

令和元年度

脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業

(PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業) 委託業務

成果報告書

令和2年3月

公益財団法人京都高度技術研究所

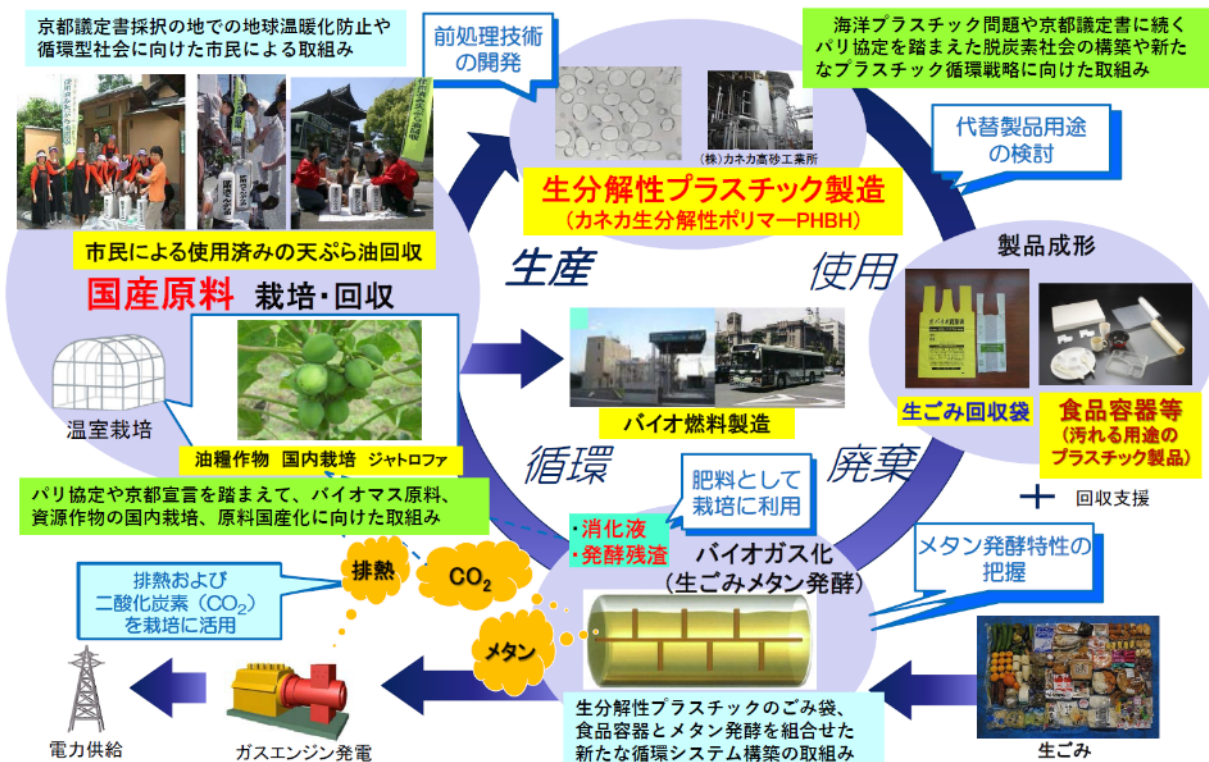
実証事業成果の要旨

令和元年度脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業
「PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業」

申請法人 (公財) 京都高度技術研究所
共同実施者 (株) カネカ、日立造船 (株)

(1) 本実証事業の概要

本事業は、脱炭素社会・循環型社会の構築や海洋プラスチック対策の推進に向け、ポリエチレンなどの石油系プラスチックに替え、新たに廃食用油等の国産の循環資源を原料に生分解性プラスチックである PHBH (3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノエート重合体) を製造するものである。PHBH を生ごみ袋に利用し、回収した生ごみとともにバイオガス化してエネルギーを回収する新たな循環型ごみ処理システムを、ライフサイクルでの環境影響やコスト解析も踏まえて構築することを目指している。また、生分解性プラスチック原料を中長期的に確保するために、市民による廃食用油の回収率の更なる向上に向けた取組に加え、廃食用油以外の油脂源としてジャトロファ等の油脂作物の国内での栽培可能性を検討する。さらに生ごみ袋以外にも使い捨て用途のプラスチック製品や汚れる用途の食品容器などへの利用拡大に向けた検討も進める。こうした技術実証とともに、成果を広く市民や事業者へ情報発信することで、新たな循環システムの社会実装に取り組むものである。



本事業の概要

(2) 本年度の成果

本年度は、廃食用油の分析・前処理技術・収集方法に関する基礎的検討、廃食用油以外の国内での

油脂源の利用可能性に関する検討、生ごみ袋に用いる PHBH コンパウンドの試験的開発、PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ回収方法の検討、それらに関するライフサイクルでの CO₂ 削減効果及びコスト変化の定量化に向けた検討等を行った。

廃食用油の分析・前処理技術・収集方法に関する基礎的検討については、実際に回収した廃食用油を原料に PHBH を培養生産し、その生産性に関する検討を行った。その結果、廃食用油を原料とした PHBH の生産性はパーム油と比べて低下すること、また、その原因は添加剤の有無や油脂の劣化度ではなく、油脂原料の脂肪酸構成の差異である可能性が高いことを確認した。加えて、廃食用油を原料とした PHBH の品質として、ポリマー成型加工時の熱着色の程度（Yellow Index）と熱安定性を指標に取り上げ、廃食用油の前処理技術を評価した結果、蒸留精製技術をラボレベルで確立できた。さらに、次年度の検討に向け、家庭系及び事業系廃食用油を市中から広く収集し、その脂肪酸構成や性状の分布等を把握するとともに、先進自治体における家庭系廃食用油の収集事例の整理を行った。

廃食用油以外の国内外の油脂源の利用可能性に関する検討については、ソーダ油滓等の油脂製造時の副生成物の排出実態を調査するとともに、油脂作物であるジャトロファについて、国内中山間地における生ごみのバイオガス化施設などの廃棄物処理施設からの排熱及び排ガス中の CO₂ 及びメタン発酵消化液を活用した栽培システムを再現できる実験用温室を用いて、適切な管理による栽培を行うことで、京都地域においてもジャトロファが枯死せず越冬し、子実を形成することを実証した。更に、生ごみバイオガス化での消化液の液肥利用促進のためのペレット化や有効利用につながる各種検討にも取り組んでいる。

生ごみ袋に用いる PHBH コンパウンドの試験的開発については、バイオガス化施設への投入を念頭に、嫌気性条件下での生分解性と生ごみ袋に求められる機械特性の観点から検討を行った。本年度の成果としては、良好な嫌気分解性を発現する PHBH 製生ごみ袋の試作に成功した。ただし PHBH 単独フィルムはほぼ 100% バイオガス化するが機械強度が不足し、PHBH に市販生分解性樹脂を配合したコンパウンドでは、樹脂の配合比率が高くなると強度は高くなるが、バイオガス化率が低下することが分かった。今後、バイオガス化特性と機械特性が両立する PHBH コンパウンドの開発を進めていく。

生ごみ袋以外の用途については、詳細な用途検討に向け、プラスチックの利用状況や世界のバイオプラスチック開発に関する基礎的な情報整理を行った。次年度はプラスチックごみの汚れ具合や素材等の調査等を行い、現実のプラスチックごみの排出実態に即して生分解性プラスチックの代替性を検討する。

PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ収集方法の検討については、自治体における生ごみ収集に関する先行事例を調査し、PHBH 製生ごみ袋を用いて生ごみを収集する際の留意点等を整理した。

本事業で提案するシステムのライフサイクルでの CO₂ 削減効果及びコスト変化の定量化については、PHBH 導入効果を評価するライフサイクル分析のために必要なプロセスについて、既往研究から収集したデータを基にプロセスモデルを作成するとともに、京都市をモデルにシナリオ分析を予備試算的に実施した。その結果、本システムはライフサイクル全体においてエネルギー起源を含む GHG の削減効果が期待されることを明らかにした。次年度以降、実証データを反映するとともに、モデルの精緻化を図っていく。

以上のように、本年度は予定した各事業の検討は概ね計画通りに進めることができたといえる。次年度は、当初計画に加え本年度の実証により明らかになった課題も取り込み、更なる検討を進めるとともに、評価審査委員会からの指摘等を踏まえ、より社会実装を意識した取組を進めていく予定である。ただし実証事業の進展や社会環境の変化に応じて、柔軟に計画を見直し、適切に対応していく。

Summary of the progress of the demonstration project in FY2019

Life cycle demonstration project for PHA-polymers

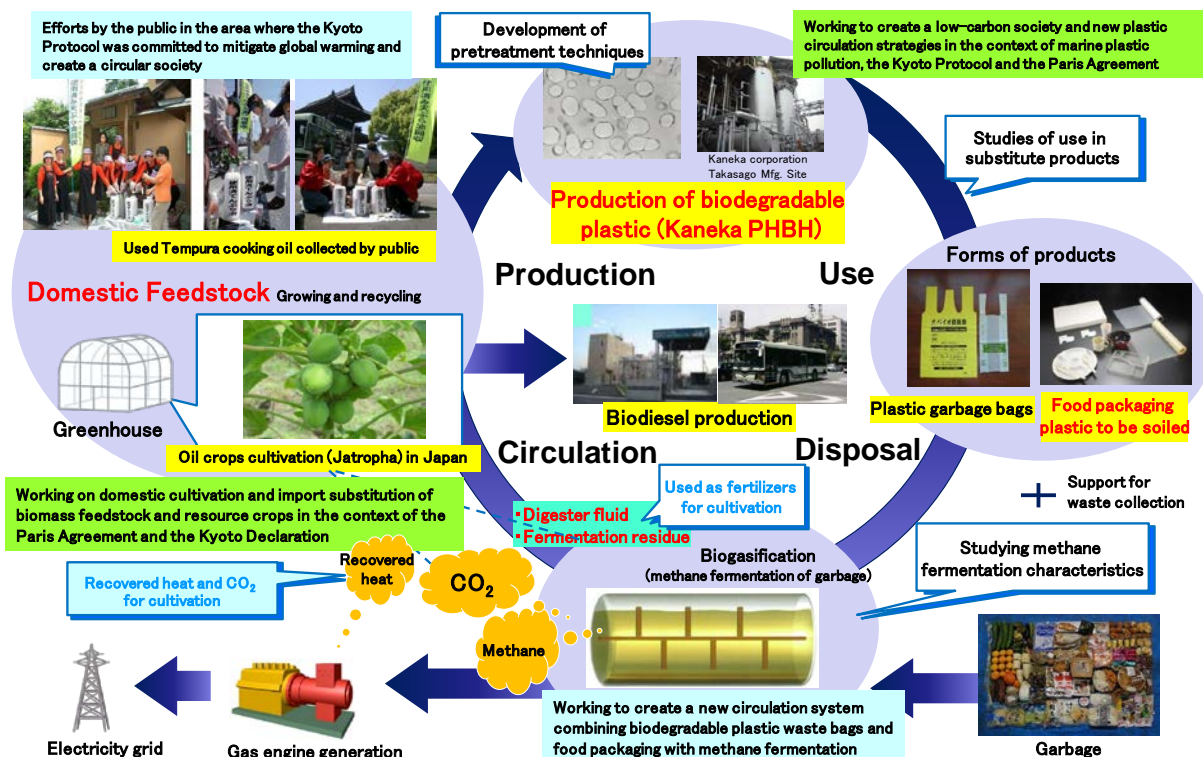
Representative: Advanced Science, Technology & Management Research Institute of KYOTO

Jointly implemented by Kaneka Corporation and Hitachi Zosen Corporation

(1) Outline of the demonstration project

In this project, as a step toward the establishment of a decarbonized society and a sound material-cycle society and reductions in marine plastic pollution, we have started using recycled resources in Japan such as waste cooking oil as feedstock for the manufacture of the biodegradable plastic PHBH (a 3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyalkanoate polymer), to be used as a substitute for petroleum-based plastics such as polyethylene. The objective is to use PHBH for garbage bags and create a new circular waste processing system with considerations of life cycle environmental effects and cost analysis. To recover energy, the new system converts the bags together with the collected garbage to biogas.

In order to assure supplies of feedstock for the biodegradable plastic in the medium and long term, as well as working to further improve the efficiency of waste cooking oil collection from the public, we are investigating the cultivation of oil crops such as jatropha (*Jatropha curcas*) to be used as an alternative oil source. We are also pursuing studies into expanding the scope of uses of the biodegradable plastic beyond garbage bags, to applications such as disposable plastic products and food packaging that is likely to be soiled. Through conducting these technical demonstrations and publicizing the results widely to the public and business, we are working on social implementation of the new circular system.



Outline of the demonstration project

(2) Results from FY2019

Our activities this year included: a basic study of waste cooking oil analysis, pretreatment techniques and collection methods; a study of the possibility of using domestically generated oils other than waste cooking oil; development of a PHBH compound to be used in garbage bags; an investigation of garbage collection methods using the PHBH garbage bags; and a study to quantify the associated life cycle carbon reduction effects and cost changes.

In the basic study of waste cooking oil analysis, pretreatment techniques and collection methods, we produced PHBH by using collected waste cooking oil as the feedstock and examined the productivity. The results show that the productivity of PHBH by using waste cooking oil as the feedstock was lower than by using palm oil which is conventionally used as the feedstock. The reason for this was very likely not the presence of additives or degradation of the oil but differences in fatty acid compositions between the oil feedstocks. In regard to the quality of the PHBH obtained by using waste cooking oil, we assigned indices of the extent of coloration caused by heating during a polymerization treatment (yellowness index) and of thermal stability. Results of evaluating waste cooking oil pretreatment techniques at laboratory show that a distillation purifying technique could achieve the quality requirements. Toward our studies next year, we collected waste cooking oil widely from households and enterprises, identified fatty acid compositions and ranges of characteristics, and organized cases of waste cooking oil collection from households in the more advanced municipalities.

In the study of the possibility of using domestically generated oils other than waste cooking oil, we surveyed the situation of discharged byproducts from oil manufacture, such as soda soap. For the oil crop *Jatropha*, we used an experimental greenhouse and grew the crop with appropriate management. This greenhouse can simulate a cultivation system that utilizes recovered heat, carbon dioxide and anaerobic digester fluid discharged from a waste processing facility such as a biogasification facility in hilly and mountainous area of Japan. We demonstrated that *Jatropha* could survive even in the winter in Kyoto without withering and could form fruits. To facilitate the use of digester fluid from anaerobic digestion as a fertilizer, we also worked on related studies such as pelletization of the fluid.

In the development of a PHBH compound to be used in garbage bags, our investigations focused on biodegradability under anaerobic conditions, with a view to feeding the bags into the biogasification facility, and the mechanical properties required of garbage bags. This year, we successfully prototyped PHBH garbage bags that exhibited excellent anaerobic biodegradation. However, while a film of PHBH alone converts to biogas at close to 100%, its mechanical strength is insufficient. With compounds combining a commercially available biodegradable resin with PHBH, we found that we could raise the strength by raising the resin content, but this lowered the biogasification efficiency. We will continue to work on developing a PHBH compound that provides both good biogasification performance and good mechanical properties.

In regard to uses other than garbage bags, we have gathered basic information on plastic usage conditions and global bioplastic development for a more detailed investigation of applications. Next year, we will survey soiled states of plastic waste and soiling substances. We will investigate the possibility of substituting currently used plastics with the biodegradable plastics based on the actual condition of plastic waste.

In the investigation of garbage collection methods using the PHBH garbage bags, we surveyed the cases of garbage collection in the more advanced municipalities and identified points to consider when using the PHBH garbage bags for collecting garbage.

To quantify the life cycle carbon reduction effects and cost changes of the system proposed in this project, we

created a process model based on data collected from previous studies in order to model the processes needed for life cycle analysis to evaluate the effects of adopting PHBH. We conducted preliminary test computations of a scenario analysis modeled on Kyoto City. The results show that with this system we can expect a greenhouse gas reduction effect over the whole life cycle, including energy-derived CO₂. From next year, we intend to incorporate data from demonstrations and refine the model.

Given the above, we can say that the project studies we drew up for this year have progressed broadly according to plan. Next year, in addition to the original plans, we intend to address issues that arise from demonstrations, make further progress in our investigations and, under the guidance of the evaluation and review committee, pursue our work with greater awareness of social implementation. As the demonstration project proceeds and social conditions change, we will flexibly review our plans and respond appropriately.

< 目 次 >

1. 本実証事業の概要	1
1.1 実証事業概要	1
1.2 技術及び社会的意義	1
1.3 実施体制と実施計画	2
1.3.1 実施体制	2
1.3.2 実施計画	2
1.4 将来展望	4
1.4.1 実証事業後の実証技術の普及と波及効果	4
1.4.2 事業による普及量（2025年、2030年）	4
1.4.3 コスト見通し	5
2. 廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造に関する実証事業（実証事業 1）	6
2.1 生活系・事業系廃食用油を PHBH 原料に利用するための前処理技術に関する検討	6
2.1.1 目的	6
2.1.2 方法	6
2.1.3 結果	8
2.1.4 まとめと課題	18
2.2 PHBH 原料として利用することを念頭に置いた廃食用油の収集方法の検討	20
2.2.1 廃食用油の回収及び性状分析	20
2.2.2 廃食用油の収集方法の調査	40
2.3 廃食用油以外の国内外の油脂源の調達可能性及び食料と競合しないジャトロファ等の油脂植物の国内外での栽培と特に国内での原料栽培の検討・実証	54
2.3.1 油脂製造時の副生成物	54
2.3.2 ジャトロファ等の油脂植物	55
2.4 原料の切り替えによる CO ₂ 削減効果及びコスト変化に関する検討	65
2.4.1 CO ₂ 削減効果に関する検討	65
2.4.2 コスト変化に関する検討	66

2.5	まとめと課題.....	67
3.	PHBHのごみ袋及びプラスチック代替製品への利用とバイオガス化に関する実証事業（実証事業 2)	69
3.1	バイオガス化プラントでの利用に向けた PHBH 製生ごみ袋の製造に関する検討.....	69
3.1.1	目的	69
3.1.2	方法	69
3.1.3	結果	70
3.1.4	まとめと課題.....	72
3.2	バイオガス化を見据えた PHBH のプラスチック代替製品への利用可能性の検討.....	73
3.2.1	目的	73
3.2.2	方法	73
3.2.3	結果	73
3.2.4	まとめと課題.....	76
3.3	PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化に関する検討.....	77
3.3.1	目的	77
3.3.2	方法	77
3.3.3	結果	77
3.3.4	まとめと課題.....	88
3.4	PHBH 製生ごみ袋の実用性試験及び生ごみの収集方法等に関する検討.....	89
3.4.1	目的	89
3.4.2	方法	89
3.4.3	結果	89
3.4.4	まとめと課題.....	101
3.5	PHBH 製生ごみ袋による CO ₂ 削減効果の定量化に関する検討.....	102
3.5.1	PHBH 及び化石燃料由来プラスチックの製造プロセスに係る基礎データを収集・整理	102
3.5.2	整理結果.....	102
3.6	まとめと課題.....	104

4. PHA 系バイオプラスチックのライフサイクルでの環境負荷低減効果に関する実証及びコストの評価（実証事業 3）	106
4.1 環境負荷低減効果.....	106
4.1.1 目的	106
4.1.2 対象とする PHBH 原料と PHBH 素材使用製品.....	106
4.1.3 システム境界と環境影響領域.....	106
4.1.4 対象廃棄物と機能単位.....	106
4.1.5 シナリオ設定.....	107
4.1.6 単位プロセスモデル作成.....	108
4.1.7 解析結果と考察.....	114
4.1.8 まとめと課題.....	117
4.2 コスト評価.....	120
5. まとめと今後の課題	121
5.1 廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造に関する実証事業（実証事業 1）	121
5.2 PHBH のごみ袋及びプラスチック代替製品への利用とバイオガス化に関する実証事業（実証事業 2）	122
5.3 PHA 系バイオプラスチックのライフサイクルでの環境負荷低減効果に関する実証及びコストの評価（実証事業 3）	123

<参考資料>

1. 実施記録.....	参-1
2. 広報資料.....	参-3
3. メディア掲載実績	参-10

1. 本実証事業の概要

1.1 実証事業概要

本事業は、脱炭素社会・循環型社会の構築や海洋プラスチック対策の推進に向け、ポリエチレンなどの石油系プラスチックに替え、新たに廃食用油等の国産の循環資源を原料に生分解性プラスチックを製造するものである。この生分解性プラスチックを生ごみ袋に利用し、回収した生ごみとともにメタン発酵（バイオガス化）してエネルギーを回収する新たな循環型ごみ処理システムをライフサイクルでの環境影響やコスト解析も踏まえて構築することを目指している。

また、生分解性プラスチック原料を中長期的に確保するために、市民による廃食用油の回収率の更なる向上に向けた取組に加え、廃食用油以外の油脂源の調達可能性を追求する必要がある。そのため、焼却施設やバイオガス化施設からの排熱、排ガス中の CO₂、メタン発酵消化液等を活用し、ジャトロファ等の油脂作物の温室栽培や耕作放棄地での栽培を検討する。さらに生ごみ袋以外にも使い捨て用途のプラスチック製品や汚れる用途の食品容器などへの利用拡大に向けた検討も進める。こうした技術実証とともに、成果を広く市民や事業者へ情報発信することで、新たな循環システムの社会実装に取り組むものである。

1.2 技術及び社会的意義

第4次循環型社会形成推進基本計画及びプラスチック資源循環戦略では、プラスチックに係る資源循環対策及び CO₂ 削減対策として、バイオプラスチックの利用促進が位置付けられている。ただし、我が国では、バイオプラスチック原料に適した糖作物や油脂作物の賦存量が諸外国と比べて少ないため、バイオプラスチックモノマー・ポリマーの大半は海外から輸入されたものである。我が国におけるバイオプラスチック利用促進を本格的に進め、バイオプラスチック関連産業の振興を図るには、国産バイオマスを原料としたバイオプラスチックの製造及びその利用先・市場を拡大することが必要である。

生分解性を有するバイオマスプラスチックのうち PHA¹系バイオプラスチックは、主に油脂を原料に微生物反応を利用して製造され、他の生分解性プラスチックよりも高い生分解性を有するという特徴があり、海洋に非意図的に排出されたとしても海洋中の微生物によって生分解される等、海洋プラスチックごみ対策としても注目される素材である。これらの背景を受け、本事業では、廃食用油をはじめ多様なバイオマスを原料とした PHA 系バイオプラスチックの国内での製造及びその普及拡大を図るものである。

また、本事業では、生分解性に優れた生ごみ袋による生ごみ収集・バイオガス化モデルの実現性・有効性を実証するとともに、焼却施設やバイオガス化施設からの排熱、排ガス中の CO₂、メタン発酵消化液の活用を図るものであり、今後、生ごみバイオガス化施設の導入を予定する他の地方自治体への参考事例になることが期待される。さらに、副次的効果として、廃食用油の回収効率の向上や、国内におけるジャトロファの栽培技術の確立も国産バイオマスの製造・利用拡大に貢献すると考えられる。

¹ Polyhydroxyalkanoate の略称（ポリヒドロキシアルカン酸）

1.3 実施体制と実施計画

1.3.1 実施体制

(公財) 京都高度技術研究所が申請法人として全体をとりまとめ、廃食用油からの生分解性ポリマーPHBHの製造及びPHBH製生ごみ袋の製造については(株)カネカ、PHBH製生ごみ袋等のバイオガス化については日立造船(株)、PHBHのプラスチック代替製品への可能性については三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)、廃食用油のサンプリング及び性状分析等については(株)レボインターナショナル、廃食用油の阻害要素・詳細分析については(株)島津テクノリサーチ、LCA解析による循環システム環境負荷低減効果の評価については京都大学がそれぞれ主たる担当として構成メンバーとなり、京都市をフィールドとして、幅広い学識経験者の指導の下、全構成メンバーが協同して効率的かつ効果的に実証事業を遂行できる体制を整えている。

図1に実施体制表を示すが、メンバー名の横に、表1に示すテーマの中の主たる担当を付記する。

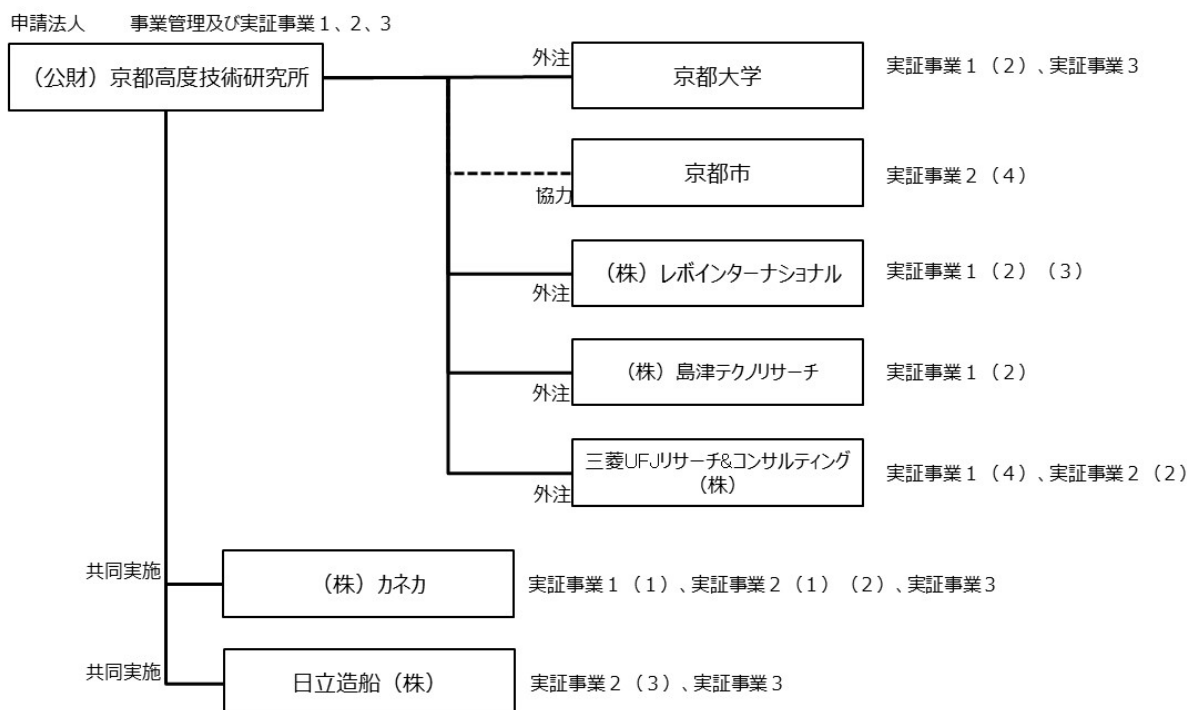


図1 実施体制表と主たる担当テーマ

1.3.2 実施計画

本事業では、国産バイオマスによるバイオプラスチック製造及びその特性を活かしたごみ処理システムの確立に向け、生分解性バイオマスプラスチックであるPHA(ポリヒドロキシアルカン酸)の一種であるPHBH(3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノエート重合体)を用いて、「廃食用油からのPHBH製造及び原料としてのジャトロファ栽培」及び「PHBH製生ごみ袋の利用とバイオガス化」に関する実証を行い、ライフサイクルでの環境改善効果を明らかにすることを目的としている。

本年度は、廃食用油の分析・前処理技術・収集方法に関する基礎検討、廃食用油以外の国内外の油脂源の利用可能性に関する検討、ごみ袋に用いるPHBHコンパウンドの試験的開発、PHBH製生ごみ袋を用いた生ごみ回収実験の方法の検討、それらに関するライフサイクルでのCO₂削減効果及びコス

ト変化の定量化に向けた検討を行うものである。

実証事業は大きく分けて、3つの実施課題から構成されており、それぞれの実施課題における最終年度目標と本年度の実証計画を次表に示す。

表 1 最終年度目標と本年度の実証計画

実施課題	最終年度目標	本年度の実証計画
<p>【実証事業 1】 廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造に関する実証事業</p>	<p>(1)PHBH 生産に向けた廃食用油の前処理技術を開発する。 (2)PHBH 原料として活用することを念頭に置いた効率的な廃食用油の回収システムを提案する。 (3)油脂製造時の副産物及び油糧作物について PHBH 原料としての実現可能性を評価する。 (4)原料切り替え（海外産パームオイル→国内廃食用油）に伴う CO₂ 削減効果及びコスト変化を評価する。</p>	<p>(1)廃食用油を入手し、培養試験を行い PHBH 生産性を評価するとともに阻害成分の分析を行う。 (2)廃食用油の収集方法の調査と入手した油の分析を行う。 (3)ソーダ油滓の調査とジャトロファの国内栽培の実現可能を検討する。 (4)国内におけるジャトロファ油脂生産に係る CO₂ 削減効果及びコスト変化を検討する。</p>
<p>【実証事業 2】 PHBH 製生ごみ袋及びプラスチック代替製品への利用とバイオガス化に関する実証事業</p>	<p>(1)バイオガス化プラントでの利用に向けた PHBH コンパウンドを開発し、廃食用油を原料とした PHBH 製生ごみ袋を試作する。 (2)バイオガス化を見据えた PHBH 製のプラスチック代替製品への利用可能性を検討する。 (3)PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化性能に関する基礎実験及びスケールアップに関する検討を行う。 (4) PHBH 製生ごみ袋の実用性試験及び生ごみの収集に関する検討を行う。 (5)PHBH 製生ごみ袋を導入することによる CO₂ 削減効果を定量化する。</p>	<p>(1)パームオイルを原料とした PHBH コンパウンドにて、生ごみ袋を試作し性能を評価する。 (2)各種プラスチック製品の利用状況及び廃棄状況を調査し、素材代替可能性を検討する。 (3)PHBH コンパウンドフィルムを用いたバイオガス化性能を評価できる試験系を構築する。 (4)PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみの回収及びバイオガス化施設への投入に向けた予備的検討を行う。 (5)PHBH 製生ごみ袋を導入することによる CO₂ 削減効果を定量化するための基礎データを収集する。</p>
<p>【実証事業 3】 PHA 系バイオプラスチックのライフサイクルでの環境負荷低減効果に関する実証及びコストの評価</p>	<p>(1)国産バイオマスを原料とした PHBH のライフサイクルでの環境負荷低減効果及びコストを定量化し、システム全体での有効性を実証する。</p>	<p>(1)ライフサイクルでの CO₂ 削減効果を検討するバウンダリを検討する。 (2)ライフサイクルでの CO₂ 削減効果及びコストの評価に用いる基礎データ収集・整理を実施する。</p>

1.4 将来展望

1.4.1 実証事業後の実証技術の普及と波及効果

PHBH 製生ごみ袋は、生ごみのバイオガス化施設の活用を図ろうとする全国の自治体で採用が可能であり、本事業での成果をもとに、積極的に情報・データの提供等を行っていくとともに、多様な関係者に対し情報提供や要請を行っていく予定である。また、政令指定都市で初めて、焼却施設とバイオガス化施設を併設した京都市をフィールドに検討することにより、生ごみなどの食品廃棄物のバイオガス化によるエネルギー回収と循環利用に取り組む全国の自治体等への普及拡大が期待できる。

さらに、使い捨て用途のプラスチック製品や現状では廃棄後のリサイクルが困難で焼却せざるを得ないプラスチック等、循環利用の観点から廃棄後にバイオガス化することが望ましいプラスチック製品についても検討を行う予定であり、これらの結果に基づき、PHBH の利用が波及していくものと考えられる。

加えて、本事業で明らかにするライフサイクルでの環境負荷低減効果やコスト変化等を示しながら、情報発信や環境教育を行っていくとともに、関連プロジェクト等との連携化を積極的に進める予定であり、これによりカーボンプライシングや炭素税等の社会経済システムの変革の必要性を市民や事業者理解してもらうことで、従来のオイルリファイナリー社会からバイオリファイナリー社会へと転換することが期待される。

1.4.2 事業による普及量（2025年、2030年）

共同実施者である（株）カネカでは、2019年12月に PHBH 製造能力を約 5,000 トン/年に増強しており、さらに、2025年頃までに 20,000 トン/年まで増強予定である。また、市場の動向を踏まえ、2030年頃までに 200,000 トン/年まで生産能力を拡張する可能性がある。

本事業は京都市をフィールドとした実証事業を実施しているものの、生ごみのバイオガス化を実施する全国の自治体に、嫌気条件下で分解する PHBH 製生ごみ袋を普及させることを目指している。



図 2 PHBH 製造能力の増強及び適用拡大計画（出典：カネカ作成資料）

1.4.3 コスト見通し

現在の PHBH 樹脂価格は代替対象樹脂であるポリエチレン等より高価であり、5,000 トン/年に生産能力を拡大した後も大きくは変わらない見込みである。樹脂価格を下げるには、スケールメリットを活かすだけでなく、生産プロセスの更なる合理化を図る必要があり、今後予定する 20,000 トン/年への能力増強の際、プラント設計の抜本的な見直し等が行われる見込みである。

なお、「プラスチック資源循環戦略」に基づくプラスチック対策が今後進められていく中、従来のオイルリファイナリーからバイオリファイナリーへの社会変革に向けて、将来的なカーボンプライシングや炭素税等の強化、ワンウェイプラスチックへの規制等、代替対象樹脂との価格差を埋める施策の導入も重要と考えられる。本事業では、これらの社会変革の必要性を市民や事業者等に理解してもらえよう、LCA による環境負荷低減効果の定量化やライフサイクルでのコストの定量化を進め、情報発信を積極的に行っていくこととしている。

2. 廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造に関する実証事業（実証事業 1）

2.1 生活系・事業系廃食用油を PHBH 原料に利用するための前処理技術に関する検討

2.1.1 目的

廃食用油を PHBH 原料として利用するための PHBH の培養生産技術の開発検討を目的とした。特に、品質のバラつきが想定される廃食用油を原料として使いこなす際の、培養工程及び精製より得られる PHBH ポリマーの品質に影響を及ぼす要因を洗い出し、未使用の食用油脂同等の生産性や品質を達成するために必要な廃食用油の品質管理基準を明らかにすることを目的とした。

2.1.2 方法

次図に検討の全体フロー及び各々の工程における検討課題を示した。

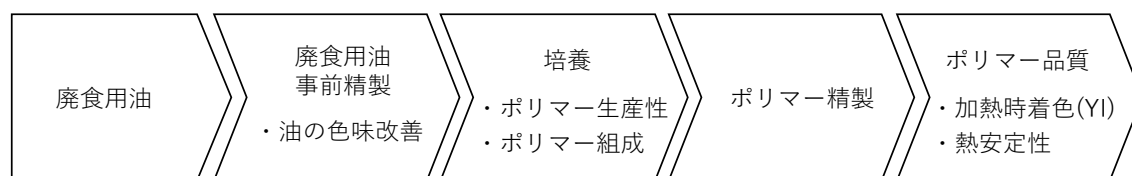


図 3 廃食用油利用検討の全体フロー

(1) 廃食用油を用いた PHBH 培養技術の開発

(株) カネカにて独自に入手した種々の廃食用油、及び(株) カネカにて開発した PHBH 生産微生物（以下、KNK1 株）を用い、ラボにて PHBH の培養生産評価を実施することで廃油種による培養生産性、品質の差異を確認した。特に本年度は、油脂の分析結果（脂肪酸組成、酸価、過酸化価、アニシジン価、重合物価など）と PHBH 培養生産性、得られるポリマーの品質（3HHx 組成比率）及び色味（yellow index、以下 YI）を比較したデータを蓄積し、課題の抽出に取り組んだ。PHBH は 3-ヒドロキシブチレート（3HB）と 3-ヒドロキシヘキサノエート（3HH）からなる共重合体である。3HB と 3HH の共重合比率によって、ポリマーの硬さ（弾性率）は変化し、3HH 比率が高いほどポリマーは柔らかくなる。目的の比率に調整できることがポリマーの品質を安定させるために重要であり、ポリマー品質評価項目として 3HH 組成比率を評価した。

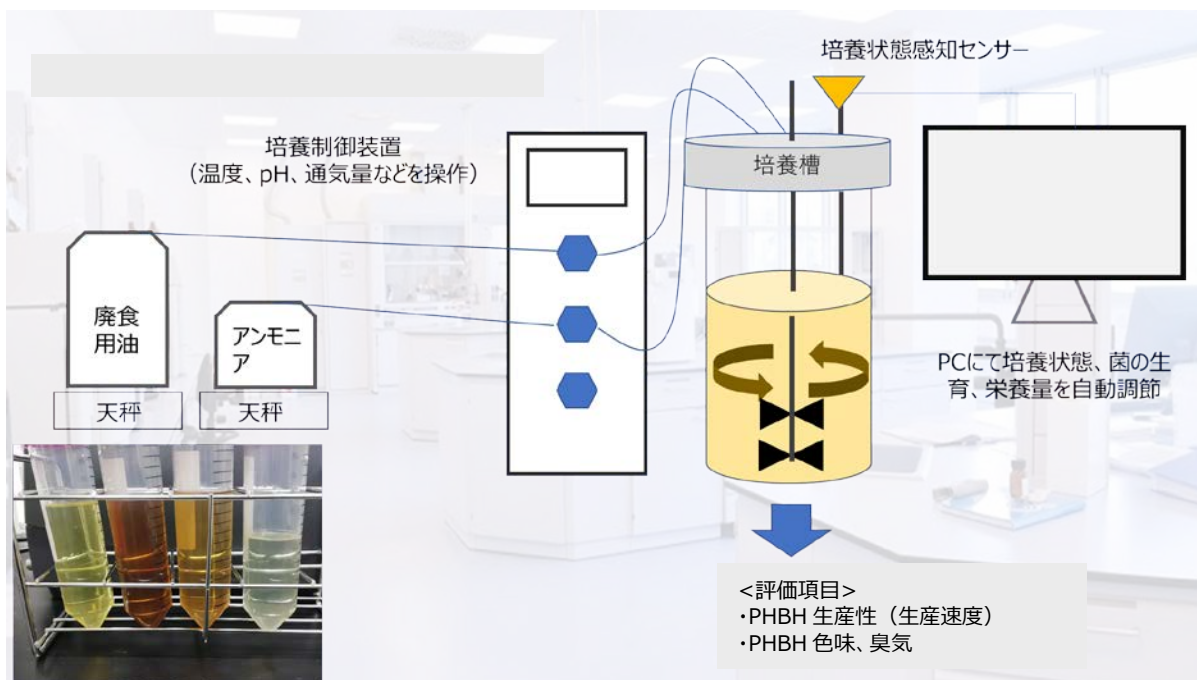


図 4 培養実験のイメージ図



図 5 培養実験装置

(2) 廃食用油前処理技術の開発

過去の原料検討の知見より、色味の強い油を培養原料に用いると、得られるポリマーも着色してしまい、ポリマー品質指標の一つである YI が品質規格に入らない可能性が懸念された。そこで廃食用油の色調を改善するための前処理技術の開発に関し、簡易精製（固形分除去、脱水）、過酸化水素

処理（過酸化水素を用いた漂白処理）、吸着処理（活性白土、活性炭を用いた着色物質の吸着除去）、蒸留精製（油主成分と着色物質の沸点差を利用した留分回収）の可能性について検討を実施した。ただし、設備や変動費を考慮した経済性の観点からは簡易精製が圧倒的に有利となる。具体的には、3種類の前処理前後の廃食用油を炭素源として KNK1 株を培養した培養液（以下、培養ブロス）よりポリマーを精製し、品質評価項目である YI 及び熱安定性を確認した（次表）。特に本年度はラボスケールでの廃食用油前処理技術、及びポリマー精製技術の検討から、課題抽出とその対策の提示に取り組んだ。

表 2 ポリマーの品質評価項目

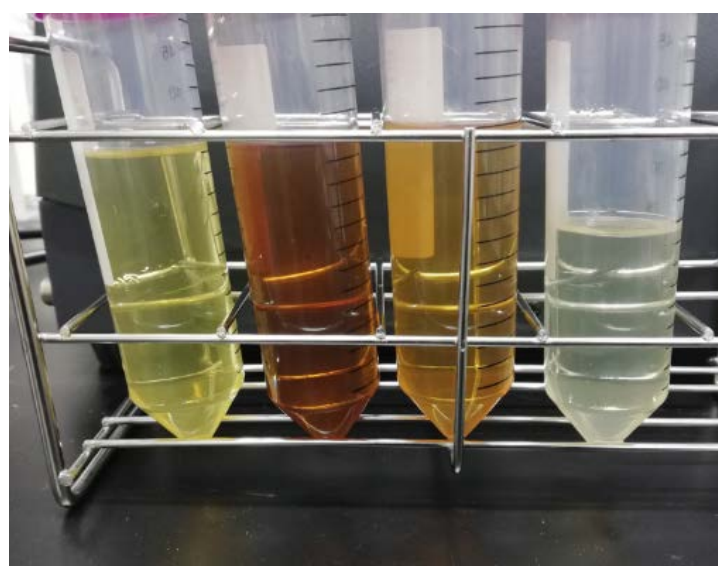
項目	概要	評価方法	ポリマー管理指標
熱安定性	加工後の分子量/加工前の分子量	160°Cで成形加工したフィルムの Mw 変化 (GPC)	分子量保持率 70% 以上
YI	ポリマー成型加工時の熱着色の度合	160°Cで成形加工した0.5mm厚フィルムの色調 (色差計)	20 以下

2.1.3 結果

(1) 廃食用油を用いた PHBH 培養技術の開発

(株) カネカにて 8 種類の廃食用油を入手し、油脂分析を実施した（次図、次表）。

油脂分析項目として、油脂構成脂肪酸の炭素鎖長、不飽和結合数、及び使用による劣化度指標である、酸価、過酸化物価、アニシジン価、重合物価を分析した。その結果、油脂 E は RBD パーム油² とほぼ同じ脂肪酸組成を示し、それ以外の油脂は複数油脂の混合物であることが分かった。油脂の劣化度を示す数値は、微生物による PHBH 生産性との相関を確かめる目的で分析を実施した。分析の結果、入手油種によって劣化度は大きく異なることが明らかとなり、使用目的や回数などによって大きく変動していることが示唆された。



左から廃食用油 B、D、E、A

図 6 入手廃食用油例

² RBD パーム油 (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil) とは、脱酸、脱色、脱臭等の精製行程を経て製造されたパーム油を指す。

表 3 廃食用油の分析結果（油脂 A～I が廃食用油）

		RBD パーム油	油脂 A	油脂 B	油脂 C	油脂 D	油脂 E	油脂 F	油脂 G	油脂 I
C14	ミリスチン酸 (wt %)	1	0	0.2	0.1	0.5	1.1	0.2	2.3	0.3
C16	パルミチン酸	39.6	6.2	9.5	10.4	19.2	43.0	9.5	19	13.1
C16:1	パルミトレイン酸	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	2.4	0.2
C17	マルガリン酸								1.5	
C17:1	ヘプタデセン酸								0.6	
C18	ステアリン酸	4.4	2.5	2.3	3.7	3.5	4.5	2.3	10.7	2.7
C18:1	オレイン酸	42.7	67.2	54	32.5	46.3	40.8	54.4	50.5	57.3
C18:2	リノール酸	11.2	19.1	26.1	44.7	25.0	9.1	25.6	7.8	18.9
C18:3	リノレン酸	0.2	2.5	5.9	6.9	3.4	0.2	5.9	2.9	5.7
C20	アラキジン酸	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.5
C20:1	エルカ酸	0.2	1	0.8	0.5	0.5	0.2	0.8	0.6	0.9
C22-24		0	0.7	0.4	0.5	0.5	0.1	0.6	0.1	0.4
	酸価 (mg/kg)	0.5	1.4	0.2	2.5	3.1	1.7	0.1	1.5	2.9
	過酸化物価 (meq/kg)	18.6	7	2.9	10.7	4.4	11.0	4.7	8.6	2.4
	アニシジン価	5.2	80.5	3	54.6	52.3	40.3	2.9	16.4	44.8
	重合物価 (wt %)	0.5	6.7	0.4	5.8	5.1	3.5	0.3	3.9	3.6
	グリシドール (mg/kg)	5.2	0.2	0.7	0.1	0.4	0.9	0.7	0.4	0.4
	アクロレイン (ppm)	0.5	1	none	none	none	none	none	none	none

・ *Cn : p, n は脂肪酸の炭素鎖長、p は不飽和結合の数を表す

以下は油脂の使用による劣化度を評価する主な項目を示す。

- ・ 酸価：油脂 1 g 中に存在する遊離脂肪酸を中和するのに必要な水酸化カリウムの mg 数
- ・ 過酸化物価：油脂 1 kg 中の過酸化物によりヨウ化カリウムから遊離されるヨウ素量のミリ当量数
- ・ アニシジン価：酢酸の存在下で、アルデヒドが p-アニシジンと反応して生じる色の比色定量値（アルデヒド量を表す）
- ・ 重合物価：油脂中に含まれる重合物の含有量
- ・ グリシドール：油脂中に含まれるグリシドール含有量
- ・ アクロレイン：油脂中に含まれるアクロレイン含有量 アクロレインは油脂の劣化に伴って精製する有害なアルデヒド

油脂 A を用いた PHBH 生産検討を実施したところ、PHBH 生産性の低下（対 RBD パーム油比 74%）がみられた。PHBH 生産性は、時間当たりのポリマー生産量（g-PHBH/L/h）を RBD パーム油の生産性との相対値として表すものである。生産性の低下は、同量のポリマーを生産するための培養時間が長くなることを意味しており、生産コストが大きく増加する要因になる。このため、この生産性低下原因の解明及び向上策が廃食用油を利用する上での重要な課題になると考えた。

低生産性の原因として、1) 食用油に含まれる添加剤による微生物の生育阻害、2) 調理等使用による劣化による資化性の低下、3) RBD パーム油との脂肪酸組成の違いによる資化性低下が推測された。そこで、油脂 A を対象に以下の検討を実施した。

油脂 A の入手先に添加物の有無を確認したところ、消泡剤、及び酸化防止剤が添加されていることが明らかとなった。そこで、油脂 A に対して、使用前の未使用油、さらに添加剤投入前の未使用油を入手し、使用評価を実施した。

その結果、未使用油においても、添加剤の有無に関わらず PHBH 生産性が同程度に低いことが明らかとなった（次表）。本結果より、添加剤による生育阻害は無いと判断した。また、油脂 A 廃油と油脂 A 未使用油（添加剤有り）の比較から、使用による劣化（酸価、過酸化物価、アニシジン価、

重合物価) は油脂 A の分析結果範囲においては、生産性低下原因では無いと結論付けた (次表)。

表 4 油脂 A 及びその未使用油を用いた PHBH 生産試験結果

株	炭素源			PHBH 生産性
	油脂	使用	添加剤	
KNK1 株	RBD パーム油	—	—	100
	油脂 A	廃油	有り	74
		未使用油	有り	74
			無し	66

本年度に入手した廃食用油 8 種類のうち、6 種類を用いた PHBH 生産試験結果を次表に示した。評価の結果、油脂 E のみが RBD パーム油と同等の生産性を示した。得られたポリマーは、共重合比を表す 3HHx 分率は 10.0~11.3 の間に入っており、RBD パーム油を用いた結果と同等であった。また精製したポリマーの分子量も対照となる RBD パーム油を用いた結果と同程度であった。

表 5 廃食用油を用いた PHBH 培養生産試験結果

株	炭素源	PHBH生産性	3HHx分率 (mol%)
KNK 1 株	RBDパーム	100	11.1
	油脂A	74	10.4
	油脂B	74	11.3
	油脂C	77	10.2
	油脂D	70	10.0
	油脂E	91	10.1
	油脂F	74	10.8

PHBH 生産性と油脂分析結果を基に相関関係を整理した (次図)。その結果、炭素数 14 (C14) のミリスチン酸、及び炭素数 16 (C16) のパルミチン酸含有量と PHBH 生産性に正の相関が得られた。パルミチン酸含有量はパーム油の特徴として、一般的に他の植物油と比較して、高いことが知られている。パーム油の特徴に近い油脂では、現行原料同様の生産性となったと推測される。ミリスチン酸に関しても生産性に正の相関がみられるが、いずれの油脂に関しても含有量が少量であるため、結論づけるのは困難と考えている。

また、不飽和脂肪酸含有量と PHBH 生産性の相関をみてみると、例えばパルミトレン酸 (C16:1)、オレイン酸 (C18:1) と PHBH 生産性との間には、明確な相関はみられなかった (図 7)。その他のリノール酸やリノレン酸含有量も PHBH 生産性と相関していないことから、不飽和脂肪酸含有量の高さと PHBH 生産性に負の相関が無いことが示唆された。

細菌の主構成成分である細胞膜の成分として、飽和脂肪酸であるミリスチン酸、パルミチン酸、不飽和脂肪酸であるオレイン酸が必要であることが一般的に知られている。上述する結果から、細胞構成成分として必要な飽和脂肪酸含量の低い油種を用いた場合には、一旦油脂を分解して生成したアセチル-CoA から脂肪酸を合成し、細胞成分とする必要があるため、ミリスチン酸やパルミチン酸を細胞成分としてそのまま取り込めるミリスチン酸やパルミチン酸含量の高い油脂と比較して、細

胞の増殖が遅く、その影響で PHBH 生産性が低下していると考えられる。

一方、油脂の劣化指標であるアニシジン価と重合物価は、PHBH 生産性との明確な相関は見られず、過酸化価とグリシドールはむしろ正の相関が見られた。本結果と表 4 で示した油脂 A の廃油、未使用油を比較した結果を合わせて考えると、油脂の使用によって、PHBH 生産菌による資化性が低下する物質が特異的に生成している可能性は低いと結論付けた（次図）。

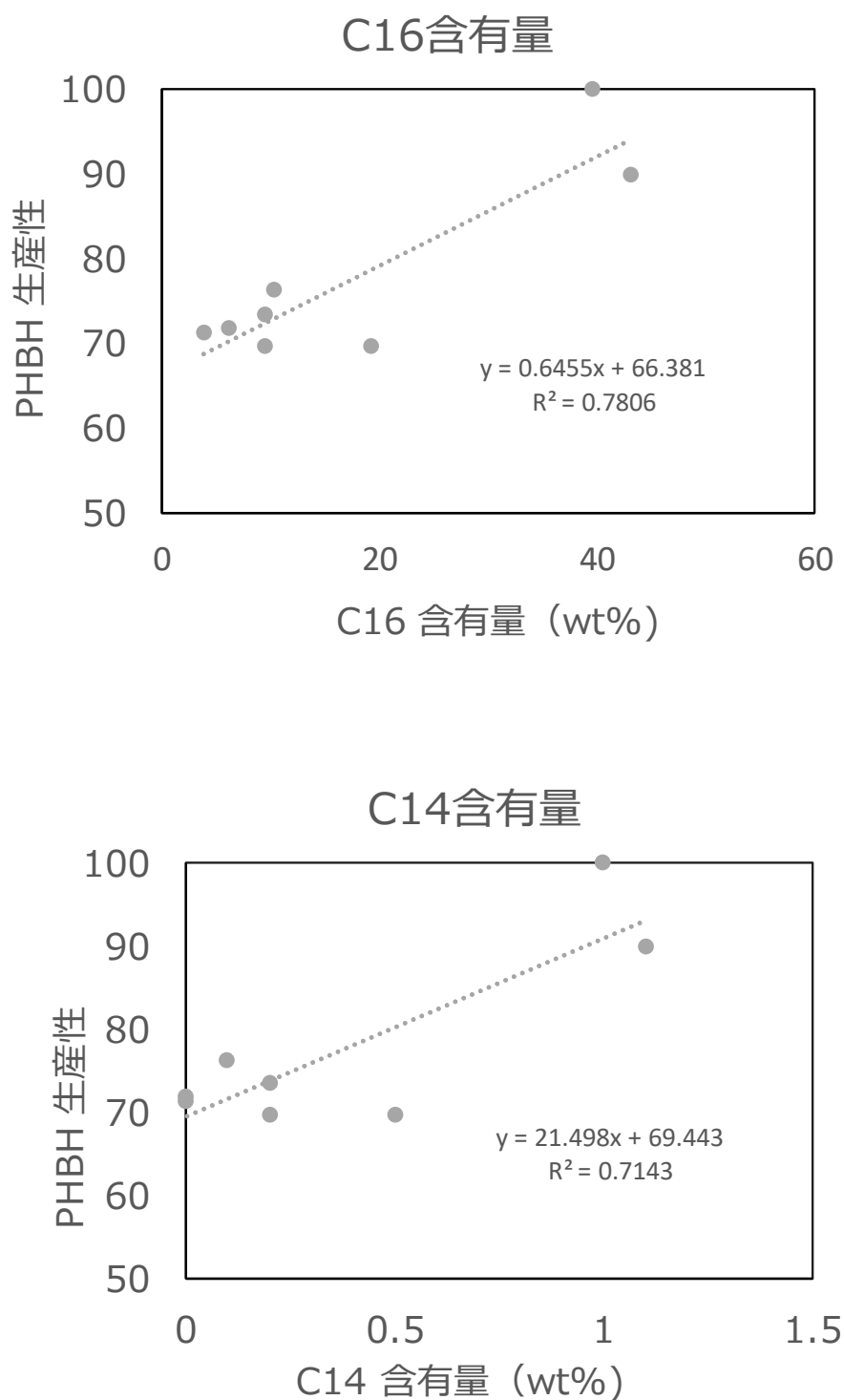


図 7 油脂分析結果と PHBH 生産性の相関
PHBH 生産性はパーム油を 100 としたときの相対値

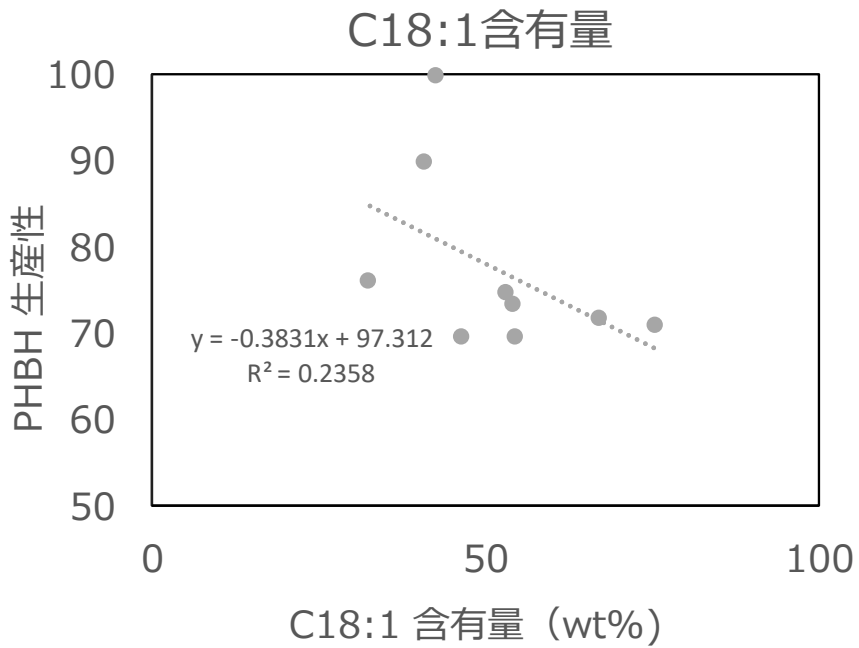
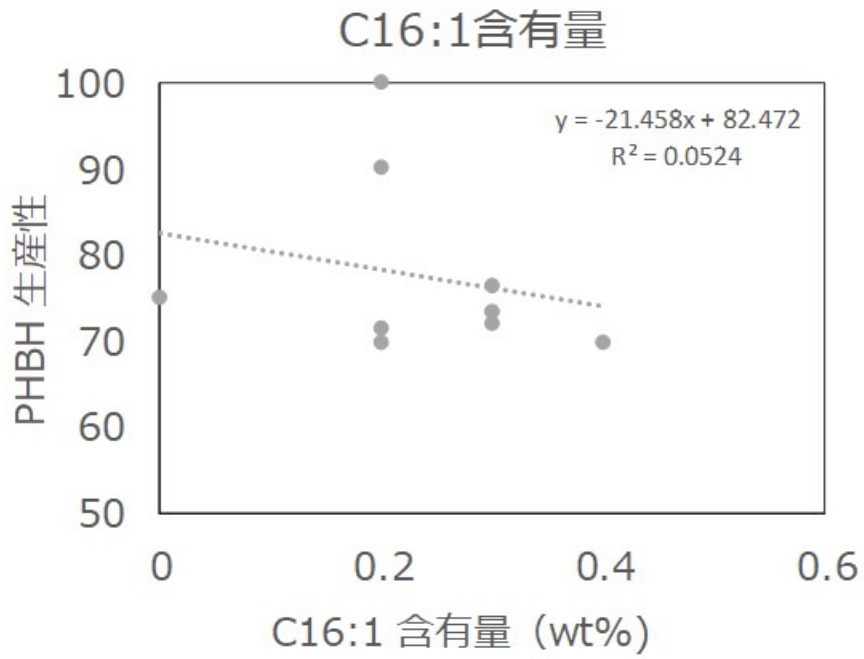


