

トライボ化学反応を誘発するロールプレス加工法の開発 セラミックス風な表層を持つ木質複合材料を目指して

東京都立産業技術研究センター 開発本部マテリアル応用技術部
主任研究員 樋口 智寛
(2018年度 一般研究開発助成 AF-2018009-B2)

キーワード：木質材料, トライボ化学, ロールプレス

1. 研究の目的と背景

「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(平成 22 年法律第 36 号)が制定される等, 木材・木質材料を積極的に社会に活用していこうとする基盤作りが進んでいる。一方, 木材・木質材料の適用範囲の拡大に伴い, 安全性や耐久性等について, 市場が要求する性能も高度化し, 新たな木質材料の開発, またそれらの加工・製造法の開発が必要となっている。

現在, 硬質な木質材料の製造法として, 木材のプレス加工が用いられている。得られる木質材料は, 内部まで圧縮・塑性変形された圧密化木材となり, 元の木材が持つ物性は失われている。

木材内部の物性は保持し, 木材表層のみを圧縮・塑性変形させる手法として, 高速回転するローラー(工具)を木材に接触・圧下させ, すべりにより摩擦する方法(高速摩擦処理)が提案されている¹⁻³⁾。本手法により, 木材表層部分のみを圧下・摩擦することによって, 軟化・圧密させ, 工具の微細な表面形状の付与²⁾, 極めて平滑な表面を形成する形状転写に成功している³⁾。

一般に, 摩擦が伴う加工において, 摩擦する物体とされる物体が接触する箇所のみ, 高温・高圧・せん断力等が加わることにより, 通常では大掛かりな反応器を必要とするような特異的な化学反応(トライボ化学反応)が進行することが知られている⁴⁾。この現象により, 高速摩擦処理を実施した木材表面は, 形状等の物理的な特性の変化とあわせて, 化学的な特性の変化ももたらされると推定される(図1)。また, トライボ化学反応を利用することにより, 従来よりも高機能な木材を環境負荷が少ない方法で製造できる可能性がある⁵⁾。

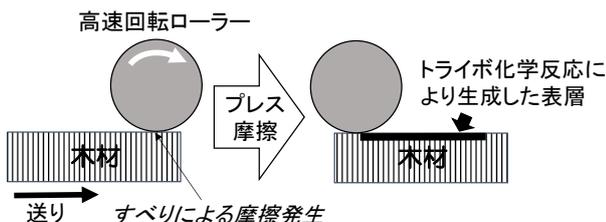


図1 木材の高速摩擦処理概要

本研究では, 高速摩擦処理時に木材表面において発現するトライボ化学反応を利用し, 表層のみに新機能を持たせた木質材料の開発, 加工・製造のための新しいロールプレス加工法の開発を目指して, 基礎的知見を得ることを目的とした。

将来的には, 例えばセラミックスに類似した性質を木材表層のみに形成させる等, 木材とは全く異なる特性を表層のみへ付与した新機能木質材料の生産技術への展開を目指している。

2. 試験片作製

2・1 供試材

気乾状態のスプルースを, 50 mm(L)×11 mm(R)×3 mm(T)に切り出し, 試験片とした。高速摩擦処理は, 50 mm×3 mmの板目面を対象に実施した。

2・2 高速摩擦処理方法

移動ステージ上に固定した木材試験片を, 一定速度で高速回転する工具に送り, 試験片表面を摩擦処理した。摩擦する工具には, 表面粗さ Ra=0.1 μm, 直径 12 mm の SK105 製丸棒を用いた。摩擦処理の条件は, 試験片送り速度 0.2 mm/s, 工具の回転数 13000 rpm, 試験片表面へ工具を押し付ける圧下量を 0.1~0.3 mm とし, 所定の回数に到達するまで繰り返し摩擦した。

摩擦処理時には, 木材とのトライボ化学反応による表層形成や摩擦時の潤滑剤としての効果も期待し, 木材用オイルフィニッシュとして広く用いられている亜麻仁油を木材表面へあらかじめ塗布した。

3. 高速摩擦処理木材の特性評価と結果・考察

3・1 高速摩擦処理木材表面の組織変化

図2に共焦点レーザー顕微鏡により観察された高速摩擦処理による木材表面の組織状態の変化を示した。あわせて試験片の外観写真を示した。

共焦点レーザー顕微鏡観察により, 繰り返し摩擦の初期(摩擦処理3回数程度)は, 急速に木材表層の平滑化が進展し, その後, 微小な組織に影響を与えることが確認された。このことから, 高速摩擦処理の繰り返し回数により, 形成される木材表層の組織や平滑性等の制御が可能といえる。

