

令和5年度

脱炭素型循環経済システム構築促進事業

(うち、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6年2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5年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業
(うち、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、比較的浅型の離型性の良い弁当容器について実販売可能な製品成形技術を確認するとともに耐熱性を確認した。また、生分解機能を有効に活かすことのできる育苗ポットも試作した。廃食用油からの PHBH 製造時の発泡による生産性低減回避技術として、初発培養液量を低減することと新株育種によりパーム油比同等の生産性を達成した。さらに京都市京北地域で PHBH 製生ごみ袋を用いて回収した家庭系生ごみと事業系生ごみをバイオガス化する実証試験を実施し、PHBH 製品の分解性を確認するとともに、バイオガス・消化液の有効利用を行い、社会実装に向けた課題を整理した。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、ジャトロファについては京都・岡山・愛媛での無加温ビニルハウス・ポット栽培での越冬を試みるとともに、菜種については京都・岡山での消化液による栽培が化成肥料に勝ることを確認した。また、グリーストラップ（阻集器）由来油脂の採取源としては、工場と浮上油脂の自主回収を行う飲食店が有望であることが分かった。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（GHG）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、改良シートにより離型性の良い弁当容器の穴あき、表層ムラ等を大幅に改善し、限定的ではあるが実販売可能な製品成形技術を確認した。またレンジアップ耐性も確認した。さらに、学会での 1,400 食の弁当容器の実使用や試食皿のイベント提供を実施できた。さらに生分解機能を有効に活かすことのできる林産や農産向けの育苗ポットを試作し、圃場への埋設試験で分解が進んでいることを確認した。

廃食用油からの PHBH 生産性向上については、培養液発泡による生産性低減回避ため初発培養液量を低減させることで液面を下げ発泡時の培養液漏洩リスクを低減するとともに、高ヨウ素価油脂向けに生産性向上が図れる新株育種によりパーム油同等の生産性を達成できた。

モデル地区におけるバイオガス化実証については、改良した PHBH 製生ごみ袋を用いて回収した家庭系生ごみと給食ごみなどの事業系生ごみを京都市京北地域に設置した日量 1 トン処理のバイオガス化施設に搬入することで実証試験を実施し、安定運転を達成できた。実証試験において PHBH 製生ごみ袋と PHBH 製食品容器を生ごみとともに投入し、PHBH 製品が視認できない程度に分解することを確認した。ビニルハウスを設置し、バイオガスによる給湯で加温するとともに、副生する消化液の農地への散布試験を実施した。本実証試験により、小規模のバイオガス化施設の事業採算性を成立させるために必要な、運転体制、事業系生ごみの市街地からの受入れ、設備の維持管理等の実証情報を得ることができた。

PHBH 製品のリサイクルシステム検討については、生分解性プラスチックのリサイクル調和性に基づき、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を特定した。また、PHBH 製食品容器のバイオガス化向け回収方法及びそれらの具体的な分別収集方法を整理した。

PHBH の国産原料開発に関しては、ジャトロファについて露地栽培は温暖な瀬戸内でも越冬はできなかったが、無加温ビニルハウス・ポット栽培で、地上部を伐採することで翌年萌芽することが確認できた。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として、ジャトロファは 2.5 t/ha、菜種は 1.2 t/ha を設定した。

農業利用のための消化液の散布方法として、トラクターによる散布、流し込みによる散布、バキューム車からの直接散布を検討した。

低品質な廃食用油の有効利用については、グリーストラップの管理状況を念頭に選定した飲食店、

食品工場から入手したグリーストラップ油泥から抽出した油脂を分析・培養評価した結果、培養阻害・生産性低下を回避できるグリーストラップ由来油脂の採取源として工場と浮上油脂の自主回収を行う飲食店が有望で、原料化には、PHBH の生産阻害物質のスクリーニング評価に基づく採取源の選別が重要であるとともに、阻害性の高い油脂は阻害性の低い油脂による希釈で緩和可能であることが分かった。また、全国におけるグリーストラップ由来の油脂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 GHG 削減効果の定量化については、PHBH 製生ごみ袋、食品容器のライフサイクル分析により、廃棄物である廃食用油を原料として PHBH 製品を製造し、廃棄時にはメタン発酵利用することが最も GHG 排出量が小さいシステムであることを確認した。そして、京都市をケーススタディとして、PHBH を生ごみ袋や食品容器に利用し、生ごみとともにメタン発酵利用しエネルギー回収し、需要がある地域では消化液を農地利用する資源循環システムについて、大規模集中型モデルと地域分散型モデルに類型化して GHG 削減効果を定量化した。その結果、大規模集中型モデルでは最大で 27.9%、地域分散型モデルでは 17.7%の GHG 削減効果となった。また、これらのシステムの全国普及ポテンシャルとして最大で 172 万 t-CO₂eq/年 (22.3%) の GHG 削減効果があると推計された。

以上のように、本年度における各事業の検討課題はほぼ計画通りに進捗し、最終目標を達成することができた。すなわち PHBH 製食品容器の実販売可能レベルの製造技術を確立し、PHBH 製生ごみ袋を用いて回収した生ごみのバイオガス化実証により PHBH の分解性を確認するとともにバイオガスや消化液の利用検証を実施した。また、中長期的視点から PHBH の原料確保のためジャトロファ、菜種の栽培やグリーストラップ由来油脂の利用の可能性を確認した。これらの実証に基づき、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についてライフサイクルでの GHG 削減効果を確認しシステムの有効性を示せた。

今後、これらの成果のブラッシュアップに引き続き取り組むことによって、社会実装を目指すこととしたい。

Summary of the progress of the demonstration project in FY2023

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

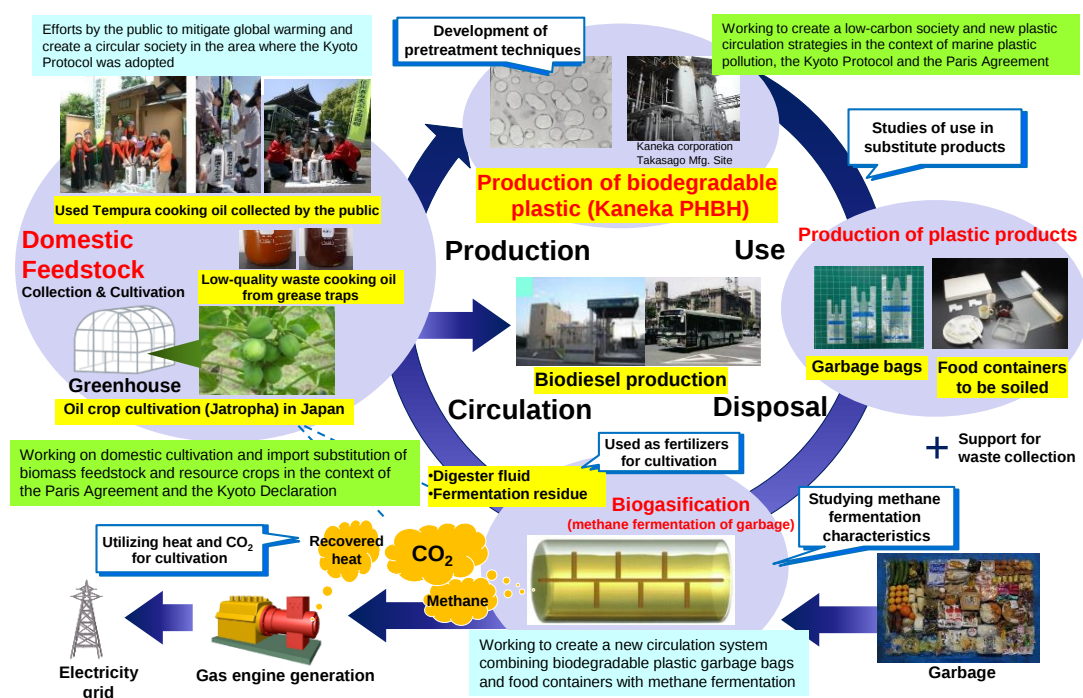
Representative: Advanced Science, Technology & Management Research Institute of KYOTO

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 FY2023

This year, our goals in PHBH application development were to establish technology for molding market-ready, relatively shallow food packaging with good mold-releasing property and to verify their heat resistance. We also developed a prototype seedling pot as an application that could effectively utilize the biodegradable function. As techniques for preventing a fall in productivity caused by foaming during PHBH production from waste cooking oil, we reduced initial culture volume, and we bred a new microbe strain; we achieved a productivity equivalent to those with palm oil. We conducted a demonstration test of biogasification of household food waste and commercial food waste that were collected using PHBH garbage bags in the Keihoku district of Kyoto City and we checked decomposition of the PHBH products. We identified challenges to effective use of the biogas and digester fluid and to social implementation. To assure feedstock for the biodegradable plastic in the medium to long term, we have tried overwintering jatropha in unheated greenhouses and pots in Kyoto, Okayama, and Ehime, and for rapeseed, we have confirmed that cultivation with digester fluid in Kyoto and Okayama is superior to chemical fertilizer. We identified that restaurants that conduct their own collection of floating oils and food factories are preferable as sources for the collection of grease trap oil. From the results of these demonstrations, we conducted scenario analyses of the resource circulation system in which PHBH garbage bags and PHBH food packaging are deployed for general household waste in Kyoto City, and we confirmed a lifecycle greenhouse gas (GHG) reduction effect.

In developing applications for PHBH food packaging, we improved the PHBH sheets and greatly ameliorated issues such as holes and surface layer irregularities in lunchbox packs with good mold-releasing property. With some limitations, we established the technology for molding saleable packaging. We also checked microwave endurance. We demonstrated practical use of 1,400 lunchboxes at academic conferences, and we provided disposable tasting platea to exhibitions. In addition, prototypes of PHBH seedling pots for forestry and agricultural use that can effectively utilize the biodegradable function were developed, and tests of burial in the field confirmed that decomposition is progressing.

To improve PHBH productivity from waste cooking oil, we reduced initial culture volume to prevent the fall in productivity caused by foaming of the culture broth. This reduced the risk of culture fluid leaking due to foaming by lowering the level of the culture broth. We also bred a new strain of PHBH producing microbe to improve productivity for oils with high iodine values and achieved productivity equivalent to those with palm oil.

In the biogasification demonstration in the model area, we conducted demonstration testing of biogasification equipment, located in the Keihoku district of Kyoto City, processing 1 ton a day of household food waste and commercial food waste from businesses such as school lunch. The improved PHBH garbage bags were used for collecting this food waste. Stable operation of the biogasification system was achieved. In this demonstration testing, the PHBH garbage bags and PHBH food packaging were mixed in with the food waste. We confirmed that the PHBH products decomposed until they could not be visually recognised. We set up polytunnel greenhouses, which we heated with heat supplied by the biogas, and we demonstrated the application of the digester fluid byproduct on agricultural land. From this demonstration testing, we obtained test data on what is required to establish commercial profitability of small-scale biogasification equipment: operations management; obtaining commercial food waste in urban areas; and maintenance and administration of the equipment.

In studying the PHBH product recycling system, bearing in mind the impact of biodegradable plastics on

post-use flow, we identified applications and specific products that can take advantage of PHBH's biodegradability and carbon reduction effects. We identified practical collection and source separation methods for biogasification of PHBH food packaging.

Regarding the development of domestic feedstock for PHBH, outdoor overwintering of *Jatropha* was not possible even in the warmer Setouchi region, but we cultivated *Jatropha* in unheated polytunnel greenhouses and pots, cut the above-ground parts, and observed spring shoots. For rapeseed, we studied the use of digested liquid in Kyoto City to increase yield. Harvest yield targets for domestic cultivation were set to 2.5 t/ha for *Jatropha* and 1.2 t/ha for rapeseed.

Methods of application of digester fluid of biogasification for agriculture included dispersal by tractor and application with irrigation water. We investigated direct dispersal from a vacuum truck.

Considering effective use of low-quality waste cooking oil, we conducted analysis and culturing tests of oils extracted from grease trap sludge, which was obtained from restaurants and food factories that we selected taking account of grease trap management conditions. The results showed that restaurants that conduct their own collection of floating oils and food factories are promising as grease trap oil sources that may avoid inhibiting culture and reducing productivity. We learned that selecting collection sources in accordance with an evaluation screening for materials that inhibit PHBH production is important to use as feedstocks, and that highly inhibitory oils could be mitigated by dilution with less inhibitory oils. In addition, we estimated the amount of trap grease nationwide.

To quantify the lifecycle GHG reduction effects of the system proposed in this project, we conducted a lifecycle analysis of the PHBH garbage bags and food packaging. This confirmed that the system of using waste cooking oil as a feedstock for manufacturing PHBH products and utilizing biogasification after their disposal minimizes GHG emissions. From the case study of Kyoto City, we quantified the GHG reduction effects by modeling a large-scale centralized model and a decentralized regional model of a resource circulation system that employs PHBH garbage bags and food packaging, recovers energy by biogasification with food waste, and uses the digester fluid for agriculture in areas where there is demand. The results showed GHG reduction effects of 27.9% in the large-scale centralized model and 17.7% in the decentralized regional model. We estimate a GHG reduction effect potential from a national rollout of this system at up to 1.72 million t-CO₂eq/year (22.3%).

As described above, the various project studies in this fiscal year progressed mainly according to plan and we reached the final goals. That is, we have established PHBH food packaging production technology at a market-ready level. We have verified decomposition of PHBH in a demonstration of biogasification of food waste collected using PHBH garbage bags, and we have demonstrated uses of biogas and digester fluid. With regard to assuring feedstock for PHBH in the medium to long term, we have confirmed the possibilities of cultivating *Jatropha* and rapeseed and of using grease trap oil. From the results of these demonstrations, we have verified the lifecycle GHG reduction effects of a resource circulation system in which PHBH garbage bags and PHBH food packaging are deployed.

We would like to continue working to refine these results with a view to 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	3
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
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 製食品容器等の試作	6
2.1.2 食品容器用 PHBH 製シートの開発	46
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	50
2.2.1 目的	50
2.2.2 方法	50
2.2.3 結果	50
2.2.4 まとめと課題	53
2.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発	55
2.3.1 目的	55
2.3.2 方法	55
2.3.3 結果	56
2.3.4 まとめと課題	58
2.4 事業 1 の成果の要点	60
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	60

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	60
2.4.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発	61
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）	62
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・バイオガス化等実証試験	62
3.1.1 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	62
3.1.2 PHBH 製生ごみ袋の改善	96
3.1.3 社会実装に向けたコスト検証	100
3.1.4 小括	106
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	107
3.2.1 目的	107
3.2.2 方法	107
3.2.3 結果	107
3.2.4 まとめと課題	110
3.3 事業 2 の成果の要点	111
3.3.1 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	111
3.3.2 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	112
4. 国産 PHBH 原料開発（事業 3）	113
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	113
4.1.1 目的	113
4.1.2 方法	113
4.1.3 結果	113
4.1.4 まとめと課題	120
4.2 バイオガス化残渣・消化液の有効利用方法の高度化	121
4.2.1 目的	121
4.2.2 消化液の性状把握と品質管理	121
4.2.3 消化液の植害試験	123
4.2.4 住民への配布	126

4.2.5 消化液の散布手法検討	126
4.2.6 まとめ	128
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
4.3.1 目的	129
4.3.2 方法	129
4.3.3 結果	133
4.3.4 まとめと課題	148
4.4 事業3の成果の要点	149
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	149
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	149
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	150
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）	151
5.1 目的	151
5.2 方法	151
5.2.1 PHBH製生ごみ収集袋のライフサイクル分析	151
5.2.2 PHBH製食品容器のライフサイクル分析	154
5.2.3 PHBHを導入した資源循環システムのシナリオ分析	156
5.3 結果	167
5.3.1 PHBH製生ごみ収集袋のライフサイクル分析	167
5.3.2 PHBH製食品容器のライフサイクル分析	170
5.3.3 PHBHを導入した資源循環システムのシナリオ分析	172
5.4 事業4の成果の要点	175
6. 事業全体の令和5年度の成果と今後の課題	177
6.1 PHBHの更なる用途展開・製品開発（事業1）	177
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	177
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	177

6.1.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発	178
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）	178
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 ..	178
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.....	179
6.3 国産 PHBH 原料開発（事業 3）	179
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.....	179
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.....	180
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.....	180
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）	181

<参考資料>

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

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、生ごみの搬送・設備運転補助は安田産業、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）、ジャ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）、NPO 法人木野環境、低品質な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。

申請法人 事業管理及び事業（１）（２）（３）（４）

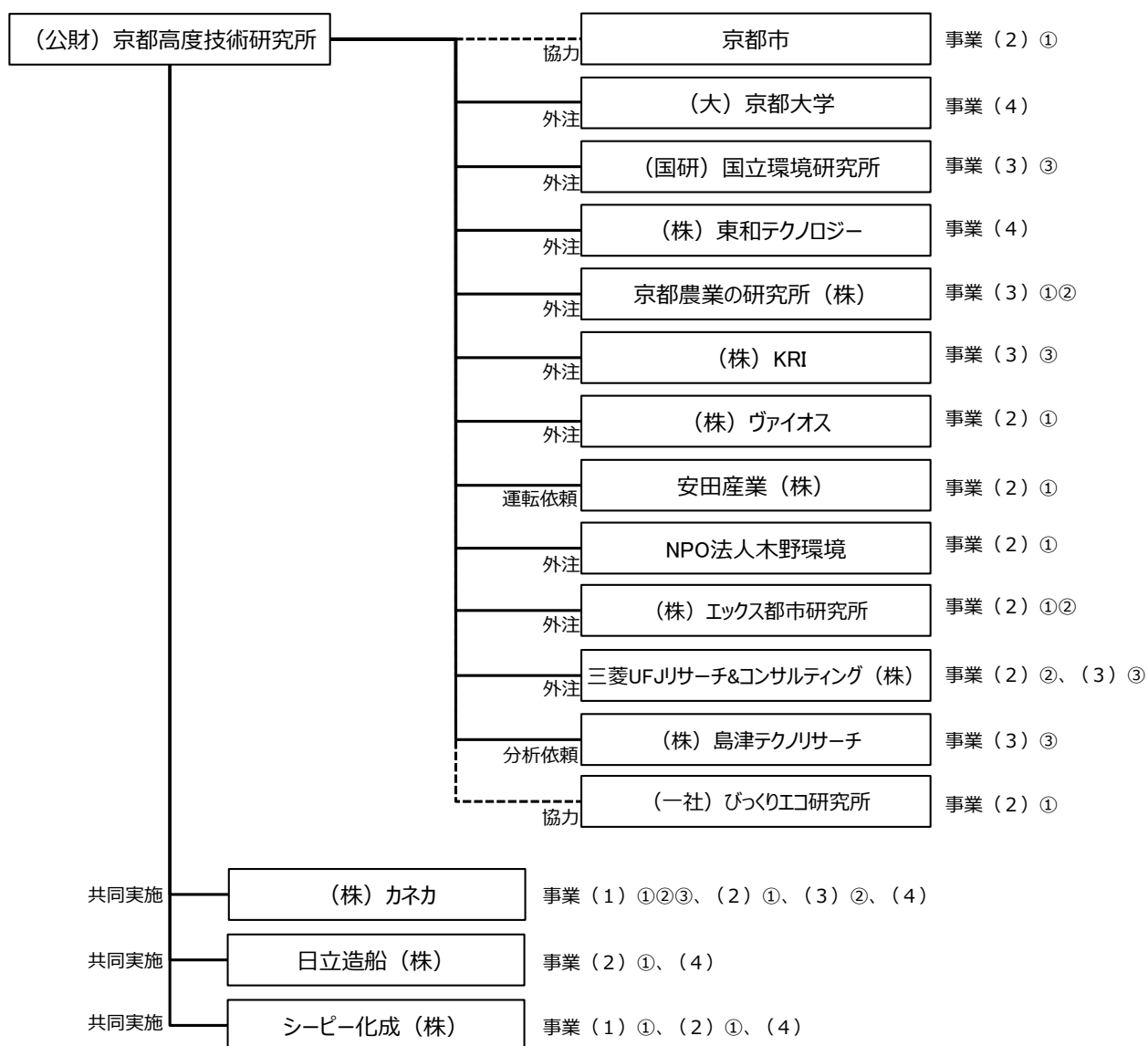


図 1 実施体制表と主たる担当テーマ

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油など低品質な廃食用油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高い弁当箱等の PHBH 製食品容器を連続成形により量産できる技術を確立する。また、育苗ポットの試作についても検討する。 (2) ジャトロファ油・菜種油及び低品質な廃食用油を用いた PHBH 培養試験により PHBH 原料として利用する際の要件等を整理する。 (3) 廃食用油培養時の発泡抑制と PHBH 高生産性を両立する技術を開発する。
【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。	(1) モデル地区において PHBH 製生ごみ袋を用いて回収した家庭系及び事業系生ごみをごみ袋や PHBH 製食品容器とバイオガス化する実証試験を実施し、バイオガスや消化液を利用して農作物を栽培する等、脱炭素型の生ごみ循環利用モデルの有効性を検証し、社会実装に向けた課題を整理する。 (2) バイオガス化が効果的な使用済み食品容器の回収手法を検討するとともに、PHBH 製品等バイオガス化可能なプラスチック製品活用の方法性を整理する。

【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を検討し、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、これらの収量目標値について達成度の評価を行う。 (2) 事業2(1)の実証試験において副生する消化液の性状を確認するとともに、実証地域での農地への効果的な施用方法の検討を行う。 (3) 低品質な廃食用油の全国賦存量を試算する。飲食店及び食品工場における品質管理を念頭においた阻集器の管理方法の検証及び低品質な廃食用油の回収可能性とともに効果的・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) ライフサイクルインベントリデータ源の精査を図るとともに、本事業による実証結果も踏まえてライフサイクルでの温室効果ガス排出量の算定を行う。また、将来シナリオ分析として、各原料及びその混合利用、京都市全体及び全国への普及効果を可能な範囲で推計する。

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、2024 年 1 月に 20,000 トン/年まで増強した。今後、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。

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 製食品容器等の試作

（1）目的

（株）カネカ提供の PHBH 製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）の製品開発を行うことを目的とした。具体的には、以下の検討を行った。

<食品容器>

- ・ 単発成形機及び連続成形機での試作による、軟化加熱時間、成形速度及びドローダウンの大きさの検証
- ・ 上記条件とシートムラ等の関係を確認しながらの最適な成形条件の探索
- ・ 令和 4 年度の成形検証の結果を基にした、容器縁部で発生する微細な穴あき及びシートの厚みムラに由来する穴あきの解消、並びに成形時のしわや形状の安定の評価検証
- ・ 以上を踏まえた、PHBH 製シートでの食品容器の成形可否の判断と、事業化可能性の検証
- ・ 試作した PHBH 製食品容器を用いた、イベントでの実使用の検証及び使用済み PHBH 製食品容器の回収・バイオガス化への接続の検証

<育苗ポット>

- ・ 農業資材用途への展開を想定した、育苗ポットの成形可否の検証
- ・ 試作した育苗ポットの実用性及び土壌生分解性の検証

（2）方法

1) 対象とする製品

本事業で対象とした製品とそれぞれの検討の内容を次表に示す。

まず、食品容器のうち単純な形状で強度・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として、試食皿や惣菜容器（本体・蓋）について単発成形機での試作検証を行った。試作品はイベントで展示・使用し訪問者・利用者に対してアンケート調査を行ったほか、イベント会場内で分別回収し、破碎し続くバイオガス化処理に向けた接続の実証を行った。

続いて、食品容器のうち複雑な形状で、スーパーマーケット等で使用する容器として、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使用量の多い容器として、フードパックや弁当容器について単発成形機及び連続成形機にて成形検証を行った。試作した弁当容器は、学会の大会及び本事業の検討会にて弁当提供に利用し、その実用性の実証を行った。

最後に、農業用資材として育苗ポットを対象とし、単発成形機での成形検証を行った。成形できた試作品を用いて、土壌での生分解性の検証試験を実施した。

表 2 対象製品と検討内容

形状	製品	本事業での検討内容		
		単発成形機での試作	連続成形機での試作	実用性検証
単純	食品容器 (試食皿、惣菜容器の 本体・蓋)	検証実施	—	・ イベントで展示・使用 ・ アンケート調査 ・ 試食皿分別回収・バイオガス 化への接続実証
	食品容器(透明ラップ 対応容器)	—	検証実施	・ ラップ包装機テスト
複雑	食品容器(フードパッ ク、弁当容器、ラップ 対応容器)	検証実施	検証実施	・ イベント(学会、本事業検討 会)にて弁当を提供 ・ 弁当容器分別回収・バイオガ ス化への接続実証
	育苗ポット	検証実施	—	・ 試作品を用いた土壌生分解性 の検証

2) 成形テスト

本パートでは食品容器等の製造における成形の検証を行った。まず単発成形機で検証を行い、続いて連続成形機(実機)で検証を行った。

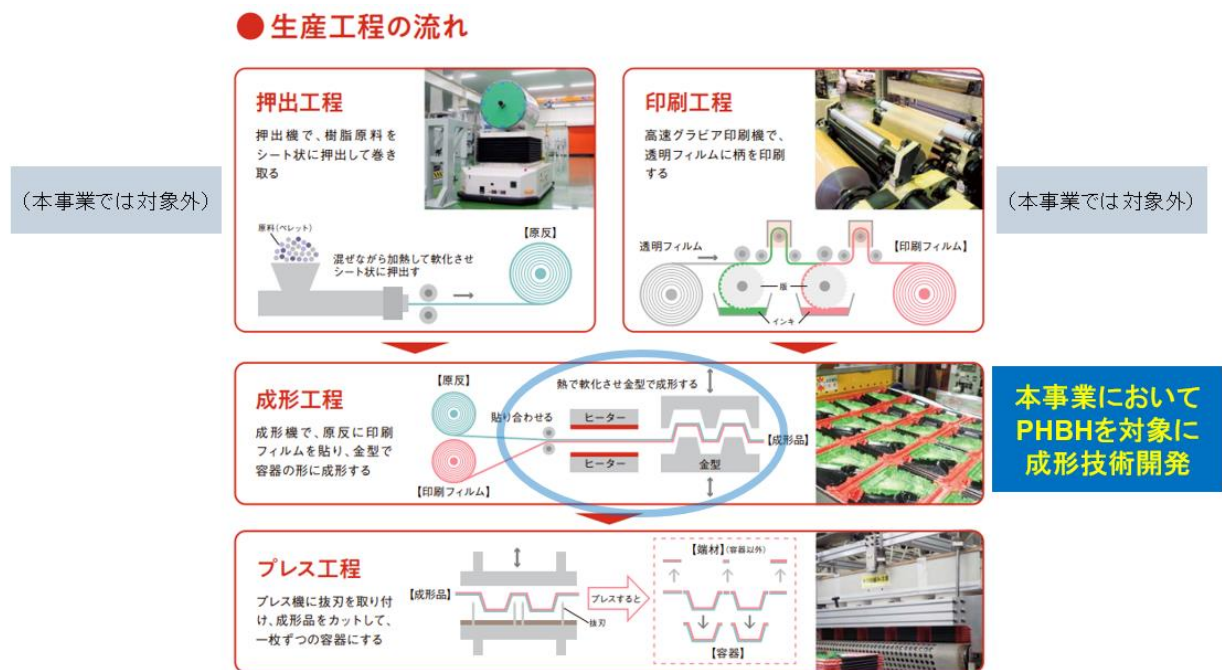


図 2 食品容器成形工程

単発成形機での試作

- 手作業で1つずつ食品容器を製造する方法であり、比較的難易度が低い。
- 本事業においては、まずは単発試作でPHBH製食品容器開発のための知見を蓄積し、その後、実機製造のための検討を行う。



実機（連続成形機）での試作

- 実際に食品容器を開発するラインを用いて食品容器を大量製造する方法であり、隣接する型や位置の影響等を受けるため、単発製造よりも難易度は高い。
- 本事業においては、実機製造技術の開発を目指す。

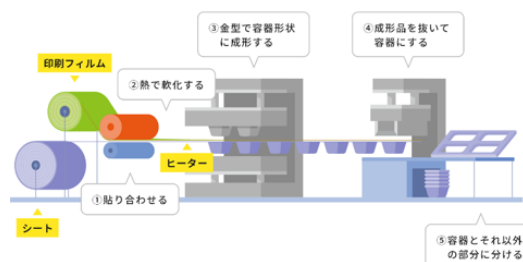


図 3 成形テストの流れ

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 製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

単発成形機での検証により蓄積した知見を踏まえ、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を検証した。

③ 試作品の実用性検証

試食皿については、イベントでの展示・使用、アンケート調査、分別回収・バイオガス化への接続実証を行った。弁当容器については、イベント（学会、本事業検討会）にて弁当を提供し実用性を検証した。育苗ポットについては、試作品を用いて土壌生分解性の検証を行った。

＜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連続成形機の金型で成形するときは、隣のキャビ同士でシートを引っ張り合い、シートが全体に延ばされて薄くなる。しかし、単発成形機では 1 個のキャビで成形するので周りのシートを引き込み、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。

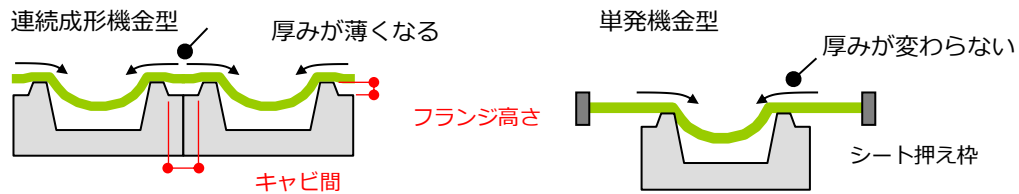
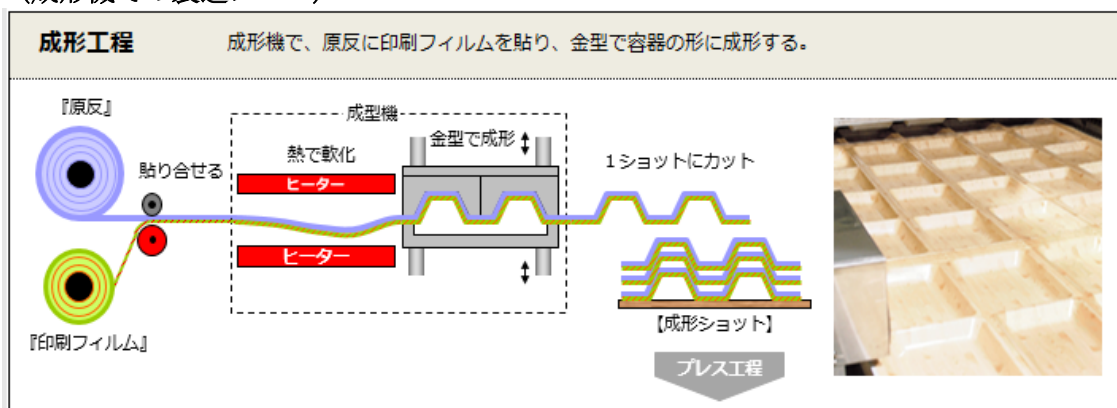


図 4 金型の説明

（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）

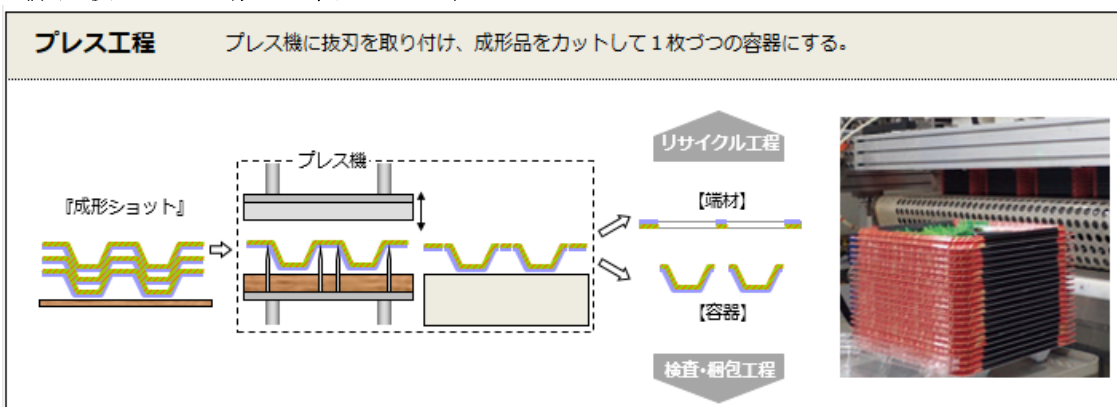


図 5 成形工程とプレス工程のフロー図

<参考2>成形方式

1) 真空成形機

シート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、シートを沿わせて、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/cm²）以上にはならない。したがって OPS（二軸延伸ポリスチレン）など収縮力の強いシートは、金型に沿わず成形不良となるので、不向きである。

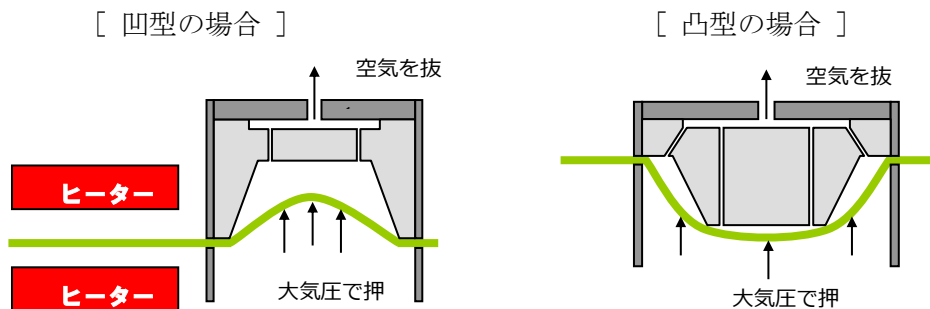


図 6 真空成形機仕組み

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られるようにした方式。シートを金型に押し付ける力が大きく、シャープな成形ができる。

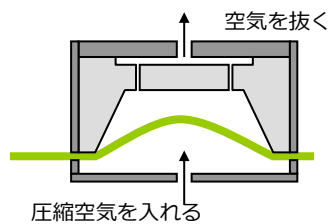


図 7 真空圧空成形機仕組み

3) 圧空成形機

熱板の小さい穴から空気を抜き、シート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、シートが金型に沿い冷却されて形状が固定する。熱板の上でシートを軟化させる。

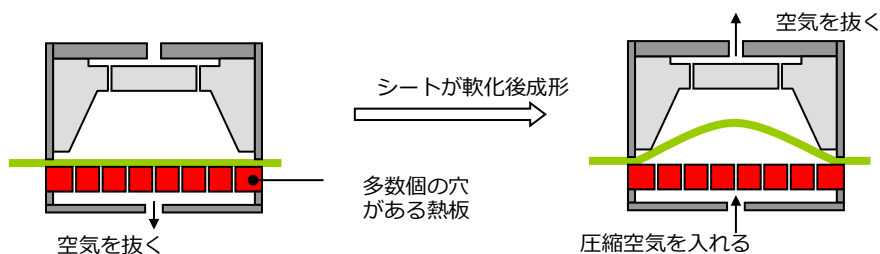


図 8 圧空成形機仕組み

<参考3>成形工程における留意事項

4) 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・シート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。

5) シートの偏肉

シート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。

6) 加熱時の偏肉

ヒーター内で軟化したシートが自重により垂れ下がり（ドロダウン）偏肉を起こす。これはヒーター温度のバランス・残留収縮力やシートの幅・厚み・比重などで違ってくる。

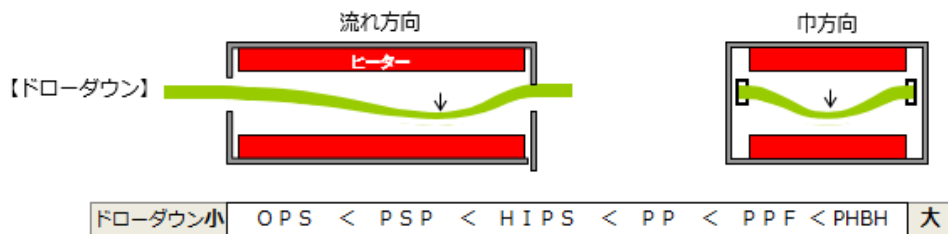


図 9 ドロダウン説明図

① 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。

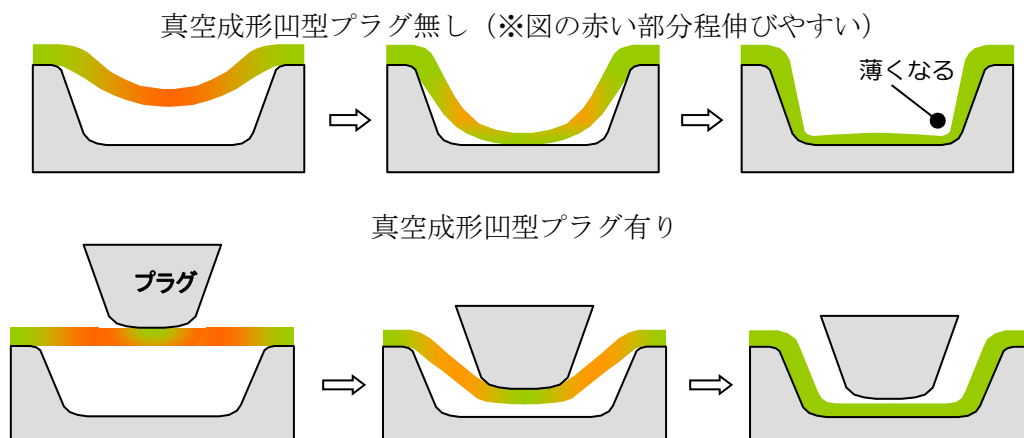


図 10 真空成形偏肉対応

（次ページに続く）

② 仕切り容器の偏肉の対策方法

仕切り付容器の成形において、仕切りの高さや間口の大きさにより、シートの引込みタイミングが変化して偏肉も変わる。特に間口の大きさに差がある容器ほど偏肉も大きくなる。従って間口が小さく深い部分を有する製品を設計するときは注意が必要である。



図 11 仕切り容器偏肉の発生

③ ノック機構（強制離型構造）

原則として逆勾配（アンダカット）やストレートの形状は成形不可（成形では最低でも3度以上、重ねた容器同士のはがれを考慮すると、浅いもので12度以上必要）。また、嵌合蓋や蓋が嵌合する本体など逆勾配がある形状は強制的に離型（型から成形品を離すこと）するために押し上げる役割を持つノック板を付け型から離型させる。この機能がノック機構である。

ノック機構は形状により離型できない成形品を押し上げて強制的に離型させるものであるため、以降では強制離型構造と呼ぶ。

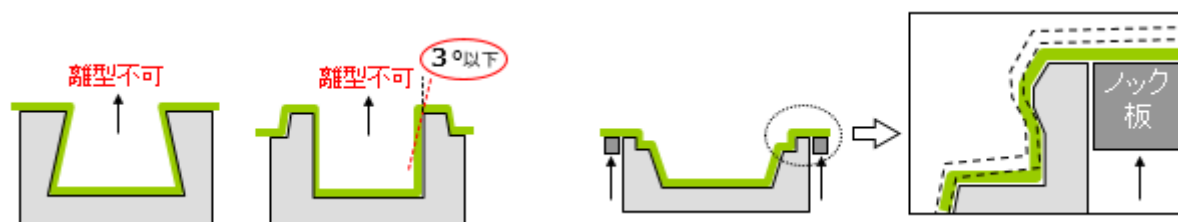


図 12 製品形状による離型方法

(3) 結果

1) 単発成形機での試作

① 試食皿・惣菜容器（本体・蓋）の成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μ m 厚の PHBH 製シートを使用し、単発成形機で検証を実施。
- ・ 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、ドロダウンが大きすぎる等の問題が生じた。

ii) 対策

- ・ 既存樹脂製造品と比較して加熱時間、成形時間を長くするように調整し、複数回の試作を行った結果、下記の写真のとおり、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。



試食皿



惣菜容器本体



惣菜容器蓋

図 13 単純な形状の容器の試作結果（単発成形）

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。
- ・ 成形品強度の観点からはこれら成形品は実使用可能と判断した。

② フードパック・弁当容器本体（強制離型構造あり）の成形テスト

i) 検証内容

- ・ PHBH の 300 μ m 厚シートを使用し、単発成形機で試作を実施。
- ・ 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、ドロダウンが大きすぎる等の問題が生じた。

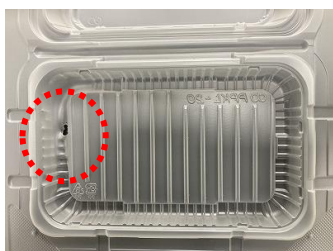


図 14 フードパック・弁当容器本体の試作結果（単発成形機）

ii) 対策

- ・ 既存樹脂製造品と比較して加熱時間、成形時間を長くするように調整し、複数回の試作を行った結果、下記の写真のとおり、安定した形状の成形できた。



図 15 フードパック・弁当容器本体の試作結果（単発成形機）

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 PHBH 専用設計フードパック（強制離型構造なし）の成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μm 厚及び 350 μm 厚の PHBH 製シートを使用し、単発成形機で試作を実施。
- ・ 連続成形テストで強制離型構造あり製品の成形が改善されなかったため、強制離型構造のない簡易的に蓋のはまるフードパックの成形テストを行った。
- ・ 成形時の穴あきの発生、強度の確認を行った。



ワンタッチで蓋が閉まる

蓋を閉めた状態

蓋を開けた状態

図 16 PHBH 専用設計フードパック（強制離型構造なし）の試作結果（単発成形機）

ii) 評価

- ・ 300 μm ・350 μm シート共に穴あきは発生しなかった。

- ・ 強度は実使用に耐えると判断した。
- ・ 強制離型構造のないフードパック形状でも簡易ロックにより蓋が閉まり、実使用に問題ないことを確認した。

④ PHBH 専用設計の弁当容器の成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μm 厚及び 350 μm 厚の PHBH 製シートを使用し、PHBH 専用の設計の弁当容器の試作を単発成形機で実施した。
- ・ 強制離型構造のない金型での成形時の穴あきとシートしわの発生を検証した。
- ・ 300 μm ・350 μm 成形品を 100 g の重りを使用し、強度検証を実施した。



容器本体画像



紙箱中仕切りでの使用画像



既存樹脂 OPS 蓋セット画像

図 17 PHBH 専用設計の弁当容器の試作結果（単発成形機）

※おかずポケット 100 g 想定の重り



300 μm シート成形品画像



※おかずポケット 100 g 想定の重り



350 μm 成形品画像

図 18 PHBH 専用設計の弁当容器（試作品）の強度検証

ii) 評価

- ・ 形状は実販売品と遜色ない成形品が出来た。
- ・ 重りを入れた検証により、強度は 300 μm ・350 μm シート成形品共に実使用可能な強度を確認した。
- ・ 成形品は紙箱の中皿での使用と、成形品に既存樹脂 OPS 蓋を嵌合した使用も可能であることを確認した。

⑤ 育苗ポットの成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μm 厚及び 350 μm 厚の PHBH 製シートを使用し、単発成形機で試作を実施した。
- ・ 300 μm シートでは成形時に育苗ポットの深さに溶融張力が耐えられず、シートの裂けや穴あきが発生した。

ii) 対策

- ・ シート厚を 350 μm に上げ、加熱時間、成形時間を 300 μm シート成形品と比較し長くするように調整し、複数回の試作を行った。

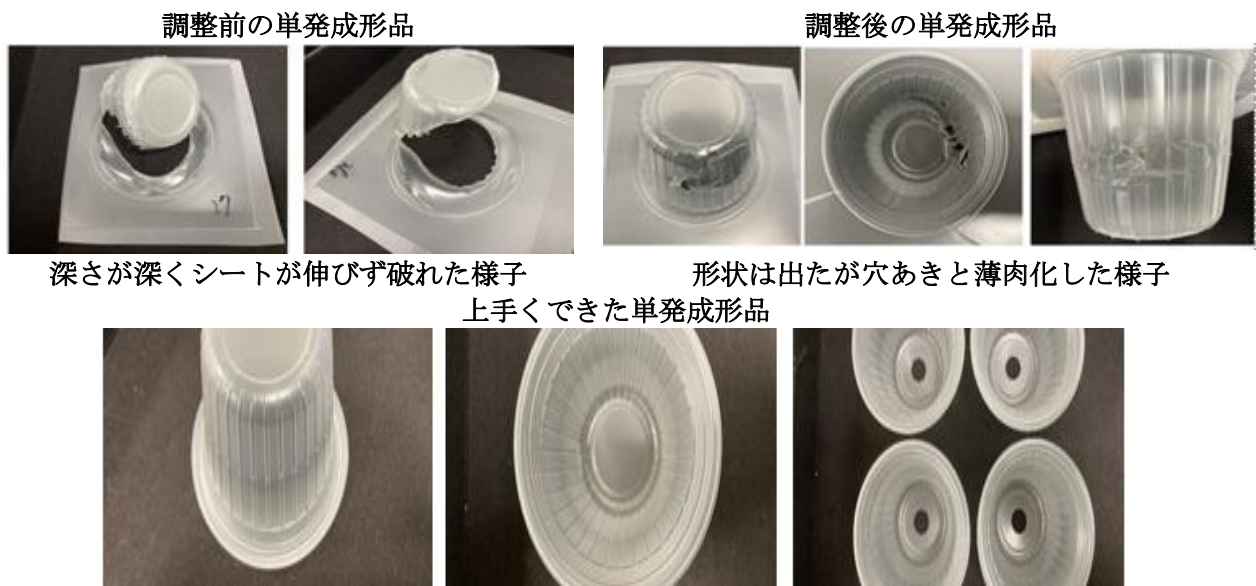


図 19 育苗ポット試作結果（単発成形機）

iii) 評価

- ・ 現状の PHBH 製シートは、300 μm 厚の場合、深さが 7 cm 程度ある深い形状の育苗ポットの成形において破れが発生した。10 個中 1 個程度は形状が上手く出たが、それでも面強度が著しく弱いことを確認した。単発成形でも形状が上手く出ないため、今回使用した 300 μm の PHBH 製シートでは連続成形機での検証は困難と判断した。
- ・ 350 μm 厚シートで施策を行うと、10 個中 2 個程度が上記下部の写真のような、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。
- ・ 一方、現状の PHBH シートは、育苗ポット成形には溶融張力が不足しているため、事業化に向けてはシートの配合等の改良を行った上での引き続きの検証が必要である。

⑥ 単発成形機での検証結果のまとめ

- ・ 強制離型構造のあるフードパック及び弁当容器は単発成形で成形できた。
- ・ PHBH 専用設計のフードパックは、形状が浅く仕切りの形状が単純で、強制離型構造のない金型設計とすることで、成形時のシートしわや容器縁部の微細な穴あきの解消が確認できた。

- ・ PHBH 専用設計の弁当容器は単発成形機での試作結果に問題がなかったため、続く連続成形機の成形テストにおいて、金型を PHBH 専用設計の弁当容器に改造し製造テストを実施。
- ・ 育苗ポットは、現状の提供シートでは単発成形機でも容器形状の安定が困難であった。育苗ポット容器形状の安定のためには、深い形状でも成形可能な熔融張力のある専用シートの開発が必要と判断した。



PHBH 専用設計フードパック
(強制離型構造なし)



PHBH 専用設計弁当容器



育苗ポット

図 20 単発成形機成果物一覧

表 3 単発成形機による成形テストの成果

形状	製品		使用シート	評価と課題
単純	試食皿		300 μ m	○：安定した成形ができた
	惣菜容器本体		300 μ m	○：安定した成形ができた
	惣菜容器蓋		300 μ m	○：透明度はなく蓋に不向き
複雑	フードパック	強制離型構造あり	300 μ m	△：真空孔由来の穴あきは連続成形機で改善の可能性あり
		PHBH 専用設計、強制離型構造なし	350 μ m	○：蓋が簡易的に可能なことを確認
	弁当容器	強制離型構造あり	300 μ m	△：穴あきの改善が必要
		PHBH 専用設計、強制離型構造なし	300 / 350 μ m	○：2 とおりの厚みで成功
	育苗ポット		350 μ m	△：熔融張力向上に向けシート自体の改善が必要

2) 連続成形機での試作

① フードパックの成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μ m 厚及び 350 μ m 厚の PHBH 製シートを使用し、連続成形機により成形検証を実施した。
- ・ 成形テスト品 500 枚で目視による検品を行い、収率を測定した。
- ・ 昨年度検証での設定をもとに成形したところ、ランダムな位置に不定期な穴が生じる現象は解消したが、容器縁部に微細な穴あきと成形後の製品にしわが一部発生した。



図 21 フードパック試作結果（連続成形機）

ii) 対策

- ・ これまでの検証結果から、成形時のドローダウン対策として加熱時間と成形時間を長くするという成形条件の変更を行うことでシートしわの発生の抑制を行った。
- ・ 容器縁部で発生する微細な穴あきの対策として、真空引きの圧力を弱く、引き込みのタイミングを遅くする調整を行った。

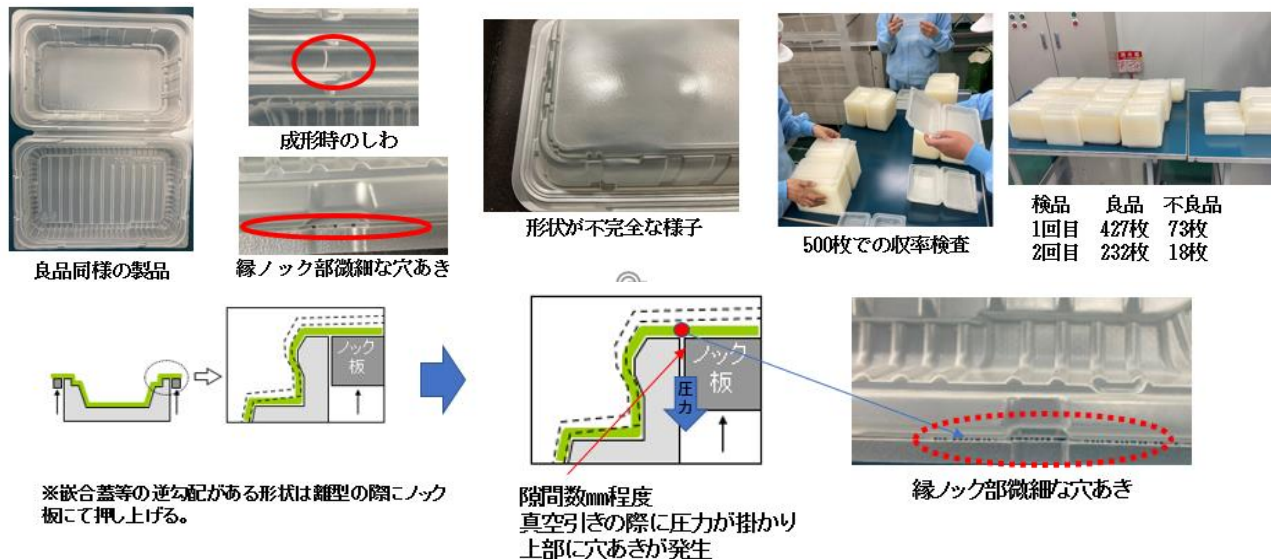


図 22 フードパック成形工程の改善（連続成形機）

iii) 評価

- ・ 形状に問題なく穴あきが発生していないものも半数以上できている。
- ・ 真空引きの圧力とタイミング調整、温度調整で容器縁部の微細な穴あきの減少は確認できたが、形状が甘くシャープな成形はできていない。穴あき不良は7%程度まで減少できた。
- ・ シャープな成形とシートしわの対策を成形温度アップ、真空引きの圧力上昇の措置を講じると、容器縁部の微細な穴あきが多くなることを確認した。
- ・ 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、真空引きの圧力、タイミングを変更したが、現状の PHBH の 300 μm ・350 μm 厚シート共に、金型に強制離型構造がある製品で発生していることを確認した。
- ・ 使用した PHBH 製シートを使用する場合、強制離型構造部の隙間による穴あきは成形時の設定条件での解消は困難と判断した。PHBH 製シートの溶融粘度、溶融張力の改良が可能であ

れば、金型にノックがあるタイプの容器の製造の可能性は検討できる。

② 弁当容器（強制離型構造あり）の成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μm ・350 μm ・400 μm 厚の PHBH 製シートを使用し、連続成形機により検証を実施した。
- ・ 成形テスト品 500 枚～3,000 枚での良品の比率を目視検品にて実施した。
- ・ 従来検証時の条件で成形したところ、成形品にランダムな位置の不定期な穴は解消したが、成形時のシートしわの発生、容器縁部の微細な穴あきが発生した。

ii) 対策

- ・ これまでの検証結果から、成形時のドローダウン対策として加熱時間と成形時間を長くするという成形条件の変更を行うことでシートしわの発生の抑制を行った。
- ・ 容器縁部で発生する微細な穴あきの対策として、真空引きの圧力を弱く、引き込みのタイミングを遅くする調整を行った。



良品相当の製品



シートしわ



微細な穴あき



検品での収率検査

図 23 弁当容器（強制離型構造あり）の試作結果（連続成形機）

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ものも確認できた。
- ・ 成形機の加熱条件、成形速度条件を変更したが、成形品に偏肉によるしわの発生、容器縁部の微細な穴あきの完全な解消には至らなかった。
- ・ 成形時のしわと容器縁部の微細な穴あきについて、シート厚みを変更して対応したが、350 μm ・400 μm 厚シートで良品率 50%に留まった。
- ・ 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（PP/PS）品との比較で 2.9 倍であった。
- ・ フードパックでの検証同様に、金型に強制離型構造があることで容器縁部の微細な穴あきが発生していることを確認した。

iv) 今後の対応

- ・ これまでの検証結果を基に、深さが浅く、仕切り部の傾斜角を緩やかにし、本体に強制離型構造がない PHBH 専用の単発金型で検証を行う。
- ・ 単発成形機の検証で問題なければ、連続成形機の本型に試作単発型 12 式を組み込み、連続成形テストを実施する。