図 7 油脂分析結果と PHBH 生産性の相関 (続き)
PHBH 生産性はパーム油を 100 としたときの相対値

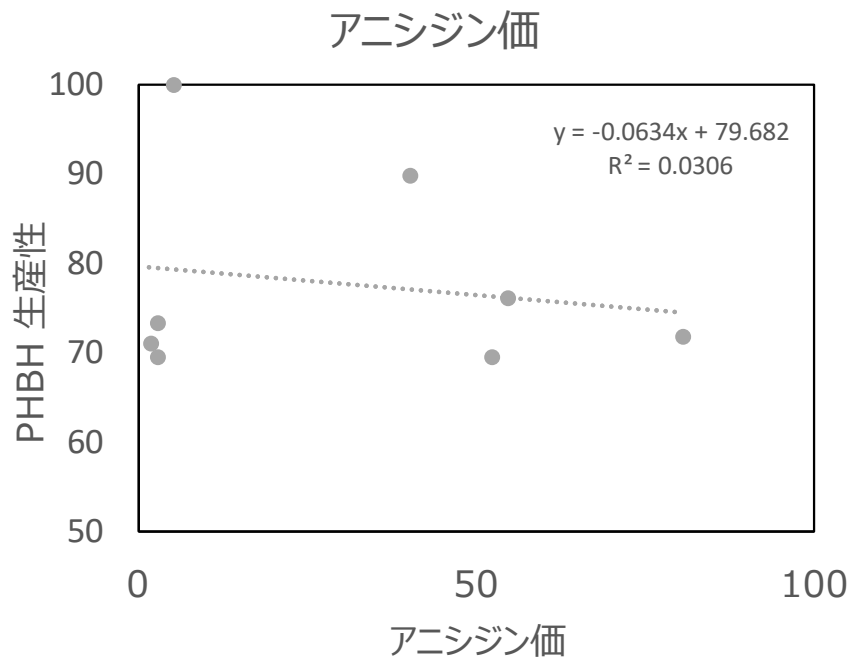
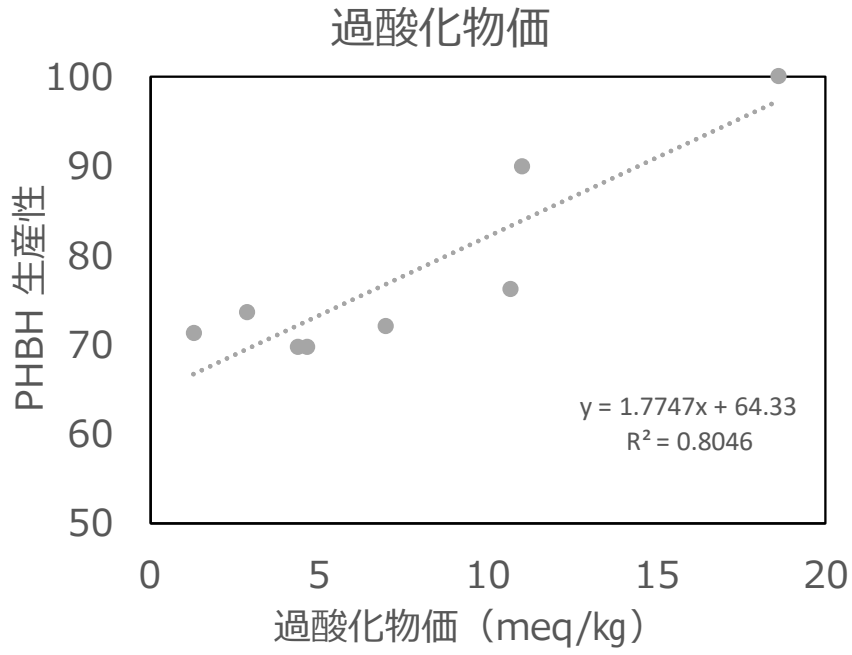


図 7 油脂分析結果と PHBH 生産性の相関 (続き)
 PHBH 生産性はパーム油を 100 としたときの相対値
 アニシジン価は単位はない

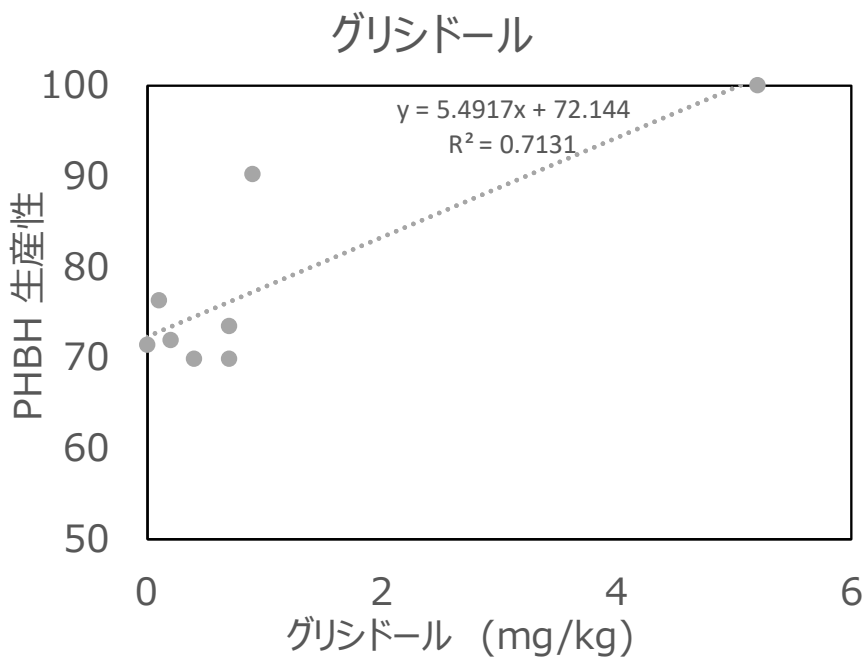
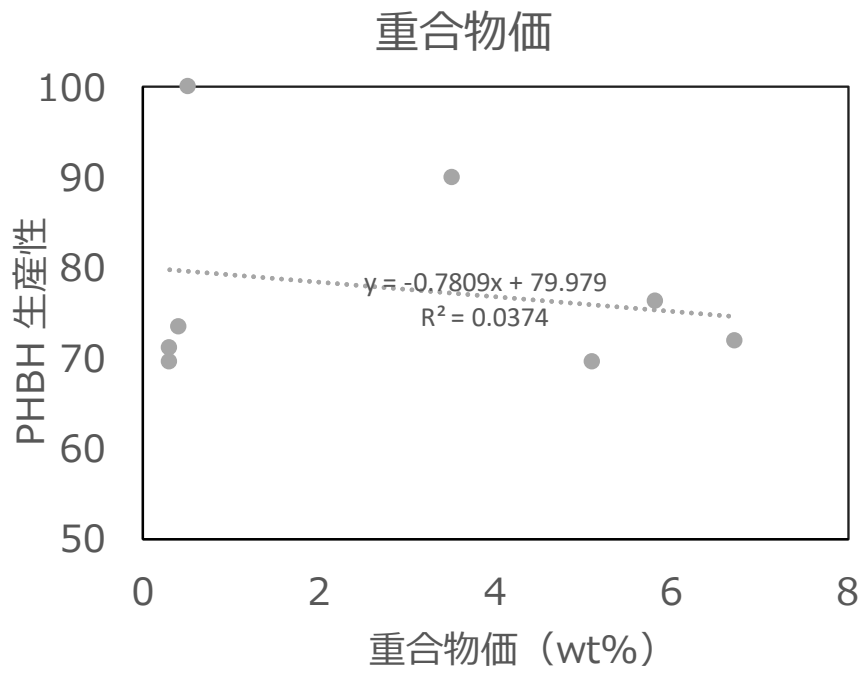


図 7 油脂分析結果と PHBH 生産性の相関 (続き)
 PHBH 生産性はパーム油を 100 としたときの相対値

(2) 廃食用油前処理技術の開発

<廃食用油前処理技術の開発>

(株) カネカにて入手した種々の廃食用油 (B、E、D) (次図) を用い、簡易精製 (濾過、脱水のみ)、過酸化水素処理、吸着処理 (活性白土、活性炭)、蒸留精製の前処理検討を実施した。精製度の評価として、前処理後廃食用油の色調 (ハーゼン色数) を測定した。

ハーゼン色数 (APHA) は常温で液体の化学製品、又は加熱して熔融状態になる化学製品の色 (比較的薄い黄色味) の指標である。

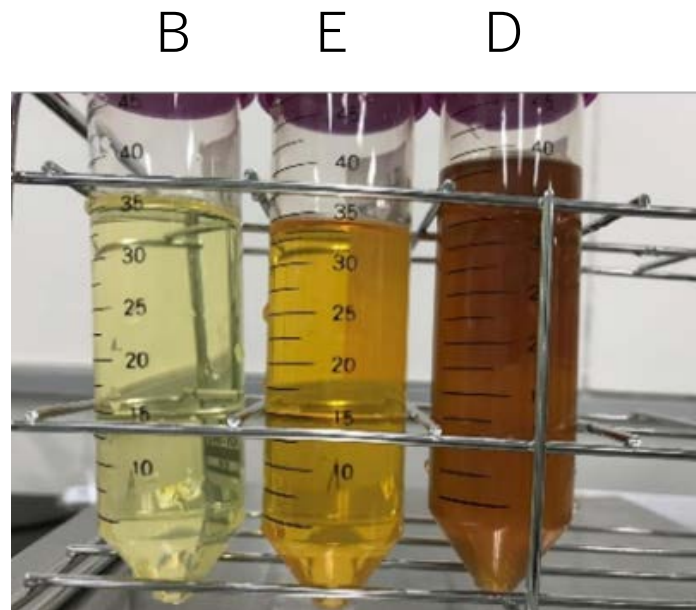


図 8 検討に用いた廃食用油の色調

検討の結果、簡易精製、過酸化水素処理、吸着処理では色調の改善効果は見られなかった。蒸留精製のみ廃食用油の種類に関わらず色調は大幅に改善し、いずれの廃食用油においても RBD パーム油 (ハーゼン色数 400 前後) よりも良好なレベルで脱色 (ハーゼン色数 100 前後) できることが分かった (次図)。本検討により、廃食用油の脱色については、蒸留精製が有効であることが確認できた。



(左 E 未処理、 右 E 蒸留後)

図 9 蒸留処理前後の色調

<ポリマー品質の確認>

続いて、廃食用油を用いた培養で得たポリマーの品質を YI、熱安定性を指標として評価した (次表)。検討では、使用する廃食用油の前処理方法がポリマーの YI、熱安定性にどのような影響を与えるかを確認するため、簡易精製または蒸留精製で前処理を行った廃食用油で比較検討を行った。結果を次表に示した。

蒸留精製を行った廃食用油においては、YI は、RBD パーム油を使用した結果と同等であった（一部、評価中）。他方で、極めて色調の悪い簡易精製品由来のポリマーでも、YI は、RBD パーム油由来のものと同様であり、原料油の着色は影響しないことが分かった（次表）。同様に、本年度に入手した廃食用油の一部の写真を図 6 に示すとおり、目視でも確認できるような大きな色調差があるが、使用した廃食用油の色調に培養後の培養液の色調は影響を受けていない（図 11）。

一般に、廃食用油（特にフライ油）の加熱褐変の原因は、酸化油中に存在するカルボニル化合物と食材中から溶出してくるアミノ酸とのメイラード反応が主要因と考えられている³。培養プロセスの色調に大差がない（図 12）との事実からも、KNK1 株は、廃食用油中の着色成分（メイラード反応物）も資化しているものと推測した。従って、廃食用油の色調は PHBH の品質には大きな影響を与えないと結論付けられる。

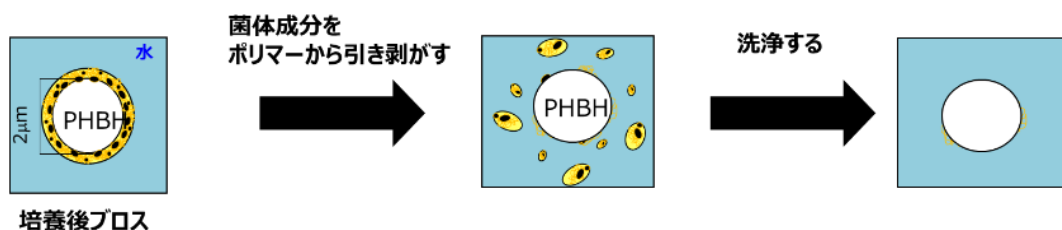
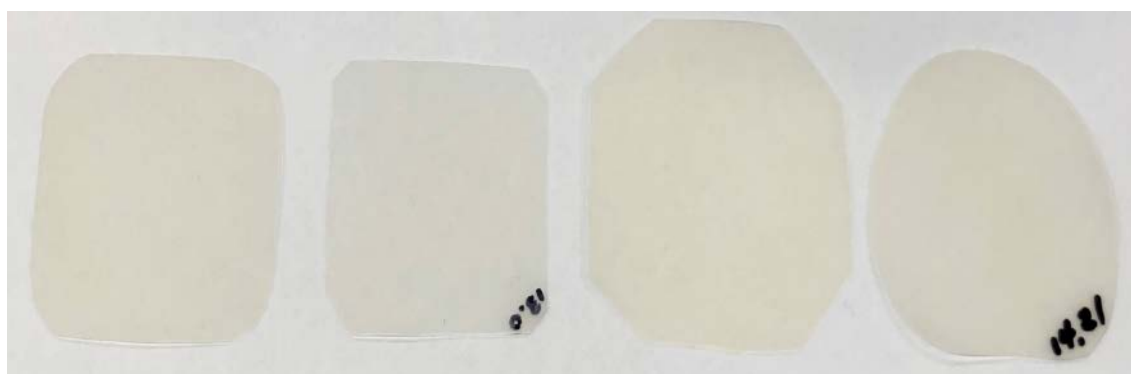


図 10 ポリマー（PHBH）の精製フロー

表 6 廃食用油から得たポリマーの品質

油	簡易精製		蒸留精製	
	YI	熱安定性	YI	熱安定性
RBD パーム油	15	83%	—	—
廃食用油 B	13	85%	13	82%
廃食用油 E	16	5%	評価中	評価中
廃食用油 D	14	80%	評価中	評価中

- ・ YI：ポリマー成型加工時の熱着色の度合。カネカ管理指標：20 以下
- ・ 熱安定性：加工後の分子量/加工前の分子量。カネカ管理指標：分子量保持率 70%以上



左からパーム油、廃食用油 B、廃食用油 E、廃食用油 D

図 11 簡易精製廃食用油を原料とした PHBH の精製後のポリマーフィルム

³ オレオサイエンス 第 6 巻 第 10 号(2006) P493-500



左から、パーム油-1、パーム油-2、廃食用油 B-1、廃食用油 B-2、廃食用油 E、廃食用油 D

図 12 培養ブrossの色調

熱安定性については、蒸留精製品では、RBD パーム油を使用した結果と同等であった（一部、未評価）。

一方、固形分以外の不純物を除去していない簡易精製品では、廃食用油 B、D では RBD パーム油と同等であったが、廃食用油 E は熱安定性が低い結果となった。

熱安定性が低下した要因を解析することを目的に、簡易精製廃食用油から得たポリマー中に含まれるイオン成分の分析をイオンクロマトにより行った。一般に、金属イオンは、PHBH 等のポリエステル加工時の加水分解（分子量の低下）を促進させるとされる（次図）。結果を次表に示す。熱安定性が低かった廃食用油 E から得たポリマー中には Na⁺イオンが多量に残存していることが明らかとなった。このことが、今回、簡易精製廃食用油 E で熱安定性が低かった原因の一つと推測される。この点については、ポリマー精製操作を改善することで、廃食用油 E についても簡易精製でも熱安定性を改善できる可能性があると考えている。

表 7 簡易精製廃食用油から得たポリマー中に含まれるイオン成分の分析結果

イオン種	RBD パーム油	廃食用油 B	廃食用油 D	廃食用油 E
Li ⁺	0	0	0	0
Na ⁺	477	542	452	1,019
NH ₄ ⁺	0	0	0	0
K ⁺	28	23	15	53
Mg ²⁺	74	24	12	3
Ca ²⁺	32	42	27	36

単位：ppm

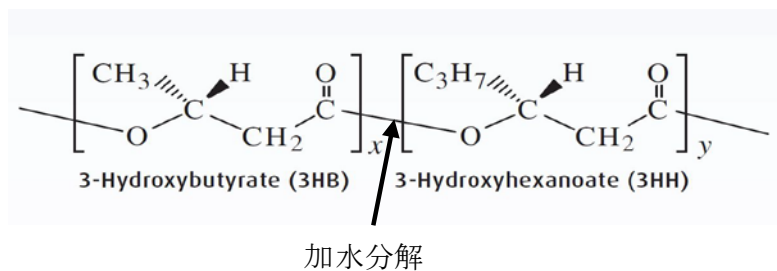


図 13 分子量低下の要因
(金属イオン類による加水分解の促進)

以上の結果より、蒸留による前処理を実施することで廃食用油を利用して PHBH を培養生産し、YI、熱安定性が RBD パーム油同等のポリマーを得られることが分かった（一部、未評価となっており確認は必要）。他方で、濾過、脱水のみの簡易精製でも、YI、熱安定性が RBD パーム油同等のポリマーを取得可能なことも分かった。しかしながら、熱安定性低下の要因として Na⁺イオンの影響が示唆される結果が得られており、改善のために、金属イオン等の不純物を除去するためのポリマー精製操作の改善の必要性が示唆された。

2.1.4 まとめと課題

(1) 廃食用油を用いた PHBH 培養技術の開発

本年度の目標である、廃食用油を用いた PHBH 培養生産に関する課題抽出は順調に進捗しているといえる。

PHBH 生産菌を用いた培養試験によって、廃食用油を用いた場合には RBD パーム油を原料とする場合と比べて PHBH の生産性が低下することが明らかとなった。分析の結果、生産性低下の原因は、廃食用油の調理等での使用による劣化ではなく、その油脂構成脂肪酸の差異である可能性が高いことが明らかとなった。

今回入手した廃食用油を用いた試験では、ミリスチン酸やパルミチン酸の含有量と PHBH の生産性の相関が高いことが明らかになった。細菌の主構成成分の細胞膜の成分であるミリスチン酸やパルミチン酸を原料の廃食用油から直接取り込めない場合、細胞増殖が遅くなり、その影響で PHBH 生産性が低下するものと考えられる。

今後の課題は、

- ① ミリスチン酸及びパルミチン酸含有量の高い廃食用油の入手ルートの確保
- ② ミリスチン酸及びパルミチン酸含有量の低い油脂を使いこなすための微生物育種及び培養条件検討

であるとする。次年度は、①に関しては廃食用油入手先との連携を深め、可能性を確認していく。②に関しては、まずは生産微生物の細胞膜成分の分析を進め、仮説立証を進める。また、細胞膜成分の制御や、油種のブレンドなど微生物育種と培養制御の両面から最適な生産システム開発を進めることとする。加えて、培養のスケールアップ検討を実施する（工場実験）。

(2) 廃食用油前処理技術の開発

本年度に関してはほぼ当初計画通りの進捗であり、確実な前処理技術として蒸留精製技術をラボレベルで確立できた。他方で、簡易精製品でも YI に問題ないことが確認でき、一部の廃食用油で課題となった熱安定性品質をクリアできれば、簡易精製品を用いることも可能となる。蒸留精製と簡

易精製では、それを実施するにあたり必要となる設備や変動費は大きく異なり、経済性の面では、簡易精製が圧倒的に有利である。従って今後は、簡易精製品で課題となっている熱安定性品質悪化の原因を明確にし、それを改善できる手法・手段の開発が望まれる。

以上を踏まえ、次年度は、より多種の廃食用油を入手し、前処理方法の PHBH 生産への影響評価を進める。また、前処理方法を判断の上、廃食用油前処理、ポリマー精製のスケールアップ技術実証を目指す。

2.2 PHBH 原料として利用することを念頭に置いた廃食用油の収集方法の検討

2.2.1 廃食用油の回収及び性状分析

(1) 目的

廃食用油を生活系及び事業系に分け、その排出実態、廃食用油の性状、不純物を含む組成などを調査・分析することにより、PHBH 原料として活用することを念頭に置いた効率的な廃食用油回収システムに関する検討を行うことを目的とする。

本年度は、廃食用油を入手し、その性状や組成に関する分析手法の検討を行った上で、試験的に廃食用油の成分分析を行い、検討した分析方法の妥当性の検証を行う。

(2) 方法

京都府内の事業所及び家庭の廃食用油をサンプリングし、外観、性状簡易分析及び事業者からの油の使用実態についてのヒアリングを行い、そのうち、主要なサンプルを選別し、脂肪酸組成の分析を行った。

1) 試料の採取

試料採取対象は、(株)レボインターナショナルの顧客店舗及び京都市まち美化事務所等に代表される家庭から集積される廃食用油を採取した。

採取検体数は、120 検体を計画し、令和元年 11 月 6 日から令和 2 年 1 月 27 日の期間に 60 箇所の排出先から、採取時期をあけて 2 回採取し、攪拌後 HDPE⁴褐色容器 (250 mL×2) に分取し、容器密閉後常温にて保管した。

また、追加調査として、一般家庭 5 箇所、事業所 15 箇所の計 20 箇所のサンプリングを行い、攪拌後 HDPE 褐色容器 (250 mL×2) に分取し、容器密閉後常温にて保管した。

⁴ HDPE : 高密度ポリエチレン

表 8 試料採取先 (60 箇所採取分)

サンプル No	業種分類	分類	都道府県	形態	排出見込量	1回目	2回目
1	M765	個人	大阪	海鮮居酒屋	305L/年	○	○
2	M765	個人	京都	串かつ屋	1,070L/年	○	○
3	M772	学校教育機関	京都	学校給食業	280L/年	○	○
4	M772	学校教育機関	京都	学校給食業	345L/年	○	○
5	M765	チェーン店	京都	和風居酒屋	1,350L/年	○	注1
6	M765	個人	兵庫	串かつ屋	2,128L/年	○	○
7	M762B	チェーン店	京都	ラーメン屋	496L/年	○	○
8	E0996	食品工場	大阪	惣菜工場	15,210L/年	○	○
9	M762A	個人	奈良	割烹	280L/年	○	○
10	M772	学校教育機関	京都	施設給食業	2,930L/年	○	○
11	M772	学校教育機関	京都	給食センター	1,594L/年	○	○
12	M763	個人	大阪	うどん屋	860L/年	○	○
13	M763	チェーン店	奈良	そば屋	1,610L/年	○	○
14	M772	学校教育機関	京都	給食センター	1,294L/年	○	○
15	-	一般家庭	大阪	集積BOX	835L/年	○	○
16	M765	チェーン店	大阪	海鮮居酒屋	2,000L/年	○	○
17	M761	企業食堂	大阪	企業食堂	515L/年	○	○
18	M765	個人	大阪	海鮮居酒屋	385L/年	○	○
19	M761	企業食堂	大阪	企業食堂	605L/年	○	○
20	M761	企業食堂	大阪	企業食堂	200L/年	○	○
21	E097	チェーン店	大阪	パン屋	1,114L/年	○	○
22	M771	チェーン店	京都	宅配丼屋	1,660L/年	○	○
23	M762D	個人	京都	イタリアン	690L/年	○	○
24	M761	個人	京都	食堂	1,780L/年	○	○
25	M761	個人	京都	食堂	720L/年	○	○
26	E097	チェーン店	京都	スーパー内パン屋	445L/年	○	○
27	E097	チェーン店	京都	スーパー内パン屋	802L/年	○	○
28	E097	チェーン店	京都	スーパー内パン屋	1,007L/年	○	○
29	M765	チェーン店	奈良	和風居酒屋	590L/年	○	注2
30	M772	学校教育機関	奈良	学校給食業	1,559L/年	○	○
31	M771	チェーン店	京都	弁当屋	710L/年	○	○
32	-	一般家庭	京都	集積BOX	555L/年	○	○
33	-	一般家庭	京都	集積BOX		注3	注3
34	-	一般家庭	大阪	集積BOX	715L/年	○	○
35	E0997	食品工場	大阪	弁当工場	67,633L/年	○	○
36	M762A	チェーン店	京都	割烹料理店	1,079L/年	○	○
37	-	一般家庭	京都	集積		○	○
38	-	一般家庭	京都	集積BOX	382L/年	○	○
39	M761	企業食堂	京都	企業食堂	440L/年	○	○
40	M761	企業食堂	奈良	職員食堂	280L/年	○	○
41	M761	企業食堂	京都	企業食堂	195L/年	○	○
42	M771	チェーン店	京都	弁当屋	615L/年	○	○
43	E0993	チェーン店	京都	スーパー内豆腐屋	605L/年	○	○
44	M762B	個人	京都	ラーメン屋	550L/年	○	○
45	M761	個人	京都	定食屋	565L/年	○	○
46	M762D	チェーン店	京都	カレー料理店	2,185L/年	○	○
47	M772	学校教育機関	京都	学校給食業	3,445L/年	○	○
48	M761	企業食堂	京都	企業食堂	300L/年	○	○
49	M772	学校教育機関	京都	学校給食業	1,500L/年	○	○
50	M772	企業食堂	京都	病院給食業	923L/年	○	○
51	M762A	チェーン店	京都	懷石料理店	1,500L/年	○	○
52	M772	食品工場	京都	給食センター	6,000L/年	○	○
53	E0997	食品工場	滋賀	弁当工場	65,477L/年	○	○
54	E0997	食品工場	奈良	弁当工場	6,385L/年	○	○
55	E0997	食品工場	大阪	弁当工場	28,973L/年	○	○
56	E0997	食品工場	兵庫	弁当工場	40,184L/年	○	○
57	M772	食品工場	京都	給食センター	815L/年	○	○
58	M761	企業食堂	大阪	企業食堂	600L/年	○	○
59	M772	学校教育機関	京都	学校給食業	700L/年	○	○
60	M772	学校教育機関	京都	学校給食業	800L/年	○	○
61	M761	企業食堂	大阪	企業食堂	500L/年	○	○
62	M765	チェーン店	京都	居酒屋	1,000L/年	-	○
63	M765	チェーン店	京都	居酒屋	1,600L/年	-	○

注1: 廃業のため採取先を変更 (No.62)
 注2: 廃業のため採取先を変更 (No.63)
 注3: 採取不可のため削除・変更 (No.61)

業種分類記号	分類業種
E09	食品製造業
E097	パン・菓子製造業
E099	その他の食品製造業
E0993	豆腐油揚げ製造業
E0996	惣菜製造業
E0997	すし・弁当・調理パン製造業
M76	飲食店
M761	食堂、レストラン
M762	専門料理店
M761A	日本料理店
M761B	中華料理店
M761D	その他の専門料理
M763	そば・うどん店
M765	酒場、ビアホール
M77	持ち帰り、配達飲食サービス
M771	持ち帰り飲食サービス業
M772	配達飲食サービス業
-	分類できない(家庭)

表 9 試料採取先 (追加調査 20 箇所採取分)

サンプル No	業種分類	分類	都道府県	形態	排出見込量	サンプル No	業種分類	分類	都道府県	形態	排出見込量
101	-	一般家庭	大阪	集積	-	116	M763	個人	京都	そば屋	650L/年
102	-	一般家庭	大阪	集積	-	117	M765	個人	京都	海鮮居酒屋	90L/年
103	-	一般家庭	大阪	集積	-	118	M771	チェーン店	京都	持帰惣菜	4,150L/年
104	-	一般家庭	大阪	集積	-	119	M771	チェーン店	京都	持帰焼鳥屋	1,660L/年
105	-	一般家庭	大阪	集積	-	120	M765	チェーン店	京都	海鮮居酒屋	1,035L/年
111	M761	個人	京都	洋食屋	475L/年	121	M761	個人	京都	洋食屋	70L/年
112	M762D	個人	京都	イタリア料理	330L/年	122	M765	個人	京都	居酒屋	420L/年
113	M762D	チェーン店	京都	カレー屋	940L/年	123	M762B	個人	京都	中華料理店	545L/年
114	M765	個人	京都	居酒屋	390L/年	124	M762A	個人	京都	懷石料理	180L/年
115	M765	チェーン店	京都	焼き鳥屋	330L/年	125	M761	個人	京都	洋食屋	255L/年

2) ヒアリング実施方法

ヒアリングは、廃食用油試料採取先から、口頭で以下の項目を直接聴取した。

表 10 ヒアリング項目及び内容

項目	ヒアリング内容
油の由来	なたね、大豆油等のような油種を使用しているか。
主に使用する食材	肉、野菜、海鮮、冷食を含む加工品等のような食材加工に使用した油であるか。
動物油脂が混入している可能性	動物油脂を混合しているか、動物油脂が混入する可能性はあるか。
使用条件	期間、回数等、油を交換する条件はどのようなものか。

3) 性状簡易分析方法

性状簡易分析は、試料の褐色容器を 20 回振盪した後（常温固化しているものは 50～60℃湯煎）、ヨウ素価、酸価、色度の 3 項目について分析を行った。

表 11 性状簡易分析方法

項目	分析方法
ヨウ素価	JIS K 0070 に規定する方法により試料 100 g 中に吸収されるハロゲンの量をヨウ素に換算し、g 数として測定した。（単位：g/100g）
酸価	JIS K 2501 に規定する方法により試料 1g を中和するに要する水酸化カリウムの mg 数として測定した。（単位：mg ^{KOH} /g）
色度	試料を投入したセルを試験容器に収め蓋をし、外光遮断の上容器光源を点灯させ ASTM カラーと外観比較することで数値を決定した。（単位：度）

4) 詳細調査方法

採取した試料の内、66 検体（家庭系 5 検体、事業系 61 検体）について、GC-MS⁵法により脂肪酸組成等を分析した。

(3) 結果

1) 外観

採取サンプルの外観を次に示す。

⁵ GC-MS：ガスクロマトグラフ質量分析

No.	業態	外観写真 (採取回目)	外観写真 (採取回目)	No.	業態	外観写真 (採取回目)	外観写真 (採取回目)	No.	業態	外観写真 (採取回目)	外観写真 (採取回目)	No.	業態	外観写真 (採取回目)	外観写真 (採取回目)
1	海鮮居酒屋			17	企業食堂			33	一般家庭			49	学校給食業		
2	串かつ屋			18	海鮮居酒屋			34	一般家庭			50	病院給食業		
3	学校給食業			19	企業食堂			35	弁当工場			51	懐石料理店		
4	学校給食業			20	企業食堂			36	割烹料理店			52	給食センター		
5	和風居酒屋		No.02	21	パン屋			37	一般家庭			53	弁当工場		
6	串かつ屋			22	宅配弁当			38	一般家庭			54	弁当工場		
7	ラーメン屋			23	イタリアン			39	企業食堂			55	弁当工場		
8	惣菜工場			24	食堂			40	職員食堂			56	弁当工場		
9	割烹			25	食堂			41	企業食堂			57	給食センター		
10	施設給食業			26	スーパー内 パン屋			42	弁当屋			58	企業食堂		
11	給食センター			27	スーパー内 パン屋			43	スーパー内 豆腐屋			59	学校給食業		
12	うどん屋			28	スーパー内 パン屋			44	ラーメン屋			60	学校給食業		
13	そば屋			29	和風居酒屋		No.03	45	定食屋			61	企業食堂		
14	給食センター			30	学校給食業			46	カレー料理店			62	居酒屋		
15	集積BOX			31	弁当屋			47	学校給食業			63	居酒屋		
16	海鮮居酒屋			32	一般家庭			48	企業食堂						

図 14 採取試料の外観 (60 箇所採取分)

No.	業種分類	外観写真	No.	業種分類	外観写真	No.	業種分類	外観写真	No.	業種分類	外観写真
101	一般家庭		111	洋食屋		116	そば屋		121	洋食屋	
102	一般家庭		112	イタリア料理		117	海鮮居酒屋		122	居酒屋	
103	一般家庭		113	カレー屋		118	持帰惣菜		123	中華料理店	
104	一般家庭		114	居酒屋		119	持帰焼鳥屋		124	懐石料理	
105	一般家庭		115	焼き鳥屋		120	海鮮居酒屋		125	洋食屋	

図 15 採取資料の外観 (追加調査 20 箇所採取分)

2) ヒアリング結果

① 油の由来

使用している油種は、60箇所分のヒアリング結果では、1回目、2回目とも同様に、大豆、なたね油、大豆となたね油の混合油（サラダ油）、大豆とパーム油の混合油で7割を占めていた。

追加調査で行った20箇所分についても同様に、大豆、なたね油、大豆となたね油の混合油（サラダ油）、大豆とパーム油の混合油で7割を占めているが、家庭系のみのお油種はなたねと米で、内、なたねが8割を占めている。

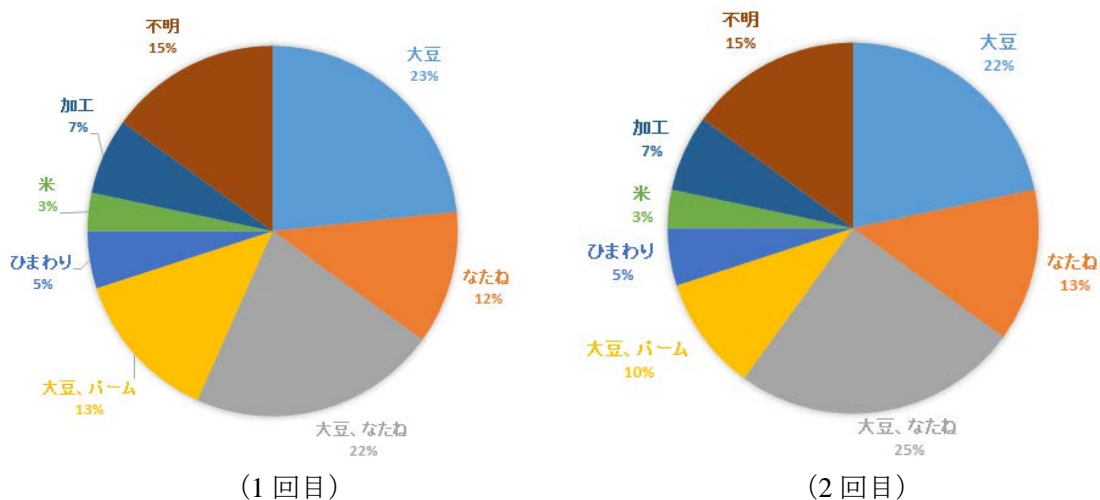


図 16 使用している油種 (60箇所分)

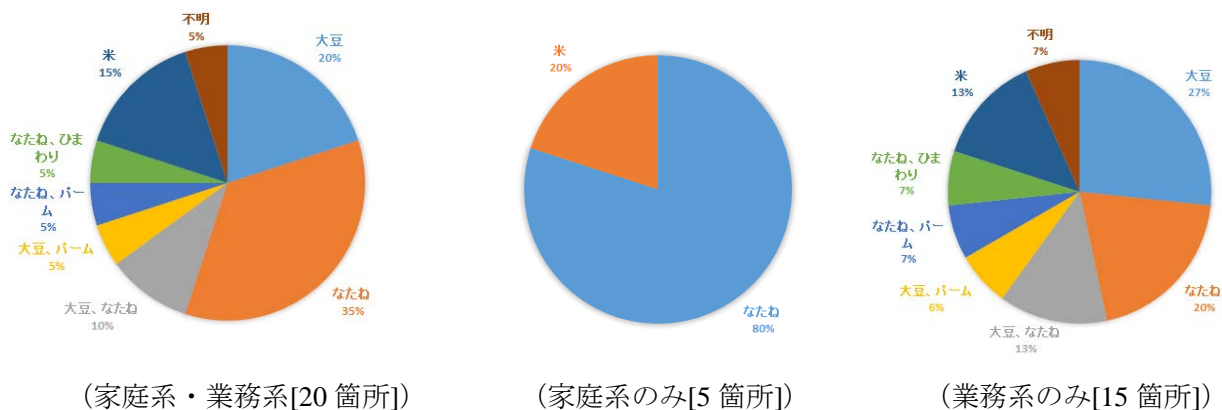
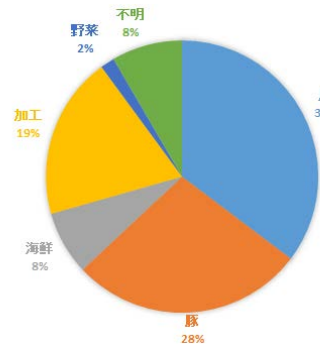


図 17 使用している油種 (追加調査 20箇所分)

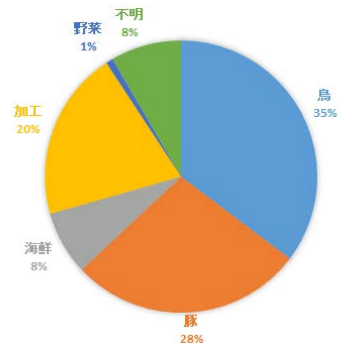
② 使用する食材

使用する食材は、60箇所分のヒアリング結果では、1回目、2回目ともに鳥肉と豚肉が最も多く両食材で約6割を占めており。追加調査20箇所分では、家庭系の約3割が不明であるが、鶏肉が最も多く、次いで豚肉、海鮮の使用が同程度となっている。

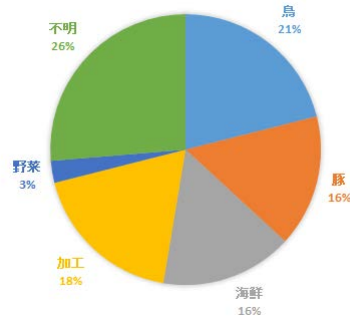
また、60箇所分のヒアリングの加工食材の内訳は、1回目、2回目ともにコロッケが約6割を占めている。



(60 箇所分 1 回目)

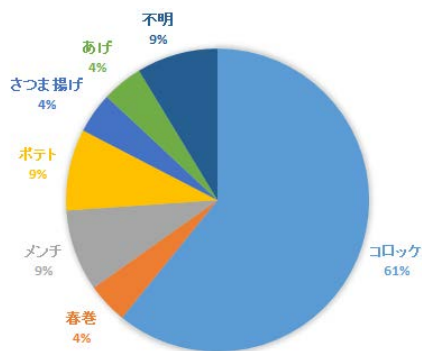


(60 箇所分 2 回目)

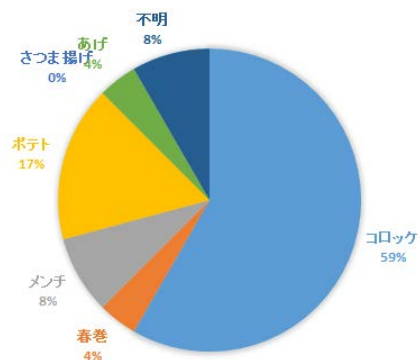


(追加調査 20 箇所分)

図 18 使用する食材



(1 回目)



(2 回目)

図 19 加工食材の内訳 (60 箇所分)

③ 動物油脂が混入している可能性

動物油脂が混入している可能性について、60 箇所のヒアリングでは 85%が混入の可能性はないとしていたが、使用食材で鶏肉、豚肉を使用しているところが多いことから、食材に含まれる動物油脂が混入する可能性はあるものと思われる。

また、追加調査 20 箇所の内、家庭系 5 箇所は動物油脂混入の可能性が不明で、業務系 15 箇所は全て混入の可能性はないとしていたが、60 箇所のヒアリング結果と同様に、使用食材で鶏肉、豚肉を使用しているところが多いことから、食材に含まれる動物油脂が混入する可能性はあるものと思われる。

表 12 動物油脂混入の可能性

動物油脂混入	件数	割合
なし	51	85.0%
不明	9	15.0%
	60	100.0%

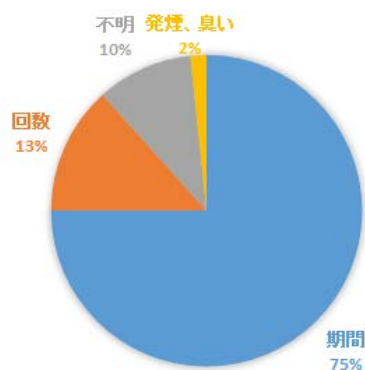
④ 使用条件

使用油の交換について、その条件をヒアリングしたが、60 箇所でのヒアリングでは、1 回目、2 回目ともに使用期間を条件として交換をするとした事業者が 75%を占め、一定の回数を条件として交換するとしたものが 13%を占めていた。

使用期間を条件としている事業者においては、その期間を 7 日間とするものが 33~35%と最も多く、次いで 3 日としたものが 27%、2 日が 20%という結果であった。

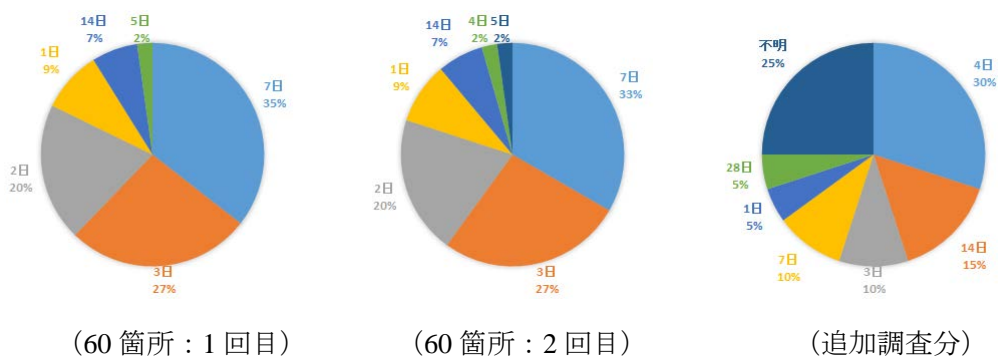
また、回数を条件としている事業者においては、1 回使用したら交換するとしたものが 75%を占めていた。

追加調査 20 箇所分については、家庭系は不明であったが、事業系では全てが、使用期間を条件として交換するとしており、その期間を 4 日間とするものが 30%と最も多く、次いで 14 日が 15%、3 日が 10%という結果であった。



(1 回目、2 回目)

図 20 使用油を交換する条件 (60 箇所分)



(60 箇所 : 1 回目)

(60 箇所 : 2 回目)

(追加調査分)

図 21 期間を条件に交換する日数

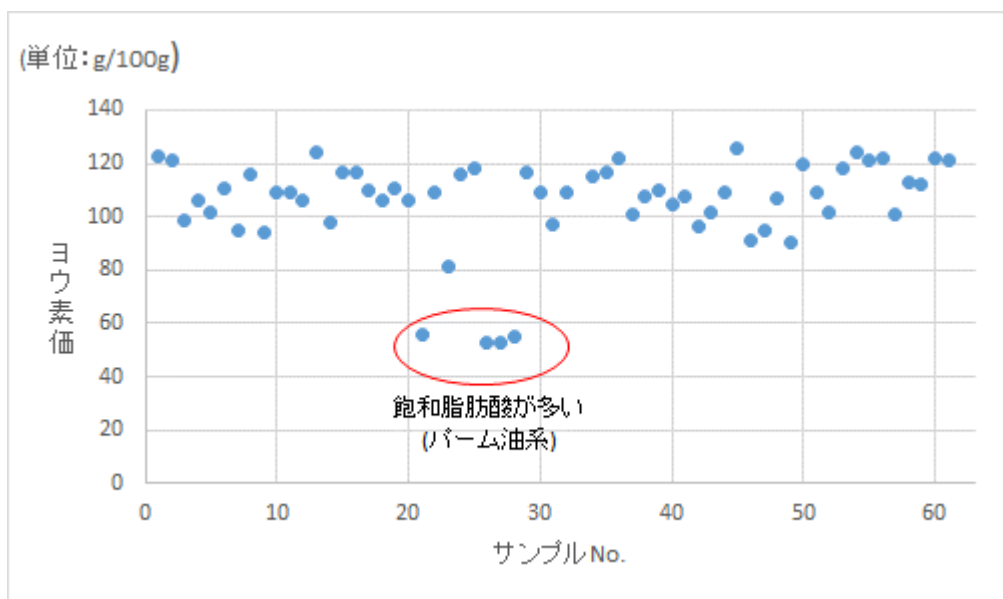
3) 性状簡易分析結果

① ヨウ素価

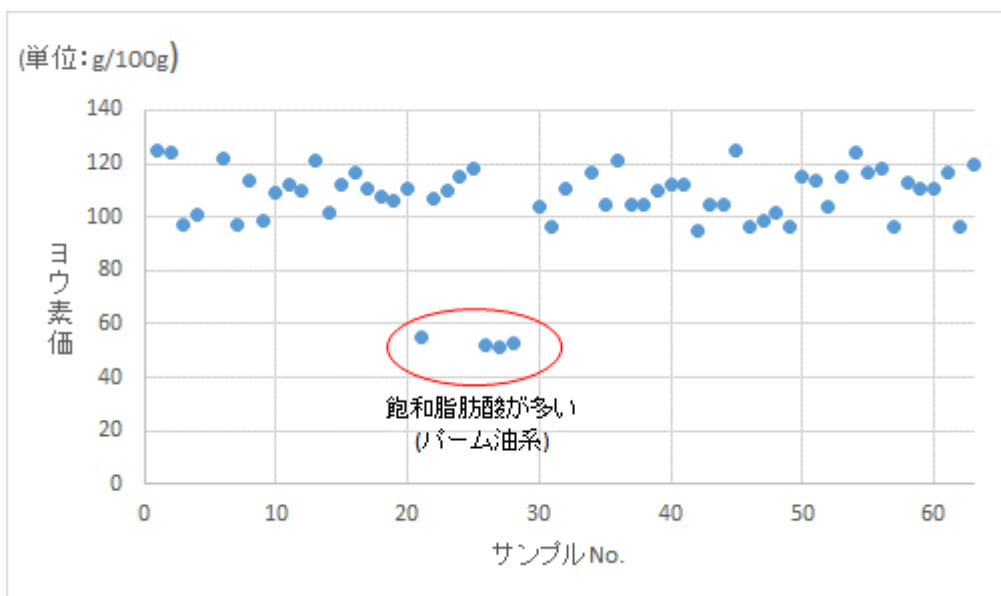
ヨウ素価は1回目が試料平均で106、最大126、最小53であり、約9割が90以上、2回目が試料平均で106、最大125、最小51であり、約9割が90以上と不飽和脂肪酸が多い状況が示唆されている。

一般的なヨウ素価は、大豆油が131.7、なたね油が131.8、パーム油が52.8とされており、ヨウ素価50付近の試料（4点）は飽和脂肪酸が多いパーム油の可能性が考えられる。

業態別にヨウ素価の分布を示すと、1回目、2回目ともにパン菓子製造業で60以下のヨウ素価を示しており、ショートニング等加工油（水添硬化油）を使用することに起因していると考えられる。

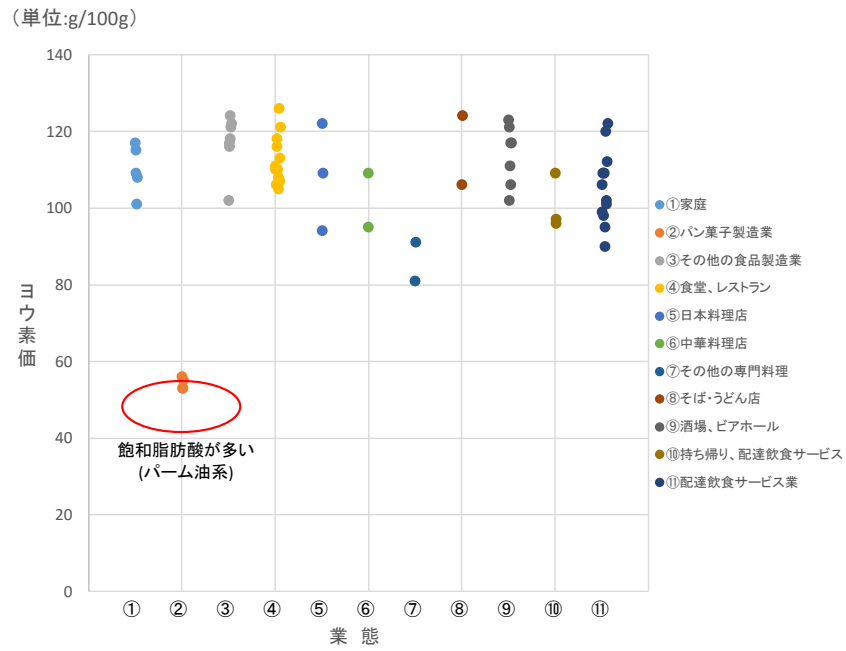


(1回目)

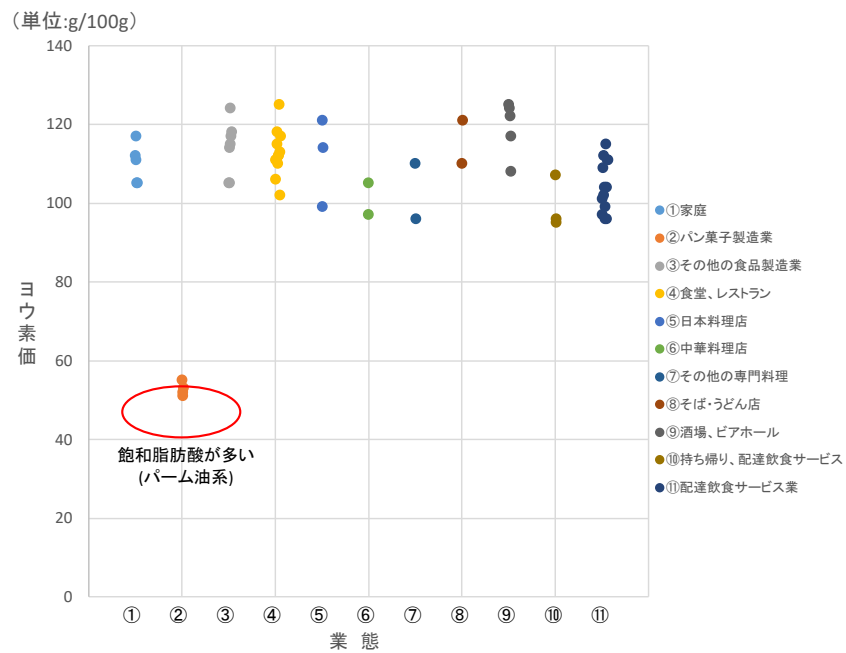


(2回目)

