

令和4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と

用途展開システム解析事業) 委託業務

成果報告書

令和5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4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と用途展開システム解析事業」

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)、シーピー化成(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ごみ対策の推進に向け、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)を製造し、その利用から廃棄までの一連したシステム開発を行うものである。

令和元年度～3年度に実施した「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」では、廃食用油を原料としたPHBH製造技術を開発するとともに、PHBH製生ごみ袋で生ごみを回収してバイオガス化する一連のシステムをモデル地域において試行的に運用し、その有効性を確認した。本事業では、その成果のスケールアップと社会実装化を推進するべく、食品容器などPHBHの更なる用途展開・製品開発を行うとともに、開発した製品に対応するリサイクルシステムを検討する。国産原料開発については、ジャトロファ等の国内での栽培技術の確立に一定の目途をつけるとともにグリーストラップ由来の油脂など低品質な廃食用油の活用及びその回収システムの検討を行う。これらを通じ、PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析を行うものである。



本事業の概要

（２）本年度の成果

本年度は、PHBH の用途展開先として、比較的成形難易度の低い小型・浅型の食品容器を試作するとともに耐熱性を確認した。また、廃食用油からの PHBH 製造の生産性向上のため発泡抑制技術を検討しタンパク質濃度低減が有効であることを見出した。さらに PHBH 製生ごみ袋で生ごみを回収してバイオガス化する一連のシステム実証のための立地選定を行い、試験設備を搬入するとともに試験計画を策定した。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、ジャトロファの温暖な瀬戸内地方での栽培を開始し、グリーストラップ油泥を回収し油脂分を分離して PHBH 培養生産試験に供した。こうした実証結果に基づき、京都市の家庭系一般廃棄物を対象として、PHBH 製生ごみ袋と PHBH 製食品容器を導入した資源循環システムのシナリオ分析を実施し、ライフサイクルでの温室効果ガス削減効果を確認した。

PHBH の食品容器への用途展開については、試食皿・フードパックタイプの食品容器の試作に成功し、展示会での試食皿の実用性検証を行った。弁当容器の連続成形については、従来品に比べ成形時間が長く不安定な穴あき等が発生することがあるものの、シート厚を増すことで使用可能な強度を有する容器の成形ができた。また、電子レンジが使用可能な 120℃の耐熱温度を確認できた。

廃食用油からの PHBH 生産性向上については、培養液発泡の要因としてタンパク質濃度に着目し、PHBH 生産菌の遺伝子破壊により PHBH 生産に不要なタンパク質を削除することで、培養液中のタンパク質濃度を低減させることをラボ試験で確認した。

PHBH 製生ごみ袋を用いたバイオガス化実証については、地元との対話によりモデル実証地域を選定し、生ごみの回収拠点や回収方法の検討、予備的な PHBH 製品の前処理試験やバイオガス化試験を実施するとともに、バイオガス化試験設備の現地搬入、試験計画の作成を行うなど、令和 5 年度に実施する実証試験の準備を行った。

PHBH 製品のリサイクルシステム検討については、素材が PHBH に置き換わった場合に PHBH の生分解性・脱炭素性が活かされる用途を整理するとともに、バイオガス化向けプラスチック製食品容器を収集するための新たな仕組みを検討した。

PHBH の循環型ケミカルリサイクルへの適合性を検討するための基礎情報を得るために、PHBH 単独及び汎用プラスチックと混合した熱分解試験を実施し、分解生成物の確認を行った。

国産バイオマスの国内栽培に関して、ジャトロファについて温暖な瀬戸内での露地栽培及び京都市内でのスケルトン温室による越冬並びに収量増加のための検討を行った。菜種については京都市内での消化液利用による収量増加の検討を行った。また、両者の国内栽培での収量目標値を設定し、到達度を評価した。

PHBH 製食品容器のバイオガス化試験を実施するための予備試験として、厚みがある PHBH シートの分解試験を実施するとともに、消化液の農業利用のための散布方法及び施用方法の検討を行った。

低品質な廃食用油の有効利用については、グリーストラップ油泥を取り上げその回収方法や発生源等に応じて抽出油脂（トラップグリース）の収率・性状を明らかにするとともに、PHBH 培養生産試験を実施した。また、全国における飲食店からのトラップグリースの発生量の推計を行った。

本事業で提案するシステムのライフサイクルでの温室効果ガス削減効果の定量化については、PHBH 導入効果を評価するために、新たに食品容器のインベントリデータを収集・整理し、プロセスモデルの改良を図った。さらに試行的に京都市の家庭系一般廃棄物を対象にケーススタディとして PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製食品容器を導入した資源循環システムのシナリオ分析を実施した結果、エネルギー起源・非エネルギー起源合計で、導入前と比較して約 16%（約 1.4 万 t-CO₂eq/年）の

温室効果ガス削減効果が確認された。

以上のように、本年度における各事業の検討課題は概ね計画通りに目標を達成することができた。次年度は最終年度であり、各検討課題の目標を達成し技術確立を図るとともに、ライフサイクルでの温室効果ガス削減効果の確認によりシステムの有効性を示し、社会実装に向けた課題を整理することとしたい。

Summary of the progress of the demonstration project in FY2022

Life cycle demonstration project for PHA-polymers and system analysis of application development

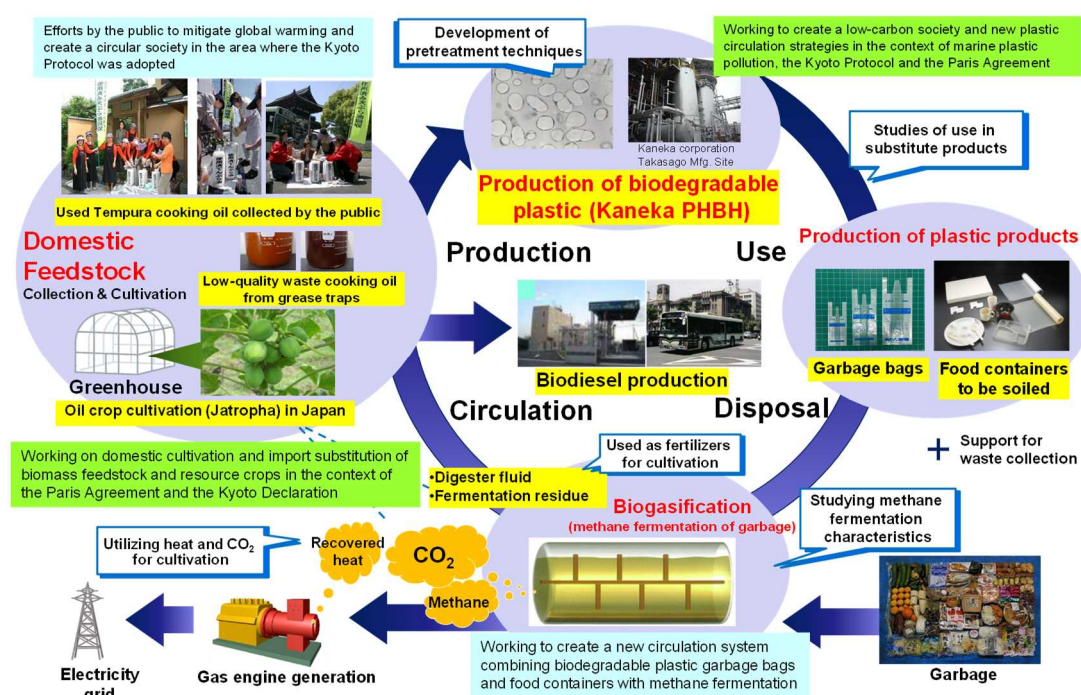
Representative: Advanced Science, Technology & Management Research Institute of KYOTO

Jointly implemented by Kaneka Corporation, Hitachi Zosen Corporation, and CP Chemical Incorporated

(1) Outline of the demonstration project

To support the establishment of a decarbonized society and circular economy and reductions in marine plastic litter, this project has started using recycled resources in Japan such as waste cooking oil as feedstock for the manufacture of PHBH (a 3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyalkanoate polymer), to be used as a substitute for petroleum-based plastics such as polyethylene. PHBH is a type of PHA (polyhydroxyalkanoate), which are biodegradable bio-based plastics. The project will develop a system encompassing every stage from use to disposal of the PHBH.

From FY2019 to FY2021, the work of the "demonstration project for a plastic resource circulation system to support a decarbonized society" (Life cycle demonstration project for PHA-polymers) developed PHBH production technology that uses waste cooking oil as feedstock. We conducted trial operations of a system incorporating the collection and biogasification of garbage in garbage bags made of PHBH in a model area and verified the effectiveness of the system. To promote scaling-up and social implementation of these results, we are pursuing further development of applications and products made of PHBH, such as food containers, and considering suitable recycling systems for the developed products. For the development of domestic feedstock, we have the continuing goal of establishing techniques for cultivating *Jatropha* (*Jatropha curcas*) in Japan. We are also investigating systems for collecting and utilizing low-quality waste cooking oil such as oil from grease traps. With these activities, we are conducting PHA bioplastic lifecycle demonstration testing and system analysis of the application development.



Outline of the demonstration project

(2) Results from FY2022

This year, in developing applications of PHBH, we prototyped a small, shallow food container with relatively low molding difficulty and verified its heat resistance. To improve PHBH production yield from waste cooking oil, we investigated foaming suppression technologies and found that reducing the protein concentration is effective. We selected a site for demonstration of the system for collection and biogasification of garbage with garbage bags made of PHBH, installed test equipment, and established a plan for testing. To assure feedstock for the biodegradable plastic in the medium to long term, we started cultivating *Jatropha* in the Setouchi region, which is warmer than Kyoto, and we collected grease trap oil sludge, separated out the oil content and used it in tests of fermentation production of PHBH. Using the results of these demonstrations, we conducted scenario analysis of a resource recycling system in which the PHBH garbage bags and PHBH food containers are deployed for general household waste in Kyoto City and we confirmed a lifecycle CO₂ reduction effect.

In developing applications of PHBH to food containers, we also successfully prototyped food containers of sampling plate and food pack types. We verified the practicality of the sampling plates at an exhibition. In continuous molding of lunchbox packs, we found that the molding time was longer than for conventional products and that problems such as inconsistent hole formation sometimes occurred. We managed to mold containers with sufficient strength by increasing plate thicknesses. We verified heat resistance up to 120°C, which allows use in microwave ovens.

To improve PHBH production yield from waste cooking oil, we focused on protein concentration as a cause of foaming in culture fluid. In laboratory tests, we confirmed that the protein concentration in a culture fluid can be reduced by removing proteins that are unnecessary for PHBH production, by gene disruption of the PHBH-producing microbe.

For the demonstration of biogasification of PHBH garbage bags, we selected a model demonstration area through dialogue with the local community, considered garbage collection points and collection procedures, and conducted preliminary tests of PHBH product pretreatment and biogasification. Preparations for demonstration testing in FY2023 included on-site installation of biogasification test equipment and the preparation of a testing schedule.

In studying the PHBH product recycling system, we identified applications that can take advantage of PHBH's biodegradability and carbon reduction effect when other materials are replaced with PHBH, and we examined a new scheme for collecting plastic food containers for biogasification.

In order to obtain basic information for studying the suitability of PHBH for circular chemical recycling, we conducted thermal decomposition tests of PHBH alone and mixed with general-purpose plastics to confirm the decomposition products.

With regard to cultivating domestic biomass in Japan, we studied overwintering and increases in harvest yields from open-air cultivation in the Setouchi region and polytunnel greenhouses in Kyoto City. We studied the use of digester fluid to increase harvest yields of rapeseed in Kyoto City. We set harvest yield targets for domestic cultivation of both *Jatropha* and rapeseed and evaluated levels of success.

As a preliminary trial for testing biogasification of PHBH food containers, we tested the biodegradation of relatively thick PHBH sheets. We also investigated spreading procedures for agricultural use of the digester fluid.

For effective utilization of low-quality waste cooking oil, we collected grease trap oil sludge and identified yields and characteristics of the oil (trap grease) extracted from the oil sludge in accordance with recovery procedures and sources. We conducted tests of PHBH fermentation production from this oil. We estimated the

amount of trap grease produced by restaurants nationwide.

To quantify the lifecycle CO₂ reduction effect of the system proposed in this demonstration project, we collected and organized new inventory data on food containers in order to evaluate the effects of adopting PHBH, and we improved our process model. Using the trial of general household waste in Kyoto City as a case study, we conducted scenario analysis of a resource circulation system that adopts PHBH garbage bags and PHBH food containers. Summing energy and non-energy emissions, the results showed an approximately 16% (14,000 t-CO₂eq/year) reduction in emissions compared to emissions without the adoption of PHBH.

As described above, the project studies we conducted this year progressed broadly according to plan and we achieved our aims. The next year is the final year of the project. We aim to achieve the goals of each study topic and to firm up the technologies. We hope to demonstrate the effectiveness of the system by verifying lifecycle CO₂ reduction effects and organize the challenges of social implementation.

< 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	1
1.3.1 実施体制	1
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）	5
1.4.3 コスト見通し	5
2. PHBH の更なる用途展開・製品開発（事業 1）	6
2.1 生分解性バイオマスプラスチックの特性が発揮される用途の探索と製品開発	6
2.1.1 PHBH 製食品容器の試作	6
2.1.2 食品容器用 PHBH 製シートの開発	28
2.2 低品質な廃食用油や植物油等の PHBH 原料としての利用技術の開発	30
2.2.1 目的	30
2.2.2 方法	30
2.2.3 結果	31
2.2.4 まとめと課題	34
2.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発	36
2.3.1 目的	36
2.3.2 方法	36
2.3.3 結果	37
2.3.4 まとめと課題	41
2.4 事業 1 の成果の要点	42
2.4.1 生分解性バイオマスプラスチックの特性が発揮される用途の探索と製品開発	42
2.4.2 低品質な廃食用油や植物油等の PHBH 原料としての利用技術の開発	42
2.4.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発	43
3. 開発した製品に対応するリサイクルシステムの検討（事業 2）	44
3.1 モデル地区における PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ回収・バイオガス化実証試験	44
3.1.1 モデル地区におけるバイオガス化実証試験設備の設置検討	44
3.1.2 PHBH 製生ごみ袋の改善	62

3.1.3 PHBH 製品の前処理方法の検討.....	67
3.1.4 焼却施設併設大型バイオガス化施設の稼働状況.....	78
3.1.5 小括	84
3.2 製品用途別のリサイクルシステム検討及び現行リサイクルシステムへの影響確認.....	86
3.2.1 目的	86
3.2.2 方法	86
3.2.3 結果	86
3.2.4 まとめと課題	89
3.3 PHBH の循環型ケミカルリサイクル検討に資する熱分解特性.....	90
3.3.1 目的	90
3.3.2 方法	90
3.3.3 結果	90
3.3.4 まとめと課題	99
3.4 事業2の成果の要点	100
3.4.1 モデル地区における PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ回収・バイオガス化実証試験 ...	100
3.4.2 製品用途別のリサイクルシステム検討及び現行リサイクルシステムへの影響確認	100
3.4.3 PHBH の循環型ケミカルリサイクル検討に資する熱分解特性	100
4. 国産 PHBH 原料開発（事業3）	102
4.1 ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立	102
4.1.1 目的	102
4.1.2 方法	102
4.1.3 結果	104
4.1.4 まとめと課題	108
4.2 バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化	110
4.2.1 目的	110
4.2.2 方法	110
4.2.3 まとめと課題	113
4.3 低品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発	114
4.3.1 目的	114
4.3.2 方法	114
4.3.3 結果	117
4.3.4 まとめと課題	127
4.4 事業3の成果の要点	129
4.4.1 ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立.....	129
4.4.2 バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化.....	129
4.4.3 低品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発.....	129

5. PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析 (LCA の検証・評価) (事業4)	131
5.1 目的.....	131
5.2 方法.....	131
5.2.1 PHBH 製食品容器のライフサイクル分析.....	131
5.2.2 PHBH を導入した資源循環システムのシナリオ分析.....	134
5.3 結果.....	139
5.3.1 PHBH 製食品容器のライフサイクル分析.....	139
5.3.2 PHBH を導入した資源循環システムのシナリオ分析.....	140
5.4 事業4の成果の要点.....	142
6. 事業全体の令和4年度の成果と今後の課題.....	143
6.1 PHBH の更なる用途展開・製品開発 (事業1)	143
6.1.1 生分解性バイオマスプラスチックの特性が発揮される用途の探索と製品開発.....	143
6.1.2 低品質な廃食用油や植物油等の PHBH 原料としての利用技術の開発.....	143
6.1.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発.....	144
6.2 開発した製品に対応するリサイクルシステムの検討 (事業2)	144
6.2.1 モデル地区における PHBH 製生ゴミ袋を用いた生ゴミ回収・バイオガス化実証試験 ...	144
6.2.2 製品用途別のリサイクルシステム検討及び現行リサイクルシステムへの影響確認.....	145
6.2.3 PHBH の循環型ケミカルリサイクル検討に資する熱分解特性.....	145
6.3 国産 PHBH 原料開発 (事業3)	145
6.3.1 ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立.....	145
6.3.2 バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化.....	145
6.3.3 低品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発.....	146
6.4 PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析 (LCA の検証・評価) (事業4)	146
参考資料.....	S-1
1. 実施記録.....	S-1
2. 成果 (特許、論文、学会発表等)	S-3
2.1 特許権.....	S-3
2.2 学会発表.....	S-3
2.3 その他.....	S-3
3. メディア等掲載実績	S-5

3.1 包装タイムス（掲載日未定）	S-5
-------------------------	-----

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）を製造し、その利用から廃棄までの一連したシステム開発を行うものである。まずは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評価も踏まえて構築することを目指している。さらにその適用先を拡大すべく生ごみ袋以外にも汚れる用途として食品容器等を取り上げ製品開発に取り組むものである。

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、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。ジャトロファ等の油脂作物の国内栽培を検討するとともにグリーストラップ由来の油脂等の低品質な廃食用油の利用の可能性も検討する。こうした技術実証結果とともに社会実装に向けた課題を整理し、広く全国に情報発信することで、新たな循環システムの普及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、プラスチック資源循環戦略及びバイオプラスチック導入ロードマップでは、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、メタン発酵消化液など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、食品容器などへの用途展開や、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確保・利用拡大に貢献すると考えられる。

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

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

マーPHBH の製造及び PHBH 製の生ごみ袋改善や食品容器用シートの製造については（株）カネカ、シートから食品容器の製造技術開発はシーピー化成（株）、モデル地区でのバイオガス化実証試験については（株）エックス都市研究所と（株）ヴァイオス、PHBH 製品の前処理技術については（株）バイオガ斯拉ボとアミタ（株）、バイオガス化技術の評価については日立造船（株）、PHBH のプラスチック代替製品への利用可能性については三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング（株）、ジェットロファ栽培及び消化液利用については京都農業の研究所（株）、低品質廃食用油の有効利用については（国研）国立環境研究所と（株）KRI、各種分析は（株）島津テクノリサーチ、LCA 解析による循環システムの環境負荷低減効果の評価については京都大学、（株）東和テクノロジー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。

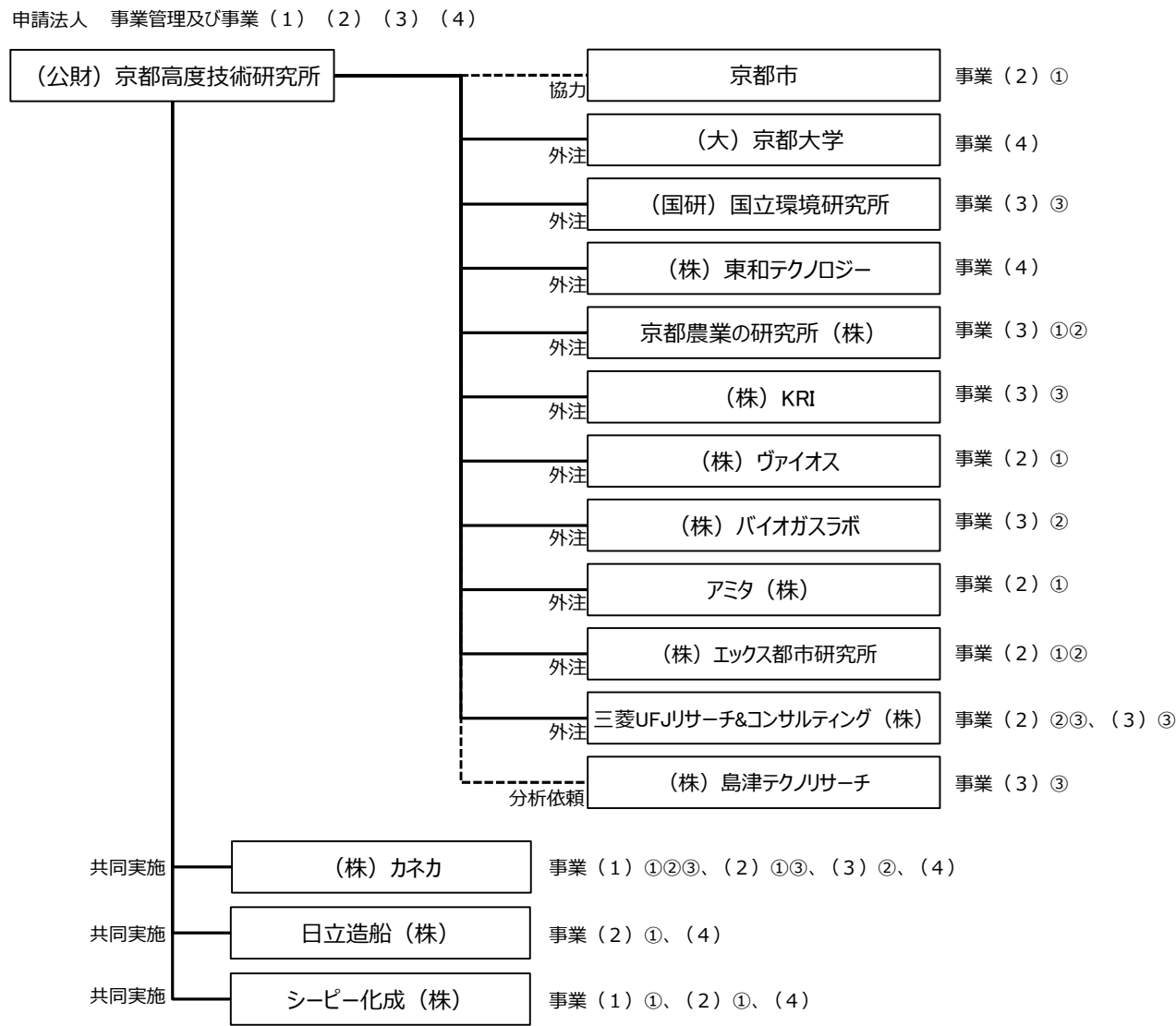


図 1 実施体制表と主たる担当テーマ

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、これまで開発してきた廃食用油等からの PHBH 製造技術の生産性向上を図るとともに、PHBH 製生ごみ袋で生ごみを回収してバイオガス化する一連のシステムをモデル地域で実証することを目指している。さらに PHBH の適用先を拡大すべく生ごみ袋以外にも汚れる用途として食品容器を取り上げ製品開発に取り組むものである。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、ジャトロファ等の油脂作物の国内での栽培を検討するとともにグリーストラップ由来の油脂等の利用の可能性も検討する。こうした技術実証を行った上で、ライフサイクルでの環境負荷低減効果を明らかにすることを目的としている。

本年度は、PHBH のさらなる用途展開・製品開発に向けた PHBH 製食品容器の試作、モデル地区における PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみの分別回収・バイオガス化実証試験の実施、ジャトロファ等油脂作物の国内栽培の収量向上、グリーストラップ油泥の回収と PHBH 培養生産評価、それらに関するライフサイクルでの温室効果ガス削減効果の定量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、4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施計画を次表に示す。

表 1 最終年度目標と本年度の実施計画

実施課題	最終年度目標	本年度の実施計画
【事業 1】 PHBH の更なる用途展開・製品開発	(1) バイオガス化条件下での生分解性を担保しつつ、食品容器・包装に求められる物性を満たす PHBH コンパウンドについて検討を行い、PHBH 製食品容器等を開発する。 (2) 国産のジャトロファ油・菜種油及び低品質な廃食用油を PHBH 原料として利用するための技術開発を行う。 (3) 廃食用油からの PHBH 製造技術について、更なる製造収率の向上に向けた技術的検討を行う。	(1) 成形難易度が比較的低い小型・浅型の試食皿・フードパックタイプ等の PHBH 製食品容器を試作するとともに、電子レンジ加熱に対する耐熱温度を確認する。 (2) ジャトロファ油・菜種油及び低品質な廃食用油を PHBH 原料として使用するための培養試験を実施する。 (3) 非パーム系廃食用油培養において油脂濃度を高く維持しつつ発泡を抑制し、高生産性を維持する。
【事業 2】 開発した製品に対応するリサイクルシステムの検討	(1) モデル地区において PHBH 製生ごみ袋を用い生ごみを回収し、バイオガス化実証試験を実施するとともに、バイオガスの利用と消化液の液肥として農作物栽培に利用するなど脱炭素型の生ごみ循環利用モデルの有効性を検証する。 (2) バイオガス化することが効果的と考えられる使用済み食品容器を種類別・用途別に整理するとともに、それらを分別収集するための手法を検討する。 (3) PHBH 製の食品容器が循環型ケミカルリサイクルに混入した場合の影響を確認する。	(1) モデル実証地域を選定し、生ごみの回収方法の検討、予備的な PHBH 製品の前処理試験やバイオガス化試験を実施するとともに、バイオガス化試験設備の現地搬入、モデル実証計画の作成により、令和 5 年度の実証試験の準備を行う。 (2) 素材が PHBH に置き換わった場合にバイオガス化することが効果的と考えられる使用済み食品容器を種類別・用途別に整理し、それらを収集するための新たな仕組みを想定する。 (3) PHBH 単独及び汎用プラスチックと混合した熱分解試験により循環型ケミカルリサイクルへの影響を確認する。

【事業3】 国産 PHBH 原料開発	(1) ジャトロファについては越冬及び収量増加、菜種については消化液利用による収量増加の方策について検討を行う。加えて、収量・コスト等の将来目標及び開発の方向性を提示する。 (2) PHBH 製食品容器を生ごみとともにバイオガス化した際の生分解性に関する試験を行うとともに、消化液の農地への効果的・効率的な散布方法及び施用方法について検討を行う。 (3) PHBH 原料の拡大に向けて、未利用の低品質な廃食用油の活用技術を明確化する。また、活用技術を実装するための、全国で分散的に発生する低品質な廃食用油の効果的な回収システムについて検討する。	(1) ジャトロファについては温暖地域及び京都市での越冬並びに収量増加のための方策検討に係る実証を行い、菜種については京都市での消化液利用による収量増加に係る実証を行う。また、収量の目標値についての試算を行う。 (2) PHBH 製食品容器のバイオガス化試験を行い分解性の確認を行うとともに、消化液の散布方法及び施用方法の検討を行う。 (3) グリーストラップ油泥の回収方法や発生源等に応じてその収率・性状を明らかにするとともに、PHBH 培養評価を進める。また、全国での賦存量の推計及び効率的な回収システムの検討を行う。
【事業4】 PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析	(1) PHBH 製食品容器の使用後の処理・リサイクルシナリオ別に、温室効果ガス排出量低減効果等を定量化する。また、京都市をモデルに PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製食品容器を導入した資源循環システムのシナリオ分析を行い、システム全体での有効性の評価を行う。PHBH の原料については可能な範囲で検討する。	(1) 化石資源由来プラスチック製食品容器の用途・素材情報、廃棄状況やライフサイクルインベントリデータを収集整理し、プロセスモデルを改良・開発するとともに、試行的にライフサイクルでの温室効果ガス排出量を算定する。

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、生ごみ処理にバイオガス化技術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、多様な関係者に対し積極的に情報・データの提供等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として新たに食品容器等についても検討を開始しており、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/年まで製造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 生ごみ袋等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/年に製造能力を拡大した後も大きくは変わっていない。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、製造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. PHBH の更なる用途展開・製品開発（事業1）

2.1 生分解性バイオマスプラスチックの特性が発揮される用途の探索と製品開発

2.1.1 PHBH 製食品容器の試作

（1）目的

（株）カネカ提供の PHBH のシートを使用した食品容器の成形開発テストを行い、実製品に対応できるスペック（形状の安定・成形性等）の製品開発を行う。

単発成形機及び連続成形機での試作においては、軟化のための加熱時間成形速度及び、ドロウダウンの大きさの検証を行う。

上記条件とシートムラ等の関係を確認しながら、最適な成形条件を探索し、PHBH のシートでの食品容器の成形可否の判断社会実装の検証を行う。

生産した PHBH 製食品容器を用いたイベント用、スーパーマーケットでの実使用の検証及び使用済み PHBH 製食品容器の回収・バイオガス化のシステム検証用食品容器の開発を行う。

（2）方法

1) 対象とする食品容器

システム実証①として、イベント用容器として試食皿やフードパック等の強度・耐熱性・耐寒性・透明性といった機能や着色等の意匠性が求められない容器を対象として、成形品の検証を行った。

システム実証②として、スーパーマーケット等で使用する容器を対象とした。店舗から家庭に食品を持ち帰る際に汎用的に使用され、かつ、油や食品により一定以上の汚れが付着する容器使用量の多い用途を対象として、成形テストを行った。

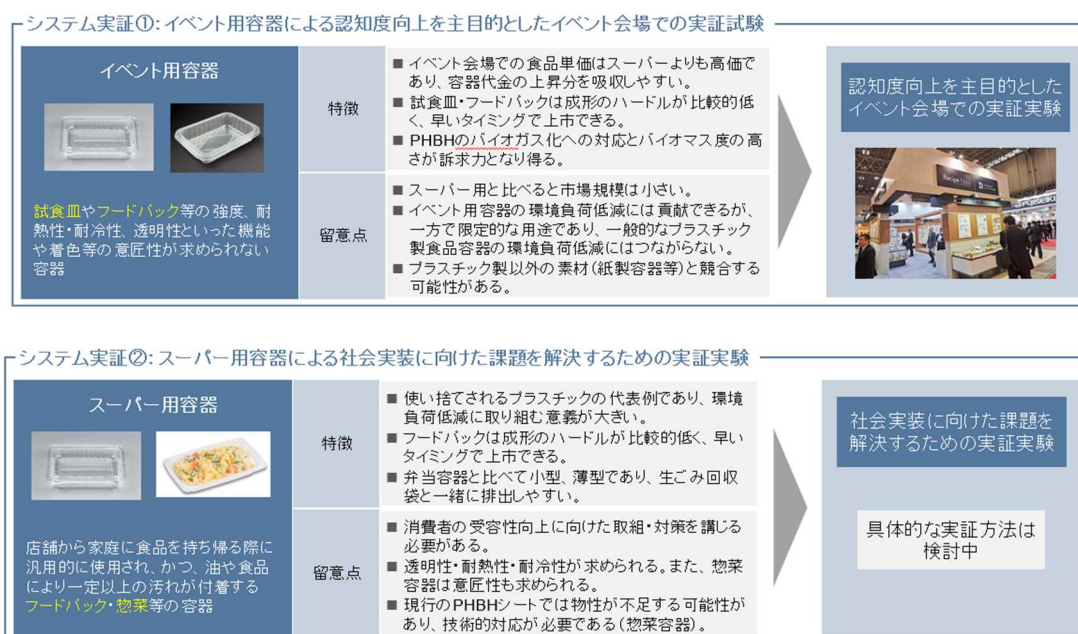


図 3 システム実証詳細

2) 成形テスト

本パートでは食品容器製造における成形工程の検証を行った。まず単発成形機を用いて検証を行

い、続いて連続成形機（実機）での検証を行った。

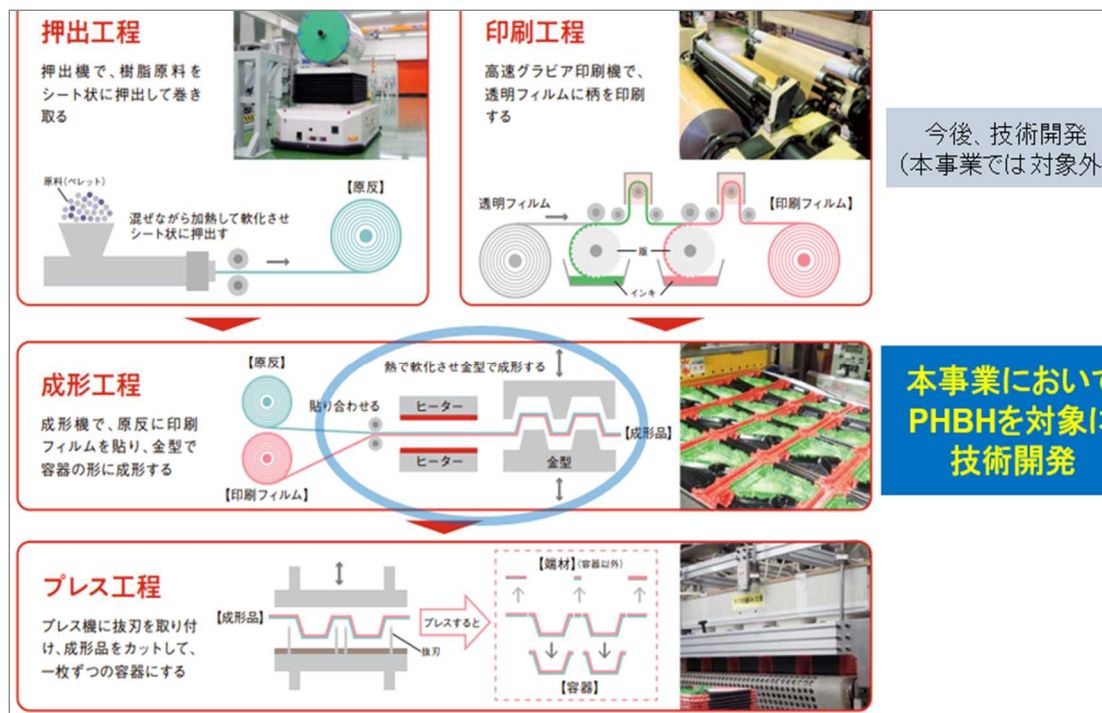


図 4 食品容器成形工程

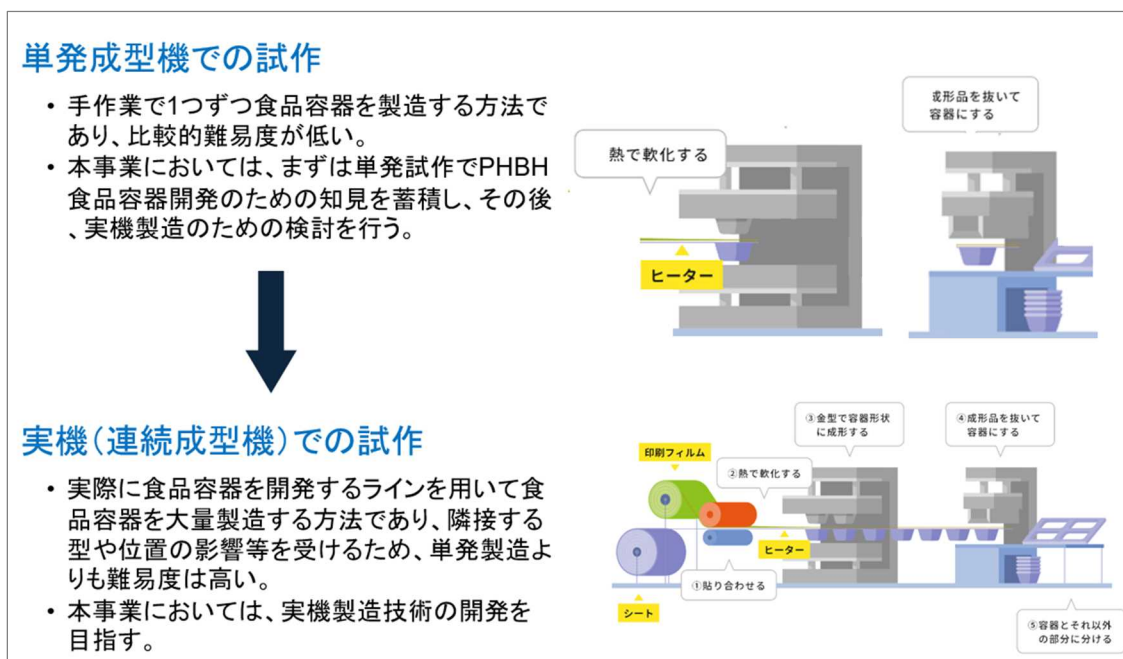


図 5 成形テストの流れ

① 単発成形機による成形テスト

成形テスト用の単発成形機により PHBH のシートでの各種食品容器の成形テストを行い、形状の安定、成形性等の課題や改善策を検証した。

② 連続成形機による成形テスト

単発成形機により蓄積した知見を踏まえ、PHBH のシートでの各種食品容器の連続成形機での成形テストを行い、形状の安定、成形性等の課題や改善策の検証をした。

<参考 1> 連続成形機と単発成形機での成形品の違い

複数のキャビで構成された金型で成形するときは、隣のキャビ同士で原反を引っ張り合い、原反が全体に延ばされて薄くなる。しかし、単発機（試作機）では1個のキャビで成形するので周りの原反を引き込み、容器の厚みがあまり薄くならないので強度も増し、強度確認には不向きである。

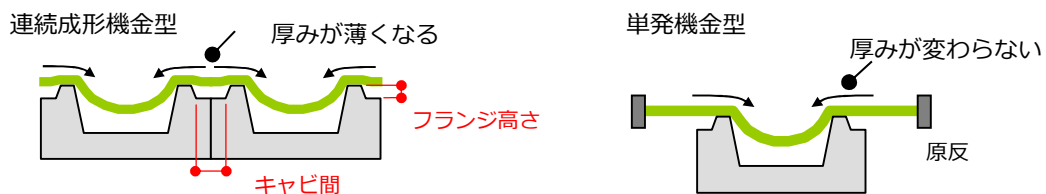
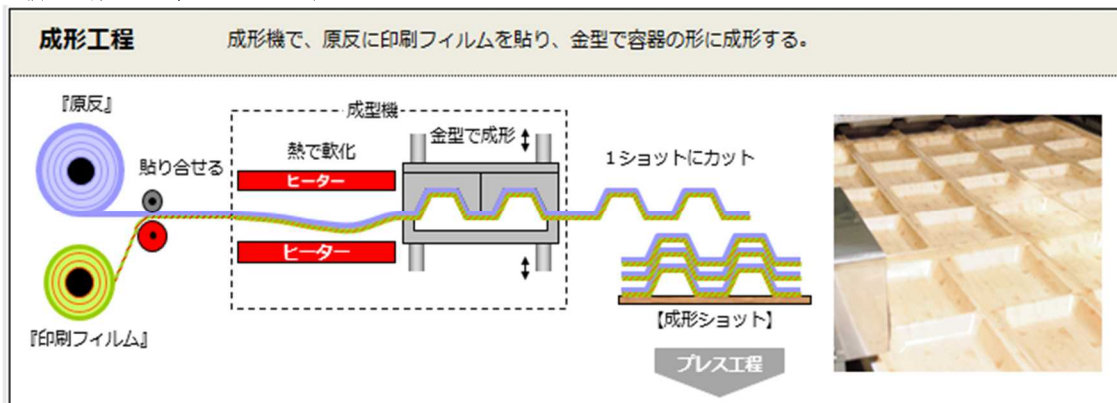


図 6 金型の説明

（成形機での製造フロー）



（成形後のプレス機での製造フロー）

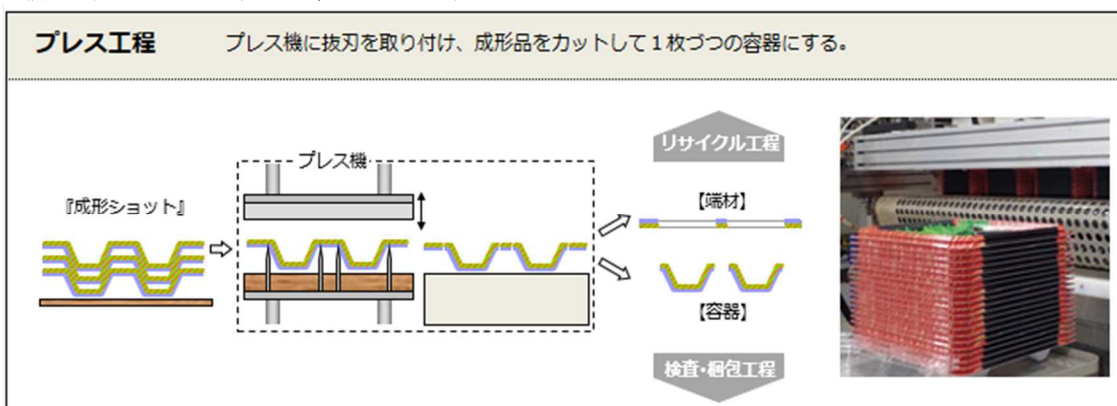


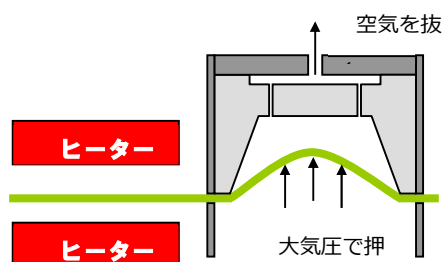
図 7 成形工程及びプレス工程のフロー

<参考2>成形方式

① 真空成形機

原反を加熱ゾーンのヒーターで軟化させ、成形ゾーンで金型内部の空気を抜き、原反を沿わせて、成形及び冷却して形状を固定する。成形の圧力は大気圧（ 1 kg/cm^2 ）以上にはならない。したがって二軸延伸した OPS（二軸延伸ポリスチレン）など収縮力の強い原反は、金型に沿わず成形不良となるので、この成形方法は不向きである。

[凹型の場合]



[凸型の場合]

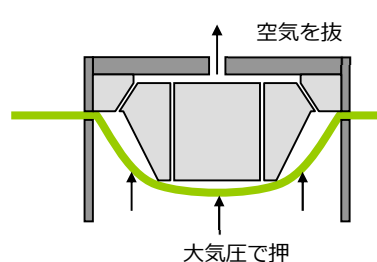


図 8 真空成形機の仕組み

② 真空圧空成形機

上記の真空成形機を基本に、大気圧で押さえる代わりに圧縮空気が掛けれるようにした方式。原反を金型に押し付ける力が大きく、即ち成形圧力（ $3 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ ）が高くシャープな成形ができる。

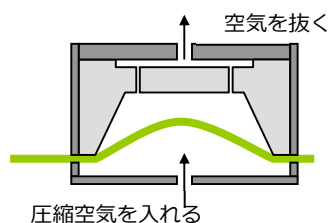


図 9 真空圧空成形機の仕組み

③ 圧空成形機

熱板の小さい穴から空気を抜き、原反を熱板に密着し軟化後に、熱板側から圧縮空気を送り、同時に金型内部の空気を抜くと、原反が金型に沿い冷却されて形状が固定する。熱板の上で原反を軟化させる。

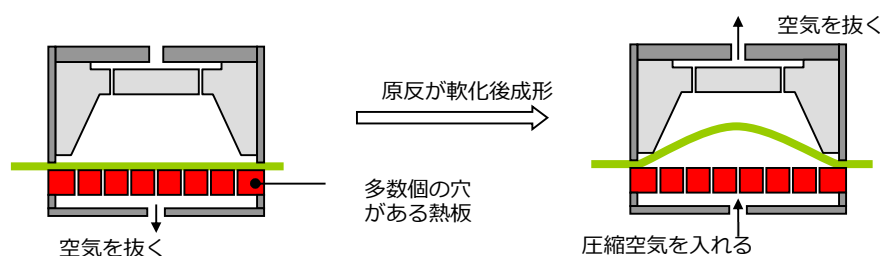


図 10 圧空成形機の仕組み

<参考3>成形工程における留意事項

① 製品の偏肉（厚みムラ）

成形した製品の厚みは均等ではなく、容器の形状・成形方法・原反の材質などにより偏肉（厚みムラ）が生じ、容器の強度に大きく影響する。安定した強度を保つために、この偏肉を最小限にする様々な技術を用いる。

② 原反の偏肉

原反の偏肉は微小なものでも、薄い所ほど早く軟化し、伸びて薄くなり大きな偏肉となる。

③ 加熱時の偏肉

ヒーター内で軟化した原反が自重により垂れ下がり（ドローダウン）偏肉を起こす。これはヒーター温度のバランス・残留収縮力や原反の巾・厚み・比重などで違ってくる。

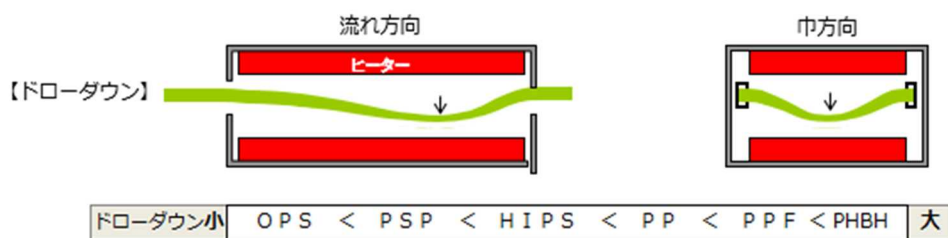


図 11 ドローダウン説明図

④ 成形時の偏肉の対策方法

真空成形・圧空成形などの成形方法や凹形・凸形などのキャビの形態、容器の深さ・テーパーなどにより偏肉が生じる。改善方法としては成形温度、プラグのタイミング調整などがある。

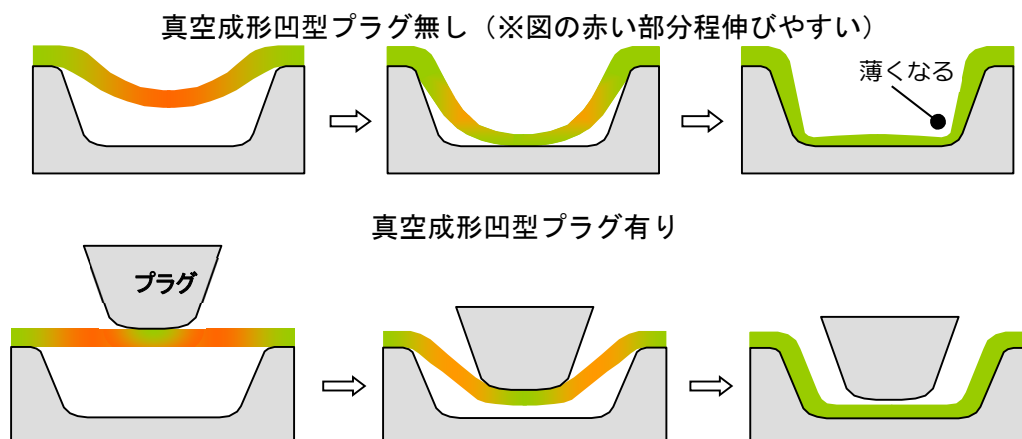


図 12 真空成形偏肉対応

(3) 結果

1) 結果の概要

単発成形機にて惣菜容器本体・試食皿・惣菜容器蓋・弁当容器本体・フードパックの食品容器成形テストを実施し、形状の安定した製品が成形できた。

連続成形機（実機）にて弁当容器本体、フードパックの成形テストを実施、形状の安定した製品も多く成形できたが、ランダムな位置に不規則な穴あきの発生、成形サイクルタイムが既存樹脂品に比べ長い、製品強度の不足等の課題も確認された。

2) 単発成形機での試作

① 単純な形状の容器成形テスト（惣菜容器本体・惣菜容器蓋・試食皿）

i) 検証内容

- ・ PHBH の 300 μm 厚シートを使用し、単発成形機により試作を実施。
- ・ シーピー化成（株）販売品の PS/PP 混合製品や OPS 製品と同条件で成形したところ、成形品に穴があく、形状がうまくでない、ドローダウンが大きすぎる等の問題が生じた。

ii) 対策

- ・ 加熱時間、成形時間を従来品と比較して長くするように調整し、複数回の試作を行った結果、下記の写真のような、製品として一定の使用が想定できる状態の容器が成形できた。



図 13 単発成形機での試作結果（単純な形状の容器）

iii) 評価

- ・ 成形後に若干の特有な臭いがした。
- ・ シーピー化成（株）販売品と比較した場合の強度に若干の不安があった。
- ・ 透明度が低く、蓋材としての使用が困難であると判断した。
- ・ 成形品強度については、単純な形状の物は実使用可能と判断した。

② 複雑な形状の容器成形テスト（弁当容器本体・フードパック）

i) 検証内容

- ・ PHBH の 300 μm 厚シートを使用し、単発成形機により試作を実施。
- ・ シーピー化成（株）の販売品である PS/PP 混合製品や PP 製品と同条件で成形したところ、成形品に穴があく、形状がうまくでない、ドローダウンが大きすぎる等の問題が生じた。



図 14 単発成形機での試作結果（複雑な形状の容器）

ii) 対策

- ・ 加熱時間、成形時間を従来品と比較して長くするように調整し、複数回の試作を行った結果、下記の写真のような、形状としては安定した製品の成形ができた。
- ・ しかし真空孔の部分に微細な穴あきが発生しており、今後の改善課題である。



（試作結果） （容器蓋を締めた画像） （微細な穴あき）

図 15 単発成形機試作結果（複雑な形状の容器）

iii) 評価

- ・ 成形後に若干の特有な臭いがした。
- ・ シーピー化成（株）販売品と比較した場合の強度に若干の不安があった。
- ・ 真空引きする真空孔の場所でシートに穴あきが発生した。
- ・ フードパックの容器強度においては、実使用可能と判断した。
- ・ 弁当容器の容器強度においては、改良が必要と判断した。

③ 単発成形機での検証結果

- ・ 単純な形状であれば、加熱時間と成形速度の調整をしっかりと行えば、単発成形機で PHBH 製食品容器を製造できることが分かったため、今後は、実機（連続成形機）での製造条件を探索する。
- ・ 複雑な形状物について、真空孔に由来する容器の穴あきが発生するが、連続成形機で解消の

