

木質系材料の塑性加工技術

金山 公三^{1*}

Plastic forming technologies for wood-based materials

Kozo Kanayama^{1*}

概要

資源枯渇対策ならびに地球温暖化対策への寄与が期待されている木質系材料の有効利用の促進への寄与が期待されている技術として、圧縮成形と最新の流動成形の概要についてまとめた。

1. はじめに

樹木は、根から吸い上げた水と空気中の二酸化炭素とを光合成により炭水化物に変換する。すなわち、人工的なエネルギーを使用することなく、太陽エネルギーによって二酸化炭素を固定しつつ成長する。従って、適切に「伐採」→「植林」→「育林」を繰り返すことにより、木材は再生産可能な資源・エネルギー源となり得るので、地球温暖化対策への貢献と同時に資源枯渇対策にも有効と考えられている。しかしながら我が国では、現在は木材利用量（需要）が減少し、供給側の管理（手入れ）が不十分となって荒れた山林が増加している。荒廃を防いで森林資源を良好に循環させるためには、木材資源の需要増大に寄与する有効利用技術の開発が急務である。一方、原油や金属などの埋蔵資源は、利用可能な状態にするためにはエネルギーを消費し、その必要エネルギー量が少なくて済む良質な資源量の減少が進んで枯渇も危惧されている。

工業材料として広く用いられている金属では、所要の形状や特性を得る方法として、鋳造、切削、溶接を始めとする接合、塑性加工、粉末冶金(PM)などの多くの加工が行われている。これらの加工では、要求される形状は勿論のこととして、様々な材料特性をも同時に実現することが一般的であり、現状での最適加工方法が選ばれている。すなわち、高寸法精度化、緻密・高強度化、あるいは逆のポーラスな軽量化など、多種多様な要求に応える加工技術の研究や実用化が進められている。一方、木質材料に関しても、古来より加工技術が蓄積されているが、塑性加工についての取り組み¹⁻³⁾は多くない。伝統技術を発展させてきた曲げ加工や、一時ブームともなった圧縮成形があるが形状付与の自由度は低い。

ここでは、木質系材料の代表的な塑性加工技術として、圧縮成形と流動成形について、その変形メカニズムならびに最新の成形技術について紹介する。

2. 塑性加工技術

図1は圧縮成形の一例で、切削加工無しで丸太から角材を作製したものである。木材に水を含ませた状態で加熱して軟化させ、プレスなどの外力で圧縮変形を行い、負荷したまま熟処理を行うと変形

2018年7月18日受理。

¹〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所循環材料創成分野。

* E-mail: kozo-kanayama@rish.kyoto-u.ac.jp

状態で形状が固定される。木材の微細構造は、図2に示すように多くのストロー状細胞の連続体である。この細胞壁に存在しているリグニンは水や各種溶剤が存在していると100℃以下の温度でさえ軟化する。そこで、応力の増大とともに細胞壁が座屈変形して内腔等の空隙部分が押しつぶされる。従って、負荷する外力の大きさと方向との制御によって、押しつぶし量や位置を制御すると、円から正方形にというような二次元成形が可能となる。ここで敢えて二次元成形と限定したのは、次に示す流動成形では三次元成形も可能であり、形状付与の自由度の飛躍的な向上が実現されるためである。

