

# 資源循環利用を考慮した木質部材に関する研究 (第1報) 木材・プラスチック混合物の混練特性

今西 祐志\*

## Study on Wood Material for Resource Recycling (I) Kneading Behavior of Wood/Plastic Mixture

Hiroshi IMANISHI\*

木材・プラスチック複合材を成形する際の適当な条件を探索するため、ブナ木粉とポリプロピレンを混合した材料の混練特性について検討した。木粉粒子径、木粉率、回転速度、温度を様々に変えて、時間の経過に伴う混練トルクおよび材料温度の変化を調べ、混練された材料の様子を観察した。その結果、材料の効率的な混練と熱安定性の兼ね合いで適当な回転速度が存在することが示唆され、また、材料の内部摩擦やせん断発熱、木材の熱分解が材料の温度調整に及ぼす影響を把握できた。

### 1. 諸言

地球温暖化をはじめとする環境問題や化石燃料などの資源の枯渇に対して、各方面で様々な対応策が検討されている中、バイオマス資源に寄せられる期待は非常に大きい。バイオマスはカーボンニュートラルであり、持続的に再生産可能な資源であるから、バイオマスの利用と再生産を健全な形で行うことは、「持続可能な社会」の実現を考える上で極めて重要な課題である。

近年、バイオマスを燃料として使用し発電や熱利用する取り組みが盛んに行われている<sup>1, 2)</sup>。豊富な木質バイオマスを有する我が国では、バイオマスのエネルギー利用は資源問題への対応策となるだけでなく、森林の活性化による地域経済の振興などが期待できる。しかしながら、再生産の速度を上回る勢いで利用が進み、バイオマスが燃やされれば、やはりCO<sub>2</sub>の排出量は増大して環境問題はさらに深刻なものとなる。

したがって、バイオマスを炭素の貯蔵庫と考えてマテリアル利用を推し進める取り組みは、意義が大きいといえる<sup>3)</sup>。これまで、様々な形で存在するバイオマスから作られる製品は接着剤で固められたボード類が主であったが、近年、粉碎したバイ

オマスをプラスチックと混ぜ合わせて自由な形状に成形した材料が開発された<sup>4)</sup>。この材料は、今日の社会の要求を満たす好ましい特性をいくつか備えている。例えば、廃木材や廃プラスチックが利用できる環境調和性、材料の熱可塑性を利用して製品を再び成形し直せるリサイクル性などである。持続的社会的構築に向けて大きな寄与が期待できるが、耐候性や耐衝撃性など、いくつかの改善されるべき点がある。

当研究所では、木材・プラスチック複合材の普及推進および用途拡大を図るため、その物性を向上させる研究に着手した<sup>5)</sup>。複合材物性を左右する因子は原料や前処理方法、混練や成形の条件など数多くあるが、本報では、基礎的検討として木材とプラスチックの混練性について調べた結果を報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材

木粉はブナを機械的に粉碎したもので、分級により3種類(木粉A、B、C)を用意した。粒子径はそれぞれ、0.25～0.50 mm(木粉A)、0.50～1.00 mm(木粉B)、1.00～2.00 mm(木粉C)である。プラスチックはポリプロピレン(PP)のプレコンシューマ材(製造工程における廃棄物の流れから取り出さ

\* 試験研究部(生活支援機能研究室)

れた材料)で、粒子径は約3 mm、メルトインデックスは12~20、比重は0.90~0.92である。木粉とPPの混合比率(木粉:PP)は7:3、8:2、9:1とした。

## 2.2 混練性試験

木材・プラスチック混合物の混練は、高せん断タイプのパッチ式ローラミキサ((株)東洋精機製作所製、ラボプラストミル、R60H)を用いて行った。これは、回転数の異なる2本のローラ(回転数比3:2)が異方向回転して材料を混練するもので、チャンバ容量は60 ccである。ミキサを所定の温度まで昇温し、チャンバ容量の7割の木材・プラスチック混合物を投入後、すぐに混練を開始し、トルク、材料温度の変動を調べた。混練時間は10 min、回転速度は25、50、100 rpm、設定温度は180、200、220、240 とした。

