

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20580179

研究課題名（和文）インクジェット法を応用した接着剤の機能性塗布技術の開発

研究課題名（英文）Applied the ink-jet printing method to the adhesive spreading.

研究代表者

山内 秀文 (Yamauchi Hidefumi)

秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授

研究者番号：90279513

研究成果の概要(和文):印刷技術としてプリンターなどに用いられているインクジェット法を、木質材料の接着剤塗布技術に応用する研究を行った。フェノール樹脂接着剤を用いた検討の結果、インクジェット法で接着面内に均質に塗布することで、5g/m²（既存の接着剤量の 1/10 から 1/20）という極めて少量の接着剤量で十分な接着性能が得られること、接着性能が塗布量により規定され、塗布技術によらないことなどを明らかにした。

研究成果の概要（英文）: We investigate that the ink-jet method that is a common method in computer printing was applied to the adhesive spreading in wood-based materials. As the small amount of phenol-formaldehyde resin, 5g/m², 1/20 to 1/10 of conventional process, was uniformly spread on the bond surface area of the specimens with ink-jet method, the specimens were obtained the fully bond strength to make the conventional wood-based materials.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2008 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2009 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2010 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,300,000 | 690,000 | 2,990,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：接着・木質材料・塗布制御・インクジェット法・微量塗布

1. 研究開始当初の背景

木質材料はその多くが「木材+接着剤」で構成される。申請者も、これまで木材と接着剤で構成される木質材料の開発研究に従事してきたが、研究を進めていく中で、これまでに十分な検討が行われてきたと思われる木材接着技術に関して、依然として多くの課題があることを感じた。

特に、木材接着に最低限必要な塗布量は塗

布方法や適用されるエレメントなどによって異なるとされているが、その定量的な知見は得られていなかった。例えば、パーティクルボードの接着剤量を表面積あたりに換算すると、10-20g/m²程度となるが、申請者のこれまでの研究¹⁾、あるいは他者の研究²⁾では、単板接着においても 20g/m²以下、すなわち現状で合板製造に用いられている塗布量の 1/10 程度でも十分な接着性能が得られる可能性が示唆されている。木質材料における塗

布量は均一な塗布が可能か否かの塗布技術の制約により決定している側面があり、ロールプレッターに代わる新しい塗布技術を提案することで、その量を劇的に減らせる可能性があると考えた。これは、接着剤が VOC などの化学物質放散の主因であること、また木質材料の LCA 的負荷の最大要因であること、さらに木質資源の安全・安心な再利用を図るという観点からも、その使用量を減じることは根本的な解決策になりうる。

また、接着剤がいかんにしてその接着性を発現するかという点についても、はっきり結論が出ていない。申請者らの研究³⁾で、一定塗布量・一定接着条件下では接着層における接着剤の膜厚や分布が接着性能に影響することが示唆されており、接着性能の発現機構についての定量的な知見を得ることは木材接着をより合理的にするために必要不可欠であると考えられた。

さらに、これまでの木質材料における接着剤の役割は、木材のエレメントを十分に接着し、エレメントの木材としての性能を十分発揮させればよしとされてきた。一方で、接着剤を材料の構成要素と考えれば、その塗布量や分布、異種接着剤の混用などを効果的に制御することで、木質材料の用途拡大や新しい機能性材料開発へ繋がる可能性は大きくなると考えられた。

- 1) 山内秀文ほか、木材学会誌、48(6)、p. 432-438 (2002)
- 2) 梅村研二ほか、第 51 回日本木材学会大会発表要旨集、p. 285 (2001)
- 3) 周萍萍、山内秀文ほか、第 56 回日本木材学会大会発表要旨集、p. 115 (2006)

