

クモの糸の強度を超えるミノムシの糸

◆夢の繊維と呼ばれていたクモの糸をしのぐ技術

医療品メーカーの興和と農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）は、2018年12月に、クモの糸をしのぐ強度を備えたミノムシの糸を産業利用するための基本技術を開発したと発表した。

クモの糸は軽量で強度は鉄鋼の4倍、ナイロンより伸縮性があり、耐熱温度は300℃を超える。生体物質由来のため環境負荷が小さい特長がある。また、衝撃を吸収する性質が極めて高く、自動車や航空機などの素材を激変させる夢の繊維と呼ばれ、数千億円の市場創出効果があると、多くの研究者が量産化を目指して開発をしてきた。しかしながら蜘蛛は共食いの問題で量産化が困難とされてきた。

◆クモ糸の特性を持つ合成繊維をバイオインフォマティクスの技術で

慶応義塾大学発で07年スタートアップしたスパイバーは、バイオインフォマティクス（生物情報科学）を駆使しクモの糸のアミノ酸配列及び遺伝子配列を解析し、機能性に優れ、かつ微生物発酵の生産性が高いたんぱく質をデザインした。デザインした遺伝子を合成して微生物に組み込み、タンク内で培養してたんぱく質（フィブロイン）を作り、精製工程を経て繊維化される。

これまで1,200もの遺伝子からさまざまなたんぱく質を合成し、強度や伸縮性、耐熱性などの繊維の特性や生産性の高さなどを評価してきた。例えば、製品化で課題となった、水をかけると縮んでしまう特性では、分子設計などの見直しにより、水をかけても縮まない特性のたんぱく質を発見している。

18年11月にスパイバーは、タイに年間数百トンの規模の量産工場の建設をし、21年の稼働を計画していることを発表した。用途開発もトヨタ紡織と共同で、鋼材製のドアパネルの置き換え用複合材を進めている。

◆クモの糸をしのぐ強度を備えたミノムシの糸

ミノムシは、日本の在来種オオミノガやチャミノガの幼虫であるが、カイコやクモと同様にたんぱく質で構成された直径4マイクロメートルのシルク状の繊維

ハイライト

を吐出する。なお、カイコは約1,500メートルの糸を吐き出すが、吐出は1回限り。これに対しミノムシからは1年の生涯ながら糸を複数回採取できる。

ただ、通常ミノムシの糸はジグザグ状に糸を吐くので、真っすぐに取り出せない難点があり今までは繊維として使えなかった。今回、特殊な装置でらせん状の道を与えると直線状に糸を吐き出すことが発見され、長さ数百メートルの真っすぐな状態で糸を効率良く取り出すことに成功した。

実験の結果、ミノムシの糸は自然界において最も強度があるといわれるオニグモの糸に比べ、タフネスでは約3.0倍、強度で約2.4倍など、すべての項目で上回ることがわかった（表）。また、耐熱温度は340℃で、糸を引っ張っても元に戻る力が3倍近くあり、糸を伸ばしたときの切れにくさはカイコの糸の5倍という特性は、服の繊維として使われる合成繊維の代替素材として期待できる。

表 ミノムシ糸とその他繊維材料の特性比較

材料	特性	タフネス (MJ/m ³)	強度 (Gpa)	弾性率 (Gpa)	伸度 (%)
高張力鋼		0.8	0.19	25.9	0.8
炭素繊維		13.9	2.22	166.7	1.3
アラミド繊維		35.7	2.57	92.9	2.7
合成ゴム		100.0	0.05	0.001	850.0
ニワオニグモ		123.0	0.84	7.7	27.0
オオミノガ (ミノムシ)		364.0	2.00	28.0	32.0

資料：興和先端科学研究所、スパイバー（株）の資料からARC作成

◆ミノムシの糸もバイオインフォマティクスで量産化が望まれる

ミノムシの糸は非常に有用な素材として注目される可能性が高い素材である。これから量産化が始まるが、多くの課題が発生し時間がかかることも予想される。

クモの糸で実現したバイオインフォマティクスと微生物発酵の生産技術によるたんぱく質合成は、ミノムシの糸の特性を持つ合成繊維開発に適用することが可能と見込まれる。合成ミノムシ糸繊維は、たんぱく質でできているため生分解性があり、廃棄時に環境負荷がかからない。自動車や飛行機などに使われる繊維強化プラスチック（FRP）への応用で、より軽量化し、燃費を低減させるとともに、CO₂排出を削減する素材になる可能性を持っている。さらに、建設分野の材料や再生医療分野の素材などさまざまな分野への展開が考えられ、持続可能な社会の実現に大きく貢献する素材の量産化が加速することを期待したい。 【成田誠】