

The cover features a diagonal split design. The upper-left portion is white, while the lower-right portion is a photograph of golden wheat stalks against a clear blue sky. The design is framed by large, overlapping geometric shapes in blue, yellow, and green.

2023 成果報告書

農林水産省 農林水産技術会議事務局
研究開発動向等調査委託事業
(海外・異分野動向調査)

令和6年3月

デロイト トーマツ コンサルティング 合同会社

目次①

研究開発動向	4	AIと多重ゲノム編集ツールを活用した育種プラットフォーム	39
プラズマ技術を用いた低環境負荷の窒素固定技術	5	ゲノム編集技術を活用した高機能農作物の生産	40
水素細菌を活用した土壌内での窒素固定化	7	金属有機構造体（MOF）の活用によるアンモニアリサイクル技術の開発	42
バイオエタノールからのSAF製造	8	画像解析の高度化による高速フェノタイピング技術	43
エタノールを原料とするATJ技術によるSAF製造	12	アメリカミズアブを用いた代替タンパク生産（養殖飼料）	44
遺伝子組換え技術を適用した微細藻類によるバイオ燃料製造	15	リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム	45
Asparagopsis（通称カギケノリ）を原料とした飼料添加物の開発	18	クラウド型営農支援サービス「天晴れ」	52
赤外光を活用する透明太陽電池の開発	20	光学衛星群にて取得する高解像度画像を活用した、より精緻な圃場情報の提供	55
細胞及び合成生物学的手法の設計・製造プラットフォームによるバイオファウンドリの展開	21	無償公開の衛星データを用いた天候に依存しない圃場モニタリング	57
日本初の統合型バイオファウンドリ	24	過酷環境下での農作物の栽培を想定した植物工場システムの開発	59
マイクロペプチドを用いた作物の成長促進及び保護用資材の開発	27	密閉型栽培装置を活用した人工光型植物工場	60
環境ストレスへの耐性向上や生育促進に資するバイオスティミュラント製品の開発及び販売	28	草地環境下にて雑草検出かつ自動走行する除草ロボットの開発	62
大規模言語モデルを活用した「惠农AI」の開発	34	レーザーを活用した除草機器を搭載する自動運転車両の開発	63
ゲノム情報を活用したAIプラットフォームによる非遺伝子組換え食品の開発	37	植物による医薬品用タンパク質の生産	65
		半数体誘導を用いたゲノム編集技術	67
		ゲノム情報を利用した有用物質生産	70

目次②

研究開発環境・スタートアップ支援	80
イノベーション・エコシステムの核を担うスタートアップ支援機関や研究機関 （オーストラリア：ビクトリア州）	81
研究都市としての環境を活用した政府機関との連携 （米国：メリーランド大学）	84
公益有限会社という形態を活用した外部連携体制の構築 （ドイツ：ドイツバイオマス研究センター）	87
イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関 （オランダ：ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）	91
イノベーション・エコシステム形成（イスラエル）	98
技術戦略分析	114
①SAF	116
②バイオスティミュラント	136
③人工衛星等による生育観測	153
④ゲノミックセレクション	167

研究開発動向

プラズマ技術を用いた低環境負荷の窒素固定技術（オランダ・VitalFluid社）

- 従来アンモニアを原料として製造する硝酸を、プラズマ技術により即時に空気中の窒素を水に溶解させることで生成可能
- 本装置で生成された硝酸とカルシウムやカリウムを混合することで液体肥料を製造可能であり、従来の肥料と同等の収量が確保可能であることを実証済

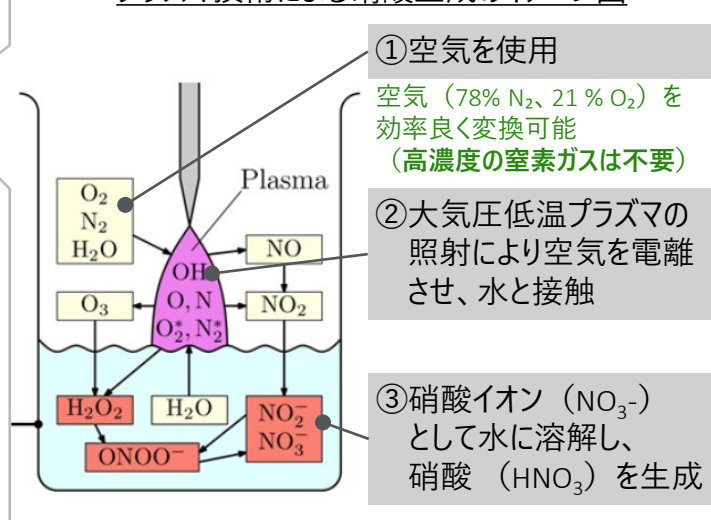
窒素固定モジュール 「Freya Natural Nitrogen system」



空気と水から
硝酸を生成

- ・生成する硝酸のpH：3¹⁾
- ・消費電力量：15 kW
- ・硝酸塩の生成量：1.3 kg/時間
- ・15kW級モジュールの寸法：
2 x 1.2 x 2.1 m（幅 x 奥行 x 高さ）

プラズマ技術による硝酸生成のイメージ図



- ・生成する硝酸水の濃度は約300mmol/Lであり、通常10～15mmol/Lに希釈
- ・硝酸とカルシウム等を混合し、**硝酸カルシウムや硝酸カリウムを含む液肥**として点滴灌漑に利用
- ・電源があれば、圃場に近い拠点にて窒素肥料の生産が可能

点滴灌漑における実証の様子



▲垂直農法によるレタス栽培



▲温室におけるキュウリの栽培
（左：VitalFluid社の液肥による栽培
右：USDA有機基準に基づく栽培）

1) 灌漑用水は炭酸水素塩を多く含み、アルカリ性となることが多いことから、その中和に用いることを想定してpH値を設定

普及状況等

- ・15kW級モジュールの導入コストは15万€（設置コストを含む）
- ・現在、オランダにおけるトマト・キュウリの栽培や米国でのレタス栽培等で使用実績あり（なお、他にもスペイン、モロッコにて展開）
- ・本モジュールで生成された肥料を用いて生産された作物について、食品安全性のリスク評価を実施中

開発企業・研究機関の情報等

VitalFluid社

- ・2014年設立
- ・EUの研究開発プログラムHorizon 2020の助成を受けて開発（2018年9月～2021年12月）
- ・ワーヘニンゲン大学の園芸用試験設備やフェンロにあるBrightBox社の垂直農業施設にてトマト栽培やレタス栽培による実証を実施

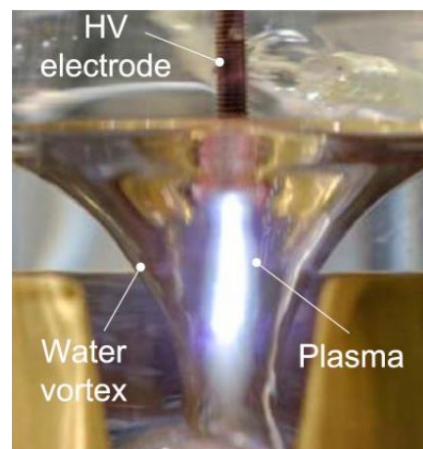
出典：CORDIS “Nitrogen-enriched plasma activated water, an unparalleled plant feeding system” <https://cordis.europa.eu/project/id/836896>、Wageningen University & Research and Innovation and Demo Center Water “Plasma Activated Water in USDA-organic fertilization”（2021年8月）[https://vitalfluid.com/wp-content/uploads/2022/03/Newsletter-1-VitalFluid-in-USDA-](https://vitalfluid.com/wp-content/uploads/2022/03/Newsletter-1-VitalFluid-in-USDA-organic-tomato-cultivation.pdf)

プラズマ技術を用いた低環境負荷の窒素固定技術（オランダ・VitalFluid社）【補足】

- 大気圧低温プラズマによる硝酸生成が比較的容易であることを踏まえ、近年農業分野を含め応用先が拡大
- 本技術により生成される硝酸を原料とする液体肥料は、従来の肥料と同等の性能を有することを確認

1 プラズマ技術による硝酸生成の概要と応用例

- 水に大気圧低温プラズマ¹⁾を照射することで、空気中の窒素から硝酸イオン (NO_3^-) 及び亜硝酸イオン (NO_2^-) を生成し、水中で硝酸を生成
- 2000年頃以降、大気圧低温プラズマの生成が比較的容易になった背景を受け、応用例が拡大



▲水への大気圧低温プラズマの照射

1) 真空や高温等の特殊な環境下で生成されるプラズマに対して、大気圧下で低温に生成するプラズマのこと。放電電流を短時間で断つことにより、ガス温度を低くすることができる

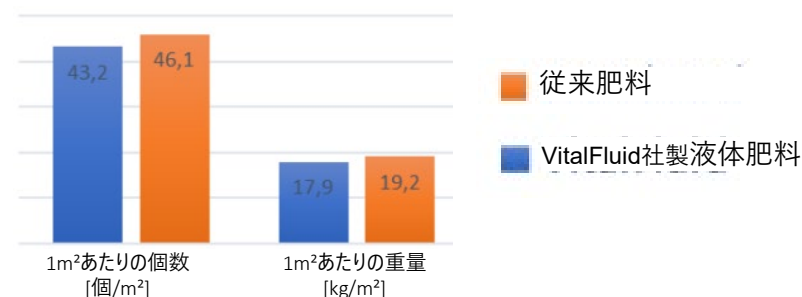
農業における大気圧低温プラズマの利用方法例

- スマート農業施設や陸上養殖施設の殺菌、種子や苗への照射による成長促進といった活用方法を想定

2 本技術を活用した液体肥料の効果

作物収量の担保

- USDA（米国農務省）が定める有機栽培基準に基づき、キュウリの圃場に同社製の液体肥料＜硝酸カルシウム＞と従来肥料をそれぞれ施用した結果、同等の収量レベルを実現
- なお、ユニット1つあたりの使用可能面積は1ha程度



給水管の目詰まり防止

- 井戸水や灌漑用水には、高濃度な炭酸水素塩が含まれるため、塩沈殿物を形成し給水管内を塞ぎやすいが、液体中の硝酸により中和・分解が可能

今後の 開発上の 課題

- モジュールの大量生産及びそれに伴う導入コストの更なる低減
- モジュールの更なる小型化・軽量化
- 露地栽培への適用に向けた設備の改良

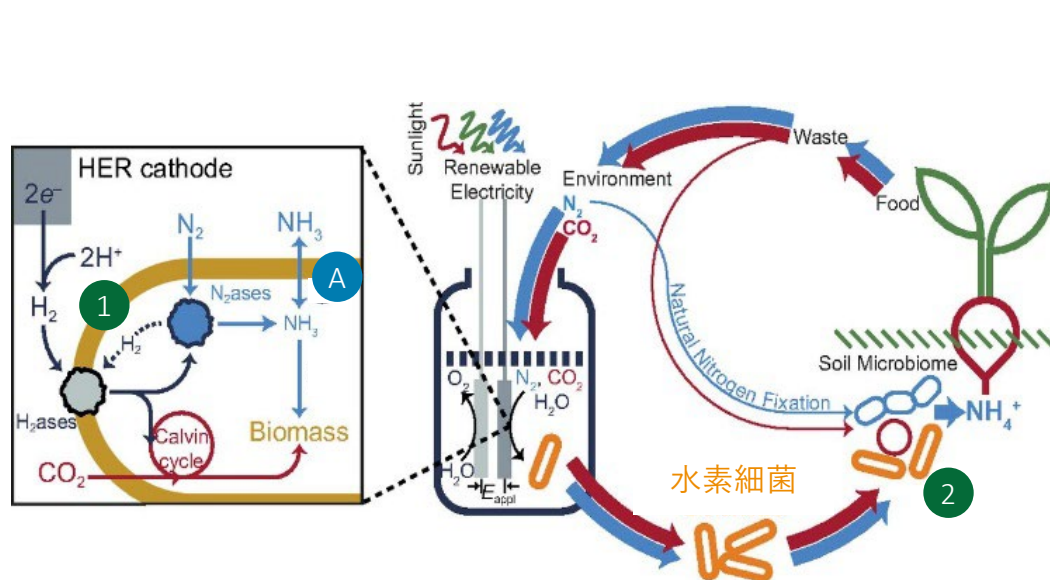
関連する 技術事例

- 東北大学金子教授を研究代表者とする研究グループがプラズマ技術により生成した N_2O_5 ガスを植物に処理し、植物免疫が活性化した実証例を2022年6月に報告

出典：VitalFluid社“Cucumber Cultivation USDA Organic” <https://vitalfluid.com/wp-content/uploads/2022/03/Project-19-24-External-Cucumber-cultivation-USDA-organic.pdf>等より作成

水素細菌を活用した土壌内での窒素固定化（米国・Kula Bio社）

- 水素細菌（Hydrogen-oxidizing bacteria）に対し、バイオリクター内で電気分解由来の水素及び大気中の窒素、エネルギー源となる炭素を供給し、土壌改善剤としての機能を強化することで作物の収量が増加
- 阻害剤を添加することで、アンモニア生成源としての利用も可能



土壌改善
剤としての
利用

- 1 独自のバイオリクター内で、電気分解由来の水素及び炭素源等を供給し、水素細菌の機能を増強（空気中の窒素を取り込み、細胞内でアンモニア（ NH_3 ）を生成し、同時にカルビンサイクルにより炭素源を細胞内に貯蔵）

土壌等に水素細菌を投入※

- 2 水素細菌に貯蔵された NH_3 及び NH_4^+ の放出と、土壌中の細菌との相互作用により窒素固定を促し、土壌を改善することで、収量増加等へ貢献

NH_3 生成
源としての
利用

- A 阻害剤（ホスフィトリシン）の添加により、 NH_3 からグルタミン酸への生成反応を抑制することで、水素細菌は細胞外に過剰となったアンモニアを放出するように変化

※栄養枯渇条件下で水素細菌の生存数は7日間で半減するため、一定の頻度で水素細菌を投入する必要があることが確認されている

水素細菌
とは

- 水素をエネルギー源、 CO_2 を炭素源として生育する細菌
- 本技術で用いられる水素細菌（生物種名：Xanthobacter autotrophicus）は好気性微生物の一種

普及状況
等

- カリフォルニア州とアリゾナ州にプラントを設立し、大規模な実証を計画中だが、2024年2月末時点で製品化状況は未確認

開発企業・
研究機関
の情報等

Kula Bio社

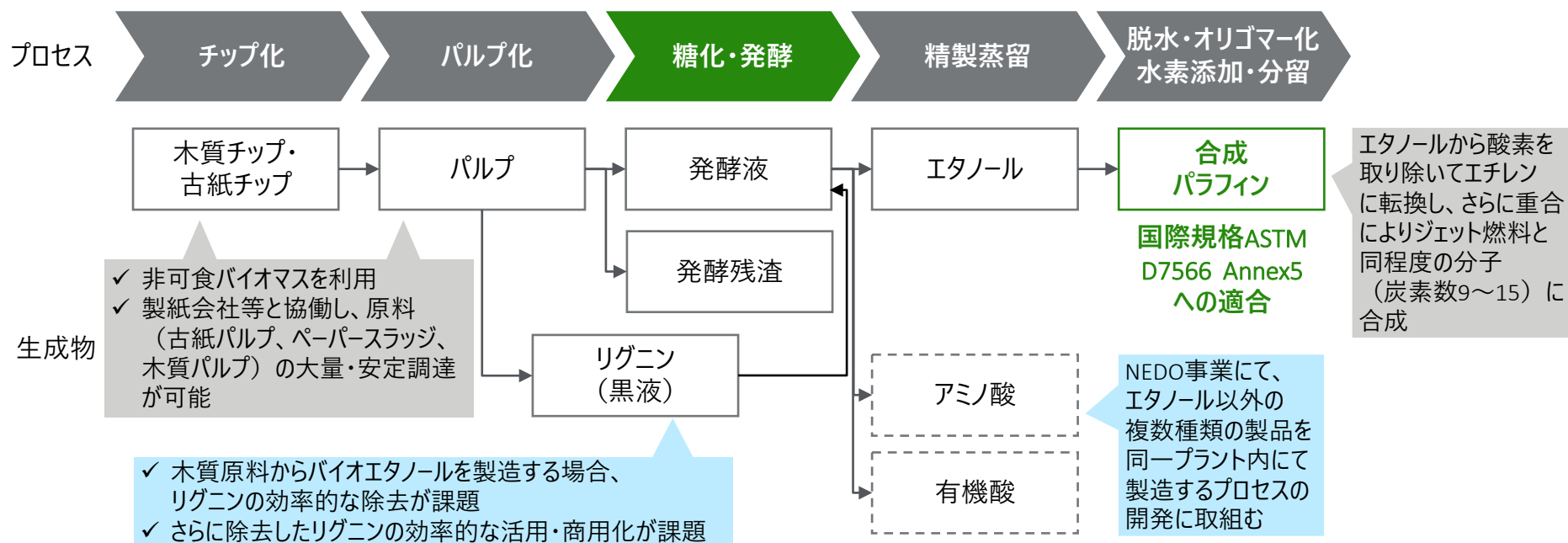
- 2018年設立
- ハーバード大学発のスタートアップ（同大学のDaniel Nocera教授が技術顧問）
- 2021年5月に米国VCより5,000万米ドルの資金を調達

出典：Chong Liu et al. "Ambient nitrogen reduction cycle using a hybrid inorganic-biological system" *The Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (25) 6450-6455 (2017)
https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1706371114?url_ver=Z39.88-2003&rft_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rft_dat=cr_pub++0pubmed等より作成

バイオエタノールからのSAF製造（日本・Green Earth Institute社）

- 国内で安定供給可能な木質バイオマスを原料としてエタノール及び高付加価値のアミノ酸・有機酸の同時製造を目指す
- そのエタノールを原料としてジェット燃料を製造するための技術開発が現在進められている

木質バイオマスを原料としたSAF（Sustainable Aviation Fuel）の製造プロセス（ATJ：Alcohol To Jet）



普及状況等

- ・ GEI社は、日本製紙、住友商事と協働し、日本製紙の工場内で、年産数万キロリットルの国産材由来のバイオエタノールを2027年度に製造開始予定

開発企業・研究機関の情報等

Green Earth Institute社

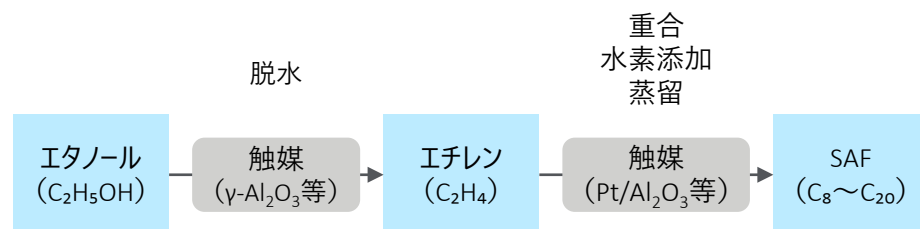
- ・ 2011年設立
- ・ 地球環境産業技術研究機構（RITE）発のベンチャー企業
- ・ 「RITE Bioprocess®」によるアミノ酸等のバイオ化学品やバイオ燃料の事業化に取り組む

バイオエタノールからのSAF製造（日本・Green Earth Institute社）【補足①】

- ATJとは、エタノール等のアルコールを原材料としてSAFを製造する技術
- 現在主流となっているSAF製造技術は植物油や動物油等の水素化処理（HEFA）であるものの、原材料調達の制約を鑑みると、長期的にはATJが主流となる可能性も存在

1 ATJの概要

- 木質バイオマス等を原料に、糖化発酵にエタノール等のアルコールを生産
- 生産したアルコールに対し触媒を用いることで、エチレン等に転換した後、それらを重合することでSAFを製造
- 糖化発酵技術自体は既に実用化しており、SAFへの変換技術（例：エタノールからエチレンへの転換）も、既存の化学工業で実用化済の技術であることから、社会実装の確度が高いSAF製造手法として期待



今後の開発上の課題 (ATJ)

- エタノール等の製造技術及びSAFへの変換技術の低コスト化
- エタノールからSAFへと変換する際の収率向上を可能とするSAF製造プラントの設計や触媒の開発・運用技術等の確立

2 ASTM D7566規格の概要

- SAF燃料の製造方法及び原料に係る国際規格である「ASTM D7566」では、7種類のAnnexを策定
- 上記規格の中で、社会実装段階に至っている規格は、Annex2 (HEFA) 及びAnnex5 (ATJ) の2種類のみ

規格	製造技術	原料	原料例
Annex1	Fischer-Tropsch 法により精製される合成パラフィンケロシン（ガス化FT）	有機物全般	都市廃棄物、木質セルロース
Annex2	植物油等の水素処理により精製される合成パラフィンケロシン（HEFA）	生物系油脂	大豆、パーム
Annex3	発酵水素化処理糖類由来のイソ・パラフィン(SIP)	バイオマス糖	サトウキビ
Annex4	非化石資源由来の芳香族をアルキル化した合成ケロシン(SPK/A)	有機物全般	都市廃棄物、木質セルロース
Annex5	アルコール・ジェット由来の合成パラフィンケロシン(ATJ)	バイオマス糖 紙ごみ	サトウキビ、トウモロコシ
Annex6	Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ)	生物系油脂	廃食油
Annex7	Hydrocarbon-HEFA (HC-HEFA)	微細藻類	ボツリオコッカス

現在最も活用されている規格はAnnex2（HEFA）であるものの、**原材料である生物系油脂に限りがあるため、長期的にはAnnex5（ATJ）が主流となる見込み**

出典：資源エネルギー庁「CO₂等を用いた燃料製造技術開発プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」（令和3年10月）

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/007_02_00.pdf等より作成

バイオエタノールからのSAF製造（日本・Green Earth Institute社）【補足②】

- 日本航空社と連携の上、古着を原料としてATJによりSAFを製造し、商用フライトでの活用を実現
- RITE Bioprocess®（増殖非依存型バイオプロセス）の活用により、糖をアルコールに変換する酵素の製造コストを従来の1/10程度に抑えることが可能であり、通常の化学プロセスと同等以上の高生産性を実現

3 ATJ技術に係る取組状況

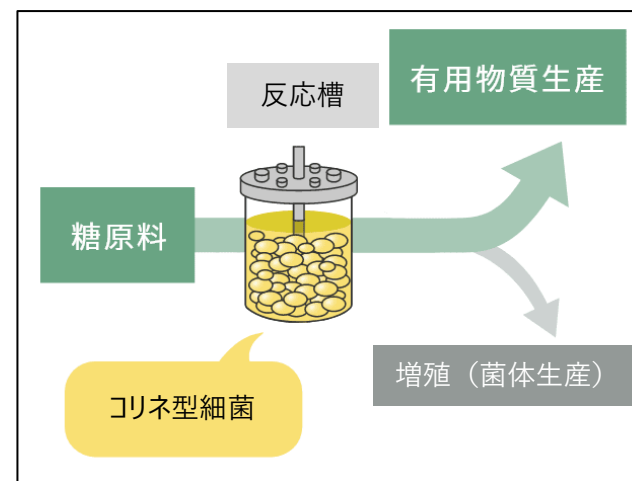
- ・ 日本航空社や公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）と共同で、古着約25万着を原料としたSAF製造を実施
- ・ 製造したSAFは、令和2年3月に国際規格「ASTM D7566」のAnnex5に合格し、令和3年2月には、国産バイオジェット燃料として、初の商用フライト（東京－福岡間）を実現

古着からSAFの製造フロー

- 1 古着（綿製品）中のセルロースをアルカリ処理し、糖化酵素により糖に変換
- 2 コリネ型細菌を活用するRITE Bioprocess®により、糖をイソブタノールに変換
- 3 複数の蒸留装置を用いて、99%以上の純度のイソブタノールに濃縮
- 4 触媒を用いて、イソブタノールから脱水を経てC8、12、16 オレフィンを製造（オリゴマー化）
- 5 水素を用いて、オレフィンを不安定な二重結合のないパラフィンに変換
- 6 ジェット燃料の沸点範囲規格を満たすように、蒸留装置で分留して沸点範囲を調整
- 7 ジェット燃料の保管・輸送時の酸化劣化を防ぐため、規定量の酸化防止剤を添加

出典：Green Earth Institute社「古着から製造した国産バイオジェット燃料を搭載した初フライトが実現」（令和3年1月）https://gei.co.jp/ja/img/newsrelease/news_20210128.pdf等より作成

RITE Bioprocess®の概要



有用物質生産の流れ

- ・ 有用物質を効率的に生産できるよう、C5糖輸送体遺伝子を導入したコリネ型細菌を大量に培養し、反応槽内に高密度で充填
⇒ 上記により、セルロース系バイオマスに含まれるC5糖とC6糖を同時に利用することが可能
- ・ 嫌気的な条件や、増殖に必須な因子を削除することにより、細胞分裂を停止させた状態で、原料となる糖を投入
- ・ 細胞分裂に必要な栄養や大きなエネルギーが不要となることから、原料となる糖は目的物質の生産のみに活用

バイオエタノールからのSAF製造（日本・Green Earth Institute社）【補足③】

- 木質バイオマスからのエタノール製造時に発生する副生成物の一つであるリグニンについては、エタノール製造における発酵及び蒸留工程にて、熱エネルギー源として活用する見込み

4 副生成物であるリグニンの活用方法

原料	主成分	用途	備考
木質 バイオマス	セルロース	• バイオプラスチック • SAF • 食品 • バイオゴム 等の原料	-
	ヘミセルロース		
	<u>リグニン</u>	• 化学プロセスにおける熱エネルギー源	• 紙への需要量低下に伴い、今後は<u>エタノールの製造プロセス</u>（特に<u>発酵、蒸留工程</u>）において必要となる熱エネルギー源として、リグニンが活用される見込み • 理論上、エタノールの製造プロセスで<u>必要な熱エネルギーを100%賄うことが可能</u>

リグニンの有効活用に向けた開発企業の他の取組

- GEI社は、令和5年11月に住友林業社と木質バイオマスを原料としたバイオリファイナリー事業の推進に向けて業務・資本提携契約を締結
- 直近の取組としては木材の成分分離技術確立し、木材の新たな利用用途を開拓することで、リグニン等を原料とした化学品の商用生産を目指す

関連する技術事例

Lanzajet社：
農業残渣や都市ごみ等を原料としてエタノールを生成し、それらを用いて、ATJによりSAF製造する技術を保有しており、世界各国でSAFの大量製造に向けたプロジェクトを展開

出典：住友林業「木質バイオマス化学品の研究開発に着手～木材の成分分離技術の確立で木のカスケード利用を促進～」(令和5年11月)、Lanzajet社“Airbus and LanzaJet to Collaborate on Sustainable Aviation Fuel Production”(2023年6月)等より作成

エタノールを原料とするATJ技術によるSAF製造（米国・LanzaJet社）

- ATJ技術の一つである「連続触媒プロセス」では、化石燃料からジェット燃料を製造する場合と比較して、温室効果ガス排出量を70%以上削減可能
- 本社が存在する米国ジョージア州では、商用化規模のSAF製造プラントの建設が完了しており、今後世界各国へSAFを供給する体制を整備

LanzaJet社のSAF製造技術の概要

- ・農業廃棄物や都市廃棄物を原料として製造されるエタノールに対し、同社が開発した「連続触媒プロセス」によるATJ技術を活用し、SAF及びディーゼル燃料を製造可能
- ・本技術の主な特徴は以下の通り
 - 様々な原材料（例：農業廃棄物、都市廃棄物）が活用可能
 - 高い変換効率（生成される炭化水素の約9割がSAFとして利用可能）
 - 高いエネルギー密度
 - SAF及びディーゼル燃料の製造比率を調整可能
- ・ATJが対象である「ASTM D7566 Annex5」として、認証取得済み

普及状況
等

- ・世界各国にてSAF製造プラントの建設を予定しており、2030年時点で年間約385万klのSAFを製造する予定

社会実装に向けた最新動向

対象国	プロジェクト概要	SAF製造目標
 米国	世界初の <u>エタノールからSAFを製造するプラント</u> を2024年1月24日に <u>開所済</u>	・ エタノールから年間 <u>約3.4万klのSAF</u> 及び約0.4万klのディーゼル燃料を製造可能
 英国	<u>農業廃棄物や木材残渣をエタノールに変換</u> する技術を持つNova Pangaea Technologies社と共同でSAFを製造	・ <u>年間12万klのSAFを製造</u> 見込み ・ ライフサイクル全体で <u>CO2排出量を年間23万トン削減</u> する見込み
 オーストラリア	クリーンテック企業のJet Zero Australia社と共同で、SAFを製造	・ <u>サトウキビ等の農業副産物から年間最大10万kl</u> のSAFを製造する見込み
 ニュージーランド	ニュージーランド国内の <u>廃棄物を活用してSAFを製造</u>	-
 インド	石油会社であるIndianOil社とSAF製造に向けたパートナーシップ契約を締結	-
 日本	コスモ石油社及び三井物産社と共同で、コスモ石油社の製油所にて、国産SAFの大規模製造を目指す	・ 2027年度までに <u>年間22万klの国産SAFを製造</u> する見込み

開発企業・
研究機関
の情報等

LanzaJet社

- ・ 2020年設立（微生物の発酵技術を使ってエタノールを製造する技術を持つLanzaTech社から、2020年にスピンアウトして設立）
- ・ エタノールを原料とするATJ技術によりSAFを製造する事業を展開
- ・ 2022年には、Microsoft社のInnovation Fund及びBreakthrough Energy Venturesから合わせて1億ドルの資金調達

エタノールを原料とするATJ技術によるSAF製造（米国・LanzaJet社）【補足①】

- 廃棄物やエネルギー作物等の原材料由来のエタノールを活用して、SAFを製造することが可能
- 製造されるSAFとディーゼル燃料の割合は最大 9 : 1 であり、高効率でのSAF製造プロセスを確立

1 ATJによるSAF製造技術の概要

原料となるエタノールの生成方法（図1）

- 産業排ガスやエネルギー作物、都市廃棄物、林業残渣、ランドフィルガス等の多種多様な原材料から製造されるエタノールを活用可能
- 産業排ガスを原材料としてエタノールを生成する場合は、LanzaTech社の一酸化炭素やCO₂、水素を含むガスを微生物により発酵させる技術を活用

SAF製造までのプロセス（図2）

- ① エタノールを脱水し、エチレンを生成（触媒： γ -Al₂O₃）
- ② エチレンをオリゴマー化し、オレフィンに変換（触媒：Ni/SiO₂-Al₂O₃、H-betaゼオライト）
- ③ 水素化によりオレフィンを飽和させパラフィン、イソパラフィンを生成（触媒：Pt/Al₂O₃）
- ④ 目的の製品（SAF、ディーゼル）への分離を経てSAFを製造

LanzaJet社のATJ技術の特徴

- SAFに加えてディーゼル燃料も生成可能であり、その製造比率を調整することも可能
- 本プロセスではSAF：ディーゼル燃料＝9：1の割合で製造可能であり、ガス化FTやHEFAに比べSAFへの変換効率が低い（ガス化FT合成やHEFAでは6：1程度）

図1. 微生物発酵技術の概要

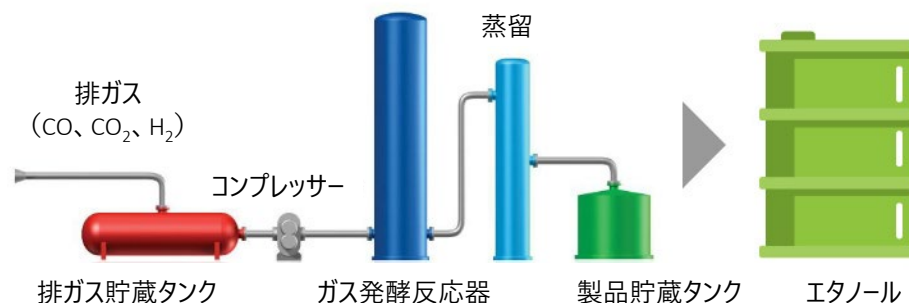
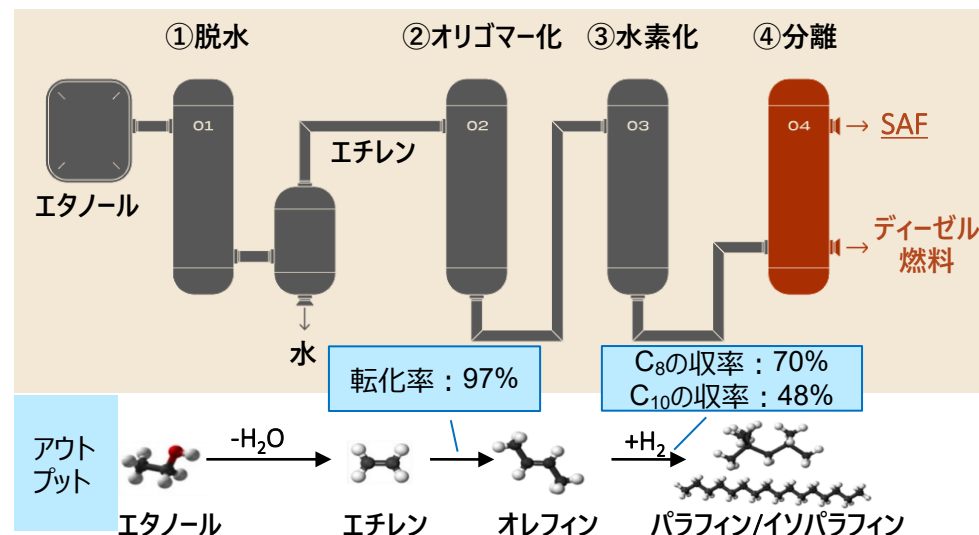


図2. SAF製造の流れ



出典：LanzaJet社 ウェブサイト、三井不動産社 ウェブサイト、IEA “Progress in Commercialization of Biojet/Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies, potential and challenges”（2021年5月）、CORDIS “Fuel via Low Carbon Integrated Technology from Ethanol D7.3 Data management plan”（2021年5月）等より作成

エタノールを原料とするATJ技術によるSAF製造（米国・LanzaJet社）【補足②】

- 欧州委員会が支援する技術開発・実証プロジェクト「FLITE」では、オランダのSkyNRG社が中心となり、都市廃棄物由来エタノールを原料とするSAF製造プラントの建設・実証を実施しており、LanzaJet社はATJ技術（連続触媒プロセス）を提供

2 研究開発中のプロジェクト

プロジェクト名	■ FLITE
プロジェクト期間	■ 2020年12月1日～2024年11月30日
取組主体	■ SkyNRG （オランダのSAF製造会社）
概要	■ 欧州委員会から支援により、欧州初の都市廃棄物由来エタノールを原料とするSAF及びディーゼル燃料の製造プラントを設計、建設、実証 ■ プラントの稼働率は75%以上で、年間約3.8万kLのSAFを製造する見込み
本プロジェクトにおけるLanzaJet社/LanzaTech社の役割	LanzaTech社 ■ SAF製造プラントの設計、建設、運営を担当 LanzaJet社 ■ ATJ技術（連続触媒プロセス）を提供
今後の開発上の課題	・ 現時点で主要な成果は確認できず ・ 製造するアルコール（主にエタノール）の収量や製造性、力価（濃度）の最適化（アルコールの製造時に使用する微生物に遺伝子組換え技術を適用することで実現可能な見込み）

本プロジェクトの狙い	本プロジェクトの目的
 ■ ATJによるSAFの製造効率向上	 ■ SAFの商用化前規模での製造
 ■ ジェット燃料製造における、温室効果ガスの削減	 ■ 社会的、経済的、環境に配慮した手段でのSAFへの移行
 ■ ATJによるSAF製造の経済性向上	 ■ SAFの開発と普及
パートナー企業	
	■ 科学技術分野における応用研究機関であり、物流分野の課題解決に従事
	■ 環境や社会への影響に配慮した原材料の製造等を支援する非営利組織であり、RSB（Round Table for Sustainable Biomass）認証取得に向けて支援
	■ 環境系コンサルティング会社であり、SAF製造におけるLCA評価に従事

出典：CORDIS "Fuel via Low Carbon Integrated Technology from Ethanol" <https://cordis.europa.eu/project/id/857839>等より作成

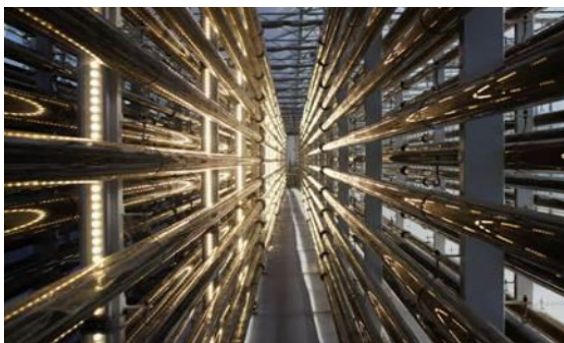
遺伝子組換え技術を適用した微細藻類によるバイオ燃料製造（米国・Phytonix社）

- 水やCO₂、光を原料として、遺伝子組換えのシアノバクテリアを活用しn-ブタノールを合成
- 化学工場等から排出されるガスからCO₂を回収して、n-ブタノールの原料として使用することで、CO₂回収技術としての活用も可能

シアノバクテリアによるn-ブタノールの合成



▲フォトバイオリアクター（屋外）



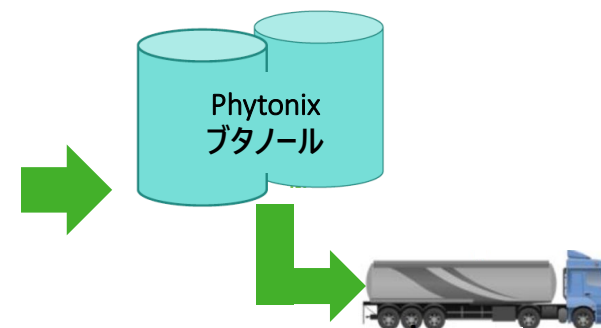
▲フォトバイオリアクター（屋内）

- シアノバクテリア（*Synechocystis* sp. PCC 6803）に対して遺伝子組換え技術を適用し、n-ブタノール（炭素数4の直鎖アルコール）合成の経路を導入及びシアノバクテリアの貯蔵糖生成経路を制御
- 屋内外に設置されるフォトバイオリアクター内にて、光合成によりH₂OやCO₂からn-ブタノールを合成
 - 化学工場やセメント工場、バイオマス発電所等の工場排ガスからCO₂を回収し、光合成に活用
- CO₂1トン当たりのn-ブタノールの合成量は522.4リットル
- n-ブタノールの目標製造価格は0.66米ドル／リットル（既存のn-ブタノールの製造価格は2.18米ドル／リットル）

普及状況等

- ・ 2025年年頭を目途に、遺伝子組換えシアノバクテリアの開発及び屋内の小型フォトバイオリアクターにてパイロット試験を実施予定
- ・ 2025年内に第1段階フォトバイオリアクターの運用を開始予定（ブタノール合成量：～10万L）
- ・ 2026年内に運用規模を拡大予定（ブタノール合成量：～120万L）

ブタノールの回収・精製



- 培地からn-ブタノールを分離・回収
- 純度99%以上のブタノールを精製
- ブタノールの販売価格は2.91米ドル／リットル

開発企業・研究機関の情報等

Phytonix社

- ・ 2017年設立
- ・ 遺伝子組換えによるバイオ燃料製造技術を開発
- ・ 2021年にイノベーション &アントレプレナーシップの国際コンペティションにて最優秀賞を受賞

出典：Phytonix社 “Low-Cost Photosynthetic 1-Butanol Production From Carbon Dioxide Emissions : From Laboratory to Commercialization”（2023年5月）等より作成

遺伝子組換え技術を適用した微細藻類によるバイオ燃料製造（米国・Phytonix社）【補足】

■ シアノバクテリアの遺伝子組換えにより、貯蔵糖生成経路の制御や光合成変換効率の向上等を実現

1 Phytonix社保有の主要遺伝子組換え技術（特許取得済）

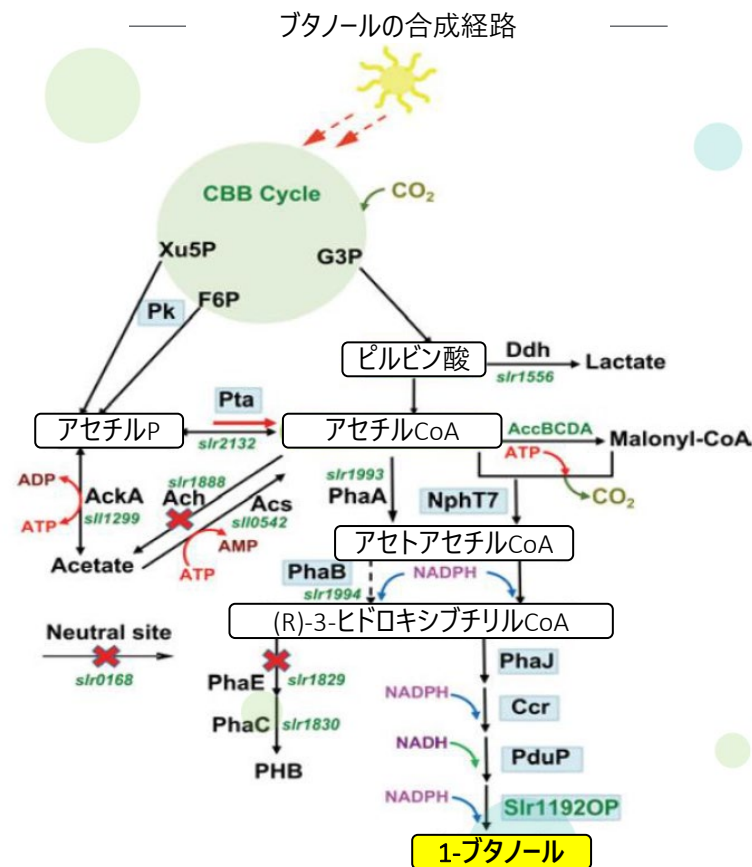
- 遺伝子組換えを行ったシアノバクテリアを活用することで、CO₂からブタノールと酸素を直接合成することが可能

遺伝子組換えにより得られる機能の概要

- シアノバクテリアの栄養分生成／貯蓄経路を制御
⇒グリコーゲン合成を抑制し、ブタノール合成を誘導（詳細は右図）
- ATP¹⁾とNADPH²⁾の還元力を最大化し、光合成変換効率を向上

1)アデノシン三リン酸、植物の光合成等の代謝過程にエネルギーを供給するために使用する化合物

2)酵素の活性を発現させる非タンパク質性の低分子の有機化合物（補酵素）



今後の
開発上の
課題

- ブタノール生産の高効率化による、生産コストの低減

関連する
技術事例

- ちとせ研究所社：
光合成を活用した藻類の生産に取り組んでおり、マレーシア
サラワク州にて世界最大規模（5ha）の藻類生産設備
「CHITOSE Carbon Capture Central」を竣工しており、SAF等の
製造に向けた藻類の長期大規模培養技術の確立を目指している

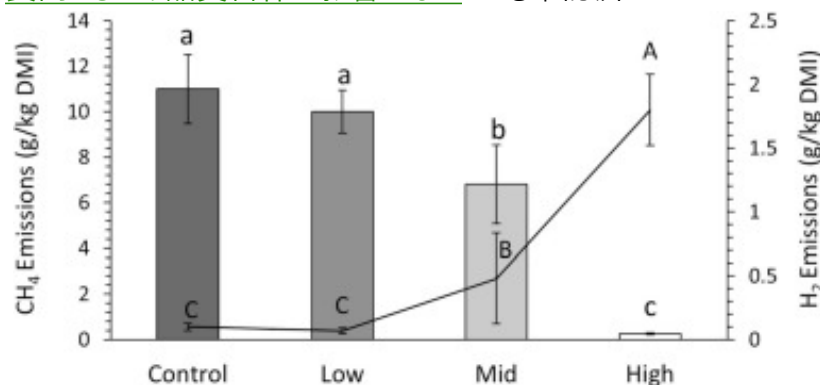
出典：Phytonix社“Low-Cost Photosynthetic 1-Butanol Production From Carbon Dioxide Emissions : From Laboratory to Commercialization”（2023年5月）、ちとせグループ「藻類産業を構築するプロジェクト「MATSURI」を運営するちとせグループ世界最大規模の藻類生産設備の稼働を開始」（令和5年3月）https://chitose-bio.com/wp2019/wp-content/uploads/2023/03/230320_C4press_3.pdf等より作成

Asparagopsis（通称カギケノリ）を原料とした飼料添加物の開発（オーストラリア・Sea Forest社）

- ウシ等の反芻動物に紅藻類の一つである「*Asparagopsis*（通称カギケノリ）」を摂取させることで、腸内におけるメタンガスの生成量を削減可能
- 商業規模での*Asparagopsis*の養殖施設を展開しており、2028年までに年間7,000tの生産能力を確保する見込み

*Asparagopsis*の活用による、反芻動物から発生するメタンの削減効果

- *Asparagopsis*は抗メタン生成特性を有するブロモホルムを多く含み、反芻動物の腸内におけるメタン（CH₄）生成抑制への貢献に期待
- Robert D. Kinley *et al.*（2020）は、牛の飼料に*Asparagopsis*を添加した実験にて、最大98%のメタン排出削減効果を確認
- 実環境でも、肉牛で約80%、乳牛で約40%のメタン削減効果を確認
- 食肉としての品質自体に影響がないことも確認済



▲実験系における*Asparagopsis*添加割合別のメタン排出量（棒グラフ・左軸）

普及状況等

- 飼料添加剤の製造能力は、1時間当たり最大4t
- *Asparagopsis*の生産量については、2028年までに年間7,000tの生産能力を確保することを目標（CO₂換算で、120万t分の削減に相当）
- オーストラリア以外の国においても、「SeaFeed™」の使用開始を予定

当社における資金調達状況及び商業化状況

資金調達状況

- オーストラリア政府が産業成長を目的として設立した非営利組織「The Advanced Manufacturing Growth Centre（AMGC）」より約67万豪ドルの資金を調達（総額約320万豪ドルのプロジェクト）
- 上記資金を活用しながら、*Asparagopsis*の海洋及び陸上養殖を商業規模（栽培面積：約1,800ha）で展開しており、得られた海藻を用いて飼料添加剤「SeaFeed™」を製造

商業化状況

- 「SeaFeed™」の販売価格は、肉牛1頭に対して約1豪ドル／日
- オーストラリア国内のハンバーガーチェーン「Grill'd」は、本飼料添加剤を摂取した肉牛を材料とするハンバーガーを販売
- 民間組織Verraが運営するボランタリークレジット「Verified Carbon Standard」において、クレジット発行に必要な当社製品によるメタン排出削減効果の算定方法論を1件登録済

Sea Forest 社

開発企業・研究機関の情報等

- 2018年設立
- オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）とジェームズクック大学等の開発成果を基に設立されたFutureFeed社が保有する*Asparagopsis*の生産技術に関する特許を活用

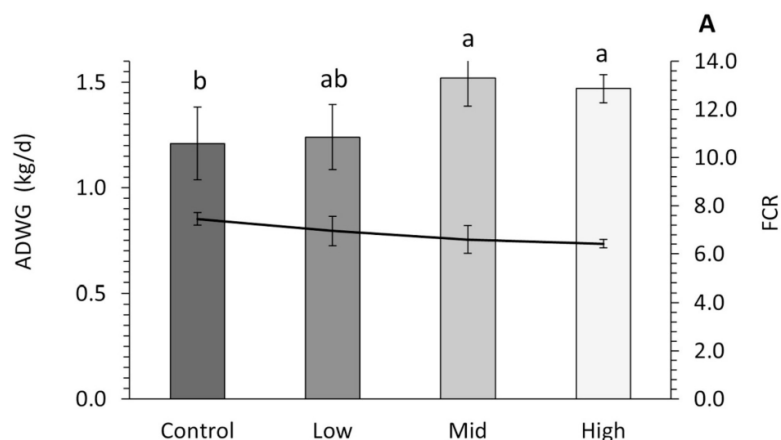
出典：Robert D. Kinley *et al.*（2020）「Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed」Journal of Cleaner Production, Vol. 259
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620308830>等より作成

Asparagopsis（通称カギケノリ）を原料とした飼料添加物の開発（オーストラリア・Sea Forest社）【補足】

- Asparagopsisによりメタン生成が抑制されることで、メタン生成に用いられていたエネルギーが不要となり、代わりに家畜の体重増加を促進する効果も確認されている

1 Asparagopsisの活用によるメタン排出削減以外の効果

- 前頁と同じ論文では、Asparagopsisの含有量が中程度（0.1%）及び高い（0.2%）割合であった飼料を摂取した牛について、一日当たりの平均体重増加量が従来よりも20%以上高いことを確認
- その理由は、腸内でのメタン生成に用いていたエネルギーが、牛の体重増加に振り分けられたためと推測



▲実験系における平均体重増加量（棒グラフ・左軸）

2 Future Feed設立の経緯

～2020年

- CSIRO（オーストラリア連邦科学産業研究機構）とジェームズクック大学、MLA（オーストラリアの肉牛と羊の生産者の出資によって設立された生産者団体）が共同で、海藻（Asparagopsis）による反芻動物でのメタン生成抑制効果を確認

2020年

- 上記の技術の商業化を目的として、CSIRO発のスタートアップ「FutureFeed」を設立
- 同社自体がAsparagopsisを生産するのではなく、知的財産のライセンス供与を実施

