

平成 31 年度環境省委託業務

平成 31 年度

CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業
(建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からの
バイオガス回収技術)

報告書

令和 2 年 3 月

株式会社 竹中工務店

平成 30 年度～平成 31 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からのバイオガス回収技術)

(株) 竹中工務店

1. 本事業の目的

食品小売業や外食産業店舗から排出される厨芥・厨房排水を対象とした、メタン発酵によりエネルギーを回収する技術では、油分 (n-hexane 抽出物質 (以下、n-Hex)) が多量に混入すると発酵阻害を起こすため、現在は事前に油分を一定量除去している。これまでの実績から、揮発性固形物または強熱減量 (以下、VS) を補完する副資材を投入することにより、油分を除去することなく処理できる可能性を考えた。そこで、本事業では、副資材の添加により高油分有機性廃棄物を安定的にメタン発酵可能なことを実証することを目的とした。

2. 実施内容

候補となる副資材を抽出し、化学分析、メタン発酵試験を実施し、調達容易性、経済性を評価することにより、最も有効と考えられる 2 種類の副資材を決定した。油分は凝集しやすく、実験室規模の小規模の試験ではその濃度制御が困難である。そこで、油分の濃度制御が可能な最小規模として 400L の発酵槽において、通常の原料に加えてグリーストラップスカム及び副資材を投入した高油分運転実証を行った。

3. 実施結果

①副資材の選定：副資材として抽出した 7 種 (厨芥乾燥物、パン粉くず、段ボール、廃糖蜜、廃シロップ、廃スターチ、米粉) についてバッチ試験を行った結果、食料と競合する米粉を除いて、バイオガス発生量の多かった厨芥乾燥物、廃シロップ、廃スターチを選定した。これらのジャーテストの結果では、いずれの副資材も VS 容積負荷 1 kg-VS/m³/日での良好な処理が確認できた。

②実証試験：処理可能な油分比 (VS 量に対する n-Hex の比率 (以下、n-Hex/VS)) は、n-Hex/VS=0.3~0.4 の範囲で良好に運転し、0.4~0.5 では n-Hex の蓄積及びガス発生量の低下等を確認したため、0.3 を設計値とした。また、VS 容積負荷は、VS 容積負荷 4.0 kg-VS/m³/日まで安定運転を確認できたため、3.5 kg-VS/m³/日を設計値とした。これらの設計条件において、厨芥、グリーストラップスカム、副資材を混合して原料とした運転実証を実施した。副資材として厨芥乾燥物を用いた運転を 2 系統実施し、両系統ともに安定運転を実証した。また、廃シロップでも安定運転を確認した。

既存のバイオガス施設の運転状況への採用を見据え、新たにグリーストラップスカム及び副資材として廃シロップを添加した運転への変更を模した実証運転を実施し、30 日間程度で立上げが可能なことを実証した。

③システム評価：厨芥 1 t/日、厨房排水 300m³/日のシステムについて評価した。省 CO₂ 性は 248 t/年と評価した。また、従来の副資材を活用しないシステムの投資回収年数が補助金なしで約 10 年に対して、本システムでは約 7.4~7.7 年へと短縮されると評価した。

2018-2019 Low Carbon Technology Research and Development and Demonstration Project

(Biogas recovery technology for high oil and fat organic waste produced in buildings)

Takenaka Corporation

1. Project objective

Current technologies employ methane fermentation to recover energy from kitchen waste, and waste water discharged from food retailers. In the food service industry, methane fermentation inhibition results if the waste contains large amounts of oil, and fat (n-hexane extract (n-Hex)), and a certain amount of oil and fat is therefore removed from the waste in advance. Guided by previous results, we considered the possibility of processing the waste without removing oil, and fat by introducing supplemental material that supplements ignition loss or volatile solids (VS). The objective of the project was to verify the ability to stably ferment methane from organic waste containing a high oil, and fat content by adding supplemental materials.

2. Implementation

Candidate supplemental materials were extracted, and chemical analysis and methane fermentation tests were conducted, followed by an assessment of procurement and cost viability. Two types of supplemental materials considered most likely to be effective were identified. Oil tends to agglutinate, and its concentration is difficult to control in tests conducted in laboratories with limited capacities. A high oil content test operation was thus conducted using standard raw materials to which grease trap sludge, and supplemental materials were added in a 400-liter fermenter (of the minimum size capable of controlling oil and fat concentrations).

3. Results

(1) Selection of supplemental materials: Seven types of waste were selected as supplemental materials. These were dried kitchen waste, bread crumb waste, cardboard, waste molasses, waste syrups, waste starch, and rice flour. From the results of batch experiments, it was determined that rice flour would be eliminated because it competes with food, and dried kitchen waste. Dried kitchen waste, waste syrups, and waste starch were selected because they produce a significant amount of biogas. The results of these jar tests indicate that all supplemental materials were processed well at a VS volumetric load of 1 kg-VS/m³ per day.

(2) Demonstration test: It was confirmed that the equipment operated well in the range of n-Hex/VS = 0.3 to 0.4, and the accumulation of n-Hex and amount of gas produced dropped in the range of 0.4 to 0.5 and hence, 0.3 was used as the design value for the processable proportion of oil and fat

(proportion of n-Hex to VS volume; hereinafter referred to as “n-Hex/VS”). In addition, stable operation was confirmed at up to 4.0 kg-VS/m³/day, 3.5 kg-VS/m³/day, and was therefore adopted as the design value for VS volumetric load. A test operation was conducted to implement these design conditions using a mixture of kitchen waste, grease trap sludge, and supplemental materials as raw materials. Two systems were operated using dried kitchen waste as a supplemental material, and both systems demonstrated stable operations. Stable operation was also confirmed using waste syrup.

With the aim of applying this system to existing operation conditions at biogas facilities, we conducted a test operation that simulated the impact on operations from the addition of grease trap sludge, and waste syrup as supplemental materials, and demonstrated that it would be possible to commence the system in approximately thirty days.

(3) System evaluation: The system was assessed based on a load of 1 ton of kitchen waste per day, and 300 m³ of kitchen waste water per day. The system was assessed as being capable of reducing CO₂ output by 248 tons per year. Furthermore, whereas the investment return period for conventional systems that do not utilize supplemental materials is approximately ten years without subsidies, the system described herein is estimated to be capable of shortening the return period to approximately 7.4 –7.7 years.

平成 31 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業
(建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からのバイオガス回収技術)

目 次

第 1 章 平成 31 年度業務概要	1
1. 業務の目的	1
2. 事業の全体像	2
1) 想定する開発システム	2
2) 技術開発の要素	3
3) 本事業での実施事項	3
(1) 副資材による高油分原料運転実証	3
(2) 商品化検討	4
(3) システム評価の実施	4
(4) 技術開発検討会の開催	4
3. 事業実施主体、実施体制	5
1) 事業実施主体	5
2) 実施体制	5
4. 目標設定	5
5. 事業スケジュール	7
第 2 章 平成 30 年度の成果概要	8
1. 副資材の選定	8
1) 副資材の抽出	8
2) バッチ試験結果	8
3) ジャーテスト結果	12
2. 既存施設のマテリアルバランスの把握	15
3. 実証設備の製作	17
4. 高油分比での運転実施	18
1) 生ごみの分析	18
2) グリーストラップスカムの分析	20
3) 油分比=0.2 での安定運転 (馴致)	22
4) 油分比を徐々に上昇させた運転の実施	24
第 3 章 平成 31 年度実証試験結果	26
1. 副資材による高油分原料運転実証	26
1) 運転条件の設定	26
(1) n-Hex/VS の設定	26

(2) 容積負荷の設定	33
(3) 副資材の選定	37
2) 運転実証の実施	38
(1) 最も広く調達可能な副資材による運転実証	38
(2) 実証機への導入を見越した運転実証	46
(3) 運転実証で使用した副資材の比較	54
2. 商品化検討	56
1) 酸発酵試験の実施	56
(1) 試験概要	56
(2) 試験方法	56
(3) 試験結果	58
(4) 試験のまとめ	62
2) 生物叢解析の実施	63
(1) 試験概要	63
(2) 生物叢解析結果	64
(3) 生物叢解析のまとめ	65
3. 生ごみ 1t/日規模の装置の設計の実施	66
第4章 開発システムの評価と社会実装シナリオ	69
1. システム評価の実施	69
1) 応募時のシステム評価	69
(1) 省 CO ₂ 評価	69
(2) コスト評価	72
2) 平成 31 年度の調査結果を反映したシステム評価	72
(1) 省 CO ₂ 評価	72
(2) コスト評価	76
2. 社会実装シナリオ	78
1) 社会実装に向けた活動計画 (案)	78
(1) 市場規模の想定	78
(2) 事業期間を通じたの市場の反応	78
(3) 活動計画	78
2) 活動目標	78
第5章 情報発信等	79
1. セミナー講演等	79
2. 学術発表	79
第6章 技術開発検討会の記録	80
1. 第 1 回技術開発検討会の開催	80

2. 第2回技術開発検討会の開催	90
第7章 まとめ	102
1. 目的	102
2. 実施内容	102
3. 実施結果	103
1) 副資材の選定	103
2) 400L実証機における処理可能な油分比の把握	103
3) 400L実証機における負荷限界の確認	103
4) 副資材を用いた長期実証試験	103
5) 1t/日モデルにおける概念設計と効果評価	104
(1) 省CO ₂ 性	104
(2) コスト評価	104
4. 普及ストーリー	104
5. 学術的発表	104
6. まとめ	105
[参考資料]	106
① 業務仕様書の抜粋	106
② 事業の経緯	109

第1章 平成31年度業務概要

1. 業務の目的

建物内でCO₂削減を実現する装置として、厨房排水と厨芥からバイオガスを回収する技術を当社で開発し、建物内で、かつ厨房排水を対象としたメタン発酵装置として日本で初めて2014年に「あべのハルカス」（大阪市阿倍野区）に導入した。稼働から5年を経過するが、順調に稼働し、厨芥運搬、余剰汚泥焼却等の削減、バイオガスによる都市ガス代替により262 t-CO₂/年の削減に寄与している。

装置の安定稼働には厨房排水中の油分濃度（本報ではn-hexane抽出物質濃度（以下、n-Hex）で測定されるものと定義）の管理が重要で、過剰な油分では発酵阻害が起きることから、現在は一定量の油分を除去した後にメタン発酵槽に供給している。一方で、油分からのバイオガス生成量は厨芥からのそれより多く、油分の除去には有機物も同時にグリーストラップスカム（以下、GTスカム）として一定量除去されるため、この除去している油分をバイオガス化できれば、得られるバイオガス量が増加し、GTスカムの収集、処分に関わるCO₂削減が期待される。また、店舗内で発生している高濃度の油脂分を含むグリーストラップスカム（以下、店舗スカム）も同時に処理できればさらなるCO₂削減が期待される。

当社ではあべのハルカスでの蓄積データより、投入可能な油分量は、その絶対量ではなく、投入する揮発性固形物もしくは強熱減量（以下、VS）量に対する比率（以下、n-Hex/VS）で制限されると推測した。平成30年度には、副資材を投入したバッチ試験及びジャーテストの実施により、副資材の候補として厨芥乾燥物、廃スターチ及び廃シロップを選定した。また、400Lの発酵装置を用いて投入原料のn-Hex/VSを0.3~0.4の範囲で調整することで、GTスカムを投入しながら安定的な発酵ができる可能性が示された。しかしながら、投入原料のn-Hex/VSの上限値を把握するには至らず、副資材を投入した長期的な運転実証は課題として残った。

そこで、平成31年度の本事業では、処理可能なn-Hex/VSの範囲を明らかとして設計値を求めた上で、正確な実証が可能と思われる400L程度の発酵装置を用いて、発酵条件を変更させながら立上げを含めた運転実証を行った。また、高油分原料で馴致させた実証試験のメタン発酵槽汚泥が油分原料のバイオガス化に寄与するメカニズムを明らかにすることを目的として、生物叢解析も実施した。

これらの知見から、建物内で発生する有機物である店舗スカム、GTスカム、厨芥の全てを建物内でメタン発酵によりバイオガスへと変換するシステムを開発する。これまで外部で処理していたものを建物内で高効率にエネルギーに変換することで経済性を上げ建築主の導入意欲を促し、商業施設や飲食施設をもつホテル、食品工場等への導入に資することで、広くCO₂の削減に寄与することを目的とした。さらにn-Hex/VSを制御するために

投入する副資材にはその一部が有効利用されず廃棄処分されるものを利用できれば、資材活用面での CO₂ 削減にも寄与できる。

2. 事業の全体像

1) 想定する開発システム

開発するシステムの適用イメージを図 1-2-1 に示す。商業施設や飲食施設を持つホテル、食品工場などにおいて、厨房排水（有機性排水）由来の排水スカム、GT スカム及び厨芥から高濃度にメタンを含むバイオガスを生成し、再生可能エネルギーである電力や温水を得るシステムである。建物内で発生する有機物を、油分を含めて、全て建物内でバイオガスに変換し、エネルギー源として活用することで、CO₂ の削減を図る。

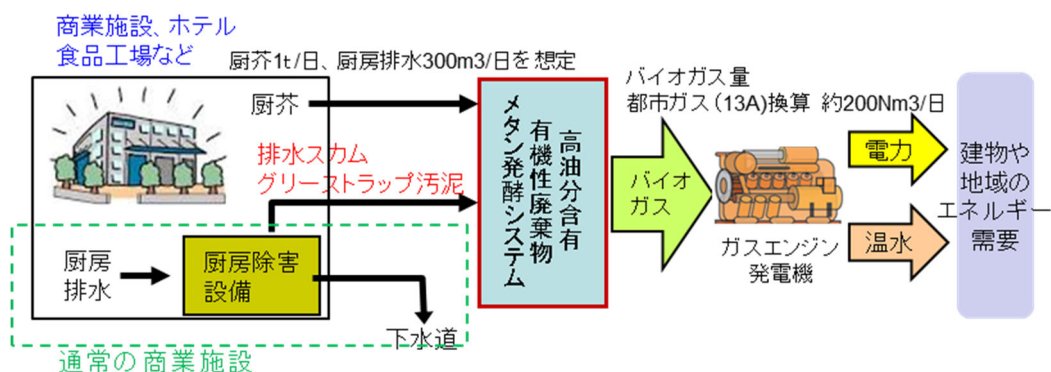


図 1-2-1 開発するシステムの適用イメージ

詳細のシステムフローを図 1-2-2 に示す。油分の低いメタン発酵の原料となる成分を副資材として添加することにより、厨房排水由来の排水スカム及び GT スカムから油分を除去することなく、全て建物内で処理することを目指すものである。

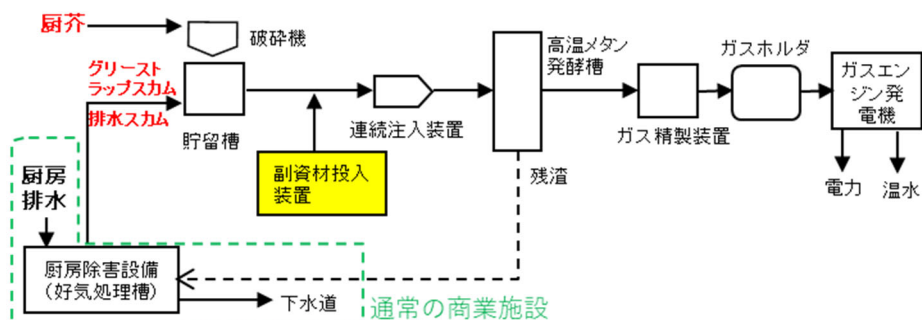


図 1-2-2 開発するシステムの詳細フロー

2) 技術開発の要素

開発技術の要素は大きく①有効な副資材の選定、②処理可能な油分比 ($n\text{-Hex}/\text{VS}$) を把握すること、③副資材の投入シーケンスの確立と安定運転を実証することである。

①は副資材として有効な資材を選定するものである。平成 30 年度の成果より、食糧需要と競合しない、油分の低い有機物であり、資材の性状、経済性、調達の容易性を含め総合的に適する副資材として、厨芥乾燥物、廃シロップ及び廃スターチを選定した。②は、メタン発酵の油分の分解性が VS に対する割合で規定されるとの推察をベースとし、その処理可能な割合を見極めるものである。油分は原料中で分散しにくく、実験室レベルの数 L の発酵槽では投入量が少なく、投入原料の油分量をコントロールすることが困難である。そこで油分のコントロールが可能な最小単位として、400L の発酵槽による運転を実施し処理可能な油分比を把握する。平成 30 年度までに $n\text{-Hex}/\text{VS}=0.3\sim 0.4$ まで処理できており、さらに上の比率を確認する。③は①と②の結果から高油分原料を副資材の投入によりその全量をメタン発酵槽で分解できることを実証するものであり、実証しながらその適用シーケンスを検討するものである。平成 31 年度は②及び③を実施する。図 1-2-3 に詳細フローに対する開発要素を記載した。

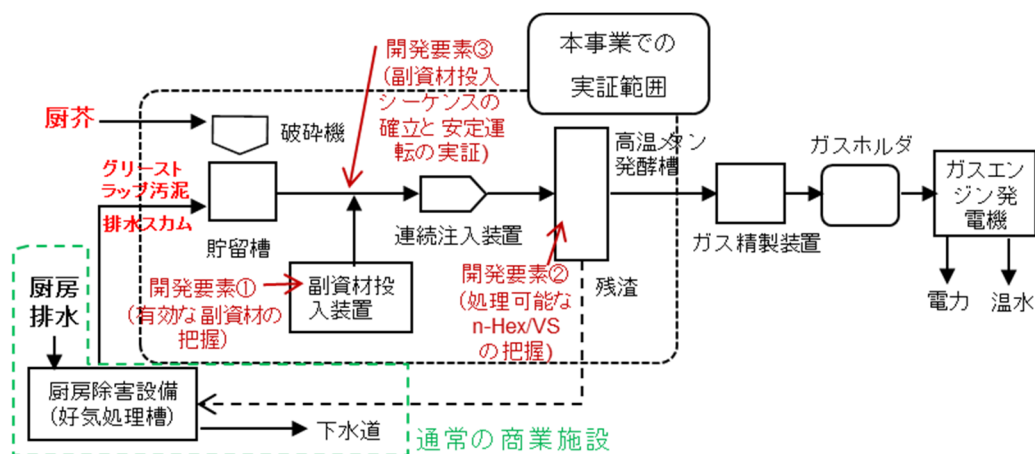


図 1-2-3 詳細フローと開発要素

3) 本事業での実施事項

(1) 副資材による高油分原料運転実証

① 運転条件の設定

副資材を使用する試験での運転条件 ($n\text{-Hex}/\text{VS}$ 及び VS 容積負荷) を設定するため、あべのハルカスの原料槽の原料 (以下、ハルカス原料)、あべのハルカスの GT スカム、種汚泥及び副資材 (厨芥乾燥物) を混合して発酵槽 400L の連続試験を行った。 $n\text{-Hex}/\text{VS}$ の処理上限については、 $n\text{-Hex}/\text{VS}=0.3\sim 0.4$ で約 2 ヶ月運転後、 $n\text{-Hex}/\text{VS}=0.4\sim 0.5$ で運転して検討した。また VS 容積負荷の処理上限については、 VS 容積負荷を 1.0 から 5.5 $\text{kg}\text{-VS}/\text{m}^3/\text{日}$ に段階的に上昇させて運転して検討した。

② 運転実証の実施

最も広く調達可能な副資材による高油分原料の安定処理の実証として、副資材に厨芥乾燥物を用いた実証運転を 2 系統で実施し、再現性も確認した。条件は前項①で求めた n-Hex/VS の設定値及び VS 容積負荷の設定値とし、ハルカス原料、GT スカム、厨芥乾燥物を混合して投入原料として、発酵槽 400L の実証運転（立上げ含め約 150 日（30 日以上の安定運転））を行った。また、1 系統において同様の実証を副資材としてシロップを用いて実施した。

さらに、副資材による高油分原料運転をあべのハルカスへ導入することを目指し、400L 発酵槽を用いて、現状のハルカスの運転状況を再現した後に、徐々にハルカス原料、GT スカム、副資材（廃シロップ）を混合した投入原料へと原料を置換して安定状態へと移行する運転実証を行った。

(2) 商品化検討

① 酸発酵試験の実施

平成 30 年度に課題として出てきた原料槽における VS や n-Hex の分解についてその詳細を把握し、マテリアルバランスをより正確に把握するため、ハルカス原料、GT スカム及び副資材（厨芥乾燥物、廃シロップ、廃スターチ及び破碎模擬生ごみそれぞれ 1 系統）を混合して、原料槽における VS 及び n-Hex の分解率及び VFA（揮発性脂肪酸）の増加量を把握した。

② 生物叢解析の実施

高油分原料のバイオガス化に寄与する生物のメカニズムを明らかにすることを目的として、馴致前、不調時、馴致後の汚泥の微生物叢、現在営業運転をしている 4 つのメタン発酵施設の微生物叢を解析した。

③ 厨芥 1 t/日規模の装置の設計の実施

既存のシステムの場合と副資材投入装置を加えた場合について、厨芥 1 t/日モデルにおけるフロー、マテリアルバランス及び参考イニシャルコストを検討した。

(3) システム評価の実施

副資材を用いた GT スカムを含めた処理システムについて、処理フロー、物質収支、必要な機器、機器での消費エネルギー、エネルギー収支について検討し、従来の油分分離（油分は処理）との比較優位性を、コスト、CO₂削減量について評価した。

(4) 技術開発検討会の開催

業務の円滑な実施のため、外部有識者等からなる技術開発検討会を 2 回実施した。第 1 回は東京で実施し、平成 31 年度事業の進捗報告と最終目標・スケジュールのすり合わせを行った。第 2 回も東京で実施し、平成 31 年度事業の総括を行った。

3. 事業実施主体、実施体制

1) 事業実施主体

事業の実施主体は株式会社竹中工務店 1 社である。

2) 実施体制

事業の実施体制は図 1-3-1 に示す通りである。

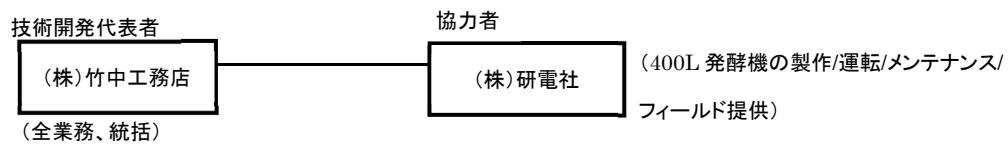


図 1-3-1 事業実施体制

4. 目標設定

平成 31 年度の事業における着手時の目標設定を表 1-4-1 に示す。

表 1-4-1 平成 31 年度の目標設定

	項目	採択時の技術の状況	平成31年度当初の状況	最終目標
0	全体目標	<p>○日量、厨房排水700m³、厨芥3tの処理能力を持つ装置の納入実績がある。</p> <p>○厨房排水300m³、厨芥1tの処理能力を持つ装置で、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂削減量125t/年 ・投資回収年数10年（補助金無）の目途が立っている。 <p>○厨房排水に由来する油分の一定量の除去が必要である</p>	<p>○厨房排水300m³、厨芥1tの処理能力を持つ装置で</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂削減量292t/年 ・投資回収年数8年（補助金無）の見込みが示されている。 <p>○油分の除去なくメタン発酵により処理できる可能性が実験室レベルで示されている。</p>	<p>日量約10kgの厨芥およびその排出規模に相当するGTスカムの混合物で副資材を投入し、約90日間、分解効率80%以上での運転を実証する。実証後に適用可能なシステムの目標とするスペックは次の通り。</p> <p>日量、厨房排水300m³、厨芥1tの処理で</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂削減量 230t/年 ・投資回収7年（補助金無）の装置を開発する。なお、厨房排水に由来する排水スカム、GTスカムも一定の現実的な流入条件下において全量処理可能である。
1	副資材による高油分原料運転実証	実証例はなし	実験室レベルでの連続試験から副資材により高油分原料のメタン発酵処理が可能であることが示されている。	厨房排水に由来する排水スカム、GTスカム、厨芥を発生予測量の比で混合したものに副資材を投入するシーケンスを確立するとともに、安定した連続処理ができることを実証する。
2	商品化検討	-	-	本事業の成果を反映した商品としての開発が完了し、販売できる状況となっている。
3	システム評価	副資材の投入により油分が安定的に多量に分解できるとの机上計算では最終目標のスペックに到達できるとの評価がなされている。	厨房排水300m ³ 、厨芥1tの処理能力を持つ装置で <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂削減量292t/年 ・投資回収年数8年（補助金無）の見込みが示されている。 	システムの目標とするスペックは次の通り。 <p>日量、厨房排水300m³、厨芥1tの処理で</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂削減量 230t/年 ・投資回収7年（補助金無）

5. 事業スケジュール

平成 31 年度の事業における事業スケジュールを表 1-5-1 に示した。

表 1-5-1 平成 31 年度の予定事業スケジュール

		工 程 表												月 摘 要	
		4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	1	2	3	月
委託業務実施上の区分	実施期間														
(1) 副資材による高油分原料運転実証	①運転条件の設定 (nHex/VS、容積負荷)														
	②運転実証の実施(ア)														
(2) 商品化検討	①酸発酵試験、 ②微生物濃解析														
	②運転実証の実施(イ)														
(3) システム評価の実施	③誌設計の実施														
技術開発検討会の開催															
業務報告書の作成															
業務報告書の提出															2/28
業務完了報告書の提出															↑ 3/31
業務精算報告書の提出															↑ 4/10
※本工程表に変更が生じた場合には、新旧工程を表示する。															
	新工程														
	旧工程														

第2章 平成30年度の成果概要

1. 副資材の選定

1) 副資材の抽出

利用する副資材に望ましい性状として、①年間を通して安定的に調達できること、②食用と競合しない原料（例えば廃棄物由来）であること、③望ましくは常温で長期間保存できること、などが挙げられる。原料候補の探索にあたっては、食品廃棄物を飼料用途に加工、販売しているエコフィード製造事業所（（公社）中央畜産会に登録）に対してヒアリングを行い、厨芥乾燥物、パン粉くず、豆腐糟（おから）、古米、段ボール、海藻（アオサ）、廃糖蜜、廃糖液（シロップ）、廃砂糖、廃スターチ、廃グリセリンの11種類を挙げた。化学分析の結果（表2-1-1）及び調達コストの概算結果からGTスカムの油分を分解するために必要なVS分の1kg-VS当り概算価格(円)を算出し、アオサ、廃糖蜜を除外した。また、油分が高く原料性状として不適である、おから、廃グリセリンも副資材の候補から除外した。これらの結果、厨芥乾燥物、パン粉くず、古米、段ボール、廃シロップ、廃砂糖、廃スターチの7種類について、バッチ試験を実施することとした。

2) バッチ試験結果

7種類の副資材候補に対して3種類程度に絞り込むことを目的として、メタン発酵の種汚泥と副資材およびGTスカムを混合したバッチ試験を実施した。図2-1-1にガス発生量を示す。試験の結果、厨芥乾燥物において最も多いガス発生量を確認した。次いで米粉、廃スターチ、廃シロップの順に発生ガス量が多かった。この他に炭素分解率やCOD_{Cr}除去率の結果（図2-1-2）を踏まえて、厨芥乾燥物、廃スターチ、廃シロップに絞り込んだ。米粉については食料との競合の可能性が懸念されたため、候補より除外した。廃砂糖は廃シロップ同等と考え、廃シロップで代表した。

さらに、開発システムの実用化時の条件に近い条件（厨芥主体の発酵原料にGTスカムと副資材を混合した条件）でのメタン発酵性を把握することを目的として、メタン発酵の種汚泥に厨芥主体の発酵原料、副資材およびGTスカムを混合した追加のバッチ試験を実施した。試験の結果（図2-1-3、図2-1-4）、厨芥乾燥物、廃スターチ、廃砂糖を使用した試験ケースにて、厨芥を用いた場合と同等の良好なバイオガス発生を確認した。廃シロップについてもガス発生量ベースで評価した場合には副資材としての使用可能性があることを考慮し、10Lの発酵槽を用いたジャーテストでは、厨芥乾燥物、廃シロップ、廃スターチの3種類を用いることとした。

表 2-1-1 副資材候補の化学分析の結果

	BOD	CODcr	TS	VS	n-Hex (ソックスレー抽出)	n-Hex (振盪法)	含水率	T-N
単位	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg
① 厨芥乾燥物	382,000	642,000	954,000	871,000	56,900	-	4.6	30,200
② パン粉くず	433,000	586,000	916,000	874,000	36,100	-	8.4	22,100
③ おから	249,000	453,000	945,000	908,000	98,200	-	5.5	42,400
④ 古米	66,300	109,000	875,000	841,000	3,100	-	12.5	10,800
⑤ 段ボール	97,700	875,000	947,000	754,000	2,750	-	5.3	5140
⑥ アオサ	32,400	248,000	881,000	389,000	2,140	-	11.9	7260
⑦ 廃糖蜜	369,000	702,000	764,000	678,000	420	-	23.6	5950
⑧ 廃シロップ	99,900	160,000	95,900	94,300	-	19	90.4	404
⑨ 廃砂糖	432,000	949,000	971,000	962,000	8,070	-	2.9	83.2
⑩ 廃スターチ	354,000	941,000	893,000	892,000	1,650	-	10.7	339
⑪ 廃グリセリン	1,130,000	1,630,000	510,000	457,000	431,000	-	49.0	205
試験方法	JIS K0102 21 及び 32.3	JIS K0102 20.1	JIS K0102 14.2	JIS K0102 14.5	下水試験 方 法 5.1.24	JIS K0102 24.2	下水試験 方 法 5.1.6	JIS K0102 45.1

BOD: 生物学的酸素要求量

CODcr: 化学的酸素要求量

TS: 全蒸発残留物

VS: 全蒸発残留物の強熱減量

n-Hex: ノルマルヘキサン抽出物質

T-N: 全窒素

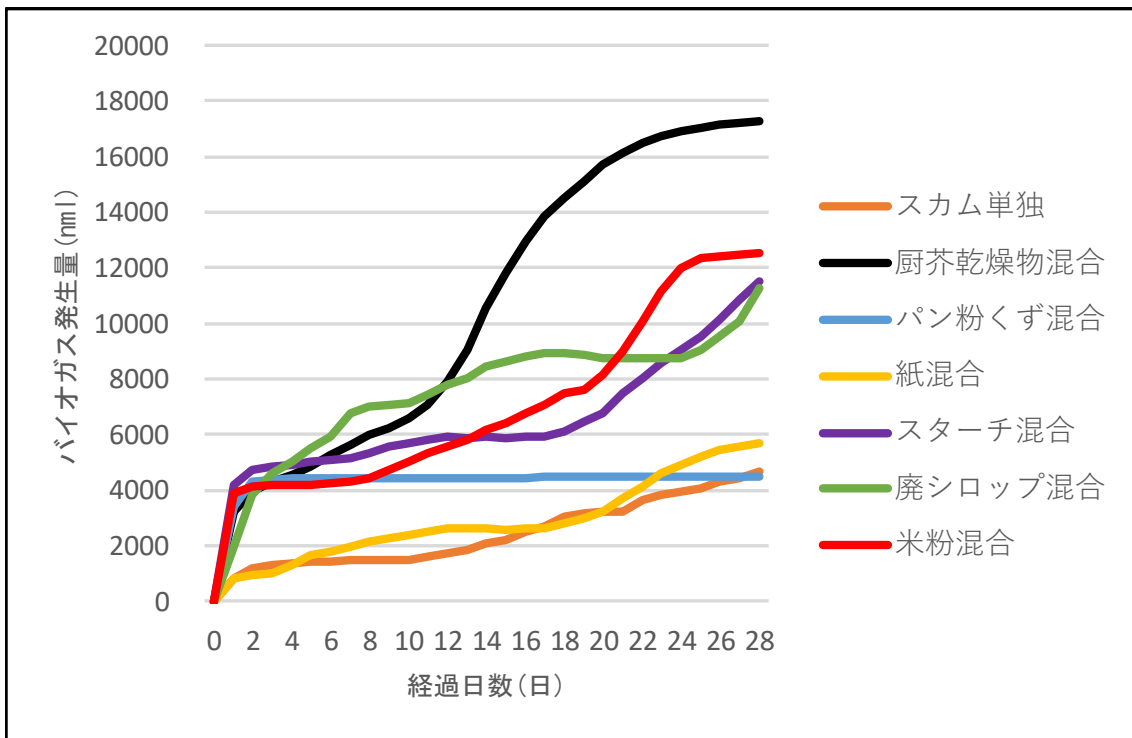


図 2-1-1 バイオガス発生量^(*)の推移

(*1)バイオガス発生量は、試験に使用したものと同一種汚泥を同時に無負荷で運転した時のバイオガス発生量をブランクとして差し引いた値

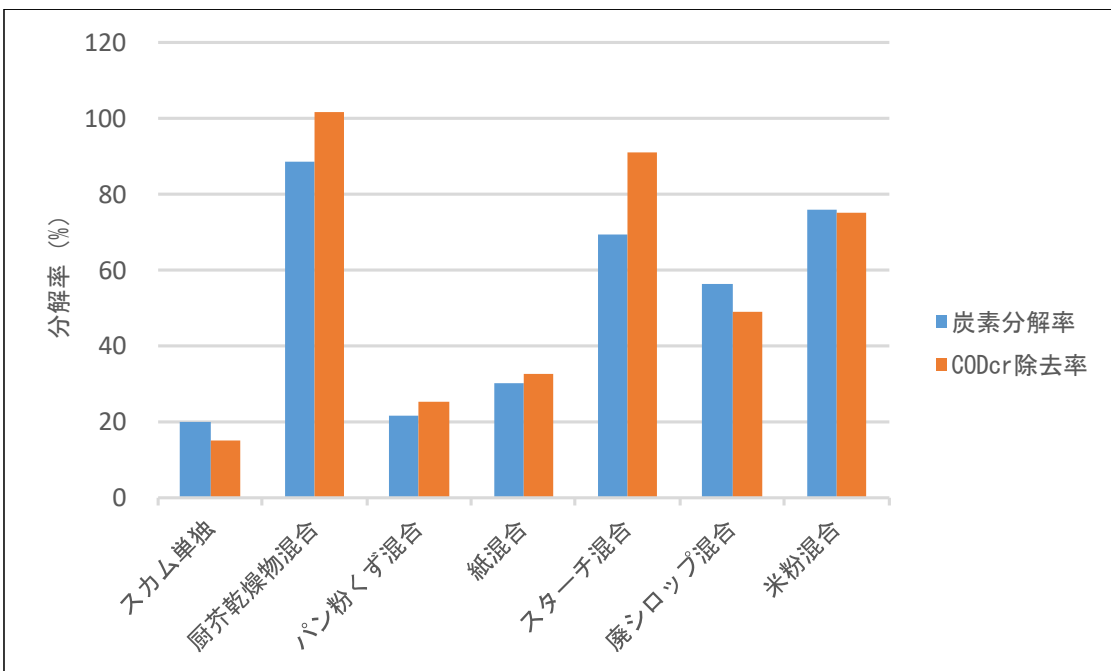


図 2-1-2 各混合試料の炭素分解率及び CODcr 除去率

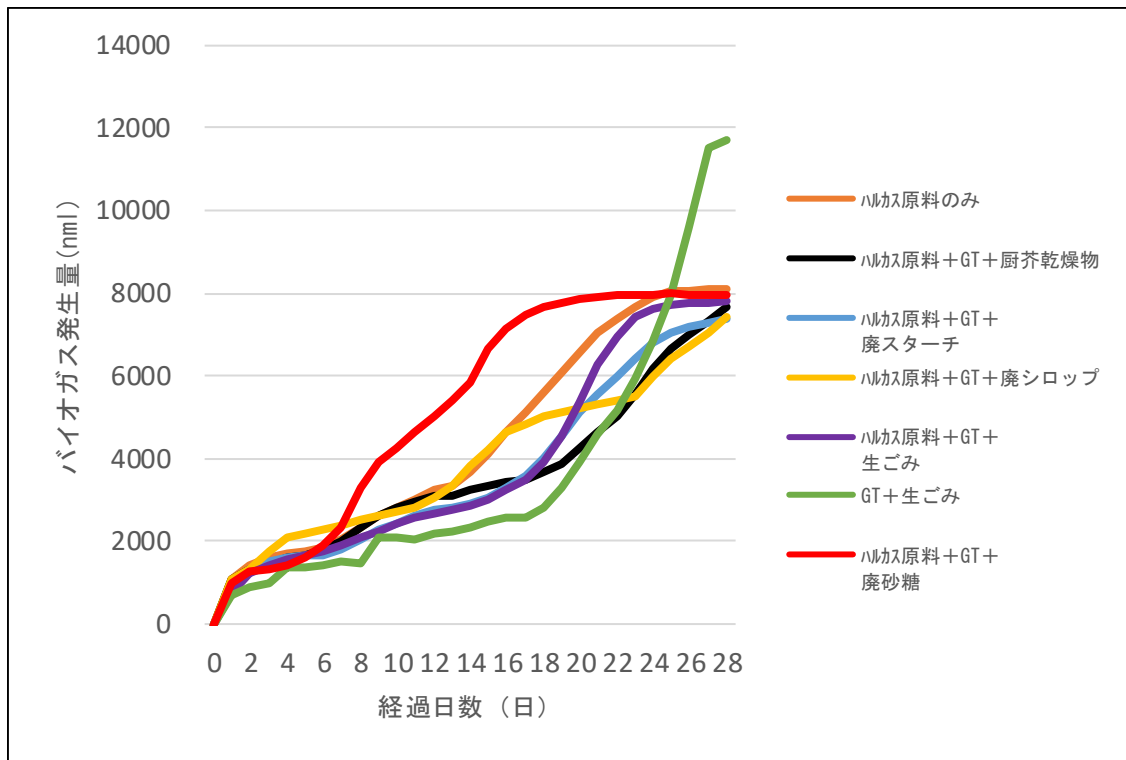


図 2-1-3 バイオガス発生量(*2)の推移

(*2) バイオガス発生量は、試験に使用したのと同じ種汚泥を同時に無負荷で運転した時のバイオガス発生量をブランクとして差し引いた値

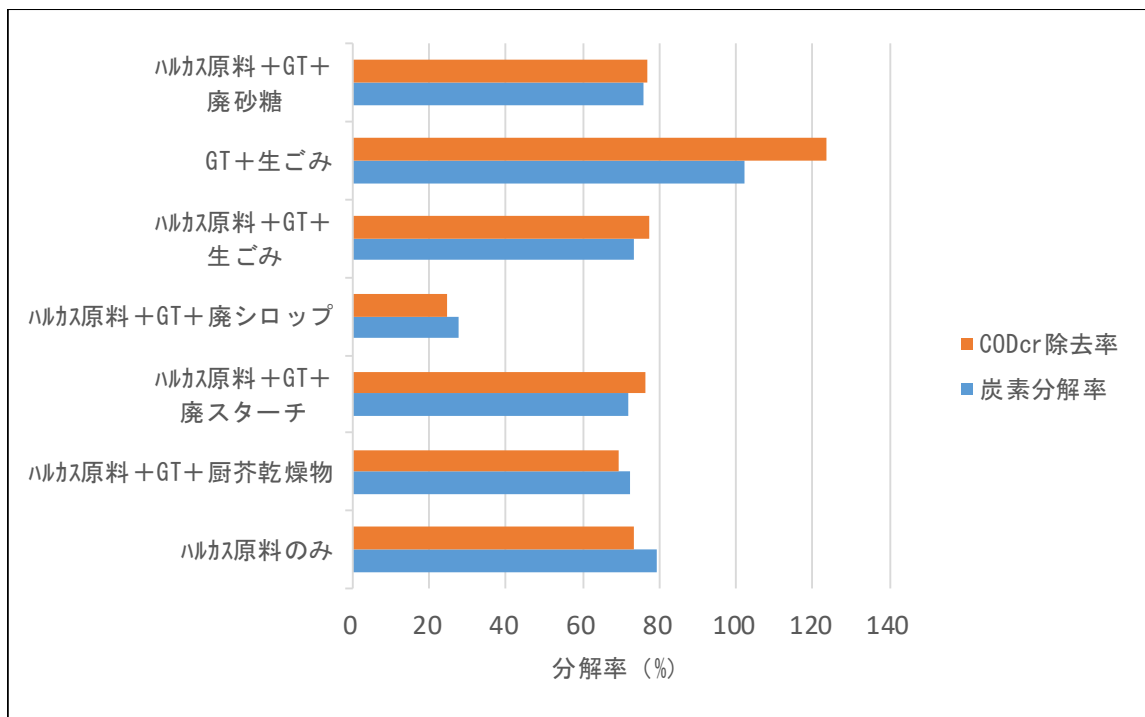


図 2-1-4 各混合試料の炭素分解率及び CODcr 除去率

3) ジャーテスト結果

バッチ試験の結果から絞り込んだ 3 種類の副資材について、GT スカムを混合し、n-Hex/VS を 0.20 程度としたものを投入原料として、10L の発酵槽を用いたジャーテストを実施した。0.20 程度としたのは、固まった油分の投入により意図せぬ大量の油分投入によるメタン生成菌の失活を防ぐためである。当初は一般的な厨芥を調達して実施する予定であったが、原料が変わることのメタン生成菌への影響が大きかったことから、途中で厨芥をハルカス原料へと変えた。試験は原料の変更後、安定するまでを予備運転として 2 ヶ月弱、その後、本試験として 3 ヶ月程度実施した。

いずれの副資材を投入した場合でも、厨芥を用いた通常原料の試験①（図 2-1-5）と同等に処理できていた。

試験②厨芥乾燥物、試験③廃スターチを用いた試験では（図 2-1-6~7）、VS 分解率が 85~88%、COD 分解率が 76~87%、n-Hex 分解率が 94~98%と試験①厨芥と同等の高い分解率を示した。一方、試験④廃シロップでは（図 2-1-8）VS 分解率が 68~78%、COD 分解率が 61~76%、n-Hex 分解率が 68~87%と試験①厨芥のケースよりも若干低い分解率であった。ただし、廃シロップに関しては、COD_{Cr} ベースで見た場合に他の試験ケースよりも過負荷条件であり、一定のガス発生が見られていることから、適正な負荷設定を行うことにより廃シロップも副資材として利用可能である可能性は高いと考えた。また、各試験での最終負荷条件時の投入 VS 当たりのメタンガス発生量とバイオガス濃度を表 2-1-2 に整理した。副資材を投入した試験②~④の投入 VS 当たりのメタンガス発生量は 0.45~0.51 Nm³-CH₄/kg-VS であり、これらはハルカスの 2018 年 1 月~11 月のバイオガス設備の実績値（0.47 Nm³-CH₄/kg-VS）と同程度の水準であった。

以上のことから、厨芥乾燥物、廃スターチ、廃シロップのいずれの試験とも厨芥を処理した場合と大きく分解率等が異ならないため、実機においても副資材を投入することで油分を除去せずにメタン発酵が可能であることが示された。

表 2-1-2 各試験の VS 当たりメタン発生量およびメタン濃度

	計算時の VS 負荷 (kg-VS/m ³ /日)	VS 当たりメタ ン発生量 (Nm ³ -CH ₄ /kg- VS)	メタン濃度 (%)
試験①厨芥	1.1	0.35	50.4
試験②厨芥乾燥物	1.1	0.51	55.5
試験③廃スターチ	1.1	0.48	54.5
試験④廃シロップ	1.35	0.45	59.1

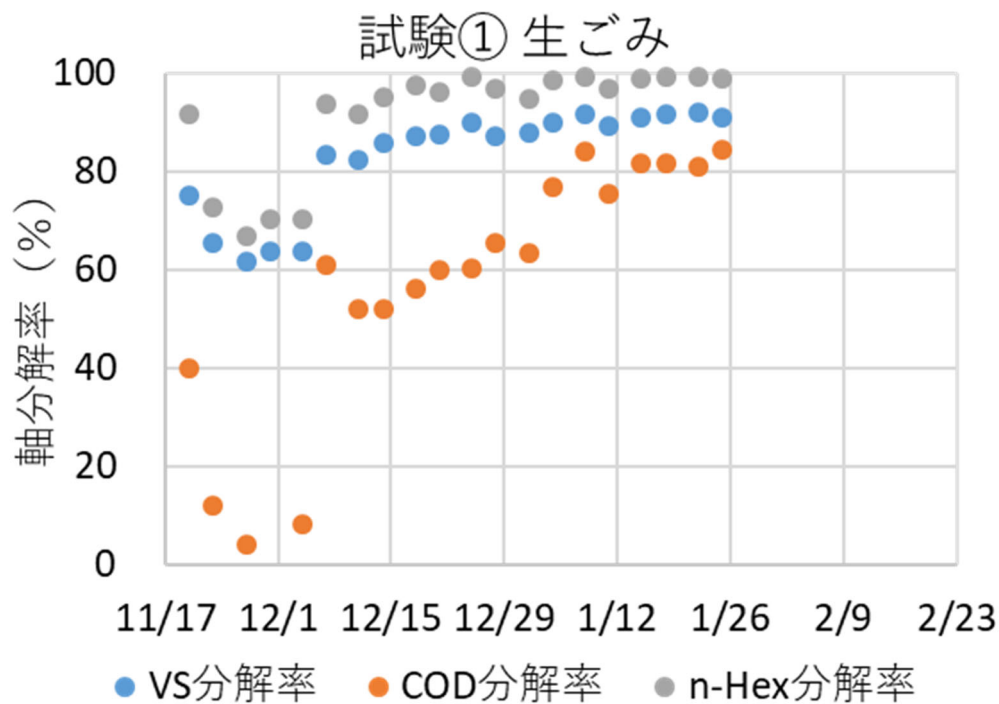


図 2-1-5 試験①の VS、COD、n-Hex 分解率のまとめ

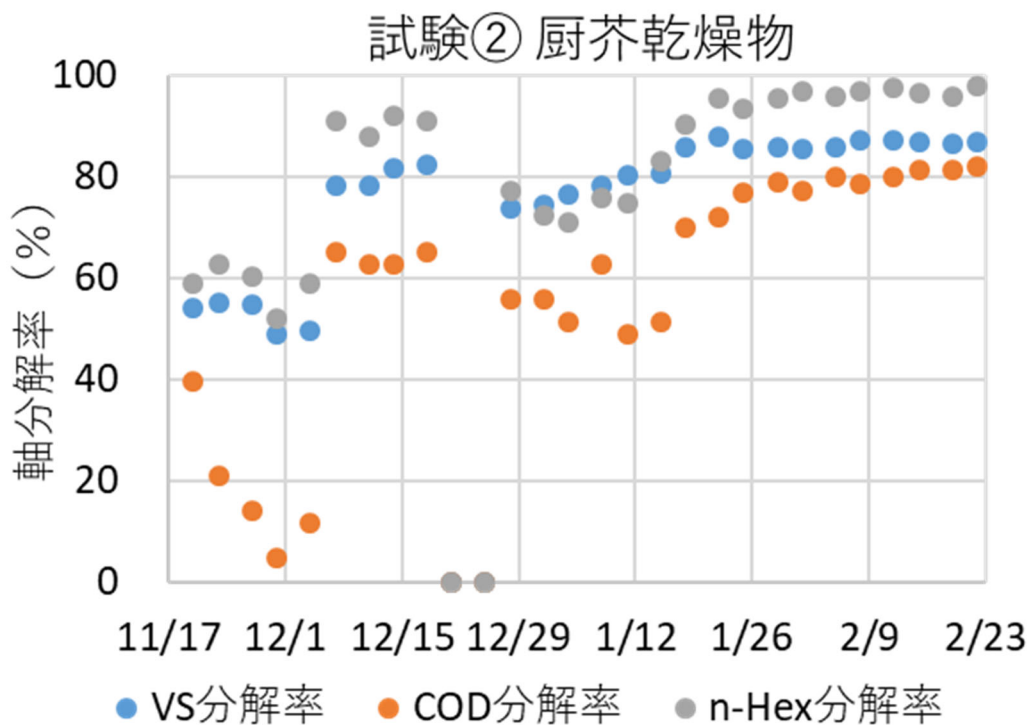


図 2-1-6 試験②の VS、COD、n-Hex 分解率のまとめ

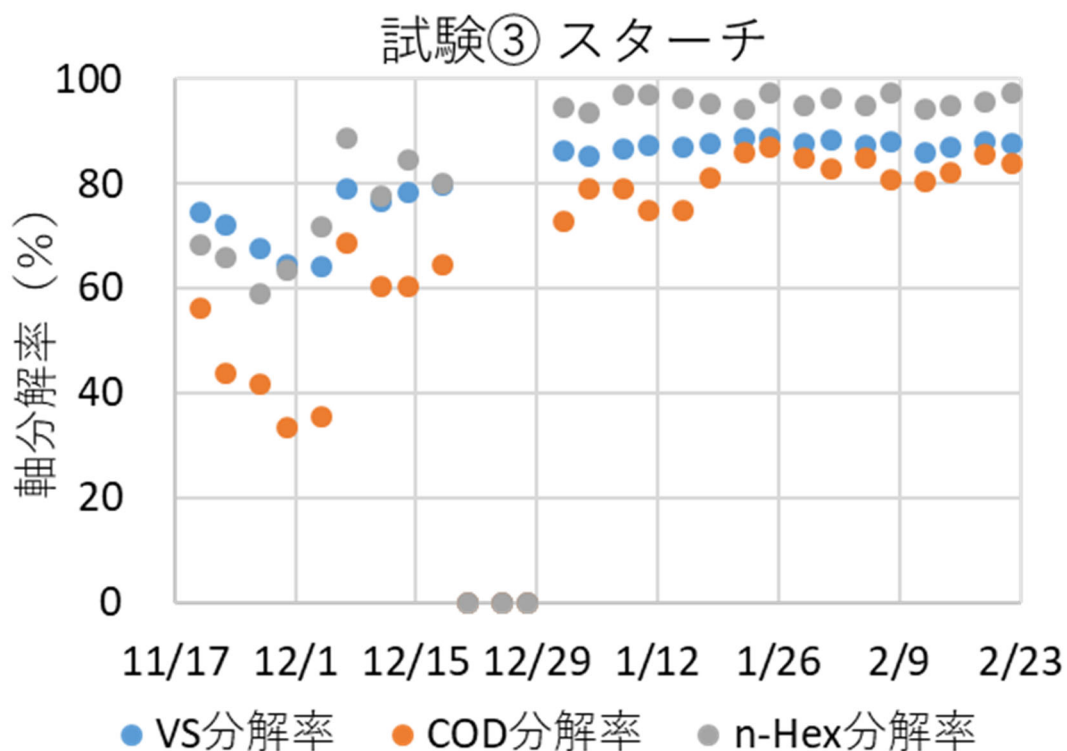


図 2-1-7 試験③の VS、COD、n-Hex 分解率のまとめ

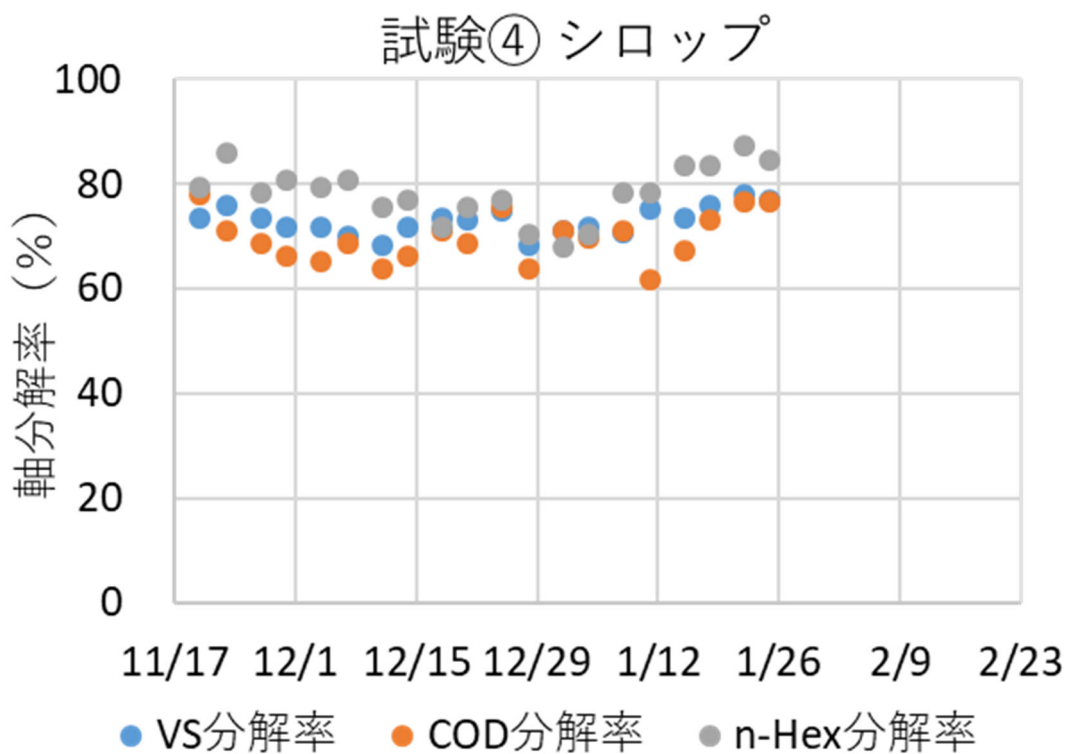


図 2-1-8 試験④の VS、COD、n-Hex 分解率のまとめ

2. 既存施設の材料バランスの把握

あべのハルカスにおいて、図 2-2-1 中に示したサンプリング箇所の分析を行い、2018 年 11 月の流量・処理量データをもとに材料バランスについて整理を行った。

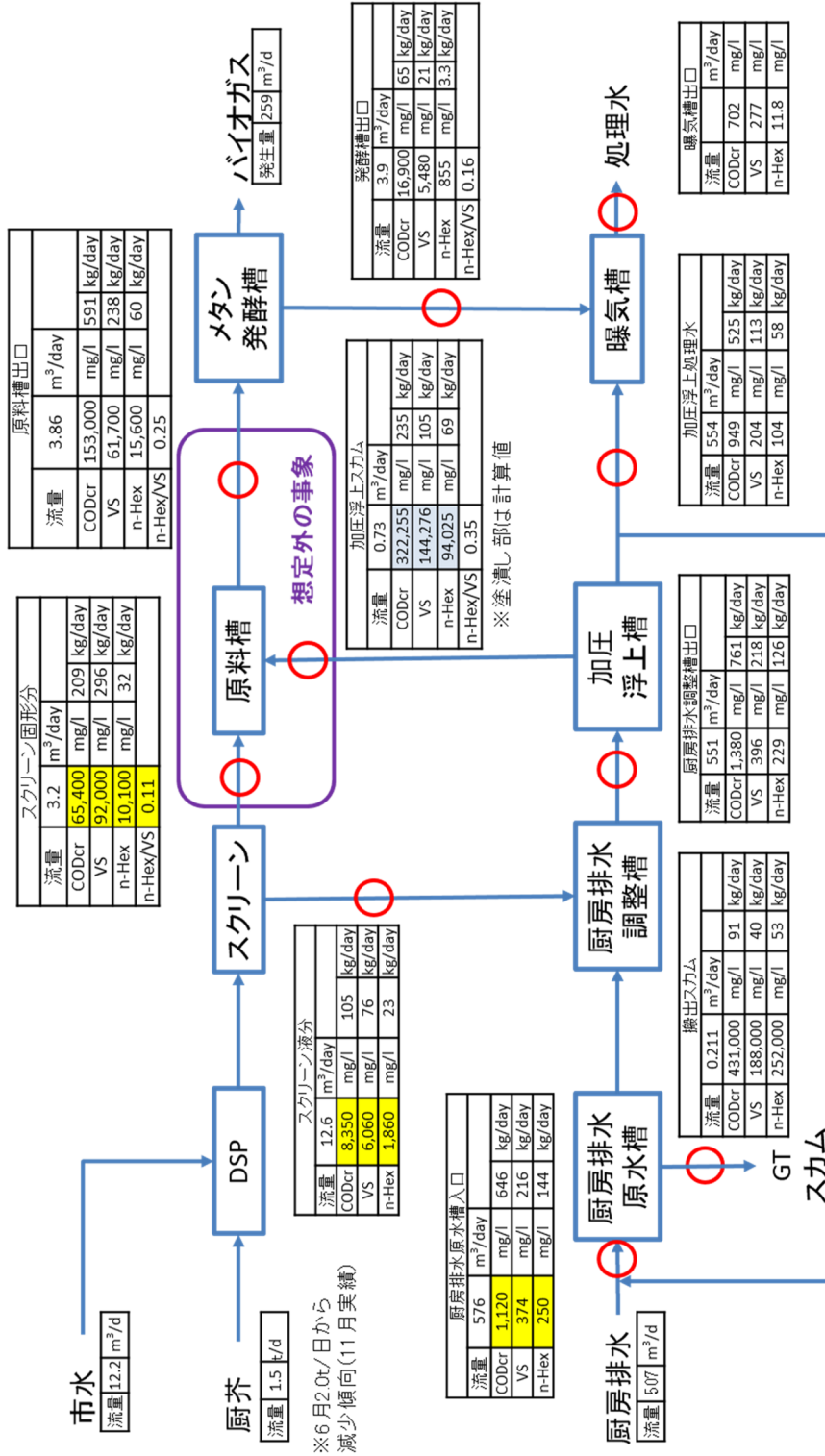


図 2-2-1 あべのハルカスの材料バランス概要

このとき原料槽前後で VS、n-Hex の大幅な減少が確認された。要因として、サンプリングによる原料組成のばらつき、または原料槽における VS、n-Hex の分解が考えられた。スクリーン固形分は流路から直接採取しているため特にばらつきが大きい項目ではあると考えられる。原料槽における VS、n-Hex の分解が考えられるため、原料槽前後において、VS、n-Hex の分解時に発生すると想定される揮発性脂肪酸を分析した（図 2-2-2）。原料槽入口ではほとんど揮発性脂肪酸が見られなかったが、原料槽出口では酢酸を主体とした揮発性脂肪酸が確認されたため、原料槽内で酸生成が進行した可能性も考えられる。ただし、原料槽での VS、n-Hex 減少量は揮発性脂肪酸生成量よりも多いため、酸生成だけで VS、n-Hex の減少を説明することはできない。

以上のことから、今回のマテリアルバランス測定の結果確認された原料槽前後での VS、n-Hex の減少は原料組成のばらつきと原料槽での酸生成等による VS、n-Hex の分解が複合的に作用している可能性が考えられ、酸発酵試験による解明を課題として確認した。

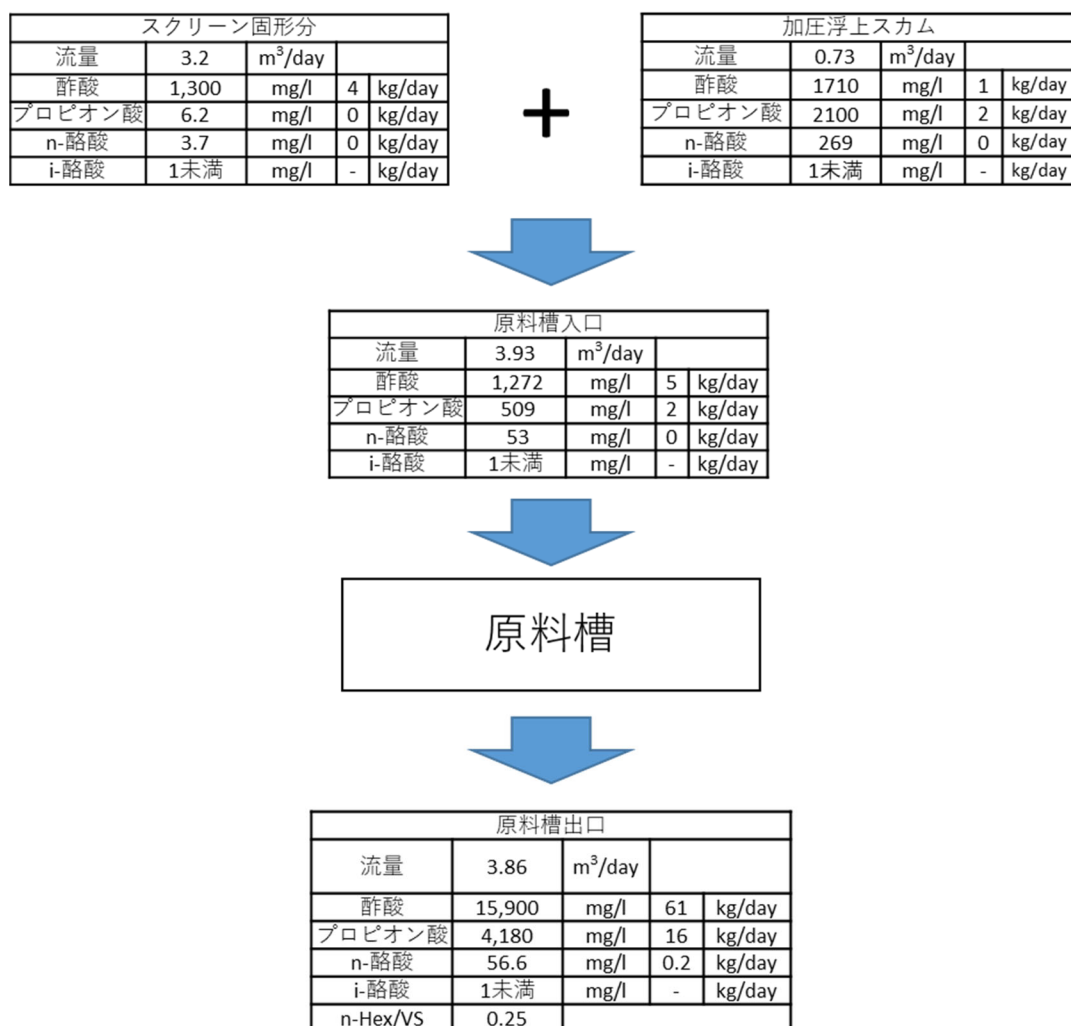


図 2-2-2 原料槽前後での揮発性脂肪酸バランス

3. 実証設備の製作

実証試験で用いる装置は、主に複数の原料を混合するための投入槽、投入する原料のばらつきを吸収し、均質化するための原料槽、メタン発酵が行われる発酵槽の 3 つの槽と原料等を送液するためのポンプ、計測機器類及び機器の動作を制御する制御機器で構成する。

本試験では投入原料の n-Hex/VS のばらつきを抑えるために発酵槽を 400L 規模とした。またメタン発酵試験では菌の失活時に再度活性化させるのに時間を要することがあるため、発酵槽を 2 系統とし、リスクの低減を図った。

あべのハルカスでの運転実績と一般的な高温メタン発酵システムの仕様から本実証試験における定常運転時の発酵槽の仕様を表 2-3-1 の通り定めた。設定した発酵槽の容積負荷と滞留時間から原料処理量は 20 L/日、原料中の VS 濃度は 5% となり、投入槽の容量は 1 日当たりの投入量の約 2 倍の 45 L、原料槽の容量は 1 日当たりの投入量の 5 倍の 100L と設定した。

本試験で使用する装置の概略図を図 2-3-1 に示す。原料の送液及び発酵槽の引き抜きは槽の下部から行うこととし、原料槽の上部と下部、発酵槽の上部、中部、下部にサンプリングポートを設け、原料成分が上下方向に分離していないか確認できるようにした。

また、製作した装置の設置状況を図 2-3-2 に示す。

表 2-3-1 発酵槽の主な仕様

容積	400	L
容積負荷	2.5	kg-VS/m ³ ・日
滞留時間	20	日

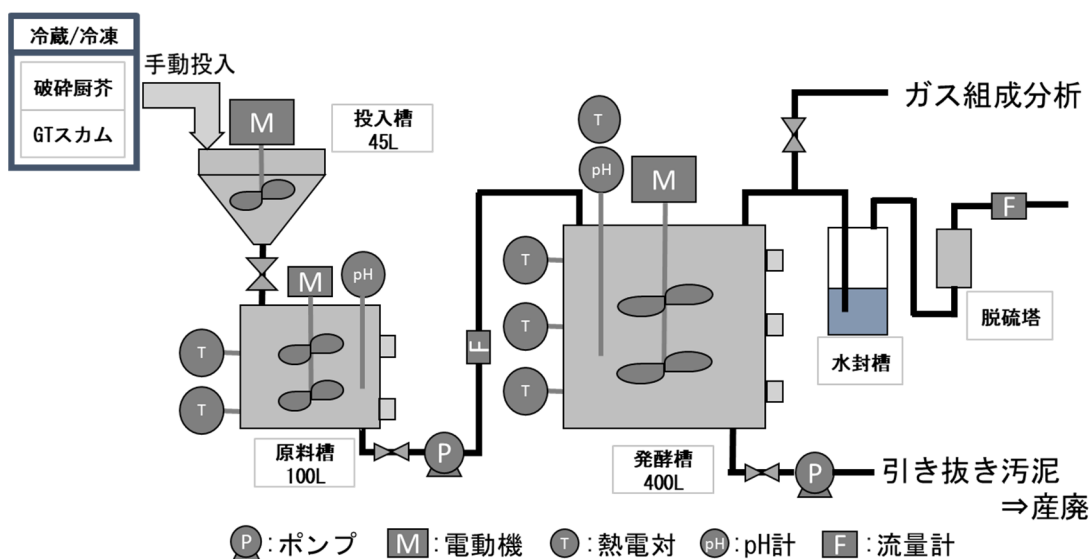


図 2-3-1 装置概略図



図 2-3-2 装置設置状況（断熱材巻き付け後）

汚泥投入前に水を用いた試運転を実施し、発酵槽からのリークチェックと原料チューブポンプの流量設定と流量計動作確認、原料槽と発酵槽の加温状況の確認を行い、問題なく動作することを確認した。

4. 高油分比での運転実施

1) 生ごみの分析

試験に使用する厨芥をスーパーマーケット食品売り場及び給食センターから 5 日間入手し、BOD 濃度、COD_{Cr} 濃度、SS 濃度、VS、n-Hex、含水率、全窒素濃度、5 成分（水分、たんぱく質、脂質、灰分、炭水化物）、エネルギー量、脂肪酸（45 種）の定量分析を実施した（表 2-4-1）。スーパーマーケットの厨芥は、葉物野菜と脂身を中心とした食肉が主体であり、脂質が高い結果となっており、本試験で GT スカムと混合する原料として一般的なものとして扱うのは不適であると考えられた。給食センターの厨芥は脂質が少なく炭水化物が主体である。ただし、含水率の変動が大きく結果として VS 濃度でもばらつきが大きくなるため試験で使用する際は日々含水率（VS 濃度）の測定が必要であると考えられた。このことから、実証試験における原料はばらつきを少なくするため、あべのハルカスの原料槽から調達することとした。

表 2-4-1 出雲市内厨芥の分析結果

No.	採取日	採取場所	TS	VS	n-Hex抽出物	BOD	CODcr	全窒素	タンパク質	脂質	炭水化物	水分	灰分
			%	%	mg/L	mg/L	mg/L	%	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g
1	9月25日	スーパーマーケット	16.34733	15.7406	89,500	44,000	164,000	0.28	1.7	11.6	4.8	81.5	0.4
2	9月26日	スーパーマーケット	20.19372	19.7261	178,000	-	-	0.48	3.0	13.9	1.1	81.6	0.4
3	9月28日	スーパーマーケット	20.7753	20.2889	78,800	-	-	0.26	1.6	10.5	3.3	84.3	0.3
4	9月29日	スーパーマーケット	17.82891	14.1122	104,000	-	-	0.51	3.2	14.9	5.4	76.2	0.3
5	9月30日	スーパーマーケット	14.63221	14.1407	67,500	-	-	0.7	4.4	8.1	2.0	85.0	0.5
6	9月25日	給食センター	20.02935	19.5572	7,440	89,200	152,000	0.45	2.8	1.4	14.2	81.2	0.4
7	9月26日	給食センター	23.91107	23.6646	4,230	-	-	0.32	2.0	0.4	21.8	75.5	0.3
8	9月27日	給食センター	20.89093	20.6337	6,470	92,700	192,000	0.63	4.0	1.0	15.1	79.6	0.3
9	9月28日	給食センター	7.106249	6.6708	5,010	-	-	0.21	1.3	1.1	4.4	92.7	0.5
10	9月29日	給食センター	20.99851	20.7049	8,060	-	-	0.49	3.1	0.8	17.8	78.0	0.3

2) グリーストラップスカムの分析

GT スカムをあべのハルカス及び某商業施設テナントから入手し、BOD 濃度、CODcr 濃度、SS 濃度、VS、n-Hex、含水率、全窒素濃度、5 成分（水分、たんぱく質、脂質、灰分、炭水化物）、エネルギー量、脂肪酸（45 種）を定量分析した（表 2-4-2~3）。GT スカムの発生量及び成分には差異が大きいため、副資材投入量は導入する施設ごとに検討する必要があると確認した。

表 2-4-2 店舗種別ごとのグリーストラップスカム発生量

サンプル名	種別	発生量(kg/d)
A	全店舗混合	70.8
B	和食	8.4
C	イタリアン	2.95
D	カフェ	3.35
E	そば	8.4
F	しゃぶしゃぶ	2.45
G	とんかつ	3.4
H	ラーメン	11.7
I	ファーストフード*	8.4
J	串揚げ	6.9

表 2-4-3 グリーストラップスカム性状

試料名	BOD	CODcr	TS	VS	n-Hex (ソックス レー抽出)	脂質 (クロロホルム・メタノール法)	含水率	全窒素	n-Hex/VS
単位	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	-
A	46,300	665,000	513,000	511,000	395,000	444,000	48.7	875	0.77
B	-	-	-	90,400	4,780	-	-	-	0.05
C	-	-	-	488,000	45,900	-	-	-	0.09
D	-	-	-	21,300	14,400	-	-	-	0.68
E	20,000	80,800	62,500	62,100	19,000	128,000	93.7	536	0.31
F	-	-	-	277,000	134,000	-	-	-	0.48
G	-	-	-	165,000	104,000	-	-	-	0.63
H	19,700	438,000	592,000	591,000	490,000	495,000	40.8	699	0.83
I	-	-	-	80,400	46,700	-	-	-	0.58
J	-	-	-	320,000	43,400	-	-	-	0.14
試験方法	JIS K0102 21及び 32.3	JIS K0102 20.1	JIS K0102 14.2	JIS K0102 14.5	下水試験 法5.1.24	クロロホルム・メタノール混液抽出法	下水試験 法 5.1.6	JIS K0102 45.1	

BOD:生物学的酸素要求量 COD:化学的酸素要求量 TS:全蒸発残留物
 VS:全蒸発残留物の強熱減量 n-Hex:ノルマルヘキサン抽出物質 T-N:全窒素

3) 油分比=0.2 での安定運転 (馴致)

投入原料の油分比を 0.2 程度に保ち、あべのハルカスより搬入した種汚泥の馴致を行い、運転が安定することを確認した。

輸送した種汚泥を低 VS 容積負荷運転から立上げ、設定 VS 容積負荷に向けて次第に VS 容積負荷を上昇させた。試験開始から 1 ヶ月程度順調に負荷を上げることが出来たが、装置トラブルにより発酵槽温度が異常となり、メタン生成菌が失活したため、原料投入を中断、再度低 VS 容積負荷から運転を行い、設定 VS 容積負荷に到達した (図 2-4-1)。

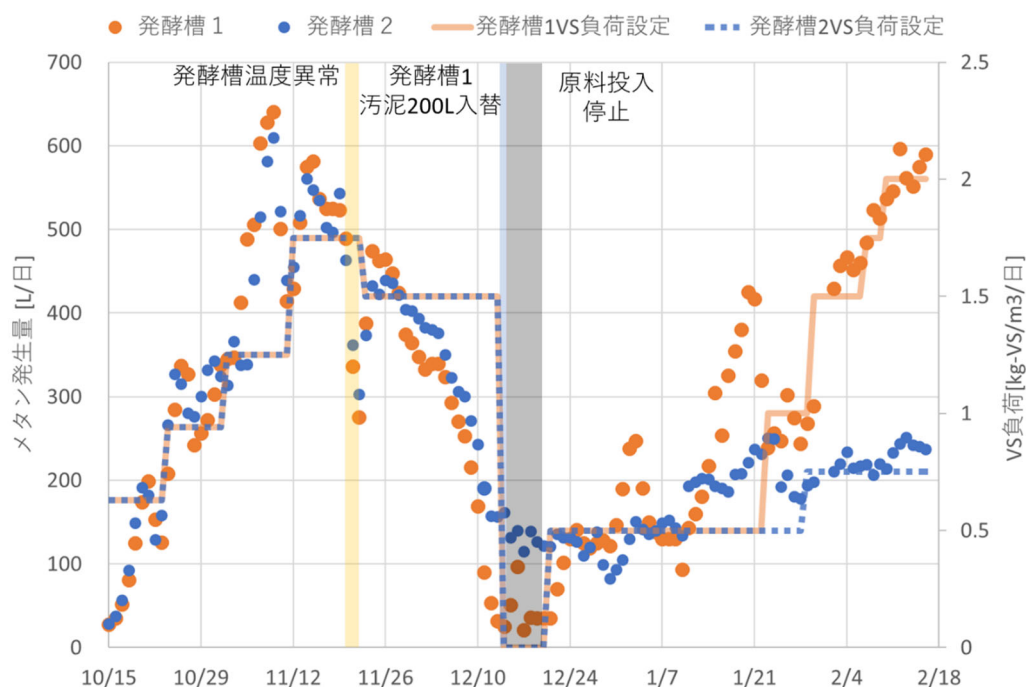


図 2-4-1 ガス発生量と VS 容積負荷

発酵槽 1 と発酵槽 2 における VS、COD_{Cr}、n-Hex の分解率を図 2-4-2~3 に示す。いずれにおいても発酵槽で温度異常が発生後、分解率が低下した。特に COD_{Cr} の分解率については、発酵槽内への揮発性脂肪酸の蓄積により消化液の COD_{Cr} 濃度が上昇したため大きく減少した。揮発性脂肪酸の蓄積が解消した 1 月下旬から COD_{Cr} の分解率と VS 分解率は上昇し、2 月 14 日時点で温度異常前と同程度まで回復し、発酵槽 1 と発酵槽 2 のいずれにおいても、概ね COD_{Cr} 分解率 80%以上、VS 分解率 75%以上、n-Hex 分解率が 95%以上となっており、分解率からも発酵槽の状態は安定していると判断できた。

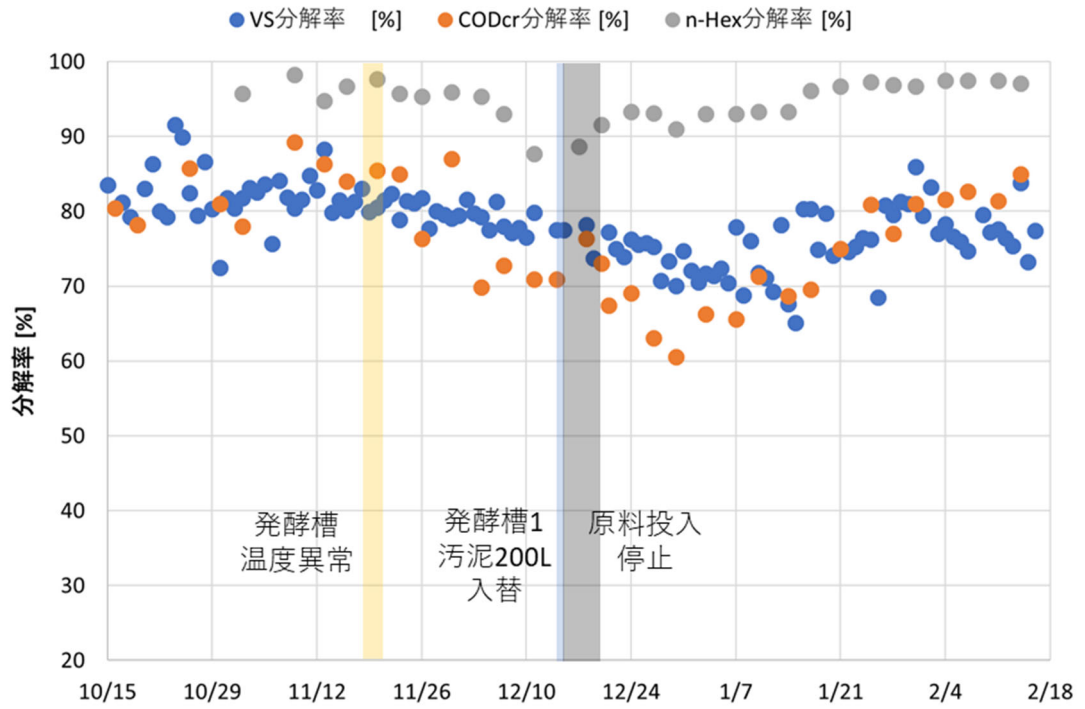


図 2-4-2 発酵槽 1 の各種分解率

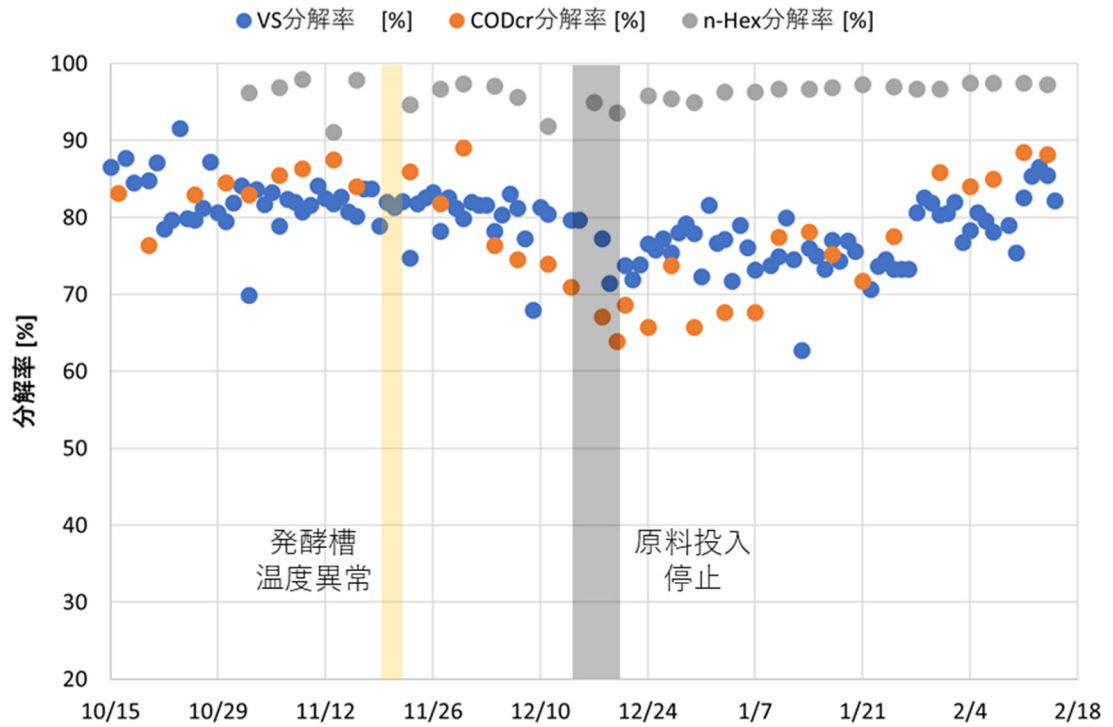


図 2-4-3 発酵槽 2 の各種分解率

4) 油分比を徐々に上昇させた運転の実施

安定運転によって馴致した汚泥を使用して、安定運転で使用した原料に GT スカムを混合し、n-Hex/VS を段階的に変動させ、処理可能な n-Hex/VS を確認した。

試験期間中の発酵槽 1 と発酵槽 2 のメタン発生量と VS 容積負荷を図 2-4-4 に示す。いずれの発酵槽においても混合液を原料とした原料中 n-Hex/VS=0.30 と n-Hex/VS=0.35 の期間も安定したメタン発生量となっており、本試験の VS 容積負荷 (1.0 kg-VS/m³/日 と 2.0 kg-VS/m³/日) では原料中 n-Hex/VS=0.30 と n-Hex/VS=0.35 においても安定した運転が可能であると考えられる。

