

高周波誘電加熱を用いた軽量ボードの開発

太田幸伸^{*1}、福田聡史^{*1}、浅田文仁^{*2}

Development of Light Weight Boards Using High Frequency Dielectric Heating

Yukinobu OTA^{*1}, Satoshi FUKUTA^{*1} and Fumihito ASADA^{*2}

Industrial Technology Division, AITEC^{*1*2}

スギオガコに接着剤として蒸気処理竹粉、コーンスターチあるいはポリ乳酸を添加し、高周波誘電加熱プレスを用いて軽量ボードの作製を試みた。成形性が比較的良好であった蒸気処理竹粉を使用して成形条件を検討した。また、プレス時の発熱や熱伝導特性についてシミュレーションを行い、適切な加熱時間などを求めた。これらを基に、オガコ 50wt%、蒸気処理竹粉 30wt%、コーンスターチ 20wt%を混合した材料で、厚さ 30mm、曲げ強さ 8.1MPa のボードを成形できた。密度は 670 kg/m³ で加熱時間は約 480s であった。これを熱板加熱方式の熱プレスで成形するシミュレーション結果では、加熱に約 3000s 要することから、厚物ボードを成形する場合には高周波誘電加熱が優位であることが分かった。

1. はじめに

最近、森林や都市近郊林は多面的な機能が再認識され、地球環境対策の上からも保全と活用を図る必要がある。現状では、木材を加工するときに発生する切れ端や切りくず、また、森林への侵入により山の管理上問題になっている竹の伐採物などは、カーボンニュートラルであるからといって、有効利用や再利用されないまま燃料として燃やしてしまうことがほとんどである。しかし、少しでも二酸化炭素の発生を抑制し、地球環境保護を推進するためには、これらの木質バイオマスの有効利用とその固体の状態を長く保つことが必要である。

筆者らは、これら木質バイオマスを有効利用する技術の一つとして、蒸気処理した木質材料がもつ自己接着性を利用して、熱プレスによりマットや軽量ボードの成形技術の開発を行ってきた^{1)~3)}。しかし、これまで実施してきた熱板加熱方式では、木質材料の熱伝導率が低いため、厚ものを加熱する場合には、長い時間を必要とするなどの問題があった。

本研究は、これまでの研究で得られた一連の製造技術を応用し、天然接着成分を添加したスギオガコを高周波誘電加熱プレスで成形することにより、建築資材として取り扱いが容易な密度 600 kg/m³ 程度で、厚さ 30mm 以上、曲げ強さ 8 MPa 以上の軽量ボードを短時間に成形する条件を検討した。また、成形したボードの物性を調べ、適正な成形条件を把握した。さらに、高周波誘電加熱時の発熱および熱の伝わり方をシミュレーションして、プレスに必要な最適な時間を設定し、実証を試みた。

2. 実験方法

2.1 供試材およびプレス条件

原料は、厚み 1 ~ 1.5mm のチップ状のスギオガコを用いた。接着材料として蒸気処理竹粉 (200 μ m、20min の蒸気処理、粒径約 10 ~ 300 μ m) の他にコーンスターチ (粒径約 2 ~ 30 μ m) ポリ乳酸の粉体 (粒径約 2 ~ 30 μ m) を用いた。材料の調製条件として、蒸気処理竹粉 30wt% 添加、含水率 10% を基本とした。また、予備実験で電極の表面に結露を生じていたことから、**図 1 a) , b)** の加圧加熱工程に先立ち電極や金型を 150 $^{\circ}$ C に予熱しておいた。成形加熱時間は、材料中心温度が 200 $^{\circ}$ C に達するまで高周波誘電加熱を行った。なお、電極間に金属が存在すると短絡して加熱できないため、**図 1 c)** に示すように側面の金型を取り除いた状態で高周波加熱し、試験体を成形した。また、蒸気処理竹粉 30wt% に加え各種接着材料を添加した場合についても同様とした。

