

# 木質流動成形技術による県産木質資源の用途開発（第1報）

Product development from locally produced ligneous resource by wood flow forming method

会津若松技術支援センター 産業工芸科 齋藤勇人 出羽重遠

木質流動成形技術を活用した県内企業の製品開発を支援するために、当該技術に関連する木材への樹脂含浸、プレス成形の実験、木質流動成形により得た試験片の強度試験を行った。なお、木質流動成形技術に関するプレス成形の実施にあたり、(国研)産業技術総合研究所の事業である地域産業活性化人材育成事業を利用した。また、ハイテクプラザ内での実験環境の構築のために、成型型を内製、既知の成形条件で平板の成形体を製作することができた。

Key words: 木材、木質流動成形、熱硬化性樹脂

## 1. 背景と目的

地球規模の気候変動の対策のために二酸化炭素排出を抑制する観点から、プラスチック等の化石燃料を原料とする素材に替えて、二酸化炭素固定化に寄与する木質素材への転換が解決策の一つとして期待されている。一方で福島県の森林面積は973,000[ha]で県土面積の約71[%]を占めており、都道府県別で上位に位置している<sup>1)</sup>。つまり、木質の活用が重要視されている背景に加えて福島県は木質資源の供給に高いポテンシャルを持っており、森林資源の一層の活用は福島県所在の企業にとって、地理的な有利性を生かす手法と言える。

さて、木質素材を工業製品として利用するためには、木材に形状を付与する必要がある。木質流動成形<sup>2)</sup>は国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研という。）で研究・開発された技術シーズであり、木材や竹などの植物系材料を膨潤・軟化状態で熱及び圧力を作用させて任意の金型を用いて成形する技術である。圧縮加工のように木質細胞の内腔の閉塞によって緻密化させて形状変化を与える方法と比べて、木質細胞間のすべり現象による位置変化によって変形を与えるため、より大きな変形量を与えることができる。それにより、従来の圧縮加工のみでは不可能であった任意形状の木質系材料の塑性加工を実現できる。

本開発では、木質流動成形技術を活用した県内企業の製品開発を支援するために、当該技術に関連する木材への樹脂含浸、プレス成形の実験、木質流動成形により得た試験片の強度試験を行った。また、ハイテクプラザで成型型を製作し、所内での実験環境の構築を行った。なお、本研究を実施するにあたり産総研の「地域産業活性化人材育成事業」を活用した。

## 2. 実験方法および結果

本開発の実験では、産総研の材料・化学領域 マルチマテリアル研究部門 木質資源複合材料グループの招聘研究員として“福島県産資源を利用した木質流動成形の実施と評価”というテーマで以下の項目に取り組んだ。

- ①福島県産木材への熱硬化性樹脂の含浸
- ②熱硬化性樹脂を含浸した木材のおちょこ形への加工による成形性の評価
- ③熱硬化性樹脂を含浸した木材の平板形への成形加工
- ④製作した平板試験片の強度試験

この他、会津若松技術支援センターにて実験したことは以下のとおりである。

- ⑤成型型の内製
- ⑥内製した成型型を使用した成形実験

### 2. 1. 供試材

実験に使用する供試材は福島県の森林から生産された木材を選定した。木材は105[°C]に設定した乾燥器で恒量になるまで乾燥させ、全乾比重を測定した。供試材の樹種及び全乾比重を表1に示す。

表1 供試材の全乾比重

樹種	全乾比重
スギ	0.55
ヒノキ	0.39
カラマツ	0.33
クリ	0.50
キリ	0.29
ウルシ	0.37

## 2. 2. 樹脂含浸

木質流動成形技術において樹脂含浸は重要な要素である。樹脂を木材へ含浸させることによって木材を軟化させるとともに、形状付与した時に成形体に強度を付与する役割を果たすからである<sup>3)</sup>。

供試材を全乾状態にしてから断面 58[mm]×4[mm]×繊維方向 152[mm]に加工した。内寸 155[mm]×155[mm]×H150[mm]の亚克力製容器に供試材を入れて、重りを乗せたのちに、その容器ごと真空容器（アズワン(株)製 SSK-03 内径 240[mm]×195[mm]）に入れ、ふたをした。真空容器にアスピレータ（真空機工(株)製 MDA-050）を接続し、内部の圧力をゲージ圧-0.09[MPa]以下になるように抜気し、試験片の内部の圧力が落ち着くように10分間保持した（装置は図1）。

