

## メタン発酵プラントのトラブル記録と長期運転データの解析ー山田バイオマスプラントを事例としてー

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 公開日: 2025-10-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 真人, 柚山, 義人, 山岡, 賢, 折立, 文子, 藤川, 智紀, 清水, 夏樹, 阿部, 邦夫, 相原, 秀基 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/0002001388">https://doi.org/10.24514/0002001388</a>

## メタン発酵プラントのトラブル記録と長期運転データの解析

-山田バイオマスプラントを事例として-

中村真人\*・柚山義人\*・山岡 賢\*・折立文子\*・  
藤川智紀\*\*・清水夏樹\*・阿部邦夫\*\*\*・相原秀基\*\*\*

## 目 次

I 緒 言	11	1	トラブルおよびその対策	16
II 山田バイオマスプラントの概要	12	2	原料・生成物の重量および成分	18
III トラブル記録, 運転データの収集方法	14	3	物質収支	21
1	14	4	電力消費量, 発電量	22
2	14	5	井戸水使用量	23
3	14	6	臭気	24
4	15	V	結 言	24
5	15		参考文献	25
6	15		Summary	26
IV 結果および考察	16		Appendix	27

## I 緒 言

2002年にバイオマス・ニッポン総合戦略(農林水産省, 2002)が閣議決定されて以降, バイオマスを用いて, エネルギーやマテリアルを製造し, 利用する取り組みが各地で行われている。メタン発酵技術は, バイオマスからエネルギーを取り出す代表的な技術の一つであり, メタン発酵微生物の代謝作用により家畜排せつ物等の有機物を嫌気条件下においてメタン( $\text{CH}_4$ )と二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )に分解する生物化学的プロセスを利用して, メタンを回収する技術である(李, 2005)。メタン発酵においてメタンとともに生成されるメタン発酵消化液(以降, 「消化液」とする)は, 速効性肥料として, 化学肥料を代替できる(中村ら, 2009)。

家畜排せつ物のメタン発酵は古くから行われてきた技術である。メタン発酵により得られるエネルギーは再生可能エネルギーであること, メタンを化石エネルギーの代替として用いることにより温室効果ガス排出量が削減

できること等の理由により近年再び注目を集めている。1990年代後半から北海道, 南九州や東北地方を中心に, メタン発酵プラントが多く建設されるようになってきている(野池, 2009)。

メタン発酵プラントでは, それぞれの地域の実情に合わせて試行錯誤をしながら運転が行われており, 一部のプラントについては, 運転データ, 運転時のトラブルに関する報告が行われている。中川(2007)は, 京都府南丹市のメタン発酵プラントの運転開始8年後の設備の劣化状況について報告している。独立行政法人北海道開発土木研究所(2005a)は, メタン発酵プラントの運転データを取りまとめるとともに, トラブルカルテを作成し, それぞれのトラブルを総括し, 教訓として今後の運転管理に生かす試みを行っている。メタン発酵プラントの運転管理技術を向上させるためには, さらに運転データの事例を積み上げることが必要である。

本報では, 著者らが2005年7月からバイオマス利活用の実証研究を行ってきた山田バイオマスプラント(千葉県香取市に試作・設置)の約4年間のトラブル記録, 運転データを解析し, メタン発酵プラントにおける物質収支, エネルギー消費の特徴, トラブルがプラントの運転に与える影響を明らかにする。なお, 本報で扱うトラブルとは, メタン発酵プラント内で起こる, プラントの安定的な運転に支障を与える出来事と定義する。

本研究は, 農林水産省のプロジェクト研究「地域活性

\* 農村総合研究部資源循環システム研究チーム

\*\* 東京農業大学

\*\*\* 農事組合法人と郷園

平成21年11月5日受理

キーワード: メタン発酵, メタン精製, 消化液, トラブルリスト, 物質収支, 電力消費, 臭気

化のためのバイオマス利用技術の開発（バイオマス利活用モデルの構築・実証・評価）（Cm3200）」の成果の一部である。東京大学生産技術研究所の迫田章義教授、望月和博准教授をはじめ、プロジェクト参画者、プラント運転に携わっていただいている方々には、多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

## II 山田バイオマスプラントの概要

山田バイオマスプラントは2004年11月に建設を開始し、2005年7月から運転を開始した。山田バイオマスプラントの建設、運転に関する主な出来事をTable 1にまとめる。運転を始めてから、原料の投入方法の変更、コジェネレーションシステムの導入、液肥散布車（自走バキューム車、タンク容量1.6m<sup>3</sup>）の導入などを行ったが、2009年8月までの約4年間、運転方法に大きな変更はない。メタン発酵プラントは約4年間連続運転を行っている。

山田バイオマスプラントの施設・設備は、メタン発酵、メタン精製、消化液固液分離、炭化等から構成されている（農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」, 2007a）。各施設・設備の概要をTable 2に示す。また、山田バイオマスプラントのシステム構成をFig.1に示す。メタン発酵の原料は乳牛ふん尿、牛ふん脱離液（乳牛ふん尿を畜産農家で固液分離した液分）、野菜汁（野菜の加工工場等から排出される加工くずおよび規格外品をしぼった液）で、投入量は合計約5t/dである。投入された原料は夾雑物脱水機で固液分離され、液分が発酵槽に送られる。固分（以降、「夾雑物」とする。大部分は乳牛飼養時の敷料に用いるオガクズ）は隣接する堆肥舎に送られ堆肥化される。メタン発酵により得られたメタン濃度約60%のバイオガスは、脱硫塔で脱硫、ガスドライヤーで水分を除去された後、PSAによりメタン濃度98%に精製し（精製されたメタン濃度98%のガスのことを本報では「製品メタンガス」とする）、メタン自動車（軽トラック）、コジェネレーション、炭化設備の燃料等に利用している。バイオガスの精製過程で選択的に取り除かれた二酸化炭素を主成分とするガス

（以降、「オフガス」とする）は、大気へ放出される。コジェネレーションからの廃熱の一部を発酵槽の加温に用いているが、少量であるので本報ではその分の熱量は考慮しないこととする。メタン発酵過程で同時に生成される消化液は、肥料成分である窒素、カリウムを多く含み、また、窒素の約60%が速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素（NH<sub>4</sub>-N）であるため、化学肥料の代替として利用できる。消化液の一部は固液分離され、液分である脱水ろ液と固分である脱水ケーキに振り分けられる。脱水ろ液は、消化液中の固形分が取り除かれているので、消化液と比較して散布時の取扱性が改善された液肥となる。一方、固液分離後の固分として脱水ケーキが排出され、炭化、堆肥の原料となる。本報では、山田バイオマスプラントの施設・設備のうち、主にメタン発酵、PSA、コジェネレーション、消化液固液分離装置の運転データを対象とする。

プラントの運転は、化学プラントの運転管理の経験がある場長1名と6名のスタッフ（うち、3名はシニア世代）で行っている。一部のスタッフはフォークリフト運転免許、危険物取扱者等の資格を有している。場長の業務は作業の統括、対外調整、見学者対応等、スタッフの業務は原料の運搬・投入、機材・機器の点検・保守・清掃、消化液の輸送・散布、運転データの記録等である。消化液の輸送・散布を除いた、プラントの施設・設備の運転に関係する業務は、1日あたり約1.5人で行っている。

なお、山田バイオマスプラントは、研究プラントであるために、効率を度外視している部分がある。例えば、山田バイオマスプラントでは実験用のメタンガスを生み出すため、発酵槽加温用にエネルギー効率のよくない電気ヒーター（10kW、電力は購入電力）を4基使用している。事業として行う場合には、発酵槽の加温には、コジェネレーションの廃熱を利用することが現実的であるといえる。また、電気事業者（東京電力）と売電契約を結んでいないので、発電した電力は売電できず、プラント内で消費する必要がある。消費量が常に発電量を上回るようにするため、電気ヒーターのうち1基は常に稼働させる必要がある。その結果、高温期においても電気ヒーターによる電力消費量0とはならない。

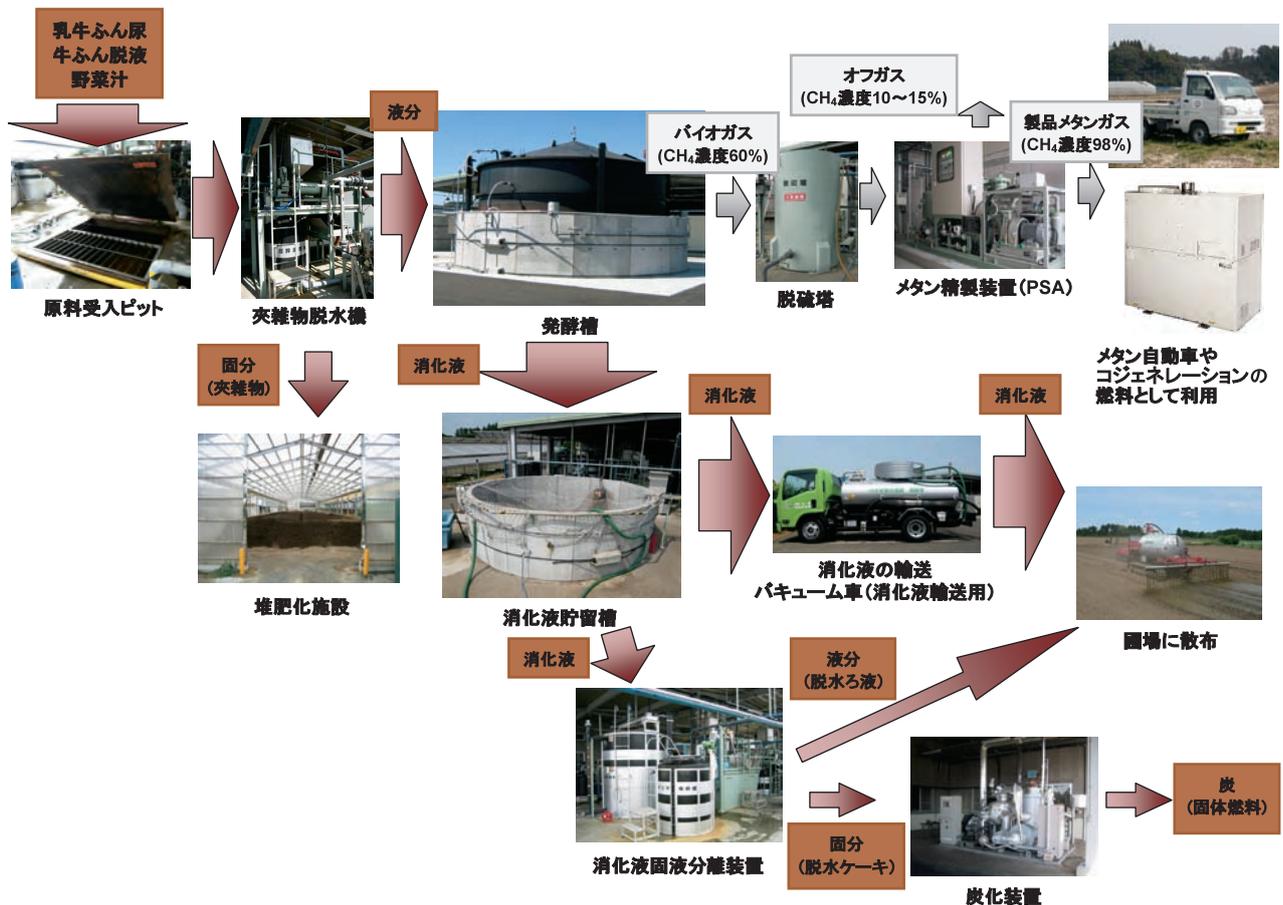
Table 1 山田バイオマスプラントの年表  
Chronological table of Yamada Biomass Plant

2004.11.25	起工式。建設工事開始。
2005.7.4	乳牛ふん尿の投入開始。
2005.7.6	メタン発酵槽原料投入運転開始。 夾雑物脱水機ユニット運転開始。
2005.7.25	野菜汁投入開始。
2005.8.8	PSA装置への送ガス開始。
2005.8.23	発酵槽からの消化液のオーバーフローが開始される（消化液が出始める）。
2005.8.26	消化液脱水機ユニット運転開始。
2006.12.13	コジェネレーション運転開始。
2007.3	原料の投入方法を変更し、乳牛ふん尿の一部を牛ふん脱離液として投入することにした。
2007.4	液肥散布車を導入。