2.2 密度の影響

プレス成形する場合は、加圧力の違いでボードの密度が変化し強度も変化する。密度の影響を調べるために、密度 500 ~ 1400 kg/m³ の異なる試験体を成形した。各々に配合した材料の投入量は、成形厚さが 40mm の時に密度が 500kg/m³ になるように投入量を決定した。また、目的の厚さおよび密度が得られるように高周波プレスの電極間隔を調節して試験体を成形した。

2.3 高周波誘電加熱の加熱シミュレーション

厚みのある木質ボードを一般的な熱板加熱方式で成形した場合、材料全体を所定の温度にするためには、木

*1 工業技術部 応用技術室 *2 工業技術部 応用技術室 (現農林水産部農林基盤担当局 林務課)

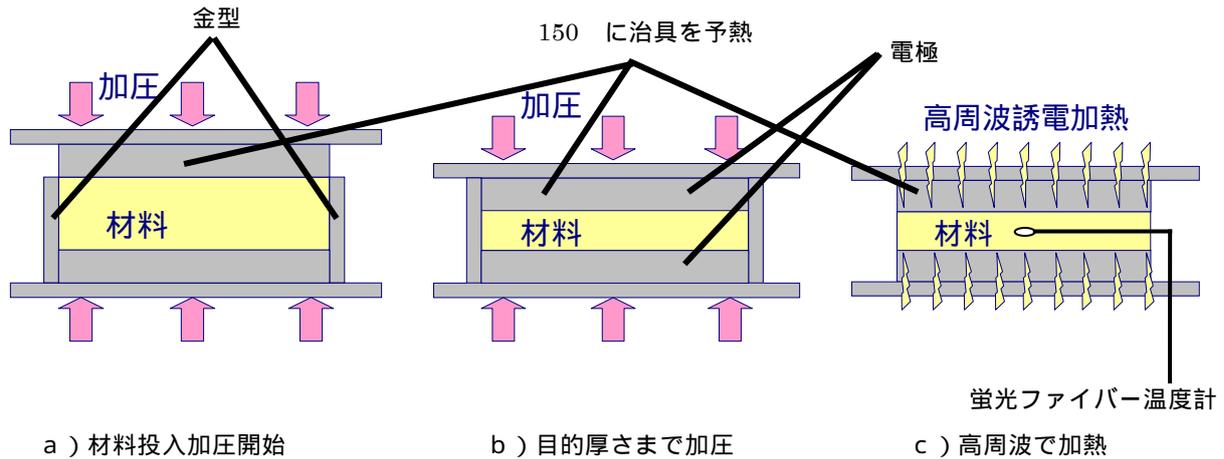


図1 加圧および加熱過程の模式図

材の熱伝導率が小さい ($0.08 \sim 0.17 \text{ W/mK}$) ことから、加熱時間を長く取る必要がある。また、これまでの研究で、接着成分を長時間加熱すると接着力や強度が低下することが分かっており²⁾⁴⁾、適正な加熱時間を設定する必要がある。

一方、木材などを高周波誘電加熱する場合には、材料自身が発熱し、熱伝導性をあまり考慮する必要がなく、短時間で所定の温度に加熱できる。しかし、高周波誘電加熱する材料の性質や含水率、さらに密度などの様々なパラメータにより材料が発熱する度合いが大きく異なる。これまで、それらのパラメータを使用して発熱量や加熱時間を求める報告は、ほとんど見られない。そこで、木の含水率を高周波により求める過去の報告など⁵⁾を参考に、既知のデータや式、さらに新たに近似式などを定義し、加熱シミュレーションに必要なパラメータを計算するためのソフト開発を試みた。そして、発熱量などから所定の温度に達するまでの加熱時間などを求めた。また、これらの値を使用して、図1c)に示す電極で材料を挟み加熱した場合の中心部の過渡温度特性についても求めた。ただし、各材料の加熱開始温度は 20°C 一定とした。

2.4 評価方法

試験体の物性評価は、JIS A 5908 パーティクルボードに規定される試験方法を準用して、密度、曲げ強さ、曲げヤング係数の測定および目視による外観検査を行った。また、実際に高周波誘電加熱した時の加熱中の材料内部の温度変化を測定し、シミュレーション結果と比較検討した。測定は、高周波の影響を受けない蛍光ファイバー温度計を用いて行った。

