

6. 食料供給の課題及び技術トレンド調査

6.1 食料供給の課題

(1) 調査の実施

既存の調査研究資料（出所は別添資料参照）を参照し、品目別に食料供給にかかる課題として指摘されている事項を整理した。

供給の「インプット（投入資源）」「プロセス（土地、生産技術等）」別の課題と、プロセスが環境に及ぼす影響、環境側がインプットやプロセスに及ぼす影響に着目し、課題リストとして整理した。

(2) 調査結果

以下のような視点で、体系的に整理した。

課題の分類	視点
1) 投入資源の課題	水、肥料・農薬、生物資源といった資源の量的・あるいは質的な制約として、現在および将来において指摘されている課題を指す。
2) 供給プロセスの課題	生産・流通におけるプロセスにおける制約や負の事象（環境に及ぼす負の影響や、事故・エラー等）として、現在および将来において指摘されている課題を指す。
3) 需給バランスの課題	将来必要とされる量に対しての供給量につき、そのギャップが指摘され、ギャップを埋めるための取り組みの必要性が指摘されている課題を指す。
4) 気候変動が食料供給に及ぼす影響の課題	気温上昇や異常気象が、作物の収量や品質に対し、及ぼす影響に関する課題を指す。
5) 生態系の変化が食料供給に及ぼす影響	必ずしも原因が気候変動には限定されないが、森林伐採等の要因により生態系の変化が起きることで、分解や受粉媒介等の生態系サービスに影響があり、そのことが食料供給に及ぶことを指す。

1) 品目共通の課題

食料供給は、世界の水利用のうち大半を占めており、とりわけ畜産関係でその消費量が多いとされている（後述）。肥料は、原材料の偏在性が高く、長期的に見ると枯渇の懸念が指摘されている。農薬や農業機械は、その製造時や利用時のエネルギー消費を伴う。

生産・流通におけるプロセスにおける制約としては、大きくは今後開発可能な土地の制約が指摘されており、負の事象として水質汚濁等の環境負荷、需要増に伴う食品廃棄やロスの増加の可能性が指摘されている。

将来必要とされる量に対しての供給量につき、そのギャップについては、5章で述べたとおり、今後の大きな人口増が見込まれる地域（サハラ以南アフリカ等）において、その地域での生産量が増えたとしても、需要を賄うには至らず、他地域からの輸入をすることになる

と見込まれている。

また、気候変動による平均気温上昇や異常気象が、作物の収量や品質に対して負の影響を及ぼすことが指摘されているほか、必ずしも原因が気候変動には限定されないが、森林伐採等の要因により生態系の変化が起きることで、分解や受粉媒介等の生態系サービスに影響があり、そのことが食料供給に及ぶことも指摘されている。

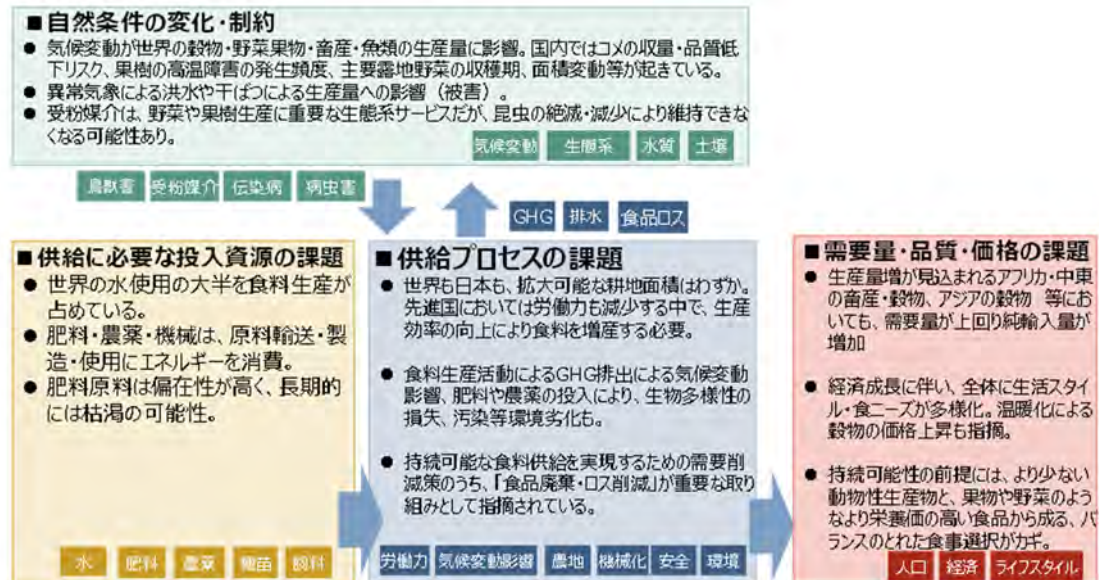


図 6-1 品目共通の食料供給上の課題

出所) 2050 年食卓の姿ワーキングチーム・第 1 回タスクフォース資料として MRI 作成

2) 畜産物供給の課題

畜産物供給においては、水を含め投入資源が多く、利用する土地面積が大きく、生産過程での GHG 排出が大きい。このため、資源圧迫・環境負荷上の大きな課題を抱える。

今後、人口増×経済最長が見込まれる国・地域での需要増が、穀物需要にも影響する。

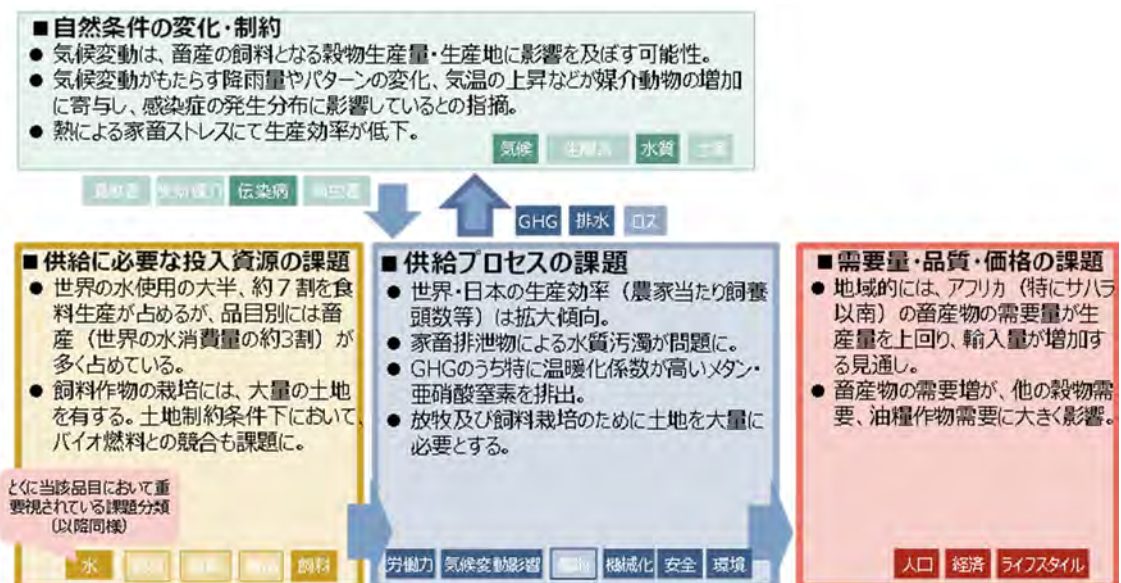


図 6-2 畜産物供給上の課題

出所) 2050 年食卓の姿ワーキングチーム・第 1 回タスクフォース資料として MRI 作成

3) 穀物供給の課題

気候変動による生産量・生産地変動の可能性が指摘されており、生産量変化が価格上昇を招く可能性がある。

今後、人口増×経済最長が見込まれる国・地域での畜産物の需要増が、穀物需要にも影響する。

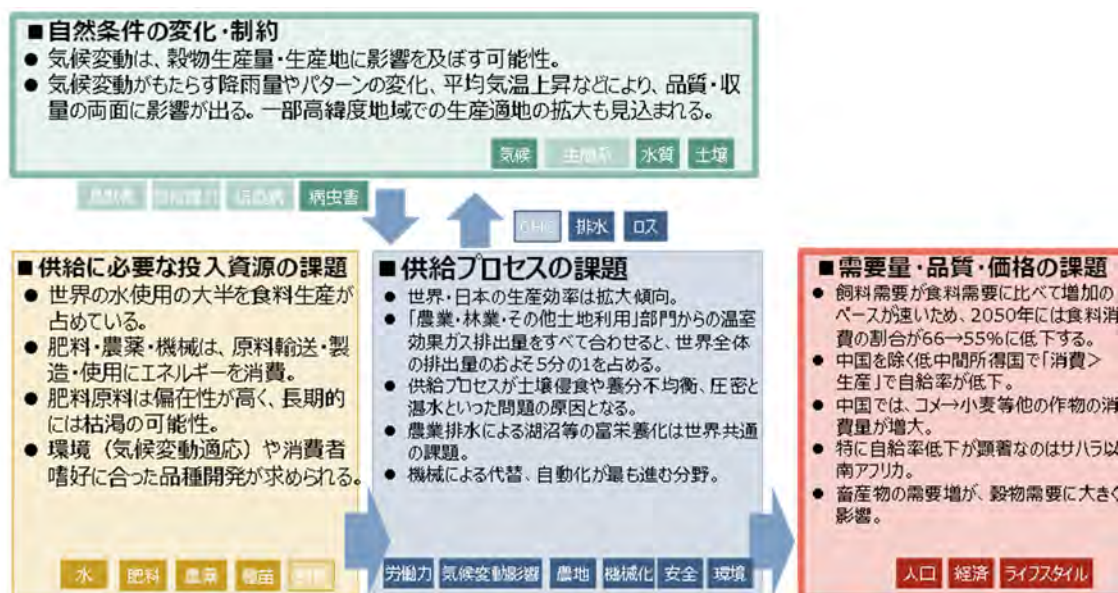


図 6-3 穀物供給上の課題

出所) 2050 年食卓の姿ワーキングチーム・第 1 回タスクフォース資料として MRI 作成

4) 野菜・果物の供給課題

今後、経済・ライフスタイル変化の大きな国で需要が大きく伸長する見通し。食事における野菜・果物比率が、健康と地球の持続可能性のカギである。

穀類・豆類と比較して廃棄・ロスとなる重量が多く、その地域差も大きい点に特徴がある。

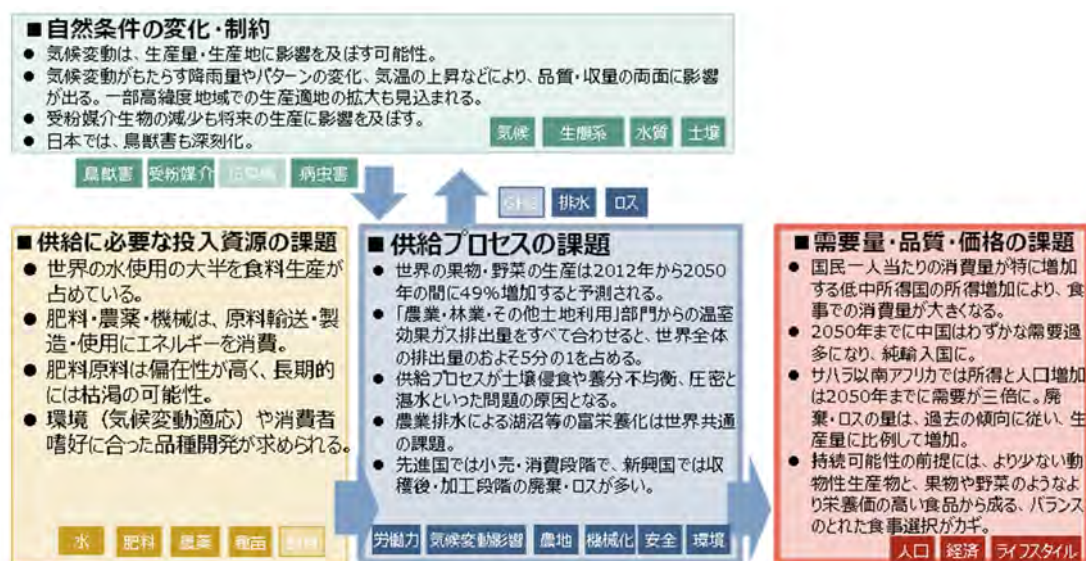


図 6-4 野菜・果物の供給上の課題

出所) 2050 年食卓の姿ワーキングチーム・第 1 回タスクフォース資料として MRI 作成

5) 水産物の供給課題

漁獲高は気候変動等自然条件による直接的な影響を受けやすく、既に、日本近海においても魚種により漁獲量の減少が指摘されている。

タンパク質確保の手段として、養殖も注目されているが、供給プロセスにおいて水質汚濁等の環境破壊も指摘されており、持続可能な供給増には、環境影響低減策が必須条件である。

