

バイオプラスチック実用化研究（第一報）

小宮直己*¹ 川翔真*¹ 山田岳大*¹ 坂本大輔*²

Research for the Practical Application of Bioplastics

KOMIYA Naoki*¹, KAWA Shoma*¹, YAMADA Takehiro*¹, SAKAMOTO Daisuke*²

抄録

日本の農業では人手不足解消に向けた作業効率向上と、ごみ排出抑制や脱炭素など環境負荷低減が求められており、生分解性資材の需要が増加している。土壌や海洋中で水と二酸化炭素に分解されるプラスチック（PHA：P3HB-co-3HHx）を農業資材に活用することができれば、使用後に土壌へ還元され、その廃棄処分費用や作業負荷も低減させることができるため、サーキュラーエコノミーへとつながる製品となる。本研究では農業資材として必要なPHAの耐久性と分解性を調査した結果、夏季の農地で2ヵ月まで形状を維持する耐久性を有し、その後崩壊することが分かった。

キーワード：PHA，分解・耐久性，農業資材，フィールドテスト，サーキュラーエコノミー

1 はじめに

プラスチックは安価で成形加工性が良く、量産性が高いことから、家電や自動車等の様々な用途の製品に適用され、市場を拡大させて社会を豊かにしてきた。プラスチック産業は大量生産・大量消費・大量廃棄による線形経済を主体としている。そのため、産業が発展し市場規模が拡大すると、プラスチックの原材料となる資源の確保の問題、及びプラスチック廃棄処理の際に生じる温室効果ガスの発生や環境中へのごみの流出といった環境問題が顕在化している。

これらの環境問題を解決する方法として、脱炭素やリデュース・リユース・リサイクルの3Rが推進されてきた。近年では、経済発展を伴いながら資源を効率的・循環的に利用する循環経済「サーキュラーエコノミー」が推進されている¹⁾。さらなる環境負荷低減や経済発展には、サーキュラーエ

コノミーへの転換に加え、2019年5月31日に策定された「プラスチック資源循環戦略」にもある²⁾バイオプラスチックの利用促進が重要である。

環境配慮の観点から、バイオプラスチックの中でも、非化石燃料由来であり、環境中で生分解するプラスチックに着目した。当センターでは、特に微生物により産生され、土壌や海洋等の環境中の微生物の働きで水と二酸化炭素に分解されるポリヒドロキシアルカン酸からなるプラスチックのうち、3-ヒドロキシブチレート（3HB）と3-ヒドロキシヘキサネート（3HHx）の共重合体であるP3HB-co-3HHxに着目し研究開発に取り組んできた^{3,4)}。

今後は、市場開拓を見据えた適用先の検討が必要である。P3HB-co-3HHxは生体親和性が高いことから医療分野においても利用が進んでいる。また、カトラリーや食品関連への適用、課題を抱える農業資材への適用が期待されている⁵⁾。

近年、日本の農業は高齢化や担い手不足等の課題を抱えており、作業効率の向上が求められている。また、ゴミや温室効果ガス等の環境負荷の低

*¹ 機械技術担当

*² 化学技術担当

減も重要な課題である。従来から広く使用されるプラスチック製の農業資材は、廃棄処理に伴う温室効果ガスの発生、意図しない使用中の製品一部の環境流出等により環境負荷の一因となっている。これらの環境課題を踏まえ、農業資材にP3HB-co-3HHxを活用することにより、使用後は土壌に埋め込んでも分解されるため、廃棄物の回収や処理に伴う費用や作業負荷も削減でき、持続可能な経済発展を目指すサーキュラーエコノミーの実現に寄与する製品となりうる。そこで、令和6年度から資源循環型農業資材の開発に向けた研究を実施した。

農業資材への適用に向けては、まずP3HB-co-3HHxの分解性や耐久性の把握、農作物への影響、分解における環境影響の調査が重要である。P3HB-co-3HHxについては、試験土壌や海漂林といった実際の環境、または分解酵素を用いた分解性や耐久性の調査が行われている^{6,7,8,9)}。農地は作物の生産性向上のために改良されており¹⁰⁾、P3HB-co-3HHxの耐久性は試験土壌や自然環境と異なることが予想される。しかしながら、農地でのP3HB-co-3HHxの特性は十分に評価されていない。

そこで、埼玉県の3つの研究機関が連携し、P3HB-co-3HHxの農業資材への適用について検討した。研究体制を図1に示す。製品化に係る開発研究を担う産業技術総合センターを中心に、環境評価は環境科学国際センター、農業に関する助言・評価は農業技術研究センターが担い、それぞれ検討した。

当センターでは、農地におけるP3HB-co-3HHxの耐久性・分解性の影響を評価し、その一部を学会で報告した¹¹⁾。本報告では、その内容に詳細な結果を加えるとともに、農作物の生育や安全性への影響を検討した結果について述べる。

