

令和4年度農林水産物・食品輸出促進
緊急対策事業のうちフードテックビジ
ネス実証支援事業

令和5年度新事業創出・食品産業課題
解決調査・実証等事業のうちフードテ
ックビジネス実証事業

日本におけるフードテックビジネスの現状把握と振興のため、フードテック分野における市場動向、特許動向に関する調査・分析を実施。

フードテック ビジネス・ 技術動向

2024年2月28日

発行：株式会社パソナ農援隊

作成：株式会社 NTT データ経営研究所

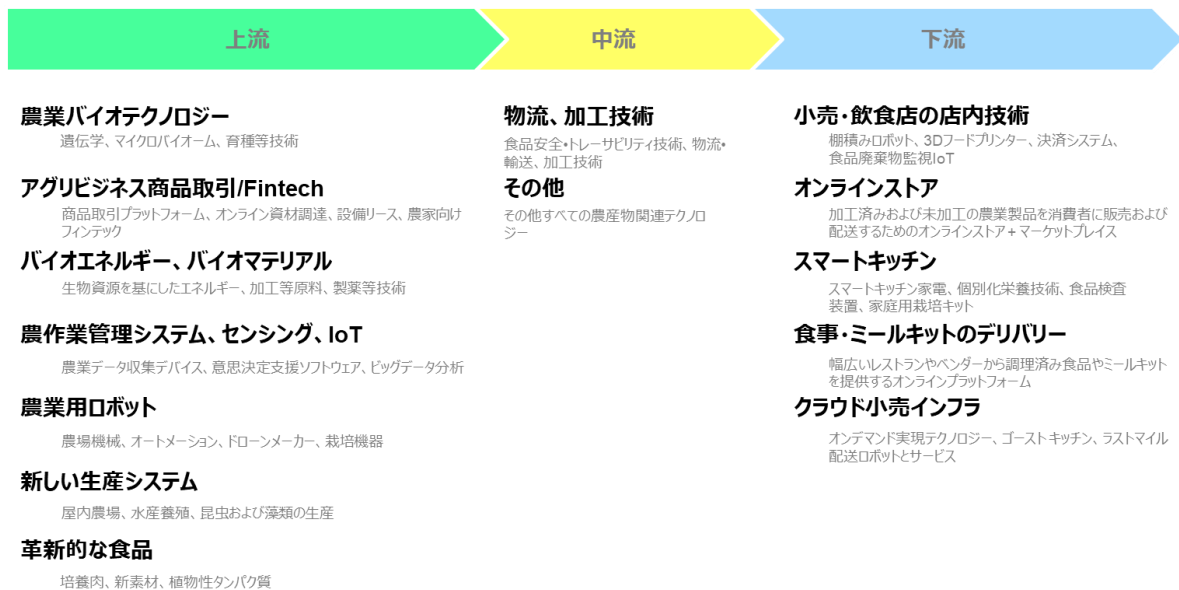
内容

1. フードテック分野における市場動向	2
2. プラントベースドフード分野（特に植物性代替肉）における技術・特許動向	6
(1) 植物性代替肉（植物肉）における技術要素	6
ア. 油脂	6
イ. 色の再現技術	7
ウ. 加工形成（構造化）	7
エ. 品種改良	9
(2) 植物性代替肉（植物肉）に関する技術動向	9
ア. 植物肉に関する出願の概況	9
イ. 海外の植物肉に関する取組事例	11

1. フードテック分野における市場動向

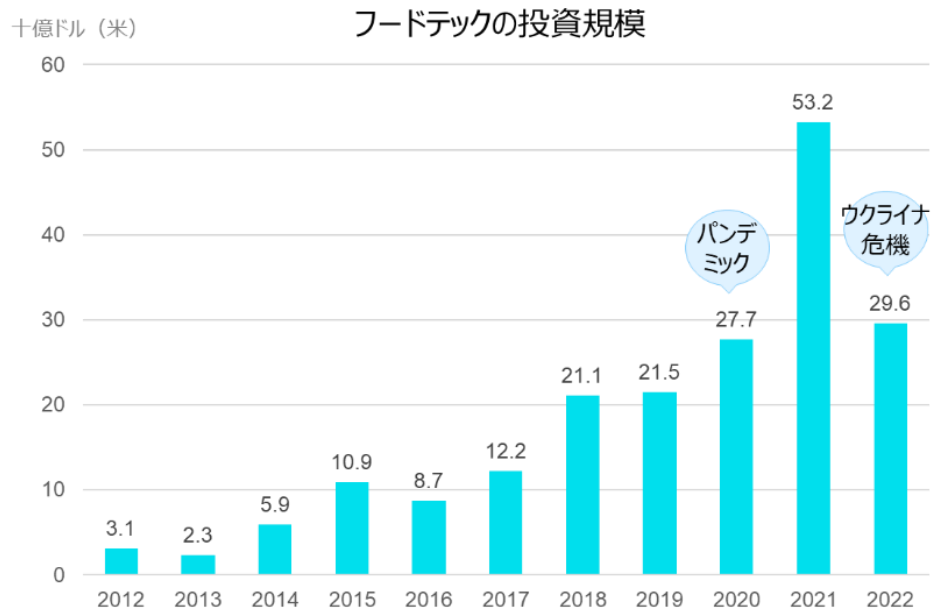
フードテックとは、食分野において最新技術を活用した生産、加工、流通、消費に関連する技術や事業のことを示す。農業生産のアグリテックも含めてアグリ・フードテックと呼称されることもあるが、農業生産なども含めてフードテックと呼称することも多い。アグリ・フードテックについて、以下のように整理を行った。

