

## バイオマス混練プラスチックの射出成形条件の最適化 ～バイオマス混練プラスチックの流動特性～

食品・バイオ応用室 海老原 昇, 朝稲 香太郎  
材料技術室 篠田 清

### Optimization of Injection Molding Process Parameters in Molding of Biomass-Plastic Composites ～ Flow Characteristics of Biomass-Plastic Composites ～

Noboru EBIHARA, Kiyoshi SHINODA and Kotaro ASAINE

持続可能な循環社会の構築に向けて、化石資源の代替として未利用バイオマスの更なる活用が望まれている。木質混練プラスチック(WPC)においては木質充填量を高くする取り組みがされているが、一般的に高充填ウッドプラスチックと言われる木質充填率が70%以上のものを原料とする際に、流動性の低下等により射出による成形が困難になる。バイオマス充填量が高い材料を射出成形部材として汎用プラスチックの代替品とすることを目的に流動特性の評価と成形品の解析を行った。

#### 1. はじめに

国内には約800万トンの林地残材が存在し、1,000万トン以上の未利用食品廃棄物が発生している(2010年 農林水産省バイオマス活用推進会議事務局調べ)。我々は「千葉県木質バイオマス新用途開発プロジェクト」において、県内企業、団体及び県内外の大学・研究機関と連携し木質プラスチックの技術開発を平成19年度より実施してきた<sup>1)</sup>。その成果の一部は木質プラスチックを使用した製品に活用されている。

木質をはじめとするバイオマス混練プラスチックを化石燃料由来の汎用プラスチックの代替品として用途を拡大するためには、環境負荷が少ない等の利点をPRしていくとともに、木などのバイオマスに特徴的な質感を持ちながら射出成形可能という特徴を活かす必要がある。しかし、バイオマス混練プラスチックは汎用品として使用されているプラスチックと流動特性が異なり、成形特性の評価も十分なされていない。本研究では熔融粘度等の流動特性を中心に、バイオマス混練プラスチックの射出成形時に必要な物性を調べた。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 試料

バイオマスと混練するプラスチックは熱可塑性

樹脂の中でも汎用プラスチックとして多くの用途で使用されるポリプロピレン(PP)を選択した。本研究では射出成形用のPPであるPMA20V(ランダム, MFR45, サンアロマー製)を使用した。また、PP-バイオマス間の相溶化剤として酸変性PP(モディックP908, 三菱化学製)を全体量の2%使用した。滑剤として、ステアリン酸カルシウム(日東化成工業製)を使用した。

スギ木粉はスギ木部を木材用粉碎機で一次破碎後に、回転式粉碎機で二次破碎(2mm Mesh)したものをを使用した。また、スギ木粉:PP=76:34の比率で、前報<sup>1)</sup>と同様に、MF式熔融混合装置(エムアンドエフ・テクノロジー製)を用いてWPC76%ペレットを調製し、実験に用いる原料とした。

市販木粉はJ. Rettenmaier & Söhne社製のAR BOCEL CW630(20-40 $\mu$ m), 同C100(32-100 $\mu$ m), 同C320(200-500 $\mu$ m)及びLIGNOCEL 9(0.8-1.1mm)

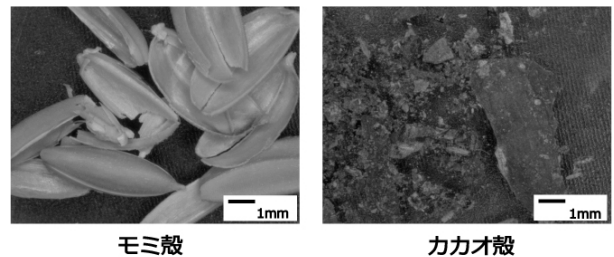


図1 モミ殻, カカオ殻(粉碎等せずに使用)

