



# 次世代の食料生産技術「精密発酵」とは —業界団結で加速する市場開発—

2024/02/13

三井物産戦略研究所  
技術イノベーション情報部コンシューマーイノベーション室  
澤野 健史

## Summary

- 「精密発酵」は、特定の遺伝子を挿入した微生物の発酵を利用して、タンパク質や脂質などといった目的とする食品成分を生成する技術で、食料危機や環境問題に対応する新たな食品生産技術として注目されている。
- 現状では主に、ヴィーガン向けのアニマルフリー乳製品や植物性代替肉の風味改善成分としての活用が進む。また、高価な動物由来の高付加価値成分を効率的に生産する取り組みも開始されている。
- 各国の規制、消費者の受容性などに課題はあるが、業界団体の設立や大手企業との連携、リーディングカンパニーの活発な動きにより、市場形成に向けて進み始めている。

## 1. 食料危機と環境問題を背景に注目が集まる「精密発酵」

精密発酵とは、特定の遺伝子を挿入した微生物の発酵を利用して目的とする食品成分（タンパク質、脂質、香料、甘味料、機能性成分など）を生成する技術<sup>1</sup>である（図表1）。

2050年の世界の食料需要量は2010年比で1.7倍に、特に畜産物（動物性タンパク質）は1.8倍に増加することが予測されており<sup>2</sup>、食料需給バランスの崩壊が危惧されている。また、現行の畜産業は、膨大なエネルギー・土地・水を利用し、温室効果ガスの排出源となっている。このような背景の下、低環境負荷の新しい食料生産技術による食料増産が求められており、これを実現する技術として精密発酵が注目を集めている。

米国シンクタンクThe Good Food Institute (GFI) のレポート<sup>3</sup>によると、精密発酵に関わるプレーヤー数は2022年時点で2018年の4.4倍の62社に急増している。それに伴って投資金額も順調に伸びており、累計（2013-2022）で約20億米ドルにのぼる（図表2）。

1 遺伝子組み換え微生物は後の抽出工程で完全に除去されるため、米国においては原則、遺伝子組み換え食品には当たらないと判断されている。

2 農林水産省「2050年における世界の食料需給見通し」[https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j\\_zyukyu\\_mitosi/attach/pdf/index-12.pdf](https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_mitosi/attach/pdf/index-12.pdf)  
（最終アクセス日：2024年1月29日、以降の脚注および図表のリンク先は全て同様）

3 GFI “Fermentation, 2022 State of the Industry Report”,  
<https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/2022-Fermentation-State-of-the-Industry-Report-1.pdf>

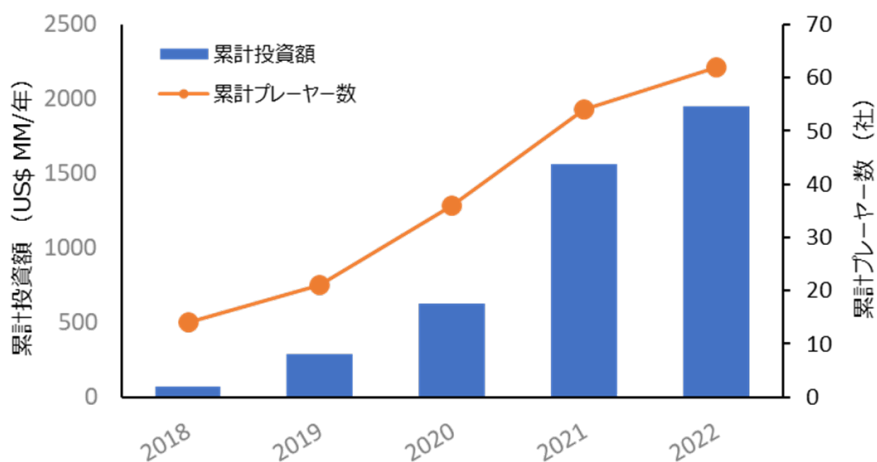
図表1 精密発酵食品の生産プロセス



(出所) Change Foodsウェブサイトから三井物産戦略研究所作成

<https://www.changefoods.com/blog/precision-fermentation-and-sustainable-animal-free-dairy/>