図 22 ヨウ素価の分析結果 (60 箇所分)



(1回目)



(2回目)

図 23 業態別ヨウ素価分布 (60箇所分)

追加調査 20 箇所のヨウ素価は試料平均で 110、最大 130、最小 87 であり、約 9 割が 90 以上、と不飽和脂肪酸が多い状況が示唆されている。家庭系は 106~110 と一定であるが、事業系についてはばらつきが見られる。

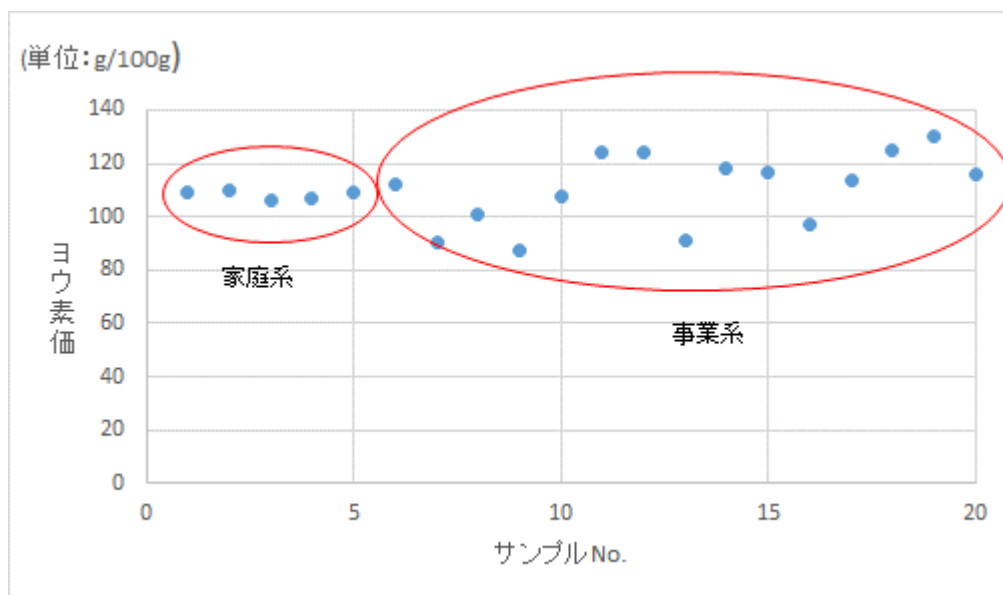
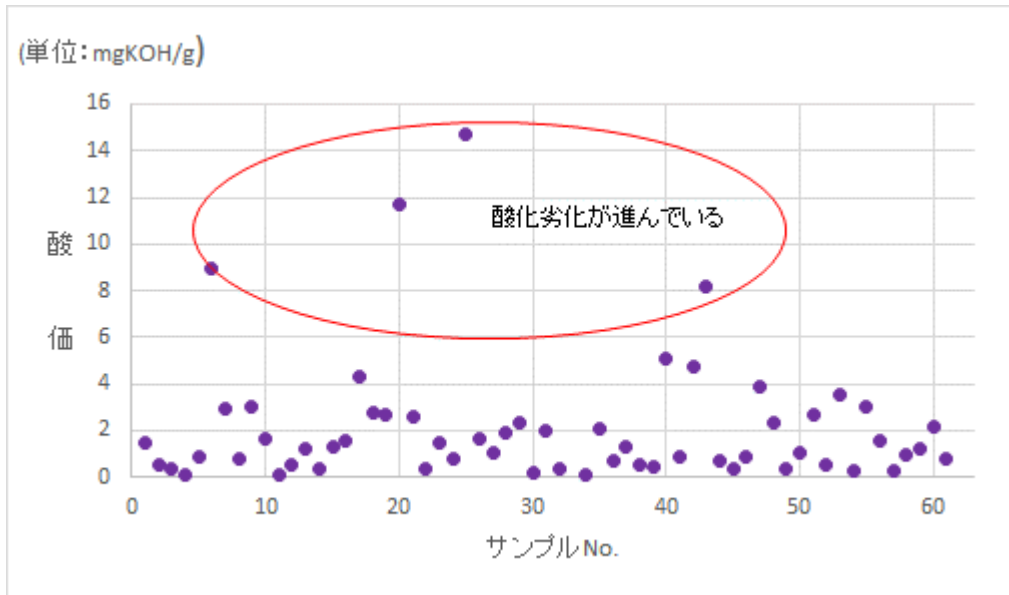


図 24 ヨウ素価の分析結果（追加調査 20 箇所分）

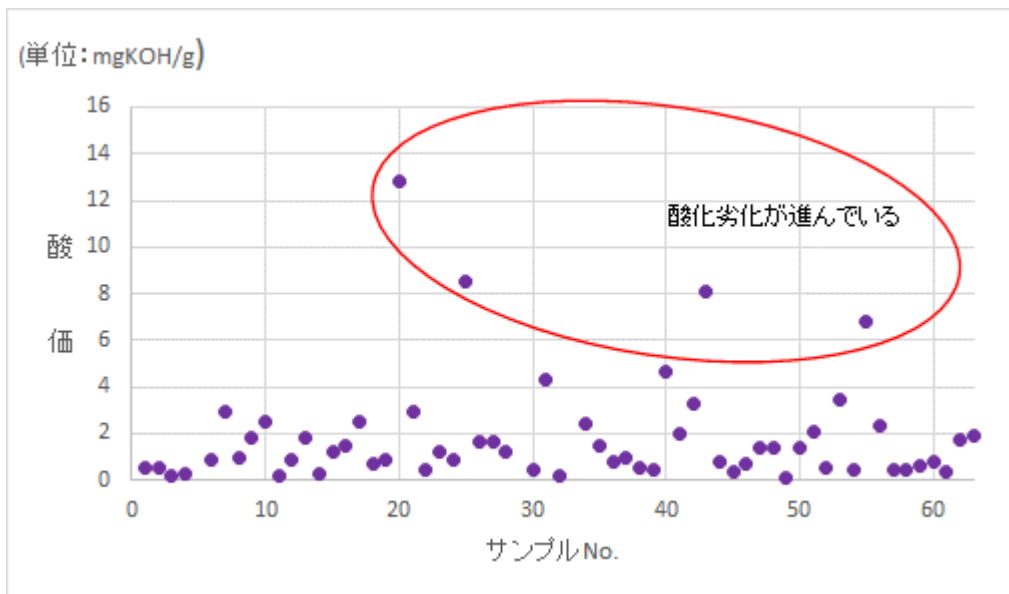
② 酸価

酸価は、1 回目が試料平均で 2.13、最大 14.72、最小 0.07 であり、約 9 割が 4.8 以下、2 回目が試料平均で 1.83、最大 12.85、最小 0.14 であり、約 9 割が 4.8 以下であった。酸価の大きい試料（概ね 8 以上）は、褐色で色度も高く、油脂の劣化が著しい状況を示している。

業態別に酸価の分布を示すと、1 回目、2 回目ともに食堂、レストラン区分の劣化度が他業態より高い結果を示しており、一部の社員食堂、一般食堂においても 10 を超過するようなサンプルが見られた。また、その他の食品製造業としては豆腐油揚げ製造業、酒場・ビアホールと、串かつ屋にて酸価の高いものが見られている。



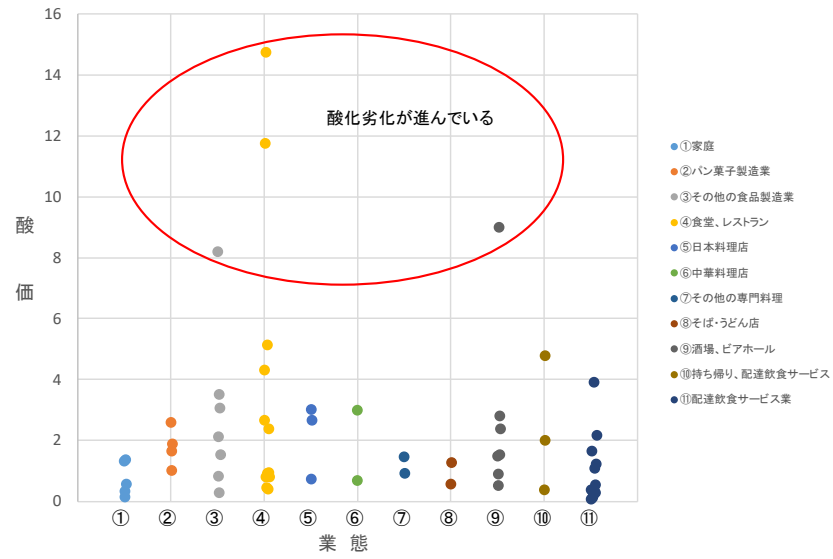
(1回目)



(2回目)

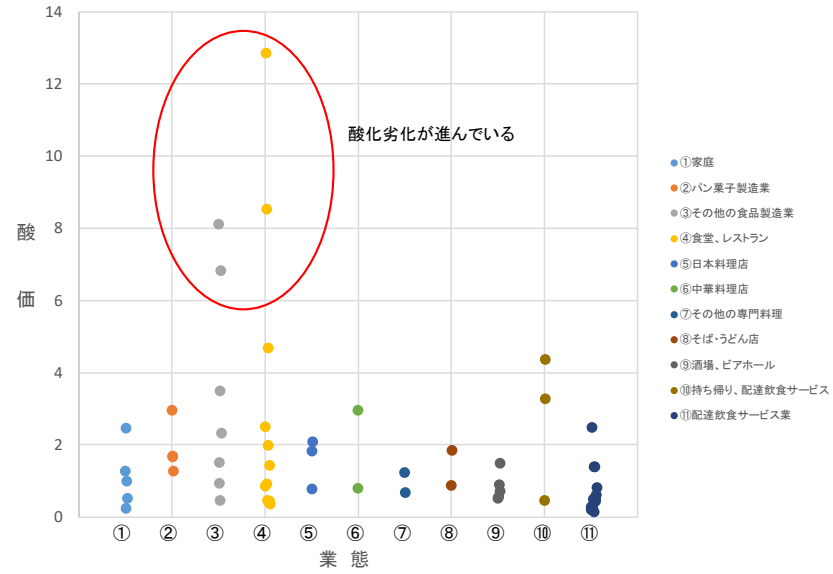
図 25 酸価の分析結果 (60 箇所分)

(単位:mgKOH/g)



(1回目)

(単位:mgKOH/g)



(2回目)

図 26 業態別酸価分布 (60箇所分)

追加調査 20 箇所での酸価は試料平均で 2.00、最大 15.24、最小 0.15 であり、約 9 割が 4.8 以下であった。家庭系は 0.20~0.35 と一定であるが、事業系についてはばらつきが見られる。

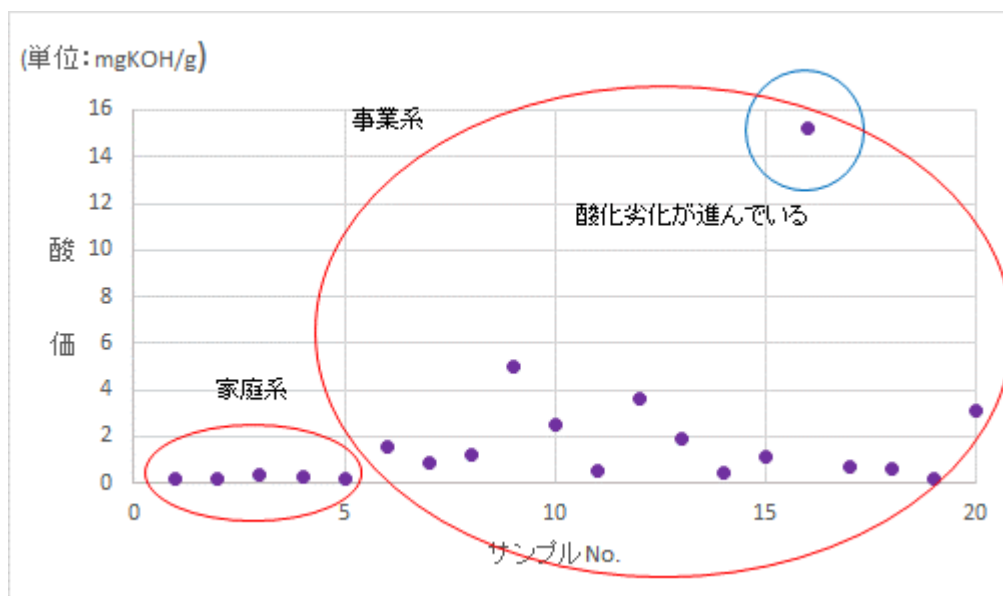
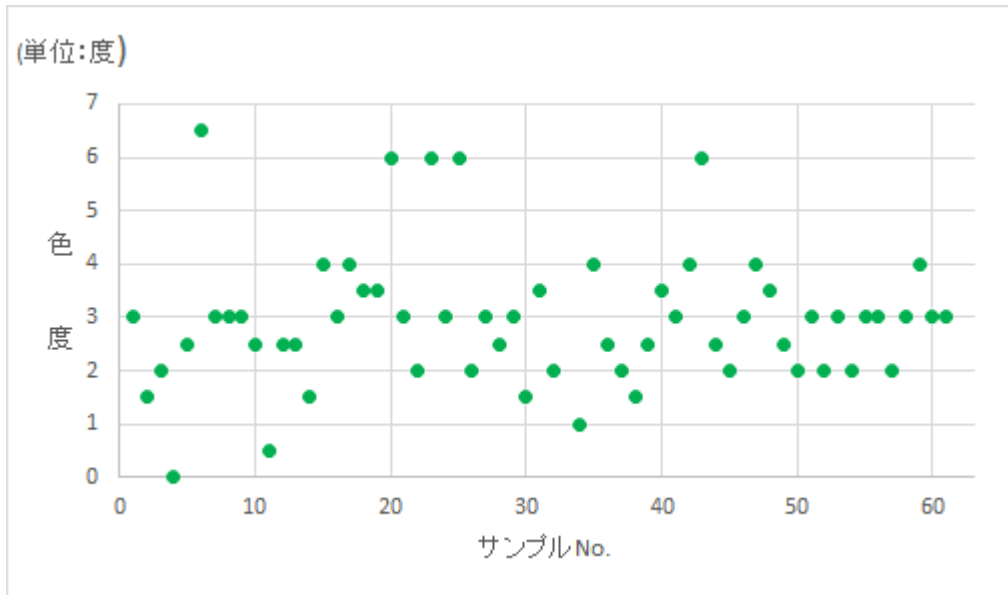


図 27 酸価の分析結果（追加調査 20 箇所分）

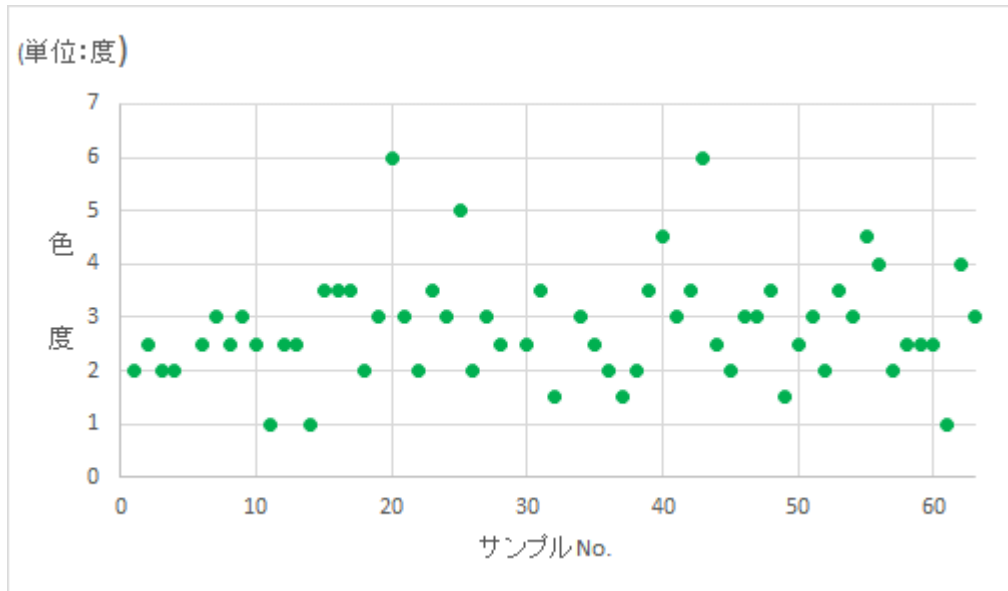
③ 色度

色度は、1 回目が試料平均で 3.0、最大 6.5、最小 0.5 以下であり、約 9 割が 4.0 以下、2 回目が試料平均で 3.0、最大 6.0、最小 1.0 であり、約 9 割が 4.0 以下。酸価の大きい試料（概ね 8 以上）は、褐色で色度も高く、油脂の劣化が著しい状況を示している。

酸価と色度の相関分布を示すと、色度が高くても酸価が低いケースも見られており、廃食用油に着色はあっても酸化劣化していない場合もあることが示唆されている。

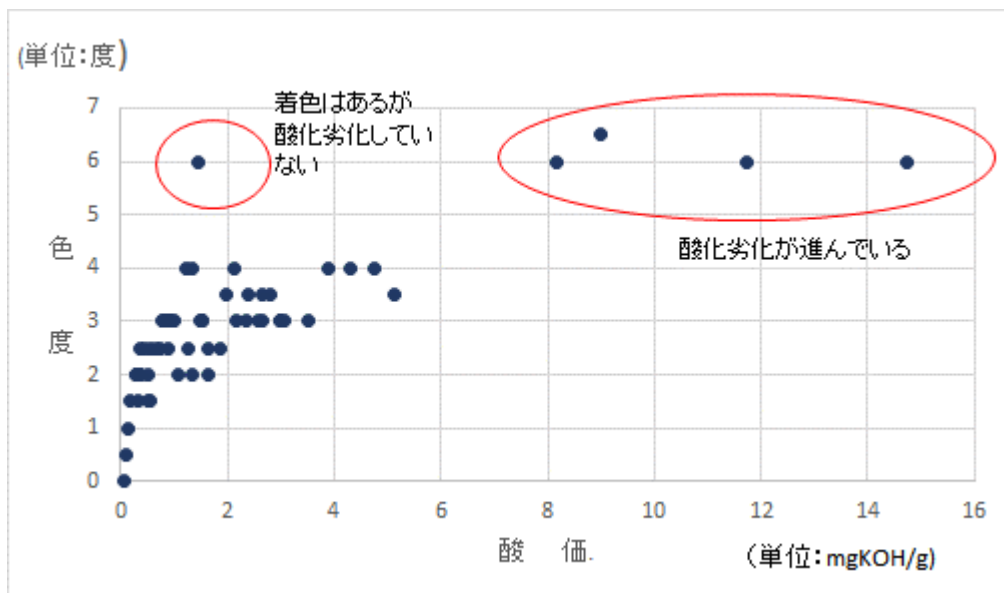


(1回目)

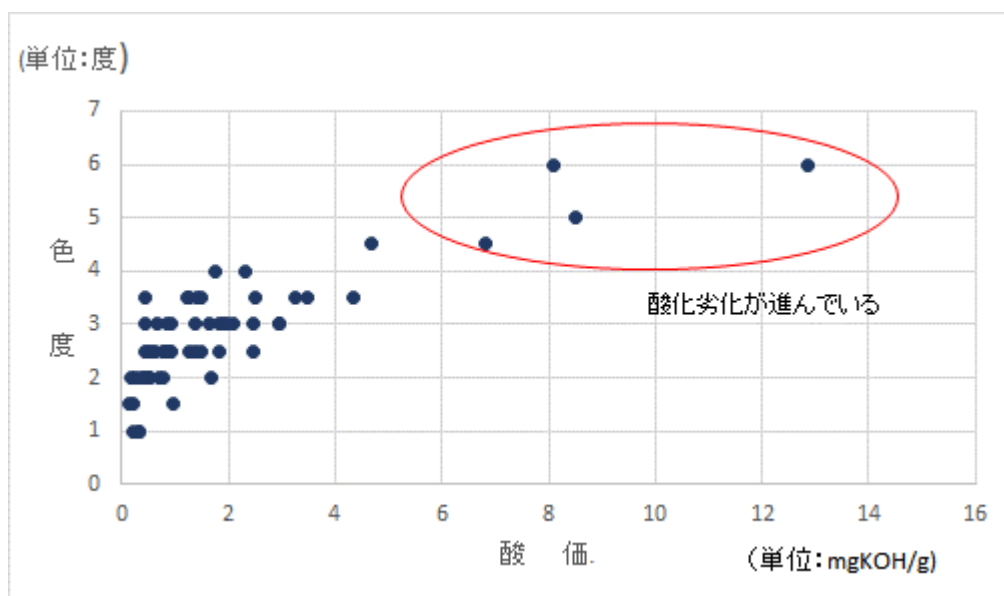


(2回目)

図 28 色度の分析結果 (60 箇所分)



(1回目)



(2回目)

図 29 酸価と色度の相関分布

追加調査 20 箇所の色度は試料平均で 3.0、最大 7.0、最小 1.0 であり、約 9 割が 4.8 以下であった。家庭系は 1.0~2.0 とほぼ一定であるが、事業系についてはばらつきが見られる。

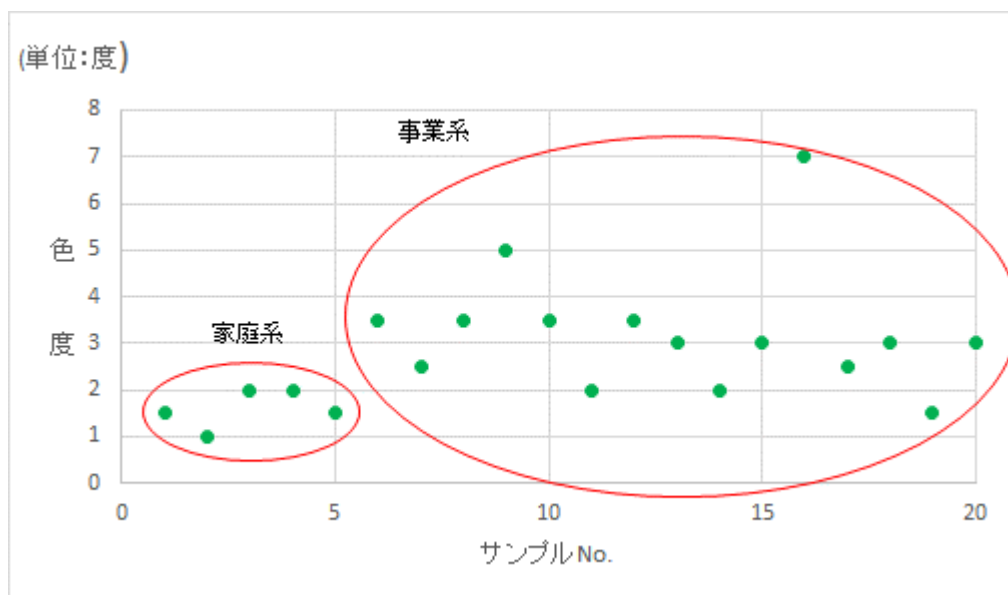


図 30 色度の分析結果（追加調査 20 箇所分）

4) 詳細調査

採取した 140 検体（60 検体×2 回、追加調査 20 検体）の内、66 検体（事業系 61 検体、家庭系 5 検体）について、GC-MS 法により分析した脂肪酸組成の結果を示す。

大部分は、サラダ油の脂肪酸組成を示しており、オレイン酸（C18:1）、リノール酸（C18:2）が多く、次いでパルミチン酸（C16:0）が多いが、一部試料（No.21、26、27、28）では飽和脂肪酸であるパルミチン酸（C16:0）が多く、パーム油の組成に近い組成が見られる。

業態別に整理すると、ヨウ素価が低い業態であるパン菓子製造業でパルミチン酸が多くなっている。

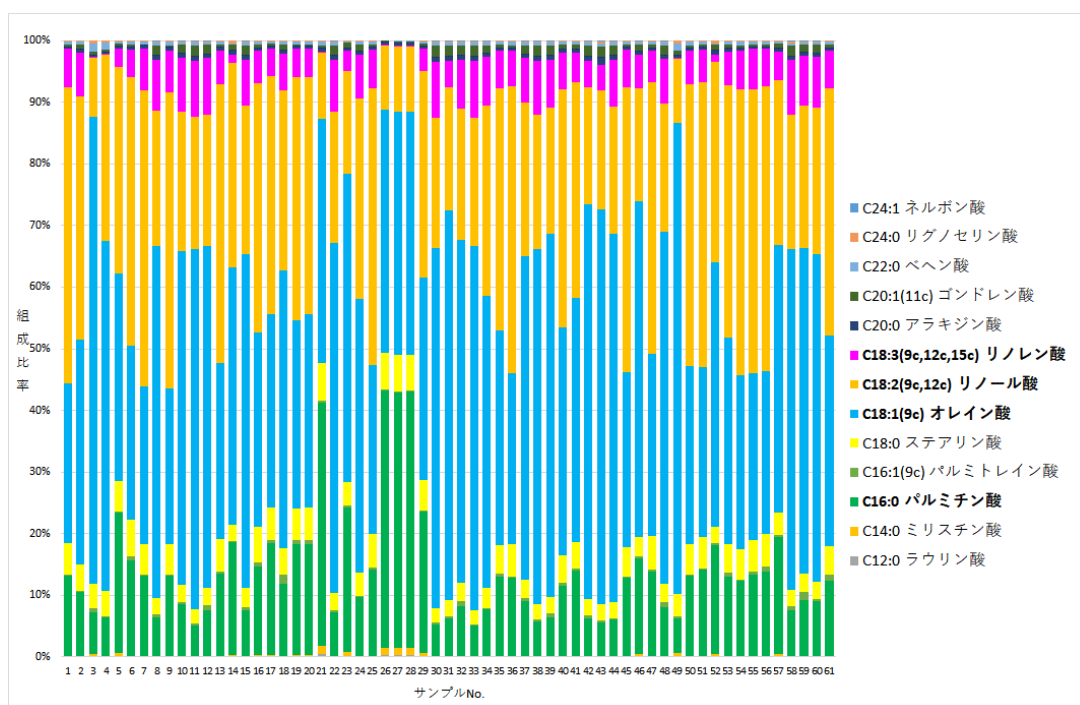


図 31 脂肪酸組成分析結果（事業系 61 検体）

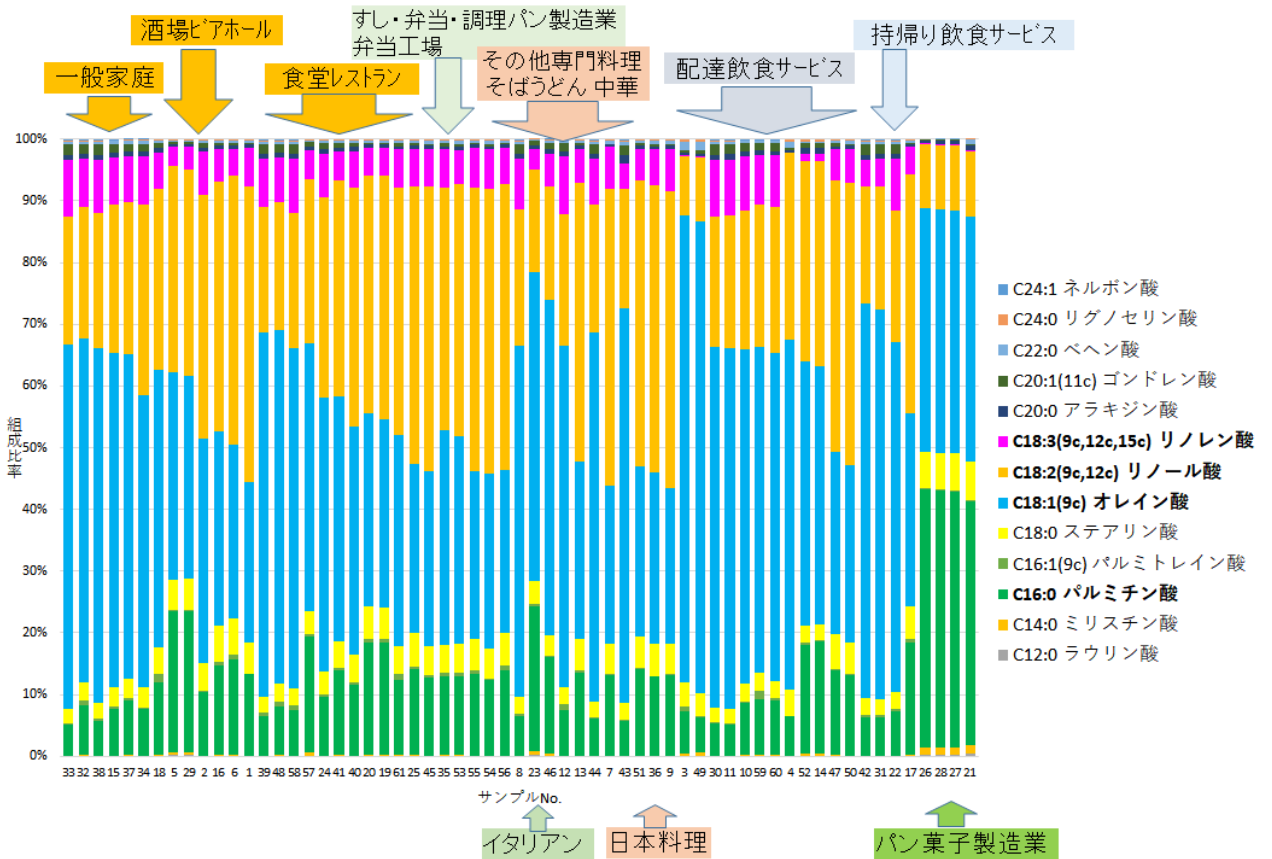


図 32 業態別脂肪酸組成 (事業系 61 検体)

家庭から排出された廃食用油 (5 検体) の脂肪酸組成は、次のとおりで、組成に大きなばらつきはなく、サラダ油の組成を示している。

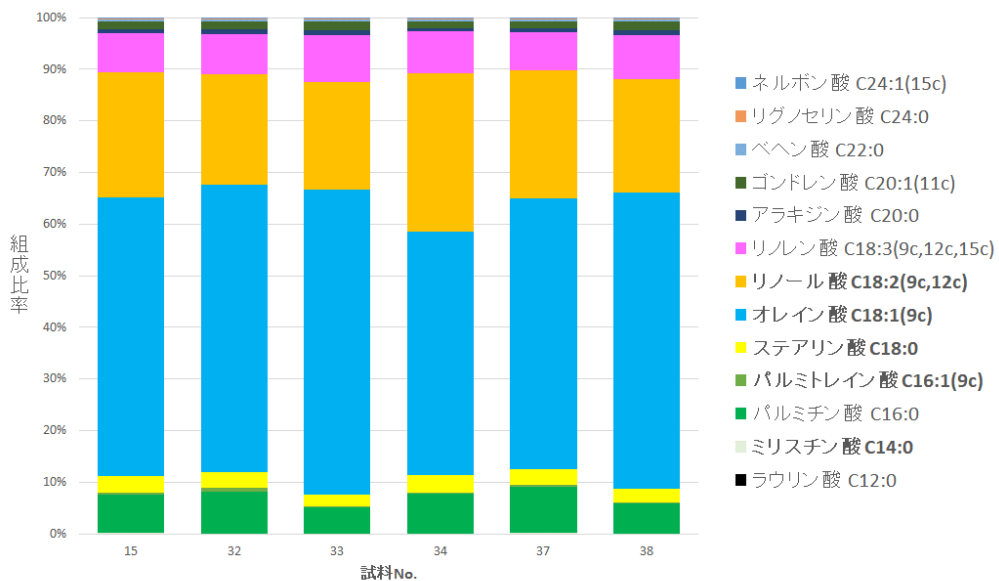


図 33 家庭系廃食用油の脂肪酸組成

参考までに、ヨウ素価と脂肪酸組成 (パルミチン酸[C16:0]、ステアリン酸[C18:0]、オレイン酸

[C18:1(9c)、リノール酸[C18:2(9c、12c))] との相関分布を示したが、パン菓子製造業の廃食用油の性状は他の性状と異なっていることが明らかである。

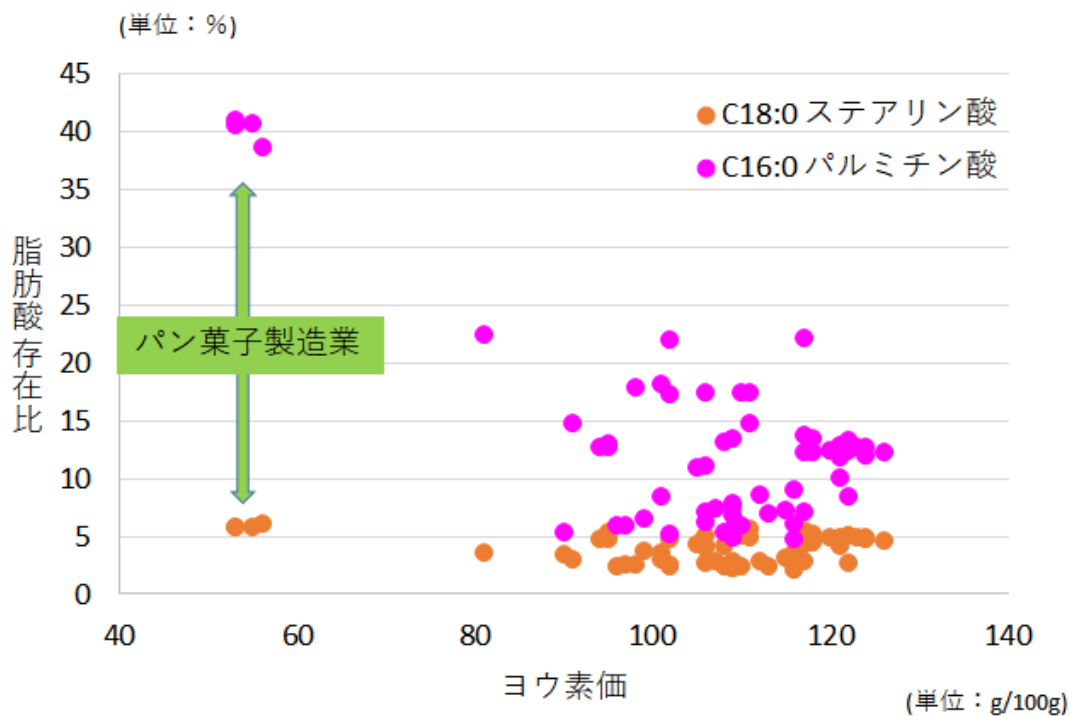


図 34 飽和脂肪酸とヨウ素価の相関分布 (事業系 61 検体)

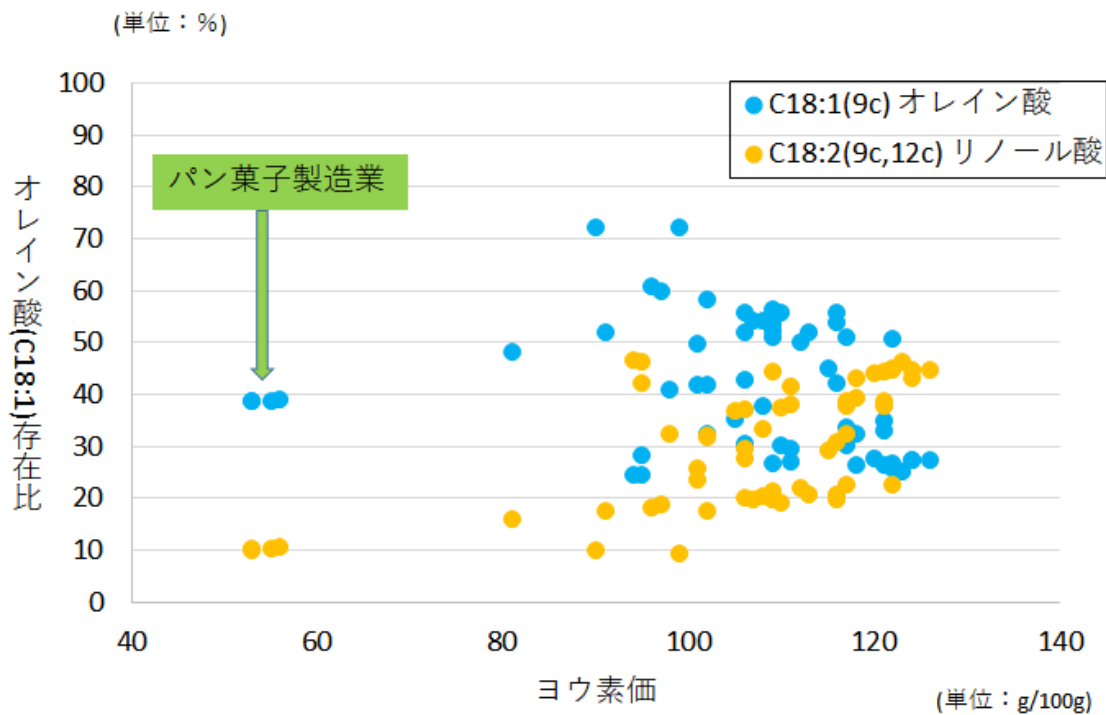


図 35 オレイン酸、リノール酸とヨウ素価の相関分布 (事業系 61 検体)

(4) まとめと課題

1) パーム油と廃食用油の組成の違い

現在、PHBHの原料として使用しているパーム油と廃食用油の組成の違いを考察する。

脂肪酸組成は油脂の種類に依存しており、パーム油はパルミチン酸 (C16:0) 約 37%、オレイン酸 (C18:1) 約 45%、リノール酸 (C18:2) 約 12%で、その他ステアリン酸 (C18:0) 約 4%が含まれている。

一方、大部分の廃食用油では、オレイン酸 (C18:1) 約 44%、リノール酸 (C18:2) 約 35%、パルミチン酸 (C16:0) 約 9%、リノレン酸 (C18:3) 約 7%となっており、廃食用油と比べてもパーム油は飽和脂肪酸のパルミチン酸比率が多い (常温で固体)。

パーム油：飽和 42%、不飽和 57%

廃食用油：飽和 12%、不飽和 88%

炭素数組成は、廃食用油は C18 が 90%に対して、パーム油は C18 は 60%、C16 が 36%程度となっている。



図 36 各種油種の脂肪酸組成及び炭素数組成 (過去の調査データによる)

2) まとめ

PHBHの生産性は、2.1に言及したとおり生産速度を指標としてRBDパーム油を100とした場合の相対評価で行われている。

廃食用油を使用した場合のPHBH生産性の低下について、油脂の炭素数が影響を及ぼす一つの因子ではないかとの見解があり、特にPHBH生産性には、パルミチン酸 (C16:0) の飽和脂肪酸と正の相関が高いとの実証結果が本年度では、報告されているところである。

生産性の評価試験において、廃食用油での最適化製造条件を確立するためには、時間経過ごとの生産性のデータ解析や個別脂肪酸での試験が必要と思われる。

廃食用油の脂肪酸は、不飽和脂肪酸の比率が高いため、PHBHの基本骨格である3HBと3HHxの構造単位には、飽和脂肪酸よりも二重結合がある脂肪酸の方がむしろPHBH生産性が高い可能性は無いかという推論についても検討を進める必要があると考えられる。

PHBH製造の生産性に対して、飽和脂肪酸と正の相関が高いという前提で考えると、その他の原料油脂の利用の拡大できる可能性として、動物油のラードはパルミチン酸 (C16:0) の飽和脂肪酸が多いため、これらを原料として生産性を確認するという事も考えられる。

なお、油脂作物の国内栽培を目指しているジャトロファの油脂については、脂肪酸組成は廃食用油にかなり近く、オレイン酸 (C18:1)、リノール酸 (C18:2) が大半を占めるとされており、ジャト

ロファからの搾油油脂を PHBH 原料とする場合には、廃食用油と同様の検討が必要になると思われる。

表 13 ジャトロファ油脂の化学性状

パラメーター	単位	数値
酸価 (Acid Value)	mg KOH/g oil	38.2
けん化価 (Saponification Value)	mg KOH/g oil	195
(Lodin Value)	mg iod/g oil	101.7
脂肪酸 (Fatty Acid)	%	
パルミチン酸 (Palmitic Acid)		14.2
ステアリン酸 (Stearic Acid)		6.9
オレイン酸 (Oleic Acid)		43.1
リノール酸 (Linoleic Acid)		34.3
その他 (Other)		1.4

(出所) Surfactant and Bioenergy Research Center (SBRC), Bogor Agricultural University

次年度は、PHBH 製造にあたっての影響要因の検討経過を踏まえつつ、廃食用油の性状についてその妥当性の予備的検討を行い、また、原料の多様化を念頭に、PHBH の培養検討の結果を受けながら動物油脂等、回収する廃食用油の種類拡大の可能性について、その予備的検討を行うものとする。

2.2.2 廃食用油の収集方法の調査

(1) 目的

廃食用油を生活系及び事業系に分け、その排出実態、廃食用油の性状、不純物を含む組成などを調査・分析することにより、PHBH 原料として活用することを念頭に置いた効率的な廃食用油回収システムに関する検討を行うことを目的とする。

本年度は、文献調査やアンケート調査等により国内外の生活系及び事業系廃食用油の収集方法の取組事例の整理を行うとともに、国内における特徴的な自治体に対しては現地訪問等によりヒアリング調査等を実施する。

(2) 方法

1) アンケート調査

<対象都市と回収サンプル数>

廃食用油の使用から廃棄までの実態について、廃食用油の回収を実施している自治体 14 都市とその他全国についてインターネットアンケート調査を実施した。年代区分は 20 代、30 代、40 代、50 代、60 代以上の 5 区分とし、計 4,000 サンプルを回収目標とした。ただし、自治体によっては想定回収数が少ない見通しとなったことから、次表に示したとおり、近隣の都市を 1 区分とする調整を行った。また、20 代や 60 代以上においては回収サンプル数が目標サンプル数に到達しない都市もあり、また想定サンプル数を上回った都市もあることから、実回収サンプル数は結果にて後述する。

表 14 都市別の目標サンプル数

	都市名	年代区分別 サンプル数	合計 サンプル集
1	京都市	各 100	500
2	札幌市	各 100	500
3	相模原市	各 50	250
4	藤沢市	各 30	150
5	厚木市 平塚市 鎌倉市	各 50	250
6	名古屋市	各 100	500
7	浜松市	各 50	250
8	吹田市	各 30	150
9	岡山市	各 50	250
10	北九州市	各 50	250
11	佐賀市 熊本市	各 50	250
12	その他全国	各 140	700
合計			4,000

<スクリーニング条件>

アンケート調査の対象者は「家庭で調理・食事の用意を主に担当している」かつ「家庭から日常的に廃食用油が発生している」ことを条件としてスクリーニングを行い、該当に対して本調査を実施した。

2) 文献調査及びヒアリング調査

国内外の文献及び自治体のホームページ等により、廃食用油の回収事例を調査するとともに、調査した回収事例の中で特徴的な国内事例について、現地を訪問し、ヒアリングを行うことで、回収実態の詳細を調査した。

(3) 結果

1) アンケート調査

都市別の実回収サンプル数は次表に示したとおりである。20代など一部の都市では目標サンプル数を下回ったものの、合計4,621サンプルを得た。本年度は京都市の集計結果について報告する。

表 15 実回収サンプル数

	京都市	札幌市	藤沢市	厚木市、 平塚市、 鎌倉市	相模原	名古屋市	浜松市	吹田市	岡山市	北九州市	佐賀市、 熊本市	その他	合計
20-29	114	144	32	38	43	127	54	27	18	65	59	140	861
30-39	117	116	54	59	54	114	59	47	56	61	63	140	940
40-49	115	111	63	58	59	111	61	42	58	63	59	140	940
50-59	115	117	36	61	68	113	53	51	59	64	63	140	940
60-99	102	128	53	68	59	132	31	36	68	62	61	140	940
Total	563	616	238	284	283	597	258	203	259	315	305	700	4,621

※黄色着色セル：目標サンプル数に達しなかった区分

てんぷら油の購入頻度は次表のとおり、3ヶ月以内に最低1回は購入する回答が82.9%を占めた。開封した後に、使い切れずに残った未使用のてんぷら油を廃棄（家庭から排出）する頻度について尋ねると、55.4%は開封後に未使用のまま廃棄することはないと回答した一方、廃棄する回答者については「3ヶ月に1回程度」が最も多く8.8%であった。

表 16 てんぷら油の購入頻度（京都市）

1ヶ月以内に1回以上	21.47%
1ヶ月に1回程度	24.00%
2ヶ月に1回程度	21.26%
3ヶ月に1回程度	16.21%
4～5ヶ月に1回程度	3.79%
6ヶ月に1回程度	8.21%
7～12ヶ月に1回程度	2.11%
12ヶ月以上に1回程度	2.74%
全く購入しない	0.21%
全体	100.00%

表 17 開封した後に、使い切れずに残った未使用のてんぷら油を
廃棄（家庭から排出）する頻度（京都市）

およそ1年に1回程度	6.53%
およそ9ヶ月に1回程度	1.47%
およそ6ヶ月に1回程度	7.16%
およそ3ヶ月に1回程度	8.84%
およそ1ヶ月に1回程度	6.53%
およそ2週間に1回程度	4.42%
およそ1週間に1回程度	2.32%
開封したその日にあまりを捨てている	3.58%
わからない	3.79%
開封した後に使いきれずに残った未使用のてんぷら油を廃棄することはない	55.37%
全体	100%

てんぷら油の再使用状況は表 18 のとおり、27.8%が再使用しない一方、17.9%の回答者が使い切るまで再使用している結果となった。廃棄時の廃棄量は表 19 に示したとおり、「251－500 mL」が最も多く、ペットボトル等に入れて回収拠点に持参するため 500 mL 未満の回答が多かったと考えられる。単純平均では 331 mL/回と試算された。

表 18 てんぷら油の再使用状況（京都市）

そもそも揚げ物等の使用済み天ぷら油が発生するような調理をしていない	3.16%
再使用していない（0回、1度しか使わない）	27.79%
1－2回再使用し、使い切れない分が残る	28.63%
3－4回再使用し、使い切れない分が残る	15.37%
4－5回再使用し、使い切れない分が残る	4.21%
それ以上	1.47%
使い切るまで使用している（1－5回程度で使い切る場合でもこちら）	17.89%
わからない	1.47%
全体	100%

表 19 廃食用油の廃棄時の廃棄量（京都市）

50mL以下	10.91%
51～100mL	14.55%
101～250mL	22.08%
251～500mL	24.94%
501～750mL	9.87%
751～1,000mL	3.90%
1,001～1,500mL	1.56%
1,501～2,000mL	1.30%
2,001～2,500mL	0.26%
2,501～3,000mL	0.26%
3,001mL以上	0%
わからない	10.39%
全体	100%

廃食用油回収実施の有無と排出方法の認知度は表 20 に示したとおり、回答者の 68.8%が回収活動を認知していた。しかし、排出方法まで認知しているのは 41.3%であった。廃食用油回収の参加状況は表 21 のとおり、「どちらかといえば参加することの方が多し」も含めると 57.2%の参加率であった。

また、廃食用油を原料にした生分解性プラスチックをどのような製品に利用して欲しいか設問した結果は、表 22 のとおり、ゴミ袋が 78.5%であり、次いでレジ袋 (44.4%) が高かった。緩衝材、使い捨て製品、サランラップがそれぞれ 30%程度であり、それ以外の製品は 2 割程度であった。

表 20 廃食用油回収の認知度 (京都市)

回収を実施していることを知っているし、排出方法も知っている	41.26%
回収を実施していることを知っているが、排出方法は知らない	27.58%
回収を実施していないことを知っている	4.42%
回収を実施しているかどうか分からない (知らない)	26.74%
全体	100%

表 21 廃食用油回収の参加状況 (京都市)

家庭で発生する使用済み天ぷら油を廃棄するときは、いつも回収に参加している	38.27%
家庭で発生する使用済み天ぷら油を廃棄するときは、回収に参加する場合としない場合がある。 どちらかといえば参加することの方が多し	18.88%
家庭で発生する使用済み天ぷら油を廃棄するときは、回収に参加する場合としない場合がある。 どちらかといえば参加しないことの方が多し	8.67%
回収に参加したことがない	34.18%
全体	100%

表 22 廃食用油を原料にした生分解性プラスチックの利用製品の市民の希望 (京都市)
(設問文「市民が回収した廃食用油を原料にした生分解性プラスチックについて、あなたならどのような用途の製品を作って欲しいと思いますか。」、複数回答)

ゴミ袋	78.53%
レジ袋	44.42%
飲料用ボトル	20%
日用品ボトル	19.79%
食品容器	20.84%
食品包装	18.11%
サランラップ	28.84%
日用品容器	21.68%
日用品包装	21.68%
緩衝材	30.32%
使い捨て商品	31.16%
耐久消費財などの長寿命製品 (家電などのプラスチック素材として)	16.21%

2) 文献調査及びヒアリング調査

① 廃食用油の現状

i) 植物油の供給量

植物油の総供給量は、2017年には、275万トン（国内生産：174万トン、輸入：102万トン）となっている。総供給量は微増傾向にあり、国内生産の割合は、総供給量の約6割とほぼ一定となっている。

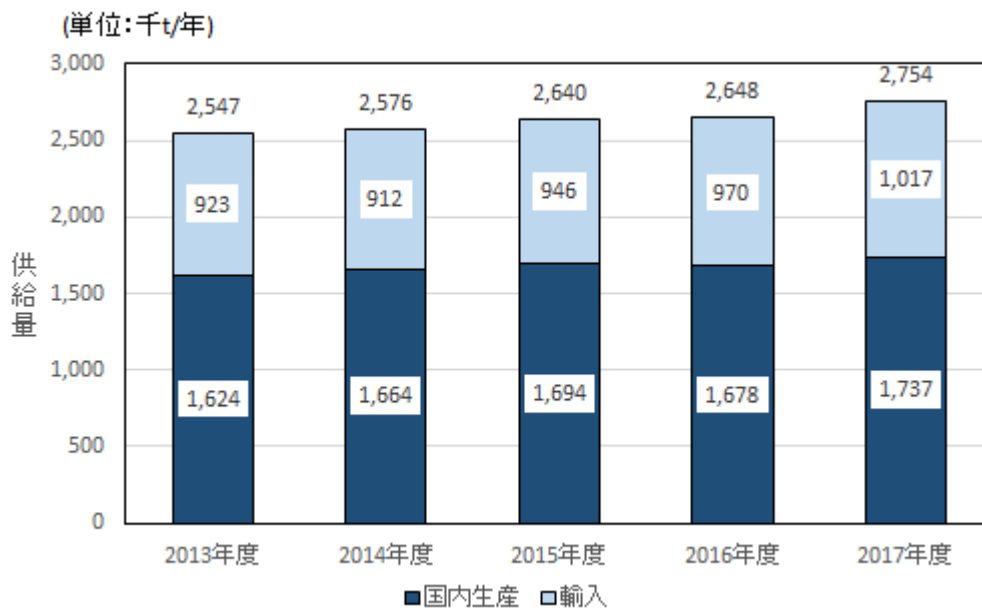


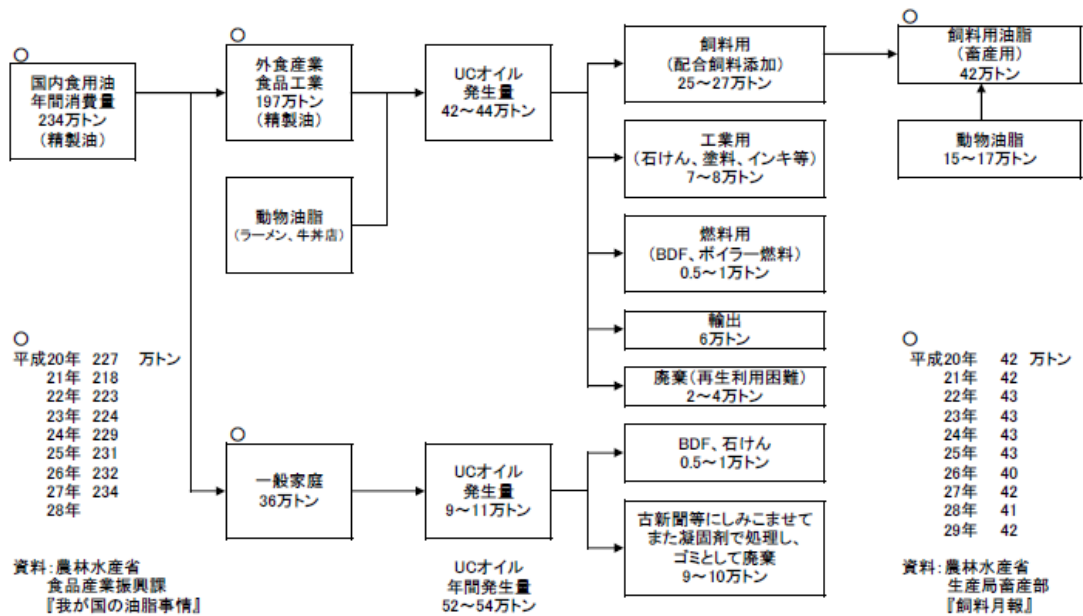
図 37 日本の植物油の供給量

出典：日本植物油協会 HP(https://www.oil.or.jp/kiso/seisan/seisan10_01.html)