3. 実験結果および考察

3.1 接着材と成形性

厚さ 30mm のボード成形を目指して、スギオガコに接

着材料として蒸気処理竹粉単体、蒸気処理竹粉とポリ乳酸及び蒸気処理竹粉とコーンスターチを添加した試験体を成形した。いずれの接着材料を添加した場合も成形が可能であった。この時の各試験体の曲げ特性を図2に示す。蒸気処理竹粉のみを使用した場合、曲げ強さ、曲げヤング係数ともに低かった。これは、蒸気処理竹粉のみの場合、熱流動性が他の接着材料に比べて小さいため、加圧力が小さいと十分な熱流動ができない。このため、スギオガコ同士の接触面積が少なく、その隙間では接着材料の十分な接着力を得ることができなかったため強度が低かったと考えられる。また、接着材料としてコーンスターチやポリ乳酸を追加添加した場合、どちらも 10wt% の追加添加で大きく曲げ特性が向上していることが分かる。しかし、性能のさらなる大幅な向上を目指してコーンスターチを 20wt% 添加した場合は、大幅な性能の向上は得られなかったが、目標以上の曲げ強さ 8.1 MPa が得られた。一般にコーンスターチは加熱時に周りの水分を吸収して デンプンから デンプンに変わ

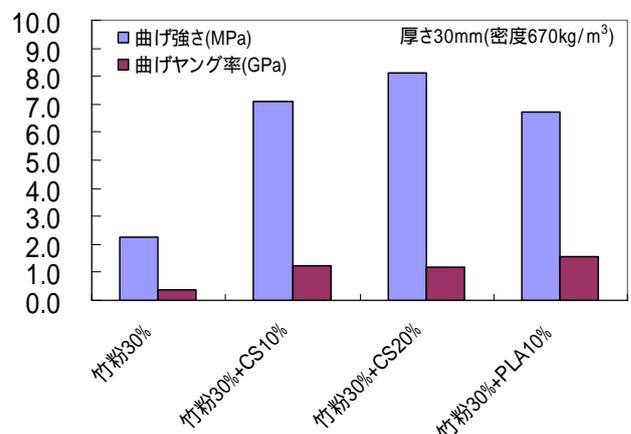


図2 各接着剤による試験体の曲げ特性

り接着性が良くなることが知られている。しかし、高周波誘電加熱する場合、材料の含水率をあまり高くすると電極が短絡してしまう。このため、含水率を高くすることができないため、デンプンへの変化が限定され曲げ特性に影響したものと考えられる。

また、試験体を切断して断面を観察しところ、蒸気処理竹粉 30wt%とコーンスターチ 10wt%を添加した場合、断面形態が悪く脆い部分もあった。しかし、蒸気処理竹粉 30wt%とポリ乳酸 10wt%を添加した場合は、欠けのないきれいな切断面が得られた。

3.2 充填密度が成形に及ぼす影響

プレス圧力を増加すると電極間の距離が減少し密度の高い成形体得られる。図3に示すように、密度を高くする（プレス圧力を高くする）と曲げ強さや曲げヤング係数も向上していることが分かる。これは、密度を高めたことにより、個々のオガコ同士の接着面積が増加し、強度の向上が図られたものと考えられる。従って、加圧力（電極間距離）を制御して成形すれば、軽いボードや強いボードなど目的にあったボードを成形することが可能である。

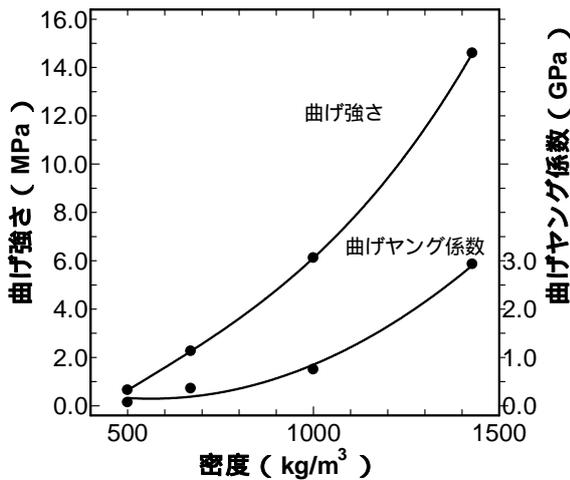


図3 密度と曲げ特性
(オガコ 70wt% + 竹粉 30wt%の場合)

