

【産業競争力懇談会 2022年度 研究会 中間報告】

【フード・サステナビリティ実現に向けた well-being 代替タンパク質の開発と社会実装】

略称名:代替タンパク食の社会実装

2022年10月20日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ（中間）】

＜本プロジェクトの基本的な考え方＞

現在の人口増加ペースが続くと、全世界の人口は 2050 年に 90 億人を突破すると予想される。新興国の食生活向上（肉食化）により、2050 年には 2005 年時の約 2 倍のタンパク質供給が必要となる。早ければ 2030 年頃には家畜等によるタンパク質の供給が追い付かなくなると言われている（タンパク質危機（Protein crisis））。また、家畜から排出される温室効果ガスは、世界の温室効果ガスの約 14%を占め、すべての乗り物から排出される温室効果ガスの総量に匹敵しており、カーボンニュートラル 2050 の観点からも対策が求められている。

日本マーケットでの代替タンパク質を想定した場合、新興国向けとは異なり、一人ひとりの多様な幸せ（well-being）の実現に向けて（1）消費者の満足感、リピート、（2）マーケットの創成・確立、（3）地球にやさしい食の探究・確立、（4）安全性や品質の評価が求められることとなる。すなわち、上記のバリューチェーンにおける、ブランド認証から消費者が感じる「美味しさ」、そして栄養面での体内吸収に関する技術基盤の開発、国際社会に通じる品質基準の設計を、本 COCN 推進テーマとして提案する。

＜検討の視点と範囲＞

代替タンパク質の国際ルール整備を主導できれば、日本企業の海外進出を後押しできる可能性が高まることが考えられ、当研究会では下図に示す代替タンパク質における食のバリューチェーンが抱える技術課題のうち、安全性、ブランド認証・国際標準、美味しさ、体内吸収に取り組む。



ワーキンググループ名称	想定する主なキーワード
(1)質テク WG ¹⁾	安全性(化学物質、微生物、アレルギー、分析評価手法)など
(2)消費テク WG ²⁾	美味しさ、調理、食べ方、官能評価データベース、Food Infomatics、消費、社会受容、メタバースなど
(3)効能テク WG ²⁾	体内吸収、ウェルネス、健康、食べ方、社会受容など
(4)マーケット戦略 WG ¹⁾	安心、国際標準、ブランド・エコ認証、偽造防止(ブロックチェーン)、品質管理、倫理規定、ESG 投資戦略など

(1)(4) 主として、社会に安全・安心をもたらす規律を検討する活動

(2)(3) 主として、新しい食文化への創造チャレンジを検討する活動

<産業競争力強化のための提言および施策>

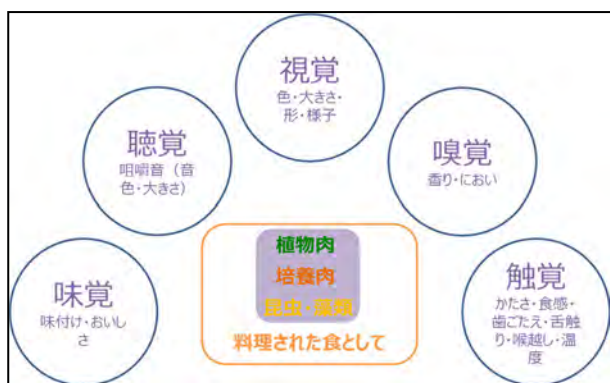
各代替タンパク食の社会受容を喚起するためにブランド・エコ認証制度、国際標準を視野に入れた、消費者が安全と信頼を抱ける仕組みを検討・提案する。

当研究会で取り扱う、昆虫食、培養肉および植物由来のタンパク質は、新奇食品(Novel food)に区分される食品群として製品化される。Tuirila らは Novel food の受容に影響する要因として、恐怖、嫌悪感、好奇心、官能特性、健康・栄養、環境負荷といった要素を上げており、これらは対象となる食品によっても状況が異なる。恐怖という負の感情に対しては、最低限、消費者の安全と安心を担保できる品質評価手法の確立が必須であり、この項については質テク WG で検討する。嫌悪感に対しては消費者が安全と安心を感じられ、さらに Novel food を食することが食糧飢餓など SDGs の解消や環境負荷低減、社会貢献に寄与することを自覚できる認証制度の確立が社会受容を喚起・定着させるためには必須であると考える。

代替タンパク食の品質基準などを定めた国際ルールの整備などを検討し、日本企業の海外進出を後押しし、日本ならではの代替タンパク食として、日本食文化も継承しつつ、多様な消費者が楽しめるものが供給される産業を創造する事でわが国の食の安全保障の構築にも貢献することが急務である。ウェルビーイング（一人ひとりの多様な幸せ）を満たした上でこれら社会受容、肉体の健康のみならず、こころの健康、社会の健康、地球の健康を目指し、新しい価値観と最先端の技術をうまく折り合いをつける事も近い将来、社会に求められる要素である。

<最終報告書に向けた検討上の課題と展開>

代替タンパク質が料理された食について、五感を通して美味しいと感じる科学的な技術基盤を探索、整備する。具体的には、物理化学、感性工学、分析化学、五感センサー、AI・ビッグデータ解析、VR・AR、栄養学などの自然科学の知と、心理学、社会学、歴史学、文化人類学、地理学などの人文・社会科学の知を融合した、総合知の創出を目標とする。



上記の技術開発のほか、それらの技術をもとにした国際標準化の基準づくりが必要である。特に視覚の面で、日本の社会受容と、グローバルな社会受容では差があると考えられるため（例えばコオロギなど昆虫食の容姿）、ELSI の観点から社会学、文化人類学、地理学などの研究者を巻き込む必要がある。また、これらサステナブルな食を専門として取り扱うことができる人材についても、その育成が求められる。

【目次】

プロジェクトメンバー	……2
本文	
1. 緒言	……4
2.活動状況について	……7
3.検討の概要	……11
(1) 代替タンパク食の質テク WG	……12
(2) 代替タンパク食の消費テク WG	……13
(3) 代替タンパク食の効能テク WG	……15
(4) 代替タンパク食のマーケット戦略 WG	……16
4.提言の方向性	……18
参考情報・参考資料	

