

2024年度成果報告書

食品分野に関する市場調査（バイオものづくり革命推進事業伴走調査）

調査報告書

2025年3月31日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 株式会社矢野経済研究所

<目次>

<調査要綱>	4
<要約（和文）>	5
<Summary (English)>	6
1. 本調査のターゲット市場（細胞性食品・動植物性タンパク質素材）が注目される背景	7
(1) 世界人口の増加によるタンパク質需要量の増大	7
(2) 畜産の環境への影響	10
(3) 日本における農林水産分野の温室効果ガス排出量	14
(4) 代替タンパク質が注目を集める背景	18
2. 細胞性食品	19
(1) 細胞性食品の市場概況	19
① 細胞性食品とは	19
② 課題・問題点	22
③ 今後の方向性と市場の見通し	24
(2) 細胞性食品の市場規模	29
(3) 海外市場動向	33
① 各国の取組動向	33
② スタートアップの市場参入	39
③ 細胞性食品のライフサイクルアセスメント	44
④ その他の代替タンパク質（参考情報）	47
(4) 特許情報	49
① 細胞性食品の特許出願件数、累積推移	49
② 培養肉向け培地用タンパク質：無血清培地の特許出願件数、累積推移	52
③ その他培養肉関連製品：へム鉄の特許出願件数、累積推移	55
3. 動植物性タンパク質素材（精密発酵）	58
(1) 動植物性タンパク質素材（精密発酵）の市場概況	58
① 精密発酵の市場概況	58
② 植物分子農業（参考情報）	64
(2) 精密発酵の市場規模	65
(3) 特許情報（動植物性タンパク質素材：乳タンパク質の特許出願件数、累積推移）	68
(4) 「2. 細胞性食品」「3. 動植物性タンパク質素材（精密発酵）」の参考文献	71
4. 機能性市場（BHB）	72
(1) BHBの基本特徴	72
(2) BHBの市場規模	72
(3) 海外市場動向	73
(4) 健康食品としてのBHBの利用状況	73

① 原料としての BHB	73
② BHB を含む商品	74
(5) 特許情報 (BHB の特許出願件数、累積推移)	76
(6) その他	78
5. 機能性分野 (エルゴチオネイン)	79
(1) エルゴチオネインの基本情報	79
(2) エルゴチオネインの市場規模	79
(3) 海外市場動向	81
(4) 健康食品としてのエルゴチオネインの利用状況	82
① 原料としてのエルゴチオネイン	82
② エルゴチオネインを含む商品情報	82
(5) 特許情報 (エルゴチオネインの特許出願件数、累積推移)	90
(6) その他	92
7. 機能性糖質市場	93
(1) 国内市場	93
① 砂糖市場の概況 (参考情報)	93
② 機能性糖質市場の概況	93
③ オリゴ糖市場	95
④ アルロース市場	95
⑤ その他の機能性糖質市場	97
(2) 主な機能性糖質	98
(3) 海外市場	98
① アルロース市場	98
② その他の機能性糖質市場	98
(4) 「7. 機能性糖質市場」の参考文献	98

<調査要綱>

I.調査目的

バイオものづくりは、遺伝子改変技術等を用いることで、微生物等が従来保有する物質生産能の増強や、新しい目的物質の生産能の獲得、原料の酵素分解等による目的物質の取得などを可能にするテクノロジーである。

バイオものづくりは、従来の化石資源を原料とした様々な製造プロセスを置き換える「持続可能なものづくり」として、化学品・素材・繊維・燃料など多様な産業領域での活用が見込まれており、特に、医薬品や食品分野で先行した取り組みが進められている。日本の産業競争力の強化と社会課題の解決を目標として、バイオものづくりのバリューチェーンの構築に必要な技術開発や社会システム実証を行い、製造プロセスのバイオものづくりへの転換とバイオものづくり製品の社会実装を推進する「バイオものづくり革命推進事業」が行われている。

今後も世界規模では2080年代まで人口が増加し、食料の需要も増加する見通しであり、低環境負荷で生産できる、持続可能な食料生産の実現が求められている。食料分野におけるバイオものづくりの実装は、世界的な食料安全保障に資することが想定されるとともに、次世代の産業基盤となり、日本の競争力の核となり得ることが期待される。

製品市場の状況・見通しの把握は、社会実装の実現に向けて非常に重要であることから、本調査では、バイオものづくり革命推進事業の既採択案件において社会実装を目指す、特に食品分野の各製品について市場調査等を実施し、社会実装の推進に資する情報収集を行うことを目的とする。

II.調査対象先

※目次参照

III.調査方法

弊社自主企画調査資料『2023年版 代替タンパク質 <代替肉（植物由来肉・培養肉）・昆虫食>の将来展望』、『2024年版 食品添加物・機能性原料市場の現状と将来展望』の再編集に加え、専門調査員による文献調査などの収集、分析及び参入事業者・関連団体等へのヒアリングによる

IV.調査期間

2024年11月～2025年3月

V.プロジェクト担当

株式会社 矢野経済研究所 フード&ライフサイエンスユニット

<要約（和文）>

1. 市場調査

本調査では、バイオものづくりによる食料生産について、市場規模の調査・推計および将来予測を行った。調査対象である、「バイオものづくり製品及びそれを加工して得られる最終製品（細胞性食品、精密発酵）」及び「機能性食品（BHB、エルゴチオネイン、機能性糖質素材）」の概況と取組動向を把握するために、文献調査及びヒアリング調査を実施し、整理した。なお、市場規模については低位予測・中位予測・高位予測のパターン分けを行い記載した。

2. 先行事例・競合調査

本調査では、「バイオものづくり製品及びそれを加工して得られる最終製品（細胞性食品、精密発酵）」及び「機能性食品（BHB、エルゴチオネイン、機能性糖質素材）」において、技術の実用化・社会実装する上での課題を抽出するために、先行事例及び競合事例について、文献調査及びヒアリング調査を実施した。文献調査及びヒアリング調査において抽出した課題を整理するとともに、関連する認証やガイドラインについても調査を行った。

3. 周辺特許

本調査では、社会実装の際に障壁となり得る特許の調査を行った。「バイオものづくり製品及びそれを加工して得られる最終製品（細胞性食品、精密発酵）」及び「機能性食品（BHB、エルゴチオネイン、機能性糖質素材）」の各製品に影響する周辺特許調査を実施し、今後、社会実装を進める上でハードルとなりうる、権利化されており留意が必要だとみられる特許を抽出した。

4. 総括

バイオものづくりによる食料生産について、今後の市場見通し及び社会実装に向けたポイントを整理した。「バイオものづくり製品及びそれを加工して得られる最終製品（細胞性食品、精密発酵）」については、世界的な人口増加から、食肉などのタンパク質需要が高まる一方、気候変動の激化などの影響で、気温上昇が家畜の繁殖率や成長に影響を与え、畜産物の生産量が維持できなくなることが懸念される中、食料安全保障の観点からも期待される技術であると考えられる。生産規模の拡大に向け取組みが進む中、生産規模がラボスケールから商業スケールへ拡大することで生産コストの低下が見込まれる。さらに、環境意識の高まりや食料安全保障への懸念から、細胞性食品や精密発酵が一つの食の選択肢となる可能性がある。

「機能性食品（BHB、エルゴチオネイン、機能性糖質素材）」については、素材の機能性、有効摂取量、物性、価格などを考慮し、最適なアプリケーションを検討する必要がある。特に、価格においては、一般食品とサプリメントでは許容される機能性原料の価格が異なり、一般食品では1食当たり10円を目安とする企業の声も聞かれる。素材の価格帯によって適したアプリケーションが変化し、また、アプリケーションの選定によって設定可能な素材の価格帯が変動するため、市場ニーズとコストのバランスを考慮した開発が重要だと考えられる。

< Summary (English) >

1. Market Research

We have studied food production using biomanufacturing technology and estimated the market size and forecast the market. Some literature research and interviews were conducted to understand the overview and current efforts on our research topic, i.e., "Products produced using biomanufacturing technology and finished foods (cell-based foods, precision fermentation) produced by processing such products" and "Functional foods (BHB, ergothioneine, and functional sugar)", which are organized in this report. The market size is segmented into low, medium, and high forecast patterns.

2. Case Studies and Competitive Research

With respect to "Products produced using biomanufacturing technology and finished foods (cell-based foods, precision fermentation) produced by processing such products" and "Functional foods (BHB, ergothioneine, and functional sugar)", we conducted literature reviews and interviews to identify the challenges in the practical application and societal implementation of the technology and to explore case studies and competitor research. While organizing the findings, we also researched related certifications and guidelines.

3. Peripheral Patents

We surveyed patents that could be an obstacle to societal implementation. The survey was designed to find out the peripheral patents that could affect each of "Products produced using biomanufacturing technology and finished foods (cell-based foods, precision fermentation) produced by processing such products" and "Functional foods (BHB, ergothioneine, and functional sugar)" and to identify the patents with rights granted that should be noted as a potential barrier to societal implementation.

4. Summary

Prospects for the future market and key points for social implementation of food production using biomanufacturing technology are as follows:

As for "Products produced using biomanufacturing technology and finished foods (cell-based foods, precision fermentation) produced by processing such products", they are the most promising technology from the food security aspect, in the current situation where severe climate changes raise the temperature, which affects the reproduction rate and growth of cattle and livestock, causing the difficulty of maintaining the current production volume of livestock products, while world population growth is raising the demand for protein and such protein-containing foods as meat. While the current efforts to expand production are underway, which can lead from the laboratory level production to commercial scale production, the production cost is expected to decrease. In addition, with increased environmental awareness and growing concerns about food security, cell-based foods and precision fermentation could be one of the choices for food.

For "Functional foods (BHB, ergothioneine, and functional sugar)", it is necessary to find out the most optimal application considering functionality, effective intake, physical property, and price. Price is particularly important, because the price ceiling of functional materials differs between general foods and dietary supplements. Some companies say they set 10 yen per meal for functional materials in general foods. While appropriate applications vary depending on material prices, the price range of configurable materials fluctuates depending on the application selected. Therefore, it is important to develop products by considering the balance between market needs and cost.

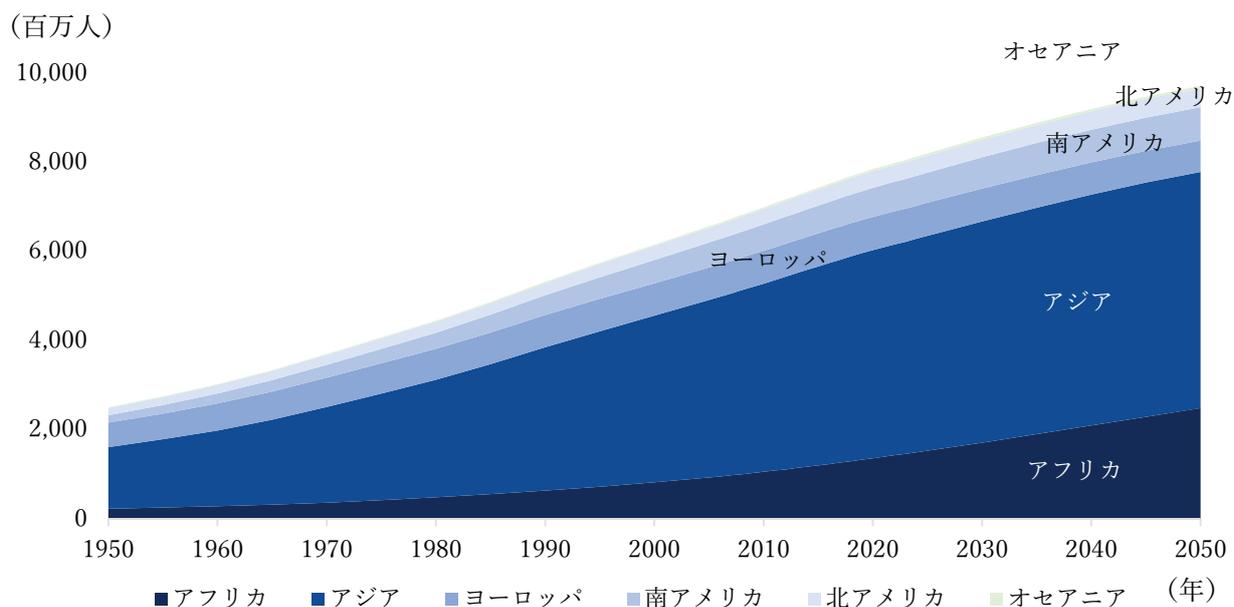
1. 本調査のターゲット市場（細胞性食品・動植物性タンパク質素材）が注目される背景

(1) 世界人口の増加によるタンパク質需要量の増大

細胞性食品など、フードテック技術を活用した食料生産が注目されている。代替タンパク質需要の背景には、世界の人口増加に伴い、肉をはじめとするタンパク質の需要が増加していることが挙げられる。

国連の世界人口推計（中位推計）によれば、世界人口は1950年の約25億人から、1986年頃には約50億人へと倍増した。その後も増加を続け、1999年に60億人を突破し、2022年には約80億人に達した。今後も同様の推移が見込まれ、2030年には約85億人、2040年には約92億人、2050年には約97億人へと急激に増加する見通しである。

<世界人口の推移・予測（1950～2050年）>

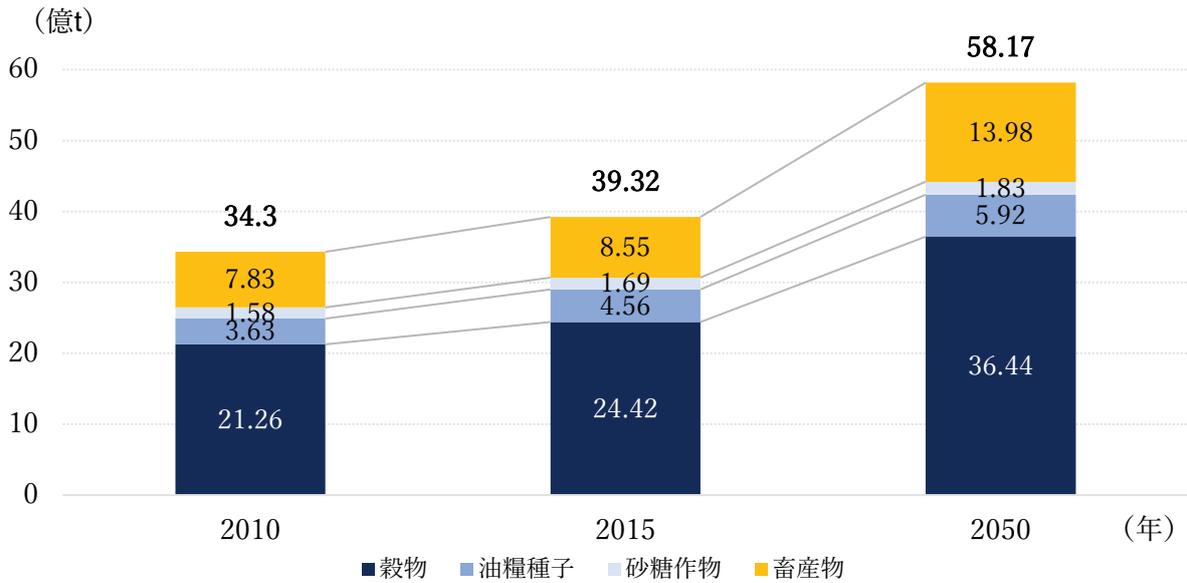


(出所：国際連合 World Population Prospects より矢野経済研究所作成)

この急激な人口増加に伴い、食料需要量の増加が予測される。「2050年における世界の食料需給見通し」（農林水産省）によれば、世界の食料需要量は、2050年には2010年比で1.7倍（58.17億トン）となり、供給量を上回る需要が発生する可能性がある。内訳では、畜産物（牛肉、豚肉、鶏肉及び乳製品）と穀物の増加が大きくなっており、2050年の畜産物の需要量は2010年比で1.8倍（13.98億トン）となる見込みである。畜産向けの飼料需要の増加が、穀物や油糧種子の需要量の増加要因のひとつとなる見通しである。穀物生産量は単収の増加によって増える見通しであるが、単収の伸びは鈍化すると予測されている。今後の収穫面積はほぼ横ばいとなると推測される。

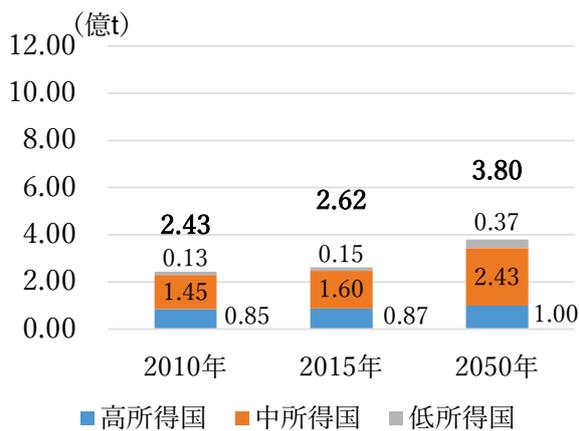
所得階層別では、高所得国では、食生活の成熟化の進展により畜産物需要の増加は比較的緩慢とみられるが、新興国を中心とした経済発展による所得増加に伴う食生活の変化から、中所得国では肉類、低所得国では乳製品が大きく増加する見込みである。

<世界全体の品目別食料需要量の見通し>

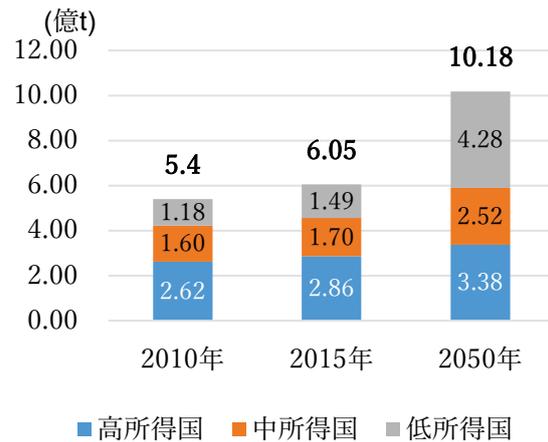


(出所：農林水産省「2050年における世界の食料需給見通し」より矢野経済研究所作成)

<肉類需要量の見通し>



<乳製品需要量の見通し>



<肉類、乳製品別の需要量の見通し> (単位: 億 t)

		2010年	2015年	2050年
高所得国	肉類	0.85	0.87	1.00
	乳製品	2.62	2.86	3.38
中所得国	肉類	1.45	1.60	2.43
	乳製品	1.60	1.70	2.52
低所得国	肉類	0.13	0.15	0.37
	乳製品	1.18	1.49	4.28
肉類 合計		2.43	2.62	3.80
乳製品 合計		5.40	6.05	10.18

(出所：農林水産省「2050年における世界の食料需給見通し」より矢野経済研究所作成)

<穀物の生産量、単収、収穫面積（世界合計）>

世界合計	2005～07年	2017～19年	2030年	増加率	増加率
	(①)	(②)	(③)	(②/①)	(③/②)
収穫面積（億 ha）	6.7	7.0	6.9	5.0%	-1.1%
単収（トン/ha）	3.0	3.7	4.3	23.1%	16.5%
生産量（百万 t）	2,021	2,612	3,009	29.2%	15.2%

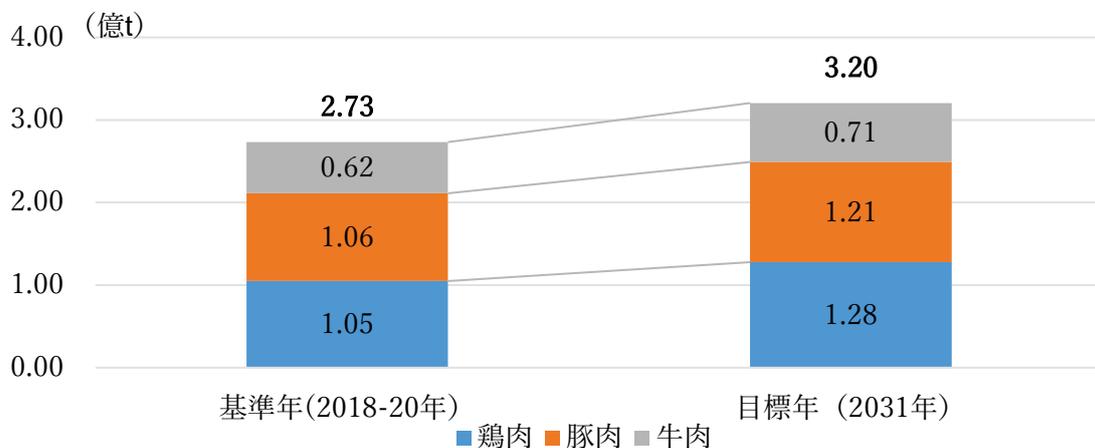
（出所：農林水産政策研究所「世界の食料需給の動向と中長期的な見通し」より矢野経済研究所作成）

農林水産政策研究所が発表した「2031年における世界の食料需給見通し」によれば、基準年である2018～20年の需要と比較して、2031年の食肉需要は牛肉で約0.62億トンから約0.71億トンへ、豚肉で約1.06億トンから約1.21億トンへ、鶏肉で約1.05億トンから約1.28億トンへ増加することが見込まれる。

タンパク質は人体の構成に欠かせない成分である。人間の体は約60%が水分で構成されているが、水分と脂質を除いたほとんどがタンパク質（全体の約20%）で占められている。人間はタンパク質を体内に蓄積しておくことができないため、日々タンパク質を摂取し続けなければならない。従来、農業の生産性の向上に伴い、飼料用作物の単収は向上し、タンパク質主要の増加に应运ってきたが、近年の急激な人口増加の伸びなどの要因から、今後は需給のバランスが取れなくなると考えられている。

今後、タンパク質の需要は増加すると予測されており、現在の食肉供給量の延長では、十分にタンパク質を供給することが困難になると考えられている。この問題はタンパク質危機（プロテインクライシス：Protein Crisis）と呼ばれており、早ければ2025年頃から顕在化していくことが予測されている。

<肉類（牛肉・豚肉・鶏肉）の需要量予測>



（出所：農林水産政策研究所「2031年における世界の食料需給見通し」より矢野経済研究所作成）

世界の人口増加と食料の需要量増加に伴い、タンパク質危機への備えが急務とみられている。加えて、2022年には世界的な政情不安から食料供給不安定化や価格高騰が発生し、以降も食品価格の高騰が継続している。

さらに、気候変動による気温上昇が、家畜の成長や繁殖率の低下にも影響を与えている。暑熱ストレスは乳牛の受胎率に影響を与えるほか、豚についても暑熱による餌の摂食量の減少から、成長率と繁殖に損失をもたらすことが報告されている。これらの課題に対し、バリューチェーン全体で解決に取り組むことが必要である。

(2) 畜産の環境への影響

食肉消費量が拡大の一途にある一方、畜産の環境負荷が課題となっている。

畜産物 1 kg の生産には、牛肉で 1 kg あたり約 11 kg、豚肉で 1 kg あたり約 7 kg と、その数倍の飼料穀物を家畜に与える必要がある。加えて、牛肉 1 kg の生産には約 20.6t の水が必要とされており、畜産物消費量の増加に伴い畜産が拡大することで、急激な穀物需要の増加・水資源の減少が懸念される。

<畜産物 1 kg の生産に必要な資源量>

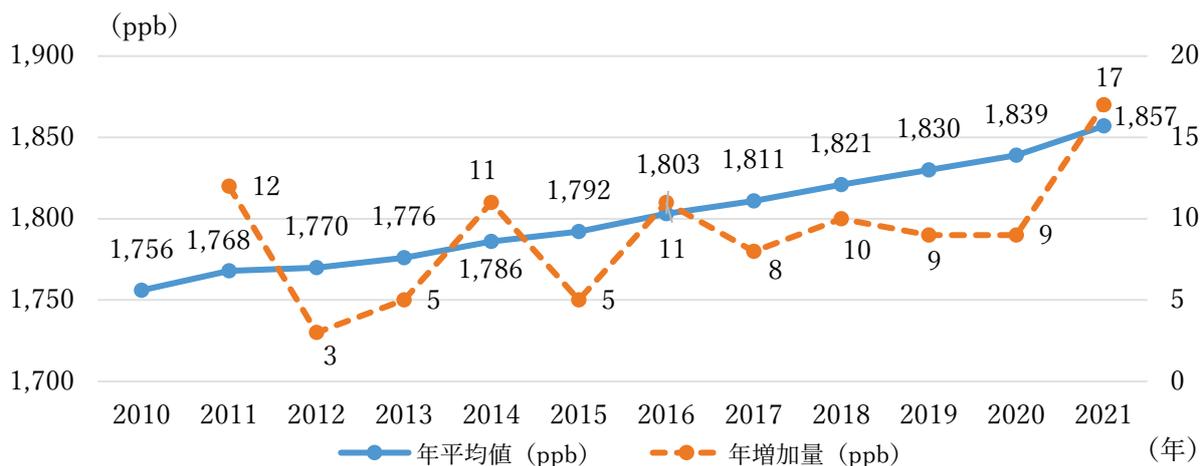
	穀物量	水消費量
牛肉	11 kg	20.6t
豚肉	7 kg	5.9t
鶏肉	4 kg	4.5t
鶏卵	3 kg	3.2t
大豆	-	2.5t

(出所：穀物量については農林水産省資料、水消費量については環境省 virtual water より矢野経済研究所作成)

さらに、資源循環のためには、家畜排せつ物を適切に堆肥化し、この堆肥を自給飼料生産を始めとする農畜産物の生産のために農地還元することなどが重要である。しかし、畜産を中心とした資源循環の環が適切に回らない場合には、水質汚濁、悪臭、地球温暖化等の環境負荷増大の原因となる可能性が懸念される。加えて、畜産によるメタン (CH₄) の発生など、温室効果ガス (GHG : Greenhouse Gas) の排出問題が存在する。

人間の活動によって増加した主な温室効果ガスには、二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O)、フロンガス等がある。温室効果ガスのうち、メタンは地球温暖化に及ぼす影響が二酸化炭素に次いで大きい温室効果ガスである。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第 6 次評価報告書では、メタン排出削減による温暖化減速に着目すべしとのメッセージが打ち出されている。地表付近のメタン濃度は、18 世紀頃までは 700~750ppb (parts per billion、濃度を表す単位。1ppb は体積の 10 億分の 1 を占めることを表す) 程度であったが、その後、人間活動の影響で急激に増大し、2023 年現在では 1,800ppb 以上に増加している。日本は、国立環境研究所、環境省、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) による、温室効果ガスを宇宙から観測する人工衛星プロジェクト「GOSAT シリーズ」を推進しており、2009 年以降、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの観測を 12 年以上継続している。環境省による観測結果の発表では、2021 年の年平均値は 1,857ppb であった。2011 年から 2020 年の年増加量の平均値は 8ppb であったのに対し、2021 年の年増加量は 17ppb と、過去 10 年間と比べて倍増している。加えて、米国海洋大気庁 (NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration) の解析によれば、メタンの地表面の濃度は、2019 年から 2020 年に急上昇したことが明らかになっている。

<温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT によるメタンの全大気平均濃度の年平均値と年増加量>



年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
年平均値 (ppb)	1,756	1,768	1,770	1,776	1,786	1,792
年増加量 (ppb)	-	12	3	5	11	5
年	2016	2017	2018	2019	2020	2021
年平均値 (ppb)	1,803	1,811	1,821	1,830	1,839	1,857
年増加量 (ppb)	11	8	10	9	9	17

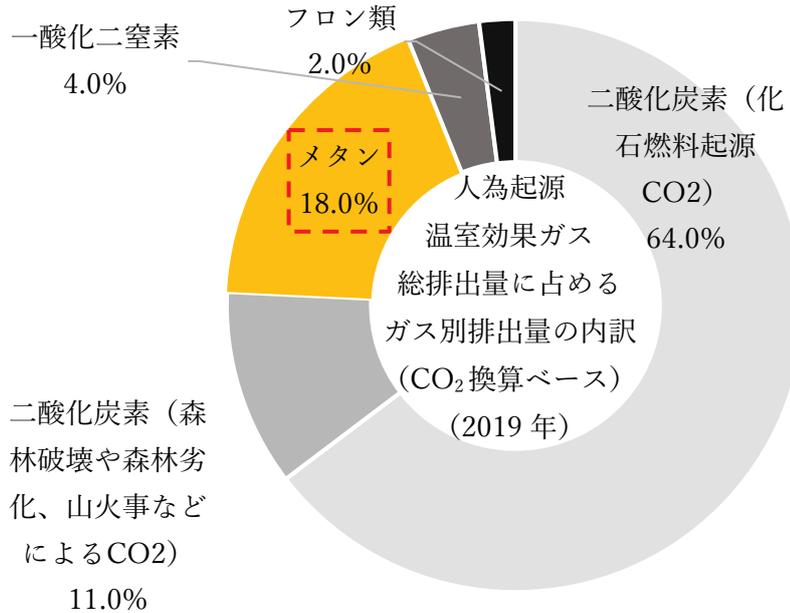
注：年増加量は、前年の年平均値からの増分

(出所：環境省 報道発表資料より矢野経済研究所作成)

世界気象機関 (WMO : World Meteorological Organization) と国連環境計画 (UNEP : United Nations Environment Programme) により 1988 年に設立された政府間組織である、気候変動に関する政府間パネル (IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) は定期的に報告書を作成し、気候変動に関する最新の科学的知見の評価を提供している。この報告書では、温暖化と人間活動の影響の関係について、経年で表現の変化がみられる。1990 年の第 1 次報告書では、人為起源の温室効果ガスは「気温上昇を生じさせるだろう」との表現にとどまったが、1995 年の第 2 次報告書では、識別可能な人為的な「影響が全地球の天候に表れている」との表現となった。2001 年の第 3 次報告書では、過去 50 年に観測された温暖化の大部分は温室効果ガスの濃度の増加によるものだった「可能性が高い」(66%以上) となり、さらに 2007 年の第 4 次報告書では「可能性が非常に高い」(90%以上)、2014 年の第 5 次報告書では、「可能性がきわめて高い」(95%以上) と変化した。2021 年の第 6 次報告書では「疑う余地がない」との表現となった。

大気へのメタン放出源には、人間の活動起源のものと自然起源のものがあり、農業分野からの排出では水田、家畜の消化管内発酵、家畜排せつ物管理などが挙げられる。ウシ、ヒツジなどの反芻動物は、摂取した植物 (エサ) を胃腸に住む微生物が分解・消化する際、胃の中でメタンを発生させ、あい気 (ゲップ) として排出する。全国地球温暖化防止活動推進センターが IPCC 第 6 次評価報告書より作成した「人為起源 GHG 排出量の推移」では、人為起源の温室効果ガスの総排出量に占める種類別の内訳 (CO₂ 換算ベース、2019 年) のうち、メタンは 18.0% を占める。

<人為起源の温室効果ガス総排出量に占めるガス別排出量の内訳（CO₂換算ベース）>



※ラウンド処理の為、合計が100.0%と一致しない。

（出所：IPCC 第6次評価報告書「人為起源 GHG 排出量の推移」より）

米国環境保護庁（EPA：Environmental Protection Agency）によれば、米国の2020年の温室効果ガスの排出量は52億2,240万トンであった。排出量は2019年比で11%の減少、2005年比で21%の減少となった。総排出量のうち、メタンが11%を占め、前年比で3%増加した。家畜飼養頭数増加に伴い、メタンの家畜からの排出は増加傾向にあるとみられる。

メタンの地球温暖化への影響は同量の二酸化炭素の25倍以上と推計されており、EPAは、現在発生している温室効果ガスによる温暖化の約3分の1はメタンガスによるものだとしている。

近年、地球温暖化により、国内外で深刻な気象災害が多発している。世界ではすでに2,000を超える自治体が気候非常事態宣言を出しており、日本でも2020年11月、日本政府は認識を世界と共有し、危機を克服するため、衆議院・参議院の本会議で「地球温暖化問題は気候変動の域を超えて気候危機の状況に立ち至っている」として気候非常事態宣言決議を採択し、気候非常事態を宣言した。環境省の「環境・循環型社会・生物多様性白書（環境白書）」では、地球温暖化の進行で、豪雨や猛暑などのリスクは、今後もさらに高まることが予測されている。

2021年10月～11月に英国のグラスゴーで開催された国連気候変動枠組条約第26回締約国会議（COP26）において、二酸化炭素よりも高い温室効果を有するメタンについて、2030年までに世界全体の排出量を2020年比で30%削減することを目標に、各国で協働するための国際的な枠組みである「グローバル・メタン・プレッジ」が発足し、日本も参加している。

食料生産からの温室効果ガス排出量は食料の種類によって異なる。肉や乳製品など動物由来の食料の生産は、特に集約型の産業的畜産システムにおいて、作物の栽培よりも大量の温室効果ガスを排出すると推定される。畜産は、飼料の生産・輸送に伴うCO₂排出に加え、家畜の消化管内発酵のメタン発生等が温室効果ガス排出の原因となると考えられる。動物由来の食物の占める割合の低い食生活へ大規模な変化が起これば、家畜生産の需要が減少することに伴い、家畜飼料の生産を人間のための食料生産に変えることができる。食料変換効率の向上から、現在よりも農地の需要が減少すると考えられる。食生活の変化、消費者行動の変化は、食料システム全体の変化につながることを想定され、食料生産の現場か

ら消費者まで、トータルで温室効果ガスの排出量を削減できる可能性がある。フードサプライチェーンの川上から川下まで環境負荷を軽減し、SDGs（持続可能な開発目標）に則った食料生産を行うことが求められている。温室効果ガスの排出削減に関しては、既存の技術の効果を検証し、生産現場に実装するほか、更なる排出削減を可能とする技術の開発が期待されている。

2020年から運用開始した気候変動問題に関する国際的な枠組み「パリ協定」では、今世紀後半のカーボンニュートラル（排出実質ゼロ）を実現するために、排出削減に取り組むことが目的とされている。IPCCの「土地関係特別報告書」では、気候変動が食糧安全保障に影響を与えることが指摘されており、気候変動のリスクとして、気候変動と砂漠化による作物と家畜の生産性低下、畜産・漁獲への影響などが挙げられ、食料供給の安定性低下が懸念されている。報告書中では、「食料システムにおける対応の選択肢」として、植物性の食品や、持続可能な温室効果ガス排出量の少ないシステムにおいて生産された動物性の食品から成る、バランスの取れた食生活は人間の健康面に寄与し、気候変動への適応及び緩和の大きな機会を提供することが述べられている。一方で、温室効果ガス排出量のより少ない食生活への移行は、地域の生産手段、技術的・財政的障壁、並びに関連する生計、及び文化的習慣の影響を受ける可能性が指摘されている。

2050年の温室効果ガス排出ゼロの実現に向け、2020年5月、欧州委員会は「Farm to Fork 戦略」（「F2F」）を発表した。この戦略は、持続可能な経済社会に向けた包括的な構想である「欧州グリーン・ディール」を実現するため、農業部門において核になる戦略である。「公平で、健康的な、環境に優しい食システム」を目指すものとして、植物、藻類、昆虫等の代替タンパク質・代替肉分野を重要な研究開発分野と位置付け、グリーン化・デジタル化への移行の推進を提唱したものである。人口増による食料不足、食品ロス、地球温暖化による環境変動からの食料危機など、持続可能な社会の実現のために、食を通じた取組みの推進が求められている。

