

植物由来プラスチックの現状と課題について

Examining a characteristic of plastic derived from plant and existing difficult problem for applying it

武藤 守男

Morio Mutou

要 旨 植物由来プラスチック，その中の代表的な「ポリ乳酸」の特性，現状の課題を調査した。

ポリ乳酸は生分解性を有するとともに，製造時および燃焼時のCO₂排出量は，汎用プラスチックに比べて少ないが，耐熱性・耐衝撃性は低いため，これの対策が必要である。耐熱性は，成形後，再加熱することが有効である。また耐衝撃性は，材料に求められる性能に適合するように，ゴム系，またはアクリロニトリル系を適切な割合で混合して実現している。

さらに，ポリ乳酸に導電性フィラーを混合することで導電性素材として有効であることを確認した。

Summary We examined the characteristics of polylactic acid resin which is a type of plastic derived from plants, and examined the existing difficulties in applying it.

The polylactic acid is biodegradable and the amount of CO₂ exhaust emitted when manufacturing and burning is less than that of petroleum-based plastics. However, it is necessary to raise the heat and impact resistance of the polylactic acid because of its low values for these currently.

We understood that to raise the temperature resistance of the polylactic acid it is effective to heat it after molding it. Moreover, high impact resistance of the material has been achieved, by mixing proper quantity of rubber system material or acrylonitrile system with polylactic acid to suit the performance requested from it for each applied purpose.

In addition, it was confirmed that it was effective to mix the electroconductive filler with the polylactic acid to create an electroconductive material.

キーワード : 植物由来プラスチック，生分解性プラスチック，ポリ乳酸

1. 概要

地球温暖化による気候変動などの悪影響が世界各国に及ぼし始めてきている中であって，2005年に京都議定書が発効され，温室効果ガスである二酸化炭素の排出量削減課題が本格化してきた。現在，国や自治体がさまざまな取組

みを行ってきているが，企業活動においても，たとえば，製品の消費電力を削減することや，部品点数を削減するというような対応がなされ，さらに，その結果として顧客からみた企業の価値が高まることにつながってきている。

当社でも，省電力化をはじめさまざまな活動

が報告されているが、生産技術部門にとっての社会環境活動にはどのようなものがあるのか考えるとき、有害物質の排除・代替に伴う生産技術、あるいは、環境負荷への影響が少ない材料をどのように商品化させるかなど、新たな価値を創造するための役割がある。

生産技術センターでは、製品に使われるプラスチックのうち、廃棄などの際の環境負荷への影響の少ない植物由来プラスチックのうちでもポリ乳酸を中心に、種類や特性を調査し、試作を通じて明らかになった課題などをまとめたので報告する。

2. 石化由来プラスチックと植物由来プラスチック

石化由来プラスチックは、汎用プラスチックという言い方でも代表されるように、身の回りにあるほとんど全てのプラスチックを示し、石油化学を原料としている。ところが、植物由来プラスチックは、とうもろこしやサトウキビなど、糖質の“植物”が原料である。まず、原料

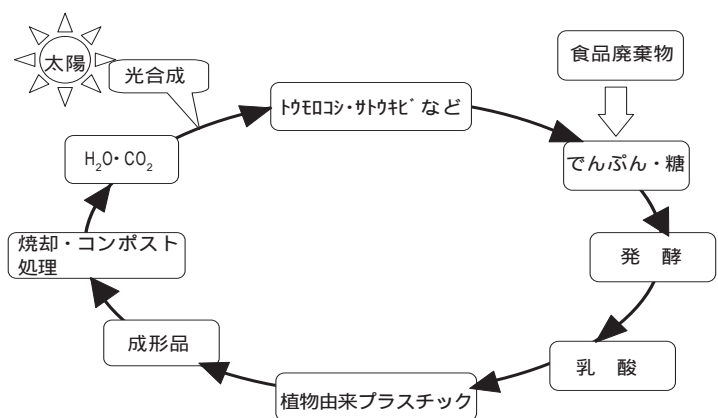
をでんぷんや糖にして乳酸に発酵させ、化学合成によって熱可塑性高分子である植物由来プラスチックのペレットを生成し、成形に際しては、一般的な射出成形機で行うことができる。