- ・ PHBH 専用金型作成の事前検証として、強制離型構造がない既存樹脂製造製品の弁当容器での連続成形検査も実施する。

③ 弁当容器（深さの浅い強制離型構造のないもの）の成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μ m・350 μ m 厚、シート幅 1,045 mm の幅広タイプの PHBH 製シートを使用した。
- ・ これまで検証した弁当容器より深さが浅く、傾斜角が緩やかで強制離型構造がない弊社既存型で、PHBH 専用に設計した金型での連続成形の予備検査として検証した。
- ・ 新たに従来検証より、シート幅広タイプでの成形時の問題点を検証した。

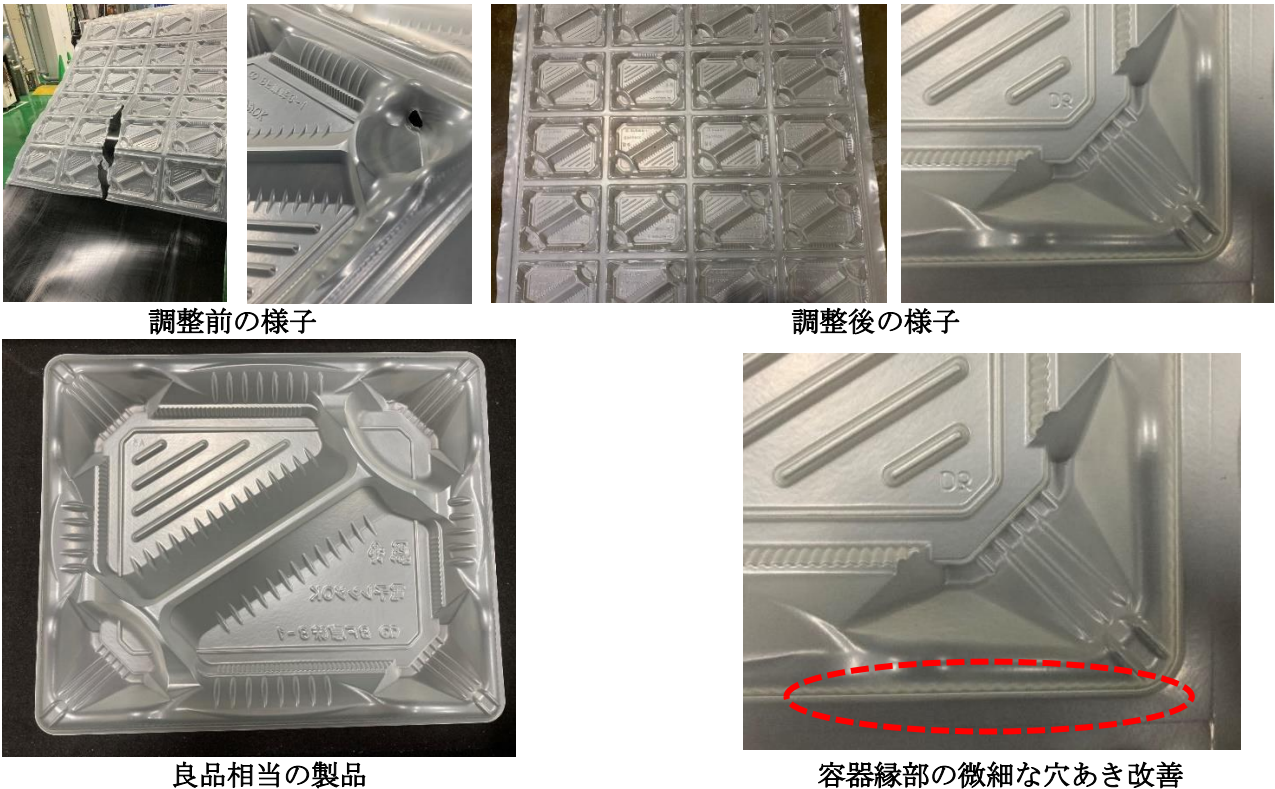


図 24 弁当容器（深さの浅い強制離型構造のないもの）の試作結果（連続成形機）

ii) 評価

- ・ 形状は安定した製品が多くできており、良品は既存樹脂品と同程度と判断した。
- ・ シート幅が広くなることと厚みアップによるドローダウンの増加でシートしわや不規則な穴あきなどの成形の悪化を想定したが、成形条件調整により解消した。
- ・ サイクルタイムは従来検証していた弁当容器と比較し形状が単純であること、強制離型構造由来の穴あきが回避できたことから改善した。
- ・ 300 μ m・350 μ m 厚共にシート幅 1,045mm での成形でドローダウンの調整を実施後、強制離型構造がない金型での成形では微細な容器縁部での穴あきが発生しないことを確認した。

iii) 今後の対応

- ・ 300 μm ・350 μm 厚シート幅 1,045mm のタイプで同様に課題の解決が確認できたため、予定している PHBH 専用型での成形テスト検証に移行する。

④ PHBH 専用設計弁当容器の成形テスト

i) 検証内容

- ・ 300 μm ・350 μm 厚、シート幅 1,045 mm の幅広タイプの PHBH 製シートを使用した。
- ・ 従来検証した弁当容器より深さが浅く、傾斜角が緩やかで強制離型構造がない PHBH 専用に設計した金型での連続成形の検証を行った。
- ・ 専用金型は、金型の隣り合う容器の間の余白部分を、従来品より広く取ることで成形時の偏肉等の影響が少なくなるように設計した。
- ・ 既存製品の金型を改造し、従来品の仕切り形状が複雑な容器と PHBH 専用設計製品での成形後の穴あきやしわ発生の比較検証を行った。
- ・ 300 μm ・350 μm シートでサイクルタイムと穴あきの改善試作を計 8 回実施した。
- ・ 剛性改良シート 300 μm 成形品と従来シート成形品 300 μm 成形品での座屈強度測定を行った。

＜参考 4＞座屈強度測定

容器の、向かい合う各端縁部のそれぞれ中央部分に治具（端縁部を固定する部位の長さ 25 mm）を当接させ、容器を固定した。一方の治具を、試験速度 100 mm/min にて容器の内方へ移動させた。荷重値（N）がピークを過ぎた時を終点とし、このときに検出された荷重値（N）の最大値を、容器の座屈強度として評価した。強度の測定には、試験機：エーアンド・デイ製 テンシロン万能試験機 RTF-1210 を使用した。



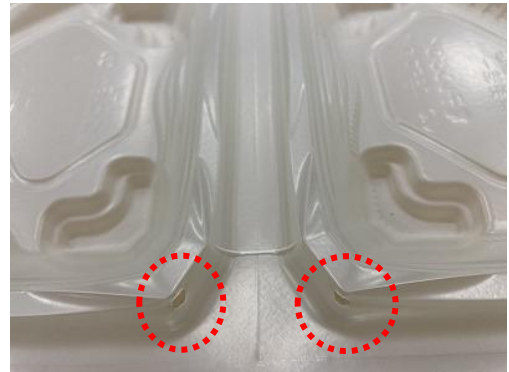
PHBH 専用設計金型



既存製品と PHBH 専用設計の比較成形



シート表層まだらなムラと穴あき



既存製品箇所のみ穴あきとシートしわ発生

図 25 PHBH 専用設計弁当容器の試作結果（連続成形機）

ii) 対策

- ・ 成形品の一部で微細な穴あきが不定期的に発生、成形温度の調整、真空引きの圧力の調整を行った。
- ・ 成形品の穴あきやシートしわの発生は減少したが、成形品のシート表層のまだらなムラが発生しており解消のため成形温度の調整を行った。
- ・ 1,045 mm シート剛性改良タイプでの成形テストを実施した。

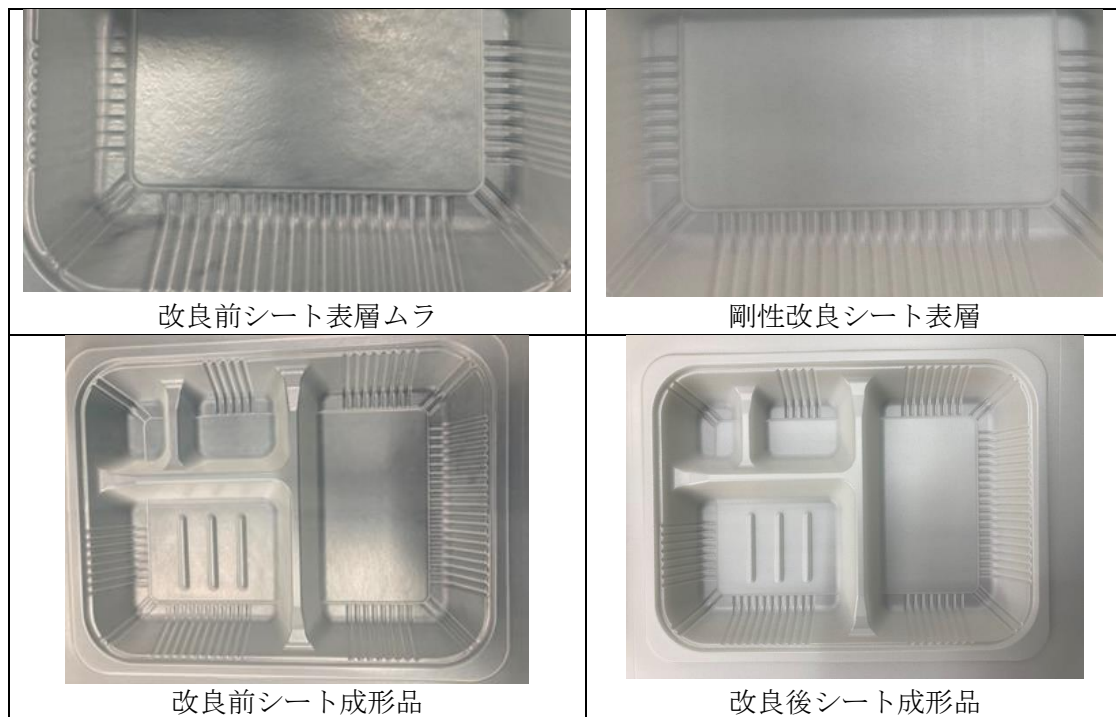


図 26 従来シート及び剛性改良シートでの成形品比較画像

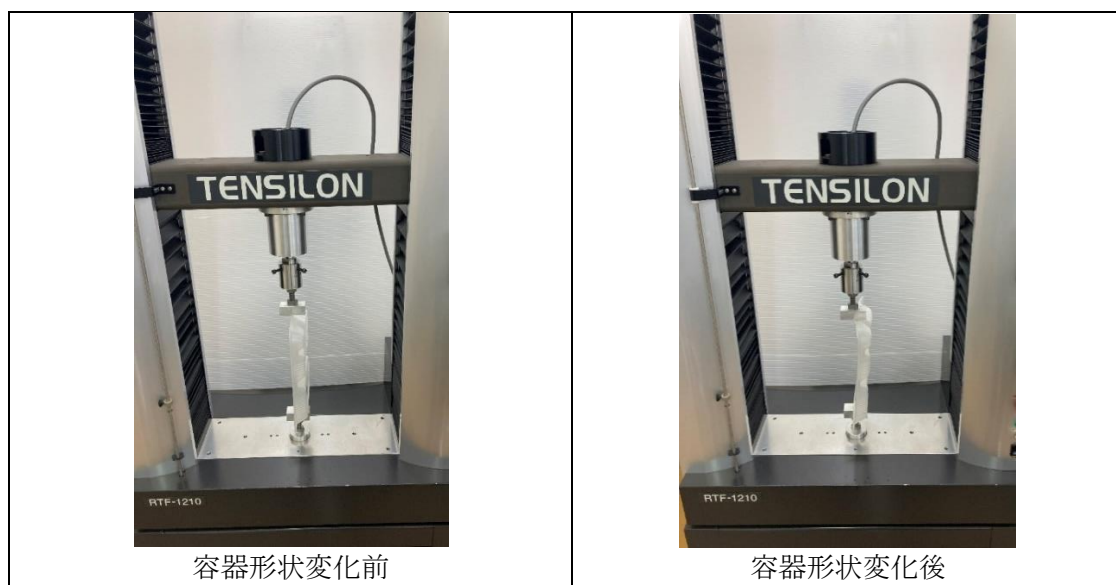


図 27 座屈強度測定機による強度の検査

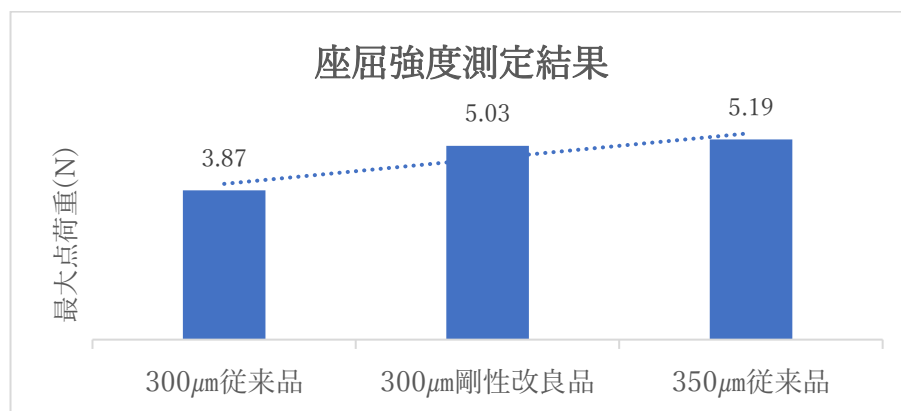


図 28 座屈強度測定結果

iii) 評価

- ・ 形状は安定した製品が多くできており、良品は既存樹脂品と同程度と判断した。
- ・ 300 μm ・350 μm 厚共にシート幅 1,045 mm での成形でドローダウンの調整を実施後、強制離型構造がない金型での成形では微細な容器縁部での穴あきが発生しないことを確認した。
- ・ PHBH 専用金型箇所では、穴あきやシートしわは発生しないが、既存製品の箇所では容器形状が複雑な個所での穴あきやシートしわを多く確認した。
- ・ サイクルタイムは従来検証していた弁当容器と比較して形状が単純であること、強制離型構造由来の穴あきが回避できたことから改善した。
- ・ 1～2 回目の試作品の検品を 300 μm ・350 μm 共に 480 枚で実施した結果、不良品率は 300 μm で 2.7%、350 μm で 0.6%と、従来の容器から不良品は大幅に減少したことを確認した。
- ・ 成形後のシート表層にまだらなムラが発生したが、3～4 回目の成形テストにて、温度調整での解消を確認した。
- ・ 5～7 回目の試作にて、各種調整での不定期な穴あきの改善を講じ、300 μm シートで穴あきが 240 枚中 1 枚と良品率 99.5%、350 μm シートでは 240 枚中 3 枚と良品率 98.7%であり、何れも検品での対応で強度、形状、良品率ともに実販売可能と判断した。
- ・ 最終検証としてシート剛性改良シート成形テストの結果、穴あき、形状の安定、シート表層のムラの不具合を完全に解消し、240 枚での検品で 100%良品と判断し、社会実装可能な成形技術を PHBH 専用設計弁当容器にて確立した。
- ・ 剛性改良シート成形品については、従来の 300 μm シート成形品と比較し、座屈強度が改善され 1.26 倍程度ニュートン比で強度アップを確認、従来 350 μm シート成形品と比較して同様程度の強度を確認し、剛性改良での強度の改善が確認できた。

⑤ 透明ラップ対応容器

i) 検証内容

- ・ 300 μm ・350 μm 厚、シート幅 988 mm の PHBH 製シートを使用した。
- ・ 金型に強制離型構造及び仕切りのない容器での連続成形検証。
- ・ 成形品のラップ包装の適性の確認。



成形が安定している様子



良品同様の製品



微細な穴あき箇所

図 29 透明ラップ対応容器の試作結果（連続成形機）

ii) 対策

- ・ 成形品の一部で不規則な微細な穴あきが不規則に発生したため、成形温度を低く、加熱時間を長く、真空引きの圧力を下げる調整を行った。
- ・ 真空孔由来の穴あきが発生したため真空引きの圧力をさらに下げる調整を行った。

iii) 評価

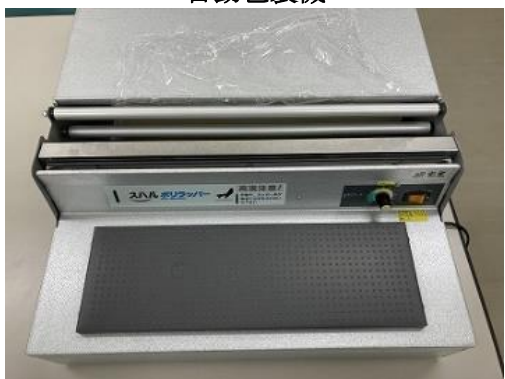
- ・ 形状は安定した製品が多くできており、良品は既存樹脂品と同程度と判断した。
- ・ 300 μ m・350 μ m 厚ともにシート幅 988 mm での成形でドローダウンの調整を実施後、強制離型構造がない金型での成形では微細な容器縁部での穴あきが発生しないことを確認した。
- ・ 金型の隣接する型の余白が狭い製品は微細な穴あきが発生しやすいことを確認した。
- ・ ラップ包装は既存の透明容器 A-PET 品と比較し、ラップの滑りが良く自動包装机でのラップ適性が優れていることを確認した。
- ・ 300 μ m・350 μ m シート成形品共に強度に問題がないことを確認した。



自動包装机



自動包装机ラップ品



卓上手動包装机



手動包装机ラップ品

図 30 透明ラップ容器包装テスト結果

⑥ 連続成形機（実機）での検証結果のまとめ

- i) 単純な形状（透明ラップ対応容器）複雑な形状物（フードパック・弁当容器・強制離型構造のない弁当容器・PHBH 専用設計弁当容器）を対象とした試作結果の評価
- ・ フードパック・弁当容器ともに成形検証の結果、現状提供の PHBH 製シートでは、金型強制離型構造に由来する容器縁部の微細な穴あきは既存樹脂用の製造金型では解消が困難なことが判明した。
- ・ 現状提供の PHBH 製シートでは既存樹脂と比較し、熔融張力や熔融粘度が不足していることが

確認できた。

- ・ 現状提供の PHBH 製シートでは深さが浅く、仕切りの角度が緩やかで、蓋のはまることを想定しない金型に強制離型構造がないタイプであれば、容器縁部の微細な穴あき、成形時のシートしわ、不定期的な穴あきが改善したが、シートに由来する微細な穴あきの除去が検品により必要と判断した。
- ・ 剛性改良シートでの成形品は従来の検証での課題を解決したことで、形状の安定、成形品シート表層のムラの解消、穴あきの解消を達成し、良品率 100%を確認し、本事業で目的とする実使用を想定した良品と判断できる成形が可能であり、社会実装可能と判断した。
- ・ 剛性改良 300 μm シートでの成形品は従来検証の 300 μm シートと比較して同様の厚みで成形品の強度についても改善を確認した。
- ・ 本事業で弁当容器、試食皿、惣菜容器、フードパック、ラップ対応トレー等の様々な製品の成形テストを実施し、製品として既存製品と遜色ない物も多数確認できており、剛性を改良した PHBH 製シートでの追加検証及び、PHBH 製シートの更なる溶融張力、溶融粘度の改善ができれば、これらの検証した既存石油由来の食品容器が全般的に実製品化の可能性は十分に期待できる。
- ・ 剛性改良シート成形品の PHBH 専用設計弁当容器本体（蓋は除く）の価格は、現時点で既存樹脂品の 5.5 倍程度となることを確認した。

ii) 今後の対応

- ・ これまでの検証で得られた知見から PHBH 製シートでの簡易食品容器製造の製造、限定的な形状・用途での社会実装の可能性が確認できたため、使用見込みのある企業と折衝を行う。
- ・ イベント用・弁当容器の実販売想定形状は一定の評価は得られたため、より多くの使用が想定される食品容器についても、継続して剛性改良シートでの検証や、PHBH 製シートの改良による成形性の向上、溶融張力、溶融粘度の改善を（株）カネカと検討する。



フードパック



深さが深い弁当容器



強制離型構造のない弁当容器



透明ラップ対応容器

図 31 連続成形機成果物一覧



PHBH 専用設計弁当容器

図 32 成形技術の確立が完了した製品

表 4 連続成形機の結果

形状	製品		使用シート	評価と課題
単純	透明ラップ対応容器	強制離型構造なし	300 / 350 μm	△：隣り合う型同士が近く偏肉の影響による穴あきが発生。
複雑	フードパック	強制離型構造あり	300 / 350 μm	△：強制離型構造部分での微細な穴あき解消が困難と判断。良品率 68% (350 μm シート)。
	弁当容器	強制離型構造あり	300 / 350 / 400 μm	△：厚みを上げて対応も強制離型構造部分での微細な穴あきと不定期的な穴あきの解消が困難と判断。良品率 49% (400 μm シート)。
		浅型弁当容器強制離型構造なし	300 / 350 μm	○：強制離型構造部分での穴あきの解消を確認
		PHBH 専用設計、強制離型構造なし	300 / 350 μm / 剛性改良 300 μm	◎：剛性改良 300 μm シートにて穴あきの完全解消と良品相当の成形を確認。良品率 100%。

3) PHBH 製食品容器耐熱温度の評価結果

① PHBH 容器耐熱性評価

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。
- ・ 剛性改良シート成形品についても、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。
- ・ 電子レンジ加熱後、内容物温度を芯温計を使用し確認測定し、500 W に 2 分、3 分 30 秒 1,900W40 秒加熱後の穴あきや容器形状の確認を行った。

※ワンウェイ容器の耐熱温度に係る JIS 規格はなく、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。



恒温油浴機



左：300 μm 従来シート 右：300 μm 剛性改良シート

120℃での恒温油浴機検査後



左：300 μm 従来シート 右：300 μm 剛性改良シート

125℃での恒温油浴機検査後

図 33 恒温油浴機での耐熱温度評価

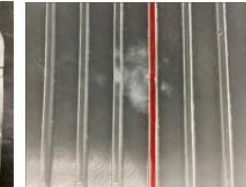
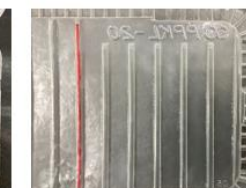
電子レンジ 加熱検査 出力 500w 時間 2分	300 μ mシート成形品加熱後芯温測定		加熱後全体画像	右：おかず部分
				
	レンジにて加熱後		容器変形穴あきなし	容器変形穴あきなし
電子レンジ 加熱検査 出力 500w 時間 2分	350 μ mシート成形品加熱後芯温測定		加熱後全体画像	右：おかず部分
				
	レンジにて加熱後		容器変形穴あきなし	容器変形穴あきなし
電子レンジ 加熱検査 出力 500w 時間 3分30秒	300 μ mシート成形品加熱後芯温測定		加熱後全体画像	右：おかず部分
				
	レンジにて加熱後		容器変形穴あきなし	容器変形穴あきなし
電子レンジ 加熱検査 出力 500w 時間 3分30秒	350 μ mシート成形品加熱後芯温測定		加熱後全体画像	右：おかず部分
				
	レンジにて加熱後		容器変形穴あきなし	容器変形穴あきなし
電子レンジ 加熱検査 出力 1900w 時間 40秒	300 μ mシート成形品加熱後芯温測定		加熱後全体画像	右：おかず部分
				
	レンジにて加熱後		容器変形穴あきなし	容器変形穴あきなし
電子レンジ 加熱検査 出力 1900w 時間 40秒	350 μ mシート成形品加熱後芯温測定		加熱後全体画像	右：おかず部分
				
	レンジにて加熱後		容器変形穴あきなし	容器変形穴あきなし

図 34 電子レンジでの耐熱温度評価

ii) 評価

恒温油浴機の検査より、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ことを確認した。

剛性改良シート成形品での恒温油浴機での検査の結果、改良前のシート成形品と比較し 120℃以上での形状変化が軽減されたため、食品容器耐熱温度 120℃のシーピー化成（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ことを確認した。

500 W にて 2 分加熱品は内容物も 60～70℃程度の温度であり容器底面の穴あきや形状の変化は確認できなかったため電子レンジ使用に問題ないことを確認した。

予備検査として超過加熱を想定した、500 W、3 分 30 秒の加熱品は、内容物の温度がご飯、おかず共に 90℃を超えており超過加熱であると判断した。容器底面に穴あきや形状の変化は確認できなかったが、底面シート表層ムラが発生した。

予備検査として超過加熱を想定した、1,900 W、40 秒加熱品は、内容物の温度はご飯、おかず共に 90 度を超えており超過加熱であると判断した。油分が多いおかず部分に若干の容器表層のムラの発生を確認したが、穴あき、形状の変形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 	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。	130℃	  電子レンジ 対応
PPF ポリプロピレン (フィラー及びPS入り) 	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、低燃焼力ローです。	130℃	
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。	110℃	
NF 耐熱発泡ポリスチレン 	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。	105℃	
バイオBF 低発泡ポリスチレン (PP/バイオマスPE入り) 	BFにバイオマスポリエチレンを配合した素材です。 耐熱性や耐燃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】 ※家庭用むし器で使わないでください。	105℃	
BF 低発泡ポリスチレン (PP入り) 	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】 ※家庭用むし器で使わないでください。	105℃	
BS ポリスチレン (PP入り) 	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。	100℃	
TN 発泡ポリスチレン 	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 35 当社既製品の耐熱温度一覧

4) イベント会場での展示・使用

① 実施概要

i) スーパーマーケットトレードショー（2023年2月15日～17日開催）

本事業の展示を行うとともに来場者にアンケートを実施した。また、株式会社あじかん展示会ブースにて試食皿の試作品を使用し、来場者が試食した後の試食皿を分別回収した。回収した PHBH 製試食皿は粉碎し、バイオガス化プラントへの接続の実証に用いた。

ii) しまなみ PACK（2023年10月25日～26日開催）

本事業の展示を行うとともに来場者にアンケートを実施した。

iii) 日本アクセス 中四国デリカ内見展示会（2023年11月22日開催）

ブースでの試食皿として使用し、来場者が試食した後の試食皿を分別回収した。回収した PHBH 製試食皿は粉碎し、バイオガス化プラントへの接続の実証に用いた。

② 展示ブースでの対応

来場者に PHBH の特性及び食品容器での社会実装を含めた本システム実証事業の説明を実施した。当社環境ブースの中でも当該展示に対しては来場者の関心と問い合わせが非常に多く、素材転換の必要性や関心が高まっているなかで、生分解性プラスチック PHBH の性能に対して高い興味と関心が伺え、また、様々な食品容器用途に対しての積極的な意見を確認した。



図 36 展示会での説明パネル

③ イベント会場でのアンケート調査

i) 実施方法

PHBH での成形検証品をシーピー化成（株）展示会ブースに展示し、来場者に以下の項目でアンケートを実施した。

アンケート項目

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ごの様に感じたか。

設問③ 海洋でも生分解する食品容器が増えることをどう思うか。

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) 良いと思わない 3) その他ご意見

設問③ 1) 良いと感じた 2) 良いと思わない 3) その他ご意見

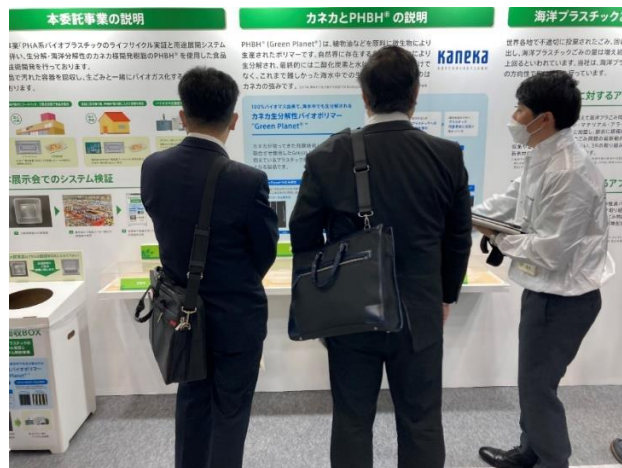


図 37 2023 年 2 月 15 日～17 日アンケート風景

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？

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

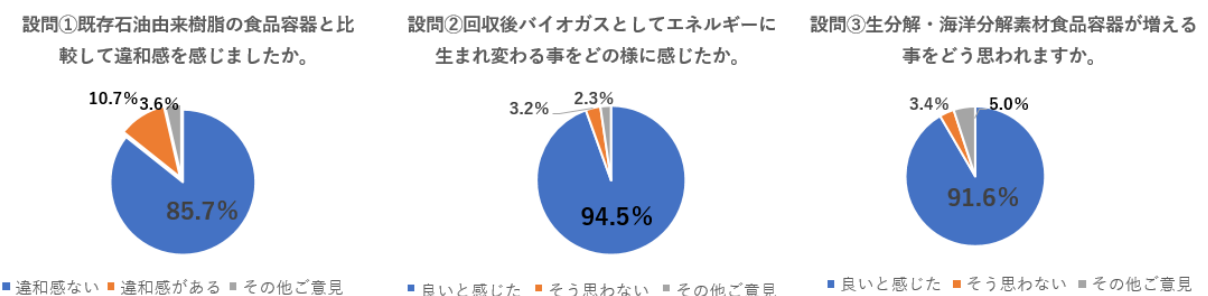


図 38 2023 年 2 月 15 日～17 日アンケート集計結果



図 39 2023 年 10 月 25 日～26 日アンケート風景

アンケート集計

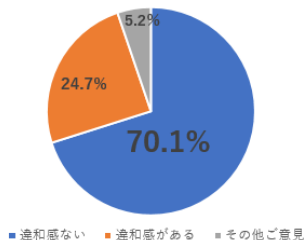
2023年10月展示会しなみPACKアンケート記載内容

- 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の様に感じたか。
- ③海洋でも生分解する食品容器が増える事をどう思われますか？

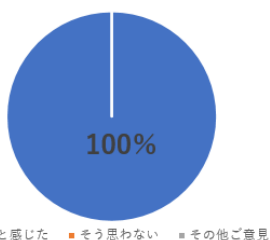


アンケート内容	回答1)	回答2)	回答3)その他ご意見
質問①	54	19	4
質問②	71		
質問③	59	3	8

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う思われますか？



設問③：海洋でも生分解する食品容器が増える事をどう思われますか？

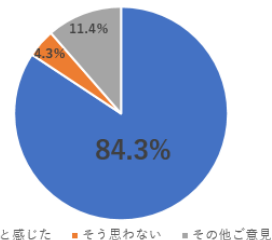


図 40 2023 年 10 月 25 日～26 日アンケート集計結果

設問① 3) その他ご意見の一例

- ・スーパーマーケット商品開発の目線から柄がないのは違和感がある。
- ・蓋をした際に中身が見えないため、違和感がある。
- ・触った感じに少し違和感がある。
- ・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。
- ・惣菜トレーとしてラップで対応できれば、蓋のコスト分は下がり、使用の可能性はある。

設問② 3) その他ご意見一例

- ・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) その他ご意見の一例

- ・海洋でも生分解することを PR するとポイ捨てが増えそう。
- ・海洋でも生分解する製品を無理して増やすより土中での生分解等で早期実装出来る生分解樹脂での食品容器実装を急ぐべき。
- ・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

設問 1 の PHBH 製試食皿の既存樹脂品と比較した違和感については、第 1 回目の来場者アンケートでは、総数約 950 件のうち違和感ないとの意見が 85.7%であり、第 2 回目の来場者アンケートでは、総数約 70 件程度のうち違和感ないとの意見が 70.1%だった。第 2 回目は、第 1 回目より違和感があるという回答が多かったが、具体的には、柄がない点や、蓋として使用した際に透明度がないなどの、見た目に対しての違和感が指摘された。一方で、容器の形状や強度等は多くの方から違和感ないとの評価を頂いた。

設問 2 のバイオガス化によるリサイクルシステムについても、1 回目のアンケートで 94.5%、2 回目で 100%の回答者より「良いと感じた」と回答が得られ、多くの方が好意的な評価をしていることを確認できた。

設問 3 で尋ねた、海洋でも生分解する食品容器が増えることについては、1 回目で 91.6%、2 回目で 84.3%の回答者から良いとの評価を得たが、一部、海洋でも生分解できる点がポイ捨てを誘発するとの意見もあった。

展示会での説明対応及びアンケート回答から、全体として PHBH 製食品容器の社会実装について好意的な反応が得られた。一方で既存樹脂品との価格差や、保管時に分解する可能性、バイオガス化の社会実装の可能性についての質問が多くあった。

④ PHBH 製試食皿の使用

i) 実施方法

1 回目は 2023 年 2 月 15 日～17 日スーパーマーケットトレードショーにて株式会社あじかん展示会ブースにて使用した。

2 回目は 2023 年 11 月 22 日株式会社日本アクセス展示会ブースでの試食皿として使用した。

来場者が試食した後の試食皿を、使用後の PHBH 製試食皿を入れる分別回収 BOX と、PHBH 製試食皿以外の試食皿、スプーン、箸等を入れる分別回収 BOX に分けて回収した。回収した PHBH 製試食皿は粉碎し、バイオガス化プラントへの接続の実証に用いた。

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。
- ・既存の試食皿と比較し強度の不足を感じることはなかった。



図 41 2023 年 2 月 15 日～17 日 PHBH 製試食皿使用の様子



図 42 2023 年 11 月 22 日 PHBH 製試食皿使用の様子



図 43 設置した分別回収 BOX

⑤ 展示会での PHBH 製試食皿の分別回収結果

i) 実施方法

上記の「PHBH 製試食皿専用回収 BOX」及び「その他スプーン試食容器回収 BOX」への投入物の調査を実施した。

ii) 結果

スーパーマーケットトレードショー（2023年2月15日～17日開催）

「PHBH 製試食皿専用回収 BOX」の回収物を調査した結果、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 であった。回収時に分別を促す訴求を実施したが、結果として PHBH 製試食皿は 28.3%であった。展示会場という分別回収がしやすい環境下においても、厳しい分別率の結果となった。

「その他スプーン試食容器回収 BOX」は、総試料数 701 枚中、PHBH 製試食皿 2 枚、その他プラスチック製試食皿 698 枚、PET ボトル 1 本と、回収対象物が多く、PHBH の混入比率が低い結果となった。

PHBH 製試食皿を利用した来場者は PHBH の分別回収について説明を受けていたが、その他の試食皿の利用者は分別回収の説明を受けておらず、その他プラスチック製試食皿が PHBH 製試食皿専用回収 BOX に投入されたものと考えられる。



図 44 2023 年 2 月 15 日～17 日回収 PHBH 製試食皿専用回収 BOX 試料調査



図 45 2023 年 2 月 15 日～17 日回収 その他スプーン試食容器回収 BOX 試料調査

表 5 2023 年 2 月 15 日～17 日回収 PHBH 専用回収 BOX 結果

PHBH試食皿専用BOX	総検体数	PHBH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	400g
回収割合	—	28.2%	69.5%	2.3%	—

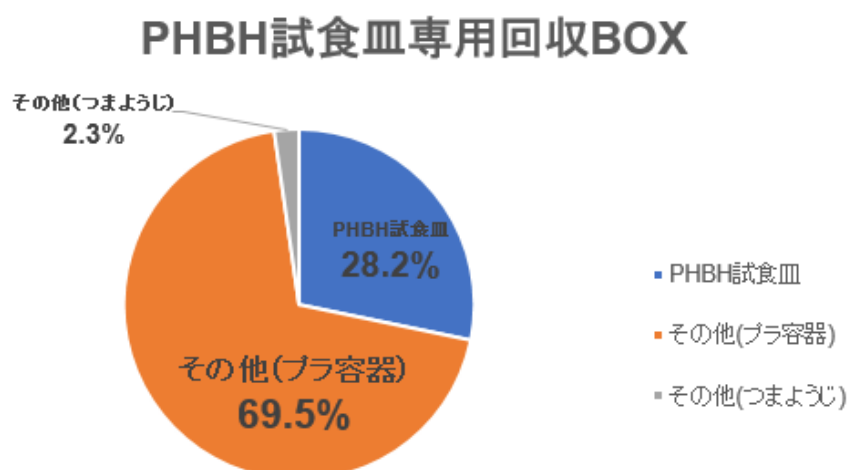


図 46 2023 年 2 月 15 日～17 日回収 PHBH 専用回収 BOX 結果

表 6 2023 年 2 月 15 日～17 日回収 その他スプーン試食容器回収 BOX 結果

その他試食皿回収BOX	総検体数	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	400g
回収割合	—	0.3%	99.6%	0.1%	—

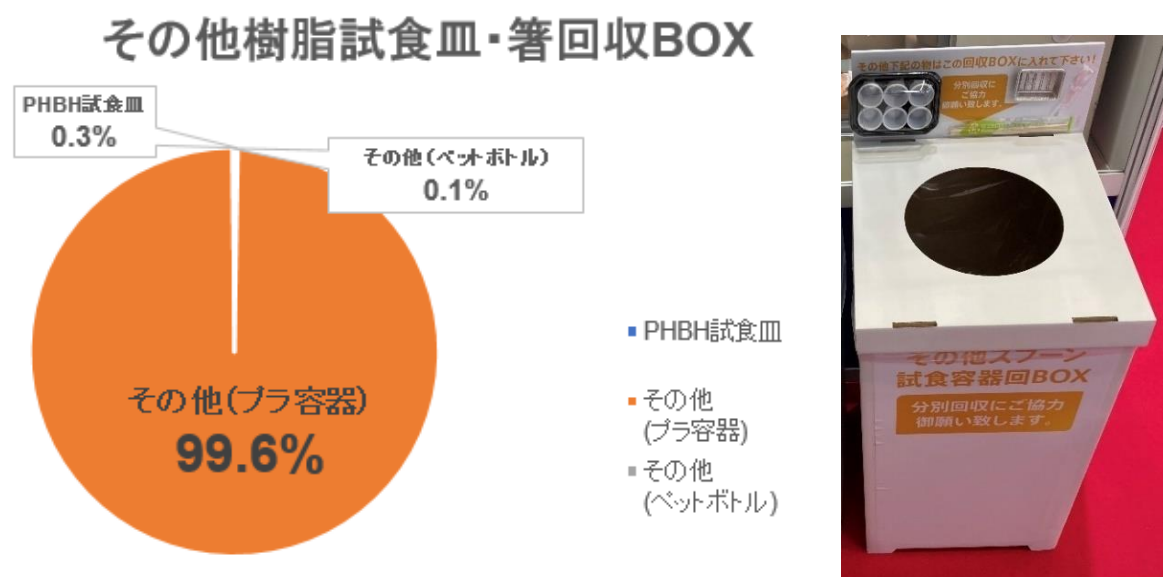


図 47 2023 年 2 月 15 日～17 日回収 その他スプーン試食容器回収 BOX 結果

日本アクセス 中四国デリカ内見展示会 (2023 年 11 月 22 日)

2 回目の回収実験は使用日程が 1 日と短かったため、回収した総量は少なかったが、PHBH 製試食皿の専用回収 BOX に投入された PHBH 製試食皿は 141 枚だった。展示会での試食皿使用企業 10 社で使用した PHBH 製試食皿の総枚数は 200 枚であり、7 割程度の分別回収が確認できた。

今回は回収 BOX での分別回収の掲示に加え、試食皿使用に協力いただいた企業からも、試食後の PHBH 製試食皿の専用回収 BOX への分別投入を促して頂くとともに、専用回収ボックスから試食箇所が遠い企業については、協力を要請した 10 社が自主的に各ブースで PHBH 製試食皿の分別手回収に協力頂いた。その結果、回収率を増やす結果につながったと考えられる。

加えて PHBH 製試食皿専用回収ボックスに今回は分別回収を促す人員を付け、対応したことも回収ボックスの異物率の低減と分別回収の徹底に繋がった。

また本展示会ではその他試食皿や爪楊枝等については、各出展企業の前に設置されたごみ箱に多く投入されたため、回収量が少ない結果となった。



図 48 2023 年 11 月 22 日回収分 PHBH 製試食皿専用回収 BOX 試料調査



図 49 2023 年 11 月 22 日回収分 その他スプーン試食容器回収 BOX 試料調査

表 7 2023 年 11 月 22 日 試料調査 PHBH 専用回収 BOX 結果

PHBH試食皿専用BOX	総検体数	PHBH試食皿	その他樹脂試食皿	ペットボトル	その他(爪楊枝・割り箸等)
回収数量	145個	141個	0個	0個	4本
回収割合	—	97.2%	0%	—	2.7%

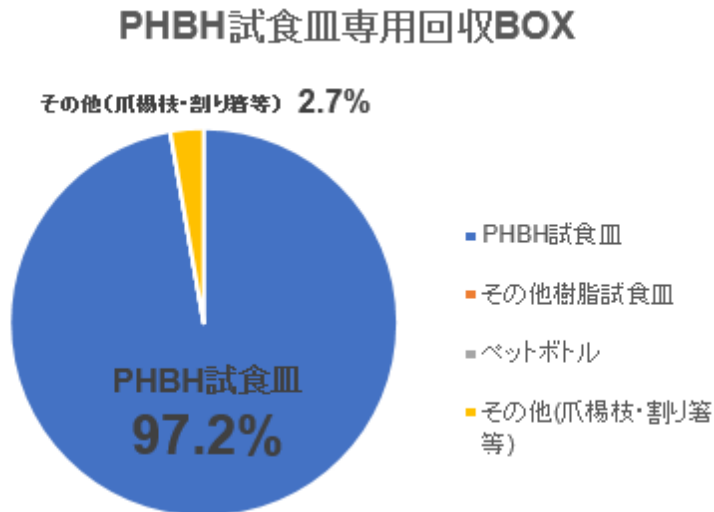


図 50 2023 年 11 月 22 日 試料調査 PHBH 専用回収 BOX 結果

表 8 2023 年 11 月 22 日 試料調査その他スプーン試食容器回収 BOX 結果

その他試食皿回収BOX	総検体数	PHBH試食皿	その他樹脂試食皿	ペットボトル	その他(爪楊枝・割り箸等)
回収数量	37個	0個	19個	2本	16本
回収割合	—	0%	51.3%	5.4%	43.2%

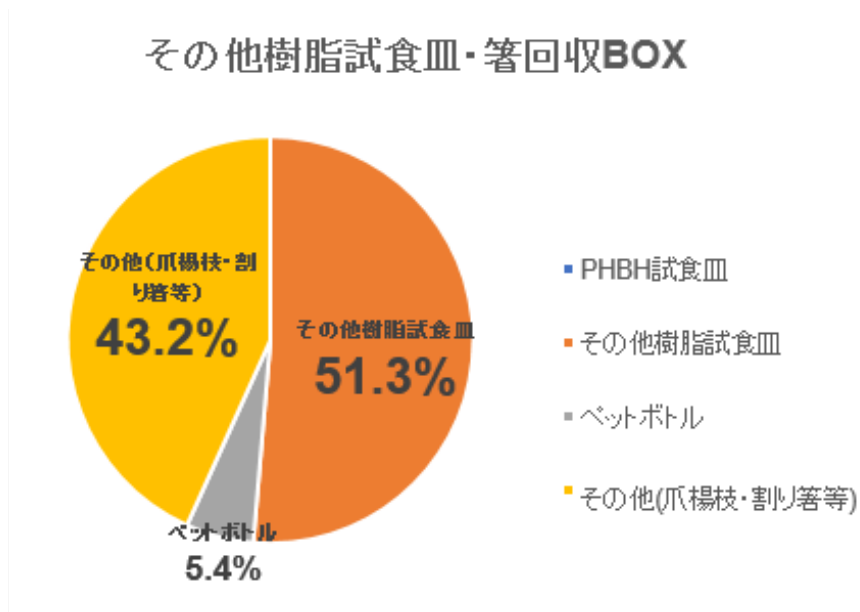


図 51 2023 年 11 月 22 日試料調査その他プラ試食皿等回収 BOX

iii) まとめ

2023 年 2 月と 11 月での PHBH 製試食皿の使用の実証から、イベント等で限定的に PHBH 製試食皿を使用することができれば、専用の回収ボックスと分別回収を促す人員の対応、また使用する企業に協力頂くことで使用後に PHBH 容器を分別回収することが期待できる。

これらの検証から、展示会等のイベントを始め、国のイベント、お祭りでの提供容器等、会場が限定された状況下で使用容器を PHBH に限定することが可能であれば、回収方法の周知と使用企業の協力、回収場所での人による確認により、分別回収を行いバイオガス化施設に生ごみとともに投入するシステムを構築することは可能であると考えられる。

⑥ 第 25 回日本医薬品情報学会総会・学術大会での PHBH 製弁当容器を使用した実証実験

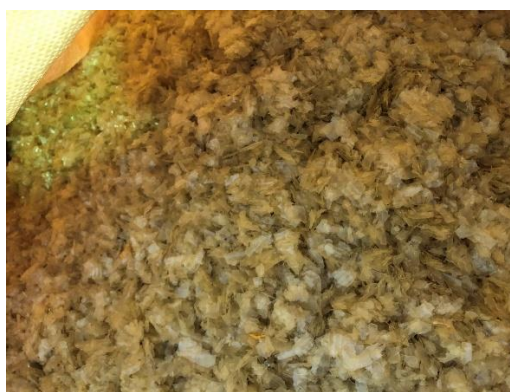
i) 実施方法

京都薬科大学にて行われた第 25 回日本医薬品情報学会総会・学術大会で弁当容器 1,400 食を PHBH 製弁当容器に入れて提供した。

使用後の容器容器を現地にて回収後に粉砕し、バイオガス化施設に接続しシステム検証を実施した。



使用後回収



回収後粉砕



生ごみと粉砕品を投入

図 52 使用後容器の粉砕選別画像

ii) 評価

- ・会場内で本委託事業の説明パネルを展示し、実際に弁当容器として使用して頂くことで本取組の啓蒙に繋がった。
- ・弁当容器としての使用に問題なく、不具合等は発生しなかった。
- ・使用後に回収、粉砕、一時保管し展示会で使用した試食皿の粉砕品と一緒に、バイオガス化プラントに接続し検証を行った。
- ・本学術大会後に月間廃棄物 8 月号にて「ごみゼロ瓦版」でもご紹介を頂いた。



図 53 第25回日本医薬品情報学会総会・学術大会での展示パネル

食材から容器、提供方法までSDGsにこだわったお弁当♪

詳しくは！

さらに アンケートに答えてSDGs貢献

今回のお弁当などについてアンケートにお答えください。
回答数に応じて、子供食堂や福祉作業所等へ寄付を行う他、
抽選で素敵なプレゼントが当たります！

SDGs 弁当とは？

美味しいのももちろん！
食べることでSDGsが学べるオリジナルのお弁当です。

ここがSDGsポイント

- ✓ 国産、京北産食材を使用
- ✓ 京北循環食材のお米とお味噌を使用
- ✓ 栄養バランスにも配慮

(栄養指導とメニュー考案
・洛和会吉羽病院 栄養部 主幹 大津山 裕美子 先生
・洛和会吉羽病院 栄養管理室 長谷川 由起 先生)

ごみゼロを目指して

- ✓ バイオプラ容器を使用(分別回収も含む)
- ✓ 使い捨てのお箸やお手拭きもリフューズ
- ✓ 仕切りやバラもリフューズ
- ✓ カロリー控えめヘルシーで、食べ残し削減

マイ箸持参にご協力を！

バイバイ「使い捨て文化」。
是非、今日使われたお箸を洗って、明日もご利用ください！

企画：京都里山SDGsラボ「ことす」& 京都超SDGsコンソーシアム

京北SDGs弁当

食材から容器、提供方法まで
SDGsにこだわったお弁当♪

◆アンケートに答えてSDGs貢献

今回のお弁当などについてアンケートに
お答えください。回答数に応じて、子供
食堂や福祉作業所等へ寄付を行う他、
抽選で素敵なプレゼントが当たります！

◆マイ箸持参にご協力を！

バイバイ「使い捨て文化」。
是非、今日使われたお箸を洗って、明日もご利用ください！

もうちょっと京北の食を美味しくいただくために
「八分目チケッ ト」

★食べ終わったらこの「八分目チケッ ト」を持って京北SDGs展示ブースへ！

今回の京北 SDGs 弁当にご協力いただいた飲食店

土と野菜 MOAI 和風レストランいばく 京北すえひろ 割烹かわい

図 54 PHBH 製弁当容器を用いた SDGs 弁当

⑦ 令和5年度第1回検討会における弁当提供

2023年10月19日に京都里山SDGsラボ(及びZoom会議室)にて実施した本年度第1回検討会において、現地参加者(委託者、審査委員、事業実施者)に対してPHBH製弁当容器での弁当を提供し、その実用性について特段の問題がないことを確認した。



図 55 第1回検討会で提供した PHBH 製弁当容器を用いた弁当

⑧ 育苗ポットの土壌生分解性試験結果

試作した PHBH 製育苗ポットを修学院の圃場（京都市）に埋設し、分解状況を確認した。埋設から1か月半後、3か月後、4か月半後に掘り起こして状態を確認すると、崩壊・分解が進んでいく様子が確認できた（次図）。



図 56 PHBH 製育苗ポットの土壌生分解性試験結果

（４）まとめと課題

単発成形機での成形検証では、既存の石油由来樹脂での食品容器全般と同様の成形が可能なことを確認できた。

連続成形機での成形検証では、不定期な穴あき、容器縁部の微細な穴あき、成形時の形状の安定、成形後のシート表層のムラなど複数の課題があった。不定期な穴あきは、成形時の温度、真空引きの際の圧力、成形速度調整で概ね改善したが、その結果既存樹脂と比較し、サイクルタイムが長くなった。また一部シートの厚みムラやシート製造時の樹脂の溶け残りに起因する不定期な穴あきは解消に至っていない。加えて検証の結果、容器縁部の微細な穴あきは、金型に強制離型構造がある製品で発生するという原因も特定した。

連続成形機での検証で得られた知見から作成した、PHBH 専用の形状の弁当容器（深さが浅く、仕切りの傾斜角度が緩やか、容器縁部の部分に強制離型構造がない、隣接する型同士の間を広く取った形状）の試作品は、穴あきや容器の成形時のしわを解消し、収率検査も 99% で一部不良品を検品にて対応することで、実使用に問題無い製品を連続成形できることを確認した。

また検証による知見を基に、（株）カネカとシートの厚みムラ、シート製造時の樹脂の溶け残り、強制離型構造部分での穴あきが解消できないことが課題であることを共有した。その後、提供を受けた剛性改良シートを用いることで、容器縁部やシートに由来する微細な穴あきやサイクルタイムの改善を確認し、収率検査も 100% 良品という結果になった。形状や深さなど限定的ではあるが、専用設計弁当容器について PHBH 製シートにて実使用可能な製品の成形技術が確立できた。

農業用資材の育苗ポットは、PHBH 製シートの溶融張力が不足しており、形状も深いことから穴あきや破れが発生した。育苗ポットは、現状のシートでは成形条件の調整での穴あきや破れ解消は困難であり、シート自体の溶融張力や溶融粘度の改良が進めば真空成形での育苗ポット成形も可能性があると考えられる。

製作した容器は、弁当容器は日本医薬品情報学会総会・学術大会での弁当 1,400 食の提供や本年度第 1 回検討会での弁当提供に使用し、また試食皿は展示会にて使用した。学会と展示会では使用した PHBH 製品を分別回収し、粉碎後、生ごみとともにバイオガス化プラントへ投入した。投入後は発酵槽、消化液中で 30 日程度で分解されることを確認した。以上により、イベントなど、使用用途と回収方法が限定される環境では、使用者の協力によりバイオガス化へ接続する循環システムの構築は可能であることを実証した。

展示会場での説明や試食皿使用に対してのアンケート結果より、来場者からは PHBH 製食品容器の生分解性や耐熱温度等に対して高い評価を受けるとともに、既存樹脂からの素材転換に期待の声を多く頂いた。一方、コストに対しての質問や海洋でも生分解することがポイ捨てを誘発するのではという意見もあった。コストについては、環境配慮の取組で既存プラスチックからの素材転換に使用される紙製品程度の価格が一つの目安になるのではないかと考える。また、ポイ捨ての誘発を防止する措置としては、容器に生分解性素材やバイオガス化処理対応のマークをつけるなど、消費者に分かり易い表示を行い、使用後のバイオガス化によるリサイクルを促すことが効果的と考える。

PHBH 製食品容器の価格については、既存樹脂ポリプロピレンやポリスチレンの成形品と比較し 5.5 倍程度の価格となることも確認している。その要因としては、成形時のサイクルタイムの増大、PHBH 製シートの価格が現状では高価なことが挙げられる。サイクルタイムについては、剛性改良シートでの穴あきの抑制や形状の安定性が向上していることから、継続検証にて更なる改善の可能性がある。併せてシート価格についても樹脂製造量の増加、シート製造時の収率の向上により、価格低減を期待できる。

今後の対応として、剛性改良シートで成形可能と判断した弁当容器での成形技術を用いて、イベント等で使用される試食皿、弁当容器にて、国や自治体のイベント、大規模な食品展示会等で PHBH 製品の使用検討を折衝していく。

また継続して、剛性改良シートによる強制離型構造がある製品での成形検証、深い容器での課題解決の検証を行い、より多くの用途で成形技術の確立ができれば、環境配慮設計製品にシフトしているコンビニエンスストアへの段階的な導入が期待できる。その流れがスーパーマーケット等の食品容器を日常的に大量に使用する先に波及することで、環境配慮、素材転換の取組として PHBH 製食品容器の導入が進む可能性も考えられる。

