

加圧炭化法による木質系廃棄物リサイクル技術に関する研究開発

—高温固形化技術の開発—

古曳博也*・石井信義*・由見真治朗**・長谷川景明**・菊地 誠**・
栗山保士***・羽野 忠****・國分修三****・平岡 敦****
*日田産業工芸試験所・** (株)本吉建設・*** (有)栗山機工作所・**** 大分大学工学部

Development of the Wood Waste Recycle Using Compressive and Carbonized Method

-The Higher Temperature Treatment for Solidify Technique-

Hiroya KOHIKI・Nobuyoshi ISHII・Shinjiro YOSHIMI*・Kageaki HASEGAWA*・Makoto KIKUCHI*・
Yasushi KURIYAMA**・Tadashi HANO***・Shyuzo KOKUBU***・Atsushi HIRAOKA***
Hita Industrial Art Research Division・Motoyoshi Contractor Co.,LTD*・
Kriyama Machine Maneuvering Inc**・Faculty of Engineering,Oita University***

要旨

型枠内に鋸屑原料を入れ加圧圧着する加熱圧縮処理法において、型枠温度を310℃に上げたところ炭化に近い状態の成型板の作製が可能であった。物理的・強度的な評価試験を行ったところ、吸水に対する膨潤が抑制され高い寸法安定性能を有することが確認できたが、強度的な性能についてはまったく期待できず今後の課題となった。

1. はじめに

木材産業が集積している大分県日田市では、事業所から発生する木材廃材は年間71千トンであり、そのうち鋸屑は40%弱の26千トンを占める¹⁾(平成13年日田市調べ)。鋸屑を再利用、再資源化することを目的に、合成樹脂系接着剤を使用せず成型固形化を図る技術開発に取り組んだ。

成型方法としては、210～260℃程度に加熱された型枠内に鋸屑原料を入れて加圧圧着する加熱圧縮処理法²⁾などが一般的であるが、本研究では型枠温度を310℃に上げ、熱分解による発熱作用³⁾で表面が炭化に近い状態に加工した。

成型板を作製する工程は、①粒径を調整した鋸屑原料(以下木粉という)を型枠内に充填。②プレス圧縮。③型枠温度を上げて所定温度で加熱保持30分。④養生冷却120分。⑤取り出しである。

作製した成型板の物理的・強度的な評価試験を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 成型板の作製

2.1.1 供試材

木粉は、製材所等から排出するスギの未利用材や端材等を鋸屑製造機で粉碎したものをを用いた。室内にて3カ月以上風乾し1mm以下、1～2mm及び2～4mmの粒径

サイズにふるい分けした。含水率の調整は特に行わず気乾状態(平均20%)で使用した。

2.1.2 加熱成型装置

加熱成型装置は、(有)栗山機工作所製の試作機を用いた(Fig.1)。寸法W300×D300mmの成型板が製作可能である。底板、側板、天板には900wのヒーターがそれぞれ2枚、4面に1枚ずつ、2枚組み込まれており部位ごとに温度制御が可能である。素材にはアルミニウムA5052を使用し昇温性に配慮した。

2.1.3 成型板の作製条件

W300×D300×T12mmを目標寸法とした成型板の作製条件をTable 1に示す。なお各条件におけるサンプル数は5枚とした。

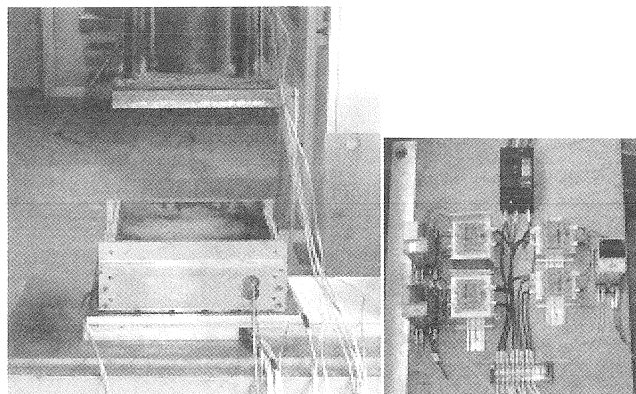


Fig.1 加熱成型装置と制御盤

Table 1 成型板作製条件

番号	粒径サイズ (mm)	含水率 (%)	木粉充填量 (g)	初期圧縮力 (Mpa)	型枠設定温度 (°C)	加熱時間 (分)	養生時間 (分)
試料A	1~2	20.0	800	3.9	250	30	120
試料B	1~2	23.5	800	3.9	280	30	120
試料C	1~2	23.5	800	3.9	310	30	120
試料D	1~2	19.5	1000	4.5	310	30	120
試料E	1~2	19.0	1200	5.2	310	30	120
試料F	1以下	20.0	1200	5.2	280	30	120
試料G	1以下	17.5	1200	5.2	310	30	120
試料H	4以下	18.5	1200	5.2	280	30	120