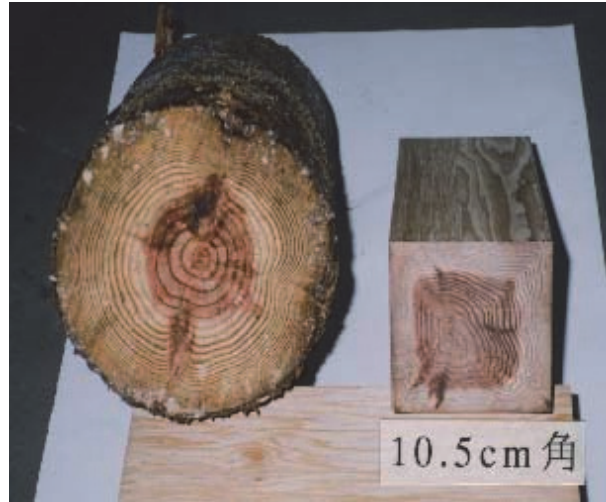


図1：スギの圧縮成形の例

図2の模式図において、細胞と細胞との中間の細胞間層ではリグニンの比率が大きく、上述のようにリグニンが軟化すると、所要の応力が作用すれば細胞間層で「せん断すべり」が生じる。そして細胞相互の位置関係が変化して、その組み合わせによって材料全体としては大変形が生じる。また、接着剤を使用せずとも木材の自己接着能力の発現によって成形体の形状保持が可能となることも、木質粉末成形に関する検討⁴⁾によって示されている。このように細胞がはく離、移動、再接合して大変形する現象は、細胞どうしの位置関係が変わらない圧縮成形³⁾とは全く異なるものである。特筆すべきは、図2ではRあるいはT方向への移動を模式的に示しているが、応力状態によってはL方向（細胞の長手方向）への移動も生じるので、二次元ではなく三次元成形が可能なことである。

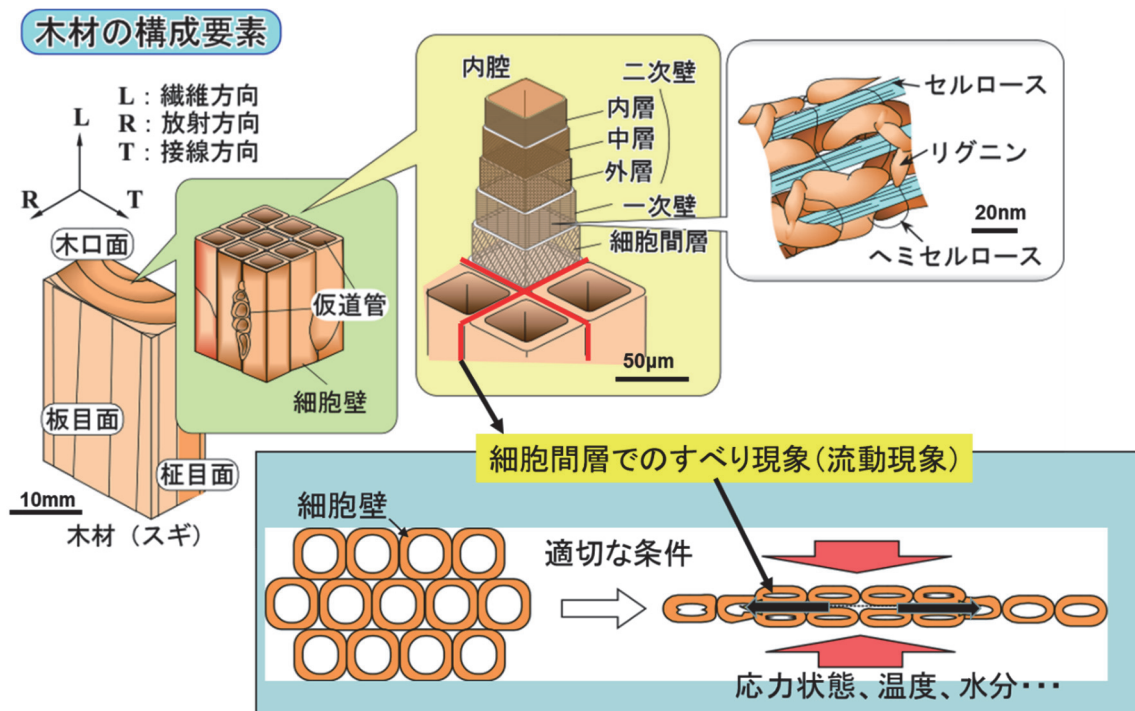


図2：木材の構造と細胞間層におけるせん断すべり現象の模式図

図3に成形例を示す。自由度の高い流動性を発現することを利用したもので、木材の細胞を破壊すること無しに成形できる。これらは、金型を用いて塊状の木材をプレス成形したもので、様々な形状の成形体が短時間で得られる。また、素材の天然由来の木目は成形時の流動によって変化するが、これまでの工業材料にはない独特な意匠性を持つ成形体得られる。

このような流動性は、細胞間層でのく離によって生じていることが図4の拡大画像で確認できる。これは図5に示すように、バルク木材に適切な温度と圧力を作用させて流動現象を生じさせてキャピラリーを通過させる途中で停止し、キャピラリーへの流入部分の断面を走査型電子顕