2. 研究の目的

本研究は、塗布量や塗布範囲を精密に制御できるインクジェットプリンターの技術を木質材料の接着剤塗布に応用し、これまで実験室レベルでも実現や検証が難しかった微量かつ均一な塗布制御の下で木材接着の各種接着試験を試みることで、木材接着における最低・最適塗布量の定量、接着機構の解明、新しい接着剤塗布技術の探求及び接着剤による材料制御の可能性を検討しようとするものである。

3. 研究の方法

(1) 接着剤塗布装置

研究を進めるにあたり、最も重要な技術的課題は、接着剤を一定面積下にいかんして少量・均一に塗布するか、そしていかに接着剤塗布が均一であることを定量的に担保する

かということにあった。そこで本研究では、パーソナルコンピュータ (PC) 印刷に用いられるインクジェットプリンターの技術を応用した新しい接着剤塗布技術および装置を考案した。塗布装置の概要を図 1 に示す。装置の改良基盤には A4 版の市販プリンターを用いた。このプリンターは、インク射出にピエゾ・アクチュエータを用いており、射出時に被射出液体に対して熱を加えないという特徴を有する。このプリンターを実験用の接着剤塗布装置として使用するために、以下のように改良を加えた。



図 1 本実験で用いた接着剤塗布装置

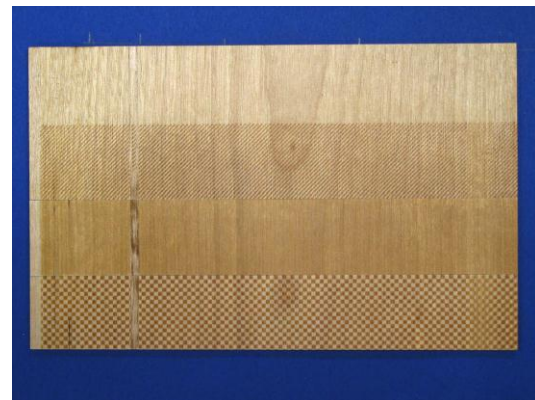


図 2 2mm 厚ソード単板への PF 接着剤塗布

- ①被塗布材に厚さの厚い単板材料が適用できるように、外装および用紙供給装置の可動範囲などを改良した。
- ②すでに塗布された部分に影響を及ぼすことなく、同じ面に対し繰り返し塗布ができるように、定量送り装置のローラーおよび受け歯の位置と揚程の設定が自在にできるように改良した。
- ③印字ヘッドへの接着剤初期供給、およびヘッドの洗浄が容易にできるように、ヘッドクリーニング機構をディスプレイ・シリンジを用いたマニュアル式に変更した。
- ④接着剤を安定的かつ確実に供給するため、また残留インクの不用意な混入を避けるために、インクカートリッジを改良した接着剤専用カートリッジを作製した。

⑤基盤となったプリンターを直接制御する制御命令が公開されていないため、黒インクが独立していることを利用し、PCのCADソフトを用いて白黒の塗布パターンを作製することで、塗布装置を制御することとした。

以上の改良により、図2に示したように、木材単板に対し、ごく微量の水溶性フェノール樹脂を、あらゆる塗布パターンで塗布することが可能となった

(2) 接着試験体の調製

①接着剤塗布量の定量

(1)で述べた接着剤塗布装置による塗布量は極めて少量であることから、塗布前後に試験体重量を計量することによる塗布量の定量は極めて困難であった。そこで、試験体作成と同じ条件にて、あらかじめ紙を用いて塗布量を定量することで、試験体の塗布量を求めた。この際、接着剤の性状が温・湿度などの影響を受ける可能性があること、実験時期が異なると同じ塗布条件でも塗布量が変動する可能性があったことなどから、塗布量の測定は試験体作製の直前に都度行った。

