

1. 委託事業名： 家具用天然系接着剤の接着曲げ性能評価とセルロースナノファイバーの添加による高性能化検討

2. 委託事業者名： 委託団体： 合同会社すまうと  
連携大学： 静岡県立農林環境専門職大学 生産環境経営学部  
生産環境経営学科 准教授 藤代薫

3. 研究成果概要：

【背景】

弊社は、健康にアプローチする家具をコンセプトに、姿勢を促す椅子、安眠を促すベッドなどを作製している。そのため、弊社の原材料方針には、合板やパーティクルボードといった製造時に石油由来の化学物質を含む材料は使用せず、天然の無垢木材にこだわることはもちろん、接着剤や塗料に至るまで天然素材を用いている。これは、シックハウス症候群などの化学物質過敏症へ配慮するためである。

天然物由来の材料を家具へ適用する場合、石油由来の材料にはない課題がいくつも残されている。その中でも弊社では、天然系接着剤に対する二つの課題に着目している。一つ目は接着強さの測定において、せん断の評価は一部で認められるものの、傾向の異なる剥離の評価が極めて少ない点である。これは、石油由来の合成樹脂接着剤が普及して以降、天然系接着剤の研究開発が下火となったことなどが要因として考えられる。しかし、家具用途においては、テーブルや椅子の脚部を引きずる際など、接着部に剥離方向の力が加わっていることも多い。弊社では、その接着性能を数値で把握できていないため、家具構造の面などから対策を講じている。しかし、これらは工数がかさむため、生産性向上のボトルネックになっている。二つ目は、接着強さが合成樹脂接着剤に比べて低い点である。

Table 1 に常温硬化が可能な合成樹脂接着剤と弊社が使用する天然系接着剤（デンプン糊、ミルクカゼイングルー）の接着強さとホルムアルデヒド放散量を示した。このデータから、天然系接着剤は合成樹脂接着剤より接着強さが低いことが分かる。

Table 1 常温硬化が可能な木材用接着剤の性能

| 接着剤種        | 合成樹脂接着剤   |               | 天然系接着剤 |         |
|-------------|-----------|---------------|--------|---------|
|             | レゾルシノール樹脂 | 水性高分子イソシアネート系 | デンプン糊  | カゼイングルー |
| 常態          | ◎         | ◎             | ○      | ◎       |
| 耐水性         | ◎         | ◎             | ×      | △*      |
| 耐熱性         | ◎         | ○*            | △*     | ○*      |
| ホルムアルデヒド放散量 | ×*        | ◎*            | ◎*     | ◎*      |

\* 連携大学にてデータを補填

参照元：木材工業ハンドブック

接着強さの問題を解決するための一手法に、セルロースナノファイバー（CNF）の使用が考えられる。CNFは、セルロースを主成分とする繊維を、ナノサイズの径まで解繊した素材であり、高い強度や弾性率を有する天然素材である。近年、様々な用途検討がある中で、木材用接着剤への添加事例では、せん断接着強さの向上にほとんど効果がないものから 2.5 倍近く向上

したものまで様々な報告がある。また、製造コストの高い CNF に対して、低コスト品としてマイクロサイズまでの解繊に留めたセルロースマイクロファイバー (CMF) も近年上市されている。しかし、天然系接着剤への CMF 添加事例は弊社の確認した限り見当たらない。

## 【目的】

デンプン糊およびカゼイングルーの接着強さを、せん断と動的・静的剥離の観点から把握すると共に、CNF および CMF の添加効果を検証する。

- <試験項目>
1. 圧縮せん断接着強さの測定 (JIS K 6852:1994)
  2. 曲げ接着強さの測定 (JIS K 6856:1994、静的剥離として評価)
  3. シャルピー衝撃強さの測定 (JIS K 7111-2:2006 の試験片条件を変更、動的剥離として評価)

## 【研究結果および成果】

### 1. 圧縮せん断接着強さの測定

供試接着剤は、市販のデンプン糊とカゼイングルーを使用した。供試 CNF、CMF の物性を Table 2 に示す。配合は固形分比率とし、接着剤固形分 100 phr に対して各 CNF、CMF を固形分で 2 phr、さらに条件に応じて水を添加した。配合後の水分率は、デンプン糊で 83-89%、カゼイングルーで 74-80%とした。配合時は、自転・公転式ミキサー (AER-310, シンキー) にて攪拌 (2000 rpm / 3-5 min) および消泡 (2200 rpm / 1 min) を実施した。被着材には、広葉樹のブナ (*Fagus crenata* Blume、寸法:L 300×W 120×T 10 mm) を用いて 2-Ply の集成材を作製した。接着条件は、塗布量 300 g/m<sup>2</sup> の両面塗布、圧縮圧力 1 MPa、圧縮時間 24 h とし、圧縮後 20℃・65%RH の環境下にて 1 週間以上養生した。その後、集成材から JIS K 6852:1994 に準じた試験片を切り出して試験に供した。