図3：バルク木材からの流動成形の例

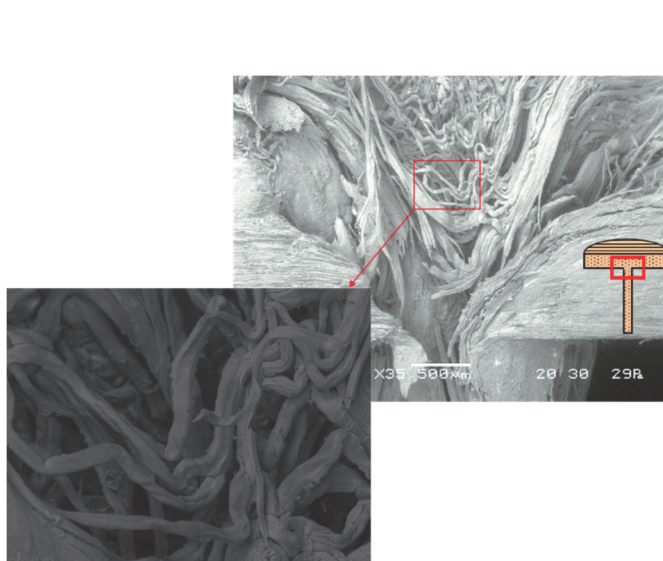


図4：流動部分のSEM写真

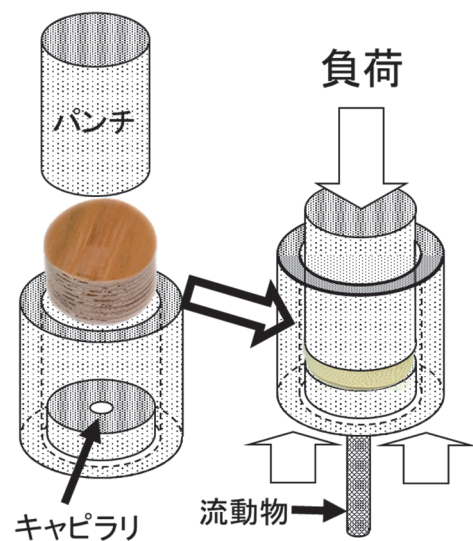


図5：キャピラリーによる流動の概要

微鏡(SEM)観察したものである。ここで細胞どうしが一旦はく離しているが、キャピラリー通過後にキャビティーに充填されて圧縮応力が作用すると図6に示すように接着され、一例として前述の図3のギヤ形状が成形される。この例では添加物は使用していない(木材中に結合水は存在している)。

他の加工例として図7に後方押し出し加工を示す。シリンダ内に円盤状の木材を入れ、適当な温度に保持して段付きパンチで圧縮すると、木材が流動してパンチ(細い径の部分)とシリンダの間隙を上方に向かってせり上がって来る。すなわち、パンチの加圧方向とは逆方向に材料が押し出される「後方押し出し加工」である。パンチのアゴ(段付き部分)にまで材料が到達すると、それよりも上には移動出来ないので、成形体には圧縮応力が作用して細胞どうしの自己接着が促進されて成形が完了する。この現象を利用すると、図8に示すようにスギとタケを同時に加工して、かつ結合することも出来る。また、さらに素材を増やして、松、竹、梅の同時成形も可能である。ここで重要なのは、まず細胞が圧縮されて細胞内腔が押しつぶされ、次に細胞同士がはく離して相互位置を変化させ、最終的に隣接した細胞と再接合することである。この現象は結合水の存在のみでも生じるが、成形中の変形抵抗ならびに成形物の各種特性を積極的に制御するためには、成形前に各種樹脂を木材に含浸することが効果的である。添加する樹脂の種類や、その含浸方法は現在検討を継続している。

さらなる利点として、製材加工などで発生して有効利用が難しい端材、小径木などの小さい素材も成形可能であるため、資源の有効利用にもつながる。すなわち、従来の圧縮成形では製品の大きさは素材以上にならないが、流動成形は細胞間でのすべり現象により細胞が移動するので、大変形による