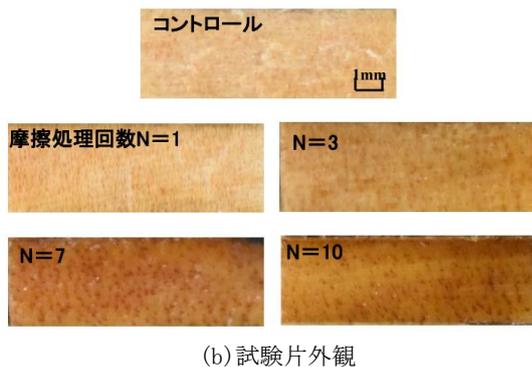
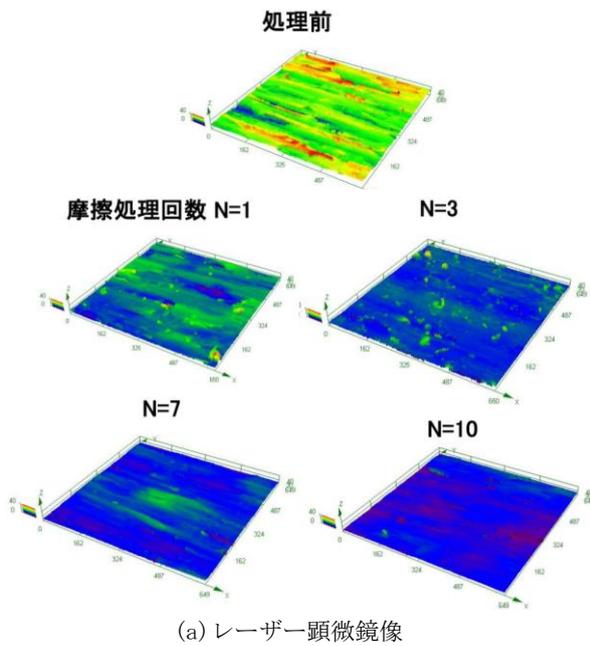


図2 高速摩擦処理木材表面の組織および外観変化

3・2 高速摩擦処理木材表面の物性（硬度・弾性率）

ダイナミック超微小硬度計により、摩擦処理の木材表面に対して、負荷 - 除荷試験時の荷重 - 変位を測定した。三角錐の圧子を用い、押し込み深さは、表面より約 10 μm とした。

摩擦処理に伴う硬さの変化を比較するため、未処理試験片と摩擦処理試験片におけるダイナミック硬さの比（摩擦処理／未処理）を算出し、図3に示した。ダイナミック硬さ比は、摩擦処理繰り返し回数に関わらず常に1を超え、木材表面のダイナミック硬さが上昇することが示された。ダイナミック硬さの上昇は、高速摩擦処理に伴う木材表面の圧密化に起因すると推定される。