< Farm to Fork 戦略の目的図 >



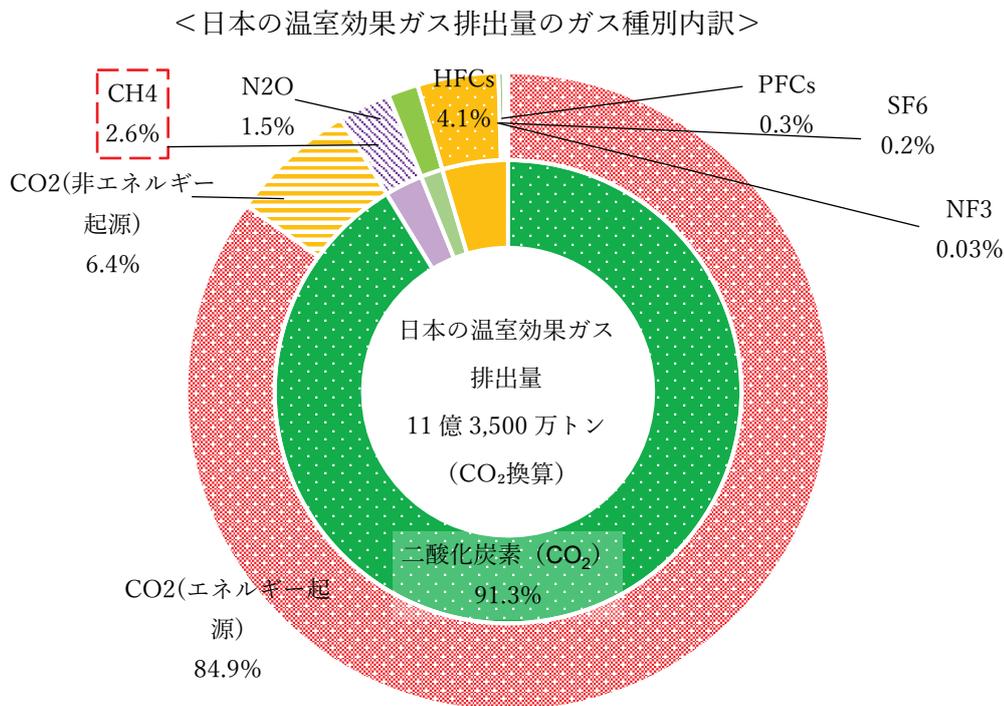
- ・ 環境にニュートラルまたはプラスの影響を与える
- ・ 気候変動を緩和し、その影響に適応するのに役立つ
- ・ 生物多様性の損失を元に戻す
- ・ 食料安全保障、栄養、公衆衛生を確保し、誰もが十分で、安全で、栄養価が高く、持続可能な食料にアクセスできるようにする
- ・ より公平な経済的利益を生み出し、EU 供給部門の競争力を高め、公正な貿易を促進しながら、食品の手頃な価格を維持する

（出所：欧州連合ホームページより）

(3) 日本における農林水産分野の温室効果ガス排出量

環境省が発表した「2022年度の温室効果ガス排出・吸収量」によれば、2022年度の日本の温室効果ガスの排出・吸収量は、10億8,500万t-CO₂（CO₂換算）となり、2021年度と比較して2.3%（2,510万トン）減少となった。2022年度の排出量合計は11億3,500万トンで、2021年度比で2.5%（2,860万トン）減少し、2022年度の吸収量合計は5,020万トンで、2021年度比で6.4%（340万トン）減少となった。

排出量のうち、環境省によるガス種別の内訳を以下に示す。



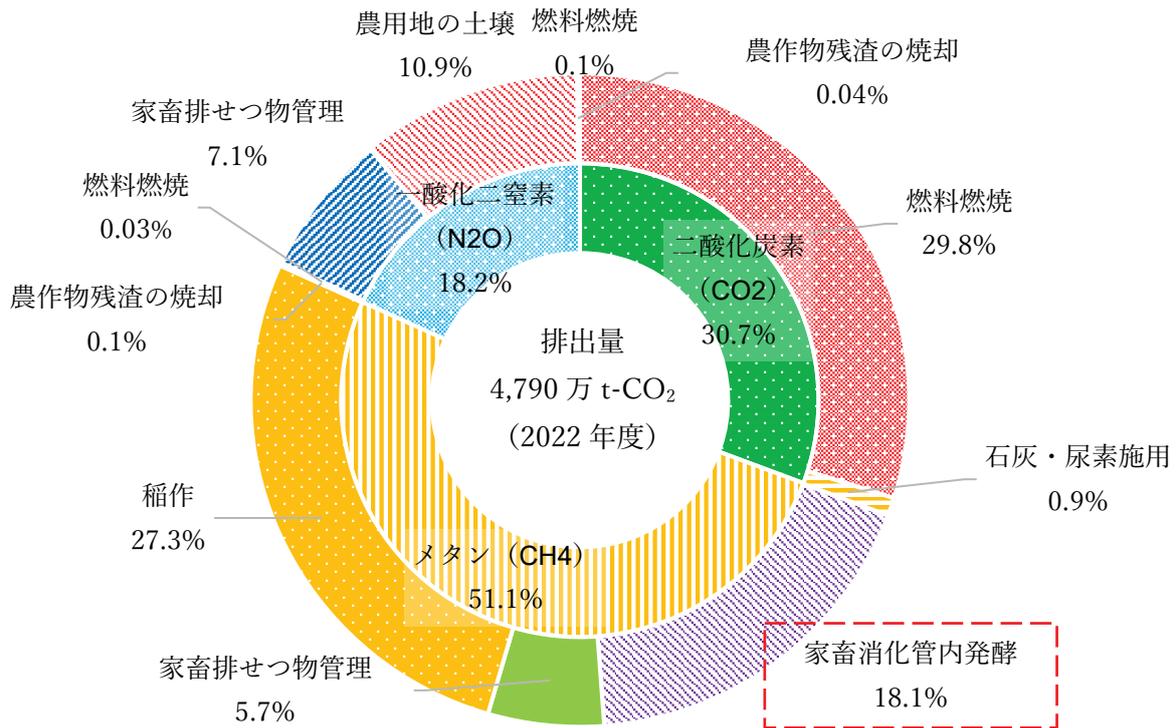
(出所：環境庁「2022年度の温室効果ガス排出・吸収量」より矢野経済研究所作成)

※ラウンド処理の為、合計が100.0%と一致しない場合がある。

このうち、2022年度の農林水産分野における温室効果ガスの排出量は4,790万t-CO₂となり、農林水産分野が占める温室効果ガス排出量の割合は全体の約4%であるものの、メタンの排出量は約8割、一酸化二窒素は約5割を占めている。

各国において、農業・畜産分野でメタン排出抑制の研究開発が進む中、日本は牛のげっぶとして排出されるメタンガス削減の研究開発、メタン発生の少ないイネの品種開発や水田の土壌内に存在するメタン生成菌の活動を抑制する中干し技術等に強みを持っている。日本政府は、今後も農畜産業分野におけるメタン排出削減に向けた研究開発を推進する意向を示している。

<農林水産分野の温室効果ガス排出量（2022 年度）>



(出所：農林水産省「令和 5 年度 食料・農業・農村白書」より矢野経済研究所作成)

※ラウンド処理の為、合計が 100.0%と一致しない場合がある。

※ 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ」(令和 6(2024)年 4月公表)を基に農林水産省作成

注 1：令和 4(2022)年度の数值

注 2：排出量は二酸化炭素換算

日本政府は、2050 年までに温室効果ガスの総排出量を全体としてゼロにするカーボンニュートラルの実現を目指しており、あらゆる分野で、でき得る限りの取組みを進める意向を示している。2021 年 4 月、日本は米国主催の気候サミットにおいて、2030 年度の温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 46%削減することを目指し、更に 50%の削減を目指すことを表明した。これを踏まえ、2021 年 10 月、「日本の NDC (Nationally Determined Contribution：国が決定する貢献)」を決定するとともに、国連気候変動枠組条約事務局へ提出した。地球温暖化対策推進法に基づく政府の総合計画である 2016 年の「地球温暖化対策計画」を 5 年ぶりに改訂し、2050 年カーボンニュートラルに向けた基本的な考え方やビジョンを示した「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を閣議決定した。あわせて、気候変動の適応策を示した「気候変動適応計画」を閣議決定し、政府全体の取組みを総合的かつ計画的に進める意向を示した。

農林水産分野では、気候変動に対する緩和・適応策の推進に向け、農林水産省が「みどりの食料システム戦略」を踏まえ、2021 年 10 月、「農林水産省 地球温暖化対策計画」、「農林水産省 気候変動適応計画」を改定した。2030 年度の温室効果ガス削減目標として、2013 年度の日本の総排出量に対し、農林水産分野における排出削減対策と吸収源対策により 3.5%相当分を削減（排出削減量 303 万 t-CO₂、吸収量 4,650 万 t-CO₂）することを目指している。今後、前述の地球温暖化対策計画や、「みどりの食料システム戦略」に沿って、更なる温室効果ガスの排出削減に資する新技術の開発・普及を推進する意向が

示されている。

環境省が運営するウェブサイト「脱炭素ポータル」では、国民一人ひとりの衣食住や移動といったライフスタイルに起因する温室効果ガスが日本全体の排出量の約6割を占めるという分析があり、国や自治体、事業者だけの問題ではなく、国民の主体的な取組みが必要となることが示されている。具体的な取組みとして、資源循環の高度化（循環経済への移行）などが示されているほか、「脱炭素の基盤となる8つの重点対策」のひとつとして、「食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立」が挙げられている。環境省は、2021年、「令和3年版 環境・循環型社会・生物多様性白書（環境白書）」で、「食の一つの選択肢としての代替肉」として、環境負荷の低い代替肉について取り上げた経緯がある。環境白書では、世界的に環境志向や健康志向等、食に求める価値観が変化していることなどを背景として、代替肉の技術やフードテックビジネスへの関心が高まっていることが述べられ、飲食店や小売店の実際の導入例が示された。

<環境省「脱炭素ポータル」イメージとQRコード>



(出所：環境省「脱炭素ポータル」 https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/より)

国立研究開発法人 国立環境研究所は、日本国内52都市（県庁所在地、政令指定都市）のライフスタイルに関する家計消費カーボンフットプリントの推計を行い、脱炭素型ライフスタイルの選択肢を国際的な文献レビューにより特定し、これらの選択肢を取り入れることによるカーボンフットプリントの最大削減効果（その都市の平均的な市民が、ある選択肢を完全に実施した場合の効果）を都市別に推計した。

<脱炭素型ライフスタイルの選択肢>



(出所：国立研究開発法人 国立環境研究所 ウェブサイトより)

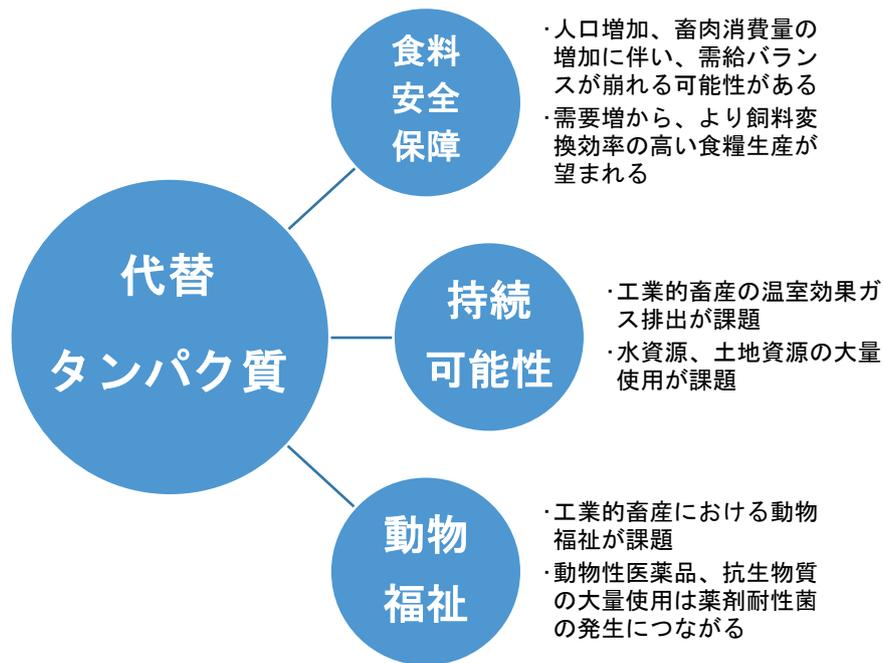
※ 電気自動車や太陽光パネルをはじめとする脱炭素型の製品利用などを「効率性」(赤色)、テレワークや食生活の転換、消費財の長期使用をはじめとする行動変容などを「充足性」選択肢(緑色)として区別。括弧内は分析対象とした選択肢の数。

食の分野においては、菜食、完全菜食など食生活の転換や、代替肉製品、ペスカタリアン食（植物性食品、卵、乳製品、魚介類を食べ、肉を食べない）、ポロタリアン食（哺乳類の肉は食べないが、鳥類の肉は食べる）などタンパク質の転換などが選択肢として示されている。

この研究によれば、食の分野における二酸化炭素換算の温室効果ガスの削減効果をみると、プラントベースの食生活では、菜食（220kg-CO₂e）や代替肉製品（190kg-CO₂e）に加え、バランスのとれた食生活（120kg-CO₂e、バランスフードガイドに沿った食事）への転換にも、温室効果ガスの削減効果が見込まれるという。野菜中心の食生活には健康面のメリットが想定される選択肢も多く、国立環境研究所は、脱炭素で生活の質が向上するような選択肢を取りやすくする地域での取組みが求められていると結論付けている。

農林水産業の環境負荷低減と、昨今の世界的な政情不安で関心を集めている食糧安全保障を両立する技術として、代替肉などフードテックを活用したビジネスが注目されている。2023年2月には、日本の岸田文雄首相が、「安全確保の取組みや表示ルールの整備など新たな市場を作り出すための環境整備を進め、日本発のフードテックビジネスを育成する」と述べ、肉や魚の細胞を培養して育てる「培養肉」、「培養シーフード」を含む「細胞農業」の産業育成に乗り出す考えを示した。今後、新規タンパク質食品としての定義や、原材料や製造工程に関する安全基準、食品表示などの整備が進むことが期待される。

<代替タンパク質需要の背景>



（出所：矢野経済研究所作成）

(4) 代替タンパク質が注目を集める背景

世界の人口増加に伴うタンパク質需要の増加や環境問題等から、代替肉、代替シーフード、代替卵等の代替タンパク質食品が注目を集めている。

これまで広く食べられてきた動物由来の肉は、家畜を解体処理し、肉として提供するものである。しかし、世界人口の増加や経済発展による一人当たりの食肉の需要の増加に加えて、畜産由来の温室効果ガス排出や飼料・水資源の大量利用など、畜産業が地球環境に与える影響が背景となり、将来的には、動物由来の肉のみで需要を満たすことが困難になる可能性が出てきている。特に 2022 年以降、世界的な政情不安の影響から、食品の供給不安定化や価格高騰が発生し、食料安全保障の強化が世界的な課題となっている。さらに、気候変動の激化により、家畜の斃死や、増体性、産乳性、繁殖性など、畜産業の生産性低下が懸念されている。こうしたなか、豆類や野菜等を原材料とする植物由来の代替タンパク質、動物細胞を培養して製造する代替タンパク質等が選択肢の一つとして注目されている。

持続可能な食料生産や食料安全保障の点から、肉のほか魚介類、卵、乳製品等、タンパク質供給源全般において代替食品の研究開発が行われている。代替タンパク質の種類では、植物由来原料を用いた「植物由来肉」や「植物由来シーフード」等の商品化が先行している。加えて、細胞培養技術を用いた培養肉など細胞性食品や、微生物を利用して特定の物質を生産する精密発酵、昆虫タンパク質の活用、菌類や藻類等を用いた食料生産についても、世界各国で取組みが進んでいる。

<代替タンパク質が注目される背景>



(出所：矢野経済研究所作成)

2. 細胞性食品

(1) 細胞性食品の市場概況

① 細胞性食品とは

現在、市場に流通している「食肉」は、動物の筋肉や脂肪から形成されたものである。一方で、近年注目を集める「培養肉」（細胞性食品）など細胞培養による食料生産は、従来行われてきた畜産や水産のように、動物個体を増産したり捕らえたりするのではなく、生物を構成している細胞そのものを、生物の体外で培養することによって目的のものを作り出す新しい生産体系である。

「培養肉」や「培養シーフード」などの細胞性食品は、動物から採取した細胞を培養し、増やした細胞を用いて組織形成することにより作られ、海外・日本国内ともに研究開発の取組みが進められてきた。現在、世界で研究開発されている細胞性食品は、牛肉や豚肉、子羊肉等の哺乳類の肉以外にも、鶏肉、鴨肉、フォアグラ、ウズラ肉等の鳥類の肉、シーフードでは甲殻類、ホタテ等の貝類、サーモンやマグロ、ウナギ等、幅広い種類にわたっている。細胞農業は、農地不要・省資源で食糧生産が可能だと考えられている。

培養肉の作製方法の例では、まず家畜などの動物から細胞を抽出し、培地（培養液、基礎培地）とともにリアクターに加え、増殖させる。分化した細胞を筋肉細胞として構築し、最終製品として肉を作製する取組みが進められている。

この生産手法は「細胞農業」とも呼ばれ、再生医療の技術を応用したものである。なお、細胞農業と再生医療には共通する技術も多く使われるが、原料の純度や、トレーサビリティ等の法規制で差異が存在することが想定される。

<培養肉の作製方法の例>



(出所：日本細胞農業協会 ホームページより)

2025年3月現在、細胞培養による培養肉などの細胞性食品は市販されていない。日本国内では、培養肉など細胞性食品について法的な整備を進めている段階であり、複数の日本企業が研究開発の取組みを進めている。日清食品ホールディングスと東京大学は、共同でステーキ肉の研究開発に取り組んでおり、日揮の社内ベンチャーとして設立したオルガノイドファームは、ウシの培養肉に関する研究開発を行っている。大阪大学では、3Dプリンターを用いてサシ（脂肪）の入った培養牛肉の研究を進めている。さらに、インテグリカルチャーが培養液の研究開発を進めコストダウンを図るほか、ダイバースファームがニワトリの塊肉及びひき肉の作製に成功し、試作段階では、鴨肉やフォアグラの培養にも成功している。

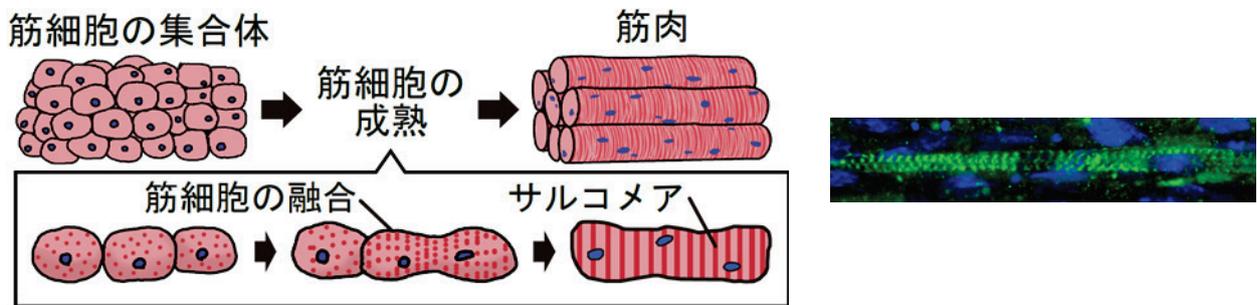
なお、現在の培養肉研究では、ウシやブタなどの動物細胞を採取して培養した「培養ミンチ肉」が多くを占めるが、日清食品ホールディングスは、東京大学の竹内昌治教授との研究グループで、より難易度が高い筋繊維の立体構造を人工的に作成する「培養ステーキ肉」の開発を行っている。ミンチ肉の商品化ではハンバーガーパティなどが想定されるが、ミンチ肉と比較し、ステーキ肉は消費者の嗜好性が高く、高単価となることが想定される。食料危機が懸念される中、培養ステーキ肉は豊かな食生活の維持に繋がり、社会実装の可能性を高めると考えられる。

培養ステーキ肉の作製には、筋細胞を成熟させることが必要とされる。肉の食感は筋繊維の立体構造から生み出される。この立体構造を人工的に作製するためには、筋細胞を増殖させるだけでなく、成熟させ、細胞同士を融合させて細長い筋肉構造に変化させる必要がある。日清食品ホールディングスと東京大学・竹内教授の研究グループはウシの筋細胞を用い、細胞の培養過程でビタミン C を与えることで、細胞の成熟が促進されることを確認した。また、ウシの筋細胞を従来の平面的な培養ではなく、コラーゲンゲル（コラーゲンと水分から成るゲル状の支持体。細胞が接着し、増殖、成熟する足場としての役割を持つ）の中で立体的に培養したところ、筋組織に特有の縞状構造（サルコメア）を持つ筋組織の作製に成功した。

さらに、筋細胞を重ねて束にした層（筋細胞モジュール）を、断面が市松模様状になるよう交互に42層蓄積し、7日間培養することで、約1cm角弱(1.0 cm×0.8 cm×0.7 cm)の筋肉組織の作製に成功した。大型立体筋組織の作製は世界初となる。筋細胞とコラーゲンゲルを混ぜて作られた薄い層を積層することで、内部まで栄養分を届ける構造となっている。

<筋細胞の成熟過程>

<サルコメア>



(出所：日清食品ホールディングス(株) 提供資料)

2022年3月、日清食品ホールディングスは、食用可能な素材のみを使用し培養した「食べられる培養肉」の作製に成功したことを発表した。これまで「食用可能な素材のみを使用すること」、「研究過程において食べられる制度を整えること」が課題となっていた。今回、同社と東京大学・竹内教授の研究グループは、独自に開発した「食用血清」と「食用血漿ゲル」（いずれも特許出願中）を使用することで、食用可能な素材のみで「培養肉」を作製できるようになった。既存の食用素材だけでは十分な栄養成分の供給や立体筋組織の構築が困難とされていたが、今回開発した「食用血清」と「食用血漿ゲル」を使用することで、細胞の生育に適した条件で培養することが可能となった。

これまで作製された培養肉の多くは筋繊維のみで構成されるミンチ様の肉であり、肉の複雑な組織構造の再現は難易度が高かった。大阪大学では、工学研究科の松崎教授が凸版印刷と共同で、筋肉・脂肪・血管という異なる線維組織を3Dプリントで作製し、それを金太郎飴のように統合する「3Dプリント金太郎飴技術」を開発、発表している。この技術により、肉の持つ複雑な組織構造をテーラーメイドで構築できるようになったほか、今後、技術の改善により、和牛のサシ等の構造の再現や、脂肪や筋成分の量の制御により、微妙な味や食感の調整が可能となることが想定される。さらに、3Dプリント技術に加え、筋肉や脂肪、血管細胞の培養プロセスも含めた自動装置の開発が実現すれば、場所を選ばずに培養肉の作成が可能となり、持続可能な開発目標（SDGs）への貢献が期待される。

2023年3月には大阪大学、島津製作所、伊藤ハム米久ホールディングス、凸版印刷、シグマクシスが、大阪大学吹田キャンパスにて「培養肉未来創造コンソーシアム」の設立を発表した。研究推進拠点は、大阪大学工学研究科にて同年2月に開所した「培養肉社会実装共同研究講座」、2019年12月に開所した「大阪大学・島津分析イノベーション協働研究所」となる。同コンソーシアムでは今後、活動内

容を世界に発信する場として、2025年日本国際博覧会(大阪・関西万博)における展示を想定している。

従来の市場には、食品原料で作られた培地が存在しなかったが、インテグリカルチャーは、すべて食品原料から成る基礎培地「I-MEM (アイメモ)」を自社開発した。同時に、外部から成長因子を加えずに、動物の体の仕組みを模倣して様々な細胞を大規模に培養可能な汎用大規模細胞培養システム「CulNet System (カルネットシステム)」を開発した。このカルネットシステムでは、細胞の増殖を促す成分を発する細胞と、筋繊維の由来となる筋芽細胞や肝臓細胞などの細胞を同時に培養することで、ウシ胎児血清 (Fetal Bovine Serum : FBS) 代替培養液の効能を大幅に増加させ、大規模で効率的な細胞培養を可能とする。細胞は個別のタンクで培養され、培養液の還流培養システムを用いることにより、有用成分を作出する。成長因子の相互作用により、細胞培養において成長を促すことが可能となる。

< CulNet System (カルネットシステム) >



(出所：インテグリカルチャー プレスリリースより)

インテグリカルチャーは2021年6月、CulNet System 共同技術開発ソリューション「CulNet コンソーシアム」を始動している。CulNet コンソーシアムは、培養肉やコスメ、サプリ等、将来的な細胞農業一般化に向け標準化を目指したもので、インテグリカルチャーを中心として11事業体が参画し、最終的に細胞農業が広く一般化する世界を目的としている。2023年1月には住友理工、同年2月にはニチレイフーズが参画している。さらに、インテグリカルチャーは2024年6月、細胞農業の事業化で必要となる資材と知見・経験を提供する新たなサービス「勝手場(英語名: Ocatté Base)」を開始している。勝手場は、細胞農業に特化した製品のマーケットプレイスであり、同社が開発した食品グレードの培養資材に加え、同社が主宰するCulNet コンソーシアムで共同開発した製品の販売も検討するとみられる。

培養肉の技術は再生医療と非常に密接しており、ダイバースファームは人工臓器作製のために開発された特許技術「ネットモールド」(細胞がもともと持っている、細胞同士で接着しようとする性質を利用し、細胞同士を融合させて大型の細胞ブロックを作製する技術)を用いて、培養肉の研究開発を行っている。今後も、日本の持つ再生医療の技術を活かした研究開発が期待されている。

業界団体では、2019年10月に特定非営利活動法人 日本細胞農業協会(CAIC)が発足した。2020年10月には、農水省主導で「フードテック官民協議会」が立ち上がり、食品企業、ベンチャー企業、関係省庁、研究機関等の関係者がフードテックの領域の課題解決に向けて議論・提言を行っている。

2020年設立の細胞農業研究会は、フードテック官民協議会における注力領域のうち「細胞農業 WT (ワーキングチーム)」の事務局を担い、国内外の有識者を招いた勉強会の開催や提言書の作成を行った。政策提言や業界ガイドラインの制定などに携わる中、組織としての活動を行うこととなり、2022年12月、一般社団法人 細胞農業研究機構(JACA)が発足している。

2023年5月、細胞農業研究機構は設立総会を開催し、国会議員、国内外の政府関係者、関係業界団体、同機構の会員企業、メディアなどが参加した。この設立総会では細胞性食品(培養肉)の実演とし

て、培養肉未来創造コンソーシアム、ダイバースファーム、東京女子医科大学、インテグリカルチャーが培養肉の炙り体験や展示を実施し、報道で取り上げられた。細胞農業研究機構には、2023年6月の段階で51の企業や研究者等が参加し、同機構は食品としての安全性や表示方法、細胞提供者の権利保護、消費者への情報提供の在り方等について議論し、透明性の高い形での産業の形成に取り組んでいる。

<ダイバースファームの培養鶏肉を加熱している様子（右下の皿上の培養鶏肉は加熱前）>



（出所：矢野経済研究所 撮影）

② 課題・問題点

培養肉の課題としては、生産コストが高額であること、法規制の整備などが挙げられる。従来の細胞培養方法は、100gの肉を培養するのに数百万円のコストを要した。高コストの原因として、現行の培養液に含まれるウシ胎児血清（Fetal Bovine Serum：FBS）等の成長因子が高価であることが挙げられる。さらにFBSは、細胞接着因子、細胞増殖因子、ホルモンなどさまざまな成分が含まれ、ロット間の差が生じやすいことも課題とされている。

従来の培養液（培地）では、基礎培地（アミノ酸・糖・ビタミン・無機物等）は医療グレードでは2,000円/ℓと原材料に対して割高であること、血清成分（アルブミン、インスリン、トランスフェリン等）はFBS等が使用され90,000円/ℓと高価であること、また従来では成長因子（細胞増殖因子、細胞生存因子など）でも、遺伝子組換え細菌を用いて成長因子を作製する場合に、認可や抽出のコストが高額になることなどのハードルがあった。高額なコストが事業化の課題とされてきたが、原材料ごとにコスト低減策が進められている。FBSを使用しない培地では、植物由来の成長因子や添加物を使用した無血清培地などの使用が想定される。

大量に使用する基礎培地の成分については、培養液のリサイクル等が想定され、高価な基礎培地の成分や血清成分、成長因子については、代替物の利用が想定されている。血清成分や成長因子は極めて高価であるが、細胞の生産と同時に消費されるためにリサイクルを行うことができず、卵黄成分や脂質等、同等の効果を持つ代替物を用いて生産することが期待されている。

<血清成分・成長因子 低価格化の方法>

- ・高効率化……成長因子がより少量で機能するように分子構造を設計する
- ・安定化……安価に抽出できるよう、構造的安定性、耐熱性を持つ分子構造を設計する
- ・大型化……大型のバイオリクターを用いた抽出方法の改善など
- ・代替物……卵黄成分、脂質などの同等の効果を持つ代替物を使用する

（出所：矢野経済研究所作成）

従来は研究開発としてごく少量の培養肉が作製されており、2013年にオランダでMosa meatにより200gの培養肉パティが作られた際には、研究開発費含め、約3,000万円のコストが掛かったと言われている。しかし、Mosa meatは培養液からFBSを除去し、培養液のコストを大幅に削減したことを発表し

ている。食品グレードの低コストな培養液の開発と合わせ、大型培養プラントの実装が行われれば、従来の生産コスト数千万円/kgから 200 円/kg程度へと、大幅なコストダウンが実現する可能性がある。

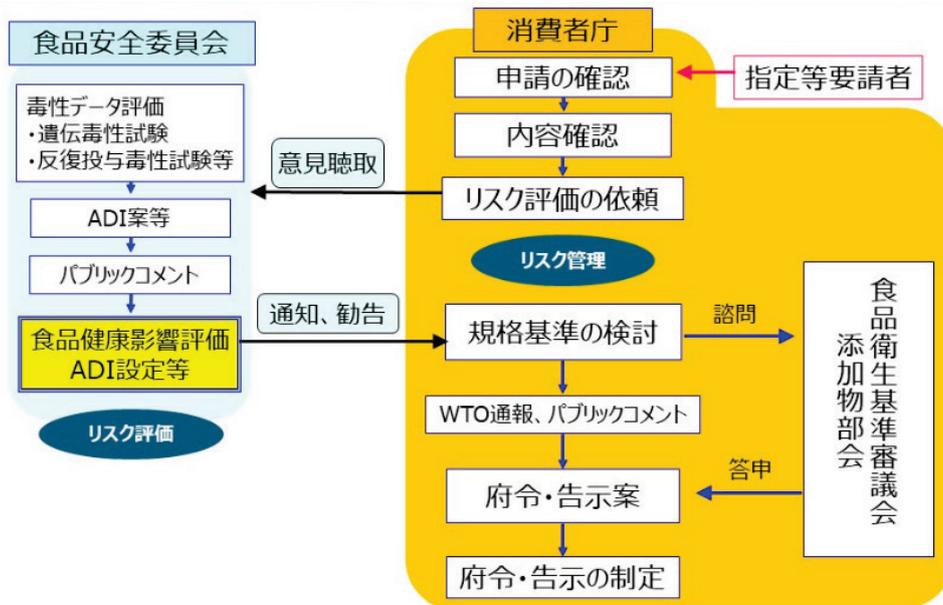
インテグリカルチャーは、すべて食品原料から成る基礎培地「I-MEM（アイメモ）」を自社開発し、FBS 代替培養液と、生体を模倣し還流培養を行う汎用大規模細胞培養システム「CulNet System」を併用することにより、培養液のコストを 1ℓ 当たり 10 円以下と、従来の 1 万分の 1 以下まで低減可能であるとみられる。

安全性の担保については、FBS を使用する場合、再生医療では培地の血清が残っていないことを検査し、証明書によって安全性が担保される。しかし、検査の手間やコスト面を考えると、培養肉に対して全て実施することは難しいと考えられる。このことから、FBS を使用せず食品添加物として認可されている成分のみを用いて培養肉の製造を行うことで、問題なく提供が可能となると想定されている。

培養液については、糖分、アミノ酸、ビタミン、ミネラル分などの食品や、食品添加物として認められたものを用いることで、製品化が可能となると考えられる。なお、食品添加物リストにない成長因子を添加する場合は、安全性試験と食品添加物登録が必要である。日本では、食品衛生法で使用が認められている食品添加物のみが使用できるため、新たな食品添加物を使用したい場合（新規指定）や既に指定されている食品添加物の使用可能な食品の範囲等を拡大したい場合（規格基準改正）には、内閣総理大臣に要請を行う手続きが発生する。食品添加物の新規指定または規格基準改正（以下、食品添加物の指定等）には、内閣府食品安全委員会による安全性の評価（食品健康影響評価）、消費者庁の審議（規格基準案の検討等）等が必要となる。

食品添加物の指定等を要請する者は、消費者庁食品衛生基準審査課を通じて、内閣総理大臣宛に有効性、安全性に関する資料を添え、要請書を提出する。食品添加物の指定制度については、次に示す図「<食品添加物の指定等の流れ>」の手順で行うこととなり、指定を受けるに際しては年単位の期間が必要となることが想定される。

<食品添加物の指定等の流れ>



（出所：国立医薬品食品衛生研究所 食品添加物指定等相談センター ホームページより）

培養肉は新規技術による食料生産であるため、法的な整備に関しては既存の規則ではなく、全く新しいルールメイキングが必要だとの見方も存在し、基本的なルール作りについては、産学官共同で取り組むことが必須だと考えられる。2022 年には、厚生労働省の科学研究事業に細胞培養技術を用いて作られ

る食品（培養肉）のリスクアセスメントを行う研究課題が採択され、培養肉の事業化に向けて法整備を目指す、自由民主党の「細胞農業によるサステナブル社会推進議員連盟」が発足するなど、細胞農業の実現に向けた動きが活発化している。

社会受容性を高めることも重要なポイントの一つである。日本細胞農業協会は、農林水産省・フードテック官民協議会「細胞農業 CC（コミュニティサークル）」の活動の一環として、「細胞農業・培養肉に関する消費者意識調査」を半年に一度程度の頻度で定期的実施している。2021年2月の意識調査の結果は、細胞農業について知っている人は約2割、培養肉について知っている人は約4割となり、まだ社会からの認知度は高いと言えない状況であった。しかし2022年12月の調査では、培養肉について知っているとした人の割合は53.7%となり、調査開始から初めて過半数を超えている。2024年8月には、国立大学法人 弘前大学の日比野 愛子教授と国立大学法人 東京大学の竹内 昌治教授の研究グループが、日本、シンガポール、オーストラリア、デンマーク、イタリアの各国を対象として「培養肉に関する意識の国際比較調査」を実施した。この調査によれば、安全性の確保などの条件が整った場合には、日本を含め各国で5割以上が「培養肉」を食べてみたいとの回答が得られた。さらに、シンガポールとイタリアでは、「培養肉」が環境問題に役立つ可能性に賛同する回答割合が比較的高いなどの傾向がみられた。