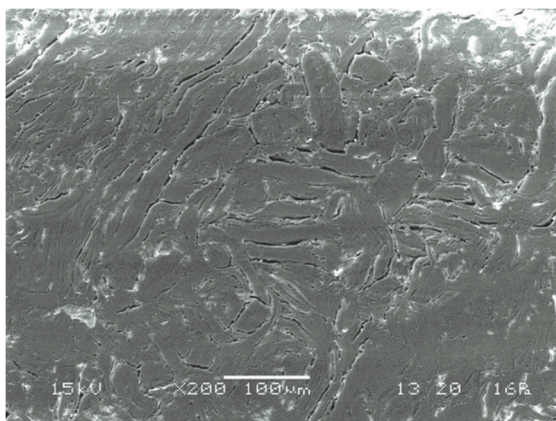


図6：流動成形体表面のSEM写真

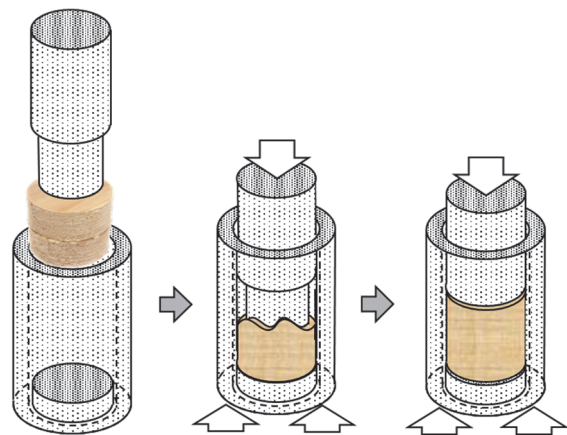
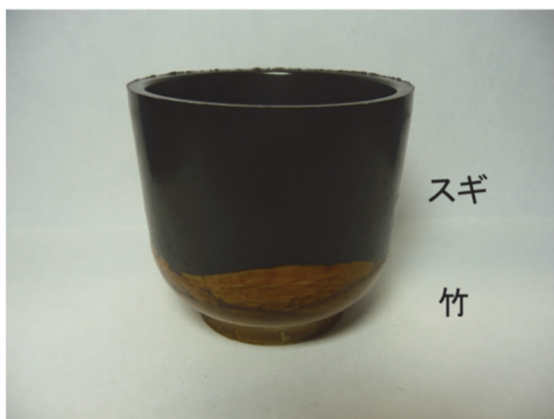


図7：後方押し出し加工の概要

木にタケを接ぐ



松竹梅

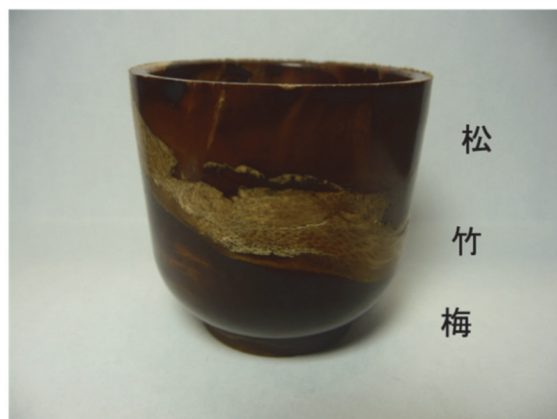


図8：成形と接合の同時加工例

断面積の拡大が可能である。その応用例として、図3に示した薄肉コーン形状（スピーカー振動板）がある。表面積の拡大率は400%以上、厚さは約0.2mm以下にまで加工している。ここで、細胞の繊維を残したまま成形できるので、振動板に要求される音響特性（高弾性率等）も優れている⁵⁾。

利用拡大方法として、フェノール樹脂やメラミン樹脂のような熱硬化樹脂を含浸した木材を素材とする代わりに、アクリル樹脂等の熱可塑性樹脂を添加剤として用いると、図9に示すようにリサイクル性の向上や、工程を分割した多段階加工による複雑形状の成形も可能となり^{6,7)}、今後の用途の広がりが期待される。