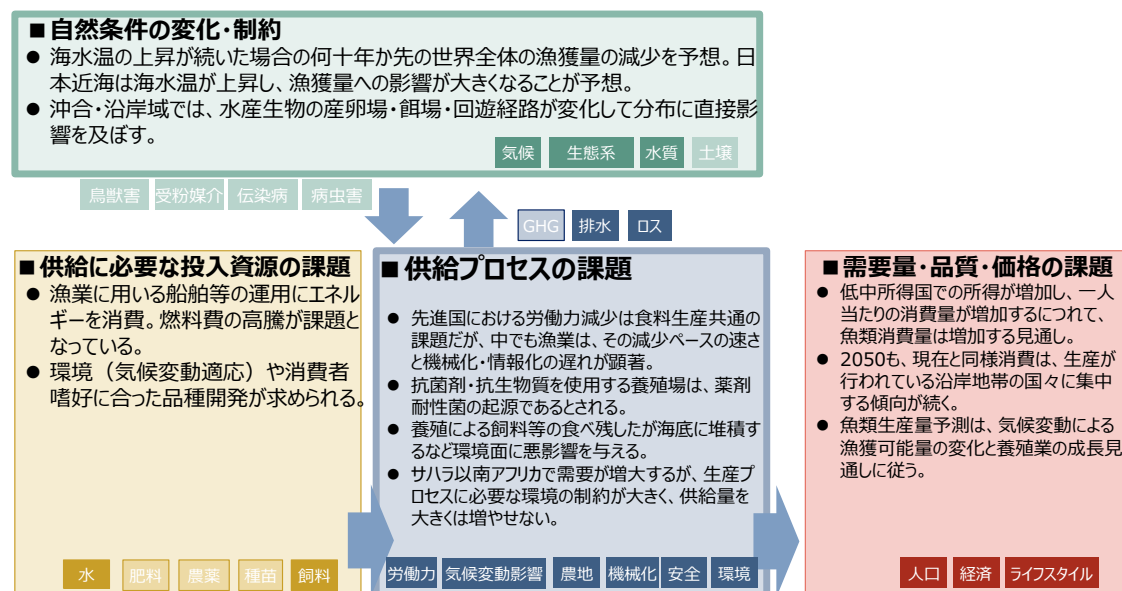


図 6-5 水産物供給上の課題

出所) 2050 年食卓の姿ワーキングチーム・第 1 回タスクフォース資料として MRI 作成

6.2 技術開発トレンド調査

食料供給の課題解決に向けて技術開発を進めていく必要があるが、フードテック分野の範囲は広く、国際機関・研究機関において様々な技術開発が行われているところである。

本調査では、今後、農林水産省として、どの分野に着目するのかの基礎資料とするため、食料供給の課題に対応する技術開発を軸に、国際機関・研究機関が、どの分野に注目しているのか、逆に未開拓な分野はどこなのかを把握することを目的とした。

6.2.1 対象とする国際機関・研究機関のピックアップ

インターネット検索等により、食料供給の課題に対応する技術開発に取り組む先進的な国際機関・研究機関として、技術開発の分野ごとに5機関、計15機関を対象として、フードテックに関する技術開発のトレンドを調査・整理した。

また、フードテックに関する技術開発のトレンドを俯瞰するため、フードテックの技術開発に関連するキーワードを設定し、論文検索を行った。

表 6-1 調査対象

食料供給の課題に対応する 技術開発分野	国際機関・研究機関の候補
代替肉 (昆虫食、代替肉、培養肉、 植物肉など)	・ Wageningen University (オランダ) ・ Maastricht University (オランダ) ・ Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) ・ Nottingham Trent University (英国) ・ 東京大学 生産技術研究所
加工技術・機械関連 (エディブルプリント、シー ル技術、3D フードプリン ト、フードロボット、ライン の自動化、IoT など)	・ 山形大学機械システム工学科 ・ ドイツ 連邦消費者保護・食糧・農業省 (BMVEL) ・ 米スタンフォード大学教授が設立、インポッシブル・フーズ社 ・ 近畿大学水産研究所 ・ アマゾンア連邦農村大学 (ブラジル)
品質管理・流通関連 (画像認識による品質管理な ど)	・ Nottingham Trent University (英国) ・ Fraunhofer-Gesellschaft (ドイツ) ・ 武庫川女子大学 分子栄養学研究室 (日本) ・ マネジメントセンターインスブルック (オーストリア) ・ Universiti Putra Malaysia (マレーシア)

6.2.2 各機関における技術トレンドに関する情報収集・整理

課題に対応する技術ごとに、各機関における取組内容を整理した。取組内容の整理に際しては、扱う技術の詳細や、開発段階、関連するステークホルダーなども合わせて、以下のフォーマットで整理した。

表 6-2 事例整理フォーマット

概要	当該技術の概要を簡潔に整理
キーパーソン	技術開発を主導しているキーパーソンの氏名と所属等を記載。
対応分野	検討の対象となる技術分野を記載。複数ある場合は全て記載。
技術の詳細	扱う技術の内容を詳細に記載する。当該技術の先進性が分かる記載とする。
開発段階	当該技術の開発状況を記載。 既に市場投入されているのか、商品化が近いのか、基礎研究段階のかななどを記載。
ステークホルダー	共同開発している企業等がいれば記載。
出所	上記情報が得られた情報源をリストアップ。

各事例の調査結果は以下に示す通りである。

(1) Wageningen University&Research（オランダ）

概要	FoodShot Global のパートナーとして参加。FoodShot Global は、投資家やベンチャーファンド、銀行、大学などの研究機関で構成される共同プラットフォームであり、持続可能で公平なフードシステムを構築するために毎年 Food shot を立ち上げている。フードシステムが直面する課題を特定、民間と公共部門の間で知識やネットワーク、資金を結び付けることによりイノベーションを進めることを目指している。
キーパーソン	Gerlinde de Deyn won 博士（土壌生物学）
対応分野	環境保護と農家の収量向上を目的としたマイクロバイオーーム解析
技術の詳細	植物の生産性向上や、作物の病気抑制、温室効果ガスを削減する土壌成分を決定するため、土壌環境と種の組合せを検討した。
開発段階	研究段階であり、2019 年の Foodshot にて GroundBreaker 賞を受賞
ステークホルダー	なし
出所	「FFAR Partners with FoodShot Global to Award 3 GroundBreaker Prizes」 Foundation for Food & Agriculture Research https://foundationfar.org/news/ffar-partners-with-foodshot-global-to-award-3-groundbreaker-prizes/ （閲覧日：2020 年 12 月 16 日）

	「prof.dr.ir. GB (Gerlinde) de Deyn」 Wageningen University & Research https://www.wur.nl/en/Persons/Gerlinde-prof.dr.ir.-GB-Gerlinde-de-Deyn.htm (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) 「Wageningen University & Research joins international Foodshot Global network」 Wageningen University & Research https://www.wur.nl/en/newsarticle/Wageningen-University-Research-joins-international-Foodshot-Global-network.htm (閲覧日：2020 年 12 月 16 日)
--	--

(2) Maastricht University (オランダ)

概要	培養肉の商品化を目指し Mosa Meat を設立。
キーパーソン	Mark Post 教授
対応分野	ウシ培養肉の作成
技術の詳細	生検で採取した骨格筋幹細胞を培養、筋肉細胞に分化させたのち、0.3mm 以下の筋線維を形成。筋線維をさらにゲルで培養することで筋肉細胞の収縮を促し、筋肉組織を生成している。
開発段階	Mosa Meat を設立、数年後に市場導入を目指している。
ステークホルダー	Google の Sergey Brin 氏が資金提供
出所	Mosa meat HP https://www.mosameat.com/our-meat (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) https://mosameat.com/the-mission (閲覧日：2021 年 2 月 9 日)

(3) Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (オランダ)

概要	Wageningen University & Research と Eindhoven University of Technology との 3 機関合同で行っているデジタル食品に関連するイニシアチブ the Digital Food Processing Initiative (DFPI) に参加。
キーパーソン	—
対応分野	3D プリンターを用いた食品加工による新製品の開発、消費者個人にカスタマイズされた食品製造加工の提案、3D プリント技術改良 shear cell technology と組み合わせることにより、構造化したタンパク質を作成するための技術開発を進めている。
技術の詳細	複数の素材を同時にプリントできる高速印刷用ヘッドセットを開発、また、液体や粉末状の食品や医薬品を異なるプリントヘッドを用いて最適化した状態でプリントする技術を開発している。
開発段階	2015 年にイタリアの食品企業 Barilla 社と共同でパスタプリンタのプロトタイプを検証したのち、スピンオフ企業である BluRhapsody 社が 3D プリントしたパスタの販売を開始。

	Mondelēz International 社では 3D プリンタを用いたチョコレートの製造を発表。
ステークホルダー	Wageningen University & Research Eindhoven University of Technology
出所	「Sustainable food solutions」 Digital Food Processing Initiative https://www.digitalfoodprocessing.com/en/digitalfoodprocessing/Propositions/Sustainable-food-solutions.htm (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) 「3D PRINT YOUR FAVOURITE CHOCOLATE NOW」 TNO https://www.tno.nl/en/about-tno/news/2019/7/3d-print-your-favourite-chocolate-now/ (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) 「THIS IS HOW IT'S DONE: 3D FOOD PRINTING」 TNO https://www.tno.nl/en/tno-insights/articles/this-is-how-it-s-done-3d-food-printing/ (閲覧日：2020 年 12 月 16 日)

(4) Nottingham Trent University (英国)

概要	Future Food Beacon は、the Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN)とパートナーシップを提携。微量栄養素のマッピングやコンピューター技術を活用した作物管理の改善などに役立てられるとしている。
キーパーソン	ー
対応分野	農作業と土壌管理のデジタル化のために必要な技術開発。農業の収穫量を最大化するためのデータ構築とサポートシステムへの応用を検討している。
技術の詳細	エチオピアと南アジアの土壌中微量栄養素欠乏のリスクを推定するための栄養プログラムや、アフリカの農業プロジェクトに応用できるとしている。
開発段階	2020 年 3 月にパートナーシップを提携、研究段階である。
ステークホルダー	the Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN)
出所	「NEW FOOD SECURITY RESEARCH PARTNERSHIP」 Global Open Data for Agriculture and Nutrition https://www.godan.info/news/new-food-security-research-partnership (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) 「New partnership to accelerate food security research」 University of Nottingham https://www.nottingham.ac.uk/news/new-partnership-to-accelerate-food-security-research (閲覧日：2020 年 12 月 16 日)

(5) 東京大学 生産技術研究所 (日本)

概要	牛肉由来の筋細胞を用いて、ウシ筋組織を作製する技術開発に取り組んでおり、サイコロステーキ状 (1.0 cm×0.8 cm×0.7 cm) の大型立体的筋組織作製に成功。
キーパーソン	東京大学生産技術研究所 竹内 昌治教授

対応分野	ウシ培養肉の作成
技術の詳細	ウシ筋細胞培養過程にビタミン C を添加することで成熟を促し、コラーゲンゲル内で立体培養を行うことで筋線維特融の縞状構造（サルコメア）を持つ筋線維の作成に成功。これらの集合体を重ねて培養することにより、サイコロステーキ状の立体筋線維の作成に成功した。これまでミンチ肉の培養技術確立は世界的にも進んできたが、肉本来の食感の再現を目指し細胞培養方法の開発を進めている。
開発段階	日清食品グループでは、培養ステーキ肉の基礎技術を 2024 年度中に確立することを目指している。
ステークホルダー	日清食品ホールディングス株式会社
出所	「研究室からステーキ肉をつくる」日清食品グループ https://www.nissin.com/jp/sustainability/feature/cultured-meat/ （閲覧日：2020 年 12 月 16 日） 「【共同発表】肉本来の食感を持つ「培養ステーキ肉」実用化への第一歩 世界初！サイコロステーキ状のウシ筋組織の作製に成功」 東京大学生産技術研究所 https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/news/3067/ （閲覧日：2020 年 12 月 16 日）

