



コメ由来バイオマスプラスチック

「ライスレジン」での取り組み

バイオマスレジンホールディングス

執行役員 CTO 坂口 和久

1. はじめに

今日、日本国内においては、「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことが宣言されており、環境省、経済産業省、農林水産省、及び文部科学省の合同で持続可能なバイオプラスチックの導入を目指した「バイオプラスチック導入ロードマップ」¹⁾が2021年1月に策定されているなど、プラスチックの資源循環を加速しながら循環型社会へ移行していくことが強く求められている。

そのような社会環境の変化から、日本はもちろん世界中のプラスチック市場において劇的に環境配慮型素材の利用が義務化され始めており、バイオマスプラスチック・生分解性樹脂の普及促進が飛躍的に進んでいる。日本は、現在バイオプラスチック原料として、アメリカからトウモロコシ主原料のポリ乳酸、ブラジルからサトウキビ主原料のバイオポリエチレンを輸入している。これらの背景もあり、日本ポリオレフィンフィルム工業会²⁾で検討されていた対応可能素材を見ると、日本国内では、ブラジルのブラスケム社で生産されるバイオポリエチレン使用を前提とした市場導入が大きく進んでいる。バイオポリエチレンが、世界的な需要拡大を受ける中、2020年の新型コロナウイルスによる経済活動の停滞および物流事情の変化、さらには、2019年6月に欧米諸国に10年遅れで「バイオ戦略2019」が日本でも策定され、2020年7月から全小売店でレジ袋の有料化が義務付けられた。このレジ袋無償配布禁止条例が施行されることで、有料化義務回避条件であるバイオマス率25%以上のレジ袋の原材料調達が非常に限定的となっており、さらには、「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」（プラ新法）が、2022年4月に施行され、今後、安定的かつ低コストでバイオマスプラスチック原料が調達できるかが多方面で大きな課題となっている。

2. ライスレジンの概要、特徴、成形プロセス

原材料となるライスレジンを調製するにあたり、コメをバイオマスプラスチック原料として利用する優位性であるが、まずは、国内におけるコメの安定供給性およびその単価であり、石油由来樹脂のようにナフサ変動による価格影響を受けにくい。ライスレジンにおいては、海外からのバイオポリエチレンとの価格競争を展開できるコストイメージであり、今後、石油由来樹脂製品がさらに高騰した場合には、価格面でのアドバンテ



ージがさらに大きく出てくるものと予想している。

次いで、コメそのものの加工性およびハンドリング特性が挙げられる。特に、加工性に関しては弊社が独自に研究開発を一から行ったわけではなく、日本人が培ってきた文化や風土にそのアイデアやヒントは多く見受けられる。日本人なら年に何度か食す機会がある「お餅」がその良い例である^{4),6)~9)}。コメをそのまま加熱した場合は、炭化してしまうが、コメに水を加え加熱すると糊化し、さらにその状態で物理的な力を加えれば形を変えることができる。つまりは、熱可塑性を示すようになりプラスチックの様に扱うことができる。身近な例では、炊飯器の内側に形成されるフィルム状の糊が、まさにその一例である。

原材料のコメは、ライスレジン製造時には多くの水分を含んだ状態であるが、樹脂との複合化後には最終的に製品の含水率が0.1%未満になる。また、混練複合装置内に滞留する時間、つまりは、コメと樹脂との複合化に要する時間は、わずかに1分未満である。従って、樹脂との混練複合化中、短時間に水分を脱水除去する必要がありコメの糊化するタイミングと同時に、材料における含有水分を調整する技術がライスレジン調製の重要なファクターとなっている。

コメの種類と選定に関しては、汎用樹脂のようにメーカーカタログからスペックや銘柄を指定することは一般的には難しい。多種多様なコメの中から樹脂と相溶・均一分散しやすい、つまりはコメが糊化しやすい種類かを判断することは、食品業界などで実施されているアルカリ崩壊性試験などで比較・考察することは可能である^{3,5)}。しかし、実際にはコメの生産地や種類（うるち米、もち米等）によって、アミロース（直鎖状縮合重合体で易水溶性）とアミロペクチン（枝分かれ縮合重合体で難水溶性）の割合、含水率、および精米度合い、さらには流通工程での他種とのブレンド調整などの特徴がそれぞれ異なる。より身近な表現で言うと、炊飯時にモチモチとした短粒米と、パサパサとした長粒米の違いがその例である。各製品グレードに適合したライスレジン調製するためには、それらコメの差異および特性を十分理解把握した上で混練条件をそのつど調整する必要がある。特に含水挙動に関しては、季節変動やコメの種類、加熱温度域によってもコメから放出される水分量や、放出されるまでに要する時間が異なる。

