部位	作業	内容	毎日	3日	週	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年	必要に応じて
ガスレガー	確認	ガス漏れの確認	○								
	確認	煙の状態確認	○								
	確認	ガス圧カスッチの作動確認					○				
	確認	風圧スイッチの作動確認					○				
	確認	異常消化警報の確認					○				
	確認	感震装置の作動確認							○		
	確認	缶圧力計の指示確認	○								
その他	チェック	日常点検表の記入	○								
養尿溝	採取	発酵分析用サンプルの採取									
	確認・清掃	養尿溝の両端わらの除去	○								
投入溝	確認・清掃	投入溝の養尿詰まりの対処									○
	グリスアップ	コーナールにグリスアップ		○							
チェーンスクリュー	グリスアップ	ドライブエントにグリスアップ		○							
	グリスアップ	ドライブエントにグリスアップ		○							
	確認・調整	Vベルトの張りをチェック			○						
	確認・調整	チェーンの張りをチェック			○						
	確認・調整	近接スイッチのチェーンの張りをチェック				○					
	調整	スクリューを磨耗に応じて調整									○
	注油	ドライブエントのクランプ可動部に注油				○					
汲み上げポンプ	注油	ドライブエントのローチェーンに注油				○					
	グリスアップ	インバーターポンプにグリスアップ			○						
	グリスアップ	バルブチャストにグリスアップ			○						
	グリスアップ	フード下のボルトナットにグリスアップ			○						
	グリスアップ	スライドモーターにグリスアップ			○						
	確認・注油	インバーターポンプのオイルパール確認									○
	確認・注油	耐震ポンプのオイルパール確認									○
確認・調整	Vベルトの張りをチェック				○						
清掃	本体を高圧洗浄機等で清掃							○			

(鹿追町提供 一部 JORA※にて改変)

※一般社団法人日本有機資源協会 (Japan Organics Recycling Association) の略称

表2 佐賀市下水浄化センターにおける消化槽及び消化ガスの点検日報

佐賀市浄化センター			点検日報			天候： - 気温： - °C					
場所	設備	機器名	号機	点検項目	点検内容	方法※	常用値	単位	点検結果	判定	
※点検方法： A（目視）、B（触感）、C（計器読み）、D（清掃） 判定： ○良 ×否 △要注意 \ 修理中 — 停止中及び操作不可											
汚泥処理	消化槽屋上	消化槽上部温度計	No.1	外観等	外観損傷の確認	A・B	良	—	—	—	
		消化槽機械攪拌機		外観等	異音・振動・温度・油量の確認	A・B	良	—	—	—	
		消化槽上部水位計	No.2	水位計	水位の確認	C	9.00 ~ 10.80	m	—	—	
		外観等		外観損傷の確認	A・B	良	—	—	—		
		消化槽上部温度計		外観等	外観損傷の確認	A・B	良	—	—	—	
		消化槽機械攪拌機		外観等	異音・振動・温度・油量の確認	A・B	良	—	—	—	
		セジメントトラップ	No.1	外観等	外観等	ガス漏れ・ドレン抜きの確認	A・B	良	—	—	—
			No.2					良	—	—	—
		南側	良					—	—	—	
		消化槽	汚泥熱交換器	汚泥熱交換制御盤	操作盤 温度	No. 1入口設定温度(SP)	C	40.0 ~ 50.0	°C	—	—
	No. 1入口現在温度(PV)					C	40.0 ~ 50.0	°C	—	—	
	No. 1出口設定温度(SP)					C	40.0 ~ 50.0	°C	—	—	
	No. 1出口現在温度(PV)					C	40.0 ~ 50.0	°C	—	—	
	No. 2入口設定温度(SP)					C	40.0 ~ 50.0	°C	—	—	
	No. 2入口現在温度(PV)					C	40.0 ~ 50.0	°C	—	—	
	No. 2出口設定温度(SP)					C	35.0 ~ 50.0	°C	—	—	
	No. 2出口現在温度(PV)					C	40.0 ~ 50.0	°C	—	—	
	No. 1			温水圧力	入口圧力の確認(水)	C	0.070 ~ 0.090	MPa	—	—	
					出口圧力の確認(水)	C	0.050 ~ 0.060	MPa	—	—	
				温水温度	入口温度の確認(水)	C	78 ~ 90	°C	—	—	
					出口温度の確認(水)	C	70 ~ 85	°C	—	—	
				汚泥圧力	入口圧力の確認(汚)	C	0.080 ~ 0.210	MPa	—	—	
					出口圧力の確認(汚)	C	0.040 ~ 0.057	MPa	—	—	
	三方弁開度			開度の確認(三方弁)	C	0 ~ 100	%	—	—		
				開度の確認(三方弁)	C	0 ~ 100	%	—	—		
	No. 2			温水圧力	入口圧力の確認(水)	C	0.010 ~ 0.060	MPa	—	—	
					出口圧力の確認(水)	C	0.010 ~ 0.060	MPa	—	—	
			温水温度	入口温度の確認(水)	C	60 ~ 85	°C	—	—		
出口温度の確認(水)				C	35 ~ 82	°C	—	—			
汚泥圧力			入口圧力の確認(汚)	C	0.050 ~ 0.150	MPa	—	—			
			出口圧力の確認(汚)	C	0.040 ~ 0.050	MPa	—	—			
汚泥温度			入口温度の確認(汚)	C	38 ~ 44	°C	—	—			
			出口温度の確認(汚)	C	40 ~ 55	°C	—	—			
三方弁開度	開度の確認(三方弁)		C	0 ~ 100	%	—	—				
消化槽換気ファン	-		電流	電流値の確認	C	7.0 ~ 9.0	A	—	—		
消化槽汚泥投入弁	No. 1		開度	開度の確認	C	0 ~ 100	%	—	—		
	No. 2		開度	開度の確認	C	0 ~ 100	%	—	—		
消化槽スカム引抜弁	No. 1	開度	開度の確認	C	0 ~ 100	%	—	—			
	No. 2	開度	開度の確認	C	0 ~ 100	%	—	—			
消化槽下部温度計	No. 1	外観等	外観損傷の確認	A・B	良	—	—	—			
	No. 2	外観等	外観損傷の確認	A・B	良	—	—	—			
ガス	消化ガス発電設備	全台	外観等	異音・振動・外観損傷の確認	A・B	良	—	—	—		
		レベル	レベルの確認	C	500 ~ 1000	m <sup>3</sup>	—	—			
	消化ガスタンク	-	圧力	圧力の確認	C	175 ~ 220	mmH2O	—	—		
		脱硫設備	No. 1	外観等	封水量・外観損傷の確認	A・B	良	—	—		
	No. 2		外観等	封水量・外観損傷の確認	A・B	良	—	—			
	余剰ガス燃焼装置	-	流量	流量の確認(盤)	C	40 ~ 250	Nm <sup>3</sup> /h	—	—		
		-	外観等	外観損傷の確認	A・B	良	—	—	—		
	-	-	流量	流量の確認(管路)	C	40.0 ~ 250.0	m <sup>3</sup> /h	—	—		

(佐賀市下水浄化センター提供 一部 JORA にて改変)

表3 A 施設における発酵分離棟・発酵槽・脱硫システムの点検項目

**《 発酵分離棟・発酵槽・脱硫システム 》**

点検日  年  月  日 (  )      天気 晴  曇  雨  雪       気温:  °C

点検者: \_\_\_\_\_ 印      点検開始時間: \_\_\_\_\_

水質分析採取箇所: \_\_\_\_\_

点検項目	異常		グ リ ス ル	絶 縁 抵 抗	点検項目	異常		グ リ ス ル	絶 縁 抵 抗
	有	無				有	無		
原料受入流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	コンプレッサー、空気圧縮機 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
原料中継槽流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	コンプレッサー、空気圧縮機 水抜きの実施	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
消化液殺菌槽流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	温水循環ポンプ 異音・振動・漏れ等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
温水ヘッダー管温度 数値( °C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	換気扇 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
分離棟-発酵槽間 配管フレキのたわみ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	躯体からの水漏れ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
分離棟-発酵槽間 堤防の水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	制御盤内 金属部の変色	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
水封高さ 数値( 5cm±5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	消化液分離機1 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
消化液排出ポンプ1 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	配管からの振動・漏れ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ガス供給フロア 異音・振動・Vベルトの張り	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	換気扇 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ガス配管結露水の水抜き	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	配管からの振動・漏れ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
温水循環ポンプ1流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	エア作動弁 異音・振動・動作等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
温水循環ポンプ2流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
温水循環ポンプ3流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
脱硫液排水ポンプ 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
消化液分離機供給ポンプ 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
液肥移送ポンプ1 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
液肥移送ポンプ2 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
原料中継槽移送ポンプ 異音・振動等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
温水循環ポンプ4流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
温水循環ポンプ5流量計 数値( m3/min)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TA2水位がH-L間にある	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
給水ユニット タンク内異物混入	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>作業内容や変更点等</b>									

(A 施設提供 一部 JORA にて改変)

表4 B施設におけるガスエンジン室の点検項目

設備運転計測表				点検者						
				年 月 日 ( 曜日)						
ガスエンジン室										
ガスエンジン	発電機：発電電力	kW	電圧：	V	電流：	A	周波数：	Hz		
	(総合発電電力)	kW	力率：	cos φ		運転時間計：	時間			
	(受電電力)	kW	燃料ガス流量：	Nm <sup>3</sup>		ガス入口圧力：	KPa			
	ガスエンジン		母線電圧：	V		母線周波数：	Hz			
	【 運転 - 停止 】		固定子温度：	°C		軸受温度	°C			
			潤滑油温度：	°C		混合気温度	°C			
			インタークーラー冷却水入り口温度	°C		ジャケット冷却水出口温度	°C			
			給気マニホールド圧力	KPa		潤滑油圧力	KPa			
			副室ガス圧力	KPa		回転速度	min-1			
	エンジン排ガス出口温度		No.1気筒	°C	No.2気筒	°C	No.3気筒	°C		
			No.4気筒	°C	No.5気筒	°C	No.6気筒	°C		
			No.7気筒	°C	No.8気筒	°C	No.9気筒	°C		
			No.10気筒	°C	No.11気筒	°C	No.12気筒	°C		
	排ガスボイラ		ボイラ排ガス：入口温度		°C/	出口温度		°C		
			蒸気圧力：		MPa					
	冷却水循環ポンプ		入口圧力：		MPa		出口圧力：		MPa	
	ジャケット水熱交換器		高温側：入口	°C/	出口	°C	低温側：入口	°C/	出口	°C
	放熱用熱交換器		高温側：入口	°C/	出口	°C	低温側：入口	°C/	出口	°C
インタークーラー用熱交換器		高温側：入口	°C/	出口	°C	低温側：入口	°C/	出口	°C	
ガスコンプレッサ		電流	A(定格150A)	入口ガス圧力	MPa		出口ガス圧力	MPa		
ガスエンジン冷却塔		ファン電流値	A(定格値22A)		循環ポンプ電流値	A(定格値24A)				
その他	ガスエンジン室給排気ファン	運転状況確認		【○】	—	【×】				
	膨張タンク水位	インタークーラー水用	【○】	—	【×】	ジャケット水用	【○】	—	【×】	
	消防設備運転状況	操作盤	【手動】	—	【自動】	ポンベ庫	【手動】	—	【自動】	
	整備・工事・不具合									

(B施設提供 一部 JORA にて改変)

## 2. 収益性の向上

メタン発酵バイオガス発電には、原料の供給者、搬送者、施設（プラント）の管理者、運転管理の外部委託者、バイオ液肥や堆肥の搬送者・散布者、バイオ液肥や堆肥の利用者、電気・ガス・熱の利用者、プラントから発生する廃棄物の処理者等の多くの主体が存在する。全体システムを維持するためには、全ての主体それぞれの経営が持続的に成立する必要がある。プラントの経営の面からは、高い処理費で原料廃棄物を引き取り、高い価格で生成物（電気、ガス、熱、バイオ液肥、堆肥）を販売し、安い価格で発生廃棄物を処分できることが望ましい。

プラント管理の経費の最小化を含む持続的経営のためには、例えば、20年というライフサイクルで経営が成り立つかどうかの検討<sup>2)</sup>を意識する必要がある。バイオ液肥や堆肥の搬送・散布はプラント側が担う事例が多い。

プラント内の運転管理費を削減するという観点からは、安全確保、適切な雇用の上で、人員配置、運転の自動化・遠隔監視との連携、外部委託、消耗品の節約、設備の適切なメンテナンス、トラブル回避が重要なポイントとなる。

### 3. 既存施設の改修・設備付加を行う場合

既存施設を改修あるいは設備を付加する理由は様々である。安全・衛生対策の場合や制度への適応の場合は不可欠である。施設の予防保全的な部分更新・修繕、トラブルの解消、収益性の向上を目的とする場合は、これらにより設備利用率の向上、運転維持費の削減による効果と設備投資を天秤にかけることになる。

例えば、前処理や固液分離方法の改善、発電機やガスホルダの増設、出力制御機器の付加の場合がある。

### 4. 新しい施設を設計・建設する場合

新しい施設を設計・建設するにあたっては、第2章「事業化のポイント」、第5章第3節3. 「事業主体が留意しておくべき事項」を参照されたい。安定した収益性の高い運転を行うためには、適切なバイオマス活用計画を策定し、施設・設備を設計・建設していくことが重要であることは言うまでもない。運転管理によりカバーできることは限られている。自らまたは公開されている他事業・他施設の教訓は最大限に生かしたいところである。

北海道鹿追町においては、二基目の施設（瓜幕バイオガスプラント）の建設にあたって、一基目（中鹿追バイオガスプラント）の経験が生かされた。例えば、硫化水素やアンモニアによる腐食対策、発酵不適正物の検査などである。

巻末の事例集も参考にしていきたい。

#### 参考文献

1) 資源エネルギー庁：事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電）、

[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/dl/fit\\_2017/legal/guideline\\_biomass.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/legal/guideline_biomass.pdf),

2021年7月25日。

2) 清水夏樹・柚山義人ほか（2012）：バイオマス利活用システムのライフサイクルを対象とした経済性の評価，農工研技報，212，53-96





## 第4節 運転上のデータ収集と分析・活用事例

須藤 貴宣

### 1. プラント安定化、再エネ主力電源化での役割

これまで畜産バイオガスプラントは、ふん尿処理のための農業施設としての立ち位置で導入されてきた。しかしイニシャルコストが他の電源よりも高く、さらにメンテナンスコストもかかるうえ、運営管理ができずうまくいかない事例もある。

しかし今後、地域の地産地消での分散電源、そして国が進める再生可能エネルギーの主力電源化の中での調整電源といった役割を果たす可能性がある施設であること、そして何より事業の成功を達成するためにプラントをいかに安定的に運用するかが重要になってくる。

### 2. 発酵槽管理の重要性

他の発電設備と違い燃料（原料）をどんどん投入すればガス発生量が多くなるというものではない。バイオガスプラントの安定運用とは適正な発酵状態の維持である。

メタン発酵とは有機物をメタン菌の働きにより分解し、メタンガスを発生させる生物反応である。その技術は古く、原理は単純なものと言える。よく発酵槽内部は牛の胃と同じと例えられるが、季節や餌の状態、そして体調や毎日の胃の中を同じ状態にすることは不可能である。一気に食べる量が増える、これまでと別のものを食べる、急激な気温の変化などで体調を崩し、消化が悪くなる。

バイオガスプラントでも他の発電方法とは異なり投入する原料や温度、攪拌の状態などを常に一定にはできないため、それらを管理し、適正な発酵状態を維持することが重要である。

発酵状態が不安定となれば、バイオガスの発生量に影響がでるだけでなく、副産物であるバイオ液肥や再生敷料の未発酵、臭い等の影響が出る。

そうした意味でも発酵の管理がバイオガスプラントでは重要になる。



図1 バイオ液肥散布状況



図2 再生敷料利用状況

### 3. データ運用の実績と測定すべきデータ項目

現在筆者が管理している北海道清水町美蔓バイオガスプラントでは、1時間ごとに細かなデータの計測を行い、日報データとしてデータベースに記録している(図3)。そしてこれらのデータを見える化し関係者に共有している(図4)。

当然こうした設備を導入するとイニシャルコストが高くなるが、導入後に適正に運用ができれば、それはプラントの安定運用に大きな武器となる。

計測データは点数が増えると同然費用もかかってくる。しかし最低でも、原料槽温度、発酵槽温度、原料投入量、ガス発生量、発電量、pHの6点は必須と考える。さらにそれらは2つの設備がある場合、それぞれに計測するとより原因の究明ができる。

詳細な分析等は月に1回ほど行い、それ以外はデータ管理にて状態を確認していく。

設備	運転時間	原料槽		発酵槽		消化槽		ガス発生		発電		その他	
		温度	pH	温度	pH	温度	pH	発生量	発電量	圧力	流量	圧力	流量
1号機	00:00	32.0	6.5	32.0	6.5	32.0	6.5	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2号機	00:00	32.0	6.5	32.0	6.5	32.0	6.5	1000	1000	1000	1000	1000	1000
項目	単位	値											
原料投入量	kg	1000											
ガス発生量	m³	1000											
発電量	kWh	1000											
原料槽温度	℃	32.0											
発酵槽温度	℃	32.0											
消化槽温度	℃	32.0											
原料槽pH		6.5											
発酵槽pH		6.5											
消化槽pH		6.5											

図3 美蔓プラント日報データサンプル (52点の計測を実施)

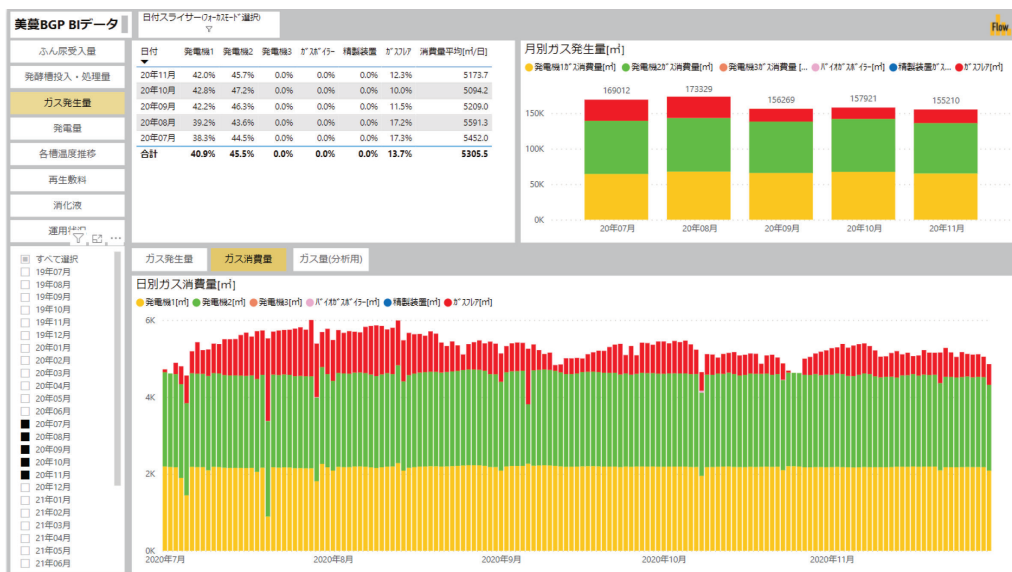


図4 B1 データ共有サービスによる見える化 (2台の発電機と余剰ガスの発生量をみる化)

#### 4. データ管理の重要性

本項ではデータ管理の重要性を記す。こんなことは当たり前、すでに実行している方もいると思うが、実は未実行の場合が多いのもう一度確認してほしい。

##### ①データを計測する

プラントの安定運用管理にはプラントの状態を把握することが最も重要なことである。しかし発酵の状態を把握する為とはいえ、詳細な分析を毎日行うことは時間的にも費用的にも現実的に不可能な為、その判断材料とするために主要なデータを計測し、状態を把握することが必要となる。

プラントのイニシャルコストを下げる上で最初にこうした計測機器、流量計等を削除する場合もあるかもしれないが、これはプラントの状態を見ないことに等しく非常に危険である。安定的なプラント運営を行うためにもこうした投資は必須であると考える。

##### ②データを記録する

プラントのデータを計測し、画面で瞬時的に確認するのは最も簡易的なプラントの状況確認方法となる。しかし、そのデータを記録しなければ人の記憶は残らず、そのデータは活かすことができない。また印刷したシートに手書きで時間ごとに記録し、ファイルに綴ったとしても、そのファイルが仕舞われていて、必要な時に情報を検索できないと、それはただ業務として書類を整理しているのにすぎない。その計測したデータをきちんとデジタルにて集約することが望ましい。こうすることで過去のデータとの比較などができるようになる。

意味のない書類管理に手間をかけるより、計測したデータをデジタル管理できる設備の導入のほうがプラント安定稼働では優位性がある。

##### ③データを分析する

計測したデータは、このプラントの状態を知る最大のツールとなる。季節によつての運転方法の決定などの日常の管理から、トラブル時の過去との比較や検証、より深い分析を行う際の分析ツールとして使用する。

また計測されたデータの多くはエクセルや CSV ファイルとして保存するのではなく、できるだけグラフ化、見える化して分析が容易に比較や検証ができるようにすることが望ましい。

##### ④データを共有する

分析したデータはプラントメーカーやオーナーと共有することで、そのノウハウや情報共有の蓄積となるため、非常に重要なことである。同じプラットフォームで議論することで共通の目線での運用が可能となる。

## 5. データ管理で可能な事

### ・プラントの安定管理

先に述べたように、メタン発酵バイオガスプラントは生物反応である為、ある程度の安定的な条件が続けば、ガス発生量が極端に変動することは少ないが、急激な温度の変化や、原料の変化や大量投入などで、発酵のバランスが崩れると、ガス発生量は徐々に低下して回復に相当時間がかかることとなる。

データの見える化による管理、分析を毎日行っていれば、そうした不調の傾向を早めに察知し、被害を最小限に抑えることも可能となる。それを続けることで年間通じて安定的なガスの発生を行うことができ、プラント収益の安定につながる。

### ・安定稼働への運用ヒント、改善の発見

プラントの運用当初は、計画通りに運転してもうまくいかない場合も多く、徐々に運転ノウハウを積み重ねて安定運転をしていくが、データの見える化はそうした状況でも検証や発酵槽の状態を確認するためにも、非常に便利である。

また、データの見える化による管理、分析を行うと、季節による運転の改善や発酵槽投入量の調整など、運用のヒントを発見し、実際にその効果を確認することができる。

地域の気候やふん尿の性状、機械の運転など、プラント運用後は計画通りいかない場合が多いが、やみくもに安定運転を探るよりデータに基づいた分析と運用改善を行うことが、改善点の顕著化に繋がるため適切な対策を打つことが最善である。

このあとの活用事例でも紹介する美蔓バイオガスプラントでは、発酵槽の温度変化を管理・分析することで、運転状況の変更をし、厳しい冬の温度低下を最小限に抑える運用を実施している。

### ・ノウハウの蓄積

蓄積されたデータは来年以降の運用にも当然生かされ、再びトラブルが起きた際にも過去のデータとの比較を実施することができる。またプラントメーカーとしてはこのデータがそのまま次のプラントの設計や発電量などの設計材料として使用することが可能となる。

### ・情報と認識の共有と会議資料の統一

バイオガスプラントを運用する場合、重要なのは関係者への説明と情報共有である。現在のプラント状況を説明する際に、こうしたまとめたデータに基づき報告すれば、オーナーや関係者へも信頼される。

さらに見える化されたデータを印刷し、そのまま会議資料として使用することで、資料の作成時間の大幅短縮が可能となる。常に共通の資料での比較が可能となる為、認識も早く議事運営もスムーズとなる。

## 6. 活用事例

### 発酵槽温度低下に対する対策と結果の比較

2019年6月の試運転開始から1年目の冬前、発酵槽温度が下がる事象が発生した。図5にあるように、外気平均気温が下がるにつれ、発酵槽温度が下がっているのがわかる。10月1日には36.4℃だった発酵槽1の温度が11月30日には32.7℃と3.7℃も低下した。

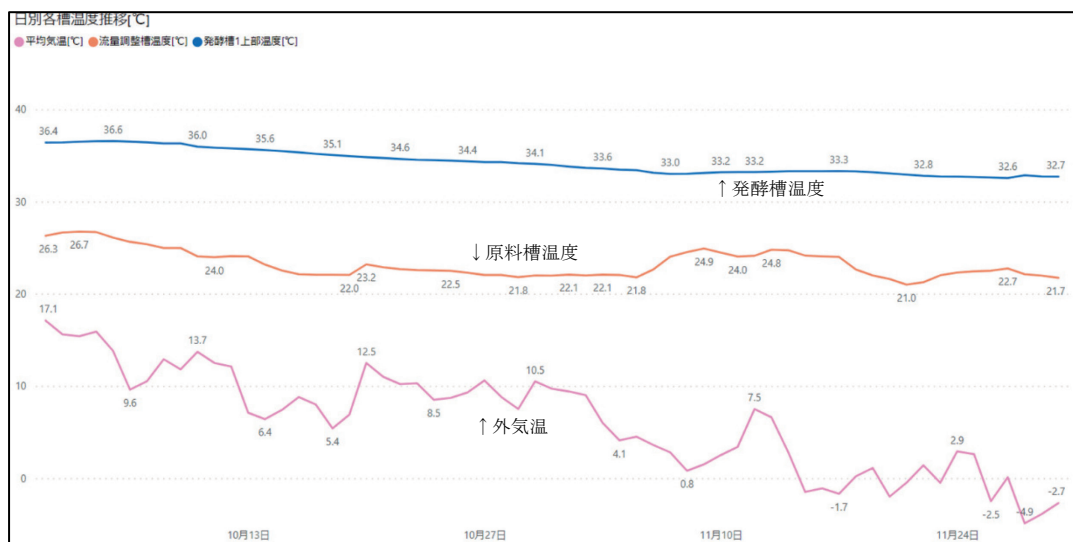


図5 2019年10月1日～11月30日各槽温度データ

図6が翌年の2020年同じ時期のデータとなる。比較いただくとわかる通り外気温が下がっても、発酵槽と原料槽の温度の下降が少ないことがわかる。前年の分析から、発酵槽手前の原料槽の消化液加水増量を含めた原料槽の温度維持を行い、原料槽温度を30～33℃で維持した（前年は平均23.3℃）。この対策により発酵槽温度の低下は、同じ期間で約1.8℃と大幅に改善された。

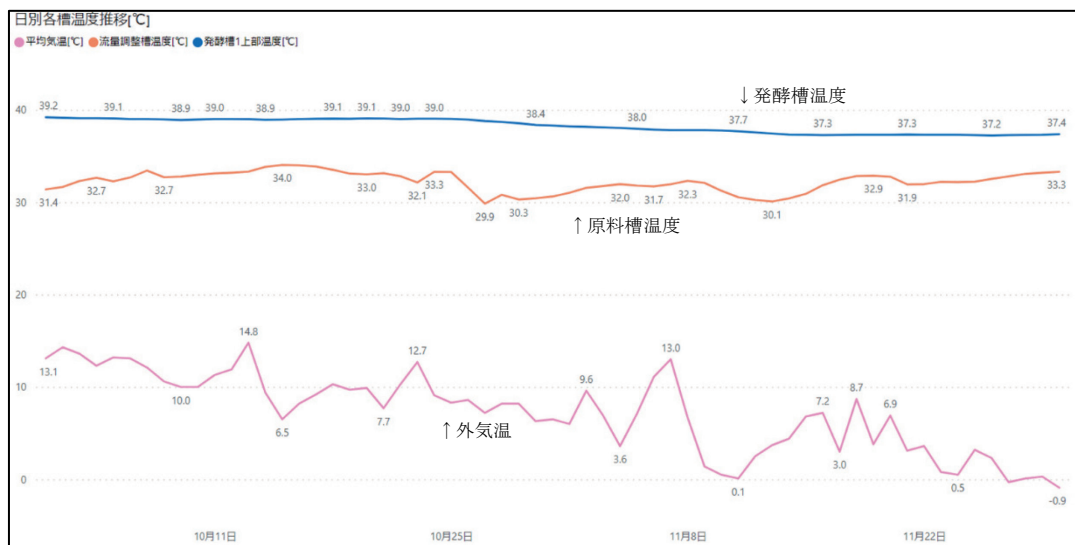


図6 2020年10月1日～11月30日各槽温度データ



## 発酵槽投入量安定化によるガス発生量の安定

運転当初は発酵槽の温度や水位を安定させる為、発酵槽投入量を色々変更していたが、結果ガス発生量が安定せず、発電機の稼働も不安定だった（図7）。

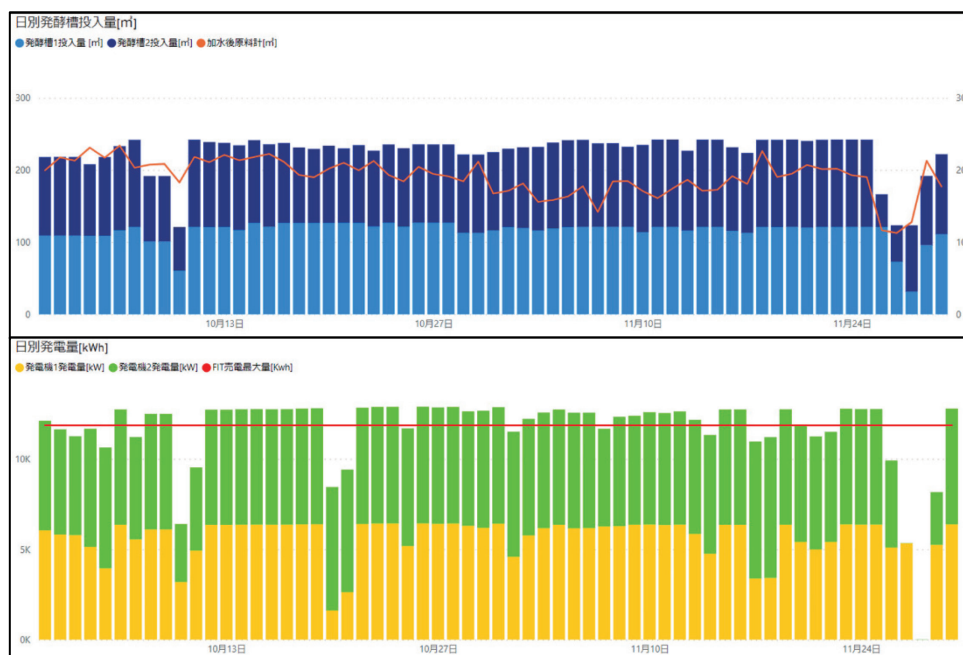


図7 2019年10月1日～11月30日発酵槽投入量（上）と発電量データ（下）

翌年は記録した運転データの分析結果より、原料槽への消化液による加水量を管理し、発酵槽投入量を一定量で安定させることにした。

するとそれがきっかけとしてプラントトラブルも減り毎日のガス発生量が安定し、その結果、発電機の稼働が安定することとなった（図8）。2019年10月～11月の発電機稼働率は、運転当初のトラブルもあり、88.1%だったが、対策を行った2020年の同時期は、99.6%とほぼメンテナンス停止程度の安定稼働となっている。

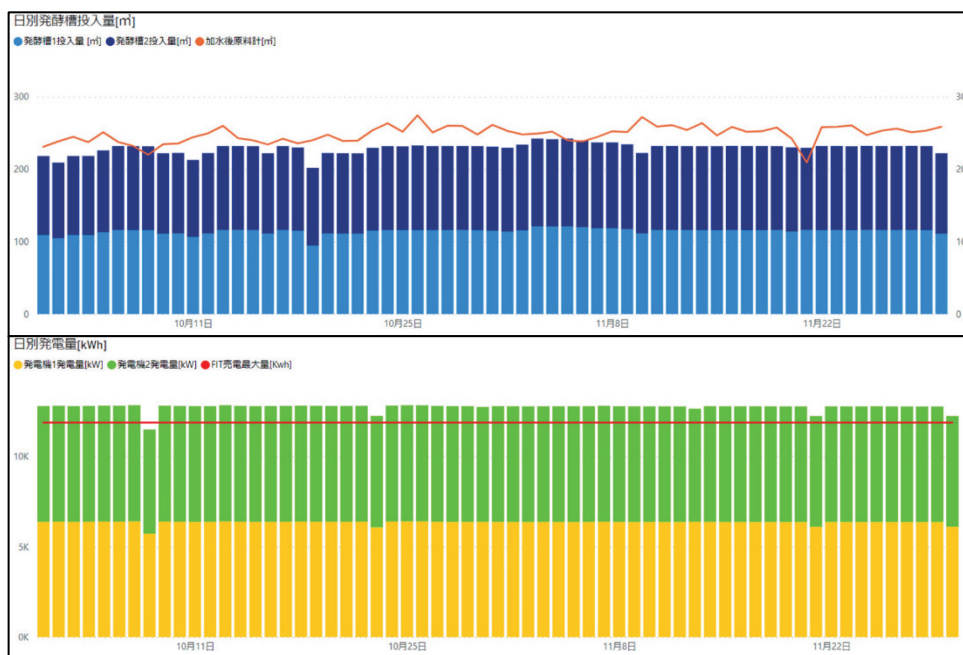


図8 2020年10月1日～11月30日発酵槽投入量（上）と発電量データ（下）

## コラム 家畜ふん尿パイプライン

### 畜産の環境問題解決と労働力削減へのアプローチ

一般社団法人日本有機資源協会

#### 肥育牛の畜舎における課題

肥育牛は、マス飼いという方法で飼育する。狭いスペースで、牛は餌を食べ排せつし、その場所で寝る。肥育牛1頭あたり30kg/d発生する排せつ物をどう処理するか。人手不足のため全てを毎日処理することができない。畜舎内で堆積した牛ふんは、好気性発酵が始まる。元々は含水率約80%程度の軟便であっても、水分が蒸発し硬くなった牛ふんを数か月ごとに搬出して、さらに好気性発酵をするとサラサラとした田畑に撒ける堆肥ができる。しかし人手不足により、牛ふん処理が堆肥化に追いつかない。冬場は発酵温度が上がらず、いつまでも生ふん状態で発酵しないことも問題である。山形県飯豊町眺山地区では臭気問題も深刻であった。

#### ふん尿をフレッシュな状態で

牛ふんの臭気問題を解決し、人手不足も解決する方法への転換として、東北おひさま発電の後藤博信氏は、ながめやまバイオガス発電所を建設した。増頭計画により最終的には肥育牛1,130頭、乳牛300頭分のふん尿を、地下の全長3,000mのパイプラインで畜舎から原料槽まで繋ぎ直接運ぶシステムを作った。肥育牛の牛ふん尿は固いと指摘もあったが、時間が経過して固くなるため、パイプラインにより含水率94%のフレッシュな状態で原料槽へ運ばれる。消化液のパイプラインも平行して敷かれており、ふん尿が投入されるピットに消化液が入り、パイプライン内で詰まらないよう工夫されている。一方、肥育牛は反芻するため、牛ふんにカロリーが残っておらず、ガス発生量が少ないという懸念があった。また牧場で増頭数を決めているので、牛ふん尿の量も一定量より増えない。そこで設計段階から副原料でエネルギーを補給することを検討した。発電を効率的にするために、副原料として動植物性残さを選別して投入している。ごみ処理施設ではないため、投入原料はカロリーやガス発生量を計算して調整している。



写真1 畜舎では真ん中に排泄物を集めるラインが引かれている。写真奥のピットまで機械で運ばれる仕組み。

#### 数人で1,000頭以上を管理

畜舎では給餌も自動化しており、ふん尿もパイプライン搬送のため、人手が必要な作業はごく僅かである。数人で1,000頭以上の管理ができ、余力を牛のケアに向けられる。現在は圃場へのバイオ液肥散布の地下パイプラインも計画されており、更なる効率化が期待される。牛ふん尿の環境問題の解決のため、パイプライン輸送という方法によって蓄積されたノウハウが高度な事業価値を生み、新たな畜産振興の手段となることが期待される。



## 第4章 副産物・バイオガスの利用

### 第1節 バイオ液肥(農地利用する消化液)

中村 真人

#### 1. バイオ液肥とは

メタン発酵では、バイオガスを回収した後に、原料とほぼ同量の消化液が生成される。消化液は、窒素、リン酸、カリ等の肥料成分を含み、化学肥料の代わりに利用できる有機質肥料であることから、近年では消化液は「バイオ液肥」と呼ばれている。バイオ液肥を地域で適切に利用することができれば、再生可能エネルギーの生産に加え、地域に賦存する資源を有効利用する循環型社会の形成や温室効果ガス排出量の削減に貢献できる持続可能性の高い取り組みとなる(図1、中村、2020)。また、消化液をバイオ液肥として利用することは排水処理することによって低コストである(浅井、2020)ため、バイオ液肥を散布可能な農地が多い農村地域においては、液肥利用は有力な選択肢である。

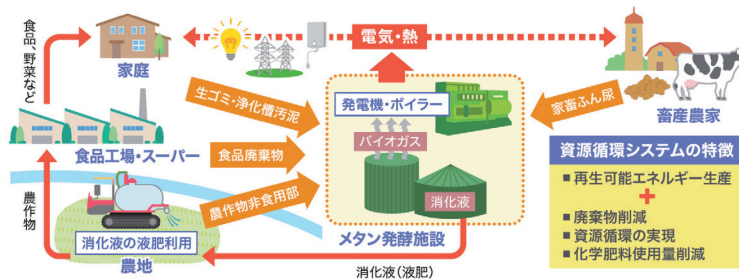


図1 メタン発酵を中核とした資源循環システム

バイオ液肥の一般的な利用プロセスを図2に示す。一時的に貯留槽で貯留した後、バキューム車などでほ場まで運び、液肥散布車で水田、畑地、牧草地に散布する。バイオ液肥の輸送、散布作業は、一般的にメタン発酵事業者が担い、散布サービス込みで耕種農家に提供される。また、事業者は液肥利用を採用することにより、コストダウンを見込めることから、バイオ液肥の提供価格は通常の肥料に比べて安価に設定される。そのため、耕種農家にとっては、肥料コストの削減や肥料散布労力の節減につながる。



図2 バイオ液肥の液肥利用プロセス

#### 2. バイオ液肥の肥料としての特徴

様々な原料由来のバイオ液肥の成分を表1に示す。バイオ液肥成分の特徴は、含有窒素の約半分が速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素であることである。このため、硫酸などの速効性の化学肥料と同様の利用が可能である。また、メタン発酵において、原料に含まれる肥料成分の窒素、リン酸、カリは、ほぼ全量がバイオ液肥に移行するため、その成分は

メタン発酵原料の成分組成を反映する。例えば、乳牛ふん尿が主原料の場合、乳牛ふん尿の成分を反映して、窒素やカリに対してリン酸の含有量が少ないバイオ液肥となる。当然のことながら、肥料成分濃度が低い原料から生成したバイオ液肥は肥料成分濃度が低くなり、使いにくいバイオ液肥となる。一方、原料由来の有害物質（重金属、塩分等）はバイオ液肥に移行するので、原料中のそれらの濃度が問題ないレベルかを確認しておく必要がある。なお、下水汚泥由来の消化液は重金属が含まれるリスクがあるが、汚泥肥料については重金属濃度の基準が設定されており、基本的にこれらの基準に従って適切に管理されたものが流通されている。



図3 バイオ液肥

表1 バイオ液肥の成分

	単位	施設 A	施設 B	施設 C	施設 D	施設 E
主な原料		乳牛ふん尿	乳牛ふん尿	生ごみ	食品加工残渣・生ごみ	生ごみ、し尿、浄化槽汚泥
含水率	%	94.7	95.9	98.2	97.4	98.0
pH	-	7.8	7.7	8.0	8.1	8.3
全窒素	%	0.37	0.34	0.27	0.16	0.27
アンモニア態窒素	%	0.19	0.17	0.16	0.10	0.19
硝酸態窒素	%	定量下限値以下	定量下限値以下	定量下限値以下	定量下限値以下	定量下限値以下
リン酸	%	0.12	0.12	0.07	0.05	0.13
カリ	%	0.33	0.39	0.14	0.23	0.11