## 3. 結果と考察

### 3.1 混練トルク曲線および材料温度変化

図1に、混練試験の結果の一例を示す。木粉・プラスチック混合物は木粉Bを80%含んだもので、設定温度は200、回転速度は50 rpmである。混練トルクは試験開始直後に急激に低下し、約2分後にはトルク低下が緩やかになる。この時点で、マクロ的な分配の進行により、おおむね混合物が一体化していると思われる。その後はトルクが漸減していくのみで、目立った変化はなかった。材料温度は、PPの溶融のため試験開始後にいったん低下した後、設定温度に近づいていく。材料温度の上昇は、試験機ヒータによる加温と混合物の内部摩擦、せん断発熱によるが、多くの場合、材料温度は設定温度を下回った。これは、試験開始直後から生じていた木粉の熱分解による温度低下が原因と考えられる。実際、試験実施時には木粉の熱分解ガスが発生しており、設定温度が高いほどその現象は顕著であった。10分の混練を終えた混合物は、木粉の熱変性により濃色化しており、設定温度が高いほど、回転速度が大きいほど熱変性の進行がうかがえた。実際の成形においては、木粉とPPを十分に分散させて均質化させる必要があるが、木粉の熱変性の進行をできるだけ小さく抑えることも必要と考えられるから、本報では、おおむね混合物が一体化したと思われる混練時間2分に着目して考察する。

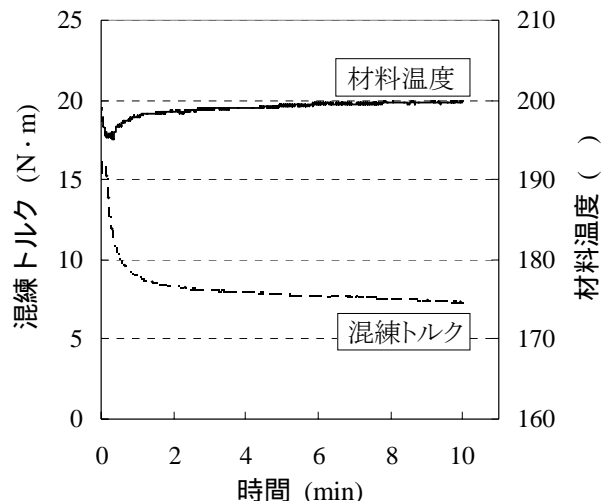


図1 混練トルクおよび材料温度の変化

注: 木粉粒子径: 0.50~1.00 mm、  
木粉率: 80%、設定温度: 200、  
回転速度: 50 rpm

### 3.2 材料温度と混練トルクの関係

図2に、材料温度と混練トルクの関係を示す。ここでは、木粉A、B、Cについて、木粉率が80%、回転速度が50 rpmの場合を示した。全体的な傾向として、材料温度が高いほど混練トルクは小さくなる。とくに、220 まで温度範囲でのトルク低下が著しい。木粉粒子径の影響は顕著ではないが、粒子径が小さいほどトルクが大きい傾向が看取される。これは、粒子径が小さいほど粒子間の相互作用が大きかったものと推察される。