塗布量の定量にはA4版の上質紙(157g/m²)を用いた。これをあらかじめ105℃の恒温機にて十分に乾燥させて全乾重量を測定し、設定した塗布条件で接着剤を塗布した。同じ塗布条件での塗布を3回行った後、それを再び105℃の恒温機内で乾燥させて重量差を得て、そこから塗布量を定量した。塗布量の一例を示すと、原液の不揮発分が43.6%のフェノール樹脂接着剤を2倍量の水にて希釈した接着剤を用い、フルドット印字・ベタ塗りの条件で1回の塗布で原液換算約5g/m²というごく微量での均一塗布が可能であった。

②接着試験体の調製および接着性能試験

本実験では、接着剤として群栄化学工業(株)製のフェノール樹脂接着剤(レヂトップPL-3630)を用いた。この接着剤原液(不揮発分量43.6%)を2倍量の水で希釈したものを、専用のカートリッジに充填し、(1)の装置を用いて塗布した。

塗布量の定量と各種接着性能の試験には、プレーナにより2.2mm厚に仕上げたカバのソード単板を用いた。また、被着材の表面仕上げによる接着性能への影響を検討するため、上述したソード単板の接着面を超仕上げかんな盤、サンドペーパーの#240および#120番を用いて再仕上げしたものも用いた。また、実用的な技術への応用の可能性や、樹種による接着性能への影響を検討するために、実験内容に応じて2.0mm厚のアカマツ・ロータリー単板、1.8mm厚のラワン・ロータリー単板、2.0mm厚のスギ・ソード単板なども供試した。

同じ条件の単板2枚を用意し、それぞれの接着面に所定の塗布条件・回数で接着剤を塗布(1接着層内で両面塗布)した。木理を平行にして塗布面どうしを合わせ、プレス温度

140℃にて所定の圧縮圧力で10分間熱圧した。熱圧時、材料とプレス定盤間に厚さ1mmのシリコンゴム板を介することで圧縮圧力の分散を図った。一部の単板条件では、対照実験として、ローラー塗布(接着剤塗布量180g/m²(片面90g/m²・両面塗布))にて作成した試験体も用意した。

接着操作を終えた試験体から、図3に示すような1面せん断接着性能試験片を切り出した。この試験片を20℃・65%RH下で、24時間あたりの重量変化が0.1%以下となるまで十分に養生した後に、せん断面積を測定した。一部の試験片については、接着剤の促進劣化試験として72時間の連続煮沸を行った。試験には万能試験機(テンシロン・RTC-1350)を用い、変位速度3mm/minで引張せん断試験を行い、せん断接着強度と木破率を求めた。



図3 接着性能試験片

4. 研究成果

(1) 塗布量と接着性能

図4に、接着面をプレーナ仕上げしたカバのソード単板で、フルドット・ベタ塗りの条件にて塗布量を減らしていった時の接着強度と木破率の関係を示した。単板積層材料の接着剤塗布量の表記としては、単位面積あたりの原液重量で表記されることが多いが、実際に接着に寄与する接着剤中の不揮発分量は接着剤のロットにより異なることから、図4のグラフの横軸は実際に塗布した接着剤の不揮発分重量を1m²あたりに換算した値で示した。塗布量を不揮発分重量で4.3g/m²、フェノール樹脂の原液重量換算で10g/m²まで低減しても、ロールスプレッダーで180g/m²(原液・不揮発分量で79g/m²)を塗布したコントロール試験片に比べて、接着強度や木破率に顕著な低下は見られなかった。また、接着強度のバラツキは塗布量の低下に伴ってむしろ小さくなる傾向が見られた。

