

交付番号	25-11-08
------	----------

2026年 6月 26日

朝日ウッドテック財団研究助成事業
2025年度 研究成果報告書

報告者

所属機関	秋田県立大学
職 名	助教
氏 名	安藤 大将

研究課題

エステル結合を用いた化学結合型木材接着の合板への展開

研究期間

2025年4月1日 ～2026年3月31日

〔 記入上の注意 〕

- ・この「研究成果報告書」は、当財団でとりまとめ、Webサイトや印刷物等で公表する予定です。
- ・報告書はA4判（横書き）4枚程度にまとめ、必要に応じて図表等を挿入してください。
- ・本助成金による研究の発表論文（発表予定を含む。）の別刷り又は作成した資料がありましたら、添付してください。

1 研究の背景と目的

木質材料のために利用される既存の合成接着剤は、石油資源由来のものが多く、使用量の低減や非石油資源への原料の転換のための技術革新が求められている。そこで、本研究では、木質材料の接着における技術革新を目指し、従来の物理的接着機構とは異なる「化学結合型木材接着」に着目した。化学結合型接着では、木材成分間を共有結合でつなぐことで接着力を発現させる。被着体である木材は反応性の高い多数の水酸基を有しており、化学結合型接着が理論的に可能である。実際に木材中では、天然の木材成分間を繋ぐ化学結合の一つとしてエステル結合が存在し、わずかな含有量であるにもかかわらず、木材の成分分離を困難にする要因の一つと考えられており、強力な結合力であることが推定される。国内外の研究動向として、化学結合型木材接着の実例はほぼなく、クエン酸系接着のみが報告されている。これまでの我々の研究では、クエン酸と木材成分間にエステル結合が形成されることを明らかにし、多価カルボン酸化合物が接着力発現に有効であることを示している。そこで、ジカルボン酸化合物を用い、エステル結合による共有結合を活用した化学結合型木材接着の基礎技術と知見を収集することで基礎研究を進めている。本研究は、化学結合型木材接着の応用展開の一步として合板への展開のために、「ジカルボン酸化合物を用いた化学結合型木材接着を用いて面どうしの基礎接着技術および基礎的知見の収集」を目的とした。

2 研究方法・研究内容

研究内容

化学結合型接着を木材の面と面に発現できるか検討するために、本研究では、エステル結合を用いた化学結合型木材接着による合板作成を試みた。接着剤としてジカルボン酸を選択し、2種類の接着剤散布方法（単一もしくは木粉混合粉体散布）を検討した。それぞれ得られた合板の耐水性および短スパンの曲げ応力（接着力）を測定した。

研究方法

- ・材料
スギ単板とジカルボン酸化合物

- ・3プライ合板の調製

単板上にジカルボン酸を単一もしくは木粉と混合して粉体で散布し、その上に、繊維方向を互いに直交した単板を順次重ねて熱圧し、3プライ合板を作成した。

- ・材料評価

耐水性試験では、作成した合板を1cm角に切断し、試験片とした。恒温恒湿内で蒸留水に24時間浸漬した。また、別試験片に対しては4時間煮沸処理を実施した。接着力の評価には、合板から1cm幅、長さ5cmの試験片を切り出し、短スパン曲げ試験(span:26mm)を行い、曲げ応力を算出した。

3 研究成果

・ジカルボン酸の効果

ジカルボン酸を用いて、上記の方法で合板の作成を試みた。また、ジカルボン酸の効果を確認するため、融点を60～120℃に持つ二種類のモノカルボン酸を用いて同様に合板作成を試みた。塗布量が約20g/m²になるように調整して粉体散布し、熱圧プレス(180℃, 1MPa, 10min)を行った結果、ジカルボン酸使用時には、単板同士が接着され合板が作成できたのに対し、一方、モノカルボン酸を用いた際には単板同士の接着が

みられず合板は作成できなかった。(図1)

以上の結果からカルボン酸を複数有するジカルボン酸では接着が可能であり、カルボン酸が一つのモノカルボン酸では接着が困難であることが示された。すなわち、化合物の分子間力のみでは接着が難しく、反応性官能基が二つあれば化学(エステル)結合の形成により化合物を介して単板同士を繋げている可能性が示唆された。

