

研究活動

1

木材粉末の 圧縮成形による新しい 環境調和材料の開発

工芸学部 三木 恒久, 高倉 章雄,
山口 克彦

1. はじめに

鉱物や化石燃料等の埋蔵資源は年々減少して枯渇の危機が近づいており、また、これらを原料とした製品が廃棄される場合には、産業廃棄物として扱われ、特にプラスチック系材料の焼却では有害ガス等が発生するため、今日深刻な環境問題を引き起こしている。

一方、図1に示すように、樹木は光合成によって二酸化炭素を固定しつつ成長し、最終的には、二酸化炭素と水に分解され自然に循環する。そのため、樹木を原料とした木質素材は低環境負荷材料として、将来ますます需要度を増すと考えられる。また、地球上の森林の量は、今日までの過剰な伐採によって減少しているのが現状であるが、樹木の光合成は成長段階（若木）に特に活発であり、成長が終わる（老木）と光合成器官が衰えることが一般的に知られている¹⁾。したがって、樹木は計画的な伐採と植林を行えば、森林資源を枯渇させることなく持続的な使用が可能である。

しかし、樹木が木材として使用できる寸法に成長するには長い年月を要するという『生産性の問題』や、『強度が低い』、『形状が経年変化する』、任意の形状に加工しにくいといった『加工性の問題』を抱えている。

木質素材の生産性を向上させる方法としては、木材を単板・小片・ファイバーなどの小さな要素に細分化して、これを接着・再構成する技術の開発が進んでいる。これらの木質材料は、エンジニアードウッドと呼ばれ、身近な例としては単板切削した木材を重ねたベ

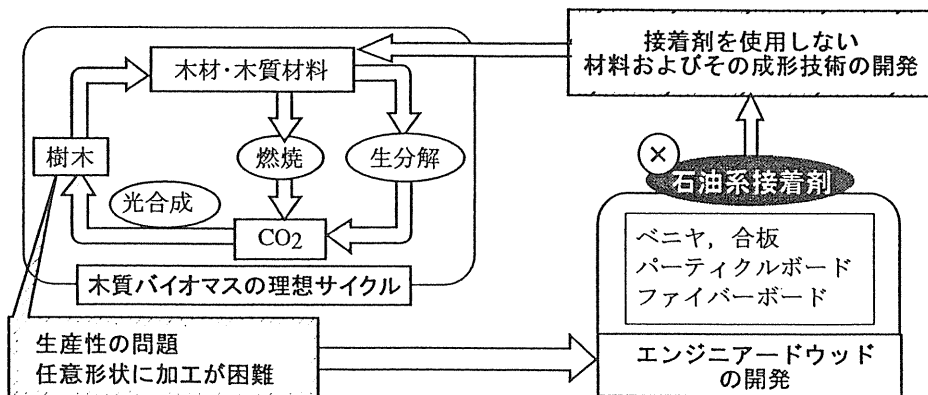


図1 木質材料の循環と加工上の問題点.

ニヤ板、ひき板を重ねた集成材、木材繊維から製造されるファイバーボードなどがその類であり、建材などの用途に幅広く使用されている。しかし、これらの材料は固形成する際に、石油を原料としたフェノール系の接着剤を使用しているため、廃棄する際の環境汚染の問題が依然として残ったままである。さらに、フェノール樹脂などの接着剤はホルムアルデヒドなどの有害物質を発生・拡散するために、ホームシック症候群などの新たな問題をも引き起こしている。このような現状の中で、木材粉末を石油系の接着剤などを使用せずに固形成する技術が開発できれば、任意形状の高強度の木質製品製造が可能になると共に上記のような問題も改善できる。さらに、この技術は木材を粉末状に粉砕して使用するため、間伐材、枝打ち材、木材として利用価値のない曲がった樹木なども原料として使用でき、森林を有効利用し生産性の向上が期待できる。

本研究では、石油系の接着剤等を一切使用せずに木材の構成要素のみに注目して、木材粉末を固形成する技術を開発し、環境・人間にやさしい任意形状の木質製品を製造することを目的としている。そのための基礎的実験として、木材粉末の圧粉成形および押出し成形を行い、最適固形成条件および押出し成形時の木材粉末の流動特性を明らかにする。そして、木材粉末を原料とした複雑形状部品を製造するための技術として、射出成形に代表されるニヤネットシェイプ成形の可能性とその問題点について検討する。

2. 木材粉末の固形成メカニズム

木材の主な構成要素は、セルロース、ヘミセルロース、リグニンであり、それらの構成比はおよそ5 : 3 : 2である。セルロースはグルコースが直鎖状につながった高分子多糖の繊維であり、木材の引張力に対する強さとしなやかさを与える。リグニンは芳香核を持つ高分子の化合物であり、木材の硬さと曲げに対する強さを与える。ヘミセルロースは数種の異なる単糖によって構成された枝分れ構造を持つ高分子多糖である。これらの構成要素は、木材の細胞内において図2に示すような構造をとる。セルロースの隙間にリグニンが充満し、ヘミセルロースはセルロースとリグニンの結合状態を良くするためにセルロースの表面に付着している。したがって、木材の細胞壁は繊維状のセルロースをリグニン（接着剤）が固めたものといえる。

固形成のメカニズムは、木材粉末を熱圧することで接着剤の役目をするリグニンを熱軟化させ、木材粉末同士が再接着するものと考えられる。このときの加熱温度が木粉の軟化に、また圧縮圧力が木材粉末同士の接着の結合力に影響を及ぼす。リグニンやヘミセルロースの軟化温度は木材粉末内の水の存在によって顕著な影響を受ける（図3）²⁾。一般に木材内には水分が存在するが、その存在位置、状態などから自由水および結合水の2種類に分類される。自由水は細胞の内腔などの空隙に液体の状態で存在するものであり、結合水は細胞壁内に単分子～数分子の状態で散在するものである。結合水は、液体の水とは異なった性質を示し、木材の構成物質の性質に著しく影響を及ぼす。軟化温度に影響を与えるのもこの結合水である。

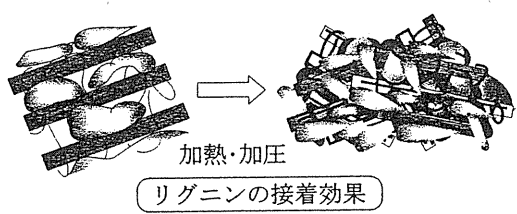
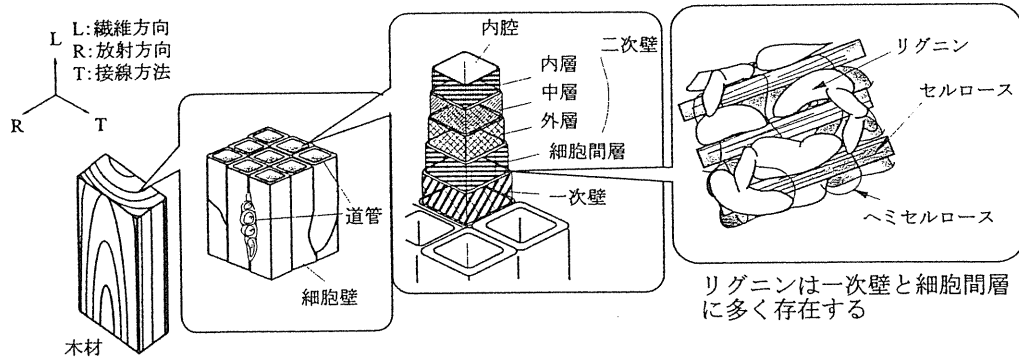


図2 木材の構成要素とその固化化メカニズム。

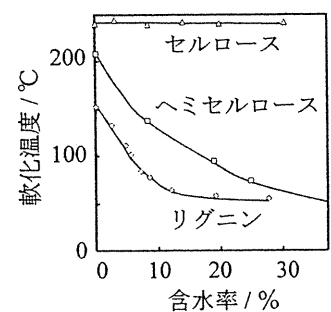


図3 各成分の軟化温度に及ぼす含水率の影響²⁾。

本研究では、以上のような水の存在量を含水率% (=木粉に含まれる水分の重量/全乾状態の木粉の重量) で表し、その影響についても検討した。

3. 木材粉末の圧粉成形

本実験で使用した木材粉末は、スギ・ヒノキの混合粉末である。図4に圧粉成形の手順を示す。まず、木材粉末のみをダイス内に充填する(潤滑剤は一切使用しない)。次にポンチによって所定の荷重を加え、フローティングダイ法により木材粉末を圧縮する。そして、その荷重を保持したまま、ポンチ、ダイスも含めた金型全体を赤外線加熱炉で加熱する。設定温度に5分間保持した後加熱をやめ、金型表面温度が室温に達するまで自然冷却させる。この間、荷重は保持したままの状態である。その後、除荷して成形体