2022年

- Sea forest社に対し、Asparagopsis栽培に関するライセンス供与を発表

現在

- Asparagopsisの生産者/加工業者全9社に対し、ライセンス供与を実施中

政府の研究機関における開発成果を基に、Asparagopsisに関する技術の商業化・普及拡大に成功

今後の開発上の課題

- Asparagopsisに含まれるプロモホルム含有量を最大化しつつ、メタン生成抑制効果の最大化及び海藻製品の使用量を最小限に抑えるための技術の開発

関連する技術事例

- CH4 Global社：Asparagopsis armata/taxformisを原料とした飼料添加物の商用販売・供給を実施
- Volta Greentech社：Asparagopsisを原料とした飼料添加材「LOME™」（牛に1日あたり100g与えることで、メタン排出量を最大90%削減可能）を製造・販売

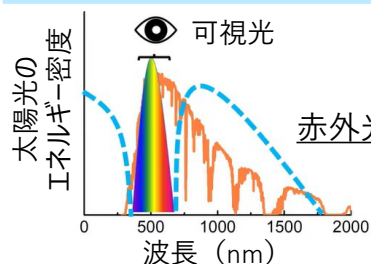
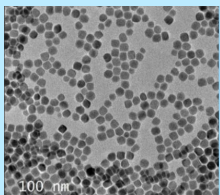
出典：Robert D. Kinley *et al.* (2020) 「Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed」Journal of Cleaner Production, Vol. 259 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620308830>等より作成

赤外光を活用する透明太陽電池の開発（日本・OPTMASS社）

■ 赤外光のみを吸収して電力に変換することが可能なナノ粒子の製造技術を核とした、可視光透過型の透明太陽電池を開発

無機ナノ粒子材料の概要

スズドープ酸化インジウムナノ粒子



赤外光のみを吸収し、
電力に変換

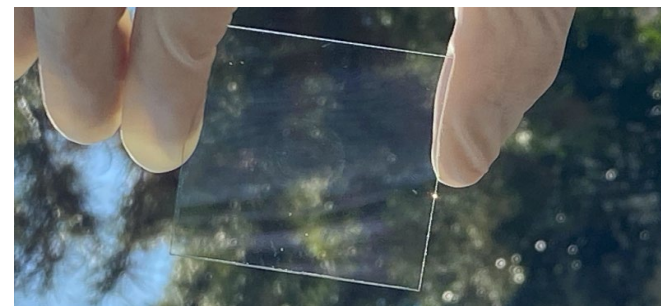
- 入射した光が金属表面に当たると電子が一齐に振動する「局在表面プラズモン共鳴」の原理を利用し、赤外光を電力に変換することが可能
- 添加物の混ぜ具合により、吸収波長を制御することも可能

普及状況等

- 令和5年7月時点では、ナノ粒子の量産化技術の開発を進めており、令和9年頃を目途に、発電窓ガラスの社会実装を目指している
- 令和12年頃を目途に、透明太陽電池の量産技術の確立を目指している

コア技術として活用

透明太陽電池の概要



▲透明太陽電池の外観

- 高い耐久性と可視光透過率（ナノ粒子をガラス基板の上に製膜した状態で可視光を95%透過）を両立した透明な太陽電池
- 可視光を透過する性質を活用することで、ビルや大規模施設の窓ガラス等への適用が可能
- 現状の電力変換効率は約1%であり、今後はセル単体で3～4%まで向上させる見込み

OPTMASS社

開発企業・研究機関の情報等

- 2021年設立
- 無機ナノ粒子材料をコア技術とする透明太陽電池の開発及び社会実装に取組む
- 令和4年2月にリアルテックファンド、サムライインキュベートより1.6億円の資金調達を実施（累計2.05億円の資金を調達済）

細胞及び合成生物学的手法の設計・製造プラットフォームによるバイオフィアウンドリの展開（米国・Ginkgo Bioworks社）

■ 生物学試験の自動化・高速化及び独自のデータベースを用いた遺伝子設計による微生物及び合成生物学的手法の設計・製造プラットフォームを構築

- 2つの技術資産を基盤とする独自の微生物及び合成生物学的手法の設計・製造プラットフォームを保有

Ginkgo Foundry

- 独自のソフトウェアで自動化・高スループット化を実現したセルエンジニアリングのプラットフォーム
- 微生物設計コストは約50%削減可能

Ginkgo Codebase

- Ginkgo Foundryで得られた独自データに加え、タンパク質配列に関する公開データベースも組み込むことで、約57億件のデータセットを蓄積

普及状況等

- クライアント向けのサービス提供として、2022年には新たに59件のプロジェクトを開始しており、以前から継続して実施しているものも含めると、合計約170件のプロジェクトを実施
- 細胞及び合成生物学的手法の設計・製造の成功確率の向上や、Ginkgo Codebaseの拡充を目的として、当社が独自に実施しているプログラムはこれまでに約160件存在

開発企業・研究機関の情報等

Ginkgo Bioworks社

- 設立年：2009年
- 事業内容：クライアントニーズに応じた、微生物や生物学的合成プロセスの設計、製造方法の開発

出典：Ginkgo Bioworks社 “Annual Report 2022” https://s28.q4cdn.com/823357996/files/doc_financials/2023/ar/Ginkgo-2022-Annual-Report-Letter-10-K.pdf 等より作成

細胞及び合成生物学的手法の設計・製造プラットフォームによるバイオフィアウンドリの展開（米国・Ginkgo Bioworks社）

- 農業分野では微生物開発に必要な生物資源の調達及び蓄積から、開発工程の自動化による効率的な微生物開発、開発した微生物を活用した目的物質の大量生産プロセスの開発まで一気通貫でのサービスを提供

農業分野におけるバイオフィアウンドリの特長

生物資源調達・蓄積

目的とする微生物等の設計・構築に必要な遺伝情報や合成DNAを調達・蓄積

微生物開発

設計・構築・試験・学習の各工程を自動化し、目的とする微生物を効率的に開発

- ✓ ゲノムシャフリング（細胞のDNAをランダムに切断／再結合）と超高速処理を組合せ
- ✓ 開発された変異株はGinkgo社独自のライブラリを基に代謝経路等を最適化（ライブラリは約20億個の遺伝子で構成）

プロセス開発

開発した微生物等を利用し、目的物質の大量生産プロセスを開発

- ✓ 最大容量3,000Lの発酵槽を含むパイロットプラント施設を活用し、顧客側の製造施設への技術移転を支援
- ✓ 具体的には、懸濁液や葉・種の処理製剤、生理活性を強化するアジュバント等の製造プロセスの確立を支援

データアセット

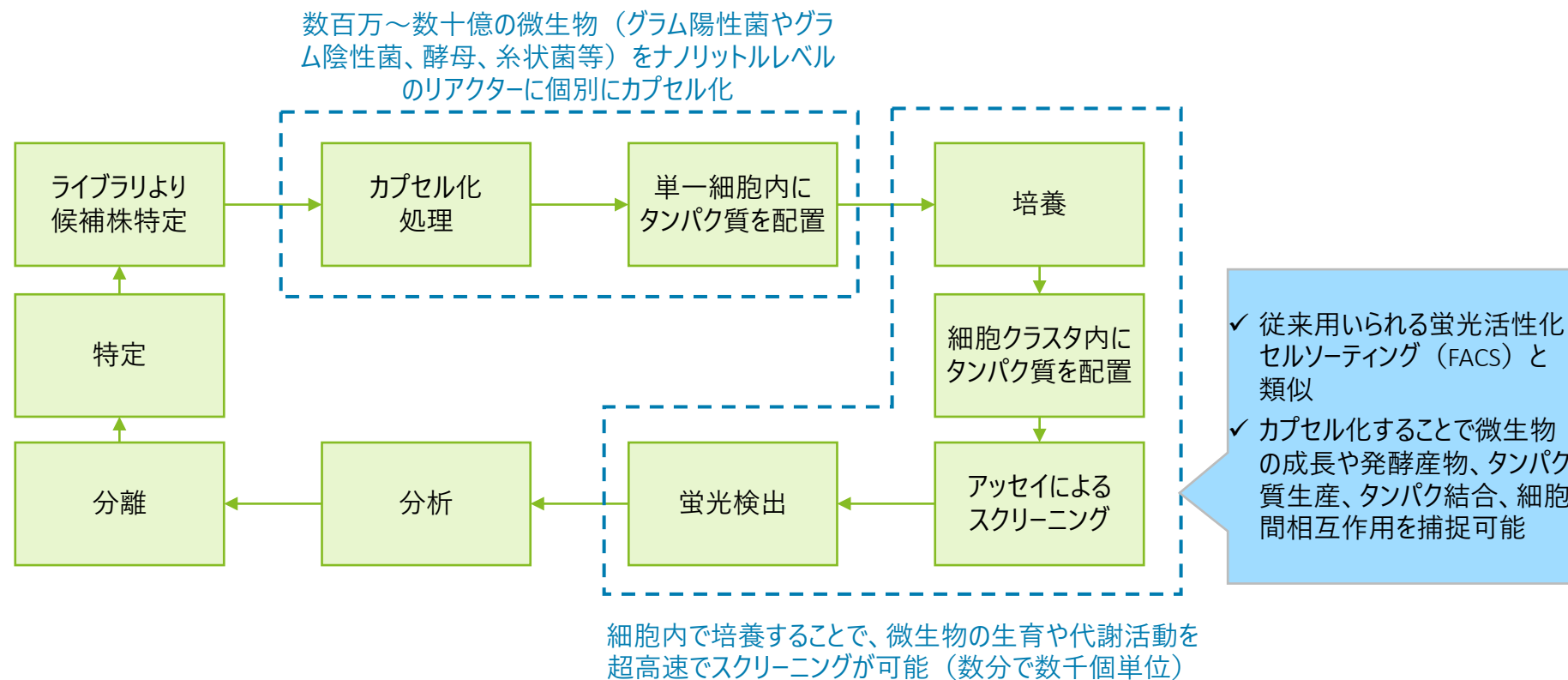
微生物の遺伝情報・発酵環境とその代謝機能に関するデータを大量に取得・蓄積

- ✓ *Bacillus*や*Paenibacillus*等を筆頭に、約20万種類以上の微生物ライブラリを保有（2022年にBayer社のAg Biologicals R&D部門を買収して取得）
- ✓ ナノリットル程度のリアクターに単一細胞を封入しカプセル化することで、カプセル内に閉じ込められた分泌物の高速スクリーニングを実施（「EncapS」技術）

研究開発テーマの一例として、「食品成分を生産する微生物の開発」（ADM社）や「食品製造用酵素の生産効率化」（Kerry社）、日本企業では「アミノ酸発酵生産菌の育種改良」（味の素社）、「生物農薬の開発」（住友化学社）等が挙げられる

細胞及び合成生物学的手法の設計・製造プラットフォームによるバイオフィアウンドリの展開（米国・Ginkgo Bioworks社）

- 独自のEncapS（Encapsulation and Screening）技術によって、微生物の高速スクリーニングと選択が可能
- 微生物を個々に微小な液滴内に配置してカプセル化することで、各微生物が独立した環境で生育できるようになり、個々の微生物の特性を正確に評価し、目的とする微生物を開発



上記サイクルにてランダム変異誘発を超高速で処理することで、新たな微生物株の発見や既存の微生物株の改良を大幅に加速することが可能（10万以上の候補株から、3～5の候補株に絞り込みが可能）

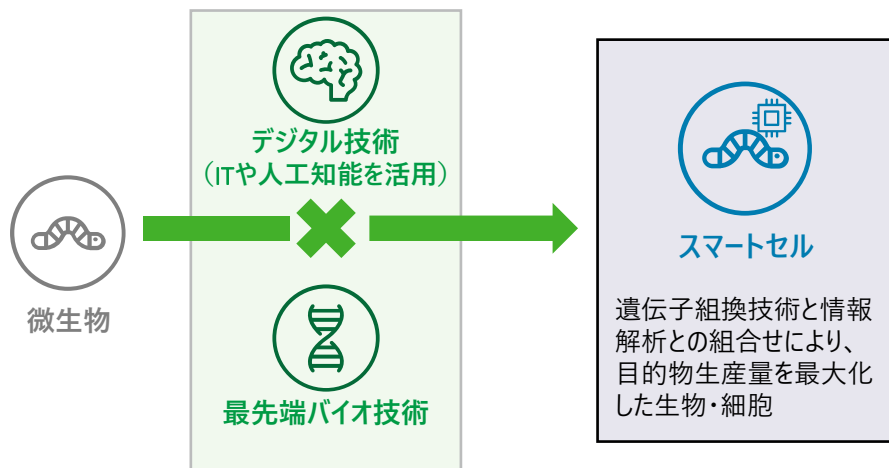
日本初の統合型バイオフィアウンドリ（日本・バックス・バイオイノベーション社）

- デジタル技術を活用した「DBTLサイクル」によるスマートセル開発技術を保有しており、目的物質を生成する微生物等を高速で開発するためのプラットフォームの構築を進めている
- 現在、グリーンイノベーション基金事業に参画しており、CO₂を原料とする世界初のガス発酵バイオフィアウンドリの確立を目指している

技術概要

別紙にて補足①

- ・人工知能等のデジタル技術を活用して、有用物質を開発するためのサイクル「DBTLサイクル」を高速で繰り返すことで、製造対象となる物質の生産量を最大化した細胞である「スマートセル」を開発



左記技術の社会実装に向けた取組状況

別紙にて補足②

- ・NEDO「グリーンイノベーション基金事業」の一環として、左記技術を活用した、CO₂を原料とする世界初のガス発酵バイオフィアウンドリの確立に向けた研究開発プロジェクトを実施
- ・具体的には、CO₂を原料とする水素酸化細菌スマートセルを開発し、その提供速度を従来の1/10に短縮することで、バイオフィアウンドリの事業化を図る



普及状況等

- ・日揮ホールディングス社と共同で、2027年度に数千リットル規模のパイロットプラント実証棟を稼働予定
- ・2030年までに微生物開発～パイロット生産設備までの一気通貫の技術開発拠点を設置予定
- ・グリーンイノベーション基金事業終了後の2031年度より、ガス発酵バイオフィアウンドリの事業化を計画

開発企業・研究機関の情報等

バックス・バイオイノベーション 社

- ・設立年：2020年（神戸大学発のスタートアップ）
- ・最先端のスマートセル開発技術を保有し、遺伝子の設計から微生物の育種、生産プロセスのスケールアップまで一括したサービスを提供
- ・2021年2月、DEFTA Partners社、ロート製薬社、太陽石油社より、総額12億円の資金調達を実施
- ・2023年5月、出光興産社より資金調達を実施

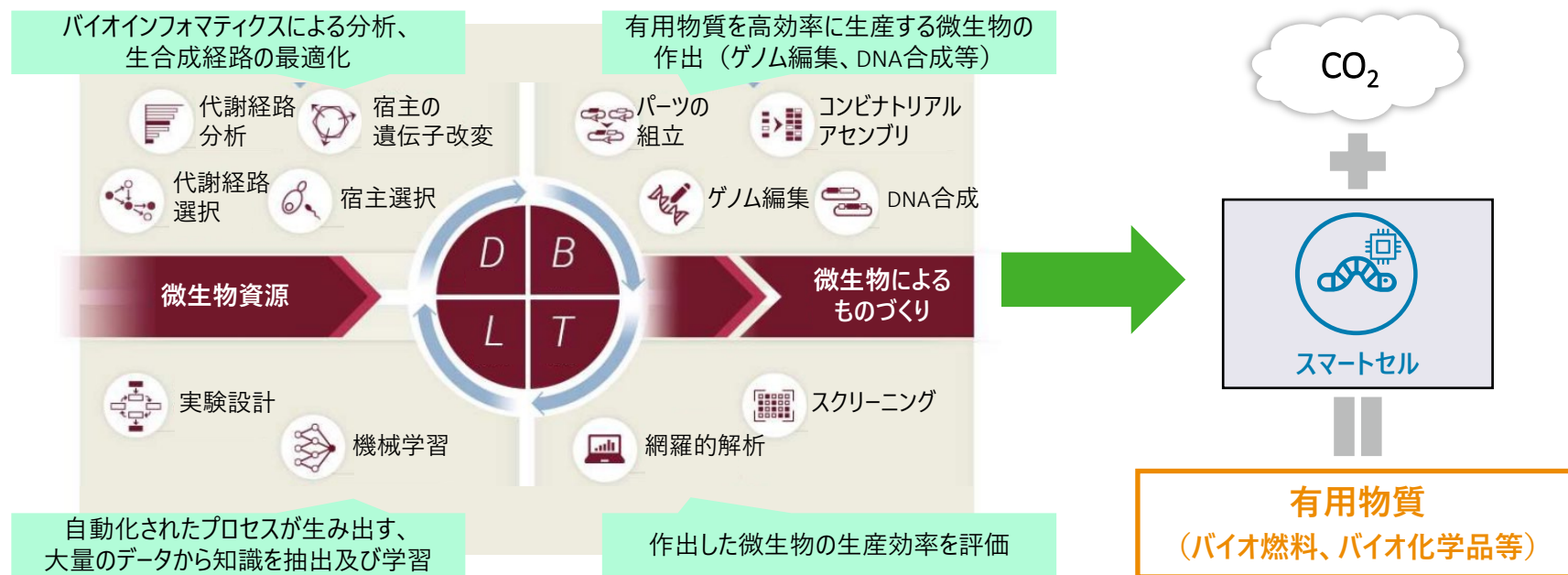
出典：バックス・バイオイノベーション「事業戦略ビジョン 実施プロジェクト名：CO₂からの微生物による直接ポリマー生産技術開発」<https://green-innovation.nedo.go.jp/pdf/bio-manufacturing-technology/item-001-002-003/vision-b2i-001.pdf>等より作成

日本初の統合型バイオファウンドリ（日本・バックス・バイオイノベーション社）

- 「バイオファウンドリ」とは、遺伝子設計、微生物作成、生産物質評価、学習予測から構成される「DBTLサイクル」を高速で繰り返し、従来手法では製造することが難しい高機能素材を容易に製造可能とする技術を指す

1 バイオファウンドリの概要

- 最先端の**バイオ工学分野の技術等を用いて遺伝子改変微生物を効率的に開発**し、従来とは異なる方法で有用な物質を生産する一連のシステム
- その開発サイクルは、**Design（D：遺伝子設計）・Build（B：微生物作成）・Test（T：生産物質評価）・Learn（L：学習予測）**の頭文字から「**DBTLサイクル**」と呼ばれる
- 「DBTLサイクル」を高速で繰り返すことにより、従来の化学合成で製造することが難しい高機能素材の製造を容易にすることが可能



日本初の統合型バイオフィアウンドリ（日本・バックス・バイオイノベーション社）

- NEDO「グリーンイノベーション基金事業」では、ガス発酵バイオフィアウンドリをデータ駆動からAI駆動へ段階的に進化させることで、ガス発酵に適したスマートセルを開発しつつ、その育種期間を1/10に削減することを目指す

2 社会実装に向けた取組みプロジェクト

プロジェクト名 ■ CO₂からの微生物による直接ポリマー生産技術開発（NEDO事業）

プロジェクト期間 ■ 2023年度～2030年度

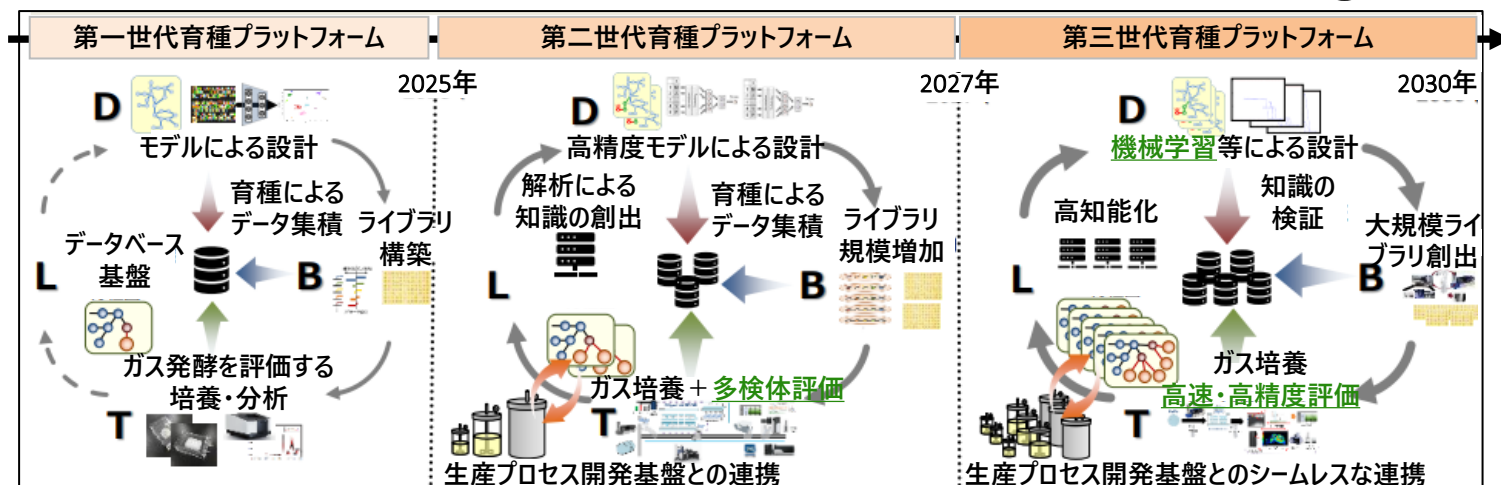
取組事業者 ■ バックス・バイオイノベーション社、カネカ社、日揮ホールディングス社、島津製作所社

- 要素技術を統合することで、段階的に育種プラットフォームを高度化

- 第一世代プラットフォーム：ガス発酵型微生物の生産性評価システムの開発
- 第二世代プラットフォーム：ガス発酵型微生物の**多検体**生産性評価システムの開発
- 第三世代プラットフォーム：ガス発酵型微生物の**多検体・高速**生産性評価システムの開発



概要



今後の
開発上の
課題

- 設計から販売までの一連のプロセスを統合する高効率なシステムの開発
- CO₂・水素・酸素の混合気を効率よく取り込みものづくりをする微生物の開発

従来植物油由来であった、カネカ社の生分解性ポリマー「Green Planet < PHBH (3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノエート重合体) >」を CO₂由来で生産する微生物の開発が目標

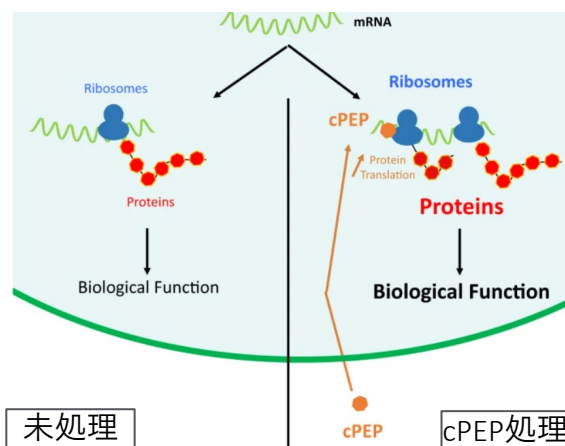
出典：バックス・バイオイノベーション社「事業戦略ビジョン 実施プロジェクト名：CO₂からの微生物による直接ポリマー生産技術開発」<https://green-innovation.nedo.go.jp/pdf/bio-manufacturing-technology/item-001-002-003/vision-b2i-001.pdf>等より作成

マイクロペプチドを用いた作物の成長促進及び保護用資材の開発（フランス・Micropep Technologies 社）

- 植物に対して、外部から相補性ペプチド（complementary peptides：cPEP）を適用し、標的とするタンパク質の収量増加や表現型の調整を可能にする技術を開発
- 実験にて、植物の熱耐性向上や成長促進、雑草の増殖阻害効果等を確認

相補性ペプチド（cPEP）の概要

- 植物の細胞に浸透させると、植物内のRNAと相互作用し、標的とするタンパク質の転写を増加するように設計されたペプチド
- 遺伝子組換え植物を用いずに、タンパク質発現のコントロールが可能



▲ 相補性ペプチドの作用の概略図

普及状況等

- 真菌の増殖抑制を目的としたcPEP製品「MPD-01」については、実用化に向けて、投与量や散布時期、他の製品との適合性の評価を実施している段階
- それ以外の製品（例：植物における免疫応答促進、雑草の増殖阻害）については、研究開発段階

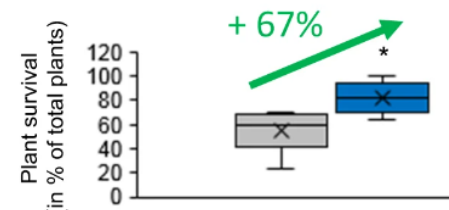
相補性ペプチド（cPEP）の機能確認に係る実験結果例

植物の
熱耐性
向上



▲ ダイズにおける熱ストレス耐性比較結果（左：他のペプチド処理、右：cPEP処理）

cPEP処理により、熱ストレスへの耐性が約67%向上

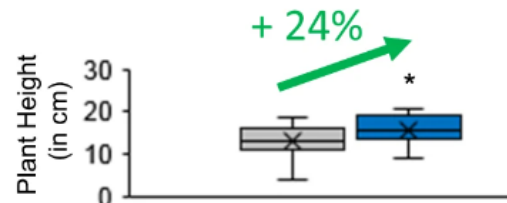


植物の
成長促進



▲ ダイズの成長比較結果（左：他のペプチド処理、右：cPEP処理）

cPEP処理により、植物の高さが約24%向上



開発企業・研究機関の情報等

Micropep Technologies 社

- 2016年設立
- マイクロペプチドを用いた作物保護ソリューションを開発
- 国立科学研究センター(CNRS)とトゥールーズ大学の研究センター「トゥールーズ植物科学研究所(LRSV)」発のスタートアップ

出典：Mélanie Ormancey *et al.* (2023) "Complementary peptides represent a credible alternative to agrochemicals by activating translation of targeted proteins" *Nature Communications*, 14, <https://www.nature.com/articles/s41467-023-35951-0#MOESM1>等より作成

環境ストレスへの耐性向上や生育促進に資するバイオスティミュラント製品の開発及び販売（日本・OATアグリオ社）

- 植物が本来持つ免疫力を高め、耐寒性・耐暑性・病虫害耐性及び植物の成長を促すバイオスティミュラント製品を供給することで、農作物の収量増加や品質向上に貢献



非生物的ストレス 例：高温、低温、乾燥、塩



◀関連会社LIDA社（スペイン）が開発したバイオスティミュラント製品（輸入登録肥料として国内販売）



◀OATアグリオ社が独自に開発した食品添加物等由来のバイオスティミュラント製品（鹿児島大学との共同出願による特許保有）

普及状況等

- ・ OATアグリオグループでは、世界96ヶ国に製品を販売
- ・ 「Atonik」はアジアやヨーロッパ、中南米を中心とした計51ヶ国にて、バイオスティミュラント製品を販売
- ・ 今後オセアニアやアフリカも含めた計9ヶ国に対して、「Atonik」を供給予定



生物的ストレス 例：害虫、病原菌、雑草

抵抗性誘導効果を示す新規のトマト青枯病防除剤を開発

- ・ 難防除の病害である青枯病を防除対象にした抵抗性誘導剤（植物の免疫力向上に寄与）として開発
- ・ 有効成分は食品添加物
- ・ 2023年7月に、農林水産省へ農薬登録を申請

開発企業・研究機関の情報等

OATアグリオ社

- ・ 設立年：2010年（大塚化学社からMBO※により設立）
- ・ 事業内容：農薬／肥料／バイオスティミュラントの研究開発・製造及び販売
- ・ 防除技術や施肥灌水技術の展開に加え、第三の柱としてバイオスティミュラント製品の開発及び販売にも注力

※ MBO = **M**anagement **B**uyout（経営陣が自社株式を取得することで、経営権を取得することを指す）
出典：OATアグリオ社提供資料より作成

環境ストレスへの耐性向上や生育促進に資するバイオスティミュラント製品の開発及び販売（日本・OATアグリオ社）【補足】

- 食品や食品添加物、天然物等を原料としたバイオスティミュラント製品を計7種類開発及び販売しており、果実や野菜、水稻、芋といった様々な作物にて、生育促進の効果等を確認

1 OATアグリオ社が販売しているバイオスティミュラント製品一覧

#	製品名	有効成分	期待される効果	使用回数制限
1	リダバイタル	てんさい糖蜜・アミノ酸	光・温度のストレス軽減	無し
2	アルガミックス	海藻・糖	乾燥・塩害のストレス軽減、着果向上	無し
3	フルボディ	腐植物質（フルボ酸/アミノ酸）・海藻	地下部生育・促進、土壌改良	無し
4	ポテトール	植物由来成分	気孔の開口をコントロール	無し
5	OAT-protect	グリシンバタイン・カルシウム・アミノ酸・ホウ素	果皮強度の向上、秀品率・日持ち性の改善	無し
6	サンピ シリーズ	有機酸・糖	環境ストレスを軽減・栄養分吸収を促進	無し
7	Atonik	ニトロフェノール類	非生物的・生物的なストレスからの軽減	－

－ リダバイタル散布による茶の生育比較（国内実証） －



無処理区と比較して、生育状況が良好であることを確認

－ ポテトール散布によるばれいしょの増収効果（国内実証） －



無処理区と比較して、作物の増収効果を確認

出典：OATアグリオ社提供資料より作成

環境ストレスへの耐性向上や生育促進に資するバイオスティミュラント製品の開発及び販売（日本・OATアグリオ社）【補足】

- 「ポテトール」は、植物由来成分等を含む製品であり、気孔開度を高めて光合成を促進することで、ばれいしょやかんしょの収量増加に貢献

2 「ポテトール」の概要

- 植物由来成分、トレハロース、微量元素を配合することで、効果発現の再現性を高めた製品
- 具体的な効果としては、気孔開口の促進による光合成促進が挙げられ、その結果収量増加を実現可能

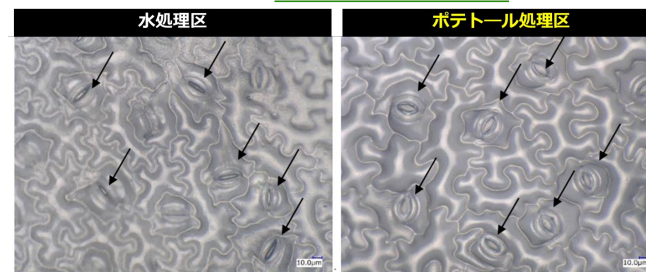


製品仕様

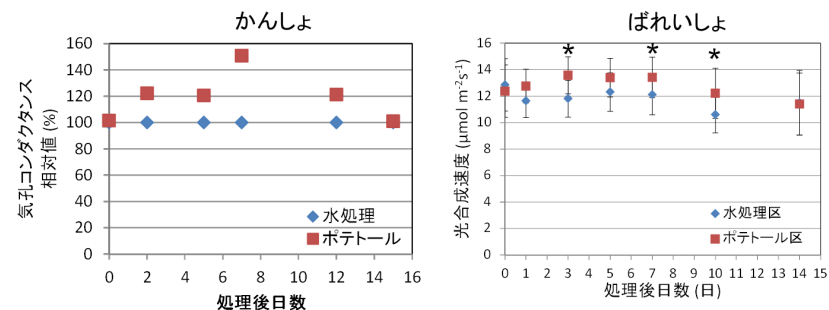
対象作物	✓ ばれいしょ ✓ かんしょ
使用方法	葉面散布
期待される効果	早掘り作での収量確保
NPK	0-0-0

3 実証による効果確認結果

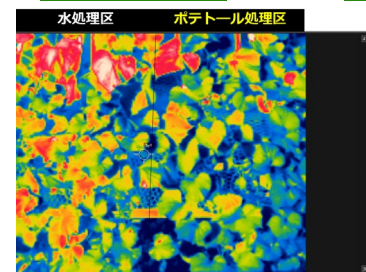
- ばれいしょ及びかんしょにて、気孔開度を高める効果を確認



- 気孔開度を高めることで、気孔コンダクタンスと光合成速度が向上



- 気孔開度が高まり、蒸散量が増加したことで葉面温度が低下

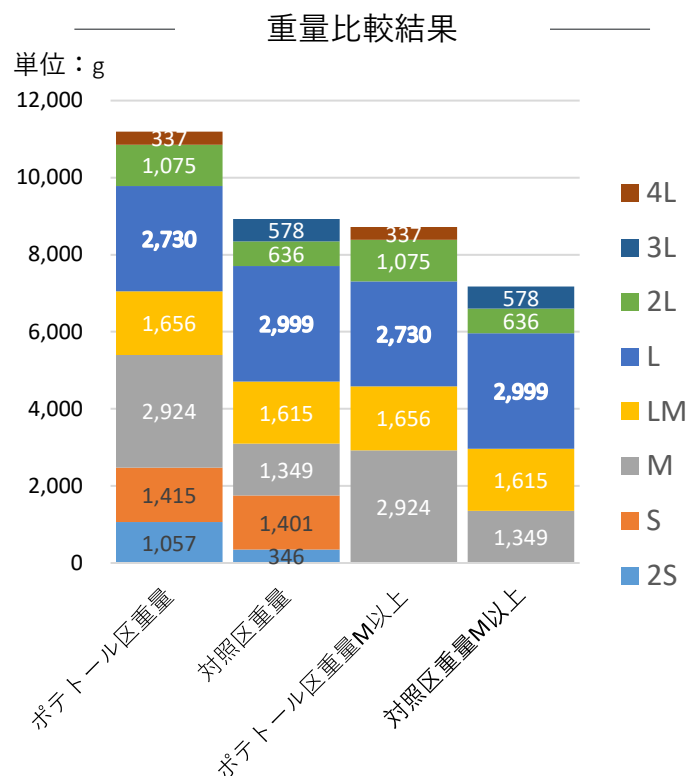


環境ストレスへの耐性向上や生育促進に資するバイオスティミュラント製品の開発及び販売（日本・OATアグリオ社）【補足】

■ 北海道のばれいしょ圃場において「ポテトール」を処理することにより、ばれいしょの収穫個数や重量が増加する効果を確認

4 「ポテトール」処理のばれいしょでの実証試験

- ・メークインを対象に「ポテトール」を散布し、収穫個数や重量、サイズを比較
- ・ポテトール処理を行うことで、収穫個数、重量共に向上したことを確認
- ・サイズについても、Mサイズ以上のばれいしょを多く収穫できることを確認



▲収穫したばれいしょの外観（左：無処理区、右：「ポテトール」処理）

区分	総重量(g)	平均個数	平均重量(g)	対照比個数	対照比重量
ポテトール区重量(G)	11,194	12.2	91.8	142%	125%
対照区重量(G)	8,924	8.6	103.8		
ポテトール区重量M以上(G)	8,722	7.5	116.3	136%	122%
対照区重量M以上(G)	7,177	5.5	130.5		

▲収穫したばれいしょの重量や個数の比較結果

ポテトール処理により、収穫個数が約42%、重量が約25%増加することを確認

出典：OATアグリオ社提供資料より作成

環境ストレスへの耐性向上や生育促進に資するバイオスティミュラント製品の開発及び販売（日本・OATアグリオ社）【補足】

■ 「Atonik」には、非生物的ストレス及び生物的ストレスを軽減することで植物の健全な生育を促す効果が存在

5 「Atonik」処理のトマトへの乾燥ストレスに対する実証結果（水、Atonikは2日間のみ投与、その後は給水せず乾燥ストレスを与えた）



①Atonik処理翌日



②Atonik処理4日後



③Atonik処理7日後、再給水



④Atonik処理12日後

無処理区では枯死したが、「Atonik」処理を行った植物では、乾燥ストレスが軽減され、再給水することで回復を確認

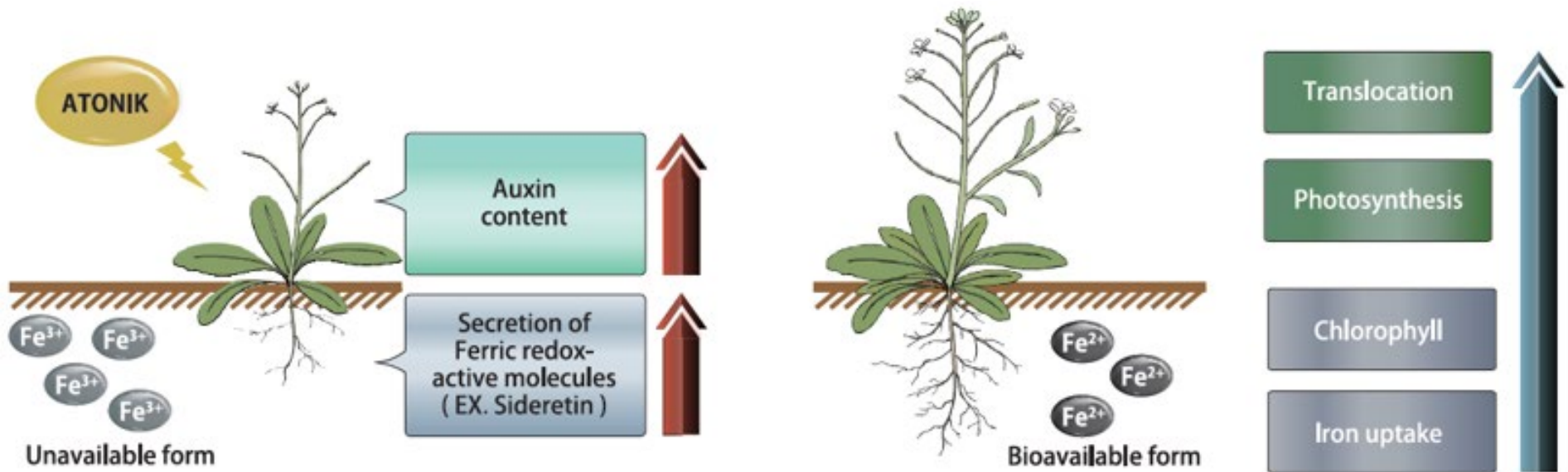
環境ストレスへの耐性向上や生育促進に資するバイオスティミュラント製品の開発及び販売（日本・OATアグリオ社）【補足】

■ 「Atonik」の処理により植物が本来持つ免疫力を高めることで、耐寒性・耐暑性・病害虫耐性及び植物の成長を促す作用機構の一部を説明

6 「Atonik」の作用機構

「Atonik」を散布処理した後、以下の効果が発現することを確認

- 植物の体内にて、ERF109遺伝子を介しオーキシン（植物の成長を制御するホルモン）が増加
- 土壌中の3価鉄を植物が利用しやすい2価鉄に還元するシデレチンの分泌を促進



これらの作用により、作物の生産性を高め、収量増加と品質向上をもたらす

大規模言語モデルを活用した「^{フィン}惠农AI」の開発（中国・^{コナンフィン}湖南惠农科技有限公^{カギ}司^{ユウゲン}）

- 会社設立時から10年以上の期間を通して蓄積した農業関連のデータを学習させることで、農業に特化した大規模言語モデル「惠农AI」を開発
- 当社が開発したスマートフォン用アプリケーションにおいて、農業従事者からの質問に対して、チャット形式でリアルタイムに回答可能な機能を実装済

「惠农AI」のインプット

- ・ 同社が構築している農業関連のデータプラットフォーム（「農業技術学校」、「惠农ビッグデータ」）に格納されたデータをインプットとして、大規模言語モデル（LLM: Large language Models）により学習

農業技術学校 （农技学堂）

農業に関連する様々な質問への回答を得られるアドバイスプラットフォーム

- ✓ 17,000件以上の専門家による農業関連のQ&A集
- ✓ 15,000本以上の農作業関連の記事
- ✓ 1,000人以上の専門家とのコネクション

惠农ビッグデータ （惠农大数据）

農産物の電子商取引データに焦点を当てた農業専門のデータプラットフォーム

- ✓ 穀物や油脂、野菜、畜産、水産物等を含む3000種類以上のカテゴリを設定
- ✓ 標準化された2億件以上の農産物と農業資材の取引記録を保有

普及状況等

- ・ 2023年9月時点では、鶏と牛における質問機能を実装済であり、現状はトライアル段階であるため、無料で利用可能
- ・ 将来的には、全ての農産物において、本機能が実装される想定

現時点での「惠农AI」のアウトプット及び今後の活用イメージ

- ・ 60万件以上の情報を基に、農業従事者からの質問に対し、リアルタイムで回答可能なチャット機能を搭載（質問者は3秒以内に回答を受け取ることが可能）
- ・ 作物別に整備された2,500科目以上の専門講座を基に、AIによる農業技術者の育成も可能

—— 今後の活用イメージ ——

農業指導

- ✓ 育種等における農業に係る問題の解決策を提示

病気診断

- ✓ 作物保護のための害虫や病気に係る予防策を提示

政策相談

- ✓ 農家に関連する政策動向（例：補助金）を回答

技術コンサルティング

- ✓ 農家が新しい農業技術を習得するための支援を実施

開発企業・研究機関の情報等

湖南惠农科技有限公司

- ・ 設立年：2013年
- ・ 事業内容：農産物の電子商取引プラットフォーム「惠农网（CNHNB.COM）」や、農家向けのアドバイスプラットフォームの構築
- ・ 連携機関：中央政府や大学に加え、中国工商银行等の金融機関やアリババ等の大手IT企業と連携

大規模言語モデルを活用した「^{フィン}惠农AI」の開発（中国・^{コナンフィン}湖南惠农科技有限公^{カギ}司）【補足①】

- 農業従事者からの質問について正確な回答を提示できるよう、細かく分類されたカテゴリを整備することで、最適な専門家からの回答を得ることが可能なプラットフォームを整備

1 農業技術学校（农技学堂）の概要

——— 専門家への質問が可能なプラットフォーム ———

①
17個のカテゴリに
分類された質問
項目から選択

②
カテゴリごとに存在
する詳細な分類
（例：作物別、
資材別）に応じて、
適した項目を選択

③
• 質問に適した
専門家抽出
• 過去の回答率や
専門家の所在地
等を参照しつつ、
専門家を選択し、
質問を記入

——— 過去に実施された質問と回答の閲覧 ———

- 左記のプラットフォームで過去に実施された約17,000件の質問や、専門家からの回答は別途データベース化されており、全ユーザーが閲覧可能

ほとんどの質問
に対して回答有

——— 過去に実施された質問と回答の閲覧 ———

- 育種や作物管理を中心とした農作業に係る記事を約15,000本掲載

一般的な病害の
様子や対応策を
画像を用いて
わかりやすく解説

「惠农AI」のインプットとして上記データを活用

大規模言語モデルを活用した「^{フィン}惠农AI」の開発（中国・^{コナンフィン}湖南惠农科技有限公^{カギ}司）【補足②】

- 開発企業が独自に構築している電子商取引プラットフォームにて収集されるデータを基に、農産物別の市場動向や電子商取引全体の動向等を調査及び分析した上で、様々な用途で活用できるようデータベース上に公開

2 惠农ビッグデータ（惠农大数据）の概要

インプット

- ・ 当社の電子商取引プラットフォーム「惠农网」から収集可能な情報を中心に、農業関連のデータを集積

データ項目	概要
農産物卸売市場における価格データ	全国の100以上の大規模卸売市場における、200以上の農産物の卸売価格
農産物仲介業者からの市場に係るコメント	40,000人以上の市場関係者からの市場動向に係るコメント
農業電子商取引従事者の属性データ	当社のデータプラットフォームに登録している2,600万人以上のユーザーデータ
農産物EC市場における価格データ	原産地価格や市場価格データを含めて、3,700種類以上の農産物及び農業投入資材の価格データ
農業地域の基礎情報	国や省、県単位における農業及び農村の基本データ
農業生産者等における電子商取引行動データ	農産物の供給や調達、検索、問合せ、取引等の電子商取引行動データ
農業生産・経営技術の関連資料	全国20以上の省の農業技術専門家から提供される植栽や育種、加工技術に関する情報
農業IoTデータ	農産物の生産環境データ

今後の開発上の課題

- ・ 回答可能な農産物の種類数の増加に向けた、インプットデータの充実及び革新的な回答を提示するためのアルゴリズムの開発

アウトプット

関連情報データベース

- ・ 市場状況や農産物の品質、安全性のトレーサビリティ等に係るデータを収集し、需給分析等に活用できるよう、標準化及び分類して整備

農作物別の分析

- ・ 農産物別に、地域ごとの市場動向や需給動向を整理しつつ、将来の市場見通しについても分析

電子商取引市場動向の報告書

- ・ 週単位で電子商取引市場動向をとりまとめ
- ・ 政府におけるマクロ視点での意思決定や、農業経営に活用

業界動向資料

- ・ カテゴリ別に人気となっている農産物のホットワード分析結果や、農産物の売れ行き動向を整理
- ・ 市場機会の把握に活用

関連する技術事例

- ・ 北京宜木天新農網絡技術有限公司：大規模言語モデル技術をベースとして、農業分野に関する知識や情報を対話形式で提供可能な対話型AI「小田」を開発し、2023年6月に実装済

ゲノム情報を活用したAIプラットフォームによる非遺伝子組換え食品の開発（米国・Benson Hill Biosystems社）

- AIと植物学、食品科学を組合わせたプラットフォーム「CropOs」を活用し、高タンパク質な大豆や黄色エンドウ豆を原料とする作物製品を販売
- 育種作業の自動化や画像処理技術を活用した育種試験プログラム「Crop Accelerator」により、「CropOs」の更なる性能向上が可能

ゲノム情報を基にした特性予測

商用化例

CropOsの概要

- データサイエンス（AI）を植物学、食品科学と組合わせたプラットフォーム
- ゲノム情報等のインプットデータと、栄養素等のアウトプットデータの相関関係を分析することで、高性能な作物由来製品等を生産可能

別紙にて補足①

Crop Accelerator
により性能向上

Crop Acceleratorの概要



- 育種作業の自動化技術や画像処理技術を導入した育種試験プログラム
- 従来より速く育種試験を実施可能であり、CropOsの性能向上に貢献

別紙にて補足②

栄養素や味、収量を最適化した食品をより安価で消費者に提供可能

普及状況等

- 2020年に高タンパク質大豆を原料とするプロテイン製品「TruVail」を商用化
- 2023年までに計12品種の高タンパク質大豆を開発
- 2024年1月には新たに5品種の高タンパク質大豆を開発し、2025年には、高タンパク質大豆の品種数が現在の2倍程度となる見込み

開発企業・研究機関の情報等

Benson Hill Biosystems社

- 2012年設立
- 遺伝子情報や作物特性から、高性能な作物由来製品を開発する事業に従事
- 2020年10月に、シリーズDラウンドでWheatsheaf Group等から約1.5億ドル*の資金を調達

大豆

- 高タンパク質な非遺伝子組換え大豆を原料とするプロテイン「TruVail」を商用化
- 一般的な大豆由来プロテインと比べ、
 - タンパク質含有量：20%増
 - リジン含有量：10%増
 - 水の使用量：70%減
 - CO₂排出量：50%減

黄色エンドウ豆

- 高タンパク質な非遺伝子組換え黄色エンドウ豆を原料とするペットフードを提供

出典：Benson Hill Biosystems社 ウェブサイト <https://benzonhill.com/2021/10/27/benson-hill-opens-new-crop-accelerator-to-further-accelerate-product-development-to-meet-growing-market-demand/>等より作成

ゲノム情報を活用したAIプラットフォームによる非遺伝子組換え食品の開発（米国・Benson Hill Biosystems社）【補足】

- 「CropOS」は、ゲノム情報や育種データ、栽培環境データ等を教師データとしてAI等に学習することで、生産性や栄養素が高く、味の良い作物由来製品の生産等を実現する技術
- 「Crop Accelerator」では、CO₂濃度や温度、湿度、照明等の育種環境を最適化し、年間での育種試験を2サイクルから4サイクルに向上させた育種プログラムであり、「CropOS」の更なる性能向上に貢献

1 「CropOS」の概要

- AI及び機械学習の教師データとして複数種類のデータを活用し、育種やゲノム編集、作物由来製品の最適化（例：生産性及び栄養素向上）に関する予測結果を提示

教師データ（インプット）の例

- 120,000件以上のゲノム情報
- 20年以上にわたって収集された高品質な大豆の育種データ※
- 65億件以上の栽培環境データ

相関関係を
分析

「CropOS」による
アウトプットデータの例

- 育種パイプラインの設計：数十億件の育種データ※の予測結果
- 育種：規範的なエリートシステムを活用したゲノム選抜の予測結果
- ゲノム編集：遺伝子ターゲットの予測とガイドRNAの最適化
- 作物の品質向上：最適な栽培条件

2 「Crop Accelerator」の概要

- 育種作業の自動化技術や画像処理技術によりスループットを最適化（育種試験を従来の20倍以上の速度で実施可能）
- 47,000平方フィートの施設内に、CO₂濃度、温度、湿度、照明の最適制御を可能とする閉鎖型植物工場や温室を整備



▲ 育種施設の外観



▲ 育種施設の内観

※ 特定品種の作物特性（例：収量）に関するデータ

今後の開発上の課題

- 高タンパク質な非遺伝子組換え黄色エンドウ豆製品における生産～提供までのベストプラクティスの確立

出典：Benson Hill Biosystems社 “Analyst Meeting” https://s28.q4cdn.com/858570331/files/doc_presentation/2021/06/Benson-Hill-Analyst-Meeting_22-June-2021.pdf 等より作成

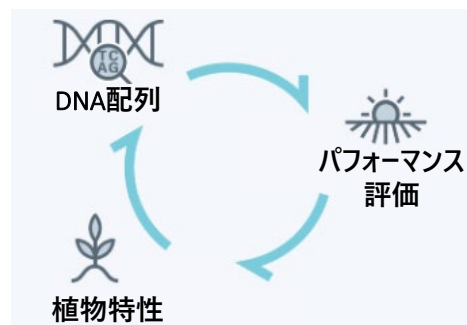
AIと多重ゲノム編集ツールを活用した育種プラットフォーム（米国・Inari Agirculture社）

