

九州工業大学大学院生命体工学研究科 西田研究室

資源循環型材料をめざして

1 はじめに

一次資源に乏しい日本にとって二次資源の循環利用は最も有効な資源戦略の一つです。近年、脱化石資源の一方策として、農林水産余剰物や廃棄物を原料にして、生/化学的手法によって各種のバイオマス由来プラスチックが合成されています。代表的な例としては、飼料用トウモロコシから作られるポリ乳酸が知られています。バイオマス由来プラスチックは、植物が空気中の炭酸ガスを固定化した炭素源を原料にしているため、それ自身が焼却されても、正味の炭酸ガスの増加にはつながらない「カーボンニュートラル」という特徴を持っています。しかし、バイオマスの再生産速度や絶対量にも限界があるため、最も少ないプロセスと投入エネルギーでプラスチック材料の生産・再生産を行うことが基本的に必要です。

多くのバイオマス由来プラスチックは、原料に戻りやすい化学反応性を持っており、その反応を精密に制御すれば効率的に原料に戻すことができ、再び新しいプラスチックにすることができる優れた資源循環型材料なのです。

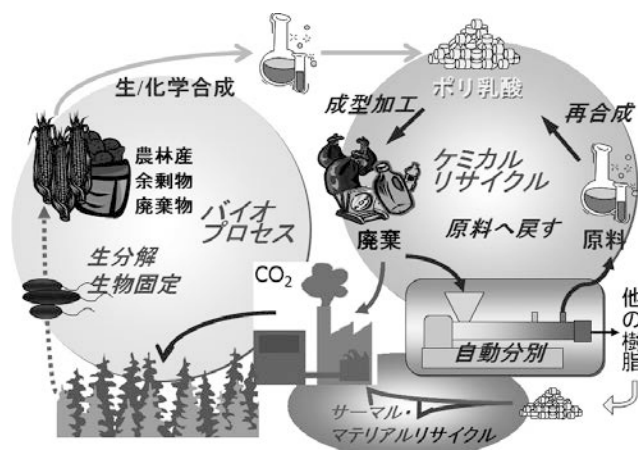


図1. バイオマス由来材料と資源循環

2 ポリ乳酸の資源循環

ポリ乳酸は現在、卵パックやクリアカップなど各種包装容器として利用され、また、石油由来プラスチックからの炭酸ガス発生量を少なくするためにこれらとブレンドした形で自動車や家電・IT関連機器の各種部品に導入されています。

ポリ乳酸には、反応性の高いエステル結合が一定間隔で存在するため、分解反応時にはこの結合が活性サイトとして機能します。分解反応の結果、加水分解により乳酸へ、また、熱分解によりラクチドへと直接の原料に変換されるため、ポリ乳酸は優れた原料還元型ケミカルリサイクル性材料と見ることができます。

しかし、ポリ乳酸を単純に加熱しただけでは素直に原料に戻ってくれません。分解反応を制御するために、熱分解触媒を利用しますが、比較的オープンな回収・リサイクルプロセスでは、より安全

な触媒が求められます。安全な触媒として、私たちはアルカリ土類金属である酸化マグネシウムの触媒活性を見出し、その望ましい触媒特性を明らかにしてきました。酸化マグネシウムは、250～300℃の温度範囲で選択的に原料のラクチドへの変換を可能とします。さらに、生成するラクチドの光学純度を低下させないという非常に理想的な触媒です。

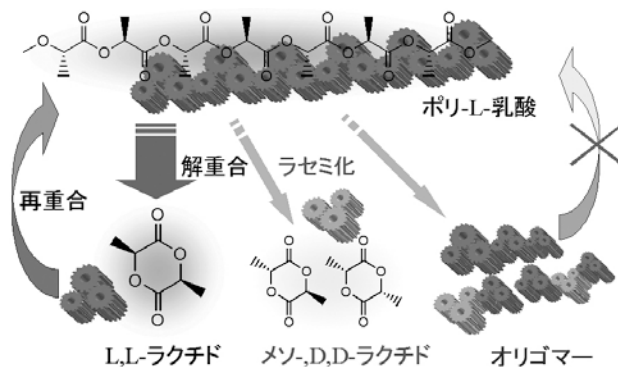


図2. ポリ乳酸のケミカルリサイクル

通常、使用済みのプラスチックをリサイクルする時には異なるプラスチックが混ざってきます。それ以前に、製品自体が複数のプラスチックからなる複合体であることも一般的です。このような混合状態からポリ乳酸を選択的に分解して原料回収を行い、一方、その他プラスチックはそのままマテリアルリサイクルを行う「自動分別型ケミカル／マテリアルリサイクル」の実証試験をこれまで進めてきました。その結果、ポリ乳酸から、95%以上という高い光学純度を保持したまま、ほぼ定量的にラクチドに還元でき、一方、自動分別されたその他プラスチックはリペレット化して再溶融成形が可能であることを示しました。