次に、熱硬化性の樹脂水溶液（アミディア M-3（メラミン/ホルムアルデヒド系の熱硬化性樹脂溶液、DIC(株)）を樹脂成分の割合が 30[wt%]となるように蒸留水で希釈したもの）を真空容器の圧力を保ったまま木材が水没するまで注ぎ、再度減圧して-0.09[MPa]以下で1時間保持したのちに、常圧に戻し、真空容器ごと図2に示す加圧容器に入れ 8[kgf/cm<sup>2</sup>]の圧力を加えて24時間保持したのちに取り出した。取り出した素材は 35[°C]の温風乾燥および減圧乾燥で6時間ごとの重量変化が 0.5[%]以内となるまで乾燥して水分を除去した。この樹脂含浸の工程の前で供試材の重量測定、寸法測定を行い、重量増加率 [%]、素材に占める樹脂割合 [%]、体積膨張率 [%] を以下の式により計算した。

$$\text{重量増加率}[\%] = (w_1 - w_0) / w_0 \times 100$$

$$\text{樹脂割合}[\%] = (w_1 - w_0) / w_1 \times 100$$

$$\text{体積膨張率}[\%] = |(D_1 \times L_1 \times t_1) - (D_0 \times L_0 \times t_0)| / (D_0 \times L_0 \times t_0) \times 100$$

ただし、

$w_0$ : 全乾状態の試料の重量 [g]

$w_1$ : 樹脂含浸後の試料の重量 [g]

$D_0$ : 全乾状態の試料の幅寸法 [mm]

$D_1$ : 樹脂含浸後の試料の幅寸法 [mm]

$L_0$ : 全乾状態の試料の長さ寸法 [mm]

$L_1$ : 樹脂含浸後の試料の長さ寸法 [mm]

$t_0$ : 全乾状態の試料の厚さ寸法 [mm]

$t_1$ : 樹脂含浸後の試料の厚さ寸法 [mm]

である。

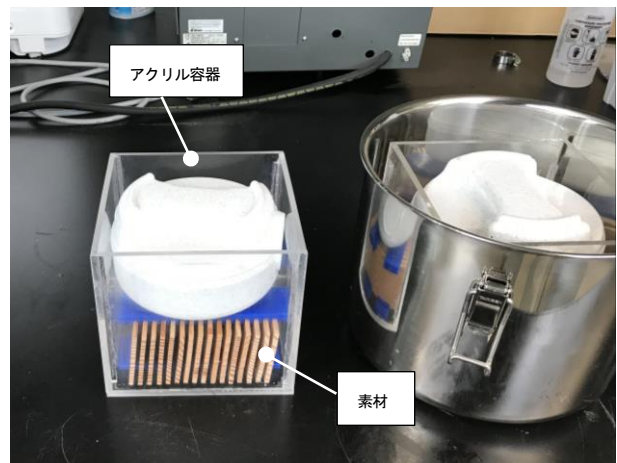


図1 樹脂含浸の装置・器具



図2 加圧容器

各樹種試料に対して測定した結果は表2のとおりであった。含浸を行った素材の樹脂割合は樹種によって違いが見られ、ヒノキ材、カラマツ材、キリ材は樹脂割合が 40[%]前後と比較的多くの樹脂を含浸させることができた。一方で、スギ材、クリ材は前者に比較して樹脂割合等が小さく、ウルシ材に至っては樹脂をほ

とんど含浸させることができなかったため、樹脂溶液の含浸が困難な素材であることが分かった。また、スギ材、ヒノキ材、カラマツ材については体積膨張が確認されたことから、木材の細胞壁の内部まで樹脂分が到達していると考えられた。また、クリ材は体積膨張が小さく、細胞壁まで到達している樹脂分は比較的少ないと考えられた。

なお、キリ材は樹脂含浸後に不均一な寸法変化および反りが生じたことで、寸法測定が困難となったため体積膨張率の算出は行わなかった。キリ材は比重が小さいので細胞壁も薄いと考えられるため、加圧～乾燥工程において細胞壁が内部に向かって座屈・圧壊する現象（落ち込み）が生じやすいことが原因であると考えられた。また、落ち込み現象は細胞内腔の変形を伴う収縮であるため、正常な細胞壁のみの収縮よりもはるかに大きな収縮率を示すことが知られている<sup>4)</sup>。