**Table 2** 山田バイオマスプラントの施設・設備の概要  
Facilities of Yamada Biomass Plant

施設・設備	概 要
メタン発酵	135m <sup>3</sup> の発酵槽（単槽）での中温発酵（約37℃）で、滞留時間は約27日である。
メタン精製	PSA（Pressure Swing Adsorption）と呼ばれる吸着分離型のメタン濃縮装置である。細孔径をコントロールした吸着材（活性炭）を用いて、CH <sub>4</sub> とCO <sub>2</sub> の分子サイズの違いにより、選択的に二酸化炭素を除去し、CH <sub>4</sub> の濃縮を行う技術である。精製されたガス（製品メタンガス）のCH <sub>4</sub> 濃度は約98%となる。一方、除去された二酸化炭素を主成分とするガスは、オフガス（CH <sub>4</sub> 濃度10～15%）と呼ばれる。オフガスは、大気へ放出される。バイオガスを1時間あたり6.5Nm <sup>3</sup> 処理できる。
消化液固液分離	スクリープレス式脱水機で、無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）と高分子凝集剤が添加された消化液を脱水する液（液分）と脱水ケーキ（固分）に分離する。消化液を1時間あたり0.63t固液分離できる。
コジェネレーション	定格出力25kWh。ガスエンジン、発電機、インバータ、熱交換器から構成される。本研究ではPSAで精製された、CH <sub>4</sub> 濃度約98%のガスを燃料としている。また、山田バイオマスプラントのメタン発酵槽加温の熱源は、電気ヒーターであり、コジェネレーションからの熱利用は、量的には限定的である。
炭化	炭化温度350～600℃の過熱水蒸気式炭化装置。各種バイオマスの炭化が可能であるが、本プロジェクトでは主に脱水ケーキの炭化を行っている。

※ 各施設・設備の詳細については既報（農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」, 2007）を参照。



**Fig. 1** 山田バイオマスプラントの主なシステム構成  
Main systems of Yamada Biomass Plant

### Ⅲ トラブル記録, 運転データの収集方法

#### 1 トラブル記録

山田バイオマスプラントは運転開始以来, 無事故で運転を継続してきた。しかし, 重大な事故に結び付いてはいるが, トラブルは多数発生し, 試行錯誤を繰り返しながら, 克服してきた。運転開始から4年間に起きたトラブルそれぞれについて, 「事象・原因」, 「対策とその結果」, 「教訓」等を整理したトラブルリストを作成した。

#### 2 原料・生成物の重量および成分

原料, 生成物の重量は, 原料, 生成物の容積, ポンプの運転時間等の記録, 別途測定した容積重等を用いて, **Table 3** に示す方法で測定した。

液体試料(野菜汁, 牛ふん脱離液, 消化液, 脱水ろ液)の分析項目のうち, 含水率, イオウ(S)は下水試験方法, 懸濁物質(SS), 懸濁物質の強熱残留物(VSS), 全蒸発残留物(TS), 全蒸発残留物の強熱残留物(VS), 化学的酸素要求量(COD<sub>Mn</sub>), 生物化学的酸素要求量(BOD), 全有機炭素(TOC), 全炭素(T-C), 全窒素(T-N), NH<sub>4</sub>-N, 亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N), 硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N), 全リン(T-P), リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P), 全カリウム(T-K), カリウムイオン(K<sup>+</sup>), マグネシウム(Mg), カルシウム(Ca), ナトリウム(Na), 塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>), 鉄(Fe), マンガン(Mn), ホウ素(B), モリブデン(Mo), 銅(Cu), 亜鉛(Zn), カドミウム(Cd), ニッケル(Ni), ひ素(As), クロム(Cr), 水銀(Hg), は工場排水試験法(JIS-K-0102)に準じて測定した。pH, ECは, それぞれ(株)東亜ディーケーケー製HM-12P, CM-21Pを用いて測定した。pH, ECは現場で測定し, その他の項目はプラントでサン

リングした試料を研究室に持ち帰り分析した。測定は, 1年に3,4回の頻度で行った。

固体試料(乳牛ふん尿, 夾雑物, 脱水ケーキ)では, 全炭素(T-C), 全窒素(T-N), 全リン(T-P), 全カリウム(T-K), 全マグネシウム(T-Mg), 全カルシウム(T-Ca)および鉄(Fe)を, 肥料分析法に準じて測定した。固体試料についても, プラントでサンプリングした試料を研究室に持ち帰り分析した。測定は, 液体試料と同様に1年に3,4回の頻度で行った。

バイオガスの流量は脱硫塔通過後の配管に流量計(ドレッサー社製8C175)を設置して測定した。バイオガス中のメタン濃度, 脱硫塔通過後の硫化水素(H<sub>2</sub>S)濃度は, Schmack社製SSM6000を用いて, 1日1回, プラントにて測定した。

#### 3 物質収支

物質収支は, メタン発酵過程(メタン発酵原料投入からバイオガスと消化液の生成まで), 消化液固液分離過程(消化液を脱水ろ液と脱水ケーキに分離する過程), メタン精製過程(PSA装置においてバイオガスを製品メタンガスとオフガスに分離する過程)について算定した。物質収支の算定は, 原料の一部を牛ふん脱離液に変更した2007年3月以降について示す。

メタン発酵過程の物質収支は, Ⅲ. 2の方法で求めた原料, 生成物の重量と成分分析結果から算定した。詳細については, 中村ら(2007)を参照されたい。物質収支計算を行った項目は重量, C, N, P, Kである。トラブルが物質収支に与える影響を示すため, 全期間(2007.3-2009.8)平均の物質収支, 安定運転期間(トラブルのうち最も物質収支に対する影響の大きかった夾雑物脱水機の故障期間を除く期間)における物質収支の2

**Table 3** 原料, 生成物の重量の算定法  
Methods to calculate weight of feedstock material and products

原料, 生成物	算定法
乳牛ふん尿 (t)	(1日あたりの投入量: m <sup>3</sup> ) × (容積重: 0.97 t/m <sup>3</sup> )
野菜汁 (t)	(1日あたりの投入量: m <sup>3</sup> ) × (容積重: 1 t/m <sup>3</sup> )
夾雑物 (t)	(1日あたりの生成量: m <sup>3</sup> ) × (容積重: 0.30 t/m <sup>3</sup> )
バイオガス中の CH <sub>4</sub> (t)	(バイオガス流量: m <sup>3</sup> ) × (CH <sub>4</sub> 濃度: %) × 16 / 22.4 / 1000
バイオガス中の CO <sub>2</sub> (t)	(バイオガス流量: m <sup>3</sup> ) × {100 - (CH <sub>4</sub> 濃度: %)} × 44 / 22.4 / 1000
発酵槽から排出される消化液 (t)	(ふん尿) + (野菜汁) - (夾雑物) - (バイオガス中の CH <sub>4</sub> ) - (バイオガス中の CO <sub>2</sub> )
固液分離される消化液 (t)	(消化液供給ポンプの能力: m <sup>3</sup> /h) × (1日平均脱水機運転時間: h) × (容積重: 1)
ポリ硫酸第二鉄 (t)	重量測定
高分子凝集剤 (t)	重量測定
高分子凝集剤希釈水 (t)	(高分子凝集剤添加量: t) × 80
脱水ろ液 (t)	(固液分離される消化液) + (無機凝集剤) + (高分子凝集剤) + (凝集剤希釈水) - (脱水ケーキ)
脱水ケーキ (t)	(1日あたりの生成量: m <sup>3</sup> ) × (容積重: 0.90 t/m <sup>3</sup> )

種類の物質収支を算定した。全期間（2007.3-2009.8）平均の物質収支については、1日あたりの量と原料1tあたりの量について算定し、安定運転期間については、1日あたりの量のみについて算定した。なお、消化液貯留槽からの二酸化炭素、メタンおよびアンモニアの揮散量は、今回の収支計算では考慮しなかった。

消化液固液分離過程は、メタン発酵過程と同様に、Ⅲ. 2の方法で求めた原料、生成物の重量と成分分析結果から算定した。消化液固液分離過程の物質収支は、消化液1tあたりの量を算定した。

メタン精製過程の物質収支は、PSA装置稼働中のバイオガスの流量、メタン濃度と製品メタンガスの流量、メタン濃度を測定結果から算定した。バイオガス、製品メタンガスの成分はほぼメタンと二酸化炭素のみであるので、二酸化炭素濃度（%）は、「100 - メタン濃度（%）」とした。測定は2008年12月4日に行った。結果は、バイオガス1Nm<sup>3</sup>（Nm<sup>3</sup>: 0℃, 1気圧の時の容積）あたりの物質収支として表す。

#### 4 電力消費量, 発電量

山田バイオマスプラント全体と各施設・設備の消費電力量, 発電量を測定した。消費電力計を設置した設備は、メタン発酵, PSA, 消化液固液分離である。また、メタン発酵の発酵槽加温ヒーターにも消費電力計を設置し、メタン発酵施設の消費電力のうち、加温ヒーターでの消費分とその他での消費分を分離できるようにした。

#### 5 井戸水使用量

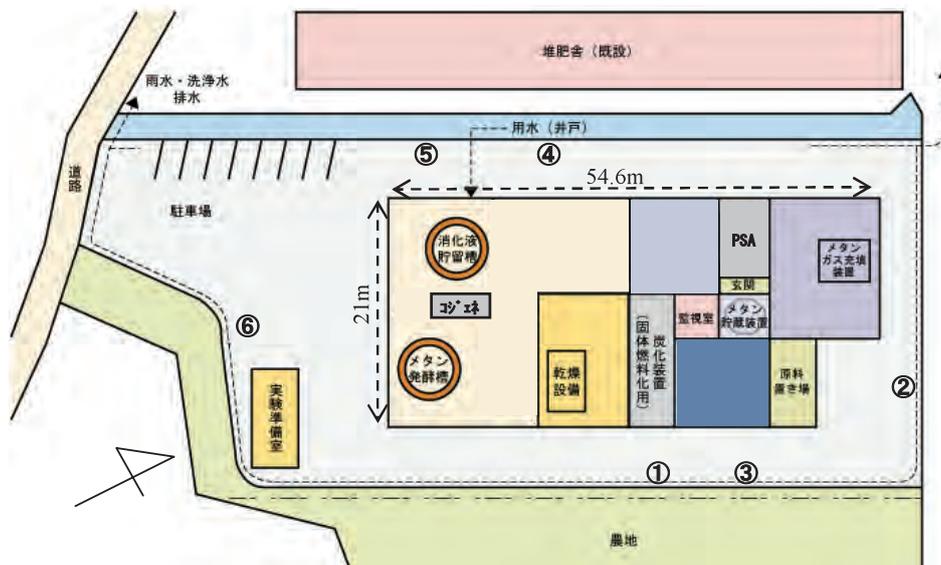
山田バイオマスプラントでは、機器の洗浄や配管の凍結防止のために井戸水を使用している。井戸水使用量は水道メーターを設置し測定した。

#### 6 臭気

山田バイオマスプラントから発生する臭気をプラントの敷地境界上で測定した。臭気測定の様子を Fig.2 に示す。また、測定を行った位置を Fig.3 に、測定時の状況を Table 4 に示す。測定項目は悪臭防止法が規制対象として定めている特定悪臭物質のうち、家畜ふん尿およびその変換物から発生する可能性があると考えられる、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、二硫化メチル、トリメチルアミン、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸の各濃度と臭気指数(人間の嗅覚によりにおいの程度を数値化した指標、感知できなくなるまでの希釈倍率の常用対数の10倍で表される)である。臭気指数の測定方法は平成7年環境庁告示第63号、その他の項目については、昭和47年環境庁告示第9号に定める方法で行った(悪臭法令研究