「窒素」、「リン酸」、「カリ」は肥料の三要素であり、そのうち「窒素」は、生育、収量に最も影響する成分である。施用された窒素は、そのすべてが作物へ吸収されるわけではなく、利用されずにガスとして大気へ揮散するもの、地下へ溶脱するものなどがある。堆肥やバイオ液肥などの有機質資材の窒素の組成は化学肥料とは異なるので、それらの施用後の動態を理解した上で、作物要求量に極力合わせて施用量を決定することが重要である。

バイオ液肥の場合、含まれる窒素の約半分がアンモニア態窒素、残りが有機態窒素である。バイオ液肥を土壌表面に施用すると、バイオ液肥中のアンモニア態窒素の一部が揮散する。揮散量は施用後数時間が特に多くなる。しかし、施用後速やかに土壌と混和する、土中に施用するなど、アンモニア揮散を抑制できる施用方法（揮散抑制型施用方法）を採用することにより、バイオ液肥に含まれるアンモニア態窒素の多くを速効性成分として利用でき、アンモニア態窒素を基準とした施肥設計が可能である（図4）。

一方、メタン発酵過程で原料由来の易分解性の有機態窒素は無機化しアンモニア態窒素になっているため、バイオ液肥に含まれる有機態窒素の無機化量は少なく、施肥設計上は無視することができる。

施用された窒素の土壌中での動態を調査した実験結果からは、バイオ液肥由来のアンモニア態窒素の

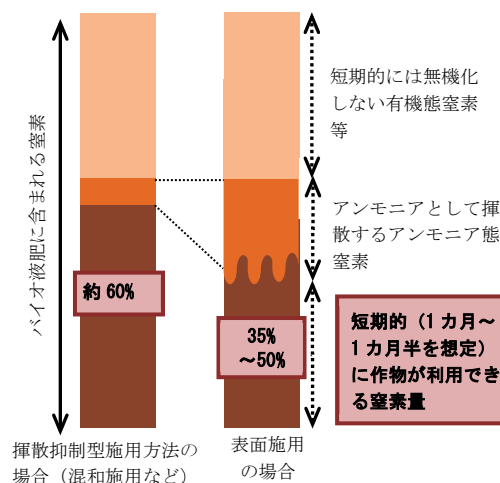


図4 バイオ液肥由来窒素の利用可能割合



動きは、硫安など、化学肥料由来成分の窒素の動きと大きな差異はないことが示されている。作物による窒素吸収量に対する溶脱量の割合がバイオ液肥と硫安で同等であることから、化学肥料をバイオ液肥で代替しても作物の要求量に合った適切な施用量であれば、地下水への負荷を増加させる懸念は小さいといえる。

また、バイオ液肥を多量に施用すると、土壤に浸透し切らず、施肥ムラが生じるため、一度の施用量は 5t/10a 程度が上限である。アンモニア態窒素が 0.15%のバイオ液肥の場合、5t/10a 施用すると 10a あたり 7.5kg の窒素が施用されることになる。水稻や麦の場合は、一般的な施肥量を一度に施用することができるが、野菜などの施肥量が多い作物は、バイオ液肥にプラスして、不足分を化学肥料等で補充する対応が必要となる。

このように、バイオ液肥の肥料効果や利用に伴う環境影響については基本的な情報は整理されてきている（中村、2013）。バイオ液肥をそれぞれの地域で利用していくためには、上記のような特徴を踏まえて、その地域の農業の特徴（作物、土壤等）に合うようにアレンジしていくことが重要である。

### 3. バイオ液肥の普及プロセス

バイオ液肥の利用は、2000 年頃までは牧草地への散布を中心として取り組まれている例が多く、水田や畑地での利用は限定的であった。しかし、ここ 15 年間ほどで各地において水田や畑地での利用が進んでおり、そのような地区では、栽培暦の作成、液肥利用者協議会（バイオ液肥の利用技術の普及や利用調整等を行う組織）の設立など、耕種農家がバイオ液肥を利用しやすくする工夫が行われている。また、近年では、バイオ液肥を地域で有効利用するための取組を支援する農林水産省の事業もあり、栽培試験や研修会のための経費が補助の対象となる。バイオ液肥の利用計画・普及促進策の例を表 2 にまとめる。普及促進策を進めるにあたっての留意点としては、農業関係の専門家でも、バイオ液肥のことを知らない場合があることである（バイオ液肥の知名度はそこまで高くない）。農業関係者を含め、関係者に対して、先行事例やポット栽培試験結果等を活用しつつ、丁寧に説明して、協力いただくことが重要である。

表 2 バイオ液肥の利用計画・普及促進策の例

計画段階～プラント建設前	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 文献調査、専門家に相談</li> <li>・ 原料の組成からバイオ液肥肥料成分を推定、地域の農地面積等確認</li> <li>・ 先進地域視察</li> <li>・ メタン発酵ラボ試験で生成したバイオ液肥を用いて、ポット栽培試験を実施</li> <li>・ 液肥利用準備組織の設立（関係組織との関係構築、役割分担）</li> <li>・ 液肥輸送・散布車両の導入台数、貯留槽の容量等を決定</li> </ul>
プラント建設中	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 市町村など関係者に協力依頼（協力農家や都道府県普及組織の紹介を依頼等）</li> <li>・ 近隣のメタン発酵プラントのバイオ液肥で栽培試験</li> <li>・ 勉強会（栽培試験結果の報告、専門家の講演）</li> <li>・ バイオ液肥利用詳細計画（機器の運用、利用ルール・料金）</li> </ul>
プラント完成後	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 肥料登録</li> <li>・ 農林水産省事業の活用（栽培試験、用途を広げる）</li> <li>・ 栽培暦・マニュアル等作成</li> </ul>



#### 4. 各地の液肥利用の取り組み

##### 4.1 北海道の畑作酪農地域（鹿追町中鹿追地区）

鹿追町では、2007年からバイオ液肥の利用が行われている。バイオガスプラント建設前は、消化液ではなく、生スラリーが散布されていたが、雑草種子の残存、臭気の問題などがあり、耕種農家ではあまり使われず、畜産農家所有の牧草地に過剰施用される状態となっていた。プラント稼働後はバイオ液肥になったことで肥料成分が安定し、雑草種子や臭気の問題も軽減され、耕種農家での利用が増えた（図6）。2008年頃に肥料価格が高騰したことも耕種農家の利用が増える要因となった。また、鹿追町では家畜排せつ物を排出している酪農家が、バイオ液肥の利用においても責任を持つ取り決めになっており、それがバイオ液肥の利用が進んだ一因となっている。

##### 4.2 北海道以外の水田作中心の地域（南丹市、大木町、みやま市、真庭市、南三陸町等）

北海道以外では、水田を中心にバイオ液肥の利用が進んでいる。輸送・散布には図2のような車両が使われる。これらの地域では、個々の農家の耕作面積を小さく、多くの農家にバイオ液肥の使い方を周知する必要がある。そのため、バイオ液肥版の栽培暦を作成するなど、農家にとってわかりやすい形での情報提供が行われている。また、これらの地域は水田の基肥での利用が多く、春先に利用が集中する傾向にあり、それを平準化するため、麦への利用、秋に施用する稲わら腐熟用の石灰窒素の代替などが行われている。さらに、農家の自給用野菜、家庭菜園での利用を促進するため、各集落に液肥スタンドを設置する取り組みや家庭菜園用のマニュアルを作成し、広く市民に活用いただく取り組みも行われている。



図5 バイオ液肥の散布車両（北海道）

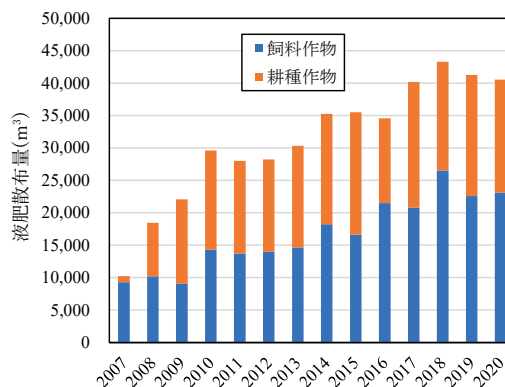


図6 バイオ液肥の散布量（鹿追町）

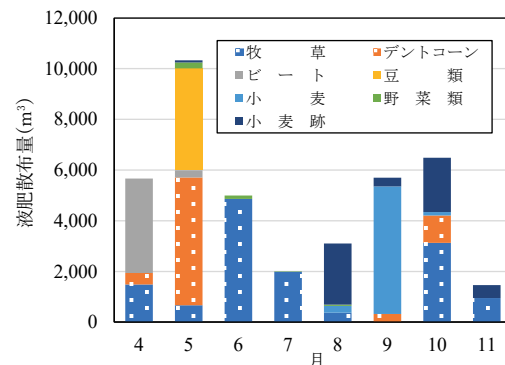


図7 月別、品目ごとの液肥利用量（鹿追町）



図8 液肥スタンド（真庭市）



図9 家庭菜園用液肥利用マニュアル  
(出典：みやま市ホームページ)

参考文献

- 1) 浅井真康 (2020) : 家畜排せつ物のメタン発酵によるバイオガスエネルギー利用, 令和 2 年度畜産環境シンポジウム資料
- 2) 中村真人(2020) : 農研機構技報, 農村地域におけるメタン発酵を中核とした資源循環システムの構築,4,30-33,  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/publication/laboratory/naro/naro\\_technical\\_report/134176.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/naro_technical_report/134176.html)
- 3) 中村真人 (2013) : メタン発酵消化液の液肥としての利用、『最新農業技術 土壌施肥 vol.5』, 農文協 東京.



## 第 2 節 消化液と汚泥の処理①

高原 晋

### 発酵残さ(消化液)処理設備

発酵残さ処理設備は、発酵残さの性状や発酵残さの取り扱い方法に応じて設置し、主に脱水設備と脱水ろ液処理設備によって構成される。

#### 1 処理概要<sup>1)</sup>

発酵残さは直接農地利用されることもあるが、これが出来ない場合は、通常、水処理の負荷を下げるため前処理として脱水処理が行われる。脱水固形物は、堆肥化して農地還元するか、出来ない場合は焼却処理される。堆肥は余剰気味である地域も多いことから、堆肥利用を候補にする場合は、堆肥の現在の利用状況や長期的な需要の見通し等を十分把握しておく必要がある。また、これらを焼却処理する場合は、水分率が焼却能力や焼却炉内への投入熱量に影響を与えることがあることに留意が必要である。

また、脱水分離液も同様に農地での利用が可能であるが、これを行わない場合は、排水処理設備で処理される。排水処理設備では脱水分離液の他に受入設備の洗浄水や脱臭設備の排水等も処理の対象となることを留意しながら、排水処理設備の処理規模や処理能力の検討を行う必要がある。

放流先の水質基準値を確認するとともに、周辺環境への影響も十分検討し、場合によっては更に高度な処理の検討も行う必要がある。

放流先が河川、湖沼、海域なら水質汚濁防止法および各都道府県条例による上乘せ基準、下水道なら下水道法と自治体条例に基づき水質基準は定められているので、十分な調査・検討を行う必要がある。

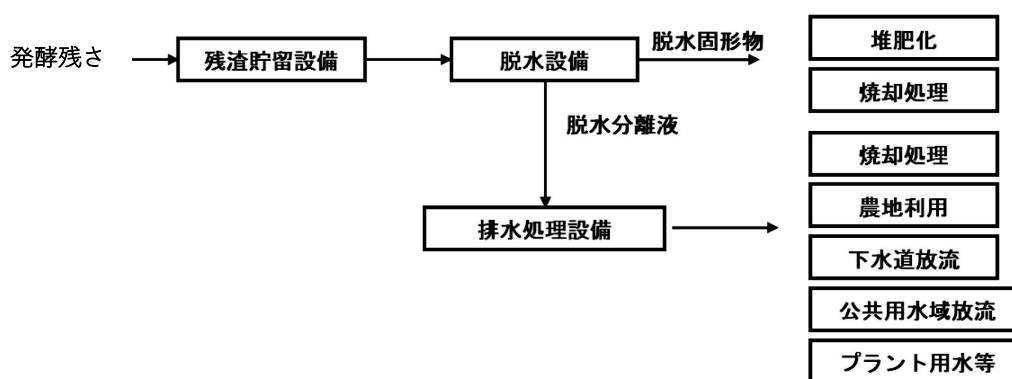


図 1 発酵残さ処理のフロー例

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)

処理対象物によっては、砂等の夾雑物が含まれる場合がある。これらが入口から脱水設備に至るまでの機器において詰まり等のトラブル原因となるケースがあることから、計画設計段階において十分に留意することが必要である。

## 2 排水処理設備

排水処理設備は、メタン発酵残さの脱水分離液の処理が主であるが、その他に脱臭設備の排水やごみ汁、受入設備の洗浄水等も処理対象になる(以下、脱水ろ液等とする)。脱水分離液は、多量の有機物、アンモニア態窒素やリン酸等を含むため、生物学的脱窒素処理、および必要に応じて高度処理を組み合わせ放流先の受入基準まで処理する。

### (1) 生物学的脱窒素処理

BOD および窒素を同時に処理する活性汚泥形式の処理法である。図 2 に本方式の代表的な硝化液循環法の処理フロー例を示す。

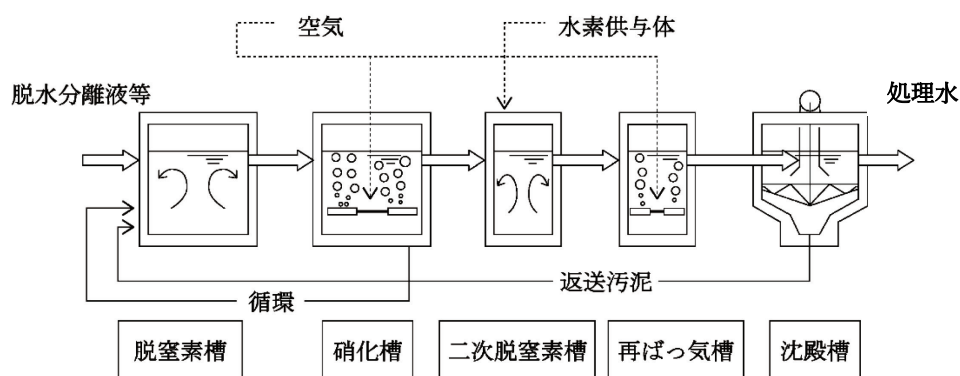


図 2 硝化液循環法処理フロー図

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)

生物学的脱窒素処理法は、表 1 の項目を中心に運転管理を行う。項目は、原水の水質、反応槽の pH と溶存酸素濃度(DO)、汚泥日令、温度、脱窒槽の嫌気条件(ORP)、脱窒に必要な水素供与体(メタノール等)の添加量、沈殿槽での固液分離性等である。また、点検頻度は、pH, DO, 温度, ORP 等は計器で常時モニターするが、それ以外の項目は 1 日 1 回程度の測定・点検を行う。

表 1 生物学的脱窒素処理法における管理項目(例)

生物学的脱窒素処理法における管理項目	頻度
原水の水質	1 回/日
反応槽の pH と溶存酸素濃度(DO)	常時
汚泥日令	1 回/日
温度	常時
脱窒槽の嫌気条件(ORP)	常時
脱窒に必要な水素供与体(メタノール等)の添加量	1 回/日
沈殿槽での固液分離性	1 回/日

## (2) 高度処理

生物学的脱窒素処理方法等では基準を満たせないときには、さらなる高度処理設備を設ける。

一般的には、①凝集分離処理設備、②オゾン酸化処理設備、③砂ろ過処理設備、④活性炭吸着処理設備等がある。

脱水分離液処理は、処理水の要求水質が厳しくなるほど、多くのエネルギーと費用がかかる。処理水は、下水道流域下では下水管へ放流し、それ以外では公共用水域へ放流する。

河川に放流する場合は、放流先の環境影響への配慮とともに、より高度な処理が必要であり、特に COD や色度の除去は技術的には可能であるが、かなりの維持管理費がかかることに留意しておく必要がある。

## (3) 株式会社神鋼環境ソリューションの事例<sup>2)</sup>

2006年4月に日田市向けに納入したメタン発酵施設では、メタン発酵で発生した消化液の一部は加熱殺菌槽で殺菌後、液肥貯留槽にて貯留され、液肥として農地散布されている。固形残渣は全量堆肥化されて市民に安価で販売されている。残りの消化液は、スクリーンにて夾雑物を除去した後、膜分離活性汚泥法による排水処理設備で処理が行われる。本設備は、余剰汚泥を極力減量化することを目的として、好熱性細菌による汚泥減量化プロセスを組み込んでいる。消化液は生物学的硝化脱窒処理、固液分離、リン除去のための凝集沈殿を経て下水道排除基準未満にまで処理後、下水放流されている。

### 参考文献

- 1) 環境省大臣官房廃棄物リサイクル対策部廃棄物対策課：メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）、2017年3月
- 2) 神鋼環境ソリューション技報,Vol.4,N0.2(2008),p6





## 第 2 節 消化液と汚泥の処理②

森田 真由美

### 下水処理の場合

下水処理では、消化液（消化槽内の汚泥）は、消化汚泥として脱水後、産廃処分や焼却処理、または有効利用されており、以下その概要について説明する。

#### 1. 処理概要

下水処理においては、図 1 に示すように、発酵槽である消化槽から消化汚泥を引き抜き、脱水機を用いて固液分離する。分離された脱水ろ液は、返流水として水処理に戻り、下水処理場に流入する下水と一緒に処理される。

一方、固形物は脱水汚泥として、産廃処分されるか、乾燥・焼却処理されることが多い。平成 27 年 7 月の下水道法改正により、下水汚泥の肥料化・燃料化が努力義務となったことにより、近年では汚泥を乾燥や炭化処理することで、石炭代替燃料とすることや、たい肥や肥料として有効利用することが全国各地で増えている。

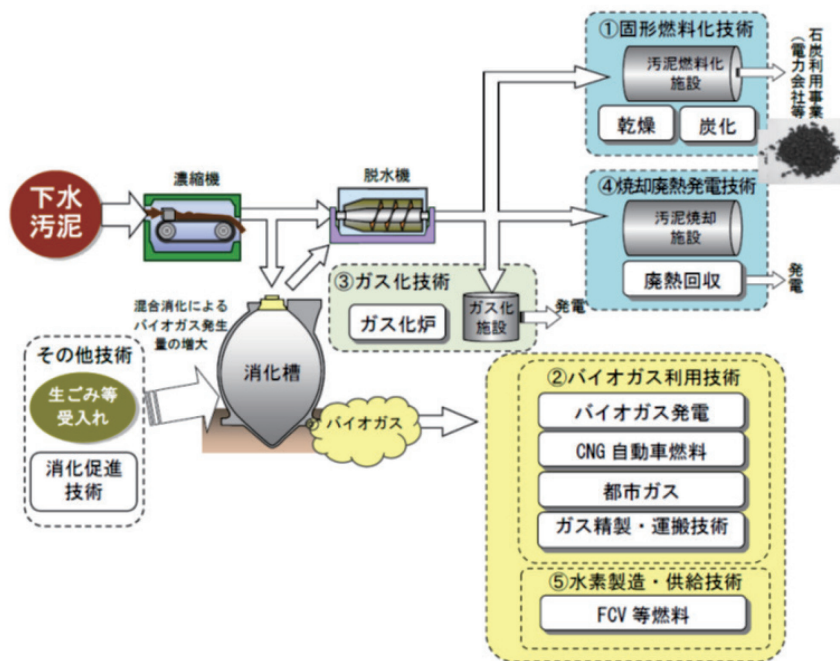


図 1 下水汚泥の様々なエネルギー化技術<sup>1)</sup>

#### 2. 汚泥処理

##### (1) 脱水

消化汚泥は、固形物濃度が 2～3%程度であり、ここに無機性や有機性の凝集剤を添加して固形物を凝集させ、機械的処理により固形物と水分を分離する。この凝集剤は、汚泥の性状や用いる脱水機によって適切な薬剤が異なるため、メーカーに依頼して選定される。固形物と水分を分離する方法としては、ろ布で挟み込むことにより脱水するベルトプレス脱水機、高速回転により分離する遠心脱水機、外筒スクリーンの中をスクリーにより凝集汚泥

をゆっくり押し込むことで分離するスクリーンプレス脱水機などがあり、汚泥性状などにより選択される。

脱水機を経た汚泥は、含水率が 80%程度まで脱水され、その後、乾燥や焼却工程を経るか、脱水汚泥のまま産廃処分もしくは肥料や燃料として有効利用される。脱水機で分離された水分は、下水処理工程の上流（水処理工程）に返流され、処理される。

## (2) 乾燥・焼却

脱水された汚泥は、水分や有機性成分を多く含むため、さらに乾燥や焼却工程を経ることで容量を減らすことも多い。多くの水分を含む汚泥を焼却するためには、補助燃料の使用量や消費電力量が高いため、近年では、汚泥の脱水工程での含水率低減や、発電設備を備えた焼却設備など、焼却設備の省エネ化を図る技術が開発・導入されている。

## (3) 有効利用：燃料化や肥料化の場合

平成 27 年の下水道法改正により、汚泥の燃料化や肥料化の検討が努力義務として追加されたこともあり、近年は汚泥の有効利活用事業としての提案を求める自治体も増えている。図 2 に汚泥の燃料化技術を含めた様々なエネルギー利用の導入場所を示す。

燃料化の場合、汚泥を乾燥や炭化することで、火力発電設備やボイラなどの石炭代替燃料としている。また、この燃料化設備は、PFI や DBO などの仕組みにより、民間会社が 20 年間程度、下水汚泥燃料を製造・販売する事業として運用されている。

肥料化の場合は、液肥としてではなく、固形物として回収した汚泥を乾燥もしくはたい肥化して提供している事例が多い。提供する肥料の種類や提供方法などは、自治体ごとに様々である。

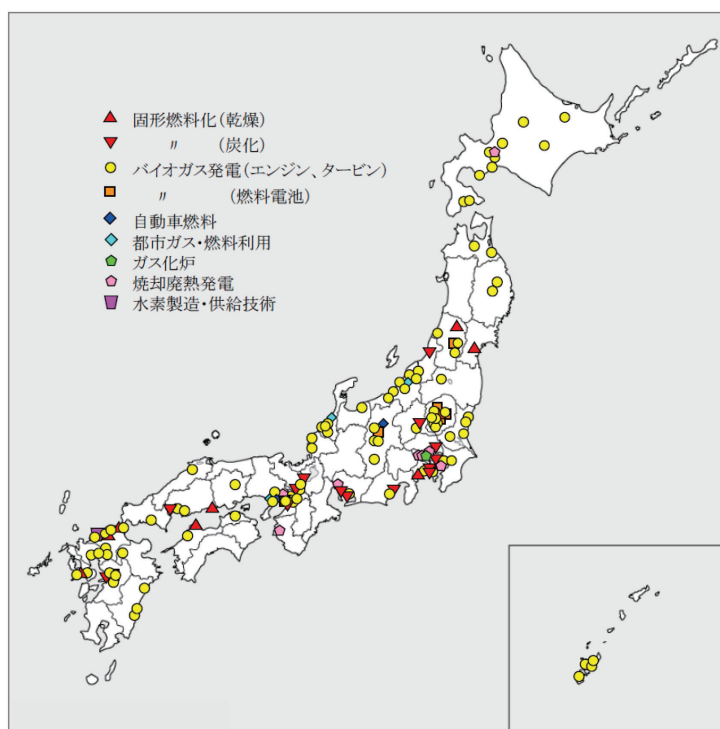


図 2 下水汚泥のエネルギー化技術導入場所（導入予定含む。平成 30 年 1 月時点。）<sup>1)</sup>

#### (4) 混合メタン発酵

近年、人口減少が課題となっていることにより、下水処理場の消化槽において投入汚泥量が当初想定したほど増えていないことから、設備の運転に余裕のある場合がある。そこで、地域バイオマスとして、食品残さなどを消化槽に投入・混合し、発酵することで消化ガス量を増やす試みが行われている。図3に下水処理場への地域バイオマス集約イメージを示す。

廃掃法の規制もあるため、関係部署・省庁との調整が必要であるが、漁業残さや農業残さ、家畜排せつ物など様々な地域バイオマスを受け入れる検討が行われている。

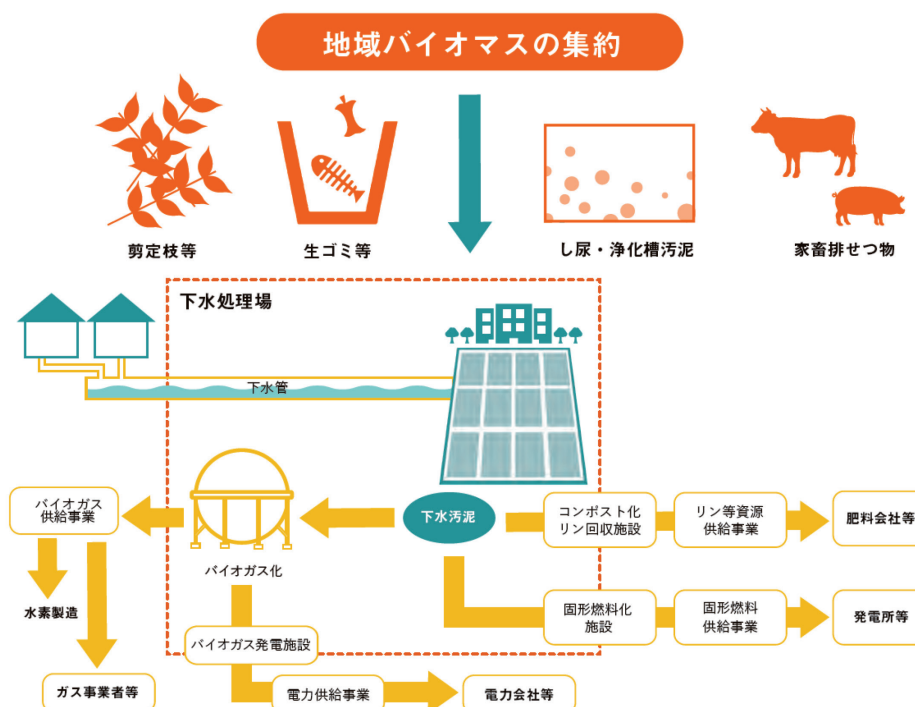


図3 下水処理場への地域バイオマス集約のイメージ<sup>2)</sup>

#### 参考文献

- 1) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン 平成29年度版 平成30年1月 国土交通省水管理・国土保全局 下水道部
- 2) 下水処理場でまとめてエネルギーに ―下水処理場における地域バイオマス活用に向けて― 平成30年4月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部



## 第3節 再生敷料と堆肥

羽賀 清典

### 1. 敷料の役割

#### (1) 家畜の安楽性・安全性

従来から使われてきた家畜の敷料の種類には、おが粉、もみ殻、稲わら、麦わらなどがある<sup>1)</sup>。敷料は家畜の安楽性に役立っている(図1)。敷料を畜舎の寝床に敷くと、家畜の体温が床に直接に奪われることや体が傷つくことを防ぎ、家畜が歩いたときもクッション性があり蹄を守ることにつながる。また、敷料はふん尿を吸収し、家畜の体へのふん尿の付着を防ぎ、畜舎内の衛生状態の改善や疾病防止など、家畜の安全性に役立っている。



図1 敷料による家畜の安楽性と安全性

#### (2) 臭気低減

敷料を使わない場合、排せつされたふん尿は床上で混合してドロドロになり、悪臭が発生する。特に、ふんと尿が混合したドロドロ状態で放置すると、1日の内に大量のアンモニアが発生する<sup>2)</sup>。一方、敷料を使うと、ふん尿の水分は敷料に吸収され乾燥が早まり、悪臭を吸着するので臭気低減につながる。出来上がった堆肥を堆肥化の副資材や敷料に再利用するやり方を戻し堆肥と呼ぶが、戻し堆肥には消臭効果があることが知られている<sup>3)</sup>。

#### (3) 堆肥化の副資材

家畜ふんの堆肥化を促進するためには、堆肥に空気(酸素)を送る必要がある。家畜ふんにおが粉など水分の少ない副資材を混合し、通気性を向上させるやり方がもっとも簡易で普及している方法である。肉用牛はおが粉などの敷料を大量に利用する踏み込み式の飼養方法が大勢を占めている<sup>4)</sup>。その敷料は堆肥化の副資材の役割をして堆肥化しやすい状態を作り出す。養豚における発酵床も同じようなやり方である。

### 2. 再生敷料の製造と利用

#### (1) 敷料コストの上昇と代替敷料への期待

家畜の敷料がコスト高になり、入手困難になっている現状がある。例えば、農林水産省の畜産物生産費調査によると<sup>5)</sup>、生乳100kg当たりの敷料費は1999年には63円であったが、20年経った2019年には113円と1.8倍のコスト高になっている。また、バイオマス利活用促進によっておが粉の多くがエネルギー利用され、畜産で入手しにくい現状がある<sup>6)</sup>。そのような現状で、低コストで使いやすい敷料資源の開発が重要な課題となっており、メタン発酵消化液の固形物(メタン発酵残さ)が再生敷料として注目されている<sup>7)</sup>。



## (2)メタン発酵消化液から固形物の回収

メタン発酵消化液（以下、消化液と呼ぶ。）から再生敷料と堆肥を生産するフローを図 2 に示す。家畜から排せつされた①ふん尿は②貯留槽に集められ、③メタン発酵槽でメタン発酵される。メタン発酵によってバイオガスと④消化液が生産され、バイオガスはエネルギー利用される。消化液の固形分濃度は 5%程度であり、再生敷料を製造するためには固形物を回収する必要がある。回収するためには⑤固液分離設備を使用するのが一般的である。固液分離設備によって消化液は⑥固形物（メタン発酵残さ）とバイオ液肥に分離される。

消化液はふん尿が嫌気性条件でメタン発酵処理された液状物だが、メタン発酵による有機物の分解率は 30～50%程度であるので<sup>8)</sup>、回収した⑥固形物には、有機物がまだ 50%以上残存している。その固形物を、敷料に再利用するためには、残存する有機物を分解・安定化させる必要がある。また、水分はなるべく低減したいし、大腸菌や乳房炎原因細菌の滅菌処理も必要になる。簡易・低コストにこのような処理を行うには、⑦堆肥化が有効である<sup>9)</sup>。堆肥化によって、残存する有機物を分解・安定化し、その分解過程で発生する発酵熱で堆肥は高温になるので、水分が蒸発し有害微生物等が滅菌される。

⑧再生敷料に利用しない⑨堆肥とバイオ液肥は圃場に還元し飼料生産のための肥料資源となる。生産した飼料は家畜に給与することで、図 2 に示すような物質循環フローが成り立っている。

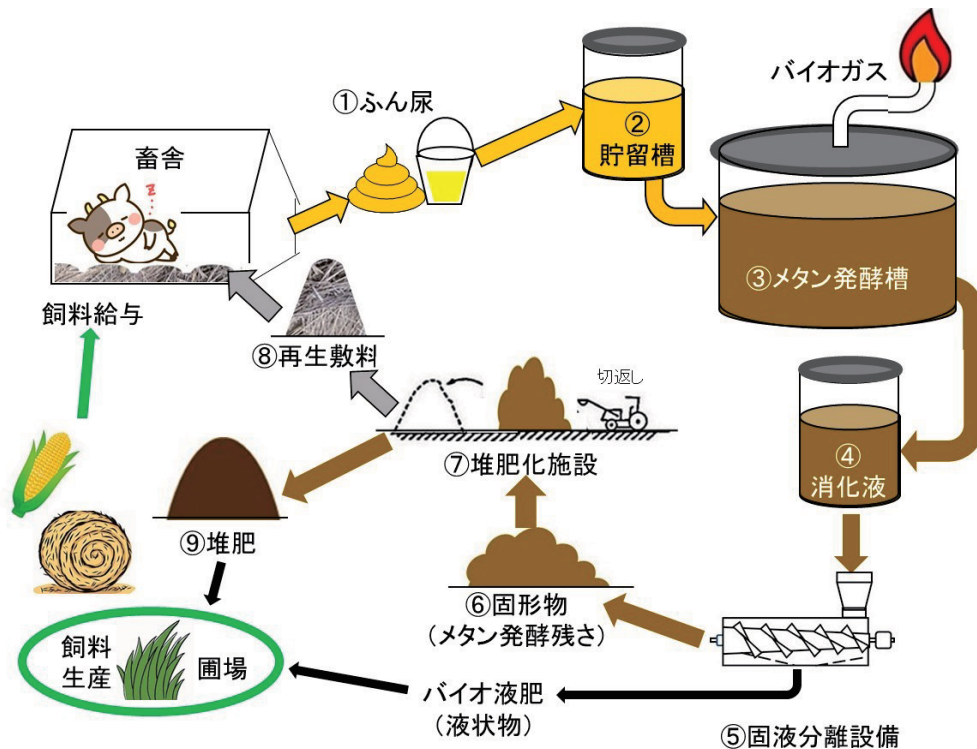


図 2 メタン発酵消化液残さから再生敷料と堆肥を生産する物質循環フロー

### (3) 固形物の堆肥化処理

堆肥化の主役は微生物である。微生物は数ミクロン程度の眼には見えない微小な生物だが、堆肥 1cm<sup>3</sup> に 1～10 億個という莫大な数が存在し、盛んに活動することで、ふん尿中の有機物を分解・安定化する。④微生物が活動するための①栄養分はメタン発酵残さに残存する有機物である(図3)。②水分が高すぎると微生物に③空気(酸素)が十分に供給できなくなるので、両者のバランスをとり、通気性のある水分に調整する必要がある。



図3 堆肥化の基本6条件<sup>10)</sup>

消化液から回収した固形物の水分は 75%くらいあるが、通気性が悪い場合には、おが粉やもみ殻などの副資材を添加し通気性を改善する必要がある。

このように栄養分、水分、空気の適正条件がそろると、微生物が活発に有機物を分解し堆肥の⑤温度が上昇してくる。固形物に残存する有機物が少なくて温度が上昇しない場合には、生のふんなどの有機物を添加することも考える必要がある。堆肥化を進行させるためには堆肥を⑥切り返して混合する操作が必要であり、堆肥化時間を十分にとる必要がある。

堆肥化過程における堆肥の発酵熱による温度変化を図4に示す。乳牛のふんにおが粉を副資材として混合して水分を約 68%に調整して堆積し、1週間に1回ショベルで切り返し

をして堆肥化を行った実験例である。牛ふん・おが粉混合物を堆積するとすぐに温度が 60℃以上に上昇するが、4日目あたりから下降してくる。そこで1週間目に切り返しを行うと、再び温度が上昇する。このような温度の上昇・下降を繰り返しながら、堆肥中の有機物は分

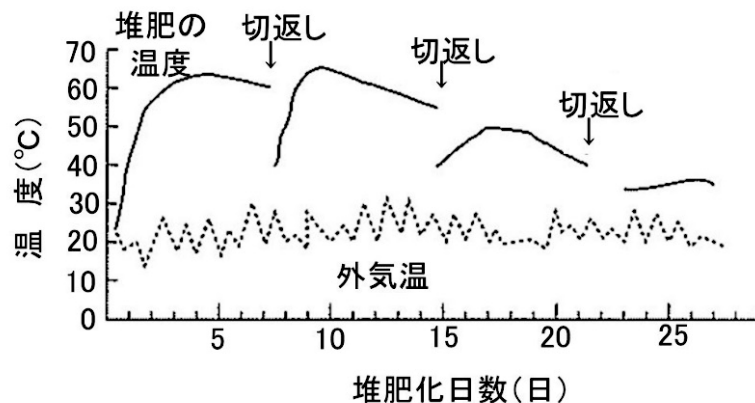


図4 堆肥の発酵熱による温度変化<sup>10)</sup>

解・安定化し、堆肥の熟成が進む。

堆肥の温度を 60℃以上にすることによって、堆肥に含まれる雑草種子の死滅<sup>11)</sup>、病原性の腸内細菌やウイルス、寄生虫などを殺滅・不活化し<sup>9,12)</sup>。衛生的で良質な堆肥を作ることができる。堆肥の温度を 60℃以上の高温にするには、好気性(こうきせい)条件で発生する発酵熱を利用する。好気性条件とは空気(酸素)が十分な状態である(図5)。堆肥に空気が入りやすいように水分を 55～75%に調製し、切り返し作業をやり、必要に応じて通気装置で通気するなどして、好気性条件が得られる。一方、酸素が不十分な状態が嫌気性(けんきせい)条件である(図5)。水分が 80%くらいありベトベトして、空気の入りようがな

い堆肥は嫌気性で温度が上がらない。好気性条件では悪臭の発生が少なく、短時間に良質な堆肥を作ることができるが、嫌気性条件では悪臭が強く、堆肥化に長時間かかる。以上のように、固形物の堆肥化では好気性条件をいかに作るかが良質堆肥を作るカギとなる。

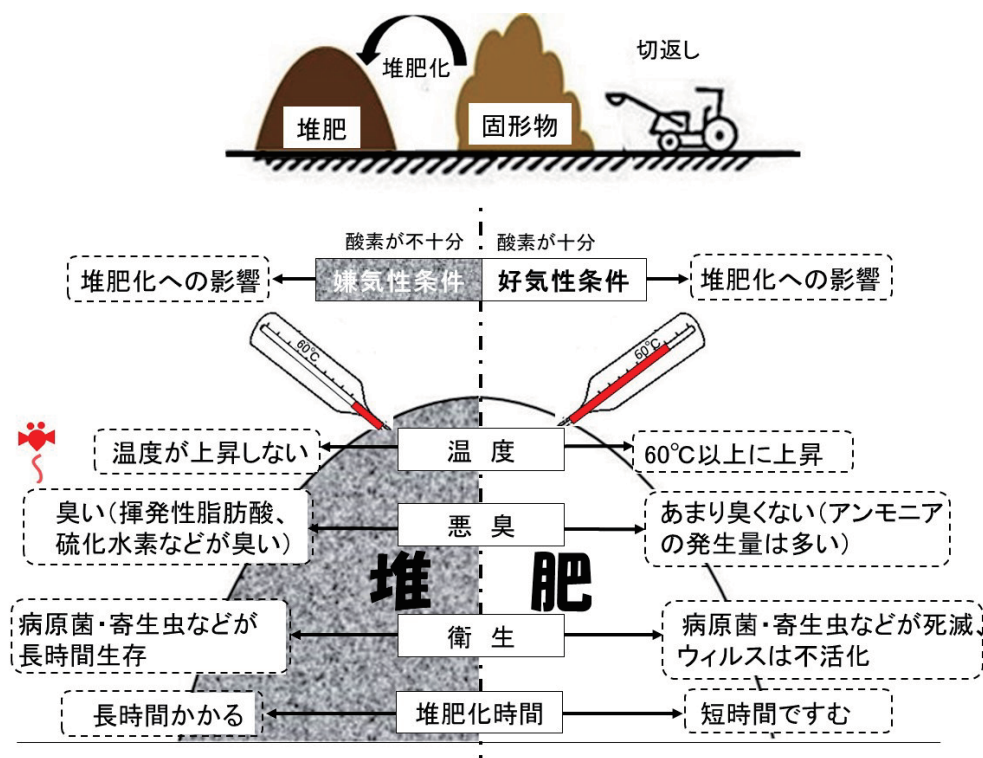


図5 好気性及び嫌気性条件が堆肥化に与える影響

#### (4) 発酵熱による大腸菌や乳房炎原因細菌などの低減

再生敷料を乳牛の寝床に敷くと、再生敷料がふん尿を原料としていることから、敷料が乳房に触れて汚染し乳房炎の恐れがある。そこで、固形物の堆肥化過程における大腸菌や乳房炎原因細菌の推移を調べた実験例について述べる。

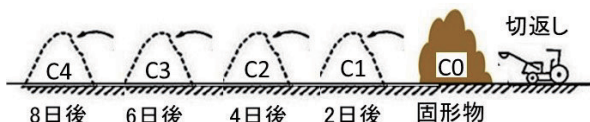


図6 再生敷料の調製工程<sup>13,14)</sup>

乳牛 300 頭規模のふん尿を 38℃、30～40 日の滞留時間でメタン発酵した消化液の固形物を、図 6 に示すように堆肥化し、再生敷料を調製した<sup>13,14)</sup>。水分約 95%の消化液をスクリーンプレスによって固液分離し、水分約 75%の固形物を回収した。固形分は底面の直径 5.5m、高さ 1.5m の山型に堆積し (C0)、2 日毎に C1、C2、C3、C4 と切返して 8 日間堆肥化した。表 1 に固形物の堆肥化過程における温度、pH、水分の変化を示す<sup>14)</sup>。固形物 C0 の状態では温度が 40℃だが、C1 から C4 の堆肥化過程では温度が