を使用した。また、カカオ殻は国内のチョコレート加工場から排出されたものを、モミ殻は千葉県内で排出されたものをそれぞれ使用した(図1)。

また、これらの原料とPP及びWPC76%ペレットとの混合は二軸押出混練機 L/D=16 (テクノベル製)を使用した。

## 2.2 流動特性(溶融粘度)測定

流動特性はキャピラリーレオメーター、キャピログラフIC-PMD-C(東洋精器製)を使用して測定した。ダイスは直径2.095mm、長さ8mmのものを使用し、ピストンスピード1-500mm/minの範囲で測定した。測定は温度範囲:160-180°Cで行った。

## 2.3 射出成形品の強度特性

強度特性評価のための射出成形品は、多目的試験片(JIS K7139)の形状の金型を使用して作製した。射出成形機はネオマツト150/75 SYCAP(住友重機製)を使用し、シリンダ温度190°C、金型温度80°C、型締め力40tで成形した。なお、通常の強度測定はシングルゲート金型で作製した成形品を使用したが、ウェルド強度評価用にデュアルゲート金型を使用した成形品も作製した。また、使用する原料は120°Cで2時間以上乾燥した後に成形機のホッパーに投入した。

## 2.4 射出成形品の内部解析

木粉の配向性が成形条件により変化することと、成形品の曲げ特性に大きな影響を与えることが、押出成形品で報告されている<sup>2)</sup>。

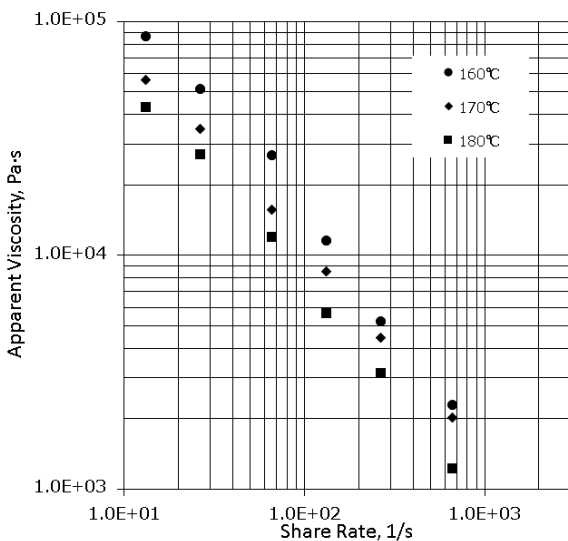


図2 スギ木粉70%使用したWPCの160-180°Cでの流動特性変化

混練射出成形品内部のバイオマスと樹脂の分布状況を測定するX線CT装置はTDM1000H-II(2k)(ヤマト科学製)を使用した。測定条件はX線管電圧30kV、電流0.12mAとした。得られた3次元画像は再構成時の画素サイズを約15μmに設定し解析を行った。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 流動特性試験結果

図2はWPC76%ペレットとPPを原料として、スギ木粉70%、PP30%の比率で作製した試料の160、170及び180°Cにおける、せん断速度に対する見かけ粘度をプロットしたものである。一般的な射出成形時に、樹脂に与えられるせん断速度100~1000s<sup>-1</sup>の領域を含めた全ての測定範囲で、温度の上昇とともに見かけの粘度が低下している。なお、180°Cを超えた温度を保持するとスギ木粉成分の分解が生じるため、溶融粘度測定が困難となった。

図3は粒径の異なる市販木粉70%、PP30%の比率で作製した試料の180°Cにおけるせん断速度に対する見かけ粘度をプロットしたものである。この範囲では、粒径が小さくなるに従って見かけ粘度も低い値を示した。

図4の■(CA70)はカカオ殻70%、PP30%で作製した混練試料のせん断速度に対する見かけ粘度である。スギ木粉70%、PP30%の試料と比較して、すべての測定範囲で見かけ粘度が低い値を示している。