図表2 精密発酵領域のプレーヤー数・投資額推移



(出所) Good Food Institute “2022 Fermentation State of the Industry Report”から三井物産戦略研究所作成

<https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/State-of-the-Industry-Report-Fermentation-2022.pdf>

## 2. 精密発酵の活用事例

精密発酵は、主にヴィーガン向け食品での活用が進んでいる。また最近では、高付加価値成分の生成における活用も始まっている。具体的事例を以下に記す。

### 2-1. アニマルフリー乳製品

酪農による生乳生産は、水の使用量、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量が問題となっている。

(米) Perfect Dayは、遺伝子改変を行った糸状菌を用いた乳ホエイタンパク ( $\beta$ -ラクトグロブリン) を開発し、元子会社の (米) The Urgent Companyや大手食品企業とのコラボレーションにより、多数のアニマルフリー乳製品 (ミルク・クリームチーズ・アイスクリーム等) を上市している (図表3)。同社のラ

ライフサイクルアセスメント結果によると、このホエイタンパクを用いることで、従来の生乳と比較して、水の使用量を96-99%、エネルギー需要量を29-60%、温室効果ガスの排出を最大97%削減することができる<sup>4</sup>。

図表3 (米) Perfect Dayの精密発酵由来の乳ホエイタンパクを用いたアニマルフリー乳製品



(出所) IFT FIRST Annual Event & Expo (July 16 – 19, 2023) にて筆者撮影

## 2-2. 植物性代替肉での畜肉の風味・ジューシーさの再現

欧米を中心に、ヴィーガンに加えてフレキシタリアン<sup>5</sup>人口が増加し、植物性代替食品市場が拡大している。しかし、動物性食品を植物性原料のみで完全に模倣することは困難である。特に植物性代替肉については消費者の味に対する満足度が低く、畜肉特有の風味や食感、ジューシーさなどを再現することが大きな課題として挙げられる。(米) Motif FoodWorksは、遺伝子改変を行った酵母を用いた、食肉の風味成分である牛ミオグロビンタンパク (HEMAMI™) を開発し、植物性代替肉向けの食品添加物として販売している。2023年5月、HEMAMI™と食感・ジューシーさを改善する代替脂質APPETEX™を配合したフードサービス向けの植物性パティ (図表4) の上市を発表し、業界での存在感を強め始めている<sup>6</sup>。

図表4 (米) Motif FoodWorksが上市した植物性パティのラインナップ



(出所) Motif Foodworksウェブサイト <https://madewithmotif.com/products/finished-products/>

4 Perfect Day “The Life Cycle of Our Non Animal Protein” <https://perfectday.com/blog/life-cycle-assessment-of-perfect-day-protein/>  
 5 フレキシブル+ベジタリアンの造語。基本的には植物性食品を食べるが、時に肉や魚などの動物性食品も食べる柔軟なベジタリアン。  
 6 PR Newswire “Motif FoodWorks Launches Plant-Based, Finished Format Portfolio at the National Restaurant Association (NRA) Show” <https://www.prnewswire.com/news-releases/motif-foodworks-launches-plant-based-finished-format-portfolio-at-the-national-restaurant-association-nra-show-301819734.html>

### 2-3. 動物性の高付加価値成分を効率的に生産

乳製品・植物性代替肉などのコモディティ化に向けた精密発酵技術の活用が進む一方で、そのマネタイズには課題が残る。(星) Turtle Treeは、遺伝子改変を行った糸状菌を用いたラクトフェリン(牛乳由来生理活性糖タンパク)生産に成功しており、機能性食品原料としての展開を目指す。2023年11月には米国で自己認証型GRAS<sup>7</sup>を取得しており、2024年中に同国で上市する見込みである。ラクトフェリンには腸内環境の改善<sup>8</sup>、内臓脂肪の低減<sup>9</sup>などの作用があり、日本でも機能性表示食品として販売されている。しかし、牛乳1リットルあたり100ミリグラム以下しか得られず、抽出工程が煩雑なため高価である。同社は、牛乳由来のラクトフェリンと機能的に遜色ないものを効率的に生産することが可能だとしている<sup>10</sup>。

図表5 精密発酵領域における主要プレーヤー(※太字は本文中に登場する企業)

カテゴリー	(国) 会社名			主要ターゲット	最終用途
	米国	欧州	APAC		
タンパク質	<b>(米) Perfect Day</b>			β-ラクトグロブリン (乳ホエイタンパク)	乳製品
	(イスラエル) Remilk				
	(蘭) Vivici (Founded by DSM and Fonterra)				
	(イスラエル) Imagindairy				
	(印) Zero Cow Factory			A2βカゼイン	
	<b>(米) New Culture</b>			カゼイン	チーズ
	(独) Formo				
	(英) Better Dairy				
	(米) Change Foods				
	(米) The EVERY Co.			オボムコイド (卵白タンパク)	卵製品
	(フィンランド) Onego Bio			オボアルブミン (卵白タンパク)	
	<b>(星) TurtleTree</b>			牛ラクトフェリン (牛乳由来生理活性糖タンパク)	サプリメント

7 Generally Recognized As Safeの略称。米国において食経験がないものを販売する際、直接FDAに届出を行うFDA型GRASか、専門家と事業者が自主的に安全性を評価する自己認証型GRASのどちらかが必要。

8 上崎聖子他「ラクトフェリン含有食品が健全な成人の免疫グロブリンA分泌能、腸内環境および睡眠感に与える影響—無作為化プラセボ対照二重盲検比較試験」Jpn Pharmacol Ther (薬理と治療) vol. 44 no. 9 2016

9 Tomoji Ono, Michiaki Murakoshi, ..., & Hoyoku Nishino "Potent anti-obesity effect of enteric-coated lactoferrin: decrease in visceral fat accumulation in Japanese men and women with abdominal obesity after 8-week administration of enteric-coated lactoferrin tablets" British Journal of Nutrition. 2010-08-09Dec, 104(11), 1688-95

10 PLUG AND PLAY JAPAN 「Food & Beverage Report 2023 代替原料の課題と最新技術」  
[https://japan.pluginandplaytechcenter.com/ebooks/vr\\_foodbeverage2023/](https://japan.pluginandplaytechcenter.com/ebooks/vr_foodbeverage2023/)



	(米) Geltor	21 型コラーゲン	
	(米) Helaina	人ラクトフェリン (ヒト母乳由来生理活性糖タンパク)	人口母乳
香料	(米) Motif FoodWorks	牛ミオグロビン	植物代替肉
	(米) Impossible Foods	大豆レグヘモグロビン	
脂質	(米) C16 Biosciences	パーム油	乳製品
	(米) Yali Bio	動物性脂質	
甘味料	(米) ManusBio	Rebaudioside M	汎用
	(米) amyris	(ステビア由来の希少糖)	

(出所) 各種情報から三井物産戦略研究所作成

### 3. 注目される市場拡大に向けた業界動向

#### 3-1. 業界団体の設立～業界の統制と精密発酵食品の普及を推進～

2023年2月、米国を中心とした精密発酵スタートアップ9社による業界団体 Precision Fermentation Alliance (PFA) の設立が発表された<sup>11</sup>。PFAは、消費者への理解促進、バリューチェーン最適化、規制当局との連携、および官民パートナーシップの促進を設立目的として挙げており、米国における市場開発を加速させる思惑があるとみられる。またEUでも2023年3月、精密発酵スタートアップ5社による業界団体 Food Fermentation Europe (FFE) の設立が発表されている<sup>12</sup> (図表6)。FFEは、EUでの精密発酵における不透明な規制の再構築を主な設立目的の1つとして挙げている。現状、EUにおける食経験のない食品の販売は、煩雑な審査プロセスを経て事前承認を得る必要があり、規制が比較的寛容な米国よりもハードルが高い。精密発酵セクターへの投資が集中し、精密発酵食品がすでに複数上市されている米国に、これ以上の遅れを取りたくないという欧州サイドの焦りが見え隠れする。



