

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360309

研究課題名(和文) WPCの射出成形性に及ぼす前処理と熱履歴の影響およびWPC製品の耐衝撃性の向上

研究課題名(英文) Effect of pre-treatment and heat-history for wood material on injection mouldability of WPC and improvement in impact resistance of WPC product

研究代表者

飯塚 高志 (Iizuka, Takashi)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授

研究者番号：60335312

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、木質プラスチック複合材料(Wood Plastic Composite; WPC)の射出成形に関わる事業化プロジェクトで課題となった木質素材の流動性および成形体の耐衝撃性を向上させるための基礎的な研究を行った。まず、射出成形評価システムの構築し、そのシステムとフローテストを用いて粉末の前処理による流動性向上のメカニズムを解明した。また、木質繊維の圧粉成形体の耐衝撃性に対する繊維長の影響を明らかにするとともに、そのポリエチレン(Polyethylene; PE)添加によるWPC圧粉成形体の耐衝撃性向上の可能性の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, fundamental examinations on two problems pointed out in some industrializing projects of injection molding of Wood Plastic Composite (WPC) were conducted. These problems are (1) lack of fluidity of wood material itself and (2) lack of impact resistance of WPC product. First, in order to investigate injection mouldability and fluidity of WPC made in wide ranged conditions, simple evaluation system for injection mouldability was constructed. And, using this system and flow tester, effects of pre-treatment and heat-history of wood material on its fluidity was clarified. As for impact resistance, possibilities of reinforcement by wood fiber and soft plastic were examined. From the results, it was found that optimum fiber length for reinforcement existed. And it was confirmed that compacted products from 10 % polyethylene (PE) added Japanese cedar has considerably large impact resistance than that from only wood powder.

研究分野：塑性加工学

キーワード：材料加工処理 塑性加工 混練型WPC 射出成形 複合材料・物性

1. 研究開始当初の背景

治水など環境保全や二酸化炭素排出量削減、持続的資源の有効利用の観点から、木材もしくは木質プラスチック (Wood Plastic Composite; WPC) の利用技術の開発は急務である。特に効果的な応用として、建築用、自動車用および家電用などの小型部品として、WPC の利用が強く望まれている。

これまでに、多くの企業や研究機関で WPC の射出成形技術の開発が取り組まれてきたが、未だ汎用的・事業的に WPC の射出成形が行われた例はほとんど聞かない。

本研究室では、この 10 年来 100%木質素材および高木質含有 WPC の成形技術の開発を行ってきた。そこから得られた研究成果については、幾つかの事業化プロジェクトに発展している。しかしながら、これらプロジェクトを通じて、2 つの根本的な課題を認識するようになった。1 つは木質素材の流動性、2 つ目は成形品の耐衝撃性である。

これらの課題はいずれも基礎的な知見に乏しく、メカニズムの解明から性能の向上が求められている。これらができれば、WPC 射出成形の汎用化・事業化を大いに促進できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、WPC 成形の汎用化・事業化を促進するために、これに関して挙げられる課題について以下の 2 つの基礎的な研究開発を行うことを目的とする。

- (1) 射出成形時の木質素材の流動に及ぼす前処理および熱履歴の影響の解明
- (2) 高強度化と柔軟化による WPC の耐衝撃性の向上

(1)では、射出成形機を模したミニチュアの射出成形性評価システムを構築し、これを用いて射出成形性に及ぼす素材の前処理と熱履歴の基本的な影響を明らかにする。(2)では、WPC の耐衝撃性の向上のために、木材の繊維構造の積極利用による高強度化と高延性プラスチックの利用による柔軟化を検討し、WPC の耐衝撃性ととも衝撃破壊のメカニズムの変化を明らかにする。

3. 研究の方法

研究目的(1)および(2)については、さらに大きく 2 つの内容に分けて研究を実施した。具体的な内容は以下のとおりである。

- (1) 射出成形時の木質素材の流動に及ぼす前処理および熱履歴の影響

射出成形性評価システムの構築

少量の試作 WPC 試料についての射出成形性の評価を可能にするために、射出成型機を模したミニチュアの射出成形性評価システムを構築する。特に射出成形体を得るための金型部の作製と簡易な混練装置の作製を行

