

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2018～2020

課題番号：18KT0037

研究課題名(和文) 竹の優れた機能に関する経験知・言い伝えの理論的解釈と新しい竹林資源利用技術の開発

研究課題名(英文) Theoretical Interpretation of Empirical Knowledge and Lore on the Superior Functions of Bamboo and Development of New Bamboo Forest Resource Utilization Technology

研究代表者

佐藤 太裕 (Sato, Motohiro)

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：00344482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自然と共生する優れた構造・防災機能をもつ竹および竹林の性質として、これまで経験的に知られてきた事実や史実を科学的側面から紐解き、特に「形状」と「力学」の関係に着目することで、竹が私たちに教えてくれる「智恵」を理論的に実証した。さらに、その知見の社会実装を念頭に、竹林資源の積極利用促進に向けた新概念材料(竹の構造・材料機能を模倣したバイオマス構造材、竹の木質部をそのまま活かしたバイオミメティック構造材)の技術開発を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、我々の生活に身近な「竹」が驚くべき機能を持つ構造・材料であることを示すと同時に、その知見をものづくりに活かすことを想定して実施されたものである。材料開発についてはその途上にあるものの、竹の合理性に関する理論実証については、学術雑誌での評価に加え、研究代表者が当該研究により本研究を実施期間中に文部科学省から「科学技術への顕著な貢献2019(ナイスステップな研究者)」に選出されるなど、高い学術的意義を有していると考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we theoretically demonstrated the "wisdom" that bamboo teaches us by unraveling the empirically known and historical facts from the scientific aspect, especially focusing on the relationship between "shape" and "mechanics" as the properties of bamboo and bamboo forests with excellent structural and disaster prevention functions that coexist with nature. In addition, we developed new conceptual materials (biomass structural materials that mimic the structure and material functions of bamboo, and biomimetic structural materials that utilize the woody parts of bamboo) for the promotion of the active use of bamboo forest resources, with a view to implementing our findings in society.

研究分野：構造力学、材料力学

キーワード：竹 バイオマス バイオミメティクス 構造・材料力学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本最古の物語といわれる竹取物語の冒頭部に、「野山にまじりて竹を取りつつ よろづのことに使ひけり」という有名な一節がある。これは我々の祖先が遙か昔から、竹の優れた構造的性質を「経験的に」認識し、生活のさまざまな場面で利用してきたことを示唆している。また災害の多い我が国では、「地震がきたら竹林に逃げ込め」など、竹にまつわる先人の智恵が込められた含蓄のある言い伝えも数多く存在する。このように古くから日本の文化、生活に深く根付いてきた竹の優れた機能に関する経験知や言い伝えは、果たして自然科学的に正しく実証されるのであろうか？もしこれらに正しい理論的解釈を与えられるならば、昔から知られた竹の潜在能力に、現代の工学的・化学的技術を付加した新たな価値が生まれ出されるのではないかと考え、研究を構想した。この視点は、研究代表者らが行った竹の力学的研究に基づく知見をベースとしている。

竹の節間隔(図-1)が高さ方向に不均一である力学的理由を、外力作用により竹に生じる曲げモーメント分布との関係から理論的に明らかにした。

この成果は昨年、米国物理学会 Physical Review E 誌に掲載され、インパクトの高い内容として Editors' Suggestion に選出された 1) (掲載号の論文 160 編中選出 4 編)

竹の断面内の維管束平均密度とその分布(図-2)は、竹の高さ方向の各断面で様相が異なるが、それらがどの断面でも維管束平均密度とその分布を変化させながら曲げ剛性を最大化するように最適に配置されていることを理論的に実証した。

この成果は本年米国科学誌 PLoS ONE 誌にて公表を行い、その後、科学雑誌「Newton」に世界の注目研究を集めた Science Sensor の記事として取り上げられた。



図-1 竹の節配列の様子

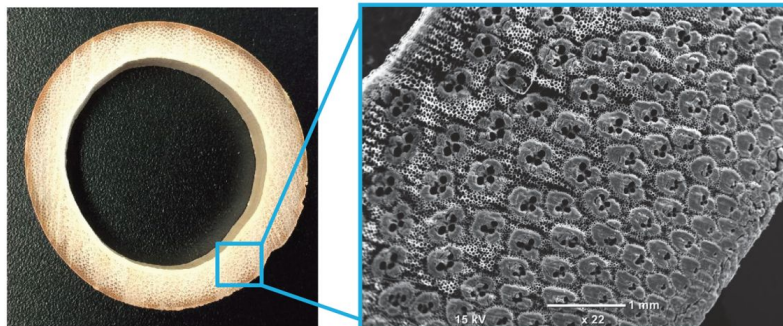


図-2 竹の断面内維管束分布

2. 研究の目的

本研究では、自然と共生する優れた構造・防災機能をもつ竹および竹林の性質として、これまで経験的に知られてきた事実や史実を科学的側面から紐解き、特に「形状」と「力学」の関係に着目することで、竹が私たちに教えてくれる「智恵」を理論的に実証することを第一の目的とする。さらに、その知見の社会実装を念頭に、竹林資源の積極利用促進に向けた新概念材料(竹の構造・材料機能を模倣したバイオマス構造材、竹の木質部をそのまま活かしたバイオメティック構造材)の技術開発を目的として実施した。