2.1.4 温度計測

型枠の温度は、加熱成型装置の制御盤に取り付けてある記録計から直接読み取った。

成型板の温度は、高さ3, 6, 11(mm)の側面部よりφ3.2mm, 深さ5mm程度の穴をあけ、シース型の被覆熱電対(東京測器製)を差し込んで計測した。

2.2 成型板の評価

2.2.1 密度及び含水率測定

幅35×長さ50mmの試験片を切り出し、重量及び寸法を計測し密度及び含水率を求めた。

2.2.2 PH測定

JIS K 1474の活性炭試験方法に準じて行った。成型板をハンマーで碎き粉末状にした試料1gに蒸留水100mlを加え、加熱して5分間静かに沸騰させ、さらに冷却した残液をガラス電極法によりPH測定した。測定機はPHメーターD-21型(堀場製作所製)を用いた。

2.2.3 曲げ強さ試験

JIS A 5905の繊維板における曲げ強さ試験方法に準じて行った。幅50×長さ200mmの試験片を切り出し、気乾時及び湿潤時(B試験:煮沸2時間後, 常温水中1時間)に試験を行った。スパンは厚さの15倍とし、荷重速度10mm/分で中央集中荷重を加えた。使用した試験機はインストロン5568型(インストロンジャパン製)である。

2.2.4 木ネジ保持力試験

JIS A 5905の繊維板における木ネジ保持力試験方法を参考に行った。幅50×長さ100mmの試験片を切り出し、所定位置2箇所呼び径2.7mm, 長さ16mmの木ネジのネジ部(約8mm)を垂直にねじ込んだ。ネジをねじ込む際はあらかじめ直径2mmのドリルで深さ約3mmの案内孔を設けた。試験機は前述のインストロン5568型を用い、荷重速度2mm/分で垂直に木ネジを引き抜き、最大荷重を求めた。

2.2.5 吸水率及び吸水厚さ膨潤率試験

JIS A 5905の繊維板における吸水率試験及び吸水厚さ膨潤率試験方法に準じて行った。幅50×長さ50mmの試験片を切り出し、水中に24時間浸漬した後に重量及び厚さ寸法を測定し吸水率及び膨潤率を求めた。さらに吸水率は28日間水中に浸漬した後も求めた。

2.2.6 耐水性試験

幅50×長さ50mmの試験片を切り出し、水中に28日間浸漬した後または煮沸後(煮沸2時間後, 常温水中1時間)の試験片を目視にて観察した。

3. 結果と考察

3.1 温度分布について

加熱成型装置(試作機)の底板, 側板, 天板における加熱状況について調べた。型枠の加熱温度を250°C, 280°C, 310°Cに設定した際の昇温速度状況をTable 2に, 310°Cに設定した時の型枠の温度推移をFig. 2に示す。

実測した型枠温度は底板, 側板, 天板のいずれも設定温度で推移することが確認できた。ただ昇温速度が, 側板>天板>底板の順となり設定温度到達に差が生じた。均一な成型板を加工するためには型枠の温度差をなくすことが必須条件であり, 特に厚手の成型板を作製する場合

Table 2 型枠の昇温速度

	昇温速度 (°C/分)		
	250°C設定	280°C設定	310°C設定
底板	8.5	8.2	7.2
側板	15.5	15.0	11.5
天板	12.5	12.1	10.5