図4に除荷曲線の近似直線の傾きより算出した弾性率を示した。摩擦処理に伴う弾性率の特徴的な変化は見られなかった。

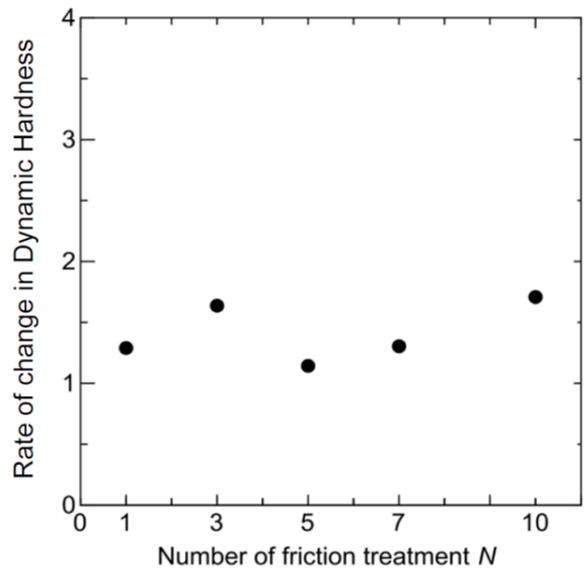


図3 高速摩擦処理の繰り返しによるダイナミック硬さ比（摩擦処理試験片／未処理試験片）の変化

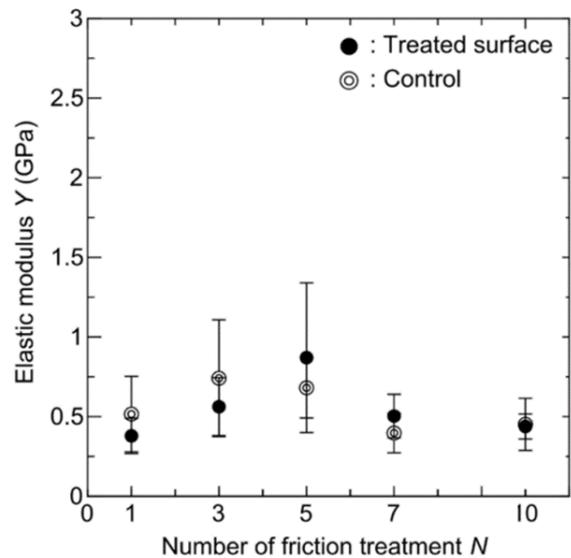


図4 高速摩擦処理の繰り返しによる弾性率の変化

3・3 高速摩擦処理木材表面の色彩

繰り返しの摩擦処理により、図2に示したような木材表面の黒色化が発現した。そのため、色彩色差計により明度 L^* を測定した。評価面径 3 mm とし、D65 光源を使用した。

図5に繰り返し摩擦処理に伴う明度の変化量を示した。摩擦処理回数の増加に伴い、黒色化が進行することが確認された。

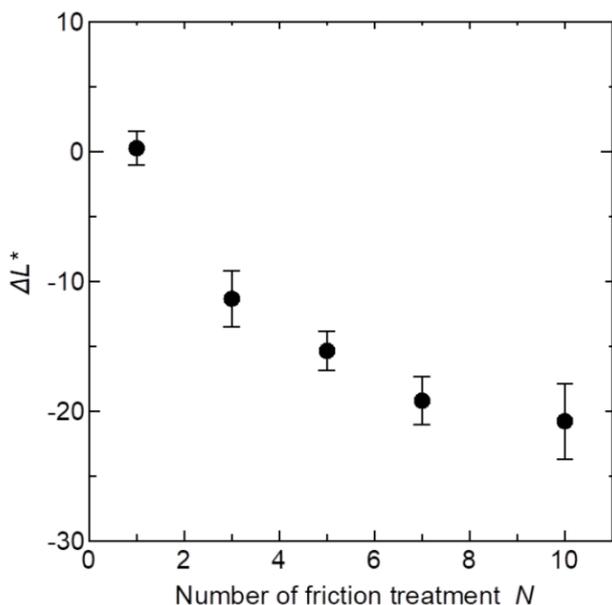


図5 高速摩擦処理の繰り返しによる明度の変化
(ΔL^* : 未処理試験片 L^* - 摩擦処理試験片 L^*)

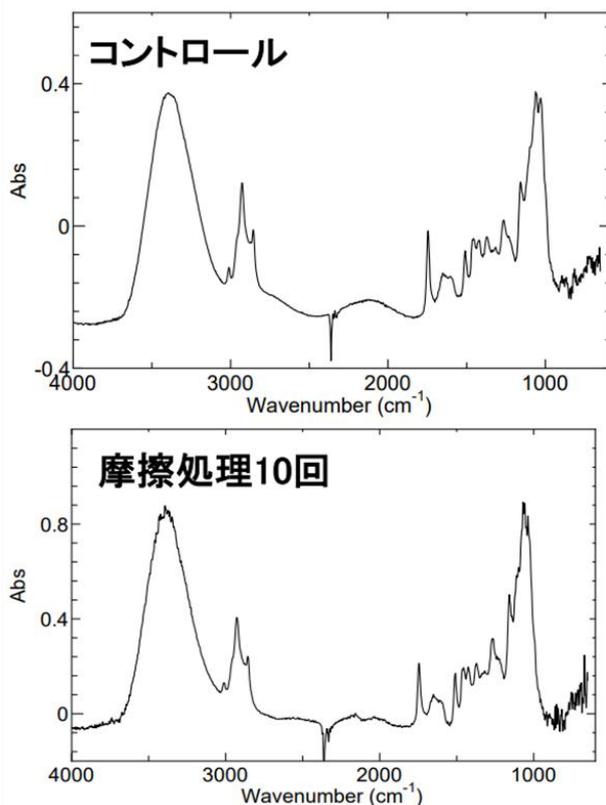


図6 高速摩擦処理に伴う赤外吸収スペクトル変化

3・4 高速摩擦処理木材表面の化学的特性

摩擦処理による木材表層の化学的な変化を確認するため、赤外分光分析を行った。摩擦処理表層より切り出した薄片に対し、顕微透過法により分析した。図6に未処理試験片と摩擦処理10回実施後の試験片の赤外吸収スペクトルをそれぞれ示した。

2900 cm^{-1} 付近に見られる炭化水素鎖由来の CH 伸縮や、3300 cm^{-1} 付近に見られる水酸基由来の OH 伸縮の吸収強度に差異が見られた。それぞれの吸収ピークの面積の比 (OH/CH) を算出し、図7に示した。摩擦処理の繰り返し回数の増加に伴い、OH/CH の値が低下し、含有成分の水酸基の減少が確認された。