植物由来プラスチックは幾つかに分類され、種類によっては生分解性がないものも存在するが、大部分は生分解性を持つことが特徴である。成分配合にもよるが、図1から分かるように、植物由来プラスチックの生分解性のプロセスは、廃棄の際、コンポスト処理などによりCO₂と水に分解する。CO₂の量は、最初に植物が保存していた量と同等であって、大気中に発散すると、光合成によって、再度、植物に取り込まれる。この循環サイクルの成立によって、いわゆる、生分解性プラスチックと呼ばれている。なお、石化由来プラスチックでも生分解性を持つ脂肪酸ポリエステル類と呼ばれる種類があることから、両方をまとめて生分解性プラスチックと呼んでいる。なお、特性の改善のために、植物由来プラスチックの代表格であるポリ乳酸に、脂肪族ポリエステル類を混ぜることがある。表1に生分解性プラ

表1 生分解性プラスチックの区分

	植物由来プラスチック	石化由来プラスチック
生分解性プラスチック(＊)	ポリ乳酸，澱粉，微生物系	脂肪族ポリエステル類 (ポリ乳酸、PLA等)
汎用プラスチック(生分解しない)	-	汎用プラスチック (ポリプロピレン、ポリエチレン等)

(＊):生分解性の規格は生分解性プラスチック研究会のグリーンラベル識別表示制度を参照のこと。



(出所)三井化学 資料

図1 植物由来プラスチックの循環サイクル

スチックの区分を示す。

一方、ポリ乳酸にポリプロピレンなどの汎用の石化由来プラスチックを混ぜると、生分解性はなくなるので、成分配合にもよるが、植物由来プラスチックという呼び方をしている場合もある。

ポリ乳酸のもうひとつの特徴は、製造時および燃焼時のCO₂の排出量が汎用プラスチックにくらべ、少ないことがあげられる。植物由来であるから、燃やしても、元来、空気中にあったCO₂を排出したにすぎないことになり、石化由来の汎用プラスチックを製造および燃焼させることによって発生するCO₂の量より少ないといわれているゆえんである。図2に各種プラスチックの製造時と燃焼時のCO₂の排出量比較を示す。

生分解性プラスチックの国内の市場規模は、2003年度、1.5万トンだった。2005年度に5万トン、2015年度は全プラスチックの10%に拡大するといわれている(日経新聞2004:4/19)。現在、全世界での汎用プラスチックである、石化由来プラスチック使用量は、年16000万トンで、国内は1300万トンといわれているが、将来的には、生分解性プラスチックの国内使用量は100万トンになることになり、かなり身近なプラスチックになると予想される。

3. 種類・特徴

植物由来プラスチックの代表格であるポリ乳酸の特徴を、汎用プラスチックと比較すると、耐熱性が低く、衝撃性も比較的低いということが分かる。耐熱性の試験方法は、荷重たわみ温度、熱変形温度というようにいわれているが、荷重を与えた状態で、温度をかけて、0.25mmたわんだときの温度を指す。通常、0.45Mpaと1.82Mpaのどちらかの荷重を使う。厳しい仕様の場合、1.82Mpaを使うことがある(なお、衝撃性の試験方法は、アイゾット衝撃試験である)。

このほかに、メルトフローレートや、曲げ強度など、注目すべき特性があるが、バリ、ひけ、ウェルドなど、成形してみないとわからない不具合もある。たとえば、ポリプロピレンの金型でポリ乳酸を成形しようとした場合、成形および特性上の問題も含め、上述したような不具合が発生することがある。この場合、成形条件だけでなく、金型の再検討など含めて対策をとる必要がある。

