

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 5 日現在

機関番号：24601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24655105

研究課題名(和文) 繊維集合体における隙間のないユニークなパッキング構造化の研究

研究課題名(英文) Packing structure without openings in the aggregate consisting of a number of fibers

研究代表者

大崎 茂芳 (Osaki, Shigeyoshi)

奈良県立医科大学・医学部・研究員

研究者番号：90273911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：円柱型フィラメントからなるクモの糸繊維の集合体では、繊維が平行に並んで理想的に詰まったとしても繊維相互は線接触でしかない。現実には、一本の繊維で力学強度(応力)が大きくとも、集合体となると繊維間に隙間が多くあり、応力が大幅に落ちるという問題点がある。この問題点を解決すべく、繊維の軸と垂直方向の弾性率を考慮して、繊維軸に垂直方向に加圧することによって、繊維を変形させ、繊維間の面接触を増やすことを試みた。その結果、繊維軸に垂直な方向での弾性率と圧力という因子を考慮することによって、繊維を変形せしめて、接触面を増やせることに成功した。

研究成果の概要(英文)：Spider silk consists of cylindrical filaments. Even though filaments in the aggregate of a number of filaments are ideally aligned in parallel and packed together, each filament contacts linearly. Since the actual aggregate contains openings among filaments, however, the applied stress is much lower than that of monofilament. In order to make clear such a problem, the author examined a mechanism for increasing the face contact between filaments. He succeeded in increasing the ratio of face contact by applying the pressure in the direction perpendicular to the filament axis. As a result, the applied stress of aggregate increased drastically. Especially, it was found that the elastic modulus and the applied pressure in the direction perpendicular to the filament axis should be considered for deforming filaments and then increasing the face contact between filaments.

研究分野：生体高分子学

キーワード：クモ 糸 集合体 応力 加圧 弾性率 変形 面接触

## 1. 研究開始当初の背景

40年近くクモの糸の物理化学的研究を行ってきた。最初のうちは、細い牽引糸に焦点を当て、次に、実用化を目指すべく多数のクモから牽引糸を多量に集めて糸束を作った。その糸束にヒトがぶら下がることに成功して、クモの糸の強さを人間の実感として確かめることができた。さらに、細くて強度のある紐を作る試みをした。ところが、集合体としての糸束や紐が理論的な力学的機能を発揮するにはほど遠いレベルであった。

合成繊維を含めて繊維は実用的には集合体として利用されるが、古くからの研究では一本の繊維の力学強度に焦点が当てられてきた。それは、一本の品質評価はしやすいが、繊維集合体として様々な用途があるため、標準的な品質評価基準が設定できないことに起因すると思われる。しかし、実用的には集合体の力学強度アップは非常に重要である。そこで、大きな問題点として考えられることは、繊維集合体において、理想的には繊維を平行に並べても繊維間には必ず2割程度隙間が存在することである。現実には、繊維をたくさん足し合わせた集合体では5割以上も隙間が存在する。そして、集合体に張力をかけると、最初は一時的に大きな値を示すが、時間とともに弱い繊維から順次切れて、最後にはすべて切れてしまうという問題があった。

このような状況で、一本の繊維の応力レベルを目標に、クモの集合体で力学応力アップを目指すには、繊維間の隙間をどうすればよいのかがポイントとなることが分かってきた。しかし、この隙間軽減は非常に難しいものであった。

## 2. 研究の目的

繊維集合体の力学強度をアップするために、繊維間の隙間を軽減し、そのパッキング構造を明らかにすることを目的にした。円柱フィラメントの集合体を平行に並べても隙間が存在することから、隙間をなくすることが課題であったが、ここで、繊維相互の隙間を軽減するために、繊維フィラメントを変形させて、繊維相互の接触面積をアップして、力学強度をアップする構造を明らかにすることに焦点を当てた。

## 3. 研究の方法

a. コガネグモおよびオオジョロウグモを採

集して、それらのクモから糸を、時間をかけて取り出す。クモの糸単体の断面を電子顕微鏡で観察すると、円形であった。一方、糸束を捻じることによってフィラメントが変形するかどうかを調べた。

b. クモの糸は比較的柔らかであることから、合成繊維よりも変形しやすいかどうかを調べた。また、円形から多角形に変形する条件を電子顕微鏡で調べる。

c. クモの糸の繊維集合体における繊維を変形させて、近隣の繊維相互の接触をアップさせることができるかどうか、電子顕微鏡で調べる。

d. 太さの異なるフィラメントでも隙間を軽減できるのかどうかを電子顕微鏡で調べ、隙間の割合を調べる。

e. 圧縮して作り上げた紐の力学強度を測定し、従来の糸束と比較する。

## 4. 研究成果

a. コガネグモおよびオオジョロウグモの糸単体の断面は電子顕微鏡で観察すると、断面が円形のフィラメントであった。一方、糸束を捻じることによってフィラメントの断面が円形から多角形に変形したことが分かった。

b. 円形から多角形に変形する条件を調べた結果、クモの糸の繊維軸と垂直方向はともに柔らかであるので、圧縮変形を受けやすいことが分かった。

c. クモの糸の繊維集合体における繊維を変形させて、近隣の繊維との接触をアップさせることができることが分かった。

d. 太さの異なるフィラメントからなる集合体の圧縮力によって隙間を軽減できることが分かった。

e. 隙間の割合は適度な圧縮で軽減できることがわかり、しかも、従来の糸束と異なって一定荷重下での力学強度の時間依存性は少ないことが分かった。つまり、切断は一時に起こるということである。クモの糸に圧縮力を加えた時の集合体の繊維間隙間を大幅に軽減できることを見出した。個の隙間軽減は力学強度アップに大いに貢献することがわかり、パッキング構造の形成方法へのヒントを得ることができた。

## 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 17件)

1. Shigeyoshi Osaki, Spider silk violin strings with a unique packing structure generate a soft and profound timbre, *Physical Review Letters*, **108**, 154301-1 ~ 154301-5 (2012).
2. Kohichi Tomoda, Hiroshi Kimura & Shigeyoshi Osaki, Collagen fiber orientation of human lung, *The Anatomical Record*, **296**, 846-850 (2013).
3. Takashi Matsuhira, Keizo Yamamoto & Shigeyoshi Osaki, Effects of UV ray irradiation on the molecular weight of spider silk, *Polymer Journal*, **45**, 1167-1169 (2013).
4. Takashi Matsuhira & Shigeyoshi Osaki, Molecular weight of *Nephila clavata* spider silk, *Polymer Journal*, **47**, 456-459 (2015).
5. Shigeyoshi Osaki, Keizo Yamamoto, Takashi Matsuhira & Hiromi Sakai, The effects of seasonal change on the molecular weight of *Nephila clavata* spider silk, *Polymer Journal*, **48**, 659-663 (2016).
6. 大崎茂芳, クモの糸でヴァイオリンを弾く, *BIOPHILLIA*, **1**, 1-5 (2012).
7. 大崎茂芳, クモの糸から学んだもの, *日本医事新報*, プラタナス, NO. 4603, 1 (2012).
8. 大崎茂芳, クモの糸の物理化学的特性と応用への動向, **52**, 27-31 (2013).
9. 大崎茂芳, ライフワークとクモの糸でヴァイオリンは奏でられるのか-, *近畿化学工業界*, **65**, 5-8 (2013).
10. 大崎茂芳, クモの糸は夢の繊維か?, *じっきょう理科資料*, **74**, 7-10 (2013).
11. 大崎茂芳, クモの糸の紫外線耐性メカニズムとその活用の可能性, *生物規範工学*, 250-258 (2014).
12. 大崎茂芳, 交響楽を生み出す蜘蛛の糸の科学, *科学と教育誌*, **62**, 484-487 (2014).
13. 大崎茂芳, 生体組織におけるコラーゲン線維の配向性と運動機能, *WEB Journal 増刊号*, **155**, 18-21 (2014).
14. 大崎茂芳, クモの糸でヴァイオリンは弾ける?, *畑田住宅活用保存会*, No. 12, 1-8 (2014).
15. 大崎茂芳, なぜ、今クモの糸なのか?, *繊維学会誌*, **71**, 129-133 (2015).
16. 大崎茂芳, クモの糸でヴァイオリンは弾

ける?, *畑田住宅活用保存会*, 66, 521-528 (2015).

17. 大崎茂芳, クモの糸でヴァイオリンは弾けるのか?, *JAS Journal*, **56**, No.1, 28-37 (2016).

[学会発表](計 21件)

大崎茂芳, クモの糸の弦構造の秘密 - 間隙のない特異な充填構造-, 第 61 回高分子学会年次大会, 2012 年 5 月 29 日, 横浜パシフィコ.

松平崇, 大崎茂芳, クモの糸タンパク質は多量体か?

第 61 回高分子学会年次大会, 2012 年 5 月 30 日, 横浜パシフィコ.

東浦友美, 山本恵三, 大崎茂芳, ヒト胎盤卵膜におけるコラーゲン線維の配向性

第 61 回高分子学会年次大会, 2012 年 5 月 30 日, 横浜パシフィコ.

大崎茂芳, クモ繊維集合体の高強度化 - 間隙のない最密充填構造-

第 61 回高分子討論会, 2012 年 9 月 20 日, 名古屋工業大学.

Shigeyoshi Osaki, An approach to high strong string having unique packing structure with no openings among filaments.

The 5th International symposium on Polymer Materials Science, 2012 年 11 月 10 日 Osaka.

Takashi Matsuhira & Shigeyoshi Osaki, Effects of UV rays upon Molecular Weight of Spider Silk.

The 5th International symposium on Polymer Materials Science, 2012 年 11 月 10 日 Osaka.

Keizo Yamamoto & Shigeyoshi Osaki, Steric hindrance decides substrate specificity of  $\alpha$ -glucosidase from *Saccharomyces*.

The 5th International symposium on Polymer Materials Science, 2012 年 11 日, Osaka.

Shigeyoshi Osaki, High strengthening of the strings consisting of a number of fiber filaments -unique packing structure with no spaces-.

The 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2012),

2012 年 12 月 12 日, Kobe.

Takashi Matsuhira & Shigeyoshi Osaki, Effects of UV Rays upon Molecular Weight of Spider Silk.

The 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2012),  
2012年12月12日, Kobe.

大崎茂芳, 松平崇, 山本恵三, クモの糸の分子量に対する紫外線の影響.

第62回高分子討論会, 2013年9月11日, 金沢大学.

松平崇, 大崎茂芳 クモの糸の分子量はさらに大きかった.

第62回高分子討論会, 2013年9月11日, 金沢大学.

大崎茂芳 クモの糸の特性と応用への動向.

第52回機能紙研究会(招待講演), 2013年10月24日, 徳島.

大崎茂芳 クモの糸のミステリー - ハイテク機能に学ぶ -.

日本ゴム学会(招待講演), 2013年10月25日, 大阪.

大崎茂芳, クモの糸のミステリー.

第20回日本血液代替物学会(招待講演), 2013年12月7日, 奈良.

松平崇, 山本恵三, 大崎茂芳, クモの糸の分子量の季節変化.

第60回高分子研究会, 2014年7月5日, 神戸.

大崎茂芳, 桑原理充, 浅田秀夫, 皮膚におけるコラーゲン線維の配向分布 -ラットからヒトへ-.

第63回高分子討論会, 2014年9月25日, 長崎.

松平崇, 大崎茂芳, 紫外線はクモの糸にどのような影響を与えるのか?.

第63回高分子討論会, 2014年9月25日, 長崎.

桑原理充, 浅田秀夫, 大崎茂芳, 皮膚におけるコラーゲン線維の配向性 -ラット皮膚からヒト皮膚へ-.

第23回形成外科学会 基礎学術集会, 2014年10月10日, 長野.

Shigeyoshi Osaki, A new method for increasing the mechanical stress of multi-filaments.

10th International Conference, 2014年12月3日, Tsukuba.

Takashi Matsuhira & Shigeyoshi Osaki, Effects of UV rays upon spider silk.

10th International Conference, 2014年12月3日, Tsukuba.

①大崎茂芳, クモの糸のミステリー.

第95回日本化学会, 2015年3月28日, 千葉.

②大崎茂芳, クモの巣はなぜ雨に強いのか?

第64回高分子討論会, 2015年9月17日, 仙台.

[図書](計 0件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0件)

なし

[その他]

ホームページ等

[http://www.naramed-u.ac.jp/~chem/OSAKI\\_HP/Osaki\\_top.html](http://www.naramed-u.ac.jp/~chem/OSAKI_HP/Osaki_top.html)

6. 研究組織

(1)研究代表者

大崎茂芳 (OSAKI, Shigeyoshi)

奈良県立医科大学 医学部 研究員

研究者番号:

90273911

(2)研究分担者

なし ( )

研究者番号:

(3)連携研究者

なし ( )

研究者番号: