

ミッション4：「循環材料・環境共生システム」

環境共生とバイオマテリアルの利活用を両立させるために、循環型生物資源の中でも、特に木質資源の持続的利用の実現が重要である。このための具体策として、生物本来の構造や機能を理解し、それらを最大限に引き出す多彩な機能性材料の創製、木質材料等を用いた安全・安心な建築技術の開発に取り組む。さらには、資源の供給源である生態系と、これを消費する人間活動との調和と発展の実現にむけて、樹木、植物、昆虫、微生物の管理・利用法の研究も実施する。基礎・応用の両面から研究に取り組み、豊かな文化にもとづく環境未来型の生活圏の在るべき姿を模索することで、森林環境の安定と保全をはかり、生活環境のさらなる向上を実現することを目的としている。木質資源を基盤に、自然と共存を継承・継続する技術、材料を開発するなど「創造」を意識しつつ、それらの成果を産官学連携などによって社会へ展開することによりイノベーションを推進するミッションとして、今年度は下記5テーマを実施した。

4.1 木質材料をもちいた建築物の設計に資する部材・構造の挙動解明

1. 研究組織

代表者氏名： 五十田博（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者： 中川貴文（京都大学 生存圏研究所）
富田 愛（京都大学 生存圏研究所）
森 拓郎（広島大学 大学院工学研究科）
北守顕久（大阪産業大学 工学部）
荒木康弘（国土交通省 国土技術政策総合研究所）
中島昌一（国立研究開発法人 建築研究所）

2. 研究の背景と目的

木質材料は軽量の割には強く、優れた建築構造材料として利用されている。ここでは超高層を可能にする直交集成板と木材の特性を活かした構造について検討する。

直交集成板（以下、CLT）は高強度、高剛性を維持したまま、これまで構造材料としての利用価値の低い、比較的低質な材料を内部に用いることが可能であり、構造的な利点ばかりではなく、森林資源の有効活用法のひとつとしても期待されている。我が国では、近年、日本農林規格（JAS）の施行、建築基準関連告示の施行、設計・施工マニュアルの作成など枠組みが整備されてきている。ここで、構造設計法に関連する事項の技術的背景を研究的に整備し、さらに適用範囲の拡大をめざして実施する一連の研

究の基礎研究である。

3. 研究の結果および考察

本年度は、スリットや切り欠きのない場合の CLT 真壁の構造性能と破壊性状を明らかにするため、矩形 CLT を軸組枠内にはめ込んだ試験体を用いて壁試験を実施した（図 1-1）。また、今後の基準改正で可能となる小規模木造建築物の 5 倍を超える高倍率耐力壁の実現を目的として、ビス打ちした試験体についても加力実験を行い、ビスによる剛性増大効果についても確認した。

4. 今後の展開

CLT を小規模木造建築物の大壁や真壁、水平構面として活用する手法が検討されており、真壁利用においては梁への突き上げによる周辺部材への負担を軽減するため、主にスリットや四隅への切り欠きを施す研究が行われている。しかし、CLT の梁へのめり込みやホールダウン金物の変形性能を考慮すると、矩形 CLT による梁への突き上げがもたらす周辺部材への負担は、懸念されていたほど大きくない可能性がある。