(6) 山形大学機械システム工学科（日本）

概要	食品 3D プリンターロボットシステムの開発
キーパーソン	山形大学理工学研究科 古川英光教授
対応分野	3D プリンタを用いたフードプリンティング
技術の詳細	3D ゲルプリンタを基に、複雑な構造作成に着目。食品に関するデータに基づき、食感や味、栄養素を再現することを目指した食品 3D プリンターロボットシステムの開発を行っている。これらのデータは世界中の誰もがダウンロードできるオープンな“食”のプラットフォームに提供されることを目指しており、構想を実現するためのプロジェクトチーム「OPEN MEALS」では、PIXEL FOOD PRINTER の開発が進められている。
開発段階	PIXEL FOOD PRINTER：特許出願中 Sushi Singularity：3D プリンタで作成したお寿司を提供する「超未来すし屋」を今後開店予定
ステークホルダー	電通、やわらか 3D 共創コンソーシアム、MagnaRecta、アドバンテスト
出所	「山形大学(フードプリンティングの開発：食のデータ化、転送化構想)」経済産業省近畿経済産業局 https://www.kansai.meti.go.jp/3jisedai/project/3Dkansai/press/yamagata.pdf （閲覧日：2020 年 12 月 16 日） 「open-meals.com」Team Open Meals Japan Patent Pending https://www.open-meals.com/index.html （閲覧日：2020 年 12 月 16 日）

(7) Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft（ドイツ）

概要	農村地域でのデジタルソリューションの開発と実装を目指すモデルプロジェクト「Smart.Land.Regions」を推進し資金提供を実施。
キーパーソン	－
対応分野	農村地域におけるデジタル化
技術の詳細	公共交通機関の最適化から、日常生活でのごみ処理、教育現場全般でのデジタル化など生活に必要なあらゆる分野を対象としている。Fraunhofer IESE の研究プロジェクトを活用しながら地域ごとにデジタル化の機会を得ることを目指している。Fraunhofer IESE は、デジタルプラットフォームのセットアップや、モデル地域内でカスタマイズされたデジタルサービスの開発などを支援することで、各地域に共通のソリューションを提供することを目指している。
開発段階	2020 年 5 月に対象となる農村地域が選択されたが、今後 7 地区に絞り込まれ資金提供が始まると予定となっている。
ステークホルダー	Fraunhofer IESE
出所	「Modellvorhaben "Smarte.Land.Regionen"」 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft https://www.bmel.de/DE/themen/laendliche-regionen/digitales/smarte-landregionen/mud-smarte-landregionen.html （閲覧日：2020 年 12 月 16 日） 「Häufig gestellte Fragen (FAQ) zum bundesweiten Modellvorhaben "Smarte.Land.Regionen"」 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft https://www.bmel.de/SharedDocs/FAQs/DE/faq-smarte-landRegionen/FAQ-mud-smarte-landRegionen_List.html;jsessionid=13E10D4B2CB97AAC1C7C7A0F8BF9C0A7.internet2831 （閲覧日：2020 年 12 月 16 日）

(8) スタンフォード大学（米国）

概要	植物から肉や卵、チーズなどの動物性の食品を作成することを目指した企業 Impossible Foods を設立。2016 年に発売した IMPOSSIBLE™ BURGER は、ハラル認証やグルテンフリー認定を受けている。
キーパーソン	スタンフォード大学 パトリック・ブラウン名誉教授
対応分野	代替たんぱく質
技術の詳細	大豆レグヘモグロビンを使うことで代替たんぱく質を得る技術を活用している。鉄を含み、肉独特の色や質感、味を生み出しているヘムを大豆から抽出することで食感を得ている。ヘムを含む大豆 DNA を酵母に挿入し、これらを発酵させて培養、大豆レグヘモグロビンを分離し IMPOSSIBLE™ BURGER に加えている。
開発段階	ソーセージなどの製品をすでに発売中

ステークホルダー	なし
出所	「MAKING MEAT FROM PLANTS」 Impossible Foods Inc. https://impossiblefoods.com/heme/ （閲覧日：2020年12月16日）

(9) 近畿大学水産研究所（日本）

概要	ゲノム編集技術を用いて、マダイの筋肉量増強を目的とした改良を進めている。
キーパーソン	近畿大学水産研究所 家戸 敬太郎教授
対応分野	ゲノム編集による品種改良
技術の詳細	マダイの体内で筋肉が増えすぎることを抑える働きのあるミオスタチン（mstn）に着目。mstn 遺伝子を機能欠損させたメダカにおいて筋肉量が増大することが、先行研究から明らかになっており、マダイにおいてこの遺伝子機能欠損により、可食部割合を増加させることが期待されている。
開発段階	研究段階として肉量の多いマダイの開発を進めている。
ステークホルダー	京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻 木下政人助教との共同研究で本研究が進んでいる。
出所	「ゲノム編集による養殖魚の品種改良—筋肉増量マダイの作出—」 日本生物工学会 https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/9701/9701_project_bio.pdf （閲覧日：2020年12月16日）

(10) アマゾン連邦農村大学（ブラジル）

概要	食品包装、コーティングを目的としてでん粉をベースにした生分解性フィルムの開発、フィルム効果を検証し論文「Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application」にて発表。
キーパーソン	Barbara Elisabeth Teixeira-Costa 教授
対応分野	フードコーティング技術
技術の詳細	ダイズでん粉、キトサンおよびグリセロールを配合して、食品を保護するための生分解性フィルムを開発。作成した溶液フィルムをリンゴに直接塗布し、乾燥させたのち30日間保管した場合のリンゴへの影響を調査した結果、コーティングされたリンゴではコントロール群と比較し重量損失が少なく、リンゴの品質を維持できる可能性が示唆された。
開発段階	研究発表段階
ステークホルダー	なし
出所	「Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application」 Heliyon

	https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)30563-6.pdf （閲覧日：2020年12月16日）
--	---

(11) Nottingham Trent University（英国）

概要	ケンブリッジ大学の研究チームが、機械学習を使ってレタスを収穫するロボット「Vegebot」を開発、論文「A field - tested robotic harvesting system for iceberg lettuce」にて発表。
キーパーソン	—
対応分野	画像認識、農業ロボット
技術の詳細	本ロボットには 2 台のカメラが搭載されており、1 台は畑全体を確認するために配備されている。レタスの画像を学習させることで、レタス畑全体から収穫すべき最適なサイズに成長したレタスを選定、もう 1 台のカメラでレタスの収穫や最適な位置での切断を支援する。
開発段階	研究発表段階
ステークホルダー	G's Growers（地元農業協働組合）
出所	「Robot uses machine learning to harvest lettuce」 University of Cambridge https://www.cam.ac.uk/research/news/robot-uses-machine-learning-to-harvest-lettuce （閲覧日：2020年12月16日） 「A field - tested robotic harvesting system for iceberg lettuce」 Journal of Field Robotics Volume 37, Issue 2 p. 225-245 https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rob.21888 （閲覧日：2020年12月16日）

(12) Fraunhofer-Gesellschaft（ドイツ）

概要	ドイツのフラウンホーファー研究機構は、物体の表面に付着する物質や農薬などをカメラ画像から解析するスマホアプリ「HawkSpex®mobile」を開発。
キーパーソン	Seyfert 博士
対応分野	画像解析
技術の詳細	スマートフォンのディスプレイカラー様々な波長の光を放射して物体を照らし、それらの反射光をフロントカメラでスキャンすることで分析、スペクトル画像を作成、表面に付着した物質等の評価を可能にした。
開発段階	アプリケーションの提供がなされている
ステークホルダー	—
出所	「Machine Intelligence Meets Biological Diversity」 Fraunhofer IFF https://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/biosystems-engineering.html （閲覧日：2020年12月16日）

	「HawkSpex® Mobile: Smartphone Spectroscopy」 Fraunhofer IFF https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/en/documents/publications/hawkspex-mobile-smartphone-spectroscopy-fraunhofer-iff.pdf (閲覧日：2020年12月16日)
--	---

(13) 武庫川女子大学 分子栄養学研究室（日本）

概要	凍結技術（CAS:Cells Alive System）を開発、生鮮魚介類（サバ・マグロ）の凍結解凍における品質改善を目的とした技術開発を進めている。
キーパーソン	蓬田 健太郎 教授
対応分野	加工技術、品質向上
技術の詳細	冷凍食品の品質に影響を及ぼす氷の結晶を現象させる振動磁場（OMF）を追加した凍結技術（CAS:Cells Alive System）を開発。冷凍魚介類の凍結融解後の組織損傷を大幅に改善したことが示されている。
開発段階	株式会社アビーにて CAS エンジンを開発している。
ステークホルダー	株式会社アビー
出所	「「食品ロス問題」への挑戦～「新しい食品冷凍技術」の確立へ向けて～：分子栄養学研究室」武庫川女子大学 https://food-nutrition.mukogawa-u.ac.jp/571/ (閲覧日：2020年12月16日) 「About the CAS CAS とは？」株式会社アビー https://www.abi-net.co.jp/cas/ (閲覧日：2020年12月16日) 「Quality improvements to mackerel (<i>Scomber japonicus</i>) muscle tissue frozen using a rapid freezer with the weak oscillating magnetic fields」Cryobiology. Volume 95, August 2020, Pages 130-137 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011224019302081 (閲覧日：2020年12月16日) 「Data of the freezing curves of tuna blocks with or without the weak oscillating magnetic fields」Data in Brief https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340920307460 (閲覧日：2020年12月16日)

(14) マネジメントセンターインスブルック（オーストリア）

概要	包装が食品（おもに肉）に及ぼす影響や、より良いソリューションを調査する「QualiMeat」プロジェクトを実施。このプロジェクトは EU の共同体イニシアティブの 1 つである Interreg プログラムによって資金提供を受けて実施された。（2016 年 9 月～2019 年 12 月）
キーパーソン	—
対応分野	品質向上
技術の詳細	従来のパッケージや最新の再生可能フィルム等の材料を分析、気密

	性などの機能パラメータを用いて特性評価を実施、これらのデータを集約。その後一部のテストフィルムを用いて肉との相互作用を調査、包装が肉の貯蔵寿命にどの程度影響するかを色や質感、細菌数などに基づいて評価を実施。解析したデータは論文「Suitability of Biodegradable Materials in Comparison with Conventional Packaging Materials for the Storage of Fresh Pork Products over Extended Shelf-Life Periods」等にて公表している。
開発段階	2019 年に調査が終了
ステークホルダー	共同研究機関 the University of Innsbruck, the University of Applied Sciences Kempten, the Center for Food and Packaging Industry Kempten, as well as two packaging specialists Multivac in Allgäu and the Tyrolean company Naturabiomat.
出所	「CAN PACKAGING BE SUSTAINABLE?」 MCI The Entrepreneurial School https://www.mci.edu/en/media-en/news/2584-can-packaging-be-sustainable2 （閲覧日：2020 年 12 月 16 日） 「Fleischverpackungen im Visier」 Management Center Innsbruck https://www.qualimeat.eu/ （閲覧日：2020 年 12 月 16 日） 「Suitability of Biodegradable Materials in Comparison with Conventional Packaging Materials for the Storage of Fresh Pork Products over Extended Shelf-Life Periods」 Foods. 2020 Dec 4;9(12):1802. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33291660/#affiliation-1 （閲覧日：2020 年 12 月 16 日）

(15) Universiti Putra Malaysia（マレーシア）

概要	貼るだけで果物の腐敗を防止するシール「Stixfresh」を共同で開発、効果検証を担当。
キーパーソン	Phebe Ding 氏、ZhafriZainudin 氏
対応分野	品質向上
技術の詳細	塩化ナトリウムや蜜蝋などの混合物からなる材料から作られた小さなシールであり、果物の周囲に保護層を作成することで果物の熟成を遅らせることが出来る。腐敗と熟成を遅らせることで、果物の鮮度を最大 14 日間延長できるとしている。
開発段階	ホームページで「Stixfresh」を販売
ステークホルダー	—
出所	「THE STIXFRESH MISSION—Slowing down nature is speeding up progress.」 STIXFRESH https://www.stixfresh.com/about （閲覧日：2020 年 12 月 16 日）