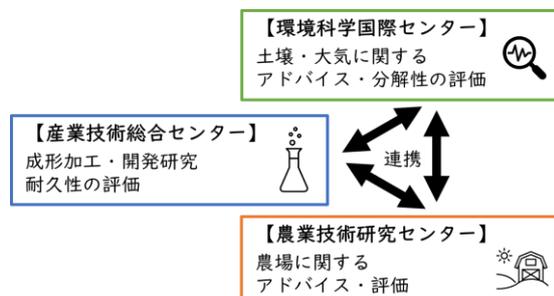


図1 研究体制

2 実験方法

2.1 試験片作製

試験片の材料には、3HHxの共重合割合が25mol%であるP3HB-co-3HHxを用いた。射出成形機（Rambaldi社、Babyplast6/12P）にて厚さ2mm、40mm角板に成形した。その後、熱プレス機（㈱アズワン、AH-2001）で厚さ0.5±0.1mmのシートに成形した。その後、試験片打ち抜き刃（高分子計器㈱）によりJIS K 6251引張 8号形に調製した。

2.2 農地耐久性試験

評価期間は夏季の4ヵ月間とした。評価場所として、資源循環型社会の構築を目指す環境整備センター（埼玉県大里郡寄居町大字三ヶ山）に整備されたパイロットファーム（図2）を選定した。評価スキームを図3に示す。パイロットファームの土壌を投入したプランター（長さ:503mm、幅:670mm、高さ:473mm）に、試験片（n=3）とその土壌を入れた不織布製の袋を複数個入れた後、覆土した。使用した土壌は、牛糞堆肥を約1.6vol%施肥された赤土である。

農作物への影響を評価するため、覆土1ヵ月後に試験片近傍でジャガイモの植え付けを実施した。作物育成状況を見ながら、食品残渣からなるリサイクル堆肥（㈱アイル・クリーンテック、めばえ）を追肥した。

試験片は1ヵ月ごとに取り出し、デジタルマイクロスコープ（ライカマイクロシステムズ、DVM6）による表面観察と、赤外分光光度計（サーモフィッシャーサイエンティフィック、Nicolet iN10MX+Nicolet iZ10）による分析を行った。そして、覆土4ヵ月後に、ジャガイモを収穫し、外観評価による生育状態も確認した。その他、収穫したジャガイモは、作物の安全性について、P3HB-co-3HHx成形品製造時に現状唯一混入が懸念される重金属類のうち、農林水産省が公表している有害化学物質（カドミウム、ヒ素、鉛及び総水銀）の影響を評価した。



図2 パイロットファームの外観

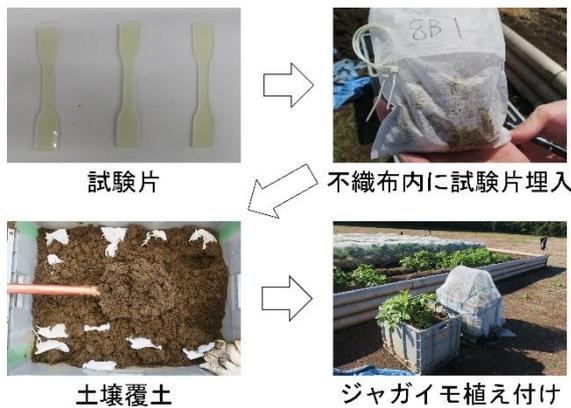


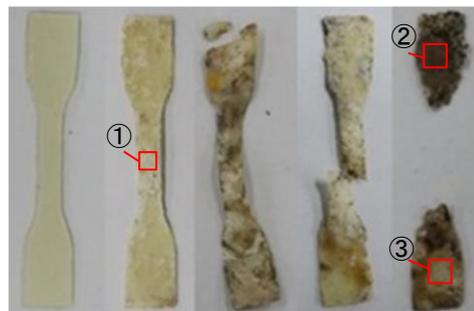
図3 農地における耐久性評価のスキーム¹⁾

3 結果及び考察

覆土前の試験片と覆土1ヵ月後から4ヵ月後の試験片の外観写真を図4に示す。覆土1ヵ月後では表面状態に変化が見られるが、元の形状を維持している。しかし、2ヵ月以降では、試験片が分断し、試験片の崩壊が始まったことが確認できる。覆土4ヵ月後の試験片では、サンプルの大半が崩壊した。図5に覆土1ヵ月後の試験片(図4①の領域)と、図6に4ヵ月後の試験片(図4②の領域)の表面拡大写真を示す。覆土1ヵ月後では、覆土前には平滑であった表面が凹凸状に変化した。覆土4ヵ月後では、表面に、赤茶色の繊維状の物質がフィルム状に形成していることを確認した。

赤茶色の繊維状の物質が緻密に集合している箇所(図4②)と試験片の表面が露出した箇所(図4③)の赤外吸収スペクトルを図7に示す。③はブランクのスペクトルとほぼ同様であった。一方、②のスペクトルは、 $1500\sim 1700\text{cm}^{-1}$ のアミド結合に由来するピークや、 3400cm^{-1} 付近や 1100cm^{-1} 付近の多糖類に由来するピークが見られ、カビのスペ