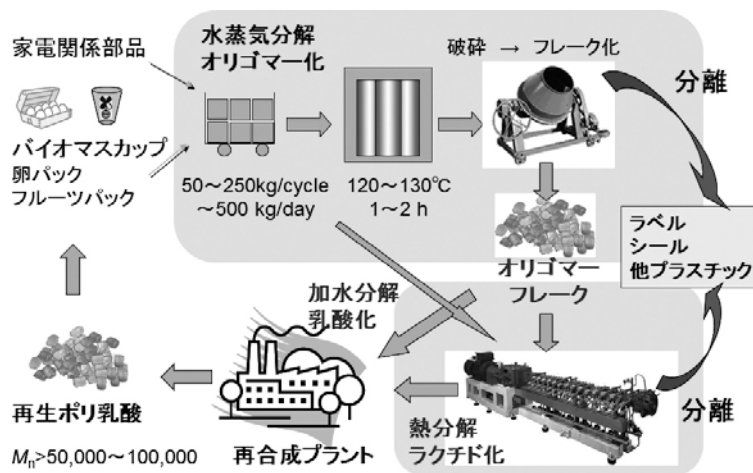


図3. ポリ乳酸の資源循環実証試験

3 ポリ乳酸の環境分解性の利用

ポリ乳酸は環境中で徐々にではありますが分解していきます。空気中の湿度はもちろん、土壌中の微生物や太陽光、空気中の酸素、昼と夜の寒暖差なども分解を促進します。分解によって最終的には乳酸や炭酸ガス、水に変換されます。乳酸はヨーグルトやお漬物に入っている天然物質と同じも

のです。もともと乳酸は乳酸菌が他の細菌を寄せ付けず自分の生活空間を確保するためのものです。この乳酸をうまく利用することで、安全な生物忌避剤として使うことができます。

現在、私たちは、ポリ乳酸が徐々に乳酸を放出しながら分解する性質を利用して、高架道路のコンクリート点検孔窓剤や、海洋でのフジツボやムラサキ貝の付着防止剤としての機能を研究しています。



図4. フジツボの幼生

4 「竹」豊富ですばらしい資源

福岡県の北九州市合馬や八女市は筍の一大生産地として有名です。その一方で、放置竹林の拡大は頭の痛い問題となっています。九州を中心にして西日本一帯に膨大な賦存量を有する「竹」は、見方を変えれば我が国随一の均質なバイオマス資源と言えるでしょう。しかし、その硬い表層構造のため、竹は粉碎することが難しく、工業用資材としての利用は限られた範囲でしかありませんでした。

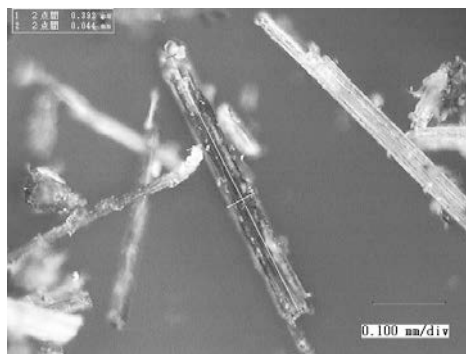


図5. 竹由来のセルロース短繊維

現在、私たちは、常圧過熱水蒸気処理という方法を使って、ヘミセルロースというセルロース繊維を束ねている成分を優先的に分解除去することで、太い孟宗竹を素手でも割ることができ、さらに容易に微粉碎ができることを見出しました。

この方法を使って得られた竹粉末は、セルロース結晶からなる短繊維を主成分として含み、プラスチックの繊維強化材料として期待されます。実際にここで得られた竹粉末は、プラスチックと混合して熔融成形を行うことが可能であり、得られた成形体は、短繊維が配向した方向に優れた寸法安

定性を示し、吸水率も木粉に比べて低い値を示します。

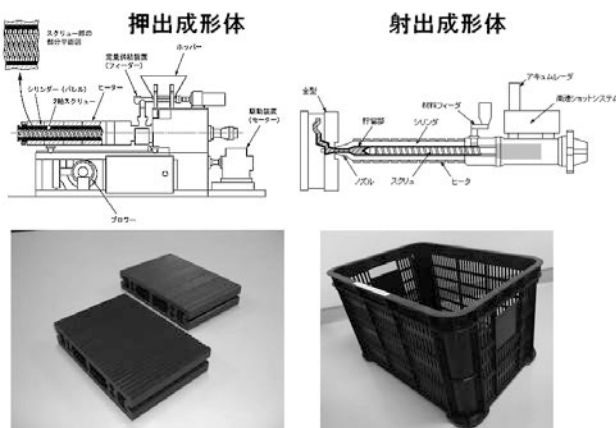


図6. 竹粉末を50%以上含む複合成形体

竹由来の微粉末を含むプラスチック複合成形体は、繊維強化による機械的強度の上昇だけでなく、静電気を帯びにくいというおもしろい性質も持っていることがわかってきました。これにより、自動車用部材や電気電子機器関連部材への応用が期待されます。