アグリ・フードテックの整理



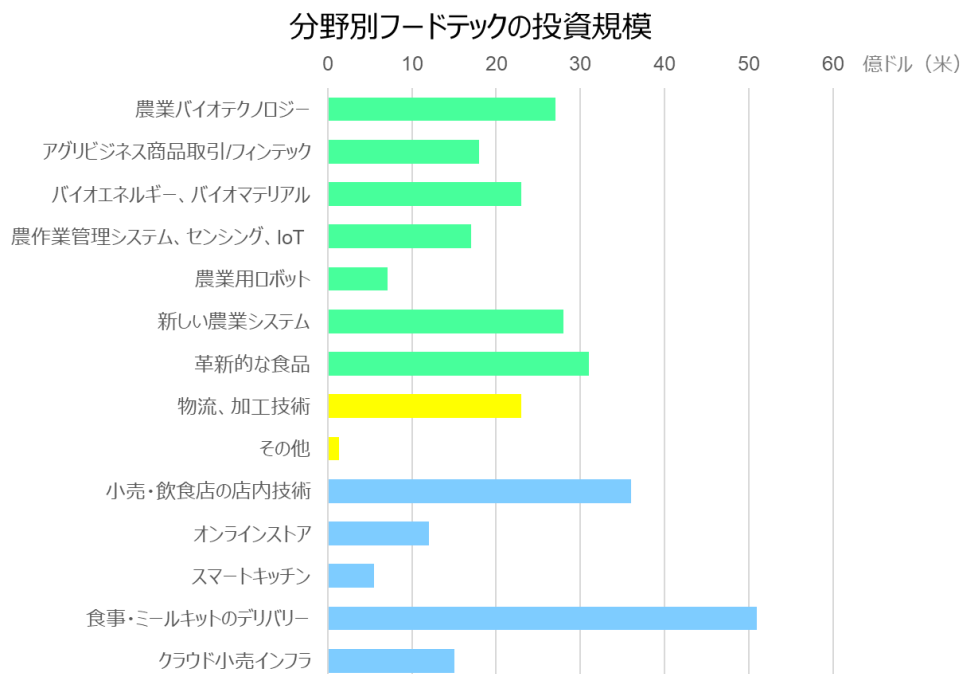
出典：Global Agrifoodtech Investment report 2023, AgFunder を参照し、NTT データ経営研究所作成

直近 10 年間の世界のアグリ・フードテックの資金調達額は以下の通り。アグリ・フードテック分野における世界的な投資額は 2021 年まで大きく増加してきたが、2022 年には 2020 年規模まで下落しており、2023 年はさらに減少傾向の見通しと言われている。



出典：AgFunder「GLOBAL AGRIFOODTECH INVESTMENT REPORT 2023」より、NTT データ経営研究所作成

2022年の世界のアグリ・フードテックの資金調達額は以下の通り。依然として食事・ミールキットのデリバリーに関する投資金額は大きい。



出典：AgFunder「GLOBAL AGRIFOODTECH INVESTMENT REPORT 2023」より、NTT データ経営研究所作成

なお、アジア太平洋地域における投資額を比較した場合、日本は2022年においてインドの10分の1程度、中国の6分の1程度の投資額であり、インドネシア、韓国、オーストラリア、シンガポール、タイなどを下回る8位となっている。