可能性があるため、実機（連続成形機）での製造条件を探索する。

- ・ 形状と穴あきは単発成形機での検証が完了したため、実機（連続成形機）での検証に移行する。



図 16 単発成形機成果物

表 2 単発成形機の結果

試作商品	使用シート	評価	今後の対応
お惣菜容器本体	300 μ mシート	○	連続成形機でテスト。
お惣菜容器蓋	300 μ mシート	○	連続成形機でテスト。
お弁当容器	300 μ mシート	○	連続成形機でテスト。
試食皿	300 μ mシート	○	イベント用試作の為実機テスト無し。
フードパック	300 μ mシート	△	真空孔は連続成形機で改善の可能性が有る為連続成形機でテスト。

3) 連続成形機での試作

① 複雑な形状の容器の成形テスト（フードパック）

i) 検証内容

- ・ PHBH の 300 μ m 厚シートを使用し、連続成形機により試作を実施した。
- ・ シーピー化成（株）販売品の PP 製品と同条件で成形したところ、成形品に、ランダムな位置に不定期な穴が生じる、形状がうまくでない、ドローダウンが大きい、強度が販売品と比べ弱い、成形に時間がかかる等の問題が生じた。



(形状が安定しない様子)



(成形時の穴あき)



(既存製品と比較して形状が安定せず同枚数の積み重ね高さが違う様子)

図 17 連続成形機でのフードパック試作品

ii) 対策

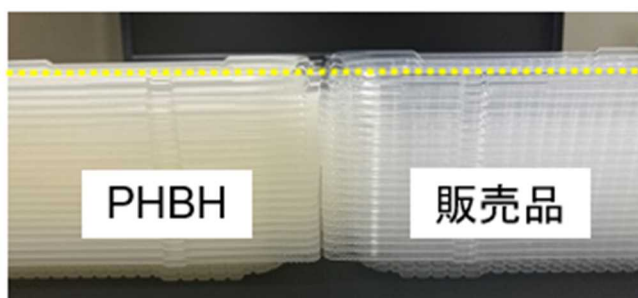
- ・ 単発成形機での検証を基に、加熱時間（時間をかけて温度を上昇）、成形時間（金型に沿わず時間を長くする）などの成形条件の変更をした。



(形状が安定した製品)



(形状が安定したシート)



(安定し同枚数の積み重ね高さが同等)



(不定期な微細な穴あき)

図 18 連続成形機でのフードパック試作品（改善後）

iii) 評価

- ・ 加熱時間・成形時間の調整により、製造時の形状の安定は改善した。
- ・ 形状が安定したため、蓋をした際にもしっかりと閉まることを確認した。
- ・ 穴あき頻度は減ったが引き続き不定期に発生していた。
- ・ 1,000メートル連続成形を実施し、成形機の加熱条件、成形速度条件を変更したが、300 μm 厚シートでの穴あきの完全解消の限界を確認した。

iv) 今後の対応

- ・ シートの厚みを厚くすることで、成形時における種々の問題解決及び成形品の強度アップを目指す。
- ・ 350 μm 厚シートでの連続成形機による試作を行い、穴あきの改善・成形時間の短縮が可能かどうか検証する。
- ・ シート厚を厚くすることは、樹脂使用量の増加・コスト増を招くため、最終的なスペックの決定については、引き続き要検討とする。

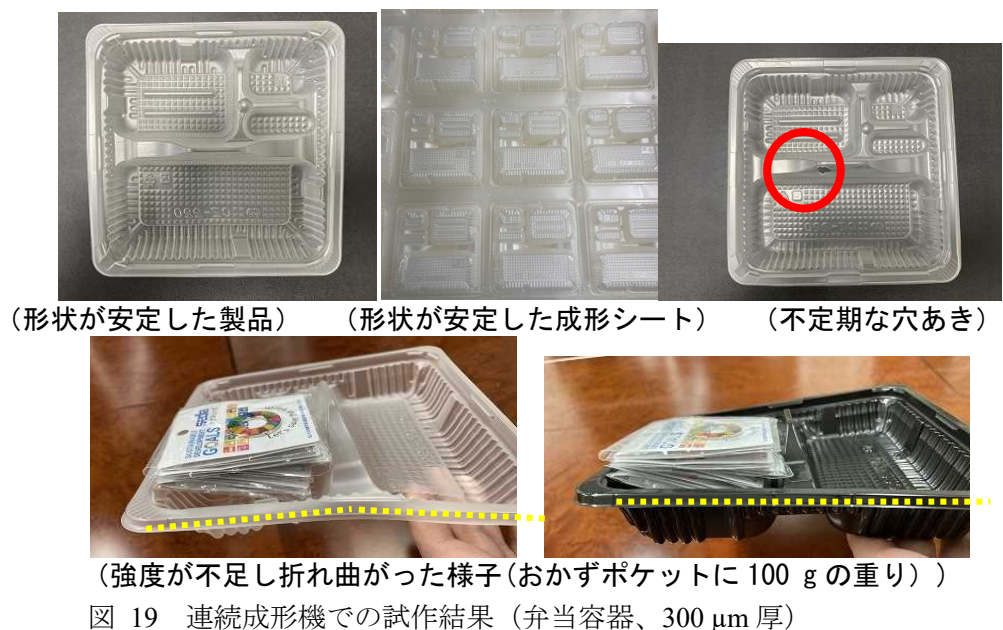
② 複雑な形状の容器の成形テスト（弁当容器、300 μm 厚）

i) 検証内容

- ・ PHBH の 300 μm 厚シートを使用し、連続成形機により試作を 2 回実施した。
- ・ シーピー化成（株）販売品 PS/PP 混合品と同様の条件で成形したところ、成形品に、ランダムな位置に不定期な穴が生じる、形状がうまくでない、ドローダウンが大きい、強度が販売品と比べ弱い、成形に時間がかかる等の問題が生じた。

ii) 対策

- ・ フードパックと同様に、加熱時間（時間をかけて温度を上昇）、成形時間（金型に沿わす時間を長くする）などの成形条件を変更した。



iii) 評価

- ・ 容器の形状は、安定した製品が多くできており既存樹脂品と同程度の物も確認できた。
- ・ 成形品の強度に関しては、300 μm 厚シートでは既存樹脂品と比べ少し弱かった。
- ・ 成形機の加熱条件・成形速度条件を変更したが、前回と同様のランダムな位置に不規則な穴あきが発生した。
- ・ サイクルタイムの改善は穴あき箇所が安定しないため見送り、現状、既存樹脂品との比較で 2.9 倍となっている。

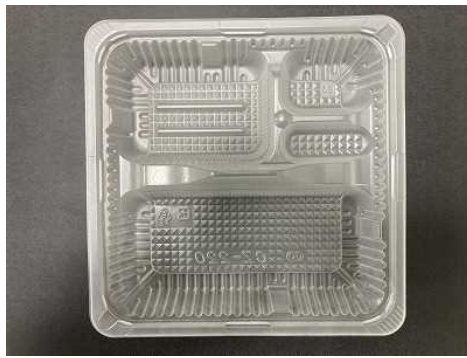
iv) 今後の対応

- ・ 350 μm 厚シートでの連続成形機による試作を行い、ランダムな位置の不規則な穴あきの改善及び、成形時間の短縮を図ることが可能かどうか検証予定とする。

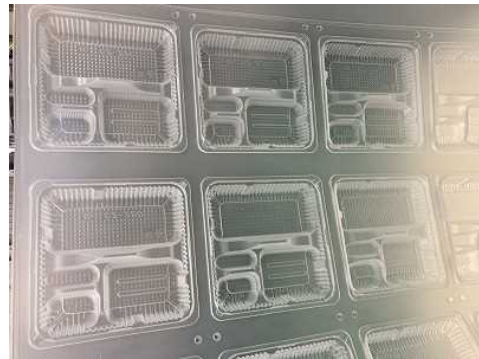
③ 複雑な形状の容器の成形テスト (弁当容器、350 μm 厚)

i) 検証内容

- ・ ②の結果を受けて、PHBH のシート 350 μm 厚 500 メートルを使用し成形を実施し、不規則な穴あき等の発生の検証、形状が上手く出るか、強度アップが可能か、サイクルタイムの削減ができるかを検証した。



(形状が安定した製品)



(形状が安定した成形シート)



強度が強くなり折れ曲がり解消(おかずポケット 100 g の重り)

図 20 連続成形機での試作結果(弁当容器、350 μ m 厚)

ii) 評価

- ・ 形状は安定した製品が多くできており、安定品は既存樹脂品と同程度と判断した。
- ・ 容器の強度は 300 μ m 厚成形品よりも強くなっていることを確認、既存樹脂品に近い物が成形できた。
- ・ 連続成形 500 メートル程度実施、安定した成形品も多く確認できたが、不定期で穴あきが発生した。
- ・ サイクルタイムは、300 μ m 厚シートより厚みが大きくなっているため、加熱時間、成形時間共に増加し、既存樹脂品で比較すると約 3 倍となった。

iii) 今後の対応

- ・ 400 μ m 厚シートでの連続成形機による試作を行い、穴あきの改善及び、成形時間の短縮を図ることが可能かどうか検証予定とする。

④ 連続成形機での検証結果

i) 複雑な形状の容器(フードパック・弁当容器)

成形速度、温度の調整により、形状の安定と製造時の穴あきを概ね回避することが可能となったが、既存樹脂品と比べると 300 μ m 厚シートで 2 倍以上、350 μ m 厚シートで 3 倍程度の成形時間がかかっている。

連続成形を長尺で行った場合、安定した商品とランダムな位置に不定期な穴あきや形状不良が発生することを確認した。

300 μ m 厚シートは既存樹脂品と比較し強度に若干の不安があるが、350 μ m 厚シート成形品は既存樹脂品と比較して容器の強度は近く、同等であることを確認した。

ii) 今後の対応

- ・ 複雑な形状の容器（弁当容器）に関しては 400 μm 厚シートにてテストを行う。
- ・ 複雑な形状の容器（フードパック）に関しては 350 μm 厚シートにてテストを行う。
- ・ 連続成形機で単純な形状の惣菜容器等での 500 メートル程度の連続成形テストを実施し穴あき等の不具合があるか確認を行う。
- ・ テスト結果を踏まえ、システム検証用の弁当容器の試作を次年度に実施する予定。



図 21 連続成形機試作物一覧

表 3 連続成形機の結果

試作商品	使用シート	検証回数	評価	今後の対応
フードパック	300 μm シート	1回目	△	350 μm シートで穴あき対応検証
お弁当容器	300 μm シート	1回目	△	穴あき対応とサイクルタイムアップ検証
お弁当容器	300 μm シート	2回目	△	1回目課題が解決しない為350 μm シートで検証。
お弁当容器	350 μm シート	1回目	△	350 μm シートで解決しなかった穴あきを400 μm シートで再度検証。

4) PHBH 製食品容器耐熱温度の評価

① 恒温湯浴機による耐熱性評価

i) 検証方法

- ・ 恒温油浴機を用いてサラダ油中で成形品を加熱し、耐熱温度※の確認を行った。
※ワンウェイ容器の耐熱温度に係る JIS 規格は無く、メーカー各社が独自にレンジアップ基準を設定している。

② 電子レンジによる 500W で 2 分の加熱実施後の耐熱性評価



図 22 耐熱温度評価

i) 評価

PHBH 製食品容器耐熱温度は 120℃前後であり、シーピー化成（株）自社基準のレンジアップ可能な耐熱温度範囲に収まった。

電子レンジにて加熱検証を実施したところ、500W で 2 分加熱しても容器の形状変形や穴あき等の問題は発生しなかった。

素材名	素材特性	耐熱温度	電子レンジ
RF 発泡ポリプロピレン 自社開発 素材	PP素材を発泡させた素材です。 独自の技術により耐熱性を付与しています。	1130℃	OK 電子レンジ 対応
PPF ポリプロピレン (ファイバー入り) 自社開発 素材	PPに無機物とPSを混合した素材です。 耐熱性・耐油性・耐酸性があり、低燃焼カロリーです。	1130℃	
PP ポリプロピレン	耐油性・耐酸性と耐熱性がある素材です。	1110℃	
NF 耐熱発泡ポリスチレン 自社開発 素材	PSP素材単体よりも耐熱性を向上させた独自開発素材です。 PPフィルムをラミネートして耐油性を持たせています。	1105℃	
バイオBF 低発泡ポリスチレン (PP/バイオマスPE入り) 自社開発 素材	BFにバイオマスポリエチレンを配合した素材です。 耐熱性や断熱性などの優れた特性はそのままに最大で 約20%のCO ₂ 削減に寄与します。 【取扱上の注意】 ※単層用とし器で使用しないでください。	1105℃	
BF 低発泡ポリスチレン (PP入り) 自社開発 素材	当社独自に開発した低発泡素材です。電子レンジで温め可能な 耐熱性があり、耐油性・耐熱性・保溫性に優れています。 【取扱上の注意】 ※単層用とし器で使用しないでください。	1105℃	
BS ポリスチレン (PP入り) 自社開発 素材	PS素材単体よりも耐熱性・耐油性を向上させた独自開発の素材です。	1100℃	
TN 発泡ポリスチレン 自社開発 素材	独自の技術によりPSP素材単体よりも耐熱性を向上。 またPPフィルムをラミネートすることで耐油性も付与した素材です。	98℃	

図 23 当社既製品の耐熱温度一覧

5) システム実証①（認知度向上を主目的としたイベント会場での実証試験）の実施

① 実施方法

2月15～17日に開催のスーパーマーケットトレードショーにて本展示会出展の（株）あじかんにて PHBH の試食皿 500 枚を使用、試食後に回収、シーピー化成（株）展示ブースにてシステム実証①の説明と来場者にアンケートを実施、展示会後にバイオガス化の処理を行い、システム実証を実施した。

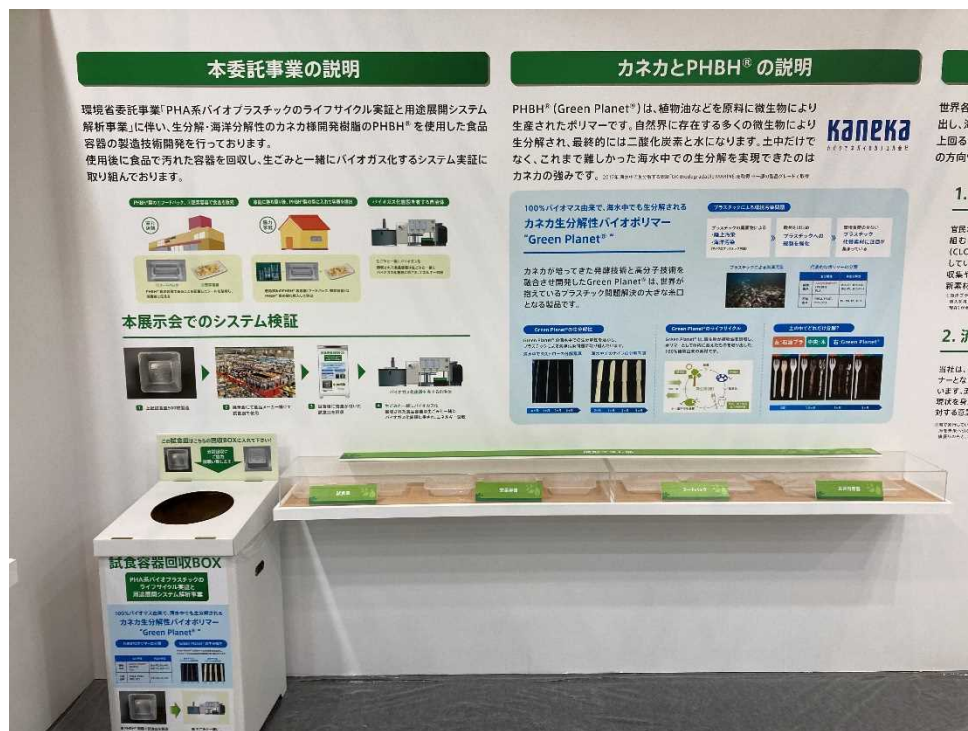


図 24 展示会でのシステム実証説明パネル

i) 展示ブース説明評価

来場者に本事業の説明を実施し、PHBH の特性、食品容器での社会実装を含めたシステム実証①の説明を実施、当社環境ブースの中でも来場者の方の関心と問い合わせが非常に多く、素材転換の必要性、関心が高まっていること、生分解性樹脂 PHBH の性能に高い興味と関心、様々な食品容器用途に対しての積極的なご意見を確認した。

システム実証①についても併設ブースの（株）あじかんでの試食皿の使用に伴い、分かりやすい訴求ができたため、来場者に認識が容易となり、バイオガス化の検証フローについてもエネルギー化する新しいリサイクルスキームとして好意的な反応が多く寄せられた。

② PHBH 製試食皿使用状況

i) 実施方法

（株）あじかんにて巻きずしの試食皿として使用、来場者が試食し、分別回収 BOX にて使用後の PHBH 製試食皿と、PHBH 製試食皿以外の試食皿スプーンを分別回収 BOX にて回収した。

ii) 使用企業評価

- ・ 試食容器で使用する際に、既存樹脂品試食皿と比較し使用感の違いは特に感じない。
- ・ 巻きずしを入れて強度の不足を感じることはなかった。



図 25 食品メーカー試食皿使用風景



図 26 回収 BOX 画像

③ 来場者アンケート

i) 実施方法

(株) あじかんブースにて回収した PHBH 製試食皿をシーピー化成(株) 展示会ブースに展示し、来場者にアンケートを実施した。

2022 年 2 月展示会でのアンケート内容

設問① 既存石油由来樹脂の食品容器と比較して違和感等を感じたか。

設問② 回収後、バイオガスとしてエネルギーに生まれ変わることをどの様に感じたか。

設問③ 生分解・海洋分解素材食品容器が増えることをどう思われますか。

回答記載欄

設問① 1) 違和感ない 2) 違和感がある 3) その他ご意見

設問② 1) 良いと感じた 2) そう思わない 3) その他ご意見

設問③ 1) 良いと感じた 2) そう思わない 3) その他ご意見



図 27 アンケート風景

アンケート集計

2023年2月展示会でのアンケート記載内容

- ① 既存石油由来樹脂の食品容器と比較して違和感等を感じたか。
- ② 回収後、バイオガスとしてエネルギーに生まれ変わることをごにどの様に感じたか。
- ③ 生分解・海洋分解素材食品容器が増える事をどう思われますか？

回答記載欄

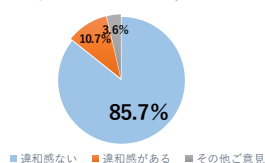
質問① 1) 違和感ない 2) 違和感がある 3) その他ご意見

質問② 1) 良いと感じた 2) そう思わない 3) その他ご意見

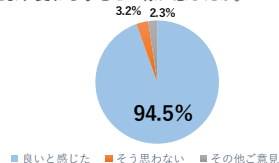
質問③ 1) 良いと感じた 2) そう思わない 3) その他ご意見

アンケート内容	回答 1)	回答 2)	回答 3) その他ご意見
質問①	809件	101件	34件
質問②	886件	30件	22件
質問③	864件	32件	47件

設問① 既存石油由来樹脂の食品容器と比較して違和感を感じましたか。



設問② 回収後バイオガスとしてエネルギーに生まれ変わる事をどの様に感じたか。



設問③ 生分解・海洋分解素材食品容器が増える事をどう思われますか。

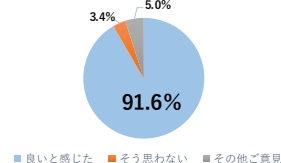


図 28 アンケート集計結果

設問① 3) その他意見一例

- ・既存樹脂品と比較し違和感はないが価格は高いのか。
- ・PLA と比較して耐熱温度は何度なのか。
- ・お惣菜トレイとしてラップで対応できれば、蓋のコスト分は下がり、使用の可能性がある。

設問② 3) その他意見一例

- ・バイオガス処理ができる自治体はどのぐらいあるのか。
- ・具体的な回収スキームはどのように考えているか。
- ・バイオガス処理の優位性が詳しく知りたい。

設問③ 3) その他意見一例

- ・コストが既存樹脂品と同様程度なら増えても良い。
- ・紙製品より水分に強そうなので良いと思う。

ii) 結果

来場者アンケートの結果としては、総数約 950 件で全体として PHBH 製試食皿が既存樹脂品と比較して違和感ないとの意見が 85.7%と多く、社会実装時に消費者が受ける影響度は低いと考えられる結果となり、バイオガス化によるエネルギー化についても 94.5%の方が良いと回答、PHBH のバイオガス化によるリサイクルについての評価が確認できた。

設問 3 で生分解性、海洋生分解性の食品容器が増えることについての評価も、回答数に対して、91.6%の方に良いと評価され、全体として PHBH 製食品容器は比較的受け入れられやすい状況にあると評価できる。

全体としての意見も既存樹脂品との価格差、保管状況での分解の可否、バイオガス化についての社会実装の可否等が比較的多く、これらの意見も今後の活動の参考になる情報が多かった。

④ 展示会にて回収した試食皿の分別物の分析

i) 実施方法

PHBH 製試食皿専用回収 BOX、及び、その他回収 BOX に投入された試料を調査し、分別回収の結果を確認した。



図 29 回収物の画像

ii) PHBH 製試食皿専用回収 BOX 試料調査



図 30 PHBH 製試食皿専用 BOX 試料調査

iii) その他プラ試食皿等回収 BOX 試料調査



図 31 その他プラ試食皿等回収 BOX 試料調査

iv) 結果

展示会場での PHBH 製試食皿分別回収の検証に関して、専用回収 BOX の試料調査を実施したところ、回収試料総数 616 枚に対して PHBH 製試食皿 174 枚、その他プラ試食皿 428 枚、その他箸、スプーン等のカトラリー類は 400 g という結果となった。分別回収を促す訴求を実施したが、結果として PHBH 製試食皿以外が 7 割以上となり、展示会場という分別回収の訴求がし易い環境下においても厳しい分別率となった。

一方、その他試食皿回収 BOX については、総試料数 701 枚のうち、PHBH 製試食皿 2 枚、その他プラ試食皿 698 枚、PET ボトル 1 本と、PHBH の混入比率は低い結果となった。

以上より、PHBH 製食品容器を手にした方にはほぼ専用回収 BOX へ投入してもらうことができたが、一方で、PHBH 製でないその他プラ製の試食皿を手にした方々に対する周知が十分でなく、PHBH 製食品容器専用回収 BOX への投入が多くなったことが推測される。この点は社会実装の際にも重要であり、周知の際の一層の工夫や、回収後の選別の仕組みなどが必要となると考えられる。

表 4 PHBH 製試食皿専用回収 BOX の試料調査結果

PHBHの試食皿専用BOX	総試料数	PHBHの試食皿	その他樹脂試食皿	爪楊枝	その他（スプーン・箸・袋）計算から除外
回収数量	616個	174個	428個	14個	400 g
回収割合	—	28.25%	69.48%	2.27%	—

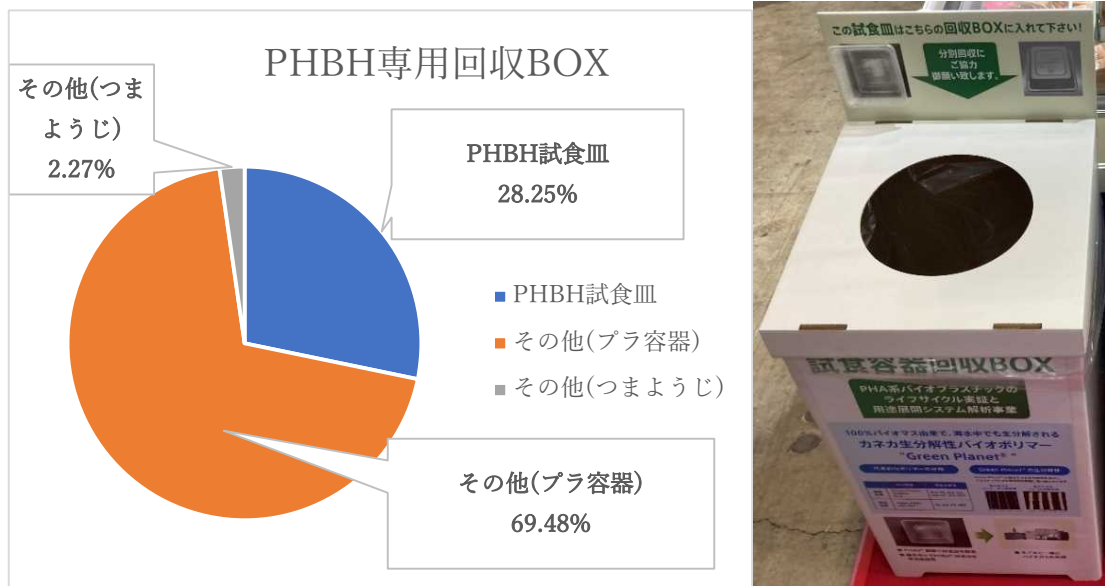


図 32 PHBH 製試食皿専用回収 BOX の試料調査結果

表 5 試料調査その他プラ試食皿等専用回収 BOX 結果

その他の試食皿回収BOX	総試料数	PHBH試食皿	その他樹脂試食皿	ペットボトル	その他（スプーン・箸・袋）計算から除外
回収数量	701個	2個	698個	1本	400 g
回収割合	—	0.285%	99.572%	0.143%	—

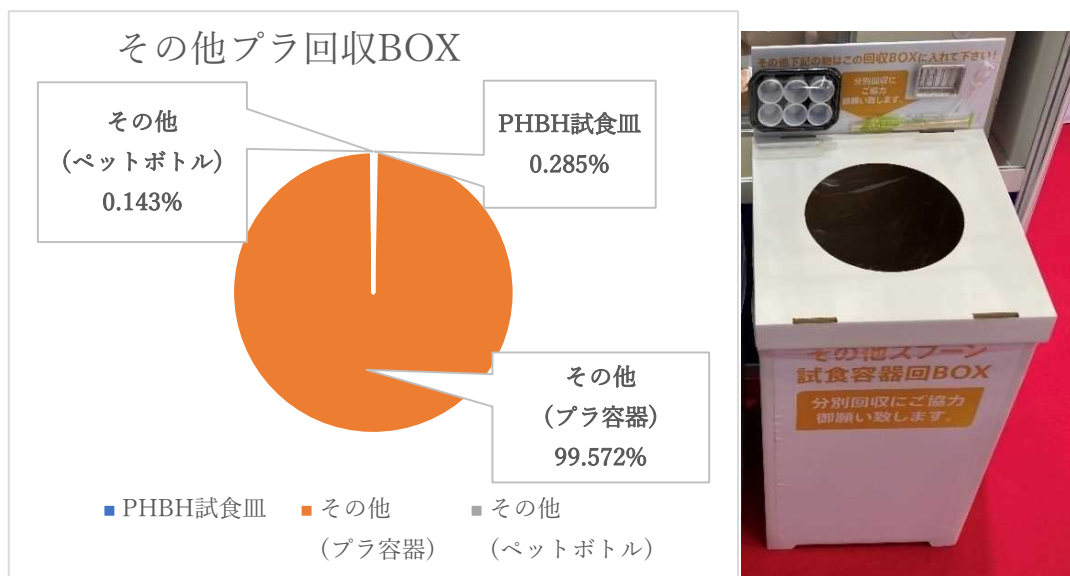


図 33 その他プラ試食皿等回収 BOX の試料調査結果

(4) まとめと課題

単発成形機での成形検証に関しては、形状の安定した製品の結果が確認できており、実機（連続成形機）での検証課題、不定期な穴あきの改善、成形時間の短縮が今後の課題となる。

形状が複雑な物での PHBH のシート厚み 350 μm 厚、400 μm 厚シートでの追加検証を行うと共に単純な形状の容器での 300 μm 厚シートでの実機（連続成形機）でのランダムな位置に不定期な穴あきの検証を実施した。

成形品の社会実装、実生産からの販売のためには、既存樹脂品と同様に形状の安定、穴あきの完全

解決が求められるため、成形機の設定調整での検証を更に進め、改善可能、不可能の課題を探索、成形性の向上のため PHBH シートの改善の必要性に関しても（株）カネカと打ち合わせを行い、現状確認している課題の改善の協議、更なる検証を実施する。

成形時の収率に関しても今後検証を予定、現時点で発生している穴あき等の問題の改善を検討しながら 500 枚程度の試作品に対しての収率検査を行っていく。

PHBH 製食品容器価格について、現状の検証を進め、収率の確認、サイクルタイムの改善を行い、製品の出来高を検証、既存樹脂品成形品との価格差の確認を行い、社会実装が可能なラインかの判断を行う。

展示会アンケート結果から PHBH 製食品容器の既存樹脂品と比較して違和感がないとの意見を多く確認できた。また、社会実装に向け環境負荷低減の認識も社会実装の後押しになると期待ができる結果を得た。

一方、展示会での分別回収の結果から、分別回収の認知の浸透と啓蒙についてはより分かり易い対応が必要と考えられるため、再度展示会等のイベントにて検証を行い結果の経過を確認する。

展示会場での本事業の説明に対して、来場者からは PHBH 製食品容器の生分解性、耐熱温度等に対して高い評価と実装に向けた期待の声を多く頂き、素材転換に対しての積極的な意識も確認した。反面、コストに対しての質問も多く、社会実装に向け生産での課題と同時にコストの調整や、既存の紙素材やその他環境素材との価格バランスが受け入れられる製品設計が課題となる。

2.1.2 食品容器用 PHBH 製シートの開発

(1) 目的

バイオガス化条件での生分解性を担保しつつ、食品容器・包装に求められるレンジアップ耐性、強度、成形性、安全性等を満たす PHBH シートを提供することを目的とした。

(2) 方法

成形難易度が比較的低い小型・浅型の試食皿等を真空成形で試作するためのシート提供を行うにあたり、サンビック社の実機カレンダー成形で PHBH シートの生産を行った。カレンダー成形工程の概略図は、下図のとおり。本工程では、原料の PHBH パウダーと副原料等を押出機にて熔融させ、チャージロール、カレンダーロールを経てシートに成形している。また、用途に合わせた厚み調整、成形金型サイズに応じたシート幅調整を実施した。

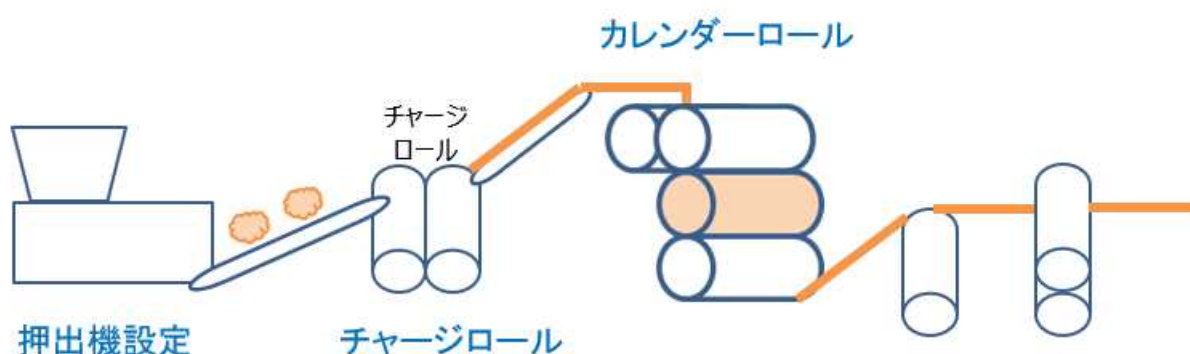


図 34 実機カレンダー成形の工程概略図

(3) 結果

厚み 300、350、400 μm 厚、幅 988 mm の真空成形向けのシートをシーピー化成（株）へ供試し、各厚みでの実機真空成形を実施した。実機サイズ成形機で、加工条件を調整する事により、実証試験に適用可能な食品容器（弁当容器など）の成形体を得た。

表 6 シーピー化成（株）へ供試したシートロット一覧

巾 mm	厚 mm	ロットNo.	巻き長 m
988	0.40	C122Z06-002	300
	0.35	C122Z06-006	500
		C122Z06-007	500
	0.30	C122Z06-011	500
		C122Z06-012	500
		C122Z06-013	450

実機カレンダー成形機にて生産した PHBH シートについて、シーピー化成（株）にて真空成形加工を実施し食品容器（弁当容器、下写真）を得るも、成形中に突発的に発生する穴開きが課題となっている（「2.1.1. PHBH 製食品容器の試作」を参照）。シート外観が局所的に異なる（局所的に透明感がある箇所）にて発生している可能性が高いとのことから、シート厚みが局所的に薄いまたは、局所的に結晶化度の異なる部分がシート中に存在すると推測する。



図 35 シーピー化成（株）にて成形された弁当容器

（４）まとめと課題

食品容器の試作に向け実機カレンダー成形で厚み 300、350、400 μm 厚 PHBH シートを製作し、シーピー化成（株）に提供した。真空成形加工による弁当容器の試作の結果、成形中に突発的に発生する穴開きが課題となり、その原因として、シート厚みが局所的に薄い、または、局所的に結晶化度の異なる部分がシート中に存在することが推測された。

2.2 低品質な廃食用油や植物油等の PHBH 原料としての利用技術の開発

2.2.1 目的

令和 3 年度までの前回事業では、種々の廃食用油の使用評価試験により、3HH（3-ヒドロキシヘキサン酸）組成規格を満たす PHBH を、対パーム比生産性（パーム油を利用した際の PHBH 培養生産性を 100 としたときの相対値）90 以上で生産できる油脂の範囲を、廃食用油の受入規格として設定した。

本事業では、更なる PHBH 原料の拡大に向けて、植物油（ジャトロファ油、菜種油）及び未利用の低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）を PHBH 原料として利用するための技術開発を行うことを目的とした。

本年度は、上記原料を用いて PHBH 培養生産を試験し、原料の予備評価を行った。

2.2.2 方法

（1）共通

培養試験には 10 L ジャーファーマンターを用いた。

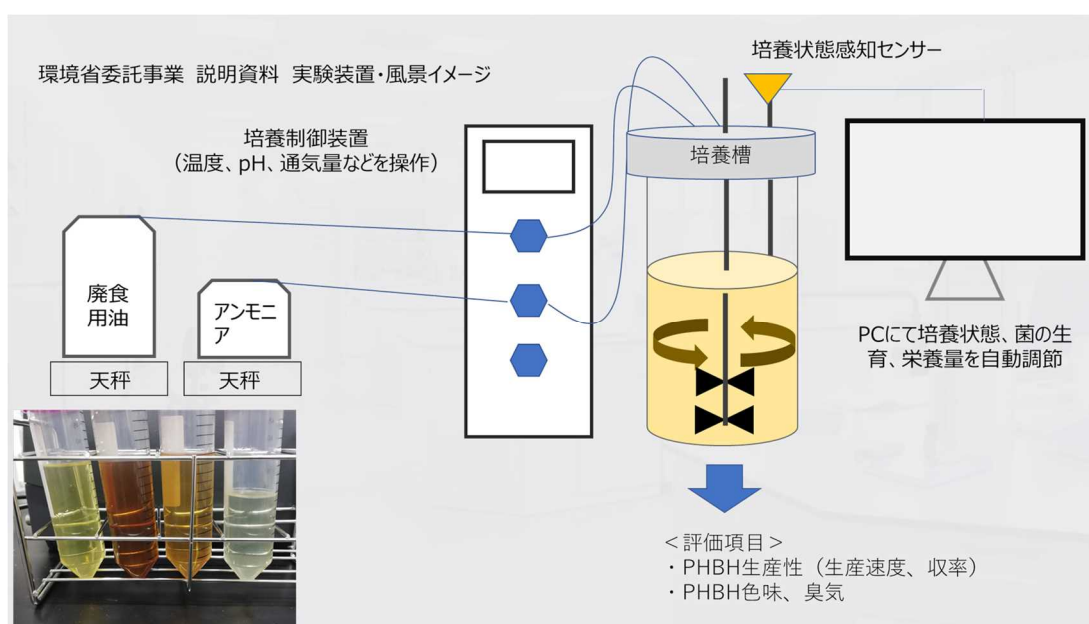


図 36 培養実験のイメージ図



図 37 培養実験装置（10 L ファーマンター）

（２）植物油を原料とした培養試験

菜種油及びジャトロファ油を使用した。なお、一般に流通している植物油は搾油後、脱ガム・脱酸・脱色・脱臭などの精製工程を経ているが、本年度は搾油後、脱水及び固形分のろ過のみ実施した粗精製植物油（粗精製菜種油・粗精製ジャトロファ油）を使用した。

（３）低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）を原料とした培養試験

グリーストラップ由来の油脂は、「4.3 低品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発」にて、飲食店舗より回収されたグリーストラップ油泥より抽出した油脂のうち、2 種類を試験に用いた。なお、前処理として、抽出後に脱水及び固形分のろ過を行ってから培養試験に用いた。

- ・ GT007（食種：カレー店）
- ・ GT019（食種：食堂・定食・弁当店）

2.2.3 結果

（１）植物油を原料とした培養試験

粗精製した菜種油とジャトロファ油の脂肪酸組成・ヨウ素価・酸価・色味を示す（次表）。菜種油とジャトロファ油のヨウ素価は高いことから、前回事業で構築した高ヨウ素価向け PHBH 生産株である KNK-新 2 株/*fadH* を使用して、10 L ジャー培養槽にて生産性の評価を実施した。

表 7 粗精製した菜種油とジャトロファ油の脂肪酸組成・ヨウ素価・酸価・色味

	市販 菜種油	粗精製 菜種油	粗精製 ジャトロファ油
ミリスチン酸(14)	0	0	0
パルミチン酸(16)	4	4.3	14
パルミトレイン酸(16:1)	0	0.2	0.8
ステアリン酸(18)	2	1.8	6.9
オレイン酸(18:1)	53	63.4	46.9
リノール酸(18:2)	26	18.2	31
リノレン酸(18:3)	13	8.2	0.2
アラキジン酸(20)	0	0.6	0
エイコセン酸(20:1)	2	1.7	0.2
その他脂肪酸	0	1.6	0
ヨウ素価(93-131)	126	111	97
酸価(0-8.0)	0	0.87	64.4
色味(4-14)	5	5	6

PHBH 培養生産特性は、パーム油を利用した際の培養生産性を 100 としたときの対パーム比生産性及びポリマーの 3HH 組成規格で評価した。培養評価結果を次表に示す。

培養評価の結果、粗精製した菜種油では、パーム油と同等の生産性で PHBH を生産でき、また 3HH 組成も規格内であることを確認した。本結果によれば、PHBH 培養生産の観点からは、菜種油について食用油製造で一般的な前処理（脱ガム・脱酸等）を行う必要はないと考えられる。

一方で、ジャトロファ油を利用した培養では培養途中の発泡が著しく、培養液が培養槽から大量にふき出したため、培養中断とした。ジャトロファ油には菜種油にない発泡要因があると推定する。前表に示したとおり、今回使用した粗精製ジャトロファ油の酸価は 64.4 と高かった。酸価が高いことは一般的に油脂中の遊離脂肪酸の含有量が多いことを意味しており、遊離脂肪酸はナトリウムイオンやカリウムイオンなど 1 価のイオンと反応し、界面活性作用を示すことから、ジャトロファ油を利用した培養では培養液中の遊離脂肪酸濃度が高くなり、顕著な発泡が発生した可能性がある。この結果からは、ジャトロファ油を PHBH 原料として利用するためには、前処理として脱酸を行うことや、低酸価油脂と混合することで酸価を調整した上で原料利用するといった対応が必要になると考えられる。

表 8 粗精製した菜種油とジャトロファ油を利用した PHBH 培養生産特性評価

菌株	使用油脂	生産性	3HH組成 (mol%)
KNK-1株	パーム油	100	6.0±1.0
KNK-新2株/ <i>fadH</i>	市販菜種油	97	6.4
	粗精製菜種油	97	6.4
	粗精製ジャトロファ油	顕著な発泡による培養中断	

(2) 低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）を原料とした培養試験

低品質な廃食用油としてヨウ素価・色味が前回事業で定めた廃食用油受入規格内であり、比較的酸価が低いグリーストラップ由来の油脂として GT007（食種：カレー店）及び GT019（食種：食堂・定食・弁当店）を選出した。GT007 と GT019 の脂肪酸組成・ヨウ素価・酸価・色味を示す。GT007 はヨウ素価が低いため、現在実機生産に使用している KNK-1 株を利用した。一方で、GT007 はヨウ素価が高いことから、前回事業で構築した高ヨウ素価向け PHBH 生産株である KNK-新 2 株/*fadH* を使用して 10 L ジャー培養槽にて PHBH 生産性の評価を実施した。

表 9 培養評価に使用したグリーストラップ由来の油脂 GT007（食種：カレー店）及び GT019（食種：食堂・定食・弁当店）の脂肪酸組成・ヨウ素価・酸価・色味

	パーム油	GT007		市販 菜種油	GT019
ラウリン酸 (12)	0	0.2	ラウリン酸 (12)	0	0
ミリスチン酸 (14)	1	1.9	ミリスチン酸 (14)	0	0.7
ミリストレイン酸(14:1)	0	0.3	ミリストレイン酸(14:1)	0	0.2
ペンタデカン酸(15)	0	0.2	ペンタデカン酸(15)	0	0.1
パルミチン酸(16)	39.6	24	パルミチン酸(16)	4	11.9
パルミトレイン酸(16:1)	0.2	2.6	パルミトレイン酸(16:1)	0	1.2
マルガリン酸(17)	0	0.9	マルガリン酸(17)	0	0.3
ヘプタデセン酸(17:1)	0	0.5	ヘプタデセン酸(17:1)	0	0.2
ステアリン酸(18)	4.4	13.4	ステアリン酸(18)	2	4.9
オレイン酸(18:1)	42.7	44.5	オレイン酸(18:1)	53	45.3
リノール酸(18:2)	11.2	8.1	リノール酸(18:2)	26	27.3
リノレン酸(18:3)	0.2	0.7	リノレン酸(18:3)	13	5.7
アラキジン酸 (20)	0.4	0.3	アラキジン酸 (20)	0	0.5
エイコセン酸(20:1)	0.2	0.6	エイコセン酸(20:1)	2	0.6
その他脂肪酸	0.1	1.8	その他脂肪酸	0	1.1
ヨウ素価 (43-65)	57	61.5	ヨウ素価 (93-131)	126	105
酸価 (0-30)	0.5	39.9	酸価 (0-8.0)	0	47.9
色味 (4-14)	5	10	色味 (4-14)	5	13

PHBH 培養生産特性は、パーム油を利用した際の培養生産性を 100 としたときの対パーム比生産性及びポリマーの 3HH 組成規格で評価した。培養評価結果を次表に示す。

GT007（食種：カレー店）を利用した培養では次図に示すとおり培養途中で著しい菌体活性（酸素消費速度（OUR））の低下が発生したため、培養中断とした。一般的に香辛料は抗菌作用があり、メタン発酵において香辛料がバイオガス発生量の減少をひき起こす事例も報告されていることから¹⁾、カレー由来の油溶性の香辛料が PHBH 生産菌の菌体活性を減少させた可能性が考えられる。

一方で、GT019（食種：食堂・定食・弁当店）を利用した培養では GT007 利用培養のような著しい菌体活性の低下は発生せず、パーム油や市販菜種油を利用した培養と比較して顕著な発泡は見られたものの、規定時間まで培養することに成功した。また、PHBH 培養生産性はパーム油比で概ね 9 割を達成し、3HH 組成も規格内であることを確認した（次表）。

表 10 グリーストラップ由来の油脂を利用した PHBH 培養生産特性評価

菌株	使用油脂	生産性	3HH組成 (mol%)
KNK-1株	パーム油	100	6.0 ± 1.0
	GT007	菌体活性の顕著な低下による培養中断	
KNK-新2株/ <i>fadH</i>	市販菜種油	97	6.4
	GT019	89	6.7

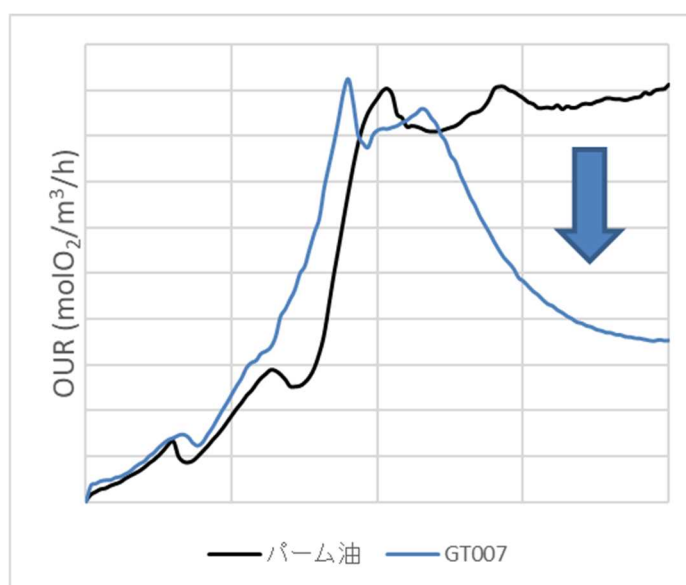


図 38 GT007 を利用した培養の菌体活性（酸素消費速度（OUR））の推移

2.2.4 まとめと課題

植物油については、本年度は粗精製（脱水及び固形分のろ過）を行った菜種油とジャトロファ油を用いて培養評価試験を行った。その結果、菜種油はパーム油と同等の生産性で PHBH を生産でき、また 3HH 組成も規格内であることを確認した。一方、ジャトロファ油については、発泡が著しく培養途中で中断することとなった。遊離脂肪酸濃度の高さが影響した可能性があり、前処理として脱酸を行うことや、低酸価油脂と混合することで酸価を調整した上で原料利用するといった対応が必要になると考えられる。

グリーストラップ由来の油脂については、本年度は2店舗より回収した油脂を用いて培養評価試験を行った。その結果、GT019（食種：食堂・定食・弁当店）はパーム油比約9割の生産性が得られ、3HH組成も規格内であることを確認できた。グリーストラップ由来の油脂を利用してPHBHを生産可能であることが判明したことは大きな成果である。一方で、GT007（食種：カレー店）は培養中に菌体活性が大幅に低下し培養中断に至った。このことから、グリーストラップ由来の油脂のPHBH原料としての利用可能性は排出源によって大きく異なることが示唆された。次年度は、様々な店舗由来のグリーストラップ由来の油脂を用いて培養評価試験を行い、培養特性の傾向の分析を行う。

中長期的にはパーム油やその代替と考えている廃食用油だけに依存することが困難になることも想定されるため、本項では低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）や植物油（ジャトロファ油、菜種油）の原料化の検討を進めてきた。組成及び品質が多様な油脂を原料化していくためには、発酵阻害の有無、ポリマーの生産性（生産速度、収率等）、製造するポリマーの品質等様々な観点から原料を評価し、それらの関係性を整理していくことが求められる。今後は培養試験を進めることで、各種油脂原料の評価指標及び受入規格の設定に向けた情報整理を進めていきたい。

参考文献

- 1) Sahu, Nidhi et al. “Evaluation of biogas production potential of kitchen waste in the presence of spices.” Waste management (New York, N.Y.) vol. 70 (2017): 236-246.