う。また、WPC の射出成形難易度に及ぼす金型表面状態の影響についても調査する。

前処理・熱履歴の影響評価

で作製した射出成形評価システムとフローテスタ等を用いて、木質素材の前処理 (蒸煮、煮沸) と射出成形中の熱履歴が WPC 中の木質素材に及ぼす影響とそのメカニズムを明らかにする。

- (2) 高強度化と柔軟化による WPC の耐衝撃性向上

繊維強化による WPC の高強度化と耐衝撃性

木質 100%の圧粉成形体を作製し、硬さ試験を行うことで、WPC の基本となる木質素材の硬さと密度の関係を明らかにする。また、解繊処理によって木質繊維を作製する。作製した木質繊維の圧粉成形を行い、繊維長などが耐衝撃性に与える影響を明らかにする。

柔軟プラスチックの利用による WPC の柔軟化と耐衝撃性

低木質含有の WPC について、基本的な強度特性を把握するとともに、高木質含有 WPC について、柔軟プラスチックの混練による耐衝撃性の向上の可能性について検討する。

4. 研究成果

- (1) 射出成形時の木質素材の流動に及ぼす前処理および熱履歴の影響

射出成形性評価システムの構築

本研究では、まず図 1 に示すような少量の試料について射出成形試験が可能な射出成形模擬試験機を作製した。特に金型部構造について検討し、実際に射出成形試験が可能となった。

次に図 2 に示すような簡易な混練装置を作

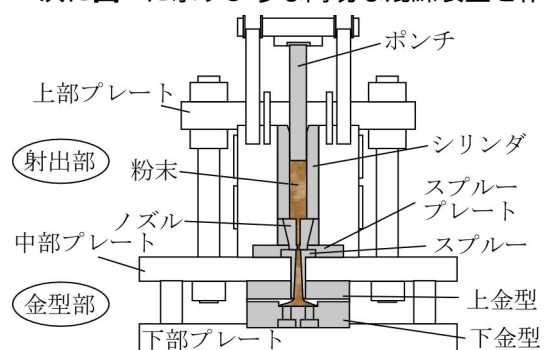


図1 射出成形模擬試験機全体図

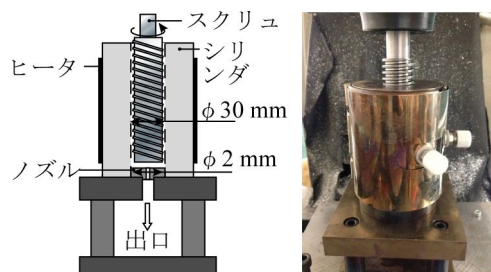


図2 簡易混練装置

製することで、「木質試料の粉碎 - 素材前処理 - 混練 - 射出成形」のプロセスによる WPC の射出成形評価システムを構築できた。

実際に 100% 蒸煮タケ粉の射出成形試験を行って得られた成形体の外観を 図 3 に示す。シリンダ部の温度を 180 および 200 とし、金型部の温度を 100 から 160 まで変化させて射出成形を行った結果、金型部の温度によって金型への素材の充填率が大きく変化することが確認できた。

図 4 には得られた成形体の曲げ強度とロックウェル硬さ試験結果を示す。曲げ強さ、硬さともに金型温度の上昇とともに向上する傾向が得られることがわかる。また、シリンダ温度が 180 の場合の方が、200 の場合に比べて高い強度特性が得られることが明らかになった。

次に金型性状が WPC の射出成形性に及ぼす影響を調査した。図 5 に示すように放電加工と機械加工によって異なる表面性状を持ったノズルを作製し、フローテストによって