Table 2 供試 CNF、CMF の特徴

| タイプ | 呼称*                                      | 写真  | 平均**<br>繊維径   | 平均**<br>繊維長 | 生産<br>性 | 製造<br>メーカー       | 製品名                  |
|-----|--|---|---------------|-------------|---------|------------------|----------------------|
|     | 化学解繊<br>(TEMPO酸化)<br>N-ExShort<br>(極短繊維) |  | 数nm           | 数μm         | △       | 富士工業技術<br>支援センター | 試作品                  |
| CNF | 機械解繊<br>N-Short<br>(短繊維)                 |  | 約50~<br>300nm | 十数μm        | ○       | (株)スギノ<br>マシン    | BiNFi-s<br>IMa-10002 |
|     | N-Long<br>(長繊維)                          |  |               | 数十μm        | ○       |                  | BiNFi-s<br>FMa-10002 |
| CMF | 機械解繊<br>M-Short<br>(短繊維)                 |  | 約20~<br>30μm  | 約300μm      | ◎       | TENTOK<br>(株)    | PL                   |
|     | M-Long<br>(長繊維)                          |  |               | 約800μm      | ◎       |                  | CL-MAS               |

\* 左側のNはCNF、MはCMFを、右側は平均繊維長を表す

\*\* どちらも参考値

Fig. 1 に CNF と CMF の添加が天然系接着剤の圧縮せん断接着強さへ与える影響について示す。まず、デンプン糊のせん断接着強さは、N-Long を 2 phr 添加した系で最大の上昇幅 (22%UP) を示し、2 phr 以外の添加量では全て減少する傾向を示した。N-ExShort や N-Short では、1~2 phr でわずかに上昇しているものの、t 検定 ( $p<0.05$ ) において添加なしとの有意差は認められなかった。2 種の CMF を添加した系では、どちらもせん断接着強さが低下した。これらの傾向は、デンプン糊に対して適した繊維形状や添加量があることを示唆している。次に、カゼイングルーでは、全ての条件で CNF、CMF の添加に伴いせん断接着強さが低下した。これは、CNF、CMF に含まれる水分子がカゼインとカルシウムイオンの硬化反応を阻害した可能性などが考えられる。

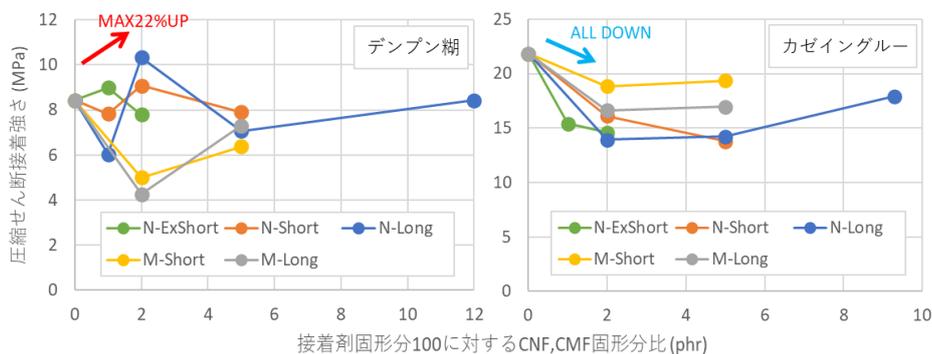


Fig. 1 CNF と CMF の添加が天然系接着剤の圧縮せん断接着強さへ与える影響

## 2. 曲げ接着強さの測定

曲げ接着試験では、供試接着剤、供試 CNF・CMF、接着剤配合、接着条件を圧縮せん断と同一の条件とした。被着材はブナに加えて針葉樹のスギ (*Cryptomeria japonica* D.Don) を用いた。被着材寸法は L 100×W 250×T 5 mm、接着面積は 25×12.5 mm とし、作製した試験片を JIS K 6856:1994 に準じて測定した。Fig. 2 に CNF と CMF の添加が天然系接着剤の曲げ接着強さへ与える影響について示す。曲げ接着強さは、接着面に対して主に剥離方向に力が掛かっている。まず、デンプン糊では、両被着材とも CNF、CMF の添加による影響はほとんど見られなかった。カゼイングルーでは、ブナで N-Long を除き添加により大きく低下した。この低下現象は、せん断接着強さと同様の硬化阻害によるものと考えられるが、N-Long が低下しなかった理由は今後の検討課題である。一方、スギでは、どの CNF、CMF 添加でも変化がなかったが、この理由については更なる調査が必要である。

