

## 学位論文の審査結果の要旨

本論文は、蜘蛛糸の牽引糸の破断応力は出糸速度に比例して上昇するという、これまでの定説に反して、蜘蛛の種類によって牽引糸の破断応力に及ぼす出糸速度の影響が異なることを指摘した初めての論文である。

コガネグモ *Argiope amoena* の牽引糸は強いとされているが、その牽引糸の引張り強度はサンプル糸ごとに測定値が変動した。クモは牽引糸をゆっくり出糸することも、速く出糸することもできる。クモの牽引糸の引張り強度（応力）は出糸速度に比例して増加することがニワオニグモ *Araneus diadematus*、食用ジョロウグモ *Nephila edulis* とオオジョロウグモ *Nephila pilipes* で報告されている。本論文では、*A. amoena* 牽引糸の引張り応力が、これまで報告された *A. diadematus*、*N. edulis* と *N. pilipes* のように、出糸速度に比例して増加するのかどうかを調査した。その結果、*A. amoena* 牽引糸の破断応力と初期係数が出糸速度 2~100mm/s の範囲で 20mm/s で最高値を持ち、出糸速度に比例して増加しないことが明らかになった。一般に、絹繊維の強さは、 $\beta$ -シート含量と結晶配向度を増やすことによって高めることができるが、*A. amoena* 牽引糸を最高の破断応力を示した 20mm/s で出糸させた時、*A. amoena* 牽引糸の  $\beta$ -シート・ポリペチドが最も多くなっていた。*A. amoena* 牽引糸の結晶配向度は出糸速度に比例して、20mm/s の出糸速度まで大きく増加した。それより速い出糸速度でも若干増加するが、ほぼ平衡状態を示した。一般に、牽引糸の直径は出糸速度に比例して細くなると考えられている。*A. amoena* 牽引糸の場合には、出糸速度が 4、7、11mm/s と加速するとそれに比例して直径が太くなる。出糸速度を最高直径を示した 11mm/s よりさらに加速すると、直径は徐々に細くなる。*A. amoena* は、出糸する牽引糸量の増減を自力で調節しているように思われる。*A. amoena* 牽引糸の破断応力が 20mm/s で最高になった主要因としては、20mm/s で  $\beta$ -シート含量が最高になったことであろうと考えられる。20mm/s 以上の出糸速度では結晶配向度は若干増すけれども、 $\beta$ -シート含量が減少するので破断応力が低下した。このため、*A. amoena* 牽引糸の破断応力は、これまで報告されたクモの牽引糸の特徴とは異なり、出糸速度に比例して増加しないことが明らかになった。この知見は、本論文で初めて明らかになった成果である。

ジョロウグモ *Nephila clavata*、オオジョロウグモ *Nephila pilipes*、ナガコガネグモ *Argiope bruennichi* とコガネグモ *Argiope amoena* から集めた牽引糸繊維の力学的な性状とそのマイクロ構造を調査した。牽引糸の力学的な性状はクモ種によって特徴があることが判明した。牽引糸を 20mm/s の速度で出糸させると、*N. clavata* の牽引糸は、*N. pilipes*、*A. bruennichi*、*A. amoena* のものより強い破断応力と初期モジュラスを示した。この結果の根拠を裏付けるかのように、*N. pilipes*、*A. bruennichi* と *A. amoena* の牽引糸に比べ、*N. clavata* の牽引糸がより多くの  $\beta$ -シート構造を含み、配向度の高いことが、ラマン・スペクトル分析により明らかになった。牽引糸の出糸速度を 2 から 4、7、11、20、60、100mm/s へと増加させると、*N. clavata*、*N. pilipes*、*A. bruennichi* の牽引糸はいずれも、破断歪みが著しく減少し、その初期モジュラスが増加した。しかし、破断応力については、クモ種により異なる傾向を示すことが判明した。*N. clavata* 牽引糸の破断応力は、11mm/s で最高値を持ち、*N. pilipes* 牽引糸の破断応力は、出糸速度が増加に比例して増加した。*A. bruennichi* 牽引糸の破断応力は、出糸速度による変化が少なく比較的な安定した値を維持した。出糸速度の増加に伴う *N. clavata* 牽引糸の破断応力の変化は、*A. amoena* 牽引糸と似ており、*N. pilipes* 牽引糸の破断応力の破断応力の変化は、海外の研究者による報告結果と似ていた。

本論文は、クモ糸の力学的特性や物性を解明する上で重要な知見を明らかにした。学位論文として十分な内容であり、本論文は学位論文に値するもの判断した。

## 公表主要論文名

1. [Zhang Lei](#), Bao Xian-xun, Liu Ming-hui, Han Leng and Nakagaki Masao: Secondary structure analysis of spider dragline silk fiber obtained by different spinning methods using Raman spectroscopy. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2013, 40 (1), 144-148.
2. [Zhang Lei](#), Han Leng, Wang Yujun, Zhao Tianfu, Bao Xianxun and Nakagaki Masao: The variability of mechanical properties and molecular conformation among different spider fibers. *Fibers and Polymers*, 2013, 14(7), 1190-1195.