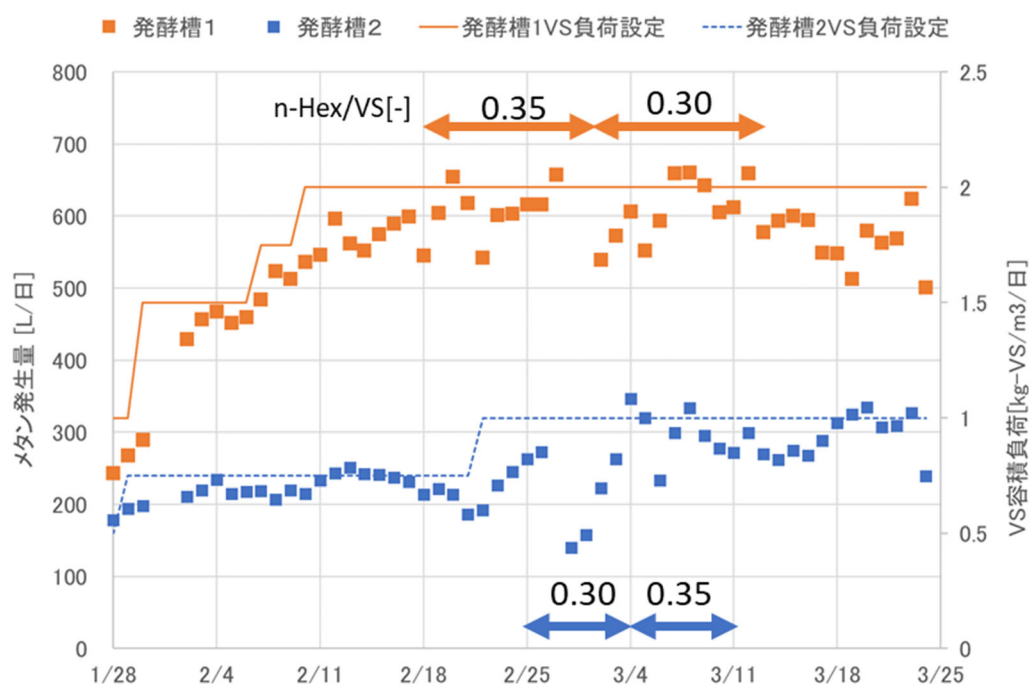


図 2-4-4 発酵槽メタン発生量と VS 容積負荷

また、発酵槽 1 と発酵槽 2 における VS、COD_{Cr}、n-Hex の分解率を図 2-4-5~6 に示す。混合液を原料として以降も、n-Hex/VS によらず各分解率は安定しており、発酵槽 1 では、n-Hex/VS=0.30 の期間の平均分解率は VS が 79.4%、COD_{Cr} が 79.0%、n-Hex が 97.6%、n-Hex/VS=0.35 の期間の平均分解率は VS が 81.0%、COD_{Cr} が 86.6%、n-Hex が 98.1% となり、一般的なメタン発酵での分解率と同水準であった。発酵槽 2 でも n-Hex/VS=0.30 の期間の平均分解率は VS が 80.2%、COD_{Cr} が 89.1%、n-Hex が 98.0%、n-Hex/VS=0.35 の期間の平均分解率は VS が 79.6%、COD_{Cr} が 82.3%、n-Hex が 97.6% となり、発酵槽 1 と同様に一般的なメタン発酵での分解率と同水準であった。この結果から、原料中 n-Hex/VS=0.30 と n-Hex/VS=0.35 においても分解率は低下せず、安定的な運転継続が可能であると確認できた。

ただし、n-Hex/VS 及び VS 負荷容量の上限値については明らかとなっていない。

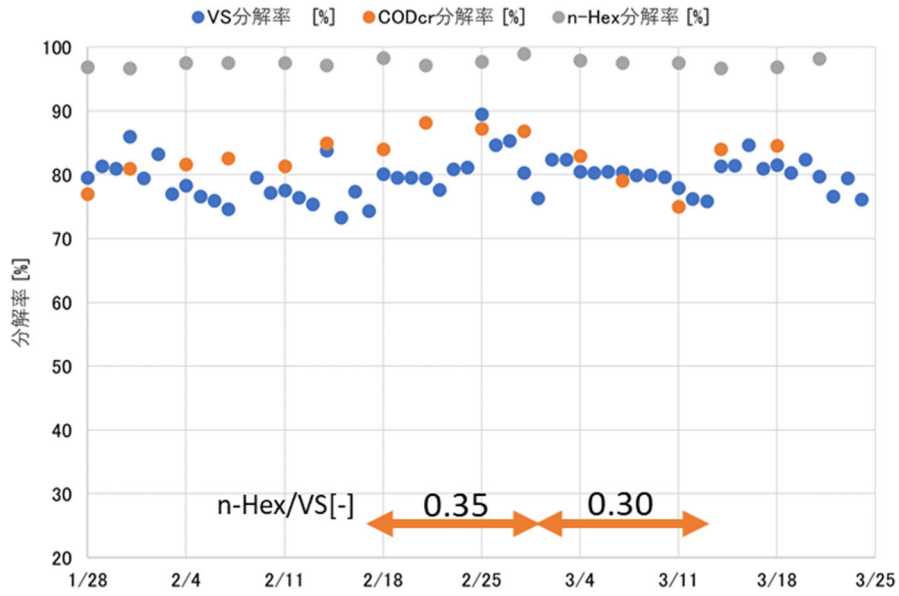


図 2-4-5 発酵槽 1 の分解率

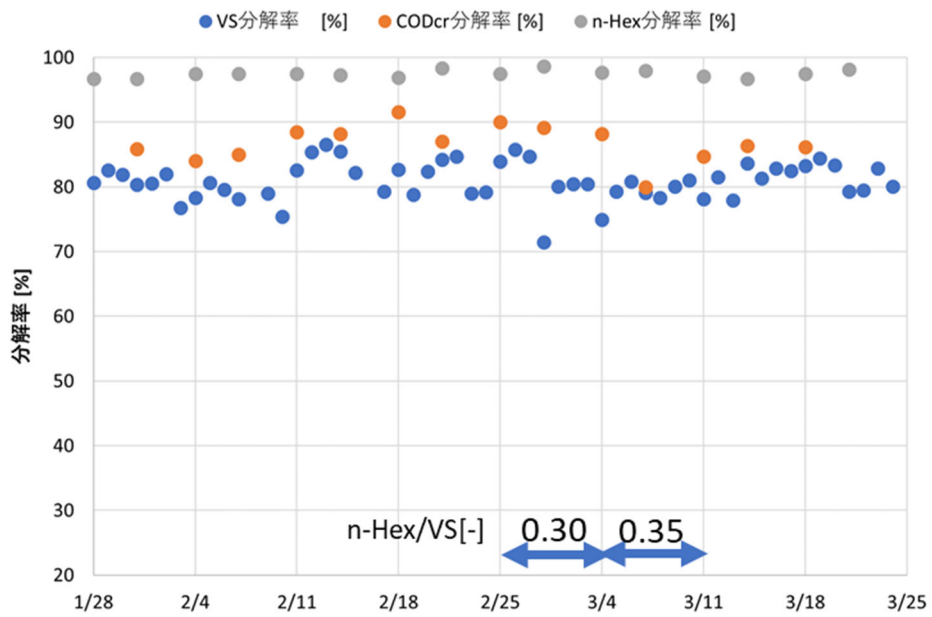


図 2-4-6 発酵槽 2 の分解率

第3章 平成31年度実証試験結果

1. 副資材による高油分原料運転実証

1) 運転条件の設定

平成30年度の400L規模装置を用いた連続運転結果から、n-Hex/VSが0.35以下であれば安定した稼働ができる可能性が示唆された。一方で処理上限の把握までは達成できなかったため、平成31年度の試験では、平成30年度製作した400L連続試験装置1系統を用いて、n-Hex/VSの処理限界を確認する連続試験を実施し、副資材を用いた連続運転試験におけるn-Hex/VSを決定した。

(1) n-Hex/VSの設定

①試験概要

試験場所：(株)研電社

試験期間：2019年2月17日～2019年6月25日（試験日数129日）

試験概要：平成30年度に製作した400L連続試験装置1系統を用いた連続試験を実施し、メタン生成量、発酵槽内のVFA濃度、VS分解率、COD_{Cr}分解率、n-Hex分解率等の分析結果から副資材を用いた連続運転試験におけるn-Hex/VSを決定した。

②試験方法

(ア)試験装置

試験で使用した装置の概略図を図3-1-1に示す。投入槽に試験で用いる原料を手動で投入後、攪拌、均質化された原料は投入槽下部のバルブを開放して原料槽に投入される。原料槽では油分分離と固形物の沈殿を防ぐために原料を加温しながら攪拌を行い、発酵槽への原料投入はチューブポンプによって行った。投入量は1日当たりの投入回数と1回当たりの運転時間で調整した。

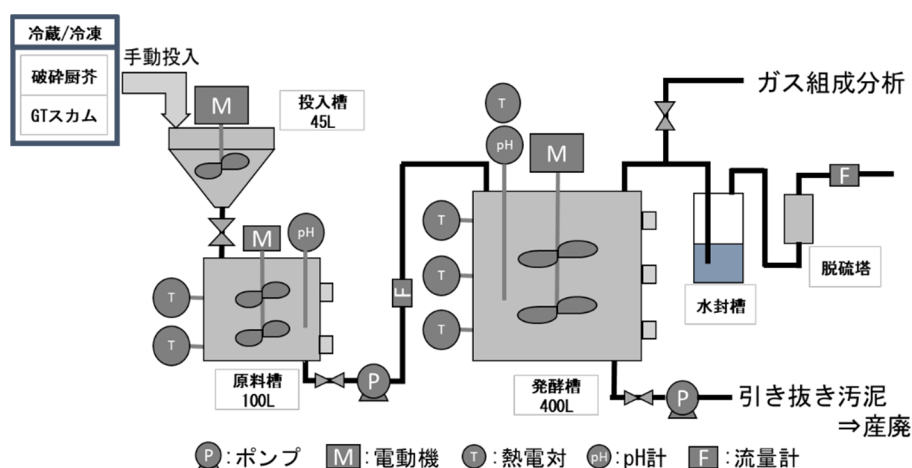


図 3-1-1 試験装置の概略図

(イ)対象原料と種汚泥

ハルカス原料とあべのハルカスのグリーストラップから採取した GT スカム、水を混合し、n-Hex/VS を調整した液体（以下、原料液）を試験の原料として用い、種汚泥は平成 30 年度の連続運転試験終了後の汚泥をそのまま使用した。試験開始時の汚泥性状を表 3-1-1 に示す。VFA、n-Hex、COD_{cr} の蓄積は見られず、試験実施に支障のない性状であった。

表 3-1-1 試験開始時の汚泥性状

	VS	VFA	COD _{cr}	n-Hex
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
汚泥	10,150	252	14,000	400

(ウ)試験手順

- ・ n-Hex/VS を調整するため、200L タンクで原料液と GT スカムを約 40℃に加熱して混合
- ・ 投入槽へ手動で原料液と VS 濃度調整用の水道水を投入
- ・ 原料槽から毎日サンプリングし、VS と n-Hex を測定し、ハルカス原料と GT スカム、水道水で n-Hex/VS を調整
- ・ 原料槽は油分の凝固を防止するため 40℃に加熱
- ・ 原料槽から発酵槽への原料液は 1 日に 4~8 回に分けてチューブポンプで送液、送液量は連続的にデータロガーで記録
- ・ 前日の送液量と同量の消化液を発酵槽下部から 1 日 1 回チューブポンプを任意の時間運転し引抜
- ・ 脱硫槽前でガスバッグにより、ガス組成分析用サンプルを採取
- ・ 採取した消化液とガスの性状測定、分析

(エ)試験条件

- ・試験温度：（発酵槽） $54\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、（原料槽） 40°C
- ・VS容積負荷：（発酵槽 1） $1.5\sim 2.0\text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$
- ・n-Hex/VS： $0.3\sim 0.5$
- ・HRT：25日
- ・攪拌速度：（発酵槽）15 rpm、（原料槽）60 rpm

(オ)測定・分析項目と頻度

原料液と消化液の分析項目と頻度を表 3-1-2 に、発生したガスの測定項目と頻度を表 3-1-3 に示す。

表 3-1-2 原料液と消化液の分析項目と頻度

項目	頻度		分析方法
	原料液	消化液	
TS	1回/日	1回/日	JIS K0102 14.2
VS	1回/日	1回/日	JIS K0102 14.5
pH	1回/日	1回/日	JIS K 0102 12.1
n-Hex	2回/週	2回/週	下水試験方法（2012） 2. 1. 40. 1
COD _{cr}	1回/日	1回/日	JIS K0102 20.1
揮発性 脂肪酸	-	2回/週	GC 法
総窒素量	1回/月	-	マクロ改良 ケルダール法
タンパク質	1回/月	-	マクロ改良 ケルダール法 ^{*1}
脂質	1回/月	1回/週	酸分解法
炭水化物	1回/月	-	算出法 ^{*2}
灰分	1回/月	-	直接灰化法
水分	1回/月	-	減圧加熱乾燥法

表 3-1-3 発生ガスの測定項目と頻度

項目	頻度	測定方法
ガス組成	1回/日	ガスモニタ
ガス発生量	1回/日	湿式積算流量計

③試験結果

(ア)原料 n-Hex/VS と発酵槽 VS 容積負荷

試験期間中の原料 n-Hex/VS と発酵槽の VS 容積負荷の変移を図 3-1-2 に示す。試験に用いた GT スカム中の n-Hex、VS のばらつきにより、設定値から外れる期間がみられるが概ね設定値通りの原料 n-Hex/VS と発酵槽 VS 容積負荷で連続運転試験を実施することが出来た。

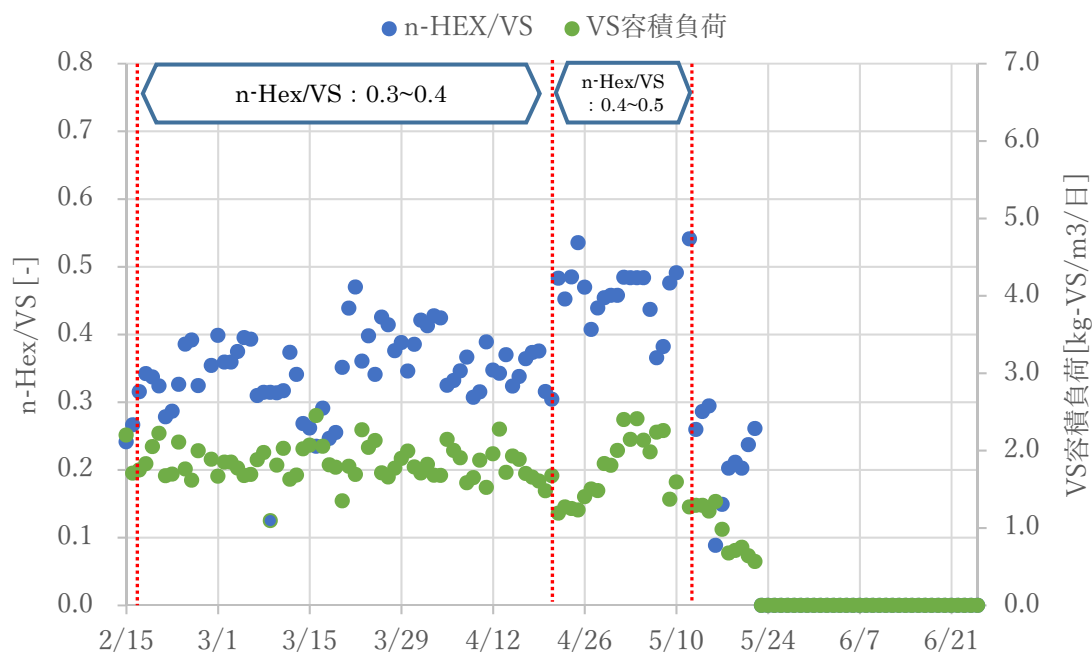


図 3-1-2 原料液 n-Hex/VS と発酵槽の VS 容積負荷

(イ)原料 n-Hex/VS と発酵槽内の VFA 濃度

試験期間中の発酵槽内 VFA 濃度を図 3-1-3 に示す。なお VFA 濃度は酢酸、プロピオン酸、iso-酪酸、n-酪酸、iso-吉草酸、n-吉草酸、iso-カプロン酸、n-カプロン酸の合計値を用いた。原料 n-Hex/VS が 0.3~0.4 の運転期間では VFA の蓄積は見られず、安定した状態が維持されていたが、原料 n-Hex/VS が 0.4~0.5 の運転期間では発酵槽内の VFA 蓄積が進行し、運転開始 20 日で発酵槽内の VFA 濃度は 3,000 mg/L に達した。発酵槽内の VFA 蓄積を解消するために一時的に原料 n-Hex/VS を 0.2 まで下げて運転したが VFA 蓄積が進行したため、原料投入を停止した。原料投入停止後 1 ヶ月しても VFA 蓄積は解消されなかったため、原料 n-Hex/VS が 0.4~0.5 での運転は困難であり、安定して運転可能な原料 n-Hex/VS は 0.3~0.4 であると判断した。

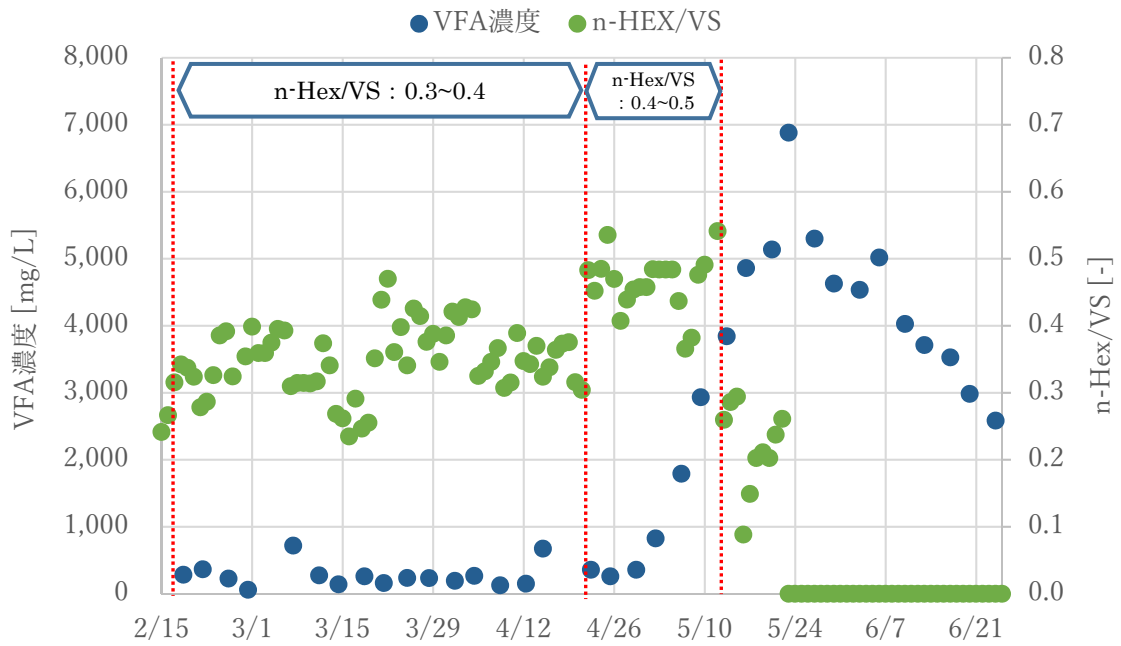


図 3-1-3 原料 n-Hex/VS と発酵槽内 VFA 濃度

(ウ)原料 n-Hex/VS とメタン生成量

試験期間中のメタン生成量を図 3-1-4 に示す。原料 n-Hex/VS が 0.3~0.4 の範囲では安定したメタン生成量が確認できたが、原料 n-Hex/VS を 0.4~0.5 に切り替えた直後にメタン生成量が減少し、一時的には回復したがすぐに再度減少傾向となり、原料 n-Hex/VS を 0.2 に変更後もメタン生成量は回復しなかった。

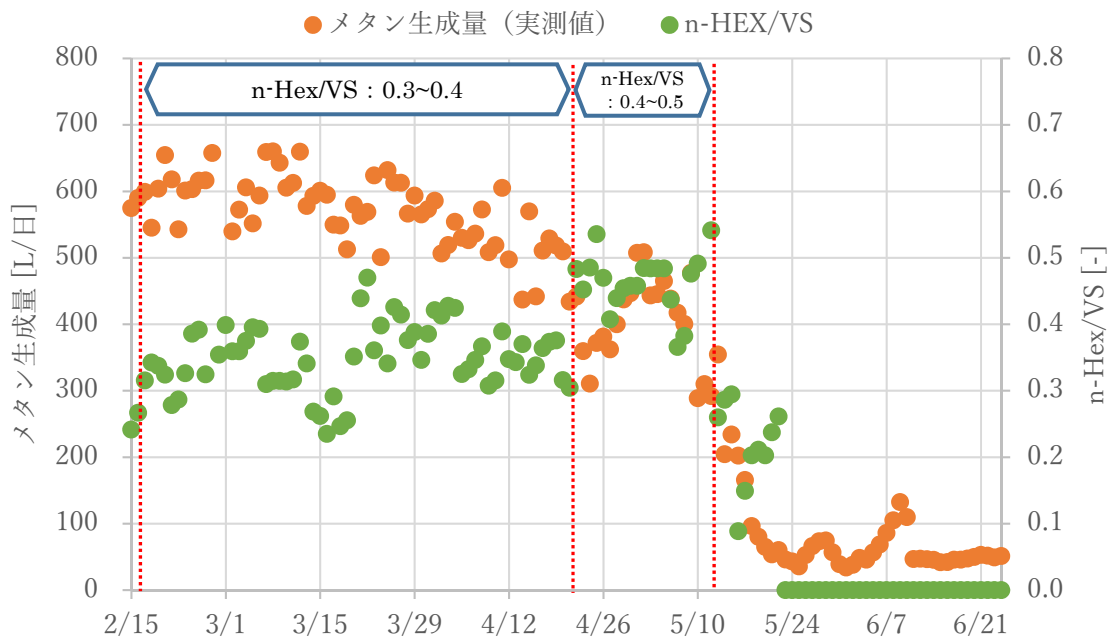


図 3-1-4 原料 n-Hex/VS とメタン生成量

(エ) ガス組成

試験期間中のガス組成を図 3-1-5 に示す。原料 n-Hex/VS が 0.3~0.4 の範囲ではメタン濃度 63% 付近、二酸化炭素濃度 36% 付近でガス組成は安定していたが、原料 n-Hex/VS を 0.4~0.5 に切り替えた直後にメタン濃度が減少し、二酸化炭素濃度が徐々に増加した。原料投入を停止するとメタン濃度が約 70% まで上昇し、二酸化炭素濃度は 30% まで低下した。

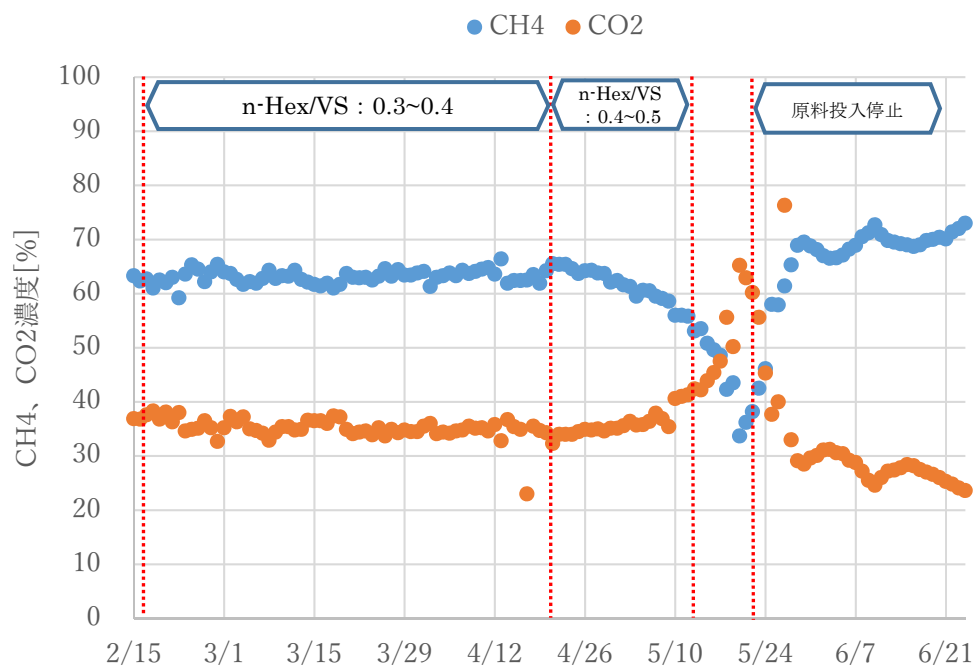


図 3-1-5 ガス組成

(オ) 発酵槽における分解率

試験期間中の VS、COD_{Cr}、n-Hex の分解率を図 3-1-6 に示す。VS 分解率については、原料 n-Hex/VS が 0.3~0.4 での運転期間と 0.4~0.5 の運転期間で大きな違いは見られなかった。COD_{Cr} 分解率は原料 n-Hex/VS が 0.3~0.4 の運転期間ではおおむね 75% 以上を維持していたが、0.4~0.5 に切り替えてから 2 週間で低下が始まり、3 週間後には約 60% となった。n-Hex 分解率は原料 n-Hex/VS が 0.3~0.4 の運転期間ではおおむね 95% 以上を維持していたが、0.4~0.5 に切り替えてから 2 週間は 95% を維持できたが、3 週間経過後には 90% を下回った。

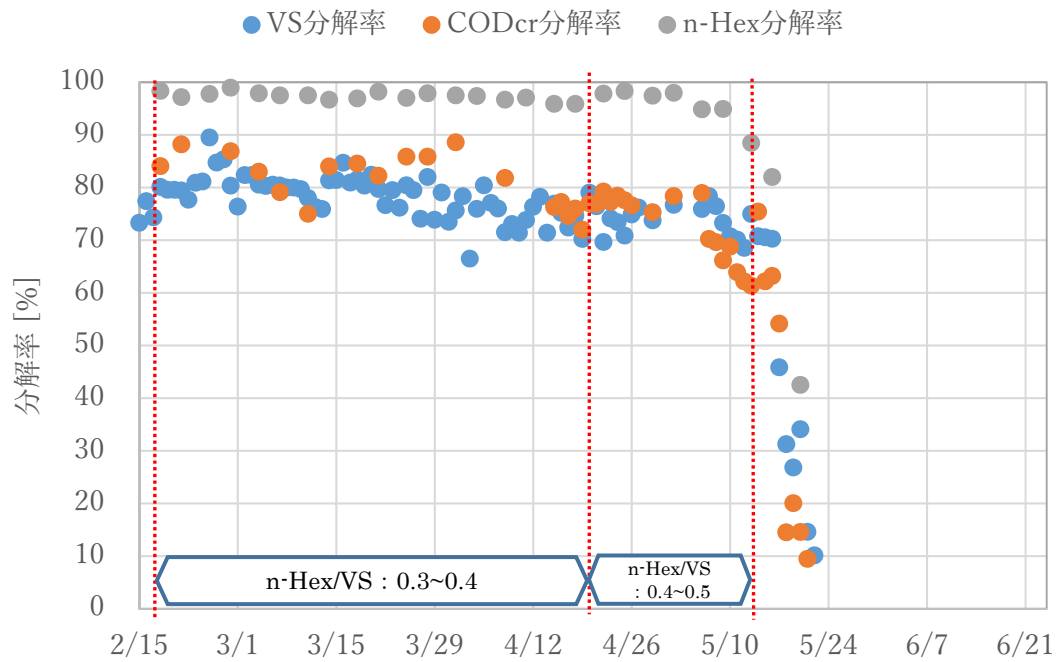


図 3-1-6 分解率

④試験のまとめ

400L 連続試験装置 1 系統を用いて n-Hex/VS の処理限界を確認する連続試験を実施した。メタン生成量、発酵槽内の VFA 濃度、VS 分解率、CODcr 分解率、n-Hex 分解率、ガス組成から n-Hex/VS が 0.3~0.4 であれば安定した運転が可能であると考えられる。

この結果を踏まえて、副資材を用いた運転実証では n-Hex/VS は 0.3 で運転することとする。

(2) 容積負荷の設定

VS 容積負荷は発酵槽容量に大きな影響を与えるため、建物内でメタン発酵をする場合は特に重要な条件となる。平成 30 年度に製作した 400L 規模の連続試験装置を用いて、VS 容積負荷を段階的に変化させる連続試験を実施、VS 容積負荷の処理上限を把握し、副資材を用いた連続運転試験での VS 容積負荷を決定した。

①試験概要

試験場所：(株)研電社

試験期間：2019 年 3 月 12 日～2019 年 6 月 30 日（試験日数 111 日）

試験概要：400L 連続試験装置 1 系統を用いた連続試験を実施し、メタン生成量、発酵槽内の VFA 濃度、VS 分解率、COD_{cr} 分解率、n-Hex 分解率等の分析結果から副資材を用いた連続運転試験における VS 容積負荷を決定した。

②試験方法

(ア)試験装置

第 3 章 1. 1) (1) の図 3-1-1 に示した装置を使用した。

(イ)対象原料と汚泥

ハルカス原料とあべのハルカスのグリーストラップから採取した GT スカム、水を混合し、VS 濃度と n-Hex/VS を調整した原料（以下、原料）を試験の原料として用いた。種汚泥は平成 30 年度の連続運転試験終了後の汚泥をそのまま使用した。試験開始時の汚泥性状を表 3-1-4 に示す。VFA、n-Hex、COD_{cr} の蓄積は見られず、試験実施に支障ない性状であった。

表 3-1-4 試験開始時の汚泥性状

	VS	VFA	COD _{cr}	n-Hex
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
汚泥	9,380	306	15,000	400

(ウ)試験手順

第3章1.1) (1)と同様の試験手順で試験を行った。

(エ)試験条件

- ・試験温度：(発酵槽) $54 \pm 1^\circ\text{C}$ 、(原料槽) 40°C
- ・VS容積負荷：(発酵槽2) $1.0 \sim 5.5 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$
- ・n-Hex/VS：0.25~0.30
- ・HRT：12.5~16日
- ・攪拌速度：(発酵槽) 15 rpm、(原料槽) 60 rpm

(オ)測定・分析項目

第3章1.1) (1)の表3-1-2と表3-1-3に示した測定・分析項目と頻度で測定・分析を行った。

③試験結果

(ア)VS容積負荷とn-Hex/VS

試験期間中の原料n-Hex/VSと発酵槽のVS容積負荷の変移を図3-1-7に示す。VS容積負荷 $1.0 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$ から運転を開始し、1~2週間ごとにVS容積負荷を上げて試験を行った。n-Hex/VSについては、試験開始直後は0.3を超えることがあったが、VS容積負荷が $3.0 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$ となって以降は0.25付近で安定していた。

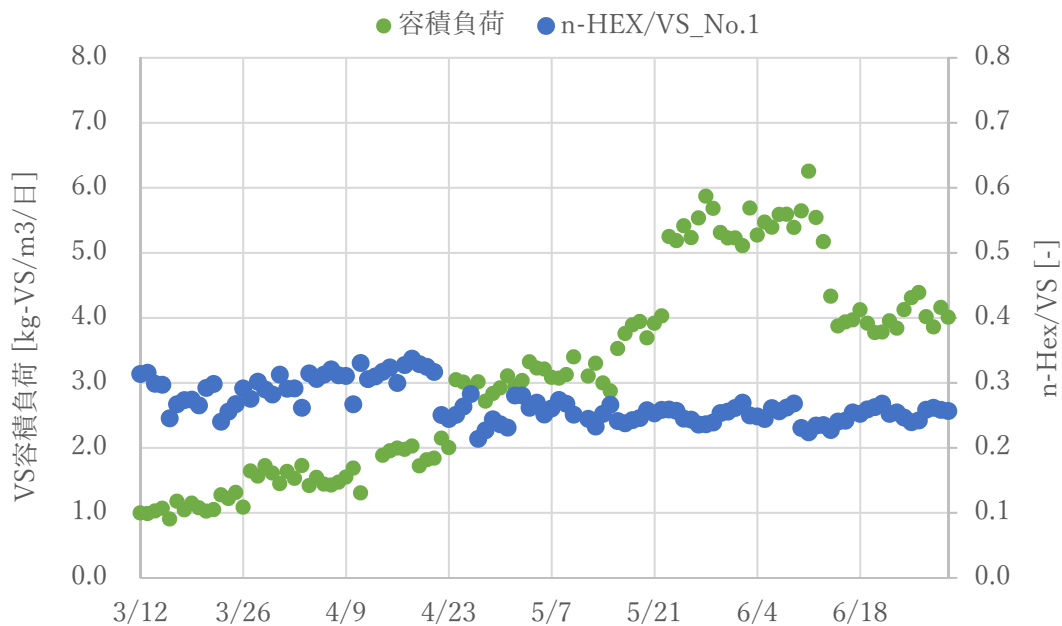


図3-1-7 原料液のn-Hex/VSと発酵槽のVS容積負荷

(イ) 発酵槽内の VFA

試験期間中の発酵槽内 VFA 濃度を図 3-1-8 に示す。図中の赤点線は負荷を変更した日時を示している。なお VFA 濃度は酢酸、プロピオン酸、iso-酪酸、n-酪酸、iso-吉草酸、n-吉草酸、iso-カプロン酸、n-カプロン酸の合計値を用いた。VS 容積負荷が 4.0 kg-VS/m³/日までは負荷変更直後に VFA 濃度が若干上昇するものの同じ負荷で試験を継続すると VFA 濃度は低下傾向を示し、VFA の蓄積は見られなかった。一方、容積負荷 5.5 kg-VS/m³/日では VFA 蓄積が進行し、負荷切り替え後 20 日の時点で VFA 濃度が 3,000 mg/L を超えた。VS 容積負荷を 5.5 kg-VS/m³/日から 4.0 kg-VS/m³/日に変更すると VFA の蓄積は解消したため、発酵槽内の VFA 濃度の観点からは VS 容積負荷が 4.0 kg-VS/m³/日以下であれば連続運転が可能と判断した。

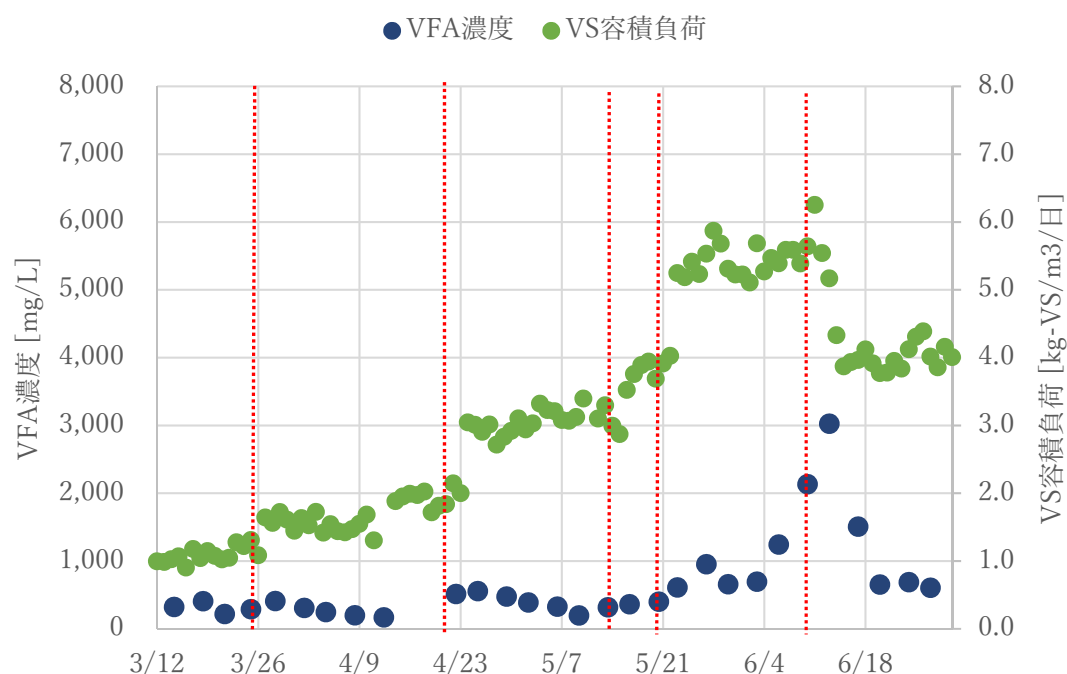


図 3-1-8 VS 容積負荷と発酵槽内 VFA 濃度

(ウ) VS 容積負荷とメタン生成量

試験期間中のメタン生成量を図 3-1-9 に示す。VS 容積負荷を上げると直後からメタン生成量も増加することが確認され、発酵槽内に VFA が蓄積された VS 容積負荷 5.5 kg-VS/m³/日の運転期間中でもメタン生成量の明確な低下は見られなかった。

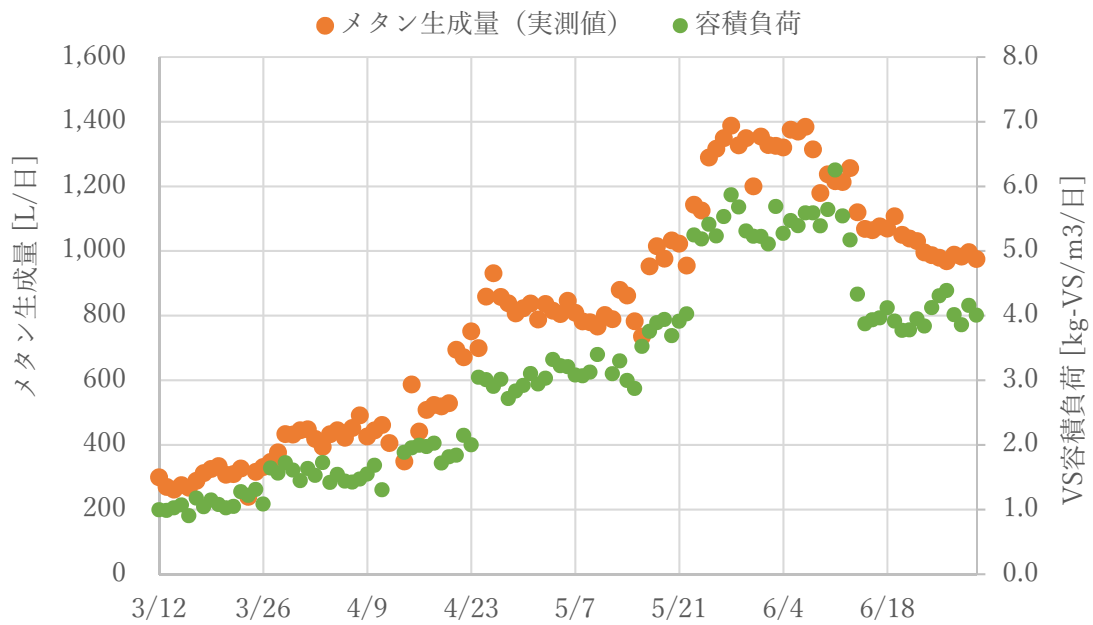


図 3-1-9 メタン生成量

(エ) VS 容積負荷とガス組成

試験期間中のガス組成を図 3-1-10 に示す。VS 容積負荷が 2.0 kg-VS/m³/日までと比較し、VS 容積負荷が 3.0 kg-VS/m³/日以上では若干メタン濃度が低下し、二酸化炭素濃度が上昇する傾向がみられたが、メタン濃度が 60%付近となっているため運転上問題ないと判断した。

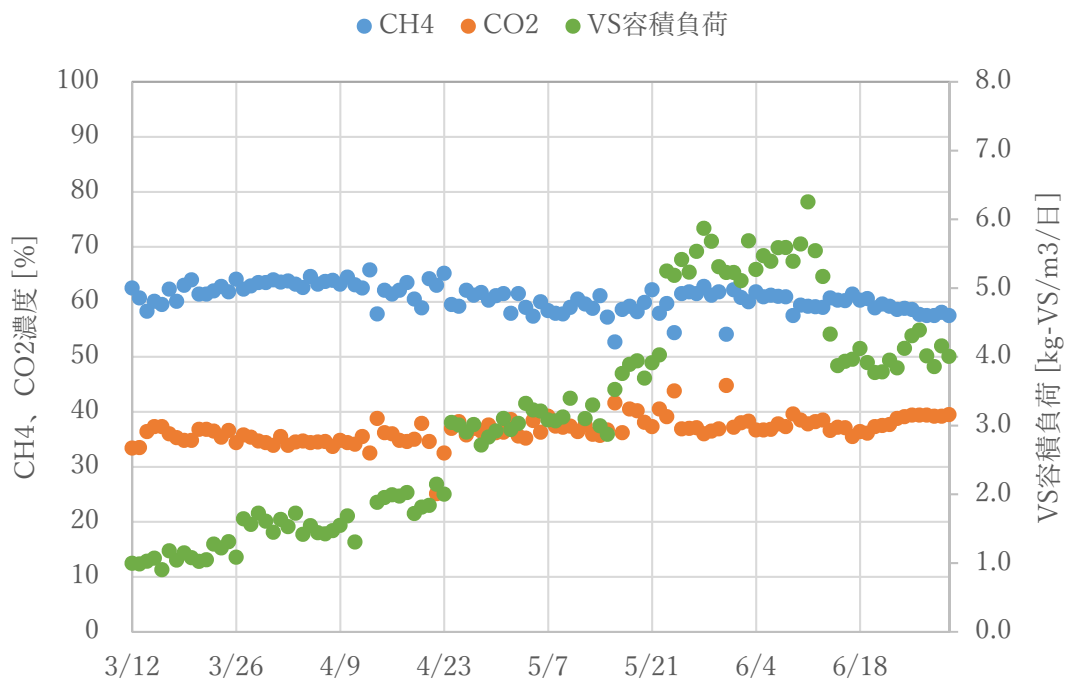


図 3-1-10 ガス組成

(オ) VS 容積負荷と発酵槽における分解率

試験期間中の VS、CODcr、n-Hex の分解率を図 3-1-11 に示す。VS 容積負荷が高くなると n-Hex 分解率が若干低下する傾向が見られたが、VS と CODcr の分解率については VS 容積負荷から明確な影響は確認できなかった。