本事業では、容器等の種類や形状は限定的ではあるが PHBH での成形技術の確立ができ、社会実装に向けて実使用を想定した折衝を行うことができるようになったのは大きな成果である。

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 製シートを提供することを目的とした。

本年度は、上半期までのシーピー化成(株)の真空成形検証から、PHBH 製シートに関する以下の課題を抽出し、その課題解決を目的としてシートの開発を実施した。

課題①：容器成形時のランダムな破れ（穴あき）発生



図 57 成形ショット板のランダムな破れ・穴あき写真

課題②：成形容器エッジ付近の微細な穴空き

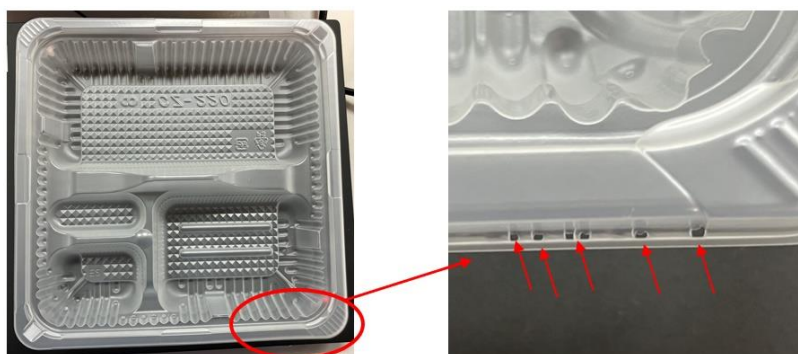


図 58 箆合機能が付いた容器のエッジに発生する微細孔写真

(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で PHBH 製シートの生産を実施した。

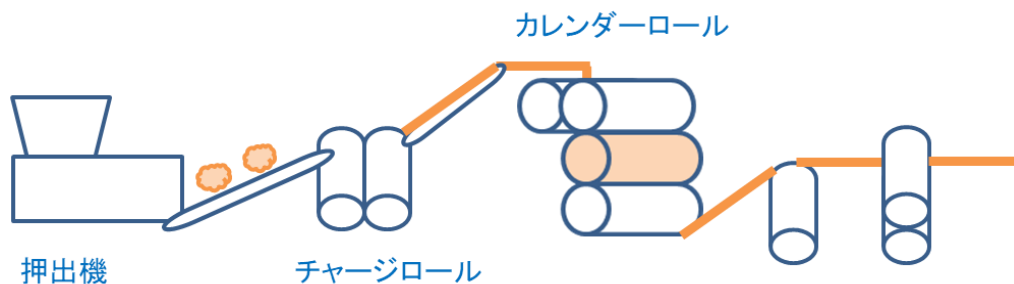


図 59 実機カレンダーの工程概略図

本年度上半期、シーピー化成（株）にて、種々ターゲット形状で、真空成形を検証した。その結果から抽出した課題に対して、下半期は（株）カネカにて以下方法にてシーティングの検討を実施した。

課題①：容器成形時のランダムな破れ（穴あき）発生

樹脂混練度を向上させシート偏肉を解決すべく押出機の保温を実施し、チャージロールでの粘着がない範囲で混練温度の上昇を図った。

課題②：成形容器エッジ付近の微細な穴空き

PHBH 製シート熔融時のコシ改良の為、高温状態での引張り強さ改良した高弾性処方の検討及びシーティングを実施した。

（３）結果

本年度は通期で各仕様のシートを 9,600 m、シーピー化成（株）へ供試し、実機での真空成形を実施した。

表 9 シーピー化成（株）へ供試したシートロット一覧

シート製造時期	シート幅mm	シート厚μm	シートLot	巻き長	処方
令和5年4月	988	300	C123418-1～5	500m*5本	既存処方 SH-X214
	988	350	C123418-6～10	500m*5本	
令和5年7月	988	300	C123711-1～2	500m*2本	
	1045	300	C123711-6～7	500m*2本	
	988	350	C123711-11～12	500m*2本	
	1045	350	C123711-16～17	500m*2本	
令和5年11月	1045	300	C123Y28-6	300m*1本	高弾性処方 SH-X105
	1045	300	C123Y29-1	300m*1本	
令和5年度合計				9600m	

課題①：容器成形時のランダムな破れ（穴あき）発生

上半期（４月及び７月）のシート製造ではシート厚み変動が大きな原反ロットが存在していたが、シーティング条件の変更により 11 月の製造時には比較的厚みプロファイルが均一な原反が取得できた。

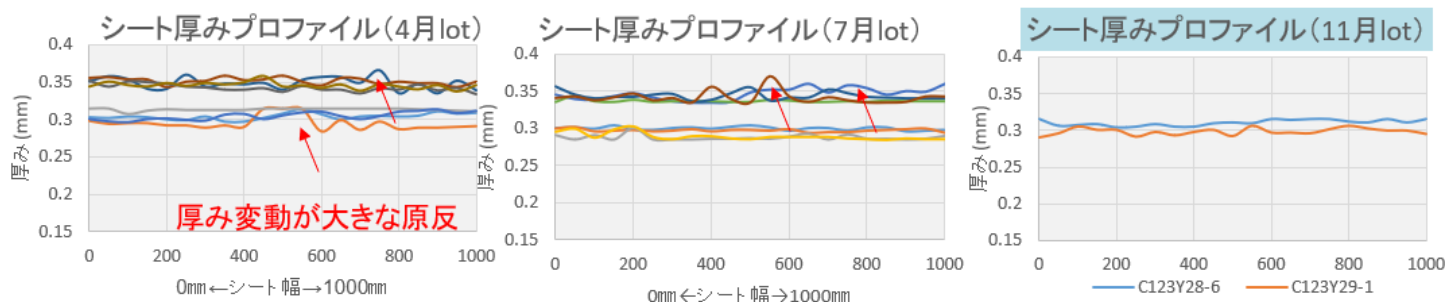


図 60 本年度製造したカレンダーシートの厚み分布

また、11月に取得したシートでは外観の均一性も向上した。

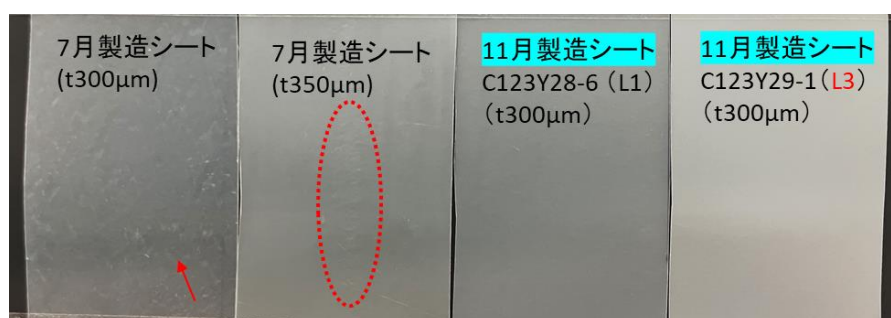


図 61 カレンダーシート原反を切り出して黒色背景の台上で比較した写真
(矢印はシートの斑状ムラ、点線囲いはシート流れ方向の筋)

課題②：成形容器エッジ付近の微細な穴空き

樹脂組成配合率を調整し、真空成形におけるシート余熱条件を想定した温度域において弾性率が高いシートを調製した。

表 10 PHBH 製シートの加工温度域でのシート物性
(130℃雰囲気下でラボシートを万能試験機で測定)

	既存処方 SH-X214(L1)	高弾性処方 SH-X105(L3)
弾性率(MPa)	76	107
破断点応力(MPa)	2.2	2.7
破断点伸び(%)	13	12

その他：レンジアップ耐性を想定した検証試験

既存処方 (SH-X214) のシートを供試し、シーピー化成 (株) にて成形した弁当トレーを使用して容器包装規格試験を実施した。材質試験及び溶出試験の適合を確認、レンジアップを想定した食品接触容器用途としても適合性を確認した。

なお、容器包装規格試験は、食品添加物等の規格基準 (昭和 34 年厚生省告示第 370 号) 第 3D の合成樹脂製の器具または容器包装に関し、「使用温度 100℃を超える」、「100℃以下」の両区分で実施

した。

（４）まとめと課題

ショートスケールではあるが、11 月度のシーティングにおいて厚みの均一性を向上し、斑状ムラを削減したシートを取得できた。今後、社会実装に向けてシート製造のロングラン検証を実施し品質の安定化検証を継続する。

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

本事業では PHBH の原料拡大に向けて、廃食用油に加え、これまで使用されていない植物（ジャトロファ油、菜種油）や低品質原料（グリーストラップから回収した油脂）を PHBH 原料として利用するための技術開発を目的とする。

本年度は昨年度から引き続き、多様な原料を用いた PHBH 培養生産試験を実施し、原料として使用可否判断技術開発を行った。

2.2.2 方法

（１）共通

培養試験には、500 ml フラスコ、及び 10 L ジャーファーマンターを用いた。

特に本年度は、検討加速のため、多くの原料を評価可能なフラスコでの培養評価系を構築し、検討を実施した。

（２）植物油を原料とした培養試験

昨年度に菜種油、及びジャトロファ油の評価を実施済みである。菜種油に関しては市販品、及び粗精製品ともに現行原料であるパーム油と同等の PHBH 生産性が得られることを確認済みである。一方でジャトロファ油は昨年度の試験では、培養評価中の顕著な発泡により培養継続不可能となり、使用不可であった。使用した粗精製ジャトロファ油は酸価が 64.4 と高位であったことから、遊離脂肪酸が多く、これが発泡原因になっていると推測された。

そこで、本年度は酸価が低いジャトロファ油の評価を行い、酸価の影響を確認した。

（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

昨年度、2 店舗のグリーストラップから回収した油脂の使用評価を実施した。その結果、カレー店由来のグリーストラップ油脂（GT007）に関しては培養中に PHBH 生産菌活性の顕著な低下が生じ、使用不可との結果となった。一方で他方のグリーストラップ油（GT019：食堂・定食・弁当店）は問題無く原料として使用可能であった。

本年度は、評価数を拡大し、さらに多様な業態からのグリーストラップ油の培養評価を実施することで、生産性に影響を与える要素の抽出を実施した。また、より多くのグリーストラップ油を評価するため、フラスコ培養系を構築し、評価を行った。

2.2.3 結果

（１）植物油を原料とした培養試験

昨年度と本年度に使用したジャトロファ油の分析結果を表に示す。昨年度使用したジャトロファ油は酸価が 64 と高かったが、本年度使用したものは同 17 と低位であった。本年度使用したジャトロファ油を用いた PHBH 培養試験の結果、非常に高い PHBH 生産性が得られた（次表）。

この結果から、昨年度の顕著な発泡による培養中断の原因は、高酸価であったことが明らかとなっ

た。また、酸価を低位に維持することで、ジャトロファ油は十分に PHBH 生産に利用可能であることが明らかとなった。

表 11 使用したジャトロファ油の分析値

	R5年度 ジャトロファ油	R4年度 ジャトロファ油
ミリスチン酸 (14)	0	0
パルミチン酸(16)	14.1	14
パルミトレイン酸(16:1)	0.8	0.8
ステアリン酸(18)	7.0	6.9
オレイン酸(18:1)	46.4	46.9
リノール酸(18:2)	31.2	31
リノレン酸(18:3)	0.2	0.2
アラキジン酸 (20)	0.2	0
エイコセン酸(20:1)	0	0.2
その他脂肪酸	0	0
ヨウ素価 (93-131)	95	97
酸価 (0-8.0)	17.0	64.4
色味 (4-14)	—	6

表 12 酸価の異なるジャトロファ油における PHBH 培養生産試験結果

菌株	炭素源	ヨウ素価	酸価	PHBH生産濃度 (%)*	3HH (mol%)
KNK-新2株	令和4年度 ジャトロファ油	96	64	発泡による培養中断	
	令和5年度 ジャトロファ油	95	17	103	5.6

*KNK-1株をパーム油で培養したときのPHBH生産濃度に対する百分率

(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

昨年度、低品質な廃食用油として、GT007、及び GT019 を選定し、PHBH 生産試験を実施した。本年度は昨年度評価出来ていなかったグリーストラップ油の培養評価を実施し、PHBH 生産に適用可否の判断基準が策定出来ないか、検討を実施した。

評価したグリーストラップ油を表に挙げる。培養評価の結果、GT022、及び 111 は培養途中から菌株活性が顕著に低下し、PHBH 生産に適さないことが分かった。菌株活性の低下を示すグリーストラップ油（GT007, 022, 111）は押し並べてヨウ素価が低い油であったが、一方で同様にヨウ素価が低かった GT010 では PHBH 生産性の低下は見られず、今回評価した中では最も PHBH 生産に適している結果が得られていることから、ヨウ素価と低生産性の相関は無いものと結論付けた。

生産性低下が認められた 2 店舗のグリーストラップ油（GT022 及び 111）は同系列のファストフード店に由来するものであり、ヨウ素価もほぼ同じであることから、食材等、または店舗オペレーショ

ンにて使用する何らかの共通した物質が菌株の活性低下を引き起こしている可能性が示唆された。

表 13 令和 5 年度にジャー培養評価を実施したグリーストラップ油

	パーム油	GT001	GT007	GT010	GT015	GT019	GT022	GT102	GT111
由来		ファミリーレストラン	カレー店	ラーメン店	中華料理店	弁当店	ファストフード店	食品工場	ファストフード店
酸価	0.5	127	40	73	67	48	30	6	78
ヨウ素価	57	99	62	63	-	105	61	86	59
過酸化価	5	-	2.5	4.5	-	6.0	-	-	-

表 14 各種グリーストラップ油の 10 L ジャーファーメンター培養評価結果

菌株	原料Lot	ヨウ素価	酸価	PHBH生産濃度 (%)*	3HH (mol%) (5.0-7.0)
KNK-新2株	GT001	99	127	92	5.2
	GT015	91	67	83	5.5
	GT019	105	48	89	6.7
	GT102	86	6	92	6.0
KNK-1株	GT007	47	40	菌の活性の著しい低下により培養中断	
	GT010	63	73	100	4.6
	GT022	61	30	菌の活性の著しい低下により培養中断	
	GT111	59	78	菌の活性の著しい低下により培養中断	

*KNK-1株をパーム油で培養したときのPHBH生産濃度に対する百分率

10 L ジャーファーメンターの結果のみでは、評価サンプル数が少なく、生産に適したグリーストラップ油の選定基準の策定が困難であると考え、検討加速のためにフラスコ培養による油脂評価を実施した。10 L ジャーファーメンターとの相関を確認するため、GT111 をフラスコにて培養したところ、PHBH 生産性は対パーム油比 69%となり、10L ファーメンター同様に使用には適さないと判断が付いた。そこで、続けてフラスコにて 10 店舗のグリーストラップ油の培養評価を実施した。結果を次表に示す。

GT103 及び GT114 に関しては、比較的高い PHBH 生産性が得られた。一方で、GT111, 112, 113, 115, 116, 117, 118 に関しては生産性が低かった。

10 L ジャーファーメンターにて評価した GT102 と今回フラスコ培養にて評価した GT114 は同企業の食品工場由来のグリーストラップ油であり、どちらも PHBH 生産性は高く、使用可能であることが確認できた。

また、GT119 に関しては、油脂の融点が高く、フラスコ培養中に油脂が固化し、フラスコ壁面に着してしまうことで、菌株が資化出来なかった結果である（次図）。

表 15 各種グリーストラップ油の 500 ml フラスコ培養評価結果

菌株	炭素源	由来	ヨウ素価	酸価	PHBH生産濃度 (%)*	備考
KNK-1株	GT103	ラーメン店	66	17	86	
	GT111	ファストフード店	59	78	69	
	GT112	食品工場	63	85	52	
	GT113	ラーメン店	97	170	52	
	GT114	食品工場	86	5.5	86	
	GT115	ファミリーレストラン	70	2.8	62	
	GT116	ファストフード店	-	-	68	
	GT117	牛丼チェーン店	-	-	43	
	GT118	焼肉店	-	-	53	
	GT119	居酒屋	-	-	0	高融点

*KNK-1株をパーム油で培養したときのPHBH生産濃度に対する百分率

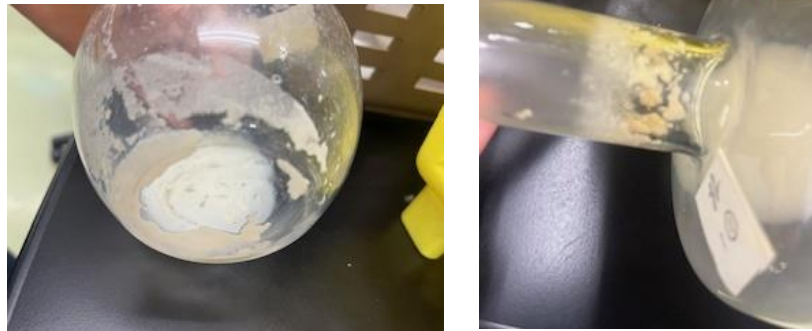


図 62 GT119 油脂のフラスコ培養の様子（壁面、底部に固化した油脂が付着）

2.2.4 まとめと課題

本年度の検討により、ジャトロファ油に関しては、精製過程での油脂の分解を抑制するなどの工夫によって酸価を低く抑えることで、良好な PHBH 原料油脂として使用可能であることを確認した。

グリーストラップ由来の油脂に関しては、本年度は昨年評価した 2 店舗に加え、新たに 10L ジャーにて店舗、フラスコにて 10 店舗から回収した油脂の評価を実施した。その結果、ラーメン店や食品工場から回収した油脂は PHBH 原料として利用可能であることが分かった。また、各 1 店舗の評価しかできなかったが、弁当店、中華料理店由来の油脂も使用可能であった。

一方でファミリーレストランでは店舗によって使用可否が異なる結果となった。2 店舗から回収した油脂のヨウ素価が大きく異なっていたことから、おそらく店舗毎に使用目的や使用食材、店舗オペレーションが異なり、油脂中への混入物質やその濃度が異なることが原因であると推測する。

今回同系列のファストフード店から回収した油脂に関しては 10 L ジャーファーメンター、フラスコのどちらも生産性低下が認められた。さらに、同企業の商品工場から回収したグリーストラップ油はどちらも高い PHBH 生産性を示した。これらの結果は、使用する食材や油脂の使用方法、また店舗や工場のオペレーション方法によってグリーストラップ油の品質が決定されることを示唆していると

考える。油脂混入物に関しては、昨年度予想した香辛料系の添加物は油脂への移行はほぼないことがわかってきたため、現在のところ、店舗オペレーションにて使用する洗剤や殺虫成分などがグリーストラップに流れ込み、回収油脂に混入している可能性が高いと推測する。

今年の結果として、特定の店舗や同系列のチェーン店から回収したグリーストラップ油であれば、安定して PHBH 原料として使用できる可能性があることが分かった。本結果は店舗オペレーションにて使用する薬剤の確認に加え、油脂トレーサビリティ情報と回収ルートの制御によって一定品質のグリーストラップ油を入手できる可能を示している。

一方で、生産菌の活性を顕著に低下させる混入物の存在が示唆されたものの、原因物質の特定までには至らなかった。また、使用に適さないグリーストラップ油の発生店舗種は多様であったため、原因物質が複数素材することが示唆される。本検討の成果を活用し、物質を特定する際に重点的に分析評価を実施する店舗を絞り込むことが可能となったため、今後物質の特定を進める。その後は使用可否基準を策定し、簡便な方法で判別する技術開発も必要であろう。

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

前回事業において日本国において主に発生する高ヨウ素価の廃食用油を用いた PHBH 培養生産技術開発を進め、PHBH を生産可能な菌株、及びプロセスの開発に成功した。一方で、培養中の顕著な発泡による培養不安定性が主要因である生産性低下（対パーム油比 92%）が実用化への大きな問題であった。そこで、本事業においては、発泡問題の解決、及び生産性向上を達成することにより、廃食用油からの PHBH 製造収率を向上させることを目的に技術開発を行った。

2.3.2 方法

方法としては、以下 3 つの順番にて技術開発を実施した。

- ①微生物育種
- ②10 L ジャーファーマンターでの培養評価（左下図）
- ③商業化実証設備での工場実験（実機検証）（右下図）



図 63 10 L ジャーファーマンター



図 64 商業化実証設備（実機）

以上の手法により、本年度は以下の 3 項目の検討を実施した。

（1）発泡抑制株の実証実験

令和 4 年度にて研究を行った、発泡原因となるタンパク質の培養液中濃度低減技術の実証を実施した。PHBH 生産微生物は培養中に多様なタンパク質を分泌する。その中で量の多いタンパク質を同定し、当該タンパク質をコードする遺伝子を欠失させた株（KNK-新 3 株）を令和 4 年度に育種し、10 L ジャーファーマンターにて培養上清中のタンパク質濃度が低減されていることを確認した。そこで本年度は KNK-新 3 株を商業化実証設備にて培養し、発泡抑制効果を確認した。

（2）培養処方の改良

発泡による培養液漏洩リスクを低減させるため、培養プロセスの改良として、初期培養液量を低

下させることを着想し、検討を実施した。まず、10 L ジャーファーマンターにて初発液量を低減した培養をデザインし、スケールダウン試験を実施した。その結果、大きな問題無く培養可能であることが確認できたため、KNK-新2株（3HH 組成＝6 mol%程度の PHBH を合成する KNK-2 株に対して *fadH* 遺伝子を強化した微生物株）を用いた実証設備での培養試験を行った。

（３）高ヨウ素油脂資化能力向上株の育種

これまでの検討にて、高ヨウ素価特有の資化速度の低下に対し、*fadH* 遺伝子の強化によって PHBH 生産速度向上効果があることが明らかとなっている。FadH は脂肪酸の不飽和結合を還元する反応を触媒する酵素であるが、還元力として NADPH を必要とする。そこで、*fadH* 強化株に対して、さらに細胞内 NADPH 濃度を高める仕掛けとして、*sthA* 遺伝子の強化を実施し（次図）、廃食用油からの PHBH 生産効率の向上を目指した。さらに、令和4年度に育種した KNK-新3株の結果として ProteinB をコードする遺伝子の破壊に PHBH 生産速度を向上させる効果があることが判明したため、ProteinB の破壊も組み合わせることとし、KNK-新4株を育種した。KNK-新4株は商業化実証設備での培養試験を行った。

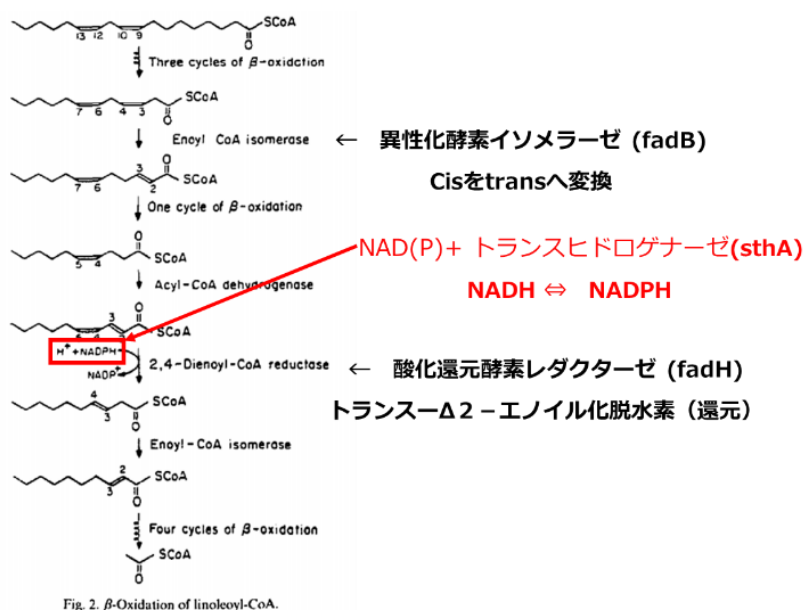


図 65 SthA 導入による FadH による還元反応の強化

2.3.3 結果

（１）発泡抑制株の実証実験

KNK-新3株の実証実験の結果、10 L ジャーファーマンターでの評価（令和4年度報告）と異なり、培養中のタンパク質濃度の低減効果が得られないことが明らかとなった（次図）。

培養液中のタンパク質解析により、破壊した5遺伝子（ProteinA, B, E, F 及び H）由来のタンパク質は未検出であったことから、実機特有の現象であると結論付ける。原因としては、水圧や攪拌によって細胞の状態が10 L ジャーファーマンターとは異なることでこれまで分泌されていなかったタンパク質が培養液に漏れ出たこと等が考えられる。

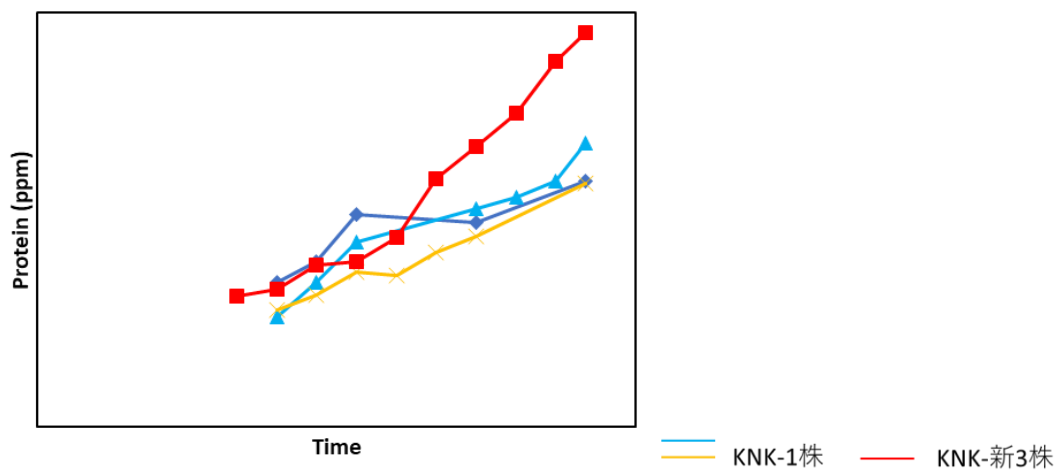


図 66 KNK-新 3 株の実証培養での上清タンパク質濃度推移

(2) 培養処方改良

KNK-新 3 株の培養結果から、タンパク質濃度低減処方開発は中止し、新たに培養プロセス、及び育種からの製造収率向上を目指した。

まず、発泡による培養液漏洩リスクを低減するため、初発培養液量を低減することで、液面を低下させる処方へのプロセス変更を実施した。

10 L ジャーファーマンターにて初発液量を低減させる方法に問題がないことが確認できたため、KNK-新 2 株での実証試験を実施した。

その結果、液面の低下による培養安定化が達成され、PHBH 生産性向上効果が認められた (次表)。これまでは発泡による培養液漏洩リスクを加味し、油脂添加量を上げられなかったものの、今回の実証試験では、液面が低いことで油脂添加量の向上が可能となり、生産性の向上が達成された。

表 16 初発液量減処方の実証試験結果

		初発液量	PHBH生産性 (対パーム油比)	3HH組成 (mol%)	収率
廃食用油	KNK-新2株	減	98	5.8	96
		通常	92	5.6	96
パーム油	KNK-2株	通常	100	6 ± 1	100

(3) 高ヨウ素価油脂資化能力向上株の育種

本年度、新たに育種した KNK-新 4 株に関し、(2) にて実証した液量減処方にて実廃食用油を使用し、実機検証を実施した (表)。その結果、PHBH 生産性は対パーム油比 100%を達成し、パーム油比と同等に引き上げることに成功した。3HH 組成も 6.2mol%とパーム油同等の値であった。

培養初期の菌体増殖期、及び培養後期の生産減退期において、それぞれ酸素消費速度の向上が見られていることから、これらの時間帯での PHBH 生産性が向上した結果と推測する (次図)。今回、NADPH の供給を強化するために、*sthA* 遺伝子を強化していることから、酸素消費量の向上が見られた時間帯において、NADPH の濃度が不足していたことが示唆される。

表 17 KNK-新 4 株の実証試験結果

		初発液量	PHBH生産性 (対パーム油比)	3HH組成 (mol%)	収率
廃食用油	KNK-新2株	減	98	5.8	96
		通常	92	5.6	96
	KNK-新4株	減	100	6.2	97
パーム油	KNK-2株	通常	100	6 ± 1	100

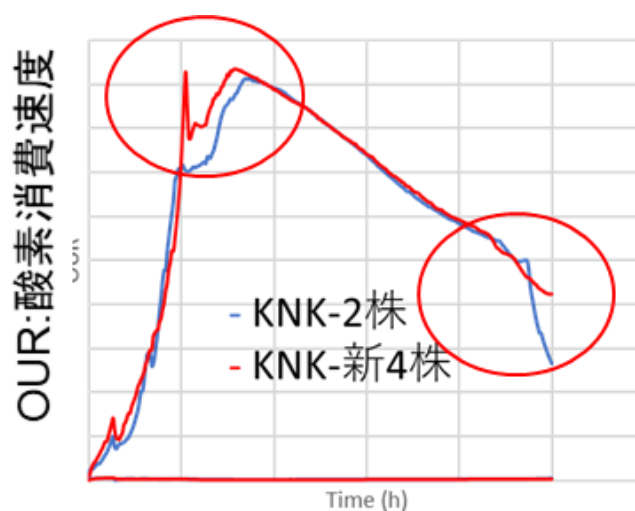


図 67 KNK-新 4 株の酸素消費速度（OUR）の推移（KNK-新 2 株との比較）

2.3.4 まとめと課題

本年度の検討において、廃食用油特有の培養中の顕著な発泡の抑制技術として、タンパク質分泌量を低減した新菌株 KNK-新 3 株（10 L ジャーファーメンターではタンパク濃度低減を確認）の実証試験を行ったが、実機実証試験ではタンパク質濃度が低減されない結果となった。実機スケール特有の問題だと考えるが、多くの仮説、検討要素が考えられる課題であるため、本事業後の検討課題とした。

KNK-新 3 株の結果を受け、次なる打ち手として、培養処方の改良、及び生産菌株の改良による PHBH 生産効率に向上を目指した。まず、発泡による培養工程における培養液漏洩リスク低減のため、初発液量を低減し、液面を低下させるプロセス開発を実施した。その結果、液量低減によって漏洩リスクが低減され、より多くの廃食用油を添加可能であることが実証され、生産性は対パーム油比 92%から 98%まで向上した。液量を低下させることで、培養系での酸素移動速度や油脂分散、混合性能の変化が生じ、PHBH 物性の重要因子である 3HH 組成への影響が懸念されたものの、結果として物性への影響は認められなかった。

さらに、KNK-新 3 株育種過程で見出した ProteinB 遺伝子の破壊による PHBH 生産性向上効果、及び FadH による不飽和脂肪酸還元反応に必要な還元力（NADPH）の供給強化を目的とした *sthA* 遺伝子の強化を加えた KNK-新 4 株を育種した。

KNK-新 4 株を実証設備にて培養評価した結果、培養初期、及び後期の酸素消費速度が向上し、PHBH

生産性をパーム油同等まで向上させることが可能であった。3HH 組成も規格内であった。

上記のように、プロセス改良、菌株育種の両面から改良を加え、目標であったパーム油同等の PHBH 生産効率を達成した。

今後の課題としては、収率の向上が上げられる。前表に示すように、収率はパーム油比 97%と実用レベルにあるものの、まだパーム油より低く、コストアップの原因となっている。収率低下の原因を整理し、収率向上を目指すことが必須である。また、液面低下により培養安定化が可能となったものの、培養液量が増やせないのであれば、更なる生産性向上余地が少ない。今後は本年度の課題であった発泡抑制に関して、実機とラボの差の原因を解明することが課題である。

最後に、今後、廃食用油の実利用を進めることで、原料に適さない廃食用油が確認されることが予想される。今後積み重ねる適合、不適合の培養データを蓄積することで、受け入れ基準の改良や簡便な受け入れ可否判定方法の開発を進めることが実用上の課題である。

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、生ごみ袋に汚れる用途として食品容器等を取り上げ、比較的浅型の離型性の良い弁当容器について実販売可能な製品成形技術を確認するとともに耐熱性を確認した。また、生分解機能を有効に活かすことのできる育苗ポットも試作した。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。PHBH製造時の発泡による生産性低減回避技術としては、初発培養液量を低減することと新株育種によりパーム油比同等の生産性を達成した。

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)カネカが改良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てきた結果、深さが浅く(30mm以下)、容器仕切の傾斜角が緩やかで、離型性の良い製品については、隣接する金型の間隔を広くし偏肉の対策を行うことで、シャープな成形と穴あきの防止、成形後のシートしわについて解消できることを確認、一部シート厚みムラ等で発生する僅かな穴あきも検品で対応が必要であったが、形状の安定、シート表層ムラ、製造サイクルタイムについて大幅に改善したため社会実装に向けた成形技術の確立ができた。本事業での様々な用途での検証により、弁当容器での実販売可能製品の確立は大きな成果である。

レンジアップを想定した耐熱試験を実施し、耐熱温度120℃を確認した。また、イベントでの使用について、日本医薬品情報学会総会・学術大会で弁当容器として1,400食を実使用した。使用済み容器を全量回収して粉碎物を生ごみと一緒にバイオガス化施設に投入後、発酵槽、消化液での分解が確認できており、リサイクルシステムの確認もできた。

また、環境への流出が避けられない用途として、林産や農産向けの育苗ポットを試作した。現状のPHBHシート性状では穴あきや破れの解消は困難であるが、うまく成形できた育苗ポットを圃場に埋設したところ崩壊・分解が進んでいることが確認できた。シート自体の熔融張力や熔融粘度の改良で育苗ポットの成形の可能性も期待できる。

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、昨年度、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が、本年度は酸価の低いジャトロファ油のPHBH培養試験を実施したところ非常に高い生産性が確認できた。従って、ジャトロファ油についても精製過程で油脂の分解を抑制するなどの工夫によって酸価を低く抑えることで、良好なPHBH原料として使用可能であることを確認できた。

グリーストラップ由来の油脂については、PHBH培養試験結果では、店舗や工場の管理状況によって、使用可否が異なる結果となった。PHBHの生産性を評価するために10Lのジャーファーマンターの結果のみではサンプル数が不足するため、フラスコ培養で評価する方法の採用により試験数を増やすこととした。その結果ヨウ素価との生産性の相関は認められず、油脂混入物に関しても昨年度予想した香辛料の添加物は油脂への移行がほぼないことが確認された。一方で店舗の管理に使用する洗剤

や殺虫成分の混入が影響している可能性が高いと推測される。

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、本事業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、菜種油）の原料化の検討を進めてきたが、フラスコ培養など簡便な方法でスクリーニングすることは有効と考えられる。

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なるタンパク質の培養液中濃度の低減技術の実証試験を実施したが、10L ジャーファーマンターでの評価とは異なり、培養中のタンパク質濃度の低減効果が得られなかった。原因は水圧や攪拌によって異なるためと想定される。

そこで初発培養液量を低減させることで液面を下げ発泡時の培養液漏洩リスクを低減することでより多くの廃食用油を添加できるようにするとともに高ヨウ素価向けに生産性向上が図れる新株育種によりパーム油比 100%の生産性を達成でき、3HH 組成も 6.2mol%とパーム油同等の値が得られた。

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・バイオガス化等実証試験

3.1.1 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

（1）目的

本試験は、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、バイオガス化試験設備を用いた実証試験を実施することによって社会システムへの実装及び PHBH 製生ごみ袋の分解挙動について評価することを目的とした。また、PHBH 製弁当容器等についても同様にバイオガス化施設への投入による分解挙動を評価した。

（2）実証内容

本年度実施した実証試験の内容は次のとおり。

- ① PHBH 製生ごみ袋を使用した家庭系生ごみの分別回収
- ② バイオガス化実証試験
- ③ PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器の分解性評価試験の実施
- ④ バイオガスの利用手法検討（ビニルハウスの設置）
- ⑤ 社会実装に向けた課題整理

（3）実証場所

いずれも京北地域（図 68、図 69）をフィールドとし、②～⑤については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（図 70）に設置した試験設備で実証を行った。

試験設備については「（5）バイオガス化実証試験」で後述する。



図 68 京北地域の位置



図 69 京北地域内の地区の位置関係



図 70 実証試験設備の設置場所 (京北運動公園内)

(4) PHBH 製生ゴミ袋を使用した家庭系生ごみの分別回収

1) 概要

PHBH 製生ゴミ袋を使用した家庭系生ごみの分別回収については、2021 年度に京北山国地区にて、PHBH 製生ゴミ袋の実用性の検証及び分別・収集方法の検討のための実証実験を行っている。

本年度は京北地域全地区全世帯を対象とし、京北地域内に計 7 か所の回収拠点を設けて分別回収を行った（図 71、図 72）。PHBH 製生ゴミ袋については、2021 年の実証結果をもとに破碎・分解しやすいように改良したものをを用いた（図 73）。

2) 実施手順

- ① 京北地域内の一般家庭に PHBH 製生ゴミ袋を配布し、分別指導及び説明会を実施。
- ② 各家庭で生ゴミを分別し、PHBH 製生ゴミ袋に入れ、回収拠点到排出。
- ③ 各拠点週 2 回、京都市が回収拠点到排出された生ゴミを収集し実証試験設備に運搬。
- ④ 拠点ごとに回収されたごみの計量を実施。

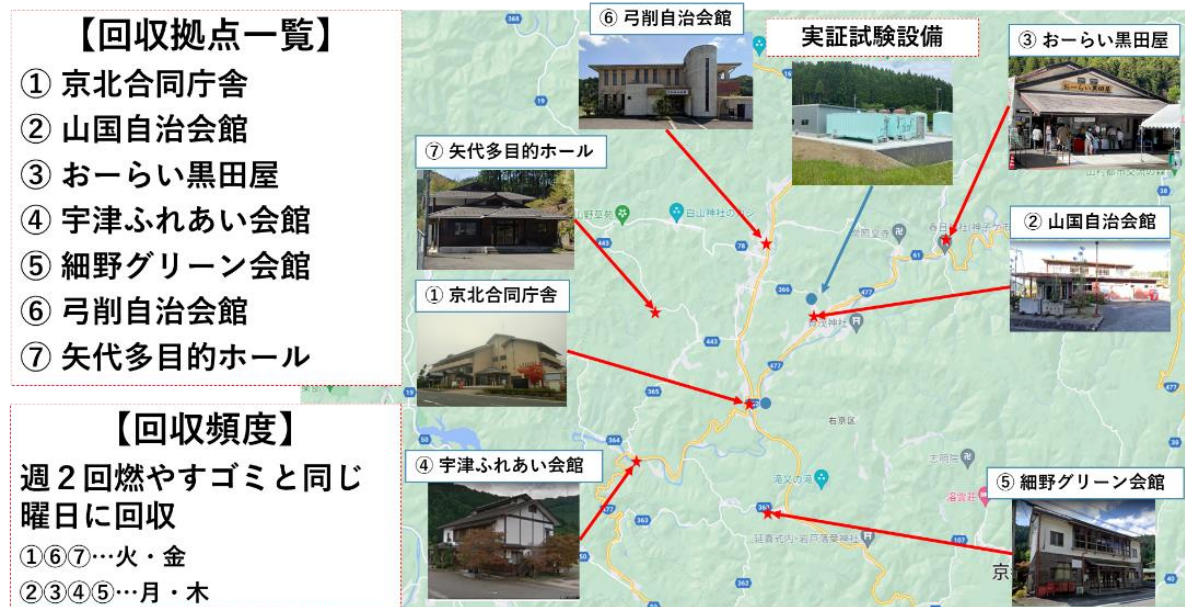


図 71 回収拠点一覧、回収頻度



図 72 回収拠点



図 73 改良された PHBH 製生ゴミ袋

3) 結果

家庭系生ごみの回収量は次のとおり（表 18、図 74、図 75）。

回収量全体を見ると、月ごとに増減はあるものの概ね増加傾向にある。

地区別回収量を見ると、市の生ごみの堆肥化事業に参加していた 3 地区（山国地区、黒田地区、宇津地区）からの回収量が多く、次いで京都里山 SDGs ラボ（ことす）が所在する周山地区（庁舎）の回収量が多かった。とりわけ実証試験設備が所在する山国地区は回収量が多く、全回収量の半分以上を占める。また、細野地区、矢代地区は当初はほとんど排出がなかったが、10～11 月頃から排出されるようになっており、地域的な広がりも見られた。

家庭系生ごみの性状を見ると、生ごみ堆肥化事業に参加していた世帯からの排出が多いためか全体的な分別精度は非常に高かった。不適物としては、卵の殻、魚の骨、海老の殻などが見られたほか、農作物を作っている世帯が多いためか季節ごとに野菜等の皮や芯等が多かった。

本実証では、PHBH 製生ごみ袋についても破損等や回収拠点に対する苦情等による大きなトラブル事案はなく、社会実装にあたっての懸念はないことがわかった。

表 18 家庭系生ごみの回収量

（単位：kg）

	山国	黒田	宇津	細野	周山 (庁舎)	矢代	弓削	合計
4 月	24.6	16.2	40.8	0.0	16.4	1.0	9.7	108.7
5 月	129.9	45.9	65.4	0.0	41.9	0.0	35.7	318.8
6 月	125.3	34.1	39.8	0.0	29.0	0.0	14.8	243.0
7 月	143.8	23.0	44.1	0.0	24.0	0.0	16.0	250.9
8 月	214.7	12.6	65.2	0.0	32.8	0.0	20.8	346.1
9 月	169.4	11.9	70.3	0.0	24.8	0.0	29.7	231.4
10 月	174.8	23.4	74.9	5.2	15.4	0.0	19.4	313.1
11 月	191.7	22.6	71.5	10.1	23.5	14.0	28.4	361.8
12 月	298.7	54.1	65.8	9.5	21.7	22.6	21.8	494.2
合 計	1,472.9	243.8	537.8	24.8	229.5	37.6	196.3	2,742.7

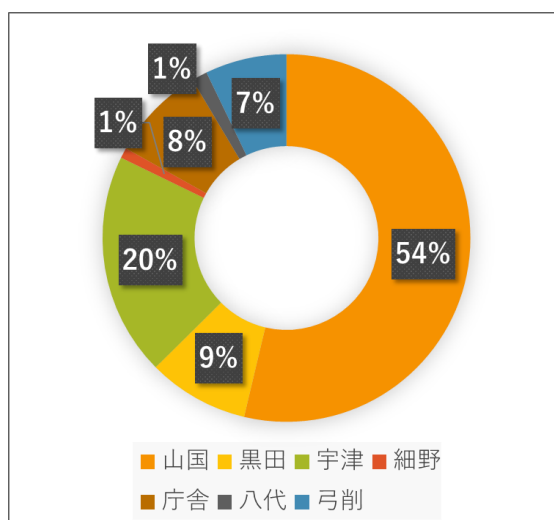


図 74 家庭系生ごみ回収量 地区別割合

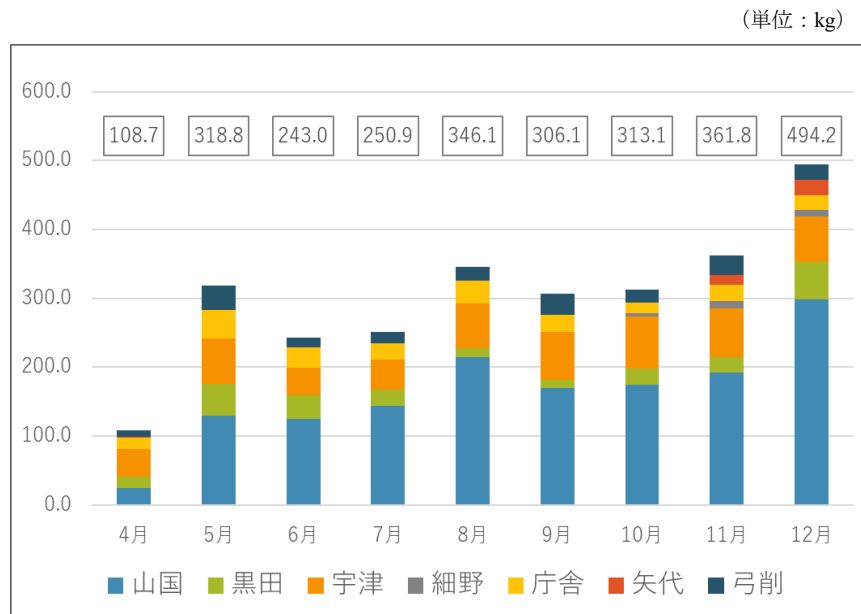


図 75 家庭系生ごみ回収量 地区別推移

(5) バイオガス化実証試験

1) 概要

京北山国地区に中山間地域での実装を想定した日量 1 トン規模のバイオガス化実証試験設備を設置・稼働させ、PHBH 製生ごみ袋で回収した家庭系生ごみと別途回収した市街地の事業系生ごみを合わせて処理する実証実験を行った。

2) 設備

① 設備規模

1 トン/日 (生ごみ処理量ベース)

② 処理量想定

設備規模は下表の回収量を想定し設定した。

ただし、本年度の実証期間については、まずは少量で試験運転をしたのち徐々に回収量を増やしていく運用方法を採用した。

表 19 生ごみ回収量想定

地域	ごみ種別	回収量設定	回収場所想定
京北地域	家庭系生ごみ	0.1～0.2 トン/日	1 拠点 10kg/日×7 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	京北地域内の学校給食、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 (京都市内)	事業系生ごみ		市街地の学校給食、市場、飲食店、コンビニ、宿泊施設等から回収することを想定

③ 基本諸元

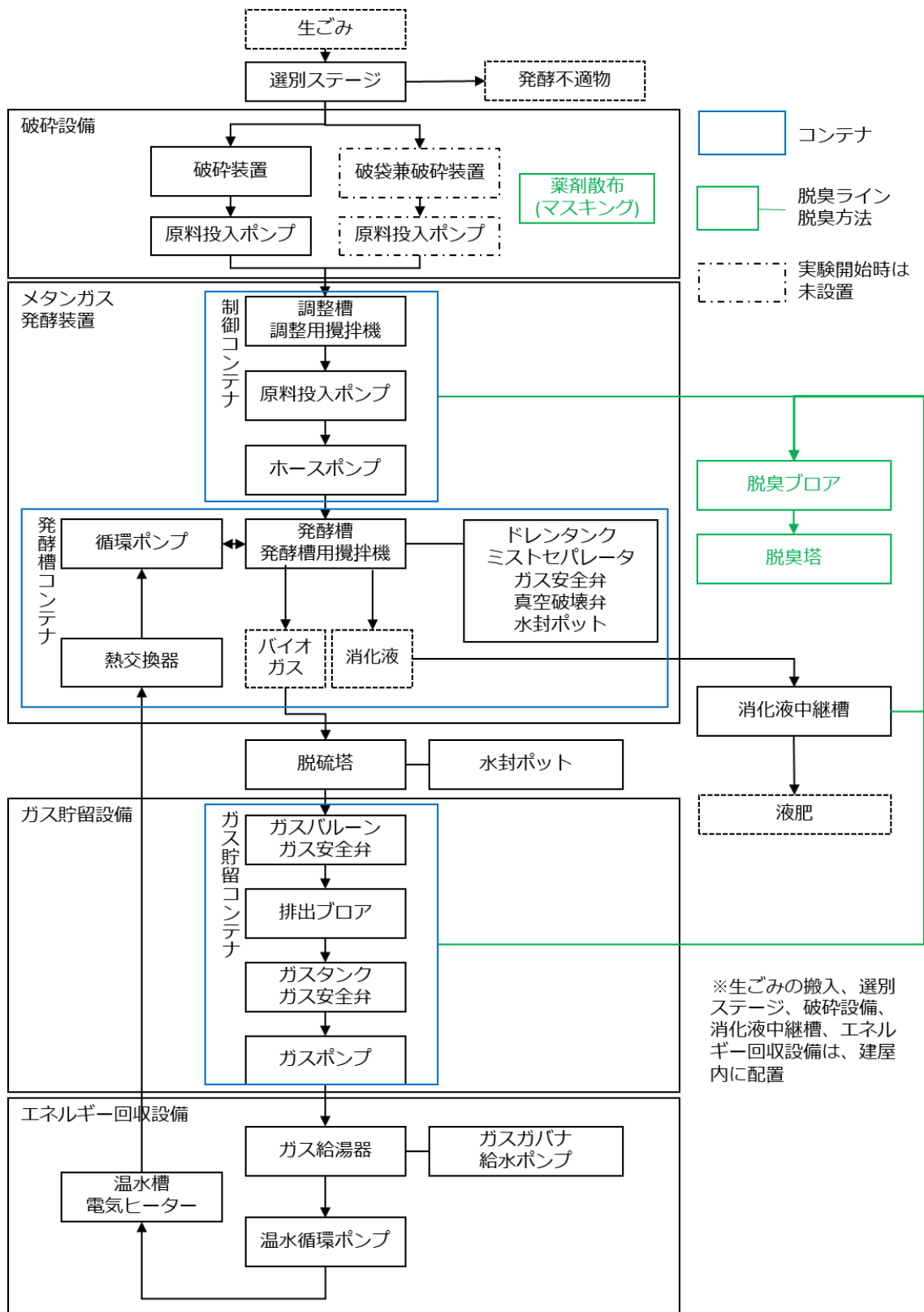
バイオガス化実証試験設備の基本諸元は次表のとおり。

表 20 バイオガス化実証試験設備の基本諸元

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	13.5 m ³ ×3 + 15 m ³ ×2 基 = 70 m ³
6	破砕設備	破砕装置＋選別ステージ＋原料投入ポンプ
7	不適物除去方法	目視により手選別除去
8	その他	加温にバイオガスを利用したビニルハウス設置