【プロジェクトメンバー】

リーダー	朝日 透	早稲田大学 理工学術院 教授	
COリーダー	岡崎直美	(株)島津製作所 執行役員 分析計測事業部 副事業部長	
	丸山浩平	早稲田大学 研究戦略センター 教授	
メンバー	砂子幸二	富士通 Japan(株)クロスインダストリービジネス本部 食・農・水産 DX プロジェクト	
	山崎克久	キヤノン(株)フロンティア事業推進本部	
	古川靖之	キヤノン(株)R&D 本部	
	野元知子	ソニーグループ(株)R&D センター 事業探索・技術戦略 部門ドメイン・シナリオ策定グループ	
	杉本典史	(株)島津製作所分析計測事業部産学官・PJ 推進室 室長	
	桜井久雄	(株)島津製作所分析計測事業部産学官・PJ 推進室	
	齋藤洋臣	(株)島津製作所分析計測事業部産学官・PJ 推進室	
	宇都宮真一	(株)島津製作所 技術推進部 技術戦略 G	
	荒川清美	(株)島津製作所分析計測事業部 Solutions COE センター長	質テク WG リーダー
	村上 岳	(株)島津製作所分析計測事業部 Solutions COE	
	山本 林太郎	(株)島津製作所 分析計測事業部 技術部副部長	
	清水達也	東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 所 長/教授	
	竹内昌治	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授	
	松崎典弥	大阪大学 大学院工学研究科 教授	
	由良敬	お茶の水女子大学 基礎研究院自然科学系 教授	
	鈴木丈詞	東京農工大学 農学研究院 准教授	
	天竺桂弘子	東京農工大学 農学研究院 教授	
	日下部裕子	農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門	
	早川文代	農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門	
	竹山春子	早稲田大学 理工学術院 教授	
	下川 哲	早稲田大学 政治経済学術院 准教授	
	樋原伸彦	早稲田大学 商学学術院 教授	
	宮地元彦	早稲田大学 スポーツ科学学術院 教授	
	河合隆史	早稲田大学 理工学術院 教授	
	中西卓也	早稲田大学 総合研究機構 上級研究員 (研究	

		院教授)
	谷口卓也	早稲田大学 データ科学センター 准教授
	中川鉄馬	早稲田大学 理工学術院 各務記念材料技術研究所 主任研究員 (研究院講師)
	片岡孝介	早稲田大学 総合研究機構 次席研究員 (研究院講師)
	寺澤有果菜	早稲田大学 理工学術院 各務記念材料技術研究所 次席研究員 (研究院講師)
	今井 寛	早稲田大学 総合研究機構 客員上級研究員 (研究院客員教授)
	一村信吾	早稲田大学 研究戦略センター 教授
事務局	神谷卓郎	株式会社早稲田大学アカデミックソリューション
	高石貴子	(株)島津製作所分析計測事業部産学官・PJ 推進室
COCN 担当	上田博	住友化学(株)
実行委員		
	熊倉誠一郎	第一三共(株)
	飯田香緒里	国立大学法人 東京医科歯科大学
COCN 担当	佐藤桂樹	トヨタ自動車(株)
企画小委員		
	岩田一	(株)地球快適化インスティテュート
COCN 事務	山口雅彦	一般社団法人産業競争力懇談会 (COCN)
局長		
COCN 副事	五日市敦	(株)東芝
務局長		
	武田安司	日本電気(株)
	土肥英幸	ENEOS 総研(株)
COCN 企画	金枝上敦史	三菱電機(株)
小委員		
	大久保進之介	富士通(株)
	菊地達朗	(株)日立製作所
	中山慶祐	ENEOS(株)

【本文】

【1. 緒言】

近年、世界人口の増加に比してタンパク質の需要が増大しており、その供給不足が懸念され始めている。図1に1950年から現在までの世界人口の推移および2050年までの推移予測を示す。1950年に25億人程度であった世界人口は、2020年時点ではおよそ3倍増となり、2030年には85億人に到達、2050年には食料の需給量が供給量を超過する可能性があるとして予測されている。とりわけ、タンパク質に関しては、早ければ2030年頃には家畜等を原料とした従来タンパク質の供給が追い付かなくなるとの試算もされている。タンパク質危機（Protein crisis）が生じる恐れがあるとも考えられ、Protein crisisを解決する代替タンパク質として植物肉（主にダイズ）、培養肉、昆虫・藻類といった新たなタンパク源が注目されている。

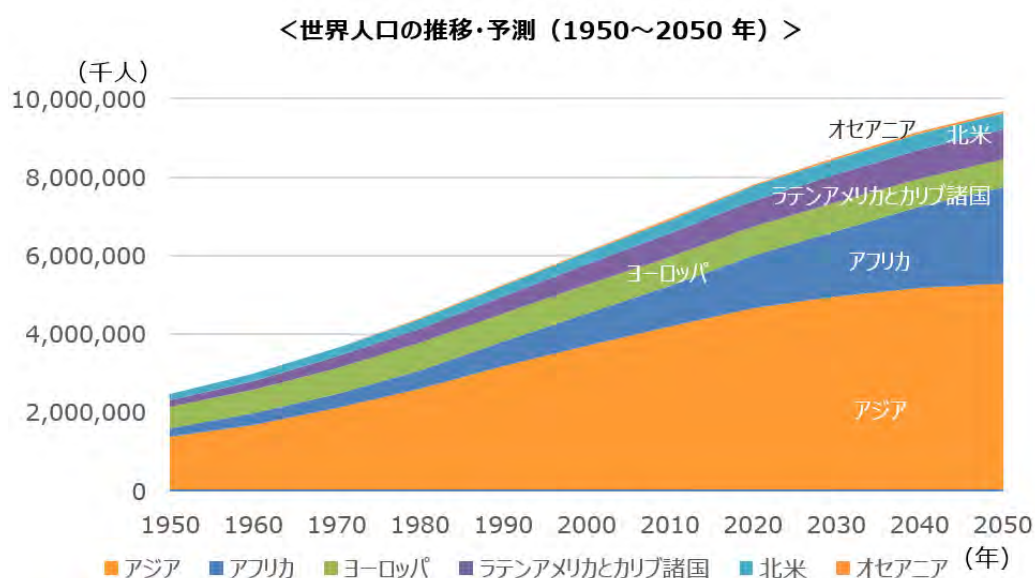


図1. 世界人口の推移とその予測

出所：国際連合 World Population Prospects 2022 より作成

一方、家畜から排出される温室効果ガスは、世界の温室効果ガスの約14%を占め、すべての乗り物から排出される温室効果ガスの総量に匹敵しており、カーボンニュートラル2050の観点からも対策が求められている。図2に各タンパク質200Kcalあたりの生産工程での温室効果ガスの排出強度を示す。CO₂の排出量が圧倒的に多い牛肉と比べて、豆類、昆虫は環境に与える負荷が小さいことがわかる。一方、培養肉は家畜からの排出はないものの、生産施設などでの電力消費が影響しており、藻類と共に更なる技術革新が求められる。

また、日本は従来タンパク源の主飼料であるトウモロコシの85%超や、飼料以外のその他穀物およびタンパク質等の食料についても海外からの輸入に頼っている状況である。戦争や災害といった有事の際に備える意味でも、植物肉、培養肉、昆虫・藻類などの安価な国内生産・流通システムの構築が期待される。

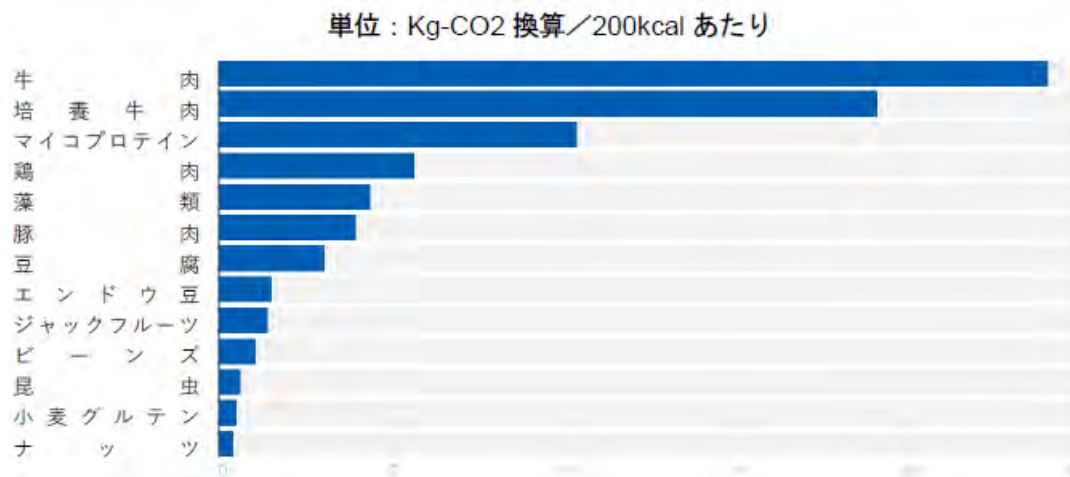


図 2. 温室効果ガスの排出強度

出典: World Economic Forum, “Meat: The Future Series. Alternative Proteins”, 2019.