アジア太平洋地域における投資額

順位	国名	2022年		2021年	
		M \$ USD	件数	M \$ USD	件数
1	インド	2,300	216	4,200	225
2	中国	1,300	115	7,200	104
3	インドネシア	716	62	816	57
4	韓国	461	35	735	23
5	オーストラリア	317	38	360	55
6	シンガポール	296	57	1,100	63
7	タイ	290	4	-	-
8	日本	211	43	455	52
9	香港	153	13	-	-
10	フィリピン	113	10	-	-
11	バングラデシュ	106	7	124	13

出典：AgFunder「Asia-Pacific AGRIFOODTECH INVESTMENT REPORT 2023」「Asia-Pacific AGRIFOODTECH INVESTMENT REPORT 2022」より、NTT データ経営研究所作成

アジア太平洋地域における2022年、2021年の調達額上位事例として取り上げられている日本の事業者は、以下の4件である。

ショーケース・ギグは、飲食店における集客・省人化、キャッシュレス化、CRMなどを支援し、店舗運営の効率化を目指すソフトウェア・パッケージを提供するスタートアップ、KOMPEITOの「OFFICE DE YASAI（オフィスで野菜）」は職場に小規模の冷蔵庫や冷凍庫を設置し、サラダ・フルーツ・惣菜等を定期的に届けるサービスであり、野菜の消費拡大と社員の健康増進を狙う事業である。DAIZは大豆ミートの生産を行うスタートアップである。なお、DAIZは2023年度に累計調達額が131億円となり国内最大規模のフードテックスタートアップとなった。

調達上位事業者（日本）

	企業名	調達額	ステージ
2022年	Showcase Gig	\$20 million	LATE
2022年	Office De Yasai	\$11 million	SERIES C
2022年	DAIZ	\$26 million	SERIES C
2021年	DAIZ	\$16.7 million	SERIES B

出典：AgFunder「Asia-Pacific AGRIFOODTECH INVESTMENT REPORT 2023」「Asia-Pacific AGRIFOODTECH INVESTMENT REPORT 2022」より、NTT データ経営研究所作成

一方、世界的なインフレによる食品価格の上昇は、代替肉や代替卵、代替乳などへの期待を集める一方で、インポッシブル・フーズやビヨンド・ミートなどの代替肉を牽引してきた事業者においては、経営状況の悪化に伴うレイオフが報道されており急激な投資拡大に対する反動が見られる。

世界的な企業の苦境に関する報道

地域	企業名	概要
米国	Beyond Meat	2009年設立の植物性代替肉企業。2019年にIPOを行い、2.4億USドルを調達。2022年収益悪化により人員の2割をレイオフ
米国	Impossible Foods	2011年設立の植物性代替肉企業。累計で18億USドルを調達。2022-23年にかけては従業員の2割をレイオフ
米国	Nowadays	2020年設立の植物性代替肉企業。累計調達額は1050万USドルに至ったが、収益を確保できず2023年に事業停止
英国	Meatless Farm	2016年設立の植物性代替肉企業。累計調達額は4000万ポンドに至ったが、2023年に破産。同年、英国内のVFCの出資により事業再開

出典：各種サイトよりNTT データ経営研究所作成

2. プラントベースフード分野（特に植物性代替肉）における技術・特許動向

（1）植物性代替肉（植物肉）における技術要素

植物肉における技術開発の要素を整理するため、植物肉製造のプロセスを作物開発（育種）、原料加工・成分配合、加工形成に分けた。図中では各プロセスにおける肉感再現の向上や健康機能強化等の技術開発アプローチを例示している。このうちのいくつかの要素について概要を紹介する。

植物肉の製造プロセスと関連技術

		作物開発	原料加工 成分配合	加工形成
肉感再現	食感	—	<ul style="list-style-type: none"> 乳化・ゲル化・結着剤等 	<ul style="list-style-type: none"> 押出成形時の水分量調節等によるテクスチャ制御及び吸水性・保水性向上 せん断セル法や凍結を用いた構造化 3Dプリンタやエレクトロスピニングによる構造化
	味・香り	<ul style="list-style-type: none"> 不快味・不快臭低減 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂による風味・口どけ向上 香料等による再現、不快臭のマスキング ヘムによる色・風味再現 	
	外観	—	<ul style="list-style-type: none"> 植物由来着色料等 	
健康機能		<ul style="list-style-type: none"> アミノ酸スコア 機能性成分強化 低アレルギー 	<ul style="list-style-type: none"> 不飽和脂肪酸強化（飽和脂肪酸低減） グルテンフリー 	—
その他		<ul style="list-style-type: none"> GMOフリーの原料生産 多収化 タンパク質高含有品種 	<ul style="list-style-type: none"> 精密発酵・植物分子農業による動物性タンパク質生成 	—