表 1 固形物の堆肥化過程における温度、pH、水分の変化<sup>14)</sup>

堆積物	夏季			冬季		
	温度 (°C)	pH	水分 (%)	温度 (°C)	pH	水分 (%)
C0	40	9.1	69.6	40	8.5	73.2
C1	63	9.2	67.5	71	8.7	73.0
C2	74	9.2	67.1	70	8.7	70.7
C3	63	9.3	65.2	69	8.9	67.5
C4	67	9.4	61.7	67	9.0	66.2

上昇し、夏季（8月）では63～74℃、冬季（2月）でも67～71℃と高温に達した。pHはC0の段階で消化液中のアンモニウムイオンの影響で8.5～9.1と弱アルカリ性になっており、堆肥化には好適なpHである。C1からC4と堆肥化が進むと夏季は9.2～9.4、冬季は8.7～9.0と、よりアルカリ性に傾いている。堆肥化過程における窒素化合物の分解によって新たに生成したアンモニアの影響と考えられる。水分は牛ふんの堆肥化条件である72%に近い好適な条件に保たれている<sup>9)</sup>。

堆肥化過程における大腸菌や乳房炎原因細菌の推移を図7（夏季）と図8（冬季）に示す<sup>13,14)</sup>。夏季は、大腸菌群（Coliform）と大腸菌（*Escherichia coli*）はC0段階では数千から数万cfu/gDM（コロニー形成単位数/グラム乾物）<sup>注</sup>存在したが（図7）、8日間の堆肥化によってC4では数十cfu/gDMと1/100から1/1,000に減少した。乳房炎原因細菌とされるコアグララーゼ陰性ブドウ球菌（coagulase negative staphylococci (CNS)）、レンサ球菌（Streptococci）、腸球菌及び難治性乳房炎起因菌（Enterococci and *Streptococcus uberis*）は1/1,000から1/100,000に減少した。また、黄色ブドウ球菌は最初の固形物（C0）段階から検出されなかった。冬季も同様に堆肥化過程で各細菌が減少したが（図8）、減少割合は夏季よりも小さかった。また、大腸菌はC3で検出されなくなったが、大腸菌群はC0とC4に差異がなかった。

堆肥化によって固形物の大腸菌は検出限界以下に低減できるが、再生敷料として牛床に投入すると、2～3時間で $10^2 \sim 10^4$ cfu/gFM（コロニー形成単位数/グラム現物）に22～23時間後には $10^4 \sim 10^5$ cfu/gFMに増加したという報告があり<sup>15)</sup>、再生敷料に大腸菌増殖抑制効果は確認されていない。

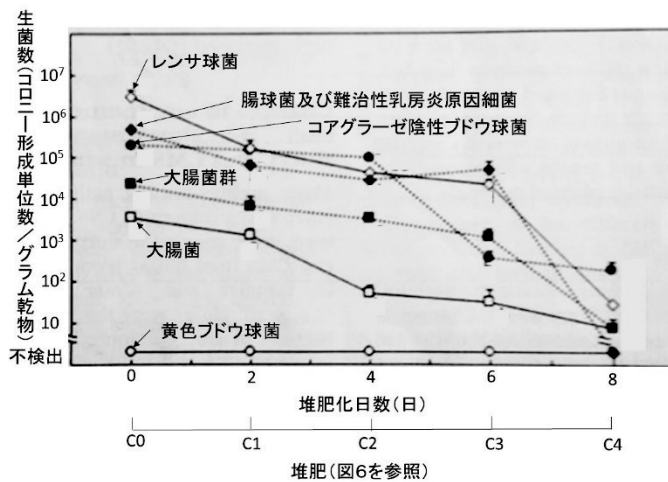


図7 堆肥化過程における乳房炎原因細菌の推移(夏季)<sup>13,14)</sup>

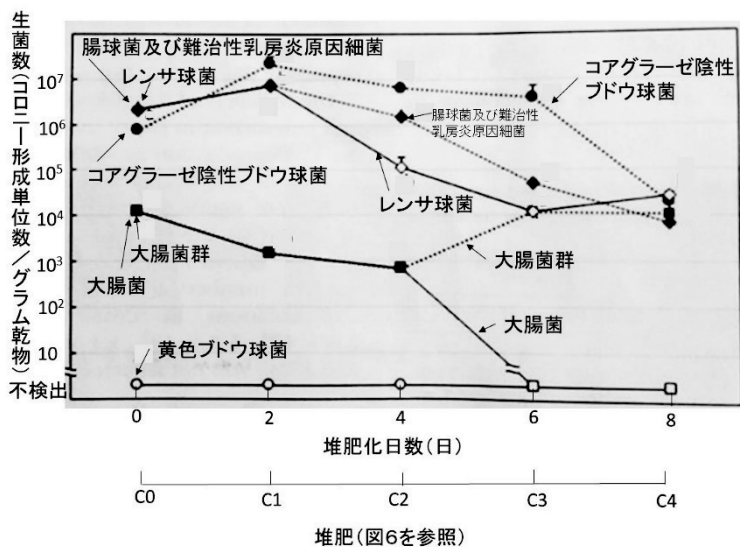


図8 堆肥化過程における乳房炎原因細菌の推移(冬季)<sup>13,14)</sup>



### (5)再生肥料利用の実例

これまで述べてきたようにメタン発酵残さは、おが粉などの代替肥料としての利用可能性が高い。また、外国においてもわが国と同様に、肥料のコスト高と入手困難を契機として、メタン発酵残さの再生肥料の利用の実例がみられ、アメリカ合衆国のイリノイ州立大学の報告などがある<sup>16)</sup>。ここでは、わが国の4つの実例についてみていきたい。

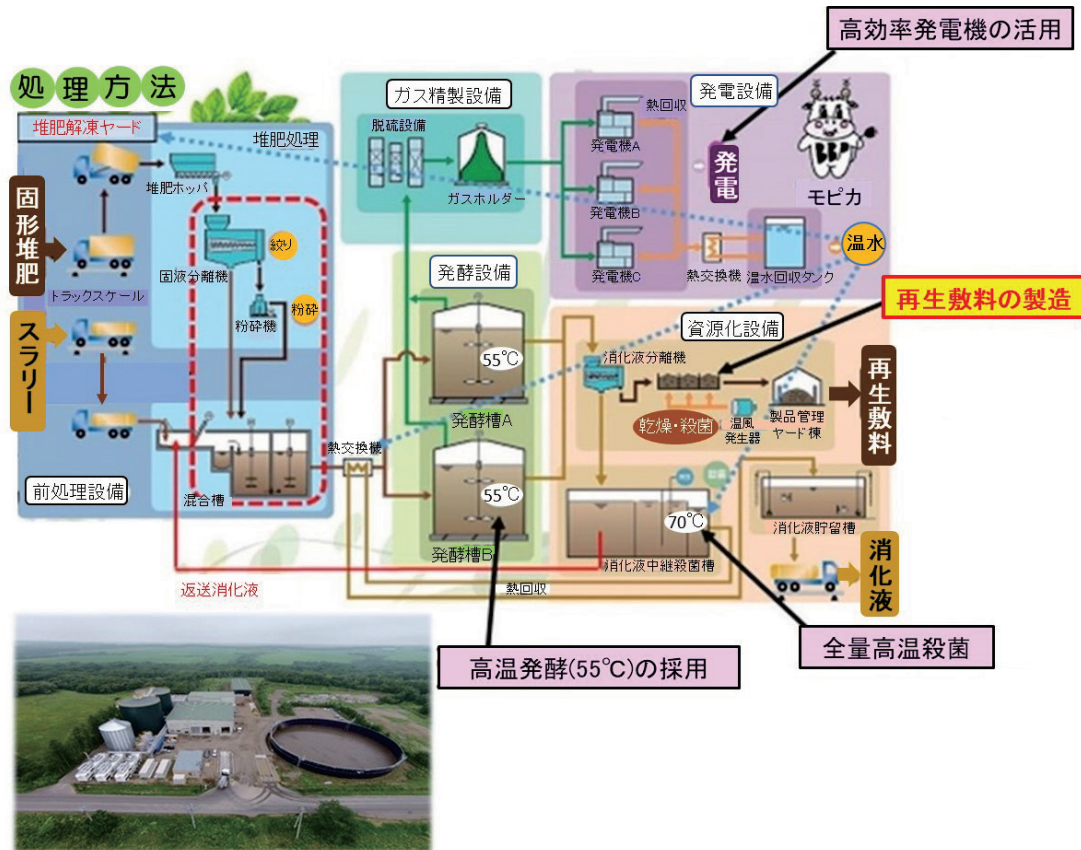


図9 別海バイオガス発電所の施設フロー<sup>17)</sup>

図9の別海バイオガス発電所の施設は、農林水産省「地域バイオマス産業化整備事業」として2015年から稼働している。家畜排せつ物280t/日(4,500頭相当分)(2019年4月現在、73戸と契約)と産業廃棄物系食品残さ5t/日の合計285t/日を55°Cの高温メタン発酵方式で処理している。10~3月は再生肥料の水分が70%と高水分となってしまうため、温風乾燥をさせた水分55~60%程度の再生肥料を製造している。乾燥させるために灯油代がかかるので、3,000円/m<sup>3</sup>(契約者)、3,500円/m<sup>3</sup>(未契約者)で販売している<sup>17)</sup>。

また、別海バイオガス発電所が製造する再生肥料を、年間672m<sup>3</sup>購入し利用している経産牛119頭規模の酪農家では、再生肥料がおが粉よりも安価であり、乳房炎の事故が少ないと実感している<sup>7)</sup>。問題点として、再生肥料はふん尿の水分を吸収すると重くなり、作業性が低下することをあげている。

図10は乳牛のふん尿38t/日をメタン発酵し、その消化液から再生肥料を製造する有限会社北の大地(北海道猿払村)のバイオガスプラントである<sup>18)</sup>。消化液から回収した固形

物を堆肥化し、4.5t/日の再生敷料を製造・利用している。再生敷料の導入効果として、購入敷料の節減と乳房炎の減少による経営の安定化をあげている。

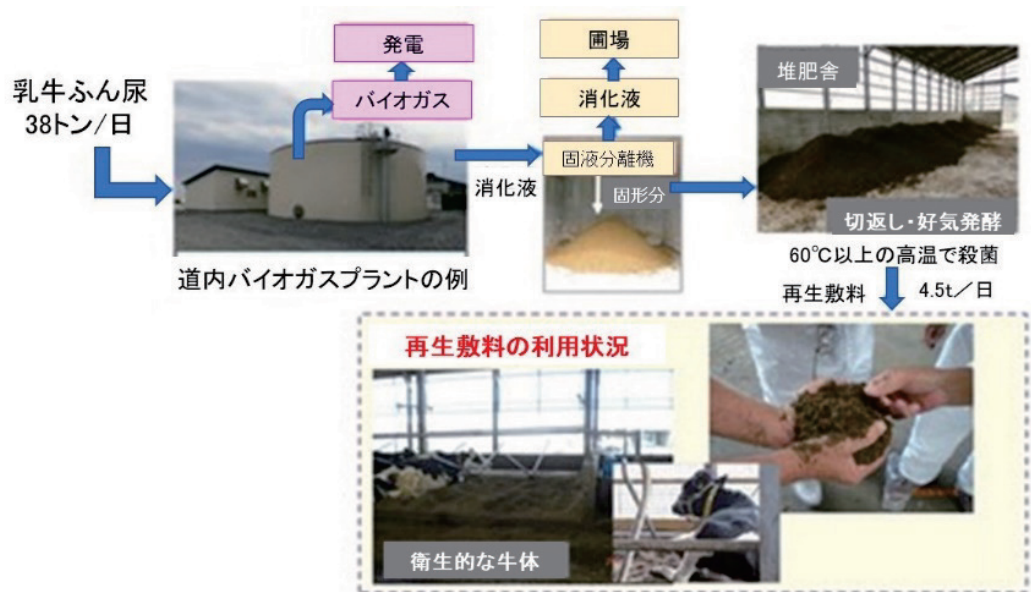


図 10 有限会社北の大地のバイオガスプラントによる再生敷料の製造と利用<sup>18)</sup>

図 11 は搾乳牛 300 頭規模、フリーストール牛舎、牧草地・飼料畑 185ha の酪農家のバイオガスプラントで、2011 年に稼働した<sup>19)</sup>。消化液 29m<sup>3</sup>/日を固液分離した 2.2t/日の固形物を堆肥化・乾燥し、1.7t/日の再生敷料を牛舎に利用している。おが粉などの敷料価格の高騰が、再生敷料導入のきっかけとなっており、再生敷料を利用することで敷料費を抜本的に削減することができた。

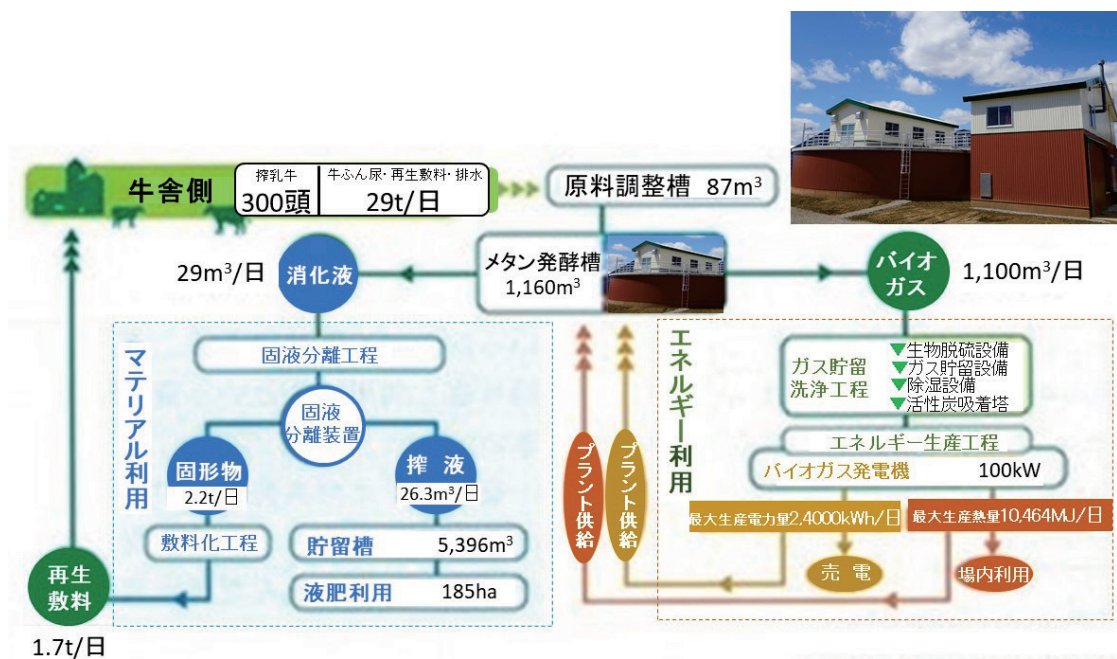


図 11 搾乳牛 300 頭規模のバイオガスプラント<sup>19)</sup>

図 12 は酪農家 6 戸のふん尿 37.89m<sup>3</sup>/日を 42℃、30 日間メタン発酵処理するバイオガスプラントで 2016 年に稼働した<sup>20)</sup>。消化液は牧草畑に液肥として散布するが、一部は固液分離し、液状物（搾液）は消化液と合わせて液肥利用し、固形物は堆肥化処理したのち再生

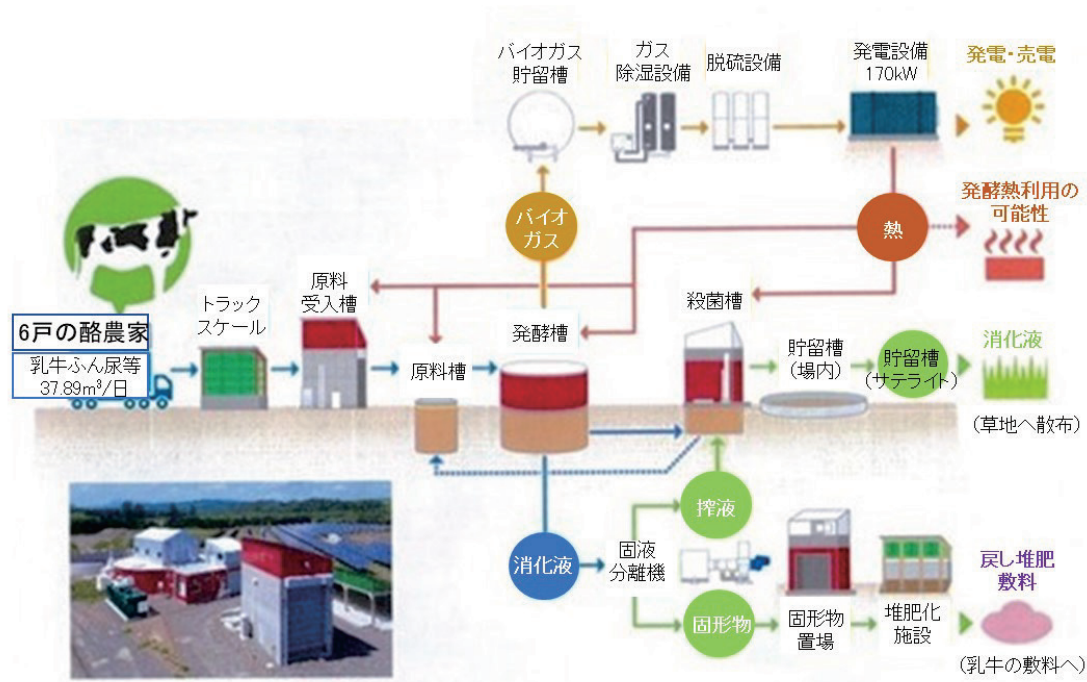


図 12 興部北興バイオガスプラント<sup>20)</sup>

敷料（戻し堆肥敷料）として利用している。堆肥化過程で大腸菌等の細菌類が大幅に減少し、域内で安価に供給できる安全・安心な牛に優しい敷料として利用されている。

某バイオガスプラントメーカーから最近聞いたところでは、北海道のバイオガスプラント導入数約 110 か所の内、再生敷料を製造しているプラントは共同型プラントで約 15 か所、戸別型プラントで約 60 か所ということであり、再生敷料の実例はかなり多い。メタン発酵残さはこれからも有用な再生敷料として利用されていくものとする。

注)cfu（コロニー形成単位数, colony forming unit）

微生物の数を表す単位。固形培地に形成されたコロニー（微生物の集落）を計数して得られる微生物数の単位。

参考文献

- 1) 中央畜産会（2017）：敷料の利用について。『おが粉代替敷料活用マニュアル』。中央畜産会，東京，3-4.
- 2) 坂井隆宏・花島 大・羽賀清典・鈴木直人（2003）：豚ふんと尿の混合が 24 時間以内の悪臭物質揮散に与える影響。日本養豚学会誌，40(2), 39-47.
- 3) 田中章浩（2009）：出来上がり堆肥による悪臭の除去と堆肥の窒素成分調整. におい・かおり環境学会誌，40(4), 229-234.



- 4) 羽賀清典 (2017) : 穏やかに効いて地力増強効果のある肉牛の堆肥. 養牛の友, 2017年4月号, 30-33.
- 5) 農林水産省 大臣官房統計部 : 畜産物生産費統計 調査結果データ [Excel:e-Stat], 農業経営統計調査報告, 農林水産省, 東京. [https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi\\_tikusan/](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_tikusan/), 2021年11月11日
- 6) 中央畜産会 (2016) : 『おが粉の代替となる敷料の事例集』, 中央畜産会, 東京.
- 7) 中央畜産会 (2017) : メタン発酵残さ. 『おが粉代替敷料利活用マニュアル』. 中央畜産会, 東京, 45-49.
- 8) 羽賀清典 (1982) : 家畜・家禽の排泄物のメタン醗酵. 日本畜産学会報, 53(4), 235-250.
- 9) 中央畜産会 (2000) : 『堆肥化施設設計マニュアル』. 中央畜産会, 東京.
- 10) 羽賀清典 (2012) : 堆肥化処理. 『新編 畜産環境保全論』, 押田敏雄・柿市徳英・羽賀清典監修, 養賢堂, 東京, 71-76.
- 11) 羽賀清典 (2019) : 雑草の種子の死滅. 羽賀清典監修, 『新版 マニユア・マネージメント』. デーリイマン社, 札幌, 86-88.
- 12) 花島 大 (2019) : 大腸菌など有害微生物の死滅. 羽賀清典監修, 『新版 マニユア・マネージメント』. デーリイマン社, 札幌, 70-74.
- 13) 岡本英竜 (2019) : メタン発酵消化液の分離固分の敷料利用. 羽賀清典監修, 『新版 マニユア・マネージメント』. デーリイマン社, 札幌, 145-147.
- 14) Okamoto, E., Miyanishi, H., Nakamura, A., Kobayashi, T., Kobayashi, N., Terawaki, Y., and Nagahata, H. (2018) : Bacteriological evaluation of composted manure solids prepared from digested slurry for hygienic recycled bedding materials of dairy cows. *Animal Science Journal*, 89(4), 727~732.
- 15) 石田恭弘・高橋圭二 (2019) : 乳牛ふん尿のメタン発酵消化液分離固分の敷料利用時における大腸菌の消長. 農業施設, 50(2), 57~63.
- 16) Timms, L. L. (2008) : Characteristics and use of separated manure solid (Following anaerobic digestion) for dairy freestall bedding, and effect on animal health and performance in three Iowa dairy herds. *Animal Industry Report* AS 654, ASL. R2321
- 17) 別海バイオガス発電所 : バイオガスプラント施設紹介, 別海バイオガス発電所ホームページ, <http://www.jfe-et.co.jp/bbp/>, 2021年11月11日
- 18) 阿寒農業協同組合・北海道エア・ウォーター株式会社 (2017) : 『固定化価格買取制度 (FIT) に依存しない酪農バイオガスプラントの事業可能性評価ー平成 29 年度 NEDO 事業「バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業」の成果紹介』.
- 19) 河原林孝由基 (2016) : 酪農経営を下支えする畜産バイオマス発電と再生敷料ー北海道江別市・(有) 小林牧場の取り組みー. 農中総研 調査と情報, 2016.11 (第 57 号), 14~15.
- 20) 北海道興部町 : 興部北興バイオガスプラント, バイオガスプラント, 北海道興部町ホームページ, <https://www.town.okoppe.lg.jp/cms/section/kikaku/biogas-plant.html>, 2021年11月11日



## 第4節 バイオガスの熱利用

遠藤 良輔

### 熱利用について

バイオガスにはエネルギー物質としてメタンが含まれており、これを燃焼させることで熱が得られる。メタンの熱量価は1 Nm<sup>3</sup>あたり高位発熱量で39 MJ (9,500 kcal)、低位発熱量で35.9 MJ (8,580 kcal)である<sup>1)</sup>。バイオガスには他に二酸化炭素などの燃焼しない物質も含まれているため、バイオガスの熱量価は、上のメタン熱量価にメタン濃度を乗じることで求められる。なお、高位発熱量と低位発熱量の差は水の蒸発潜熱を表している。このバイオガスに含まれるエネルギーを熱として利用するには、熱のみを利用する方法と、バイオガス発電の予熱を利用する、いわゆるコージェネレーションを行う方法がある。

#### ・熱のみの利用

熱利用のみを目的とする場合は、一般的には温水ボイラが用いられ、ここでバイオガスの熱量が燃焼反応を通じて水蒸気や温水に転換される。ボイラの熱効率は90%近くあり、バイオガスのエネルギーを効率よく熱エネルギーに転換することができる。ただし、バイオガス中に制限対象物質が制限値（硫化水素 10ppm、アンモニア 0.2 g m<sup>-3</sup>、水分 15vol%）を超えて含まれている場合は、ガスの前処理を行ってこれらを事前に取り除くことが必要となる<sup>1)</sup>。

#### ・コージェネレーション

バイオガスの利用目的が発電＋余熱利用である場合は、コージェネレーションシステムを利用することになる<sup>2)</sup>。コージェネレーションとは、1種類の一次エネルギーから2種類以上のエネルギーを発生させることを意味しており、排熱を利用する発電システムはコージェネレーションの典型例である。ガスエンジンなどの内燃機関が熱エネルギーを電気エネルギーに転換する発電効率は15～35%であり、残りの熱エネルギーは排熱となる。この排熱をうまく利用すると全体のエネルギー利用効率は大きく向上する。再生可能エネルギーであるバイオガスのエネルギー利用効率の向上は、化石燃料の使用量削減に貢献することから、発電だけでなく排熱利用も行うコージェネレーションの導入は、脱炭素社会の観点からも推奨される。

発電設備は、発電の規模でガス利用設備の種類や排熱の熱量が変わってくる<sup>1)</sup>（表1）。そのため、想定する発電規模を踏まえて設備機器や熱の利用先を検討することが、得られたバイオガスの持つエネルギーを効率的に利用する上で重要となる。

表 1 ガス利用設備と発電規模、余熱利用の関係<sup>1)</sup>

ガス利用設備	発電規模	余熱利用
ガスエンジン	50-4000 kW	温水のみ、または温水+蒸気*
ガスタービン	1000 kW 以上	高圧蒸気**
マイクロガスタービン	2.2-300 kW	温水のみ、または温水+蒸気*
燃料電池 (リン酸型)	50-200 kW	温水のみ、または温水+蒸気*
燃料電池 (溶融炭酸塩型)	10-300 kW	温水のみ、または温水+蒸気*

\*蒸気の圧力は 785 kPa (8 kgf cm<sup>-2</sup>)程度

\*\*蒸気の圧力は 785-980 kPa (8-10 kgf cm<sup>-2</sup>)程度

#### ・メタン発酵システムの熱収支

効率的な熱利用にあたっては、想定するシステムで必要とされる熱量ならびにボイラやガスエンジンで回収できる熱量、つまり熱収支を考えることが重要である。例として、ガスエンジン発電の排熱をメタン発酵タンクの加温に利用する状況を取り上げる。

メタン発酵タンクの加温に必要な熱量は、周辺の気温、発酵タンクの設定水温、発酵タンクの諸元 (容積や断熱性など)、投入材料の温度等によって決まる<sup>2)</sup>。これに対し、ガスエンジン発電設備から回収できる熱量は、メタン発酵タンクに投入する廃棄物系バイオマスの量や質、発酵にかかる日数、ガスエンジン発電設備における排熱の回収率等によって決まる。このことから、地域の気温が高いほど、また、メタン発酵タンクに投入するバイオマスの濃度が高いほど、システムの熱収支としては有利であることがわかる。なお、一般的に気温やバイオマスの性状は季節的な変動があるため、システムの熱収支にも同様に季節変動が見られる。そのため、効率的な熱利用に向けて、事前に想定するシステムの熱収支シミュレーションを行っておくことが望ましい。

### 熱利用の特徴

#### ・熱の利用方式

熱の利用には、熱エネルギーをそのまま加温に用いる方式と、冷媒を通してから利用する方式がある。加温方式では対象を温めるために熱エネルギーが使われるが、冷媒を経由すると排熱を利用して対象を温めることも冷やすことも可能である。

加温方式では、システム内の対象物を温めるのに熱エネルギーがそのまま用いられる。加温方式には、ボイラで発生する水蒸気を直接加温対象に投入する直接加温式と、熱交換器を用いて温めた媒体を循環させて、熱を加温対象に伝達させる間接加温式とがある<sup>2)</sup>。直接加温式は簡便であるが、加温対象が水蒸気によって希釈されることに注意が必要である。間接加温式はさらに、温水を循環させて加温対象に熱を伝達するものと、加温対象自体を循環させるものがある。後者では、例えばメタン発酵液自体を加温のために媒体として循環させることで、発酵液が攪拌される付加的効果をもたせられる長所がある。

コージェネレーションの排熱は、冷媒の液化と気化を利用して空気を冷やすことも可能である。これを利用した冷凍装置は排熱利用吸収冷凍機と呼ばれる。電気式のエアコンで

は、気化した冷媒を液体に戻すために電気で駆動する圧縮機が利用される。これに対し、排熱利用吸収冷凍機では、気化した冷媒を臭化リチウム水溶液などの吸収液に吸収させた後に、これを加熱して冷媒を気体として放出させる。このときの加熱にコージェネレーションからの排熱が利用される。気体として放出された冷媒はその後凝縮して液体となり、蒸発器で気化熱によって対象物を冷却する。排熱利用吸収冷凍機には、利用する排熱の形態により、排温水を使うもの、蒸気も併用するもの、排温水と高温の排ガスを直接用いるものなどがある。

#### ・熱の利用先

ボイラやコージェネレーションでバイオガスから取り出した熱の加温利用は、メタン発酵タンクへの適用が最も一般的である。メタン発酵には中温式と高温式があり、それぞれ38℃付近、55℃付近で良好なガス発生がみられる<sup>3)</sup>。高温メタン発酵は、中温メタン発酵に比べて滞留時間の短縮や有機物負荷の増大が可能であり、また、発酵過程における病原体の不活性化の点でも優れていることが報告されている。他方、加温に要する熱エネルギー量は高温メタン発酵のほうが大きい。加温方式の利用先として、他に、メタン発酵消化液の殺菌や、温水プール、養殖槽、園芸ハウスへの適用が挙げられる。

#### ・熱利用の地域特性

熱利用の需要は、地域の気候特性や産業特性などに大きく依存する。熱の利用は、地域の熱源の賦存状況や熱需要、熱供給網の有無などの組み合わせによって、多様な形態が考えられる。そのため、地域の実情に応じた柔軟な対応が可能となる取り組みが重要である。

#### ・熱利用に向けた課題

我が国の民生・産業部門における消費エネルギーの約60%は熱需要である<sup>4)</sup>。そのため、2050年におけるカーボンニュートラル実現を見据えたときには、熱源の脱炭素化や、コージェネレーション等によるさらなる熱供給の効率化など、様々な技術を最大限活用することが求められている<sup>5)</sup>。一方で、我が国の再生可能エネルギーの熱利用は、設備導入コストの高さや熱需要と熱供給のミスマッチ等の理由で十分に進んでいないのが現状である<sup>6)</sup>。今後、これらの課題の解決に資する一層の技術開発が望まれるとともに、コージェネレーションで発生した高温・高圧の蒸気の多段階利用、一定地域内の建物群に対して再生可能エネルギーに由来する温水や冷水、蒸気等の熱媒を熱源プラントから供給する地域熱供給(図1)の導入の促進等が、システム全体でのエネルギー効率の向上に向けて重要である<sup>7)</sup>。

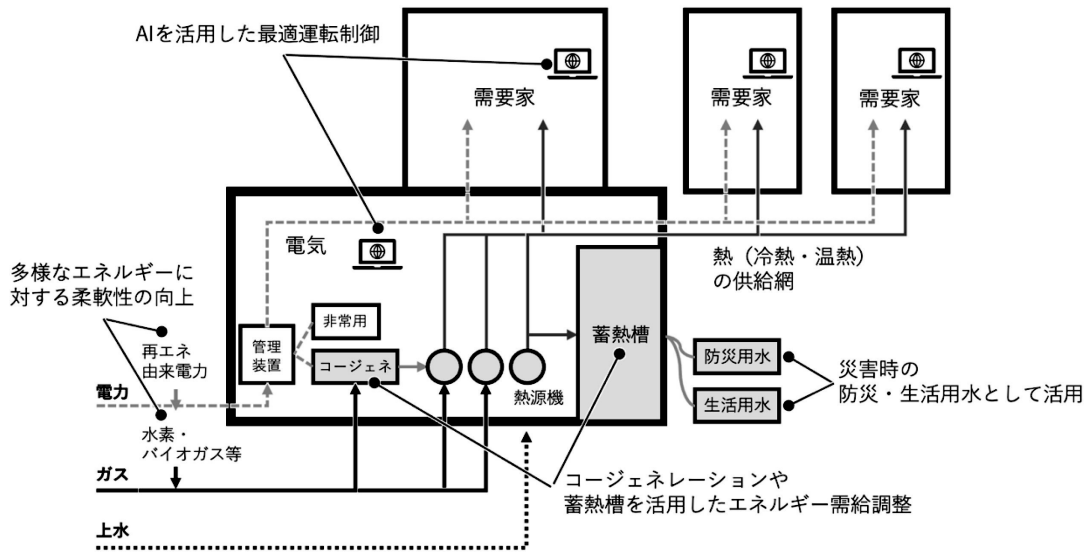


図1 脱炭素社会に向けた電気・熱エネルギー供給網  
 (地域熱供給の長期ビジョン(2021、日本熱供給事業協会)より筆者改変)

### バイオガス熱利用の実例

本項では、バイオガス熱利用の国内外の例について簡潔に説明する。北海道鹿追町環境保全センターでは、乳牛ふん尿および敷料をメタン発酵させたのちにコージェネレーションによって電気と熱を生成している<sup>8,9)</sup>。熱は、発酵槽や殺菌槽の加温に用いた後に、余剰分の約 2400 Mcal day<sup>-1</sup>を蓄熱槽で約 70℃の温水として貯留し、これをチョウザメ養殖施設、マンゴー栽培施設、およびサツマイモ貯蔵庫に分配している。2020年度の実績では、熱利用の分配割合はおよそチョウザメ養殖槽：マンゴー栽培施設：サツマイモ保管庫＝2：5：3である。チョウザメの卵は、高級食材として知られるキャビアの原料である。分配された熱は、地下水から供給している養殖槽の水温をチョウザメ生育の好適温度に上昇させるのに利用されている。マンゴーは、端境期に高価格で販売することを目的として、栽培ハウス内の温度の調節により収穫時期を冬期にずらして栽培されている。熱は、マンゴー開花後のハウス加温に利用され、12月ころに果実が収穫されている。サツマイモでは、熱は収穫物の保管庫を貯蔵適温に調節するのに利用されており、これにより干しいも加工が行われている。このように、余剰熱の有効利用は、農業あるいは水産業における高付加価値化と巧みに組み合わせられており、鹿追町における新たな特産品の創出を通じて、地域経済のさらなる活性化に貢献する可能性を有している。

北欧のデンマークは、1979年にはコージェネレーションに言及した熱供給法を制定するなど、いち早く地域熱供給の導入を進めた国として知られている<sup>10)</sup>。デンマーク全体の熱需要の半分程度は地域熱供給によって行われており、設備はコージェネレーションと熱供給ボイラで賄われており、熱媒体は主に温水が用いられている。地域熱供給の熱源は再生可能エネルギーが50%を超えており、そのうちバイオガス由来の割合は3%を占めている。



欧州全体では、メタン発酵後のバイオガスを精製してバイオメタンとし、天然ガスのために整備されたガスグリッドへ直接バイオメタンを接続する事業が急速に進んでいる<sup>1)</sup>。ガスグリッドからの供給先には多くのコージェネレーション設備ならびに地域熱供給が存在しており、ガスグリッドを介したバイオガス熱利用の割合が欧州において増加していることが予想される。

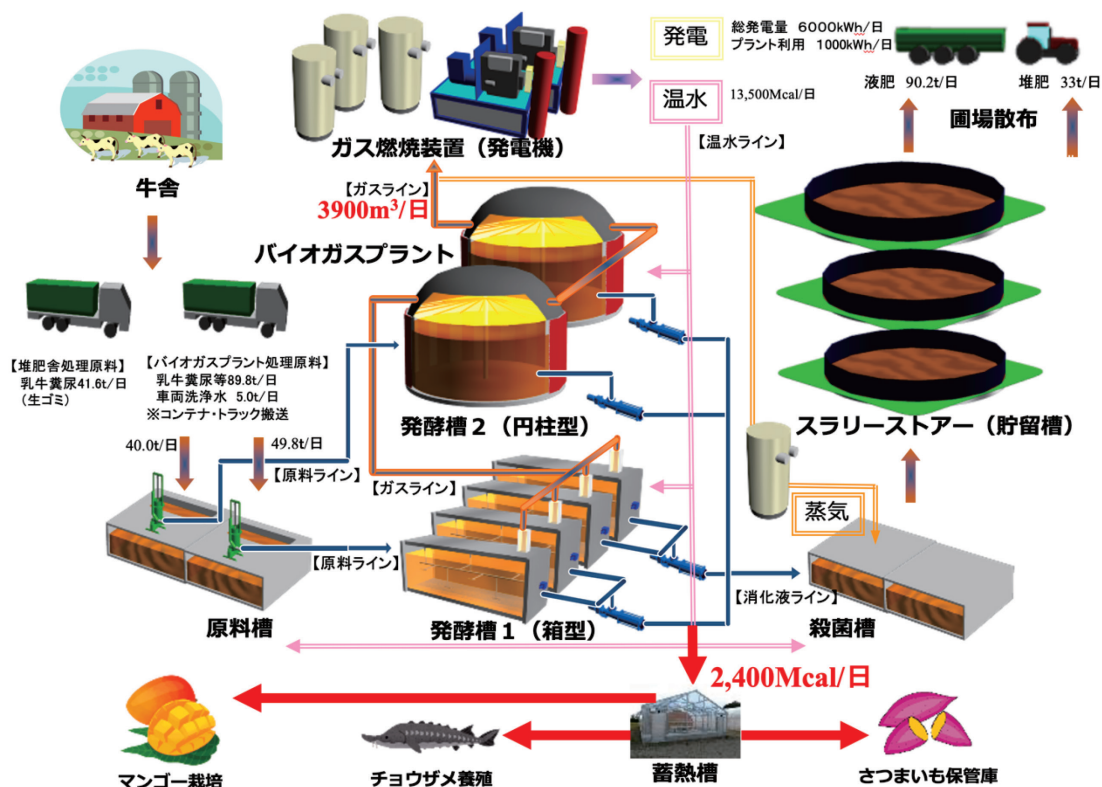


図2 北海道鹿追町環境保全センターのバイオガスプラントにおける余剰熱利用の概略<sup>9)</sup>

参考文献

- 1) 財団法人新エネルギー財団編(2008)：『バイオマス技術ハンドブック』。オーム社，東京。
- 2) 野池達也編著(2009)：『メタン発酵』。技報堂出版，東京。
- 3) Chunlan Mao, Yongzhong Feng, Xiaojiao Wang, Guangxin Ren. 2018: Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555.
- 4) 茂木 正(2021)：カーボンニュートラルと熱の脱炭素化に向けた取組，日本学術会議，公開シンポジウム「カーボンニュートラルに向けた熱エネルギー利用の可能性と課題」，<https://www.scj.go.jp/ja/event/2021/316-s-1106.html>，2021年11月6日。
- 5) 経済産業省(2021)：第6次エネルギー基本計画。
- 6) NEDO 技術戦略研究センター(2021)：再生可能エネルギー熱利用分野の技術戦略策定に向けて，技術戦略研究センターレポート，41。
- 7) 一般社団法人日本熱供給事業協会(2020)：地域熱供給の長期ビジョン
- 8) 浅井真康(2020)：家畜排せつ物のメタン発酵によるバイオガスエネルギー利用，令和2年度畜産環境シンポジウム。

- 9) 北海道鹿追町環境保全センター(2021): 再生可能エネルギーを活用したまちづくり鹿追町環境保全センターの取組み.
- 10) 田中いずみ(2018) : デンマーク王国にみる柔軟なエネルギー・システムの構築と地域熱供給. 熱供給, 105、14-17.
- 11) Nicolae Scarlat, Jean-François Dallemand, Fernando Fahl. 2018: Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, Part A, 457-472.