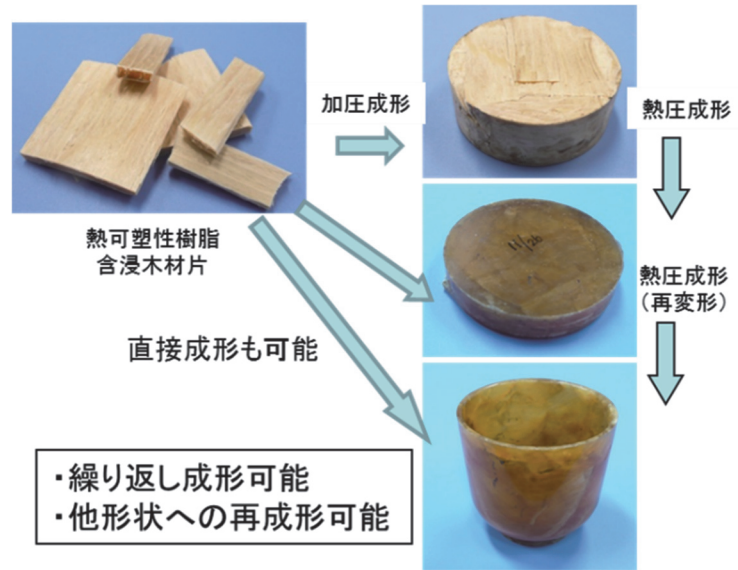


図9：繰返し流動成形の例

3. おわりに

ここでは、資源枯渇対策、地球温暖化対策において、光合成に基づく再生産が可能な木質系材料の有望性について述べ、その有効利用方法として、世界初の流動成形技術の概要を紹介した。これは、木材本来の組織構造を活かした加工技術であり、樹脂材料や金属材料の分野で開発されてきた各種の変形加工技術を応用することで、成形加工の高度化が期待される。しかしながら、研究開発は緒に就いたばかりであり、金属材料の合金設計に相当する「樹脂含浸などによる素材調整」だけでも、解決すべき課題が山積している。そして、この技術を発展させれば、リサイクル性、強度特性、断熱特性、寸法安定性などが優れた成形体の製造が可能となり、木質系材料の利用範囲が拡大する。

また、本稿では触れなかったが、木質系材料の変形固有の問題として金型の表面処理、摩擦制御や金型構造の最適化なども重要である。すなわち、素材制御と加工プロセスとの両輪を組み合わせた研究開発が重要である。

参考文献

- 1) たとえば竹内和敏, 能木雅也, 今西祐志, 古田裕三, 金山公三, 木質薄板を用いたトレイ成形技術, 日本塑性加工学会誌, **44**, 447-451, 2003.
- 2) たとえば井上雅文, 則元京, 大塚康史, 山田正, 軟質針葉樹材の表面層圧密化処理(第1報)木材の表面層を選択的に圧密化するための新しい技術について, 日本木材学会誌, **36**, 969-975, 1990.
- 3) たとえば小林好紀, 木材の熱可塑性を応用した丸太の整形と形状固定-1-, 木材工業, **48**, 261-264, 1993.
- 4) 金山公三, 今西祐志, ファインウッド創成の試み, Cellulose communications, **9**, 81-85, 2002.
- 5) 岩脇一智, 山田満雄, 山田哲也, 関 雅子, 三木恒久, 重松一典, 金山公三, タケ・木材の流動成形によるスピーカー振動板の開発, 日本木材学会中部支部大会講演要旨集, 80-81, 2013.
- 6) 杉元宏行, 三木恒久, 重松一典, 金山公三, 熱可塑性樹脂を含浸した木質材料の流動成形, 第63回木材学会大会講演要旨集, C29-03-0900, 2013.
- 7) 金山公三, 木質系材料の流動現象を用いた成形加工, Cellulose communications, **21**, 172-176, 2014.

著者プロフィール



金山 公三 (Kozo Kanayama)

<略歴> 1980年京都工芸繊維大学大学院生産機械工学専攻修士課程修了／同年通商産業省工業技術院研究官／1987年同主任研究官／1991年大阪大学博士(工学)／2001年(独)産業技術総合研究所(組織改革)研究グループ長／2015年京大大学生存圏研究所教授、現在に至る。<研究テーマと抱負>木質系材料の流動成形。微細構造設計による材料物性の制御。<趣味>温泉巡り。お笑い鑑賞など。