- 「SEEDesign」は、AIによるゲノム情報の予測設計とゲノム編集ツールを組合わせたプラットフォームであり、複数のガイドRNAやCRISPR-Cas9を活用し、複数の異なる遺伝子配列を同時に編集可能
- なお、トウモロコシや大豆の収量増加、トウモロコシ栽培時における水や窒素の使用量削減等の本プラットフォームの更なる高度化に向けた開発を継続中

「SEEDesign」の概要

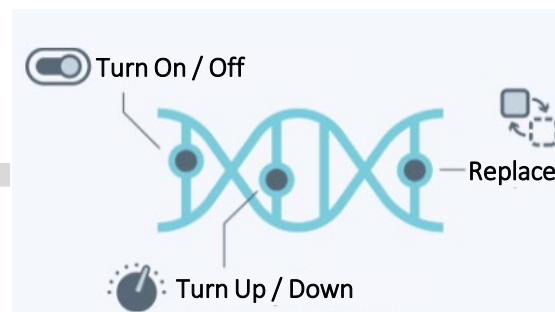
- ・ AIを活用したゲノム情報の予測設計とゲノム編集ツールを組合わせたプラットフォーム

予測設計



- ・ ディープラーニングと機械学習を活用し、収量等のパラメータに影響する最適なゲノム情報（設計図）を分析

ゲノム編集ツール



- ・ 複数のガイドRNAやCRISPR-Cas9を活用することで、複数の異なる配列の編集を同時に実行可能
- ・ 同時編集する遺伝子の最適な組合せの特定に向け、研究開発中

ターンの オフ/オン		ノックアウト	特定の遺伝子を <u>不活化</u> 又は <u>削除</u> し、機能を無効化
		ノックイン	特定の配列を <u>ターゲット位置に挿入</u> して新機能を付与
発現量 抑制 / 増強		プロモーターの微調整	遺伝子の <u>発現量を調整して、特定の機能を軽減</u>
		エンハンサーの挿入	遺伝子の <u>発現量を調整して、特定の機能を強化</u>
高精度置換		遺伝子の置換	ターゲットDNA上の遺伝子を <u>高精度で置換</u>

複数の編集機能を同時に実行可能

普及状況
等

- ・ オーストラリアの大手小麦育種企業であるInterGrain社と共同で、高収量小麦のゲノム情報を分析しており、今後、InterGrain社により商用化される見込み
- ・ その他、以下の目標達成に向けた開発に従事
 - トウモロコシ及び大豆の収量を10～20%増加
 - トウモロコシの栽培時における、水及び窒素の使用量を40%削減

開発企業・
研究機関
の情報等

Inari Agirculture社

- ・ 2016年設立
- ・ 育種の生産性向上に向けて、AIと多重遺伝子編集ツールを活用したプラットフォームを開発
- ・ 2024年1月に、韓国のバイオ企業ハンファ・インパクト社等から1億米ドルの資金を調達し、累計資金調達額は約5.7億米ドル以上

出典： Inari Agirculture社 “Multiplex Gene Editing” https://inari.com/wp-content/uploads/2023/01/INARI-Multiplex-Gene-Editing-Whitepaper_1122.pdf 等より作成

ゲノム編集技術を活用した高機能農作物の生産（日本・グランドグリーン社）

- 植物に最適化したゲノム編集ツールを効率的に送達及び発現させ、ゲノム編集作業を短縮
- さらに、分裂活性を高めた組織を利用してゲノム編集を行うことで、次世代種子の取得を容易にし、実際に商用利用されている品種及びその親系統に対するゲノム編集を直接及び容易に実現

取組概要

独自技術の
保有数

- ゲノム編集ツールの最適化：Corteva Agriscience社の子会社であるPioneer Hi-Bred International社と米Broad Instituteから、CRISPR-Cas9等のゲノム編集ツールの基盤特許群を活用可能な商用ライセンスを取得し、ゲノム編集ツールの最適化及び高効率化を実現
- ゲノム編集ツールの運搬工程の効率化：独自のベクターを開発することで、酵素を効率的に送達及び発現可能
- 組織の高活性化：分裂活性を高めた組織を利用し、次世代種子の取得が可能



作物での実績

- 既に実際栽培されている10種類以上の商用品種のゲノム編集に成功
 - 適用済の作物：
トマト、ダイズ、エゴマ、カボチャ、スイカ、トルコギキョウ、イネ、フェンネル、レタス、ゴマ

高度技術
人材／設備

- ゲノム編集に必要な設備を備えた拠点を2ヶ所保有しており、年間当たり計30品種の作物を同時に栽培可能
 - 名大Lab（名古屋大学内に設置）：温室2棟
 - 豊橋研究農場：敷地面積最大約2,000m²の農場2ヶ所

普及状況
等

- 2024～25年を目途に、同時に栽培可能な品種を60種類に拡大予定

開発企業・
研究機関
の情報等

グランドグリーン社

- 2017年設立
- ①オリジナル品種の開発・生産事業、②種苗ライセンス及び生産物の販売事業、③ゲノム編集共同研究開発事業、④接木技術関連サービス事業を展開

次世代種子の栽培



次世代種子

↓
インプットの
最小化

- ボイラーにおけるエネルギー消費量
- 水の消費量
- 化学肥料や農薬の消費量
- 人や農業機械の稼働量

↑
アウトプットの
最大化

- 農作物の収量
- 代替タンパク質の含有量
- 食品ロス削減
- 代替エネルギーの供給量

次世代種子の育種において、インプットの最小化とアウトプットの最大化の同時実現を目指す

ゲノム編集技術を活用した高機能農作物の生産（日本・グランドグリーン社）【補足①】

- ゲノム編集ツールの最適化、運搬の効率化、組織の高活性化技術により、エリート系統に対するゲノム編集を直接かつ容易に実現することが可能
- ゲノム編集後の遺伝子発現強度を予測するAIを活用し、作物に新たな形質を付与することを検討

1 同社が保有している独自技術の概要

従来のゲノム編集技術の課題

- ・ 既存の成果は、モデル系統（既に遺伝子組換え技術が確立又はゲノム情報が一定程度整備されている植物やその系統）を用いた例が多く、エリート系統に対して、同じ技術を使用することは不可能
- ・ ゲノム編集ツールの特許や権利関係が複雑であり、技術が発見されてから実用化までのハードルが高い
- ・ 編集するゲノムの特定が困難



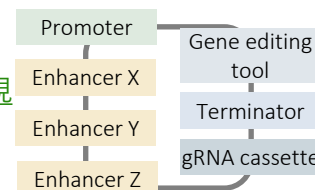
当社技術の概要

ツールの最適化

- ・ Corteva Agriscience社の子会社であるPioneer Hi-Bred International社と米Broad Instituteから「CRISPR-Cas9」や「CRISPR-3GE」を用いるゲノム編集技術の商用利用ライセンスを取得
- ・ 農作物向けに最適化したゲノム編集技術や、同社が開発した独自のベクターも活用することで、高効率なゲノム編集が可能

運搬の効率化

- ・ 同社のベクターは、遺伝子組換えを介さないため、組織培養が不要
- ・ 従来の技術に比べ、酵素を効率的に送達及び発現させることが可能



組織の高活性化

- ・ 分裂活性を高めた組織を利用してゲノム編集を実施することで、次世代種子の取得が可能

今後の開発上の課題

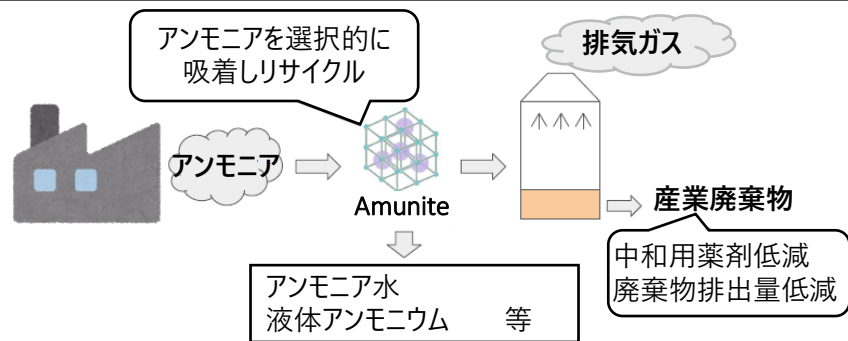
- ・ 種苗会社を巻き込んだ上での、商用向けのゲノム編集作物の開発及び上市
- ・ 植物工場用作物においてチップバーン（カルシウム欠乏に起因する生理障害）に強い品種の開発

出典：グランドグリーン社提供資料等より作成

金属有機構造体（MOF）の活用によるアンモニアリサイクル技術の開発（日本・ダイセキ社）

- 不純物を含むガスからアンモニアを吸着・回収可能な脱吸着材として有機金属構造体（MOF※）を核とした「Amunite」を開発
- 化学プラントや半導体工場、発電所といった様々な場所から排出されるアンモニアを回収し、リサイクルして活用することが可能

取組の全体像



- ・ 吸脱着剤「Amunite」の活用により、不純物を含むガスからアンモニアガスだけを吸着・回収
- ・ 回収したアンモニアガスは、アンモニア水等にリサイクル

【アンモニアの回収源】

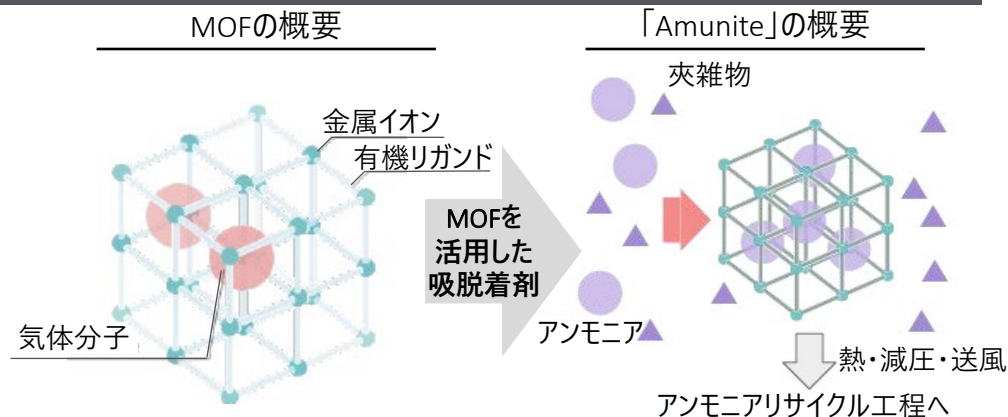
- 脱硝用アンモニアの未反応分
- 燃料用水素の製造工程
- 燃料アンモニアの未燃焼分
- 半導体製造工程
- 配管残分
- 畜舎・堆肥化施設からの排出分

普及状況
等

- ・ ラボスケールでの実証まで完了しており、室温条件にて減圧等によりアンモニアの脱離が可能であることを確認済
- ・ アンモニア選択率の高さについても確認済

※ Metal Organic Framework：有機金属構造体
出典：ダイセキ社提供資料等より作成

アンモニア吸収を行う金属有機構造体（MOF）の概要



- ・ 金属イオンと有機リガンドによるジャングルジム構造であり、材料の種類や骨格の大きさ等の組合せにより、親水・疎水性、孔径等を操作可能
- ・ 特定物質を選択的に吸着及び回収可能
- ・ 室温条件で、減圧等によりアンモニアの脱離が可能
- ・ アンモニアガスの濃度が高いと吸着し、低いと放出する

ダイセキ社

- ・ 1958年設立
- ・ 産業廃棄物の中間処理及びリサイクル産業産業廃棄物の収集運搬事業を展開

開発企業・
研究機関
の情報等

画像解析の高度化による高速フェノタイピング技術（事例：イスラエル・SEED-X Technologies社）

- 種子の表現型データの取得時に、従来実施している育種家の目視による実測等に代わり、取得した種子画像をAIにより解析し、種子の形質や発芽率等の潜在能力を可視化
- 種子が有する複数の形質を同時に分析することができ、育種選抜の効率化と精度向上に貢献

種子の品質を評価できる高速フェノタイピング技術



種子の画像を取得し、形態を計測
(同時に500～1,000個の種子を計測可能)



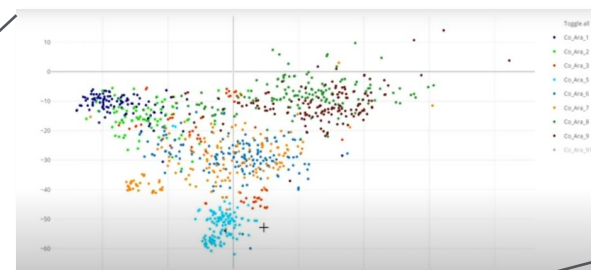
種苗会社等から収集した情報等を
基に、分析アルゴリズムを構築



クラウド上にて分析

豊富なデータアーカイブと深層学習による解析

- ① 複数の画像データを用いて、多変量解析により、評価対象の 種子の表現型データ（例：表面積、寸法）を分類
- ② 評価対象の種子の 発芽率や均質性を予測
(従来実施していた種子の発芽促進の工程を省略)
- ③ 上記の予測結果を基に、優良種子を選別



育種家自身が、複数次元の解析結果
(果実のサイズや色、味等) を基に
自由に2軸を選択して、評価することが可能



分析結果は、計測開始から
数分程度で確認可能

種子の目測や実測による
表現型データの取得が不要

種子の品質評価目的での
DNA抽出や分子マーカーが不要

普及状況等

- ・ 本技術を活用した種子選別機「GeNee Sorter」については、欧州を中心に約10台販売した実績あり

開発企業・研究機関の情報等

SEED-X Technologies社

- ・ 2016年設立
- ・ 自動デジタル化技術と独自に開発した深層学習アルゴリズムを用い、種子の品質と食品の安全性向上に取り組む
- ・ 2022年6月に、ベンチャーキャピタルファンドよりシリーズA資金として、1,000万ドルを調達

出典：Y Nehoshtan et al. "Robust seed germination prediction using deep learning and RGB image data" (2021年11月) <https://www.nature.com/articles/s41598-021-01712-6> 等より作成

アメリカミズアブを用いた代替タンパク生産（養殖飼料）（フランス・Innovafeed社他）

- アメリカミズアブ（*Hermetia illucens*）の幼虫を利用し、高タンパク質魚粉や植物油の代替品、肥料を製造
- 事業採算性の確保に向け、採卵工程で大量に発生する有人作業の量を削減するために、AI及びIoTを用い完全に自動化された垂直農場モデルを実装

ミズアブの飼育・収穫

ミズアブの利用

隣接する食品工場の 廃棄物を活用



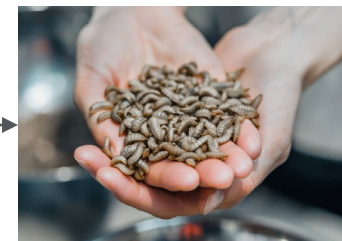
成長に最適な 給餌の実施



完全に自動化された 垂直農場モデル



アメリカミズアブを 無駄なく製品化



- ・ 現在稼働中の工場は、食品工場と隣接しており、原料を直接受入
- ・ 原料受入時に必要となる、廃棄物の乾燥費用や運搬費用が不要

- ・ 成長の各段階で幼虫の栄養ニーズを完全に満たすように、生息環境を最適化
- ・ 最適な給餌をするため、200種の給餌の組合せを検証

3,000個のIoTセンサーにより、幼虫の繁殖条件（温度、湿度等）を常時モニタリング

総面積25,000m²の垂直農場にて、AI技術と光学認識技術により、毎秒20,000個以上の卵を自動回収

- ・ 豚や家禽の飼料には虫油、水産養殖飼料には昆虫タンパク質、有機肥料にはフラス¹⁾を利用
- ・ 昆虫全体がリサイクルされるため、廃棄物ゼロ

1) 昆虫の排泄物であり、木くず等が混ざったもの

普及状況 等

- ・ 2030年時点における市場予測として、世界全体での魚類飼料用昆虫の生産見込み量は200,000トン（Innovafeed社では、2018年に魚粉の代替商品、2020年に飼料用虫油の販売を開始）
- ・ 2023年4月には、商用規模での生産が可能な工場が竣工
- ・ 東京大学の研究によれば、生産コストの多くを人件費と光熱費が占めており、飼育と採卵の自動化、生産物の付加価値化が必須

開発企業・ 研究機関 の情報等

Innovafeed社

- ・ 2016年設立
- ・ フランスやEUの公的支援機関より、補助金として743万米ドルを調達
- ・ 米国ADM社やカーギル社と協働し、米国内に工場を建設中
- ・ 水産養殖用飼料や子豚用飼料についてカーギル社との共同開発を進めている

出典：Innovafeed社提供資料等より作成

リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム（ドイツ・BASFデジタルファーマーリング社）

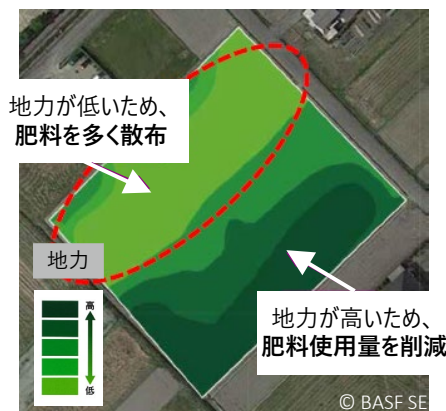
- 人工衛星から取得可能な画像データや気象情報、生産管理情報を基に、圃場単位での地力状況や生育状況を可視化
- 圃場単位での作物の生育段階予測に基づき、水管理や病害虫防除等に関する情報提供も可能
- 統一のデータフォーマットで複数の農機間でデータ連携が可能

生育状況の可視化

- PlanetScopeの衛星画像等の情報群を基に、AIによる解析を実施し、圃場単位での生育状況を地図上に表示

地力マップ

過去の衛星画像の蓄積を基に、地力（肥料の蓄積度）を可視化



1) 地表面積に対する葉の面積の割合を示す指数。

生育マップ

現状の葉面積指数（LAI）¹⁾に基づいて、圃場内の生育状況を可視化



このデータを基にドローンがピンポイント施肥や農薬散布を実施

別紙にて補足①

普及状況等

- 日本国内では、JAを含め現在1万人以上のユーザが利用しており、圃場管理面積の実績は10万ha以上
- 可変施肥マップのデータはUSBメモリを介して農業機械に取り込むことで、自動可変施肥が可能

出典：BASF社提供資料より作成

生育段階の予測／圃場管理情報の提供

生育段階予測

作付日・作物の品種・10日ごとに取得する地域の天気等を解析し、圃場単位で生育ステージを予測することで、適切な作業タイミングを表示

別紙にて補足②



▲画面上で表示される生育ステージ情報 *BBCH:生育段階を0～99の数字で表す国際的コード



◀生育ステージと生育マップの移り変わり例（水稻）

開発企業・研究機関の情報等

BASFデジタルファーマーリング社

- 2014年にBASFグループ傘下の企業としてドイツで設立
- 2017年に人工知能（AI）を活用した栽培管理支援システム「xarvio® FIELD MANAGER」、2020年に「xarvio® Healthy Fields」のサービスを開始
- 2021年にはJA全農と協業し、日本国内向けのサービスを開始

リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム（ドイツ・BASFデジタルファーマーリング社）【補足】

- 現在、水稻や大豆等の18種類の作物を対象とした、栽培管理の支援サービスを提供
- 生育マップを基にした生育ムラをドローンによる可変施肥によって収量の均一化が可能

1 生育ステージ

ユーザーが各圃場の作物情報
(品種、播種日、葉齢等)
や管理情報を入力

適切な作業タイミングを
表すため、BBCHを用いて
生育状況を数値化

- ✓ 日本固有の品種¹⁾*や資材に対応
- ✓ 国内外の生育データや画像データ、学术论文の文献データを学習
(25年以上分)

水稻の生育ステージの表しかた

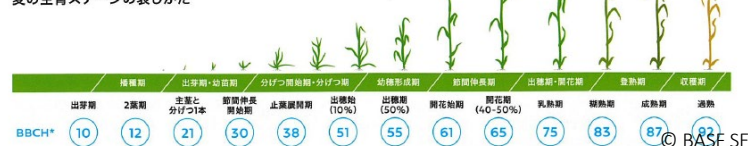
*BBCH: 作物の生育発展を00~99の数字で示す国際的なコード



大豆の生育ステージの表しかた



麦の生育ステージの表しかた



▲水稻・大豆・麦の生育ステージの表し方

*: 水稻や大豆、麦類の他、レンガ、そば、菜種、きゃべつ、たまねぎ、馬鈴薯、甜菜、ブロッコリー、とうもろこし、小豆、にんじん、インゲンマメ、クリームブロッカー、ヘアーベッチに対応

2 ドローンと生育マップを活用した可変施肥

生育マップから、生育状況
や生育ムラを確認

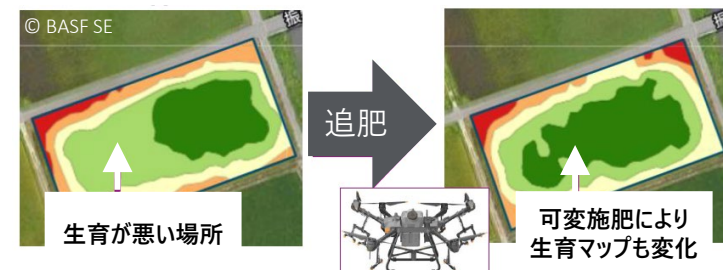
ドローンを用い、可変施肥
を実施

ドローンを活用した可変施肥により収量が増加した例

生育マップ

2023年7月25日

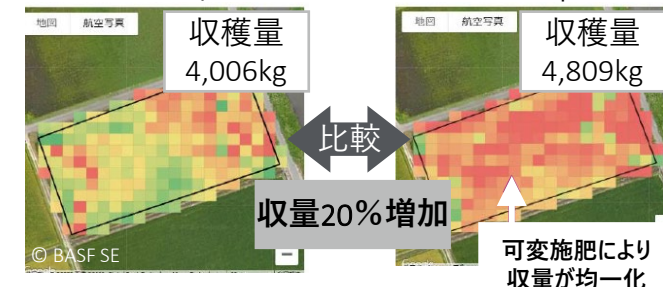
2023年8月3日 (追肥後)



収量マップ

2022年

2023年



リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム（ドイツ・BASFデジタルファーマーリング社）【補足】

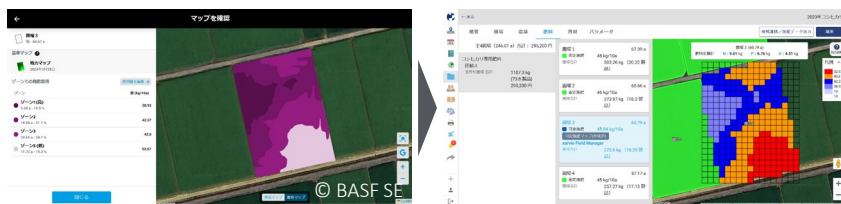
- 地図データ・栽培管理データとスマート農機を連携させることで、可変施肥を実施可能
- 圃場データの登録時には、各種GISファイル形式が利用可能

3 地図データ・栽培管理データとスマート農機の連携

- スマート農機にxarvio®が生成する可変散布データを読み込ませることで、可変施肥を可能
 - 2023年11月時点にて対応する国内メーカー数は、農業機械で4社（計10型式）、ドローンで2社（計4型式）



- 各農機メーカーが展開している営農支援システムとの連携も拡大しており、xarvio®のデータを利用することも可能
 - クボタ社「KSAS」
 - 井関農機社「ISEKIアグリサポート」



▲xarvio®で生成した可変施肥マップ（左）を「KSAS」に取り込んだ際の画面（右）

出典：BASF社提供資料より作成

4 対応可能なGISファイル形式

- 圃場登録時には、各種GISファイル形式を利用可能
 - 具体的には、Shapefile形式、GML形式、KML形式等のGISファイル形式を利用可能
 - 画面上で圃場画像を選択し、登録することも可能

	概要	拡張子
Shapefile	Esri社によって策定されたデータ仕様 国内外の公的機関により、標準規格と認定されたデータ仕様であり、汎用性かつ拡張性高いプログラミング言語であるXMLベースかつテキストファイルで構成	shp, shx, dbf 等
GML	Keyhole社（Google社地図部門の前身）がGMLをベースとして策定したデータ仕様	gml
KML		kml, kmz

- 可変施肥マップをダウンロードする際は、国際標準であるISOXML¹⁾形式を優先しつつ、Shapefile形式、GeoTIFF²⁾形式でも対応可能



▲圃場登録時の表示画面

© BASF SE

▲可変施肥マップダウンロード時の画面表示

- ISOBUSに対応した、圃場作業の計画データの国際標準ファイル形式
- TIFF（Tagged Image File Format）をベースとした地理参照情報が埋め込まれた画像ファイル形式

リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム（ドイツ・BASFデジタルファーマーリング社）【補足】

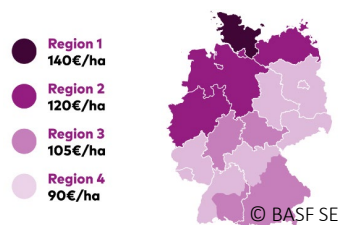
- BASF社と契約している請負業者がxarvioを利用して、作物保護に必要な取組を実行
- 葉の病害による損害等が事前の契約内容より大きい場合、生産者は補償を受けることが可能

5 「xarvio® Healthy Fields」の概要

- xarvio®で推奨される作物保護に必要な取組を提携する請負業者が代行することで、農家側における作業時間の節約が可能

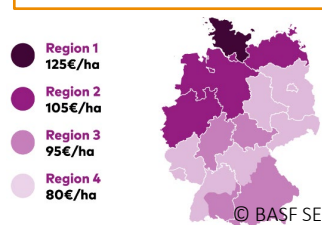


ドイツで利用する場合の価格



▲地域別の冬小麦の防除価格

対応作物：冬小麦と冬大麦
作物保護内容：病害防除のみ
料金帯：80～140€/ha



▲地域別の冬大麦の防除価格

「xarvio® FIELD MANAGER」を活用した農薬噴霧器「SMART SPRAYING」

- 噴霧器が通過する際、ミリ秒単位で作物と雑草を区別し、個々の噴霧ノズルをピンポイントで制御することで、除草剤が必要な場所のみ噴射
- 雑草分布や除草剤の噴霧地点「xarvio® FIELD MANAGER」にてユーザーに共有
- ドイツとハンガリーにて最初に発売予定



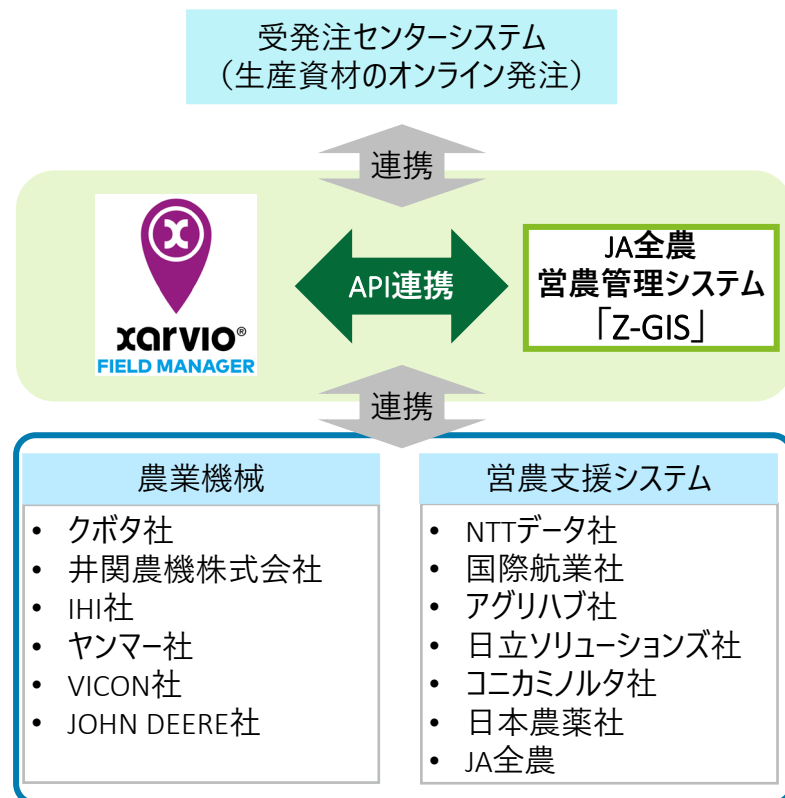
▲Bosch社と共同で開発している農薬噴霧器「SMART SPRAYING」

リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム（ドイツ・BASFデジタルファーマーシング社）【補足】

- xarvio®とJA全農が提供している営農管理システム「Z-GIS」をプラットフォームとした、他システムとの連携を構想
- 上記プラットフォームの実現・活用に向けて、現地における営農指導の効率化や可変施肥試験を実施

6 JA全農とxarvio®による営農指導DXの推進

xarvio®とJA全農の「Z-GIS」のプラットフォームのイメージ



xarvio®とZ-GISがプラットフォームとなることで、様々なメーカーの農機や営農支援システムと連携可能

出典：BASF社提供資料より作成

xarvio®を活用したJA全農等の連携による可変施肥田植え機の実証例

試験条件	可変割合	±30 %（基準 40 kg /10a、窒素成分4kg/10a）
	使用肥料	基肥（一発肥料、N10%-P7%-K7%）
	供試農機	乗用田植え機「YR8DA」（ヤンマー）

地力マップ（人工衛星マップ）に基づく可変施肥を実施



➤ ドローンセンシングと地力マップを活用した可変施肥を実施することで、圃場内の生育状況を均一化

可変施肥農機への投資分の回収が可能

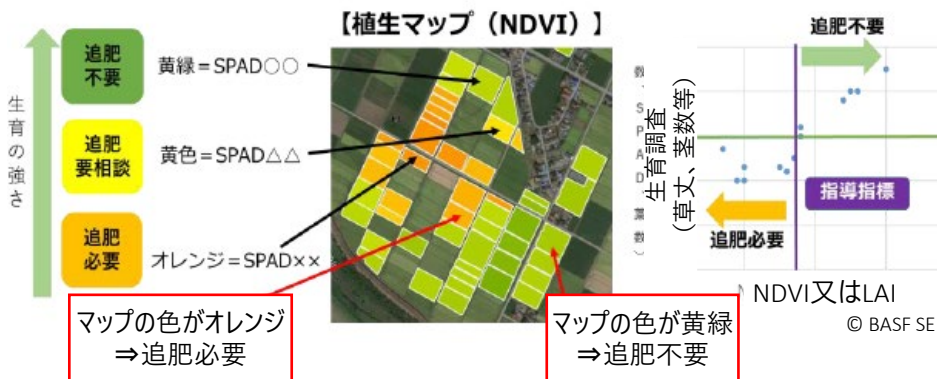


リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム（ドイツ・BASFデジタルファーマーシング社）【補足】

■ JA全農では、xarvio®を活用することで穂肥や中干し、病害虫対策、収穫適期等の営農指導を効率的に実施

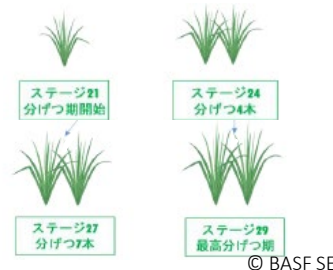
6 JA全農とxarvio®による営農指導DXの推進

- ・ **穂肥指導の高度化・効率化**：xarvio®の植生マップを活用することで、効率的かつ定量的な指標に基づいた追肥の指導が可能



- ・ **中干し指導の高度化・効率化**：生育段階予測を活用することで、中干し適期の指導が可能

中干し適期とxarvio®予測結果の一致を確認



STEP1

- ✓ 生育調査圃場で中干しの診断調査 (SPAD、草丈、茎数、葉数)

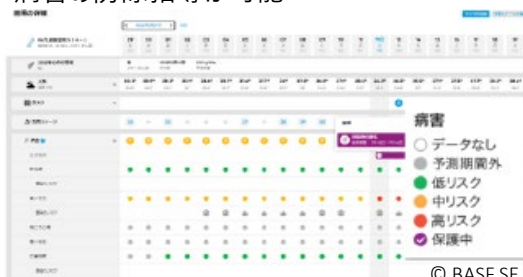
STEP2

- ✓ xarvio®の生育段階予測の確認

STEP3

- ✓ 指導会にて、地区・品種ごとに中干し適期を指導
- ✓ 生産者からの電話相談の際、xarvio®の予測結果を利用し指導

- ・ **病害発生時の営農指導の高度化・効率化**：生育段階予測を活用することで、病害の防除指導が可能



高リスク (赤)：病害の初発予測
殺菌剤散布アラート (紫)：防除推奨

STEP1

- ✓ 育苗箱処理剤や本田防除タスクを登録

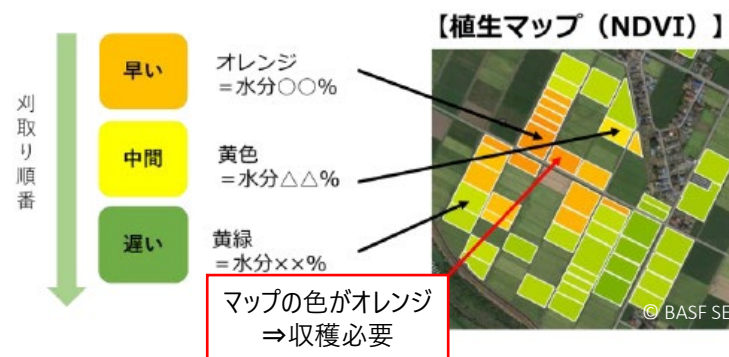
STEP2

- ✓ 病害リスク予測を適宜確認

STEP3

- ✓ 地区ごとと品種ごとの病害リスクにて防除指導
- ✓ 生産者からの電話相談でxarvio®の病害予測結果を参考に防除指導

- ・ **収穫適期指導の高度化・効率化**：xarvio®の植生マップを活用することで、効率的かつ定量的な指標に基づいた収穫適期の把握が可能



リモートセンシングとAI技術を組み合わせた栽培管理支援システム（ドイツ・BASFデジタルファーマーリング社）【補足】

- 作物の種類や圃場面積の規模、利用機能の組合せにより、最適な料金プランを選択可能
- 利用機能は、農業従事者におけるスマート農業への取組具合に応じて整備

7 利用料金体系

	対応作物／水稻、大豆、麦(小麦・大麦)			対応作物／その他の14作物	
登録圃場面積	年額料金(基本料金+追加料金)			※水稻、大豆、麦(小麦・大麦)は1作物分の料金例となり、 その他の14作物は14作物すべての料金例です	
	初級者向けプラン	中級者向けプラン	上級者向けプラン	初級者向けプラン	上級者向けプラン
2haまで	13,200円	13,200円	15,400円	6,600円	8,800円
3ha	13,750円	14,300円	17,600円	7,150円	10,450円
4ha	14,300円	15,400円	19,800円	7,700円	12,100円
5ha	14,850円	16,500円	22,000円	8,250円	13,750円
10ha	17,600円	22,000円	33,000円	11,000円	22,000円
20ha	23,100円	33,000円	55,000円	16,500円	38,500円
30ha	28,600円	44,000円	77,000円	22,000円	55,000円
40ha	34,100円	55,000円	99,000円	27,500円	71,500円
50ha	39,600円	66,000円	121,000円	33,000円	88,000円
100ha	67,100円	121,000円	231,000円	60,500円	170,500円
機能	各プランに含まれる機能				
	初級者向けプラン	中級者向けプラン	上級者向けプラン	初級者向けプラン	上級者向けプラン
便利な機能	●	●	●	●	●
初級者向け 衛星マップ機能	●	●	●	●	●
中級者向け AI予測機能		● (作物ごとに対象機能は異なる)	● (作物ごとに対象機能は異なる)		(作物対応外)
上級者向け 可変施肥・散布機能			●		● (可変施肥のみ)

© BASF SE

利用機能の詳細

便利な機能

- ・ Z-GIS連携
- ・ アカウント連携
- ・ 作期レポート出力
- ・ タスクの計画記録
- ・ 圃場の天気予報
- ・ アラート等をまとめて表示するダッシュボード
- ・ 作業メモ

衛星マップ機能

- ・ 地力マップ
- ・ 生育マップ
- ・ 平均植生マップ
- ・ 雑草マップ
- ・ 標高・斜面マップ
- ・ 土壌マップ
- ・ 肥料・農薬散布用の天気予報

AI予測機能

- ・ 生育ステージ予測
- ・ 病害防除推奨アラート
- ・ 施肥アラート
- ・ 水管理推奨アラート
- ・ 雑草管理プログラム（雑草の最適防除時期と作業内容のアラート）

可変施肥・散布機能

- ・ 可変施肥マップ
- ・ 可変散布マップ（農薬用）
- ・ スマート農機連携

今後の開発上の課題

- ・ （圃場面積が小さい場合）平均植生マップの画面表示の改良
⇒NDVI（正規化植生指数）の濃淡表示が画面上では視認しにくいという指摘が存在（ただし、現地計測のNDVIと衛星画像データのNDVIは相関関係にあり、実用には十分な水準）

関連する技術事例

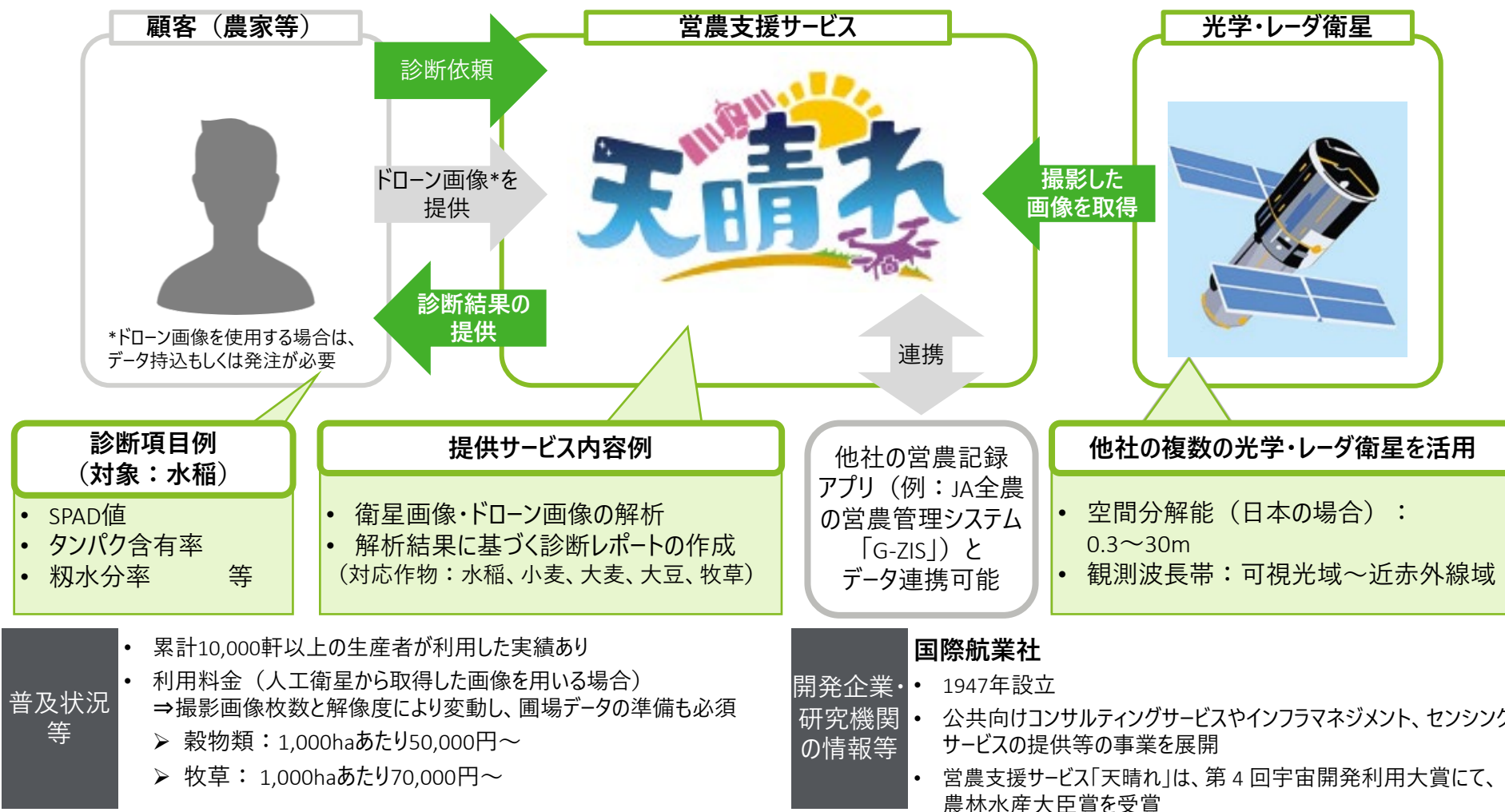
クラウド型営農支援サービス「天晴れ」（国際航業社）

- ・ 人工衛星（空間分解能0.3～30m）やドローン（空間分解能1～5cm程度）で圃場を撮影した画像から農作物の生育診断レポートを提供するサービス

出典：BASF社「ザルビオパンフレット第5版」<https://www.xarvio-japan.jp/img/pdf/xarviopamphlet5th.pdf> 等より作成

クラウド型営農支援サービス「天晴れ」(日本・国際航業社)

- 人工衛星やドローンから得られる画像を活用することで、空間分解能最小0.3mで圃場を観測し、農作物の生育状況を診断することが可能
- 10種類以上の診断メニューを開発しており、累計10,000軒以上の生産者における活用実績が存在



出典：国際航業社「空から診る精密農業 営農支援サービス天晴れの紹介～牧草採草地管理への活用～」(令和4年3月)

<https://www.maff.go.jp/kanto/seisan/tikusan/tikusan/attach/pdf/220328-4.pdf> 等より作成

クラウド型営農支援サービス「天晴れ」（日本・国際航業社）【補足】

- 対応可能な作物は水稲や麦類、大豆、牧草であり、作物ごとに異なる診断を実施
- 農判断や防除散布等の目的に応じて、人工衛星画像とドローンからの撮影画像を使い分けることが可能

1 営農支援システム「天晴れ」における対応作物と診断結果の例

対応作物とその診断レポートの内容

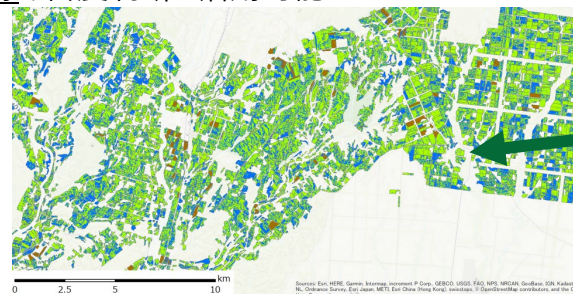
- ・ 現在、診断レポート作成可能な対応作物は、水稲、小麦、大麦、大豆、牧草
- ・ 対応作物ごとに適した診断結果を提示

対応作物	診断レポート内容
水稲	➢ SPAD値 ➢ タンパク質含有率 ➢ 籾水分率
小麦	➢ 初期成育診断 ➢ タンパク質含有率 ➢ 穂水分率
大麦	➢ 穂水分率
大豆	➢ 生育診断 ➢ 収穫適期診断
牧草	➢ 雑草検出 ➢ 不良植生算出
全作物	➢ 圃場測量（ドローンを活用）

「天晴れ」を活用した牧草に関する衛星・ドローン観測診断例

衛星画像を用いた診断の場合

圃場毎の雑草繁茂状況を広範囲で確認できるため、防除や追播、耕起等の営農判断に活用可能

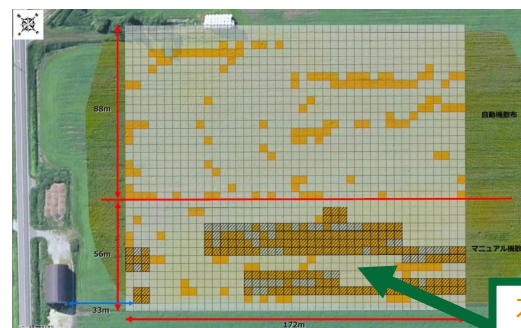


黄緑：牧草
青色：雑草優位
茶色：裸地化

▲衛星画像を活用した雑草検出

ドローンを用いた診断の場合

詳細な防除用散布マップを作成可能



▲ピンポイント防除用散布箇所マップ

オレンジ色：雑草繁茂地点
斜線：裸地化

ドローンによる
圃場空撮を実施

画像解析から、
雑草繁茂地点を検出

防除散布マップ
を作製

出典：国際航業社「空から診る精密農業 営農支援サービス天晴れの紹介～牧草採草地管理への活用～」(令和4年3月)

<https://www.maff.go.jp/kanto/seisan/tikusan/tikusan/attach/pdf/220328-4.pdf> 等より作成

クラウド型営農支援サービス「天晴れ」（日本・国際航業社）【補足】

■ 圃場観測にあたっては10種類以上の人工衛星から取得される画像データを使用可能であり、ドローンも併せて活用することで、ユーザーの目的に沿った画像を活用

2 活用しているドローン及び人工衛星の一覧

Planet Scope (Planet Labs社) WorldView-3 (Maxar社) Pleiades (CNES)

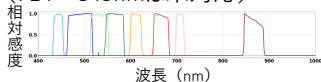
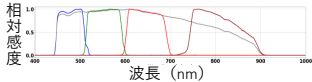
	ドローン	人工衛星
撮影範囲	一度の撮影で2～3ha	広域（15～17km）を一度に撮影可能
撮影頻度	- 一日当たりの撮影可能時間に限度が存在 - 機動性は抜群	毎日の撮影体制
天候の制約	- 曇天時も撮影可能 風、日射の影響あり	- 快晴が望ましい - 曇天時は不可
撮影環境の制約	撮影禁止エリアや周辺の構造物等の制約あり	500～700km上空から撮影するため、制約はなし
空間分解能	約1～5cm	日本では、0.3～10m（最小分解能はWorldView-3の解像度に依存）
観測波長帯	基本的に可視光	- 基本的に、可視光域～近赤外域 - 中間・短波長赤外、熱赤外も利用可能
利用料金	撮影枚数や空間分解能により異なる	- 穀物類は50,000円～/1,000ha - 牧草は70,000円～/1,000ha
圃場データの準備	ユーザにて準備（任意）	- ユーザにて準備（必須） * 見積依頼、診断依頼時に必須
		利用可能な光学衛星 - Planet Scope（Planet Labs社） - SkySat（Planet Labs社） - WorldView-1,2,3（Maxar社） - Pleiades（CNES） - GeoEye-1（Maxar社） - QuickBird（Maxar社） 等 利用可能なレーダ衛星 - ALOS-2（JAXA） - COSMO-SkyMed（e-GEOS社） - Sentinel-1A/1B（ESA/EC） 等 目的や予算等に合わせて使用する衛星を選択

出典：国際航業社「空から診る精密農業 営農支援サービス天晴れの紹介～牧草採草地管理への活用～」（令和4年3月）
<https://www.maff.go.jp/kanto/seisan/tikusan/tikusan/attach/pdf/220328-4.pdf> 等より作成

光学衛星群にて取得する高解像度画像を活用した、より精緻な圃場情報の提供（米国・Planet Labs社）

■ 自社開発の光学衛星約180機によるコンステレーションを構築し、高分解能な画像データを日次単位で取得・蓄積

光学衛星群による高頻度・高解像度の圃場画像の取得

	PlanetScope	SkySat
外観		
機体数	約180 機	約20 機
空間分解能	3.7 m	0.5 m
撮影条件	毎日・陸域 (15 km 以内の沖合含む)	受注後撮影 (最大1日に12回)
スペクトルバンド	8 (RGB、近赤外線含む)	5 (RGB、近赤外線 + バンクロマチック)
高度	475～525 km	475～575 km
波長	波長帯域：431～885 nm (714～845nmは未対応) 	波長帯域：450～900 nm 

普及状況等

- 65ヶ国以上の農業や政府、保険、エネルギー、インフラといった様々な業界の900以上の顧客に衛星画像を提供
- PlanetScopeの衛星画像の最低購入金額は、5,000USドル（なお、最小購入面積は1ha以上）
- SkySatの衛星画像の最低購入金額は、15,000USドル（なお、最小購入面積は25km²以上）

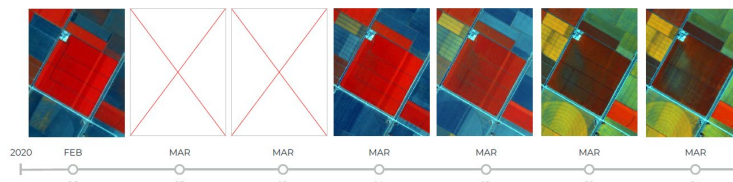
出典：Planet Labs社提供資料等より作成

- 「PlanetScope」では原則毎日圃場を撮影可能であり、天候の変化による影響をあまり受けることなく、圃場画像データを取得可能



▲1か月のうちに取得された圃場画像一覧

- 現場で取得されるデータを組み合わせ、日次で圃場内の変動を把握可



▲作物の植生の圃場レベルの変動状況

開発企業・研究機関の情報等

Planet Labs社

- 2010年設立
- 本社を米国サンフランシスコに置き、世界中に複数の拠点を整備
- 3～6ヶ月のサイクルで設計・生産し、毎年衛星を打上げ
- 農業分野では、BASF社やCorteva社、NASA Harvest社等の多数の企業がPlanet Labs社の画像を利用し、サービスを展開