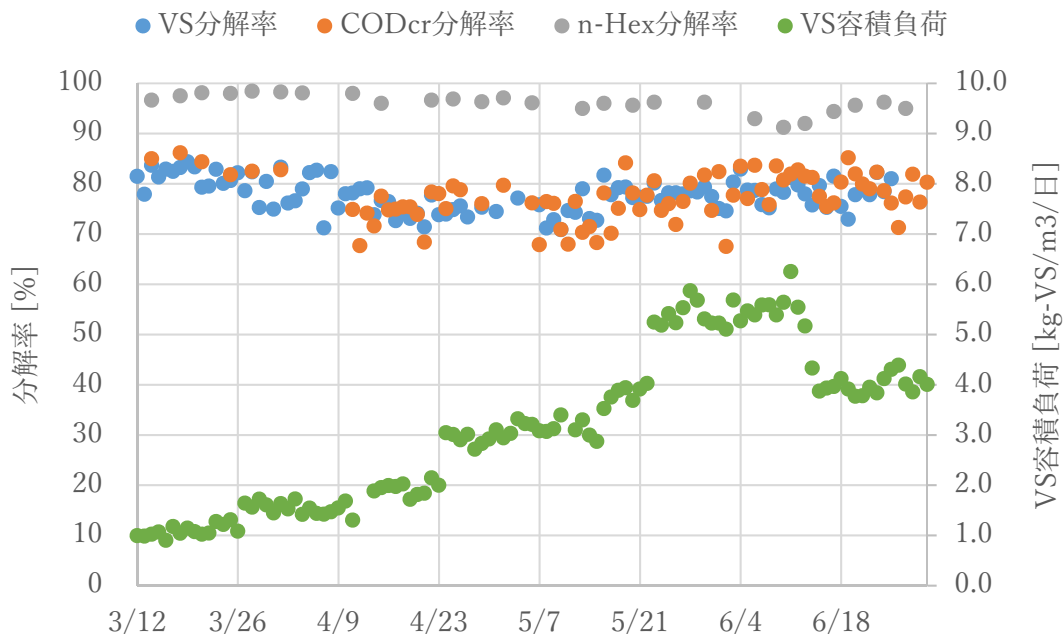


図 3-1-11 VS、CODcr、n-Hex 分解率

④試験のまとめ

400L 連続試験装置 1 系統を用いて VS 容積負荷の処理限界を確認する連続試験を実施した。メタン生成量、発酵槽内の VFA 濃度、VS 分解率、CODcr 分解率、n-Hex 分解率、ガス組成から VS 容積負荷が 4.0 kg-VS/m³/日までは安定運転が可能であると考えられた。

この結果を踏まえて、副資材を用いた運転実証では VS 容積負荷を 3.5 kg-VS/m³/日で運転することとした。

(3) 副資材の選定

第 2 章 1. 平成 30 年度の成果に示したように化学分析、バッチ試験、ジャーテストの結果から厨芥乾燥物、廃シロップ、廃スターチが副資材の候補として選定された。平成 31 年度の連続試験においては、流通経路が確立されており入手が最も容易と考えられる厨芥乾燥物と、調達コストが低く、液体であるためハンドリングが容易な廃シロップを副資材として用いることとした。

2) 運転実証の実施

(1) 最も広く調達可能な副資材による運転実証

平成 30 年度のジャーテスト結果から副資材として厨芥乾燥物を投入した場合、n-Hex/VS=0.2、容積負荷 1.1 kg-VS/m³/日の運転条件であれば、グリーストラップで油分を除去せずにメタン発酵が可能であることが示唆された。平成 31 年度は、平成 30 年度に製作した 400L 規模の連続試験装置 2 系統を用いて連続試験を実施し、副資材投入の効果を検証した。なお、2 系統としたのはその再現性を得るためである。

①試験概要

試験場所：(株)研電社

試験期間：(発酵槽 1) 2019 年 7 月 1 日～2019 年 10 月 28 日 (試験日数 120 日)

(発酵槽 2) 2019 年 7 月 1 日～2020 年 1 月 7 日 (試験日数 191 日)

試験概要：n-Hex/VS を調整する副資材に厨芥乾燥物を用いて 400L 規模の連続試験を実施し、副資材利用の効果を確認した。また副資材の有無がメタン生成量、発酵槽内の VFA 濃度、VS 分解率、COD_{Cr} 分解率、n-Hex 分解率等を与える影響を把握するため第 3 章 1. で設定した運転条件で約 1 ヶ月間の副資材を用いない試験を合わせて実施した。

②試験方法

(ア)試験装置

第 3 章 1. 1) (1) の図 3-1-1 に示した装置を使用した。

(イ)対象原料と汚泥

ハルカス原料：GT スカム：厨芥乾燥物：水=51：5：3：42 (重量比) で混合し、VS 濃度 7%、n-Hex/VS=0.3 に調整した液体 (以下、原料液) を原料として用いた。原料液性状の試験期間中の平均値を表 3-1-5 に示す。

種汚泥は運転条件決定のための連続運転試験終了後の汚泥を使用した。ただし発酵槽 1 はメタン生成量が回復するまでハルカス原料で運転し、8 月 6 日から厨芥乾燥物を用いた試験を実施した。試験開始時の汚泥性状を表 3-1-6 に示す。発酵槽 2 では若干の VFA 蓄積が見られたが、メタン発酵に影響を与える濃度ではないため、連続試験で使用することに問題はないと判断した。

表 3-1-5 試験期間中の原料液性状の平均値

	VS [mg/L]	COD _{Cr} [mg/L]	タンパク質 [mg/L]	脂質 [mg/L]	糖類 [mg/L]
原料液	75,000	162,000	15,000	25,000	30,000

表 3-1-6 試験開始時の汚泥性状

	VS	VFA	CODcr	n-Hex
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
発酵槽 1	11,100	202	26,650	310
発酵槽 2	12,600	1,019	31,750	700

(ウ)試験手順

第3章1. 1) (1)と同様の試験手順で試験を行った。

(エ)試験条件

- ・試験温度：(発酵槽) $54 \pm 1^\circ\text{C}$ 、(原料槽) 40°C
- ・VS容積負荷：(発酵槽 1) $1.5 \sim 3.5 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$
(発酵槽 2) $3.5 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$
- ・n-Hex/VS： 0.30 ± 0.05
- ・HRT：(発酵槽 1) 20～47 日
(発酵槽 2) 20 日
- ・攪拌速度：(発酵槽) 15 rpm、(原料槽) 60 rpm

(オ)測定・分析項目

第3章1. 1) (1)の表 3-1-2 と表 3-1-3 に示した測定・分析項目と頻度で測定・分析を行った。

③試験結果

(ア)VS容積負荷と n-Hex/VS

厨芥乾燥物を用いた実証運転における発酵槽 1 の VS 容積負荷と n-Hex/VS を図 3-1-12 に、発酵槽 2 の VS 容積負荷と n-Hex/VS を図 3-1-13 に示す。発酵槽 1 では n-Hex= 0.3 ± 0.05 で VS 容積負荷を $1.5 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$ から上昇させ、 $3.5 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$ に到達後、55 日間運転した。発酵槽 2 では n-Hex/VS= 0.30 ± 0.05 で VS 容積負荷 $3.5 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$ の同一条件で 155 日間運転した。

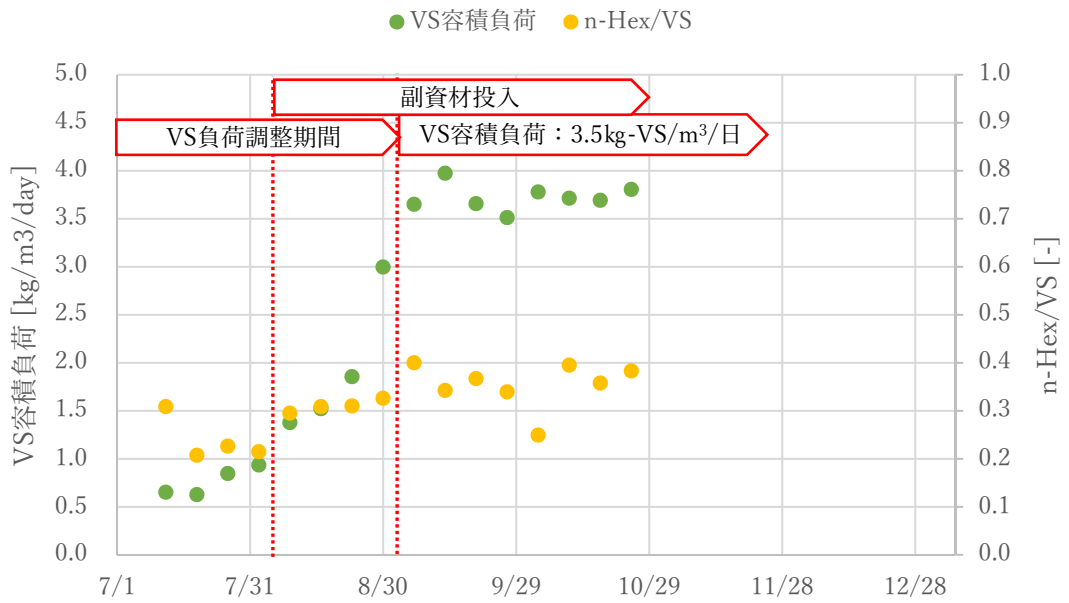


図 3-1-12 発酵槽 1 の VS 容積負荷と n-Hex/VVS

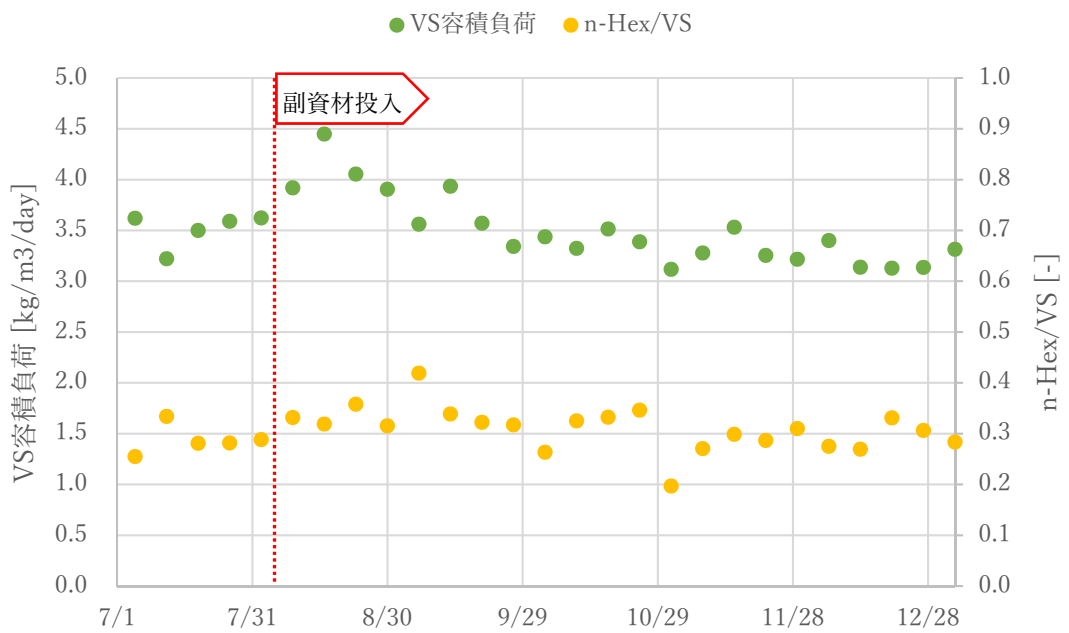


図 3-1-13 発酵槽 2 の VS 容積負荷と n-Hex/VVS

(イ) 発酵槽内の VFA

厨芥乾燥物を用いた実証運転における発酵槽 1 の VFA 濃度を図 3-1-14 に、発酵槽 2 の VFA 濃度を図 3-1-15 に示す。発酵槽 1 では容積負荷が 3.5 kg-VS/m³/日に到達直後、一時的に VFA 濃度が増加することはあったが、全期間で VFA 濃度が 1,000 mg/L 以下であり、安定的な運転が達成できた。発酵槽 2 においても厨芥乾燥物投入開始前、開始後のいずれの期間においても VFA 濃度の一時的な上昇は確認されたが、1 週間程度で減少に転じており、運転に支障はないと考えられる。発酵槽 2 の運転結果から厨芥乾燥物投入の有無は発酵槽内の VFA 濃度には大きな影響を与えないことが確認できた。

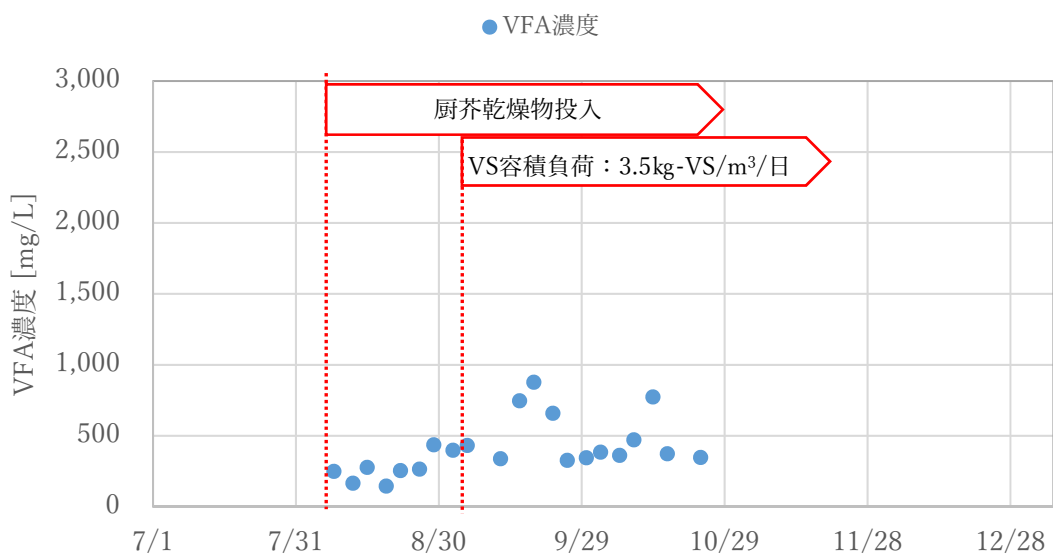


図 3-1-14 発酵槽 1 の VFA 濃度

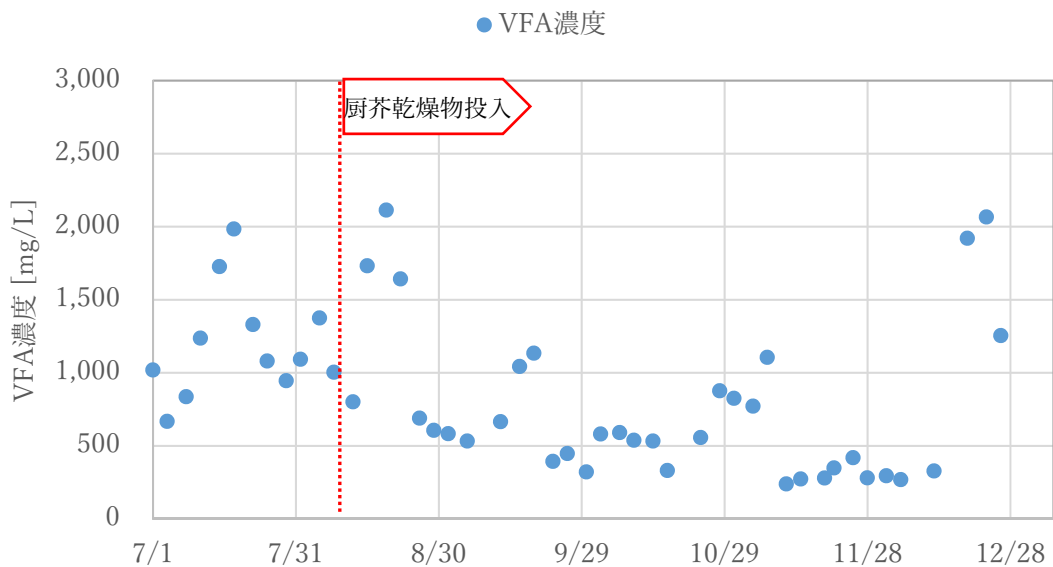


図 3-1-15 発酵槽 2 の VFA 濃度

(ウ)メタン生成量

厨芥乾燥物を用いた実証運転における発酵槽 1 のメタン生成量を図 3-1-16 に、発酵槽 2 のメタン生成量を図 3-1-17 に示す。発酵槽 1 では容積負荷の増加に伴い、メタン生成量が増加し、VS 容積負荷が 3.5 kg-VS/m³/日に到達後、55 日間の平均で 1 日当たり 880 L のメタン生成が確認できた。発酵槽 2 では、厨芥乾燥物投入前の 1 ヶ月の平均で 1 日当たり 878 L のメタン生成が確認できた。厨芥乾燥物投入後の 55 日間は厨芥乾燥物投入前と同程度の 1 日当たり 870 L のメタン生成が確認されたが、それ以降は若干メタン生成量が減少し、1 日当たりのメタン生成量は 766 L となったが、安定したメタン生成は確認できた。

厨芥乾燥物を用いた場合、若干メタン生成量は低下する可能性があるが、安定運転は可能であると考えられる。

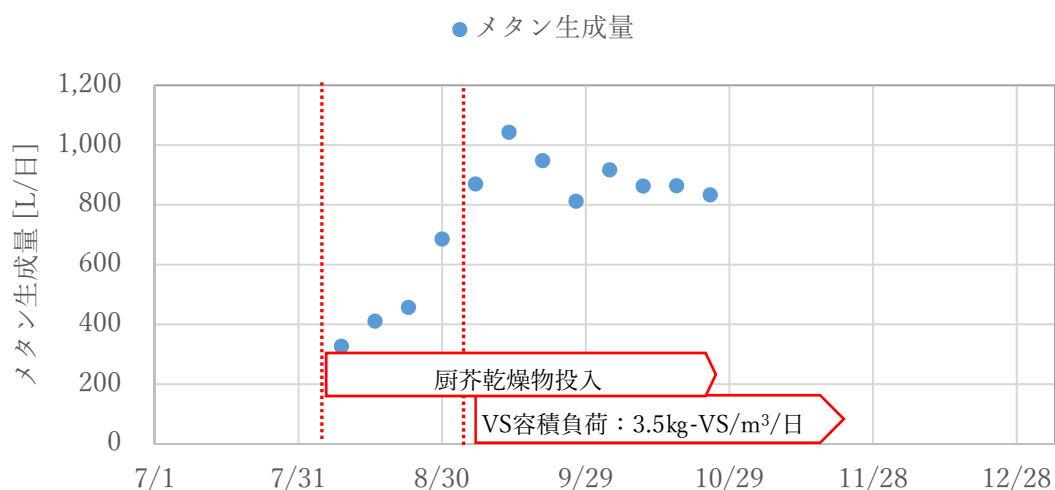


図 3-1-16 発酵槽 1 のメタン生成量

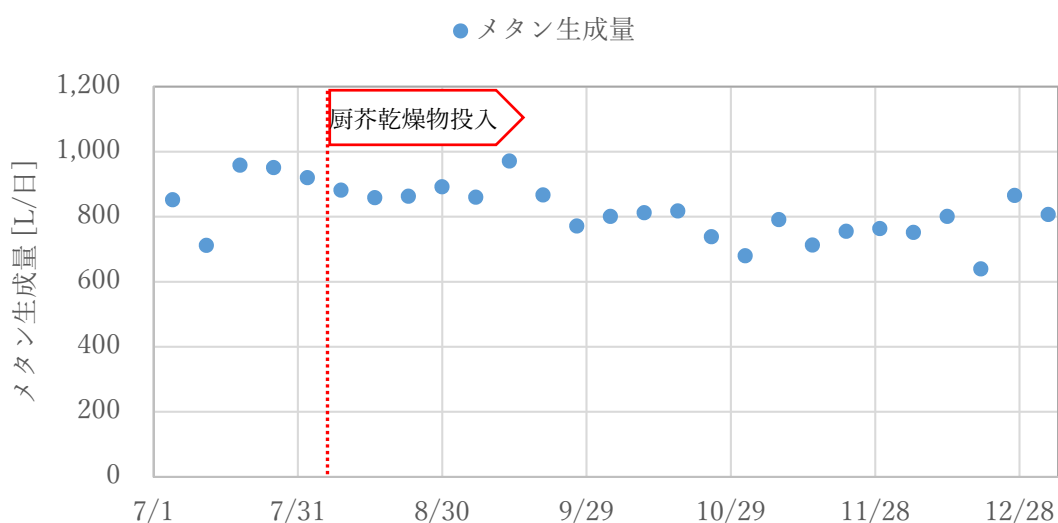


図 3-1-17 発酵槽 2 のメタン生成量

(エ)ガス組成

厨芥乾燥物を用いた実証運転における発酵槽 1 のガス組成を図 3-1-18 に、発酵槽 2 のガス組成を図 3-1-19 に示す。発酵槽 1 では、VS 容積負荷が $3.5 \text{ kg-VS/m}^3/\text{日}$ に到達後若干メタン濃度が上昇した。発酵槽 2 では、厨芥乾燥物投入前は平均 58% だったメタン濃度が運転終了直近の 1 ヶ月間では平均 65% まで上昇した。ガス組成の面からは厨芥乾燥物を用いた運転は可能であると判断できる。

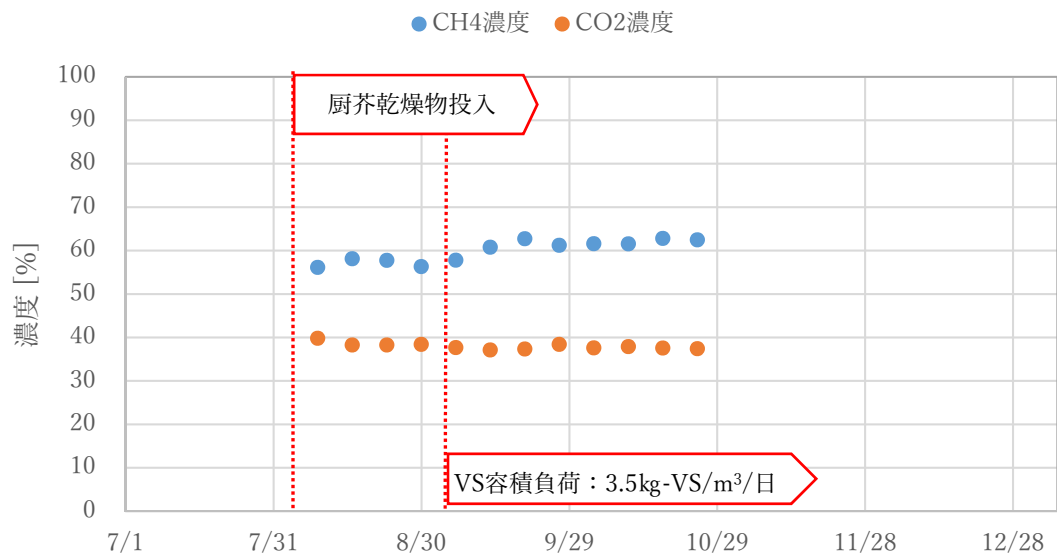


図 3-1-18 発酵槽 1 のガス組成

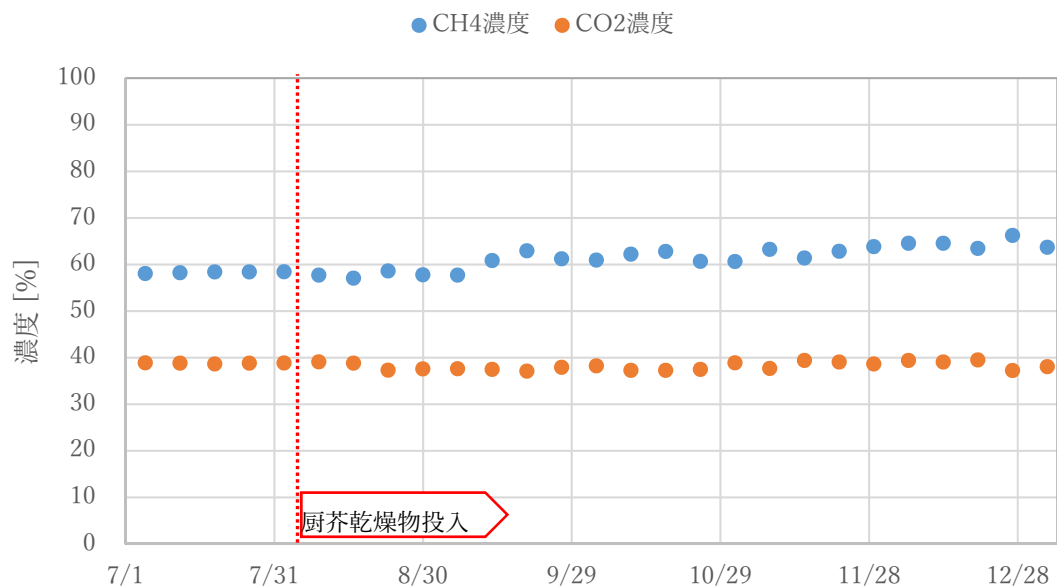


図 3-1-19 発酵槽 2 のガス組成

(オ) 発酵槽における分解率

厨芥乾燥物を用いた実証運転における発酵槽 1 の VS、CODcr、n-Hex の分解率を図 3-1-20 に、発酵槽 2 の VS、CODcr、n-Hex の分解率を図 3-1-21 に示す。発酵槽 1 では n-Hex 分解率は安定していたが、VS 容積負荷 3.5 kg-VS/m³/日に到達後は VS 分解率と CODcr 分解率は若干低下傾向であった。発酵槽 2 においては、厨芥乾燥物投入前と運転終了直近の 1 ヶ月間を比較すると n-Hex 分解率は大きな変化が見られなかった（厨芥乾燥物投入前 94%、厨芥乾燥物投入後 92%）が VS 分解率（厨芥乾燥物投入前 80%、厨芥乾燥物投入後 70%）と CODcr 分解率（厨芥乾燥物投入前 81%、厨芥乾燥物投入後 71%）は 10%低下した。厨芥乾燥物投入によって各種分解率が変化することは実用化時に留意する必要があるが、各種分解率は安定しており、厨芥乾燥物を用いた安定運転は可能であると考えられる。

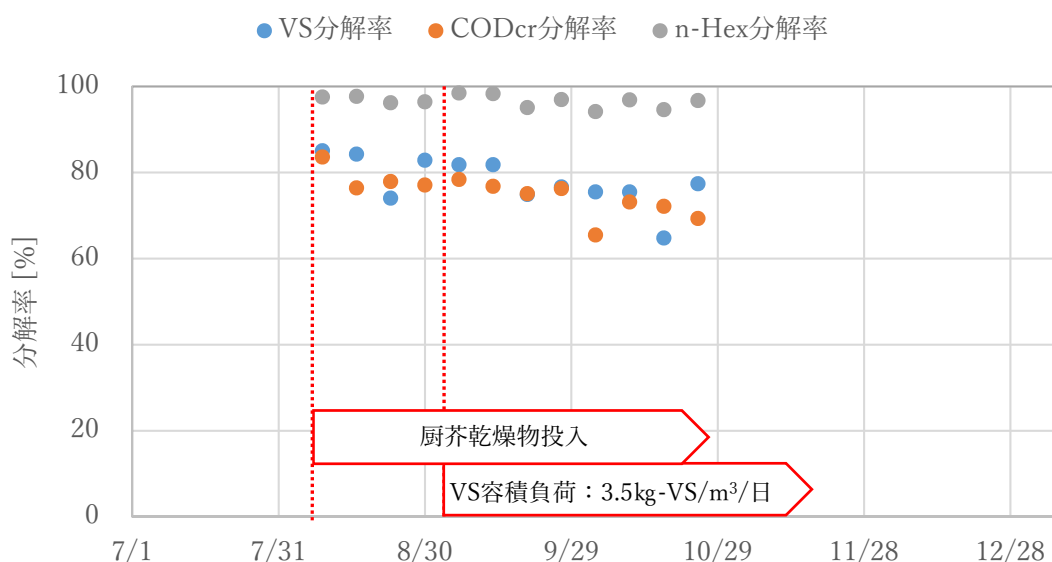


図 3-1-20 発酵槽 1 の VS、CODcr、n-Hex 分解率

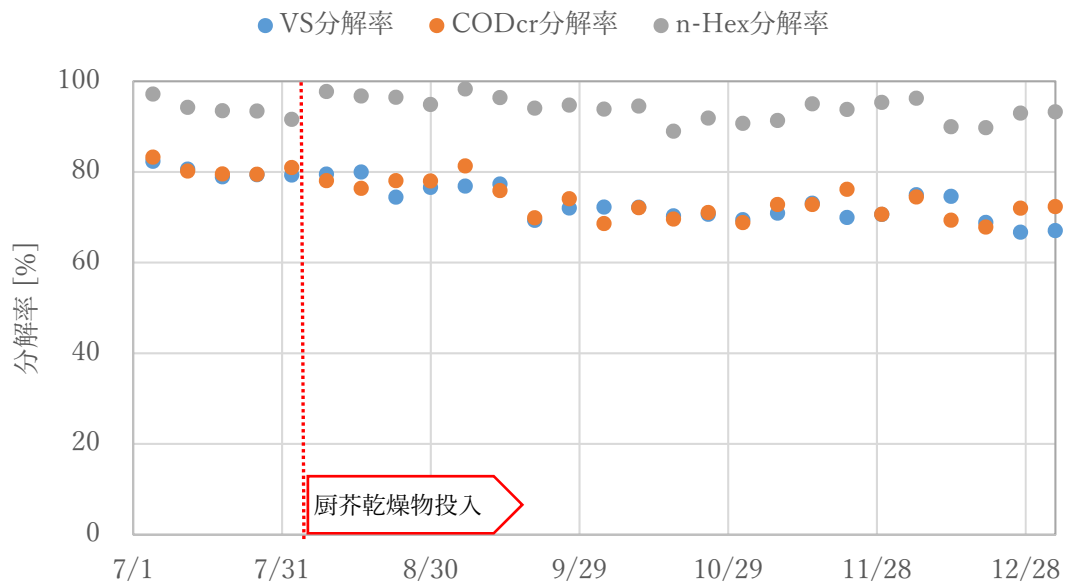


図 3-1-21 発酵槽 2 の VS、CODcr、n-Hex 分解率

④試験のまとめ

n-Hex/VS を調整する副資材に厨芥乾燥物を用いて 400L 規模の実証機 2 系統でそれぞれ立上げ期間を含めて 120 日および 191 日の連続試験を実施した。いずれの系統においても厨芥乾燥物投入後も安定した運転状態が維持され、厨芥乾燥物を投入した運転期間はそれぞれ 83 日、155 日であった。2 系統の試験結果は同期間において類似した結果となっており、再現性も確認された。また 1 系統のみ長期運転を実施することで VS、CODcr、n-Hex の分解率が継続して安定することを確認した。

(2) 実証機への導入を見越した運転実証

平成 30 年度のバッチ試験、小規模連続試験により、廃シロップは他の副資材よりも VS に対する COD_{Cr} の比が高く、VS 投入量を基準とすると過負荷となる可能性が示唆された。そこで本試験においては、容積負荷を COD_{Cr} 基準とし、油分比は n-Hex/VS ではなく、n-Hex/COD_{Cr} で評価を行うこととした。基準となる容積負荷と油分比は厨芥乾燥物を用いた実証運転終了直前の値を参考に決定した。

①試験概要

試験場所：(株)研電社

試験期間：(発酵槽 1) 2019 年 10 月 29 日～2020 年 3 月 16 日 (試験日数 140 日)

(発酵槽 2) 2020 年 1 月 8 日～2020 年 3 月 16 日 (試験日数 69 日)

試験概要：(発酵槽 1) あべのハルカスでの運転状況を再現し、そこにハルカス原料に新たに GT スカムと副資材として廃シロップを混合投入した運転へと切り替え可能なことを実証した。

(発酵槽 2) 副資材として廃シロップを使用することができることを実証した。運転は厨芥乾燥物を用いた運転実証終了後の汚泥を利用して、副資材を廃シロップへと切り替えて実証した。

②試験方法

(ア)試験装置

第 3 章 1. 1) (1) の図 3-1-1 に示した装置を使用した。

(イ)対象原料と汚泥

発酵槽 1 については、種汚泥移送によって菌の活性が低下することから、あべのハルカスと同程度の負荷まではハルカス原料のみで運転した。あべのハルカスと同程度の負荷で運転が安定した 1 月 8 日から負荷を維持したまま原料中の GT スカムと廃シロップの比率を増やし、2 月 4 日から所定の混合比 (重量基準で、ハルカス原料 : GT スカム : 廃シロップ : 水 = 51 : 5 : 8 : 36) で運転した。(以降、所定の比率で混合した原料を混合原料と呼ぶ。) 発酵槽 2 については、1 月 8 日から原料中の厨芥乾燥物の割合を減らし、その分廃シロップ割合を増加させ、2 月 4 日から発酵槽 1 と同様の混合原料で運転を行った。種汚泥は前述したとおり発酵槽 1 ではあべのハルカス発酵槽から採取した汚泥を用い、発酵槽 2 では厨芥乾燥物連続運転終了後の汚泥をそのまま用いた。混合原料の試験期間中の平均値を表 3-1-7 に、試験開始時の発酵槽 1、発酵 2 の汚泥性状を表 3-1-8 に示す。発酵槽 1、発酵槽 2 の汚泥はいずれも VFA、n-Hex の蓄積は見られず、良好な状態であった。

表 3-1-7 副資材混合後の原料性状の平均値

	VS [mg/L]	CODcr [mg/L]	タンパク質 [mg/L]	脂質 [mg/L]	炭水化物 [mg/L]
混合原料	57,000	156,000	11,000	20,000	26,000

表 3-1-8 試験開始時の汚泥性状

	VS mg/L	VFA mg/L	CODcr mg/L	n-Hex mg/L
発酵槽 1	17,000	370	53,000	1,150
発酵槽 2	19,000	190	47,000	1,210

(ウ)試験手順

第3章1. 1) (1)と同様の試験手順で試験を行った。

(エ)試験条件

- ・試験温度：（発酵槽） $54 \pm 1^\circ\text{C}$ 、（原料槽） 40°C
- ・VS容積負荷：（発酵槽 1） $0 \sim 6.2 \text{ kg-CODcr/m}^3/\text{日}$
（発酵槽 2） $8.0 \text{ kg-CODcr/m}^3/\text{日}$
- ・n-Hex/CODcr： 0.12 ± 0.02
- ・HRT：（発酵槽 1）25～47日
（発酵槽 2）20日
- ・攪拌速度：（発酵槽）15 rpm、（原料槽）60 rpm

(オ)測定・分析項目

第3章1. 1) (1)の表 3-1-2 と表 3-1-3 に示した測定・分析項目と頻度で測定・分析を行った。

③試験結果

(ア) CODcr 容積負荷と n-Hex/CODcr

廃シロップを用いた実証運転における発酵槽 1 の CODcr 容積負荷と n-Hex/CODcr を図 3-1-22 に、発酵槽 2 の CODcr 容積負荷と n-Hex/CODcr を図 3-1-23 に示す。

発酵槽 1 ではハルカス原料を用いて CODcr 容積負荷を $2.2 \text{ kg-CODcr/m}^3/\text{日}$ から上昇させた後、1月8日から2月4日を原料調整期間とし、段階的に原料中の GT スカムと廃シロップの比率を上げながら運転した。2月4日以降は混合原料運転期間とし、混合原料を用いて徐々に CODcr 容積負荷を上昇させ、最終的に CODcr 容積負荷は $6.0 \text{ kg-CODcr/m}^3/\text{日}$ まで到達した。発酵槽 2 では1月8日から2月4日までを副資材切替

期間とし、原料に混合する厨芥乾燥物を廃シロップに置き換えながら運転した。2月4日以降は混合原料運転期間とし、混合原料で $n\text{-Hex}/\text{CODcr}=0.12\pm 0.02$ 、 CODcr 容積負荷 $8.0 \text{ kg-CODcr}/\text{m}^3/\text{日}$ の同一条件で 42 日間運転した。

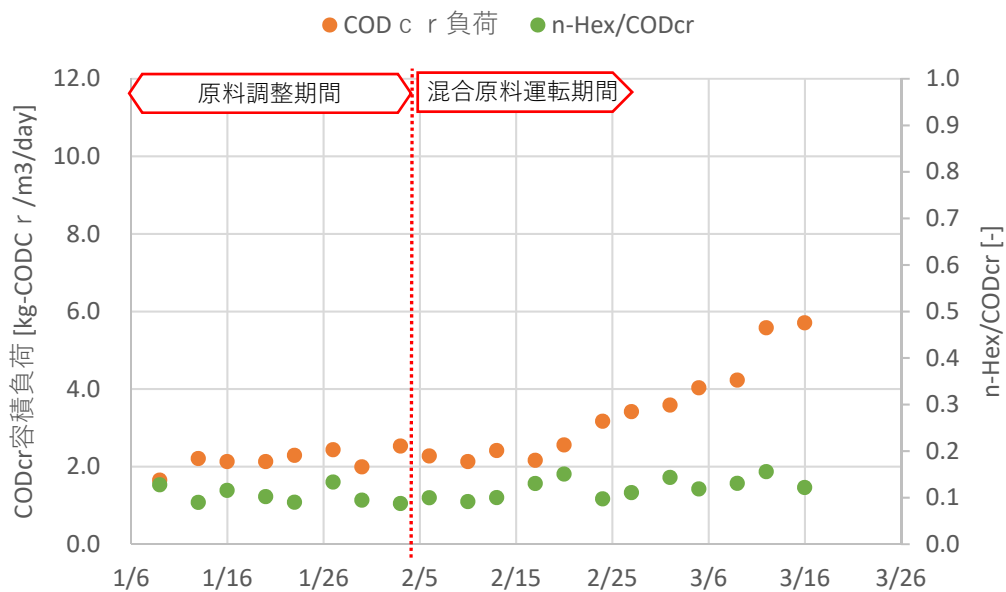


図 3-1-22 発酵槽 1 の CODcr 容積負荷と $n\text{-Hex}/\text{CODcr}$

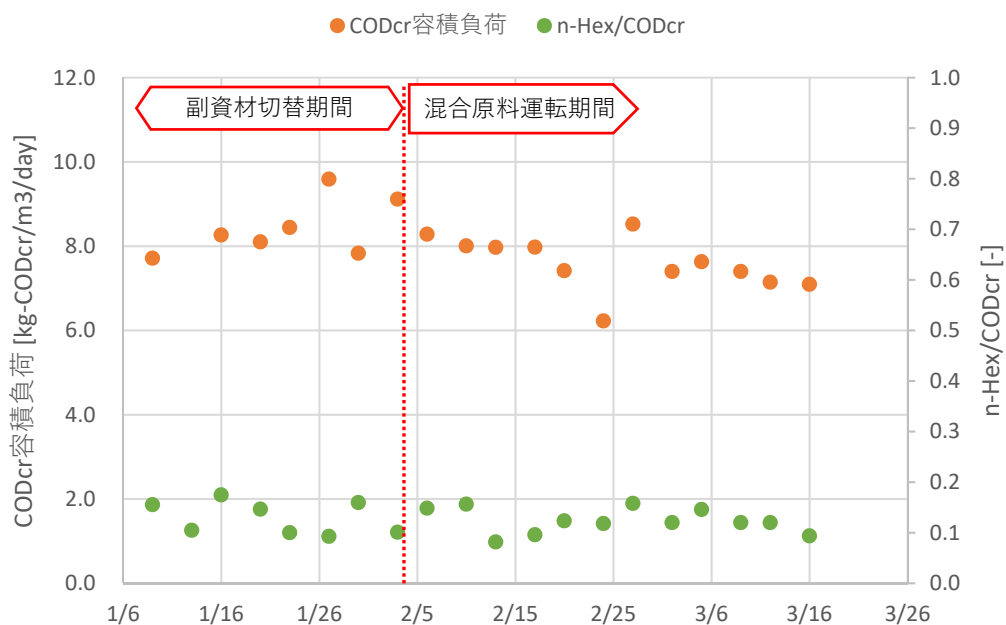


図 3-1-23 発酵槽 2 の CODcr 容積負荷と $n\text{-Hex}/\text{CODcr}$

(イ) 発酵槽内の VFA

廃シロップを用いた実証運転における発酵槽 1 の VFA 濃度を図 3-1-24 に、発酵槽 2 の VFA 濃度を図 3-1-25 に示す。発酵槽 1 では、原料調整期間初期に若干 VFA が増加傾向であったがすぐに減少傾向に転換し、混合原料運転期間を含め常に 700 mg/L 以下で安定していた。発酵槽 2 では、副資材切替期間、混合原料運転期間のいずれにおいても VFA の蓄積は見られず、安定した運転が可能であった。

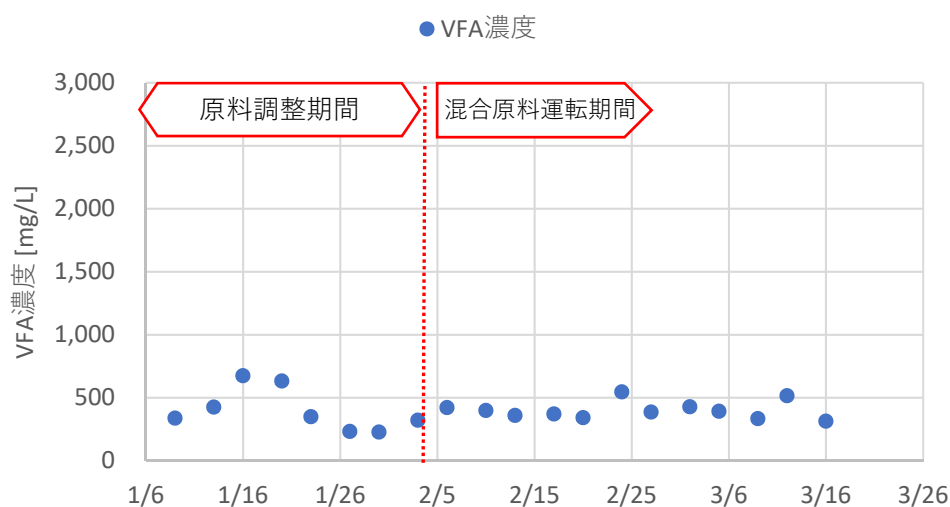


図 3-1-24 発酵槽 1 の VFA 濃度

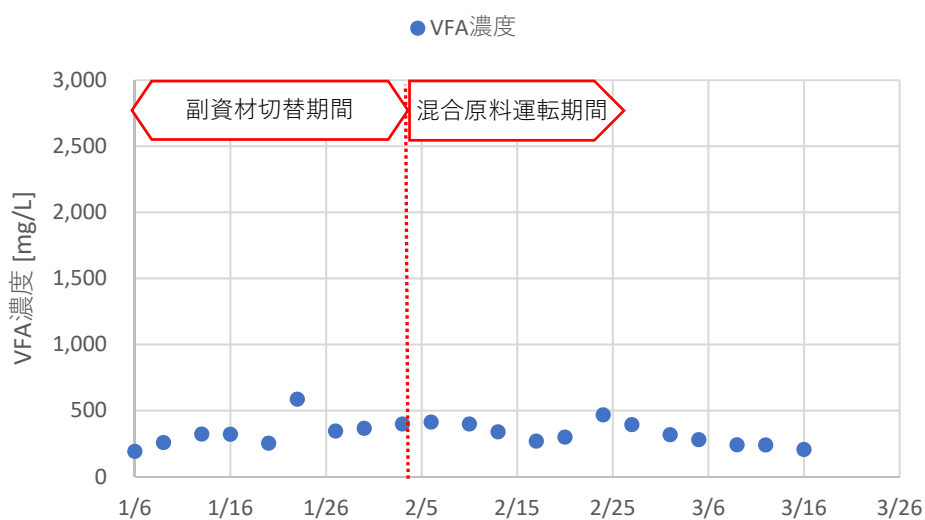


図 3-1-25 発酵槽 2 の VFA 濃度

(ウ) メタン生成量

廃シロップを用いた実証運転における発酵槽 1 のメタン生成量を図 3-1-26 に、発酵槽 2 のメタン生成量を図 3-1-27 に示す。発酵槽 1 において、原料調整期間初期に 1 日当たりのメタン生成量、投入 CODcr 当たりのメタン生成量は低下したが、2 週間程度で投入開始時の水準まで回復した。混合原料運転期間では投入 CODcr 当たりのメタン生成量は安定しており、CODcr 容積負荷の上昇に伴い 1 日当たりのメタン生成量は増加した。発酵槽 2 においては、1 日当たりのメタン生成量は混合原料運転期間で低下傾向であったが、副資材切替期間、混合原料運転期間のいずれにおいても投入 CODcr 当たりのメタン生成量は安定しており、1 日当たりのメタン生成量の低下は、副資材切替期間の CODcr 容積負荷が設定値を若干上回っていたためと考えられる。

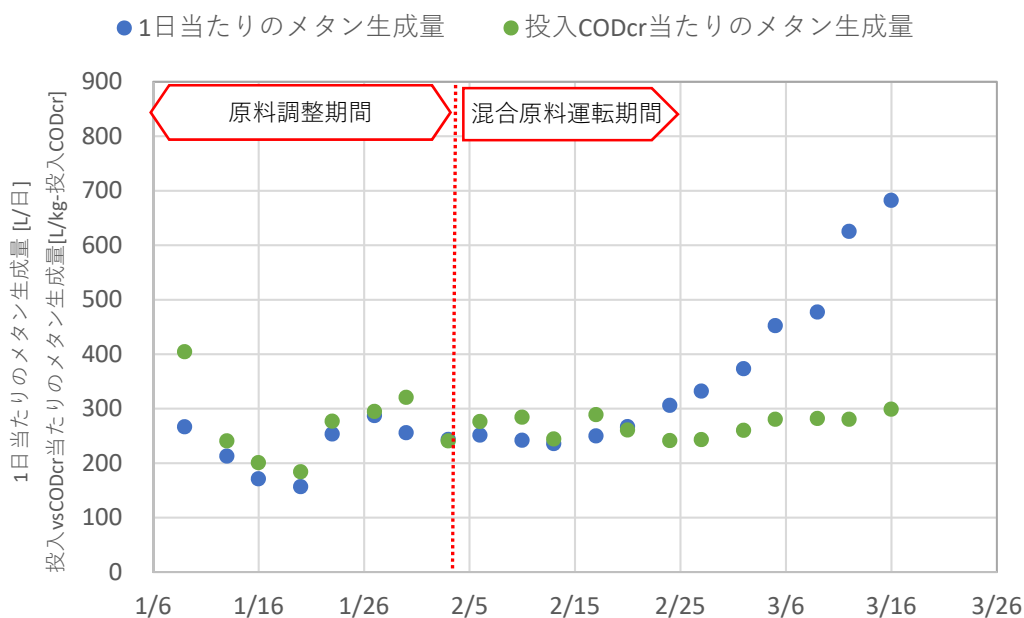


図 3-1-26 発酵槽 1 のメタン生成量

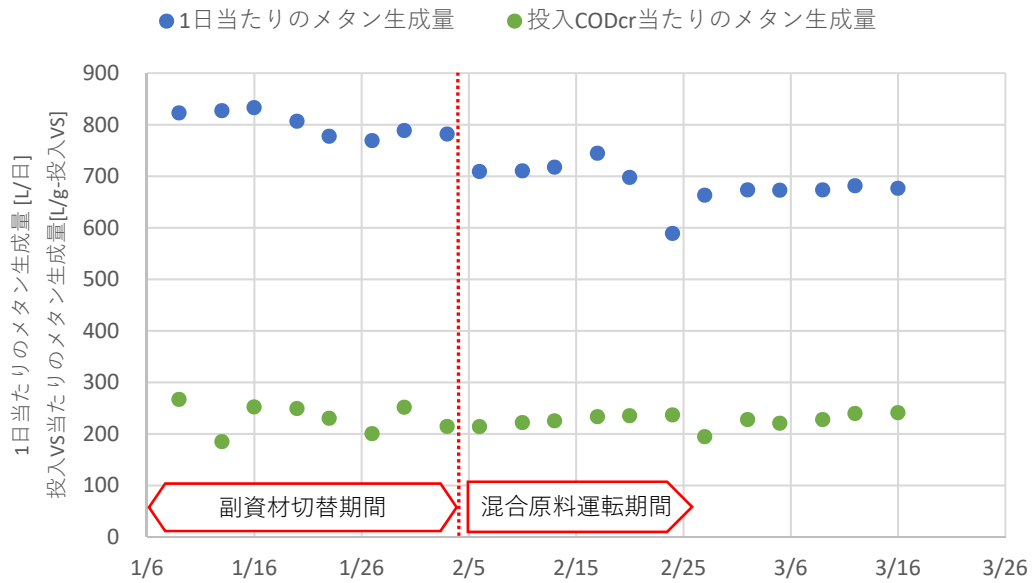


図 3-1-27 発酵槽 2 のメタン生成量

(エ) ガス組成

廃シロップを用いた実証運転における発酵槽 1 のガス組成を図 3-1-28 に、発酵槽 2 のガス組成を図 3-1-29 に示す。発酵槽 1、発酵槽 2 のいずれにおいても全試験期間中、メタン濃度は安定していた。

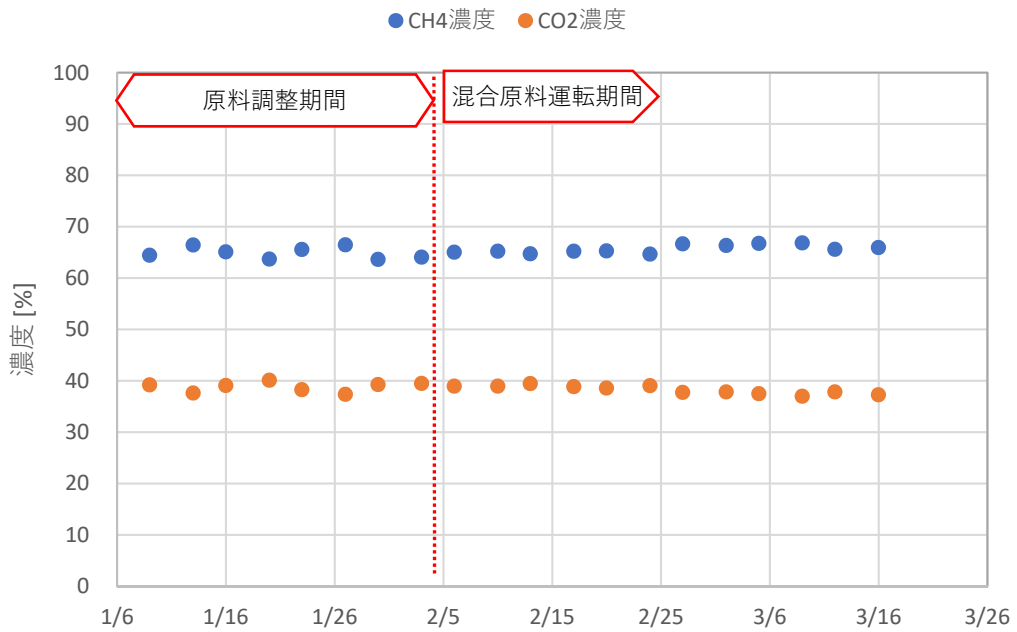


図 3-1-28 発酵槽 1 のガス組成

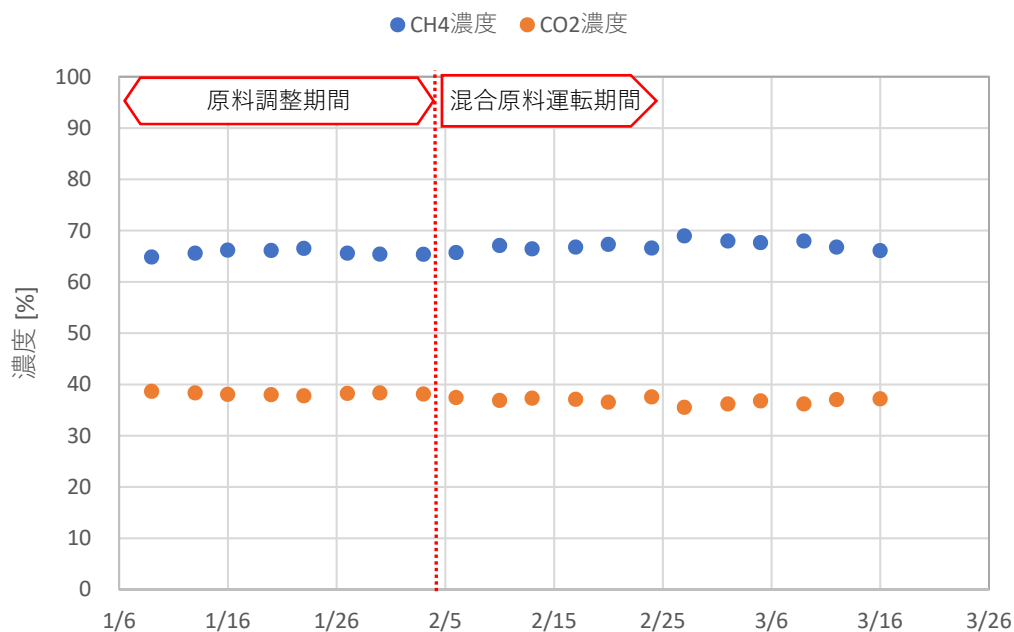


図 3-1-29 発酵槽 2 のガス組成

(オ) 発酵槽における分解率

廃シロップを用いた実証運転における発酵槽 1 の VS、CODcr、n-Hex の分解率を図 3-1-30 に、発酵槽 2 の VS、CODcr、n-Hex の分解率を図 3-1-31 に示す。発酵槽 1 では、混合原料運転期間で徐々に VS、CODcr の分解率が低下しているように見えるが、CODcr 容積負荷を徐々に上げていることが影響している可能性がある。発酵槽 2 においては、混合原料運転期間 VS、CODcr、n-Hex の分解率は安定しており、それぞれの平均値は 74%、76%、91% となり、同一条件 (CODcr 容積負荷、n-Hex/CODcr) で 厨芥乾燥物を用いた場合の分解率 (VS 分解率 70%、CODcr 71%、n-Hex 分解率 92%) と比較すると VS 分解率と CODcr 分解率は若干ではあるが廃シロップを用いた場合が上回る結果となった。

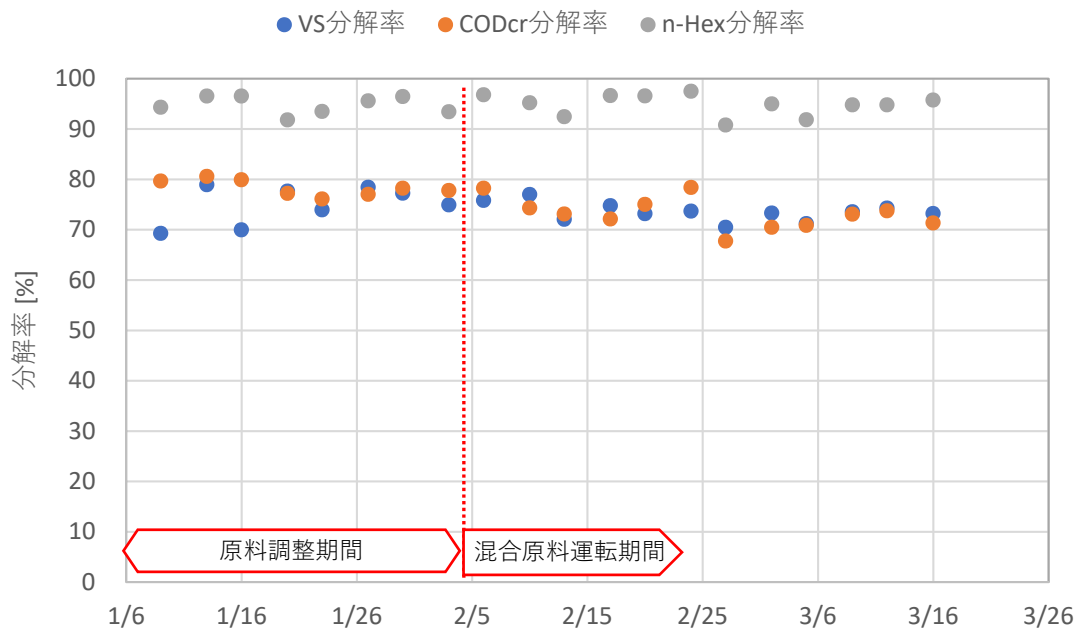


図 3-1-30 発酵槽 1 の VS、CODcr、n-Hex 分解率

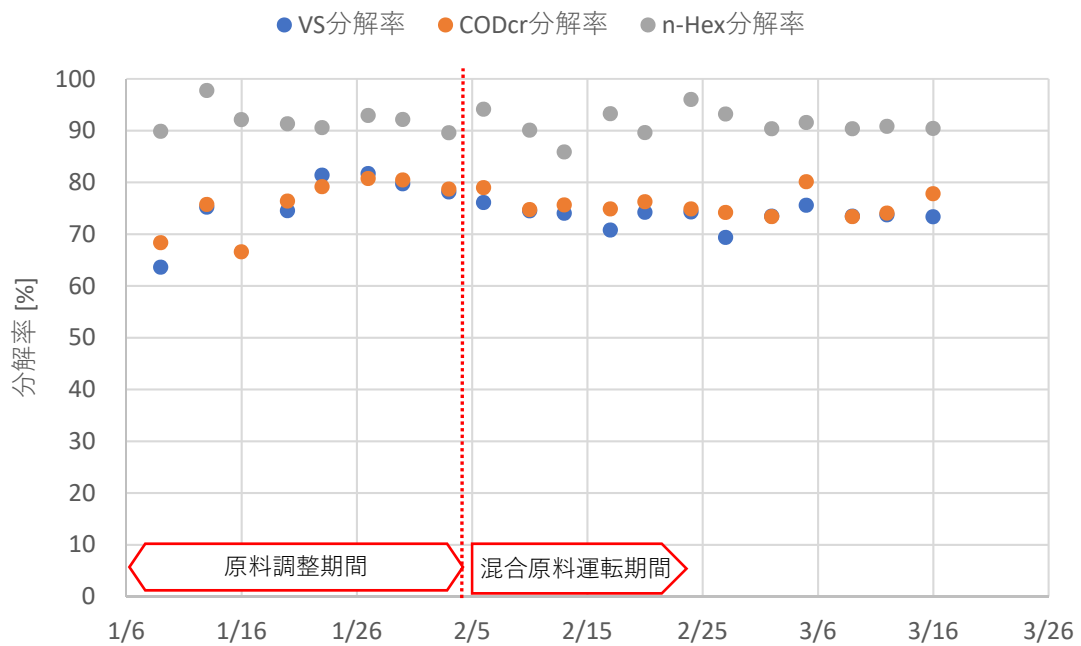


図 3-1-31 発酵槽 2 の VS、CODcr、n-Hex 分解率

④試験のまとめ

副資材として廃シロップを用いることができること実証するため、n-Hex/CODcr を調整する副資材に廃シロップを用いて 400L 規模の実証機 2 系統でそれぞれ立上げ期間を含めて 140 日および 69 日の連続試験を実施した。いずれの系統においても廃シロップ投入後も安定した運転状態が維持され、廃シロップを投入した運転期間はそれぞれ 42 日であった。

また、あべのハルカスへの導入を想定して、あべのハルカスでの運転状況から、立上げを実証した。CODcr 容積負荷を一定にしたまま原料中の副資材と GT スカム比率を増加させた後、CODcr 容積負荷を増加させる方法をとった場合、1 ヶ月程度時間を掛ければ安全に原料を変更可能であり、その後の 1 ヶ月程度で CODcr 容積負荷を 2 倍程度まで増加できることを確認した。

(3) 運転実証で使用した副資材の比較

400L 規模装置の運転実証で使用した副資材の組成を表 3-1-9 に、副資材として厨芥乾燥物、廃シロップを用いた場合の VS、CODcr、n-Hex の分解率を表 3-1-10 に示す。第 3 章 1.2) (2) 実証機への導入を見越した運転実証でも述べた通り、廃シロップは厨芥乾燥物と比較して VS に対する CODcr の比率が高いため、投入量は CODcr で決定することが必要となる。廃シロップは CODcr 濃度も低いため、同量の CODcr 量を供給するためには、厨芥乾燥物の 4 倍程度の投入量が必要となる。つまり、同じ運転日数に必要な副資材を保管しようとする廃シロップは厨芥乾燥物の 4 倍の容積が必要となる。また、厨芥乾燥物は含水率が低いため腐敗しにくい、廃シロップは含水率も高いため環境によっては、変性する可能性があり、保管の面では厨芥乾燥物が優れている。一方で、厨芥乾燥物は粉体であるのに対して、廃シロップは液体であり、ハンドリングが良いため、原料槽と副資材貯蔵層の設置距離が離れる場合には、廃シロップを使用するメリットが大きくなる。また、副資材を用いることで排水処理設備に対する有機物負荷は増加するが、運転実証によって得られた VS、CODcr の分解率から廃シロップの方が後段の排水処理装置への影響は小さくなることが示されたため、改修案件で既存排水処理設備の余力が小さい場合には、廃シロップに優位性がある。上記のことから、副資材の選定においては、装置導入場所における副資材の入手のしやすさ、調達コストの他に、副資材貯蔵の環境、施設における副資材貯蔵に使用可能な容積と配置、既存排水処理装置への影響を考慮して副資材を選定することが望ましい。

表 3-1-9 厨芥乾燥物と廃シロップの物性の比較

	CODcr	TS	VS	n-Hex (ソックスレー抽出)	n-Hex (振盪法)	含水率
単位	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
厨芥乾燥物	642,000	954,000	871,000	56,900	-	4.6
廃シロップ	160,000	95,900	94,300	-	19	90.4
試験方法	JIS K0102 20.1	JIS K0102 14.2	JIS K0102 14.5	下水試験方法 5.1.24	JIS K0102 24.2	下水試験方法 5.1.6

表 3-1-10 副資材として厨芥乾燥物と廃シロップを用いた場合の分解率の比較

	VS 分解率	CODcr 分解率	n-Hex 分解率
単位	%	%	%
副資材なし	80.0	80.2	94.6
厨芥乾燥物	70.4	71.2	92.4
廃シロップ	73.6	75.7	91.3

2. 商品化検討

1) 酸発酵試験の実施

平成30年度実施したあべのハルカスメタン発酵施設でのマテリアルバランス調査において、原料槽前後で VS、n-Hex の減少と VFA の増加が見られた。あべのハルカスにおいては、原料槽の滞留時間が 4~5 日程度となっているため原料槽内で VS、n-Hex が分解し、揮発性の高い VFA が生成していることが考えられた。

副資材を用いてメタン発酵槽原料の n-Hex/VS を制御する際には、原料槽中で VS、n-Hex が分解挙動を把握しておくことが重要であるため、ハルカス原料へ副資材、GT スカムを投入し、副資材の VS 分解と GT スカムの n-Hex 分解の可能性を検証した。

(1) 試験概要

試験場所：(株)研電社

試験期間：2019年2月17日~2019年6月25日

試験概要：副資材候補と GT スカム、比較のための破碎厨芥について、10 日間の半回分試験を実施し、発酵槽における VS、n-Hex 分解と VFA 生成について評価を行った。

(2) 試験方法

① 試験装置

本試験には図 3-2-1 に示すメタン活性測定装置（容量 2L）を使用した。装置は攪拌部、バイアル瓶、恒温槽、メタン生成量測定部からなるが、本試験ではメタン生成量測定部は使用しなかった。



図 3-2-1 メタン活性測定装置外観

② 対象原料と種汚泥

本試験ではハルカス原料を酸発酵の種汚泥として用いた。酸発酵に供する原料は副資材候補の厨芥乾燥物、廃シロップ、廃スターチと、GT スカム、比較のための破碎厨芥とした。破碎厨芥は表 3-2-1 に示す割合で厨芥を混合し、ディスポーザで破碎したものをを用いた。

表 3-2-1 破碎厨芥の混合割合

果物	1.5kg	肉と魚	0.7kg
リンゴ	0.5kg	肉と魚	0.25kg
グレープフルーツ (皮)	0.25kg	魚(骨込み)	0.25kg
オレンジ (皮)	0.25kg	卵	0.20kg
バナナ (皮)	0.5kg	炭水化物	1.0kg
野菜	1.8kg	米	0.5kg
キャベツ	0.6kg	食パン	0.25kg
ジャガイモ	0.6kg	麺	0.125kg
人参	0.6kg	中華麺	0.125kg

③ 試験手順

- ・メタン発酵バッチ試験装置のホットバスでバイアル瓶を予熱
- ・バッチ試験の攪拌モータと電源装置、攪拌棒を準備 (電源装置、配線も併せて)
- ・種汚泥を 2L バイアル瓶に 1.6L ずつ (ブランクは 2.0L) 分取し、ホットバスで保温
- ・水で希釈し VS 10% に調整した副資材、破碎厨芥、水で希釈し VS 5.0% に調整した GT スカム (以下、各原料と呼ぶ) を 0.4L ずつバイアル瓶に投入
- ・混合後 500 ml 分取して pH、ORP を測定、VFA 分析用にそれぞれ 100ml ずつ分取し、残った液で VS を測定
- ・ブランクと GT スカムを投入したバイアル瓶については n-Hex 分析用にさらに 100 ml ずつ分取
- ・攪拌モータを on にして試験開始
- ・2~9 日目は各バイアル瓶 (ブランクを除く) から 300 ml 分取、ORP と VS を測定 (GT スカムを投入したバイアル瓶は 3 日目と 6 日目に n-Hex を測定)、ブランクを除くバイアルに各原料を 300 ml 投入
- ・10 日目は、各バイアル瓶の pH、ORP、VS に加えて VFA を測定

④ 試験条件

VS 負荷：(副資材、破碎厨芥) 20 kg-VS/m³/day

(GT スカム) 10 kg-VS/m³/day

HRT：5 day

試験期間：10 日間程度

試験温度：37℃

攪拌速度：60 rpm

⑤ 分析項目と頻度

ブランク：VS、pH、ORP、COD_{cr}

(1、3、6、10 日目に各 1 回)

n-Hex、TOC、VFA、LCFA (高級脂肪酸)

(1 日目、10 日目に各 1 回)

副資材投入液：VS、pH、ORP、COD_{cr}

(1 日目～10 日目に各 1 回)

TOC、VFA (1 日目、10 日目に各 1 回)

スカム投入液：VS、pH、ORP、COD_{cr}

(1 日目～10 日目に各 1 回)、

n-Hex (1、3、6、10 日目に各 1 回)

TOC、VFA、LCFA (1 日目、10 日目に各 1 回)

(3) 試験結果

図 3-2-2～図 3-2-7 に pH、ORP、VS、COD_{cr}、VFA、LCFA の結果を示す。

ORP は 7 日目以降に低下しており、7 日目以降は微好気、嫌気状態となり、酸生成菌が働きやすい環境になったと考えられる。また pH は 3.5～4 付近で安定していたが、破碎厨芥については、7 日目以降に低下傾向となっており、酸生成が進んだことが示唆される。

しかしながら、GT スカム以外の VS は試験経過とともに上昇を続けた。これは種汚泥の VS は 5% に対して、GT スカム以外の原料は VS を 10% としており、VS 分解量よりも VS 供給量が多かったと考えられる。GT スカムについては、種汚泥と原料の VS が 5% と等しかったため、試験期間中も 50 g/L 付近で安定していた。本試験では、副資材、GT スカム、破碎厨芥のいずれにおいても、明確な VS 分解は確認できなかった。COD_{cr} も VS と同様の傾向となったが、VS と比較し値のばらつきが大きく評価は困難であった。

破碎厨芥以外の VFA は 10 日経過後に大幅に減少した。原料には酢酸が含まれず、引き抜き液中に含まれる酢酸が生成される酢酸より多かったと考えられ、酸生成は活発に行われていなかったと推察される。一方で、破碎厨芥については、酢酸濃度が維持されており

酸生成が進行していた。破碎厨芥のみ酸生成が進んだ要因としては、種汚泥としたあべのハルカスの原料槽に供給される有機物の主体は破碎された厨芥であるため、酸生成菌が厨芥に順養していたことが考えられる。副資材についても菌を順養すれば、酸生成が進行する可能性があるが、今回の試験内では確認できなかった。

LCFA については、ブランク、GT スカムともに図 3-2-7 において赤枠で囲んだ不飽和脂肪酸の減少が確認された。不飽和脂肪酸はメタン発酵に対する阻害が高いとされるため、原料槽の滞留時間を 5 日程度取るとはメタン発酵の安定運転に効果があると考えられる。

GT スカムの n-Hex は 16,000~18,000 mg/L 付近で安定しており、TOC は試験開始時にはそれぞれ、18,000 mg-C/L であったが、試験終了時 GT スカム以外はおおむね 33,000 mg-C/L 程度に、スカムは 19,000 mg-C/L に増加した。

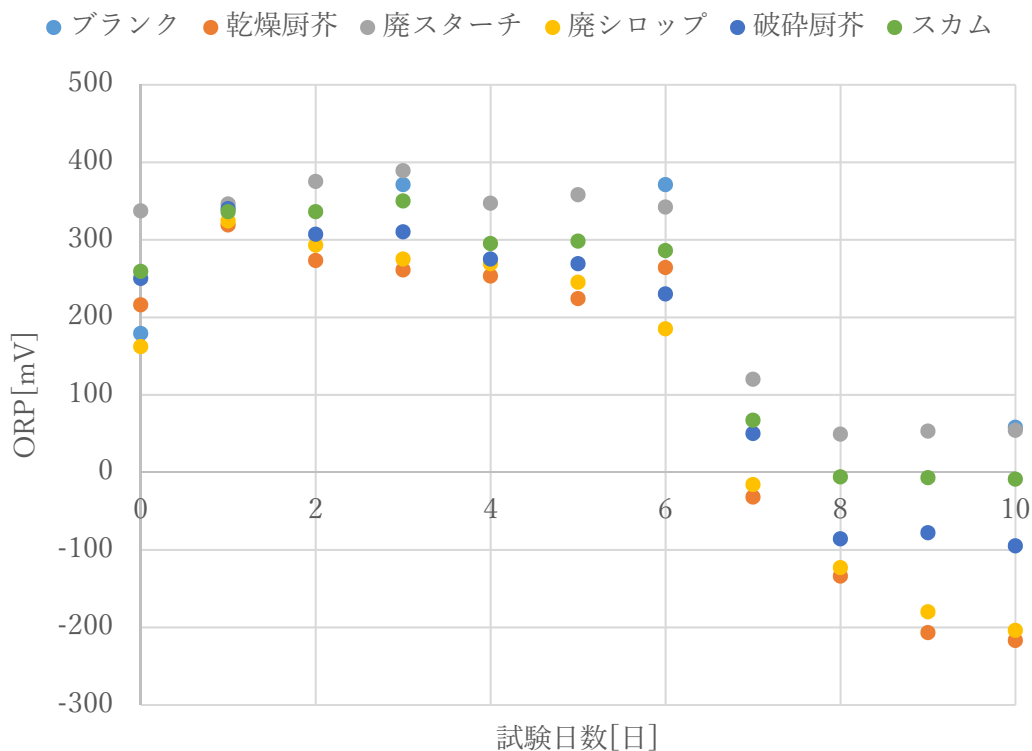


図 3-2-2 ORP

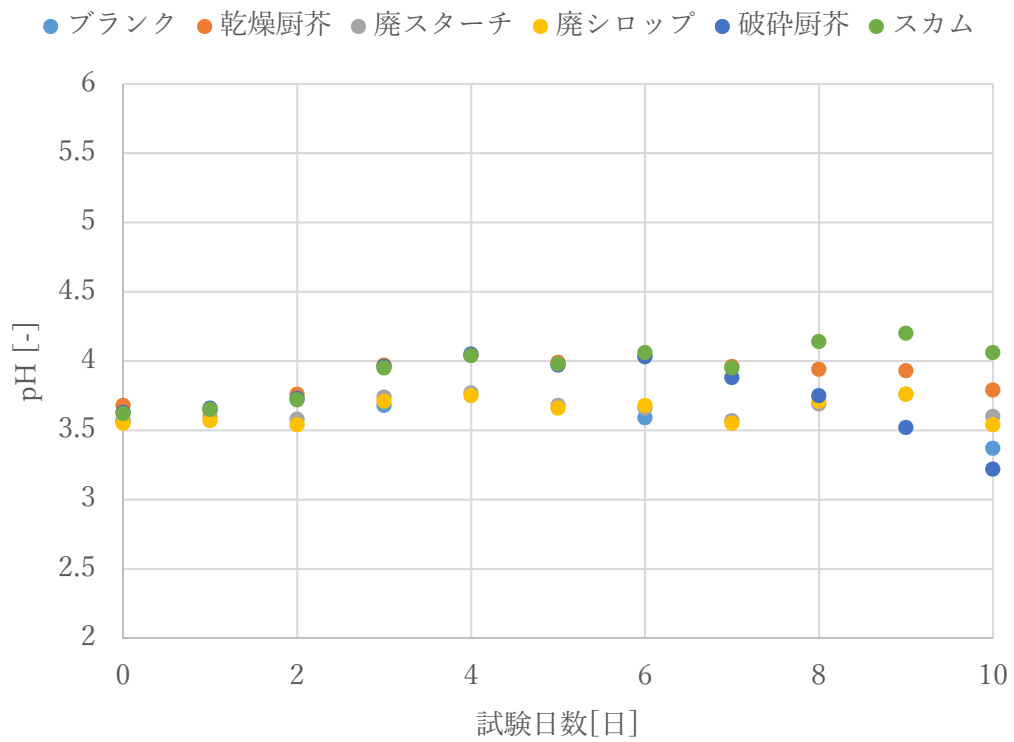


図 3-2-3 pH

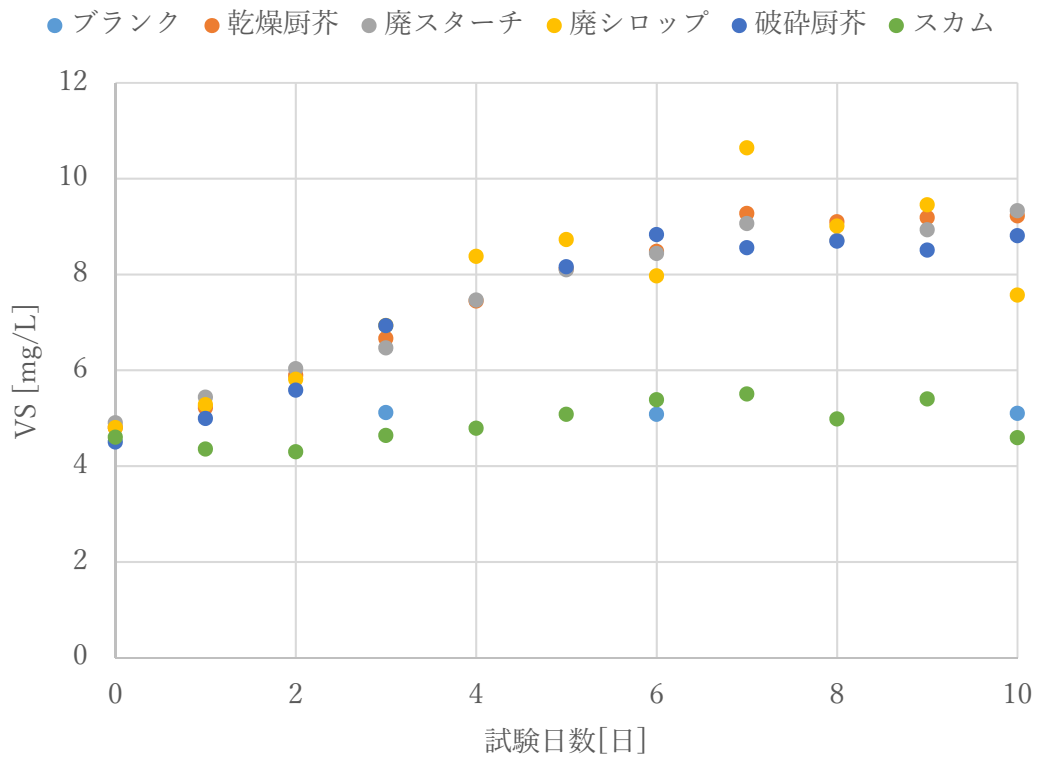


図 3-2-4 VS

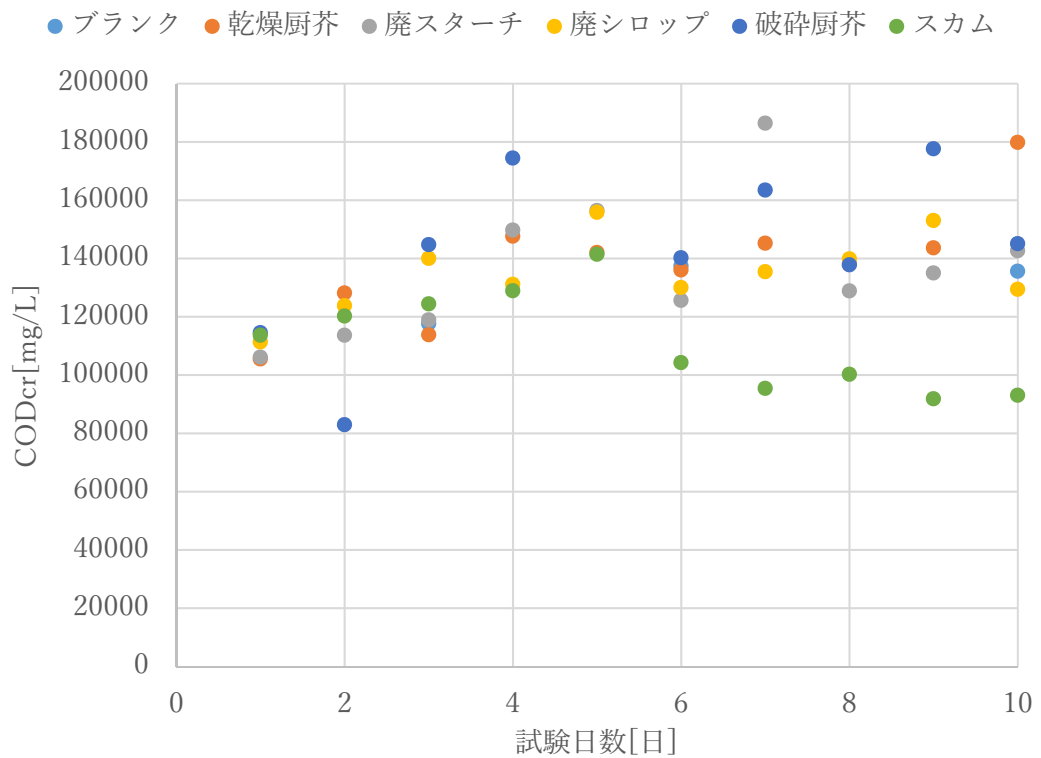


図 3-2-5 COD_{cr}

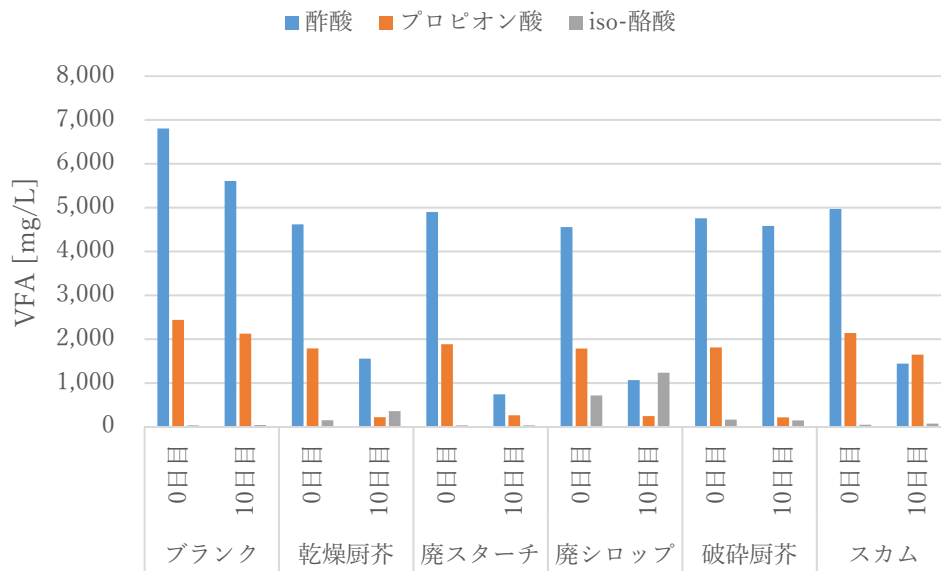


図 3-2-6 VFA

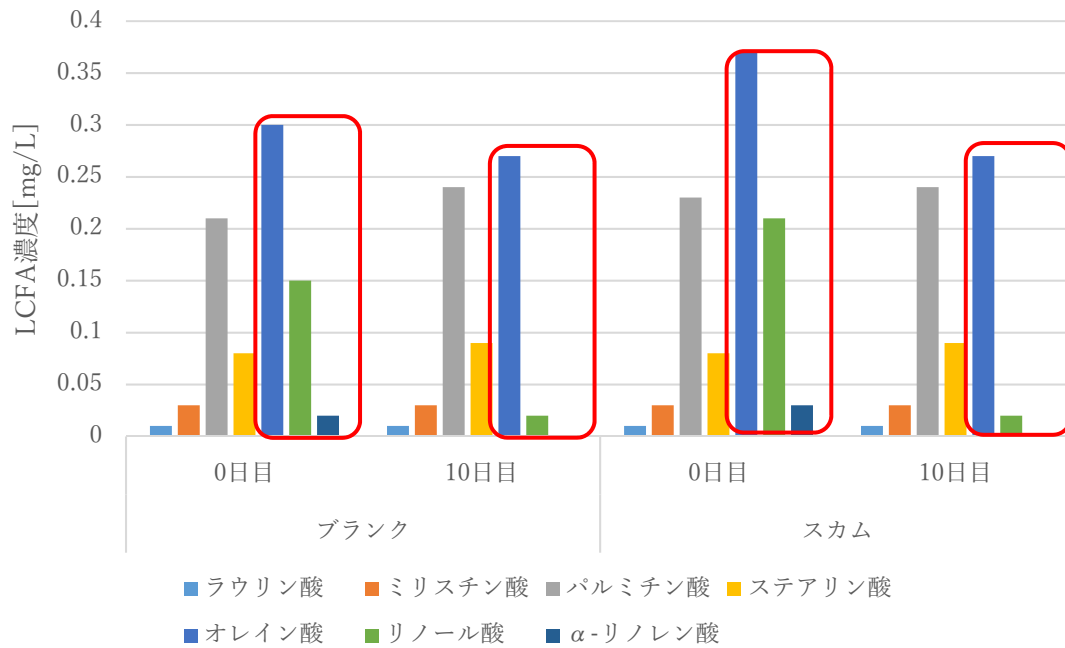


図 3-2-7 LCFA

(4) 試験のまとめ

- ORP は試験開始 7 日目以降に低下し、微好気、嫌気状態となった。
- 本試験では、副資材、GT スカム、破碎厨芥の明確な VS 分解は確認出来なかった
- 破碎厨芥は VFA の生成が確認できたが、副資材、GT スカムでは確認出来なかった。
- LCFA のうち、メタン発酵阻害の強い不飽和脂肪酸の低減が確認できた。