## 第5節 バイオガスの直接利用

高原 晋

バイオガスの精製技術としては、圧力変動吸着 (PSA)法、水洗浄法、化学吸収法、物理吸着法、膜分離法等があるが、ここでは一例として、高圧水吸収法を採り上げる。

下水汚泥消化ガスを高圧水吸収法を用いて精製することにより、メタン濃度 97%に濃縮した天然ガスと同等の高品質な精製ガスが得られ、天然ガス自動車燃料等としての利用が可能となる。また、精製ガスに含まれる微量成分 (酸素、二酸化炭素等) の除去や、熱量を調整するなど都市ガスと同等の品質に精製することで、都市ガス導管への注入も可能となる。

### 1 消化ガス精製技術<sup>1)</sup>

高圧水吸収法は、図 1 に示すように圧力下では二酸化炭素の水への溶解度は急激に高くなるが、メタンガスの溶解度はほとんど変化しないという性質を利用している。

精製の様子を模式化したイメージを図 2 に示し、本技術を装置化した「バイオ天然ガス化設備」の詳細フローを図 3 に示す。本設備では、吸収塔下部から圧力を上昇させた消化ガスを供給し、上部から精製用水を散水する。この吸収塔内部には水とガスを効率的に接触させるための充填剤が詰められており、対向流にて接触させることで二酸化炭素や不純物 (硫化水素、シロキサン等) を選択的に水に吸収させ、吸収塔頂部からメタンガス濃度 97%に精製したバイオ天然ガスを得る。

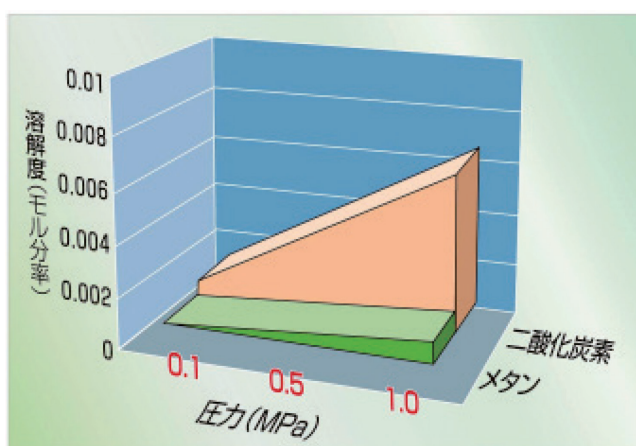


図 1 加圧下におけるメタンガスと二酸化炭素の水への溶解度

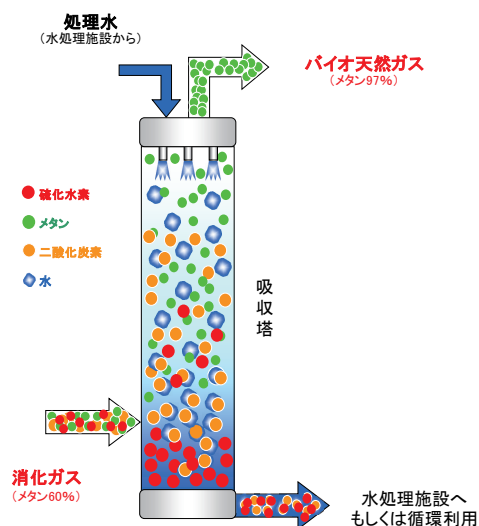


図 2 高圧水吸収法の模式図 (吸収塔内)

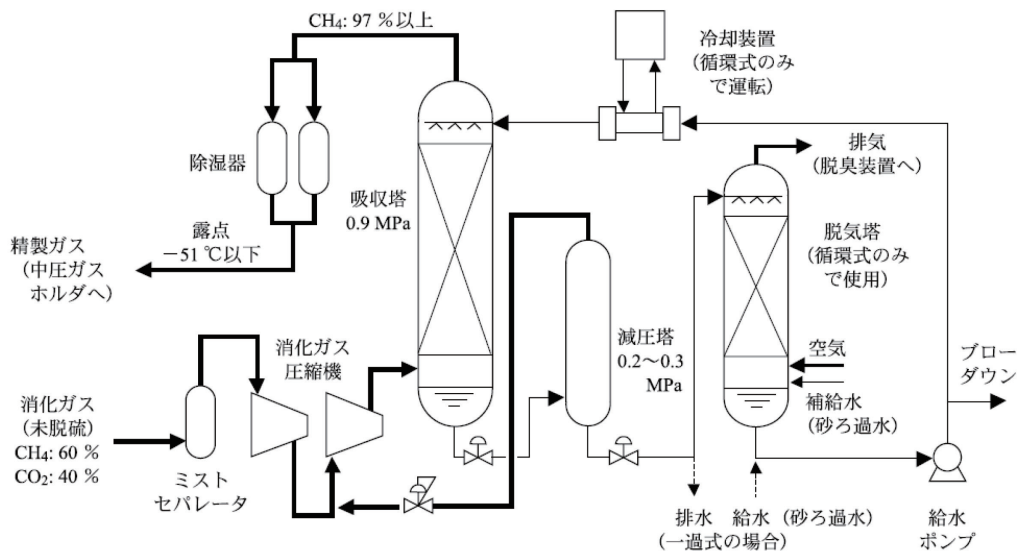


図3 消化ガス精製装置のフロー

## 2 利活用設備

神戸市東灘処理場では、消化タンクから発生するメタン濃度約 60%の消化ガスをバイオ天然ガス化設備でメタン濃度 97%以上まで精製し、一次精製ガスを中圧ガスホルダに貯留する。この一次精製ガスは自動車燃料、都市ガス導管への注入及び場内の熱源として利用されている。

### (1) バイオガスステーション

ガス充填設備は、圧縮機ユニット、蓄ガス器ユニット、およびディスペンサーから構成されている（写真1はバイオガスステーション正面からの写真）。

精製ガスは本来無臭であるが、天然ガス自動車の燃料として利用する場合、高圧ガス保安法の規定により、空気中に漏れた場合に臭いを検知できなければならないため、蒸発式の付臭装置を用いている。



写真1 出典：神戸市建設局（東灘処理場「こうべバイオガス」パンフレット）

(2) 都市ガス導管注入設備<sup>2)</sup>

図4に本設備のフローを示す。中圧ガスホルダから供給される一次精製ガスは、まず①微量成分除去設備に導入され、酸素と二酸化炭素を取り除く。次に、②熱量調整設備で液化石油ガスを注入して熱量を調整後、③付臭設備で付臭剤を添加して付臭濃度を調整する。最後に、④分析設備でガスの大阪ガス(株)基準値への適性を連続的に評価し、⑤導入弁を通して大阪ガス(株)のガス導管に注入する。

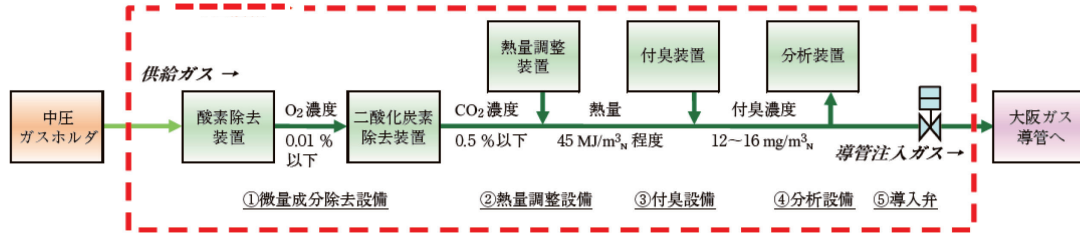


図4 導管注入設備フロー

表1 導管注入ガス受入基準値 (抜粋)

項目	基準値	備考
酸素	0.01 vol%以下	—
二酸化炭素	0.5 vol%以下	—
総発熱量	44.2～46.0 MJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	24時間の最高・最低差が <sup>3)</sup> 1 MJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> 以下であること
付臭濃度	12～16 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	大阪ガスと同一の付臭剤を使用

大阪ガス(株)：バイオガス購入要領, 2010, P.9

参考文献

- 1) 神鋼環境ソリューション技報, Vol.5, No.1(2008/8), p3
- 2) 神鋼環境ソリューション技報, Vol.8, No.1(2011/8), p11





## 第 6 節 バイオガス由来の水素製造及び利用

阿保 洋一

### 水素の概要

水素は安定的に貯蔵・運搬が可能で、燃焼した際に生成されるのは水が主で二酸化炭素を排出しない上、燃料電池を用いれば窒素酸化物も放出されないため、クリーンなエネルギーとして利用が拡大している。水素は地表に多量に存在するが、水素ガスとして存在することは稀で、ほとんどが他原子と結合した状態である。そのため、水素を利用するには分子として取り出す必要があるが、その方法としては水の電気分解、メタノール改質、天然ガスからナフサまでの軽質油の水蒸気改質などがあり、また製鉄所や化学工場からの副生ガスからも水素を得ることができる。ここでは家畜排せつ物由来バイオガスから水素を製造し貯蔵・利用する一連の流れを紹介する。

なお本稿の内容は、環境省地域連携・低炭素水素技術実証事業（家畜ふん尿由来水素を活用した水素サプライチェーン実証事業）（平成 27 年度～令和 3 年度）の成果の一部である。

### メタン精製

バイオガスは発電等に利用する前に硫化水素が除去されているが、水素を製造する場合は下流の装置の保護のため、前処理として酸化鉄で硫化水素を、活性炭でシロキサンを除去する。バイオガスから水素の原料であるメタンを分離するにはバイオガス分離膜を用いている（図 1）。ガス分離の原理は膜への透過速度の違いであり、メタンはその他のバイオガス構成成分より透過速度が遅いため膜を透過せず分離される（透過速度： $\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S} > \text{CO}_2 > \text{O}_2 > \text{Ar} > \text{N}_2 > \text{CH}_4$ ）。

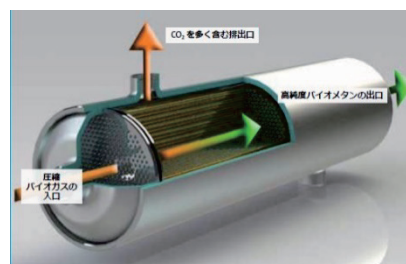


図 1 バイオガス分離膜  
（日本エアプロダクツ提供）

こうして分離されたメタンの純度は約 95% であり、透過速度に近い窒素約 5% と微量のアルゴンと酸素を含んでいる（本実証事業の測定結果）。なお、分離された二酸化炭素の濃度は約 95% であり、ビニールハウスへの供給や液化炭酸やドライアイス原料として利用可能である。

### 水素製造

メタンから水素を製造する方法である水蒸気改質（スチームリフォーミング）は以下の 2 つの反応で構成されている。



本反応で得られた水素は未反応のメタン、一酸化炭素や二酸化炭素を含んでいるため PSA（圧力変動吸着：Pressure Swing Adsorption）法で精製され製品となる。本実証事業では燃料電池向け水素として 99.97% 以上（ISO 規格 14687 に準拠）の純度で供給して

いる。燃料電池へ水素を供給する場合には、発電効率を悪化させる一酸化炭素の混入には特に留意すべきである。

この工程で得られる水素は、理論的には原料のメタン  $1\text{Nm}^3$  に対して  $4\text{Nm}^3$  の水素が得られるが、本実証では  $1.9\text{Nm}^3$  である<sup>1)</sup>。これは純メタンを原料とした場合 ( $2.5\text{Nm}^3$ ) より低い、原因はバイオメタンの純度が 95% であること及び 5% の不純物 (窒素等) の影響で PSA の効率が低下していることが考えられる。

## 水素貯蔵・利用

製造した水素は利用設備の近傍まで運搬し貯蔵する。

- ① 気体貯蔵・・・最も普及している貯蔵方法。本実証ではボンベ (図 2、 $19.6\text{MPa}$ )、カードル (図 3、 $19.6\text{MPa}$ )、水素ガスホルダ (図 4、 $0.6\text{MPa}$ )、水素ステーション用に蓄圧器 (図 5、 $82\text{MPa}$ ) を使用している (括弧内は充填圧力)。圧力や容器は設置目的、必要容量、設置場所等によって選択する。 $35^\circ\text{C}$  で  $1\text{MPa}$  を超える気体を取り扱う設備は高圧ガス保安法によって火気等への保安距離が定められており、遵守する必要がある。



図2 ボンベ



図3 カードル



図4 水素ガスホルダ (右)



図5 蓄圧器

- ② 水素吸蔵合金・・・金属原子の隙間に水素が入り込むことで吸蔵合金自体の体積に対して 1,000 倍単位の体積で水素を低圧で吸蔵することができる。様々な種類の合金が開発されており、用途によって選択する。非危険物・非可燃物として登録されているものを選択すれば、高圧ガス保安法の規制を受けないため設置場所の自由度が高い。本実証では商業施設で水素  $400\text{Nm}^3$  分の水素吸蔵合金で  $30\text{kW}$  の純水素型燃料電池を運用している (2022 年 1 月まで)。
- ③液体貯蔵・・・液体水素は  $-252.6^\circ\text{C}$  の液体で、体積が気体の約 800 分の 1 になるため大量輸送・大量貯蔵に適している。ただし極低温であるため貯蔵容器の断熱性能への要求が高く、常に気化してくる水素 (ボイルオフガス) の利用方法を併せて用意する必要がある。

水素の利用方法として燃料電池を紹介する。燃料電池は水の電気分解と逆で、水素と空気中の酸素を反応させることで水と電気を発生させる発電機であり、電気と共に反応熱が利用可能である。

①自動車等への利用・・・燃料電池自動車（FCV）や燃料電池フォークリフト（FCFL）への水素供給は水素ステーション（図6）から行う。FCVへは70MPa、FCFLへは35MPaの水素を充填する。初代MIRAIへの水素充填時間は約3分、航続距離はメーカー公表値で約630kmであり、FCFLへの水素充填時間は約1分、稼働時間は約8時間である。電気自動車（EV）より充填時間が短く航続距離が長い、インフラの設置コストが高く数が少ないことが課題である。トラックやバス、船舶といった航続距離が長いものについてはEVより適しているとされており、普及が期待されている。なお、初代MIRAIの水素蓄圧器（容量約51Nm<sup>3</sup>（4.6kg））を満たすのに必要なバイオガス量は、本実証の場合約44.7Nm<sup>3</sup>である（バイオメタンとしては26.8Nm<sup>3</sup>）。



図6 水素ステーション

②定置式として利用・・・家庭用の700Wから100kWを超えるものまで実用化されており、目的に合わせて様々なサイズを選択できる。電気だけでなく熱も利用することで高いエネルギー効率を得ることができる。近年は発電効率が50%（LHV）、排熱回収を加えた総合効率が90%（LHV）を超える燃料電池も市販されている。

1) Nm<sup>3</sup>：ノルマル立方メートル。0℃、1気圧に換算した体積。



## 第7節 ブラックアウト対応の具体的手法

須藤 貴宣

### 1. ブラックアウト事例と対応の整理

2018年9月6日、胆振東部地震をきっかけとした北海道全域における大規模停電、いわゆるブラックアウトが発生した。ブラックアウトとは、大手電力会社の管轄する地域のすべてで停電が起こる現象（全域停電）のことを意味する。

全域を襲ったブラックアウトにより、本来電気の供給施設である発電所が、再起動の際に大きな電力が必要となるため、いわゆるブラックアウトスタートができなかった。その為、まずは起動時に起動電源の少ない水力発電を立ち上げ、その電気で火力発電所を徐々に立ち上げ、ブラックアウトから回復した。

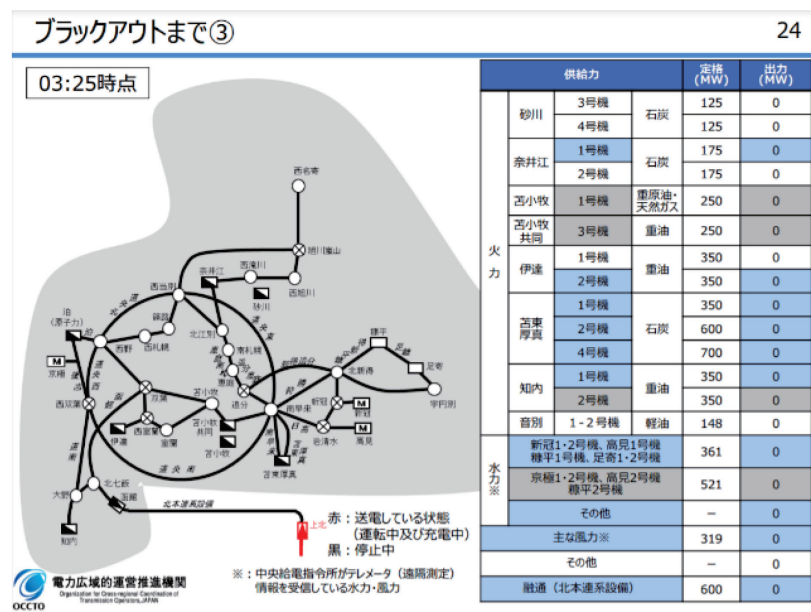


図1 電力広域推進機構 第1回平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会 資料4-1

様々な被害が出た災害であ

ったが、これを機に大型な発電所から、分散型で地産地消型の発電設備の是非の議論が進んだ。しかし、その最たる可能性を秘めた再生可能エネルギーは、この事故の際一切地域に電力が供給できなかったばかりか、自分の施設のブラックアウトスタートをすることなく、停電が収まるまでプラントの稼働をすることができなかった。

北海道でのブラックアウトが発生した際、系統に繋がった再生可能エネルギー設備については電力会社から系統連系は行わないよう要請が入った。当時電力会社の発電所の再起動を行っている最中であり、勝手に系統に繋がれると、周波数の変動等様々な問題が出る為である。しかし実際には、太陽光もパワーコンディショナーは商用電源がないと動かず、バイオガスプラントも発電機を動かすための制御電力も商用電源を必要とし、結局ブラックアウトスタートすることができなかった。

今回の事故を受け、酪農家は停電による搾乳作業ができず、乳房炎等による多くの被害が出た。さらに生乳工場は一部を除き、自家発電設備を有していなかったため、大きな被害が発生し、その教訓から事故後、北海道の酪農家や生乳工場などは、化石燃料の非常用発電機でのブラックアウトに対する整備を行い、災害時でも最低限の事業を継続し、搾乳等への影響も対策がなされた。

それではバイオガスプラントでは、ブラックアウト対策を整えた場合どんな可能性があるのか、以下に整理する。

- ・ 災害が発生しても、廃棄物処理を継続することができる。
- ・ イレギュラーに発生した廃棄物も受入が可能、エネルギーに変換することができる。
- ・ 周辺へのエネルギー供給の可能性があり、地域レジリエンスに貢献することができる。

## 2. ブラックアウト対応を実現する具体的な検討について

今回のブラックアウトの教訓を踏まえ、マイクログリッド（自営線）による地域電力供給や分散電源の議論や取り組みが検討されているが、バイオガスプラントの事例について、今一度内容を整理したい。

- ・ バイオガスプラントは停電時も発酵槽からメタンガスが発生しており、発電の為に燃料はある。
- ・ 発電機を動かすためには制御系の電源とメタンガスを供給するブローを動かす必要があるが、それらを起動する電源が必要である。
- ・ 既存の発電機を動かしても通常は系統に連系はできず、自家消費のみの運転となる。
- ・ 系統に繋いで地域に電力を供給する場合は、マイクログリッドや電力需給バランスを取る必要もあり、電力会社との協議や技術的にもハードルが高い。
- ・ 発電機一台運用で売電と自家消費を行い、自家消費電力の割合が少ない場合、ブラックアウト時に自家消費のみで使用すると発電機定格容量に対しての最低出力以下となり運転ができない可能性がある。

まとめると以下の対策、検討が必要になる。

### ① ブラックアウトスタートの方法

起動時の電源と起動後の発電機との同期による継続運転の方法の確立

### ② エネルギーの供給方法

地域マイクログリッドやガス配管、自営線など。詳細は「第8節 地域レジリエンスへの貢献①」に記載

### ③ 発電設備設計の問題

設計時発電機を複数台設置し、災害時は1台で稼働か、自家消費用の発電機を別途設置

このようにブラックアウト対策を行う場合、最初の設計時からそうした対策を想定し建設することが望ましい。

今後国を含めた送電網運用の整備や規制改革を見据え、バイオガスプラントが真の分散電源として、災害の際に地域への貢献ができる設備とすることを今後も検討していきたい。



### 3. 美蔓バイオガスプラントでの事例紹介

2020年度の北海道の補助事業を使い、美蔓バイオガスプラントでは災害時でもプラントの機能を維持することができるブラックアウト対応の発電機を配備した。

本プラントは、バイオガス発電機1・2にて494kWのFIT売電を行っているが、普段余剰バイオガスが発生した際に自家消費電力を発電することができるバイオガス発電機3を整備した。さらにこの発電機にはブラックアウトスタートの為の機能を設計している。



図2 発電機3(TEDOM製100kW出力)とブラックアウトスタートに利用するガス混合ユニット

図3は設備導入後の電力フロー図である。②普段は自家消費の電力を発電し、電力会社から購入する電力量を減らし、③ブラックアウト時は精製ガスを混合ユニットにて調整し、起動燃料を供給、安定後にガスを供給するブローなどの電力の切替を行う。

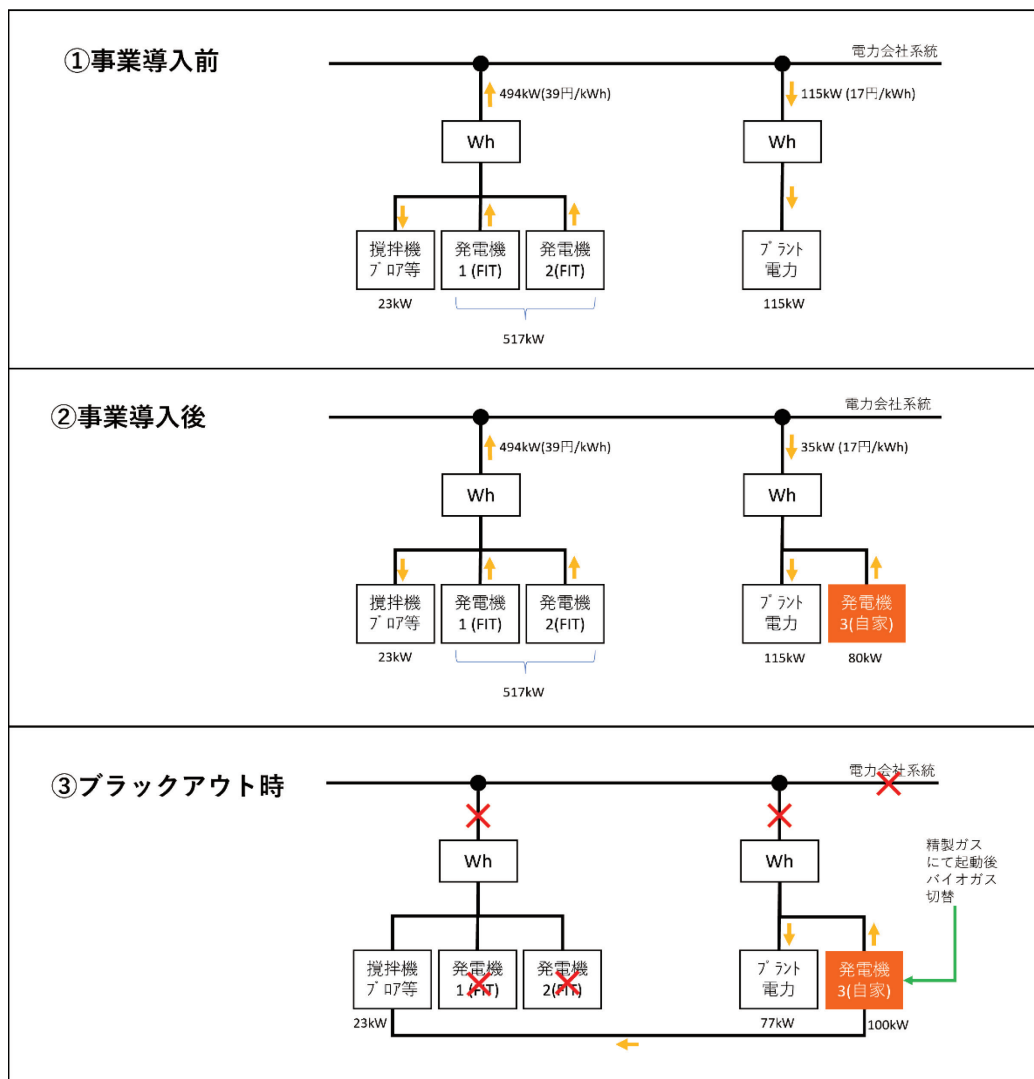


図3 導入前、導入後、ブラックアウト時の電力フロー図(記載電力は平均数値)



本プラントは、余剰バイオガスを将来有効利用することを想定し、バイオガス精製装置を建設当初に整備していた。精製装置は CH<sub>4</sub>（メタン）が約 60%のバイオガスを約 90%まで精製する装置である。ガスの運搬などを効率的に行うことを想定していた。

今回のブラックアウトスタートにはこの精製ガスを起動燃料として使用した。

起動時にバイオガスをどうという方法で発電機に送るかがブラックアウトスタートで最重要である。本事業では精製ガスを貯蔵したタンクのcockを開けると圧力で発電機に供給できることを利用した。ちなみに貯蔵する際の圧力は高圧ガス保安法の対象外となり、運用が容易な 1MPa 以下の低圧圧力としているが、ガス供給には十分な圧力である。

この精製ガスをガス混合ユニットにて CH<sub>4</sub> 60%に調整し、発電機 3 へ供給する。

さらに発酵槽からのバイオガスを供給するブローアを発電機 3 の電力で起動させ、発電機 3 の燃料を混合ガスから発酵槽からのバイオガスに切替える。



図 4 バイオガス精製装置

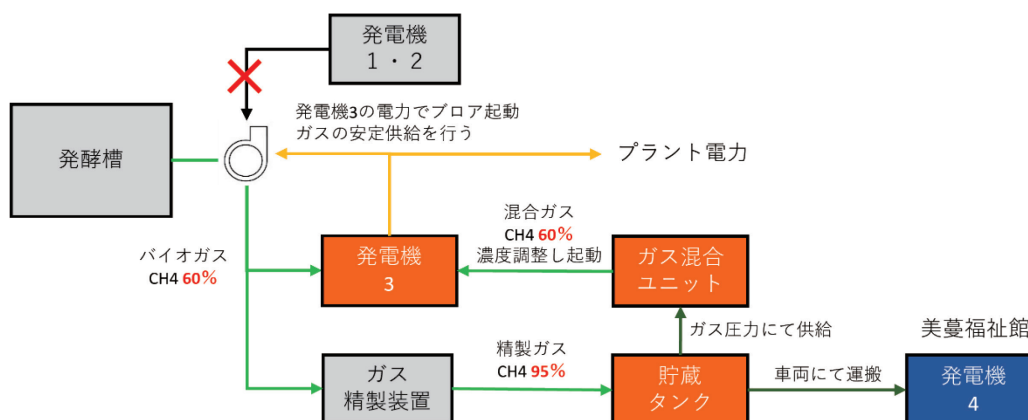


図 5 ブラックアウトスタートフロー図

実際の手順については、各作業を慎重に行う必要があり、自動にてすべてが立ち上がる機能は今回整備していないが、既存送電線やプラント設備にも影響することから慎重に切替運転を行うべきだと考える。

本事業ではもう一つ貯蔵した精製ガスをタンクにて運搬し、災害時に他地域で利用することも実践しており、こちらは第 8 節 地域レジリエンスへの貢献①にて紹介する。

## 第 8 節 地域レジリエンスへの貢献①－北海道の具体的事例から

須藤 貴宣

### 1. 地域との連携

バイオガスプラントは廃棄物からエネルギーを産み出す再生可能エネルギー設備であり、第 7 節でも述べたように特に地方の農村にとっては、分散型電源や地産地消電源として、そして地域のエネルギー施設としての可能性を秘めた設備である。特に災害時にエネルギーを供給できれば、地域にとって大きな貢献となる。さらに廃棄物処理を災害時でも実行できる体制を作ることで、地域の基幹産業にも貢献することとなる。第 7 節ではプラント自体のブラックアウト対応の方法を検証したが、ここではそのエネルギー供給について検証する。

### 2. エネルギー供給方法

ブラックアウトスタートができ、プラントの機能は維持できたとして、次に他の施設へのエネルギーの供給について検討する。

#### ■ 電気

電力はもっとも利用可能なエネルギーであるが、その地域への供給方法が難しい。

#### ・ 既存送電線を利用した供給

既存送電線を利用し、災害時はエリアを決めて供給する。一般送配電事業者との協議や、平常時の需給バランスの調整など技術的な負担や責任が発生する。いわゆる地域マイクログリッドである。

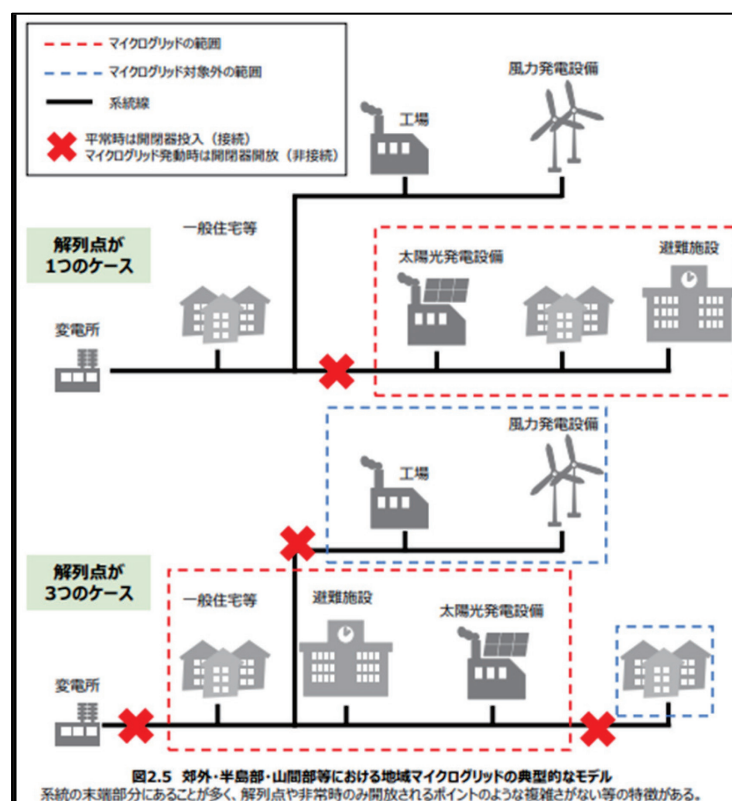


図 1 郊外・半島部・山間部等における地域マイクログリッドの典型的なモデル  
経済産業省 地域マイクログリッド構築のてびきより

- ・ 自営線による供給

ブラックアウトの際には、既存の送電線に電力を供給することができない。

周辺や他の施設への供給は不可能なため、自営線による電力供給が必要となる。当然自営線のイニシャルコスト・管理費、そして土地の所有者との調整等が発生する。

- ・ ガス運搬による発電・電力供給

発生するバイオガスを外部に運搬し、設置した発電機にて電力を供給する。美蔓バイオガスプラントでの事例紹介はこの方法を利用して災害時の避難所への電力供給を行っている。

### ■ ガス・熱供給

プラントから発生するガスや熱を他の施設へ供給することも考えられる。エネルギー変換効率も高いが、その利用設備を検討する必要がある。

例えば、ガスを熱利用する場合、供給先にバイオガスボイラを設置し利用するが、その際地域が停電であれば、そのボイラも使えない。

熱供給の場合も、供給先が停電時も使えるシステムであれば問題ないが、現実的には循環ポンプなど供給先での停電対策も必要となる。

海外では地域の熱導管や天然ガスの配管インフラに直接投入可能などの事例があるが、熱供給のインフラが整備されていない日本では難しいのが現実である。特にバイオガスプラントでは需要地域から距離がある場合が多い。

このようにどのエネルギーを供給するかという点は、いずれにしても自営線やガス配管などのインフラ整備が必要であり、プラント単独での整備は難しく、自治体や周辺地域の協力が必要である。こうした意味でも今後バイオガスプラントは酪農家や事業者任せの導入だけでなく、地域レジリエンス、地産地消のエネルギー施設としての整備をする必要がある。

### 3. 美蔓バイオガスプラントでの事例紹介

第7節の事例紹介でも紹介した、美蔓バイオガスプラントでの取り組みについて、前記のブラックアウト対応と合わせて地域へのエネルギー供給を行ったので、そちらを紹介する。

ブラックアウトの際に、地域へエネルギーを供給する計画をし、清水町と協議の上本プラントから約1.7 km離れた元小学校跡で地域防災計画避難所に指定されている美蔓福祉館への電力供給をすることとした。



図2 美蔓福祉館（旧小学校跡、地域防災計画避難所）



電力の供給方法は、以下の3つの中から費用も調整も少なく現実的な③の供給方法を選択。

- ① プラントで発電した電気を自営線にて直接供給
- ② 既存送電線を利用し地域マイクログリッドにて電力を供給
- ③ 発電機を美蔓福祉館へ設置し、ガスを供給して電力を供給

また、ガスの運搬も自営線等と同じ考えのガスパイプライン埋設ではなく、現実的なガス精製装置にて低圧貯蔵した精製ガスを車両にて運搬する方法とした。

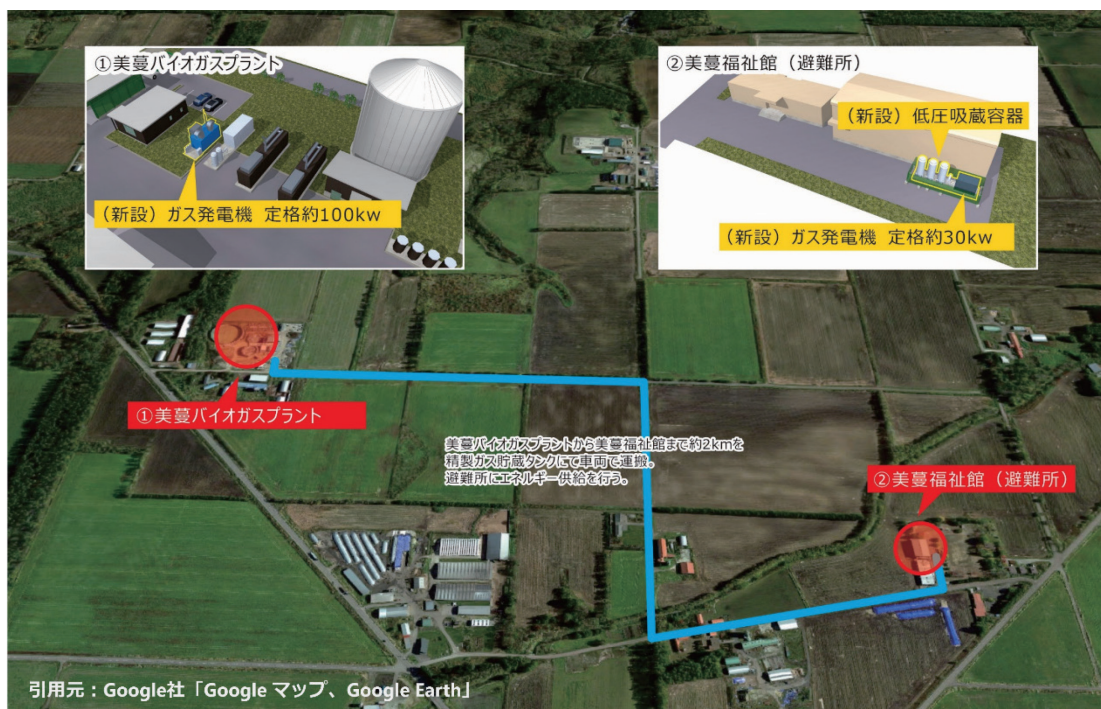


図3 運搬ルート位置図



図4 精製ガス運搬写真



図5 美蔓福祉館発電機写真

美蔓福祉館の電力フロー図を以下に示す。

こちらは福祉館の中に手動の切り替えスイッチを設置し、系統の電力と発電機の電力を切り替えるようにしている。通常時でも利用は可能であるが、実際にこの施設は通常時でもほとんど利用がないため、災害時に利用することを想定している。貯蔵タンクは5本準備しており、それを運搬することで、電力の供給を行うことができる。

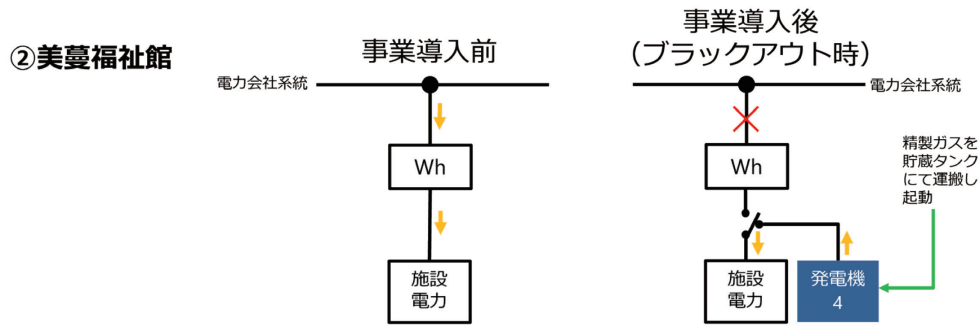


図6 美蔓福祉館電力フロー図

また発電機はCH<sub>4</sub>約90%以上の精製ガスを燃料とするため、通常のバイオガス用発電機ではなく、天然ガス用の発電機を採用している。これによりイニシャルコストを下げる事ができた。さらに非常用発電機の為、定期的な運転確認は必須であるが、一般的な軽油や重油発電機に比べ、発電機や貯蔵タンクも燃料の固着や劣化などのリスクは少ない為、メンテナンスコストも少ない。

バイオガスの精製、貯蔵、運搬は採算性の面からも、非常に難しいことではあるが、今回のような災害時のエネルギー供給に限ると、自営線やガス配管埋設などと比べてハードルも低く、現実的な選択肢となるかもしれない。

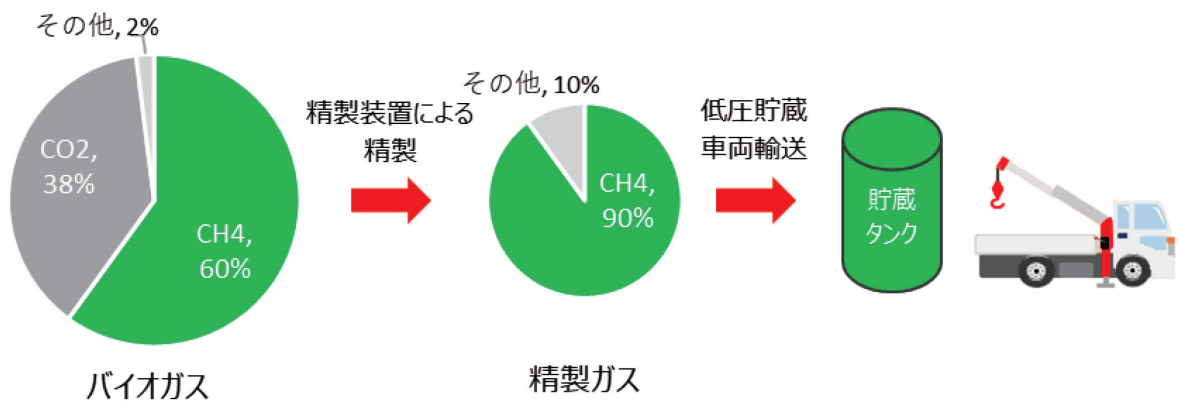


図7 バイオガス精製、低圧貯蔵、車両運送イメージ図

## 第 8 節 地域レジリエンスへの貢献②－総合的視点から

猪飼 幸輝

### 1. 地域との合意形成

近年では台風や集中豪雨、地震やそれに伴う副次的災害など想定を超えた自然災害が毎年発生しており、緊急的な地域電源かつ災害復旧の一役を担う施設となりうるバイオガス発電施設の役割を明確化する事で、地域レジリエンスへの貢献が可能となる。

地域レジリエンス強化の前提条件として、バイオガス発電施設におけるブラックアウト対策設備が整備されていることが必要である。その上で、自治体との合意形成を行う過程で施設が立地する自治体と協議を重ね、その協議の中で災害パターンを複数想定して各パターンに応じた対応策を検討、自治体との役割分担を明確化する事が重要である。

地域内に他の発電事業所や電源車両を保有する事業者がある場合、自治体と共にその事業者と連携方法や給電方法を協議し、運用方法を検討する。

それらを踏まえた上で、自治体や施設が立地する地区と防災協定等を締結し、地域レジリエンス強化策とする。自治体や他事業者と共に共通化したマニュアルを整備する事で、より一層の効果が高まる。