培養肉に関しては、メディアでの登場頻度が上がっており、ビジネスマン向けのビジネス誌や専門誌のみならず、一般向けの雑誌や一般紙でも取り上げられていることから認知度は向上しており、日本の首相（当時）も、日本経済新聞の記事で培養肉の業界推進に意欲を示したことが取り上げられた（2023年2月22日「岸田首相、培養肉の産業育成に意欲 環境整備進める」）。同協会は、有名人や有力者からの発言から、さらに一般への認知が広がると想定している。認知度向上に際しては、培養肉などの細胞性食品や細胞農業の生産物に関する情報の透明性を保ち、その製造方法や安全評価について消費者に提示することが引き続き重要だとみられる。

なお、培養肉のネーミングについてはFAO、WHOは“Cell-based food”の呼称を使用しており、各国の行政もこれにならって“Cell-based food”を使用している状況である。日本国内では、日本語での「培養肉」という名称が、研究室の試験管内での培養実験のイメージを消費者に与え、食品としての名称にそぐわないとの意見もある。培養肉は、初期段階の研究は実験室で行われるが、大規模な生産については、食品全般と同様に食品製造施設で行われることが想定されている。一般社団法人 細胞農業研究機構（JACA）は、前述のFAOとWHOが用いる呼称に沿って、培養肉・培養シーフードを含む意味で海外の呼称“Cell-based food”を訳した「細胞性食品」の名称を使用しており、場合によっては従来より用いられている「培養肉」の名称も併記して、「細胞性食品（培養肉）」等の表記を行っている。

③ 今後の方向性と市場の見通し

培養肉は、2020年12月にシンガポールでEAT JUSTの培養肉部門GOOD Meatが培養チキンナゲットを上市し、世界初の培養肉の商品化が実現した。GOOD Meatは2021年12月、培養鶏むね肉でも販売許可を取得している。続いて、米国で2023年11月に販売認可、香港でも2024年11月に販売認可されている。しかし、日本国内では2025年3月時点で、培養肉や培養シーフードなど細胞性食品の商品化は行われておらず、研究開発段階にある。

培養肉流通の実現に向けては、省庁の理解促進を含め法規制への対応の取組みを進めるとともに、各省庁における安全性の確認や認可に加えて、消費者理解の促進を進める必要があるとみられる。

培養肉の参入事業者は、2025年日本国際博覧会（大阪・関西万博）での出展を視野に入れてきた。

2023年3月、大阪大学と参画企業4社（島津製作所、伊藤ハム米久HD、TOPPAN、シグマクシス）による「培養肉未来創造コンソーシアム」が設立され、大阪・関西万博への出展が予定されている。同コンソーシアムは培養肉の社会実装を目指し、肉の大型化に向けて細胞を大量に培養する技術や、作業の自動化などに取り組んでいる。肉を採取して培養し束ねる作業までの自動化や、パッケージや輸送までのサプライチェーンを構築する見通しで、2030年ごろには培養肉を販売開始する可能性がある。

培養肉など細胞性食品の上市に際しては、100%細胞原料のみで安定・大量生産を行うことはハードルが高く、コストが上がるため、まずは植物由来の原料と数%程度の培養肉（細胞）を混合して上市し、随時、製品をアップデートして、細胞の配合の割合を上げていくことが現実的だと考えられる。中長期的には、オルガノイド（試験管の中で幹細胞から作るミニチュアの臓器。幹細胞のもつ自己複製能と分化能を利用して自己組織化させることで、3次元的な組織様構造として形成される）技術や、細胞100%の細胞性食品も実現する見通しである。

さらに、畜産業・水産業など一次産業の従事者に向けても、連携を図ることが重要だと考えられる。細胞農業・細胞水産業に関する情報の提示や、細胞の元となる動物を育てるライセンスフィーを設計するなど、新規業界の一プレイヤーとして連携を図ることが想定される。培養肉など細胞性食品が市場に出ていく中で、従来の畜肉の再現に囚われるのではなく、新しい“細胞”という食材としての調理方法などの発展が期待される。また、消費者へも従来の畜肉と比較して差分を比べるのではなく、新しい選択肢の一つとして提案し、訴求を図ることが市場への浸透において重要であると考えられる。

培養シーフードでは、インテグリカルチャーが2021年8月よりマルハニチロと「細胞培養魚肉」の共同研究を開始しており、2022年8月には一正蒲鉾が加わり、培養魚肉の世界最速商業化を目指すとしている。2022年1月には、回転ずしチェーン「スシロー」を運営するFOOD&LIFE COMPANIESが、米国のスタートアップBlueNalu（ブルーナル）と業務提携し、クロマグロのトロを共同開発することを発表したほか、住友商事の出資を受け三菱商事とも提携している。

今後、起こることが想定される食料危機の解決手段として、細胞培養による細胞性食品の作製は、食料安全保障の観点からも必要な技術であると考えられる。バリューチェーンの変化や輸送コスト削減、肉やシーフードの地産地消などの発展可能性があり、今後は市場の形成に伴い、畜産や水産全体の市場が広がる可能性があると考えられる。

培養肉は新規技術による食料生産であり、海外で先行して規制の整備や販売認可が進んできた。なお、欧米では、環境問題からヴィーガン（完全菜食主義者）が増加傾向にあるとみられるが、ヴィーガンであっても生き物を殺さずに生産された培養肉は食べるという選択をする可能性がある。一方で、培養肉であってもやはり肉であるため食べない、という選択肢も考えられる。これらの新しい需要が広がる可能性は存在するが、個人の選択に基づいたものになることが想定される。

なお、ヴィーガン・ベジタリアン食品に対する認証を行う団体V-Labelは、2025年1月、細胞培養食品に関する業界初の認証制度「C-Label」を導入すると発表した。培養肉は細胞を培養して生産されるが、C-Label認証を受けるためには、培地が動物成分不使用であること、調達や生産の過程で動物福祉に配慮していること、GMOフリー（最終製品が遺伝子組換えでないこと、生産過程での使用は可）、抗生物質不使用、病原体（サルモネラ菌、大腸菌など）を含まない製造プロセス、不死化細胞（分裂回数に上限がなく、無限に増殖が可能な細胞）の使用などが挙げられている。C-Labelの認証開始は、英国を拠点に培養ペットフードを開発するスタートアップ企業Meatlyと共同で発表された。Meatlyは、C-Label認可の培養鶏肉を生産する世界初の企業となった。

培養肉の部位によっても、新たな市場が広がる可能性がある。例えば、フォアグラの生産工程は、ガ

チョウやアヒルに多くの餌を与えることで太らせ、肝臓を肥大させる。この強制給餌の手法が残酷であることから、イタリア、チェコ、デンマーク、ドイツ、ノルウェー、フィンランド、ポーランド、ルクセンブルクなどの国ではフォアグラの生産が禁止されている。しかし、培養フォアグラであれば、倫理的問題がなく生産が可能である。加えて、通常のフォアグラには下処理として血管や筋を取り除く工程があるが、培養フォアグラはもともと血管や筋がないため、非常になめらかな仕上がりが実現できると考えられる。さらに培養肉には、機能性による付加価値という発展可能性が存在する。将来的には、培養技術により、ユーザーの要望に合致した肉質、脂肪量、アミノ酸などの組成割合のコントロールができるようになり、タンパク質量や脂質などを調整したデザイナーズミートともいえる培養肉が実現できる可能性がある。加えて、完全無菌状態の生産設備での培養肉生産では、長期間保存の実現、食中毒予防、疫病などの汚染の影響もなく、「食中毒の起きない肉」を作ることにも可能だと想定される。

なお、培養肉の研究開発は世界的に進んでおり、2040年には食肉全体の35%を培養肉が占めるとの予測も存在する。この数値について、業界関係者からはポジティブな予測であるとの見方も示されたが、食料安全保障や、気候変動による畜産物の生産効率低下などが懸念される中、培養肉など細胞性食品のポテンシャルは大きいと考えられる。

さらに、大手の食品企業やライフサイエンス企業が参入することで、資本や技術など、大規模生産の実現に必要な条件を確立させることに繋がると考えられる。加えて、各国政府による研究助成や補助金が開発の追い風となり、技術革新が進むことに加え、動物福祉と食料生産における環境配慮、持続可能性への関心の高まりなどが消費者の受容性を高めることが期待され、世界の細胞性食品産業は伸長で推移する見通しである。

日本政府は、2022年を「スタートアップ創出元年」と定め、2022年11月、今後5年間のうちに日本国内のスタートアップへの投資を増やすことを目的とした「スタートアップ育成5か年計画」を策定した。海外では、シンガポール政府やイスラエル政府がスタートアップ支援に注力し、特にフードテック分野に力を注いでおり、人材・投資・支援を強化するとともに、大学においても起業家育成プログラムが提供されてきた。

培養肉など細胞性食品では、生産コストの高さ、技術的なハードル、ルール形成、消費者への市場浸透の難しさなどの課題が存在する。今後、ラボスケールからパイロットスケール、商業スケールへと規模拡大が図られる見通しであるが、生産体系の確立や生産コスト削減など、技術面の課題も多く存在する状況である。資金面では、これらの研究開発にフォーカスした助成金や、ベンチャーキャピタルやエンジェル投資家と連携し民間資金の流れを強化すること、培養肉関連の設備投資や雇用創出に対する税制優遇措置等の導入が考えられる。

技術開発への支援策としては、高価なバイオリクターや細胞培養設備を備えた公的な共同研究施設を低コストで貸し出すことや、開発を共同で進めるオープンイノベーションの推進、知財の共有ルールを明確化し協業の促進などが挙げられる。同時に、技術人材の育成を強化することも重要である。

ルール形成の明確化と迅速化も喫緊の課題である。培養肉の安全性審査や表示基準を標準化し、承認プロセスを短縮する規制枠組みを整備することが必要である。また、試食会や試験販売により市場フィードバックを得る機会を提供することで、スタートアップが消費者の反応を把握することができ、製品改良に役立てられる。将来的には、輸出支援などの対応策も望まれる。

消費者受容については、政府や業界団体による培養肉の環境・倫理的メリットの広報や、学校教育で知る機会を提供するなどにより、消費者の抵抗感を軽減できると考えられる。将来的には、認証制度などを設け、消費者が信頼感を持って購入できる環境を整備することが必要である。

日本では、これらの課題に対する支援策として公的機関が積極的に関与することに加え、政府、民間企業、研究機関が連携して取組みを進めることで、培養肉など細胞性食品に関する国際的な競争力を高められる可能性がある。

次に、PEST分析による細胞性食品の今後の市場見通しをまとめた。

<細胞性食品の今後の市場見通し（PEST分析）>

政治（Politics）	<ul style="list-style-type: none">・ 各国政府の培養肉支援政策（例:政府による研究助成や補助金、特許の商業化サポート、等）が開発の追い風となる可能性がある。・ 日本においては法規制の整備やルール形成が喫緊の課題である。・ 世界的には、販売承認の拡大が市場拡大を加速する見込み。
経済（Economics）	<ul style="list-style-type: none">・ 初期の高コストが市場の課題であるが、ラボスケールから商業スケールへスケールアップすることで、コストは大幅に低下する可能性がある。・ 飼料価格の上昇や気候変動による畜産の生産性低下が、従来の畜産コストを圧迫する可能性から、相対的に細胞性食品の価格優位性が高まることが見込まれる。
社会（Society）	<ul style="list-style-type: none">・ 環境意識の高まりや食料安全保障への懸念から、細胞性食品などが一つの選択肢となる可能性がある。培地やへム鉄など付随する分野についても、需要の高まりとともに拡大が見込まれる。・ 消費者の“培養肉は人工的である”などの抵抗感が課題となるが、環境意識の高い若年層の受容性形成が普及の重要な要素となる見込み。
技術（Technology）	<ul style="list-style-type: none">・ 無血清培地等の開発が進み、コスト低減と動物福祉を推進する見通し。・ ラボスケールから商業スケールへのスケールアップにより、生産効率化が進む見込み。培地使用量等が最適化され、市場の成長を支える見通し。

（出所：矢野経済研究所作成）

次に、SWOT分析による細胞性食品の今後の市場見通しをまとめた。

<細胞性食品の今後の市場見通し（SWOT分析）>

参入企業の成功要因（Strengths）	参入企業の課題（Weaknesses）
<ul style="list-style-type: none">環境負荷の低減：培養肉は畜産業に比べ温室効果ガス排出が少なく水使用量や土地利用も大幅に削減し、持続可能性が高い。アニマルウェルフェア：屠殺を必要としないため、倫理的な優位性があり、アニマルウェルフェアを重視する消費者層に支持。デザイナーズミート：脂肪含有量や栄養価を調整可能で、健康志向や特定ニーズ（アレルギー対応、等）に応じた製品開発が可能。	<ul style="list-style-type: none">高コスト：現時点での生産コストが畜肉より高く、価格競争力が弱い。法規制：日本では承認プロセスやルール形成を進めている段階で、市場参入に時間を要する。技術的境界：生産体系の確立と、大規模生産への移行が課題。100%培養肉（ステーキ等）は研究開発が行われているが技術的に難易度が高く、現状ではミンチ肉が主流。
市場成長の機会（Opportunities）	市場成長の脅威／阻害要因（Threats）
<ul style="list-style-type: none">市場拡大：世界的には、人口増加と肉食需要が拡大するとみられる一方、従来の畜産では需要をまかなえない可能性があり、培養肉需要は拡大の見通し。技術提携：バイオ企業や食品大手と協業が進むことで、資金とインフラが強化。気候変動対策：カーボンニュートラル目標を掲げる国々で、政策的な後押しが得られる可能性。	<ul style="list-style-type: none">競合製品：植物由来の代替肉や、従来の畜肉が競合となり、価格や味の差別化が求められる可能性。消費者意識：培養肉は人工的なイメージへの懸念が根強く、ネガティブな世論が普及を阻害する可能性。法的リスク：日本では承認プロセスやルール形成を進めている段階であるが、安全性で問題が発生すれば、規制強化に繋がる恐れ。

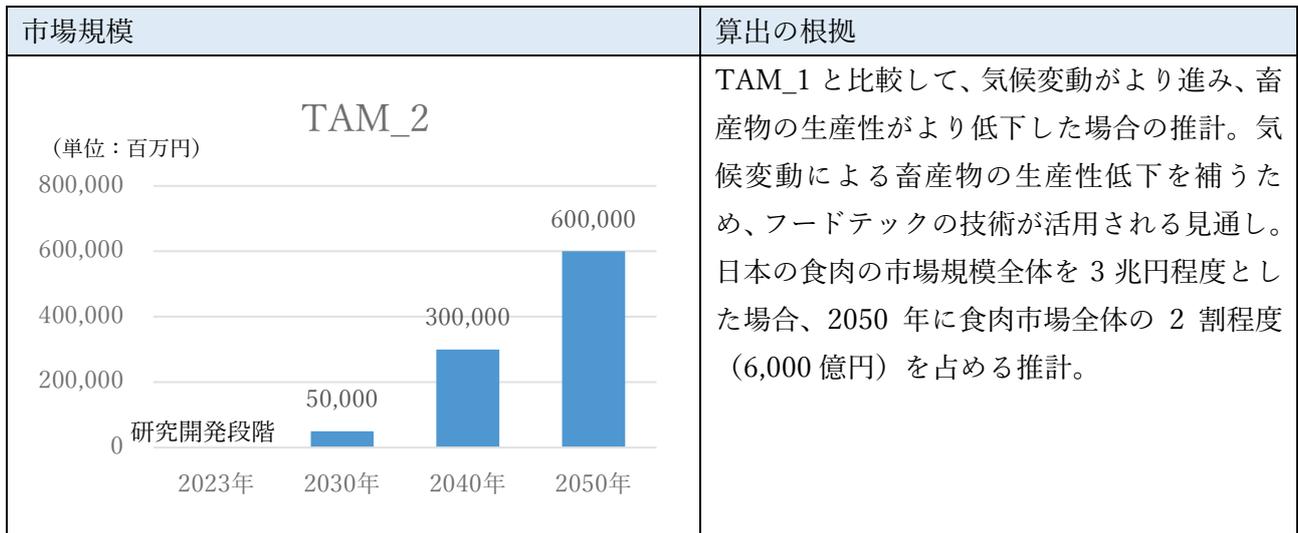
（出所：矢野経済研究所作成）

(2) 細胞性食品の市場規模

細胞性食品は海外で先行して上市されている。日本国内では 2025 年 3 月現在、細胞性食品の市販は行われていないが、研究開発と並行して、ルール形成の取組みが進んでいる。

以下に、低位予測・中位予測・高位予測のパターン分けを行い、市場規模を推計した。SOM (Serviceable Obtainable Market：実際にアプローチできる市場規模)、SAM (Serviceable Available Market：獲得しうる最大の市場規模)、TAM (Total Addressable Market：リーチできる最大の市場規模) として記載を行っている。

市場規模	算出の根拠										
<p style="text-align: center;">SOM</p> <p>(単位：百万円)</p> <table border="1"> <caption>SOM Market Size Data</caption> <thead> <tr> <th>研究開発段階</th> <th>2023年</th> <th>2030年</th> <th>2040年</th> <th>2050年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>研究開発段階</td> <td>300</td> <td>6,300</td> <td>39,000</td> <td>39,000</td> </tr> </tbody> </table>	研究開発段階	2023年	2030年	2040年	2050年	研究開発段階	300	6,300	39,000	39,000	<p>参入事業者・団体等へのヒアリングから、2030年の培養肉市場を推計。2035年～2040年に掛けて普及が進み、その後も年 120%程度の伸長で推移すると推計した。</p>
研究開発段階	2023年	2030年	2040年	2050年							
研究開発段階	300	6,300	39,000	39,000							
<p style="text-align: center;">SAM</p> <p>(単位：百万円)</p> <table border="1"> <caption>SAM Market Size Data</caption> <thead> <tr> <th>研究開発段階</th> <th>2023年</th> <th>2030年</th> <th>2040年</th> <th>2050年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>研究開発段階</td> <td>6,000</td> <td>31,000</td> <td>62,000</td> <td>62,000</td> </tr> </tbody> </table>	研究開発段階	2023年	2030年	2040年	2050年	研究開発段階	6,000	31,000	62,000	62,000	<p>植物由来肉など代替タンパク質とのコンバインドが進んだ場合の推計。</p>
研究開発段階	2023年	2030年	2040年	2050年							
研究開発段階	6,000	31,000	62,000	62,000							
<p style="text-align: center;">TAM_1</p> <p>(単位：百万円)</p> <table border="1"> <caption>TAM_1 Market Size Data</caption> <thead> <tr> <th>研究開発段階</th> <th>2023年</th> <th>2030年</th> <th>2040年</th> <th>2050年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>研究開発段階</td> <td>25,000</td> <td>150,000</td> <td>300,000</td> <td>300,000</td> </tr> </tbody> </table>	研究開発段階	2023年	2030年	2040年	2050年	研究開発段階	25,000	150,000	300,000	300,000	<p>日本の食肉の市場規模全体を 3 兆円程度とした場合、2050 年に食肉市場全体の 1 割程度 (3,000 億円) を占める推計。</p> <p>食肉市場全体のマイナス要因：日本の人口減少、高齢化による消費減退、気候変動による畜産物の生産性低下、等</p> <p>食肉市場全体のプラス要因：インバウンド需要、海外からの移民等の増加可能性、等</p> <p>気候変動による畜産物の生産性低下を補う意味でも、フードテックの技術活用の見通し</p>
研究開発段階	2023年	2030年	2040年	2050年							
研究開発段階	25,000	150,000	300,000	300,000							



(単位：百万円)

	2023 年	2030 年	2040 年	2050 年
TAM_2	研究開発段階	50,000	300,000	600,000
TAM_1	研究開発段階	25,000	150,000	300,000
SAM	研究開発段階	6,000	31,000	62,000
SOM	研究開発段階	300	6,300	39,000

(出所：矢野経済研究所推計)

なお、培養肉は動物細胞を培養して作られるため、培養液（培地）やその成分が重要な役割を有する。培地は培養肉生産の基盤であり、細胞成長に必要な栄養素（アミノ酸、ビタミン、成長因子など）を含む。培養肉開発の初期では高コストであったとみられるが、研究開発によりコスト低減が図られてきた。

培地の市場規模は培養肉産業の成長に連動する見通しであるが、シンガポールやアメリカ、香港で培養肉の販売認可が進んでおり、今後、ラボスケールから商業スケールへの生産規模拡大と技術の確立が図られるとともに、培養肉の生産コストは、開発初期の数千万円/kgから 200 円/kg程度へと、大幅なコストダウンが実現する可能性がある。

ある製品・サービスのライフサイクル全体（資源採取—原料生産—製品生産—流通・消費—廃棄・リサイクル）又はその特定段階における環境負荷を定量的に評価する手法をライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment: LCA）という。LCA に関する論文「Environmental Impacts of Producing Culture Medium Consisting of Serum-free, Food and Complex Ingredients for Cultivated Meat」では、現在の規模の想定年を 2023 年とし、細胞の培養、成熟、組織構築を促すための培養機器であるリアクターのサイズは 0.6L としている一方、将来規模の想定年を 2030 年とし、将来規模で想定される最大のリアクターを 10,000 L としている。この規模推定については、2030 年に商業規模での培養肉生産を予測した過去の LCA 研究である「Ex-ante life cycle assessment of commercial-scale cultivated meat production in 2030」が参考にされている。

培地の使用量は生産手法によって異なるとみられ、今後、商業スケールの生産技術が確立することで市場の規模感も具体性を持つ見込みである。さらに、バイオリクターの効率化による培地使用量の最適化や、培地のリサイクルなどを取り入れることで、コスト低減と環境負荷軽減にも寄与する可能性がある。

また、無血清培地については研究開発が進む一方、現状ではウシ胎児血清（FBS）を使用した場合と比較して細胞増殖の効率が若干劣る場合もあるとみられる。細胞は倍加で増殖するため、生産初期の若干の差が、時間の経過とともに大きな生産効率の差となる可能性がある。培地に関しては、今後、さらに細胞増殖効率の優れた無血清培地や、動物成分を使用しない培地の開発が進むことで、コスト軽減や動物福祉への寄与が期待される。

ヘム鉄は、赤血球のヘモグロビンや筋肉中のミオグロビンの構成成分で、肉特有の旨味や赤みを再現する。培養肉以外の使用例では、フードテック企業の Impossible Foods が、植物由来の代替肉へ遺伝子組換え酵母で生産したヘム（レグヘモグロビン）を使用し、肉らしさを強化している事例がある。Impossible Foods は 2011 年に設立され、2016 年、植物由来肉 Impossible Burger（インポッシブルバーガー）を、サンフランシスコのプロモーションイベントにて発表した。同社の製品は、従来の肉よりも環境負荷がはるかに低く、米国で生産された牛の牛肉と比較して土地が 96%減、水が 87%減、温室効果ガス排出量が 89%減としている。植物由来肉のハンバーガーは、牛肉で作られた同サイズのハンバーガーパティよりもタンパク質が多く、総脂肪、コレステロール、カロリーが少ない。

インポッシブルバーガーは「血の滴るバーガー」として注目を集めたが、これは同社の技術により実現した。タンパク質成分のグロビンは、動物だけでなく植物にも存在し、同社はこれに着目した。例えば、大豆の根にはレグヘモグロビンと呼ばれる物質があり、これにはヘムも含まれている。大豆のレグヘモグロビンと肉のミオグロビンは、ヘムの周りを包む α -ヘリカルグロビンフォールドで構成された類似の 3D 構造を有している。そのため、植物からヘムを抽出し、植物由来肉へ添加することにより、ひき肉の成分の再現に近づくといい。

しかし、そのためには大量の大豆が必要で、1 エーカー（約 4,046 m²）の大豆からは、たった 1 kg の大豆レグヘモグロビンしか生成できない。そこで同社は、大豆レグヘモグロビタンパク質を合成する遺伝子を取得し、*Pichia pastoris* と呼ばれる酵母種に挿入した。その後、改変された酵母を糖とミネラルを供給して培養し、ヘムの成長と複製、製造を促すことに成功した。培養肉への使用としては、肉の風味や色調を再現するために加工の最終段階で添加されることが想定され、特に赤身肉の培養肉で肉らしさの再現に有用であると考えられる。

なお、医薬品グレードのヘム鉄は高価で、研究用試薬の例では 1g あたり数千円後半～数万円程度の価格帯となっている。食品グレードであれば比較的安価であると想定されるが、培養肉の生産プロセスにおいて添加する場合に必要な純度や安定性を満たす必要がある。加えて、動物由来の食品グレード製品は、原料や抽出プロセスが原因でロット差が生じやすい可能性がある。

一方、Impossible Foods のように遺伝子組換え酵母を用いてヘムを生産する場合は、純度が高くロット差が少ないことが培養肉に使用するメリットとして想定される。加えて、効率性にも優れるとみられることから、生産コストを大幅に抑制できる可能性がある。

現状、培養肉製品の上市は、植物由来肉などの代替タンパク質とのコンバインドとなっており、製品中の培養肉（細胞）が占める割合は数パーセント程度であるとみられるが、今後、製品に占める培養肉の割合が上がるとともに、培養肉製品の食味について調整されることも見込まれ、生産プロセスにおいてヘム鉄がより重要な素材となる可能性がある。

次に、培養肉向け培地とヘム鉄の、2030 年、2040 年、2050 年の今後の市場見通しを示した。

<培養肉など細胞性食品、培養肉向け培地、へム鉄の今後の市場見通し>

	2030年	2040年	2050年
培養肉など細胞性食品	<ul style="list-style-type: none"> ・ ラボスケールから1,000L規模のパイロットスケールへ生産規模拡大 ・ 海外では商業スケールの生産体系が確立し始める可能性（最大で10,000L規模） ・ 気候変動、食料安全保障の観点からより重要な技術に 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 商業スケール（10,000L規模）の生産体系が確立 ・ 生産のスケールアップ・効率化によりコスト低下 ・ 植物由来肉等とのコンバインドで培養肉の普及が進む ・ 消費者へ浸透が図られ、受容性高まる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 商業スケール（10,000L規模）の生産体系が確立し、さらに効率化 ・ 生産のさらなるスケールアップ・効率化によりコストはより低下 ・ 培養肉100%製品の実現 ・ 消費者に対する浸透が進み、一般化 ・ ユーザーの要望に合致したデザイナーズミートが作られる可能性
培養肉向け培地	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養肉の生産スケール拡大とともに培地の需要拡大 ・ 無血清培地の細胞増殖効率化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養肉の生産スケール拡大とともに培地の需要拡大は継続 ・ バイオリアクターの効率化による培地使用量の最適化、培地のリサイクル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養肉の生産スケール拡大とともに培地の需要拡大はさらに継続 ・ バイオリアクターの効率化による培地使用量のさらなる最適化、培地のリサイクル
へム鉄	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養肉の生産スケール拡大とともにへム鉄の需要拡大 ・ 製品中の培養肉（細胞）が占める割合は数%程度から増加、食味に資するへム鉄の需要拡大の可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養肉の生産スケール拡大とともにへム鉄の需要拡大は継続 ・ 製品中の培養肉（細胞）が占める割合はさらに増加、食味に資するへム鉄の需要拡大の可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養肉の生産スケール拡大とともにへム鉄の需要拡大はさらに継続 ・ 培養肉100%製品が実現した場合、食味調整等で、生産プロセスにおけるへム鉄がより重要となる可能性

(出所：矢野経済研究所作成)

(3) 海外市場動向

① 各国の取組動向

日本では、培養肉など細胞性食品に対するルール形成について検討が行われている段階である。具体的には、農林水産省がフードテック官民協議会にて検討を行うほか、消費者庁など関連省庁との連携を図り、官民での取組みが継続して進められている。その他、関係団体としては、2019年10月に任意団体「Shojinmeat Project」を前身とする特定非営利法人 日本細胞農業協会（Cellular Agriculture Institute of the Commons：CAIC）が設立され、培養肉を含めた細胞農業（細胞を育てて、食料・資源をつくり出す手法）の社会普及に向けた活動を行っている。さらに、2020年1月、多摩大学ルール形成戦略研究所が細胞農業研究会を創設、2022年12月には法人化し、一般社団法人 細胞農業研究機構（Japan Association for Cellular Agriculture：JACA）となっている。

海外では2020年12月、米国のフードテック企業 Eat Just の培養肉部門 GOOD Meat による培養鶏肉が世界初の培養肉製品として、シンガポールにてシンガポール食品庁（Singapore Food Agency：SFA）の承認を受けた。培養鶏肉は、同国のレストラン「1880」や「Madame Fan」などの飲食店、デリバリーなどで提供が開始された。続いて、2021年12月には同社の鶏胸肉の販売認可が下りた。さらに、GOOD Meat は2024年5月、シンガポールの高級精肉店 Huber's Butchery の冷凍コーナーで、3%の培養鶏肉を使用した製品の販売を開始した。代替タンパク質の業界団体によれば、培養肉など細胞性食品の普及拡大や価格低下に向け、畜肉とのハイブリッド製品の市販は重要なステップであるとの見方もある。香港特別行政区では、香港食物環境衛生署（Food and Environmental Hygiene Department：FEHD）管轄下の食品安全センター（Center for Food Safety：CFS）が新規食品を管轄しており、香港においては2024年11月、オーストラリアを拠点とする培養肉企業 Vow の Forged Parfait（培養ウズラ肉）、Forged Gras（培養ウズラ肉を使用したフォアグラ代替製品）の販売許可が下りている。

各国の認証機関と、取組み動向などの状況を、次の表に示す。

<各国の認証機関と取組動向>

国・地域	認証機関	取組動向
日本 	<ul style="list-style-type: none">販売手続き/販売の禁止等の規制は存在せず、社会実装に向けたルール形成を検討中厚生労働省、農林水産省、消費者庁など省庁の認可、安全性の確認に加え、消費者理解の促進を進める必要	<ul style="list-style-type: none">細胞農業研究機構（Japan Association for Cellular Agriculture：JACA）が日本政府へルール形成に向け提言農林水産省が立ち上げた「フードテック官民協議会」にて、日本細胞農業協会が事務局となる「細胞農業 CC（コミュニティサークル）」などの分科会が活動
米国 	<ul style="list-style-type: none">培養肉は米国食品医薬品局（Food and Drug Administration：FDA）、米国農務省（United States Department of Agriculture：USDA）培養肉は FDA・USDA の規制、培養シーフードは FDA 単独の規制	<ul style="list-style-type: none">2023年6月、米国農務省（USDA）は GOOD Meat と Upside Foods の2社に対し、培養鶏肉製品の生産・販売を認めた2023年7月、Upside Foods はレストランで培養鶏肉を販売

国・地域	認証機関	取組動向
EU 	<ul style="list-style-type: none"> 欧州食品安全機関（Europe Food Safety Authority：EFSA） 	<ul style="list-style-type: none"> EUでは、2018年に施行した「新規食品規則」により、新たな食品の安全性を確認することを欧州食品安全機関（EFSA）でチェックすることが義務化されており、培養肉にも新規食品規則に準拠したEFSAへの申請・許可が必要。今後のバイオものづくり製品への対応が注目される
中国（香港）  	<ul style="list-style-type: none"> 中国では、国家衛生健康委員会（National Health Commission：NHC）の直属機関である国家食品安全リスク評価センター（China National Center for Food Safety Risk Assessment：CFSA）が安全性審査を実施 香港特別行政区では、香港食物環境衛生署（Food and Environmental Hygiene Department：FEHD）管轄下の食品安全センター（Center for Food Safety：CFS）が管轄 	<ul style="list-style-type: none"> 中国では、Joes Future Food（周子未来）、CellX（食未科技）などの培養肉企業が存在する 香港では2024年11月、オーストラリアを拠点とする培養肉企業 Vow の Forged Parfait（培養ウズラ肉）、Forged Gras（培養ウズラ肉を使用したフォアグラ代替製品）の販売許可が下りた
イスラエル 	<ul style="list-style-type: none"> イスラエル保健省（Ministry of Health：MoH） 	<ul style="list-style-type: none"> イスラエルはフードテックを積極的に推進し、細胞性食品、精密発酵等のスタートアップが数多く存在 2024年1月、イスラエル企業 Aleph Farms はイスラエル保健省から世界初の培養牛肉の承認を受けた
シンガポール 	<ul style="list-style-type: none"> シンガポール食品庁（Singapore Food Agency：SFA） 	<ul style="list-style-type: none"> シンガポールはフードテックを積極的に推進し、2020年12月、米国の Eat Just の培養肉部門 GOOD Meat の培養肉（培養鶏肉）の販売を世界で初めて承認、2021年12月には同社の鶏胸肉を販売認可 GOOD Meat は2024年5月、シンガポールの高級精肉店 Huber's Butchery の冷凍コーナーで、3%の培養鶏肉を使用した製品の販売を開始 培養肉企業 Ants Innovate は、シンガポール科学技術研究庁（A*STAR）からのスピンオフベンチャー

（出所：矢野経済研究所作成）

なお、2025年3月時点で、日本国内では培養肉の販売実績はないが、海外における細胞性食品（培養肉）の2025年3月時点の主要な認可・申請状況としては、以下の事例が挙げられる。なお、表に含まない事例として、シンガポールの企業 Esco Aster は、2021年7月にシンガポール食品庁（SFA）から培養肉製造の受託製造開発機関（Contract Development and Manufacturing Organization：CDMO）としてのライセンスを取得し、世界で初めて商用販売向けの細胞培養肉の受託生産が可能となった。なお、表中には参考情報として、一部、人間向け以外のペットフード用途の培養肉も含む（グレー部分）。

<培養肉の主要な認可・申請事例（2025年3月時点）>

国・地域	企業名	取組動向	承認状況
米国	GOOD Meat (米国)	・ GOOD Meat は米国のフードテック企業 Eat Just の培養肉部門。シンガポールで、 世界で最初に培養肉（培養鶏肉）を販売 し、米国でも承認を受けた。	2023年6月
米国	UPSIDE foods (米国)	・ 2023年7月、 米国・サンフランシスコ のレストラン「 Bar Crenn 」で 培養鶏肉 を販売。	2023年6月
米国	Gourmey (フランス)	・ 培養フォアグラ を開発するフランス企業。2024年7月、シンガポール、米国、英国、スイス、EUの5つの市場で承認を申請。	承認待ち
イスラエル	AlephFarms (イスラエル)	・ イスラエルの培養肉企業。2024年1月、イスラエル保健省から培養ステーキ肉「Aleph Cuts」の承認を取得。 培養牛肉での承認は世界初。	2024年1月
英国（※ペットフード用途）	Meatly (英国)	・ 培養鶏肉 を研究開発する、英国の培養肉企業。植物由来のペットフードメーカーOmniと、培養鶏肉を用いたキャットフード缶「Omni Feast」を開発製造し、ドッグフードも開発。 ペットフード用途 で認可を取得。	2024年7月
英国	Gourmey (フランス)	・ 培養フォアグラ を開発するフランス企業。2024年7月、シンガポール、米国、英国、スイス、EUの5つの市場で承認を申請。	承認待ち
英国	Aleph Farms (イスラエル)	・ イスラエルの培養肉企業。2023年8月、培養ステーキ肉の販売申請を英国食品基準局（FSA:Food Standards Agency）に提出。	承認待ち
英国	VITAL MEAT	・ フランスの培養肉企業。 ペースト状の培養鶏肉 を研究開発（100%鶏細胞）。	承認待ち