6.2.3 論文検索による動向把握

フードテックに関わる 8 項目を対象に、想定されるキーワードを設定し PubMed で文献検索を実施した。想定されるキーワードと検索結果は以下の通りである。

表 6-3 想定されるキーワード

大項目	技術区分	想定されるキーワード
1：農業支援	収穫ロボット	Agriculture Robot, Harvesting Robots, Smart Agriculture, Automated Harvesting System
	農業用ドローン	Agriculture Drone, Agricultural drone, Drones in agriculture, Farming Drone, Agricultural UAVs
	精密農業	Precision agriculture, precision farming
2：代替タンパク質	昆虫食	Entomophagy, Insect eating
	培養肉	cultured meat, Lab-Grown meat, in vitro meat
	植物肉	plant based meat
	代替肉	Meat alternative, Meat substitutes, meat analogue
3：製造技術	フードロボット	Food Robotics, robotics in food manufacturing, robots in food processing
	ライン自動化	Factory Automation
4：生産技術	ゲノム編集育種	Genomic breeding for food, Genome-based breeding approaches, Genome editing, Breeding with Genomics
	アクアポニックス	Aquaponics
5：加工技術	エディブルプリント	Edible Printing
	3D フードプリント	3D food print
	コーティング	Food Coatings
6：その他製造技術	IoT、画像解析	IoT, AI, DX, X-Tech, Image Analysis
7：品質管理・流通関連	品質管理	quality management
	衛生管理	food safety management, food hygiene management
	流通・物流	Logistics
	冷凍技術	Refrigeration technology, Technology in frozen food
	包装・要素技術（ガス置換包装・鮮度保持フィルム）	packaging systems, Food Packaging Containers, fresh food packaging, freshness retention films, food packaging machines
8：その他	キッチン OS	Kitchen OS, smart kitchen, Kitchen Operating System

表 6-4 検索式と検索結果 (2015 年～2020 年)

大項目	検索式	ヒット数
農業支援	("agriculture robot*" OR "harvesting robot*" OR "smart agriculture" OR "automated harvesting system" OR "agriculture drone*" OR "agricultural drone*" OR "drones in agriculture" OR "farming drone" OR "agricultural UAVs" OR "precision agriculture" OR "precision farming") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication])	1,306
代替タンパク質	("entomophagy" OR "insect eat*" OR "cultured meat*" OR "lab-grown meat*" OR "in vitro meat*" OR "plant based meat*" OR "meat alternative*" OR "meat substitute*" OR "meat analogue*") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication])	316
製造技術	("food Robotics" OR "robotics in food manufacturing" OR "robots in food processing" OR "factory automation") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication]) and "food"	84
生産技術	("genomic breeding for food" OR "genome-based breeding approach" OR "genome editing" OR "breeding with genomics" OR "aquaponics") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication]) and "food"	3,912
加工技術	("edible print*" OR "3d food print*" OR "food coatings") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication])	89
情報技術	("IoT" OR "AI" OR "DX" OR "X-Tech" OR "image analysis") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication]) and "food"	4,458
品質管理・流通関連	("quality management" OR "food safety management" OR "food hygiene management" OR "logistics" OR "refrigeration technology" OR "technology in frozen food" OR "food packaging systems" OR "food packaging containers" OR "fresh food packaging" OR "freshness retention films" OR "food packaging machines") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication]) and "food"	1,892
その他	("Kitchen OS" OR "smart kitchen" OR "kitchen operating system") and ("2015"[Date - Publication] : "2020"[Date - Publication])	58

上記の検索結果を踏まえた、フードテックに関する大項目別の公表論文数の推移は、以下に示す通りである。いずれの分野も 2015 年から 2020 年にかけて公表論文数は増加している。公表論文数が多い分野としては、農業支援、生産技術、情報技術、品質管理・流通関連があり、生産技術と情報技術の 2020 年の公表論文数は 1000 件を超える。