3. 研究の方法

上記研究目的を達成すべく、以下の研究方針、方法で研究を実施した。

初年度である 2018 年度は、3 年弱の研究期間の準備段階として、これまでの研究代表者らの研究をベースに竹の構造力学的特性について独自の複合材料的観点から考察するとともに、バイオメティック・バイオマス構造材としての利用可能性に関する検証を行った。さらに、これに並行して研究環境の整備などを行った。

第 2 年度である 2019 年度は、竹の維管束配列が曲げ応力に対しても極めて合理的に配列されていることを新たに実証するとともに、断面が非円形である竹(シホウチク)にも検証範囲を拡大し、断面の形という観点からも力学的合理性の検証を実施した。さらに、共同研究者の吉川を中心に、竹からのセルロース単離と樹脂コンポジットへの利用を目指し、脱リグニン処理と樹脂

含浸により、竹の質感を保った新素材の創製を目指した実験研究を実施した。

最終年度である 2020 年度は、これまでに本研究において理論実証してきた、竹の維管束配列が曲げ応力に対しても極めて合理的に配列されているという事実を実際のものづくりに生かすべく、積層構造にて竹の維管束配列を模擬した構造形態を新たにモデリングし、数値解析によりその有効性を示すこととした。また、断面が非円形である竹(シノウチク)の検証範囲を拡大し、「断面の形」という観点から新たな力学的合理性の検証を行い、断面がある程度の丸みを帯びつつ正多角形状となる断面について、構造力学的な検証を行った。さらに、共同研究者の吉川を中心に、竹からのセルロース単離と樹脂コンポジットへの利用を目指し、脱リグニン処理と樹脂含浸により、竹の質感を保った新材料開発をさらに進展させるべく引き続き実験研究を実施した。

4. 研究成果

本研究で得られた成果のうち、主なものを以下に列挙する。

- (1) 竹の維管束分布が軸方向曲げ剛性のみならず、軸および円周方向曲げ応力の低減、円周方向曲げ剛性の向上にも大きな役割を果たしていることを、構造力学計算より理論的に実証した。
本研究成果の一部は、日本機械学会材料力学カンファレンスにて講演、公表されている。今後さらに研究を進展させ、学術雑誌への投稿を目指している。
- (2) 竹の種別の違いによる形状(直径、厚さ、節間長)の違いについて計測結果を整理し、力学的視点からその違いの理由を検証した。
本研究成果の一部は Journal of Forestry Research 誌に掲載されている。
- (3) (2)での成果を基に、竹の種別の違いについて、地際から梢端に向かっての「細り方」に着目し、細長比の観点から種別間の共通点を新たに見出した。
本研究成果の一部は土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会にて公表され、当該論文が「優秀論文賞」を受賞した。今研究成果は今後、理論検証をさらに深め学術雑誌に投稿予定である。
- (4) 断面が非円形である竹(シノウチク)の断面形状に起因する力学的合理性の理論検証を実施した。また、この検証範囲を拡大し、「断面の形」という観点から新たな力学的合理性の検証を行い、断面がある程度の丸みを帯びつつ正多角形状となる断面について、円形がもつ優位性を失うことなく強度向上に寄与する可能性を示した。
本研究成果の一部は、Symmetry 誌に掲載されている。また、ここで得られた知見の一部について、土木学会北海道支部年次技術研究発表会でも講演を行い、発表学生が「優秀学生講演賞」を受賞した。
- (5) 上記の理論研究により得られた合理的特性をものづくり技術に生かすべく、炭素繊維を造形可能な 3D プリンタを新たに導入し、維管束を炭素繊維とし、木質部を樹脂とする新しい竹模倣構造の設計、プロトタイプ製作に着手した。これについては本申請研究終了後も継続的に実施予定である。
- (6) 研究分担者の吉川を中心に、竹からのセルロース単離と樹脂コンポジットへの利用を目指し、脱リグニン処理と樹脂含浸により、竹の質感を保った新材料開発を進展させることができた。
本研究成果の一部は、化学工学会第 51 回秋季大会にて公表し、発表学生が「反応工学部会ポスターセッション優秀発表賞」を受賞した。

この他、研究業績欄に記載の研究成果を獲得することができた。

上記の実績などにより、研究代表者の佐藤太裕は 2019 年 12 月に文部科学省科学技術・学術政策研究所(NISTEP)より「科学技術への顕著な貢献 2019(ナイスステップな研究者)」に選定された。