<本研究会が目指す産業競争力強化に向けたビジョンとミッション>

食のサステナビリティを考える上で注目すべきは、現在、代替タンパク質、すなわち植物肉、培養肉、昆虫・藻類などの新たな開発に取り組む日本企業（ベンチャー含む）が、大学等とのオープンイノベーション（産学連携）によって急速に生まれてきていることである。このような動きとして、内閣府によるムーンショット型研究開発制度の目標5「2050年までに、未利用の生物機能のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出」においても、幾つかの研究開発プロジェクトが進行中である。このような代替タンパク質が社会で活用されるためには、実際に社会実装される場面を想定しつつ、国際社会からも受容が得られるようにするための技術基盤を、事前に整備することが不可欠である。この課題に取り組むに当たって「代替タンパク食の社会実装研究会」では、以下のようなビジョンとミッションを掲げて活動をスタートさせた。

(ビジョン)

新たに生まれてくる**代替タンパク食**に対して、「**安全・安心・信頼**」に基づいた「**社会受容性**」を高めるとともに、これまで継承されてきたわが国の食の伝統や文化を踏まえた**新しい食文化を創造**する。

(ミッション)

- デジタルトランスフォーメーションで進展する**最先端技術や新しい価値観に基づくシステム**（ビッグデータ解析、ブロックチェーン技術・web3、メタバースなど）を導入することにより、一人ひとりの多様な幸せを目指したウェルビーイングとして、**肉体の健康のみならず、こころの健康、社会の健康、地球の健康の実現**を目指した研究開発の推進基盤を構築する。
- 食のバリューチェーンにおける**消費者に近い領域**に焦点を当て、代替タンパク食を供給できる産業を創出するため、代替タンパク食の品質基準などを定めた**国際ルール**の最新の情報や世界市場の動向を国内外の研究機関や国際機関と連携して把握し、**日本企業の海外進出を後押し**するとともに、わが国の**食の安全保障の構築**に貢献する。
- **日本食の伝統と文化**から学ぶ技巧や知恵と次代の柔軟な発想や大胆な行動力を活用し、代替タンパク食を、**かしこく、おいしく、スマートに食べる**多様な方法を考案する。また、これを社会実装するため、産学官が協働して、代替タンパク食育のアウトリーチ活動、代替タンパク食コンテスト、消費者参加型キャンペー

ンを通じた**社会への浸透**を促進する。

一方、2020年10月には農林水産省が主導して「フードテック官民協議会」が発足している。このフードテック官民協議会では、食・農林水産業の発展と食料安全保障の強化に資する資源循環型の食料供給システムの構築や高い食のQOLを実現する新興技術の国内の技術基盤の確保に向けて、協調領域の課題解決の促進や新市場の開拓を後押しする官民連携の取組を推進することを目的としており、代替タンパク質についても議論が進められている。当研究会では図3に示す代替タンパク質における食のバリューチェーンが抱える技術課題のうち、より消費者に近い領域、すなわち安全性、ブランド認証（国際標準）、調理、美味しさ、体内吸収に取り組む。



図3. 食のバリューチェーンと技術課題一覧

我々は本活動を通じて、代替タンパク食の秩序だった社会実装を速やかに実現するために、代替タンパク食の開発と消費者受容を加速させる『新しい食文化への創造チャレンジを検討する活動』と、これを制御し『社会に安全・安心をもたらす規律(レギュレーション)を検討する活動』を実施する。これらの活動については、それぞれ以下の名称のワーキンググループを傘下に据え、それぞれで議論を進める(表1)。各ワーキンググループは、規律と創造チャレンジという二律相反的な検討活動を内包し、それでいてかつ不可分な関係にあるこれら命題を独自のアプローチによって解決し、各ワーキンググループの強固な連携をもって『代替タンパク食の社会実装』を実現可能とする布陣となっている。各ワーキンググループの活動の詳細については後述する。

表1 代替タンパク食の社会実装のためのワーキンググループ活動

ワーキンググループ名称	想定する主なキーワード
(1)質テク WG ¹⁾	安全性(化学物質、微生物、アレルギー、分析評価手法)など
(2)消費テク WG ²⁾	美味しさ、調理、食べ方、官能評価データベース、Food Infomatics、消費、社会受容、メタバースなど
(3)効能テク WG ²⁾	体内吸収、ウェルネス、健康、食べ方、社会受容など
(4)マーケット戦略 WG ¹⁾	安心、国際標準、ブランド・エコ認証、偽造防止(ブロックチェーン)、品質管理、倫理規定、ESG投資戦略など

(1)(4) 主として、社会に安全・安心をもたらす規律を検討する活動

(2)(3) 主として、新しい食文化への創造チャレンジを検討する活動

【2. 活動状況について】

1) プレ・キックオフ会合

2022年8月11日 13:00～16:30@早稲田大学先端生命医科学センター-TWIns (ハイブリッド)

参加 (敬称略) : 朝日(リーダー: 早大)、岡崎(Co リーダー: 島津)、丸山(Co リーダー: 早大)、杉本、櫻井、齋藤(島津)、河合、中西、谷口(早大)、清水(東京女子医大)、松崎(阪大)、由良、今井(お茶大)、天竺桂(東京農工大)

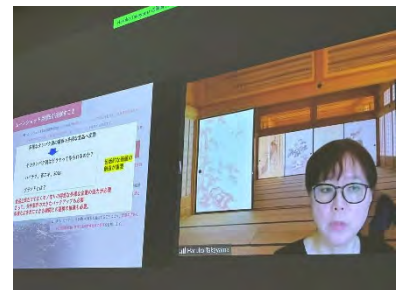
オンライン: 荒川、宇都宮、村上(島津)、竹山、一村、宮地、中川、片岡、寺澤(早大)、竹内(東大)、神谷(早稲田アカデミックソリューション)、岡本、森、平田(早大朝日研学生)

<会合の概要>

COCN 代替タンパク研究会のコアメンバーによる初めてのミーティング。コアメンバーの各自紹介と、大まかな研究会の進め方についての合意を目指した会合である。朝日リーダーから研究会の趣旨を説明した後、①参加者活動紹介、②研究会体制、③WG の分け方、メンバー、④将来を見据えたアウトプット、研究会名称について、議論が行われた。