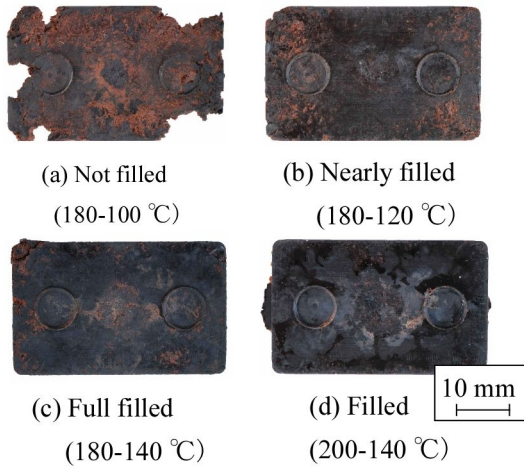


図3 射出成形体の外観

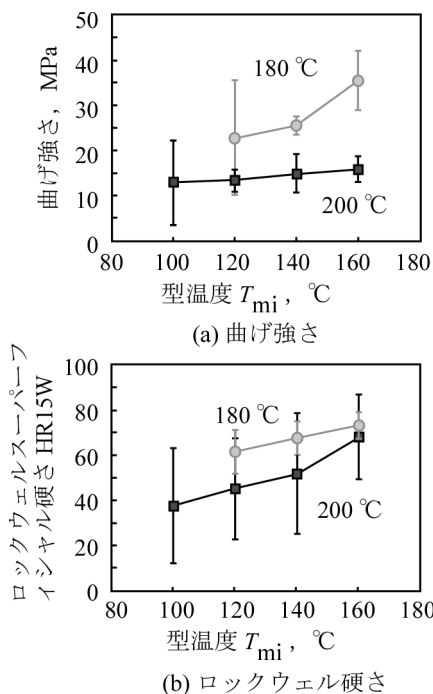


図4 成形体の曲げ強さおよび硬さ

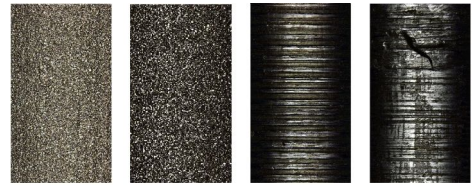


図5 加工方法による表面性状の違い

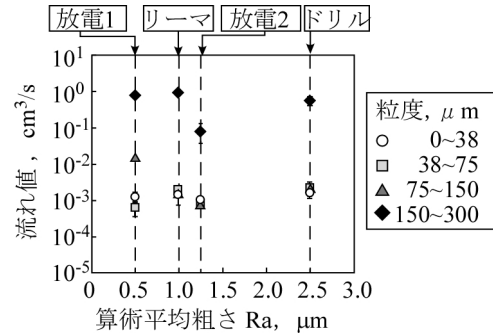


図6 表面粗さと加工方法の流れ値への影響

それぞれのノズルを用いた場合の蒸煮タケ粉の流れ値を測定した。図 6 に示した粉末の粒度を変えた実験結果では、主に粒度が大きな場合に金型表面の影響が見られた。今後は、WPC の射出成形に適した表面処理などについて検討を進める必要がある。

このシステムの構築によって、少量の WPC 試料に対する射出成形性の評価ができ、より多岐に渡る試料作製条件の検討が可能となった。また、金型やスクリュなどもより安価に調達できるため、より多岐に渡る金型条件で射出成形難易度の評価が可能となった。

前処理・熱履歴の影響評価

木質素材の前処理が射出成形性と自己接着性に及ぼす影響を評価するために、図 7 に示すように蒸煮および煮沸処理を施したタケ粉末の射出試験と圧粉試験を行った。処理温度（蒸煮温度 T_s 、煮沸温度 T_b ）および処理時間が射出成形性及び影響を 図 8 に示す。蒸煮処理に比べて煮沸処理の方が流動性を高める効果があることがわかる。処理温度では、180 では十分な流動性が見られないが、200 の処理で高い流動性が確認できた。

