

氏名	きくち てつお 菊地 哲雄
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第768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 先端ファイブ科学専攻
学位論文題目	ハンドレイアップ複合材料成形における熟練技術の定量化に関する研究
審査委員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 准教授 桑原教彰 京都工芸繊維大学長もちの科学研究センター特任教授 藤井善通 東華大学准教授 陽 玉球

論文内容の要旨

国内における FRP 用途別出荷動向調査および集計結果から、住宅機材向けが全体の約3割を占め安定的に推移していることが示されている。そして、その住宅機材向けの中でも大半がバスタブである。そのバスタブは主に SMC (Sheet Molding Compound) と呼ばれるガラス繊維を含んだ高温硬化型の熱硬化性樹脂シートを用いて高温プレス機で製造される。SMC は製造に関する設備費や運用費が大きくなるためコストアップが避けられず、大量少品種生産に限られている。また、製品の色は SMC そのものを着色する必要があり、顔料使用量が多くなるなどコスト抑制が難しい。

一方、消費者の多様なニーズに答えるため、全バスタブ生産量の約1割程度は少量生産を余儀なくされており、この少量多品種には SMC のプレス成形では費用対効果の観点で適合しない。少量多品種向けに対してはハンドレイアップ (Hand Lay UP: HLU) 成形法が古くから利用されている。これは型と技能と原材料さえ揃えば成形可能で、極めて原始的な成形方法であるが、成型型が安価で設備費も低いため、生産数量や大きさそして形状の変化に広く対応できる長所を有するためである。

しかしながら、HLU 成形法の基本は「匠の技」であり、それは先達 (せんだつ) から受け継いだ「勘」や「コツ」、手応え感や目くぼり、そして熟練した動作というような暗黙知であり、技術の伝承に多くの時間を必要し、現在では効率的な技能伝承がなされていない。

そこで、本研究では、HLU 成形法に加え、同様に匠の技を基本とするスプレーアップ成形法そしてゲルコート塗装における卓越した熟練技能の形式知化、定量化を目的とする。

本論文は、以下の7章で構成される。

第1章、緒論においては、研究の背景と必要性を述べた。

第2章では HLU 成形熟練者の卓越した技能を解明するため、作業工程分析を行い、熟練者以外は仕上工程に多くの時間を費やしていることを明らかにした。さらに、仕上工程における特に脱泡作業において、熟練者と非熟練者の作業時間および動作の差異が大きいことも明らかにした。そこで、脱泡作業に着目し、工程分析、動作解析および力の伝達解析を実施した。その結果、豚毛脱泡ローラー使用時における、注視点、肘の動き、重心の位置、ローラーの持ち方そして力の伝達方法の観点で熟練技能者の暗黙知を形式知化した。また、厚みの変動係数が経験年数に強く依存することも明らかにし、熟練者が成形した複合材料の寸法安定性の信頼性が高いことも確認できた。

第3章では HLU 成形法を用いたガラス繊維強化複合材料の物性評価について、経験年数に伴う複合材料の界面特性を微視的観点から述べた。熟練者が成形した複合材料の力学特性の信頼性が高いことが確認できた。

第4章ではスプレーアップ成形熟練者の卓越した技能を観察することにより、吹き付け量やガン速度が一定であること、目的とする厚みに対して吹き付け量や塗装時間が計算値どおりに実施されていること、塗装時の厚みを繊維の高さや樹脂量などの目視観察により適宜吹き付け量の調整を型とガンとの距離を変えることで調整していること、そして塗装折り返し点での厚み増加を防ぐために折り返し点にて実施している速度調整技術などの熟練技能者の暗黙知を形式知化した。

第5章ではゲルコート塗装における暗黙知を形式知化した。塗装時の水平方向および垂直方向のストローク速度が一定であること、水平方向および垂直方向のストローク回数が同じであることや身体全体を大きく伸展・屈曲させることで、上下の塗装を行うこと。ゲルコート塗装用ガンと型の距離が常に一定であることなどが明らかになった。

第6章では世界で初めて、炭素繊維とジュート繊維のスプレーアップによる成形に成功したことを述べた。特に、カット長が通常の25mmでは繊維の裁断性や開繊性に問題があったが、鋭意研究末、カット長を5mmにすることにより上記課題を解決しスプレーアップ成形が可能となった。さらに、スプレーアップ法による炭素繊維FRPはガラス繊維FRPに対して曲げ弾性率が44%、曲げ強度が53%高いことを示した。一方、スプレーアップ法によるジュートFRPでは、ジュート繊維の開繊性および分散性の向上により、高い力学的特性のFRPが創成される可能性を見出した。

第7章では本研究で得られた知見をまとめ、今後の展望について述べた。

本論文に示された成果は、HLU成形法の学習、熟練技能を有する成形ロボットの開発、そして新たな使用用途を探索する一助となり、HLU複合材料の普及促進につながるものと考えられる。

論文審査の結果の要旨

本論文では、FRP成形の基本の成形方法であり、匠の技に依存しているハンドレイアップ成形法、スプレーアップ成形法そしてゲルコート塗装における、浴槽製作の職歴を有する職人の卓越した熟練技能の暗黙知を形式知化、定量化することを目的としている。これは、伝統工芸における職人の匠の技の研究に用いられた科学的手法をFRP成形分野における匠の技の解明に適用しているものである。解析手法として、ビデオ解析、3D運動解析、眼球運動測定解析および力の伝達解析を実施している。FRP成形におけるこれら成形方法の動作解析を科学的な目線で検証する試みは世界初であり、職人の技の伝承に有意義であるとともに、工学上意義が極めて大きい。さらに、これら解析結果をもとに、天然繊維や炭素繊維を用いたスプレーアップ成形についての知見を得られたことは、今後のFRP用途の拡大をしていく上で非常に重要であり工業上の有力な情報になりうる。また、成果の活用において熟練技能を有するロボットへの考えは今後のFRP業界を一変させるほどの大きな期待を有している。