出典：各種サイトより NTT データ経営研究所作成

ア. 油脂

油脂はジューシーさ、風味、口どけ、柔らかさ等に関連し、肉らしさを再現する上で重要な要素である。一般に植物に含まれる油脂は、肉と比べてオレイン酸やリノール酸等の不飽和脂肪酸を多く含む。構成脂肪酸の飽和度は、油脂の融点と大きく関連している。例えば牛脂のような固形脂は、不飽和度が低く（飽和脂肪酸を多く含む）常温では固体であるが、加熱調理や口に入れた際の温度で溶け出し、滑らかさや口どけ、ジューシーさ、風味を示す。

大豆に含まれる不飽和脂肪酸に、大豆リポキシゲナーゼという酵素が作用して生成する n-ヘキサナール等が、大豆特有の青臭みの原因になっていることが知られている。これに対して、リポキシゲナーゼ欠失大豆の作出や、n-ヘキサナールの生成抑制あるいはマスキングによる青臭みの低減技術が開発されてきた。

一方、メチルケトンやラクトンは、牛肉や乳製品のおいしさの特徴づける香気成分として知られている。最新の研究ではパーム油やココナッツオイル等に豊富に含まれる飽和脂肪酸から、加熱によってメチルケトンやラクトンが生成されることが見出され、植物肉のさらなるおいしさ向上に役立つことが期待される。

イ. 色の再現技術

肉の調理過程で赤色から茶褐色へ変化するプロセスは、消費者体験において重要な要素となっている。Beyond Meat や Impossible Foods をはじめ、生肉のような赤色の植物肉製品が多く提供されている。近年は日本においても生肉様の色味を持った製品を投入する企業が現れてきている。

例えば、Beyond Meat の製品ではビーツエキス等の植物由来着色料が用いられている。加えて、還元糖を使用することにより、加熱した際に糖とタンパク質とがメイラード反応を起こし、茶褐色への変化を再現している。

肉を加熱した際に赤色から茶褐色に変化するプロセスは、肉に含まれるヘムタンパク質の一つであるミオグロビンからメトミオグロビンに変化するメト化反応が関係している。Impossible Foods は大豆レグヘモグロビンというヘムタンパク質を用い、本来の肉と同様のプロセスによって色や風味を再現している。

ウ. 加工形成（構造化）

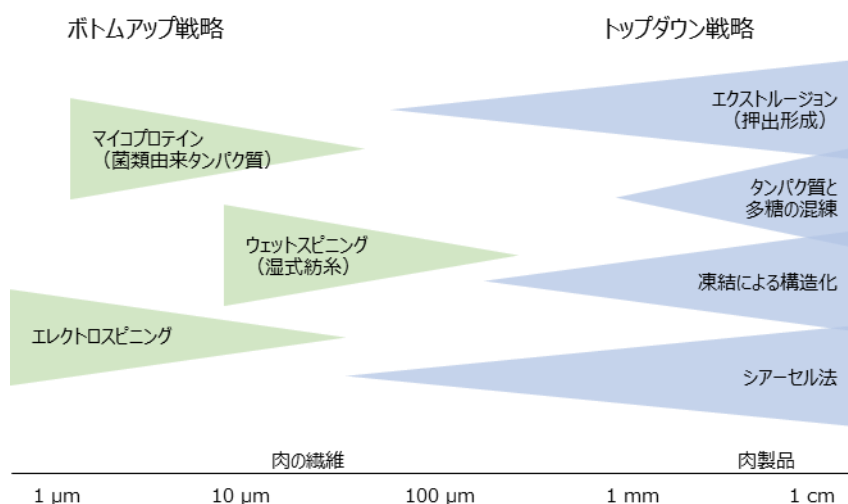
代替肉の加工形成は、トップダウン戦略とボトムアップ戦略の大きく2つに分かれる。

トップダウンは、タンパク質混合物に外側から力を加えることでテクスチャー化する方法で、ボトムアップは細かい構造を積み重ねて、ブロックを形成する戦略である。例えば培養肉

は、典型的なボトムアップ戦略である。ボトムアップ戦略の他の例としては、3D プリンタやエレクトロスピンニング法等が挙げられる。エレクトロスピンニング法は、射出された微細繊維を結着して構造化する技術で、3D プリンタよりも生産効率が高いとされる。一般にトップダウン戦略のアプローチの方が、大きなブロックを作りやすく、スケール化には適している。