<sup>11</sup> Business Wire “Food Tech Leaders Come Together to Form the Precision Fermentation Alliance to Champion a More Resilient and Sustainable Future”

<https://www.businesswire.com/news/home/20230216005362/en/Food-Tech-Leaders-Come-Together-to-Form-the-Precision-Fermentation-Alliance-to-Champion-a-More-Resilient-and-Sustainable-Future>

<sup>12</sup> Onego Bio “Food Fermentation Europe launches, calling on EU to speed up in global race on sustainable food innovation”

<https://www.onego.bio/press/our-news/food-fermentation-europe-launches-calling-on-eu-to-speed-up-in-global-race-on-sustainable-food-innovation>

図表6 各業界団体の加盟団体と設立目的

	Precision Fermentation Alliance (PFA)	Food Fermentation Europe (FFE)
参画企業		
ビジョン	<p>精密発酵領域のリーディングカンパニーが中心となり、世界で適応性が高く、持続可能な食品システムを実現するための信頼できるソリューションとして、精密発酵を推進する</p>	<p>欧州における精密発酵食品企業が中心となり、世界の持続可能なフードシステムの実現、欧州における革新的な食品の迅速な展開をリードする</p>
目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>精密発酵食品の安全性を確立（消費者の理解促進）</li> <li>バリューチェーンの構築・最適化</li> <li>規制当局との連携・官民パートナーシップ（精密発酵食品の効率的な展開を推進）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州の持続可能なフードシステム確立（環境配慮・食料安全保障）</li> <li>精密発酵由来タンパクの普及推進（消費者の理解促進）</li> <li>透明かつ効率的な規制枠組みの提言（精密発酵食品の効率的な展開を推進）</li> </ul>

（出所）

Precision Fermentation Alliance, [https://www.pfalliance.org/wp-content/uploads/2023/04/PFA\\_All\\_Logos-scaled.jpg](https://www.pfalliance.org/wp-content/uploads/2023/04/PFA_All_Logos-scaled.jpg), Business Wire, <https://www.businesswire.com/news/home/20230216005362/en/Food-Tech-Leaders-Come-Together-to-Form-the-Precision-Fermentation-Alliance-to-Champion-a-More-Resilient-and-Sustainable-Future>, Food Fermentation Europe, <https://static1.squarespace.com/static/63fc99009958ca6e316067e2/t/64a3eaa5e281e906a3f387da/1688464039933/Food+Fermentation+Europe%E2%80%99s+Vision+on+the+upcoming+Sustainable+Food+Systems+Framework.pdf> から三井物産戦略研究所作成