光学衛星群にて取得する高解像度画像を活用した、より精緻な圃場情報の提供（米国・Planet Labs社）【補足】

- 欧州宇宙機関により無償で公開されているデータに、独自の衛星データ解析技術を適用することで、天候に依存することなく、より正確に作物の生産性を評価することが可能

「植生プロキシ」による天候に依存しない生産性予測

- VanderSat社（2021年にPlanet Labs社が買収）の衛星データ解析技術を組み合わせ、独自に定義したパラメタ「植生プロキシ」を基に、地上の作物の植生状態について、天候に依存せず、より正確に推定可能

植生プロキシ（Biomass Proxy）とは

- Sentinel 2（光学衛星）から取得するNDVI¹⁾と、Sentinel 1（レーダ衛星）から取得する作物の水分含有量を基に、VanderSat社の解析技術を用いて、日次単位での予測値を算出
- 10m×10mの解像度にて、植生状態を0～1の値で相対的に表示

1) 植物の葉が可視光を吸収、かつ近赤外領域の波長の光を強く反射する性質を活用して取得される指標

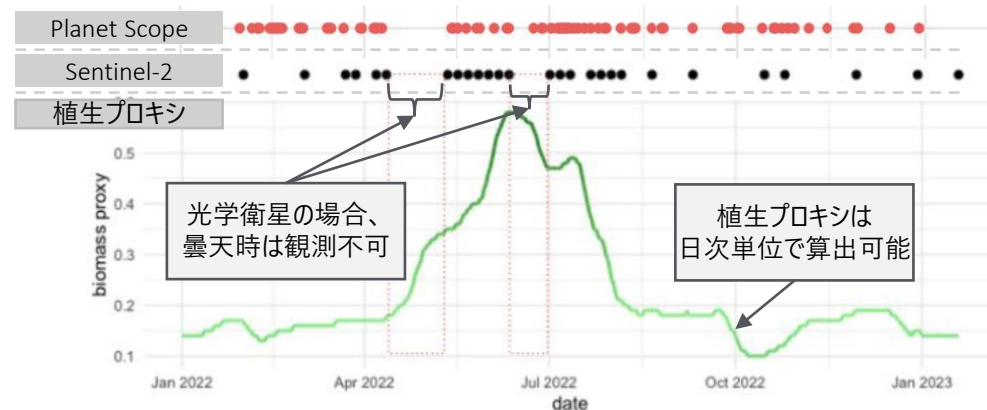
Sentinel-1（レーダ衛星）
高頻度で植物の水分含有量を計測

Sentinel-2（光学衛星）

高解像度な画像を取得可能
（ただし、曇天時は正確に観測できない）

植生プロキシ

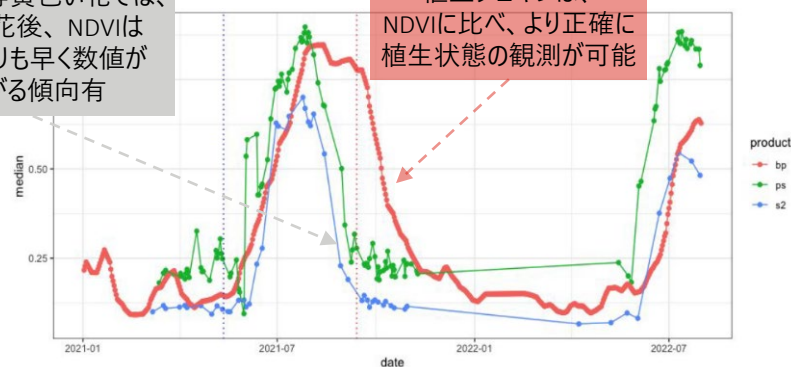
両データを組み合わせて解析することで、
日次単位で、作物の植生状態を予測



▲光学衛星からの画像取得頻度と植生プロキシの予測値の取得頻度の比較

キャノーラ等黄色い花では、
その開花後、NDVIは
実際よりも早く数値が
下がる傾向有

植生プロキシは、
NDVIに比べ、より正確に
植生状態の観測が可能



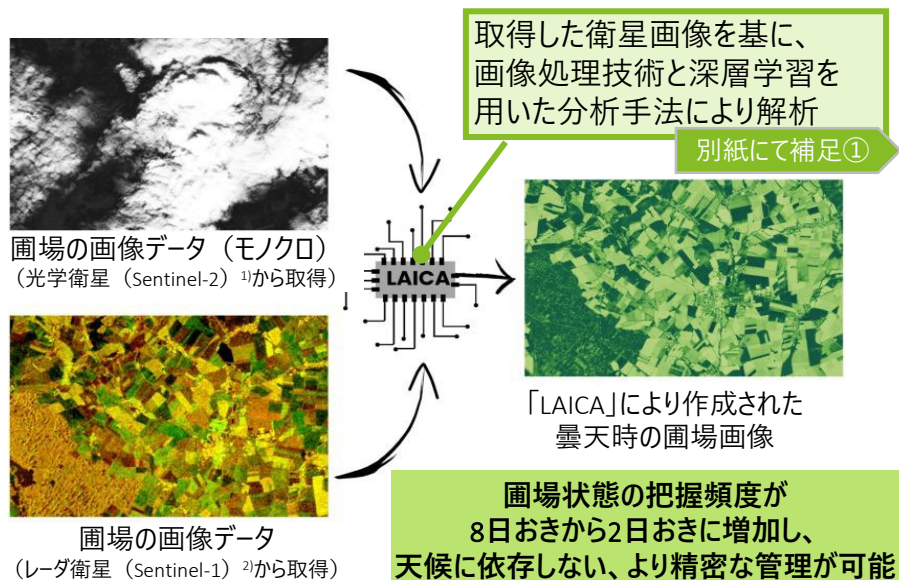
▲NDVI（グラフ内青・緑色）と植生プロキシ（グラフ内赤色）との精度比較

出典：出典：Planet Labs社提供資料等より作成

無償公開の衛星データを用いた天候に依存しない圃場モニタリング（チェコ・World from Space社）

- 欧州宇宙機関により無償公開されている光学衛星とレーダ衛星から取得されるデータを基に、過去に取得した衛星データに基づく深層学習結果を補完することで、天候に依存せず、安価に圃場状態を把握可能

圃場管理システム「DynaCrop」の主要な機能「LAICA」の概要



1) Sentinel 2は、最小空間分解能10m、波長443 nm ～ 2190 nm、バンド13、高度786 km

2) Sentinel 1は、最小空間分解能5m、中心周波数5.405 GHz、高度 693km

普及状況 等

- ・ サービスの提供地域としては、ヨーロッパやアジア、アフリカ、南米等が挙げられ、これまでに約25社への導入実績

出典：World from space社提供資料等より作成

他社との料金体系の比較

- ・ 無償公開されているデータを用いており、圃場画像の取得頻度や解像度が低く、相対的に安価なサービスが提供

	World from space社 「DynaCrop」	BASF社「xarvio」
圃場画像の 取得頻度	2日ごと	毎日
利用機能	・ 生育や土壌の管理 ・ 水管理のアラート ・ 可変播種・可変施肥マップ作成 他	・ 各種マップ（地力、生育、雑草、播種収量）の作成 ・ 天気予報・散布天気予報 ・ 生育ステージ予測 ・ 病害防除や施肥、水管理の推奨アラート ・ 可変施肥 & 可変施肥マップの作成 ・ スマート農機連携 他
年間使用料 ³⁾	316円 ⁴⁾	6,600円 ⁵⁾ ～

低価格だが、最低限の
機能のみの利用に留まる

手頃な価格で
豊富な機能を活用可能

3)料金比較のため、圃場2ha分を利用する際の基本料金にて試算

4)標準機能全て利用可能なプラン「FULL」の年額利用料金1haあたり0.99€（158円※）にて試算

5)「その他の14作物」の年間基本料金の最小価格。追加料金の場合、年額1haあたり550円～利用可能

開発企業・ 研究機関 の情報等

World from space社

- ・ 2017年設立
- ・ 2018年に地球観測の主要イノベーションコンペ「Copernicus Masters」にて優勝
- ・ チェコ国産業貿易省の後援の下、EUより外部資金を獲得

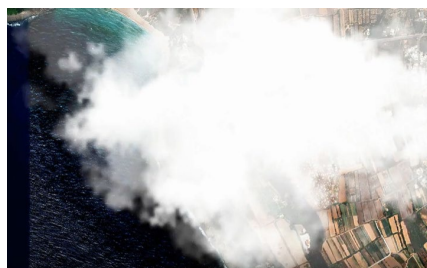
無償公開の衛星データを用いた天候に依存しない圃場モニタリング（チェコ・World from Space社）【補足】

- 光学衛星単体では、太陽光の角度や雲の覆い等の影響を受け、各種指標の測定精度が低下するが、レーダ衛星や過去の取得データと組み合わせることで、天候に依存せず指標の測定精度・頻度を向上可能

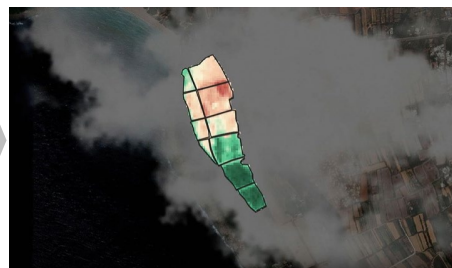
1 「LAICA」における解析手法

過去データに基づく深層学習による、最新データの補正

- 光学衛星（Sentinel-2）にて取得済の数百万枚の画像データを基に、深層学習を行うことで、現在の葉面積指数（LAI）¹⁾の値を予測
- レーダ衛星（Sentinel-1）データからLAIに関する補足データを算出
- 上記により、天候に依存せず、2日おきに圃場状態の把握が可能
- 通常、光学衛星が提供可能な最新の衛星画像は年間約45枚だが、LAICAでは年間182枚まで提供可能



光学衛星から取得した
曇天時の画像データ

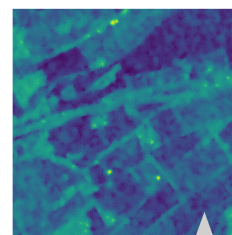


予測されたLAIの値とレーダ衛星データを用いて解析を行った曇天時の画像データ

< 補足 > 曇天時の圃場状態を把握する際の課題

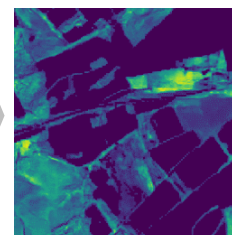
- 多くの圃場管理システムでは、衛星で取得したデータから植生指数を算出し、作物や土壌状態に関する定量的な情報を提供
- ただし、曇天等の悪天候時は、圃場管理における実用的な情報の提供が困難
- その理由は、悪天候時、レーダ衛星で取得したデータにより植生指数等の算出は可能であるものの、光学衛星で取得される画像から色の識別ができず、圃場内の状況を正確に把握できないため

レーダ衛星から取得した
曇天時の画像データ



晴天時に比べて
精緻な情報が
得られない

曇を除去した
予想データ



植生指数を表示した
画像データ



レーダ衛星データでは、
色の識別が不可のため
精度が低下

1) Leaf Area Indexの略。単位土地あたりの葉の面積の測定値。植生の健全性、生態系の機能、土地と大気の相互作用を理解する上で重要な指標。野菜の生産量と相関関係がある

今後の 開発上の 課題

- 果樹園の圃場管理は比較的困難とされており、高解像度の衛星画像との統合が必要

出典：World from space社提供資料等より作成

関連する 技術事例

BASF社開発の圃場管理システム「xarvio（ザルビオ）」

- Planet Labs社の光学衛星「PlanetScope」や公共の光学衛星「Sentinel」から得られる衛星画像データを解析し、作物の生育状態や病害虫の有無等の診断情報を提供

過酷環境下での農作物の栽培を想定した植物工場システムの開発（フランス・Interstellar Lab社）

- 宇宙空間等への設置を想定した植物工場システムとして、3Dプリンティング技術や空中栽培技術、栽培作物の最適配置を行うアルゴリズム等を採用した「BioPod」を開発
- 既に販売開始しており、宇宙空間だけでなく地上での運用にも期待

環境制御型栽培システムと要素技術

過酷条件に
対応可能な
3Dプリンティング

- ・「BioPod」の製造にあたっては、3Dプリンティング技術を活用
- ・温度差が激しい過酷環境に耐えることを想定し、外殻に膨張可能な柔らかいプラスチック膜を構築

空間の最大活用と
水使用量を
最小化する
栽培方法の適用

- ・限られた空間で栽培面積を最大化し、灌水の使用量を最小化（通常の使用量の98%を削減）
- ・灌漑時は、肥料成分を含む水を高圧に散布
- ・栽培対象となっている作物は多岐に渡り、パニラやパッションフルーツ等の約300種類の作物を栽培可能であることを実証済

栽培計画を
最適化する
作物選択
アルゴリズム

- ・乗員に必要な栄養素と、食事内容の多様性の確保、使用する水の量や栽培面積を最適化することを目的として、独自の遺伝的アルゴリズム※を開発
- ・具体的には、室内における作物品種・栽培面積の最適な組合せをシミュレーションし、その結果を提示

コンセプト	閉鎖環境における「水・空気・食料の生成・再利用」
実寸	5 x 11 x 6 m（幅 x 奥行き x 高さ）
栽培面積	最大100m ²
想定する 利用環境	・食料生産において「土壌の損傷が激しい場所」又は「生産スペースが不足する場所」での利用を想定 ・将来的には、宇宙空間での利用を想定

普及状況
等

- ・ NASAや欧州宇宙機関（ESA）との間で、低重力下の植物栽培の実現に向けた戦略的パートナーシップを締結
- ・ 過酷環境を想定した砂漠での概念実証後、通常環境で栽培困難なパニラやベチバー（イネ科の多年生草本）等の栽培試験を実施中
- ・ 2023年9月にRobertet社（仏のフレグランスメーカー）が初めて購入

開発企業・
研究機関
の情報等

Interstellar Lab社

- ・ 2018年に設立
- ・ 現在の拠点はパリ（フランス）とケープカナベラル（アメリカ）
- ・ 3Dプリンティング会社 Soliquid社と合併
- ・ BPI、France 2030、各種VCから700万ドルの資金を調達

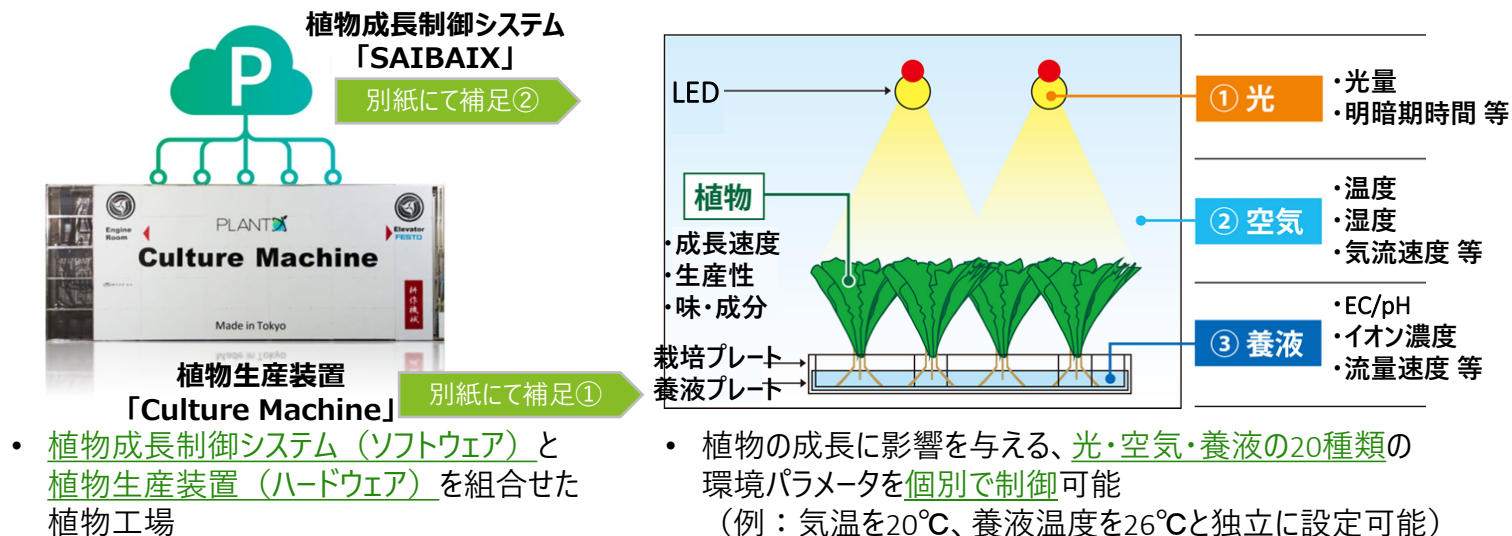
出典：Graham Gordon et al "Optimizing Crop Selection Using Genetic Algorithms"（2021年7月）
<https://ttu-ir.tdl.org/server/api/core/bitstreams/e85b829a-086b-4c52-be3c-8a653405213f/content> 等より作成

密閉型栽培装置を活用した人工光型植物工場（日本・PLANTX社）

- 植物生産装置と植物成長制御システムを組合せ、植物の成長に影響を与える光・空気・養液等の20種類の環境パラメータを個別に制御
- 上記の技術により、植物や野菜の①収量増加、②収穫量の安定化、③高付加価値化といった効果を得ることが可能

技術概要

商用化状況



- ・ 2020年5月から、植物工場で生産したレタスを都内のスーパーマーケットにて販売
- ・ 毎日約200店舗のスーパーマーケットに対し、安定的にレタスを出荷

普及状況等

- ・ 植物工場にて生産したレタスについては商用化済みであり、今後は、生産量や品目の増加を志向
- ・ 植物や野菜のファイトケミカル※含有量を増やすために、植物工場内の最適なパラメータを調整し、本パラメータを適用した量産工場を拡大していくことを目指す

開発企業・研究機関の情報等

PLANTX社

- ・ 2014年設立
- ・ ①人工光型植物工場の企画・設立・運営サポート、②植物の栽培条件に関する研究、③植物の生産・販売、の3つの事業に取組む
- ・ 直近では令和5年11月にリアルテックファンド等より資金調達を実施
- ・ SBIR事業により、12億円を支援

※ 紫外線や昆虫等の植物にとって有害なものから体を守るために作りだされた色素や香り、辛味、ネバネバ等の成分
出典： PLANTX社提供資料等より作成

密閉型栽培装置を活用した人工光型植物工場（日本・PLANTX社）【補足】

- 棚ごとに気密・断熱された完全閉鎖系の植物生産装置であり、同部屋に設置された装置間での干渉防止や、装置内部に設置された各種機器による緻密な環境条件の制御が可能
- 上記の装置にインストールされている植物成長制御システム「SAIBAIX」は、各種センサーによる測定値と植物の成長指標値の関係を数式として整理したシステムであり、リアルタイムでこれらのパラメータを制御可能

1 植物生産装置「Culture Machine」の概要

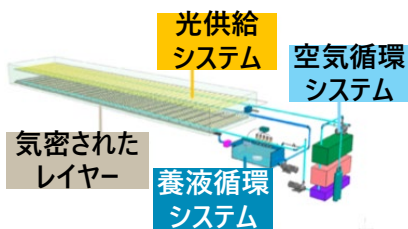
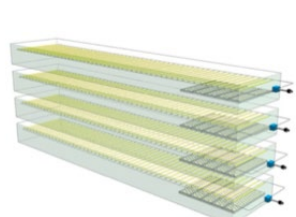


棚ごとに気密・断熱することで、各パラメータを個別に制御可能な、世界初の「**クローズド・タイプ**」の植物工場

◀ Culture Machine

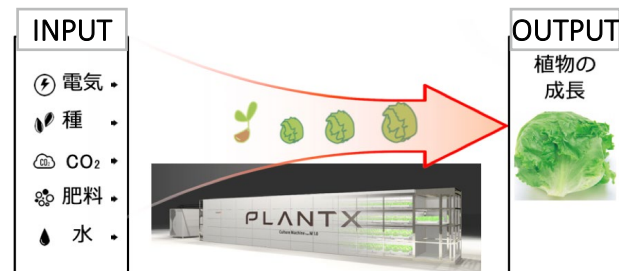
各レイヤーを独立して気密・断熱

環境パラメータを個別に制御



- 同じ部屋に設置された植物工場同士で光等が干渉し合うことがない
- 虫の侵入リスクを大幅に低減可
- LED照明、養液循環装置、エアコン、加湿器等の制御機器を内蔵
- 緻密な環境条件の制御が可能

2 植物成長制御システム「SAIBAIX」の概要



SAIBAIXは、電気・種・CO2・肥料・水（インプットデータ）と、植物の成長（アウトプットデータ）を紐付けたシステム



▲ SAIBAIXのイメージ

水温、気温等の「状態変数」及び光合成速度等の「速度変数」を含む

- センサー測定値と植物の成長指標値の関係を数式チェーンとして整理
- これらのパラメータはリアルタイムで制御することが可能
- 数式チェーンをクラウドで管理することで、各「Culture Machine」にインストールして活用することが可能

今後の開発上の課題

- 光合成速度や蒸散速度等の「速度変数」の最適制御

出典： PLANTX社提供資料等より作成

草地環境下にて雑草検出かつ自動走行する除草ロボットの開発（欧州・デンマーク工科大他）

- EUの全地球航法衛星システムGalileoを用いて、平坦な圃場に比べ条件が悪い草地環境にて、自律走行可能な除草ロボットを開発中
- 深層学習に基づき、雑草及びその茎の位置をより精緻に特定することに成功しており、今後は電流又はレーザーにて雑草を枯死させて除草することを目指す

GALIRUMIプロジェクトの概要

自動除草ロボットを開発し、牧場や草地における雑草管理の省人化や除草剤の削減を目指す

基本性能

- ・ プロトタイプの連続稼働時間：約3時間
- ・ 移動速度：1 m/s

Galileoの利用

- ・ 欧州の全地球測位衛星システム（GNSS）であるGalileoを利用し、標高の高い山等の信号を遮断する障害物がある場合も、安定して受信可能

ナビゲーション&自動制御

- ・ 変調可能な複数の周波数を用いることで、GNSSが十分に機能しない場所においても安定的なナビゲーションが可能

画像認識による雑草の検出

- ・ エゾノギシギシ（*Rumex obtusifolius*）を対象に、独自の深層学習により、草地における雑草の判別及び茎の位置の検出力を向上

除草処理

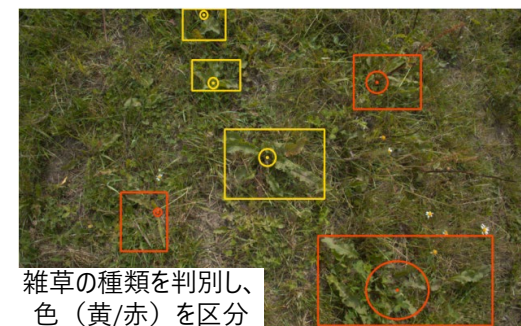
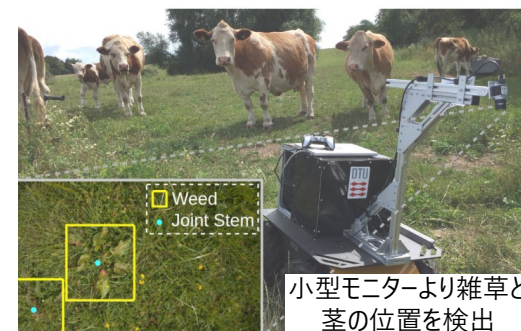
- ・ 2通りの除草方法が展開可能
- ・ 大型機の場合は、電気を使用し、小型機の場合は、レーザーを使用

普及状況等

- ・ 2024～2025年を目途に実用化予定

出所：GALIRUMI ウェブサイト <https://galirumi-project.eu/> 等より作成

実証成果例



開発企業・研究機関の情報等

GALIRUMIプロジェクト

- ・ 欧州の研究開発プログラムHorizon2020のプロジェクトの一つ
- ・ 実施期間は2019年12月～2022年11月
- ・ 全体予算は147万€
- ・ オランダ・ワーヘニンゲン大学やデンマーク工科大学等が参画

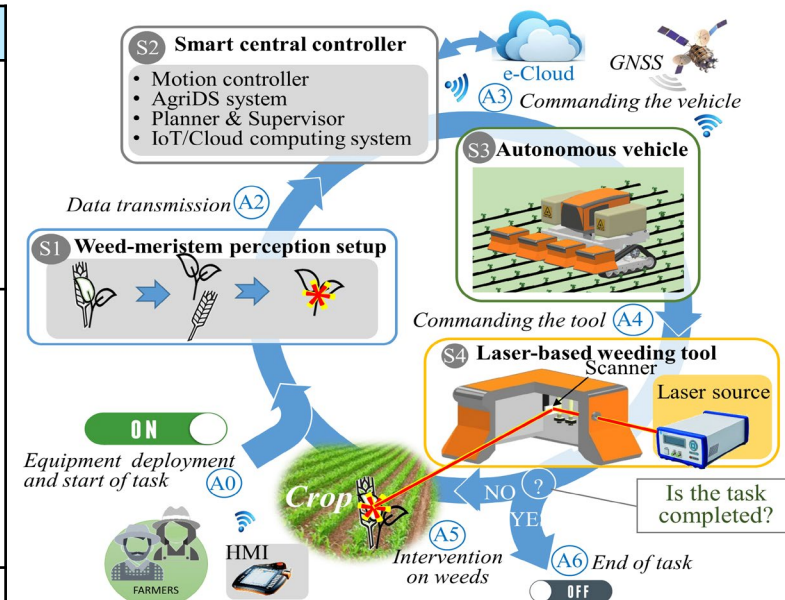
レーザーを活用した除草機器を搭載する自動運転車両の開発（欧州・CSIC他）

- 除草用の500W程度のファイバーレーザーを搭載した自動運転車両を開発しており、テンサイやトウモロコシ、小麦等を栽培する畑にて、プロトタイプによる実証を実施
- 雑草の除去による農作物の生産性向上を図るとともに、農薬の使用量や機械での掘り起しによる土壌への環境負荷低減を同時に達成することを志向

WeLASERプロジェクトの概要

目的 環境や生物多様性に悪影響を与える作業（例：殺虫剤の使用、土壌の掘り起こし）に代わる新たな除草方法の確立

取組 内容	主な開発項目	開発目標	具体的な開発成果（想定）
	雑草の分裂組織の特定	- 雑草分裂組織（雑草が成長する組織）の位置を特定 - 特定した雑草分裂組織にレーザー光源を正確に充てるためのツールを構築	検出された雑草の分裂組織に対し、少なくとも90%の確率でレーザーを正確に照射
	全ての影響を最小限に抑えた除草用レーザーツールの開発	- 除草用の可動式高出力ツリウムドープファイバーレーザーを開発 - WeLASER 精密除草装置が作物や環境、健康に及ぼす影響を最小限に抑える	- パルス幅0.2～10 msの範囲で最大出力500 Wを達成するレーザーを開発し、照射先の雑草の90%以上を熱にて除去 - 作物：生産性10%向上 - 環境：土締固めの低減 - 健康：汚染物質を30～50%削減
	安全な自動運転車両の開発	作業現場に除草システムを正確に配置するために、自動運転車両を開発	



▲レーザーを活用した除草除去方法の全体像

普及状況等

- 2023年に、デンマークのコペンハーゲン大学内の試験圃場やスペインの自動運転車両の試験圃場等において、テンサイやトウモロコシ、小麦畑における除草の実証を実施

開発企業・研究機関の情報等

WeLASERプロジェクト

- EUの研究開発プログラム「Horizon2020」にて実施
- プロジェクト期間：2019～2023年
- プロジェクト予算：約7,500万ユーロ（期間全体）
- スペインの公的機関である国立研究評議会（CSIC）やフランスのスタートアップ等の9つの大学・民間企業・研究機関と合同で自動走行型レーザー除草機の開発を実施

出典：EC Horizon2020 ウェブサイト “SUSTAINABLE WEED MANAGEMENT IN AGRICULTURE WITH LASER-BASED AUTONOMOUS TOOLS” <https://cordis.europa.eu/project/id/101000256/reporting> 等より作成

レーザーを活用した除草機器を搭載する自動運転車両の開発（欧州・CSIC他）【補足①】

- 自動運転農機と高周波数レーザーを組み合わせることで、プロトタイプとなる除草車両を作製しており、数か所の圃場にて実証を実施済

1 開発車両の仕様

- ・ 既存の自動運転農機（共同研究者のAGREENCULTURE社製）の前方に、除草するためのレーザー機器を取り付けて作製
- ・ 設計時の開発車両の仕様は以下の通り

寸法	2.4×2.1×1.65 m
重量	最大1243 kg
除草効率	最大65%
除草速度	最大2 km/h
処理量	最大4.8 ha/日



▲実際に作製した車両のプロトタイプの外観

除草速度の向上を目的としたレーザーの活用

- ・ レーザーを活用する場合、短いパルスで完全に雑草を枯死させることが可能であり、除草速度の向上を実現
- ・ 本プロジェクトでは、最大5 kHzのパルスレートで正確な制御が可能

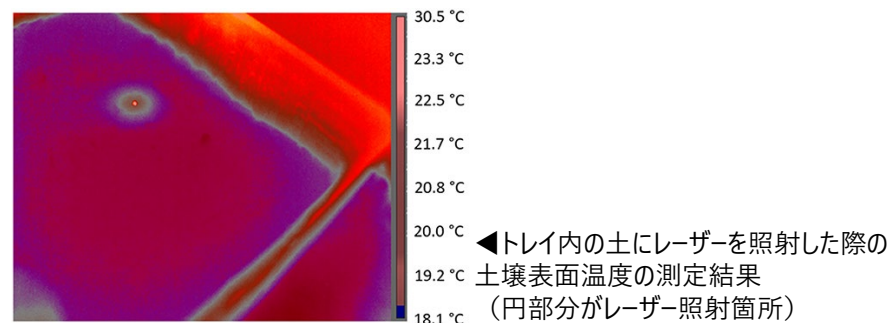


▲レーザ電源の外観

出力	500W
波長	2 μm
レーザー源	ツリウム
寸法	705×437×177 mm

レーザー照射による温度上昇が周辺に及ぼす影響評価

- ・ 一般的にレーザーが照射された場所は加熱されるが、露光時間が短いため（1秒未満）、照射場所周辺の温度上昇は限定的



出所：Christian Andreassen et al. "Laser Weeding With Small Autonomous Vehicles: Friends or Foes?" Front. Agron（2022年3月）.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fagro.2022.841086/full>等より作成

植物による医薬品用タンパク質の生産（韓国・Bioapp社、タイ・Baiya Phytopharm社、米国・KBio社他）

- 植物工場を利用した医薬品用タンパク質の生産がラボレベルからスケールアップし、事業化段階にある事例も登場
- 植物由来の豚熱ワクチンが開発され量産体制にある等、タンパク質の安定的な発現量確保に向け各社が研究開発を推進

手法	概要	利点	欠点	取組事例	
遺伝子組換え植物を用いる方法	目的タンパク質の遺伝子をゲノムに導入し、安定的に目的タンパク質を発現する組換え植物を作出	・ <u>比較的省力・安定生産</u>	・ 優良系統の確立まで数か月以上	Bioapp社（韓国）	・ 2021年12月に豚熱ワクチン「HERBAVAC™ CSF Green Marker」を<u>世界で初めて上市</u> ・ 本製品は、<u>遺伝子組換えベンサミアナタバコを用いて生産（発芽から医薬品としてパッケージ化するまでに約6週間）</u> ・ 全工程を人工光型植物工場にて実施
				Baiya Phytopharm社（タイ）	・ 2022年に、<u>COVID-19ワクチン候補2種類を第1相臨床試験に導入</u> ・ RSウィルスワクチン1種と抗がん剤抗体4種が非臨床試験段階
一過性遺伝子発現法	目的タンパク質の遺伝子を後天的に植物細胞内に導入し、一過的に発現	・ <u>塩基配列設計から目的タンパク質生産まで短期間</u> ・ <u>目的タンパク質の高い発現量</u>（ベクターに依存）	・ 遺伝子導入処理に係る煩雑な工程 ・ 目的タンパク質の抽出・精製が必須	KBio社（米国）	・ 2021年に組織改編し設立 ・ 具体的な製品（抗体やワクチン）のパイプラインは非公開

普及状況等

- ・ Bioapp社のCSFワクチン「HERBAVAC™ CSF Green Marker」は、カナダ市場への投入を進められている

開発企業・研究機関の情報等

Bioapp社

- ・ 2011年設立。2022年には韓国POSCO International社から製造設備増強のため、390万ドルの投資を受ける

Baiya Phytopharm社

- ・ 2018年設立の大学発バイオベンチャー

出典：松田怜、的場伸行「植物工場を利用した医薬用蛋白質生産」（2022年）生物と気象 https://www.jstage.jst.go.jp/article/cib/22/0/22_J-22-074/article/-char/ja/ 等より作成

植物による医薬品用タンパク質の生産（韓国・Bioapp社、タイ・Baiya Phytopharm社、米国・KBio社他）【補足】

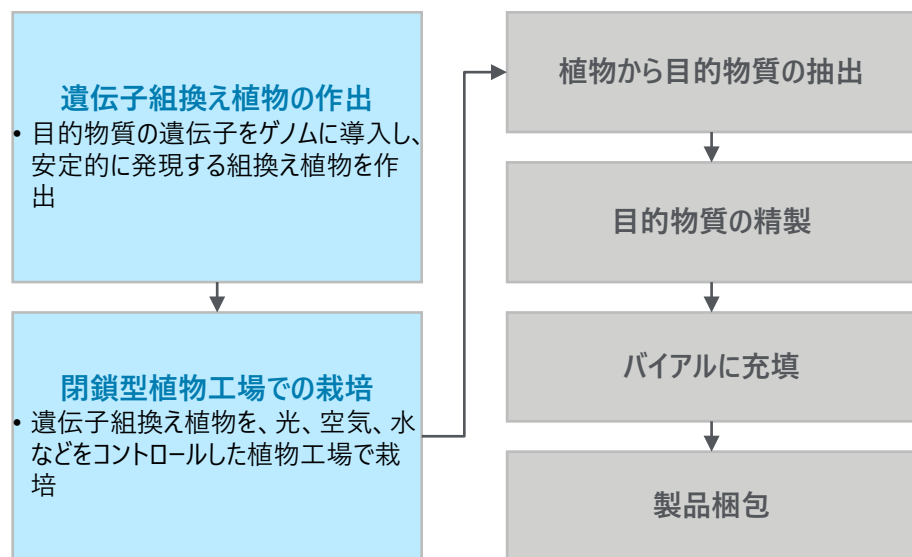
- タンパク質の安定的な発現量を確保するために、植物工場等の環境調節・栽培管理に関する知見の更なる蓄積、技術開発が必要
- スタートアップを含めて多数の企業が植物由来の医薬用タンパク質生産に関する技術開発を実施

1 遺伝子組換え植物を用いる方法

補足①

- 目的とする有用タンパク質をコードする遺伝子をゲノムに導入して組換え植物を作り出し、特定のプロモータを用いて有用タンパク質を果実や特定の器官に発現

遺伝子組換え植物から有用タンパク質を抽出するステップ

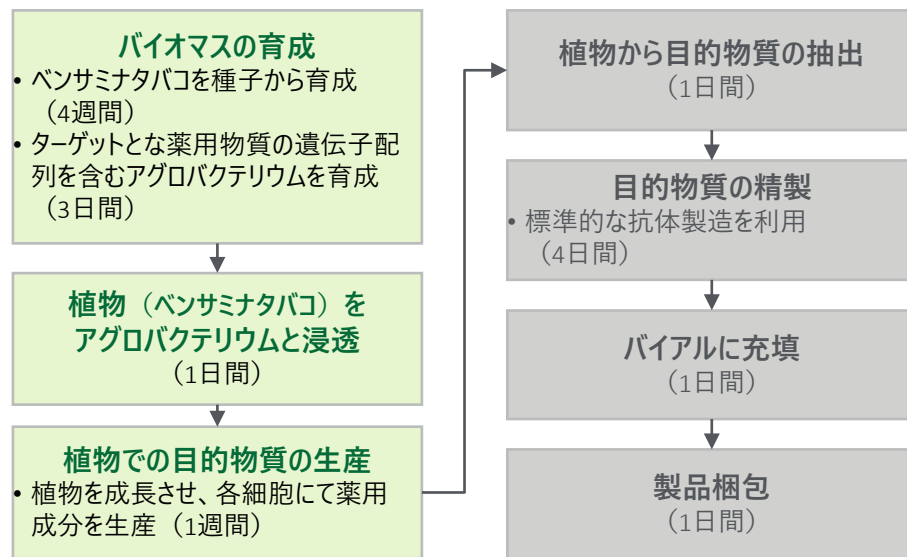


2 一過性遺伝子発現法

補足②

- 通常、タバコの近縁種であり、成長速度が速い、ベンサミアナタバコ（*Nicotiana benthamiana*）が用いられる
- ベンサミアナタバコの場合、レタスに比べて8倍のタンパク質収量がある

一過性遺伝子発現法により有用タンパク質を抽出するステップ



今後の
開発上の
課題

- 植物工場等でスケールアップした際の栽培環境や栽培管理の影響がタンパク質収率に与える影響等に関する知見の蓄積が必要

類似する
技術事例

UniBio社（日本）

- 2011年設立
- 再生医療において皮膚等に分化した細胞をさらに増殖させるために必要な上皮細胞増殖因子（EGF）を、植物内での一過性遺伝子発現法により生産

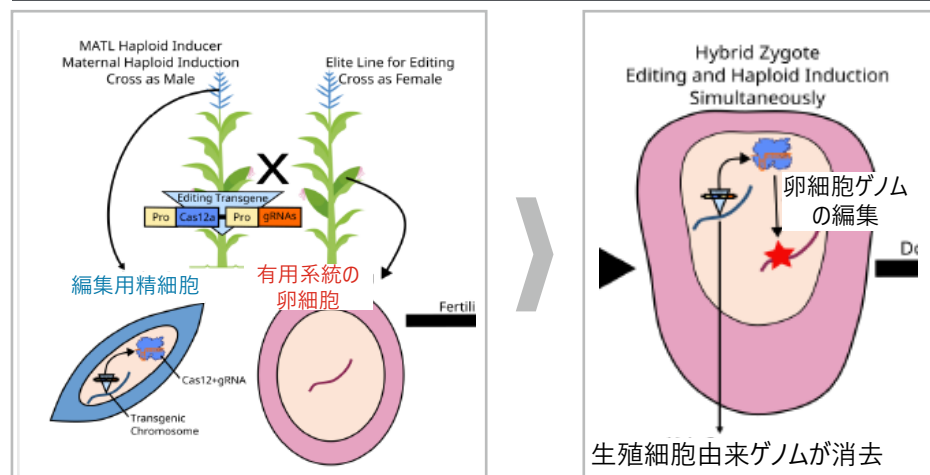
出典：三浦謙治「総説 植物におけるタンパク質生産の現状」『アグリバイオ 2023年8月臨時増刊号』2023年、結城雅之「植物による再生医療原料タンパク質の生産」『アグリバイオ 2023年8月臨時増刊号』2023年、Genetic Engineering & Biotechnology News「Transient Gene Expression Seeds Plant-Based Bioproduction Systems」

半数体誘導を用いたゲノム編集技術（事例：スイス・Syngenta社）

技術の
ポイント、
独自性

- 2019年に、外来遺伝子が導入された親系統の染色体を排除できる半数体誘導技術と、ゲノム編集技術を組合せた技術「HI-Edit」を開発
- 交配過程でCRISPR編集が行われることで、何世代にもわたる選抜や戻し交配等が不要になり、品種改良に要する膨大な時間とリソースの節約が可能

HI-Edit (Simultaneous Haploid Induction EDITing) のプロセス

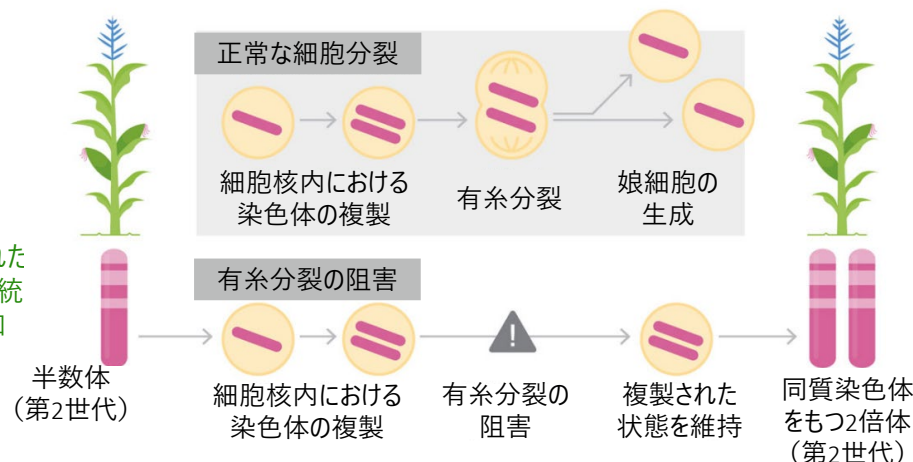


CRISPR-Cas9発現ベクター（ゲノム編集を行う遺伝子）を持つ半数体誘導系統の配偶子を作成し、任意の有用系統（標的系統の配偶子）に受精

受精後、CRISPR-Cas9による遺伝子の標的変異により、生殖細胞由来のゲノムが消去

編集された
有用系統
を倍加

HI-Editによるメリット



HI-Editにより、1世代のみの品種改良で、
形質転換が可能
（倍化半数体の品種の完成）

普及状況
等

- ・ HI-Editを利用した品種改良として、単子葉類としては、トウモロコシ、小麦、インディカ米、双子葉類としては、シロイナズナ、トマト、ヒマワリに関して報告されている

開発企業・
研究機関
の情報等

Syngenta社

- ・ 1998年設立
- ・ 48カ国以上に会社を有するグローバル企業
- ・ 除草剤、殺虫・殺菌剤、種子処理剤の販売や、畑作物、野菜の高収量の遺伝子組換え種子を開発

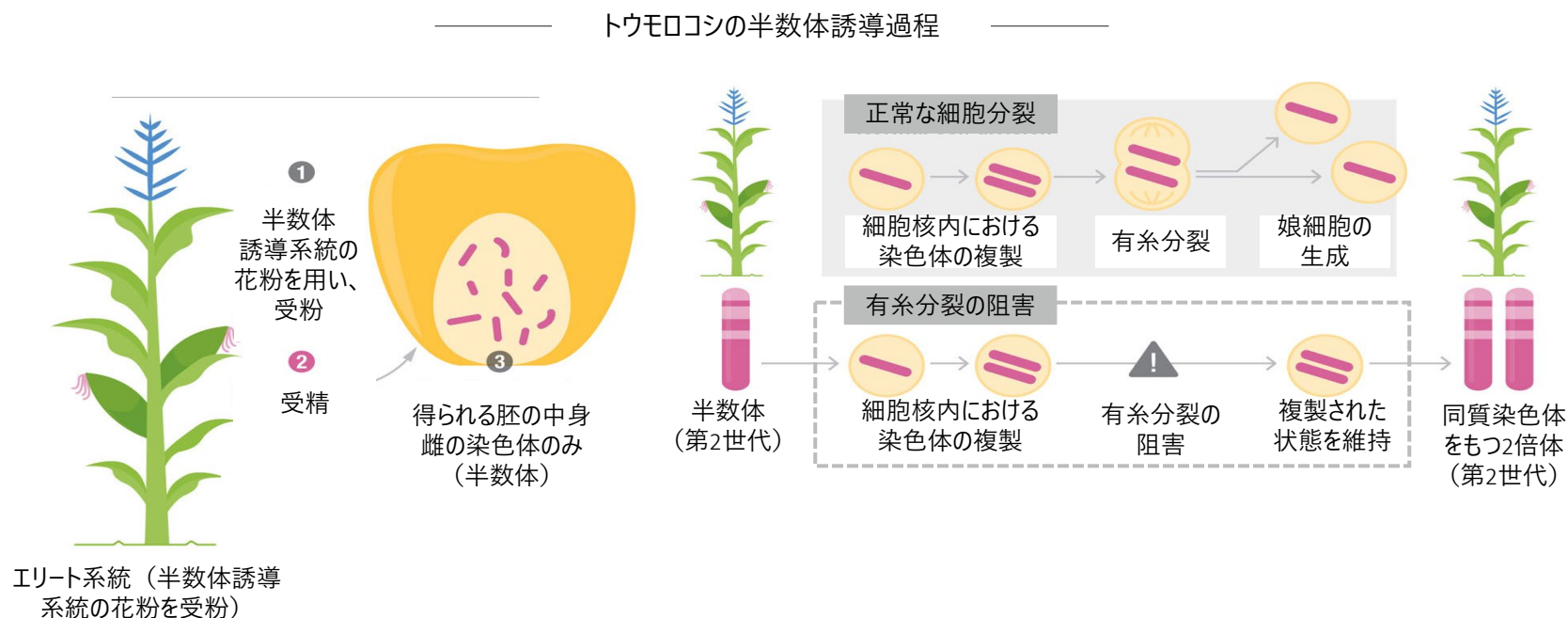
出典：Timothy Kelliher et al. "One-step genome editing of elite crop germplasm during haploid induction" (2019) nature biotechnology <https://www.nature.com/articles/s41587-019-0038-x> 等より作成

半数体誘導を用いたゲノム編集技術（事例：スイス・Syngenta社）【補足】

- 通常の品種改良は、表現型と遺伝子型を一致させるための形質転換に6~7世代（約2年半）必要となるが、「HI-Edit」を用いると、2世代（約2か月）の品種改良のみで形質転換が可能

1 半数体誘導の概要

- 二倍体の植物体に半数体誘導システムを受粉させ、[半数体の植物体を作成する技術](#)
 - 半数体（haploid）とは、通常の作物が染色体を2本持っている（二倍体）状態に対して、片方の1本のみとなっている個体を指す
- 同社は、トウモロコシの半数体誘導の要因となっている遺伝子として、「*Matrilineal*遺伝子（以下、*MATL*遺伝子と略す）」を特定＜詳細は次ページ＞
- 半数体システムを用いて受粉させた後、有糸分裂阻害剤を用いて有糸分裂を阻止することで、核内の染色体を倍化
- これにより、通常の交雑育種（品種改良）における[自家受精と選抜のプロセスを省略化](#)でき、後代に確実に形質を継代させることが可能
- ホモ化変異体の品種を作成することで、育種選抜を省略でき、開発期間も半分に短縮可能

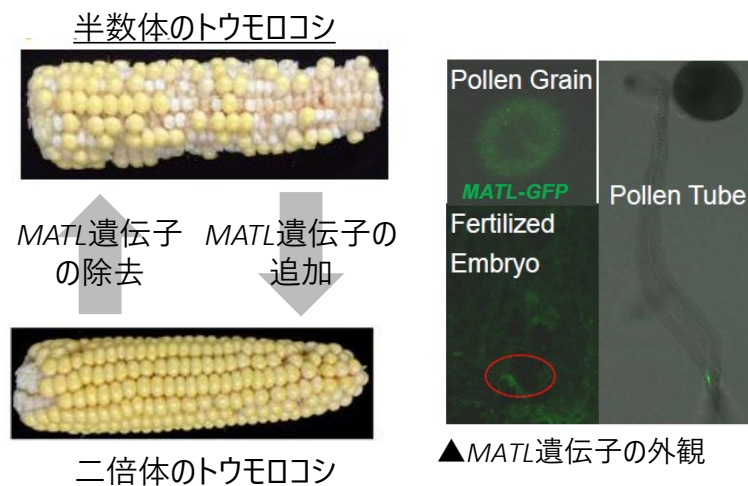


半数体誘導を用いたゲノム編集技術（事例：スイス・Syngenta社）【補足】

- *MATL*遺伝子を除去することで、トウモロコシに対して半数体誘導を実施できることを発見し、その他の単子葉植物（例：小麦）においても、半数体誘導システムの作成が可能であることを実証
- *MATL*遺伝子を保有しない双子葉植物に対しては、*CENH3*遺伝子を編集することで、半数体誘導システムを作成可能であることを実証

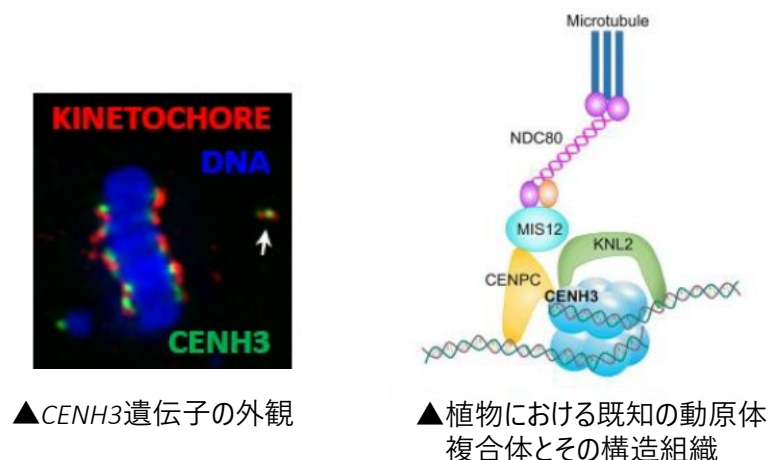
2 単子葉植物に対する「HI-Edit」の適用

- 2017年にトウモロコシの半数体誘導が、*MATL*の突然変異によって生じていることを発見
 - *MATL*遺伝子とは、精子細胞膜のホスホリパーゼ（*phospholipase*：リン脂質を加水分解する酵素の総称）であり、リン脂質を相互変換する役割を持つ
- 上記を踏まえ、トウモロコシ以外の作物に対する本技術の適用に向けた研究を進め、単子葉植物である小麦やインディカ米に対しても、「HI-Edit」を適用することに成功