(選定理由:「竹が「軽さ」と「丈夫さ」を併せもつ理由の構造・材料力学的解明」)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Inoue A, Koshikawa K	4. 巻 54
2. 論文標題 Measurement of stem form of Japanese cypress (<i>Chamaecyparis obtusa</i> Endl.) trees in the Tano Experimental Forests, Miyazaki University	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Memoirs of the Faculty of Agriculture of Kindai University	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 井上昭夫	4. 巻 144
2. 論文標題 竹取物語外伝 - かくや姫酸欠問題 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 竹	6. 最初と最後の頁 12 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Suematsu Naoki, Ota Tetsuji, Shimizu Katsuto, Fukumoto Keiko, Mizoue Nobuya, Inoue Akio, Kitazato Haruka, Kusano Hideo, Kai Hirofumi, Omasa Yasushi	4. 巻 54
2. 論文標題 The influence of sampling grid resolution and understory on forest structure estimation from terrestrial laser scanning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Forest Planning	6. 最初と最後の頁 45 ~ 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20659/jjfp.54.1_45	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koshikawa Kazuki, Ota Tetsuji, Mizoue Nobuya, Yamamoto Kazukiyo, Inoue Akio	4. 巻 102
2. 論文標題 Improvement of Pressler Method for Predicting Tree Height with Terrestrial Laser Scanning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Forest Society	6. 最初と最後の頁 133 ~ 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4005/jjfs.102.133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shima Hiroyuki, Furukawa Nao, Kameyama Yuhei, Inoue Akio, Sato Motohiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Cross-Sectional Performance of Hollow Square Prisms with Rounded Edges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 996 ~ 996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym12060996	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jeong Seonghun, Otsuki Kyoichi, Shinohara Yoshinori, Inoue Akio, Ichihashi Ryuji	4. 巻 290
2. 論文標題 Stemflow estimation models for Japanese cedar and cypress plantations using common forest inventory data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 107997 ~ 107997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agrformet.2020.107997	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Akio, Koyama Ryota, Koshikawa Kazuki, Yamamoto Kazukiyo	4. 巻 26
2. 論文標題 Comparison of models for estimating stem surface area of coniferous trees grown in old-growth natural forests	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2020.1847818	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Akio, Koshikawa Kazuki, Sato Motohiro, Shima Hiroyuki	4. 巻 24
2. 論文標題 Allometric equations for predicting the aboveground biomass of square bamboo, Chimonobambusa quadrangularis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 376 ~ 381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2019.1690723	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Akio、Shimada Miyuki、Sato Motohiro、Shima Hiroyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimation of culm volume reduction factors in five bamboo species (Phyllostachys spp.)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Forestry Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11676-018-0767-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大谷祐貴、亀山侑平、宮川 奨、島 弘幸、井上昭夫、佐藤太裕	4. 巻 75
2. 論文標題 竹の維管束配列と曲げ応力の関係に関する理論的考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部平成30年度年次技術研究発表会論文報告集	6. 最初と最後の頁 A-07_01-_02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 佐藤太裕
2. 発表標題 工学の視点で植物を見る - 賢い「竹」が軽さと丈夫さ併せもつ秘密 -
3. 学会等名 ナイスステップな研究者2019講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上昭夫
2. 発表標題 正形数と形状指数
3. 学会等名 明治大学先端数理科学インスティテュート共同研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越河一樹・太田徹志・溝上展也・山本一清・井上昭夫
2. 発表標題 地上レーザスキャナ計測のための樹高推定式の誘導
3. 学会等名 第76回九州森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本美涼・石丸裕也・吉川琢也・中坂佑太・井上昭夫・佐藤太裕・増田隆夫
2. 発表標題 竹からの固体セルロース単離と樹脂コンポジットへの利用
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川菜生
2. 発表標題 シホウチクの断面形状から得られる力学的合理性の考察
3. 学会等名 土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大谷祐貴
2. 発表標題 竹の維管束配列と曲げ特性の関係に関する理論的考察
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2019材料力学カンファレンス 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Yoshikawa
2. 発表標題 Delignification of bamboo via organosolv treatment using 1-butanol/water biphasic system
3. 学会等名 1st International Lignin Symposium in Sapporo
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤太裕
2. 発表標題 賢い「竹」が生み出す巧みな材料力学的機能の秘密
3. 学会等名 第51回溶融塩化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motohiro Sato
2. 発表標題 Learning from bamboo: New mechanical concept of "Plant"-mimetics
3. 学会等名 The 9th East Asia Mechanical and Aerospace Engineering Workshop（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上昭夫
2. 発表標題 正形数と形状指数
3. 学会等名 第74回九州森林学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷祐貴
2. 発表標題 竹の維管束配列と曲げ応力の関係に関する理論的考察
3. 学会等名 土木学会北海道支部平成30年度年次技術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上昭夫
2. 発表標題 モウソウチク林における密度管理図の調製
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越河一樹
2. 発表標題 地上レーザスキャナのための樹高推定の理論の構築
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	井上 昭夫 (Inoue Akio) (80304202)	近畿大学・農学部・教授 (34419)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	吉川 琢也 (Yoshikawa Takuya) (20713267)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関