また、コメと混練樹脂の複合化の際に、混練条件がふさわしくない場合は、樹脂よりもコメが先行してダメージを受けやすく、コメの形状や部位によってもダメージを受けるまでの時間が異なり、材料の耐熱性に直接関係している。ここでいうダメージとは、主にコメが高温下（180℃以上）にさらされたときに起きやすい炭化、分解ガスの発生、およびでんぷんのメイラード反応（Maillard Reaction）であり、ライスレジン調製の物性低下、臭気発生、褐色化など最終製品にも直接影響を与える。

次に、複合化に用いる混練装置をでんぷん糊化の挙動と合わせて説明する。その昔、電気炊飯器が普及する前の米の炊き方といえば、かまどでの炊飯で、「始めちょろちょろ中パッパ、赤子泣いても蓋取るな」という口承が受け継がれてきた。つまりは、密閉

性の低い釜を用いて徐々に温度を上げて加熱を行い、一定の圧力（水蒸気）をでんぷん（コメ）に与えて炊飯（でんぷん糊化）していた。この表現における加熱、応力付与のスキームは混練装置を用いたライスレジン調製方法と共通である。

ライスレジンの調製においては、気乾精米をそのまま使用しているために、コメに含まれている水分を混練プロセス下において短時間で調整する必要がある。コメの糊化不十分な段階（生煮え状態）で脱水を行った場合は、コメは熔融樹脂中でその後に糊化することなく、樹脂中にでんぷんが粒状のまま凝集として存在する（写真1）。

さらには、コメが糊化した状態であっても樹脂と完全に複合化する前に、特に減圧下で強制的に脱水を行うと、分子間に作用する水素結合によって、糊化したでんぷんが再凝集（離水によるでんぷんの老化現象：ベータ化）を起こし不溶の状態、つまりは熱流動性が乏しくなり、コンパウンド中に粒状でんぷんが再凝集体として生じ、残存してしまう。このような未糊化でんぷん粒や再凝集体はライスレジン製品の成形加工時、特にレジ袋やゴミ袋などを成形するインフレーション成形時には、穴あきなどの原因になり、安定的な成形が困難になると同時に、表面平滑性を著しく劣化させることになる。

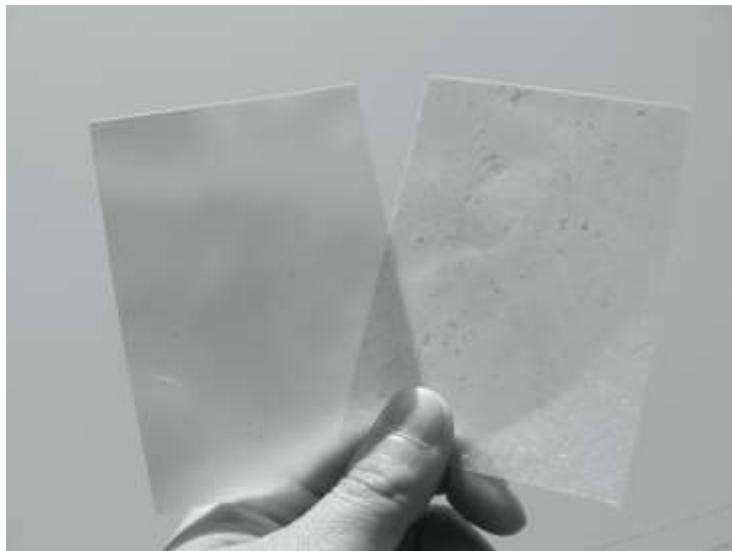


写真1. 同一組成物：でんぷん糊化（ α 化）違いによる熱圧成形フィルムの外観差

（左側：糊化分散良好、平滑表面、右側：糊化不良により凝集物が多く存在）

3. 適用例、効果、素材、ラインナップ

コメが木材など、他のバイオマス種と大きく異なるのは、微粉碎や化学修飾などの前処理を施さなくても加熱水分共存下で糊化して熱流動することである。つまりは、熔融した樹脂とでんぷんが均一なポリマーアロイを形成し、母材樹脂と同じ温度域で熱可塑性を示すことである。

その結果、プラスチック成形現場における既存設備・金型での射出成形や異形押出、シート成形はもちろんのことながら、WPC（Wood Plastic Composite）などの木粉充