表2 各樹種の試料に対する樹脂含浸の結果

樹種	重量増加率 [%]	樹脂割合 [%]	体積膨張率 [%]
スギ	35.9	26.3	4.2
ヒノキ	70.6	41.4	3.7
カラマツ	85.2	45.8	7.1
クリ	32.6	24.5	0.6
キリ	62.0	38.1	(測定なし)
ウルシ	13.4	11.8	(測定なし)



図3 成形の様子

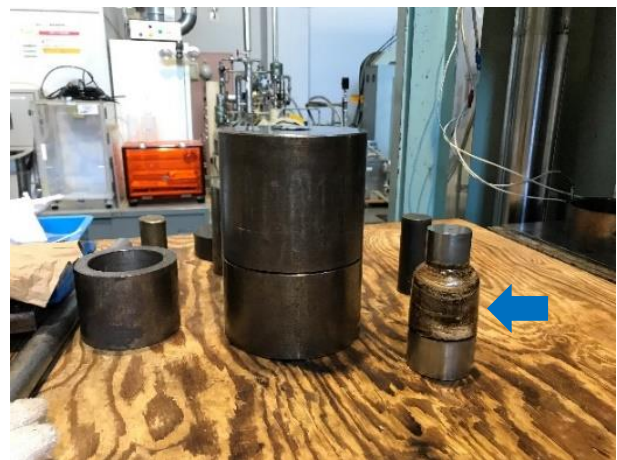


図4 取り出した成形体

### 2. 3. おちょこ形の成形（成形性の評価）

2. 2. で樹脂含浸した素材をおちょこの形状に成形を行うことで、素材の成形性の良否を確認した。産総研が所有している後方押し出し<sup>2)</sup>による方式の成形型を使用した。155[°C]に設定したホットプレス上で成形型を135[°C]以上に予熱、離形剤のペリコートS（中京化成工業(株)）を塗布した後に、直径48[mm]厚さ4[mm]の円盤形に切った素材を総重量が約60[g]となるように調整した枚数を成形型に投入した。その後、ホットプレスにより約350[kN]の荷重で成形を行い（図3）、温度と圧力を10分保持した後、成形型を80[°C]以下に冷却してから、成形体を取り出した（図4）。

各樹種の素材をおちょこ形に成形した結果は図5のとおりであった。ヒノキ材、カラマツ材、キリ材の3つの素材は成形体の表面に欠陥がなく、後方押し出しの成形型の素材の流動の始点から最も後方の成形型の端面まで素材が充填されており、良好な結果であった。一方でスギ材、クリ材は端面まで素材が充填されていない部分が見られた。充填不良の原因として、含浸された樹脂割合が低いことが一因であると考えられた。



図5 各樹種の素材をおちょこ形に成形した結果

### 2. 4. 平板の成形

物性試験を行うために、試験片の採取に適した平板成形の成形体を製作した。製作には産総研が所有している図6の成形型、図7の卓上ホットプレス装置を使用した。155[°C]に設定した卓上ホットプレス上で成形型を135[°C]以上に予熱、離形剤のペリコートS（中京化成工業(株)）を塗布したのちに、50[mm]×48[mm]×t4[mm]の平板に切った素材5枚を、繊維方向を一方にそろえて成形型に投入した。その後、ホットプレスにより約10[kN]の荷重で成形を行い、温度と圧力を10分保持した後、成形型を80[°C]以下に冷却してから、成形体（図8）を取り出した。

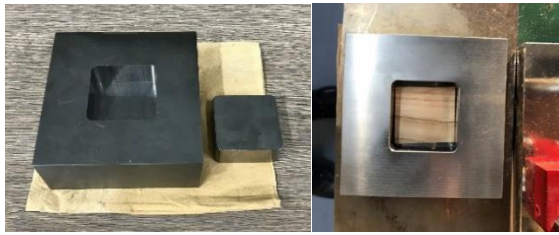


図6 平板試験体製作の成形型



図7 卓上ホットプレス 図8 平板の成形体

## 2. 5. 機械物性の測定

2. 4. で製作した平板の成形体を、レーザー加工及びフライス加工で所定の寸法に加工し、試験片(図9)を製作し、曲げ試験、圧縮試験、引張試験(図10)を実施して強度を確認した。