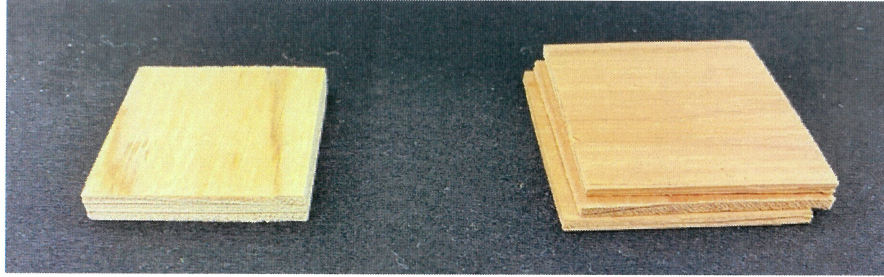


図1 ジカルボン酸を用いた合板(左)とモノカルボン酸を用いたが接着しなかった単板(右)

・合板の調製

単板へのジカルボン酸の塗布は単板の含水率変化を抑えるため粉体散布を選択した。ジカルボン酸のみの単独散布と、ジカルボン酸と木粉の混合物の粉体散布の二種類の方法で合板作成を試みた。

①ジカルボン酸のみ単独散布

ジカルボン酸のみの粉体散布において、塗布量を検討するために $5 \sim 40 \text{ g/m}^2$ で合板の作成を試みた。その結果、 5 g/m^2 では単板同士を接着することはできなかったものの、 $10, 20, 30, 40 \text{ g/m}^2$ で単板は接着し、合板作成に成功した。単板に凹凸はあるものの、数少ない接点でジカルボン酸と反応することで、ジカルボン酸分子がアンカーとなり接着に機能していると考えられる。

②ジカルボン酸と木粉との混合散布

ジカルボン酸と木粉との混合物(1/4, w/w)の粉体散布において、 $10 \sim 50 \text{ g/m}^2$ で合板の作成を試みた。その結果、 10 g/m^2 では単板同士を接着することはできなかったものの、 $20, 24, 40, 50 \text{ g/m}^2$ で単板は接着し、合板の作成に成功した。このとき、ジカルボン酸量はそれぞれ、 $4, 4.8, 8, 10 \text{ g/m}^2$ であり、単独散布よりも少ない量で接着が可能であることが明らかになった。熱圧プレス中、熔融したジカルボン酸を木粉が保持し、さらに単板の隙間を木粉が埋めることで接着界面の面積が増加したことが要因であると考えられる。

・耐水試験

①24時間浸水試験

浸水試験処理後のサンプルを図2に示す。ジカルボン酸のみを用いて調製した合板では、塗布量 $20 \text{ g/m}^2, 30 \text{ g/m}^2$ の時、完全に剥離した。また、塗布量が 40 g/m^2 の時、合板の形状を保っていたものの、一部界面の剥離が見られた。塗布量 10 g/m^2 の場合、合板は形状を保ち、界面の剥離などは見られなかった。今回の結果では塗布量が少ない方が耐水性を有することが明らかになった。今後、より均一な塗布を検討した上で、さらなる検討が必要であるが、単板どうしの接触点にジカルボン酸が存在し、その表面同士に反応すれば、接着力は発現することが示唆された。

一方、ジカルボン酸と木粉の混合物を用いて調製した合板では、塗布量 20g/m^2 , 24g/m^2 の時、完全に剥離した。塗布量 40 , 50g/m^2 の時には合板の形状を保持し、界面の剥離は見られなかった。よって、塗布量が多いほど、耐水性が高く、強く接着することが示された。この塗布法では、接着界面に木粉の成形体が形成されるため、塗布量が多くなると木粉の成形体からなる接着層が厚くなることで、木材の膨潤収縮に対応できる接着層が形成されたことによる効果が考えられた。