トップダウン戦略のうち、現在最も実用化が進んでいるのはエクストルーダ（押出形成）による構造化である。高温加圧されたタンパク質が押出されると、急減圧により膨張しスポンジ状の構造が生まれ、さらに練りによって繊維構造が形成される。形成される構造は、押出時の温度、圧力、速度、水分量等のパラメータに依存する。既に社会実装している技術であり、多数のスタートアップ企業がこの技術を活用した植物性代替肉を販売しているが、技術改良の余地や差別化の要素が少ないとも言われている。他にトップダウン戦略で社会実装が進んでいるのはシアーセル法である。シアーセル法は回転する2つの円筒が入れ子式になったシリンダーを使い、せん断力によって構造化する技術であり、エクストルーダと比較してスケラビリティが劣るもののエネルギーコストは低いとされる。他にもタンパク質を含むゲルを凍結することで、内部に形成される氷結晶により繊維構造化させる技術等、様々な構造化アプローチの研究が進められている。

繊維構造を生み出す技術アプローチ



出典：<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011> を基に NTT データ経営研究所作成

エ. 品種改良

育種やヘムタンパク質等の原料生産に、遺伝子組換え技術を用いることがある。このような原料は遺伝子組換え食品に対する規制のある国では用いることができない。また、遺伝子組換え食品に対する消費者の受容性も課題として挙げられる。この対応として遺伝子組換え生物を使用しない、GMO フリーの原料を謳う植物肉製品を投入する企業が現れている。

大半の植物肉の原料となっている大豆やエンドウは、これまで多収化のために品種改良が行われてきた。特に大豆は油の利用が主な目的となっており、品種改良の過程でタンパク質含量は減ってきている。一方で、植物肉を製造する上では、作物中のタンパク質が多いほど、原料加工の工程で、タンパク質分画等の処理コストを抑えることができる。このことから、タンパク質を多く含み、かつ収量の高い、高品質・高生産性を両立した品種の作出が求められている。

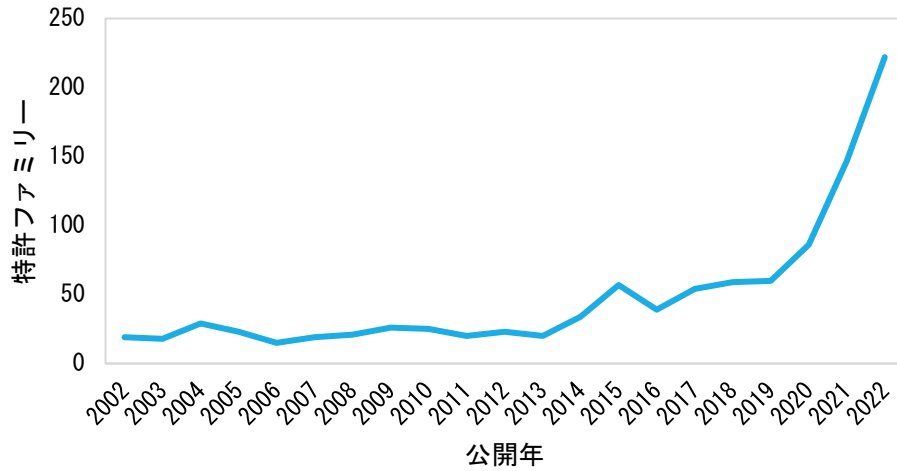
(2) 植物性代替肉（植物肉）に関する技術動向

ア. 植物肉に関する出願の概況

プラントベースフード、特に植物肉は既に普及が進んでおり、数年前と比べて日本でもスーパーや飲食店で植物肉製品を見る機会が増えている。2002年から2022年の20年間で公開された世界の植物肉に関する特許出願の傾向を調べると、2019年以降急増していることがわかる。（本調査の検索条件は後段に記載）

