

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 （共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 5 年 5 月 1 6 日現在

機関番号： 1 2 6 0 1

研究種目： 若手研究

研究期間： 2020 ~ 2022

課題番号： 2 0 K 1 5 0 3 8

研究課題名（和文） The comprehensive study of fabrication conditions and mechanical performances of high-performance discontinuous fiber composites

研究課題名（英文） The comprehensive study of fabrication conditions and mechanical performances of high-performance discontinuous fiber composites

研究代表者

WAN Y I (WAN, YI)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号： 9 0 8 1 6 8 4 4

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は高性能不連続炭素繊維強化複合材料（HDFC）の製造プロセスと材料特性を関係付けるモデリング手法、および内部構造を観測するX線μCT画像処理手法に関する研究を行った。具体的には、繊維強化複合材料に関する既存のモデリング解析手法はHDFCの持つ複雑なマルチスケール内部構造考慮せず、材料特性を過大評価する傾向に対し、本研究は成形プロセスと材料特性の関係についての実験による検証を行い、そして繊維強化複合材料のマルチスケールモデルと構造解析手法を構築した。さらに、HDFCの成形プロセス・内部構造・材料特性の相関関係を明らかにし、より高度で一般的なHDFC向きのモデリング解析手法の開発を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

輸送機器の電動化と各種ロボットの社会実装ブームを受けて、移動体の軽量化ニーズとそのリサイクル材による高性能不連続炭素繊維強化複合材料（HDFC）の重要性が従来に増して高まってきている。HDFCにより移動体の複雑な一次構造部材を鉄の1/3～1/2の重量で製造できることが示されていることから、HDFCが安定かつ予測可能な特性を持つことを証明できれば極めて大きなブレークスルーとなる。本研究では、HDFCの製造プロセス・内部構造・材料特性を関係付けるマルチスケールモデリング解析手法を提示し、その結果を内部構造と成形過程ヘフィードバックすることで、より安定かつ予測可能なHDFCの開発にもつなげる。

研究成果の概要（英文）：High-performance discontinuous fiber composites (HDFC) are considered to have high potential in the mass-production primary-structural member applications. However, the application of HDFC is limited by its complicated fabricating processes, which induce complex internal geometry due to the high fiber flowability and restrict the mechanical performances and computer aided engineering (CAE) capability. This research conducted a comprehensive study of HDFC fabrication conditions and mechanical performances, providing feasible and efficient methodologies for adequate and precise evaluation of the internal geometries and mechanical properties of HDFC after the fabricating processes. The relationship between fabricating processes, internal geometries, and mechanical properties of HDFC was revealed in detail for the first time, which also provides solutions for the comprehensive characterization of HDFC on both the aspect of material research and the view of industrial application.

研究分野： Composite Materials

キーワード： high-performance CFRP fabrication process mechanical property internal geometry

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

The demands for lighter, design-flexible, hyper-performance advanced materials currently become an urgent issue because transportation, robots, and other new services have developed dramatically fast and the traditional materials exposed the shortage under the growing requests for performances and lightweight requirements. The weight reduction of industrial major-structure components (e.g. automotive framework) can be 1/2 to 1/3 by applying the carbon fiber reinforced polymers (CFRP) with over 50% fiber volume contained. However, wrinkles are easily generated in the curved section when the continuous fiber composites are molded, considered the Achilles' heel for applications. The novel fiber composites, high-performance discontinuous fiber composites (HDFC) show great potential in both complex shapes fabricating and high mechanical performance. However, the fetal problems of HDFC – a variation of mechanical properties, difficulty fabricating condition control, and lack of accurate modeling methods on mechanical properties, still stay unsolved. These limitations restricted the current HDFC only to luxury-level applications.

2. 研究の目的

In this research, the overall objective will be maximizing the potential of HDFC as a lighter, design-flexible, hyper-performance advanced material for wide-range applications not only in the field of transportation but also in robots and other budding industries. To achieve this target, the project on HDFC was carried out both on the aspect of material studies and the view of industrial application developments. Moreover, the comprehensive study of fabrication conditions and mechanical performances of HDFC was realized to satisfy the diverse requirements for different applications.