今後は実験的検討を継続し、解析モデルによるパラメトリック・スタディにより研究を発展させ、本工法の構造設計法の確立に向けて検討を深める予定である。

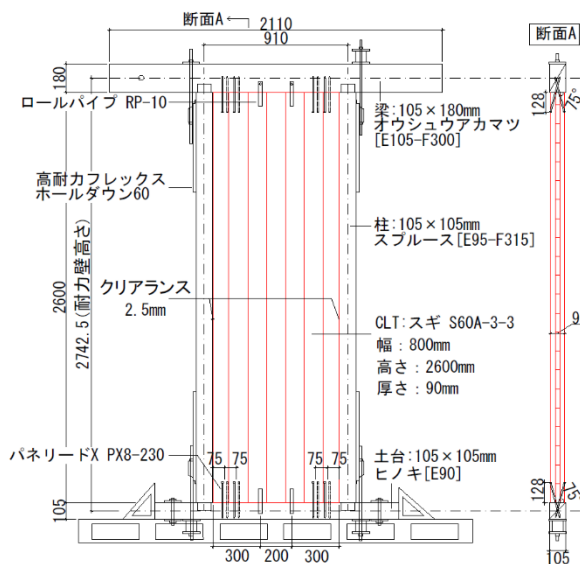


図 1-1：試験体図

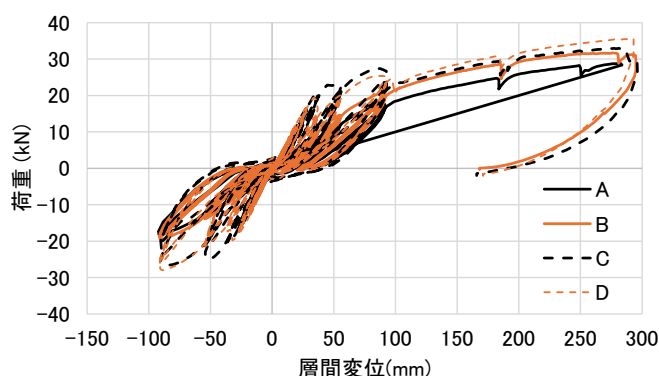


図 1-2：荷重変形関係

5. 付記

1) 学会発表 1 件

喜多川誠矢、辻拓也、五十田博、中川貴文、百瀬奏「矩形 CLT を真壁利用した耐震壁の構造性能」日本木材学会大会，仙台，2025 年 3 月

4.2 小角 X 線散乱による木材の構造物性相関解析

1. 研究組織

代表者氏名：今井友也（(京都大学 生存圏研究所)）

共同研究者：岡久陽子（京都工芸繊維大学 バイオベースマテリアル学専攻）

神代圭輔（京都府立大学 大学院生命環境科学研究科）

堀山彰亮（産業技術総合研究所材料・化学領域マルチマテリアル研究部門）

田中聡一（京都大学 生存圏研究所）

飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）

堀川祥生（東京農工大学大学院 農学研究院）

Paavo Penttilä (Aalto University, Finland)

2. 研究の背景と目的

昨年度に続いての継続課題である。材料一般にその物性は構造により決まる。従って構造-機能相関解析は材料研究において極めて重要な位置を占める。木材の細胞壁ナノ構造は、結晶性を持つセルロースについては、その理解はある程度進んでいるが、マトリクスの構造やそのセルロースとの界面など、物性に大きな影響を及ぼすと考えられる構造的特徴について、その理解は十分とは言えない。

そこで構造解析手法としてその場測定が得意な小角 X 線散乱解析を用い、木材に各種揺動を加えつつその場測定を行い、構造解析を行った。また化学処理および生物学的に成分を変調させた植物細胞壁についても通常の小角 X 線散乱解析を行い、構造解析を行った。

3. 研究の結果および考察

今年度は、木材の液体膨潤時のナノ構造変化について分析を進め、アルコールで膨潤した木材と水で膨潤した木材では溶媒分子の吸着サイトが異なるなど、木材細胞壁内のナノ構造で膨潤挙動の一部を説明できることを証明し、論文発表を行った。

また曲げ試験同時 SAXS 測定を引き続き重点的にを行い、蓄積されたデータの解析を進めつつある。

4. 今後の予定

すでに撮影した木材、竹材、イネなどの植物細胞壁試料や、曲げ同時 SAXS 測定データをまとめ、順次査読付き論文として発表を進めていく予定である。

また昨年度より継続して、Penttilä 博士（フィンランド・Aalto 大学）との連携を進め、小角 X 線散乱データ解析を物性に結び付ける研究を進めていく予定である。

5. 付記

1) 原著論文：1 報

Wood Science and Technology, **58**, 1991-2006 (2024)

Combined analysis of the microstructure of wood swollen by water and/or ethanol through dynamic mechanical analysis and small-angle X-ray scattering

Hiroaki Horiyama, Keisuke Kojiro, Yoko Okahisa, Tomoya Imai, Yuzo Furuta

<https://doi.org/10.1007/s00226-024-01599-2>

2) 学会発表：6 件（国際学会 3 件、国内学会 3 件）

The 67th SWST International Convention; The 2nd International Lignin Symposium in Kyoto;
The International Symposium on Wood Science and Technology 2025 ; 日本木材学会年次大会

4.3 人工知能を援用した木質材料の物性予測システムの構築

1. 研究組織

代表者氏名：梅村研二（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：陳 碩也（京都大学 生存圏研究所）

松尾美幸（京都大学 大学院農学研究科）

2. 研究背景と目的

パーティクルボードやファイバーボードなどのいわゆる木質ボードは、木材などの再生可能なリグノセルロースを原料として製造されるため、持続可能な循環型社会を構築する上で、重要な材料として注目されている。木質ボードは主に建材や家具材として使用され、その物性は最も重要な性能指標といっても過言ではない。また、今後のボード生産の拡大を見据え、木材以外の多様多様なリグノセルロース資源をボード原料として利用することが検討されている。それに伴い、多様な原料で製造されたボードの物性を迅速かつ高精度に把握することが必須となり、ボードの物性予測システムの構築が今後ますます重要になると考えられる。