填樹脂（リグノセルロース系複合材料）^{11), 12)}などでは難しいとされているインフレーション成形がライスレジンは可能である（写真2）。また、製品におけるバイオマス（＝コメ）の含有率は、成形条件と必要物性に応じて上限はあるものの任意に設定できる。特に、オレフィン樹脂と同じ温度域での熱流動性を有することから、熔融ブレンドやドライブレンドでの物性調整が比較的容易に可能である。



写真2. バイオマス原材料種の違いによる成形物加工特性

（左：ウッドレジン（木質系複合材料）からの射出成形品（うちわ）、
右：ライスレジンからのインフレーション成形品（レジ袋））

昨今では、前述のレジ袋有料化対策の流れを受けて、ポリエチレン（PE）をマトリックスとしたインフレーショングレードのニーズが高まり、成形加工後の製品でコメ率30%以上製品をターゲットにした高濃度バイオマス率のインフレーショングレードが生産量を増している。PEグレードの場合、混練中における樹脂の熔融粘度が著しく高くなる傾向があり、材料のヤケや炭化が生じやすく、製品中のバイオマス含有率の調整やワックスの併用など外部可塑化を含めた材料組成の検討が必要になる場合もある。

実際の成形物における仕様は、LLDPE（直鎖状低密度ポリエチレン）を原材料母材としたインフレーション成形物の場合、膜厚は、主に20～60μmで成形が可能であり、一般的なレジ袋やゴミ袋、イベントバッグ等に使用される。フィルムの力学特性もJIS Z 1702（1種B）規格をクリアする。その他の特徴として、フィルム表面には、でんぷんの水酸基を多く含む細かい凹凸が存在することにより、コロナ放電を施さなくともグラビア印刷が可能であることも特徴である。さらに最近では、食品包装向け梱包資材を視野に入れた多種多層フィルムやシート、コメ由来の質感などの意匠性を強くアピールできる製品の研究開発に注力しており、一部の二種三層フィルムにおいては、既に食品外装フィルムとして上市され、ご利用頂いている。

また弊社では、コメを原料にしたライスレジンより成形したインフレーションフィル



ムを利用して南魚沼市の自治体指定ゴミ袋の生産を 2019 年度から実施している（写真 3）。地域で得られるバイオマスからプラスチック化した製品を地元で循環・地産地消させることができるサーキュラーエコノミーのビジネスモデルともいえる。

このようなバイオマスプラスチックを使用した自治体向けゴミ袋およびレジ袋は、南魚沼市以外でも日本各地で徐々に導入が始まっており環境問題解決への新たな取り組みとして、より一層利用が拡大して注目されていくことを期待したい。

さらに、今後の展開としては、生分解性機能を有したライスレジンへの開発が研究テーマの一つの大きな柱となる。既に試作品からの物性確認、社内及び外部機関での生分解性評価試験が行われており、いずれも良好なデータが得られている（写真 4）。それらのフィードバックデータを踏まえ、2022 年 6 月からは、熊本県水俣市の堆肥場で、滋上述の生分解性ライスレジンから加工されたゴミ袋を用いた実証実験も開始されている。



写真 3．インフレーション成形サンプル（南魚沼市ゴミ袋）

原料樹脂：ポリエチレン・非食用米

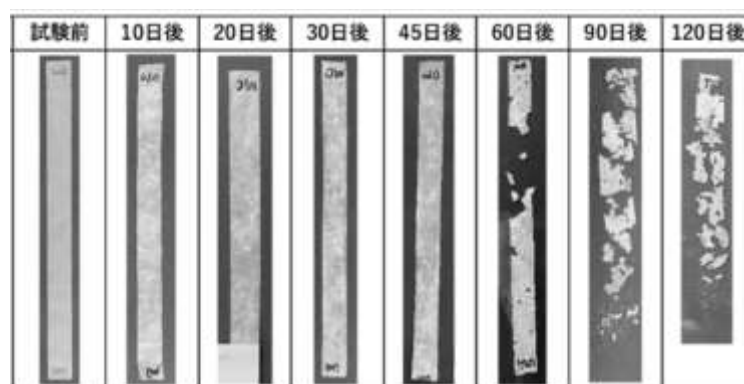


写真 4．生分解性ライスレジンフィルム（30 μm 厚）土壌埋設における外観経時変化

試験条件：恒温恒室槽内静置（30℃ RH80%）



これらは、昨今の生分解性樹脂の課題として取り上げられるコストと、各環境に適応した生分解性速度の調整を発現できる樹脂素材として期待されている。今後、日本国内だけでなく、世界規模でのプラスチック問題の解決に寄与できると考えられる。