3. 研究の方法

The research was carried out in three main steps aiming at satisfactory elucidation of the evaluation of HDFC on the fabrication conditions, the internal geometries, the mechanical properties, and their relationships.

The first step aims at the characterization of the compressive fabricating processes. The effect of fabricating processes was studied in detail on HDFC analytically and experimentally.

The second step was focusing on internal geometry visualization and quantification. A novel X-ray micro-CT methodology was specially developed for the multi-scale internal geometry evaluation of HDFC in this research. The structural features at fiber-, layer- and macro-level were evaluated in detail.

The last step integrates the results from the first and second steps. The quantified internal geometry properties collected from the X-ray micro-CT studies were imported into the mechanical models.

4. 研究成果

- (1) This research conducted the mechanical test on HDFC with different fabricating conditions and different loading conditions[1]. The effect of fabrication processes on mechanical properties was discussed in detail [2].

- (2) The internal geometry of HDFC was observed with the novel X-ray micro-CT methodology, and the quantification and visualization of the internal geometries were conducted from different aspects to provide detailed information on the internal morphology and the influence of fabrication processes [3].
- (3) The mechanical modeling based on the Mori-Tanaka mean-field homogenization model and the equivalent laminate de-homogenization model to evaluate the overall mechanical properties of HDFC with the consideration of fabricating conditions is established. Taking the internal geometry into consideration helps the model show high accuracy in simulating the mechanical properties with different fabricating conditions [4].
- (4) Combine the research of fabricating conditions, internal geometry, and mechanical modeling, the comprehensive study of HDFC to predict the mechanical properties with an overall consideration is carried out [5, 6].

Consequently, this research tried to establish the connections between the fabrication conditions, the internal geometries, and the mechanical properties and finally to provide feasible solutions for comprehensive characterization of HDFC on both the aspects of material research and the view of industrial application to maximize the potential of HDFC.