Fig.2 臭気測定の様子  
Odor measurement



①～⑥は測定地点を示す

Fig.3 臭気測定を行った地点  
Points for odor measurement

Table 4 臭気測定時の状況  
Conditions on odor measurement

	2005.12.13 14:00	2006.10.11 14:00	2006.12.13 14:00	2007.9.10 13:45	2007.12.16 12:20	2008.8.13 13:40	2009.7.21 13:30
採取地点	①	②	①	③	④	⑤	⑥
採取地点の選定理由	炭化装置の排ガスと夾雑物、脱水ケーキストックヤード由来の臭気が強かった。敷地境界上でそれらのおいが最も強く感じられる、風下側の地点を選定した。	炭化装置の排ガスと夾雑物、脱水ケーキストックヤード由来の臭気が強かった。敷地境界上でそれらのおいが最も強く感じられる、風下側の地点を選定した。	炭化装置の排ガスと夾雑物、脱水ケーキストックヤード由来の臭気が強かった。敷地境界上でそれらのおいが最も強く感じられる、風下側の地点を選定した。	発生源より風下になる敷地境界線上で、他の臭気の影響が少なく測定作業に支障のおきない場所を選定した。	臭気発生源より風下になる敷地境界線上で、他の臭気の影響が少なく測定作業に支障のおきない場所を選定した。	臭気発生源より風下になる敷地境界線上で、他の臭気の影響が少なく測定作業に支障のおきない場所を選定した。	臭気発生源より風下になる敷地境界線上で、他の臭気の影響が少なく測定作業に支障のおきない場所を選定した。
施設・設備の稼働状況	メタン発酵 ○ 消化液固液分離 ○ PSA ○ 炭化 ○ コジェネレーション ×	メタン発酵 ○ 消化液固液分離 ○ PSA ○ 炭化 ○ コジェネレーション ×	メタン発酵 ○ 消化液固液分離 ○ PSA ○ 炭化 ○ コジェネレーション ×	メタン発酵 ○ 消化液固液分離 ○ PSA ○ 炭化 × コジェネレーション ○	メタン発酵 ○ 消化液固液分離 ○ PSA ○ 炭化 × コジェネレーション ○	メタン発酵 ○ 消化液固液分離 ○ PSA ○ 炭化 × コジェネレーション ○	メタン発酵 ○ 消化液固液分離 ○ PSA ○ 炭化 × コジェネレーション ○
採取時の状況	試料採取中は燃焼臭、牛ふん尿臭及び牛ふんを原料とした堆肥臭のいずれかのおいが常時しており、臭気指数用試料の採取は臭気強度をもっとも強く感じた牛ふん臭の時に行った。	試料採取中は燃焼臭、牛ふん尿臭及び牛ふんを原料とした堆肥臭のいずれかのおいが常時しており、臭気指数用試料の採取は臭気強度をもっとも強く感じた牛ふん臭の時に行った。	試料採取中は燃焼臭、牛ふん尿臭及び牛ふんを原料とした堆肥臭のいずれかのおいが断続的にしており、臭気指数用試料の採取は臭気強度をもっとも強く感じた牛ふん臭の時に行った。	有風時に堆肥臭がかすかに発生していた、無風時には臭気は発生していなかった。メタン発酵施設稼働時において臭気強度をもっとも強く感じた時に採取を行った。	プラントはメタン発酵は稼働していた。運転施設作業時に臭いがかすかに発生していたが、稼働時以外の時には臭気は発生しないような臭気は発生していなかった。メタン発酵施設稼働時において臭気強度をもっとも強く感じた時に採取を行った。	風向きによっては堆肥臭がかすかに発生していた。南東より南の風が吹いている時には臭気は発生しないような臭気は発生していなかった。メタン発酵施設稼働時において臭気強度をもっとも強く感じた時に採取を行った。	降雨の影響が強い臭気を感じる時があった。メタン発酵施設稼働時において臭気強度をもっとも強く感じた時に採取を行った。
天候	晴	晴	曇	晴	晴	晴	晴
温度・湿度	9.2℃・27%	22.5℃・57%	13.1℃・71%	28.2℃・75.0%	14.0℃・37.0%	31.6℃・73.2%	24.1℃・97.4%
風向・風速	西・1.8m/s	南・1.7m/s	西・0.3m/s	南南西・5.8m/s	南東・0.9m/s	南東・2.8m/s	北北東・1.2m/s

会, 2001)。臭気測定用試料(空気)の採取は、各測定日でプラントの敷地境界上の最も臭気強い地点において行った。測定回数は、4年間で7回である。

#### IV 結果および考察

##### 1 トラブルおよびその対策

山田バイオマスプラントの運転を開始した2005年7月から2009年8月までのトラブルを時系列に整理した一覧表をTable 5に示す(各トラブルの詳細についてはAppendixに記載する)。また、トラブルの分類の考え方には各種あるが、本報では原因ごとに分類した。全トラブルをトラブルの原因として多かった「オガクズ(原料の乳牛ふん尿に含まれていたオガクズに起因するトラブル)」、「凍結(冬季の低温による凍結に起因するトラブル)」、「硫化水素(バイオガス中の硫化水素に起因するトラブル)」、「部品消耗・長期運転の影響(部品消耗や長期運転により引き起こされたと思われるトラブル)」に分類し、それらに該当しないものは「その他」とした。

山田バイオマスプラントの運転開始当初のトラブルは、メタン発酵の原料の乳牛ふん尿に含まれるオガクズを原因としたものが多かった。これは、原料を提供していた農家の飼養形態がオガクズを敷料として用い

るフリーストールであったため、平均的な乳牛ふん尿よりもオガクズ混入割合が高かったことによる。乳牛ふん尿に含まれるオガクズは、脱水機や管路の詰まりを引き起こし、また、オガクズ自体は発酵不適物であるので単位原料あたりのバイオガス生成量が少なくなる。同じ乳牛ふん尿でも飼養形態によって排出される性状が異なることを認識して、プラントの設計をすることが重要であるといえる。独立行政法人北海道開発土木研究所(2005b)は、夾雑物のワラにより、消化液のオーバーフロー管が閉塞するという同様のトラブルが起き、原料スラリーに含まれていた大量の夾雑物を除去しなかったことが要因であったと報告している。

また、その他の初期に起こったトラブルとして、消化液貯留槽がほぼ満杯(消化液貯留量が貯留槽の上端から66cm)となるという事態となった。この原因は貯留槽の容量が発酵槽から排出される消化液の約20日分の容量(約100m<sup>3</sup>)と小さかったことや、当時はまだ液肥散布車がなく散布作業を効率的に行えなかったこと、消化液の利用先が決まっていなかったことが挙げられる。消化液を全量利用する計画であっても、プラント運転初期には、利用先の確保が難しかったり、トラブルが生じたりするので、最悪の場合を想定して廃棄先についても検討しておくことも必要であると考えられる。

Table 5 トラブルリスト  
Trouble list

	発生日時	分 類	事象・原因
1	2005.7	オガクズ	牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかったため、単位原料あたりのバイオガス発生量が設計値より少ない。
2	2005.7	オガクズ	牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかったため、夾雑物の排出作業（隣接の堆肥舎へ運搬する作業）の労力が大きかった。
3	2005.8.19	オガクズ	牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかったため、夾雑物脱水機内でオガクズが詰まり、夾雑物脱水機が停止した。
4	2005.9	オガクズ	牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかったため、メタン発酵槽の出口においては、オーバーフロー管が詰まった。
5	2005.9.27	その他	貯留槽の容量が発酵槽から排出される消化液の約 20 日分の容量（約 100m <sup>3</sup> ）と小さかったため、消化液貯留槽がほぼ満杯となった。
6	2005.12 -2006.2	凍結	低温によりラインが凍結し、配管が破損した。
7	2006.2	凍結	バイオガス中の水蒸気が結露、凍結し、流量計が破損した。
8	2005.12 -2006.2	凍結	バイオガス配管の発酵槽から脱硫塔までの部分が凍結し、閉塞したため、水封水が吸引され PSA 装置内に入り、PSA 装置のガス精製能力を低下させた。
9	2006 年前半	その他	メタン濃度の指示値が 50～65%の範囲で日変動（昼間高く、夜間低い）した。原因は不明。
10	2006.6 他	その他	原料受入ピットにハナアブの幼虫（うじ虫）が発生した。
11	2006.7	その他	消化液脱水機に無機凝集剤を添加する配管で結晶が析出し配管が閉塞した。
12	2006.8	硫化水素	脱硫塔の能力破過を見越したことにより、脱硫塔の下流側にある PSA 装置に硫化水素を含むガスが供給され、吸着剤等に悪影響を与えたと想定された。
13	2006 後半	その他	製品メタンガスの用途がメタン自動車等に限定されていたため、使い切れず、メタンガスの貯蔵量がタンクいっぱいとなった。
14	2007.4	部品の消耗・ 長期運転の影響	発酵槽加温用水槽の水の更新やスケール防止剤の添加を行っていなかったため、加温ヒーター 4 本にピンホールが発生、ショートして部分停電発生した。
15	2007 年前半	部品の消耗・ 長期運転の影響	雨水が入りスパーク装置が腐食したため、フレアスタックが点火しなかった。
16	2007.10	部品の消耗・ 長期運転の影響	PSA 装置の真空ポンプのダイヤフラムが破損したため、PSA 装置の運転をしばらく休止した。
17	2007-2008	部品の消耗・ 長期運転の影響	夾雑物脱水機、消化液脱水機の固分を排出するコンペアーのコンペアーロールが摩耗した。
18	2008.1	部品の消耗・ 長期運転の影響	夾雑物がうまく絞れず、含水率が高い状態のものが排出されていた。原因は、夾雑物脱水機のスクリュウの磨耗。
19	2008	部品の消耗・ 長期運転の影響	受入ピットの転落防止用の安全スノコ（鉄）が腐食した。
20	2008.4.14	部品の消耗・ 長期運転の影響	PSA 装置の空気作動弁のシール材が消耗した。
21	2008.4	部品の消耗・ 長期運転の影響	パンチングメタルは脱硫塔の底部に設置されていて、脱硫剤を支える役割をしている。バイオガスは飽和水分を含有するため、一部が凝縮して液化する。その水に硫化水素が溶けて硫酸となり、パンチングメタルが腐食した。
22	2008.12	部品の消耗・ 長期運転の影響	PSA 装置の真空ポンプのダイヤフラムの破損により、メタンを含むガスが漏れた。
23	2008.12 -2009.3	部品の消耗・ 長期運転の影響	長期使用による磨耗により、充填設備の充填圧力が所定の圧力まで上がらなくなった。
24	2009.3	部品の消耗・ 長期運転の影響	受入ピット底部に蓄積した沈殿物により、夾雑物脱水機が不調となった。
25	2009.3	部品の消耗・ 長期運転の影響	原料受入ピットの清掃を行った結果、原料以外の異物（手袋、石、釘、工具等）が混入していた。
26	2006-2007	硫化水素	硫化水素を含むバイオガスが PSA 装置に供給されたため、PSA 装置周辺機器に不具合が発生し、PSA 装置のメタン収率が 70～80%程度と低迷した。
27	2006-2007	硫化水素	硫化水素により基盤が損傷し、流量計が正確な指示値を示さない。
28	2009.7	部品の消耗・ 長期運転の影響	脱硫塔の上部のマンホールのパッキンの劣化により、バイオガスが漏れた。

2005年12月から2006年2月にかけては、低温により管路が破裂、流量計が破損するなどのトラブルが見られ、管路に保温テープをまく、凍結防止のため井戸水を常時流す等の対策をとった。山田バイオマスプラントの設計にあたり周辺の過去の気象データを参考にしたが、プラント設置場所が窪地に立地しているため、想定以上に低温になり、上記のようなトラブルが起きた。周辺の気象観測データだけではなく、微地形等を考慮に入れた検討が必要であることが示唆された。

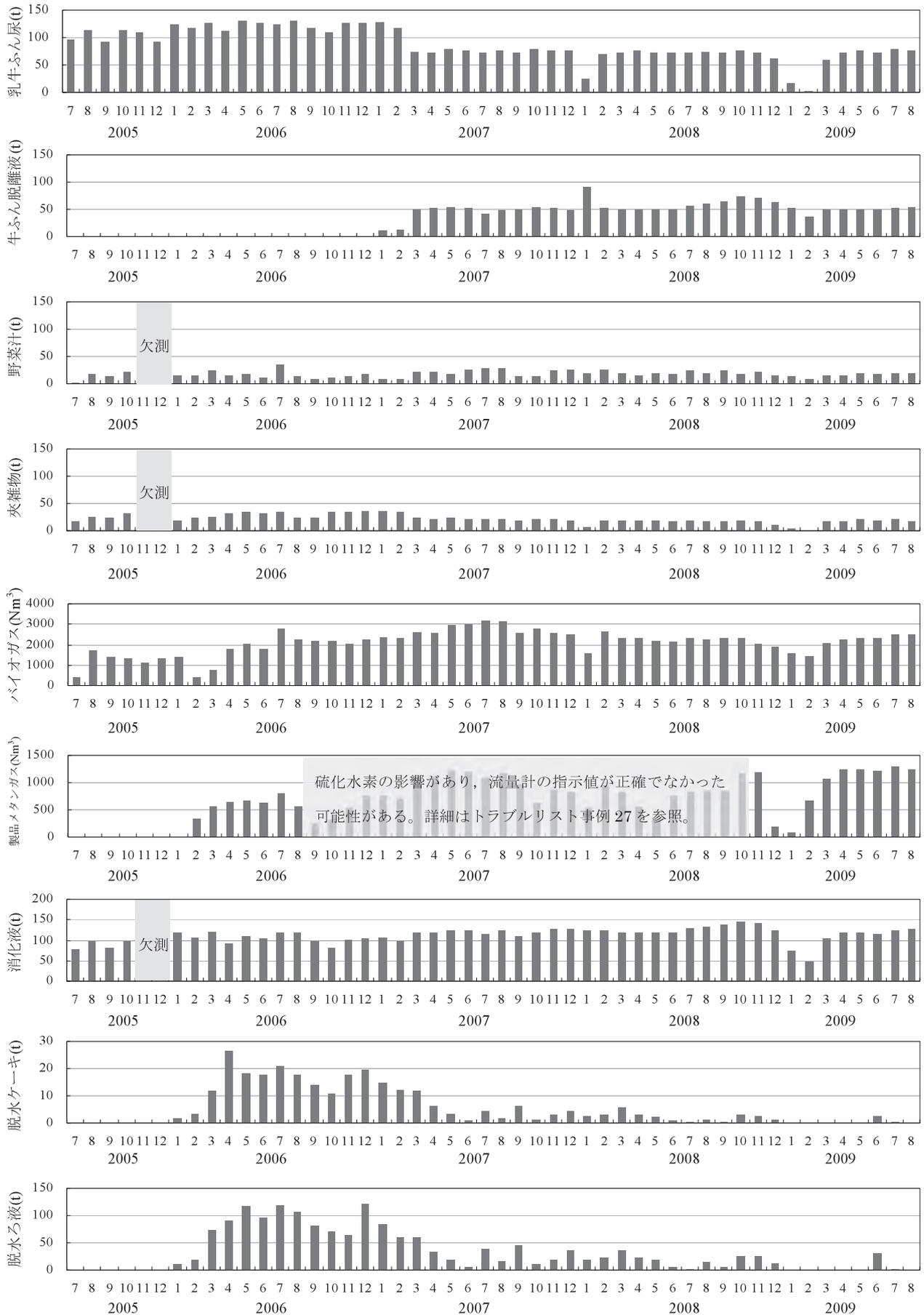
2006年8月頃より、脱硫塔の機能低下が起こり、脱硫塔を通過したバイオガスの硫化水素濃度が上昇した。さらに、その対処が遅れ、約2カ月間、硫化水素濃度の高いバイオガスが下流側のPSAに送られ続けた。その時の硫化水素濃度は、最高350ppmに達した。硫化水素は、鉄やコンクリートに対して腐食性があり、機器に対して重大なダメージを与える。山田バイオマスプラントでは硫化水素の影響で、PSAに設置している流量計の誤作動(指示値が正確な値を示さなくなっていた)を引き起こした。また、PSA装置の吸着剤、真空ポンプのダイヤフラム、圧縮機、昇圧機、切替弁、流量計に悪影響を与え、そのことがその後のPSAのメタン回収率低下の一因であったと思われる。このように、硫化水素は重大なダメージを与えるので、硫化水素濃度の変動を注視し、脱硫塔の機能低下前に脱硫剤の交換を行うことが重要である。同様の硫化水素が原因のトラブルとして、独立行政法人北海道開発土木研究所(2005c)は、硫化水素と凝結水によりバイオガス濃度計が腐食したことを報告している。

運転開始から2年経過した2007年後半からは、真空ポンプのダイヤフラム、コンペアーのコンペアロール、夾雑物脱水機のスクリー等部品の消耗・長期間運転の影響が原因のトラブルが増加してきた。独立行政法人北海道開発土木研究所(2005d)のトラブルカルテからは、山田バイオマスプラントとほぼ同様に運転開始後1年半を経過してからトラブルが増加する傾向が読み取れる。部品の消耗・長期間運転の影響の中で、プラント運転への影響が大きかったものの一つに、原料を投入する原料受入ピットの沈殿物による夾雑物脱水機の不調がある。プラントの運転開始後約3年半の間、受入ピットの清掃を行っていなかったため、受入ピットの底に原料の一部が蓄積したことが原因である。また、受入ピットの底部には、原料以外に手袋、石、工具等が混入していた。原料受入ピットへの金属や石等の異物の混入については、中川(2007)が同様の報告を行っており、家畜ふん尿に異物が混入することは不可避であると考えられ、そのことを見越した設計、受入ピットの定期的な清掃が必要であるといえる。部品の消耗によるトラブルは、部品の調達に時間がかかる場合があり、プラントの運転中断期間が長期化する可能性がある。消耗部品については、交換用のものを用意しておくことが望ましい。

## 2 原料・生成物の重量および成分

メタン発酵、消化液固液分離過程における、原料、生成物の重量をFig.4に示す。夾雑物量は、原料の投入方法を一部変更(乳牛ふん尿の一部を牛ふん脱離液に変更)した2007年3月以降、やや減少している。2008年1月と2008年12月から2009年2月までの期間は、夾雑物脱水機が不調(トラブル事例18, 24)になり、固形の原料(乳牛ふん尿)を投入することができなかったため、乳牛ふん尿の投入量が減少している。それに伴い、その期間は夾雑物量も少ない。バイオガス発生量は、初期は乳牛ふん尿のオガクズの混入割合が高かったため、やや少ない。また、2008年1月と2008年12月から2009年2月までの期間は、原料投入量が少ないため、発生量が少ない。製品メタンガス量がとところどころで少ない月がある。これは、PSAの故障(トラブル事例12, 13, 16, 20)により運転を休止した期間があるためである。液肥散布車が2007年4月に本格的に導入されて以降、生成される消化液のうち、液肥として利用される割合が高くなり、脱水ろ液、脱水ケーキの生成量は減少している。

液体試料、固体試料の成分分析結果をTable 6, Table 7に示す。野菜汁の成分のばらつきが大きいのは、用いる野菜の種類により成分が変動すること、野菜を絞る機器の調子により性状が変化することが理由である。ばらつきが大きい分析試料数(n)が19と十分多いと考え、後述する物質収支の算出に平均値を用いることには大きな問題はないと判断した。原料の野菜汁、牛ふん脱離液と生成物の消化液を比較すると、メタン発酵過程で有機物の分解、炭素がメタンや二酸化炭素になったために、消化液の方がBOD、TOC等が少ない。液肥として利用されている消化液、脱水ろ液の肥料要素をみると、消化液、脱水ろ液ともN、Kに比べてPが少なく、脱水ろ液ではPをほとんど含まない。また、T-Nに占めるNH<sub>4</sub>-Nの割合が高く、消化液で51%、脱水ろ液で94%である。Nの多くが植物にとって吸収しやすいNH<sub>4</sub>-Nであることから速効性のNK肥料であると判断できる。柚山ら(2007)は全国5ヶ所の牛ふん尿を原料としているメタン発酵プラントの消化液の肥料成分を紹介している。それらと比較して、NとKが多く、含有するNの約半分がNH<sub>4</sub>-Nであるという点で、山田バイオマスプラントの消化液と全国5ヶ所の消化液とはほぼ同様であった。三要素以外の成分では、モリブデン(Mo)やマンガン(Mn)等の作物の生育に必要な微量元素も含まれてはいるが、含有量は少ない。また、カドミウム(Cd)等の重金属含有量は少ない。また、消化液は固形分が多く含まれ、SSが26,700mg/Lであるのに対し、脱水ろ液は固液分離過程で固形分が取り除かれ、SSが283 mg/Lへと低下し、取扱性が向上している。脱水ろ液であれば、消化液では困難な灌水チューブを用いた散布も可能である(農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉



**Fig. 4** 月別原料投入量・生成物量  
Monthly amount of feedstock and products

**Table 6** 液体試料の成分  
Composition of liquid samples

	単位	野菜汁 (n = 19)		牛ふん脱離液 (n = 10)		消化液 (n = 23)		脱水ろ液 (n = 19)	
		平均	(標準偏差)	平均	(標準偏差)	平均	(標準偏差)	平均	(標準偏差)
含水率	%	95.3	(1.9)	94.5	(0.4)	95.9	(0.4)	98.9	(0.4)
pH		4.7	(0.5)	7.3	(0.3)	7.7	(0.2)	7.9	(0.2)
EC	S/m	0.805	(0.069)	1.53	(0.37)	1.96	(0.15)	1.92	(0.27)
SS	mg/L	19500	(12200)	36600	(6780)	26700	(5040)	283	(256)
VSS	mg/L	18200	(11600)	26000	(5480)	17900	(3630)	154	(114)
TS	mg/L	52900	(10200)	53000	(3250)	41300	(7420)	11500	(4342)
VS	mg/L	44900	(10400)	35400	(1810)	24200	(2840)	2420	(569)
COD <sub>Mn</sub>	mg/L	24300	(9670)	20400	(1990)	14100	(6280)	1070	(134)
BOD	mg/L	29400	(9500)	14700	(5520)	2320	(890)	400	(271)
TOC	mg/L	14600	(4260)	10510	(2470)	6220	(1920)	695	(249)
全炭素	mg/L	16200	(94920)	16600	(4430)	9790	(1920)	2250	(554)
塩化物イオン	mg/L	448	(186)	1480	(660)	1390	(395)	1400	(550)
アンモニア性窒素	mg/L	190	(106)	1260	(163)	1740	(300)	1300	(199)
亜硝酸性窒素	mg/L	0.611	(1.95)	0.870	(1.83)	0.434	(1.60)	0.372	(1.58)
硝酸性窒素	mg/L	100	(114)	<0.3	—	<0.3	—	<0.3	—
全窒素	mg/L	1530	(495)	2950	(263)	3390	(628)	1420	(300)
全リン	mg/L	280	(107)	701	(225)	536	(161)	9.94	(3.76)
リン酸態リン	mg/L	283	(205)	282	(214)	169	(159)	4.37	(1.51)
カリウム	mg/L	2690	(416)	2790	(462)	3210	(444)	2600	(602)
カリウムイオン	mg/L	2470	(386)	2810	(368)	2860	(677)	2470	(304)
鉄	mg/L	—	—	—	—	78.5	(25.4)	9.73	(4.26)
イオウ	mg/L	190	(13)	420	(217)	260	(71)	320	(79)
銅	mg/L	—	—	—	—	3.42	(0.53)	<0.05	—
亜鉛	mg/L	—	—	—	—	13.0	(1.6)	0.300	(0.298)
鉛	mg/L	—	—	—	—	0.17	(0.07)	<0.01	—
カドミウム	mg/L	—	—	—	—	0.01	(0.01)	<0.01	—
ニッケル	mg/L	—	—	—	—	0.19	(0.07)	<0.01	—
ひ素	mg/L	—	—	—	—	0.02	(0.01)	<0.01	—
全クロム	mg/L	—	—	—	—	0.18	(0.05)	<0.005	—
水銀	mg/L	—	—	—	—	<0.0005	—	<0.00005	—
全カルシウム	mg/L	—	—	—	—	1600	(242)	100	(19)
全マグネシウム	mg/L	—	—	—	—	661	(139)	190	(24)
ナトリウム	mg/L	—	—	—	—	850	(114)	640	(61)
マンガン	mg/L	—	—	—	—	13.0	(1.5)	2.23	(0.54)
モリブデン	mg/L	—	—	—	—	0.0583	(0.0009)	<0.1	—
ホウ素	mg/L	—	—	—	—	1.83	(0.78)	1.44	(0.13)

**Table 7** 固体試料の成分  
Composition of solid samples

	単位*	乳牛ふん尿 (n = 18)		夾雑物 (n = 19)		脱水ケーキ (n = 17)		炭** (n = 4)	
		平均	(標準偏差)	平均	(標準偏差)	平均	(標準偏差)	平均	(標準偏差)
含水率	%	84	(1.8)	70	(5.1)	79	(2.4)	0.30	(0.60)
全炭素	%	42	(1.9)	44	(1.4)	37	(2.5)	36	(3.2)
全窒素	%	2.4	(0.43)	1.8	(0.53)	4.4	(0.63)	4.3	(1.1)
全リン	%	0.70	(0.19)	0.45	(0.19)	2.2	(0.42)	2.8	(0.60)
カリウム	%	2.1	(0.42)	1.0	(0.26)	1.5	(0.74)	2.1	(0.14)
マグネシウム	%	0.65	(0.16)	0.40	(0.10)	1.3	(0.29)	2.2	(0.10)
カルシウム	%	1.7	(0.38)	1.2	(0.25)	4.8	(1.0)	8.5	(1.0)
鉄	%	0.090	—	0.11	(0.030)	2.1	(0.76)	3.8	—
全イオウ	%	0.90	(0.23)	0.75	(0.090)	0.20	—	—	—

\* 含水率以外は乾物あたりの量。

\*\* 脱水ケーキを原料とした炭である。

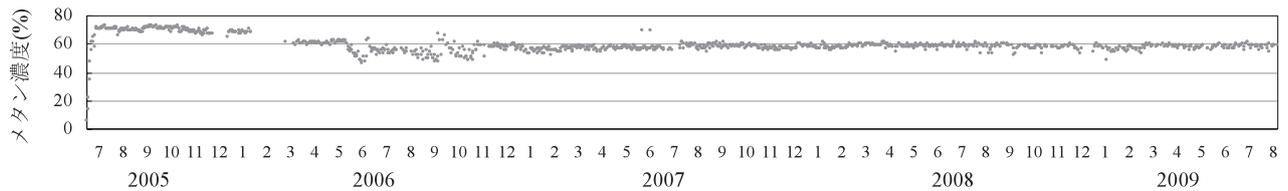


Fig.5 バイオガス中のメタン濃度  
Methane concentration of biogas

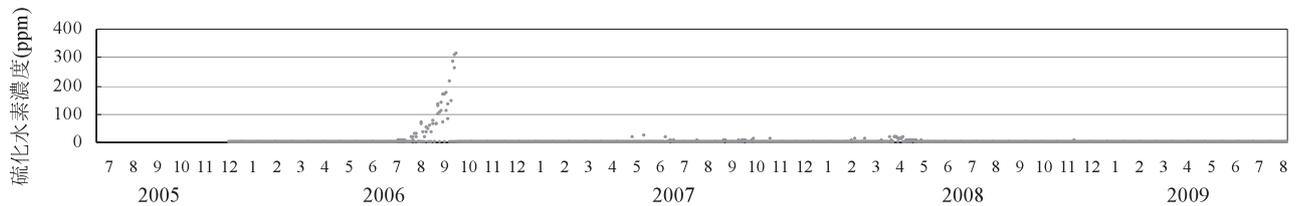


Fig.6 バイオガス中の硫化水素濃度  
Hydrogen sulfide concentration of biogas

ユニット」, 2007b)。

Fig.5, Fig.6にバイオガス中のメタン濃度, 硫化水素濃度を示す。メタン濃度は, 原料投入を開始した2005年7月から濃度が上昇し, 2週間程度で60%前後まで上昇した。運転開始から半年間はメタン濃度が70%程度で推移し, その後60%程度で安定している。運転開始から半年間はメタン濃度が70%程度で推移した理由については不明である。脱硫塔通過後の硫化水素濃度を測定しているため, ほぼ0であるべきであるが, トラブルリスト(事例12)で述べたように, 脱硫塔の機能低下を見逃していたため, 硫化水素濃度は最高350ppmまで上昇した。その後, 脱硫剤の交換を行い濃度は0に戻った。その後は濃度が上昇を始める前に脱硫剤の交換を行う対応をとることにより, 硫化水素濃度をほぼ0の状態に維持している。

### 3 物質収支

#### a メタン発酵過程の物質収支

メタン発酵過程の物質収支をTable 8に示す。Table 8(a)に示したのが原料の一部を牛ふん脱離液に変更した2007年3月から2009年8月までの日平均, 原料1tあたりの物質収支である。Table 8(b)にはトラブル期間を除く安定運転期間(ここでは, トラブルのうち最も物質収支に対する影響の大きかった夾雑物脱水機の故障期間を除く期間)の物質収支を示す。Table 8(a)とTable 8(b)を比較することにより, トラブルの影響の一例を示すことができる。

対象期間の平均物質収支であるTable 8(a)をみると, 投入される原料は, 乳牛ふん尿, 牛ふん脱離液, 野菜汁がそれぞれ2.22t/d, 1.79t/d, 0.65t/dの合計4.66t/dである。投入された原料は固液分離され, 固分(夾雑物)0.59t/dは堆肥化施設に送られ, 残りの4.07tが発酵槽に投入され, バイオガス79.9Nm<sup>3</sup>(メタン46.4 Nm<sup>3</sup>, 二酸化炭素

33.5 Nm<sup>3</sup>)と消化液3.96tが生成される。原料1tあたりに換算すると, バイオガス17.1Nm<sup>3</sup>(メタン9.97 Nm<sup>3</sup>, 二酸化炭素7.19 Nm<sup>3</sup>)と消化液0.85tが生成される。発酵槽に投入されたもののうち, 原料から夾雑物を除いたものに含まれるCの21%がメタンとして回収された。原料に含まれる肥料成分のN, P, Kは, 夾雑物として取り除かれるもの, アンモニアとして揮散(測定は行っていない)する以外は, ほぼ全量消化液に振り分けられる。

Table 8(a), Table 8(b)を比較すると, トラブル期間を含む全期間の日平均値は, トラブル期間を含まない正常運転期間の平均値よりも原料投入量が5%少なく, メタンの生成量も5%少ない。このように, 山田バイオマスプラントでは, 夾雑物脱水機のトラブルにより, 設計通りの性能が発揮できない期間が生じ, メタン発生量は5%減少した。この値はあくまでも山田バイオマスプラントにおいて, トラブルによりプラントの能力がどの程度低下したかを示した一例であり, 他のプラントに当てはまる話ではない。しかし, プラント運転にはトラブルはつきものであるため, 正常に運転できている期間だけに着目し, そのデータでプラントの性能, 環境負荷低減効果等を試算する時には留意する必要があるといえる。

#### b 消化液固液分離過程の物質収支

消化液固液分離過程の物質収支をTable 9に示す。この過程では, 消化液に無機凝集剤, 高分子凝集剤を混合して, 脱水機で固液分離する過程である。消化液1tに対して, 無機凝集剤のポリ硫酸第二鉄3.7kg, 高分子凝集剤3.0kg, 高分子凝集剤の希釈水0.24tを添加する。それに対して生成物として, 脱水ろ液1.13t, 脱水ケーキ0.12tが生成される。

固液分離過程を経て, CとPの大部分が脱水ケーキに, Kは大部分が脱水ろ液に振り分けられる。Nは脱水ケーキと脱水ろ液にほぼ1:1で振り分けられる。脱水ろ液

**Table 8** メタン発酵過程の物質収支  
Material balance in methane fermentation process

## (a) 平均 (2007.3-2009.8)

1日あたりの物質収支						原料 1t あたりの物質収支					
<b>IN</b>	C	N	P	K	重量	<b>IN</b>	C	N	P	K	重量
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(t/d)		(kg/原1t)	(kg/原1t)	(kg/原1t)	(kg/原1t)	(kg/原1t)
乳牛ふん尿	150.11	8.55	2.53	7.41	2.22	乳牛ふん尿	32.26	1.84	0.54	1.59	0.48
牛ふん脱離液	29.67	5.29	1.26	5.01	1.79	牛ふん脱離液	6.38	1.14	0.27	1.08	0.38
野菜汁	10.43	0.99	0.18	1.74	0.65	野菜汁	2.24	0.21	0.04	0.37	0.14
計	190.21	14.83	3.97	14.16	4.66	計	40.88	3.19	0.85	3.04	1.00
<b>OUT</b>	C	N	P	K	重量	<b>OUT</b>	C	N	P	K	重量
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(t/d)		(kg/原1t)	(kg/原1t)	(kg/原1t)	(kg/原1t)	(kg/原1t)
夾雑物	79.26	3.14	0.80	1.82	0.59	夾雑物	17.03	0.67	0.17	0.39	0.13
CH <sub>4</sub> (バイオガス)	24.88	0.00	0.00	0.00	0.03 (46.4Nm <sup>3</sup> /d)	CH <sub>4</sub> (バイオガス)	5.35	0.00	0.00	0.00	0.01 (9.97Nm <sup>3</sup> /原1t)
CO <sub>2</sub> (バイオガス)	17.93	0.00	0.00	0.00	0.07 (33.5Nm <sup>3</sup> /d)	CO <sub>2</sub> (バイオガス)	3.85	0.00	0.00	0.00	0.01 (7.19Nm <sup>3</sup> /原1t)
消化液	38.78	13.42	2.12	12.72	3.96	消化液	8.33	2.88	0.46	2.73	0.85
計	160.85	16.56	2.92	14.54	4.65	計	34.56	3.55	0.63	3.12	1.00

## (b) 安定運転期間 (2007.3-2009.8のうち、トラブル期間 (2008.12.24-2009.3.8) を除いた期間)

1日あたりの物質収支					
<b>IN</b>	C	N	P	K	重量
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(t/d)
乳牛ふん尿	166.29	9.47	2.80	8.21	2.45
牛ふん脱離液	29.41	5.24	1.25	4.97	1.78
野菜汁	10.86	1.03	0.19	1.81	0.67
計	206.56	15.74	4.24	14.99	4.90
<b>OUT</b>	C	N	P	K	重量
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(t/d)
夾雑物	87.58	3.47	0.88	2.01	0.66
CH <sub>4</sub> (バイオガス)	26.06	0.00	0.00	0.00	0.03 (48.7Nm <sup>3</sup> /d)
CO <sub>2</sub> (バイオガス)	18.78	0.00	0.00	0.00	0.07 (35.1Nm <sup>3</sup> /d)
消化液	40.57	14.04	2.22	13.31	4.14
計	172.99	17.51	3.10	15.32	4.90

**Table 9** 消化液固液分離過程の物質収支  
Material balance in digested solid-liquid separation process

消化液 1t あたりの物質収支					
<b>IN</b>	C	N	P	K	重量
	(kg/消1t)	(kg/消1t)	(kg/消1t)	(kg/消1t)	(t/消1t)
消化液	9.79	3.39	0.54	3.21	1.00
ポリ硫酸第二鉄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0037
高分子凝集剤	0.50	0.06	0.00	0.00	0.0030
高分子凝集剤	0.54	0.34	0.00	0.62	0.24
希釈水					
計	10.83	3.79	0.54	3.83	1.25
<b>OUT</b>	C	N	P	K	重量
	(kg/消1t)	(kg/消1t)	(kg/消1t)	(kg/消1t)	(t/消1t)
脱水ケーキ	9.31	1.11	0.56	0.39	0.12
脱水ろ液	2.53	1.60	0.01	2.93	1.13
計	11.84	2.71	0.57	3.32	1.25

**Table 10** メタン精製過程の物質収支  
Material balance in methane refining process

バイオガス 1Nm <sup>3</sup> あたりの物質収支			
<b>IN</b>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	容積
	(Nm <sup>3</sup> )	(Nm <sup>3</sup> )	(Nm <sup>3</sup> )
バイオガス	0.58	0.42	1.00
計	0.58	0.42	1.00
<b>OUT</b>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	容積
	(Nm <sup>3</sup> )	(Nm <sup>3</sup> )	(Nm <sup>3</sup> )
製品メタンガス	0.54	0.02	0.56
オフガス	0.04	0.40	0.44
計	0.58	0.42	1.00

に振り分けられた N の大部分は NH<sub>4</sub>-N であり、有機態 N の大部分は脱水ケーキに振り分けられたと考えられる。

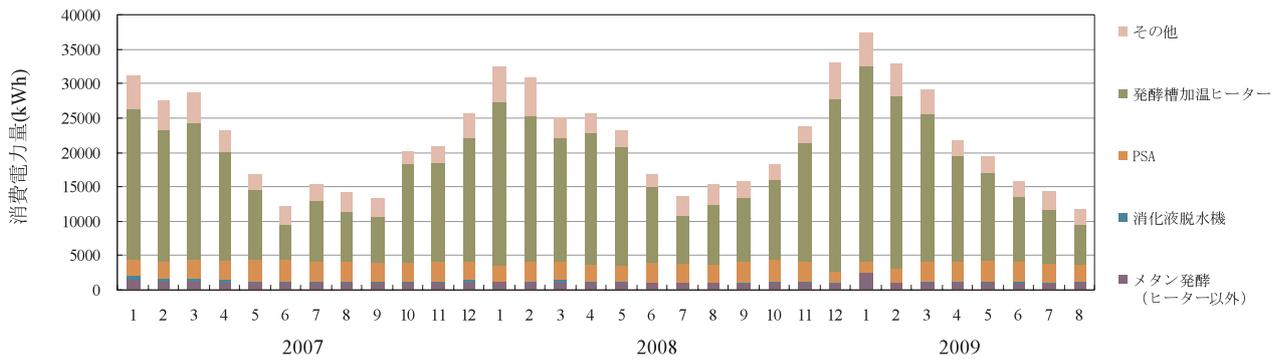
## c メタン精製過程の物質収支

メタン精製過程の物質収支を **Table 10** に示す。バイオガス 1Nm<sup>3</sup> は、PSA 装置により精製されて、製品メタンガス 0.56 Nm<sup>3</sup> ができ、残り 0.44 Nm<sup>3</sup> がオフガスとし

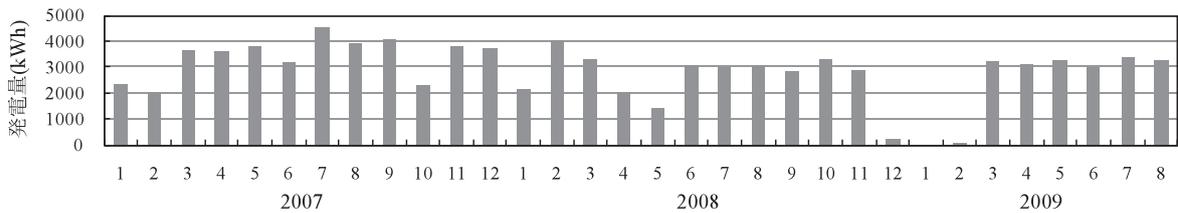
て大気に放出される。メタンの回収率 (バイオガスに含まれるメタンのうち、製品メタンガスとして回収できた割合) は、93%であった。

## 4 電力消費量, 発電量

各設備・施設の消費電力量を **Fig.7** に示す。山田バイオマスプラント全体の電力消費量は夏に少なく、冬に多



**Fig.7** 各施設・設備の消費電力量  
Electric power consumption of each facility



**Fig.8** 発電量  
Electricity generation

いという季節変動を示した。各設備・施設ごとの消費電力量をみると、季節変動をしているのは発酵槽加温用の電気ヒーターのみであり、その他の設備・施設については、トラブルの影響で運転を停止している期間（例えば、2009年1月のPSA）を除けば、電力消費量は年間を通じてほぼ一定であった。前述のとおり、山田バイオマスプラントでは実験用のメタンガスを生み出すため、発酵槽の加温のために電気ヒーターを用いている。また、発酵槽加温用の熱をコジェネレーションからの廃熱やその他の熱源から確保できていれば、電気ヒーターによる電力消費は考慮する必要はない。

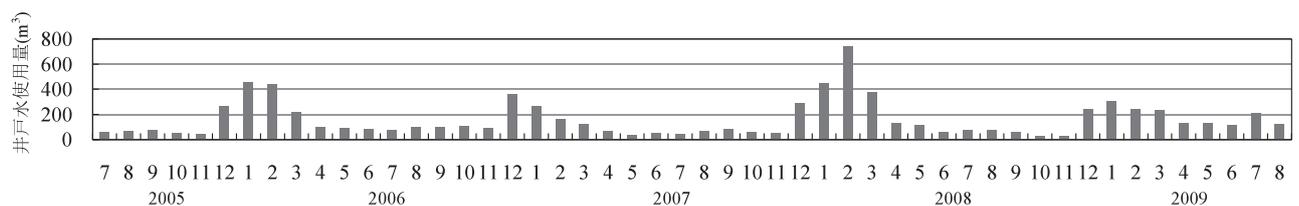
2007年4月から2009年3月までのメタン発酵施設（加温ヒーター除く）の日平均消費電力量、原料1tあたりの消費電力量は、それぞれ39.9kW/d、8.6kW/原料1tである。加温ヒーターの日平均消費電力量、原料1tあたりの消費電力量は、それぞれ499kWh/d、108kWh/d/原料1tである。固液分離される消化液1tあたり消化液固液分離過程の消費電力量は、8.1kWh/消化液1tである。また、PSA装置の消費電力は、バイオガス1Nm<sup>3</sup>あたり

1.3kWhであった。上記で示した消費電力の原単位はあくまでも山田バイオマスプラントに設置されている施設・装置での値であり、大きい施設・設備ではスケールメリットが発揮され、単位処理量あたりの電力消費量は小さくなると考えられる。

コジェネレーションによる発電量を **Fig.8** に示す。発電量が少ない月は、コジェネレーションの原料である製品メタンガスを製造する PSA が不調の時期である。

### 5 井戸水使用量

井戸水使用量を **Fig.9** に示す。井戸水使用量は高温期に少なく、低温期に多い傾向が見られた。場内清掃や液肥散布車の洗浄に用いる量は年間を通してほぼ同量である。低温期に消費量が多いのは、管路の凍結対策による消費である。Ⅳ. 1のトラブルに関する節で述べたように、2005年12月から2006年2月にかけて管路が凍結し、破裂するトラブル（トラブル事例6、7、8）があったため、その教訓として、クーリングタワーの水を常に流すなど、凍結を防止する対策をとっているためである。



**Fig.9** 井戸水使用量  
Well water use

## 6 臭気

Table 11 に臭気の測定結果と悪臭防止法に定める規制基準の範囲（この範囲の中で、都道府県知事等が地域の実情に応じて規制基準を定める）を示す。測定は2005年から2009年の間に7回行っている。季節、天候、風速等の環境条件の影響を受けるが、環境条件の多様な7回の測定を行うことにより、平均的な結果が得られた。2006年までに行った前半3回の測定は、炭化装置が稼働している状況、2007年以降の4回は炭化装置が稼働していない状況である。

悪臭成分の濃度は全体的に低く、山田バイオマスプラントから発生する臭気は問題となる濃度ではないと判断できる。その中で炭化装置が稼働していた前半3回の測定では、アンモニア、硫化水素の濃度がやや高かったが、規制基準程度であった。後半の4回は炭化装置が稼働しておらず、メタン発酵施設、PSA、コジェネレーションが稼働している状況で測定を行った。その場合、悪臭物質はすべて検出限界以下であった。臭気指数に関しても炭化装置が稼働している時の測定値がやや大きかったが、炭化装置が稼働せずメタン発酵、PSA等だけが稼働している時の臭気指数は小さかった。2009年7月の測定は、雨の中での測定であったため、湿度が高く、臭気指数がやや高くなったと思われる。

以上のことから、山田バイオマスプラントでの悪臭物質濃度は低く、臭気は少ない施設であると判断できた。メタン発酵プラントは発酵槽や原料受入ピットなどは密閉系であるので、臭気は少ない施設であると推察される。

なお、山田バイオマスプラントは牛舎や堆肥舎が隣接しており、測定された臭気にはそれら施設由来の臭気も含まれている。また、山田バイオマスプラントは各施設・設備から敷地境界までの距離が近く、特に、炭化装置からの排ガスの排出位置から臭気測定用ガスの採取口までの距離が約3m（水平距離）と近かった。そのため、濃度および臭気指数が高めの値となった可能性がある。

## V 結言

本報では、山田バイオマスプラントの約4年間におけるトラブル記録、運転データを解析し、メタン発酵プラントにおける物質収支、エネルギー消費の特徴、トラブルがプラントの運転に与える影響を明らかにした。

山田バイオマスプラントでは「オガクズ」、「凍結」、「硫化水素」、「部品消耗・長期運転の影響」が原因の各種トラブルが発生した。運転開始当初は、乳牛ふん尿に想定以上の割合のオガクズが混入していたことによる脱水機等の詰まり、冬季に想定以上の低温にさらされたことによる管路の凍結等のトラブルが多く、同じ乳牛ふん尿でも飼養形態によって排出される性状が異なることを認識してプラントの設計をすること、周辺の気象観測データだけではなくプラントの建設予定地の微地形を考慮に入れて気象条件を検討することが必要であることが示唆された。また、硫化水素は重大なダメージを与えるので、硫化水素濃度の変動を注視し、脱硫塔の機能低下前に交換を行うことが重要であること、運転開始後2年を経過した頃から部品の消耗が急激に増加することから、交換部品の用意等の対応が必要であることが示された。以上の情報はメタン発酵プラントの安定的な運転に寄与できる。

山田バイオマスプラントの運転実績から、原料投入量5t/d規模のメタン発酵プラントにおけるメタン発酵過程、消化液脱水過程、メタン精製過程の物質収支および各施設・装置の消費電力の原単位を整理することができた。メタン発酵過程では、原料1tあたりバイオガス17.1Nm<sup>3</sup>（メタン9.97Nm<sup>3</sup>、二酸化炭素7.19Nm<sup>3</sup>）と消化液0.85tが生成され、消費電力は原料1tあたり8.6kWである。また、消化液固液分離過程では、消化液1tに対して、脱水ろ液1.13t、脱水ケーキ0.12tが生成され、消費電力量は消化液1tあたり8.1kWhである。ここで得られた原単位は、メタン発酵プラント導入による化石エ

Table 11 臭気の測定結果  
Results of odor measurement

	単位	2005.12.13	2006.10.11	2006.12.13	2007.9.10	2007.12.6	2008.8.13	2009.7.21	定めることができる 規制基準の範囲※
アンモニア	ppm	0.05	0.09	0.23	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1～5
メチルメルカプタン	ppm	0.0005	<0.0001	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002～0.001
硫化水素	ppm	0.050	0.0021	0.0004	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02～0.2
硫化メチル	ppm	0.0007	0.0002	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01～0.2
二硫化メチル	ppm	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009～0.1
トリメチルアミン	ppm	-	-	-	-	-	-	<0.0005	0.005～0.07
プロピオン酸	ppm	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.03～0.2
ノルマル酸	ppm	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.001～0.006
ノルマル吉草酸	ppm	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0009～0.004
イソ吉草酸素	ppm	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.001～0.01
臭気指数	-	20	13	13	<10	<10	<10	16	10～21

※ 規制規準は、悪臭防止法施行規則で定めた基準の範囲内で、地域の実情に応じ、県知事が定める。

エネルギー削減効果、地球温暖化防止効果等を評価するための基礎データとして活用できる。

山田バイオマスプラントでの悪臭物質濃度は低く、臭気は少ない施設であると判断できた。メタン発酵プラントは発酵槽や原料受入ピットなどは密閉系であるので、臭気は少ない施設であると推察される。

山田バイオマスプラントは現在も継続して運転を行っている。メタン発酵プラントのより安定的な運転方法を提案するために、今後もデータの蓄積を行っていく予定である。

### 参考文献

- 1) 悪臭法令研究会 (2001)：四訂版ハンドブック悪臭防止法，ぎょうせい，東京 p.268-329
- 2) 独立行政法人北海道開発土木研究所 (2005a)：積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト最終成果報告書，p.334-475
- 3) 独立行政法人北海道開発土木研究所 (2005b)：積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト最終成果報告書，p.354-355
- 4) 独立行政法人北海道開発土木研究所 (2005c)：積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト最終成果報告書，p.396-397
- 5) 独立行政法人北海道開発土木研究所 (2005d)：積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト最終成果報告書，p.334-475
- 6) 中川悦光 (2007)：南丹市八木バイオエコロジーセンターの資源循環 -メタン施設が8年を経過したことに伴う2005年度設備改修を顧みて-，共同利用型バイオガスプラントの課題と展望に関するシンポジウム資料，独立行政法人土木研究所，p.1-13
- 7) 中村真人・柚山義人・山岡 賢・藤川智紀 (2007)：メタン発酵プラントにおける物質収支と消化液および消化液脱水ろ液の肥料特性，農土論集，249，p.107-113
- 8) 中村真人・藤川智紀・柚山義人・前田守弘・山岡 賢 (2009)：メタン発酵消化液の施用が畑地土壤からの温室効果ガス発生と窒素溶脱に及ぼす影響，農業農村工学会論文集，264，p.17-26
- 9) 野池達也 (2009)：メタン発酵，技報堂出版，東京，16p
- 10) 農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」(2007a)：アグリ・バイオマスタウン構築へのプロローグ，p.14-32
- 11) 農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」(2007b)：アグリ・バイオマスタウン構築へのプロローグ，p.71-72
- 12) 農林水産省 (2002)：バイオマス・ニッポン総合戦略，<http://www.maff.go.jp/j/biomass/> (最終確認日：2009年11月4日)
- 13) 李 玉友 (2005)：バイオマス利活用 (その3) -メタン発酵技術-，農業土木学会誌，73(8)，p.77-82
- 14) 柚山義人・中村真人・山岡 賢 (2007)：メタン発酵消化液の利活用技術，農業土木学会論文集，247，p.119-129

# Trouble Records and Analysis of Operation Data for Methane Fermentation Plant

– A Case Study at Yamada Biomass Plant –

NAKAMURA Masato, YUYAMA Yoshito, YAMAOKA Masaru, ORITATE Fumiko,  
FUJIKAWA Tomonori, SHIMIZU Natsuki, ABE Kunio and AIHARA Hideki

## Summary

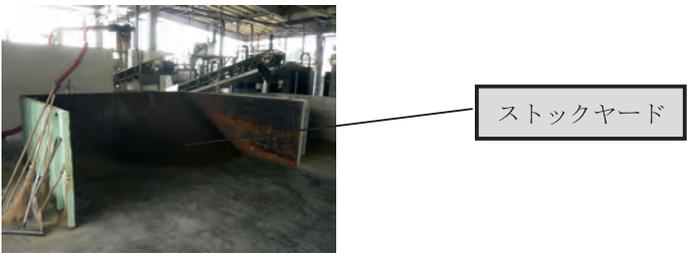
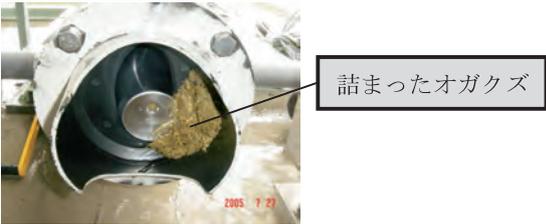
Methane fermentation is a biomass conversion process to produce energy as methane and fertilizer as digested liquid from feedstock biomass such as livestock wastes and food residues. Little data is available on the operation of methane fermentation plants, so it is important to collect such data. This paper describes material balance, energy consumption, odors from the plant and troubles that have occurred in the methane fermentation plant (Yamada Biomass Plant) during the last four years. The following conclusions were made

- (1) Basic information on material balance and energy consumption in methane fermentation processes can be used to evaluate the effects of the application of methane fermentation technology on fossil energy reduction and global warming prevention.
- (2) A troubles list that contains “causes of troubles”, “measures against troubles” and “lessons learned” can contribute to stable operation of methane fermentation plants.
- (3) Concentrations of malodorous substances at the methane fermentation plant were low, so odor around a methane fermentation plant is considered negligible.