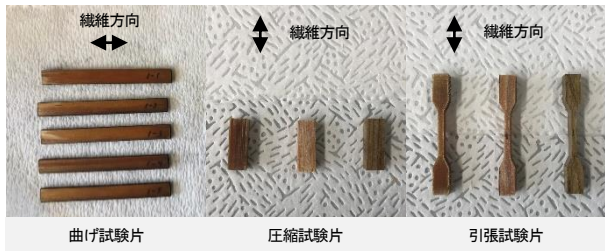


図9 製作した試験片



図10 曲げ試験、圧縮試験、引張試験

表3 強度試験の結果

樹種		比重	曲げ強 さ[MPa]	圧縮強 さ[MPa]	引張強 さ[MPa]
ヒノキ	成形体	1.30	296	211	149
	無垢 <sup>5)</sup>	0.39	74	39	118
カラマツ	成形体	1.38	330	243	158
	無垢 <sup>5)</sup>	0.33	78	44	83
クリ	成形体	1.22	153	159	103
	無垢 <sup>5)</sup>	0.50	78	42	93
(参考)メラミン・ホルムアルデヒド樹脂 <sup>6)</sup>		1.47-1.52	62-110	228-310	38-89

強度試験を行った結果を表3に示す。ただし、無垢、及びメラミン・ホルムアルデヒド樹脂の値は参考文献から引用した。ヒノキ材、カラマツ材、クリ材の3種類の素材のいずれについても、曲げ強さと引張り強さが無垢の木材、樹脂単体よりも向上することが確認できた。また、圧縮強さにおいても無垢木材と比較して、成形体のほうが大きく向上していることを確認した。

## 2. 6. 成形型の内製

ハイテクプラザで県内企業の木質流動成形によるものづくりを支援するために、図11、12に示す成形型を製作した。成形型は2.4.に示す平板形の成形体を製作する成形型を模倣した形状とし、平板に加えて、立ち上がりのある箱形の成形体を後方押し出しで製作できる形状とした。材質はS50C、成形型の摺動部分は40[μm]のクリアランスをつけて加工した。また、素材の流動の始点部分のみを1[μm]のダイヤモンド粒子で鏡面研磨した。産総研の出願特許(国際公開WO2018/09820)では表面に硬質コーティングを施すことを推奨しているが、ここではコーティング無しの成形型による成形結果を確認したいと考えたことから、硬質コーティングを施工しなかった。

## 2. 7. 成形加工

2. 6. で製作した成形型を使用して、ハイテクプラザで成形体の製作を行った。155[°C]に設定したホットプレス上で成形型を 135[°C]以上に予熱、離形剤のキュアコートEP1300（中京化成工業（株））を塗布したのちに、49[mm]×40[mm]×t4[mm]の平板に切った樹脂含浸ヒノキ材3枚を、繊維方向を1方向にそろえて成形型に投入した（図13）。その後、ホットプレスにより最大 100[kN]の荷重で成形を行い、温度と圧力を10分保持した後、成形型を 80[°C]以下に冷却してから、成形体を取り出した。

図14のように平板形は充填不良なく製作することができた一方で、箱形では、図15のように、充填不良により目的通りの成形体を得ることができなかった。この理由としては、木材への樹脂の含浸割合が低いことや、成形型の潤滑不足、成形圧力不足などの複数の理由が考えられる。また、数回の成形実験の後に、成形型にスクラッチ傷が観察されたことから、硬質のコーティングがない成形型では耐久性に問題があることを確認した。