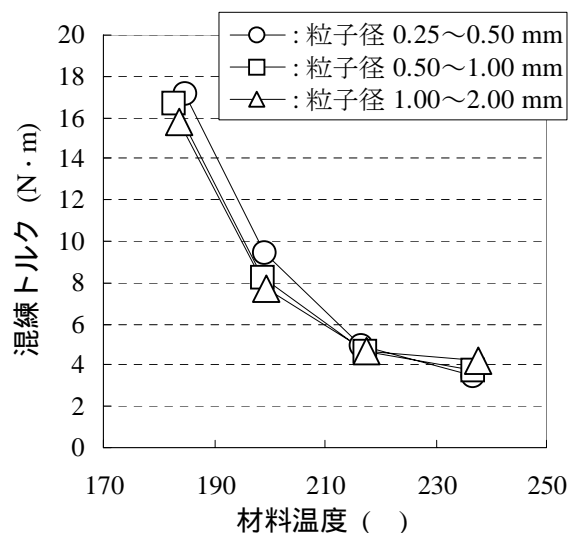


図2 材料温度と混練トルクの関係  
(木粉粒子径の影響)

注: 木粉率: 80%、回転速度: 50 rpm

図3は、図2と同様、材料温度と混練トルクの関係であるが、ここでは木粉率70、80、90%について、木粉B、回転速度が50 rpmの場合について示した。材料温度が高いほど混練トルクは小さくなり、220 までの温度でトルクは大きく低下する。木粉率の影響は明らかで、木粉率が大きいほどトルクは小さい。この傾向はとくに温度が180 の場合に顕著である。これは、木粉率が高い場合にはPPが木粉粒子間に介在するのに十分な量でなく、粒子間の相互作用が小さかったためと考えられる。材料温度が高くなると木粉率の影響は小さくなるが、これは高温になるにつれてPPの粘度が低下したためと思われる。

図4は、材料温度と混練トルクの関係を、回転速度25、50、100 rpm、木粉B、木粉率80%の場合について示したものである。全体的に、材料温度が高くなるにつれてトルクが低下する傾向にあるが、回転速度の影響は非常に大きく、回転速度が小さいほどトルクは小さい。例えば材料温度200 についてみると、回転速度25、100 rpmのそれぞれの場合で、トルクは2倍以上の差があることが分かる。また、混練後の様子を見ると、回転速度100 rpmの場合にはローラやチャンバ内壁にPPがはりついていたのに対し、25 rpmの場合にはその現象が軽微であった。これは、回転速度によって分散効率が異なることを示すものである。つまり、低速であれば小さいトルク（少ない消費エネルギー）で効率

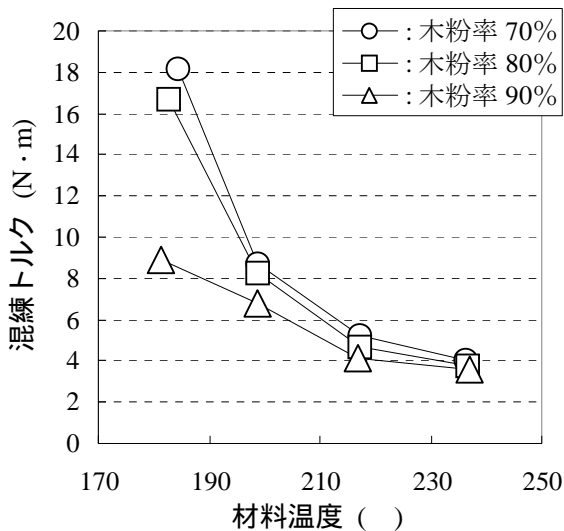


図3 材料温度と混練トルクの関係  
(木粉率の影響)

注: 木粉粒子径: 0.50 ~ 1.00 mm、  
回転速度: 50 rpm

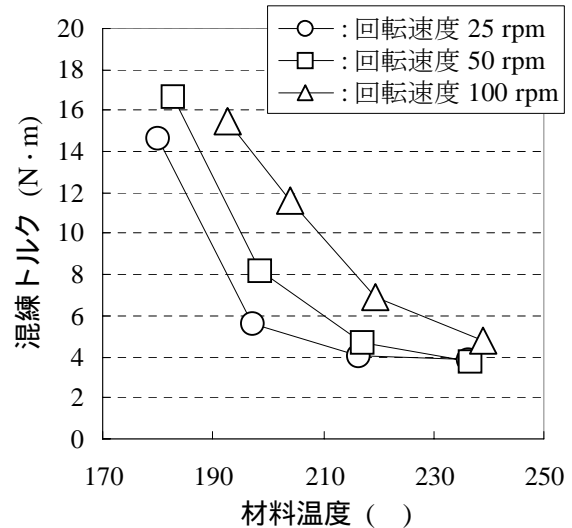


図4 材料温度と混練トルクの関係  
(回転速度の影響)