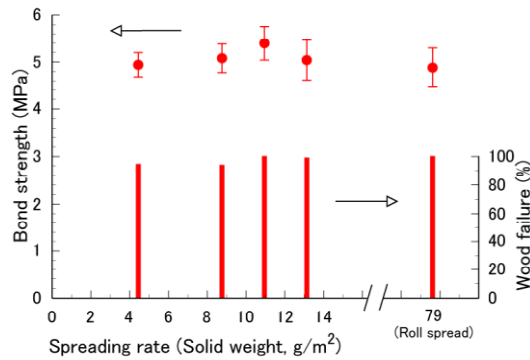


図4 カバ・ソード単板における接着剤塗布量とせん断接着強度の関係

図5に72時間連続煮沸後の塗布量と接着強度の関係を示す。72時間連続煮沸による促進劣化試験は、常態試験で十分な性能を発揮していた塗布量 8g/m^2 以下の条件について重点的に検討した。塗布量が 7.7g/m^2 、原液換算で 18g/m^2 程度塗布すれば、ロールプレッダーにて十分な量の接着剤を与えた条件と比較しても、接着強度・木破率のいずれも遜色ない性能が得られることが明らかになった。一方で、接着剤量が 6.1g/m^2 になると、強度は同等を維持するものの木破率が低下する傾向が見られ、 4.6g/m^2 では強度も低下し、木破はほとんど発生しなくなった。しかしながら、このときでも接着強度はロールプレッダー塗布の80%以上を維持しており、この接着性能で十分に実用的な用途がある接着性能であると考えられた。

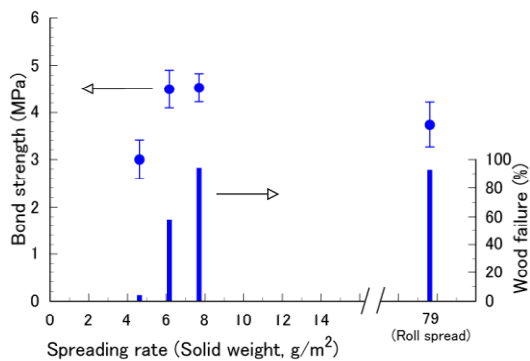


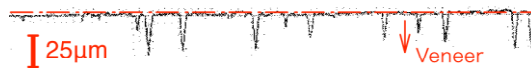
図5 72時間連続煮沸後の接着剤塗布量とせん断接着強度の関係

(2) 表面仕上げの接着への影響

図6に、触針式の表面荒さ測定機を用いて測定した表面性状の概要を示した。超仕上げかんな盤によって仕上げた表面に見られるピークは、カバの道管によるものである。サンドペーパー仕上げでは、明確に表面が粗くなるのがわかる。図7に、各仕上げと接着強度の関係を示した。プレーナ仕上げの結果

は、図4の塗布量 4.3g/m^2 の結果である。プレーナ仕上げの結果に比べ、いずれの性能もやや低い値を示した。これは、同じ塗布条件では、プレーナ仕上げ以外の試験体の塗布量が 2.5g/m^2 程度と低くなってしまったことによると考えられる。超仕上げかんな盤で被着面を処理したものは、強度は出るものの木破率が極端に低くなった。一方で、サンドペーパー仕上げによるものは接着強度がやや低くなったものの、50%以上の木破率を示した。

with Super surfacer



with Planer



with Sandpaper #240



with Sandpaper #120

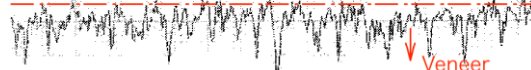


図6 異なる方法で仕上げられたカバ・ソード単板の表面性

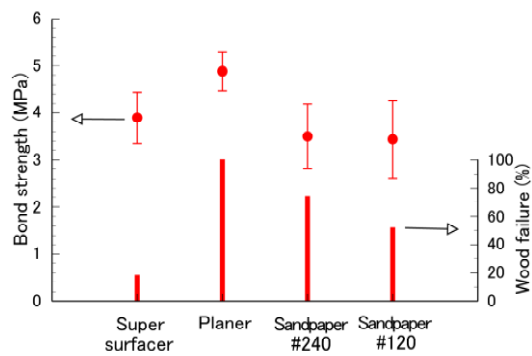


図7 被着材の表面仕上げによる接着性能への影響。

また、ほぼ同じ塗布量でアカマツのロータリー単板を接着した結果でも、50%を超える木破率が得られており、十分な圧縮操作が行われた場合には、表面に多少の凹凸があっても、極めて微量な接着剤量にて十分な接着性能が得られることが示唆された。