2.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発

2.3.1 目的

前回事業において一定の水準に達した PHBH 製造技術について、更なる製造収率の向上に向けた技術開発を目的とする。

前回事業では、種々の廃食用油の使用評価試験により、油脂構成脂肪酸のヨウ素価（不飽和脂肪酸比率）が低い油脂（パーム油等：ヨウ素価 43-65）と比べて高い油脂（ヨウ素価 93-131）では、培養工程における PHBH 生産性に悪影響があることを確認した。一方で、国内の廃食用油は高ヨウ素価油脂（菜種油・大豆油系統）が圧倒的に多いため、前回事業では高ヨウ素価油脂からの PHBH 製造技術開発を進めてきた。高ヨウ素価油脂を使用した培養の特徴として、培養液中の油脂濃度を高く保つことで PHBH 生産性を向上できることが判明した一方で、顕著な発泡が発生し不安定な培養となり、実生産においては問題が残されていた。そこで、低油脂濃度で PHBH 培養生産が可能な技術の開発を進めた。不飽和脂肪酸代謝を補助する遺伝子である *fadH* 遺伝子を強化した株（KNK-新2株/*fadH*）を構築したことにより、高ヨウ素価油脂を効率的に資化できるようになり、低油脂濃度で培養することに成功した。本技術によって、高ヨウ素価廃食用油を工業的、効率的、かつ安定的に PHBH 生産培養に使用することが可能になったが、培養安定性においては、パーム油等の低ヨウ素価油脂を用いた培養生産時と比べると発泡度が未だに大きい状態であり、それ故 PHBH 生産性も低ヨウ素価油脂培養と比べると低位である。今後、さらに安定的・効率的に工業生産技術を確立させるためには、発泡を抑制する技術開発が必要であった。

そこで、本事業では、前回事業において一定の水準に達した PHBH 製造技術について、更なる製造収率の向上に向けた技術開発を目的とした。

本年度は、低ヨウ素価油脂培養並みの発泡抑制と高生産を目指し、高ヨウ素価油脂培養の技術開発を行った。

2.3.2 方法

培養試験には 10 L ジャーファーマンターを用いた。

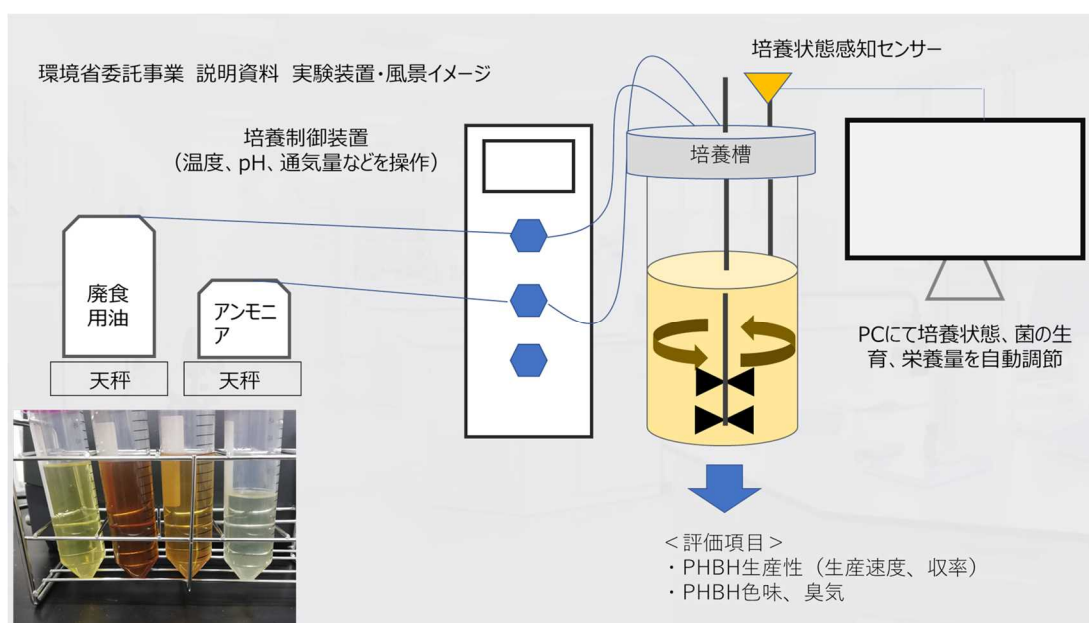


図 39 培養実験のイメージ図（再掲）



図 40 培養実験装置（再掲）



図 41 PHBH 商業化実証設備

2.3.3 結果

（1）培養上清中のタンパク質濃度の低減

PHBH 生産培養における発泡原因の 1 つは原料である油脂であるが、一般的に発酵培養の発泡原

因は微生物が副産物として分泌するタンパク質や多糖類などの複合要因と考えられている。前回事業までに、*fadH* 遺伝子の強化により低油脂濃度で培養が可能になったことから、別の発泡原因としてタンパク質に着目した。そこで、PHBH 生産培養時のタンパク質濃度とオレイン酸濃度（油脂成分の中でも特に発泡状態の悪化に關与している成分）及び発泡状態の關連性を調べた。その結果、同程度のオレイン酸濃度でもタンパク質濃度が高いほうが、発泡状態が悪いことが判明した。つまり、タンパク質濃度を減らすことで発泡状態を改善させることができると推測された。

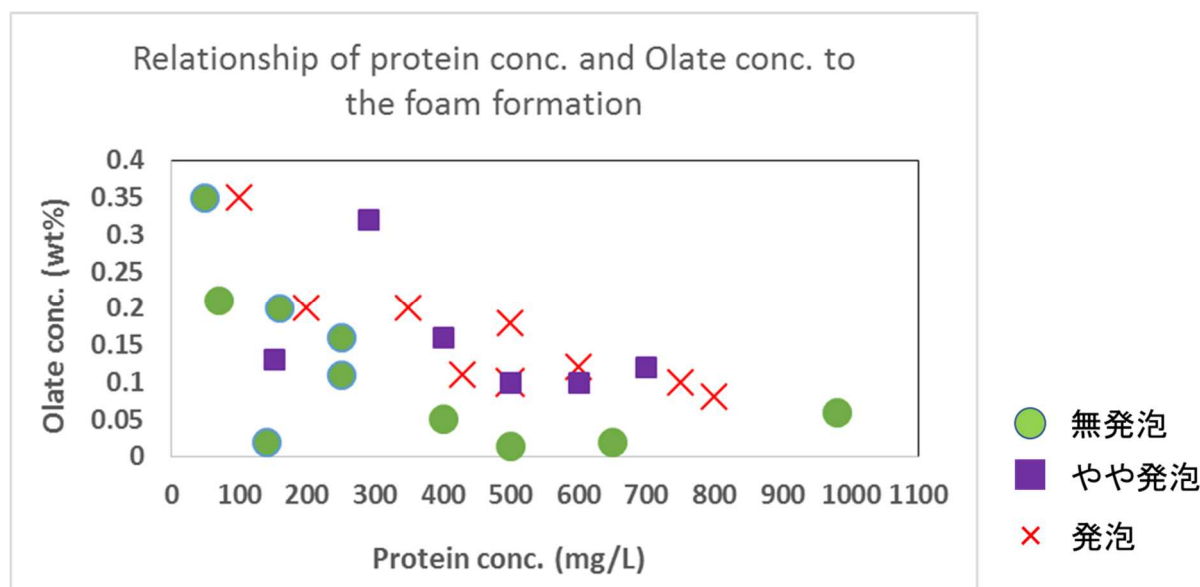


図 42 タンパク質濃度とオレイン酸濃度及び発泡の關連性

タンパク質濃度を低減するために、まずプロテオーム解析により培養上清中のタンパク質のプロファイルを調べた。分析対象は、前回事業で実施した実生産設備実証時の培養終点での遠心上清とした。分析の結果、培養上清中には 2 千種類以上の PHBH 生産株由来のタンパク質が漏れ出てきており、特に量の多いタンパク質が数種存在することが判明した。濃度が高い上位 20 種類のタンパク質で全体の 43%を占めていた。そこで、濃度が高いタンパク質から順に遺伝子を多重破壊することにより、タンパク質濃度低減を試みた。これまでの研究により破壊不可であることが判明しているタンパク質については遺伝子破壊候補から除外した。KNK-新 2 株/*fadH* を宿主にして表の Protein A、Protein B、Protein E、Protein F、Protein H をコードする遺伝子の五重破壊を導入した株（KNK-新 3 株）を構築した。

表 11 高ヨウ素価廃食用油を利用した実証生産設備培養の培養上清タンパク質プロファイル
(A-T は通し番号)

	タンパク質 比率	タンパク質濃度 (ppm)	遺伝子 破壊
Protein A	11%	57	実施
Protein B	5%	24	実施
Protein C	3%	19	不可
Protein D	3%	15	不可
Protein E	3%	15	実施
Protein F	3%	14	実施
Protein G	2%	9	不可
Protein H	2%	9	実施
Protein I	1%	8	
Protein J	1%	8	
Protein K	1%	8	不可
Protein L	1%	7	不可
Protein M	1%	6	
Protein N	1%	6	
Protein O	1%	5	
Protein P	1%	5	
Protein Q	1%	5	
Protein R	1%	5	不可
Protein S	1%	5	
Protein T	1%	4	不可
その他約2千種	57%	302	
合計	100%	534	

高ヨウ素価廃食用油 HM011 を利用して KNK-新 3 株を 10 L ジャー培養槽で培養して、培養上清タンパク質濃度を KNK-新 2 株/*fadH* と比較した。高ヨウ素価廃食用油 HM011 の脂肪酸組成・ヨウ素価・酸価・色味を示す（次表）。

表 12 高ヨウ素価廃食用油 HM011 の脂肪酸組成・ヨウ素価・酸価・色味

	HM011
ミリスチン酸 (14)	0.2
パルミチン酸(16)	10.1
パルミトレイン酸(16:1)	0.4
ステアリン酸(18)	3.1
オレイン酸(18:1)	47.5
リノール酸(18:2)	30.3
リノレン酸(18:3)	6.7
アラキジン酸 (20)	0.5
エイコセン酸(20:1)	0.7
その他脂肪酸	0.5
ヨウ素価 (93-131)	112
酸価 (0-8.0)	3.7
色味 (4-14)	11

培養経時のタンパク質濃度を測定した結果、KNK-新3株ではKNK-新2株/*fadH*と比較して、タンパク質濃度を約30%減らすことに成功した。

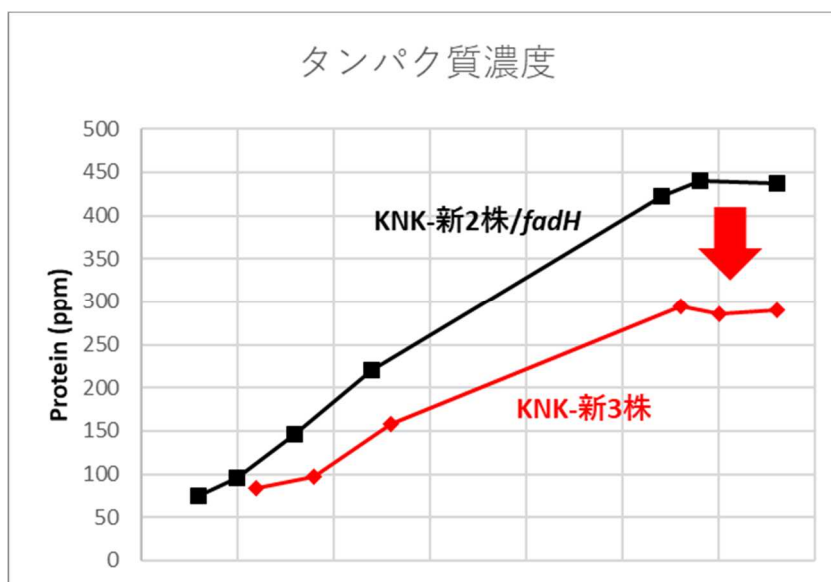


図 43 KNK-新3株のタンパク質濃度推移

2.3.4 まとめと課題

本年度の検討において、KNK-新 3 株を構築することでラボスケールの培養では、培養上清タンパク質濃度を低減することに成功した。

次年度、実証設備スケールにおいて培養上清タンパク質を低減できること、及びそれにより発泡が抑制できることを確認する。

2.4 事業1の成果の要点

「事業1：PHBHの更なる用途展開・製品開発」では、前回事業において開発を進めた生ごみ袋に加え、汚れる用途として食品容器等を取り上げ比較的成形難易度の低い小型・浅型の食品容器を試作するとともに耐熱性を確認した。また、PHBH原料の拡大に向けて、事業3（1）で検討を行う植物油（ジャトロファ油、菜種油）及び、事業3（3）で検討を行う未利用の低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）をPHBH原料として利用するために培養評価試験を行った。また、廃食用油からのPHBH製造の生産性向上のため発泡抑制技術として、培養液中のタンパク質濃度低減技術の開発を進めた。本年度の主な検討成果と今後の課題は以下に示すとおり。

2.4.1 生分解性バイオマスプラスチックの特性が発揮される用途の探索と製品開発

PHBHの食品容器への用途展開については、(株)カネカがPHBHパウダーを原料として押出機にて熔融し、カレンダーロールにて成形したシートをシーピー化成(株)が使用して食品容器に成形するという分担で開発を進めた。まずは試食皿やフードパック等の強度・耐熱性・耐寒性・透明性といった機能や着色等の意匠性が求められない容器を対象として、成形性の検証を行った。

試食皿は単発成形機での試作により、イベント実証に用いる数量を確保できた。

フードパックについては、単発成形機での試作段階では、加熱時間や成形速度の調整により成形可能となったものの、真空孔に由来する容器の穴あきが発生した。連続成形機の試作で更に加熱時間、成形速度の調整を行い、形状が安定した成形が可能となり、蓋もしっかり閉まるようになったが、穴あきの頻度は減ったものの引き続き不定期に発生した。

弁当容器についても、単発成形機での試作を経た連続成形機での試験では、従来品に比べ成形時間が長く不安定な穴あき等が発生することがあるものの、シート厚を増すことで使用可能な強度を有する容器の連続成形に目途を得た。また、電子レンジが使用可能な120℃の耐熱温度を確認できた。

イベント実証については、2月15～17日に開催のスーパーマーケットトレードショーにPHBHの試食皿500枚を使用し、試食後に回収するとともに、来場者にアンケートを実施した。

単発成形機での成形検証に関しては、形状の安定した商品の結果が確認できており、連続成形機での検証、不定期な穴あきの改善、成形時間の短縮が今後の課題となる。また、形状が複雑な物でのPHBHのシート厚み350μm厚、400μm厚シートでの追加検証を行うとともに成形時の収率に関しても今後検証を行っていく予定である。

2.4.2 低品質な廃食用油や植物油等のPHBH原料としての利用技術の開発

植物油については、本年度は粗精製（脱水及び固形分のろ過）を行った菜種油とジャトロファ油を用いて培養評価試験を行った。その結果、菜種油はパーム油と同等の生産性でPHBHを生産でき、また3HH組成も規格内であることを確認した。一方、ジャトロファ油については、発泡が著しく培養途中で中断することとなった。遊離脂肪酸濃度の高さが影響した可能性があり、前処理として脱酸を行うことや、低酸価油脂と混合することで酸価を調整した上で原料利用するといった対応が必要になると考えられる。

グリーストラップ由来の油脂については、本年度は2店舗より回収した油脂を用いて培養評価試験を行った。その結果、GT019（食種：食堂・定食・弁当店）はパーム油比約9割の生産性が得られ、3HH組成も規格内であることを確認できた。グリーストラップ由来の油脂を利用してPHBHを生産可能であることが判明したことは大きな成果である。一方で、GT007（食種：カレー店）は培養中に

菌体活性が大幅に低下し培養中断に至った。このことから、グリーストラップ由来の油脂の PHBH 原料としての利用可能性は排出源によって大きく異なることが示唆された。次年度は、様々な店舗由来のグリーストラップ由来の油脂を用いて培養評価試験を行い、培養特性の傾向の分析を行う。

中長期的にはパーム油やその代替と考えている廃食用油だけに依存することが困難になることも想定されるため、本項では低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）や植物油（ジャトロファ油、菜種油）の原料化の検討を進めてきた。組成及び品質が多様な油脂を原料化していくためには、発酵阻害の有無、ポリマーの生産性（生産速度、収率等）、製造するポリマーの品質等様々な観点から原料を評価し、それらの関係性を整理していくことが求められる。今後は培養試験を進めることで、各種油脂原料の評価指標及び受入規格の設定に向けた情報整理を進めていきたい。

2.4.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発

廃食用油からの PHBH 生産性向上については、培養液発泡の要因としてタンパク質濃度に着目し、PHBH 生産菌の遺伝子破壊により PHBH 生産に不要なタンパク質を削除することで、培養液中のタンパク質濃度を低減させるべくラボスケール試験を実施したところ、KNK-新 3 株を構築することで培養上清タンパク質濃度を低減することに成功した。

次年度には、実証設備スケールにおいて培養上清タンパク質を低減できること及び培養上清タンパク質濃度低減により発泡が抑制できることを確認する。

3. 開発した製品に対応するリサイクルシステムの検討（事業2）

3.1 モデル地区における PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ回収・バイオガス化実証試験

3.1.1 モデル地区におけるバイオガス化実証試験設備の設置検討

（1）目的

廃食用油を原料に製造した PHBH 製生ごみ袋を用いて生ごみを回収し、袋とともにバイオガス化施設に投入してエネルギーを連続的に創出し、副生する発酵残渣・消化液を作物栽培に活用する一連のシステムの有効性について、モデル地区における実証試験を通じて評価し、さらに、PHBH 製食品容器等については、ベンチスケールでの予備実験等を行った上で、バイオガス化施設への投入方法を検討することを合わせて目的とする。

令和4年度は、モデル実証地域の選定（京都市京北地域を想定）、回収ボックスの設置等による家庭からの生ごみ・PHBH 製食品容器等の回収方法の検討（地域イベントでの非定常回収も含む）、予備的な PHBH 及び生ごみのバイオガス化試験、バイオガス化試験設備の現地搬入、モデル実証計画の作成、令和5年度の実証試験の準備を行うことを目的として調査を実施した。

（2）方法

実験計画の立案にあたっての主な検討事項は次のとおりである。

- ① 基本事項
- ② 処理対象ごみ（主に家庭系・事業系の生ごみ）の種類・量の設定、回収方法の検討
- ③ バイオガス化実証試験に必要な試験設備の仕様の検討
- ④ 試験設備の設置場所の選定及び関係者との調整
- ⑤ 試験の実施に必要な手続きの調査及び必要書類の作成
- ⑥ 実施スケジュール

（3）結果

1) 基本事項

① 実施期間

実証試験期間は令和5年4月1日～令和6年2月29日とし、令和4年度は、実証機の設置を行った。

② 実施場所

京都市右京区京北塔町隠谷1番の一部 京北運動公園北側の敷地（下図）



図 44 試験の実施場所

③ 実施手順

1. 京北地域内の一般家庭及び京北地域内外の協力事業者に生分解性生ごみ袋を配布し、分別指導を行う。
2. 一般家庭については、生ごみを分別して生分解性生ごみ袋に入れ、拠点に排出するよう依頼する。
3. 協力事業者については、生ごみを分別して生分解性生ごみ袋に入れ、指定業者（安田産業（株））に引き渡すよう依頼する。
4. 回収した生ごみをバイオガス化施設内の建屋に家庭系、事業系ともに運搬者が移送する。
5. 袋を破袋し、発酵に不適な金属・ガラス類や貝殻、骨などの不適物を目視で確認、除去し、一般廃棄物として市に処理を依頼する。
6. 破砕機で生分解性生ごみ袋ごと粉砕し、前処理槽に投入する。
7. 発酵槽に投入する。
8. 発生したガスはガスホルダー、脱硫塔にて硫化水素を除去し、ガスタンクに貯留する。
9. 発酵過程で生じた消化液は消化液タンクに貯留する。
10. バイオガスは燃焼させ発酵槽の加温に利用する。余剰温水は、温室の併設を検討し、その加温に利用する。
11. 消化液は農家等に配布し、液肥としての利用を検討する。
12. 持続可能な地域循環共生圏の実現を目指すため、年間を通した本プラント運営に係る費用を算出したうえで、実証期間終了後に、一般家庭、協力事業者、消化液を利用した農家等を対象に、運搬・処理費用の発生時（実証実験終了後）における搬出意向等のアンケートを行う。

2. 一般家庭については、生ごみを分別して生分解性生ごみ袋に入れ、拠点に排出するよう依頼する。

3. 協力事業者については、生ごみを分別して生分解性生ごみ袋に入れ、指定業者（安田産業（株））に引き渡すよう依頼する。

4. 回収した生ごみをバイオガス化施設内の建屋に家庭系、事業系ともに運搬者が移送する。

5. 袋を破袋し、発酵に不適な金属・ガラス類や貝殻、骨などの不適物を目視で確認、除去し、一般廃棄物として市に処理を依頼する。

6. 破砕機で生分解性生ごみ袋ごと粉砕し、前処理槽に投入する。

7. 発酵槽に投入する。

8. 発生したガスはガスホルダー、脱硫塔にて硫化水素を除去し、ガスタンクに貯留する。

9. 発酵過程で生じた消化液は消化液タンクに貯留する。

10. バイオガスは燃焼させ発酵槽の加温に利用する。余剰温水は、温室の併設を検討し、その加温に利用する。

11. 消化液は農家等に配布し、液肥としての利用を検討する。

12. 持続可能な地域循環共生圏の実現を目指すため、年間を通じた本プラント運営に係る費用を算出したうえで、実証期間終了後に、一般家庭、協力事業者、消化液を利用した農家等を対象に、運搬・処理費用の発生時（実証実験終了後）における搬出意向等のアンケートを行う。

2) 処理対象ごみの種類・量の設定、回収方法の検討

① 処理対象

京都市右京区京北地域内の家庭系生ごみ及び事業系生ごみ並びに市街地の事業系生ごみとする。

② バイオガス化試験設備 設備規模

1 トン/日（生ごみ処理量ベース）

③ ごみ種別回収量

1 トン/日の回収に係る内訳は下表のとおりである。なお、全体の回収量は京北地域家庭系生ごみに応じて事業系生ごみ分の受け入れを調整することで1 トン/日を超えないようにする。

表 13 処理対象及びごみ種別回収量の設定

地域	ごみ種別	回収量設定	回収先想定
京北地域	家庭系生ごみ	0.1～0.2 トン/日	1 拠点 10kg/日×10 拠点程度から徐々に回収率を上げていくことを想定
	事業系生ごみ	計 0.8～0.9 トン/日	京北地域内の飲食店、コンビニ、宿泊施設等から回収することを想定
市街地	事業系生ごみ		市街地の飲食店、コンビニ、宿泊施設等から回収することを想定

④ 回収方法及び拠点

家庭系生ごみは拠点回収とし、市民が生ごみを分別し、PHBH 製生ごみ袋で拠点に持ち込む。拠点の生ごみは週 2 回程度京都市が実験施設まで運搬する。

事業系生ごみについては運搬事業者が排出事業者から回収したのち直接実験施設まで運搬される。

実証試験に用いる PHBH 製生ごみ袋は次図、回収方法及び拠点は次表のとおりである。

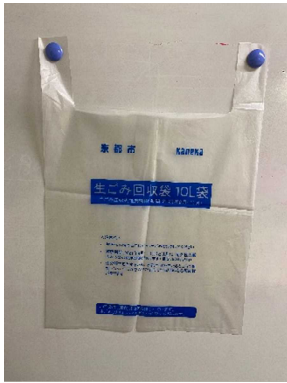
小袋 (20)	中袋 (50)	大袋 (100)
		

図 45 PHBH プラスチック製生ごみ袋

表 14 回収方法及び回収拠点

ごみ種別	回収方法	回収拠点
家庭系生ごみ	市民が拠点（京北地域内程度）に PHBH 製生ごみ袋に入った生ごみを持ち込む（持ち込み時間は 9 時～17 時まで）。週 2 回京都市が実験施設まで運搬する	①山国自治会館、②おーらい黒田屋、③宇津ふれあい会館、④細野グリーン会館、⑤京北合同庁舎、⑥矢代多目的ホール、⑦弓削自治会館 <u>（現在確定分のみ）</u>
事業系生ごみ	排出事業者が排出後、毎日安田産業が実験施設まで運搬する	京北地域内の飲食店、コンビニ、宿泊施設等 京都市中心部の飲食店、コンビニ、宿泊施設等 （毎日排出事業者が排出後、実験施設まで安田産業が運搬）

⑤ 運搬方法

● 家庭系生ごみ

市が資源回収車により回収する。詳細は次表のとおりである。

表 15 家庭系生ごみ運搬方法

運搬容器	密閉型コンテナボックス（幅78cm×高さ49cm×奥行49cm）  （イメージ図）
運搬車両	サンバー
行 先	月・木曜日 前表のうち、①～④を回り実験の実施場所へ運搬 火・金曜日 前表のうち、⑤～⑦を回り実験の実施場所へ運搬

● 事業系生ごみ

許可業者が運搬する。詳細は次表のとおりである。

表 16 事業系生ごみ運搬方法

許可業者詳細	事業者名： 安田産業株式会社 住 所： 京都市伏見区南寝小屋町91番地 許可年月日： 令和3年12月19日 許可番号： 一廃第120号 取扱廃棄物： ①木くず ②食品廃棄物 作業区分： 収集・運搬（積替保管を含まない。）
運搬容器	許可業者のコンテナ（下図イメージ参照） 
運搬車両	許可業者の車両（2tロングを想定）
行 先	採取場所⇄実験の実施場所

3) バイオガス化実証試験に必要な試験設備の仕様の検討

① 基本諸元

バイオガス化実証試験に必要な試験設備の基本諸元は次表のとおり。

表 17 基本諸元

1	処理能力	1 トン/日
2	方式	高温湿式（発酵温度：55℃、発酵期間：15 日）
3	発酵槽	18 m ³ （有効 15 m ³ ） 2 式
4	調整槽	2.4 m ³ （有効 2.0 m ³ ） 1 式
5	消化液貯留槽	6 m ³ ×3 式 = 20 m ³
6	破碎設備	破碎機＋選別ステージ＋ポンプ投入（仮）
7	不適物除去方法	目視により手選別除去

② 処理フロー

処理フローは次図のとおりである。

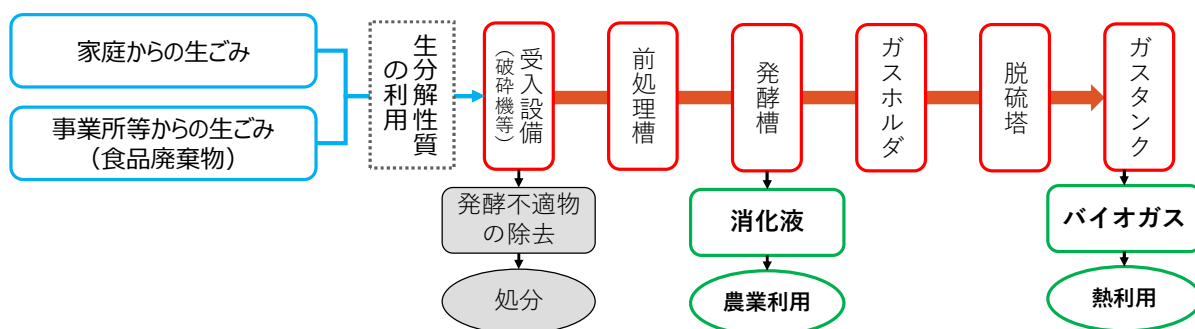


図 46 処理フロー

③ 破袋兼破碎装置の検討

PHBH 製生ゴミ袋で分別回収した生ごみを、調整槽への投入前に粉碎する装置について、実証試験を行った。

次図に示すとおり、PHBH 製生ゴミ袋に生ごみを封入し、結び目をほどかない状態で、次図に示す破袋兼破碎装置に投入した。



図 47 破碎対象物



図 48 破袋兼破碎装置外観

破碎後の試料は、次図に示すとおりで、PHBH 製生ゴミ袋及び生ごみともに、ほとんど破袋・破碎され、投入口への破碎対象物の残存物はほとんど見られなかった。



図 49 破碎後試料及び投入口での残存物の状況

本装置においては、PHBH 製生ごみ袋で分別収集した生ごみをそのまま破袋、破碎できることが確認できており、分別精度の向上が図られ、発酵不適物の混入比率が無視できる程度になった場合には、本装置を導入し、バイオガス化施設の前処理工程を簡略化出来る可能性が示唆された。

今後の実証実験の状況を勘案しつつ、実証段階での導入を検討する。

④ 湿式高温発酵下における PHBH 発酵予備試験

実証試験で導入する湿式高温発酵のバイオガス化施設において、PHBH 製生ごみ袋の発酵分解が行われることを確認するため予備試験を行った。

発酵に用いる種汚泥は、昨年度までの PHBH 製生ごみ袋のベンチスケールによる分解試験と同様、カネカの嫌気性汚泥を用い、破碎した PHBH 製生ごみ袋のメタン発酵試験を 26 日間実施した。

(次図参照)



図 50 破碎した PHBH 製生ごみ袋及びメタン発酵試験装置

PHBH 製生ごみ袋投入後のバイオガス発生を経過日数とともに次図に示した。

PHBH 製生ごみ袋投入後の pH は 7.7 以上を維持し、生ごみを投入後、バイオガスの発生量は増加し、平均 65L/日、総量で 1,700L/日であった。PHBH 製生ごみ袋投入後も安定してバイオガスの発生が見られた。バイオガス中のメタン濃度は 52～53%となっている。

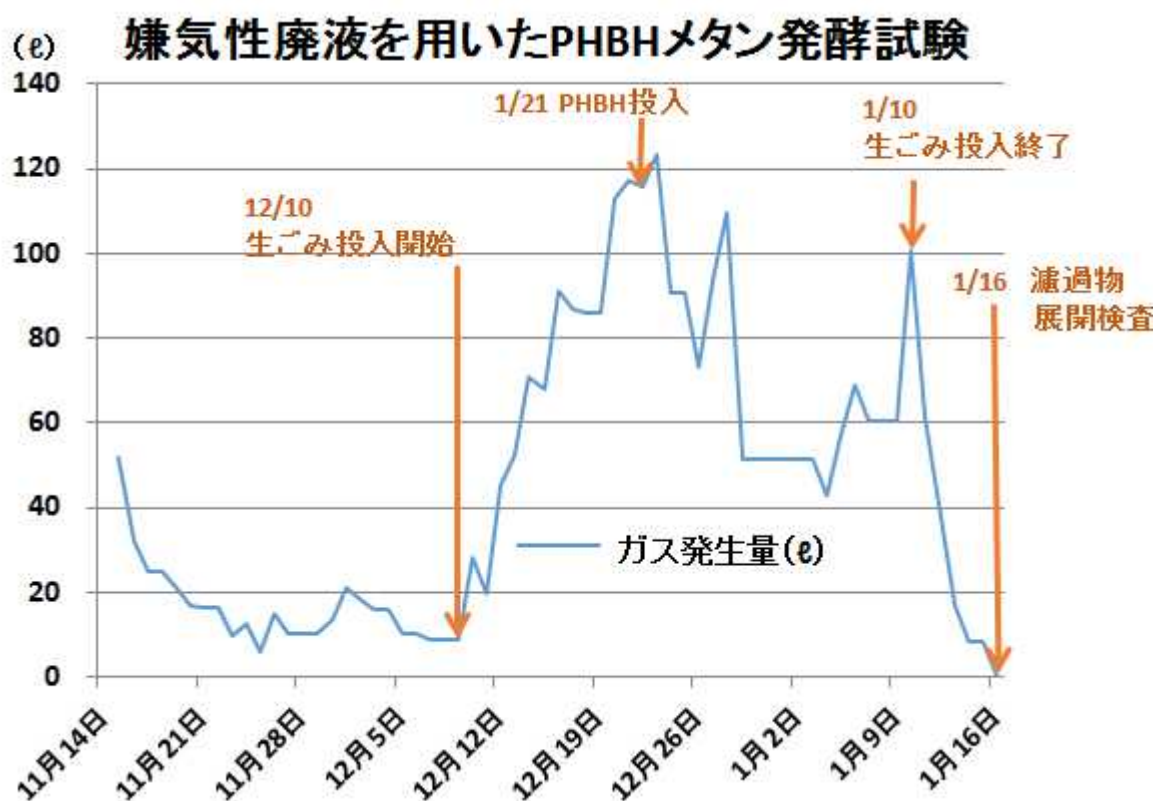


図 51 PHBH 製生ごみ袋投入後のバイオガス発生状況

メタン発酵後の残渣の状況は次図に示すとおりで、破碎した PHBH 製生ごみ袋 (投入時: 2~3 cm) は 5 mm 以下まで分解されており、くずれやすい状況となっていた。



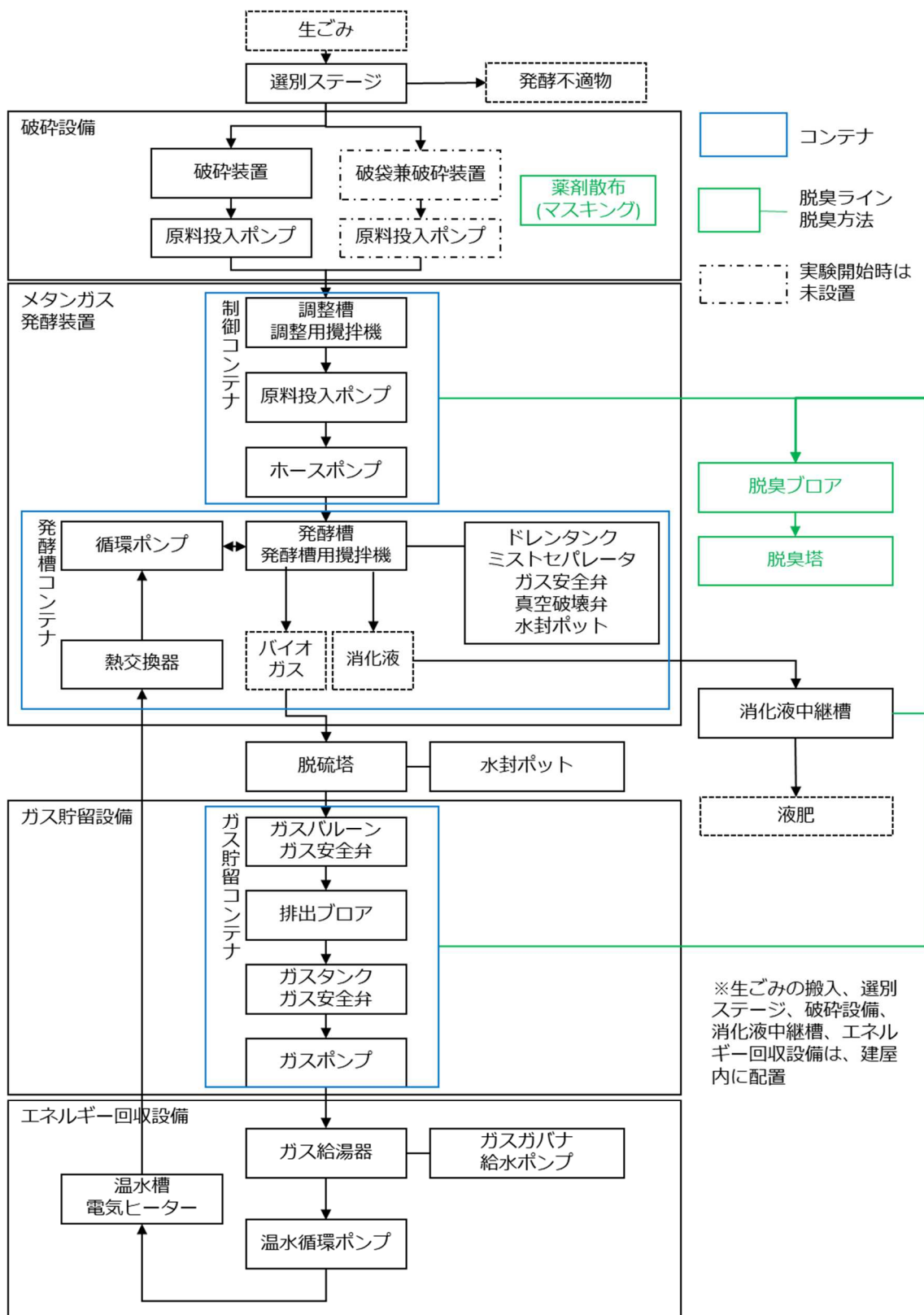
図 52 PHBH 製生ごみ袋の残渣状況 (左: 投入前、右: 試験終了時)

PHBH 製生ごみ袋の湿式高温発酵時における分解性は、5 mm 程度まで分解されているが、消化液には完全分解しない状態で、混入する可能性が示唆されている。

一方、消化液に混入した状態で、一定期間貯留を行うことによって分解が促進し、完全分解される可能性があることから、実証実験時に、分解性について検証を行うこととする。

⑤ 設備機器フロー及び設備リスト

設備試験結果等を踏まえ、設備機器フローを次図に、設備機器リストを次表に示した。



※各設備機器の仕様・能力等は、機器リストを参照

図 53 設備フロー

表 18 設備機器リスト

番号	設備名称	名称	品番・名称	数量	呼称	型式	材質	容量・能力	消費電力 [kW]	稼働時間 [h/d]	消費電力量 [kWh/d]	稼働状況・条件
1	破砕設備	破砕設備	破砕機-1 破砕装置	1	台	回転式破砕機	主要部 SUS304	破砕能力1.0～1.5m ³ /h	3.7	5	18.5	破砕作業時のみ
2	破砕設備	破砕設備	同上破砕機-1用原料投入ポンプ	1	台	一軸ネジポンプ	ケーシングSCS313 ローター-SUS304	30～1,200kg/時×0.2MPa×50A	0.75	5	3.75	破砕作業時のみ
3	破砕設備	破砕設備	破砕機-2 破砕兼破砕装置	1	台	回転式破砕機	主要部 SUS304	破砕能力0.15kg/h	5.5	5	27.50	破砕作業時のみ ※実験開始時は未設置
4	破砕設備	破砕設備	同上破砕機-2用原料投入ポンプ	1	台	一軸ネジポンプ	ケーシングSCS313 ローター-SUS304	30～1,200kg/時×0.2MPa×50A	0.75	5	3.75	破砕作業時のみ ※実験開始時は未設置
5	メタンガス発酵装置	制御コンテナ	調整槽	1	式	堅円筒型	SUS304	有効容量2.6m ³	-	-	-	
6	メタンガス発酵装置	制御コンテナ	同上用調整槽用攪拌機	1	台	堅型	SUS304	0.75kw 8～72rpm	0.75	24.0	18.00	チューブポンプと併用
7	メタンガス発酵装置	制御コンテナ	同上用原料投入ポンプ	1	台	カッターポンプ	SS400	200V 4P 1.5kw(7.6/6.8A)	1.5	8.0	12.00	
8	メタンガス発酵装置	制御コンテナ	同上ホースポンプ	1	台	チューブ式ポンプ	SS400	24L/min(0.1Mpa時)	1.5	8.0	12.00	カッターポンプと併用
9	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	発酵槽	2	台	構角型	接液部SUS304/SS400	有効容量13.5m ³ (発酵槽)	-	-	-	
10	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用発酵槽用攪拌機	4	台	側面型	SUS304	0.4kw 7～62回転/min	0.4	24	9.60	
11	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用循環ポンプ	2	式	一軸偏心ネジポンプ	SUS304	2.2kw 最大移送能力6.0m ³ /h 吐出圧力0.2MPa	2.2	24	52.80	
12	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用熱交換器	2	台	二重管式	SUS304	熱交換器・二重管 高温発酵:55℃用	-	-	-	
13	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用ドレンタンク	2	式	堅円筒型	SUS304	有効容量:20ℓ	-	-	-	
14	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用ミストセパレーター	2	式	SL型	SUS304	容量:1.4L	-	-	-	
15	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用 ガス安全弁	2	台	A40Z		放出:9kPa	-	-	-	
16	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用真空破壊弁	2	台	スプリング式		動作圧力:-0.5kPa吸気量:30kg/hr	-	-	-	
17	メタンガス発酵装置	発酵槽コンテナ	同上用水封ポット	1	台	堅円筒型	透明塩ビ	容量:3.8L	-	-	-	
18	その他設備	その他設備	脱硫塔	1	台	堅円筒型	SUS304	容量1500L	-	-	-	
19	ガス貯留設備	ガス貯留設備	同上用 水封ポット	1	台	堅円筒型	透明塩ビ	容量:3.8L	-	-	-	
20	ガス貯留設備	ガス貯留設備	ガスバルーン(シングルメンブレン)	1	台	横円筒型	特殊樹脂	容量:14m ³ 耐圧:0.5Kpa	-	-	-	
21	ガス貯留設備	ガス貯留設備	同上用排出口ブロウ	1	台	リングブロウ	鋳鉄製	1.3m ³ /min	0.4	24	9.60	
22	ガス貯留設備	ガス貯留設備	同上用ガス安全弁	1	台	スプリング式	SUS304	放出:9kPa	-	-	-	
23	ガス貯留設備	ガス貯留設備	ガスタンク	1	台	堅円筒型	SUS304	有効容量2.0m ³ (0.19MPa未満運用)	-	-	-	
24	ガス貯留設備	ガス貯留設備	同上用ガス安全弁	1	台	SL-38D2	SUS304	放出:0.2MPa	-	-	-	
25	ガス貯留設備	ガス貯留設備	同上用ガスポンプ	1	台	ピストン式	アルミ/樹脂	14SL/min 0.3Mpa	0.86	0.6	0.52	
26	エネルギー回収設備	エネルギー回収設備	温水槽	1	台	角槽型	SUS304	有効容量:200ℓ	-	-	-	
27	エネルギー回収設備	エネルギー回収設備	ガス給湯器	2	台	瞬間湯沸かし式	接液部SUS304/SS400	20,000Kcal/h以上	0.05	0.99	0.05	
28	エネルギー回収設備	エネルギー回収設備	同上用ガスガバナ	2	式	GL50-2 10K×25A	鋳鉄製	5kPa 300L/min×10mH	-	-	-	
29	エネルギー回収設備	エネルギー回収設備	同上用給水ポンプ	2	式	32LPD 5.25E	SUS304	70L/min(揚程10m)揚程:最大11.2m	0.25	0.28	0.07	
30	エネルギー回収設備	エネルギー回収設備	同上用電気ヒーター	2	台	プラグヒーター	SUS316L	3kw×2台	24	0.003	0.07	
31	エネルギー回収設備	エネルギー回収設備	同上用温水循環ポンプ	1	台	渦巻型	鋳鉄製	30L/min 揚程12m	0.25	0.99	0.25	
32	その他設備	その他設備	脱臭塔	1	式	堅円筒型	SUS304	200L	-	-	-	
33	その他設備	その他設備	同上用脱臭ブロウ	1	台	リングブロウ	鋳鉄製	1.3m ³ /min	0.4	24	9.60	
34	その他設備	その他設備	消化液中緩槽	1	式	角槽型	SUS304	有効容量0.35m ³	-	-	-	

⑥ マテリアルフロー

実証試験のバイオガス化施設におけるマテリアルフローは次図に示すとおりで、投入する生ごみの性状より、バイオガスの発生量は148.93 Nm³/日（メタン濃度：58.4%）、消化液量2.2588 t/日（含水率：98.4%）と想定される。また、バイオガスは給湯器の燃料として使用し、生成した温水は発酵槽の加温に用いた後、余剰温水（1.941 MJ/日）は、併設する温室の加温に利用することを検討する。

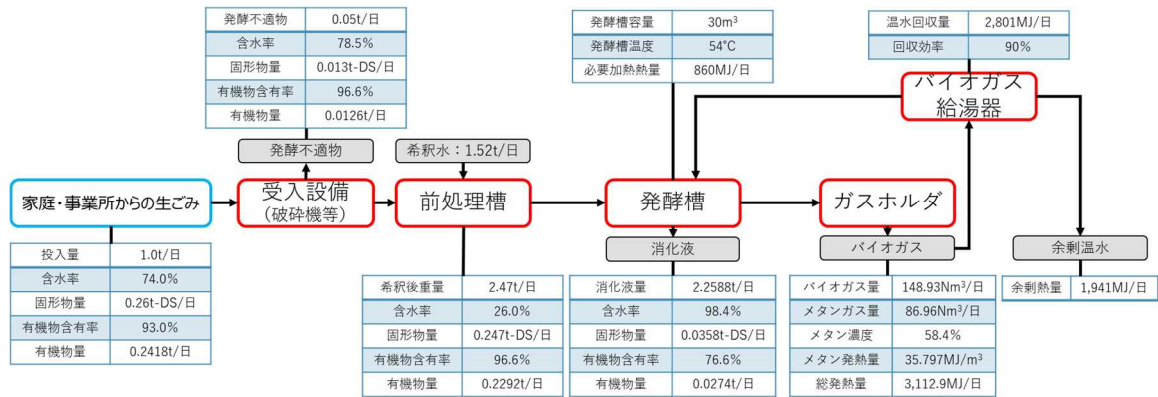


図 54 実験施設のマテリアルフロー

加温可能な温室は、内張断熱を行った場合の概算仕様は、次表に示すとおりで、マンゴー栽培種として想定した場合、約 140 m²程度の温室面積を確保することが期待できる。

表 19 本実証実験時に加温可能な温室の概算仕様

項目	単位	基準	備考
バイオガス化施設余剰熱量	MJ/日	1,941	計算値
蒸気⇒温水への熱交換損失	%	5%	想定値
温水による供給熱量	MJ/日	1,844	想定値
	kJ/h	76,831	
	kcal/h	18,351	
温室目標設定温度	°C	10	設定値（マンゴーを例に冬場の最低必要温度）
設置場所最低気温	°C	-4.8	園部観測所2020年測定値
最大温度差	°C	14.8	
熱貫流率（放熱係数）	W・m ² ・°C	3.8	内張の定数値
温室表面積1m ² あたり必要熱量	kJ/h・m ²	202.464	熱貫流率（W・m ² ・°C）× 温度差（°C）÷ 1,000 × 3,600
加温可能温室表面積	m ²	379	温水による供給熱量 ÷ 温室表面積1m ² あたり必要熱量
加温可能温室仕様（間口）	m	5	
（奥行）	m	28	
（高さ）	m	4.5	
加温可能温室表面積	m ²	370	

⑦ 配置図

配置図は次に示すとおりである。

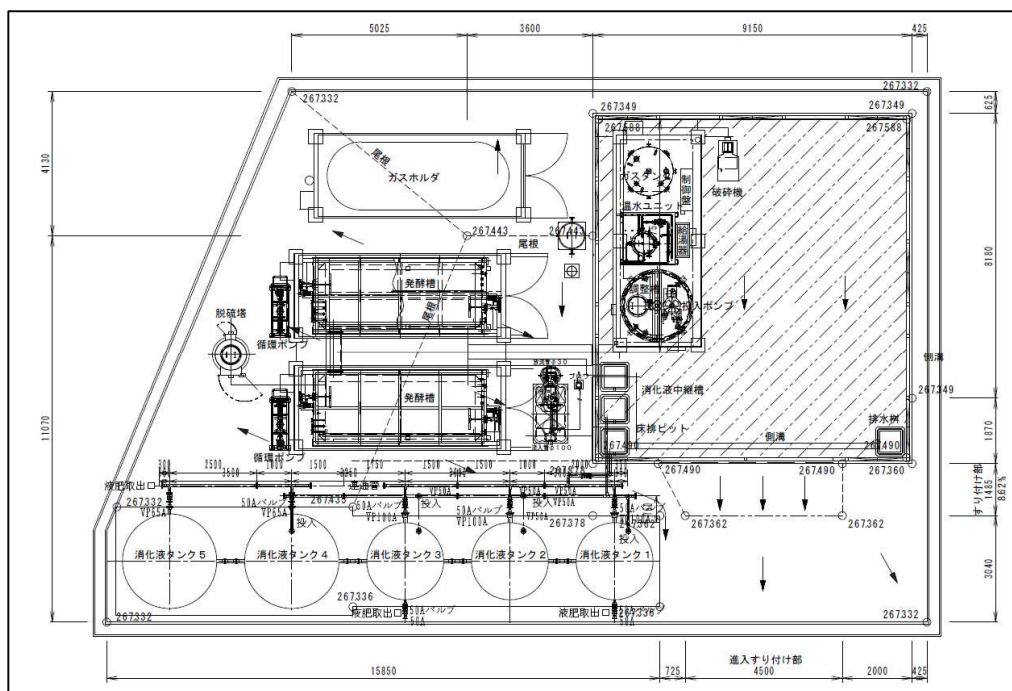


図 55 配置図①

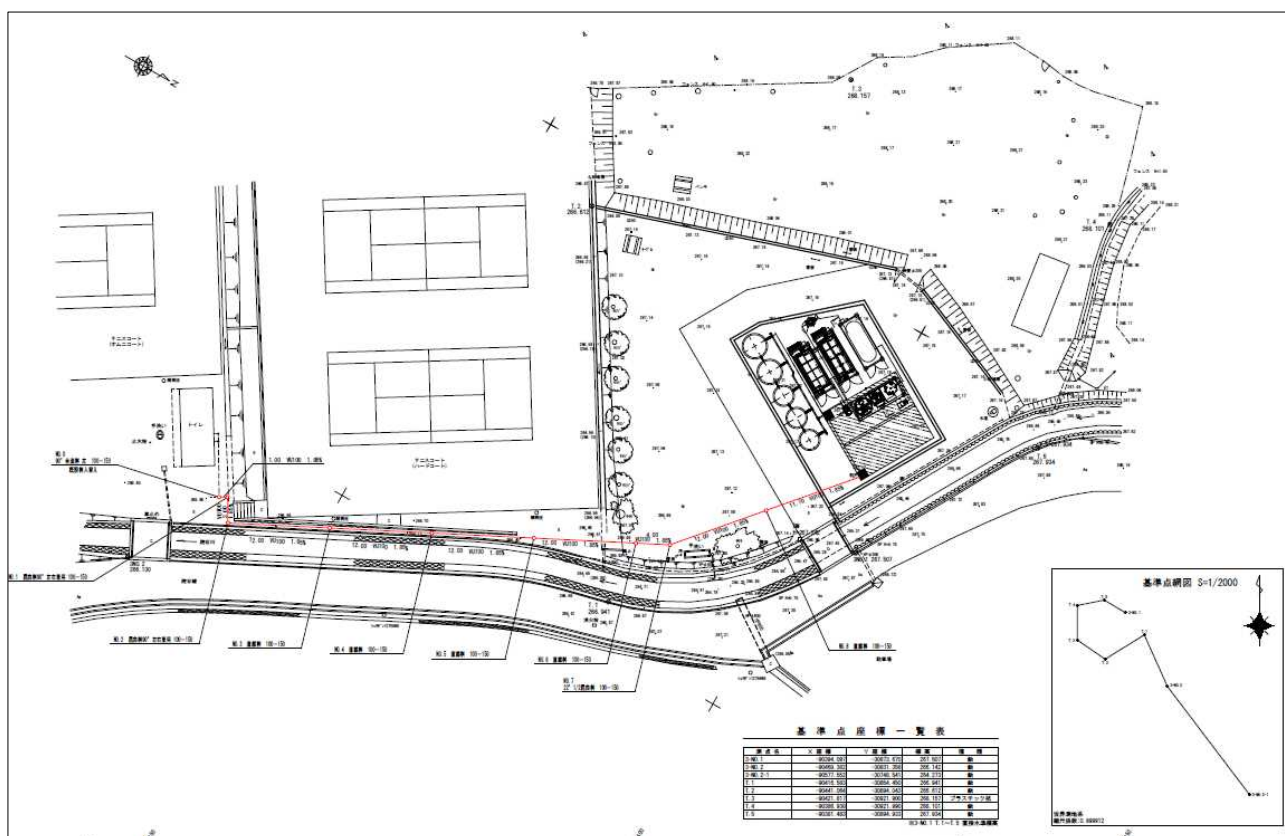


図 56 配置図②

⑧ 作業人員

3 人（生ごみ投入前の処理不適物選別作業）

※ 生ごみ搬入時から 2～3 時間程度

※ 施設運転管理は遠隔監視により行うため、管理用人員の常時配置は行わない。

⑨ 施設の環境対策

環境対策の模式図は次図に示したとおりで、つぎのような環境対策を実施する。

- ・ 臭気の発生する箇所（調整槽・ガスバルーン、消化液中継槽等）は、脱臭ブロワーで捕集し、活性炭で脱臭する。
- ・ 生ごみは、密閉式コンテナで回収し、建屋内に搬入した後、即日、選別ステージで処理不適物を選別除去後、破砕機により、破袋・破砕を行うが、これらは建屋内に収納し、破砕機等の騒音遮蔽を行うとともに、薬剤噴霧によるマスキング脱臭を行う。
- ・ 建屋内の床は必要に応じて洗浄を行い、その排水は、浄化槽で一時処理を行った後、調整槽の希釈水として循環利用する。また、ハザード（緊急時の発酵液・消化液の敷地外への漏出防止）時の排水処理も同様とする計画であるが、下水道接続を検討中である。