これまで、木質ボードの物性予測 AI を構築するために使用されたデータは、主に製造条件情報¹⁾や化学情報²⁾であり、ボードの画像に含まれる重要な形態情報は活用されていない。そこで、本研究は、木質ボードに最適化した画像ベース物性予測 AI の構築を目指し、本年度は多入力畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を設計し、その予測性能を評価した。

3. 研究の結果および考察

接着剤の添加率、熱圧温度と熱圧時間の条件を複数通り設定し、合計 54 枚の単層パーティクルボードを製造した。次に、ボードから物性評価用試料を作製し、その表面と断面画像データを取得した。その後、試料の力学性能を測定し、モデル構築用データセットを作成した。そして、試料の画像情報と密度情報を入力データ、ボード物性を出力データとした、多入力畳み込みニューラルネットワーク(CNN)モデルを設計し、モデルのトレーニングは構築されたデータセットを用いて行った。データセットの 87.5%は学習用にし、残りの 12.5%はテスト用にした。予測精度の評価指標は決定係数(R^2)と二乗平均平方根誤差(RMSE)を使用した。曲げヤング率の予測精度について、テストデータの R^2 は 0.89 であり、RMSE は 0.20 GPa であった(図 1 (a))。また、モデル解釈技術を用いて、モデルの予測根拠を可視化した結果、接着剤領域が抽出された(図 1(c))。これらの結果から、多入力 CNN モデルは、パーティクルボードの画像から、物性に大きく寄与する特徴情報を効率よく抽出し、その特徴情報と密度情報に基づいて曲げヤング率を精度良く予測したことが考えられる。

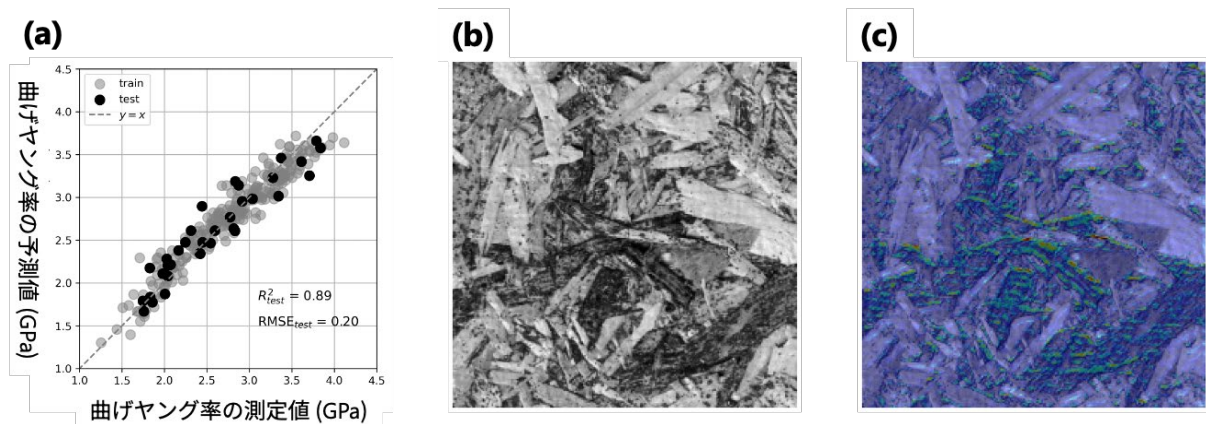


図 1 : 多入力 CNN モデルの物性予測精度と予測根拠の可視化。(a):曲げヤング率の予測精度、(b):パーティクルボードの表面画像、(c):抽出された予測根拠の画像

4. 今後の展開

構築された多入力 CNN の汎用性を検証するため、力学性能以外の物性予測精度を検証する予定である。

5. 引用文献

- 1) Bedeleian et al., *Forests*, 2022.
- 2) André et al., *Appl. Spectrosc.*, 2006.

6. 付記

原著論文:

Shuoye Chen, Shunsuke Sakai, Miyuki Matsuo-Ueda, Kenji Umemura, Investigation of multi-input convolutional neural networks for the prediction of particleboard mechanical properties, Scientific Reports, Accepted.

学会発表 2 件

- 1) 陳碩也、酒井俊佑、松尾美幸、梅村研二「多入力畳み込みニューラルネットワークによるパーティクルボード物性予測モデルの構築」第 74 回日本木材学会大会 2024 年 3 月
- 2) 陳碩也、酒井俊佑、松尾美幸、梅村研二「多入力畳み込みニューラルネットワークを用いたパーティクルボードの物性予測」日本木材加工技術協会第 42 回年次大会 2024 年 9 月

4.4 未来型資源循環システムの構築

1. 研究組織

代表者氏名：畑 俊充（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：本間千晶（北海道立総合研究機構 林産試験場）