3 双子葉植物に対する「HI-Edit」の適用

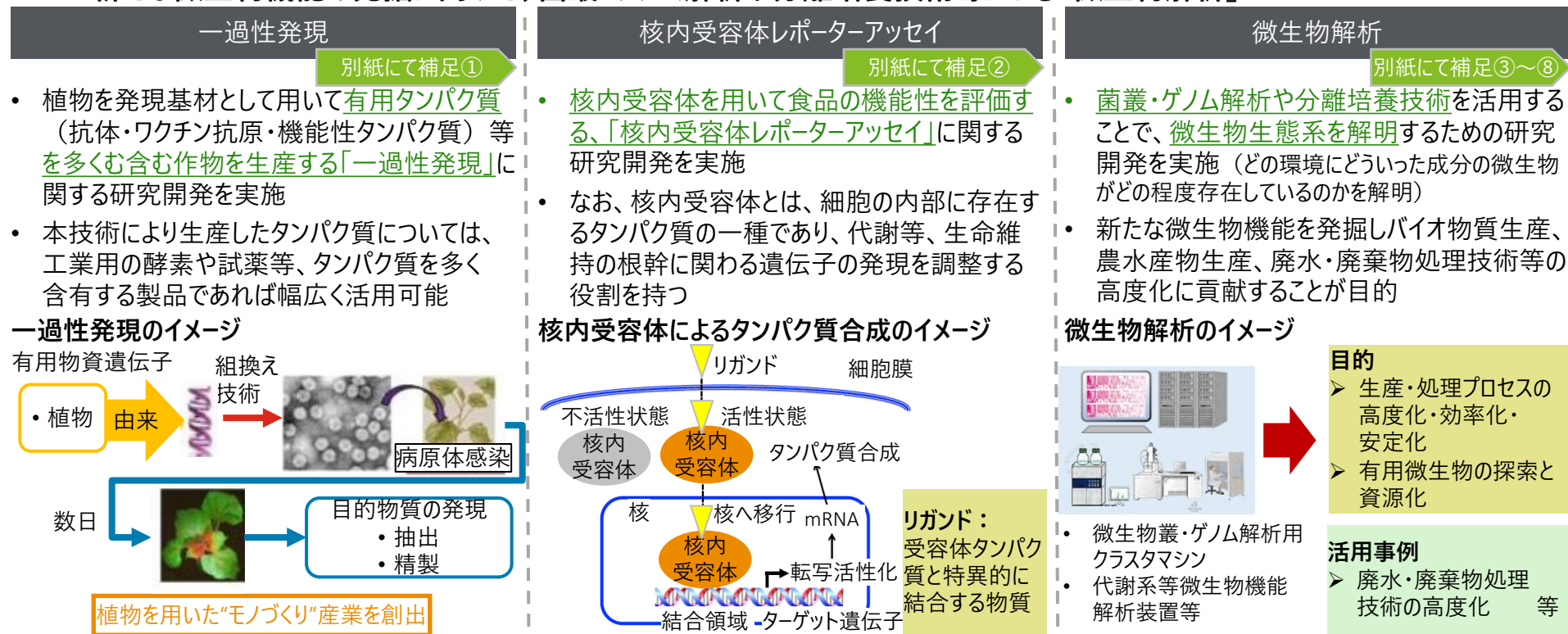
- 双子葉植物は、*MATL*遺伝子を持たないため、代わりに*CENH3*遺伝子を編集することで、半数体誘導を起こすことが可能
 - *CENH3*遺伝子は動原体複合体の一部であり、動原体は有糸分裂中に染色体の両側に形成され、細胞分裂時に紡錘糸が結合する部位
- *CENH3*遺伝子を用いた「HI-Edit」は、双子葉植物であるシロイヌナズナやトマト、ヒマワリに適用可能であることを確認
- 単子葉植物であるトウモロコシや小麦にも適用可能であることを確認しており、幅広い作物への適用が期待されている



ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）

■ ゲノム情報を利用した有用物質生産技術の確立を目指し、以下の研究開発に取り組んでいる

- 有用タンパク質の大量生産に向けた、「一過性発現」
- 食品の機能性評価に向けた、「核内受容体レポーターアッセイ」
- 新たな微生物機能の発掘に向けた、菌叢・ゲノム解析や分離培養技術等による「微生物解析」



普及状況等

【タンパク質発現】

- ・栽培する作物種やタンパク質の用途についての検討段階

【核内受容体】

- ・商用化に向けた、事業連携先の検討段階

【微生物解析】

- ・ラボ実証を行うための、研究環境の整備段階

出典：産業技術総合研究所 北海道センター提供資料等より作成

開発企業・研究機関の情報等

産業技術総合研究所 北海道センター

- ・設立年：2001年
- ・日本に3組織しかない特定国立研究開発法人の1つであり、全国に12か所の研究拠点を配置
- ・北海道センターでは、「バイオものづくり」をキーワードとして「ゲノム情報を利用した有用物質生産技術」の確立を目指した研究を実施

ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足①】

- 一過性発現とは、外来遺伝子を細胞や微生物に導入し、一時的にタンパク質を発現させる手法
- 遺伝子導入技術（アグロインフィルトレーション法、ウイルスベクター法、アグロインフェクション法）と遺伝子組換え作物を併用することで、タンパク質の発現量を増加させることが可能

1 一過性発現の概要

- 外来の遺伝子を細胞や微生物に導入することで、一時的にタンパク質を発現させる手法
- 遺伝子導入技術として、アグロインフィルトレーション法、ウイルスベクター法、アグロインフェクション法を活用
 - アグロインフィルトレーション法：遺伝子情報を導入する能力を持つ細菌であるアグロバクテリウムを植物細胞に感染させ、遺伝子を導入する技術
 - ウイルスベクター法：特定の遺伝子を含むウイルスを宿主細胞に感染させることで、ウイルスの自己増殖機能により効率的に遺伝子を導入する技術
 - アグロインフェクション法：遺伝子の運搬体として、細菌であるアグロバクテリウムとウイルスを併用することで、アグロバクテリウムに感染した植物細胞を、ウイルスの自己増殖機能で効率的に増殖させる技術
- なお、遺伝子導入技術や、遺伝子組換え作物の活用有無により、タンパク質発現までの日数や発現量が異なる

遺伝子導入技術	アグロインフィルトレーション法	ウイルスベクター法		アグロインフェクション法	
遺伝子組換え作物の活用	×	○ サイレンシングサプレッサー発現植物※2		○ CMV発現植物※3	
タンパク質発現までの日数	7日	5日		3日	
タンパク質発現の様子					
タンパク質の発現量	少	多			

遺伝子導入技術と遺伝子組換え作物を併用することで、タンパク質の発現量を増加させることが可能

今後の開発上の課題

- ウイルスベクターを活用する場合、ウイルスの漏洩リスクへの対応等、高度な知見・技術が必要

関連する技術事例

- 高い有用タンパク質の発現量を得ることが可能なベクターとして、東京大学の松田怜准教授等が開発した「magnICON」が挙げられる

※1 Green Fluorescent Protein（緑色蛍光タンパク質）：青色の光を吸収して緑色の蛍光を発する、分子量約2.9万のタンパク質、※2 ウイルス感染から自らを防御する機能を抑制する遺伝子組換え植物、※3 CMV（シトメガロウイルス）を活用して特定の遺伝子の発現を促進する遺伝子組換え植物
出典：産業技術総合研究所 北海道センター提供資料等より作成

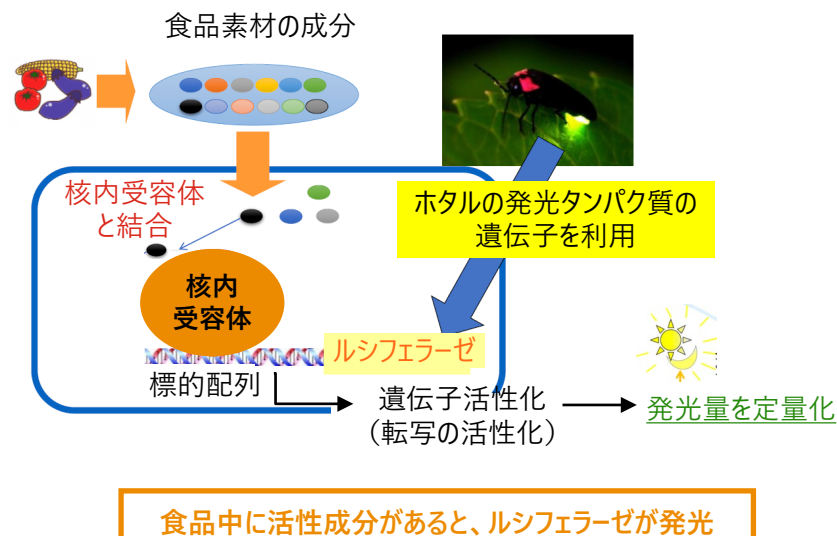
ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足②-1】

- 核内受容体や、ホタルの発光タンパク質であるルシフェラーゼ等を導入した評価系に対して、食品成分を付与することで、各核内受容体に対する活性度合いを定量評価
- ルシフェラーゼが発光すれば、該当する核内受容体に対する活性あり、発光しなければ活性なしと判断

2 核内受容体レポーターアッセイの概要

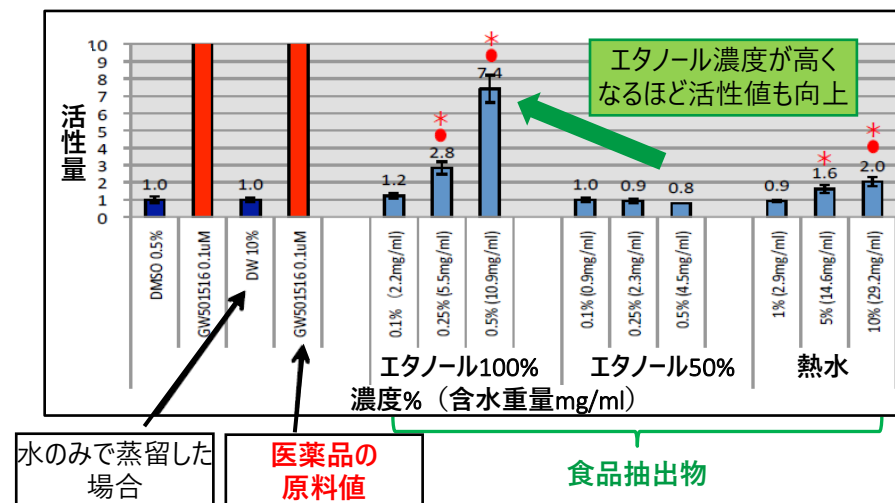
- ・ 核内受容体やルシフェラーゼ、標的配列を細胞内に遺伝子導入することで評価系を製造
- ・ 製造した評価系に食品成分を付与し、ルシフェラーゼが発光すれば核内受容体に活性あり、発光しなければ活性なしと判断

核内受容体レポーターアッセイの評価系イメージ



発光量の定量化方法

- ・ 水やエタノール等の溶媒により評価成分を抽出した場合と、医薬品の原料値を比較することで、各核内受容体に対する活性度合いを定量的に評価
- ・ 評価系が適正に機能していれば、エタノール濃度が高くなるほど活性値も向上

発光量の定量化イメージ（例：核内受容体PPAR δ ）

今後の開発上の課題

- ・ ヒト介入試験の実施による核内受容体の効果検証の実施
- ・ 遺伝子導入や発光工程の計測等のプロセスの低コスト化

出典：産業技術総合研究所 北海道センター提供資料等より作成

ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足②-2】

- 核内受容体は、血糖値の効果等、生命維持の根幹に関わる遺伝子の発現を調整する役割を担っている
- ヒトには48種類の核内受容体が存在すると考えられており、当社では現時点で、30種類の核内受容体について活性値を定量評価可能

核内受容体	主な作用	主な天然物リガンド	主な由来植物
PPAR γ	- 脂肪合成 - 血糖値降下	脂肪酸、アビエチン酸、マセリグナン、イソフムロン、カプサイシン、ショーガオール、クルクミノイド、レスベラトロール、マグノロール	マツ、ナツメグ、ホップ、トウガラシ、ショウガ、ウコン、ブドウ、コウボク
PPAR α	- 糖質分解 - 血中中性脂肪値降下	脂肪酸、フィトール、ゲニステイン、ダイゼイン、グリシテイン、マセリグナン、オーラプテイン、イソフムロン、レスベラトロール	緑色植物、ダイズ、ナツメグ、カンキツ類、ホップ、ブドウ
LXR	血中コレステロール値降下	植物ステロール	エンドウ、ダイズ
FXR	胆汁酸合成抑制	クメストロール	アルファルファ、ダイズ
ER	- 雌性の生殖 - 骨形成 - 更年期障害緩和	ダイゼイン、ゲニステイン	ダイズ、ムラサキツメクサ
PR	- 雌性の生殖 - 更年期障害緩和	ナリゲニン、アピゲニン	パセリ、グレープフルーツ
RAR	発生、恒常性の維持	レチノイン酸、 β -クリプトキサンチン	カンキツ類
RXR	16種の核内受容体と二量体を形成	9-cis-レチノイン酸、脂肪酸、ホノキオール、マグノロール	コウボク
PXR	異物代謝	ハイパーフォリン	セイヨウオトギリソウ

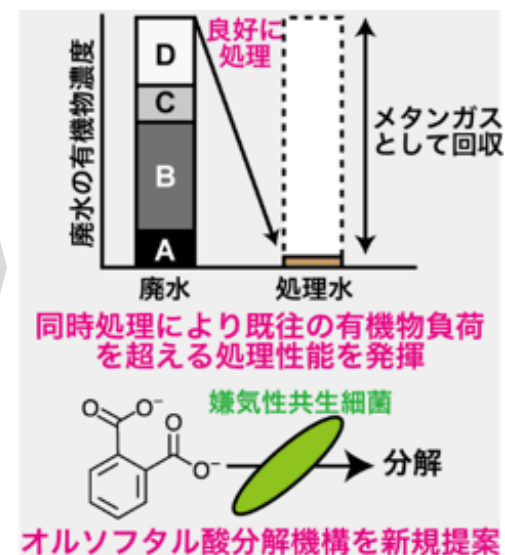
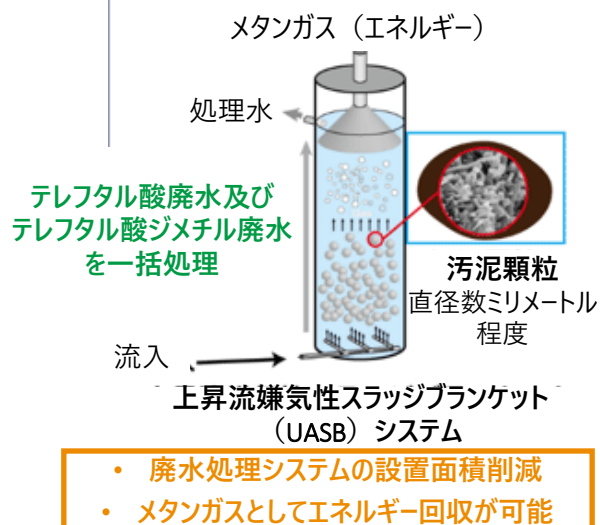
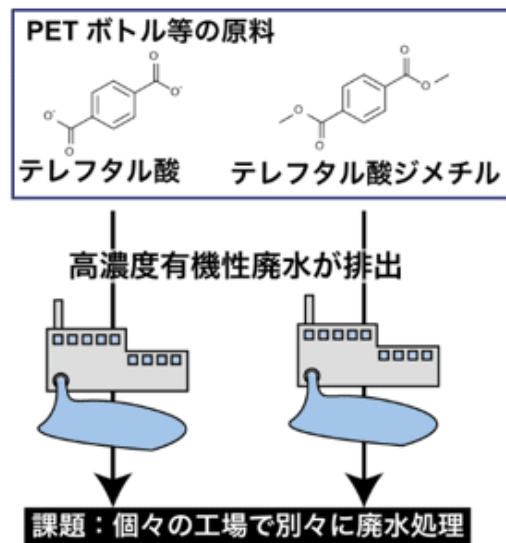
ヒトには48種類の核内受容体が存在すると考えられており、
その内30種類の核内受容体について活性値を定量評価可能

ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足③】

- テレフタル酸廃水とテレフタル酸ジメチル廃水を混合させることで、双方のプロセス排水の一括処理を可能とする「上昇流嫌気性スラッジブランケットシステム」を開発
- 本技術の活用により、各プロセスごとに廃水を除去する場合に比べ、プロセスコストの効率向上が期待される

3 廃水・廃棄物処理技術の高度化研究：ペットボトル原料製造過程における難分解性廃水の効率的な処理技術の開発

- PETの合成に必要となる、テレフタル酸及びテレフタル酸ジメチルの製造時に、高濃度の有機性廃水が発生
- それらの廃水を各プロセスごとに処理しているため、余計な作業工数が発生
- テレフタル酸廃水及びテレフタル酸ジメチル廃水を混合させ、一括処理を可能とする技術「上昇流嫌気性スラッジブランケット（以下「UASB」）システム」を開発
- 各プロセスごとに廃水を除去する場合に比べ、プロセスコストの効率向上が期待される
- UASB反応器内の廃水中の芳香族化合物（オルソフタル酸）分解を担う微生物の代謝機能を推定



今後の
開発上の
課題

- その他のPET製造廃水の一括処理を検討し、一括処理技術の適用範囲を拡大
- オルソフタル酸以外の芳香族化合物について、分解経路を解明

出典：産業技術総合研究所「ペットボトル原料製造過程における難分解性廃水の効率的な処理に成功」（令和4年5月）

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220513/pr20220513.html 等より作成

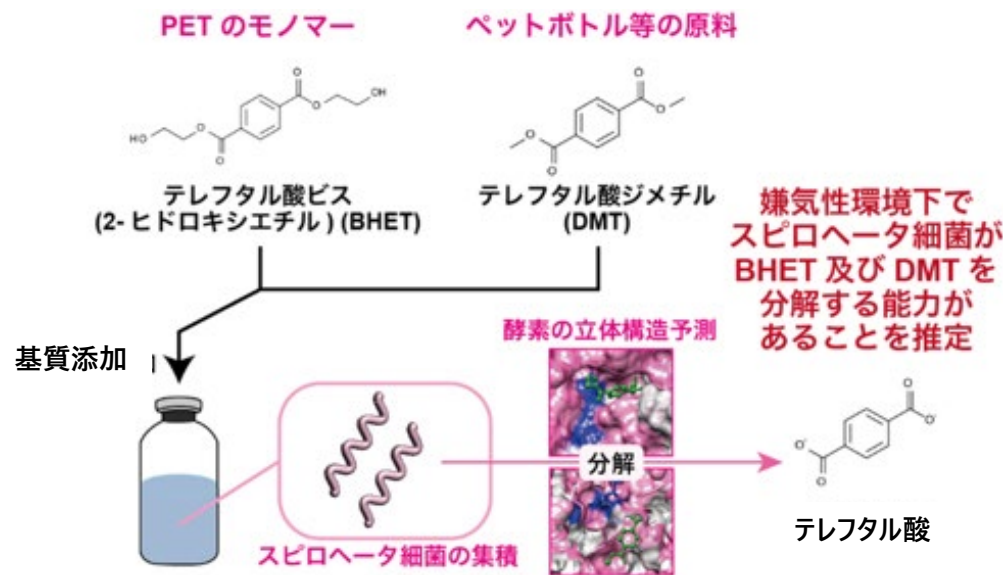
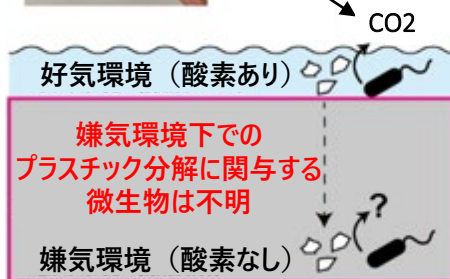
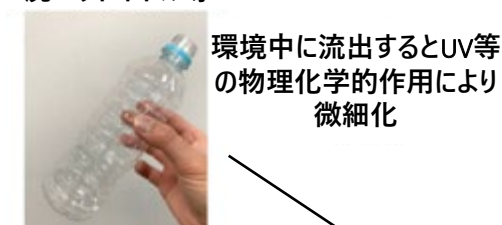
ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足④】

■ 嫌気環境（無酸素環境）において、PETのモノマーであるテレフタル酸ビス(2-ヒドロキシエチル)や、ペットボトル等の原料である難分解性物質テレフタル酸ジメチルの、微生物による分解に成功

4 廃水・廃棄物処理技術の高度化研究：PET関連物質を酸素の無い環境で分解する微生物を発見

- 環境中に排出されたプラスチック類は、物理化学的作用や微生物による分解を受け、マイクロプラスチックやナノプラスチック等に微細化される
- 地下圏や河川・湖沼・海洋の堆積物等の嫌気性環境（無酸素）での分解挙動は解明されていない
- 嫌気性環境にて、PETのモノマーであるテレフタル酸ビス（2-ヒドロキシエチル）やペットボトル等の原料である難分解性物質テレフタル酸ジメチルの微生物による分解に成功
- その鍵となる微生物も特定

廃ペットボトル等



今後の
開発上の
課題

- BHETやDMTに加え、ポリマーであるPETそのものや、その他のプラスチック類の嫌気性環境における分解性の解明

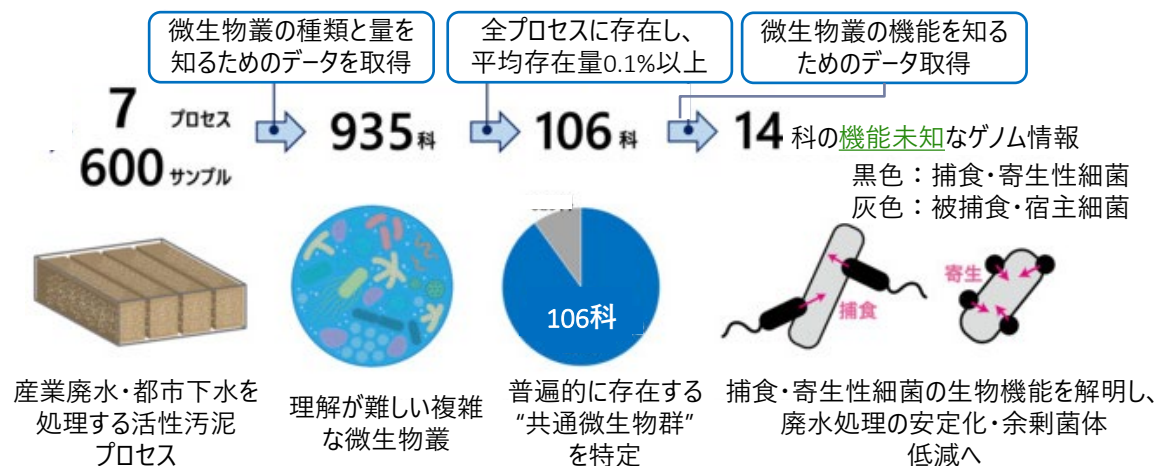
出典：産業技術総合研究所「PET関連物質を酸素の無い環境で分解する微生物を発見」（令和4年7月）https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220711/pr20220711.html
等より作成

ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足⑤】

- 微生物叢データを解析することで、各活性汚泥の微生物生態系に共通して存在する微生物群を特定
- 7つの産業廃水・都市下水処理プロセスから600個のサンプルデータを抽出し分析した結果、全プロセスに共通して存在する、機能未知な微生物群を14科特定

5 廃水・廃棄物処理技術の高度化研究：廃水処理に利用される活性汚泥プロセスに共通する微生物群を特定

- 産業廃水や都市下水を処理するための技術として、活性汚泥プロセスが広く普及
- 活性汚泥プロセスでは、数千～数万種の微生物からなる微生物叢の働きによって、廃水に含まれる有機物の分解や窒素成分を除去
- 一方、各微生物が担う役割や、微生物同士の関係性については十分に理解されていない
- 7種の活性汚泥プロセスを対象として、600サンプルの微生物叢データ^{※1}を解析することで、各活性汚泥^{※1}に共通して存在する微生物を特定
- それら微生物の機能をショットガンメタゲノム解析^{※2}により解明



7種全ての活性汚泥プロセスに共通して存在する、
機能未知の微生物群を14科特定

今後の
開発上の
課題

- 活性汚泥プロセスを用いた廃水処理の高度化に向けた微生物叢の制御技術の確立
- 廃水を効率的に分解浄化可能なプロセスの確立

※1 活性汚泥プロセスの反応槽内で形成される多種多様な生きた微生物の集合体

※2 環境中の複合微生物から抽出したDNAを断片化し、網羅的に解読することで、複合微生物の生態や機能を解析する手法

出典：産業技術総合研究所「廃水処理に利用される活性汚泥プロセスに共通する微生物群を特定」（令和5年9月）

ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足⑥】

- 土壌改良資材である「ヒナイグリーン」の活用により、ネギの収量が1.1倍、ニンジンの平均根長が最大1.2倍、平均根重が最大1.3倍、ミニトマトの収量が1.3倍となることを実証
- 収量増加要因を特定するため、菌叢解析やゲノム解析を実施中

6 土壌改良資材研究：ヒナイグリーンの利活用

- ・ ヒナイグリーンは秋田県で採取可能な天然石を加工し製造される土壌改良資材
- ・ ヒナイグリーンの活用により、ネギやニンジン、ミニトマトの収量が増加することを確認しているものの、その理由は説明できていない



▲土壌改良資材「ヒナイグリーン」

- ・ 作物の収量増加要因を特定するため、ヒナイグリーンの土壌化学・微生物学的効果についての実証試験を実施

作物	ネギ	ニンジン	ミニトマト
収量	1.1倍に増加	- 平均根長が最大1.2倍 - 平均根重が最大1.3倍	1.3倍に増加
土壌化学性	アンモニア性窒素と硝酸態窒素に有意な差を確認	根の成長を促進する物質が供給されている可能性を示唆	栽培1日目と64日目のアンモニア性窒素濃度及び、栽培1日目の炭酸カルシウム濃度が有意に増加
土壌微生物機能	植物成長促進と真菌毒素の分解を行うと考えられる細菌の成長が促進される可能性を示唆	土壌の劣化の指標となる微生物の増加を防ぐことができる可能性を示唆	植物生産性向上に関与する可能性のある微生物群が優占化することを示唆

菌叢解析やゲノム解析により、ヒナイグリーンによる収量増加要因を引き続き分析

今後の
開発上の
課題

- ・ ヒナイグリーンによる作物の収量増加要因の特定

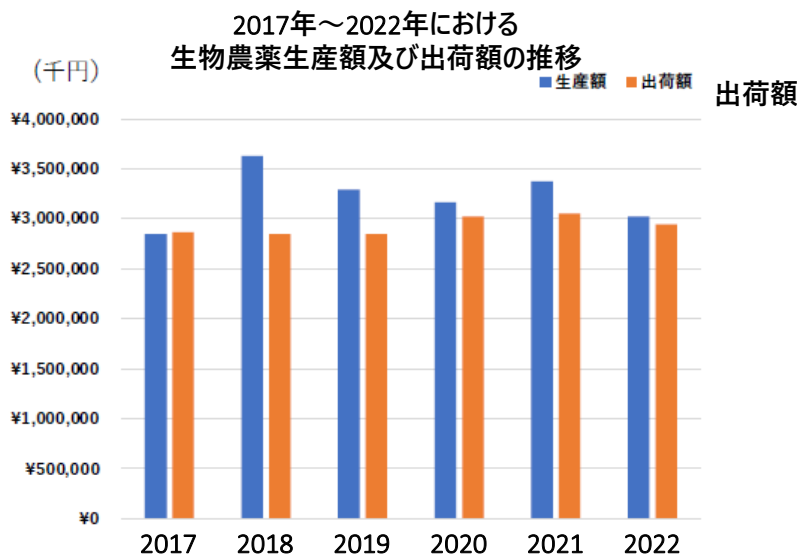
出典：産業技術総合研究所 北海道センター提供資料等より作成

ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足⑦】

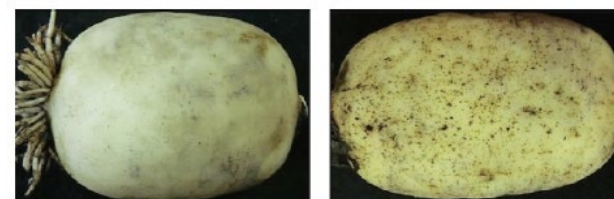
- レンコンの黒点部について菌叢解析を実施した結果、レンコン黒皮線虫病の原因が、リンと鉄の塊であることを特定
- 今後は、レンコン黒皮線虫病の防止策となる生物農薬の開発を目指す

7 生物防除技術研究：微生物叢解析によるレンコン線虫病害機構の解明

- ・ みどりの食料システム戦略（令和3年5月）では、2050年までに化学農薬の使用量を50%削減としているが、生物農薬の生産量は2017年以降停滞
- ・ 目標達成に向け、新規の微生物農薬の普及が不可欠

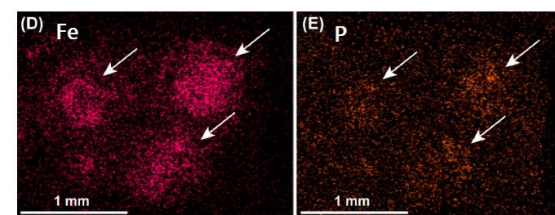


- ・ レンコンの黒点部について菌叢解析を実施した結果、従来、酸化鉄や硫化鉄だと考えられていたレンコン黒皮線虫病の原因が、リンと鉄の塊であることを特定



▲通常のレンコン（左）、黒皮線虫病のレンコン（右）

黒点部の菌叢解析



黒点部に鉄（Fe）とリン（P）が存在することを特定

今後の
開発上の
課題

- ・ レンコン黒皮線虫病の防止策となる生物農薬の開発

関連する
技術事例

- ・ 産業技術総合研究所 北海道センターでは、捕食性細菌を用いた各種植物病原細菌に対する生物防除に関する研究開発等にも取り組んでいる

出典：産業技術総合研究所 北海道センター提供資料等より作成

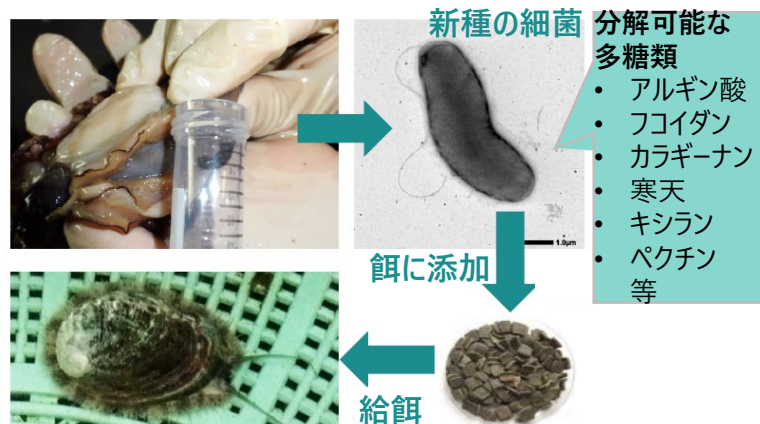
ゲノム情報を利用した有用物質生産（日本・産業技術総合研究所 北海道センター）【補足⑧】

- エゾアワビの腸内から複数種類の海藻多糖類を分解する新種の細菌を発見
- この腸内細菌を移植することで、アワビの生残率と成長速度が向上することを特定

8 水産関連研究：アワビの腸内細菌の有効活用

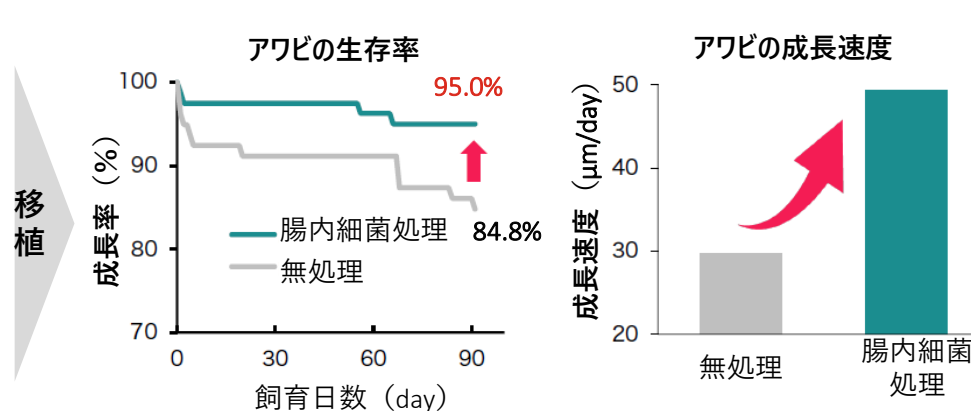
- ① エゾアワビの腸内から複数種類の海藻多糖類を強力に分解する新種の細菌を発見
- ② 海藻多糖類の分解能に長けた腸内細菌を移植することで、アワビの生残率と成長速度が向上することを特定

取組イメージ①



複数種類の海藻多糖類を分解する
新種の腸内細菌を発見

取組イメージ②



アワビの生残率と成長速度が向上

研究開発環境・スタートアップ支援

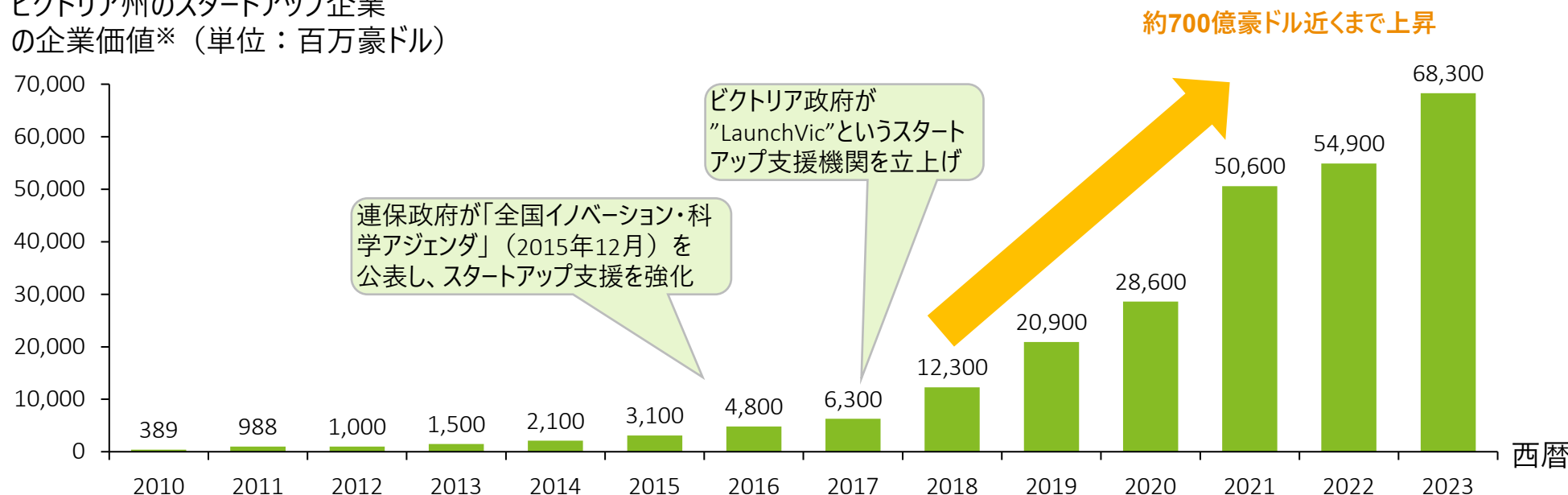
イノベーション・エコシステムの核を担うスタートアップ支援機関や研究機関（オーストラリア・ビクトリア州）

- オーストラリア連邦政府は約10年前からスタートアップ支援を強化しており、特にビクトリア州は、イノベーション・エコシステムの国内主要エリアの一つ

1 イノベーション・エコシステムの拠点

- オーストラリア連邦政府は、「全国イノベーション・科学アジェンダ」（2015年12月）を公表し、10年前からスタートアップ企業の支援を推進
- 同方針を受けて、オーストラリア国内製造業の中心地であり、かつ世界的に有名なメルボルン大学等からの人材供給も容易なビクトリア州はイノベーション・エコシステムが成長
- ビクトリア州で設立された／本社機能を設置するスタートアップ企業（2004年以降に設立）は約3,400社で、その企業価値は急速に上昇

ビクトリア州のスタートアップ企業の企業価値※（単位：百万豪ドル）



※ ビクトリア州で設立された／本社機能を設置するスタートアップ企業（2004年以降に設立）の企業価値の合計

出典：LaunchVic HP“Startups & Scaleups”

https://dealroom.launchvic.org/companies.startups/f/all_slug_locations/anyof_~victoria_1~/data_type/anyof_Verified/founding_or_hq_slug_locations/anyof_~victoria_1~/launch_year_min/anyof_2004/?showStats=true&statsType=value-year等より作成

© 2024. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.

イノベーション・エコシステムの核を担うスタートアップ支援機関や研究機関（オーストラリア・ビクトリア州）

■ ビクトリア政府が立ちあげたスタートアップ支援機関“LaunchVic”では、農業分野における起業支援に向けたプログラムを展開

2 州政府によるスタートアップ支援機関“LaunchVic”の設立

■ スタートアップ支援機関“LaunchVic”は、農業分野の起業支援を目的として、2021年にビクトリア州と連携し、3つの農業技術（“AGTECH”）に関するプログラムを立ち上げ、各プログラムに資金を提供

FARMERS2 FOUNDERS

- アーリーステージにあるスタートアップ企業に向けた事業化支援プログラム（ビジネスコーチング、事業計画の策定や実証場所の確保等の支援）

ROCKET SEEDER

- 食糧問題の解決に向けて、大学等の研究機関とスタートアップ企業のマッチングを支援するプログラム

SPROUTX

- メルボルン大学及びビクトリア州農業連盟と協力して、大学や企業の研究者が農業生産者や関連事業者と協業するための研修

■ 後述の「ビクトリア州農業研究センター」とも連携し、ステークホルダー（例：農家、研究者）とのマッチングも支援

■ ビクトリア州政府からは独立した機関であるものの、主要な資金源はビクトリア州の補助金であり、2022年度（2022年7月1日～2023年6月30日）は約1,900万豪ドル（LaunchVicの収益の約9割に相当）の補助金を活用

■ 「Hugh Victor McKay Fund」（アグリテック関連向け）や「The Alice Anderson Fund」（女性起業家向け）といったサイドカーファンド（特定テーマ・事業に対する追加投資を主目的としたファンド）も運営

- 農業分野の産業振興等が主目的であり、民間投資の呼び水となることを期待しているため、キャピタルゲインを目的とするベンチャーキャピタルとは異なる

■ 20社近くのスタートアップ企業に対する事業化支援実績が存在（以下、事業化支援例）

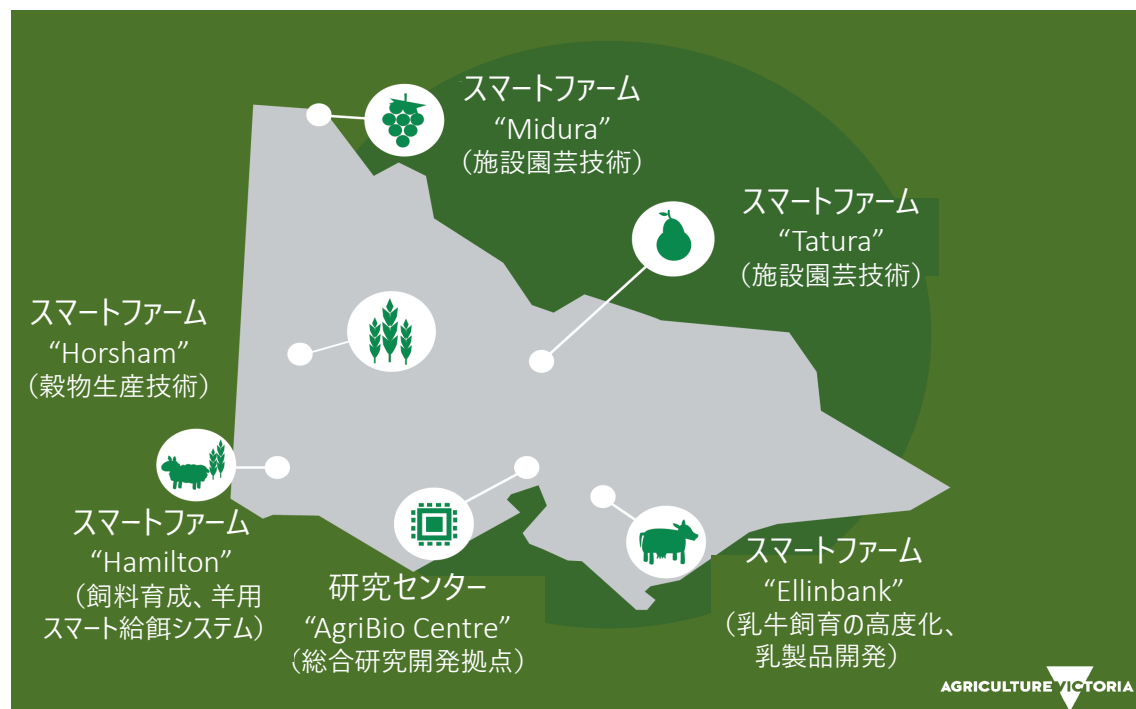
- AMBIT ROBOTICS社：トマト等の農作物の等級付けを自動で実施する自律型ロボットを開発
- RUBENS TECHNOLOGIES社：果物の品質等を非破壊検査により判断可能な機器を開発
- PHNXX社：太陽光発電や風力発電、蓄電池より構成される農家向けの小型エネルギー供給システムを開発

イノベーション・エコシステムの核を担うスタートアップ支援機関や研究機関（オーストラリア・ビクトリア州）

- 最先端の研究設備と研究者を有しており、企業との共同研究や、スタートアップへの人材供給の観点で、大きく貢献

3 最先端の研究開発拠点の整備

- ビクトリア州が主体となり運営している研究機関「ビクトリア州農業研究センター」は、最新の研究設備と研究者を有する総合農業システム生物学研究センター“AgriBio Centre”や複数のスマートファームを州内に整備
 - 設立及び運営資金は官民パートナーシップ（PPP）関連の民間企業から調達され、CAPEX／OPEX（25年間）含めて総額2億8,780万豪ドル
 - “AgriBio Centre”はビクトリア州第一次産業省とラ・トロブ大学が設立したジョイントベンチャーにより設立及び運営されており、研究者や学生、専用職員が最大400人在籍
- 施設園芸や穀物生産、飼料育成、乳牛飼育等の幅広い農畜産業関連の研究開発を進めている



- スマートファーム“Hamilton”
ライグラス野外試験、羊の飼料効率を向上させるスマート給餌システム
- スマートファーム“Ellinbank”
再エネ発電（例：太陽光、風力、生物消化）を活用したカーボンニュートラル酪農場
- スマートファーム“Horsham”
穀物の育種・品種改良、栽培管理・制御技術
- スマートファーム“Midura”と“Tatura”
梨、リンゴ、ストーンフルーツ、アーモンドの収量、製品価値、生産効率の向上に向けた施設園芸技術（センシング等）

出典：ビクトリア州農業研究センター HP “Our Innovation Ecosystem” <https://agriculture.vic.gov.au/about/our-research/our-innovation-ecosystem>、
ビクトリア州農業研究センター HP “AgriBio Centre for AgriBioscience”より作成

研究都市としての環境を活用した政府機関との連携（米国・メリーランド大学）

■ 設立当初からの連携や地理的な近さを要因として、政府機関との密接な関係性を構築

1 USDA等の政府機関との連携

- 大学の設立当初から政府と連携した運営が行われており、地理的に相互連携も容易であることから、ワシントンD.C.の諸機関と関連施設を共有して研究拠点を整備

1856年

メリーランド農業カレッジとして設立

1864年

土地付与大学の1つとして認定（政府より供与された土地を活用し、農学等を中心に研究する大学）

1994年

同大学のキャンパスの一区画に、米国の国立公文書館が開設

2004年

「Mスクエア リサーチセンター」建設開始
国防総省や食品医薬品局（FDA）等の関連施設も入居



Puneet
Srivastava博士
（メリーランド大学、
アソシエイトディレクター）

【背景・経緯】

・ワシントンD.C.の約10マイルに位置しているため、政府機関との連携が活発に行える環境

・当大学は、土地付与大学（Land Grant University）であり、農業技術の発展のために、公有地を付与されていることから、元来より、州政府や連邦政府との関係性が深い

【連携状況】

・州政府や連邦政府機関と緊密に連携することで、各機関の公募研究の概要や資金調達先、他プロジェクトの進捗状況を把握可能

- 幅広い分野の政府機関等と連携することで、研究資金の公募等の最新情報を把握できているため、横断的な研究開発の資金調達が進展

⇒連携先例：食品・農業国立研究所（NIFA）、国立衛生研究所（NIH）、国立海洋局（NOS）、環境保護庁（EPA）、国立科学財団（NSF）

研究都市としての環境を活用した政府機関との連携（米国・メリーランド大学）

- 「Greater College Park」と呼ばれる官民共同の研究拠点を整備しており、民間企業に加え、様々な政府機関等との連携体制を構築

2 学内・学外のコラボレーション体制構築

- 「Greater College Park」には、合計60団体以上の連邦政府の研究機関や民間企業の拠点が存在しており、産学官連携のエコシステムを形成
- エコシステムの中で大学発スタートアップに対する大規模な支援を実行することも可能（例えば同大学初の量子コンピューティング関連のスタートアップ「IonQ」は、メリーランド大学から550万米ドルの出資を受け、「Greater College Park」内に約23,000m²の量子コンピューターデータセンターを開設）

食品農業

- Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition: 食品の安全性評価等を実施する政府機関
- UMD/FDA Joint Institute for Food Safety and Applied Nutrition: 食品に関連した病気の発生率を減らすための研究所（1996年にFDAとメリーランド大学が共同で設立した機関であり、2022年11月にはFDAから5年間で4,100万米ドルの資金提供を受ける協定を締結）

NPO・研究機関

- Maryland Small Business Development Center: メリーランド州に存在する中小企業の支援を行う州立機関
- UM Ventures College Park: 大学の研究成果を社会実装するための資金や知識を提供する大学内ベンチャーキャピタル
- Dingman Center for Entrepreneurship: 起業家を目指す学生に対する教育プログラムを提供する学内機関

その他

- Fraunhofer USA Center for Experimental Software Engineering: ドイツの公的研究機関であるフ라운ホーファー研究機構の支部

- 学内の異分野交流の促進につながるイニシアチブを設立することで、食料・環境等の横断的なテーマの取組を加速



イニシアチブの例：

【Global FEWture Alliance】

農学部、工学部、理学部等の複数部局が協力して、食料・水問題等に取り組む（学長裁量の経費により、3年間で最大年間100万米ドルの補助金を提供）



Puneet
Srivastava博士
（メリーランド大学、
アソシエイトディレクター）

・当大学のように規模の大きな大学の場合、各学部でどのような研究をしているのか把握するのが困難なケースがある。そのため、数々のイニシアチブを構築し、学部を超えた定期的な交流を図っている

・資金調達のコンセプトや研究アイディアは、多様な学術領域に携わる人たちから生み出されることが多い

研究都市としての環境を活用した政府機関との連携（米国・メリーランド大学）

- 大学教員向けの助成制度として、SAES（州立試験場）の研究に貢献できるよう、NIFA（国立食糧農業研究所）との共同研究プログラム（Multistate Research Program）に参画

3 政府機関や州立機関との連携を促進する助成制度

- 大学における研究結果が学術機関内に閉じないようにすることを目的として、Multistate Research Programに参画
- 同プログラムの資金源は政府（NIFA）であり、2023年度にメリーランド大学へ割り当てられた予算は約95万米ドル

プロジェクト例（2020年以降に実施されていたものを抜粋）	
トウモロコシ栽培における節足動物の生態と管理	芝草と環境
食品の安全担保と品質向上のためのエンジニアリング	複数の州における研究プロジェクトマネジメント
応用動物行動と福祉	ワイングレープ品種及びクローンの複数州の調整された評価
観賞用作物の生産性向上と健康のための水管理	乳製品の安全性を高めるための乳房炎耐性の向上
食品システム、健康、福祉: 複雑な関係と変化のダイナミクスの理解	持続可能な農業エネルギーの生産と利用
飼料管理の生態生理学的側面	植物育種の未来の維持
農業統計における研究の進歩	米国南東部における持続可能な小型反芻動物の生産
土壌有機物: 形成、機能、管理	家畜のパフォーマンス、健康、福祉に対するストレス要因の影響評価
環境制御テクノロジーとその利用	斑点翅ショウジョウバエの生物学、生態及び管理
持続可能な水産資源政策と管理を達成するための生態学的及び社会的制約の理解	

公益有限会社という形態を活用した外部連携体制の構築（ドイツ：ドイツバイオマス研究センター）

- 「国家政策戦略バイオエコノミー」等の国家戦略を重視した上で研究重点分野を設定し、そのテーマに沿って各省庁の研究プロジェクトや民間企業との共同研究を実施
- 2022年には222件の研究プロジェクトを実行し、58本の査読付き論文を発行