2) 生物叢解析の実施

高油分原料で馴致させた実証試験のメタン発酵槽汚泥が油分原料のバイオガス化に寄与するメカニズムを明らかにすることを目的として、馴致前、不調時、馴致後の汚泥の微生物叢の分析を実施した。この結果を稼働中の4つのメタン発酵施設の微生物叢と比較することで、実証試験の高油分原料で馴致させた汚泥の特徴を評価した。

(1) 試験概要

供試原料：下記に示す7種類のメタン発酵槽の汚泥を使用した。各メタン発酵槽の運転条件を表3-2-2に示す。

表 3-2-2 実証実験および各メタン発酵施設の運転条件

使用汚泥	投入 VS 負荷 (kg/m ³ /日)	消化汚泥 TS(%)	消化汚泥 VS(%)	発酵方式	投入原料
本実証試験① (高油分馴致前)	1.5	1.2	1.0	高温 (55℃)	ハルカス原料
本実証試験② (不調時)	0.0	1.8	1.2	高温 (55℃)	ハルカス原料
本実証試験③ (高油分馴致後)	3.5	2.1	1.8	高温 (55℃)	ハルカス原料、GT スカム、副資材(厨芥乾燥物)
高温メタン発酵設備 A (あべのハルカス)	1.2	0.92	0.75	高温 (55℃)	ディスポーザ厨芥、厨房排水固形分
高温メタン発酵設備 B	2.0	2.0	1.6	高温 (55℃)	おから、こんにやく、コメ等
中温メタン発酵設備 C	2.0	2.0	1.3	中温 (37℃)	厨芥、豚糞尿、焼酎粕
中温メタン発酵設備 D	1.2	1.6	1.2	中温 (37℃)	余剰汚泥、最初沈殿池汚泥

試験概要：各メタン発酵槽汚泥から抽出した DNA サンプルについて、16S rRNA 遺伝子の V4 領域をターゲットとしたアンプリコン解析を行い、検出された DNA 配列を運用分類単位 (OTUs) に分類した。OTUs は EzBioCloud 16S database を参照し、マイクロバイーム分析パイプライン Qiime 2 にて分類した。

(2) 生物叢解析結果

7種類のメタン発酵槽の汚泥の Genus (属) レベルの微生物群集の組成を図 3-2-8 に示す。高温メタン発酵の施設の汚泥では主要な優占種が全体に占める割合が高く、中温メタン発酵の汚泥よりも多様性が低いことが分かった。微生物群集の多様性は負荷変動に対する安定性に影響すると考えられており、高温メタン発酵では急激な負荷変動を抑制するような運転などの配慮が必要であると考えられた。次に、LCFA の分解に関与することが報告されている *Syntrophomonas*¹⁾ および *Smithella*²⁾ を対象に、その存在割合を表 3-2-3 に整理した。*Syntrophomonas* は高油分原料を処理している実証試験の汚泥（本実証試験③（高油分馴致後））に最も多い割合で検出され、*Smithella* は中温メタン発酵汚泥 D で最も多い割合で検出された。高油分馴致後の汚泥の *Syntrophomonas* は 5% を超える高い優占率を示し、この微生物が高油分原料の効率的な処理に寄与している可能性が示唆された。

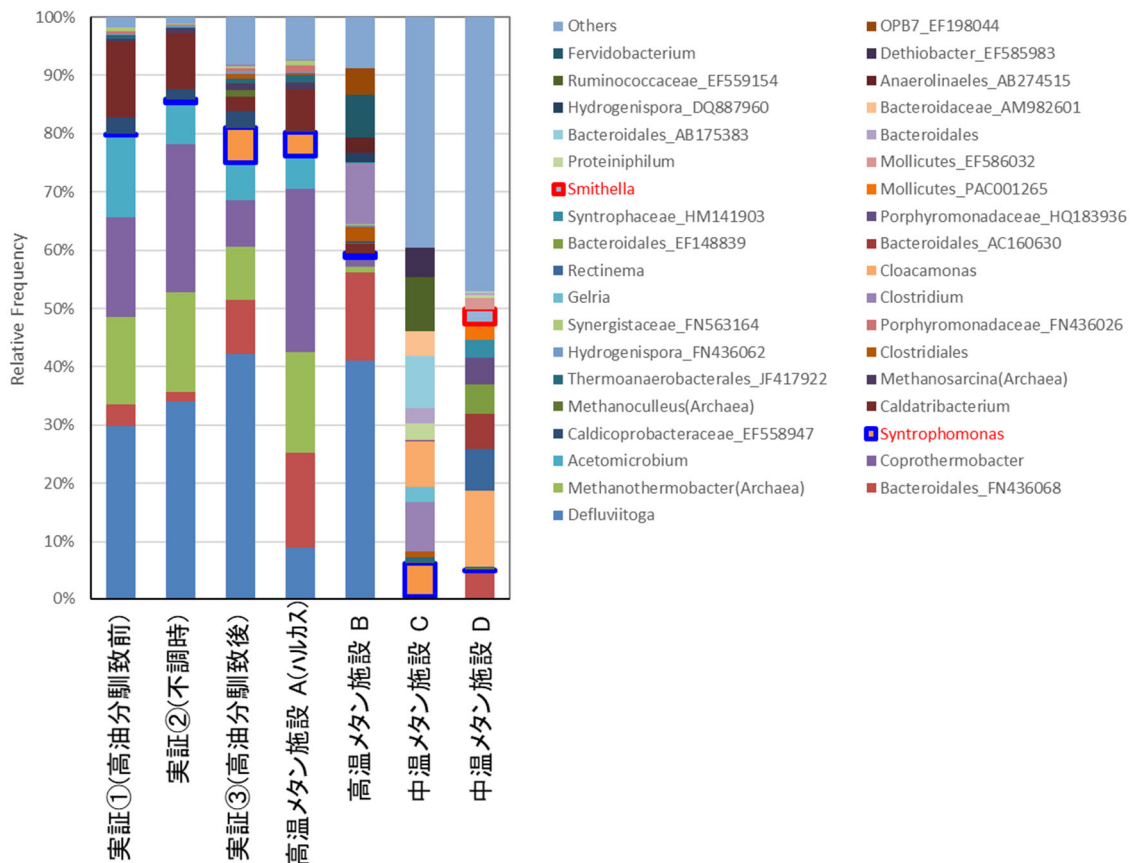


図 3-2-8 微生物群集の組成 Genus(属) level

表 3-2-3 各汚泥中における LCFA 分解菌の優占率

	実証① (高油分馴致 前)	実証② (不調時)	実証③ (高油分馴致 後)	高温メタン 発酵設備 A (ハルカス)	高温メタン 発酵設備 B	中温メタン 発酵設備 C	中温メタン 発酵設備 D
Total Reads	44,846	35,379	50,832	49,232	40,110	39,893	56,060
<i>Syntrophomonas</i> (優占率)	296 (0.66%)	91 (0.26%)	3,042 (5.98%)	2,066 (4.20%)	322 (0.80%)	2,321 (5.82%)	172 (0.31%)
<i>Smithella</i> (優占率)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1,399 (2.50%)

- 1) Ziels et al., Monitoring the dynamics of syntrophic β -oxidizing bacteria during anaerobic degradation of oleic acid by quantitative PCR. FEMS Microbiol Ecol. 2015 91(4). pii: fiv028
- 2) Qin et al., Metagenomic Characterization of Candidatus *Smithella cisternae* Strain M82_1, a Syntrophic Alkane-Degrading Bacteria, Enriched from the Shengli Oil Field. Microbes and Environments 2017 32(3) p.234-243

(3) 生物叢解析のまとめ

実証試験の高油分原料で馴致させた汚泥の特徴を把握するため、実証試験の高油分馴致前、不調時、馴致後の3つの汚泥、および既設の稼働中の4つのメタン発酵施設の微生物叢を比較し、その特徴を評価した。高油分原料で馴致させた実証試験汚泥は LCFA 分解菌 *Syntrophomonas* が他のメタン発酵施設の汚泥よりも多く検出されるなど、実証試験で油分の発酵性の向上に寄与する要因の一端を把握することができた。

3. 生ごみ 1t/日規模の装置の設計の実施

マテリアルバランス算出に使用した共通条件を表 3-3-1 に、現状の 1 t/日規模装置のマテリアルバランスを図 3-3-1 に、副資材投入装置を加えた装置のマテリアルバランスを図 3-3-2 に示す。副資材を用いる場合はメタン発酵装置に組み込まれたグリーストラップで回収したスカム (GT スカム) に加えて、店舗スカムも処理することとし、メタン発酵槽での VS 分解率、n-Hex 分解率は第 3 章 1. 2) の結果から副資材を用いない場合は 80%と 96%、副資材を用いる場合は 71%と 95%とした。GT スカム、店舗スカム、副資材由来の VS、n-Hex が増加することで、メタン生成量が 112 m³/日から 224 m³/日に増加した。また副資材を用いると発酵槽への VS、n-Hex 投入量の増加に加えて、VS 分解率、n-Hex 分解率が低下するため、消化液中の VS、n-Hex が増加する結果となった。特に VS については、負荷がおよそ 1.5 倍になるため、後段の処理において注意が必要となる。

表 3-3-1 マテリアルバランスの算出条件

マテリアルバランス算出条件			
排出量		固液分離器回収率	
厨芥	900 kg/日	揮発性固形分	65 %
厨房排水	300 m ³ /日	n-Hex抽出物	55 %
VS濃度		油水分離器回収率	
厨芥	180,000 mg/L	揮発性固形分	30 %
厨房排水	300 mg/L	n-Hex抽出物	60 %
副資材	871,000 mg/L	加圧浮上回収率	
n-Hex濃度		揮発性固形分	50 %
厨芥	15,000 mg/L	n-Hex抽出物	70 %
厨房排水	200 mg/L		
副資材	56,900 mg/L		

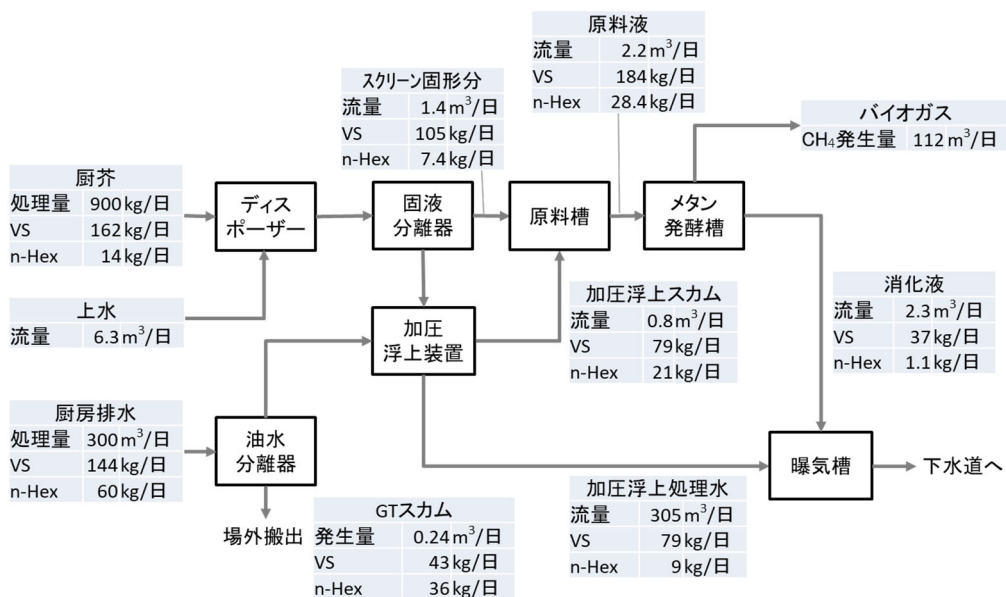


図 3-3-1 現状の 1 t/日規模装置のマテリアルバランス

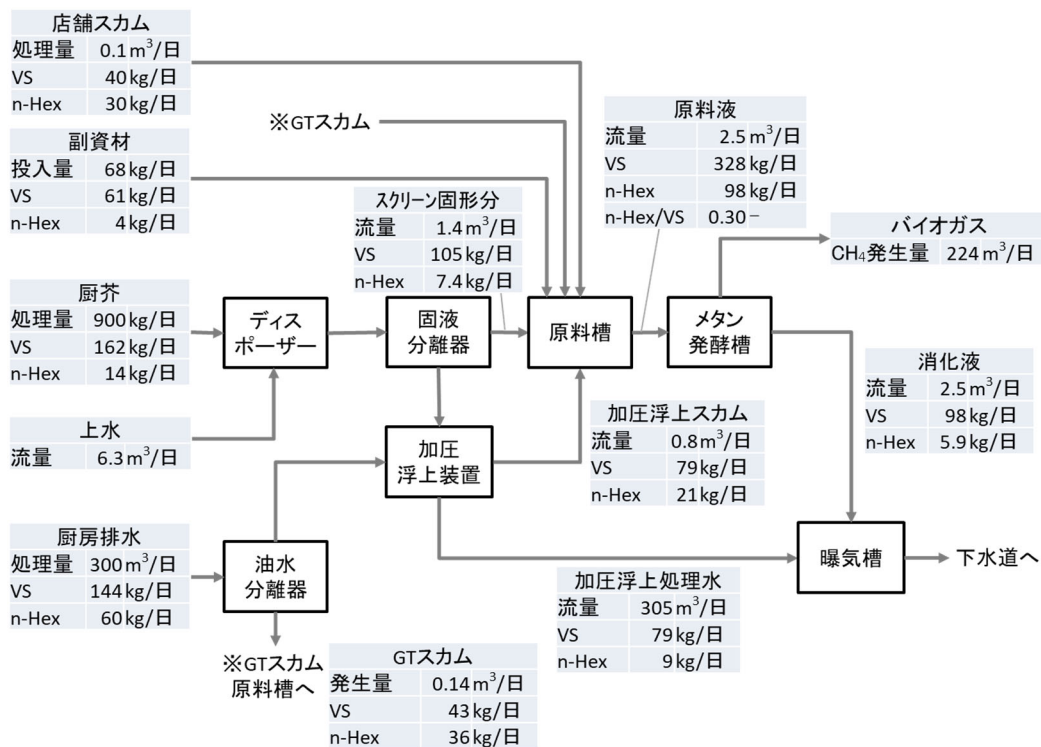


図 3-3-2 副資材投入装置を加えたマテリアルバランス

供給する副資材が粉体の場合は、図 3-3-3 のような市販機器を原料槽蓋板部に設置することで容易に連続定量供給することが可能である。追加コスト（施工費考慮せず）は機器単体、上部ホッパー（備蓄量は納入場所の状況によって異なる）、供給部配管等を合わせて 70～100 万円程度と見込まれる。また、地上から副資材粉体を原料槽蓋板上部のホッパーに供給する場合は、別途バケットコンベア 50～100 万円程度が必要となる。

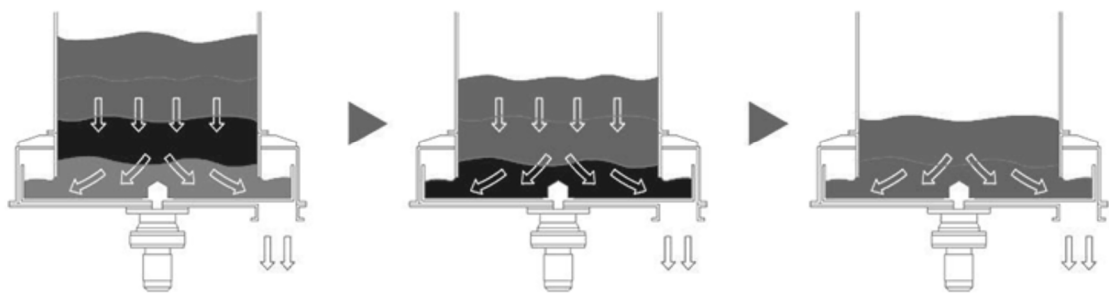


図 3-3-3 サークルフィーダー概念図（サークル STD(株)HP より抜粋）

図 3-3-3 とは別に、副資材受入れに伴う作業を軽減するために、副資材の備蓄量を多くする場合は、原料槽蓋板へのホッパー、供給機の設置が困難になるため、図 3-3-4 のようにサイロを設けて空気輸送することも可能である。この場合もサイロの容量が納入先の状況によって異なるが、追加費用は 200 万円程度であると考えられる。

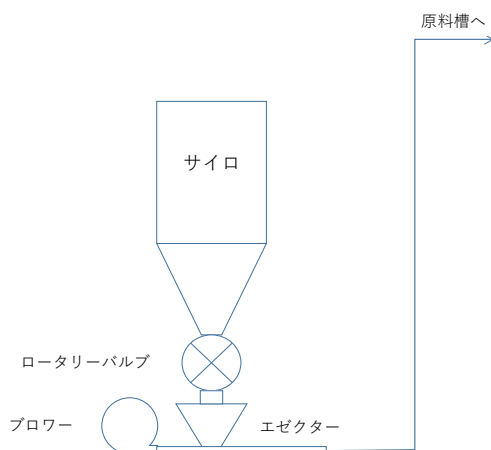


図 3-3-4 粉体副資材の空気搬送概念図

次に供給する副資材が液体の場合は、液体を貯蔵するタンクと液体を搬送するポンプを備えればよい。チューブポンプなどの容積型ポンプを用いて定量供給する。原料槽の滞留日数を考慮して供給方法を検討すればよい。追設費用は副資材の運搬インターバルに大きく依存するが、1 t/日の生ごみ発生量を想定した場合で貯蔵日数を 5 日程度とすると、貯留タンク、ポンプで 200 万円程度と見込まれる。

第4章 開発システムの評価と社会実装シナリオ

1. システム評価の実施

1) 応募時のシステム評価

副資材を用いた GT スカムを含めた処理システムについて、処理フロー、物質収支、必要な機器、機器での消費エネルギー、エネルギー収支について検討し、従来の油分分離（油分は処理）との比較優位性を、コスト・CO₂排出量について、最終目標であるスペックと比較した。最終目標のスペックは、厨房排水 300 m³、厨芥 1 t の処理能力を持つシステムにおいて、CO₂削減量 231 t/年、投資回収 6.9 年（補助金無）である。

(1) 省 CO₂ 評価

① 開発技術によるバイオガス発生量

厨芥発生量を 1t/日、そのうち投入不可物を除く投入量を 0.9 t/日（VS 162 kg、n-Hex 14 kg、n-hex/VS=0.083）とし、厨芥破碎時に 0.9 t/日の加水を行う。厨房排水に由来する排水スカムと GT スカムの混合物の投入量が 1.68 t/日（VS 108 kg、n-Hex 63 kg、n-hex/VS=0.583）、上記に加え、n-Hex/VS 比の調整用の副資材として廃シロップを 0.07 t/日（VS 35 kg）を添加すると、合計投入量 3.55 t/日（n-hex/VS=0.25）（VS 305 kg、n-Hex 77 kg）が原料となる。

メタン発酵に関わる条件を VS 分解率 80%、n-Hex 分解率 80%、油脂分（n-hex）由来の VS のガス発生原単位が 1.35 Nm³-CH₄/kg、非油脂分（n-hex 以外）の VS のガス発生原単位が 0.6 Nm³-CH₄/kg とすると、調整後の原料（n-hex/VS=0.25）のバイオガス発生量は、以下の式により 192.6 Nm³-CH₄ である。

【バイオガス発生量の計算式】

$$77 \text{ kg/日} \times 0.8 \times 1.35 \text{ Nm}^3/\text{kg} + (305 - 77) \times 0.8 \times 0.6 \text{ Nm}^3/\text{kg} = 192.6 \text{ Nm}^3\text{-CH}_4$$

（メタン濃度 65% のバイオガスとして 296 Nm³）

② 開発技術による CO₂ 削減効果

(ア) 厨芥のトラックによる運搬回避による省 CO₂ 量

厨芥運搬のために、往復でトラック 1 台当たり 13 km の距離を走行するものとし、1 台当たり 1 t の厨芥を積載し、トラックの燃費は 4 km/L 軽油とすると、厨芥のトラックによる運搬回避による省 CO₂ 量は 2.8 t-CO₂/年である。

【計算式】

$$1 \text{ 回/日} \times (1 - 0.1 \text{ t}) / 1 \text{ t} \times 365 \text{ 日} \times 13 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} = 2.8 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

(イ) バイオガスのコジェネ利用による電力、都市ガス代替

バイオガス 296 Nm³、メタン濃度 65%、コジェネの発電効率 35%、熱供給効率 50% とすると、バイオガスのコジェネ利用による電力、都市ガス代替による省 CO₂ 量は 163.6 t-CO₂/年である。

【計算式】

- ・ 発電量は $296 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 0.65 \times 35.6 \text{ MJ/Nm}^3 \times 0.278 \text{ kWh/MJ} \times 0.35 = 667 \text{ kWh/日}$
- ・ 電力代替は、 $667 \text{ kWh/日} \times 365 \text{ 日} \times 0.587 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 142.9 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
(原単位は電気事業者別排出係数 (H27 実績) より)。
- ・ 熱供給量は $296 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 0.65 \times 35.6 \text{ MJ/Nm}^3 \times 0.5 = 3,428 \text{ MJ/日}$
- ・ ボイラ効率 90% とすると、都市ガス 13A 代替量は、
 $3,428 \text{ MJ/日} / 0.9 / 40.6 \text{ MJ/Nm}^3 \times 2.23 \text{ kg-CO}_2/\text{Nm}^3 \times 365 \text{ 日} = 76.4 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
- ・ バイオ加温利用 (バイオガス設備自家消費) は、
 $1,105 \text{ MJ/日} / 0.9 / 40.6 \text{ MJ/Nm}^3 \times 2.23 \text{ kg-CO}_2/\text{Nm}^3 \times 365 \text{ 日} = 24.6 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ (増加)
- ・ バイオ設備電力消費 (バイオガス設備自家消費) は、
 $145 \text{ kWh/日} \times 365 \text{ 日} \times 0.587 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 31.1 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ (増加)
⇒ 以上より、差し引き $142.9 + 76.4 - 24.6 - 31.1 = 163.6 \text{ t-CO}_2/\text{年}$

(ウ) 厨房排水余剰汚泥及び GT スカムの外部焼却処理回避による省 CO₂ 量

従来方式では 0.028 t-DS/日の厨房排水余剰汚泥、0.084 t-DS/日の GT スカムが発生する。今計画では発生が回避されるため、これを省 CO₂ とみなすことができる。1.535 kg-CO₂/kg-汚泥 DS を原単位とすると、厨房排水余剰汚泥及び GT スカムの外部焼却処理回避による省 CO₂ 量は、62.8 t-CO₂/年である。

【計算式】

$$0.112 \text{ t-DS/日} \times 365 \text{ 日} \times 1.535 \text{ kg-CO}_2/\text{kg-汚泥 DS} = 62.8 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

(エ) 厨房排水余剰汚泥及び GT スカムのバキューム車での運搬回避による省 CO₂ 量

厨房排水余剰汚泥の含水率を 97% とし、厨房排水余剰汚泥と GT スカムは 1.68 t/日を 0.6 m³/日に脱水して搬出するものとする。トラック 1 台当たり走行 20 km、4 m³ の積載が可能、トラックの燃費は 4 km/L とすると、厨房排水余剰汚泥の運搬回避による省 CO₂ 量は、1.1 t/年である。また、バイオガス設備に投入する GT スカムの運搬回避による省 CO₂ 量は、0.7 t-CO₂/年であり、合計で 1.8 t-CO₂/年である。

【計算式】

厨房排水余剰汚泥の運搬回避

$$\begin{aligned} & ((0.028 \text{ t-DS/日}) \div 0.03 \div 4 \text{ m}^3) \text{ 回} \times 365 \text{ 日} \times 20 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} \\ & = 1.1 \text{ t-CO}_2/\text{年} \end{aligned}$$

GT スカム 0.6 m³/日の運搬回避

$$(0.6 \text{ m}^3/\text{日} \div 4 \text{ m}^3) \text{ 回} \times 365 \text{ 日} \times 20 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} = 0.7 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

(オ) 総 CO₂ 削減量

上記を合計すると、バイオガス導入による CO₂ 削減量は

$$2.8 + 163.6 + 62.8 + 1.8 \doteq 231 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

③ ベースラインシナリオと比較した温室効果ガス削減率

(ア) ベースラインシナリオ

厨芥は場外処分、厨房排水は厨房排水余剰汚泥を除去して場外処分し、処理水は曝気処理後に下水放流すると、

- ・厨芥のトラックによる運搬 3.1 t-CO₂/年
 - ・バイオガスのコージェネ利用による電力、都市ガス代替 0 t-CO₂/年
 - ・除害設備運転 831 kWh/日 × 365 日 × 0.587 kg-CO₂/kWh = 178.0 t-CO₂/年
 - ・バイオガス発酵槽加温のための熱利用 0 t-CO₂/年
 - ・厨房排水余剰汚泥及び GT スカムの外部焼却処理 62.8 t-CO₂/年
 - ・厨房排水余剰汚泥及び GT スカムのバキューム車による運搬 1.8 t-CO₂/年
- ⇒合計： 245.7 t-CO₂/年

(イ) 削減シナリオ

- ・厨芥のトラックによる運搬 0.3 t-CO₂/年 (投入不可物 10%)
 - ・バイオガスのコージェネ利用による電力、都市ガス代替 ▲219.3 t-CO₂/年
 - ・除害設備運転 976 kWh/日 × 365 日 × 0.587 kg-CO₂/kWh = 209.1 t-CO₂/年
 - ・バイオガス発酵槽加温のための熱利用 24.6 t-CO₂/年
 - ・厨房排水余剰汚泥及び GT スカムの外部焼却処理 0 t-CO₂/年
 - ・厨房排水余剰汚泥及び GT スカムのバキューム車による運搬 0 t-CO₂/年
- ⇒合計： 16.9 t-CO₂/年

(ウ) 温室効果ガス削減率

- ・ベースラインと比較した削減率は、 $(245.7 - 16.9) / 245.7 = 93.1\%$

(2) コスト評価

経済性について、応募段階において以下のようにコストシミュレーションを行い、イニシャルコスト（メタン発酵による増加分）を 1.5 億円、投資回収年数を 6.9 年（補助金なし）と試算した。

・イニシャルコスト

バイオガス設備本体（副資材投入による発酵槽の容量増加分考慮） 150,000 千円

・ランニングコストメリット

都市ガス代替 ▲5,475 千円/年

(150 Nm³/日 × 365 × 100 円/Nm³ = 5,475 千円/年)

厨芥処分費低減 ▲16,425 千円/年

(900 kg/日 × 365 × 50 円/kg = 16,425 千円/年)

バイオガス設備で処理できる厨房排水余剰汚泥及び GT スカム ▲10,950 千円/年

(600 kg/日 × 365 × 50 円/kg = 10,950 千円/年)

副資材調達費 1,300 千円/年

(70 kg/日 × 365 × 廃糖蜜 50 円/kg = 1,300 千円/年)

装置稼働電気代、薬品代、分析費用、投入人件費、メンテナンス費用 9,600 千円/年

計▲21,950 千円/年

以上より、投資回収年は 150,000 千円 / 21,950 千円/年 = 6.9 年

2) 平成 31 年度の調査結果を反映したシステム評価

平成 31 年度の調査結果を踏まえ、省 CO₂ 性、投資回収年数の試算を行い、232.8~247.5 t-CO₂/年の省 CO₂ 効果、投資回収年数 7.35 年~7.69 年（補助金なし）との結果を得た。

(1) 省 CO₂ 評価

① 開発技術によるバイオガス発生量

平成 30 年度に実施したマテリアルバランスの調査結果（平成 30 年度報告書 3.1(2) の項を参照）及び平成 31 年度実施したメタン発酵の実証試験結果から以下の通り試算できる。

厨芥発生量を 1 t/日、そのうち投入不可物を除く投入量を 0.9 t/日（VS 184 kg、n-Hex 28.4 kg、n-hex/Vs）=0.15）とし、厨芥破碎時に 0.9 t/日の加水を行う。

厨房排水由来の排水スカムと GT スカムの混合物の投入量が 1.07 t/日（VS 93 kg、n-

Hex 71 kg、n-hex/VS=0.763)、上記に加え、n-Hex /VS 比の調整用の副資材として厨芥乾燥物を 0.079 t/日 (VS 69 kg、n-Hex 4.5 kg)、もしくは廃シロップを 0.54 t/日 (VS 51 kg、n-Hex 0.0 kg) を添加すると、厨芥乾燥物で合計投入量 2.05 t/日 (n-hex/VS=0.30) (VS 346 kg、n-Hex 104 kg)、廃シロップで合計投入量 2.51 t/日 (n-hex/VS=0.30) (VS 328 kg、n-Hex 99 kg) が原料となる。

メタン発酵に関わる条件を実証試験で得られた分解率より VS 分解率 71%、n-Hex 分解率 93%とし、油脂分 (n-hex) 由来の VS のガス発生原単位が 1.35 Nm³-CH₄/kg、非油脂分 (n-hex 以外) の VS のガス発生原単位が 0.6 Nm³-CH₄/kg とすると、調整後の原料 (n-hex/VS=0.30) のバイオガス発生量は、以下の式により厨芥乾燥物で 233.5 Nm³-CH₄ (メタン濃度 65%のバイオガスとして 359.2 Nm³) もしくは廃シロップで 222.1 Nm³-CH₄ (メタン濃度 65%のバイオガスとして 341.8 Nm³) である。

【計算式 A : 厨芥乾燥物の場合】

$$104 \text{ kg/日} \times 0.93 \times 1.35 \text{ Nm}^3\text{-CH}_4\text{/kg} + (336-104) \text{ kg/日} \times 0.71 \times 0.6 \text{ Nm}^3\text{-CH}_4\text{/kg} \\ = 233.5 \text{ Nm}^3\text{-CH}_4 \\ (\text{メタン濃度 65\%のバイオガスとして } 359.2 \text{ Nm}^3)$$

【計算式 B : 廃シロップの場合】

$$99 \text{ kg/日} \times 0.93 \times 1.35 \text{ Nm}^3\text{-CH}_4\text{/kg} + (328-99) \text{ kg/日} \times 0.71 \times 0.6 \text{ Nm}^3\text{-CH}_4\text{/kg} \\ = 222.1 \text{ Nm}^3\text{-CH}_4 \\ (\text{メタン濃度 65\%のバイオガスとして } 341.8 \text{ Nm}^3)$$

② CO₂削減効果

(ア) 厨芥のトラックによる運搬回避による省 CO₂量

厨芥運搬のために、往復でトラック 1 台当たり 13 km の距離を走行するものとし、1 台当たり 1 t の厨芥を積載し、トラックの燃費は 4 km/L・軽油とすると、厨芥のトラックによる運搬回避による省 CO₂量は 2.8 t-CO₂/年である。

【計算式】

$$1 \text{ 回/日} \times 1 \text{ t/1 台} \times 365 \text{ 日} \times 13 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2\text{/L} = 2.8 \text{ t-CO}_2\text{/年}$$

(イ) バイオガスのコジェネ利用による電力、都市ガス代替

バイオガス 359.2 Nm³ (厨芥乾燥物) もしくは 341.8 Nm³ (廃シロップ)、メタン濃度 65%、コジェネの発電効率 35%、熱供給効率 50%とすると、バイオガスのコジェネ利による電力、都市ガス代替による省 CO₂量は 181.1 t-CO₂/年 (厨芥乾燥物) もしくは 169.6 t-CO₂/年 (廃シロップ) である。

【計算式 A：厨芥乾燥物の場合】

- ・ 発電量は $359.2 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 0.65 \times 35.6[\text{MJ}/\text{Nm}^3] \times 0.278[\text{kWh}/\text{MJ}] \times 0.35 = 809 \text{ kWh}/\text{日}$
- ・ 電力代替は、 $809 \text{ kWh}/\text{日} \times 365 \text{ 日} \times 0.488 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 144 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
(原単位は電気事業者別排出係数 (H30 実績) より)。
- ・ 熱供給量は $359.2 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 0.65 \times 35.6[\text{MJ}/\text{Nm}^3] \times 0.5 = 4,156 \text{ MJ}/\text{日}$
- ・ ボイラ効率 90%とすると、都市ガス 13A 代替量は、
 $4,156 \text{ MJ}/\text{日} / 0.9 / 40.6 \text{ MJ}/\text{Nm}^3 \times 2.23 \text{ kg-CO}_2/\text{Nm}^3 \times 365 \text{ 日} = 92.6 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
- ・ バイオ加温利用 (バイオガス設備自家消費) は、
 $1,216 \text{ MJ}/\text{日} / 0.9 / 40.6 \text{ MJ}/\text{Nm}^3 \times 2.23 \text{ kg-CO}_2/\text{Nm}^3 \times 365 \text{ 日} = 27.1 \text{ t}/\text{年}$ (増加)
- ・ バイオ設備電力消費 (バイオガス設備自家消費) は、
 $160 \text{ kWh}/\text{日} \times 365 \text{ 日} \times 0.488 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 28.5 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ (増加)
⇒以上より、差し引き $144 + 92.6 - 27.1 - 28.5 = 181.1 \text{ t-CO}_2/\text{年}$

【計算式 B：廃シロップの場合】

- ・ 発電量は $341.8 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 0.65 \times 35.6[\text{MJ}/\text{Nm}^3] \times 0.278[\text{kWh}/\text{MJ}] \times 0.35 = 769 \text{ kWh}/\text{日}$
- ・ 電力代替は、 $769 \text{ kWh}/\text{日} \times 365 \text{ 日} \times 0.488 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 137 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
(原単位は電気事業者別排出係数 (H30 実績) より)。
- ・ 熱供給量は $341.8 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 0.65 \times 35.6[\text{MJ}/\text{Nm}^3] \times 0.5 = 3,954 \text{ MJ}/\text{日}$
- ・ ボイラ効率 90%とすると、都市ガス 13A 代替量は、
 $3,954 \text{ MJ}/\text{日} / 0.9 / 40.6 \text{ MJ}/\text{Nm}^3 \times 2.23 \text{ kg-CO}_2/\text{Nm}^3 \times 365 \text{ 日} = 88.1 \text{ t-CO}_2/\text{年}$
- ・ バイオ加温利用 (バイオガス設備自家消費) は、
 $1,216 \text{ MJ}/\text{日} / 0.9 / 40.6 \text{ MJ}/\text{Nm}^3 \times 2.23 \text{ kg-CO}_2/\text{Nm}^3 \times 365 \text{ 日} = 27.1 \text{ t}/\text{年}$ (増加)
- ・ バイオ設備電力消費 (バイオガス設備自家消費) は、
 $160 \text{ kWh}/\text{日} \times 365 \text{ 日} \times 0.488 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 28.5 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ (増加)
⇒以上より、差し引き $137 + 88.1 - 27.1 - 28.5 = 169.6 \text{ t-CO}_2/\text{年}$

(ウ) 厨房排水余剰汚泥、GT スカム及び店舗スカムの外部焼却処理回避による省 CO₂ 量
従来方式では 0.028 t-DS/日の厨房排水余剰汚泥、0.084 t-DS/日の GT スカムが発生する。今計画では発生が回避されるため、これを省 CO₂ とみなすことができる。1.535 kg-CO₂/kg-汚泥 DS を原単位とすると、厨房排水余剰汚泥及び GT スカムの外部焼却処理回避による省 CO₂ 量は、62.8 t-CO₂/年である。

【計算式】

$$0.112 \text{ t-DS}/\text{日} \times 365 \text{ 日} \times 1.535 \text{ kg-CO}_2/\text{kg-汚泥 DS} = 62.8 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

(エ) 厨房排水余剰汚泥、GT スカム及び店舗スカムのバキューム車での運搬回避による省 CO₂ 量

厨房排水余剰汚泥の含水率を 97%とし、店舗スカムと GT スカムは 1.07 t/日を 0.6 m³/日に脱水して搬出するものとする。トラック 1 台当たり走行 20 km、4 m³の積載が可能、トラックの燃費は 4 km/L とすると、厨房排水余剰汚泥の運搬回避による省 CO₂ 量は、0.79 t-CO₂/年である。また、バイオガス設備に投入する GT スカムの運搬回避による省 CO₂ 量は、0.70 t-CO₂/年であり、合計で 1.5 t-CO₂/年である。

【計算式】

厨房排水余剰汚泥の運搬

$$\begin{aligned} & ((0.020 \text{ t-DS/日}) \div 0.03 \div 4 \text{ m}^3) \text{ 回} \times 365 \text{ 日} \times 20 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} \\ & = 0.79 \text{ t-CO}_2/\text{年} \end{aligned}$$

GT スカムと店舗スカムの運搬

$$(0.60 \div 4 \text{ m}^3) \text{ 回} \times 365 \text{ 日} \times 20 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} = 0.70 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

(オ) 副資材の運搬に関する CO₂ 量

副資材運搬のために、往復でトラック 1 台当たり 52 km の距離を走行するものとし、1 台当たり 1 t の厨芥乾燥物を積載し、トラックの燃費は 4 km/L-軽油とすると、厨芥乾燥物のトラックによる運搬による CO₂ 発生量は 1.0 t-CO₂/年（厨芥乾燥物）もしくは 6.6 t-CO₂/年（廃シロップ）である。

【計算式 A：厨芥乾燥物の場合】

$$(79/1000) \text{ 回/日} \cdot \text{台} \times 365 \text{ 日} \times 52 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} = 1.0 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

【計算式 B：廃シロップの場合】

$$(540/1000) \text{ 回/日} \cdot \text{台} \times 365 \text{ 日} \times 52 \text{ km/回} \div 4 \text{ km/L} \times 2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} = 6.6 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

(カ) 副資材の処理に関する CO₂ 量

副資材の処理のために、廃シロップでは排水処理のために発生する CO₂ が削減されるとすると、廃シロップの処理による CO₂ 削減量は 2.4 t-CO₂/年である。

【計算式 B：廃シロップの場合】

$$\begin{aligned} & 540 \text{ kg/日} \times 0.1 \text{ kg-BOD/kg} \times 365 \text{ 日} \times 0.0000049 \text{ t-CH}_4/\text{kg-BOD}^* \times 25 \text{ t-CO}_2/\text{t-CH}_4 \\ & = 2.4 \text{ t-CO}_2/\text{年} \end{aligned}$$

※温室効果ガス排出量計算のための算定式及び排出係数一覧（環境省）

(キ) 総 CO₂削減量

上記を合計すると、バイオガス導入による CO₂ 削減量は厨芥乾燥物の場合で 247.5 t-CO₂/年、廃シロップの場合で 232.8 t-CO₂/年である

【計算式 A：厨芥乾燥物の場合】

$$2.8 + 181.1 + 62.8 + 1.5 - 1.0 \doteq 247.5 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

【計算式 B：廃シロップの場合】

$$2.8 + 169.6 + 62.8 + 1.5 - 6.6 + 2.4 \doteq 232.8 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

③ ベースラインシナリオと比較した温室効果ガス削減率

(ア) ベースラインシナリオ

第4章1. 1) (1) ③ (ア) に示すベースラインシナリオの CO₂ 排出量は、電気事業者別排出係数 (H30 実績) を用いて再計算すると、215.7 t-CO₂/年である。

(イ) 削減シナリオ

- ・厨芥のトラックによる運搬 0.3 t-CO₂/年 (投入不可物 10%)
 - ・バイオガスのコージェネ利用による電力、都市ガス代替
 - ▲181.1 t-CO₂/年 (厨芥乾燥物)、▲169.6 t-CO₂/年 (廃シロップ)
 - ・除害設備運転 976 kWh/日 × 365 日 × 0.488 kg-CO₂/kWh = 173.8 t-CO₂/年
 - ・厨房排水余剰汚泥、GT スカム及び店舗スカムの外部焼却処理 0 t-CO₂/年
 - ・厨房排水余剰汚泥、GT スカム及び店舗スカムのバキューム車による運搬 0 t-CO₂/年
 - ・副資材の運搬・処理 1.0 t-CO₂/年 (厨芥乾燥物)、4.2 t-CO₂/年 (廃シロップ)
- ⇒合計： ▲6.3 t-CO₂/年 (厨芥乾燥物) ~8.4 t-CO₂/年 (厨芥乾燥物)