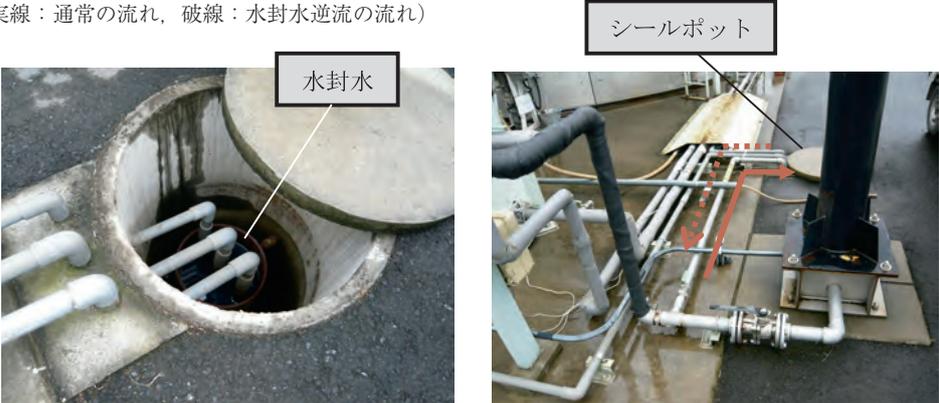
**Keywords :** methane fermentation, methane refining, digested liquid, troubles list, material balance, energy consumptions, odor

## Appendix

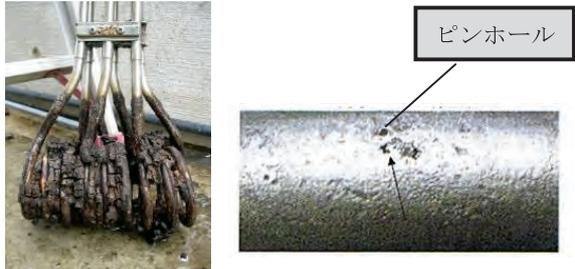
## トラブルリスト

事例番号	1	日時	2005.7	分類	オガクズ
件名	設計値と比較してバイオガス発生量が少ない。				
事象・原因	原料を提供いただいた乳牛農家の飼養形態が、オガクズを敷料として用いるフリーストール方式であったため、牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかった。そのため、単位原料あたりのバイオガス発生量が設計値より少ない。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>畜産農家のご協力により、敷料に用いるオガクズの量を極力減らした。</li> <li>2007年3月からは原料の乳牛ふん尿の一部を牛ふん脱離液に変更（オガクズ使用量の少ない飼養形態から排出される乳牛ふん尿を想定）したことにより、バイオガス発生量はほぼ設計値となった。</li> </ul>				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>同じ乳牛ふん尿でも飼養形態によって性状が異なることを認識し、想定している原料の性状を確認してから施設の設計を行う。</li> <li>できるだけ敷料が混合しない飼養形態の畜産農家のふん尿を用いる。</li> </ul>				
備考					
写真					
事例番号	2	日時	2005.7	分類	オガクズ
件名	夾雑物搬出量が多い。				
事象・原因	牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかったため夾雑物量が多く、夾雑物の排出作業（隣接の堆肥舎へ運搬する作業）を1日に8回程度行う必要があり、労力が大きかった。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>畜産農家のご協力により、敷料に用いるオガクズの量を極力減らした。</li> <li>夾雑物ストックヤードを設置し、1日分の夾雑物をストックできるようにした。</li> <li>小型ホイールローダーとダンプカーを使用して、夾雑物の搬出・運搬作業を効率化した。</li> </ul>				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>できるだけ敷料が混合しない飼養形態の畜産農家のふん尿を用いる。</li> <li>中間生成物を一時貯留できる場所の確保が必要。</li> </ul>				
備考					
写真	設置したストックヤード。 				
事例番号	3	日時	2005.8.19	分類	オガクズ
件名	夾雑物脱水機の詰まり				
事象・原因	牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかったため、夾雑物脱水機内でオガクズが詰まり、夾雑物脱水機が停止した。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管の清掃を行い、復旧した。</li> <li>畜産農家のご協力により、敷料に用いるオガクズの量を極力減らした。</li> <li>オガクズ以外の混入物（タオル、軍手、ビニール等）の混入を防止するため、原料受入ピットに簡易スノコ（人間の転落防止対策も兼ねる）を設置した。</li> </ul>				
教訓	できるだけ敷料が混合しない飼養形態の畜産農家のふん尿を用いる。				
備考					
写真	脱水機にオガクズが詰まった様子。 				

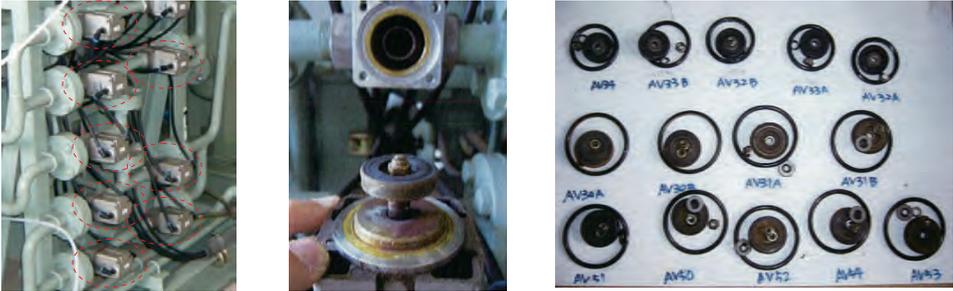
事例番号	4	日時	2005.9	分類	オガクズ
件名	消化液オーバーフロー管の詰まり				
事象・原因	牛ふん中のオガクズ割合が想定より大きかったため、メタン発酵槽の出口においては、オーバーフロー管が詰まった。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配管の清掃を行い、復旧した。</li> <li>・畜産農家のご協力により、敷料に用いるオガクズの量を極力減らした。</li> <li>・消化液循環ポンプ設置し、オーバーフロー管の中を消化液が常に循環させることにより、固形分が滞留しないようにした。</li> <li>・正転、逆転の切り替えが可能な消化液循環ポンプを設置することにより、詰まりが生じてても、ポンプの正転、逆転操作により、詰まりを取り除くことができるようになった。</li> </ul>				
教訓	できるだけ敷料が混合しない飼養形態の畜産農家のふん尿を用いる。				
備考					
写真					
事例番号	5	日時	2005.9.27	分類	その他
件名	消化液貯留槽満杯				
事象・原因	貯留槽の容量が発酵槽から排出される消化液の約20日分の容量(約100m <sup>3</sup> )と小さく、また、消化液の利用先が決まっていなかったため、消化液貯留槽がほぼ満杯(消化液貯留量が貯留槽の上端から66cm)となった。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原料投入を中断した。</li> <li>・利用しきれない消化液を固液分離して、脱水ろ液とし、一時的に近隣施設の排水処理ラインに投入した。</li> </ul>				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>・消化液を全量利用する計画であっても、プラント運転初期には、利用先の確保が難しかったり、トラブルが生じたりするので、最悪の場合を想定して廃棄先についても検討しておく。</li> <li>・貯留槽の容量を大きめに設計する(利用が円滑に進んでいけば容量は大きい必要はないが、プラント運転稼動初期は散布先を見つけることが難しい)。</li> </ul>				
備考	貯留槽の容量を発酵槽から排出される消化液の約20日分の容量としたのは、山田バイオマスプラントが研究プロジェクトの試作機であり、予算の制約があったためでもある。				
写真					
事例番号	6	日時	2005.12-2006.2	分類	低温
件名	ライン凍結、配管の破損				
事象・原因	低温によりラインが凍結し、配管が破損した。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配管を保温材(毛布、保温テープ等)で巻く。</li> <li>・クーリングタワーの冷却水を常に流す。</li> </ul>				
教訓	・周辺の気象観測所のデータだけでなく、現地の微気象も考慮に入れて設計を行う。				
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2005年～2006年の冬は気温が低い日が多かった。</li> <li>・プラントが窪地にあるため、周囲よりも気温が低いという事情もあった。</li> </ul>				
写真	<p>配管を保温材(毛布、保温テープ等)で覆っている様子。</p> 				

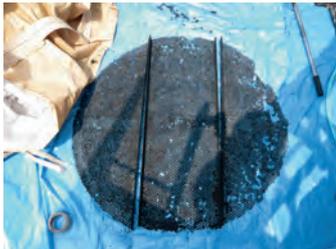
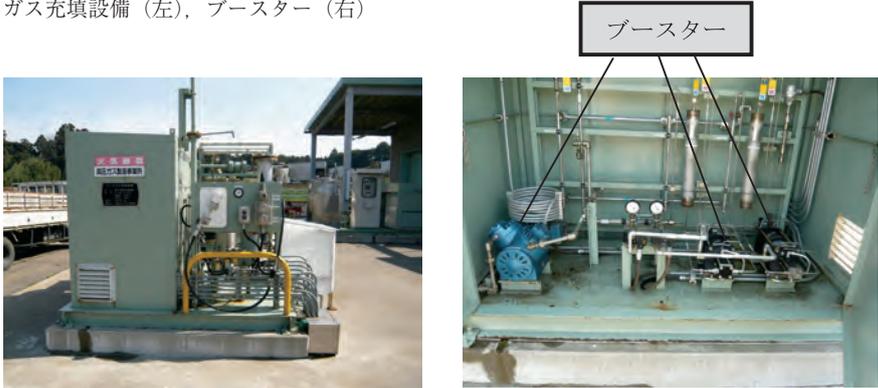
事例番号	7	日時	2006.2	分類	低温
件名	バイオガス流量計故障				
事象・原因	発酵槽から出た直後のバイオガスは約 37℃で、水分は飽和している。冬季には低温になり、バイオガス配管（発酵槽から PSA 装置までのバイオガスが通る配管）でバイオガス中の水蒸気が結露、凍結した。凝結水が凍り流量計が破損した。				
対策とその結果	・配管を保温材（毛布、保温テープ等）で巻く。				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発酵槽から出てくるバイオガスには水蒸気が含まれているので、そのラインが低温にさらされると結露し、凍結する危険性があることを認識しておく。</li> <li>・周辺の気象観測所のデータだけでなく、現地の微気象も考慮に入れて設計を行う。</li> </ul>				
備考					
写真	保温テープで流量計を保温している様子。 				
事例番号	8	日時	2005.12-2006.2	分類	低温
件名	バイオガス配管の凍結による水封水の吸引				
事象・原因	バイオガスラインには排水ラインがあり、シールポットでシールされている。バイオガス配管の発酵槽から脱硫塔までの部分が凍結し閉塞したため、PSA を運転した時に、発酵槽からのバイオガスを吸引できず、脱硫塔-PSA 間の排水ラインから水封水が吸引され PSA 装置内に入り、PSA 装置のガス精製能力を低下させた。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品ガス流量を 2.5Nm<sup>3</sup>（通常、3.5Nm<sup>3</sup>）と負荷の少ない条件で運転して、吸着剤を再生させようとした。3週間後にはほぼ回復した（ただし、ダメージが残っており、2007～2008年の不調の原因の一つとなったと考えられる）。</li> <li>・PSA 入口ガス圧力 LL で PSA をシャットダウンするようにした。</li> </ul>				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発酵槽から出てくるバイオガスには水蒸気が含まれているので、そのラインが低温にさらされると結露し、凍結する可能性があることを認識しておく。</li> <li>・周辺の気象観測所のデータだけでなく、現地の微気象も考慮に入れて設計を行う。</li> </ul>				
備考					
写真	シールポット（左）とシールポット周辺の配管（左） （実線：通常の流れ、破線：水封水逆流の流れ） 				