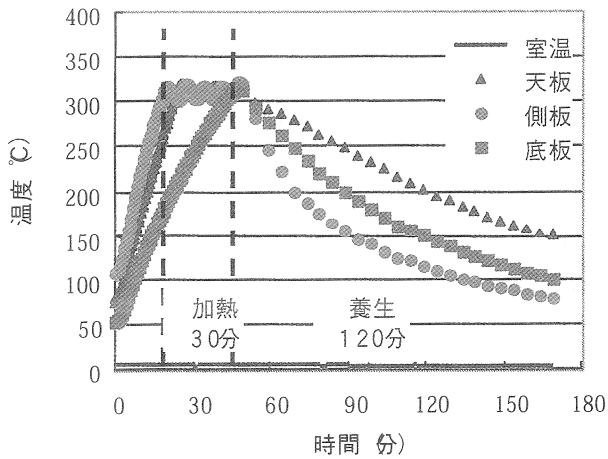


Fig. 2 設定温度 310℃時の温度推移

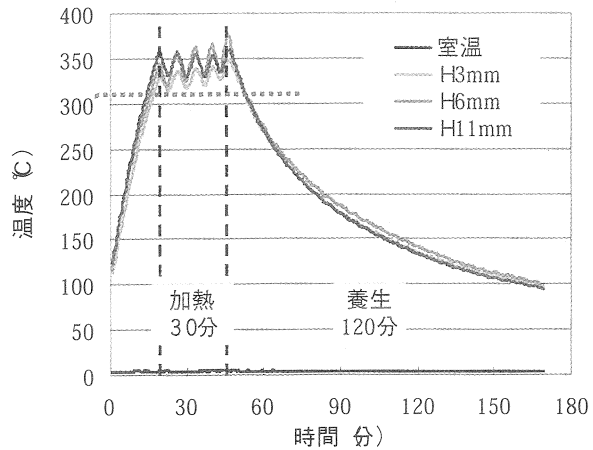


Fig. 3 設定温度 310℃時の成型板温度

にはより高い精度が要求されると思われる。薄手の成型板を（12mm厚を目標に）製作する今回の実験では、本装置をそのまま用いたが、今後は装置の改善が必要となる。

型枠温度を 310℃に設定した時の成型板の温度推移の一例を Fig. 3 に示す。高さ 6 mm の位置における成型板の平均温度は、加熱設定温度よりも 36～54℃上乗せした値で推移した。スギの着火点は 240℃付近⁴⁾といわれているが、240℃以上の温度と熱によってスギ木粉の熱分解が進み、発熱反応が活発化して温度上昇したものと推測できる。

3.2 成型板の性能について

作製した成型板の素性について、スギ木粉の粒径サイズによる違いを Fig. 4 に、加熱設定温度による違いを Fig. 5 に示す。また製作した成型板の形状、物理的、強度的な特性を Table 3 に示す。対照としてスギ材、シナ合板、MDF、OSB の試験結果も同様に示す。

3.2.1 形状とPH

作製した成型板は、加熱温度が高くなるに従って表面全体が濃色化され、炭化に近い状態となる点を確認できた。また充填するスギ木粉の粒径サイズの違いによって、素性面での多様化が図られた。

含水率は、加熱温度が高くなるに従って低い値を示した。高温で加熱することによってスギ木粉に含まれる水分が蒸発されることがうかがえた。

密度は、スギ木粉の充填量を増やした場合や粒径サイズが小さい場合には高くなる傾向を示した。要因としては、充填量の増加によって圧縮変形量が大きくなること、粒径サイズが小さいほど木粉と木粉との空隙が減少して密着度が大きくなることなどが考えられる。一方、加熱温度を高くすると逆に密度が低くなる傾向を示した。これは木粉を構成する成分が熱分解によって切断されて新たな微細な孔が形成されやすい状態⁵⁾になっていることによるものと推測される。

材厚は、12mm厚の成型物を作製するために加熱成型装置の両側にディスタンスバーを設けていたにもかかわらず、加熱温度を高くするに従って目標値より薄くなる傾向を示した。高い温度で加熱するほど熱分解が進み木粉の収縮量も大きくなる⁶⁾。そのため成型板の寸法が小さくなったものと思われる。

PHは、試料A、B、Cについて求めた。その結果、弱酸性から中性傾向（PH6.2～6.6）を示した。木酢液の酸性成分は有機酸などの化合物を含む⁷⁾ことによるものといわれているが、250℃付近でピークを迎えるヘミセルロースの熱分解から得られる有機酸などの木酢液成分が成型板に存在しているためではないかと推測される。加熱温度がさらに上昇すれば有機酸などの木酢液成分は揮発してアルカリ側に移行する⁸⁾ものと思われる。