(農林水産省「油糧生産実績調査」、財務省「貿易統計」による)

ii) 廃食用油の発生状況

廃食用油の年間発生量は52～54万トンと推定され、外食産業・食品工業から発生する廃食用油については、その多くが飼料用か工業用にリサイクルされているが、一般家庭から発生する廃食用油については、大部分は古新聞等に染み込ませたり、凝固剤で処理し、廃棄されている。



注：①農林水産省資料(○印、国内食用油年間消費量、飼料用油脂使用量)及び情報収集等を基に総合的に検討し推計した。
②食品工場等の自社消費分は、UCオイル発生量(42~44万トン)に含まれていない。

図 38 我が国における廃食用油の流れ

出典：全国油脂事業協同組合連合会 HP (http://www.zenyuren.or.jp/wp/wp-content/uploads/2018/11/180510_ucoli_recycle_flow2017.pdf) 「UC オイルのリサイクルの流れ図 (全国油脂事業協同組合連合会、平成 29 年版)」

iii) 京都市の廃食用油回収状況

京都市における廃食用油の回収量は、2014 年度から開始した PET ボトル回収の拠点拡大により、回収量は一時増加に転じたが、近年は減少に転じている。中食・外食化の傾向が強まるなど食用油の家庭消費量が落ちていることが考えられる。

回収拠点数は、2016 年度までは増加していたが、近年は減少に転じている。

京都市における一般家庭からの廃食用油の賦存量は約 1 千トンと推定され、回収率は 2 割程度であると思われる。

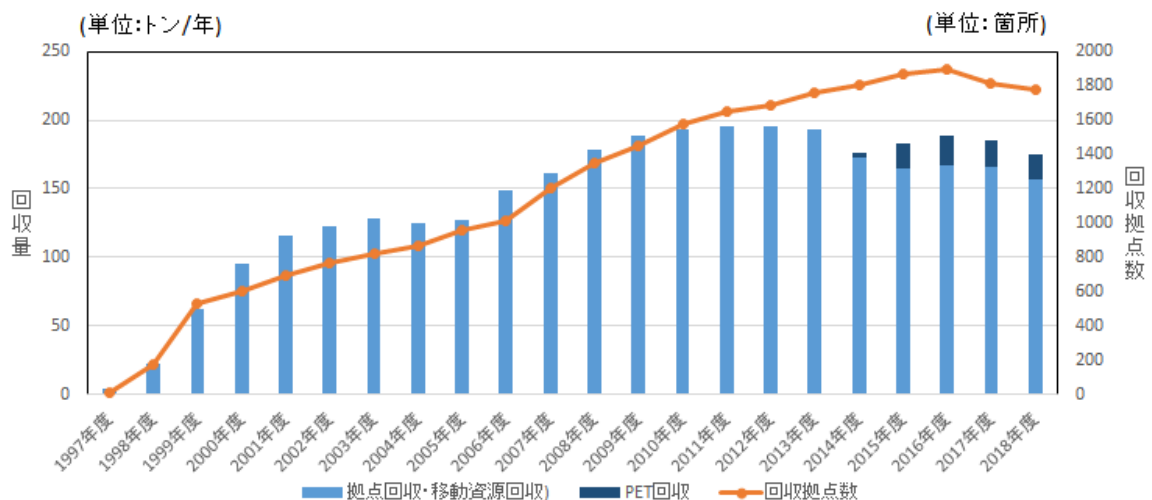


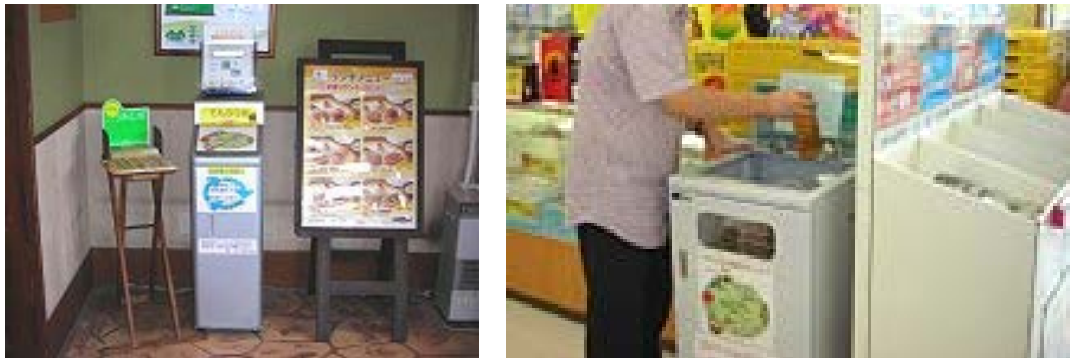
図 39 京都市における廃食用油の回収状況 (出典：京都市提供資料)

② 国内外での取組事例

国内外での取組事例を文献調査及び現地訪問ヒアリング等により調査し、とりまとめた。

i) 札幌市

札幌市では、市民・事業者・行政が一体となつてごみ減量活動を推進していく枠組みとして設立した「札幌スリムネット」の活動の中で、廃食用油の回収を行っており、回収方法に容器持ち帰り型[A方式]と容器回収型(廃食用油を500 mL ペットボトルに入れてそのまま回収ボックスで回収)[B方式]の2種類の回収方法を採用し、市民団体や事業者団体が参加しながら積極的な廃食用油の回収を実践している。



(容器持ち帰り型[A方式])

(容器回収型[B方式])

図 40 札幌市の廃食用油回収ボックス

出典：札幌市 HP (<https://www.city.sapporo.jp/seiso/gomi/bdf/index.html>)

廃食用油の回収は 2006 年度より開始し、回収拠点数は、近年は増加していないが、回収量は、近年においても増加傾向にある。賦存量に対する回収率は約 2 割程度と想定されている。

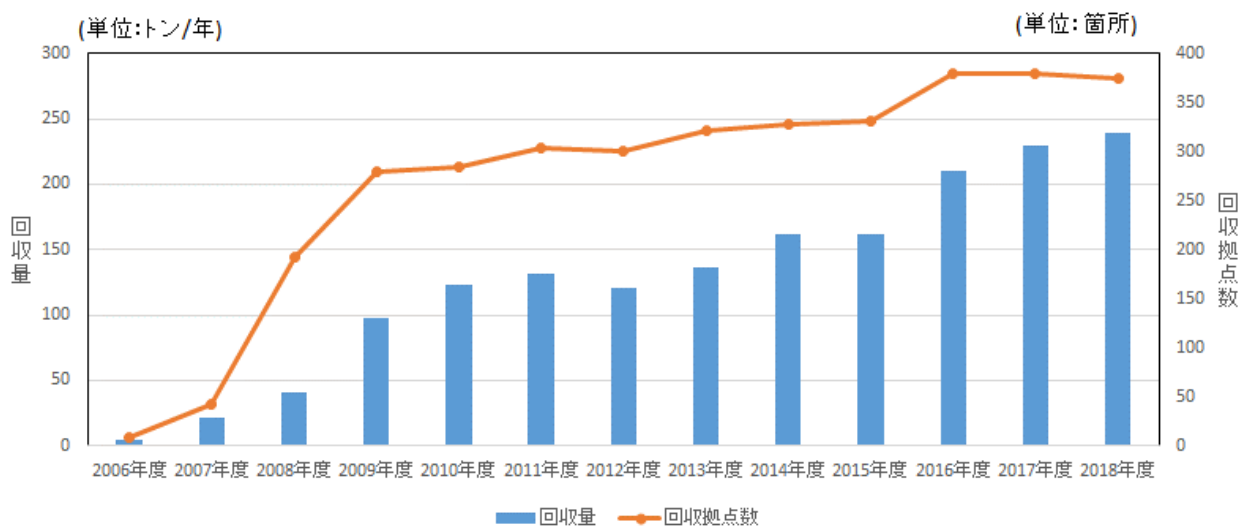


図 41 札幌市の廃食用油回収量及び拠点数

出典：札幌市 HP (<https://www.city.sapporo.jp/seiso/gomi/bdf/index.html#kaishuhouhou>)

ii) 岡山市

岡山市では、一般家庭の廃食用油は、資源ごみ収集の日にコンテナに廃食用油を 500 mL～2L の

ペットボトルに入れた状態でステーションに出してもらう。また、事業系については、有償で回収しており、岡山市に回収を依頼する事業者を、使用済てんぷら油リサイクル活動に積極的に取り組む事業者として、岡山市使用済てんぷら油リサイクル推進協力店に認定し、廃食用油の回収を進めている。

廃食用油の回収は2009年度から開始したが、2004年度にFS調査を実施し、具体的な回収方法の検討は2007年度から始め、次のような検討を行った上で、方式を決定している。

- 出す側の負担を軽減し、廃食用油を出す時に汚れないように配慮
- 婦人会からのヒアリング、アンケートなどによって市民の意向を確認
- ペットボトルを廃食用油の容器として使用する場合のLCAを行って影響を検討



図 42 岡山市の廃食用油回収方法

出典：岡山市訪問ヒアリング時の提供資料



図 43 廃食用油の回収コンテナ

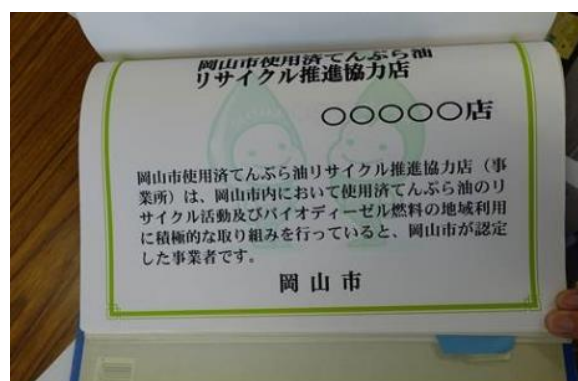


図 44 岡山市使用済てんぷら油リサイクル推進協力店認定証

出典：岡山市訪問ヒアリング時の提供資料

廃食用油の回収量は、2017年度は712トンで、うち、家庭からの回収量が130トン、事業所からの回収量が582トンとなっている。回収量の推移は家庭、事業所ともに2012年度からほぼ横ばいである。賦存量に対する回収率は約4割程度と想定している。

資源ごみ収集日に資源ごみと併せて出すため、排出時のマナー（廃食用油に不純物が混ざっていないなど）は良好である。

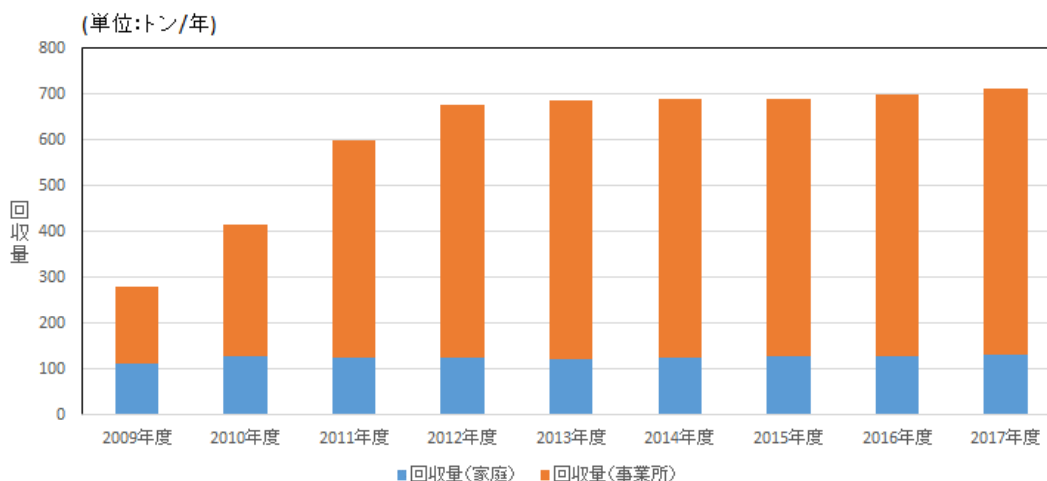


図 45 岡山市の廃食用油回収量（家庭及び事業所）

出典：岡山市訪問ヒアリング時の提供資料

回収した廃食用油は、バイオディーゼル岡山（株）が購入し、**B100⁶**の**BDF**（バイオディーゼル燃料）を製造・販売しており、岡山市で回収した量はほぼ同量を岡山市の保有する車両（収集車など）で利用している。また、民間のバス会社では、**B100**燃料を使用した路線バスが運行しており、市が広告料を支払う形で支援している。しかし、これらの車両は走行距離が100万キロを超え、耐用年数の限界がきているが、**B100**で使用できる車両の新たな更新は行わないこととしていることから、新しい需要先の確保が急務となっている。

新しい需要先のひとつとして、たけべ八幡温泉に9.9 kWの**B100**燃料を使用するコージェネレーション設備を実証導入しているが、今後の普及についての目処はたっていない。



（民間の路線バス）

（たけべ八幡温泉のコージェネレーション）

図 46 岡山市における **B100** の利用先

出典：岡山市訪問ヒアリング時の提供資料

iii) 佐賀市

佐賀市では、一般家庭の廃食用油は、拠点に設置した回収ボックスに、廃食用油を蓋付きの容器で出してもらおう。また、事業系については、依頼のあった事業者からの廃食用油は無料で回収を行っている。

⁶ **B100** は、**BDF**（バイオディーゼル燃料）を100%使用した燃料を指す。

廃食用油の回収ボックスは、消防との協議によって、金属製で着色、ロゴなどの指定を受けている。回収容器は、蓋付きのものであれば種類・大きさなど自由としているため、排出時の廃食用油の回収容器の形態は様々である。また、給食センターなどからの廃食用油は、ほとんどは、一斗缶での回収である。

回収された廃食用油には不純物が含まれていることも多く、処理前に一旦ろ過をしてドラム缶に移し替えている。

回収した廃食用油は、市が整備した廃食用油の処理施設で B100 の BDF を製造し、市の収集車などで利用してきたが、B100 で使用できる車両がなくなってきたこともあり、新たな処理方法として廃食用油から炭化水素系のバイオ軽油を製造する施設を 2020 年度より稼働させ、市の保有車両で使用する予定としている。

廃食用油の回収量は、2018 年度で家庭、事業所合わせて 122 トン（家庭は 1 割程度）であり、近年やや減量傾向にあるが、概ね横ばいとなっている。回収率は 2～3 割程度と想定している。



図 47 佐賀市の廃食用油回収ボックス

出典：佐賀市訪問ヒアリング時の提供資料



(家庭から回収された廃食用油)



(給食センターから回収された廃食用油)

図 48 回収された廃食用油

出典：佐賀市訪問ヒアリング時の提供資料

iv) 九州・山口油脂事業協同組合（北九州市）

九州・山口油脂事業協同組合は、1998 年、食用油脂の回収販路を広げることを目的として、食

用油脂収集業者（8社）によって設立され、2019年現在、組合員は沖縄県を含む九州地区全域を所在地とする14社に増え、組合員と排出事業者をつなぐ販路拡大のための営業と組合員が回収した食用油脂を工場で加工、販売する役目を担っている。

2002年には、北九州市エコタウンに移転し、北九州市から土地を貸与し、農水省と北九州市の補助金を受けて、年間処理能力8,000トン/年のエコタウン工場を整備し、飼料油脂、建築用油脂、バイオディーゼル燃料を製造・販売している。

北九州市では、環境局 環境未来都市推進部 環境産業推進課が窓口になって、北九州エコタウン事業の推進支援を行っている。

北九州市の家庭からの廃食用油の回収は、2008年にスーパー、市民センターなど、市内20カ所程度に、ペットボトルをそのまま回収する回収ボックス（50L）を設置したが、現在では、40カ所程度に増加している。それ以前は、廃食用油をペットボトルから移し替えるタイプの回収ボックスを使用し、バキューム車で各回収ボックスの廃食用油を回収していたが、市民より移し替える作業が面倒であるなどの意見が多くなったことから、ペットボトルでそのまま回収する今の回収方法に変更した。

回収方法の変更によって、それまでの家庭の回収量200～300L/月から6トン/月へと大幅に回収量が増加している。



(拠点設置用)

(コンビニ設置用)

図 49 北九州市の廃食用油回収ボックス

出典：九州・山口油脂事業協同組合訪問ヒアリング時の提供資料

回収ボックスに排出されるペットボトルには、廃食用油以外に回収不可としている灯油・ガソリンや飲料などが混入されることが多いが、工場での廃油移し替え時に、不適物は選別除去することができることが利点とされている。一方、移し替え作業が手作業となるため、移し替えに要する時間がかかり、そのため1日の回収量に制約を受けるという課題がある。



(廃食用油回収ボックスに排出された回収不適物)

図 50 回収したペットボトル（廃食用油）の移し替え装置

出典：九州・山口油脂事業協同組合訪問ヒアリング時の提供資料

v) 海外事例（インスブルック市）

インスブルック市では、民間事業者（ATM 社）が、廃食用油専用のコンテナを開発し、市民に無料で配布し、市内に設置した回収サイトで廃食用油を入れたコンテナと洗浄済みコンテナと交換する「ウーリィシステム」によって廃食用油の回収を進めている。

インスブルック市の新住民となる場合には、居住届を出す際に、市が廃食用油専用コンテナを渡すなど行政の枠組みの中で普及を進めている。

廃食用油専用コンテナは、容量が3Lで取り扱いやすく、衛生的な密閉容器で、マスコットキャラクターがプリントされるなど、子どもにも親しみやすいシステムとなっている。

回収拠点は、リサイクルごみの回収拠点以外に、市民が足を運びやすいガソリンスタンドやスーパーなどにも設置している。



図 51 廃食用油専用容器での回収風景

出典：車両適合性のある第二世代バイオディーゼル燃料活用に向けた技術開発実証研究成果報告書 平成 25 年 3 月 研究代表：公益財団法人京都高度技術研究所

(4) まとめと課題

1) アンケート調査

アンケート調査結果において、京都市のケースでは、てんぷら油の購入頻度は、3ヶ月以内に最低1回以上購入することが多く、未使用のまま廃棄するケースは約半数ほどあることが分かった。また、てんぷら油の廃棄時の量は241～500 mLが最も多く、500 mLの容器（ペットボトル）での排出または、回収拠点に持参するものが多い事が伺える。

廃食用油回収については、回収の実施を周知している割合は7割程度で、回収を実施しているかどうか知らない、または回収を実施していないと思っているものが約3割程度いることが分かった。一方、廃食用油の回収へは約6割以上が参加したことがあることが分かった。

このことから、京都市のケースでは、概ね7割程度は、排出方法までは知らなくても、回収の実施は知っており、回収への参加もしたことがあるということが伺える。

しかし、回収の実施や排出方法を知っており、回収にはいつも参加するという積極的な排出者は4割程度に減少しており、回収率の向上に向けた、回収の実施や排出方法の周知方法を工夫する余地が残されていると考えられる。

2) 国内外での取組事例

国内における、家庭からの廃食用油の回収方法には、大きくは次の3ケースまたはその併用方式が上げられる。

- (ア) 回収拠点に設置された廃食用油回収容器に、家庭から任意の容器で持参した廃食用油を移し替える方式
- (イ) 回収拠点に設置された廃食用油回収ボックスに、家庭からペットボトルなどの容器で持参し、それをそのまま排出し回収する方式
- (ウ) 資源ごみ等、定期ごみ収集を行うステーションに、家庭からペットボトルなどの容器で持参し、それをそのまま出す方式

廃食用油回収方法による特徴を文献調査、訪問ヒアリングの結果をもとに、次表に整理した。

表 23 家庭の廃食用油回収方法と特徴

廃食用油回収方法	特徴
(ア)家庭から任意の容器で持参した廃食用油を拠点で移し替える方式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 収集・処理を行う側からは、廃食用油の回収拠点をバキューム車などで巡回し、短時間で収集することができる。 ・ 排出者側からは、移し替える手間が面倒である。 ・ 持参した容器は、移し替えた後、再使用できるため、廃棄物になるサイクルを延ばすことができる。 ・ 回収拠点の管理方法にもよるが、自由排出としている拠点の場合、回収不可なものを排出者が出した場合、他の廃食用油と混合し、回収した廃食用油全体の質の低下が生じる可能性がある。
(イ)ペットボトルなどの容器を回収拠点に持参し、そのまま排出・回収する方式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 収集・処理を行う側からは、回収ボックスの容器を平ボディー車などに積み替える必要があり、回収時間、手間がかかる。 ・ 排出者側からは、そのまま排出できるので手間が軽減される。 ・ 排出されたボトルは、回収後、廃棄物となるため、廃棄物になるサイクルが短くなる。(特に、ペットボトルなど容器包装リサイクル法対象容器を排出指定容器とした場合には、容器包装リサイクル法のリサイクルルートにのらなくなる。) ・ 排出容器のサイズを指定しない場合には、回収ボックス内への収納スペースを有効に利用できない場合がある。 ・ 排出容器を蓋付きで自由とした場合に、ガラスびんでの排出や容易に開栓してしまうボトルで排出される場合があり、収集時の容器の割れ、漏れなどが生じる可能性がある。 ・ 回収拠点の管理方法にもよるが、自由排出としている拠点の場合、回収不可なものが出される可能性がある。 ・ 処理場でボトルから廃食用油を移し替える際に、不適物などを選別除外することができ、処理対象とする廃食用油の品質を一定に保つことが容易になる。
(ウ)定期ごみ収集を行うステーションにペットボトルなどの容器で持参し、そのまま出す方式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 収集・処理を行う側からは、定期ごみ収集時に併せて回収するため、既存の収集ルートを利用することが可能で、新たな回収ルート、スケジュールを組む必要がない。 ・ 排出者側からは、そのまま排出できるので手間が軽減される。 ・ 排出者は、定期収集時の排出となるため、収集日まで家庭で廃食用油を保管しておく必要がある。 ・ 排出容器を蓋付きで自由とした場合に、ガラスびんでの排出や容易に開栓してしまうボトルで排出される場合があり、収集時の容器の割れ、漏れなどが生じる可能性がある。 ・ ステーションへの定期排出であることから、排出時の管理がしやすく、回収不可なものが出される可能性は軽減される。 ・ 処理場でボトルから廃食用油を移し替える際に、不適物などを選別除外することができ、処理対象とする廃食用油の品質を一定に保つことが容易になる。

国内事例の調査より、ペットボトル等の容器で持参し、回収拠点またはステーションにそのまま排出する回収方法では、排出者の負担軽減により、廃食用油の回収量の増加につながるという傾向が見られた。一方、ペットボトルなどの容器包装リサイクル法対象容器をワンウェイで廃棄処分となることは資源循環の観点からは課題であると考えられる。海外事例においては、排出時の回収容器を専用品とし、繰り返し使用できるシステムを採用しており、廃食用油排出容器が廃棄物となるサイクルを延命する工夫が見られている。

回収された廃食用油は B100 としての使用用途が減少し、現在回収を行っている国内自治体においては、回収した廃食用油の需要先を模索している状況にあり、PHBH の原料としての利用は、新たな廃食用油の需要先として期待されていることが訪問ヒアリングより伺えた。

しかし、廃食用油の回収率は、今回調査した国内自治体においては、賦存量に対して 2 割程度（多いところで 4 割）であることから、さらなる回収率の向上に向けた合理的な回収システムを検討していく必要がある。さらに、地域住民が参画しやすく、取組が継続するような仕組みとなるような工夫が必要である。

以上のことから、次年度以降は、廃食用油による PHBH の培養検討の結果を受けながら、回収する廃食用油の種類拡大の可能性とそれに合わせて合理的で継続的な回収方法の検討を行う。

2.3 廃食用油以外の国内外の油脂源の調達可能性及び食料と競合しないジャトロファ等の油脂植物の国内外での栽培と特に国内での原料栽培の検討・実証

2.3.1 油脂製造時の副生成物

(1) 目的

PHA 系バイオプラスチック原料の多様化の観点から、廃食用油以外の国内外の油脂源として、油脂製造時の副生成物（ソーダ油滓等）について、その調達可能性に関する検討を行うことを目的とする。

(2) 方法

油脂製造業者へのヒアリングにより、油脂製造時の副生成物（ソーダ油滓等）についての排出実態（排出量、現状の処理方法等）や性状（炭素数分布、不飽和度、不純物等）を把握するとともに、PHBH 原料として利用するために必要な前処理に関する技術情報の収集、整理を行う。

また、ヒアリング先よりソーダ油滓等のサンプル提供を受け、PHBH 生産に使用することを想定して脂肪酸分離試験を行い、ソーダ油滓を脂肪酸に変換する条件の調査、生成脂肪酸の成分分析及び洗浄排水の有機・無機成分量の分析、ソーダ油滓からの脂肪酸変換についてのコスト試算を実施する。

(3) 結果

油脂製造時の副生成物について発生実態の調査を行った。その結果、ソーダ油滓という植物油の精製工程で油に浮遊する遊離脂肪酸を苛性ソーダで中和して除去したものが、PHBH 原料として利用できる可能性があることが分かった。ソーダ油滓は、一般には脂肪酸工業における原料などに利用されているが、きわめて価値が低く、低価格で引き渡されるか、産業廃棄物として処分される状況にある。また、ソーダ油滓は洗浄水を合わせ、硫酸分解を行うことで、粗脂肪酸であるダーク油に変換することが可能である。

続いて、ソーダ油滓の発生量の推計を行った。2017 年の年間植物油脂供給量は、なたね油が 108 万トン、大豆油が 48 万トンであり、合計 156 万トンである。精製ロスは約 2.5%²⁾であり、脱酸でのロスとして発生するソーダ油滓は年間 3.9 万トンと推計できる。

(4) まとめと課題

本年度、油脂製造時の副生成物であるソーダ油滓について排出実態の整理を行った。また、原料の入手先を A 社に特定し現在交渉中である。しかしながら、A 社における組織機能の大幅な改変があったことと、新型コロナウイルス流行に伴いヒアリング調査・サンプル授受を見送った。次年度、ソーダ油滓のサンプル提供を受け、脂肪酸分離試験を行うこととしている。

<参考文献>

- 1) 一般社団法人日本植物油協会ホームページ、<https://www.oil.or.jp/kiso/seisan/>
- 2) 小野哲夫、太田静行、「食用油脂製造技術」（株式会社ビジネスセンター社）

2.3.2 ジャトロファ等の油脂植物

(1) 目的

PHA 系バイオプラスチック原料の多様化の観点から、廃食用油以外の国内外の油脂源として、油脂作物であるジャトロファ等について、その調達可能性に関する検討を行うことを目的とする。具体的には、廃棄物焼却施設やバイオガス化施設からの排熱、排ガス中の CO₂、メタン発酵消化液等を活用した国内中山間地域における温室栽培システムの有効性を検証するとともに、全体経費の低コスト化の可能性を実証することを目指す。

令和元年度は、京都地域の温室にて温度及び CO₂ 濃度を管理したジャトロファ栽培システムを構築し、ジャトロファが生育し子実を形成することを実証する。加えて、沖縄等の国内温暖地域を念頭に置いたジャトロファ露地栽培の可能性の予備検討を行う。また、ジャトロファ以外の油脂作物として、米作の裏作としてのナタネの露地栽培にメタン発酵消化液を活用して効果的に育成する方法の検討を開始する。さらに、ジャトロファ等の育成を増進するため、メタン発酵消化液の乾燥固化・ペレット化による施肥利用等の活用についても検討を行う。

(2) 方法

1) ジャトロファ

廃棄物焼却施設やバイオガス化施設からの排熱、排ガス中の CO₂、メタン発酵消化液等を活用した国内中山間地における温室栽培システムを検証するために、京都大学構内の温室に、加温器、CO₂ 富加装置、センサーを導入するとともに、メタン発酵消化液を肥料として施用することで、目指す栽培システムを再現した実証用温室を構築した。

栽培に用いたジャトロファは、ジャトロファ栽培事業に取り組んでいる(株)レボインターナショナルが選抜した株を使用する予定である。同社は10年以上の栽培取組実績を有しており、ベトナムにおいては、開発した優良株を用いて高収率での油脂生産を達成している。その予備試験として本年度は観葉植物として市販されているナンヨウアブラギリ (*Jatropha cucus.L*) を用いて栽培試験を試みた。京都地域に構築した実証用温室にてジャトロファ栽培を開始し、最低温度が10度を下回らないように制御するとともに、メタン発酵消化液を肥料として施用を行った。

2) その他の油脂作物 (ナタネ)

ジャトロファ以外の油脂作物としてナタネを選定し、修学院離宮の稲作後の水田に作付けし、メタン発酵消化液を肥料として使用する栽培を開始した。

3) メタン発酵消化液の乾固・ペレット化

乳牛糞尿等を原料とするバイオガス化施設(以下、施設A)、及び家庭ごみを原料とするバイオガス化施設(以下、施設B)よりそれぞれメタン発酵消化液を入手し、乾燥・ペレット化を行うとともに予備的な成分調査を行った。

(3) 結果

1) ベトナムでのジャトロファ栽培

(株)レボインターナショナルは廃食用油の高品質燃料化に成功し、さらにパーム油やジャトロファ油の燃料化に実績を有している (<https://www.e-revo.jp/>)。近年ではベトナムに開設したジャトロファプランテーションで、優良ジャトロファ品種の選抜を進め、子実生産量が大きく乾燥に耐性の

あるレボ 1 株、レボ 2 株を選抜した。次図はベトナム国ニントゥアン省に一昨年度開設した新しいプランテーションの様子で、実生の育成（図 52-写真 1）、プランテーション全景（図 52-写真 2）、収穫直前の子実（図 52-写真 3）である。ここで選抜されたレボ 1、レボ 2 株の京都での栽培を目標に、準備を進めている。

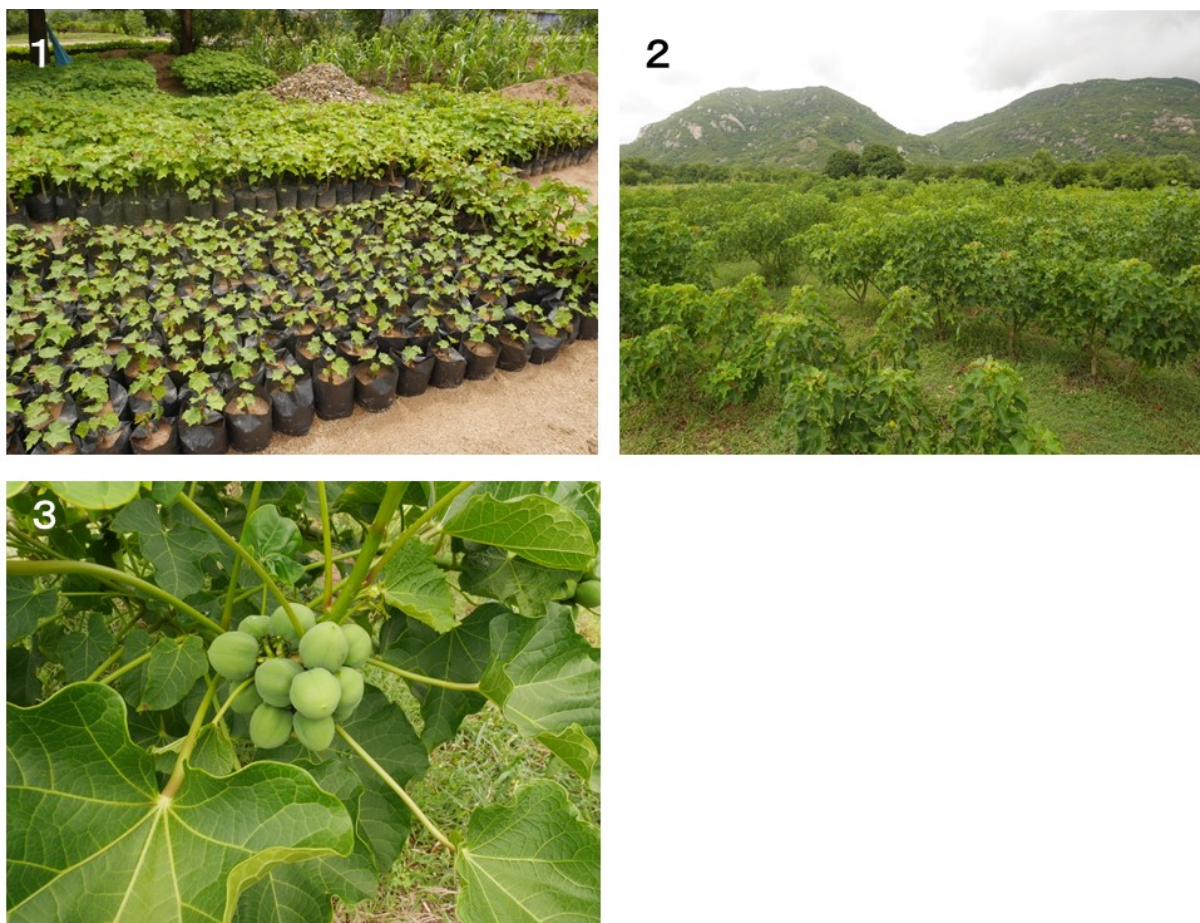


図 52 (株) レボインターナショナルのベトナムにおけるジャトロファのプランテーションの様子（出典：レボインターナショナル）

2) 京都でのナンヨウアブラギリ（ジャトロファ）栽培

国内中山間地において、廃棄物焼却施設やバイオガス化施設からの排熱、排ガス中の CO₂、メタン発酵消化液等を活用してジャトロファを栽培するシステムの検証を行うために、その環境を再現できる実証用温室の構築を行った。温室として、京都大学北部構内のビニールハウス温室（間口 5 m × 奥行 19 m × 高さ 4 m）を選定し、次表に示す機材類を設置することで、温度、CO₂ 濃度を制御でき、かつ肥料としてメタン発酵消化液を活用するシステムの構築を行った。

表 24 実証用温室に導入した機材

品目	製品（メーカー）
加温器	小型温風機 KA-325（ネポン株式会社）
CO ₂ 富加装置	光合成促進機 RA-43K（ダイニチ工業）
センサー類 （温度計、湿度計、CO ₂ 濃度計、 照度計、カメラ）	みどりボックス PRO（株式会社セラク）



図 53 廃棄物処理と組み合わせた栽培システムを再現して
本事業で構築した実証用温室

実証用温室にてナンヨウアブラギリ（ジャトロファ）栽培を行った。2019年7月、(株)マルシェ青空より購入した種子（図 54-写真 1）を量販店で市販されている「挿し木、芽出し用培土」に播種した（図 54-写真 2）。発芽率はロットによって異なるが 20%程度であった（図 54-写真 3）。その後、沖縄県での栽培事例の調査（後述）でジャトロファ種子の発芽能力は収穫後 1 年でほぼ失われることが報告されており、低い発芽率が説明できた。

発芽した実生は土壌を充填した大きなポット（菊鉢 10 号）に移植した。ジャトロファは耐乾性が強いとされているが、これは耐湿性が弱いことを示唆する。実際に、保水性の良い水田土壌に移植したところ根が全く伸長せず枯死した。このため育成培土として、水田土壌 1 部、日向土 1 部、剪定枝堆肥 1 部を混合して透水性を改善した培土を調製した。一方、貧栄養への耐性は強かったが、旺盛な生育には窒素肥料が必要であった。本試験ではコスト削減のため化学肥料の施肥を行わず、メタン発酵消化液を与えた。今回用いた施設 A から恵与されたメタン発酵消化液は、後述するように窒素 0.3%（うちアンモニア態窒素 0.2%）、リン酸 0.08%、カリウム 0.3%を含み（表 25）、複数回の施肥で順調に生育し開花結実した。

ナンヨウアブラギリ樹の生育速度は個体毎に異なった。2019年7月に発芽した個体 10 株のうちで最大の生育を示した個体では 2020年2月に樹高 60cm となったが（図 54-写真 4）、多くは 40cm 程度にとどまり、1 個体は枯死した。これらの個体は気温が低下しても黄化落葉せず、厳冬期も温室内で

緑葉を維持して 2020 年 2 月に花芽を形成するものも現れた (図 54-写真 5、6)。10 月 (図 55-写真 1)、12 月 (図 55-写真 2) に播種して得られた苗は温室にて生育中である。これらの観察は、ジャトロファの花芽形成が日長や気温によってのみ制御されるのではなく、個体の成長タイムプログラムにも依存することを示唆しており、ナンヨウアブラギリ個体の栄養状態を良好に保つことができれば、季節に関わらず一年間に複数回、開花結実させることができる可能性を示している。

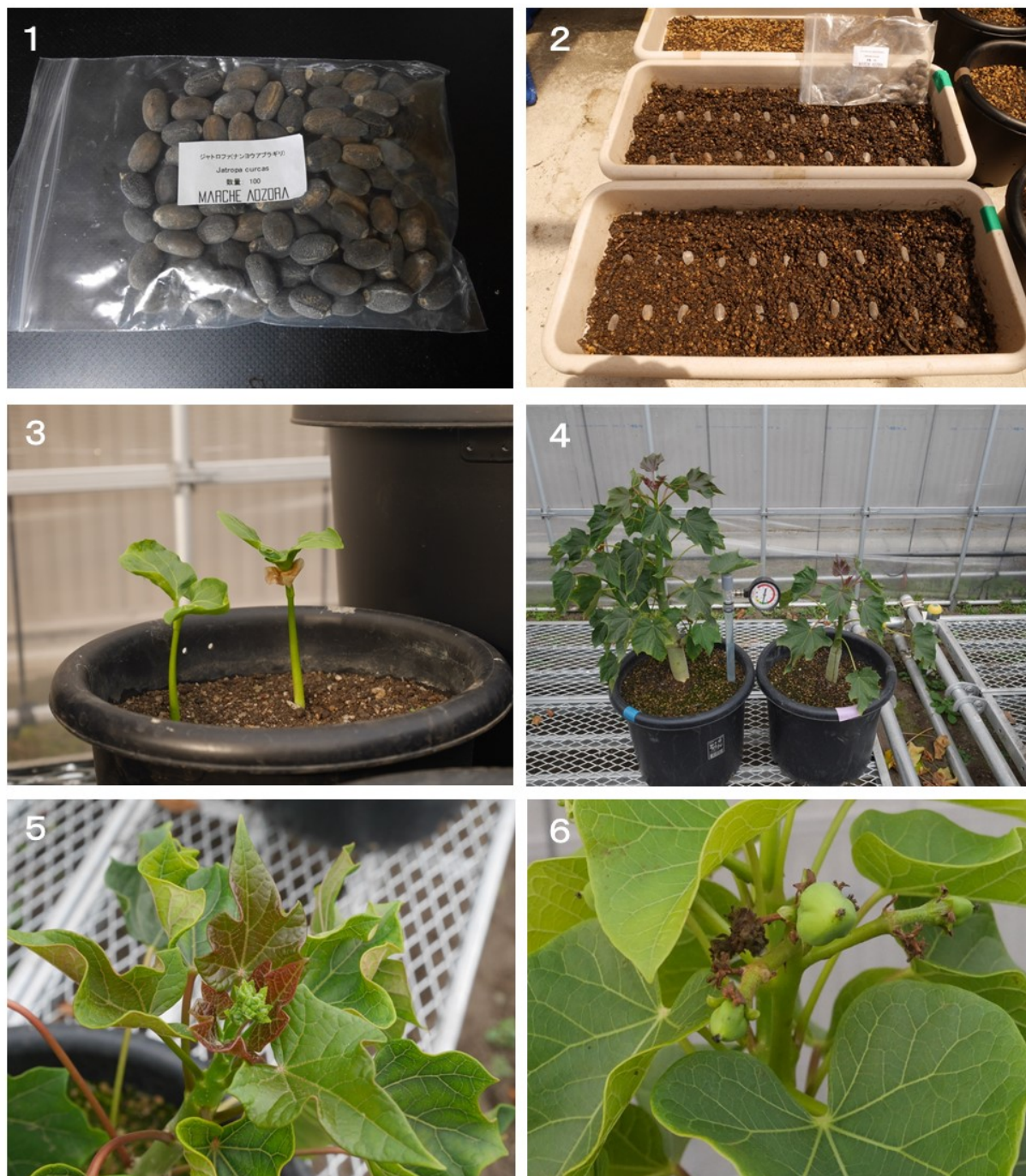


図 54 ジャトロファの生長過程

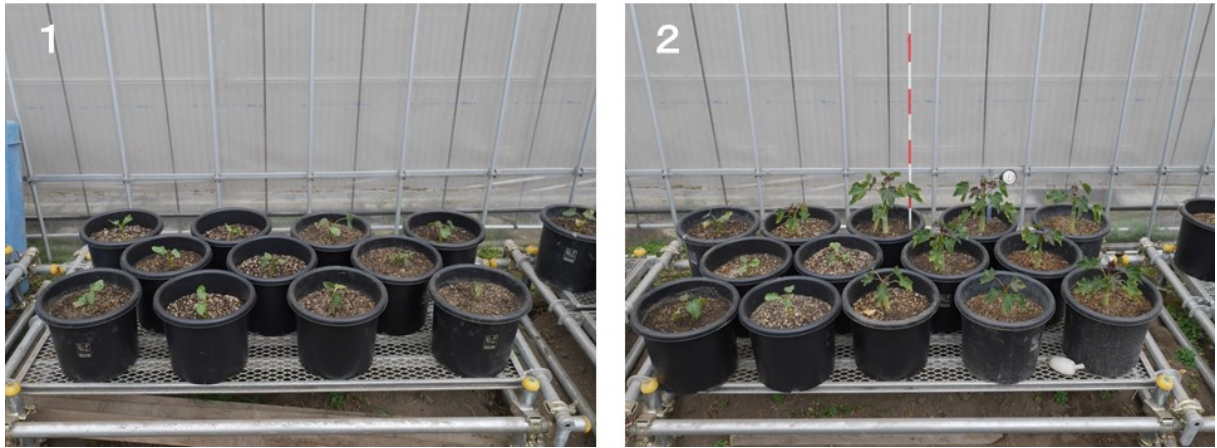


図 55 10月、12月に播種して得られた苗

これらの結果から、もし、冬の間育成したナンヨウアブラギリ実生苗を春に戸外（露地）に移植すれば、5月から10月までの温暖期に旺盛に生育して開花結実させられる可能性が示された。つまり、日本国内でも、ナンヨウアブラギリ栽培に温室やビニールハウスが必要ではないことを示している。そこで温室内で育成した実生を、植え溝を切ったウネの底に移植し（図 56-写真 1）、ウネ全体を両側を不織布（図 56-写真 2、奥のウネ）、またはミニトンネル（図 56-写真 2、手前のウネ）で覆って早春からの露地栽培を試みている。



図 56 ジャトロファの露地栽培の検討（2020年3月）

さらなる課題として、我が国でナンヨウアブラギリが栽培できるようになった場合、誰がどこで栽培するのも問題となる。休耕地の利用、苗種子の準備、生産者の確保など、現在の農業耕作システムの中に組み込むための方策についても検討を進めたい。さらに温室で栽培する場合にはコーヒー、パッションフルーツ、マンゴー、パパイヤなど付加価値の高い熱帯作物とともに栽培することで経済性の改善に努めたい。

また、国内の温暖な地域である沖縄地域等では冬季においても低温の問題がなく、ジャトロファの露地栽培が可能と考えられたが、専門家へのヒアリングの結果、沖縄地域では台風の被害を受けることで十分な収率でのジャトロファ栽培は困難であることが分かった。今後の試行の中で検討していきたい。

3) その他の油脂作物（ナタネ）

ジャトロファ以外の油脂作物として、メタン発酵消化液だけで栽培でき、コメの裏作として生産者が取り組みやすく、油脂と搾り粕（油粕）がどちらも換金でき、景観形成作物でもあるナタネを選定した。試験する項目として、①ナタネ栽培にメタン発酵消化液を用いることができるか、②京都での水稲後作としてナタネを栽培した場合、次年度の水稲作に影響しないか、の2点を確認するためである。消化液の肥効を検討する試験では品種ナナシキブ（中原採取場）を、水稲後作の試験ではナナシキブと農林20号（カネコ種苗）を用いた。いずれも暖地向きの中生品種で5月中には収穫できるとされている。栽培試験は修学院離宮内の水田で行なった。

メタン発酵消化液を用いる栽培試験では、対照区（無肥料区）、化学肥料区、消化液区として、対照区以外は2反復とした。各処理区は1プロット2×10mとして種子を条播した。化学肥料区、消化液区ともに窒素肥料を10a当たり5kgとなるように与えた。初期生育は消化液区が化学肥料区に優ったが、花茎の抽台が始まった2020年3月現在では生育に大きな違いは認められていない。今後、成長の様子を観察しつつ、種子収穫量を比較する予定である。



図 57 耕起（2 m 幅、上段左）とメタン発酵消化液の施肥（2019 年 10 月 29 日、上段右）と生育の様子（2019 年 12 月 12 日、下段）

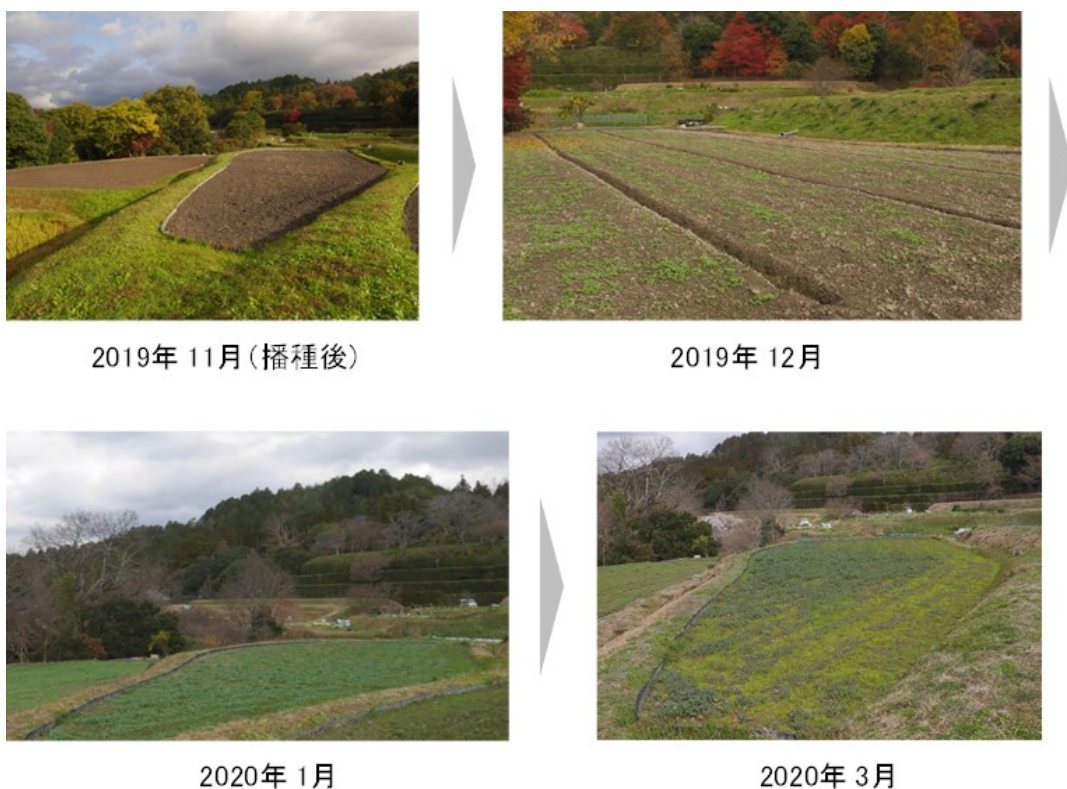


図 58 ナタネ栽培の経過

水稲後作での栽培では、キヌヒカリを栽培してきた水田4筆(2019年9月キヌヒカリ収穫、総面積800m²)に、2019年11月初旬、ナナシキブと農林20号種子を1.6L(10a当たり2L)散播した。施肥は化学肥料(14-14-14)を、窒素として5kg/10aとなるように与えた。2020年2月末に花茎の抽台が始まり開花が始まりそうである。今後、ナタネ種子の収穫時期を知り、種子収穫量を計測する。

4) メタン発酵消化液の乾固・ペレット化

有機性廃棄物の嫌気発酵処理と、それによって発生するメタンガスを用いるガスエンジン発電は、エネルギー回収の手段として注目されている。本事業においても生分解性プラスチックを活用する一つの局面として都市生ごみの分別回収—嫌気発酵によるエネルギー回収が挙げられている。メタンを回収した後に残る残渣を消化液と呼ぶ。有機物を構成する炭水化物、タンパク質、脂質が嫌氣的に分解されると、炭素は二酸化炭素、メタンに、窒素は主にアンモニアに代謝され、リンやカリウムなどはイオンとして、また分解しにくい有機物は有機質残渣として消化液に残る。次表に供試消化液の肥料成分組成を示した。嫌気発酵出発物質の発酵槽滞留時間は30~50日程度だが、この間、廃棄物の容積にほとんど変化がなく、受け入れた廃棄物とほぼ同量の消化液が排出される。嫌気発酵処理が盛んに行われている欧州や北海道では、肥料成分に富む消化液をそのまま肥料として牧草地に還元しているが、牧草地がない場合には消化液の処理にプラントそれぞれの工夫が凝らされている。施設Aでは、水田への直接施用を試み、毎年4月から6月にかけて消化液を水田に直接施用することが試みられてきた。しかし家畜糞尿や生ごみは毎日発生するため、消化液も毎日発生する。一方、作物への施肥の時期は春季と秋季に限られるため、日々発生するメタン発酵消化液を耕作に用いるためには貯留方法を検討する必要がある。施設Aでは消化液が水田に還元されない場合、消化

液に凝集剤を加えて固液分離し、固体成分は好氣的に発酵させて堆肥に、液体成分は水処理して排水している。この過程でリンは堆肥に移行するが、アンモニアは硝化脱窒されて窒素ガスとして揮散し、カリウムは排水に含まれ、農地には戻らない。そこで、本事業では、メタン発酵消化液を長期保存可能にするとともに散布のしやすさを向上することを目的に、施設 A より乳牛糞尿等由来のメタン発酵消化液を、施設 B より生ごみ由来のメタン発酵消化液を恵与いただき、それぞれのペレット化を行った。

表 25 消化液の組成

バイオガス化プラント	原料	SS ⁷ (%)	pH	窒素 (mg/kg)	(うちアンモニア態) (mg/kg)	リン酸 (mg/kg)	カリウム (mg/kg)
施設 A	乳牛糞尿等	3.0	8.8	3,220	(2,270)	780	3,800
施設 B	生ごみ	9.0	8.3	4,310	(1,500)	2,220	1,225

上表に示すように、消化液は窒素・リン酸・カリウムといった主要な肥料成分をバランスよく含む優れた液体肥料である。しかし、窒素含有率は 0.4%程度、即効性のアンモニア態窒素の含有率は 0.2%程度にすぎず、頻用される窒素肥料の窒素含有率（高度化成肥料では 10～14%程度、硫安 21%、尿素 46%）には及ばない。廃棄物処理という立場からは、この程度の窒素成分は硝化脱窒処理するのが現実的だが、窒素肥料が石油を原料として多量のエネルギーを使用して製造されることを考慮すると、消化液窒素で化学肥料窒素を代替するのが望ましい。一方で、液体である消化液の運搬・散布には、タンク車やインジェクター車が必要である。そこで消化液の肥料としての使用機会増加を念頭に消化液のペレット化を試行した。



上が乾燥中、下左が乾固物、下中が粉碎した乾固物、下右が成形されたペレット

図 59 メタン発酵消化液の乾固・ペレット化

⁷ Suspended Substance の略であり懸濁物質を指す。



図 60 成形されたペレット

本年度は、まず消化液の物性がペレット化に耐えるものかどうかを検討するために、消化液の天日乾燥を試みた。これは上述したジャトロファ栽培のためのビニールハウスが冬季でも加温され太陽光が差し込むため、この環境を利用しようとしたものである。図 59 に示したように 40 kg の消化液を 2 m² の平バットに展開して 20 日で乾固することができた。

天日乾燥した消化液固形物をミキサーで粉砕したのち、新興工機製（愛媛県松山市）S-5 型ペレタイザーを用いてペレット化を試行した。施設 A 消化液乾固物のペレットは、成形速度 50 kg / 時間、かさ密度 780 g/L、機械的耐久性 98.2%、施設 B 消化液乾固物のペレットは、成形速度 50 kg / 時間、かさ密度 699 g/L、機械的耐久性 96.4% であり、どちらも実用上問題のない原料と製品であった。これらのペレットの窒素、リン酸、カリウムの含有率は次表に示すとおりである。

表 26 メタン発酵消化液ペレットの成分分析結果

バイオガス化プラント	原料	含有率（ペレット化後）			
		水分	窒素	リン酸	カリウム
施設 A	乳牛糞尿等	20%	1.6%	0.8%	2.0%
施設 B	生ごみ	22%	2.4%	1.9%	1.3%

表 25 に示したように、消化液の pH はアルカリ性なので、消化液の天日乾燥を行うとアンモニア態窒素の揮散が予想される。実際に表 26 のペレット化試料の分析値をみるとカリウムに対して窒素含有率が低下しており、アンモニア態窒素は大気中に揮散していると考えられる。これは窒素成分の損失であるとともに大気汚染、環境富栄養化の原因にもなる。そこで乾固直前に原液体積の 1~5% 体積の濃硫酸を添加して消化液の pH を調整したのちに乾固し、乾固物のアンモニア態窒素濃度を測定した。

表 27 施設 B 消化液の硫酸による pH 調整と残存アンモニア態窒素含有率

	pH	アンモニア態窒素(ppm)	全窒素(%)*
無処理	7.8	75.6	3.1
硫酸添加量 0.01 vol	7.1	810	2.9
硫酸添加量 0.03 vol	7.0	1,880	3.0
硫酸添加量 0.05 vol	6.7	4,520	3.2