国・地域	企業名	取組動向	承認状況
	(フランス)	2024年5月、英国食品基準庁 (Food Standards Agency) とスコットランド食品基準局 (Food Standards Scotland) に新規食品の申請書類を提出。	
EU	Gourmey (フランス)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養フォアグラを開発するフランス企業。2024年7月、シンガポール、米国、英国、スイス、EUの5つの市場で承認を申請。 	承認待ち
EU	Mosa Meat (オランダ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2025年1月、培養牛脂の新規食品申請を提出したことを発表。培養牛脂では初の申請。 	承認待ち
スイス	Gourmey (フランス)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養フォアグラを開発するフランス企業。2024年7月、シンガポール、米国、英国、スイス、EUの5つの市場で承認を申請。 	承認待ち
スイス	Aleph Farms (イスラエル)	<ul style="list-style-type: none"> ・ イスラエルの培養肉企業。2023年7月、スイスの小売大手 Migros の協力を受け、スイス連邦食品安全獣医局 (FSVO) に承認申請。 	承認待ち
スイス	Mosa Meat (オランダ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2025年2月、スイス連邦食品安全獣医局 (FSVO) に培養牛脂の申請書類を提出したことを発表 	承認待ち
シンガポール	Good Meat (米国)	<ul style="list-style-type: none"> ・ Good Meat は米国のフードテック企業 Eat Just の培養肉部門。シンガポールで、世界で最初に培養肉 (培養鶏肉) を販売した。 	2020年12月
シンガポール	Vow (オーストラリア)	<ul style="list-style-type: none"> ・ オーストラリアの培養肉企業。高級レストランで培養ウズラ肉を提供。 	2024年4月
シンガポール	VITAL MEAT (フランス)	<ul style="list-style-type: none"> ・ フランスの培養肉企業。ペースト状の培養鶏肉を研究開発 (100%鶏細胞)。2023年12月に承認申請。 	承認待ち
シンガポール	Gourmey (フランス)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養フォアグラを開発するフランス企業。2024年7月、シンガポール、米国、英国、スイス、EUの5つの市場で承認を申請。 	承認待ち
シンガポール	Mosa Meat (オランダ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ オランダの培養肉企業。シンガポール食品庁 (SFA) へ培養牛肉の認可申請を実施済み。 	承認待ち

国・地域	企業名	取組動向	承認状況
香港	Vow (オーストラリア)	<ul style="list-style-type: none"> オーストラリアの培養肉企業。すでに2024年4月にシンガポールで承認を得ている。香港で培養肉(培養ウズラ肉、培養フォアグラ)の販売認可は初。 	2024年11月
タイ	Aleph Farms (イスラエル)	<ul style="list-style-type: none"> 2024年12月、タイ保健省食品・医薬品局(FDA)の新規食品に係るガイドラインに基づき、タイ国立遺伝子生命工学研究センター(BIOTEC)に安全性に関する書類を提出。新規食品の規制プロセスには通常約18カ月を要するため、2026年半ばに認可取得となる可能性がある。 	承認待ち
オセアニア	Vow (オーストラリア)	<ul style="list-style-type: none"> オーストラリアの培養肉企業。オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関(FSANZ)に培養ウズラの食品原料としての評価を求める申請を実施。 	承認待ち

※グレー部分は人間の食用以外の用途(参考事例)。

(出所:各社ホームページ、プレスリリース等より矢野経済研究所作成)

培養肉など細胞性食品は、従来存在しなかった新しい手法で生産される食品であるため、宗教上の食に関する規定に対して、許可されるか否かの議論が行われてきた。

ユダヤ教では、主に旧約聖書に基づいた食事規則として「コーシャ」が存在し、イスラム教では、イスラム法で許された項目として「ハラール」がある。培養肉など細胞性食品に対するコーシャやハラールの見方では、原材料や調達方法、生産方法がポイントになると考えられる。コーシャやハラールの規定では屠殺の基準が定められているが、培養肉は屠殺を経ないため、伝統的な認定プロセスに合致しないと判断される可能性がある。一方で、コーシャでは培養肉が屠殺を伴わず、細胞レベルで増殖するものであるため、「肉」ではなく「人工物」としてパレブ(肉でも乳製品でもない中立的な食品)とみなされるべきだとの考え方も存在する。

ハラールについては2023年9月、米国 Eat Just の培養肉部門 GOOD Meat が、2024年2月にはシンガポール・イスラム評議会(MUIS)が、培養肉は一般的にハラールであるとの見解を示したファトワー(イスラム法学に基づく勸告で、法的拘束力は持たない)を発表した。このガイドラインでは、イスラム教徒が食べることを許された動物種から採取された細胞株を用いていること、培養肉を構成するすべての原材料がハラールであること、製品が汚染されておらず、清潔であることなどの基準を満たした培養肉はハラールであるとしている。

イスラエルでは、培養肉などの細胞由来代替タンパク質が、ユダヤ教の食事法において食べることを許可されるか否か、培養肉企業の Aleph Farms (アレフ・ファームズ) とユダヤ教の権威である首席ラビの協議が行われた。首席ラビは、培養肉のステーキはコーシャ(宗教法)に基づいて、ユダヤ人による消費が許可されていると規定した。この判決により、実験室で培養した細胞から直接培養肉を生産する企業がコーシャ認証を受ける道が開かれた。首席ラビは、屠殺された動物由来ではなく、血

も入っていない Aleph Farms のステーキはパレブとみなされるべきだとの見解を示した。Aleph Farms はイスラム教のハラール認証の取得や、牛肉を食べない厳格なヒンズー教徒が同社のステーキを食べられるかどうかに関する判決も求める予定としている。

＜コーシャ、ハラール規定と培養肉が食品として許可されるためのポイント＞

コーシャ	ハラール	培養肉許可のポイント
<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定の動物種（牛、羊、鶏など）の食用は許可、その他の動物種（豚やラクダなど）の肉は禁止 ・ 規定に則って屠殺されなければならない ・ 肉と乳製品を組み合わせること、血液、坐骨神経、特定の動物性脂肪などの摂取も禁じられている 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定の動物種（牛、羊、鶏など）の食用は許可、その他の動物種（豚など）の肉は禁止 ・ 規定に則って屠殺されなければならない ・ 豚由来成分、アルコール、血液などの摂取が禁じられている 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 培養肉がコーシャ/ハラールとみなされるためには屠殺の基準を満たす必要があるが、培養肉は屠殺を経ない ・ 培養肉の培地にウシ胎児血清（FBS）を使用する場合、血液の摂取を禁じる規則に抵触する。（培地の改良により含まれない場合がある）

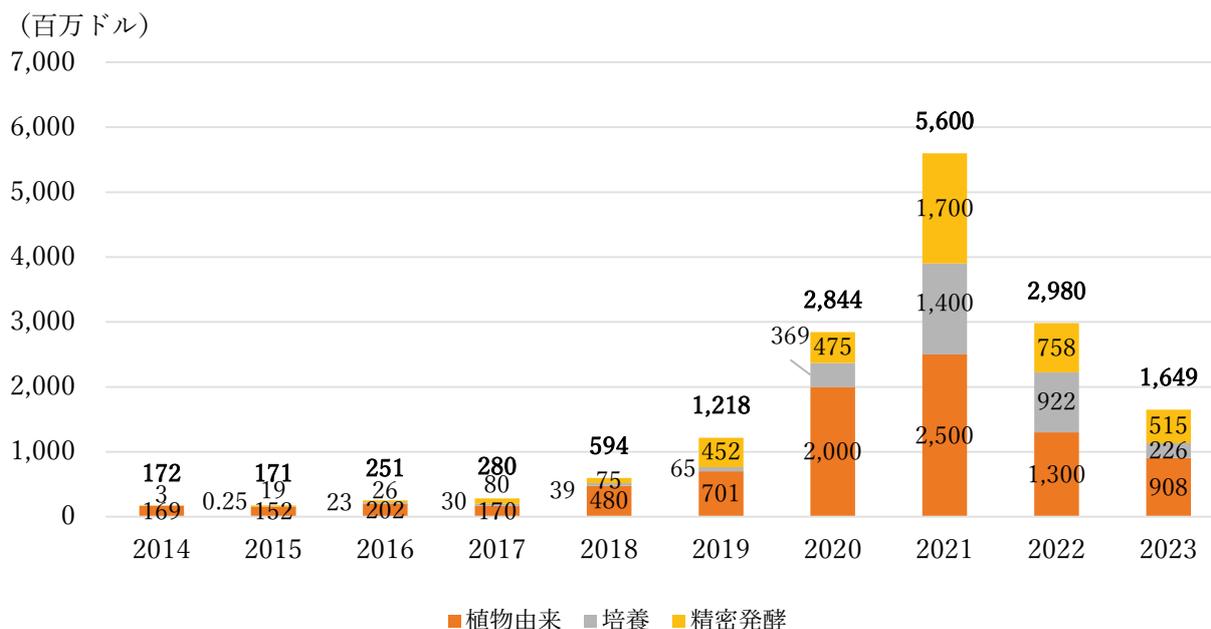
（出所：矢野経済研究所作成）

② スタートアップの市場参入

培養肉をはじめとする代替タンパク質市場は、国際的な穀物商社カーギルや食肉大手のタイソン・フーズなど大手投資家の増加により、スタートアップの市場参入が進んできた。

業界団体の Good Food Institute によれば、培養肉や培養シーフード分野のスタートアップの数は、2019年の時点では世界で55社であったが、2020年には70社以上へ増加し、2023年には174社へ拡大している。投資額では、培養肉・培養シーフード企業は2023年に全世界で2億2,590万ドルを調達した一方で、2022年以降の年間投資額は減少傾向で推移しており、民間資金調達環境全般の低迷を反映したとみられる。

<代替タンパク質への年間投資額（2014年～2023年）>



(出所：Good Food Institute 資料より矢野経済研究所作成)

培養肉など細胞性食品には、次に示す通り、食料問題、動物福祉、環境問題などへのメリットが存在すると考えられている。

<培養肉など細胞性食品のメリット>

- ① 世界の人口増加による食料危機に対応
 - ・ 1体の動物から多くの培養肉、培養シーフードなどを作ることが可能である
- ② アニマルウェルフェア（動物福祉）への寄与
 - ・ 細胞培養により、動物を殺さずに食肉などの生産が可能である
- ③ 地球環境に配慮
 - ・ 動物を育てるより、必要な土地・水が少なく済み、温室効果ガスが少ない
- ④ 衛生的
 - ・ 動物の病原体などを持ち込まずに生産可能で、トレーサビリティが担保され、安心・安全である

(出所：矢野経済研究所作成)

培養肉など細胞性食品において、主要な参入事業者と現状の取組み事例を次の表にまとめた。

＜細胞性食品 参入事例＞

国	企業・組織名	参入経緯・現状の取組み
日本	伊藤ハム米久 ホールディングス	培養肉食用化を目指した取組みとして、大阪大学大学院工学研究科、島津製作所、凸版印刷、シグマキスと「 培養肉未来創造コンソーシアム 」を設立。伊藤ハム米久が提供する和牛由来の食肉細胞を用いて、食味や品質の評価を行う。
日本	インテグリカルチャー	高コストのウシ胎児血清（FBS）を、一般食品を原料とする培養液で置換することで動物由来成分を不使用とし、 価格を大幅に低減 する。同時に、外部から成長因子を加えずに、様々な細胞を大規模に培養可能な汎用大規模細胞培養システム「CulNet System」を開発。FBS 代替培養液と CulNet System を併用することにより、 培養液のコストを 1ℓ 当たり 10 円以下と、従来の 1 万分の 1 以下まで低減可能 である。
日本	NUProtein(エヌユープロテイン)	名古屋大学発のバイオ系スタートアップ。再生医療や培養肉の製造用に成長因子を販売する。成長因子の製造コストを 従来の 3,000 分の 1 に抑える技術を提供。 従来の約 45,000 円から、同社技術により推定約 15 円で製造可能 である。培養魚肉を開発するシンガポールの Umami Meats と、成長因子製造システムを導出するライセンス契約を締結し、2024 年中にシンガポールでの製品上市を目指す。
日本	大阪大学	和牛肉の組織構造を設計図に、 3D プリントで筋・脂肪・血管の線維組織ファイバーを作製して束ねることで、複雑な和牛肉の構造を作製できる技術を開発 。今後は、技術の改善により、和牛のサシなど複雑な肉の構造の再現や、脂肪や筋成分量の制御による微妙な味・食感の調節も可能になる見込み。
日本	オルガノイドファーム	2021 年 11 月、国内最大手のエンジニアリング会社である日揮株式会社の社内ベンチャーとして設立。日揮の持つ細胞培養設備に関するノウハウを活かした新しい事業展開として、培養肉事業に着目して研究開発を開始した。 2027 年頃に数千リットル級のパイロットプラントの稼働を計画しており、2030 年には商業プラント操業開始とともに生産設備の最適化を実現し、培養肉工場の総合プラットフォームとなることを目指す。
日本	細胞農業研究機構	2020 年設立の「細胞農業研究会」を前身として、2022 年 12 月、一般社団法人 細胞農業研究機構として発足。2023 年 5 月には設立総会を開催し、国会議員、国内外の政府関係者、関係業界団体、同機構の会員企業、メディアなどが参加した。 設立総会では細胞性食品（培養肉）の実演として、炙り体験を実施した。
日本	順天堂大学	ウシから分離した細胞を筋および脂肪に分化誘導させることで、 食肉のもととなる直径 1.5cm ほどの 3D の構造物を作製することに成功した 。この技術によって、筋肉成分や脂肪成分を自在にデザインすることが可能になり、 栄養機能食品としても応用できる可能性 がある。順天堂大学大学院医学研究科教授・赤澤智宏氏はオルガノイドファームの特別技術顧問。

国	企業・組織名	参入経緯・現状の取組み
日本	ダイバースフ アーム	人工臓器作製のために開発された特許技術「ネットモールド」の手法（細胞がもともと持っている、細胞同士で接着しようとする性質を利用したもので、細胞同士を融合させて大型の細胞ブロックを作製する技術）を利用し、細胞培養を行う。ニワトリの塊肉及びひき肉の作製に成功しており、試作段階では、鴨肉やフォアグラの培養にも成功している。
日本	東京大学	2019年、日清食品ホールディングスと共同で、牛肉由来の筋細胞を用いて、サイコロステーキ状のウシ筋組織を作製することに成功。2024年度中に基礎技術の完成を目標としている。2022年3月、食用可能な素材のみを使用し培養した「食べられる培養肉」の作製に成功したことを発表。食用可能な培養肉を作製したことで、それまでの計器による分析に加えて、人による官能評価が可能になったことで、味、香り、食感等の「おいしさ」に関する研究開発についても大きく前進した。
日本	日清食品ホー ルディングス	即席麺等の製造および販売を事業とする日清食品を中心とする、日清食品グループの持株会社。世界で増加する食肉需要に対して畜産業の拡大が進んでいないこと、食肉の生産に必要な資源が多く環境に与える負荷が大きいことなどから、これらの課題を解決するため、培養肉の研究開発に参入した。同社・東京大学の研究グループで開発を行い、2019年3月にサイコロステーキ状のウシ筋組織の作製に世界で初めて成功、2022年3月には食べられる培養肉の作製に成功したことを発表し、実用化に向けた取組みを進めている。
日本	日本細胞農業 協会	2019年10月設立の非営利団体。任意団体「Shojinmeat Project」を前身とする。教育事業、学会等の開催事業、細胞農業の普及啓発事業等を行う。毎週水曜日 19:30 から、細胞農業に関して興味を持つ人が集まるオンラインミーティングを開催している。
日本	日本女子医科 大学	藻類等を用いた細胞の培養システムの開発と、特殊な培養皿を用いることで、細胞を単層または数層のシート状にする独自の「細胞シート工学」を利用した培養肉開発を行う。
日本	日本ハム	植物由来肉の市場創出・拡大に取り組むとともに、細胞性食品（培養肉）の技術開発についても、2019年より培養肉ベンチャーのインテグリカルチャーと共同研究を続けているほか、日本ハム(株)中央研究所では、培養方法や細胞の品質など、効率的な培養の実現に向けた技術課題に取り組んでいる。
日本	Hyperion FoodTech	「宇宙時代の食の自給自足」を目指し2023年4月に設立。再生医療で培われたバイオテクノロジー技術を応用して、2023年7月、日本の国産牛の受精胚から多能性幹細胞（ほぼ無限に増殖する能力（自己増殖能）と、個体を構成するあらゆる細胞に分化する能力（多分化能）を併せ持つ細胞）を樹立し、数十継代に亘って維持することに成功したと発表。牛の個体から筋肉の継続的な採取を行わずとも、多能性幹細胞を出発原料として培養肉を製造する基盤技術になる可能性がある。

国	企業・組織名	参入経緯・現状の取組み
日本	培養肉未来創造コンソーシアム	2023年3月、大阪大学・島津製作所・伊藤ハム米久・凸版印刷・シグマックスにより設立。3D バイオプリントによる 食用培養肉製造技術に関する社会実装の具体的な取組み を目的とし、企業を超えた協業により「3D バイオプリント技術の応用開発」、「生産・流通までの一貫したバリューチェーンの確立」、「省庁や民間企業との連携による法規制整備への貢献」を進める。
日本	マルハニチロ	2021年8月、インテグリカルチャーと開発契約を締結し、 魚類の細胞培養技術の確立に向けた共同研究開発を推進することを発表 した。検証に必要な生きた魚（細胞）の提供をマルハニチロが担う。2022年8月、一正蒲鉾が加わり、水産加工食品向けに研究対象を拡大し、3社で培養魚肉の大規模商業化生産を目指す。
日本	山形大学	日本国内の3Dフードプリンター業界をけん引する大学。 数十年後には、人工肉や培養肉、昆虫食を材料とした食品を3Dフードプリンターで作るなど、他のフードテックとの組み合わせた活用も増える可能性がある。
日本	ユーグレナ	微細藻類から栄養素を抽出して動物細胞を培養し、培養肉を作る「循環型細胞培養」 の研究を東京女子医科大学等と実施した経緯がある。植物由来肉では、「NEXT ユーグレナ焼肉 EX」をネクストミーツと共同開発し、機能的食品の共同開発などを実施。
米国	Eat Just (GOOD Meat)	GOOD Meat は Eat Just の培養肉ブランドで、 2020年、シンガポールで世界初の培養鶏肉の販売承認を取得、2021年にも培養鶏むね肉の販売承認を取得。2023年6月、米農務省から培養鶏肉の商業販売認可取得。
米国	Orbillion Bio	2019年設立。カリフォルニア州・サンフランシスコに拠点を置き、 細胞培養牛肉、子羊肉の研究開発 を行う。
米国	UPSIDE Foods	「起源」を意味するラテン語の「Crevi Foods」として設立し、旧社名は Memphis Meats (メンフィスミーツ)。2021年5月に現社名へ社名変更。 2023年6月、米農務省から培養鶏肉の商業販売で認可を得たと発表。
オランダ	Mosa Meat	2013年、同社の共同創業者 Mark Post (マーク・ポスト) 氏は25万ユーロを掛けて 世界初の細胞培養によるハンバーガーを発表 。Google の共同創業者 Sergey Brin 氏等からの資金提供を受けた。
中国	CellX (食未科技)	2020年設立の中国のスタートアップ。2022年上半期には1億元近い資金調達を行い、2023年上半期にも数千万元の資金調達が完了した。2023年2月には、医薬品製造・食品製造向けの総合サービスプロバイダである Tofflon Group と協力し、 中国初の千リットル規模の細胞培養肉パイロットプラントの建設計画を発表 した。
中国	Joes Future Food (周子未来)	2019年12月、南京周子未来食品技術有限公司(周子未来、Joes Future Food)として事業化し、その後、 1年で生産効率を10倍に上げることに成功 した。2021年、7,000万人民币元(約12億円)を調達し、2022年12月、2,000万元の投資を受けた。
シンガポール	ESCO Aster	シンガポールの医薬品受託製造開発機関(CDMO)。 2021年、シンガポール食品庁(SFA)から培養肉の製造認可を取得 した。

国	企業・組織名	参入経緯・現状の取組み
イスラエル	Aleph Farms	2017年に設立された培養肉に取り組む業界のパイオニア的な企業。カーギル、BRF等の世界的な食品企業が出資している。2018年12月に世界初の培養ステーキを、2021年には世界初のステーキ用リブブロス肉を作製したと発表している。2022年4月には日本の三菱商事と日本の市場・規制に適した製品に対する協力の覚書を締結している。 2023年4月にイスラエルとシンガポールにおいて牛培養肉ステーキの販売を予定している新ブランド「ALEPH CUTS」を発表した。
イスラエル	Believer Meats	2018年に設立された培養肉の生産企業で、ADM、Tyson Foods等が出資している。2021年12月に大規模な資金調達を達成し、 米国での生産計画を公表した。 2022年12月に米ノースカロライナ州での世界最大規模の培養鶏肉の生産拠点の着工計画について発表があった。
イスラエル	Forsea Foods	2021年10月設立の魚介類の細胞培養・立体組織化のプラットフォーム技術を持つ細胞水産企業。 日本市場も見据え、ウナギの細胞培養 に取り組む。
イスラエル	Profuse Technology	2021年に設立、 培養肉の細胞分化、融合、成熟の生産段階を最適化することで生産コストを大幅に削減する技術 を開発している。最終製品の販売ではなく、培養の効率化できる培地サプリメントを培養食品製造企業へ販売する事業を計画中である。
イスラエル	Steakholder Foods	3Dバイオプリンターを用いた培養食品の開発 に取り組む。2023年5月にシンガポールのUmami Meatsが製造した培養魚の組織を同社の3Dプリンターで切り身状にしたものの試食会をイスラエルの要人を招き実施。同社の3Dプリンター機器と培養食品製造技術を食品メーカーなどに向けた販売を予定している。
イスラエル	Super Meat	培養鶏肉の開発・製造 に取り組むスタートアップ企業。2018年にドイツの家禽大手PHW、2022年3月に味の素が出資している。テルアビブ市でパイロットプラントに併設するレストランでメニューの受容性テストを実施した。

(出所：矢野経済研究所作成)

③ 細胞性食品のライフサイクルアセスメント

ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment：LCA）とは、ある製品・サービスのライフサイクル全体（資源採取－原料生産－製品生産－流通・消費－廃棄・リサイクル）又はその特定段階における環境負荷を定量的に評価する手法である。

すでに 2011 年、フィンランド・ヘルシンキ大学の Hanna Tuomist 氏が、論文「Environmental impacts of cultured meat production」を発表し、培養肉生産プロセスに関する LCA を実施しており、同氏は 2019 年にも LCA に関する論文「The eco-friendly burger: Could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products?」を発表している。これらの論文によれば、培養肉生産が現状の家畜飼育による食肉生産よりも、必要となる土地、水、エネルギー、温室効果ガスの量を減少させ得ることが示されている。

2022 年 12 月には、米国の SCiFi Foods（旧名称：Artemys Foods）が、培養牛肉製品について初となる LCA を実施した。SCiFi Foods のデータ提供を受けて、オハイオ州立大学が実施した研究内容によれば、SCiFi Foods の培養肉バーガーは同等のビーフパティと比較して、温室効果ガス排出量が 87% 少なく、エネルギー使用量が 39% 少なく、土地利用への影響が 90% 少なく、水使用量が 96% 少ないことが示され、気候変動への影響において、培養牛肉は畜産牛肉より環境負荷が低いことが示された。なお、SCiFi Foods は 2024 年 6 月、資金調達難から事業停止を発表している。

2024 年 3 月には、SuperMeat が同社の 100% 培養鶏肉と持続可能な方法で生産された従来の鶏肉を詳細に比較分析した、オランダの調査会社 CE Delft による LCA の結果を公表した。調査結果によれば、従来の畜産品と比較して、同社の培養鶏肉は二酸化炭素排出量を 47% 削減、PM2.5 等の粒子状物質の排出 64% 削減（家畜ふん堆肥などに由来する）、土壌酸性化を 85% 削減（アンモニアの排出や化石燃料の燃焼で生成される二酸化硫黄などに由来する）、土地利用の 90% 削減、飼料必要量の 68% 削減などが示された。さらに、家畜に与えた飼料の量に対して、その家畜が生産する肉や卵などの量を示す飼料要求率（Feed Conversion Rate：FCR）の観点では、SuperMeat の培養鶏肉の生産効率を 1 とすると、家禽類は 2.8、豚肉は 4.6、牛肉は 5.7 となり、SuperMeat の培養鶏肉が最も生産効率が高い結果となった。

2024 年 11 月には、精密発酵により乳タンパク質（ β -ラクトグロブリン）を生産するフランスの Verley（旧社名：Bon Vivant）が、精密発酵分野では欧州初の査読付き LCA 結果を公表した。この論文は、フランス国立農業・食糧・環境研究所（INRAE）の専門家 Lorie Hamelin 氏による科学的な第三者検証を実施し、同社の精密発酵による β -ラクトグロブリンの生産手法により、従来の乳製品と比較して、温室効果ガス排出量が 99% 削減、水の消費量が 81%、農地の利用面積が 99% 削減できるとの結論を述べている。

<細胞性食品（培養肉）・精密発酵のライフサイクルアセスメント（LCA）事例>

研究主体	温室効果ガス排出量	土地利用	水使用量
SCiFi Foods・オハイオ州立大学（培養牛肉）	87%削減	90%削減	96%削減
SuperMeat・CE Delft（培養鶏肉）	47%削減（CO ₂ ）	90%削減	（項目なし）
Verley（精密発酵 β -ラクトグロブリン）	99%削減	99%削減	81%削減

(出所：論文等より矢野経済研究所作成)

一方で、Verley は、精密発酵は乳製品に完全に代替するものではなく、乳製品と連携して持続可能な選択肢を提供するものであるとの見方を示している。精密発酵は、世界の喫緊の課題である持続可能性と脱炭素化の課題に対応するとともに、消費者の期待する品質や栄養、味の提供が可能となる技術だと同社はみている。世界的にタンパク質の需要が高まる中、精密発酵のように供給源が多様化することで、食料安全保障の支えとなるとともに、土地や水など限られた資源への負担軽減策としても有効であると考えられる。

なお、日本でもインテグリカルチャーが、公立大学法人 滋賀県立大学、エイゾスと培養肉(細胞性食品)の製造において LCA を確立するための共同研究を行い、2022 年 11 月～2023 年 10 月の研究期間で培養肉製造に関する LCA 及び技術経済性分析(Techno Economic Analysis : TEA)手法の確立を行った。この研究の目的は、インテグリカルチャーが独自に開発した新たな細胞培養技術である「CulNet System (カルネット システム)」を用いて、培養肉を製造した際の LCA 及び TEA の指標及び解析方法を確立した上で定量的な評価を行い、培養肉の産業化による効果を検証するものである。

同社の CulNet System は、動物体内の臓器間相互作用を模したシステムである。同社は、ラボスケールの実証実験において、CulNet System を用いた血清様成分の作出に成功したことを明らかにしており、従来、細胞培養で必須であるとされていた、ウシ胎児血清 (Fetal Bovine Serum : FBS) や成長因子を添加しない細胞培養を実現した。FBS は高価であることから、コスト面に加え、アニマルウェルフェアの面でも課題があると考えられ、無血清培地など代替品の研究開発が進められてきた。CulNet System は、FBS や成長因子を必要としない「低コストな細胞培養」を実現する技術としても期待される。

2025 年 3 月、インテグリカルチャーの資金提供による論文「Environmental Impacts of Producing Culture Medium Consisting of Serum-free, Food and Complex Ingredients for Cultivated Meat」が発表された。この論文は、培養肉生産の環境影響の大部分は培地によるものとして、培養肉用の無血清、食品、複合成分からなる培地を生産することによる環境影響を、実験室規模での活動データに基づく LCA を実施することで定量的に評価・分析したものである。

この論文では、インテグリカルチャーが開発した培地を対象とし、基礎培地は、DMEM (ダルベッコ 改変イーグル培地) をベースとして、DMEM のすべての成分を食品・食品添加物に置き換えて設計された。この基礎培地を用いて複数の臓器細胞を共培養し、各臓器細胞の相互作用により、血清代替となる成分を分泌して無血清培地を実現する方法を用いている。なお、血清代替物を調製するために、細胞培養プロセスで培養助剤として卵黄抽出物と酵母抽出物を使用している。

論文からは、現在の培地生産における環境影響は、電力、動物由来の原材料、消耗品で大きいことが示された。電力については再生可能エネルギーを使用する方法もあるが、再生可能エネルギーの割合の増加が土地利用の増加に繋がるため、荒地や建物の屋根、市街地や水面を発電施設の敷地として利用することや、農地や牧草地など他の土地利用と土地を共有するなどが想定される。また、この研究では細胞抽出源として卵を使用しており、将来的には、細胞抽出源を半永久的に分裂する細胞株 (生体から単離した細胞や遺伝子操作を行った細胞が、一定の性質を保ったまま長期間にわたって増殖・培養できる状態になったもの) に変更することや、屠殺せずに環境影響の低い家畜から生検細胞を採取することに移行することで、動物由来の原料の使用を削減でき、動物福祉にも貢献できるとの見通しが示された。

半永久的に分裂する細胞株は、細胞抽出源として動物に頼る必要がなく、大量に細胞を調製できるという利点がある。しかし、特に日本では、培養肉生産における細胞株の使用に対する消費者の受け入れが不確実であることが論文中でも指摘され、現在の規模では卵から抽出した初代細胞が使用されている。

今後、食用細胞株の開発や、細胞株使用の安全性の証明、消費者の理解などが進むことで、細胞株が導入され、細胞抽出源として卵から細胞株に移行するとの想定が示された。消耗品については、現在規模では装置の動線はシリコンチューブなどの消耗品が使用されているが、ステンレス配管の導入などが進むことで、消耗品の使用が抑えられるとの見通しが示された。

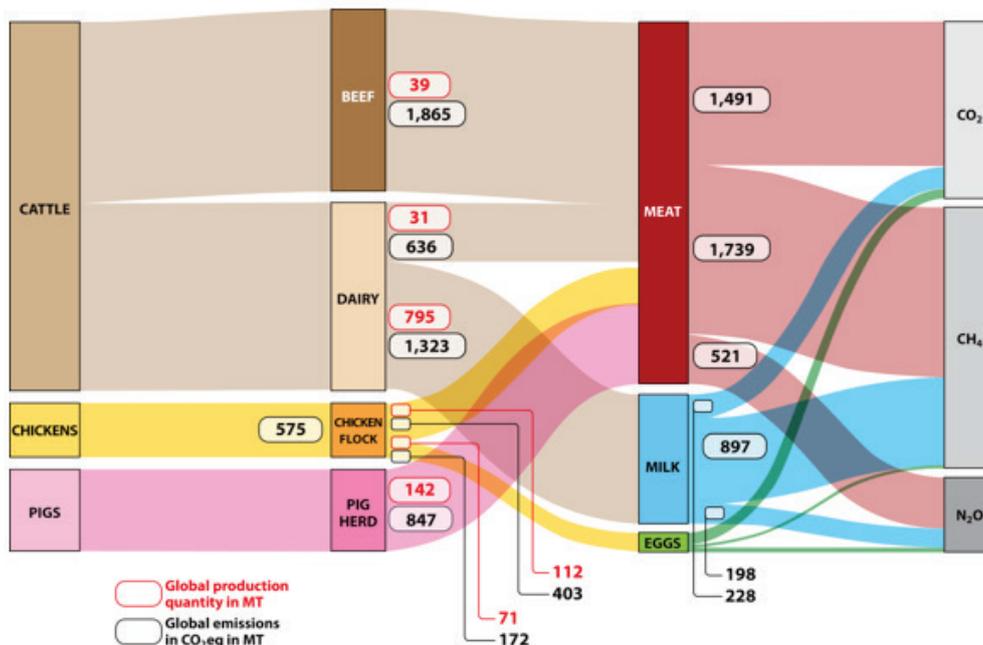
なお、データベースは「LCI データベース IDEA Ver.3.3 (IDEA)」を使用している。培地には 15 種類のアミノ酸が含まれていたが、データベースからは個々のアミノ酸の環境負荷強度に関するデータが得られなかったとしており、今後の培地や培養肉生産の正確な LCA 研究には、アミノ酸やビタミン生産の詳細な環境影響に関する知見の蓄積が必要であると指摘している。

また、論文中では、動物由来の食品の消費は、温室効果ガスの排出、土地利用、水利用、富栄養化、生物多様性に関して、他の食品よりも環境への影響が大きいことが指摘された。さらに、人口増加と豊かさの増加に伴い食肉消費も増加していることから、世界の食肉生産は今世紀初頭から 2050 年までに 76%増加するとの予想も示された。そのため、畜産生産の環境影響はさらに増大することが想定され、培養肉は食肉生産の新しい方法として大きな注目を集めていると指摘された。

さらに業界団体の The Good Food Institute (GFI) は、食品セクター向けのプラットフォーム開発などを行う Foodsteps と提携し、LCA プロジェクトとして参入企業にデータの提供を求めるとともに、代替タンパク質分野の LCA 支援ソフトを開発している。無償版・有償版がリリースされ、温室効果ガス排出、水利用、土地利用、淡水の富栄養化、土壌の酸性化などの項目が測定できる機能を有している。

また、精密発酵による牛乳及び卵蛋白質の生産について書かれた論文「The next food revolution is here: Recombinant microbial production of milk and egg proteins by precision fermentation.」において、以下のように、畜産物の世界生産量と温室効果ガス排出量が掲載され、畜産物全体の温室効果ガス排出量に占める牛肉及び乳製品の割合が高いことが示されている。

< 畜産物の世界生産量と温室効果ガス排出量 (単位：百万 t (MT)) >



※CO₂ (二酸化炭素)、CH₄ (メタン)、N₂O (一酸化二窒素)

※赤枠の数字は世界の畜産物生産量 (百万 t)、黒枠の数字は温室効果ガス排出量 (CO₂換算、百万 t)

出所：Nielsen, M. B., A. S. Meyer, and J. Arnau. "The next food revolution is here: Recombinant microbial production of milk and egg proteins by precision fermentation." Annual Review of Food Science and Technology 15 (2024).

④ その他の代替タンパク質（参考情報）

培養肉など細胞性食品以外の代替タンパク質について、概況を示す。

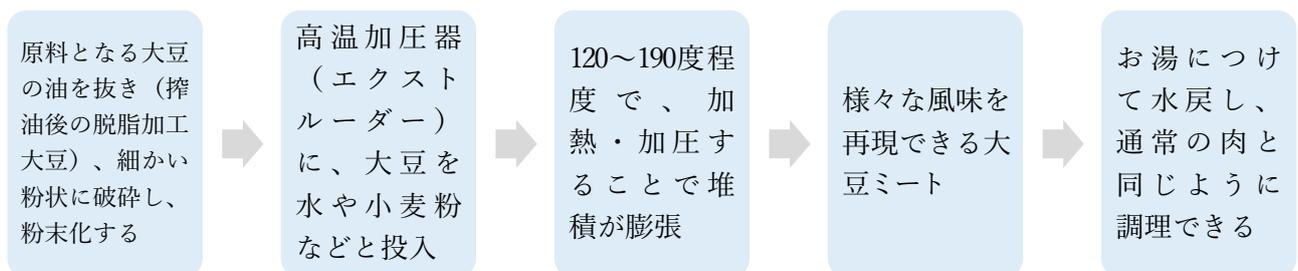
○植物由来タンパク質

植物由来タンパク質食品は、肉代替やシーフード代替、卵代替など幅広く展開されている。このうち肉代替である「植物由来肉」の原材料は、欧米ではエンドウ豆等の豆類タンパク、小麦タンパク等のほか、ジャックフルーツや菌類のマイコプロテインなどが使用されている。日本国内市場では大豆が大きな割合を占め、「大豆ミート」の名称で市販されているほか、小麦やエンドウ豆、ソラ豆等の豆類、きのこ等が原材料として使用されている。これらの原材料は単体で使用されるほか、ブレンドされ製品化される傾向にあり、植物由来原材料同士のブレンド製品のほか、植物由来原材料と畜肉をブレンドした製品も存在する。より食味が優れ、サステナブルに生産が可能な新規原材料が模索されており、菌類、藻類などが原材料として検討されている。

日本国内では、世界的にフードテックが活況を呈する以前から、精進料理のがんもどきなどをはじめ、伝統的に大豆製品を活用する食文化が発展してきた。豆腐ハンバーグなどの加工食品用途でも、脱脂大豆からタンパク質を抽出し固めた「植物性たん白」が利用されてきた。一般社団法人 日本植物蛋白食品協会によれば、「植物性たん白」は原料の大豆や小麦からタンパク質を抽出し、主に食品の素材として使われるものを指す。大豆系は粉末、粒状、繊維状があり、小麦系は粉末、粒状・ペースト状（冷凍品）がある。

大豆を原料とする大豆ミートの加工は、エクストルーダー（押し出し成型機）と呼ばれる食品加工機械を用いて行われる。製法の一例では、原材料の大豆を粉碎したものを水などとともに混ぜながら加熱し、混練（こんれん、「混ぜる」、「潰す」、「練る」、「つく」などの作業を同時に行う）することで繊維状となる。混ぜ合わせたものは、吐出部より外に出た瞬間、圧力から解放され一気に膨らみ、肉のような食感を作り出すことができる。

<大豆ミートの製法例>



（出所：矢野経済研究所作成）

原材料の選定から、加工機械、製法を含め、各メーカーはさらなる美味しさの追及と食味の向上に尽力している。エクストルーダーを使用した製法のほか、イスラエルの Redefine Meat（リディファインミート）などの企業が、大豆やエンドウ豆、ヒヨコ豆などを原材料として、3D フードプリンターで作られたステーキ肉などの植物由来肉をイスラエルや欧州などで販売している。

○昆虫由来タンパク質

2013年、国際連合食糧農業機関（FAO）は、昆虫の食用および飼料としての可能性を評価した報告書「Edible insects Future prospects for food and feed security」を発表した。この報告書によれば、昆虫は少なくとも世界で20億人の伝統的な食習慣であると推測されており、1,900種以上の昆虫が食用として扱われているという。報告書中では、「2050年に90億人へ食料を供給する必要がある中、昆虫が飼料や食糧問題に対する有望な食材である」と指摘されている。

昆虫食の有用性として、コオロギの重量を1kg増やすために要する飼料は2kg程度であるなど、飼料変換効率の高さが挙げられている。加えて、牛や豚などの畜産と比較して温室効果ガスやアンモニアの排出削減効果が期待できる点、飼育に必要な水の使用量が少なく済む点、廃棄物などの有機物でも育てることが可能である点、人畜共通感染症へのリスクが小さい可能性がある点などが、メリットとして挙げられている。

植物由来の代替肉や培養肉の市場、そして昆虫タンパク質を使用した家畜用飼料や水産用飼料がグローバルに成長している中、昆虫そのものを人間が食べることは、まだ欧米など先進国の主流にはなっていない。特に米国では、スタートアップが市場参入を試みているが、一般消費者が昆虫食を歓迎して食べている段階には到達していない。しかし、世界には伝統的にタンパク源として昆虫が食される地域もあり、FAOの報告書では、世界の20億人がすでに昆虫を食していると推定されている。食用に使用されている昆虫は、カブトムシなどの甲虫、イモムシ、アリ、ハチ、バッタ、イナゴ、コオロギ、セミ、ヨコバイ、ウンカ、カイガラムシ、カメムシ、シロアリ、トンボなどが挙げられ、中国南部、韓国、東南アジア、パプアニューギニア、アフリカ各国などの国や地域では昆虫が一般的に食べられている。日本国内でも、大正時代には55種類程度の昆虫が日常的に食べられていた経緯があり、山間部では蜂の子・イナゴなどがタンパク源として利用されてきた。

一般消費者向けでは、家畜生産が多くの水資源、飼料、土地を必要とすることに対して、持続可能な代替手段として訴求されている場合が多い。国連食糧農業機関（FAO）によれば、地球の耕作可能な土地の約26%が動物の放牧に使用されており、メタンを生成する家畜の代わりに昆虫を食べることは、環境に優しいと考えられる。昆虫はより少ない水資源と、有機性廃棄物で成長することができ、生産のために小さなスペースしか必要なく、飼育ケージは垂直に積み重ねることができるため、生産効率が非常に高い。

しかし、地域によって昆虫食の受容性には差が存在する。地域差では、欧米では昆虫の形状が分からない食品が好まれ、アジアではそのままの姿で間食や副菜として食べる傾向がみられる。各国の食文化によって、異なる消費傾向に合わせた商品展開が必須だと考えられる。従来、昆虫が食されてこなかった国や地域では、昆虫を食品として商品化し流通させる場合、新たな制度が必要となる。

日本の農林水産省が主導するフードテック官民協議会では、「昆虫ビジネス研究開発」、「サーキュラーフード推進」などの分科会で、昆虫食に関する取組みが進められている。「昆虫ビジネス研究開発ワーキングチーム」は、食用昆虫の国際プラットフォームであるIPIFF（Promoting Insects for Human Consumption & Animal Feed）の先行事例勉強会を行い、国際基準も視野に入れ、科学的根拠を担保し、昆虫食先進国の強みを活かすガイドラインの形成に取り組んできた。2022年7月には「コオロギの食品および飼料原料としての利用における安全確保のための生産ガイドライン（コオロギ生産ガイドライン）」、2023年2月には「ミズアブの食品及び飼料原料としての利用における安全確保のための生産ガイドライン（ミズアブ生産ガイドライン）」が公開されており、今後、昆虫利用における規格化、標準化が進められるとともに、昆虫利用の社会受容性の向上が図られる見通しである。

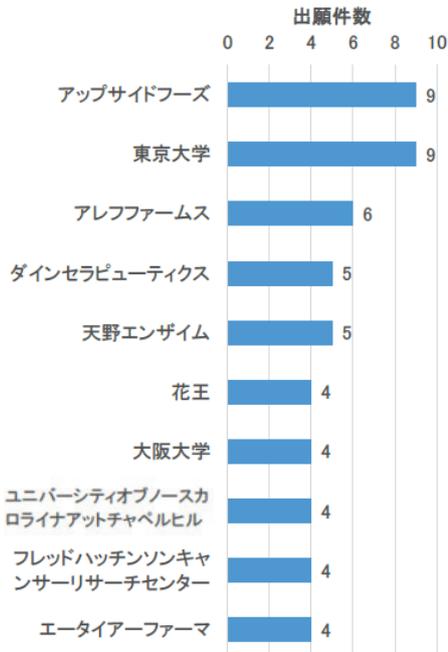
(4) 特許情報

① 細胞性食品の特許出願件数、累積推移

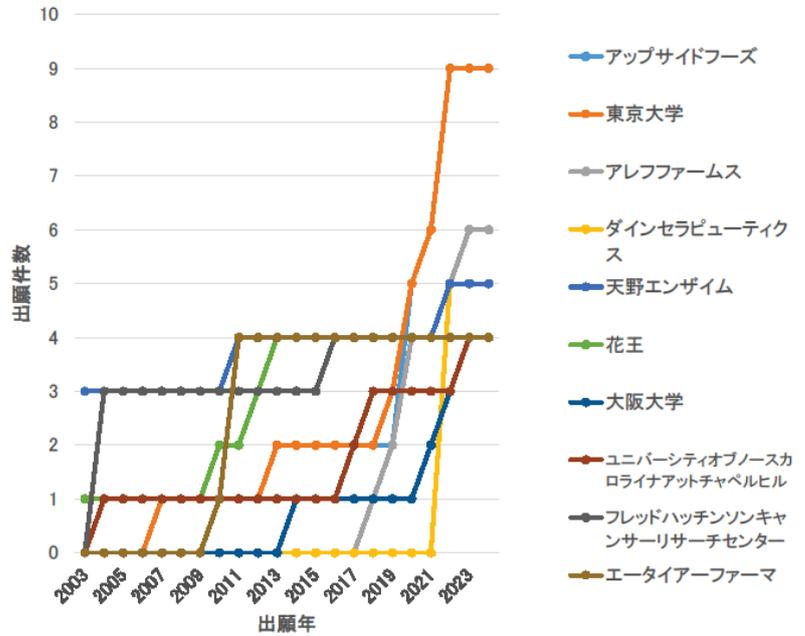
以下、グラフは矢野経済研究所作成。

○日本

◇特許出願件数

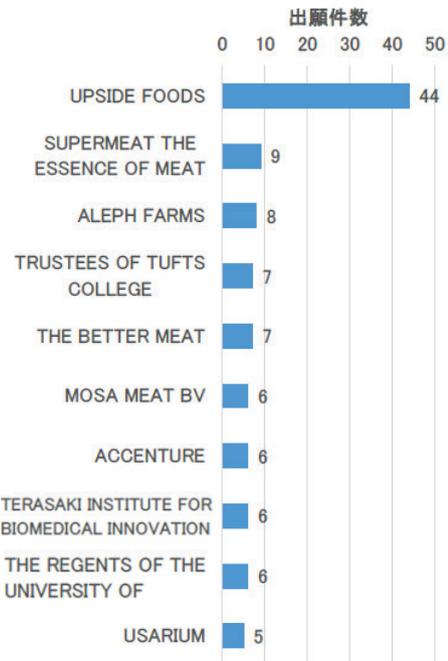


◇特許出願件数 累積推移

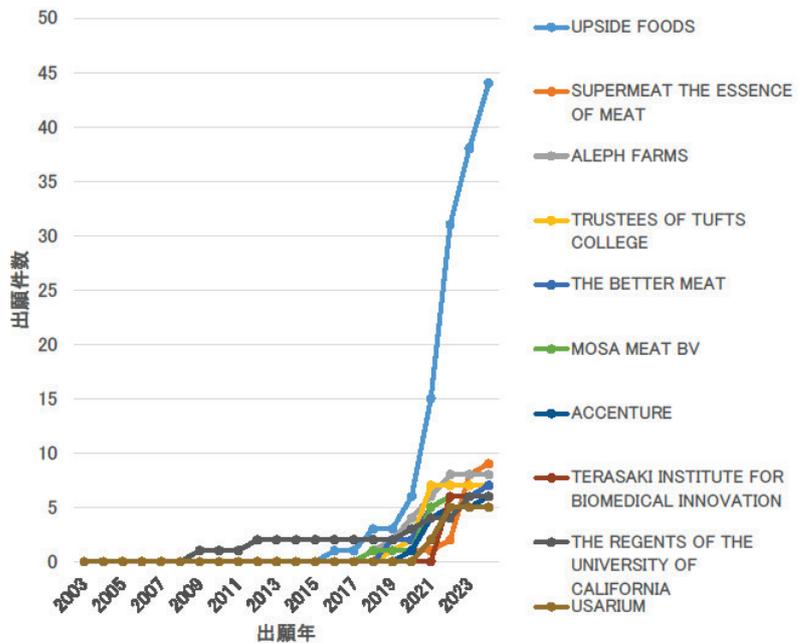


○米国

◇特許出願件数

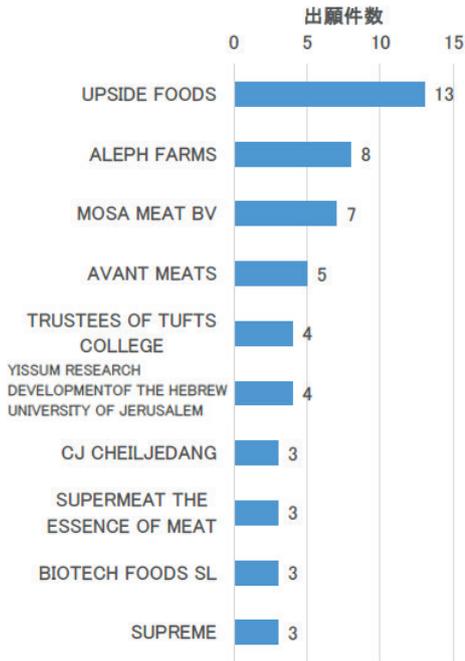


◇特許出願件数 累積推移

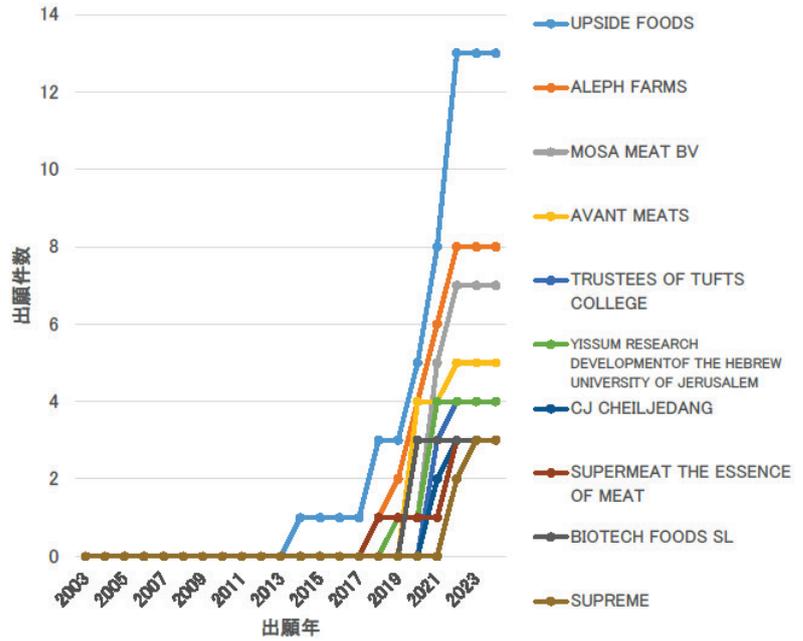


○欧州

◇特許出願件数

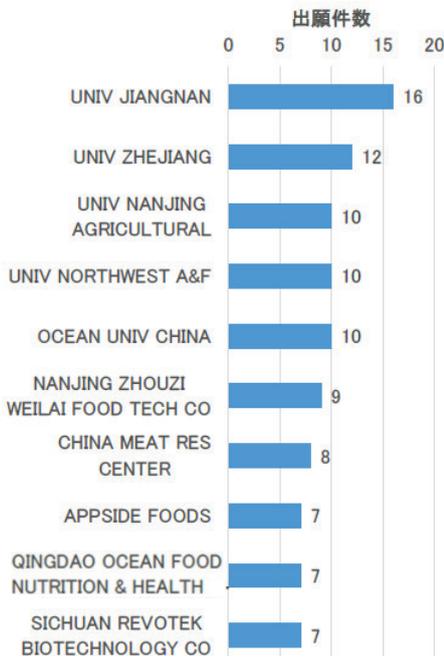


◇特許出願件数 累積推移

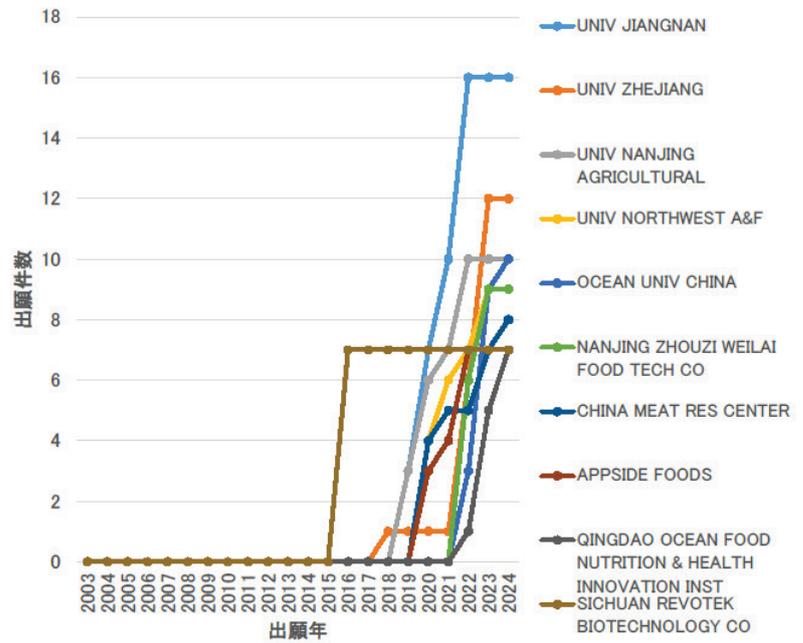


○中国

◇特許出願件数



◇特許出願件数 累積推移

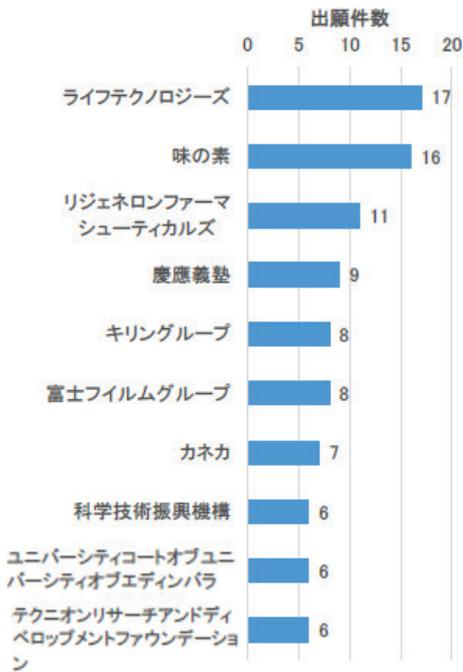


② 培養肉向け培地用タンパク質：無血清培地の特許出願件数、累積推移

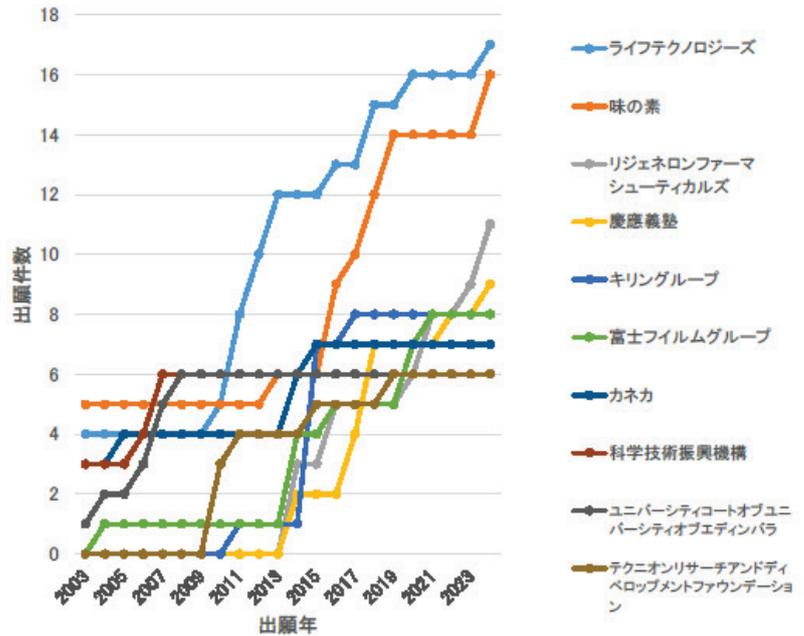
以下、グラフは矢野経済研究所作成。

○日本

◇特許出願件数

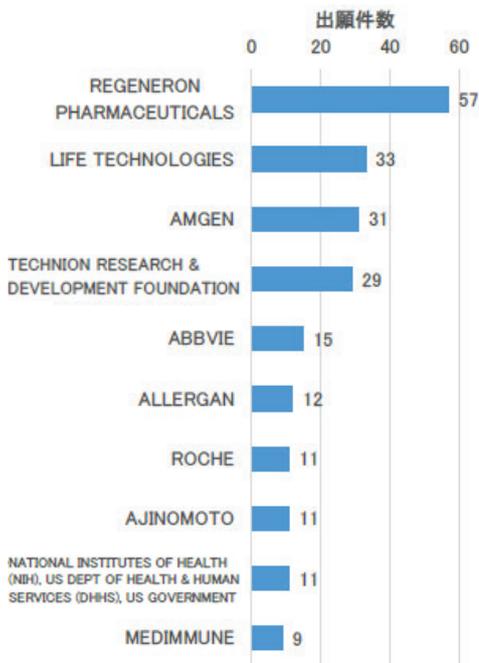


◇特許出願件数 累積推移

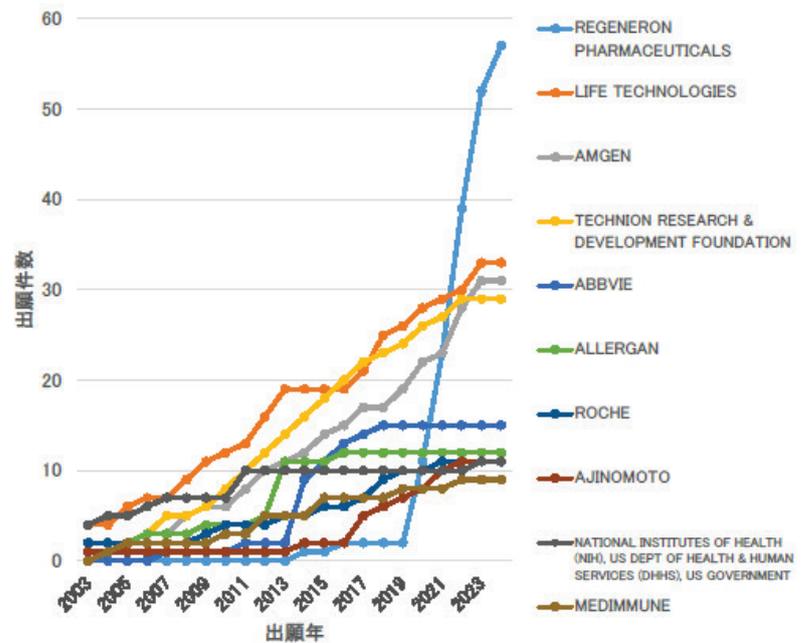


○米国

◇特許出願件数

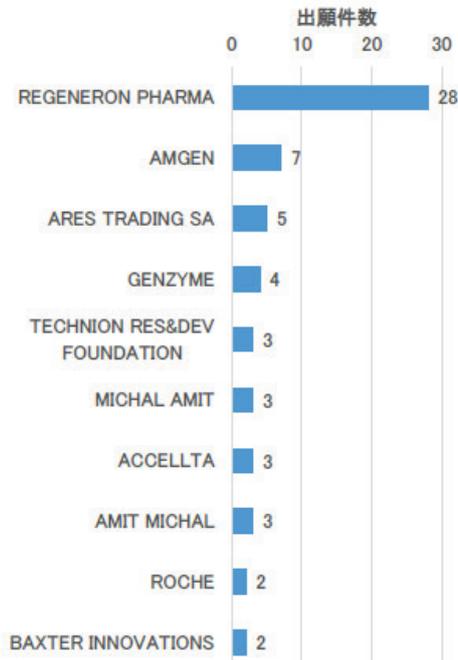


◇特許出願件数 累積推移

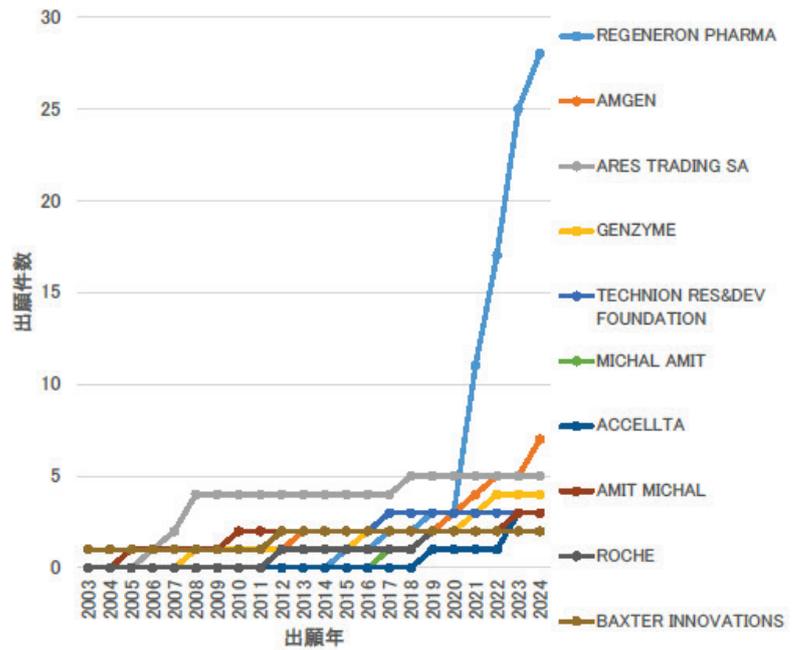


○イスラエル

◇特許出願件数

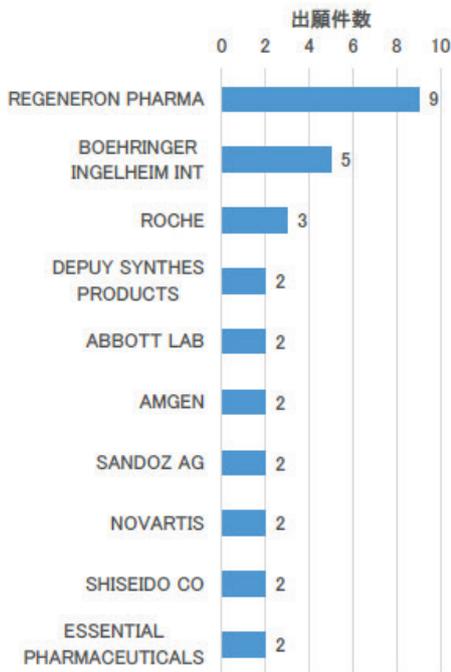


◇特許出願件数 累積推移

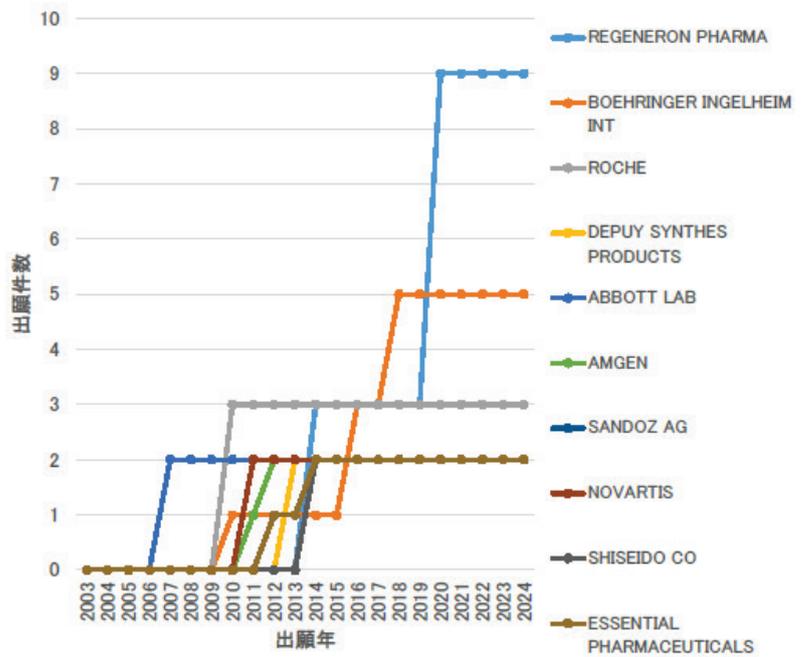


○シンガポール

◇特許出願件数

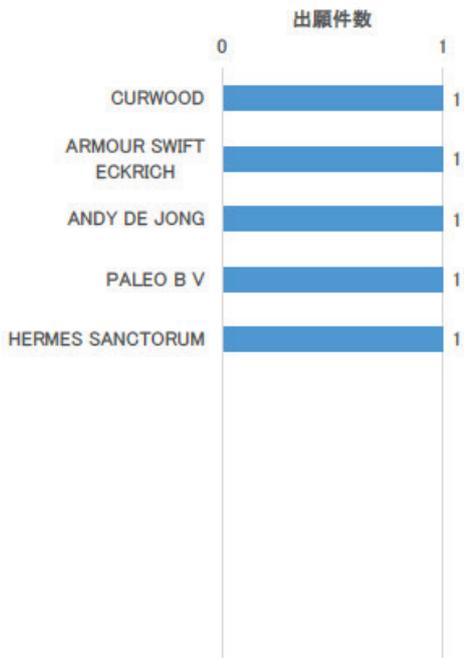


◇特許出願件数 累積推移

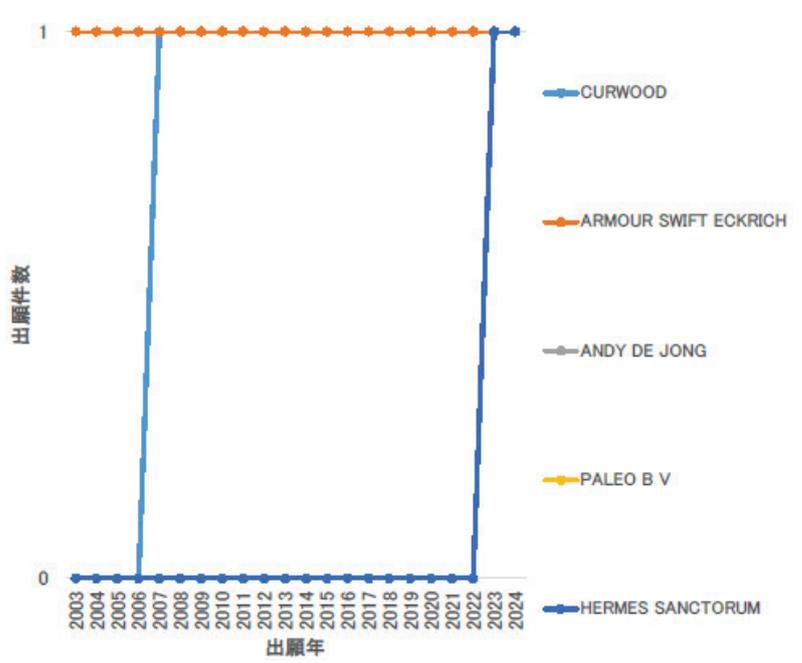


○イスラエル

◇特許出願件数



◇特許出願件数 累積推移

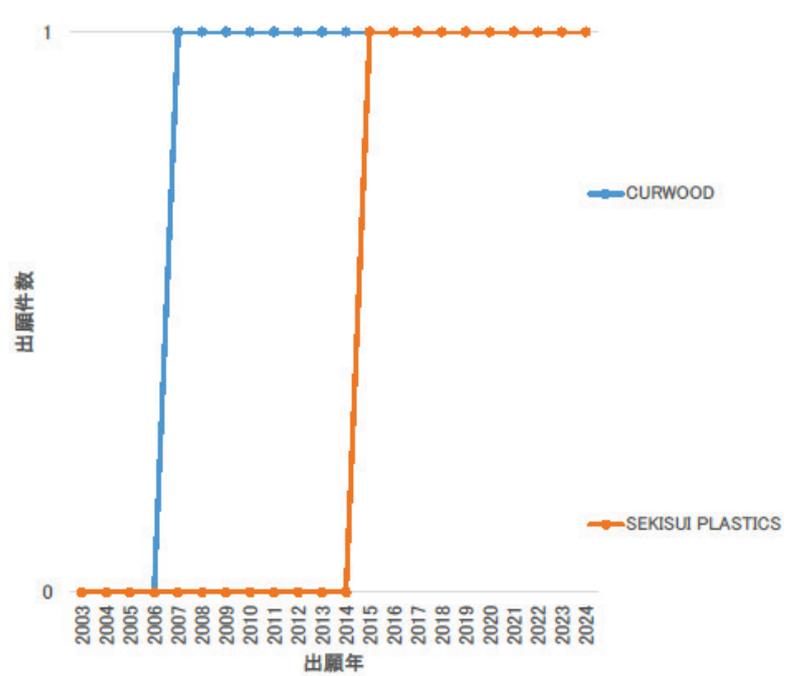


○シンガポール

◇特許出願件数



◇特許出願件数 累積推移



3. 動植物性タンパク質素材（精密発酵）

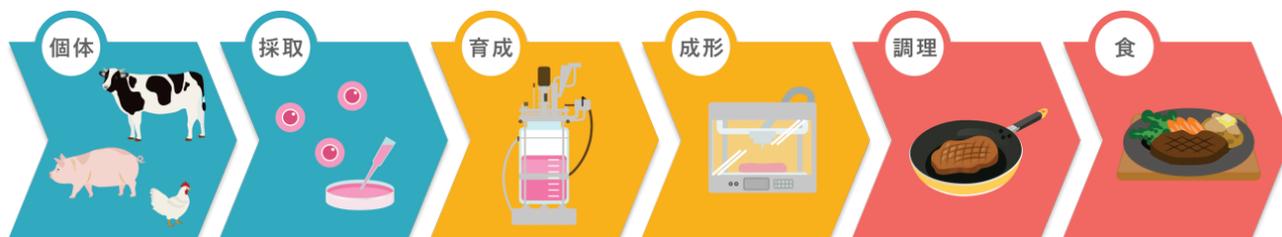
(1) 動植物性タンパク質素材（精密発酵）の市場概況

① 精密発酵の市場概況

新技術として注目を集めている技術が「精密発酵」である。精密発酵は、微生物を利用して、より高い純度が要求される特定の機能性成分を製造する技術である。微生物は、必要なタンパク質を分泌した後は最終生産物から除去される。