注: 木粉粒子径: 0.50 ~ 1.00 mm、  
木粉率: 80%

よく混練できると考えられるのであるが、低速過ぎる場合には混練の進行が遅く、木粉の熱分解が問題となるはずである。混練の最適条件を見出すためにはさらなる検討が必要である。

### 3.3 材料温度と設定温度の差

図5は、材料温度と設定温度の差を示したものである。ここでは、木粉A、B、C、木粉率80%、回転速度50 rpmの場合を示した。いずれの木粉でも、設定温度が180 の場合には材料温度はそれを上回ったが、設定温度が高いほど材料温度はそれより低くなった。前述したように、材料温度は試験機ヒータによる加温によって設定温度に保持され、さらに混合物の内部摩擦、せん断発熱によって上昇する。しかし、木粉は200 あたりの温度以上では熱分解するため、それによって材料温度が設定温度を下回る結果になったと考えられる。木粉粒子径の影響は顕著でなく、傾向は明瞭に現れていない。

図6は、図5と同様、材料温度と設定温度の差を示したものであるが、ここでは木粉率70、80、90%について、木粉B、回転速度が50 rpmの場合について示した。全体的な傾向は先の図5と同じで、設定温度が180 の場合のみ材料温度が設定温度を上回り、200 以上の設定温度では木粉の熱分解によって考えられる温度低下によって設定温度に達しない現象が見られた。木粉率の影響は、180 の場合のみ明瞭に現れており、木粉率が小さいほど材料温度は設定温度よりも高くなった。