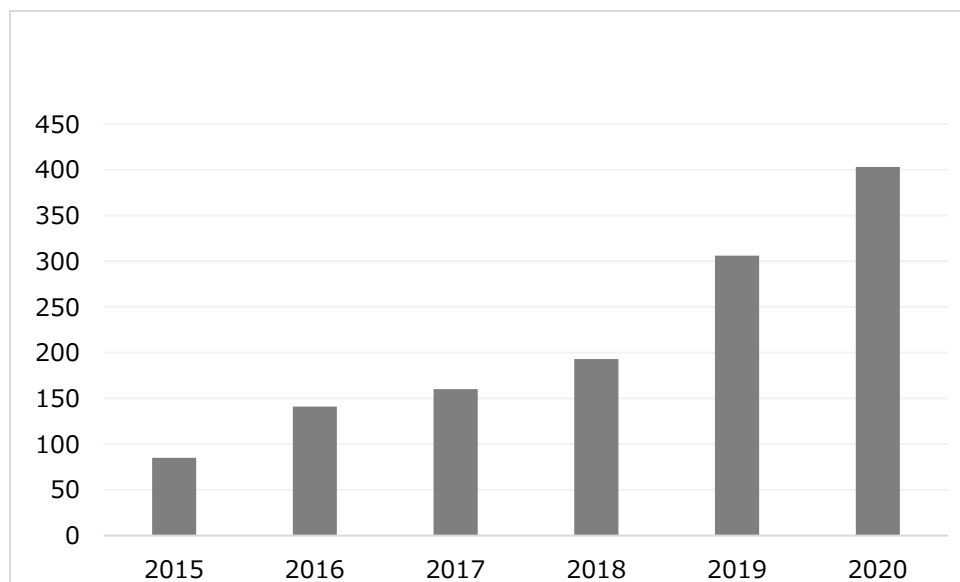


図 6-6 農業支援に関する公表論文数の推移

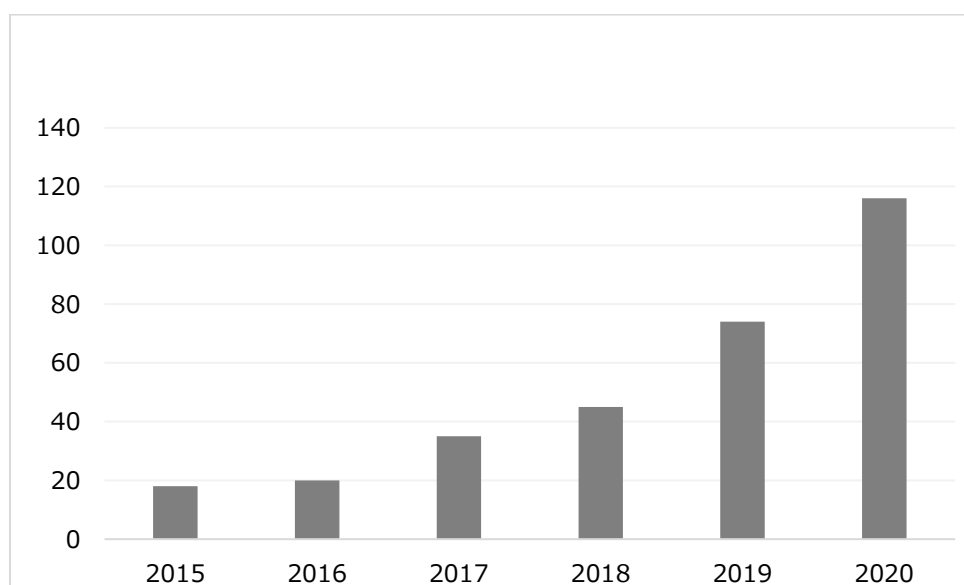


図 6-7 代替タンパク質に関する公表論文数の推移

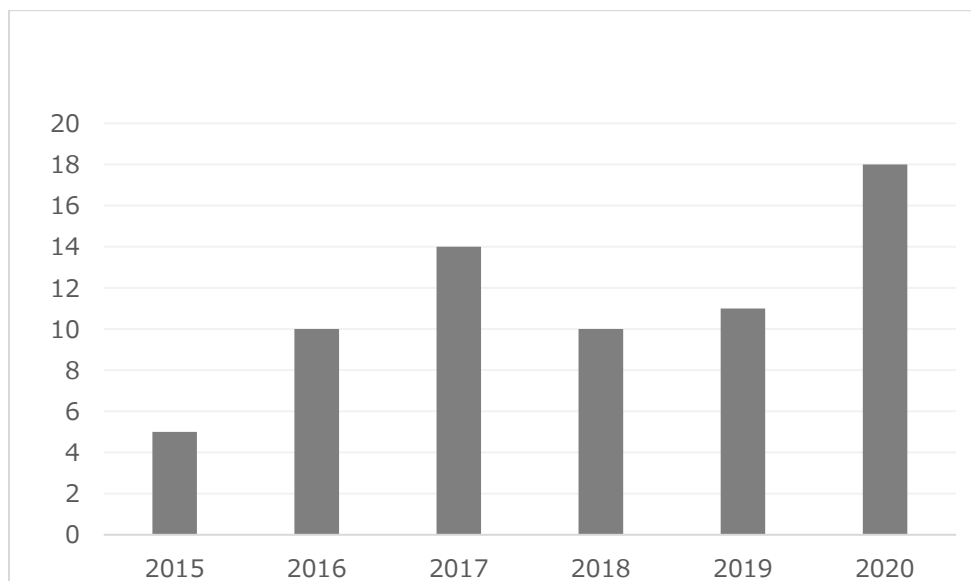


図 6-8 製造技術に関する公表論文数の推移

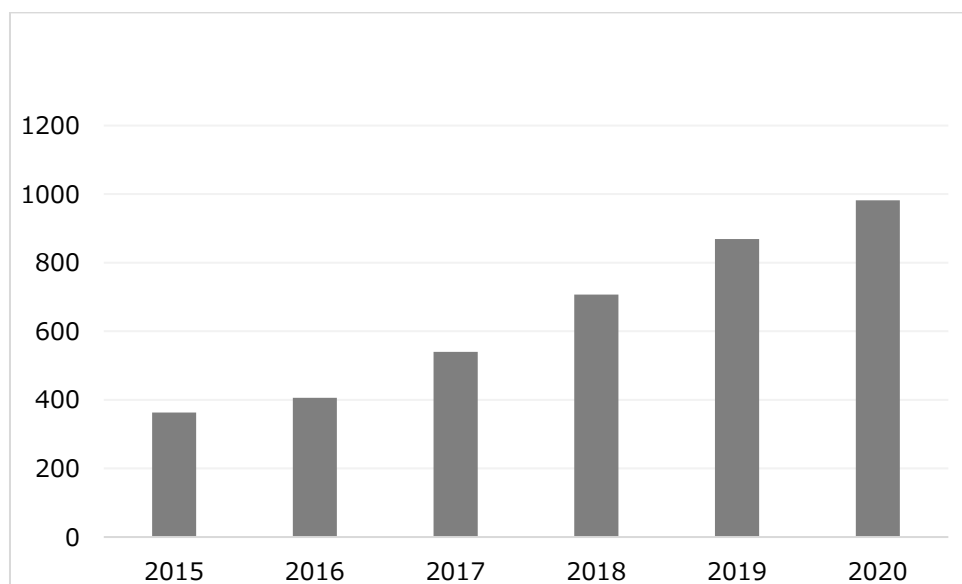


図 6-9 生産技術に関する公表論文数の推移

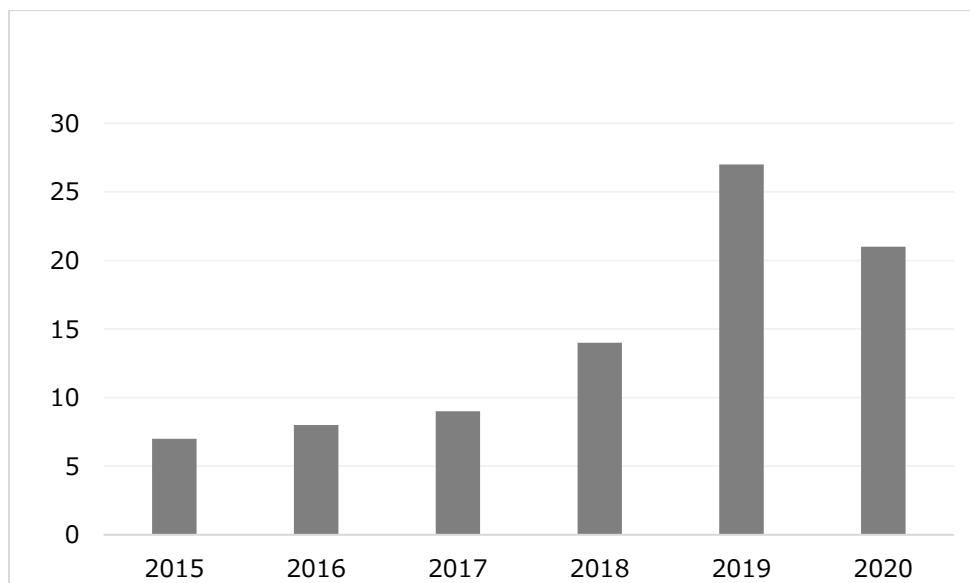


図 6-10 加工技術に関する公表論文の推移

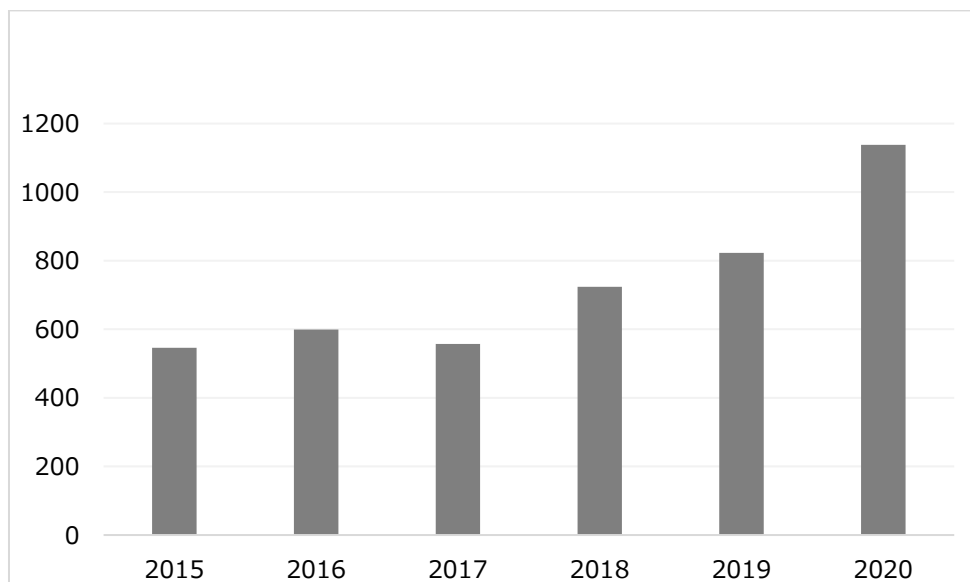


図 6-11 情報技術に関する公表論文数の推移

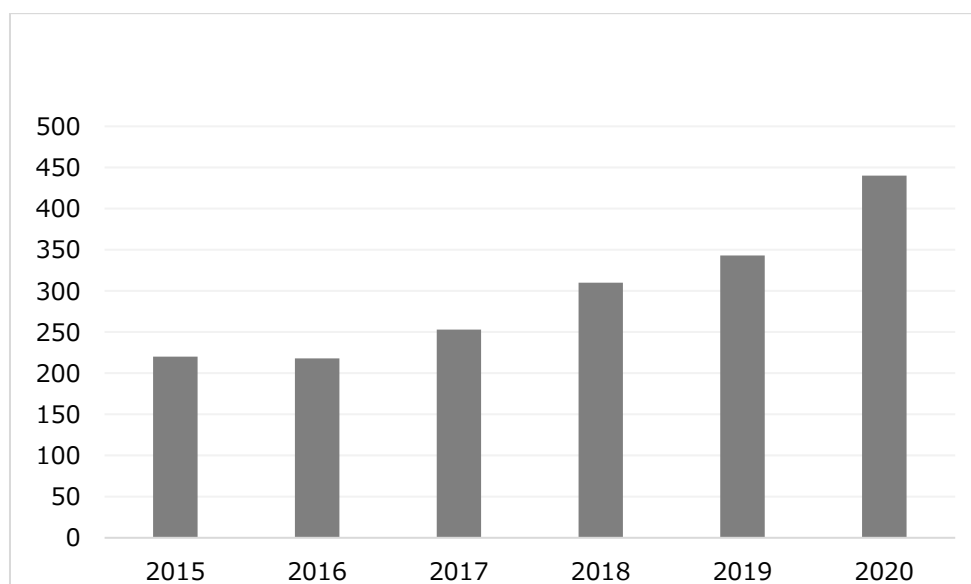


図 6-12 品質管理・流通に関する公表論文数の推移

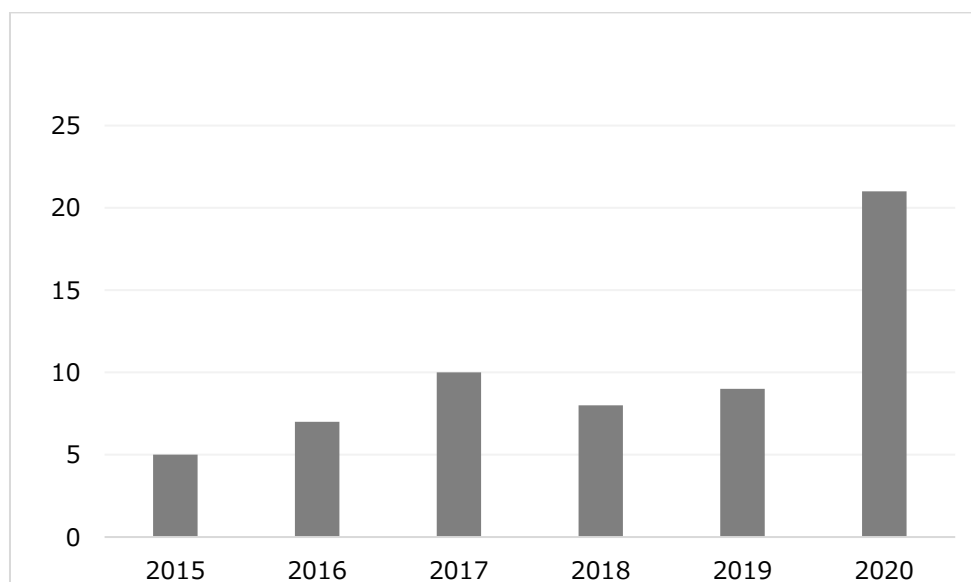


図 6-13 その他に関する公表論文数の推移

また、2015~2020 年の論文について大項目別に技術区分の割合を見た結果は以下の通りである。(大区分内での重複の可能性あり)

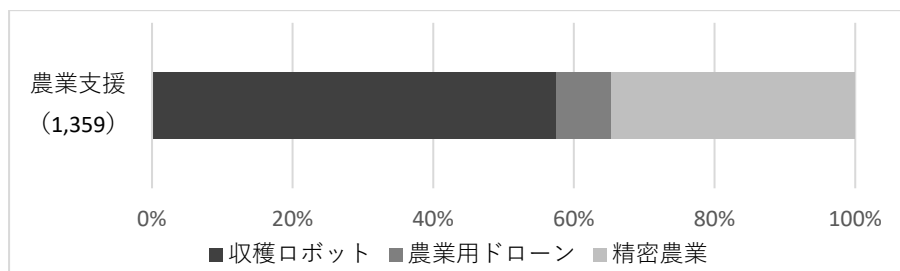


図 6-14 農業支援に関する公表論文数の割合

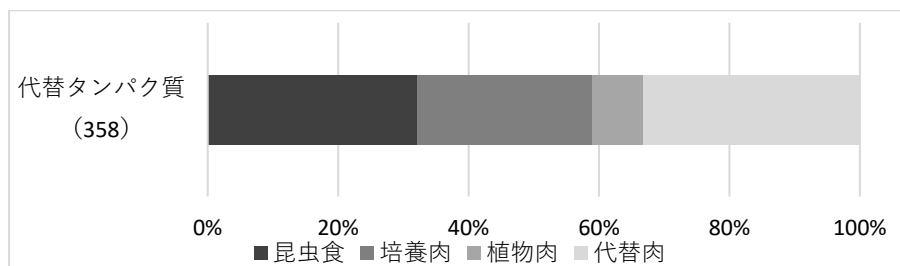


図 6-15 代替タンパク質に関する公表論文数の割合

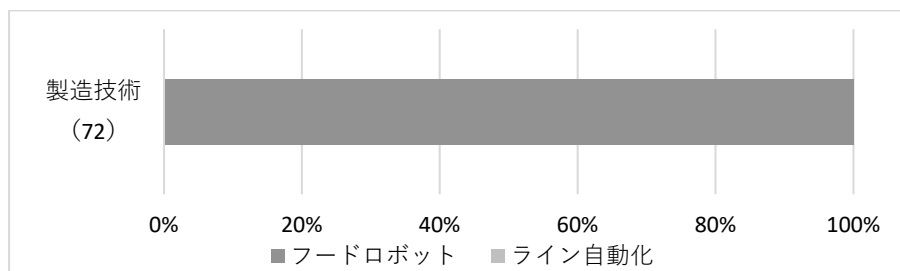


図 6-16 製造技術に関する公表論文数の割合

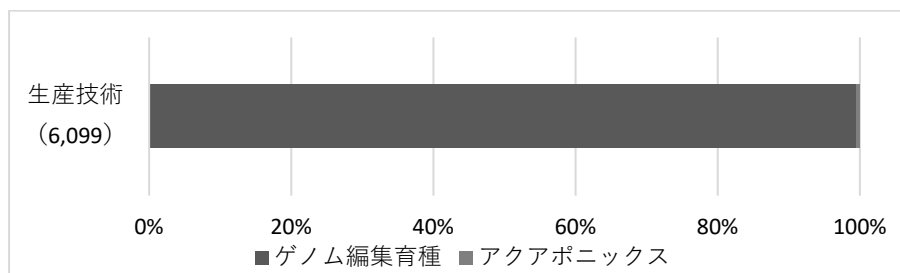


図 6-17 生産技術に関する公表論文数の割合

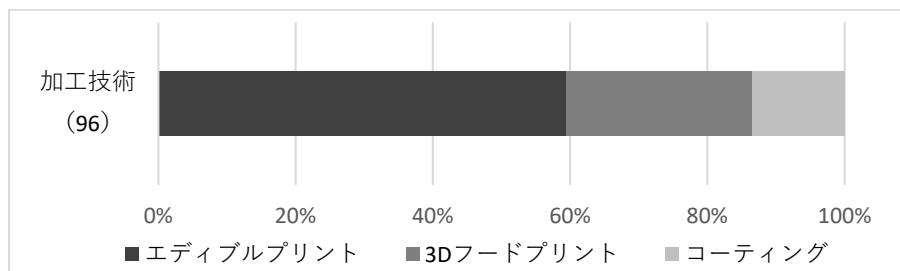


図 6-18 加工技術に関する公表論文数の割合

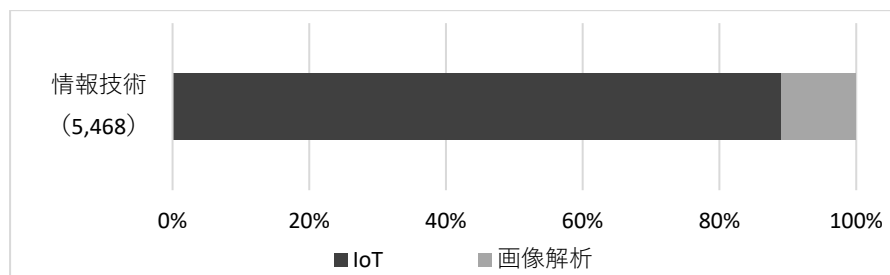


図 6-19 情報技術に関する公表論文数の割合

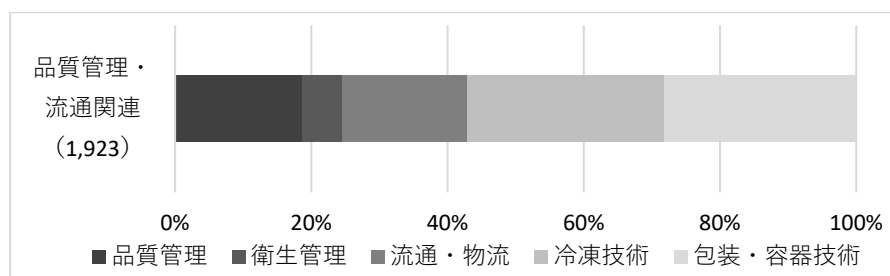


図 6-20 品質管理・流通管理に関する公表論文数の割合

6.2.4 まとめ

技術開発トレンド調査では、国際機関・研究機関における先進的な技術開発の取組事例を調査するとともに、論文検索によりフードテックの技術開発に関する動向を俯瞰して整理した。

国際機関・研究機関における先進的な取組事例のうち、代替肉については、オランダの研究機関や大学において取組が進んでいることが分かった。Maastricht University の Mosa Meat のように既に企業を設立し市場投入の準備を進めている事例もある。日本でも東京大学等が細胞培養法に関する検討を進めている。加工技術・機械関連については、ドイツや米国、ブラジルなどで先進的な取組が進んでいる。日本でも山形大学が 3D フードプリンタ、近畿大学がゲノム編集による品種改良の取組を進めている。品質管理・流通関連では、英国やドイツ、オーストリア、マレーシアなどで先進的な取組が進んでいる。日本でも武庫川女子大学が凍結技術に関する取組を進めている。

論文検索による動向把握では、いずれの分野も 2015 年から 2020 年にかけて公表論文数は増加していることが分かった。公表論文数が多い分野としては、農業支援、生産技術、情報技術、品質管理・流通関連があり、生産技術と情報技術の 2020 年の公表論文数は 1000 件を超えていた。

6.3 技術ガバナンス事例調査

フードテックの技術開発を進め、市場投入していくには、当該技術が及ぼす影響を体系的に整理しておく必要がある。

本調査では、国内外の国際機関・研究機関を対象に、フードテック分野の技術ガバナンスに係る取組を、ホライズンスキニング、フォーサイト、テクノロジーアセスメント、リスクアプローチ及び規制ギャップ調査・規制影響評価の観点から収集・整理した。整理結果を踏まえて、今後国内でフードテック分野の技術開発を進めるうえで、検討すべき事項などを整理した。

6.3.1 対象とする国際機関・研究機関のピックアップ

以下に示す国際機関・研究機関を対象として各機関における技術ガバナンスに関する取組事例を整理した。

対象機関の選定にあたっては、有識者ヒアリングを実施し、技術ガバナンスに関する考え方や最新の動向を伺うとともに、調査対象とすべき国や機関に関する情報を得た。

表 6-5 対象とした国際機関・研究機関

No.	対象機関
1	国連貿易開発会議（UNCTAD）
2	国際連合食糧農業機関（FAO）
3	米国食品医薬品局（FDA）
4	欧州委員会（EC）欧州食品安全機関（EFSA）
5	英国 環境・食料・農村地域省（DEFRA）
6	英国食品基準庁（FSA）
7	フィンランド未来委員会
8	欧州議会 TA（EPTA）
9	文部科学省科学技術・学術政策研究所

6.3.2 各機関におけるフードテック分野のガバナンスに関する取組を収集・整理

各機関における技術ガバナンスの取組を、ホライゾンスキャニング、フォーサイト、テクノロジーアセスメント、リスクアプローチ及び規制ギャップ調査・規制影響評価の観点から整理した。それぞれの観点は以下の通りとした。

表 6-6 事例の整理の観点

ホライゾンスキャニング	新興技術の兆候を把握し、長期的ビジョンの形成や、将来に向けた戦略策定に用いるために、将来起こりうる影響を多面的に把握する。
フォーサイト	長期的かつ俯瞰的立場から、将来ビジョンを形成し、それに基づく政策形成を行うための活動。
テクノロジーアセスメント	応用研究や産業化に向け、新興技術に対する潜在的な社会的影響を把握する。
リスクアプローチ	社会が避けたいと考える影響をリスクとしてとらえ、それらの発生する可能性や、発生時の影響を推測、許容可能なレベルでリスクを管理することを目指す。
規制ギャップ調査	管理すべきリスクを現行の法制度の枠組で対処できるかを検証する。
規制影響評価	社会導入、市場化する新興技術に対し、規制導入の際の費用や効果、副次的影響などを定量的に推計する。

各事例の整理結果は以降に示す通りである。

(1) UNCTAD (UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT)

ホライゾンスキャニング	Resolution 2014/28において、経済社会評議会(the Economic and Social Council)は、開発技術委員会(the Commission on Science and Technology for Development)に対して、2015年以降の食品の安全性、水やその他の天然資源の管理、都市化、高度な製造と関連する教育、職業上のニーズなどの分野における科学、技術、イノベーションの重要なトレンドについて先読みすることを奨励した。 開発技術委員会は、高度なレベルの会議および専門家によるレビューに基づき、バイオテクノロジーと情報技術、およびそれらの開発への影響に関する数年間のパネルを実施。同委員会は、食料安全保障と農業における新技術の社会的、経済的、環境的影響を評価し、予測するためのフォーラムとしての活動を継続するのに適した立場にある。 UNCTADは、International Foresight AcademyおよびECの専門家と協議してHorizon scanning exerciseを実施。2015年以降の主要な食品技術として以下の技術を特定している。 ✓ ナノフードアプリケーション ✓ 培養肉および生産性の高い畜産 ✓ 機能性食品
-------------	--

テクノロジー アセスメント	連邦支部が科学、技術、革新に関する専門知識を必要としていることから、1972 年に米国議会技術評価局 The United States Congressional Office of Technology Assessment (OTA) を設立。OTA は、90 名の専門家を擁し、約 2,000 人のエキスパートと連携。専門知識を活用して様々な調査を実施し、施策決定に関連する技術的および科学的問題の分析を支援している。 英国や EU 加盟国などは、OTA モデルに基づいて技術評価を実施する部門を設立。かつての科学開発技術開発センター The former Centre for Science and Technology for Development は、国連システム内の国際レベルで同様の役割を果たした。国連システム内で実施されるテクノロジーアセスメントとフォーサイトの例は、バイオテクノロジー、新素材、エネルギー、情報技術から科学技術協力への新しいアプローチに至るまでの分野における新しい開発の影響を分析する先端技術評価システムの提示である。 新規プロジェクト【アフリカの技術評価支援プロジェクト】 領域：高効率な農業およびエネルギー部門 内容：2021 年から開始。南アなどアフリカ主要国において、食糧やエネルギー等の問題を解決し、SDGs 達成に貢献する技術評価への取組を支援。UNCTAD が主体となり、UNEP、FAO、UNECA、および UNDP の支援を受けて実施。
出所	「THE ROLE OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION IN ENSURING FOOD SECURITY BY 2030」 UNCTAD https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/dtltstict2017d5_en.pdf (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) 「Digital tools for foresight」 UNCTAD https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2017d10_en.pdf (閲覧日：2020 年 12 月 16 日)

(2) FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

ホライズン スキャンニング、 フォーサイト	2013 年に FAO Early Warning/Rapid Alert and Horizon Scanning Food Safety Technical Workshop を開催。食料生産と、それに伴う食品安全に関するホライズンスキャンニング及びフォーサイトの実施の必要性和それらの方法論についてアプローチを整理している (2014 年にドキュメントを発行)。 ホライズンスキャンニング及びフォーサイト (Horizon Scanning and Foresight: HSF) には、定性的及び定量的方法が含まれる。変化をもたらす要因を特定し、政策決定の必要性を評価することに用いられる。ホライズンスキャンニングは、中長期的な重要リスクを特定することを目的とした継続的又は定期的な活動として想定されている。 ホライズンスキャンニングの定義のうち、食品安全に適応できる手法については DEFRA に基づいている。手法の概要は以下の通り。 ✓ 食品安全に関連する 23 報を含む文献 83 報の構造的レビュー ✓ FAO の 9 部門の専門家 24 名を対象としたインタビュー また、FAO では、ホライズンスキャンニング及びフォーサイトの取組みに
-----------------------------	--

	ついて体系的に整理しており、40 を超える食品に関連する課題について、テーマを分類して活動していることが明記されている。課題の主なテーマは図 6-21 に整理されている。 ✓ 動植物、食品、気候変動の監視等の重要/新規課題に関する調査 ✓ 生産関連の重要/新規課題 ✓ 社会経済関連の新規課題 ✓ 環境関連の新規課題 HSF は、戦略的計画の改善や新規リスクの特定等により、食品安全の意思決定プロセスを支援。HSF の適用可能かつ有効な方法論は、Food Safety Unit が短期および中期のリスクを特定するための体系的なアプローチを導入する上で役立っている。HSF に関して留意する点は以下の通り。 ✓ 食品安全における HSF アプリケーションの課題の特定および対処 ✓ エンドユーザーのニーズを考慮 ✓ 課題の対処方法の特定
出所	「FOOD SAFETY AND QUALITY PROGRAMME Horizon Scanning and Foresight An overview of approaches and possible applications in Food Safety 」FAO http://www.fao.org/3/a-i4061e.pdf（閲覧日：2020 年 12 月 16 日）

APPENDIX 5: Main Issues identified through key interviews and internal questionnaire

N	Emerging issues/ topics	AG	ES	FI	FO	NR	Themes
1	Weed resistance to herbicide	X					surveillance related emerging issues (animal, plant and food health ; climate change monitoring)
2	Invasive alien plants	X					
3	Increased pest movement	X					
4	Newly detected residues of chemical contaminants like i.e. pesticides, veterinary drug residues	X					
5	Emergence of new infectious diseases in animals (fish included)	X		X			
6	Increasing demand for integrated surveillance	X					
7	New lab testing and diagnostic technologies	X					
8	New approaches to risk assessment	X					
9	Nanotechnologies	X					
10	Automatization of data analysis					X	
11	New sensors with high resolution for remote control					X	
12	Food traceability (food scares, scandals)	X					production related emerging issues
13	Food authenticity/adulteration	X					
14	Bioinformatics	X					
15	Food production sustainability	X	X				
16	Food security		X				
17	Increase in anti biotic residues in aquaculture products			X			
18	Illegal, Unreported, Unregulated (IUU) fishing and its impact on marine resources			X			
19	Impact of rules for responsible fisheries			X			
20	Eradication of certain fish species			X			
21	Small scale fishery			X			
22	Sustainability of forest management				X		
23	Impact of demands for more forest conservation (taking areas out of production)				X		
24	Globalization and related increased trade	X					socio-economic related emerging issues
25	Increasing rural poverty	X					
26	Better use of information technology	X					
27	Increasing urbanization	X					environment related emerging issues
28	Prize volatility		X				
29	Impact of policy drivers on prevailing markets (e.g. oil-biofuel-maize prices)		X				
30	Impact of food safety on food security		X				
31	Impact of food safety on food trade		X				
32	Influence of novel technologies (like GMOs) on trade flow		X	X			
33	TRIPS agreement :trade related IPs (intellectual property)		X				
34	Parasites prevalence increase due to change in consumption pattern (increase in raw fish consumption)			X			
35	Vibrio prevalence increase due to change in consumption pattern (increase in bivalves consumption)			X			
36	Wood supply sustainability				X		
37	Socioeconomic contributions of forests and related change				X		
38	Impact of climate change on household revenue		X				
39	Renewable energy		X				
40	Climate change impact on crop production		X				
41	Impact of climate change on food safety: i.e. increase of biotoxins			X			
42	Vulnerable marine eco-systems			X			
43	Ecological disasters			X			
44	Identification of Climate Change adaptation and mitigation strategies to increase agri-production					X	

図 6-21 FAO の食品に関連する 44 の課題⁷

⁷ 出典 : FAO FOOD SAFETY AND QUALITY PROGRAMME Horizon Scanning and Foresight An

(3) FDA (Food and Drug Administration) (米国)

全体	2011 年に「Strategic Plan for Regulatory Science」を策定。策定された戦略では FDA の管轄内にある製品の安全性や有効性、品質を評価するためのツールやアプローチを開発するために必要な 1~8 の優先分野を特定した。また、2013 年には 9 番目の戦略的優先分野を追加した。 ① 製品の安全性向上のための毒性学の革新 ② 製品開発と患者の転帰を改善する臨床評価および個別医療の革新を推進 ③ 製品の生産および品質を向上させる新規手法への支援 ④ 新技術評価を実施する FDA の態勢確保 ⑤ 健康転帰の改善のための情報科学を介した多様なデータの活用 ⑥ 公衆衛生を保護する予防に特化した新規食品安全システムの実装 ⑦ 米国および世界の健康・安全への脅威から保護する医療対策の開発促進 ⑧ 規制対象製品の十分な情報に基づく消費者および専門家の意思決定を可能にする社会科学および行動科学の強化 ⑨ グローバル製品セーフティネットの強化： 輸入される医薬品や食品等 FDA の管轄内にある製品の安全性を確保するために、海外の規制システムをサポートすることを表明している。
ホライズンス キャニング	新規の治療法の評価を実施するために、定期的にホライズンスキャニングを実行することで、開発された医療製品を評価する方法を開発、新規分野の規制に関する事前検討に生かしている。新たな医療分野を特定し承認の準備につなげている。 ※FDA ではホライズンスキャニングとして挙げられている事例だが、本調査の対象としてフォーサイトの取組みに近いと考えられる。
フォーサイト	
テクノロジー アセスメント	FDA のホライズンスキャンで特定されたトピックについて、独立した非営利組織である ICER (The Institute for Clinical and Economic Review) はさらに詳細な検討を実施している。Health Technology Assessment (HTA)を実施するためのガイドラインを公表している。HTA は新しい影響を受ける可能性のある臨床的、経済的、法的評価や技術、手順、薬物の評価を行っている。 ICER による評価例 ✓ アテローム性動脈硬化症の薬剤の有効性評価 (2018 年) ✓ ピーナッツアレルギーの経口免疫療法の有効性評価 (2019 年)
規制ギャップ 調査、規制影 響評価	FDA では、新規に取り入れる規制に関し、経済分析を実施している。公衆衛生上の課題と規制による費用対効果を検証し、コストを削減する形で規制を修正することも検討される。 規制影響評価を行った情報については、FDA の HP で公開されている。例えば、2020 年に「グルテンフリー」の表示を有する、発酵及び加水分解

overview of approaches and possible applications in Food Safety <http://www.fao.org/3/a-i4061e.pdf> (閲覧日：2020 年 12 月 16 日)

	された食品、あるいは発酵又は加水分解された原料を含む食品のコンプライアンス要件を制定する最終規則を公表している。 これらの規制により、グルテンフリー製造事業者では、グルテンフリー製品の証明となる文書を残すことなどが求められるようになるが、小腸の遺伝性慢性炎症性疾患セリアック病の人々にとっての利点もある。 FDA では、これらの事象に関わる経済効果をシミュレートした結果を公表している。
出所	「Section 4. Ensure FDA Readiness to Evaluate Innovative Emerging Technologies, Strategic Plan for Regulatory Science」FDA https://www.fda.gov/science-research/advancing-regulatory-science/section-4-ensure-fda-readiness-evaluate-innovative-emerging-technologies-strategic-plan-regulatory（閲覧日：2020年12月16日） 「Cardiovascular Disease: Atherosclerosis」ICER https://icer.org/assessment/atherosclerosis-2018/ https://icer.org/wp-content/uploads/2020/10/ICER_ASCVD_Revised_Scope_083018.pdf（閲覧日：2021年2月9日） 「Economic Impact Analyses of FDA Regulations」FDA https://www.fda.gov/about-fda/reports/economic-impact-analyses-fda-regulations（閲覧日：2020年12月16日） 「Food Labeling; Gluten-Free Labeling of Fermented or Hydrolyzed Foods Regulatory Impact Analysis (Final Rule)」FDA https://www.fda.gov/about-fda/economic-impact-analyses-fda-regulations/food-labeling-gluten-free-labeling-fermented-or-hydrolyzed-foods-regulatory-impact-analysis-final（閲覧日：2020年12月16日）

(4) EC (European Communities) ・ EFSA (European Food Safety Authority) (欧州)

全体	EFSA では、新たなリスクに関する利害関係者のディスカッショングループ (StaDG-ER)、新たなリスク交換ネットワーク (EREN)、および科学委員会 (SC) の新たなリスクに関する常設ワーキンググループ (SWG-ER) の活動がある。SWG-ER は、新たなリスクの特定、および新たなリスクの分野における方法論の開発とデータ収集のサポートを行っている。 <u>EREN について</u> 食品及び資料の安全性に関するリスクの可能性について加盟国と情報交換するためのネットワーク Emerging Risks Exchange Network (EREN) が 2010 年に設立。毎年潜在的な課題について議論され、EFSA の以下の定義に基づいてそれぞれの課題が評価される。これらの議論された内容についてはブリーフィングノートに記録される。 (i) new hazard (ii) new or increased exposure (iii) new susceptible group (iv) new driver ネットワークの役割は、EU 加盟国のリスク評価者と EFSA の間の新たなリスク特定 (ERI) の分野での科学的協力のためのプラットフォームを提供、特定された課題とリスクについてコミュニケーションを取ることであ
----	---

	る。
ホライゾンス キャンニング	EFSA は 2020 年のホライゾンスキャンニングにより 28 の課題を挙げている。課題については EREN に提示され、さらなる情報収集が進められる。 28 の課題には、培養肉に関連するような食品に関連する課題も挙げられており、以下に示す通りである。 ✓ ビタミン C 摂取と腎臓結石リスク（ドイツ） ✓ 欧州におけるダニ媒介性ウイルス（フランス） ✓ フランスで報告されたアジアの新種アザミウマ <i>Thrips parvispinus</i>（フランス） ✓ オピオイド高含有のケシの実（フランス） ✓ 黄竜病／カンキツグリーニング病：EU の柑橘栽培に悪影響を及ぼす細菌（フランス） ✓ フランスで検出されたアライグマ回虫（<i>Baylisascaris procyonis</i>）（フランス） ✓ フランスの野生生物におけるコロナウイルスの循環（フランス） ✓ 牛乳が癌を誘発する可能性・牛乳と肉の要因（ドイツ） ✓ グアテマラのアフラトキシンばく露されたトルティーヤ（ドイツ） ✓ ドイツにおける Sooty bulk diseases（ドイツ） ✓ 砂糖代替品としてのアルロース／プシコースの利用（ドイツ） ✓ 生小麦中の大腸菌、サルモネラ菌、リステリア菌（ドイツ） ✓ ナノ粒子とコーティング技術によるコムギの葉の吸収経路、および葉から根圏への輸送の制御（EFSA） ✓ 脳炎に関連するライチ中毒（WHO） ✓ 都市環境で採取された食品（EFSA） ✓ リフトバレー熱ウイルスのヒトにおける垂直感染（EFSA） ✓ 自家製ライスミルクやその他の植物性ミルクに関連するリスク（ハンガリー） ✓ ラボ生産の培養肉および植物由来の肉（ハンガリー） ✓ サルモネラ菌の血液中への移動性（ハンガリー） ✓ 植物由来食品が抗生物質耐性菌をヒトに感染させる可能性（ハンガリー） ✓ 世界のマカデミアの 70%は 1 本の木に由来する（ハンガリー） ✓ 日本の輸入加工食品で検出された高レベル放射線（ハンガリー） ✓ 生肉中のアシネトバクター（ハンガリー） ✓ ほうれん草抽出物中のエクジステロン（<i>Ecdysterone</i>）（ハンガリー） ✓ フロリダのオレンジ果樹園に悪影響を与える抗生物質（ハンガリー） ✓ 使用済コーヒー滓由来の得たグルテンフリー粉と油（ハンガリー） ✓ ウキクサは新しいスーパーフードか？（ハンガリー） ✓ 木材の食用タンパク質への可能性（ハンガリー） 上記で示した EFSA での課題収集に対し、文献レビューを通じて検証している。それらの検証結果は論文として公開されている。
フォーサイト	2050 年までの食品政策の規制や枠組を検討することを目的とし、EFSA, FSA, ANSES, BfR などの公的機関やネスレやダノン、大学などの民間機関が参加したワークショップにおいて、食品システムに影響を及ぼす可能性のある 4 つのシナリオが作成され、シナリオごとに食品の安全性や栄養に関連する懸念や、その重要性、発生可能性について検討が行われ

	た。 シナリオは、「“Global food” scenario」「“Regional Food” scenario」「“Partnership food” scenario」「“Pharma food” scenario」の4つに分けられており、EUの経済力や、米国やカナダなど海外との関係性を仮定したシナリオである。
テクノロジー アセスメント	既存の医療技術や標準治療と比較した、新規の医療技術の付加価値を評価することを目的として実施されるHTA（Health technology assessment）に対してEUとの協業、プロセスの概念について調査報告書が提供されている。 調査報告書について抜粋した結果は以下の通り。 ●Study on impact analysis of Policy Options for strengthened EU cooperation on Health Technology Assessment (HTA) (2017) 目的：既存の医療技術や標準治療と比較した、新規の医療技術の付加価値を評価（HTA）。EUとの協業およびプロセスの概念について調査。 内容： 医薬品(20)、医療機器(15)、およびその他の技術(5)を含むケーススタディを分析。ケーススタディ分析の内容は以下の通り。 ✓ HTA プロセスの関する詳細情報の収集 ✓ 技術開発者とHTA関連機関の両方についてHTAの実行コストを特定。 ✓ 技術開発者に対する規制の枠組みの影響を特定 ✓ 経済的および社会的影響に関する調査の実施 ✓ ビジネスモデルを実装・維持するためのコスト予測を実行 ●Delivering on EU Food Safety and Nutrition in 2050 - Future challenges and policy preparedness (2016) 目的：2050年までに高レベルの食品の安全および栄養を達成するため現在の食品政策および規制の枠組を評価する。 内容：世界貿易、EUの経済成長、気候変動、天然資源の枯渇、人口増加等を踏まえて4つのシナリオを構築。これらの推進要因および課題を分析することで、ECの権限の内外で政策選択を特定する。4つのシナリオにおける主な課題は以下の通り。 ✓ Global food：食品安全基準の調和、グローバルな協力に基づくリスク評価の改善、脆弱性分析、フードチェーン全体における管理の強化 ✓ Regional Food：食品生産者における食品安全の徹底（法規制の徹底、家畜登録・予防接種の実施等）、フードチェーンにおける食品廃棄物と副産物の再利用、自給自足システムにおける貧困の解決 ✓ Partnership food：食品安全に関する教育および情報提供、健康的な食品のための基準・ガイドラインの導入、栄養教育の改善 ✓ Pharma food：機能性食品および医薬品を取り入れた“phood”の導入（ライセンス導入、製造の規制）、新規食品成分および食品関連技術に対する評価手順の適合
出所	「EFSA's activities on emerging risks in 2019」EFSA https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/sp.efsa.2020.EN-1924（閲覧日：2020年12月16日） 「Horizon Scan of Synthetic Biology Developments for Microorganisms

	with application in the Agri - Food Sector」 EFSA https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/sp.efsa.2020.EN-1664 (閲覧日：2020年12月16日) 「Delivering on EU Food Safety and Nutrition in 2050 - Future challenges and policy preparedness」 EC https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/delivering-eu-food-safety-and-nutrition-2050-future-challenges-and-policy-preparedness (閲覧日：2020年12月16日) 「Study on impact analysis of Policy Options for strengthened EU cooperation on Health Technology Assessment (HTA)」 EC https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/technology_assessment/docs/2018_ia_policyoptions_en.pdf (閲覧日：2020年12月16日)
--	--

(5) DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs) (英国)

ホライゾンス キャニング	2014年にホライゾンスキャニング事務局と政府科学局のホライゾンスキャニングセンターが統合され Horizon Scanning Program Team を結成。年3回以上開催され、議題ごとに多数の事務次官が参画して将来の脅威や政策に対する潜在的な影響に焦点を当てて議論を行っている。 将来の動向について体系的に調査するとともに、専門家や政府との間の調整を行うなど、以下の活動を行っている。 ✓ 特定のトピックに関するコミュニティを形成、外部の専門家からの意見を集める ✓ 幅広い専門知識を用いて政府間のホライゾンスキャニングを改善する ✓ 情報収集、共有、新たなネットワーク開発 ✓ 新たな問題の提言、関心の高い分野での作業を進める 調査結果論文が報告されており、その一つに人口動態の推計や、経済成長、貧困への影響を調査したドキュメントがある。
フォーサイト	Foresight Projects Team を立ち上げ、専門家や政府機関と協力し、食物の栽培技術に関し、the Government Office for Science's (GOS) EmTech Scanning Programme において、「アクアポニックス：Aquaponics」、「精密農業：Precision farming」、「ゲノム編集作物：Genome editing for crops」の3つのテクノロジーにフォーカスしている。Foresight Projects のブログにおいて、これらの技術事例を紹介している。
テクノロジー アセスメン ト、リスクア プローチ	欧州各国のテクノロジーアセスメントを取りまとめている EPTA に参加している。
出所	「Horizon Scanning Programme team」 GOV.UK https://www.gov.uk/government/groups/horizon-scanning-programme-team (閲覧日：2020年12月16日) 「How are emerging technologies changing the way we farm our food?」 GOV.UK https://foresightprojects.blog.gov.uk/2019/01/15/how-are-emerging-technologies-changing-the-way-we-farm-our-food/ (閲覧日：2020年12月16日)

(6) FSA (Food Standards Agency) (英国)

規制ギャップ調査、規制影響評価	FSA では提案された規制について影響を評価し、それらを利害関係者を含め公表することを目的とし、影響評価 (Impact affect) の結果をホームページに公表している。 これまでの規制状況と、FSA が果たすべき責任の範囲について言及しており、変更点を利害関係者が客観的に把握できるように整理している。 例えば、2016 年には食肉施設の管理料金について割引システムの提案、見直しに伴って実施された影響評価では、金額の変更に伴い業界全体に対する影響だけでなく、ポジティブな影響を受ける企業とネガティブな影響を受ける企業をそれぞれ整理し、それぞれの企業での費用計上についても推計が行われている。
出所	「Impact Assessments」 FSA https://www.food.gov.uk/about-us/impact-assessments (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) 「Regulatory approach」 FSA https://www.food.gov.uk/about-us/regulatory-approach (閲覧日：2020 年 12 月 16 日) 「Official Controls Charges in Meat Premises: A Proposal for a New Discount System」 Crown Copyright https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20171207174807/https://www.food.gov.uk/enforcement/regulation/betregs/ria/official-controls-charges-in-meat-premises-a-proposal-for-a-new-discount-system (閲覧日：2020 年 12 月 16 日)

(7) フィンランド未来委員会 (フィンランド)

ホライゾンスキャニング、フォーサイト	1993 年に設立、フィンランド議会内の常任委員会である。フィンランド議会やトゥルク経済大学のフィンランド未来研究センターと共同で未来のテーマに対する専門知識やデータを取得し報告書を作成するなど長期的視点のシンクタンクとして機能している。委員会には 17 人の国会議員が参加し、大学の専門家などの意見を踏まえ、政策方針を打ち出している。 2018 年の報告書 societal transformation 2018-2037 100 anticipated radical technologies, 20 regimes, case finland では、「テクノロジープッシュ」と「デマンドプル」の両方の観点からテクノロジーを検討していることや、anticipated radical technologies にグループ化される技術が示されている。それらの技術は 20 のネットワークに凝縮されるとされており、その一つとして食品関連では「都市農業、個別およびローカルのロボットによる食品産業」の技術が挙げられている。 持続可能な開発のためのグローバルアジェンダ「Agenda2030」の実装をフォローするため、実施のフォローアップとレビューを行う国家委員会「The National Commission on Sustainable Development」とのパートナーシップを結んでいる。
テクノロジーアセスメン	欧州各国のテクノロジーアセスメントを取りまとめている EPTA に参加している。

ト、リスクアプローチ	
出所	「Committee for the Future」 PARLIAMENT OF FINLAND https://www.eduskunta.fi/EN/valiokunnat/tulevaisuusvaliokunta/Pages/default.aspx（閲覧日：2020年12月16日） 「Finnish National Commission on Sustainable Development」 kestavakehitys.fi Prime Minister's Office https://kestavakehitys.fi/en/commission（閲覧日：2020年12月16日） 「FINLAND - THE COMMITTEE FOR THE FUTURE」 European Parliamentary Technology Assessment https://eptanetwork.org/static/html/comparative-table/countryreport/finland.html（閲覧日：2020年12月16日） 「SOCIETAL TRANSFORMATION 2018–2037 – 100 ANTICIPATED RADICAL TECHNOLOGIES, 20 REGIMES, CASE FINLAND」 Parliament of Finland https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/NETTI_TUVJ_10_2018_Societal_transformation_UUSI.pdf（閲覧日：2020年12月16日）

(8) 欧州議会 TA（EPTA：European Parliamentary Technology Assessment）

テクノロジーアセスメント、リスクアプローチ	欧州各国では議会にテクノロジーアセスメントの機関が設立されているが、EPTA に加盟しているパートナーはそれぞれ新しい科学技術が社会的、経済的に及ぼす影響について報告し、それらを各議会に助言する等欧州各国の TA 機関と協力することを目的として組織されている。 欧州議会やフィンランド、英国など欧州の様々な機関が正会員として参加しており、日本の国立国会図書館の研究立法参照局は 2016 年から準会員として参加している。 ホームページではプロジェクトの報告書が閲覧できるようになっており、その一例としてはラテナウ研究所が公表した「Potatoes are the future: three scenarios for hybrid potatoes and the global food」にてジャガイモの育種に関する 3 つのシナリオとシナリオに関する経済的、社会的政策条件を概説している。
出所	「What is Technology Assessment?」 EPTA https://eptanetwork.org/about/what-is-ta（閲覧日：2020年12月16日） 「Edelenbosch, R.; Munnichs, G. (2020) Potatoes are the future: three scenarios for hybrid potatoes and the global food. Rathenau Instituut: The Hague」 EPTA https://eptanetwork.org/database/policy-briefs-reports/2003-potatoes-are-the-future-three-scenarios-for-hybrid-potatoes-and-the-global-food-rath（閲覧日：2020年12月16日）

(9) 文部科学省科学技術・学術政策研究所

ホライゾンス キャンニング	科学技術と将来社会のかかわりについて見通すため、文部科学省科学技術・学術政策研究所が主体となり、5 年毎に大規模な科学技術予測を実施。 2019 年に実施された「ST Foresight 2019」では、健康・医療・生命科学分科会や農林水産・食品・バイオテクノロジー分科会などが設置され、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野で重要度の高い科学技術トピックとして以下 2 つが挙げられている。 ✓ 人間を代替する農業ロボット ✓ 人工衛星・気象観測データ等を活用したリアルタイムの高空間・高時間解像度気象予測と災害リスク評価システム
出所	「科学技術予測・科学技術動向」NISTEP https://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-foresight-and-science-and-technology-trends（閲覧日：2020 年 12 月 17 日） 「科学技術動向研究センター ホライズン・スキャンニングに向けて～海外での実施事例と科学技術・学術政策 研究所における取組の方向性～」 https://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/00005.pdf（閲覧日：2020 年 12 月 17 日）

6.3.3 まとめ

各機関における技術ガバナンスの取組を、ホライゾンスキャンニング、フォーサイト、テクノロジーアセスメント、リスクアプローチ及び規制ギャップ調査・規制影響評価の観点からそれぞれの特徴を整理した。

国際的な取組としては、UNCTAD と FAO の事例がある。UNCTAD では、2014 年頃からホライゾンスキャンニングに関する検討を開始し、EC の専門家とともにホライゾンスキャンニングエクササイズを実施、2015 年以降の主要な食品技術分野として、ナノフード、培養肉、機能性食品を特定している。FAO では、食料生産と、それに伴う食品安全に関するホライゾンスキャンニング及びフォーサイトの実施の必要性和それらの方法論を整理し、2014 年にドキュメントとして発行している。さらに、FAO におけるホライゾンスキャンニング及びフォーサイトの取組を体系的に整理し、40 を超える食品に関連する課題について、テーマを分類して活動している。

米国では、2011 年に「Strategic Plan for Regulatory Science」を策し、FDA の管轄下にある製品の安全性や有効性、品質を評価するためのツールやアプローチを開発するために必要な 1~8 の優先分野を特定している。これに従ってホライゾンスキャンニングやフォーサイト、テクノロジーアセスメント、規制ギャップ調査・規制影響評価が行われ、2020 年には、「グルテンフリー」の表示をした「発酵及び加水分解された食品」、「発酵又は加水分解された原料を含む食品」のコンプライアンス要件を制定する最終規則を公表している。

欧州の EFSA では、新たなリスクに関する利害関係者のディスカッショングループ（StaDG-ER）、新たなリスク交換ネットワーク（EREN）、および科学委員会（SC）の新たなリスクに関する常設ワーキンググループ（SWG-ER）を設置し技術ガバナンスに関する

活動を行っている。EFSA が 2020 年に実施したホライズンスキニングにより、28 の課題を挙げており、これら課題については EREN に提示され、更なる情報収集が進められる予定である。また、2050 年までの食品政策の規制や枠組を検討することを目的とし、EFSA、FSA、ANSES、BfR などの公的機関やネスレやダノン、大学などの民間機関が参加したワークショップにおいて、食品システムに影響を及ぼす可能性のある 4 つのシナリオが作成され、シナリオごとに食品の安全性や栄養に関連する懸念や、その重要性、発生可能性について検討が行われている。EFSA の取組を踏まえ、英国の DEFRA や FSA、フィンランド等が具体的な取組を進めている。

日本では、文部科学省科学技術・学術政策研究所が、5 年毎に大規模な科学技術予測を実施している。2019 年に実施された「ST Foresight 2019」では、健康・医療・生命科学分科会や農林水産・食品・バイオテクノロジー分科会などが設置され、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野で重要度の高い科学技術トピックが挙げられている。

以上より、いずれの国際機関・国においても、検討のための体制を構築した上で、食品に関する課題を列举し、各課題への対応を検討している。行政が主導して検討している例が多いが、欧州では行政機関や民間企業、研究機関などがメンバーとなって検討を進めている。欧州では、新たなリスクに関する検討を行う組織や、テクノロジーアセスメントを行う組織を立ち上げ検討を進めている。

日本においても、フードテックに関する新たな取組を推進していくためには、技術ガバナンスを検討するための体制を構築することが求められる。市場を見据えた検討を行うためには、欧州のように、行政機関や民間企業、研究機関など様々なステークホルダーが参画できる体制を構築することが望ましい。また、技術ガバナンスの観点に応じて関連するステークホルダーも様々であるから、それぞれの観点で体制を構築することも想定される。

表 6-7 技術ガバナンスに関する事例の整理

No.	機関	検討メンバー	実施時期・実施内容等	手法	分野
1	UNCTAD	ホライゾンスキャニング：International Foresight Academy と EC の専門家により実施 テクノロジーアセスメント：米国議会技術評価局にて技術評価方法を検討	ホライゾンスキャニングについては、2014 年頃から検討を開始し、2015 年以降の主要な食品技術として、ナノフード、培養肉、機能的食品等を特定。 テクノロジーアセスメントについては、2021 年より新規プロジェクトとしてアフリカの農業およびエネルギー部門に関する検討を開始。	・ ホライゾンスキャニング ・ テクノロジーアセスメント	バイオテクノロジー、食料安全保障や農業等
2	FAO	FAO Early Warning/Rapid Alert and Horizon Scanning Food Safety Technical Workshop にて検討を実施。	2014 年に「Horizon Scanning and Foresight An overview of approaches and possible applications in Food Safety」を取りまとめ、ホライゾンスキャニングとフォーサイトのアプローチを紹介している。	・ ホライゾンスキャニング ・ フォーサイト	食料生産とこれに伴う食品安全
3	FDA（米国）	テクノロジーアセスメントについては、独立した非営利組織である ICER で詳細な検討を実施。	2011 年に「Strategic plan for regulatory science」が提言され、さらに 2013 年に戦略的な優先エリアを特定。これに基づき、様々な取組を実施中。 食品関連では、2014 年に「グルテンフリー」の表示に関するドキュメントをとりまとめており、これを踏まえて 2020 年にコンプライアンス要件を設定している。	・ ホライゾンスキャニング ・ フォーサイト ・ テクノロジーアセスメント ・ 規制ギャップ調査/規制影響評価	医療、食品等

No.	機関	検討メンバー	実施時期・実施内容等	手法	分野
4	EC・EFSA (欧州)	ホライゾンスキャニングについては、 Emerging Risks Exchange Network (EREN) のメンバー (EU 加盟国から代表メンバーが参加) が検討を実施。フォーサイトについては、EFSA と EU 加盟国の食品関連機関 (FSA, ANSES, BfR) や大手食品関連事業者が参加するワークショップを開催し検討を実施。	独自のホライゾンスキャニングを実施し、食品分野について 28 の課題を挙げている。フォーサイトについては、2050 年を見据えた食品政策の規制や枠組を検討し、食品死すシステムに大きな影響を及ぼす可能性のある “Global food” “Regional Food” “Partnership food” “Pharma food” の 4 つのシナリオを挙げている。	・ホライゾンスキャニング ・フォーサイト ・テクノロジーアセスメント	医療、食品等
5	DEFRA (英国)	ホライゾンスキャニングについては、 Horizon Scanning Program Team にて検討を実施。フォーサイトについては、 Foresight Projects Team にて検討を実施。	ホライゾンスキャニングでは、年 3 回以上開催、将来の脅威や政策に対する潜在的な影響に焦点を当てて議論を行っている。フォーサイトでは、食物の栽培技術に着目し技術事例の紹介を行っている。	・ホライゾンスキャニング ・フォーサイト ・テクノロジーアセスメント	食品等
6	FSA (英国)	—	提案された規制について影響を評価し、それらを利害関係者を含め公表することを目的とし、影響評価 (Impact affect) の結果をホームページに公表している。	・規制ギャップ調査/規制影響評価	食品等
7	フィンランド未来委員会 (フィンランド)	ホライゾンスキャニングについては、常任委員会としてフィンランド議会やトゥルク経済大学のフィンランド未来研究センターと共同で実施。	2018 年には「テクノロジープッシュ」と「デマンドプル」の両方の観点からテクノロジーを検討している。	・ホライゾンスキャニング ・テクノロジーアセスメント	都市農業、テクノロジー農業
8	EPTA	欧州議会やフィンランド、英国など欧州各国が参加。	加盟しているパートナーはそれぞれ新しい科学技術が社会的、経済的に及ぼす影響について報告、ホームページ上で報告書が閲覧できるようになっている。	・テクノロジーアセスメント	科学技術全般

No.	機関	検討メンバー	実施時期・実施内容等	手法	分野
9	文部科学省 科学技術・ 学術政策研 究所	文部科学省科学技術・学術政策研究所 が主体となり実施。	5年毎に大規模な科学技術予測を実施、2019年 に実施された「ST Foresight 2019」では、健康・ 医療・生命科学分科会や農林水産・食品・バイ オテクノロジー分科会などが設置された。	・ホライズンスキャニ ング	科学技術全般