### 3-2. リーディングカンパニーが精密発酵原料の供給を加速

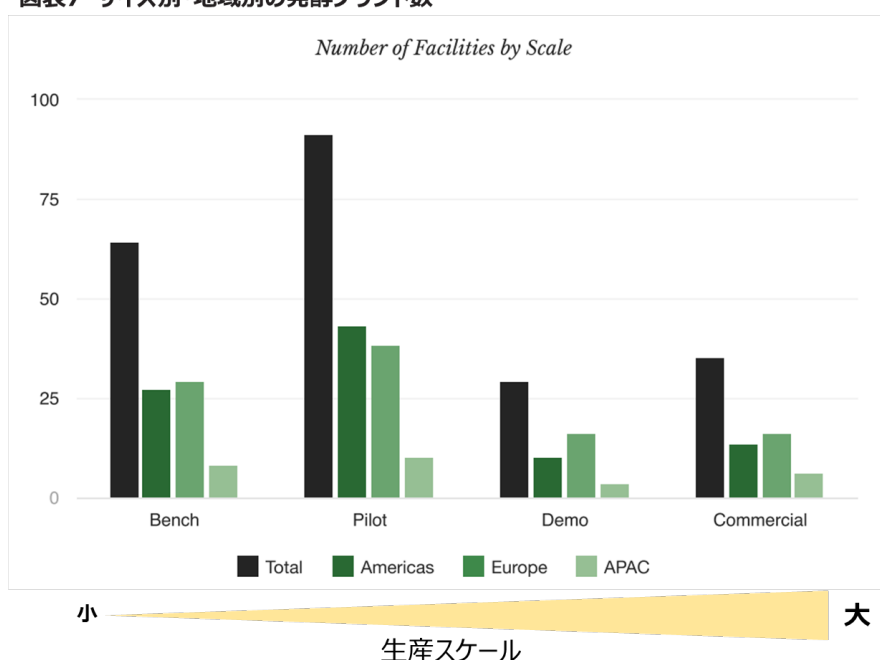
業界のリーディングカンパニーである（米）Perfect Dayは、グループ会社の（米）Urgent Companyを通じて、アニマルフリー乳製品の複数のブランドを展開していたが、2023年7月にUrgent Companyを売却し、消費者向け事業から撤退することを発表した<sup>13</sup>。今後はB2Bの原料供給事業に専念する意向を示しており、この方針転換は、原料供給先として見込む大手食品企業と最終製品で競合することを回避するためのポジティブな戦略とみられる。すでに大手乳製品メーカー（仏）Be1の米国現地法人とは長期パートナーシップを締結しており、2023年1月からアニマルフリーのクリームチーズの全米展開を開始している。さらに米国内の食品製造施設への大型投資を検討中で、（米）PepsiCoなど大手食品企業との協議を進めている。

13 green queen “New Food Tech Co Superlatus Agrees To Acquire Perfect Day’s The Urgent Company Brands for \$1.25 Million” <https://www.greenqueen.com.hk/new-food-tech-co-superlatus-acquires-perfect-days-the-urgent-company-brands-for-1-25-million/>

### 3-3. スケールアップ支援企業が商業化をサポート

精密発酵の価格競争力を高めるには大型の発酵プラントが必要になるが、現存する発酵プラントは小型～中型が大部分を占める<sup>14</sup>（図表7）。大型の発酵プラント建設には大規模な資金投資が必要になるため、これがボトルネックになっている。こうしたなか、各企業のラボ試作から商業生産に至るまでのスケールアップを支援する開発製造受託企業（Contract Development and Manufacturing Organization：CDMO）が課題解決に乗り出している。例えば、（米）Liberation Labsは米国初の食品用大型発酵プラントをインディアナ州に建設することを発表している<sup>15</sup>。2024年内の稼働を目指しており、実現すれば、米国内で大量の精密発酵食品を生産できるCDMOが誕生する。

