

研究課題：木質系素材の主成分変性によるプラスチックフリーな塑性加工用素材の開発

(産業技術総合研究所 マルチマテリアル研究部門 関 雅子)

背景・目的 木材・竹等の木質系素材は、光合成によって大気中の二酸化炭素を固定して生長する再生産可能な資源である。その資源量は全地球上で約 7600 億トン（炭素換算量）であり、石油資源量の 2 倍以上といわれている。これを石油由来資源の代替として広く利用できれば、喫緊の課題である地球温暖化問題等の解決に貢献できる。一方で、木質系素材は金属やプラスチック等の工業材料と比べて塑性変形能が乏しい材料である。このため、生産効率の高い塑性加工法の適用が困難であり、このことが他の工業材料と比べて多種多様な製品・部材への展開を阻害する一つの要因となっている。産業技術総合研究所では、木材を構成する繊維状木質細胞間のすべり現象を利用した塑性加工法「木質流動成形技術」(特許：第 5327791 号 他) に関する研究開発を進めている。この加工法は、塊状の木質素材へ樹脂等の添加剤を含浸させることで木質細胞壁実質を改質し、素材に大変形を生じさせるものである。この技術は、既存の金属加工等で用いられている汎用の塑性加工手段を適用することで、これまで木材では成形困難であった複雑、長尺、薄物等のニアネットシェイプ成形が高い生産性のもと可能になると期待されている。しかしながら、従来の木質流動成形では塑性変形能を向上させるために石油由来の添加剤を使用しており、環境配慮の面からもプラスチックフリーな流動成形用木質素材の開発が必要とされてきた。

本研究では、化学処理等による木質素材を構成する主成分の変性を利用して、木質素材への塑性流動性を向上させた成形用素材の開発を目的とした。具体的には、木質素材の強靱な細胞骨格を構成するセルロースの構成は維持した状態で、それ以外の主成分であるリグニンやヘミセルロースを化学的に変性・除去することで塑性流動性の改善を目指した。その結果、リグニンを除去する化学処理（脱リグニン処理）によりプラスチックフリーの状態での塑性流動性を大幅に向上させることに成功したため、その成果を報告する。

実験 ヒノキから切り出した試料（5 mm × 5 mm × 5 mm）に対して、メタノールと熱水で抽出処理を施した後、脱リグニン処理に供した。脱リグニン処理は、酢酸を添加した 45°C の 4% 亜塩素酸ナトリウム中で処理時間（ t ）を変化させて行った。処理後は、室温の水中で反応を止めると同時に、洗浄を行い、圧縮試験に供するまで水中で保管した。比較用として、純水を含浸させた未処理試料を調整した。試料中のリグニンの分布評価のために、各試料から厚さ約 25 μ m の木口切片を切り出してスライドガラスとカバーガラスで挟み込み、顕微ラマン分光装置によるリグニンのマッピング測定に供した。塑性流動性の評価は、100°C の飽和水蒸気環境下で、試料を平板工具間に挟み込み、半径方向（R）に毎分 1mm で圧縮する自由圧縮試験に供した。

結果と考察 脱リグニン処理に伴うリグニンの分布を顕微ラマンマッピング測定により評価した結果を図 1 に示す。未処理木材（ t : 0 min）では、細胞と細胞の境界部分（特にセルコーナー、図中矢印で示す部分）でリグニン含有量が最も多かった。脱リグニン処理の初期

