

## 2025年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

### 「植物由来化合物等を活用した耐腐食性・耐変色性に優れたCLT建材の開発」

[ 就実大学・准教授 ] [ 山田 陽一 ]

#### 1. はじめに

CLT(Cross Laminated Timber:直交集成板)は、木材を直交方向に積層することで高い構造強度と寸法安定性を有する建材であり(図 1)、軽量性や断熱性、環境負荷の低さといった特長から、近年建築・土木分野で注目されている。一方で、木材由来材料であるがゆえに、屋外や高湿度環境下で使用、特に工事現場での什器の通り道としての敷板として使用した場合に微生物による腐食や変色が生じやすいという課題を抱えている(図 2)。これまで、これらの問題に対しては金属を含む保存剤等が用いられてきたが、環境負荷や安全性の観点から代替技術が求められている。

我々は抗菌効果をもつ植物成分の探索を行ってきた。その成果として、松脂に含まれる天然成分から、有望な抗菌活性化合物としてアビエチン酸系化合物を見出した。アビエチン酸系化合物は黄色ブドウ球菌を殺す(抗菌活性)だけでなく、細菌が物体表面に付着するための重要な因子であるバイオフィルムの形成を阻害する(抗バイオフィルム活性)ことも明らかにした。アビエチン酸系化合物は絆創膏の基材にも含まれているため安全性は高いと予想される。アビエチン酸系化合物の細菌に対する抗菌・抗バイオフィルム効果の研究結果を社会に還元するために、2020 年度の新産業創出研究会の研究助成を受け、品川ゼネラル(株)と(株)エナジーフロントとの産学連携を通して抗菌シート「アビエシート」を開発し、社会実装を行った。

我々はアビエチン酸系化合物の有用性に着目し、抗菌シート以外の使用方法を模索してきた。その中で、アビエチン酸系化合物を含有する松脂由来天然物のロジン(CL)をCLTに塗布し、抗菌抗カビ効果を付与することで、腐食・変色に耐性のある高付加価値CLTを開発することを目指した(図 3)。本開発品は、木材と松脂を主原料とした天然素材由来の高付加価値CLTであるため、使用期限が過ぎて劣化した場合には木のチップに加工することで、バイオマス発電の燃料になる。このように本高付加価値CLTは木材の利用促進と天然資源の有効活用を目指したSDGsにも配慮したCLTとなる。結果として、環境負荷の低減と経済的価値の両立を図ることができ、今後の建築資材業界における革新的な素材になりうる。

#### 2. 概要

本研究は、坂手建設株式会社が進めるCLT敷板のリース事業において顕在化した「屋外使用時の腐食・変色」という実務的課題を背景として実施した。鉄板に比べて軽量で、輸送性や環境配慮の面

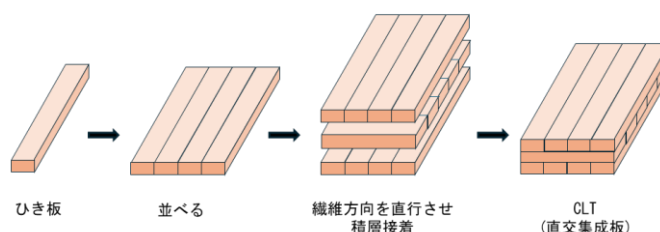


図 1. CLT(直行集成板)



図 2. CLT  
新品 (上)、現場保管後 (下)



図 3. ロジン

で優位性を有するCLT敷板は、既に建設現場で高い評価を得ているものの、地面に直接敷設して使用されることから、微生物の影響を受けやすい状況にある。そこで本研究では、植物由来天然物のロジンに着目し、これらの抗菌性・抗真菌性、抗バイオフィーム性を評価するとともに、表面処理によるCLTの耐変色効果の検証を行った。大学における基礎研究と、企業による試作、さらに実証評価を並行して進めることで、研究成果の社会実装を強く意識した研究開発を行った。

### 3. 研究成果および今後の課題

#### (1) ロジンの抗菌効果

ロジンの主成分であるアビエチン酸系化合物は疎水性構造を有し、脂質で構成された細胞質膜に作用し、膜機能を障害することが知られている。そこで、ロジンについて、細菌および真菌に対する最小生育阻止濃度 (Minimum Inhibitory Concentration: MIC) を測定した。MIC 値は低いほど抗菌・抗真菌活性が高いことを示す指標である。その結果、ロジンの MIC はグラム陽性細菌のメチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA) N315 株に対して  $128 \mu\text{g/mL}$ 、真菌 (カビ) のカンジダアルビカンス NBRC1594 株に対して  $256 \mu\text{g/mL}$  であり、ロジンは細菌と真菌の両方に対して抗菌効果を示した。そのため、ロジンは CLT 建材表面における抗菌効果に寄与し、耐腐食性および耐変色性の向上に貢献する可能性が示唆された。

