

## 2023年に注目すべき技術

### (1) 菌糸体—多岐にわたるアプリケーション—

三井物産戦略研究所 技術・イノベーション情報部 インダストリーイノベーション室 野崎 駿介

#### 菌糸体とは

キノコから放出された胞子は適当な条件下で発芽し菌糸となる。菌糸は、周囲にある有機物などを栄養分として取り込み生長し、それが束になったものを菌糸体という（図表1）。

近年では、菌糸体を工業的に大量に培養し、食品、アパレル、包装材料など幅広いさまざまなアプリケーションに用いることが検討されている。スタートアップが資金を調達するなど、菌糸体を利用した市場において企業の動きは活発化してきている。菌糸体の世界市場は24.8億ドル（2020年）から38.4億ドル（2026年）となり年平均成長率7.7%で成長すると予測されている<sup>1</sup>。

注目されている理由としては、菌糸体が生分解性であり、その培養には発酵技術が活用されていることが挙げられる。生分解性であれば、プラスチック代替材料として使うことで近年注目されているサーキュラーエコノミーに貢献できる。発酵とは物質が微生物（カビ、酵母や細菌）の働きにより人間にとって有益に変化することであり、ワインや日本酒といった食品の製造に使われてきた。工業的に確立されている発酵技術に関しては技術的知見が蓄積しており、本稿で取り上げる新しい事例においてもスケールアップは比較的容易と考えられる点も魅力だ。

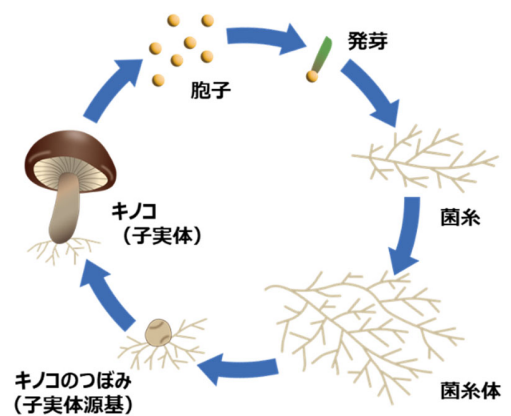
#### 有望な活用分野

##### (1) マイコプロテイン

マイコプロテインとは、菌類を利用し発酵により得られる食用の菌糸体である。近年、植物性タンパク食品が環境負荷やアニマルウェルフェアといったエシカル消費の観点から注目を集めているが、その一方で、風味をより本物の肉へ近づけるためには多くの添加物が必要とされる。添加物をなるべく減らして自然な食品を食べたいというニーズに応え得る商品の開発のためにマイコプロテインに注目が集まっている。

菌糸体は繊維が絡み合っているために大豆などの一般的な植物性タンパクの素材よりは歯応えがあり、食感を肉に近づけることができる。さらに、キノコ類が持つうま味成分が植物性タンパク食品の風味改善

図表1 キノコの生活環



出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

<sup>1</sup> Mycelium Market - A Global and Regional Analysis (<https://bisresearch.com/industry-report/mycelium-market.html>)

に貢献すると期待されている。

マイコプロテインを利用した食品としてよく知られているのは（英）Quorn Foodsの製品で、同社は1985年から販売を開始し、現在では年間約4万トンの生産能力を持つ。図表2に挙げた同社製品は魚肉ソーセージのような食感でありうま味を感じることができるという。同社は製品のカーボンフットプリントを発表しており、牛肉が32kg CO<sub>2</sub>e/kg<sup>2</sup>、豚肉が11kg CO<sub>2</sub>e/kgに対し、同社のマイコプロテインは0.79kg CO<sub>2</sub>e/kgであり<sup>3</sup>環境にもやさしいタンパク質であるといえよう。

先行していた同社の基本特許は2010年に切れたため後発企業の参入が見られる。有望なスタートアップとしては、（米）MyForest Foodsがある。同社はマイコプロテインにより作られたベーコン（図表3）を開発しており、添加物が少ない点をアピールしている。例えば、原材料としては菌糸体、塩、ココナツオイル、砂糖、天然香料、ビート濃縮液の6種類が記載されており、健康志向の消費者を意識していると考えられる。また、2021年には（スウェーデン）Mycorenaが菌類を利用して動物性の脂肪と類似する脂肪の開発に成功するなど<sup>4</sup>、タンパク質以外の素材に展開できる可能性も高い。2022年11月には、上述のQuorn Foods、Mycorenaなどのスタートアップや、代替タンパクを推進するNPOであるProVeg InternationalやGood Food Instituteを中心に菌類タンパク質協会（Fungi Protein Association）が発足し、マイコプロテインについて消費者調査等を行っている。このように海外では企業の活動も活発化しており、今後の動向に注目が集まる。国内では、筑波大学の萩原大祐准教授が、日本の国菌である麹菌を使ったマイコプロテインの研究開発を行っている<sup>5</sup>。麹菌は、日本では味噌や醤油などの醸造に使われており、伝統的な麹菌を使った新たな食品が日本から生まれることを期待したい。

## (2) 皮革代替

皮革生産における課題として、家畜の飼育による温室効果ガスの発生や、なめし、仕上げの工程における環境へ悪影響を与え得る化学物質の使用、労働者の安全性などがある。このような課題を解決する手段の一つとして、菌糸体を活用した皮革代替品の利用がある。

図表2 Quorn Foods社製品Meatless Roast (左：外観 右：中身)



出所：三井物産戦略研究所撮影

図表3 MyForest Foods社製品MyBacon (左：外観 右：中身)



出所：三井物産戦略研究所撮影

<sup>2</sup> Kg CO<sub>2</sub>e/kgは最終製品1kgを製造するために排出される温室効果ガスの量を示す単位である。温室効果ガスにはいくつかの種類があるため二酸化炭素を基準とした数値にしている。

<sup>3</sup> Quorn Footprint Comparison Report 2022 (<https://www.quorn.co.uk/assets/files/content/Carbon-Trust-Comparison-Report-2022.pdf>)

<sup>4</sup> <https://mycorena.com/mycotalks/mycorena-cracking-the-code-of-the-worlds-first-fungi-based-fat-ingredient>

<sup>5</sup> [https://www.life.tsukuba.ac.jp/laboratory/lab\\_hagiwara\\_20220215/](https://www.life.tsukuba.ac.jp/laboratory/lab_hagiwara_20220215/)

菌糸体は、温度や、生長に必要な栄養分といった環境を制御された状態で生育された後、マット状に圧縮され、その後実際の皮革のように加工される。

(米) Bolt Threadsは、菌糸体からMyloという皮革代替素材を開発した。Myloに使われる菌糸体は再生可能エネルギーで稼働する垂直農業型の設備で生産され、2週間という短期間で収穫される<sup>6</sup>。生産規模の拡大に関しては(蘭) Mycelium Materials Europeと提携した。最終製品としては、Adidas、Lululemon、土屋鞆製造所(図表4)などの企業に採用されている。

また、菌糸体は、生育条件を変えることでさまざまな質感の素材とすることができる。(米) MycoWorksは、菌糸体の培養に農業廃棄物のトウモロコシの皮などを使いReishiと呼ばれる素材を開発している。同社が素材開発に用いているFine Mycelium技術は、生育条件により菌糸の生長方向を制御することが可能であり、牛革と同程度の強度や耐久性を実現している<sup>7</sup>。同社は2021年には高級ブランドであるHermèsとの、2022年10月にはGM Venturesとの提携を発表している。今後バッグから自動車の内装品などまで、幅広く同社の素材が検討される見込みだ。

### (3) その他(包装/建築材料)

菌糸体は、繊維が絡み合って構成されており、その繊維の絡み具合を制御することで多孔質の構造体を作ることができる。空気を多く含むため、軽量であるうえ衝撃性のほか吸音性や断熱性に優れており、包装材料や建築材料としての役割が期待されている。

(米) Ecovative Designは、発泡ポリスチレンなどの代替素材として菌糸体からなるパッケージ素材を提供している(図表5左)。同社は固体発酵と呼ばれる発酵方法を採用し、トレイの中で菌糸体を培養(図表5右)、垂直方向に積み重ね生産するAirMyceliumという技術を開発した。生産能力は年間4万トンになるとみられている。

図表4 代替皮革Myloを採用した土屋鞆製造所の製品



出所: 土屋鞆製造所 (<https://tsuchiya-kaban.jp/products/mylo-l-zip-purse>) (2022年12月19日閲覧)

図表5 Ecovative Design社が開発した菌糸体を利用したパッケージ(左)とAirMycelium技術により培養された菌糸体(右)



出所: Ecovative Design (<https://www.ecovative.com/pages/packaging>, <https://www.ecovative.com/pages/airmycelium>) (2022年12月20日閲覧)

<sup>6</sup> <https://www.mylo-unleather.com/>

<sup>7</sup> <https://www.madewithreishi.com/stories/performance-results-q120>

同社は企業へのライセンス供与を通じて、菌糸体のパッケージ素材を広めている。さらに、同社の技術は応用の幅が広い点も興味深い。同様の技術により Forager という皮革代替の素材開発も行っているほか、マイコプロテインの開発にも応用されている。先述した MyForest Foods は同社のスピンアウトである。

(伊) Mogu は、他に用途がなくなった農業廃棄物を利用して培養した菌糸体からなる、吸音性を持つ音響パネルとして販売している (図表6)。人の声の音域と重なる中音域 (250Hz~1,000Hz) において優れた吸音性を発揮するため、レストランや大人数が入るオフィスなどの場所での使用を想定している。菌糸体は燃焼が広がる速度が遅いため難燃性がある<sup>8</sup>点もこのようなアプリケーションにとっては優位となるだろう。

図表7に上述の内容を含め菌糸体が活用されている分野とその概要、参入企業例を整理した。

図表7 菌糸体が活用される分野の概要と参入企業例

分野	概要	企業例
マイコプロテイン	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 菌糸体由来の食用タンパク質。</li> <li>● 高タンパクかつ菌糸体の繊維の絡み合いにより食感を本物の肉に近づけることができる。</li> </ul>	(米) MyForest Foods、(英) Quorn Foods、(米) MycoTechnology、(独) Mushlabs、(英) ENOUGH、(米) Nature's Fynd、(米) The Better Meat Co.、(米) Meati Foods、(蘭) The Protein Brewery、(スウェーデン) Mycorena、(米) Prime Roots、(イスラエル) Kinoko-Tech、(スペイン) Innomy、(米) Sincarne、(メキシコ) Eternal
皮革代替	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生長した菌糸体を押し固め、マット状に加工して得られる。</li> <li>● 生育条件を制御することで質感の調整が可能。</li> </ul>	(米) Bolt Threads、(米) MycoWorks、(伊) Mogu、(米) Ecovative Design
その他 (包装/建築材料)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● プラスチック代替を目的に生分解性の包装材として使用される。</li> <li>● 繊維が絡み合っており、空気を多く含むため、吸音材や断熱材として使用される。</li> </ul>	(米) Ecovative Design、(英) Biohm、(伊) Mogu、(仏) Embelium、(英) Magical Mushroom company、(スイス) Mycrobez

出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

図表6 Mogu社が販売する吸音性を持つ音響パネル



出所：Mogu (<https://mogu.bio/acoustic-collection/acoustic-palette/>) (2022年12月19日閲覧)

## 今後の展望

今後の展望としては以下が挙げられる。マイコプロテインは、その素材自体が持つうま味や食感を活かし植物性タンパク食品の風味を改善するために展開されるだろう。また近年になって遺伝子編集などの技術が急速に進んでいることから、そのような技術を使った菌類自体の開発も進むと考えられる。課題とし

<sup>8</sup> <https://mogu.bio/acoustic-catalogue-2022/>

---

ては、原材料として使われる農業廃棄物を安定的かつ安価に収集できるサプライチェーン確立がある。

### (1) 植物性タンパク食品の風味改善

食品分野では、植物性タンパク食品市場の広がりに伴いマイコプロテインの市場も大きく成長すると考えられる。植物性タンパク食品は、風味や食感などの改善が今後さらに求められると考えられている。そのために添加物等が使われる一方で、健康を意識した消費者からは添加物などは減らしたいというニーズがある。そのような課題を改善する手段として菌糸体の利用は有望だろう。

### (2) 新たな菌類の開発

現在のところは実績のある菌糸体の利用が中心だが、今後は遺伝子編集などの新たな技術を駆使して、必要とされる機能を持つ菌類の開発が進むだろう。それにより、菌糸体の生育期間の短縮化や栄養成分や風味の大幅な改善が期待され、本稿で紹介したようなアプリケーションへの導入がより積極的に進むと考えられる。現状では高級品から導入されている菌糸体由来の皮革がより一般的に展開され、また、安価でかつ風味等の観点からもより消費者が受け入れやすいマイコプロテインの開発も進むであろう。

### (3) 課題としてのサプライチェーン確立

菌糸体に関して、農業廃棄物などのバイオマスを利用することができる点や生分解性の材料である点はサーキュラーエコノミーの観点からも魅力だ。しかし、社会実装が進み生産規模が拡大していけば、安定的かつ低コストに農業廃棄物を収集する必要があるが出てくる。このようなサプライチェーンの確立が将来的な課題となると考えられる。

# 「菌糸体」に関する知財レポート

三井物産戦略研究所 技術・イノベーション情報部 知的財産室 松浦 由依

本稿では、「2023年に注目すべき技術」で取り上げた「菌糸体」について知財の国際動向を調査・分析しレポートする。すべての調査・分析はPatSnap社が提供するグローバル特許検索・分析ツールであるPatSnap Analyticsおよび各種技術情報検索ツールであるPatSnap Discoveryを利用して実施した。各種データの取得日は2022年12月5日である。

## 各図表の見方

### 【図表1】 関連特許の出願動向

縦軸は特許ファミリー件数、横軸は出願年であり、2006年から2022年の年ごとの出願件数推移を示している。特許ファミリーとは、同一の特許出願に由来して各国へ出願された一群の出願グループを指す。たとえば、米国にした特許出願を中国にも出願した場合、これらは2件の特許出願としてカウントせず、1件の特許ファミリーとしてカウントしている。

特許出願は、原則として出願日から1年6月経過後に公開される。そのため2023年1月現在、2021年以降の特許出願の一部は公開されていない。しかし、本レポートの性質上、最新の特許出願状況を参照することが好ましいと考え、2021年以降の特許出願件数については予測値として掲載している。

### 【図表2】 出願人の国 上位ランキング

2003年から2022年までの特許出願につき、どの国の出願人が何件出願しているか、すなわち発明の出所（国）のランキングを示している。バブルの大きさは出願件数に比例する。

### 【図表3】 特許権者 上位ランキング

2003年から2022年までの特許出願につき、現在有効な特許を所有する上位特許権者のランキングを示している。

# 菌糸体

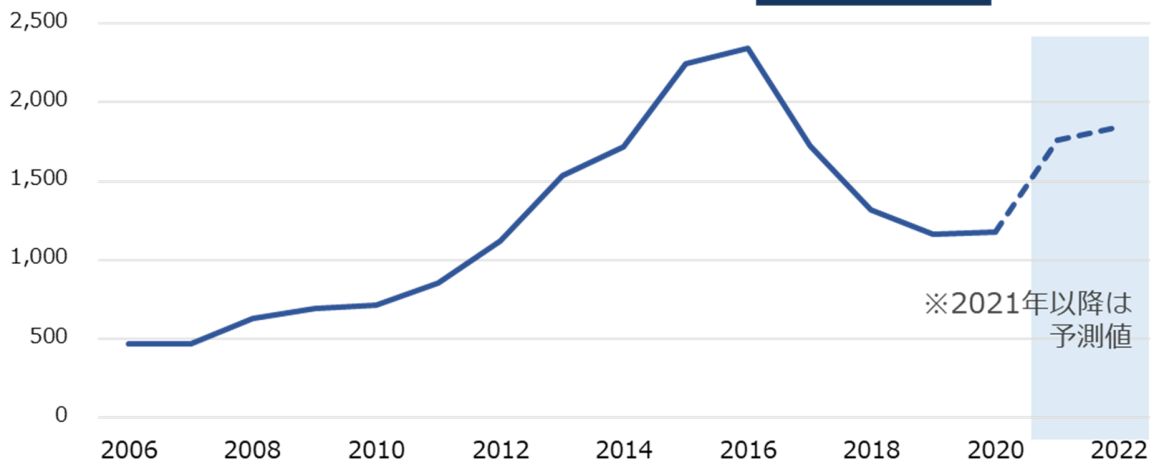
2023/01

【図表1】 菌糸体関連特許の出願動向

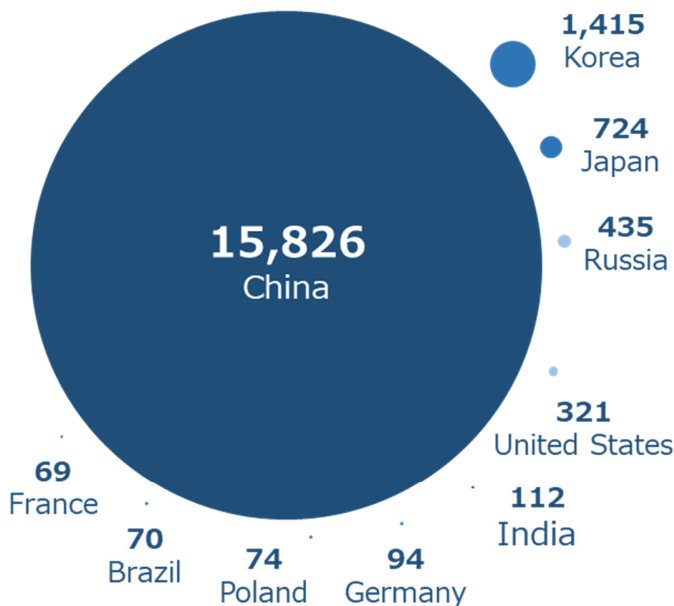
全出願件数 (2003-2022)

**20,985**

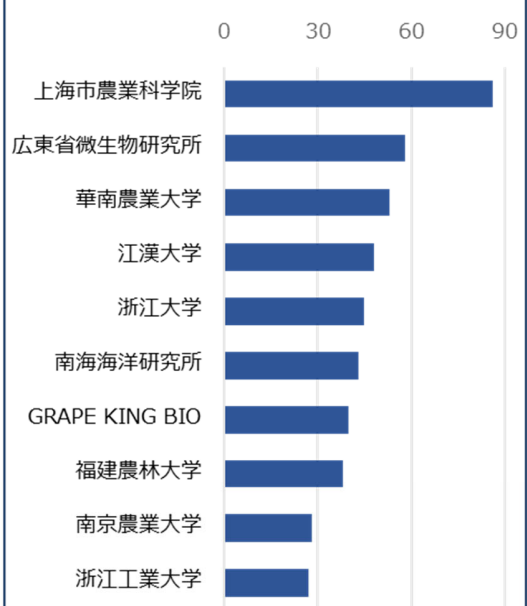
特許ファミリ



【図表2】 出願人の国 Top 10



【図表3】 特許権者 Top 10



学術論文件数  
(2017-2022)

**7,816**

資金調達額  
(2017-2022)

**524M (USD)**

---

➡ 「2023年に注目すべき技術」（フルレポート）はこちら

-----  
当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。