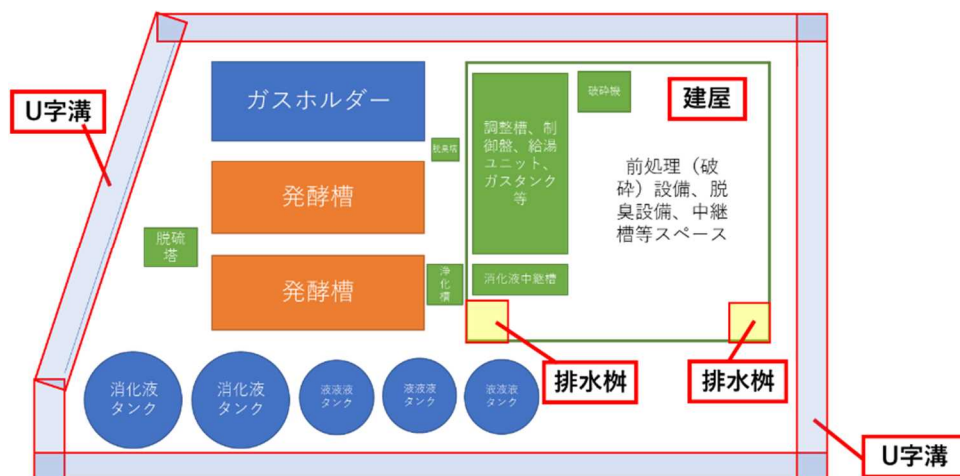


図 57 施設の環境対策

⑩ 排出・回収・保全・実験時の環境対策

＜排出時・回収時の対策＞

- ・ 家庭ごみにおいては、密閉式のコンテナボックスを拠点に置き、排出者は生分解性袋に生ごみを入れて拠点まで運び、コンテナボックスの蓋を開き、投入後閉め、ストッパーにより密閉する。また、コンテナボックス蓋部には脱臭剤を塗布する。
- ・ 事業系ごみにおいては、排出事業者が、生分解性袋に生ごみを入れ、密閉式のコンテナに排出する。
- ・ 家庭ごみの回収拠点では、市が生ごみが投入されたコンテナボックスの回収を行うとともに、洗浄した空のコンテナボックスに置き換える。

- ・ 家庭系ごみ、事業系ごみの回収に使用する生分解性生ごみ袋は、バイオガス化施設での分解性、強度等を勘案し、試作製造をおこなっているところであり、実験開始までには、袋仕様を確定する

＜運搬時の対策＞

- ・ 家庭ごみは、生ごみの投入された密閉式のコンテナを市の資源回収車に積み込み運搬する。事業系ごみは、生ごみの投入された密閉式のコンテナを 2t ロングに積み込み運搬する。コンテナの運搬については、運行中にコンテナの脱落等を防ぐため車両に全面シート被せて運搬する。

＜実験中の対策＞

- ・ 悪臭等の影響を防ぐため、破袋等の作業は建屋内で行い、破碎後は適切に破碎機や土間の洗浄を実施する。
- ・ 汚水等が流出するのを防ぐため、建屋内に排水桝、施設の周囲にU字溝を設置し、汚水を集めて下水道に流入させる。
- ・ 消化液は液肥として利用するため施設内のタンクに貯留し、飽和したものは適切に処理を行う。
- ・ 生ごみの破碎にともなう臭気対策として、適宜消臭剤の散布をおこなう。調整（原料投入）槽や消化液中継槽等の 24 時間臭気が発生する場所については、密閉のうえ臭気をブローで捕集し、活性炭吸着塔で除去する。
- ・ バイオガス利用場所となるバイオガス給湯器付近とバイオガスを貯蔵するガスバルーンコンテナにはガス警報器を設置し、ガス漏れ等の事故のないように監視する。
- ・ 夜間・休日の作業員が不在の際にも、プラントを遠隔監視システムにて監視をおこない、機器の故障等に対応をおこなう。

⑪ 事故時の対応

＜運搬時・実験中の事故に対する措置＞

- ・ 運搬時の事故が発生した場合、運搬委託業者が作成した事故対策対応マニュアル（次図）に従って対応する。事故発生時は速やかに統括責任者に連絡する。
- ・ 事故発生時には報告書を記録して維持する。

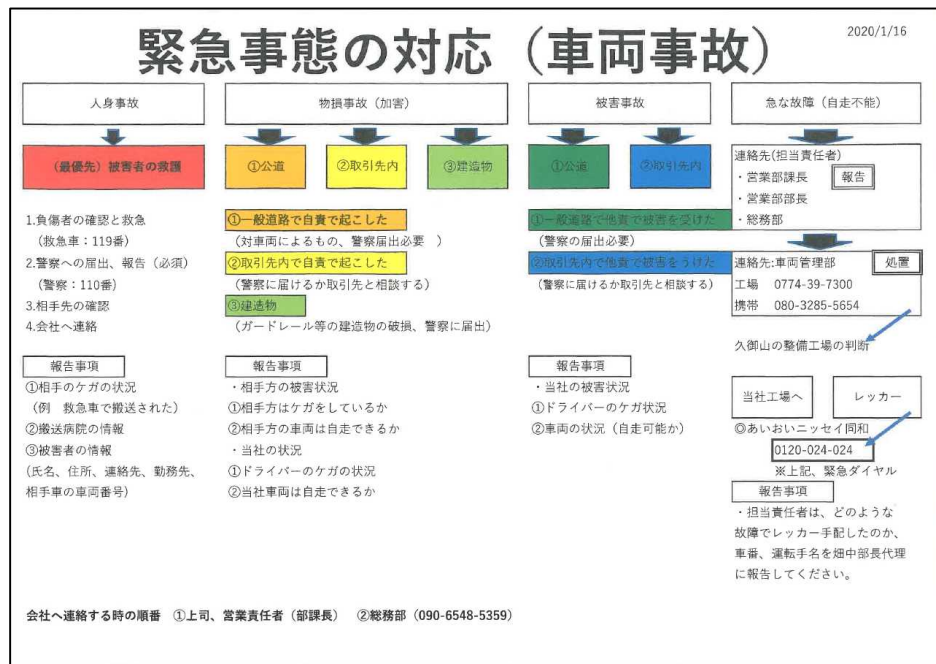


図 58 事故対応マニュアル

4) 試験設備の設置場所の選定及び関係者との調整

京都市、一般社団法人びっくりエコ研究所（環境省令和4年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 生ごみバイオガス化施設のオンサイト利用による脱炭素型農業を核とした里山・都市循環事業採択事業者）とともに地元自治会との協議を重ね、合意形成を経ながら適地の選定を進めた結果、京北運動公園芝生広場に設置することで合意を得た。

立地選定に向けた地元説明等の経緯を次に示した。

- 7月22日 京北地域への説明会開始
- 9月27日 山国自治会役員会への説明会開催
(立地候補：京北運動公園芝生広場の提案を受ける)
- 10月17~25日 現地調査、測量、図面作成完了
- 11月15日 山国自治会役員会へ検討状況報告
- 11月28日 京北自治振興会役員会への説明会開催
- 12月5日 山国地元町内会（比賀江町、塔町）への説明会開催
(立地場所：京北運動公園芝生広場で決定)
- 12月7日 京北自治振興会6支部長会への説明会開催
- 12月28日 京都市・ASTEM・びっくりエコ研究所により広報発表

5) 試験の実施に必要な手続きの調査及び必要書類の作成

① 設備搬入場所の整地状況



図 59 設備搬入場所の着工前（左）と整地状況（右）

② 実証試験搬入状況



図 60 設備搬入場所の着工前（左）と整地状況（右）



図 61 設備搬入場所の着工前（左）と整地状況（右）

6) 試験の実施に必要な手続きの調査及び必要書類の作成

京都市資源循環推進課、廃棄物指導課、環境指導課・北部環境共生センターと協議し、以下の文書を作成・提出した。

- ・実験計画書
- ・特定施設設置届出書（京都府環境を守り育てる条例関連）

7) 実施スケジュール

実証試験の実施スケジュールは、次図に示すとおりで、令和5年度の6月頃までに試運転等を終え、7月から本格実証運転を行う予定である。

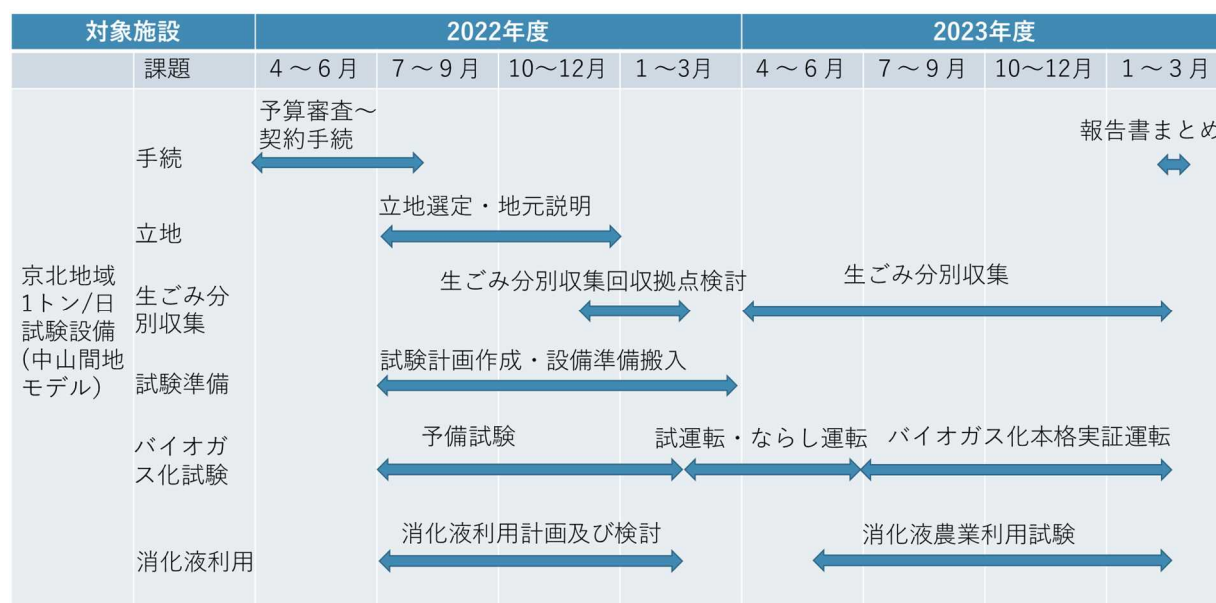


図 62 実証試験の実施スケジュール

(4) まとめと課題

実証試験施設の実証場所への搬入等は、天候の影響もあり、若干の遅れが見られるものの、概ね順調に進捗している。

PHBH 製生ごみ袋においては、昨年度試作した PHBH 製生ごみ袋では厚みがあり、破碎段階で支障が見られたため、今回、PHBH 製生ごみ袋の厚み、形状等を改善した試作品での予備破碎試験を行った結果、良好な破碎結果が得られた。令和5年度の実証期間においては、回収される生ごみの分別精度の状況を勘案しつつ、本破袋兼破碎装置の導入を検討する。

PHBH 製生ごみ袋のメタン発酵分解状況については、予備試験時においては、発酵残渣中に残存することとなったが、消化液貯留槽で約30日程度の貯留を行う予定としており、貯留後の分解性を検証し、消化液を液肥として利用する場合の外観適合性について評価する予定である。

PHBH 製食品容器等については、本年度は、ベンチスケールでの分解試験を行っているところであるが、その結果を踏まえて、実証実験施設への投入を行い、分解性の検証を行う予定である。

本実証実験施設で、想定するバイオガス発生量及び熱量では、小型コジェネレーション設備を導入するための必要燃料量に満たないため、バイオガスのすべてを給湯器により温水に変換し、利用することとしたが、発酵槽加温後の余剰温水を温室の加温に利用することを検討し、エネルギーの

有効利用システムの構築に向けた試験を行う予定である。

また、本実証試験施設の必要電力は、小型コジェネレーション設備による自家発電電力の供給が困難であることから商用電力を購入することとしているが、消費電力は、6.5kW 程度であることから、太陽光発電の設置等による、自家発電電力の利用について、システム検討を行う予定である。

3.1.2 PHBH 製生ごみ袋の改善

(1) 目的

前回事業で見出した改良 PHBH を更に改善し、以下を実証する。

- バイオガス化実施時にシュレッターが必要であり、可能な限り薄膜化を実施。
- 安定したヒートシールの出来る平袋での使い勝手の良い形状検討。

(2) 方法

1) 配合

前回事業で報告した PHBH 改良処方を使用し、更に薄膜化時に穴開き原因となる熱に溶けにくい PHBH を取り除いた。

2) インフレーション量産機、製袋機

PHBH (カネカ Green Planet) 専用金型を製作し、(株)カネカ外注のモルダーにてインフレ製膜時の厚み精度を向上させた 2 L 袋、5 L 袋、10 L 袋の 3 種類の生ごみ袋の量産試作を行った。

3) 実用試験

京都市地域住民 6 世帯による使い勝手確認を実施した。また、参考として、(株)カネカにて生ごみの代わりに水を一定量 (実使用 + α) 入れ、袋の破損状態を確認した。

(3) 結果

1) 昨年度の成果

マチ付きタイプの袋 (2 L、5 L、10 L) を (株)カネカ外注のモルダーにて試作した (次図参照)。



図 63 令和3年度試作 マチ付きタイプ袋

インフレーションフィルム製膜時に、バブルタワーを囲い込み温風を入れる事でバブル温度適正化（40⇒50℃）を実施して結晶化を促進させた（図 64 参照）。その結果、ヒートシール強度アップを実証出来たがマチ部と平部の境界は特にシールが弱い課題も残った（図 65、2,3 回目納品参照）。

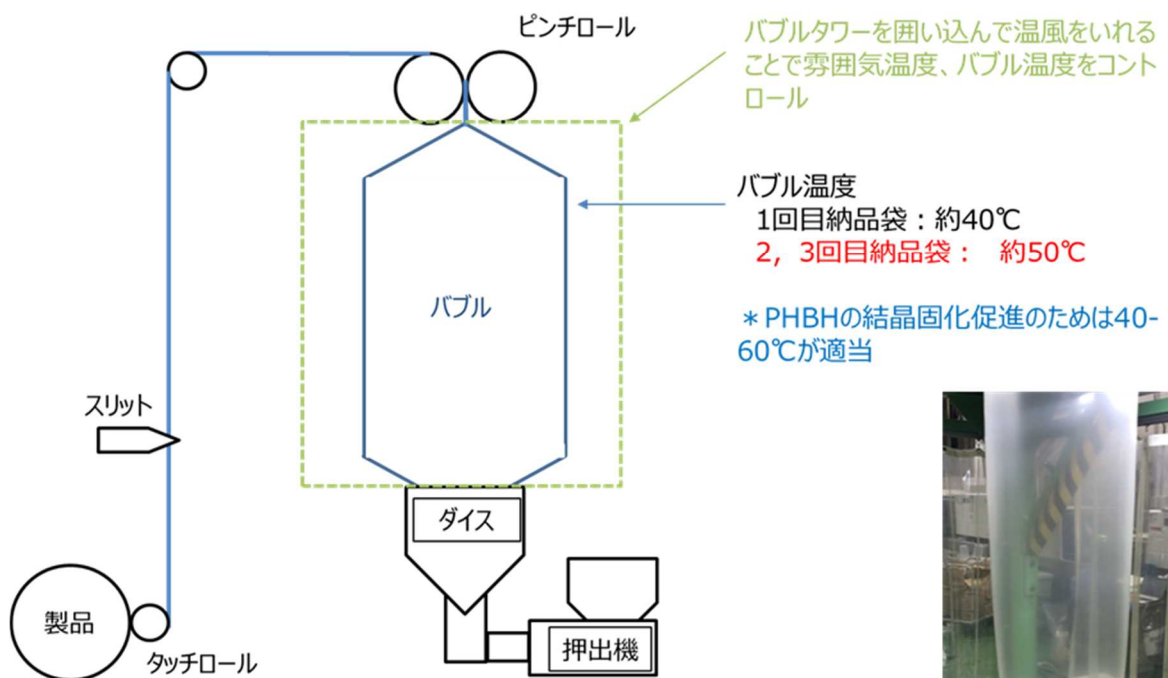


図 64 令和3年度 第2、3回試作袋における成形条件の最適化

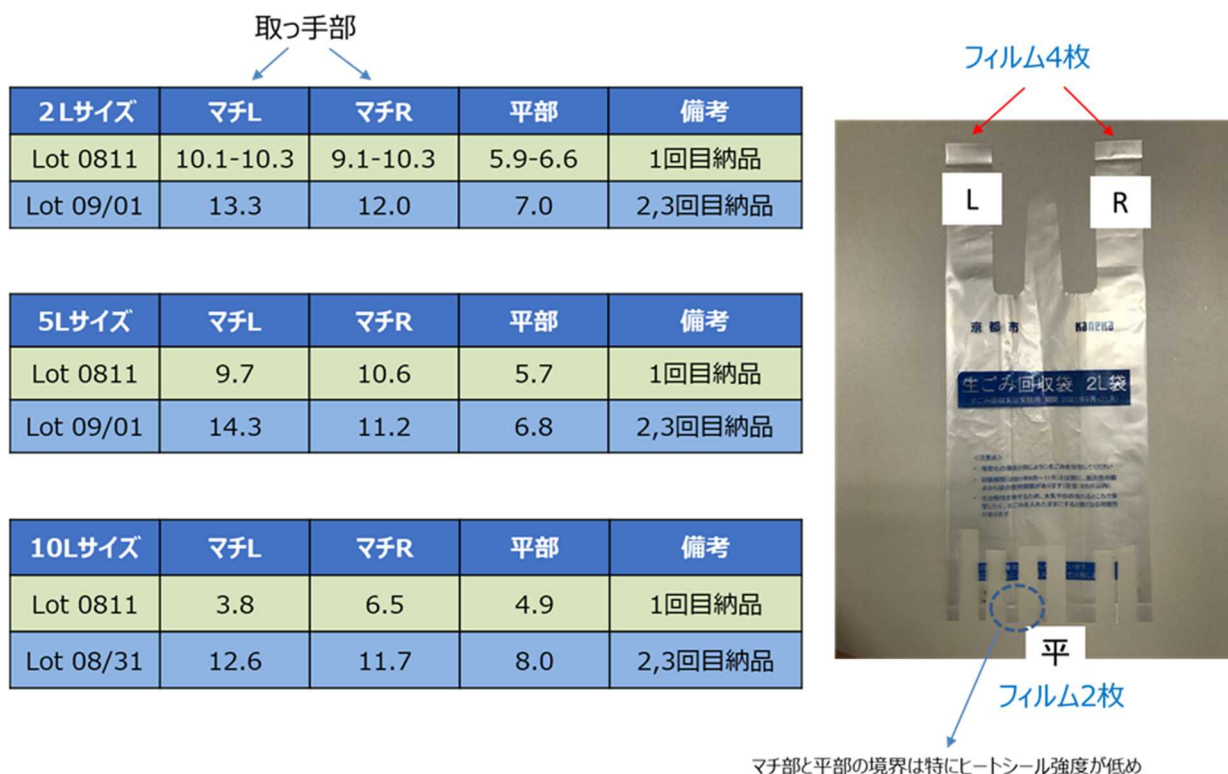


図 65 令和3年度 試作袋（第1～3回）のヒートシール強度（単位：N/15mm）

2) 本年度の結果

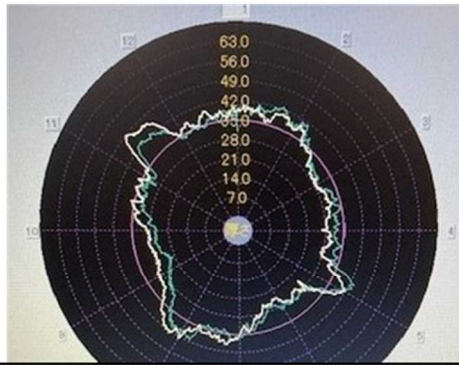
① フィルム薄膜化

昨年度の結果を活かしながら、バイオガス化時のシュレッターのし易さを考慮し、更なる薄膜化（35⇒25μm）に取り組んだ。

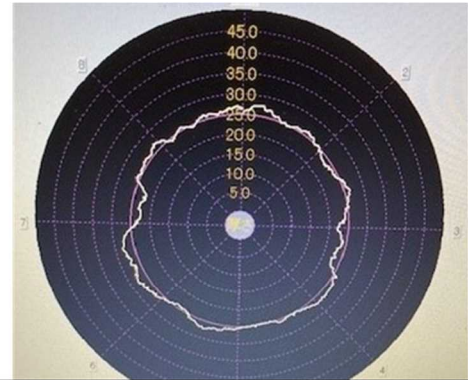
昨年度薄膜化を実施出来ない主要因は、熱に溶けにくい PHBH 起因の穴開き（図 66 参照）と、厚み精度が悪い事による薄膜時のシワであった。加工時に発生する熱に溶けにくい PHBH については生産方法改善により取り除く事に成功した。シワについては PHBH（カネカ生分解性バイオポリマーGreen Planet）専用金型を設計・導入し、厚み精度向上により改善し（図 67 参照）、厚み 25μm のフィルムを安定取得可能とした。



図 66 令和3年度に発生していた薄膜化時の穴開き



厚みプロファイル
ポリエチレン用金型
【厚み35μm】



厚みプロファイル
PHBH(カネカGreen Planet) 専用金型
【厚み25μm】

図 67 PHBH（カネカ生分解性バイオポリマーGreen Planet）専用金型導入による厚み精度向上

② ヒートシール安定化と使い勝手を考慮した平袋形状検討

昨年度作成したマチ付き平袋はマチ部と平部の境界より水漏れが発生し易い課題があった。その為、水漏れのし難い平袋をベースに更に使い勝手を考慮して、2Lサイズには取っ手を、5L/10Lサイズは結び易い形状とした（次図参照）。

2Lサイズ	形状	厚み (μm)	取手L	取手R	平部	備考
Lot 210901	マチ付き	35	13.3	12.0	7.0	令和3年度 2,3回目納品
Lot 221018	平袋	25	なし	なし	6.0	令和4年度1回目
Lot 230130	平袋取手2L	25	6.2	6.4	6.5	令和4年度3回目
Lot 230130	平袋取手5L	25	なし	なし	5.5	
Lot 230130	平袋取手10L	25	なし	なし	6.9	

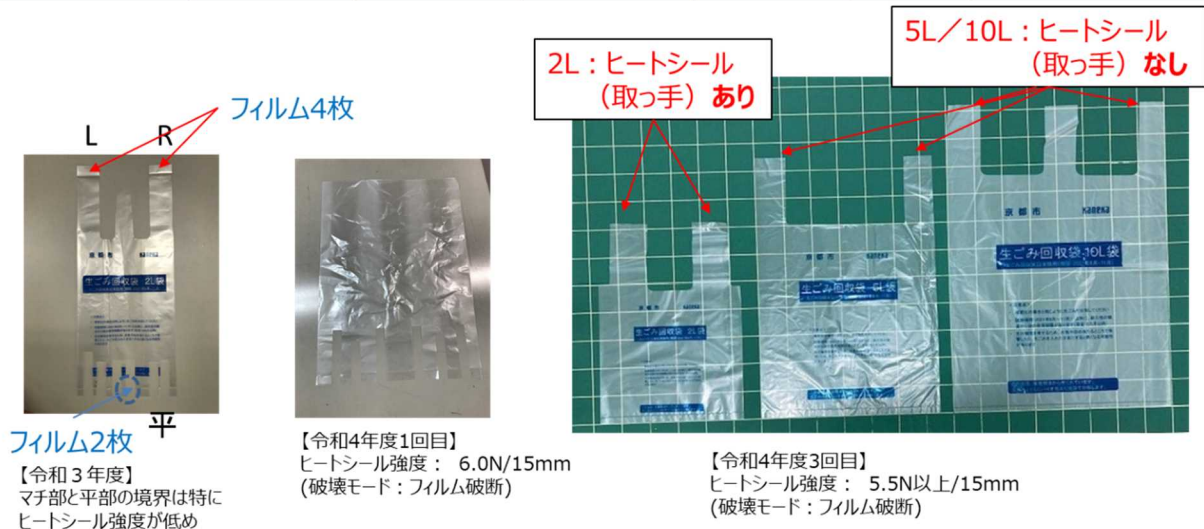


図 68 使い勝手を考慮した平袋形状検討とヒートシール強度（単位：N/15 mm）

マチ付き形状⇒平袋とした事でマチ部と平部の境界より水漏れが発生し易い課題は解決された。更に 25 μm の薄膜ながら 2 L サイズは 2 kg、5 L サイズは 4 kg、10 L サイズは 5 kg の水を入れ、吊るした状態で 5 日間破れなく保持出来る事を確認した。



2L袋：
水2kg 入れ5日間水漏れなし



5L袋：
水4kg 入れ5日間水漏れなし



10L袋：
水5kg 入れ5日間水漏れなし

図 69 使い勝手を考慮した平袋の耐荷重試験

(4) まとめと課題

熱に溶けにくい PHBH 起因の穴開きと、PHBH（カネカ生分解性バイオポリマーGreen Planet）専用金型を導入することによる厚み精度向上により、PHBH 製生ごみ袋の薄膜化に成功した。

昨年度作成したマチ付き平袋はマチ部と平部の境界より水漏れが発生し易い課題があり、平袋にする事で水漏れ課題を解決した。更に 25 μm の薄膜ながら 2 L サイズは 2 kg、5 L サイズは 4 kg、10 L サイズは 5 kg の水を入れ、吊るした状態で 5 日間破れなく保持出来る事を確認した。京都市地域住民 6 世帯による使い勝手確認を実施した結果を基に、若干の形状変更を加えて、次年度の試験に臨む。

3.1.3 PHBH 製品の前処理方法の検討

(1) PHBH 製生ごみ袋の前処理方法の検討

1) 目的

バイオガス化施設のメタン発酵槽で PHBH 製生ごみ袋を適正に生分解性処理するには、プラント機能に支障を起こさないことに加え、PHBH 製生ごみ袋の分解促進を図るため、前処理工程（破袋・選別・破碎・プレ生分解等）が不可欠となる。本実証では、前処理工程の技術的な検討及び実社会での同プラントの運用を想定した実証試験を実施し、検討を行う。

2) 方法

① 大型プラント（処理能力 5 t/日以上）を想定した実証試験

大型プラントを想定した、前処理工程の検討を行った。

以下に、生ごみ入り PHBH 製生ごみ袋が回収された際に有効と考える処理フローを記す。

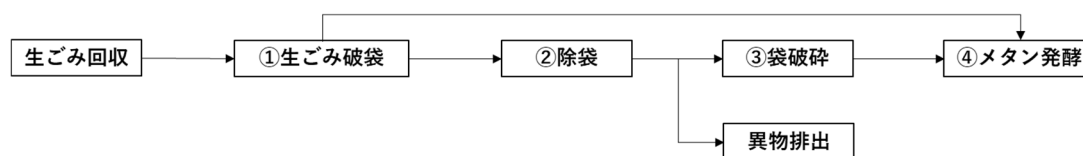


図 70 生ごみ入り PHBH 製生ごみ袋が回収された際の処理フロー

i) 破袋

破袋では、PHBH 製生ごみ袋、生ごみ、異物の分別精度が求められる。今回、回転ブレード方式の破袋装置（モキ製作所社製 M221 型）を用い、検証を行った。PHBH 製生ごみ袋に生ごみ 1 kg を入れたサンプルを 100 袋作成し、連続して破袋装置に投入し、破袋後の袋の性状の確認、生ごみと袋の分別精度を確認した。

ii) 除袋

除袋は爪かき揚げ方式による除袋を検討したが、テストサンプル袋の確保が困難であったため、テストは実施せず、メーカーへのヒアリングにとどめた。

iii) 袋破碎

除袋後の袋には、油水分や生ごみも含まれるが、その条件で問題なく破碎が出来る機能が求められる。今回、フィルム系破碎機として、湿式回転刀方式を採用した。諸々検討を行った結果、回転刃と固定刃を備え、シャープに切断可能で油水分付着にも対応可であった日本シーム社製の PFS - 40 型による破碎テストを実施した。



図 71 袋破碎テスト

iv) 破碎物のメタン発酵分解

iii)で破碎した PHBH 製生ごみ袋をネットに入れメタン発酵槽（中温発酵：35℃）に投入し、分解挙動の検証を行った。PHBH 製生ごみ袋は、40 μm 、25 μm の 2 種類をサンプルの重なりによる影響を検証するため、ネットに入れる量を 1 袋分、1/3 袋分、1/10 袋分と 3 段階に設定した。

② 小型バイオガスプラント（40 kg/日未満）を想定した実証試験

小型プラントでは、事業性の観点から破袋分別機や破碎機等の前処理機の設備導入が困難であるため、より簡易な処理方法での実証試験を検討・実施した。

※同検証試験期間中に 25 μm の PHBH 製生ごみ袋サンプル提供がなかったため、40 μm の PHBH 製生ごみ袋のみの検証試験を実施した。

i) メタン発酵槽内の PHBH 製生ごみ袋の分解挙動の実証試験

生ごみを 40 μm の PHBH 製生ごみ袋に入れ回収し、そのままメタン発酵槽内に投入する運用を想定した試験を実施した。比較として、生ごみを入れない PHBH 製生ごみ袋のみの投入試験も実施した。

メタン発酵槽に PHBH 製生ごみ袋を投入し、分解にかかる時間を計測した。実験に使用した小型のメタン発酵装置の概要図、実験パターンをそれぞれ次に示す。PHBH 製生ごみ袋はネットに入れ、発酵タンクの上部から発酵液に十分に浸漬するように吊るし、1 週間ごとにサンプルを取り出し、性状を確認した。

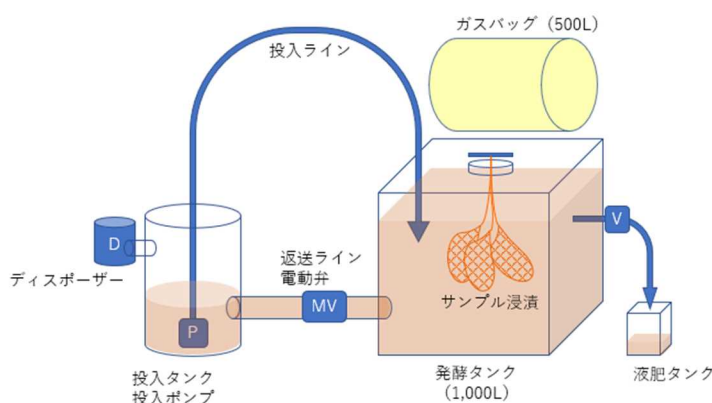


図 72 小型メタン発酵装置の概要図

〈実験パターン〉

- A-1) PHBH 製生ゴミ袋に生ゴミを入れ、袋の口を結ぶ
- A-2) PHBH 製生ゴミ袋に生ゴミを入れ、袋の口を結ばない
- B) シュレッダーで切れ目を入れた PHBH 製生ゴミ袋に生ゴミを入れ、袋の口を結ぶ
- C-1) PHBH 製生ゴミ袋のみ（生ゴミなし、袋の口を結ばない）
- C-2) シュレッダーで切れ目を入れた PHBH 製生ゴミ袋のみ（生ゴミなし、袋の口を結ばない）

ii) 小型バイオガスプラントと堆肥化装置の併用を想定した検証試験

生ゴミを 40 μm の PHBH 製生ゴミ袋に入れ回収し、生ゴミはメタン発酵槽へ投入、袋は堆肥化する運用を想定した場合、PHBH 製生ゴミ袋だけを堆肥化装置に投入し、分解にかかる時間を検証した。スターエンジニアリング社製バイオ式家庭用生ゴミ処理機 BS-02 に PHBH 製生ゴミ袋を投入し、1 週間ごとに取り出し性状を確認した。

3) 結果

① 大型プラント（処理能力 5 t/日以上）を想定した実証試験

i) 破袋

破袋後の袋は、袋の 1 か所が裂けて、そこから生ゴミが出て分離している状態であった。袋の結び目については変化なく、そのままの状態が残っていた。分離精度は、100 kg の生ゴミに対して破袋側に行った生ゴミは 2 kg であり、分離率は 98% となった。この分離率は、後段の破碎テストにおいて、袋破碎機の負荷が高くないレベルであったことが確認できている。

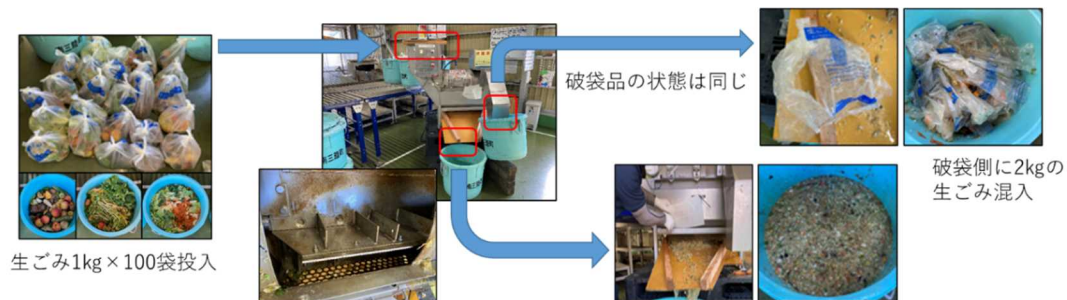


図 73 破袋実験の様子

ii) 除袋

テクニカマシナリー（株）にヒアリングした結果、袋の回収は可能ということであった。分別精度など詳細は、今後テストが必要である。

iii) 袋破碎

破碎機の詰まりもなく、袋の結び目も問題なく破碎が実施でき、破碎後の破碎物のサイズ感も均一であった。25 μm の薄い PHBH 製生ゴミ袋についても同様の結果であった。



図 74 破碎前、破碎後の PHBH 製生ごみ袋

iv) 破碎物のメタン発酵分解

後述の小型バイオガスプラントを想定した実証試験で、袋の重なりがあると分解しにくいことが明らかとなったため、ネットに入れる破碎物の量を変化させ重なりを減らし、液中に分散した状態での発酵分解が観察できた。分解スピードは「1/10 袋分」>「1/3 袋分」>「1 袋分」であり、ネットに入れる量が少ない方が、液中で分散し分解が良好であることが確認できた。液中に分散した状態では、40 μm PHBH 製生ごみ袋では 21 日目には分解、25 μm PHBH 製生ごみ袋では 14 日目には分解が完了した。これは、中温発酵の一般的な滞留時間 25 日以下であり、PHBH 製生ごみ袋は破碎して液中に分散状態であれば、滞留期間中に分解できることが確認できた。



図 75 破碎物のメタン発酵分解の経時変化

② 小型バイオガスプラント（40kg/日未満）を想定した実証試験

i) メタン発酵槽内の 40 μm の PHBH 製生ごみ袋の分解挙動の検証試験

時系列に分解挙動は見られるが、結び目や、袋が重なり発酵液に接触していない部分は分解が進まず、滞留時間 25 日以内の分解は完了しなかった。ただし 25 μm の PHBH 製生ごみ袋であれば、より短期間で分解が完了することが期待される。袋の中の生ごみの有無や、袋の切れ目の有無は分解速度に影響を及ぼさなかった。分解速度を上げるには、液中に分散させた状態を維持することが重要であることが分かった。

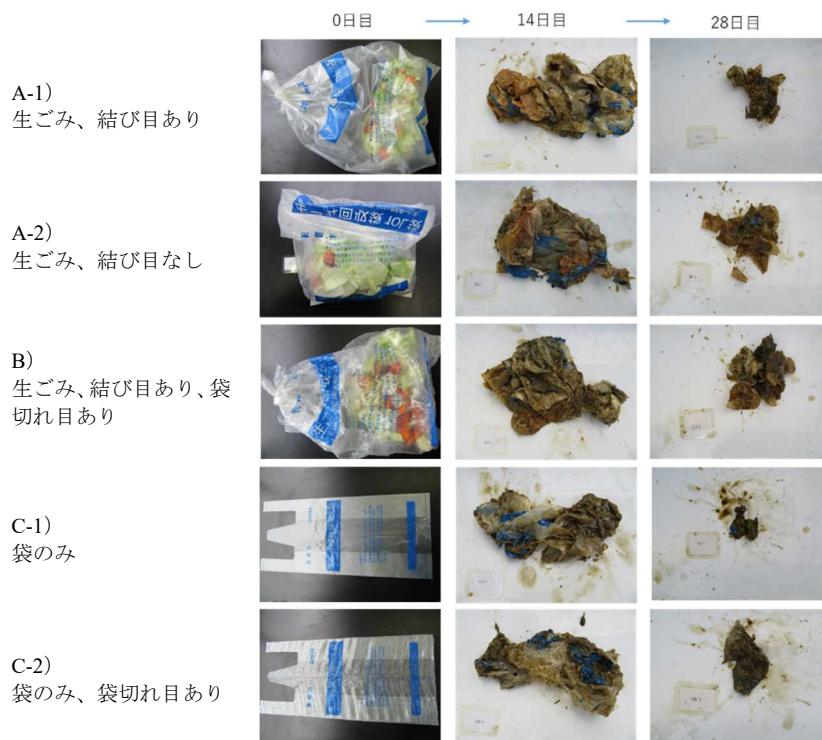


図 76 発酵液中の PHBH 製生ごみ袋の発酵分解

ii) 小型バイオガスプラントと堆肥化装置の併用を想定した実証試験

プレ実験で、40 μm の PHBH 製生ごみ袋単体を投入した場合、生ごみ処理機の加温が停止し 7 日を経過しても全く変化がなかったため、新たに PHBH 製生ごみ袋+生ごみ+水を投入した検証試験により経時変化を確認したところ、21 日後、分解・細分化が進み、結び目部分以外は基材から取り出すことが出来ないほど細かくなった。

21 日以降、再び PHBH 製生ごみ袋単体投入する実験を実施したが 7 日目では分解は確認できなかった。分解には、堆肥化しやすい条件である水、有機物が必要であり、少なくとも 21 日以上の堆肥の訓養期間を経過した後、7 日以上分解期間が必要であることが確認できた。

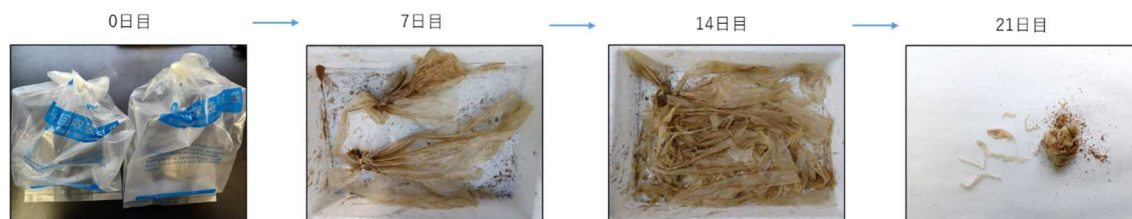


図 77 堆肥化装置における PHBH 製生ごみ袋の発酵分解

4) まとめと課題

PHBH 製生ごみ袋をメタン発酵分解させるには、破碎、液中での分散が必須であることが分かった。本実証では、大型プラントにおける処理フローが構築可能であることが確認できた。一方で、小型プラントにおける 40 μm の PHBH 製生ごみ袋では、メタン発酵による分解が行われないケースも見られたが、PHBH 製生ごみ袋のみを堆肥化处理した場合には一定期間での分解が見られたことから、厚みの大きい PHBH 製生ごみ袋の場合には、袋と生ごみを破碎分離し、袋は堆肥化处理を行うという対応も考えられる。一方、25 μm の PHBH 製生ごみ袋では今回破碎及び分解実証は行っていないが、メタン発酵による分解は、40 μm よりも促進されるものと推測される。

(2) PHBH 製食品容器の前処理方法の検討

1) 目的

これまで薄手 (35 μm) の PHBH 製生ごみ袋の分解特性を確認してきたが、新たな用途で厚手 (300 μm) の PHBH 製食品容器の分解特性を確認するものである。

2) 方法

原料の大きさによる分解特性を確認するために食品容器用 PHBH シートの大きさを 4 種類設定し、(株) カネカの廃水処理で用いられている種汚泥を使用し、中温 (37℃) でメタン発酵ポテンシャルを評価するバッチ試験を実施した。

また、中温種汚泥の高温への馴養性を確認することを兼ねて高温 (55℃) での連続試験を実施し、原料大きさによる分解特性の比較も行うこととした。

PHBH の大きさによるガス発生量、PHBH 分解率を測定及び比較して評価した。

試験フローを図 78、試験装置外形を図 79、試験区分を次表に示す。

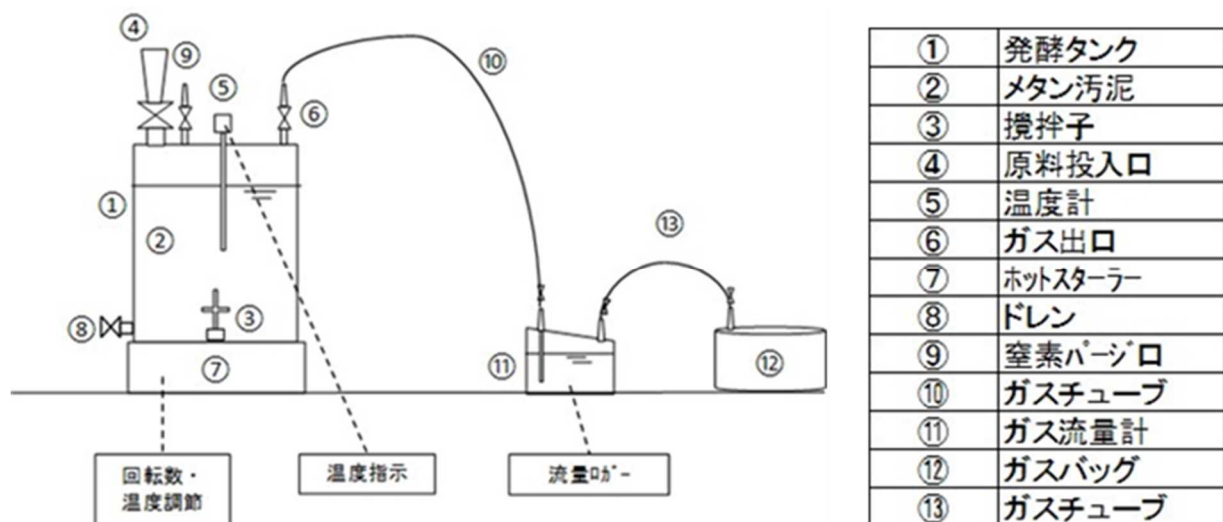


図 78 試験フロー

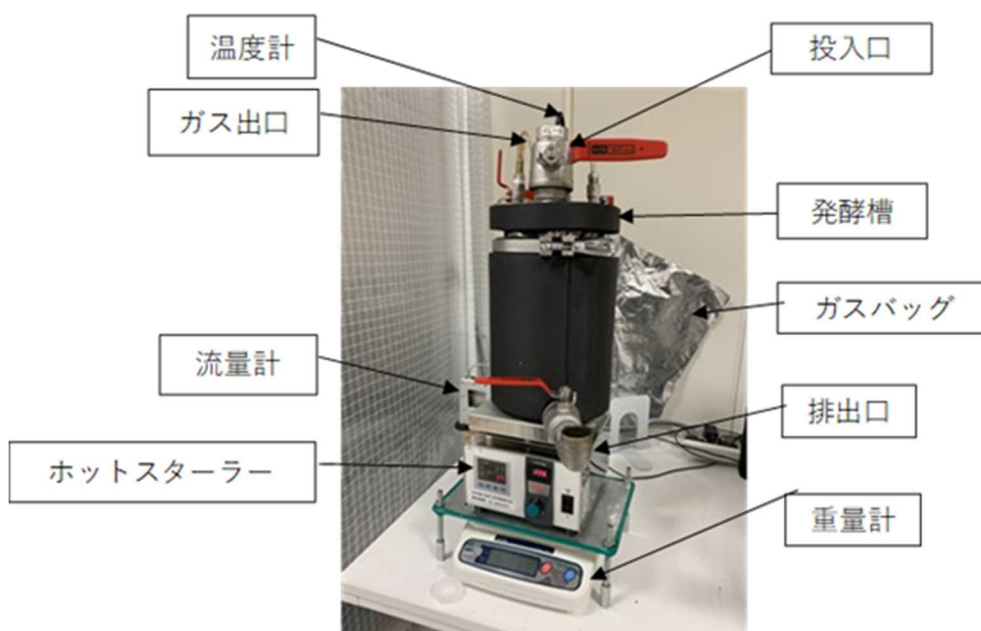


図 79 試験装置外形

表 20 試験区分

試験種	サンプル	元原料	原料処理方法	大きさ mm	温度
バッチ	厚手①	食品容器	はさみによる裁断	長：30～ 幅：8～	中温 37 ℃
	厚手②	食品容器	簡易シュレッダーに 裁断を2回実施	長：～30 幅：5～8	
	厚手③	食品容器	簡易シュレッダーに 裁断を2回実施	長：～20 幅：3～5	
	厚手④	食品容器	細断用シュレッダー による裁断	長：～15 幅：～3	

3) 結果

① バッチ試験

使用前原料を裁断処理した状態を次図に示す。



食品容器（処理前）



食品容器裁断後一覧

図 80 原料裁断処理状態

バッチ試験における裁断後の食品容器、をそれぞれ 10 g 投入したときのバイオガス発生量とメタン濃度結果を次表に、発生経過を次図に示す。

表 21 バイオガス発生量一覧

タイプ	厚手			
処理	①	②	③	④
発生量(NmL)	0	0	1,962	0
メタン濃度(%)	55.6	60.0	68.3	67.2

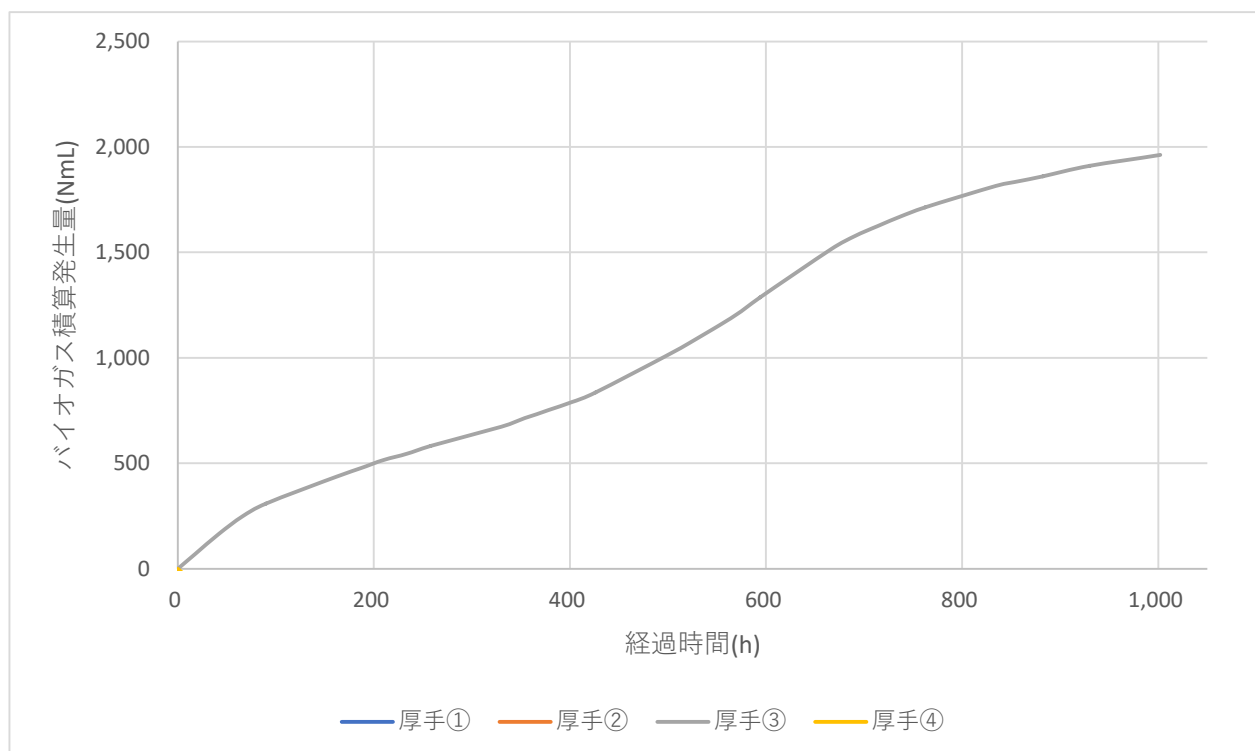


図 81 バイオガス発生量経過

バイオガスの発生が見られたのは、簡易シュレッダーに裁断を 2 回実施した最小サイズの厚手③のみでそれ以外のサンプルはバイオガスの発生が見られない結果となった。

また、バイオガスが発生するまで分解に時間を必要とするため、試験開始から約 480 時間（20 日程度）前後を経過して発生量割合が増え、約 1,000 時間（40 日程度）を超えても若干増加する傾向が見られた。

バイオガス発生量と投入原料の分解量の相関を確認するために、試験後の槽内残留物をろ過して乾燥、その重量を測定したので残留物の写真を次図に、結果を次表に示す。



厚手①



厚手②



厚手③



厚手④

図 82 乾燥後残留物一覧

表 22 槽内残留物重量一覧

タイプ	厚手			
処理	①	②	③	④
投入量(g)	10	10	10	10
残留物(g)	6.38	8.94	3.45	6.22
残留率 (%)	63.8	89.4	34.5	62.2

乾燥後の残留率は、バイオガスの発生が見られた厚手③で 34.5%となっていたが、バイオガスの発生が見られなかった厚手①、②、④は、60%以上の残留率となっていた。