段階 (t_r : ~60 min) では主にセルコーナーのリグニン含有量が減少し、それより長時間の処理ではリグニンが全体的に減少していくことがわかった。これらの脱リグニン処理試料および未処理試料を用いて、自由圧縮試験による塑性流動性評価を行った結果を図2に示す。圧縮率 (C) が約60%までは木材中の空隙が潰される圧密領域であり、圧密が完了すると公称圧縮応力 (σ) は急激に立ち上がり、途中 (図中矢印で示す時点) で木材が拘束されていない方向に塑性流動するため傾きが変わった。その傾きが変わる塑性流動開始時点の σ は、処理時間が長くなるほど小さくなり、最も処理時間が長いもの ($t_r=360$ min) で未処理 ($t_r=0$ min) の約10分の1程度まで小さい応力で塑性流動した。自由圧縮試験後の試料の外観写真 (図3) から、圧縮後の試料は繊維直交方向 (T方向) に大きく伸びており、その程度は未処理 (a) よりも脱リグニン処理後 (b) の方が顕著であった。以上の結果から、脱リグニン処理により石油由来の添加剤を使用しなくても木材の塑性流動性を著しく向上させることに成功し、脱リグニン木材はプラスチックフリーの塑性加工用素材として適用できる可能性を見出した。

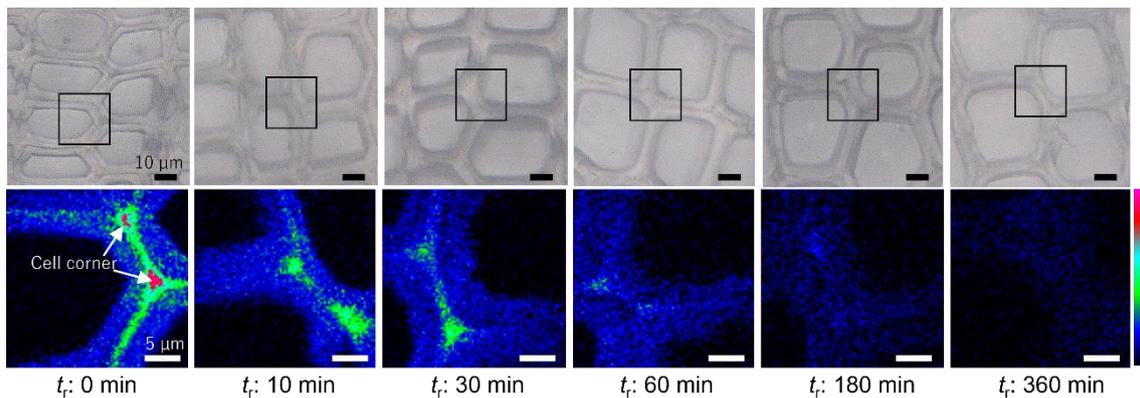


図1 未処理木材 (t_r : 0 min) 及び脱リグニン処理木材 (t_r : 10~360 min) の光学顕微鏡像 (上段) と、リグニン由来吸収ピーク ($1525\text{-}1700\text{cm}^{-1}$) のラマンマッピング結果 (下段、上段黒枠内)

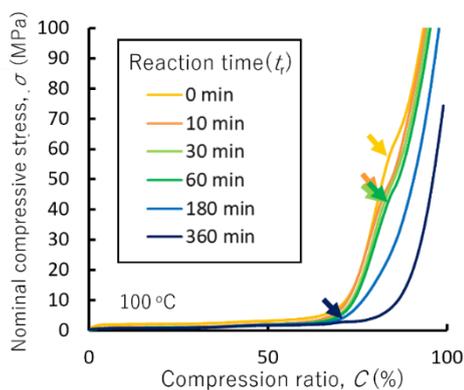


図2 自由圧縮試験時の圧縮率 (C) と公称圧縮応力 (σ) の関係

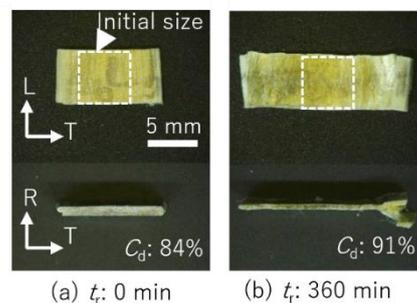


図3 自由圧縮試験後の未処理木材(a)および脱リグニン処理試料(b)の外観写真

研究成果

Seki, M., Yashima, Y., Abe, M. et al. Influence of delignification on plastic flow deformation of wood. *Cellulose* 29, 4153–4165 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04555-0>