④ 設備フロー

設備フローは次のとおり。



※各設備機器の仕様・能力等は、機器リストを参照

図 76 設備フロー

⑤ 設備配置図

設備配置図は次のとおり。

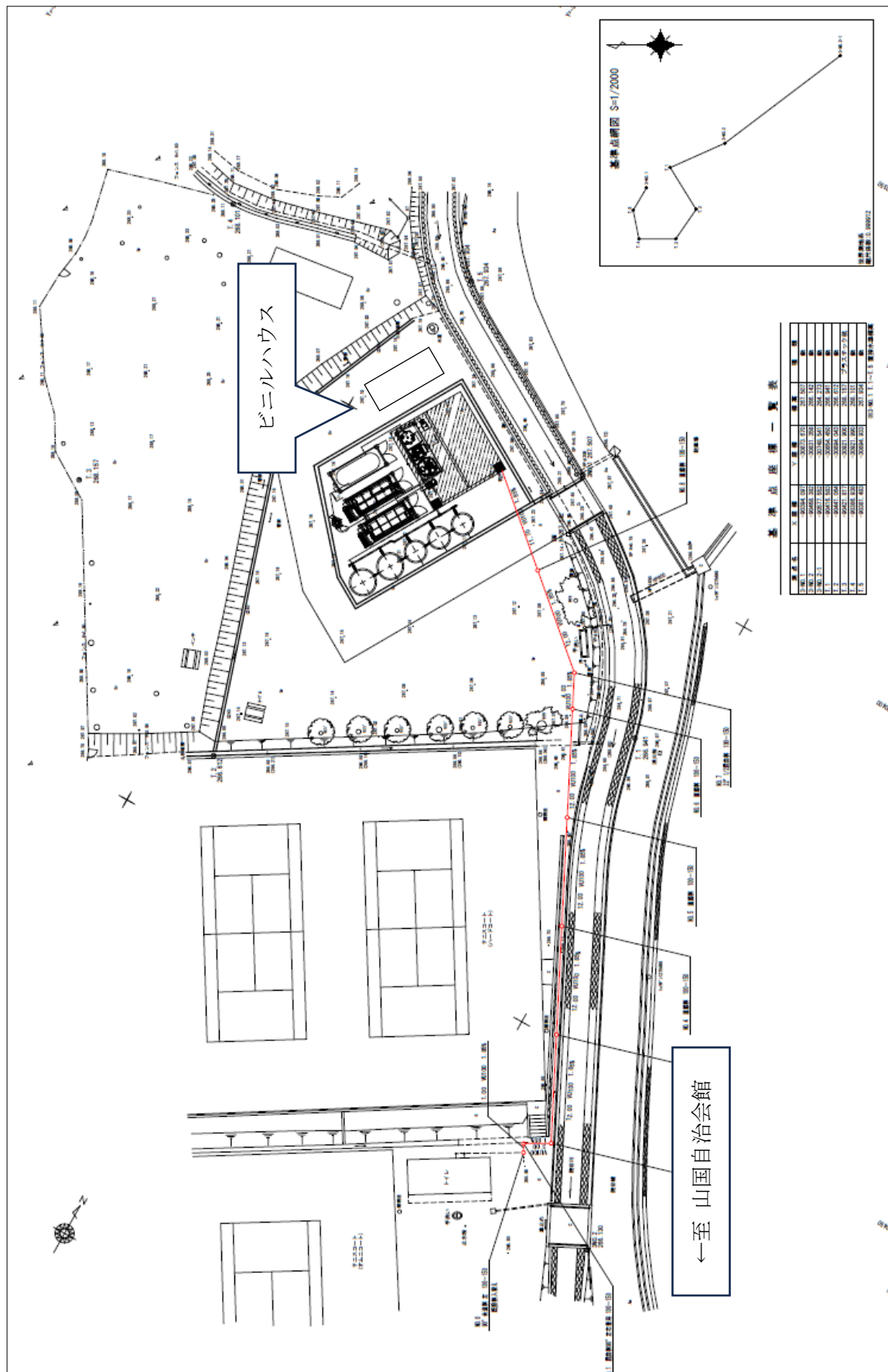


図 77 設備配置図①

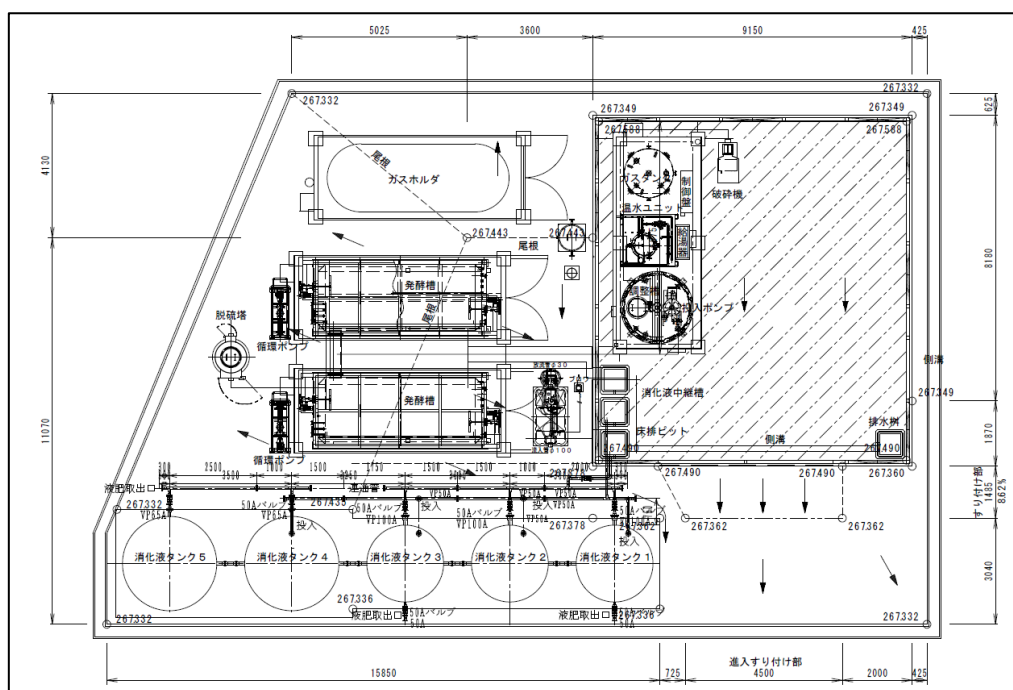


図 78 設備配置図②

⑥ 設備の外観・内観

設備の外観・内観は次のとおり。



図 79 設備の外観①



図 80 設備の外観②



図 81 設備の内観



図 82 併設されたビニルハウス

⑦ マテリアルフロー図

定格運転時のマテリアルフロー図は次のとおり。

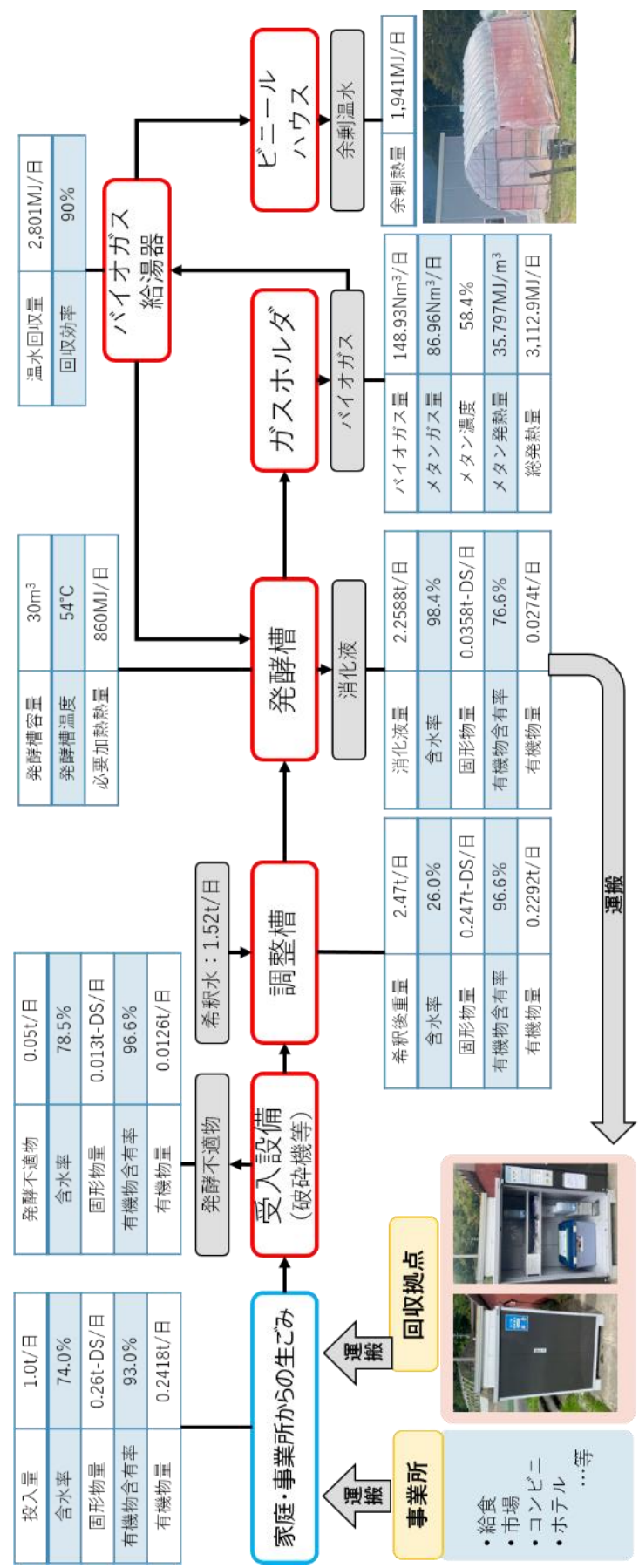


図 83 マテリアルフロー図 (定格運転時)

3) 回収・投入

① 生ごみの回収方法及び回収場所

家庭系生ごみの回収方法・回収場所は「(4) PHBH 製生ごみ袋を使用した家庭系生ごみの分別回収」に記載のとおり。事業系生ごみについては、本実証期間中はその都度運搬事業者が実証試験設備まで運搬することとした。回収場所のごみ質やごみの安定供給を勘案して様々な場所からの回収を試み、9月頃からは学校給食から排出される生ごみを回収・投入した。

表 21 生ごみの回収方法及び回収場所

ごみ種別	回収方法	回収場所（実績）
家庭系生ごみ （再掲）	市民が拠点に PHBH 製生ごみ袋に入った生ごみを持ち込む。 週 2 回京都市が実証試験設備まで運搬する。	7 拠点 （図 71 参照）
事業系生ごみ	事業者排出後、その都度運搬事業者が実証試験設備まで運搬する。	京都市市街地のホテル、コンビニ、 学校給食、市場等

② 生ごみ回収量及び投入量

生ごみ回収量及び投入量は次表のとおり。前掲のとおり家庭系生ごみについては4月から回収・投入した。事業系生ごみについても4月から投入を開始したが、本格的に安定投入を開始したのは8月以降である。不適物を除く投入量は8月以降約 5,000 kg/月で推移したが、11月・12月はやや少なかった。

家庭系生ごみと事業系生ごみの回収量の比率を見ると、約9割が事業系生ごみであった(図 85)。

表 22 生ごみ回収量及び投入量（家庭系生ごみ回収量は再掲）

(単位：kg)

	家庭系								事業系	回収量	不適物	投入量
	山国	黒田	宇津	細野	庁舎	矢代	弓削	回収量	回収量	合計	合計	
4月	24.6	16.2	40.8	0.0	16.4	1.0	9.7	108.7	340.5	449.2	60.4	371.3
5月	129.9	45.9	65.4	0.0	41.9	0.0	35.7	318.8	150.9	469.7	34.9	452.3
6月	125.3	34.1	39.8	0.0	29.0	0.0	14.8	243.0	8.9	251.9	3.5	248.4
7月	143.8	23.0	44.1	0.0	24.0	0.0	16.0	250.9	989.0	1,239.9	67.9	1,101.3
8月	214.7	12.6	65.2	0.0	32.8	0.0	20.8	346.1	4,838.4	5,184.5	90.5	4,966.3
9月	169.4	11.9	70.3	0.0	24.8	0.0	29.7	231.4	4,910.0	5,216.1	231.4	4,984.7
10月	174.8	23.4	74.9	5.2	15.4	0.0	19.4	313.1	4,980.0	5,293.1	399.2	4,893.9
11月	191.7	22.6	71.5	10.1	23.5	14.0	28.4	361.8	4,620.0	4,981.8	306.8	4,672.4
12月	298.7	54.1	65.8	9.5	21.7	22.6	21.8	494.2	3,990.0	4,484.2	235.5	4,248.7
合計	1,472.9	243.8	537.8	24.8	229.5	37.6	196.3	2,742.7	24,827.7	27,570.4	1,430.1	25,939.3



図 84 月別生ごみ回収量及び投入量推移

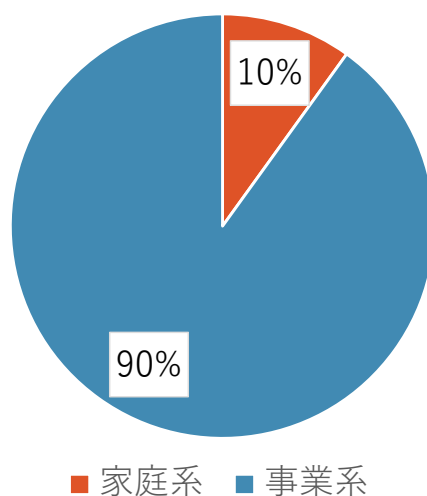


図 85 家庭系・事業系生ごみ回収量比率

4) バイオガス

① バイオガスの発生

本実証実験におけるバイオガス発生量は次表のとおり。4～12月の間に 25,244.8 kg の生ごみを投入し、発生したバイオガスは計 1,526.6 m³であった。

生ごみ投入量あたりのバイオガス発生量は、安定投入を開始した 8 月以降平均 52 m³/t となっている。投入量が定格運転時の想定量 (1 トン/日) と比較し 16%程度の処理負荷であることとバッチ投入であったため、環境省が示す生ごみ 1 トンあたりの湿式メタン発酵によるバイオガス発生量単位 150 N m³/t と比べると発生量は少ないが、発生状態は安定している。

8 月は市場から排出される野菜ごみを中心に投入していたためガスが発生しにくい状況であったと考えられ、給食ごみの投入に切り替えた 9 月以降生ごみ投入量あたりのバイオガス発生量は安定した。給食ごみ投入開始後の投入量あたりのガス発生量は平均 57.9 m^3/t であり、今後処理負荷率を向上させることで想定するガス発生量に近づけられると考えられる。

表 23 バイオガス発生量及び生ごみ投入量あたりのバイオガス発生量

	給湯器使用 ガス量	その他 排出量	バイオガス 発生量 (合計)	生ごみ 投入量	生ごみ投入量 あたり バイオガス 発生量
	m^3	m^3	m^3	kg	m^3/t
4 月	8.7	0.0	8.7	371.3	24
5 月	34.9	0.0	34.9	452.3	77
6 月	17.4	0.0	17.4	248.4	70
7 月	85.0	5.5	90.5	1,101.3	82
8 月	131.0	0.0	131.0	4,966.3	26
9 月	255.7	46.1	301.8	4,515.2	67
10 月	176.5	3.4	179.9	4,980.0	36
11 月	252.0	2.2	254.2	4,620.0	55
12 月	294.0	1.2	295.2	3,990.0	74
合計	1,457.2	69.4	1,526.6	25,244.8	-

※ 発酵槽原料投入量＝生ごみ投入量＋水投入量

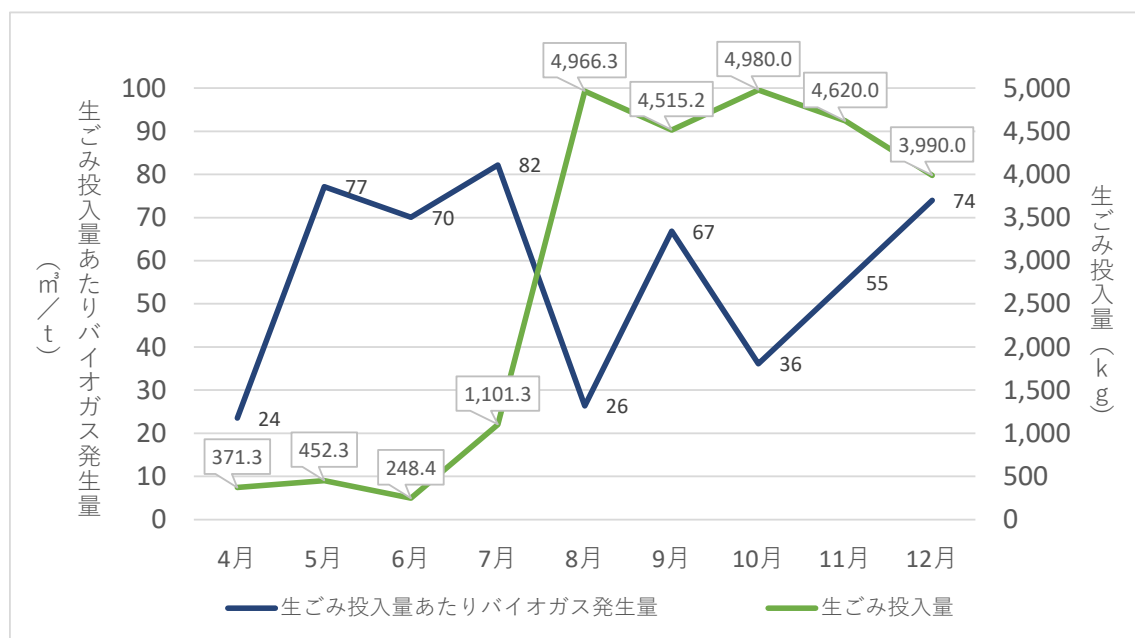


図 86 生ごみ投入量及びバイオガス発生量

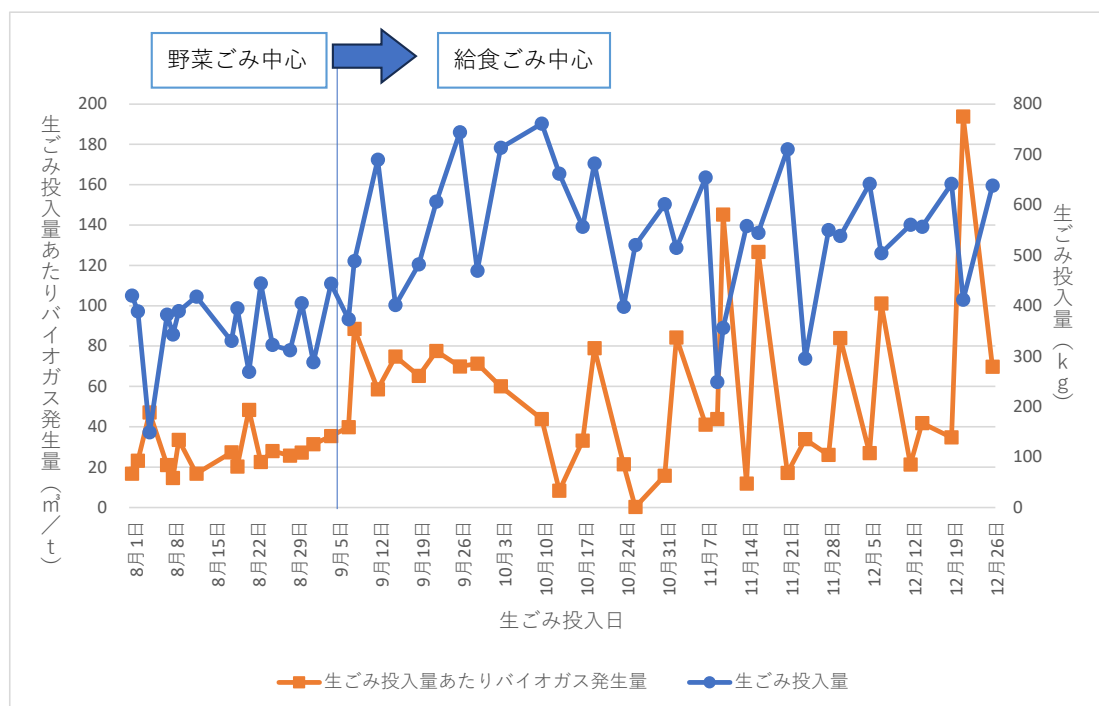


図 87 生ごみ投入日別の投入量及びバイオガス発生量（8月以降）

② バイオガス成分

発生したバイオガスの成分を分析した結果は次表のとおり。

表 24 バイオガス成分分析結果

採取日	分析ガス (%)					備考
	メタン	酸素	窒素	二酸化炭素	合計	
9月20日	57.9	0.7	2.4	38.5	99.5	
12月19日	53.5	1.3	3.3	39.5	97.6	

5) 消化液

① 消化液発生量

生ごみのバイオガス化処理に伴い発生する消化液の発生量は次のとおり。

表 25 消化液発生量

月	消化液発生量 (L)
4 月	644
5 月	870
6 月	327
7 月	2,048
8 月	10,922
9 月	8,749
10 月	6,523
11 月	7,611
12 月	8,197
総計	45,892

② 消化液成分分析

消化液の成分分析結果は次のとおり。

表 26 消化液成分分析結果（定期点検）

日付	pH (室温)	VFA (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	TS (mg/L)	VS (mg/L)	CODMn (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	NaCl (%)
6/13	8.1	870	950	16,400	11,600	7,600	2,200	250	0.10
6/27	8.2	840	870	9,600	6,400	-	-	-	0.12
7/13	8.1	810	790	8,800	6,400	-	-	-	-
7/28	7.9	830	700	12,400	8,800	-	-	-	0.11
8/9	7.8	1,200	670	11,200	7,200	-	-	-	0.12
8/18	7.6	1,290	650	9,600	6,000	-	-	-	0.15
8/30	7.9	564	570	10,800	6,800	-	-	-	0.09
9/8	7.7	581	750	10,000	6,400	-	-	-	0.09
9/20	8.0	402	910	11,200	7,200	-	-	-	0.08
10/5	7.9	928	890	11,600	8,000	6,100	-	-	0.10
10/17	8.1	654	1,060	12,000	8,800	-	-	-	0.09
11/1	7.1	1,946	1,000	14,400	11,200	-	-	-	0.08
11/21	8.4	860	1,680	12,400	8,800	-	-	-	0.10
12/15	8.3	1,040	1,550	12,000	8,800	-	-	-	0.09
12/26	8.1	1,070	1,750	12,000	8,800	-	-	-	0.08

肥料としての成分分析結果は次のとおり。8月21日には詳細な分析を実施した。
分析評価の結果、農業用肥料として使用可能と判断された。

表 27 肥料分析①

採取日	窒素全量	アンモニア態窒素	硝酸態窒素	りん酸	加里	C/N 比	亜鉛	石灰	水分
	現物%	現物%	現物%	現物%	現物%	なし	現物 mg/kg	現物%	現物%
6月27日	0.18%			0.05%	0.04%	3	20	0.04%	98.5%
8月21日	0.14%	<0.1	<0.1	0.04%	0.06%	3	<5	0.03%	98.9%
8月21日	0.199%	0.124%							
10月16日	0.13%			0.02%	0.08%				
10月16日	0.099%	0.095%							
12月18日	0.15%			0.01%	0.08%				
12月18日	0.150%	0.130%							

※ 6月27日 農林水産省告示「特殊肥料の品質表示基準を定める件」に基づく分析

※ 分析方法は肥料等試験法及び総和法 JIS K 0102-45.1 に基づくアンモニア態窒素分析に基づく

表 28 肥料分析②（詳細分析の結果）

採取日		2023年8月21日
分析内容		詳細分析
分析内容	単位	分析値
窒素全量	現物%	0.14%
アンモニア態窒素	現物%	<0.1
硝酸態窒素	現物%	<0.1
りん酸	現物%	0.04%
加里	現物%	0.06%
C/N 比	なし	3
亜鉛	現物 mg/kg	<5
石灰	現物%	0.03%
水分	現物%	98.9%
銅	現物%	<5
ナトリウム	現物%	<0.1
ニッケル	乾物 mg/kg	36
ひ素	乾物 mg/kg	<1
カドミウム	乾物 mg/kg	<0.5
水銀	乾物 mg/kg	0.2
クロム	乾物 mg/kg	13
鉛	乾物 mg/kg	<1
pH	なし	7.7
電気伝導率	mS/cm	9.05
BOD	mg/L	520
COD	mg/L	4300

※ 肥料等試験法に基づく詳細分析

6) 結果

日量 1 トン規模のバイオガス化実証試験設備を設置し、家庭系生ごみ及び事業系生ごみを投入して稼働させた結果、安定的に稼働することができた。また、メタンを主成分とするバイオガス及び農業用肥料として使用可能な消化液が生成できることが実証できた。現段階では生ごみ投入量あたりのバイオガス発生量は想定より少ないものの、今後処理負荷率を向上させることで想定どおりのバ

イオガスが得られると考えられる。また、ごみ質によってはバイオガス発生量が低下することも確認できた。

（６）PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器の分解性評価試験の実施

1) 概要

肥料法（肥料の品質の確保等に関する法律）では、バイオマス由来かつ生分解性であってもプラスチック素材は肥料原料として使用することは認められていない。そこで、本パートではバイオガス化実証試験において生ごみとともに投入された PHBH 製生ごみ袋がバイオガス化処理過程及び消化液の保管期間で分解されることを検証し、肥料として利用して問題ないことを確認することを目的として２種類の試験を行った。

１番目の試験（以下、「試験その１」とする。）では、PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器の破砕物をバイオガス化実証試験設備に投入し、一定期間ごとに発酵槽内の消化液を採取して残渣を確認し分解状況を調査した。２番目の試験（以下、「試験その２」とする。）では、消化液を取り分けたタンクの中に PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器の破砕物等を直接投入し、一定期間ごとに分解状況を確認した。

2) 試験その１（バイオガス化処理時の PHBH 分解性評価試験）

① 実施方法

i) 評価対象

- ・ PHBH 製生ごみ袋
- ・ 使用済み PHBH 製弁当容器

ii) 処理条件

- ・ 生ごみの処理量は約 600 kg/日とし、３回/週で２週間継続処理する。
- ・ 発酵期間は 15 日間とする。

<PHBH 製生ごみ袋投入量>

- ・ 家庭系生ごみの投入量は定格処理能力 1t/日に対して 0.1～0.2 t/日としており、生ごみ投入量に対して最大 20%とする。従って、投入量は（600 kg/日×20%＝）120 kg/日となる。また、事業系生ごみの投入量は、（600 kg/日-120 kg/日＝）480 kg/日となる。
- ・ PHBH 製生ごみ袋の投入量は以下のとおり設定した。
 - 10L 袋の場合は、１枚あたり生ごみ（10,000 cm³×0.5 g/cm³＝）5 kg を入れることができ、袋の重量は 0.0115 kg/枚、0.023 kg/kg-生ごみ（0.23%）である
 - 2L 袋の場合は、１枚あたり生ごみ（2,000 cm³×0.5 g/cm³＝）1 kg を入れることができ、袋の重量は 0.005 kg/枚、0.005 kg/kg-生ごみ（0.5%）である

上記より 2L 袋の方が生ごみ投入量当たりの PHBH 量が多くなるため、2L 袋で投入量を設定した。

家庭系生ごみ投入量 120 kg/日に対し、2L 袋の投入重量は（120 kg×0.5%＝）0.6 kg になるため、（0.6 kg÷0.005 kg/枚＝）120 枚の投入となる。ただし、今回試験では、2L 袋相当分を 10 L 袋を用いて投入することとして、（0.6 kg÷0.0115 kg/枚＝）52 枚の投入とした。

一方、事業系生ごみ投入量 480 kg/日に対しては、PHBH 袋として 45 L 袋を採用することを

想定した。45 L 袋 1 枚あたり生ごみは $(45,000 \text{ cm}^3 \times 0.5 \text{ g/cm}^3) = 22.5 \text{ kg}$ 入れることができ、1 枚あたりの袋の重量は 0.049 kg、0.0022 kg/kg-生ごみ (0.22%) となる。よって、事業系生ごみ投入量 480 kg/日に対しては、 $(480 \text{ kg} \times 0.22\%) = 1.056 \text{ kg}$ が 45 L 袋の投入重量になる。今回試験では、45 L 袋相当分を 10 L 袋を用いて投入することとして、 $(1.056 \text{ kg} \div 0.0115 \text{ kg/枚}) = 92 \text{ 枚}$ の投入とした。

以上より、600 kg/日の生ごみ投入量に対して、PHBH 製生ごみ袋を 10 L 袋で $(52+92) = 144$ 枚投入した。

<PHBH 製弁当容器投入量>

- ・ 6 月にイベントで使用・回収した使用済み弁当容器を破砕し、1.5 kg (弁当容器 100 個分相当) を他の生ごみ 600 kg/日に添加し投入した。

iii) 投入方法

- (ア) 生ごみとともに破砕機に投入し、調整槽を経由して発酵槽に移送。
- (イ) PHBH 製生ごみ袋は試験期間の最初に 1 回でまとめて投入 (生ごみ 600 kg に 10L 袋 144 枚を添加)
- (ウ) PHBH 製弁当容器は試験期間の最初に 1 回でまとめて投入 (生ごみ 600 kg に弁当容器破砕物 1.5 kg を添加)

iv) 試料の回収方法

- (ア) PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器を投入した後、2 基の発酵槽を切り離し、調整槽よりそれぞれ別の発酵槽に移送する。発酵槽が満杯 (15 m³) 状態で、投入後 15 日間を経過した消化液は、中継槽を経由して消化液タンク (2 基) に貯留される。この間の消化液を試料とした。
- (イ) PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器を投入した日から 5 日後、10 日後、15 日後に中継槽からそれぞれ 10 L ずつ消化液を採取し試料とした。・・・試験①
- (ウ) PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器を投入した日から 15 日後、中継槽より 500 L をローリータンクに分取した。その後、0 日後 (採取日当日)、5 日後、10 日後、15 日後にタンクからそれぞれ 10 L ずつ消化液を採取し試料とした。・・・試験②

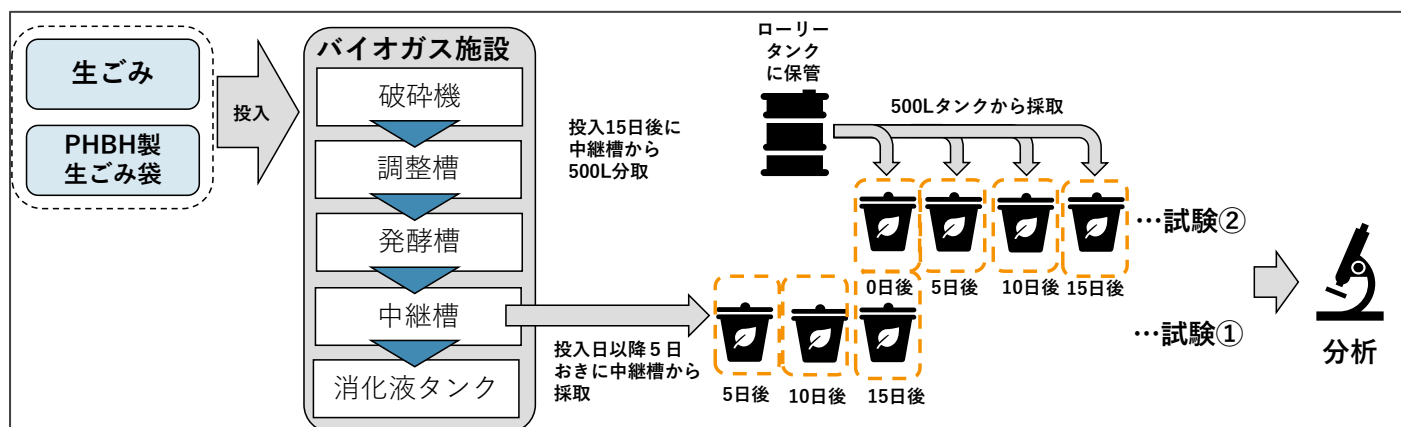


図 88 分解性評価試験の試験手順

v) PHBH 分解性評価方法

それぞれの評価試料をふるい、乾燥した後、残渣量、及び残渣中の PHBH 量を選別・計量し、経時変化を評価した。(発酵期間後消化液貯留状態における未分解 PHBH の分解状況の経時変化の確認)



図 89 ふるいにかけた後の残渣の様子

vi) 未分解 PHBH 量の推定

発酵槽には、満杯の状態（15 m³）で消化液が 15,000 L 存在する。それに対し PHBH 製生ゴミ袋の投入量は $0.6+1.056=1.656$ kg であり、発酵槽で 90% 分解されているとすると未分解 PHBH 量は 166 g であり、消化液中には、 $166\text{ g}/15,000\text{ L}=0.011\text{ g/L}$ 程度が残存することになる。10 L の消化液に対し、0.11 g 程度であり、定量分析可能と思慮される。

また、PHBH 製食品容器破碎物の投入量は 1.5kg であり、発酵槽で 50% 分解されているとすると未分解 PHBH 量は 750 g であり、消化液中には、 $750\text{ g}/15,000\text{ L}=0.05\text{ g/L}$ 程度が残存することになる。10 L の消化液に対し、0.5 g 程度であり、定量分析可能と思慮される。

vii) 試験実施日程

試験の実施日程は次のとおり。

表 29 試験その 1 実施日程

日付	PHBH 製生ごみ袋		PHBH 製弁当容器	
	試験① 中継槽	試験② ローリータンク	試験① 中継槽	試験② ローリータンク
10/17	投入			
10/23	6 日後採取			
10/27	10 日後採取			
11/1	15 日後採取	分取当日 0 日後分取		
11/7		6 日後分取	投入	
11/10		10 日後分取	3 日後採取	
11/16		16 日後分取	9 日後採取	
11/21			14 日後採取	分取当日 0 日後分取
11/27				6 日後分取
12/1				10 日後分取
12/6				15 日後分取

② 実施結果

試験その 1 を実施した結果、PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器について、計量値にはややばらつきはみられるものの目視・計量ともに分解の傾向が見られ、分取 16 日後（最終日）には PHBH 製生ごみ袋・PHBH 製弁当容器と思われる異物はほとんどなかった。（次ページ以降の図参照）

以上のことから、発酵槽投入後 15 日経過で大幅に分解し、さらに消化液タンク内に移送されて 15 日程度で視認できない程度にまで分解していることが確認できた。

PHBH 製生ごみ袋 試験①及び②計量値

素材	用途	採取場所	計量値 ()内は投入量との相対値							
			消化液 採取量	投入量 (按分値) ＝消化液量×投入率	投入6日後	投入10日	投入16日後 分取0日後	分取6日後	分取10日後	分取16日後
PHBH	生ごみ袋	中継槽	10.0L	1.10g	0.05g (4.5%)					
			10.8L	1.19g		0.09g (7.6%)				
			10.8L	1.19g			0.01g (0.8%)			
PHBH	生ごみ袋	ローリータンク	10.2L	1.12g			0.05g (4.5%)			
			10.8L	1.19g				0.04g (3.4%)		
			10.4L	1.14g					0.01g (0.9%)	
			10.0L	1.10g						0.01g (0.9%)

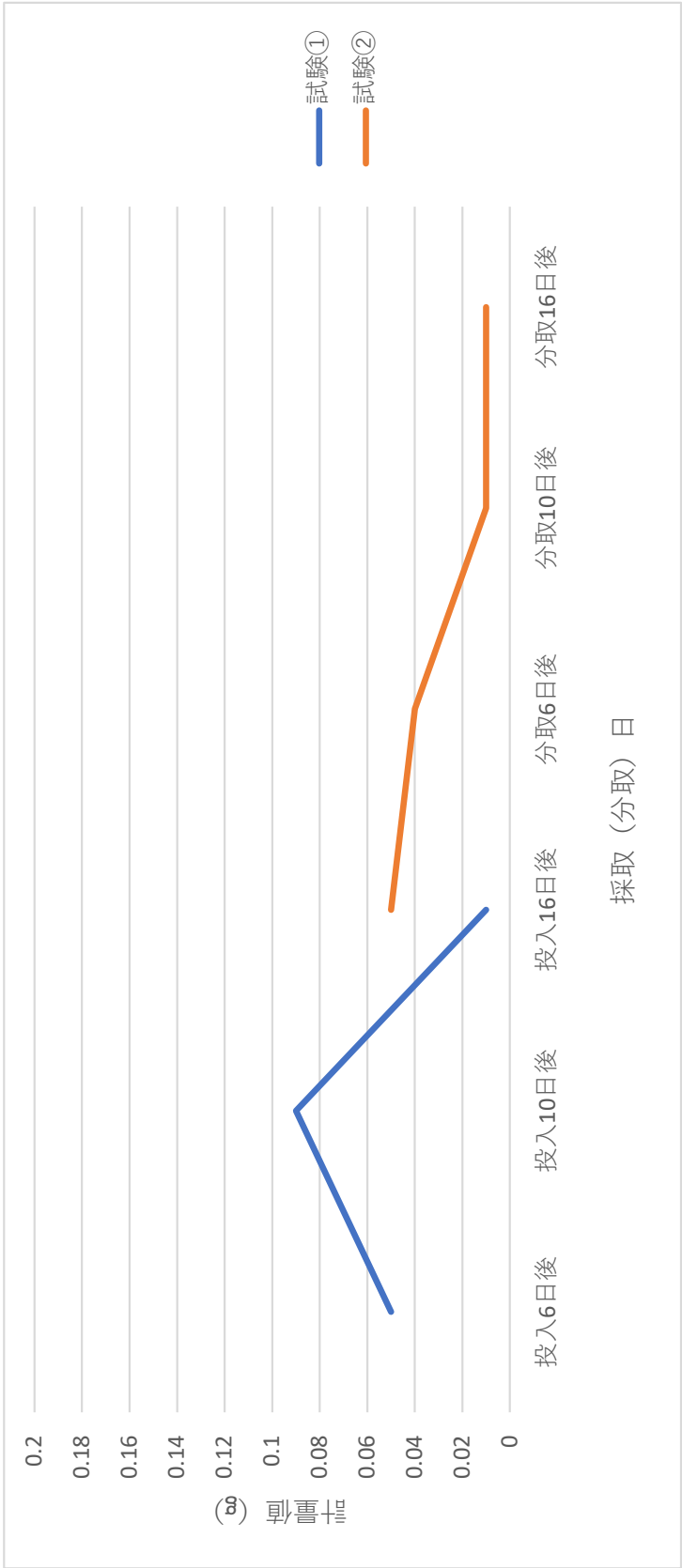


図 90 分解性評価試験 (試験その1) の結果 : 計量値 (PHBH 製生ごみ袋)

PHBH 製弁当容器 試験①及び②計量値

素材	用途	採取場所	計量値 ()内は投入量との相対値							
			消化液 採取量	投入量 (按分値) ＝消化液量×投入率	投入後3日目	投入後9日目	投入後14日目 分取後0日目	分取後6日目	分取後10日目	分取後15日目
PHBH	弁当容器 (破砕物)	中継槽	10.8L	1.08g	0.19g (18%)					
			10.0L	1.00g		0.17g (17%)				
			10.2L	1.02g			0.07g (6.9%)			
PHBH	弁当容器 (破砕物)	ローリータンク	10.7L	1.07g			0.01g (0.9%)			
			10.2L	1.02g				0.03g (2.9%)		
			10.6L	1.06g					0.02g (1.9%)	
			10.6L	1.06g						<0.01g未満 (<0.9%)

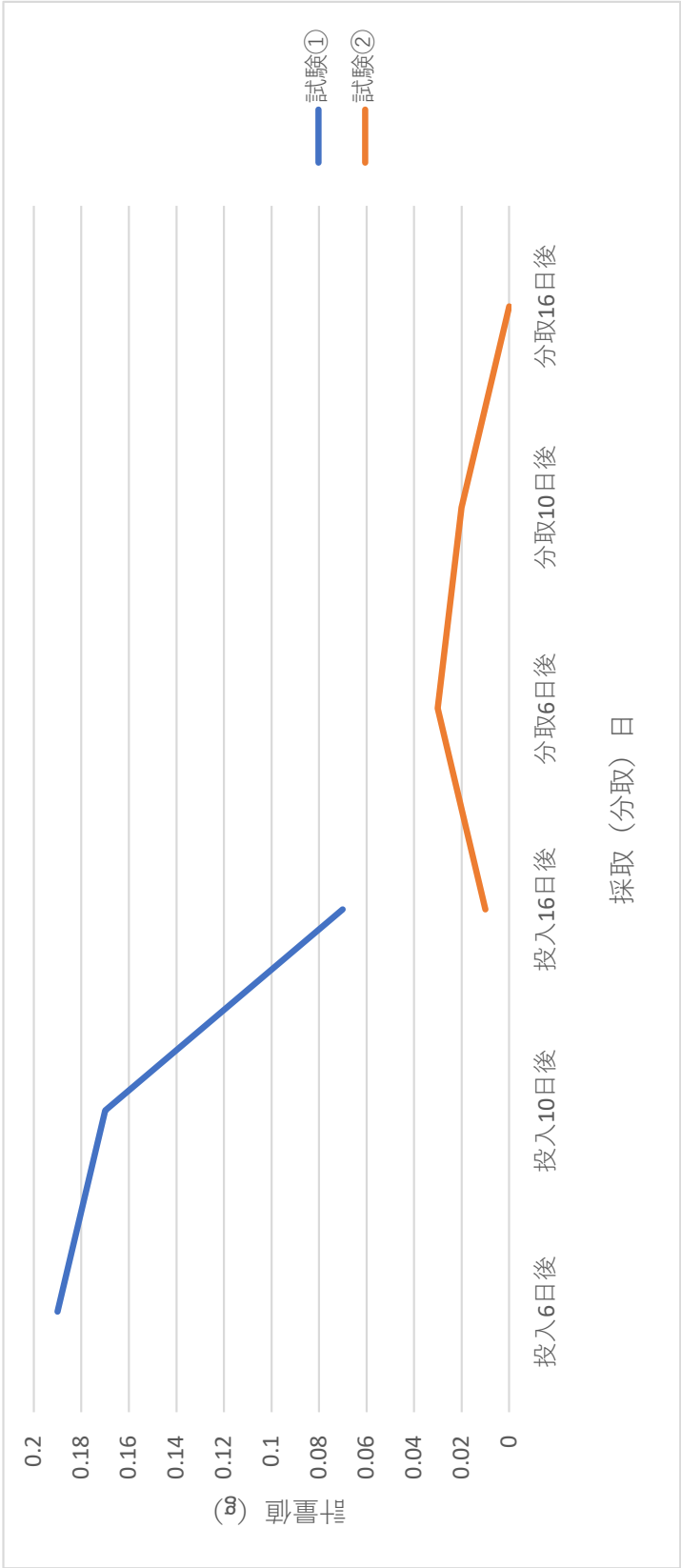


図 91 分解性評価試験 (試験その 1) の結果 : 計量値 (PHBH 製弁当容器)

PHBH 製生ごみ袋 試験①

中継槽から消化液採取（投入より 6 日後～16 日後）



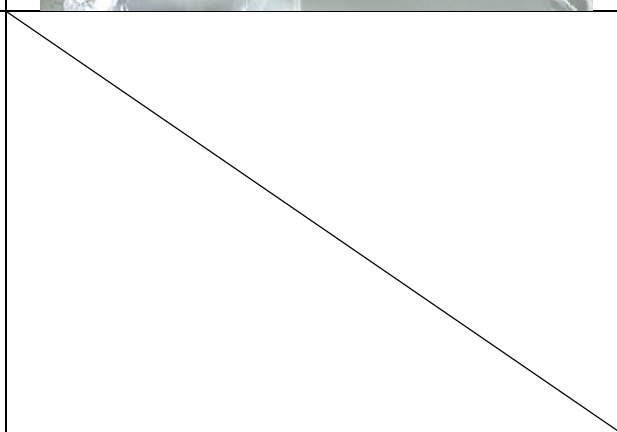
10/23 採取
投入 6 日後



10/27 採取
投入 10 日後



11/1 採取
投入 16 日後



PHBH 製生ごみ袋 試験②

中継槽から分取したローリータンクより消化液採取（分取より 0～16 日後）



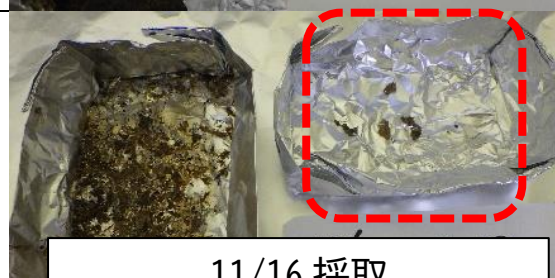
11/1 採取
分取 0 日後



11/7 採取
分取 6 日後



11/10 採取
分取 10 日後

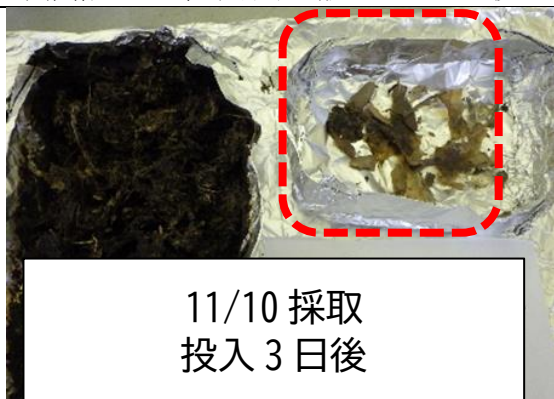


11/16 採取
分取 16 日後

図 92 分解性評価試験（試験その 1）の結果：写真-1

PHBH 製弁当容器 試験①

中継槽から消化液採取（投入より 3 日後～14 日後）



PHBH 製弁当容器 試験②

中継槽から分取したローリータンクより消化液採取（分取より 0～15 日後）

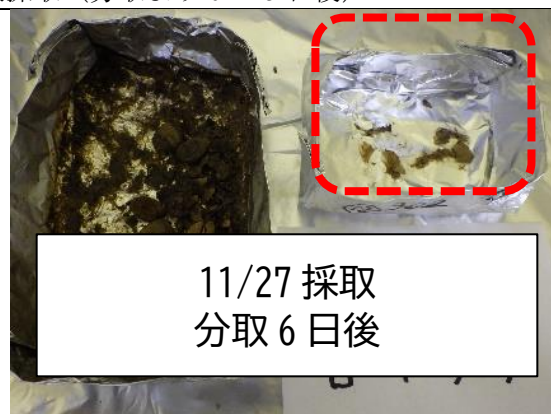
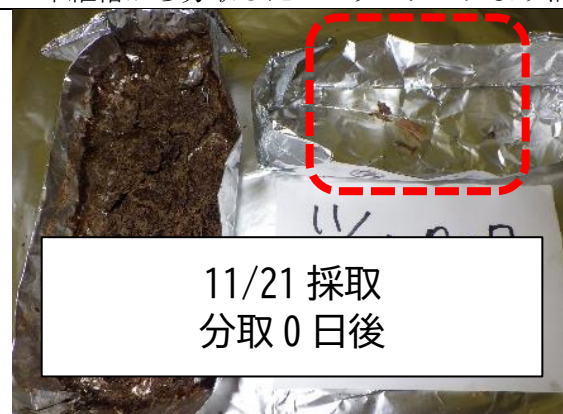


図 93 分解性評価試験（試験その 1）の結果：写真-2

3) 試験その 2（消化液での PHBH 分解性評価試験）

① 実施方法

i) 試験手順

消化液を 500L 入れたタンクに PHBH 製生ゴミ袋及び PHBH 製弁当容器を水切りネットに入れてひもで縛って吊るし、5 日～10 日おきに取り出して、洗浄乾燥後電子秤で重量を計測し、事前に計測しておいた重量と比較して推移を調べた。

なお、比較検討のため京都市指定ゴミ袋（ポリエチレン製）も同じ状態で投入した。

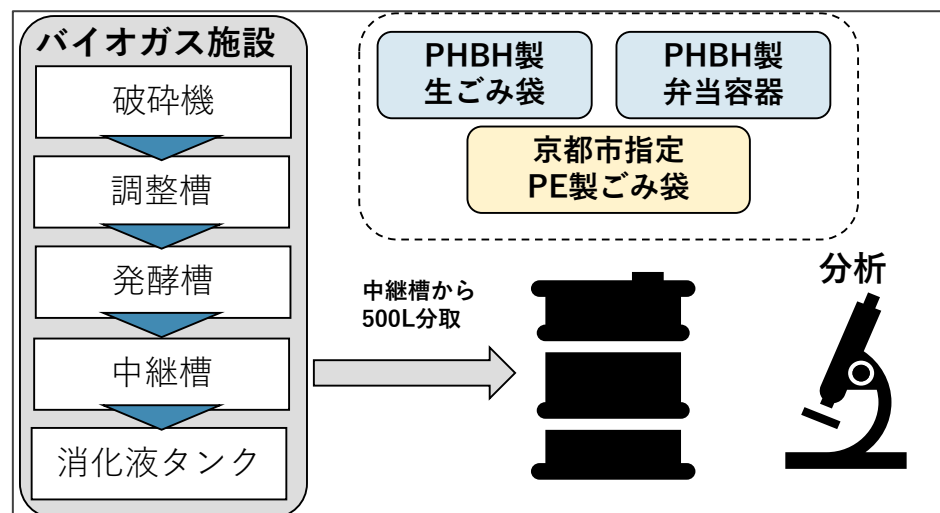


図 94 試験その 2 のイメージ図

ii) 試料

以下に示す 6 とおりの試料で試験を行った。試料の内訳は、PHBH 製生ゴミ袋 3 種類（サイズ違い）、PHBH 製弁当容器（破砕物、シート）、京都市指定 PE 製ゴミ袋の 3 種類である。

表 30 試料の内容

試料 No.	試料種類	試料サイズ
1	PHBH 製生ゴミ袋	50mm×50mm
2		30mm×30mm
3		10mm×10mm
4	PHBH 製弁当容器	破砕物（5～10mm 程度）
5		シート（50mm×50mm）
6	京都市指定 PE 製ゴミ袋	30mm×30mm

iii) 試験日程

試験日程は次のとおり。

11/21	投入
12/1	1 回目採取 (10 日後)
12/6	2 回目採取 (15 日後)
12/21	3 回目採取 (30 日後)

iv) 試験状況

検体はそれぞれ水切りネットに入れ、温室内に設置した 500L ローリータンク内の消化液に投入した。消化液の温度は約 15～20℃程度であった。



図 95 水切りネットに入れた検体

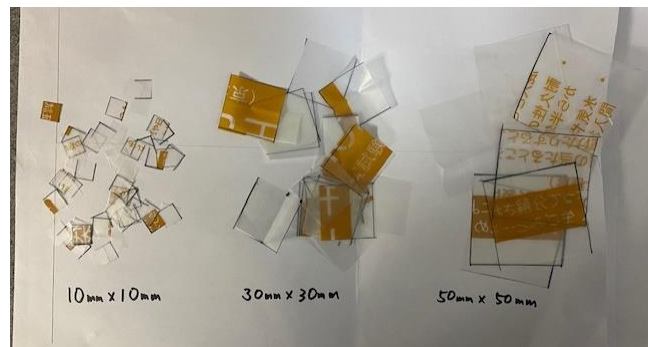


図 96 検体サンプル



図 97 温室内に設置した
ローリータンク



図 98 検体を消化液に投入した時の様子

② 実施結果

PHBH 製品を直接消化液に投入し分解状況を確認することにより、発酵槽での反応より厳しい条件下（低い温度で攪拌なし）での分解状況を調査した。

PHBH 製生ごみ袋についてはいずれも完全に近い形で分解しており、PHBH 製弁当容器についてもいずれも分解しているが、厚さのためかごみ袋に比べて分解の程度が遅いことがわかった。また、生ごみ袋や弁当容器は細かく破砕したもののほうが分解が遅くなる傾向が見られるが、これは検体

を水切りネットに入れているため PHBH 製品同士が密着して消化液との接触が妨げられたことが原因と考えられる。

その他、分解過程でインクによる印字部分が分解せずに残る傾向にあることがわかったが、最終的には印字部分も視認できない程度に分解した。ただしなくなったわけではないので、印刷をどのようにするかは今後検討が必要である。

なお、ポリエチレン製の京都市指定ごみ袋の重量は全く変化がなかった。(表 31、図 99～図 101)

表 31 分解性評価試験（試験その 2）の結果：計量値

試料 No.	用途	サイズ	計量値 ()内は初期値との相対値			
			初期値 (11/21)	1 回目 (12/1) 10 日目	2 回目 (12/6) 15 日目	3 回目 (12/21) 30 日目
1	PHBH 製 生ごみ袋	50mm× 50mm	253mg	125 mg (49%)		
			224mg		56 mg (25%)	
			253mg			0 mg (0%)
2	PHBH 製 生ごみ袋	30mm× 30mm	169mg	122 mg (72%)		
			152mg		18 mg (15%)	
			144mg			0 mg (0%)
3	PHBH 製 生ごみ袋	10mm× 10mm	222mg	200 mg (90%)		
			262mg		216 mg (82%)	
			225mg			0 mg (0%)
4	PHBH 製 弁当容器 (破砕物)	5mm～ 10mm	1,810mg	1,649 mg (91%)		
			1,245mg		1,022 mg (82%)	
			1,528mg			593 mg (39%)
5	PHBH 製 弁当容器 (シート)	50mm× 50mm	771mg	727 mg (94%)		
			835mg		631 mg (76%)	
			833mg			80 mg (10%)
6	京都市指定 PE 製生ごみ袋	30mm× 30mm	137mg	139 mg (101%)		
			127mg		126 mg (99%)	
			122mg			120 mg (98%)

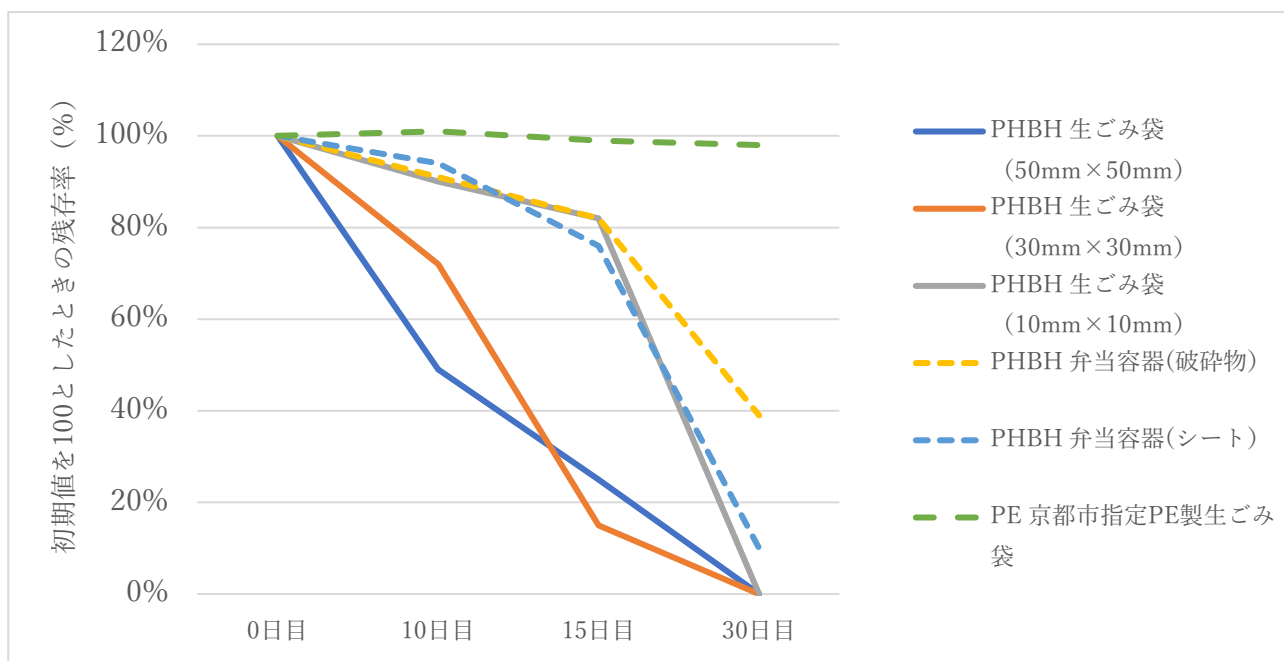


図 99 分解性評価試験（試験その 2）の結果：残存率推移

試料 1) PHBH 製生ごみ袋 50mm×50mm		
10 日後	15 日後	30 日後
		
試料 2) PHBH 製生ごみ袋 30mm×30mm		
10 日後	15 日後	30 日後
		残渣なし (完全分解)
試料 3) PHBH 製生ごみ袋 10mm×10mm		
10 日後	15 日後	30 日後
		

図 100 分解性評価試験（試験その 2）の結果：写真-1

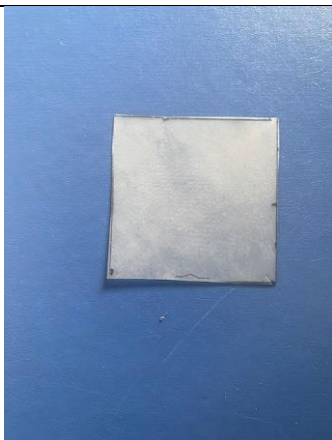
試料 4) PHBH 製弁当容器 (破砕物)		
10 日後	15 日後	30 日後
		
試料 5) PHBH 製弁当容器 (シート) 50mm×50mm		
10 日後	15 日後	30 日後
		
試料 6) 京都市指定 PE 製ゴミ袋		
10 日後	15 日後	30 日後
		

図 101 分解性評価試験 (試験その 2) の結果 : 写真-2

(7) バイオガスの利用手法検討（ビニルハウスの設置）

1) 概要

バイオガス化実証試験で発生するバイオガスの有効利用方法を検討するため、ガス給湯器を用いてバイオガスを温水に変換し、施設に隣接して設置したビニルハウスに送り込むことで冬季でも室内温度を一定に保つことができる温室を設置した。その上で、PHBH の原料の候補の一つであるジャトロファを始めとする様々な果樹・植物を育成した。

2) 設備

① 寸法

間口 3.7m×奥行き 7.0m×高さ 2.25m

② 温水利用及び温度管理

- ・ ガス給湯器を用いてバイオガスで加温した温水を、パイプを通じてハウス内に引き込み、24 時間循環させることで加温した。
- ・ 温水はパイプから熱を放出するほか、ラジエーターから熱を放出できるよう工夫した。
- ・ サーキュレーターを設置し、温かい空気がハウス全体に行き渡るようにした。
- ・ 生ごみの投入が止まる年末年始は温水の不足が想定されたことから、臨時の加温装置としてエアコンを付けることで対応した。
- ・ ハウス内の温度が高くなりすぎることを防ぐため、気温に応じて入口のフィルムを自動で巻き上げるようにした。
- ・ 温水パイプ内や土中に温度計を設置し、遠隔でハウス内の温度を確認できるようにした。

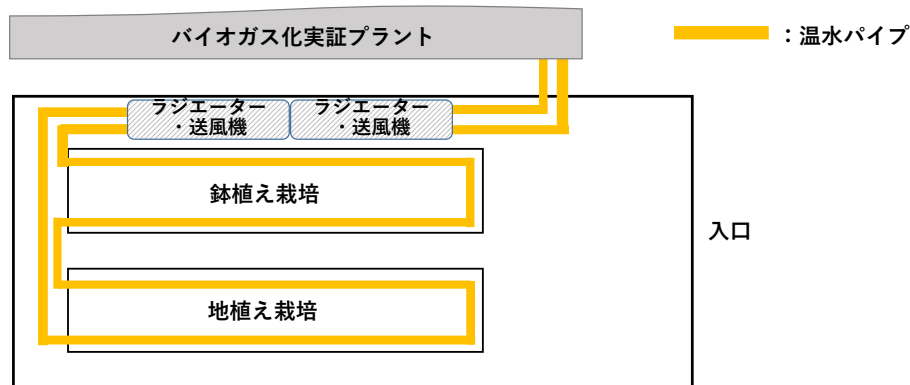


図 102 ビニルハウス内の温水パイプの配管図

③ 植物の栽培

- ・ 京北地域ではめずらしいものや、季節を選ばず温室だからこそ栽培できるものとして、以下の植物を栽培した。
 - 熱帯ハーブ（パクチー、パクチーファラン、ホーリーバジルなど）
 - 熱帯果樹（フィンガーライム、バナナ、コーヒーノキ、ドラゴンフルーツなど）
 - 果菜類（なす、トマト）
 - 花卉（ハイビスカス、パンジーなど）
 - ジャトロファ
 - サニーレタス（水耕栽培）

3) 試算

下記の諸条件を元に、バイオガスによって得られた熱量及び温室の加温に必要な熱量を試算した。

① 諸条件

諸条件は次のとおりとした。

表 32 ビニルハウスの必要熱量計算に係る諸条件

大項目	小項目	諸条件等
共通	算定期間	令和 5 年 10 月～12 月
	設備寸法	間口 3.7m×奥行き 7.0m×高さ 2.25m (温室表面積 62 m ²)
	メタン濃度	55.7 %
	メタン発熱量	39.8 MJ/N m ³
温室加温必要熱量	気温	AMeDAS 園部観測所の気温データを使用
	ハウス内目標温度	10 °C
	熱貫流率	9.5 (W・m ² ・°C)
温室供給温水量	温室入口温度	60 °C
	温室出口温度	20 °C

② 試算結果

試算の結果、算定期間中温室加温に必要な熱量は計 12,916MJ、この熱量を得るのに必要な温水量は 77 m³ (平均 0.07 m³/h) であった。

表 33 温室加温必要熱量及び必要温水量試算

項目	結果
総時間数	2,208 時間
最低気温	-6.5 °C
目標設定温度	10 °C
最大温度差	16.5 °C
熱貫流率	9.5 W・m ² ・°C
温室表面積	62 m ²
加温必要時間	1,114 時間
加温時間比率	50.5 %
累積加温必要熱量	<u>12,916 MJ</u>
温室入口温度	60 °C
温室出口温度	20 °C
必要温水量	<u>77 m³</u>

算定期間中にバイオガスの燃焼によって得られた熱量は 16,017 MJ、給湯器から供給された温水は 93 m³であり、温室の加温に必要な温水量を満たしているという試算結果となった。(次表)

表 34 給湯器から供給された熱量及び温水量

項目	結果
温水供給（水温 20℃+40℃）	15 L/分
ガス消費量	37,000 kcal/h
	154,910 kJ/h
	2,582 kJ/分
1L 給湯あたりガス消費量	172 kJ/L
ガス供給熱量	16,017 MJ
給湯量	93 m ³

4) 結果

バイオガスをガス給湯器を用いて温水に変換し、その温水を用いてビニルハウス内に熱を供給することで冬季でも植物を栽培することができることが実証できた。ただし、生ごみの投入量が減少することによって温水が不足するおそれがあると考えられるため、補助的に加温できるバックアップを用意するなど何らかの対策が必要である。また、何かのアクシデントでハウス内の温度が急激に上下することがないように、温度管理体制を確保する必要があると考えられる。



図 103 ジャトロファの栽培（中央）



図 104 鉢植えの果樹や野菜



図 105 地植えのハーブ・野菜・花卉類



図 106 水耕栽培のサンリータス



図 107 プラントから温水を引き込むための温水パイプ



図 108 温水パイプの熱を土中全体に行き渡らせるためのワイヤーメッシュ

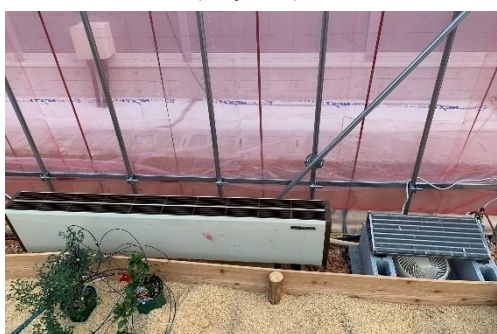


図 109 ラジエーター



図 110 サーキュレーター

3.1.2 PHBH 製生ごみ袋の改善

(1) 目的

昨年度の取組で見出した改良 PHBH の試作を実施し、シール強度・耐久性の安定性確認を実施することを目的とした。

1) 配合

昨年度報告した穴開き原因となる熱に溶けにくい PHBH を取り除いた改良処方を使用した。

2) インフレーション量産機、製袋機

昨年と同様 PHBH（カネカ生分解性バイオポリマーGreen Planet®）専用金型を使用し、（株）カネカ外注のモルダーにてインフレーション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 3 回行った。

3) 実用試験

2023 年 4 月より、京都市京北地域の住民による実用試験を実施した（3. 1. 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」参照）。改良処方にて試作したごみ袋を使用しての実用試験では 2024 年 1 月現在にて生ごみ袋が破れたという指摘なし。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、袋の破損の有無を確認した。

(2) 結果

昨年度の検討を元に使い勝手と耐久性を考慮して、取っ手の幅を 2L：6cm、5L/10L：8cm に変更し、2023 年 4 月、9 月、12 月と 3 回の量産試作を実施した（次図参照）。

- 令和 5 年度 1 回目（2023 年 4 月） 2L：2,500 枚／5L：1,000 枚／10L：1,000 枚
- 令和 5 年度 2 回目（2023 年 9 月） 2L：4,000 枚／5L：2,000 枚／10L：2,000 枚
- 令和 5 年度 3 回目（2023 年 12 月） 2L：4,000 枚／5L：2,000 枚／10L：2,000 枚

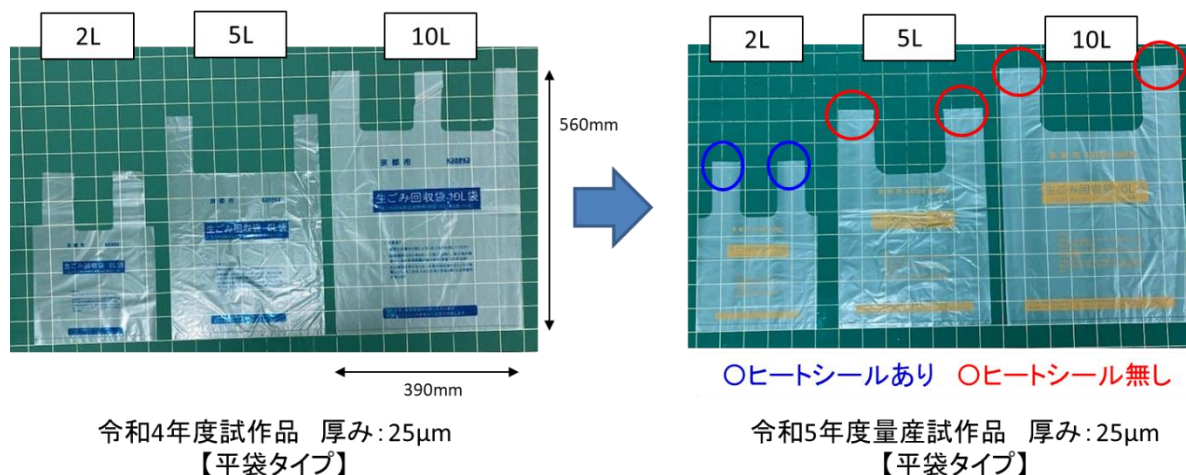


図 111 令和 5 年度量産試作品の生ごみ袋形状

量産試作した生ごみ袋のヒートシール強度を測定し、4.7N/15mm 以上の安定したシール強度発現を確認した（次図参照）。

表 35 量産試作品のヒートシール強度（単位：N/15 mm）

	形状	厚み (μm)	取手L	取手R	底部	備考
Lot230403	平袋2L	25	5.0	4.9	5.5	令和5年度1回目 (2023年4月)
	平袋5L	25	なし	なし	6.0	
	平袋10L	25	なし	なし	6.2	
Lot230906	平袋2L	25	5.5	4.7	5.8	令和5年度2回目 (2023年9月)
	平袋5L	25	なし	なし	6.4	
	平袋10L	25	なし	なし	6.0	
Lot231227	平袋2L	25	6.0	5.8	6.2	令和5年度3回目 (2023年12月)
	平袋5L	25	なし	なし	5.8	
	平袋10L	25	なし	なし	6.0	



さらに量産試作した生ごみ袋を使用し、2L サイズは 2kg、5L サイズは 4kg、10L サイズは 5kg の水を入れ、吊るした状態で 5 日間破れなく保持できることを確認した。



水2kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし



水4kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし



水5kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし

令和5年度1回目量産試作品(2023年4月)



水2kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし



水4kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし



水5kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし

令和5年度2回目量産試作品(2023年9月)



水2kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし



水4kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし



水5kg入れて吊り上げ、
5日間経過後も水漏れなし

令和5年度3回目量産試作品(2023年12月)

図 112 量産試作品の耐荷重試験

(3) まとめと課題

昨年度確認した熱に溶けにくい PHBH 起因の穴開きに対処した PHBH 処方と、PHBH 専用金型を導入し厚み精度向上により、PHBH 製生ごみ袋の薄膜化に成功した。本年度はその生ごみ袋の量産試作によるシール強度・耐久性の安定性確認を実施した。3 回の量産試作にてシール強度は 4.7N/15mm 以上を確認し、袋の耐久性について 2L サイズは 2kg、5L サイズは 4kg、10L サイズは 5kg 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。

改良した PHBH 製生ごみ袋を用いて京北地域の住民による実用性の実証試験を実施した(3.1.1 「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」参照)。本実証試験にて 2023 年 12 月までに約 2,000 枚が使用され、その間、試験に協力いただいた住民から袋の破れの指摘はなかった。そのため改良した生ごみ袋は実用性は問題なく、安定したシール強度・袋の耐久性が確認された。

3.1.3 社会実装に向けたコスト検証

(1) 目的

バイオガス化試験設備を用いた実証試験では、地方自治体への小規模分散型バイオガス化施設の導入普及を想定し、小規模分散型バイオガス化施設の実機モデルとして、定格処理能力 1t/日の試験設備を選定した。

実証試験においては、設備のランニングコスト等を記録し、社会実装を行う場合に想定されるコスト情報の収集も併せて行った。これら実証試験で得られた結果を踏まえ、社会実装に向けた必要コストの検証を行うことを目的とした。

(2) 方法

実証試験で得られた種々のコスト及び、試験設備の整備費用などを調査し、支出要素を抽出するとともに、生ごみの処理費及び液肥の売却益などの収入要素を想定し、試験設備を実機モデルとして、長期間社会実装する場合の事業収支をシミュレーションした。

(3) 結果

1) 事業収支試算の諸条件の設定

① 年間保守・薬品・施設管理費用

試験設備では、現場の運転管理人員コストを削減するため、プラントの運転状況を遠隔で監視し、運転時に異常が生じた場合のみ、現場対応を行うオペレーションを採用している。

遠隔監視に加え、設備機器の保守、薬品の補充など施設管理に要する費用を見積額より 3,000 千円/年と想定した。

② 投入作業人件費、液肥散布人件費

試験設備への生ごみ投入作業は、実証試験の結果より、定格 1t/日の搬入を行う場合に、作業員 2 人が 5 時間/日程度必要と想定されることから、その作業人件費は、人件費単価を 1,500 円/時とし、5 時間/日×260 日の作業で 3,900 千円/年と想定した。

生成した消化液を液肥として散布する場合の人件費は、20 t の消化液を散布するのに、作業員 3 人が 8 時間/日程度必要と想定されるため、作業員の人件費単価を 2,500 円/時とし、8 時間/日×3 名×2,500 円/時×（消化液年間発生量÷20 t）で 1,334 千円/年と想定した。

③ 電気・水道料金

i) 電気料金

試験設備においては、バイオガスは温水のみに変換して利用している。バイオガスをガスエンジンで、発電及び温水変換し利用することも可能であるが、定格処理能力が小さいことから、ガスエンジンの導入は費用対効果が低いものと考えられる。

従って、社会実装を行う場合においても、イニシャルコストの削減の観点より、試験設備と同様、温水利用にとどめ、消費電力は買電により対応するものと想定した。

試験設備における 2023 年 4 月～12 月の消費電力及び電力料金は、次表のとおりで、試験設備の年間消費電力量は設計値より 53,588 kWh/年であることから、年間の電気料金は、17 円/kWh×

53,588kWh/年=911 千円/年と想定する。

表 36 試験設備における消費電力及び電力料金

月	消費電力 (kWh)	電気料金 (円)
4月	2,340	50,594
5月	5,811	84,346
6月	4,955	76,612
7月	5,481	84,800
8月	4,116	75,284
9月	4,174	75,099
10月	3,870	82,732
11月	6,557	115,639
12月	10,872	173,220
合計	48,176	818,326
kWhあたり単価 (円/kWh)	17.0	

ii) 水道料金

試験設備における 2023 年 4 月～12 月の上水使用量は 74m³、水道料金は 54,224 円であった。

試験期間中の生ごみ投入量は 26 t で、生ごみ処理量 1 t あたりの上水使用量は 2.8m³/t で、生ごみ投入時の希釈水は処理量あたり 1.8m³/t であった。実証試験では生ごみの処理量は定格処理量に達していないことから、試験期間中の生ごみあたり上水使用量は過剰であると想定される。そこで、年間の想定上水使用量は希釈水量に床洗浄等の使用水量を見込み処理量 1t あたり 2.0m³/t で想定する。

以上より、年間の水道料金は、試験設備での水道料金単価 733 円/m³×260t/年×2.0 m³/t=381 千円/年と想定する。

④ 発酵不適物残渣処理費

試験期間における発酵不適物残渣の選別量は、1,430.1kg で施設搬入量 27,570.4kg に対して約 5% であった。

以上より、年間の発酵不適物残渣の処理費は焼却処理とし、260t/年×5%×30,000 円/t=390 千円/年と想定する。

⑤ 事業系生ごみ処理費収入

家庭系生ごみについては、行政サービスとして、追加的な費用徴収はないものとし、事業系生ごみについては処理料金を徴収するものと想定した。事業系生ごみ処理費単価は、処理事業者からのヒアリングにより、45,000 円/t と設定した。

以上より、260t/年×0.9×45,000 円/t=10,530 千円/年と想定する。

⑥ 消化液の売却収入

消化液は、生ごみ投入量の 1.8 倍発生する。消化液の液肥としての売却単価は、他事例でのヒアリング等を参考に 2,000 円/t と設定する。

以上より、年間の液肥売却収入は、(260t/年－13t/年)×1.8×2,000 円/年=889 千円/年と想定する。

⑦ その他の条件

施設整備費に対しては、国等の補助金適用を想定する。

補助率は、1/2 とし、自己財源 10% で残りを地方債による償還（地方債利率 0.750%）を行うとした。

⑧ 施設整備費

試験設備は、設備をコンテナに収めてユニット化し、容易な設置工事を可能としている。また、発酵槽は 0.5t/日を 1 ユニットとして、本試験設備では 2 ユニット（1t/日）を定格処理能力としたものである。

その他設備を納めたコンテナは、強固な地盤を有する敷地に設置する場合には、設備を納めたコンテナの搬入と据付のみでよく、施設設置に係る現場での工事期間は 2～3 カ月程度である。

プラントの整備費用は、①～⑦の試算条件によって、事業収支がプラスになるように、シミュレーションを行った。

なお、施設設置場所の造成等、敷地の整備に係る費用については、条件が様々であることから、事業収支の試算条件には含めない。

⑨ 事業収支試算の諸条件のまとめ

事業費収支試算の諸条件をまとめると次表のとおりである。

表 37 事業収支試算の諸条件

項目		単位	数値	備考
稼働条件	処理量	t/日	1.0	施設の定格処理能力（1日当たり投入量）
	年間投入日数	日/年	260	土日祝を除く年間日数
	年間処理量	t/年	260	処理量×年間投入日数
	消化液発生量	t/年	445	（年間処理量－発酵不適物量）×1.8
ランニングコスト	年間保守管理費用	千円/年	3,000	メーカー見積の94%
	投入・液肥散布作業人件費	千円/年	5,234	投入作業員1,500円/時×2人×5時間×年間稼働日×処理量（遠隔監視からの指示による設備操作含む） 液肥散布作業員2,500円/時×3人×8時間×消化液年間発生量÷（4t/反×5反）
	電気・水道料金	千円/年	1,292	実証施設稼働実績より算出 （下水道料金は水道料金と同額とした。[京都市料金表では最大72%程度]）
	残渣処理費	千円/年	390	施設搬入量の5%×処理単価（30円/kg）
	合計	千円/年	9,916	
収益条件	液肥利用率	%	100%	
	液肥売却単価	円/t	2,000	
	家庭系生ごみ処理単価	円/t	0	
	事業系生ごみ処理単価	円/t	45,000	
収入	液肥売却収入	千円/年	889	
	家庭系生ごみ処理収入	千円/年	0	
	事業系生ごみ処理収入	千円/年	10,530	
	合計	千円/年	11,419	
施設整備費条件	補助対象範囲	プラントの全てを補助対象とする。		
	補助率	施設整備費の1/2とする。		
	自己財源	（施設整備費－補助金）×10%とする。		
	地方債借入額	施設整備費－補助金－自己財源とする。		
	地方債利率	%	0.750	地方公共団体金融機構固定金利貸付期間14年超15年以内 据置期間無し

2) 事業収支試算結果

施設整備費を 30,000 千円～50,000 千円の間で変化させ、事業収支の状況を分析した。

施設整備費を 30,000 千円とした場合には、施設稼働後 3 年目から事業収支がプラスになり、50,000 千円とした場合には、稼働後 15 年目においても事業収支はマイナスのままとなる。

事業収支が稼働期間 15 年の概ね中間時点でプラスとなるのは施設整備費を 40,000 千円前後とした場合で、施設整備費を 40,000 千円とした場合の事業収支試算結果は、次表のとおりであり、事業収支は施設稼働後 9 年目からはプラスとなる。

表 38 事業収支試算結果

項目\事業年度		単位	建設期間	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
I	a. 設備付加費	千円	40,000							
	b. 補助金充当率	%	50%							
	c. 補助金交付額	千円	20,000							
	d. 自己財源	千円	2,000							
	e. 借入額	千円	18,000							
	① 利率	%	0.750%							
	② 償還期数	期	15							
	③ 賦金定率	%	7.07%							
	f. 借入残高	千円/年	18,000	16,862	15,715	14,560	13,396	12,223	11,041	9,851
	g. 借入返済額	千円/年		1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273
II	a. 施設建設負担費用	千円/年	2,000	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273
	① 自己財源	千円/年	2,000							
	② 借入返済額	千円/年		1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273
	b. 施設運営費用	千円/年		1,503	1,503	1,503	1,503	1,503	1,503	1,503
	① ランニングコスト	千円/年		9,916	9,916	9,916	9,916	9,916	9,916	9,916
	② 液肥売却収入	千円/年		889	889	889	889	889	889	889
	③ 売電収入	千円/年		0	0	0	0	0	0	0
	④ 代替灯油相当費用	千円/年		0	0	0	0	0	0	0
	⑤ 家庭系生ごみ処理費収入	千円/年		0	0	0	0	0	0	0
	⑥ 事業系生ごみ処理費収入	千円/年		10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530
c. 事業収支		千円/年	-2,000	230	230	230	230	230	230	230
d. 事業収支累計		千円/年	-2,000	-1,770	-1,540	-1,310	-1,080	-850	-620	-390

項目\事業年度		単位	8年目	9年目	10年目	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	合計
I	a. 設備付加費	千円									
	b. 補助金充当率	%									
	c. 補助金交付額	千円									
	d. 自己財源	千円									
	e. 借入額	千円									
	① 利率	%									
	② 償還期数	期									
	③ 賦金定率	%									
	f. 借入残高	千円/年	8,651	7,443	6,226	4,999	3,763	2,518	1,264	0	
	g. 借入返済額	千円/年	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	
II	a. 施設建設負担費用	千円/年	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	21,099
	① 自己財源	千円/年									2,000
	② 借入返済額	千円/年	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	1,273	19,099
	b. 施設運営費用	千円/年	1,503	1,503	1,503	1,503	1,503	1,503	1,503	1,503	22,548
	① ランニングコスト	千円/年	9,916	9,916	9,916	9,916	9,916	9,916	9,916	9,916	148,737
	② 液肥売却収入	千円/年	889	889	889	889	889	889	889	889	13,335
	③ 売電収入	千円/年	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	④ 代替灯油相当費用	千円/年	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	⑤ 家庭系生ごみ処理費収入	千円/年	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	⑥ 事業系生ごみ処理費収入	千円/年	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	157,950
c. 事業収支		千円/年	230	230	230	230	230	230	230	230	1,449
d. 事業収支累計		千円/年	-160	70	299	529	759	989	1,219	1,449	

(4) まとめと課題

事業収支の試算結果で、収入においては、消化液を液肥として販売することで、従来は処理費として支出を伴っていたものが、収入に転換できる点は事業収支にとって有利となる。また、家庭系生ごみだけでなく、事業系生ごみを受け入れることで、事業系生ごみの処理料金徴収が可能となり、事業収支に有利に働くことになった。

一方、施設整備費については、一般に、小規模施設においては、スケールメリットが得られず、イニシャルコストが割高になるとされており、1t/日程度の小規模施設で、前処理設備（機械選別設備）や後処理設備（排水処理設備等）を設置した場合には、約 100,000 千円程度の整備費用になるとされている。事業収支の試算結果では、施設整備費は 40,000 千円前後で事業収支がプラスになることから、試験設備のように、分別の徹底を行い、消化液を全量利用することで、前処理及び後処理設備を省くことで、イニシャルコストを削減し黒字化することは可能になると思われる。さらに、省設備化により、消費電力量の削減など、ランニングコストを低減することも可能となる。

試験設備での PHBH 製生ごみ袋の導入は、家庭系生ごみの分別排出においては利便性が高く、試験に協力していただいた市民からも高評価を得ており、より一層の分別協力が得られれば、生ごみを入れた PHBH 製生ごみ袋ごと、施設に投入することも可能となり、発酵不適物を選別する作業員の負担も軽減できる可能性が高い。

一方で、施設整備費においては、イニシャルコストの削減を図り、事業収支に見合った施設整備費とした場合でも、その全額を収益で償還するのは難しく、公的な補助制度の適用は必須であると思われる。

また、生ごみの調達においては、家庭系生ごみは、行政の収集業務の一環として組み込むことが可能であるが、事業系生ごみについては、事業者の自己搬入が施設の機構上難しいことから、民間収集事業者の協力を得る必要がある。

施設の整備・運営にあたっては、行政が主体となって行うことを想定して事業収支試算を行ったが、民間の廃棄物処理事業者において、食品リサイクル法対応施設（飼料化施設、堆肥化施設など）を整備・運営している場合には、生ごみ等の有機質廃棄物の資源化方法の選択肢として、運営拡張することも可能と考えられる。

3.1.4 小括

本実証によって、次のような成果が得られた。

- ・ 一昨年度同様、PHBH 製生ごみ袋を用いて家庭系生ごみの回収を行った。その結果、一定数の協力世帯を確保することができた。生ごみ袋の使用、回収拠点の運用、京都市による週 2 回の収集等に大きなトラブル事案はなく、社会実装を念頭に置いたスキームが確立できた。
- ・ 事業系生ごみについても一定量を確保することができた。
- ・ 家庭系生ごみと事業系生ごみを合わせて投入することで、日量 1 トン規模のバイオガス化実証試験設備を安定的に稼働させることができた。なおかつ、地域循環サイクルに必要なバイオガス及び消化液を生成させることができた。生ごみ投入量やごみ質によってはバイオガスの発生量に影響を与えることも確認できた。
- ・ PHBH 製生ごみ袋及び PHBH 製弁当容器はいずれもバイオガス化実証試験設備内で視認できない程度に分解できることが確認できた。
- ・ 消化液での PHBH 分解性試験結果については、農林水産省に報告を行った。分解性の確認された PHBH 製生ごみ袋を生ごみとともにバイオガス化しその工程で生成された消化液を液肥として農業等に使用することは、否定されるものではないとした上で、今回試験を行ったように実機を再現する条件で予め分解性に関するデータを取得しておくことの重要性の指摘と、不明点があった際は適宜農林水産省に相談するようにと助言があった。
- ・ 生成されたバイオガスはメタンを主成分とするガスであり、発酵槽を加温するためのガス給湯器に問題なく用いることができた。
- ・ 消化液を分析した結果、肥料成分を含んでおり、不適物は確認できなかった。農業用肥料として十分に使用可能な組成であった。
- ・ バイオガスで生成した温水を隣接するビニルハウスに供給し、温度を一定以上に保ち、植物を育成することができた。育成に際しては消化液を使用することもできた。また、育成した植物の中には PHBH の原料となるジャトロファも含まれており、循環サイクルの確立に向けた実証ができた。
- ・ 事業採算性を評価するのに必要な運転体制、市街地からの事業系生ごみの受け入れ体制、設備の維持管理等についての実証情報を得ることができ、それに基づき社会実装に向けた必要コストの検証を行った。

今後、資源循環のムーブメントや農作物の有機栽培の流れ等により、地域が積極的に参画する気運醸成を行うとともに、中山間地域と市街地を結んだ地域循環共生圏を構築し、京都モデルとして全国に発信していくことが求められる。

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

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な場合がある。

※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クテリアの発生が起る恐れがある。

図 113 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 114 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 のリサイクル調和性の整理

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 39 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 40 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 41 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 42 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

上表で挙げたデメリットへの対応を受け、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 43 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

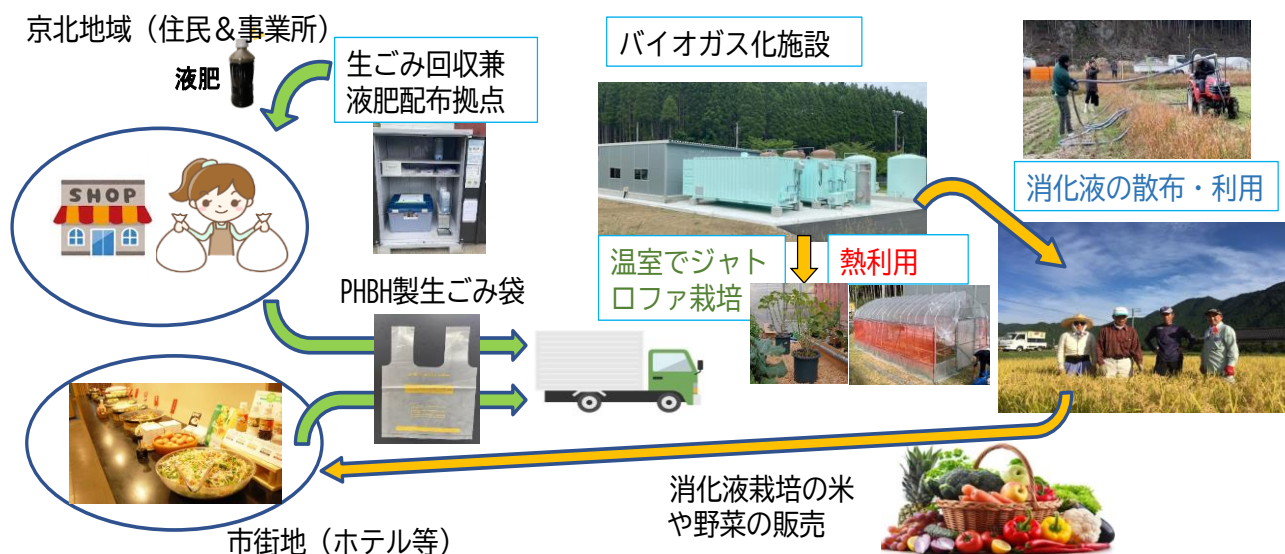
本節では、素材が PHBH に置き換わった場合にバイオガス化することが効果的と考えられる使用済み食品容器を種類別・用途別に整理し、それらを分別収集するための新たな仕組みの想定と、その実現に向けた方策を整理した。一方、これらの方策の実現には現行のリサイクルシステムの変更や先行的な取組が求められ、中期的に取り組んでいく必要があることも明らかとなった。

3.3 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、モデル地区におけるバイオガス化実証について、PHBH 製生ごみ袋を用いて回収した家庭系生ごみと事業系生ごみを京都市京北地域に設置した日量1トン処理のバイオガス化施設に搬入することで実証試験を実施し、安定運転を達成できた。実証試験において、PHBH 製生ごみ袋と PHBH 製食品容器が生ごみのバイオガス化処理過程で視認できない程度に分解することを確認するとともにバイオガス給湯による熱利用や副生する消化液の利用についても検討した。本実証試験により、小規模のバイオガス化施設の事業採算性を成立させるために必要な、運転体制、事業系生ごみの市街地からの受入れ、設備の維持管理等の実証情報を得ることができ、それに基づき社会実装に向けた必要コストの検証を行った。PHBH 製品のリサイクルシステム検討については、生分解性プラスチックのリサイクル調和性に基づき、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を特定した。また、PHBH 製食品容器のバイオガス化向け回収方法及びそれらの具体的な分別収集方法を整理した。

3.3.1 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

バイオガス化実証については、京都市京北山国地区に中山間地域での社会実装を想定した日量1トン規模のバイオガス化実証試験設備を設置・稼働させ実施した。改良した PHBH 製生ごみ袋を用いて各世帯より7ヶ所の回収拠点に分別排出された家庭系生ごみと別途回収した給食ごみや市場ごみなどの事業系生ごみを合わせて本試験設備にて処理する試験を実施した。この実証試験において PHBH 製生ごみ袋と PHBH 製食品容器を生ごみとともに投入し、生ごみのバイオガス過程で PHBH 製品が視認できない程度に分解することを確認した。さらに消化液をタンクに保管して PHBH 製品のカット片をその中に吊るし、分解することも確認した。本結果は農林水産省にも報告し、実績の蓄積手順に関する見通しを得た。また、ビニルハウスを設置し、バイオガス給湯で加温したハウス内で、副生する消化液を液肥として利用してジャトロファなど種々の植物を栽培するとともに消化液の農地への散布試験を実施し土壌への施肥効果を確認した。消化液の農業利用により生産された農作物を市街地で販売し、そこで発生した生ごみをバイオガス化処理するといった仕組みは、中山間地域と市街地を結んだ地域循環共生圏の構築にも貢献すると考えられる（下図のイメージ）。



薄膜化を図るとともに形状を改良した PHBH 製生ごみ袋の評価としては、使用された住民から改良前のように破れやシール部からの漏れの指摘もなく、耐久性で実用上問題がないことが確認された。

これら 1 トン／日規模の実証試験を実施したことで得られた運転体制、市街地からの事業系生ごみの受け入れ、設備の維持管理等に関する情報を基に、小規模分散型バイオガス化施設を整備する際に参考となるよう事業収支の試算を行った。

3.3.2 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

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。

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した。令和4～5年度は、ジャトロファ栽培について、京都での露地栽培とハウス栽培、岡山県笠岡市と愛媛県松山市での栽培、広島県尾道市での露地栽培と京都より温暖な瀬戸内海地方での栽培を試みた。京都では特に 40 L 容のポット栽培を夏季と冬季に移動させることで熱帯樹ジャトロファを越冬させることを試みた。ポット栽培で実用的な収量が得られるかどうかは課題である。

菜種栽培では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飼料としての供給を視野に入れて岡山県での栽培を試みた。

4.1.2 方法

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個体を再生した。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。

菜種（*Brassica rapa* L. cv. *Nanashikibu*、品種名 ナナシキブ）は 2022 年 11 月、岡山県笠岡市の埋立地農地に播種し、2023 年 4 月に収穫、収量を調査した。

4.1.3 結果

（1）ジャトロファの栽培

栽培に用いたジャトロファ（*Jatropha curcas*）ボツワナ株種子から調製した苗を 2022 年 6 月小温室土壌に直植えし、夏季には旺盛に生育した（図 115、図 116）。



図 115 実生苗をビニルハウス（外套なし、手前）に植え付けた（2022 年 6 月）



図 116 旺盛に生育（2022 年 8 月）

小ビニルハウス小に地植えしたジャトロファは順調に生育した（図 116）。しかし、2022 年 12 月、そのままでは越冬できないと判断し、地上部を穂木として収穫（図 117）し、地上部だけとして越冬

させた（図 118、2022 様式）。



図 117 2022 年 12 月、写真 B に示した地上部を穂木として伐採した



図 118 残った地上部. 地上部 30cm を残し無加温ビニルハウスで越冬させた

2023 年 4 月の様子を図 119 に示した。全ての地上部は枯死していた。図 120 は 2022 年 12 月に調製した穂木を挿し木として土壌に活けたものだが 2023 年 4 月には全て枯死していた。2022 年には無加温ビニルハウス内で越冬できたが、寒さの厳しかった 2023 年は無加温ビニルハウスでは越冬できなかった。しかし、図 121 に示すように 6 月になると地下部から新梢が伸び、その後、図 122、図 123 のように地上部が伸びてきた。



図 119 2023 年 4 月の様子。



図 120 挿し木した個体の 2023 年 4 月の様子。



図 121 再生した新梢 2023 年 6 月①



図 122 再生した新梢 2023 年 6 月②



図 123 2023 年 8 月の様子



図 124 株元の様子。枯死した昨年の地上部の下から新梢が伸びていた

これらの結果から、「根鉢」部分の適切な保温によっては無加温でも越冬させられる可能性が得られたので、これらを元に 2023 年の越冬処理を考案した。

2022 年に岡山県笠岡市、愛媛県松山市に展開したジャトロファの様子を図 125、図 126 に示した。どちらも旺盛に生育し多くの花芽がついた(図 127)。しかし 2022 年冬には全て枯死した(図 128)。



図 125 岡山県笠岡市で栽培中のジャトロファ、地植えと 40 L ポット栽培



図 126 愛媛県松山市で栽培中のジャトロファ。地植えでイノシシ除けの生垣として栽培



図 127 旺盛に着花した



図 128 2023 年 4 月の様子。全ての苗が枯死した

京都での様子を以下に示した。無加温ビニルハウスでは 22 年冬のジャトロファ地上部は枯れてしまった(図 129)が、2023 年 4 月には根際の生存した部分から新梢が展開した。22 年 12 月、ポット

植えの個体は地上部を切除して（図 130、2022 年様式）無加温ビニルハウスで越冬させた。

2023 年 4 月にポットを屋外に出した（図 131）。ポット苗は順調に生育し（図 132、図 133、2023 年 6 月、8 月）、着花した（図 134、2023 年 8 月）。11 月には再びビニルハウス内に取り込み（図 135）、2022 年よりも地上部を少なくなるように切除し、地上部は挿し穂とした（図 136、2023 年様式）。2023 年 12 月、地表部にはさらに牛糞堆肥と籾殻燐炭を敷き詰め、無加温のビニルハウスで越冬を試みている（図 137）。



図 129 地植え株は無加温ビニルハウスで枯死した（2023 年 4 月）



図 130 ポット植え株は地上部を切除して越冬させた（2022 年 12 月、2022 年様式）



図 131 2023 年 4 月ポット越冬株を外に移動



図 132 2023 年 6 月ポット越冬株が成長中



図 133 2023 年 8 月 ポット越冬株が成長中



図 134 2023 年 8 月 盛んに開花した



図 135 2023 年 11 月 ポット株を越冬のため
ビニルハウス内に移動



図 136 2023 年 12 月地上部を切除して越冬準備
(2023 年様式)



図 137 牛糞堆肥と籾殻くん炭で地表を保温し
無加温ビニルハウスで越冬中

刈り取った地上部は来春の挿し木に用いるためメッシュ袋に入れて乾燥させた（図 138）。図 124 に示した地植え個体でも地上部を 10 cm ほどに刈り込み（図 139）、周りを塩ビ筒で覆い（図 140 図 141）、内側には牛糞堆肥と籾殻燐炭を詰めて保温を図り越冬させた（図 141）。



図 138 刈り取った地上部は翌春の挿し穂として
利用するため乾燥、越冬中



図 139 地表から 10cm 程度まで刈り込んだ
(2023 年様式)



図 140 刈り込んだのち、塩ビ筒で保護した



図 141 さらに牛糞堆肥と籾殻くん炭を保温材として越冬させた（2023 年様式）

これらの試行から、ジャトロファは夏季、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く、また、根が呼吸できるよう通気性に富む土壌がよいと判断した。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 40 L プラスチックポットに充填した。施肥は 40 L ポットあたり窒素 5 g を含むメタン発酵消化液を年に 1 回与えた。

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なので、分枝していなければ一樹に一花しか着花しない。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、図 142 のように、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 50 cm 程度で先端を剪定除去し分枝させた。



図 142 成長中の主茎を切除して分枝を増やして着花数を増加させ種子生産量を増やす試み

これまでの観察から、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。開花数、時期には個体差があるので、旺盛に着花する個体を選抜する。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。そのため、露地栽培した個体は 12 月に剪定する。そこで 2023 年秋には樹高ができるだけ低

くなるように剪定し、刈り株を牛糞堆肥や籾殻燻炭で保温することを試みている（図 136、図 139、図 140 2023 年様式）。

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 1 x 2 m 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。加温しない状態でのポット栽培の最大収穫量は 1 樹 1 年あたりの果実収穫量は 40 個、種子 120 g であった（図 143）。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、1 ヘクタールあたりの種子生産量 2,500 kg を京都での目標値とし、そのためにも越冬条件の検討、優良個体の選抜を進める。



図 143 一樹ごとに種子生産量を記録し、生産量の多い個体を選抜する

（２）菜種の栽培

菜種品種にはダブルロー品種であるナナシキブ（*Brassica rapa L. cv. Nanashikibu*）を用いた。ダブルローとはエルシン酸とグリコシノレートが少ない食用に向いた品種であるが、これらの含有率が低いことは菜種粕を動物飼料とするために必要な性質である。ダブルロー品種は種子の価格が高く収量も低い、菜種の利用拡大のためには必要な性質である。

2022 年 11 月、岡山県笠岡市の埋立地農地に播種し、メタン発酵消化液だけを肥料として栽培、2023 年 4 月に収穫、収量を調査した。図 144 は収穫直前の様子、図 145 は収穫種子を収量調査のため鞘を京都に持ち帰る様子。



図 144 笠岡で栽培中の菜種（ナナシキブ）の様子



図 145 種子は収穫、秤量ののち、搾油のため鞘を京都に持ち帰った

2022～2023 年の栽培での収量は、メタン発酵消化液を唯一の肥料とした場合、1 ha あたりで 870 kg しか収穫できず、目標値 1200 kg の 72%にとどまった。今後、収穫量の増加を試みる。

4.1.4 まとめと課題

2 年間にわたる検討で熱帯油脂作物ジャトロファ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可能性、を示した。今後 1 樹 1 年あたり種子 500 g 程度、1 ヘクタールの樹園あたり、年間 2,500 kg の種子生産を目標とする。

また、菜種もメタン発酵消化液だけで栽培できることを示した。今後、菜種粕の飼料としての利用を念頭に水稻裏作として 1 ha あたり 1,200 kg の収穫量を目指したい。

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

バイオガス化実証試験で発生する消化液について、性状調査と品質管理を行いながら有効利用方法を検討した上で住民や農家へ提供し、安心して使ってもらうことを目的とした。

4.2.2 消化液の性状把握と品質管理

(1) 消化液の分析

消化液の液肥としての肥料成分及び有害物質の含有量を確認するため、定期的に消化液を採取し分析を行った。ただし、アンモニア態窒素については、肥料等試験法による分析方法では 0.1%を下回り検出できなかったことから、別途 JIS の総和法 (JIS K 0102-45.1) による分析もあわせて行った。

有害物質の含有量については、特殊肥料には基準がないことから、土壤汚染対策法に基づく含有量基準（人が土壌を直接摂取（土を食べたり、吸い込んだり）することによって、有害物質が体内に取り込まれるのを防止するために設定された基準値）を参照した。

表 44 液肥としての分析項目及び採取日

目的	分析項目		採取日
特殊肥料届に必要な分析 (1 回)	・ 窒素全量 ・ リン酸 ・ 加里 ・ C/N 比	・ 亜鉛 ・ 石灰 ・ 水分	6/27
液肥の肥料成分及び安全性 の確認のための分析 (1 回)	・ 窒素全量 ・ アンモニア態窒素 ・ 硝酸態窒素 ・ リン酸 ・ 加里 ・ C/N 比 ・ 亜鉛 ・ 石灰 ・ 水分 ・ 銅 ・ ナトリウム	・ ニッケル ・ ひ素 ・ カドミウム ・ 水銀 ・ クロム ・ 鉛 ・ pH ・ 電気伝導率 ・ BOD ・ COD	8/21
液肥の肥料成分の変動幅の 把握のための分析 (2 回)	・ 窒素全量 ・ アンモニア態窒素 ・ リン酸 ・ 加里		10/16 12/18

(2) 分析結果

1) 肥料分析の結果

肥料成分について、6 月から 2 か月おきに 4 回分析した結果、窒素全量は 0.13～0.18%、リン酸は 0.01～0.05%、加里は 0.04～0.08%となった。

また、有害成分について特殊肥料には定められた基準がないが、ひ素、カドミウム、水銀、クロム、鉛について濃度を把握するため分析をおこなった。このうち、ひ素については、普通肥料の公定規格を定めた基準（液状肥料として別表第三を参照）に項目があり、照らし合わせることは可能であった

が、分析で検出されなかったことから、有害性はないと考えられた。参考に、土壤汚染対策法に基づく含有量基準、すなわち人が土壤を直接摂取（土を食べたり、吸い込んだり）することによって有害物質が体内に取り込まれるのを防止するために設定された値に照らし合わせても、基準を下回った。

表 45 主な分析結果（特殊肥料届に必要な分析及び液肥の肥料成分の変動幅の把握のための分析）

採取日		6 月 27 日	8 月 21 日	10 月 16 日	12 月 18 日
項目	単位				
窒素全量*	現物%	0.18%	0.14% (0.199%)	0.13% (0.099%)	0.15% (0.150%)
アンモニア態窒素*	現物%	—	(0.124%)	(0.095%)	(0.130%)
りん酸	現物%	0.05%	0.04%	0.02%	0.01%
加里	現物%	0.04%	0.06%	0.08%	0.08%
C/N 比	なし	3	3	—	—
亜鉛	現物 mg/kg	20	<5	—	—
石灰	現物%	0.04%	0.03%	—	—
水分	現物%	98.5%	98.9%	—	—

* () なしは肥料等試験法、() 内は JIS 法による。

表 46 液肥としての肥料成分及び安全性の確認のための分析（前表の分析項目を除く）

分析内容	単位	分析結果	(参考) 土壤汚染対策法に基づく含有量基準	
			基準	評価
硝酸態窒素	現物%	<0.1	—	—
銅	現物%	<5	—	—
ナトリウム	現物%	<0.1	—	—
ニッケル	乾物 mg/kg	36	—	—
ひ素	乾物 mg/kg	<1	150 以下	基準を下回る
カドミウム	乾物 mg/kg	<0.5	150 以下	基準を下回る
水銀	乾物 mg/kg	0.2	15 以下	基準を下回る
クロム	乾物 mg/kg	13	250 以下	基準を下回る
鉛	乾物 mg/kg	<1	150 以下	基準を下回る
pH	なし	7.7	—	—
電気伝導率	mS/cm	9.05	—	—
BOD	mg/L	520	—	—
COD	mg/L	4,300	—	—

生ごみを原料とする消化液を肥料として利用するにあたり、特殊肥料として届出を出した。液肥は 12 月時点で窒素 0.15%（うちアンモニア態窒素 0.13%）、りん酸 0.01%、加里 0.08%を有した。安全性を確認するため、重金属等の分析と植害試験を実施し、問題はないと考えられた。

また、窒素（アンモニア態窒素）、りん酸、加里については定期的に分析を行い、濃度の変動幅を把握した。窒素は 0.13～0.18%、りん酸は 0.01～0.05%、加里は 0.04～0.08%の幅で変動があることを確認した。開始当初の状態から、投入した原料や加水の影響を受けていると考えられた。

4. 2. 3 消化液の植害試験

(1) 試験方法

植害試験用ノイバウエルポット（面積 100 cm²）に、修学院離宮付属農地高岸 1 圃場の土壌（7 mm フルイ通過、風乾土）を 400 g 充填し、ここに水（消化液を含めて）130 mL を加え飽水状態とし、木製ヘラで混和、代かきした。土壌の沈降を待ち水稻（品種『コシヒカリ』）種子をポットあたり 20 粒播種した。水深は 5 mm 程度であった。



図 146 ノイバウエルポットに 400 g の風乾土壌をとり、ここに消化液を含む 130 mL の水分を混和して代をかいた。

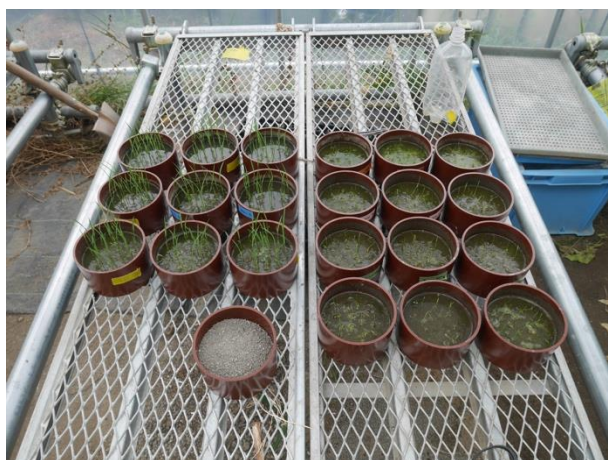


図 147 全 7 処理、各処理 3 連、合計 21 ポットの様子。一部は苗立ちを待つて消化液を施用、一部は消化液を与えて代をかいたのち、播種した。

(2) 消化液処理

二つの方法で消化液の植害を評価した。すなわち、処理①～③では、播種したイネが活着、苗立ちしたのち、100 mL、30 mL の消化液を与えた。100 mL は 50 mL ずつを 2 日かけて与えた（苗立ち後施用）。処理④～⑦では飽水・代かきに希釈した消化液を用いて、ポットあたり 10 mL、30 mL、100 mL の消化液を与え、ここに水稻種子を播種して苗立ちへの影響を見た（代かき時施用）。

ノイバウエルポットの表面積は 100 cm²なので、100 mL の消化液施用は 1 m²あたり 10 kg、1 反あたり 10 トンの消化液施用に相当する。アンモニア態窒素の含有率を 0.1%とすると、1 反あたり 10 kg

の窒素施用に相当し、10 mL なら 1 反あたり 1 kg、30 mL なら 1 反あたり 3 kg の元肥窒素施用に相当する。

(3) 植害試験結果

植害試験結果を以下に示す。

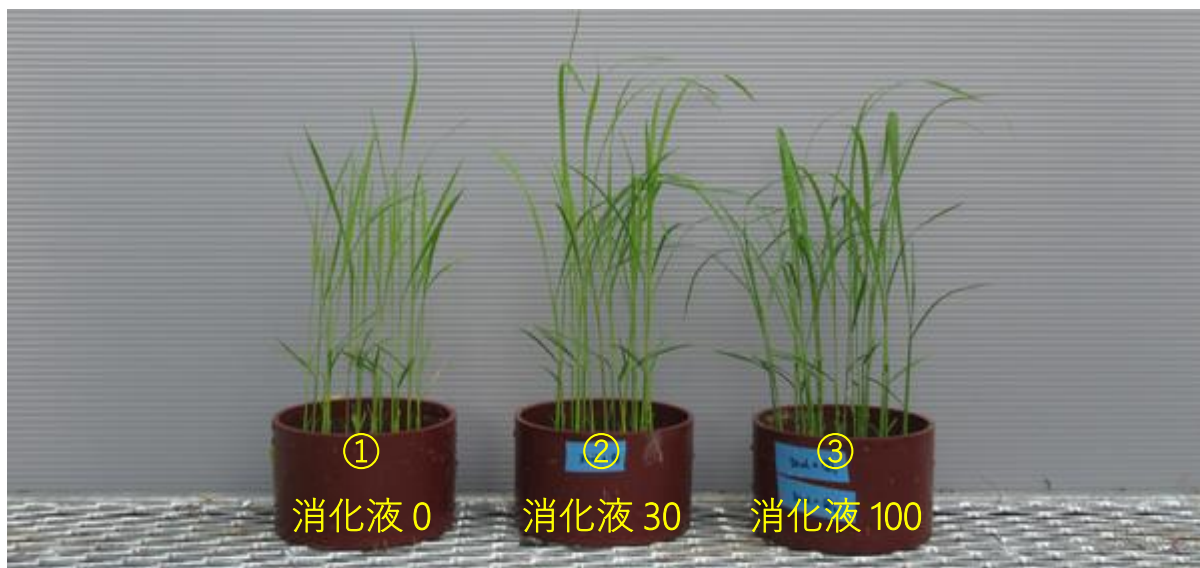


図 148 8月14日の様子① 苗立ち後に消化液を土壌表面に流し込み施用した。
左より、ポットあたり消化液を 0 (①)、30 (②)、100 mL (③) 施用。播種後 20 日。

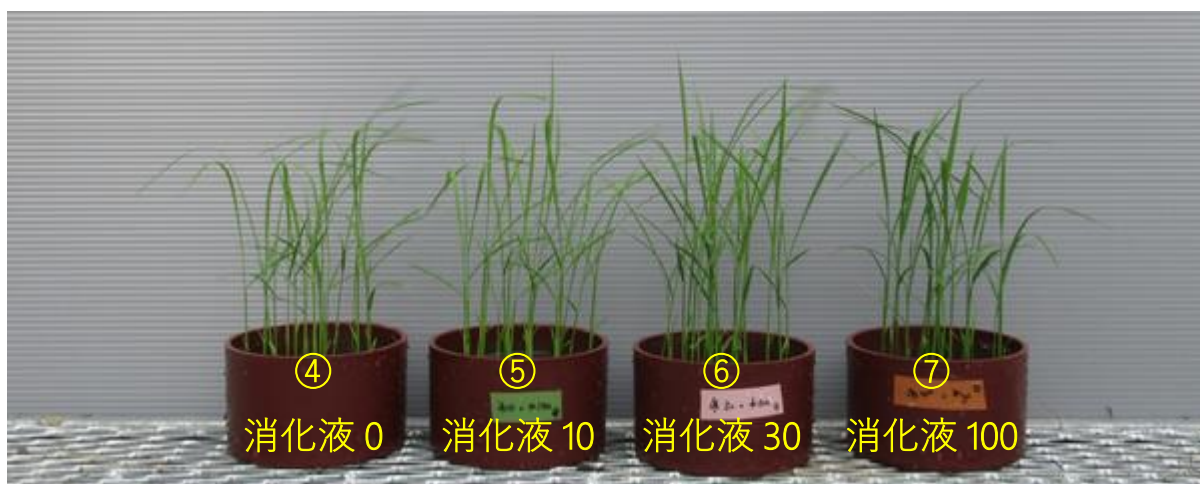


図 149 8月14日の様子② 代かき時に消化液を施用した。
左より、ポットあたり消化液を 0 (④)、10 (⑤)、30 (⑥)、100 mL (⑦) を施用。播種後 13 日。

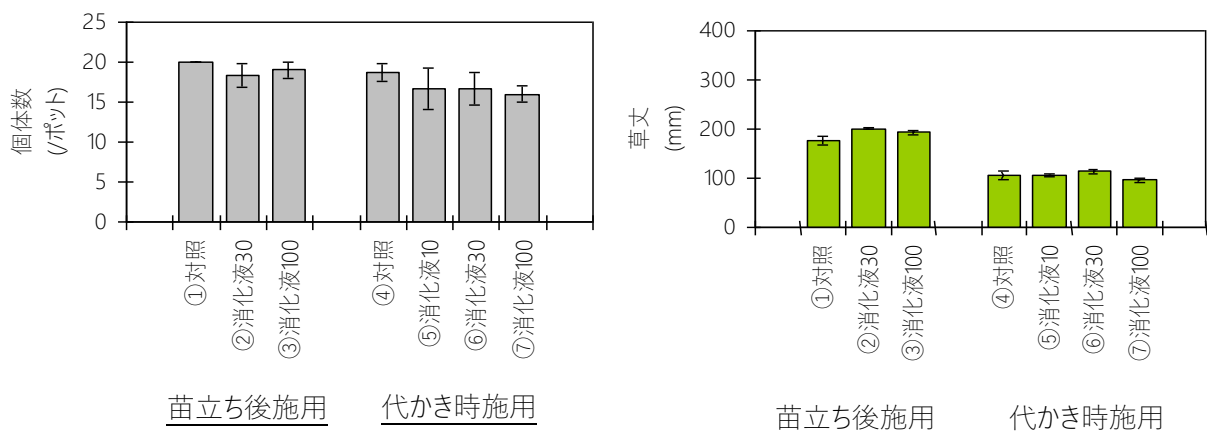


図 150 発芽個体数と草丈

8月10日調査結果。苗立ち後施用グループ（①~③）は播種16日後、代かき時施用グループ（④~⑦）は播種9日後。処理区の数値は消化液施用量（mL/ポット）。3反復の平均値±標準偏差。

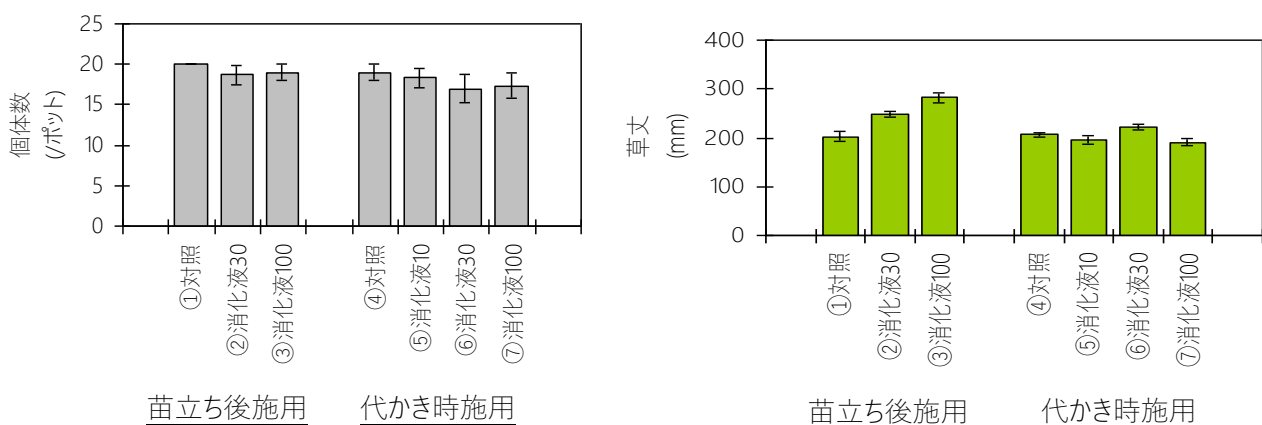


図 151 発芽個体数と草丈

8月14日調査結果。苗立ち後施用グループ（①~③）は播種20日後、代かき時施用グループ（④~⑦）は播種13日後。処理区の数値は消化液施用量（mL/ポット）。3反復の平均値±標準偏差。

苗立ち後に消化液を与えた場合（図 147）、対照区に対して消化液 30 mL、100 mL 施用区では施用量に応じて葉色が濃く茎も太くなった。茎長も消化液施用後 8 日目には有意に大きくなった（図 151）。この時、個体数は対照区が 20 個体生存していたのに対して 18~19 個体で、有意差はないものの、濃い消化液を与えることによって塩濃度によるストレスがあったものと推定した。

消化液を 10a あたり 100mL まで与えて代かきをした水田に乾燥水稻種子を直播した場合、発芽、苗立ちした個体数は、対照区が 20 個体全てが発芽・苗立ちしたのに対して 17~19 に低下し（図 150）、消化液施用がイネにストレスを与えていることが示された。しかし図 149 に示したように、30、100 mL 施用区では対照区に比べて葉色も濃く茎も太くなっていた。

水稻への消化液施用量は、多くの場合、1 反の水田に 3~4 トンであり、これはアンモニア態窒素の施肥量として 6~8 kg に相当する。ここでの試験ではノイバウエルポットあたり最大 100mL の消化液を与えており、これは 1 反あたり 10 トンの消化液施用に相当する。通常の施用量を超える消化

液を与えた場合でも、このように健全な生育が得られており、今回供試した消化液は、適正量を与えるのであれば、植害なく使用できると推定した。

4.2.4 住民への配布

生ごみの分別排出に協力していただいている住民への消化液を配布するために、生ごみを分別回収する拠点に 10 L タンクを設置した。運用後、液肥のなかの固形分がノズルに詰まることがあったことから、固形分を濾過して充填するように運用を変更した。ただし、固形分があっても詰まらないタンクを用いれば、固形分には、緩効性としての肥料としてや土壌の物理性改良材としてのメリットが考えられることから、必ずしも取り除く必要はないと考えられる。



図 152 回収拠点に置かれた消化系 10L タンク



図 153 消化液から濾過された固形分

京北の実証試験設備には、消化液の pH 値が低下し発酵が止まる場合に備えて、アルカリ水による調整槽での pH 調整機能が用意されている。そのため、現状のままこの消化液を利用した農産物は有機 JAS の認証に適合しないことに留意する必要がある。ただし、これまでの稼働実績では、pH は 8 前後で安定しておりアルカリを水で調整したことはないため。今後、消化系利用を普及させる上では pH 調整機能の可否を含めて検討することが望まれる。

4.2.5 消化液の散布手法検討

(1) 概要

生ごみの処理の過程で副生される消化液を肥料として農業で活用し、栽培された農作物を地域や市街地で販売することで循環サイクルを構築することを目指している。ここでは、消化液の最適な利用手法を検討するため、消化液を圃場に散布し、散布手法毎に必要な人工や課題の抽出、散布後の土壌に与える影響を調査した。

(2) 試験方法

消化液を肥料として使用するためには、圃場への散布方法と散布方法ごとの土壌に与える影響についても確認しておく必要がある。本事業では、トラクターによる散布、流し込みによる散布、バキューム車からの散布手法について、それぞれ別々の圃場で実際に散布を行い、散布に必要な人工・所要時間等を確認した。また、トラクター散布と流し込み散布をした圃場については、散布前後の土壌を分析し差異を確認した。

(3) 試験結果

実証試験によって、下表のとおり散布に必要な人工・所要時間等を確認した。

表 47 消化液の散布手法についての試験結果

散布方法	結果	写真
トラクターによる散布	・ 1 反の圃場で実施 ・ 散布量 4 トン／反 ・ 3 人体制約 20 分	 図 154 トラクターによる散布
流し込みによる散布	・ 0.5 反の圃場で実施 ・ 3 時間かけて 2 トンの液肥を流す。水尻を閉め用水路の水とともに液肥を少しずつ混ぜながら散布 ・ 散布後土壌を採取し、ムラがないことを確認。	 図 155 流し込みによる散布
バキューム車から直接散布	・ 散布量バキューム車 1 台 3.5 トン ・ 2 人体制約 20 分	 図 156 バキューム車から直接散布

また、散布前後の土壌を確認した結果、EC、アンモニア態窒素、硝酸態窒素は増加しており、液肥の散布効果があることが確認でき、なおかつ腐植の結果から流し込み散布によるムラがないことが確認できた（次表）。

表 48 土壌分析結果

		pH	EC	アンモニア態窒素	硝酸態窒素	有効態リン酸	交換性加里	腐植
トラクター散布 (ことす農園 上)	液肥散布前	5.9	0.04	0.60	0.47	14	31	-
	散布後 1 週間	5.8	0.11	0.93	3.90	15	39	-
流し込み散布 (ことす農園 下)	液肥散布前	6.1	0.06	0.78	0.51	19	28	-
	散布後 1 週間 東角	5.9	0.08	0.81	2.70	17	19	2.0
	散布後 1 週間 中央	6.1	0.09	0.89	1.60	21	29	2.1
	散布後 1 週間 西角	6.1	0.09	0.75	2.20	23	41	2.2

4.2.6 まとめ

生ごみを原料とする消化液を肥料として利用するにあたり、特殊肥料として届出を出した。液肥は 12 月時点で窒素 0.15%（うちアンモニア態窒素 0.13%）、りん酸 0.01%、加里 0.08%を有した。安全性を確認するため、重金属等の分析と植害試験を実施し、問題はないと考えられた。

また、窒素（アンモニア態窒素）、りん酸、加里については定期的に分析を行い、濃度の変動幅を把握した。窒素は 0.13～0.18%、りん酸は 0.01～0.05%、加里は 0.04～0.08%の幅で変動があることを確認した。開始当初の状態から、投入した原料や加水の影響を受けていると考えられた。

農業利用に向けて、トラクターによる散布、流し込みによる散布、バキューム車からの散布手法について、実際に散布を行い、散布に必要な人工・所要時間等を確認するとともに、トラクター散布と流し込み散布をした圃場については、散布前後の土壌分析結果から施肥効果を確認した。

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

廃食用油の有効利用技術及び収集システムの開発に係る業務では、前年度に引き続き更なる 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 PHA 系生分解性プラスチック原料としての適性の評価と、可能な範囲で良質かつ安定したグリーストラップ油脂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。

まず、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、全国の飲食店等、給食施設、食品工場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。

原料としての適性の評価については、前年度は異なる食種ごとの飲食店のグリーストラップから採取した油泥由来の油脂を対象として分析を行った結果、食種との関係が深いものはヨウ素価であって、酸価、過酸化物価値、重合物等の劣化指標との有意な関係は認められなかった。過酸化物価や重合物濃度は油泥の回収頻度との間に有意な関係を有していたことから、本年度では、回収頻度が高い事業所を重点的に対象とした調査を実施した。具体的には、油量が多い食品加工工場と、自治体等で推奨されている適正なグリーストラップ管理方法に準じて従業員が自主的に浮上油脂を回収・保管している飲食店を調査対象とした。

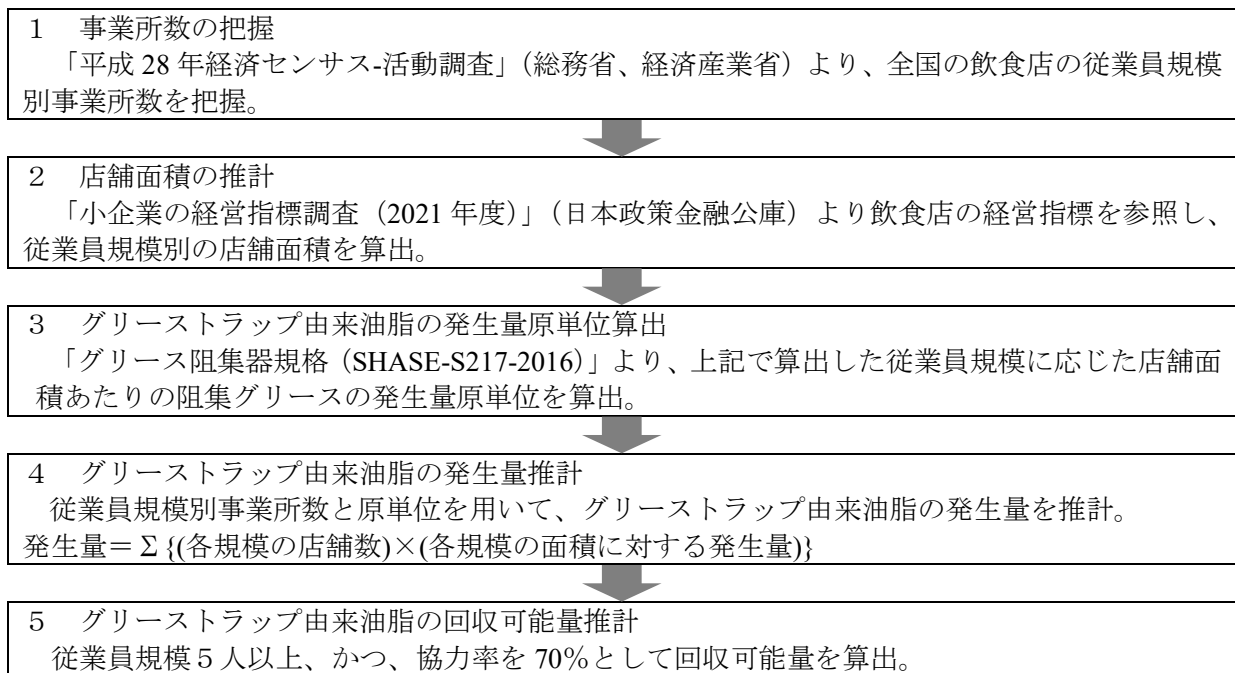
また、前年度の PHBH 生産培養試験では、いくつかの油脂試料を投入時に培養阻害が発生することを確認している。培養試験での阻害有無とそれまでの分析項目との間に明確な関係が認められなかったことから、新たに油脂サンプルごとの対微生物毒性を評価し、PHBH 生産に係る培養時の阻害発生リスクを低減させるために有効な回収時及び培養への供給時の対策を考察した。

4.3.2 方法

(1) 全国の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

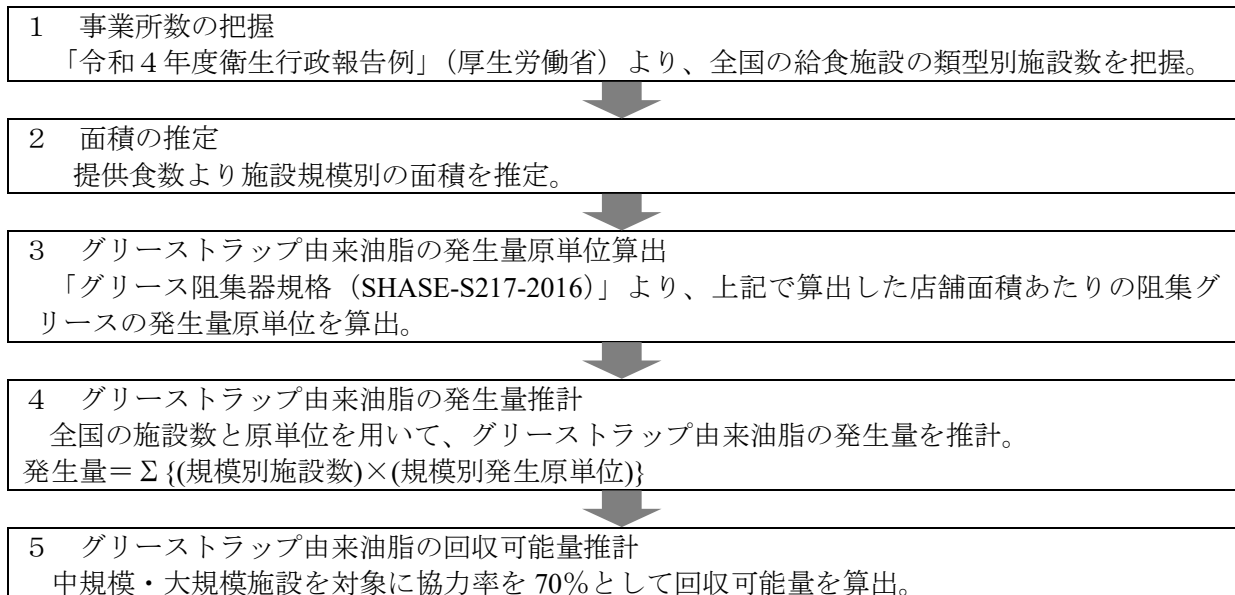
1) 飲食店等

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) 給食施設等

全国の給食施設の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についても、上記と同様の手順で算出を行った。



3) 食品工場

食品工場については、発生原単位に関する詳細な情報がなく、食用油の供給量に想定ロス率を乗じることで求めた。

(2) 回収源となる飲食店厨房及び食品加工工場等のグリーストラップの選定と油泥からの油脂

抽出

飲食店、工場等において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、定期的にトラップに蓄積した油脂を含む汚泥（油泥）の除去が必要とされる。グリース阻集器規格（SHASE-S 217）によれば、阻集油泥の除去周期は通常 7 日とされている。自治体等では、毎日浮上油脂の除去を推奨している例もある（東京都下水道局）。除去した油泥は産業廃棄物として処理されるが、除去を含めて業者へ清掃作業が委託される場合も多い。登美他の飲食店を対象とした調査 1)によれば、業者による清掃作業が 1 ヶ月に 1 回未満である店舗が大半、従業員による浮上油脂の除去が 1 週間に 1 回以上行われている店舗は 2 割程度しかなく、適切に清掃が行われていないとされている。清掃頻度が低いグリーストラップでは油脂の滞留時間が長く、洗剤・その他の薬剤が含まれる可能性がある洗浄水等との接触機会も多くなると予想される。前年度油泥サンプルを採取した排出源では、従業員が自主的に除去した油脂が業者に回収されている店舗はなく、業者による油泥回収頻度も 2 週間以上であった。以上を踏まえ、自主的な油脂の除去作業が 7 日以内に適切に行われており、業者による廃棄物としての油泥の回収頻度も高いグリーストラップが排出源であれば、良質かつ安定した性状の油脂を調達することが期待できると予想し、本業務では、前年度と同様の自主清掃を実施していない飲食店に加え、自主清掃が実施されており、毎週業者による油泥回収が行われている飲食店を調査対象とした。さらに、食品加工工場では洗浄排水等の質や流入頻度が飲食店とは異なると予想されることから、食品加工工場のグリーストラップも対象とした。

本課題では、業者が個別の排出源での定期的な清掃時に手回収した浮遊油泥をサンプルとして扱った。一部の飲食店では、バイオ燃料利用を目的としてその場で油水分離を行う装置を使用していたため、そのような飲食店ではその装置を使って分離された油脂を直接分析サンプルとして使用した。他の油泥サンプルからの油脂抽出は、60℃での加温分離により行った。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に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。分析に使用したサンプルの一覧は次表のとおりである。合計 3 つのサンプルでは油層の量が少なく、油脂の抽出が困難であった。排出源の種類及び管理状況に応じて、サンプルを工場、自主回収有り飲食店、自主回収なし飲食店の 3 つのグループに分けてそれぞれのグループの特徴を議論することにした。

表 49 分析に使用したグリーストラップ油泥の採取源一覧

No.	種別	採取源の種類	トラップ管理に係る特徴	油脂回収 間隔 (日)
1	工場	たれスープ製造		3~4
2	工場	惣菜製造	自主回収/保管	7~60
3	飲食店	ラーメン 1	自主回収/保管	7
4	飲食店	ファミリーレストラン 2	自主回収/保管	7
5	飲食店	ファミリーレストラン 3	自主回収/保管	7
6	飲食店	居酒屋 2*	自主回収/保管	15
7	飲食店	コンビニエンスストア		14
8	飲食店	居酒屋 3*		60
9	飲食店	ファミリーレストラン 4		60
10	飲食店	ラーメン 2		30
11	飲食店	ファストフード 1		15
12	菓子店	スナック菓子製造販売*		14~30
13	飲食店	定食屋		14~30
14	飲食店	ファストフード 2		30
15	工場	インスタントラーメン製造		7
16	工場	ハム製造		1
17	工場	井もの製造		7
18	飲食店	ファストフード 3	外付油水分離装置で回収	7
19	飲食店	ファストフード 4		30
20	百貨店	テナント混合（惣菜、飲食店）	自主回収/保管	7

*油脂が少量で分離できないため分析せず

（３）抽出油脂の分析

抽出油脂の分析は次表に示すとおり、油脂の性状に関わる項目、混入物に関わる項目及び微生物に対する毒性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）を使ってろ過した。毒性分析は凍結乾燥された *Vibrio fischeri* を用いる発酵強度法（ISO11348-3）に準拠して行ったが、酸価の高い油脂を投入した際の pH の低下や、固形状油脂の分散性の悪さ等によるバイアスを低減するため、PBS Tween を希釈用緩衝液として使用した。18 g/L NaCl、9.56 g/L リン酸 2 水素ナトリウム 2 水和物、5.55 g/L リン酸水素 2 ナトリウム、10 g/L Tween 80 を含む溶液を pH7 に調整して使用した。阻害溶液は油脂を同溶液内で 30 分間ボルテックスで攪拌し、乳化したものを使用した。前年度採取した油脂サンプルについても、残量が十分あるものについては分析に供した。

表 50 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
	過氧化物価	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
	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-AES
毒性	半活性減少濃度（IC50）	<i>Vibrio fischeri</i> の発光強度法 （ISO11348-3）

4.3.3 結果

（１）全国の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) 飲食店等

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 51 全国の飲食店の従業員規模別事業所数

		1 ～ 4人	5 ～ 9人	10 ～ 19人	20 ～ 29人	30 ～ 49人	50 ～ 99人	100 ～ 199人	200 ～ 299人	300 ～ 499人	500 ～ 999人	1,000人 以上	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

i) 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。

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

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

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 52 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

ii) 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る、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。

$$\begin{aligned} &\text{グリーストラップ由来油脂の量 (kg/年)} \\ &= \text{店舗全面積 (m}^2) \times \text{店舗全面積 1m}^2 \cdot 1 \text{ 日あたりの阻集グリース量 (g/ (m}^2 \cdot \text{日))} \times \\ &\quad (\text{回転数 (人/席} \cdot \text{日)} \div \text{補正回転数 (人/席} \cdot \text{日)}) \times \text{年間営業日数 310 日} \end{aligned}$$

表 53 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

原単位 食種	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

(出典) グリース阻集器規格 (SHASE-S217-2016)

表 54 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)

従業員・店舗面積	1 ～ 4人	5 ～ 9人	10 ～ 19人	20 ～ 29人	30 ～ 49人	50 ～ 99人	100 ～ 199人	200 ～ 299人	300 ～ 499人	500 ～ 999人	1,000人 以上
食種	45 m2	126 m2	261 m2	441 m2	711 m2	1,341 m2	2,691 m2	4,491 m2	7,191 m2	13,491 m2	18,000 m2
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
平均値	279	527	961	1,519	2,356	4,340	8,525	14,167	22,568	42,222	56,358

③ 推計結果

i) 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を約33.4万トン/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37.4万トン/年となった。

表 55 飲食店等からの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 t/年	総発生量 (従業員5 人以上) t/年
76	飲食店	94,970	63,895	70,799	42,469	35,524	19,265	4,281	952	755	535	419	333,864	238,894
761	食堂、レストラン（専門料理店を除く）	7,866	4,970	5,676	5,297	6,100	1,502	750	241	181	84	169	32,836	24,970
762	専門料理店	27,856	30,179	38,300	22,345	17,429	6,985	1,585	453	342	277	225	145,976	118,120
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	3,526	2,474	2,431	864	145	28	45	0	0	14,190	12,098
76D	その他の専門料理店	6,480	6,675	8,021	5,102	4,528	1,567	409	156	68	169	225	33,400	26,920
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	12,966	6,395	4,813	1,810	358	170	113	42	0	61,593	38,845
766	バー、キャバレー、ナイトクラブ	20,626	8,402	4,328	1,165	869	464	111	43	23	0	0	36,031	15,405
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	3,649	2,897	2,810	1,762	245	34	43	74	25	17,072	13,441
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	1,306	468	155	35	0	0	0	0	0	6,417	3,186
76G	他に分類されない飲食店	368	610	1,845	1,712	1,211	243	111	28	23	0	0	6,151	5,783
77	持ち帰り・配達飲食サービス業	5,645	9,788	10,553	4,446	3,685	3,034	1,321	666	496	633	225	40,492	34,847
771	持ち帰り飲食サービス業	1,502	2,294	2,108	372	184	104	51	57	0	0	0	6,672	5,170
772	配達飲食サービス業	4,143	7,494	8,445	4,074	3,501	2,930	1,270	609	496	633	225	33,820	29,677

ii) 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 16.7 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 19.2 万トン/年となった。

iii) 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、昨年度 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や浮上油が店舗で自主回収され廃棄され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、より高頻度に阻集グリースの回収を行い有効活用に向ける必要があることが示唆された。

2) 給食施設

① 全国の給食施設の施設数

「令和 4 年度衛生行政報告例」（厚生労働省）より、全国の給食施設の施設数を把握した（次表）。

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 56 全国の給食施設の施設数

		特定給食施設※1			その他の給食施設※3	総計
		指定施設※2	1回300食以上又は1日750食以上	1回100食以上又は1日250食以上		
計		2,690	12,109	36,415	43,939	95,153
内訳	学校	75	10,183	5,353	1,964	17,575
	病院	1,639	184	3,658	2,564	8,045
	介護老人保健施設	4	21	2,788	972	3,785
	介護医療院	3	4	105	280	392
	老人福祉施設	4	36	5,069	9,040	14,149
	児童福祉施設	5	275	14,129	15,865	30,274
	社会福祉施設	4	20	754	3,450	4,228
	事業所	692	1,040	3,226	2,980	7,938
	寄宿舍	20	67	434	1,129	1,650
	矯正施設	50	20	38	36	144
	自衛隊	79	51	71	47	248
	一般給食センター	104	169	53	15	341
	その他	11	39	737	5,597	6,384

※1「特定給食施設」とは、健康増進法第20条第1項に規定される施設で、特定かつ多数の者に対して継続的に1回100食以上又は1日250食以上の食事を供給する施設をいう。

※2「指定施設」とは、医学的な管理を必要とする者に食事を提供する特定給食施設であって、継続的に1回300食以上又は1日750食以上の食事を供給するもの又はそれ以外の管理栄養士による特別な栄養管理を必要とする特定給食施設であって、継続的に1回500食以上又は1日1,500食以上の食事を供給するもののうち、都道府県知事が指定している施設をいう。

※3「その他の給食施設」とは、健康増進法第18条第1項第2号に規定する、特定かつ多数の者に対して継続的に供給する施設のうち、「特定給食施設」に該当しない施設をいう。

(出典)「令和4年度衛生行政報告例」(厚生労働省)

本調査では、給食施設の面積を推定するため、施設規模を以下のように単純化した。

表 57 給食施設の規模設定

「衛生行政報告例」(厚生労働省) の給食施設の類型	特定給食施設※1			その他の給食施設※3
	指定施設※2	1回300食以上又は1日750食以上	1回100食以上又は1日250食以上	
	↓	↓	↓	↓
施設規模	大規模 (1回500食)		中規模 (1回200食)	小規模 (1回50食)

設定した施設規模別の施設数を次表に示す。

表 58 施設規模別の給食施設数

		大規模 (1回500食)	中規模 (1回200食)	小規模 (1回50食)
計		14,799	36,415	43,939
内訳	学校	10,258	5,353	1,964
	病院	1,823	3,658	2,564
	介護老人保健施設	25	2,788	972
	介護医療院	7	105	280
	老人福祉施設	40	5,069	9,040
	児童福祉施設	280	14,129	15,865
	社会福祉施設	24	754	3,450
	事業所	1,732	3,226	2,980
	寄宿舍	87	434	1,129
	矯正施設	70	38	36
	自衛隊	130	71	47
	一般給食センター	273	53	15
	その他	50	737	5,597

② 面積の検討

後述するようにグリーストラップ由来油脂の発生量原単位は施設の面積あたりで情報が整理されている。

「最適な厨房設計のためのガイドブック 2016」（東京ガス「最適厨房研究会」）³によれば、食事提供サービスや規模の違いにより業種ごとに必要な厨房面積が異なっており、調査の結果、各給食施設の厨房は次図に示す厨房面積であるという。

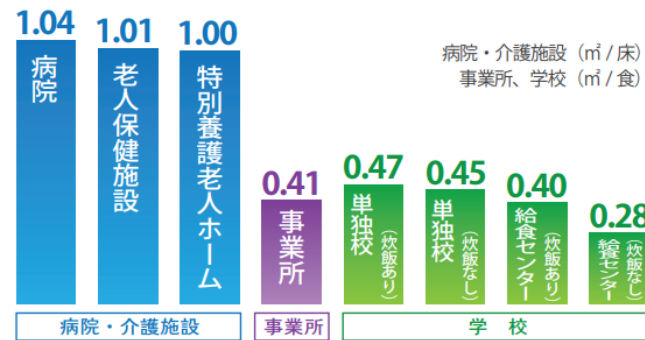


図 157 業種別厨房面積（調査結果）

（出典）「最適な厨房設計のためのガイドブック 2016」（東京ガス「最適厨房研究会」）

そこで、1食あたり 0.40 m² の厨房面積が必要とした。また、調理場は食堂全体の 1/2～1/4 の面積であることから、ここでは給食施設の形態を問わず一律 1/3（食堂全体は厨房の 3 倍の面積）とした。

目安としての調理場の面積

- ・ 事業所等産業給食施設 一食堂面積 × 1/2～1/3
- ・ 寄宿舍等寮給食施設 一食堂面積 × 1/3～1/4

（出典）芦川修貳 編著「エスカベシク 給食の運営管理論—計画と実務—」

以上より、「令和 4 年度衛生行政報告例」（厚生労働省）の給食施設の類型より、給食施設の規模別の推定面積を以下のように設定した。

表 59 給食施設の規模別の推定面積

施設規模	大規模 (1回500食)	中規模 (1回200食)	小規模 (1回50食)
厨房+ホールの面積(m²)	600	240	60

③ グリーストラップ由来油脂の発生量原単位の算出

飲食店の場合と同様、グリース阻集器規格（SHASE-S217-2016）に「社員・従業員食堂」、「学生食堂」の面積あたり 1 日当たりの阻集グリースの標準発生量データが示されている（次表）。

³ 「最適な厨房設計のためのガイドブック 2016」（東京ガス「最適厨房研究会」）, <https://eee.tokyo-gas.co.jp/service/saitekichubo/es/data/chubosekkeiguide.pdf>

表 60 阻集グリース（グリーストラップ由来油脂）発生量の標準値

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)
社員・従業員食堂	6.5
学生食堂	3.0

(出典) グリース阻集器規格 (SHASE-S217-2016)

「令和4年度衛生行政報告例」(厚生労働省)の給食施設の種類のうち、「学校」及び「児童福祉施設」は上記の学生食堂の原単位を用い、その他の類型では「社員・従業員食堂」の原単位を用いることとした。1施設あたりのグリーストラップ由来油脂の発生量原単位は以下のように算出した(次式、次表)。

$$\begin{aligned} & \text{グリーストラップ由来油脂の量 (kg/年)} \\ & = \text{施設 (ホール+厨房) 面積 (m}^2\text{)} \times 1\text{m}^2 \cdot 1 \text{ 日あたりの阻集グリース量 (g/(m}^2 \cdot \text{日})) \\ & \quad (\text{回転数 (人/席} \cdot \text{日)} \div \text{補正回転数 (人/席} \cdot \text{日)}) \times \text{年間営業日数} \end{aligned}$$

表 61 類型別の給食施設 1 施設あたりの
阻集グリース（グリーストラップ由来油脂）発生量 (kg/施設・年)

	1m ² ・1日あたりの 阻集グリースの発生量 g/(m ² ・日)	年間営業日数 日/年	1施設あたりの阻集グリース量		
			大規模 (1回500食、600m ²)	中規模 (1回200食、240m ²)	小規模 (1回50食、60m ²)
			kg/年	kg/年	kg/年
学校	3.0	310	572	302	93
病院	6.5	365	1,460	769	237
介護老人保健施設	6.5	365	1,460	769	237
介護医療院	6.5	365	1,460	769	237
老人福祉施設	6.5	365	1,460	769	237
児童福祉施設	3.0	310	572	302	93
社会福祉施設	6.5	310	1,240	654	202
事業所	6.5	310	1,240	654	202
寄宿舎	6.5	365	1,460	769	237
矯正施設	6.5	365	1,460	769	237
自衛隊	6.5	365	1,460	769	237
一般給食センター	6.5	310	1,240	654	202
その他	6.5	310	1,240	654	202

④ 推計結果

i) 発生量

全国の給食施設の施設数と 1 施設あたりの発生量原単位より、全国の給食施設からのグリーストラップ由来油脂の発生量を約 3.8 万トン/年と推計した。

表 62 給食施設からのグリーストラップ由来油脂の発生量（全国、年間）

		大規模 (1回500食、600m ²)	中規模 (1回200食、240m ²)	小規模 (1回50食、60m ²)	総発生量	総発生量 (中規模＋大規模)
		t/年	t/年	t/年	t/年	t/年
給食施設計		11,795	18,352	7,422	37,569	25,775
内訳	学校	5,871	1,615	183	7,668	1,797
	病院	2,662	2,815	608	6,085	3,423
	介護老人保健施設	37	2,145	231	2,412	2,376
	介護医療院	10	81	66	157	147
	老人福祉施設	58	3,900	2,145	6,104	6,045
	児童福祉施設	160	4,262	1,475	5,897	5,737
	社会福祉施設	30	493	695	1,218	1,188
	事業所	2,148	2,108	600	4,856	2,709
	寄宿舎	127	334	268	729	602
	矯正施設	102	29	9	140	38
	自衛隊	190	55	11	256	66
	一般給食センター	339	35	3	376	38
その他		62	482	1,128	1,671	1,609

ii) 回収可能量

回収先として中規模施設及び大規模施設を設定し、その 70%の協力率が得られるとすると、回収可能量は約 1.8 万トンと推定された。なお、給食施設においても飲食店等と同様、回収量をポテンシャル量に近づけるためには高頻度な阻集グリースの回収を行う必要があると考えられる。

3) 食品工場

食品工場については、製造対象品目等によって発生原単位が大きく異なると考えられるが、その詳細な情報は存在しない。そこで、食品製造業向けの食用油の供給量に対して想定ロス率を乗じること、発生量を推定する。

① 食品製造業向け食用油供給量

一般社団法人日本植物油協会が、容器の容量別にみた食用植物油の供給量の推計値を算出している。このうち、「内容量が 16.5kg を超えるもの」については、タンクローリー等でバルク運搬されるものが主体で、主にマーガリン、マヨネーズ、ドレッシング、お菓子等多様な食品加工業の原材料に仕向けられるものとされている。よって、この値を食品製造業向けの食用油供給量とした（令和 3 年：138.9 万トン）。

表 63 容器の容量別にみた食用植物油の供給量（推計）（単位：千トン）

容器の容量	平成20年	21年	22年	23年	24年	25年	26年	27年	28年	29年	30年	令和元年	2年	3年
8kg未満のもの （主として家庭用）	393	406	405	406	410	410	396	386	402	409	410	423	442	426
8kg ～ 16.5kgのもの （主として業務用）	561	500	559	569	575	575	580	585	598	618	617	639	620	629
16.5kgを超えるもの （主として加工用）	1,314	1,268	1,269	1,260	1,295	1,322	1,347	1,375	1,380	1,412	1,402	1,419	1,367	1,389
マーガリン・ショート ニング等の原材料	539	536	535	537	549	566	578	590	594	571	560	560	527	530
マヨネーズ・ドレッシ ング類の原材料	232	228	226	228	231	231	231	232	236	238	236	240	235	238
その他の加工用途	543	504	509	496	515	525	538	553	550	603	606	620	605	621
食用植物油計	2,268	2,174	2,234	2,236	2,280	2,307	2,323	2,346	2,380	2,439	2,429	2,482	2,429	2,443

（出典）一般社団法人日本植物油協会ウェブサイト「植物油の利用と消費」，

https://www.oil.or.jp/kiso/seisan/seisan08_01.html

② ロス率

食品加工におけるロス率を詳細に評価した値は見当たらないが、先行研究⁴では 20%として設定している事例がみられる。そこで本調査でも 20%とした。

③ 推計結果

食品製造業向けの供給量 138.9 万トン（令和 3 年）に 20%を乗じて算出した発生ポテンシャルは約 28 万トンとなった。ロスした油脂は排水に流入する以外にも、回収して二次利用・焼却処理等を行う場合もあると考えられ、上記発生量はあくまで参考値である。

4) 食用油のマテリアルフロー

本調査で推計した発生ポテンシャルを踏まえ、国内の食用油のマテリアルフローを整理した（次図）。

国内に食用油は 245 万トン供給されており、うち半数弱は消費者が摂取し、残りは廃棄・流出、回収・有効利用がなされていると考えられる。

今回の推計では、飲食店・給食施設、及び食品工場について、グリーストラップに流入する油脂を含むロスの発生量の推計を行った。その結果、最大で約 70 万トンもの油が、従来の廃食用油とは別途発生している可能性が示唆された。グリーストラップにて回収される油も相当量存在すると考えられ、国産循環原料としてその有効活用が期待される。

⁴ 桜井敏郎、「廃食用油の発生量と生活排水への汚濁負荷量」、環境技術 Vol. 26 No.3、（1997 年），
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jriet1972/26/3/26_3_152/_pdf/-char/ja

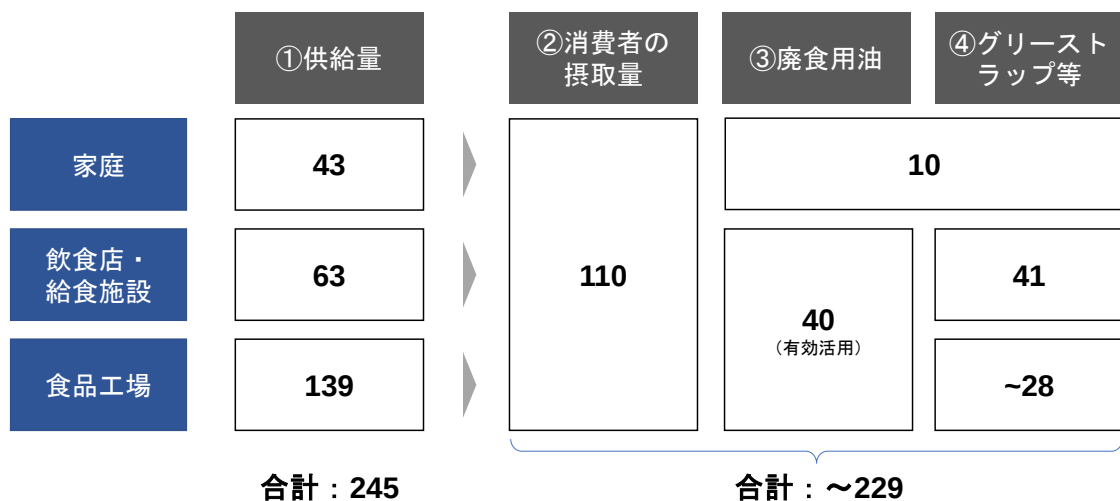


図 158 食用油のマテリアルフロー（単位：万トン）

前図に用いた数値の由来は以下のとおり。

① 供給量

前表に示した一般社団法人日本植物油協会の「容器の容量別にみた食用植物油の供給量」より、「8 kg 未満のもの」を家庭向け、「8 kg～16.5 kg のもの」を飲食店・給食施設向け、「16.5 kg を超えるもの」を食品工場向けとした。

② 消費者の摂取量

令和元年国民健康・栄養調査報告（厚生労働省）より、1 歳以上の国民の植物性脂質の摂取量は 28.9 g/日/人（脂質総量 61.3－動物性 32.4）である。植物性油脂の由来には、調理・加工の際に用いる植物油に加えて、食材そのものに含まれる「見えない油脂」が挙げられる。植物性脂質のうち食材そのものに含まれる「見えない油脂」は豆類に多く、同統計の豆類の摂取量からはその摂取量は 5 g/日/人程度と推定される。よって、調理・加工に使用される植物油や、調味料に含まれる植物油は約 24g/日/人とした。これに日本の人口を乗じて、年間の植物油の摂取量を約 110 万トン/年と推計した。

③ 廃食用油

一般的な廃食用油の発生量・回収量は、全国油脂事業協同組合連合会の「UC オイルのリサイクルの流れ図（令和 3 年度版）」より、事業系の発生量を 40 万トン、家庭系を 10 万トンとした。なお、家庭系の廃食用油は有効利用される量が少ないことから、この 10 万トンには排水に混入する量も含まれるものとした。

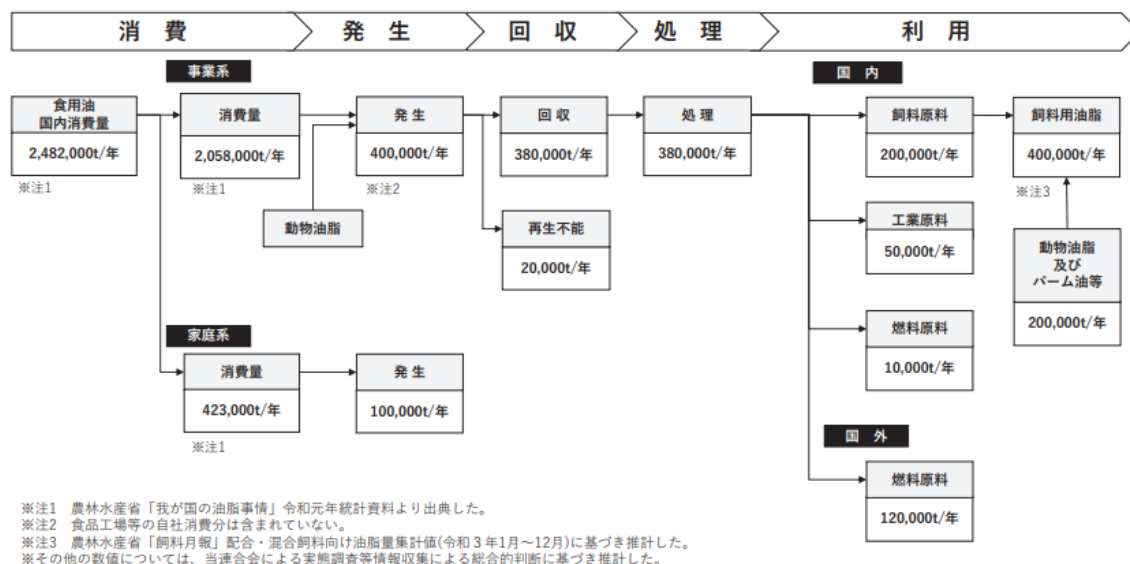


図 159 UC オイルのリサイクルの流れ図（令和3年度版）

出典：全国油脂事業協同組合連合会, https://zenyuren.or.jp/document/220407_ucorecycleflow_r3.pdf

④ グリーストラップ等

本調査で推計した数値を用いた。現在一部は有効利用されており、「廃食用油」としての回収量に含まれている可能性がある。

（２）原料としての適性の評価

本年度回収・抽出した油脂の劣化指標に関しては、次表に示すと通りの結果だった。酸価を除いては、前年度採取したサンプルに関する分析結果と比較して分布範囲に大きな違いは認められなかった。前年度に採取したサンプルでは、酸価は 1.4～190.0 mg/g といったように大きな変動を示したが、次図に示すとおり特に自主回収を行っている飲食店において酸価は 65.5 mg/g 以下の低水準であることが確認された。酸価が上昇する要因としては高温の水との接触、アルカリ洗剤との接触、微生物の加水分解酵素による反応等が挙げられている²⁾。自主回収を行う店舗では、回収頻度が高いために油脂がトラップに滞留する時間が短く、アルカリ洗剤や微生物との接触機会がより少なくなることが、酸価が低いことの一要因であると考えられる。前年度の調査により、廃油脂の酸価と遊離脂肪酸濃度との間に極めて高い相関があることが確認されている。遊離脂肪酸は、発酵時の培養液発泡や培養阻害の原因物質の候補の一つである。店舗での自主回収は、遊離脂肪酸生成を抑制する点で PHBH 生産における安定性に貢献できる可能性が示唆された。

表 64 抽出油脂の劣化指標に関する分析結果

No.	酸価 (mg/g)	ヨウ素価 (g/100g)	過酸化物価 (meq/kg)	アニシジ ン価	重合物 (%)
1	85.2 ±0.1	63.5 ±0.3	12.6 ±4.7	28	0.7
2	5.5 ±3.2	85.8 ±0.2	9.0 ±2.5	20	1.1
3	17.0 ±0.1	66.2 ±0.1	4.2 ±1.0	10	0.4
4	2.8 ±0.0	69.6 ±0.2	31.5 ±0.3	68	5.1
5	65.5 ±0.2	87.9 ±0.5	10.3 ±3.6	26	1.3
7	2.6±0.3	92.5±2.1	13.7±0.7	23	2.3
9	170.5 ±0.2	97.4 ±1.6	29.1 ±11.4	53	1.7
10	168.4 ±0.2	64.8 ±3.3	6.8 ±1.5	6.8	<0.1
11	77.7 ±0.3	59.3 ±1.3	3.5 ±1.0	試料残量不足	
13	180.2 ±0.0	77.7 ±0.6	81.7 ±14.3	75	2.4
14	183.0 ±2.8	47.3 ±0.1	15.5 ±1.0	分析不可*	1.2
15	21.5 ±0.1	99.3 ±3.7	61.4 ±1.3	21	1.2
16	3.7 ±0.5	82.3 ±1.1	13.8 ±0.1		2.1
17	151.8 ±0.1	48.9 ±0.7	10.8 ±1.6	5.6	<0.1
18	63.9 ±0.1	53.9 ±0.1	7.0 ±1.2	29	1.7
19	29.4 ±0.1	56.3 ±0.5	4.5 ±1.0	23	2.4
20	31.3 ±0.5	78.3 ±0.3	2.4 ±0.1	39	3.3
パーム オイル	1.4 ±0.5		3.1 ±0.4		

*吸光度測定に妨害が生じたため

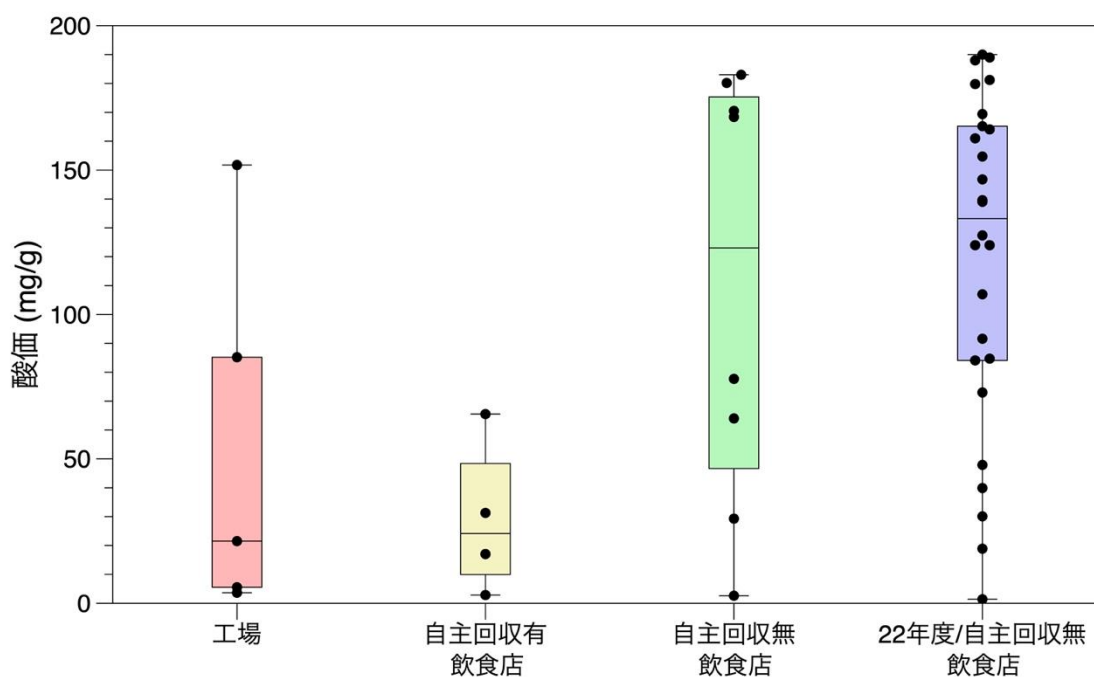


図 160 採取源グループ別油脂サンプルの酸価の分布（ボックスの中間線は中央値）

抽出油脂の脂肪酸組成を表 65、混入物指標を表 66 に示す。脂肪酸組成は排出源において扱う食品との間に相関関係があることから、自主管理の有無と工場と飲食店とのそれぞれの間には、脂肪酸組成に明確な違いは認められなかった。混入物に関して、昨年度の調査では飲食店のグリーストラップ油泥からの抽出油脂には混入物はさほど含有されず、廃食用油の場合と遜色ない水準であることを確認している。今回新たに分析した工場由来の廃油脂でもその傾向は同様であった。無機元素やきょう雑物等は培養阻害の要因からは排除できる。

表 65 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	0.0	19.3	6.2	7.1	55.4	12.0	0	26.4
2	0.0	12.1	0.0	1.6	60.5	20.9	4.9	13.7
3	1.3	19.2	2.9	9.3	51.7	14.5	1.2	29.7
4	1.4	16.0	3.1	7.2	57.9	12.2	2.3	24.5
5	0.0	7.5	1.5	3.0	61.1	21.3	5.5	10.5
7	0.0	4.5	0.0	1.2	37.2	49.8	7.3	5.7
9	1.1	14.6	2.4	4.2	41.9	34.1	1.7	20.0
10	1.2	17.4	3.7	7.5	53.5	16.7	0.0	26.1
11	0.8	25.3	2.3	2.6	50.8	18.3	0.0	28.6
13	0.0	12.8	1.8	2.8	60.7	19.5	2.5	15.6
14	0.0	30.2	1.9	2.4	45.0	20.4	0.0	32.6
15	0.0	10.1	0.0	0.0	44.0	45.8	0.0	10.1
16	0.8	8.8	1.6	3.4	56.2	21.9	7.3	13.0
17	3.1	20.5	5.1	9.2	55.8	4.9	0.0	32.8
18	0.0	25.5	1.5	2.3	53.7	16.9	0.0	27.8
19	0.0	23.4	1.2	0.0	50.4	25.0	0.0	23.4
20	0.0	13.7	1.5	1.8	40.1	40.2	2.7	15.5

表 66 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 (mg-Si/kg)	雑菌量 (個/g)	Na (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Fe (mg/g)
1	0.03	<12	<10	0.214	<0.06	0.049	0.034
2	<0.01	17.6	10	0.213	<0.06	0.026	<0.01
3	<0.01	16.9	<10	0.212	<0.06	0.036	<0.01
4	0.07	16.6	<10	0.222	<0.06	0.028	<0.01
5	0.01	<12	<10	0.228	<0.06	0.038	0.013
7	<0.01	<13	<10	0.190	<0.13	0.053	0.013
9	0.03	<12	<10	0.221	<0.06	0.044	0.088
10	<0.01	<12	<10	0.212	<0.06	0.029	<0.01
11	試料残量 不足	16.7	試料残量 不足	0.210	<0.06	0.024	<0.01
13	分析不可	14.5	<10	0.211	<0.05	0.094	0.132
14	0.03	29.7	<10	0.196	<0.05	0.222	0.020
15	<0.01	21.7	<10	0.209	<0.05	0.166	0.008
16		2731	<10	0.160	<0.13	0.076	0.023
17	<0.01	21.5	<10	0.245	<0.05	0.114	0.010
18	<0.01	29.0	<10	0.199	<0.05	0.056	0.007
19	<0.01	24.6	<10	0.214	<0.05	0.045	0.008
20	<0.01	<13	<10	0.184	<0.13	0.069	0.004

本年度は昨年度に採取したサンプルも含め、対微生物の阻害ポテンシャルを規格化された手法で評価するため、発光細菌由来の発光強度の変化を用いたバイオアッセイを実施した。最大 10000 mg/L の 5 段階以上の異なる濃度の油脂サンプルを含有する緩衝液を使ったアッセイから、油脂添加なしの場合と比較して 50%発光強度が減少する油脂濃度を IC50 として算出した。したがって、IC50 の濃度が小さいほど油脂サンプルの阻害性は高いと考えられる。次図に示すとおり、PHBH 生産における従来原料であるパームオイルは 10000 mg/L においても発光強度の減少率は 30%未満であり、IC50 を算出することができなかった。このことは、パームオイルはグリーストラップ油泥の抽出油脂よりも十分に阻害性が低いことを示唆している。一方、グリーストラップ由来の抽出油脂では IC50 の平均値は 280~6500 mg/L の幅広い範囲に分布した。廃油脂サンプルの中で比較した場合、自主回収なしの飲食店と自主回収ありの飲食店では、IC50 のデータ群間に分散分析における有意差が認められた ($p<0.05$)。すなわち、この結果は自主回収ありの飲食店の油脂は、それなしの飲食店の油脂より阻害性が低いことを示唆している。中央値でみると、工場の油脂サンプルも自主回収なしの飲食店よりも明らかに阻害性が低い。工場と自主回収なしのデータ群間においても p 値は 0.054 で、有意水準に近い数値を示した。工場の油脂サンプルの分析数を増加させることで、有意水準未満になるかもしれない。