#### (2) ロジンの抗バイオフィーム効果

ロジンが MRSA N315 株のバイオフィーム形成に与える影響を評価した (図 4)。ロジンを添加していない場合の MRSA N315 株のバイオフィーム形成量を 100%とした場合、8、16、 $32 \mu\text{g/mL}$  のロジン存在下ではバイオフィーム形成量は約 80%、70%、58%に減少した。これらの濃度はいずれも MIC ( $128 \mu\text{g/mL}$ ) に比べ十分に低い濃度であり、抗菌効果を示さない条件下でもロジンは抗バイオフィーム効果を示すことが示された。すなわち、ロジンは抗菌効果とは独立した作用機序の抗バイオフィーム効果を有することが推測された。そのため、ロジンは CLT 建材表面における抗バイオフィーム効果に寄与し、耐腐食性および耐変色性の向上に貢献する可能性が示唆された。

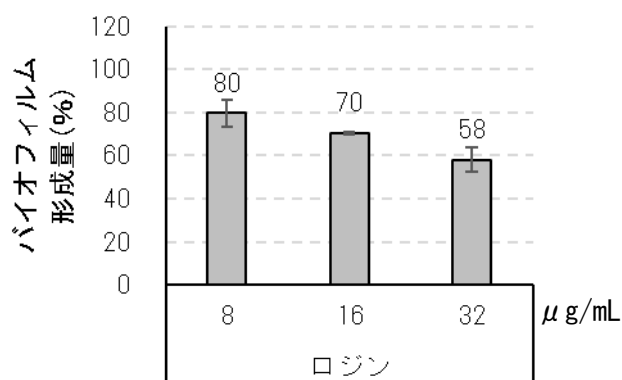


図 4. ロジンによるバイオフィーム形成への影響

#### (3) CLTの変色原因の解明

図2(下)に示した黒変したCLT表面について原因究明を行った。光学顕微鏡で黒変部を観察したところ、菌糸様構造を有する真菌の存在が確認された(図 5)。次に、CLT 表面から真菌を回収し、寒天培地上で分離培養を行った。得られたコロニーから染色体DNAを抽出し、塩基配列解析を実施した。解析結果より、本真菌は環境中に分布する Aureobasidium 属に属する真菌であることが判明した。

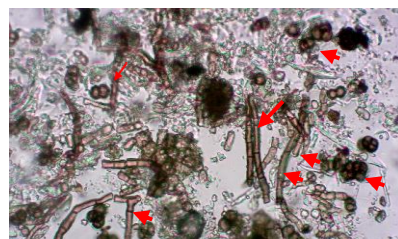


図 5. 黒変部の顕微鏡像  
矢印が真菌

#### (4) ロジンを用いた CLT コーティングの検討

ロジンを揮発性の高い溶媒に溶解し、CLT に塗布し、乾燥させることによりコーティング処理を行った。乾燥後の外観を肉眼で観察したところ、溶媒のみを塗布・乾燥させた溶媒処理 CLT と比較して、ロジン処理 CLT では顕著な色調変化や光沢変化は認められず、建材としての意匠性を損なわないことが確認された。表面を拡大して観察したところ、溶媒処理 CLT では、表層に明確な構造変化は認められなかった(図 6a)。一方で、ロジン処理 CLT では木材表面を覆う半透明の被膜様構造が観察された(図 6b)。そのため、本研究で検討した塗布・乾燥法により、CLT 表面をロジンで均一に被覆できることが示された。



図 6. CLT 表面の拡大写真  
a) 溶媒処理、b) ロジン処理

#### (5) ロジン塗布による CLT 木片の耐変色性

CLT 木片について、無処理 CLT およびロジン処理 CLT を作製し、屋外環境下において 1 年間暴露試験を実施した(図 7)。その結果、木材の繊維方向に相当する縦面では、無処理 CLT およびロジン処理 CLT のいずれにおいても顕著な変色や劣化は認められなかった。一方、年輪が露出する横面においては、無処理 CLT では 3 試料中 2 試料に黒色変化が認められた。この黒変は、前項で同定された *Aureobasidium* 属真菌などの微生物増殖に起因すると考えられた。これに対し、ロジン処理 CLT では 1 年間の暴露後も明確な変色は観察されず、黒変の発生は認められなかった。