(ウ) 温室効果ガス削減率

- ・ベースラインと比較した削減率は、 $(215.7 - \mathbf{\Delta 6.3}) / 215.7 = 102.9\%$ (厨芥乾燥物)
- $(215.7 - 8.4) / 215.7 = 99.5\%$ (廃シロップ)

(2) コスト評価

経済性について、平成 31 年度の調査結果を反映して以下のようにコストシミュレーションを行った。

【計算式】

- ・イニシャルコスト

バイオガス設備本体（副資材投入による発酵槽の容量増加分考慮） 180,000 千円
副資材投入機構追加費用 3,000 千円（液体用）～10,000 千円（粉体用）
計 183,000～190,000 千円

・ランニングコストメリット

都市ガス代替 ▲6,334 千円/年

($179.6 \text{ Nm}^3/\text{日} \times 365 \times 100 \text{ 円/Nm}^3 = 6,556 \text{ 千円/年}$)

厨芥処分費低減 ▲16,425 千円/年

($900 \text{ kg/日} \times 365 \times 50 \text{ 円/kg} = 16,425 \text{ 千円/年}$)

バイオガス設備で処理できる GT スカム ▲10,950 千円/年

($600 \text{ kg/日} \times 365 \times 50 \text{ 円/kg} = 10,950 \text{ 千円/年}$)

副資材調達費 986 千円/年～1,153 千円/年

($540 \text{ kg/日} \times 365 \times 5 \text{ 円/kg} = 986 \text{ 千円/年}$ 廃シロップの場合)

($79 \text{ kg/日} \times 365 \times 40 \text{ 円/kg} = 1,153 \text{ 千円/年}$ 厨芥乾燥物の場合)

装置稼働電気代、薬品代、分析費用、投入人件費、メンテナンス費用 10,560 千円/年

GT スカム処理建物内人件費削減 ▲3,000 千円/年

($1.5 \text{ hr/日} \times 2 \text{ 人} \times 2.7 \text{ 千円/hr} \times 365$)

副資材投入機構メンテ費用 150 千円/年（液体用）～500 千円/年（粉体用）

(3,000 千円 or 10,000 千円 \times 0.05 イニシャルコストの 5%)

計 ▲24,718 千円/年～▲24,915 千円/年

以上より投資回収年は、183,000 千円/(24,915 千円/年) or 190,000 千円/(24,718 千円/年) = 7.35～7.69 年

開発終了時にて投資回収年数（7.35 年～7.69 年（補助金なし））の費用対効果にて開発システムを導入できると判断でき、従来のバイオガス設備の投資回収年数（概算 10 年）と比較して投資期間の短縮が見込まれる。

2. 社会実装シナリオ

1) 社会実装に向けた活動計画 (案)

(1) 市場規模の想定

店舗面積が 4 万 m² 以上の商業施設を厨芥 1t/日の排出規模と想定して、対象施設を以下とした。

- ・ 2000 年から 2017 年までに開業した対象施設は、全国で 155 施設
((財) 日本ショッピングセンター協会調べ)
- ・ 2010 年から 2017 年にかけて開業した対象施設は、年平均 5 施設
((財) 日本ショッピングセンター協会調べ)

(2) 事業期間を通じての市場の反応

事業期間中における当社の営業活動により、当社従来技術を含み以下の反応があった。

- ・ 詳細な説明を要望した食品製造業者・・・6 社
- ・ 詳細な説明を要望した商業施設事業者・・・3 社 (うち 1 社 “10 店舗程導入したい”)
- ・ 新聞雑誌取材、執筆依頼・・・5 件
- ・ 実装機所有者からの声、“非常に期待している。導入を検討したい”

(3) 活動計画

活動計画として以下を掲げた。

- ・ 実装機所有者に開発システムを導入し、安定運転を行うことで、信頼性を確保する。
- ・ 開発システムの生産体制を確立する。
- ・ プレスリリース、講演会及び営業活動等において、開発システムの成果を PR する。

2) 活動目標

2022 年までに実装機所有者へ導入する。また、既存施設を含め、現状約 15 件の設備導入検討依頼を受けており、2025 年までに 10 件程度の納入を目指す。

第5章 情報発信等

1. セミナー講演等

以下の講演会等において本事業の取組み状況について口頭発表を行った。

- ・2019年2月、21世紀播磨科学技術フォーラム第56回セミナー（21世紀播磨科学技術フォーラム）
- ・2019年11月、当社技術研究所公開セミナー（当社）
- ・2019年12月、第1回バイオマスセミナー（近畿経済産業局）
- ・2019年12月、エコプロダクツ展（環境省発表）
- ・2020年2月、愛媛県バイオマス利活用推進協議会（愛媛県）

2. 学術発表

以下の論文において本事業の取組み状況について発表した。

- ・2019年度、資源エネルギー学会講演予稿集、「メタン発酵による高油分有機性廃棄物からのエネルギー回収」
- ・2019年度、水環境学会シンポジウム講演予稿集、「高油分原料を処理するメタン発酵施設における高級脂肪酸簡易分析法の条件検討」
- ・2019年度、水環境学会大会講演予稿集、「建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物のメタン発酵技術の開発」

第6章 技術開発検討会の記録

1. 第1回技術開発検討会の開催

第1回技術開発検討会を東京にて図 6-1-1 に示す通り開催した。

検討会における主な指摘事項と回答は以下の通りであった。

【検討会における指摘事項と回答】

- ・水素濃度は失活からの回復後に下がるのか。
→水素濃度は下がる。ただし現在の No.2 発酵槽は安定運転できているが水素濃度が高い。不調時の指標となりうるのか見極めたい。
- ・2つの試験で VS 負荷、n-Hex/VS のパラメータを設定しているが、この両方を満たして安定運転できるのかは確認できていないのでは。(平成 31 年度の試験の設定条件は両パラメータとも上限より余裕をみており合理的であると思うが)
- ・酸発酵試験は、原料槽が実質的に酸発酵槽として機能していると考え、設計思想として積極的に 2 相式の発酵を採用するという事か。
→酸発酵槽としての機能は当初の原料槽の設計から予定したものではなかったが、生じているメカニズムを把握し、合理的な設計に活かしたい。
- ・副資材はどこから入れるのか。
→原料槽に投入することを基本に考えるが、原料槽で VS 分解が生じる可能性があることから、発酵槽への直接投入の可能性もある。酸生成試験でその影響についても併せて確認したい。
- ・GT スカムはどの経路で入ってくるか。
→厨房排水の系統の流量調整槽の GT スカム除去を停止すると加圧浮上のフローから原料槽に入ってくる。
- ・酸生成試験については、試験の目的と期待するアウトプットを整理した方がよい。(長い酸発酵槽で油分分解が上手く生じている可能性もある。)
- ・酸発酵槽出口と発酵槽出口の生物叢を比べるとメカニズムの一端が分かるかもしれない。
- ・検討が多岐に渡るが、どこかで線引きしてベースとなる条件(安定運転できる処理条件)をまず確立すべき。
→平成 31 年度は VS 負荷 $3.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^3/\text{day}$ 、n-Hex/VS=0.3 で安定運転を確認し、ベース条件としたい。
- ・活性が下がる傾向にいかに見つけるか、失活したらどういう手をうつかも整理すること。回復運転の経験は貴重な知見なのでしっかり整理して活かしてほしい。
 - ・スライド p12 で同じ条件下で原料の投入負荷が大きく変動している原因は何か。
- 200L ごと(約 1 週間ごと)にロットが変わっている影響があると思われる。4/20 前後に n-Hex/VS=0.3-0.4 の条件下で VFA の一時的上昇があり VS 負荷を落とした影響も

ある。

- p12 の理論ガス発生量は発酵槽内の内部の条件から決まる（投入したものが平準化されたもの）ので、その日の投入原料から算出してプロットしているのはおかしい。滞留時間の影響を考慮すべき。

→平均／瞬時値を整理して表示をする。

→積算値で示すのもひとつの方法ではないか。

- 基質の VS 分解率などを示した方がよい。データが見つらいので素人にも分かりやすい表示を検討すべき。
- 炭素ベースでマテリアルバランスをとってほしい。
- 副資材の性状は？VS 高負荷で HRT を短く、かつ n-Hex/VS を調整することができるか。

→厨芥乾燥物は含水率 10%以下なのでそのような運転も可能。

- ハルカスに本実証技術を入れる場合の改造点は何か。

→副資材の投入系統追加のみ。副資材候補は固体と液体があるが、液体の方がハンドリングがよく、投入装置イニシャルコストも安い。ただし液体は固体よりも VS 濃度が低い。

2019年6月21日

委員、環境省担当官、PO各位

事業実施代表者
株式会社 竹中工務店
環境エンジニアリング本部
加藤利崇

平成31年度CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業
(建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からのバイオガス回収技術)
第1回技術検討会
開催案内

時下、ますますご清祥のこととお喜び申し上げます。さて、第1回技術検討会を下記のとおり開催したいと存じます。ご予定の程宜しくお願い申し上げます。

記

日時：2019年7月12日（金）13:00～15:00
場所：株式会社竹中工務店 東京本店 1階応接会議室
(1F 受付でお名前を頂戴しご案内させていただきます。)
〒136-0075 東京都江東区新砂1丁目1-1
東京メトロ東西線東陽町駅3番出口徒歩3分

- 議事：1. 昨年度の概要と今年度の実施事項
2. 今年度の進捗状況と結果報告
3. 実証運転計画について
4. その他

連絡事項：委員の先生は謝金、旅費の支払い手続きをしますので判子をご用意ください。
(お支払いは後日の振込となります。)

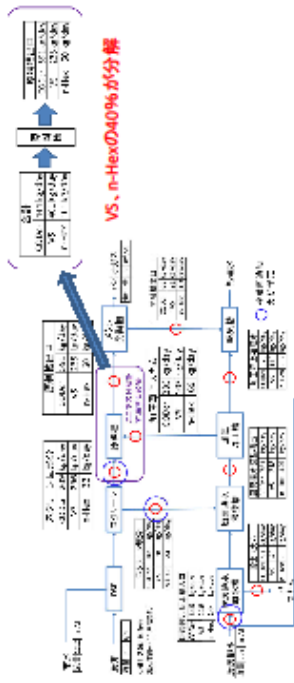
以上

図 6-1-1 第1回技術開発検討会の開催案内

<p>Ver. 20190708</p> <p>平成31年度CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からのバイオガス回収技術) 第1回技術検討会 議事次第</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 昨年度の概要と今年度の実施事項 2. 今年度の進捗状況と結果報告 3. 実証運転計画について 4. その他(資料なし) <p>2019年7月12日(金) 株式会社竹中工務店</p> <p>IAKINAKA 株式会社竹中工務店</p> <p>本資料の公表、配用はご遠慮ください 2</p>	<p>参加者名簿</p> <p>委員 眞上 佳則 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授 委員 池 達彦 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻 教授 委員 長谷川 通 神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻 学術研究員</p> <p>発注者 大阪 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課 環境専門員</p> <p>プログラムオフィサー 村木 正昭 一般社団法人国際環境研究協会 工学博士 藤沼 康実 一般社団法人国際環境研究協会 農学博士</p> <p>事業者 加藤 利崇 株式会社竹中工務店 環境エネルギー本部 課長 岩本 宏 株式会社竹中工務店 環境エネルギー本部 グループリーダー 川尻 彰 株式会社竹中工務店 技術研究所 グループリーダー 山崎 祐二 株式会社竹中工務店 技術研究所 研究主任</p> <p>IAKINAKA 株式会社竹中工務店</p> <p>本資料の公表、配用はご遠慮ください 1</p>
<p>1. 昨年度の概要と今年度の実施事項</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-1. 昨年度の概要 <ol style="list-style-type: none"> (1)副資材の概要 (2)既存施設のマテリアルバランスの把握 (3)実証試験機の製作と油分比を高めた運転の実施 1-2. 今年度の実施事項 <ol style="list-style-type: none"> (1)実施事項 (2)実施スケジュール <p>IAKINAKA 株式会社竹中工務店</p> <p>本資料の公表、配用はご遠慮ください 2</p>	<p>1-1. 昨年度の概要</p> <p>①実施事項</p> <p>(1)副資材の選定 副資材候補(バシドック、3Dプリンタ用粉、石膏、粉砕リール、海苔、海苔類、黒糖(シロップ)、黒砂糖、黒豆(粉)、黒豆(粒))</p> <p>↓ 化学分析、流通性、既存用途調査</p> <p>7種類への絞り込み 副資材候補(バシドック、石膏、粉砕リール、黒糖(シロップ)、黒砂糖、黒豆(粉))</p> <p>↓ 3.5L発祥槽でバッチ試験(グリーンストラップスカム+生ごみ+副資材)</p> <p>3種類への絞り込み 副資材候補(黒糖(シロップ)、黒砂糖)</p> <p>10.発祥槽で連続試験 (グリーンストラップスカム+生ごみ+副資材)</p> <p>図 連続試験の結果 本資料の公表、配用はご遠慮ください 3</p>

1-1. 昨年度の概要

(2) 既存施設のマテリアルバランスの把握



1-2. 今年度の実施事項

A 実施事項

(1) 副資材による高油分原料運転実証

- ① 運転条件の設定
 - ア n-Hex/VS比の設定
 - イ n-Hex/VSの限界を把握し運転条件を設定
 - エ 容積負荷の設定
 - ウ VS容積負荷の限界を把握し運転条件を設定
- 副資材の選定
 - ア 昨年の試験結果、調達性から副資材を選定

② 運転実証の実施

- ア 最も広く調達可能な副資材による運転実証
 - 副資乾燥物を用いた実証運転(立ち上げ含め90日(30日以上)の安定運転)
 - 2系統で再現性を示す
- イ 実機への導入を見越した運転実証
 - あべのハルカスへの導入を目指し、ハルカス汚泥からの立ち上げを実証
 - 副資乾燥物と度シロップそれぞれ1系列(時間の許す限りの安定運転)

1-1. 昨年度の概要

(3) 実証試験機の製作と油分比を高めた運転の実施



図 実証試験機

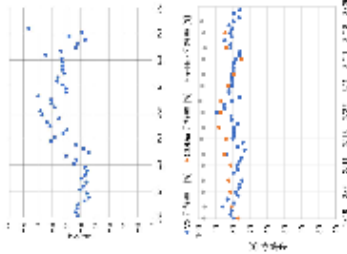


図 n-Hex/VSを高めた運転結果

1-2. 今年度の実施事項

A 実施事項

(2) 商品化検討

- ① 融劣試験の実施
 - 原料槽における挙動を把握し、設計に活かす
- ② 生物量解析
 - 汚泥の菌相の違いの有無を確認する
- ③ 生ごみ1t/日規模の装置の設計の実施
 - 生ごみ1t/日モデルの装置の試験設計を実施

(3) システム評価の実施

- CO₂削減量、投資回収年数の評価を実施

1-2. 今年度の実施事項

B 目標

項目	進捗状況の現状	2021年度進捗の状況	最終目標
1 実務目標	<ul style="list-style-type: none"> ①目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) ②目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) ③目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) 	<ul style="list-style-type: none"> ①目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) ②目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) ③目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) 	<ul style="list-style-type: none"> ①目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) ②目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上) ③目標：副資材投入率の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・削減率30%以上(削減率50%以上) ・削減率50%以上(削減率60%以上)
2 削減率目標	削減率30%以上(削減率50%以上)	削減率30%以上(削減率50%以上)	削減率30%以上(削減率50%以上)
3 削減率目標	削減率30%以上(削減率50%以上)	削減率30%以上(削減率50%以上)	削減率30%以上(削減率50%以上)

1-2. 今年度の実施事項

C スケジュール

実施事項	工 程 表											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
11 副資材投入率削減率の削減												
12 削減率目標												
13 削減率目標												
14 削減率目標												
15 削減率目標												
16 削減率目標												
17 削減率目標												

2-1. n-Hex/VS、VS容積負荷の設定

■目的：副資材を使用する試験での運転条件 (n-Hex/VSとVS容積負荷)を設定

■実施内容：①n-Hex/VSの処理上限の把握
②VS容積負荷の処理上限の把握

■試験条件

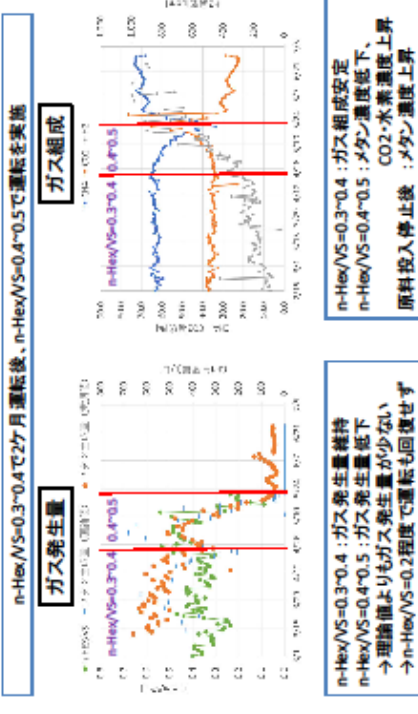
	①n-Hex/VSの確認		②VS容積負荷の検討	
	Period1	Period2	Period1	Period2
運転日数 [日]	63	21	29	21
VS容積負荷 [kg-VS/m ³ /日]		2.0		3.0
HRT[日]		25		16
n-Hex/VS [-]	0.3~0.4	0.4~0.5		0.25~0.30

2. 今年度の進捗状況と結果報告

- 2-1. n-Hex/VS、VS容積負荷の限界の確認
- 2-2. 酸発酵試験

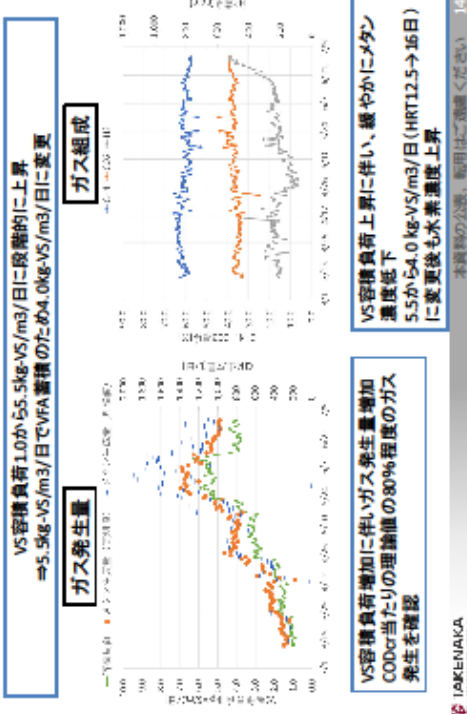
2-1. n-Hex/VS、VS容積負荷の設定

① n-Hex/VS処理上限確認試験 結果



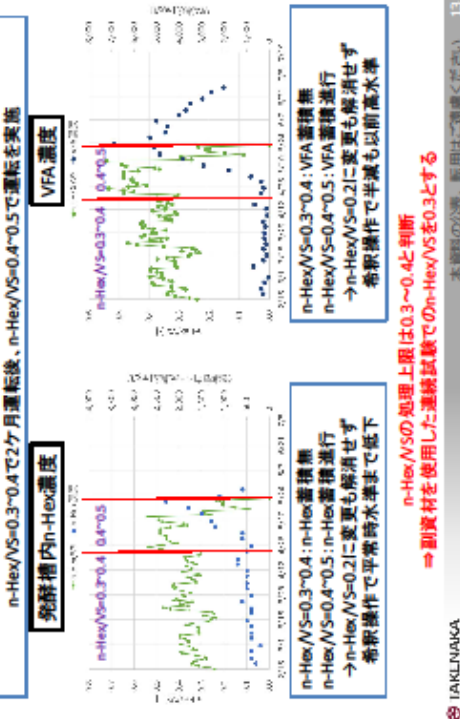
2-1. n-Hex/VS、VS容積負荷の設定

② VS容積負荷上限確認試験 結果



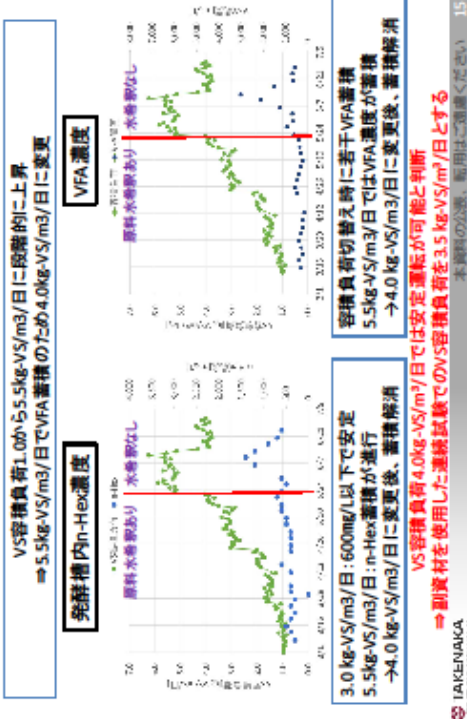
2-1. n-Hex/VS、VS容積負荷の設定

① n-Hex/VS処理上限確認試験 結果



2-1. n-Hex/VS、VS容積負荷の設定

② VS容積負荷上限確認試験 結果



2-2. 酸発酵試験

■概要

・試験目的

- ①原料槽出口におけるn-Hex/Vsを管理するために、副資材とスカムのV_S、n-Hexの分解率を把握する
- ②滞留時間、油分濃度が不飽和脂肪酸から飽和脂肪酸への変換に与える影響を把握する

・試験条件

使用材料
 : ハルカス原料液、GTスカム、副資材
 ※副資材は、乾燥厨芥、廃糖液、廃スターチ、破砕糞糞生ごみ

原料V_S濃度 : 10.0 wt%(GTスカムのみ5.0 wt%)

HRT : 5 日

V_S容積負荷 : 20 kg-V_S/m³/日

液量 : 1.5 L

試験温度 : 37°C

測定項目 : pH、ORP、TOC、VFA、COD_{cr}

試験期間 : 10日間

原料投入 : 1回/日(引き抜き後に投入)

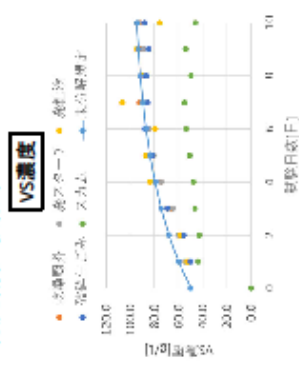
攪拌速度 : 60 rpm



糞糞生ごみ(破砕前)

2-2. 酸発酵試験

■酸発酵試験結果



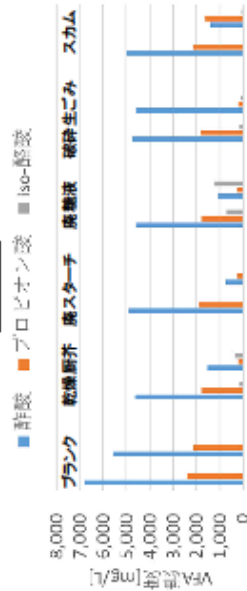
各副資材のV_S濃度はVSが未分解と想定した際の曲線とほぼ一致
 ⇒VS分解はほとんど起こっていない

試験開始6日目までは酸化雰囲気、7日目以降に還元雰囲気
 ⇒酸生成量は7日目以降に活性化?

ORPが還元雰囲気安定してから10日間を評価対象として再試験を実施予定

2-2. 酸発酵試験

■酸発酵試験結果



※プラックは30日目のサンプルと原料投入なしで30日経過後のサンプルを分析

破砕生ごみ以外の副資材ではVFA濃度が低下
 →他の副資材の酸生成成と比較し、原料投入による希釈効果が大きかった

再試験で得たサンプルを再度分析予定

3. 実証試験計画

3. 実証試験計画

■ 目的

- ①副資材による高油分原料の安定処理を実証
(副資材:乾燥厨芥)
- ②実装機で既存のバイオガス施設(ハルカス汚泥)を用いた立上運転の実証
(副資材:乾燥厨芥、腐糟液)

■ 試験工程



汚泥
入替

実証運転①についてはNo.2を先行して実施、No.1で再現性を確認する



IAKLINAKA
環境システム株式会社

本資料の公表、転用はご遠慮ください 20

参考資料 (仕様書 (案))

- 平成21年度「バイオガス施設改良に関する技術的検討」(資源省)
「バイオガス施設改良に関する技術的検討」(資源省)の資料

- 試験の目的
従来のバイオガス施設改良に関する技術的検討、調査報告書に示すように、消化槽にはバイオガスの発生とCO₂の発生が同時に進行している。バイオガス発生とCO₂発生は、それぞれ異なる反応速度を示すため、消化槽内のCO₂濃度は、CO₂発生速度がバイオガス発生速度を上回る状態になる。この状態を維持することで、CO₂発生速度がバイオガス発生速度を上回る状態を維持し、消化槽内のCO₂濃度を一定に保つことが目的である。この状態を維持するために、消化槽内のCO₂発生速度を一定に保つことが必要である。この状態を維持するために、消化槽内のCO₂発生速度を一定に保つことが必要である。



IAKLINAKA
環境システム株式会社

本資料の公表、転用はご遠慮ください 21

3. 実証試験計画

■ 実証運転①の試験条件

- 使用材料
原料VS濃度 :ハルカス原料液、GTSカム、副資材(乾燥厨芥)
HRT :70 % (70 g-VS/L)***水道水にて希釈調整
VS容積負荷 :20 日
n-Hex/VS :3.5 kg-VS/m³/日
副資材投入 :0.30±0.05 (期間平均)
初期はハルカス原料液投入によってn-Hex/VS=0.3に調整のために必要な副資材量を100%とし、段階的に副資材に置き換えてゆく(0%⇒25%⇒50%⇒100%)

■ 実証運転②の試験条件

- 使用材料
原料VS濃度 :ハルカス原料液、GTSカム、副資材(乾燥厨芥、腐糟液)
HRT :70 % (70 g-VS/L)***水道水にて希釈調整
VS容積負荷 :20 日
n-Hex/VS :1.0~3.5 kg-VS/m³/日
副資材投入 :0.30±0.05 (期間平均)
予備GTSカム発生量とその処理に必要な副資材による負荷増を100%負荷として、n-Hex/VS=0.3に維持しつつ混合物投入量(VS容積負荷)を段階的に増加させる(0%⇒25%⇒50%⇒100%)



IAKLINAKA
環境システム株式会社

本資料の公表、転用はご遠慮ください 21

参考資料 (仕様書 (案))

- 1. 試験の目的
従来のバイオガス施設改良に関する技術的検討、調査報告書に示すように、消化槽にはバイオガスの発生とCO₂の発生が同時に進行している。バイオガス発生とCO₂発生は、それぞれ異なる反応速度を示すため、消化槽内のCO₂濃度は、CO₂発生速度がバイオガス発生速度を上回る状態になる。この状態を維持することで、CO₂発生速度がバイオガス発生速度を上回る状態を維持し、消化槽内のCO₂濃度を一定に保つことが目的である。この状態を維持するために、消化槽内のCO₂発生速度を一定に保つことが必要である。



IAKLINAKA
環境システム株式会社

本資料の公表、転用はご遠慮ください 23

2. 第2回技術開発検討会の開催

第2回技術開発検討会を東京にて図 6-2-1 に示す通り開催した。

検討会における主な指摘事項と回答は以下の通りであった。

【検討会における指摘事項と回答】

■ 厨芥乾燥物を用いた連続運転試験

- ・発酵槽 1 と発酵槽 2 の比較の場合には、図の横軸 (P7)、縦軸 (P9) のスケールをそろえるとわかりやすい。原料のばらつきはチェックしているか。
→比較するグラフについては、その軸に注意して報告書を作成する。原料の VS は毎日測定しているため、ある程度のばらつきは平均化できていると考える。
- ・P6 の発酵槽 2 で徐々に VS、CODcr、n-Hex 分解率が低下しているようだが問題ないか。
→厨芥乾燥物投入に切り替えた直後は分解率が低下傾向にあったためその傾向がなくなり安定するまで運転し、10 月以降は安定していることを確認した。このため予定より運転期間が延びている。
- ・P7 の VFA で測定している中身はなにか。
→グラフでは酢酸・プロピオン酸・酪酸・吉草酸・カプロン酸の合計量で示している。個々の物質で見ると、調子の悪いときはプロピオン酸が蓄積する傾向があった。

■ 厨芥発生量 1t モデルにおけるフローとマテバラ

- ・昨年実施したマテバラ検討で、原料槽の前後で VS 分解が見られた点はどのように考えているか。
→本年度に酸発酵試験を実施したが、副資材、グリーストラップスカム、破碎厨芥の明確な VS 分解は確認できなかった。サンプリングのばらつきによるものと判断した。
- ・店舗スカム、グリーストラップスカムはどのように投入するか？
→店舗スカムは建築基準法で阻集器設置義務があるので、これを解決しないと、人が集めてポンプで送るなどの方法が想定される。プラント側のグリーストラップスカムはプラント側の油水分離機を外してしまうか、油水分離機で回収したものを原料槽に送るかのどちらかで対応可能。

■ 省 CO₂ 性の評価

- ・副資材の輸送や処理にかかる CO₂ は評価しているか。
→今回は試算に入れられていないため検討してみるが、様々なケースがあり一概にこうだと計算できない可能性はある。
- ・油脂汚泥 (GT スカム)、含油スカム (GT スカム) などの語句の統一を図ること。

■ コスト評価

- ・装置の値上がりを考慮しているが、厨芥・汚泥処分費などの値上りは考慮しないのか。
→処分費が値上がりしている明確な根拠がないため、今回の報告書では値上がりを見込まない。

- ・ 7.4~7.7 年は投資回収年数として十分か。
 - 都市部の厨芥発生量 1t レベルであれば、SDGs への対応から、お客様の感触は許容範囲になってきていると考えている。
 - ・ 現状では厨芥乾燥物と廃シロップのどちらの副資材が有望か。
 - ハンドリングが容易で、装置の経済性を考えると廃シロップが有利である。一方、厨芥乾燥物は保存性の点で有利である。一概にどちらが優れているとは言えず、導入先によってどちらの副資材が調達しやすいか等を踏まえて選定する必要がある。
 - ・ ハルカスではどちらを採用するのか。
 - ハルカスは廃シロップの方が入手しやすいため、今回の試験では廃シロップへの切替を検討した。
- 実装に向けた活動（案）
- ・ ハルカスへの実装を目標に挙げているが、副資材投入に関わる図面等は記載できるか。
 - 副資材投入に関わる図面は今後作成していくため、今回の報告書の中では記載しない。

2020年3月9日

委員、環境省担当官、PO各位

事業実施代表者
株式会社 竹中工務店
環境エンジニアリング本部
加藤利崇

平成31年度CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業
(建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からのバイオガス回収技術)
第2回技術検討会
開催案内

時下、ますますご清祥のこととお喜び申し上げます。さて、第1回技術検討会を下記のとおり開催したいと存じます。ご予定の程宜しくお願い申し上げます。

記

日時：2020年3月13日（金）10:00～12:00
場所：株式会社竹中工務店 東京本店 6D会議室を拠点としたSkype会議
(当日9:30頃、接続先のアドレスをお知らせします。)

- 議事：1. 実証試験内容及び結果について
2. 商品化検討/評価について
3. 生物叢分析について
4. 社会実装に向けた取り組み
5. 報告書について（目次案）

以上

図 6-2-1 第2回技術開発検討会の開催案内

<p>平成31年度CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からのバイオガス回収技術) 第2回技術検討会</p> <p>議事次第</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 実証試験内容及び結果について 2. 商品化検討/評価について 3. 生物量分析について 4. 社会実装に向けた取り組み 5. 報告書について(目次案) <p>2020年3月13日(金) Ver.3.12 株式会社竹中工務店</p> <p>IAKLINAKA 本資料の公表、配用はご遠慮ください</p>	<p>参加者名簿</p> <p>委員 眞上 佳則 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授 委員 池 進彦 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻 教授 委員 長谷川 通 神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻 学術研究員</p> <p>発注者 田中 薫彦 環境省 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課 課長補佐 藤 敏宏 環境省 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課 環境専門員</p> <p>プログラムオフィサー 村本 正昭 一般社団法人国際環境研究協会 工学博士 藤沼 康美 一般社団法人国際環境研究協会 農学博士</p> <p>事業者 加藤 利崇 株式会社竹中工務店 環境エネルギー本部 課長 岩本 宏 株式会社竹中工務店 環境エネルギー本部 グループリーダー 川尻 聡 株式会社竹中工務店 技術研究所 グループリーダー 山崎 祐二 株式会社竹中工務店 技術研究所 研究主任</p> <p>IAKLINAKA 本資料の公表、配用はご遠慮ください</p>
<p>1. 実証試験内容及び結果について</p> <p>進捗工程の報告 1-1. (1) 厨不乾機物を用いた連続運転試験 (2) 廃シロップを用いた連続運転試験</p> <p>IAKLINAKA 本資料の公表、配用はご遠慮ください</p>	<p>進捗工程</p> <p>IAKLINAKA 本資料の公表、配用はご遠慮ください</p>

1-1. (1) 厨芥乾燥物を用いた連続運転試験

- 目的: 最も広く調達可能な副資材として選定した厨芥乾燥物を、高油分有機物に混合し原料とした場合のメタン発酵の安定性を確認する。

■ 実施内容

- (発酵槽1) 低負荷状態から立上、VS容積負荷3.5kg-VS/m³/日で運転
- (発酵槽2) 同一運転条件(VS容積負荷、n-Hex/Vs)で副資材有無の比較

■ 試験条件

- ・試験温度: 54°C ± 1°C
- ・VS容積負荷、n-Hex/Vs: 下図の通り
- ・HRT: (発酵槽1) 20~47日、(発酵槽2) 20日
- ・混合比: ハルカス原料: スカム: 厨芥乾燥物: 水 = 51:5.0:2.5:42



IAKENAKA

本資料の公諸、転用はご遠慮ください 4

1-1. (1) 厨芥乾燥物を用いた連続運転試験

①メタン生成量



1日当たりのメタン生成量 [L/日]	投入vs当たりのメタン生成量 [%-投入vs]
858	614
副資材なし	772
副資材あり	624

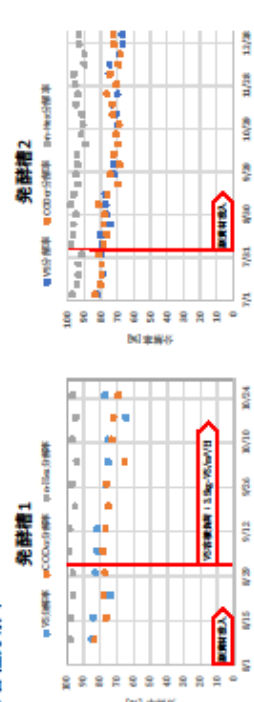
厨芥乾燥物を用いた場合: 長期運転後は1日当たりのメタン生成量が若干減少、投入vs当たりのメタン生成量は明確な変化がみられない
 ⇒厨芥乾燥物を用いて安定的なメタン生成が確認できた

IAKENAKA

本資料の公諸、転用はご遠慮ください 5

1-1. (1) 厨芥乾燥物を用いた連続運転試験

②各種分解率



分解率 [%]	VS		CODcr		n-Hex	
	副資材なし	副資材あり	副資材なし	副資材あり	副資材なし	副資材あり
立上時	81.5	78.7	80.2	80.2	94.6	94.6
定格時	73.3	70.0	71.2	71.2	92.4	92.4

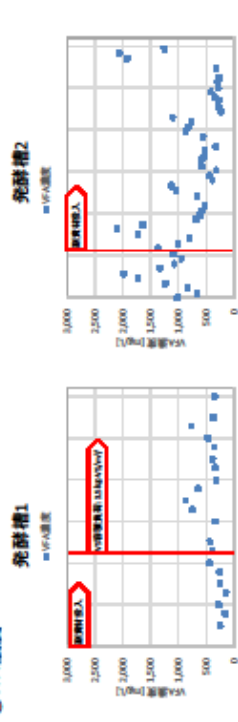
厨芥乾燥物を用いた場合: VS分解率、CODcr分解率が若干低下したが安定運転は達成

IAKENAKA

本資料の公諸、転用はご遠慮ください 6

1-1. (1) 厨芥乾燥物を用いた連続運転試験

③VFA濃度



厨芥乾燥物を用いた立上時、定格運転時のいずれにおいてもVFAの継続的な増加は見られず
 ⇒厨芥乾燥物を用いることでVFA蓄積を進行させずにメタン発酵を継続することが出来た

④まとめ

- ・厨芥乾燥物を用いた連続運転試験を発酵槽1で約90日、発酵槽2で約150日実施
- ・厨芥乾燥物を用いない場合と比較してメタン生成量、VS分解率、CODcr分解率に変化は見られるが、安定運転は達成可能
- ・厨芥乾燥物を用いた運転でもVFAの蓄積は進行しなかった

IAKENAKA

本資料の公諸、転用はご遠慮ください 7

1-1. (2) 廃シロップを用いた連続運転試験

■ 目的: 実用化の際にコスト的に有利な副資材として選定した廃シロップを、高油分有機物に混合し原料とした場合のメタン発酵の安定性を確認する。

■ 実施内容

(発酵槽1) 低負荷状態 (ハルカス汚泥) から廃シロップ混合原料で立上 (発酵槽2) 副資材の切り替え (耐芥乾燥物 → 廃シロップ)

■ 試験条件

- ・試験温度: 54°C ± 1°C
- ・CODcr/容積負荷、n-Hex/CODcr: 下記の通り
- ・HRT: (発酵槽1) 25~47日、(発酵槽2) 20日



IAKENAKA

本資料の公表、転用はご遠慮ください 8

1-1. (2) 廃シロップを用いた連続運転試験

② 各種分解率



	分解率 [%]		
	VS	CODcr	n-Hex
耐芥乾燥物	73.3	70.0	95.5
廃シロップ	73.9	73.8	94.8

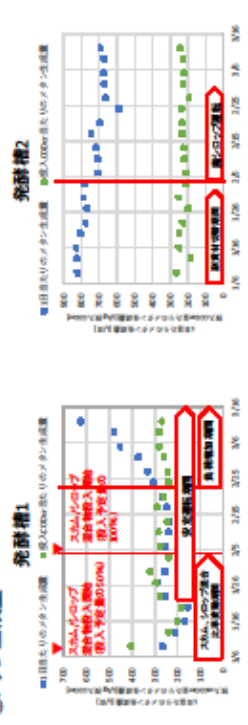
耐芥乾燥物を用いる場合と比較して、VSとCODcrの分解率が向上、n-Hex分解率が若干低下

IAKENAKA

本資料の公表、転用はご遠慮ください 10

1-1. (2) 廃シロップを用いた連続運転試験

① メタン生成量



	1日当たりのメタン生成量 [L/日]		投入CODcr当りのメタン生成量 [L/g-投入CODcr]	
	耐芥乾燥物	廃シロップ	772	689
耐芥乾燥物	858	275	250	227
廃シロップ	-	273		

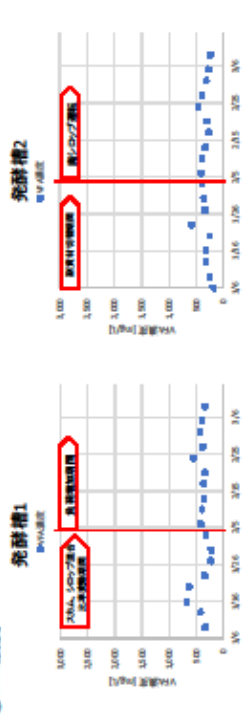
※ 発酵槽2では、耐芥乾燥物を用いる場合と比較して、1日当たりのメタン生成量と投入CODcrあたりのメタン生成量が若干低下

IAKENAKA

本資料の公表、転用はご遠慮ください 9

1-1. (2) 廃シロップを用いた連続運転試験

③ VFA濃度



試験期間中にVFAの蓄積は見られず、廃シロップを用いて安定運転を確認

④ まとめ

- ・廃シロップを用いた連続運転試験を発酵槽1、2で64日実施 (報告書提出まで継続)
- ・耐芥乾燥物を用いた場合と比較して、VSとCODcrの分解率は向上、n-Hex分解率は微減
- ・廃シロップを用いた連続運転でもVFAの蓄積は進行しなかった。