1 「公益有限会社」という形態を通じた研究テーマの自由度の獲得

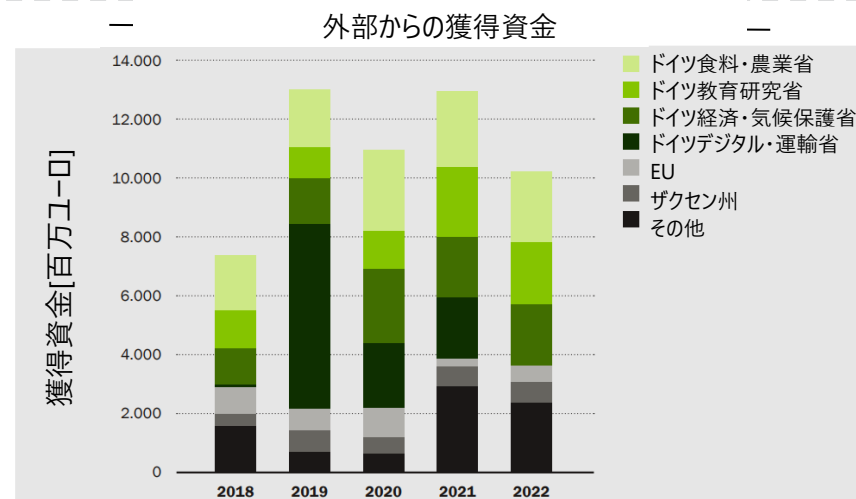
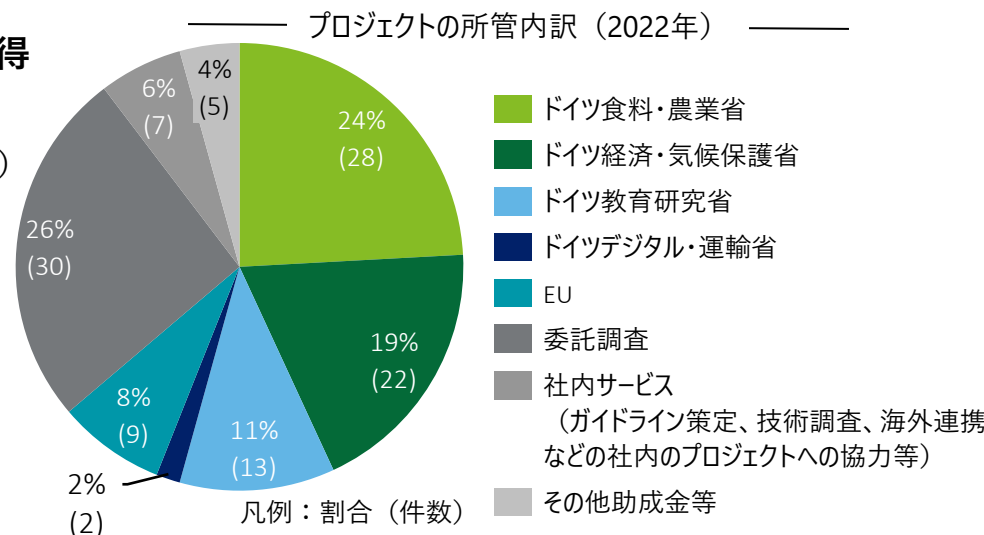
- 同センターでは、国内外のバイオエネルギーの専門家で構成される研究諮問委員会にて5つの研究重点分野を設定（省庁のみの意向を反映しない形式）

- ✓ 嫌気性プロセス：バイオガスの生産システム（主にプロセス制御）
- ✓ バイオ製品・燃料：バイオリファイナリやバイオ燃料製造
- ✓ バイオマス熱：住宅向けのバイオマス熱供給や小型のバイオマスコジェネ
- ✓ 触媒制御：レアメタルを用いず、使用量が少ない触媒の合成技術
- ✓ バイオマスの社会的貢献：持続可能なバイオエコノミー戦略の検討

- 一方で研究内容を拘束することせず、比較的自由に研究可能
⇒研究テーマの自由度が高いことから、外部との横断的研究開発を推進し易い

- 同研究センターはドイツ食料・農業省が所管する機関であるため、同省から一定の予算を受け取っている一方、年間予算の7～8割は官民双方の外部機関からの調達や中小企業との共同研究で賄われる

- 毎年実施するプロジェクトの数により、各省庁から獲得する資金額は変動するものの、2021年と2022年におけるドイツ食料・農業省以外からの獲得資金の約2割は民間企業等から獲得



出典：ドイツバイオマス研究センター ウェブサイト、ドイツバイオマス研究センター “Projekte 2022”（2022年12月）等より作成

公益有限会社という形態を活用した外部連携体制の構築（ドイツ：ドイツバイオマス研究センター）

- オフィスや研究室スペース、機材に加えて、バイオガスプラント等の研究設備の貸し出しも実施することで、地域の中小企業との緊密な連携体制を構築

2 地域のキープレイヤーとの一体的な連携

- 地元の中小企業におけるイノベーションの促進を目的とし、地域のインキュベーター（NEU e.V.）と共同で、2013年にDBZF内の一部署として「The innovation centre for bioenergy」を設立

- 資金調達やパートナー探索・連携、共同研究、事業計画策定を支援
- 同部署からの直接的な資金は支援しない
- 地域のインキュベーター（NEU e.V.）やフラウンホーファー研究機構、法律事務所とも緊密に連携することで、上記のサービスを拡充



Karen Deprie氏
（DBFZ、
コーディネータ）

・当センターの規模は、他の研究機関やサポート施設と比較し、大規模ではないため、基本的には中小企業が支援対象となる

・支援期間に関しては、公共事業は1～2年、民間企業は数か月のプロジェクトが多い

- 地元の中小企業の支援を目的として、オフィスファシリティや研究設備・インフラの貸出等を実施

⇒ 中小企業の支援に加えて、共同研究の“契機”となることを目指している様子



▲ バイオガスプラントの外観

（その他の研究設備・インフラの抜粋）

カールフィッシャー滴定装置、高速液体クロマトグラフィー、マイクロ波分解システム等

出典：ドイツバイオマス研究センター ウェブサイト等より作成



Karen Deprie氏
（DBFZ、
コーディネータ）

・オフィス、研究室スペース、機材の安価な貸し出し等を実施

・実験室規模より大きい商業規模に近いバイオガス用プラントを所有しており、スタートアップから大手企業にまで貸し出している

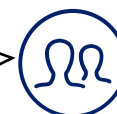
公益有限会社という形態を活用した外部連携体制の構築（ドイツ：ドイツバイオマス研究センター）

- 地域のネットワーク（インキュベータを含む）によって、地元の行政機関や事業者とのコミュニケーションは円滑となっているが、影響力は限定的であり、プロジェクト連携に至らないことが今後の改善点

2 地域のキープレイヤーとの一体的な連携

Q 地域のネットワーク（NEUe.V.）で連携した事例はこれまで何件程度あるのか？

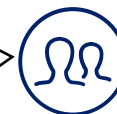
連携状況や関与度によって様々であるため、正確な数値を提示することはできないが、過去7年間で8～12件程度の案件で連携した実績がある。



Karen Deprie氏
(DBFZ)

Q 上記の連携事例について、具体的な実施内容は何か？

「ネットワーキングイベント主催」、「専門家の講演を開催」、「地元の協力パートナーの探索」、「ライプツィヒ市の行政や市営公益企業の担当者と連携」を実施している。



Karen Deprie氏
(DBFZ)

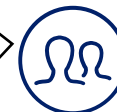
Q 連携することで得られるメリット／デメリットは何か？

【メリット】

インキュベータを含む地域のネットワーク（NEUe.V.）は、行政機関や地元企業とのコネクションを有していることから、研究設備の共有やクイックな打合せを設定することも円滑になる。

【デメリット】

あくまで地域のネットワーキングであるため、影響力も限定的で、案件の実現／実効率は高くない。ただし、インキュベータと連携するための手数料は高額ではないため、大きなデメリットはないと考えている。



Karen Deprie氏
(DBFZ、
コーディネータ)

公益有限会社という形態を活用した外部連携体制の構築（ドイツ：ドイツバイオマス研究センター）

- スタートアップ企業の成長促進に向けて、ナレッジ共有や技術移転、事業者の仲介を実施しており、これまでに4件のスタートアップ支援実績が存在

3 研究センター発のスタートアップ設立（スピノフ）の促進

- 新製品・サービスの社会実装に向けて、研究所発のスタートアップ設立（スピノフ）を間接的に支援
 - ナレッジ共有や技術移転（特許を含む）、事業者の仲介を行うフレームワークを構築
- 同センターでの研究成果により取得された特許は組織に属するが、他企業が当該特許を使用する場合、ライセンス料は研究者にも還元



Karen Deprie氏
(DBFZ、
コーディネータ)

・基礎～応用研究ではなく、Pilot Plant等実用研究～導入実証が支援対象

・機関内の研究者等が特許技術を使用した会社の立上げを行う際に、特許ライセンスを提供可能

- これまでにDBFZは4件のスタートアップ設立を支援

- 地域ニーズの実現を目指したスタートアップが多く、中小企業向けの製品・サービスを展開

スタートアップ例



【enadyne GmbH】

- ✓ CO₂と水素から、合成ガスを介さず直接燃料や基礎化学品を生成するプロセスを開発
- ✓ 2022年の設立以来、C2V InitiativeやSpin labといった投資家からの資金調達に成功



【EmTechEngineering GmbH】

- ✓ 小規模な燃焼プラントメーカー等へのコンサルティングやエンジニアリングサービスを展開
- ✓ 2014年の設立以来、Eureka NetworkやSpin labといった投資家からの資金調達に成功



【Pi Innovation Culture GmbH】

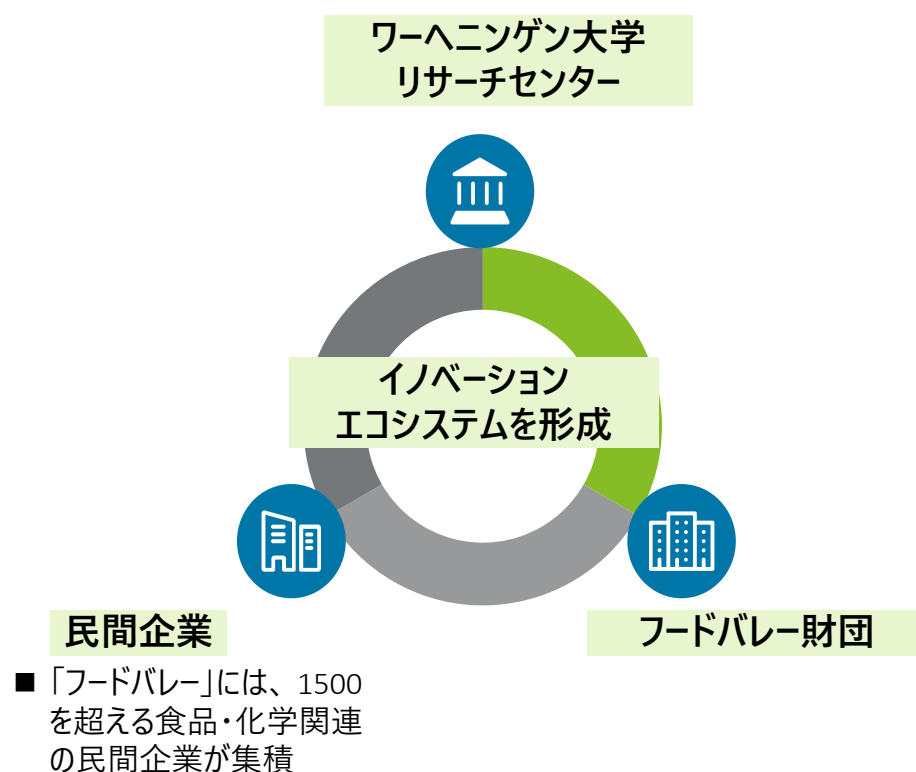
- ✓ 中小企業を対象にした、技術開発計画や資金調達に関するコンサルティングサービスを実施

イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関（ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）

- ワーヘニンゲン大学リサーチセンターを含め、大学・研究機関、民間企業、それらを集約するコーディネータが「フードバレー」を形成し、イノベーション・エコシステムの役割を担当

1 農業・食品分野の研究開発プラットフォームの構築

- 研究開発拠点の集積化に加えて、コーディネート機能に特化した「フードバレー財団」や集積した民間企業の連携が活発



ワーヘニンゲン大学リサーチセンター

- 基本情報
 - 食品や環境に関する5つの学部と5つの研究所
 - 13,000名以上の学生、6,000名以上の職員
- イノベーション創出に向けた取組
 - 社会ニーズを踏まえた研究・開発を奨励
 - 研究施設の貸出や共同研究も促進

フードバレー財団

- イノベーション創出に向けた取組
 - 大学、研究機関、企業それぞれの技術ニーズ・シーズのマッチング
 - プロジェクト推進支援
 - 産官学連携の構築、強化
- 規模
 - マネージングディレクター11名が運営

イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関（ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）

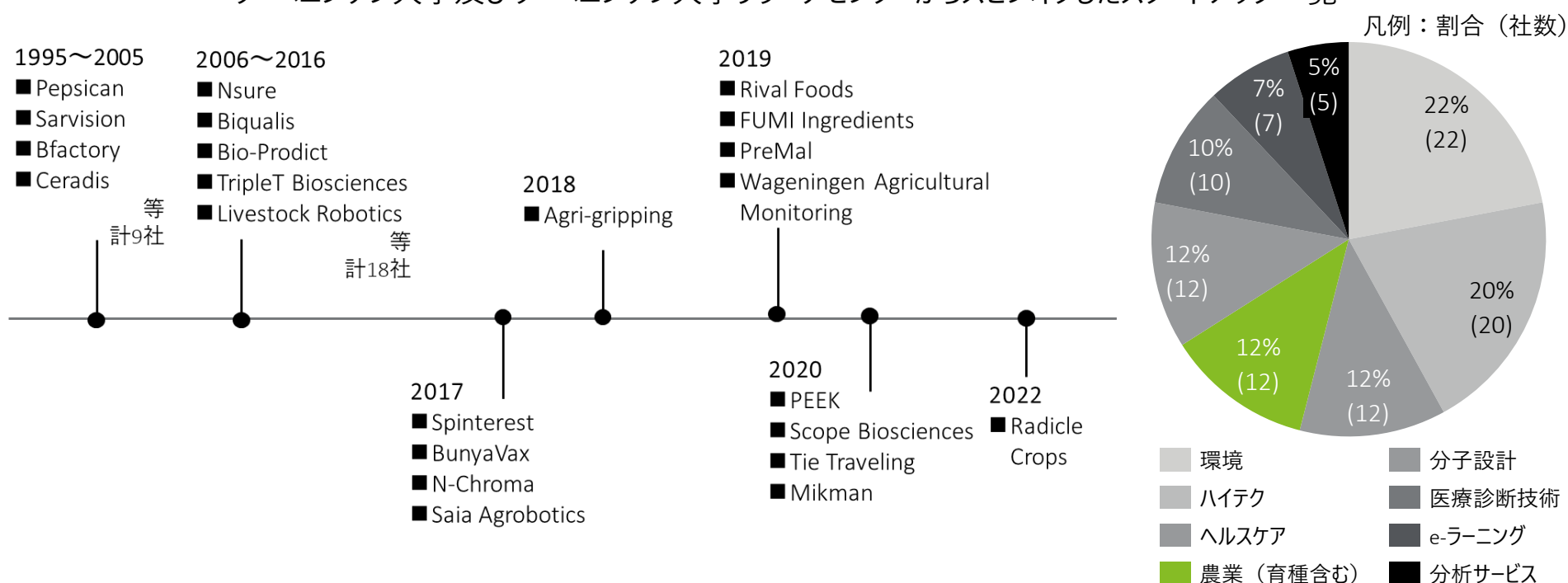
■ ワーヘニンゲン大学リサーチセンターの研究開発プラットフォームから合計40社以上のスタートアップがスピノフしており、環境や農業、ヘルスケアに至るまで幅広い分野へのイノベーションに貢献

1 農業・食品分野の研究開発プラットフォームの構築

■ テーマ別技術移転プログラム（TTT: Thematic Technology Transfer）への参加等により、スピノフの成功確率を向上

- オランダ内の4つの工科大学とオランダ応用科学研究機構（TNO）が参画しており、研究成果や知見を相互に補完することで、効率的に技術の高度化を図ることが可能
- 資金提供を行うパートナー（投資家）として、オランダ内のベンチャーキャピタル「Innovation Industries」、「SHIFT Invest」の2社が参画
- 経済気候政策省と教育文化科学省からの補助金も活用

—— ワーヘニンゲン大学及びワーヘニンゲン大学リサーチセンターからスピノフしたスタートアップ一覧 ——



出典：ワーヘニンゲン大学リサーチセンター ウェブサイト “WUR Spin-offs” <https://www.wur.nl/en/value-creation-cooperation/collaborating-with-wur-1/entrepreneurship-at-wur/wur-spin-offs.htm> 等より作成

イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関（ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）

- スピナウトしたスタートアップ企業の中には数十億円以上の資金調達に成功し、スタートアップとしての成熟期に相当する「レイトステージ」や「M&A」段階に達している企業も存在

1 農業・食品分野の研究開発プラットフォームの構築

企業名	設立年度	資金調達額の合計 (公開分のみ)	調達資金区分	成長ステージ
Pepscan	1999年	14,841,390ドル	- 補助金 - VCからの投資（シリーズA・B）	M&A (スイスのBiosynth社が買収)
SarVision	2000年	-	補助金	シード
Ceradis	2005年	15,709,126ドル	VCからの投資（シリーズA）	-
Nsure	2006年	-	- 補助金 - VCからの投資（シリーズA）	シード
Pectcof	2011年	2,274,790ドル	- 補助金 - VCからの投資（エンジェル、シード）	-
Yellow Pallet	2011年	-	- 補助金 - VCからの投資（シード）	シード
Chaincraft	2010年	19,850,297ドル	VCからの投資（シリーズA・B・C）	レイトステージ

出典：ワーヘニンゲン大学リサーチセンター ウェブサイト “WUR Spin-offs” <https://www.wur.nl/en/value-creation-cooperation/collaborating-with-wur-1/entrepreneurship-at-wur/wur-spin-offs.htm> 等より作成

イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関（ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）

- 「シード」や「アーリーステージ」段階から百万ドル以上の資金調達に成功している企業も複数存在
- 資金調達先は、政府からの補助金やVCからの投資であり、シード（プロトタイプ完成済の状態）やシリーズA（一定数の顧客が存在し、更なる追加開発や販路開拓を行う状態）としての投資

1 農業・食品分野の研究開発プラットフォームの構築

企業名	設立年度	資金調達額の合計 (公開分のみ)	調達資金区分	成長ステージ
BunyaVax	2017年	83,347ドル	・ 補助金	シード
N-Chroma	2016年	-	・ 補助金	シード
Saia Agrobotics	2017年	2,517,143ドル	・ 補助金 ・ VCからの投資（シード）	シード
Rival Foods	2019年	5,989,148ドル	・ VCからの投資（シリーズA）	アーリーステージ
PreMal	2019年	565,997ドル	・ VCからの投資（シード）	シード
Scope BioSciences	2019年	1,156,109ドル	・ 補助金 ・ VCからの投資（シード、シリーズA）	アーリーステージ
Milkman	2020年	-	・ VCからの投資（シード、シリーズA）	シード

出典：ワーヘニンゲン大学リサーチセンター ウェブサイト “WUR Spin-offs” <https://www.wur.nl/en/value-creation-cooperation/collaborating-with-wur-1/entrepreneurship-at-wur/wur-spin-offs.htm> 等より作成

イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関（ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）

- 学術機関だけでなく、多くの公的研究機関や民間企業等と共同で研究を進めており、2022年度に外部から獲得した研究資金の総額は約7,900万ユーロ相当（研究資金総額の約18%に相当）

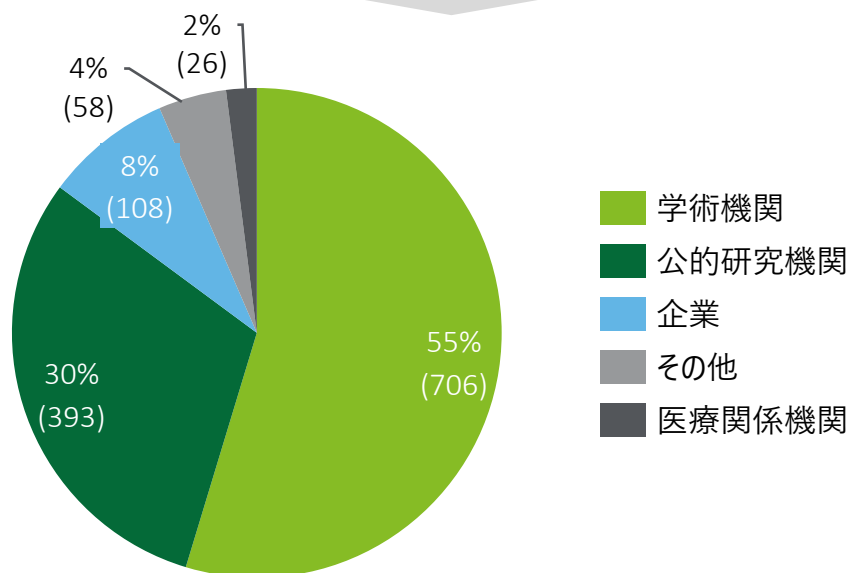
2 学外機関とのコラボレーション推進

共同研究先の属性

ワーヘニンゲン大学リサーチセンター※

- 2022年度に外部から獲得した研究資金の総額は、約6,150万ユーロ

研究成果指標の一つである共同研究論文数は以下のとおり

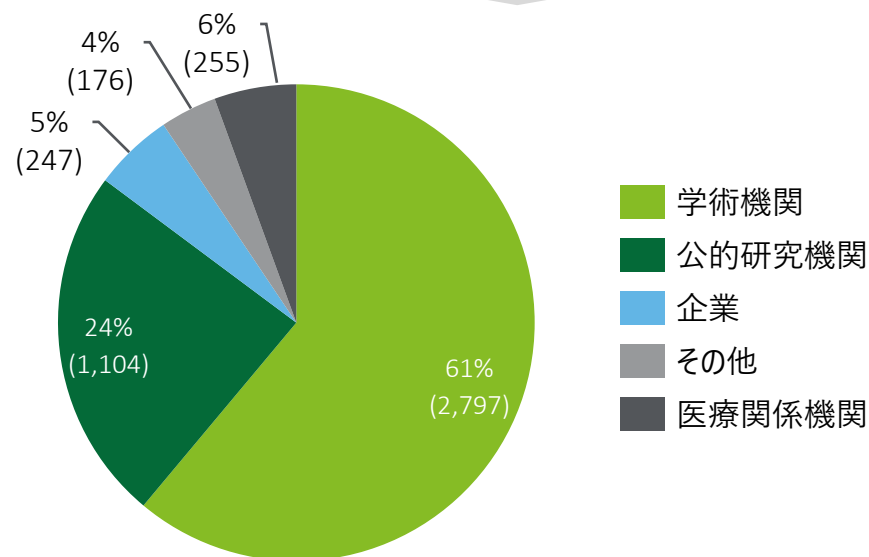


凡例：共同研究論文数の割合

ワーヘニンゲン大学

- 2022年度に外部から獲得した研究資金の総額は、約1,740万ユーロ

研究成果指標の一つである共同研究論文数は以下のとおり



凡例：共同研究論文数の割合

※ ワーヘニンゲン大学リサーチセンターは、ワーヘニンゲン大学の各学部や関連研究機関を再編することで構築された研究組織

出典：ワーヘニンゲン大学リサーチセンターHP “Annual report 2022 - Wageningen University & Research” <https://www.wur.nl/en/about-wur/facts-and-figures-1/annual-report-wageningen-university-research.htm> 等より作成

イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関（ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）

- フードバレー財団では、WURや130社のパートナー企業と連携し、技術ニーズ・シーズのマッチングを実施
- 課題解決型プロジェクトを組成し、国際的な情報発信まで支援し、社会実装を促進

3 技術ニーズ・シーズのマッチング機能の強化

- フードバレー財団が、分野における課題の特定から、解決に必要なネットワーキングの形成、課題解決までをサポート
- EXPOを開催する等、産官学の連携を促進し、共同研究や開発を推進

①課題定義

業界で先駆けとなる存在や対象領域において何が課題なのかを分析

- 業界の先駆者の特定
- 課題の調査分析

②ネットワーキング

研究インフラの提供、先行事例の紹介、ネットワーキング構築（パートナー企業同士の連携促進）

（例）分野横断的ネットワークの形成
2022年にオンライン型プラットフォーム「Food Leap」を設立
⇒自身のニーズに沿ったパートナーとのネットワーキングが容易に

③伴走支援

ステークホルダーとの合意形成、需要家の確保等社会実装まで伴走支援

- ステークホルダーの利益や課題を分析し、情報共有
（例）プロジェクト「Green Deal」（植物由来蛋白質の増収・有効利用に関するプロジェクト）では、関与する農家の収益モデル構築まで実施
- 開発した技術の販売先となる需要家の探索も実施

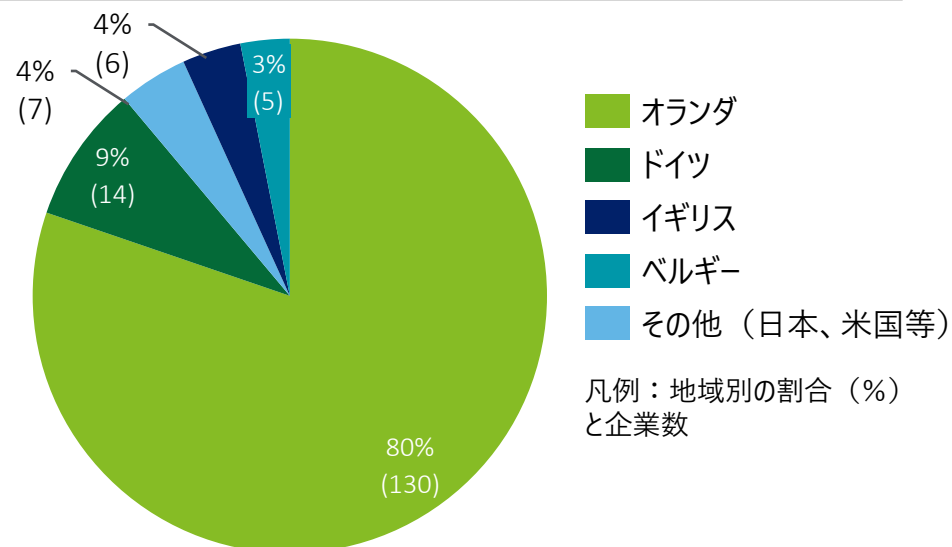
イノベーション・エコシステムの核を担う研究機関（ワーヘニンゲン大学リサーチセンター）

- フードバレー財団は、オランダ国内以外にも、欧州を中心に幅広いパートナーシップを構築し、幅広い技術ニーズ・シーズを吸い上げることが可能

3 技術ニーズ・シーズのマッチング機能の強化

- ワーヘニンゲン大学リサーチセンターを中心に、フードバレー周辺には約1,500社以上の企業が集積
- 欧州を中心としつつ、グローバルにパートナーシップ（130社以上）を展開

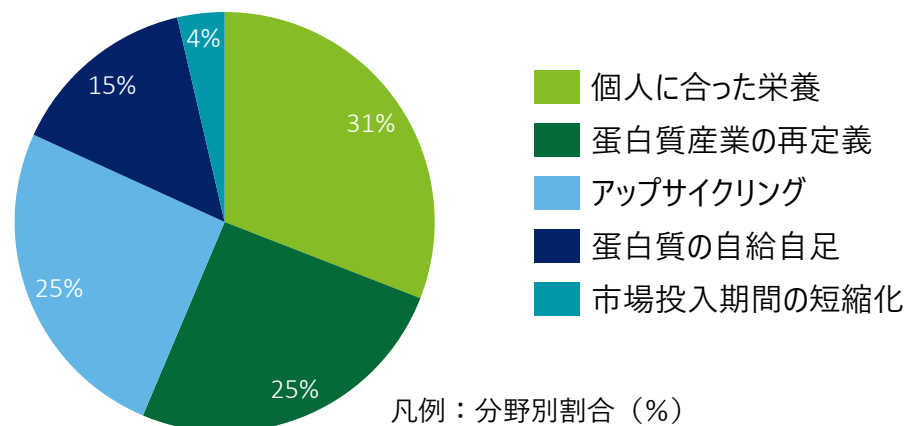
地域別の連携企業



➤ パートナー企業は国内外合わせて130社以上



連携テーマ別の企業割合



- **個人に合った栄養**
（個人の健康に即した栄養を届ける）
- **蛋白質産業の再定義**
（生産から消費の一連の中で、動物性蛋白質を低減）
- **アップサイクリング**
（食品廃棄物を再生して、製品化）
- **蛋白質の自給自足**
（植物由来等新しい蛋白質を活用）
- **市場投入期間の短縮化**
（テクノロジー企業等に資金提供を行う）

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- 「投資促進法（Law 5719）」及び「産業研究開発促進法（Law 5744）」に基づき、スタートアップ等による研究開発を促進しつつ、海外のスタートアップの誘致施策も展開することで、国全体の経済発展を志向

1 イスラエルにおけるイノベーション・エコシステム形成に向けた法整備の流れ

1959年 投資促進法（Law 5719）制定

- イスラエル国内における生産能力向上や国際市場での競争力向上、安定した雇用を生み出す環境の構築等を目的として、研究開発を主軸に置いた企業に対する法人税の減税を実施
- 4種類の企業区分に応じた法人税率を設定し、特にバイオテクノロジーに関する企業は16%（通常は23%）に設定
⇒都市部から離れた投資優遇地域（例：南部のネゲブ地域、北部のガリラヤ地域）に所在する場合、法人税は7.5%

1984年 産業研究開発促進法（Law 5744）制定

- 政府が研究開発におけるリスクを共有し、民間企業における研究開発への投資を奨励することを目的として、当時の産業貿易省（現：経済産業省）に首席科学官オフィス（OCS: Office of Chief Scientist）を設置し、産業に対する各種補助金や税制優遇措置等の施策を一元的に管理する権限が付与
- イスラエル国内に登録された企業であれば、同補助金や税制優遇措置の恩恵を受けることが可能

1993年 ヨズマ・プログラムの設置

- OCSの下に、公的資金を活用した投資会社を設立し、2種類の投資対象を定めることで、国内でのスタートアップ起業を支援
 - ① イスラエル国内における民間ベンチャーキャピタル（VC）を10件設立（8,000万ドル）
 - ② アーリー段階にあるスタートアップ15件への直接投資（2,000万ドル）
- VCは設立後5年以内に政府の投資分に5～7%の金利を加えた価格を支払うことで買い取り可能であり、立ち上げリスク低減に寄与

2015年 産業研究開発促進法（Law 5744）改正

- OCSを組織改編し、独立行政機関「イスラエル・イノベーション・オーソリティ（IIA: Israel Innovation Authority: IIA）」設立

現在

- ✓ 革新的な技術を生み出すスタートアップと安定した資金提供が可能な国内のベンチャーキャピタルが集積するエコシステムを形成
- ✓ 海外企業がイスラエル国内でスタートアップ等を設立するためのインセンティブを整備し、海外資金を継続的に呼び込む環境を整備

出典：国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター「海外調査報告書 海外の研究開発型スタートアップ支援」（平成30年3月）

<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2017/OR/CRDS-FY2017-OR-01.pdf>等を参考に作成

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- IIAでは、シード段階のスタートアップからグローバル企業まで、それぞれのニーズに適した補助金及び公的支援プログラムを整備することで、研究開発に対する投資を誘発

2 「イスラエル・イノベーション・オーソリティ（IIA: Israel Innovation Authority: IIA）」の概要

- IIAは新たなビジネスの構想を保有している起業家から新製品開発を進めている一定成熟したスタートアップ、イスラエル国内企業との連携に関心のあるグローバル企業に至るまで、各企業が置かれている環境や事業内容に適した各補助金及び公的支援プログラムを提供
- 現在は支援対象に応じて、4つの部門を運営し、各部門にて補助金及び公的支援プログラムを展開しており、2022年における補助額の合計は約17億2,000万シエケルとなっている

部門	業務概要	プログラム数 (2022年)	採択率 (2022年)	補助額 (2022年)
Startup Division (スタートアップ部門)	■ シード段階のスタートアップにおける技術開発を支援するプログラムを提供	7	約59% (採択数576件/ 申請数983件)	3億1,534万シエケル
Growth Division (成長企業部門)	■ シード段階を脱し、開発した製品の売上拡大段階に位置する企業や、革新的な技術の開発に対する資金援助を求める大企業を対象として、支援プログラムを提供	10	約54% (採択数306件/ 申請数564件)	8億6,635万シエケル
Technological Infrastructure Division (技術インフラ部門)	■ 研究開発インフラへの資金提供や、大学等の学術界での応用研究の促進、技術移転、軍事技術とのデュアルユース技術の開発等を重点的に支援するプログラムを提供	7	約71% (採択数446件/ 申請数624件)	5億917万シエケル
International Collaboration Division (国際協力部門)	■ 革新的技術の開発に係る国際共同事業への参画を支援 ■ 具体的には、二国間における技術協力や、欧州の技術開発プログラム「Horizon Europe」への参画を支援	2	約47% (採択数27件/ 申請数58件)	3,192万シエケル

次ページにて具体的なプログラム例を記載

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- 起業家やスタートアップにおける研究開発フェーズに応じた支援プログラムを展開しており、政府が直接介入するのではなく、民間の技術インキュベーターを最大限活用することで、イノベーションを促進

3 IIA Startup Division（スタートアップ部門）における主要プログラム

	Tnufa (Ideation) Incentive Program	Technological Innovation Incubators Program
プログラム概要	■ ビジネスの初期構想を有する起業家に対し、革新的な技術の開発及び検証を支援	■ 革新的な技術のアイデアを基に、スタートアップを設立したい起業家等に対し、技術インキュベーターを介して、研究開発資金の投資から企業設立、アイデアに基づく製品化まで一貫して支援
プログラム目標	■ 初期構想段階のプロジェクトにおける概念実証及びビジネスとしての実現可能性を精査	■ 研究開発の初期段階に相当する技術のアイデアを有しつつも、民間資金の調達が困難な起業家が抱えるリスクを解消
支援対象	■ 起業家 ■ イスラエル国内のスタートアップ	■ 起業家 ■ イスラエル国内のスタートアップ 等
具体的に受けられる支援内容	■ 1年間で最大20万シケルの補助金を提供（承認された予算の最大80%まで支援）	■ 2年間で最大350万シケルの補助金を提供（承認された予算の最大85%まで支援） ■ 残り予算15%はインキュベーターからの投資を受けることができるため、起業家側は金銭面での負担不要 ■ なお、バイオテクノロジーと工学を組み合わせた技術については、追加で250～350万シケルの補助金を提供
メリット	■ 申請段階では<u>企業設立は不要</u>（あくまでアイデアの検証に重点） ■ 採択にあたっては客観的プロセスを経ているため、<u>追加資金の調達材料としても活用可能</u> ■ 本プログラムの支援期間後であれば、他のプログラムから支援を受けることも可能 ■ 研究開発が失敗に終わった場合においても、補助金の返済は不要（ただし、製品化に至った場合は、<u>ロイヤリティとして収益の3%をIIAに支払う必要あり</u>）	■ 申請段階では、<u>企業設立は不要</u>であり、採択後にインキュベーターの支援を受けながら、起業プロセスを進めることが可能 ■ インキュベーターには、スタートアップの設立から製品化まで、<u>豊富な支援実績</u>を有する企業を用意（2024年1月時点で15社のインキュベーターが存在） ■ IIAとのやり取りはインキュベーターが一括して担当するため、起業家は技術及びビジネス開発に集中することが可能

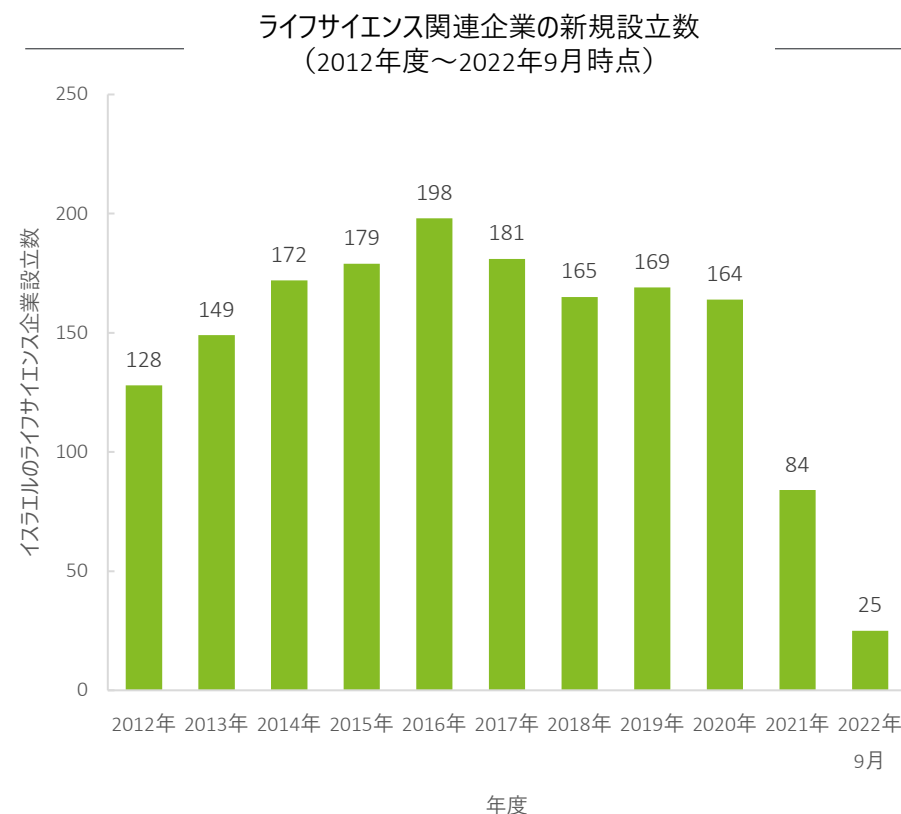
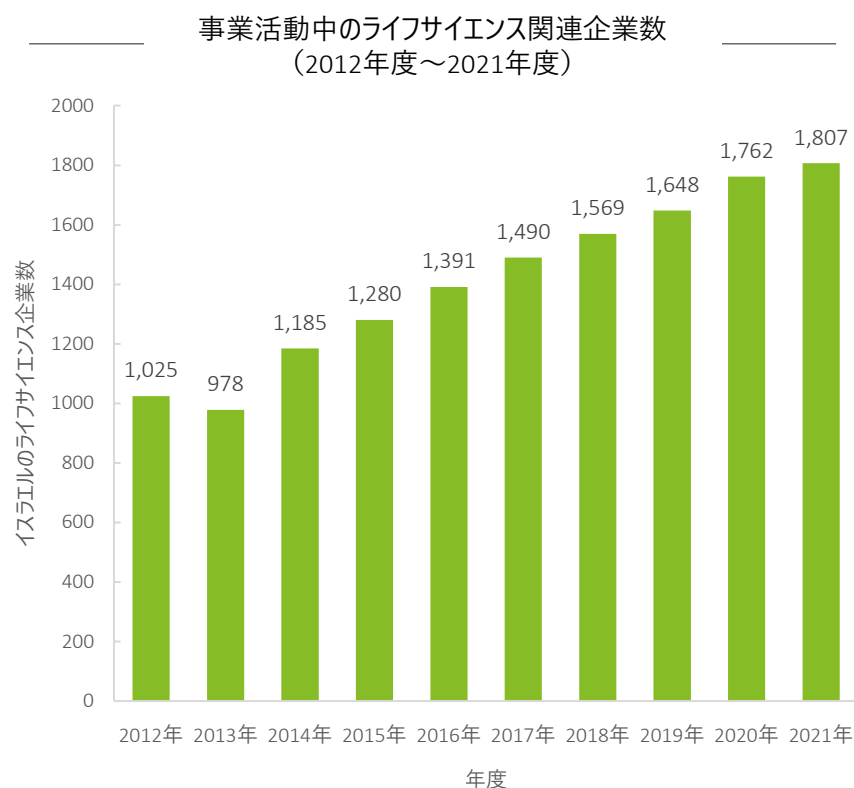
出典：IIA ウェブサイト “Tnufa (Ideation) Incentive Program”（英語版）https://innovationisrael.org.il/en/programs/ideation-tnufa-incentive-program/#about_route 等より作成

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- 2022年9月時点では、約1,800社のライフサイエンス関連企業がイスラエルで活動しているが、企業設立数は減少傾向

4 イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップへの投資動向

- イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップの数は増加傾向にあり、2021年度には約1,800社に到達
- 2014～2020年度にかけて、新規設立企業数は直近10年間の平均値（105社）を上回ったが、2021年度にはライフサイエンス関連企業の設立数が急激に減少し、設立された企業は84社
- なお、世界全体におけるライフサイエンス関連企業の設立数についても、同様に減少傾向



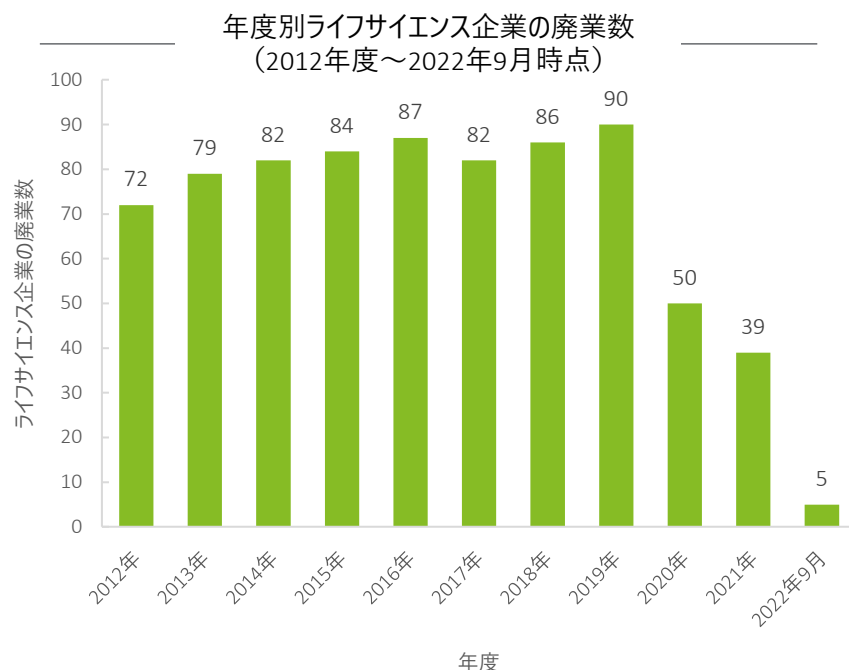
出典：Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年）
<https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

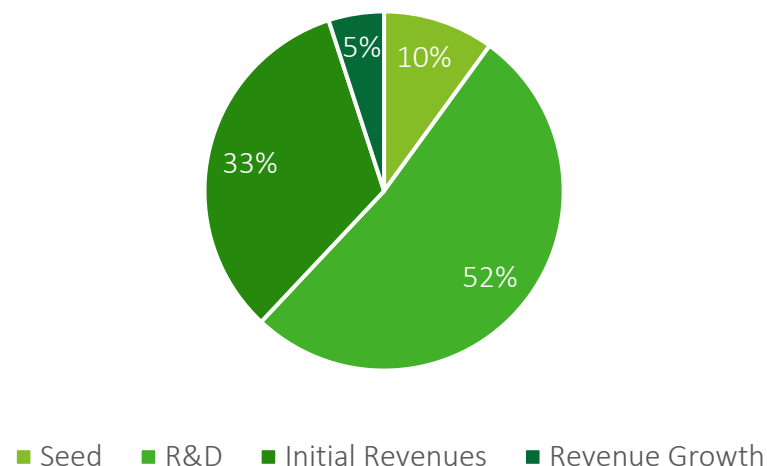
- 資金及び技術力不足により、過去10年間で750社のライフサイエンス関連企業が廃業している一方、現在活動中の企業の約4割は製品化段階

4 イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップへの投資動向

- 2021年度に廃業したライフサイエンス関連企業の大部分はデジタルヘルスに関連する企業であるものの、同年に新たに設立された企業数と同等の割合であり、デジタルヘルス分野自体は継続して成長
- 投資対象ステージ別にみると、実用化（Initial Revenues）及び規模拡大（Revenue Growth）段階にあるライフサイエンス関連企業の割合は直近数年間約4割で安定
- 一方、活動中のライフサイエンス企業の半分以上は、研究開発段階（Seed及びR & D）



投資対象ステージ別
現在活動中のライフサイエンス企業数の割合



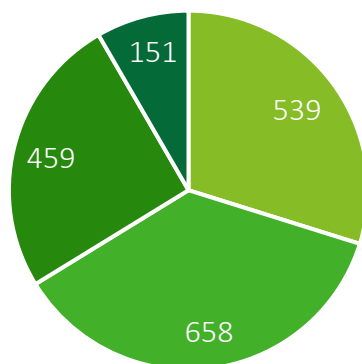
イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップは、主に「デジタルヘルス」、「医療機器」、「バイオテクノロジー」、「製薬」の4分野であり、割合に大きな変化は見られない

4 イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップへの投資動向

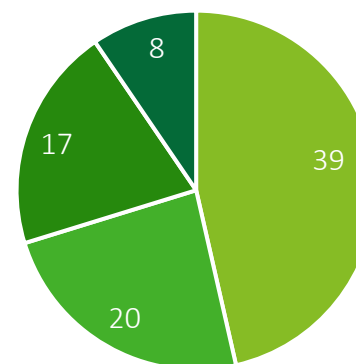
- 医療機器分野は2021年度におけるライフサイエンス分野スタートアップの約36％を占めているが、2020年度と比較すると4％減少
- デジタルヘルス分野は、ライフサイエンス分野スタートアップの約30％を占め、その割合は2020年と比較して3％増加しており、2020年度と2021年度の両方で最も成長している分野
- バイオテクノロジー分野及び製薬分野の企業数は大きく変化していない

主要4分野別 ライフサイエンス企業数



■ デジタルヘルス ■ 医療機器 ■ バイオテクノロジー ■ 製薬

2021年度 主要4分野別
ライフサイエンス企業設立数



■ デジタルヘルス ■ 医療機器 ■ バイオテクノロジー ■ 製薬

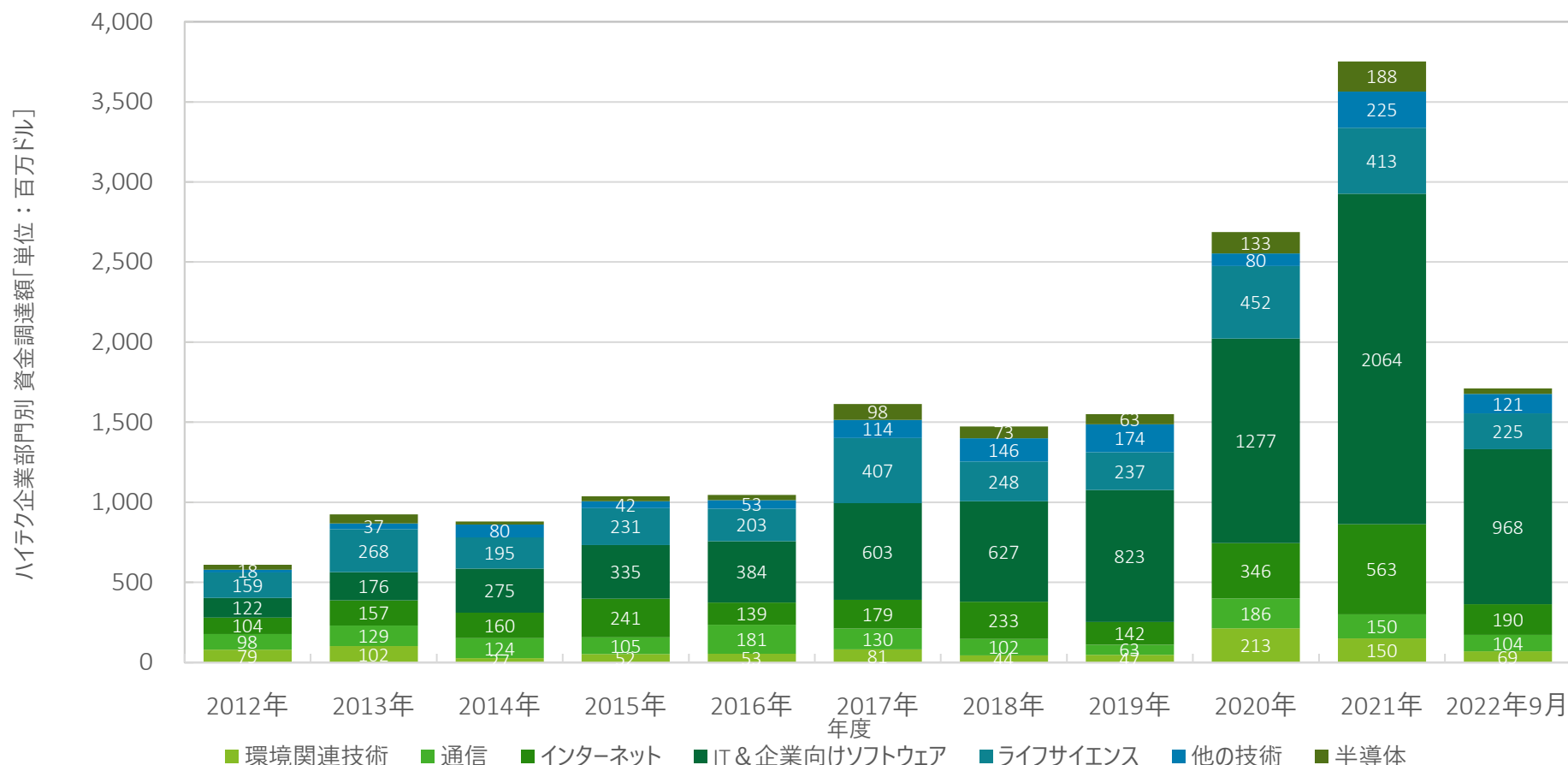
イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- イスラエルのスタートアップ企業全体の資金調達額と比較するとライフサイエンス分野は低い水準にあるが、2021年度の資金調達では、過去10年間で最高の約38億ドルに到達