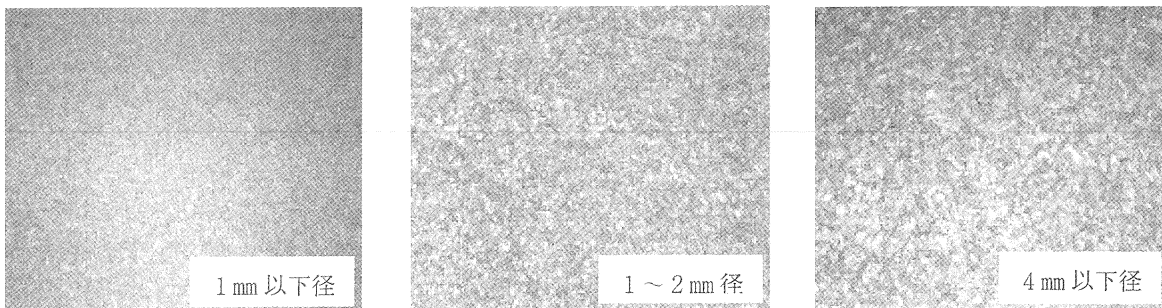


Fig. 4 スギ木粉の粒径サイズによる違い

Table 3 成型板及び各種木質素材の特性評価結果

種類	含水率 %	密度 g/cm ³	材厚 mm	P H	気乾 曲げ強さ N/mm ²	湿潤B 曲げ強さ N/mm ²	木ネジ 保持力 N	24時間 吸水率 %	24時間吸水 厚さ膨潤率 %	28日間 吸水 剥離	湿潤B 剥離
試料A	4.5	0.55	11.9	6.2	1.3	1.0	41.8	14.0	2.8	異常なし	異常なし
試料B	3.0	0.45	11.2	6.4	1.2	1.1	41.5	12.8	1.5	異常なし	異常なし
試料C	1.5	0.35	9.9	6.6	0.9	1.0	32.0	25.1	1.4	異常なし	異常なし
試料D	1.0	0.46	9.7	—	1.7	2.1	53.7	40.7	0.2	異常なし	異常なし
試料E	1.5	0.50	10.8	—	2.3	2.3	73.8	31.9	0.5	異常なし	異常なし
試料F	1.5	0.62	11.1	—	4.3	4.5	92.3	11.2	1.3	異常なし	異常なし
試料G	0.5	0.55	9.8	—	2.8	4.0	71.6	21.5	0.7	異常なし	異常なし
試料H	3.0	0.53	13.3	—	3.7	3.2	104.7	17.7	1.0	異常なし	異常なし
スギ 梃目	14.0	0.41	11.9	7.0	68.3	45.6	323.4	23.1	3.1	異常なし	異常なし
スギ 板目	14.0	0.43	11.8	7.0	71.1	45.6	397.8	27.8	3.6	異常なし	異常なし
汁合板	8.5	0.55	11.8	—	29.4	23.1	362.1	30.5	3.1	異常なし	異常なし
MDF	8.5	0.59	12.1	—	26.0	—	183.8	12.8	5.5	異常なし	剥離
OSB	7.0	0.66	12.1	—	34.3	11.1	346.6	33.4	20.3	異常なし	異常なし

3.2.2 強度的な性質

成型板の曲げ強さは、気乾時及び湿潤時ともにスギ材や木質素材に比べて低い値を示し強度性能はまったく期待できなかった。曲げ試験終了後の成型板を観察すると木粉と木粉の密着層に亀裂や破壊が生じており、結合力の脆さが表れた。小さい粒径で作製したボードでは密度が増すとともに曲げ強さも若干向上する傾向を示した。これは木粉と木粉の空隙が減少し密着度が大きくなったためと推測できる。また成型板の場合、湿潤状態における曲げ強さは気乾状態に比べて大きな減少は認められず、かえって増加する傾向も見受けられた。木材の熱分解に

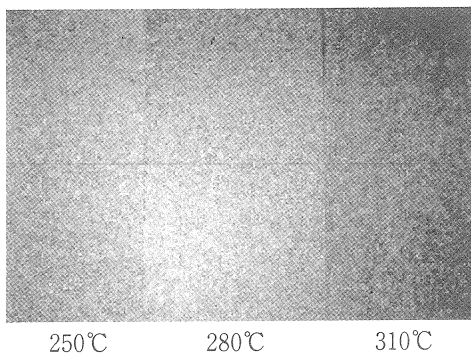


Fig.5 加熱設定温度による違い

よって生じた細孔等の空隙に水分が含まれることによってなんらかの影響をおよぼしているものと思われるが詳細はわからない。

木ねじ保持力についても、スギ材や木質素材に比べて低い値を示した。スギ木粉の粒径サイズが大きい場合や充填量が多い場合は比較的高めの値を、また加熱温度が高い場合には低めの値を示している。木質素材では原料の薄片や木繊維の厚みが大きいものほど木ねじ保持力が強くなる⁹⁾といわれているが、成型板でもスギ木粉の粒径サイズが大きい場合に抵抗力が高まる傾向を示した。充填量が多い場合については、密度が高くなるために高い値を、また加熱温度が高い場合には微細な孔の形成による密度の低下が影響して低い値を示したものと思われる。

強度を必要とする場面で成型板を使用することを想定して、今後は木粉同士の結合力を高めるために成型加工条件を再検討しなければならない。

3.2.3 耐水性

水中に24時間浸漬した後の吸水率は、スギ材や木質素材とほぼ同様な傾向を示した。水中に28日間浸漬した後の吸水率をFig.6に示したが、成型板(試料A, B, C)はスギ材や木質素材に比べて吸水率が高く、加熱温度が