*乾固物重量に対する割合

前表に示したように、硫酸の添加量が増えると pH が低下し、乾固物に残るアンモニア態窒素も増加した。今後、乾固時の pH をどの程度に調整するのがよいのか検討を進める。

二つの消化液の肥料成分についての結果（表 25）に示したように、出発材料や発酵システムが異なると消化液の組成も異なる。これまでもメタン発酵消化液を施肥して作物を栽培することは広く試みられてきたが、消化液は pH が高く、地表に漫然と施用しただけでは、肥効の主体となるアンモニア態窒素は揮散するため、ともすれば消化液は肥効が低いと判断される場合もあった。また、乳牛糞尿等を原料とした消化液ではリン酸濃度が低いがカリウム濃度は高い。一方、生ごみ由来の消化液ではリン酸に対してカリウムが低い。それぞれのメタン発酵プラントに適した肥料としての利用法についてさらに検討を進めたい。さらに消化液の乾固方法についてもガスエンジンからの排熱や太陽熱エネルギーを利用する方法などの検討を進めたい。

（4）まとめと課題

1) ジャトロファ

本年度は、国内中山間地において、廃棄物焼却施設やバイオガス化施設からの排熱、排ガス中の CO₂、メタン発酵消化液等を活用して栽培するシステムの検証に向けて、その環境を再現できる実証用温室を構築した。構築した温室にて、適切な管理を行いながら栽培を行うことで、京都地域においてもナニョウアブラギリ（ジャトロファ）が枯死せず越冬し、子実を形成することが実証できた。

以上の結果を踏まえ、次年度は、ジャトロファレボ 1 株、レボ 2 株を導入してジャトロファ栽培実証を継続し、着果数の向上のために栽培方法の検討を行うこととする。さらに戸外露地での春から秋までの栽培と冬季の根域の保護（地表マルチやミニトンネル被覆による保温）を試みる。また、ジャトロファの温室栽培の低コスト化に向け、ジャトロファと一緒に栽培が可能な付加価値の高い新たな作物について検討を行う。（次年度は予備的調査を予定）

2) その他の油脂作物（ナタネ）

本年度は、京都地域にて稲作後の水田にてナタネを播種し、メタン発酵消化液を施用する露地栽培を開始した。

次年度も栽培を継続し、現在栽培しているものについては、2020 年 5 月頃に収穫する予定である。これにより、露地栽培におけるメタン発酵消化液の肥効について評価を行うこととする。

3) メタン発酵消化液の乾固・ペレット化

本年度は、乳牛糞尿等由来、及び生ごみ由来のメタン発酵消化液を入手し、それぞれ乾燥・固化、ペレット化を行った。この結果を踏まえ、次年度は、組成のバランスを考慮し、最適なメタン発酵消化液の液肥利用方法及びペレット化の方法を検討する。また、生ごみや家畜糞尿など各種廃棄物のメタン発酵消化液については、より広範に有効成分の実態把握とその消化液の保管・濃縮方法等について、予備的な調査と検討を行う。（次年度は予備的検討を行う予定）

2.4 原料の切り替えによる CO₂ 削減効果及びコスト変化に関する検討

2.4.1 CO₂ 削減効果に関する検討

(1) 目的

現在の商用生産 PHBH の原料であるパーム油だけでなく廃食用油やソーダ油滓等の廃棄油脂や油脂作物ジャトロファの国産原料の利用可能性を検討することで PHBH 利用製品の生産から使用、廃棄・リサイクルによる資源循環の形成が国内、地域スケールで期待される。したがって、原料の切り替えによる CO₂ 削減効果を明らかにすることを目的に、本年度は CO₂ 排出量への寄与が特に大きいと考えられる PHBH 収量について、原料の脂肪酸組成の違いに着目して整理を行った。

(2) 方法

本検討で対象とする PHBH については、Akiyama et al(2013)¹⁾の論文の大豆油からの PHBH 収量 0.8g-PHBH/g-oil を基に、以下の式からジャトロファ油、廃食用油、パーム油の PHBH 収量 [g-PHBH/g-oil] を算出した。脂肪酸に関する組成データはカネダ²⁾、明石 (2019)³⁾、及び本事業の検討会資料⁴⁾より得た。

PHBH 収量=0.8*原料油の脂肪酸における炭素比率/大豆油の脂肪酸における炭素比率*収率 Eq. 1

収率：ジャトロファ油、パーム油 | 100%、廃食用油(以下、WCO) | 80%(設定値)

(3) 結果

脂肪酸組成に基づく PHBH 収量推定結果は以下のとおりである。脂肪酸中の炭素含有率は原料間でほとんど違いが見られないことから、収率の違いによって収量変動し、ジャトロファ 0.797 g-PHBH/g-oil、廃食用油 0.640 g-PHBH/g-oil とそれぞれ推定された。

表 28 脂肪酸 C 含有比率[%]と PHBH 収量[g-PHBH/g-oil]

	大豆油	ジャトロファ油	廃食用油	パーム油
脂肪酸 C 含有比率[%]	76.78%	76.53%	76.73%	76.06%
PHBH 収量[g-PHBH/g-oil]	0.8	0.797	0.640	0.793

(4) まとめと課題

本年度は PHBH 収量の推定モデル案を作成した。他原料からの PHBH 収量については実証計画の中でも別途検討されており、本年度の結果を元に次年度改良を行う予定である。また、パーム油やジャトロファは原料栽培、搾油のプロセス、廃食用油は収集プロセスがそれぞれ必要となる。また、パーム油はさらに海外からの輸入プロセスも考慮する必要がある。本事業の実証データも加味して、原料栽培から PHBH 製造までの CO₂ 排出量の試算を今後行う。

<参考文献>

- 1) Minoru Akiyama, Takeharu Tsuge, Yoshiharu Doi, “Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation”(2003), Polymer Degradation and Stability, 80, 183-194
- 2) 株式会社 カネダ：食用植物油 大豆油、<https://www.kaneda.co.jp/jigyousyokubutsu-yushi.html>(2020/01/27 閲覧)

- 3) 明石欣也, “Seminar on Jatropha”(2019)
- 4) 京都高度技術研究所：PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業 第 1 回検討会及び意見交換会(2019)

2.4.2 コスト変化に関する検討

原料切り替えによるコスト評価にあたっては収集すべき対象データを次表のように整理した。

表 29 コスト評価の項目と必要な収集データ

分類	費目	収集データ	単位
PHBH 製 生ごみ袋 調達	PHBH 原料確保	廃食用油収集費用	円/L-廃食用油
		ジャトロファ油脂生産費用	円/kg-ジャトロファ油
	PHBH 製造	廃食用油精製費用	円/L-廃食用油
		PHBH 生産費用	円/kg-PHBH
		PHBH 生産収率	kg-PHBH/L-廃食用油
	生ごみ袋製造	コンパウンド原料調達費用	円/kg-生分解性樹脂
		コンパウンド製造費用	円/kg-PHBH コンパウンド
		生ごみ袋サイズ	L-生ごみ/枚
		生ごみ袋当たり PHBH コンパウンド 使用量	kg-PHBH コンパウンド/枚
	生ごみ袋成形加工費用	円/枚	
PE 製ごみ袋 調達	PE 製ごみ袋 購入	ごみ袋サイズ	kg-燃やすごみ/枚
		PE 製ごみ袋調達費用	円/枚

最終年度における詳細な解析に向けて、次年度は、文献値データ、本事業で得られるデータの収集・整理を進めていく。

2.5 まとめと課題

「実証事業1：廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造に関する実証事業」では、PHBH 原料として国内で調達可能な廃食用油やその他の再生可能資源を利用することを念頭に、生活系・事業系廃食用油を PHBH 原料に利用するための前処理技術に関する検討、PHBH 原料として利用することを念頭に置いた廃食用油の収集方法の検討、廃食用油以外の国内外の油脂源の調達可能性及び食料と競合しないジャトロファ等の油脂植物の国内外での栽培と特に国内での原料栽培の検討・実証、原料の切り替えによる CO₂ 削減効果及びコスト変化に関する検討を行った。本年度の主な検討成果と次年度の実施内容案は以下に示すとおり。

(1) 生活系・事業系廃食用油を PHBH 原料に利用するための前処理技術に関する検討

実際に回収した廃食用油を原料に PHBH を培養生産し、その生産性に関する検討を行った。その結果、廃食用油を原料とした PHBH の生産性はパーム油と比べて低下すること、また、その原因は添加剤の有無や油脂の劣化度ではなく、油脂原料の脂肪酸構成の違いが原因である可能性が高いことを明らかにした。具体的には、ミリスチン酸及びパルミチン酸含量の高い廃食用油は PHBH 生産性が高いことが示唆されている。

加えて、廃食用油の培養で得た PHBH の品質として加熱時着色 (YI) と熱安定性を指標に取り上げ、廃食用油の前処理技術の評価を行った。その結果、確実な前処理技術として蒸留精製技術をラボレベルで確立できた。また、濾過・脱水処理のみを行う簡易精製法でも、残留した色素成分が PHBH 生産菌によって資化されているとみられ、PHBH ポリマーの色調には大きな影響を与えないことが分かった。熱安定性については一部の廃食用油では課題が残っており、今後、原因の明確化と改善手法の開発が必要となる。

以上を踏まえ、次年度も引き続き廃食用油の入手と使用評価を進め、PHBH 生産性の向上とともに、ポリマーの品質管理基準を満たすための廃食用油前処理方法の開発を進める。また、廃食用油利用における、廃食用油前処理、培養 (工場実験)、ポリマー精製 (工場実験) の各工程のスケールアップを検討する。

(2) PHBH 原料として利用することを念頭に置いた廃食用油の収集方法の検討

家庭系及び事業系廃食用油を市中から広く収集し、その脂肪酸構成や性状の分布等の調査を行った。その結果、廃食用油はパーム油と比較して飽和脂肪酸比率が低く (パーム油 : 飽和脂肪酸 42%、廃食用油 : 飽和脂肪酸 12%)、特に C16 のパルミチン酸含量がパーム油と比較して低いことが分かった。

また、廃食用油排出実態についてアンケート調査を行うとともに、先進自治体における家庭系廃食用油の収集事例の整理とヒアリング調査を行った。先進事例からは、収集方式を 3 類型に整理することができた。ヒアリング調査からは、自治体で回収された廃食用油はバイオ燃料としての使用用途が減少し、現在、回収した廃食用油の需要先を模索している状況にあり、PHBH 原料としての利用は、新たな需要先として期待されることが伺えた。廃食用油の回収率は、調査対象とした自治体においては、賦存量に対して 2 割程度であり、さらなる回収率の向上に向けた合理的な回収システムを検討していく必要がある。

次年度以降は、廃食用油による PHBH の培養検討の結果を受けながら、回収する廃食用油の種類拡大の可能性とそれに合わせて合理的で継続的な回収方法の検討を行うこととしている。

(3) 廃食用油以外の国内外の油脂源の調達可能性及び食料と競合しないジャトロファ等の油脂植物の国内外での栽培と特に国内での原料栽培の検討・実証

本年度は、油脂製造時の副生成物としてソーダ油滓等の排出実態の調査を行い、利用可能性の検討を行った。

また、油脂作物であるジャトロファについて、国内中山間地における生ごみのバイオガス化施設等の廃棄物処理施設からの排熱及び排ガス中の CO₂ 及びメタン発酵消化液を活用した栽培システムを再現できる実験用温室を用いて、適切な管理による栽培を行うことで、京都地域においてもジャトロファが枯死せず越冬し、子実を形成することを実証した。更に、生ごみバイオガス化での消化液の液肥利用促進のためのペレット化や有効利用につながる各種検討にも取り組んでいる。

次年度も栽培実証を継続し、優良株の活用や、着果数の向上のに向けた栽培方法の検討を行うこととする。

(4) 原料の切り替えによる CO₂ 削減効果及びコスト変化に関する検討

本年度は、廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造について、その CO₂ 削減効果及びコスト変化を解析するために、システム境界の検討や基礎情報の収集を実施した。

最終年度での本格的な解析に向けて、次年度も引き続き検討及びデータ収集を継続することとする。

以上より、「実証事業 1：廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造に関する実証事業」については、予定した検討を概ね計画通りに進めることができたといえる。次年度は、当初計画に加え、本年度の検討により明らかになった課題も取り込み、更なる検討を進めていく予定である。

3. PHBHのごみ袋及びプラスチック代替製品への利用とバイオガス化に関する実証事業（実証事業2）

3.1 バイオガス化プラントでの利用に向けた PHBH 製生ごみ袋の製造に関する検討

3.1.1 目的

PHBHのみからなるフィルム及び PHBH と他の生分解性材料との配合物のバイオガス化挙動を把握する。得られた知見をもとに、バイオガス化可能な生ごみ袋の生産に必要な加工特性の把握及び得られたフィルムの機械特性を明確化し、実用特性のあるバイオガス化可能な生ごみ袋の開発を行うことを目的とした。

3.1.2 方法

(1) PHBH 及び PHBH と他の生分解性材料との配合物の機械特性評価とバイオガス化効率の把握のためのサンプル提供

PHBH⁸単独、市販の生分解性樹脂配合物（ホームコンポストタイプ）、及び PHBH とホームコンポスト性⁹がある市販生分解性樹脂配合物を二軸押出機にて熔融混合した配合物を用い、インフレーション成形にてフィルムサンプルを取得した。

得られたフィルムの機械強度を測定するとともに、フィルムのバイオガス化を日立造船（株）にて評価し、各種配合物のバイオガス化効率を明確化した（詳細は3.3に記載）。

(2) インフレーション成形によるフィルム生産技術の開発

現在生産している PHBH は、フィルム加工が可能であるが、得られたフィルムの引裂強度がごみ袋に使用する場合には十分ではない。このため、市販の柔軟な生分解性樹脂及び物性調整のための生分解性に優れた有機フィラーの添加を行うことで、引裂強度等の機械強度に優れ、ごみ袋の実用物性を発現可能なコンパウンド開発に取り組んだ。

さらに、実用的な機械強度を有する配合物を用いて、外部のインフレーション成型機を用い、社外にてレジ袋の量産化検討を実施した。手順は以下のとおり。

- 1) インフレーション成形工程 インフレーション成形機でのフィルム生産
- 2) 印刷工程 レジ袋生産で実際に使用されるインキを用い、グラビア印刷を実施
- 3) 製袋工程 2) で作成したフィルムを用い、レジ袋形状での制袋を実施

得られた袋の印刷特性の評価は、以下の手順にて塗膜密着性評価を実施した。

- 1) メンディングテープを強く圧着
- 2) 圧着の後、素早く引き離し、剥離した印刷の有無を確認することで評価

評価は以下の基準で実施した。

密着性良好：印刷部の剥離なし

密着性不良：印刷部の一部または全面の剥離あり

⁸ 本年度は、本項ではパーム油由来の PHBH を検討に用いた。

⁹ 28℃でのコンポスト化（堆肥化）が可能であり、一般家庭のコンポストで生分解が可能であることを示す。

3.1.3 結果

(1) PHBH 及び PHBH と他の生分解性材料との配合物の機械特性評価とバイオガス化効率の把握のためのサンプル提供

以下の組成物を二軸押出機によりペレット化した。

(評価サンプルの構成)

- PHBH : PHBH 単独
- C-1 : PHBH 及び市販生分解性樹脂配合物のコンパウンド (PHBH が主成分)
- C-2 : PHBH 及び市販生分解性樹脂配合物のコンパウンド (市販生分解性樹脂が主成分)
- C-3 : 市販生分解性樹脂配合物

得られたペレットを用い、生ごみ袋及びレジ袋の袋生産で実際に使用されているインフレーション成形により、フィルムサンプルを作成した。図 61 は (株) カネカ所有のインフレーション成形機を用いてフィルムを生産している工程を撮影した写真であり、図 62 は得られたフィルムをヒートシールによりごみ袋状に加工した写真である。



図 61 インフレーション成形工程



図 62 袋加工したサンプル

いずれの組成物もインフレーション成形可能であり、ごみ袋形状に加工可能であることを (株) カネカのラボ検討により確認した。

得られたフィルムサンプルの機械特性 (引張特性、引裂強度) を次表にまとめた。インフレーション成形では押出方向 (MD と略す) と押出方向に垂直方向 (TD と略す) では機械特性が異なるため、MD 及び TD 方向での測定を行っている。

PHBH 単独の引張弾性率、引張強度が最も高い結果であった。また、MD と TD の破断強度、破断伸びの比較から、インフレーション成形時の延伸効果による高強度化も認められた。PHBH 単独では引裂強度が市販生分解性樹脂配合物 (C-3) に対して弱く、ごみ袋での使用に際しては、強度向上が必要であることが確認された。

PHBH に軟質な素材である市販生分解性樹脂配合物を添加することで引裂強度改良が認められており、市販の軟質な生分解性樹脂等を配合することで、生分解性を確保しつつ、機械特性の改善も可能である目途を得た。

表 30 インフレーション成形フィルムの機械特性

	単位	方向	PHBH	C-1	C-2	C-3	試験方法	
厚み	μm	—	30	30	30	30	—	
引張弾性率	MPa	MD	1750	960	430	360	JIS K7127	
		TD	1625	770	320	270		
引張強度	MPa	MD	41	30	29	26		
		TD	27	24	26	24		
引張破断伸び	%	MD	141	260	260	350		
		TD	12	273	330	450		
引裂き強度	N	MD	0.16	0.33	3.2	3.3		JIS K7128-2
		TD	0.20	0.33	5.8	6.0		

作成したインフレーション成形フィルムのバイオガス化検討の結果、バイオガス化効率には以下の結果であった（詳細の評価条件及びバイオガス化効率に関するデータは 3.3.3 に記載する）。

- PHBH 単独フィルムはほぼ 100%のバイオガス化を確認した（PHBH）
- PHBH と市販生分解性樹脂配合物のブレンド品は、PHBH の含有量に応じて、バイオガス化が進行した（C-1、C-2）
- 今回使用した市販の生分解性樹脂配合物（ホームコンポストタイプ）のバイオガス化はほとんど進行しなかった（C-3）

以上の結果から、PHBH が主成分となる配合を設計することで、バイオガス化可能なフィルムが得られることを確認した。一方、PHBH 単独フィルムは、ごみ袋として用いるには機械強度の改良が必要であることが分かった。

（2）インフレーション成形によるフィルム生産技術の開発

レジ袋の試作にあたって、PHBH の種類（分子組成、分子量）の最適化、柔軟性を有する市販の生分解性樹脂及び有機フィラー（嫌気分解可能である素材）の配合比率、コンパウンド条件の最適化による分散性の確保により、インフレーション成形可能でフィルム機械強度にも優れる配合を設計した（次表）。次表に記載のとおり、柔軟な生分解性樹脂のみでは引裂強度の確保は困難であり、有機フィラーを配合することで、強度確保可能であることを確認した。

表 31 PHBH を含むごみ袋コンパウンド検討結果

水準	配合物			機械強度
	PHBH	市販生分解性樹脂	有機フィラー	
1	○	無添加	無添加	強度不足
2	○	○	無添加	強度不足
3	○	○	○	良好

水準 3 を用い、インフレーション成形加工メーカー実機で成形難易度の高いレジ袋での量産化試験を行った。レジ袋加工は、折り込み加工の発生、これに伴う袋上部及び下部の 4 枚重ね部分のヒートシール性などが必要となり難易度が高いものの、量産化可能であること、実用化可能な強度を発現することを確認した（次図）。印刷品質に関しても、外観上良好で印刷性（密着性）も問題ないことから、PHBH を含むレジ袋は生産可能であることを確認した。以上より、嫌気性条件での生分解性との両立が達成できれば、同様の素材を用いて PHBH 製の生ごみ袋が生産可能であることを見通せる。



図 63 PHBH を含む生分解性ポリマーからなるレジ袋（試作品）

3.1.4 まとめと課題

本年度は、PHBH 単独の場合バイオガス化可能であることを確認した。また、PHBH と市販生分解性樹脂配合物のコンパウンドを評価した結果、機械特性は PHBH 単独と比べて改善することが見いだされたが、そのバイオガス化率は PHBH の含有量に応じて増減することが分かった。（詳細は 3.3.3 にて記載）

一方、PHBH 単独では生ごみ袋として実用可能な機械特性を達成できないことが分かったため、今後改善が必要となる。次年度も引き続き、レジ袋と同様に下記の事項等について検討を進め、各要素技術による機械特性の改善効果とバイオガス化性能が両立する条件を見定め、生ごみ袋に用いるコンパウンドを開発していく。

- ①用いる PHBH の種類（分子組成、分子量）の最適化
- ②柔軟性を有する市販の生分解性樹脂及び有機フィラーの配合比率
- ③コンパウンド条件の最適化による分散性を確保すること

3.2 バイオガス化を見据えた PHBH のプラスチック代替製品への利用可能性の検討

3.2.1 目的

製品として使用後にバイオガス化プラントに投入することを見据え、使い捨て用途のプラスチック製品や現状では廃棄後のリサイクルが困難で焼却せざるを得ないプラスチック等、PHBH に置き換えることが社会的・環境的側面から望ましいプラスチックの用途について検討を行うことを目的とする（例：プラスチック製食品容器等）。

本年度は、我が国におけるプラスチックの樹脂別・用途別使用量等の基礎情報や、用途別の PHBH の使用可能性及び課題について整理を行う。加えて、PHA 系バイオプラスチックを含む生分解性バイオベースプラスチック素材に関する開発状況等の情報整理を行う。

3.2.2 方法

統計情報等をもとに、一般廃棄物・産業廃棄物のプラスチックの樹脂別・処理方法別処理量を整理し、PHBH による石油由来プラスチックの代替に関する検討に向けた基盤を整備した。動脈・静脈データをもとに、PHBH による石油由来プラスチック代替の考え方に基づき、PHBH による代替が有望視される用途を明らかにした。また、各種公表資料等を基に、バイオマス由来かつ生分解性を有するバイオプラスチック素材について、基礎的な情報整理を行った。

その上で、当該用途の製品を製造する業界団体及び主要メーカー等にヒアリングを行い、PHBH の当該用途での使用可能性及び使用にあたっての課題を整理した。なお、用途については、板紙を PHBH でラミネートした素材や、ごみ袋だけでなく検討時点において製品化された PHBH 成形品についても含めた。その際、PHBH はカーボンニュートラル性と生分解性という 2 つの優れた特性を有する一方、マテリアルリサイクルには不向きという側面がある点に留意した。

3.2.3 結果

(1) 我が国におけるプラスチックの樹脂別・用途別使用量

「容器包装廃棄物の使用・排出実態調査、環境省」等をもとに、一般廃棄物として排出される樹脂別・用途別プラスチック量を次表のとおり推計した。

表 32 一般廃棄物の樹脂別・用途別プラスチック量（静脈データ）（単位：万トン）

樹脂	包装・容器等／コンテナ類															
	ペットボトル		発泡スチロールトレイ		その他のプラスチック製容器包装									容器包装以外		
	飲料用ペットボトル	その他ペットボトル	白色トレイ	白色以外のトレイ	PET以外のプラスチックボトル	弁当容器	バック・カップ・複合アルミ箔	商品の袋・包装（アルミなし）	販売店の袋・包装	販売店のレジ袋	ラップ・ネット	緩衝材・詰め物	その他の容器包装・梱包材	ごみ収集袋指定収集袋	ごみ収集袋市販	クリーニングの袋
PE	0	0	0	0	21	2	5	19	9	18	1	0	2	12	6	0
PP	0	0	0	0	3	12	8	20	0	0	0	0	2	0	0	0
PET	56	0	0	0	5	16	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
PS	0	0	3	3	2	32	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ABS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	56	0	3	3	33	62	15	42	9	18	3	3	6	12	6	0
270																

出典：「容器包装廃棄物の使用・排出実態調査、環境省」を元に MURC 推計

(2) バイオプラスチック素材の情報収集結果

生分解性バイオベースプラスチックには、PHBH と同じ PHA 系のほか、これまで開発が進んでいる PLA 及びデンプン系がある。開発状況の概要を次表に示す。

表 33 生分解性バイオベースプラスチックの概要

種類	原料・製法	生分解性	特徴及び開発状況の概要	代表メーカー
ポリヒドロキシアルカン酸系 (PHA 系)	油脂を原料に発酵法で製造	◎一般的に生分解性に優れる(分解性は PHA の種類による)	<ul style="list-style-type: none"> 原料や製法により多様な PHA が存在。 現在、多くの企業により研究開発や実証プラント建設が進められている。 	<ul style="list-style-type: none"> カネカ (日本) Danimer Scientific (米国) Newlight Technologies (米国) Bio-on (イタリア) Tianan Biologic Material (中国) 等
ポリ乳酸 (PLA)	糖質を原料に発酵法で製造	△生分解性あり。ただし、海洋や嫌気条件での生分解性は低い。	<ul style="list-style-type: none"> 広く普及しているバイオプラスチック。大手2社(右記)による製造能力が特に大きい。 近年の技術開発により、これまで短所とされていた物性の改良が進んでいる。 	<ul style="list-style-type: none"> NatureWorks 社 (米国) Total Corbion PLA 社 (オランダ)
デンプン系 (Starch based)	デンプンを改質して製造	○生分解性あり。海洋や嫌気条件での生分解性は製品次第(分解性に優れるものもある)	<ul style="list-style-type: none"> 1種または複数のポリマーをブレンドすることで製造され、多くの企業で製造されている。 代表的な製品である Novamont 社のマタビーは嫌気条件でも生分解性を有する。 	<ul style="list-style-type: none"> Novamont 社 (イタリア) 製品名「マタビー (Mater-bi)」

PHA 系バイオプラスチックは生分解性の高さや完全バイオベースで製造できる点から注目されており、近年、各メーカーによる開発が進められているが、市場投入は(株)カネカの PHBH が一歩先行している。また、今後数年以内に他メーカーによる PHA の市場投入が予定されている。次表に、世界における PHA の開発状況を示す。

表 34 PHA 系バイオプラスチックの開発動向

開発企業名	種類	製造状況・計画
カネカ (日本)	中鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 千トンの市場開発用プラント (2012 年 10 月～) ・ 5 千トンに拡大 (2019 年 12 月) ・ 2025 年頃までに 20 千トンにする計画
Bio-ON (イタリア)	短鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 千トンの市場開発用プラント (2018 年 6 月～) ・ 協業する Russian TAIF が 10 千トンのプラントの建造を開始 (2021 年後期に開始予定) ・ 他にも製造に向けた複数の合意がなされているが、具体的な建設計画は不明確
Cheil Jedang (韓国)	短鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2016 年に Metabolix (PHA から撤退) が進めていた PHA の知財と製品を購入 ・ まもなく 0.1～1 千トンの製造能力とする計画
Danimer Scientific (米国)	中鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 数千トンの製造能力を有する ・ 8 千トンのプラントを開始中 ・ 2021 年までに 20 千トンまで拡大する計画
Nafigate (チェコ)	短鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 千トンのプラントを建造する計画 ・ その後、10 千トンに拡大する計画
Newlight Technologies (米国)	短鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 推定製造能力は 3 千トン (11 ラインが稼働中) ・ 22.5 千トンの新設備を計画中 (非公表)
RWDC Industries (シンガポール & 米国)	中鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 用途開発のために、小規模な生産を行っている ・ 短期間で規模拡大を計画中：今年に数千トン、2-3 年後にさらに大規模なプラント
Tianan Biologic Material (中国)	短鎖 PHA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 千トンのプラント (2010 年代初頭～) ・ 需要に応じて 10-20 千トンに拡大することを計画中

(3) 代替が有望視される用途の検討

(1) で示した我が国におけるプラスチックの樹脂別・用途別使用量を基に、PHBH による石油由来プラスチック代替の考え方を以下のように整理した。

表 35 PHBH による石油由来プラスチック代替の考え方

現状のプラスチック用途	PHBH による代替の考え方
プラスチック製食品容器等のマテリアルリサイクルが技術的・コスト的理由から困難で、かつ、バイオガス化・堆肥化に供しやすい用途	生分解性を活かした PHBH による代替
マテリアルリサイクルが技術的・コスト的理由から困難で、かつ、バイオガス化・堆肥化に不向きな用途 (複合素材等)	カーボンニュートラル性を活かした PHBH による代替
高炉還元剤利用・コークス炉化学原料利用・ガス化・油化等、現状でケミカルリサイクルされている用途	カーボンニュートラル性を活かした PHBH による代替
農業用マルチ、マイクロビーズ、人工芝、被覆肥料カプセル、合成繊維等、使用後に海洋プラスチック汚染源となり得る用途	(海洋) 生分解性を活かした PHBH による代替
飲料用ボトル等のマテリアルリサイクルシステムがある程度確立されている用途	PHBH には不向き

(4) (株) カネカにおける PHBH の用途開発状況

(株) カネカでは、マイクロプラスチック問題等の環境問題に解決策として、食品包装容器、ストロー、カトラリーなどの使い捨てプラスチックの PHBH による代替検討を、国内大手ブランドと共同で実施している。

(株) カネカは国内大手コンビニエンスストアと共同で、店内カフェ用で使用するストローを PHBH 製に置き換えることを実現した。本年度に開催された G20 においては軽井沢で開催された会合におけるネームホルダーでも採用されるなど、社会実装化を進めているところである。また現在、PHBH 製カトラリー、紙コップの耐水コート of PHBH 化、PHBH 製レジ袋等の製品化に向けた取組も進展している。

3.2.4 まとめと課題

本年度は、詳細な用途検討に向け、プラスチックの利用状況や、世界のバイオプラスチック製造・開発状況に関する基礎的な情報整理を行った。この結果、本事業で取り上げる PHBH は PHA 系バイオプラスチックの中で市場投入が最も進んでいることが分かった。既に (株) カネカの事業の中で用途開発も進められており、既に本年度、バイオガス化可能な PHBH のみからなるストロー製品の実績化を実現しており、また、カトラリー、容器、コート紙製品 (紙コップなど) 等の開発も進行中である。

一方、用途や素材にきめ細かく対応したバイオマスプラスチックの利用可能性を検討するには、プラスチックごみ中の素材構成やプラスチックの汚れ度合い等を把握する必要があるが、既存の調査事例では十分な情報が得られないことが分かった。

以上の結果を踏まえ、次年度は家庭系、事業系ごみなどを対象としてプラスチックごみの分別状況、汚れ具合、素材等の調査等を行うことで、現実のごみ中の排出実態に即して PHA 系バイオプラスチックの代替性を検討することとする。

3.3 PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化に関する検討

3.3.1 目的

3.1 で検討する PHBH 製生ごみ袋をバイオガスプラントに投入する際の前処理及び発酵条件等の探索、実機での運転に向けたバイオガス化性能に関する基礎実験やスケールアップに関する検討を実施することを目的とする。

本年度は、PHBH 製フィルムを用いたバイオガス化試験を行うための試験方法の検討を行う。

3.3.2 方法

生分解性プラスチックの生分解性試験に関する JIS 規格や既報バイオガス化試験を調査し、試験方法を決定した。PHBH 単独フィルムを用いた予備試験で、反応規模、試料形状、種汚泥を検討し、PHBH 製コンパウンドフィルムのバイオガス化試験方法を確立した。カネカより各種 PHBH 製コンパウンドフィルム¹⁰（詳細は 3.1 に記載）の提供を受け、ラボの恒温槽内に設置した密閉反応容器にて、PHBH 製コンパウンドフィルムのバイオガス化試験を行い、コンパウンド種類の違いによる生分解性の評価を行った。

3.3.3 結果

（1）生分解性試験方法の調査

<JIS 規格調査結果>

生分解性プラスチックの生分解性試験方法は ISO 規格を基にして JIS 規格が定められている。次表に規格の種類と概要を記す。いずれも回分方式による規格となっている。JIS 規格では試験条件として酸素の有無で好気条件と嫌気条件の大きく 2 つに分類される。好气的条件での生分解は生分解プラスチックが好気性微生物によって水と二酸化炭素に分解される。嫌气的条件での生分解では、生分解性プラスチックが嫌気性微生物によってメタンと二酸化炭素が混合したバイオガスに分解される。好気条件ではさらに水溶液中での条件（JIS K6950、JIS K6951）、コンポスト製造条件（JIS K6952、JIS K6953-1、JIS K6953-2、JIS K6954）、土壌中の反応条件（JIS K6955）の 3 種類に分けられた。生分解性の評価方法としては 3 種類に分けられ、分解する時の酸素消費量によるもの（JIS K6950、JIS K6955）、分解により発生するガス発生量（二酸化炭素、バイオガス）によるもの（JIS K6951、JIS K6953-1、JIS K6953-2、JIS K6955、JIS K6960、JIS K6961）生分解対象物の残存量によるもの（JIS K6952、JIS K6954）であった。

バイオガス化試験方法の検討を行うにあたっては、必然的に酸素のない嫌気条件におけるメタン発酵を選択する必要があるが、JIS K 6960 及び JIS K 6961 が該当する。JIS K6960 及び JIS K6961 をベースに予備試験方法を作成した。試験方法の概略を次図に示す。

¹⁰ 厳密には PHBH を含まないフィルム（C-3）も含まれるが、本項（3.3）では試験したサンプル一式を「PHBH 製コンパウンドフィルム」と称した。

表 36 プラスチック分解試験の規格とその概要

JIS 規格番号	ISO 規格番号	試験雰囲気	主な試験条件	評価方法
JIS K6950	ISO 14851	好気	水溶液	酸素消費量
JIS K6951	ISO 14852	好気	水溶液	二酸化炭素発生量
JIS K6952	ISO 16929	好気	コンポスト (パイロットスケール)	残存重量
JIS K6953-1	ISO 14855-1	好気	コンポスト (一般的)	二酸化炭素発生量
JIS K6953-2	ISO 14855-2	好気	コンポスト (実験室規模)	二酸化炭素発生量
JIS K6954	ISO 20200	好気	コンポスト (実験室規模)	残存重量
JIS K6955	ISO 17556	好気	土壌	酸素消費量または 二酸化炭素発生量
JIS K6960	ISO 15985	嫌気	スラリー (固形分 20%以上)	バイオガス発生量
JIS K6961	ISO 13975	嫌気	スラリー (固形分 15%以下)	バイオガス発生量

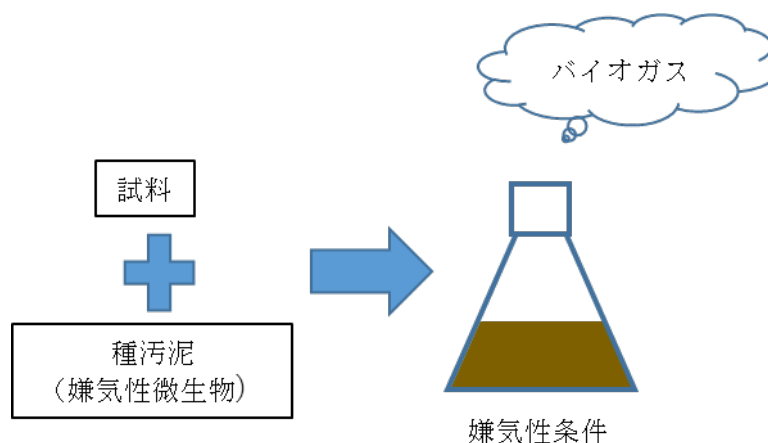


図 64 バイオガス化試験の概略

(2) 予備試験結果

PHBH 単独フィルムを用いた予備試験で、反応規模、試料形状、種汚泥を検討し PHBH 製コンパウンドフィルムのバイオガス化試験方法を確立した。

1) 予備試験方法概要

密閉できる反応容器（図 65 に示すようなセパラブルフラスコ、三角フラスコ、バイアル瓶）に、種汚泥、試料（PHBH 単独フィルム、図 66）を混合し、反応容器内部を窒素ガスで置換後、ガスバッグを取り付け、恒温槽内に静置した。発生したバイオガスはガスバッグに捕集し、バイオガス発生量を測定した。試験は n 数 2～3 で実施し、測定結果は平均値で示した。

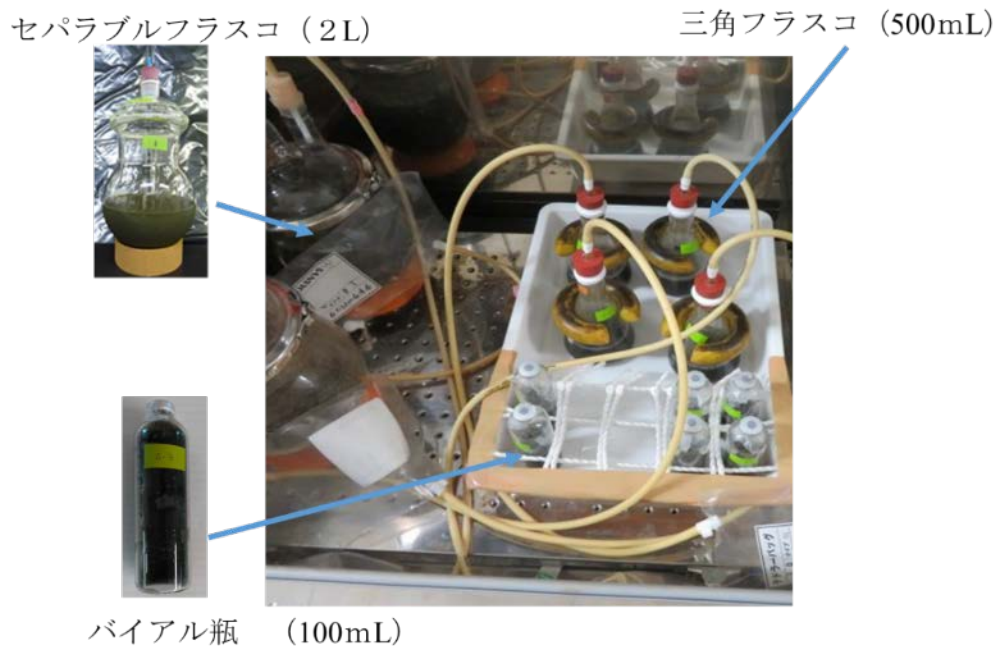


図 65 恒温槽内の様子



図 66 PHBH 単独フィルムサンプル写真

2) 評価方法

バイオガス化による生分解性を定量的に評価するため、次式に示す生分解率を定義した。

生分解率 (%) = 試料からのバイオガス発生量 / 試料の理論バイオガス発生量

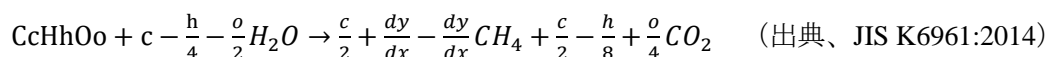
試料からのバイオガス発生量 = 試料投入した反応容器からバイオガス発生量

− ブランクの反応容器から発生したバイオガス発生量

試料の理論バイオガス発生量 = 試料炭素量(g) / 12(g/mol) × 22.4(L/mol)

ブランクは試料 (PHBH 製フィルム) を投入しない種汚泥だけのものとした。

メタン発酵における二酸化炭素 (CO₂) 及びメタン (CH₄) の理論バイオガス量は、下式で求められる



メタン及び二酸化炭素の係数の和は分子式の炭素数 c と等しくなる。したがって、メタンガス及び二酸化炭素ガスの総和のモル数は、分子式の炭素のモル数と一致する。

3) 反応規模

JIS 規格では発酵液 1.5 L 規模での試験となっており、試験環境や試験検体数などの関係から可能であればスケールダウンすることが望ましく、0.1 L、0.5 L、2 L 規模の予備試験を実施した。0.5 L 規模は 2 L 規模と比べて生分解率の差がなく、0.5 L 規模にスケールダウンできることを確認した。0.1 L 規模は 2 L 規模と比べて生分解率の差が大きく、正確なバイオガス発生量の把握が難しかった。この結果から、次図に示す密閉反応容器を用い 0.5 L 規模で試験することを決定した。



図 67 密閉反応容器

4) 試料

次表に投入する試料を示す。ブランクは種汚泥だけのものとした。ドッグフード（次図）は生ごみを模擬した試料として投入した。試料形状は PHBH 単独サンプルを用いて粉状と 2 cm 角にしたフィルム状のもので予備試験した結果、生分解率に大きな差がなかった。この結果から試料である PHBH 単独フィルムと PHBH コンパウンドフィルムは 2 cm 角に切断したものを使用することを決定した。なお、厚さは約 40 μm のものを使用した。

表 37 投入する試料

試験区	種汚泥	ドッグフード	PHBH 単独フィルム、 PHBH コンパウンド フィルム
ブランク	投入する	投入しない	投入する
ドッグフード	投入する	投入する	投入しない
評価サンプル	投入する	投入しない	投入する



図 68 ドッグフード写真

5) 種汚泥

3種類由来、運転条件の異なる種汚泥として、高温メタン発酵液2種類（以下、高温汚泥1、高温汚泥2とする）、中温メタン発酵液1種類（以下、中温汚泥とする）の予備試験を実施した。恒温槽内の温度（反応温度）は種汚泥由来の温度とし、高温汚泥1、2は55℃、中温汚泥は38℃とした。予備試験の結果、PHBH単独フィルムと生ごみを模擬したドッグフードを分解した中温汚泥を使用することを決定した。以下に種汚泥予備試験結果を示す。

図 69 に各汚泥における PHBH 単独フィルムの生分解率を示す。各汚泥の 20 日間での生分解率は高温汚泥 1 が 67%、高温汚泥 2 が 9%、中温汚泥が 99%となった。高温汚泥 1 及び中温汚泥は 5 日目に 1 mm メッシュでろ過した結果、投入した試料は肉眼で残存確認できなかった。PHBH 単独フィルムは種汚泥により生分解率が異なることが分かった。

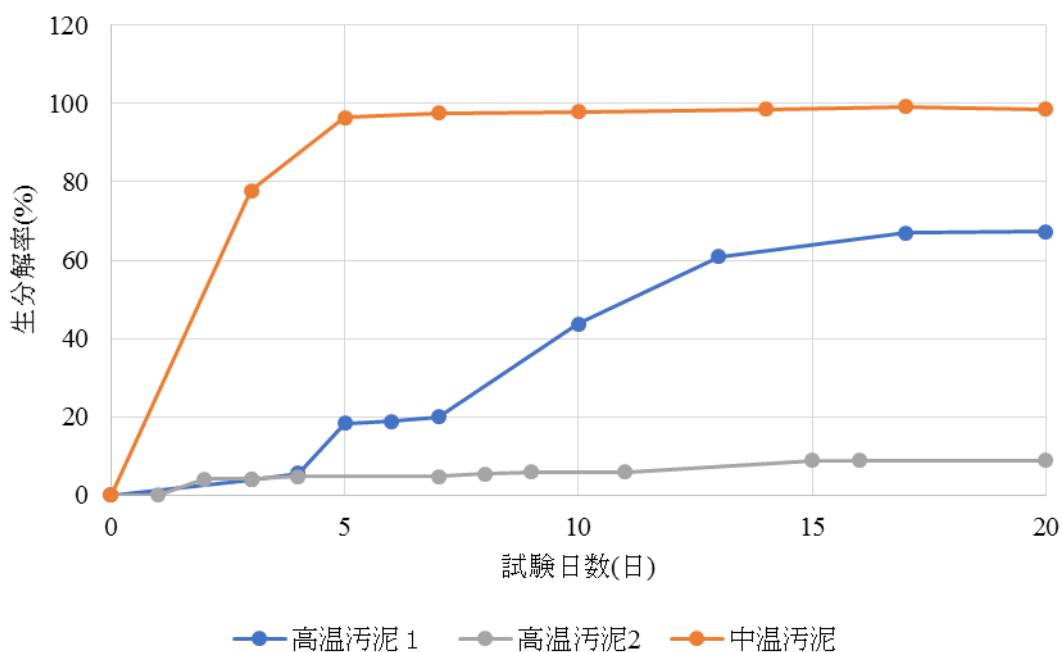


図 69 各汚泥における PHBH の生分解率

図 70 に高温汚泥 1 を用いた生分解率、図 71 に高温汚泥 1 を用いた PHBH 単独フィルムの分解の様子を示す。PHBH 単独フィルムの 20 日間での生分解率は 67%で、18 日以降はほとんど分解が進ま

なかった。ドッグフードの 20 日目での生分解率は 77% だった。PHBH 単独フィルムは 4 日目では図 71 に示すようにフィルムが分解しているのが肉眼で確認できたが、5 日目には 1 mm メッシュでろ過した結果、投入した試料は肉眼で残存確認できなかった。

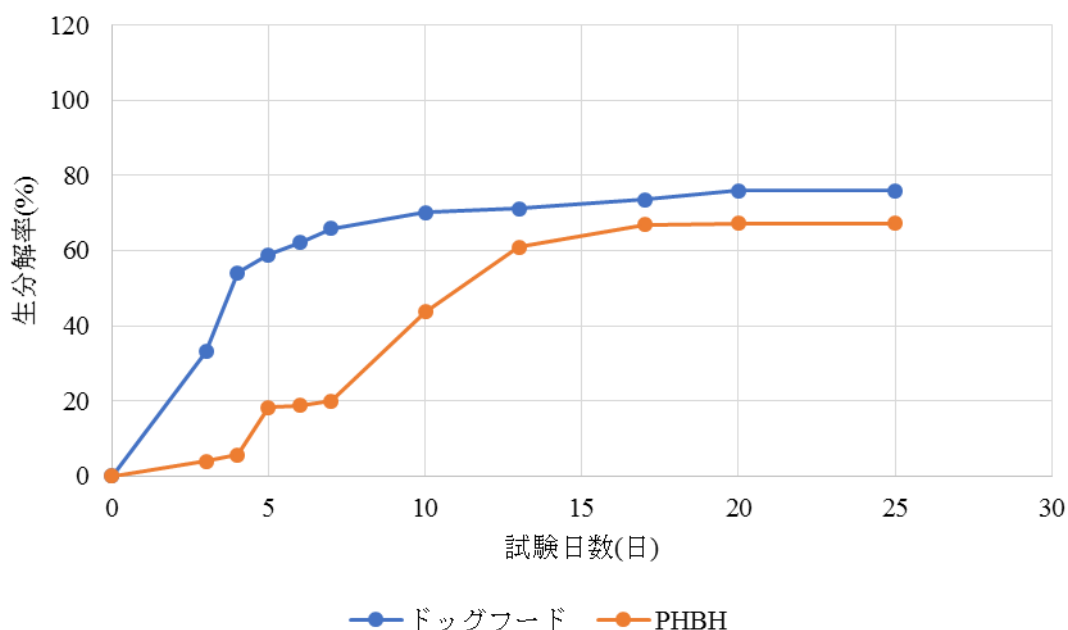


図 70 高温汚泥 1 を用いた PHBH 単独フィルムの生分解率

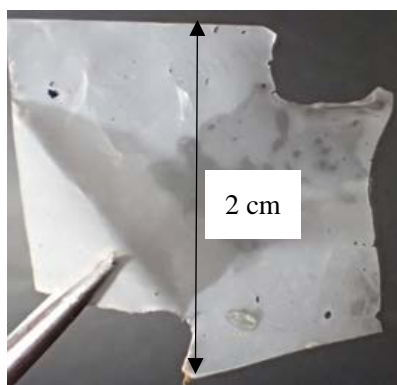


図 71 高温汚泥 1 を用いた PHBH 単独フィルム分解の様子 (4 日目)

図 72 に高温汚泥 2 を用いた生分解率、図 73 に高温汚泥 2 を用いた分解の様子を示す。PHBH 単独フィルムの 20 日目での生分解率は 9% で、20 日以降も試験を継続したが、わずかにしか分解が進まず、36 日目での生分解率は 12% だった。ドッグフードの 20 日目での生分解率は 80% だった。図 73 に示すように PHBH 単独フィルムの形状は投入時と比べて変化が見られなかった。

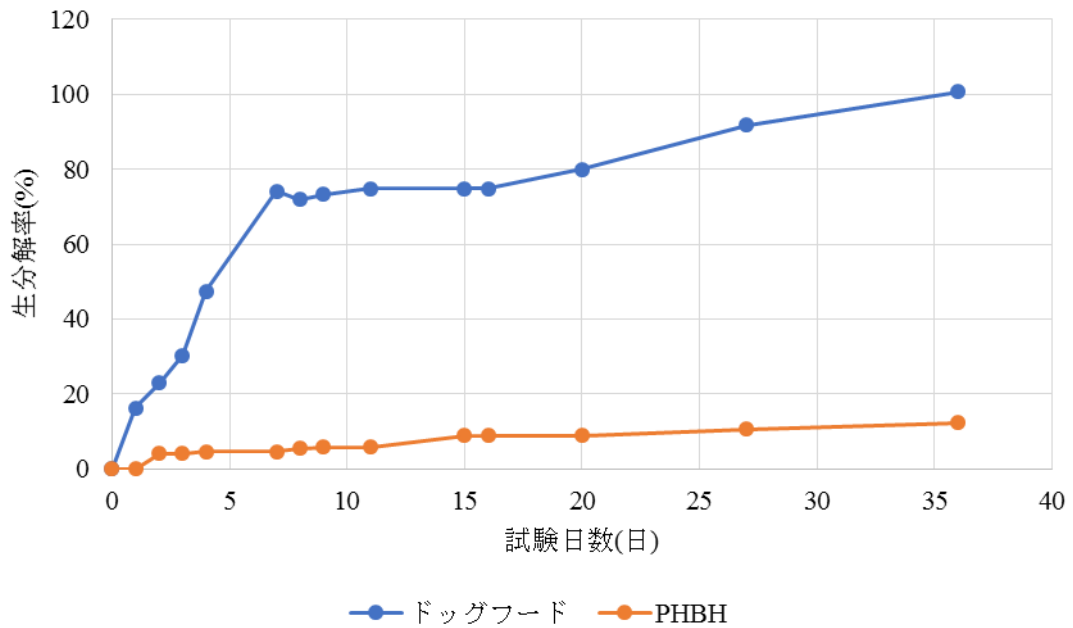


図 72 高温汚泥 2 を用いた PHBH 単独フィルムの生分解率



図 73 高温汚泥 2 を用いた PHBH 単独フィルム分解の様子 (左 8 日目、右 20 日目)

図 74 に中温汚泥を用いた生分解率、図 75 に中温汚泥を用いた PHBH 単独フィルム分解の様子を示す。PHBH 単独フィルムの 20 日目での生分解率は 99% で、5 日目で 96% の分解率を示し、10 日以降は変化していない。ドッグフードの 20 日目での生分解率は 86% だった。PHBH 単独フィルムは 3 日目で図 75 に示すようにフィルムが分解しているのが肉眼で確認できたが、5 日目には 1 mm メッシュでろ過した結果、投入した試料は肉眼で残存確認できなかった。

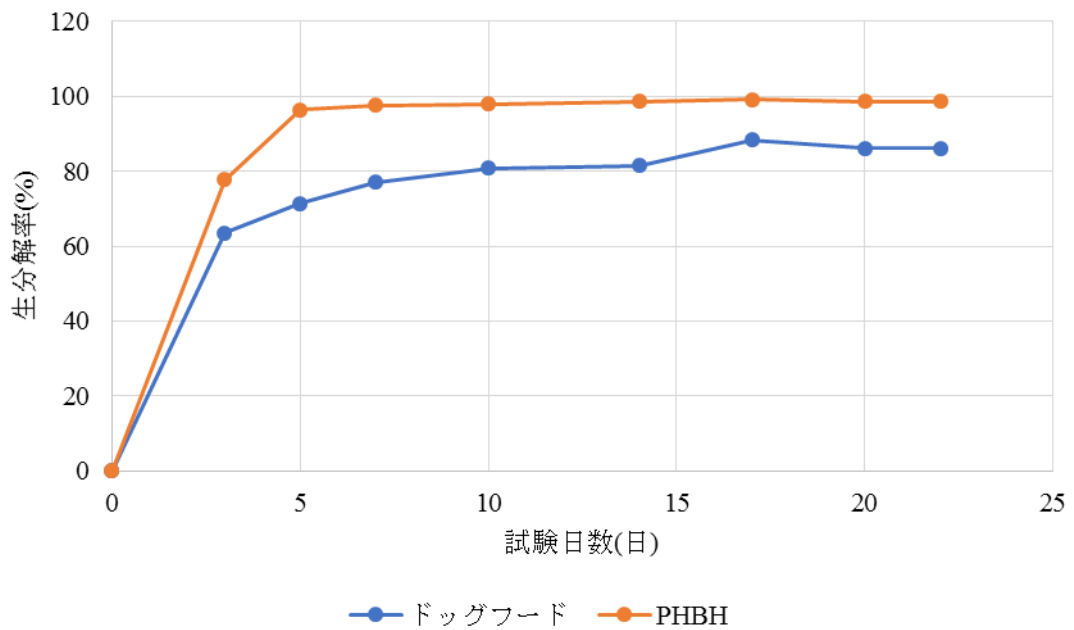


図 74 中温汚泥を用いた PHBH 単独フィルムの生分解率

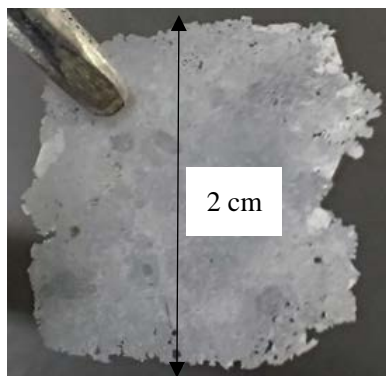


図 75 中温汚泥での PHBH 単独フィルム分解の様子 (3 日目)

6) 試験期間

原料や発酵条件により異なるが、一般的なバイオガスプラントの発酵時間は 15 から 25 日となっている。そこで試験期間は 15~25 日間とした。予備試験の結果、PHBH 単独フィルムの生分解率は 20 日以前に生分解率が最大になった。