類似の生産手法として、近年注目を集める「培養肉」（細胞性食品）など細胞培養による食料生産がある。「培養肉」や「培養シーフード」などの細胞性食品は、動物から採取した細胞を培養し、増やした細胞を用いて組織形成することにより作られる。従来行われてきた畜産や水産のように、動物個体を増産したり捕らえたりするのではなく、生物を構成している細胞そのものを、生物の体外で培養することによって目的のものを作り出す新しい生産体系である。この生産手法は「細胞農業」とも呼ばれ、再生医療の技術を応用したものである。なお、細胞農業と再生医療には共通する技術も多く使われるが、原料の純度や、トレーサビリティ等の法規制で差異が存在する。細胞農業は、農地不要・省資源で食糧生産が可能だと考えられている。精密発酵も「細胞農業」のカテゴリの一つであると捉えられる。

<細胞農業>



(出所：日本細胞農業協会 ホームページより)

細胞農業でつくられる製品には、培養した細胞自体がプロダクトとなる「細胞性産物」、培養した細胞から特定のタンパク質等を抽出してプロダクトを生産する「非細胞性産物」があるが、日本国内での議論は前者が主となっている。米国等の海外では、非細胞性産物であるアニマルフリーの卵やミルクが既に販売されている。

<細胞農業のカテゴリと生產品目の例>

カテゴリ	生產品目の例
細胞生産物(最終生産物に細胞が含まれる)	牛肉、豚肉、鶏肉、子羊肉、鴨肉、フォアグラ、ウズラ肉、魚類(サーモン、マグロ、ウナギ等)、甲殻類、貝類、等
非細胞生産物(最終生産物に細胞からの抽出物が含まれる)	ミルク、卵白、コラーゲン、チーズ、等

(出所：矢野経済研究所作成)

細胞農業は、細胞培養の技術を用いるため、動物のみならず植物への応用や、食料以外の産物を生み出すことへの応用が可能だと考えられる。

精密発酵は、官能特性や機能性の向上が可能となることが特長で、企業の参入事例としては、米国の Perfect Day やイスラエルの Remilk、オーストラリアの All G Foods 等が微生物発酵により乳タンパク質を開発するほか、米国の New Culture は精密発酵でチーズを開発しており、2022年8月には農産物加工・食品原料メーカーの ADM と提携を発表している。ドイツの Formo は、精密発酵のクリームチーズを発表している。

精密発酵で卵タンパク質の開発を行う企業では、米国の The EVERY Company (旧社名：Clara Foods)

やフィンランドの Onego Bio などがある。その他の成分においても多岐にわたり、植物由来肉の風味向上のためのヘムでは米国の Impossible Foods、色素ではデンマークの Chromologics やアルゼンチンの Michroma、イスラエルの Phytolon が開発を行っている。油脂ではスウェーデンの Melt & Marble (旧社名: Biopetrolia) やオーストラリアの Nourish Ingredients、米国の Zero Acre Farms 等があり、ハチミツでは米国の MeliBio、母乳では米国の Helaina やシンガポールの Turtletree Labs 等が挙げられる。チョコレートなどの例もあり、チョコレート大手の Mars は精密発酵による乳タンパク質を使用したヴィーガンチョコレートバー「CO2COA」を発売している。

これらの企業は、従来の畜産による生産と比較して、精密発酵による生産は土地・水・温室効果ガスを大幅に削減でき、持続可能性が高いことをメリットとしている。

その他、微生物の働きを利用して、空気や電気からタンパク質を生成する取組みも行われている。米国・カリフォルニア州のバイオテクノロジー企業 Kiverdi は、2008 年より炭素変換技術の研究を進めている。二酸化炭素排出量の削減、食品や日用品の持続可能な生産を目指し、プラスチックを生分解性材料へ分解する技術、炭素由来の材料や炭素副産物を生分解性製品に変換する循環技術、養魚用飼料「CO2 AQUAFEED」、有機作物栄養素「REVIVE SOIL」などの研究開発に取り組んでいる。

Kiverdi は、1970 年代の NASA の宇宙計画にあった、限られた空間と資源のもとで食料を生産するための炭素変換を利用したアイデアに着目した。単細胞生物「水素酸化細菌」を利用し、空気中の二酸化炭素からタンパク質を生成する方法を用い、同社は 2019 年 11 月、世界初の空気由来のタンパク質「Air Protein (エアプロテイン)」を製造したと発表した。

2019 年には子会社 Air Protein を設立し、垂直農法の施設「エアファーム」による空気ベースの肉「エアミート」の生産に取り組んでおり、同社によれば、このタンパク質は従来の肉と比べて、1 kg あたり約 52 万 4,000 分の 1 の土地と約 11 万 2,000 分の 1 の水で生産でき、数時間から数日の短期間に生成できるとされている。

製品には 9 種類の必須アミノ酸を含んでおり、大豆から作られたタンパク質に比べ 2 倍のアミノ酸量が含まれている。ビタミンとミネラルが豊富で、ナイアシン (ビタミン B₃)、チアミン (ビタミン B₁)、リボフラビン (ビタミン B₂) などのビタミン B 群のほか、ヴィーガンの食事で欠乏しがちなビタミン B₁₂ が含まれているという。遺伝子組換え技術、農薬、除草剤、ホルモン、抗生物質などが使用されないため、安全で環境負荷も軽減できると考えられる。2023 年 7 月、Air Protein は農産物加工・食品原料メーカーの ADM と提携し、研究開発を行うことを発表している。

フィンランドのスタートアップ Solar Foods は、食料生産を農業から切り離すことに着手している。Solar Foods のタンパク質生産工程は、フィンランドの VTT 技術研究センター、ラッペーンランタ工科大学 (LUT) による研究を土台として、ESA (欧州宇宙機構) と提携して技術開発を行っている。生産工程としては、水を分解して水素を発生させ、水素に二酸化炭素とミネラルを加えて混ぜたものを微生物 (水素酸化細菌) に加え、タンパク質を生成させる。これに熱処理を加えることで、粉状の「Solein (ソレイン)」が完成するという。ソレインは、タンパク質を 65~70% 程度、脂肪 (主に不飽和脂肪) を 5~8% 程度、食物繊維を 10~15% 程度、ミネラル等を 3~5% 程度含む。ソレインには、人体に必要な 9 種類の必須アミノ酸がすべて含まれ、主要栄養素の組成は、乾燥大豆や藻類の組成と非常に似ているという。

2020 年 12 月には、政府組織 Business Finland からの助成金 430 万ユーロ (約 5 億 4 千万円) を調達、2021 年 4 月にはフィンランド気候基金 (The Finnish Climate Fund) から 1,000 万ユーロ (約 13 億円) を調達し、2022 年 2 月にはフィンランド薬局年金基金 (The Pharmacy Pension Fund) から 1,000

万ユーロ（約 12 億 8,000 万円）の出資を受けた。同社は、生産プロセスと実証に 2,000 万ユーロ以上の投資を継続しており、施設への総投資額は 3,500 万ユーロに上っている。調達した資金で商業規模の生産工場「Factory01」を建設中であり、2024 年に完成し、生産が開始される予定としている。なお、同社は 2021 年 9 月にシンガポール食品庁（SFA）へソレイン等の新規食品申請を行い、2022 年 9 月に食品の販売認可を取得したことを発表。2023 年 6 月、シンガポールでソレインを使用したアイスクリームを発売した。2023 年 5 月には味の素と提携しており、シンガポール以外の国・地域での販売許可取得に向け協力する見通しである。

同社によれば、牛肉のタンパク質 1kg を得るには、360 平方メートルの土地と 13 万リットル以上の水が必要である。エンドウ豆タンパク質 1kg を生産するには、18 平方メートルの土地と 68,000 リットルの水が必要である。しかし、1kg のソレインを生産するために必要な土地と水の量は、同量の牛肉を生産するのに必要な土地の 0.1%と水の 1%で、その排出量は牛肉のわずか 0.7%、エンドウ豆の約半分であり、環境負荷の低さを大きなメリットとしている。農業、天候、気候に依存しない生産であるため、砂漠や北極地域、宇宙などの条件下でも生産が可能で、動物や光合成植物が必要ないため、持続可能性が高い。

オーストリアの Arkeon Biotechnologies は、微生物の古細菌とガス醗酵を活用することにより、二酸化炭素を食品に変換する技術を開発している。同社独自の技術により、人間の食生活に必要な 20 種類のアミノ酸すべてを 1 回の発酵で製造することが可能であるという。このプロセスでは、農地を必要とせず、資源や地理的な制約のない生産システムが実現できる可能性がある。同社は 2023 年 7 月、オーストリア・ウィーンのパイロット工場（150L バイオリアクターシステム）にて試運転を開始し、拡張計画の次のステップとして、3,000L のバイオリアクターシステムの試運転に向けて取組みを進めるとみられる。

なお、精密発酵による生産物の多くが食品添加物に分類される見込みであり、米国では食品添加物には米国食品医薬品局（FDA）の「市販前承認」が必要となる。しかし、この市販前承認では、1 つの添加物に対して 1 つの用途でしか販売・安全性の認可を得ることができない。新規の食品添加物認可のもう一つの方法として、FDA の新規の食品添加物の安全性を認証するためのプログラム「GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証」を受けする方法がある。GRAS 認証は、市販前承認が不要となることに加え、1 つの添加物に対して複数用途での販売・安全性の認可を得られるメリットがある。精密発酵による生産物は、例えば乳タンパク質であれば、1 つの素材から複数の商品を開発・販売することも想定されるため、GRAS 認証が製品ラインアップ拡大の追い風となると考えられる。

< 各国の認証機関と取組動向 >

国・地域	認証機関	取組動向
日本 	<ul style="list-style-type: none"> 販売手続き/販売の禁止等の規制は存在せず、社会実装に向けたルール形成を検討中 厚生労働省、農林水産省、消費者庁など省庁の認可、安全性の確認に加え、消費者理解の促進を進める必要 	<ul style="list-style-type: none"> 日本細胞農業協会（CAIC：Cellular Agriculture Institute of the Commons）等が普及啓発を推進 農林水産省が立ち上げた「フードテック官民協議会」で分科会「細胞農業 CC（コミュニティサークル）」が活動

国・地域	認証機関	取組動向
米国 	<ul style="list-style-type: none"> 米国食品医薬品局（Food and Drug Administration：FDA） 	<ul style="list-style-type: none"> 精密発酵による生産物の多くが食品添加物に分類される見込み。食品添加物にはFDAの「市販前承認」が必要であるが、FDAの「GRAS（Generally Recognized as Safe）認証」を受けることで不要となる
EU 	<ul style="list-style-type: none"> 欧州食品安全機関（Europe Food Safety Authority：EFSA） 	<ul style="list-style-type: none"> EUでは、2018年に施行した「新規食品規則」により、新たな食品の安全性を確認することをEFSAでチェックすることが義務化されており、バイオものづくり製品への対応が注目される
中国 	<ul style="list-style-type: none"> 中国食品薬品监督管理局（China Food and Drugs Administration：CFDA） 	<ul style="list-style-type: none"> スタートアップChanging Bioがバイオマス発酵（微生物を利用してバイオマスを分解・処理し、エネルギーや食品、副産物などを生成する既存の食品技術）を用いた代替乳製品でCFDAの認可を取得
イスラエル 	<ul style="list-style-type: none"> イスラエル保健省（Ministry of Health：MoH） 	<ul style="list-style-type: none"> フードテックを積極的に推進。細胞性食品、精密発酵等のスタートアップが数多く存在
シンガポール 	<ul style="list-style-type: none"> シンガポール食品庁（Singapore Food Agency：SFA） 	<ul style="list-style-type: none"> フードテックを積極的に推進

（出所：矢野経済研究所作成）

次に、精密発酵分野における2025年3月時点の主要な認可・申請事例を示した。植物由来の代替肉を製造・販売するImpossible Foodsは、肉の風味を出すため、製品に精密発酵由来のヘムを使用している。同社の精密発酵ヘムは、ヘムは、米国、カナダ、オーストラリア・ニュージーランド、シンガポールですでに販売が認可されている。しかし、EUでは遺伝子組換えに対する規制のハードルが大きいことから、Impossible Foodsが2022年に英国で上市した際には、ヘムを含まない製品を展開した。なお、英国でもEUと同様に市販前承認が必要である。2024年8月には、欧州食品安全機関（EFSA）が、Impossible Foodsの精密発酵ヘムを食用として安全と判断しており、上市が近づいたとみられる。2024年11月には、EFSAのGMOパネルによる安全性評価をクリアし、安全であると結論付けられた。その後、30日間のパブリックコメントを経て、欧州委員会および加盟国の最終承認が必要となるが、最終承認には一定の時間を要する見通しである。

<精密発酵分野の主要な認可・申請事例（2025年3月現在）>

国・地域	企業名	成分	承認状況
米国	Perfect Day (米国)	精密発酵乳タンパク質 (β -ラクトグロブリン) で GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証取得 (糸状菌 <i>Treccoderma reesei</i> 由来)	2020年3月
米国	Remilk (イスラエル)	精密発酵乳タンパク質 (β -ラクトグロブリン) で GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証取得 2023年2月、米国食品医薬品局 (FDA) より認可取得	2022年6月
米国	New Culture (米国)	精密発酵乳タンパク質 (カゼイン) で GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証取得	2024年2月
米国	Oobli (米国)	精密発酵甘味タンパク質 (ブラゼイン) で GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証取得	2024年3月
米国	Fermify (オーストリア)	精密発酵乳タンパク質 (カゼイン) で GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証取得	2024年10月
米国	Oobli (米国)	精密発酵甘味タンパク質 (モネリン) で GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証取得 (酵母 <i>Komagataella phaffii</i> を使用)	2024年12月
シンガポール	Remilk (イスラエル)	精密発酵乳タンパク質 (β -ラクトグロブリン) でシンガポール食品庁 (SFA) から認可取得	2023年2月
シンガポール	Fermify (オーストリア)	2025年2月、精密発酵乳タンパク (カゼイン) でシンガポール食品庁 (SFA) へ申請	承認待ち
イスラエル	Remilk (イスラエル)	精密発酵乳タンパク質 (β -ラクトグロブリン) でイスラエル保健省から認可取得	2023年4月
カナダ	Remilk (イスラエル)	精密発酵乳タンパク質 (β -ラクトグロブリン) でカナダ保健省から認可取得	2024年2月
EU	Impossible Foods (米国)	植物性代替肉の風味向上に用いる、精密発酵へムを、欧州食品安全機関 (EFSA) が食用として安全と判断。	2024年8月
EU	Perfect Day (米国)	2022年、EFSA へ精密発酵乳タンパク質 (β -ラクトグロブリン) の申請を行ったが、評価は進んでいない模様	承認待ち
EU	Remilk (イスラエル)	2023年 EFSA へ精密発酵乳タンパク質 (β -ラクトグロブリン) の申請後、不適合通知を受け取ったため再申請	承認待ち
ニュージーランド	Daisy Lab (ニュージーランド)	ニュージーランドの環境保護局 (Environment Protection Authority : EPA) が「遺伝子組換え微生物を用いた乳たんぱく質生産の拡大に関する申請」を承認 ※既に特定施設内での遺伝子組換え微生物の利用は承認済み	2024年5月

(出所：各社ホームページ、プレスリリース等より矢野経済研究所作成)

精密発酵の主要な参入事業者と取組み事例について、次に示した。

<精密発酵 参入事例>

国	企業・組織名	参入経緯・現状の取組み
米国	Impossible Foods	同社は 遺伝子組換えした酵母菌 Komagataella phaffii (ピキア酵母) を用いて、 大豆レグヘモグロビンに含まれるヘムの大量生産に成功 。(当初は大豆の根粒からヘムを抽出していたが、環境配慮から精密発酵に移行) 同社のヘムは既に米国、カナダ、オーストラリア・ニュージーランド、シンガポールで販売認可されている。
米国	New Culture	精密発酵により乳タンパク質(カゼイン)を生産。 2024年5月、韓国の食品大手 CJ 第一製糖との提携を発表 。
米国	Oobli	精密発酵で甘味タンパク質を開発。 2025年2月、食品や工業用素材を販売するグローバル企業 Ingredion との提携を発表 。日本の KIRIN HEALTH INNOVATION FUND、農林中金イノベーション投資事業有限責任組合(NCIF)も出資している。
米国	Perfect Day	精密発酵で乳タンパク質を開発。 遺伝子改変を行った糸状菌を用いた乳ホエイタンパク(β-ラクトグロブリン)を開発し 、ミルク・クリームチーズ・アイスクリーム等を販売。
オーストラリア	Fermify	精密発酵で乳タンパク質(カゼイン)を開発 。2024年10月、米国で GRAS (Generally Recognized as Safe) 認証取得。2025年2月、精密発酵乳タンパク(カゼイン)でシンガポール食品庁(SFA)へ新規食品申請し、承認待ち。
イスラエル	ImaginDairy	2020年設立、精密発酵の技術でラクトースやコレステロールが含まれない乳タンパク質の製造技術を開発。これを原料に牛乳やチーズといった乳製品が製造可能となった。 2023年4月に世界的な乳業メーカーである仏ダノンが出資することが発表された 。
イスラエル	Remilk	2019年に設立、 乳タンパク質の遺伝子コードを微生物にコピーし、それを発酵させて乳原料を製造する技術 を確立。これを原料にラクトース・コレステロールを含まない牛乳やチーズを製造できる。2022年に米FDAが認可し、2023年4月にRemilkの原料を活用したクリームチーズが、米General Mills社から発売されている。

(出所：矢野経済研究所作成)

② 植物分子農業（参考情報）

培養肉や培養シーフードなどの細胞性食品に使用する成長因子の生産に際して、植物を用いた「分子農業(Molecular Farming)」という方法がある。分子農業は、遺伝子組換え技術を用いて、植物に特定の物質の生産に関わる遺伝子を導入し、有用物質を生産するものであり、精密発酵のプロセスに類似する（精密発酵については、前項「精密発酵」にて記述）。分子農業を利用して、従来より医薬原料や工業用酵素、生分解性プラスチックの生産などの研究開発が行われてきた。近年、Bright Biotech や Tiamet Sciences 等の企業が、培養肉培地用や医薬用の成長因子を研究開発していることに加え、乳タンパク質や卵タンパク質等の動物性タンパク質についても、植物内での生産が注目され、研究開発が行われている。

植物分子農業のメリットとしては、従来の農業システムを利用して、植物を栽培する畑で生産を行うことが可能であり、バイオリアクターのスケールアップなどの課題が存在しないことが挙げられる。遺伝子組換え技術を用いた有用物質の生産では、基材（材料）として、大腸菌、酵母、昆虫細胞、動物細胞、ヒト細胞等が使用され、さらに、遺伝子組換えの動物、植物、昆虫等を基材とした開発が進んでいる。植物分子農業を利用することで、低コストで大量生産が期待できる。加えて、植物細胞の遺伝子発現制御は、他の真核多細胞生物と同程度に複雑であり、遺伝子操作による物質合成が行いやすいとされている。植物の遺伝子組換え技術はすでに成熟しており、企業はその技術を利用可能である点、植物はタンパク質生産可能な多様な組織を持つ点、既存の農作物生産の改良にも役立つ点等もメリットとみられる。

植物分子農業の分野には、次のような参入企業が存在する。

<植物分子農業の参入企業例>

植物分子農業の事例	参入企業例
成長因子（培養肉培地用、医薬用）	・ Bright Biotech ・ Tiamet Sciences、等
乳タンパク質	・ Miruku ・ Mozza ・ Nobell Foods、等
卵タンパク質	・ PoLoPo ・ Veloz Bio、等
ラクトフェリン、カゼイン、アルブミン、コラーゲン、ミオシン	・ Forte Protein、等
代替タンパク質産業向けの成分最適化技術	・ Asterix Foods、等

（出所：The Good Food Institute (GFI)資料、各社ウェブサイトより矢野経済研究所作成）

2023年6月、分子農業スタートアップ Moolec Science は、豚肉タンパク質を生産する新たな大豆プラットフォーム「Piggy Sooy」を発表した。Piggy Sooy により生産された大豆は、大豆種子中のタンパク質の26.6%が豚タンパク質で構成され、外見は大豆だが、内部は豚肉のようなピンク色である。Moolec Science は、2020年に設立され、ルクセンブルクに拠点を置く。同社の分子農業の技術は10年以上にわたって研究開発されており、米国、ヨーロッパ、南米で事業を展開している。

(2) 精密発酵の市場規模

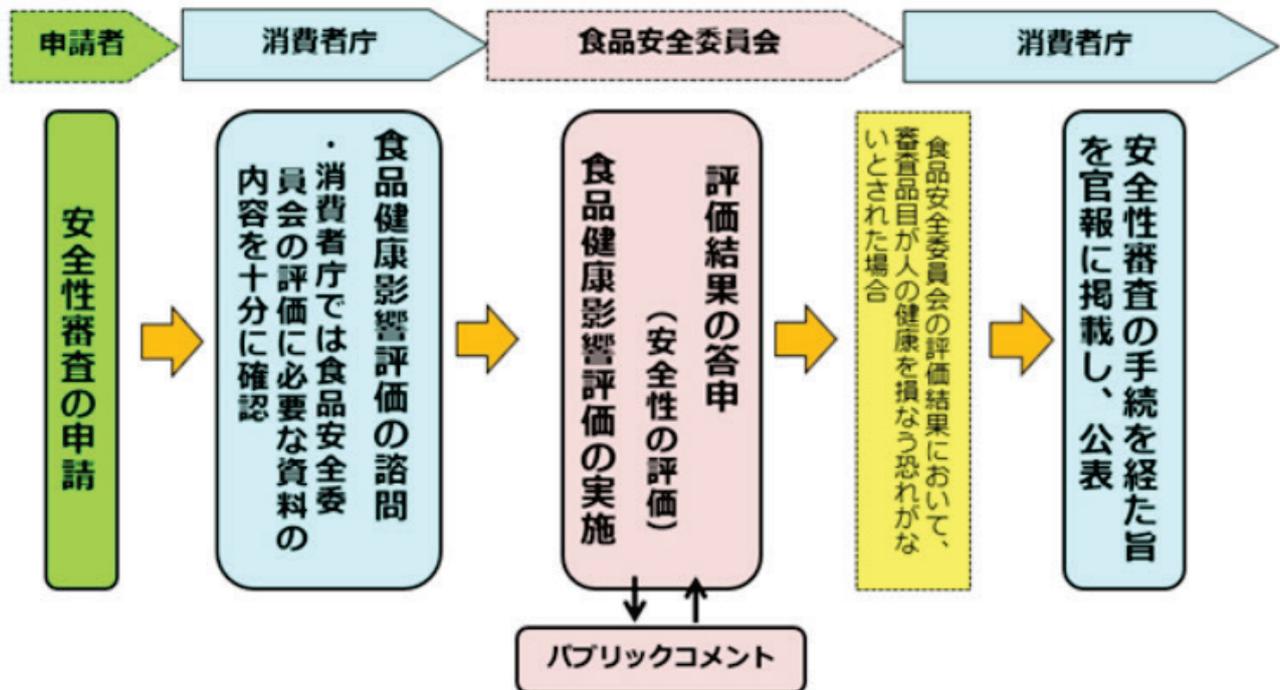
精密発酵技術を用いた製品は、海外で先行して上市されている。日本国内では 2025 年 3 月現在、精密発酵食品の市販は行われていない。日本は伝統的に、発酵食品の形で微生物を活用してきたが、精密発酵では、特定の遺伝子を挿入した微生物を利用するため、遺伝子組換え技術が用いられる。

日本においては、組換え DNA 技術応用食品・食品添加物（いわゆる「遺伝子組換え食品等」）の安全性を確保するために、遺伝子組換え食品等を輸入・販売する際には、必ず、消費者庁による「遺伝子組換え食品の安全性に関する審査」を受ける必要がある。消費者庁および食品安全委員会では、精密発酵の正式な定義を行っていないが、生産プロセスに微生物に対する遺伝子組換えがある場合、安全性審査の対象となるとみられる。その場合、安全性審査は食品安全委員会の「遺伝子組換え食品（微生物）の安全性評価基準」に則って進められる。また、近年では安全性審査全体の件数が増加傾向にあり、食品安全委員会では毎月専門調査会を開催し個別に 2~3 品目を審査しているが、審査待ちが出ている状況であるという。

なお、日本には遺伝子組換え表示制度が食品表示基準で定められているが、義務対象の農産物は大豆・とうもろこしなど 9 つの農産物とそれを原材料とした 33 の加工食品群であり、精密発酵で用いる微生物は該当しない。なお精密発酵では、遺伝子組換えした細菌や酵母は発酵後の過程で取り除かれ、生産された最終産物には遺伝子組換えの痕跡が残らない。

一方で、日本の消費者は遺伝子組換えに対する受容性が低い傾向がみられ、消費者受容の点では、海外と比較して市場形成が遅れる可能性がある。

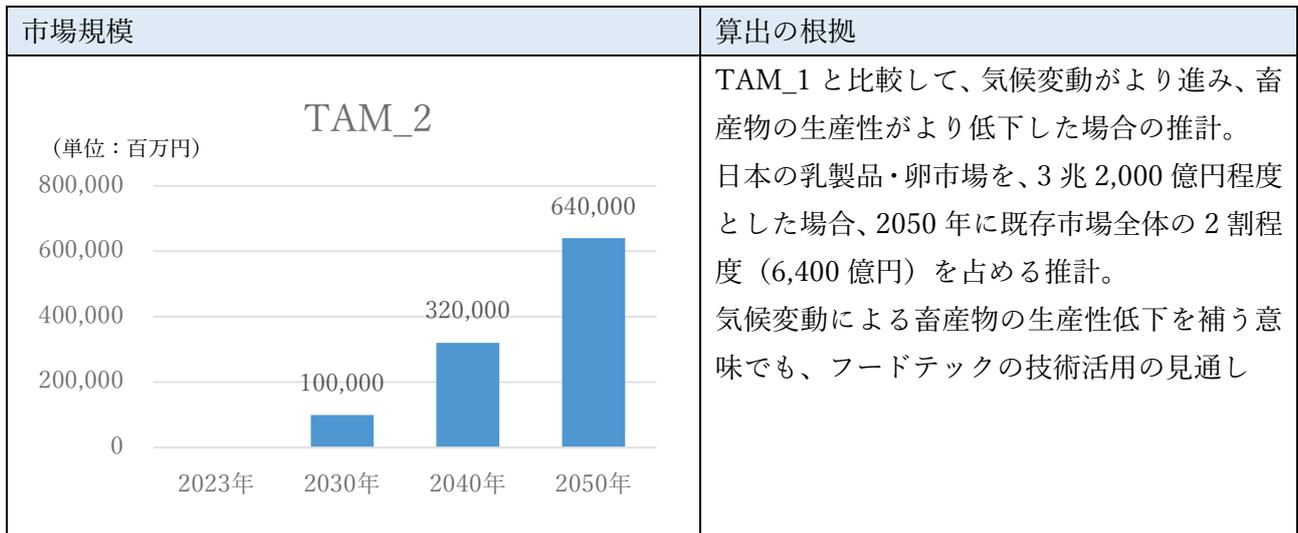
<安全性審査の流れ>



(出所：消費者庁「遺伝子組換え食品の安全性に関する審査」より)

次に、低位予測・中位予測・高位予測のパターン分けを行い、市場規模を推計した。SOM (Serviceable Obtainable Market：実際にアプローチできる市場規模)、SAM (Serviceable Available Market：獲得しうる最大の市場規模)、TAM (Total Addressable Market：リーチできる最大の市場規模) として記載を行っている。

市場規模	算出の根拠										
<p style="text-align: center;">SOM</p> <p>(単位：百万円)</p> <table border="1"> <caption>SOM (百万円)</caption> <thead> <tr> <th>年</th> <th>市場規模</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023年</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2030年</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>2040年</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>2050年</td> <td>600</td> </tr> </tbody> </table>	年	市場規模	2023年	0	2030年	100	2040年	100	2050年	600	<p>日本国内では、精密発酵技術を用いた食品は現状販売されておらず、今後販売される可能性はあるが、消費者の受容性がハードルとなる可能性がある。</p> <p>2035年～2040年に掛けて法的な整備や消費者の受容性が一部から進み、その後は年120%程度の伸長で推移（フードテック関連：細胞性食品の伸長を参考）すると推計した。</p>
年	市場規模										
2023年	0										
2030年	100										
2040年	100										
2050年	600										
<p style="text-align: center;">SAM</p> <p>(単位：百万円)</p> <table border="1"> <caption>SAM (百万円)</caption> <thead> <tr> <th>年</th> <th>市場規模</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023年</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2030年</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>2040年</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>2050年</td> <td>1,200</td> </tr> </tbody> </table>	年	市場規模	2023年	0	2030年	300	2040年	600	2050年	1,200	<p>植物性ミルク市場・鶏卵の産出額を参考値とした。</p> <p>上記の参考値の合計に対し、2030年で5%前後、2040年で10%前後、2050年で20%前後を占める推計を行った。</p>
年	市場規模										
2023年	0										
2030年	300										
2040年	600										
2050年	1,200										
<p style="text-align: center;">TAM_1</p> <p>(単位：百万円)</p> <table border="1"> <caption>TAM_1 (百万円)</caption> <thead> <tr> <th>年</th> <th>市場規模</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023年</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2030年</td> <td>50,000</td> </tr> <tr> <td>2040年</td> <td>160,000</td> </tr> <tr> <td>2050年</td> <td>320,000</td> </tr> </tbody> </table>	年	市場規模	2023年	0	2030年	50,000	2040年	160,000	2050年	320,000	<p>日本の乳製品・卵市場は、3兆2,000億円程度の市場規模と推計。2050年に、既存市場全体の1割程度(3,200億円)を占める推計。</p> <p>畜産市場全体のマイナス要因：日本の人口減少、高齢化による消費減退、気候変動による畜産物の生産性低下、等</p> <p>畜産市場全体のプラス要因：インバウンド需要、海外からの移民等の増加可能性、等</p> <p>気候変動による畜産物の生産性低下を補う意味でも、フードテックの技術活用の見通し</p>
年	市場規模										
2023年	0										
2030年	50,000										
2040年	160,000										
2050年	320,000										



(単位：百万円)

	2023年	2030年	2040年	2050年
TAM_2	研究開発段階	100,000	320,000	640,000
TAM_1	研究開発段階	50,000	160,000	320,000
SAM	研究開発段階	300	600	1,200
SOM	研究開発段階	研究開発段階	100	600

(出所：矢野経済研究所推計)

次に、精密発酵の、2030年、2040年、2050年の今後の市場見通しを示した。

<精密発酵の今後の市場見通し>

	2030年	2040年	2050年
精密発酵	<ul style="list-style-type: none"> 日本においては研究開発段階から市場が立ち上がる可能性 	<ul style="list-style-type: none"> 生産のスケールアップ・効率化によりコスト低下 消費者へ浸透が図られ、受容性高まる 	<ul style="list-style-type: none"> 生産のさらなるスケールアップ・効率化によりコストはより低下 消費者に対する浸透が進み、一般化

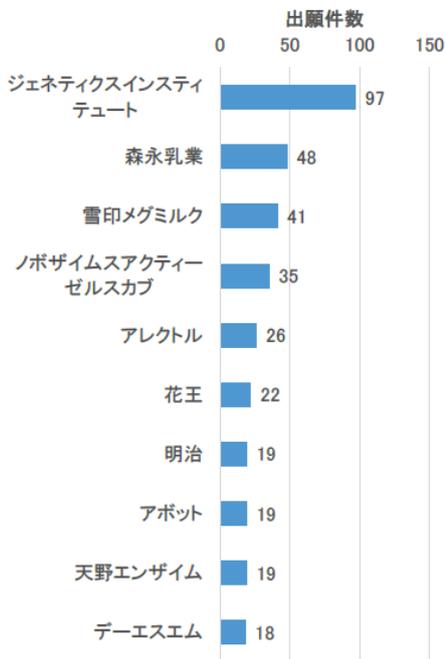
(出所：矢野経済研究所推計)

(3) 特許情報（動植物性タンパク質素材：乳タンパク質の特許出願件数、累積推移）

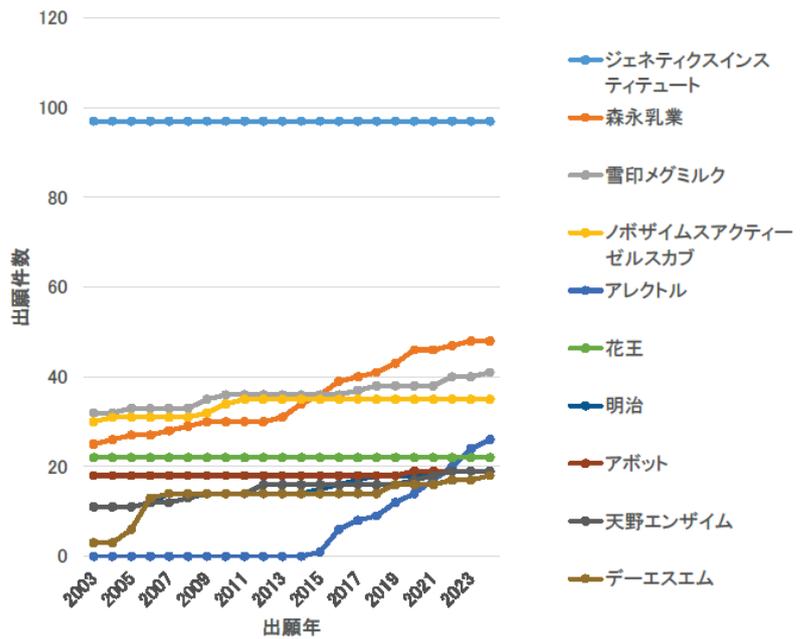
動植物性タンパク質の例として乳タンパク質の特許情報を示す。以下、グラフは矢野経済研究所作成。