参加者による活動紹介では、清水氏、竹内氏、松崎氏、由良氏、天竺桂氏、竹山氏、宮地氏、中西氏、片岡氏、谷口氏、岡崎氏、杉本氏から現在の活動が紹介された。(例えば、島津製作所岡崎氏、杉本氏からの「島津・代替肉の評価アプリケーション集」<https://www.an.shimadzu.co.jp/pdf/c10g-0165.pdf> など。)

研究会体制、特に WG の分け方に関しては、質テク WG、消費テク WG、効能テク WG、マーケット戦略 WG の 4WG という事務局提案に対して、様々な意見が寄せられた。また、フードテック官民協議会や JBA/Food Bio Plus 研究会等の団体について、本 COCN 研究会との棲み分けをしつつ、情報交換レベルでつながっておくべきことが確認された。



2) キックオフ会合

2022年9月6日 15:00~16:00@オンライン

参加（敬称略）：朝日(リーダー：早大)、岡崎(Co リーダー：島津)、丸山(Co リーダー：早大)、砂子(富士通)、山崎、古川(キヤノン)、野元(ソニー)、杉本、荒川、櫻井、宇都宮、村上、齋藤、高石(島津)、日下部、早川(農研機構) 清水(東京女子医大)、竹内(東大)、由良(お茶大)、鈴木、天竺桂(東京農工大)、竹山、下川、中西、今井、一村、SHANGA、神谷(早大)、佐藤、岩田、富永、熊倉、飯田、山口(COCN)、
オブザーバー：坂元、安田、矢田(JBA)

<会合の概要>

8月5日~31日のCOCN会員企業の研究会参画募集を踏まえ、新たに4機関(富士通Japan株式会社、キヤノン株式会社、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、ソニーグループ株式会社)の参加を交えた最初のキックオフ会合となった。朝日リーダーによる本研究会の活動企画やワーキンググループ活動の説明の後、質テクWGの活動事例として荒川氏(島津製作所)からの説明があった。また、バイオインダストリー協会 Food Bio Plus 研究会について、オブザーバー参加の安田氏(バイオインダストリー協会 JBA)から概要説明があった。さらに、今後の研究会の進め方として、メンバーからのアンケート調査を実施し、本研究会で取り組みたいテーマや参加したいワーキンググループ、COCN非会員企業も含めた研究会へ参加してもらいたい機関など、意見収集していく旨の説明があった。最後の意見交換では、新規参画者を含めた研究会メンバーから、研究会への意気込みなどの発言があった。また、COCN実行委員と本研究会担当委員などから、研究会への期待などの発言があった。



3) フードテック官民協議会の関連ワーキングチームへのヒアリング

フードテック官民協議会の取組みについて、関連するワーキングチーム（WT）の主要メンバーにヒアリングを行った。ヒアリングを行った WT は、Plant Based Food(PBF)普及推進 WT、細胞農業 WT、スマート育種産業化 WT、昆虫ビジネス研究開発 WT の 4 つ。今後すべての WT との具体的な情報交換、意見交換を行っていくことで合意した。以下それぞれのヒアリング概要を記載する。

① Plant Based Food(PBF)普及推進 WT

2022年8月17日（水）10:00-11:15@オンライン

面会者：大村淳氏、佐藤元信氏（㈱パソナ）、葛西裕之氏（伊藤忠商事㈱）、本研究会側：岡崎氏、杉本氏、櫻井氏（島津製作所）、丸山氏（早稲田大学）

<概要>

大村氏から PBF 普及推進 WT、および一般社団法人 Plant Based Lifestyle Lab（P-Lab）について説明を受ける。この WT は 2021 年 3 月に 15 社が集まって立上げ、一社 P-Lab も 2021 年 10 月に設立。会員は食品メーカーが主で、P-Lab の事務局を㈱パソナが担当。WT は個人も参加可で、ウェビナーを 4 回実施済みとのこと。日本人は、魚、肉とともに大豆（たとえばガンモドキや豆乳など）も食しており、これらをあえて PBF と呼ぶのか、PBF を何故食べるのか、PBF ってなんだっけ、というレベルの普及促進を行っている。動物・魚・他の代替タンパク質も否定せず、PBF はタンパク質の選択肢の一つであって、排他的でないことが大事との立場をとっているとのこと。

本研究会の構想、特に食のバリューチェーンについては、業界として分断していることがイノベーションを阻害していること、well-being の視点 について、Z 世代は、「サステナビリティ」「ジェンダー」「ライフワークバランス」を同じフォーカスで使うことから、良い視点を掲げていること、新しい食を文化とするのは、食品会社ではなく生活者がトレンドを発信する時代に変化していることなどの意見が出された。

このほか、伊藤忠商事による「フューチャー・プロテイン・ファーム」の立ち上げ（ミッションは「100 億人の食と緑の惑星の未来をこの手で運ぶ。あなたと創る。」）と、パソナが事務局を担当する「ワールドシェフ王サミット 2022」（11 月 11~13 日@淡路島）について、情報提供があった。

② 細胞農業 WT

2022年8月17日（水）13:00-14:00@オンライン

面会者：井形彬氏（東京大学先端科学技術研究センター）、吉富愛望アビガイル氏（多摩大学ルール形成戦略研究所）、本研究会側：岡崎氏、杉本氏、櫻井氏（島津製作所）、丸山氏（早稲田大学）

<概要>

細胞農業 WT として 8~9 月に国への提言書を提出予定。その後 WT は解散し、新法人を立ち上げる予定（9 月予定）とのこと。提言の中身として、品質管理基準は論点だけを 7 点（流通の要件、生産設備の要件、安全性の要件等）を含めており、新法人では品質管理基準の詳細、品質管理ガイドライン、安全性、環境アセスメント、環境負荷表示などについて進めていく予定とのこと。また動物倫理的にどのような評価基準が良いかもこれから検討予定とのこと。この WT には、本研究会メンバーでもある、竹内氏（東大）、松崎氏（阪大）、清水氏（東京女子医大）も参加しており、研究者を取り合うのではなく、活動に差異を出すため

の情報交換は必要との話しがあった。例えば、栄養学や消費者受容のリーサーチや、美味しさ、消費者の受容喚起について心理学的なアプローチの検討は進めていないとのこと。また、細胞農業に関して、産業機械、計測機器のメンバーもいるが、全体を網羅していないとのこと。

③ 昆虫ビジネス研究開発 WT

2022年8月17日（水）9:00-10:00／11:15-12:10@オンライン

面会者：藤谷泰裕氏（大阪府立環境農林水産総合研究所）、本研究会側：岡崎氏、杉本氏、櫻井氏（島津製作所）、丸山氏（早稲田大学）

<概要>

藤谷氏から昆虫ビジネス研究開発 WT、および昆虫ビジネス研究開発プラットフォームについての説明を受ける。日本では古くから昆虫食文化があったことから、昆虫食に関するレギュレーションがないため、農水省は規制の対象にはしていないとのこと。ただし、最終形態の食品では厚労省食品安全法、飼料では農水省飼料安全法で規制、ネガティブリスト制であるため、新たな昆虫食はなかなか広がらないとのこと。一方、EU では昆虫を家畜として位置付け、ポジティブリスト制のレギュレーションをもとに、ミールワーム、コオロギなどが順次広域販売 OK となっている。昆虫食の現状課題は、昆虫生産コストの低減、安全性・機能性など製品の品質保証（生食や異物混入などのリスク）、社会受容性（消費者の半分は昆虫食に否定的）の3点。昆虫食の場合、美味しさよりも安全性が大事とされていること、100円ショップなど安価で販売されるコオロギチップスは、原料表示のみで含有率等の表示をしていない（規制がない）ため、怪しいことなどの話しがあった。また、機能性を打ち出すことも必要だが、その裏付けとなる科学的データがなく、分析・計測からの支援として、本研究会の協力を期待したいとのこと。