References

- [1] Y. Zhang, L. Meng, Y. Wan, B. Xiao, J. Takahashi. Measurement of the Flexural Modulus of Chopped Carbon Fiber Tape Reinforced Thermoplastic with Short Beams. *Appl Compos Mater.* 2021;28(5):1511-1530.
- [2] Yi Wan, Hirofumi Suganuma, Jun Takahashi. Effects of fabrication processes and tape thickness on tensile properties of chopped carbon fiber tape reinforced thermoplastics. *Composites Communications.* 2020;22:100434.
- [3] Guangbin Cai, Takehiro Shirai, Yi Wan, Kiyoshi Uzawa, Jun Takahashi. Application of X-ray Computed Tomography to Measuring Fiber Orientation Distribution of Chopped Carbon Fiber Tape Reinforced Thermoplastics. *Appl Compos Mater.* 2021;28(2):573-586.
- [4] Yi Wan, Xin Zhang, Yu Sato, Jun Takahashi. STOCHASTICITY MODELING AND ANALYSIS OF ELASTIC MODULUS OF RANDOMLY ORIENTED STRANDS. *Adv Compos Mater.* 2021;30(3):286-306.
- [5] Yi Wan, Jun Takahashi. Mechanical modeling of CF/PA6 sheet molding compounds with X-ray computed tomography-based internal geometry considerations. *Compos Sci Technol.* 2020;192:108104.
- [6] Y. Wan, Sh Yamashita, J. Takahashi. Evaluation and Modeling of Tensile Properties of Chopped Carbon Fiber Tapes Reinforced Thermoplastics of Different Tape Thicknesses. *Mech Compos Mater.* 2022;58(3):395-408.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yi Wan, Shinichiro Yamashita, Jun Takahashi	4. 巻 58
2. 論文標題 Evaluation and Modeling of Tensile Properties of Chopped Carbon Fiber Tapes Reinforced Thermoplastics of Different Tape Thicknesses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mechanics of Composite Materials	6. 最初と最後の頁 395 ~ 408
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11029-022-10037-y	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 Cai Guangbin, Shirai Takehiro, Wan Yi, Uzawa Kiyoshi, Takahashi Jun	4. 巻 28
2. 論文標題 Application of X-ray Computed Tomography to Measuring Fiber Orientation Distribution of Chopped Carbon Fiber Tape Reinforced Thermoplastics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Composite Materials	6. 最初と最後の頁 573 ~ 586
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10443-021-09875-1	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 Zhang Ye, Meng Linshu, Wan Yi, Xiao Bing, Takahashi Jun	4. 巻 28
2. 論文標題 Measurement of the Flexural Modulus of Chopped Carbon Fiber Tape Reinforced Thermoplastic with Short Beams	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Composite Materials	6. 最初と最後の頁 1511 ~ 1530
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10443-021-09916-9	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 Wan Yi, Takahashi Jun	4. 巻 192
2. 論文標題 Mechanical modeling of CF/PA6 sheet molding compounds with X-ray computed tomography-based internal geometry considerations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Composites Science and Technology	6. 最初と最後の頁 108104 ~ 108104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.compscitech.2020.108104	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 Wan Yi, Suganuma Hirofumi, Takahashi Jun	4. 巻 22
2. 論文標題 Effects of fabrication processes and tape thickness on tensile properties of chopped carbon fiber tape reinforced thermoplastics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Composites Communications	6. 最初と最後の頁 100434 ~ 100434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coco.2020.100434	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 Wan Yi, Zhang Xin, Sato Yu, Takahashi Jun	4. 巻 NA
2. 論文標題 STOCHASTICITY MODELING AND ANALYSIS OF ELASTIC MODULUS OF RANDOMLY ORIENTED STRANDS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Composite Materials	6. 最初と最後の頁 1 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09243046.2020.1821467	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Qian Gao, Haowen Wei, Yi Wan, Jun Takahashi
2. 発表標題 Prediction of Tensile Properties of Carbon Fiber Paper Reinforced Thermoplastics by Numerical Analysis
3. 学会等名 第13回日本複合材料会議 (JCCM-13)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiaohang Tong, Linshu Meng, Bing Xiao, Yi Wan, Jun Takahashi
2. 発表標題 The influence of preload relaxation on the mechanical performance of bolted carbon fiber reinforced thermoplastics joints
3. 学会等名 第47回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Ruo Chen Xu、Haowen Wei、Yi Wan、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Model design and morphology analysis of CFRTP-SMC based on Monte-Carlo simulation
3 . 学会等名 第47回複合材料シンポジウム
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Qian Gao、Yi Wan、Haowen Wei、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Characterization and Modeling of Mechanical Properties of Carbon Fiber Paper Reinforced Thermoplastics
3 . 学会等名 第47回複合材料シンポジウム
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Peng Xue、Yi Wan、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Research on recycled carbon fiber reinforced thermoplastic for application on floating vertical axis wind turbine structures
3 . 学会等名 第47回複合材料シンポジウム
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Zihao Zhao、Ye Zhang、Yi Wan、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Effects and simulation of CFRTP-SMC compression molding on mechanical properties and internal morphology
3 . 学会等名 第47回複合材料シンポジウム
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Weizhao Huang、Ye Zhang、Yi Wan、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Inversing spatial modulus distribution of CFRTP by a non-destructive vibrational method
3 . 学会等名 第47回複合材料シンポジウム
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Ruochen Xu、Haowen Wei、Yi Wan、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Prediction of tensile strength distribution of CFRTP-SMC by monte carlo simulation
3 . 学会等名 the 17th Japan international SAMPE symposium and exhibition (JISSE17) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Xiaohang Tong、Linshu Meng、Bing Xiao、Yi Wan、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Preload relaxation in bolted carbon fiber reinforced thermoplastics joints
3 . 学会等名 the 17th Japan international SAMPE symposium and exhibition (JISSE17) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Qian Gao、Haowen Wei、Yi Wan、Jun Takahashi
2 . 発表標題 Prediction of tensile failure of carbon fiber mat reinforced thermoplastics by numerical analysis
3 . 学会等名 the 17th Japan international SAMPE symposium and exhibition (JISSE17) (国際学会)
4 . 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------