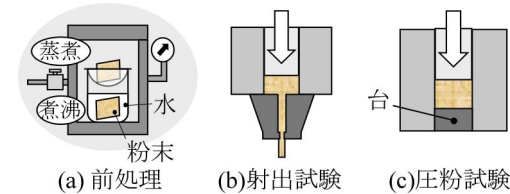


図7 粉末の前処理と射出・圧粉試験

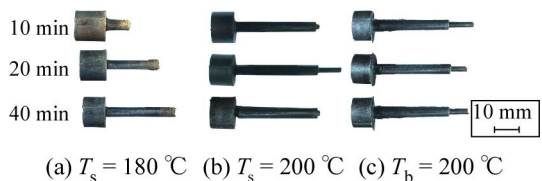


図8 前処理の射出成形性への影響

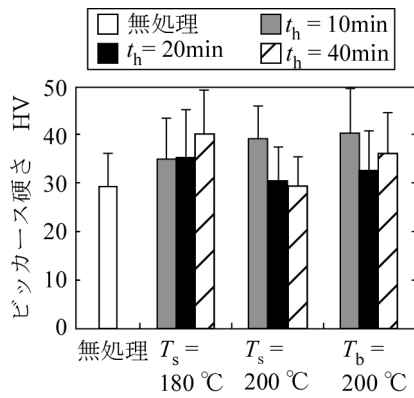


図9 前処理のビッカース硬さへの影響

処理時間で見ると、180 の処理では時間の増加に伴う流動性の向上が見られた。200 の処理では、10 分で十分な流動性が見られるため、時間の影響は小さかった。

前処理が圧粉成形体のビッカース硬さへの影響を調べた結果を図 9 に示す。180 の処理では、処理時間の増加に伴って流動性の向上と同様に硬さの増加が見られた。一方、200 の処理では、時間の増加によって硬さが減少したことから、流動性向上と硬さ向上の要因が異なることが示唆された。

蒸煮時の粉末水分量が流動性（見かけ粘度）に及ぼす影響を図 10 に示す。水分量が 200% までは水分量の増加に伴い粘度の低下（流動性の向上）が見られた。この効果は特に低温の処理で効果が高い。蒸煮処理においても、煮沸処理のように高压状態で素材内部に残った液体水分によって効果が高まるものと考えられる。

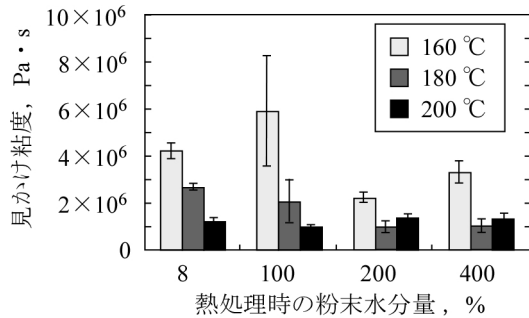


図10 水分状態による見かけ粘度の変化

蒸煮による流動性向上のメカニズムを明らかにするために、蒸煮タケ粉の熱水抽出処理および熱重量測定 (TG) を行った。蒸煮前の粉末質量に対する蒸煮による質量損失率 A_s とその後の熱水抽出処理も含めた損失率 A_{hl} の蒸煮処理時間に関する変化をまとめた結果を図 11 に示す。いずれの質量損失率も処理時間の増加とともに増加する傾向を示したため、蒸煮処理によって水溶性成分が増加する傾向が確認できた。また、高温および長時間の処理で、蒸煮処理による質量損失が増加し、粉末内の水溶性成分が減少することがわかった。この傾向は流動性の傾向とほぼ一致することから、水溶性成分が木質処理粉末の流動性向上の要因であると考えられる。