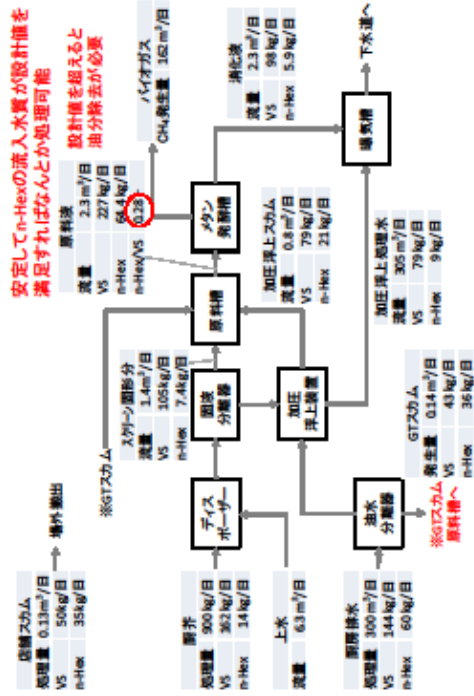
IAKENAKA

本資料の公表、転用はご遠慮ください 11

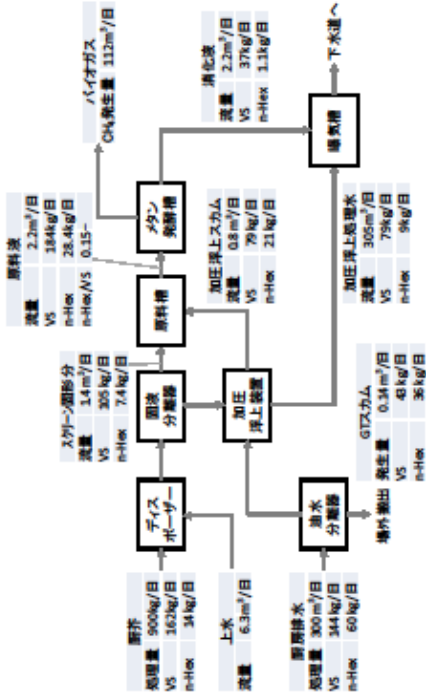
2. 商品化検討/評価について

- 2-1. 現状の1t/日のマテバラ(スカム投入なし)
- 2-2. 現状の1t/日のマテバラ(GTスカム投入)
- 2-3. 現状の1t/日のマテバラ(GT、店舗スカム投入)
- 2-4. 副資材使用時のフロートマテバラ
- 2-5. 応募時と終了時(2020.3)の省CO2性の評価
- 2-6. 省CO2算出の根拠(応募時)
- 2-7. 省CO2算出の根拠(終了時)
- 2-8. 応募時と終了時(2020.3)のコスト評価
- 2-9. コスト評価の根拠(応募時)
- 2-10. コスト評価の根拠(終了時)

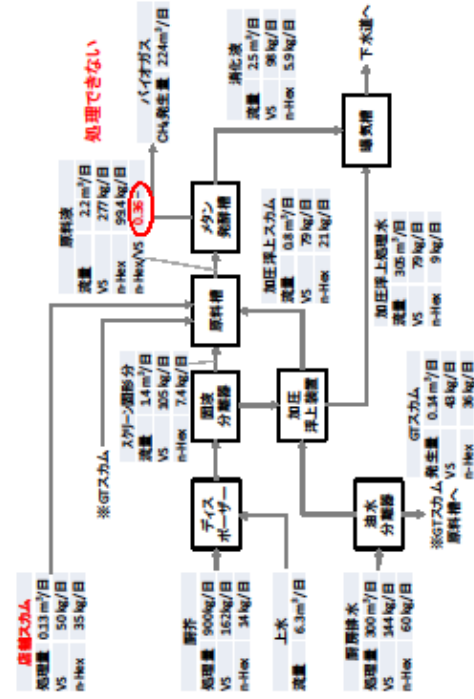
2-2. 現状の1t/日のマテバラ (GTスカム投入)



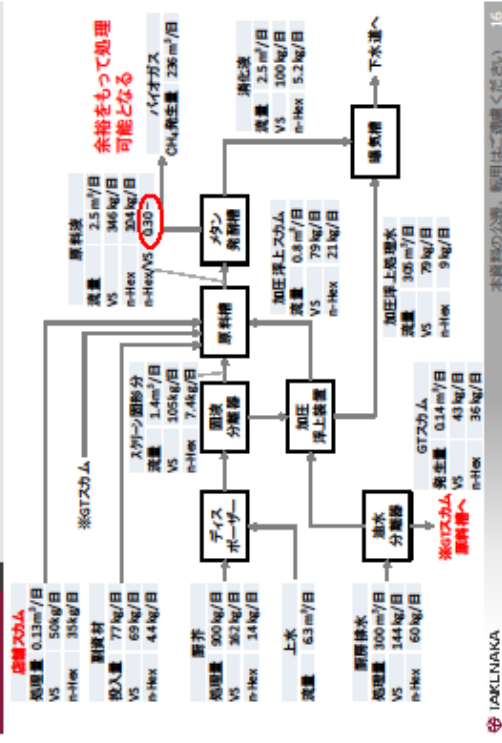
2-1. 現状の1t/日のマテバラ (スカム投入なし)



2-3. 現状の1t/日のマテバラ (GT、店舗スカム投入)



2-4. 副資材使用時のフローとマテリアル



2-5. 応募時と終了時 (2020.3) の省CO2性の評価

【応募時】 230 t-CO₂/年 → 【終了時】 249 t-CO₂/年の省CO₂

- 削減減量の内訳
- ① 開発技術によるバイオガス発生量 : 192.6 Nm³-CH₄ 【応募時】
→ 236 Nm³-CH₄ 【終了時】
※開発技術の導入により削減効果は、見込んでいない(開発費で回収されるため)
 - ② 開発技術によるCO₂削減効果
(比較対象) 厨芥※及びGTSCカラム、場外処分、厨芥排水、好気処理後、厨芥汚泥は場外処分
(ア) 厨芥のトラックによる運搬回数 2.8 t-CO₂/年
(イ) バイオガスのコージェネ利用による電力、都市ガス代替 162.3 t-CO₂/年
→ 181.1 t-CO₂/年 【終了時】
(ウ) 厨芥排水汚泥、油脂汚泥(GTSCカラム)の焼却処理回数 62.8 t-CO₂/年
(エ) 厨芥排水汚泥、含油スカム(GTSCカラム)の外排搬出回数 1.8 t-CO₂/年
- 合計 ▲230 t-CO₂/年 【応募時】
→ 合計 ▲249 t-CO₂/年 【終了時】

2-6. 省CO2算出の根拠 (応募時)

項目	計算	CO ₂ 削減量
厨芥収集車削減	収集車1台当り往復13km走行、1日2回搬送、トラック燃費4km/L-軽油 1回/日 × (1-0.11)/11 × 365日 × 236kg/回 × 2.58kg-CO ₂ /L = 2.8t-CO ₂ /年	2.8 t/年
電力・都市ガス代替	発電量: 295 Nm ³ /日 × 0.65 × 35.6 MJ/Nm ³ × 0.278 kWh/MJ × 0.35 = 664kWh/日 電力代替: 664 kWh/日 × 365日 × 0.587 kg-CO ₂ /kWh = 142.2 t-CO ₂ /年 新供給量: 295 Nm ³ /日 × 0.65 × 35.6 MJ/Nm ³ × 0.5 = 3413 MJ/日 都市ガス13M代替量(バイオ効率が90%): 3413 MJ/日/0.9/40.6 MJ/Nm ³ × 2.23 kg-CO ₂ /Nm ³ × 365日 = 76.0 t-CO ₂ /年 バイオガス設備電力消費: 345 kWh/日 × 365日 × 0.587 kg-CO ₂ /kWh = 31.1 t-CO ₂ /年(増加) バイオ加温熱消費: 1105 MJ/日/0.9/40.6 MJ/Nm ³ × 0.23 kg-CO ₂ /Nm ³ × 365日 = 24.6 t-CO ₂ /年(増加) 以上より、差し引く 142.2+76.0-31.1-24.6 = 162.3 t-CO ₂ /年	162.3 t/年
厨芥排水汚泥焼却回数	従来処理で0.13t-05t/日の汚泥発生(0.028-05t/日の厨芥排水希釈汚泥、0.09t-04t/日のGTSCカラム)を搬送、1.535kg-CO ₂ /kg-汚泥の希釈単位として 0.112 t-05t/日 × 365日 × 1.535 kg-CO ₂ /kg-汚泥 = 62.8 t-CO ₂ /年	62.8 t/年
汚泥収集車削減	厨芥排水希釈汚泥0.028 t-05t/日(含水率97%)、GTSCカラム0.6 m ³ /日(含水率85%非脱水)収集車1台当り往復20km走行、4m ³ 収集車燃費4km/L-軽油 (0.028-05+0.03)+0.6 t-4m ³ /回 × 365日 × 20km/回 × 4m ³ /L × 2.58kg-CO ₂ /L = 1.8t-CO ₂ /年	1.8 t/年
合計	合計	223.7 t/年

合計 230 t-CO₂/年の省CO₂となる

2-7. 省CO2算出の根拠 (終了時)

項目	計算	CO ₂ 削減量
厨芥収集車削減	収集車1台当り往復13km走行、1日2回搬送、トラック燃費4km/L-軽油 1回/日 × (1-0.11)/11 × 365日 × 236kg/回 × 2.58kg-CO ₂ /L = 2.8t-CO ₂ /年	2.8 t/年
電力・都市ガス代替	発電量: 89.2 Nm ³ /日 × 0.65 × 35.6 MJ/Nm ³ × 0.278 kWh/MJ × 0.35 = 809 kWh/日 電力代替: 809 kWh/日 × 365日 × 0.587 kg-CO ₂ /kWh = 174 t-CO ₂ /年 新供給量: 393.2 Nm ³ /日 × 0.65 × 35.6 MJ/Nm ³ × 0.5 = 4156 MJ/日 都市ガス13M代替量(バイオ効率が90%): 4156 MJ/日/0.9/40.6 MJ/Nm ³ × 2.23 kg-CO ₂ /Nm ³ × 365日 = 92.6 t-CO ₂ /年 バイオガス設備電力消費: 160 kWh/日 × 365日 × 0.587 kg-CO ₂ /kWh = 28.5 t-CO ₂ /年(増加) バイオ加温熱消費: 1256 MJ/日/0.9/40.6 MJ/Nm ³ × 0.23 kg-CO ₂ /Nm ³ × 365日 = 47.1 t-CO ₂ /年(増加) 以上より、差し引く 174-92.6-28.5-47.1 = 181.1 t-CO ₂ /年	181.1 t/年
厨芥排水汚泥焼却回数	従来処理で0.112 t-05t/日の汚泥発生(0.028-05t/日の厨芥排水希釈汚泥、0.09t-04t/日のGTSCカラム)を搬送、1.535kg-CO ₂ /kg-汚泥の希釈単位として 0.112 t-05t/日 × 365日 × 1.535 kg-CO ₂ /kg-汚泥 = 62.8 t-CO ₂ /年	62.8 t/年
汚泥収集車削減	厨芥排水希釈汚泥0.028 t-05t/日(含水率97%)、GTSCカラム0.6 m ³ /日(含水率85%非脱水)収集車1台当り往復20km走行、4m ³ 収集車燃費4km/L-軽油 (0.028-05+0.03)+0.6 t-4m ³ /回 × 365日 × 20km/回 × 4m ³ /L × 2.58kg-CO ₂ /L = 1.8t-CO ₂ /年	1.8 t/年
合計	合計	248.5 t/年

合計 249 t-CO₂/年の省CO₂となる

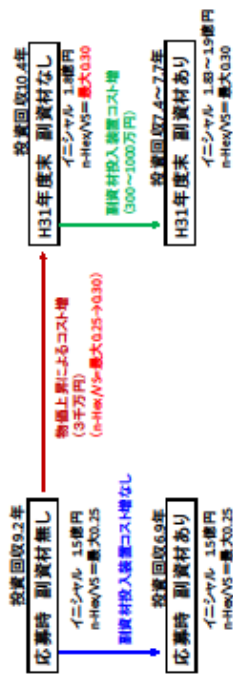
2-8. 応募時と終了時(2020.3)のコスト評価

投資回収年数 【応募時】6.9年(補助金なし)

→ 【終了時】7.4年~7.7年(補助金なし)

【応募時からの見直し事項】

- ①市場動向等からイニシャルコストを見直し1.5億円→1.8億円
- ②平成30年度の成果から投入可能なn-Hex/V5を見直し0.25→0.30
- ③VS負荷増による総懸浮粒子増のイニシャルコスト増→2千万円
- ④投入設備のイニシャルコスト考慮→300~1,000万円
- ⑤平成31年度の成果から副資材添加量、VS、n-Hex分解率を見直し(70g→79g、V5分解率80→71%、n-Hex分解率80→95%)



2-10. コスト評価の根拠(終了時)

【終了時】コスト評価 投資回収年数 7.4~7.7年(補助金なし)

イニシャルコスト
バイオガス設備本体
副資材投入機構
ランニングコスト

180,000千円
3,000~10,000千円(副資材が廃棄物(赤土)より異なる)
計 ▲24,718千円/年~▲24,915千円/年

【内訳】

都市ガス代替 (179.6 Nm³/日 × 365 × 100円/Nm³)
生ごみ処分費低減 (900 kg/日 × 365 × 50円/kg)
グリストラップ汚泥処分費低減 (600kg/日 × 3.65 × 50円/kg)
副資材調達費 (500kg/日 × 365 × 97円/kg 廃シロップ)
~1,153千円/年
メンテナンス費用 (79kg/日 × 365 × 40円/kg 副資材(赤土))
汚泥処理人件費削減 (1.9t/日 × 2.2人 × 2.7千円/人 × 365)
副資材投入機構メンテナンス費用 500千円/年(投入機構イニシャルコスト+20%)

2-9. コスト評価の根拠(応募時)

【応募時】コスト評価 投資回収年数 6.9年(補助金なし)

イニシャルコスト
バイオガス設備本体
ランニングコスト

150,000千円
▲21,716千円/年

【内訳】

都市ガス代替 (150 Nm³/日 × 365 × 100円/Nm³)
生ごみ処分費低減 (900 kg/日 × 365 × 50円/kg)
グリストラップ汚泥処分費低減 (600kg/日 × 3.65 × 50円/kg)
副資材調達費 (79kg/日 × 3.65 × 50円/kg)
メンテナンス費用 (電費代、薬品代、分棟、投入人件費)

▲3,285千円/年
▲16,425千円/年
▲10,983千円/年
1,300千円/年
9,600千円/年

3. 生物叢分析について

- 3-1. メタン発酵汚泥の生物叢解析の実施
- 3-2. 生物叢解析結果: 微生物群集の組成

3-1-1. メタン発酵汚泥の生物叢解析の実施

目的：高油分原料で馴致させたメタン発酵汚泥の生物叢を調査し、油分のバイオガス化に寄与するメカニズムを明らかにする

材料：実証試験の汚泥(馴致前、馴致後)
+ 稼働中のメタン発酵施設の汚泥(4施設) ⇒ 計7種類の汚泥の生物叢を比較

試験概要：各メタン発酵汚泥からDNA抽出

→ 16S rDNA遺伝子のV4領域をターゲットとしたアンプリコン解析

→ 検出されたDNA配列を運用分類単位(OTUs)に分類

→ OTUsはEzBioCloud 16S databaseを参照し、QIIME 2にて分類した。

使用汚泥	投入VS濃度 (gV/m ² /日)	消化汚泥 VS(%)	消化汚泥 VS(%)	投入原料
本実証試験① (東洋分譲設備)	3.5	1.2	1.0	ハルカス原料※
本実証試験② (不備時)	0.0	1.8	1.2	ハルカス原料※
本実証試験③ (東洋分譲設備)	3.5	2.1	1.8	ハルカス原料※、スガム、 新炭疽(黒井炭焼物)
高温メタン発酵設備A (あべのハルカス)	3.2	0.92	0.75	ハルカス原料※、スガム、 DOP生ごみ
高温メタン発酵設備B	2.0	2.0	1.6	おから、こんにゃく、コマ等
中温メタン発酵設備C	2.0	2.0	1.3	生ごみ、豚糞、焼酎粕
中温メタン発酵設備D	3.2	1.6	1.2	余剰汚泥、最初は畜産汚泥

IAKINAKA
環境技術株式会社

※ あべのハルカスの原料情報の原料

本資料の公表、転用はご遠慮ください 24

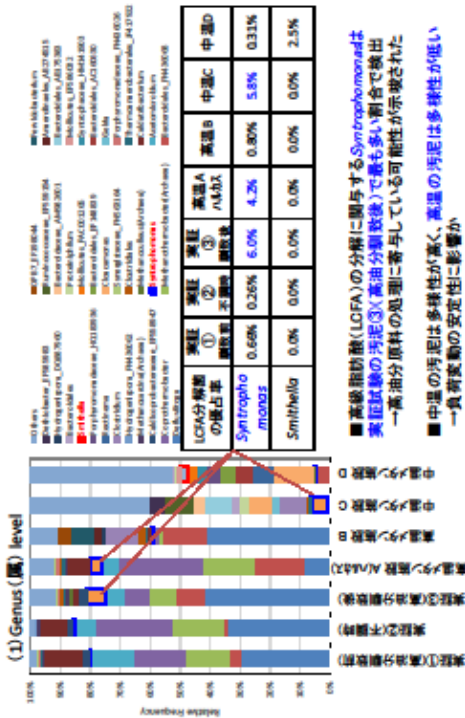
4. 社会実装に向けた取り組み

- 4-1. 情報発信
- 4-2. 実装に向けた活動(案)

IAKINAKA
環境技術株式会社

本資料の公表、転用はご遠慮ください 26

3-2-1. 生物叢解析結果：微生物群集の組成



- 高級脂肪酸(LOFA)の分解に関与するSyntrophomonasは実証試験の汚泥③(高油分馴致後)で最も多い割合で検出
- 高油分原料の処理に寄与している可能性が示唆された
- 中温の汚泥は多様性が高く、高温の汚泥は多様性が低い
- 一員新属の安定性に影響が

IAKINAKA
環境技術株式会社

本資料の公表、転用はご遠慮ください 25

4-1. 情報発信

①講演等

- 以下の講演会等において取組み状況を説明した。
- ・当社のメタン発酵技術(メタファーム)に興味を持ったお客様(10社以上)
- ・2019年2月 21世紀播磨科学技術フォーラム 第56回セミナー
(21世紀播磨科学技術フォーラム)
- ・2019年11月 当社技術研究所公開セミナー(当社)
- ・2019年12月 第1回バイオマスセミナー(近畿経済産業局)
- ・2019年12月 エコプロダクツ展(環境省発表)
- ・2020年2月 愛媛県バイオマス利活用推進協議会(愛媛県)

②論文等

- ・2019年度 資源エネルギー学会講演予稿集
- ・2019年度 水環境学会シンポジウム講演予稿集
- ・2019年度 水環境学会 大会講演予稿集

IAKINAKA
環境技術株式会社

本資料の公表、転用はご遠慮ください 27

<p>4-2. 実装に向けた活動 (案)</p> <p>①市場規模の想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・店舗面積4万㎡以上の商業施設を生ごみ1t/日の排出規模と想定 ・2000年から2017年までに開業した対象施設は全国で155施設 (財)日本ショッピングセンター協会調べ) ・2010年から2017年にかけて開業した対象施設は年平均5店舗である。 (財)日本ショッピングセンター協会調べ) <p>②事業期間を通じての市場の反応(当社従来技術を含めて)</p> <p>事業期間中における当社の営業活動により、以下の反応があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・詳細な説明を要望した食品製造業者…6社 ・詳細な説明を要望した商業施設事業者…3社(うち1社“10店舗程導入したい”) ・新聞雑誌取材、執筆依頼…5件 ・実装機所有者からの声、“非常に期待している。導入を検討したい” <p>③活動計画</p> <p>④導入目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実装機の導入により信頼性確保 ・生産体制の確立 ・成果のPR (プレスリリース、講演、営業活動) <p>IAKINAKA 株式会社イキノカ</p> <p>本資料の公表、配用はご遠慮ください 28</p>	<p>5. 報告書目次 (案)</p> <p>5. 報告書目次案</p> <p>IAKINAKA 株式会社イキノカ</p> <p>本資料の公表、配用はご遠慮ください 29</p>
<p>5. 報告書目次 (案) 1/3</p> <p>平成31年度CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (諸物運用時に発生する高油分有機性廃棄物からのバイオガス回収技術) 報告書</p> <p>○サマリー(A4:1枚、和文、英文それぞれ)</p> <p>平成30年度、31年度の業務内容を通してサマリーを記載する。(文字のみ)</p> <p>1 業務の目的(最終目的)</p> <p>2 実施内容</p> <p>3 実施結果</p> <p>4 普及ストーリー</p> <p>関係内容の説明を広く実施した結果、お礼状の期待も大きく、既存施設を含め、現状15件の設備導入検討依頼を受けており、2025年までに15件程度の普及を目指す。</p> <p>5 字数的発表</p> <p>第1章 平成31年度業務概要</p> <p>1. 業務の目的</p> <p>2. 事業の全体像</p> <p>3. 事業実施主体、実施体制</p> <p>4. 目標設定</p> <p>5. 事業スケジュール</p> <p>IAKINAKA 株式会社イキノカ</p> <p>本資料の公表、配用はご遠慮ください 30</p>	<p>5. 報告書目次 (案) 2/3</p> <p>第2章 事業内容とその成果</p> <p>1. 平成30年度の成果概要</p> <p>1) 副資材の選定</p> <p>2) 既存施設のマテリアル把握</p> <p>3) 実証設備の製作</p> <p>4) 高油分比での運転実施</p> <p>2. 副資材による高油分原料運転実証</p> <p>1) 運転条件の設定</p> <p>(1) mHex/NSの設定</p> <p>(2) 管理負荷の設定</p> <p>(3) 副資材の選定</p> <p>2) 運転実証の実施</p> <p>(1) 最も広く調達可能な副資材による運転実証</p> <p>(2) 実証機への導入を克服した運転実証</p> <p>3. 商品化検討</p> <p>1) 施設試験の実施</p> <p>2) 生物量解析の実施</p> <p>3) 生ごみ1t/日廃後の装置の設置の設計の実施</p> <p>IAKINAKA 株式会社イキノカ</p> <p>本資料の公表、配用はご遠慮ください 31</p>

5. 報告書目次 (案) 3/3

- 4. システム評価の実施
 - 5. 社会実装シナリオ
 - ① 社会実装に向けた活動計画(案)
 - ② 活動目標
 - 6. 情報発信等
 - ① セミナー講演等
 - ③ 学術発表
 - 7. 技術開発域計算記録
 - 8. 成果概要
- 【参考資料】
- ① 業界仕習書の抜粋
 - ② 専業の経緯(年表形式)

第7章 まとめ

1. 目的

食品小売業や外食産業店舗から排出される厨芥・厨房排水に対し、メタン発酵によりエネルギーを回収する技術が確立している。これらに含まれる油分（n-Hex）はバイオガス生成量が多いが、多量に混入すると発酵阻害を起こすため、現在は事前に油分を一定量除去している。これまでの実績から VS（揮発性固形物または強熱減量）量を補完する副資材の投入により、油分の除去なく処理できる可能性を考えた。本事業では、副資材の添加により高油分有機性廃棄物からバイオガスを効率的に回収することを目的とする。

平成 30 年度は効果的な副資材を選定し、メタン発酵槽で処理可能な油分比（n-Hex/VS（VS 量に対する n-Hex の比率））を検討した。平成 31 年度には、処理可能な n-Hex/VS の上限を把握した上で、400L の発酵槽を用いて実際に副資材を添加しながら油分を多量に含むグリーストラップスカム、厨芥を長期にわたりメタン発酵処理することで、実用的な技術であることを実証した。

2. 実施内容

本事業では、まず高油分原料運転に利用可能な副資材を抽出後、バッチ試験及びジャーテストを行い、3 種の副資材を選定した。次に 400L の発酵槽を用いて（図 7-2-1）、選定した副資材を添加した高油分原料での発酵試験を行い、処理可能な n-Hex/VS 及び VS 容積負荷の確認を行った。それらの結果をもとに条件を設定して、実際に副資材を投入した高油分原料による長期実証試験（立上げ及び安定運転）を試みた。最後に、開発するシステム（図 7-2-2）について、生ごみ 1 t/日、厨房排水 300 m³/日の処理規模における効果を検証した。



図 7-2-1 実証設備

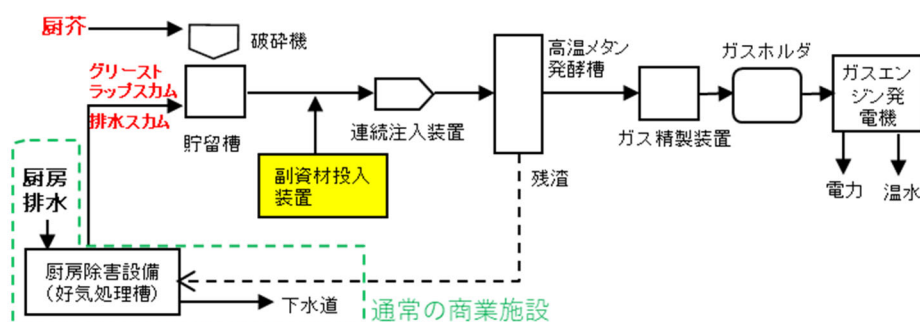


図 7-2-2 開発するシステム

3. 実施結果

1) 副資材の選定

厨芥乾燥物、パン粉くず、豆腐糟（おから）、古米、段ボール、海藻、廃糖蜜、廃糖液（シロップ）、廃砂糖、廃スターチ、廃グリセリンの11種類より、組成や調達の容易性を踏まえて7種を抽出し、バッチ試験を行った（図7-3-1）。さらに炭素分解率やCOD_{Cr}除去率等の検討から、厨芥乾燥物、廃シロップ、廃スターチに絞り込み、ジャーテストを実施した。いずれの副資材もVS容積負荷1 kg-VS/m³/日での良好な処理が確認できた（図7-3-2）。

2) 400L 実証機における処理可能な油分比の把握

原料及びグリーストラップスカムに厨芥乾燥物を添加して、n-Hex/VS=0.3~0.4で約2ヶ月運転後、n-Hex/VS=0.4~0.5で運転を実施した結果、n-Hex/VS=0.4~0.5ではn-Hexの蓄積（図7-3-3）及びガス発生量の低下等を確認したため、n-Hex/VS=0.3を設計値とした。

3) 400L 実証機における負荷限界の確認

VS容積負荷を1.0から5.5 kg-VS/m³/日に段階的に上昇させて運転を実施した結果（図7-3-4）、VS容積負荷4.0 kg-VS/m³/日まで安定運転を確認したため、VS容積負荷3.5 kg-VS/m³/日を設計値とした。

4) 副資材を用いた長期実証試験

n-Hex/VS=0.3及びVS容積負荷3.5 kg-VS/m³/日となるように原料及びグリーストラップスカムに厨芥乾燥物を添加して、発酵槽容量400Lの実証運転を実施し、約150日以上安定運転を実証できた（図7-3-5）。また、油分を現在除去して運転して

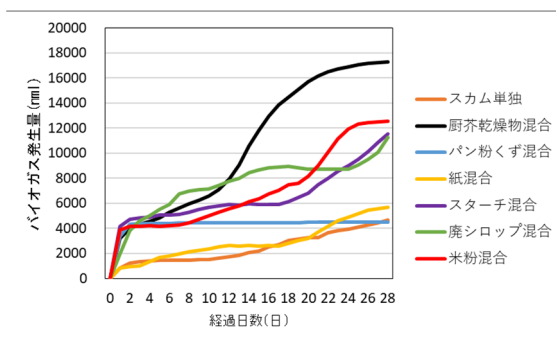


図7-3-1 バッチ試験の結果

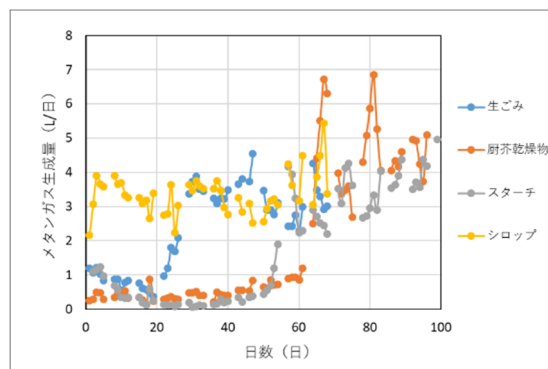


図7-3-2 ジャーテストの結果

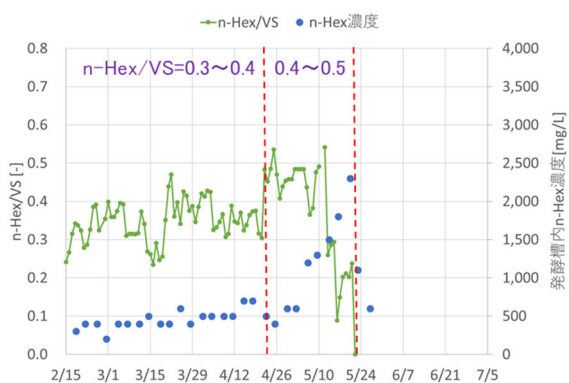


図7-3-3 n-Hex/VS値変更時のn-Hex濃度

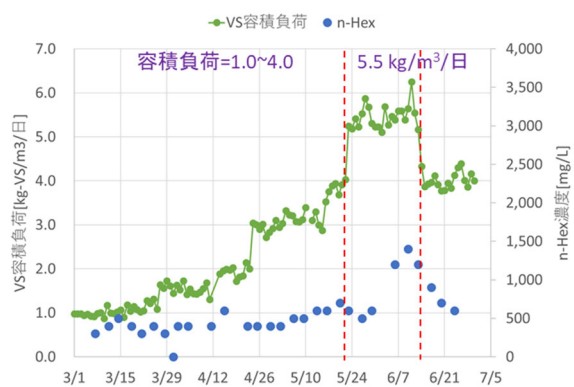


図7-3-4 容積負荷変更時の発酵槽内n-Hex濃度

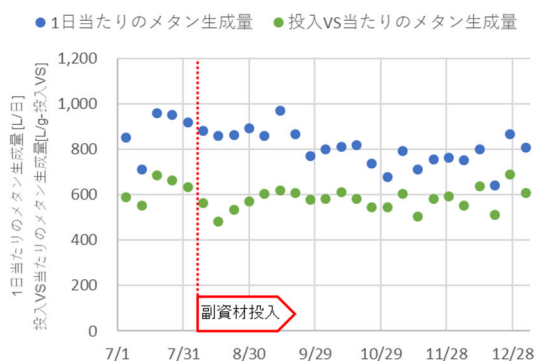


図 7-3-5 厨芥乾燥物投入時の安定運転検証

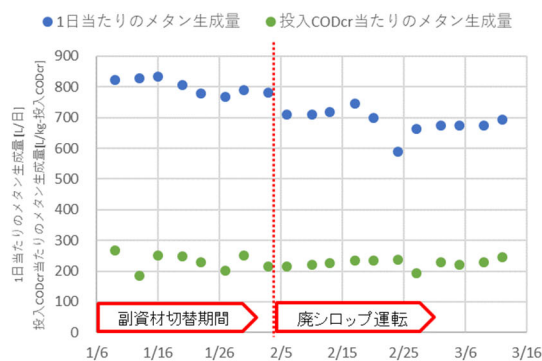


図 7-3-6 廃シロップへの切替運転検証

いる実装設備を種汚泥として、油分を除去しないことを想定したグリーストラップスカム及び廃シロップ投入による馴致にも成功し、30日程度で既存施設におけるシステム変更の可能なことを実証できた（図 7-3-6）。

5) 1t/日モデルにおける概念設計と効果評価

開発するシステムについて、厨芥 1t/日、厨房排水 300m³/日の処理規模において以下の評価結果を得た。

(1) 省 CO₂ 性

本事業の提案時には 231 t/年の省 CO₂ 効果を見込んでいたが、本事業の終了時には本システムによる削減量が 233~248 t/年と評価した。

(2) コスト評価

本システムを採用しない場合に対し、増加するイニシャルコストは 300 万円~1,000 万円、削減できるランニングコストは約 2,472~2,492 万円/年となった。従来の副資材を投入しないシステムの投資回収年数が補助金なしで約 10 年に対して、本システムでは約 7.4~7.7 年へと短縮されると見込まれる。

4. 普及ストーリー

開発内容の説明を広く実施した結果、お客様の期待も大きく、既存施設を含め、現状約 15 件の設備導入検討依頼を受けており、2025 年までに 10 件程度の普及を目指す。

5. 学術的発表

以下において本事業の取組み状況について論文を発表した。

- ・2019 年度、資源エネルギー学会講演予稿集、「メタン発酵による高油分有機性廃棄物からのエネルギー回収」
- ・2019 年度、水環境学会シンポジウム講演予稿集、「高油分原料を処理するメタン発酵施設における高級脂肪酸簡易分析法の条件検討」
- ・2019 年度、水環境学会大会講演予稿集、「建物運用時に発生する高油分有機性廃棄物のメタン発酵技術の開発」

6. まとめ

メタン発酵槽では $n\text{-Hex}/\text{VS}=0.3$ 、 VS 容積負荷 $3.5 \text{ kg-VS}/\text{m}^3$ の条件で安定して処理可能なことを把握した。実証試験では、副資材（厨芥乾燥物または廃シロップ）の使用により排水処理設備（厨房除害設備）から排出されるグリーストラップスカム、店舗で排出されるグリーストラップスカムを厨芥に混合しても油分を除去することなく処理可能なことが確認できた。また、営業運転中のメタン発酵施設の運転を再現してから、そこにこれまで外部搬出していた排水処理設備と店舗から排出されるグリーストラップスカムと副資材を混合したものを追加投入する運転への切り替えは、30 日程度で立上げ可能なことを実証した。これらの結果から開発するシステムを評価すると、生ごみ 1 t/日、厨房排水 $300 \text{ m}^3/\text{日}$ の処理システムに本システムを適用すると $233\sim 248 \text{ t-CO}_2/\text{年}$ の削減量、投資回収約 7.4~7.7 年（従来より 2.3~2.6 年短縮）と評価した。

[参考資料]

① 業務仕様書の抜粋

2. 業務の内容

(1) 副資材による高油分原料運転実証

運転条件の設定および副資材の決定をし、グリーストラップ汚泥、生ごみ及び厨房排水から回収した有機分を用いた 90 日間の運転実証を実施することにより、本技術の有効性を確認すること。なお、実証運転の実施後、400L 実証機を適正に廃棄すること。

①運転条件の設定

400L 実証機における運転条件として n-Hex/VS (VS に対する n-Hexane 抽出物質濃度(n-Hex)の比)、容積負荷、使用する副資材を決定すること。

ア. n-Hex/VS の設定

昨年度の事業において、n-Hex/VS が 0.3~0.4 の間で運転可能なことを確認している。本年度は 400L 実証機を用いてその上限値を把握した上で安全率を考慮し、投入する原料の n-Hex/VS を設定すること。

イ. 容積負荷の設定

400L 試験機において処理可能な容積負荷を n-Hex/VS=0.3 程度で検証し、安全率を考慮して原料の発酵槽への投入の容積負荷を設定すること。容積負荷は 1~5 (kg-VS/Nm³・日) 程度を想定すること。

ウ. 副資材の選定

調達コスト、調達容易性を考慮し、最も広い地域で調達可能な副資材を選定すること。また、最初の実機への導入を見越した副資材も選定すること。

②運転実証の実施

ア. 最も広く調達可能な副資材による運転実証

最も広く調達可能な副資材 1 種類を用いた運転を実証する。立上げ期間を含め 90 日間、安定した運転期間を発酵槽における滞留時間のおおよそ 3 倍となる 60 日を目安として運転すること。運転中は原料槽、発酵槽の pH、温度、COD_{Cr}、VFA (揮発性有機酸濃度)、n-Hex、ガス発生量、ガス中のメタン、水素、硫化水素、二酸化炭素濃度についてモニタリングすること。なお、実証は 2 系統の実証機において同時並行で実施することにより再現性を確認すること。

イ. 実証機への導入を見越した運転実証

本事業で開発する装置の実装の可能性の最も高い案件においてその採用を促進できる運転を実証する。当該案件において最もコスト、調達の容易性に優れた副資材を1種類選定し、当該案件で発生している生ごみ、グリーストラップ汚泥を実装の可能性の高い案件から調達すること。当該案件での運転方法を変更することを想定した立上げ方法を検討しながら実施するものとし、立上げ期間を含め90日間、安定した運転期間を30日以上確保することを目安として運転すること。

(2) 商品化検討

商品化に向けて酸発酵試験により設計上検討の必要なパラメータを把握し、その設定方法について検討するとともに、参考データとして複数の施設及び本業務で馴致させた汚泥の微生物叢解析を実施すること。また、1t/日の生ごみの処理能力を持つ設備について、試設計を実施すること。

① 酸発酵試験の実施

試験に用いる資材はグリーストラップ汚泥、標準生ごみ（文献値をもとに組成を検討した生ごみ）、廃糖液、厨芥乾燥物、廃スターチの5種類について2Lのガラス容器を用いた酸発酵試験を実施すること。種汚泥は大阪市内の建物から調達した原料槽の汚泥を用いること。VS分解率、VFA増加量、COD_{Cr}分解率、炭素分解率とグリーストラップ汚泥中LCFA（長鎖脂肪酸）成分の変化を把握すること。酸発酵はメタン活性測定装置（容量2L）を用いて各資材を原料に酸発酵半回分試験を実施すること。VS負荷は10～20（kg-VS/m³/日）、HRT（滞留時間）は2～5日（100 kg-VS/m³）とすること。

① 生物叢解析の実施

本事業で馴致させた汚泥、その他3施設程度の汚泥を入手しその微生物叢解析を実施すること。

② 生ごみ1t/日規模の装置の設計の実施

これまでに得た知見、酸発酵試験結果等を踏まえ、生ごみ処理量1t/日規模の装置の試設計（概要設計程度）を実施し、その設計過程の考え方をとりまとめるとともに、1t/日規模の装置の導入コストを算出すること。設計過程の考え方は生ごみ、グリーストラップ汚泥、副資材について、その性質、量、混合比率等の考え方を示し、各槽の大きさ、処理日数等についてその考え方を明確に示すこと。

(3) システム評価の実施

(2) で実施した試設計について、機器での消費エネルギー、エネルギー収支について検討し、従来の油分分離(油分は処理)との比較優位性を、コスト・CO₂ 排出量について、最終目標であるスペックと比較すること。最終目標のスペックは次の通りとすること。

日量、厨房排水 300 m³、厨芥 1t の処理能力を持つシステムにおいて、

- ・ CO₂ 削減量 230 t /年
- ・ 投資回収 7年 (補助金無)

(4) 技術開発検討会の開催

業務の円滑な実施のため、外部有識者等からなる技術開発検討会(別記1参照)を設置し、業務実施期間内において2回程度開催すること。なお、開催場所は東京とすること。

また、委員委嘱、開催日程の調整、委員への連絡、会議資料の作成・印刷(A4、両面カラー、30頁程度、20部程度)、会場設営・撤収、議事録作成等の運営業務を行うこと。外部委員に対しては必要に応じて旅費及び、謝金を支給すること(旅費の支給は、国家公務員等の旅費に関する法律に基づくこと)。また、会議終了後、速やかに議事録を作成し、関係者に配布すること。

② 事業の経緯

(平成 30 年度業務)

- 平成 30 年 4 月 キックオフミーティング
- 6 月 副資材 11 種類選定、化学分析の実施
- 7 月 バッチ試験実施 (厨芥乾燥物、パン粉くず、紙、廃スターチ、廃シロップ、古米)
- 9 月 400L 発酵槽実証機製作開始
- 9 月 平成 30 年度 第 1 回技術検討会開催 (あべのハルカス見学)
- 9 月 追加バッチ試験開始 (原料に厨芥乾燥物、廃スターチ、廃シロップ、廃砂糖にグリーストラップスカムと商用機における原料を加えたもの)
- 10 月 ジャーテスト開始 (厨芥乾燥物、廃シロップ、廃スターチ)
- 10 月 400L 発酵槽実証機製作完了
- 10 月 実証機における n-Hex/VS を徐々に高めた運転の開始
- 11 月 あべのハルカスにおけるマテリアルバランスの把握実施
- 12 月 平成 30 年度第 2 回技術検討会開催

平成 31 年 1 月 追加バッチ試験終了

- 3 月 ジャーテスト終了
- 3 月 実証機における n-Hex/VS を徐々に高めた運転終了
- 3 月 平成 30 年度第 3 回技術検討会開催

(平成 31 年度業務)

- 4 月 キックオフミーティング
- 4 月 実証機における処理可能な油分比の把握試験開始
- 4 月 実証機における処理可能な容積負荷の把握試験開始
- 5 月 第 1 回酸発酵試験実施
- 6 月 実証機における処理可能な油分比の把握試験終了
- 6 月 実証機における処理可能な容積負荷の把握試験終了
- 7 月 副資材 (厨芥乾燥物) を用いた運転実証開始
- 9 月 微生物叢解析の実施
- 12 月 副資材 (廃シロップ) を用いた運転実証開始
- 12 月 実装機で既使用の汚泥を用いた立ち上げ運転の実証開始

令和 2 年 2 月 第 2 回酸発酵試験実施

- 2 月 1 t/日機における試設計の実施
- 2 月 システム評価の実施
- 3 月 副資材 (廃シロップ) を用いた運転実証終了
- 3 月 実装機で既使用の汚泥を用いた立ち上げ運転の実証終了