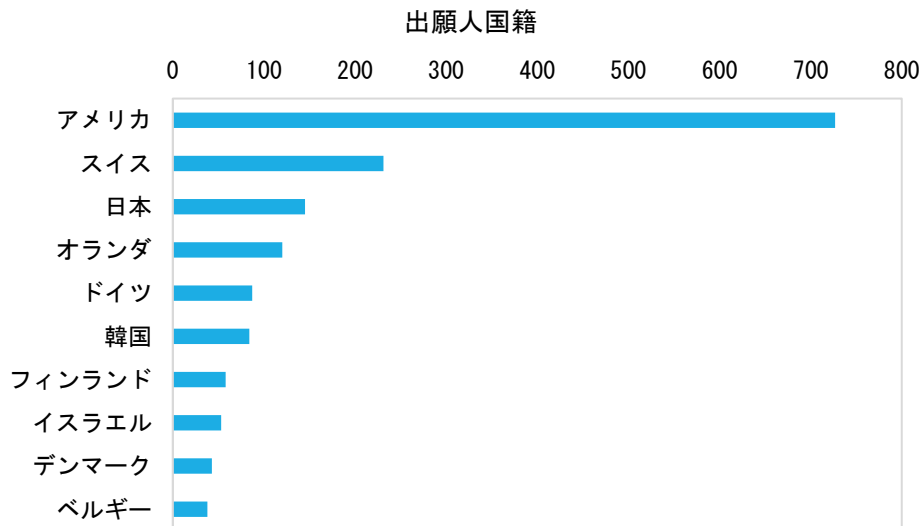
この背景にはビーガン・ベジタリアン・フレキシタリアン等のエシカル消費者の増加が理由の一つとして挙げられる。さらに米国における Impossible Foods、Beyond Meat が肉感再現度の高い製品を投入し、植物性代替肉に関する製品開発が加速した。

植物肉に関する特許出願（日米欧中韓）



出典：Espacenet 特許データベースを基に NTT データ経営研究所作成

出願人国籍別では、米国が最も多く、次いでスイス、日本が多かった。日本では、1960 年から大豆タンパク質の活用について研究開発を進める不二製油の出願数が、世界的に見ても多くの特許を出願している。続いて味の素、イビデン、Jオイルミルズ、日清食品 HD 等の出願が多かった。



※複数出願人がある場合は重複してカウント

出典：Espacenet 特許データベースを基に NTT データ経営研究所作成

植物肉に関する特許の上位出願人（国籍）

FUJI OIL CO LTD (日本)
NESTLE SA (スイス)
MARS INC (アメリカ)
NESTEC SA (スイス)
FUJI OIL HOLDINGS INC (日本)
AJINOMOTO KK (日本)
CARGILL INC (アメリカ)
SOLAE LLC (アメリカ)
FIRMENICH & CIE (スイス)
IBIDEN CO LTD (日本)
J OIL MILLS INC (日本)
NISSIN FOODS HOLDINGS CO LTD (日本)
HERBSTREITH & FOX GMBH & CO KG PEKTIN FABRIKEN (ドイツ)
IMPOSSIBLE FOODS INC (アメリカ)
SHOWA SANGYO CO (日本)
UNIV NORTHEAST AGRICULTURAL (中国)
VALIO LTD (フィンランド)

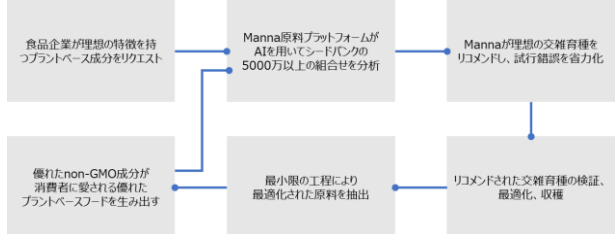
植物肉に関する特許検索条件

検索日	2024/1/12
検索データベース	Espacenet
検索項目	タイトル、要約、請求項
検索キーワード	meat substitute*, meat like, meat analogue, plant based meat, alternative meat*, meat alternative* (*は任意の文字列を表す)
出願先	日米欧中韓
対象年（公開日）	2002/1/1~2022/12/31

イ. 海外の植物肉に関する取組事例

海外の植物肉に関する取組事例と関連特許をいくつか紹介する。

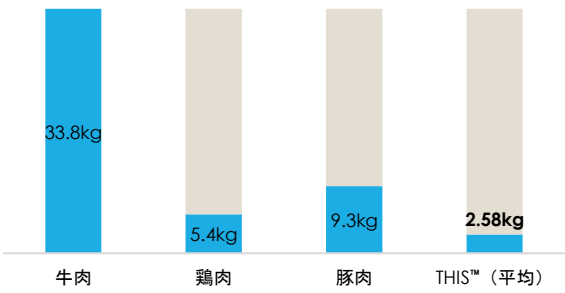
プロセス	企業名	タイトル	説明
作物開発	Benson Hill Biosystems (アメリカ)	超高タンパク大豆品種	ゲノム編集と機械学習に基づく「CropOS」プラットフォームを開発。独自の表現型、予測育種、環境モデリングアルゴリズムを採用することで、大豆品種のタンパク質含有量だけでなく、これらの品種に対する環境も最適化する。たんぱく質の含有量は、通常は約40%であるのに対し開発した品種は48%に達する。

			<p>従来の濃縮大豆タンパク質（SPC）と Benson Hill 大豆粉の比較</p> <p>出典：https://bhingredients.com/plant-based-foods/</p> <p>【関連特許例】 US 11060101 B2 “Compositions and methods for increasing plant growth and yield” US 11773432 B2 “CRISPR enzymes and systems”</p>
<p>作物開発</p>	<p>Equinom （イスラエル）</p>	<p>植物由来 肉、卵、乳 製品のタン パク源とし て植物育種</p>	<p>人工知能に基づく独自の「Manna」プラットフォームは、従来の作物開発サイクルの半分の時間で、高品質で高収量の作物を遺伝子組換え無しで開発する。Manna は、独自のデータベースで何百万もの種子を分析することで、目的の形質を得るための交雑育種の組み合わせを予測する。これまでに高品質・高収量のエンドウやゴマ等を開発している。</p> <p>Manna プラットフォームの原料と交雑育種予測</p>  <p>出典：https://www.equi-nom.com/technology を基に NTT データ経営研究所作成</p> <p>【関連特許例】 US 10271489 B2 “Production of hybrid seeds lot using natural pollination” US 2023/0255173 A1 “High Protein Pea Concentrates and Food Products Made Thereof”</p>

<p>成分配合・原料加工</p>	<p>NotCo (アメリカ)</p>	<p>AI で開発した植物由来肉</p>	<p>動物由来の食肉製品の既知の分子組成と食用植物の類似成分を比較する人工知能モデルを活用した「Giuseppe」プラットフォームを開発。これにより、動物由来の肉や乳製品の味、食感、香り、その他の特性を模倣できる植物由来の成分の組み合わせを特定するプロセスをスピードアップすることができる。</p> <div data-bbox="766 537 1324 1019" style="text-align: center;"> </div> <p>出典：https://notco.ai/#product を基に NTT データ経営研究所作成</p> <p>【関連特許例】 US 10970621 B1 “Methods to predict food color and recommend changes to achieve a target food color” US 11164478 B2 “Systems and methods to mimic target food items using artificial intelligence”</p>
<p>成分配合・原料加工</p>	<p>Impossible Foods (アメリカ)</p>	<p>植物由来代替肉</p>	<p>インポッシブル・ビーフなど、植物由来の代替肉を幅広く提供。ヘムタンパク質が含まれていることで、肉に独特の風味を与えている。インポッシブル・フーズは、遺伝子組換え酵母の発酵プロセスを通じて植物由来ヘムを製造している。</p> <p>大豆根粒に含まれる大豆レグヘモグロビンに着目し、遺伝子組み換え酵母による発酵生産を行う</p> <div data-bbox="861 1624 1220 1915" style="text-align: center;"> </div>

			<p>出典 : https://doi.org/10.1016/j.bbadv.2023.100111 を基に NTT データ経営研究所作成</p> <p>【関連特許例】 US 9700067 B2 “Methods and compositions for affecting the flavor and aroma profile of consumables” US 10039306 B2 “Methods and compositions for consumables”</p>
成分配合・原料加工	Motif FoodWorks (アメリカ)	精密発酵によるヘムタンパク質生産	<p>精密発酵技術により、牛肉に存在するミオグロビンと生物学的に同一な「HEMAMI」を開発。IngredientWerks 社と提携して、植物をヘムタンパク質生産の最適化を目指す。また、Rhizome Network 社と提携し、動物の結合組織のテクスチャーを再現する植物性素材「APPETEX」を開発した。</p> <p>その他、カナダの Coasun やゲルフ大学と提携して植物由来チーズが伸びたり溶けたりする技術や、霜降り植物肉の開発を進める。</p> <p>【関連特許例】 WO 2022/174157 A1 “Dairy Alternative Food Products” WO 2023/147546 A2 “Marbled Meat Analog and Methods of Making”</p>