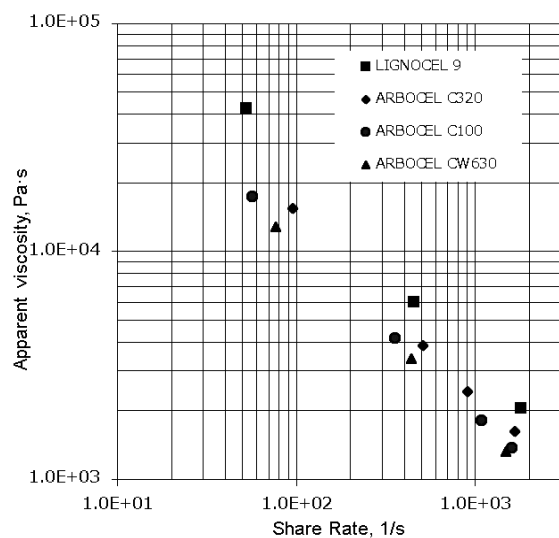


図3 木粉粒径による流動特性変化(180°C)

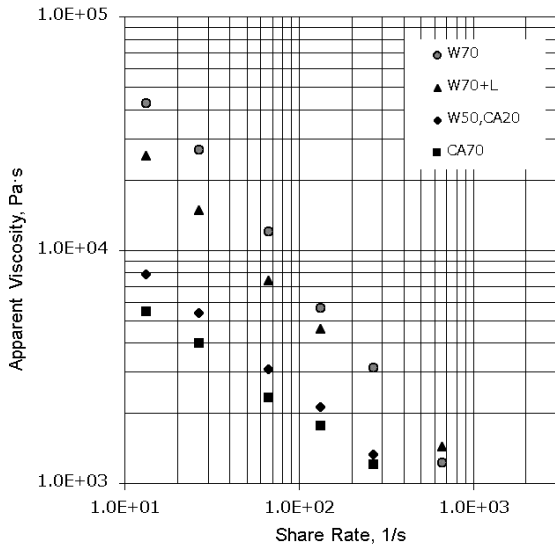


図4 カカオ殻、滑剤使用時の流動特性変化

スギ木粉を使用したWPCの粘度低下を目的に、スギ木粉の代わりにカカオ殻を混練し、バイオマス含有量は70%となるように作製した試料の粘度を測定した。スギ木粉50%、カカオ殻20%、PP30%の比率で作製した試料の粘度はカカオ殻70%、PP30%で作製した試料に近い見かけ粘度の値を示し、スギ木粉70%、PP28%、滑剤2%で作製した試料の粘度を大きく下回った。

WPCを繰り返し混練することによる粘度の低下を目的としてスギ木粉70%、PP30%試料の二軸押出混練機による混練を3回行ったが、180度における見かけ粘度に大きな変化は見られなかった。

### 3. 2 強度特性試験結果

バイオマス含有量を70%に固定し、スギ木粉の代わりにモミ殻及びカカオ殻が全体量に対して、5%及び10%になるように射出成形用のペレットを作製した。これらのペレットを使用して射出成形により作製した試験片の曲げ試験結果及びアイゾット衝撃試験結果を図5及び図6に示す。曲げ強さ、曲げ弾性率及びアイゾット衝撃強さのすべてで、わずかな差であるがモミ殻を5%添加して作製した試験片 (W65, M5) が最も高い値を示した。カカオ殻を添加した試料の試験片 (W65, CA5及びW60, CA10) については、スギ木粉70%の試験片と比較して、曲げ強さとアイゾット衝撃強さのどちらについても低い値を示した。

2点以上のゲートを持つ金型で射出成形を行う際に、対向流ウエルドと呼ばれる脆弱部分が生じる。スギ木粉70%のWPCのウエルド特性を調

べるために、1点ゲートと2点ゲートでそれぞれ作製した試験片の引張試験を行った。その結果、ウエルド有りの試験片はウエルド無しの試験片と比較して、引張強さが28%、引張破壊時呼びひずみが47%の値を示した (図7)。

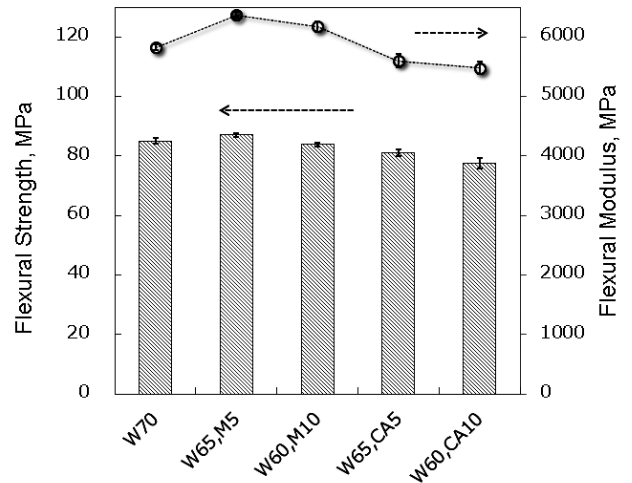


図5 モミ殻、カカオ殻使用時の曲げ物性比較

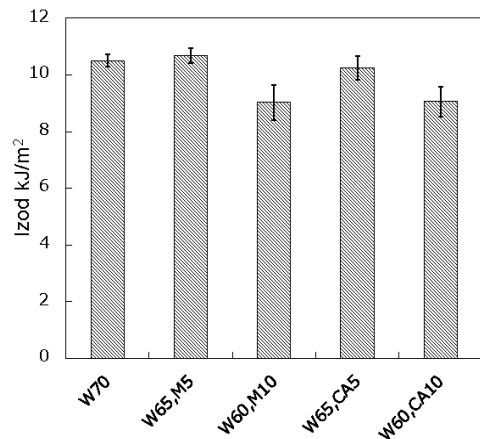


図6 モミ殻、カカオ殻使用時のアイゾット衝撃強さ比較

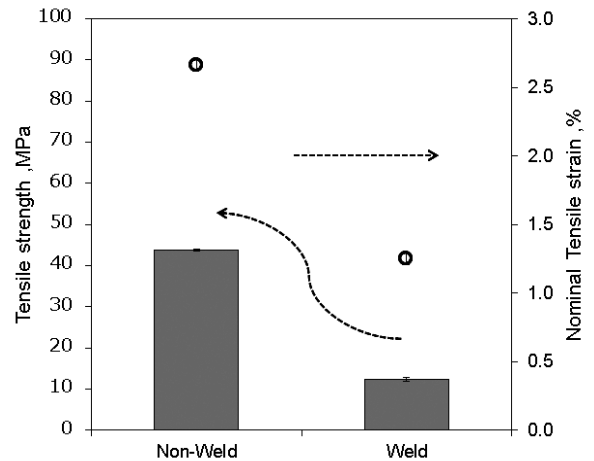


図7 ウエルド強度比較

### 3. 3 内部解析結果

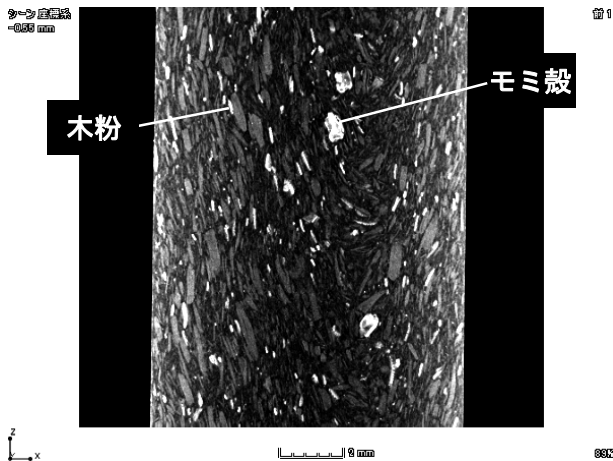


図8 W65, M5 試験片試料の断面 X 線 CT 像

射出成形で作製したスギ木粉70%の試験片をX線CTで測定することにより、木粉とPPの分布状況を3次元的に観察し、部位ごとの木粉の配向状態が確認できた。

また、木粉65%、モミ殻5%、PP30% (W65, M5) の試験片試料について、X線CTの測定条件を最適化することにより木粉、モミ殻、PPの3成分の混合及び配向状態が確認できた (図8)。