② 4 時間煮沸試験

煮沸試験処理後のサンプルを図 3 に示す。ジカルボン酸のみで調製した合板では、すべてのサンプル（塗布量 10 , 20 , 30 , 40g/m^2 ）で接着面が剥離した。一方、ジカルボン酸と木粉で調製した合板では、塗布量 20g/m^2 , 24g/m^2 の時、完全に剥離したものの、塗布量 40 , 50g/m^2 の時には合板の形状を保持し、界面の剥離も見られなかった。塗布量が多いほど耐水性の高い接着を実現できることが明らかになった。以上の結果から、ジカルボン酸と木粉の混合物を用い、接着層に木粉の成形体を形成できれば、4 時間煮沸に耐えうる耐水性を持つ接着が可能であることが示された。

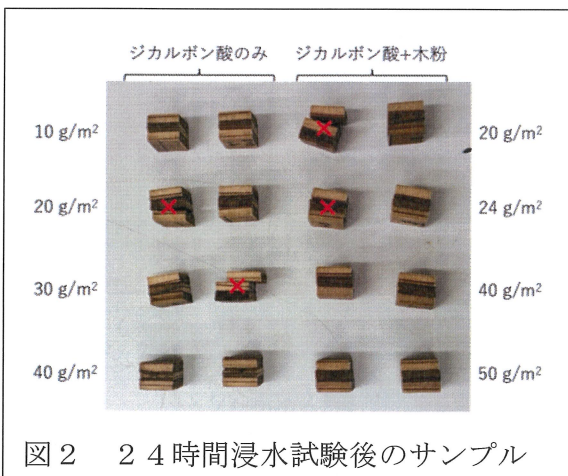


図 2 24 時間浸水試験後のサンプル

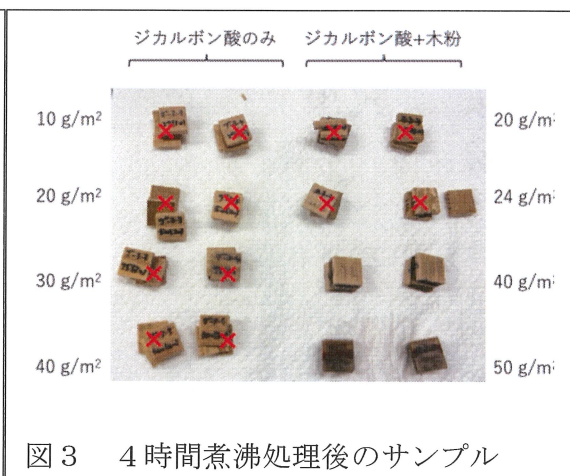


図 3 4 時間煮沸処理後のサンプル

・短スパン曲げ試験

最後に、合板の短スパン曲げ試験を行った。ジカルボン酸単独使用の合板では、塗布量 10 , 20 , 30 , 40g/m^2 で作成した合板において、曲げ応力は 17.3 , 12.9 , 17.2 , 16.9MPa であった。塗布量の増減により大きな差は見られなかった。また、ジカルボン酸と木粉混合物使用の合板では、塗布量 20 , 24 , 40 , 50g/m^2 で作成した合板において、曲げ応力は 16.0 , 15.2 , 16.6 , 15.0MPa であった。この場合も同様に塗布量による大きな違いは見られなかった。これらの結果から、塗布量の増加による接着強度の向上は見られなかったものの、一定の接着力が示された。

以上より、ジカルボン酸を用いた化学的木材接着により合板の作成が可能となった。そして、木粉と混合することで、より少ない塗布量で合板作成が可能となり、耐水性を有する接着ができることが明らかになった。単独散布・混合散布いずれの場合でも、塗布量と曲げ応力の値に相関関係が見られず、塗布量の増加が接着点の増加を促進しないことが明らかになった。今後、接着点を増加させ、接着力（曲げ応力）を向上させるには塗布方法の検討が必要である。

4 研究成果の活用と今後の見通し

本研究では、低分子化合物であるジカルボン酸化合物を接着剤として用いて3層合板を作成できたことがまずは大きな成果である。現在、これらの成果をまとめて、論文投稿の準備を進めている。理論的にはより塗布量が少なくても接着が可能であるので、今後、新たな塗布方法および合板の作成法を検討する予定である。また、材料特性からは界面での化学結合型の木材接着が予期されるが、実際に界面の構造解析や観察も同時に今後さらに進めていく予定である。