④ スマート育種産業化 WT

2022年8月16日（火）10:15-11:10@オンライン

面会者：原誠氏、佐藤陽介氏（㈱クニエ）、有馬暁澄氏（Beyond next ventures(株)）、本研究会側：杉本氏、櫻井氏（島津製作所）、丸山氏（早稲田大学）

<概要>

佐藤氏からスマート育種産業化 WT についての説明を受ける。本 WT は、ゲノム編集技術応用食品の開発や上市に向けて、様々な課題解決、産業化推進をするため、組織横断的な協調領域の課題とその解決策を議論。会員数84名（ベンチャー14名、化学・食品16名、研究（大学・国研）20名他）で、産業化の課題として、「社会受容」、「届出制度（法規制）」が挙げられるが、『ゲノム編集食品の届出・法規制』に絞って、農水省への提言を主な活動として行っているとのこと。背景として、日本のゲノム編集食品としてはトマト、魚の2件しか受理されていないこと、今後、ジャガイモ等の受理が進み経験値が得られると、別の届け出もスムーズになると期待していることなどがある。

【3. 検討の概要】

各 WG の①活動目標、②関係する国内外の動向、③今後の検討項目は次の通り。

【(1) 代替タンパク食の質テク WG】

①活動目標

代替タンパク食の質テク WG は、各代替タンパク食の社会受容を喚起するために必須である、消費者の安全と安心を担保できる品質評価手法を検討・提案する。

各代替タンパク食に含有される可能性のある成分および微生物等を調査し、人の健康に影響を与える可能性のあるものについて品質評価手法を検討する。

②関係する国内外の動向

微生物

過去、米国において、乳児が生後、消化管ムコール菌症に罹患。この乳児は生後1日目からサプリメント ABC Dophilusパウダーを与えられており、その製品に消化管ムコール菌症を起こすRhizopus oryzae*が存在していたことが確認され、米国FDAが当該製品の自主回収を発表した。この記事は、未熟児に対してもサプリメントが与えられる可能性があること、サプリメントには従来からの有害な化学物質や重金属混入の問題だけでなくカビや病原菌などによる汚染の可能性もあることを認識させるものだった。

*Rhizopus oryzaeは発酵カビの一種であり、現在14種に分類されている。発酵食品や生分解性プラスチックの原料である乳酸を生成する種も存在する。

アレルギー物質

欧州ANSESは2015年2月、昆虫の栄養、養殖、加工、環境影響、ハザードおよび規制などをレビューし、昆虫類の内分泌物質（毒物、非栄養物質など）、リスクの管理を保証できる飼育・製造条件の検討、アレルギーに関する研究、健康リスク管理を保証するための飼育条件の枠組みの定義化などが必要だと報告している。昆虫の利用による生物学的、化学的ハザードとしての可能性は、昆虫の種類、与えられた餌（物質）、生活環境、加工方法などが関係すると述べており、これら安全性を立証するための分析手法の確立、品質管理手法の標準化が必要とされる事態となっている。

③今後の検討項目

従来食品の問題発生事例を参考に、代替タンパク食に対して、既存の危害物質分析評価手法・モニタリング手法が適用可能かどうかを調査する。調査予定項目は以下の通りである。

- 1.各代替タンパク食に対応した微生物、化学物質、アレルギー物質等の人体影響物質に関する調査
- 2.1を評価可能なテクノロジーまたは分析手法の調査
- 3.人体影響物質の制御とこれへの対応方法の調査

以上のような調査結果を踏まえ、消費者に安心と安全を提供するための食品の質の評価に関する議論を実施し、政府への提言としてまとめる予定である。

【(2) 代替タンパク食の消費テク WG】

①活動目標

代替タンパク食の消費テク WG は、各代替タンパク食の社会受容を喚起するために、美味しさと官能評価、各種分析機器評価との関連について明らかにし、「五感で食を感じる科学」を確立する。また、消費者受容を促すための感覚マーケティングの視点、特に複数の感覚のクロスモーダル対応についても産学連携での取組みについて議論を深める。さらに、消費者が代替タンパク食によっていかに楽しめるか、精神的に満足できるか、という視点での探索も進める予定である。

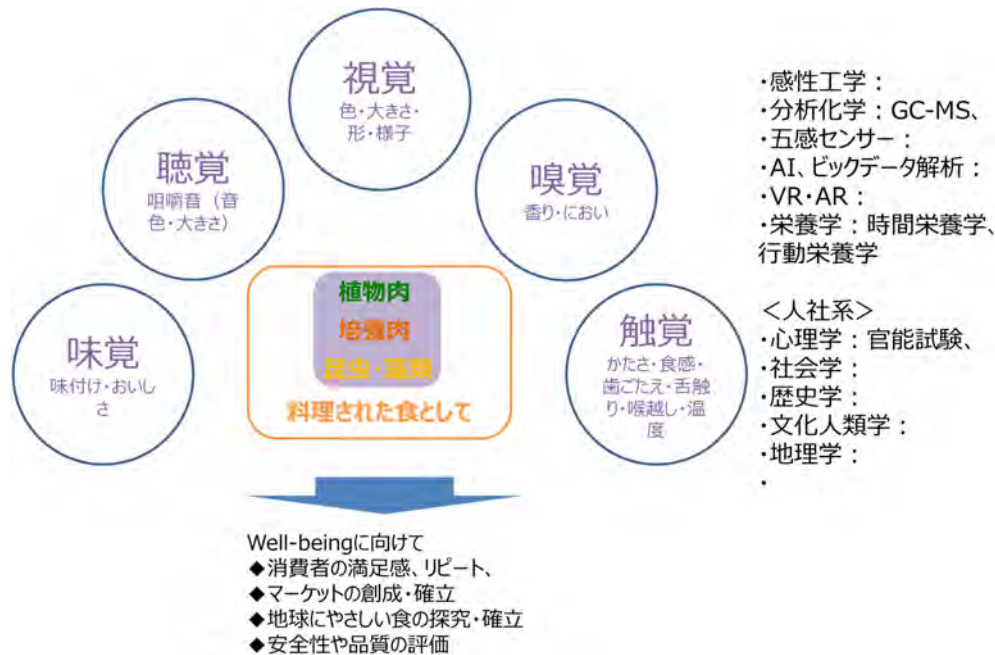


図 4. 五感で食を感じる科学

②関係する国内外の動向

美味しさについての調査状況

美味しさの指標やそのメカニズムは、現在明らかになっていない。その理由は、美味しさが、五感情報(データ量は多量)や食品を口にする人の体調や先入観、地域(国)性、文化によって複雑に影響し合い発現する特性であり、定量化が難しい事にある。表 2 に五感とこれに対応する情報の一覧を示す。美味しさの定量評価を行うにはこれら大量の情報を取得し、整理し、活用手段を考えなければならない。本活動では、美味しさを定量評価する手段として、官能試験と機械学習を用いた情報処理技術における課題を整理した。

表 2 美味しさに影響を与える五感とこれに対応する情報

美味しさを感じる感覚一覧	対応情報
味覚	味付け(調味料)
聴覚	咀嚼音(音色、大きさ)
視覚	色、大きさ、形、要素
嗅覚	香り、匂い
触覚	食感(硬さ・歯ごたえ・粘性等・舌触り)、温度

官能評価

官能評価とは、人の五感（視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚）に頼って物の特性や人の感覚そのものを測定する方法をいい、具体的には大勢の人（パネル）に一定の条件で与えられた試料を見る、嗅ぐ、味わうなどを設問にして言葉や数字（尺度）で答えてもらい、その結果から統計的に美味しさを解析する手法である。統計解析を行うには大量のパネル情報の取得が必要となるために、製品開発の際にはコスト要因の一つとなっている。また、産業界においては、製品毎の食感の品質管理を行うためには、マイスターと呼称される食感の評価を専門とする少数の人材にその評価を委ねる企業も少なくなく、品質管理をより確かなものにするために、食感のマスターデータを数値化したいという希望は根強いものとなっている。食感を数値化するために機器分析を活用する試みは 70 年以上の歴史をもつ。人の官能が曖昧なものであるがゆえに、この試みには多くの困難が生じており、現在においても人による官能評価に代わる食感評価法は確立されていない。

フードインフォマティクスとタンパク食データベース

フードインフォマティクス(FI)とは、フード(食品)とインフォマティクス(情報科学)を合わせた造語である。美味しさの定量化・予測、レシピ分析・画像認知技術をはじめ、IoT(Internet of Things)、AI(Artificial Intelligence)や ML(Machine Learning)を適用して食料生産を最適化する技術、食品サプライチェーンなど、生産～消費までの多岐にわたって活用可能な技術概念である。美味しさ予測に関連した類似事例として、樹脂・金属・非金属分野における材料開発に活用され始めている、マテリアルズ・インフォマティクス技術がある。これら分野においては、大規模な材料特性データベースの構築が先立って実施されてきており、日本では 2015 年より、物質・材料研究機構（NIMS）を中心としてマテリアルズ・インフォマティクス(MI)推進の取り組みが開始され、現在においては MI の教師データとして活用可能な、物質・材料データベース(MatNavi)が稼働している状況である。MatNavi は、ユーザ登録を行えば、無料で各種データベースを検索・閲覧することが可能であり、材料開発を加速する情報ツールとして産業界において広く活用されている。

食品分野においては、MatNavi に相当する大規模データベースは未整備である。本研究会で議論を進める代替タンパク質(昆虫食、培養肉および植物由来のタンパク質)に関しては、食品分野への新規企業の多数の参画が見込まれており、FI を活用して新規食品開発を加速させ、美味しさに優れた代替タンパク食を速やかに社会実装するためには代替タンパク質にフォーカスした人の官能評価および機器分析評価に関するタンパク食データベースの構築が課題である。

③今後の検討項目

代替タンパク食の消費テクノロジーについて引き続き調査・検討する。

1. 美味しさと官能評価、分析機器分析の相関について
2. 代替タンパク食開発におけるインフォマティクス技術(フードインフォマティクス)の活用可能性についての調査 (IoT、AI、画像解析、キッチンインフォマティクス)
3. 代替タンパク食の官能評価データベース(ビックデータ)構築についての検討

以上のような調査結果を踏まえ、代替タンパク食の「五感で食を感じる科学」に関する議論を実施し、政府への提言としてまとめる予定である。

【(3) 代替タンパク食の効能テク WG】

①活動目標

代替タンパク食の効能テク WG は、各代替タンパク食の体内吸収、ウェルネス、人の健康に影響を及ぼす人の代謝サイクル等のキーワードに焦点を当てた調査活動を実施し、各代替タンパク食の効能に関するテクノロジーを提案する。とくに時間栄養学の摂取するタイミング、腸内細菌との状態とも関連させた健康医療の観点などについても、専門家を交えた議論を深めたい。

②関係する国内外の動向

代替タンパク質の健康への影響についての調査状況

図 5 に示す研究では各種タンパク質についてより多く摂取した場合の健康への影響について分析している。中央の 0%ラインより●印が上は死亡リスクが高く、下であれば死亡リスクが低いことを示す。また、中央の 0%ラインより上は健康悪化要因、下は健康改善要因を示す。

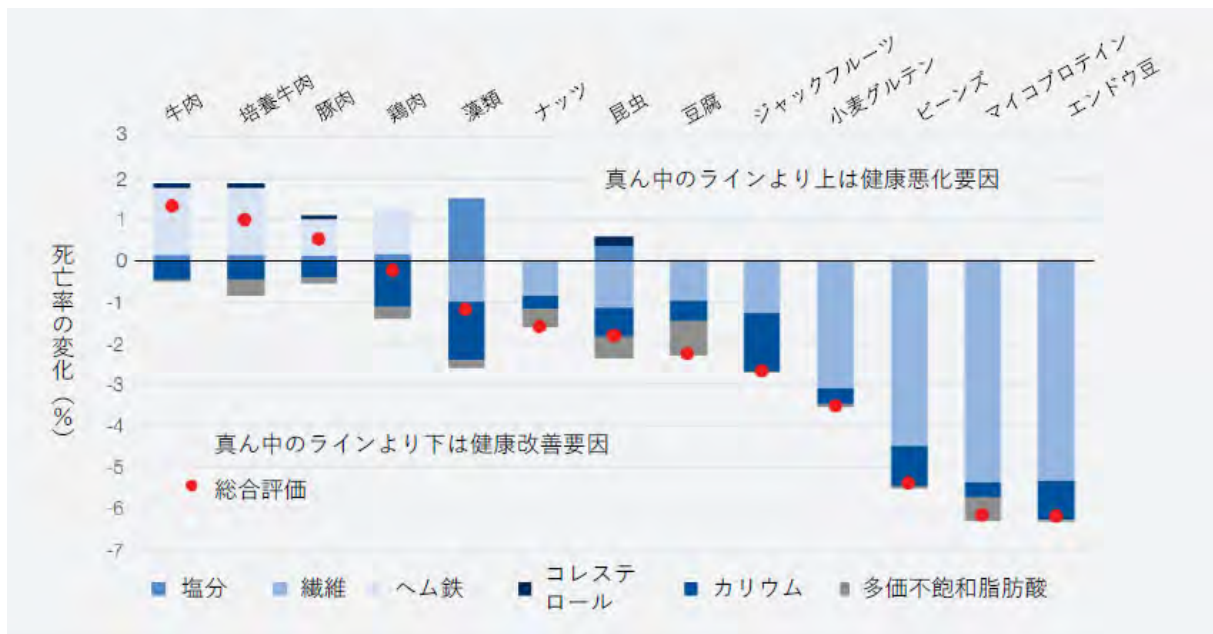


図 5 各々のタンパク源をより多く摂取した場合の健康への影響

(出典) World Economic Forum , Meat: The Future Series. Alternative Proteins "",2019