4. 耐熱性の向上

当社の場合、海外拠点での生産品も多く、海外との輸出入における輸送などの影響を考えると、製品に求められる耐熱は60℃は必要であ

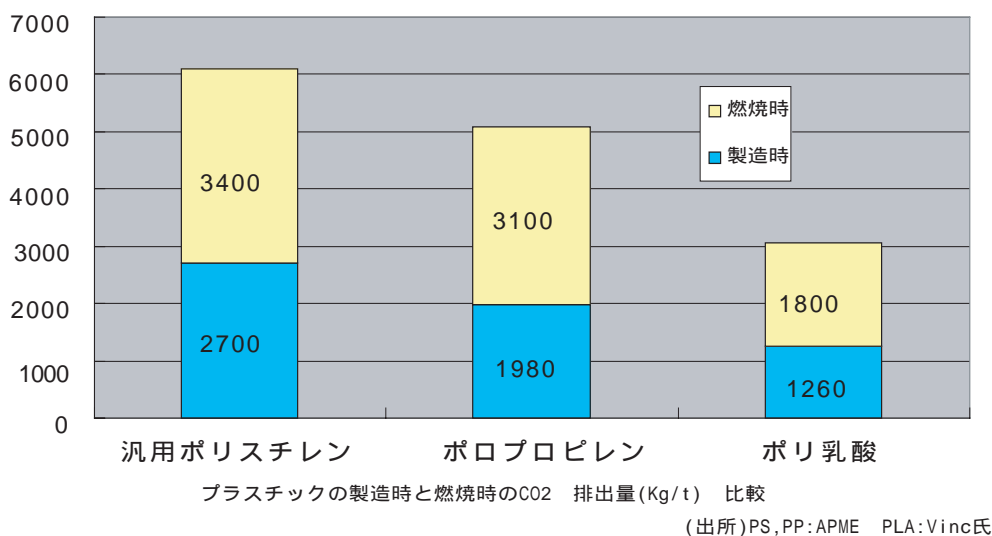


図2 二酸化炭素排出量比較

る。しかし、ポリ乳酸の耐熱性(熱変形温度)は低い。これは、ガラス転移点が、57 付近にあるためである。

ところで、プラスチックの耐熱性向上のためには、射出成形の場合、成形後に再加熱して、結晶化を促進させる方法をとることがある。特に、結晶性高分子は、その分子構造の規則性が高く、主鎖に比べて側鎖が小さい。従って、隣同士の高分子同士が揃いやすく、規則正しく並びやすいので、結晶化しやすくなるといわれている。耐熱があがる理由は、結晶化が進むと高分子同士がお互いに整列し、分子の動きが制限された状態になり、外部から温度をかけても、分子が動きにくい状態になることによる。結果として耐熱性が向上するので、成形後、再加熱して、結晶化を進めることが必要となる。

通常、射出成形機で成形した後、すぐ開放(離型)しないで、そのまま、ある一定の金型温度を保持しながら時間をおくことで、成形サイクルの中で結晶化のための加熱をすることができる。この実験結果を図3に示す。実験では、ABS(テクノポリマー)とポリ乳酸(三井化学(株))の代表的な材料で比較した。結晶化のため加熱をした場合は、ABSに近い耐熱を示し、ポリ乳酸がもともと持っている57 近辺より高い。特に、加熱時間によって、耐熱も上がることが

わかる。このように、成形後の加熱によって、耐熱が増すことが確認された。現在は、この加熱をふくめた成形時間を、いかに早く、短くするかが課題である。

なお、アニール処理による加熱でもよい。通常、アニール処理は、成形後の成形品に残っている内部残留応力や、樹脂の安定化を目的として、成形品を加熱炉などで加熱する。しかし、しばしば、内部残留応力による変形を伴って、結晶化がすすむと同時に変形してしまう。従って、上述した成形サイクルの中で加熱する方法が有効と考えられる。