共同研究者：渡辺隆司（京都大学 生存圏研究所）

2. 研究の背景と目的

本テーマでは安全で快適な人間の居住圏を創造し、維持し続けるため、木質資源を適切に長く利用するための耐久性向上に関する研究や、新たな機能を有するバイオマス由来の素材開発等について取り組んでいる。

今年度は、化石資源枯渇や環境問題の解決を目指し、木質バイオマスの熱分解によるチャーおよび液化物の同時生産を通じて、持続可能な資源利用技術を開発することを目的として、触媒の種類（銅およびチタン）や昇温速度が木質バイオマスの熱分解生成物に与える影響を解析する実験を進めた。具体的には、北海道産トドマツの木粉を主原料とし、銅およびチタン触媒の添加や昇温速度（10℃/min、20℃/min、40℃/min）を変えた熱処理を実施し、生成された熱分解残渣（チャー）の特性を詳細に解析した。熱処理後の残渣については、TG-DTA、CHN 分析、FT-IR 測定、SEM、TEM 観察を用い、触媒添加や昇温条件が化学組成や微細構造に及ぼす影響を検討した。

3. 研究の結果および考察

本研究では、触媒添加と昇温条件が木質バイオマスの熱分解に及ぼす影響を明らか

にした。銅触媒は 500℃で熱分解残渣の生成を促進し、チタン触媒は 500℃および 800℃でガスや液化物の生成を優先する傾向を示した。熱重量分析により、触媒の種類に応じた重量減少率や生成物特性の違いが明確になった。電子顕微鏡観察では、銅添加試料は触媒反応後の痕跡が断面全体に広がり、チタン添加試料は残渣が均一に分散していることが確認された。これらの結果から、銅は残渣生成、チタンはガス・液化物生成に適していることが示唆された。また、触媒の選択や熱処理条件の調整が、生成物の特性を制御するために重要であることが分かった。以上の知見は、木質バイオマスの効率的利用と触媒設計に向けた基礎データとして有用である。

4. 今後の展開

今後は、触媒の種類や熱処理条件をさらに最適化し、木質バイオマスからの生成物特性の制御メカニズムを解明するとともに、実用化に向けたプロセスの効率化を目指す。

5. 付記

畑 俊充, 銅あるいはチタン触媒を用いた木質バイオマスの熱分解による生成物の特性と応用可能性の評価, 京都大学研究連携基盤未踏科学研究ユニット報告会 2024 Final, 令和 6 年 12 月 7 日

4.5 セルロースナノファイバー強化ポリプロピレンの圧縮加工による力学特性の制御

1. 研究組織

代表者氏名：伊福伸介（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：田中聡一（京都大学 生存圏研究所）

：矢野浩之（京都大学 生存圏研究所）

2. 研究の背景および目的

木材の細胞壁を構成するセルロースナノファイバー（CNF）は伸び切り鎖微結晶の繊維であり、高強度、高弾性率、低線熱膨張率であるため、樹脂補強材として利用できる。例えば、CNF でポリプロピレン（PP）を強化できれば、自動車用部品としての大量利用が期待され、車体の軽量化と素材供給源の炭素固定により、CO₂ の排出削減にも繋がる。しかし、PP は CNF との複合化により破断ひずみが低下し、自動車用部品に求められる耐衝撃性も低下する。そこで、PP は圧縮加工することで破断ひずみが向上するとの報告¹⁾に着目した。本研究では、破断ひずみ向上を目的として、CNF 強化 PP について圧縮加工した材料の引張特性を調べた。

3. 研究の結果および考察

PP、化学変性 PP、および化学変性パルプの混合物について二軸押出機で解繊と混練を行った。これにさらに PP を追加して四軸押出機で混練することで化学変性 CNF5% 複合 PP のペレットを作成し、それを射出成形した。射出成形体を型枠に入れて 200℃ で熔融し、室温まで冷却することで熔融成形体を得た。熔融成形体は 140℃、50MPa で圧縮加工した。圧縮成形体の引張特性について、熔融成形体と比べて、破断ひずみだけでなくヤング係数、強度が増加した。これは、圧縮加工によって、PP の結晶構造、CNF ネットワーク分布、および PP と CNF の相互作用が変化したことによると推察された。

4. 今後の展開

今後は、圧縮加工による CNF 強化 PP の引張特性向上メカニズムを解明することや、圧縮前の熔融成形体の結晶構造や圧縮加工における力場を制御することによって、破断ひずみをはじめとする引張特性の更なる向上を目指す予定である。

5. 参考文献

1) 久保木隆司、未発表

6. 付記

1) 学会発表 1 件

- ・Tomoya Hamada, Soichi Tanaka, Shinsuke Ifuku, Hiroyuki Yano, "The changes in mechanical properties of CNF-reinforced polypropylene by pressing below its melting point", International Symposium on Wood Science and Technology, Sendai, March, 2025.