○日本

◇特許出願件数

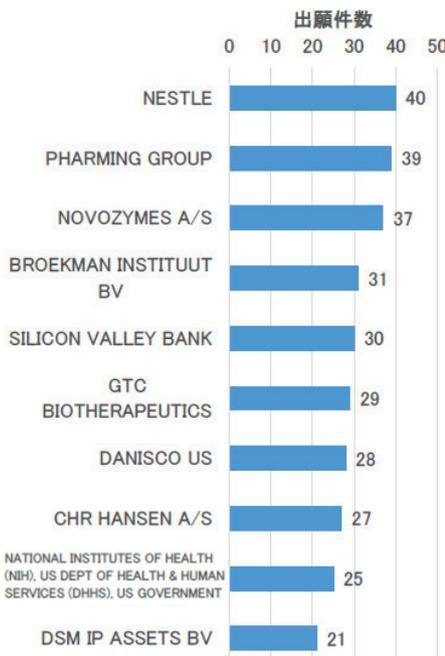


◇特許出願件数 累積推移

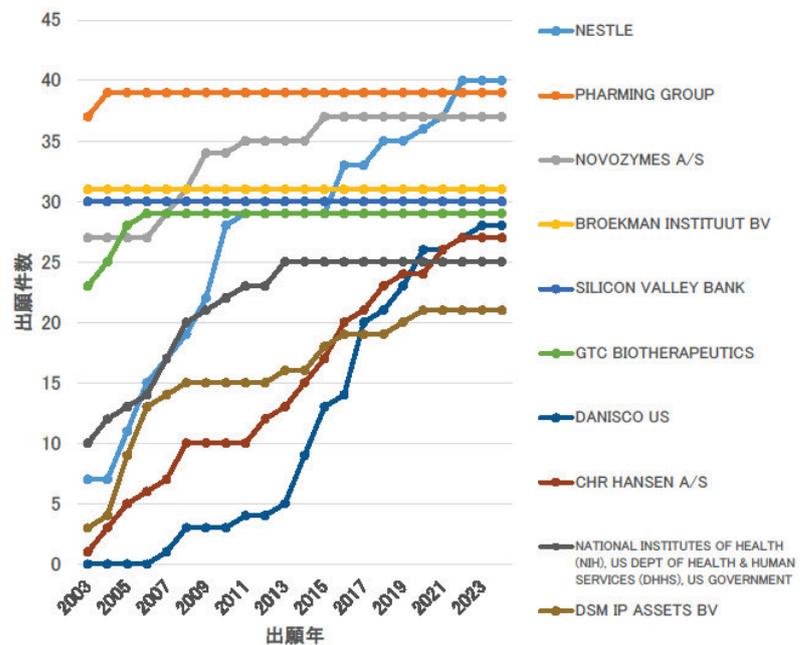


○米国

◇特許出願件数

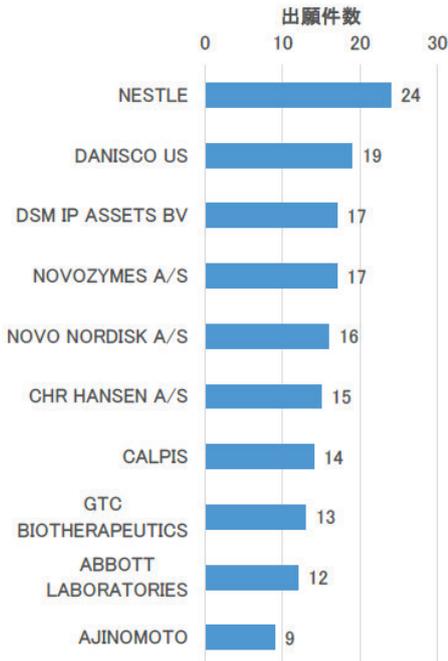


◇特許出願件数 累積推移

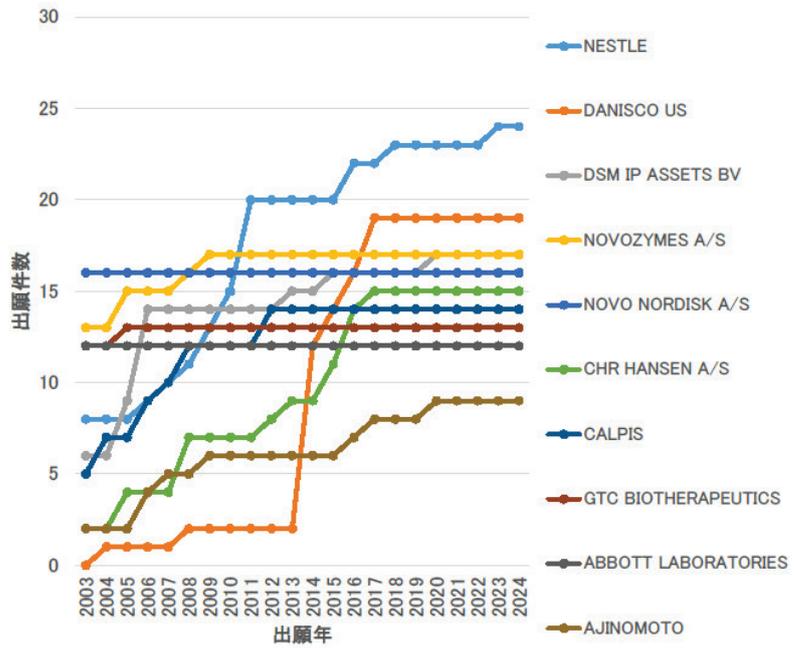


○欧州

◇特許出願件数

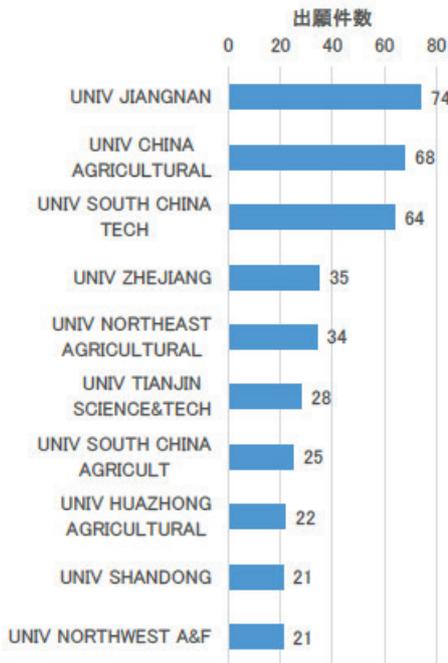


◇特許出願件数 累積推移

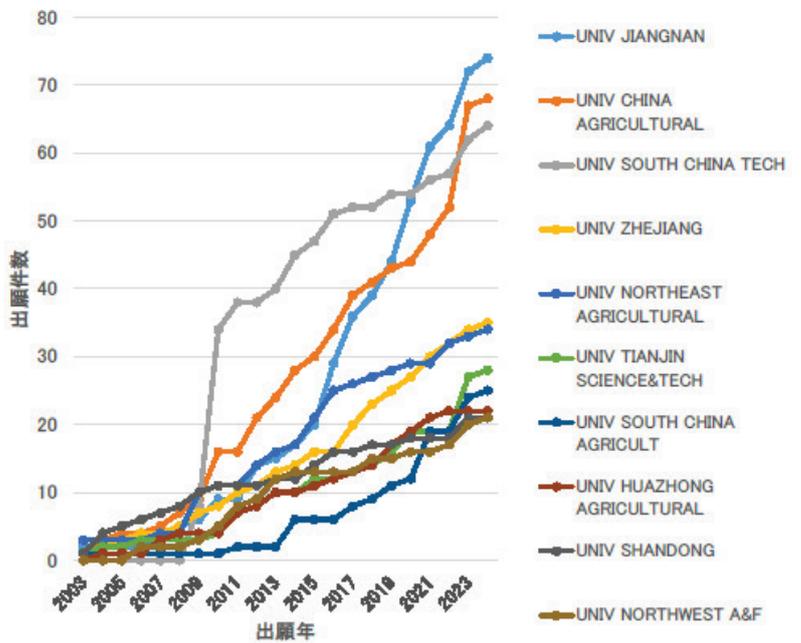


○中国

◇特許出願件数

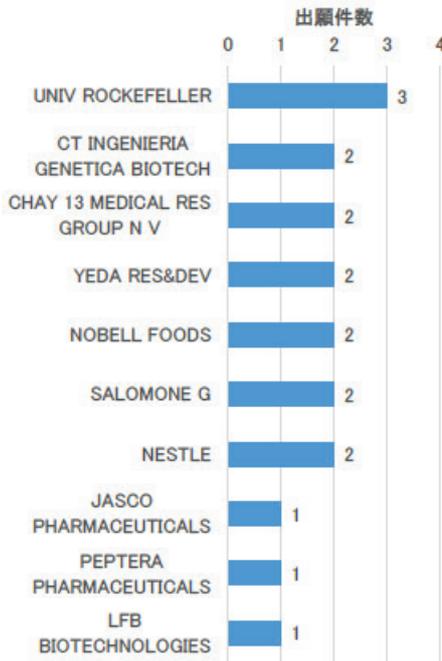


◇特許出願件数 累積推移

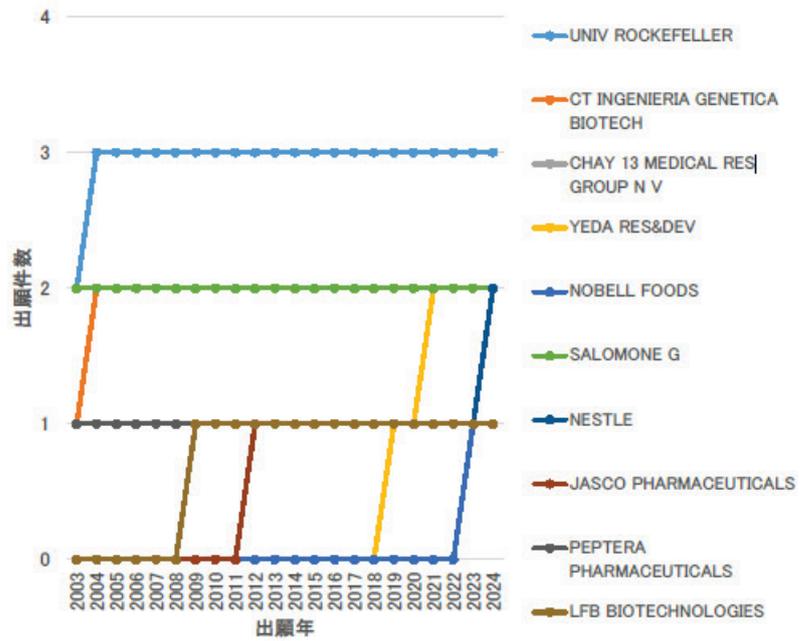


○イスラエル

◇特許出願件数

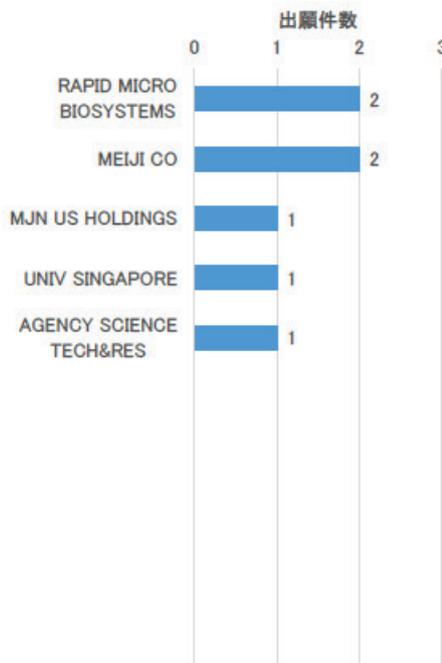


◇特許出願件数 累積推移

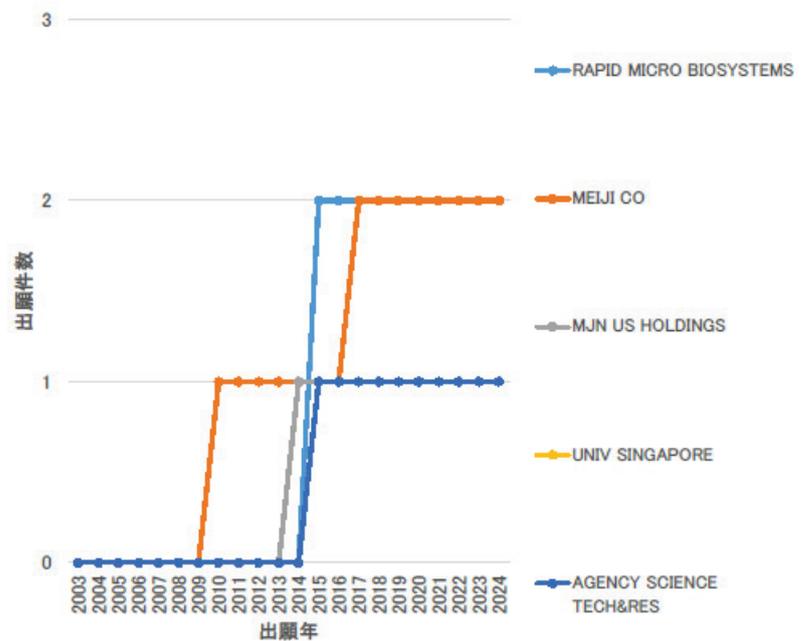


○シンガポール

◇特許出願件数



◇特許出願件数 累積推移



(4) 「2. 細胞性食品」「3. 動植物性タンパク質素材（精密発酵）」の参考文献

➤ 書籍

・ 矢野経済研究所（2023年）『2023年版 代替タンパク質 <代替肉（植物由来肉・培養肉）・昆虫食>の将来展望 ～フードテックで実現する持続可能な食の未来～』

➤ 論文等

・ ADAPT, How Can We. Climate Change: Impact on Livestock and How Can We Adapt. 2018.

・ LIU, Weihang, et al. Unequal impact of climate warming on meat yields of global cattle farming. Communications Earth & Environment, 2024, 5.1: 65.

・ TUOMISTO, Hanna L.; TEIXEIRA DE MATTOS, M. Joost. Environmental impacts of cultured meat production. Environmental science & technology, 2011, 45.14: 6117-6123.

Tuomisto HL.

・ TUOMISTO, Hanna L. The eco - friendly burger: could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products?. EMBO reports, 2019, 20.1: e47395.

・ KIM, Sunghoon, et al. Environmental life cycle assessment of a novel cultivated meat burger patty in the United States. Sustainability, 2022, 14.23: 16133. ※SCiFi Foods のデータ提供でオハイオ州立大学が実施

・ HAMELIN, L.; CELLIER, C. Life Cycle Assessment of animal-free whey protein production by. LCA Report Version, 2022, 1. ※Bon Vivant、フランス国立農業・食糧・環境研究所 (INRAE) の専門家 Lorie Hamelin 氏による

・ TAKENAKA, Natsufumi, et al. Environmental Impacts of Serum-free Food-grade and Complex Culture Medium Production for Cultivated Meat. bioRxiv, 2024, 2024.09. 05.611339.

・ SINKE, Pelle, et al. Ex-ante life cycle assessment of commercial-scale cultivated meat production in 2030. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2023, 28.3: 234-254.

4. 機能性市場 (BHB)

(1) BHB の基本特徴

β -ヒドロキシ酪酸 (β -Hydroxybutyric acid, BHB)は、肝臓で生成されるケトン体の一種である。ケトン体には他にアセト酢酸、アセトンがある。これらは脂肪酸が分解される過程で生成される物質で、特に体内の糖質が不足時に生成され、グルコースの代替エネルギーとして利用されることから、ケトジェニックダイエットと呼ばれるダイエット法が存在する。

また、BHB には、エネルギー源としての作用だけではなく、睡眠改善、運動パフォーマンス向上、酸化反応や炎症反応を抑制する作用など、様々な生理機能を持っていることが報告されている。

ケトジェニックダイエット

ケトジェニックダイエットは、糖質の摂取を減らし代わりに脂質を十分に摂る、ダイエット法の一つである。

人の身体は、糖質（グルコース）または脂肪（ケトン体）をエネルギー源として用いることが可能であるが、一般に食事は米飯、パン、麺類など、炭水化物が主食となっていることから、糖質からエネルギーが作られている。一方で、糖質の摂取量が少ない場合には、体脂肪の分解が促進されてケトン体となり、エネルギー源として利用される。なお、脳も通常グルコースをエネルギー源として利用しているが、グルコースを得られない場合には、ケトン体が利用される。

こうした身体の機能を利用して、糖質を制限して代わりに脂質を積極的に摂取することで、体脂肪をエネルギー源とする身体の獲得を目指すことが、ケトジェニックダイエットの目的である。実際には、たんぱく質：脂質：糖質の「PFC バランス」を 3：6：1 にすることが目標とされる。

(2) BHB の市場規模

近年の海外における BHB 市場推移より、日本の BHB 市場は CAGR2.7%程度で拡大していくと推計される。

なお、国内 BHB の市場規模=大阪ガス社の売上高になることが想定される。海外で流通している BHB は化学合成品であり、個人輸入は可能であるが、日本では食品としての販売が認められていないこと、発酵法に関しては大阪ガス社が特許を有しており、他社の参入の可能性は低いことが要因である。

具体的な市場規模として、既存のダイエットサプリメントである L-カルニチンの市場規模を参考に日本における BHB の将来的な市場規模を推計すると、2050 年時点で約 21 億円を見込む。

L-カルニチンは 2002 年に食品用途での利用が可能になり、2003 年より食品用途としての供給が開始された素材である。アミノ酸の一種で、肉や乳製品などから摂取されるほか、必須アミノ酸であるリジンとメチオニンを出発物質として、肝臓や腎臓で生合成される。脂肪酸を燃焼しエネルギーを産生するミトコンドリアへと脂肪酸を運搬する役割を担っていることから、脂質の代謝に必要な不可欠な物質である。この特性から、ダイエットや、スポーツサプリメントを中心に使用されており、市場導入から 20 年以上が経過した現在も安定的な需要が継続しており、市場規模はおおよそ 21 億円である。

BHB は L-カルニチンと類似の機能を有していることから、将来的に約 21 億円の市場を築く可能性があると考えられる。

市場の促進要因と抑制要因

促進要因	<ul style="list-style-type: none">・ケトジェニックダイエット市場の拡大に伴い、BHB の需要も増加していく。・運動パフォーマンスを向上させるスポーツサプリメントとしての認知向上。
抑制要因	<ul style="list-style-type: none">・ケトジェニックダイエット市場が停滞した場合には、BHB の需要も伸び悩む可能性がある。

(3) 海外市場動向

- ・糖質制限ダイエット人気が高まっている事から近年需要が増加しており、2023 年の世界での市場規模は約 26 億円と推計する。
- ・販売価格は、BHB 塩として 2,400~2,600 円/kg であるが、価格は低下傾向にあり、2024 年には 2,400 円台前半であったとみられる。
- ・BHB の主な用途は、ケトジェニックダイエットに代表されるダイエットサポートとしての利用と、運動パフォーマンスを向上させるスポーツサプリメントとしての利用に大別され、現在のところ前者での利用が 9 割以上を占める。
- ・主要生産国は中国に集中しており、NNB NUTRITION 社や、Shanghai KangXin Chemical 社などが市場をけん引しており、主要消費国は米国であると推察される。

(4) 健康食品としての BHB の利用状況

日本国内では、BHB を製造しているメーカーと、BHB を配合した最終商品を製造しているメーカーが存在する。前者は、2025 年 1 月現在、大阪ガスが製造している「OKETOA®」のみである。

① 原料としての BHB

大阪ガス「OKETOA®」

ガス会社である大阪ガスでは、バイオガスなどの発酵技術分野の研究開発を行っており、応用先として、産業技術総合研究所がハロモナス菌によるケトン体生成機能を発見したことに着目した。共同研究を行った結果、ハロモナス菌を用いた発酵法で D-BHB を大量生産する技術開発に成功した。ハロモナス菌を用いた発酵製造技術は、日欧米で特許を取得している。

食品としての利用に関しては、米国 FDA の「Notified GRAS」を取得しているほか、「non-GMO」認証を取得している。食品衛生法への準拠や、食薬区分における“医薬品的効能効果を標ぼうしない限り医薬品と判断しない成分本質リスト（非医薬品リスト）”への登録といった対応も完了しており、製造は、HACCP および ISO22000 を取得した食品工場で委託生産をしている。

2024 年には、機能性表示食品としても受理された。基本内容は以下の通りである。

【機能性表示食品の届出情報】

商品名	OKETOA BHB (オケトア ビーエイチビー)
食品の区分	加工食品(その他)
機能性関与成分名	D-β-ヒドロキシ酪酸
表示しようとする機能性	本品には D-β-ヒドロキシ酪酸が含まれます。D-β-ヒドロキシ酪酸には BMI が高めの方の内臓脂肪を減少させる機能があることが報告されています。
届出者名	大阪ガスケミカル株式会社
当該製品が想定する主な対象者	BMI が高めの方

(消費者庁 機能性表示食品の検索フォームより矢野経済研究所作成)

② BHB を含む商品

消費者に提供される商品としては、以下の商品がある。

2025 年 1 月現在、最終商品での機能性表示の取得は行われていない。

「Amazon」「楽天」などの国内ショッピングサイトで販売されているほか、「iHerb」といった個人輸入サイトから海外製品を購入することも可能である。また、自社 EC サイトで販売を行っている企業や、現在開発中であることを発信している企業もみられる。

楽天

商品画像	商品名	メーカー	商品形態	商品価格	1 日当たり価格	原材料中の BHB 素材
	天然由来ケトン体 natural BHB KETOru 3000	株式会社 SANAS	錠剤	¥4,480	¥224	発酵ケトン体 D-BHB Ca (台湾製造) ※大阪ガスの D-β-ヒドロキシ酪酸を使用
	KETOGENIC PROTEIN	株式会社らしく	粉末	¥7,980	¥239	D-β-ヒドロキシ酪酸カルシウム塩
	KETO LEAN	Hi Tech Pharmaceutica l	カプセル	¥5,258	¥131	BHB ケトーシスコンプレックス (ベータヒドロキシ酪酸カルシウム、ベータヒドロキシ酪酸マグネシウム、ベータヒドロキシ酪酸カリウム、ベータヒドロキシ酪酸ナトリウム)

	KetoLiving BHB	NaturesPlus	粉末	¥6,203	¥310 (1食あたり)*	sodium BHB、 calcium BHB、 magnesium BHB
---	-------------------	-------------	----	--------	------------------	--

(画像出所：EC サイト <https://www.rakuten.co.jp/>)

(価格は EC サイト (<https://www.rakuten.co.jp/>) での販売価格 (2025 年 1 月 21 日時点))

*1 日あたりの摂取量の記載がなかったため、1 食あたりの価格を記載

○自社 EC サイト

自社 EC サイトでの販売を行っている日本統合療法株式会社では、以下の商品が販売されており、「BHB の可能性」というタイトルでのオンラインセミナーが開催され、アーカイブが公開されている。

商品画像	商品名	メーカー	商品 形態	商品 価格*	1 日当たり 価格	原材料中の BHB 素材
	Recover REGEN コンディショニング ドリンク BHB+BCAA オレ ンジ風味	日本統合療法株式会社	粉末	¥3,500	¥350 (1食あたり)	発酵ケトン体 D-BHB Mg(台湾製造)

*価格は EC サイト (<https://recover.theshop.jp/>) での販売価格 (2025 年 1 月 21 日時点)

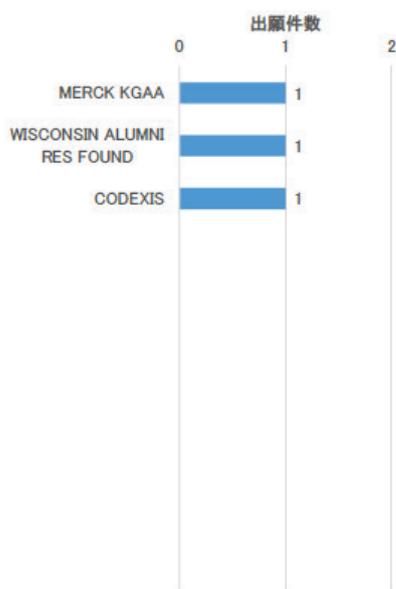
○開発中

株式会社 ロイヤル・アーツが運営する BLUE SIX では、BHB を含むドリンクの開発を行っている。BLUE SIX は、コーヒー、プロテイン、サプリメントなどを有するブランドであり、カフェ店舗も存在するほか、テニスを中心とするアスリートの為の応援クラブを有している。同ブランドでは、食事制限とは異なり、自身の生活リズムや目的に応じて摂取することができるとして、糖質制限中のエネルギー源としてや、運動のパフォーマンス向上、運動後の筋肉の修復促進、運動や仕事での集中力向上などが期待できるドリンクの開発を目指している。

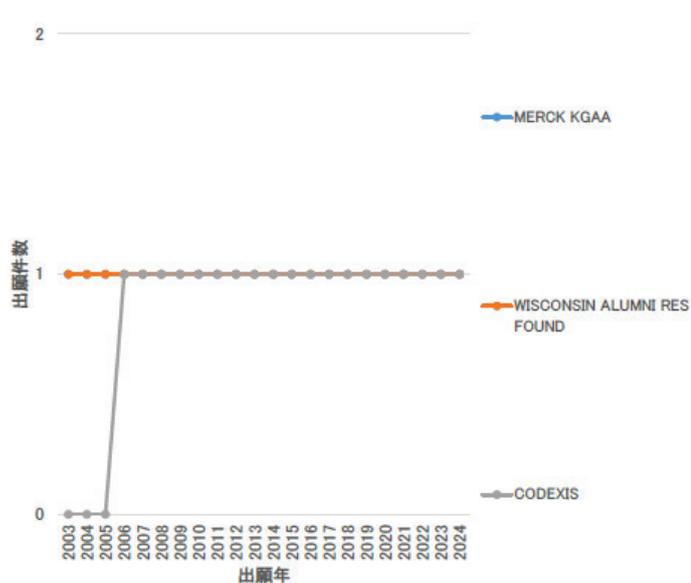
アメリカで流通している BHB は化学合成品であり、日本では食品として認められていないことから、使用する BHB 原料は、日本製かつ天然由来のものを利用している。

○イスラエル

◇特許出願件数



◇特許出願件数 累積推移



(6) その他

米国では、BHB を直接摂取するのではなく、摂取することで BHB レベルを上昇させる成分も存在する。バイオテクノロジーを用いて、サステナブルな製品開発を行っている Genomatic 社では、2022 年 11 月より (R)-1,3 ブタンジオール「Avela™」の供給を行っており、機能性食品及び飲料市場へ参入した。同商品は、発酵法により作られており、効果的に BHB レベルを上げることができるとしており、GRAS 認証も取得している。

5. 機能性分野（エルゴチオネイン）

(1) エルゴチオネインの基本情報

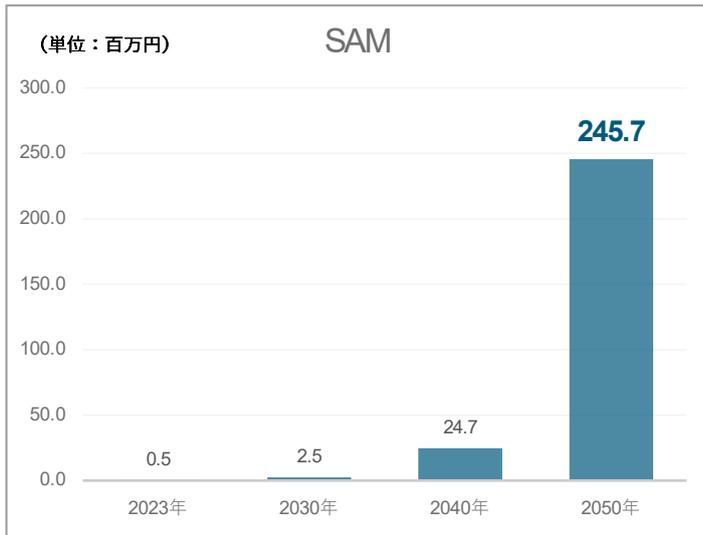
エルゴチオネインは、アミノ酸の一種であり、キノコ（担子菌）や麹菌など、一部の微生物が産生することが知られている。ヒトには産生できないことから、エルゴチオネインを得るためにはキノコや麹菌を用いた発酵食品を摂取することが必要とされる。ヒトにおいて、エルゴチオネインを細胞内に取り込むエルゴチオネイントランスポーターが発見されたことや、アメリカの生化学者であり、老化研究の第一人者でもあった Bruce Ames 博士が「長寿ビタミン」の候補の一つとして挙げたことなどから、近年注目が高まっている。

高い抗酸化力を持つが、研究が進む中で、うつ病や認知症に対する機能改善効果、紫外線による肌老化の抑制、酸化ストレスの抑制といった様々な機能の報告がなされており、健康食品や、化粧品への利用が加速している。

(2) エルゴチオネインの市場規模

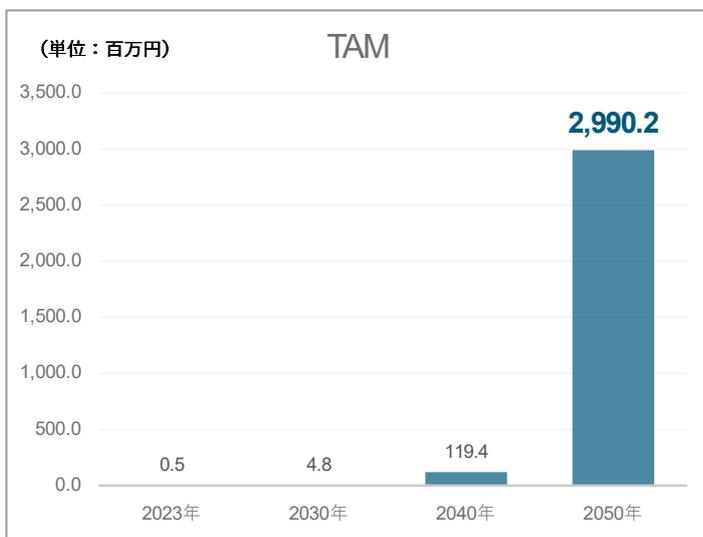
エルゴチオネインの市場規模予想を以下に示した。近年、海外も含め研究開発が進んでいるとみられ、国内で販売する事業者も存在することから、注目度の高い製品であり今後一定の市場形成が期待される。

市場規模	算出の根拠										
<p>(単位：百万円)</p> <p>SOM</p> <table border="1"><thead><tr><th>年</th><th>市場規模 (百万円)</th></tr></thead><tbody><tr><td>2023年</td><td>0.5</td></tr><tr><td>2030年</td><td>1.2</td></tr><tr><td>2040年</td><td>4.4</td></tr><tr><td>2050年</td><td>15.6</td></tr></tbody></table>	年	市場規模 (百万円)	2023年	0.5	2030年	1.2	2040年	4.4	2050年	15.6	<p>CAGR13.6%で予測</p> <p>* CAGR は、各種のエルゴチオネイン市場予想の最小値</p>
年	市場規模 (百万円)										
2023年	0.5										
2030年	1.2										
2040年	4.4										
2050年	15.6										



CAGR25.8%で予測

* CAGR は、各種のエルゴチオネイン市場予想の中間値



CAGR38.0%で予測

* CAGR は、各種のエルゴチオネイン市場予想の最大値

(矢野経済研究所推計)

(参考)

エルゴチオネインには様々な機能が期待されるが、機能の一つである認知機能改善のベンチマーク素材として、イチョウ葉の推移を採用した場合の市場規模推移を以下に記載した。

イチョウ葉は、健康機能のあるハーブとして古くから用いられている素材であるとともに、認知機能分野で初めて機能性表示を取得した素材でもあり、高齢化社会が進む中で、需要は底堅いとみられている。

既存のエルゴチオネインの機能性表示が記憶力・集中力で機能が類似であることに加え、既に市場に定着していることから、ベンチマーク素材として採用した。

市場規模	算出の根拠										
<p>(単位：百万円)</p> <p>SAM_2(参考)</p> <table border="1"> <caption>市場規模推計 (SAM_2参考)</caption> <thead> <tr> <th>年</th> <th>市場規模 (百万円)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2023年</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>2030年</td> <td>870.0</td> </tr> <tr> <td>2040年</td> <td>1030.0</td> </tr> <tr> <td>2050年</td> <td>1180.0</td> </tr> </tbody> </table>	年	市場規模 (百万円)	2023年	0.5	2030年	870.0	2040年	1030.0	2050年	1180.0	<p>認知機能分野のベンチマーク素材として、イチョウ葉の市場規模を参考にした推計。イチョウ葉は既に多くのメーカーが扱っているため、大幅な市場の伸長はないとみられるが、今後も堅調に推移すると予想される。</p>
年	市場規模 (百万円)										
2023年	0.5										
2030年	870.0										
2040年	1030.0										
2050年	1180.0										

(単位：百万円)

	2023年	2030年	2040年	2050年
SOM	0.5	1.2	4.4	15.6
SAM	0.5	2.5	24.7	245.7
TAM	0.5	4.8	119.4	2,990.2
SAM_2 (参考)	0.5	870.0	1030.0	1,180.0

(矢野経済研究所推計)

市場の促進要因と抑制要因

促進要因	<ul style="list-style-type: none"> ・機能性や、「長寿ビタミン」候補の一つであることなどが消費者に認知されることで、市場拡大につながる。 ・現在認可されていない国での認可が進むことにより、世界的な利用が加速することで、日本においても認知が進み、市場が拡大する可能性がある。 ・効率的な生産によりコストダウンが可能になれば、商品への採用も加速すると考えられる。
抑制要因	<ul style="list-style-type: none"> ・参入企業が多く、特許も多く存在していることから、今後競争激化が予想される。 ・上記の結果、価格競争になる可能性がある。

(3) 海外市場動向

- ・ 近年、食品使用に関する認可が加速しており、EU では 2017 年に「Novel Food 認証 (NovelFood[新規食品]。1997 年 5 月 15 日以前に EU 内で人間によってほとんどあるいは全く消費されていなかった食品または食品原料を指す概念で、EU 内での販売には欧州委員会の認可が必要。)」を取得しているほか、アメリカでも 2019 年に FDA(米国食品医薬品局)の「GRAS 認証 (Generally Recognized As Safe[一般に安全とみなされている]の略語。その分野の専門家の知見や、食品として使用されてきた経験により、一定の使用目的における条件が安全であると証明されている物質。)」を取得している。

- ・ 中国においては、2024年にエルゴチオネインの新規食品原料申請が受理された。中国では、伝統的な食習慣のない食品原料を用いる際、新規食品原料の審査を行う必要がある。2024年5月17日公表の受理報告において、エルゴチオネインの申請が受理されている。なお、延長通知が出ており、2025年1月時点ではまだ認可は下りていないとみられる。今後認可が下りた際には、中国における食品分野でのエルゴチオネイン市場が生まれる可能性がある。
- ・ 食品用途としては、上述の通り認可以降の歴史が浅いことから、2023年の世界市場規模は約5千万円であると推察する。
- ・ 近年、新規参入企業が増加し、新たな合成経路や菌株が多数出現していることから、価格が大きく低下している。参入しているのは中国企業が多く、後述の通り、特許も特に中国で多数登録されている。
- ・ 製法には、天然物からの抽出法、化学合成法、微生物を用いた方法がある。微生物を用いた方法には、発酵法と、微生物が生産する酵素を使用する方法に分けられる。現在の主流は化学合成法であるが、低コスト・大量生産に向けて、微生物を使用した製法の利用が拡大しているとみられる。なお、現在の主な用途は化粧品が9割以上を占めているとみられ、次いで医薬、食品が続く。

(4) 健康食品としてのエルゴチオネインの利用状況

国内で生産されているサプリメントは、エルゴチオネインを豊富に含むタモギタケからの抽出物が主となっている。一方で、海外の製品はL-Ergothioneineが添加されているとみられる。

① 原料としてのエルゴチオネイン

タモギタケエキスは原料由来のキノコの香りがあるが、エルゴチオネインは無臭であること、エルゴチオネイン濃度が高いため、添加量が少量になることなどが特徴である。

② エルゴチオネインを含む商品情報

○機能性表示食品としてのエルゴチオネイン

エルゴチオネインは健康食品として既に利用されており、2020年以降には機能性表示を取得している商品も存在する。

表示しようとする機能性は、文言の細かな違いはあるが、「本品にはエルゴチオネインが含まれます。抗酸化作用をもつエルゴチオネインには継続的な摂取により、中高年の方の記憶力（人や物の名前などを記憶し、後から呼び起こす能力）及び注意力（物事に対して注意を集中して持続させる能力）を維持する機能があることが報告されています。」といった表示がなされている。