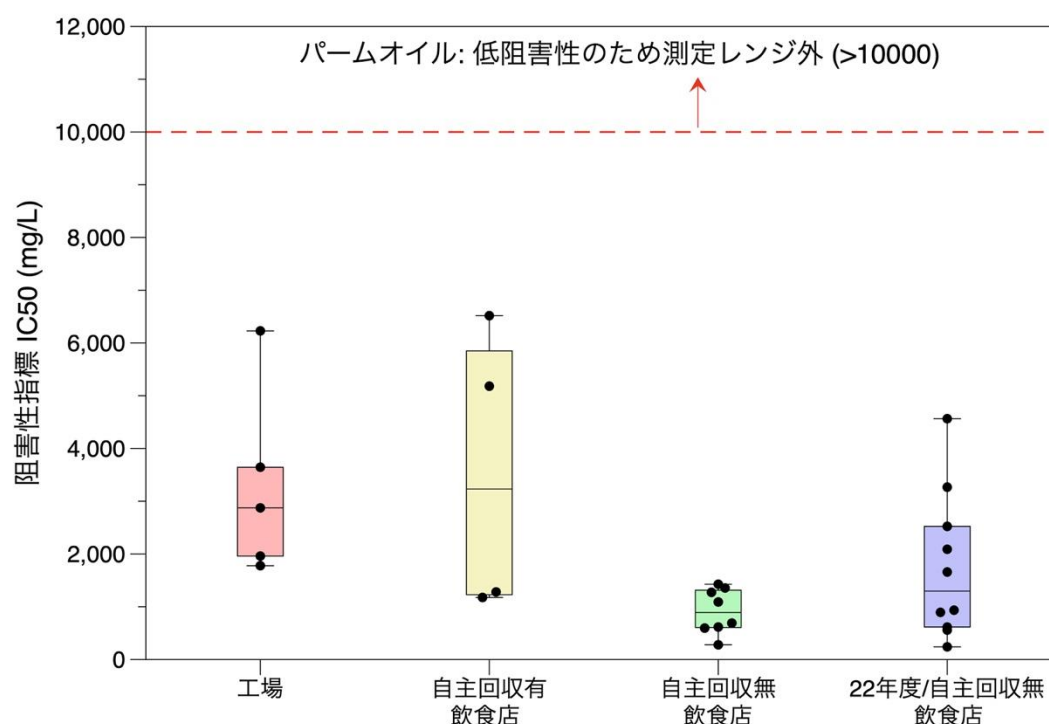


図 161 発光細菌を利用したバイオアッセイにおける各油脂サンプルの IC50 の分布
(各点は 3 反復測定の平均値)

食品加工工場及び自主回収を行っている飲食店は、抽出油脂の阻害性が低い傾向があることが確認できた。一方、PHBH 生産の培養試験結果と IC50 との対応関係を検証する必要がある。対応関係が確認された上で、IC50 が低い傾向にある排出源の油脂を PHBH 生産の原料として使用することは、培養阻害の回避に寄与する可能性が示された。

昨年度の調査においては、対微生物阻害性を除く分析項目の指標と PHBH 生産における培養阻害有無や生産性との間には有意な相関関係が認められなかった。本調査において、IC50 と分析項目との相関性を調査したところ、酸価との間には弱い ($R^2=0.37$) ながらも有意な負の相関が認められた。

($p = 0.002$)。つまり、酸価が高いほど IC50 が低く、阻害性が強い傾向があることになる。さらに、表 49 に示した油脂回収間隔と IC50 との間にも有意な弱い負の相関 ($R^2=0.20$) が認められた ($p=0.028$)。高い酸価の油脂は、遊離脂肪酸濃度が高い。遊離脂肪酸の微生物細胞に対する阻害性は幅広く検討されており、周知の事実である⁴⁾。しかしながら、上述のように、グリーストラップ由来の油脂は総じてパームオイルよりも IC50 が低い。酸価が一桁のサンプルであっても同様である。このことから、排水を通して共通して何らかの阻害性物質が混入することがあると考え、特に IC50 が低い油脂の排出源を対象として現場調査、ヒアリングを実施した。その結果、グリーストラップには、調理器具洗浄水、下膳排水、手洗い水等のシンク周りの作業に由来する洗剤だけでなく、床清掃に使用する洗剤やワックスのついたモップの洗いが流れ込んだり、床に散布した害虫駆除剤(殺虫剤)が床清掃に伴い流れ込んだりする可能性があることが確認された。ヒアリングした店舗では、害虫駆除剤の散布は 1 ヶ月に 1 回程度であった。自主回収を行う店舗では、7 日未満での油脂の回収が行われており、害虫駆除よりも高頻度であることから、トラップ内部で殺虫剤の混入した排水に曝露されない油脂を回収できる頻度が高いと考えられる。工場においては、上述のように高頻度な油脂の回収の他に、ヒアリングによるとトラップに流入する油水量ともに飲食店よりも大きいとされていることから、床面積と油水量との関係を精査する必要はあるが、工場のトラップに蓄積した油脂は混入した阻害性物質が飲食店よりも希釈されている可能性がある。自主回収を行う飲食店や工場で比較的低阻害性の廃油脂が回収されることに関して、このような理由が推察された。

グリーストラップ油脂と比較し、パームオイルは低阻害性であったことから、高阻害性なグリーストラップ廃油脂はパームオイルを用いて希釈することで IC50 が低下するのかどうかを検討した。本年度調査した廃油脂の中で最も低い 280 mg/L の IC50 を記録した No. 13 の油脂を用いて、パームオイルと 1:1、1:2、1:4 の比率で混合した油脂の IC50 を測定した結果が次図のとおりであった。図が示すように希釈が進行するのに伴い IC50 が上昇することがわかった。この検討では、高阻害性の油脂は低阻害性の油脂を用いて希釈することで阻害の回避に有効である可能性が確認できた。

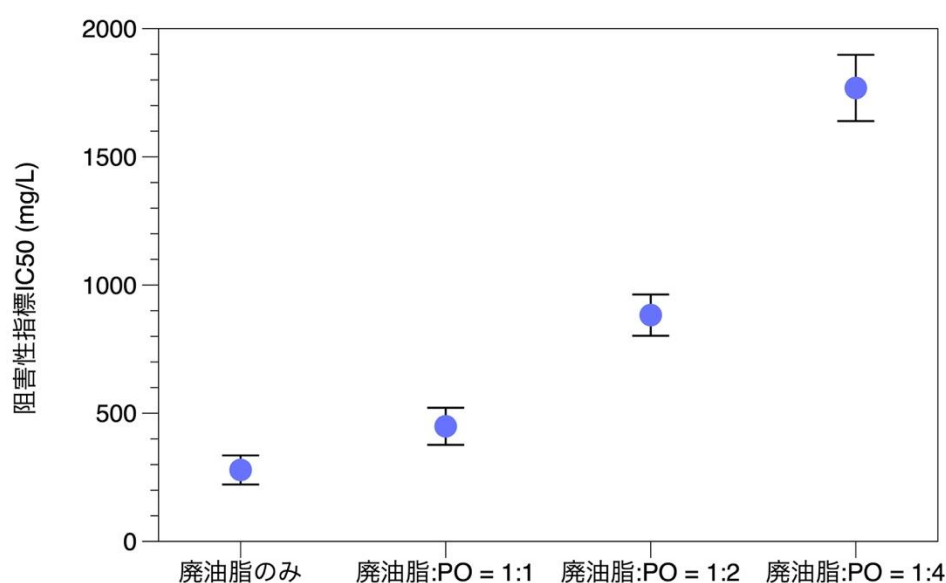


図 162 発光細菌を利用したバイオアッセイによる廃油脂サンプル (No. 13) とパームオイル (PO) との混合物の IC50

4.3.4 まとめと課題

本課題では、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、発生ポテンシャルの推計を行うとともに、従来の飲食店に加え、工場及び自主回収を通して高頻度で廃油脂を回収している飲食店のグリーストラップから採取したサンプルの分析と毒性評価を実施した。

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・給食施設から年間約 41 万トン発生すると推計され、うち回収可能量は年間約 21 万トン（一定規模以上かつ協力率 70%）と推計した。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。また、食品工場からも約 28 万トンという規模でグリーストラップへの流入を含む油脂のロスが発生している可能性が推計された。

PHBH 原料としての適性の評価については、培養阻害を回避し、安定的な PHBH 生産に資する廃油脂の回収、利用方法として次の結論を得た。

- 1) 廃油脂の酸価上昇の抑制には、排出源での頻繁な浮上油脂の自主回収が有効である。
- 2) 対微生物毒性の低い廃油脂の採取源として、工場と浮上油脂自主回収を行う飲食店が有望である。
- 3) 阻害性の高い廃油脂の影響は、阻害性の低い油脂を用いた希釈によって緩和可能である。

工場のグリーストラップ由来の廃油脂は比較的低毒性であり、さらに回収事業者へのヒアリングによれば飲食店 1 ヶ所あたりから回収される油量の 100 倍程度が普通であるということから、原料としては一般的な飲食店のそれよりも効率的、安定的な PHBH の生産原料として有望であると考えられた。一方、工場では回収作業に課題がある。バキューム回収によるグリーストラップ内容物の一括回収は油脂の質や分離効率の点から望ましくなく、浮遊油泥を分けて回収するべきことは昨年度の報告においても言及した。工場ではグリーストラップの規模が大きいことから、人力で浮上油泥を効率的に回収することが困難である。このような課題を解決するような油泥回収装置等の技術開発や回収作業者の育成も必要であると考えられる。また、回収後の対策として、食用油脂中の農薬濃度を吸着剤等を用いて低減できている例もあるので⁵⁾、希釈することの他に洗浄や吸着といった前処理も検討すべき選択肢として考えられる。

参考文献

- 1) 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ー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
- 2) 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
- 3) Kobayashi T., Kuramochi H., Xu K-Q. (2017) Variable oil properties and biodegradation of grease trap waste derived from different resources. International Biodeterioration & Biodegradation, 119, 273-281
- 4) Li X., Yang Y., Lu C.S., Kobayashi T., Kong Z., Hu Y. (2023) Oleate Impacts on Acetoclastic and Hydrogenotrophic Methanogenesis under Mesophilic and Thermophilic Conditions. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20, 3423
- 5) 深澤透, 堤崇史, 東海林茂, 荏原紘, 丸山武紀, 新谷勲 (1999) 食用油脂の精製処理による有機リン系農薬の挙動, 日本油化学会誌, 48, 247-251

4.4 事業3の成果の要点

「事業3：国産 PHBH 原料開発」では、PHBH の国産原料開発に関しては、ジャトロファについて露地栽培は温暖な瀬戸内でも越冬はできなかったが、無加温ビニルハウス・ポット栽培で、地上部を伐採することで翌年萌芽することが確認できた。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として、ジャトロファは 2.5 t/ha、菜種は 1.2 t/ha を設定した。

農業利用のための消化液の性状把握と品質管理のための分析と植害試験を実施した。また消化液の散布方法として、トラクターによる散布、流し込みによる散布、バキューム車からの直接散布を検討した。

低品質な廃食用油の有効利用については、阻集器の管理状況を念頭に選定した飲食店、食品工場から入手したグリーストラップ油泥から抽出した油脂を分析・培養評価した結果、培養阻害・生産性低下を回避できるグリーストラップの採取源として工場と浮上油脂の自主回収を行う飲食店が有望で、原料化には、PHBH の生産阻害物質のスクリーニング評価に基づく採取源の選別が重要であるとともに、阻害性の高い油脂の影響は阻害性の低い油脂による希釈で緩和可能であることが分かった。

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、これま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 500 g 程度、1ヘクタールの樹園あたり年間 2,500 kg の種子生産を国内栽培目標と設定した。

ジャトロファ樹の露地栽培については、温暖な岡山笠岡市、愛媛県松山市でも越冬はできず枯死した。しかし、京都での無加温ビニルハウスでのポット栽培においては、地上部を伐採することで翌年に萌芽することを確認できた。また、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が、そのためには一年草から選定によって、3本程度の分枝を確保することが望ましい。

無加温ビニルハウスでのポット栽培の最大収穫量は、1樹1年あたり果実 40 個、種子 120 g であり、目標の 500 g に対してはまだ 24%であるが、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おり、樹齢を重ねた個体での目標達成を期待したい。

菜種については、これまでの結果から、水田裏作での生産量として1haあたり 1,200 kg を栽培目標と設定した。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た栽培で、1haあたり 870 kg の収穫にとどまっているが、近年飼料価格が高騰していることから、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も視野に入れて、菜種を畜産の盛んな岡山県笠岡市にて菜種と相性の良いメタン発酵消化液を用いて栽培することを試みている。

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

消化液の液肥としての肥料成分を確認するため、定期的に消化液を採取し分析を行った。その結果、窒素全量は 0.13~0.18%、りん酸は 0.01~0.05%、加里は 0.04~0.08%となった。

また、安全性を確認するため二つの方法で消化液の植害の有無を評価した。すなわち播種したイネが活着、苗立ちしたのち、消化液を与える「苗立ち後施用の評価」と飽水・代かきに希釈した消化液を与え、ここに水稻種子を播種して苗立ちへの影響を見る「代かき時施用の評価」である。水稻への消化液施用量は、多くの場合、1反の水田に 3~4 トンであり、これはアンモニア態窒素の施肥量として 6~8 kg に相当する。ここでの試験では、ポット表面積 100cm²あたり最大 100mL の消化液を与

えており、これは 1 反あたり 10 トンの消化液施用に相当するので、通常の施用量を超える消化液を与えた場合でも、健全な生育が得られており、今回供試した消化液は、適正量を与えれば、植害なく使用できると評価した。

消化液の散布方法として、トラクターによる散布、流し込みによる散布、バキューム車からの直接散布を検討し、散布に必要な人工・所要時間等を確認した。さらに、散布前後の土壌を確認した結果、EC、アンモニア態窒素、硝酸態窒素は増加しており、液肥の散布効果があることが確認でき、なおかつ腐植の結果から流し込み散布によるムラがないことも確認できた。

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

本課題では、従来の飲食店に加え、工場及び自主回収を通して高頻度で廃油脂を回収している飲食店のグリーストラップから採取したサンプルの分析と毒性評価を実施した。その結果、培養阻害を回避し、安定的な PHBH 生産に資する廃油脂の回収、利用方法として次の結論を得た。

- 1) 廃油脂の酸価上昇の抑制には、排出源での適切な浮上油脂の自主回収が有効である。
- 2) 微生物培養への阻害性の低い廃油脂の採取源として、工場と浮上油脂自主回収を行う飲食店が有望である。
- 3) 阻害性の高い廃油脂は、阻害性の低い油脂を用いた希釈によって緩和可能である。

工場のグリーストラップ由来の廃油脂は比較的阻害性が低く、さらに回収事業者へのヒアリングによれば飲食店 1 ヶ所あたりから回収される油量の 100 倍程度が普通であるということから、原料としては一般的な飲食店のそれよりも効率的、安定的な PHBH の生産原料として有望であると考えられる。一方、工場での回収で用いられることの多いバキューム回収によるグリーストラップ内容物の一括回収は油脂の質や分離効率の点から望ましくなく、浮遊油泥を分けて回収するべきであることは昨年度の報告においても言及した。工場ではグリーストラップの規模が大きいことから、人力で浮上油泥を効率的に回収することが困難であるため、効果的な油泥回収装置等の技術開発や回収作業者の育成も必要であると考えられる。また、回収後の対策として、食用油脂中の農薬濃度を吸着剤等を用いて低減できている例もあるので、希釈することの他に洗浄や吸着といった前処理も検討すべき選択肢として考えられる。

なお、今回、対微生物の阻害ポテンシャルを規格化された手法で評価するため、発光細菌由来の発光強度の変化を用いたバイオアッセイを実施した。最大 10000 mg/L の 5 段階以上の異なる濃度の油脂サンプルを含有する緩衝液を使ったアッセイから、油脂添加なしの場合と比較して 50%発光強度が減少する油脂濃度を IC50 として算出するものであるが、フラスコを用いた培養試験と合わせて、多方面から入手した多数の油脂を少量のサンプルで簡易にスクリーニングする手法として有効と考えられる。

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

本章では、廃食用油を原料とした PHBH を生ごみ収集袋に利用し、収集した生ごみとともにメタン発酵利用しエネルギー回収、需要がある地域では消化液を農地利用する資源循環システムに、さらに、汚れが付着しプラスチックのリサイクルに不向きな食品容器へ PHBH の用途を拡大した新たな資源循環システムについて、シナリオ分析を行いライフサイクルの温室効果ガス（GHG: Greenhouse Gas）削減効果を定量化することを目的とする。

また、資源循環システムのシナリオ分析に先立って、PHBH 製生ごみ収集袋、食品容器のライフサイクル分析も行い、製品あたりのライフサイクルの GHG も算定した。

5.2 方法

5.2.1 PHBH 製生ごみ収集袋のライフサイクル分析

ごみ収集袋に続いて 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。

<対象とする生ごみ収集袋>

本年度解析では、2022 年度に開発した厚さ 25 μ m、平袋タイプの PHBH 製生ごみ収集袋（2L、5L、10L の 3 サイズ）を解析対象とした。PHBH 樹脂はコンパウンドなしの PHBH100%とした。また、PHBH 素材の比較対象として、化石資源由来 PE 製の生ごみ収集袋も解析した。表 67 に生ごみ収集袋の素材別・サイズ別重量を示した。化石 PE 製は京都市家庭系燃やすごみ袋を、PHBH 製は 2022 年度開発の袋をそれぞれ実測により設定した。ただし、京都市の燃やすごみ袋（化石 PE 製）に 2L サイズはないため、5L と 10L サイズと袋重量から外挿し 5.8 g/枚とした。2L サイズで PHBH 製生ごみ収集袋の肉薄化の効果がより大きく表れ、化石 PE よりも軽量化している。

表 67 PHBH 製生ごみ収集袋のサイズ別重量

	化石 PE	PHBH
袋サイズ	[g/枚]	[g/枚]
2L	5.8	4.6
5L	7.7	8.2
10L	10.8	11.5

<機能単位とシステム境界>

機能単位は「生ごみ収集袋 1 枚の提供と廃棄」とした。内容物である生ごみの処理は機能単位には含めず、生ごみのメタン発酵による GHG 削減効果は算定対象外である（シナリオ分析において評価）。

システム境界は原料採掘・原料栽培から PHBH 樹脂製造、生ごみ収集袋の製造から、使用後の処理と残渣等の最終処分までとした。袋の使用段階（生ごみの収集段階）はシステム境界外とした。

<PHBH 原料>

PHBH 原料としては、マレーシアからの輸入パーム油と、国産原料として廃棄物原料の廃食用油、植物油の菜種油、油糧作物であるジャトロファ油を対象とした。

<処理・リサイクル方法>

生ごみ収集袋の処理・リサイクル方法については、生ごみの処理方法として焼却処理とメタン発酵を想定し、PHBH 原料との組み合わせで表 68 に示した合計 6 ケースの解析を行った。焼却ケース (PE_INC、PHBHwci_INC) は比較対象として化石 PE 製生ごみ収集袋、国内の廃食用油を原料とする PHBH 製生ごみ収集袋がそれぞれエネルギー回収を伴う焼却処理の後、焼却残渣が埋め立てられるシステムとした。AD 処理を行うケースは PHBH原料別に 4 ケース設定した。各原料を栽培し、搾油により得られた油により PHBH を製造、収集袋に加工した後、AD 処理を行う。発酵残渣や消化液は堆肥、液肥利用することが望ましく、後述のシナリオ分析ではこうした循環利用シナリオも評価シナリオに含めているものの、本解析では発酵残渣は焼却処理し、焼却灰を埋め立てるものとした。また、原料栽培がない廃食用油については廃食用油の収集からシステム境界に含めた。

表 68 処理・リサイクル方法設定

	表記	原料	処理・リサイクル方法
1	PE_INC	化石 PE	焼却 (蒸気発電)
2	PHBHwco_INC	廃食用油	焼却 (蒸気発電)
3	PHBHplm_AD	パーム	メタン発酵 (GE 発電)
4	PHBHjtrph_AD	ジャトロファ	メタン発酵 (GE 発電)
5	PHBHrp_AD	菜種	メタン発酵 (GE 発電)
6	PHBHwco_AD	廃食用油	メタン発酵 (GE 発電)

GE 発電 : Gas Engine 発電

<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)⁹⁾の値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昨年度までの事業報告書の解析^{4),10)}と同じである。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 69、表 70 に示した。本年度新たに追加・更新したプロセスは菜種栽培～輸送とジャトロファ栽培～輸送である。ジャトロファと菜種については、いずれも栽培地を京都とし、搾油後の油は京都市から株式会社カネカ高砂工業所まで輸送されるとした。

また、ごみ収集袋製造 (成形加工) プロセスについては、PE 樹脂を用いた時とほぼ同条件で PHBH 樹脂の成形加工を行うことができていることから、袋製造 (成形加工) 工程における GHG 排出原単位も袋の素材に依らず一律とした。

また、各プロセスで消費する化石燃料や化学薬品の生産や燃焼に伴う GHG 排出原単位の一部を、本年度解析では IDEA ver 3.3¹⁰⁾に更新した。

表 69 プロセスモデル設計概要

プロセス	概要
パーム栽培～輸送	・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 を用いた昨年度までの解析^{ii,iii)}のとおり。
ジャトロファ栽培～輸送	・インベントリデータは環境・エネルギー事業支援協会（2021）^{v)}を用いた。 ・輸送は京都市から株式会社カネカ高砂工業所まで
菜種栽培～輸送	・インベントリデータは IDEA ver.3.3^{iv)}を用いた ・輸送は京都市から株式会社カネカ高砂工場まで
廃食用油輸送	・インベントリデータは昨年度までの解析^{ii,iii)}のとおり。
PHBH 樹脂製造	・令和 3 年度ⁱⁱ⁾ヒアリングにより入手したパーム油原料の運転データを用いた ・パーム油比の生産収率は廃食用油 96%（令和 3 年度実証成果ⁱⁱⁱ⁾）、ジャトロファ油と菜種油は 100%（仮定値）とした
原油採掘～汎用樹脂製造袋製造（成形加工）	・IDEA ver3.2^{vi)}より、PE 製造のインベントリデータを使用した。 ・インベントリデータは PE 製、PHBH 製ともに同じとし、プラスチック循環利用協会（2020）^{vii)}を用いた。 ・令和 3 年度ⁱⁱ⁾ヒアリングにより PHBH 製ごみ収集袋の歩留まりは 0.95 とした。PE の歩留まりは PHBH より高いと考えられるため 0.99 と仮定した。
焼却	・消費電力及び燃焼時の CO₂、CH₄、N₂O の直接排出を計上した。 ・インベントリデータは昨年度までの解析^{ii,iii)}のとおり。
焼却発電	・蒸気発電。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、CO₂、CH₄、N₂O の直接排出を評価した。発酵残渣は焼却されるとした。 ・インベントリデータは昨年度までの解析^{ii,iii)}のとおり。
AD 発電	・GE 発電。発電効率は 37.3^{viii)}%とした。

表 70 主要な設定パラメータ

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) ^{ix)}
	CH ₄ 低位発熱量	35.9	[MJ/Nm ³]	日本工業炉協会(1997) ^{x)}
	ごみ収集袋（使用後の廃棄時） の含水率	7.7	[%]	京都市家庭ごみ細組成調査
	GWP100 年値：CH ₄	25	[kg-CO ₂ eq/kg]	IPCC(2007) ⁱ⁾
	GWP100 年値：N ₂ O	298	[kg-CO ₂ eq/kg]	IPCC(2007) ⁱ⁾
輸送	輸送距離（ジャトロファ、菜種）	117	[km]	Google map より設定（京都－高砂市）
	燃費（10 t 車）	3.25	[km/L]	日本トラック協会 ^{xi)}
ごみ収集袋 製造	CO ₂ 排出係数	0.381	[t-CO ₂ eq/t 樹脂]	プラスチック循環利用協会 (2020) ^{vii)}
	歩留まり（PE 製袋）	0.99	[-]	設定値
	歩留まり（PHBH 製袋）	0.95	[-]	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
	廃水発生量	0.8	[t/t-wet]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
	発酵残渣含水率	62	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
	窒素の廃水への移行率	5.0	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
	消費電力(発酵関連)	357.5	[kWh/t-TS]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
	消費電力(廃水処理)	32.5	[kWh/t-廃水]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
	PHBH 有機物分解率	90	[%]	設定値 ^{ii,iii)}
	CH ₄ 排出係数	0.0059	[kg-CH ₄ /m ³]	環境省(2006) ^{xiii)}
	N ₂ O 排出係数	0.0045	[kg-N ₂ O/t-N]	環境省(2006) ^{xiii)}
	GE 発電	37.3	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
焼却	CH ₄ 排出係数	0.96	[kg-CH ₄ /kg-waste]	環境省(2009) ^{xiv)}
	N ₂ O 排出係数	0.0565	[kg-N ₂ O/t-waste]	環境省(2009) ^{xiv)}
	消費電力	150	[kWh/t-wet]	酒井（2005） ^{xv)}
焼却発電	発電効率	20	[%]	設定値
埋立	消費電力	6.38	[kWh/t-wet]	土手（1999） ^{xvi)}
	軽油	0.763	[L/t-wet]	土手（1999） ^{xvi)}

5.2.2 PHBH 製食品容器のライフサイクル分析

ごみ収集袋に続いて、PHBH 製食品容器についても本年度改良・開発された容器について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>

昨年度の解析対象（弁当容器本体：強制離型構造あり（図 163））に加え、新たに示した 2 製品（弁当容器本体：浅型・強制離型構造なし、フードパック）も新たに解析の対象とした。また、食品容器の素材については汎用樹脂製及び PHBH 製の 300 μm に加え、新たに PHBH 製の 350 μm を追加した。表 71 にシーピー化成（株）へのヒアリングにより入手した素材、重量、シート厚み、製造時電力を示した。本解析では、PHBH の原料はパーム油または廃食用油とし、樹脂原料や、処理方法別に設定した 5 ケース（表 72）についてライフサイクル分析を実施した。



図 163 解析の対象とした弁当容器本体：強制離型構造あり（左：汎用樹脂製 右：PHBH 製）



図 164 解析の対象とした弁当容器本体：強制離型構造なし（左：汎用樹脂製 右：PHBH 製）

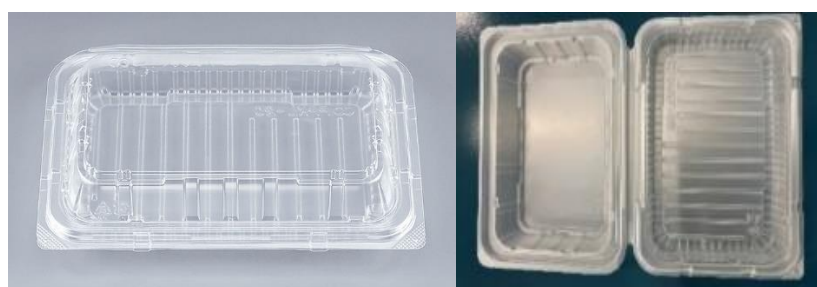


図 165 解析の対象としたフードパック（左：汎用樹脂製 右：PHBH 製）

表 71 LCA 対象食品容器の素材、重量、シート厚み、製造時電力のヒアリングデータ

製品	素材	シート厚み [μm]	重量 [g-dry]	製造時電力 [kWh/t-dry]
強制離型構造あり	PS70%PP30%	370	14.0	1,606
	PHBH100%	300	13.3	3,276
		350	16.2	3,364
浅型・強制離型構造なし	PS70%PP30%	600	16.0	1,447
	PHBH100%	300	16.0	2,533
		350	19.5	2,766
フードパック	PP100%	300	14.0	1,770
	PHBH100%	300	18.5	2,184
		350	21.5	2,494

表 72 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:WCO_Inc	PHBH	廃食用油	焼却
2:WCO_AD			メタン発酵
3:Palm_Inc		パーム油	焼却
4:Palm_AD			メタン発酵
5:Fossil_Inc	汎用	ナフサ	焼却

<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。図 166 に一例として、廃食用油原料の 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）については含水率を設定し湿重量ベースで計算した。含水率は 2010 年度から 2018 年度の京都市家庭ごみ細組成調査^{xvii)}における含水率の平均値より 3.5%とした。



図 166 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、生ごみ収集袋のライフサイクル分析と同様に、CO₂、CH₄、N₂O を対象に GWP100 年値ⁱⁱ⁾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昨年度解析ⁱⁱⁱ⁾を踏襲している。各プロセスにおける計算方法の概要を表 73 に示した。主要パラメータは生ごみ収集袋のライフサイクル分析の表 70 と同じであるため割愛する。各プロセスで消費する化石燃料や化学薬品の生産や燃焼に伴う GHG 排出原単位は IDEA ver3.2 のデータを用いた。

表 73 プロセスモデル設計概要

プロセス	概要
PHBH 樹脂製造	・生ごみ収集袋用の樹脂と食品容器用の樹脂で違いはないと仮定し、令和 3 年度 ⁱⁱ⁾ ヒアリングにより入手したパーム油原料の運転データを用いた
原油採掘～汎用樹脂製造	・IDEA ver3.2 ^{xviii)} 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	・製造時のサイクルタイムと消費電力量（表 71）をシーピー化成（株）へのヒアリングにより入手した。

5.2.3 PHBH を導入した資源循環システムのシナリオ分析

前項では製品毎（PHBH 製生ごみ収集袋、食品容器）のライフサイクル分析を行った。こうした PHBH を社会実装するシステム解析にあたっては、処理・リサイクルを含む廃棄物・資源循環システムについて、地域特性に応じた資源やエネルギー需要等を勘案する必要がある。そのため、本解析では大規模集中型モデルと地域分散型モデルの 2 つのモデルを取り上げ、前者については昨年度までの解析^{ii,iii)}まで取り組んできた京都市南部クリーンセンターの焼却施設併設型のメタン発酵施設を核としたシ

システム、後者については3章で取り組んだ、京北モデル地区での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分別収集し、袋とともにバイオガス化施設に投入してエネルギーを創出し、副生する発酵残渣・消化液を作物栽培に活用するシステムを想定したケーススタディとして扱い、それぞれにシナリオ分析を行った。シナリオ分析では、PHBH 製生ごみ収集袋使用量を算出した上で、PHBH 製生ごみ収集袋を導入した資源循環システムの GHG 排出量を算出し、PHBH 未導入の現在の処理システムと比較した GHG 削減量を推定した。

本研究で想定した大規模集中型モデル、地域分散型モデルの主な特徴を表 74 にまとめた。大規模集中型モデルでは、京都市南部クリーンセンターのような大規模な焼却処理施設との併設を想定した。都市部では燃やすごみと一緒に生ごみを混合収集し機械選別する場合は、発酵残渣の堆肥利用が難しく、焼却処理される。一方、地域分散型モデルでは、京都市京北地域モデル地区での実証のように、分別収集された生ごみをオンサイト型の小型のメタン発酵施設でメタン発酵させるため、不純物が少ない消化液は農地での液肥利用が期待される。地域分散型モデルのシナリオの1つでは PHBH 原料として用いる菜種を栽培する資源循環を図るシナリオとした。なお、各モデルのシナリオの詳細は後述する。

さいごに、2つのモデルを全国の一般廃棄物処理施設に外挿することで全国普及ポテンシャルを概算した。

表 74 大規模集中型モデルと地域分散型モデルの特徴

		大規模集中型モデル	地域分散型モデル
想定したケーススタディ		京都市南部クリーンセンター（焼却施設併設型メタン発酵施設）の処理方式	京都市京北地域の地域実証
生ごみ収集方式		燃やすごみとして混合収集し、施設で機械選別する事例が多い	都市部と比べて生ごみの分別収集が容易
メタン発酵	処理規模	60 t/日	1 t/日～
	発酵方式	高温乾式	高温湿式
	エネルギー利用	・発電利用	・発電利用 ・ビニルハウスで熱利用（温水供給）
	残渣利用	・焼却処理	・消化液を液肥利用

<PHBH の使用用途>

生ごみ収集用のごみ収集袋と食品容器を対象とし、素材は PHBH100%（コンパウンドなし）とした。PHBH 原料は国内の廃食用油、または国産菜種油とした。

<環境影響領域>

環境影響領域は気候変動とし、生ごみ収集袋や食品容器のライフサイクル分析と同様に、CO₂、CH₄、N₂O を対象に GWP100 年値⁹⁾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。

<システム境界と環境影響領域>

システム境界は「ごみ収集袋原料の調達からごみ収集袋の製造、輸送及び燃やすごみ（ごみ収集袋含む）の収集から処理・再資源化、残渣等の最終処分まで」と設定した。PHBH 製生ごみ収集袋の原料調達については、菜種油は菜種栽培から、廃食用油は廃食用油の収集からシステム境界に含めた。施設建設やインフラ整備等は対象外とし、対象製品であるごみ収集袋や食品容器の使用段階は含めないものと

した。

<機能単位>

大規模集中型モデル

本解析で評価する機能単位は「1年間で発生する京都市の家庭系燃やすごみの収集と処理」、「後述する分別収集 PHBH シナリオで提供する PHBH 製生ごみ収集袋ならびに食品容器製造とごみ収集用 BDF 製造に必要な廃食用油の処理」とした。燃やすごみの発生量は、京都市の 2019 年実績値（183,470 t-wet/年）^{xix)}を、ごみ組成については令和元年度家庭ごみ細組成調査^{xx)}の値を使用した。燃やすごみ中の生ごみは 32,474 t-wet、PHBH 製に代替可能な食品容器は 566 t-wet（弁当容器 463 t-wet、フードパック 104 t-wet）である。ここで、家庭ごみ細組成データにはごみ収集袋（指定ごみ袋）の組成も含まれており、ごみ収集袋の素材や使用量はシナリオ毎に異なるため、処理されるごみ収集袋量については後述で設定したごみ収集袋量に差し替えた。上述の 2 つ目の機能単位に必要な廃食用油は 1749 t-wet となった。

地域分散型モデル

本解析で評価する機能単位は「1年間で発生する京北地域の家庭系燃やすごみの収集と処理」、「後述する分別収集廃食用油 PHBH シナリオで提供する PHBH 製生ごみ収集袋ならびに食品容器製造とごみ収集用 BDF 製造に必要な廃食用油の処理」とした。京北地域の燃やすごみならびに生ごみ発生量については、令和 4 年度の脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業が実施した生ごみ分別モニター調査で得られた 1 世帯 1 日当たりの排出原単位^{xxi)}に、京北地域の世帯数（1,837 世帯）を乗じて設定し、燃やすごみ 543.3 t-wet/年、うち生ごみは 301.8 t-wet/年とした。生ごみ以外のごみ組成は京都市と同じと仮定し、PHBH 製に代替可能な食品容器は 1.15 t-wet（弁当容器 0.94 t-wet、フードパック 0.21 t-wet）とした。

ここで、大規模集中型モデル同様に、ごみ収集袋の素材や使用量はシナリオ毎に異なるため、処理されるごみ収集袋量については後述で設定したごみ収集袋量に差し替えた。上述の 2 つ目の機能単位に必要な廃食用油は 4.85 t-wet となった。

<シナリオ設定>

大規模集中型モデルのシナリオ設定

大規模集中型モデルのシナリオは以下のとおりである。シナリオの主な特徴は表 75 に、シナリオフロー図を図 167 にまとめた。

SI：ベースラインシナリオ

メタン発酵施設を持たず発電設備を有する焼却施設のみの大都市の現状を想定したシナリオとした。生ごみは燃やすごみと一緒に混合収集し、ごみ収集袋の素材は化石 PE とした。機能単位を揃えるため、燃やすごみは廃食用油由来の BDF (Biodiesel Fuel) を燃料とする収集車で収集される。BDF 原料として用いられない分の廃食用油は焼却されるとした。燃やすごみは蒸気発電を伴って焼却処理され、焼却灰は埋め立てられるものとした。

S2a：混合収集 PE シナリオ

現状の京都市南部クリーンセンターのようなメタン発酵併設型の焼却処理システムを想定したシナ

リオである。生ごみは燃やすごみと一緒に廃食用油由来の BDF を燃料とする収集車で混合収集する。ごみ収集袋の素材は化石 PE とした。収集されたごみは機械選別かけられ、生ごみとその他燃やすごみに分けられるものとした。ただし、機械選別では食品容器含め生ごみ以外の異物（発酵不適物）も一部メタン発酵槽に混入される。

生ごみは高温乾式 AD 施設でメタン発酵利用され、発生したバイオガスを用いて GE 発電を行う。発酵残渣は燃やすごみとともに蒸気発電を伴って焼却処理されるものとした。BDF 原料として用いられない分の廃食用油は燃やすごみと一緒に焼却されるものとした。

S2b : 混合収集 PHBH シナリオ

PHBH を導入し、ごみ収集袋の一部と食品容器を PHBH 製に変えた点が S2a との違いである。すなわち、生ごみや PHBH 製食品容器は燃やすごみとして混合収集されるものの、本事業によって開発された袋サイズ 5L と 10L の収集袋については PHBH 製のごみ収集袋を採用し、他のサイズの収集袋については化石 PE 製収集袋を用いた。その他のシナリオ設定は S2a と同じとした。

S3a : 分別収集 PE シナリオ

「生ごみ」と「その他の燃やすごみ」を分別収集し、いずれの分別とも化石 PE 製収集袋が用いられるものとした。食品容器はその他の燃やすごみに含まれる。生ごみの分別収集率は 50% とし、分別収集された生ごみは AD 処理される。生ごみを分別収集すれば、メタン発酵して生じる発酵残渣は異物混入が比較的少なく堆肥化利用も期待されるものの、PE 製生ごみ収集袋が混入し得ること、大規模集中型の都市域では需要が限定的であること等を鑑み、発酵残渣はその他の燃やすごみとともに蒸気発電を伴って焼却処理され、焼却灰は埋め立てられるものとした。BDF 原料として用いられない廃食用油は焼却されるものとした。

S3b : 分別収集 PHBH シナリオ

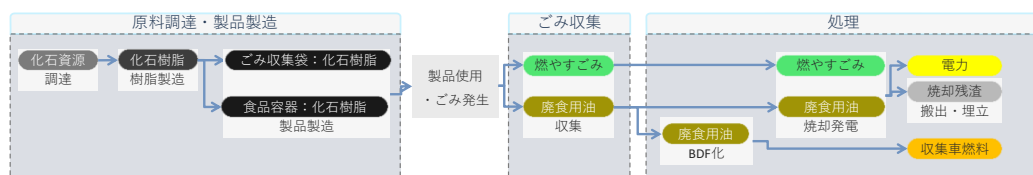
廃食用油由来の PHBH 製ごみ収集袋を生ごみと PHBH 製食品容器の分別収集に使用し、その他の燃やすごみについては化石 PE 製収集袋を用いるシナリオとした。生ごみと PHBH 製食品容器はともに分別収集率 50% とし、それぞれ別の収集袋で収集されるものとした。発酵残渣はその他の燃やすごみとともに蒸気発電を伴って焼却処理され、焼却灰は埋め立てられるものとしたが、需要があれば発酵残渣を堆肥化利用することも期待できる。その他のシナリオ設計は S3a と同じである。ただし、廃食用油の使用量（処理量）は本シナリオを元に設定しているため、廃食用油は PHBH 原料と BDF 原料として全量使用され、焼却処理されるものはない。

表 75 大規模集中型モデルの各シナリオの主な特徴

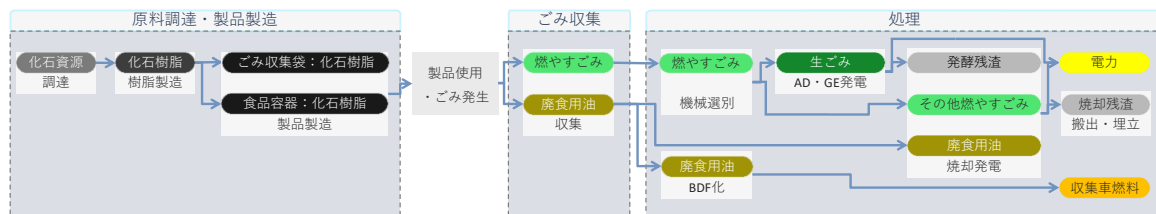
		PHBH 用途		生ごみ		食品容器		バイオガス	発酵残渣
		生ごみ 収集袋	食品容器	収集方法	処理方法	収集方法	処理方法	利用方法	利用方法
S1	BS	×	×	混合収集	焼却発電	混合収集	焼却発電	—	—
S2a	混合収集 PE	×	×	混合収集	機械選別 +AD	混合収集	焼却発電	GE 発電	焼却発電
S2b	混合収集 PHBH	○	○	混合収集	機械選別 +AD	混合収集	焼却発電	GE 発電	焼却発電
S3a	分別収集 PE	×	×	分別収集	AD	混合収集	焼却発電	GE 発電	焼却発電
S3b	分別収集 PHBH	○	○	分別収集	AD	分別収集	AD	GE 発電	焼却発電

-

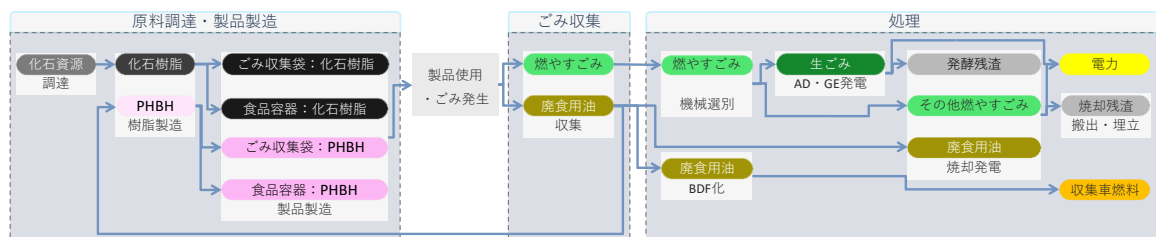
		廃食用油 利用方法
S1	BS	BDF, 焼却
S2a	混合収集 PE	BDF, 焼却
S2b	混合収集 PHBH	PHBH, BDF, 焼却
S3a	分別収集 PE	BDF, 焼却
S3b	分別収集 PHBH	PHBH, BDF



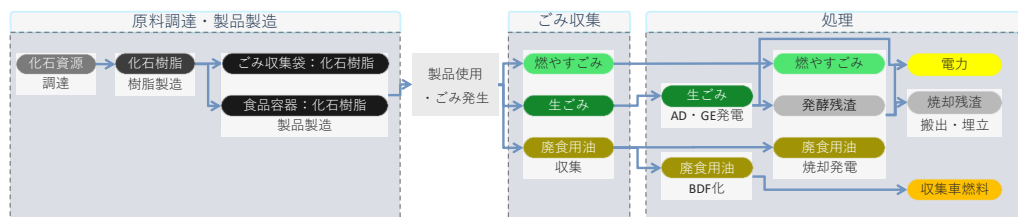
S1: ベースラインシナリオ



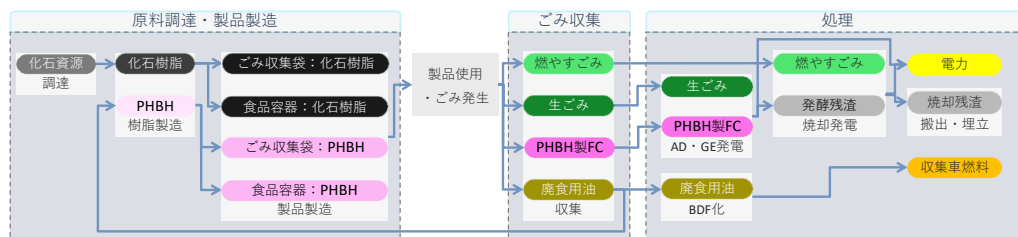
S2a: 混合収集 PE シナリオ



S2b: 混合収集 PHBH シナリオ



S3a: 分別収集 PE シナリオ



S3b: 分別収集 PHBH シナリオ

図 167 大規模集中モデルのシナリオフロー図

地域分散型モデルのシナリオ設定

地域分散型モデルのシナリオは以下のとおりである。シナリオの主な特徴は表 76 に、シナリオフロー図を図 168 にまとめた。

SI: ベースラインシナリオ

メタン発酵施設を持たず、発電設備を有しないような 100 t/日未満の焼却施設を持つ中小自治体を想定したシナリオとした。生ごみや食品容器は燃やすごみとして混合収集し、ごみ収集袋の素材は化石 PE とした。廃食用油由来の BDF を燃料とする収集車で収集し焼却施設に搬入する。燃やすごみは発電を

伴わない焼却処理（単純焼却）され、焼却灰は埋め立てられるものとした。ごみ収集車用の BDF 原料として用いられない廃食用油は焼却されるものとした。

S2：分別収集 PE シナリオ

「生ごみ」と「その他の燃やすごみ」は分別収集されるが、両分別とも化石 PE 製収集袋が用いられるものとした。食品容器はその他の燃やすごみに含まれる。燃やすごみは焼却処理（焼却なし）され、焼却灰は埋め立てられるものとした。分別収集率 50%で収集された生ごみについては、京北実証モデルと同じ高温湿式方式の AD 発酵処理をした。地域分散型の処理規模の AD 施設のバイオガス量では GE 発電するほどのガス量が得られない可能性があることから、CHP（Combined Heat and Power）利用するものとした。ただし、CHP では地域に熱需要があれば熱供給が可能であるが、本シナリオでは熱利用はなく発電利用のみとするものとした。また、PE 製生ごみ収集袋が発酵槽に混入すると残渣の堆肥化利用は難しいと考えられることから、発酵残渣は焼却処理されるものとした。ごみ収集車用の BDF 原料として用いられない廃食用油は焼却されるものとした。

S3a：分別収集_廃食用油 PHBH シナリオ

PHBH を導入し、ごみ収集袋の一部と食品容器を PHBH 製にした。廃食用油由来の PHBH 製ごみ収集袋を生ごみと PHBH 製食品容器の分別収集に使用し、その他の燃やすごみについては化石 PE 製収集袋を用いるシナリオとした。生ごみと PHBH 製食品容器はともに分別収集率 50%とし、それぞれ別の収集袋で収集されるものとした。その他の燃やすごみについては化石 PE 製ごみ収集袋を用いた。収集された生ごみと食品容器は高温湿式方式の AD 発酵で処理される。バイオガスの CHP 利用によって得られた発電電力に加えて、熱についても隣接するビニルハウスに熱供給（温水供給）する。さらに、PHBH 製ごみ収集袋を利用して分別収集することで異物の少ない原料を AD 利用できしており、地域分散型システムでは肥料需要があることを想定し、消化液を液肥利用することで資源・エネルギーを循環利用するシナリオとした。その他のシナリオ設定は S2 と同じとした。ただし、廃食用油の使用量は本シナリオを元に設定しているため、廃食用油は PHBH 原料と BDF 原料として全量使用され焼却処理されるものはない。

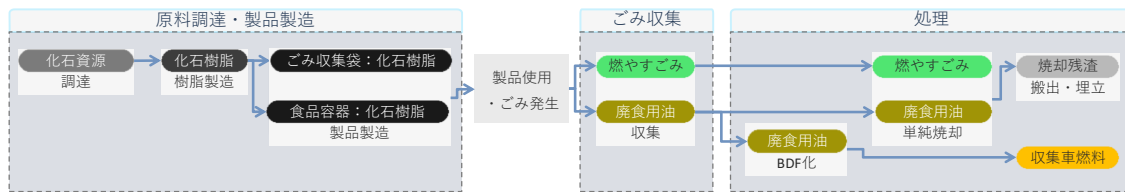
S3b：分別収集_菜種 PHBH シナリオ

PHBH の原料を廃食用油ではなく菜種油としたシナリオとした。メタン発酵後の消化液は PHBH 原料である菜種の栽培に用いられ、余剰分の消化液はその他農作物の肥料として利用されるものとした。その他のシナリオ設定は S3a と同じとしており、資源・エネルギー循環をより地域で循環させるシステムとした。BDF 原料として用いられない廃食用油は焼却されるものとした。

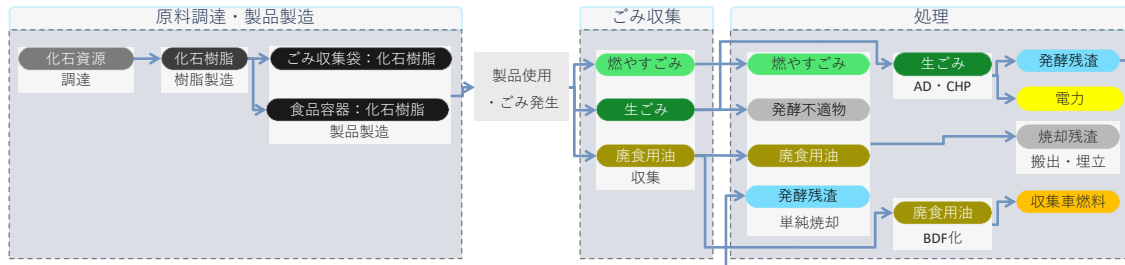
表 76 地域分散型モデルの各シナリオの主な特徴

		PHBH 用途		生ごみ		食品容器		バイオガス	発酵残渣
		生ごみ 収集袋	食品容器	収集方法	処理方法	収集方法	処理方法	利用方法	利用方法
S1	BS	×	×	混合収集	単純焼却	混合収集	単純焼却	—	—
S2	分別収集 PE	×	×	分別収集	AD	混合収集	単純焼却	CHP (発電のみ)	単純焼却
S3a	分別収集 廃食用油 PHBH	○	○	分別収集	AD	分別収集	AD	CHP (電熱利用)	液肥利用
S3b	分別収集 菜種油 PHBH	○	○	分別収集	AD	分別収集	AD	CHP (電熱利用)	液肥利用

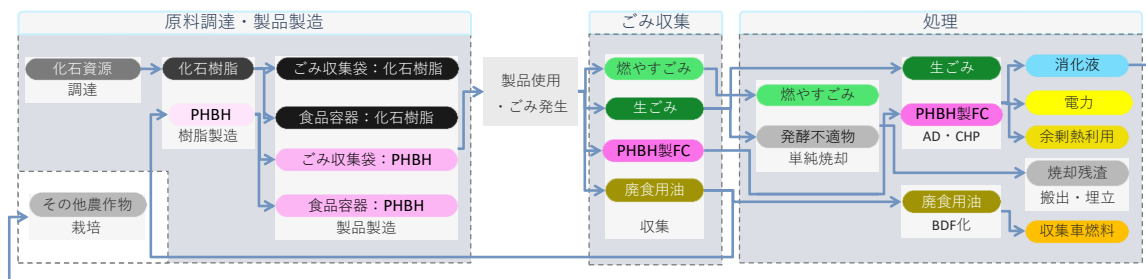
		廃食用油 利用方法
S1	BS	BDF, 焼却
S2	分別収集 PE	BDF, 焼却
S3a	分別収集 廃食用油 PHBH	BDF, PHBH
S3b	分別収集 菜種油 PHBH	BDF, 焼却



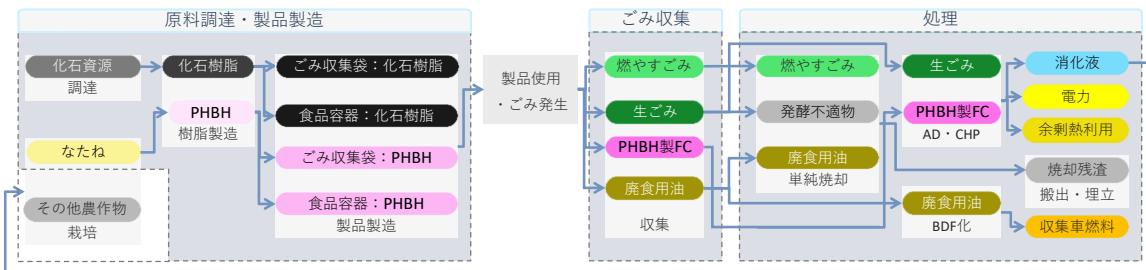
S1: ベースラインシナリオ



S2: 分別収集 PE シナリオ



S3a: 分別収集_廃食用油 PHBH シナリオ



S3b: 分別収集_菜種 PHBH シナリオ

図 168 地域分散モデルのシナリオフロー図

<ごみ収集袋量の推定>

- ・「燃やすごみ」、「その他の燃やすごみ」の収集袋使用枚数

ごみ分別区分毎のごみ密度、ごみ袋サイズと袋 1 枚当たりの充填率、収集頻度を用いて、「燃やすごみ」、生ごみ分別後の「その他の燃やすごみ」を 1 t-wet 収集するために必要なごみ袋使用枚数を袋サイズ別に推定した。

主な推定方法は令和 3 年度解析³⁾と同様である。令和 3 年度解析では、令和元年度京都市家庭ごみ細組成調査結果をもとに、燃やすごみの収集に使用する袋サイズを最も多く使用されるサイズである 20L としていたが、本年度解析では袋サイズ別に必要枚数を推定した。令和元年度京都市家庭ごみ細組成調査をもとに設定した燃やすごみの袋サイズ別の使用割合と充填率（収集袋サイズに対する内容物体積の比率）は表 77 のとおりである。

表 77 家庭系燃やすごみの収集袋サイズ別の使用割合と袋充填率 ^{xx)}

袋サイズ	使用割合 (枚数ベース)	充填率
5 L	6.9%	70.0%
10 L	20.5%	79.0%
20 L	31.9%	77.0%
30 L	18.9%	69.0%
45 L	21.8%	65.3%

京都市の家庭系燃やすごみ（183,470 t-wet/年）の収集に必要なごみ収集袋枚数の推定結果は表 78 のとおりとなった。1 t-wet 当たりの袋枚数は燃やすごみ 365 枚、その他の燃やすごみ 420 枚となった。室重量が重い生ごみが分別収集されたことで 1 t-wet 当たりの原単位は後者の方が多い結果となった。本原単位を用いて、シナリオ別の燃やすごみ、その他の燃やすごみの袋使用枚数を計算した。

表 78 京都市の家庭系燃やすごみ（183,470 t-wet/年）と燃やすごみ 1 t-wet を収集するために必要なごみ収集袋枚数推定結果

袋サイズ	燃やすごみ	その他の 燃やすごみ ^{※1}	燃やすごみ	その他の 燃やすごみ ^{※1}
	[千枚]	[千枚]	[千枚/t-wet]	[千枚/t-wet]
5 L	4,617	4,380	0.025	0.029
10 L	13,718	13,013	0.075	0.086
20 L	21,347	20,249	0.116	0.134
30 L	12,648	11,997	0.069	0.079
45 L	14,588	13,838	0.080	0.092
合計	66,918	63,478	0.365	0.420