図表7 サイズ別・地域別の発酵プラント数



（出所）Capacitor "State of Global Fermentation Capacity", Feb.2023から三井物産戦略研究所作成

## 4. 精密発酵製品の市場拡大に向けた課題

### 4-1. 各国で異なる規制

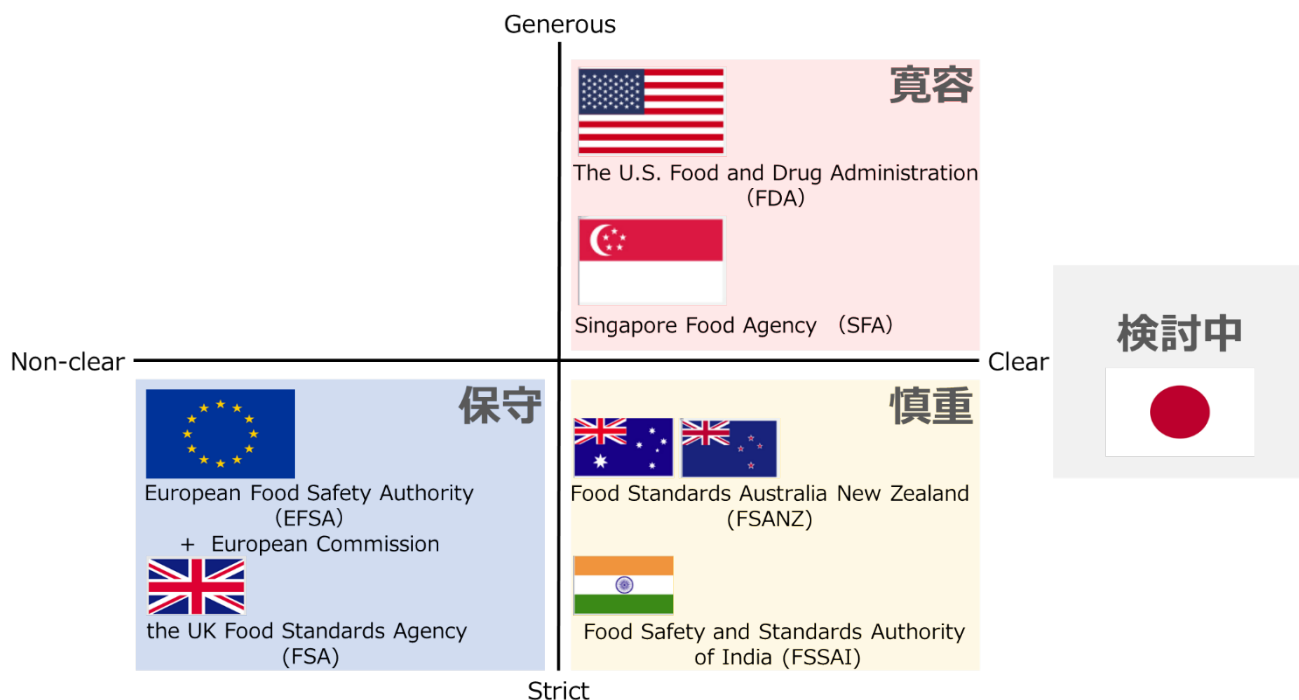
食経験のない食品の安全性に関しては各国で独自の規制を設け、市販前審査を行っているが（図表8）、規制の違いが各国の市場開発の進捗を左右する。米国の食品医薬品局FDAの審査は比較的寛容であり、審査期間は半年～1年と短く、これまでに（米）Motif FoodWorksの牛ミオグロビン、（米）Perfect Dayのβ-ラクタグロブリンなど多くの承認実績がある。対してEUのEuropean Food Safety Authority (EFSA) による審査は厳格で、プロセスも不透明である。実際、（米）Impossible Foodsは、2019年に申請した

14 Capacitor "Trends Reports" <https://capacitor.bio/trends>

15 AgFunderNews "Liberation Labs bags \$30m in to kit out biomanufacturing hub in Indiana"

大豆レグヘモグロビンの審査の承認をいまだに得られていない<sup>16</sup>。また、シンガポールはSingapore Food Agency (SFA)が市販前審査を行っている。同国では食料自給率を2030年までに30%まで引き上げる目標(30 by 30)<sup>17</sup>に則って、政府が積極的に食経験のない食品の実用化を推し進めており、これまでに多くの承認実績がある。ちなみに日本では、規制を検討中という状況にあり、これが市場参入の障壁となっている。

図表8 各国の規制動向



(出所) GFI “State of the Industry Report : Fermentation 2022”から三井物産戦略研究所作成

#### 4-2. 消費者の受容性

世界5か国(ブラジル、独、印、英、米)を対象に行った精密発酵由来チーズの消費者受容性調査の結果によると、50%以上の消費者に購入する意向があることが分かった(図表9)。また購入意向に影響する因子としては、「サステナブルであること」に加えて「美味しさ」が示されている<sup>18</sup>。