(3) PHBH 製コンパウンドフィルムのバイオガス化試験結果

(株) カネカより PHBH 製コンパウンドフィルム (詳細は 3.1 に記載) の提供を受け、バイオガス化試験を行い、コンパウンド種類の違いによる分解性能の評価を行なった。

1) 試験条件

試料 : PHBH 単独フィルム
 PHBH 製コンパウンドフィルム 3 種 (以下 C-1、C-2、C-3 とする)
 図 76 参照

反応規模 : 400 g (図 67 の密閉容器を使用)
種汚泥 : 中温汚泥
反応温度 : 38℃
試験期間 : 21 日間

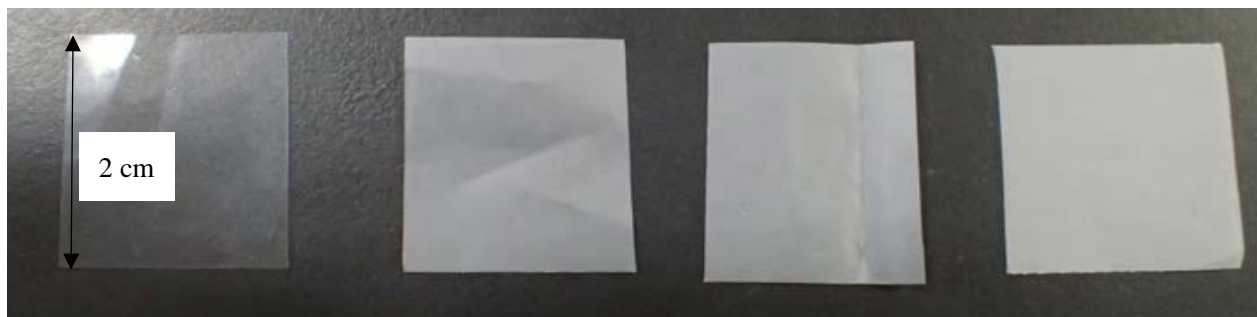


図 76 試料写真 (左から PHBH 単独フィルム、C-1、C-2、C-3)

2) 結果

図 77 に各サンプルの生分解率を示す。PHBH 製コンパウンドフィルムは種類に応じて、PHBH 単独フィルムと比べると生分解率が低下することが分かった。各サンプルの 21 日目の生分解率は PHBH 単独フィルムが 96%、C1 が 58%、C2 が 25%、C3 が 10% となった。ドッグフードの 21 日目の生分解率は 75% だった。

表 38～表 42 に発酵液の pH と有機酸の分析結果を示す。pH は 7.0～8.0 の範囲内で安定していた。メタン発酵の不具合を示す指標の一つである有機酸はすべてのサンプルで蓄積しておらず、すべてのサンプルで安定的にメタン発酵が進んでいた。一般的なメタン発酵における分解過程は、①固体等の有機物を低分子有機物に分解する、②低分子有機物から有機酸（プロピオン酸、酪酸等）を生成する、③有機酸から酢酸と水素を生成する、④水素と酢酸等からメタンと二酸化炭素を生成する、4 つの段階からなる。そのため中間生成物である有機酸を測定することでメタン発酵の不具合を確認することができる。

図 78～図 80 に PHBH 製コンパウンドフィルム (C-1、C-2、C-3) の分解の様子を示す。PHBH 単独フィルムは 4 日目には 1 mm メッシュでろ過した結果、投入した試料は肉眼で残存確認できなかった。PHBH 製コンパウンドフィルムは図 78～図 80 に示すように 21 日目でも形状に変化がなかった。

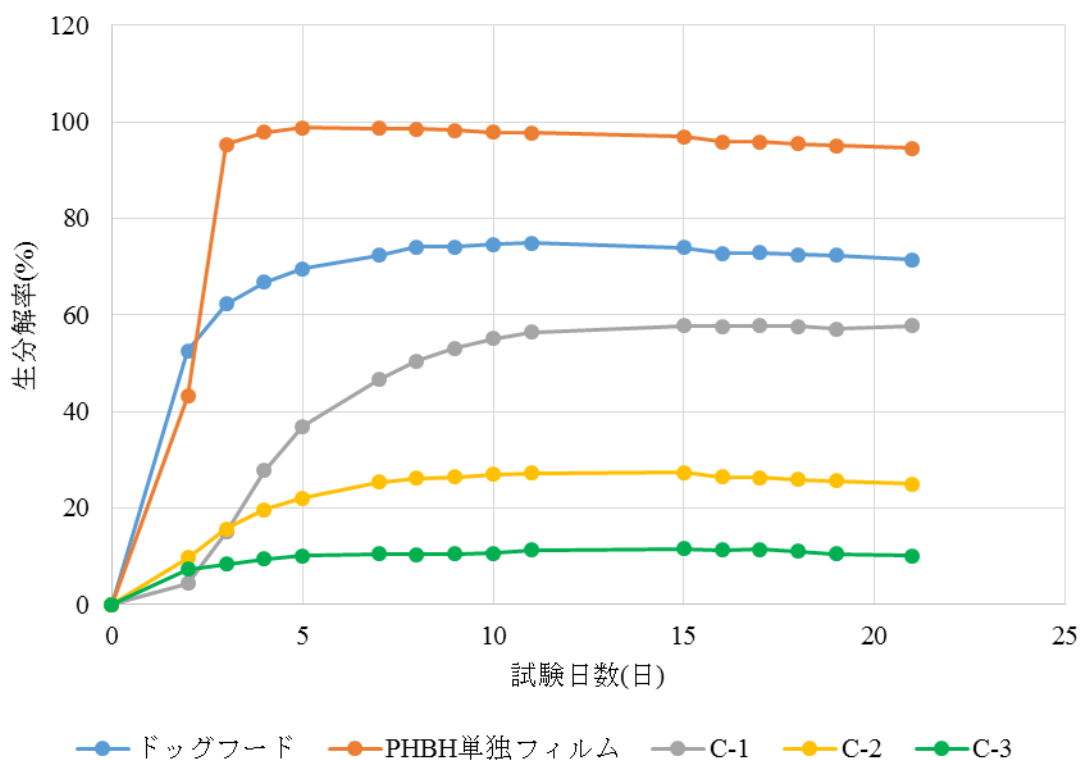


図 77 PHBH 製コンパウンドフィルムの生分解率

表 38 ドッグフードの発酵液分析結果

	3日目	5日目	10日目	15日目	21日目
pH	7.08	7.35	7.46	7.62	7.59
有機酸					
酢酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
プロピオン酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5

※<5 は検出限界未満

表 39 PHBH 単独フィルムの発酵液分析結果

	3日目	5日目	10日目	15日目	21日目
pH	7.06	7.30	7.43	7.53	7.53
有機酸					
酢酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
プロピオン酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5

※<5 は検出限界未満

表 40 C-1 の発酵液分析結果

	3 日目	5 日目	10 日目	15 日目	21 日目
pH	7.08	7.17	7.29	7.48	7.54
有機酸					
酢酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
プロピオン酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5

※<5 は検出限界未満

表 41 C-2 の発酵液分析結果

	3 日目	5 日目	10 日目	15 日目	21 日目
pH	7.08	7.25	7.38	7.56	7.54
有機酸					
酢酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
プロピオン酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5

※<5 は検出限界未満

表 42 C-3 の発酵液分析結果

	3 日目	5 日目	10 日目	15 日目	21 日目
pH	7.09	7.35	7.46	7.50	7.50
有機酸					
酢酸 (mg/L)	5.37	<5	<5	<5	<5
プロピオン酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-酪酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
n-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
iso-吉草酸 (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5

※<5 は検出限界未満

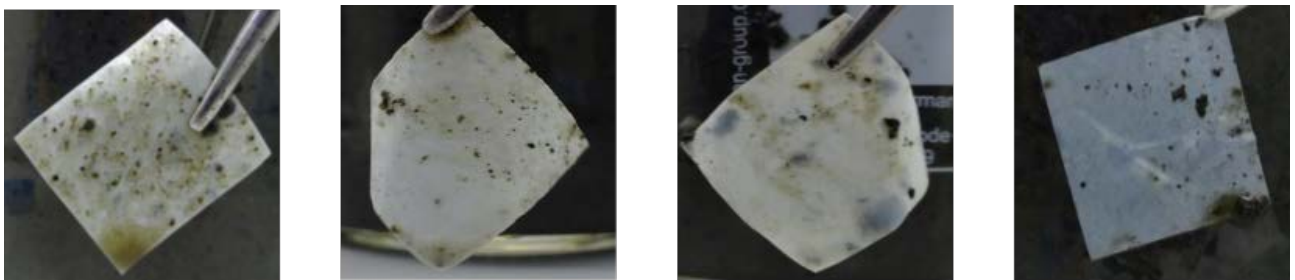


図 78 C-1 の分解の様子 (左から 5 日目、10 日目、15 日目、21 日目)

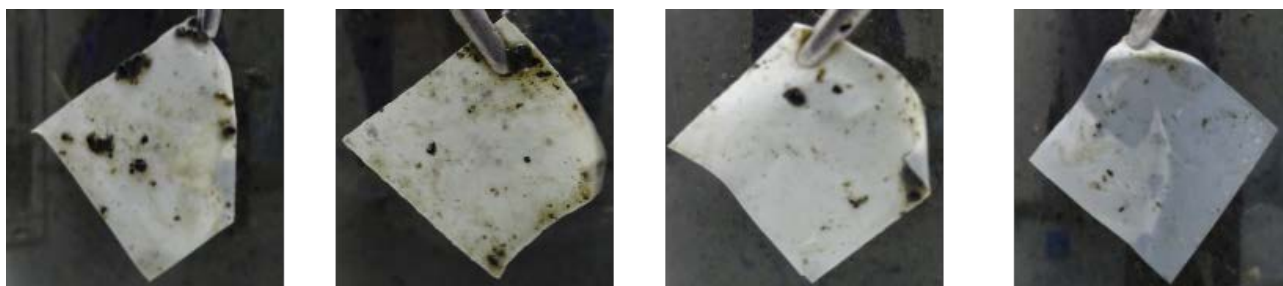


図 79 C-2 の分解の様子（左から 5 日目、10 日目、15 日目、21 日目）

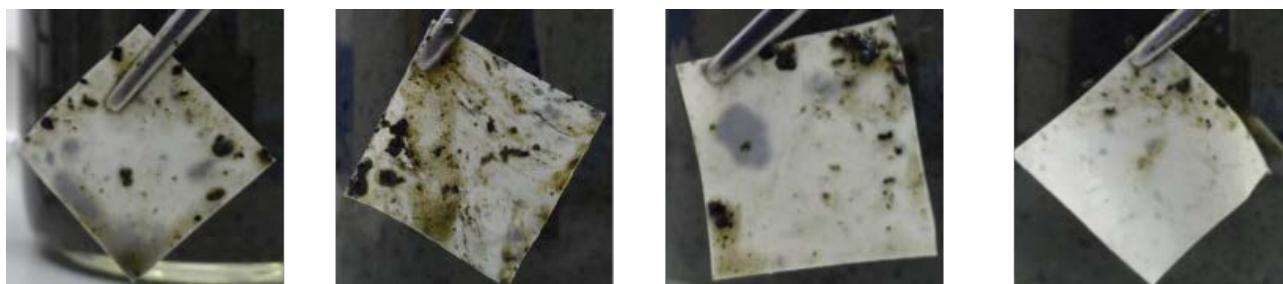


図 80 C-3 の分解の様子（左から 5 日目、10 日目、15 日目、21 日目）

3.3.4 まとめと課題

本年度の目標であった、PHBH 製コンパウンドフィルムを用いたバイオガス化試験を行うための試験方法を確立した。

本年度の検討結果、PHBH 単独フィルムはほぼ 100%の生分解率を示したが PHBH 製コンパウンドフィルムは PHBH 単独フィルムと比べる生分解率が低下し、コンパウンドの種類によって生分解率が異なることが分かった。

次年度は本年度に引き続き PHBH 製コンパウンドフィルムの生分解率を評価し、PHBH 製生ごみ袋に求められるコンパウンドフィルムの開発にフィードバックする。

PHBH 製ごみ袋をバイオガスプラントに投入する際の発酵条件等の探索、実機での運転に向けたバイオガス化性能に関する基礎実験やスケールアップに関する検討を進める。

<参考文献>

- JIS K16950:2002, JIS K6951:2000, JIS K6952:2008, JIS K6953-1:2011, JIS K6953-2:2010, JIS K6954:2008, JIS K6955:2017, JIS K6960:2008, JIS K6961:2014、日本規格協会発行
- メタン発酵、技報堂出版、2009、野池達也 編著

3.4 PHBH 製生ごみ袋の実用性試験及び生ごみの収集方法等に関する検討

3.4.1 目的

PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみバイオマス化モデルを確立するために、PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみの分別回収と生ごみ袋の実用性の検証及び改良に向けたフィードバックを得るため、PHBH 製生ごみ袋の実用性試験及び生ごみの収集システムに関する検討を行うことを目的とする。

本年度は、PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみの収集システムを検討するため、生ごみの分別回収事例を調査する。

3.4.2 方法

国内の文献及び自治体のホームページ等により、生ごみの分別収集事例を調査するとともに、調査した回収事例の中で特徴的な国内事例については、現地を訪問し、ヒアリングを行った。

3.4.3 結果

(1) 調査概要

国内で生ごみの分別収集方法を次のように分類し、その事例をとりまとめた。また、事業系の生ごみ分別回収事例及び生ごみ分別回収実証を行った事例についても調査した。

表 43 国内の生ごみ分別収集方法及び調査事例

生ごみの分別収集方法	調査事例
1) プラ製の収集袋により生ごみを分別収集する方法	長岡市、豊橋市
2) 生分解性プラ製収集袋により生ごみを分別収集する方法	富良野市
3) バケツにより生ごみを分別収集する方法	大木町、みやま市
4) 事業系生ごみの分別収集事例	札幌市
5) 生ごみの分別回収実証を行った事例	南三陸町、南丹市

(2) 調査結果

1) プラ製の収集袋により生ごみを分別収集する方法

① 長岡市

長岡市の事例は、中小都市で生ごみの分別回収を行い、焼却施設、下水処理施設と連携したバイオガス化施設により、発電利用を行っている事例として調査した。

長岡市は、人口約 26 万 9 千人の製造業やサービス業を主産業とする市で、2004 年度から燃やすごみと燃やさないごみの有料化やプラスチック製容器包装材の分別収集を実施し、2013 年の生ごみバイオガス発電センターの竣工に合わせて、全市での生ごみの分別収集を行った。従来の燃やすごみ（3 回/週）の頻度を生ごみ・紙おむつを 2 回/週、燃やすごみを 1 回/週とすることで、収集回数は分別前と同等となるよう配慮している。

生ごみを出しやすくするために、紙おむつはプラントで機械的に除去するが、子育て、老人介護世帯などへの配慮から生ごみの日に出せるようにし、また、焼却処理となるが、衛生面への配慮から燃やすごみの収集日にも生ごみを出してもいいようにしている。

生ごみは、指定袋（生ごみ用）で収集し、バイオガス化施設で発酵不適物を選別し、隣接のごみ焼却施設で処理するとともに、隣接した下水処理場からはバイオガス化施設の希釈水の供給を受けている。バイオガスはガスエンジンにより発電・売電し、発酵残渣は乾燥後バイオマス燃料として

有効利用している。

生ごみの収集袋は燃やすごみの収集袋と同じ素材のプラスチック製の収集袋で、当初は、小サイズ（約 10 L）、極小サイズ（約 5 L）で、分別収集を開始したが、すぐに超極小サイズ（約 2 L）を加え 3 サイズの生ごみ用指定袋で収集している。



図 81 長岡市の生ごみ分別周知パンフレットと生ごみ指定袋

出典：ごみ情報誌「ながおかのごみ改革」(https://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/cate08/gomijo_uhousi.html)

生ごみバイオガス化事業～ごみの原料化・資源化～ 新潟県長岡市

長岡市の生ごみ収集量の推移は次に示すとおりで、生ごみ収集量は分別収集開始直後の 2013 年度には燃やすごみとして収集していた量の約 2 割に達しているが、それ以降生ごみ収集比率はほとんど変わっていない。

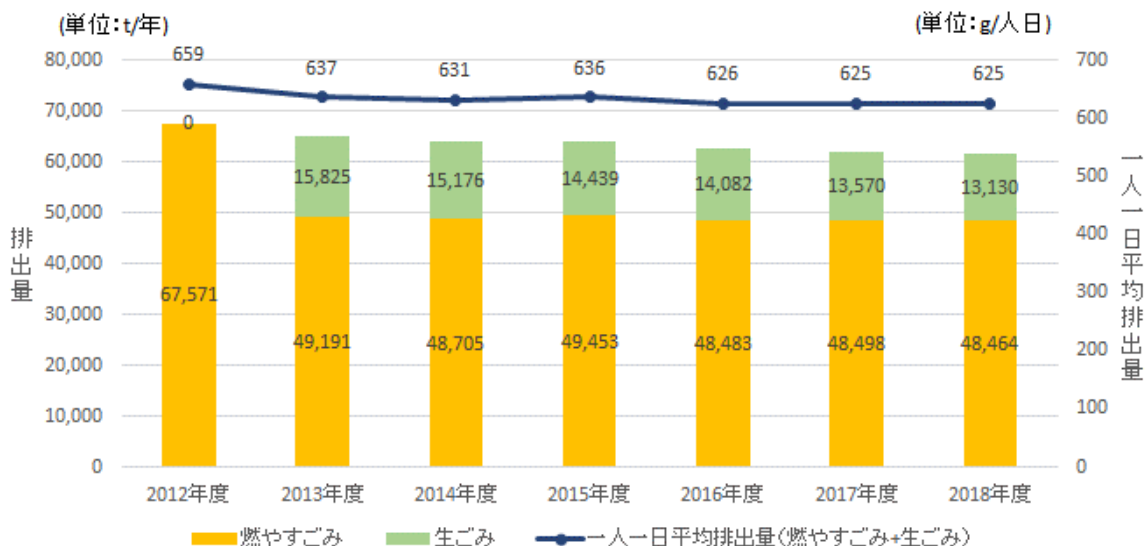


図 82 長岡市の燃やすごみ、生ごみ収集量の推移

出典：長岡市一般廃棄物（ごみ）処理基本計画 (<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/cate01/kankyou/gomisyori-keikaku.html>)

生ごみバイオガス化事業 (<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/cate08/biogas/>)

生ごみバイオガス発電センターに搬入された生ごみは機械選別装置によって発酵不適物を選別しているが、搬入された生ごみから選別される発酵不適物の割合は、稼働当初は 16%であったが、以降やや比率が増加し、2018 年度では 26%となっている。

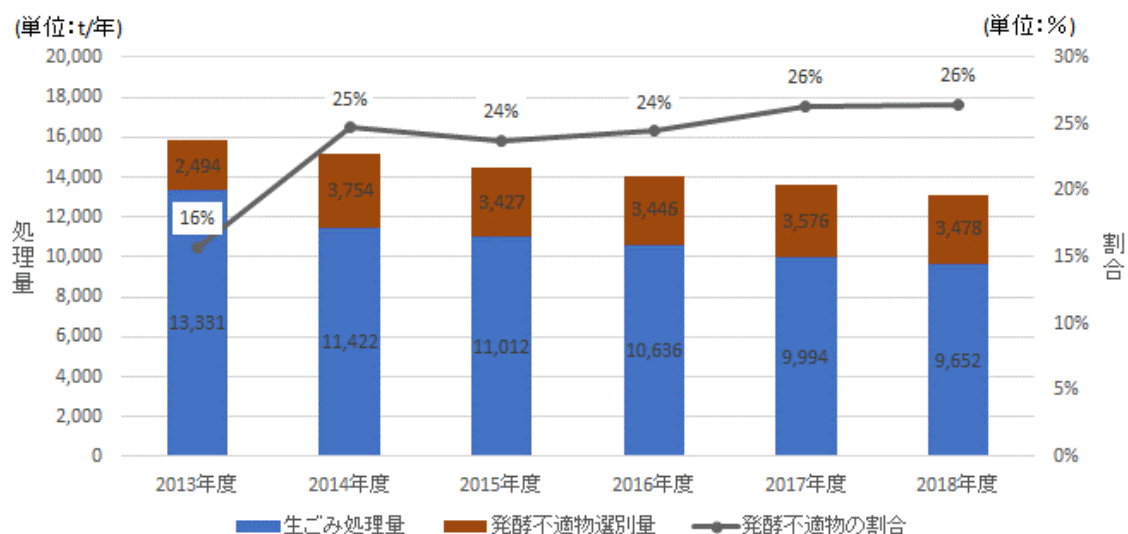


図 83 長岡市の生ごみ処理量に対する発酵不適物の選別量推移

出典：長岡市一般廃棄物（ごみ）処理基本計画（<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/cate01/kankyou/gomisyori-keikaku.html>）

生ごみバイオガス化事業（<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/cate08/biogas/>）

② 豊橋市

豊橋市の事例は、生ごみ分別を行っている市町村の中で人口規模が最大であり、下水道汚泥、し尿・浄化槽汚泥、生ごみを処理するバイオガス化施設により、発電利用を行っている事例として調査した。

豊橋市は、人口約 37 万 7 千人の製造業やサービス業を主産業とする市で、2017 年度の豊橋市バイオマス利活用センターの竣工に合わせて、全市での生ごみの分別収集を開始した。生ごみの収集は 2 回/週で燃やすごみと同一日とすることで、収集車のルートを共通化し、収集費用の増加を抑え調整を図っている。

生ごみ用の指定袋は 2 L、5 L、10 L、15 L、30 L の 5 サイズ（2 L と 30 L は後から追加）で、本来はメタン発酵に不適である甲殻類の殻や貝殻、魚の骨なども生ごみとして排出可能とし、プラントで選別除去することで、生ごみ分別の利便性を優先させている。

生ごみ分別に関する市民説明会を 500 回以上実施し、生ごみの分別収集への協力を呼びかけたが、問題になるほどの反対意見はなく、スムーズに移行することができている。

事業系ごみについては、生ごみ処理費用を焼却処理費用の約 1/2 とすることで、インセンティブを付与している。

メタン発酵によるバイオガスはガスエンジンによる発電と発酵残渣の炭化処理用の熱源として利用し、発酵残渣の脱水後の排水は、下水道処理を行っている。

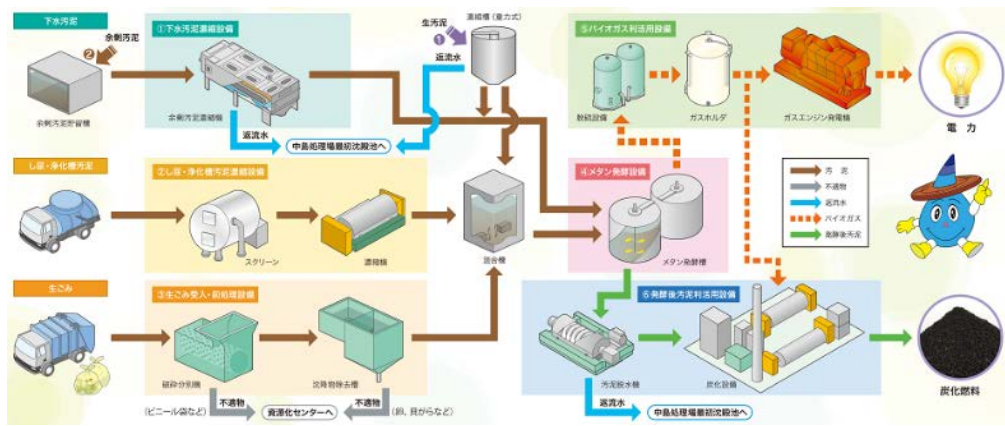


図 84 バイオマス利活用センター 処理フロー

出典：豊橋市バイオマス利活用センターパンフレット（豊橋市・(株)豊橋バイオウィル）



図 85 豊橋市の生ごみ分別対象物及び出し方

出典：さあ創めよう生ごみ分別 2017 豊橋市環境部 (<http://www.city.toyohashi.lg.jp/secure/40351/namagomibunbetsu.pdf>)

2) 生分解性プラ製収集袋により生ごみを分別収集する方法

① 富良野市

富良野市は、上富良野町、中富良野町、南富良野町、占冠村で分別収集した生ごみを当該市町村で構成される富良野広域連合が堆肥化処理しているが、生ごみ収集に、生分解性プラスチック製の専用袋（家庭用・事業用）使用している事例として調査した。

富良野市は人口約 2 万 2 千人の農業と観光業を主産業とする市で、1985 年の堆肥化施設（富良野市有機物供給センター）の稼働開始に合わせて生ごみの分別収集を開始し、2003 年には、富良野広域地区環境衛生センターの稼働開始に合わせて、生ごみ分別収集の取組を広域に拡大した。

富良野市では、2002 年から生ごみ専用袋にグリーンプラ識別表示制度に則ったポリ乳酸を主成分

とする生分解性プラスチックの使用を開始している。

生ごみ専用袋は、ミニ、家庭用、事業用と3サイズ（ミニは後から追加）あり、生分解性プラスチックのため、袋の劣化が約半年で始まり、強度が弱くなるため、袋の製造月を明記し、使用期限が分かるようにしている。

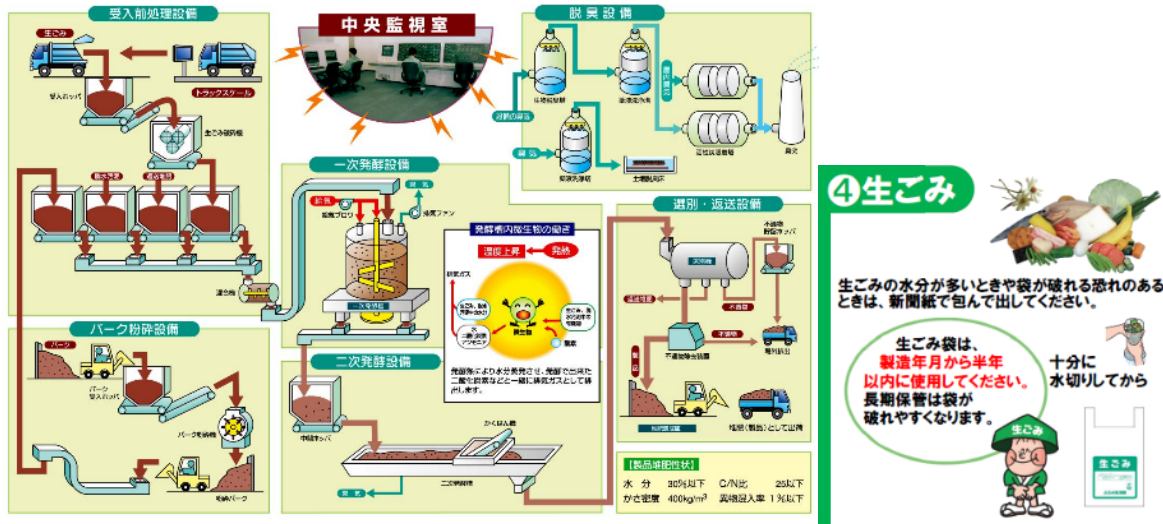


図 86 富良野地区環境衛生センター（堆肥化設備）処理フロー及び生ごみ分別方法

出典：富良野広域連合環境衛生センターHP (<https://www.furano.ne.jp/eiseikumiai/shisetusyoukai.html>)

出典：ごみの分け方・出し方 (http://www.city.furano.hokkaido.jp/docs/2015022200404/files/201712_Japanese.pdf)

3) バケツにより生ごみを分別収集する方法

① 大木町

大木町の事例は生ごみの分別回収を行いバイオガス化による消化液を町内農家で利用し、栽培した農産物を町民が消費するという農山漁村の地産地消型循環システムを実現している事例として調査した。

大木町は、人口約1万4千人の農業を主産業とする町で、生ごみの分別モデル事業を2001～2003年の3年間実施し、バイオガス化施設（大木循環センター くるるん）が稼働した2006年11月から町全域で生ごみの分別収集を開始した。

山形県長井市で実績のあるバケツコンテナ方式により、10世帯に1ヶ所程度設置している収集バケツで毎週2回無料で収集を行い、各家庭には分別用のバケツを配布している。一方の燃やすごみは週1回指定袋による収集とすることにより、生ごみ分別による分別品目の増加によるコストはほとんど変わっていない。

収集バケツは、収集後バイオガス化施設の自動洗浄装置で洗浄、乾燥後、設置場所に収集日の前日に設置しており、収集した生ごみは、浄化槽汚泥・し尿と合わせてバイオガス化施設（湿式中温発酵）によりメタン発酵処理し、消化液は「くるっ肥（くるっぴ）」という名称で普通肥料として認可されており、町内の農家や家庭菜園に販売価格は無料で全量提供している。散布については、10a当たり千円で町内農家への散布を請け負っている。消化液を使って栽培した農産物は、地元の小中学校（給食のお米は全て、液肥使用のもの）や隣接するレストランで使用するとともに、直売所などで販売している。

事業系生ごみの処理費は 50 円/10kg で、可燃ごみの 1/4 程度の処理費とし、分別排出のインセンティブをつけている。

生ごみの分別収集にかかる周知については、既に定着しており、メタン発酵不適物の混入などはほとんど見られないようになってきたが、アパート等入替の激しい居住区への協力依頼については課題が残っている。



(分別用バケツ) (収集用バケツ) (生ごみ収集バケツ回収車)

図 87 大木町の生ごみ分別・収集バケツ及び回収車両

出典：大木町訪問ヒアリング時提供資料



(収集バケツの自動洗浄装置) (液肥)

図 88 収集バケツ自動洗浄装置及び液肥

出典：大木町訪問ヒアリング時提供資料

大木町の生ごみ収集量の推移は、次に示すとおりで、生ごみの収集量は、分別収集開始後、3年目で燃やすごみとして収集していた量の約 4 割に達し、2016 年度以降、燃やすごみの収集量と生ごみ収集量の比率が逆転している

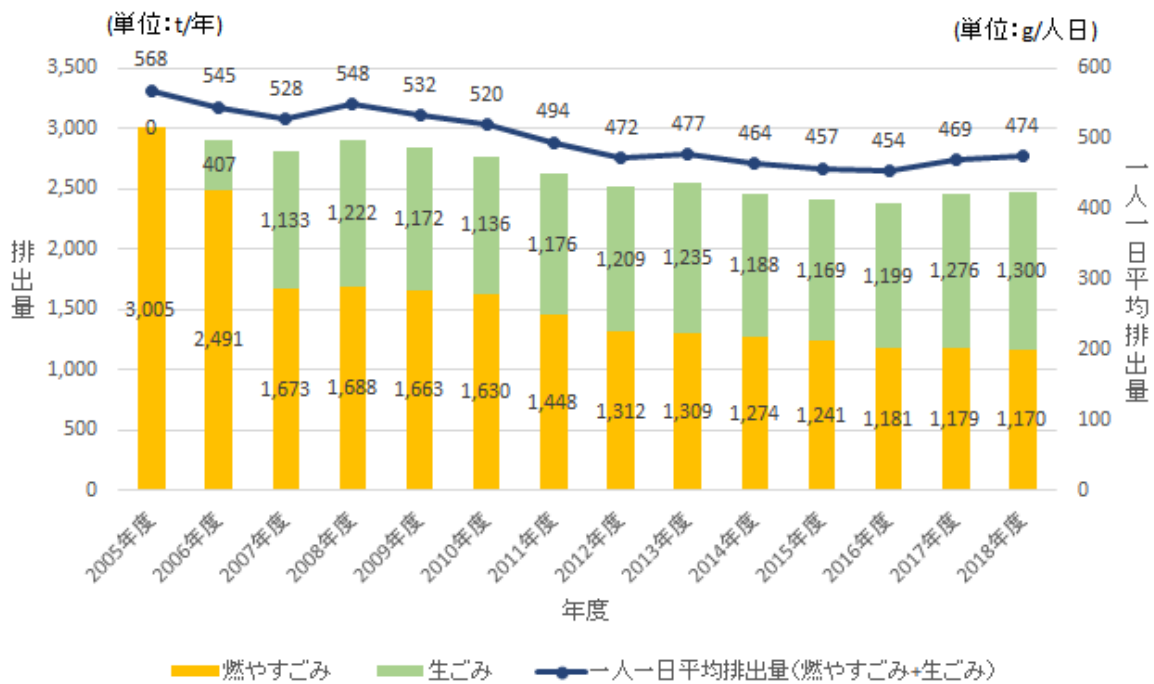


図 89 大木町の燃やすごみ、生ごみ収集量の推移

出典：広報おおき (<http://www.town.ooki.lg.jp/gyosei/4/2/index.html>)

② みやま市

みやま市の事例は、大木町と同様の方法により、生ごみの分別回収を行いバイオガス化による消化液を町内農家で利用し、栽培した農産物を町民が消費するという農山漁村の地産地消型循環システムを実現している事例として調査した。

みやま市は、人口約4万人の農業を主産業とする町で、生ごみの収集モデル事業と液肥散布も出る事業を2013年に実施し、バイオガス化施設(みやま市バイオマスセンター ルフラン)が稼働した2018年11月から町全域で生ごみの分別収集を開始した。

みやま市は隣接している柳川市と有明生活環境施設組合を構成しており、みやま市の可燃ごみは、2021年度に竣工予定のごみ焼却施設で処理する予定であり、生ごみのバイオガス化事業は、処理に係る分担金削減の目的もある。

生ごみの資源化システムは、バイオガス化施設の処理方式も含めて大木町とほとんど同様であるが、搬入対象に食品工場残渣を加えていること、液肥の品質を高めるため消化液のスクリーンを2段(粗目、微細目スクリーン)としていることなどが大木町と異なる部分である。

分別した生ごみへの異物混入は、現在でも比較的多く見られ、投入前の選別工程で、異物除去のための時間を要している。



(みやま市の生ごみ収集バケツ)

(施設投入前の異物選別装置)

図 90 みやま市の生ごみ収集バケツ及び異物選別装置

出典：みやま市訪問ヒアリング時提供資料



(収集時に混入していた異物)

(発酵残渣：堆肥として利用)

図 91 みやま市の混入異物及び発酵残渣

出典：みやま市訪問ヒアリング時提供資料

4) 事業系生ごみの分別収集事例

① 札幌市

札幌市の事例は、事業系生ごみリサイクルを民間ベースで事業化し、これに行政が積極的に支援している事例として調査した。

札幌市の事業系生ごみリサイクルプラントとして 1998 年に札幌バイオフードリサイクル（株）（旧、三造有機リサイクル（株））が設立され、生ごみの飼料化プラントが稼働、2014 年にバイオガス化プラントが増設稼働し、飼料及び肥料原料の販売と売電を行っている。

事業系生ごみの収集は、1994 年度から事業系一般廃棄物の許可収集業者、1 社（（一財）札幌市環境事業公社）のみが行っている。

札幌市は、事業系生ごみプラントの設置に際し、1994～1995 年度に整備した札幌市リサイクル団地内で用地を提供し、また、許可収集業者に対しては、排出事業者が出した生ごみを処理プラントまで運搬する仕組みづくりと許可業者の調整を行い、排出事業者に対しては業種別の分別マニュアルを作成して協力を要請するなど積極的な支援を行っている。

排出事業者の活動では、2007 年度に札幌薄野ビルディング協会が、モデルビル 2 棟での「すすきの地区生ごみ資源化モデル事業」をはじめ、2009 年度には 2 年間の実績を踏まえ「元祖ラーメン横町」が入る第 4 グリーンビルで生ごみ資源化事業を開始。その後も札幌市事業廃棄物課や札幌市環境事

業公社などの協力を得て、自主事業を進めてきており、2010年には札幌市との間で「すすきのスリムタウン協定」が締結されている。

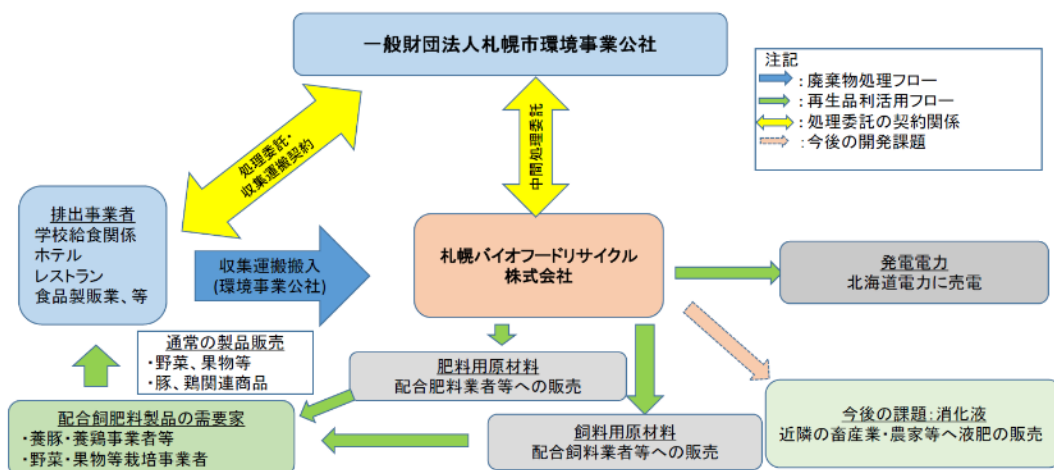


図 92 札幌市における事業系食品廃棄物の資源循環メカニズム

出典：札幌市に於ける事業系生ごみのリサイクル事業と新エネルギーの電力供給を目的とする嫌気性消化発電事業 2019年8月1日 札幌バイオフードリサイクル株式会社 (<https://www.spr-bio.co.jp/data/summary.pdf>)



図 93 「元祖ラーメン横丁」の生ごみ保管容器
(札幌薄野ビルディング協会 生ごみ資源化事業)

出典：月刊誌「北方ジャーナル」公式ブログ (<http://hoppojournal.sapolog.com/e346190.html>)

5) 生ごみの分別回収実証を行った事例

① 南三陸町

南三陸町の事例は、将来の廃棄物発生量とその内訳を予測し、生ごみやし尿等を原料にしたバイオガス施設導入の可能性などを検討し、生ごみからのエネルギー化や液肥に対して、住民からの意見を聴取しつつ、液肥の利用先も確保し、官民連携 PPP¹¹のスキームで、2015年に稼働したバイオガス化施設（南三陸 BIO）を活用して、さらに実証実験を行い、事業性の向上を図った事例として調査した。

南三陸町は、人口約1万5千人の漁業を主産業とする町で、生ごみ分別の参加状況可視化実験を2018年8月から約1ヶ月間実施した。実証実験は、南三陸町全域（約4,590世帯）を対象に、ICT

¹¹ PPP は Public Private Partnership の略で、官民が連携して公共サービスの提供を行うスキームを示す。

を活用することにより、生ごみ分別の参加状況の把握とデータ活用がどの程度効率化できるか、回収状況や感謝のフィードバックにより住民の参加意識に変化が生じるかを検証した。



図 94 南三陸町生ごみの参加状況可視化実験イメージ図

出典：アミタ地域デザイン事業 HP (https://www.aise.jp/news/releace/180813_minamisanriku_nec.html)

集積所単位で、いつ、どこで、どれだけの量・質の生ごみが回収されたかをタブレット端末を使用しデジタル化して記録し、これらの情報を地図情報に紐付けした後、集積所単位での結果をフィードバックした。この実証実験により 1 バケツあたりの生ごみ量は増加し、さらに 1 バケツあたりの分別品質についても向上した結果を得ることが出来ている。

また、本実証実験により、走行距離を約 10%程度削減できる回収ルート最適化の可能性、バケツを常設することで、10%程度の回収量増加効果が見込まれること、空バケツ運搬の効率化を検証しバケツ数の最適化を図ることが可能など、事業化を行うための分別収集の効率化方策などを得ることが出来ている。

② 南丹市

南丹市の事例は、平成 22 年度から実施しているエコタウンモデル事業における平成 25～26 年度事業として実施された「南丹市における生ごみメタン発酵のバイオガスの利用用途拡大と嫌気性生分解袋普及可能性の検証・調査」¹²で、嫌気性生分解性プラスチック袋で生ごみの分別収集実証を行った事例として調査した。

南丹市は人口約 3 万 5 千人の農林業を主産業とする市で、八木バイオエコロジーセンターと、カ

¹² 出典：環境省 HP(<http://www.env.go.jp/recycle/ecotown/attach/h26report01.pdf>)

ンポリサイクルプラザ（平成 30 年度に廃止）のメタン発酵処理施設が 2 つ存在しており、それぞれ異なる処理方式で処理を行っている。

実証事業では、南丹市が収集している可燃ごみから、吉良紙工（株）が開発した嫌気性生分解袋を用いて、市民が生ごみを分別排出、それを回収した後、多量の可燃ごみ袋の中から生ごみ袋を手選別によって生ごみ袋を回収する。そして、それらの生ごみをバイオガスの原料として、南丹市のメタン発酵施設にてバイオガス及び堆肥の生産まで行う。このときの実証実験から、南丹市全体での生ごみの回収量及びバイオガス発生量を推計している。

また、実際に事業化されることを前提とした上での処理コストや、利益などを調査し、事業性評価を行うとともに、生ごみの再資源化の効果として、CO₂削減効果及び最終処分量削減効果について LCA 分析などを用いて評価している。

実証事業の内容は次のとおりである。

i) 分別収集による生ごみの性状、回収量調査（実証実験）

分別収集の効果を把握するため、家庭生ごみの性状や回収量を計測し、実証実験の実施前後でその変化を比較、検証する。

ii) 分別収集による作業効率の比較、コスト評価（実証実験）

船井郡衛生管理組合のコスト削減メリットの具体化のために、分別収集による作業時間の変化、コストを評価する。

iii) GHG 削減効果の評価（実証実験及び文献調査）

GHG 削減等の環境保全効果に関する評価範囲を設定し、当該事業を実施した際の CO₂削減見込量を計算する。

iv) 生ごみ回収における住民意識調査（アンケート調査）

生ごみの排出元である実証実験の参加世帯に対して、生ごみの分別排出にあたっての排出条件、協力度合い、事業に対する環境意識等に関するアンケートを行う。

分別収集による生ごみの性状、回収量調査は、実証実験に協力する一般家庭 288 世帯に対して、専用のごみ袋を配布し、生ごみの回収を 1 世帯当たり週 2 回、12 月から 2 月にかけて、26 回程度実施した。

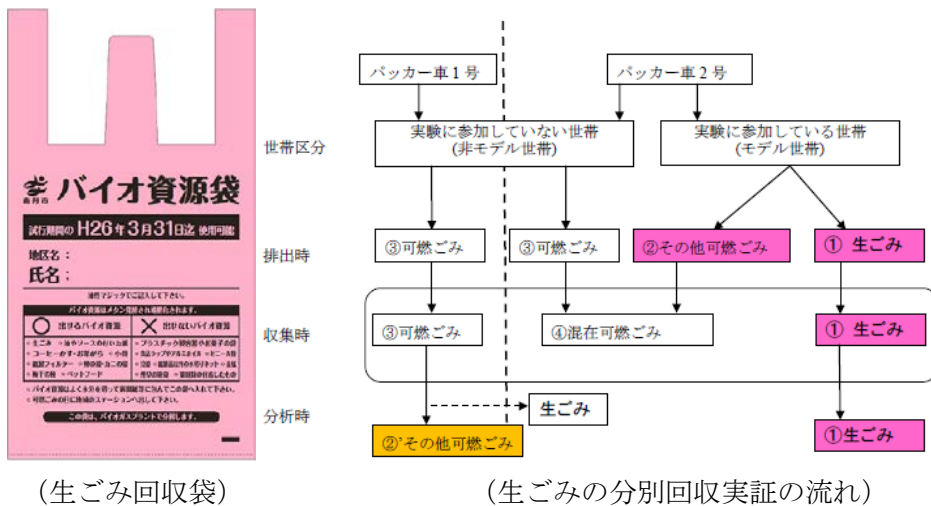


図 95 分別収集による生ごみの性状、回収量調査

出典：環境省 HP (<https://www.env.go.jp/recycle/ecotown/attach/h25report01.pdf>)

実証事業の結果概要は次のとおりである。

i) 回収量調査

嫌気性生分解性プラスチック袋による生ごみの回収量調査によって、南丹市で年間 1000t 程度の回収量が見込めることが分かった。

現状では、手選別によって生ごみの回収を行っているが、生ごみ専用袋の導入によって、大幅な回収量の増加が見込まれることが明らかになった。

さらに、手選別で生ごみ分別を全量で行った場合に比べて、生ごみ専用袋の導入により、その分のコストが削減されることも明らかになった。

ii) 家庭生ごみの性状分析

事業系生ごみに比べて、家庭系生ごみは発電量及び発熱量が低いものの、年間で 50 世帯の電力消費量を賄えることが分かった。

また、可燃ごみから生ごみを除いたその他可燃ごみの性状分析をした結果、その他可燃ごみの発熱量は可燃ごみの発熱量より高く、生ごみを除いたその他可燃ごみをサーマルリサイクル施設にて処理できるようになれば、燃焼効率及び発電効率が向上することが分かった。

iii) 環境負荷削減効果

実証事業では、生ごみのメタン発酵によるバイオガス発電及び熱利用によって、天然資源代替による環境負荷削減効果があったが、生ごみ専用収集車の追加によって収集運搬での GHG 排出量が増加するとともに、家庭系生ごみの発熱量、発電量が事業系に比べて低いため、効果が限定的であったが、南丹市全体で発生する年間の生ごみを全量回収できれば、低炭素化に貢献できることが分かった。

iv) 事業性評価

袋の購入費用と、収集車の追加によるコスト負担が課題となされたが、回収経路、回収頻度を見直すことによって、収集運搬コストをある程度抑えることができ事業費の上昇を抑えられることが分かった。

v) 市民の環境意識の向上

モデル事業に参加した世帯の半数以上が、生ごみを分別排出することでメタンガスの発生量が増えることを、モデル事業の参加を契機に知り、あるいはそれ以前から知っており、そのことが参加の動機となったとアンケートで回答している。また、分別によるメタンガスの発生量を知ることで、それが分別実施の動機になると半数以上の世帯が回答しており、環境意識の高い人がモデル事業に参加していることが分かった。市内の環境改善に関する効果や仕組みを伝えることが、生ごみ分別の市内全域の円滑な実施に欠かせない要素であることが確認できた。

3.4.4 まとめと課題

本年度の調査により、自治体が採用している生ごみの分別収集方法の概要が把握できたが、ごみ収集袋を使わずにバケツ回収している大木町やみやま市の事例は、人口が少ない小規模都市で地域コミュニティが活発なところで可能な方式と思われるが、ほとんどバイオガス化に適した生ごみだけが分別して搬入されるため、不適物除去のための選別装置も簡易なシステムでよく、さらにその消化液や発酵残渣についても、問題無く農業利用できることが示唆されている。

一方、中・大都市での生ごみ分別収集は、バイオガス化に不適なものの混入を前提に考える必要性から、バイオガス化施設側に不適物の機械選別装置を装備するとともに、市民への分別協力要請についても、排出しやすさを優先して、少々の不適物混入はやむを得ないとの考え方に立ってシステム構築をしていると思われる。そのため、消化液や発酵残渣の性状、品質が農業利用に適さない場合や、農業を主産業としない中・大都市では農業需要が乏しいということから、消化液や発酵残渣は処理し利用されない傾向にあるものと推測される。

生ごみを分別収集することによるコストについては、可燃ごみの収集回収を減らしたりすることで、増加を抑制するなどの工夫が見られ、廃棄物全体の収集をトータルに考えてシステム構築することで、生ごみの分別収集システムの合理化を図ることが出来る可能性が示唆されている。

生ごみの専用袋については、長岡市、豊橋市で当初最小サイズが5Lであったが、より小さな2Lサイズを追加していること、富良野市でも同様にミニサイズを後から追加していることなどから、生ごみの分別収集には、小容量のごみ袋の需要が多いものと推測され、PHBH製生ごみ袋の製造にあたってはこれらの需要を踏まえる必要があると思われる。

また、生ごみの分別実証事例においては、収集運搬コストの増加による事業化への課題があげられているが、回収経路、回収頻度など分別収集全体の見直しによって、コストの抑制が可能であることも報告されている。

以上のことから、次年度はPHBH製生ごみ袋のバイオガス化施設での分解性を踏まえつつ、生分解性プラスチックごみ袋による生ごみの分別について、生ごみだけでなく、その他容器包装プラスチックや資源ごみなどのトータルシステムとして、指定袋などによる分別システムのケーススタディを行い、その経済合理性の予備的検討を行う。令和3年度は、その結果を踏まえて生ごみの分別システムを明確化していく。

また、地域循環共生圏を念頭に、中山間地モデルとして、PHBH製プラスチックを核とした新たな循環システムについて予備的検討を令和2年度に行う。令和3年度はその検討結果を踏まえて実証に取り組む。

3.5 PHBH 製生ごみ袋による CO₂ 削減効果の定量化に関する検討

PHBH 製生ごみ袋による CO₂ 削減効果の定量化に関する検討に向けて、PHBH 及び化石燃料由来プラスチックの製造プロセスに係る基礎データを収集・整理することを目的とする。今年度は製造樹脂 1 t 当たりの樹脂製造段階の CO₂ 排出量原単位を整理した。

3.5.1 PHBH 及び化石燃料由来プラスチックの製造プロセスに係る基礎データを収集・整理

(1) PHBH 製造プロセス

2.4 節にて報告したとおり、Akiyama et al(2013)¹⁾の論文の大豆油を原料とした PHBH 樹脂製造 (Case.5)のイベントリデータを使用した。なお、以下の補正を加えた。

- 本検討での PHBH 製造樹脂原料はパーム油、ジャトロファ油、廃食用油等を想定しているため、大豆栽培段階のイベントリデータは使用しない。代わりにパーム油の栽培、マレーシアからの輸入に関するイベントリデータを収集し使用した。
- 大豆油からの PHBH 収量 0.8g-PHBH/g-oil を基に、脂肪酸に関する組成データからパーム油からの PHBH 収量を推定した (2.4 節参照)。
- 有機酸発酵段階、PHA 生成菌培養段階のイベントリデータを収率で除して補正した。
- 消費電力由来の CO₂ 排出係数を 2018 年度の実績値²⁾に変更した。
- PHBH 製造の加温に焼却処理及び GE 発電の排熱を利用することを想定しているため、蒸気由来の消費エネルギー及び CO₂ 排出を除いた。

(2) 化石燃料由来プラスチック製造プロセス

化石燃料由来プラスチックの樹脂製造に関しては、プラスチック処理促進協会のイベントリ³⁾を用いた。

(3) バイオマスプラスチック製造プロセス

PHBH 以外のバイオマスプラスチックとして、ポリ乳酸 (PLA)、バイオマスポリエチレン (Bio-PE) の原単位を整理した。PLA についてはアメリカ産トウモロコシ原料の Vink et al. (2015)⁴⁾を、Bio-PE についてはブラジル産サトウキビ原料の Kikuchi et al. (2016)⁵⁾の報告値をそれぞれ用い、日本までの輸入までの負荷を計上している。ただし、バイオマス由来の CO₂ は焼却段階にカーボンニュートラルとして計上していないことから、植物成長段階の炭素吸収量は樹脂製造段階にカウントしていない。

3.5.2 整理結果

樹脂別の製造段階 (原料採掘または原料栽培～日本までの輸入) の CO₂ 排出原単位は次図のとおりである。樹脂製造段階の CO₂ 排出量は総じてバイオマスプラスチック、生分解性プラスチックが化石燃料由来よりも高い傾向である。しかしながら、バイオマスプラスチック中の炭素はカーボンニュートラルであり、焼却時には CO₂ 排出量として計上されない。参考として、樹脂素材別の元素組成を次表に示した。

両者の比較解析にあたっては、システム全体での評価が必要であり、「4. PHA 系バイオプラスチックのライフサイクルでの環境負荷低減効果に関する実証及びコストの評価」にて含めて整理した。

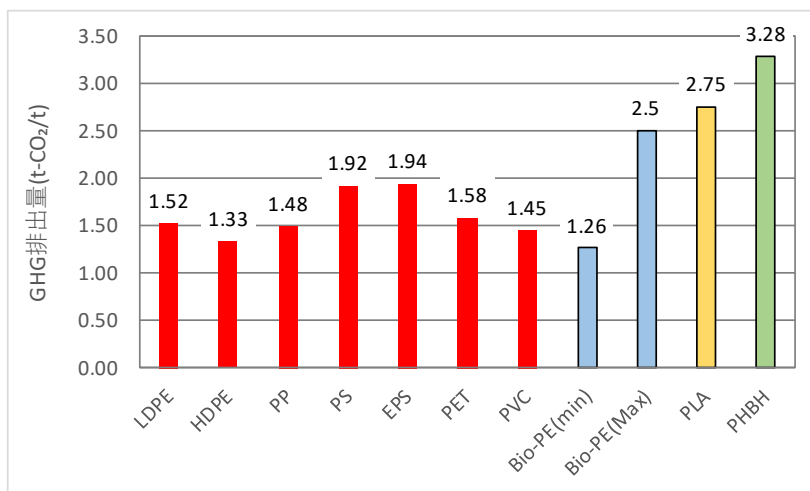


図 96 樹脂製造段階（原料採掘・原料栽培～製造、日本への輸入）の CO₂ 排出原単位

表 44 樹脂素材別の元素組成

元素	単位	高密度PE		発泡PS			ボトル用	PLA	PHBH
		PE	PP	PS	EPS	PVC	PET		
C	%-dry	85.7	85.7	92.3	92.3	38.4	62.5	50.0	60.0
H	%-dry	14.3	14.3	7.7	7.7	4.8	4.2	5.6	8.0
O	%-dry	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	44.4	32.0
Cl	%-dry	0.0	0.0	0.0	0.0	56.8	0.0	0.0	0.0
計	%-dry	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