3.3 加熱時間の算定と内部温度変化

高周波誘電加熱をする場合、加熱時間が成形性に大きな影響を及ぼす。そこで、図4に示すように高周波誘電加熱した場合の加熱時間を計算するソフトを開発した。加熱時間が長すぎると内部で燃え始めてしまったり、内部の圧力が高くなり破裂したりする危険がある。一方で、加熱時間が短いと十分に温度が上がらず、ボードを成形することができない。本ソフトを用いることで、簡略的な加熱時間や、さらに精度を上げるための高周波誘電加熱シミュレーションに必要なパラメータを同時に計算す



図4 高周波パラメータ計算ソフト

ることができ、最適な条件を算出することができた。

この計算ソフトから求めたパラメータを使用して求めた材料内部の温度変化と実際に高周波加熱した場合の内部の温度変化を図5および図6に示す。計算上の温度変化と実際の温度上昇の度合いが良くマッチングしている。

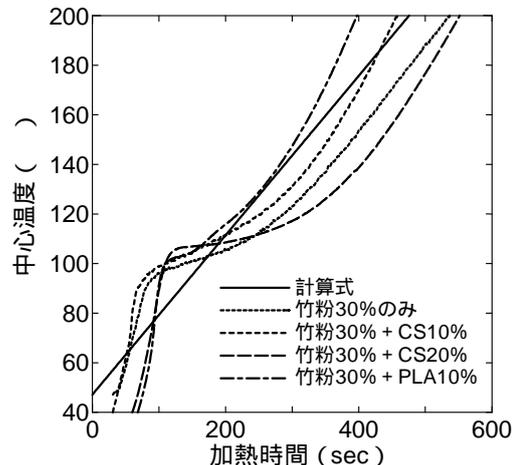


図5 加熱時間と内部温度の変化
(厚さ 40mm、密度 500kg/m³の場合)

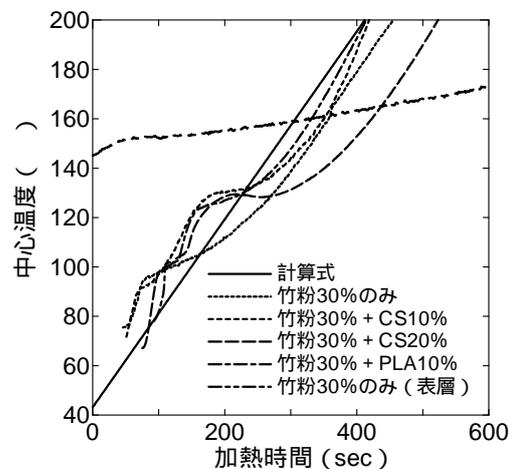


図6 加熱時間と内部温度の変化
(厚さ 30mm、密度 670kg/m³の場合)

このことは、計算結果が適正であったことを示している。

また、図5、図6では100 から120 あたりのところに温度上昇のなだらかな部分が見られるが、これは、内部の水分が蒸発する際にエネルギーが使われたためと思われる。120 前後にまでなだらかな部分が及ぶのはプレスの圧力が高く、一部で沸点が上昇しているためと思われる。

一方、厚さ（密度）と内部温度の変化を図7に示す。図7から分かるように、厚さが薄く密度が高いボードの方が、短時間の加熱ですむことが分かった。これについては、計算ソフトを使用して求めた結果と同様な結果が得られた。