その他、2019 年からは、バイオマスプラスチック材料用のコメの自給自足を目的として、食味よりも収量を優先した資源米の栽培を自社にて開始し、作付けエリアを徐々に増やしている。これら資源米の栽培は、食用米需要低減に伴う休耕田・耕作放棄地の活用として、地域の農業支援と活性化に強く結びつく展開と期待している。現在、日本国内における耕作放棄地は、東京都 2 個分の 42 万ヘクタールを越えており（平成 27 年）、弊社は、今後生産性重視の稲作モデルとして二期作や、AI（人工知能）技術などを活用して 2025 年までに 1 万ヘクタールを水田に戻す計画である¹³⁾。

4. おわりに

今回説明したライスレジン[®]は、石油由来樹脂製品からの代替が可能となり、国産材料による新たな環境低負荷型の製品として提案できる。今後、より高物性および高機能性付与を目的とした研究開発が進められ、石油由来樹脂利用削減を通じた持続可能な開発目標（SDGs : Sustainable Development Goals）に地域全体で貢献していく¹⁴⁾。

今後、コメからのバイオマスプラスチックが地域循環型材料として広く認知され、多種多様な分野で使用されていくことを切に願う次第である。

参考文献

- 1) 環境省，バイオプラスチック導入ロードマップ。
http://www.env.go.jp/recycle/post_58.html
- 2) 日本ポリオレフィンフィルム工業組合．<http://www.pof.or.jp>
- 3) 坂口和久，米由来のバイオマスプラスチック「ライスレジン」，米の機能性食品化と新規利用技術・高度加工技術の開発，p.503，テクノシステム（2022）
- 4) 坂口和久，お米由来のバイオマスプラスチック，バイオマスプラスチック p.83，環境新聞社（2022）
- 5) 坂口和久，お米のプラスチック「ライスレジン」の開発と地域振興，第 70 高分子学会北陸支部研究会発表会（2021）
- 6) Sakaguchi,K., Rice Resin for an intelligent infrastructure of agriculture, renewable plastic, and marine waste reduction, The 18th e-ASIA Workshop Greener Digital Cities, JST（2021）
- 7) 坂口和久，お米のプラスチック「ライスレジン」の可能性,包装技術，59(5)，p.285，公益社団法人日本包装技術協会（2021）
- 8) 坂口和久，米どころ・南魚沼でつくられる‘お米’のプラスチック，ペトロテック，43(12)，p.815，公益財団法人石油学会（2020）



- 9) 坂口和久, コメ由来のバイオマスプラスチック複合材料「ライスレジン」の特性と用途展開, 機能材料, 39(8), p.23, シーエムシー出版 (2019)
- 10) 坂口和久, バイオマス活用(非食用米), バイオプラスチック技術の最新動向, p.152, シーエムシー出版 (2014)
- 11) 坂口和久, 地域循環型バイオマスを利用した複合材料の開発について, 第 27 回岡山バイオマスプラスチック研究会, おかやまグリーンバイオ・プロジェクト (2012)
- 12) 坂口和久, 地域循環型バイオマスプラスチックの特徴と今後の展開, プラスチックス, 11, p.37, 日本工業出版 (2011)
- 13) 内閣府, 農地・耕作放棄地面積の推移
https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/special/2030tf/281114/shiryou1_2.pdf
- 14) 国連開発計画 (UNDP), 持続可能な開発目標
<https://www.jp.undp.org/content/tokyo/ja/home/sustainable-development-goals.html>

著者情報 -----



坂口 和久 (SAKAGUCHI, Kazuhisa)

米国カリフォルニア大学デービス校 環境資源科学学部卒。バイオマス関連事業の研究所にて主任研究員として勤務。白石信夫京都大学名誉教授にバイオマス複合材料化学を師事。研究員時代より未利用バイオマスの有効利用を目的とした種々のバイオマス複合材料の研究開発、特にリグノセルロースの溶媒液化や混練複合材料に従事、材料の研究開発から製造設備、国内外のプラント設計まで行う。令和 3 年 高分子学会北陸支部地域産業振興賞受賞

〒100-6510 東京都千代田区丸の内 1-5-1 新丸の内ビルディング EGG

E-mail: sakaguchi@biomassresin-hd.com