※PHBH は(C₄H₆O₂)_x(C₆H₁₀O₂)_y の x, y を 1:1 とした場合の組成

<参考文献>

- 1) Minoru Akiyama, Takeharu Tsuge, Yoshiharu Doi, “Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation”(2003), PolymerDegradation and Stability, 80, 183-194
- 2) 環境省、経済産業省：電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）－平成 30 年度実績－ R2.1.7 環境省・経済産業省公表、https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/cal/r01_coefficient.pdf(2020/01/31 閲覧)
- 3) 社団法人プラスチック処理促進協会：石油化学製品の LCI データ調査報告書<更新版>（2009）
- 4) Erwin T.H. Vink ; Steve Davies : Life Cycle Inventory and Impact Assessment Data for 2014 Ingeo® Polylactide Production, Industrial Biotechnology, Vol11, No3, 2015/6
- 5) Kikuchi Yasunori ; Hirao Masahiko ; Narita Kenji : Environmental Performance of Biomass-Derived Chemical Production : A Case Study on Sugarcane-Derived Polyethylene, JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN, 2013, Vol46, No4

3.6 まとめと課題

「実証事業 2：PHBH のごみ袋及びプラスチック代替製品への利用とバイオガス化に関する実証」では、実証事業 1 で開発を進める廃食用油等を原料とした PHBH の有効な利用先としてバイオガス化向けのごみ袋を想定し、PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみバイオマス化モデルを確立することを目標に、バイオガス化プラントでの利用に向けた PHBH 製生ごみ袋の製造に関する検討、バイオガス化を見据えた PHBH のプラスチック代替製品への利用可能性の検討、PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化に関する検討、PHBH 製生ごみ袋の実用性試験及び生ごみの収集方法等に関する検討、PHBH 製生ごみ袋による CO₂削減効果の定量化に関する検討を行った。本年度の主な検討成果と次年度の実施内容案は以下に示すとおり。

(1) バイオガス化プラントでの利用に向けた PHBH 製生ごみ袋の製造に関する検討

PHBH 単独で製造したフィルムについては、「3.3 PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化に関する検討」に示すとおり、嫌気性条件下でバイオガス化できることを確認した。PHBH と市販生分解性樹脂配合物をコンパウンドしたフィルムについては、機械特性は PHBH 単独と比べて改善すること、そのバイオガス化率は PHBH 含有量に応じて増減することを確認した。なお、PHBH 単独では生ごみ袋として実用可能な機械特性を達成できないことも分かった。

次年度は、生ごみ袋に求められる機械特性を達成するため、以下の検討を行い、機械特性とバイオガス化性能を両立するコンパウンドの開発を進める。

＜次年度に行う検討のポイント（現時点の案）＞

- ① 用いる PHBH の種類（分子組成、分子量）の最適化
- ② 柔軟性を有する市販の生分解性樹脂及び有機フィラーの配合比率
- ③ コンパウンド条件の最適化による分散性の確保

(2) バイオガス化を見据えた PHBH のプラスチック代替製品への利用可能性の検討

PHBH に適した用途の検討に向け、プラスチックの利用状況や、世界のバイオプラスチック製造・開発状況に関する基礎的な情報整理を行った。この結果、本事業で取り上げる PHBH は世界各地で開発が進められる PHA 系バイオプラスチックの中で最も市場投入が進んでいることが分かった。既に（株）カネカではビジネス的に検討が進められており、本年度は大手コンビニエンスストア向けの PHBH 製ストローが開発されている。また、カトラリー、容器、コート紙製品（紙コップなど）等の開発も進められている。

一方、用途や素材にきめ細かく対応したバイオマスプラスチックの利用可能性を検討するには、プラスチックごみ中の素材構成やプラスチックの汚れ度合い等を把握する必要があるが、既存の調査事例では十分な情報が得られないことが分かった。

以上の結果を踏まえ、次年度は家庭系、事業系ごみなどを対象としてプラスチックごみの分別状況、汚れ具合、素材等の調査等を行うことで、現実のごみ中の排出実態に即して PHA 系バイオプラスチックの代替性を検討する。

(3) PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化に関する検討

各種文献や試行的な実験結果に基づき、PHBH 製コンパウンドフィルムを用いたバイオガス化試験の方法を確立した。同試験方法に基づき PHBH 単独フィルム及び PHBH 製コンパウンドフィルムのバイオガス化試験を行った結果、PHBH 単独フィルムはほぼ 100%バイオガス化すること、PHBH 製コンパウンドフィルムは PHBH 単独フィルムよりも生分解性が劣り、コンパウンドの種類によつ

て生分解率が異なることを確認した。

次年度、は本年度に引き続き、PHBH 製コンパウンドフィルムの生分解性試験を継続し、PHBH 製生ごみ袋に求められるコンパウンドフィルムの開発に結果をフィードバックする。また、PHBH 製生ごみ袋をバイオガスプラントに投入する際の発酵条件等の探索、実機での運転に向けたバイオガス化性能に関する基礎実験やスケールアップに関する検討についても進める。

(4) PHBH 製生ごみ袋の実用性試験及び生ごみの収集方法等に関する検討

本年度は、先進自治体の事例調査及びヒアリングを通じ、自治体が採用している生ごみの分別収集方法の概要、生ごみ袋の大きさ、分別収集コスト、市民への協力要請、メタン発酵消化液や発酵残渣の利用・処理方法、事業実施上の工夫や留意点等を把握した。

次年度は PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化施設での分解性を踏まえつつ、生分解性プラスチック生ごみ袋による生ごみの分別について、生ごみだけでなく、その他容器包装プラスチックや資源ごみなどのトータルシステムとして、指定袋などによる分別システムのケーススタディを行い、その経済合理性の予備的検討を行う。

(5) PHBH 製生ごみ袋による CO₂ 削減効果の定量化に関する検討

PHBH 製生ごみ袋による CO₂ 削減効果の定量化に向けて、樹脂別の製造段階の CO₂ 排出原単位や樹脂素材別の元素組成等の基礎データを収集・整理した。石油由来プラスチック製及び PHBH 製生ごみ袋の比較解析にあたっては、システム全体での評価が必要であり、実証事業 3 にて含めて整理した。

4. PHA系バイオプラスチックのライフサイクルでの環境負荷低減効果に関する実証及びコストの評価（実証事業3）

4.1 環境負荷低減効果

4.1.1 目的

本実証事業では地域循環共生圏モデルとして、PHBH素材の生分解性プラスチックを導入することで厨芥類とのメタン発酵・バイオガス化によるエネルギー回収を行うとともに、発酵残渣・消化液の農地還元やガスエンジン（GE: gas engine）発電時の排熱利用、CO₂富化技術によりPHBH原料の1つである油脂作物栽培に利活用する、地域資源循環システムの実現を目指している。また、PHBH原料として油脂作物以外にも家庭系・事業系の廃食用油も対象とすることで国産のPHBH生産を目指していることも特徴の1つと言える。こうした社会システムの実現による環境負荷削減効果を定量的に評価する上では、ライフサイクルの視点から評価を行うことが肝要である。本節では、本年度の取組として、まずは既往研究からデータを収集・活用し、ライフサイクル分析のためのプロセスモデル作成を行うこと、また京都市をケーススタディとしてそのモデルを利用したシナリオ分析を予備試算的に行うことで、環境負荷削減効果を定量化することを目的とした。

4.1.2 対象とするPHBH原料とPHBH素材使用製品

本事業では家庭系・事業系廃食用油やそのほか廃棄油脂、食料競合がない作物として油脂作物ジャトロファやナタネなど、幅広い原料候補を検討しており、2章においてPHBH生産段階に関するLCAの先行研究を整理したところである。しかしながら、PHBH生産段階の環境負荷は原料や製造技術等によって幅を持つこと、特に廃棄物原料については本事業の実証結果も含めて慎重に検討する必要があることから、初年度の分析においてはPHBHの商業生産において実用化済みのパーム油のみを原料として想定することとした。

対象とするPHBH素材使用製品としてはごみ収集袋（以下、「ごみ袋」）を想定することとした。さらに、他の代替製品候補として、ごみ収集袋と性状が比較的近く、家庭で内袋として使用されることもあるレジ袋についても先行して本年度解析の対象とした。化石資源由来のごみ袋、レジ袋と同等の強度機能を有するためには、実際には他の生分解性樹脂との配合（コンパウンド）が必要と見込まれ、本事業においても検討中のところであるが、初年度の本解析においては、素材代替率は100%（コンパウンドなし）と仮定した。

4.1.3 システム境界と環境影響領域

システム境界は「原油採掘、ジャトロファの栽培、植物油精製からPHBH製造、輸送及びごみの収集から処理、回収資源・エネルギーの利活用、残渣等の最終処分まで」とした。設備投入やインフラ整備等は対象外とし、対象製品であるごみ袋・レジ袋の使用段階は含めないものとした。

評価する環境影響領域は、地球温暖化、一次エネルギー消費及び埋立地消費とした。地球温暖化係数としては、GWP100年値を用い、AR4（IPCC第4次報告書（京都議定書第二約束期間におけるGWP値）¹⁾）の値に従った。

4.1.4 対象廃棄物と機能単位

廃棄物処理機能の対象としてとして、家庭系一般ごみ、事業系一般ごみ、家庭系プラスチック製容器包装（以下、「プラ容」）の年間発生量（2017年）の処理を設定し、PHBHの利用用途として、家庭・事業系ごみのごみ袋、レジ袋の供給を設定した。

また、京都市では廃食用油を廃食用油燃料化施設（処理能力 1,500 kL/yr）により BDF 製造に利用している。廃食用油は PHBH 原料としても利用することを検討していることから、本解析の機能単位の対象に含めた。したがって、本解析では処理能力分の BDF 燃料の供給を機能単位として設定した。

以上から機能単位は、以下のように設定し、概要は表 45 に整理した。ただし、家庭系及び事業系一般ごみ量にはごみ袋、レジ袋を含む。

「家庭系一般ごみ 186,342 t、家庭系プラ容 10,008 t、事業系一般ごみ 167,189 t の処理」及び「家庭系事業系ごみ袋 4,741 t、家庭系事業系レジ袋 3,681 t 並びにごみ収集車用 BDF 発熱量 49.2 TJ 相当の供給」

表 45 機能と機能単位

対象	対応量	機能
家庭一般ごみ	186,342t	処理
家庭プラ容	10,008t	
事業一般ごみ	167,189t	
家庭系事業系ごみ袋	4,741t	供給
家庭系事業系レジ袋	3,681t	供給
BDF	49.2TJ	供給

表 46 対象廃棄物の性状

	水分率	可燃分率	灰分率	fossil.C.	bio.C	H	N	O	蛋白質	脂質	糖質	繊維質	LHV
	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	%-wet	MJ/t-wet
家庭一般(混合)ごみ袋、レジ袋除く	46.2%	46.3%	7.5%	7.4%	17.4%	3.5%	0.6%	17.1%	1.7%	1.2%	3.2%	23.3%	9,284
家庭一般(分別)ごみ袋、レジ袋除く	40.8%	49.6%	9.6%	11.2%	16.8%	3.9%	0.6%	16.6%	1.4%	1.0%	2.6%	18.9%	11,059
家庭ごみ袋	6.6%	97.5%	2.6%	77.4%	0.0%	12.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	42,171
家庭レジ袋	6.6%	97.5%	2.6%	77.4%	0.0%	12.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	42,171
PHBH(100%代替)	6.6%	97.5%	2.6%	0.0%	56.0%	7.5%	0.0%	29.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	24,470
家庭分別厨芥	77.6%	18.8%	3.6%	0.0%	9.8%	1.3%	0.7%	6.9%	4.4%	3.1%	8.0%	3.2%	2,137
家庭分別紙類	30.9%	64.4%	4.8%	2.5%	27.6%	4.4%	0.2%	29.5%	0.0%	0.0%	0.0%	59.5%	11,012
事業一般(分別)ごみ袋、レジ袋除く	38.3%	49.3%	10.2%	15.7%	14.1%	4.2%	0.5%	13.9%	1.5%	1.0%	2.8%	16.4%	12,516
事業ごみ袋	6.6%	97.5%	2.6%	77.4%	0.0%	12.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	42,171
事業レジ袋	6.6%	97.5%	2.6%	77.4%	0.0%	12.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	42,171
PHBH(100%代替)	6.6%	97.5%	2.6%	0.0%	56.0%	7.5%	0.0%	29.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	24,470
事業分別厨芥	77.8%	18.8%	3.4%	0.0%	9.8%	1.3%	0.7%	6.9%	4.4%	3.1%	8.4%	2.8%	2,129
事業分別紙類	29.7%	65.5%	4.8%	1.8%	28.8%	4.5%	0.2%	30.0%	0.0%	0.0%	0.0%	62.0%	11,312
家庭プラ容 ごみ袋、レジ袋除く	9.1%	80.6%	10.3%	63.6%	1.7%	9.5%	0.1%	3.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.4%	33,097
家庭プラ容ごみ袋	6.6%	97.5%	2.6%	77.4%	0.0%	12.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	42,171
家庭プラ容レジ袋	6.6%	97.5%	2.6%	77.4%	0.0%	12.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	42,171
PHBH(100%代替)	6.6%	97.5%	2.6%	0.0%	56.0%	7.5%	0.0%	29.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	24,470

4.1.5 シナリオ設定

次表にシナリオ別の収集～処理概要を示す。全焼却シナリオ以外はプラ容のマテリアルリサイクル (MR、material recycling)、ケミカルリサイクル (CR、chemical recycling) を考慮したシナリオとなる。

収集、焼却、搬出、埋立プロセスは共通プロセスとなっている。石油採掘、石炭採掘や種々の燃料製造に起因する環境負荷は各プロセス内で評価し、計上した。

表 47 シナリオ別の原料～処理方法比較整理表

No.	シナリオ名	ごみ袋・レジ袋		収集車用				
		素材	燃料					
1	全焼却	化石資源	軽油					
2	一般自治体現状	化石資源	軽油					
3	PHBH導入(原料輸入)	PHBH (Palm)	BDF					
No.	収集			処理			メタン発酵プロセス	
	事業系可燃	家庭系可燃	家庭系プラ容	事業系可燃	家庭系可燃	家庭系プラ容	発酵残渣	発酵廃水
1	分別収集	混合収集		焼却			-	-
2	分別収集	混合収集	分別収集	焼却		MR・CR	-	-
3	分別収集	混合収集	分別収集	焼却、機械選別・AD		MR・CR、AD*	焼却	処理&放流

*AD(Anaerobic digestion : メタン発酵) :

PHBH 製ごみ袋、レジ袋のみ選別工程で除去され AD 利用されると仮定

(1) シナリオ 1「全焼却シナリオ」S1

家庭一般ごみは家庭プラ容と共に混合収集、事業一般ごみ及びびは分別収集され、回収された廃食用油とともに焼却で処理され、蒸気タービン発電でごみ発電を行う。化石燃料由来のプラスチック製造がプラ供給機能を、軽油がごみ収集車熱量供給機能を担っている。

(2) シナリオ 2「一般自治体現状シナリオ」S2

一般的な自治体の現状を想定したシナリオとなっている。家庭プラ容は分別され、それ以外の家庭一般ごみは混合収集されるとした。化石燃料由来のプラスチック製造がプラ供給機能を、軽油がごみ収集車熱量供給機能を担っている。

(3) シナリオ 3「PHBH 導入(原料輸入)シナリオ」S3

パームは主にマレーシアからの輸入を想定し、輸入パーム油から PHBH を製造する現状の技術を想定したシナリオである。代替品目はごみ袋、レジ袋である。家庭プラ容に排出された PHBH 製品は選別・梱包され、メタン発酵槽に投入されるとした。発酵残渣は焼却処理されると想定した。

4.1.6 単位プロセスモデル作成

(1) パーム油輸入プロセス

国外(主にマレーシア)でのパーム栽培、搾油・精製、日本までの輸送における消費エネルギー及び CO₂ 排出を評価した。平井ら(2008)²⁾、トヨタ-みずほ(2004)³⁾、NPO 法人⁴⁾、蒲原ら(2009)⁵⁾より得たデータを用いた。

(2) 土地利用変化プロセス

今後ジャトロファ等の油脂作物を国内栽培することが想定されるため、京都府内で再生利用が期待される休耕地等 387ha(農水省^{9),10)}により府内休耕地等の 30%を再生利用すると設定)について炭素ストック量を評価し、計上することとした。

休耕地等からジャトロファ栽培地への土地変化に伴う CO₂、N₂O 排出を評価した。Sophia et al(2018)¹¹⁾、Jeroen et al(2016)¹²⁾、Firdaus and Husni(2012)¹³⁾、Sangeeta¹⁴⁾からジャトロファの生体バイオマス炭素ストックは 0.56t-C/ha/yr、土壌炭素ストックは 1.60t-C/ha/yr、枯死体炭素ストックは 0.60t-

C/ha/yr と設定し、温室効果ガスインベントリオフィス(2019)¹⁵⁾に基づいてモデルを作成した。環境省¹⁶⁾より京都府の有機質土壌農耕地面積は 0%なので、鈇質土壌のみ考慮した。ジャトロファ栽培を必要としないシナリオでは同等の休耕地等における炭素ストックをマイナス計上した。

〈転用のない土地、生体バイオマス〉

$$\Delta C_{biomass} = A_{nl} * (0.56 - B * 0.48 / Y) \quad \text{Eq. 1-1}$$

$\Delta C_{biomass}$: 生体バイオマス炭素ストック [t-C/yr]

A_{nl} : 転用の無い土地[ha]

0.56 : ジャトロファの生体バイオマス炭素ストック [t-C/ha/yr]

B : 土地利用変化前の生体バイオマス(=10) [t-d.m./ha] (設定値)

0.48 : 土地利用変化前の生体バイオマスの炭素ストック [t-C/t-d.m.]

Y : 20 years

〈転用のある土地、生体バイオマス〉

$$\Delta C_{biomass} = A_l * (0 - 13.5) * 0.47 / Y + A_l * 0.56 \quad \text{Eq. 1-2}$$

A_l : 転用のある土地[ha]

13.5 : 土地利用変化前の生体バイオマス [t-d.m./ha]

0.47 : 土地利用変化前の生体バイオマスの炭素含有率 [t-C/t-d.m.]

〈枯死体〉

$$\Delta C_{litter} = A * (0.60 - 0) \quad \text{Eq. 1-3}$$

ΔC_{litter} : 枯死体の炭素ストック [t-C/yr]

0.60 : ジャトロファの枯死体炭素ストック [t/ha/yr]

0 : 微量またはデータなし

〈鈇質土壌の耕起による排水からの N₂O 排出〉

$$N_2O_{direct-Nminral_C,G} = A * 0.23 \quad \text{Eq. 1-4}$$

$N_2O_{direct-Nminral_C,G}$: 土地利用変化の N₂O 排出 [kg-N₂O-N]

0.23 : 鈇質土壌の耕起による排水からの N₂O 排出 [kg-N₂O-N/ha]

(3) PHBH 製造プロセス

本プロセスでは、消費エネルギーと CO₂ 排出を評価した。本検討で対象とする PHBH については、Akiyama et al(2013)¹⁷⁾の論文の大豆油を原料とした PHBH 樹脂製造(Case.5)のイベントリデータを使用した。なお、以下の補正を加えた。

- 本検討での PHBH 製造樹脂原料はジャトロファ油、廃食用油、パーム油を想定しているため、大豆栽培段階のイベントリデータは使用しない。
- 大豆油からの PHBH 収量 0.8g-PHBH/g-oil を基に、以下の式からジャトロファ油、廃食用油、パーム油の PHBH 収量 [g-PHBH/g-oil] を算出した。脂肪酸に関する組成データはカナダ¹⁸⁾、明石(2019)¹⁹⁾、及び本事業検討会資料²⁰⁾より得た。

$PHBH \text{ 収量} = 0.8 * \text{原料油の脂肪酸における炭素比率} / \text{大豆油の脂肪酸における炭素比率} * \text{収率}$ Eq. 2

収率 : ジャトロファ油、パーム油 | 100%、廃食用油(以下、WCO) | 80% (設定値)

- 有機酸発酵段階、PHA 生成菌培養段階のイベントリデータを各収率で除して補正した。

- 消費電力由来の CO₂ 排出係数を 2018 年度の実績値²¹⁾に変更した。
- PHBH 製造の加温に焼却処理及び GE 発電の排熱を利用することを想定しているため、蒸気由来の消費エネルギー及び CO₂ 排出を除いた。

表 48 脂肪酸 C 含有比率[%]と PHBH 収量[g-PHBH/g-oil]

	大豆油	ジャトロファ油	廃食用油	パーム油
脂肪酸 C 含有比率[%]	76.78%	76.53%	76.73%	76.06%
PHBH 収量[g-PHBH/g-oil]	0.8	0.797	0.640	0.793

(4) 化石燃料由来プラスチック製造プロセス

S1～S3 は化石燃料由来のプラスチックを製造、供給する。汎用プラスチック²²⁾(以下、汎用プラ)製造に伴う消費エネルギー及び CO₂ 排出を評価した。また、汎用プラ製造に必要な原油の採掘輸送に伴う消費エネルギー及び CO₂ 排出も評価に含めた。汎用プラに必要な原油量は得率ではなく、それぞれの発熱量比で算定した。

(5) 収集プロセス

事業系一般ごみについて分別収率を設定した。分別収集の対象は、厨芥類、紙類となっており、各 50%の分別収集率とした。

収集プロセスでは、収集車による軽油燃焼に伴う消費エネルギー及び CO₂ 排出を評価した。

全シナリオで廃食用油は混合収集、事業一般ごみは「事業可燃ごみ」、「事業厨芥類」、「事業紙類」の 3 区分で分別収集、家庭プラ容も S1 以外では分別収集される収集頻度は家庭・事業一般ごみは週 2 回(年 104 回)、家庭プラ容は週 1 回(年 52 回)、廃食用油は月 1 回(年 12 回)を想定した。

収集モデルについては、ISIKAWA(1996)²³⁾のグリッドシティモデル(以下、GCM)を用いた。GCM は収集地域を格子状に分割し、排出源となるごみステーションが均一に分散するとの仮定の下、ごみ収集車の積載能力を制約条件に収集対象地域とごみ処理施設間の往復回数、収集距離を推定するモデルである。

家庭一般ごみ、家庭プラ容の回収ステーション(以下、St)数は各行政区のごみ St 数を 50:18 で按分した。事業一般ごみの St 数は家庭一般ごみの St 数と同等と仮定した。家庭 WCO、事業 WCO の St 数はそれぞれ平成 31 年 3 月時点、平成 27 年時点の京都市ヒアリング値を採用した。

収集車については、家庭一般ごみ、家庭プラ容、事業一般ごみは 2t パッカー車、廃食用油は 0.35 t 軽トラックを想定した。

(6) 焼却プロセス

焼却過程での消費電力、燃料消費に伴う消費エネルギー及び CH₄、CO₂、N₂O 排出を評価した。発生する蒸気は発電(発電効率 15%)及び熱利用され、発電電力相当の購入電力に伴うエネルギー消費、CO₂、N₂O 排出をマイナス計上した。焼却物の LHV(低位発熱量)は以下の Steuer の式によって算出した。

$$LHV = 339.4 * (C - 3 * O / 8) + 238.8 * 3 * O / 8 + 1445.6 * (H - O / 16) + 104.8 * S - 25 * (9 * H + W) \quad \text{Eq. 3}$$

LHV : 低位発熱量[MJ/t-wet]

C, O, H, S : 各元素の含有割合[%-wet]

W : 含水率[%]

残渣は埋立プロセスで埋立処分されるものとした。

(7) 機械選別プロセス

機械選別はメタン発酵の前処理として行われる。家庭一般ごみ、事業一般ごみ共に S3 が対象となる。

本プロセスでは、簡易型機械選別設備を採用し、消費電力及び購入電力による CO₂、N₂O 排出を評価した。機械選別率は、タクマ(2006)²⁴⁾より厨芥類 90.0%、紙類(高水分)58.0%、紙類(低水分)24.0%、紙おむつ 75.0%、プラ類 27.1%、その他 70.6%と設定した。紙類(高水分)には、紙類一使捨商品及び紙類一その他を、紙類(低水分)には古紙及び紙類一容器包装を設定し、紙おむつはプラ部分と紙部分それぞれの選別率が等しいと仮定している。残渣は焼却炉で焼却処分される。

(8) メタン発酵プロセス

本プロセスでは乾式高温メタン発酵方式を採用した。消費電力、消費熱及びバイオガスの発生に伴う消費エネルギー及び CO₂、N₂O 排出、CH₄ 漏出を評価した。発酵によるバイオガス発生量は有機物分解率と化学量論式(Eq.4)から推定した。

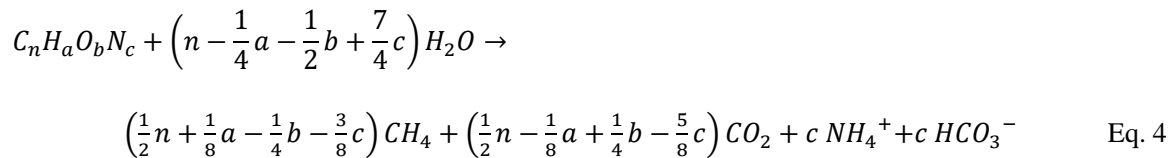


表 49 化学量論式の係数

	C n	H a	O b	N c	CH ₄	CO ₂	NH ₄ ⁺
糖質	6	5	10		1.125	4.875	0
蛋白質	16	24	5	4	8.25	3.75	4
脂質	50	90	6		34.75	15.25	0
繊維質	6	5	10		1.125	4.875	0
MeOH	12	4	16		2.5	9.5	0
グリセリン	36	8	48		7	29	0
PHBH	10	16	4		6	4	0

表 50 メタン発酵における VS 濃度¹³及び VS 分解率¹⁴

parameter		value	Remarks	Ref.
VS 濃度	厨芥類	92.0%		26)
	紙類	95.8%		26)
VS 分解率	蛋白質	69.1%		27)
	脂質	87.7%		27)
	糖質	95.2%	炭水化物分解率を設定	27)
	繊維質(厨芥類)	95.2%	炭水化物分解率を設定	27)
	繊維質(紙類)	66.0%		27)
	グリセリン	100.0%		設定値
	MeOH	100.0%		設定値
	油分(廃グリセリン中)	87.7%	脂質と同程度と仮定	設定値
	PHBH 製品	80.0%		設定値

¹³ VS 濃度 (有機物濃度) とは、廃棄物系バイオマス中の有機物量のことで、強熱減量とも言われる (環境省ホームページより、<http://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/keywords.html>)

¹⁴ VS 分解率とは、有機物のうち、メタンガスに分解する有機物の割合を示し、バイオマスの種類によって異なる値を示す。(環境省ホームページより、<http://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/keywords.html>)

有機分解率は栄養分ごとに設定し、未分解物はすべて発酵残渣に移行、生成する NH_4^+ 、 HCO_3^- は廃水及び発酵残渣中の水分に移行するとして水量で按分した。データは京都市ヒアリング、全国都市清掃会議(2001)²⁵⁾、矢野(2009)²⁶⁾から得たものである。廃グリセリン・含油廃水中の油分は元素組成が不明であるため、酒井ら(2005)²⁷⁾から得られたバイオガス中メタン比率を用いて算出した。発酵槽からのメタン漏出は Daniela et al(2012)²⁸⁾、Morten(2016)²⁹⁾より 1%と仮定した。

(8. 5) GE 発電

GE 発電ではバイオガス中のメタンの LHV と発電効率から発電電力を算出し、消費エネルギーとしてマイナス計上した。発電電力相当の購入電力で排出される CO_2 、 N_2O 排出分をマイナス計上した。浜松ヒートテック³⁰⁾よりメタンの LHV は 35.8 MJ/Nm^3 、発電効率は国立環境研究所(2008)³¹⁾より 37.3%と設定した。

(9) 廃水処理プロセス

消費電力とそれに伴う CO_2 、 N_2O 排出、メタン発酵槽廃水処理で発生する N_2O 排出と一次エネルギー消費を評価した。処理水量は以下の式で算出した。

$$Dw = \max((In-W)/TS*(1-TS), N*TN) - W \quad \text{Eq. 5-1}$$

$$fW = \max((In-W)/TS*(1-TS), N*TN) - rW \quad \text{Eq. 5-2}$$

$$tW = fW - Dw \quad \text{Eq. 5-3}$$

$\max(\alpha, \beta)$: α 、 β のうち最大となる値をとる関数

TS : メタン発酵槽の固形物濃度(=15%) [%]

In : メタン発酵槽投入物[t-wet]

W : メタン発酵槽投入物の含有水分量[t]

N : NH_3 濃度 2,500 ppm 以下を保つのに必要な水量係数(=280)

TN : メタン発酵槽投入物の全窒素[t]

Dw : 希釈水量[t]

fW : 発酵廃水量[t]

rW : 発酵残渣含有水 [t]

tW : 処理水[t]

希釈水及び消化液以外の発酵廃水は廃水処理後に下水として放流した。Daniela et al(2012)²⁸⁾、EEG(2009)³²⁾より消化液の貯蔵は気密を仮定した。

(1 0) 天然ガス採掘・輸送プロセス

本プロセスでは BDF 製造に必要な MeOH (=Methanol) 製造に使用する天然ガスの採掘・輸送に関する環境負荷のみを評価した。天然ガスの採掘に伴う CO_2 、 CH_4 排出、船舶輸送による C 重油の燃焼に伴う CO_2 排出と消費エネルギーを評価した。天然ガスは液化天然ガス(LNG)として国内に輸入されるとした。JEMAI データベース³⁴⁾の値を用いた。

(1 1) メタノール製造プロセス

天然ガスを原料とし、BDF 製造に必要な MeOH を製造する工業的製法プロセスを想定した。製造過程と消費電力に伴う消費エネルギー、 CO_2 排出を評価した。JEMAI データベース³³⁾の値を用いた。

(1 2) BDF 製造・燃焼プロセス

本プロセスでは、京都市の BDF(脂肪酸メチルエステル)を想定し、製造方法は WCO(廃食用油)を

原料とした湿式アルカリ触媒法を採用している。製造時の消費電力、灯油による熱供給、投入物の燃焼に伴う消費エネルギー及びCO₂、CH₄、N₂O排出を評価した。投入物、生成物の原単位は京都市ヒアリング³⁴⁾より得た値を用いた。

(13) 軽油燃焼プロセス

S1、S2ではBDF49.2TJ相当の軽油を燃焼させる。この軽油製造及び燃焼に伴う消費エネルギー及びCO₂、N₂O排出を評価した。また、軽油製造に必要な原油の採掘輸送に伴う消費エネルギー及びCO₂排出も評価に含めた。

(14) 資源プラスチック選別・梱包プロセス

家庭プラ容は処理施設において異物を除去し、その後選別プラスチックとして圧縮梱包されるとし、選別及び圧縮梱包時の消費電力と購入電力由来のCO₂、N₂O排出を評価した。残渣は焼却炉で焼却処分される。

このプロセスはS1以外が対象となっている。また、本検討ではPHBH使用製品がごみ袋とレジ袋のみであり、判別が容易であることから化石由来プラとPHBH製品は混入なく完全に選別されるものと仮定した。残渣発生率、消費電力は稲葉ら(2005)³⁵⁾から得られたデータを用いた。

(15) プラスチック再資源化プロセス

プラスチック製容器包装のリサイクル方法はMR及びCRの二つを採用した。プラスチック循環利用協会(2019)³⁶⁾、環境省排出実態³⁷⁾、³⁸⁾、日本容器包装リサイクル協会(2018)³⁹⁾よりMRが50.9%、CRのうちガス化(以下、CRガス化)が11.6%、コークス炉原料化(以下、CR原料化)が32.1%、高炉還元(以下、CR高炉還元)が5.5%と設定した。

各プロセスは日本容器リサイクル協会(2007)⁴⁰⁾に基づいて作成した。評価するのは、製造時の消費エネルギー、製造時の燃料燃焼及び電力使用に伴うCO₂、N₂O排出である。MR、CRは最終商品の燃焼によりCO₂が排出されるものとして、その評価も含めた。各残渣の元素組成は、環境省(2011)⁴¹⁾の残渣中樹脂組成より求めた。

なお、再商品製造原単位、消費及び代替電力、燃料等は日本容器リサイクル協会(2007)⁴⁰⁾及びJLCA-LCAデータベース⁴²⁾から得た値を用いた。

(16-1) マテリアルリサイクル (MR)

MR技術として、廃プラスチックは再生ペレット樹脂にリサイクルされるとし、再生樹脂収率は52%と設定した。環境省(2011)⁴¹⁾よりバージン樹脂代替率は37.5%と設定した。残渣は焼却炉で焼却処分される。

(16-2) ケミカルリサイクル (CR)

CR技術として、ガス化、コークス炉原料化、高炉還元を設定した。ガス化ではC重油の代替、コークス炉原料化では原料炭、C重油、オイルコークス、BTX抽出(ベンゼン、トルエン、キシレン)の代替、高炉還元では原料炭とC重油の代替を想定した。残渣は、ガス化では埋立処分、コークス炉原料化及び高炉還元では焼却処分を行う。

(17) 搬出プロセス

搬出プロセスの対象は、焼却残渣と設定した。軽油燃焼による消費エネルギー及びCO₂排出を評価した。

(18) 埋立プロセス

好気性埋立を想定し、浸出水処理に伴う電力消費、重機使用による軽油消費に伴うエネルギー消費、CO₂排出と焼却残渣による埋立地消費を評価した。

4.1.7 解析結果と考察

地球温暖化 (GHG) 結果を図 97 に示した。京都市現状 (S2) と比較して、PHBH を導入し、厨芥類等とメタン発酵利用する S3 シナリオは 15.2% (17,000 t-CO₂eq/yr) の削減効果が期待された。PHBH 製造は化石プラ製造と比べ 6,000 t-CO₂eq/yr の増加になるものの、焼却発電及び GE 発電による電力代替効果が 22,000 t-CO₂eq/yr 期待されることから、ライフサイクル全体ではエネルギー起源 GHG 削減効果が得られる結果となった。

エネルギー起源別に整理した結果を図 98 に示した。国内の GHG 排出量としては、バイオガスの GE 発電による削減効果によって京都市現状 (S2) と比較して S3 ではエネルギー起源、非エネルギー起源それぞれ約 2,700 t-CO₂eq/yr、の 22,000 t-CO₂eq/yr 削減効果となった。なお、国外の GHG はパーム栽培～輸入 (エネルギー起源) と栽培段階の土地利用由来 (非エネルギー起源) の GHG である。ただし、今年度の解析では既往研究のパラメータを用いた試算であり、PHBH 製造を含めた本プロジェクトの実証結果を用いた解析が今後必要である。

一次エネルギー消費結果を図 99、図 100 に示した。京都市現状 (S2) と比較して、S3 では 22 TJ/yr の増加となったものの、正味の効果としては負値、つまりエネルギー回収が期待されている。S3 では S2 と比べて発電電力由来の一次エネルギー回収量が 490 TJ 増加するものの、メタン発酵由来の消費電力も増加した。廃水処理の消費電力の寄与は小さくないことから、消化液利用等によって低減できる可能性もあることから、今後検討が必要となる。

埋立地消費結果は図 101 に示したとおり、焼却量の減少によって、S2 と比べて S3 は 8.4% の削減効果が期待された。

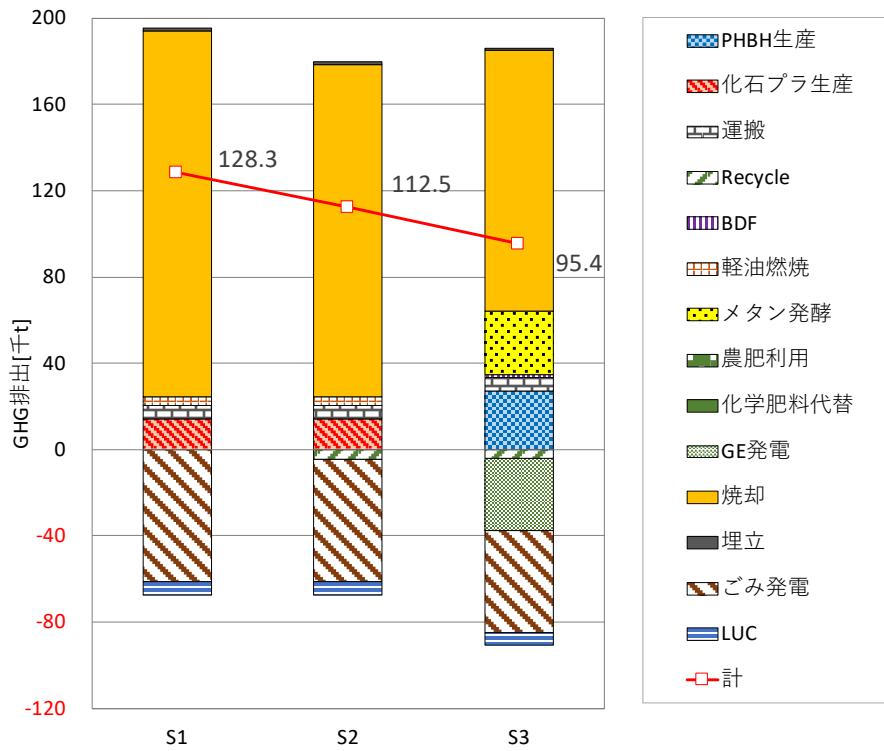


図 97 地球温暖化結果（プロセス別）

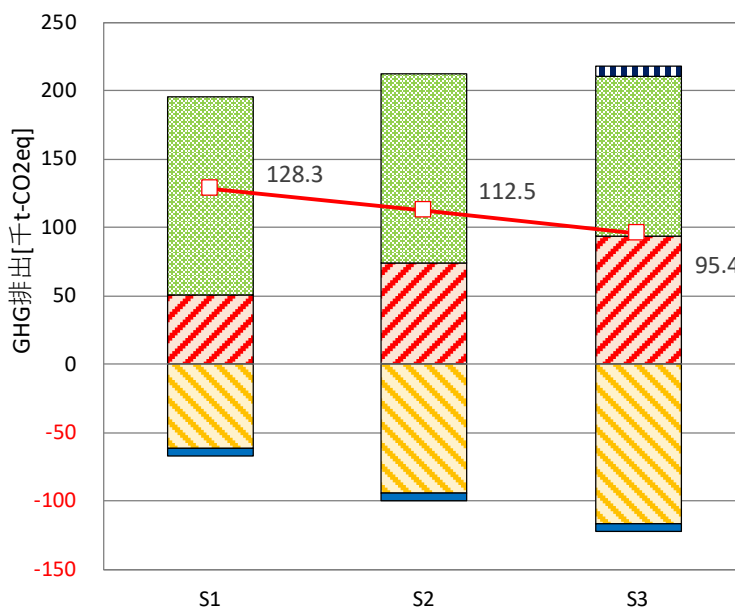


図 98 地球温暖化結果（エネルギー起源別）

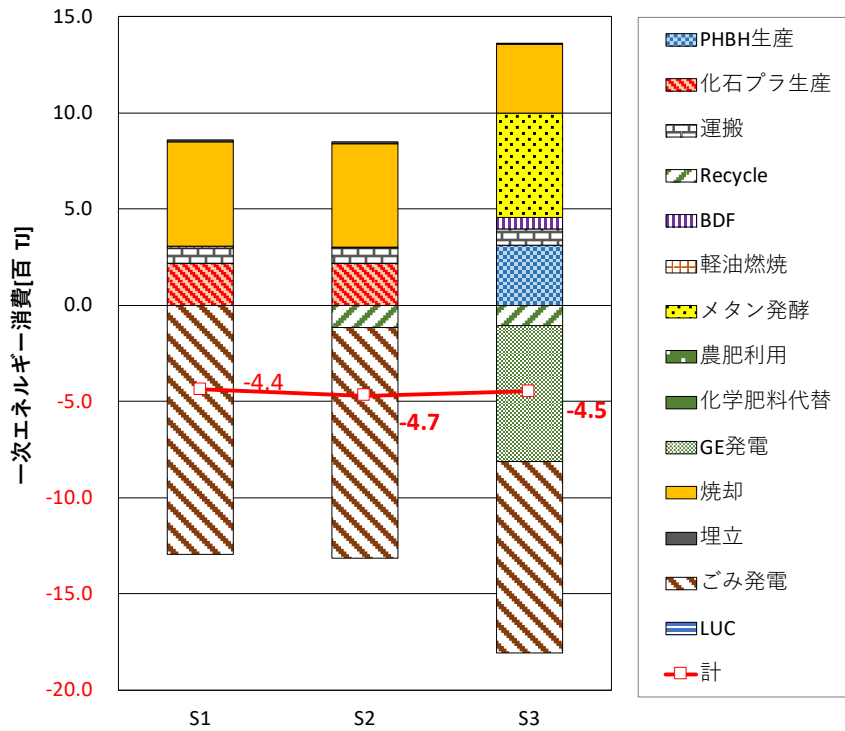


図 99 一次エネルギー消費結果（プロセス別）

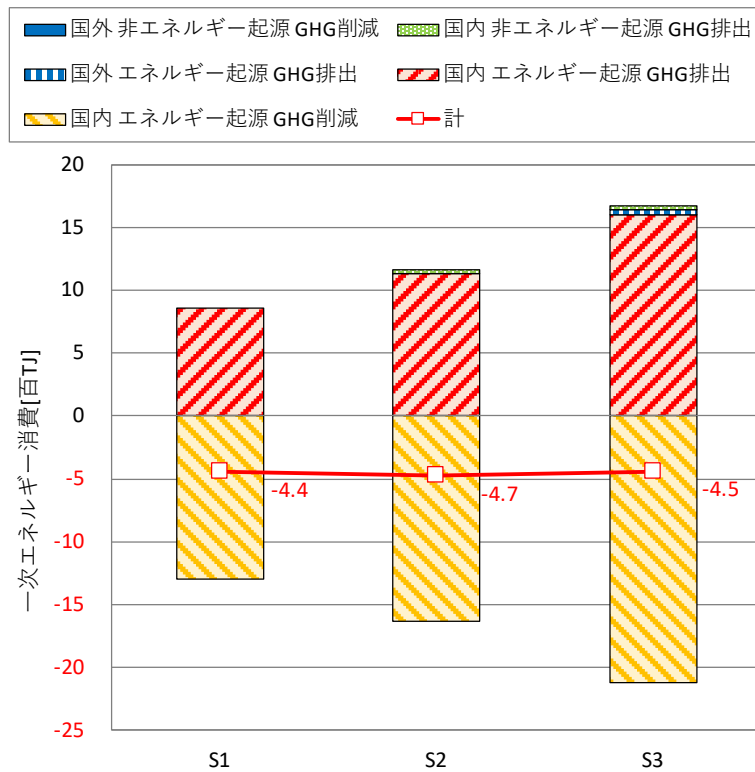


図 100 一次エネルギー消費結果（エネルギー起源別）

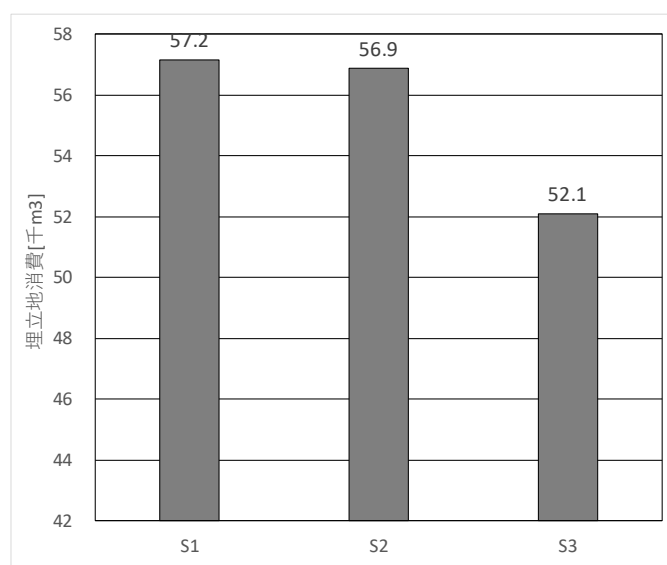


図 101 埋立地消費

4.1.8 まとめと課題

本年度は、PHBH 導入効果を評価するライフサイクル分析のために必要なプロセスについて、既往研究から収集したデータを元にプロセスモデルを作成した。次年度以降、各実証データを反映させることで、本実証結果に基づいた解析へと繋げていく道筋を立てることができた。一方で、ジャトロファ栽培等のモデル化未着手のプロセスも存在することから、引き続きプロセスモデルの精緻化を図りつつ順次追加していく。

また、京都市をケーススタディとしてそのモデルを利用したシナリオ分析を予備試算的に行い、PHBH 製ごみ袋を厨芥類・紙類と一緒にメタン発酵利用する本システムはライフサイクル全体においてエネルギー起源を含む GHG の削減効果が期待されることを明らかにした。発酵残渣や廃水、排熱利用等の循環システムが本年度の解析では組み込まれておらず、こうした資源循環の視点を加味した効果解析を次年度以降進めていく。

<参考文献>

- 1) 環境省：参考資料 3 主な温室効果ガスの温暖化係数一覧、https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_busshitsu/flon_taisaku/pdf/003_s03_00.pdf
- 2) 平井晴己、永富悠、中西哲也、洪起源、姜京善：日本におけるバイオディーゼル導入について(2008)、IEEJ、2008年6月号
- 3) トヨタ自動車株式会社、みずほ情報総研株式会社：日本における輸送用燃料製造(Well-to-Tank)を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書(2004)
- 4) NPO 地球の緑を守る会：資料 4-2 バイオマス燃料の CO₂ 排出等に関する LCA (ライフ・サイクル・アセスメント) 評価について(2) ～ 我が国で想定される導入形態への LCA 適用による試算結果 ～、<http://midori.mond.jp/siryog/g30723b42j.pdf>(2019/11/18 閲覧)
- 5) 蒲原弘継、アヌグラ ウィディヤント、熱田洋一、橘隆一、後藤尚弘、大門裕之、藤江幸一：インドネシア産パーム油由来の BDF 生産・輸入に伴う環境負荷(2009)、環境科学会誌 22(4)、247-256
- 6) 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング：バイオマス燃料の安定調達・持続可能性に係る調査 報告書(2019)

- 7) Konica Sarker, “Review and Comparison of Various Properties of Jatropha oil Biodiesel”(2016), International Journal of Engineering and Technology, Vol.7, No.6, 1965-1971
- 8) Bilha Eshton, Jamidu H.Y. Katima, Evans Kituyi, “Greenhouse gas emissions and energy balances of jatropha biodiesel as an alternative fuel in Tanzania”(2013), BIOMASS AND BIOENERGY, 58, 95-103
- 9) 農林水産省：農用地等の確保等に関する基本指針、https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriyo/t_sinko/sinko_04.html(2020/02/02 閲覧)
- 10) 農林水産省：農用地区域内農地面積の目標について、https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriyo/t_sinko/pdf/menseki.pdf(2020/02/02 閲覧)
- 11) Sophia Baumert, Asia Khamzina, Paul L.G. Vlek, “Greenhouse gas and energy balance of Jatropha biofuel production systems of Burkina Faso”(2018), Energy for Sustainable Development, 42, 14-23
- 12) JEROEN DEGERICKX, JOANA ALMEIDA, PIETER C. J. MOONEN, LEEN VERVOORT, BART MUYS, WOUTER M.J. ACHTEN, “Impact of land-use change to Jatropha bioenergy plantations on biomass and soil carbon stocks: a field study in Mali”(2016), GCB Bioenergy, 8, 433-455
- 13) M.S.Firdaus, M.H.A.Husni, “Planting Jatropha curcas on Constrained Land: Emission and Effects from Land Use Change”(2012), The Scientific World Journal, Volume 2012, Article ID 405084, 7 pages
- 14) Sangeeta Sinha, Seiichi Suzuki, Toshinori Kojima, Shigeru Kato, Sanjay Kumar, “Life Cycle Analysis and Modelling (LCAM) of Jatropha as Biofuel in Dynamic Economic Environment of Newly Emerging Economies”, Review of Asian and Pacific Studies, No.38
- 15) 温室効果ガスインベントリオフィス：2019年提出版 第6章 土地利用、土地利用変化及び林業分野
- 16) 環境省：4.B.1 転用の無い農地 (Cropland remaining Cropland) (CO₂) p.9、https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/methodology/methodology_4B1_2019.pdf(2019/12/31 アクセス)
- 17) Minoru Akiyama, Takeharu Tsuge, Yoshiharu Doi, “Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation”(2003), Polymer Degradation and Stability, 80, 183-194
- 18) 株式会社 カネダ：食用植物油 大豆油、<https://www.kaneda.co.jp/jigyousyokubutsu-yushi.html>(2020/01/27 閲覧)
- 19) 明石欣也, “Seminar on Jatropha”(2019)
- 20) 京都高度技術研究所：PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業 第1回検討会及び意見交換会(2019)
- 21) 環境省、経済産業省：電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）－平成30年度実績－ R2.1.7 環境省・経済産業省公表、https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r01_coefficient.pdf(2020/01/31 閲覧)
- 22) 廣渡紀之、柳沢幸雄：エネルギー消費およびCO₂排出の視点からみたプラスチックの評価 (1998)、環境科学会誌 11(1)、31-37
- 23) Masanobu ISIKAWA, “A Logistics Model for Post-Consumer Waste Recycling”(1996), J. Pack. Sci. Technol. Vol.5, No.2
- 24) 株式会社 タクマ：次世代廃棄物処理技術基盤整備事業補助金 技術開発報告書 乾式メタン発酵法による高効率原燃料回収技術の開発 (2006)
- 25) 社団法人 全国都市清掃会議：コンポガス式メタン発酵技術 検証・確認報告書(2001)

- 26) 矢野順也：都市廃棄物由来バイオマス利用のライフサイクル分析と技術変化を考慮した感度解析 (2009)、京都大学工学研究科都市工学専攻修士論文
- 27) 酒井伸一、平井康宏、吉川克彦、出口晋吾：バイオ資源・廃棄物と温室効果ガスの視点から見た厨芥利用システム解析 (2005)、廃棄物学会論文誌、第 16 巻、第 2 号、pp. 173-187
- 28) Daniela Dressler, Achim Loewen, Michael Nelles, “Life cycle assessment of the supply and use of bioenergy: impact of regional factors on biogas production”(2012), Int J Life Cycle Assess, 17, 11 04-1115
- 29) Morten Bang Jensen, Jacob Møller, Charlotte Scheutz, “Comparison of the organic waste management systems in the Danish-German border region using life cycle assessment(LCA)”(2016), Waste Management, 49, 491-504
- 30) 株式会社 浜松ヒートテック：技術資料 No.24 ガス気体の性質
- 31) 独立行政法人 国立環境研究所：バイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発(2008)
- 32) EEG, “Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien(Reneable Energy Act)”(2009)
- 33) 社団法人 産業管理協会(JEMAI), “JEMAI On-line Database”
- 34) 京都市：ヒアリング 平成 25 年 12 月(BDF 燃料化施設)
- 35) 稲葉陸太, 橋本征二, 森口祐一：鉄鋼産業におけるプラスチック製容器包装リサイクルの LCA (2005)、廃棄物学会論文誌、16、6、467-480
- 36) プラスチック循環利用協会：プラスチックリサイクルの基礎知識 2019 (2019)
- 37) 環境省：平成 21 年度 容器包装廃棄物の使用・排出実態調査報告書 (2010)
- 38) 環境省：平成 22 年度 容器包装廃棄物の使用・排出実態調査報告書 (2011)
- 39) 財団法人 日本容器包装リサイクル協会：平成 30 年度落札結果：速報版（消費税抜き）-PET ボトル（上期分）を追加 (2018/02/28)、<https://www.jcpra.or.jp/news/tabid/101/index.php?Itemid=1772>(2020/01/20 閲覧)
- 40) 財団法人 日本容器包装リサイクル協会：プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討(2007)
- 41) 環境省：プラスチック製容器包装の再商品化に伴う環境負荷の削減効果について (2011)
- 42) LCA 日本フォーラム：JLCA-LCA データベース

4.2 コスト評価

コスト評価にあたっては収集すべき対象データを次表のように整理した。

表 51 コスト評価の項目と必要な収集データ

分類	費目	収集データ	単位
PHBH 製 生ごみ袋 調達	PHBH 原料確保	廃食用油収集費用	円/L-廃食用油
		ジャトロファ油脂生産費用	円/kg-ジャトロファ油
	PHBH 製造	廃食用油精製費用	円/L-廃食用油
		PHBH 生産費用	円/kg-PHBH
		PHBH 生産収率	kg-PHBH/L-廃食用油
	生ごみ袋製造	コンパウンド原料調達費用	円/kg-生分解性樹脂
		コンパウンド製造費用	円/kg-PHBH コンパウンド
		生ごみ袋サイズ	L-生ごみ/枚
生ごみ袋当たり PHBH コンパウンド 使用量		kg-PHBH コンパウンド/枚	
	生ごみ袋成形加工費用	円/枚	
PE 製ごみ袋 調達	PE 製ごみ袋 購入	ごみ袋サイズ	kg-燃やすごみ/枚
		PE 製ごみ袋調達費用	円/枚
収集	ごみ収集・運 搬	ごみ収集・運搬費用（生ごみ分別）	円/kg-生ごみ
		ごみ収集・運搬費用（従来）	円/kg-生ごみ
ごみ処理	バイオガス化	メタン発酵処理能力	kg-生ごみ/日
		メタン発酵処理費用	円/日
		メタン発酵消化液発生量	m ³ -消化液/日
		メタン発酵消化液処理費用	円/m ³ -消化液
	焼却	焼却費用	円/kg-燃やすごみ
再資源化 物売却	電力・熱コス ト減少分	バイオガス発生効率	m ³ /kg-生ごみ
		バイオガス発生効率	m ³ /kg-PHBH
		発電効率	kW/m ³ -バイオガス
		売電価格	円/kW
	肥料売却益	メタン発酵消化液の売却益（液肥）	円/m ³ -消化液