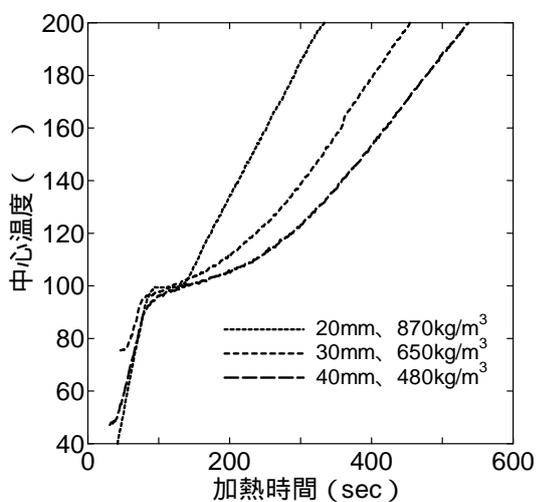


図7 厚さ（密度）と内部温度の変化（実測値）
（オガコ70wt% + 竹粉30wt%の場合）

また、厚さ30mm、密度670 kg/m³を高周波誘電加熱で成形した場合と、熱板加熱方式のプレスで200 の熱板を使用して成形した加熱中の内部中心温度の変化をシミュレーションした結果を図8に示す。高周波誘電加熱では、ほぼ直線的に温度が上昇していることが分かる。しかし、熱板加熱の場合、最初のうちは温度が上がらず、目標温度の200 付近でも温度上昇が鈍化している。このため、高周波誘電加熱では約480sで加熱成形できたものが、熱板加熱方式では約3000sと約6倍の時間を要することが分かる。これは、木の熱伝導率が低い性質が影響している。一方、高周波誘電加熱は、内部の水分子が振動することで発熱する原理から、材料全体が発熱しており、そのため熱伝導率の影響をほとんど受けず、短時間で加熱することができる。このことから、厚いボー

ドを成形する場合には、高周波誘電加熱方式が優位であることが分かった。

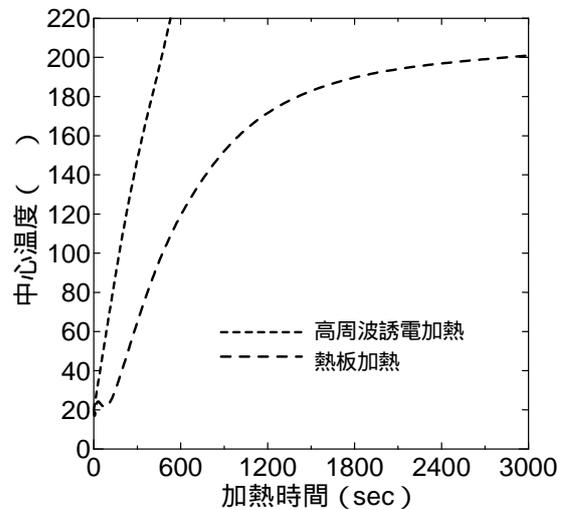


図8 高周波誘電加熱時の内部温度の変化
（シミュレーション結果）

4. 結び

スギオガコ50wt%、蒸気処理竹粉30wt%、コーンスターチ20wt%を混合した材料で、厚さ30mm、曲げ強さ8.1 MPa、密度は670 kg/m³の軽量ボード成形ができた。このときでの加熱時間は約480sであった。シミュレーションの結果では、従来の熱板加熱プレス法では、材料中心部の温度が200 に到達するのに約3000sかかるのに対し、高周波誘電加熱では加熱時間が約1/6になることが分かった。このソフトは、高周波誘電加熱の加熱時間を設定する上で有用と思われる。

文献

- 1) 太田、福田、来川：愛知県産業技術研究所研究報告，4，54（2005）
- 2) 太田、福田、来川：愛知県産業技術研究所研究報告，5，54（2006）
- 3) 太田、福田、浅田：愛知県産業技術研究所研究報告，6，38（2007）
- 4) 高橋、高須、福田：愛知県産業技術研究所研究報告，5，10（2006）
- 5) 上村武：林業試験場研究報告，119，95（1960）
- 6) 木材工業ハンドブック編集委員会編：改訂4版木材工業ハンドブック，P119（2004），丸善