2点ゲートで作製した試験片の対向流ウエルドが生じている部分のX線CTによる画像 (図9) を観察したところ、ウエルド部分で木粉の配向が乱れて空隙ができていることが確認できた。

### 4. まとめ

射出成形時を想定したせん断速度範囲におけるバイオマス70%含むバイオマス混練プラスチックの熔融粘度を測定した。測定したすべての試料 (木粉、モミ殻及びカカオ殻) と温度条件 (160–180℃) でせん断速度の増加に伴い熔融粘度が低下する擬塑性流体の特徴を示した。

同一の試料で温度を変えて測定した場合、温度上昇に伴い熔融粘度は低下した。また、せん断速度に対する熔融粘度の変化の傾きは温度が高くなるに連れて小さくなる傾向を示した。

平均粒径の異なる市販木粉を70%使用して作製したWPCの熔融粘度を比較すると、粒形が小さくなるほど熔融粘度は低下した。平均粒形が小さくなるほど、粒形の比率変化に対する熔融粘度の変化割合が小さくなっている。また、せん断速度に対する熔融粘度の変化の傾きは、平均粒径が小さく

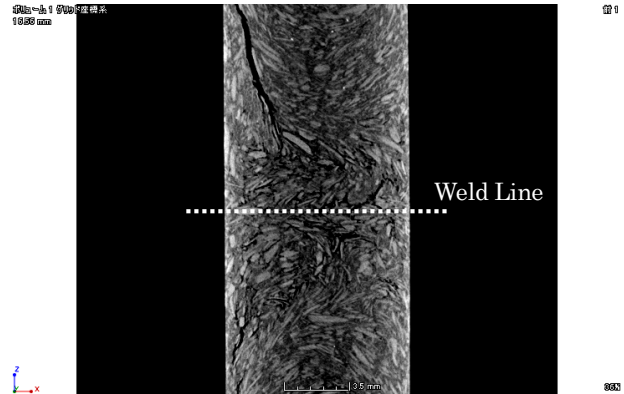


図9 対向流ウエルド部分の X 線 CT 像  
(2点ゲート試験片)

なるに従って小さくなる傾向を示した。

スギ木粉を減らす代わりに、モミ殻及びカカオ殻を添加した試料の熔融粘度を比較すると、モミ殻添加試料の場合は変化せず、カカオ殻添加試料では熔融粘度の低下が認められた。木粉やモミ殻と異なり、カカオ殻に多く含まれる低沸点の有機物が滑剤の働きをしたものと考えられる。

モミ殻を5%添加した原料で作製した試験片の強度が高くなった理由として、木粉よりも疎水性であるため木粉とPPの界面に程よく分散し、相溶化剤的な効果をもたらしたものと思われる。しかし、木粉と比べて単体での強度は小さいため添加量を増やすと強度が低下するものと推察される。

WPC成形品の対向流ウエルドの部分で、木粉の配向の乱れによる空隙が生じていて、強度低下の一因となっている。ウエルド部分のX線CT像を活用することで射出条件の最適化を行いウエルド部分の強度向上が期待される。

流動特性評価についてご助言いただいた独立行政法人森林総合研究所の木口様、片岡様、小林様、地方独立行政法人東京都産業技術研究センターの安田様、山中様にお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1)海老原 昇, 篠田 清, 足達 幹雄, 甲斐 信悟, 木口 実:千葉県産業支援技術研究所研究報告 **9**, 3-9(2011).
- 2)瀬戸 雅宏, 香谷 洋好, 高橋 進, 山部 昌:成形加工 **21**, 147-152(2009).