図8に、太さを変えた 45° 斜線により線状塗布した試験体による結果を示した。線状に両面塗布した被着面では、両被着材間に接着剤が重なる交点が生じる一方、規則的な欠膠も必ず生じるが、太線で約 4g/m^2 塗布し

たものでは、試験片がほぼ全て木破により破断する十分な接着性能が得られた。この結果は、面接着においても、ある程度の密度で接着点が存在することにより十分な接着性能が得られることを示唆している。

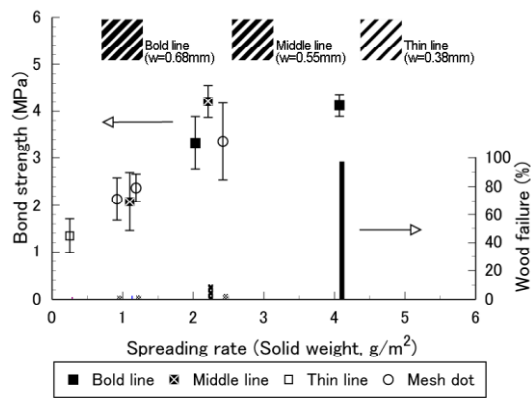


図8 パターン塗布による接着性

以上の結果を基に、ランダムな点状塗布を実現できる噴霧（スプレー）塗布を適用した装置を開発し、微量塗布の接着性能実験を行った結果が図9である。接着剤塗布条件を最適化することで、より一般的なスプレーによる塗布でもインクジェット法と同等の接着性能が得られる可能性があることが明らかになった。

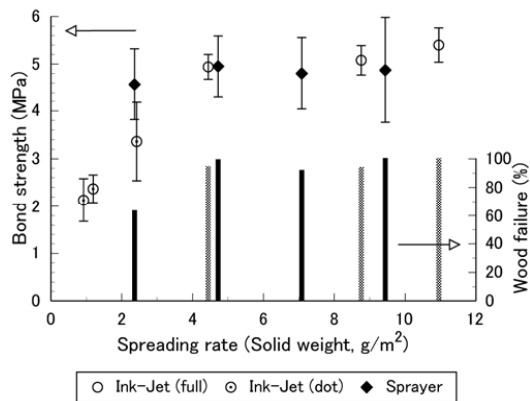


図9 他の塗布方法（スプレー法）による微量塗布接着の接着性能

このことは、本研究で得られた「木材接着に必要な接着剤量は、既存の木質材料で用いられている接着剤量より大幅に少ないと考えられる」という知見が、インクジェット法という特殊な接着剤塗布条件に特有のものではなく、少量の接着剤を均一に展開できる塗布技術があれば適用できる一般的なものであることを示しており、今後は実用化に向けて様々に利用されることが期待できるものと考えられた。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計4件）

① 山内秀文、梅村研二、インクジェット法を用いたフェノール樹脂接着剤の微量塗布技術とその接着性能、第59回日本木材学会大会、Vol. 59th Page. ROMBUNNO. J15-1715、2009

② 山内秀文、梅村研二、インクジェット法を用いたフェノール樹脂接着剤の微量塗布技術(2)-種々の接着条件と接着性能の関係-、第61回日本木材学会大会、Vol. 61th Page. ROMBUNNO. I18-05-1445、2011

③ 山内秀文、接着剤微量塗布技術の可能性について、第32回木材接着研究会講演会、2011

④ 山内秀文、梅村研二、インクジェット法を用いたフェノール樹脂接着剤の微量塗布技術(3)-インクジェット法に代わる塗布手法開発の可能性-、第62回日本木材学会大会、P. 52、2012

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山内 秀文 (Hidefumi yamauchi)

秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授

研究者番号：90279513