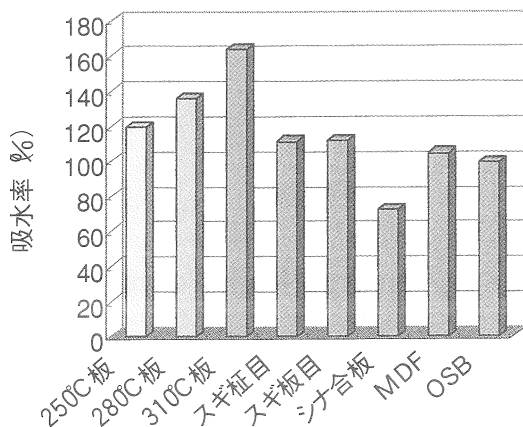


Fig.6 28日間水中浸漬後の吸水率

高い場合により顕著となる傾向がみられた:これは微細な孔の形成によって内部表面積が大きくなった⁵⁾ことや、水素、炭素等の化合物の揮発により¹⁰⁾水の浸入を妨害する働きが弱まった¹¹⁾ために水分の吸着性が向上したものと推測される。厚さ膨潤率については、スギ材や木質素材と比較して低い値を示しており、吸水に対する高い寸法安定性能を有することが確認できた。吸湿・吸水による膨潤作用の原因成分であるヘミセルロースやセルロースが、熱分解によって変質された¹²⁾ためではないかと推測される。

水中に28日間浸漬した後または煮沸後に、木粉の剥離や分離等の異常は特に認められていない。

4. まとめ

鋸屑等の木質系廃棄物を再利用、再資源化することを目的に、

A. 合成樹脂系接着剤を使用せずにスギ鋸屑から成型板を作製するための条件把握試験

B. 作製した成型板の物理的及び強度的な性能評価試験を行った。

Aについては、型枠温度を310℃に上げることによって炭化に近い状態の成型板の作製が可能となる点を確認した。充填するスギ木粉の粒径サイズの違いや加熱処理温度の高低によって、素性面での多様化が図られた。今後の課題としては、成型板の均一性や品質の安定性であり、成型板を加工する際の技術改善や加熱成型装置の改善があげられる。

Bについては、吸水に対する膨潤が抑制され高い寸法安定性能を有することを確認した。吸水量はスギや木質素材と同様、あるいはそれ以上となる傾向を示したことから調湿機能性素材としての利用法も有力である。強度的な性能については、曲げ試験の結果からまったく期待できなかった。木粉同士の結合力や成型板密度を高くするため、処理方法や処理条件について今後再検討しな

ればならない。

本成型板の特徴は、①木質系廃棄物(スギ鋸屑)を再利用すること、②合成樹脂系接着剤を使用しないこと、③表層が炭化されていることである。特に③についてはその有用な特性を導き出すことが必要であり、成型板の断熱性能や吸音特性について評価試験を担当されている大分大学からの報告が待たれる。

参考文献

- 1) 吉田茂二郎, 今田盛生, 寺岡行雄ほか:平成11年度~13年度科学研究費補助金(地域連携推進研究)研究成果報告書,(2002),130-136,九州大学大学院農学研究院.
- 2) 松本繁則, 眞砂和彰, 竹村一彦:埼玉県工業技術センター研究報告第2巻,(2000),119-122.
- 3) 右田伸彦, 米沢保正, 近藤民雄:木材化学・下,(1968),63,共立出版(株).
- 4) 農林省林業試験場:木材工業ハンドブック,(1958),163,丸善(株).
- 5) 松永一彦:木竹炭の製造と利用,(2001),47-48,日本木材学会九州支部講習会テキスト.
- 6) 右田伸彦, 米沢保正, 近藤民雄:木材化学・下,(1968),92,共立出版(株).
- 7) 目黒貞利:木竹炭の製造と利用,(2001),81-84,日本木材学会九州支部講習会テキスト.
- 8) 松永一彦:木竹炭の製造と利用,(2001),46,日本木材学会九州支部講習会テキスト.
- 9) 北原覺一, 丸山憲一郎:実用加工全書第6巻 ファイバーボード・パーティクルボード,(1971),261-275,森北出版(株).
- 10) 農林省林業試験場:木材工業ハンドブック,(1958),824-825,丸善(株).
- 11) 増田幹雄:木炭・木酢液の活用法,(1997),90,(株)ブティック社.
- 12) 農林省林業試験場:木材工業ハンドブック,(1958),802,丸善(株).