5 ゼロエミッション合成技術

モノづくりの現場ではさまざまな廃棄物が発生します。たとえばプラスチックを製造したり、塗料を使って壁などの表面を塗装したりする際に有機溶剤を使いますが、それらの溶剤は、産業廃棄物になったり、あるいは環境中に揮発拡散していきます。オゾン層破壊の問題はまさしくフロン揮発拡散が原因でした。

近年、アトムエコノミー（原子効率）という言葉がよく使われるようになってきました。これは化学反応に関与するすべての物質の原子の面から見た変換効率を議論しようとするものです。このアトムエコノミーの観点から、私たちは現在、プラスチックを合成する際やさまざまな表面に塗膜を施す際に必要最小限の原材料を使って廃棄物を出さない「ゼロエミッション」の溶剤フリー重合プロセスを開発しています。

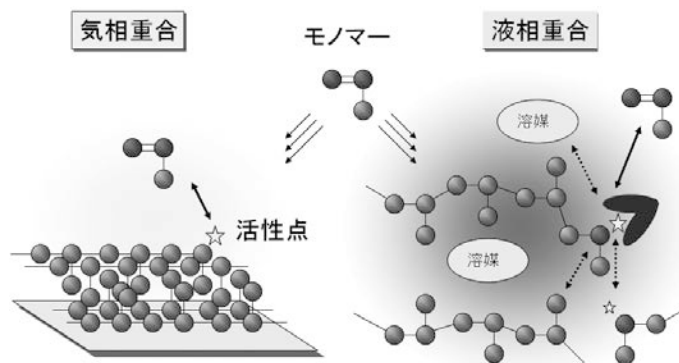


図7. 溶剤フリー重合プロセス

この溶剤フリー重合プロセスは、単に省資源・廃棄物フリーだけでなく、プラスチックが持っている基本特性の上に様々な機能を付与した高機能表面を持った新しい材料を創ることもできます。それは、1 mmの100万分の1以下の小さなモノマー分子が空中を飛んで行って固体表面にぶつかり、そこで重合する「気相表面重合」を自由に制御できるからです。この新しい重合方法により、さまざまな固体表面に光を使って微細な模様を描いたり、環境に応じて表面特性を変化させたり、色々な微粒子をカプセル化したりなど多彩な形状と機能表面を持った新素材を創り出すことができます。このように省資源・省エネルギー技術の深耕の先に、多彩で先進的な機能が現れてきました。

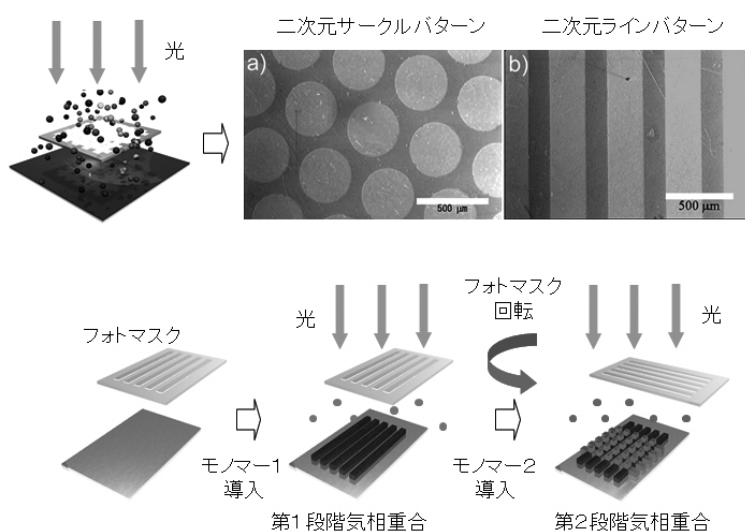


図8. 光を使って表面に微細な模様を描く

6 おわりに

二〇〇〇年に制定・施行された循環型社会形成推進基本法と個別リサイクル法は、我が国に明らかなパラダイムシフトを引き起こしました。狭い国土に大量の二次資源を保有し、かつ社会基盤としてリサイクルシステムを整備している状況は、資源循環技術という次世代の基盤テクノロジーを醸成するのにもっとも適した環境を提供しているといえます。

循環型社会の構築が着実に進みつつある状況の中で、バイオマス由来材料の持つ環境適合性と制御可能な分解性という特性は重要な機能となりつつあります。工業製品としての「安定性」と資源循環のための「原料への還元性」が時と場合に応じてうまく制御できれば、「循環」というキーワードがその価値をより発揮するようになるでしょう。

バイオマス由来のプラスチックは、資源循環という機能において石油由来の高分子材料に比べて格段のポテンシャルをもっています。このバイオマス由来プラスチックの潜在能力を引き出し、有効に利用するための技術革新が多方面で加速度的に展開されるような状況になることを願い日々研究を進めています。