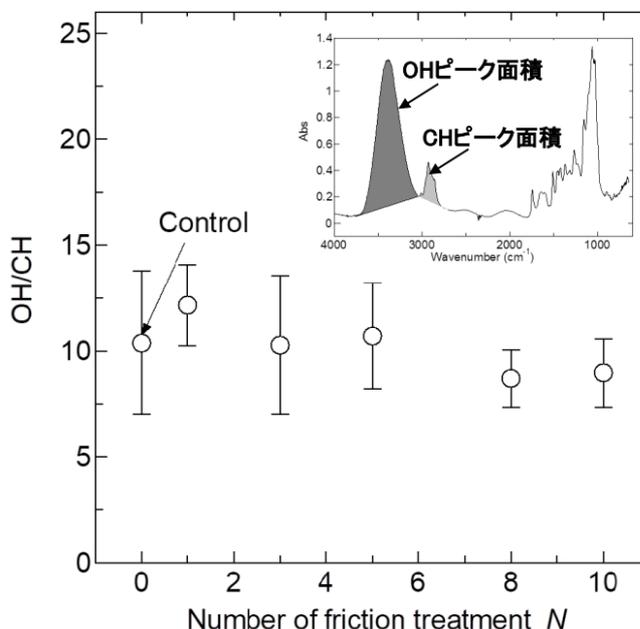


図7 高速摩擦処理の繰り返しによるピーク面積比 (OH/CH) の変化

摩擦処理により、親水性に起因する水酸基の減少が木材表層において確認されたことから、撥水性能の発現が期待された。撥水性の評価を行うため、摩擦処理面における水滴接触角を測定し、図8に示した。摩擦処理回数により、水滴接触角は約 65° にまで増加し、撥水性の向上が認められた。

赤外分光分析と水滴接触角の挙動をあわせると、摩擦処理の繰り返しによって、試験片成分の水酸基の減少に伴う何らかのトライボ化学反応が発現し、木材表層への撥水性付与に効果的に働いていると推定される。

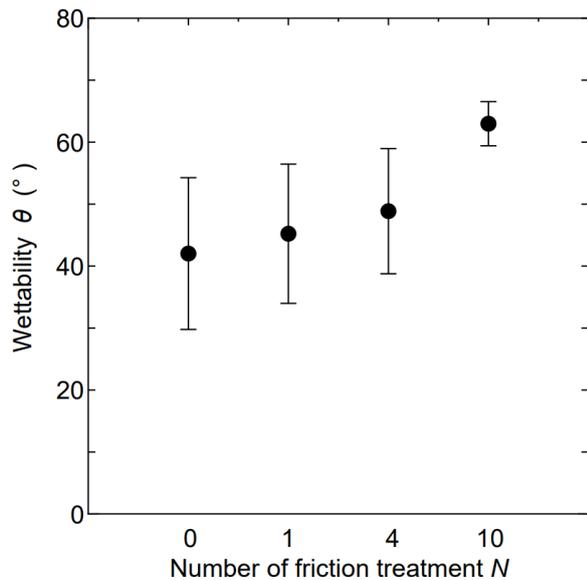


図8 高速摩擦処理の繰り返しによる水滴接触角の変化

4. まとめ

表層のみに新機能を持たせた木質材料の加工・製造に向け、新しいロールプレス加工法として木材表層の高速摩擦処理を実施した。高速摩擦処理に伴う木材表層の物理的・化学的変化を追跡し、基礎的知見を得た。

高速摩擦処理の繰り返しのみによって、形成される木材表層の組織、色彩、化学的な変化の制御が可能であった。木材表層の高速摩擦処理は、少数のパラメータのみによって、トライボ化学反応の制御が可能な加工法といえ、新機能木質材料の創生への応用に期待できる。

謝 辞

本研究は、公益財団法人天田財団一般研究開発助成の支援を受けて行われたものです。心から感謝を申し上げます。

本研究の遂行には、東京学芸大学 大谷忠教授、職業能力開発総合大学校 飯田隆一特任助教、近畿大学 松原独歩特任講師ならびに各研究室の皆様、東京都立産業技術研究センター 西田葵氏の多大な協力をいただきました。皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) R. Iida, T. Ohtani, T. Nakai, K. Adachi, J. Wood Sci. 60, 313–320, 2014
- 2) R. Iida, T. Ohtani, T. Nakai, K. Adachi, Trans. Mat. Res. Soc. Japan, 41, 367–373, 2016
- 3) T. Ohtani, R. Iida, T. Nakai, K. Adachi, K. Abe, K. Toba, J. Wood Sci. 62, 377–380, 2016
- 4) 森, 七尾, 表面科学 19, 379–384, 1998
- 5) 飯田, 大谷, 樋口, 松原, 西田, トライボロジスト 66, 768–773, 2021