クトル¹²⁾と類似していた。これら表面観察及び赤外分光光度計のスペクトルから、赤茶色の繊維状の物質はカビであると推察した。時間の経過に伴い、試験片表面付近でカビ等の微生物が繁殖したことにより、試験片の崩壊が進んだと考察した。図8に試験片近傍で成長したジャガイモの外観を示す。通常の農作物と比較して遜色なく生育し、収穫物も外観で異常は確認されなかった。収穫物に対し、有害化学物質(カドミウム、ヒ素、鉛及び総水銀)含有調査を実施し、 0.01ppm (総水銀のみ 0.001ppm)を超えて検出される物質はなかった。



0ヵ月 1ヵ月 2ヵ月 3ヵ月 4ヵ月

図4 覆土後の試験片外観経時変化



図5 覆土1ヵ月後の試験片表面拡大写真



図6 覆土4ヵ月後の試験片表面拡大写真

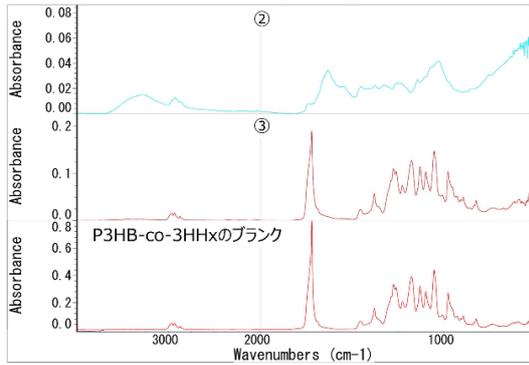


図7 試験片の赤外吸収スペクトル¹¹⁾



図8 試験片近辺の収穫物（ジャガイモ）の外観

4 まとめ

本研究では、農業資材への活用に向けて、農地における非化石燃料由来の生分解性プラスチック（P3HB-co-3HHx）の耐久性、分解性、並びに農作物の生育や安全性への影響を検討した。

夏季の農地で覆土されたP3HB-co-3HHxは2ヵ月まで形状を維持する耐久性を有し、その後崩壊することが分かった。分解が進行した試験片では表面にカビと考えられる繊維状の物質がフィルム状に形成された。試験片近傍の農作物は通常の作物と同等に生育し、重金属において収穫物から指標を超えるものはなかった。

夏季の農地において、2ヵ月程度まで形状を保ち、その後分解が求められる育苗ポットのような農業資材への適用が有効であると推察された。

参考文献

- 1) 経済産業省 産業技術環境局，“資源循環経済対策の現状と課題について”，(2023).
- 2) 環境省，“プラスチック資源循環戦略につい

- て”，<https://plastic-circulation.env.go.jp/about/senryaku> (accessed 2025.09.26).
- 3) 山田岳大, 井上浩三, クマール ケー スデッシュ, “樹脂組成物、その成形品、並びにエラストマー組成物及びその成形品の物性を変化させる方法”, 特開 2023-093388.
- 4) 山田ほか, “生分解性バイオプラスチックの耐久性に関する研究”, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, vol. 22, no. 2, pp. 6-10 (2024).
- 5) 加部泰三, 岩田忠久, “自然環境中で分解する繊維～微生物産生ポリエステル繊維の作製と酵素分解性～”, 繊維学会誌, vol. 75, no. 3, pp. 162-168 (2019).
- 6) 小池ほか, “赤外分光イメージングによるポリヒドロキシアルカン酸 (PHA) バンド球晶の結晶配向と分解速度の関係性評価”, プラスチック成形加工学会第 36 回年次大会, H-105 (2025).
- 7) 小野ほか, “CNF 補強による生分解性プラスチックの土壌試験における分解性”, プラスチック成形加工学会第 31 回秋季大会, A-202 (2023).
- 8) Post, Wouter et al, “Effect of mineral fillers on the mechanical properties of commercially available biodegradable polymers”, *Polymers*, vol. 13, no. 3, 394 (2021).
- 9) Sridewi, Nanthini et al, “Degradation of commercially important polyhydroxyalkanoates in tropical mangrove ecosystem”, *Polymer degradation and stability*, vol. 91, no. 12, pp. 2931-2940 (2006).
- 10) 農林水産省 農産局農業環境対策課, “農地土壌をめぐる事情”, (2025).
- 11) 小宮直己, 川翔真, 坂本大輔, 山田岳大, “実農地における P3HB-co-3HHx の耐久性評価”, 成形加工学会第 33 回秋季大会, P-25 (2025).
- 12) 三嶋洋介, “工業製品における付着混入異物の分析法と事例”, 大阪府立産業総合研究所報告, vol. 14, no. 10, pp. 56-60 (2000).