

興和株式会社はミノムシが吐く糸（ミノムシ繊維）を使った繊維素材を世界で初めて製品化した。MINOLON（ミノロン）と呼ばれる繊維素材は、クモの糸を凌駕するほど硬くて粘り強く、構造材料として理想的な外力への応答性を示し、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）とも複合化した製品も開発した。

企業名	興和株式会社		
事業分野	繊維・機械・建材などの輸出入や三国間貿易を行う商社機能と、医薬品・医療用機器・ビジョンユニット・省エネ・創エネ関連製品などのメーカー機能を併せ持つ。		
所在地	〒460-8625 愛知県名古屋市中区錦三丁目6番29号		
TEL	052-963-3033	URL	<a href="https://www.kowa.co.jp/">https://www.kowa.co.jp/</a>
資本金	3,840 百万円	従業員数	7,974 名（2024 年 3 月現在：連結）

#### 【本技術の概要】

興和株式会社は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（本部：茨城県つくば市）と共同でクモの糸に劣らない粘り強さを持つミノムシ繊維の産業化に向けた技術開発を進め、このほど世界で初めてミノムシ繊維を製品化した。また、ミノムシの研究開発から得られる多種多様な新素材の総称として、「MINOLON」（ミノロン）ブランドを立ち上げ、シート状のミノムシ繊維（MINOLON シート）の製造方法を見出した。ミノムシが吐く糸からつくられるミノムシ繊維は、クモの糸を凌駕するほど硬くて粘り強く、構造材料として理想的な外力への応答性を示した。MINOLON シートは、CFRP（炭素繊維強化プラスチック：Carbon Fiber Reinforced Plastics）と複合することにより、CFRP 本来の性能を損なうことなく、「高速での衝撃を吸収しつつ壊れにくい」という特性を、CFRP に付与することができた。同社はヨネックス株式会社と共同で、MINOLON シートを CFRP に複合化したテニスラケットを開発し、1 月中旬からヨネックス株式会社より販売された。

※以下、画像はすべて興和提供



図1. ミノムシがつくる糸

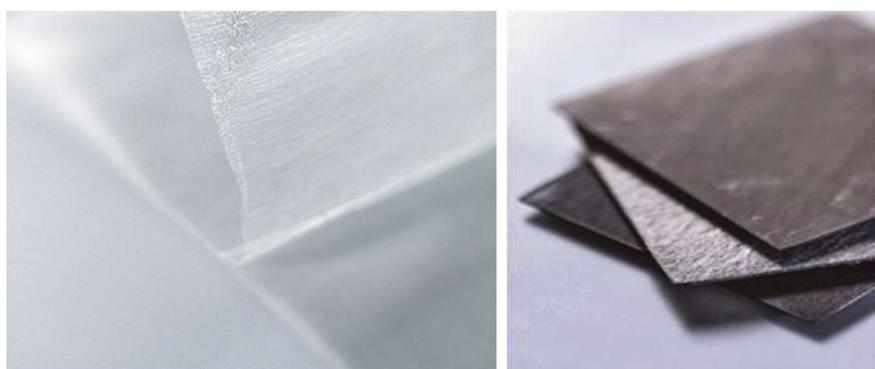


図2. MINOLON シートと MINOLON シート×CFRP

引用先：<https://minolon.com/>

引用先：<https://www.kowa.co.jp/news/2024/press241120.pdf>

【本技術の特長】

ミノムシ繊維は、ミノガの幼虫であるミノムシが吐く糸を素材化した繊維で、クモの糸よりも弾性率や破断強度、タフネスに優れていることが見出された。環境に優しく、持続可能社会に適した素材で、炭素繊維強化プラスチックとの複合により産業化を目指す動きがある。さらに樹脂との複合に向けた研究も進めている。ミノムシ繊維の特長は以下のとおり。

- ① ミノムシの吐く糸は、これまでの知見で最強と言われていたクモの糸よりも、弾性率、破断強度、およびタフネスのすべてにおいて上回った。
- ② ミノムシ繊維は、高い秩序性を持つ階層構造により、強く高タフネスで、構造材料として理想的な外力への応答性と、熱にも比較的高い安定性を持つ。
- ③ ミノムシの人工繁殖方法や大量飼育方法が可能となる技術を確立した。
- ④ ミノムシの生態学的な研究を通して、効率的な MINOLON シートの製造方法を確立した。
- ⑤ MINOLON シートと CFRP との複合により、CFRP 本来の性能を損なわずに、高速での衝撃を吸収しつつ壊れにくいという特性を付与できた。
- ⑥ 研究段階ではあるが、ミノムシ繊維を樹脂と複合させることで、樹脂の伸度を維持しつつ強度、弾性率を上昇させ、高いタフネス性を示すことができた。
- ⑦ ミノムシ繊維は、CFRP や樹脂、他素材との複合化により、自動車や航空機の部材・部品、スポーツ用品、防弾チョッキなどへの展開が期待される。

【ミノムシの生態】

ミノムシは、チョウ目 (Lepidoptera) ミノガ科 (Psychidae) に属する蛾の幼虫の総称である。通常は葉片や枝片を糸で絡めた紡錘形または円筒形の巢 (ミノ) の中に潜み、摂食の際にもミノごと移動する等、全幼虫期をミノと共に生活することが知られている。ミノムシは極地や砂漠をのぞいて全動物地理区に広く分布し、世界では約 1000 種、日本では約 50 種が生息している。日本国内に生息している代表的な種としてオオミノガ (*Eumeta variegata*) が知られている。

【ミノムシに注目した理由】

産業利用されている天然繊維の一つとして絹糸があるが、絹糸はカイコの繭から得られる長繊維である。その繭は、カイコの一生 (約2か月) のうち、蛹 (さなぎ) になる直前の2~3日間の限られた期間につくられる。繊維として利用する際には、繭の中のさなぎを殺処分する必要がある。一方、ミノムシは生まれてすぐに糸を吐き始め、幼虫の期間は常に糸を吐き続ける。そのため、飼育しながら繊維を採取することができる。さらに、オオミノガから採取されるミノムシ繊維が、天然繊維で最強といわれるクモの糸を上回る繊維物性 (弾性率、破断強度、タフネス) であることも大きな理由の一つである (表1)。

表1. ミノムシ繊維物性値比較

	弾性率 (GPa)	破断強度 (GPa)	ひずみ (%)	タフネス (MJ/m <sup>2</sup> )
ミノムシ繊維 (オオミノガ幼虫)	28.1 (±2.1)	2.0 (±0.2)	32 (±3)	364.0 (±44.1)
クモの糸 (ジョロウグモ)	8.13	0.9	26	139.7

引用先：<https://minolon.com/bagworm-fiber>

引用先：Taiyo Yoshioka, Takuya Tsubota, Kohji Tashiro, Akiya Jouraku & Tsunenori Kameda  
"A Study of the extraordinarily strong and tough silk produced by bagworms"  
NATURE COMMUNICATIONS(2019) 10:1469

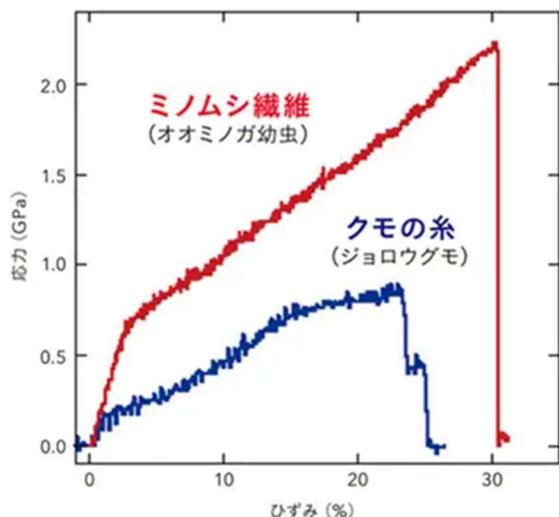


図3. ミノムシ繊維とクモの糸の物性比較グラフ

引用先：Taiyo Yoshioka, Takuya Tsubota, Kohji Tashiro, Akiya Jouraku & Tsunenori Kameda  
"A Study of the extraordinarily strong and tough silk produced by bagworms"  
NATURE COMMUNICATIONS(2019) 10:1469

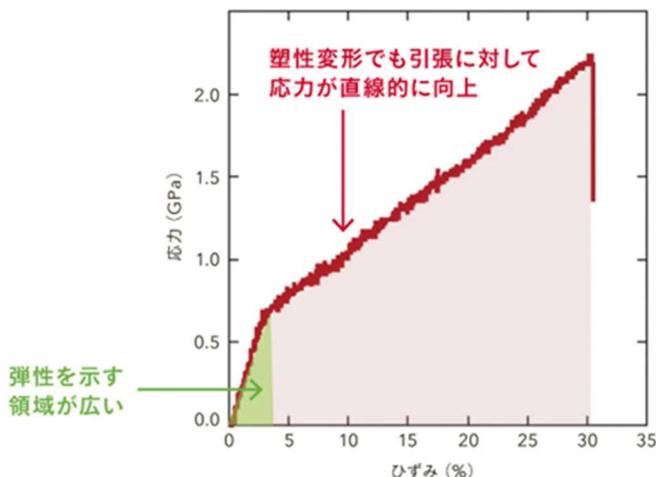


図4. ミノムシ繊維の物性グラフ

### 【ミノムシ繊維の構造】

ミノムシ繊維は、カイコシルクと同様にフィブロインとセリシンという2つのタンパク質から構成される。フィブロインが内側にあり、覆うようにセリシンが外側にある構造で、カイコシルクはセリシンを取り除く工程（精練）を経て衣料品などに加工される。ミノムシ繊維においても精練をすることでセリシンを除去できることが明らかになっている（図5）。

#### 弾性率：

繊維の変形のしにくさを表す物性値。応力ひずみ曲線の初期勾配の傾き（応力/ひずみ）で与えられる。

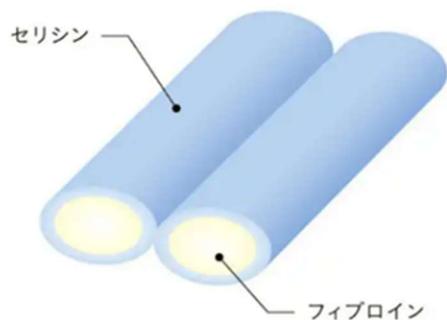
#### 破断強度：

繊維を破断させるために必要な引張荷重または力を原断面積で除した値（応力）。

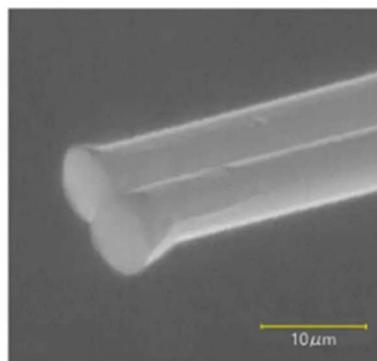
#### タフネス：

応力ひずみ曲線の積分値。繊維が破断するまでに吸収するエネルギーに相当する。丈夫さの指標として用いられ、値が高い程粘り強く丈夫であることを示す。タフネスは変形を伴いながらどれだけエネルギーを吸収できるかを示すので、弱くてもよく伸びるゴムのような性質であれば値は高くなる（図4）。

ミノムシ繊維は、構造材料として極めてバランスの取れた理想的な特性といえる。また、塑性変形領域においても引張に対して応力が直線的に向上するという特長を持つことなどから、ミノムシ繊維は、構造材料として有望な候補であり、新たな工業用繊維として利用が期待される。



ミノムシ繊維断面のイメージ図



SEM (走査電子顕微鏡) にて撮影

図5. ミノムシ繊維の構造

引用先：<https://minolon.com/bagworm-fiber>

### 【製品化の取り組み】

ミノムシ繊維の製品化に向けて、安定生産、安定品質が課題である。まず、素材原料の確保が重要である。野生のミノムシは、天敵が多い自然の中で季節や生息地といった環境の影響を受けながら、1年間で1世代を終えるライフサイクルを繰り返す。同社は、2017年の春よりミノムシ繊維を産業利用するため農研機構<sup>(注)</sup>と共に人工飼育に向けた研究を続けてきた。現在、室内で大量のミノムシを短期間で効率的に飼育できるようになり、産業利用への可能性を見出した。さらに、ミノムシと環境への負荷を最小限に抑える工程開発に取り組み、持続可能な製造プロセスの実現を目指している。

なお、ミノムシから長繊維を採糸する基本技術の特許は共同で出願済(出願番号：特願 2023-147271)。

(注) 農研機構：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
(National Agriculture and Food Research Organization(NARO))

### 【MINOLON シートの開発】

ミノムシ繊維の素材を活かした多種多様な製品の中で、薄いシートは有力な製品分野である。なかでも、ミノムシ自身が作り出す天然の接着成分によって、ランダムに重なったミノムシ繊維同士が接合され、一見不織布のようでありながら、受けた力を広範囲に分散できる構造であることがわかった。MINOLON シートと様々な既存素材との組み合わせにより、既存素材単独では到達できない特徴的な性能が発揮されることが明らかになった。

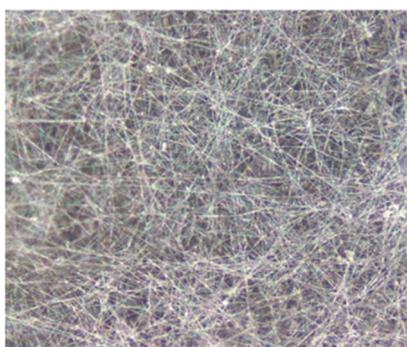


図6. MINOLON シートの構造

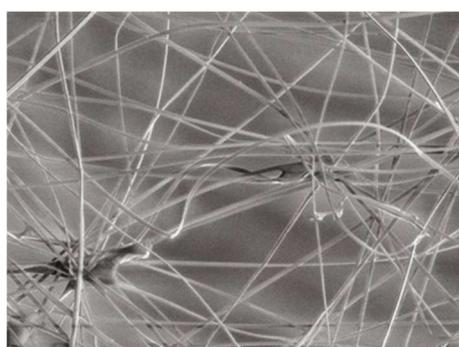


図7. MINOLON シートの構造 (拡大)

【CFRP との複合シートの開発】

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、軽さと強度を兼ね備えることが要求される製品に広く使用されている。このCFRPにMINOLONシートを複合することで、CFRPの特性を維持したまま、衝撃吸収性やタフネス性を付与できることが明らかになった（図8）。また、「CFRPのリサイクル」の観点からも、有効性を示すデータが得られつつあり、今後の展開が期待される。

高速衝撃条件下の衝撃試験（10m/秒）において、MINOLONシート複合CFRPは、初期弾性率、タフネス性（破壊強度、破壊変位）に影響を与えることが示された（図9）。CFRP単体とMINOLONシート複合CFRPを比較すると、初期弾性率の低下、破壊強度（試験力）の上昇、破壊変位（変位）の上昇が認められた。MINOLONシートを複合することで、強い衝撃を吸収しつつ壊れにくいという特性を、CFRPに付与できることが明らかになった（表2）。

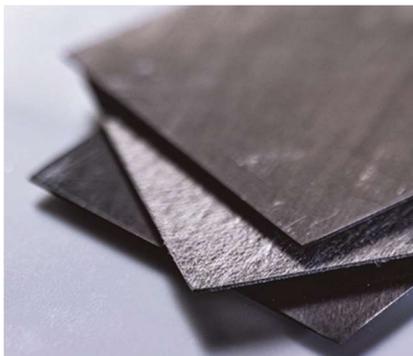


図8. MINOLONシート × CFRP

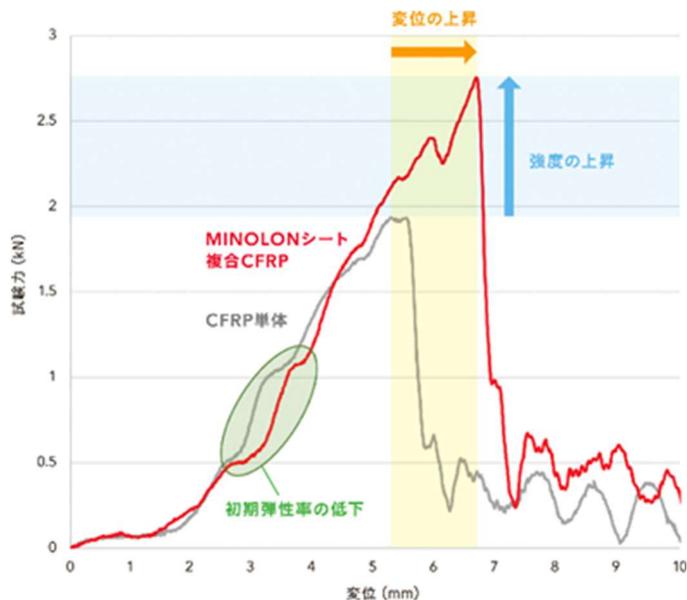


図9. 高速衝撃環境における衝撃試験結果のグラフ

表2. MINOLONシート複合CFRP強度特性

試験名	項目	CFRP単体	MINOLONシート複合CFRP
3点曲げ試験 JIS K 7074準拠	曲げ破断強度 (MPa)	1789.1	1830.8
	曲げ弾性率 (GPa)	123.6	127.4
層間せん断強度 (ILSS) JIS K 7078準拠	せん断強度 (MPa)	77.2	75.7
シャルピー衝撃試験 JIS K 7077準拠	シャルピー衝撃値 (KJ/m)	104.7	106.8

引用先：<https://minolon.com/material>

【ミノムシ繊維と樹脂との複合研究】

繊維強化プラスチック（FRP：Fiber Reinforced Plastics）は、プラスチック原料に繊維を複合することで物性や耐性を強化したものだ。短繊維化したミノムシ繊維を、生分解性を有する樹脂に複合したFRPであるミノムシ繊維FRPと各種プラスチックとのタフネス比較を図10に示した。カイコシルクFRPでは強度（試

## 【有望技術紹介 No.110】

験力)、弾性率が上昇し、伸度(変位)は低下した。ミノムシ繊維 FRP は、生分解性プラスチック単独と比較して、伸度(変位)は同程度を維持しながらも、強度(試験力)、弾性率が上昇し、高いタフネス性を示した。このようにミノムシ繊維 FRP は、既存の FRP では到達できなかった新たな製品開発への展開が期待される。

### 【環境に優しいミノムシ繊維】

プラスチック製品は分解に長い時間を要し、分解してもマイクロプラスチックとなってヒトを含む生体に悪影響を及ぼす可能性が指摘されている。特に、海洋に流れ込んだプラスチックは海洋生物にとって大きな脅威となっている。また、プラスチック製品の製造には石油や天然ガスなどの化石燃料が必要であり、その生産過程や廃棄物処理において二酸化炭素の排出量が増加する懸念もある。そのため、環境負荷の少ない素材が強く求められている。

ミノムシ繊維は優れた繊維物性を持ちながら、天然に存在するアミノ酸のみで構成されていることから、海洋環境で行われた糸の崩壊試験では、2か月後にはほとんどが崩壊し、3か月後には完全に消失することが確認された(図11)。また、プラスチックは崩壊後速やかに水と二酸化炭素まで分解されることが求められている。

ミノムシシルクは、海洋環境下で分解が進み90日間で評価したところ、ミノムシ繊維はPET(ポリエチレンテレフタレート)と比べ生分解が進んでおり、セルロースと同様な生分解の傾向であることが示された(図12)。

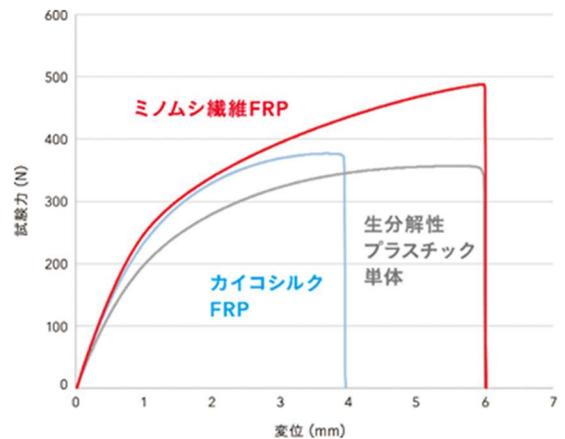


図10. ミノムシ繊維FRPの伸度(変位)と強度(試験力)の評価グラフ

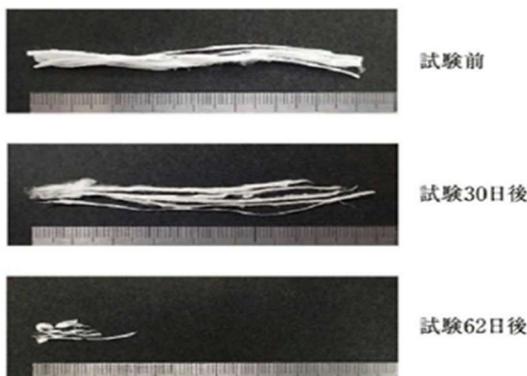


図11. 海洋環境下での崩壊試験  
(ミノムシ繊維の外観)

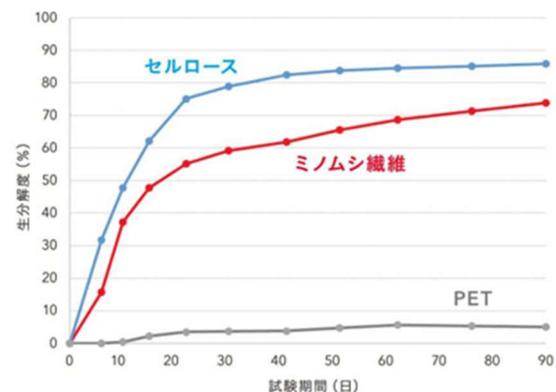


図12. 海洋環境下でのミノムシ繊維の分解試験結果

引用先：<https://minolon.com/bagworm-fiber>

専門家による目利きコメント

ミノムシ繊維はクモの糸にも劣らない高強度で製造工程でも二酸化炭素をほとんど排出せず、生分解性を持つ環境に優しい素材である。既存の繊維にとってかわる新たな素材の可能性を秘めている。ミノムシ数百万頭を屋内で1年中育てて、糸を思うように吐かせる技術も確立したようだ。

お問い合わせ

興和株式会社 未来事業企画室

〒103-8433 東京都中央区日本橋本町 3-4-14

HP : <https://minolon.com/contact>