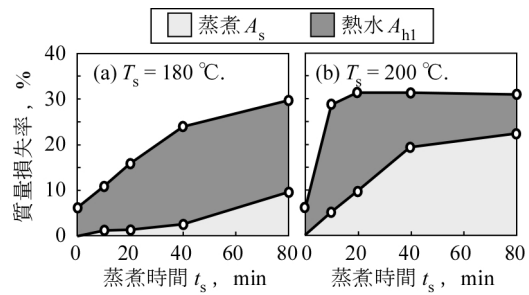
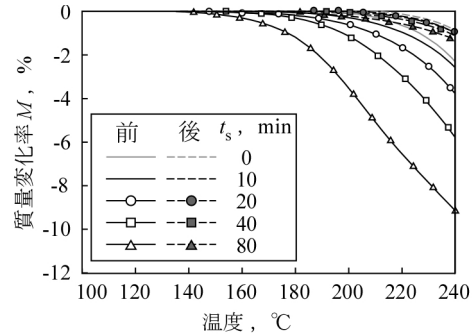
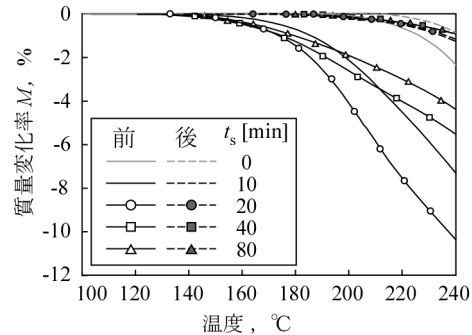


図11 蒸煮粉末の蒸煮による質量損失



(a) $T_s = 180^\circ\text{C}$.



(b) $T_s = 200^\circ\text{C}$.

図12 蒸煮粉末の熱水抽出前後の熱重量測定

一方図 12 には、TG による温度上昇に伴う蒸煮処理粉末の質量変化を示す。図では、熱水抽出処理の前後における結果を比較しているが、熱水抽出処理後の試料に関しては TG による質量変化がほとんど見られないことがわかる。熱水抽出処理前の試料については、180 で処理した粉末に関しては処理時間の増加によって、質量減少が大きくなった。このことは粉末内の揮発性成分が増加したことを意味する。200 で処理した試料については、20 分の処理で揮発性成分が最も多く、それ以上処理時間が長くなると揮発性成分が減少する傾向となった。この傾向は図 12 に示した熱水抽出処理による質量損失の傾向と一致することから、水溶性成分は高温で揮発する成分であると考えられる。射出成型時に 200 以上の成形条件で気泡が発生するとともに流動性が低下するのは、流動性に寄与する成分の揮発のためであるといえる。

これらの成果を通じて、WPC における木質素材の流動性について、熱履歴に関わる影響のメカニズムの概略を明らかにすることができた。今後、さらに効果的な成形を可能にする方法を検討する必要がある。

(2) 高強度化と柔軟化による WPC の耐衝撃性向上

繊維強化による WPC の高強度化と耐衝撃性
ここでは、まずブナ、タケ、スギ、ケナフコアといった木質素材について低温（130℃）で蒸煮処理した素材の圧粉成形体の硬さについて調査を行った。結果として、基本的に処理時間の増加に伴い成形体の密度が増加し、硬さが増加する傾向が見られた。ただしタケに関しては密度増加のみに依存しない硬さの向上が見られた。

タケ圧粉成形体の成分分析を行った結果、セルロース分率の大幅な減少とそれに伴うリグニン分率の相対的な増加が確認できた。硬さ向上の要因は熱硬化性のリグニン分率の増加に起因したものと考えられる。

次にスギの木幹部と樹皮部を図 13 に示すように湿式解繊によって繊維化し、図 14 に示すような圧粉成形体を作製した。圧粉成形体は、外観上、樹皮部繊維の成形体で表面性状が悪いものとなった。分級した繊維でそれぞれ作製した成形体のシャルピー衝撃試験を行った結果、図 15 のように木幹部と樹皮部を素材にしたもので異なる傾向が現れた。耐衝撃性は、木幹部繊維の成形体の方が高かったが、密度に依存した結果と考えられる。また、いずれの場合も、衝撃値を向上できる最適な繊維長が存在することがわかった。