#### 【自治体との協議事項】

- ・ 災害発生パターンの想定
- ・ 発電可能時間、給電可能時間の想定
- ・ 住民、事業者への電源供給方法の検討
- ・ バイオガス発電施設の復旧状況連絡の想定
- ・ 住民、事業者への周知方法の確認
- ・ 防災マップなどへ非常用電源施設として掲載の有無
- ・ 道路、上下水道管、電力系統線などの復旧状況想定の確認
- ・ 災害ゴミの収集、運搬、受け入れ体制の想定
- ・ 防災拠点施設（病院、学校、公民館など）への給電方法の検討
- ・ 自治体が保有する非常用電源、他施設、電源車両保有事業者との連携方法の検討
- ・ 共通マニュアルの整備 など

#### 例 1) パターン別の対応策の例

##### 【パターン 1】 短期間（数日程度）の停電発生

- ①施設の安全性を確認した上でブラックアウト対策設備を稼働
- ②自治体災害対策本部へ発電再開の連絡、自治体より住民への案内
- ③コンセント用 100V 電源による携帯電話などの充電エリアを設置
- ④燃料電池車等への給電設備がある場合は、車両給電エリアを設置

##### 【パターン 2】 中長期（4 日以上）の停電発生

- ①施設の安全性を確認した上でブラックアウト対策設備を稼働



- ②自治体災害対策本部へ発電再開の連絡、自治体より住民への案内
- ③コンセント用 100V 電源による携帯電話などの充電エリアを設置
- ④燃料電池車等への給電設備がある場合は、車両給電エリアを設置
- ⑤災害ゴミなどのバイオマス原料を受入開始
- ⑥自営線・マイクログリッドによる防災拠点施設などへの送電開始

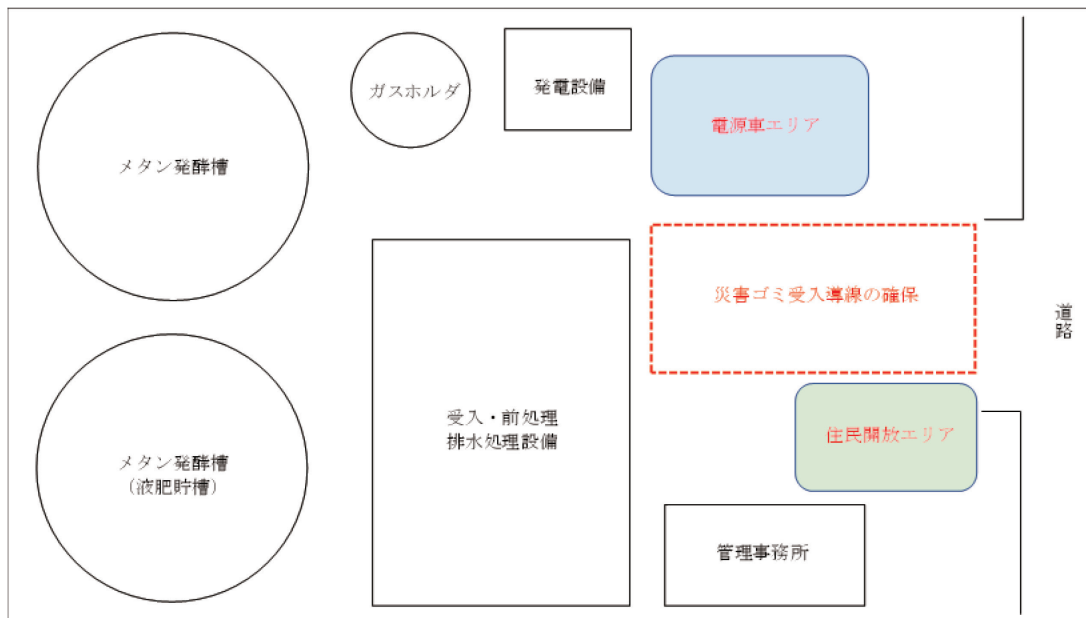


図 1 災害対策エリアの設置 (例)

なお、バイオガス発電機の燃料であるバイオガスは、バイオマス原料が投入されなければガス発生量および濃度が時間経過に伴って低下し、一定のガス量および濃度以下となった場合はバイオガス発電機を停止せざるを得ないため、日々の運転管理データよりあらかじめバイオマス原料の残量が無い場合と残量がある場合のガス発生量および濃度、運転方法を考慮しながら発電可能時間を想定しておく必要がある。

また、バイオマス原料の受入品目に一般廃棄物のうち厨芥類（生ごみ）や産業廃棄物のうち動植物性残さがある場合は、災害ゴミ処理の対策として家庭や事業所で発生する食品廃棄物の受入についても協議をし、災害発生から受入開始までに要する時間を想定する。ただし、砂や泥の付着および腐敗物混入には注意が必要である。

## 例 2) 発電可能時間の想定の例

### 【想定 1】受入設備内にバイオマス原料の残量が無い場合

- ①前処理設備および原料貯槽（調整槽）内の残量を想定
- ②メタン発酵槽への投入量、メタン発酵槽内の残量からガス発生量を想定
- ③ガスホルダ内のガス残量、ガス供給可能量を想定
- ④上記よりバイオガス発電機の稼働台数、電力量および発電可能時間を想定

【想定2】 受入設備内にバイオマス原料の残量がある場合

- ①受入設備内の残量、前処理設備および原料貯槽（調整槽）内の残量を想定
- ②受入設備から前処理設備および原料貯槽（調整槽）への投入量を想定
- ③メタン発酵槽への投入量、メタン発酵槽内の残量からガス発生量を想定
- ④ガスホルダ内のガス残量、ガス供給可能量を想定
- ⑤上記よりバイオガス発電機の稼働台数、電力量および発電可能時間を想定

【想定3】 バイオマス原料として災害ゴミの受入がある場合

- ①受入設備内の残量、前処理設備および原料貯槽（調整槽）内の残量を想定
- ②受入開始までの時間と受入可能量（日量）を想定
- ③受入設備から前処理設備および原料貯槽（調整槽）への投入量を想定
- ④メタン発酵槽への投入量、メタン発酵槽内の残量からガス発生量を想定
- ⑤ガスホルダ内のガス残量、ガス供給可能量を想定
- ⑥上記よりバイオガス発電機の稼働台数、電力量および発電可能時間を想定

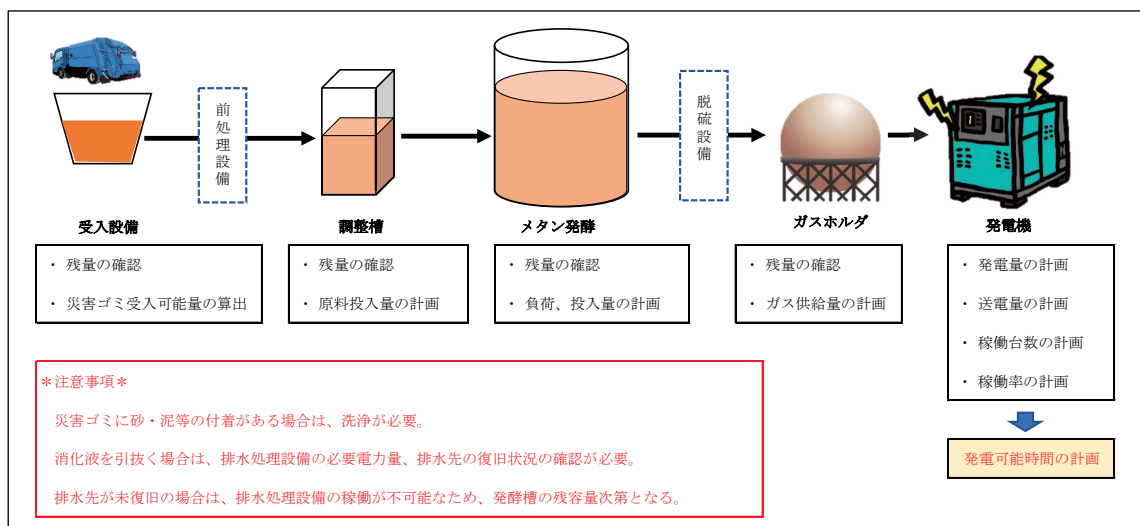


図2 発電量の想定

2. 施設の体制構築

災害発生時の運営体制と運用マニュアルをあらかじめ定めておくことは、極めて重要な事項である。BCP、エコアクション21、ISOなど導入されている場合は、あらかじめ緊急連絡体制や緊急時運用マニュアルが整備されているが、実際に災害が起こった際には人員確保が難しい場合もあるのでそれも考慮に入れておく必要がある。

例1) 緊急連絡体制・運用体制の構築の例

- ①統括責任者1名・副統括責任者1~2名を定め、各部門の連絡体制を構築

...副統括責任者は統括責任者が不在の場合に統括責任者に成り代わって指揮を執る。

②災害発生時の連絡先や連絡方法を決定し、全職員に周知

…災害時は電源がない・通信網が寸断されていることが予測されPCが使用できない可能性が高いため、携帯電話のショートメール・SNS・連絡アプリの活用をする。

…生存確認、ケガや健康状態などの状況報告、施設への集合可否、所要時間を連絡。

③災害発生時の運用体制構築

…自治体や関係各所との連絡調整係、安全点検係、再稼働運転係、給電エリア設置係、住民対応・電源車両給電係など。

…施設に集合できない職員がいる事を想定し、各係とも複数名を用意しておく。

④災害発生時運転マニュアルの整備

…機器の安全装置作動による停止や故障、配管ズレや電気配線の断線、計器類の故障などが想定されるため、緊急時安全点検マニュアルなどを整備する。

…施設の安全確認後にブラックアウト対策設備を用いて施設を再稼働させるが、故障状況により機器毎に再稼働可否の判断指標、配管などの代替ルート切り替え作業、施設を再稼働させるまでの想定作業時間、施設再稼働条件を判断するための指標もマニュアル化の方が望ましい。

…再稼働後は、バイオマス原料の投入量調整や必要最低限の機器稼働または間欠運転を行うなど通常運転とは異なるため、運転方法もあらかじめマニュアル化の方が望ましい。

…災害ゴミの受入がある場合、砂や泥の付着を想定して洗浄場所・方法または除去、腐敗物や異物（発酵不適物）の除去方法等あらかじめマニュアル化の方が望ましい。

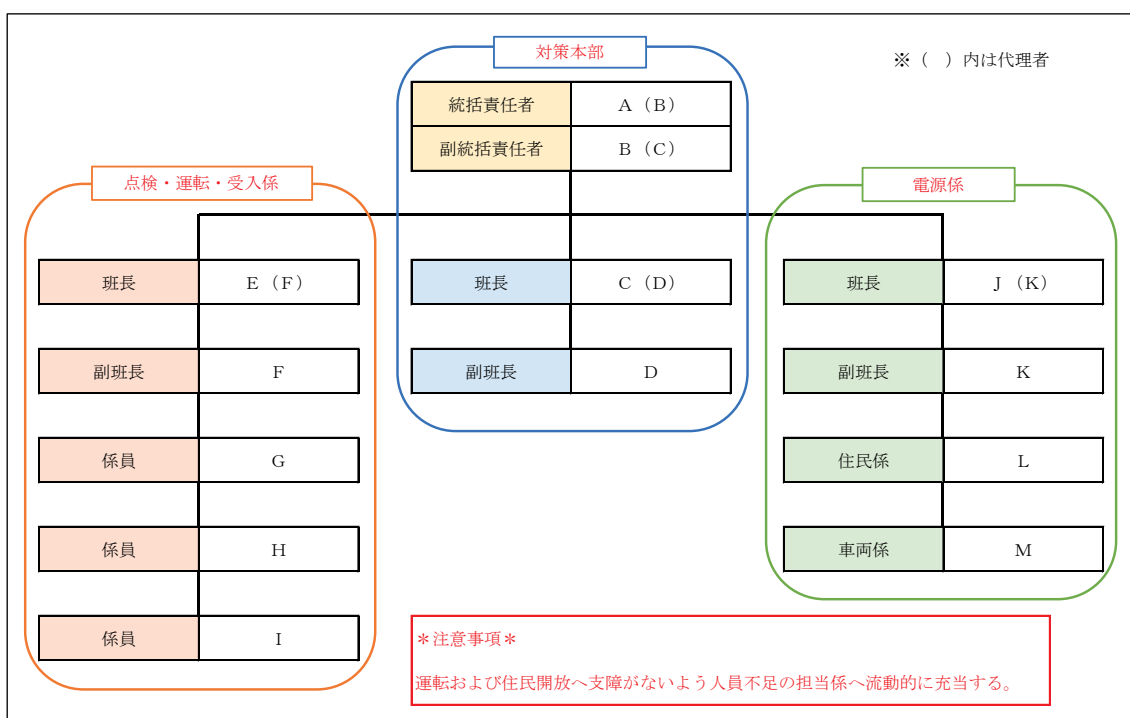


図3 災害時体制の例

## 例 2) 災害発生時の手順の例

### 【勤務時】

- ①災害発生時の避難場所を決めておき、避難命令が発出された際は避難場所に行く
- ②避難命令の解除後に施設へ戻り、再稼働に向けた準備に入る
- ③緊急連絡体制による配置、運用体制のマニュアルによる運転を行う

### 【休業日・帰宅時】

- ①家族・自宅などの被災状況や避難状況を確認
- ②マニュアルに定められた連絡先に状況報告、集合可否および所要時間の連絡
- ③安全が確認された職員から施設へ集合
- ④緊急時の運用体制による配置、運用体制のマニュアルによる運転を行う

## 例 3) エネルギー供給方法の例

### 【住民向け電源開放】

- ①PC などの電源タップを活用し、建屋内または簡易テント内にコンセント用 100V 電源による携帯電話などの充電エリアを設置
- ②係員を配置し、住民を充電エリアに誘導
  - …住民が自家用車で来場する事を想定し、駐車場エリアもあらかじめ用意しておく。
  - …待機する住民がいる事も想定し、待機場所を設置する事も検討。
- ③来場者数が多い場合は、制限時間を設けるなど運用方法を用意しておく

### 【電源車両向け電源開放】

- ①施設の給電設備、電源車両サイズなどを考慮して給電エリアを設置
- ②係員を配置し、車両を給電エリアに誘導
  - …複数の来場者がある場合を想定し、待機車両の駐車場も考慮する。
- ③来場車両が多い場合は、時間指定を設けるなどの運用方法を用意しておく

### 【自営線・マイクログリッドによる災害拠点施設などへの送電】

- ①ブラックアウト対策設備稼働後、関係各所へ連絡
  - …送電先で機器の切り替えなどが必要な場合は、事前に送電方法を協議する。
- ②余剰電力を災害拠点施設などへ送電
  - …システムにより送電の手動切替えが必要な場合があるので、事前に確認しマニュアル化をする。
  - …バイオガス発電機は機種により電力需要の追従性がない場合があるため、需要側に蓄電設備を設置する必要がある。

自治体との協議・協定によって近隣住民の避難先となる場合は、避難所の開設や運用方法など更にマニュアル化が必要となる。また、施設に設置されている機器や処理工程は施設ごとに違うため、プラントメーカー・各機器メーカー・発電機メーカー等と協議した上でマニュアル化する事となる。

また、施設職員へ日常から OJT（オンザジョブトレーニング）などを通じて教育を行うことで周知徹底を図る。各種マニュアルは電子化のみの場合は災害時に PC 起動が不可能となる可能性があるため、紙ファイルにて保管し、保管場所を全職員に通知するとともに明示しておくことが望ましい。

## コラム 水素発酵について

一般社団法人日本有機資源協会

### 水素発酵とは

一般に水素(H<sub>2</sub>)は常温常圧では無色無臭で最も軽い気体として存在する。水素の用途は工業原料、還元剤、洗浄剤及び燃料等多岐にわたる。特に燃料利用では水素は燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出しないクリーンエネルギーであることから、化石燃料に代わるエネルギー源として期待される。バイオ水素はメタン発酵と同じように微生物によって有機物から水素エネルギーを取り出す技術であり、農業系廃棄物、生ごみや食品廃棄物等の有機性廃棄物のうち、糖質を多く含む廃棄物から水素生成菌の活性により水素が生成される。

水素を生成する生物はメタン生成菌と同じ嫌気性細菌の他に光合成細菌や藻類等がある。

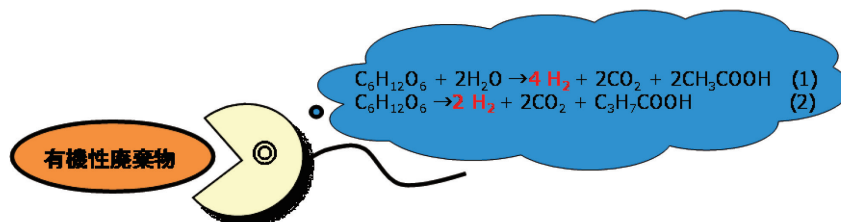


図1 嫌気性水素生成菌による水素生成原理

### 水素・メタン二段発酵システム

通常メタン発酵システムでは前処理の加水分解・酸生成システムとメタン発酵のメタン生成システムに分かれる。水素・メタン二段発酵システムではメタン発酵の加水分解・酸生成システムを前段の独立した水素発酵システムとして活用し、水素発酵で排出された有機物は後段のメタン発酵の原料として活用する。水素・メタン二段発酵システムは従来のメタン発酵システムに比べ、エネルギー転嫁率の向上や後段のメタン発酵における原料負荷の軽減が可能である。

水素発酵の事例はNEDO委託研究（有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵を中心とした二段発酵技術研究開発におけるパイロットプラントスケール実証実験）等がある。2021年度の「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」では研究段階であり、実用化には至っていない。しかしながら、廃棄食パン等、糖質を多く含む有機性廃棄物からバイオマスエネルギーを生成するのに適していることから、今後はメタン発酵の前処理システムとしての導入に向けた取組が進むことが期待される。

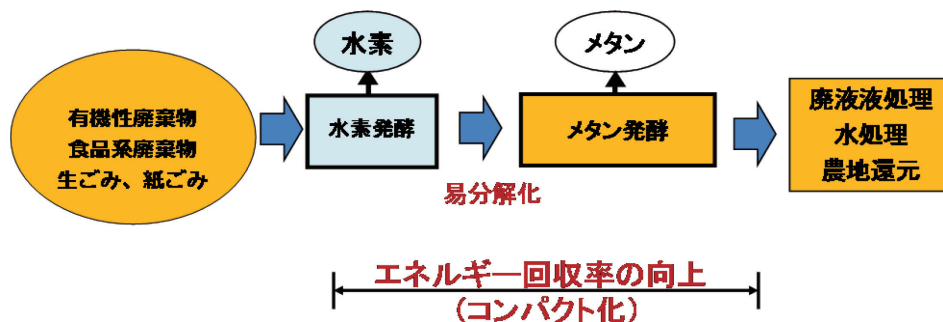


図2 水素・メタン二段発酵システム





## 第 5 章 今後に向けて

### 第 1 節 温室効果ガス削減効果の定量化及び持続可能性の確保

芋生 憲司

#### 1. LCA の構成

LCA（ライフサイクルアセスメント、Life Cycle Assessment）とは、対象とする製品の製造、使用から廃棄に至るライフサイクルを考慮して、それに伴う資源の消費量と排出物の量を明らかにし、環境への影響を評価することである<sup>1)</sup>。バイオマスのエネルギー利用においては、その主な目的が化石エネルギー資源の節約と GHG（温室効果ガス、Greenhouse Gas）排出量の削減であるため LCA が重要で、特にエネルギー収支と GHG 排出量を分析して評価することは必須である<sup>2)</sup>。

LCA の方法については各要素において次のように国際規格が作成されている。

ISO14040：原則および枠組み

ISO14041：目的および調査範囲の設定並びにインベントリ分析

ISO14042：ライフサイクル影響評価

ISO14043：ライフサイクル解釈

LCA の枠組みを図 1 に示し、各要素について説明する。

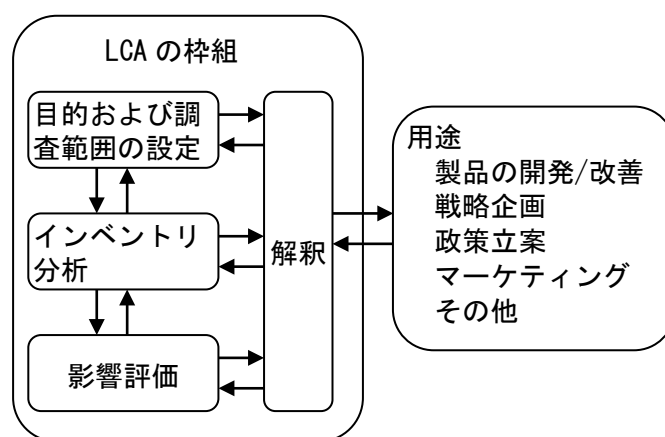


図 1 ISO14040 による LCA の枠組み

#### (1) 目的および調査範囲の設定

評価の目的を明らかにする段階であり、評価対象、機能単位、評価項目、システム境界（バウンダリ）を定める。バイオガス発電を評価対象とする場合、例えば LCA の目的は「温室効果ガス排出削減効果の定量化」、機能単位は「1kWh の電力供給」、評価項目は「GHG 排出による地球温暖化への影響」などとする。システム境界とは評価するプロセ

スの範囲である。「バイオガス関連事業のLCAに関する補足ガイドライン Ver.1.0」<sup>3)</sup>に示されている厨芥類を原料としたバイオガス関連事業のシステム境界の例を図2に示す。バイオガス関連事業においては、施設建設工程と施設解体工程における温室効果ガス排出量が無視できないことも多いため、原則として施設建設工程と施設解体工程をシステム境界内とする。ただし、概略検討を行った結果として、設定したカットオフ基準を満たす場合は、カットオフの対象とすることができる<sup>3)</sup>。カットオフ基準については明確な指標がないが、ガイドラインにより例えば、GHG総排出量に対して1%未満、などと示されている。

LCAの結果を報告する際、システム境界を明示することは非常に重要である。またシステム境界内でも、影響が小さい項目や、測定が非常に困難な項目を削除することがある。この場合も削除した項目とその理由を明示する必要がある。

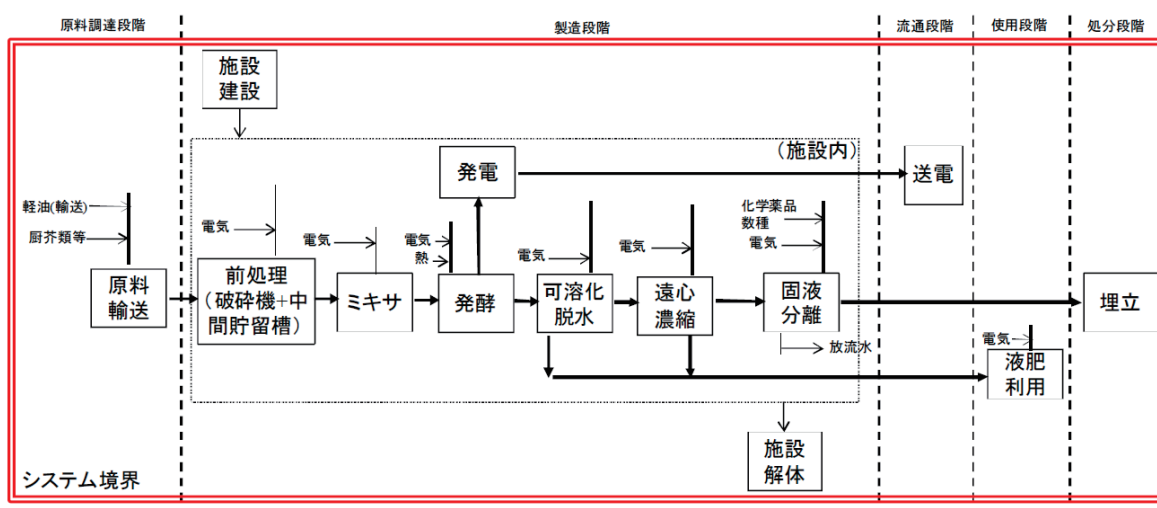


図2 厨芥類を原料とするバイオガス発電のシステム境界 (例)

バイオガス関連事業のLCAに関する補足ガイドライン Ver.1.0」<sup>3)</sup>より引用

## (2) インベントリ分析

設定したシステム境界内の各プロセスにおいて物質とエネルギーの収支を把握し、資源の消費量と環境負荷物質の排出量を算定する段階である。インベントリ分析を主体としたLCAは、LCI (ライフサイクルインベントリ、Life Cycle Inventory) 分析とも呼ばれる。インベントリ分析の方法については後述する。

## (3) 影響評価

インベントリ分析で算出された各項目が環境に及ぼす影響を評価する段階である。例えば二酸化炭素とメタンが排出される場合、各排出量にそれぞれの地球温暖化係数を掛けてから合計して、地球温暖化への影響を示す。

#### (4) 解釈

インベントリ分析や影響評価の結果から環境影響の大きい項目を特定する。また結果の信頼性を評価する。LCA では、特にインベントリ分析の方法、使用するバックグラウンドデータ、配分の方法などによって結果が大きく異なる可能性があるため、必要に応じて感度分析等を行い、推定される誤差の範囲を表記する。

## 2. インベントリ分析の方法

インベントリ分析ではプロセスに投入される資源量と排出される環境負荷物質を算定する。このため一般にフォアグラウンドデータとバックグラウンドデータが用いられる。フォアグラウンドデータとは自ら取得するデータである。例えば図 2 の中の原料輸送では、輸送車両の燃料消費量を取得するが、直接の計測が難しいことが多いので、一般には推定される燃費と輸送距離から燃料消費量を計算する。いずれにしてもデータの取得法を明示する必要がある。

バックグラウンドデータは一般にデータベースや研究報告などから取得する。LCA のソフトウェアに付属しているバックグラウンドデータを使用することもできる。例えば、各種燃料の製造に要する化石エネルギー資源 (MJ/L) と、製造段階での GHG 排出量 (kg/L)、燃料使用時の GHG 排出量 (kg/L) が公表されている。これをバックグラウンドデータとし、自ら取得したフォアグラウンドデータと掛けて、原料輸送に伴う化石エネルギー資源の使用量と GHG 排出量が求められる。このような調査と計算を全ての工程について行うことで、インベントリ分析が完了する。

例えば原料輸送においてより詳細な分析を行うために、輸送車両の製造と廃棄にかかわる分析も行うことがある。この場合、輸送車両の製造と廃棄にかかわる化石エネルギー資源の消費と GHG 排出量に (原料輸送のための走行距離 / 輸送車両の生涯走行距離) を乗じて原料輸送に割り振ることになる。

## 3. プロセスの比較

メタン発酵によるバイオガス発電は、廃棄物処理、発電、肥料製造という複数の目的があるため、通常は LCA の結果を例えば以下のような別のプロセス、もしくは複数プロセスの組み合わせと比較することになる。

オリジナルプロセス ○食品廃棄物 → 電力+バイオ液肥

比較プロセスの例 ○化石燃料 → 電力  
○食品廃棄物 → 堆肥  
○食品廃棄物 → 焼却処理  
○化石燃料 → 窒素肥料

LCAの目的は例えば「温室効果ガス排出削減効果の定量化」であると前述したが、定量化によって事業を実施するか否かの判断材料を得ることができる。例えば現状で食品廃棄物が焼却処理されている場合、その現状プロセスと比較することで、バイオガス発電を行った場合のGHG削減量を推定することができる。また既存の事業のLCAを行うことで、環境負荷低減のための有効な改善策を知ることができる場合もある。

#### 4. 持続可能性の確保

事業が持続可能であるためには、経済性、社会性、環境性が要件となる。メタン発酵によるバイオガス発電事業は廃棄物を再資源化することで社会に貢献するため、原料を適正に取り扱えば社会性は確保されるであろう。環境性については温室効果ガスの排出が削減されるとともに、事業を実施することで、悪臭、地下水汚染などの環境影響を改善できれば確保される。問題は経済性であろう。経済性を確保するには、原料の安定供給、電力あるいは電力と熱の有効利用、消化液の有効利用などが必要である。これについて以下に述べる。

##### (1) 原料の確保

バイオマスは供給の状況が変化しやすいので、原料の確保に留意する必要がある。廃棄物系バイオマスにおいても同様で、例えばRPS制度により廃木材を燃料とする発電所が多く建設されたが、発電所の数が増えたことと景気の悪化により、燃料の確保が容易ではなくなった。メタン発酵では、下水汚泥、食品廃棄物、家畜排せつ物が原料となるが、人口の減少、食品廃棄物の削減、食品廃棄物の飼料化の促進、健康と環境に配慮した代替肉の普及などにより原料の確保が困難になる可能性がある。このような場合に、例えば原料の複合化にそなえて混合処理の検討を行っておくなどの準備があれば持続可能性が向上する。

##### (2) 電力と熱の有効利用

現在のバイオガス発電では多くがFIT制度による売電を行っているが、第1章で述べたように2022年度からFIP制度が導入される。2022年度は10,000kW未満の規模であれば地域活用要件を満たすことでFIT制度を継続できるが、この規模の上限は段階的に引き下げられる予定である。そこで、制度の変遷を見越した事業計画が必要である。バイオガス発電は発電のON-OFFをしやすいので、基本的にはFIP制度に向いている。そこでFIP制度に移行して売電収入を増やせる可能性がある。しかしFIP制度に適した発電を行うには、多くの場合、ガスホルダや発電機の容量を大きくするための初期投資が必要であり、適正な計画が望まれる。

熱利用は日本ではあまり進んでいないが、農業施設などで利用されている事例もある。バイオガス発電では電気エネルギーの数倍の熱エネルギーが発生するので、熱を売ることができれば経済性と環境性が向上する。

### (3) 消化液の利用

メタン発酵事業では発生する消化液をバイオ液肥として利用することが、経済性の点でも環境性の点でも重要である。日本は飼料自給率が低く、外国から飼料を輸入して家畜を飼育しているため、家畜排せつ物を肥料として供給する飼料生産圃場が十分でないのは明白である。そこでバイオ液肥を利用してもらえ、耕種農家との協力が必要となる。この点で、農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」<sup>4)</sup>は追い風となるであろう。この戦略では2050年までに輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%削減し、耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大することを目指すとしている。

小岩井農場のように十分な飼料生産圃場を所有するところでは新たな地域循環型の事業が行われている。小岩井農場を拠点とする株式会社バイオマスパワーしずくいが、農場で発生する家畜排せつ物に加えて、食品廃棄物等を逆有償で受け入れて堆肥化とメタン発酵を行い、発生する堆肥と消化液のほとんどを小岩井農場に販売することで、収益性のある持続的な事業を行っている。このような事例は多くないが、近年メタン発酵原料の混合処理が期待されており、バイオ液肥としての消化液の供給先を確保できれば新たな事業展開が可能になると期待される。

#### 参考文献

- 1) 伊坪徳宏ほか(2007)『LCA 概論』。産業環境管理協会、東京。
- 2) 芋生憲司(2020)：農業食料工学ハンドブック、コロナ社。分担執筆：1編5章 ライフサイクルアセスメント(LCA)。
- 3) 環境省：バイオガス関連事業のLCAに関する補足ガイドライン Ver.1.0(平成22年3月)、  
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/>、2021年11月6日。
- 4) 農林水産省：みどりの食料システム戦略パンフレット、  
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html#leaf>、2021年11月8日。





## 第2節 ノンファーム型接続の可能性と課題

三嶋 大介

### 1. 系統連系できない！「空き容量ゼロ」とはどういう状況？

固定価格買取 (FIT) 制度の開始後、九州地方など家畜排せつ物の発生量の多い地域では、これら未利用バイオマスを原料とするバイオガス発電の事業構想が数多く検討された。しかしこれらの構想の多くは、太陽光発電の飛躍的普及を背景とした「系統連系の枠に空きがなく工事費負担金が高額」という理由により、そのほとんどが具体化することなくお蔵入りとなった。

この、「系統連系の枠に空きがない」とは、具体的にどういう状況なのだろうか。そして、近年耳にするようになった「ノンファーム型接続」とは、その状況をどのように解決するものなのだろうか。本節では、系統連系における電力マネジメントに関する考え方の基本、およびノンファーム型接続の概要を整理し、バイオガス事業の検討においてノンファーム型接続をどのようにとらえるべきかの現時点までの概論をまとめた。なお、ノンファーム型接続に関する制度設計の詳細については、まさに現在進行中で検討が進められているところであり、随時情報が更新されている状況であることに留意が必要である。

### 2. 系統電圧の基本

発電所で作られた電気は、図1に示されるように非常に高い電圧で送電され、工場や一般家庭などの需要者に近づくにつれ、段階的に電圧が落とされていく。電気を送電する際にできるだけ高圧の状態を保たれる理由は、以下の2つの式、

$$\text{熱量}(Q) = \{ \text{電流}(I) \}^2 \times \text{電気抵抗}(R) \times \text{時間}(t) \quad : \quad \text{ジュールの法則}$$

$$\text{電力}(W) = \text{電圧}(V) \times \text{電流}(I) \quad : \quad \text{電力(仕事量)の公式}$$

で説明される。すなわち、わずかながらも電気抵抗のある電線に電気を流す場合、ジュールの法則から電流の大きさの2乗に比例する形でエネルギーが熱に代わってしまう(熱損失)。そこで、同じ量の電力を送るのであれば、できるだけ電流を小さく、電圧を大きくするほうが効率的に送電できることとなる。

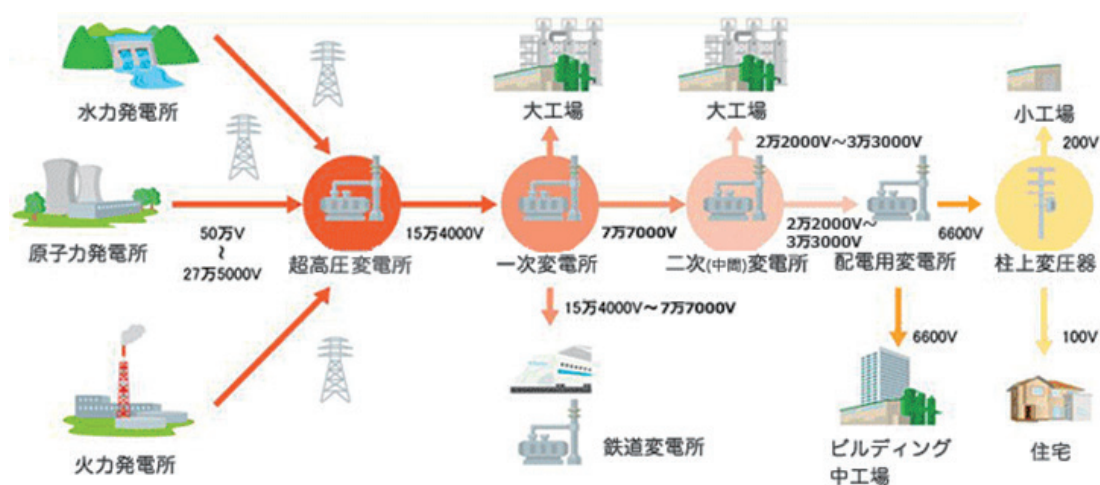


図1 発電所から家庭や事業所への送電電圧の例<sup>1)</sup>

図2に示されるように、電力系統は、電圧7,000Vを境に特別高圧の「送電系統」と、高圧・低圧の「配電系統」に分けられる。また、送電系統はさらに「基幹系統」と「ローカル系統」に分けられ、配電系統は「高圧」と「低圧」とに分けられる。発電された電力は、発電規模に応じた連系電圧系統に接続されることとなるが、一般に発電規模2,000kW以下となるバイオガス発電は、配電系統の高圧線路への接続となる。

系統	電圧階級	連系電圧	接続される電源の規模	接続電源								
				原子力	火力	洋上風力	水力	陸上風力	地熱	バイオマス	太陽光	バイオガス
送電系統	基幹系統※	50万, 27.5万, 22万V 18.7万, 13.2万V	50万kW超	○	○							
	特別高圧 (7000V～) ローカル系統	15.4万, 11万, 10万V	5万kW～100万kW程度									
		7.7万, 6.6万V	2,000kW～5万kW程度									
		3.3万, 2.2万V	2,000kW～1万kW程度									
配電系統	高圧 (600V～ 7,000V以下)	6600V	50kW～2,000kW未満	電源種ごとに適地が異なるため、配電では同種の電源が集中しやすい傾向								
	低圧 (600V以下)	200, 100V	50kW未満									

※各エリア上位2電圧 沖縄のみ1電圧(13.2万V)、北海道は50万Vなし(27.5万、18.7万)

図2 電源種ごとの連携電圧のイメージ<sup>2)</sup>

### 3. 空き容量の考え方

図3には、系統接続の考え方を示した。6.6万V以上の送電系統は、基本的に1系統2回線で設備形成されることが多く、その合計を1系統の「設備容量」と示されている。また、「運用容量」とはその内1回線分を示している。この1回線分の余裕は、落雷や台風などの自然災害や、鳥獣や公衆災害などの理由により、1回線が送電不能となっても停電を回避するためであり、送電系統の設備を構成する上での基本的な考え方である。

このように、通常時に使用している1回線分の容量を「運用容量」といい、これと緊急時に空けている1回線分を合わせたものを「設備容量」という。

運用容量については、これまで公平性・透明性を確保する観点から、太陽光や風力といった再生可能エネルギーも含めて全電源共通で接続契約申込み順に系統の接続容量を（実際にその容量枠を常時全量使うか否かに関係なく）確保するという「先着優先」の考え方で運用されてきた。図3の<増強前>に示されるように、それまでの接続契約で確保されている接続容量の合計よりも運用容量の枠が上回っていれば、その余裕分がいわゆる「空

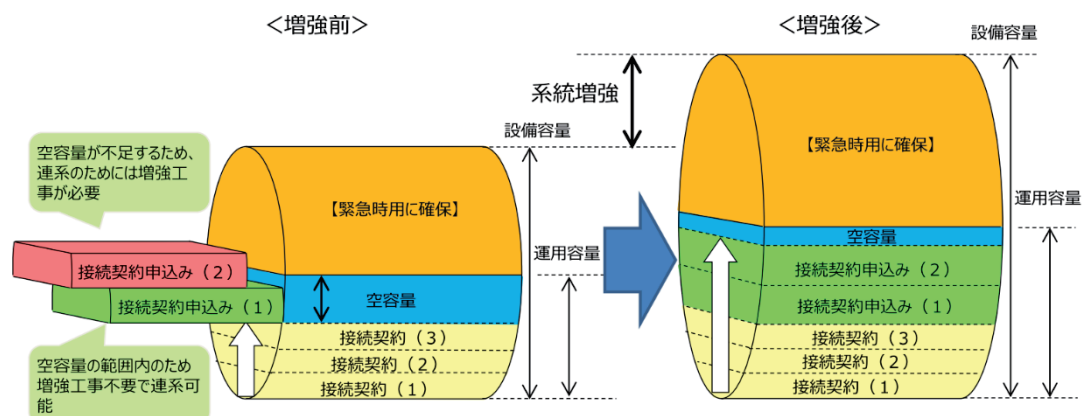


図3 系統接続の考え方<sup>3)</sup>

容量」に該当する。この状況において、「接続契約申込み(1)」と「接続契約申込み(2)」が順に行われた場合、前者は空容量の範囲内なので系統接続可能だが、後者は申込み時点で空容量が不足しており、連系のためには設備増強工事（工事費負担金）により設備容量そのものを増加させ、十分な空容量を新たに確保する必要がある（図3<増強後>）。