<p>成分配合・原料加工</p>	<p>Ingredient Werks (アメリカ)</p>	<p>トウモロコシを用いたウシミオグロビン生産</p>	<p>Novus International の子会社 Agrivida からスピノフされ設立。トウモロコシを用いて牛ヘムタンパク質を生産する手法を開発。トウモロコシ 1g あたり 10mg を超えるミオグロビン発現に成功した。</p> <p>試験施設で栽培される「Meaty Corn」</p>  <p>出典：https://agfundemews.com/molecular-farming-ingredientwerks-grows-heme-protein-in-corn-at-unprecedented-low-cost</p> <p>【関連特許例】 US 2015/0232827 A1 "Intein-Modified Proteases, Their Production and Industrial Applications" US 2015/0225735 A1 "Strong Constitutive Promoters for Heterologous Expression of Proteins in Plants"</p>
<p>成分配合・原料加工</p>	<p>Moolec (ルクセンブルク)</p>	<p>植物における動物性たんぱく質生産</p>	<p>植物を改変して動物性タンパク質を生産する植物分子農業の開発を進める。豚肉タンパク質を大量生産できる大豆「Piggy Sooy」を発売。その他、ベニバナを用いて、チーズ製造に使用されるキモシンやγ-リノレン酸を生成することに成功し、それらを含むオイルを製品化している。</p> <p>豚肉タンパク質を発現する大豆「Piggy sooy」</p>  <p>出典：https://moolecscience.com/</p> <p>【関連特許例】 WO 2024/003668 A1 "High Expression of Animal Heme Protein in Plants"</p>

成分配合・原料加工	Cubiq Foods (スペイン)	植物由来代替脂肪ソリューション	<p>植物性油脂エマルジョン「Go!Drop」は、調理過程における油分、水分、フレーバーの流出を抑制し、ジューシーさと風味を向上させる。Cargill と提携し、Go!Drop を用いて飽和脂肪酸を 30%削減し、よりジューシーな肉感を再現したエンドウタンパクハンバーガーを発売。</p> <p>【関連特許例】 WO 2021/219845 A1 “Structured Fat System With Reduced Content in or Free From Trans and Saturated Fatty Acids and Uses Thereof for the Preparation of Foodstuffs”</p>										
成分配合・原料加工	Beyond Meat (アメリカ)	プラントベースバーガー	<p>ビヨンド・ソーセージ、ビヨンド・バーガー、ビヨンド・ミンチ、ビヨンド・チキン・スタイル、ビヨンド・ミートボールなどの幅広い植物製品を展開。ビヨンド・バーガーの生産に関連する温室効果ガス排出量は、米国産ビーフバーガーと比較して 90%少ない。</p> <p>また、Beyond Meat は 2021 年にスタンフォード大学医学部にプラントベースダイエットイニシアチブを設立、植物由来の肉を含むプラントベースフードが健康に及ぼす影響の研究開発を推進する。</p> <p>【関連特許例】 JP 2021119791 A “Meat-Like Food Products” WO 2021/142157 A1 “Meat-Like Food Products Comprising Sal Butter And/or Sal Butter Compositions”</p>										
加工形成	Plant Meat Ltd (イギリス)	植物由来代替肉	<p>熱に弱い着色料・香料等を保持したままテクスチャー化する高水分押出技術を開発。植物肉ブランド「THIS」には、ベーコンラッシャー、チキンピース、ベーコンラードン、チキンバーガー、ポークソーセージ、ビーフバーガー等の多様なラインナップが含まれる。THIS が使用する大豆は、品質と環境の持続可能性への取り組みを強調し GMO フリーを謳う。</p> <p style="text-align: center;">CO2 排出量の比較</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>肉種</th> <th>CO2 排出量 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>牛肉</td> <td>33.8kg</td> </tr> <tr> <td>鶏肉</td> <td>5.4kg</td> </tr> <tr> <td>豚肉</td> <td>9.3kg</td> </tr> <tr> <td>THIS™ (平均)</td> <td>2.58kg</td> </tr> </tbody> </table> <p>出典：https://this.co/why/を基に NTT データ経営研究所作成</p>	肉種	CO2 排出量 (kg)	牛肉	33.8kg	鶏肉	5.4kg	豚肉	9.3kg	THIS™ (平均)	2.58kg
肉種	CO2 排出量 (kg)												
牛肉	33.8kg												
鶏肉	5.4kg												
豚肉	9.3kg												
THIS™ (平均)	2.58kg												

			<p>【関連特許例】 GB 2579170 B “Food alternative product and process”</p>
加工形成	Redefine Meat (イスラエル)	3D プリント植物由来肉	<p>プルドビーフ、プルドポーク等のプルドミート製品や、ビーフミンチ、プレミアムバーガー等のミンチ製品を提供している。複数材料を同時に出力する3D プリンティング技術により、肉の複雑な形状を作り出すことが可能となり、この技術を用いたテンダーロイン等のステーキ肉製品も投入予定。</p> <p>【関連特許例】 WO 2020/152689 A1 “Meat Analogues and Methods of Producing the Same” WO 2022/079718 A1 “System and Method for Fabrication of a Three-Dimensional Edible Product”</p>