※1：生ごみを 50%分別した場合の生ごみを除いた燃やすごみを指す

・「生ごみ」の「燃やすごみ」、「その他の燃やすごみ」の収集袋使用枚数

生ごみについては、京北モデル地区で分別収集された生ごみを 2023 年 11 月 1 日～12 月 15 日にかけて合計 135 袋を調査した。生ごみ合計 195.7 kg の収集で使用されたサイズ別の袋枚数から、生ごみ 1 t-wet を収集するために必要なごみ収集袋枚数を表 79 のとおり推定した。

表 79 生ごみ 1 t-wet 当たり、京都市家庭系生ごみ収集のために必要な収集袋枚数推定結果

袋サイズ	生ごみ 1 t-wet 当 り [枚/t-wet]	京都市家庭系生ごみ当 たり (分別収集率 50%) [千枚]
2 L	348	11,286
5 L	169	5,477
10 L	174	5,643
合計	691	22,406

・「食品容器」の収集袋使用枚数

PHBH 製食品容器を分別収集する S3b においては、食品容器分別収集のためにも収集袋が必要となる。本解析では、袋サイズは 10 L と仮定し、京都市家庭ごみ細組成調査 ^{xx)}からプラスチック製容器包装ごみのごみ密度 0.03 t/m³ を用いて使用枚数を算定した。

大規模集中型モデル、地域分散型モデルのそれぞれのシナリオにおいて必要なごみ収集袋量の推定結

果をそれぞれ、表 80、表 81 に示した。大規模集中型モデルでは、混合収集する S2b では 5L、10L サイズ用に 196 t/年、分別収集する S3b では生ごみ分別用に 186 t/年の PHBH 製ごみ収集袋がそれぞれ必要と推定された。地域分散型モデルでは S3a、S3b で分別収集用に 0.79 t/年の PHBH 製ごみ収集袋が必要と推定された。

表 80 大規模集中型モデルのごみ収集袋使用量の推定結果

		PE 製 [t/年]	PHBH 製 [t/年]
S1	BS	1,296	-
S2a	混合収集 PE	1,296	-
S2b	混合収集 PHBH	1,115	196
S3a	分別収集 PE	1,401	-
S3b	分別収集 PHBH	1,230	186

表 81 地域分散型モデルのごみ収集袋使用量の推定結果

		PE 製 [t/年]	PHBH 製 [t/年]
S1	BS	3.84	-
S2	分別収集 PE	3.95	-
S3a	分別収集_廃食用油 PHBH	3.20	0.78
S3b	分別収集_菜種 PHBH	3.20	0.78

<用途別の廃食用油の利用・処理量の設定>

廃食用油はごみ収集に必要な収集車燃料用の BDF 製造、PHBH 製ごみ収集袋、食品容器に利用されるとし、余剰分は焼却処理されるとした。各シナリオの用途内訳は表 82、表 83 のとおりである。

表 82 大規模集中型モデルの廃食用油の用途内訳

			ごみ収集袋	食品容器	BDF	焼却	合計
S1	BS	[t/年]	-	-	743	1,006	1,749
S2a	混合収集 PE	[t/年]	-	-	743	1,006	1,749
S2b	混合収集 PHBH	[t/年]	215	547	745	243	1,749
S3a	分別収集 PE	[t/年]	-	547	991	758	1,749
S3b	分別収集 PHBH	[t/年]	204	547	999	0	1,749

表 83 地域分散型モデルの廃食用油の用途内訳

			ごみ収集袋	食品容器	BDF	焼却	合計
S1	BS	[t/年]	-	-	2.20	2.65	4.85
S2	分別収集 PE	[t/年]	-	-	2.90	1.95	4.85
S3a	分別収集_廃食用油 PHBH	[t/年]	0.85	1.11	2.89	0	4.85
S3b	分別収集_菜種 PHBH	[t/年]	-	-	2.89	1.96	4.85

<プロセスモデル設計>

各プロセスモデルは基本的に昨年度解析ⁱⁱⁱ⁾、前述の PHBH 製生ごみ収集袋、食品容器のライフサイクル分析と同様である。シナリオ分析で新たに追加したプロセスの計算方法の概要と主要パラメータを表 84、表 85、に示した。

表 84 プロセスモデル設計概要

プロセス	概要
機械選別	・機械選別の消費電力や選別効率はタクマ（2005） ^{xxii)} を用いた
菜種栽培～輸送	・地方分散型モデルのシナリオ 3b においては、メタン発酵消化液を液肥利用するため、化学肥料由来の GHG 排出はないものとした
CHP 利用	・ビニルハウスへ供給可能な熱量はバイオガス発熱量の 15%と仮定し、同じ熱量の A 重油を代替するとした。
肥料代替	・液肥中の 3 種の栄養質（窒素、リン酸、カリウム）と等量の化学肥料を代替するとした。3 種の栄養質肥料のインベントリデータは IDEA ver 3.3 ^{iv)} より得た ・ただし、地方分散型モデルのシナリオ 3b においては、菜種栽培で消費した分の液肥使用量を差し引いた量を代替量とした。

表 85 主要な設定パラメータ

プロセス	パラメータ名称	値	単位	設定根拠
消化液性状	窒素	0.14	[%]	ヒアリング
	リン酸	0.04	[%]	ヒアリング
	カリウム	0.06	[%]	ヒアリング
機械選別	消費電力	18.8	[kWh/t-投入量]	タクマ（2005） ^{xxii)}
	選別効率：生ごみ	99.8	[%]	タクマ（2005） ^{xxii)}
	選別効率：紙ごみ	37.8	[%]	タクマ（2005） ^{xxii)}
	選別効率：プラスチック	27.1	[%]	タクマ（2005） ^{xxii)}
	選別効率：その他	70.6	[%]	タクマ（2005） ^{xxii)}
メタン発酵 （高温乾式）	VS 分解率：生ごみ	84	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
	VS 分解率：紙ごみ	66	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
	VS 分解率：木質類	20	[%]	京都高度技術研究所(2010) ^{xii)}
CHP	発電効率	34.0	[%]	ヒアリング
	熱利用率	15.0	[%]	設定値

5.3 結果

5.3.1 PHBH 製生ごみ収集袋のライフサイクル分析

原料栽培・採掘～樹脂製造段階の GHG 排出量

袋当たりのライフサイクル GHG 算定結果に先立って、樹脂重量当たりの原料栽培から樹脂製造までの GHG 排出量算定結果を図 169 に示した。

化石 PE と PHBH を比較すると、マレーシア産パーム油原料 PHBH は 23.4%、ジャトロファ油原料 PHBH は 34.3%、菜種油由来 PHBH は 21.0%の GHG 排出量増加となった。PHBH 原料間の栽培プロセスでの GHG 比較では、菜種油はパーム油と同程度であった一方で、ジャトロファはパーム油より排出量が 34.9%大きくなった。一方で、廃棄物である廃食用油を原料とした PHBH は化石 PE よりも GHG 排出量を抑えられ、23.9%の削減となった。廃食用油は原料栽培が不要であること、これまでの本実証事業の技術開発によって、廃食用油からの PHBH 生産収率がパーム油とほぼ同程度（96%）まで改良されていること、等が大きく影響している。

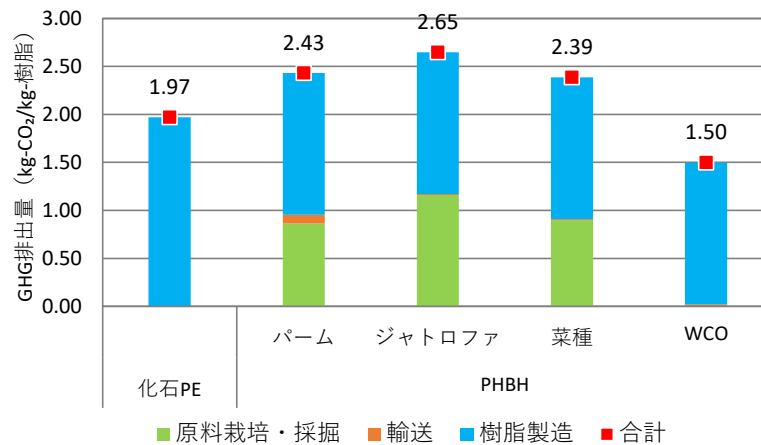
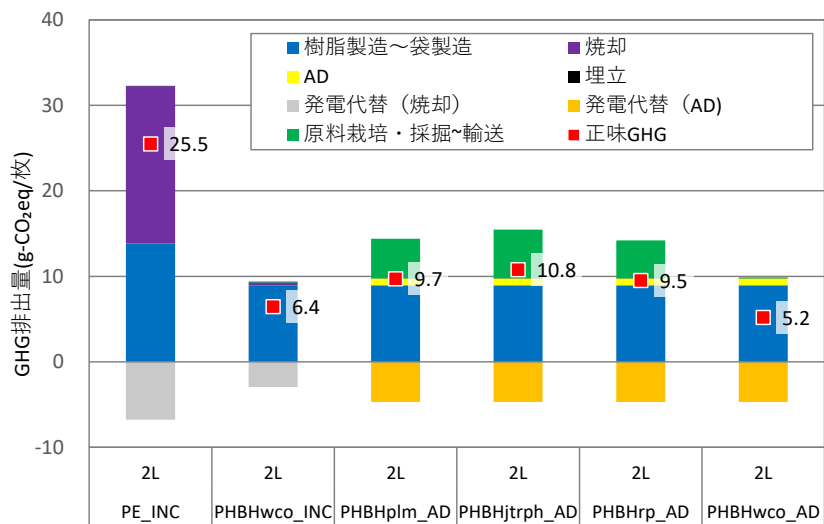


図 169 樹脂当たり原料栽培～樹脂製造に係る GHG 排出量結果

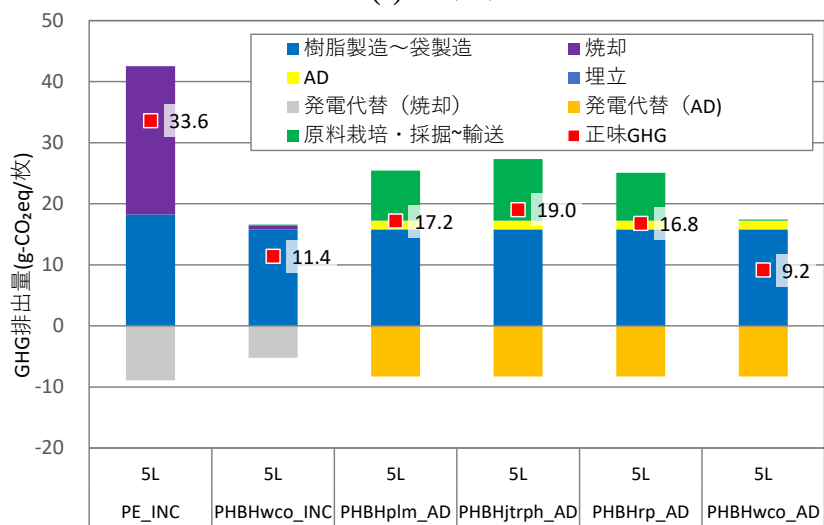
生ごみ収集袋当たりのライフサイクル GHG

生ごみ収集袋 1 枚当たりのライフサイクル GHG 算定結果を図 170 に示した。袋サイズに依らず結果は同様の傾向を示したため、以下では 10L サイズの袋について結果と考察をまとめる。ただし、2L サイズは他のサイズと比べて相対的に、PHBH 製生ごみ収集袋の形状（平袋タイプ）や肉薄化の効果が大きく表れていることから、袋サイズが小さい程、化石 PE_INC と比較した GHG 削減率は大きくなった。

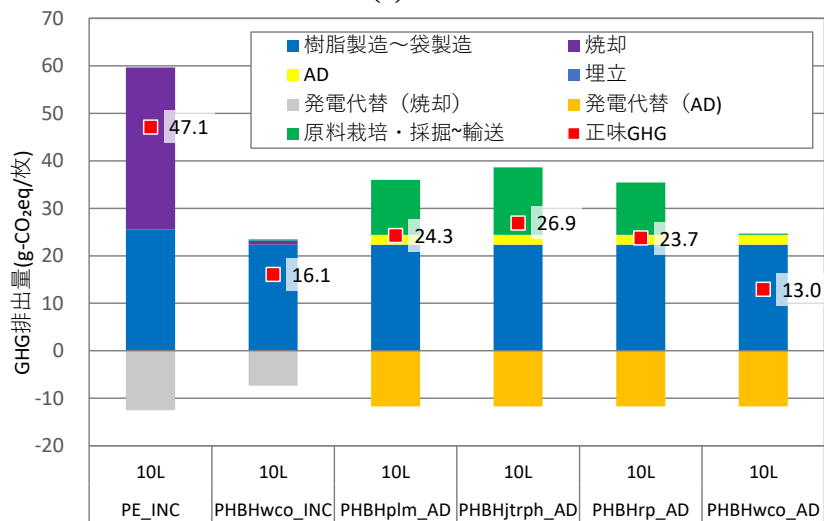
10L サイズでは、化石 PE 製生ごみ収集袋を焼却処理するケース (PE_INC) のライフサイクル GHG は 47.1 g-CO₂eq/枚であった。これに対し、PHBH 製生ごみ収集袋にメタン発酵利用するケースでは、42.9－72.5%の GHG 削減効果と算定された。栽培を伴う輸入パーム、ジャトロファ（国産）、菜種（国産）は 23.7-26.9 g-CO₂eq/枚（GHG 削減率 42.9－49.6%）となり、菜種（国産）が最も GHG 排出量が低くなったものの、原料間の差はそれほど大きくない。対して、廃棄物である廃食用油を原料とすることで 72.5%の削減率となった。PHBH 製生ごみ収集袋を焼却処理した場合 (PHBHwco_INC) であっても、65.8%の削減結果となったことから、仮に焼却処理されたとしても燃焼時 CO₂ がカーボンニュートラルである特性から GHG 削減効果が期待できることが確認された。



(a) 2L サイズ



(b) 5L サイズ



(c) 10L サイズ

図 170 生ごみ収集袋 1 枚当たりのライフサイクル GHG 算定結果

5.3.2 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 製はすべてのケースで GHG 削減効果がみられた。汎用樹脂と比較して 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。ケースごとの結果を比較すると、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するケースにおいて最大の GHG 削減効果がみられ、汎用樹脂製と比較して 66%（弁当容器本体：浅型・強制離型構造なしの PHBH 300 μm）が削減された。

PHBH の原料に着目すると、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 が 98%（12–20 kg-CO₂eq）減少し、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、PHBH 製食品容器の処理方法については、メタン発酵のケースが焼却と比較して 7–11% だけわずかに小さい GHG 排出量となった。一般に食品容器の含水率は生ごみやその収集袋よりも低く、発熱量が比較的高いことから、焼却でも一定のエネルギーを回収できる。

3 製品のうち、GHG 削減効果が最も大きくなったのは弁当容器本体：浅型・強制離型構造なしとなった。こちらの製品は一方の弁当容器本体と比較して単純な形状となっており、製造におけるサイクルタイムの改善が実現している。一方で GHG 削減効果が最小となったフードパックは、汎用樹脂製の素材が PP100% であることから炭素含有量が他 2 製品より少なく、焼却時の GHG 排出量が少ない点と、汎用樹脂製と PHBH 製の重量の差が大きい点が結果に寄与したと考えられる。

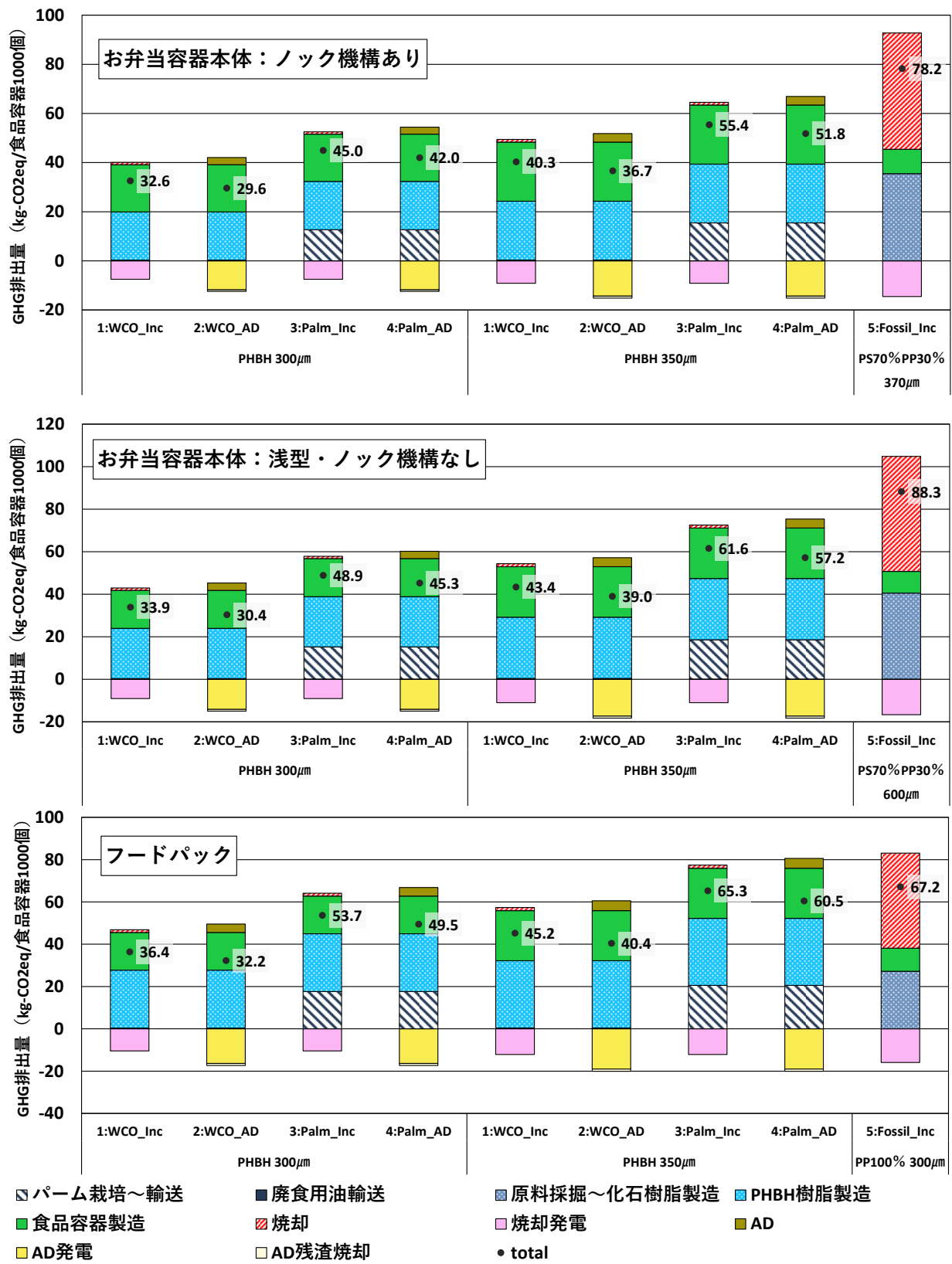


図 171 食品容器の LCA 結果

5.3.3 PHBHを導入した資源循環システムのシナリオ分析

大規模集中型モデル

図 172 に示したとおり、S1 と比較して 20.5–27.9% (1.3–1.8 万 t-CO₂eq/年) の GHG 削減効果となり、混合収集、分別収集いずれのシナリオも PHBH を導入することでより GHG を削減できる傾向が明らかとなった。最も GHG 削減効果が大きかった S3b は S1 と比較して 1.8 万 t-CO₂eq/年 (27.9%) の GHG 削減となり、そのうち蒸気発電、GE 発電による削減効果が 1.5 万 t-CO₂eq/年となった。また、ごみ収集袋、食品容器の製造に伴う GHG 排出量は S1 とほぼ同じであった。製品のライフサイクル分析で示したとおり、PHBH 原料を廃棄物 (廃食用油) としていることで、原料栽培の GHG 排出がなく、化石資源由来のごみ収集袋や食品容器と比較しても製造段階の GHG は同程度であることが影響している。

また、混合収集し機械選別の後 AD 利用するシナリオ (S2a、S2b) より、分別収集して AD 利用するシナリオ (S3a、S3b) の方がより GHG 削減効果が大きい結果となった。機械選別することでより多くの生ごみをメタン発酵、発電利用できる一方で、発酵不適物の投入量も増えることから消費電力量も増えること、発酵残渣となった発酵不適物は含水率が高いため、焼却発電の GHG 削減効果が分別収集と比べて小さくなること、等が主な要因である。

また、エネルギー起源、非エネルギー起源別に整理した結果は図 173 のとおり、S3b で 1.6 万 t-CO₂eq/年のエネルギー起源 GHG 削減となった。

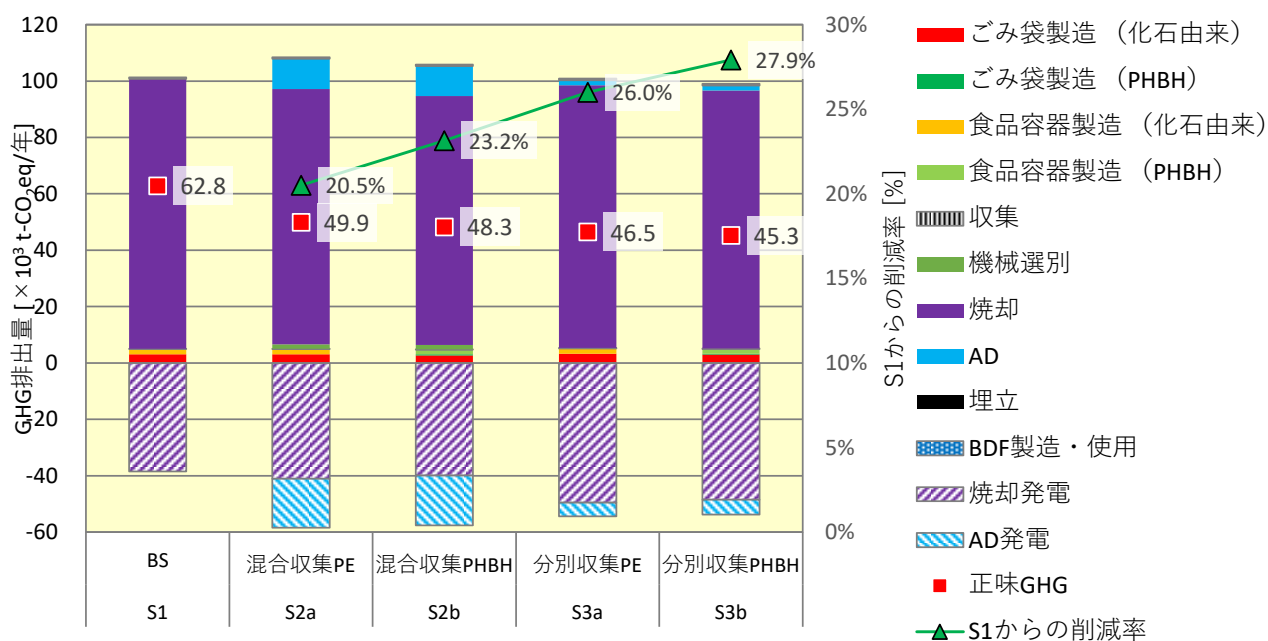


図 172 大規模集中型モデルのシナリオ分析結果 (プロセス別)

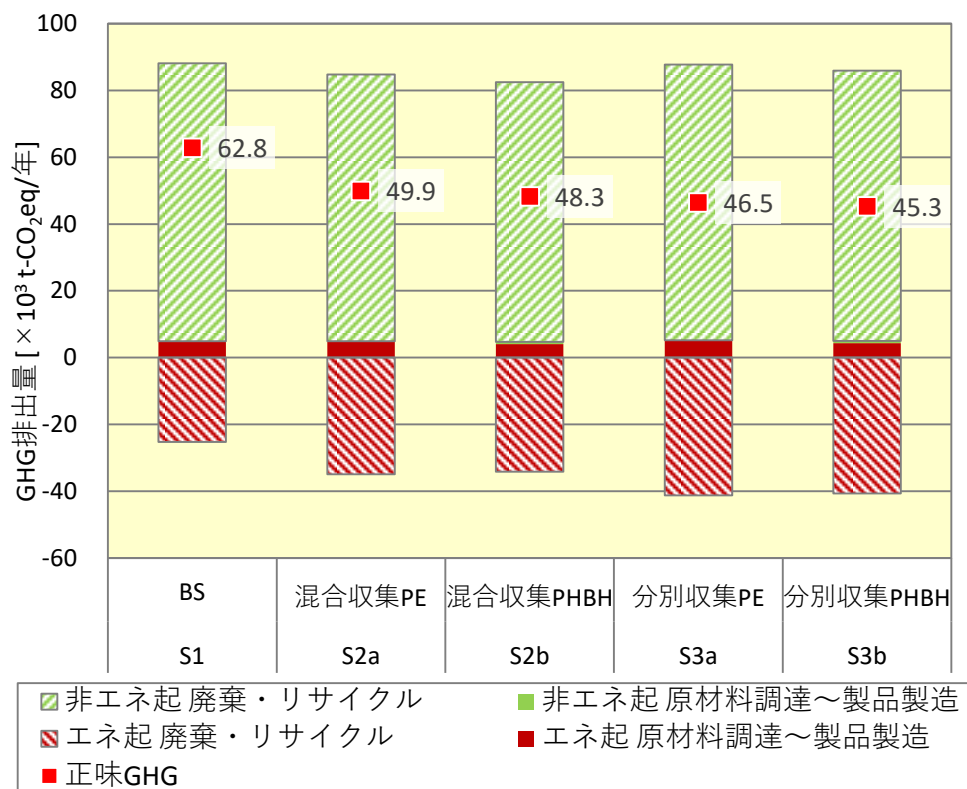


図 173 大規模集中型モデルのシナリオ分析結果（エネルギー起源・非エネルギー起源別）

地域分散型モデル

図 174 に示したとおり、S1 と比較した GHG 削減率は 12.7－17.7% (28.8－40.1 t-CO₂eq/年) となった。削減率は大規模集中型モデルよりも小さくなったが、地域分散型モデルでは発電設備を有しない焼却施設を想定しているため、焼却時の廃棄物中化石炭素（主にプラスチック）由来の CO₂ 排出量の寄与が相対的に大きくなるためである。焼却発電できない地域においては、分別収集した生ごみをメタン発酵して発電利用することで GHG を削減でき（S2）、地域熱利用や消化液利用によるエネルギー・資源循環を図ることでさらに GHG を削減できること（S3a、S3b）が明らかとなった。最も GHG 排出量が少ない S3a では、CHP 発電により 20.7 t-CO₂eq/年、ビニルハウスへの熱利用により 6.0 t-CO₂eq/年、消化液利用によって 2.8 t-CO₂eq/年の GHG 削減効果と算出された。また、PHBH 原料として菜種を利用する S3b では、菜種栽培時に消化液利用できるものの、肥料由来以外の GHG 排出は回避できないため、S3a と比べて僅かに GHG 排出量は増加した。

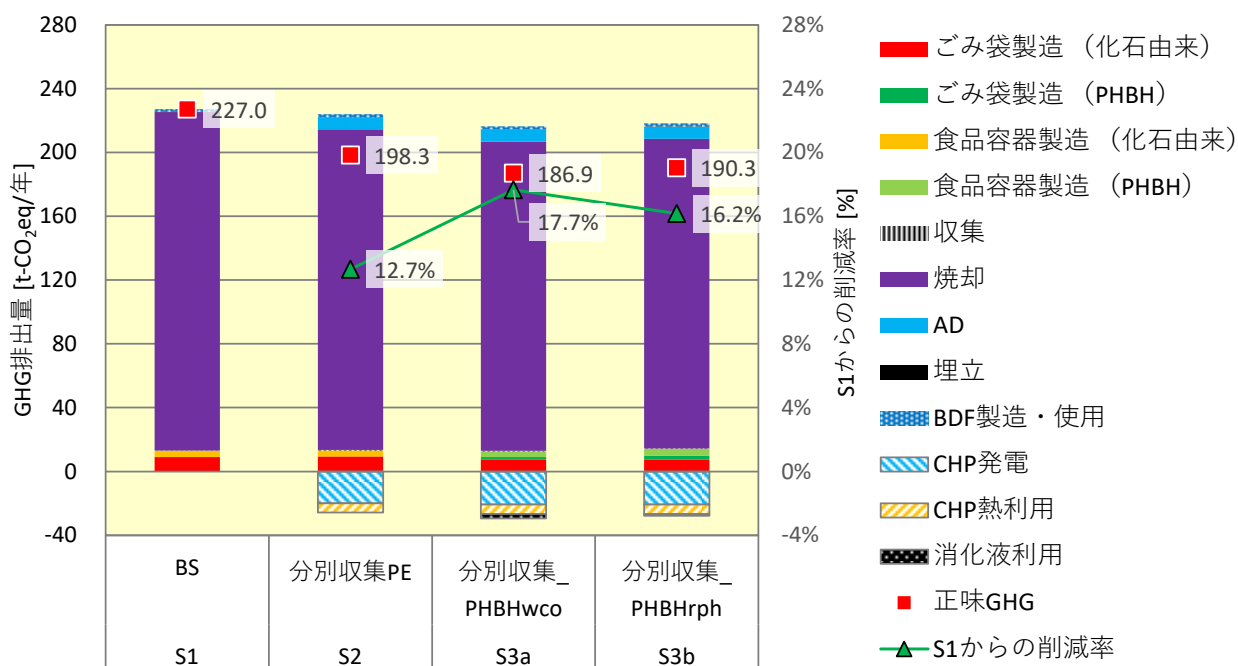


図 174 地域分散型モデルのシナリオ分析結果

<全国普及効果の推定>

前述の大規模集中型モデル、地域分散型モデルを全国の一般廃棄物処理施設に外挿し、PHBH製ごみ収集袋や食品容器を導入して生ごみを収集、メタン発酵してエネルギー・資源の循環を図る本システムの全国普及ポテンシャルを概算した。

令和3年度一般廃棄物処理実態調査^{xxiii)}から得た全国の一般廃棄物処理施設の市町村別の直接焼却量を年間処理量から日処理量に換算し、焼却施設が発電設備を持てる処理量の目安となる100 t/日以上の市町村については大規模集中型モデルを、100 t/日未満の市町村については地域分散型モデルを割り当てた。ただし、一般廃棄物処理実態調査において、メタン発酵施設を既に有している市町村については対象外とした。割り当て結果は表86のとおり、大規模集中型モデルに1.0千万 t-wet/年、地域分散型モデルに9.8百万 t-wet/年を割り当てた。また、大規模集中型モデル、地域分散型モデルのGHG排出量を燃やすごみ1 t-wetあたりに割り戻してGHG原単位とし、これに表86の処理量を乗じて全国普及ポテンシャルとした。

表 86 全国一般廃棄物焼却量のモデル割り当て設定

	処理量		適用モデル
焼却量 100 t/日以上 の 市町村のごみ処理量	10,177,856	[t-wet/年]	大規模集中型モデル
うち、生ごみ量	1,801,481	[t-wet/年]	
焼却量 100 t/日未満 の 市町村のごみ処理量	9,807,975	[t-wet/年]	地域分散型モデル
うち、生ごみ量	2,724,438	[t-wet/年]	

全国普及ポテンシャル推定結果は図175のとおりである。大規模集中型モデル、地域分散型モデルともにベースラインを適用したS1×S1ケースからの削減効果として、最大で172万 t-CO₂eq/年(22.3%)のGHG削減ポテンシャルと算定された。

				地域分散型モデル			
				S1 ベースライン	S2 分別収集PE	S3a 分別収集 廃食用油PHBH	S3b 分別収集 菜種PHBH
大規模集中型モデル	S1 ベースライン	GHG排出量	t-wet/yr	7,738,912	7,199,622	6,987,816	7,051,210
		S1比削減量	t-wet/yr	-	539,290	751,096	687,702
		S1比削減率	%	-	7.0%	9.7%	8.9%
	S2a 混合収集PE	GHG排出量	t-wet/yr	7,024,002	6,484,713	6,272,906	6,336,301
		S1比削減量	t-wet/yr	714,910	1,254,199	1,466,006	1,402,611
		S1比削減率	%	9.2%	16.2%	18.9%	18.1%
	S2b 混合収集 PHBH	GHG排出量	t-wet/yr	6,931,899	6,392,609	6,180,803	6,244,197
		S1比削減量	t-wet/yr	807,013	1,346,303	1,558,109	1,494,715
		S1比削減率	%	10.4%	17.4%	20.1%	19.3%
	S3a 分別収集PE	GHG排出量	t-wet/yr	6,832,401	6,293,111	6,081,305	6,144,699
		S1比削減量	t-wet/yr	906,511	1,445,801	1,657,607	1,594,213
		S1比削減率	%	11.7%	18.7%	21.4%	20.6%
	S3b 分別収集 PHBH	GHG排出量	t-wet/yr	6,766,017	6,226,727	6,014,920	6,078,315
		S1比削減量	t-wet/yr	972,895	1,512,185	1,723,992	1,660,597
		S1比削減率	%	12.6%	19.5%	22.3%	21.5%

	: PHBH製収集袋の導入を行うシナリオを含む組み合わせ
	: 分別収集の導入を行うシナリオを含む組み合わせ
	: PHBH製収集袋と分別収集の両方の導入を行うシナリオを含む組み合わせ

図 175 適用モデル組み合わせ別の全国普及ポテンシャル概算結果

5.4 事業4の成果の要点

PHBH 製生ごみ収集袋、食品容器のライフサイクル分析により、廃棄物である廃食用油を原料として PHBH 製品を製造し、廃棄時にはメタン発酵利用することが最も GHG 排出量が小さいシステムであることを確認した。そして、京都市をケーススタディとして、PHBH を生ごみ収集袋や食品容器に利用し、生ごみとともにメタン発酵利用しエネルギー回収し、需要がある地域では消化液を農地利用する資源循環システムについて、大規模集中型モデルと地域分散型モデルに類型化して GHG 削減効果を定量化した。その結果、大規模集中型モデルでは最大で 27.9%、地域分散型モデルでは 17.7%の GHG 削減効果となった。これらのシステムの全国普及ポテンシャルとして最大で 172 万 t-CO₂eq/年 (22.3%) の GHG 削減ポテンシャルと算定された。なお、実際には市町村によって生ごみ組成やエネルギー・資源需要等の地域特性は様々であり、PHBH 原料の選択や生ごみ収集方法、メタン発酵残渣の利活用方法を勘案して地域に応じた循環システムを検討することが重要となる。

-
- i) IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (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) 公益財団法人京都高度技術研究所：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（2023）
 - iv) 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 3.3
 - v) 一般社団法人環境・エネルギー事業支援協会：バイオマス液体燃料発電事業ライフサイクル GHG 試算結果と今後の取組について、総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会、新エネルギー小委員会バイオマス持続可能性ワーキンググループ、第 12 回資料 4（2021）（閲覧日：2024 年 1 月 31 日）
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/shin_energy/biomass_sus_wg/pdf/012_04_00.pdf
 - vi) 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
 - vii) プラスチック循環利用協会：樹脂加工におけるインベントリデータ調査報告（2020）
 - viii) 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）
 - ix) 環境省：電気事業者別排出係数一覧 令和 3 年度実績（2023）
 - x) 日本工業炉協会：工業炉ハンドブック（1997）
 - xi) 公益社団法人全日本トラック協会：トラック早わかり その他（閲覧日：2024 年 1 月 31 日）
<https://jta.or.jp/ippan/hayawakari.html>
 - xii) 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）
 - xiii) 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）
 - xiv) 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）
 - xv) 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）
 - xvi) 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）
 - xvii) 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)
 - xviii) 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
 - xix) 京都市情報館：これまでのごみ量の推移（閲覧日：2024 年 2 月 1 日）
<https://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000158/158436/transition.pdf>
 - xx) 京都市環境政策局：令和元年度京都市家庭ごみ細組成調査報告書（2020）
 - xxi) 一般社団法人びっくりエコ研究所：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）委託業務成果報告書（2023）
 - xxii) 株式会社タクマ：平成 17 年度次世代廃棄物処理技術基盤整備事業補助金 技術開発報告書（2005）
 - xxiii) 環境省：一般廃棄物処理実態調査 令和 3 年度調査結果 市町村集計結果（ごみ処理状況）、
https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/r3/index.html（閲覧日：2024 年 2 月 1 日）

6. 事業全体の令和5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、比較的浅型で離型性の良い弁当容器について実販売可能な製品成形技術を確認するとともに耐熱性を確認した。また、生分解機能を有効に活かすことのできる育苗ポットも試作した。廃食用油からの PHBH 製造時の発泡による生産性低減回避技術として、初発培養液量を低減することと新株育種によりパーム油比同等の生産性を達成した。さらに京都市京北地域で PHBH 製生ごみ袋を用いて回収した家庭系生ごみと事業系生ごみをバイオガス化する実証試験を実施し、PHBH 製品の分解性を確認するとともに、バイオガス・消化液の有効利用を行い、社会実装に向けた課題を整理した。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、ジャトロファの京都・岡山・愛媛での無加温ビニルハウス・ポット栽培での越冬、菜種の京都・岡山での消化液による栽培が化成肥料に勝ることを確認した。また、グリーストラップ油の採取源としては、工場と浮上油脂自主回収を行う飲食店が有望であることが分かった。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)カネカが改良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てきた結果、深さが浅く(30 mm 以下)、容器仕切の傾斜角が緩やかで、離型性の良い製品については、隣接する金型の間隔を広くし偏肉の対策を行うことで、シャープな成形と穴あきの防止、成形後のシートしわについて解消できることを確認、一部シート厚みムラ等で発生する僅かな穴あきも検品で対応が必要であったが、形状の安定、シート表層ムラ、製造サイクルタイムについて大幅に改善したため社会実装に向けた成形技術の確立ができた。本事業での様々な用途での検証により、弁当容器での実販売可能製品の確立は大きな成果である。

レンジアップを想定した耐熱試験を実施し、耐熱温度 120℃を確認した。また、イベントでの使用について、日本医薬品情報学会総会・学術大会で弁当容器として 1,400 食を実使用した。使用済み容器を全量回収して粉碎物を生ごみと一緒にバイオガス化施設に投入後、発酵槽、消化液での分解が確認できており、リサイクルシステムの確認もできた。

また、環境への流出が避けられない用途として、林産や農産向けの育苗ポットを試作した。現状の PHBH シート性状では穴あきや破れの解消は困難であるが、うまく成形できた育苗ポットを圃場に埋設したところ崩壊・分解が進んでいることが確認できた。シート自体の熔融張力や熔融粘度の改良で育苗ポットの成形の可能性も期待できる。

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、昨年度、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が、本年度は酸価の低いジャトロファ油の PHBH 培養試験を実施したところ非常に高い生産性が確認できた。従って、ジャトロファ油についても精製過程で油脂の分解を抑

制するなどの工夫によって酸価を低く抑えることで、良好な PHBH 原料として使用可能であることを確認できた。

グリーストラップ由来の油脂については、PHBH 培養試験結果では、店舗や工場の管理状況によって、使用可否が異なる結果となった。PHBH の生産性を評価するために 10L のジャーファーメンターの結果のみではサンプル数が不足するため、フラスコ培養で評価する方法の採用により試験数を増やすこととした。その結果ヨウ素価との生産性の相関は認められず、油脂混入物に関しても昨年度予想した香辛料の添加物は油脂への移行がほぼないことが確認された。一方で店舗の管理に使用する洗剤や殺虫成分の混入が影響している可能性が高いと推測される。

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、本事業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、菜種油）の原料化の検討を進めてきたが、フラスコ培養など簡便な方法でスクリーニングすることは有効と考えられる。

6.1.3 廃食用油からの PHBH 製造収率を向上する技術開発

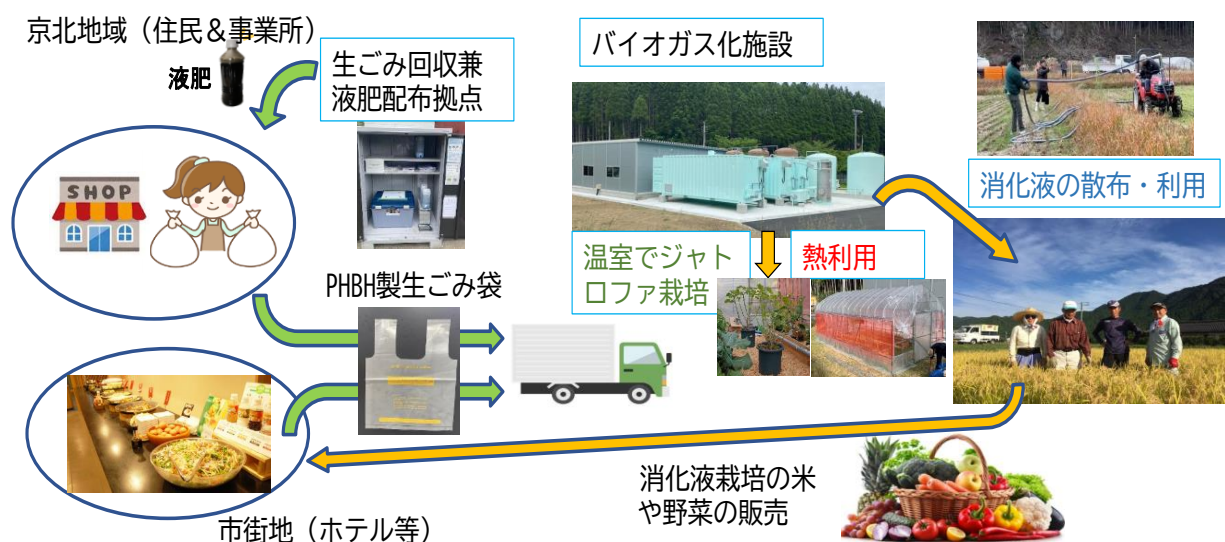
廃食用油からの PHBH 生産性向上については、培養液発泡の要因となるタンパク質の培養液中濃度の低減技術の実証試験を実施したが、10L ジャーファーメンターでの評価とは異なり、培養中のタンパク質濃度の低減効果が得られなかった。原因は水圧や攪拌によって異なるためと想定される。

そこで初発培養液量を低減させることで液面を下げ発泡時の培養液漏洩リスクを低減することでより多くの廃食用油を添加できるようにするとともに高ヨウ素価向けに生産性向上が図れる新株育種によりパーム油比 100%の生産性を達成でき、3HH 組成も 6.2mol%とパーム油同等の値が得られた。

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、京都市京北山国地区に中山間地域での社会実装を想定した日量 1 トン規模のバイオガス化実証試験設備を設置・稼働させ実施した。改良した PHBH 製生ごみ袋を用いて各世帯より 7ヶ所の回収拠点に分別排出された家庭系生ごみと別途回収した給食ごみや市場ごみなどの事業系生ごみを合わせて本試験設備にて処理する試験を実施した。この実証試験において PHBH 製生ごみ袋と PHBH 製食品容器を生ごみとともに投入し、生ごみのバイオガス過程で PHBH 製品が視認できない程度に分解することを確認した。さらに消化液をタンクに保管して PHBH 製品のカット片をその中に吊るし、分解することも確認した。本結果は農林水産省にも報告し、実績の蓄積手順に関する見通しを得た。また、ビニルハウスを設置し、バイオガス給湯で加温したハウス内で、副生する消化液を液肥として利用してジャトロファなど種々の植物を栽培するとともに消化液の農地への散布試験を実施し土壌への施肥効果を確認した。消化液の農業利用により生産された農作物を市街地で販売し、そこで発生した生ごみをバイオガス化処理するといった仕組みは、中山間地域と市街地を結んだ地域循環共生圏の構築にも貢献すると考えられる（下図のイメージ）。



薄膜化を図るとともに形状を改良した PHBH 製生ゴミ袋の評価としては、使用された住民から改良前のように破れやシール部からの漏れの指摘もなく、耐久性で実用上問題がないことが確認された。

これら 1 トン／日規模の実証試験を実施したことで得られた運転体制、市街地からの事業系生ごみの受け入れ、設備の維持管理等に関する情報を基に、小規模分散型バイオガス化施設を整備する際に参考となるよう事業収支の試算を行った。

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生ゴミ袋への投入」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。

6.3 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、これま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 500 g 程度、1 ヘクタールの樹園あたり年間 2500 kg の種子生産を国内栽培目標と設定した。

ジャトロファ樹の露地栽培については、温暖な岡山笠岡市、愛媛県松山市でも越冬はできず枯死した。しかし、京都での無加温ビニルハウスでのポット栽培においては、地上部を伐採することで翌年に萌芽することを確認できた。また、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が、そのためには一年草から選定によって、3 本程度の分枝を確保することが望ましい。無加温ビニルハウスでのポット栽培の最大収穫量は、1 樹 1 年あたり果実 40 個、種子 120 g であり、目標の 500 g に対してはまだ 24% であるが、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おり、樹齢を重ねた個体での目標達成を期待したい。

菜種については、これまでの結果から、水田裏作での生産量として 1 ha あたり 1,200kg を栽培目標

と設定した。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た栽培で、1 ha あたり 870 kg の収穫にとどまっているが、近年飼料価格が高騰していることから、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も視野に入れて、菜種を畜産の盛んな岡山県笠岡市にて菜種と相性の良いメタン発酵消化液を用いて栽培することを試みている。

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

消化液の液肥としての肥料成分を確認するため、定期的に消化液を採取し分析を行った。その結果、窒素全量は 0.13~0.18%、りん酸は 0.01~0.05%、加里は 0.04~0.08% となった。

また、安全性を確認するため二つの方法で消化液の植害の有無を評価した。すなわち播種したイネが活着、苗立ちしたのち、消化液を与える「苗立ち後施用の評価」と飽水・代かきに希釈した消化液を与え、ここに水稻種子を播種して苗立ちへの影響を見る「代かき時施用の評価」である。水稻への消化液施用量は、多くの場合、1 反の水田に 3~4 トンであり、これはアンモニア態窒素の施肥量として 6~8 kg に相当する。ここでの試験では、ポット表面積 100cm² あたり最大 100mL の消化液を与えており、これは 1 反あたり 10 トンの消化液施用に相当するので、通常の施用量を超える消化液を与えた場合でも、健全な生育が得られており、今回供試した消化液は、適正量を与えれば、植害なく使用できると評価した。

消化液の散布方法として、トラクターによる散布、流し込みによる散布、バキューム車からの直接散布を検討し、散布に必要な人工・所要時間等を確認した。さらに、散布前後の土壌を確認した結果、EC、アンモニア態窒素、硝酸態窒素は増加しており、液肥の散布効果があることが確認でき、なおかつ腐植の結果から流し込み散布によるムラがないことも確認できた。

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

本課題では、従来の飲食店に加え、工場及び自主回収を通して高頻度で廃油脂を回収している飲食店のグリーストラップから採取したサンプルの分析と毒性評価を実施した。その結果、培養阻害を回避し、安定的な PHBH 生産に資する廃油脂の回収、利用方法として次の結論を得た。

- 1) 廃油脂の酸価上昇の抑制には、排出源での適切な浮上油脂の自主回収が有効である。
- 2) 微生物培養への阻害性の低い廃油脂の採取源として、工場と浮上油脂自主回収を行う飲食店が有望である。
- 3) 阻害性の高い廃油脂は、阻害性の低い油脂を用いた希釈によって緩和可能である。

工場のグリーストラップ由来の廃油脂は比較的阻害性が低く、さらに回収事業者へのヒアリングによれば飲食店 1 ヶ所あたりから回収される油量の 100 倍程度が普通であるということから、原料としては一般的な飲食店のそれよりも効率的、安定的な PHBH の生産原料として有望であると考えられる。一方、工場での回収で用いられることの多いバキューム回収によるグリーストラップ内容物の一括回収は油脂の質や分離効率の点から望ましくなく、浮遊油泥を分けて回収するべきであることは昨年度の報告においても言及した。工場ではグリーストラップの規模が大きいことから、人力で浮上油泥を効率的に回収することが困難であるため、効果的な油泥回収装置等の技術開発や回収作業者の育成も必要であると考えられる。また、回収後の対策として、食用油脂中の農薬濃度を吸着剤等を用いて低減できている例もあるので、希釈することの他に洗浄や吸着といった前処理も検討すべき選択肢として考えられる。

なお、今回、対微生物の阻害ポテンシャルを規格化された手法で評価するため、発光細菌由来の発

光強度の変化を用いたバイオアッセイを実施した。最大 10,000 mg/L の 5 段階以上の異なる濃度の油脂サンプルを含有する緩衝液を使ったアッセイから、油脂添加なしの場合と比較して 50%発光強度が減少する油脂濃度を IC50 として算出するものであるが、フラスコを用いた培養試験と合わせて、多方面から入手した多数の油脂を少量のサンプルで簡易にスクリーニングする手法として有効と考えられる。

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）

PHBH 製生ごみ収集袋、食品容器のライフサイクル分析により、廃棄物である廃食用油を原料として PHBH 製品を製造し、廃棄時にはメタン発酵利用することが最も GHG 排出量が小さいシステムであることを確認した。そして、京都市をケーススタディとして、PHBH を生ごみ収集袋や食品容器に利用し、生ごみとともにメタン発酵利用しエネルギー回収し、需要がある地域では消化液を農地利用する資源循環システムについて、大規模集中型モデルと地域分散型モデルに類型化して GHG 削減効果を定量化した。その結果、大規模集中型モデルでは最大で 27.9%、地域分散型モデルでは 17.7%の GHG 削減効果となった。また、これらのシステムの全国普及ポテンシャルとして最大で 172 万 t-CO₂eq/年（22.3%）の GHG 削減効果があると推計された。

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。

今後、これらの成果のブラッシュアップに引き続き取り組むことによって、社会実装を目指すこととしたい

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 回検討会及び現地視察会	10 月 19 日 13:30~17:30	Zoom 会議室 及び京都里山 SDGs ラボ	(1) 事業概要と本年度の計画概要 (2) 本年度計画及び R5 年度進捗状況まとめ <用途展開・製品開発> ・ PHBH 製食品容器の開発状況 ・ 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> ・ 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 製生ごみ袋の改善状況 <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> ・ 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） 現地視察（バイオガス化施設見学）
第 2 回検討会	1 月 19 日 9:00~12:00	Zoom 会議室	(1) 事業概要と R5 年度成果のまとめ (2) 各テーマの進捗状況について <用途展開・製品開発> ・ PHBH 製食品容器の開発状況 ・ 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 <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> ・ 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） (3) 最終目標と達成状況の総括

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

日時	開催場所	開催内容
4月21日 10:00-12:00	Zoom による会議	・ バイオガス化プラントへの事業系生ごみ搬入計画、実証スケジュール等について
5月12日 13:00-15:00	Zoom による会議	・ 京都市提出実験計画書について
6月1日 14:30-16:00	京都市役所会議室	・ バイオガス化プラント地元住民見学会について
6月7日 16:00-16:40	Teams 会議室	・ グリーストラップ由来油脂の検討の進め方について
6月29日 10:00-12:00	Zoom による会議	・ バイオガス化プラント事業系生ごみ搬入計画について
7月3日 15:00-16:00	ASTEM 会議室	・ 京都市実験計画書変更協議について
7月21日 9:00-12:00	京北ことす会議室	・ PHBH 生ごみ袋配布確認について
9月6日 13:00-15:00	京都市役所会議室	・ バイオガス化プラント処理対象物、PHBH 袋の破碎方法、作業体制等の整備について
9月28日 11:00-12:00	Teams 会議室	・ グリーストラップ由来油脂の検討状況及び PHBH 収率向上について
10月3日 16:00-17:00	京都市役所会議室	・ 液肥利用方法、事業性評価のための経費実績整理、実証時備品等の過不足について
11月6日 15:00-17:00	京都市役所会議室	・ 液肥散布方法の事例協議、事業系生ごみの調達、搬入スケジュールの調整について
11月20日 13:00-14:00	Teams 会議室	・ グリーストラップ由来油脂の検討状況及び培養生産試験の進め方について
1月11日 13:00-15:00	京都市役所会議室	・ PHBH 袋の分解実験方法、バイオガス化プラント実証成果の確認について

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	発表者
8月	日本接着学会機関紙「接着の技術誌」Vol.43 No.1	(株) カネカ 福田竜司

2.3 その他

種類	日付	内容	発表者等
講師	6月29日（木）	新化学技術推進協会（JACI）環境技術部会勉強会（主催：JACI 環境技術部会）	(株) カネカ 福田竜司
講師	7月6日（木）	おおさかプラスチック対策推進プラットフォーム排出抑制事業スキーム分科会（主催：大阪府）	(株) カネカ 福田竜司
講師	7月26日（水）	繊維加工技術研究会第64回講演会（主催：繊維加工技術研究会）	(株) カネカ 福田竜司
講師	9月8日（金）	大阪バイオプラスチックビジネス推進ネットワーク（OBPN）セミナー（主催：西日本プラスチック製品工業協会）	(株) カネカ 福田竜司
講師	9月22日（水）	3R・循環経済研究会 第5回研究会（主催：公益財団法人廃棄物・3R研究財団）	(株) カネカ 福田竜司
講師	11月6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	11月29日（水）	国際プラスチックフェア（IPF Japan2023）主催者企画 先端技術セミナー（主催：国際プラスチックフェア協議会）	(株) カネカ 福田竜司
講師	11月30日（木）	第32会ポリマー材料フォーラム（主催：高分子学会）	(株) カネカ 福田竜司
講師	12月20日（水）	地球環境と産業化研究会（SGEIS）第12回「脱炭素と省エネビジネス」勉強会（主催：地球環境と産業化研究会）	(株) カネカ 福田竜司