事例番号	9	日時	2006 年前半	分類	その他
件名	メタン濃度計の不良				
事象・原因	メタン濃度の指示値が 50～65% の範囲で日変動（昼間高く、夜間低い）した。原因ははっきりしないが、屋外に設置したこと（メーカーの推奨は屋内設置）、バイオガス配管内の結露水の影響が考えられる。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・濃度計を屋内に移設した。</li> <li>・ガスドライヤーで処理したガスを測定するように、ラインの変更を行った（ライン変更前は除湿前の水蒸気で飽和したガスの濃度を測定していた）。</li> <li>・配管を保温材（毛布、保温テープ等）で巻く。</li> </ul>				
教訓					
備考					
写真	メタン濃度計（左）、 ガスドライヤー（右） 				
事例番号	10	日時	2006.6, 2007.6, 2009.6	分類	その他
件名	うじ虫（ハナアブの幼虫）の発生				
事象・原因	原料受入ピットにハナアブの幼虫（うじ虫）が発生した。				
対策とその結果	受入ピット周辺部の隙間をビニールテープで密閉。（メタン発酵菌を殺す可能性があったため、消毒薬は使えなかった。）				
教訓	ハナアブの這出口を密閉することが有効である。ただし、完全に防ぐことは難しい。				
備考					
写真					
事例番号	11	日時	2006.7	分類	その他
件名	配管の閉塞				
事象・原因	消化液脱水機に無機凝集剤（ポリ鉄）を添加する配管で結晶が析出して配管が閉塞した。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転休止中は配管内を空にできるように、凝集剤を抜くための液抜きバルブを取り付けた。</li> <li>・発酵槽から出てきた消化液が直接消化液貯留槽に入るラインであったが、ライン変更を行い、閉塞を起した配管を経由して消化液貯留槽に流れるようにした（配管内に液が滞留することがなくなった）。</li> </ul>				
教訓	消化液脱水機を連続運転していれば、起こりにくい事象である。山田バイオマスプラントのようにバッチ運転を行う場合には注意が必要。				
備考					
写真	閉塞した管路（左）、管路に詰まった析出物（右） 				

事例番号	12	日時	2006.8	分類	硫化水素
件名	脱硫塔の機能低下の見過ごし				
事象・原因	<p>脱硫塔の機能低下を見過ごしたことにより、脱硫塔通過後のバイオガス中の硫化水素濃度が最高約 300ppm に達した。下流側にある PSA 装置の吸着剤、真空ポンプのダイヤフラム、圧縮機、昇圧機、切替弁、流量計に悪影響を与えたと想定された。</p> <p>原因は、2006 年 8 月から硫化水素濃度の値が上昇していたが、計測値が正しくないと思いこんでいたため放置したこと、メタン濃度と硫化水素濃度の計測は独立しているが、計器が一体であったことから、メタン濃度計測値の信頼度低下の影響を受けたことである。</p>				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検知管によるクロスチェック</li> <li>・脱硫剤の取り替え（1 回/年必要と考えられる）</li> </ul>				
教訓	<p>脱硫の不良は周辺機器に重大な損傷を与えるため慎重な対応が必要。脱硫剤の劣化する周期を把握し、早めに交換することが必要。</p>				
備考					
写真	<p>脱硫剤交換の様子。</p> 				
事例番号	13	日時	2006 後半	分類	その他
件名	メタンガス貯留タンクが満杯。				
事象・原因	<p>日常運転時のメタンガスの用途がメタントラックとフォークリフトだけであるため（2006 年当時）、使い切れず、メタンガスの貯蔵量がタンクいっぱいとなった。そのため、PSA 装置の運転を一時中断した。</p>				
対策とその結果	<p>メタンガスを消費するために、バイオマスボイラーでの消費運転を行った。 また、バイオガスはフレアスタックで燃焼した。</p>				
教訓	<p>プラント管理用の車（軽トラ、フォークリフト）だけではメタンガスを消費しきれない。得られたガスを有効に消費するためには、小型のコジェネレーションの設置が必要である。</p>				
備考	<p>実証研究だから起こるトラブルである。実際の事業ではガスの使用計画を立てているので問題がない。</p>				
写真					
事例番号	14	日時	2007.4	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	加温ヒーターのショートによる部分停電発生。				
事象・原因	<p>発酵槽加温用水槽の水の更新やスケール防止剤の添加を行っていなかったため、加温ヒーター 4 本にピンホールが発生、ショートして部分停電発生した。</p>				
対策とその結果	<p>加温用水槽の水 65 t の入れ替え、スケール防止剤を 5kg 添加、ヒーター入れ替え。</p>				
教訓	<p>発酵槽の加温用水槽にはスケール防止剤を添加し、定期的に入れ替える必要がある。</p>				
備考	<p>実証研究だから起こるトラブルである。本研究では生成メタンガスの多様な用途に用いる実験をするために、生成されたバイオガスをコジェネレーションの燃料とせずに、ほぼ全量 PSA で精製している。発酵槽加温用の熱源をコジェネレーションの廃熱から利用できないため、加温ヒーターを用いている。実際の事業では、加温ヒーターを用いることはないで、問題がない。</p>				
写真	<p>電気ヒーター（左）、 電気ヒーターにできたピンホール（右）。</p> 				

事例番号	15	日時	2007 年前半	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	フレアスタックが点火せず				
事象・原因	雨水が入りスパーク装置が腐食したため、フレアスタックが点火しなかった。				
対策とその結果	スパークプラグ交換（交換頻度 1 回 / 1 年）				
教訓	定期的点検修理が必要。				
備考					
写真	スパークプラグ交換の様子。  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">フレアスタック</span>				
事例番号	16	日時	2007.10	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	PSA 装置の真空ポンプのダイヤフラム破損。				
事象・原因	PSA 装置の真空ポンプのダイヤフラムが破損したため、PSA 装置の運転をしばらく休止した。PSA 装置を休止するまでの間、破損状態で運転が継続したため、吸着剤が真空再生されていなかったことにより、製品ガス濃度が低下した。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダイヤフラムの交換。</li> <li>・製品ガス流量を 2.1Nm<sup>3</sup>/h（通常、3.5Nm<sup>3</sup>/h）と負荷の少ない条件で運転して、吸着剤を再生させようとした。</li> </ul>				
教訓	・ダイヤフラムの交換時期を計算し、破損前に交換を行う。				
備考					
写真	真空ポンプ（左）、ダイヤフラム（右）。 				
事例番号	17	日時	2007～2008	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	コンベアーロール摩耗				
事象・原因	夾雑物脱水機、消化液脱水機の固分を排出するコンベアーのコンベアーロールが摩耗した。				
対策とその結果	交換を行った。				
教訓	すぐに復旧できるように予備品をもつ。				
備考					
写真	 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">コンベアー</span>				

事例番号	18	日時	2008.1	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	夾雑物脱水機の不調				
事象・原因	夾雑物がうまく絞れず、含水率が高い状態のものが排出されていた。原因は、夾雑物脱水機のスクリーンの磨耗。				
対策とその結果	スクリーンを交換した。また、今度同様の不調が発生した時用にスクリーンの予備を作成した。また、外筒に変形が見られ新作した。				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>定期的な点検が必要。</li> <li>交換部品（スクリーン等）を用意しておき、原料投入ができない期間を最短にする（脱水機が壊れると牛ふん投入ができず処理が滞るため、早めの部品交換が必要である）。</li> </ul>				
備考					
写真	夾雑物脱水機の交換部品。 スクリュー（左）、外筒（右）。 				
事例番号	19	日時	2008	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	受入ピットのスノコの腐食				
事象・原因	受入ピットの転落防止用の安全スノコ（鉄）が腐食した。				
対策とその結果	すのこを更新した。材質は鉄からステンレスに変更した。				
教訓	ふん尿に直接さらされる部品は腐食しやすい。				
備考					
写真	受入ピット的安全スノコ。 				
事例番号	20	日時	2008.4.14	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	PSA 装置での空気作動弁の不調				
事象・原因	PSA 装置の空気作動弁のシール材が消耗した。				
対策とその結果	空気作動弁のシール材の交換。				
教訓	空気作動弁のシール材は消耗品なので、定期的に交換する必要がある。				
備考					
写真	空気作動弁（左）、空気作動弁を取り外した様子（中）、取り外したパッキンとシール材（右）。 				

事例番号	21	日時	2008.4	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	脱硫塔内のパンチングメタルの腐食				
事象・原因	パンチングメタルは脱硫塔の底部に設置されていて、脱硫剤を支える役割をしている。バイオガスは飽和水分を含有するため、一部が凝縮して液化する。その水に硫化水素が溶けて硫酸となり、パンチングメタルが腐食した。				
対策とその結果	パンチングメタルを交換した。				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パンチングメタルの腐食状況を予測し、定期的な交換する（2年に1回程度）。</li> <li>・脱硫剤の交換に際しては、腐食が進行している場合を想定して、交換用のパンチングメタルを用意することが望ましい。</li> </ul>				
備考					
写真	腐食したパンチングメタル。 				
事例番号	22	日時	2008.12	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	PSA装置の真空ポンプのダイヤフラムの破損				
事象・原因	PSA装置の真空ポンプのダイヤフラムの破損により、メタンを含むガスが漏れた。				
対策とその結果	ダイヤフラムを交換した。				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定期的な予防、保全が必要。</li> <li>・メタンが漏れると事故につながるため、破損する前にダイヤフラムを定期的に交換する。</li> </ul>				
備考					
写真					
事例番号	23	日時	2008.12	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	メタンガス充填設備のプースターの不調				
事象・原因	長期使用による磨耗により、メタンガス充填設備の充填圧力が所定の圧力まで上がらなくなった。				
対策とその結果	プースターの消耗部品（ピストンリング、ダイヤフラム）を交換した。				
教訓	定期的な予防、保全が必要。				
備考					
写真	メタンガス充填設備（左）、プースター（右） 				

事例番号	24	日時	2008.12-2009.3	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	受入ピット底部にたまった沈殿物による夾雑物脱水機の不調				
事象・原因	受入ピット底部に蓄積した沈殿物により、夾雑物脱水機が不調となった。プラントの運転開始後約3年半の間、受入ピットの清掃を行っていなかったため、受入ピットの底に原料の一部が蓄積したことが原因である。				
対策とその結果	プラント運転開始後初めて原料受入ピットを掃除し、回復した。				
教訓	定期的（3～4年に1回）に受入ピット内の沈殿物を除去する必要がある。				
備考					
写真					
事例番号	25	日時	2009.3	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	受入ピットへの原料以外のものの混入				
事象・原因	原料受入ピットの清掃を行った結果、原料以外の異物（手袋、石、釘、工具等）が見つかった。				
対策とその結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>原料供給者に原料の管理の徹底を依頼する。</li> <li>定期的な清掃が必要。</li> </ul>				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>原料供給者に原料の管理の徹底を依頼する。</li> <li>一方、ある程度の異物混入はやむをえないので、ピットの構造で異物を分離できるようにし、機器への致命的なダメージを避ける。</li> </ul>				
備考	受入ピットは原料に混入する異物を分離する役割を果たしている。				
写真	受入ピット清掃の様子（左）、受入ピットの底から出てきた異物（石、釘等）				
					
事例番号	26	日時	2006-2007	分類	硫化水素
件名	PSA 装置でのメタン収率の低下				
事象・原因	PSA 装置のメタン収率（バイオガス中のメタンのうち製品ガスとして回収した割合）が70～80%程度（設計値は90%以上）と低迷した。原因として、PSA 装置の空気作動弁のシール材の劣化、製品ガス流量計が故障していたため最適な運転条件で運転していなかったこと等が考えられる。製品ガス流量計が故障した原因は2006年8月に高濃度の硫化水素がPSA 装置に混入したことによると推察される。				
対策とその結果	電磁弁の交換、製品ガス流量計の修理・校正。				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>流量計は定期的に校正する必要がある。</li> <li>空気作動弁のシール材等の消耗部品の定期的な交換が必要。</li> </ul>				
備考					
写真					

事例番号	27	日時	2006-2007	分類	硫化水素
件名	製品ガス流量計の不調				
事象・原因	硫化水素により基盤が損傷し、流量計が正確な指示値を示さなくなっていた。				
対策とその結果					
教訓	・定期的な予防、保全が必要。				
備考					
写真	製品ガス流量計 				
事例番号	28	日時	2009.7	分類	部品の消耗・長期運転の影響
件名	脱硫塔のパッキンの劣化によるバイオガスの漏れ				
事象・原因	脱硫塔の上部にあるマンホールのパッキンの劣化により、バイオガスが漏れた。				
対策とその結果	脱硫塔内の圧力を落としてからパッキンを樹脂で固めて応急修理をした。				
教訓	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定期的に石鹼水を用いてガス漏れのチェックが必要。</li> <li>・脱硫剤の交換時にはパッキンの交換を行っているが、より慎重に作業を行う必要がある。</li> </ul>				
備考					
写真	脱硫塔 (左), 脱硫塔上部 (右) 				