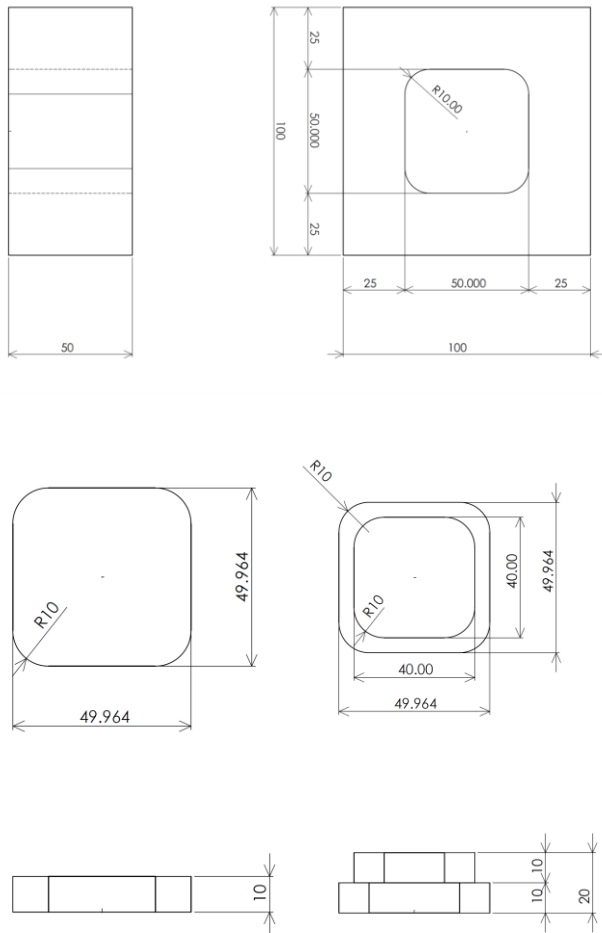


図11 製作した成形型の寸法



図12 製作した成形機



図13 成形型へ素材を投入



図14 製作した平板成形体

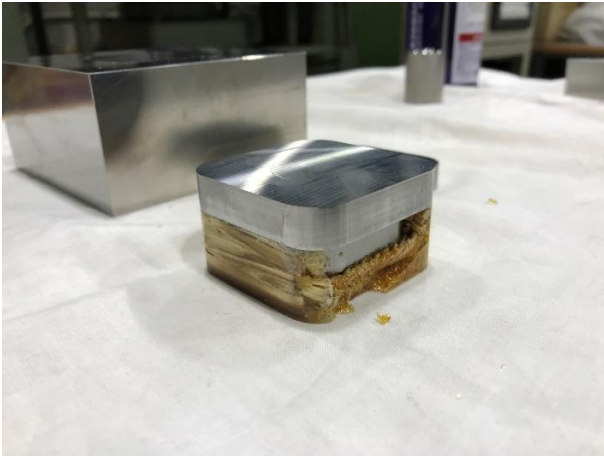


図15 立ち上がりのある形状の成形

### 3. まとめ

本開発では、木質流動成形技術を活用した県内企業の製品開発を支援するために、当該技術に関連する木材への樹脂含浸、プレス成形の実験、木質流動成形により得た試験片の強度試験を行い、以下の結果及び知見を得た。

- ①木質流動成形の前処理として、メラミン・ホルムアルデヒド系熱硬化性樹脂溶液の含浸処理を行い、樹種によって樹脂の含浸の良否に違いがあった。
- ②木質流動成形により得られた成形体の強度試験を行い、試験に供した成形体が無垢の木材や樹脂単体よりも高い強度を持つことを確認した。
- ③成形型の内製および成形の実験をハイテクプラザ内で行い、平板の成形体を製作することが可能になった。
- ④ハイテクプラザで製作した成形型の表面には硬質コーティングを施さなかったが、成形作業によってスクラッチの傷が生じたことから、耐久性に問題があると考えられた。
- ⑤ハイテクプラザで実施した、箱形の成形体の製作では、充填不良により目的通りの成形体を得ることができなかった。成形型や潤滑の改善が必要と考えられた。

今後は、ハイテクプラザに構築した実験環境をもとに、県内企業の木質流動成形を活用したものづくりの支援を目的として、食器、家具・インテリアなど意匠性を重視した製品への応用を進める。

### 謝辞

地域産業活性化人材育成事業を活用するにあたり、快く受け入れてくださった（国研）産業技術総合研究所の研究者の皆様に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 福島県農林水産部.令和元年福島県森林・林業統計書（平成30年度）
- 2) 金山公三. 木質系材料の流動変形. 日本接着学会誌. 52 巻(2016)9 号 p. 276-280.
- 3) 三木恒久,杉本宏之,重松一典,金山公三.木質材料の流動成形に関する研究（素材の変形挙動に及ぼすバインダの影響）. 日本材料学会学術講演会講演論文集. (2012)p. 285-259.
- 4) “浅野猪久夫編集：木材の辞典”（株朝倉書店）
- 5) “林産試験場編：木材工業ハンドブック第5版4刷”. 丸善(株).
- 6) “MF メラミン樹脂 物性表（引用資料：（株）プラスチック・エージ プラスチック読本）”. 株式会社KDA. [https://www.kda1969.com/materials/pla\\_mate\\_mf2.htm](https://www.kda1969.com/materials/pla_mate_mf2.htm),（参照 2021-3-25）.