回収やろ過の誤差を考えるとバイオガスの発生状況と分解状況は、ほぼ合致する結果となった。

② 連続試験

連続試験については下記要領で実施した。

投入原料はバイオガ斯拉ボ社で調製している模擬ごみとそれに有機物量比で算出した PHBH を合わせたものとした。使用する模擬ごみ量は希釈前で約 46.5 g であり濃度が 20 %、VS/TS が 95 % とした場合その有機物量は 8.8 g になるので、PHBH はその 0.1 倍となる 0.88 g を投入することになる。

投入は週 7 日のうち平日の 5 日とし、1 日あたり投入量から週あたりの投入量を算出し、それを 5 日に分ける形とした。また、1 日の投入は午前と午後の 2 回に分けて行われ、投入前に引抜きを行った。

試験結果であるが、投入 2 週目で pH が降下し、中和滴定により測定される FOS/TAC 値がかなり

大きくなり、酸敗を起こしていることが分かった。

FOS は有機酸濃度の目安、TAC はアルカリ度となり、通常運転の指標としてその比率が 0.35 を超えないよう運転調整を行うが、今回は 10 以上を示し、明らかにメタン発酵できない状態であることが確認された。

そのため投入を中断して 1 週間程度様子を確認するも状況は改善されず、中和剤として炭酸水素ナトリウム（重曹）を投入したが、FOS/TAC の改善が少し見られたものの著しい発泡が見られ、槽内 pH の回復には至らず規定量を投入できなかった。

以上のような状況により種汚泥の高温への馴養性が確認できない状況で試験は終了した。

4) まとめと課題

中温によるバッチ試験においては、発酵後残留物の外観をみても、十分な発酵分解が行われているとは判断しがたく、昨年度実施した中温発酵下で PHBH 生ごみ袋の裁断サンプルの場合と比べて著しく分解性が低いものと判断される。

この結果は、「(1) PHBH 製生ごみ袋の前処理方法の検討」で実施した中温発酵下での PHBH 生ごみ袋の分解性試験においても、袋の結び目など袋の重なりがあると分解されにくいことが明らかとなっており、材質の厚みが大きい場合には、分解性が著しく低下する傾向にあると推測される。

一方で、分解性の評価日数は、「(1) PHBH 製生ごみ袋の前処理方法の検討」でも 25 日以内での分解は完了しなかったことが確認できており、分解評価日数をより長期間で設定した場合の確認を行う必要がある。

高温発酵下での分解性については、今回の試験では確認できなかったが、バイオガス化実証実験設備の準備期間に行った高温湿式でのメタン菌の馴養は、準備試験において、PHBH 投入後 25 日程度で、5 mm 以下まで分解されていることから、中温発酵に比べて高温発酵下での分解性の方が良好であることが示唆されている。

そのため、食品容器の高温発酵時の分解性については、バイオガス化実証実験設備の稼働後、改めて、破碎サイズを数種サンプルとして用意し、分解性について検証する必要があると思われる。

3.1.4 焼却施設併設大型バイオガス化施設の稼働状況

(1) 目的

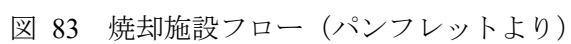
本事業では、京都市京北地域で小型分散型のバイオガス化施設の実証試験を実施するが、一方で、京都市は焼却施設に併設する形で、大型のバイオガス化施設を全国に先駆け導入している。ここでは、その稼働状況を調査・解析し、発電量、CO₂ 排出量等の基礎データを把握することで、同様の施設を新たに整備する場合の参考となるような知見を蓄積するものである。

(2) 施設概要

2019 年 9 月に竣工した京都市南部クリーンセンター第二工場は焼却施設、バイオガス化施設、選別資源化施設を併設した複合施設である。焼却施設は、ごみを燃やすことで衛生的な処理を行い、燃やした熱で発電する。バイオガス化施設は生ごみなどの有機物を微生物の力によって分解し、バイオガスを発生させ、そのガスでガスエンジンを動かし発電する。選別資源化施設は、大型ごみなどを粉砕して資源となる鉄やアルミニウムを選別回収する。施設の概要を次表に示す。焼却施設施設フロー、バイオガス化施設フローを次図に示す

表 23 京都市南部クリーンセンター第 2 工場 概要

焼却施設概要	
処理能力	500t/日
炉数	250t/24h × 2 炉
炉型式	ストーカ炉／全連続燃焼式
発電設備	最大 14,000kW
バイオガス化施設	
処理能力	60t/日 (30t/日 × 2 系統)
処理方式	メタン発酵
対象ごみ	燃やすごみ
発電設備	最大 1000kW
選別資源化施設	
処理能力	180t/6h (破砕 140t、切断 40t)
処理方式	破砕・切断
対象ごみ	大型ごみ・持込ごみ (粗大ごみ・弾性ごみ)



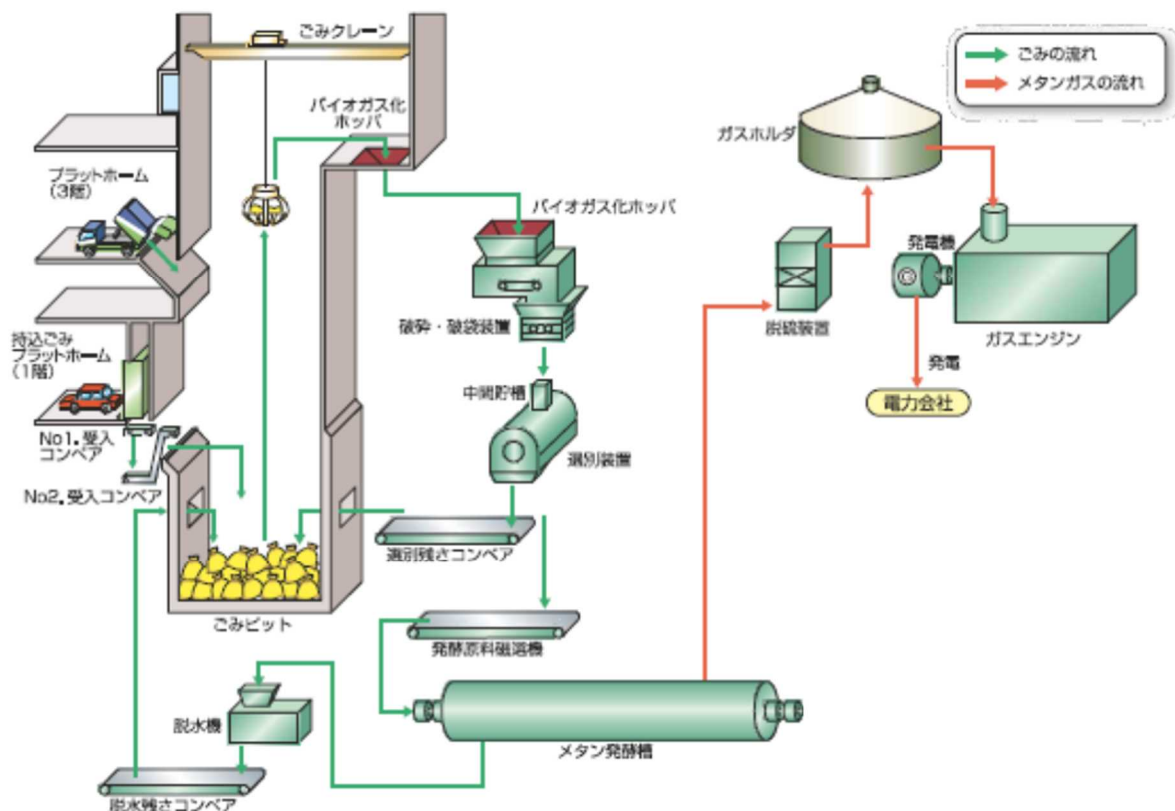


図 84 バイオガス化施設フロー（パンフレットより）

（３）運転状況

1) 焼却施設

2022 年 7 月の 1 か月の実績を次表、次図に示す。処理量はほぼ計画 99%（248 t/d）で、発熱量は基準ごみ（10 MJ/kg）付近で安定的に運転されていることがわかる。発電量も計画通り発電していることがわかる。

表 24 2022 年 7 月時焼却施設実績

		計画 (基準ごみ)	実績 (2022 年 7 月)
1 号炉	処理量(t/d)	250.0	248.4
	発熱量(MJ/kg)	10.0	9.60
2 号炉	処理量(t/d)	250.0	248.6
	発熱量(MJ/kg)	10.0	9.66
平均発電量(kW)		11820	10928

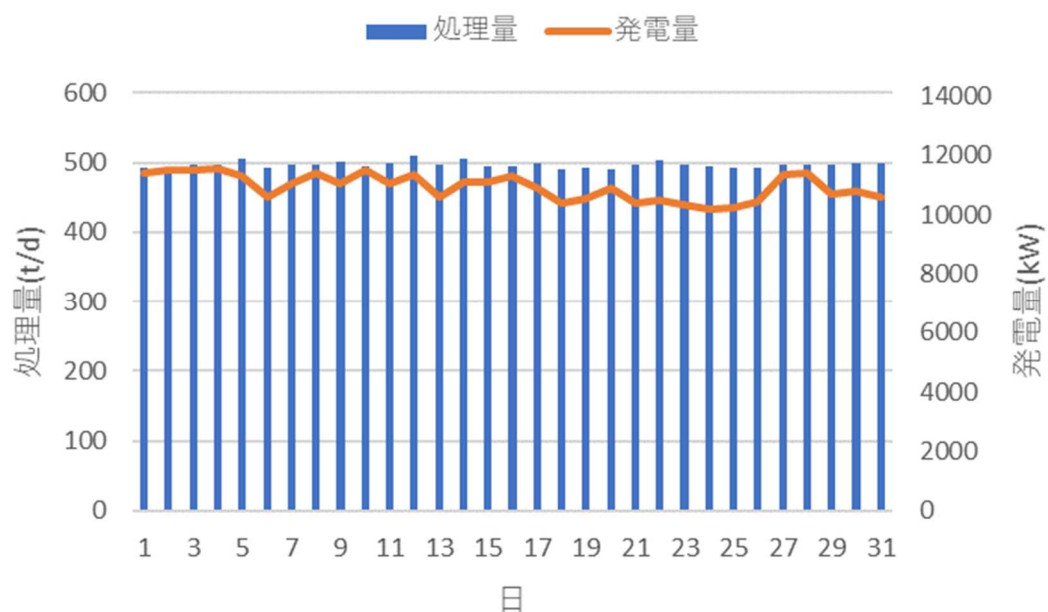


図 85 2022 年 7 月時焼却施設実績

2) バイオガス化施設

2022 年 7 月のバイオガス化施設の実績を次表、次図に示す。処理量は通常運転期間中で計画 93% (56 t/d)、ガス発生量は定格 110% (10748m³/d) 付近で運転されている。メタン濃度も約 60%で安定している。(処理量が少ない期間は投入装置の定期整備によるもの)

バイオガス発生量は 191m³/ごみ t と計画の 159m³N/ごみ t よりも多く、発電設備 (最大 1000kW) 最大で運転されている。発電設備を超えたバイオガスは別途余剰ガス燃焼装置で処理している。

表 25 2022 年 7 月バイオガス化施設運転実績

	計画 (基準ごみ)	実績 (2022 年 7 月)
処理量(t/d)	60.0	56.2
バイオガス発生量(m ³ N/d)	9,553	10,748
ごみ当たりバイオガス発生量(m ³ N/ごみ t)	159	191
平均発電量(kW)	818	984

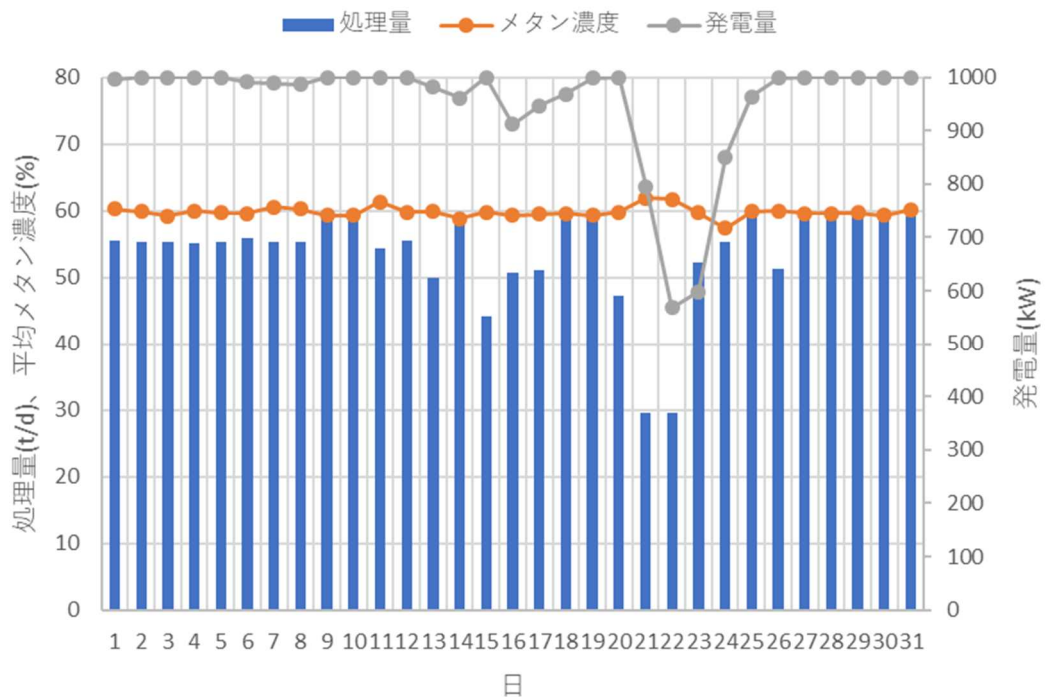


図 86 2022 年 7 月バイオガス化施設運転実績

3) 焼却ごみ当たりの二酸化炭素排出量

廃棄物処理部門における温室効果ガス排出抑制等指針マニュアル環境省（平成 24 年 3 月）に基づいて焼却ごみ当たりの二酸化炭素排出量を算出した。-166kg-CO₂/t-焼却ごみとなった。（ただしバイオガス化施設だけでなく破砕施設も併設しているためその動力が上積みされている。）

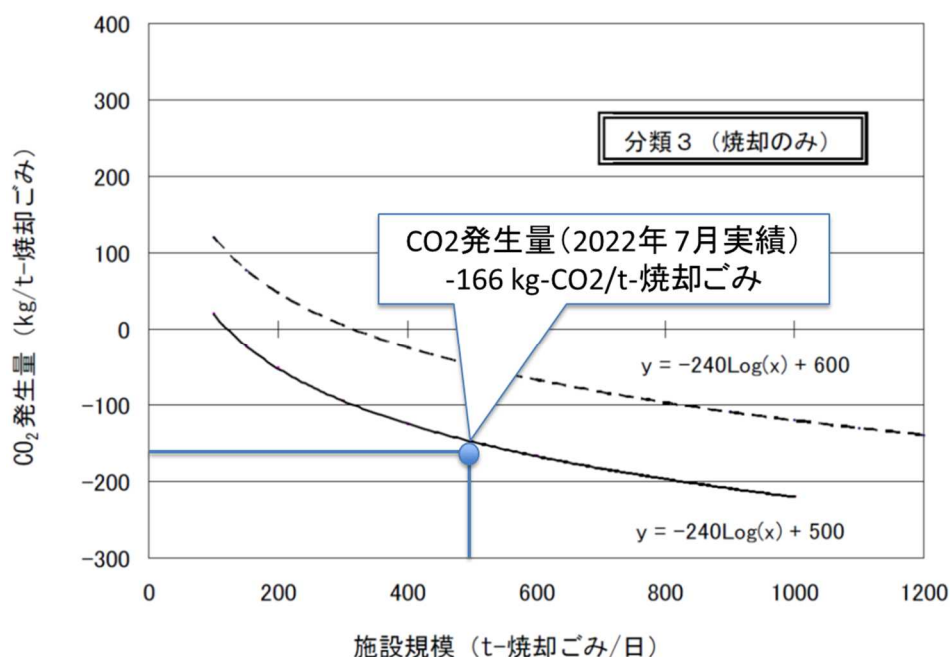


図 87 二酸化炭素発生量

（結果廃棄物処理部門における温室効果ガス排出抑制等指針マニュアル環境省（平成 24 年 3 月）

(4) まとめと課題

2022 年 7 月の京都市南部クリーンセンター運転状況を整理した結果

- ・ 焼却施設は処理量 99%でほぼ計画処理量で運転されており、計画通りの発電している。
- ・ バイオガス化施設は処理量 93%で計画より若干少ないが、ごみ当たりのバイオガス発生量が計画より多く、発電設備最大付近で運転しており、計画以上の発電されている。

3.1.5 小括

廃食用油を原料に製造した PHBH 製生ごみ袋を用いて生ごみを回収し、袋とともにバイオガス化施設に投入してエネルギーを連続的に創出し、副生する発酵残渣・消化液を作物栽培に活用する一連のシステムの有効性について、1 t/日規模のバイオガス化実証試験設備での実証を行うための準備を令和4年度は進めてきたが、進捗状況は概ね良好であり、令和5年度から支障なく実証可能な状況にある。

一方で、昨年度に試作した PHBH 製生ごみ袋は、バイオガス化施設での前処理を行うにあたって一般的なバイオガス化施設の破袋破碎設備では、支障が見られることから、PHBH 製生ごみ袋の厚み、形状の見直しを行ったところ、強度的には昨年度より低下するものの、前処理状況は改善され実用の目処が立ったことから令和5年度には、新しい試作品での生ごみ回収・前処理・バイオガス化実証を行うこととした。なお、実証試験設備での処理状況については令和5年度に実証結果を解析する。

また、バイオガス化施設は、大規模化を図ることによって、バイオガス利用用途が広がり、発電を合わせたエネルギーの有効利用の選択肢が増えることから、今後、全国への普及に向けて1 t/日程度規模の小規模分散利用に加えて、集約大規模利用について検討を進める必要がある。

小規模分散型施設と集約大規模施設では、施設への生ごみ投入量が大きく異なる。PHBH 製生ごみ袋で生ごみ回収を行った場合、前者においては、PHBH 製生ごみ袋と生ごみを同時投入し、同時に破袋・破碎を行うことにより、PHBH 製生ごみ袋と生ごみを混合した状態で後段プラント設備に移送することが可能であることが予備破碎試験では示唆された。一方で現時点ではスケールアップについての確証に乏しく集約大規模施設への導入が困難であることが予想される。

そこで、PHBH 製生ごみ袋で回収した生ごみを施設投入後、PHBH 製生ごみ袋と生ごみを前処理段階において選別分離し、PHBH 製生ごみ袋のみを粉碎した後、後段プラント設備で生ごみとともに処理するケースを想定して PHBH 製生ごみ袋の破碎試験を実施したが、破碎・粉碎後の PHBH 製生ごみ袋のメタン発酵分解状況も良好であり、集約大規模施設への導入可能性が期待できる。

PHBH 製生ごみ袋の好気性下での分解性は、既に確認済みであることから、堆肥化处理による分解性についても実証を行っている。分解状況は、一定期間の馴致は必要となるが、堆肥化处理による分解性は良好であった。

以上のことから、集約大規模利用を行う場合には、小規模分散施設とは異なる前処理方法及び PHBH 製生ごみ袋の分解促進方法の選択が可能であることも示唆されている。

PHBH の食品容器への利用については、別項で実証を行っているが、PHBH 製食品容器の廃棄後の処理について、バイオガス化等の活用が可能か検討する必要がある。令和4年度は、PHBH 製生ごみ袋の前処理状況を勘案すると小規模分散施設での同時破碎後の同時投入混合処理、大規模施設での PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製食品容器と生ごみの選別分離後、同時投入処理を想定して、PHBH 製食品容器の前処理方法の検討を行った。

PHBH 製食品容器は PHBH 製生ごみ袋よりも厚みが大きく、そのため、破碎そのものは容易であるが、一方で破碎方法は、PHBH 製生ごみ袋の破碎方法とは分けて検討することが必要であり、また、破碎後は素材の厚み以下の粒度にすることが不可能であり、中温発酵下での分解性は著しく低いことが明らかになった。一方、高温発酵下では、中温発酵に比べて PHBH 生ごみ袋の分解性は比較的良好であることが示唆されており、令和5年度においては、1 t/日規模のバイオガス化実証試験設備での分解実証を行った上で、全体システムへの投入・処理フローを検討する。

集約大規模施設の検討は、京都市南部クリーンセンター第二工場の事例を解析し、バイオガス化

設備の稼働状況調査を行ったが、大規模施設では、バイオガスの発生量が多くガスエンジンによる発電量も多くを期待できることから、PHBH 製生ごみ袋で回収された生ごみまたは可燃ごみの大規模施設での利用普及についても期待できる。一方で、前述のとおり、前処理システムは PHBH 製品の性状によって、破碎方法の検討を行う必要があることが示唆されている。

3.2 製品用途別のリサイクルシステム検討及び現行リサイクルシステムへの影響確認

3.2.1 目的

事業1での検討結果の社会実装を進めるため、開発した PHBH 製品に対応するリサイクルシステムに関して、製品用途別のリサイクルシステム検討及び現行リサイクルシステムへの影響確認を行う。

3.2.2 方法

令和4年度は、素材が PHBH に置き換わった場合に効果的と考えられるプラスチック製品の用途を整理し、それらを分別収集するための仕組みの想定を行った。

3.2.3 結果

(1) PHBH に置き換わった場合に効果的と考えられるプラスチック製品の用途の整理

2021 年 1 月に環境省・経済産業省・農林水産省・文部科学省より公表された「バイオプラスチック導入ロードマップ」(以下、ロードマップという。)では、バイオマスプラスチック及び生分解性プラスチックの機能や現状のプラスチック選別等のリサイクル技術・プロセスの確立状況等から、それらが使用された後の主なフロー(リサイクル・堆肥化・バイオガス化・焼却)における影響が整理されている。PHBH はバイオマスを原料に製造される生分解性のバイオマスプラスチックであり、生分解性と脱炭素性の両方の特性を有することから、それぞれの観点に基づきリサイクル調和性を整理した。

1) ロードマップにおける生分解性プラスチックのリサイクル調和性

ロードマップでは、生分解性プラスチックが使用された後の主なフローにおける影響が以下のとおり整理されている。



表2-4 生分解性プラスチックの使用後のフローにおける影響

	リサイクル(材料・ケミカル)		堆肥化等の 肥料生産に 伴う分解	バイオガス化	焼却 (熱回収含む)
	複数プラスチック 種リサイクル	単一プラスチック 種リサイクル			
生分解性 プラスチック	技術・プロセスが 未確立でありリサイ クルの阻害要因 になり得る※1	技術・プロセスが 確立しておりリサイ クル可能※2	適正に分解する場合は、良い 影響を与える		悪影響 なし

注)今後のリサイクル技術の開発等によって、本表の整理が更新される可能性がある。

※1一部のリサイクル方法ではリサイクル可能の場合がある。

※2一部の熱硬化性樹脂等でリサイクル技術・プロセスが確立していない場合がある。

生分解性プラスチック使用時の機能※1

- ・樹脂の特性から、製品の製造・使用が難しい場合が多く、用途が限定される。
- ・種類によっては長期保管の際に品質劣化が生じる恐れがある。

※1:ロードマップ本文p9「4 使用時の機能」より抜粋

※2:ロードマップ本文p9～10「5 使用後のフローにおけるリサイクル調和性等の影響」より抜粋

生分解性プラスチックの使用後のフローにおけるリサイクル調和性等の影響※2

- ・複数プラスチック種リサイクルの場合、選別等のリサイクル技術・プロセスが確立されておらず異物となり、リサイクル阻害要因となり得る。
- ・単一プラスチック種リサイクルの場合、リサイクルが可能となり得る。
- ・生ごみの堆肥化・バイオガス化の場合、共生ごみ袋を十分に分解処理することで、作業の省力化と廃棄物の削減に良い影響を与える。
- ・土壌中での生分解機能を持つ生分解性プラスチックを利用した農業用マルチフィルムは、収穫後に農地へすき込みを行うことができる。

- ・使用特性から、意図せず自然環境中に流出する恐れのある肥料被覆材や一部の漁具について、自然環境中での適正な生分解が求められるケースがある。
- ・海洋での生分解性については、分解度合い・スピード等の生分解性をコントロールする技術の確立には一定の時間を要する。
- ・工業コンポスト、家庭コンポスト、土壌、海洋等の様々な分解環境があり、分解環境に適した生分解性プラスチックを選択する必要がある。
- ・最終を行う場合、種類によっては意図しないバ
イオガスの発生が起こる恐れがある。

図 88 ロードマップにおける生分解性プラスチックの位置付け

2) ロードマップにおけるバイオマスプラスチックのリサイクル調和性

ロードマップにおけるバイオマスプラスチックが使用された後の主なフローにおける影響を以下に示す。

	リサイクル(材料・ケミカル)		堆肥化等の 肥料生産に 伴う分解	バイオガス化	焼却 (熱回収含む)
	複数プラスチック 種リサイクル	単一プラスチック 種リサイクル			
(a)バイオマス 由来の汎用プ ラスチック	技術・プロセスが 確立しておりリサ イクル可能	技術・プロセスが 確立しておりリサ イクル可能	分解しない		悪影響なし
(b)(a)以外の バイオマスプ ラスチック(非 生分解性)	技術・プロセスが 未確立でありリサ イクルの阻害要因 になり得る ^{※1}	技術・プロセスが 確立しておりリサ イクル可能 ^{※2}			

注)今後のリサイクル技術の開発等によって、本表の整理が更新される可能性がある。

※1一部のリサイクル方法ではリサイクル可能な場合がある。また、製品に必要な品質・性能の観点から使用されている化石資源由来の高機能プラスチック等を代替する同種のバイオマスプラスチック(例:PA→バイオPA、PC→バイオPC)については、現状に比べてリサイクルに悪影響を与えることはない。

※2一部の熱硬化性樹脂等でリサイクル技術・プロセスが確立していない場合がある。

図 89 ロードマップにおけるバイオマスプラスチックの位置付け

なお、本整理は非生分解性のバイオマスプラスチックを対象としたものであり、PHBHのような生分解性を有するバイオマスプラスチックについては、(b)に準じてリサイクル調和性を考えることとなる。

3) PHBH のリサイクル調査性の整理

以上のロードマップにおける生分解性プラスチック及びバイオマスプラスチックのリサイクル調和性の考え方を踏まえ、PHBH のリサイクル調和性を下表のとおり整理した。

表 26 PHBH のリサイクル調和性の確認結果(ロードマップに基づく評価)

	リサイクル(材料・ケミカル)		堆肥化等の肥料生産 に伴う分解	バイオガス化	焼却 (熱回収含む)
	複数プラスチック種 リサイクル	単一プラスチック種 リサイクル			
PHBH	・技術・プロセスが未確立であり、リサイクルの阻害要因になり得る	・技術・プロセスが確立しており、リサイクル可能	・適正に分解するので、良い影響を与える		・悪影響なし

なお、堆肥化等の肥料生産に伴う分解及びバイオガス化では、生分解性プラスチック由来のCO₂が大気中に排出されるが(バイオガス化の場合、製造したバイオガス中のCH₄が燃料等として利用された後に排出されるCO₂も含む)、PHBHはバイオマスを原料に製造されるため、このCO₂排出はカーボンニュートラル扱いとなる。

4) PHBH に置き換わった場合に効果的と考えられるプラスチック製品の用途の整理

PHBH のリサイクル調和性の整理結果を踏まえ、PHBH の生分解性と脱炭素性が活かされる用途と具体的な製品の例及び年間廃棄量(推計値)を下表のとおり整理した。その結果、特に、「食品容

器・包装用途」については導入ポテンシャルが大きく、PHBH の将来的に有望な導入先の候補であることが分かった。

表 27 PHBH の生分解性・脱炭素性が活かされる用途と具体的な製品例

製品使用後のフロー	PHBHの機能が活かされる用途と具体的な製品例	年間廃棄量(推計値)※
堆肥化・バイオガス化	堆肥化用・バイオガス化用ごみ袋、食品容器・包装のうちマテリアルリサイクル・ケミカルリサイクルに不向きなもの	ごみ袋:約20～30万トン 食品容器・包装:約200万トン
農地へのすき込み等	農業用マルチフィルム、肥料に用いる被覆材、その他自然環境で利用される製品	肥料被覆材:1万トン未満 農業マルチフィルム:約4万トン
自然環境に非意図的流出	人工芝、漁具等水産用生産資材のうち耐久性が求められないもの	漁具:数万トン
焼却・熱分解ガス化	焼却ごみ用の袋、食品容器・包装のうちマテリアルリサイクル・ケミカルリサイクルに不向きなもの、回収ルートが整備されていない日用品等	ごみ袋:約20～30万トン 食品容器・包装:約200万トン 日用品:約20万トン

下表では、食品容器・包装の分類、それぞれの用途に現状で使われている樹脂、内容物・汚れの原因物、生分解性の観点からの適性、脱炭素性の観点からの適性を整理した。

表 28 食品容器・食品包装用途 - 対象となる容器・包装のイメージ

食品容器包装等の分類※1		現状で使われる 主な樹脂	内容物、汚れの原因	生分解性 の観点からの 適性※2	脱炭素性の 観点からの 適性
食料品・調味料 のプラボトル	食料品・調味料のプラボトル(PET)	PET	ソース、天ぷら油	◎	○
	食料品・調味料のプラボトル(PET以外)	PE	マヨネーズ、ケチャップ、からし、わさび等	◎	○
カップ・コップ	食料品カップ・コップ(非発泡)	PE、PP、PET、PS	みそ汁、卵豆腐、ゼリー、プリン、アイス	○	○
	食料品カップ・コップ(発泡)	PS	ラーメン、うどん、かき氷、どんぶり	○	○
	発泡魚箱・保冷容器	PS	ー	○(海洋流出 がある場合)	○
パック	卵パック	PET	ー	△	○
	食料品パック(非発泡)	PP、PET	マーガリン、弁当、冷やし麺、キムチ、味噌	○	○
	食料品パック(発泡)	PS	納豆、弁当	○	○
トレイ	透明生鮮トレイ	PET、PP等	惣菜	○(回収システ ムが無い場合)	○
	発泡生鮮トレイ	PS	肉、魚	○(回収システ ムが無い場合)	○
	中敷き	PS等	肉、魚	◎	○
袋	食料品の柄入りのブラ袋	PE、PP	ポテトチップス	○	○
	無地の食料品小袋	PE、PP	調味料、紅生姜、菓子パン	◎	○
	食料品の大・中袋	PE	ー	△	○
雑梱包材(あめやおかきの小さな包み)		PE	あめ、アイス	○	○
ラップ	家庭用ラップ	PVDC、PVC、PE	米、惣菜	○	○
	スーパー等業務用ラップ	PVDC、PVC、PE	惣菜、肉、魚	○	○

※1:分類は京都市家庭ごみ細組成調査を参考に整理

※2:内容物の種類・汚れの度合いから判定しており、それぞれの容器包装に求められる物性への対応については今後の検討が必要

ただし、食品容器・包装用途に PHBH を用いる場合、現状では食品廃棄物等の堆肥化・バイオガス化向け回収システムが十分に整備されていないため、PHBH の生分解性・脱炭素性を活かすには、将来におけるバイオガス化向けの生ごみ回収システムの検討が必要となることが分かった。このため、以下では、PHBH 製食品容器のバイオガス化向け回収方法について整理することとした。

(2) PHBH 製食品容器のバイオガス化向け回収方法の整理

バイオガス化向けプラスチック製食品容器をバイオガス化施設に原料として投入するための回収

方法として、「①生ごみ袋への投入（各家庭においてバイオガス化向け生ごみ袋に投入）」、「②バイオガス化向けのプラスチック回収の創設（自治体のプラスチック回収において生分解性プラスチック専用の回収システムを追加的に用意）」を想定し、各手法のメリット・デメリットを文献調査・ヒアリング等により整理し、メリットを活かしてデメリットを補うような方策を検討した。

表 29 バイオガス化向けプラスチック製食品容器の回収方法の整理結果

回収方法	メリット	デメリット
生ごみ袋への投入	・新たな回収システムを構築することなく※、一般家庭からバイオガス化向けプラスチック製食品容器を効率的に回収できる。 ・バイオガス化向けプラスチック製食品容器の導入初期段階に対応できる。	・バイオガス化向けプラスチック製食品容器によるごみ袋の裂け・穿孔等のリスクがある。 ・弁当容器程度の大きさになると、生ごみが入ったごみ袋に多くは入らない恐れがある。 ・消費者の教育をしっかりと行わないと、異物混入率が増加する。
生分解性プラ製品回収システムの創設	・大きさ、数量の制約なくバイオガス化向けプラスチック製食品容器を回収できる。	・新たな回収システムの創設が必要となる。 ・バイオガス化向けプラスチック製食品容器の普及途上段階では回収の効率が悪い。 ・消費者教育をしっかりと行わないと、異物混入率が増加する。

※ 生ごみのバイオガス化向け分別回収システムが構築されている場合

今後、上表で挙げたデメリットへの対応方法を検討するが、本年度はバイオガス化向けプラスチック製食品容器の普及に向けた論点と考えられる方策について、次表のとおり整理を行った。

表 30 バイオガス化向けプラスチック製食品容器の普及に向けた論点の整理結果

論点	考えられる方策
一般市民に分かりやすい素材表示	・バイオガス化向けプラスチック用の新たなプラスチック素材識別マークの創設 ・バイオガス化向けプラスチックの分解性を認定する識別マークの創設 ・例えば「乳白色・半透明」のような、バイオガス化向けプラスチックであることを想定させる素材イメージの定着化
既存のプラスチックリサイクルシステムとの棲み分け	・飲料用ボトル(PETボトル状のもの)についてはバイオガス化向けプラスチックを用いない等を業界ルール化
生ごみバイオガス化施設が全国に普及するまでの過渡期の対応	・地域差を考慮したバイオガス化可能プラスチック製食品の普及展開(特にスーパーでの惣菜容器、フードパック、弁当容器等)
バイオガス化可能プラスチックで製造することが現時点では難しい食品容器への対応	・透明性が求められる容器(現状ではPS等で製造される弁当蓋)、高い柔軟性が求められる食品容器(マヨネーズ等のチューブ容器等)、耐冷性・耐熱性が求められる食品容器(冷凍食品容器、パウチ容器等)に係るユーザーへの周知

3.2.4 まとめと課題

本節では、素材が PHBH に置き換わった場合にバイオガス化することが効果的と考えられる使用済み食品容器を種類別・用途別に整理し、それらを分別収集するための新たな仕組みの想定を行った。次年度は、分別収集のためのより具体的な手法について、本年度に整理した論点をもとに検討を行う。

3.3 PHBH の循環型ケミカルリサイクル検討に資する熱分解特性

3.3.1 目的

PHBH 製品が汎用プラスチックの循環型ケミカルリサイクル (CR) に混入した場合を想定し、PHBH 及び汎用プラスチックを単独または混合して熱分解実験を行い、基礎データを取得することを目的とする。

3.3.2 方法

(1) 試料の準備

汎用プラスチック試料としてポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS) を用い、生分解性プラスチック試料として PHBH を用いた。また、これらのプラスチック素材の混合比が PE:PP:PS:PHBH=3:3:3:1 となるように混合試料を作成した。試料はペレット状であるため、JFC-300 (日本分析工業株式会社) を用い、液体窒素で 10 分予冷後、1,450 回/分で凍結粉碎を行い、その少量を試験に用いた。混合試料については、試験の都度、それぞれの試料を想定重量比となるよう秤量した。

(2) 分析方法

1) TG/DTA 分析

示差熱・熱重量 (TG/DTA) 同時測定装置を用い、一定の速度で試料を昇温させ重量変化を測定するとともに、試料で起こる熱変化を示差熱を指標に測定した。

2) 発生ガス分析

TG/DTA 分析では加熱時の成分に関する情報は得られないため、加熱ガス発生分析法 (EGA-MS) と EGA-GC-MS により発生ガスの分析を行った。また、混合試料については、HeartCut EGA-GC-MS 分析により、 $\sim 330^{\circ}\text{C}$ と $330\sim 600^{\circ}\text{C}$ の加熱で PHBH と PE・PP・PS の熱分解生成物の相互の影響を確認した。加えて、昇温加熱する EGA ではなく、 600°C に加熱した加熱炉に試料を導入する瞬間熱分解 Py-GC/MS により各試料の分析を行った。

なお、PHBH の熱分解生成物であるクロトン酸や 2-ヘキセン酸は極性が高く、微極性 GC カラムではリーディングピークとなり、異性体を分離して検出することが難しいため、高極性液相であるポリエチレングリコールを使用した UA-WAX で PHBH を追加的に分析した。

3.3.3 結果

(1) TG/DTA 分析

1) 測定条件

各試料について、約 20mg を電子天秤で秤量した。混合試料については、PE・PP・PS をそれぞれ約 6mg 秤量し、PHBH 約 2mg と同一セルに混合したものを測定対象とした。

- ◆ 使用装置：島津製作所製 示差熱・熱重量同時測定装置 DTG-60H
 - ◆ 測定条件：
 - 温度範囲：室温～700℃
 - 昇温速度：10℃/min
 - 測定雰囲気：窒素 300ml/min
 - 基準物質： α -アルミナ
- ※測定開始前に装置内を 30 分間窒素置換した。

2) 測定結果

各プラスチックで重量減少を伴う大きな吸熱反応由来のピークが確認され、この温度域で熱分解反応が最も進行した。重量減少を伴わない吸熱反応由来のピーク（116℃～168℃）も確認されたが、これは融解反応などの状態変化に起因すると考えられる。

混合試料については、他のプラスチックが混合しても PHBH 熱分解後の各プラスチックの分解温度や減少率には影響がなく、それぞれが分解されていることを確認した。熱分解後にセルに煤が生じたものもみられたが、電子天秤でわずかに確認できる程度であった。結果のまとめ及び TG/DTA チャートを以下に示す。

表 31 TG/DTA 測定結果一覧

測定項目 試料名	TG 熱分解開始温度	DTA 吸熱ピーク（カッコ内は重量 減少を伴わないもの）	減量率
PE	470.17℃	(131.70℃) , 475.51℃	99.654%
PP	439.16℃	(168.24℃) , 456.89℃	99.975%
PS	395.41℃	(116.46℃) , 419.90℃	99.813%
PHBH	282.66℃	(150.69℃) , 295.08℃	99.023%
混合試料	287.09℃, 408.14℃	(131.33℃, 166.32℃) , 298.57℃, 425.37℃, 462.81℃	99.501% 10.311%, 45.153%, 44.037%

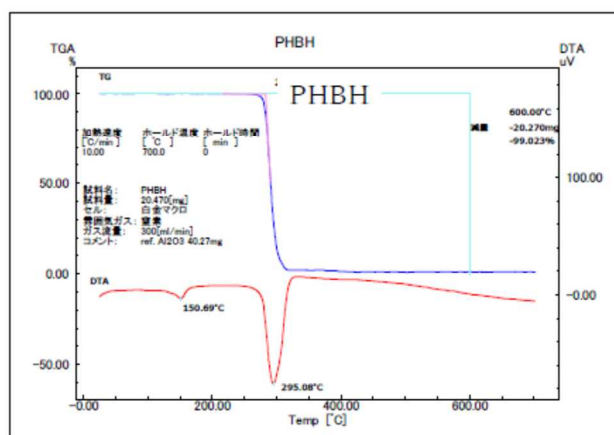
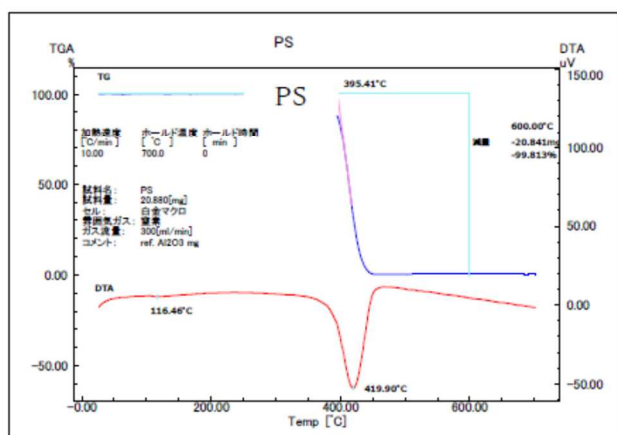
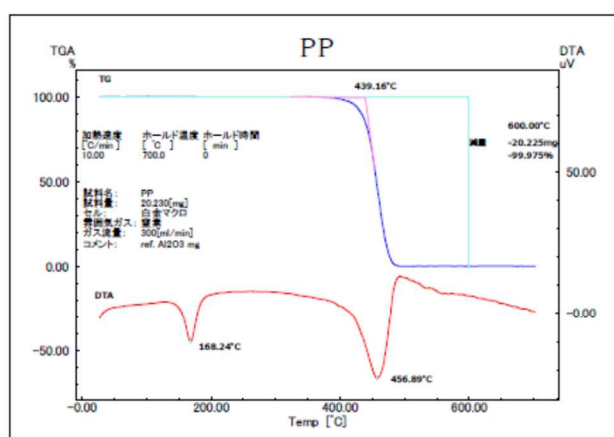
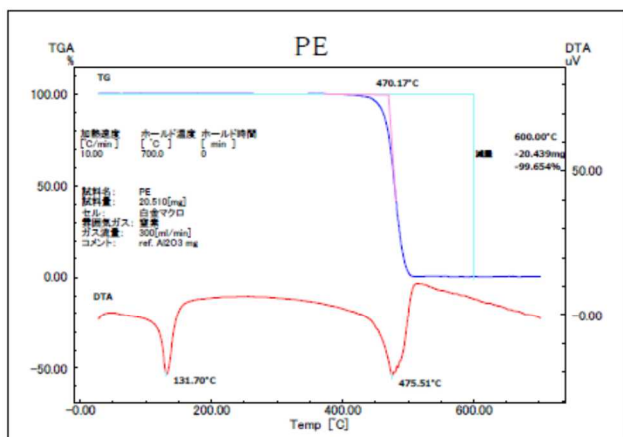


図 90 TG/DTA チャート (PE・PP・PS・PHBH)

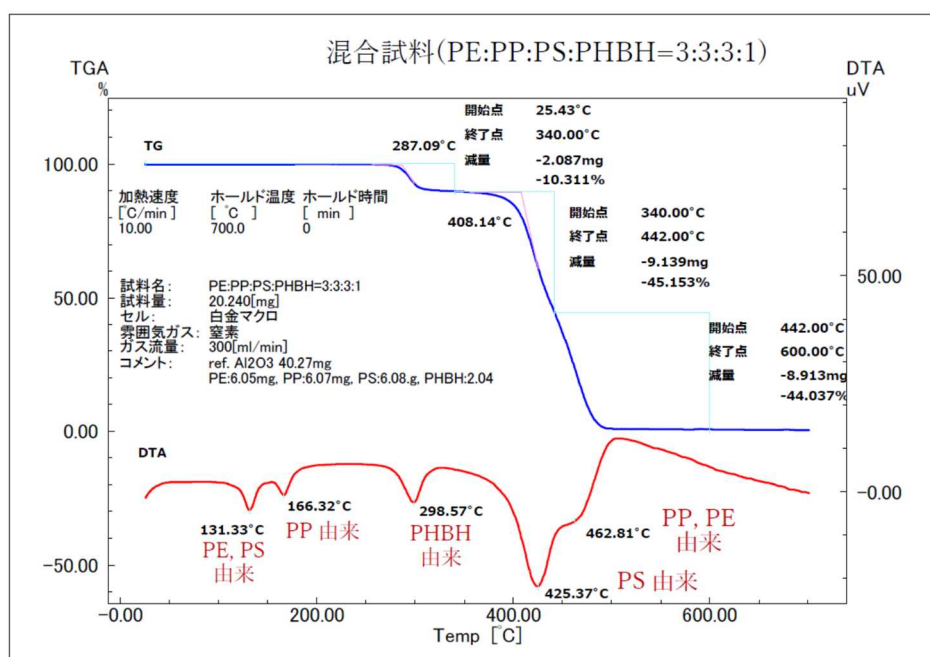


図 91 TG/DTA チャート (混合試料)

(2) 発生ガス分析

EGA-MS と EGA-GC-MS、さらに Heart Cut EGA-GC/MS、Py-GC/MS 分析（瞬間熱分解法）により発生ガス分析を行った。

- ◆ II-1. EGA-MS 分析 50°C→20°C/min→800°C
- ◆ II-2. EGA-GC/MS 分析 50°C→20°C/min→600°C で加熱後、GC-MS 分析
- ◆ II-3. Heart Cut EGA-GC/MS 分析
混合試料(PE:PP:PS:PHBH=3:3:3:1)について PHBH の熱分解が完了する 330°C までと PE・PP・PS が熱分解する 330°C から 600°C までを Heart Cut して分析
- ◆ II-4. PY-GC/MS 分析 600°C で瞬間熱分解後、GC-MS 分析
- ◆ II-5. UA-WAX カラムでの PHBH の分析
PHBH 熱分解生成物であるカルボン酸の GC ピーク形状を改善するため、GC カラムを UA-WAX に変更して追加分析

II-1. EGA-MS

マルチショットパイロライザーと質量分析計を不活性金属キャピラリーチューブ（長さ 2.5 m, 内径 0.15 mm）で接続した EGA-MS で試料を 20°C/min の昇温速度で 800°C まで加熱した。発生ガス曲線（下図）は TG/DTA チャートに対応していたが、混合試料では、PP と PE は単独試料に比べて 20°C ほど熱分解温度が低下していた。これは、溶融することによって反応系の熱伝導性が変化したためと考えられる。

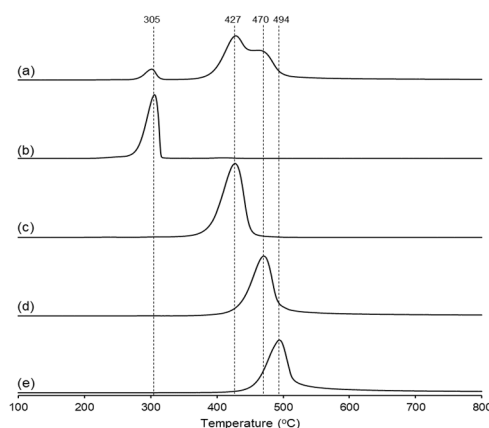


図 92 EGA-MS 発生ガス曲線 ((a) PE:PP:PS:PHBH=3:3:3:1, (b) PHBH, (c) PS, (d) PP, (e) PE)

II-2. EGA-GC-MS

TG-DTA 及び EGA-MS の結果から 600°C までに熱分解反応が終了しているため、EGA-GC-MS は 50°C-20°C/min-600°C で実施した。マルチショットパイロライザーと質量分析計を接続した EGA-GC-MS の装置構成及び分析条件を以下に示す。

表 32 EGA-GC-MS 分析条件

Pyrolyzer	: EGA/PY-3030D
GC-MS	: GCMS-QP2020 NX
Column	: UA-5 MS/HT (30 m, 0.25 mm I.D., df=0.25 μ m)
[PY]	
Analytical Mode	: HeartCut EGA Analysis
Furnace	: 50 °C–20 °C/min–600 °C (0.5 min)
Interface	: 300 °C (Auto)
Micro-Jet Cryo Trap	: Auto
Atmosphere Gas	: He
[GC]	
Carrier Gas	: He (1.0 mL/min)
Split Ratio	: 100.0
Column Oven Temp.	: 40 °C–10 °C/min–320 °C (20 min)
[MS]	
Ionization Method	: EI (70 eV)
Interface Temp.	: 280 °C
Ion Source Temp.	: 230 °C
Scan Range	: m/z 29–500
Scan Interval	: 0.3 s

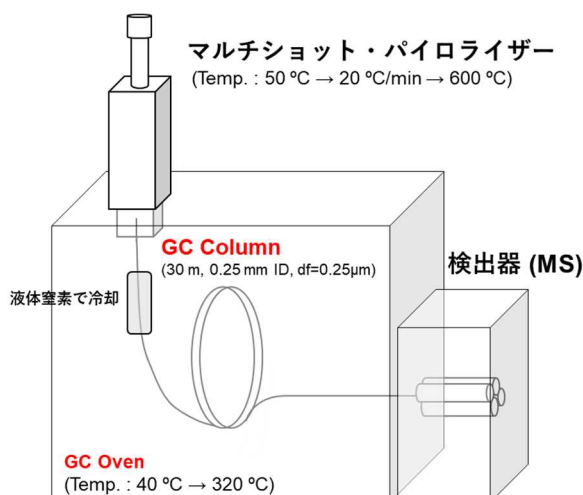


図 93 EGA-MS の装置構成

EGA-GC-MS では発生ガスの抽出に約 30 分要するため、液体窒素で GC カラム先端を冷却し、発生ガスを捕集後に GC-MS 分析を開始した。EGA-GC-MS の分析結果では、PHBH・PS・PP・PE からは高分子構造を反映した熱分解生成物が検出されていた。また、混合試料では PHBH・PS・PP・PE 各プラスチックの熱分解生成物が検出され、それぞれの混合比を合算した結果となっており、新たな化合物は検出されなかった。下表に熱分解温度と主な熱分解生成物をまとめた。