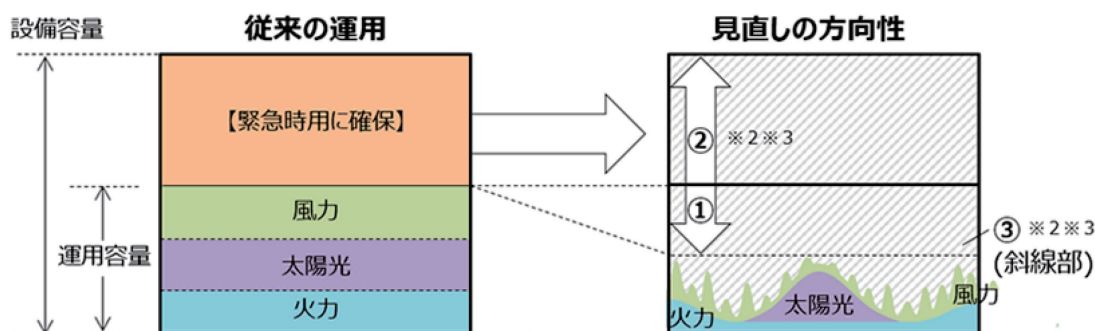
電力会社の設備増強計画は、基幹系統から配電系統に至るまでの設備について、当該地域の電力需給状況などを踏まえ妥当性や費用便益性などを考慮しながら計画される。そのため再生可能エネルギー導入普及の為であっても、むやみに増強計画を立てることは難しく、これまで太陽光発電などでこの空容量が埋まってしまった地域では、高額な工事費負担金となり新規の接続契約に進めない状況が続いていた。

#### 4. 日本版コネクト&マネージとノンファーム接続の概要

このような状況を打破するため、近年設備増強工事を伴わず、既存のインフラをより柔軟に運用し、有効活用する仕組みについての検討が進められている。このような仕組みは、「日本版コネクト&マネージ」と総称されている。図4に、日本版コネクト&マネージの概要及び進捗状況を示した。

日本版コネクト&マネージは、大きく3つの方策により既存送電線の能力を最大限に活用することを目指している。「①空き容量の算定」は、これまで接続容量で申請されているすべての電源がフル稼働する前提で空き容量が算出されていたが、今後は申請された接続容量の単純合計ではなく送電実態（実績値）に基づいて設定することにより、運用上の空容量を算出し、新たに割り当てできるようにしたものである。

	従来の運用	見直しの方向性	実施状況
①空き容量の算定	全電源フル稼働	実態に近い想定 (再エネは最大実績値)	2018年4月から実施 約590万kWの空き容量拡大を確認 ※1
②緊急時用の枠	半分程度を確保	事故時に瞬時遮断する装置の 設置により、枠を開放	2018年10月から一部実施 約4040万kWの接続可能容量を確認 ※1
③ノンファーム型の 接続	通常は想定せず	一定の条件(系統混雑時の制 御)による新規接続を許容	2019年9月から千葉エリア、2020年1月から北東 北エリア及び鹿児島エリアにおいて先行的に実施。 2021年1月13日より全国の空き容量の無い基幹 系統に適用。2021年春より東京電力PGIエリアの 一部ローカル系統に試行適用。



- ※1 最上位電圧の変電所単位で評価したものであり、全ての系統の効果を詳細に評価したものではありません。
- ※2 周波数変動等の制約により、設備容量まで拡大できない場合がある。
- ※3 電制装置の設置が必要。

図4 日本版コネクト&マネージ（既存系統を有効活用する仕組み）の進捗状況<sup>4)</sup>

「②緊急時用の枠」は、緊急時に確保している1回線について、「緊急時には瞬時遮断する」ことを条件として、通常時には連系可能とするものであり、これは「N-1電制」と呼ばれている。

「③ノンファーム型の接続」とは、太陽光発電や風力発電など、1日の中でも発電出力(送電量)の変動がある電源のあるエリアにおいて、電力系統の容量が空いている季節や時間帯は発電でき、各発電電源の合計出力が「運用容量」を超えるときに出力抑制させるものである。ちなみに「ファーム(Firm)」は「固い」という意味であり、電力系統枠が確保されていることを示し、逆に「ノンファーム」とは電力系統枠が確実に確保されているわけではない、という意味である。ノンファーム型接続は、2019年9月に東京電力パワーグリッド千葉エリアから先行的実施が開始され、2021年1月より全国の空き容量の無い基幹系統に適用が広がっている。また、2021年4月より同社9のローカルエリアで試行適用を開始させるなど、NEDOで行われている実証試験の結果なども踏まえ、2022年度末にローカル系統へ適用させる議論が進んでいる。

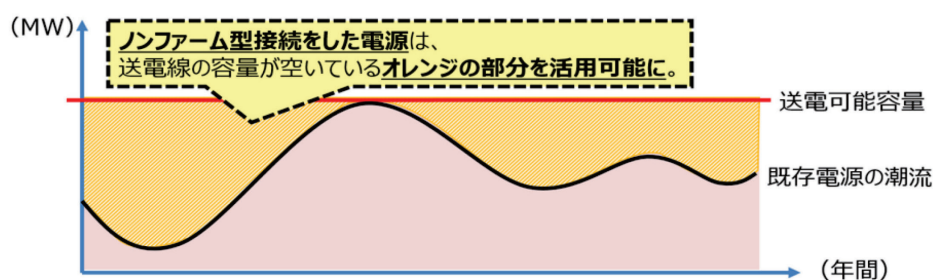


図5 ノンファーム型接続による送電線利用イメージ<sup>5)</sup>

ノンファーム型接続においては、図6に示されるように個別系統の運用容量を送電容量を超える場合に、出力制御を受ける形となる。この際、現行のルールにおいては、後から接続契約を申し込んだ電源(ノンファーム型接続をした再エネ)を先に制御すること(先着優先ルール)となっており、従前からファーム型接続で契約されている石炭火力等が優先される。

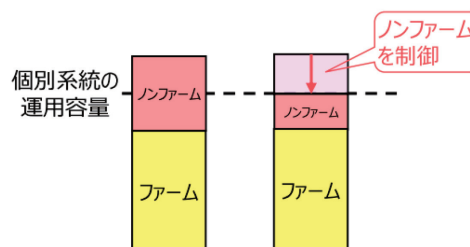


図6 ノンファームの制御イメージ<sup>6)</sup>

しかし、エネルギーマネジメントの観点からは、単純に接続をした順番ではなく、CO<sub>2</sub>排出や発電にあたっての燃料コストが掛からないといったメリットのある再生可能エネルギーを優先したほうが社会コストを下げることになるといえる。このような系統利用の考え方を「メリットオーダー」という。今後、従来の先着優先からメリットオーダーを目指した仕組みへの移行に関する検討が進んでいくものと考えられる。

## 5. バイオガス発電に対するノンファーム接続の可能性と課題

ノンファーム型接続は、本来電力系統設備を増強しなければ接続できない、空容量の無い電力系統について、混雑時の出力制御を条件に接続を許容することにより、発電設備の



早期接続を可能とするものである。このノンファーム型接続が進むことにより、これまで電力系統に空容量がなく、連系による売電が困難であったエリアにおいても、混雑時の出力制御を条件に接続が可能になる。ただし、基幹系統に対してノンファーム型接続となる場合でも、ローカル系統及び配電系統における送配電設備の空容量が不足する場合は設備増強工事が必要となるため、工事費負担金の発生には留意が必要である。

また、将来的にメリットオーダーの考え方が適用されることを想定した場合、バイオガス発電の発電コスト（限界費用）をどのように考えるか等についてはまだ議論の余地が残っており、太陽光発電や既存の化石燃料発電よりも優先されるか否かは流動的といえる。

日本版コネクト&マネージについては現在過渡期にあり、N-1 電制やノンファーム型接続については、その複合的な運用を含め、今後徐々に具体化していく段階にある。またファイナンスの観点からも、現在の系統接続状況を踏まえた運用予測はできるものの、将来ノンファーム型接続電源が増えてくる中でどの程度安定的に売電が可能なのかについては現状の制度設計上では予見が難しいなど、まだまだ制度設計的にも多くの課題が継続検討の状態にある。そのため、今後引き続きそれらの動向には注視が必要である。

他方、バイオガスの「調整が比較的容易な再生可能エネルギー源」という特性を考慮すると、本質的には電力需要や送電可能容量とのバランスを見ながら、太陽光発電など他の再エネ電源からの発電量が足りていないタイミングで発電・送電できるような運用を目指していく、すなわち FIP 制度への移行を積極的に進めていくことが期待されているといえる。さらに、「メタン」という物質の形でエネルギーを回収できるという特性を考えると、中長期的には必ずしも電気に変換して売電利用という方向にこだわらず、メタンガスや水素としての利用や化合物の原料としての利用などを含め、より幅広い用途への活用も視野に入れていくことが望ましいと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 関西電気保安協会：電気の通り道 発電所から自宅まで、<https://www.ksdh.or.jp/information/line.html>
- 2) 広域連系系統のマスタープラン及び系統利用ルールの内実等に関する検討委員会事務局：マスタープラン検討委員会における検討の範囲と進め方等について、第1回 広域連系系統のマスタープラン及び系統利用ルールの内実等に関する検討委員会 資料 3, 2020年8月28日 ※一部改変
- 3) 資源エネルギー庁：系統制約の緩和に向けた対応, 2018年1月24日
- 4) 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代型電力ネットワーク小委員会：電力ネットワークの次世代化に向けた中間とりまとめ, 2021年9月
- 5) 資源エネルギー庁：電力ネットワークの次世代化, 総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第20回） 資料 2, 2020年10月9日
- 6) 電力広域的運営推進機関：系統の接続ルールについて～ノンファーム型接続～, 2021年3月30日更新





## 第3節 FIT から FIP への移行、脱 FIT・FIP に向けた対応

一般社団法人日本有機資源協会

メタン発酵バイオガス発電を巡る情勢は、刻々と変化している。主だった動向は次のように整理される。

- ①FIT の地域活用要件、2023 年度までの調達価格の決定
- ②調達価格の変更と規模や原料種による再区分化の可能性
- ③FIT から FIP への移行の誘導（特に大型の新規案件）
- ④既存施設における卒 FIT への対応の準備
- ⑤脱 FIT・FIP への誘導
- ⑥ノンファーム型接続の拡大
- ⑦出力制御の低減に向けた方法論の議論の活発化
- ⑧発電側課金の設定、小売電気事業者への転嫁
- ⑨バイオガスの発電以外の用途の模索
- ⑩資本費・運転管理費の低減、稼働率（設備利用率）の向上の推進
- ⑪地域エネルギーマネジメントの中での位置づけ（地域脱炭素化のツールとして）

本節では、省庁の具体的施策に変化がある中で、現時点で注視しておくべき審議会等の情報源情報、技術的共通課題と対応策、事業主体や運転管理者が留意しておくべき事項をとりまとめる。なお、政策の動向については、第1章4節でまとめられており、本節と一部重複がある。

### 1. 注視しておくべき各省庁の審議会等の情報源情報

メタン発酵バイオガス発電に大きな影響を与える、各省庁の審議会等の情報源情報を紹介する。

経済産業省及び資源エネルギー庁からの情報としては、グリーン成長戦略<sup>1)</sup>、第6次エネルギー基本計画<sup>2)</sup>、頻繁に開催される各種審議会等の開催状況及び結果<sup>3)</sup>を注視しておきたい。

たとえば、令和3年度以降の調達価格等について、調達価格等算定委員会（2021年1月27日）で決定されたことは次のとおりであった。

- ① 2022 年度の調達価格（39 円/kWh）（20 年間）
  - ② 2022 年度の FIT での地域活用要件
    - 1) 規模が 10,000kW 未満
    - 2) ア 自家消費・地域内消費
      - イ 地方公共団体の名義の取り決めにおいて災害時に電気や熱が地域内で活用されること
      - ウ 地方公共団体自らによる事業実施または出資
- 上記3要件のいずれかを満たすこと

③ 2022 年度の調達価格・基準価格における各想定値（変更無し）

提示された情報及び課題には、資本費・運転維持費・設備利用率に関する分析、FIP への移行の促し、FIT で認定を受けられる規模要件の再検討の示唆があった。

令和 4 年度以降の調達価格等について、調達価格等算定委員会で分析・評価され、決定されたことは次のとおりであった。

①メタン発酵バイオガス発電のコストデータについては、資本費・運転維持費の平均値・中央値はいずれも 2022 年度の調達価格における想定値を大きく下回る。設備利用率は、平均値・中央値いずれも想定値を大きく下回る。

②資本費・運転維持費については、500kW 未満の原料混合案件の中央値に着目して、2023 年度の資本費の想定値を 243 万円/kW、運転維持費の想定値を 18.4 万円/kW/年とする。設備利用率については、これまで想定値を 90%としていたが、原料混合利用が進むことを念頭に、2023 年度の想定値を 70%とする。

③2023 年度の FIT 調達価格及び FIP 基準価格は、35 円/kWh とする。

環境省からの情報としては、改正地球温暖化対策推進法<sup>4)</sup>、地球温暖化対策計画に基づく 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた方策<sup>5)</sup>、カーボンプライシング<sup>6)</sup>を注視しておきたい。

農林水産省からの情報としては、バイオマス活用推進基本計画<sup>7)</sup>、みどりの食料システム戦略<sup>8)</sup>、バイオ液肥の活用、食品リサイクルの推進を注視しておきたい。

内閣府からの情報としては、再生可能エネルギー等に関する規制等の総点検タスクフォース（バイオマス発電等の再生可能エネルギーの拡大に向けた廃棄物・リサイクル関連法制のあり方）<sup>9)</sup>を注視しておきたい。

また、メタン発酵に関わる公表されているマニュアルには次のようなものがある。数が多いが、それぞれ特徴があるので、一読しておく幅広い知見が得られる。

表 1 メタン発酵に関わるマニュアル

情報源	タイトル（発行年月）
資源エネルギー庁	事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電）（2021 年 4 月改定）
NEDO 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技 術総合開発機構	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 （メタン発酵バイオマス編）（2020 年 4 月）（2021 年 4 月）（2021 年 7 月）
	バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第 4 版、2015 年 9 月）
環境省	廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル（改訂版）（2017 年 3 月）
	メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）（2017 年 3 月）
国土交通省	下水処理場における地域バイオマス利活用マニュアル（2017 年 3 月）
JORA 一般社団法人 日本有機資源協会	バイオガス化マニュアル（2006 年 8 月）
	バイオガスシステムの現状と課題（2003 年 11 月）
	糞尿・消化液処理の現状と展望（2005 年 9 月）

農研機構	バイオマスタウンの構築と運営 (2012年3月)
	メタン発酵消化液の畑地における液肥利用－肥料効果と環境への影響－ (2012年3月)
	メタン発酵消化液の輸送・散布計画の策定支援モデル (2014年3月)
JARUS 一般社団法人 地域環境資源センター	消化液の肥料利用を伴うメタン化事業実施手引 (2016年3月)
	農村資源利活用検討調査委託業務報告書－メタン発酵利活用施設技術指針 (案)－ (2005年3月)
LEIO 一般財団法人 畜産環境整備機構	家畜排せつ物利活用方策検討システム構築事業報告書 (2008年3月)
	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 (2013年2月)

## 2. 技術的共通課題と対応策

FIT から FIP への移行、脱 FIT・FIP に向けての技術的共通課題と現時点で解決していくべき対応策をとりまとめる。

まず、メタン発酵バイオガス発電の導入量を左右する要因として、拡大要因とリスク要因を整理すると表 2 のようになる。

表 2 メタン発酵バイオガス発電の導入量を左右する要因

拡大要因	外的要因	環境価値、安定性の評価
		再生可能エネルギー導入拡大の基調
		畜産環境の整備の必要性の増加
		食品廃棄物の有効活用の強化 (内閣府再エネタスクフォース)
	災害対応	スマートグリッドの促進
		地域レジリエンス強化 (災害時の貢献)
	技術開発	乾式メタン発酵技術の実用化
		焼却施設の前処理に乾式メタン発酵の導入が増加
		混合利用、前処理・ICT 活用によるエネルギー収率の向上とコスト削減
		蓄電池の低廉化
荒廃農地や遊休地に資源作物を栽培しての新規原料の増加		
リスク要因	制度や外的要因	FIT、FIP 制度の将来見通しの不透明さ
		出力制御や系統容量不足
		他用途との原料競合、他電源との土地利用競合
	コスト面	経営上、卒 FIT に耐えられない危険性
		他電源に比べてコスト高な中での選択
	技術開発	海外メーカーへの依存度の高さ
		マーケットが相対的にそれほど大きくないことによる研究開発、投資抑制

メタン発酵バイオガス発電における共通課題には次のようなものがある。

- ①資本費・運転維持費の低減、設備利用率の向上
- ②地域課題の解決（廃棄物処理、臭気対策、脱炭素、農福連携などの雇用対策）
- ③2050年実質カーボンニュートラルへの貢献
- ④持続的な経営が成立する全体システムの構築
- ⑤GHGs排出削減に貢献することの検証
- ⑥出力制御への対応
- ⑦実行可能な地域レジリエンス対応
- ⑧FITにおける地域活用要件の充足
- ⑨FIPからFIPへの移行、卒FIT、脱FIT・FIPの準備
- ⑩熱・バイオガス・バイオ液肥の利用拡大（需要の開拓、インフラ整備を含む）
- ⑪地域エネルギーマネジメントの中での貢献
- ⑫マーケットの拡大
- ⑬設備、技術ノウハウの国産化

コスト低減に向けては、以下の取組により事業全体の採算性の改善を図ることが望まれる。

- ①バイオガス発電機の高効率化、メンテナンス頻度の適正化によるコスト削減。
- ②メタン発酵槽加温や消化液殺菌等の熱利用の効率化による化石燃料費の削減。
- ③バイオ液肥利用のための耕畜連携、濃縮減量化、散布の効率化によるコスト削減。
- ④バイオ液肥中の固形分の再生敷料利用等の推進。
- ⑤食品廃棄物、家畜排せつ物、下水汚泥等の混合利用によるエネルギー生産量の増大。
- ⑥地域新電力との連携による地域住民の理解向上と災害時対応への貢献。

FIP制度への移行に向けては、調整力を発揮させるためのメタン発酵槽の増設、ガスホルダの増設、発電機の増設及び運用制御、系統の状況や電力需要等を把握した上での出力制御を含む運用制御システムの構築（出力制御には専用ユニットが必要。現システムでは余剰ガスとなってしまいうガスの利用も検討課題）、系統に売電できない場合の電力の自家・地域利用システムが必要となる。設備の増強に合わせて敷地の拡張も必要になる。なお、2022年4月から開始のFIP制度の運用状況も参考にする。

脱FIT・FIP（自立化）に向けては、熱利用、都市ガス管への接続、水素抽出、ICT活用等の技術革新の動向を踏まえつつ、ビジネスモデルの構築に努める必要がある。

災害時における地域での電気や熱の活用に関しては、多くの自治体に関心を持っていると思われる。以下が課題と考えられる。

- ① 数年後に運転開始するバイオマス発電事業者と自治体がいかに迅速に防災協定や災害時連携協定等を締結していくかを検討する。
- ② 災害時に電気や熱を地域で活用するために自営線の整備や関連設備の追加等を要する場合、費用の増大にいかに対応していくかを検討する。

考えられる取組としては、次のようなものがある。

- ① バイオガス発電施設は郊外に建設され、近隣で電気の固定した供給先がないことも多いため、災害時に地域に開放して携帯電話等の充電に活用する。
- ② 平常時のバイオマス発電による電力を公用車（電気自動車）に充電しておくことで、災害時に避難所等で非常用電源として活用する。
- ③ 平常時は太陽光発電設備やリチウムイオン蓄電設備を付設し場内電力として使用し、災害時にはその蓄電設備の電力を基にバイオガス発電施設を再起動し、非常用地域電源として活用する。
- ④ 出力制御時の余剰ガスを、平常時には自家消費電力として利用、災害時には非常用地域電源として利用する。

バイオガス発電において、系統連系運転と自立運転を切り替えられるシステムフロー例を図1に示す。また、3つのタイプ毎のコスト比較例を表3に示す。これらによると、1基（25kw）の機器本体価格及び工事費の合計は約2,000万円である。系統連携運転、自立運転ができるようにするためには、約300万円の追加が必要になる。遠隔監視を含む保守費は、約90万円/年（10年）である。これらの情報は、メタン発酵システムのコジェネレーション部分に系統連系や自立運転の機能を持たせるかどうかをライフサイクルコスト及びリスクマネジメントの面から判断する材料になる。

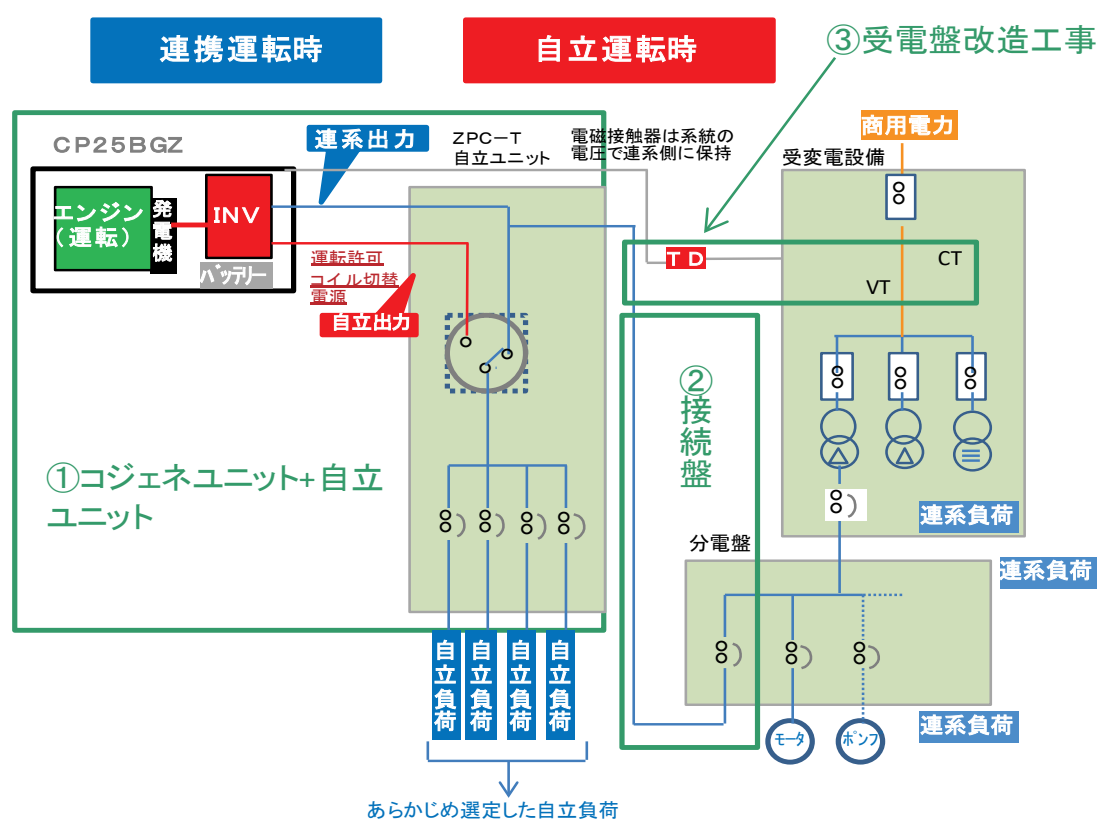


図1 コジェネレーションのシステムフロー（連系運転時、自立運転時）<sup>17)</sup>



表3 バイオガス発電機導入のためのタイプ別コスト比較<sup>17)</sup>

項目	タイプ	積算額 (千円)	タイプ1	タイプ2	タイプ3
			系統接続で使用 (売電可能)	系統分離で使用 (自立運転) + 停電時可能	タイプ(1) + (2)
1. 機器費構成	①バイオガスコジェネ(型式:GP25BG-TF) 25KW、3相3線200V、インバータ発電方式 搭載機能:ガスエンジン発電機、制御機、排熱回収設備、 放熱用ラジエータ、排気消音器、遠隔監視発信器 付属品:システムコントローラ・ガスプロア	12,500	●	●	●
	②同上 自立・停電対応(自立主回路、始動装置)	1,200	—	●	●
	③自立ユニット盤(屋外形) (系統⇄自立)主回路切替器、配電用ブレーカ(200、100V用)	1,000	—	●	●
	④連系ユニット盤(屋外形)	1,030	●	—	●
	⑤補機動力盤(屋外形、ガスプロア・温水循環ポンプ回路)	1,000	●	●	●
	⑥ガスプロア起動装置(停電時)	600	—	●	—
	⑦温水循環ポンプ	100	●	●	●
	⑧試運転調整費	500	●	●	●
	⑨諸官庁手続助勢費(経済産業局、消防署、電力会社)	500	●	●	●
	機器費小計(千円)		16,230	18,000	19,030
2. 工事費	①基礎工事	1,000	●	●	●
	②搬入・据付工事	300	●	●	●
	③配管工事	1,000	●	●	●
	④配線工事(共通)	800	●	●	●
	⑤配線工事(自立運転)	200	—	●	●
	⑥配線工事(系統接続)	1,000	●	—	●
	工事費小計(千円)		4,100	3,300	4,300
3. 保守費・遠隔監視費	(基本案件) 1. バイオガスがガスホルダーに貯留できる。 2. 自立運転(停電時)に使用する発電機負荷は小容量の集合体とする		フルメンテ(10年) 900千円/年 (遠隔監視費を含む)	フルメンテ(10年) 930千円/年 (遠隔監視費を含む)	フルメンテ(10年) 930千円/年 (遠隔監視費を含む)
4. 特徴と留意点		全量買取制度を活用し、系統との接続により売電する。バイオガスがある限り発電可能。接続及び計量に費用を要す。停電時は使用できない。	電力会社の系統とは接続せず、コジェネユニットのみで自立運転する。発電機で賄う負荷は小容量の集合体とする必要がある。	タイプ1に加え、停電時も使用可能。	

ブラックアウト発生時にバイオガス発電を機能させるためには、起動用の非常用発電機、既設受電設備の改造、余剰電力の消費装置、蓄電池、自営線の配線、系統との切替設備が必要になる。起動用の非常用発電機はトラクター等のバッテリーで代用することも可能である。併設する太陽光発電による電力を使う方法もある。切替設備は、手動式と自動式が想定されるが、経済面から手動式が現実的と言える。電力供給先となる需要家側との需要の規模や変動に関する調整は不可欠となる。この場合、既設のバイオガス発電機器は最大出力の60%程度まで出力調整が可能である。また、自営線の設置・管理に際しては、電気事業法上の制約に留意が必要である。蓄電池は、起動用電源として、また、需給バランスを調整するために有用だが、現時点では初期費用が高額である。

共通課題と対応策をまとめると、図2のようになる。上記に加えて、亜臨界処理などの前処理によるエネルギー回収率の向上、LCAによる分析、ICT活用による運転管理の効率化が課題解決につながると考えられる。

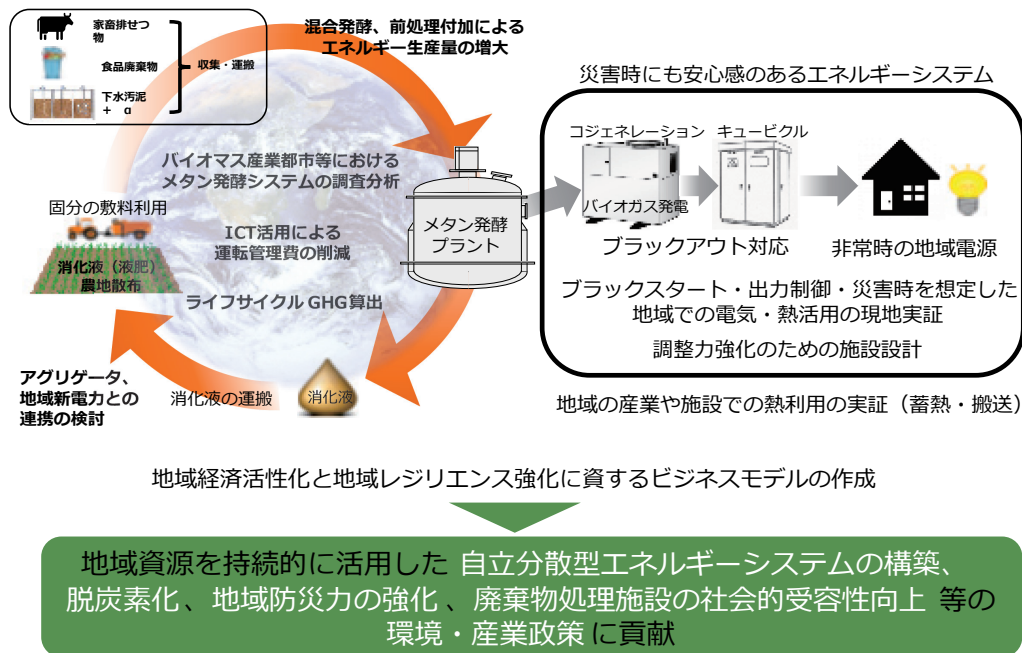


図2 メタン発酵バイオガス発電の共通課題と対応策

### 3. 事業主体(民間事業者、地方自治体)が留意しておくべき事項

ここでは、民間事業者、地方自治体などの事業主体の立場で留意しておくべき事項をまとめる。

まず、FIT 及び FIP は暫定措置であることに留意しておく必要がある。計画段階では、FIT や FIP の適応を受けない方法も選択肢に入れるとよい。

メタン発酵バイオガス発電に限らないが、バイオマスを持続的に活用する施策は、図3に示すような PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルマネジメントを導入することにより、実現可能性の高い計画の策定と着実な事業の推進が可能になる<sup>10)</sup>。プロジェクトのサイクルは、地域診断、計画策定、事業の実施、評価に区分される。1サイクルの時間は主たる施設の耐用年数に支配され、10～30年程度の場合が多い。

具体的には、中核事業主体、関係主体、市町村の担当者、内部監査担当者、公募市民及び有識者などで構成するバイオマス活用推進協議会などの場で、地域診断を行うとともに、できるだけ社会実験を経て計画を策定する。迷惑施設と認識される場合もあるので、地域内での合意形成を重視する必要がある。変換方式を湿式にするか乾式にするかは原料特性による。施設の設計に際しては、複数の運転管理の実務経験者からヒアリングを行うことで、トラブルを最小化し、あるいはトラブル発生時の対応を容易にするプラントが建設される。

事業実施中は法定点検とともに、事業の毎年度点検を行いながら運営する手順が適切で

ある。保守・点検や適期の修繕により施設や機器の長寿命化が図られる。モニタリングや評価にあたっては、間接エネルギーや外部経済効果の評価を組み入れることが望ましい。バイオマスの活用には経費（支出）を伴うが、それをできる限り地域内の人・組織への収入にすることが地域経済活性化につながる。

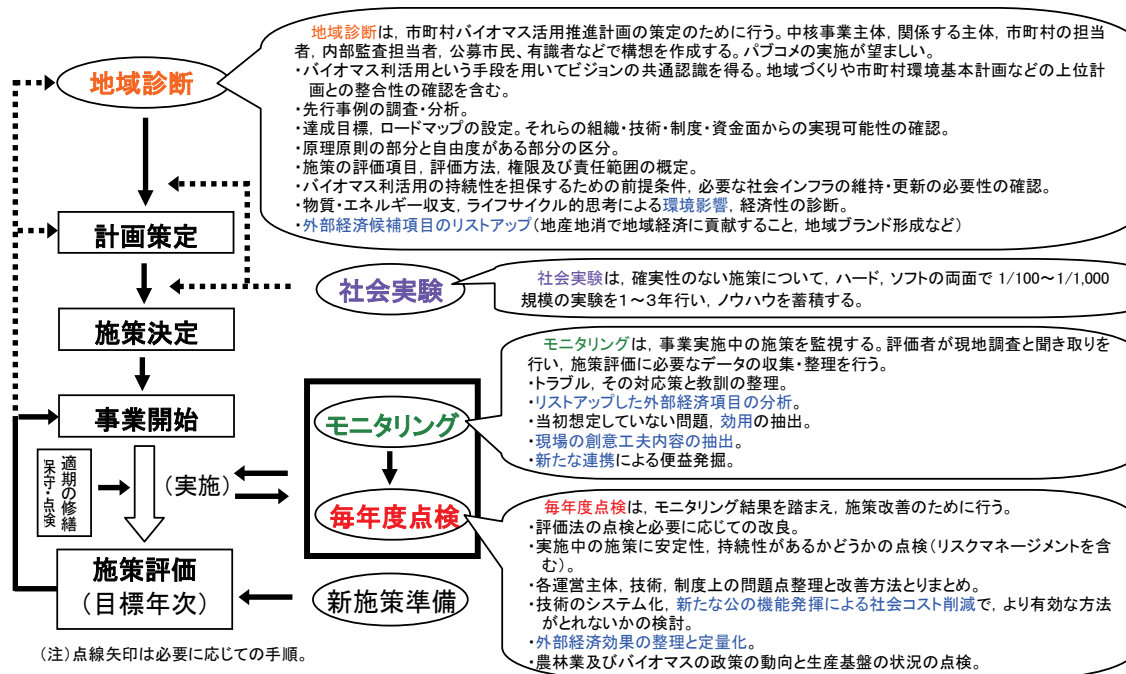


図3 バイオマス活用のPDCA サイクルマネジメント<sup>10)</sup>

メタン発酵バイオガス発電に関わる制度は複雑なので、資源エネルギー庁がとりまとめている事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電）<sup>11)</sup>、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」<sup>12)</sup>、「電気事業のいま」<sup>13)</sup>は早い段階で確認しておきたい。施策への対応としては、地域循環共生圏、バイオマス産業都市、脱炭素地域のコンセプトに沿うことが望まれる。温室効果ガス排出量の削減効果や持続可能性の担保は、今後より重要な視点となる。これについては、第1節を参照されたい。また、今後は、確実にノンファーム型接続が主流になってくると思われる。これについては、第2節を参照されたい。

事業化のポイント、関連法規、必要な資格については、第2章を参照されたい。諸手続きには時間を要することを認識しておく必要がある。

運転管理を直営で行うか、原料供給・バイオガス発電・生成物の利用者等で構成する特別目的会社（SPC）などの新会社を設立して行うか、PFI方式を採用して一括委託するか、バイオガス発電部分のみを委託するか、という選択も重要となる。類似事業の先行事例からのヒアリングは実施したいものである。

発電機の種類と台数の選択、メンテナンス契約は慎重に行う必要がある。第1章第3節を参考にされたい。バイオガスの発電以外の利用、バイオ液肥の利用、地域レジリエンス

への貢献については、第4章を参照されたい。

また、BCP（事業継続計画）は、様々な段階のものを、実務経験を踏まえて作成し適宜更新しておくべきである。

#### 4. 運転管理者が留意しておくべき事項

ここでは、運転管理者（リーダー）の立場で留意しておくべき事項をまとめる。

まず、有機性廃棄物を原料とするメタン発酵バイオガス発電施設は、廃棄物処理施設となることを認識して、必要な資格を取得し、必要に応じ更新しておくことが必要である。

廃棄物処理施設の設置者（市町村においては管理者）は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（以下「廃棄物処理法」という）第21条により、技術管理者を置くことが義務付けられている。この技術管理者は、「廃棄物処理法」施行規則第17条に規定する学歴・経験等の要件を備え、かつ、厚生労働省生活衛生局水道環境部環境整備課長通知「衛環第96号」（平成12年12月28日）において、『技術管理者等の資質の向上を図ることは、廃棄物の適正処理を推進するために重要であり、この観点から、廃棄物処理施設及び事業場の類型ごとに必要な専門的知識及び技能に関する講習等を修了することが望ましいものであること。』と示されている。

日本環境衛生センターが主催する「廃棄物処理施設技術管理者講習」<sup>14)</sup>の基礎・管理課程及び管理課程は、技術管理者となる方の資格要件を補完し、望ましいとされる技術管理者を養成し、同センターがその能力を認定する講習となっている。各課程を修了した者には、同センターから「（各廃棄物処理施設）技術管理士」認定証が交付される。

運転開始後は、施設が安定して効率的に稼働するよう、各種改善、リスク管理、関係者とのコミュニケーションを大切にしたいものである。経験の見える化と技術・ノウハウの継承も重視したいところである。また、技術やノウハウの革新や他の施設の運転の経験から学べることは多いので、定期的に研修を受講するとともに、成果を担当施設の関係者と共有し、OJT（オンザジョブトレーニング）を展開していくことが重要である。さらには、積極的に研修講師を務めることにより、自らの新たな気づきが得られる。

#### 参考文献

1) 経済産業省：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html)

2) 資源エネルギー庁：第6次エネルギー基本計画閣議決定、

<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html>, 2021年11月10日。

3) 資源エネルギー庁：審議会、<https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/>

4) 環境省；改正地球温暖化対策推進法について、<http://www.env.go.jp/press/ontaihou/116348.pdf>, 2021年11月14日。

5) 環境省：2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、[http://www.env.go.jp/earth/2050carbon\\_neutral.html](http://www.env.go.jp/earth/2050carbon_neutral.html)

6) 環境省：カーボンプライシング、<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cp/index.html>

- 7) 農林水産省：バイオマスの活用の推進（バイオマス活用推進基本計画を含む），  
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/index.html>
- 8) 農林水産省：みどりの食料システム戦略，<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html>
- 9) 内閣府：第12回 再生可能エネルギー等に関する規制等の総点検タスクフォース（バイオマス発電等の再生可能エネルギーの拡大に向けた廃棄物・リサイクル関連法制のあり方），  
<https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/conference/energy/20210702/agenda.html>  
<https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/conference/energy/20210702/gijiroku0702.pdf>
- 10) 農研機構農村工学研究所（2013）：バイオマスタウンの構築と運営（手引き書），  
<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/nkk/introduction/files/tebikisyo.pdf>
- 11) 資源エネルギー庁：事業計画策定ガイドライン（バイオマス発電），  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/dl/fit\\_2017/legal/guideline\\_biomass.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/legal/guideline_biomass.pdf),  
2021年7月25日.
- 12) NEDO（2021）：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，  
[https://www.nedo.go.jp/library/biomass\\_shishin.html](https://www.nedo.go.jp/library/biomass_shishin.html), 2021年7月25日.
- 13) 市村拓斗（2021）：電気事業のいま，一般社団法人日本電気協会新聞部，東京都.
- 14) 日本環境衛生センター：廃棄物処理施設技術管理者講習，<https://www.jesc.or.jp/training/tabid/121/Default.aspx>

## コラム バイオマス産業都市について

一般社団法人日本有機資源協会

### バイオマス産業都市とは

地域バイオマスの原料生産から収集・運搬、製造・利用までの経済性が確保された一貫生産を構築し、地域のバイオマスを活用した産業創出と地域循環型のエネルギーの強化により、地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち・むらづくりを目指す地域をバイオマス産業都市と呼ぶ。バイオマス産業都市の選定にはバイオマス関係 7 府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）が共同で行う。バイオマス産業都市に選定された地域ではバイオマス関係 7 府省からの支援の他に、地域内のバイオマス事業の推進や温暖化対策、循環型社会の形成が期待される。

### バイオマス産業都市選定地域

バイオマス産業都市は 2021 年度までに 97 市町村が選定された。メタン発酵によるバイオガス発電事業は多くのバイオマス産業都市で実施または計画されている。

### バイオマス産業都市の選定地域（97市町村）

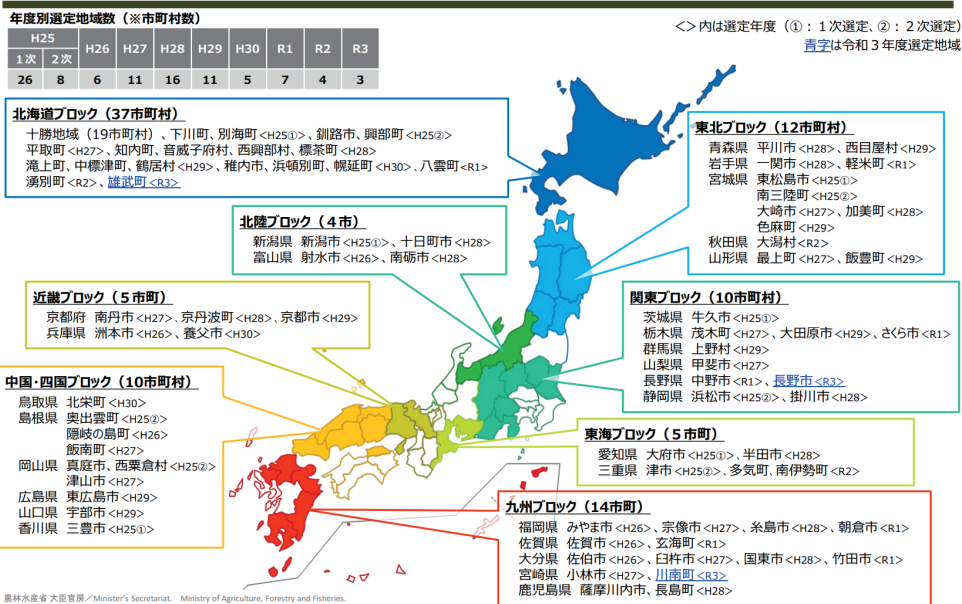


写真1 バイオマス産業都市選定地域（農林水産省 2021年12月公表）  
([https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio\\_g/attach/pdf/211222-1.pdf](https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio_g/attach/pdf/211222-1.pdf))

