

氏名	かじかわ しょうへい 梶川 翔平
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第759号
学位授与の日付	平成27年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	木質系材料の流動・自己接着特性を生かした成形加工に関する基盤技術の開発
審査委員	(主査)教授 太田 稔 教授 荒木栄敏 教授 森脇一郎 准教授 飯塚高志 准教授 森田辰郎

論文内容の要旨

廃木材や間伐材などといった未利用の木質系資源の有効活用技術の開発が求められている。このような材料の有効活用技術の1つとして、混練型木質・プラスチック成形複合材 (Wood Plastic Compounds : WPC)が挙げられる。一方で、WPCに含まれる木質混合率が高くなると、材料の熱流動性は大きく低下し、成形性が低下する。未利用の木質系資源を、より有効活用していくためには、高充填 WPC(木質含有率 70%以上)、もしくは木質系材料のみを用いた場合の熱流動性に関わる課題を解決し、効率的に任意形状部品を成形加工できる技術の確立が求められる。このような課題を解決するにあたって、素材を成形しやすい材料へと改質すること、成形用の金型および加工プロセスを最適化することが必要である。そこで、本研究では、①木質系材料自体の改質に伴う材料の熱流動・自己接着特性の変化、②金型および成形プロセスの最適化のための成形難易度の向上および木材鍛造加工プロセスの開発について調査を行うこととした。

まず、①に関して、供試材料として間伐材の有効利用が強く求められている竹を対象とした。180~200℃程度の蒸煮処理による改質を施した様々な竹粉末に対して、キャピラリーレオメータによる熱流動性の評価を行った。蒸煮温度、時間および粉末の含水状態によって熱流動性は大きく変化することを確認し、熱流動性が最も高まる処理条件を明らかにした。また、蒸煮処理竹粉末の熱的特性および熱流動性に影響する成分を明らかとするため、熱分析およびヘミセルロースの分解物である水溶性成分量の測定を行い、粉末の熱流動性分解によって生成された水溶性成分が大きく影響していることを明らかにするとともに、蒸煮処理粉末の揮発成分が熱履歴の影響を大きく受け、結果として熱流動性の低下をもたらすことを確認した。蒸煮による自己接着特性の変化についても、圧粉成形体を作製し、その硬さについて評価を行うことで調査した。さらに、実際の成形性について調査するため、無処理の木質系粉末を用いた場合では困難であった全乾状態での射出成形を試みたところ、適切な温度条件の下、最大曲げ強度 35 MPa のプラスチック様の成形体を得ることに成功した。

前処理によって竹粉末の熱流動性や自己接着性が効果的に高まることが確認されたが、より低温の温度域で処理を行う方が容易である。そこで、成分分解が始まる 130℃程度の低温における

蒸煮処理による改質の可能性についても調査を行った。樹種の異なる様々な木質系粉末に対して処理を施し、処理後の粉末の圧粉成形体の硬さの変化を評価したところ、竹粉末の場合に硬さが変化し、低温の蒸煮処理による木質系成形体の力学特性向上の可能性が示された。

②については、まず金型の表面状態が木質系粉末の流動難易度に及ぼす影響を調査するため、金型の加工方法・条件が異なる数種類のノズルを用いた熱流動試験を行った。その結果、粉末の粒径が大きくなるほど摩擦の影響が強くなり、金型の表面粗さが大きいほど流動は困難となる傾向を示した。また、加工法によっても流動難易度が変化する傾向を明らかにした。これらの結果から、金型の表面状態を調整することによって、木質系粉末の流動難易度をある程度コントロールできる可能性を示した。

また、木質系ピレットの鍛造加工性についても検討を行ったところ、木材バルクを用いた場合、適切な金型温度・水分状態で成形品を作製することが可能であることを確認するとともに、その変形挙動およびメカニズムについて明らかにした。さらに、生産性の観点から予め加熱した材料を用いて、比較的低温の金型による鍛造加工を試み、その際の材料の熱流動挙動についても明らかにした。

①および②の調査から、特に高木質含有の混練型 WPC に関して木質系材料の流動・自己接着特性を生かした成形加工に関する基盤技術の開発とその基本的な体系的整理ができたと考えられる。これら得られた知見を実際に現場の成形加工に応用していくことで、高充填 WPC および木質系材料の成形加工の工業化が促進され、未利用木質系資源の有効利用へとつながるものと期待される。

論文審査の結果の要旨

本論文は、未利用系木質材料の有効利用のための混練型 WPC の開発に関する射出成形および鍛造加工法の実用化のための基盤技術の開発に関するものである。現状では特に木質含有率 70% 以上の割合で混練することによって WPC の流動性が大きく低下することが原因となり、事業化には至っていない。本論文では、射出成形および鍛造加工という生産性の高い加工法の開発を行うことによって、この課題を解決し、工業的 WPC 成形技術に関する新しい道筋を示すことができたと考えられる。

流動性に関しては、化学的な視点と異なり、機械工学的な視点からのアプローチであることは興味深い。工業的な視点から木質素材の流動性を高める処理方法について検討し、化学成分的な評価によってメカニズムを明らかにするとともに、実際の射出成形模擬試験を行うことで、成形体の力学的特性との関連についても明らかにしている点で価値がある。また、これまであまり注目されてこなかった WPC 用の金型条件についても検討している点も評価できる。得られた知見は今後の WPC 用金型技術の発展の基礎になるものと考えられる。さらに、WPC の鍛造加工に関してはこれまでに例がなく、工業化を目指すための全く新しい方針を示すことができたと考えられる。

このように、本論文において未利用系木質材料の有効利用のための混練型 WPC の射出成形および鍛造プロセスの工業化のための基盤技術が開発できたことは、長い間求められている混練型 WPC の事業化のためのブレークスルーとなるものと期待できる。

本論文の内容は、以下の 8 報の学術誌、国際会議の査読論文、および 1 報の国際会議論文（査

読なし)として公表または公表予定であり, これら 9 報すべては申請者を筆頭著者とするものである.

- (1) S. Kajikawa, T. Iizuka, Flowability of the steamed bamboo powder -Influence of steaming temperature and time on the flowability-, Proceeding of ACMFMS2014 (Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures), 61-64.
- (2) S. Kajikawa, T. Iizuka, Effect of Heating at Oven-dry State on Steam Treated Bamboo Powder Thermal Fluidity, Advances in Materials Science and Engineering, 掲載予定.
- (3) 梶川翔平, 飯塚高志, 蒸煮処理を施した竹粉末の熱圧時の流動性に及ぼす水溶性成分量の影響, 材料, 64-5 (2015), 381-386.
- (4) S. Kajikawa, T. Iizuka, Injection molding using only 200 °C steamed bamboo powder by controlling metal mold temperature, Procedia Engineering 81 (2014) 1186-1191.
- (5) S. Kajikawa, T. Iizuka, Effect of molding temperature on fluidity and injection moldability of oven-dry steam-treated bamboo powder, Journal of Materials Processing Technology, 225 (2015), 433-438.
- (6) 梶川翔平, 飯塚高志, 130°Cの蒸煮処理を施した木質系粉末の圧密成形体の硬さ特性, 塑性と加工, 55-644 (2014), 853-857.
- (7) S. Kajikawa, R. Sakagami, T. Iizuka, Effect of Surface State of Die on Flow Rate of Steamed Bamboo Powder in Thermal Flow Test Using Capillary Rheometer, Key Engineering Materials, 651-653 (2015), 830-835.
- (8) S. Kajikawa, T. Iizuka, K. Yamaishi, N. Hatanaka, N. Takakura, K. Kanayama, Small Container Fabrication Using Closed Die Wood Forging, Steel Research International, Special Edition : 10th International Conference on Technology of Plasticity, (2011), 229-234.
- (9) S. Kajikawa, T. Iizuka, K. Yamaishi, Displacement Behavior of Wood in Boss Forming Using Open-Die Wood Forging, Key Engineering Materials, 504-506 (2012), 1261-1266.