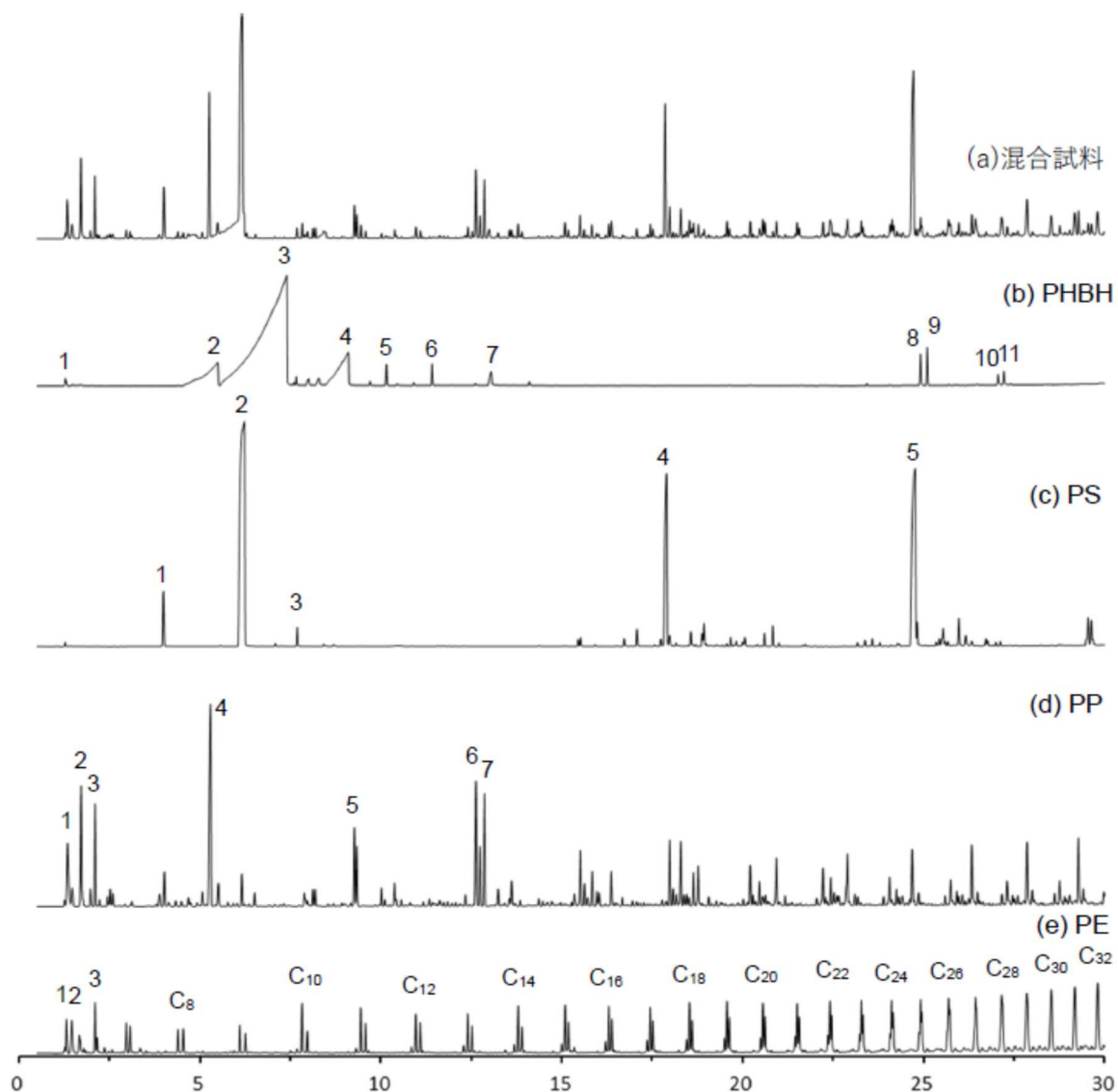
表 33 熱分解温度と主な熱分解生成物

試料	熱分解温度	主な熱分解生成物
PE (Low Density)	494°C	α, ω -ジオレフィン、 α -オレフィン、n-パラフィン
PP	470°C	プロピレン、2,4-ジメチル-1-ヘプテンなど分岐不飽和炭化水素
PS	427°C	トルエン、スチレン、スチレンダイマー、スチレントリマー
PHBH	305°C	クロトン酸、ヘキセン酸

注) 熱分解温度は EGA-MS の発生ガス曲線で熱分解生成物のピークトップの温度とした

- ◆ PE : 鎖状の炭化水素類でジオレフィン、オレフィン、パラフィンが確認された。クロマトグラムからは C32 以上の炭化水素も確認された。
- ◆ PP : プロピレン、ジメチルヘプテンなど、分岐鎖不飽和炭化水素が主な分解生成物であった。
- ◆ PS : 基本骨格であるトルエンとスチレン、スチレンの 2 両体及び 3 両体が主な分解生成物であった。
- ◆ PHBH : クロトン酸、ヘキセン酸など、PHBH の基本骨格に関連した酸が確認された。

次に、凍結粉碎した約 200 μg の試料を 600°C まで加熱して得られた TIC クロマトグラムと同定成分を以下に示す。



(b) 1	Pentene	(c) 1	Toluene	(d) 1	Propene
(b) 2	Isocrotonic acid	(c) 2	Styrene	(d) 2	Pentane
(b) 3	Crotonic acid	(c) 3	alpha-Methylstyrene	(d) 3	2-Methyl-1-pentene
(b) 4	2-Hexenoic acid	(c) 4	Styrene dimer	(d) 4	2,4-Dimethyl-1-heptene
(b) 5	Vinyl crotonate	(c) 5	Styrene trimer	(d) 5	2,4,6-Trimethyl-1-nonene
(b) 6	Crotonic anhydride			(d) 6	2,4,6,8-Tetramethyl-1-undecene (isotactic)
(b) 7	Unknown			(d) 7	2,4,6,8-Tetramethyl-1-undecene (syndiotactic)
(b) 8	Erucic nitrile	(e) 1	Propene / Propane		
(b) 9	Docosanenitrile	(e) 2	Butane / Cyclobutane / 1,2-Butadiene		
(b) 10	Erucamide	(e) 3	1-Hexene		
(b) 11	Docosanamide	(e) C ₈ ~C ₃₂	α, ω-ジオレフィン, α-オレフィン, n-パラフィン		

C₃₂以上の炭素数の炭化水素も熱分解生成物として生成している。

図 94 EGA-GC-MS 分析結果 TIC クロマトグラムと同定成分
((a) PE:PP:PS:PHBH=3:3:3:1, (b) PHBH, (c) PS, (d) PP, (e) PE)

II-3. Heart Cut EGA-GC-MS

EGA-MS 分析結果では、PHBH は 330°C で熱分解が完了しているが、この温度では PE・PP・PS の熱分解はまだ始まっていない。そこで、混合試料の HeartCut EGA-GC-MS 分析を行った。330°C までの加熱では PHBH の熱分解生成物と若干の PS 熱分解生成物が検出され、330°C～600°C では PHBH 熱分解生成物は検出されなかった。また、PE・PP・PS の熱分解生成物には影響がなかった。

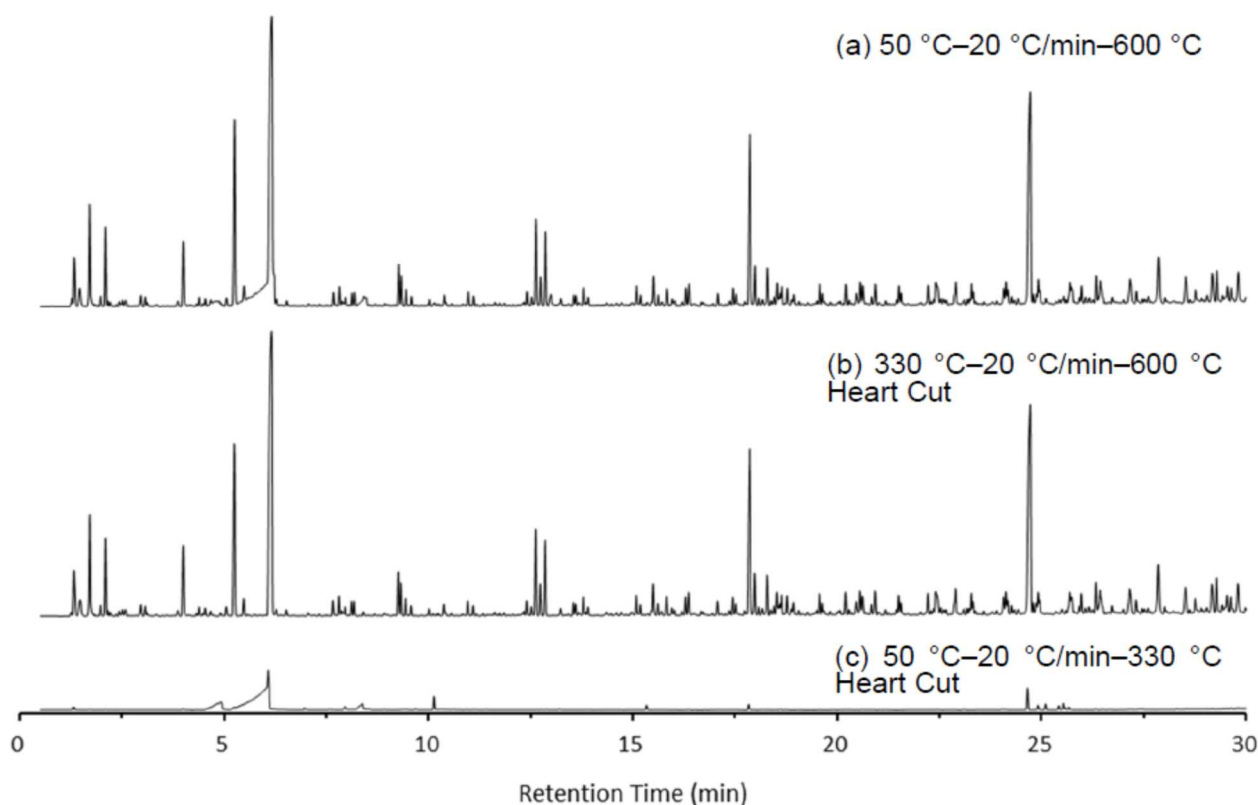


図 95 EGA-GC-MS TIC クロマトグラム (PE:PP:PS:PHBH=3:3:3:1 試料)
(a) 50 °C–20 °C/min–600 °C, (b) 330 °C–20 °C/min–600 °C, (c) 50 °C–20 °C/min–330 °C
Heart Cut EGA-GC-MS は(b)(c)のクロマトグラム

II-4. PY-GC-MS

高分子は複数の機構で熱分解するため、加熱温度によって熱分解生成物が異なることが知られている。そこで、昇温加熱する EGA ではなく 600°C に加熱した加熱炉に試料を導入する瞬間熱分解 Py-GC/MS で各試料の分析を行った。マルチショットパイロライザーの温度設定以外の分析条件は EGA-GC-MS と同様である。得られた TIC クロマトグラムは、EGA-GC-MS 分析とほぼ対応した結果となった。

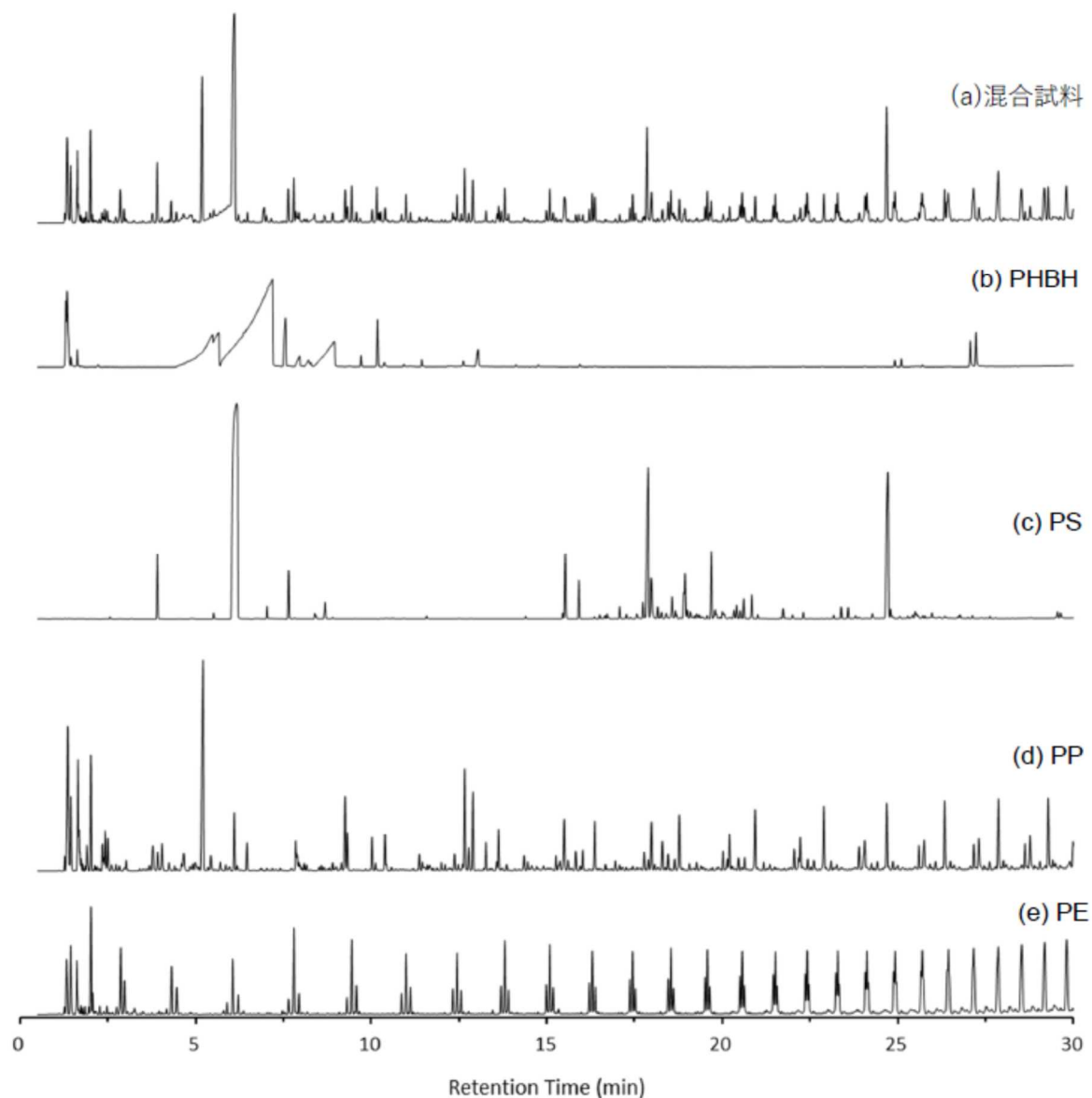


図 96 PY-GC-MS 分析結果 TIC クロマトグラム
(a) PE:PP:PS:PHBH=3:3:3:1, (b) PHBH, (c) PS, (d) PP, (e) PE

II-5. UA-WAX を用いた EGA-GC-MS

PHBH の熱分解生成物であるクロトン酸や 2-ヘキセン酸は極性が高いため、UA-5 MS/HT の液相として使用されている 5%ジフェニル 95%ジメチルポリシロキサン の微極性 GC カラムではリーディングピークとなり、クロトン酸および 2-ヘキセン酸の異性体を分離して検出することが難しい。そのため、高極性液相であるポリエチレングリコールを使用した UA-WAX で PHBH を分析して得られた TIC クロマトグラムを以下に示す。なお、GC カラムオープンの最終温度を 230°C とした以外の分析条件は前掲の EGA-GC-MS 分析条件と同様とした。その結果、UA-5 MS/HT では分離できなかったブテン酸、ヘキセン酸の異性体が確認された。

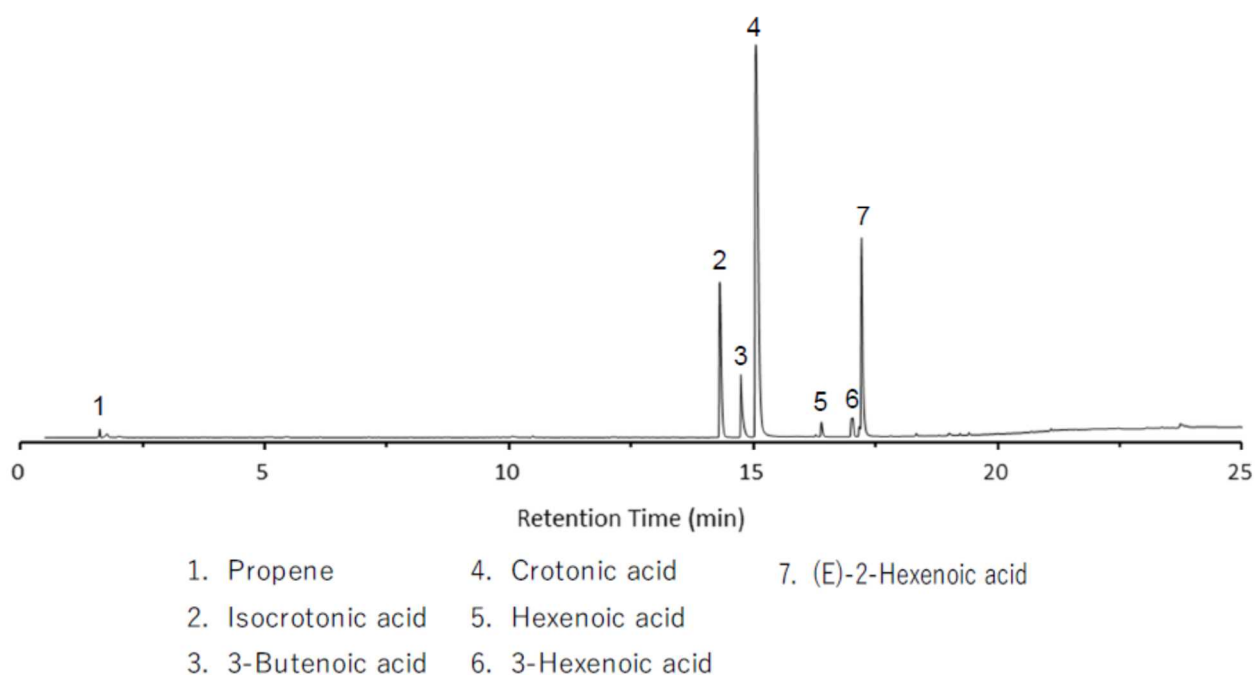


図 97 EGA-GC-MS (UA-WAX) による PHBH 分析結果 TIC クロマトグラム

3.3.4 まとめと課題

PHBH の循環型ケミカルリサイクルへの適合性を検討するための基礎情報を得るために、PHBH 単独及び汎用プラスチックと混合した熱分解試験を実施し、分解生成物の確認を行った。その結果、混合試料の分解生成物のプロファイルは、各プラスチックの熱分解生成物を合算した結果となっていることから、熱分解条件においては各プラスチックの分解温度や減少率はお互いに影響することなくそれぞれ分解が実現されていることが分かった。

3.4 事業2の成果の要点

「事業2：開発した製品に対応するリサイクルシステムの検討」では、PHBH 製生ごみ袋を用いたバイオガス化実証について地元との対話によりモデル実証地域を選定し、生ごみの回収拠点や回収方法の検討、予備的な PHBH 製品の前処理試験やバイオガス化試験を実施するとともに、バイオガス化試験設備の現地搬入、試験計画の作成を行うなど、令和5年度に実施する実証試験の準備を行った。また、PHBH 製品のリサイクルシステム検討については、素材が PHBH に置き換わった場合に PHBH の生分解性・脱炭素性が活かされる用途を整理するとともに、バイオガス化向けプラスチック製食品容器を収集するための新たな仕組みを検討した。さらに、PHBH の循環型ケミカルリサイクルへの適合性を検討するための基礎情報を得るために、PHBH 単独及び汎用プラスチックと混合した熱分解試験を実施し、分解生成物の確認を行った。

3.4.1 モデル地区における PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ回収・バイオガス化実証試験

バイオガス化実証については、PHBH 製生ごみ袋で回収した生ごみと生ごみ袋をバイオガス化設備に投入することを想定し予備試験等を行うことで、バイオガス化施設への投入方法を検討するとともに、1 t/日の試験設備の機器構成、レイアウト、環境対策、安全対策等を検討したうえで、選定された京都市京北地域に機器を搬入し、令和5年度の実証試験実施に備えた準備を進めてきたが、進捗状況は概ね良好であり、令和5年度には支障なく実証可能な状況にある。

一方で、昨年度に試作した PHBH 製生ごみ袋は、バイオガス化施設での前処理を行うにあたって一般的なバイオガス化施設の破袋破碎設備では、支障が見られることから、PHBH 製生ごみ袋の厚み、形状の見直しを行ったところ、強度的には昨年度より低下するものの、前処理状況は改善され実用の目処が立ったことから令和5年度は、新しい試作品での生ごみ回収・前処理・バイオガス化実証を行うこととした。なお、実証試験設備での処理状況については令和5年度に実証結果を解析する予定である。

また、バイオガス化施設は、大規模化を図ることによって、バイオガス利用用途が広がり、発電を合わせたエネルギーの有効利用の選択肢が増えることから、今後、全国への普及に向けて1 t/日程度規模の小規模分散利用に加えて、集約大規模利用について検討を進める必要がある。京都市は、全国に先駆けて焼却施設に併設した大型のバイオガス化施設を導入していることから、同様の施設を新たに整備する場合の参考となるような知見を蓄積するため、その稼働状況を調査・解析し、発電量、CO2 排出量等の基礎データを整理した。

3.4.2 製品用途別のリサイクルシステム検討及び現行リサイクルシステムへの影響確認

PHBH 製品のリサイクルシステム検討については、素材が PHBH に置き換わった場合に PHBH の生分解性・脱炭素性が活かされる用途を整理するとともに、バイオガス化向けプラスチック製食品容器をバイオガス化施設で効率的に活用するための収集方法として、「①生ごみ袋への投入」及び「②バイオガス化向けのプラスチック回収の創設」を想定し、両者のメリット・デメリットを整理し、具体的な方法の検討を行った。

3.4.3 PHBH の循環型ケミカルリサイクル検討に資する熱分解特性

PHBH の循環型ケミカルリサイクルへの適合性を検討するための基礎情報を得るために、PHBH 単

独及び汎用プラスチックと混合した熱分解試験を実施し、分解生成物の確認を行った。その結果、混合試料の分解生成物のプロファイルは、各プラスチックの熱分解生成物を合算した結果となっていることから、熱分解条件においては各プラスチックの分解温度や減少率はお互いに影響することなくそれぞれ分解が実現されていることが分かった。

4. 国産 PHBH 原料開発（事業 3）

4.1 ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立

4.1.1 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（*Jatropha curcas*）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。

令和 3 年度までの前回事業では、ジャトロファ栽培については、令和 2 年度までに構築した実証温室を用いた温室栽培と、戸外の実証圃での露地栽培を行い、バイオガス化の消化液を利用した栽培管理方法を検討し、その油脂生産性の評価を行った。その結果、2 年生ながら一樹あたりの国内目標収量の 20%を達成した個体も見出した。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菜種の露地栽培等において消化液を活用して効果的に育成する方法の検討を行った。

令和 4 年度は、ジャトロファ栽培については、前回事業での、実証温室を用いた温室栽培に加え、戸外の実証圃での露地栽培、岡山県笠岡市と愛媛県松山市での栽培、広島県尾道市でのジャトロファ栽培の準備を行い、京都より温暖な瀬戸内海地方に栽培を拡げる準備を進めた。また、菜種栽培先進地との意見交換を行い、油脂を搾り取ったあとの菜種粕の利用について畜産農家への供給を視野に入れて消化液栽培を岡山県に拡大する準備を進めた。

4.1.2 方法

（1）ジャトロファ

栽培に用いたジャトロファ（*Jatropha curcas*）は、鳥取大学農学部でジャトロファについて先進的な研究を進めておられる明石欣也教授から、アフリカボツワナ国産の種子を提供いただき、これを京都で発芽させ、また、京都で得られた挿し穂から再生した。資源植物の輸出に関する名古屋議定書をクリアした植物資源系統である。写真 A は 2022 年 6 月にボツワナ苗の準備中の様子で、これらを温室内土壌に直植した（写真 B）。



写真 A ボツワナ産ジャトロファの
実生苗の準備



写真 B 実生苗をビニルハウス
(外套なし、手前) に植え付けた様子



写真 C 10 L、40 L プラスチックポットの
実生苗の様子



写真 D 不織布ポットに植えられた
実生苗の様子

図 98 令和4年度京都におけるボツワナ産ジャトロファ栽培

露地植え以外の実生苗、挿し木苗は10 L（黒）40 L（青）のプラスチック製ポット（写真 C）、50 L 不織布ポット（写真 D）に植え付けた。移動できるポットに植え付けたことで冬季には温室内に避寒移動させることができる。

(2) 菜種

修学院離宮の水稻の裏作として菜種 (*Brassica rapa* L. cv. *Nanashikibu*、品種名 ナナシキブ) をメタン発酵消化液だけを用いて栽培した。



写真 E メタン発酵消化液を散布している様子



写真 F 菜種「ナナシキブ」種子を播種している様子

図 99 水田裏作での菜種の栽培

4.1.3 結果

(1) ジャトロファの栽培

1) 土壌

旺盛に生育するので保水力のある栄養に富んだ土壌がよい。また、根が呼吸できるよう通気性に富む土壌がよい。これらの矛盾した要求を満たすため、ホームセンターで「日向土細粒」、「牛糞堆肥」を購入し、これらと手近な水田土壌を容量 1 : 1 : 1 で混合した栽培培土を、底面が全面メッシュとなっているプラスチックポットに充填した。ポットは主に 40 L 容のものを使用した。実生苗には 10 L 容ポットも使用した。また、灌水量を制御するため不織布ポットも用いた。施肥は 40 L ポットに窒素 5 g を含むメタン発酵消化液を年に 1 回与えた。

2) 栽培

ジャトロファ樹は旺盛に生育する。茎は分枝せずまっすぐ上方に伸びるが、花芽は茎先端にしか形成されない。分枝していなければ一樹に一花しか着かない。果実の多収を狙うためには一年生夏から剪定によって樹形を整え、3 本程度の分枝を確保することが望ましい。このため、一年生夏には樹高 50cm 程度で先端を剪定除去し分枝させた。

これまでの観察から、京都では二年生以降のジャトロファ個体は 6 月か 9 月に開花する。前年に伸長し越冬した新梢には 6 月に着花し、8 月に果実が収穫できる。その年の 4 月に発生した新梢には 9 月に着花し、11 月に果実が収穫できる。中には 11 月に着花してそのまま冬に枯死することもある。

1 個体で 6 月または 9 月にそれぞれ開花することもある。8 月に果実を収穫した枝は直ちに伐採して新梢の出現を誘導し、発生した新梢は越冬させる。9 月まで開花しなかった枝はそのまま成長させ、11 月に果実を収穫した枝とともに 12 月に剪定し、越冬させて 4 月に新梢を出現させる。このように剪定は 9 月と 12 月に行う。

花芽が着生する新梢を得るためには茎に養分を溜め込ませることが重要であり、そのため夏には水、肥料を十分に与えて光合成させる。熱帯のジャトロファプランテーションでは秋、乾季になると落葉、越冬し、翌春、暖かくなると萌芽、再生する。日本では露地で栽培した場合、気温が低くなる11月になっても降雨があるのでジャトロファは落葉しない。そして12月の急激な冷え込みで葉が枯死落葉し、そのまま樹も枯死する。日本で越冬させる場合には樹体の急激な冷え込みを回避できる方策をとる必要がある。しかし一年生でも樹高は3 mを超えるほど速く成長するので、加温できる温室で栽培するのではなければ、ジャトロファ樹に応じた寒さ対策を採る必要がある。そのため、以下の方法を試行中である。

露地栽培した場合は9月または12月に剪定する。この時、新梢を確保しつつ、樹高ができるだけ低くなるように心がける。剪定によって樹高を低くしたジャトロファ並木にビニール被覆トンネル（高さ1.2 mまで）を設置して越冬させる。この時、被覆内は加温しなくてもよい。ポット栽培したジャトロファは春夏秋は野外で生育させ、露地栽培の場合と同様、9月12月に剪定し、12月に植物をポットごとビニルハウス内に移動し越冬させる。この時もビニルハウスを加温する必要はない。翌年3月からはポットごと再び野外に展開する。いずれの方法で越冬させるにせよ、厳寒期から日平均気温が10℃を超える4月中頃までの時期をビニルハウスやトンネル内で保護することができれば多収に繋がる。

また、ジャトロファなどトウダイグサ科植物はホルボールエステルを含有し、ホルボールエステルはプロテインキナーゼの賦活化を介して発癌を誘導する。さらにジャトロファ種子にはリシンやクルシンが含有されるので食すると中毒を起こし、それゆえにジャトロファ種子は食用に適さないとされているが、これらの有毒物質は種子に含まれるため、毒性を回避するためには、樹の管理よりも搾油粕の管理が大切だと考えた。

3) ジャトロファ種子の生産性と目標収量

熱帯の優秀なジャトロファプランテーションでの種子生産量は1ヘクタールあたり年間5,000 kg程度と推定される。ジャトロファプランテーションでの植栽密度は1x2m間隔と言われているので、1ヘクタールあたりの樹木数は5,000本程度と推定され、一樹あたりの種子生産量は1,000 g程度と推定される。熱帯の優良農園での収量目標は10,000 kgとのことで、5,000 kgから10,000 kgへの生産量拡大を目指して遺伝資源の探索と在来種の遺伝子改変が現下の課題とのことであった（日本植物燃料合田氏談）。京都での試行では冬季加温したビニルハウスでの三年生樹の最大収穫量は1樹1年あたり果実100個、種子300 gであった。先行報告では5年生以降で生産量が安定すると言われているので、樹齢を重ねた個体で、冬季加温なしで1樹1年あたり種子500 g程度、ヘクタールあたりの種子生産量2500 kgを京都での目標値とする。



写真G ボツワナ産ジャトロファの生育
(6月)



写真H 降水をカットするため天蓋を掛ける
(10月)



写真I 冬季には天蓋を下ろして保温する
(12月)



写真J 実生苗は初冬に枝を全て落として
新梢を誘導する (12月)



写真K 実生苗は灌水を抑制して
落葉させる (11月)



写真L 冬季、実生苗は枝を全て落として
新梢を誘導する (2月)

図 100 R4年度京都におけるボツワナ産ジャトロファ栽培

ジャトロファ樹の果実生産量を増やすためには花芽をたくさんつけさせることが重要である。そのためには毎春、新梢数を確保すること、すなわち、秋の剪定作業が重要である。日本の気候に応じた剪定方法を確立して新梢数を確保すること、寒さの傷害を減らして越冬させること、が必要である。その方策を探るため、令和4年から京都より温暖な瀬戸内海沿岸の岡山県笠岡市、広島県尾道市、愛媛県松山市に京都で増やしたジャトロファ1、2年生ポットを持ち込み、一部は実生苗を露地栽培して越冬させる栽培試験を実施中である。これらの試行から京都、日本で栽培する標準的な方法を確立したい。栽培方法が確立できれば、高い収量や速い生育速度をもつ系統を選抜、育種する。

ジャトロファゲノムはかずさ DNA 研究所において全解析が終了している。栽培技術の開発と並行して有望遺伝子の同定を進めたい。

(2) ジャトロファの瀬戸内海地方での栽培

令和4年から京都より温暖な瀬戸内海沿岸の岡山県笠岡市、広島県尾道市、愛媛県松山市に京都で増やしたジャトロファ1、2年生ポットを持ち込み、一部は実生苗を露地栽培して越冬させる栽培試験を実施中である。春夏秋の生育に問題はなく、開花、着果も順調で、このまま樹齢を重ねると高い収量が期待できる。現在、今冬の越冬試験の取りまとめを行なっている。



写真 M 笠岡市かぶと町における
ジャトロファの栽培（7月）



写真 N 笠岡でも活発な着花が
認められた（8月）



写真 O 松山市東野の柑橘農家での
ジャトロファの様子（10月）



写真 P 松山市砥部のジャトロファの様子
（10月）



写真 Q 尾道市因島重井の農園予定地（2月）. R5年3月からジャトロファ植栽予定

図 101 瀬戸内海地域へのジャトロファ生産地の拡大

(3) 菜種の栽培



写真 R 国産菜種「ナナシキブ」登熟期の様子
(5月)



写真 S 「ナナシキブ」収穫の様子 (5月)



写真 T 「ナナシキブ」を稲木で乾燥中の様子 (5月)

図 102 京都での菜種栽培

4.1.4 まとめと課題

3年間にわたる検討で熱帯油脂作物ジャトロファ (*Jatropha curcas*) を京都で栽培できること、冬季にも加温していないビニルハウスで越冬させられること、を示してきた。これまでの報告では、ジャトロファ樹の種子生産量は5年生で最大になり、その後10年程度維持される。温室内での2年生ジャトロファ樹でも樹高3mを超え、果実の収穫が困難になりつつあるので、越冬と作業性の向上のため、剪定による矮化が必要である。その目的で越冬時の樹高を2mくらいまでに抑えられるようにしたい。本年度はスケルトン温室を用意し、その枠に入るように剪定し越冬させている。愛媛県でのハウスみかん栽培の剪定方法が参考になるかもしれないと考え、愛媛県でのジャトロファ栽培を進めている。また、花芽は新梢に着くので新梢が多数着生するような剪定方法を考える。

熱帯作物であるジャトロファの国内栽培での生産の目標は、1樹1年あたり種子500g程度、1ヘクタールの樹園あたり、年間2,500kgの種子生産を日本での生産量の目標としている。樹園開発には初期投資が必要であり、これに加え毎年の樹園の管理経費、施肥、灌水、収穫、搾油、剪定などの作業費も必要となる。本プロジェクトでは栽培管理にかかるこうしたコストの低減に留意しつつ、ジャトロファ油の目標生産量を達成したい。



写真 U 新梢の先に着花、登熟する様子 (10 月).

図 103 ジャトロファ着果の様子

菜種については、メタン発酵消化液を用いた米・菜種の二毛作システムが成立することが本事業で実証された。また、菜種は消化液によく反応するので、消化液使用の対象作物として優秀であることが分かった。これまで消化液は水稻に施用され、秋の対象作物が少なかった。欧州で栽培されている菜種品種は、カタログ値ではあるが、単収が国産菜種品種の 4、5 倍高いことが知られている。今後の収量増に向けて、欧州菜種品種の栽培が表作の水稻の栽培と両立するかを検討することなどが考えられる。これまでの試行から、水田裏作での菜種の生産量を ha あたり 2 トンと設定した。最近では飼料価格が高騰しているので、搾油後の菜種粕を飼料として利用することを考え、菜種を畜産の盛んな岡山県笠岡市で、メタン発酵消化液を用いて栽培することを試みている。今後、ジャトロファと菜種をセットにして瀬戸内海地域での油糧作物栽培を進めたい。

4.2 バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化

4.2.1 目的

バイオガス化で副生する発酵残渣・消化液の肥料としての利用にあたっては、発酵残渣・消化液中の PHBH の残存状況を把握しておく必要があるため、PHBH 製食品容器を生ごみとともにバイオガス化した際の生分解性に関する試験を行い、その上で、発酵残渣・消化液の農地への効果的・効率的な散布方法及び施用方法について検討を行うことを目的とした。

本年度は、PHBH 製食品容器のバイオガス化試験を行い、分解の状況及び発酵残渣・消化液への残存状況の確認を進めた。方法及び結果については「3.1.3(2) PHBH 製食品容器の前処理方法の検討」参照のこと。

また、「4.1 ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立」の実証地域において、発酵残渣、消化液をさらに活用するための試行を進めた。

4.2.2 方法

バイオガス化は嫌気雰囲気下で有機物を無機物にまで分解し、有機性廃棄物の汚物感や悪臭を軽減する処理方法だが、その結果生成する消化液には有機物を構成する無機成分が含まれ、特にタンパク質や核酸が分解されて生じるアンモニウムイオンが植物の培養液としては高い濃度で含まれるため、作物の肥料としての活用が試みられてきた。京都周辺で得られるバイオガス化消化液の無機成分の結果を次表に示した。

表 34 バイオガス化消化液の成分組成の例

出発材料	pH	固形分	全窒素		リン酸	加里
				うちアンモニウム態窒素		
	—	g/kg	N mg/kg	N mg/kg	P2O5 mg/kg	K2O mg/kg
乳牛糞・おから	8.3	34	3,600	2,130	1,410	2,750
生ごみ	9.4	13	2,140	1,300	460	1,630
し尿・生ごみ	8.2	1	1,370	1,240	300	300

前表に示した乳牛糞・おからを主原料とする八木バイオエコロジーセンターの消化液は窒素 3,600 ppm、リン酸 1,400 ppm、加里 2,800 ppm を含む。肥料の表記法として用いられる、N-P2O5-K2O の含有率%をこの順番に並べた 3 つの数字は、0.36-0.14-0.28 となる。ちなみに水稻や野菜によく使用される化成肥料は 14-14-14 や 8-8-8 で、窒素-リン酸-加里を、それぞれ 14%、8% 含有し、成分濃度は消化液よりかなり高い。また、窒素肥料として使用される硫酸アンモニウムや尿素の窒素含有率はそれぞれ 21%、46% である。消化液が肥料成分を含んでいるとはいえ、化成肥料並みの窒素リン酸加里を施肥するためには多量の消化液が必要になる。



図 104 消化液 1 L (左) に含まれるアンモニア態窒素 (2 g) と同量のアンモニア態窒素を含む 10 g の硫酸アンモニウム

さらに問題となるのが消化液の pH とアンモニウムイオンの対イオンである。消化液は発酵産物であり、消化液の pH は嫌気発酵が円滑に進行する弱アルカリ性である。バイオガス化消化液において、アンモニウムイオン、カリウムイオンは陽イオン、リン酸イオンは陰イオンで存在し、多量に含まれるアンモニウムイオン、カリウムイオンの対イオンは二酸化炭素が水和して生成する重炭酸イオン HCO_3^- である。次図に消化液の滴定曲線を示した。消化液に硫酸を滴下していくと pH6 近くまで強い緩衝能力を発揮する。この緩衝能力の正体は重炭酸イオンである。重炭酸イオンは水素イオンの増加 (pH の低下) に対して、二酸化炭素と水になることで水素イオンを消化する。消化液の窒素肥効の正体であるアンモニウムイオンは弱アルカリ性下ではアンモニアとの平衡状態 (下式) で、 pK_a は 9.24 である。

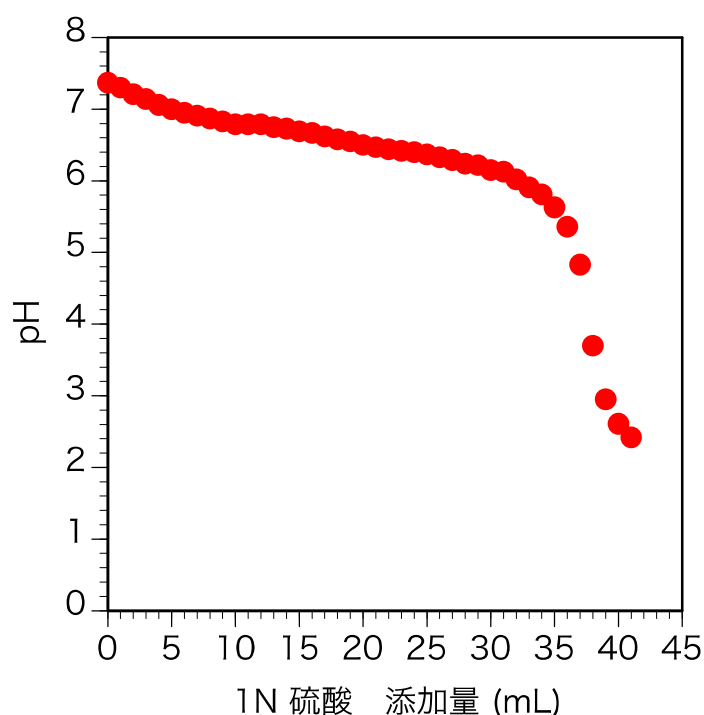
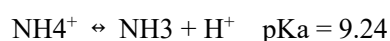


図 105 バイオガス化消化液の硫酸による滴定曲線

つまり、pH9.24 ではアンモニアとアンモニウムイオンは消化液中に同濃度で存在し、pH8.24 消化液では 10%、pH7.24 では 1%がアンモニアとして存在する。このため消化液を pH が高いまま加温するとアンモニアは揮散してしまう。揮散を防ぐためには液性を酸性としてアンモニウムイオンの対イオンを重炭酸イオンから揮散しないイオン、例えば硫酸イオン、に交換しなくてはならない。あるいは、pH の高いまま加熱して揮散するアンモニアを酸性溶液で捕捉する。何れにしても酸を用意しないとアンモニアの揮散を防ぐことは難しい。嫌気分解の対極にある、開放系での有機物の好気的な分解（通常の堆肥化）ではアンモニアは分解中に常時、揮散している。このため好気的に製造される堆肥などの窒素含有率は低く、作物への肥効も小さい。

バイオガス化消化液を肥効成分を維持したまま濃縮乾固するためには酸が必須である。滴定曲線を参考に、硫酸を滴下して pH を 6 程度に下げた消化液（写真 2）を乾固すると、硫酸アンモニウム、硫酸カリウム、リン酸カルシウムなどを含む不溶性成分が析出する。真夏のビニールハウスに酸性化した消化液を放置、乾固させた時の様子を写真 3 に示した。これをペレタイザーでペレットに加工したものを写真 4 に示した。このような操作を行うためには、pH を調整するための硫酸、水溶液を乾固するための加熱装置が必要である。廃酸や廃熱が利用できれば実用化は現実によく。



写真 2 硫酸を用いて pH を低下させたバイオガス化消化液。二酸化炭素が盛んに発泡する



写真 3 乾固したバイオガス化消化液



写真 4 乾固したバイオガス化消化液をペレット化したもの。窒素含有率は 2~3% で取り扱いやすくなる。



写真 5 小さな圃場に最適化した小型消化液散布装置。10a あたり 5 トン程度の消化液を小さな圃場に散布する場合に使いやすい小型散布装置。

図 106 バイオガス化消化液の乾固

小規模な圃場に消化液を散布する場合に写真5に示したような小型散布装置を試作した。棚田などに消化液を散布する場合にはキャタピラで300 kg程度を搬送・散布できる装置が活躍する。

消化液を直接、作物栽培の水耕液として使用することも試みられている。消化液は液体であり、1,000～2,000 ppmのアンモニア態窒素が含まれる水溶液のアンモニウムイオン濃度は70～140 mMに達する。一般の植物用水耕培養液のアンモニウムイオン濃度は2 mM程度なので、少なくとも50倍には希釈しなければ作物にアンモニア過剰害を生ずるが、濃度を計算した上で適正に希釈した消化液は水耕栽培培地として十分に使用できる。しかし、かなりの希釈が必要なので消化液の減容という目的にはそぐわない。

4.2.3 まとめと課題

増加する地球人口に食料を供給するために化学肥料の供給はますます重要になるが、化学肥料製造に当たっては、その原材料として、製造・採取過程で、製品輸送のエネルギー源として、化石燃料が大量に使用される。一方、ヒトの食料からの廃棄物（生ごみ）と排泄物には必ず肥料成分が含まれているので、これらの肥料成分を再利用することによってバージンマテリアル、化石燃料の使用を削減することが強く求められる。中でもバイオガス化消化液は液体で植物栄養素に富むので肥料代替物として利用したい。しかし、本稿で述べてきたように、消化液は肥料成分の濃度が低い。これにエネルギーを投入して濃縮しエネルギーを使って散布するのであれば、エネルギーの使用量は化学肥料とおそらく同等になるであろう。化石燃料の使用を削減することを念頭に置いて、生ごみ、バイオガス化消化液の食料生産への再利用を組み立てなければならない。本項ではその嚆矢として、夏の太陽熱／密閉温室を使用した酸性化バイオガス化消化液の濃縮とペレット肥料の製造、小規模な圃場への消化液の散布方法を試行した。これらの技術をさらに洗練することにより、また、こうした再生資源を利用することによって、食用作物、油糧作物を栽培し、化石燃料への依存を極小にした食料生産システムを構築することが求められる。

4.3 低品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発

4.3.1 目的

更なる PHBH 原料の拡大に向けて、未利用の低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）の活用技術及び全国で分散的に発生する低品質な廃食用油の効果的な回収システムについて検討することを目的とした。

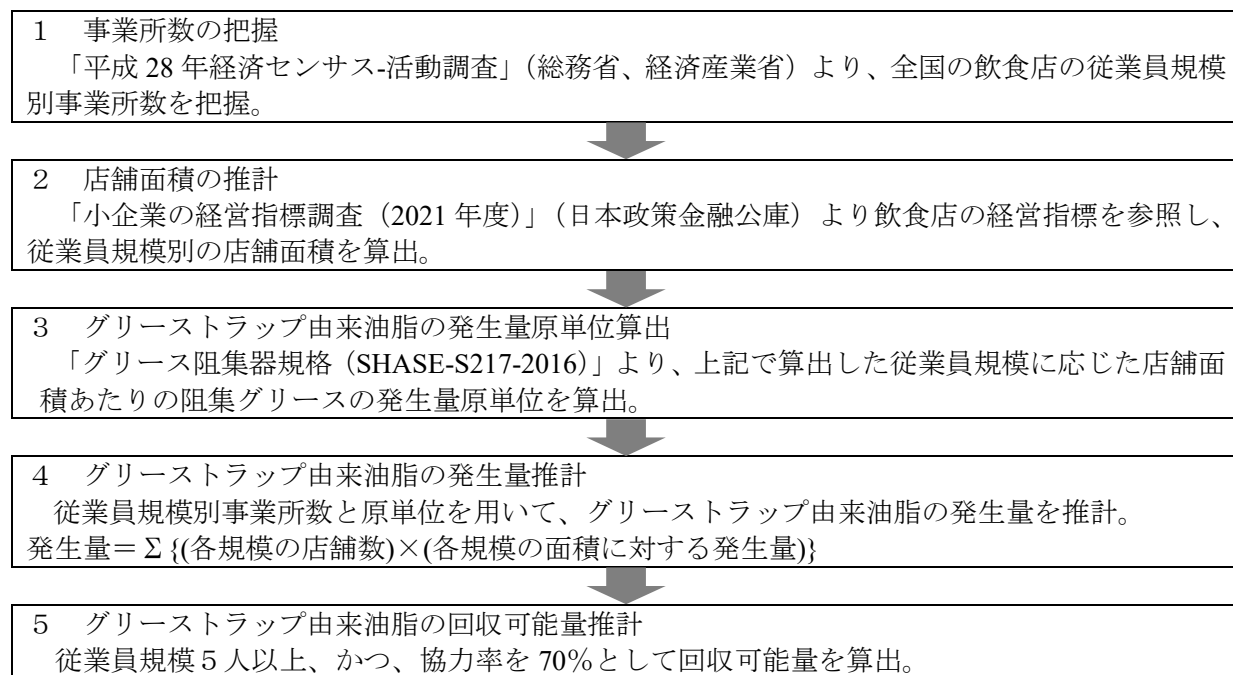
本年度は、全国で分散的に発生する低品質な廃食用油を回収方法や発生源等に応じてサンプリングし、それらの精製収率や物理化学的性状を明らかにするとともに、「2.2 低品質な廃食用油や植物油等の PHBH 原料としての利用技術の開発」における PHBH 培養生産試験に供すサンプルの準備を行った。

また、低品質な廃食用油の効果的・効率的な回収システムの検討に資する基礎情報として、全国の飲食店（持ち帰り・配達飲食サービス業も含む）における低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）の発生量の推計を行った。

4.3.2 方法

（1）全国の飲食店等におけるグリーストラップ由来の油脂の回収ポテンシャルの推計

全国の飲食店等におけるグリーストラップ由来の油脂の発生ポテンシャルの推計は、「平成 23 年度環境研究総合推進費補助金 研究事業『廃油脂類を原料とした動脈静脈連携型の次世代バイオディーゼル燃料製造技術の開発と評価』（研究代表者：国立環境研究所 倉持 秀敏）」にて報告された方法に基づき、最新の統計データ等を活用して行った。推計手順は以下のとおり。



（2）飲食店厨房のグリーストラップからの油泥回収及び油脂抽出

飲食店の厨房に設置されるグリーストラップでは、排水からの油脂の分離性能の確保のため、定期的に蓄積した油脂を含む汚泥の除去が必要とされる。店舗従業員による自主的な浮遊油の除去の他に油泥の回収及び産業廃棄物処理が業者に委託されることが多い。業者による回収は、浮遊する油泥と堆積残渣を手回収する方法とトラップの内容物をまとめてバキューム回収する方法とがある。

本研究では、業者により個別店舗での清掃時に手回収された浮遊油泥とバキューム回収され産業廃棄物処理施設で集約された混合油泥の一部（6L 容器に採取）をサンプルとして扱った。手回収サンプルは、阻集器規格での食種分類及び全国の食種別チェーン店の店舗数の多さを基に次表に示す 9 食種を選定し、それぞれ異なる 3 店舗から回収した。バキューム回収サンプルは、同一の施設において 3 回異なる日時に回収した。

表 35 グリーストラップ油泥の採取源一覧

採取先	食種	阻集器規格 での分類	回収法	店舗数
飲食店舗	ファミリーレストラン	洋食	手回収	3
	和食系	牛丼、丼もの	和食	3
	洋食系	カレー	洋食	3
	ラーメン・餃子	ラーメン	ラーメン	3
		中華	中華	3
	焼肉	和食	手回収	3
	その他	食堂・定食	食堂	3
	ファストフード	ハンバーガー	ファストフード	3
	居酒屋、バー	和食、洋食	手回収	3
産業廃棄物 処理施設	混合油泥		バキューム	3

回収した油泥サンプルからの油脂抽出は、加温分離により行った。次図のように油泥を 60℃で加温することにより油分が融解及び密度差で浮上する。油分の融解後に攪拌を行った後 2 時間以上加温しながら静置し、分離した油層の厚みが変化しなくなったところで、油層を電動ピペットを用いて別の容器に移し、秤量を行ってから分析のため冷蔵庫で保管した。油脂抽出率は次の通り定義した。

$$\text{油脂抽出率 (\%)} = \frac{\text{抽出した油脂の重量}}{(\text{抽出した油脂の重量} + \text{抽出後残渣の重量})} \times 100$$