分級繊維の状態を観察したところ、樹皮部繊維でアスペクト比が非常に高かったことから、アスペクト比の影響について今後明らかにする必要があるといえる。

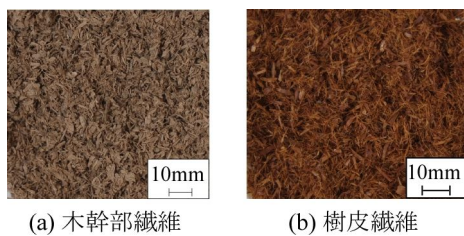


図13 解繊繊維の外観

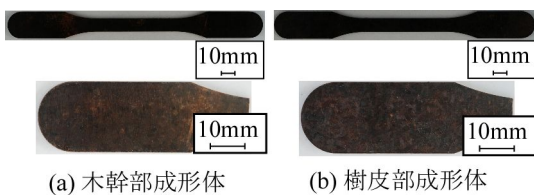


図14 解繊繊維圧粉成形体

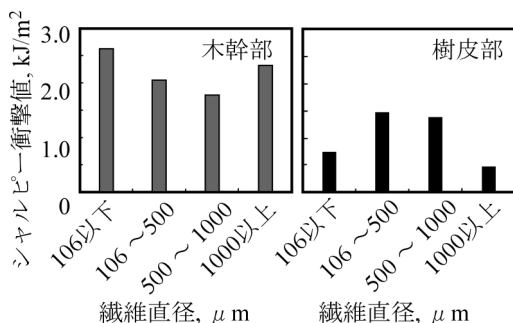


図15 圧粉体のシャルピー衝撃値

柔軟プラスチックの利用による WPC の柔軟化と耐衝撃性

まず、10%および30%木質（スギ、タケ）含有の PP ベースの WPC を作製し、基本的な強度特性を把握した。いずれの場合も、曲げ強さや曲げ剛性は増加するものの、シャルピー衝撃値が減少する傾向を確認できた。

次に木質（スギ樹皮）ベースの 10%PE 混合の WPC を作製し、図 16 に示すような圧粉成形体の作製を行った。PE を混合することによって表面性状が滑らかとなり、100%圧粉成形体に比べて空隙が減少した様子が見えた。シャルピー衝撃試験を行った結果、図 17 に示すように、大幅な耐衝撃性の向上が確認できた。

さらに曲げ強度については、1%程度の相溶化剤の添加によって2~3倍に強度が増加する結果が得られており、木質繊維、柔軟プラスチックおよび相溶化剤の添加によって高強度、高耐衝撃性の WPC が開発できる可能性を示すことができた。

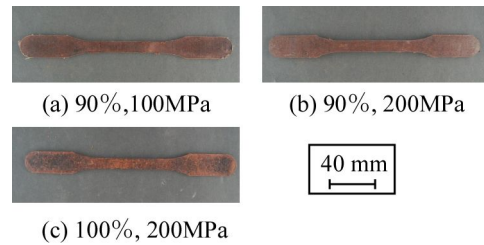


図16 10%PE含有スギ樹皮WPC圧粉成形体

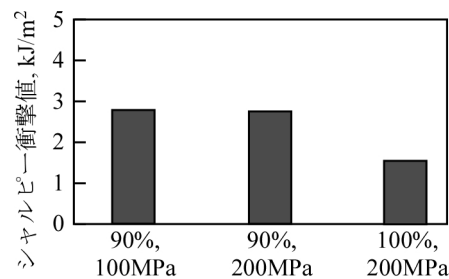


図17 PE含有WPCのシャルピー衝撃値

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

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, in print. (Reviewed)

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の影響”, 材料, 64-5 (2015), 381-386. (査読有り).

(DOI: 10.2472/jsms.64.381)

S. Kajikawa, 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. (Reviewed)

(DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.651-653.830)
S. Kajikawa, T. Iizuka, "Injection molding using only 200 °C steamed bamboo powder by controlling metal mold temperature", *Procedia Engineering*, 81 (2014), 1186-1191. (Reviewed)

(DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.095)
梶川翔平, 飯塚高志, "130 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. (査読有り)

(DOI: 10.9773/sosei.55.853)
S. Kajikawa, T. Iizuka, "Hot press moldability of bamboo powder without additives", *Key Engineering Materials*, 611-612 (2014), 852-858. (Reviewed)

(DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.611-612.852)
S. Kajikawa, T. Iizuka, "Influence of Steaming and Boiling at 180 °C plus on the Injectability of Bamboo Powder", *Key Engineering Materials*, 554-557 (2013), 1856-1863. (Reviewed)

(DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.554-557.1856)

〔学会発表〕(計 15 件)

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", 18th ESAFORM (European Scientific Association for Metal Forming) Conference, 15th/April/2015, Graz (Austria).