本論文の内容は次の15報に報告されている。

- 1) **Biomechanics Investigation of Skillful Technician in Hand lay up Fabrication Method**
Tetsuo KIKUCHI, Takuji KOYANAGI, Hiroyuki HAMADA, Asami NAKAI, Yuka TAKAI, Akihiko GOTO, Yoshimichi FUJII, Chieko NARITA, Atsushi ENDO, Tetsushi KOSHIN, *Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2012-86270 (2012)*
- 2) **Relationships Between Degree of Skill, Dimension Stability and Mechanical Properties of Composite Structure in Hand lay-up Method**
T. KIKUCHI, H. HAMADA, A. NAKAI, A. OHTANI, A. GOTO, Y. TAKAI, A. ENDO, C. NARITA, T. KOSHINO, A. FUDAUCHI, *Proceedings of the 19th International Conference on Composite Materials, pp 8034-8042 (2013)*
- 3) **Process Analysis of Hand lay up Method by Various Experience Persons**
T. KIKUCHI, H. HAMADA, A. NAKAI, A. OHTANI, A. GOTO, Y. TAKAI, A. ENDO, C. NARITA, T. KOSHINO, A. FUDAUCHI, *Proceedings of the 19th International Conference on Composite Materials, pp 8113-8120 (2013)*
- 4) **Mechanical Property of CFRP by Carbon Spray up Method**
Tetsuo KIKUCHI, Akira FUDAUCHI, Tetsushi KOSHINO, Chieko NARITA, Atsushi ENDO, Yuka TAKAI, Akihiko GOTO, Akio OHTANI, Asami NAKAI, Hiroyuki HAMADA, *Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2013-64144 (2013)*
- 5) **Relationships between degree of skill, dimension stability, and mechanical properties of composite structure in hand lay-up fabrication method**, Tetsuo Kikuchi, Yuichiro Tani, Yuka Takai, Akihiko Goto, Hiroyuki Hamada, *Proceedings of the international conference on Contemporary Ergonomics & Human Factors 2014, pp 101-109 (2014)*
- 6) **Biomechanics Investigation of Skillful Technician in Spray-up Fabrication Method -Converting Tacit Knowledge to Explicit Knowledge in the Fiber Reinforced Plastics Molding-**, Tetsuo Kikuchi, Yuichiro Tani, Yuka Takai, Akihiko Goto, and Hiroyuki Hamada, *Digital Human Modeling Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management, Lecture Notes in Computer Science Volume 8529, pp 24-34 (2014)*
- 7) **Mechanical Properties of CFRP in the Spray Up Fabrication Method**, T. KIKUCHI, Y. TAKAI, A. GOTO, and H. HAMADA, *Proceedings of the American Society for Composites 2014-Twenty-ninth Technical Conference on Composite Materials (2014)*
- 8) **An Investigation on the Relationship Between Operator's Skill Level and Dimension Stability in Gel Coating**, Tetsuo KIKUCHI, Erika SUZUKI, Xiahui LIU, Yuka TAKAI, Akihiko GOTO, Hiroyuki HAMADA, Yuqiu YANG, *Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2014-37725 (2014)*
- 9) **Mechanical Properties of Jute Composite by Spray up Fabrication Method**, Tetsuo Kikuchi, Yuichiro Tani, Yuka Takai, Akihiko Goto, Hiroyuki Hamada, *Energy Procedia Volume 56, 2014, pp 289-297 (2014)*
- 10) **Mechanical Properties of Jute/Up Composites Molded by the Spray-Up Method**, Xiahui Liu, Tetsuo Kikuchi, Hiroyuki Hamada, Yuqiu Yang, *J.Biobased Mater. Bioenergy Volume 9, pp 163-172 (2015)*
- 11) **An Investigation of Experienced Person in Hand lay-up Fabrication Method - Converting Tacit Knowledge to Explicit in The Fiber Reinforced Plastics Molding-**, T. KIKUCHI, E. SUZUKI, Y. TAKAI, A. GOTO and H.HAMADA, *Proceedings of the 20th International Conference on Composite Materials, P-ID 2101-1 (2015)*
- 12) **An Investigation on Conversion from Tacit Knowledge to Explicit Knowledge in Hand lay-up Fabrication Method**
Tetsuo Kikuchi, Erika Suzuki, Yuka Takai, Akihiko Goto and Hiroyuki Hamada, *Digital Human Modeling Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management, Lecture Notes in Computer Science Volume 9184, pp 114-123 (2015)*
- 13) **An investigation on skillful gel-coat techniques and its application to beginner's application**

Erika Suzuki, Tetsuo Kikuchi, Yuka Takai, Akihiko Goto and Hiroyuki Hamada, *Digital Human Modeling Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management, Lecture Notes in Computer Science Volume 9184, pp 182-191 (2015)*

14) **Effects of quantified instructional tool on spray-up fabrication method**

Tetsuo Kikuchi, Erika Suzuki, Yiyi Zhang, Yuka Takai, Akihiko Goto and Hiroyuki Hamada, *Digital Human Modeling Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management, Lecture Notes in Computer Science Volume 9184, pp 104-113 (2015)*

15) **Tacit Knowledge Elicitation Approach For The Hand Laying up Molding Technique**

Tetsuo Kikuchi, Yuichiro Tani, Atsushi Endo, Hiroyuki Nishimoto, Akio Ohtani, Asami Nakai
The Ergonomics open Journal (submitted)

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。