最終年度における詳細な解析に向けて、次年度は、文献値データ、本事業で得られるデータの収集・整理を進めていく。

5. まとめと今後の課題

本年度は、廃食用油の分析・前処理技術・収集方法に関する基礎的検討、廃食用油以外の国内での油脂源の利用可能性に関する検討、生ごみ袋に用いる PHBH コンパウンドの試験的開発、PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ回収方法の検討、それらに関するライフサイクルでの CO₂ 削減効果及びコスト変化の定量化に向けた検討等を行った。

5.1 廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造に関する実証事業（実証事業 1）

（1）生活系・事業系廃食用油を PHBH 原料に利用するための前処理技術に関する検討

廃食用油の分析・前処理技術・収集方法に関する基礎的検討については、実際に回収した廃食用油を原料に PHBH を培養生産し、その生産性に関する検討を行った。その結果、廃食用油を原料とした PHBH の生産性はパーム油と比べて低下すること、また、その原因は添加剤の有無や油脂の劣化度ではなく、油脂原料の脂肪酸構成の差異である可能性が高いことを確認した。具体的には、ミリスチン酸及びパルミチン酸含量の高い廃食用油は PHBH 生産性が高いことが示唆されている。加えて、廃食用油の培養で得た PHBH の品質としてポリマー成型加工時の熱着色の程度（Yellow Index）と熱安定性を指標に取り上げ、廃食用油の前処理技術の評価を行った。その結果、確実な前処理技術として蒸留精製技術をラボレベルで確立できた。また、濾過・脱水処理のみを行う簡易精製法でも、残留した色素成分が PHBH 生産菌によって資化されているとみられ、PHBH ポリマーの色調には大きな影響を与えないことが分かった。熱安定性については一部の廃食用油では課題が残っており、今後、原因の明確化と改善手法の開発が必要となる。

以上を踏まえ、次年度も引き続き廃食用油の入手と使用評価を進め、PHBH 生産性の向上とともに、ポリマーの品質管理基準を満たすための廃食用油前処理方法の開発を進める。また、廃食用油利用における、廃食用油前処理、培養（工場実験）、ポリマー精製（工場実験）の各工程のスケールアップを検討する。

（2）PHBH 原料として利用することを念頭に置いた廃食用油の収集方法の検討

家庭系及び事業系廃食用油を市中から広く収集し、その脂肪酸構成や性状の分布等の調査を行った。その結果、廃食用油はパーム油と比較して飽和脂肪酸比率が低く（パーム油：飽和脂肪酸 42%、廃食用油：飽和脂肪酸 12%）、特に C16 のパルミチン酸含量がパーム油と比較して低いことが分かった。

また、廃食用油排出実態についてアンケート調査を行うとともに、先進自治体における家庭系廃食用油の収集事例の整理とヒアリング調査を行った。先進事例からは、収集方式を 3 類型に整理することができた。ヒアリング調査からは、自治体で回収された廃食用油はバイオ燃料としての使用用途が減少し、現在、回収した廃食用油の需要先を模索している状況にあり、PHBH 原料としての利用は、新たな需要先として期待されることが伺えた。廃食用油の回収率は、調査対象とした自治体においては、賦存量に対して 2 割程度であり、さらなる回収率の向上に向けた合理的な回収システムを検討していく必要がある。

次年度以降は、廃食用油による PHBH の培養検討の結果を受けながら、回収する廃食用油の種類拡大の可能性とそれに合わせて合理的で継続的な回収方法の検討を行うこととしている。

(3) 廃食用油以外の国内外の油脂源の調達可能性及び食料と競合しないジャトロファ等の油脂植物の国内外での栽培と特に国内での原料栽培の検討・実証

廃食用油以外の国内外の油脂源の利用可能性に関する検討については、ソーダ油滓等の油脂製造時の副生成物の排出実態を調査するとともに、油脂作物であるジャトロファについて、国内中山間地における生ごみのバイオガス化施設などの廃棄物処理施設からの排熱及び排ガス中の CO₂ 及びメタン発酵消化液を活用した栽培システムを再現できる実験用温室を用いて、適切な管理による栽培を行うことで、京都地域においてもジャトロファが枯死せず越冬し、子実を形成することを実証した。更に、生ごみバイオガス化での消化液の液肥利用促進のためのペレット化や有効利用につながる各種検討にも取り組んでいる。

(4) 原料の切り替えによる CO₂ 削減効果及びコスト変化に関する検討

廃食用油及び再生可能資源を原料とした PHBH 製造について、その CO₂ 削減効果及びコスト変化を解析するために、システム境界の検討や基礎情報の収集を実施した。

5.2 PHBH のごみ袋及びプラスチック代替製品への利用とバイオガス化に関する実証事業 (実証事業 2)

(1) バイオガス化プラントでの利用に向けた PHBH 製生ごみ袋の製造に関する検討

生ごみ袋に用いる PHBH コンパウンドの試験的開発については、バイオガス化施設への投入を念頭に、嫌気性条件下での生分解性と生ごみ袋に求められる機械特性の観点から検討を行った。

PHBH 単独で製造したフィルムについては、嫌気性条件下でバイオガス化できることが確認され、生ごみ袋の試作に成功した。ただし、評価の結果、生ごみ袋として実用可能な機械特性を達成できないことが分かった。PHBH と市販生分解性樹脂配合物をコンパウンドしたフィルムについては、PHBH 単独と比べて機械特性の改善されることを確認したが、そのバイオガス化率は PHBH 含有量に応じて低減することが分かった。

次年度は、生ごみ袋に求められる機械特性を達成するため、①用いる PHBH の種類（分子組成、分子量）の最適化、②柔軟性を有する市販の生分解性樹脂及び有機フィラーの配合比率、③コンパウンド条件の最適化による分散性の確保等の検討を行い、機械特性とバイオガス化性能を両立するコンパウンドの開発を進める。

(2) バイオガス化を見据えた PHBH のプラスチック代替製品への利用可能性の検討

生ごみ袋以外の用途については、詳細な用途検討に向け、プラスチックの利用状況や世界のバイオプラスチック開発に関する基礎的な情報を収集し、PHBH による石油由来プラスチック代替の考え方を整理した。次年度はプラスチックごみの汚れ具合や素材等の調査等を行い、現実のプラスチックごみの排出実態に即して生分解性プラスチックの代替性を検討する。

(3) PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化に関する検討

各種文献や試行的な実験結果に基づき、PHBH 製コンパウンドフィルムを用いたバイオガス化試験の方法を確立した。同試験方法に基づき PHBH 単独フィルム及び PHBH 製コンパウンドフィルムのバイオガス化試験を行った結果、PHBH 単独フィルムはほぼ 100%バイオガス化すること、PHBH 製コンパウンドフィルムは PHBH 単独フィルムよりも生分解性が劣り、コンパウンドの種類によって生分解率が異なることを確認した。

次年度は本年度に引き続き、PHBH 製コンパウンドフィルムの生分解性試験を継続し、PHBH 製生ごみ袋に求められるコンパウンドフィルムの開発に結果をフィードバックする。また、PHBH 製ごみ袋をバイオガスプラントに投入する際の発酵条件等の探索、実機での運転に向けたバイオガス化性能に関する基礎実験やスケールアップに関する検討についても進める。

(4) PHBH 製生ごみ袋の実用性試験及び生ごみの収集方法等に関する検討

本年度は、先進自治体の事例調査及びヒアリングを通じ、自治体が採用している生ごみの分別収集方法の概要、生ごみ袋の大きさ、分別収集コスト、市民への協力要請、メタン発酵消化液や発酵残渣の利用・処理方法、事業実施上の工夫や留意点等を把握した。

次年度は PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化施設での分解性を踏まえつつ、生分解性プラスチックごみ袋による生ごみの分別について、生ごみだけでなく、その他容器包装プラスチックや資源ごみなどのトータルシステムとして、指定袋などによる分別システムのケーススタディを行い、その経済合理性の予備的検討を行う。

(5) PHBH 製生ごみ袋による CO₂ 削減効果の定量化に関する検討

PHBH 製生ごみ袋による CO₂ 削減効果の定量化に向けて、樹脂別の製造段階の CO₂ 排出原単位や樹脂素材別の元素組成等の基礎データを収集・整理した。石油由来プラスチック製及び PHBH 製生ごみ袋の比較解析にあたっては、システム全体での評価が必要であり、実証事業 3 にて含めて整理した。

5.3 PHA 系バイオプラスチックのライフサイクルでの環境負荷低減効果に関する実証及びコストの評価（実証事業 3）

本年度は、PHBH 導入効果を評価するライフサイクル分析のために必要なプロセスについて、既往研究から収集したデータを元にプロセスモデルを作成した。次年度以降、各実証データを反映させることで、本実証結果に基づいた解析へと繋げていく道筋を立てることができた。一方で、ジャトロファ栽培等のモデル化未着手のプロセスも存在することから、引き続きプロセスモデルの精緻化を図りつつ順次追加していく。

また、京都市をケーススタディとしてそのモデルを利用したシナリオ分析を予備試算的に行い、PHBH 製ごみ袋を厨芥類・紙類と一緒にメタン発酵利用する本システムはライフサイクル全体においてエネルギー起源を含む GHG の削減効果が期待されることを明らかにした。発酵残渣や廃水、排熱利用等の循環システムが本年度の解析では組み込まれておらず、こうした資源循環の視点を加味した効果解析を次年度以降進めていく。

以上のように、本年度は予定した各事業の検討は概ね計画通りに進めることができたといえる。次年度は、当初計画に加え本年度の実証により明らかになった課題も取り込み、更なる検討を進めるとともに、評価審査委員会からの指摘等を踏まえ、より社会実装を意識した取組を進めていく予定である。ただし実証事業の進展や社会環境の変化に応じて、柔軟に計画を見直し、適切に対応していく。

参考資料

1. 実施記録

本事業における検討を行うために、以下のとおり検討会・現地視察会を開催した。

表 1 検討会・現地視察会実施記録

会議名	日時	開催場所	開催内容
第1回検討会	11月26日 11:00~12:00	京都ホテルオー クラ(3階曲水の 間)	(1) 実証事業概要の説明 (2) 実証事業の進捗報告
第2回検討会及び 現地視察会	2月25日 13:45~15:30	(株)カネカ高 砂工業所	(1) 今年度事業の成果及び課題について ・廃食用油からの PHBH 製造に関する検討 ・廃食用油の性状分析結果 ・PHBH 製生ごみ袋製造に関する検討 ・PHBH 製生ごみ袋のバイオガス化に関する検討 ・ジャトロファ等の油脂作物の栽培に関する検討 ・PHA 系バイオプラスチック LCA に関する検討 (2) 次年度の目標と検討内容について (3) その他
第3回検討会	新型コロナウイルス感染症対策 のため中止(メール審議)。		(1) 今年度事業成果のまとめ (2) 次年度課題の整理

また、以下に示す構成でワーキンググループ等を組成し検討を進めた。

- WG1-① : 廃食用油等の PHBH 原料としての利用に向けた検討
- WG1-② : ジャトロファ等の油脂作物の栽培についての検討
- WG2 : PHBH 製生ごみ袋の製造とバイオガス化に関する検討
- WG3 : LCA・その他
- 研究企画会議 : 事業推進に関する企画・総合調整・進捗管理等を行う会議体

表 2 ワーキンググループ会合等実施記録

会議名	日時	開催場所	開催内容
第1回全体会合 (WG1-①、②、 WG-2)	9月6日 13:00~16:00	ASTEM 会議室	・事業実施計画について ・CO ₂ 削減効果及びコスト評価に向けた準備について ・第1回検討会の準備について ・対外公表資料について
第2回全体会合 (WG1-①、②、 WG-2)	12月11日 15:00~18:00	東京交通会館会議 室	・中間評価審査委員会の事前打合せ ・委員会指摘事項への対応方針協議
第3回全体会合 (WG1-①、②、 WG-2)	12月18日 10:00~12:00	ASTEM 会議室	・中間評価審査委員会の結果報告について ・各社における事業進捗状況について ・今後のスケジュールについて ・その他
第4回全体会合 (WG1-①、②、WG- 2)	2月10日 13:30~16:30	新有楽町ビル会議 室	・年度末評価審査委員会の事前打合せ ・委員会指摘事項への対応方針協議
個別会合(WG1- ②)	7月18日 13:00~15:30	ASTEM 会議室	・事業実施計画について(ジャトロファ栽培関係)
個別会合(WG3)	8月5日 13:00~16:00	ASTEM 会議室	・事業実施計画について
個別会合(WG1- ②)	8月26日 11:00~13:00	京都大学	・事業実施計画について(ジャトロファ栽培関係)
個別会合(WG3)	10月2日 10:00~12:00	ASTEM 会議室	・事業実施計画について
個別会合(WG1- ②)	10月7日	ASTEM 会議室	・PHBH 原料としての廃食用油分析調査方法について

①、WG2)	10:00~12:00		<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業系廃食用油サンプル収集先の選定について ・ 家庭系廃食用油サンプル入手について ・ 各社進捗報告
個別会合 (WG1-②)	10月7日 13:00~14:30	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検討の進捗報告 (ジャトロファ栽培関連)
個別会合 (WG-2)	10月25日 13:00~17:30	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第1回検討会に向けた成果及び課題の整理 ・ 中間評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
個別会合 (WG3)	11月11日 12:30~13:00	職員会館かもがわ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第1回検討会の報告内容の整理
個別会合 (WG1-①)	11月13日 11:00~11:30	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第1回検討会の報告内容の整理
個別会合 (WG1-①)	11月25日 11:00~11:30	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第1回検討会の報告内容の整理
個別会合 (WG-2)	11月26日 14:00~16:00	京都市南部クリーンセンター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 京都市南部クリーンセンターにおけるバイオガス化施設視察及び質疑応答
個別会合 (WG1-②)	12月16日 13:00~15:30	京都リサーチパーク (KISTIC 2階 イノベーションルーム)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ジャトロファ及びバナネの栽培状況について ・ 経済合理性の検証に向けたコスト評価について ・ 消化液の利用について ・ 今後のスケジュール確認
個別会合 (WG2)	12月9日 13:00~16:00	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中間評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
個別会合 (WG3)	1月10日 13:00~17:00	京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域における他プロジェクトとの連携について
個別会合 (WG1-①)	1月14日 11:00~16:00	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
個別会合 (WG3)	1月22日 10:00~12:00	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
個別会合 (WG1-①、WG-2)	1月22日 14:00~17:30	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
個別会合 (WG-2)	1月24日 14:00~17:30	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
個別会合 (WG1-①)	2月14日 10:00~12:00	カネカ大阪本社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃食用油の前処理方法の検討について
個別会合 (WG1-②)	2月19日 10:00~13:00	京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第2回検討会及び視察会について ・ 報告書取りまとめに向けた成果及び課題の整理 (ジャトロファ栽培関連)
研究企画会議	11月25日 13:00~17:00	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第1回検討会の準備会 ・ 中間評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
研究企画会議	1月27日 10:00~22:00	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
研究企画会議	1月29日 10:00~22:00	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
研究企画会議	1月31日 10:00~18:00	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
研究企画会議	2月7日 10:00~17:00	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年度末評価審査委員会に向けた成果及び課題の整理
研究企画会議	2月19日 14:00~19:00	ASTEM 会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第2回検討会及び現地視察会について ・ 成果及び課題の整理 (報告書取りまとめ)
研究企画会議	3月6日 10:00~20:00	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成果及び課題の整理 (報告書取りまとめ)
研究企画会議	3月10日 10:00~20:30	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成果及び課題の整理 (報告書取りまとめ)
研究企画会議	3月11日 10:00~22:00	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成果及び課題の整理 (報告書取りまとめ)
研究企画会議	3月12日 10:00~18:00	N 社会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成果及び課題の整理 (報告書取りまとめ)

2. 広報資料

(広報資料)

令和元年11月26日

(公財) 京都高度技術研究所

未来プロジェクト推進室 資源循環研究企画担当
電話 075-366-5331

廃食用油（てんぷら油）等を原料とした生分解性プラスチックの製造・利用から循環に向けたプロジェクトの実施について ～地域が支える新たなバイオプラスチック循環事業～

当財団では、この度、環境省委託事業として、廃食用油（てんぷら油）等を原料とした生分解性プラスチックの製造・利用から循環までを含む新たなシステムの構築を目指すプロジェクトを実施することとなりましたのでお知らせいたします。

本プロジェクトでは、脱炭素社会・循環型社会の構築や海洋プラスチック対策の推進に向け、ポリエチレンなどの石油系プラスチックに替え、新たに廃食用油等の国産の循環資源を原料に生分解性プラスチックを製造します。この生分解性プラスチックをごみ袋に利用し、回収した生ごみとともにメタン発酵(バイオガス化)してエネルギーを回収する新たな循環型ごみ処理システムを、ライフサイクルでの環境影響やコスト解析も踏まえて構築することを目指します。

また、生分解性プラスチック原料の将来的な国産化を目指し、市民による廃食用油の回収率の更なる向上に向けた取組みに加え、バイオガス化施設からの排熱、CO₂及び消化液を活用し、油糧作物であるジャトロファや菜の花を温室や耕作放棄地などを活用して加速的に栽培し、廃食用油や資源作物(油脂)など国産原料から、従来の市バスなどへのバイオ燃料製造・利活用の拡大に加えて、新たに生分解性プラスチックの製造、ごみ袋、汚れる用途の食品容器などへの利用拡大を図り、海洋プラスチック問題や京都議定書に続くパリ協定を踏まえた脱炭素社会に向けた実証プロジェクトを目指します。



1 プロジェクト概要

本プロジェクトは、環境省から「令和元年度脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業（委託）」として受託し、3ヶ年に渡り取り組もうとするものです。

事業名	PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業
事業期間	令和元年度～3年度

本プロジェクトでは、廃食用油や油糧作物など、国内での原料調達による生分解性プラスチックを利用して、広く循環させることを最終目標に、以下の実証事業1～3を実施します。

（実証事業1）

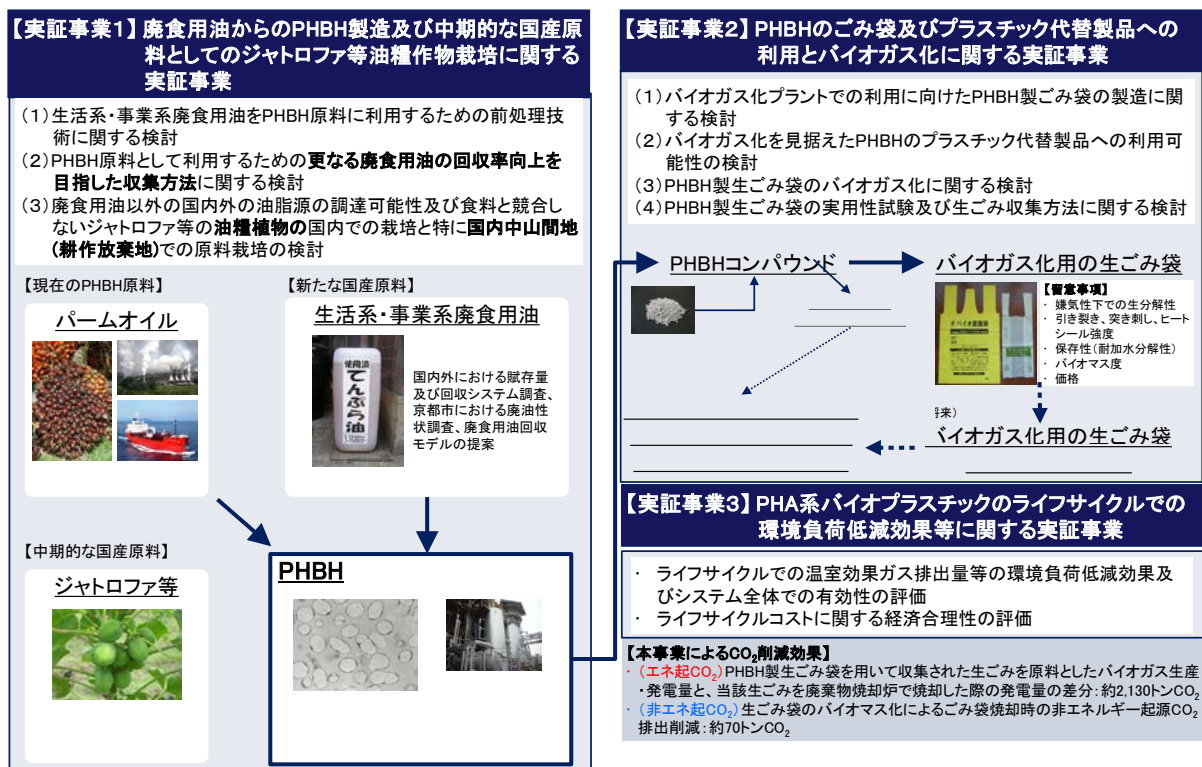
現在、パームオイルから製造されている生分解性プラスチックを、廃食用油などの国内原料から製造することを目指します。また、中期的な国産の原料栽培促進に向けて、廃棄物処理に伴う排熱、CO₂、バイオガス化の消化液などを複合的に活用する栽培システムにより油糧作物であるジャトロファ栽培等の検討を進めます。

（実証事業2）

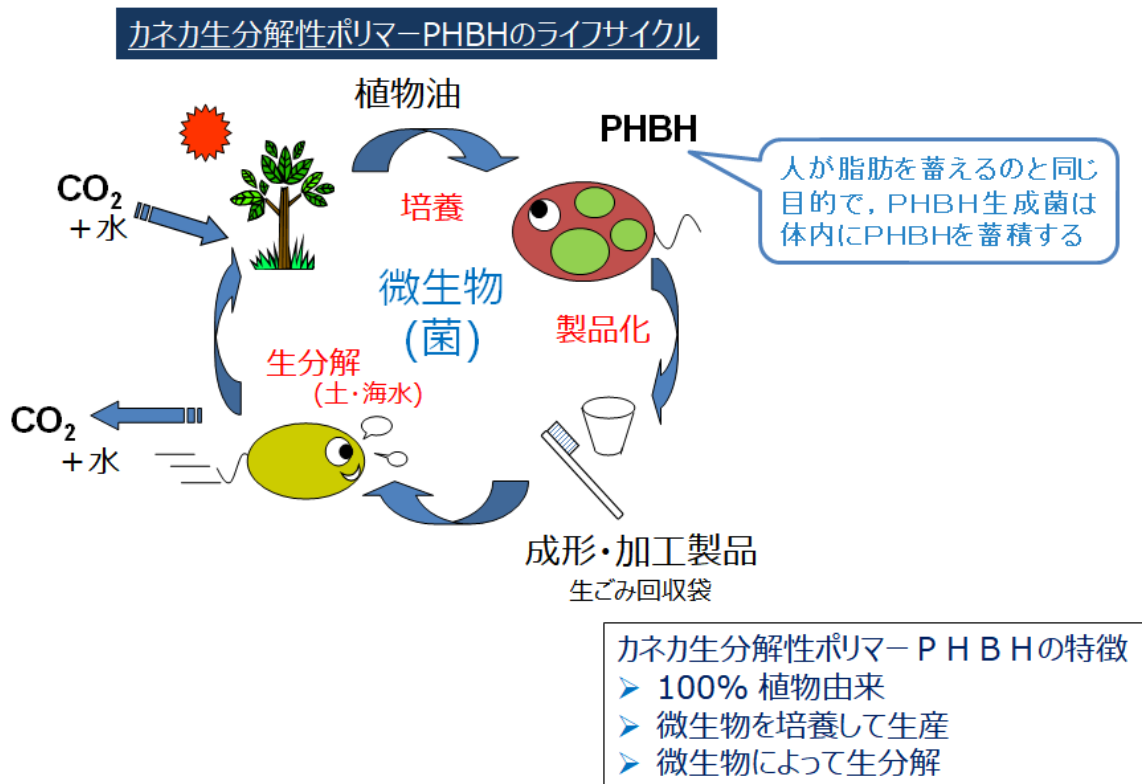
生分解性プラスチック製のごみ収集袋を使用して分別した生ごみを、効率的で低コストなバイオガス化プラントでエネルギー回収するため、バイオガス化時に分解性の高い生分解性プラスチックの開発と生分解性プラスチック製ごみ袋の試作を行います。

（実証事業3）

本事業によるライフサイクルでの温室効果ガス等の環境負荷低減効果及びシステム全体での有効性を評価します。



本プロジェクトでは、生分解性プラスチックとして、植物油を原料として微生物反応を利用して製造でき、高い生分解性を有するカネカ生分解性ポリマーPHBHを取り上げます。



名称	カネカ生分解性ポリマーPHBH*
概要	(株)カネカが開発した生分解性を有する100%バイオマス由来のプラスチック。
原料・製法	現在は東南アジアで生産されるパームオイルを原料として、微生物の発酵によって製造されている。本プロジェクトでは、新たな原料として、廃食用油の利用や国内栽培した油糧作物の利用可能性を検討する。
性状・特徴	汎用樹脂であるポリエチレンやポリプロピレンに類似した軟質系ポリエステル。生分解性樹脂としては加水分解しにくい。他の生分解性樹脂と比較して生分解性が高く、常温でのコンポスト性や海水中での分解性に優れている。国内で唯一、欧州の海洋生分解性の認証**を取得したプラスチックである。
主な用途	ポリエチレンやポリプロピレンの代替樹脂として、食品包装、容器、スプーン・フォーク等の食器類、農業・土木資材など幅広い用途に使用可能。

* 「カネカ生分解性ポリマーPHBH」及び「PHBH」は株式会社カネカの登録商標

** TUV AUSTRIA による海水中での生分解性の認証である「OK Biodegradable MARINE」を取得

2 プロジェクトを構成する検討テーマ

(1) 廃食用油等からの生分解性プラスチックの製造

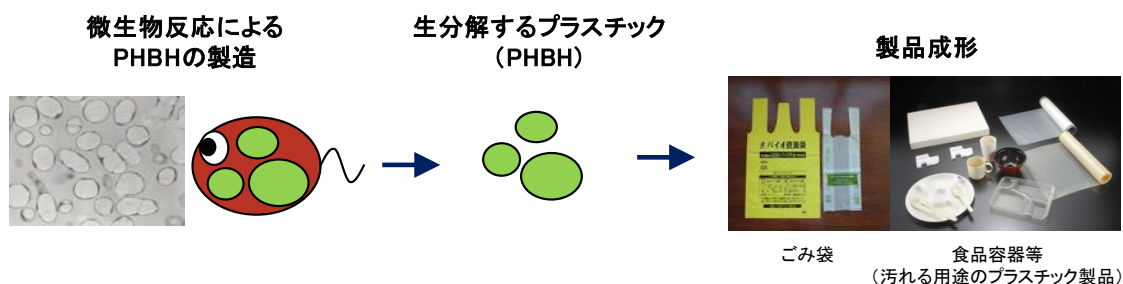
- これまでパームオイルから製造されていた生分解性プラスチックを、使用済み天ぷら油などの廃食用油を原料として製造することを目指します。
- 生分解性プラスチック原料としての廃食用油の利用に向けて、その回収量を増やすために、家庭等から排出される廃食用油の回収率を更に高めるシステムの検討・提案を行います。



- 更に、中期的な生分解性プラスチックの国産原料として、ジャトロファや菜の花等の油糧作物の栽培システムを検討します。(4)にて説明)。

(2) 生分解性プラスチックのごみ袋等への利活用

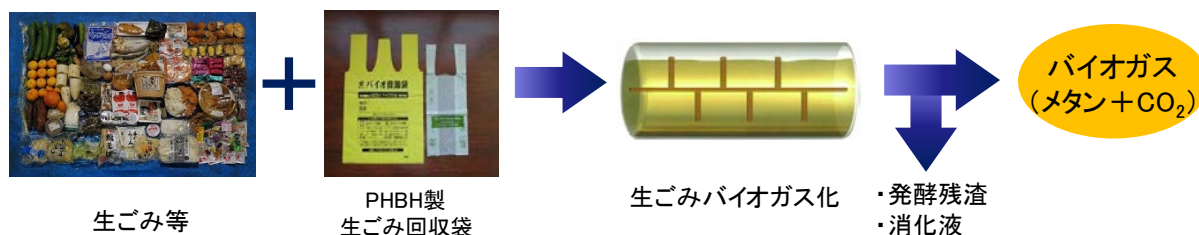
- 生分解性プラスチックを利用するメリットが大きい用途としてごみ収集袋が挙げられます。生分解性プラスチック製ごみ袋を用いて生ごみを収集し、ごみ袋ごとバイオガス化することで、生ごみの効率的な収集及び施設への投入、ごみ袋焼却時の CO₂削減といったメリットが期待されます。
- 本プロジェクトでは、バイオガス化時に分解性の高い生分解性プラスチックを開発し、生分解性プラスチック製ごみ袋の試作を行います。
- また、その他のプラスチック製品（汚れる用途の食品容器等）への利用可能性の検討を行います。



(3) 生分解性プラスチック製品のバイオガス化によるエネルギー回収

- バイオガス化は、生ごみ等の廃棄物系バイオマスを、嫌気条件（酸素濃度の低い条件）で微生物の働きによって分解し、メタンガスと CO₂を含む可燃性ガス（バイオガス）の形でエネルギー回収を行う、新たなリサイクル技術です。
- 本プロジェクトで提案するシステムでは、生分解性プラスチック製ごみ袋で収集した生ごみをバイオガス化することにより、効率的で低コストなバイオガス化プラントから回収するエネルギーを有効に活用します。
- 本プロジェクトでは生分解性プラスチック製ごみ袋を用いた生ごみのバイオガス化について

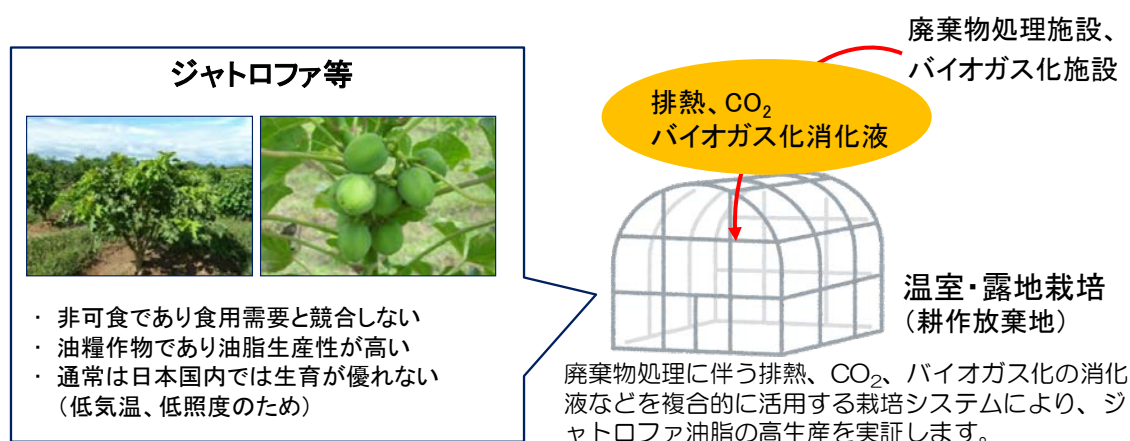
検証を行います。



(4) バイオガス化消化液等を液肥利用するCCUシステムの構築

- ・ バイオガス化等からの排熱や消化液、CO₂を、ジャトロファや菜の花等の油糧作物の成長促進に利用して、国内で耕作放棄地等を活用した温室及び露地栽培を効果的かつ経済合理性のある栽培システムを構築することを提案します。
- ・ 本取組はCCU（二酸化炭素回収有効利用技術）を実現するものです。これにより資源の循環利用の促進を目指します。

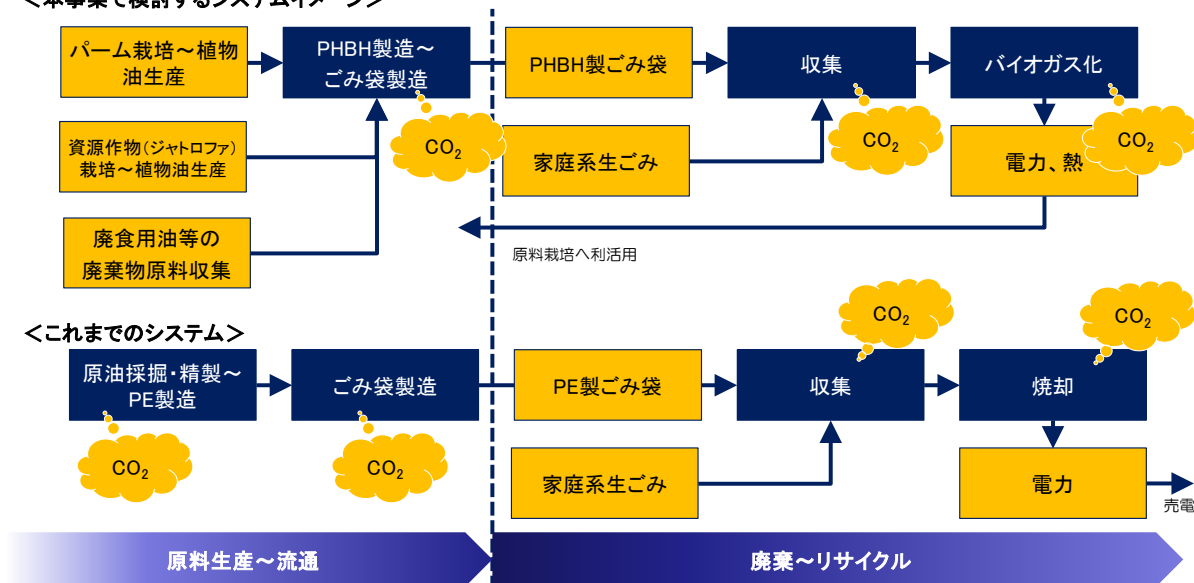
※CCU（二酸化炭素回収有効利用技術）とは、発電所や廃棄物焼却炉等の排ガス中の二酸化炭素（Carbon dioxide）を分離・回収（Capture）し、有効利用（Utilization）する技術のことで、大気中のCO₂の削減や炭素の循環利用を実現に向けてイノベーションの1つとして期待されています。



(5) 環境負荷低減効果・コストの検証

- ・ 国産バイオマスを原料としたPHBHの利活用について、ライフサイクルを通じた温室効果ガス等の環境負荷低減効果を定量化し、システム全体での有効性の評価を行います。
- ・ 更に、コストについても評価・最適化を行うことで、経済合理性を有するシステムを目指します。

＜本事業で検討するシステムイメージ＞



3 実施体制

本プロジェクトは、公益財団法人京都高度技術研究所を核として、産業界や有識者の協力も得て、産学公の連携により実施します。

団体名	主な実施内容
公益財団法人京都高度技術研究所（研究代表）・京都市	<ul style="list-style-type: none"> 新たな循環型のごみ処理システムの構築に向けたプロジェクト全体の総合コーディネート 市民による廃食用油などの回収率の更なる向上に向けた検討 中期的な国産原料確保に向けたCCU活用による国内での油糧作物栽培システムの検討
京都大学	<ul style="list-style-type: none"> LCA解析による、本プロジェクトが目指す循環システムの環境負荷低減効果の評価 市民による廃食用油などの回収率の更なる向上に向けた検討
株式会社カネカ	<ul style="list-style-type: none"> 廃食用油のカネカ生分解性ポリマーPHBH原料化の検討 カネカ生分解性ポリマーPHBH製ごみ袋の製造に関する検討 カネカ生分解性ポリマーPHBHのプラスチック代替製品への利用可能性の検討
日立造船株式会社	<ul style="list-style-type: none"> カネカ生分解性ポリマーPHBH製品（ごみ袋等）のバイオガス化の検討
株式会社レポインターナショナル・京都農業の研究所株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 生分解性プラスチック原料化に向けた多様な廃食用油のサンプリング及び性状分析 原料多様化に向けた、ジャトロファ等の油糧植物のCCUを活用した効果的かつ経済合理性のある国内栽培システムの検討 ジャトロファの優良苗木の提供、温室での栽培
株式会社島津テクノロジー	<ul style="list-style-type: none"> 生分解性プラスチック原料化に向けた廃食用油の詳細分析・阻害要素の検討

なお、本研究開発では、「生分解性プラスチックのライフサイクル実証事業検討会」を設置し、以下の有識者から助言をいただきながら進めています。

(敬称略)

氏名	職名	専門分野
西本 清一	京都大学名誉教授	高分子化学
間藤 徹	京都大学名誉教授	植物栄養学
酒井 伸一	京都大学環境安全保健機構附属環境科学センター教授	廃棄物・リサイクル
明石 欣也	鳥取大学農学部教授	生物資源（ジャトロファ）
浅利 美鈴	京都大学大学院地球環境学堂 准教授	環境教育，廃棄物・リサイクル

4 実施スケジュール及び事業費（予定）

	令和元年度	令和2年度	令和3年度
主なスケジュール			
	<p> 廃食用油等からの生分解性プラスチックの製造に係る検討 製造した生分解性プラスチックを用いたごみ袋のバイオガス化に係る検討・実証及びLCA評価 </p>		
事業費（6.0億円）	2.5億円	2.0億円	1.5億円

エコなプラ製品 天ぷら油で

新しい循環型システムの構築に向け開かれた検討会(京都市中京区)



京都高度技術研、回収油使い実証実験

プラスチックごみによる海洋汚染の広がりが問題となる中、京都市内で回収した使用済みの天ぷら油などを使って環境にやさしい「生分解性プラスチック」を作る実証実験を、京都高度技術研究所(ASTEM、下京区)などが始めた。企業と連携してごみ袋や食器などを製品化し、廃棄後にエネルギーとして活用する新たな循環型システムの構築を目指す。

プラスチックごみの海洋への排出量は世界全体で推計800万トン(2010年)に上っており、50年までに海中のプラスチックの量が魚の量を上回るとの試算もある。植物油を原料とする生分解性プラはポリエチレンなどの石油系プラと違い、海や土の中で微生物により分解される。素材メーカーのカネカ(大阪市)が、東南アジア産のパーム油を原料にした生分解性プラスチックの開発技術を持っている。実験では原料を輸入のパーム油ではなく、国産で安定的に供給できる植物性の燃料油や、天ぷら油などの

「生分解性」ごみ袋を試作

廃食油に置き換える。開発する生分解性プラスチックから生ごみ用のごみ袋や使い捨て食器を試作する。さらに、生ごみの発酵で生じたメタンガスを使うバイオガス発電も促進し、バイオガス化で生じた排熱や二酸化炭素を燃料油の元となる植物の栽培に活用するなど、新たな循環型システムをつくる。

ASTEMがカネカと日立造船(大阪市)と共同で実施し、京都大や京都市などが後方支援する。環境省の受託事業で、事業費は本年度から3年間で計6億円。

26日に中京区のホテルで関係者による検討会があった。ASTEMの西本清一理事長が「市民が回収した油を使って見事な循環型システムをつくりたい」と意気込み、来賓として出席した同省環境再生・資源循環局の山本昌宏局長も「新たなシステムを京都から世界に発信してほしい」と期待を寄せた。(小野俊介)

(引用) (株) 京都新聞社「京都新聞」(令和元年11月28日)

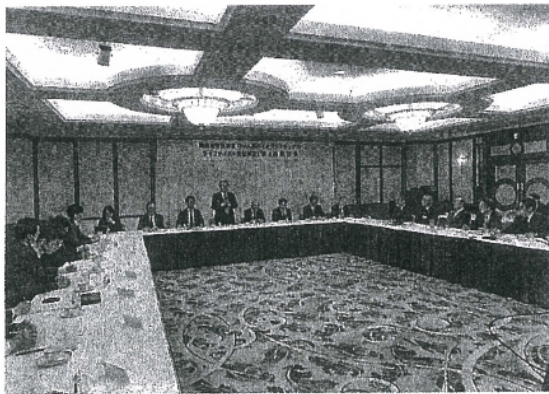
バイオプラで実証へ

検討会の初会合開く

京都高技術研究所

(公財)京都高度技術研究所と京都市は、11月26日に京都市の京都ホテルオークラで、P H A系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業の第1回検討会を開催した。検討会には、環境省環境再生・資源循環局長山本昌弘局長らも出席した。

同研究所は、環境省の脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業を受託



初会合は、11月26日に京都市で開かれた

「本当の意味の循環系をつくるプロジェクトであり、要素技術をシステムに仕上げ、地域へ波及していきたい」と話した。続いて、環境省の山本局長は、「環境省として大

きく期待している」とし、「世の中を変える原動力は、やはり地域。地域循環共生圏の構築、プラスチック資源戦略の推進、地球温暖化対策にとって非常に意義のある取組

み。京都発で世界に誇れる仕組みを」と述べた。また、京都市環境政策局長の長谷川一樹局長、京都大学環境安全保健機構附属環境科学センターの酒井伸一教授からもあいさつがあった。

事業では、廃食用油などの国内原料から生分解性プラスチックを製造することを目指し、廃棄物の処理に伴う排熱やCO₂を評価する。

実証事業には、同研究所のほか、京都市、京都大学、(株)カネカ、日立造船(株)、(株)レポインタナショナル・京都農業の研究所(株)、(株)島津テクノリサーチが参加。今年度から2021年度までの3カ年にわたる実証を継続、事業費は6億円となっている。

(引用) 環境産業新聞社「ウエイストマネジメント」(令和元年12月5日)



来賓として挨拶する環境省の山本昌宏環境再生資源循環局長

プロジェクト参画メンバーと主な役割

団体・社名	主な実施内容
(公財)京都高度技術研究所【研究代表】 京都市	廃食用油の回収率向上の検討、プロジェクト全体の総括など
京都大学	LCA解析、環境負荷低減効果の評価など
(株)カネカ	廃食用油のカネカ生分解性ポリマー-PHBH原料化の検討など
日立造船(株)	製品(ごみ袋など)のバイオガス化の検討など
(株)レポインターナショナル 京都農業の研究所(株)	多様な廃食用油のサンプリングや性状分析、ジャトロファなどの油糧植物の国内栽培検討など
(株)島津テクノリサーチ	生分解性プラスチック原料化に向けた廃食用油の詳細分析など
三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)	世界的な生分解性プラスチックの動向に関する情報収集や用途の検討など

生分解性プラスチックの実証プロジェクト開始

(公財)京都高度技術研究所ほか

(公財)京都高度技術研究所や京都市をはじめとする9社・団体は11月26日、環境省が進める「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」の委託を受けた「PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業」を開始した。廃食用油などからの生分解性バイオプラスチック製造と、ごみ袋や食品容器などの製品成形を軸に、使用済製品の回収支援、それらを原料とし

た生ごみとのメタン発酵などを視野に入れる。生分解性バイオプラスチックの製造・利用のみならず、同時に多様なバイオマスを地域内で循環利用させる仕組みを構築させることで持続可能な社会モデルを示す考え。

実証は今年度からの3カ年で事業費は6億円。市民参画によるバイオディーゼル燃料の製造などで実績を持つ京都市をフィールドに、産官学の連携によるプロ

ジェクトを展開していく。

廃食用油を原料とした生分解性プラを

事業には(株)カネカが開発した生分解性ポリマー「PHBH」の製造技術を用いる。通常はパームオイルが用いられるが、京都市域から回収した使用済み天ぷら油などの廃食用油を原料にするのが最大の特徴だ。

主な循環利用の仕組みは、①廃食用油によるPHBHの製造、②廃食用油PHBHを素材にしたごみ袋などの製品製造、③生ごみの分別収集と廃食用油PHBH袋の利用、④生ごみと廃食用油PHBHを用いたメタン発酵、⑤バイオガス化による付加価値創出(熱電供給、CO₂製造、消化液の液肥利用)など。安定的な製造を維持していくため廃食用油の回収量を増やしたり、中期的にはジャトロファといった国産原料の開発を手がける。また、製造から廃棄までのライフサイクル全体での環境負荷を評価。環境負荷低減の効果を定量化し、従来型のシステムと比較した優位性を明示していく。

11月26日の第1回検討会および意見交換会は、一部をメディアにも公開し、実施者からの事業概要とこれまでの進捗説明を行った。W

(本誌・川井)

た。社会的経済情勢や施策の実施状況等を踏まえて、法施行後おおむね5年をめどに基本方針の見直しについて検討することとしている。

ノーベル賞の吉野氏が 小泉環境相を表敬

—記念講演では環境問題について発信—

リチウムイオン電池の開発でノーベル化学賞の受賞が決まった吉野彰・旭化成名誉フェローが11月27日、小泉進次郎環境相を表敬訪問し気候変動問題などについて小泉環境相と意見交換した。表敬後、吉野氏は、技術の進展で環境問題と経済性や利便性が共存できるとし、環境問題に貢献し、かつ安く、もっと便利なものが実現する時期に来ていると話した。

また、同氏は前日の26日、東京都内のスウェーデン大使公邸で開かれた祝賀会に出席し、歴代の受賞者9名から祝福を受けた。取材陣の質問に対し、同氏は「ノーベルレクチャーで特に環境問題に関して世界にメッセージを送りたいと思っている。期待していて下さい」と述べた。

なお、同氏はストックホルムで開催された授賞式で記念講演を行い、環境問題について発信した。



小泉環境相（右）から花束を受け取る吉野氏

ごみ出し支援に特別交付税 人件費、車輻関係費等が対象

—総務省—

総務省は11月29日、2019年度特別交付税に「高齢者等世帯に対するごみ出し支援」を創設し、支援内容を都道府県に通知した。ごみ出しが困難な単身の要介護者や障害者を対象に行う支援に対し、所要額の5割を措置する。

支援対象となる費用は、①戸別収集に必要な人件費や車両関係費などの増加経費②NPOなどが行う支援を補助する際の経費③社会福祉協議会などへ委託して支援する際の経費④ごみ出し支援事業を開始する際に必要な対象世帯の調査や計画策定に係る初期経費——となる。

高齢者などを対象にしたごみの戸別回収などの支援は、東京都杉並区などが古くから取り組むなど、これまでいくつかの市町村で実施されているが、環境省の19年調査によれば、実施市町村は全体の23.5%の387市町村に留まっている状況。387市町村の取り組み内容は「ごみ収集事務の一環で実施」が84.7%、「NPOなどへの支援で実施」が10.9%、「社会福祉協議会などに委託」が12.7%となっている。

こうしたデータから総務省ではごみ出しが困難でありながら、必要な支援が受けられないケースが増加していることに注目。「国としてもごみ出し支援の取り組みを推進していることを踏まえ、今年度から特別交付税を講ずる」としている。

なお、担当は総務省自治財政局調整課となっている。

生分解性プラでごみ袋製造へ メタン発酵しバイオガス化も

—京都高度技術研究所—

5月31日に決定した「プラスチック資

源循環戦略」に基づいて、化石由来のプラスチックを段階的に改善し、バイオマス・生分解性プラスチックなどの再生資源を活用した製品へ転換していくことが期待されている。そのような状況のなか、京都高度技術研究所を中心とするプロジェクトがこのほど、原料に廃食用油を用いた生ごみ用の生分解性プラスチックごみ袋の開発に着手、さらに、生ごみを入れたこのごみ袋とともにメタン発酵を行い、バイオガス化してエネルギー回収を行う循環型ごみ処理システムの構築に動き出した。海洋プラスチック問題に対応する事業であるとともに、ごみをバイオマス処理するために脱炭素社会に貢献する試みとして注目される事業だ。プロジェクトには同研究所を中心に、京都大学、カネカ、日立造船、レポインターナショナル・京都農業の研究所、島津テクノリサーチが参画している。

同事業は環境省が公募した「2019年度脱炭素社を支えるプラスチック等資源循環システム構築事業」（委託事業）に採択された15件（応募数30件）の一つで、事業名は「PHA系バイオプラスチックのライフサイクル（LCA）実証事業」。事業費は6億円で、事業期間は21年度までの3カ年。廃食用油を原料に生分解性プラスチックのごみ袋を製造し、バイオガス化時に分解性の高い素材の開発を進める。また、中期的な国産原料の栽培促進に向けて、廃棄物処理に係る廃熱、CO₂、バイオガス化時に発生する消化液を複合的に活用した栽培システムを構築。さらに、油分が多くバイオ燃料として関心が高まっているジャトロファ（生物資源）栽培などの検討を進めるほか、LCAの観点から、温室効果ガスなどの環境負荷低減効果と、コストなどシステム全体の有効性の評価を行う。

同事業ではカネカが開発した「カネカ生分解性ポリマー PHBH」のポリマー生

成工程を適用する。同ポリマーは、東南アジア産のパームオイルを原料に、微生物の発酵で生分解を行っているもの。製品は100%バイオマス由来のプラスチックで、食品包装、容器、スプーン、フォークなどの食器類や農業・土木資源などに使用できるという。材質は、従来のごみ袋に使用されている汎用樹脂のポリエチレンや、ポリプロピレンに似た軟質のポリエステルで、加水分解しにくく、ほかの生分解性樹脂と比較して生分解性が高いため、水分を含む生ごみ用ごみ袋としては問題がない。さらに、常温で堆肥性や海水中の分解性に優れており、日本で唯一、欧州の海洋生分解性の認証「OK Biodegradable MARINE」を取得したバイオマス由来のプラスチックである。

今回使用する生分解性プラスチックは原料のパームオイルを廃食用油に代替する。そのため、廃食用油の回収量を増やす必要があり、家庭などから排出される廃食用油の回収率をさらに高めるシステムの検討、提案も実施。また、食品容器などその他プラスチック製品への利用も検討する。

バイオガス化は20年度以降に行われる予定で、施設は日立造船が建設した京都市南部クリーンセンターのバイオガスプラントが候補に挙がっている。実証では嫌気条件下で微生物分解を行い、メタンガスとバイオガスとしてエネルギーを回収し、生分解性プラスチックのごみ袋を用いた生ごみのバイオガス化を検証。さらに、消化液などを液肥利用するCO₂回収有効利用技術を構築し、資源循環利用を目指すほか、コストの評価、最適化も検証していく。

なお、同事業は11月26日、京都市内で、環境省環境再生・資源循環局長の山本昌宏氏らを来賓に迎えて、第1回検討会と意見交換会を開催した。意見交換会では京都大学教授の酒井伸一氏がプラスチック資源循

環戦略小委員会の委員長としてプラスチックの目指すべき方向性を示したほか、京都市環境政策局長の長谷川一樹局長は同市のプラスチックに係るアクションプランを紹介。カネカは今後の方向性を説明した。

生分解性プラのレジ袋を共同開発

—凸版印刷と GSI クレオス—

凸版印刷と GSI クレオスはこのほど、地中に埋めると微生物によって水と CO₂ に分解され、廃棄物発生を抑制する効果が期待されている生分解性プラスチックを用いたレジ袋を開発した。GSI クレオスが供給する生分解性に優れた樹脂「Mater-Bi（マタビー）」を原料として、凸版印刷が同社から提供された原料に関する情報をベースに、フィルム製造や成型の製造技術力・開発力を活かし、製品化に成功。従来の石油由来のレジ袋に替わる、自然環境の中で容易に分解されるレジ袋として、コンビニエンスストアなどでの普及を見据えている。

凸版印刷は、生分解性プラスチック製品を販売品目に追加し、12月からレジ袋やごみ袋、日用品を中心とする製品などの販売を開始する。

凸版印刷と GSI クレオスは環境負荷低減に貢献する製品・商材を提供しており、プラスチック加工製品においても、製品の調達から廃棄・リサイクルまでのライフサイクル視点で環境・社会的リスクを最小限に抑えるソリューションを展開している。今回の共同開発した技術を環境負荷低減のためのソリューションに追加し、さまざまな社会的課題の解決を図る。

マタビーは、植物由来ポリマーやトウモロコシ澱粉が原料の使い捨てプラスチックの規制が進んでいる欧州で、最も使用実績のある生分解性プラスチック。堆肥に埋めると自然界の微生物の力で水と CO₂ に自



凸版印刷などが開発した生分解性プラを使用したレジ袋

然に分解される特長がある。また、海洋分解性を有することも判明しており、環境負荷を低減する原料として注目されている。

政府改定案は社会変革に不十分 SDGs 実施指針改定案に意見

—IGES—

地球環境戦略研究機関（IGES）は11月25日、政府が同月8日にまとめた国連持続可能な開発目標（SDGs）実施指針の改定案（骨子）に対する意見を発表した。それによると、政府の主な取り組みをまとめた「アクションプラン」は、現在を起点に未来を予測する「フォアキャスティング」のアプローチであり、SDGsの達成に求められる統合性の視点や、経済社会の変革（トランスフォーメーション）の実現には不十分と指摘。そのため、未来の姿から逆算して現在の施策を考える「バックキャスティング」の視点を踏まえた、日本としてのゴールやターゲットなどを含めるべきだとしている。また、ゴールやターゲットの進捗状況を評価する際は、分かりやすいレポートで示し、進捗を管理すべきだとしている。SDGs 実施指針は、日本が30年までに国内外でSDGsを達成するための中長期的な国家戦略で、現行指針は16年12月に政府の推進本部（本部長・安倍晋三首相）で決