5. 耐衝撃性の向上

ポリ乳酸は、比較的固い素材であって、耐衝撃性は低い。そこで、耐衝撃性を高めるために、やわらかい素材との混合が行われることがある。一般的に、ABS樹脂は、スチレン系とゴム系とアクリロニトリル系プラスチックの混合で、材料に求められる性能に適合するように、それぞれの配合の割合を調整している。例えば、耐衝撃性を向上させるためには、ゴム系の材料を増やす。また、耐熱性を増すためには、アクリロニトリル系を多く混ぜる。このように混合することで、所望の特性を得ている。図4に熱変形温度(低荷重)・Izot 衝撃の関係を示す。

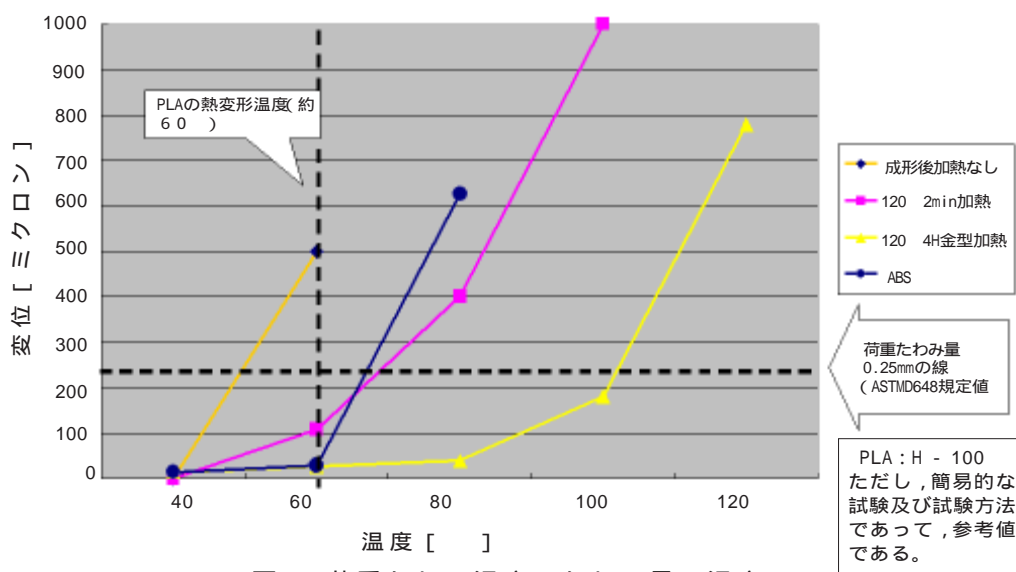


図3 荷重たわみ温度(たわみ量 - 温度)