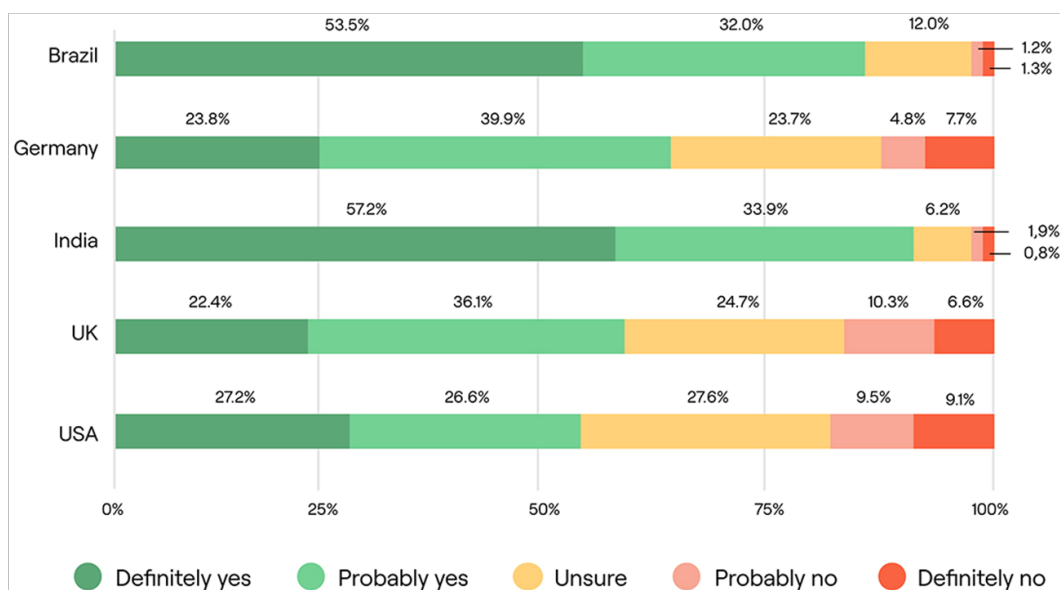
16 Open EFSA <https://open.efsa.europa.eu/questions/EFSA-Q-2019-00651>

17 SFA “30 by 30, Strengthening our food security” <https://www.ourfoodfuture.gov.sg/30by30/>

18 Frontiers “Don’t Have a Cow, Man: Consumer Acceptance of Animal-Free Dairy Products in Five Countries” <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.678491/full>



図表9 各国の消費者のアニマルフリーチーズの購入意向



(出所) Frontiers “Don't Have a Cow, Man: Consumer Acceptance of Animal-Free Dairy Products in Five Countries”  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.678491/full>

## 5. 今後の展望

今後1～2年を目途に、リーディングカンパニーからの原料供給を通して、多くの食品企業からアニマルフリー乳製品が上市される見通し。まずは規制が寛容な米国で市場形成が進むが、サステナブル・アニマルウェルフェアの意識が高い欧州においても、規制の見直し次第で形成が加速することが見込まれる。

川上から川下のパートナーシップは商業化の鍵となる。微生物設計・発酵プロセスの最適化に強みを持つR&D型企業や最終製品の開発力・ブランド力に強みを持つ大手食品企業、スケールアップを支援するCDMO企業が連携することで社会実装が進むと考えられる。例えば、(米) New Cultureは食品原料大手の(米) ADMとパートナーシップを締結しており、精密発酵カゼインを含有するモッツァレラチーズの2024年中の上市を目指している。消費者調査の結果から、植物性代替チーズのクオリティ向上を望む声は多く<sup>19</sup>、精密発酵由来のカゼインの実用化は市場形成を大きく加速させると見込む。また食品の「美味しさ」の重要な構成要素である動物性脂質の代替品開発は、今後注目すべきターゲットとなろう。

19 Nature Biotechnology “Cow-less milk: the rising tide of animal-free dairy attracts big players”  
<https://www.nature.com/articles/s41587-022-01548-z>

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、当社および三井物産グループの統一した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、当社およ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。