2025年1月現在、機能性関与成分名『エルゴチオネイン』での届出の状況は以下の通りである。

【機能性表示食品の届出情報】

全9件（販売中6件/販売休止中2件/チェックなし1件）

J415のみ、はなびらたけ（キノコ）の届出であるため、食品の区分が「生鮮食品」であり、その他の届出は「加工食品(サプリメント形状)」となっている。

届出 番号	届出日	届出者名	商品名	販売状 況	機能性関与成 分を含む原材 料名	名称	変更
F682	2020/12/3	株式会社エル・ エスコポレー ション	記憶の番人	販売中	タモギタケエ キス末	タモギタケ エキス加工 食品	2024/11/7
G242	2021/6/11	カイゲンファーマ株式会社	エルゴチオネイン含有機能性表示食品（プレーン風味）開発番号KA（ケーエー）-1853②	販売中止中	たもぎ茸濃縮エキス末（タモギタケエキス、デキストリン）	エルゴチオネイン含有食品	2023/10/30 ↓ 2024/2/16 撤回
G897	2021/11/22	カイゲンファーマ株式会社	メモエル	販売中	たもぎ茸濃縮エキス末（タモギタケエキス、デキストリン）	エルゴチオネイン含有食品	2024/9/17
G1246	2022/2/14	株式会社エル・ エスコポレー ション	記憶の戦士	販売中	タモギタケエ キス末	タモギタケ エキス加工 食品	2024/11/7
H65	2022/4/15	株式会社エル・ エスコポレー ション	まるごとタモ ギタケ	販売中	タモギタケエ キス末	タモギタケ エキス加工 食品	2024/11/7
H665	2022/10/26	株式会社 asatan	アサエル	販売中	たもぎ茸濃縮エキス末（タモギダケエキス、デキストリン）	タモギタケ エキス加工 食品	2024/10/19
H1065	2023/1/18	伸和製薬株式会社	記憶ハイチャージ	販売中	タモギタケ抽出物	タモギタケ エキス加工 食品	2024/10/24
I770	2023/10/13	株式会社ユーキ ャン	メモカムイ	販売中止中	たもぎ茸濃縮エキス末（タモギタケエキス、デキストリン）	エルゴチオネイン含有食品	2024/10/8
J415	2024/7/16	株式会社大井川 電機製作所	ホホホタケ	チェックなし	—	はなびらた け	—

（出典：機能性表示食品の届出情報検索より、2025年1月24日時点の情報を用いて矢野経済研究所作成）

また、これらの商品の「1日当たりの摂取目安量」「1日摂取目安量当たりの機能性関与成分の含有量」、及び、「商品価格」と、そこから算出した1日当たりの価格は以下の通りである。

エルゴチオネインを含むサプリメントは、サプリメント全体の中で、概ね中価格帯に位置している。

届出番号	届出者名	商品名	一日当たりの摂取目安量	一日摂取目安量当たりの機能性関与成分の含有量	商品価格	1日当たりの価格
F682	株式会社エル・エスコポレーション	記憶の番人	4粒	5mg	¥4,980/(200 mg × 120粒)	¥166
G242	カイゲンファーマ株式会社	エルゴチオネイン含有機能性表示食品(プレーン風味)開発番号KA(ケーエー)-1853②	1本	5mg	販売休止中	—
G897	カイゲンファーマ株式会社	メモエル	1本	5mg	¥3,780/15本入り1箱	¥252
G1246	株式会社エル・エスコポレーション	記憶の戦士	4粒	5mg	¥4,980/132粒	¥151
H65	株式会社エル・エスコポレーション	まるごとタモギタケ	4粒	5mg	¥5,500/(200 mg × 120粒)	¥183
H665	株式会社 asatan	アサエル	4粒	5mg	¥5,940/(250 mg × 120粒)	¥198
H1065	伸和製薬株式会社	記憶ハイチャージ	1袋	5mg	¥7,236/(1.5g × 30袋)	¥241
I770	株式会社ユーキャン	メモカムイ	1本	5mg	販売休止中	—
J415	株式会社大井川電機製作所	ホホホタケ	40g	5mg	¥2,600/80g × 4パック	—

(出典：機能性表示食品の届出情報検索より、2025年1月24日時点の情報を用いて矢野経済研究所作成)

(価格は、各社HPを主とし、掲載がない場合は大手ECサイトでの販売価格を記載)

○国内 EC サイトでの販売状況

機能性表示の取得をしていない商品も多くみられ、「Amazon」「楽天」などの国内ショッピングサイトで販売されている。それらは、他の成分と併せて健康、美容をサポートする商品として販売されている。また、自社 EC サイトでの販売を行っている企業として、ユーグレナ社が挙げられる。

楽天

商品画像	商品名	メーカー	商品形態	商品価格	1 日当たり価格	原材料中のエルゴチオネイン素材
	エルゴチオネイン粒	株式会社シーディ (販売者)	錠剤	¥2,980	¥50 ~ ¥99	タモギタケエキス末 (タモギタケ、デキストリン) (国内製造)
	タモギタケ約 1 か月分 C-128	リップサ株式会社	カプセル	¥2,200	¥73	タモギタケ末 (国産)
	タモギタケ + GABA	爽乃美舎	錠剤	¥1,980	¥66	タモギタケ粉末 (国内製造)
	たもぎ茸 21 種類の乳酸菌 サプリメント	株式会社アスリー	錠剤	¥5,940	¥198	たもぎ茸、エルゴチオネイン

(画像出所：EC サイト <https://www.rakuten.co.jp/>)

(価格は EC サイト (<https://www.rakuten.co.jp/>) での販売価格 (2025 年 1 月 27 日時点))

○自社 EC サイト

自社 EC サイトでの販売を行っているユーグレナ社からは、以下の商品が販売されている。

商品画像	商品名	メーカー	商品形態	商品価格 *	1日当たり り価格	原材料中のエルゴ チオネイン素材
	かしこい健康栄養素 エルゴチオネイン	株式会社ユーグレナ	粉末	¥5,580	¥186	タモギタケエキス
	ユーグレナ バイオヘルステック セサミン30mg &エルゴチオネイン 2mg	株式会社ユーグレナ	カプセル	¥4,298	¥143	タモギタケエキス 粉末(タモギタケ抽出物、デキストリン)

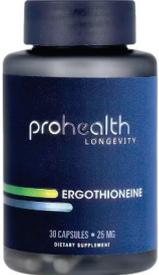
(画像出所：EC サイト <https://online.euglena.jp/shop/default.aspx>)

(価格は EC サイト ([hhttps://online.euglena.jp/shop/default.aspx](https://online.euglena.jp/shop/default.aspx)) での販売価格 (2025 年 1 月 27 日時点))

○個人輸入サイトでの販売情報

個人輸入サイト iHerb では、以下の商品が販売されている。日本で製造されている商品とは異なり、L-Ergothioneine として添加されていると見受けられる。

商品画像	商品名	メーカー	商品形態	商品価格	1日当たり り価格	原材料中のエルゴ チオネイン素材
	Ergothioneine Mushroom Complex	California Gold Nutrition *iHerb の プライベート ブランド	カプセル	¥3,555	¥40	L-Ergothioneine
	Essential Youth L- Ergothioneine	Life Extension	カプセル	¥3,271	¥109	ErgoActive® (L-Ergothioneine)

商品画像	商品名	メーカー	商品形態	商品価格	1日当たり価格	原材料中のエルゴチオネイン素材
	ERGO + L- Ergothioneine	Real Mushrooms	カプセル	¥4,116	¥69	L-Ergothioneine
	Ergothioneine	ProHealth Longevity	カプセル	¥6,384	¥213	L-Ergothioneine

(画像出所：EC サイト <https://jp.iherb.com/>)

(価格は EC サイト (<https://jp.iherb.com/>) での販売価格 (2025 年 1 月 29 日時点))

○商品比較

下表では、機能性表示の有無、エルゴチオネイン含量、価格を比較した。

価格帯に関して、機能性表示の届出を行っている商品は、1日摂取目安量当たりのエルゴチオネイン含量5mgで、価格帯は151～252円であった。

機能性表示がなく、価格が安い商品に関しては、エルゴチオネイン含量が少ない、または含量の記載がない商品が多かった。例外は、シーディが販売している「エルゴチオネイン粒」のみである。

商品名	メーカー	機能性表示 届出	1日摂取目安量当 りのエルゴチオネ インの含有量	1日当たりの 価格	原材料名
記憶の番人	株式会社エル・エスコ ーポレーション	有	5mg	¥166	タモギタケエキ ス末
エルゴチオネイ ン含有機能性表 示食品（プレーン 風味）開発番号K A（ケーエー）－ 1853②	カイゲンファーマ株 式会社	有(撤回済)	5mg	－	たもぎ茸濃縮エ キス末(タモギ タケエキス、デキ ストリン)
メモエル	カイゲンファーマ株 式会社	有	5mg	¥252	たもぎ茸濃縮エ キス末(タモギタ ケエキス、デキス トリン)
記憶の戦士	株式会社エル・エスコ ーポレーション	有	5mg	¥151	タモギタケエキ ス末
まるごとタモギ タケ	株式会社エル・エスコ ーポレーション	有	5mg	¥183	タモギタケエキ ス末
アサエル	株式会社 asatan	有	5mg	¥198	たもぎ茸濃縮エ キス末(タモギダ ケエキス、デキス トリン)
記憶ハイチャー ジ	伸和製薬株式会社	有	5mg	¥241	タモギタケ抽出 物
メモカムイ	株式会社ユーキャン	有	5mg	－	たもぎ茸濃縮エ キス末(タモギタ ケエキス、デキス トリン)
ホホホタケ	株式会社大井川電機 製作所	有	5mg	－	－
かしこい健康栄 養 エルゴチオ ネイン	株式会社ユーグレナ	無	5mg	¥186	タモギタケエキ ス

ユーグレナ バイオヘルステック セサミン 30mg & エルゴチオネイン 2mg	株式会社ユーグレナ	無	2mg	¥143	タモギタケエキ ス粉末(タモギタケ抽出物、デキストリン)
エルゴチオネイン粒	株式会社シーディ(販売者)	無	4.5mg~9mg	¥50~¥99	タモギタケエキ ス末(タモギタケ、デキストリン)(国内製造)
タモギタケ 約 1 か月分 C-128	リプサ株式会社	無	記載なし	¥73	タモギタケ末(国産)
タモギタケ + GABA	爽乃美舎	無	記載なし (タモギタケ末 100mg)	¥66	タモギタケ粉末 (国内製造)
たもぎ茸 21 種類の乳酸菌 サプリメント	株式会社アスリー	無	3.96mg	¥198	たもぎ茸、エルゴチオネイン

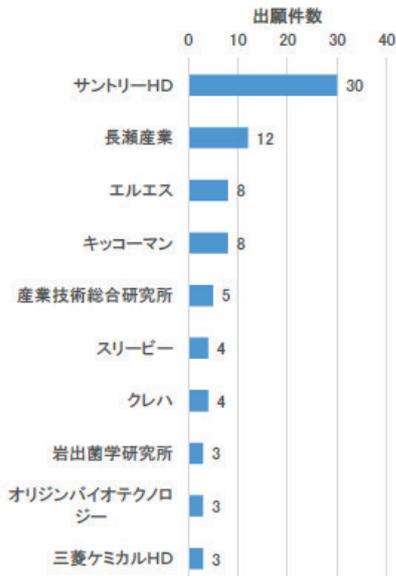
(矢野経済研究所作成)

(5) 特許情報（エルゴチオネインの特許出願件数、累積推移）

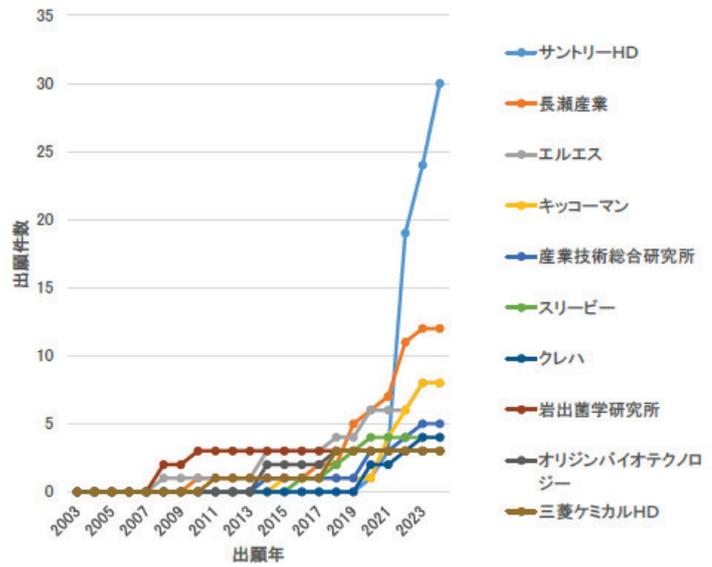
以下、グラフは矢野経済研究所作成。

○日本

◇特許出願件数

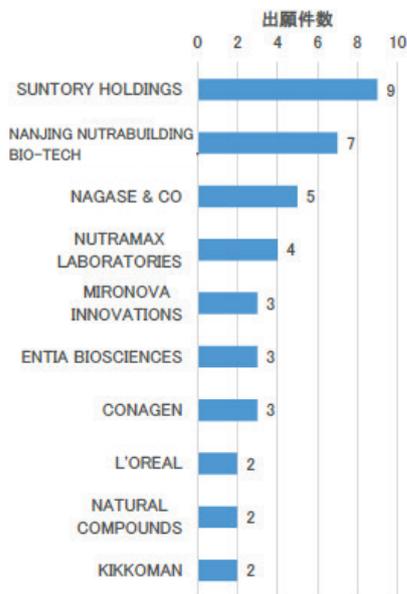


◇特許出願件数 累積推移

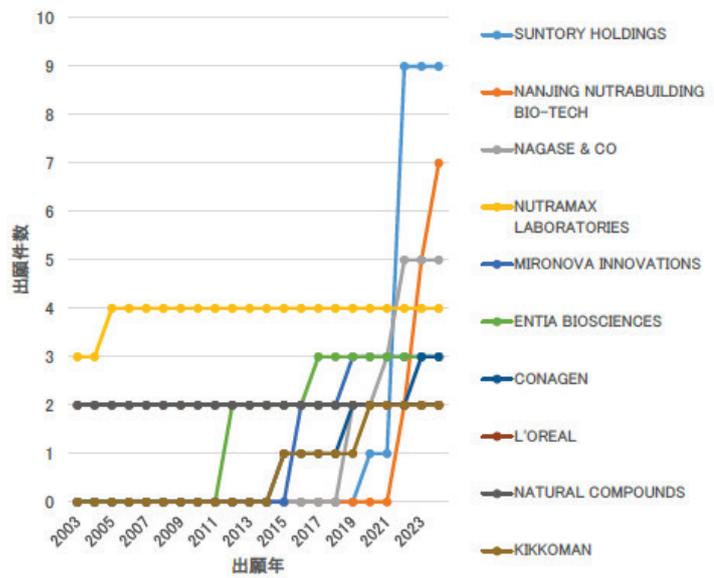


○米国

◇特許出願件数

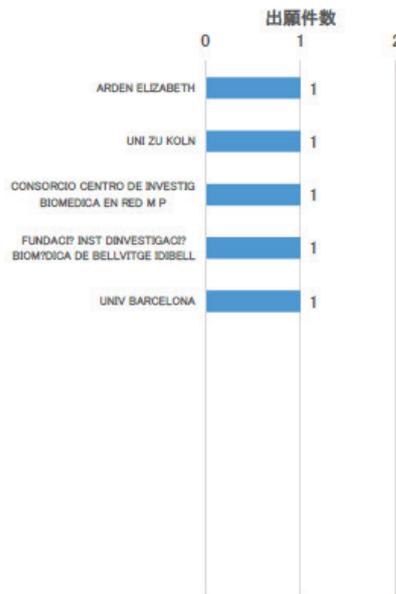


◇特許出願件数 累積推移

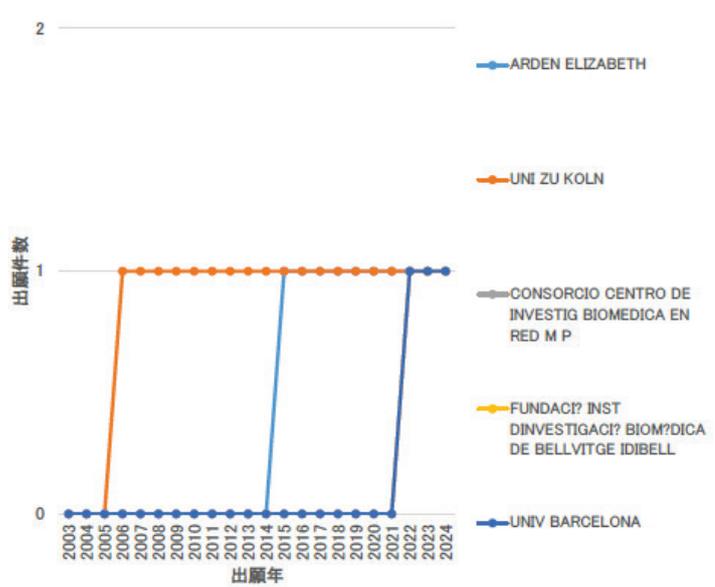


○イスラエル

◇特許出願件数

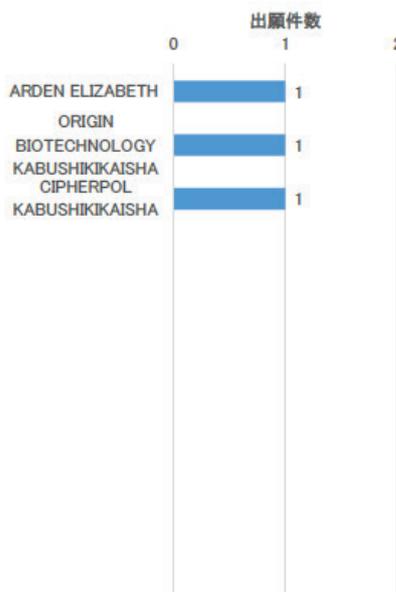


◇特許出願件数 累積推移

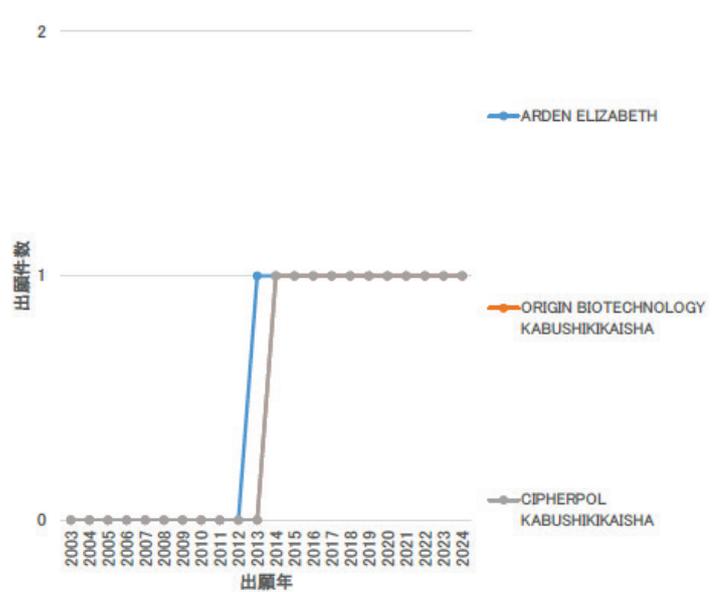


○シンガポール

◇特許出願件数



◇特許出願件数 累積推移



(6) その他

○2023年、2024年には、テレビ番組でエルゴチオネインが取り上げられている。

○キッコーマンによる取り組み

しょうゆ製造の大手であるキッコーマンは、しょうゆから派生して、使用する微生物や、微生物が生産する有用物質の研究も行っている。しょうゆ中にもエルゴチオネインが含まれていることが明らかになったことから、エルゴチオネインの生産に関する研究に取り組み、麹菌を用いての安定生産を可能としている。2023年5月16日に開催された、公益財団法人大隅基礎科学創成財団主催の第6期第7回創発セミナー（第9回酵母コンソーシアム）報告書によると、サプリメントとしてではなく、食品への添加や、化粧品としての製品化が検討されている。

7. 機能性糖質市場

(1) 国内市場

① 砂糖市場の概況（参考情報）

農林水産省が2024年12月に発表した「令和6砂糖年度における砂糖及び異性化糖の需給見通し（第2回）」によると、砂糖の国内消費量は近年、消費者の低甘味嗜好などにより減少傾向で推移してきた。2020年度はコロナ禍の影響で大幅に減少し、その後は回復傾向にあったが、令和5砂糖年度（2023年10月～2024年9月）は減少に転じた。令和6砂糖年度（2024年10月～2025年9月）の国内消費量は、前年度比0.4%増の175.0万トンとなる見通しである。

国内主要製糖メーカーが加盟する製糖工業会によると、2022年度の国内砂糖総消費量は190.0万トン、1人当たり消費量は15.3kgとなった。2008年との比較では、総消費量は約17万トン、1人当たり0.9kg減少している。

② 機能性糖質市場の概況

砂糖市場が伸び悩む一方、メーカー各社は、低カロリーや整腸作用など、健康機能を持つ機能性糖質の開発・提案を進めている。食品化学新聞の「2024年食品添加物・関連素材マーケティングリサーチ」（2025年1月16日付）によると、2024年の甘味料市場は売上高2,984億2,502万円（前年比99.5%）、需要量200万9,596トン（前年比99.3%）の微減となったものの、オリゴ糖をはじめとした機能性糖質が堅調を維持している。コロナ禍以降の健康志向の高まりや、腸活、ダイエット、生活習慣病予防などのニーズが要因とみられる。

2018年に消費者庁が機能性表示食品の届出ガイドラインを改正し、糖質・糖類（ぶどう糖、果糖、ガラクトース、ショ糖、乳糖、麦芽糖及びでんぷんなどを除く）を機能性関与成分として追加したことも、機能性糖質市場への追い風となっている。消費者庁は対象となり得る成分例として、糖質ではキシリトール、エリスリトール、フラクトオリゴ糖、キシロオリゴ糖、ガラクトオリゴ糖、乳果オリゴ糖（ラクトスクロース）、糖類ではL-アラビノース、パラチノース、ラクチュロース（乳糖を原料に作られるオリゴ糖）を挙げている。

機能性表示食品の届出情報データベース（2025年1月30日時点）によると、機能性関与成分にマルトビオン酸（難消化性のオリゴ糖）を含む届出は42件、アルロース（希少糖の一種）は30件、フラクトオリゴ糖31件、ガラクトオリゴ糖18件、ラクチュロース19件、マルトビオン酸Ca17件、マルトビオン酸13件が確認できる（下表は製品例）。

特定保健用食品においても、「オリゴ糖」を関与成分に含む商品の許可件数は110件にのぼり、コーヒー豆マンノオリゴ糖46件、乳果オリゴ糖25件、ガラクトオリゴ糖17件などが確認できる。キシリトールを関与成分とするガム・錠菓（タブレット）も19件許可されている（2025年2月4日時点）。

【機能性糖質を関与成分とする機能性表示食品の例】

機能性 関与成分	表示しようと する機能性	届出者・ 商品名	想定する 主な対象者	販売価格・ 容量	1日当たり 摂取目安量	1日当たり 摂取目安量 に含まれる 機能性 関与成分量
マルトビ オン酸	マルトビオン酸には、お なかの調子を整える機 能、食事に含まれるカル シウム・鉄・マグネシウ ムの吸収を促進する機 能があることが報告さ れています。	雪印メグミルク 株式会社 「農協野菜D a y s (デイズ) 野菜1日分 腸 得L i f e (ラ イフ)」	おなかの調 子を整えた い方、栄養吸 収の高まり を求める方、 健常な成人	135 円 (税 別)、200 ml	200 ml	0.81g
アルロー ス	アルロースには、日常生 活 (安静時や日常活動 時)のエネルギー代謝に おいて、脂肪の燃焼を高 める機能があることが 報告されています。 また、食後の血糖値の上 昇をおだやかにする機 能があることが報告さ れています。	松谷化学工業株 式会社 「アストレア W」	健常な成人	3,240円(税 込)、5.2 g ×30 本	5.2 g	5 g
フラクト オリゴ糖	フラクトオリゴ糖は、善 玉菌として知られてい るビフィズス菌を増や して腸内フローラを整 え、お通じが気になる方 のおなかの調子を良好 に保つ働きがあること が報告されています。	株式会社明治 「明治オリゴ糖 ミルクチョコレート100」	お通じが気 になる健常 成人	オープン価 格、45 g	3 枚 (15g)	3,000mg
ガラクト オリゴ糖	ガラクトオリゴ糖は、ビ フィズス菌を増やして 腸内の環境を改善し、便 通を改善することが報 告されています。	キリンビバレッ ジ株式会社 「キリン 午後 の紅茶 APPLE TEA Plus」	腸内環境を 良好に保ち たい健常者 およびお腹 の調子が気 になる健常 者	183 円 (税 別)、430 ml	1 本 (430 ml)	4g

(機能性表示食品の届出情報データベース (2025年2月18日時点) より矢野経済研究所作成)

③ オリゴ糖市場

オリゴ糖は代表的なプレバイオティクス（乳酸菌やビフィズス菌といった有用な腸内細菌の栄養源となり、増殖を促す食品）であり、腸内環境改善を謳う飲料や乳製品、菓子、調味料、甘味料などに使用されている。食品の風味のマスキングや物性改善といった目的でも使用されている。機能性糖質の中でもオリゴ糖は研究開発・利用の歴史が長く、特定保健用食品や機能性表示食品への採用実績も多い。

『機能性糖質・糖類の技術と市場』（シーエムシー出版）によると、マルトオリゴ糖、イソマルトオリゴ糖の市場規模は各1万トンを超え、フラクトオリゴ糖、ガラクトオリゴ糖などは5,000トン弱である。

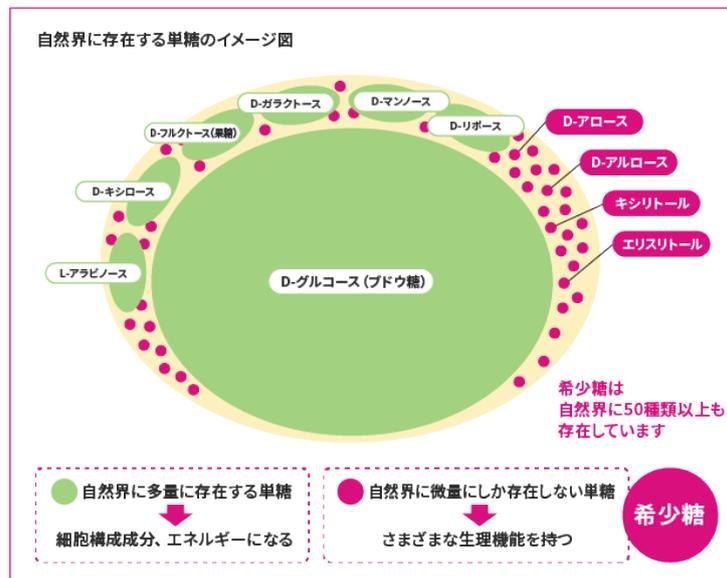
食品化学新聞社のデータによると、2024年のガラクトオリゴ糖の年間売上高は約29億円、フラクトオリゴ糖は約22億円、イソマルトオリゴ糖は約19億円、パラチノースは約20億円となっている。

近年は、オリゴ糖の一種であるケストースが注目を集めている。プレバイオティクス素材であることに加え、アレルギー性鼻炎やアトピー性皮膚炎の改善効果、砂糖に似た甘味や高い溶解性といった特徴を持つ。製造販売元のウェルネオシュガー株式会社は藤田医科大学との共同研究で、ケストースを用いた食事療法が乱れた腸内細菌叢を改善し、膵がんの新たな治療法へつながる可能性を示唆した。同社は2024年10月、腸内環境関連の研究開発支援事業を手掛ける株式会社メタジェンとアドバイザー契約を締結し、「革新的な口腔ケア・腸内フローラ改善素材の研究開発と普及」に取り組んでいる。

④ アルロース市場

希少糖は「自然界での存在量が少ない単糖およびその誘導体」と定義され、50種類以上が存在する。工業生産され広く利用されている、キシリトールやエリスリトールもその一種である。

<自然界に存在する単糖のイメージ図>



(出所：一般社団法人希少糖普及協会ホームページ)

研究開発の進展に伴い、希少糖市場の形成が進んでいる。希少糖の一種であるアルロース（プシコース）は工業生産が困難だったが、香川大学の研究により量産化が実現した。アルロースの甘味度は砂糖の7割程度で、食後血糖値抑制や脂肪燃焼促進、非う蝕性といった機能がある。健康面以外にも、優れた溶解性や高甘味度甘味料の味質改善、ソフトな食感の付与など、食品加工において有用な特性を持つ。

【アルロースの特徴】

原料・製法	<ul style="list-style-type: none">・自然界では「ズイナ」という植物の葉に含まれる。乾燥イチジクやレーズンにもわずかに含まれている。・国内で唯一供給されているアルロースの純品「ASTRAEA（アストレア）」（松谷化学工業株式会社が販売）は、とうもろこしでん粉を原料に製造されている。
健康機能	<ul style="list-style-type: none">・食後血糖値上昇抑制・脂肪燃焼促進・内臓脂肪蓄積抑制・非う蝕性・単独では血糖値を上昇させない
物性	<ul style="list-style-type: none">・高い溶解性・高甘味度甘味料の味質を改善・食品の異味・異臭のマスキング効果・再結晶化しにくい
カロリー	0 kcal/g
甘味度	砂糖の 70%程度
国内のサプライヤー	松谷化学工業（100%）

松谷化学工業株式会社は国内で唯一、アルロースの高純度結晶品「アストレア」を供給している。同社は世界的な素材メーカーのイングレディオン社と協業し、メキシコの専用工場でアルロースを生産している（2019年秋に専用工場を竣工、2022年7月から本格的な商業生産を開始）。

<松谷化学工業「アストレア W」(家庭用商品)>



(出所：株式会社レアスウィート オンラインショップ)

また、アルロースは溶解性に優れ、高甘味度甘味料の味質改善効果や異味・異臭のマスキング効果があることや、砂糖の70%の自然な甘味質があることから、清涼飲料水への配合にも適している。

機能性表示食品の飲料への採用が中心だが、下表の「タムスゼロ」のように、機能性表示食品ではない低カロリー飲料への採用も見られる。

【アルロースを使用した製品例（飲料）】

製品名	区分	特徴
伊藤園 「アクアピクス」	機能性表示 食品	<ul style="list-style-type: none"> ・届出表示：「本品にはアルロースが含まれます。アルロースには、運動時の脂肪の燃焼を高める機能があることが報告されています」 ・製品 500 ml 中、アルロース 5 g
四国乳業 「Easy&Smart ホワイトサワー」 「同 フルーツサワー」	機能性表示 食品	<ul style="list-style-type: none"> ・届出表示：「届出表示：本品にはアルロースが含まれます。アルロースには、日常生活（安静時や日常活動時）のエネルギー代謝において、脂肪を消費しやすくする機能があることが報告されています」 ・製品 180 g 中、アルロース 5 g
マンナンライフ 「クラッシュタイプの蒟蒻畑プ ラスヨーグルト味」	機能性表示 食品	<ul style="list-style-type: none"> ・届出表示：「本品にはアルロースが含まれます。アルロースには、日常生活（安静時や日常活動時）のエネルギー代謝において、脂肪の燃焼を高める機能があることが報告されています」 ・製品 150 g 中、アルロース 5 g
ロッテ 「タムスゼロ」	—	<ul style="list-style-type: none"> ・1本（355 ml）当たり 0 kcal ・アルロースの含有量は不明。
ナショナルトータルビバレッジ 「ととのったパンチ」	—	<ul style="list-style-type: none"> ・1本（250 ml）当たり 17 kcal ・アルロースの含有量は不明。機能性表示食品ではないが、ビタミン 11 種・BCAA・食物繊維を配合した「機能性ドリンク」として訴求している。

⑤ その他の機能性糖質市場

トレハロースは、ナガセヴィータ株式会社（旧・株式会社林原）が量産化に成功し、1995年に国内販売を開始した。現在、国内では年間3万トン以上が流通していると推定される。和菓子やパン、ケーキといった食品のほか、化粧品や工業用途、文化財保護にも活用されている。『機能性糖質・糖類の技術と市場』によると、単価は400～700円/kgである。

エリスリトールは、砂糖の約75%の甘味度で非う蝕性、0 kcalといった特徴があり、世界的に需要が拡大している。『機能性糖質・糖類の技術と市場』によると、国内需要は7,000～8,000トンで推移しており、単価は食品用途向けの標準品で550～750円/kgである。

キシリトールは非う蝕性があり、虫歯予防ガムを中心に、歯磨き粉やマウスウォッシュなどに使用されているが、メインの用途であるガムの生産量は減少傾向にある。『機能性糖質・糖類の技術と市場』によると、キシリトールの年間需要は約6,000トンを下回ると推定される。

(2) 主な機能性糖質

単糖類	二糖類・オリゴ糖		糖アルコール	高甘味度甘味料
D-リボース	マルトオリゴ糖	ガラクトオリゴ糖	エリスリトール	アセスルファム K
L-アラビノース	イソマルトオリゴ糖	ケストース	キシリトール	アスパルテーム
キシロース	トレハロース	キシロオリゴ糖	還元パラチノース	アドバンテーム
希少糖（単糖類、糖アルコールなどの総称。例：アルロース）	ラクトスクロース （乳果オリゴ糖）	コーヒー豆マンノオリゴ糖	マルチトール	スクラロース
	フラクトオリゴ糖	パラチノース	ラクチトール	ネオテーム
	シクロデキストリン	マルトビオン酸		ステビア抽出物
	ラクチュロース	ラフィノース		

（シーエムシー出版『機能性糖質・糖類の技術と市場』などを参考に矢野経済研究所作成）

(3) 海外市場

① アルロース市場

アルロースの全世界の供給量は、年間数万トン規模とみられる。特に韓国、アメリカ、メキシコでは、栄養表示上の糖類から除外されたことが消費拡大に寄与している。

② その他の機能性糖質市場

エリスリトールの需要が世界的に拡大している。『機能性糖質・糖類の技術と市場』によると、最大市場のアメリカでは飲料やアイスクリーム、卓上甘味料を中心に採用が増加し、2022年の需要は6万トンに達した。欧州でも卓上甘味料を中心に2万トンの需要があり、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、中国などでも需要が増加し、世界需要は12万トンに達している。

(4) 「7. 機能性糖質市場」の参考文献

- ・井上國世（2023年）『機能性糖質・糖類の技術と市場』シーエムシー出版
- ・健康産業新聞（2024年）4月17日付『機能性糖質・甘味料特集』
- ・食品化学新聞（2025年）1月16日付『2024年食品添加物・関連素材マーケティングリサーチ』
- ・矢野経済研究所（2024年）『2024年版食品添加物・機能性原料市場の現状と将来展望』
- ・矢野経済研究所（2022年）『2023年版健康・機能性食品素材市場の実態と展望』

契約管理番号：

24001472-0