梶川翔平, 坂上陸, 飯塚高志, "加工法に依存した金型表面状態の違いが蒸煮処理竹粉の流動難易に及ぼす影響", 第 65 回日本木材学会大会, 2015 年 3 月 17 日, タワーホール船堀(東京都).

梶川翔平, 飯塚高志, "蒸煮処理タケ粉末の熱流動性評価-蒸煮温度および時間に伴う熱水抽出成分量と熱流動性の関係", 第 58 回日本学術会議 材料工学連合講演会, 2014 年 10 月 27 日, 京都テルサ(京都府・京都市).

S. Kajikawa, T. Iizuka, "Injection molding using only 200 °C steamed bamboo powder by controlling metal mold temperature", 11th TCTP (International Conference on Technology of Plasticity), 22nd/October/2014, Nagoya (Japan).

S. Kajikawa, T. Iizuka, "Flowability of the steamed bamboo powder -Influence of steaming temperature and time on the flowability-", 4th ACMFMS (Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures), 12th/ October /2014, Nara (Japan).

梶川翔平, 坂上陸, 飯塚高志, "木質系材料の熱流動性に及ぼす金型表面性状の影響", 第 65 回塑性加工連合講演会, 2014 年 10 月 11 日, 岡山大学(岡山県・岡山市).

梶川翔平, 飯塚高志, "蒸煮処理タケ粉末の熱流動性に及ぼす熱水抽出処理の影響",

日本材料学会 第 63 期学術講演会, 2014 年 5 月 18 日, 福岡大学(福岡県・福岡市).
S. Kajikawa, T. Iizuka, "Hot press moldability of bamboo powder without additives", 17th ESAFORM (European Scientific Association for Metal Forming) Conference, 8th/May/2014, Helsinki (Finland).

梶川翔平, 飯塚高志, "200 の飽和水蒸気処理を施したタケ粉末の射出成形性評価(金型温度の違いが成形性に及ぼす影響)", 第 64 回日本木材学会大会, 2014 年 3 月 14 日, 愛媛大学(愛媛県・松山市).
梶川翔平, 飯塚高志, "200 の蒸煮処理を施した竹粉の流動特性-処理時の粉末の水分状態が流動性に及ぼす影響-", 第 64 回塑性加工連合講演会, 2013 年 11 月 3 日, 大阪大学(大阪府・吹田市).

S. Kajikawa, T. Iizuka, "Influence of Steaming and Boiling at 180 °C plus on the Injectability of Bamboo Powder", 16th ESAFORM (European Scientific Association for Metal Forming) Conference, 23rd/April/2013, Aveiro (Portugal).

梶川翔平, 飯塚高志, "180 以上の蒸煮・煮沸処理を施した竹粉の流動特性", 第 63 回日本木材学会大会, 2013 年 3 月 29 日, 岩手大学(岩手県・盛岡市).

梶川翔平, 大田智之, 飯塚高志, "130 蒸煮処理を施したブナ粉末の圧粉成形体の硬さ特性", 第 63 回塑性加工連合講演会, 2012 年 11 月 6 日, 北九州国際会議場(福岡県・北九州市).

梶川翔平, 飯塚高志, "180 の蒸煮処理を施した竹粉の射出性に蒸煮時間が及ぼす影響", 第 63 回塑性加工連合講演会, 2012 年 11 月 6 日, 北九州国際会議場(福岡県・北九州市).

梶川翔平, 飯塚高志, "200 の煮沸処理が竹粉の射出性に及ぼす影響", 第 56 回日本学術会議 材料工学連合講演会, 2012 年 10 月 29 日, 京都テルサ(京都府・京都市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ: <http://www.cis.kit.ac.jp/~sosei/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯塚 高志 (IIZUKA TAKASHI)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授 研究者番号: 60335312

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし