



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

代替タンパク質の概観

世界経済フォーラム 第四次産業革命日本センター

フェロー 樋口 道弘

World Economic Forum

Centre for the Fourth Industrial Revolution Japan



樋口 道弘（ひぐち みちひろ）

2020.4 ～

世界経済フォーラム 第四次産業革命日本センター

- ・ 食料、農業分野 を担当。

2004.4 ～

農林水産省

- ・ 環境分野の国際協力、農協 などを担当。
- ・ その他、外務省、福島県白河市に出向。

「食料システムを変えるテクノロジー」

主催：農林水産省

日時：2021年4月23日

内容：食料システム分野におけるテクノロジーの社会実装

① 世界の中のニッポンの食料システムの脱炭素化に挑む

「みどりの食料システム戦略」、食料システムと気候変動、農業の見える化、二酸化炭素の低減についての発表・議論

② 食分野のテクノロジーの進化と社会実装の在り方

フードテックの社会受容、栄養改善への活用、食とテクノロジーの可能性についての発表・議論



須賀センター長によるG T G S 設立会合の報告



会場の様子（写真：農林水産省）

イベント紹介の note記事は こちら

<https://note.com/c4irj/n/nccdbbb07b584>



本日はお話しすること

1 フードテック

2 各種代替タンパク質

①植物性代替肉 ②培養肉 ③昆虫食 ④その他

3 市場の展望

1 フードテック

2 各種代替タンパク質

①植物性代替肉 ②培養肉 ③昆虫食 ④その他

3 市場の展望

注目されるフードテックの例

3Dフードプリンター



写真：Natural Machines

調理ロボット



写真：コネクテッドロボティクス

代替タンパク質



写真：Redefine Meat

フードデリバリー



写真：Uber

フードテックは社会課題の解決に貢献

		次世代フードシステム		
		生産（素材・食品）	加工・調理・流通	保存・消費
社会課題	健康寿命延伸 家庭食の充実化	よりパーソナライズされた医食同源を実現する ・ ゲノム編集育種	- 完全栄養食 - 発酵・微生物活用技術	個々人のライフスタイルを実現する - スマートキッチン（キッチンOS、スマート調理家電、3Dフードプリンター） - スマートキッチンを介したデータ解析技術（対応するサービス例） - レシビサービス、消費者の行動・嗜好等の解析（POSデータ等）
	重労働・単純労働からの解放	従事者の生産性を高める ・ スマート農業（収穫ロボット、農業用ドローン、無人トラクター、等）	人手を増やさずに流通配送・加工を可能にする - 宅配ロボット - 調理ロボット	
	温室効果ガスの排出削減や土地資源・水資源の利用節約	資源投入効率を高める - 陸上養殖 - ゲノム編集育種 - 代替タンパク質（昆虫食、培養肉、微生物由来のタンパク質）	加工・流通・消費プロセスのエネルギー効率を高める - 高効率な保蔵技術（冷凍、乾燥等）の開発 - エネルギー高効率なコールドチェーン技術の開発	
	フードロス の削減	資源循環食料生産を支える 食品廃棄物を活用した昆虫飼料	鮮度保持し保存可能期間を延ばす - 保蔵技術（冷凍、乾燥、発酵） - コーティング技術 - コールドチェーン - 包装・容器技術（ガス置換包装・鮮度保持フィルム）	食生活を適切に管理しムダを減らす - スマートキッチンを介したデータ解析技術（対応するサービス例） - 消費期限に基づく食品購買・保管支援アプリ
		フードシステム中の資源循環を支える 食品残渣処理システム（発酵分解・粉碎・減量脱水）		
	地域社会・コミュニティの活性化	地産地消を促進する ブロックチェーン技術を活用した産地～消費者間のプラットフォーム		社会とのつながりを充実させる VR等を活用したコミュニケーション技術

出所：農林水産省「令和2年度フードテックの振興に係る調査委託事業報告書（令和3年3月）」、フードテックにかかる技術動向マップにマーカー部加筆。

1 フードテック

2 各種代替タンパク質

①植物性代替肉 ②培養肉 ③昆虫食 ④その他

3 市場の展望

植物性代替肉は市場拡大中。どこまで肉を再現できる？



強み

- 食体験のある原料がベースで消費者が受け容れやすい
- ヴィーガン、ベジタリアンへの訴求力がある

課題

- 肉の食感や味の再現性

植物性代替肉の企業の例

Beyond Meat (米国)

主原料はエンドウ豆、ココナツ油など。

肉を分子レベルで研究し、風味・食感と、肉汁・焼き色など調理体験まで再現。

2019年NASDAQ上場。



写真：Beyond Meat

DAIZ (日本)

発芽大豆の旨味を引き出す特許技術で鶏・豚・牛肉の味を再現。卵、ミルク、シーフードも開発中。

本年5月、ボストンに子会社設立。



写真：DAIZ

Impossible Foods (米国)

主原料は大豆、ヒマワリ油など。

鉄分を含むタンパク質「大豆レグヘモグロビン」を酵母をつかって生産・添加するのがコア技術。



写真：Impossible Foods

Redefine Meat (イスラエル)

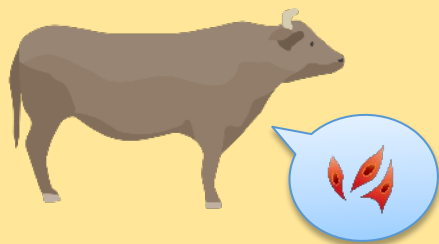
植物由来の「筋肉」「血液」「脂肪」をそれぞれ3Dフードプリンターで出力し、肉の複雑な構造・食感まで再現したステーキを開発。



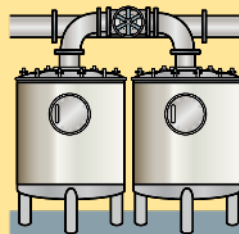
写真：Redefine Meat

培養肉は味に自信あり。コストを下げられる？

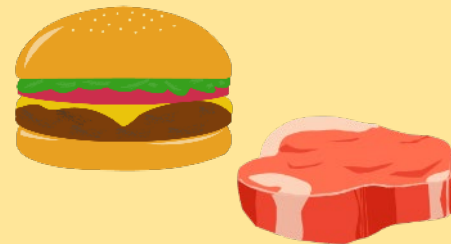
動物から
細胞を採取



バイオリクター
で培養



成形して、培養肉に



強み

- 美味しい個体を選別して増やせる
- 元の個体を殺さずに生産できる
- 培養環境が工業的に制御できる

課題

- 培養液や成長因子が高コスト
- ミチは作れても、ステーキ肉は？

培養肉の企業の例

Mosa Meat (オランダ)

2013年に1個3,000万円とされる世界初の培養肉バーガーを発表した、マーク・ポスト教授が共同創業者・最高科学責任者。数年以内の培養牛肉販売を目指す。



写真：Mosa Meat

インテグリカルチャー (日本)

培養液や成長因子をコストダウン。まずは培養フォアグラ()の販売を目指す。

12社参画の「CulNetコンソーシアム」で、培養肉やコスメ等細胞農業の普及を目指す。



写真：インテグリカルチャー

Eat Just (米国)

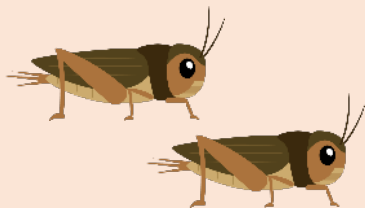
緑豆を主成分とする植物由来の液卵等を販売。
2020年12月にシンガポールで世界初の培養鶏肉販売承認を受け、レストラン、デリバリーで販売。

Aleph Farms (イスラエル)

培養ステーキ肉の販売目標は2022年。細胞の3Dプリントにより、厚手のものも製造可能に。
今年1月、日本展開に向けて三菱商事と協力覚書。

昆虫は環境にやさしく高栄養。消費者の受け入れは？

昆虫を養殖



パウダーに加工



パスタ、パンなど各種食品に利用



強み

- 飼料効率がよく、環境負荷が小さい
- 栄養価が高い

課題

- 地域によっては食体験があるが、一般には食物としてのなじみが薄く、心理的抵抗がある

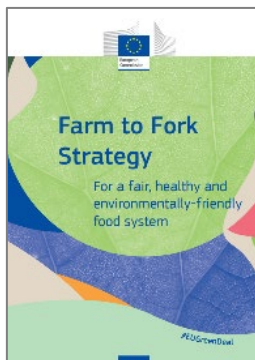
国際機関は、昆虫食を重要な食物と評価



① Edible Insects – Future Prospects for Food and Feed Security (世界食糧農業機関、2013)

2050年には世界人口が90億人を超え、食糧危機が深刻化。

昆虫は、タンパク質など栄養素を豊富に含むこと、養殖に必要な資源が少なく環境負荷が小さいことから、重要な食物となる。



② Farm to Fork Strategy (欧州連合、2020)

欧州の持続可能な食料システムへの包括的なアプローチを示した戦略。

代替タンパク質（昆虫も明記）の利用可能性向上を、重要な研究分野の1つとして挙げている。

その他（藻類、微生物ベース。空気も原料に。）

タベルモ

（ 日本）

乾燥重量の7割がタンパク質の藻類スピルリナを、独自のフォトバイオリアクターシステム()で、赤道近くの強い光で効率生産。

生スピルリナに加え、汎用タンパク質原料への事業展開が目標。



写真：タベルモ

Perfect Day

（ 米国）

ウシの遺伝子を導入した微生物により、植物由来の糖を発酵させ、ホエーやカゼインなどミルクに含まれるものと同じタンパク質を生産。これを用いたアイスクリームが販売されている。