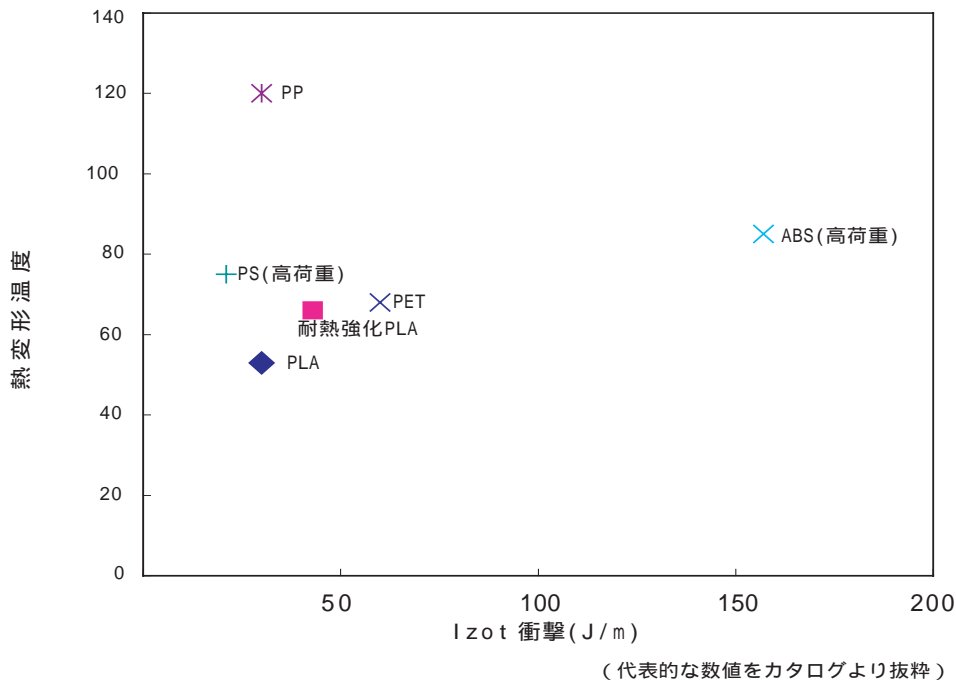


図4 熱変形温度(低荷重)・Izot 衝撃の比較

そこで耐衝撃性向上のため、前述した表1の脂肪族ポリエステルのうち、PBS(ポリブチレンサクシネート)をポリ乳酸にブレンドすると、全体の衝撃性が向上する。BASF社のエコフレック(商品名)の資料によると、40%以上混ぜることで、衝撃性が6倍以上増加することが表記されているが、単純に混ぜ合わせて成形しても、柔軟性が出ることが確認できる。なお、PBSは石化由来であるが、生分解性を持つため、植物由来プラスチックに混ぜても、生分解性という利点は失われない。

耐熱性と耐衝撃性を同時に向上させることが理想であるが、耐熱性と耐衝撃性を同時に向上させることが理想であるが、再加熱などで、結晶化を進め、耐熱性を上げる必要があると思われる。

図5にこれらをまとめた生分解性プラスチック概略を示す。PLAの特性改善のためにPBSを混ぜることで衝撃性を改善させ、耐熱性に対しては、結晶化を促進させることで対処するという概略を示した。

6. 難燃性の付与

当社の製品では、難燃性を示すUL規格のうち、大多数の製品がV0からHBの難燃性を要求される。難燃剤の成分として、ハロゲン系は燃焼時のダイオキシン発生の問題で、規制がかかっている。また、臭素系は有害性があるということから、難燃剤としては、使われない方向にある。従来、汎用プラスチックに入れているものとしては、シリコン系が多いが、植物由来プラスチックでは、金属系の難燃剤を入れるこ

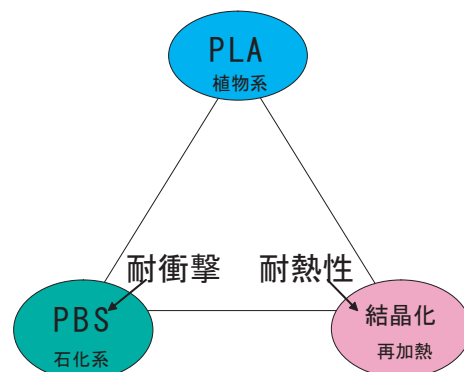


図5 生分解性プラスチックの概略

とがある。酸化アルミニウム，マグネシウム，シリコン系が非臭素系としての代替材料になっている。

7. 導電性の付与

プラスチックに導電性を持たせる導電性プラスチックの応用例は，さまざまな製品筐体などの帯電防止，電磁遮蔽や導電性の薄膜形成などが代表的な事例である。導電性を持たせる方法のひとつに，導電性フィラーのカーボンブラックをプラスチックに混ぜる方法がある。しかし，単に混ぜるといっても，同じ導電性フィラーでも繊維状のカーボンファイバーと違って，カーボンブラックは粒子状であるから，その混ぜ方(混練方法)が悪いと，単にばらばらの粒子が，散在していることになって，導電性がないことになる。そこで，植物由来プラスチックであるポリ乳酸に，カーボンブラックを混ぜた実験を行い，その導電性と濃度がどのような関係であるか考察した。なお，この実験は，倉敷芸術科学大学 生命科学部 岡田教授の主導のもと，共同で行っており，その結果の一部を示したものである。