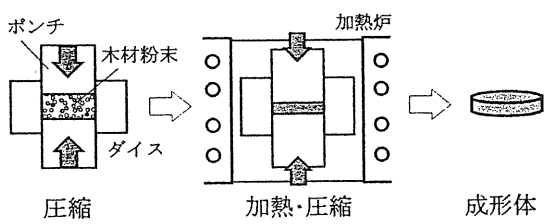
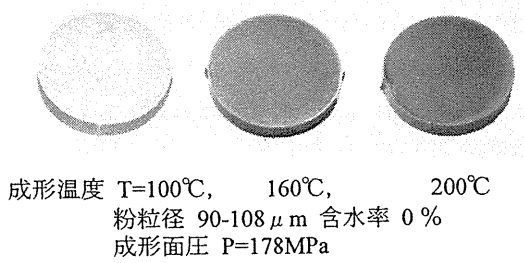


図4 圧粉成形の概略。



成形温度 T=100℃, 160℃, 200℃
 粉粒径 90-108 μm 含水率 0%
 成形面圧 P=178MPa

図5 圧粉成形体の例。

(図5)を取り出す。

図6に、成形体のかさ密度(=水分を含んだ成形体の重量/成形体の体積)に及ぼす成形面圧の影響を示す。いずれの粉粒径においても、成形面圧が大きくなるにつれてかさ密度は増加するが、面圧が150MPa付近に達すると、それ以上の面圧では成形体のかさ密度の変化はほとんどみられない。図7に曲げ強度に及ぼす成形面圧の影響を示す。この場合もかさ密度の場合と同じ傾向を示し、成形面圧が150MPa以上ではほぼ一定となる。ただし、かさ密度の場合に比べてバラツキは大きくなった。

曲げ強度を粉粒径について整理し直すと、図8のようになる。粉粒径が大きくなるにつれて曲げ強度は低下する傾向にある。これは、原料である木粉のサイズがそのまま成形体内の欠陥のサイズを決定するためであると考えられる。

図9に成形体のかさ密度に及ぼす成形温度の影響を示す。図から、かさ密度はいずれの含水率においても成形温度200℃付近までは大きくなるが、それ以上の温度では逆に小さくなるのがわかる。かさ密度の最大値は、含水率0%、11%の場合にはおよそ $1.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ であるが、27%の場合には $1.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ である。

図10に曲げ強度に及ぼす成形温度の影響を示す。いずれの含水率においても成形温度200℃付近で曲げ強度は最大になる。また、含水率11%の場合に、曲げ強度が最大となる。このことは、木材の構成物質、特にリグニンの熱軟化が大きく影響していることを示唆している。すなわち、リグニンは温度が高いほどより軟化すること、およびリグニンの熱軟化温度は水分の存在下で低下するためである

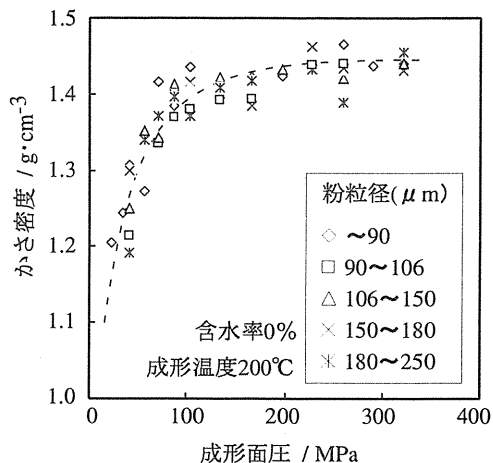


図6 かさ密度に及ぼす成形面圧の影響。

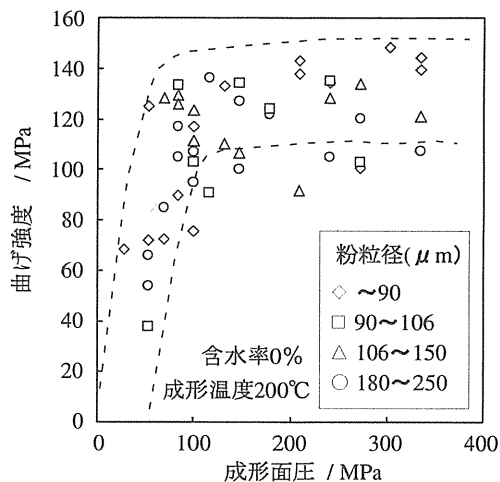


図7 曲げ強度に及ぼす成形面圧の影響。

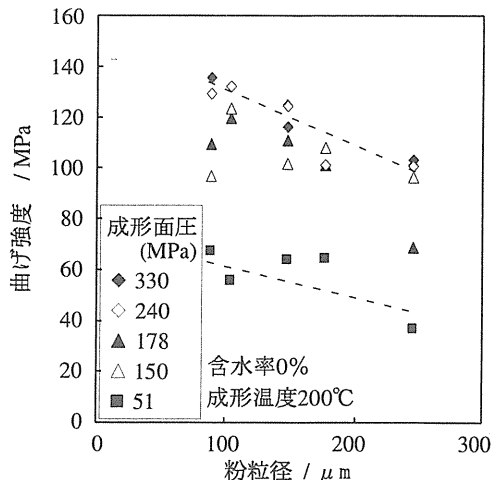


図8 曲げ強度に及ぼす粉粒径の影響。

と考えられる。一方、含水率が大きい27%の場合には、水分が粉末同士の再接着に悪影響を及ぼし、また温度が高くなり過ぎると、それぞれの成分が分解してしまうために、曲げ強度の低下が生じると考えられる。

4. 木材粉末の流動性

木材粉末の流動特性を調べるために図11に示すような押し出し実験を行った。本研究では流動性を表す尺度として、一定面圧下における押し出し長さを採用した(図12)。

押し出し長さによらず成形温度の影響を図13に示す。いずれの含水率においても成形温度が高くなるほど押し出し長さは大きくなった。また、含水率を大きくすると、より低い温度でダイス穴内に流入させることが可能になり、押し出し長さを向上させることができた。これは、粉末中の水分によってリグニンの軟化温度が低下し、流動性が高くなったためである。ただし、成形温度100℃以下では、含水率を大きくしても固形化せず、押し出し成形体を得るのは困難であった。粉粒径が大きくなると、粉末はダイス穴に流入しにくくなるため、粉粒径が小さい場合に比べて同じ成形温度および含水率でも押し出し長さは小さくなった。

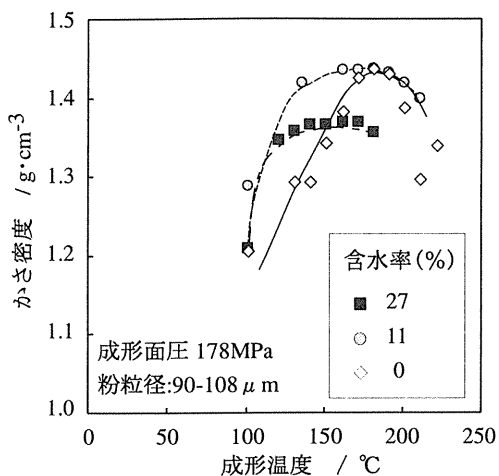


図9 かさ密度に及ぼす成形温度の影響。

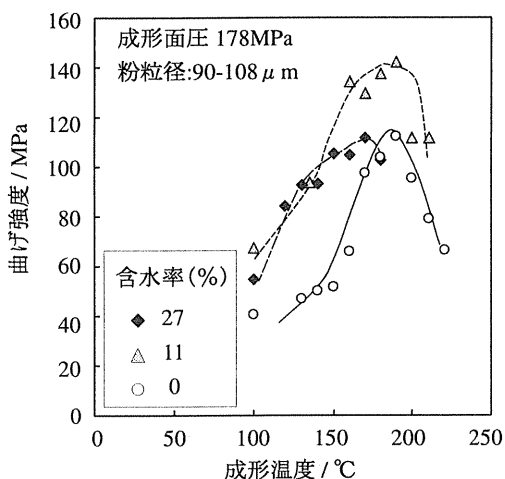


図10 曲げ強度に及ぼす成形温度の影響

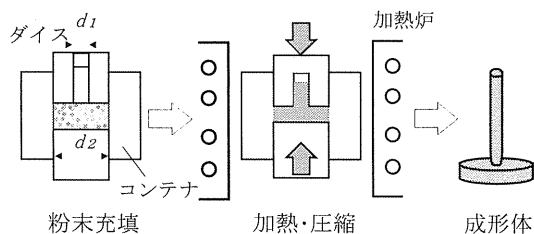


図11 押し出し成形の概略。

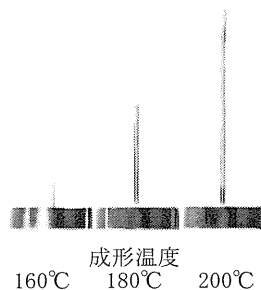


図12 成形温度による押し出し長さの差異。

5. 射出成形の可能性

プラスチックやセラミックス、金属粉末の場合には、複雑形状部品のニヤネットシェイプ成形法の一つとして射出成形法が用いられている。射出成形を行う際に必要とされる原料の性質は、第一に成形時の流動性が良いことである。これまでに述べてきた研究結果から、木材粉末は適当な条件下において大きな流動性を示すことが確認できた。そこで、実際に金型を用いて木材粉末の射出成形を行い、その可能性と問題点について検討した。その結果、図14に示すような複雑形状の成形体を得ることができ、木材粉末の射出成形の可能性が確かめられた。問題点としては、かさ密度および強度の不均一な分布、寸法精度の低さなどがあげられる。これらに関しては、今後より詳細な研究を行う必要がある。

6. おわりに

石油系の接着剤などを一切使用せずに、木材粉末のみの固化および成形技術を確認

立するために、スギ・ヒノキ混合粉末の圧粉特性および流動特性を調査した。そして、成形体の強度、かさ密度、流動性に及ぼす成形温度、木粉の大きさ、含水率の影響を明らかにした。また、適当な成形条件を設定することによって、木材粉末の成形が可能であることを示した。しかし、成形体の耐水性の問題や、建材など大寸法の部材の製造など、実用化に向けて多くの課題を解決していく必要がある。

最後に、本研究のような木材粉末の成形技術を開発することによって、これまで全く考えられていなかった落ち葉の利用など、天然資源のさらなる有効利用と環境問題の改善に寄与するところが大きいものと期待される。

参考文献

- 1) 日本木材学会編，すばらしい木の世界，(1995)，海青社。
- 2) 飯田生穂，木材の高機能化技術講演集，(1995)，pp. 3-5。

(機械システム工学科 大学院生，助教授，教授)

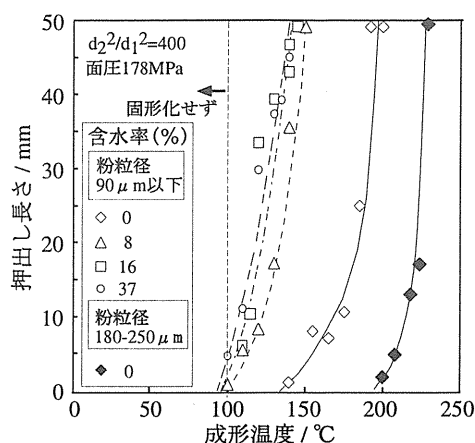
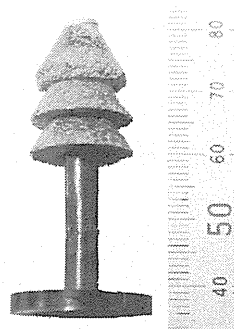


図13 押出し長さおよび成形温度の影響。



成形温度200°C 面圧178MPa
粉粒径90 μm以下
含水率20%

図14 複雑形状成形体の射出成形例。