③今後の検討項目

代替タンパク食の効能テクノロジーについて引き続き調査・検討する。

1. 代替タンパク食毎の栄養成分などの調査
2. 代替タンパク食毎のヒトの体内吸収などに関する調査

以上のような調査結果を踏まえ、代替タンパク食の人の健康に及ぼす影響に関する議論を実施し、政府への提言としてまとめる予定である。

【(4) 代替タンパク食のマーケット戦略 WG】

①活動目標

代替タンパク食のマーケット戦略 WG は、各代替タンパク食の社会受容を喚起するためにブランド・エコ認証制度、国際標準を視野に入れた、消費者が安全と信頼を抱ける仕組みを検討・提案する。

当研究会で取り扱う、昆虫食、培養肉および植物由来のタンパク質は、新規食品(Novel food)に区分される食品群として製品化される。Tuirila らは Novel food の受容に影響する要因として、恐怖、嫌悪感、好奇心、官能特性、健康・栄養、環境負荷といった要素を上げており、これらは対象となる食品によっても状況が異なる。恐怖という負の感情に対しては、最低限、消費者の安全と安心を担保できる品質評価手法の確立が必須であり、この項については質テク WG で検討する。嫌悪感に対しては消費者が安全と安心を感じられ、さらに Novel food を食することが食糧飢餓など SDGs の解消や環境負荷低減、社会貢献に寄与することを自覚できる認証制度の確立が社会受容を喚起・定着させるためには必須であると考える。

代替タンパク食の品質基準などを定めた国際ルールの整備などを検討し、日本企業の海外進出を後押しし、日本ならではの代替タンパク食として、日本食文化も継承しつつ、多様な消費者が楽しめるものが供給される産業を創造する事が急務である。ウェルビーイング（一人ひとりの多様な幸せ）を満たした上でこれら社会受容、肉体の健康のみならず、こころの健康、社会の健康、地球の健康を目指し、新しい価値観と最先端の技術をうまく折り合いをつける事も近い将来、社会に求められる要素である。

②関係する国内外の動向

国内の食品の安全管理に関する認証制度の調査状況

JFS 規格

JFS(Japan food safety)規格は 2016 年に一般財団法人食品安全マネジメント協会が開発・運営を開始した認証規格である。JFS 規格では食品を取り扱う事業者に対する要求事項が定められており、この要求事項に沿った安全管理がなされているかどうか第三者機関が審査（監査）を行うことで、食品を取り扱う事業者において、安全な食品を製造し、そして消費者へ届けるためのマネジメントシステムが構築・運用されていることを確かめることが可能である。事業者の規模に関係なく取り組みやすく、誰もが国際標準の食品安全マネジメントを目指せる仕組みとなっており、事業者の安全管理レベルの向上に役立つほか、フードチェーン全体における食の安全のつながりを確かなものにするという役割を担っている。JFS 規格は食品安全マネジメント（FSM）、ハザード制御（HACCP）、適正製造規範（GMP）の 3 要素で構成された食品安全マネジメント認証・適合証明を実施できる仕組みである。これらの 3 つの要素は独立して機能するのではなく、それぞれが相互的に影響を及ぼしている。

・食品安全マネジメントシステム（FSM）

GMPと HACCP を有効に実行するための管理の仕組みを定義。安全方針の設定、手順書作成、文書管理方法の設定などを認証。トップマネジメントの責任、フードディフェンスや食品偽装への対応も可能。



図 6 JFS を構成する 3 要素

・適正製造規範（GMP）

食品安全管理において基本的となる一般衛生管理、HACCP を実施するための前提条件プログラムの中心となる基準。従業員衛生、環境、施設、装置、検査、メンテナンス、教育法なども網羅している。

・ハザード制御（HACCP）

生物学的危害、化学的危険、物理的危険の可能性分析や、危害防止のための重要な工程管理ポイントを決定できる。

HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point)は、米国において宇宙食の安全性を保障するために、Pillsbury 社、航空宇宙局、陸軍 Natick 研究所等が共同で開発し、Pillsbury 社では 1959 年から HACCP システムを自社工場への適用を開始した。宇宙食の安全性確保のために、従来の手法である抜き取り検査で製品中に病原微生物が存在しないことを 100 %保証しようとすれば、膨大な数の検体について破壊試験を実施しなければならず実用的ではない。そこで、食品製造の一連の過程で予防措置を継続的に講じるシステムを開発することで、製品等の最低限のものとするのが考えられた。これは、問題の発生を未然に防止するための工程管理を確実に実施し、その記録を保管することで製品の安全性を保障しようとするものであった。HACCP システムでは、原材料の受け入れから製造の工程、製品の出荷までのいずれかの段階で病原微生物等の危害の原因となるおそれのある各種物質を確実に制御できる手段を講じて、その実施状況を継続的に監視することですべての製品の安全性を保障する、さらに、監視の結果、製造中の食品の管理状態が十分でないことを担当者が認識した時点で速やかに改善措置を講じることで、問題のある食品を特定して危害の発生を未然に防止することになる。

1995 年の世界貿易機関(WTO)の発足に伴い、食品の国際流通における衛生規制は原則として国際ルールに基づくこととなり、食品の国際規格を審議勧告する食品規格委員会(CAC; Codex Alimentarius Commission)における活動が重要となった。CAC は、国際的な合意を得られる食品の安全性確保の手段として、HACC システムの採用が最適であると考え、1993 年に HACCP システム適用のための指針を採択した。日本国においても、1995 年の食品衛生法改正による総合衛生管理製造過程の承認制度導入および 1996 年の大規模食中毒多発が契機となり、食中毒対策の決め手として食品産業における HACCP 導入が 2000 年代まで日本国内においては現実的な課題となっていたが、2022 年現在、国内認証制度である JFS-B を取得することで HACCP に対応する事が可能となった。

③今後の検討項目

代替食品の社会実装に必要な不可欠である、食品の安全性を担保する認証や標準化制度、規制といった国内外の取り組みを引き続き広く調査する。これらの調査結果を元に、世界をリード可能な代替タンパク食に関する標準化の仕組みを検討し、政府への提言としてまとめる予定である。

【4. 提言の方向性】

各代替タンパク食の社会受容を喚起するためにブランド・エコ認証制度、国際標準を視野に入れた、消費者が安全と信頼を抱ける仕組みを検討・提案する。

当研究会で取り扱う、昆虫食、培養肉および植物由来のタンパク質は、新規食品(Novel food)に区分される食品群として製品化される。Tuirila らは Novel food の受容に影響する要因として、恐怖、嫌悪感、好奇心、官能特性、健康・栄養、環境負荷といった要素を上げており、これらは対象となる食品によっても状況が異なる。恐怖という負の感情に対しては、最低限、消費者の安全と安心を担保できる品質評価手法の確立が必須であり、この項については質テク WG で検討する。嫌悪感に対しては消費者が安全と安心を感じられ、さらに Novel food を食することが食糧飢餓など SDGs の解消や環境負荷低減、社会貢献に寄与することを自覚できる認証制度の確立が社会受容を喚起・定着させるためには必須であると考える。

代替タンパク食の品質基準などを定めた国際ルールの整備などを検討し、日本企業の海外進出を後押しし、日本ならではの代替タンパク食として、日本食文化も継承しつつ、多様な消費者が楽しめるものが供給される産業を創造する事が急務である。ウェルビーイング（一人ひとりの多様な幸せ）を満たした上でこれら社会受容、肉体の健康のみならず、こころの健康、社会の健康、地球の健康を目指し、新しい価値観と最先端の技術をうまく折り合いをつける事も近い将来、社会に求められる要素である。

代替タンパク質が料理された食について、五感を通して美味しいと感じる科学的な技術基盤を探索、整備する。具体的には、物理化学、感性工学、分析化学、五感センサー、AI・ビッグデータ解析、VR・AR、栄養学などの自然科学の知と、心理学、社会学、歴史学、文化人類学、地理学などの人文・社会科学の知を融合した、総合知の創出を目標とする。



上記の技術開発のほか、それらの技術をもとにした国際標準化の基準づくりが必要である。特に視覚の面で、日本の社会受容と、グローバルな社会受容では差があると考えられるため（例えばコオロギなど昆虫食の容姿）、ELSI の観点から社会学、文化人類学、地理学などの研究者を巻き込む必要がある。また、これらサステナブルな食を専門として取り扱うことができる人材についても、その育成が求められる。

【参考情報・参考資料】

- ・国際連合 World Population Prospects 2022,
<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/MostUsed/> (2022年9月26日参照)
- ・SOMPO 未来研レポート 代替タンパク質の拡大と代替タンパク質をめぐる議論
- ・World Economic Forum ,“Meat: The Future Series. Alternative Proteins”, 2019

資料 1

産業競争力懇談会（COCN）2022年度推進テーマ活動企画書

1. 推進テーマ候補のタイトル

「フード・サステナビリティ実現に向けた well-being 代替タンパク質の開発と社会実装」

2. 提案の背景・理由（産業競争力強化上の効果）

現在の人口増加ペースが続くと、全世界の人口は 2050 年に 90 億人を突破すると予想される。新興国の食生活向上（肉食化）により、2050 年には 2005 年時の約 2 倍のタンパク質供給が必要となる。早ければ 2030 年頃には家畜等によるタンパク質の供給が追い付かなくなると言われている（タンパク質危機（Protein crisis））。また、家畜から排出される温室効果ガスは、世界の温室効果ガスの約 14%を占め、すべての乗り物から排出される温室効果ガスの総量に匹敵しており、カーボンニュートラル 2050 の観点からも対策が求められている。

食のサステナビリティを考える上で、現在、代替タンパク質、すなわち①植物肉（主にダイズ）、②培養肉、③昆虫・藻類などの新たな開発に取り組む日本企業（ベンチャー含む）が、大学等とのオープンイノベーション（産学連携）によって急速に生まれてきている。この動きは、内閣府によるムーンショット型研究開発制度の目標 5「2050 年までに、未利用の生物機能のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出」でも、幾つか研究開発プロジェクトが進行中である。

このように日本の代替タンパク質開発が世界に先んじる一方で、代替タンパク質の品質評価手法などを定めた国際ルールは未整備なままである。もしルール整備を主導できれば、日本企業の海外進出を後押しできる可能性が高まることが考えられる。これらの代替タンパク質による食のバリューチェーンに対し、下図のような技術課題が想定されており、特に最近、農水省が主導して「フードテック官民協議会」が立ち上がり、代替タンパク質を含むフードテック関連の技術基盤の強化に取り組みが進みつつある（2020 年 10 月～）。

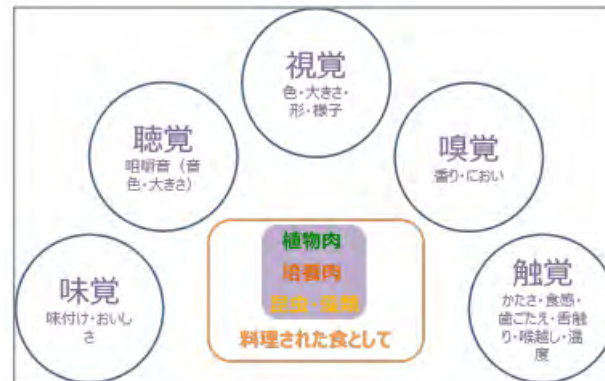


3. 実現すべき目標とベンチマーク

日本マーケットでの代替タンパク質を想定した場合、新興国向けとは異なり、一人ひとりの多様な幸せ（well-being）の実現に向けて（1）消費者の満足感、リピート、（2）マーケットの創成・確立、（3）地球にやさしい食の探究・確立、（4）安全性や品質の評価が求められることとなる。すなわち、上記のバリューチェーンにおける、ブランド認証から消費者が感じる「美味しさ」、そして栄養面での体内吸収に関する技術基盤の開発、国際社会に通じる品質基準の設計を、本 COCN 推進テーマとして提案する

代替タンパク質が料理された食について、五感を通して美味しいと感じる科学的な技術基盤を探索、整備す

る。具体的には、物理化学、感性工学、分析化学、五感センサー、AI・ビッグデータ解析、VR・AR、栄養学などの自然科学の知と、心理学、社会学、歴史学、文化人類学、地理学などの人文・社会科学の知を融合した、総合知の創出を目標とする。



4. 検討内容と構築すべきエコシステムの要素（技術・システム、制度・規制、人材育成、社会の受容等）

上記の技術開発のほか、それらの技術をもとにした国際標準化の基準づくりが必要である。特に視覚の面で、日本の社会受容と、グローバルな社会受容では差があると考えられるため（例えばコオロギなど昆虫食の容姿）、ELSIの観点から社会学、文化人類学、地理学などの研究者を巻き込む必要がある。また、これらサステナブルな食を専門として取り扱うことができる人材についても、その育成が求められる。

5. 想定される課題、解決案、官民の分担（政府提言を想定しないものは民間のみ）

国際標準化の推進と食の安全保障の確立のためには、学の実知を活用した官民の協力が必須である。本COCNでは政府提言も行う。

6. 目標実現までのロードマップ

想定される産官学の専門家を集め、本COCNテーマグループを形成した上で、重要なステークホルダーの参画も得てプロジェクトをスタートさせる。約1.5年間で、進めるべき課題を層別・整理し、政府提言書としてまとめる。

7. プロジェクトの出口、（可能であれば）その後の推進主体案

実際の技術基盤開発を実施するには、国プロなどの研究開発費による推進が望ましい。

8. プロジェクトの推進体制と想定する主なメンバー

早稲田大学、島津製作所、お茶の水女子大学、東京農工大学、東京女子医科大学、大阪大学、東京大学、食品会社（ベンチャー含む）※など。（※印はCOCN会員企業以外を期間中に交渉予定）

9. その他

これまでのCOCN課題として、アグリイノベーション（植物工場）、食品のバリューチェーン改革、農林水産業と工業の連携などのテーマが推進されてきているが、代替タンパク質に関するものはない。Coリーダー：岡崎直美（島津製作所分析計測事業部・副事業部長（執行役員））、丸山浩平（早稲田大学研究戦略センター・教授）

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2 - 2 - 1

日本プレスセンタービル 6階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 山口雅彦