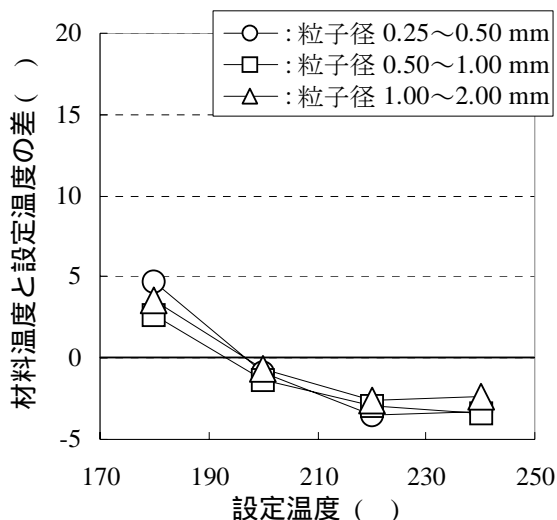


図5 材料温度と設定温度の差  
(木粉粒子径の影響)  
注: 木粉率: 80%、回転速度: 50 rpm

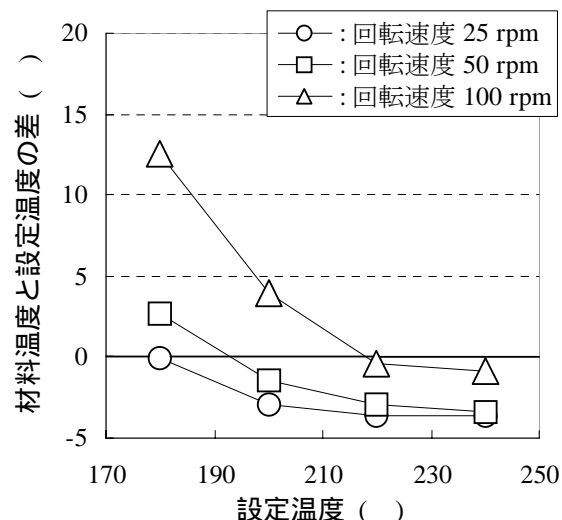


図7 材料温度と設定温度の差  
(木粉率の影響)  
注: 木粉粒子径: 0.50 ~ 1.00 mm、  
木粉率: 80%

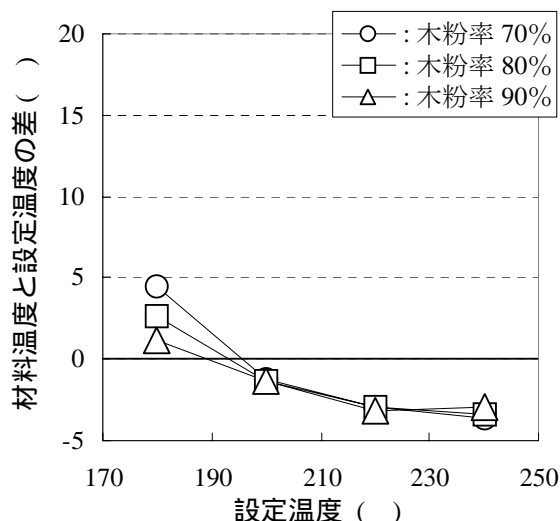


図6 材料温度と設定温度の差  
(木粉率の影響)  
注: 木粉粒子径: 0.50 ~ 1.00 mm、  
回転速度: 50 rpm

図7は、材料温度と設定温度の差を、回転速度25、50、100 rpm、木粉B、木粉率80%の場合について示したものである。全体的な傾向は先の図5、図6と類似しているが、回転速度の影響は非常に顕著である。とくに設定温度が180 の場合には、回転速度25 rpmの場合と100 rpmの場合とで約13 の差がある。このように、回転速度は混合物の内部摩擦、せん断発熱と直接的に関係して材料温度に大きな影響を及ぼすので、混練時の温度コントロールの際には注意が必要である。

#### 4. まとめ

木材・プラスチック複合材の物性は、原料特性や前処理方法、混練や成形の条件など、数多くの因子によって左右される。本報では、基礎的検討として木材とプラスチックの混練性に着目し、ブナ木粉とポリプロピレンの混合材料について、木粉粒子径や木粉率、温度、回転速度の条件が混練トルク、材料温度に及ぼす影響について調べた。得られた知見は次のようにまとめられる。

- 1) 材料温度が高いほど、混練トルクは低下する傾向にあり、木粉粒子が大きいほど、木粉率が高いほど、回転速度が小さいほどトルクは小さかった。今回の実験条件では、回転速度が小さい方が効率的に混練された様子がうかがえたが、木粉の熱分解を抑えるためにはある程度の回転速度は要求されると考えられるから、最適な条件を見出すためさらなる検討が必要である。
- 2) 材料温度は、設定温度が180 の場合には設定温度を上回り、設定温度が200 以上の場合にはほとんど設定温度を下回った。これは、混練による材料の内部摩擦、せん断発熱によって温度上昇が起きた一方で、200 付近以上の温度では木材の熱分解によって温度低下が生じたことを示すものである。回転速度は材料温度にとくに大きな影響を及ぼしたことから、混練時の温度コントロールにおいては最も注意すべきと考えられる。

### 謝辞

本研究は、(株)ケイ・エム・エヌコーポレーションの協力により行われたものである。ここに感謝の意を表します。

### 文献

- 1) 財団法人 エネルギー総合工学研究所：バイオマス発電，2003．
- 2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO海外レポート，No.1017，pp.1-53，2008．
- 3) 外崎真理雄，恒次祐子：木材工業，63(2)，pp.52-57，2008．
- 4) 岡本忠：木材学会誌，49，pp.401-407，2003．
- 5) 今西祐志ら：岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 9，pp.62-66，2007．