カーボンブラック(導電性フィラー)としては，入手しやすく安価で，ポピュラーなケッチェンブラック(KB)，EC600JD，三菱化学製で球形粒子(粒子径34nm)を使用した。KBの濃度を5wt%とし，混練条件を15，30，55rpmと

変えて，サンプルを作成し，表2に，測定した各特性を示す。

結果について考察すると，同じ濃度5wt%でも，混練条件によって，表2に示す体積効率より，導電性に差が見られる。これは，KBのような球形粒子の導電性は，フィラーの粒子の分散性に影響されるためと考えられる。以下，図6に導電性フィラーの分散モデルを示した。導電性を持つためには，ある程度の分散性をもちつつ，接近していなければならないものと考えられる。

15rpmの結果は，体積抵抗率は10のゼロ乗のオーダーであり，導電性素材として有効であると考えられる。

8. まとめ

地球温暖化の原因と考えられている二酸化炭素の排出量を低減する材料として注目されている植物由来プラスチック，その中の代表的な「ポリ乳酸」の特性，現状の課題を調査した。

ポリ乳酸は生分解性を有するとともに，製造時および燃焼時のCO₂排出量は，汎用プラスチックに比べて少ない。一方，耐熱性・耐衝撃性は低いため，両者の特性を向上させる必要がある。

さらに，ポリ乳酸に導電性を持たせるためにKB(ケッチェンブラック)を混合した幾つかを試作し，特性を測定し，導電性フィラーの分散モ

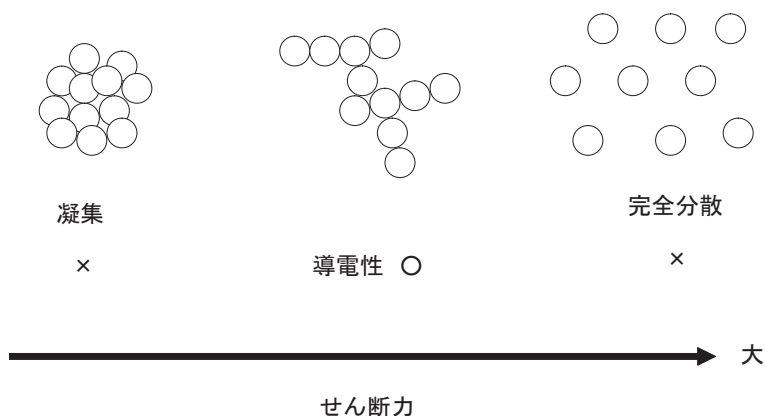


図6 導電性フィラーの分散モデル

表 2 導電性とフィラー濃度

	PLA	15rpm	30rpm	55rpm
曲げ強度 [MPa]	74.7	33.9	46.5	41.6
アイゾット衝撃値[km/m ²]	2.08	1.90	2.04	1.81
熱変形温度 []	51.3	51.5	49.5	49.1
体積抵抗率 [・cm]	-	8.54×10^0 (12/14)*	1.37×10^7 (10/14)*	1.52×10^7 (8/14)*

*(体積抵抗率が測定できたサンプル数/全測定サンプル数)

デルを求めた。KB 濃度 5wt%，混練条件 15rpm では，導電性素材として有効であることが分かった。

地球温暖化を減速させるため，メーカーとしての取り組みが求められているが，環境に配慮された新素材の製品への導入を検討することも，今後ますます重要になると考える。

9. 謝辞

本検討を実施するに際し，材料の提供をして頂いた三井化学(株)の関係各位，また，協力して実験研究をして頂いた倉敷芸術科学大学の岡田教授に，この紙面をお借りして深く感謝申し上げます。

筆者紹介

武藤 守男 (むとう もりお)

生産統括部 生産技術センター

自動化省力化機器の設計・開発業務(主にソフトウェア，電子・電気回路設計)，海外生産拠点支援，技術管理業務を経て現在に至る。