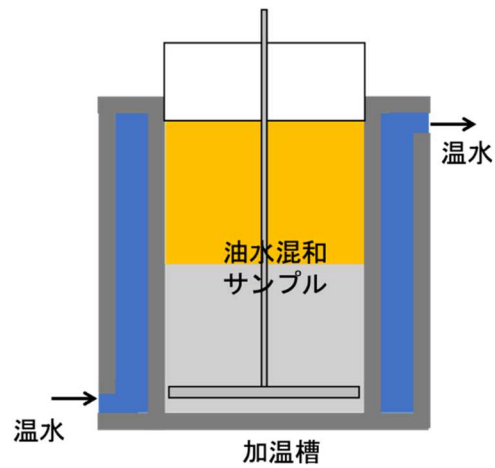


図 107 油泥の加温分離方法と上方に形成される油層

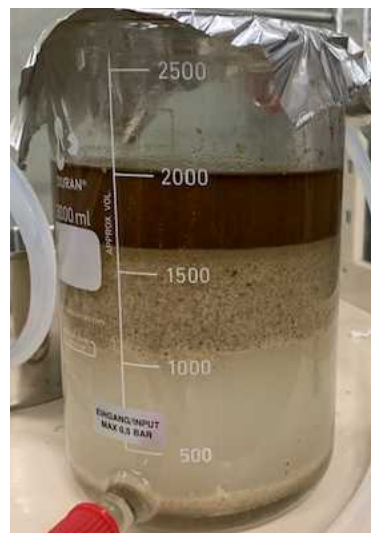


図 108 加温及び静置後の油層形成の様子

(3) 抽出油脂の分析

抽出油脂の分析は次表に示す通り、油脂の性状に関わる項目と混入物に関わる項目に関して行った。分析後、PHBH 生産の培養試験に供するため、抽出油脂は少量の Na_2SO_4 を加えて脱水し、油こし紙（アサヒ興洋）を使つてろ過した。

表 36 グリーストラップ油泥からの抽出油脂に関する分析項目

	分析項目	方法
油脂の性状	酸価	メトローム自動滴定装置
	過酸化価	メトローム自動滴定装置
	ヨウ素価	メトローム自動滴定装置
	脂肪酸組成	ガスクロマトグラフ
	遊離脂肪酸	固相抽出カラムで分画後にガスクロマトグラフ (C8 以上を対象) ¹⁾
	アニシジン価	基準油脂分析試験法
	重合物	基準油脂分析試験法
	グリシドール脂肪酸エステル	基準油脂分析試験法
混入物	きょう雑物	基準油脂分析試験法
	シリコーン (ケイ素)	ICP-AES
	雑菌数 (好気性芽胞形成菌)	標準平板菌数測定法 (前処理 100℃10 分)
	金属元素	ICP-MS

4.3.3 結果

(1) 全国の飲食店等におけるグリーストラップ由来の油脂の回収ポテンシャルの推計

1) 全国の飲食店等の従業員規模別の事業所数

「平成 28 年経済センサス-活動調査」(総務省、経済産業省) より、全国の飲食店及び持ち帰り・配達飲食サービス業の従業員規模別事業所数を把握した (次表)。

表 37 全国の飲食店の従業員規模別事業所数

		1 ～ 4人 数	5 ～ 9人 数	10 ～ 19人 数	20 ～ 29人 数	30 ～ 49人 数	50 ～ 99人 数	100 ～ 199人 数	200 ～ 299人 数	300 ～ 499人 数	500 ～ 999人 数	1,000人 以上 数	総数
76	飲食店	355,492	114,052	69,272	27,803	15,513	4,741	495	60	30	14	8	587,480
	761 食堂、レストラン (専門料理店を除く)	28,192	9,430	5,906	3,487	2,589	346	88	17	8	2	3	50,068
	762 専門料理店	79,060	42,804	29,950	11,564	6,059	1,313	143	23	9	5	4	170,934
	76A 日本料理店	20,595	12,254	9,601	4,246	2,134	535	49	4	0	0	0	49,418
	76B 中華料理店	27,741	12,978	8,333	2,330	971	218	29	6	4	1	0	52,611
	76C 焼肉店	7,498	4,906	3,669	1,629	1,032	199	17	2	2	0	0	18,954
	76D その他の専門料理店	23,226	12,666	8,347	3,359	1,922	361	48	11	3	4	4	49,951
	763 そば・うどん店	15,330	7,532	4,128	1,500	546	40	5	0	1	0	0	29,082
	764 すし店	13,570	3,614	1,991	947	730	1,551	138	0	1	1	0	22,543
	765 酒場、ビヤホール	81,533	23,109	13,492	4,210	2,043	417	42	12	5	1	0	124,864
	766 バー、キャバレー、ナイトクラブ	73,927	15,943	4,504	767	369	107	13	3	1	0	0	95,634
	767 喫茶店	50,636	7,767	4,682	2,737	1,141	118	17	2	2	1	0	67,103
	769 その他の飲食店	13,244	3,853	4,619	2,591	2,036	849	49	3	3	4	1	27,252
	76E ハンバーガー店	347	376	1,340	1,156	1,456	785	36	1	2	4	1	5,504
	76F お好み焼・焼きそば・たこ焼店	11,579	2,319	1,359	308	66	8	0	0	0	0	0	15,639
	76G 他に分類されない飲食店	1,318	1,158	1,920	1,127	514	56	13	2	1	0	0	6,109
77	持ち帰り・配達飲食サービス業	20,232	18,574	10,982	2,927	1,564	699	155	47	22	15	4	55,221
	771 持ち帰り飲食サービス業	5,382	4,353	2,194	245	78	24	6	4	0	0	0	12,286
	772 配達飲食サービス業	14,850	14,221	8,788	2,682	1,486	675	149	43	22	15	4	42,935

(出典) 平成 28 年経済センサス-活動調査 (総務省、経済産業省)

2) グリーストラップ由来油脂の発生量原単位の算出

① 従業員規模別の店舗面積

「小企業の経営指標調査 (2021 年度)」(日本政策金融公庫) に示されている、「従業員 1 人当たり年間売上高」と「売場 3.3 m² 当たり売上高」から従業員 1 人当たりの売場面積を求めた。なお、

経営指標は一般飲食店（690 企業の平均値）を用いた。

続いて、店舗の従業員規模を乗じることで、従業員規模に応じた店舗面積を算出した。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 人当たりの売場面積 (m}^2\text{/人)} &= \text{従業員 1 人当たり年間売上高 (円/年)} \\ &\quad \div (\text{売場 3.3m}^2 \text{ 当たり売上高 (円/3.3m}^2) \div 3.3\text{m}^2) \\ &= 7,720 \text{ 千円/年} \div 1,415 \text{ 千円/3.3m}^2 \div 3.3\text{m}^2 \\ &= 18.0 \text{ m}^2\text{/人} \end{aligned}$$

$$\text{従業員規模別の店舗面積 (m}^2\text{)} = 1 \text{ 人当たりの売場面積 (m}^2\text{/人)} \times \text{従業員規模の中央値}$$

よって、一般飲食店の従業員規模別の店舗面積（厨房を含む）を、以下のように設定した。

表 38 飲食店の従業員規模別店舗面積（厨房を含む）

従業員	店舗面積
1～4人	45 m ²
5～9人	126 m ²
10～19人	261 m ²
20～29人	441 m ²
30～49人	711 m ²
50～99人	1,341 m ²
100～199人	2,691 m ²
200～299人	4,491 m ²
300～499人	7,191 m ²
500～999人	13,491 m ²
1,000人以上	18,000 m ²

② グリーストラップ由来油脂の発生量原単位算出

グリース阻集器規格（SHASE-S217-2016）では、店舗面積（厨房を含む）と食種に応じた阻集器を選定するための基準が示されている。選定においては、阻集器に堆積する阻集グリース（グリーストラップ由来油脂）及び沈殿する堆積残さを考慮する必要があり、それぞれの量の計算式が示されている。通常の清掃及び回収では、阻集グリース及び堆積残さを同時に回収するが、ここでは PHBH 製造を想定した油脂原料としての賦存量を算定するため、阻集グリースのみの量に着目した。

グリーストラップ由来油脂の量 (kg/年)

$$= \text{店舗全面積 (m}^2\text{)} \times \text{店舗全面積 1m}^2 \cdot 1 \text{ 日あたりの阻集グリース量 (g/ (m}^2 \cdot \text{日))} \times (\text{回転数 (人/席} \cdot \text{日)} \div \text{補正回転数 (人/席} \cdot \text{日)}) \times \text{年間営業日数 310 日}$$

表 39 阻集グリース（グリーストラップ由来油脂）発生量及び堆積残渣量の標準値

食種	原単位	1m ² ・1日あたりの 阻集グリースの 発生量 g/(m ² ・日)	1m ² ・1日あたりの 堆積残渣量 g/(m ² ・日)
中華料理		18.0	8.0
洋食		9.5	3.5
和食		7.0	2.5
ラーメン		19.5	7.5
そば・うどん		9.0	3.0
軽食		6.0	2.0
喫茶		3.5	1.5
ファーストフード		3.0	1.0
社員食堂		6.5	3.0

(出典) グリース阻集器規格 (SHASE-S217-2016)

表 40 食種毎の1店舗あたりの阻集グリース（グリーストラップ由来油脂）発生量（kg/店舗・年）

食種	従業員・店舗面積 1 ～ 4人 45 m ²	5 ～ 9人 126 m ²	10 ～ 19人 261 m ²	20 ～ 29人 441 m ²	30 ～ 49人 711 m ²	50 ～ 99人 1,341 m ²	100 ～ 199人 2,691 m ²	200 ～ 299人 4,491 m ²	300 ～ 499人 7,191 m ²	500 ～ 999人 13,491 m ²	1,000人 以上 18,000 m ²
中華料理	465	1,085	2,139	3,627	5,673	10,695	21,452	35,805	57,319	107,539	143,499
洋食	496	744	1,240	1,891	2,852	5,084	9,641	16,089	25,079	47,058	62,775
和食	310	558	930	1,488	2,325	4,154	8,339	13,547	21,669	40,672	54,250
ラーメン	465	775	1,302	1,953	2,976	5,332	10,416	17,174	27,497	50,964	68,014
そば・うどん	217	372	589	899	1,364	2,449	4,805	7,936	12,710	23,529	31,403
軽食	155	341	651	1,116	1,736	3,286	6,479	10,819	17,329	32,519	43,400
喫茶	93	186	341	589	930	1,705	3,379	5,642	9,052	16,957	22,630
ファーストフード	93	186	372	620	992	1,891	3,720	6,200	9,920	18,600	24,800
社員食堂	341	465	682	961	1,395	2,387	4,619	7,533	11,842	22,196	29,605
平均値	279	527	930	1,457	2,263	4,123	8,091	13,423	21,390	39,990	53,382

3) 推計結果

① 発生量

全国の飲食店の従業員規模別の事業所数と、1店舗あたりの発生量原単位より、全国の飲食店からのグリーストラップ由来油脂の発生量は、約 33.0 万トン/年と推計した。また、持ち帰り・配達飲食サービス業についても飲食店と同じ原単位を用いて推計すると、約 4.0 万トン/年となり、2 業種の合計は約 37.0 万トン/年となった。

表 41 グリーストラップ由来油脂の発生量（全国、年間）

		1 ～ 4人 t/年	5 ～ 9人 t/年	10 ～ 19人 t/年	20 ～ 29人 t/年	30 ～ 49人 t/年	50 ～ 99人 t/年	100 ～ 199人 t/年	200 ～ 299人 t/年	300 ～ 499人 t/年	500 ～ 999人 t/年	1,000人 以上 t/年	総発生量 (従業員5 人以上) t/年	総発生量 (従業員5 人以上) t/年
76	飲食店	94,970	63,895	69,586	41,547	34,730	18,939	4,185	917	729	520	399	330,417	235,447
761	食堂、レストラン（専門料理店を除く）	7,866	4,970	5,493	5,081	5,859	1,427	712	228	171	80	160	32,047	24,181
762	専門料理店	27,856	30,179	37,928	22,036	17,154	6,862	1,557	444	336	268	214	144,834	116,978
76A	日本料理店	6,384	6,838	8,929	6,318	4,962	2,222	409	54	0	0	0	36,116	29,732
76B	中華料理店	12,900	14,081	17,824	8,451	5,508	2,332	622	215	229	108	0	62,270	49,370
76C	焼肉店	2,092	2,585	3,412	2,373	2,335	820	138	27	43	0	0	13,825	11,733
76D	その他の専門料理店	6,480	6,675	7,763	4,894	4,349	1,488	388	148	64	160	214	32,623	26,143
763	そば・うどん店	3,327	2,802	2,431	1,349	745	98	24	0	13	0	0	10,789	7,462
764	すし店	4,207	2,017	1,852	1,409	1,697	6,443	1,151	0	22	41	0	18,839	14,632
765	酒場、ビヤホール	22,748	12,178	12,548	6,134	4,623	1,719	340	161	107	40	0	60,598	37,850
766	バー、キャバレー、ナイトクラブ	20,626	8,402	4,189	1,118	835	441	105	40	21	0	0	35,777	15,151
767	喫茶店	4,709	1,445	1,597	1,612	1,061	201	57	11	18	17	0	10,728	6,019
769	その他の飲食店	3,631	1,902	3,548	2,808	2,756	1,748	239	33	41	74	25	16,805	13,174
76E	ハンバーガー店	32	70	498	717	1,444	1,484	134	6	20	74	25	4,504	4,472
76F	お好み焼・焼きそば・たこ焼店	3,231	1,222	1,264	449	149	33	0	0	0	0	0	6,348	3,117
76G	他に分類されない飲食店	368	610	1,786	1,642	1,163	231	105	27	21	0	0	5,953	5,585
77	持ち帰り・配達飲食サービス業	5,645	9,788	10,213	4,265	3,540	2,882	1,255	631	471	600	214	39,504	33,859
771	持ち帰り飲食サービス業	1,502	2,294	2,040	357	177	99	49	54	0	0	0	6,572	5,070
772	配達飲食サービス業	4,143	7,494	8,173	3,908	3,363	2,783	1,206	577	471	600	214	32,932	28,789

② 回収可能量

一般飲食店の場合、業種の特徴として小規模店舗が多いことが挙げられる。これらの小規模事業者は、回収への協力が困難なことが予想されるため、阻集グリース（グリーストラップ由来油脂）の回収可能量は、従業員 5 人以上の事業者を対象とした。さらに、協力率を設定し、回収に協力可能な事業所を 70%と設定した。

その結果、全国の飲食店からの回収可能量は約 16.5 万トン/年と推計された。また、持ち帰り・配達飲食サービス業は同様に 2.4 万トン/年と推計され、2 業種の合計は計 18.9 万トン/年となった。

③ 店舗の実際の状況を踏まえた考察

上記結果は、グリース阻集器規格（SHASE-S217-2016）にて示されている店舗面積当たりの発生原単位を用いて推計した。この規格では、表「阻集グリース発生量及び堆積残渣量の標準値」に示したように、堆積残渣に対して阻集グリースの発生量が多く設定されており、グリースと堆積残渣の合計に占めるグリースの割合は 7 割程度である。また、「グリース阻集器 選定基準」（日本阻集器工業会）²⁾によれば、「不明確な場合に当工業会が採用する掃除の周期」として、阻集グリースは 7 日ごと、堆積残渣は 30 日ごとが示されている。

一方、後述するように、本年度 27 店舗よりグリーストラップ油泥を入手し油脂を抽出した結果、店舗ごとに油脂回収率に大きく差が見られ、その平均は 3 割程度であった。また、回収（清掃）頻度は、月 1 回または 2 ヶ月に 1 回が多く、回収周期の平均は約 53 日であり、阻集グリースと堆積残渣を分けて回収しているケースは見られなかった（いずれもバキューム回収）。

したがって、現状の管理方法では、実際の油脂抽出率も踏まえると、発生ポテンシャルは上記で推計した量の 4 割程度になる可能性がある。その差分はグリーストラップで捕集しきれずロスとなっている可能性があり、回収量をポテンシャル量に近づけるためには、より高頻度な阻集グリースの回収を行う必要があることが示唆された。

（2）グリーストラップ油泥からの油脂抽出

加温分離により、グリーストラップ油泥から油脂抽出を行った結果を次表に示す。食品くずが多く含まれる No. 2、23、24 のサンプルと、ほとんどが水である No. 18 のサンプルは、加温後に油層が形成されなかったため、油脂が抽出できなかった。それ以外のサンプルに関して、油脂の抽出率で見ると、手回収サンプルは 9.0～86.3%の範囲、バキューム回収は 23.0～30.7%の範囲であった。バキューム回収サンプルは油層形成までに時間を要し、油層の厚みの変化が見られなくなるまでに 12 時間程度かかった。手回収のサンプルは 23 サンプル中室温（20℃程度）でも液体であるのは 9 個であった。一方、バキューム回収サンプルは全て固体であった。油脂の色について、手回収サンプルは明るい色から濃い黒色まで幅広いのに対して、バキューム回収サンプルは濃い褐色であった。以上のように店舗ごと個別に回収した手回収サンプルは、油脂回収率、固体か液体か、色に関して非常に多様であったが、混合されたバキュームサンプルは比較的均質であることが確認された。重量で数十%残る残渣は水だけでなく、食品くず及びそれに吸着した油分を相当量含むので、メタン発酵原料等に利用するのが適当である^{2),3)}。

²⁾ 日本阻集器工業会「グリース阻集器 選定基準」, <http://www.nihon-soshuki.jp/sentei/gre-23-1.pdf>

表 42 グリーストラップ油泥からの油脂抽出結果

No.	食種	抽出油量 (kg)	油脂抽出率 (%)	油脂の室温 での状態	油脂写真
1	ファミリーレストラン	4.41	86.3	固体	
2	ファミリーレストラン	—	—	—	
3	ファミリーレストラン	0.79	23.4	固体	
4	牛丼店、丼ものの店	0.78	17.2	固体	
5	牛丼店、丼ものの店	0.70	14.5	固体	
6	牛丼店、丼ものの店	0.81	29.4	固体	
7	カレー店	2.87	54.3	固体	
8	カレー店	2.54	50.0	液体	
9	カレー店	2.21	41.2	液体	
10	ラーメン店	3.26	64.0	液体	
11	ラーメン店	1.27	27.9	液体	
12	ラーメン店	0.60	28.8	固体	
13	中華料理店	0.29	9.0	液体	
14	中華料理店	1.62	34.6	液体	
15	中華料理店	2.00	44.3	固体	
16	焼肉	2.26	45.6	固体	
17	焼肉	0.59	12.4	固体	
18	焼肉	—	—	—	

No.	食種	抽出油量 (kg)	油脂抽出率 (%)	油脂の室温 での状態	油脂写真
19	食堂・定食・弁当店	3.15	77.1	液体	
20	食堂・定食・弁当店	1.59	34.4	液体	
21	食堂・定食・弁当店	1.79	61.1	液体	
22	ファストフード・ハンバー ガー店	1.78	45.5	固体	
23	ファストフード・ハンバー ガー店	—	—	—	
24	ファストフード・ハンバー ガー店	—	—	—	
25	居酒屋、バー	0.44	10.1	固体	
26	居酒屋、バー	0.52	12.7	固体	
27	居酒屋、バー	1.33	33.2	固体	
28	混合	1.34	30.7	固体	
29	混合	1.46	29.9	固体	
30	混合	1.25	23.0	固体	

(3) 抽出油脂の性状及び混入物

分離抽出した油脂の性状に関する項目は表 43、油脂の脂肪酸組成は表 44 にまとめた通りである。手回収サンプルに関しては、酸価は 1.4～190.0 mg/g、ヨウ素価は 52.4～105.0 g/100g といったように、既報の廃食用油の事例³⁾と比較しても極めて幅広い範囲で分布していることが明らかであった。過酸化物質価、アニシジン価等の他の指標でも同様に幅広い分布を示したが、廃食用油に関して報告されている数値の範囲と比較して大きく逸脱するものはほとんどなかった。グリシドールエステルに関してはほとんど検出されなかった。抽出油脂の脂肪酸組成に関しては、オレイン酸(C18:1)が最も大きな比率を占める場合が多く、このことは廃食用油を対象とした分析と一致している。一方で、パルミチン酸(C16:0)とステアリン酸(C18:0)の比率は廃食用油で報告される数値よりも明らかに高い傾向がある。この傾向は、抽出油脂が廃食用油よりもヨウ素価が低い傾向を示すことをよく説明している。下水道内において、油脂の遊離脂肪酸化が進むとともに、オレイン酸、リノール酸等がパルミチン酸等の飽和脂肪酸へ転化されることが米国の研究で報告されており⁷⁾、*Clostridium perfringens* 等の嫌気性微生物が加水分解やオレイン酸の飽和化に寄与していると推定されている^{7),8)}。有機物が豊

富で水中の溶存酸素が消費されやすいグリーストラップ内は嫌気性微生物の生育にとって好条件であると考えられ、そのような飽和化は起こりそうな反応である。バキューム回収サンプルは手回収サンプルと比較して各分析値の変動が小さく、既報の廃食用油での数値と比較して酸価は非常に高く、ヨウ素価は低い傾向であった。次図は、酸価と遊離脂肪酸濃度、ヨウ素価と飽和脂肪酸比率それぞれの間の有意な高い相関関係を示している。外れ値が存在することは廃食用油での報告と類似している⁴⁾。グリーストラップ由来の油脂には様々な成分の混入の可能性があるが、廃食用油やバイオディーゼル燃料の場合と同様に、グリーストラップ由来の油脂の場合にも、酸価は遊離脂肪酸濃度の指標、ヨウ素価は不飽和度の指標としてそれぞれ信頼できることが確認された。

表 43 抽出油脂の性状

No.	酸価 (mg/g)	ヨウ素価 (g/100g)	過酸化物价 (meq/kg)	アニシジン価	重合物 (%)	グリシドール エステル (mg/kg)
1	127.4	99.1	9.17	30.3	2.8	検出せず
3	179.8	81.2	8.60	測定不能*	0.6	検出せず
4	18.9	62.1	0.71	5.8	0.3	検出せず
5	91.6	92.0	6.91	21.1	2.1	検出せず
6	84.1	69.0	1.2	13	0.7	検出せず
7	39.9	61.5	2.5	16	1.1	検出せず
8	139.0	81.0	2.7	16	2.6	検出せず
9	107.0	60.5	1.5	測定不能*	1.8	検出せず
10	73.0	63.2	4.6	15	<0.1	検出せず
11	161.0	63.0	12.6	32	<0.1	検出せず
12	1.4	77.0	9.86	9.1	0.4	0.2
13	190.0	104.0	12.2	測定不能*	2.9	検出せず
14	124.0	84.0	2.1	17	2.3	検出せず
15	146.8	91.4	15.2	23.6	0.7	検出せず
16	181.2	73.1	1.63	15.2	1.4	検出せず
17	188.0	59.5	1.56	測定不能*	0.3	検出せず
19	47.9	105.0	6.0	32	3.8	検出せず
20	124.0	52.4	4.0	6.2	<0.1	検出せず
21	189.0	78.0	6.6	測定不能*	0.6	検出せず
22	30.1	61.1	2.91	14.8	0.7	検出せず
25	139.6	88.2	1.51	4.5	3.6	検出せず
26	84.7	85.7	62.11	21.0	12.4	検出せず
27	164.1	73.8	3.44	6.2	0.7	検出せず
28	169.4	76.5	16.25	測定不能*	1.3	検出せず
29	154.7	81.7	5.77	24.0	1.5	検出せず
30	165.2	76.1	9.64	10.6	1.2	検出せず
廃食用 油 ^{4),5)}	0.15～ 11.20	90～126	1.0～13.8	8.5～152.6		

*吸光度を基にした計算値がマイナスとなる

表 44 抽出油脂の主な脂肪酸組成（脂肪酸合計 100%中の%）

No.	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1 (n-9)	C18:2 (n-6)	C18:3 (n-3)	飽和脂肪 酸合計
1	0.5	15.1	0.9	4.7	31.9	42.0	45.4	21.3
3	1.9	18.1	1.2	5.8	45.1	22.5	2.5	28.1
4	2.5	23.8	2.7	12.0	47.9	7.9	0.8	39.7
5	0.8	15.2	1.0	7.1	44.7	25.4	3.8	24.2
6	2.2	19.8	1.9	13.0	43.5	11.9	1.8	37.5
7	1.9	24.0	2.6	13.4	44.5	8.1	0.7	40.9
8	1.4	20.6	2.0	10.7	39.3	19.5	2.2	34.0
9	1.8	25.3	2.3	14.2	42.5	8.9	0.6	42.4
10	1.4	25.1	2.2	13.6	43.3	10.1	0.6	41.0
11	1.4	24.5	2.1	14.4	44.1	8.9	0.6	41.0
12	0.8	21.8	1.1	8.4	48.1	16.3	1.71	31.8
13	1.5	18.1	1.1	6.9	29.8	31.8	3.2	28.0
14	1.0	17.0	1.6	10.0	44.7	19.5	2.3	29.2
15	0.4	16.2	1.1	7.0	34.9	35.86	2.93	24.5
16	1.5	18.9	1.5	9.6	51.7	13.3	1.2	31.5
17	2.6	27.4	1.9	10.8	46.8	8.3	0.32	42.0
19	0.7	11.9	1.2	4.9	45.3	27.3	5.7	18.8
20	1.7	28.1	1.8	20.0	38.8	5.9	0.5	50.5
21	1.4	21.8	2.7	8.6	44.3	15.2	1.0	32.6
22	1.0	28.5	1.6	11.4	44.8	10.4	0.43	41.5
25	0.8	14.9	1.1	5.7	48.4	23.6	3.42	22.6
26	0.8	15.1	0.9	5.9	49.6	21.7	2.5	23.1
27	1.6	22.7	1.3	10.9	38.9	20.6	1.1	36.6
28	1.2	22.3	1.1	8.0	42.5	19.2	2.2	32.9
29	0.9	18.9	1.2	7.8	45.1	20.8	2.5	28.6
30	1.1	20.7	1.1	7.6	43.4	20.5	2.3	30.6
廃食用油 ⁴⁾ , ⁶⁾		5.8～ 19.4	0.1～ 0.6	2.0～ 6.9	18.3～ 71.3	4.4～ 57.0	0.1～ 7.7	

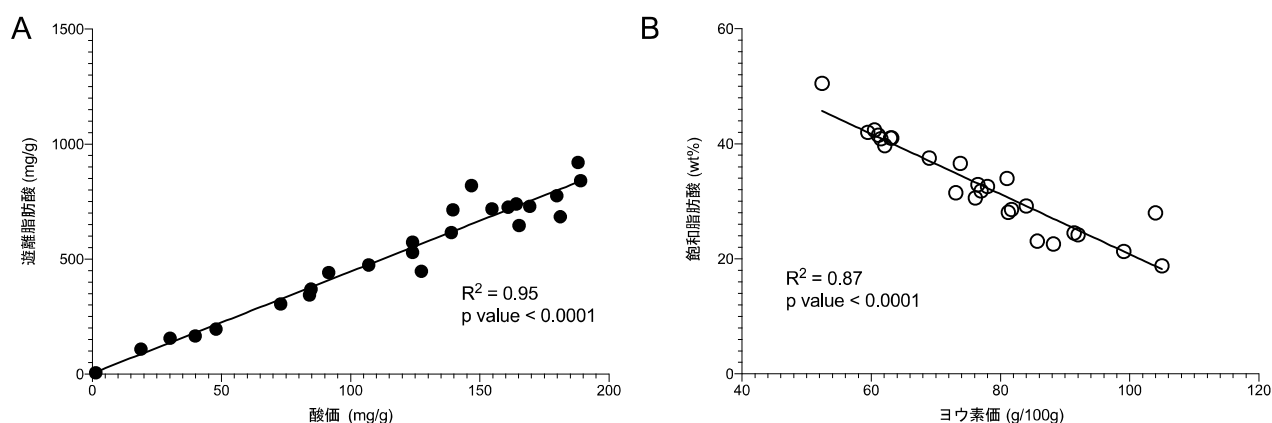


図 109 酸価と遊離脂肪酸濃度(A)及びヨウ素価と飽和脂肪酸比率(B)との相関関係

次表には抽出油脂中の混入物等に関連する指標の分析結果をまとめている。金属元素については、Na, Ca, Fe 以外は K を含めほとんど検出されなかった。表に示した結果はいずれも低い水準であり、表のような混入物が PHBH 生産に向けた培養試験において大きな阻害要因となる可能性は低いと考えられた。

表 45 抽出油脂における混入物等に関する分析結果

No.	きょう雑 物 (%)	シリコーン (ppm-Si)	雑菌量 (個/g)	Na (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Fe (mg/g)
1	<0.01	5.0	<300	0.382	<0.01	0.049	0.024
3	0.06	5.6	<300	0.379	<0.01	0.085	0.174
4	0.01	1.0	<300	0.377	<0.01	0.052	0.006
5	0.03	11.0	<300	0.449	<0.01	0.063	0.009
6	0.02	6	<10	<0.01	<0.01	0.046	0.003
7	<0.01	<5	<10	<0.01	<0.01	<0.01	0.004
8	0.01	18	<10	<0.01	<0.01	0.102	0.014
9	0.01	12	<10	<0.01	<0.01	<0.01	0.002
10	<0.01	<5	<10	<0.01	<0.01	0.039	0.011
11	<0.01	13	<10	<0.01	<0.01	0.015	0.022
12	<0.01	2.8	<300	0.395	<0.01	0.073	0.008
13	0.03	<5	分析未実施*				
14	<0.01	<5	<10	<0.01	<0.01	<0.01	0.004
15	0.03	1.9	<300	0.378	<0.01	0.052	0.012
16	0.24	4.1	<300	0.482	<0.01	0.514	0.016
17	0.05	12.5	<300	0.487	<0.01	0.842	0.075
19	<0.01	<5	<10	<0.01	<0.01	<0.01	0.001
20	<0.01	<5	<10	<0.01	<0.01	<0.01	0.001
21	0.01	<5	<10	<0.01	<0.01	0.011	0.022
22	0.02	2.0	<300	0.466	<0.01	0.087	0.007
25	0.05	5.1	<300	0.478	<0.01	0.084	0.016
26	0.09	1.6	<300	0.490	<0.01	0.243	0.095
27	0.07	3.7	<300	0.400	<0.01	0.071	0.015
28	0.35	20.6	<300	0.412	<0.01	0.704	0.641
29	0.03	5.7	<300	0.485	<0.01	0.137	0.177
30	0.52	16.6	<300	0.359	<0.01	0.161	0.230
廃食 用油 ⁹⁾				<0.02	<0.01	<0.01	

*油脂の残量不足による

次表には前回事業（令和3年度）にて報告された PHBH 原料向け油脂の受入可能実績範囲と本分析結果との比較を示している。過酸化価、アニシジン価、重合物に関しては、一部に高い数値を示すサンプルが存在するものの、ほとんどは実績範囲内である。一方、酸価とヨウ素価は範囲を大きく逸脱するサンプルがほとんどであった。従って、PHBH 生産の培養においては、グリーストラップ由来油脂の酸価とヨウ素価の廃食用油のそれらとの違いがどのように影響するかが焦点であると思われる。また、培地としての供給のしやすさの点から、室温で液体である方が望ましい。以上の点から、酸価がこれまでの実績範囲からさほど離れていないサンプルの中で、ヨウ素価が 61.5 g/100g と低めである No. 7 と、105 g/100g と高めである No. 19 を本年度の PHBHs 生産培養試験に供するサンプルに選定した。No. 7 は室温で固体であり、No. 19 は室温で液体である。サンプルは、少量の Na₂SO₄ に

よる脱水と油こし紙によるろ過を経て培養に供することとした。

表 46 R3 年度までの PHBH 原料向け受入可能実績範囲と本分析結果との比較

指標	低ヨウ素価実績	高ヨウ素価実績	手回収	バキューム回収
酸価 (mg/g)	0～30	0～8	1.4～190.0	154.7～169.4
ヨウ素価 (g/100g)	43～65	93～131	52.4～105.0	76.1～81.7
過酸化価 (meq/kg)	0～18.6		0.71～62.11	5.77～16.25
アニシジン価	5.2～67		4.5～24.0	10.6～24.0
重合物 (%)	0～5.4		0.3～12.4	1.2～1.5

(4) 抽出油脂性状と店舗でのトラップ管理状況との関係性

上述のように各店舗で手回収されたサンプルの油脂性状は幅広い分布を示した。油脂性状のばらつきは、各店舗で使用している食材、調味料等にも依存すると考えられるが、グリーストラップの運転管理状況からも影響を受ける可能性がある。飲食店のグリーストラップ管理に関するアンケートを実施した研究によれば、トラップの清掃頻度はほぼ毎日から数年に 1 回まで非常に幅広い¹⁰⁾。本研究では、店舗に関して本年度入手できた情報のうち、従業員による浮上油脂回収を実施している店舗は確認できなかったため、業者による油泥回収頻度と油脂性状との関係性を調査した。業者による油泥回収間隔（日数）と油脂の劣化に係る各分析項目との間の相関係数を次表にまとめた。過酸化価と重合物に関しては、回収間隔との間に有意かつやや高い正の相関が認められた。即ち、より長期間トラップ内で滞留している油泥が、それらの劣化指標も高い数値を示すことを意味している。アニシジン価は、本研究のサンプルでは測定の影響が生じることが確認されており、指標の信頼性に疑問が残る。酸価に関しては、正しく遊離脂肪酸濃度を表すことが確認されているものの、回収間隔との間には有意な相関は認められなかった。また、酸価は遊離脂肪酸濃度を除くと他の分析項目との間との相関係数も 0.1 以下であった。このように、酸価は取得したほとんどのデータとの間に相関を持たず、高低の原因を推察することができなかった。加水分解により油脂から遊離脂肪酸が生成する原因として、①フライ・グリル等の調理過程、②グリーストラップ流入口でのアルカリ洗剤との混和による加水分解、③嫌気性微生物の作用等が挙げられている⁸⁾。①については廃食用油でも同じように影響を受けるため、グリーストラップ由来の油脂に特徴的な高い酸価値は、②と③の影響が大きいのではないかと推定される。高い酸価値がどのようなメカニズムで生じたのかを理解するには、店舗で使用する洗剤の種類・量、トラップ内の pH、溶存酸素濃度、排水の滞留時間等の情報を取得して、関係性を調べていく必要があるようである。ヨウ素価は以前の研究において¹⁾、食種に対する依存が大きいことを確認している。本研究においてもカレーやラーメン等飽和度の高い油脂を含む食種や牛丼や焼き肉等の肉を多く含む食種のサンプルが低いヨウ素価を示す傾向がある。一方で、上述のように微生物に駆動される脂肪酸の不飽和化も起きるため、ヨウ素価はトラップの管理にも影響を受けようであるが、本年度入手したデータからその影響を評価することは困難であった。

表 47 油泥回収間隔と抽出油脂の各分析項目との相関係数及び p 値

	酸価	ヨウ素価	過酸化物質価	アニシジン価	重合物
回収間隔	0.073	0.489	0.700	0.256	0.692
	p = 0.740	p = 0.018	p < 0.001	p = 0.305	p < 0.001

4.3.4 まとめと課題

本研究では、飲食店舗等におけるグリーストラップに由来する低品質な油脂の有効利用に向け、発生ポテンシャルと油脂性状の評価を行い、以下の結論を得た。

- (1) 発生ポテンシャルに関しては、グリーストラップに由来する低品質な油脂は、全国の飲食店及び持ち帰り・配達飲食サービス業から年間約 37.0 万トン発生すると推計され、回収可能量は年間約 18.9 万トン（従業員 5 人以上、協力率 70%）と推計された。ただし、現状の管理状況ではこの 4 割程度となる可能性がある。
- (2) 手回収、バキューム回収両サンプルから一部を除き 60℃ の加温分離により油脂抽出が可能で、油脂抽出率は幅広く、9.0～86.3%の範囲であった。
- (3) 抽出された油脂は、混入物等の含有量が少なく純度の高い油脂であった。性状の点では、過酸化物質価、アニシジン価、重合物に関しては、これまでの PHBH 生産向け油脂の受入実績と比較して、大きく逸脱するサンプルはほとんどなかった。一方、廃食用油と比較して抽出油脂の酸価は非常に高く、ヨウ素価は低い傾向があり、これら 2 項目はこれまでの実績範囲を大きく逸脱するサンプルがほとんどであった。
- (4) 抽出油脂の劣化指標である過酸化物質価と重合物は、グリーストラップ油泥の業者による回収間隔との間に有意な正の相関を有していた。一方で、酸価は今回入手した店舗の情報との間の関係性を見出すことができなかった。

発生ポテンシャルについては、本年度は飲食店（持ち帰り・配達飲食サービス業も含む）を対象としたが、さらに各種給食施設や食品加工工場等からの発生量推計を行う予定である。

PHBH 原料としての有効利用に際して、原料の油脂は性状に関する規格を満たすとともに、品質の安定性も確保する必要がある。分析結果から明らかになったように、各店舗で回収したサンプルの油脂性状には大きなばらつきがある。一方で、バキューム一括回収サンプルは性状の変動が小さいものの、酸価が著しく高いことが確認されている。ヒアリングによれば、飲食店では従業員がトラップから別容器に移動させ、保管した廃油脂を業者が引き取る場合も存在する。また、食品加工工場の排水から 1 日あたり数百 kg の油脂を分離回収し、有効利用している事例もある¹¹⁾。抽出油脂の品質及び安定性確保に向け、次年度は飲食店舗由来の油脂に関する酸価及びヨウ素価の変動と店舗の厨房・トラップの管理状況との関係性の解明、及び食品関連工場からの多量の均質なグリーストラップ油泥回収可能性の評価に取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) Kobayashi, T., Kuramochi, H., Xu, K-Q. et al. (2020) Simple solvatochromic spectroscopic quantification of long-chain fatty acids for biological toxicity assay in biogas plants, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27, 17596–17606
- 2) Kobayashi T., Kuramochi H., Maeda K., Tsuji T., Xu K-Q. (2014) Dual-fuel production from restaurant grease trap waste: Bio-fuel oil extraction and anaerobic methane production from the post-extracted residue. *Bioresour. Technol.*, 169, 134-142
- 3) Kobayashi T., Kuramochi H., Xu K-Q. (2017) Variable oil properties and biogas production of grease trap waste derived from different resources. *Int. Biodet. Biodeg.*, 119, 273-281
- 4) 中村一夫, 池上詢 (2006) 京都市における廃食用油の排出実態とバイオディーゼル燃料の性状について, *廃棄物学会論文誌*, 17(3), 193-203
- 5) 梶本五郎 (1994) 廃食用油の有効利用, *油化学* 43 (4), 305-313
- 6) 今原 裕章, 南 英治, 服部 亮 (2007) バイオディーゼル燃料製造のための油脂資源の現状と展望, *エネルギー・資源*, 28(3), 175-179
- 7) Williams JB, Clarkson C, Mant C, Drinkwater A, May E. (2012) Fat, oil and grease deposits in sewers: characterization of deposits and formation mechanisms, *Water Res.*, 46(19), 6319-6328
- 8) Xia He, Francis L. de los Reyes III & Joel J. Ducoste (2017) A critical review of fat, oil, and grease (FOG) in sewer collection systems: Challenges and control, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47:13, 1191-1217
- 9) 倉持秀敏 (2012) 廃油脂類を原料とした動脈静脈連携型の次世代バイオディーゼル燃料製造技術の開発と評価, 平成 23 年度環境研究総合推進費補助金 研究事業総合研究報告書
- 10) 登美鈴恵, 池本良子, 中木原江利, 江川史将 (2011) 飲食店廃水の特性およびグリストラップの機能と管理に関する調査, *土木学会論文集 G(環境)*, 67(7III), 633-641
- 11) 大塚俊彦, 安久絵里子, 野口良造 (2016) 油水分離プロセス導入による排水処理能力の向上と CO₂ 排出削減, *農業情報研究*, 25(1), 29-38

4.4 事業3の成果の要点

「事業3：国産 PHBH 原料開発」では、前回事業において利用技術の開発を進めた廃食用油に加え、国産油糧作物（ジャトロファ・菜種）及び低品質な廃食用油（トラップグリース油）を PHBH 原料として利用することを念頭に、油糧作物の国内栽培技術の検討及び低品質な廃食用油（トラップグリース油）の発生量の推計及び生活系・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、バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化の検討、耐品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発に向けた検討を進めた。本年度の主な検討成果と今後の課題は以下に示すとおり。

4.4.1 ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立

ジャトロファについては、熱帯地域のプランテーションの実績や、前回事業での栽培検討状況を踏まえ、国内栽培の目標を1樹1年あたり種子500g程度、1ヘクタールの樹園あたり年間2500kgの種子生産と設定した。ジャトロファ樹の果実生産量を増やすためには花芽をたくさんつけさせることが重要である。そのためには日本の気候に応じた剪定方法を確立して新梢数を確保すること及び寒さの傷害を減らして越冬させることが必要である。本年度は、京都地域でのジャトロファの無加温の越冬のために、スケルトン温室を整備するとともに、越冬と収穫作業性の向上のため温室の枠内に収まるように剪定による矮化を行った。また、より温暖な瀬戸内海沿岸地域（岡山県笠岡市、広島県尾道市、愛媛県松山市）にてポット栽培及び露地栽培を実施中である。

菜種については、前回事業の結果から、水田裏作での生産量をhaあたり2トンと設定した。本年度は、京都地域にて水稻の収穫後に菜種を播種し、メタン発酵消化液のみを用いて栽培を行っている。また、近年飼料価格が高騰しているため、コスト低減のため搾油後の菜種粕を飼料として利用することを考え、菜種を畜産の盛んな岡山県笠岡市にてメタン発酵消化液を用いて栽培することを試みている。

次年度も栽培検討を継続し、栽培目標に対する到達点、及び、栽培地や栽培管理方法が収量に与える影響を確認する。

4.4.2 バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化

本年度は、肥料成分の濃度の低いバイオガス化消化液について、少ないエネルギー投入量でその利用性を向上させることを目指し、夏季の太陽熱／密閉温室を使用した酸性化バイオガス化消化液の濃縮とペレット肥料の製造、小規模な圃場への消化液の散布方法を試行した。今後、栽培による収穫と併せてその評価を行っていく。

4.4.3 低品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発

本年度は、飲食店舗等におけるグリーストラップに由来する低品質な油脂の有効利用に向け、発生ポテンシャルと油脂性状の評価を行った。

発生ポテンシャルに関しては、グリーストラップに由来する低品質な油脂は、全国の飲食店及び持ち帰り・配達飲食サービス業から年間約37.0万トン発生すると推計され、回収可能量は年間約18.9万トン（従業員5人以上、協力率70%）と推計された。ただし、現状の管理状況ではこの4割程度となる可能性がある。

飲食店等から回収したグリーストラップ油泥より油脂を抽出すると、手回収、バキューム回収両サ

ンプルから一部を除き 60℃ の加温分離により油脂抽出が可能で、油脂抽出率は幅広く、9.0～86.3%の範囲であった。抽出された油脂の性状は、排出源によって大きなばらつきがあり、概して廃食用油と比較して酸価が非常に高く、ヨウ素価は低い傾向があり、これら 2 項目はこれまでの PHBH 原料化の実績範囲を大きく逸脱するサンプルがほとんどであった。そのうち比較的酸価の低い 2 検体を PHBH 培養生産試験に供した（2. 2 参照）。

次年度は、抽出油脂の品質及び安定性確保に向け、次年度は飲食店舗由来の油脂に関する酸価及びヨウ素価の変動と店舗の厨房・トラップの管理状況との関係性の解明、及び食品関連工場からの多量の均質なグリーストラップ由来油脂の回収可能性の評価に取り組んでいく予定である。

5. PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析（LCA の検証・評価）（事業4）

5.1 目的

PHBH 製食品容器を社会実装した際の環境負荷削減効果を明らかにすることを目的に、PHBH 製食品容器のライフサイクル分析と、それを導入した資源循環システムのシナリオ分析を京都市をケーススタディとして行った。

5.2 方法

5.2.1 PHBH 製食品容器のライフサイクル分析

資源循環システムを念頭に置いた使用後の PHBH 製食品容器を含む家庭系一般廃棄物処理システムのシナリオ分析を実施するに先立って、PHBH 製食品容器のライフサイクル分析を実施し、汎用樹脂製（化石原料由来）食品容器と比較した。

<対象とする食品容器と処理シナリオ>

調査対象は次図に示した汎用樹脂製及び PHBH 製のお弁当容器本体（蓋を含まない）とした。表 48 に容器製造メーカーへのヒアリングにより入手した素材、重量、シート厚みを示した。なお、PHBH 製食品容器は本実証 PJ における試作段階のものであり、シート厚みを 350 μm に増すなどの検討もされているところである。今後の技術開発によってシート厚み・重量や後述の消費電力は改善される余地もある点には留意が必要である。

PHBH の原料はパーム油または廃食用油とし、樹脂原料やプラスチック素材、処理方法別に表 49 に示した 5 ケースを設定した。



図 110 対象とした食品容器（左:汎用樹脂製 右:PHBH 製）

表 48 LCA 対象食品容器の素材、重量、シート厚みのヒアリングデータ

		汎用樹脂製	PHBH 製
素材	—	PS70%PP30%	PHBH100%
重量	[g-dry]	14.0	13.3
シート厚み	[μm]	370	300

表 49 食品容器 LCA の原料及び処理方法の設定

	樹脂	樹脂原料	処理方法
1.	PHBH	パーム油	メタン発酵
2.		廃食用油	メタン発酵
3.		パーム油	焼却発電
4.		廃食用油	焼却発電
5.	PS70%PP30%	ナフサ	焼却発電

＜機能単位とシステム境界＞

機能単位は「食品容器 1000 個の製造」とした。システム境界は「原料の採掘または栽培・輸送から、食品容器の製造、廃棄」とし、容器使用段階ならびに使用後の廃棄物収集プロセスはシステム境界外とした。次図に一例として、廃食用油由来 PHBH 製食品容器をメタン発酵で処理するケース（ケース 2）のフロー図を示した。上流側（原料採掘～食品容器製造）については水分を考慮せず乾重量ベースで計算し、下流側（廃棄処理）については水分が加わり湿重量ベースで計算した。

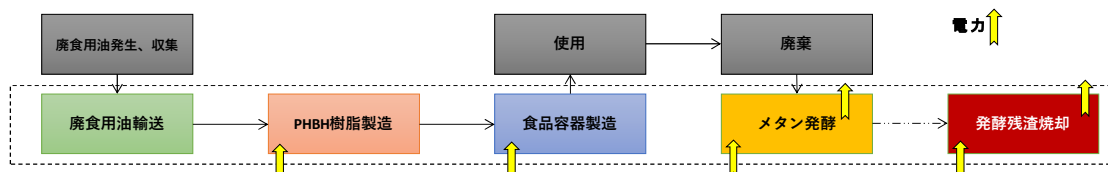


図 111 ケース 2：廃食用油由来 PHBH 製食品容器の製造からメタン発酵までのフロー図
（点線：システム境界）

＜環境影響領域＞

環境影響領域は気候変動とし、CO₂、CH₄、N₂O を対象に GWP100 年値として 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）の値ⁱ⁾を用いて特性化を行った。なお、バイオマス由来炭素から生じた CO₂ は、カーボンニュートラルの考え方にに基づき、GHG に計上していない。

＜プロセスモデル設計＞

各プロセスモデルは基本的に前回事業ⁱⁱ⁾を踏襲している。各プロセスにおける計算方法の概要及び主要パラメータをそれぞれ表 50、表 51 に示した。

表 50 プロセスモデル設計概要

プロセス	概要
パーム栽培～輸入	・ マレーシア産パームの栽培、日本への輸入まで。 ・ インベントリデータは GaBi を用いた前回事業 ⁱⁱ⁾ での解析のとおり。
廃食用油収集	・ インベントリデータは前回事業 ⁱⁱ⁾ での解析のとおり。
PHBH 樹脂製造	・ 前回事業で検討した生ごみ収集袋向けと食品容器向けで違いはないと仮定し、インベントリデータはヒアリングにより入手した前回事業 ⁱⁱ⁾ での解析のとおり。
原油採掘～(化石資源由来)汎用樹脂製造	・ IDEA ver3.2 ⁱⁱⁱ⁾ より、PP 及び PS 製造のインベントリデータを使用した。
食品容器製造	・ インベントリデータは食品容器製造メーカーへのヒアリングにより入手した。
焼却	・ 消費電力及び燃焼時の CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O の直接排出を計上した。インベントリデータは前回事業 ⁱⁱ⁾ での解析のとおり。
焼却発電	・ 発電効率は 20%と設定した (設定値)。
メタン発酵 (AD)	・ 高温乾式メタン発酵方式を採用し、発酵及び廃水処理の消費電力、CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O の直接排出を評価した。残渣は焼却されるとした。 ・ インベントリデータは前回事業 ⁱⁱ⁾ での解析のとおり。
AD 発電	・ 発電効率は 37.3% ^{iv)} とした。

表 51 各プロセスモデルの主要パラメータ

プロセス	パラメータ名称	値	単位	設定根拠
共通	電力二次換算係数	3.6	[MJ/kWh]	SI 単位
	電力 CO ₂ 排出係数	0.441	[kg-CO ₂ /kWh]	環境省(2023) ^{v)}
	CH ₄ 低位発熱量	35.9	[MJ/Nm ³]	日本工業炉協会(1997) ^{vi)}
	廃食品容器の含水率	3.5	[%]	a
	GWP100 年値 : CH ₄	25	[kg-CO ₂ eq/kg]	IPCC(2007) ^{j)}
	GWP100 年値 : N ₂ O	298	[kg-CO ₂ eq/kg]	IPCC(2007) ^{j)}
食品容器製造	消費電力 (汎用樹脂製)	1,606	[kWh/t-dry]	今年度ヒアリング
	消費電力 (PHBH 製)	3,276	[kWh/t-dry]	今年度ヒアリング
メタン発酵	バイオガス中メタン比率	57	[%]	生ごみと同じと仮定 (生ごみ組成と化学量論式より算定 ⁱⁱ⁾)
	廃水発生量	0.8	[t/t-wet]	京都高度技術研究所(2010) ^{vii)}
	発酵残渣含水率	62	[%]	設定値 ⁱⁱ⁾
	窒素の廃水への移行率	5.0	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{vii)}
	消費電力(発酵関連)	357.5	[kWh/t-TS]	京都高度技術研究所(2010) ^{vii)}
	消費電力(廃水処理)	32.5	[kWh/t-廃水]	京都高度技術研究所(2010) ^{vii)}
	PHBH 有機物分解率	90	[%]	設定値 ⁱⁱ⁾
	CH ₄ 排出係数	0.0059	[kg-CH ₄ /m ³]	環境省(2006) ^{viii)}
	N ₂ O 排出係数	0.0045	[kg-N ₂ O/t-N]	環境省(2006) ^{viii)}
	AD 発電 発電効率	37.3	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{vii)}
焼却	CH ₄ 排出係数	0.96	[kg-CH ₄ /kg-waste]	環境省(2009) ^{ix)}
	N ₂ O 排出係数	0.0565	[kg-N ₂ O/t-waste]	環境省(2009) ^{ix)}
	消費電力	150	[kWh/t-wet]	酒井 (2005) ^{x)}
焼却発電	発電効率	20	[%]	設定値

a : 2010 年度から 2018 年度の京都市家庭ごみ細組成調査^{xi)}における含水率の平均値

5.2.2 PHBH を導入した資源循環システムのシナリオ分析

PHBH 製生ごみ収集袋を用いて家庭系生ごみを収集・バイオガス化する資源循環システムを評価した前回事業ⁱⁱ⁾の対象範囲を、PHBH 製食品容器まで拡張した資源循環を温室効果ガス削減の観点から評価する。ただし、前回事業では家庭系・事業系一般廃棄物を対象にしていたが、本年度の解析では家庭系のみを対象にしていることなど、想定する廃棄物や PHBH 代替品の対象範囲が一部異なっている。