4 イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップへの投資動向

- 2021年度におけるイスラエルのスタートアップ企業全体での資金調達額に対するライフサイエンス分野の割合は11%であり、過去10年間の平均よりも低い値となっているが、ライフサイエンス分野スタートアップが調達した金額自体は増加

ハイクテ企業分野別 資本調達割合（2012年度～2022年9月時点）



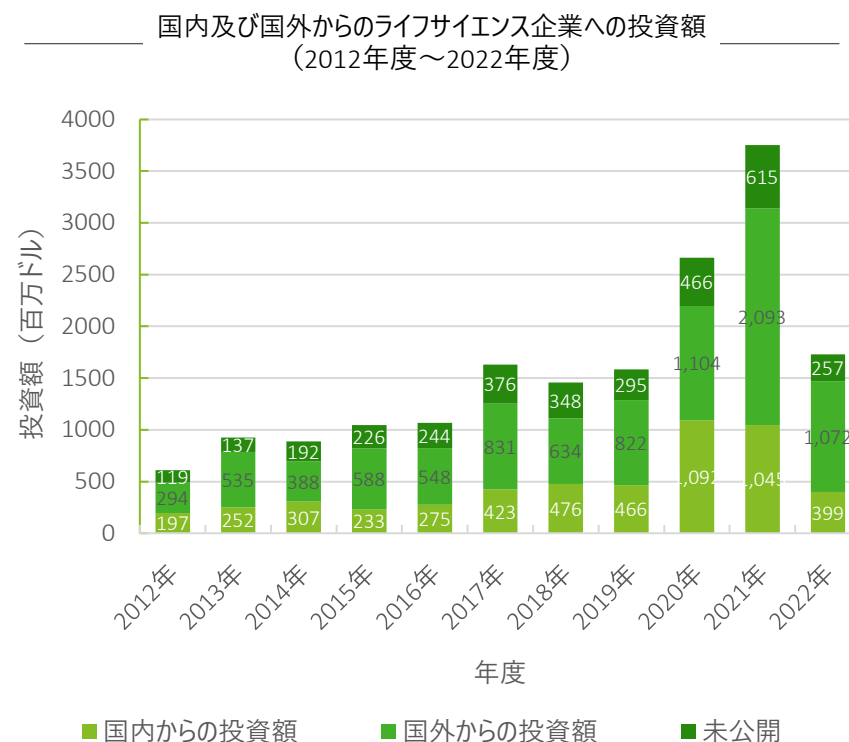
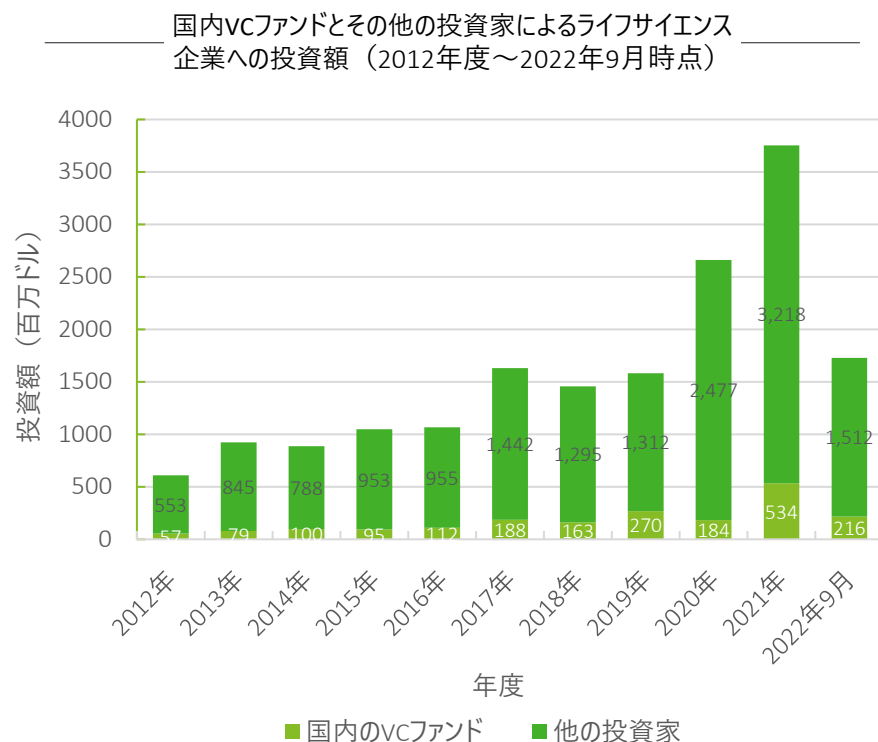
出典：Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年）等を参考に作成 <https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- イスラエルのライフサイエンス分野スタートアップにおける主な資金調達源はベンチャーキャピタルファンドであり、2021年には、総投資額の14%に相当する約5.3億ドルの資金を調達

4 イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップへの投資動向

- 2021年にイスラエルのベンチャーキャピタルファンドから調達した資金の総額は、2020年と比較すると2倍以上に大幅に増加しており、過去10年間においても最高金額に記録
- 国外からの投資額について、2021年度には国内からの投資額の倍以上に達しており、外部からの資金調達に成功



イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

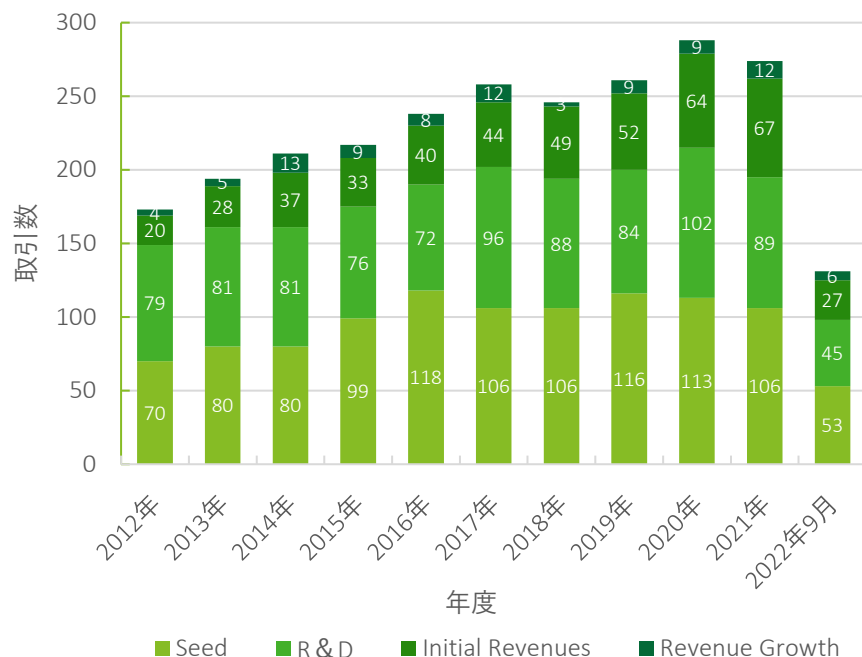
■ ライフサイエンス分野への投資額は、投資ステージ別においても増加傾向

4 イスラエルにおけるライフサイエンス分野スタートアップへの投資動向

■ 研究開発段階（Seed及びR&D）の企業の取引数は横ばいであるが、2021年度の投資額は2020年と比較して増加傾向

■ バイオテクノロジー関連企業について、2012年～2021年の間でM&A及びIPOに至った企業は53社

投資対象ステージ別ライフサイエンス企業の取引数
（2012年度～2022年9月時点）



投資対象ステージ別ライフサイエンス企業への投資額
（2012年度～2022年9月時点）



イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

- 一般的にハイリスクと考えられているライフサイエンス分野に対しても、多くの投資実績を有するベンチャーキャピタルが存在しており、資金が途切れないように工夫された投資環境を整備

5 ライフサイエンス分野関連のベンチャーキャピタル一覧

投資家名	設立年	投資対象フェーズ	投資動向
10D	2018年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ ライフサイエンス企業を含むハイテクスタートアップの初期段階のシード及びシリーズAラウンドに投資 ■ 2020～2022年にかけては、シードから研究開発、製品実用化段階にある企業計9社に対し、総額2,700万ドルの投資を実行
Accelmed	2009年	■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ 収益段階に達した医療機器企業計20社に投資
ALIVE	2020年	■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ ミドルからレイター段階にある医療技術、医療機器、遠隔医療分野に成熟した企業に投資 ■ 2020年～2022年にかけては、初期投資9社、追加の投資として2社に合計7200万ドルを投資を実行
Almeda Ventures	2020年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ 医療機器、デジタルヘルス、バイオコンバージェンス分野に投資 ■ 初期投資で研究開発段階から収益成長段階まで幅広い企業9社に合計1600万ドルの投資を実行
Alpha Capital	2001年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ ライフサイエンス及びテクノロジー分野のプレシードからシリーズB段階までのベンチャーとスタートアップに投資 ■ 近年、イスラエルの公開及び非公開企業に積極的に投資

出典： Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年） <https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

5 ライフサイエンス分野関連のベンチャーキャピタル一覧

投資家名	設立年	投資対象フェーズ	投資動向
aMoon Partners Fund	2016年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ イスラエル最大のヘルステックVCファンド ■ 投資先は30社あり、そのうち4社はIPO後の企業
Arkin Bio	2016年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ 免疫療法、がん、代謝、微生物叢、中枢神経系、自己免疫疾患、希少疾患、ドラッグデリバリー等の分野の初期及び中期の企業に投資 ■ 投資先は15社あり、そのうち3社はIPC後の企業
Biomed 100-ShizimXL Ltd	2014年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 初期段階のスタートアップに投資 ■ 医療機器、製薬、医療機器、医療用大麻分野の企業13社に投資
Clal Biotechnology Industries (CBI)	1993年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ TASEで取引される公開企業で、シードから成熟段階までの企業に幅広く投資 ■ バイオテクノロジー及び医療機器分野の企業11社に投資
Elron Electronic Industries	1962年	■ Seed ■ R&D	■ アーリー段階を中心に、イスラエルのテクノロジースタートアップに投資 ■ ライフサイエンス分野の企業4社に投資

出典： Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年） <https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

5 ライフサイエンス分野関連のベンチャーキャピタル一覧

投資家名	設立年	投資対象フェーズ	投資動向
Entrée Capital	2009年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 10億ドル以上を管理しており、シード、アーリー、成長段階の幅広いハイテクスタートアップに投資 ■ イスラエルのライフサイエンス企業7社に投資
ExitVally Ltd	2015年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ テクノロジー、フードテック、ライフサイエンス分野の初期段階のスタートアップ向けクラウドファンディングプラットフォーム ■ ExitVallyのコミュニティには24,000人以上の投資家が参加
Guangzhou-Israel Biotech Investment Fund (GIBF)	2016年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ イスラエルのバイオテックを中国の広州にて商業・産業化することを目的に、ライフサイエンス分野を中心に12社に投資
Israel Biotech Fund (IBF)	2015年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ イスラエルのシード、R&D、実用化段階のバイオテクノロジー及び製薬企業のみ13社に投資 ■ 2020年～2022年にかけては、初期投資で12社に投資し、フォローオン投資で3社に合計4,200万ドルの投資を実施
Joy Ventures	2017年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ 消費者製品を開発する企業11社に投資

出典： Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年） <https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

5 ライフサイエンス分野関連のベンチャーキャピタル一覧

投資家名	設立年	投資対象フェーズ	投資動向
Koch Disruptive Technologies	2019年	■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ 実証済みの技術を持つ高成長段階の企業と提携することを重視 ■ 2020年～2022年にかけては、イスラエルのライフサイエンス企業に対して初期投資及び追加投資の合計2億5200万ドル投資を実施
LionBird	2012年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ ヘルスケア、商業、エンタープライズ分野のスタートアップ企業に注力しており、ヘルスケア分野は18社に投資 ■ 2020年～2022年にかけて、初期投資12社及び追加投資12社の合計で2500万ドルの投資を実施
Mediterranean Towers Ventures	2017年	■ Seed	■ 高齢者向けの革新的なソリューションを開発するテクノロジー企業に専門に投資
NFX	2015年	■ Seed	■ プレシード・シードステージのスタートアップ企業に投資 ■ ヘルスケア企業19社に投資 ■ 2021年～2022年にかけて、初期投資7社及び追加投資2社の合計2100万ドルの投資を実施
OrbiMed Israel Partners	1989年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ シード段階のベンチャーキャピタルから大規模な上場企業まで、グローバルなヘルスケア産業に投資

出典： Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年） <https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

5 ライフサイエンス分野関連のベンチャーキャピタル一覧

投資家名	設立年	投資対象フェーズ	投資動向
OurCrowd	2013年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ ヘルスケアポート分野の企業24社に投資 ■ 2020年～2022年にかけては、初期投資29社及び追加投資100社の合計1億5700万ドルの投資を実施
PeakBridge	2017年	■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ フードテック分野の企業16社に投資 ■ 2020年～2022年にかけては、初期投資17社及び追加投資14社の合計4500万ドルの投資を実施
Peregrine	2001年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ シード～実用化段階のライフサイエンス分野の企業48社に投資 ■ 2020年～2022年にかけては、初期投資38社及び追加投資46社の合計2億4800万ドルの投資を実施
Pitango Venture Capital	1993年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ デジタルヘルス、診断、医療情報、治療法等のヘルスケア分野の企業に注力しており、17社に投資 ■ 2020年～2022年にかけては、初期投資13社の6,900万ドルの投資を実施
Pontifax Venture Capital	2004年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ ヘルスケア分野において先端的のライフサイエンス技術開発を行う企業54社に投資

出典： Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年） <https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

5 ライフサイエンス分野関連のベンチャーキャピタル一覧

投資家名	設立年	投資対象フェーズ	投資動向
RMGP Biopharma	2017年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 需要がある未成熟分野に対する治療法の確立に注力
Sanara Ventures	2014年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 初期段階の医療機器及びデジタルヘルス分野に関するスタートアップ企業17社に投資
SBI Japan	2017年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ イスラエルのバイオフーマ企業に注力し、10社に投資
Shavit Capital Fund	2007年	■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ イスラエル関連企業への後期投資に注力 ■ 2020年～2022年にかけては、初期投資9社及び追加投資1社の合計13億ドルの投資を実施
Tal Venture	2016年	■ R&D ■ Initial Revenues ■ Revenue Growth	■ イスラエルのハitekエコシステム分野に注力 ■ 2021年～2022年にかけては、初期投資3社に1000万ドルの投資を実施

出典： Israel Advanced Technology Industries “IATI Israel’s Life Science “Annual Industry Report”（2022年） <https://iati.co.il/wp-content/uploads/2023/12/IATI-Israelis-Life-Science-Annual-Industry-Report-2022.pdf>

イノベーション・エコシステム形成（イスラエル国）

5 ライフサイエンス分野関連のベンチャーキャピタル一覧

投資家名	設立年	投資対象フェーズ	投資動向
Triventures	2010年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 初期段階の循環器、整形外科、ロボティクス、眼科、婦人科、デジタルヘルス等のヘルスケア分野の企業23社に投資
Vertex Ventures Israel	1997年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 初期段階のイスラエル企業に投資 ■ デジタルヘルス分野の企業4社に投資 ■ シード～実用化段階のデジタルヘルス分野の企業に対して、2020年～2022年にかけて、初期投資2社、追加投資4社の合計3200万ドルの投資を実施
VLX Ventures	2013年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 初期段階の計算生物学及び薬剤開発分野のスタートアップに投資 ■ 投資を行っている企業計12社のうち、10社がライフサイエンス分野の企業
Welltech Ventures	2019年	■ Seed ■ R&D ■ Initial Revenues	■ 初期段階のヘルスケア及びウェルネス分野のスタートアップ企業13社に投資

技術戦略分析

特許や論文といった技術面の動向や、該当技術の導入量やコストといった市場面の動向分析を実施

分析対象とした技術一覧

目的	分析方針	分析対象	技術の概要・特長
選定した技術について日本の強み・弱みを把握し、社会実装に向けた課題・施策を整理	3～5件の技術・分野を選定し、以下の項目を中心に分析 ■ 技術面 ・ 特許動向 ・ 論文動向 ■ 市場面 ・ 技術導入量 ・ コスト	SAF	・ 第2世代バイオ燃料（油脂・セルロース・廃棄物由来）及び第3世代バイオ燃料（微細藻類由来）の開発が初期普及段階に到達
		バイオスティミュラント	・ 化学農薬に代わる防除技術。現在、レーザー光による害虫狙撃技術の開発の他、利用可能な物質候補の探索等が推進 ・ 疾病・雑草抑制用ペプチド資材 を開発するスタートアップも存在
		人工衛星等による生育観測	・ 衛星画像や土壌地図データ、気象情報等を統合・分析し、土壌水分を含む圃場の状態把握 ・ 機械学習技術 を統合し、より正確な生育予測が可能
		ゲノミックセレクション	・ ビッグデータの活用と機械学習の高度化により、 ゲノム予測モデルを構築 し、優良な個体を選抜（育種の効率化が期待される） ・ 植物育種への応用に向けた研究開発が加速

技術戦略分析

①SAF

②バイオスティミュラント

③人工衛星等による生育観測

④ゲノミックセレクション

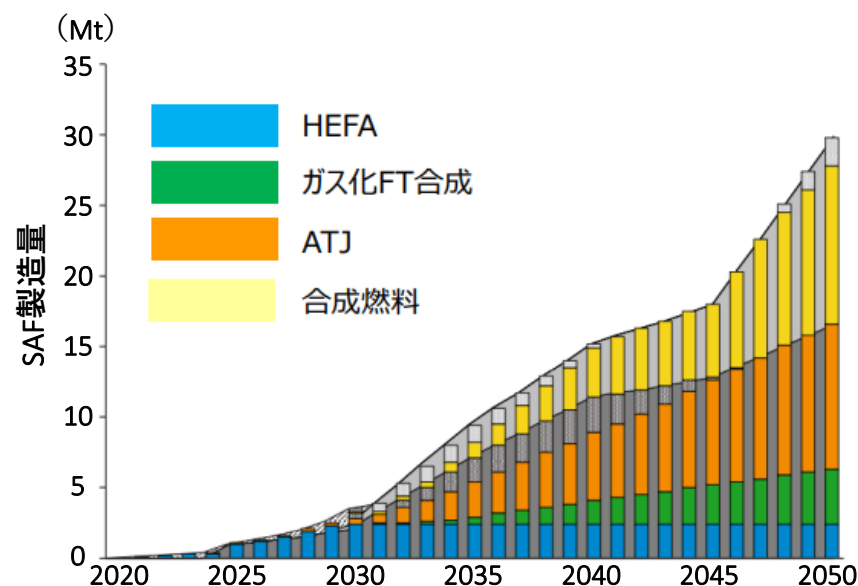
SAFの製造技術は、原料やSAFへの変換方法の違いにより、主に4種類に分類

SAFの原料と製造技術の類型

製造技術	原料	概要
HEFA※1	・ 廃食油 ・ 牛脂 ・ 微細藻類 等	廃食油等を、高圧下で水素化分解及び還元し、SAFを製造
ガス化FT合成※2	・ 木くず等のバイオマス ・ 廃プラスチック等の都市ごみ等	木くずや廃プラ等をガス化し、触媒により液化することでSAFを製造
ATJ※3	・ 第一世代バイオエタノール（さとうきび、とうもろこし等） ・ 第二世代バイオエタノール（非可食植物、古紙、廃棄物等）	触媒を用いて、バイオエタノールを改質することでSAFを製造
合成燃料（PtL）	・ CO ₂ 、水素	再生可能エネルギーと水、CO ₂ からSAFを製造

- ・ 現時点で社会実装に至っているのは、「HEFA」と「ATJ」のみ

欧州における将来のSAFの製造技術予測

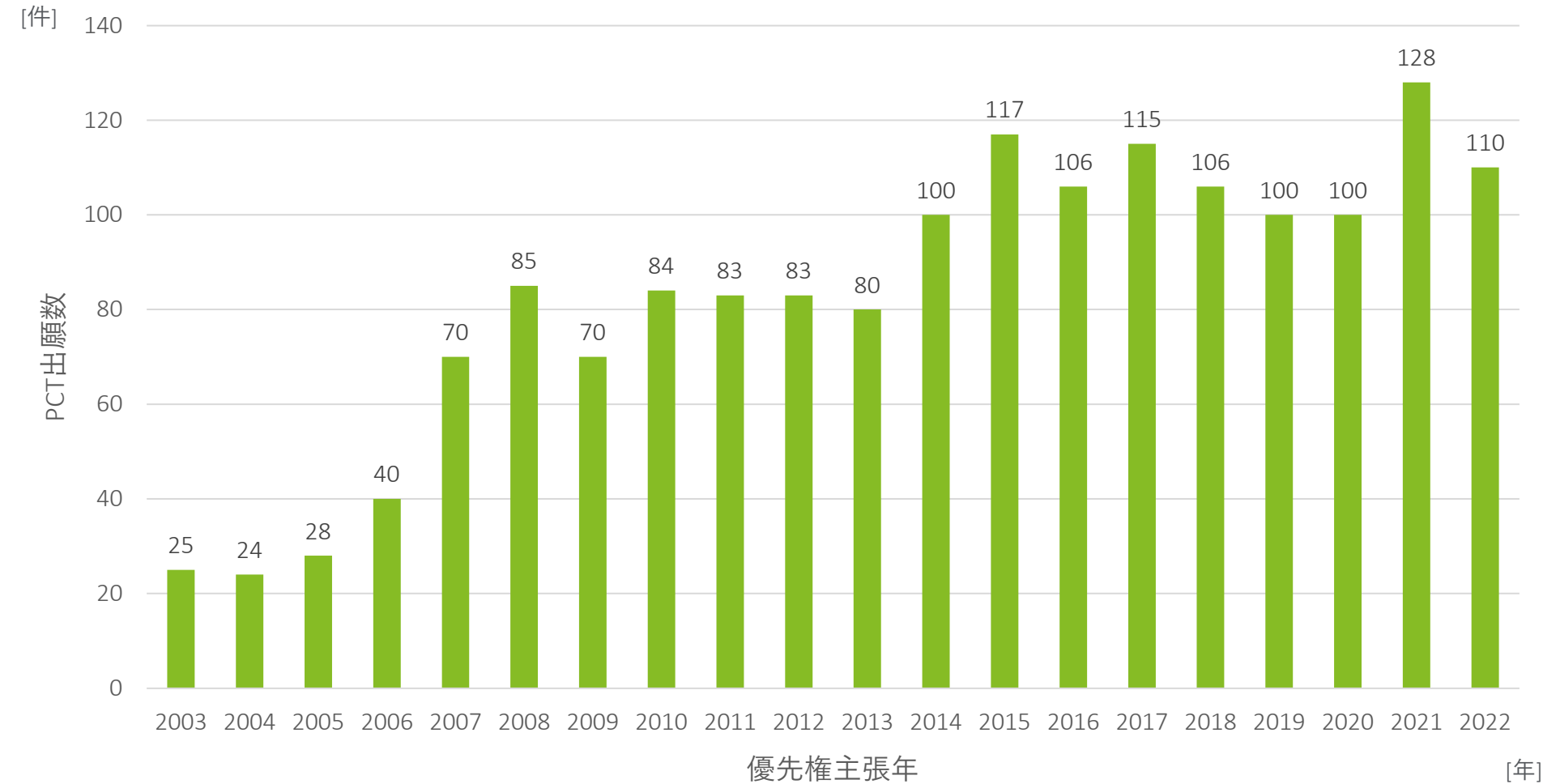


- ・ 短期的にSAF導入量を拡大するために、HEFAが不可欠とされているが、原料となる廃油の入手可能量が限られているため、2030年以降の製造量は増加しない見込み
- ・ 2030年以降は、農業残渣や林業残渣等のセルロース系原料からガス化FT合成もしくはATJにより製造されるSAFが増加する見込み

※1 HEFA: Hydroprocessed Esters and Fatty Acids、※2 FT: Fischer-Tropsch合成、※3 ATJ: Alcohol To Jet
出典：資源エネルギー庁「CO₂等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトに関する国内外の動向について（令和5年6月）
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/016_04_00.pdf

2003～2022年にかけて、SAF関連特許の出願数は増加傾向にあり、特に2014年を境に毎年100件以上の特許が出願

SAFに関する特許出願数の推移



出典：Questel

※検索条件は別ページに記載

SAF関連特許の上位特許権者はアメリカと中国に集中しており、特にアメリカではバイオディーゼルを併産するHEFAやセルロース系原料を活用するATJに係る特許が多数

SAFに関する上位特許権者リスト

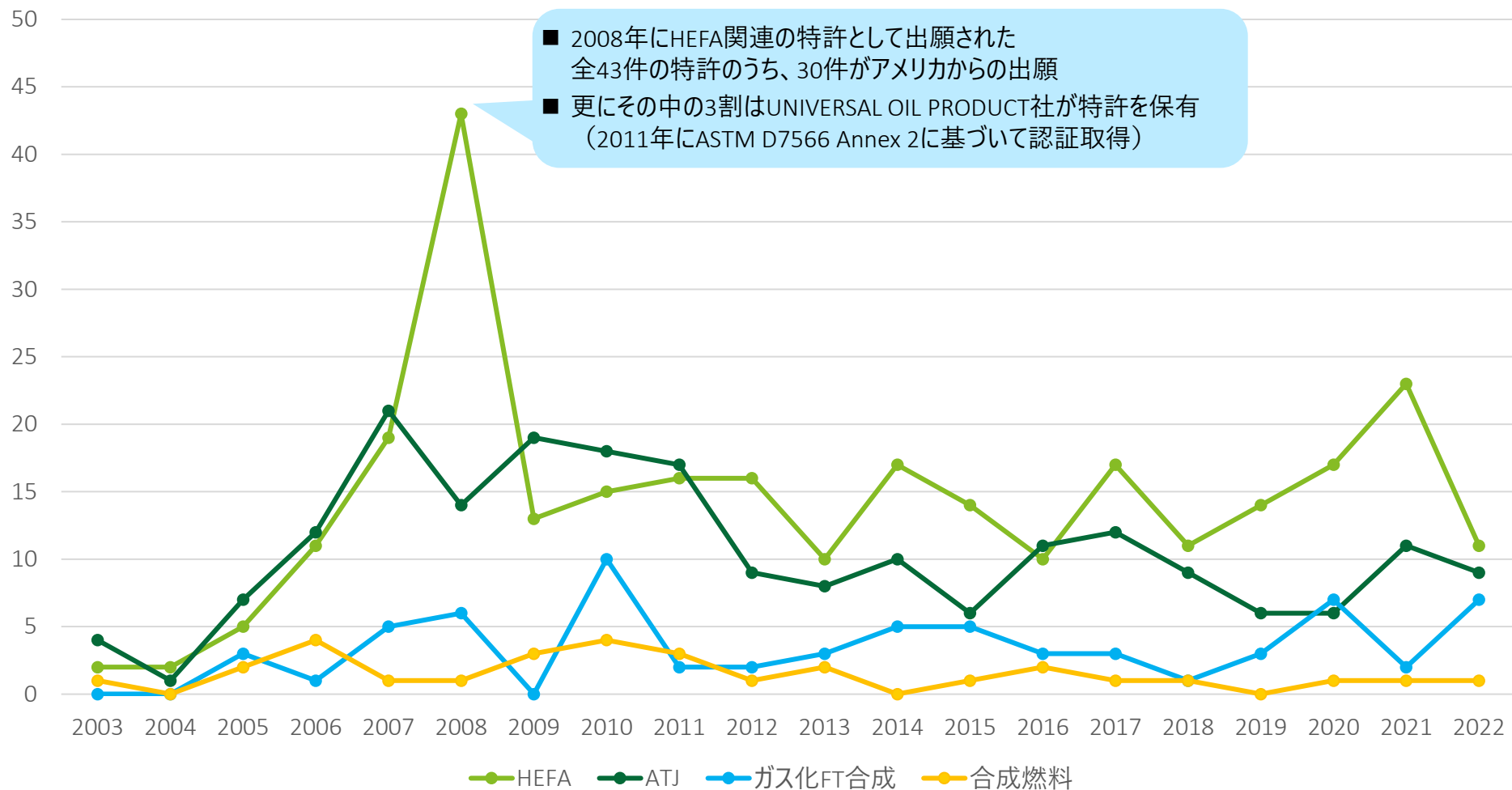
#	特許権者名（国籍）	保有数
1	UNIVERSAL OIL PRODUCT（アメリカ）	32
2	DALIAN INSTITUTE OF CHEMICAL PHYSICS CHINESE ACADEMY OF SCIENCES（中国）	30
3	XYLECO（アメリカ）	24
4	ROLLS ROYCE（イギリス）	19
5	NESTE OIL（フィンランド）	17
6	PETROBRAS - PETROLEO BRASILEIRO（ブラジル）	12
7	GEVO（アメリカ）	10
7	SHELL INTERNATIONALE RESEARCH（オランダ）	10
7	US NAVY（アメリカ）	10
7	KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY （韓国）	10

出典：Questel

#	特許権者名（国籍）	保有数
11	GUANGZHOU INSTITUTE OF ENERGY CONVERSION - CHINESE ACADEMY OF SCIENCES（中国）	9
11	BEIHANG UNIVERSITY OF AERONAUTICS & ASTRONAUTICS（中国）	9
11	NUAA - NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS & ASTRONAUTICS（中国）	9
14	REG SYNTHETIC FUELS（アメリカ）	8
14	PETROCHINA（中国）	8
14	ZHEJIANG UNIVERSITY（中国）	8
17	EXXONMOBIL RESEARCH & ENGINEERING（アメリカ）	7
17	EXXONMOBIL TECHNOLOGY & ENGINEERING（アメリカ）	7
17	SOUTHEAST UNIVERSITY（中国）	7
17	NANCHANG UNIVERSITY（中国）	7
17	EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY （中国）	7
17	HELIAE DEVELOPMENT（アメリカ）	7

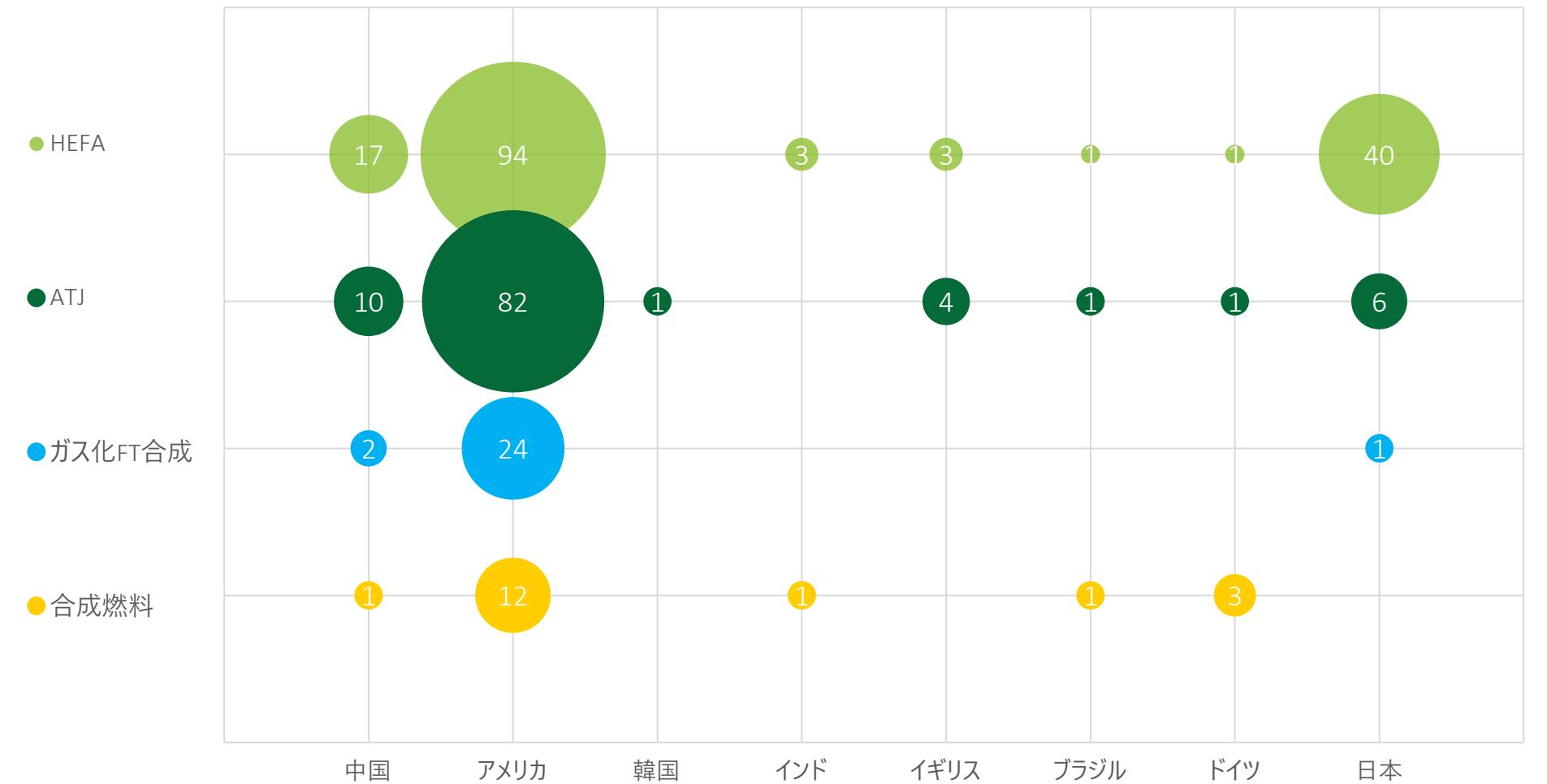
HEFAとATJ関連の特許が多く出願されており、2012年以降に関してはHEFA関連の特許出願が一定数みられる

SAF製造技術に関する特許出願件数の経年変化（2003-2022）



アメリカから特許が多く出願されている一方、HEFAに関しては日本からの出願もみられる

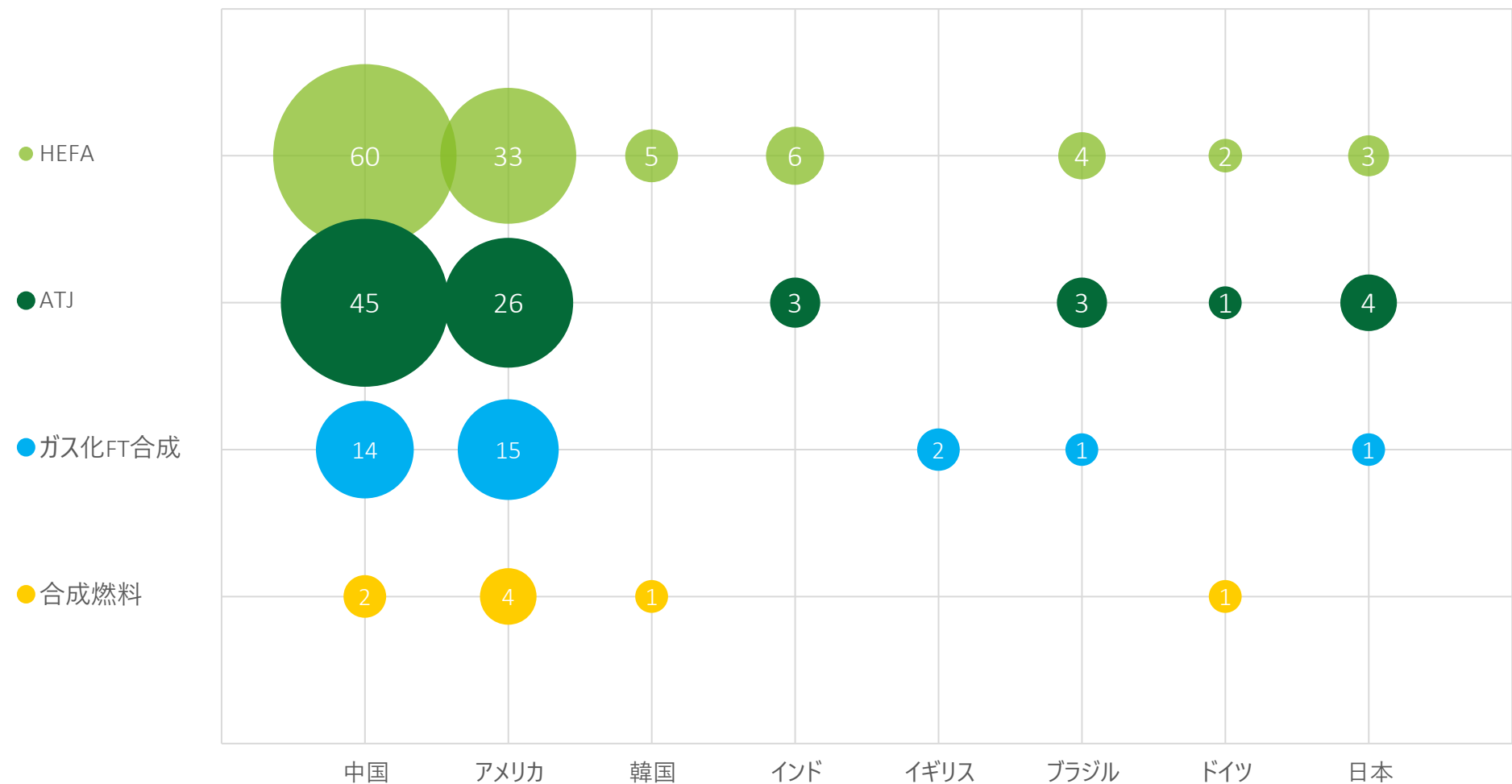
SAFに関する特許の出願国分布（2003-2012、出願数上位8カ国を抽出）



出典：Questel

2013年以降は中国からの特許出願数が増加しており、急激に技術力が向上

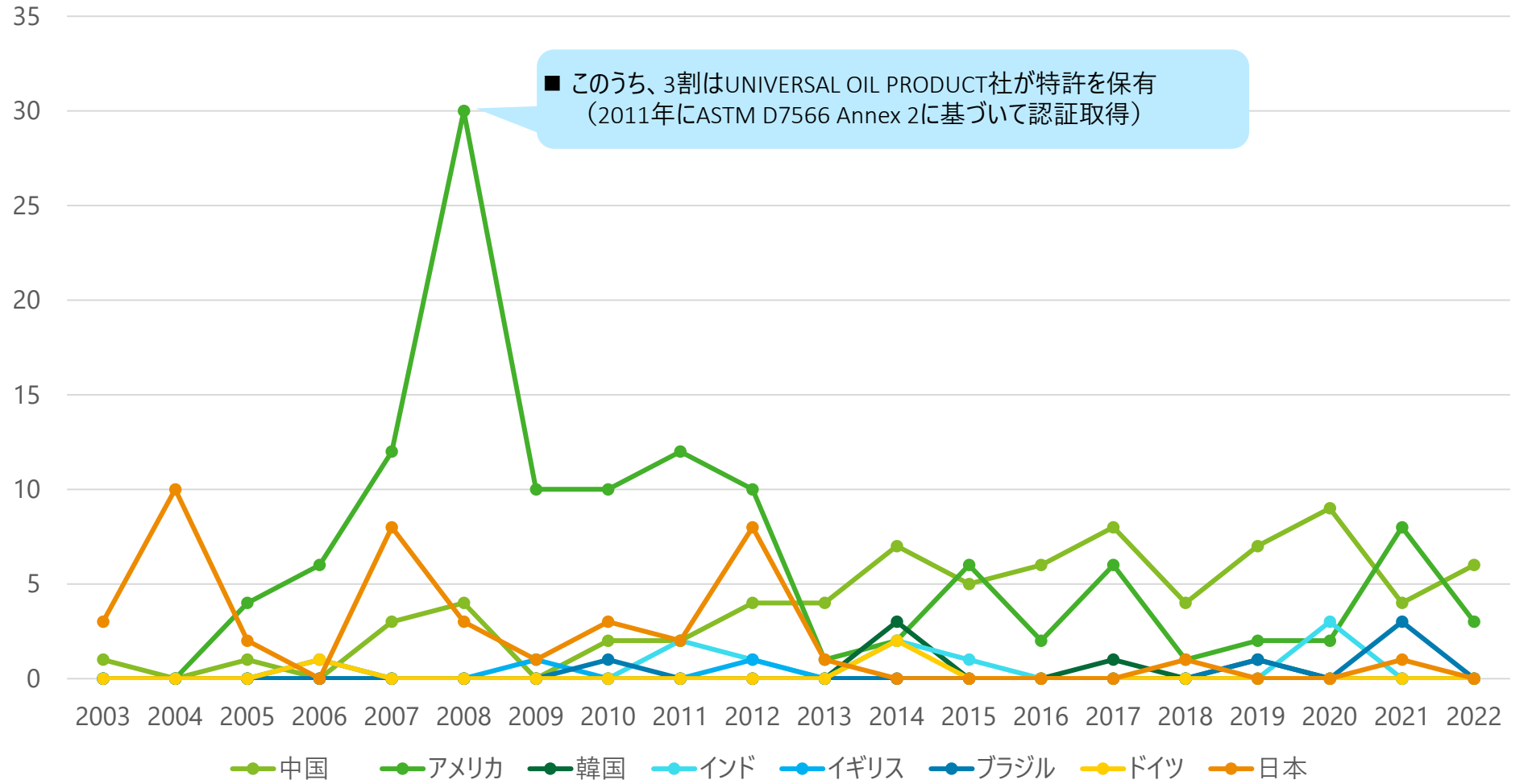
SAFに関する特許の出願国分布（2013-2022、出願数上位8カ国を抽出）



出典：Questel

HEFAに関しては2006～2012年にかけてアメリカからの特許出願が多い一方、2013年以降中国からの特許出願数が増加

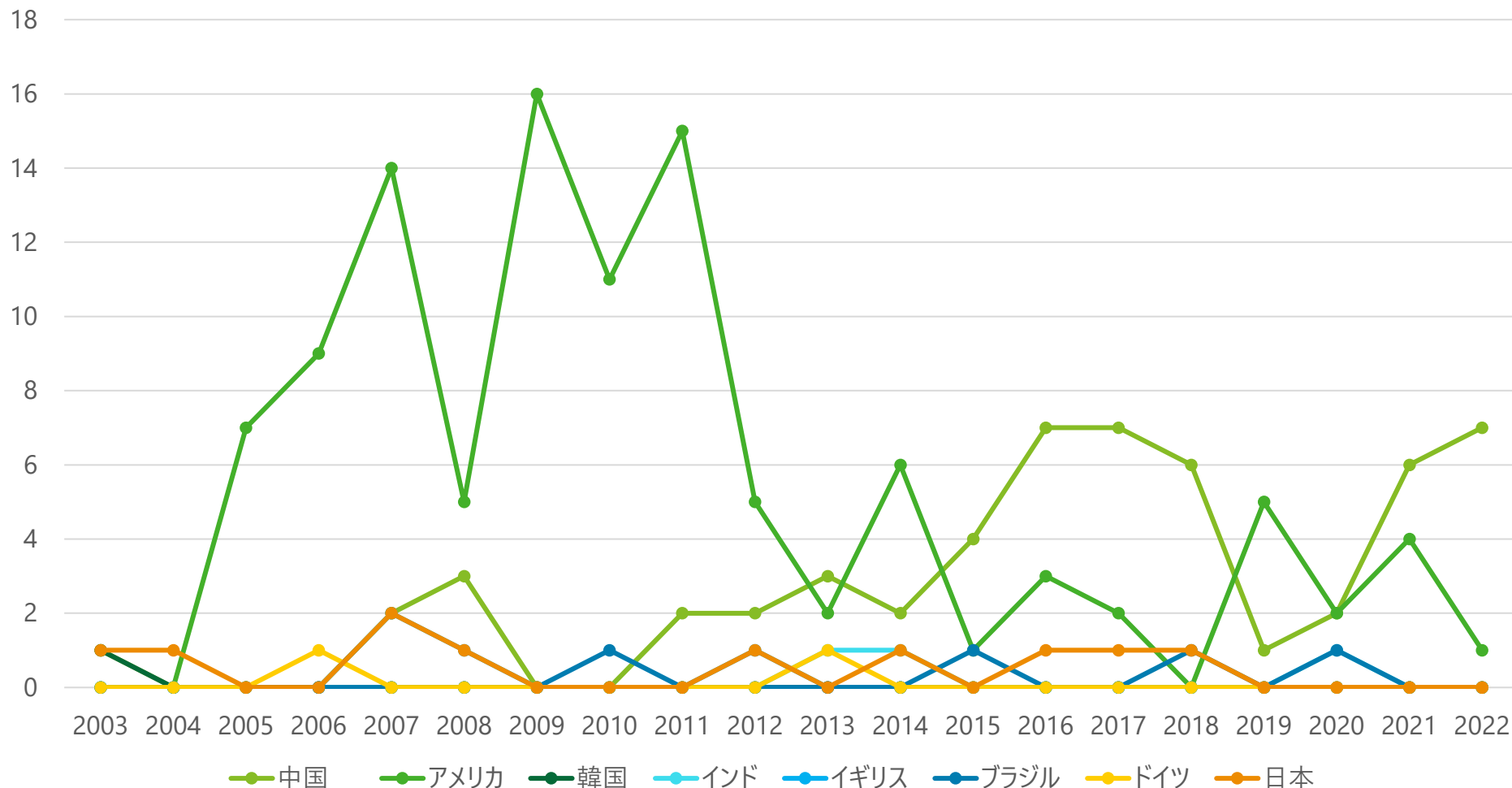
HEFAに関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

ATJに関しては2007～2011年にかけてアメリカからの特許出願が多数（主にASTM D7566 Annex 5 を取得しているGevo社等）

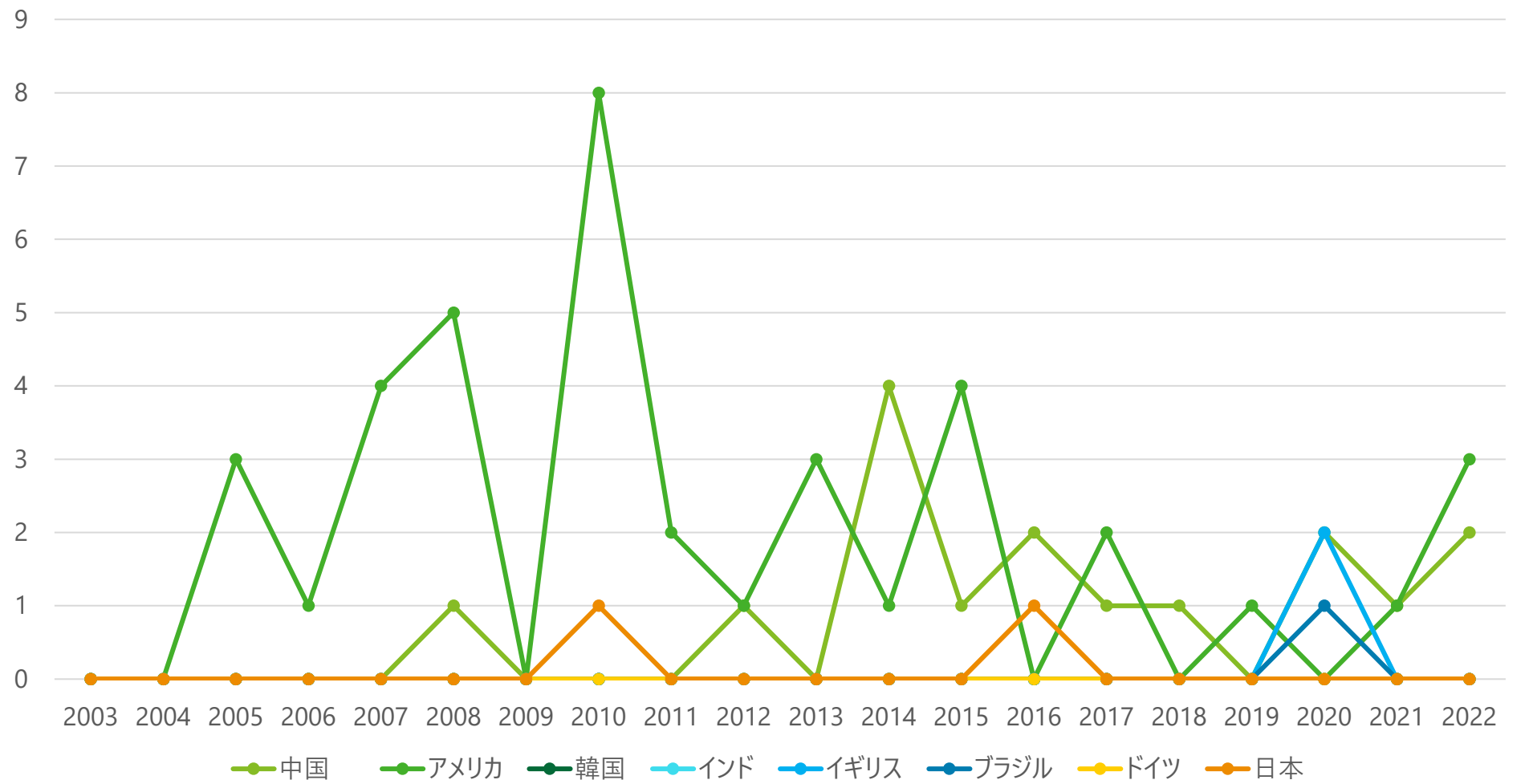
ATJに関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