写真：Perfect Day

Solar Foods

（ フィンランド）

NASAの宇宙での炭素循環のコンセプトに基づく技術で、微生物の培養により、空気と水と電気からタンパク質を生産。

2023年の販売を目指している。



写真：Solar Foods

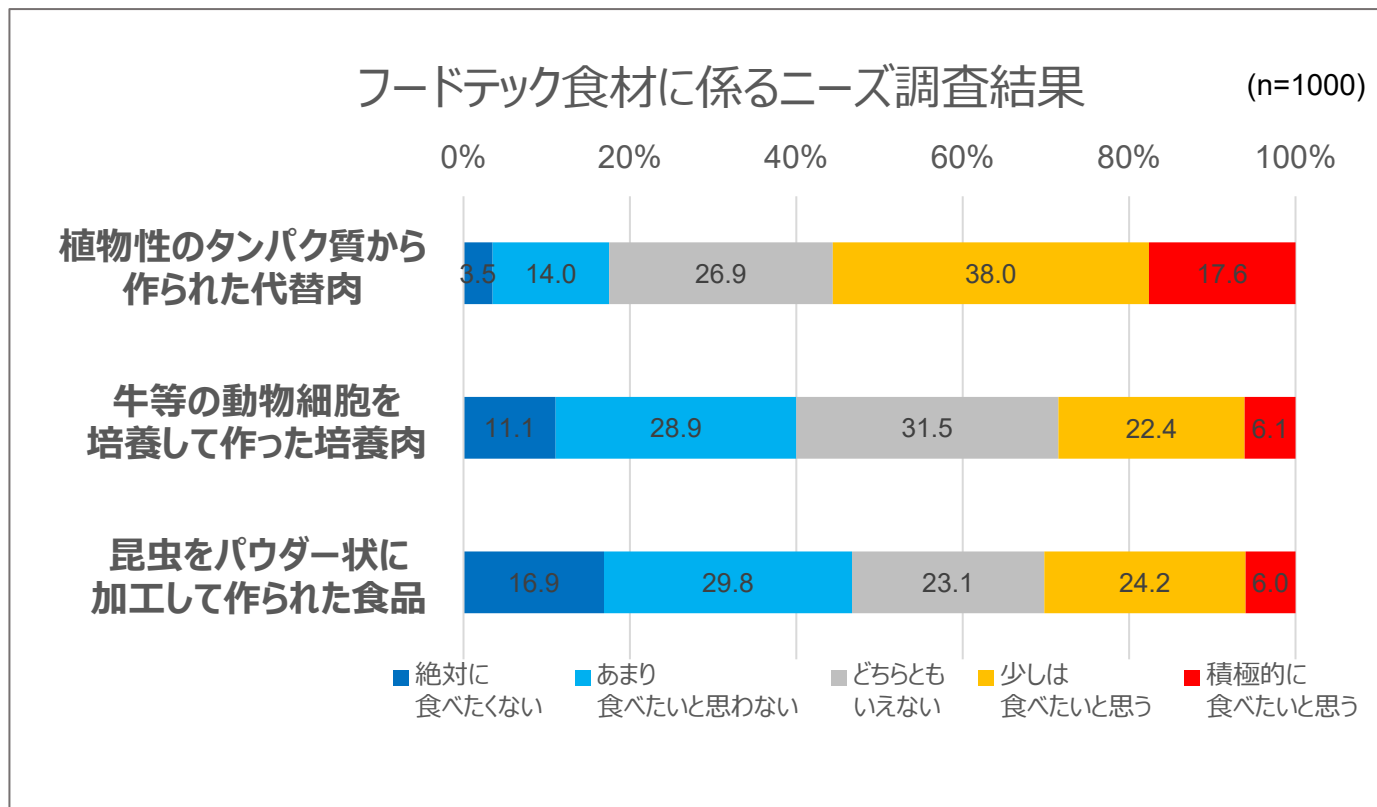
1 フードテック

2 各種代替タンパク質

①植物性代替肉 ②培養肉 ③昆虫食 ④その他

3 市場の展望

植物性代替肉、培養肉、昆虫食の社会受容性、くらべてみると・・・

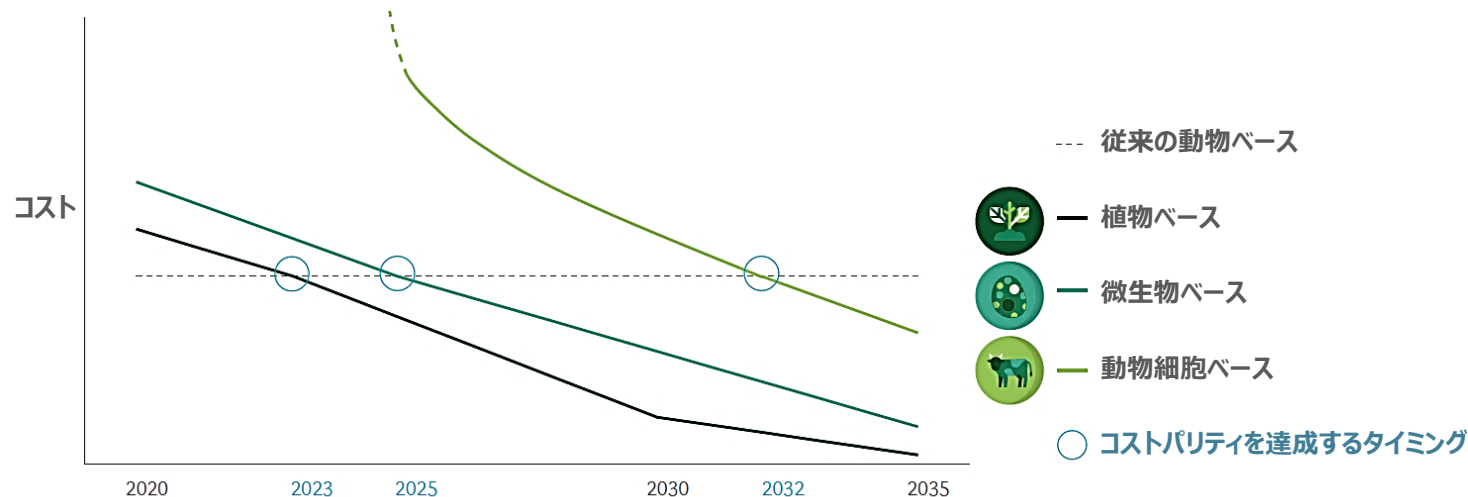


※ 調査対象は、2020年時点で20代～40代前半の年齢層
(2050年時点で、50代～70代前半にあたる層)

植物ベースは2023年頃、動物細胞ベースは2032年頃には、 従来の動物タンパク質に対し、コストパリティを達成する可能性

代替タンパク質は、2020年代前半から2030年代前半の間に パリティを達成する可能性

代替タンパク質が、本物同様の味・食感とともに、コストパリティを達成する相対的なタイミング¹



出所：専門家インタビュー；業界レポート；Blue Horizonとボストン コンサルティング グループによる分析
(ボストン コンサルティング グループとBlue Horizonの共同レポート「Food for Thought: The Protein Transformation」(2021年3月) より
Exhibit 1 を発表者が仮訳)

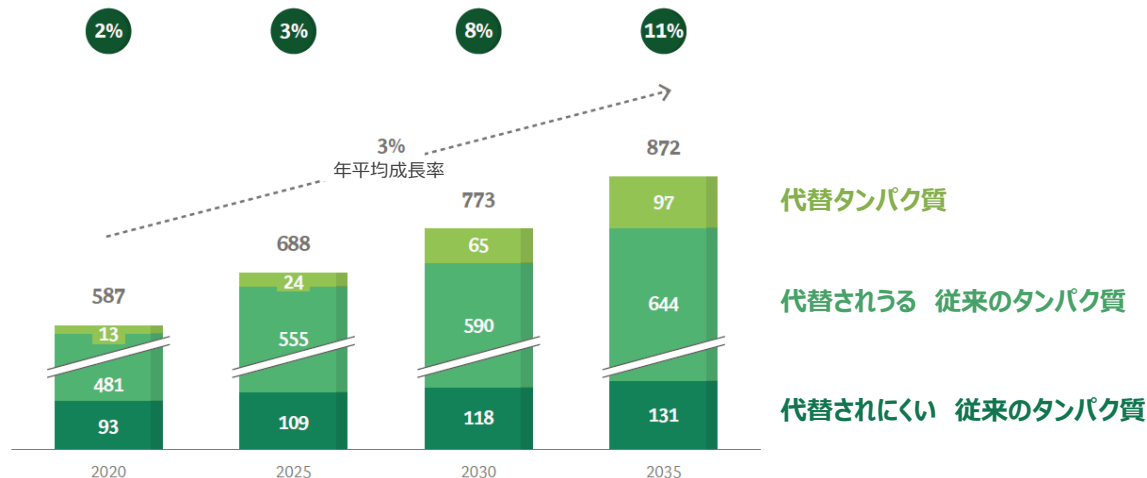
¹米国とEUについての例示データ；製品グループや地域による差異は、明確化のために省略している。

※ 本報告書の「代替タンパク質」は、肉、海産物、牛乳、卵、乳製品など従来の動物ベースの製品を直接代替するものを指す。

2035年には11%が代替タンパク質に

代替タンパク質は、2035年にはタンパク質市場の11%を占めている可能性が高い

世界のタンパク質製品消費（% 普及率、百万トン、基本ケースシナリオ）



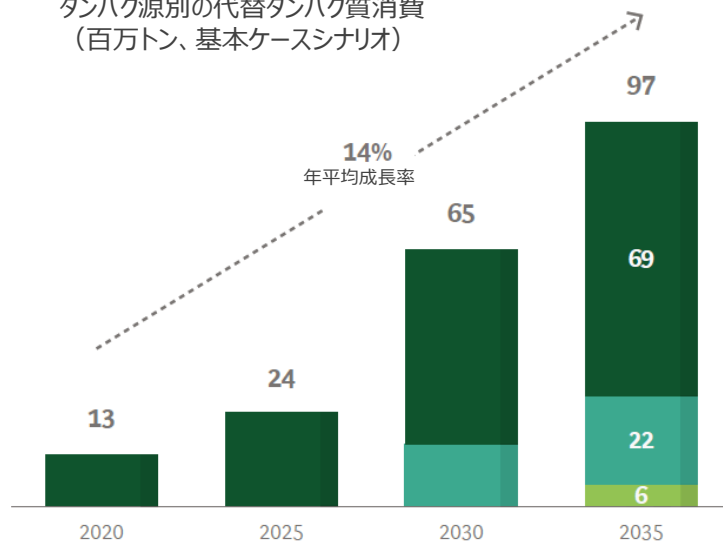
出所：米国農務省；Euromonitor；UBS；ING；Good Food Institute；専門家インタビュー；Blue Horizonとボストン コンサルティング グループによる分析（ボストン コンサルティング グループとBlue Horizonの共同レポート「Food for Thought: The Protein Transformation」（2021年3月）よりExhibit 2 を発表者が仮訳）

注：代替されうるタンパク質には、挽き肉、切り身、牛乳、卵その他の動物タンパク質で、現在の技術で代替品が作られる可能性が高いものが含まれる。
代替されにくいタンパク質には、骨付きの厚切り肉のような高度に構造化された肉が含まれる。

植物ベース、微生物ベース、動物細胞ベースが順次、コストパリティを達成して成長

代替タンパク質消費の成長における3つの波

タンパク源別の代替タンパク質消費
(百万トン、基本ケースシナリオ)



年平均 成長率	年平均 成長率	年平均 成長率
2020— 2025	2025— 2030	2030— 2035
13%	22%	8%

12% 16% 7%



植物ベース

45% 111% 8%



微生物ベース

52%¹ 66% 120%



動物細胞ベース

出所：米国農務省；Euromonitor；UBS；ING；Good Food Institute；専門家インタビュー；Blue Horizonとボストン コンサルティング グループによる分析
(ボストン コンサルティング グループとBlue Horizonの共同レポート「Food for Thought: The Protein Transformation」(2021年3月)よりExhibit 3を
発表者が仮訳)

¹市場参入時を起点とした2022年から2025年の年平均成長率。



- ① フードテックは、生産から消費まで様々な変革を起こす。
代替タンパク質は「持続可能な食料システム」の構築に貢献。
- ② 企業努力により、各種代替タンパク質の開発が進む。
昆虫食も、環境にやさしく高栄養なタンパク源として注目。
- ③ 代替タンパク質の市場規模は植物ベースを筆頭に順次拡大。
昆虫食も拡大。

昆虫ビジネスを取り巻く情勢

藤谷 泰裕

(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所 審議役

自己紹介

1984年～

大阪府農林技術センター(現大阪府立環境農林水産総合研究所)



家畜バイテク

エコフィード

家畜排せつ物処理

森林環境業務も経験

2013年～

昆虫ビジネス研究に関わる



2020年～

昆虫ビジネス研究開発プラットフォーム

フードテック官民協議会昆虫ワーキングチーム

本日本話すること

1. 昆虫のフード&フィードビジネスの現状

2. 昆虫ビジネス実現に向けての課題

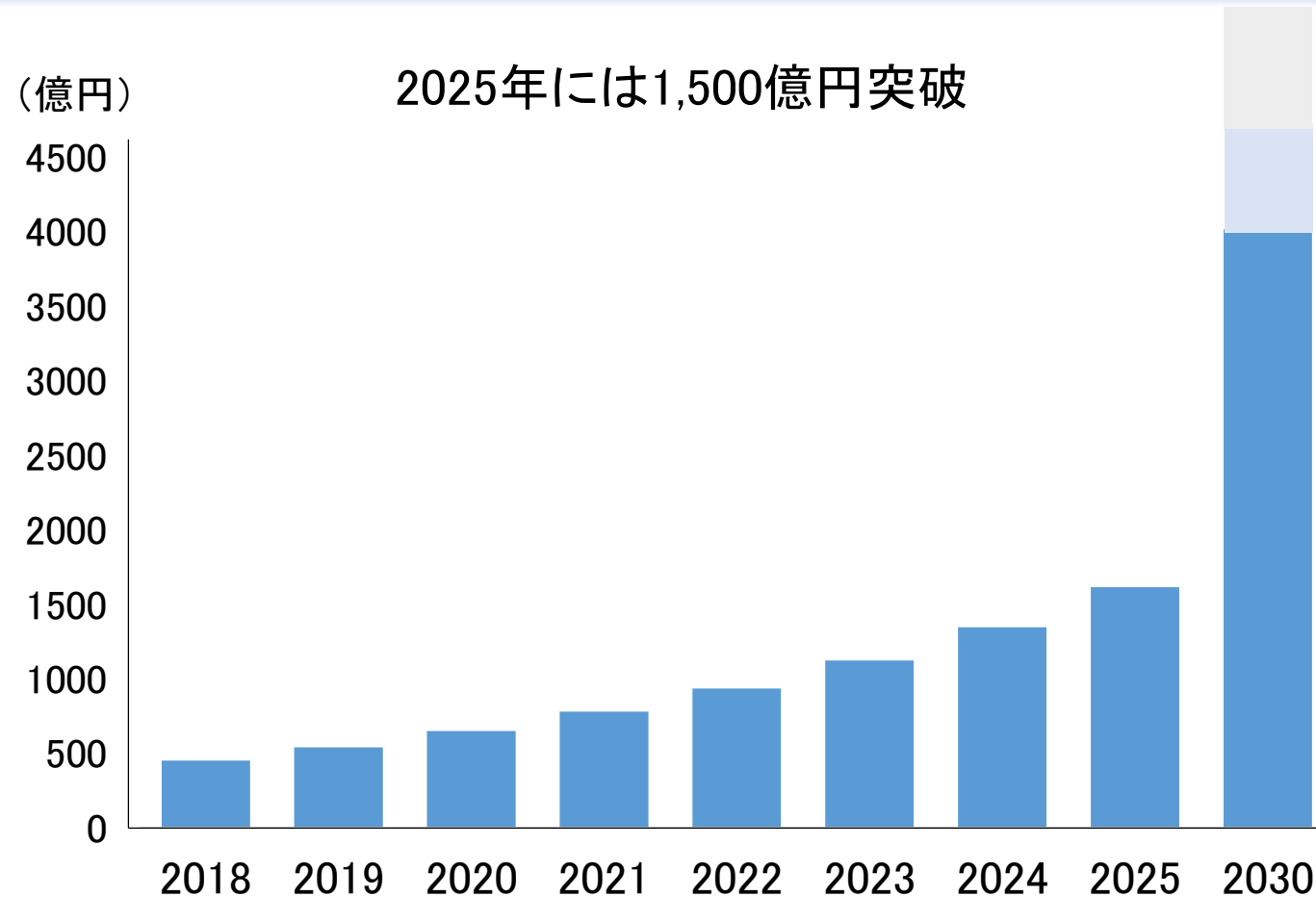
3. 課題克服に向けた取組

昆虫ビジネス研究開発プラットフォーム(昆虫BPF)

フードテック官民協議会昆虫ワーキングチーム(昆虫WT)

昆虫のフード&フィードビジネスの現状

急成長する昆虫市場



<https://www.trustedbusinessinsights.com/details/global-insect-protein-trends-2020-to-2029>
Edible Insects Market Size, Industry Growth Analysis Report, 2025から藤谷が試算グラフ作成

スタートアップが続々起業

～2010

『Enterra Feed(カナダ)2007』、『AgriProtein(南アフリカ)2008』、『Protix(オランダ)2009』

～2014

『Ynsect(フランス)2011』、『All Things Bugs(アメリカ)2011』、『Aspire Food(アメリカ)2013』
『ENTOCUBE(フィンランド)2014』、『Hargol FoodTech(イスラエル)2014』

2015～

『Nutrition Technologies(マレーシア)2015』、『Innova Feed(フランス)2016』
『The Cricket Lab(タイ)2017』
etc.

『ECOLOGGIE』、『エリー』、『グリラス』、『TAKEO』、
『BugMo』、『FUTURENAUT』、『ムスカ』 etc.

海外の主要な昆虫企業

エンテラフィード
アグリプロテイン
プロティクス
インセクト
イノバフィード
エントフード
エントモ ファームズ
イントレキソン
ヘキサフライ
ハイプロミン
ミールフードヨーロッパ
プロティファーム

International Platform of Insects for Food and Feed

エンテラフィード *

アグリプロテイン

プロティクス *

インセクト *

* IPIFFメンバー

イノバフィード *

エントフード *

エントモ ファームズ *

イントレキソン

ヘキサフライ *

ハイプロミン *

ミールフードヨーロッパ *

プロティファーム *

IPIFF (International Platform of Insects for Food and Feed)

昆虫生産関係者のEUに拠点を置く非営利団体

IPIFFは79(R3.8.26現在)のメンバーで構成、EUの昆虫政策立案、
ヒトの食品、動物飼料の供給源としての昆虫由来製品の使用を促進

<https://ipiff.org/>

昆虫フード＆フィードビジネスの扉が開く

規制緩和

2021年1月13日、欧州食品安全機関(EFSA)が、乾燥イエローミールワームに「安全」宣言

8月17日、ヨーロッパ・イエコオロギ冷凍、乾燥調合品の「安全」公表

移行措置としてECによる各商品の認可・不認可の決定まで、EU域内で販売継続可能

投資、M&A活発化

2021年4月、フランス企業インセクトが、オランダのプロティファームを買収、一気に事業拡大

2021年稼働予定、Archer Daniels Midland Co.はInnova Feedと共同で、米国イリノイ州に巨大施設＊
(アメリカミズアブタンパク質6万トン、油2万トン、肥料40万トン生産能力)

* <https://www.world-grain.com/articles/>

昆虫由来の商品は、2030年には26万トンにまで急増(予測)

昆虫ビジネス実現に向けての課題

昆虫フィード&フードビジネス成立への要件

昆虫を新たなタンパク質源として認知

高品質に大量生産できる飼養管理／狩猟ではなく、農業として昆虫生産
あらゆる食文化に受け込みやすい食品加工技術

FAO(国際連合食糧農業機関)が昆虫の生産と消費に関連する食品安全上影響分析文書を公表

<http://www.fao.org/documents/card/en/c/cb4094en>

生物的(バクテリア、ウイルス、菌類、寄生虫)、化学的(マイコトキシン、農薬、重金属、抗菌剤)及び物理的なものが、
食用昆虫における食品安全の危機要因となりうる

環境(制度)整備

昆虫製品、製造法における安全保証や品質保持期限等の基準を整備

資金確保

法整備による投資拡大
資金増加による技術革新

昆虫生産供給の安定

技術革新

コスト、品質、供給量

サプライチェーン構築

飼育原料、製品販売網

生産管理の標準化、平準化

基本の生産工程共有

昆虫利用への社会受容性の向上

昆虫の食品・飼料としての規格制定

ガイドライン、レギュラトリーサイエンス

普及戦略

グロテスクなイメージを払拭するため、加工商品化・原料化して提供

昆虫利用の法整備

ベルギー

2013年、「昆虫食認可」の条例を発効

フィンランド

2018年、食品安全局(EVIRA)が養殖された6種の昆虫を食用として製造・販売することを認可
オランダ、ベルギー、オーストリア、英国、スイスから食用として輸入可

EU

2018年、EUで昆虫食／ノベルフードに関する新規則(Regulation(EU)2015/2283)が施行
2021年、PAFF Committeeが、乾燥イエロー・ミールワーム原料食品の販売に関する実施規則案を承認

タイ

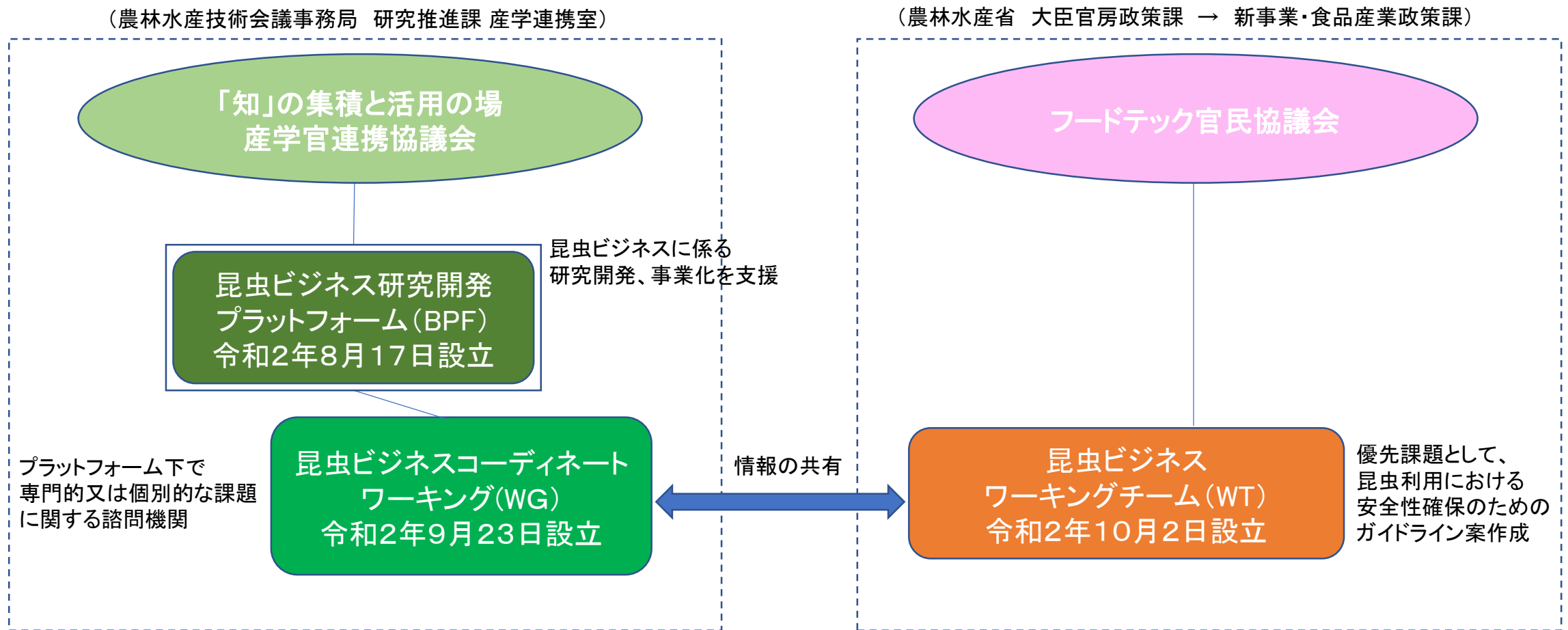
2017年、農業協同組合省農産・食品規格基準局(ACFS)がGOOD AGRICULTURAL PRACTICES FOR CRICKET FARM(ガイドライン)を制定※ACFSは、2002年にタイの食品安全システムと体制を強化・国際レベルに牽引する局

韓国

2019年、昆虫を畜産法(基本的法規)で家畜と認定、畜産業として取得税と地方税等の減免措置対象に

課題克服に向けた取り組み 昆虫BPF及び昆虫WT

昆虫フード&フィードビジネス推進支援体制



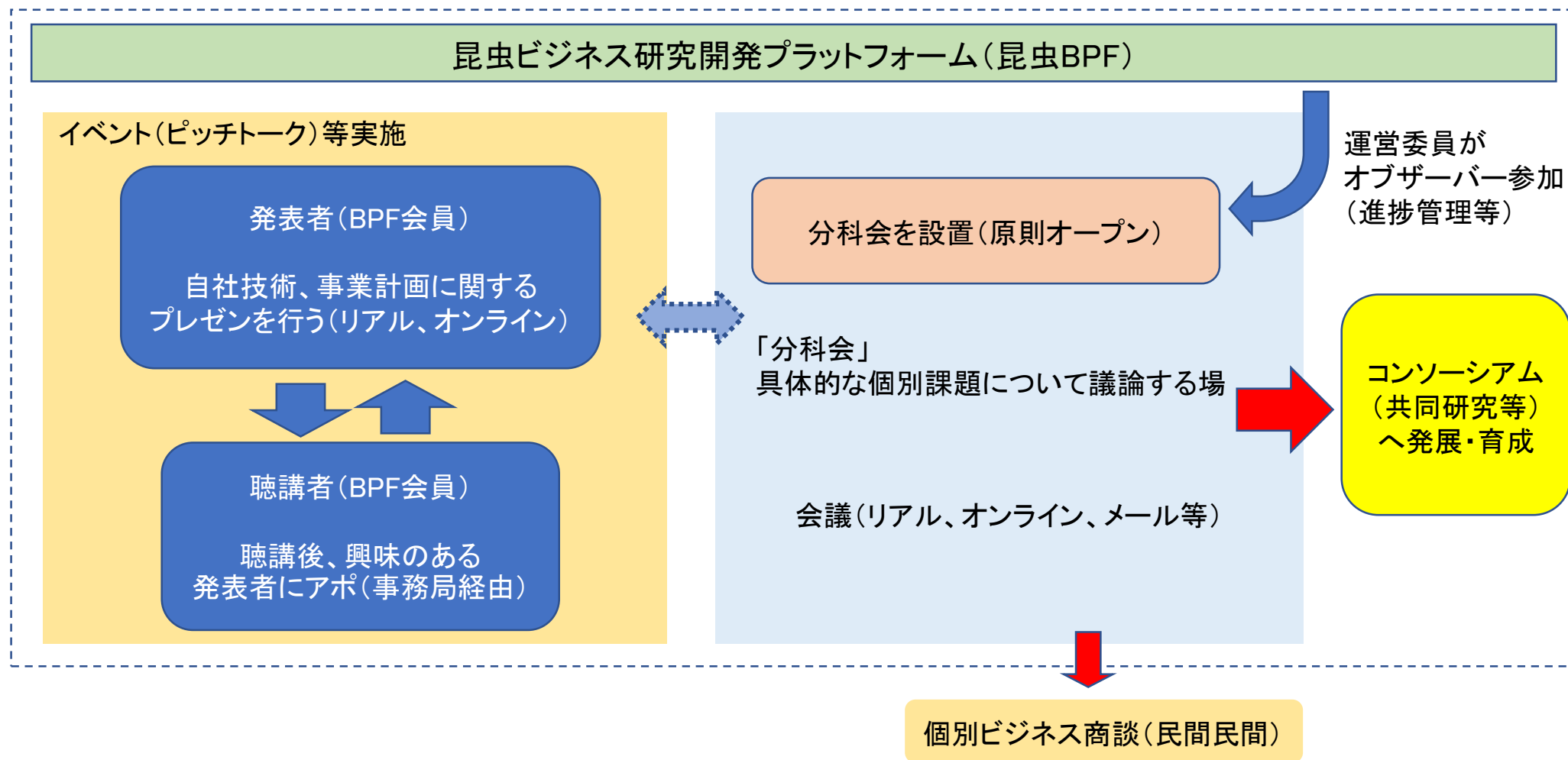
昆虫BPFと昆虫WT

昆虫を利用した飼料生産、食料生産等国内外の情報収集
持続可能な昆虫ビジネスを実現(普及)
昆虫の社会受容性を向上する情報発信とルール作り

昆虫ビジネス成功には持続性、多様性、透明性がカギ

技術や供給体制の整備、ルール作り等は1社では成立しない
サプライチェーンの多くのプレイヤーが必要
持続可能で広がり信用ある市場形成ためには、メンバーの連携と協力が重要

オープンインベーションで仲間作り



昆虫ビジネスのリスク

個別昆虫事業者が好ましくない事例を生じた場合に、昆虫業全てが同類扱いに
個別で技術開発しても、法令などで規制対象となった場合には、一から見直しに
早急に、日本版昆虫生産規範を作成しないと、先行する海外版がスタンダードに

畜産エコフィードガイドラインを参考

食品残さ等利用飼料の安全性確保のためのガイドライン

－ 附「Q & A」、「解説」－

平成 21 年 5 月

全国食品残さ飼料化行動会議
農林水産省 消費・安全局 畜水産安全管理課
農林水産省 生産局 畜産部 畜産振興課
社団法人 配合飼料供給安定機構

第1 目的

第2 定義

第3 原料収集、製造等に関する基本的な指針

第4 製造等管理体制

第5 農家／工場における製造、保管及び使用

第6 配合飼料工場における利用

別紙1

...

..

https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/pdf/ecofeed_guide_lines.pdf

令和2年12月1日 加熱処理等に係る規制見直し

IPIFFガイドラインを意識



Substrates			Insect production	Target species			
✓	Vegetal-origin substrates, fishmeal, blood products from non-ruminants, di and tricalcium phosphate of animal origin, hydrolysed proteins from non-ruminants, hydrolysed proteins from hides and skins of ruminants, gelatine and collagen from non-ruminants, eggs and egg products, milk, milk based products, milk-derived products and colostrum, honey, rendered fats.	Regulation (EU) No 142/2011; Annex XIV Chapter 1 Section 2, 5b			Processed animal proteins	Insect fats and hydrolysed proteins	Live
				Pets and fur animals	✓	✓	✓
				Aquaculture	✓	✓	✓
				Poultry	✗	✓	✓
			Pigs	✗	✓	✓	
✓	Unprocessed former food stuff: milk, eggs and their derived products, honey, rendered fats, collagen, gelatine;	Regulation (EC) No 142/2011; Annex X, chapter 2, section 10	 				
✗	Unprocessed former food stuff meat and fish	Regulation (EC) No 142/2011; Annex X, chapter 2, section 10		Authorised list of insect species which are authorised for the production of processed animal proteins (for pet food and aquaculture animals)			
✗	Catering waste	Regulation (EC) No 1069/2009, article 11 (b)		No restriction as to the insect species			
✗	Animal manure	Regulation (EC) No 767/2009, Annex III chapter 1 (f)		REGULATION (EU) 2017/1017 on the catalogue of feed materials covers: Entry 9.2.1 for 'insect fat' Entry 9.6.1 for 'hydrolysed proteins of insects' Entry 9.16.1 for 'terrestrial invertebrates live' Entry 9.16.2 for 'terrestrial invertebrates, dead'			

<https://ipiff.org/>

昆虫生産規範(ガイドライン)整備

既存の法令を基本に日本版昆虫用ガイドライン案

昆虫を養殖するための餌(原料)

製品の規格(品質基準)

生産の工程管理(製造、流通、販売)

管理体制(検査機関、監督機関)

規制の効力と罰則(法制化) etc.

科学的根拠を担保(レギュラトリーサイエンス)

国際基準との調和も視野

個々バラバラでのリスク回避と昆虫利用先進国の強みを活かすには、
科学技術根拠、法制化感覚、倫理観を共有して一体感を持ったルール作りが必要

国との協働

既存の法令を基本に日本版昆虫用ガイドライン案

昆虫を養殖するための餌(原料)

製品の規格(品質基準)

生産の工程管理(製造、流通、販売)

管理体制(検査機関、監督機関)

規制の効力と罰則(法制化) etc.

科学的根拠を担保(レギュラトリーサイエンス)

国際基準との調和も視野

認証制度

(WHO、WHAT、HOW)

予算措置

世界の飢餓状況



https://ja.wfp.org/hunger_map

ご清聴ありがとうございました