<機能単位とシステム境界>

「京都市における一年間の家庭系燃やすごみ及び家庭系プラスチック製容器包装ごみ（プラ容）の処理・再資源化」及び「京都市民が一年間に消費する食品容器の提供」及び「京都市における家庭系及び事業系廃食用油の処理・再資源化」を機能単位とし、次表に各機能単位の廃棄物・資源化物の量を示した。ただし、次表の備考欄に示したとおり、後者 2 つの機能単位については、京都市の食品容器、廃食用油の消費量・排出量の全量を対象とはせず、PHBH 用途で消費もしくは代替される量を対象とした。家庭系ごみ、プラ容の排出量は 2021 年度実績^{xii)}を用いた。

表 52 機能単位と廃棄物・資源化物の量

機能	量	備考
京都市における一年間の家庭系燃やすごみ及び家庭系プラスチック製容器包装ごみの処理・再資源化	(燃やす)180,270 t/年 (プラ容) 10,594 t/年	食品容器については PHBH 素材代替前の汎用樹脂ベースの湿重量で表記している。
京都市民が一年間に消費する食品容器の提供	4,747t/年	家庭系燃やすごみもしくはプラスチック製容器包装ごみとしての排出量のうち、PHBH 素材による代替がなされる PP, PS, PET 製食品容器の量のみを対象とする。PHBH 素材代替前の汎用樹脂ベースの湿重量で表記している。
京都市における家庭系及び事業系廃食用油の処理・再資源化	2,086 t/年	PHBH 樹脂製造に必要な量のみを対象とする。

システム境界は「プラスチック樹脂原料の調達、食品容器の製造、家庭系燃やすごみ及びプラスチック製容器包装の収集、廃食用油の収集からごみ及び廃食用油の処理・再資源化」とした。

<環境影響領域>

5.2.1 項と同様、環境影響領域は気候変動とした。

<PHBH 対象製品とシナリオ設定>

PHBH の原料は廃食用油のみとし、前回事業で開発した生ごみ収集袋、食品容器を PHBH 用途とした。次表に各シナリオにおける PHBH 製品の有無及びごみの分別収集区分、処理方法を示した。生ごみ以外の分別収集区分で使用するごみ袋素材は汎用樹脂（PE 製）としている。

表 53 廃棄物処理シナリオ設定

シナリオ	PHBH 製品	分別収集区分	処理方法
S0：全焼却	×	混合	焼却発電
S1：ベースライン	×	燃やす、プラ容	燃やす：焼却発電 プラ容：MR・CR
S2_a：生ごみと PHBH 製食品容器を別々収集、AD	○	燃やす、プラ容、 生ごみ、 PHBH 製食品容器	燃やす：焼却発電 プラ容：MR・CR 生ごみ：AD PHBH 製食品容器：AD
S2_b：生ごみと PHBH 製食品容器を一括収集、AD	○	燃やす、プラ容、 生ごみ+PHBH 製食品容器	燃やす：焼却発電 プラ容：MR・CR 生ごみ+PHBH 製食品容器：AD

MR・CR：マテリアルリサイクル・ケミカルリサイクル、AD:メタン発酵

シナリオ0：全焼却

家庭系燃やすごみ及び家庭系プラ容はすべて混合収集され、廃食用油とともに焼却処理される。

シナリオ1：ベースライン

一般的な自治体の現状を想定したシナリオとしており、燃やすごみとプラ容は分別収集される。燃やすごみは焼却処理、プラ容は選別ののちマテリアルリサイクル及びケミカルリサイクルされる。廃食用油は全量 BDF 化されるとした。

シナリオ2_a:PHBH 製食品容器と生ごみを別々収集してAD

シナリオ1をベースに PHBH 製食品容器の導入、生ごみの分別収集及びメタン発酵を追加したシナリオである。生ごみ及び PHBH 製食品容器は PHBH 製ごみ袋で別々に分別収集するとした。ごみ袋のサイズは生ごみ 5L、PHBH 製食品容器 10L を用いるとした。廃食用油は PHBH 樹脂製造の原料としてすべて用いたため、BDF 利用はないとした。なお、廃食用油の機能単位は本シナリオで消費する量から設定したものである。

なお、実際の京都市においては、生ごみは分別収集されずに燃やすごみとして収集し、施設において機械選別を経てメタン発酵を行っているが、本解析では分別収集を行う想定となっている。また、機械選別の際に紙ごみ等他の有機物も一緒にメタン発酵されるが、本解析では生ごみ以外のメタン発酵は評価していない点に留意が必要である。

シナリオ2_b：PHBH 製食品容器と生ごみを一括収集してAD

PHBH 製食品容器及び生ごみを PHBH 製ごみ袋で一括収集し、メタン発酵を行う点がシナリオ2_aと異なる。PHBH 樹脂製造の原料は廃食用油ですべて賄われ、余った廃食用油は BDF 化されるとした。ごみ袋のサイズは 10L を用いるとした。

PHBH 製食品容器が各分別収集区分にどの程度の割合で排出されるかの設定は次表に示したとおりである。PHBH 製食品容器は汎用樹脂との判別が難しいことから誤って一定量がプラ容にも排出されと考えられる。プラスチック製容器の分別率を参考に、7割が「PHBH 製食品容器」(S2_a) もしくは「生ごみ+PHBH 製食品容器」(S2_b) として正しく分別され、残りの3割が燃やすごみとプラ容にそれぞれ 7:3 で排出されるとした。

表 54 S2 シナリオにおける PHBH 食品容器の排出先割合の設定

燃やすごみ	プラ容	「PHBH 製食品容器」もしくは 「生ごみ+PHBH 製食品容器」
0.21	0.09	0.70

＜ごみ組成と PHBH 導入量＞

次表に示したとおり、燃やすごみ並びにプラ容のごみ組成は京都市の 2021 年度の家庭ごみ細組成調査^{xii)}を用いた。

表 55 京都市の家庭ごみ組成（2021 年度）^{xii)}

組成	燃やすごみ	プラ容
紙類	31.6%	0.7%
プラスチック類	11.3%	87.7%
繊維類	6.3%	0.3%
ゴム・皮革類	0.8%	0.1%
ガラス類	1.2%	0.1%
金属類	3.1%	7.6%
陶磁器類	0.4%	0.0%
生ごみ	38.5%	2.2%
その他	6.8%	1.3%
合計	100.0%	100.0%

さらに、プラスチック類については、表 56 に示した中分類組成^{xii)}をもとに、「食品容器」、「指定袋」、「その他プラスチック」の排出量（湿重量）を計算した。さらに、食品容器については今年度（2023 年度）の家庭ごみ細組成調査で排出実態調査を行い、表 57 のとおり素材別割合を計算した。

表 56 プラスチック類の中分類組成^{xii)}

	燃やすごみ	プラ容
食品容器	14.1%	42.0%
指定ごみ袋	6.5%	0.0%
その他プラスチック	79.4%	58.0%

表 57 食品容器ごみの素材組成

素材	燃やす	プラ容
PP	18.7%	16.9%
PS	27.5%	22.5%
PET	17.7%	35.4%
PE	2.3%	0.9%
EPS	18.5%	17.0%
PVC	1.5%	3.2%
その他	13.8%	4.2%

PHBH の導入量について、PHBH 製食品容器は現在の開発段階において色は「半透明」で、材質は「比較的軟質」という特徴がある。食品容器の色は食品をよりおいしく見せたり、中身をわかりやす

くしたりする効果があり重要な要素である。透明の容器は中身の製品が見えるという特徴があり、半透明の容器はこれを損なうため、透明の製品は代替に適さない。また、素材については汎用樹脂の PP、PS、PET を対象とした。すなわち、今年度（2023 年度）の家庭ごみ細組成調査で行った排出実態調査結果を元に、色が「透明」以外で、かつ素材が PP、PS、PET の食品容器の排出量 1,876 t/年（代替前の汎用樹脂重量ベース）を代替可能なポテンシャル量とし、これを表 52 に示したとおり機能単位とした。なお、この量は家庭ごみに排出されたプラスチック製食品容器ごみの最大約 28% に代替可能性があるという結果を意味する。また、5.2.1 項と同様に含水率 3.5% や汎用樹脂と PHBH 製食品容器の重量比を用いて必要な PHBH 乾重量（PHBH 導入力）を計算した。

また、シナリオ 2 においては、生ごみと PHBH 製食品容器の収集に PHBH 製ごみ収集袋を用いる。収集に必要な PHBH 製袋の量を計算すると同時に、代替される同量のごみの収集に必要なだった PE 製ごみ収集袋の量を計算し、指定袋の排出量から減算した。ごみ袋の量は以下の式で計算した。

$$Bw = \frac{Bd}{1 - w} \quad \cdots \text{(Eq. 1)}$$

$$Bd = \frac{b \times n}{1000} = \frac{b}{1000} \times \frac{V}{v \times r} = \frac{b}{1000} \times \frac{W}{d} \times \frac{1}{v \times r} \quad \cdots \text{(Eq. 2)}$$

Bw	: 生ごみ収集袋湿重量 [t-wet/year]
Bd	: 生ごみ収集袋乾重量 [t-dry/year]
w	: 含水率 [%] (=8% ^{xiii)})
b	: 袋一枚当たり重量 [g]
n	: 必要ごみ袋枚数 [千枚/year]
v	: ごみ袋容積 [L]
r	: ごみ袋充填率 [%]
V	: 収集ごみ容積 [L]
W	: 収集ごみ重量 [t]
d	: 収集ごみ密度 [t/m ³]

次表に計算で用いたパラメータ及び、袋重量の計算結果を示した。ごみの密度、充填率は家庭ごみ細組成調査^{xiii)}、ごみ収集袋の重量はヒアリング、ごみ収集袋の容積は PHBH 製の生ごみ収集のみ前回事業結果^{iv)}を用い、他は設定値とした。

表 58 シナリオ毎のごみ収集袋量計算のパラメータと計算結果

	パラメータ	単位	記号	S2_a		S2_b
				生ごみ	PHBH 製食品容器	生ごみ+PHBH 製食品容器
ごみ量	排出重量	[t/年]	W	34,702	1,328	36,030
	密度	[t/m ³]	D	0.460	0.042	0.337
PE 袋	容積	[L]	v	5	10	10
	充填率	[%]	r	80%	77%	79%
	一枚当たり重量	[g/枚]	b	7.7	12.1	12.1
	必要枚数	[千枚/年]	$n=V/(v*r)$	18,860	4,106	13,638
	ごみ袋乾重量	[t-dry/年]	$Bd=b*n/1000$	145.2	49.7	165.0
	ごみ袋湿重量	[t-wet/年]	$Bw=Bd/(1-w)$	157.8	54.0	179.4
PHBH 袋	容積	[L]	v	4.6	10	10
	充填率	[%]	r	80%	77%	79%
	一枚当たり重量	[g/枚]	b	8.4	13.7	13.7
	必要枚数	[千枚/年]	$n=V/(v*r)$	20,566	4,106	13,638
	ごみ袋乾重量	[t-dry/年]	$Bd=b*n/1000$	173.3	56.0	186.2
	ごみ袋湿重量	[t-wet/年]	$Bw=Bd/(1-w)$	188.3	60.9	202.3

<廃食用油の用途内訳>

PHBH 樹脂を最も多く必要とする S2_a の供給に必要な廃食用油 2086t を、本解析の機能単位で扱う廃食用油の収集量とした。全量焼却する S0 を除き、樹脂原料として用いない分の廃食用油は BDF 化するとした。廃食用油利用量の内訳を次図に示した。なお、収集プロセスの軽油消費量の計算過程において、家庭系と事業系で計算パラメータが異なるため、京都市における家庭系及び事業系廃食用油賦存量の比率を用いて按分した。

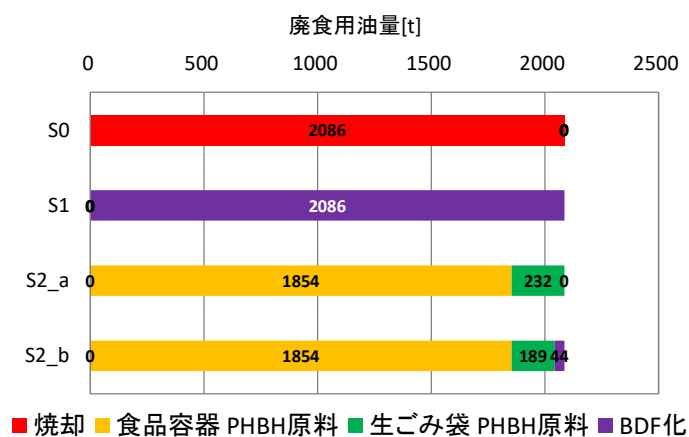


図 112 シナリオ毎の廃食用油利用量内訳

<プロセスモデル設計>

各プロセスの概要は次表に示したとおりである。

表 59 各プロセスの概要

プロセス	概要
原油採掘～（化石資源由来）汎用樹脂製造	・ IDEA ver3.2 ^{xiv} より、PP、PS、PET、PE 製造のインベントリデータを使用した。
PHBH 樹脂製造	・ 5.2.1 項のとおり。
ごみ収集袋製造	・ 汎用樹脂 PE 製ごみ収集袋は IDEA ver3.2 ^{xv} のインベントリデータを使用した。 ・ PHBH 製ごみ収集袋は前回事業 ⁱⁱ での解析のとおり。
食品容器製造	・ 5.2.1 項のとおり。
廃食用油収集	・ 収集車の軽油消費を京都市ヒアリング及び ISHIKAWA(1996) ^{xvi} のグリッドシティモデルを用いて算出した。
ごみ収集	・ 京都市ヒアリング及び ISHIKAWA(1996) ^{xvi} のグリッドシティモデルを用いて算出した。
BDF 製造	・ 製造過程の消費電力及び燃料消費、製造された BDF による軽油代替を評価した ^{xvii} 。BDF による軽油代替量は走行距離等価で評価した。詳細は前回事業 ⁱⁱ での解析のとおり。
焼却	・ 5.2.1 項のとおり。
焼却発電	・ S0、S1 は 15%、生ごみのメタン発酵を伴う S2 以降は焼却施設も更新されるとして昨年度同様 20%の発電効率とした。
メタン発酵 (AD)	・ 5.2.1 項のとおり。
AD 発電	・ 5.2.1 項のとおり、発電効率は 37.3% ^{xviii} とした。
埋立	・ 準好気性埋立を想定し、消費電力及び重機の軽油消費 ^{xix} 、GHG の直接排出 ^{xx} を評価した。詳細は前回事業 ⁱⁱ での解析のとおり。
容器包装プラスチック選別	・ 選別機械による消費電力を評価し、残渣は焼却とした。残渣発生率、消費電力については稲葉(2005) ^{xxi} のデータを用いた。 ・ なお、解析結果においては、容器包装プラスチックリサイクルプロセスと統合して示した。
容器包装プラスチックリサイクル	・ プラ容の各リサイクルへの廃プラベールの提供割合は、2021 年度の実績値 ^{xxii} に基づき、マテリアルリサイクル (MR) 40.3%、ケミカルリサイクル (CR) のうちコークス炉原料化 45.7%、高炉還元 6.3%、ガス化 7.6%とした。 ・ 本プロセスに流入した PHBH 製食品容器は除去され焼却処理されるとした。 ・ MR：化石燃料消費量、再生品廃棄段階の CO ₂ を計上し、再生品により代替されるバージン樹脂製造時の GHG 排出量を差し引いた。残渣は焼却処分されるとした。 ・ CR：化石燃料消費及び GHG 直接排出、再生品によるエネルギー代替を評価した。残渣は焼却処分されるとした。 ・ インベントリデータ及びパラメータは日本容器包装リサイクル協会 (2007) ^{xxiii} 、JLCA-LCA ^{xxiv} から得た。

5.3 結果

5.3.1 PHBH 製食品容器のライフサイクル分析

次図にライフサイクル分析の結果を示した。汎用樹脂製と比較して、PHBH 樹脂製はすべてのケースで GHG 削減効果がみられた。汎用樹脂と比べ PHBH は熱量が低いため焼却発電時の発電代替効果は減少するものの、燃焼時の CO₂ が排出されない（カーボンニュートラル）効果が大きく表れた。最もライフサイクル GHG 排出量が少ないのは、廃食用油を原料とした PHBH 製食品容器をメタン発酵により処理した場合で、汎用品を焼却するケースと比較して 62.0% (48.4 kg-CO₂eq) 削減された。

つづいて、PHBH 製食品容器のケース同士を比較する。原料に着目すると、パーム油と比較して、廃食用油を原料とした場合は生産時の GHG は 12.4 kg-CO₂eq 削減され、国内で発生する廃食用油を利用することの優位性が確認された。

また、処理方法については、メタン発酵のケースが焼却よりも 2.8 kg-CO₂eq だけ僅かに小さかった。一般的に食品容器の含水率は生ごみよりも低いため、食品容器の低位発熱量が生ごみよりも高く、焼却発電でも一定のエネルギー回収が可能なためである。ただし、パラメータの不確実性を踏まえると、両者は逆転し得る差異と考えられ、メタン発酵での分解性能など、次年度以降も引き続き検討が必要である。

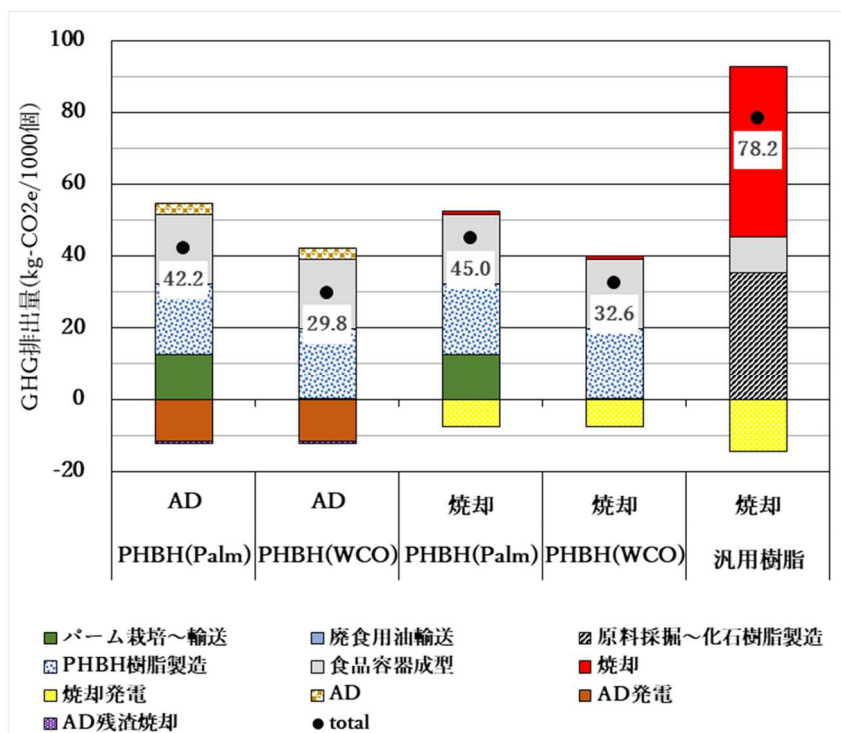


図 113 食品容器の LCA 結果
(Palm : パーム油原料、WCO : 廃食用油原料)

5.3.2 PHBH を導入した資源循環システムのシナリオ分析

シナリオ分析結果を次図に示した。一般自治体を想定した S1 と比較したとき、S2_a, S2_b は約 14.1 ～14.5 千 t-CO₂eq (16.0～16.4%) の GHG が削減された。プロセスごとの排出量に着目すると、焼却発電で約 10.3 千 t-CO₂eq、AD 発電で約 6.1 千 t-CO₂eq の GHG が削減された。

PHBH 製品と生ごみを一括で収集してメタン発酵する S2_b は、S2_a と比較して約 0.4 千 t-CO₂eq の GHG が削減された。一括収集を行う分のごみ収集にかかる軽油消費量削減により約 0.2 千 t-CO₂eq、PHBH 製袋の製造量が少なくなることにより約 0.1 千 t-CO₂eq の削減が見られた。ただし、実際に収集を行う際に、生ごみと食品容器を一つの袋にまとめて収集することで、袋の破損等も懸念されるため、生ごみと PHBH 製食品容器の収集方法については実証実験等を通じた検証が必要となる。

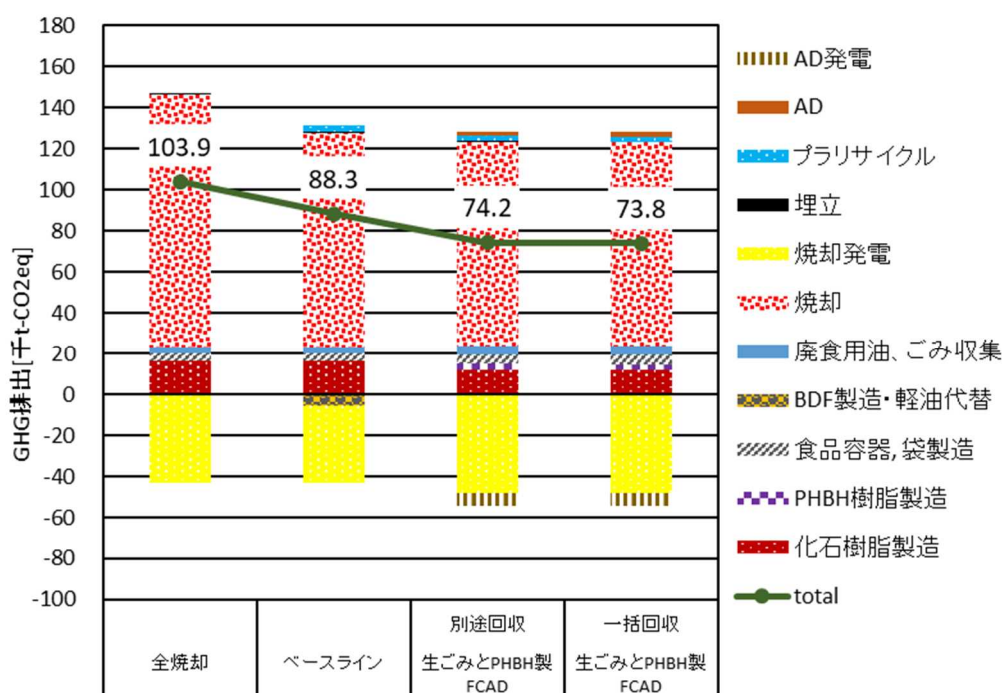


図 114 シナリオ分析結果

エネルギー起源、プロセス別の整理は次図に示したとおり、S2_b ではエネルギー起源 GHG を約 8.3 千 t-CO₂eq 削減できる結果となった。これについてプロセスの内訳を見ると、原材料調達～製品製造で約 0.5 千 t-CO₂eq、廃棄・リサイクルで約 7.8 千 t-CO₂eq の GHG 削減となった。

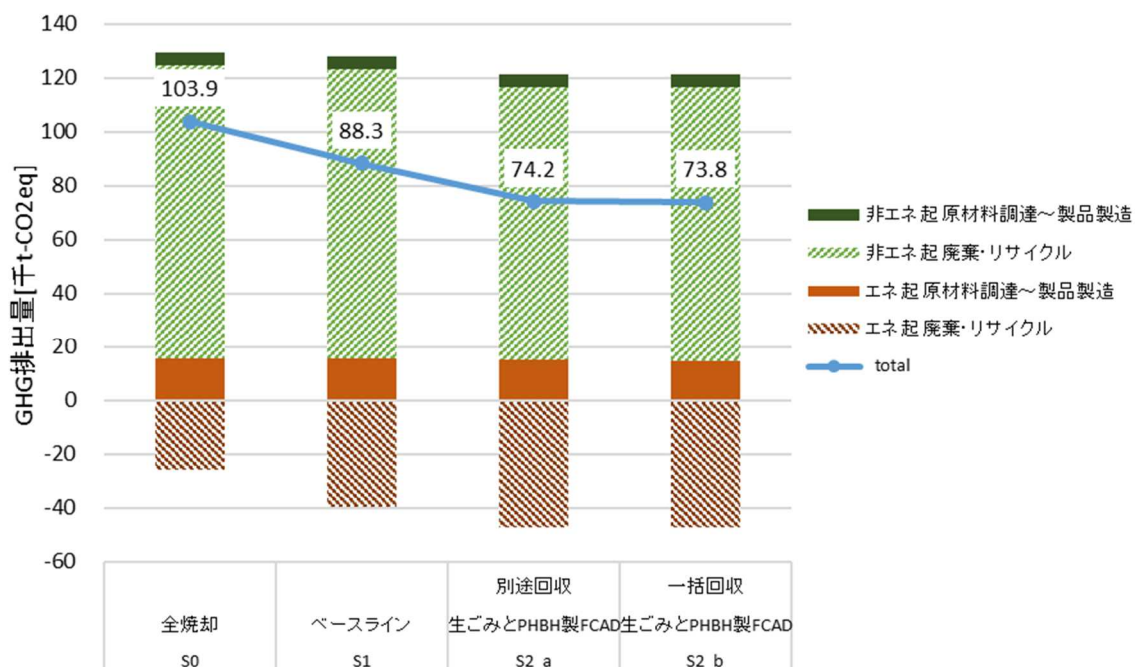


図 115 シナリオ分析結果（エネルギー起源、プロセス別整理）

5.4 事業4の成果の要点

汎用樹脂製食品容器を、廃食用油を原料とした PHBH で代替し、生ごみと一緒にメタン発酵利用する資源循環システムの GHG 削減効果が明らかとなった。今年度の解析においては、メタン発酵での分解性能など、ごみ収集袋を対象とした前回事業の成果を元に設定したパラメータもある。PHBH 製食品容器の製造工程、処理・再資源化工程、あるいは収集システムいずれについても不確実性が大きい要素があるため、本実証の成果を踏まえて引き続き解析を進めていく必要がある。

i) IPCC : Climate Change 2007 (2007)

ii) 公益財団法人京都高度技術研究所：令和3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（2022）

iii) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ：LCI データベース IDEA Version 3.2

iv) 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）

v) 環境省：電気事業者別排出係数一覧 令和3年度実績（2023）

vi) 日本工業炉協会：工業炉ハンドブック（1997）

vii) 公益財団法人京都高度技術研究所：地球温暖化対策技術開発事業 カーボンフリーBDFのためのグリーンメタノール製造及び副産物の高度利用に関する技術開発成果報告書（2010）

viii) 環境省：温室効果ガス排出量算定方法検討会 温室効果ガス排出量算定に関する検討結果（2006）

ix 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル ver2.4 第II編 温室効果ガス排出量の算定方法（2009）

x) 酒井伸一、平井康宏、吉川克彦、出口晋吾：バイオ資源・廃棄物の賦存量分布と温室効果ガスの視点から見た厨芥利用システム解析、廃棄物学会論文誌、第16巻、第2号、pp.173-187（2005）

xi) 京都市環境政策局：平成30年度家庭ごみ細組成調査結果報告書(2019)

xii) 京都市環境政策局：令和3年度家庭ごみ細組成調査報告書（2022）

xiii) 富田悠貴：レジ袋をはじめとするプラスチック廃棄物の細組成調査と樹脂別フロー推定、京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻修士論文(2021)

xiv) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ：LCI データベース IDEA Version 3.2

xv) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ：LCI データベース IDEA Version 3.2

xvi) Ishikawa M.: A Logistics Model for Post-Consumer Waste Recycling. *Pack. Sci. Technol.* Vol. 5, No. 2, pp. 119-130 (1996)

xvii) Yano J., Aoki T., Nakamura K., Yamada K., Sakai S.: Life cycle assessment of hydrogenated biodiesel production from waste cooking oil using the catalytic cracking and hydrogenation method. *Waste Management*, Vol. 38, pp.409-423 (2015)

xviii) 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）

xix) 土手裕、倉田幸善、丸山俊朗：一般廃棄物処分場の運用によるCO2排出量に関する研究、第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp1048-1050（1999）

xx) 松藤康司、立藤綾子：埋立構造の違いによる温室効果ガスの発生と制御、廃棄物学会誌、Vol.8、No.6、pp.438-446（1997）

xxi) 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、廃棄物学会論文誌、Vol.16、No.6、pp.467-480（2005）

xxii) プラスチック循環利用協会：プラスチック再資源化フロー図（2022）

xxiii) 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）

xxiv) LCA 日本フォーラム：JLCA-LCA データベース

6. 事業全体の令和4年度の成果と今後の課題

本年度は、PHBHの用途展開先として、比較的成形難易度の低い小型・浅型の食品容器を試作するとともに耐熱性を確認した。また、廃食用油からのPHBH製造の生産性向上のため発泡抑制技術を検討しタンパク質濃度低減が有効であることを見出した。さらにPHBH製生ごみ袋で生ごみを回収してバイオガス化する一連のシステム実証のための立地選定を行い、試験設備を搬入するとともに試験計画を策定した。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、ジャトロファの温暖な瀬戸内地方での栽培を開始し、グリーストラップ油泥を回収し油脂分を分離してPHBH培養生産試験に供した。こうした実証結果に基づき、京都市の家庭系一般廃棄物を対象として、PHBH製生ごみ袋とPHBH製食品容器を導入した資源循環システムのシナリオ分析を実施し、ライフサイクルでの温室効果ガス削減効果を確認した。

6.1 PHBHの更なる用途展開・製品開発（事業1）

6.1.1 生分解性バイオマスプラスチックの特性が発揮される用途の探索と製品開発

PHBHの食品容器への用途展開については、(株)カネカがPHBHパウダーを原料として押出機にて熔融し、カレンダーロールにて成形したシートをシーピー化成(株)が使用して食品容器に成形するという分担で開発を進めた。まずは試食皿やフードパック等の強度・耐熱性・耐寒性・透明性といった機能や着色等の意匠性が求められない容器を対象として、成形性の検証を行った。

試食皿は単発成形機での試作に成功し、イベント実証に用いる数量を確保できた。

フードパックについては、単発成形機での試作段階では、加熱時間や成形速度の調整により成形可能となったものの、真空孔に由来する容器の穴あきが発生した。連続成形機の試作で更に加熱時間、成形速度の緒性を行い、形状が安定した成形が可能となり、蓋もしっかり閉まるようになったが、穴あきの頻度は減ったものの引き続き不定期に発生した。

弁当容器についても、単発成形機での試作を経た連続成形機での試験では、従来品に比べ成形時間が長く不安定な穴あき等が発生することがあるものの、シート厚を増すことで使用可能な強度を有する容器の連続成形が可能となった。また、電子レンジが使用可能な120℃の耐熱温度を確認できた。

イベント実証については、2月15～17日に開催のスーパーマーケットトレードショーにPHBH製試食皿500枚を使用し、試食後に回収するとともに、来場者にアンケートを実施した。

単発成形機での成形検証に関しては、形状の安定した商品の結果が確認できており、連続成形機での検証、不定期な穴あきの改善、成形時間の短縮が今後の課題となる。また、形状が複雑な物でのPHBHのシート厚み350μm厚、400μm厚シートでの追加検証を行うとともに成形時の収率に関しても今後検証を行っていく予定である。

6.1.2 低品質な廃食用油や植物油等のPHBH原料としての利用技術の開発

植物油については、本年度は粗精製(脱水及び固形分のろ過)を行った菜種油とジャトロファ油を用いて培養評価試験を行った。その結果、菜種油はパーム油と同等の生産性でPHBHを生産でき、また3HH組成も規格内であることを確認した。一方、ジャトロファ油については、発泡が著しく培養途中で中断することとなった。遊離脂肪酸濃度の高さが影響した可能性があり、前処理として脱酸を行うことや、低酸価油脂と混合することで酸価を調整した上で原料利用するといった対応が必要になる

と考えられる。

グリーストラップ由来の油脂については、本年度は2店舗より回収した油脂を用いて培養評価試験を行った。その結果、GT019（食種：食堂・定食・弁当店）はパーム油比約9割の生産性が得られ、3HH組成も規格内であることを確認できた。グリーストラップ由来の油脂を利用してPHBHを生産可能であることが判明したことは大きな成果である。一方で、GT007（食種：カレー店）は培養中に菌体活性が大幅に低下し培養中断に至った。このことから、グリーストラップ由来の油脂のPHBH原料としての利用可能性は排出源によって大きく異なることが示唆された。次年度は、様々な店舗由来のグリーストラップ由来の油脂を用いて培養評価試験を行い、培養特性の傾向の分析を行う。

中長期的にはパーム油やその代替と考えている廃食用油だけに依存することが困難になることも想定されるため、本項では低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）や植物油（ジャトロファ油、菜種油）の原料化の検討を進めてきた。組成及び品質が多様な油脂を原料化していくためには、発酵阻害の有無、ポリマーの生産性（生産速度、収率等）、製造するポリマーの品質等様々な観点から原料を評価し、それらの関係性を整理していくことが求められる。今後は培養試験を進めることで、各種油脂原料の評価指標及び受入規格の設定に向けた情報整理を進めていきたい。

6.1.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発

廃食用油からの PHBH 生産性向上については、培養液発泡の要因としてタンパク質濃度に着目し、PHBH 生産菌の遺伝子破壊により PHBH 生産に不要なタンパク質を削除することで、培養液中のタンパク質濃度を低減させるべくラボスケール試験を実施したところ、KNK-新3株を構築することで培養上清タンパク質濃度を低減することに成功した。

次年度には、実証設備スケールにおいて培養上清タンパク質を低減できること及び培養上清タンパク質濃度低減により発泡が抑制できることを確認する。

6.2 開発した製品に対応するリサイクルシステムの検討（事業2）

6.2.1 モデル地区における PHBH 製生ごみ袋を用いた生ごみ回収・バイオガス化実証試験

バイオガス化実証については、PHBH 製生ごみ袋で回収した生ごみと生ごみ袋をバイオガス化設備に投入することを想定し予備試験等を行うことで、バイオガス化施設への投入方法を検討するとともに、1t/日の試験設備の機器構成、レイアウト、環境対策、安全対策等を検討したうえで、選定された京都市京北地域に機器を搬入し、令和5年度の実証試験実施に備えた準備を進めてきたが、進捗状況は概ね良好であり、令和5年度には支障なく実証可能な状況にある。

一方で、昨年度に試作した PHBH 製生ごみ袋は、バイオガス化施設での前処理を行うにあたって一般的なバイオガス化施設の破袋破碎設備では、支障が見られることから、PHBH 製生ごみ袋の厚み、形状の見直しを行ったところ、強度的には昨年度より低下するものの、前処理状況は改善され実用の目処が立ったことから令和5年度は、新しい試作品での生ごみ回収・前処理・バイオガス化実証を行うこととした。なお、実証試験設備での処理状況については令和5年度に実証結果を解析する予定である。

また、バイオガス化施設は、大規模化を図ることによって、バイオガス利用用途が広がり、発電を合わせたエネルギーの有効利用の選択肢が増えることから、今後、全国への普及に向けて1t/日程度規模の小規模分散利用に加えて、集約大規模利用について検討を進める必要がある。京都市は、全国

に先駆けて焼却施設に併設した大型のバイオガス化施設を導入していることから、同様の施設を新たに整備する場合の参考となるような知見を蓄積するため、その稼働状況を調査・解析し、発電量、CO2排出量等の基礎データを整理した。

6.2.2 製品用途別のリサイクルシステム検討及び現行リサイクルシステムへの影響確認

PHBH 製品のリサイクルシステム検討については、素材が PHBH に置き換わった場合に PHBH の生分解性・脱炭素性が活かされる用途を整理するとともに、バイオガス化向けプラスチック製食品容器をバイオガス化施設で効率的に活用するための収集方法として、「①生ごみ袋への投入」及び「②バイオガス化向けのプラスチック回収の創設」を想定し、両者のメリット・デメリットを整理し、具体的な方法の検討を行った。

6.2.3 PHBH の循環型ケミカルリサイクル検討に資する熱分解特性

PHBH の循環型ケミカルリサイクルへの適合性を検討するための基礎情報を得るために、PHBH 単独及び汎用プラスチックと混合した熱分解試験を実施し、分解生成物の確認を行った。その結果、混合試料の分解生成物のプロファイルは、各プラスチックの熱分解生成物を合算した結果となっていることから、熱分解条件においては各プラスチックの分解温度や減少率はお互いに影響することなくそれぞれ分解が実現されていることが分かった。

6.3 国産 PHBH 原料開発（事業3）

6.3.1 ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立

ジャトロファについては、熱帯地域のプランテーションの実績や、前回事業での栽培検討状況を踏まえ、国内栽培の目標を1樹1年あたり種子500g程度、1ヘクタールの樹園あたり年間2500kgの種子生産と設定した。ジャトロファ樹の果実生産量を増やすためには花芽をたくさんつけさせることが重要である。そのためには日本の気候に応じた剪定方法を確立して新梢数を確保すること及び寒さの傷害を減らして越冬させることが必要である。本年度は、京都地域でのジャトロファの無加温の越冬のために、スケルトン温室を整備するとともに、越冬と収穫作業性の向上のため温室の枠内に収まるように剪定による矮化を行った。また、より温暖な瀬戸内海沿岸地域（岡山県笠岡市、広島県尾道市、愛媛県松山市）にてポット栽培及び露地栽培を実施中である。

菜種については、前回事業の結果から、水田裏作での生産量を1haあたり2トンと設定した。本年度は、京都地域にて水稻の収穫後に菜種を播種し、メタン発酵消化液のみを用いて栽培を行っている。また、近年飼料価格が高騰しているため、コスト低減のため搾油後の菜種粕を飼料として利用することを考え、菜種を畜産の盛んな岡山県笠岡市にてメタン発酵消化液を用いて栽培することを試みている。

次年度も栽培検討を継続し、栽培目標に対する到達点、及び、栽培地や栽培管理方法が収量に与える影響を確認する。

6.3.2 バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化

本年度は、肥料成分の濃度の低いバイオガス化消化液について、少ないエネルギー投入量でその利

用性を向上させることを目指し、夏季の太陽熱／密閉温室を使用した酸性化バイオガス化消化液の濃縮とペレット肥料の製造、小規模な圃場への消化液の散布方法を試行した。今後、栽培による収穫と併せてその評価を行っていく。

6.3.3 低品質な廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発

本年度は、飲食店舗等におけるグリーストラップに由来する低品質な油脂の有効利用に向け、発生ポテンシャルと油脂性状の評価を行った。

発生ポテンシャルに関しては、グリーストラップに由来する低品質な油脂は、全国の飲食店及び持ち帰り・配達飲食サービス業から年間約 37.0 万トン発生すると推計され、回収可能量は年間約 18.9 万トン（従業員 5 人以上、協力率 70%）と推計された。ただし、現状の管理状況ではこの 4 割程度となる可能性がある。

飲食店等から回収したグリーストラップ油泥より油脂を抽出すると、手回収、バキューム回収両サンプルから一部を除き 60℃ の加温分離により油脂抽出が可能で、油脂抽出率は幅広く、9.0～86.3%の範囲であった。抽出された油脂の性状は、排出源によって大きなばらつきがあり、概して廃食用油と比較して酸価が非常に高く、ヨウ素価は低い傾向があり、これら 2 項目はこれまでの PHBH 原料化の実績範囲を大きく逸脱するサンプルがほとんどであった。そのうち比較的酸価の低い 2 検体を事業 1 の PHBH 培養生産試験に供した。

次年度は、抽出油脂の品質及び安定性確保に向け、次年度は飲食店舗由来の油脂に関する酸価及びヨウ素価の変動と店舗の厨房・トラップの管理状況との関係性の解明、及び食品関連工場からの多量の均質なグリーストラップ由来油脂の回収可能性の評価に取り組んでいく予定である。

6.4 PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析（LCA の検証・評価）（事業 4）

汎用樹脂製食品容器を、廃食用油を原料とした PHBH で代替し、生ごみと一緒にメタン発酵利用する資源循環システムの GHG 削減効果が明らかとなった。本年度の解析においては、メタン発酵での分解性能など、ごみ収集袋を対象とした前回事業の成果を元に設定したパラメータもある。PHBH 製食品容器の製造工程、処理・再資源化工程、あるいは収集システムいずれについても不確実性が大きい要素があるため、本実証の成果を踏まえて引き続き解析を進めていく必要がある。

以上のように、本年度における各事業の検討課題は概ね計画通りに目標を達成することができた。次年度は最終年度であり、各検討課題の目標を達成し技術確立を図るとともに、ライフサイクルでの温室効果ガス削減効果の確認によりシステムの有効性を示し、社会実装に向けた課題を整理することとしたい。

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 1 日 13:30~16:30	Zoom 会議室	(1) 事業概要と本年度の計画概要 (2) 本年度計画及び進捗状況について <用途展開・製品開発> ・ PHBH 製食品容器の試作 ・ 食品容器用 PHBH 製シートの開発 ・ 廃食用油からの PHBH の製造収率向上に向けた技術開発 <PHBH 製品のバイオガス化検討> ・ PHBH 製食品容器に関する製品用途別リサイクルシステム検討 ・ モデル地区での PHBH 製生ごみ袋用いたバイオガス化実証試験 ・ PHBH 製生ごみ袋の改善 ・ PHBH 製生ごみ袋の前処理工程の検討と大小プラントを想定した各種検証試験 ・ 食品容器用 PHBH のバイオガス化試験による分解性の確認 <国産原料開発> ・ ジャトロファ・菜種等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立 ・ 消化液の散布方法・施用方法の検討 ・ グリーストラップ油泥の有効利用技術及び収集システムの開発 <ライフサイクル実証・システム解析> ・ PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析（LCA 検証・評価） <リサイクルシステム検討> ・ PHBH の循環型ケミカルリサイクルシステムへの混入時の影響評価 (3) 今後の予定
第 2 回検討会及び現地視察会	1 月 20 日 13:00~17:30	Zoom 会議室 及びシーピー化成本社工場会議室 [現地視察会] シーピー化成（株）本社工場	(1) 事業概要と R4 年度の進捗状況まとめ (2) 各テーマの進捗状況について <用途展開・製品開発> ・ PHBH 製食品容器の試作 ・ 食品容器用 PHBH 製シートの開発状況 ・ 廃食用油からの PHBH の製造収率向上に向けた技術開発 <PHBH 製品のバイオガス化検討> ・ モデル地区での PHBH 製生ごみ袋を用いたバイオガス化実証試験 ・ PHBH 製生ごみ袋の改善状況 ・ 焼却炉併設大型バイオガス化施設の稼働状況 <国産原料開発> ・ ジャトロファ・ナタネ等の国産バイオマスの国内栽培技術の確立 ・ グリーストラップ油泥の有効利用技術及び収集システムの開発 <ライフサイクル実証・リサイクルシステム検討> ・ PHA 系バイオプラスチックのライフサイクル実証と用途展開システム解析（LCA 検証・評価） ・ PHBH 製食品容器のリサイクルシステムの検討

また、関係者間での情報共有及び進捗管理等を行うため、以下に示す日程でワーキンググループ会合を実施した。

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 WG	8 月 5 日 10:00-11:00	Zoom 会議室	・ 実証試験計画及び PHBH 製生ごみ袋の試作について
第 2 回 WG	8 月 10 日 13:00-16:30	シーピー化成会議室、Teams 会議室	・ PHBH 製食品容器開発の進め方について ・ 試験設備等の見学
第 3 回 WG	8 月 29 日 13:00-14:20	Teams 会議室	・ PHBH 製食品容器開発の進捗状況及び今後の検討の進め方について
第 4 回 WG	12 月 1 日 13:45-16:00	カネカ高砂工業所会議室	・ 低品質な廃食用油（グリーストラップ由来の油脂）の PHBH 原料化に向けた検討の進め方について
第 5 回 WG	12 月 9 日 13:30-14:30	Zoom 会議室	・ バイオガス試験設備の京北現地での配置計画について
第 6 回 WG	3 月 10 日 15:00-16:00	Zoom 会議室	・ PHBH 製生ごみ袋の使い勝手確認を踏まえた仕様確認について

2. 成果（特許、論文、学会発表等）

2.1 特許権

出願日	出願番号	発明の名称	出願人
令和2年10月12日	特願 2020-171770	ポリ（3-ヒドロキシアルカノエート）の製造方法	(株) カネカ
令和3年9月30日	特願 2021-160749	微生物の培養方法、形質転換微生物、及びポリ（3-ヒドロキシアルカノエート）の製造方法	(株) カネカ

2.2 学会発表

発表日	学会	発表番号	タイトル	発表者
10月22日	第74回日本生物工学会大会 (Zoomによるオンライン形式)	4G07-04	PHA系バイオプラスチックのライフサイクル実証事業	(公財) 京都高度技術研究所 長田守弘

2.3 その他

種類	日付	内容	発表者等
講師	5月13日(金)	「22-1 超分子研究会」(主催: 高分子学会超分子研究会)	(株) カネカ 福田竜司
講師	5月13日(金)	「第2回関西サステナブルマテリアル展 特別講演」(主催: リードエグジビション ジャパン (株))	(株) カネカ 武岡慶樹
講師	5月19日(木)	一般社団法人日本エネルギー学会三部会(RGB)シンポジウム「カーボンニュートラル社会に向けた注目分野の最新動向」(主催: 一般社団法人日本エネルギー学会)	(株) カネカ 武岡慶樹
講師	6月14日(火)	「UNEP フォーラム 2022」(主催: 国連環境計画日本協会 (一般社団法人日本 UNEP 協会))	(株) カネカ 福田竜司
講師	7月6日(水)	特別セミナー「バイオプラスチック促進に向けた最新動向」(主催: 公益財団法人 原総合知的通信システム基金)	(株) カネカ 福田竜司
講師	7月14日(木)	SDGs 環境ビジネス分科会 エネルギー・水専門部会 (主催: 関西SDGs プラットフォーム、SDGs 環境ビジネス分科会 専門部会、一般社団法人エコビジネス推進協会)	(株) カネカ 武岡慶樹
講師	8月2日(火)	「プラスチックエージョンオンラインセミナー」(主催: (株) プラスチックスエージ)	(株) カネカ 福田竜司
講師	8月19日(金)	第29回2022年度「瀬戸内海研究フォーラム in 和歌山」(主催: NPO 法人瀬戸内海研究会)	(株) カネカ 福田竜司
講師	9月9日(金)	「JASIS トピックスセミナー」(主催: 一般社団法人日本分析機器工業会・一般社団法人日本科学機器協会)	(株) カネカ 福田竜司
講師	10月24日(月)	「大阪大学2022ナノ理工学セミナー」(主催: (一般社団法人)大阪大学ナノ理工学人材育成産学コンソーシアム)	(株) カネカ 福田竜司
講師	11月2日(水)	日本バイオプラスチック協会オンラインセミナー 「バイオプラスチックの最新活用事例」(主催: 日本バイオプラスチック協会)	(株) カネカ 福田竜司
講師	11月28日(月)	「あかねカレッジサイエンス学科」(主催: 明石市立高齢者大学校あかねが丘学園)	(株) カネカ 福田竜司
講師	1月16日(月)	滋賀県産業支援プラザが主催する科学技術セミナー「プラスチック最前線 (CO2 ネットゼロ社会の実現に向けて)」(主催: 滋賀県産業支援プラザ)	(株) カネカ 福田竜司

講師	1 月 18 日 (水)	瀬戸内海環境保全協会令和 4 年度賛助会員座学研修会「海洋プラスチックごみ問題の現状と問題解決に向けた取組み」(主催: 公益社団法人瀬戸内海環境保全協会)	(株) カネカ 福田竜司
講師	1 月 26 日 (木)	第 40 回コロイド・界面技術シンポジウム「コロイド界面化学が叶える、持続可能な社会～マイクロな一歩で マクロに貢献～」(主催: 日本化学会 コロイドおよび界面化学部会)	(株) カネカ 福田竜司
講師	2 月 16 日 (木)	大阪府バイオプラスチックのビジネス化セミナー (主催: 大阪府、矢野経済研究所)	(株) カネカ 福田竜司
講師	2 月 20 日 (月)	カーボンニュートラル・プラごみゼロ対策技術シンポジウム (主催: 大阪府、(公財) 地球環境センター)	(株) カネカ 福田竜司
講師	3 月 17 日 (金)	日本粉体工業技術協会晶析分科会 2022 年度第 3 回晶析分科会「海に纏わる CO2 フリー技術に関する講演会」(主催: 日本粉体工業技術協会晶析分科会)	(株) カネカ 福田竜司
学会機関紙	11 月	日本エネルギー学会機関紙「えねるみくす」11 月号 (日本エネルギー学会)	(株) カネカ 福田竜司
協会機関紙	掲載日未定	日本バイオプラスチック協会バイオプラジャーナル 84 号 (日本バイオプラスチック協会)	(株) カネカ 福田竜司

3. メディア等掲載実績

3.1 包装タイムス（掲載日未定）

（シーピー化成取材対応済）