以上の結果から、ロジンを活用した耐腐食性・耐変色性を付与した高機能 CLT が開発できた。

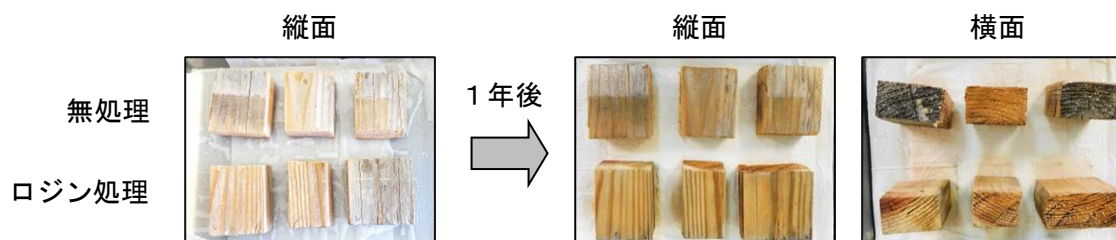


図 7. CLT 木片の変色の様子  
CLT 木片にロジン処理を行い 1 年間、外環境に野ざらしにした。

#### (6) 事業化に向けた成果

CLT に耐腐食性および耐変色性を付与する技術は、屋外利用や仮設用途を含む建築・土木分野において一定のニーズが存在する。また、石油由来や金属由来の防腐剤ではなく、植物由来の天然物であるロジンを活用することは、使用後の再利用や廃棄時の環境負荷低減につながり、循環型社会の構築や SDGs の理念にも合致し、現代社会に受け入れられやすい土壌が出来上がっている。そこで、実験室レベルで実施していた約 5~10 cm 角の CLT 木片による検討から、社会実装を見据えたサイズである 1.5 × 6.0 m の CLT パネルへのスケールアップを行った。完成した高機能 CLT は、国土交通省が運用する新技術情報提供システム(NETIS)において、木製軽量敷板「ハイパーCLT 敷板」(登録番号:TH-250021-A)として登録された。本製品は、工事現場の仮設道路等で使用される敷鉄板の代替資材として位置付けられている。軽量性、施工性、耐久性、環境配慮性を兼ね備えた建

設資材として評価され、現在、導入が進んでいる。

#### (6)残る課題

耐腐食性・耐変色性の長期持続性評価については、実環境下での暴露試験や経年変化の確認に一定の期間を要する。そのため、本研究期間内においては初期評価および中期的なデータ取得までにとどまっており、長期耐久性に関する十分な検証は完了していない。

#### 4. おわりに

本研究では、植物由来天然物であるロジンを活用することにより、環境負荷および安全性に配慮しながら、木製の CLT に耐腐食性・耐変色性を付与できることを示した。ロジンの抗菌・抗真菌作用および抗バイオフィルム効果を基礎研究として評価するとともに、実使用環境を想定した CLT 木片による屋外暴露試験を通じて、変色抑制効果を確認した。さらに、研究成果を実用サイズの CLT へとスケールアップし、社会実装にまで展開できたことは、本研究の大きな成果である。

基礎研究から製品化までを短期間で実現できた背景には、社会的課題や市場ニーズに迅速に対応することを目的として、大学が有する科学的知見と、企業が有する製造技術・施工ノウハウを融合させた産学連携体制の構築があったといえる。さらに、本助成金による支援は、基礎研究から実証試験、スケールアップ、社会実装へと段階的に展開するうえでの大きな推進力となり、研究成果を実用化へと円滑に橋渡しするうえで極めて重要な役割を果たした。

#### 5. 本研究の今後の計画

研究会終了後は、坂手建設株式会社と関連会社を主体として、機能性CLT材の事業化をさらに進める予定である。今後2年間を目安として、就実大学、島根大学、坂手建設株式会社、株式会社エナジーフロントで協力し、屋外や実使用環境における耐腐食性・耐変色性の持続性評価を継続し、経年変化データの蓄積を進める。また、本研究成果を発展させ、必要に応じ知財化することで、技術的優位性の確保と事業基盤の強化を図る。

さらに、現在の敷板用途にとどまらず、建築構造材、外装材、景観資材など他の CLT 用途や木材製品への応用展開についても検討を進める。植物由来化合物を活用した環境配慮型の高機能木材として、その社会的価値および市場競争力のさらなる向上を目指す。

#### 6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

準備中

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

なし

(3) 本研究会の参加企業・団体名

坂手建設株式会社



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp/>