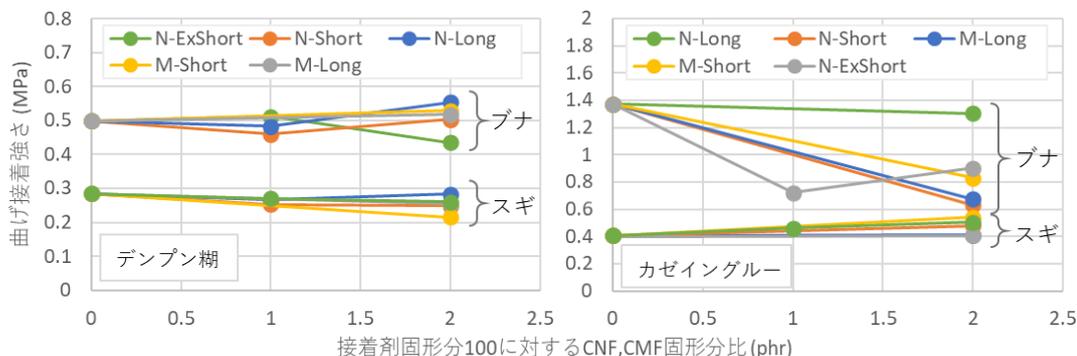


Fig. 2 CNF と CMF の添加が天然系接着剤の曲げ接着強さへ与える影響

### 3. シャルピー衝撃強さの測定

Fig. 3 にシャルピー衝撃試験の概要図を示す。シャルピー衝撃試験では、試験片寸法 (L 100 × W 10 × T 5 mm) と接着面積 (10 × 12.5 mm) を除き、全て曲げ試験と同一条件にて試験片を作製した。他の条件は JIS K 7111-2:2006 に準じて実施した。 Fig. 4 に CNF と CMF の添加が天然系接着剤のシャルピー衝撃強さへ与える影響について示す。デンプン糊では、ブナにおいて M-Short のみわずかな低下傾向を示し、その他は概ね横ばいだった。一方スギでは、全体的にわずかな減少傾向が認められた。カゼイングルーでは、ブナ、スギとも CNF、CMF のどれを用いても大きな変化は認められなかった。また、スギで両接着剤を比較した場合、カゼイングルーの方が低い値を示した。これは、上記のせん断や曲げとは異なる傾向であった。

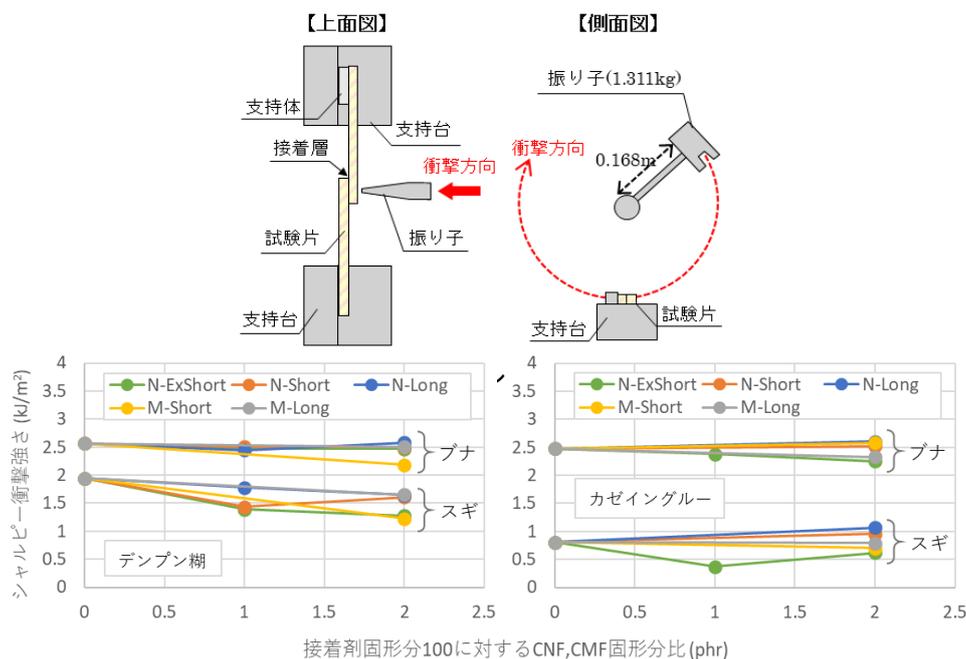


Fig. 4 CNF と CMF の添加が天然系接着剤のシャルピー衝撃強さへ与える影響

#### 【まとめ】

デンプン糊のせん断接着強さは、CNF、CMF の形状と添加量に大きな影響を受けることが分かった。その中でも、N-Long の 2 phr 配合が最も優れていた。その反面、カゼイングルーでは、どの CNF、CMF を添加してもせん断接着強さは低下した。曲げ接着強さやシャルピー衝撃強さは、デンプン糊において、どの CNF、CMF を用いても概ね横ばいの傾向であったが、一部の条件でわずかな低下傾向が認められた。カゼイングルーでは、ブナの曲げ接着強さで大きな低下傾向が認められた。今後は、N-Long の活用を検討すると共に、製品試験への適用を検討したい。

#### 【地域社会への波及効果】

両接着剤のせん断および静的・動的剥離性能が把握できたことで、設計段階での強度計算がしやすくなった。また、N-Long の添加によるデンプン糊の性能向上により、家具以外の木製品に対しても適用幅が広がるものと考えられる