### バイオマス産業都市推進協議会

2018年にバイオマス産業都市選定地域をはじめ、新たに民間企業や団体、バイオマス関係 7 府省等で構成されるバイオマス産業都市推進協議会が設立された。バイオマス産業都市推進協議会はバイオマス産業都市における事業の加速化や普及を展開する組織として期待される。



# コラム バイオマス利用技術の現状とロードマップについて

一般社団法人日本有機資源協会

バイオマス利用技術に関しては、堆肥化、飼料化、バイオマスプラスチックなどのマテリアル利用や、メタン発酵、直接燃焼などのエネルギー利用があり、バイオマスの種類も豊富ながら、そのバイオマス利用技術も様々である。

バイオマス活用推進会議（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省及び環境省の副大臣又は政務官であって、バイオマス活用推進を担当する者により構成）において、バイオマス利用技術の到達レベル、技術的な課題及び実用化の見通しについて、関係省庁・研究機関・企業による横断的な評価を行い、平成24年9月に「バイオマス利用技術の現状とロードマップについて」（以下、「技術ロードマップ」という。）が決定され、令和元年5月17日に2回目の見直しが行われた。

それぞれのバイオマス利用技術の到達レベルは、現状(2019年)、概ね5年後(2024年頃)、概ね10年後(2029年頃)、概ね20年後(2039年頃)のタイムフレームの中で技術開発の進展状況を踏まえ、研究、実証、実用化の3段階で評価されている。

この技術ロードマップは、概ね2年ごとに技術開発の進展状況等を勘案したうえで、必要があるとみとめるときは、見直しを行うこととしている。

## Ⅲ-2. 新たな「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」（整理表）

各到達レベルにあるバイオマスと利用技術（技術レベル単位の整理表）

技術レベル	原料	製造物（技術番号※）	備考
1 実用化段階	木質系、草本系	チップ、ペレット(1, 2)、直接燃焼による熱・電気(6)、 <b>直接燃焼による熱(7)</b> 、固体系燃料・スラリー燃料・バイオコークス(10)、ガス化(13, 15)、メタン発酵によるガス・熱・電気(28)、バイオマス由来物質を基に多様な化学品・エネルギー生産(49, 50)	(10)は炭化、(13)は高温ガス化、(15)は脱炭
	家畜排せつ物	直接燃焼による熱・電気(6)、 <b>直接燃焼による熱(7)</b> 、メタン発酵によるガス・熱・電気(28)	(6, 7)は鶏ふんのみ
	食品廃棄物	直接燃焼による熱・電気(6)、 <b>直接燃焼による熱(7)</b> 、メタン発酵によるガス・熱・電気(28)、貯蔵・発酵資源発酵によるエタノール、化学品(31)、 <b>収量・選別・保管技術(54)</b>	(31)は甜菜、米、小麦等
	下水汚泥	直接燃焼による熱・電気(6)、 <b>直接燃焼による熱(7)</b> 、固体系燃料・スラリー燃料・バイオコークス(10)、ガス化(13)、固体系燃料(25)、水素(27)、メタン発酵によるガス・熱・電気(28)	(10)は炭化、(13)は高温ガス化
	油糧作物	<b>バイオディーゼル燃料(BDF)(18)</b>	
	糖質・澱粉質系	バイオプラスチック素材(38)、バイオマス由来物質を基に多様な化学品・エネルギー生産(49, 50)	
2 実証段階	木質系、草本系	チップ、ペレット(8)、燃焼灰の有価物利用(6)、 <b>直接燃焼による熱・電気(8)</b> 、固体系燃料・スラリー燃料・バイオコークス(11, 12)、貯蔵・選別資源発酵によるエタノール、化学品(32)、資源作物開発(52)、 <b>収量・選別・保管技術(55)</b>	(3)原料はホビオグラス、OPT、竹等、(11)は半炭化、(12)は水熱炭化、(32)はOPT
	食品廃棄物	燃料(バイオ系油)(4)、ペレット等(26)	
	下水汚泥	直接燃焼による熱(9)、固体系燃料・スラリー燃料・バイオコークス(11, 12)、ペレット等(26)、 <b>収量・選別・保管技術(55)</b>	(11)は半炭化、(12)は水熱炭化
	動植物油	燃焼分解による軽質炭化水素燃料(軽油)(23)	
	油糧種子	水素化分解による軽質炭化水素燃料(ジェット燃料、灯油、軽油等)(24)	
	リグニン/リグニンセルロース系 セルロース/ナファイバー	バイオプラスチック素材(42, 43) バイオプラスチック素材(45)	
3 研究・実証	木質系、草本系	ガス化(14, 16)、ガス化・液体燃料製造(BTL)による液体燃料(メタノール、ジェット燃料等)(17)、急速熱分解による液体燃料(バイオオイル、BDF等)、化学品(19)、 <b>水素製造による液体燃料(バイオオイル、BDF等)(20)</b> 、水素ガス化によるガス・熱・電気(21)、 <b>高温加水分解による燃料、肥料(22)</b> 、 <b>セルロース系発酵によるエタノール、化学品(33, 34)</b> 、フタノール(35)、バイオマス由来物質を基に多様な化学品・エネルギー生産(48, 51)	(14)は低温ガス化、(16)は半炭化ペレット小型ガス化、(33)はフタノール/セルロース(糖化/炭化)、(34)はハードセルロース(間伐材等)、(35)は草率後等
	家畜排せつ物	水熱ガス化によるガス・熱・電気(21)、 <b>高温加水分解による燃料、肥料(22)</b>	
	食品廃棄物	水熱ガス化によるガス・熱・電気(21)、 <b>高温加水分解による燃料、肥料(22)</b> 、 <b>水素発酵によるガス・熱・電気(30)</b>	
	下水汚泥	ガス化(14)、水熱ガス化によるガス・熱・電気(21)、 <b>高温加水分解による燃料、肥料(22)</b>	(14)は低温ガス化
	リグニン/リグニンセルロース系 セルロース/ナファイバー	バイオプラスチック素材(41, 44) バイオプラスチック素材(48, 47)	
	糖質・澱粉質系 微細藻類、大型藻類	<b>水素発酵によるガス・熱・電気(30)</b> 、フタノール(35)、ジェット燃料(36)、 <b>バイオプラスチック素材(39, 40)</b> 、バイオマス由来物質を基に多様な化学品・エネルギー生産(48, 51) 液体燃料(軽油代替、ジェット燃料等)(37)	(36)原料は高分子多環類、(40)原料は糖質類

赤字は実用化(一部実証)、青字は実証(一部実用化)、黒字は研究・実証(一部実用化)、緑字は研究段階(※)は、バイオマス利用技術の現状とロードマップの技術毎の番号。

27

図 農林水産省 新たな「バイオマス利用技術の現状とロードマップについて」より抜粋

農林水産省：「バイオマス利用技術の現状とロードマップについて」，

[https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/roadmap\\_hontai.pdf](https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/roadmap_hontai.pdf)

令和3年度新エネルギー等の導入促進のための広報等事業委託費における  
再エネ導入・運転人材育成支援事業（メタン発酵バイオガス発電における人材育成）

## 事例一覧

施設または事業の名称 (実施主体)	所在地	事業 開始年	原料種別	発電規模	FIT/非FIT	該当 ページ
鹿追町環境保全センター中鹿追バイオガスプラント (鹿追町) <a href="https://www.town.shikaoi.lg.jp/shisetsu/sangyo_kanko/kankyo_hozen/">https://www.town.shikaoi.lg.jp/shisetsu/sangyo_kanko/kankyo_hozen/</a>	北海道 鹿追町	2007年	家畜排せつ物 食品廃棄物 下水汚泥	190kW×1基 100kW×1基	FIT	26,28,127, 131,144, 168,169, 220
鹿追町環境保全センター瓜幕バイオガスプラント (鹿追町) <a href="https://www.town.shikaoi.lg.jp/shisetsu/sangyo_kanko/vio/">https://www.town.shikaoi.lg.jp/shisetsu/sangyo_kanko/vio/</a>	北海道 鹿追町	2016年	家畜排せつ物 その他	250kW×4基	FIT	131,221
清水町美蔓バイオガスプラント (十勝清水バイオマスエネルギー株式会社) ※該当URLなし、詳細は事例集ページを参照	北海道 清水町	2019年	家畜排せつ物	400kW×2基	FIT	134,184, 222
ながめやまバイオガス発電所 (東北おひさま発電株式会社) <a href="http://tohoku-ohisama.co.jp/biogas/">http://tohoku-ohisama.co.jp/biogas/</a>	山形県 飯豊町	2020年	家畜排せつ物 動植物性残さ	250kW×2基	FIT	139,223
バイオエナジー株式会社城南島食品リサイクル施設 (バイオエナジー株式会社) <a href="http://www.bio-energy.co.jp/">http://www.bio-energy.co.jp/</a>	東京都 大田区	2006年	食品廃棄物	570kW×1基 560kW×2基	FIT	224
食品リサイクル・バイオガス発電 (株式会社Jバイオフードリサイクル) <a href="https://www.j-bio.co.jp/">https://www.j-bio.co.jp/</a>	神奈川県 横浜市	2018年	食品廃棄物	900kW×2基	FIT	225
三浦バイオマスセンター (三浦地域資源ユーズ株式会社) <a href="http://www.shigen-use.biz-web.jp/">http://www.shigen-use.biz-web.jp/</a>	神奈川県 三浦市	2010年	し尿 浄化槽汚泥 農作物残さ 水産残さ	25kW×1基	非FIT	226
長岡市生ごみバイオガス化事業 (株式会社長岡バイオキューブ) <a href="https://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/cate08/biogas/">https://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/cate08/biogas/</a>	新潟県 長岡市	2013年	食品廃棄物	560kW×1基	FIT	227
豊橋市バイオマス資源利活用施設整備・運営事業 (豊橋市上下水道局) <a href="https://www.city.toyohashi.lg.jp/30705.htm">https://www.city.toyohashi.lg.jp/30705.htm</a>	愛知県 豊橋市	2017年	食品廃棄物 下水汚泥 その他	1,000kW×1基	FIT	228
南丹市八木バイオエコロジーセンター (京都府南丹市(旧八木町)) <a href="http://himuronosato.jp/bio.html">http://himuronosato.jp/bio.html</a>	京都府 南丹市	1998年	家畜排せつ物 食品廃棄物	80kW×1基 25kW×6基	2021年11月 にFIT終了	229
京都市南部クリーンセンター バイオガス化施設 (京都市) <a href="https://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000270765.html">https://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000270765.html</a>	京都市 京都市	2019年	食品廃棄物 その他	1,000kW×1基	FIT	230
乾式メタン発酵施設 (株式会社富士クリーン) <a href="https://www.fujicl.com/works/metan_f">https://www.fujicl.com/works/metan_f</a>	香川県 綾歌郡 綾川町	2018年	食品廃棄物 家畜排せつ物 その他	370kW×2基	非FIT	231
消化ガス発電事業 (宗像市) <a href="https://www.city.munakata.lg.jp/w032/010/030/050/0200/20161007085445.html">https://www.city.munakata.lg.jp/w032/010/030/050/0200/20161007085445.html</a>	福岡県 宗像市	2016年	下水汚泥	25kW×8基	非FIT	232
みやま市バイオマスセンター「ルフラン」 (みやま市) <a href="https://www.city.miyama.lg.jp/li/kanko/080/index.html">https://www.city.miyama.lg.jp/li/kanko/080/index.html</a>	福岡県 みやま市	2018年	食品廃棄物 食品工場汚泥 し尿 浄化槽汚泥	25kW×4基	非FIT	144,233
佐賀市下水浄化センター消化ガス発電事業 (佐賀市上下水道局) <a href="https://www.water.saga.saga.jp/main/5806.html">https://www.water.saga.saga.jp/main/5806.html</a>	佐賀県 佐賀市	2011年	下水汚泥 その他	25kW×16基	非FIT	128,234

鹿追町環境保全センター 中鹿追バイオガスプラント（北海道鹿追町）

事業者紹介

名称 : 鹿追町環境保全センター 中鹿追バイオガスプラント  
 実施主体 : 鹿追町  
 発電に付随して使用する技術 : バイオガス精製、水素化、余剰熱利用（チョウザメ飼育・マンゴーハウス等）  
 プラントメーカー/設計・施工業者 : 大成・コーンズ特定建設工事共同企業体

事業開始年	2007年	原料の種類	家畜排せつ物・食品廃棄物・下水汚泥		
プラントへの原料別搬入量 ※堆肥化原料含まず	搬入量(計画値) 34,602t / 年	搬入量(実績値)	搬入量(実績値)	搬入量(実績値)	搬入量(実績値)
		32,633t / 2020年	34,608t / 2019年	34,809t / 2018年	
処理能力(t / 日)	94.8t / 日	生産物の種類	電気・熱・バイオガス・バイオ液肥・堆肥		
発電容量 190kW×1基 100kW×1基	発電量 (計画値) 1,863MWh	発電量(実績値) 1,151MWh / 2020年 ※発酵槽改修のため減	発電量(実績値) 1,166MWh / 2019年 (売電量のみ掲載)	発電量(実績値) 828MWh / 2018年 (売電量のみ掲載)	発電量(実績値) 1,916MWh / 2017年
FITの適用	FITでの売電だが、FIT制度開始前からの運用で、2027年にFITの買取期間が終了する。そのため様々な運用方法を模索中。				
消化液(バイオ液肥) 生産量(t / 年)	生産量(計画値) 34,602t / 年	(実散布量)	(実散布量)	(実散布量)	(実散布量)
		40,542t / 2020年	41,279t / 2019年	38,310t / 2018年	
事業の状況	イニシャルコスト	841,915千円(メタン発酵施設)・154,098千円(原料収集・液肥散布機)			
	状況	ほぼ計画通り。ふん尿処理を酪農家が自ら行う必要がなくなり、その分の労力や経費が削減され、牛の頭数が増え生産量が増えた。就農者も増えている。			
	事業実施による効果	家畜排せつ物処理が軽減されたことにより、基幹産業である農業の規模拡大が推進された。			
	波及効果	家畜ふん尿処理施設が整備されたことにより、堆肥散布時の悪臭が軽減され、市街地の環境対策が推進された。また、施設における新たな雇用の場を確保することができた。 バイオガスは、発電機のエネルギーとして活用しているが、発電機から得られる熱エネルギーを活用し、マンゴー栽培、チョウザメ養殖、水耕ハウス栽培事業を展開し、新たな産業として地域経済活性化の推進を目指している。また、バイオガスから水素を製造・貯蔵・輸送・供給する一貫したサプライチェーンの構築を確立するため実証事業を実施し(完了)、低炭素水素技術の推進と次世代エネルギーの普及を目指す。			
	設備利用率の向上方策	夏季に熱が大量に生産されるため、発酵温度を通常より上昇させてガス発生量を増加させ、発電量を増やしている。また、定期的に乳業会社から排出される食品廃棄物を受入れ、ガス発生量を増やしている。			
	運転維持費の低減方策	施設整備にあたり、イニシャルはもちろんのことランニングコスト抑制対策として、性能保証による設計・施工一括発注方式を採用し、10年間のランニングコストを定めた。			
	運転維持費における課題	原料による施設設備の腐食が進み機械トラブルが多くなってきている。			
	メーカー契約の運転条件	メーカー職員だけでなく、プラント運営担当職員等複数の担当者に警報メールを送信することにより、故障やトラブルに対して迅速に対応している。			
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	1.原料移送配管の閉塞、2.原料攪拌装置の故障、3.発電機の故障			
	上記トラブルの対応	1.については、メーカー担当、プラント運営担当職員いずれも修繕できるようマニュアル化されている。2・3については、メーカーに迅速な対応を求めている。			
	リスク回避方法	原料槽での性状状態を日々管理し、戻し消化液等で濃度調整を行い、配管詰まりを防いでいる。			
ブラックアウトの対応方法と地域レジリエンス	経験した事象	胆振東部地震			
	上記への具体的対応	電力喪失により施設稼働が出来なかったため、自家用発電機により原料受入・メタン発酵部分の施設を稼働させた。ブラックアウトからエネルギー利用までは72時間かかったが、チョウザメの施設は自立運転が可能で、酸素の供給ができていた。水素車のMIRAIと水素フォークリフトからも電気の供給ができた。			
地域レジリエンス対応	地域レジリエンス対応	鹿追町では、自営線を整備し、太陽光発電、蓄電池により公共施設への電力供給を行っている。今後はバイオガス発電からの電力供給を計画し、災害時における避難所等への電力を供給する計画である。併せて、燃料電池やFCVを整備拡充し、地域強靱化の推進を目指している。			
	その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>家畜ふん尿の臭気問題と処理量の増大に対応するため建設され、プラントの稼働により酪農と観光が両立し、新たな産業を生むサーキュラーエコノミーとして全国的にも先進的な取組みを多数行っている。</li> <li>糞の多い酪農家から排出されるふん尿は、搬入段階で分けており、固形分の多い原料はメタン発酵せず堆肥化している。</li> <li>発酵槽は箱型4基と円柱型2基となり、温度はどちらも38℃～42℃で、発酵期間は箱型は20～25日、円柱型は30日程度。円柱型の上部に、以前はガスホルダーを付けていたが金属部の腐食により脱落。現在はガスホルダーは別の建屋で管理している。</li> <li>入口から出口まで全て2系統に設計しており、一方が止まっても処理や運転を止めることはない。</li> <li>精製したバイオメタンから水素を製造する事業では、町の公用車として水素自動車を導入し、水素ステーションも敷地内に設置。</li> <li>余剰熱は、冬季に実がなるマンゴー栽培、チョウザメ養殖、農産物保管と様々な利用され、新たな地域産業として期待される。</li> </ul>			



## 鹿追町環境保全センター 瓜幕バイオガスプラント（北海道鹿追町）

### 事業者紹介

名称	: 鹿追町環境保全センター 瓜幕バイオガスプラント
実施主体	: 鹿追町
発電に付随して使用する技術	: バイオガス精製、余剰熱利用（水耕栽培等）
プラントメーカー/設計・施工業者	: 大成・コーンズ特定建設工事共同企業体

事業開始年	2016年	原料の種類	家畜排せつ物・その他	
プラントへの原料別搬入量	搬入量(計画値) 76,650t / 年	搬入量(実績値) 63,911t / 2020年	搬入量(実績値) 57,064t / 2019年	搬入量(実績値) 54,150t / 2018年
処理能力(t / 日)	210t / 日	生産物の種類	電気・熱・バイオガス・バイオ液肥	
発電容量 250kW × 4基 ※1基は常に予備用	発電量(計画値) 5,638MWh	発電量(実績値) 5,431MWh / 2020年	発電量(実績値) 5,212MWh / 2019年	発電量(実績値) 5,123MWh / 2018年
FITの適用	FIT			
消化液(バイオ液肥)生産量(t / 年)	生産量(計画値) 76,650t / 年	(実散布量) 60,866t / 2020年	(実散布量) 56,455t / 2019年	(実散布量) 40,470t / 2018年
事業の状況	イニシャルコスト	2,289,000千円(メタン発酵施設) 385,431千円(原料収集・液肥散布機)		
	状況・事業実施による効果・運転維持費の低減方策・運転維持費における課題・メーカー契約の運転条件については中鹿追バイオガスプラントと同内容のため省略。			
	成功要因	中鹿追バイオガスプラントでの反省点やノウハウを生かし、設計から運用までを計画したこと。		
	波及効果	バイオガスは、発電機のエネルギーとして活用しているが、発電機から得られる熱エネルギーを活用し、水耕ハウス栽培事業を展開し、新たな産業として地域経済活性化の推進を目指している。		
設備利用率の向上方策	余剰ガス燃焼装置の代替として、予備発電機を設置し、他の発電機メンテナンス時に稼働させることによりガスの発電効率を上げている。			
トラブルシューティング	トラブルや故障事例・上記トラブルの対応・リスク回避方法については中鹿追バイオガスプラントと同内容のため省略。			
ブラックアウトの対応方法と地域レジリエンス	経験した事象・上記への具体的対応・地域レジリエンス対応については中鹿追バイオガスプラントと同内容のため省略。			
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中鹿追ではトラックがダンプアップして直接原料槽へ投入しており、夾雑物混入が防げない構造であったことから、瓜幕では搬入の際、一度平場に出してから目視で確認し、ホイールローダーにより原料槽へ投入する構造とした。</li> <li>・中鹿追のノウハウから腐食対策として、各建屋を離れた設計にし、コンクリートスラブを使用した。</li> <li>・年間の搬入量計画値、は将来的な牛の増頭計画から計画値を算出しており、順調に飼養頭数が増えている。</li> <li>・発電機4基のうち、1基は常に予備用となるが、FITの設備認定容量は1,000kW、北海道電力との系統接続容量は749kW。</li> <li>・瓜幕の水耕栽培は、トマトと小松菜の他、エディブルフラワーも栽培している。農福連携の観点から、行政の役割として障障害者雇用を行い、貴重な戦力として迎えている。</li> </ul>			

### 写真・概要図 ※中鹿追バイオガスプラント



### 写真・概要図 ※瓜幕バイオガスプラント



## 清水町美蔓バイオガスプラント（北海道清水町）

### 事業者紹介

名称	: 清水町美蔓バイオガスプラント
実施主体	: 十勝清水バイオマスエネルギー株式会社
発電に付随して使用する技術	: バイオガス精製、余剰ガス利用、余剰熱利用
プラントメーカー/設計・施工業者	: 前澤工業株式会社 / (施工監理) 株式会社エネコープ

事業開始年	2019年	原料の種類	家畜排せつ物
プラントへの原料別搬入量	搬入量(計画値) 51,866t / 年	57,531t / 2020年	29,584t / 2019年 (19年6月～20年3月)立上期間を含む
処理能力(tまたはm <sup>3</sup> /日)	142t / 日	生産物の種類	電気・熱・バイオガス・バイオ液肥・堆肥
発電容量 400kW×2基 (契約容量は494kW)	発電量(計画値) 3,596MWh(FIT売電量)	発電量(実績値) 3,652MWh / 2020年	発電量(実績値) 2,121MWh / 2019年10月～20年3月)
FITの適用	FIT用ガス発電機2台稼働率:2020年実績で94.0%。高い稼働率のFIT収益により、運営の安定化に貢献。		
消化液(バイオ液肥) 生産量(t/年)	生産量(計画値) 46,757t / 年	生産量(実績値) 39,300t / 2020年	生産量(実績値) 13,565t / 2019年6月～20年3月
堆肥(※)生産量(t/年) ※消化液を固液分離したもの	生産量(計画値) 5,731t / 年	生産量(実績値) 10,538t / 2020年	生産量(実績値) 6,644t / 2019年8月～20年3月
事業の状況	イニシャルコスト	1,850,000千円(建設費・設備費等)、12,000千円(敷地購入・撤去)、65,000千円(計画)、230,100(車両)、5,000千円(北電負担金)	
	状況	ほぼ計画通り。	
	事業実施による効果	・周辺地域の消化液散布による臭気軽減 ・6名の雇用創出(職員5名+事務1名) ・安定したプラント運営の実現 ・地域啓発活動(中学校社会科見学等の環境教育)	
	成功要因	・事業実施主体、JA、プラントメーカー等、関係者との情報共有と事業運営等に関する調整。 ・プラントメーカーの迅速なメンテナンス対応(前澤工業・日星電機)と、現場担当者による協力・連携。	
	波及効果	・ふん尿受入増で処理収入及びガス発生量増。CO <sub>2</sub> 削減に貢献。 ・余剰ガスを有効利用するためガス発電機を追加導入し、自家消費電力の購入減を実施している。	
	設備利用率の向上方策	・原料のTS濃度をほぼ毎日測定し、濃度調整を行う。濃度調整には固液分離した消化液を利用。 ・データの見える化による問題点の共有・改善、各酪農家への定期報告、会議の実施。	
	運転上の課題	・土日祝日、夜間のトラブル対応 ・発電機等、海外調達機器保証切れ後の対応	
	運転維持費における課題	自家消費電力の把握が未実施。(2022年1月時点では把握可能となった)	
トラブル シューティング	トラブルや故障事例	①異物による移送ポンプの詰まり ②厳冬期間の発酵槽温度の低下によるガス発生量の減少	
	上記トラブルの対応	①詰まった異物を写真で公開、注意喚起の実施。原料加水調整の徹底(消化液返送量の調整)。 ②消化液返送による原料槽温度維持。殺菌槽から発酵槽へ消化液返送による温度維持。	
ブラックアウトの 対応方法と 地域レジリエンス	経験した事象	2018年北海道胆振東部地震(プラント建設工事中)	
	上記への具体的対応	2020年新エネルギー設備導入支援事業にて、プラントのブラックアウト対策と避難所へガス運搬、発電を行う発電設備の整備を行った。	
	地域レジリエンス対応	避難所への非常時の精製ガス運搬の協定を締結予定。	
その他特徴	・北海道電力との契約により5月～6月の2か月間は水力発電が優先され、日中12時間売電できない。その余剰ガスを有効活用させるため自家消費用の発電機(100kW)を1基追加した。追加した発電機でブラックアウト対応もでき、自家消費分の6～7割程度を賄えるようになった。町内の公共施設にもブラックアウト対応の発電機(36kW)を設置し、精製したバイオメタンにより発電できる。 ・ふん尿の量、ガスの発生量、発電機の使用量、温度、地域の気温とプラントの相関関係等、プラント管理のデータをわかりやすい図表データで見える化し、それを毎日更新することで、トラブルを事前に予測でき、プラントの運転管理が安定した。		

### 写真・概要図

※掲載写真は全て前澤工業㈱提供





## ながめやまバイオガス発電所（山形県飯豊町）

### 事業者紹介

名称	ながめやまバイオガス発電所		
実施主体	東北おひさま発電株式会社		
発電に付随して使用する技術	メタン発酵システム・家畜ふん尿移送パイプライン・熱供給パイプライン		
プラントメーカー/設計・施工業者	株式会社土谷特殊農機具製作所/那須建設株式会社		
事業開始年	2020年		
原料の種類	家畜ふん尿（肉牛ふん約90%、乳牛ふん約10%）、動植物性残さ		
プラントへの原料別搬入量	搬入量（計画値）16,830t（家畜ふん尿・・・約70% 動植物性残さ・・・約30%）		
処理能力（t / 日）	70t / 日		
生産物の種類	電気・熱・消化液（バイオ液肥）・再生敷料		
発電容量	250kW × 2基		
FITの適用	FIT		
消化液（バイオ液肥）生産量（t / 年）	生産量（計画値）16,680t / 年		
事業の状況	イニシャルコスト	（建設費・設備費等） 1,071,000千円	
	ランニングコスト	（稼働1年目） 人件費：12,000千円、ユーティリティ費：5,100千円	
	状況	ほぼ計画通り。	
	成功要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラントメーカーとの技術提携を図ったこと。メーカーと技術提携を結び、計画当初から綿密な打合せを行うとともに、稼働後も定期的な報告・連絡・相談を行い、円滑な稼働運営を図っている。</li> <li>・動植物性残さの安定確保を図ったこと。牛ふんのみでは目標の発電量を確保できないと予想されたことから、産業廃棄物収集・運搬事業者の協力を得て、動植物性残さを安定確保したほか、使用する動植物性残さの成分分析を行いメタンガス発生量を試算し、目標発電量を決定する等、牛ふんと動植物性残さとの混合比も発酵に適したものになるよう計算している。</li> </ul>	
	波及効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・畜産業の省力化：家畜ふん尿パイプラインにより、堆肥処理業務を軽減。新規事業の展開が可能となった。</li> <li>・雇用の増加等：バイオガス発電所運営のため、4名のスタッフを地元から雇用。</li> <li>・CO<sub>2</sub>削減効果：1,013.8t / 年（予定）</li> </ul>	
	運転上の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・将来的な動植物性残さの安定確保。法律の改正等により産業廃棄物を取り巻く環境が変化するとともに、食品ロスをなくす動きは食品製造事業者にも浸透するものと思われることから、今後の安定的な動植物性残さの確保が重要な課題である。</li> </ul>	
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全国的にも珍しい肉牛ふん尿の湿式メタン発酵プラント。第1発酵槽の中温発酵（40℃）から第2発酵槽の高温発酵（50℃）へと移される仕組み。</li> <li>・隣接する肉牛や乳牛の畜舎から排出されるふん尿を、地下の全長3,000mのパイプラインで毎日原料槽へ投入。</li> <li>・家畜ふん尿だけでは足りないカロリーを補うため、動植物性残さも投入している。</li> <li>・原料槽と発酵槽の加温の他、乳牛の畜舎にも熱供給のパイプラインを引いている。冬季間、敷地内の融雪にも使用している。</li> <li>・消化液は固液分離後、オゾンマイクロバブル処理（東北大学の実証実験）を行っている。微細な気泡の作用で消化液の生物化学的酸素要求量（BOD）を大幅に減少させることや、臭気の減少、液肥の効能の向上が期待されている。</li> </ul>		

### 写真・概要図





**バイオエナジー株式会社 城南島食品リサイクル施設（東京都大田区）**

**事業者紹介**

名称	：バイオエナジー株式会社 城南島食品リサイクル施設		
実施主体	：バイオエナジー株式会社		
発電に付随して使用する技術	：メタン発酵、水処理、余剰熱利用		
プラントメーカー/設計・施工業者	：三菱重工環境エンジニアリング（建設当時）		
事業開始年	2006年	原料の種類	食品廃棄物（事業系一般廃棄物及び産業廃棄物の生ごみ）
プラントへの原料別搬入量	搬入量（実績値） 約33,116t / 2020年（固形・液状の合計値） コロナ禍のために例年より減少している。		
処理能力（t/日）	最大130t / 日（固形110t / 日、液状20t / 日）	生産物の種類	電気・バイオガス
発電容量 570kW × 1基 560kW × 2基	発電量（100%稼働の計画値） 1,216,800kW / 月	発電量（実績値）	994,173kWh / 2021年4月（稼働率82%）
FITの適用	FIT（FIT終了後、再度単独給電に戻すか検討している。）		
事業の状況	イニシャルコスト	3,600,000千円（建屋・設備・土地等）	
	状況	ほぼ計画通り	
	成功要因	運営開始時は、集荷、設備の安定運転に苦労したが、運転のノウハウの取得後は安定運転となった。またFIT適用後（2012年12月以後）は発電収入が増加したことで経営状態が向上した。	
	波及効果	7,000t / 年のCO <sub>2</sub> 削減効果	
	設備利用率の向上方策	・定期メンテナンスにおいては、各機器のメンテナンス周期を確立し突発事故を未然に防ぐ。 ・前処理設備ハンドリングにおいては、有機物と不適物の選別が最も重要で回収率を上げるために負荷を定量にする必要があり、本設備は選別機前に原料の定量供給機を追加した。	
	運転上の課題	ガスエンジンのうち、設置から年数が経っているエンジンは、建屋室温が高くなり発電効率が下がるため、換気回数を増加させる必要がある。	
	運転維持費の低減方策	各設備のシーケンスフローを見直し、無駄に稼働している機器を低減させた。 365日運転指示書を作成し、各設備の運転停止条件を明確化し、無駄に稼働させないようにしている。	
	運転維持費の課題	運転を指示できる人材の育成が急務（指導的役割を担う人材の増員）。	
トラブルシューティング	メーカーと契約するうえで確認したこと	発電機増設時は、試運転期間などは特に長く持たせるようにした（既設設備との取合いトラブルは、瞬時には出ないトラブルもあるため。また、完工後のメンテナンス10年間に必ず提出してもらい、比較対象に盛り込んでいる。	
	トラブルや故障事例	選別機攪拌羽破損	
	上記トラブルの対応	過剰な原料の投入を抑制するために、原料の定量供給機を設置することにより解消した。	
ブラックアウトの対応方法と地域レジリエンス	リスク回避方法	設備の突発故障の低減のために、日常点検を手厚く実施、また年間修繕計画の策定を行っている。毎日のサンプリングでは20か所ほど採取し分析している。	
	経験した事象	系統上で他の会社が事故を起こし、廃棄物の受電遮断機解放により停電（道路工事中の電線切断）	
その他特徴	地域レジリエンス対応	城南島の地域特性として、災害時の避難場所として施設を提供することとなっている。	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・24時間365日受け入れ可能で、メンテナンス中も受入、稼働を継続している。原料搬入では、展開検査用のホッパーがあり、定期的に展開検査を行っている。</li> <li>・夏季期間に発酵槽の冷却のため、屋上部のコンクリートにホースで水を張る等工夫をしている。</li> <li>・プラントの運転管理に関わる全ての業務を自社で行い、メーカーへの委託はせず、技術も自社で培っている。</li> <li>・精製したバイオガスの都市ガスへの導管注入を、2020年9月まで行っていた（都市ガス精製装置は維持している）。</li> <li>・3基の発電機のうち最新のものは（2020年9月導入）、出力制御装置が付いており、制御依頼が来た場合5分以内に出力を落とすことが可能な出力制御ユニットを自社で作り上げた。</li> </ul>		

**写真・概要図**



株式会社Jバイオフードリサイクル（神奈川県横浜市）

事業者紹介

名称	: 食品リサイクル・バイオガス発電			
実施主体	: 株式会社Jバイオフードリサイクル			
発電に付随して使用する技術	: メタン発酵、水処理、バイオガス発電			
プラントメーカー/設計・施工業者	: JFEエンジニアリング株式会社			
事業開始年	2018年			
原料の種類	食品廃棄物			
プラントへの原料別搬入量	搬入量(計画値) 29,200t	搬入量(実績値) 21,200t / 2020年	搬入量(実績値) 20,300t / 2019年	搬入量(実績値) 7,200t / 2018年
処理能力(tまたは m <sup>3</sup> / 日)	80t/日・・・一般廃40t、産廃40t			
生産物の種類	電気			
発電容量 900kW × 2基	発電量(計画値) 11,000MWh/年	発電量(実績値) 11,202MWh / 2020年	発電量(実績値) 10,325MWh / 2019年	発電量(実績値) 3,412MWh / 2018年
FITの適用	FIT			
コスト	イニシャルコスト	2,900,000千円		
事業の状況	状況	ほぼ計画通り		
	事業実施による効果	排出事業者約250社(2021年3月末時点)の食品リサイクル率向上に貢献。		
	成功要因	JR東日本グループとの協業であるため、エキナカなどの大型商業施設から排出される多くの廃棄物を、安定して搬入することができる。JFEグループの焼却施設が隣接しており、残さのスムーズな搬出が可能。		
	波及効果	排出CO <sub>2</sub> の削減(5,000t-CO <sub>2</sub> /2020年) 障がい者が働ける環境を整え、障がい者雇用を行っている。		
	運転維持費の課題	処理残さ(廃プラ、汚泥)の減容化。 水処理において流入水質安定による使用電力費&薬品費低減。		
	運転維持費低減方策	より価格の安い薬品の探索。工場内循環水の使用。		
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	異物混入による前処理機械の停止。		
	上記トラブルの対応	原因物の除去、排出事業者の特定。		
	リスク回避方法	排出事業者向けのチラシ作成などによる、受入れ可能物の周知活動。		
その他特徴	JFEとJR東日本の両グループ協業による食品リサイクルプロジェクト。駅ビルや食品工場から排出された食品廃棄物を、メタン発酵して発電し、FITで売電する。排出事業者へこの電気を割引価格で提供する電力リサイクルループ(創電割)も販売中で、更には収集運搬車両もこの電気を使用した電気自動車を使う実例あり。食品リサイクルが電気で還元される都市型サーキュラーエコノミーの中核を担うプラントである。			

写真・概要図

※掲載写真は全て(株)Jバイオフードリサイクル提供



## 三浦バイオマスセンター（神奈川県三浦市）

### 事業者紹介

名称	: 三浦バイオマスセンター
実施主体	: 三浦地域資源ユーズ株式会社
発電に付随して使用する技術	: ガスボイラーによる堆肥化の加温
プラントメーカー	: J F E 環境テクノロジー株式会社
設計・施工業者	: 三井造船環境エンジニアリング株式会社(現 J F E 環境テクノロジー株式会社)

事業開始年	2010年	原料の種類	し尿・浄化槽汚泥、農作物残さ、水産残さ		
プラントへの原料別搬入量 ※下水汚泥のみメタン発酵原料にせず堆肥加工している。	搬入量(計画値) し尿・浄化槽汚泥:約23,725t / 年 農作物残さ:約7,300t / 年 水産残さ:約183t / 年 下水汚泥:約1,460t / 年	搬入量(実績値2020年度) し尿・浄化槽汚泥:19,749t / 年 農作物残さ:3,906t / 年 水産残さ:0t / 年 下水汚泥:1,288t / 年	搬入量(実績値2019年度) し尿・浄化槽汚泥:20,179t / 年 農作物残さ:3,233t / 年 水産残さ:1.67t / 年 下水汚泥:1,343t / 年	搬入量(実績値2018年度) し尿・浄化槽汚泥:19,963t / 年 農作物残さ:3,455t / 年 水産残さ:4.22t / 年 下水汚泥:1,302t / 年	
処理能力(tまたは m <sup>3</sup> / 日)	し尿・浄化槽汚泥65kL / 日、農作物残さ20t / 日、水産残さ0.5t / 日、下水汚泥4t / 日				
生産物の種類	電気・熱・堆肥	FITの適用	非FIT		
発電容量 25kW×1基	発電量(計画値) 219MWh / 年	発電量(実績値) 14MWh / 2020年	発電量(実績値) 9MWh / 2019年	発電量(実績値) 26MWh / 2018年	
堆肥生産量 (t / 年)	生産量(計画値) 646t / 年	生産量(実績値) 485t / 2020年	生産量(実績値) 584t / 2019年	生産量(実績値) 470t / 2018年	
事業の状況	イニシャルコスト	1,740,000千円 (建設費・設備費等)	状況	ほぼ計画通り。	
	成功要因	農作物残さの搬入量が少ないため、バイオガス発生量は計画量の1/3程度しか発生していないものの、主たる収入源であるし尿・浄化槽汚泥処理量がほぼ計画通りである。			
	波及効果	事業開始時は施設の運転員として三浦市民を採用した。(現在は半数程度が横須賀市民)			
	事業運営上の課題	農家搬入の農作物残さに土が混入しており、機械の摩耗、水槽内の堆積、配管閉塞が発生。			
	上記課題解決方策等	土を混入させないように啓発活動に努めた結果、混入量は減少したが、ゼロにはならない。水槽内堆積物は定期的に抜き取り清掃をしている。			
	設備利用率の向上方策	施設を基本的に24時間/日、365日/年稼働している。			
	運転上の課題	基本的には運転停止できない施設のため、メンテナンスや保全に工夫が必要。			
	運転維持費の低減方策	電気や薬剤の節減に努力している。			
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	農作物残さにハンマーが混入して、破碎機のスクリー羽根に噛みこんで運転不能になった。			
	上記トラブルの対応	除去を試みたが不可能だったため、メーカーに依頼し破碎機を分解、異物除去してもらった。			
	トラブルリスク回避方法	搬入物の監視と搬入農家へ異物混入防止の啓発を継続。			
ブラックアウトの対応方法と地域レジリエンス	経験したことのある事象	東日本大震災時の停電。			
	上記への具体的対応	主たる処理対象物のし尿・浄化槽汚泥を受入した。計量や処理が出来ないため、目測で量を記録し、地下にある受入槽(容量約60m <sup>3</sup> )に溜めておき、復電後に処理をした。			
	地域レジリエンスへ対応	施設は海拔35mの高台にあり、地下5mまで掘削して堅固な地盤・建物であるため、災害時は地元住民の任意避難所としており、必要物資の備蓄や地元住民との防災訓練を毎年実施している。			
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・受入槽と汚泥貯留槽は毎年、メタン発酵槽は3年毎に内部清掃をする。清掃は農作物残さの搬入量が少ない9月に行う。</li> <li>・生産した堆肥は100円/15kgで近隣市民等に販売されるほか、東日本大震災以降は宮城・福島県内の農業団体等へ無料で送付。</li> </ul>				

### 写真・概要図





## 長岡市生ごみバイオガス化事業（新潟県長岡市）

### 事業者紹介

名称	: 長岡市生ごみバイオガス化事業
実施主体	: 株式会社長岡バイオキューブ
発電に付随して使用する技術	: 水処理、余剰熱利用
プラントメーカー/設計・施工業者	: JFEエンジニアリング株式会社

事業開始年	2013年	原料の種類	食品廃棄物（一般廃棄物のみ28万人分）	
プラントへの原料別搬入量	搬入量（計画値） 23,600t / 年 （紙おむつ3t/日程度を含む）	搬入量（実績値） 12,627t / 2020年	搬入量（実績値） 13,273t / 2019年	搬入量（実績値） 13,098t / 2018年
処理能力（tまたはm <sup>3</sup> /日）	65t/日（発酵対象物は55t/日）・・・家庭系40t/日、事業系25t/日			
生産物の種類	電気・補助燃料（発酵残さ）			
発電容量 560kW × 1基	発電量（実績値） 2,278MWh / 2020年	発電量（実績値） 2,462MWh / 2019年	発電量（実績値） 2,421MWh / 2018年	
その他副産物：固形分の乾燥残渣（燃料として販売）	393t / 2020年	345t / 2019年	384t / 2018年	
FITの適用	FIT			
事業の状況	イニシャルコスト	1,897,280千円（建設費・設備費等）※PFI事業（BTO方式）による設計及び建設業務に係る契約金額		
	ランニングコスト	2,806,831千円/15年 ※PFI事業（BTO方式）による運営・維持管理業務に係る契約金額		
	状況	ほぼ計画通り		
	事業実施による効果及び波及効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ごみ焼却量の減量化（最終処分場の延命）</li> <li>・廃棄物の資源化（新エネルギー利用）</li> <li>・地球温暖化の防止、環境負荷の軽減（二酸化炭素排出量の削減）</li> <li>・循環型社会の形成</li> </ul>		
	成功要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市民等によるごみの分別</li> </ul>		
	運転維持費の低減方策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日々の運転管理において主要機器のメンテナンス周期を管理し、定期的な部品交換等を実施。それにより、突発的なトラブルを最小化するとともに、処理性能の保持を図る。</li> <li>・ユーティリティ調達先の拡大等による費用低減</li> <li>・開発組織と協働した新技術導入や実証による運転維持費の低減可能性を検証</li> </ul>		
	運転維持費の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発酵後汚泥を脱水、乾燥して生じる乾燥残渣の運搬費、機器の定期メンテナンス費、電力費の節減</li> <li>・直接費用に影響しないものの、突発トラブルによる夜間呼び出しが勤務体制上の負担</li> </ul>		
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発酵原料中に含まれる夾雑物（卵殻、竹ぐし等）による配管閉塞や槽内の減肉等が特に大きな課題である。最近では、夾雑物が原因と考えられる仕切弁の変形による全閉不良が生じ、メンテナンス上の支障が発生した。</li> </ul>		
	上記トラブルの対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状では事後対応（配管閉塞時には、閉塞部の分解清掃等により機能を回復）</li> </ul>		
	リスク回避方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既設改造（一部系列）により「卵殻分離装置」を導入することで、卵殻等による閉塞リスクを軽減</li> <li>・前処理段階での原料希釈率を管理することで、調整槽後段階での配管閉塞リスクを軽減</li> </ul>		
ブラックアウトや災害対応へ準備している対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急時対応マニュアルの作成</li> <li>・災害時を想定したBCPを策定し、定期的な見直しの実施</li> </ul>			
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃やすごみの量を減らし資源化するために開始した事業。売電以外に発酵残さをバイオマス燃料として有価で販売。</li> <li>・焼却施設、下水処理施設が隣接し、それら施設との連携が可能。</li> <li>・家庭系生ごみの有料化（指定ゴミ袋を販売）では、燃やすごみ1.3円/Lに対して、生ごみは1円/Lとし、生ごみの方を少し安くすることで、生ごみを分別するインセンティブを持たせている。</li> <li>・収集経費を増やさないため、トータル収集回数を分別開始前と同数にした。</li> <li>・生ごみ分別に係る地域との合意形成のため、長岡市の全地域で600回、延べ2万人を対象に住民説明会を行った。</li> </ul>			

### 写真・概要図

※掲載写真は全て長岡市提供



## 豊橋市バイオマス利活用センター（愛知県豊橋市）

### 事業者紹介

名称 : 豊橋市バイオマス資源利活用施設整備・運営事業  
 実施主体 : 豊橋市上下水道局  
 発電に付随して使用する技術 : 炭化、余剰熱利用  
 プラントメーカー/設計・施工業者 : 株式会社豊橋バイオウィル（PFI）

事業開始年	2017年	原料の種類	食品廃棄物・下水汚泥・その他		
プラントへの原料別搬入量	搬入量(計画値) 下水汚泥:128,115m <sup>3</sup> /年 し尿浄化槽汚泥:44,165m <sup>3</sup> /年 生ごみ:21,535t/年	搬入量(実績値/2020年) 下水汚泥:141,089m <sup>3</sup> し尿浄化槽汚泥:52,189m <sup>3</sup> 生ごみ:17,105t	搬入量(実績値/2019年) 下水汚泥:151,069m <sup>3</sup> し尿浄化槽汚泥:50,370m <sup>3</sup> 生ごみ:18,107t	搬入量(実績値/2018年) 下水汚泥:155,177m <sup>3</sup> し尿浄化槽汚泥:49,509m <sup>3</sup> 生ごみ:17,945t	
処理能力(または m <sup>3</sup> /日)	下水汚泥:1325m <sup>3</sup> /日・し尿浄化槽汚泥:121m <sup>3</sup> /日・生ごみ:59t/日				
生産物の種類	電気・バイオガス・熱・炭化燃料				
発電容量 1,000kW×1基	発電量(計画値) 6,800MWh/年	発電量(実績値) 6,824MWh/2020年	発電量(実績値) 6,584MWh/2019年	発電量(実績値) 7,020MWh/2018年	
FITの適用	FIT				
その他副産物 炭化燃料	生産量(計画値) 2,482t/年(6.8t/日)	生産量(実績値) 2,288t/2020年	生産量(実績値) 2,426t/2019年	生産量(実績値) 2,515t/2018年	
事業の状況	イニシャルコスト	建設費・設備費等 9,175,635千円(撤去工事・割賦を除く)			
	ランニングコスト(全てをサービス購入費としてまとめて支払)	サービス購入費(実績額) 264,480千円/2020年	サービス購入費(実績額) 255,295千円/2019年	サービス購入費(実績額) 243,550千円/2018年	
	状況	ほぼ計画通り			
	事業実施による効果	市民のごみ分別意識の向上。下水汚泥の肥料化以外の方法でのエネルギー有効活用。			
	成功要因	複合バイオマス(下水汚泥と生ごみの混合物)とすることで効率的かつ安定的に発酵させられること。生ごみとの混合利用により、バイオガスの発生量を増やすことが可能。			
	波及効果	従来の処理方法(2016)と比較した場合のCO <sub>2</sub> 削減量 12,538t/2020年・13,110t/2019年・10,914t/2018年			
トラブルシューティング	運転維持費の低減方策	・ガスエンジン発電機の熱回収(メタン発酵槽の加温)。 ・原料投入量が減る土日にもメタンガスを一定量発生させるため、原料の混合槽で量を調整し、発酵槽への移送量を調整すること。この工夫により月曜日のガス発生量が極端に低下することを防ぐ。			
	トラブルや故障事例	生ごみ前処理設備に異物(金属や衣類)が投入され、破碎分別機や破袋装置が停止			
	上記トラブルの対応	機械を止めて清掃し対応するとともに、金属音がある場合は注意。市民・排出事業者への注意喚起。			
ブラックアウトの対応方法と地域レジリエンス	リスク回避方法	複数系列にて処理を行っている。生ごみの原料投入系列は3つあり、その内1つは予備ライン。また、生ごみ投入ピットでは作業員が目視確認し、危険物(リチウムイオン電池や家庭用ガスボンベ等)や発酵不適物の混入を未然に防いでいる。			
	ブラックアウトや災害対応へ準備している対策	・自家発電設備の設置(875kW×1基)と、500Lと4,000L(地下貯蔵)の軽油を備蓄し、ブラックアウトした場合でも場内の一部施設の稼働が可能。			
地域レジリエンス対応	地域レジリエンス対応	一般廃棄物及び下水について愛知県内の市町村等及び下水道管理者が相互に応援し、円滑な処理を行うこと。また、自家発電設備と備蓄燃料により、ブラックアウト時でも廃棄物の受入れが可能。			
	その他特徴	・従来は下水汚泥の肥料化を行っていたが、PFI事業により食品廃棄物との混合でのメタン発酵を開始。計画段階から家庭系生ごみが投入された場合に発酵不適物が多いことを想定し、異物除去や選別方法を考慮して設計された。 ・市民へのごみの分別方法変更に関しては、約1年間で500回の説明会を開催し、理解醸成と合意形成に繋がった。			

### 写真・概要図

※掲載写真は全て豊橋市提供



## 南丹市八木バイオエコロジーセンター（京都府南丹市）

### 事業者紹介

名称 : 南丹市八木バイオエコロジーセンター  
 実施主体 : 京都府南丹市(旧八木町)  
 発電に付随して使用する技術 : メタン発酵  
 プラントメーカー/設計・施工業者 : 株式会社大林組

事業開始年	1998年	原料の種類	家畜排せつ物・食品廃棄物(産業廃棄物のみ受入)		
プラントへの原料別搬入量	搬入量(計画値) 家畜排せつ物 17,664t / 年 食品廃棄物 2,754t / 年	搬入量(実績値) 家畜排せつ物 28,228t / 2020年 食品廃棄物 3,749t / 2020年	搬入量(実績値) 家畜排せつ物 25,987t / 2019年 食品廃棄物 3,609t / 2019年	搬入量(実績値) 家畜排せつ物 25,727t / 2018年 食品廃棄物 3,250t / 2018年	
処理能力(tまたは m <sup>3</sup> /日)	65.2t / 日				
生産物の種類	電気・熱・バイオガス・バイオ液肥・堆肥				
発電容量 80kW×1基 25kW×6基	発電量(計画値) 1,107MWh/年	発電量(実績値) 1,166MWh / 2020年	発電量(実績値) 1,259MWh / 2019年	発電量(実績値) 1,122MWh / 2018年	
FITの適用	2021年11月にFIT期間終了。今後はバイオガスの直接販売を予定。				
消化液 (バイオ液肥) 生産量(t/年)	生産量(計画値) 3,650t / 年	生産量(実績値) 4,040t / 2020年	生産量(実績値) 5,223t / 2019年	生産量(実績値) 4,658t / 2018年	
堆肥生産量 (t/年)	生産量(計画値) 8,650t / 年	生産量(実績値) 8,179t / 2020年	生産量(実績値) 10,301t / 2019年	生産量(実績値) 5,799t / 2018年	
事業の状況	イニシャルコスト	1,048,000千円(メタン発酵設備)			
	状況	計画以上に進捗している			
	事業実施による効果	・畜産農家における牛の頭数増加			
	成功要因	メンテナンスは排水処理設備以外は自社で行い、部品購入では交換は自社で行う等、ノウハウを構築している。			
	波及効果	・地元住民の雇用増加 ・視察来場者の増加 ・CO <sub>2</sub> 削減効果4,000t / 年			
	設備利用率の向上方策	・国内産の発電機に変えてから順調に移働している。 ・よく故障する破砕機のポンプは、1回 / 年の交換をしている(破砕部のみ)。			
	運転維持費の課題	・設備の老朽化もあり、南丹市が毎年改修に1億円を予算計上している。			
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	①バイオガスの発生量が低下 ②発酵不適物の混入			
	上記トラブルの対応	①原料投入を抑えたとともに、微量栄養成分のコバルトを添加することで解決した。 ②異物は排出者に写真を提示して注意を促す。			
	リスク回避方法	おが粉の敷料が入っている家畜排せつ物は、メタン発酵設備には投入しない。 おが粉は発酵槽の中で圧力がかかり、ボード状になってしまうため。			
ブラックアウトや災害対応へ準備している対策	バックアップ電源として小型発電機(ガソリン)を保有している。				
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1998年にメタン発酵事業を開始した日本では先駆的なプラントのひとつ。</li> <li>・家畜排せつ物でもメタン発酵槽に投入するのは乳牛のみで、肉牛のふん尿はメタン発酵ではなく堆肥化している。</li> <li>・食品廃棄物(おから・廃棄豆乳等)は袋に入っていないもので、通常はバキュームカーで搬入される。</li> <li>・消化液は農地散布もしているが、水処理後に河川放流もしている。堆肥は全量有価で販売している。</li> </ul>				

### 写真・概要図





## 京都市南部クリーンセンター バイオガス化施設（京都府京都市）

### 事業者紹介

名称 : 京都市南部クリーンセンター バイオガス化施設  
 実施主体 : 京都市  
 発電に付随して使用する技術 : 乾式メタン発酵、余剰熱利用、焼却施設併設（残さ焼却発電）、機械選別  
 プラントメーカー/設計・施工業者 : 日立造船株式会社

事業開始年	2019年	原料の種類	食品廃棄物・その他
プラントへの原料別搬入量	搬入量(計画値) 10,000t / 2019年度(半年分) 20,000t / 2020年度	搬入量(実績値) 18,402t / 2020年度	搬入量(実績値) 8,202t / 2019年度
処理能力(tまたはm <sup>3</sup> /日)	60t / 日 (30t / 日 × 2基)	生産物の種類	電気・バイオガス・熱
発電容量 1,000kW × 1基	発電量(実績値) 7,475MWh / 2020年度	発電量(実績値) 3,306MWh / 2019年度	FITの適用 FIT
事業の状況	イニシャルコスト	約315億円(焼却施設、バイオガス化施設、粗大ごみ破砕施設、既存施設解体の合計金額)	
	状況	ほぼ計画通り	
	事業実施による効果	・CO <sub>2</sub> 削減効果(焼却単独の場合よりも売電量が1割程度増加すると推定)・環境学習への活用	
	成功要因	プラントメーカーと議論しながら、運転方法、設備の改善等の調整、ノウハウ作りを進めることができていくこと。	
	設備利用率の向上方策	ガス発生量向上のため、家庭ごみを選んで投入できるよう、ごみピットの容量を見ながらエリア分けて適切に管理している。ごみの選別効率を上げるため、選別装置の清掃を週2回行っている。その他、メタン発酵槽内の発酵液を週1回サンプリングし、分析結果とガス発生量からごみ投入量や希釈水量を適宜調整する等、発酵状態を常にモニタリングしている。	
	運転上の課題	破砕破袋装置(前処理設備)における火災検知(主な原因:リチウムイオン電池)による設備の停止が多発している。R2年度のバイオガス化施設における火災検知回数134件のうち、原因物特定した回数は33件あり、そのうち32件はリチウムイオン電池が原因物であった。	
	運転維持費の低減方策	排水処理における薬品注入量を、排水の性状によって適切な注入量とすることで、薬品費の低減に努めている。例えば、脱水ろ液中のBOD・アンモニア等を硝化脱窒により処理し、その工程でメタノールを注入しているが、この注入量は流入するろ液の負荷と処理水槽の状態から適切な量となるよう変更している。その他、重金属の捕集用薬品や汚泥の脱水助剤等、注入量の適正化を進めている。また、週点検、月点検、年次点検を本施設の性質(都市ごみ利用、焼却施設併設等)に即した内容となるよう、ノウハウを蓄積していくことで、各設備機器のメンテナンス費を低減できるよう努めている。	
	メーカーと契約するうえで確認したこと	工事契約後のプラント実施設計・機器仕様等を市が承諾する際に、想定される懸念事項や運転に関する事項等を施工者(プラントメーカー)と協議確認した。保証期間は当初3年としていたが、施工者の提案により5年とした。	
メーカー契約の運転条件	ごみとして搬入されるあらゆるもの(混合ごみ、破砕ごみ、剪定枝など)に対応することを条件としており、ごみの詰まりや火災検知等のトラブルにプラントメーカーは適切に対応する必要がある。		
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	投入原料や脱水残さを運ぶコンベアのシュート部分や発酵槽からの排出配管でのトラブルが多い。排出配管は、金属等の発酵不適物が原因となるほか、前処理設備は、布ごみや剪定枝等が一度に大量投入されるとトラブルが起きやすい。	
	上記トラブルの対応	不具合については、いずれも調整レベルの設備改善により対応し(基本的にはメーカー負担)解消している。また、ガス発生量向上のためのごみピット管理を、トラブルの原因となる原料の投入抑制の目的も兼ねて行っている。	
ブラックアウトの対応方法と地域レジリエンス	経験した事象	令和2年8月、近隣地域への落雷により停電が発生。	
	上記への具体的対応	バイオガス化施設においてもガスエンジンが停止したが、復旧させるまでの間、発酵槽から発生したバイオガスを余剰ガス燃焼装置にて消費するとともに、発酵槽の加温については、温水ボイラを使用した(燃料はバイオガス)。	
	ブラックアウトや災害対応へ準備している対策	焼却施設(ごみ発電)との併設につき、系統が停電した場合においても、所内単独運転が可能で、ライフラインが途絶えても、4日程度であれば継続運転が可能。また、焼却炉が一旦停止した場合においても、施設内の非常用発電機を用いて焼却炉を起動させることができる。	
	地域レジリエンス対応	水害時における指定緊急避難場所に指定されている。	
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一般廃棄物の焼却施設であるが、生ごみ等メタン発酵に適した有機性廃棄物を施設内で選別し、乾式メタン発酵によるバイオガス発電を行う。</li> <li>・電力は所内電力を賄う他、余剰分をFITで売電している。メタン発酵槽は、乾式の横型押し出し式で2基設置し、55℃の高温発酵を行っている。</li> <li>・一般見学者や学校の環境学習の拠点とした環境学習施設「さすてな京都」を併設し、工夫を凝らした解説を取り入れ環境教育に注力している。</li> <li>・バイオガス(PSAで簡易調整)と都市ガスの混合ガスを燃料電池(試験用試作機をデモ用に活用)で発電し、電気と排熱を足湯の温水に利用している。</li> </ul>		

### 写真・概要図

※掲載写真の一部は京都市提供



## 株式会社富士クリーン（香川県綾歌郡綾川町）

### 事業者紹介

名称	: 乾式メタン発酵施設
実施主体	: 株式会社富士クリーン
発電に付随して使用する技術	: バイオガスの直接利用
プラントメーカー/設計・施工業者	: 栗田工業株式会社

事業開始年	2018年	
原料の種類	食品廃棄物・家畜排せつ物・その他	
処理能力(t/日)	73.08t/日	
生産物の種類	電気・熱	
発電容量	370kW×2基	
FITの適用	非FIT。電気は場内で使用し余剰分は非FIT価格で売電。電力使用量が多い場内電力を賄うことや、地域の課題解決のためにメタン発酵プラントを導入。	
事業の状況	状況	ほぼ計画通り。
	事業実施による効果	施設見学者数の増加、社内の体制の整備、メタン発酵技術の普及、他社新規事業採用。
	成功要因	視察受け入れ態勢の整備、施設トラブル時からの早期復旧。
	波及効果	施設見学者の増加（事業前比3倍）。同様のメタン発酵方式の施設の建設。
	設備利用率の向上方策	乾式メタン発酵施設にて作られたエネルギー等の利用施設の稼働の調整。
	運転上の課題	乾式メタン発酵施設と作られたエネルギー等を利用する施設の双方の稼働効率に影響を及ぼす。
	運転維持費の低減方策	予防保全のためICTの導入、マニュアルの電子化。
	運転維持費における課題	長期納期品（オーダーメイドでの導入になるコンベアや海外から取り寄せる部品等）の確保。
	メーカーと契約するうえで確認したこと	設備能力上のバイオマス回収量の確保。 バイオマス単量当たりのバイオガス発生量の確保。
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	搬送コンベアの閉塞、設備清掃中の事故。
	上記トラブルの対応	排出事業者との排出方法の協議、施設の改良。 清掃作業環境の整備・リスクアセス、作業手順の整備。
	リスク回避方法	供給量の確保。点検や事前整備による空転ロス（チョコ停）の防止。 計画的な清掃整備の実施。
ブラックアウトの 対応方法と 地域レジリエンス	経験した事象	ブラックアウトからの復電テスト。
	上記への具体的対応	商用電源から供給がない状態から、バイオガスを利用しての施設一部復旧。
	準備している対策	企業内BCPの策定・運用。
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最終処分場もある焼却施設で、生ごみの乾式メタン発酵バイオガス発電を、焼却前の工程に組み入れることで、施設の場内電力を賄っている。縦型乾式メタン発酵プラントで3000㎡、55℃で滞留日数は30日間。</li> <li>・高温乾式メタン発酵のため、消化液は排出されず水処理は不要、発酵不適物と共に発酵残さが排出される。攪拌も必要がないため、槽内汚泥を出し切った点検・整備が不要。</li> <li>・環境教育に力を入れており、見学ルートも確立されている。コロナ禍前には約1,800人/年の見学受け入れがあった。</li> </ul>	

### 写真・概要図

※掲載写真は全て株式会社富士クリーン提供



左:ガスバッグ  
右:乾式メタン発酵槽

クレーンでコンベア投入後、ドラム式選別装置へ

工場内の分析室

環境教育に注力



## 宗像終末処理場（福岡県宗像市）

### 事業者紹介

名称	: 消化ガス発電事業
実施主体	: 宗像市
発電に付随して使用する技術	: 消化槽加温（コージェネレーション）
プラントメーカー/設計・施工業者	: ヤンマーエネルギーシステム株式会社 / 日本下水道事業団、月島機械株式会社

事業開始年	2016年			
原料の種類	下水汚泥			
プラントへの原料別搬入量 (濃度3.8%固形物量)	搬入量(計画値) 2,090t/年	搬入量(実績値) 1,990t / 2020年	搬入量(実績値) 2,180t / 2019年	搬入量(実績値) 2,150t / 2018年
汚水処理能力(tまたは m <sup>3</sup> / 日)	32,500m <sup>3</sup> /日			
生産物の種類	電気・熱			
発電容量 25kW × 8基	発電量(計画値) 1,468MWh/年	発電量(実績値) 1,584MWh / 2020年	発電量(実績値) 1,558MWh / 2019年	発電量(実績値) 1,564MWh / 2018年
FITの適用	非FIT 全量自家消費。電力コストの高い昼間になるべく発電と自家消費を行い、電力コストの低い時間帯(夜間)の電力は購入。			
事業の状況	イニシャルコスト	357,000千円	ランニングコスト	8,407千円(維持管理費)
	状況	ほぼ計画通り。		
	事業実施による効果	令和2年度(2020年)の実績: 終末処理場電気使用量の約20%を賄い、年間削減電気代は、約2,400万円、年間CO <sub>2</sub> 削減量は約590t。		
	設備利用率の向上方策	終末処理場の安定した維持管理		
	運転上の課題	常に良好な発電を行うために、設備の24時間監視、保守点検整備、故障修理を一括して委託する必要がある。		
	メーカーと契約するうえで確認したこと	契約方法を発電電力量に応じた1kWhあたりの単価契約とした。		
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	雷による地絡停止。		
	上記トラブルの対応	メーカー担当者と連絡しながら復旧を行った。		
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>担体汚泥活性法(ペガサス)を用いた窒素除去処理システムを1994年から導入している。</li> <li>2018年7月にJ-クレジット制度に認定され、宗像市のCO<sub>2</sub>削減目標分を達成すると、創出されたクレジットを市民に還元できる仕組みを検討している。下水道のJ-クレジットについて、世界遺産のまちである宗像市における「下水道の魅せる化」を目指し、内外に積極的にアピールをしている。</li> </ul>			

### 写真・概要図



## みやま市バイオマスセンター「ルフラン」（福岡県みやま市）

### 事業者紹介

名称	: みやま市バイオマスセンター
実施主体	: みやま市（委託先：有限会社みやま環境保全センター）
発電に付随して使用する技術	: バイオ液肥精製
プラントメーカー	: 三井造船環境エンジニアリング・中原電工特定建設工事共同企業体
設計・施工監理	: 株式会社日建技術コンサルタント九州支社

事業開始年	2018年	原料の種類	食品廃棄物・食品工場汚泥・し尿・浄化槽汚泥			
プラントへの原料別搬入量	搬入量(計画値) 家庭系生ごみ:1,600t/年 事業系生ごみ:700t/年 食品工場残渣等:240t/年 食品工場汚泥:460t/年 し尿:14,000t/年 浄化槽汚泥26,000t/年	搬入量(実績値2020年度) 家庭系生ごみ:1,257t/年 事業系生ごみ:349t/年 食品工場残渣等:25t/年 食品工場汚泥:41t/年 し尿:15,518t/年 浄化槽汚泥22,772t/年	搬入量(実績値2019年度) 家庭系生ごみ:1,311t/年 事業系生ごみ:364t/年 食品工場残渣等:3t/年 食品工場汚泥:24t/年 し尿:15,652t/年 浄化槽汚泥22,361t/年	搬入量(実績値2018年度) 家庭系生ごみ:485t/年 事業系生ごみ:131t/年 食品工場残渣等:1t/年 食品工場汚泥:0t/年 し尿:4,678t/年 浄化槽汚泥7,065t/年		
処理能力(tまたはm <sup>3</sup> /日)	家庭系生ごみ5.3t/日・事業系生ごみ2.3t/日・し尿42t/日・浄化槽汚泥78t/日					
生産物の種類	電気・熱・消化液(バイオ液肥)					
発電容量 25kW×4基	発電量(実績値) 416MWh/2020年		発電量(実績値) 466MWh/2019年			
FITの適用	非FIT 電気と熱は場内利用。電気は全体の約半分の動力を賅っている。					
消化液(バイオ液肥)生産量(t/年)	生産量(計画値) 20,000t/年	生産量(実績値) 11,531t/2020年	生産量(実績値) 11,067t/2019年	生産量(実績値) 3,085t/2018年		
事業の状況	イニシャルコスト	2,116,800千円 (建設費・設備費)	ランニングコスト (2020年度実績)	857千円(修繕費)、252千円(廃棄物処理費) 105,406(運転管理委託料)		
	状況	ほぼ計画通り。				
	事業実施による効果	生ごみの資源化、バイオ液肥の農地への還元。				
	成功要因	住民参加によるごみの分別、液肥利用者協議会による液肥の配分計画。				
	波及効果	雇用増加と、生ごみ・し尿・浄化槽汚泥の発酵処理によりCO <sub>2</sub> 削減。				
	設備利用率の向上方策	原料投入量を増やすため、手作業による原料分別を行い、不適物を最小限に抑えている。				
	運転上の課題	配管の詰まり等のトラブルを無くすための設備改修が必要。				
	運転維持費の低減方策	排水処理に必要な浄化膜や脱臭に必要な活性炭の状況を慎重に判断し、交換時期を可能な限り延長することとしている。				
トラブルシューティング	トラブルや故障事例	消化液製造ラインの配管での詰まり、消化液スクリーンの目詰まり。				
	上記トラブルの対応	定期及び臨時の洗浄(雇用人員の増)。				
	リスク回避方法	勤務時間外に発生するトラブル等に迅速に対応できるよう、当番制で自宅待機要員を確保している。(人件費は増加)				
その他特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・旧山川南部小学校跡地に建設され、小学校の教室を利用したカフェを併設し、まちづくりの拠点としての機能も担う。</li> <li>・農地への液肥利用が積極的に行われ、水稲、麦、ナス、菜種、レンコン、タケノコなどの栽培に利用されている。</li> <li>・生ごみ分別方法変更に関する地域住民の理解醸成には、1年間200か所の説明会を開催して合意形成に繋がった。</li> </ul>					

### 写真・概要図



## 佐賀市上下水道局（佐賀県佐賀市）

### 事業者紹介

名称	: 佐賀市下水浄化センター消化ガス発電事業
実施主体	: 佐賀市上下水道局
発電に付随して使用する技術	: 消化槽加温（コージェネレーション）
プラントメーカー/設計・施工業者	: ヤンマーエネルギーシステム株式会社

事業開始年	2011年			
原料の種類	下水汚泥 その他（食品工場から出るアミノ酸発酵代謝物で、量はわずか）			
プラントへの原料別搬入量（下水汚泥 実績値）	90,493t / 2020年	94,743t / 2019年	88,872t / 2018年	
汚水処理能力（tまたは m <sup>3</sup> / 日）	66,470m <sup>3</sup> / 日			
生産物の種類	電気・熱・堆肥			
堆肥生産量（t / 年）	1,258t / 2020年	1,183t / 2019年	1,267t / 2018年	
発電容量 25kW × 16基	発電量（計画値） 3,504MWh	発電量（実績値） 3,418MWh / 2020年	発電量（実績値） 3,393MWh / 2019年	発電量（実績値） 3,358MWh / 2018年
FITの適用	非FIT 全量自家消費で、浄化センターの約半分の電力を賄う。			
事業の状況	成功要因	小型発電機を複数台運用することで、故障時の発電量低下のリスクを分散している。		
	停滞要因	維持管理業者が遠隔地にあり、発電機故障時に維持管理業者の都合が合わず復旧対応が遅くなることもある。		
	停滞要因の解決策	予防的に部品交換等保守を行い、発電機停止に陥らないようにする。		
	設備利用率の向上方策	発電燃料となる消化ガスを多く発生させるように汚泥濃縮・消化設備運転管理を工夫している。設備稼働率97.8%（R2実績）。		
	メーカーと契約するうえで確認したこと	メンテナンス不全にならないように、発電量に応じた委託費を支払う契約とした。		
トラブルシューティング	メーカー契約の運転条件	警報発生状況等を遠隔監視する通信設備を導入し、メーカーが常時状態を把握し、早急に修理対応できるようにする。		
	トラブルや故障事例	発電機の故障や不調による停止。		
	上記トラブルの対応	メーカーによる修理。		
その他特徴	リスク回避方法	小型発電機を複数台運用することで故障時の発電量低下リスクを分散。		
	下水処理とそれに伴う消化ガス発電をメインとして、以下2つのプロジェクトを実施。	① 味の素株式会社のアミノ酸発酵の工程から発生する副生バイオマス利用（2014~）。排水処理後の汚泥とアミノ酸発酵副生バイオマスを活用して肥料を製造する取組みを共同実施。		
	② バイオガス中のCO <sub>2</sub> 分離・回収と微細藻類培養への利用技術実証事業（国土交通省B-DASHプロジェクト2015~）。メタン発酵によって発生するバイオガスからCO <sub>2</sub> を分離回収し、回収したCO <sub>2</sub> と消化汚泥中の窒素とリンを豊富に含む脱水分離液で微細藻類の培養を行い、微細藻類の生産・研究を実施。			

### 写真・概要図



# 索引

【B】	BCP	189, 215
	BOD	114, 119, 148
【C】	COD <sub>cr</sub>	11, 12, 103
	CHP	9, 25, 26, 73
	CCS(CCUS)	48
	C/N比	20
【D】	DO	148
	DBO方式	152
【E】	EGSB	13, 16, 17, 18
【F】	FIT	26, 28, 29, 34, 37, 39~46, 48, 51, 54, 56, 58, 67, 74, 131, 163, 181, 198, 201, 207~210, 213, 216
	FIP	43~48, 73, 198, 205, 207~210, 213
【G】	GHG	47, 48, 195, 196, 197, 198, 210, 213
【H】	HRT	13, 14, 15, 16, 18, 19
【L】	LNG	21, 58
	LPG	25, 26, 64
	LHV	177
	LCA	195, 196, 197, 198, 199, 212
【O】	O&Mコスト	53, 56, 57
	ORP	99, 148, 175
【P】	PFI	69, 152, 214
	pH	17, 19, 20, 26, 57, 69, 86, 98, 99, 100, 101, 103, 134, 142, 148, 158, 159
	PSA	22, 171, 175, 176
	PCS	73
【R】	RPS	37, 39, 40, 42, 48, 198
【S】	SS	15, 18, 27
	SRT	14, 15, 19
	SPC	56, 214
【T】	TS	12, 13, 16, 20, 85, 96, 98
【U】	UASB	13, 16, 18, 19, 23
【V】	VS	10, 11, 12, 19, 85
	VFA	19, 20, 26, 99, 100, 101, 103
【あ】	アルカリ度	19, 20
	アンモニア態窒素	20, 27, 141, 142, 143, 148
【い】	インベントリ分析	195, 196, 197
【お】	汚泥日令(SA)	148



- 【か】 家畜排せつ物 ..... 9, 13, 25, 28, 29, 31, 63, 67, 144, 145, 153, 160, 169, 175, 198, 199,  
201, 209, 210, 213  
ガスエンジン ..... 22, 31, 47, 126, 130, 165, 166, 212  
活性汚泥法 ..... 15, 27, 149  
活性炭 ..... 16, 22, 105, 106, 111, 149, 175  
カリ ..... 9, 11, 141, 142  
乾式メタン発酵(乾式発酵) ..... 13, 17, 25, 26, 58, 209
- 【こ】 コージェネレーション ..... 37, 38, 39, 165, 166, 167, 168, 169
- 【さ】 再生敷料 ..... 25, 27, 72, 112, 133, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 210  
栽培層 ..... 143, 144
- 【し】 硝化 ..... 148, 149  
消化液 ..... 51, 53, 54, 56, 58, 59, 67, 69, 75, 85, 87, 92, 93, 99, 102, 112, 113, 114, 117,  
118, 119, 129, 137, 138, 139, 141, 142, 144, 145, 147, 149, 151, 155, 156,  
157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 167, 189, 198, 199, 208, 209, 210, 213  
シロキサン ..... 22, 23, 32, 34, 69, 86, 111, 171, 175  
湿式メタン発酵(湿式発酵) ..... 13, 25, 26
- 【す】 スカム ..... 14, 93, 117, 128
- 【た】 脱窒(脱窒処理、脱窒素処理) ..... 27, 148, 149
- 【ち】 地域レジリエンス ..... 180, 182, 183, 184, 187, 209, 210, 213, 214  
窒素 ..... 9, 12, 20, 21, 27, 56, 57, 95, 101, 103, 141, 142, 143, 144, 148, 149,  
159, 162, 175, 176, 197
- 【ね】 燃料電池 ..... 29, 31, 38, 39, 50, 166, 175, 176, 177, 187, 188
- 【は】 バイオ液肥 .. 67, 72, 125, 130, 131, 133, 139, 141, 142, 143, 144, 156, 197, 199, 208, 210, 214  
バイオガス(消化ガス) ..... 9~16, 18, 19, 21, 22, 25~29, 31~35, 37, 41, 42, 46~48, 51,  
53, 54, 58, 61, 67~69, 71~73, 77, 80, 84, 86, 87, 89, 92, 94, 99, 100, 102,  
104~107, 110, 111, 125~128, 130, 131, 133, 134, 136, 139, 141, 144, 145,  
153, 156, 160~163, 165, 167~169, 171, 172, 175, 177, 179~184,  
186~189, 191, 195~199, 201, 202, 204, 205, 207~215, 217  
バイオメタン(バイオ天然ガス) ..... 9, 22, 25, 26, 27, 28, 58, 169, 171, 172, 176, 177
- 【ふ】 ファーム接続、ノンファーム接続 ..... 26, 203, 204  
ブラックアウト ..... 67, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 187, 190, 191, 212, 213
- 【ま】 マイクロガスタービン ..... 31, 166
- 【め】 メタン ..... 9~15, 17~23, 25~29, 31, 32, 34, 35, 37, 41, 47, 48, 51, 53, 56~59, 61, 62,  
66~69, 71, 72, 75, 76, 78, 85, 91~94, 96~102, 107, 109, 121, 125, 130, 133, 136,  
141~143, 145, 148, 149, 153, 155~158, 160, 162, 163, 165, 166~169, 171, 172,  
175, 176, 177, 180, 182, 188, 189, 193, 196~199, 205, 207~211, 213~215, 217, 218  
メタン生成菌 ..... 193
- 【り】 硫化水素 ..... 21, 22, 32, 34, 69, 83, 89, 98, 108, 111, 120, 131, 165, 171, 175  
リン酸 ..... 9, 20, 118, 141, 142, 148, 166

## 本事業に関する検討委員会の委員及び事務局

委員長	東京大学大学院農学生命科学研究科生物機械工学研究室教授	芋生 憲司
委員	北海道大学工学研究院循環共生システム研究室教授	石井 一英
委員	みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 グローバルイノベーション&エネルギー部上席主任コンサルタント	石井 伸彦
委員	北海道鹿追町農業振興課担当課長	城石 賢一
委員	バイオエナジー株式会社代表取締役社長	盛下 学
委員	月島機械株式会社水環境事業本部事業統括部事業推進グループ主事	森田真由美
事務局	一般社団法人日本有機資源協会専務理事	柚山 義人
事務局	一般社団法人日本有機資源協会理事・事務局長	嶋本 浩治
事務局	一般社団法人日本有機資源協会事務局主幹	土肥 哲哉
事務局	一般社団法人日本有機資源協会事務局主任	澤本しのぶ
事務局	一般社団法人日本有機資源協会事務局係員	十川 有子

## 本テキストにおける執筆者一覧

### 第1章

第1節及び第2節	北海道大学工学研究院循環共生システム研究室教授	石井 一英
第3節	ヤンマーエネルギーシステム株式会社 エネルギーソリューション営業本部ソリューション営業部部長	林 清史
第4節	東京大学大学院農学生命科学研究科生物機械工学研究室教授	芋生 憲司

### 第2章

第1節及び第2節	みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 グローバルイノベーション&エネルギー部上席主任コンサルタント	石井 伸彦
----------	---	-------

### 第3章

第1節から第3節	一般社団法人日本有機資源協会	
第4節	フロー株式会社代表取締役	須藤 貴宜

### 第4章

第1節	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門 資源利用研究領域地域資源利用・管理グループ上級研究員	中村 真人
第2節①	株式会社神鋼環境ソリューション営業本部事業推進部	高原 晋
第2節②	月島機械株式会社水環境事業本部事業統括部事業推進グループ主事	森田真由美
第3節	一般財団法人畜産環境整備機構顧問	羽賀 清典
第4節	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科緑地環境科学専攻 生物環境調節学研究グループ専任講師	遠藤 良輔
第5節	株式会社神鋼環境ソリューション営業本部事業推進部	高原 晋
第6節	エア・ウォーター株式会社 産業カンパニー産業ガス関連事業部エアガスグループ	阿保 洋一

第7節及び第8節①	フロー株式会社代表取締役	須藤 貴宜
第8節②	株式会社ビオクラシックス半田執行役員	猪飼 幸輝
<b>第5章</b>		
第1節	東京大学大学院農学生命科学研究科生物機械工学研究室教授	芋生 憲司
第2節	株式会社アーセック代表取締役	三嶋 大介
第3節		一般社団法人日本有機資源協会

## 本事業における協力自治体及び事業者一覧

北海道鹿追町

新潟県長岡市

愛知県豊橋市上下水道局

京都府京都市

京都府南丹市

公益財団法人八木町農業公社

福岡県宗像終末処理場

福岡県みやま市

佐賀市上下水道局

栗田工業株式会社

JFE エンジニアリング株式会社

JFE 環境テクノロジー株式会社

株式会社 J バイオフードリサイクル

水 ing エンジニアリング株式会社

住友重機械エンバイロメント株式会社

株式会社タクマ

株式会社ちよだ製作所

月島機械株式会社

東北おひさま発電株式会社

十勝清水バイオマスエネルギー株式会社

株式会社トーヨーエネルギーファーム

株式会社長岡バイオキューブ

バイオエナジー株式会社

株式会社バイオガストラボ

日立造船株式会社

株式会社富士クリーン

前澤工業株式会社

三浦地域資源ユーズ株式会社

三菱化工機株式会社



経済産業省資源エネルギー庁

〒100-8931

東京都千代田区霞が関 1-3-1

TEL 03-3501-4031

【編集協力】

一般社団法人日本有機資源協会

2022年2月発行