ガス化FT合成に関して2010年頃までアメリカからの特許出願があったが、2011年以降各国からの積極的な特許出願はない

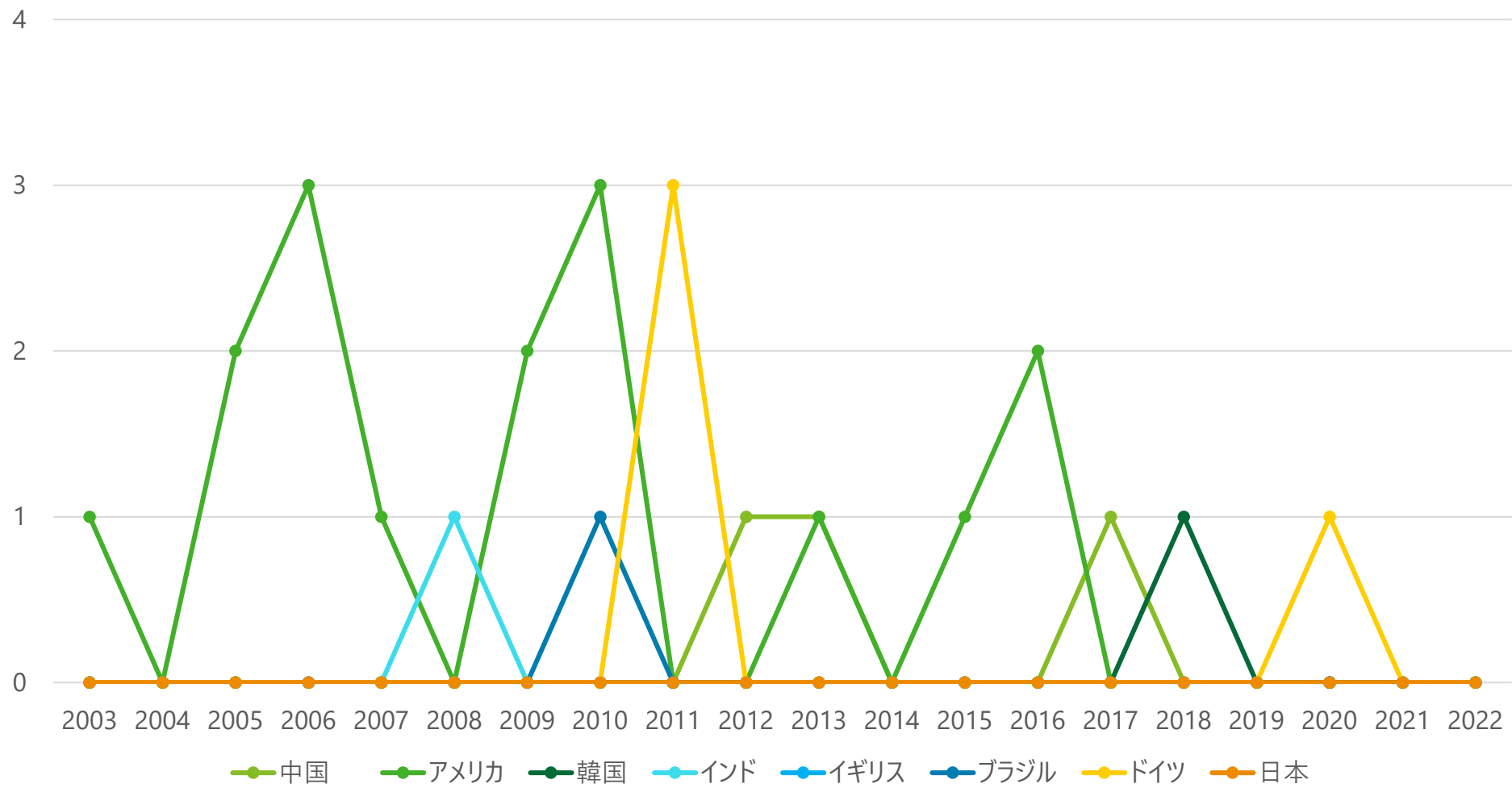
ガス化FT合成に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

合成燃料に関しては毎年数件の特許が出願されている程度

合成燃料に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



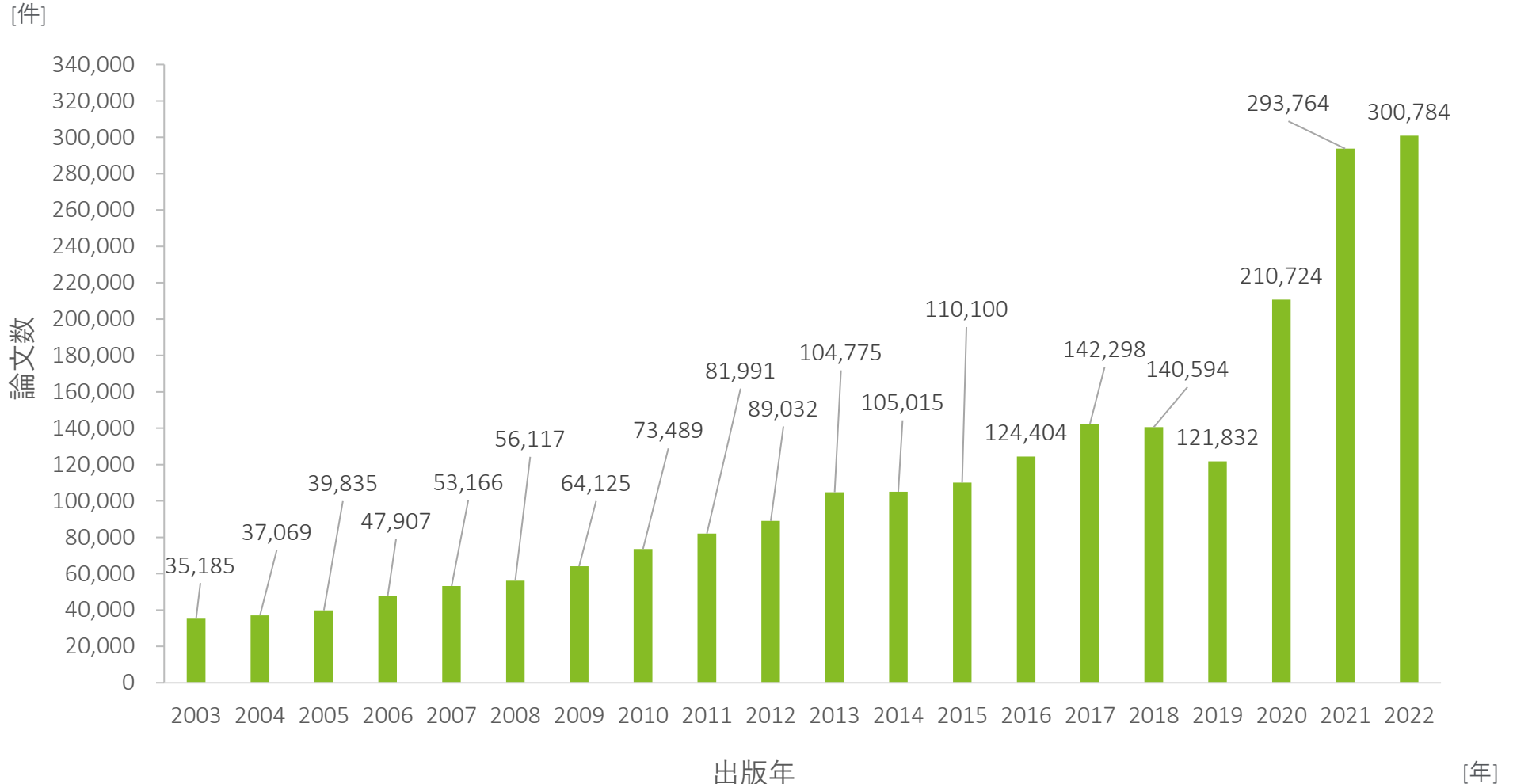
出典：Questel

SAF関連特許の調査方法の概要は以下のとおり

調査対象特許	PCT出願
調査対象年	2003～2022年（優先権主張年）
使用データベース	Questel社「Orbit Insight」
調査方法	■ 以下の検索式にて、文献の母集団を形成 ■ 母集団として整理した各文献に含まれる技術単語（キーワード）について、各製造技術（「HEFA」、「ATJ」、「ガス化FT合成」、「合成燃料」）に関連する単語が含まれる特許を抽出
検索式	('Alcohol to JET' OR 'Fischer Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene' OR FT-SPK OR 'Catalytic hydrothermolysis synthetic jet' OR ('Hydroprocessed Hydrocarbons, Esters' and 'Fatty Acids'))/TI/AB/CLMS/OBJ/ADB/ICLM OR (((aviation OR jet)/TI/AB/ICLM OR (B64#)/IPC) AND ((fuel* OR hydrocarbon* OR gasolin* OR (oil* NOT (boil))))/TI/AB/ICLM OR (C10G OR C10L-001/00)/IPC) AND((sustainable OR (bio* NOT (bioavailability OR biodegrad*))) OR renewable)/TI/AB/ICLM))

SAFに関連する論文数は直近20年間継続して増加傾向にあり、特に2020年から急激に増加

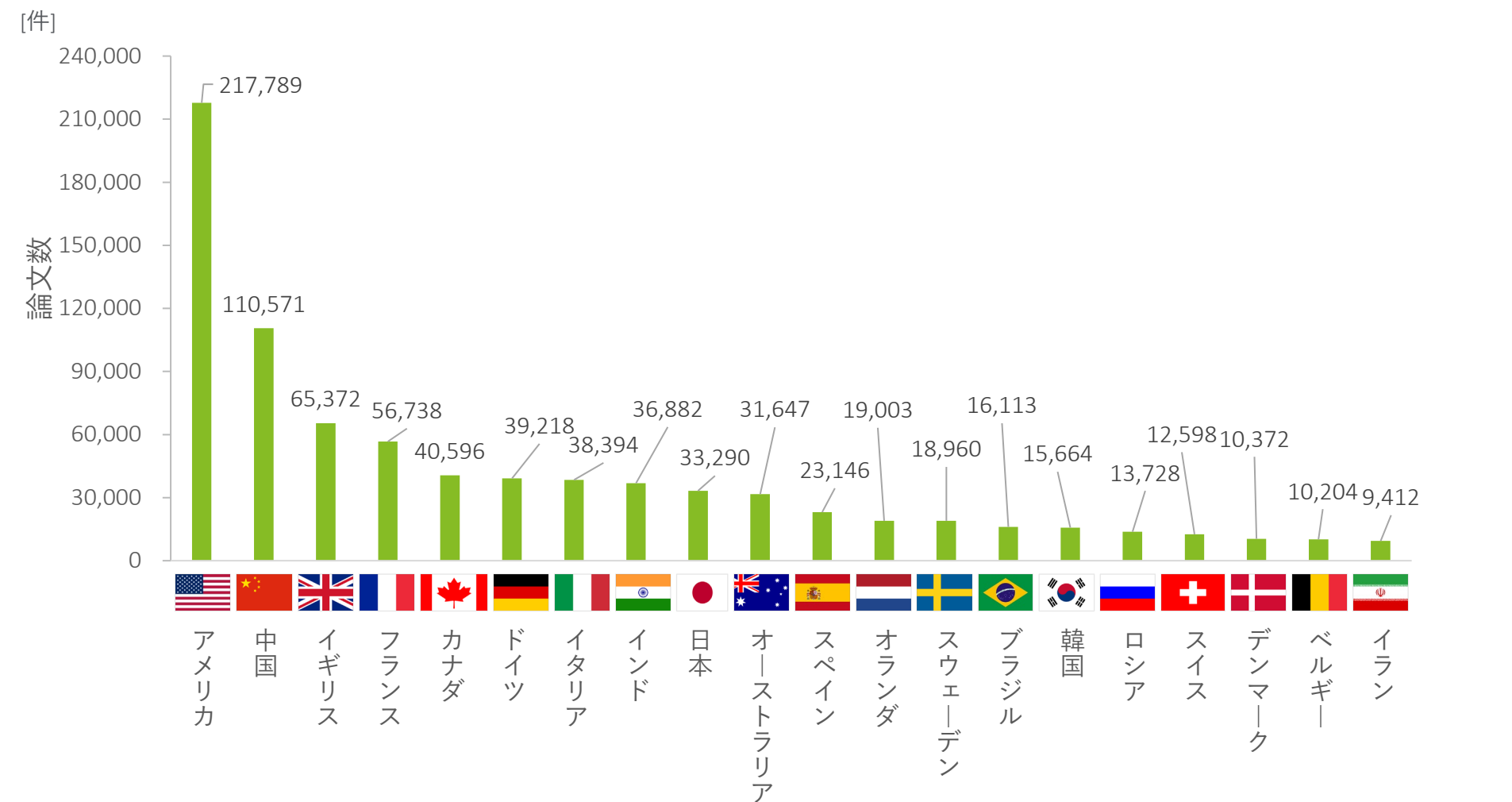
SAF関連の論文数推移（2003～2022年）



出典：Questel

論文数の上位2か国は、特許と同様にアメリカと中国となっており、続いてイギリスやフランス、カナダといった国が並んでいる

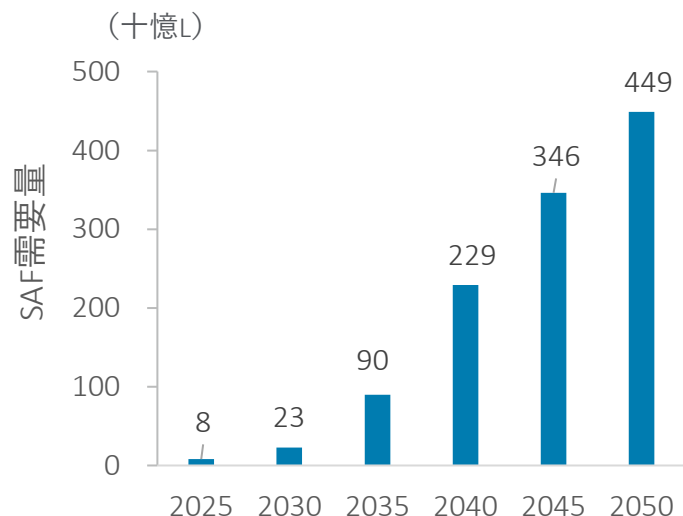
国別のSAF関連の論文数順位



出典：Questel

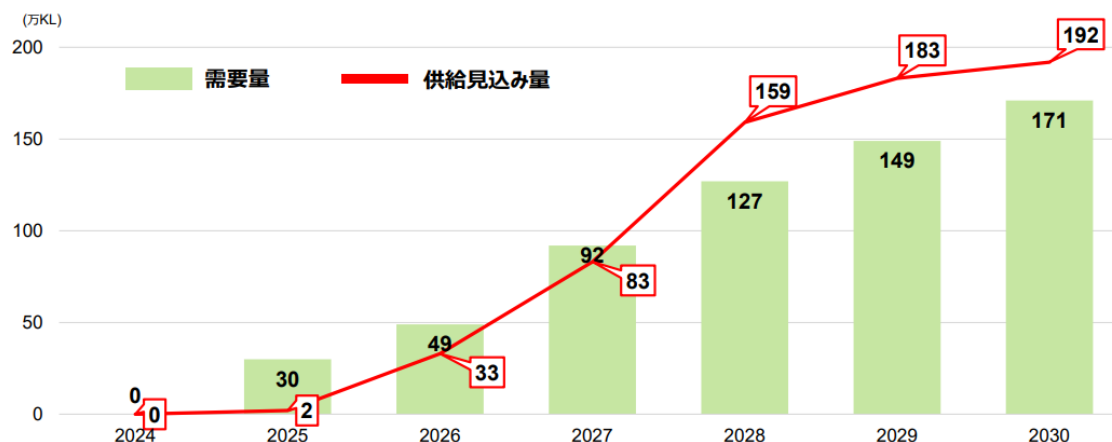
航空業界全体でのネットゼロ目標達成に向けた動向を踏まえ、SAFへの需要は国内外ともに急増すると見込まれており、国内では2030年時点で約171万kLに達する見込み

世界全体でのSAF需要量見込み



- IATA（国際航空運送協会）は、航空輸送分野における2050年のCO2総排出量をネットゼロとする目標を発表
- 上記目標の達成に必要なSAFの量について、2050年には約4.5億kLと推計
- 一方、2023年時点でのSAF生産量は約60万kL（世界全体のジェット燃料消費量の約0.2%）に留まると推計

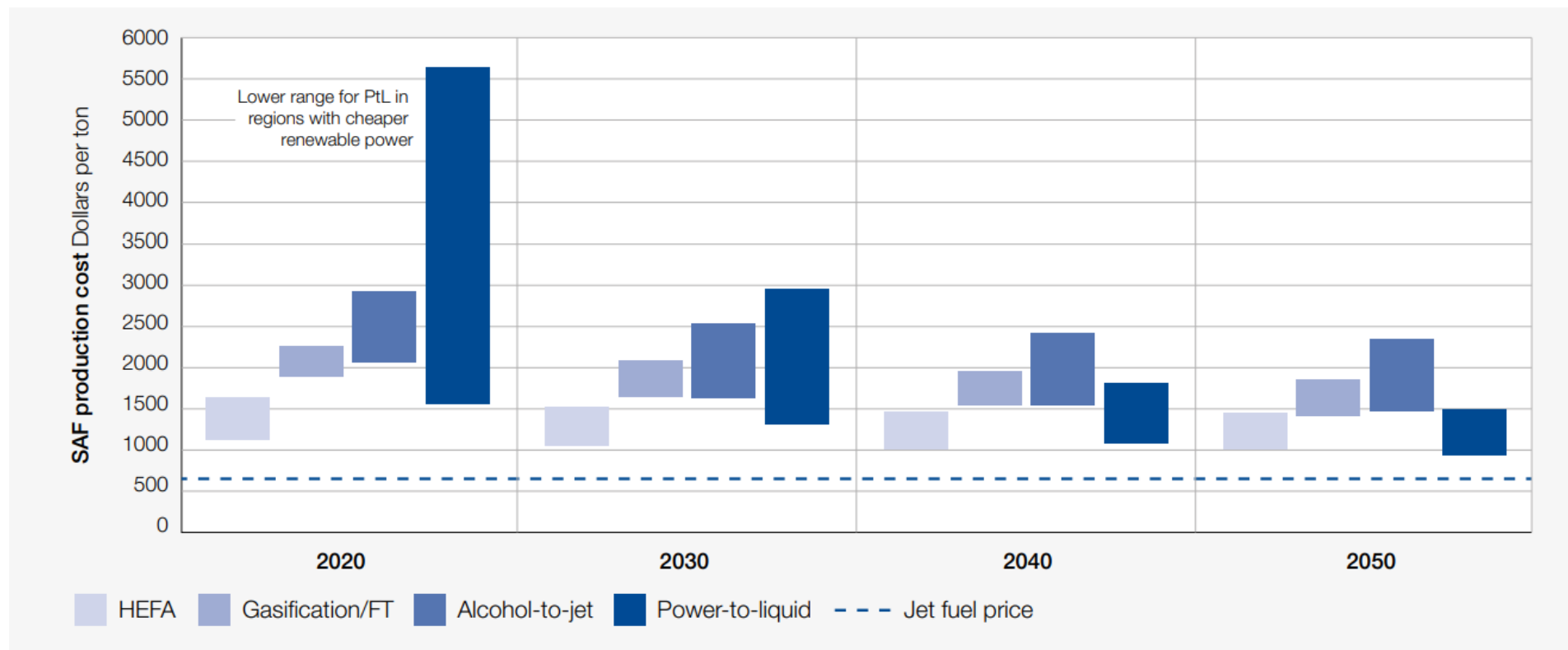
国内でのSAF需要量見込み



- 資源エネルギー庁では、2030年における国内でのSAF需要量が国内のジェット燃料使用量の10%に相当する約171万kLと見込んでいる
- 2030年における国内でのSAF供給見込み量は、石油元売り等のSAF製造・供給事業者における公表情報等から積み上げると、約192万kLであり、需給バランスは保たれる想定（ただし、原料確保や技術開発等の不確実性あり）

現状では、HEFAが最も安価であるものの、原料コストの変化や設備投資額の低減に伴い、2050年にはどの手法もSAF1トンあたり約1,000～2,000米ドルに達する見込み

製造技術別のSAF製造コスト予測（全体像）



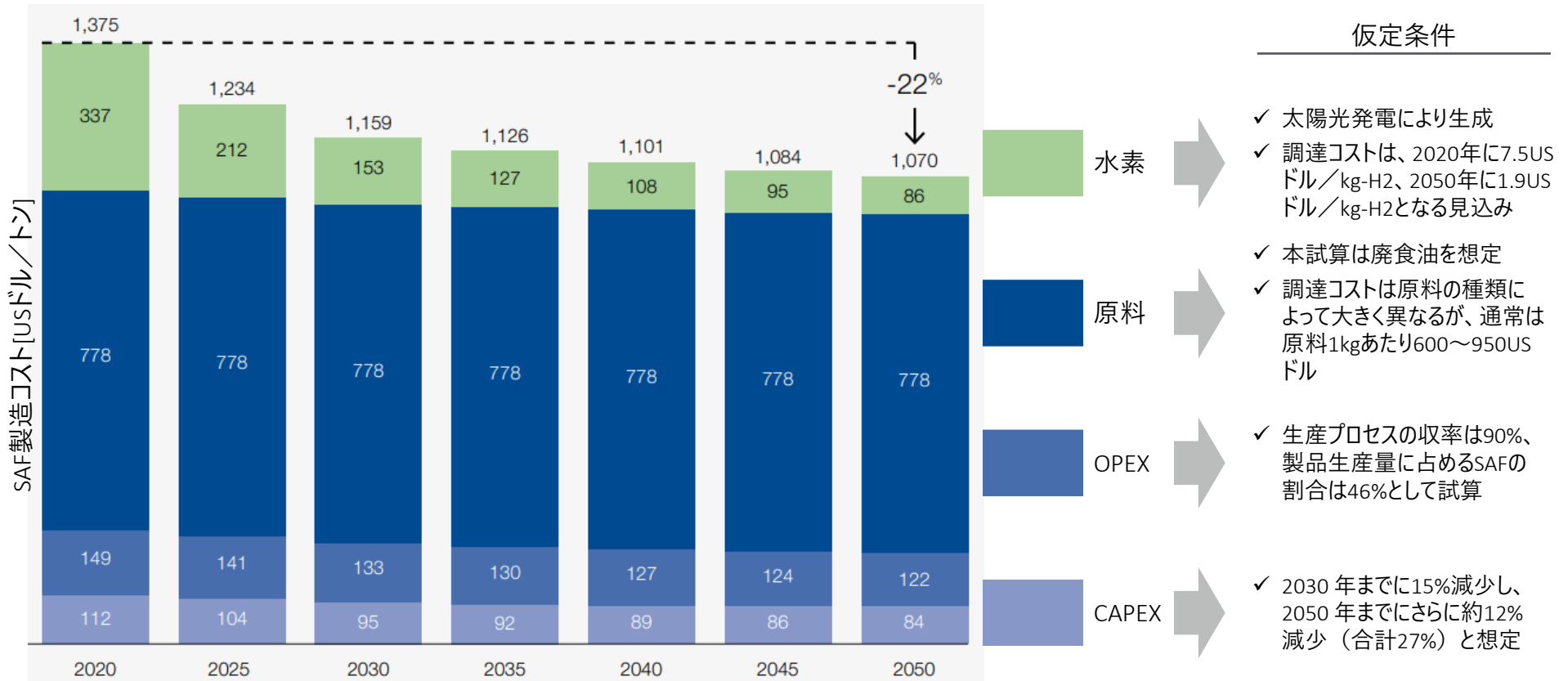
- 世界経済フォーラム（WEF）内のイニシアチブ「Clean Skies for Tomorrow」には80以上の関連団体が所属し、航空分野の脱炭素化に向けて、SAFの実現可能性等を調査・検討
- 製造技術別にSAF製造コストの将来予測結果を取りまとめており、最も安価な製造方法としてはHEFAを挙げ、そのコストはSAF1トンあたり約1,000～1,500ドルであるものの、従来の航空燃料の価格（約620ドル）と比較すると、約2倍程度

出典：WEF “Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation”（2020年11月）

https://www3.weforum.org/docs/WEF_Clean_Skies_Tomorrow_SAF_Analytics_2020.pdf

HEFAの製造コストは、主に水素の調達コスト低減により減少すると見込まれ、2050年には現状の製造コストから約2割低減する想定

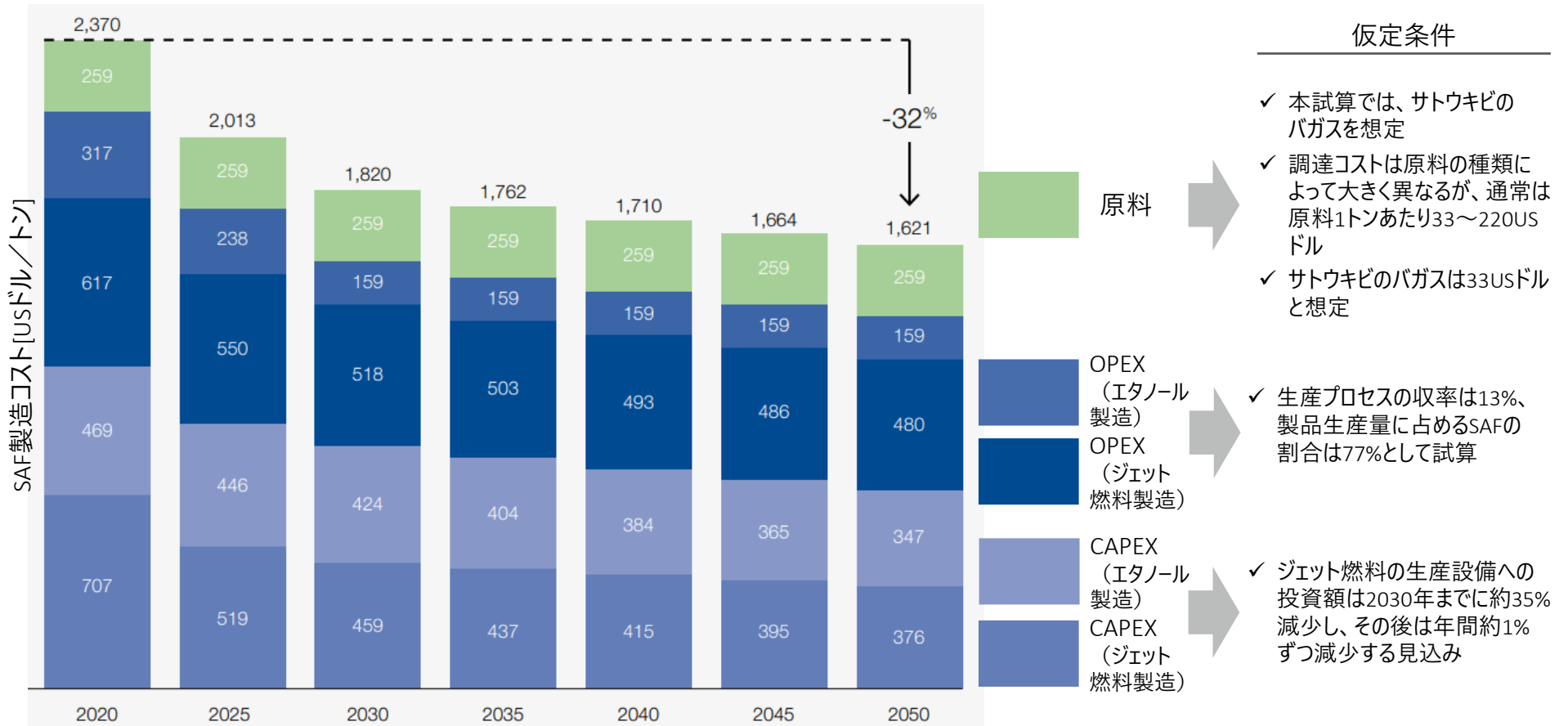
製造技術別のSAF製造コスト予測（HEFA）



- HEFAによるSAF1トンあたりの製造コストは、2020年時点で約1,400ドルであり、2050年までには約22%低減し、約1,100ドルに達する見込み
- 製造コストの低下と原料の入手可能性が担保されることで、2030年までには世界中でHEFAによるSAF製造が可能になる見込み

ATJの製造コストは、エタノール製造の営業費用（OPEX）と生産設備投資額（CAPEX）が低減することで、2050年には現状の製造コストから約3割低減する想定

製造技術別のSAF製造コスト予測（ATJ）

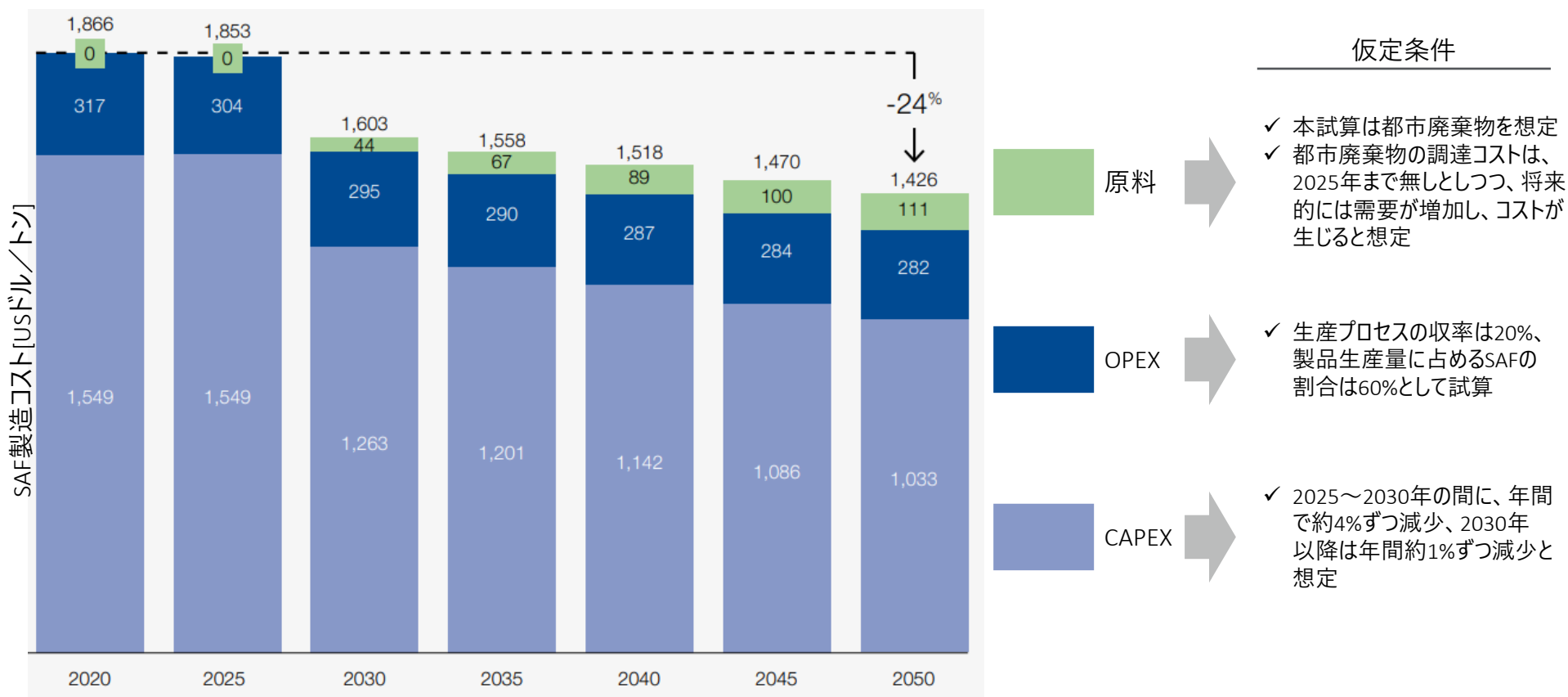


- ATJによるSAF1トンあたりの製造コストは、2020年時点で約2,400ドルであり、2050年までには約32%低減し、約1,600ドルに達する見込み
- なお、将来的に最も安価で調達可能な原料としては都市廃棄物の生ごみも想定

出典：WEF “Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation”（2020年11月）
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Clean_Skies_Tomorrow_SAF_Analytics_2020.pdf

ガス化FT合成の製造コストは、生産設備投資額（CAPEX）が約8割を占めるが、原料コストが他の製造技術よりも安いという点が特徴

製造技術別のSAF製造コスト予測（ガス化FT合成）



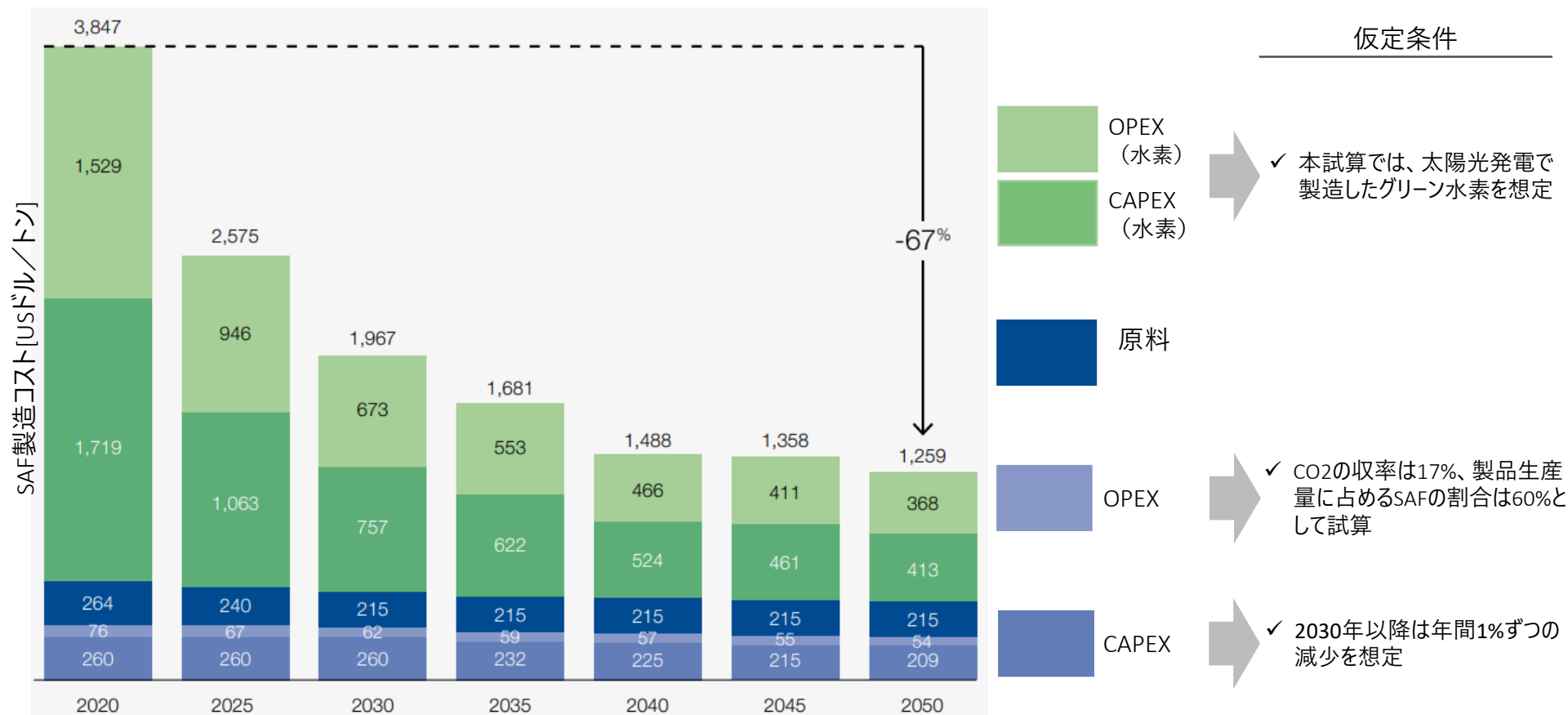
- ガス化FT合成によるSAF1トンあたりの製造コストは、2020年時点で約1,900ドルであり、2050年までには約24%低減し、約1,400ドルに達する見込み
- ガス化FT合成では、都市廃棄物以外にも、林業残材やその他のセルロース系原料を活用することが可能であるものの、調達コストは1トンあたり33～220ドルと見込まれ、SAF1トンあたりの製造コストは、2030年に約1,800ドル、2050年に1,550ドルに留まる見込み

出典：WEF “Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation”（2020年11月）

https://www3.weforum.org/docs/WEF_Clean_Skies_Tomorrow_SAF_Analytics_2020.pdf

合成燃料の製造コストは、水素の調達コストによって大きく変動すると見込まれ、2050年までに約70%減少する可能性

製造技術別のSAF製造コスト予測（合成燃料）



- 合成燃料1トンあたりの製造コストは、2020年時点で約3,800ドルであり、2050年までには約67%低減し、約1,300ドル以下に達する見込み
- その要因としては原料コストの低減が挙げられ、太陽光による発電コストは、現状の59ドル/MWhから2050年には18ドル/MWh、太陽光発電で製造される水素のコストは現状7.3ドル/kgから2050年には1.7ドル/kg、CO₂の調達コストは現状約81ドル/tCO₂から2030年には約66ドル/tCO₂に低下すると仮定

技術戦略分析

①SAF

②バイオスティミュラント

③人工衛星等による生育観測

④ゲノミックセレクション

資材ごとに植物保護の機能が異なり、主要な資材は7種類に分類

バイオスティミュラントの概要

定義

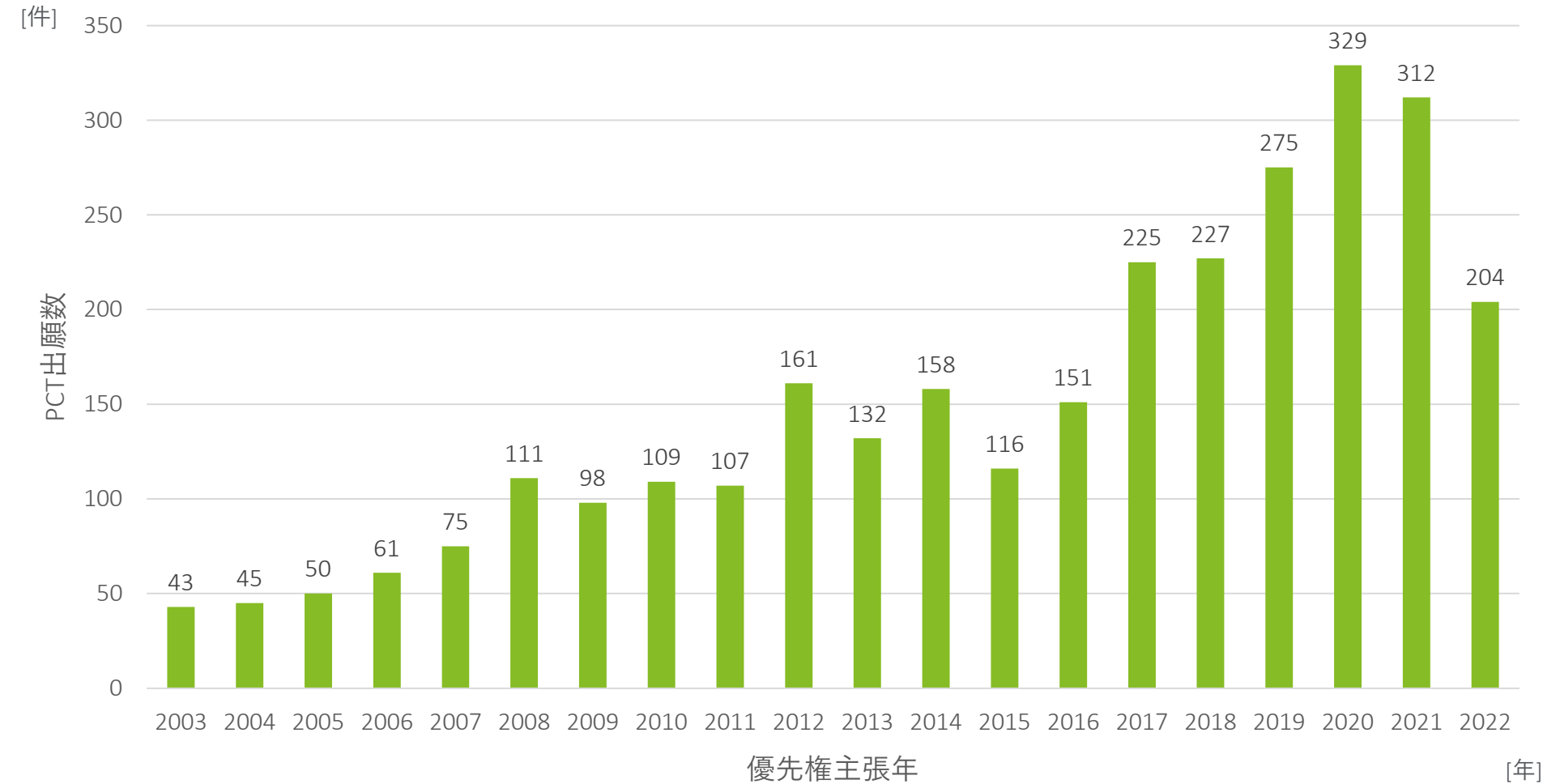
- 植物のストレス耐性等を高める資材のこと（例：腐植質、海藻、微生物資材等）
- バイオスティミュラントによる具体的な効果の例は以下のとおり
 - 活性酸素の抑制
 - 光合成の活性化
 - 開花・着果の促進
 - 蒸散のコントロール
 - 浸透圧の調節
 - 根圏環境の改善
 - 根量の増加・根の活性向上

資材ごとの植物保護機能の概要

資材	植物保護機能の概要
海藻類	海藻抽出物や海藻由来のβ-1,3-グルカンのオリゴ糖であるラミナリンにより、 <u>病害抵抗性</u> を誘導
多糖類	
キチン・キトサン	カニやエビ等の甲殻類の殻及び真菌類の細胞壁の主成分であるキチン及びキチンの脱アセチル化物であるキトサンは <u>土壌改良剤</u> として利用
腐植酸	- 保肥力の改善が主な用途 - 土壌のリン酸固定を抑制して、可給態リン酸を増加
アミノ酸・ペプチド	グルタミン酸の葉面散布による <u>塩ストレス</u> に対する耐性の付与や、 <u>病害抵抗性</u> の誘導効果
ビタミン・ミネラル	- ビタミンCの施用により、植物の<u>乾燥及び塩害等の非生物ストレスに対する耐性</u>が向上 - ビタミンB1は植物の<u>病害抵抗性</u>を活性化
菌類	- トリコデルマ菌（Trichoderma）は、植物に<u>病害抵抗性</u>を誘導するとともに、植物に非生物的ストレスに対する抵抗性を付与 - 酵母抽出物及びビール酵母細胞壁による植物の<u>生育促進効果</u>

2003～2022年にかけて、バイオスティミュラント関連特許の出願数は増加傾向にあり、特に2017年を境に毎年200件以上の特許が出願

バイオスティミュラントに関する特許出願数の推移



出典：Questel

※検索条件は別ページに記載

バイオスティミュラント関連特許の上位特許権者はドイツやアメリカ、中国に集中

バイオスティミュラントに関する上位特許権者リスト

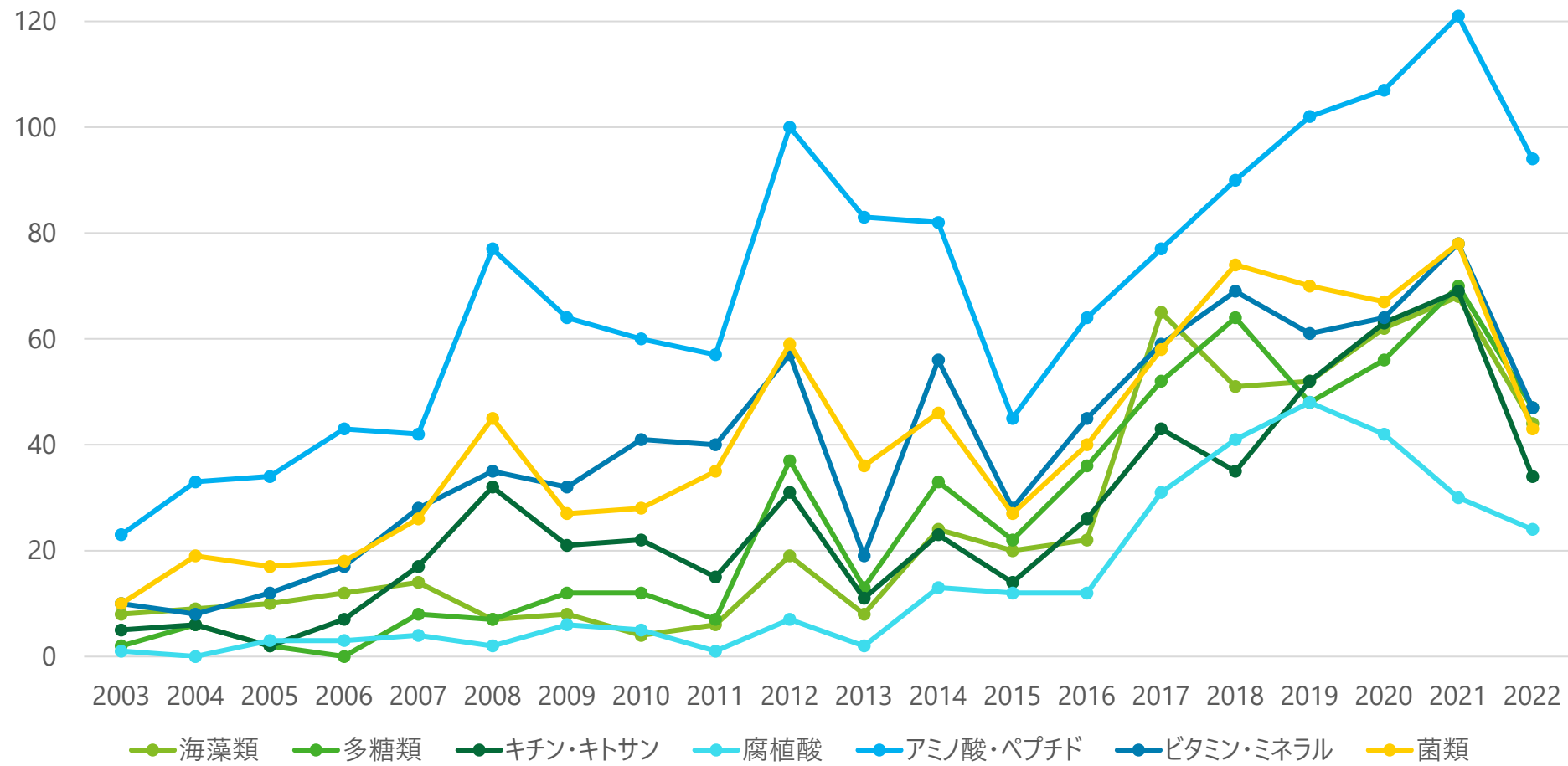
#	特許権者名（国籍）	保有数
1	EVOGENE（イスラエル）	164
2	BASF（ドイツ）※1	93
3	HM CLAUSE（アメリカ）	89
4	BASF PLANT SCIENCE（ドイツ）※1	69
5	BAYER CROPS SCIENCE（ドイツ）	55
6	SYNGENTA PARTICIPATIONS（スイス）	39
7	BAYER INTELLECTUAL PROPERTY（ドイツ）	37
8	BIOCENTURY（アメリカ）	34
9	MENDEL BIOTECHNOLOGY（アメリカ）	30
10	HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	26

#	特許権者名（国籍）	保有数
11	PIONEER HI BRED INTERNATIONAL（アメリカ）	12
12	MONSANTO TECHNOLOGY（アメリカ）	13
12	CROPDESIGN（ベルギー）	13
12	CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	13
15	SYNGENTA CROP PROTECTION（スイス）	16
15	SHANDONG AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	16
17	INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE PENTRU CHIMIE SI PETROCHIMIE ICECHIM（ルーマニア）	18
17	NANJING AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	18
19	REPUBLIC OF KOREA NATIONAL FISHERIES RESEARCH & DEVELOPMENT INSTITUTE（韓国）	20
19	INSTITUTE OF CROP SCIENCES CHINESE ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES（中国）	20

※1 BASFグループ全体で198件のバイオスティミュラント関連特許を保有
出典：Questel

アミノ酸・ペプチドを資材とする特許が最も多く、次いでビタミン・ミネラルや菌類が続く

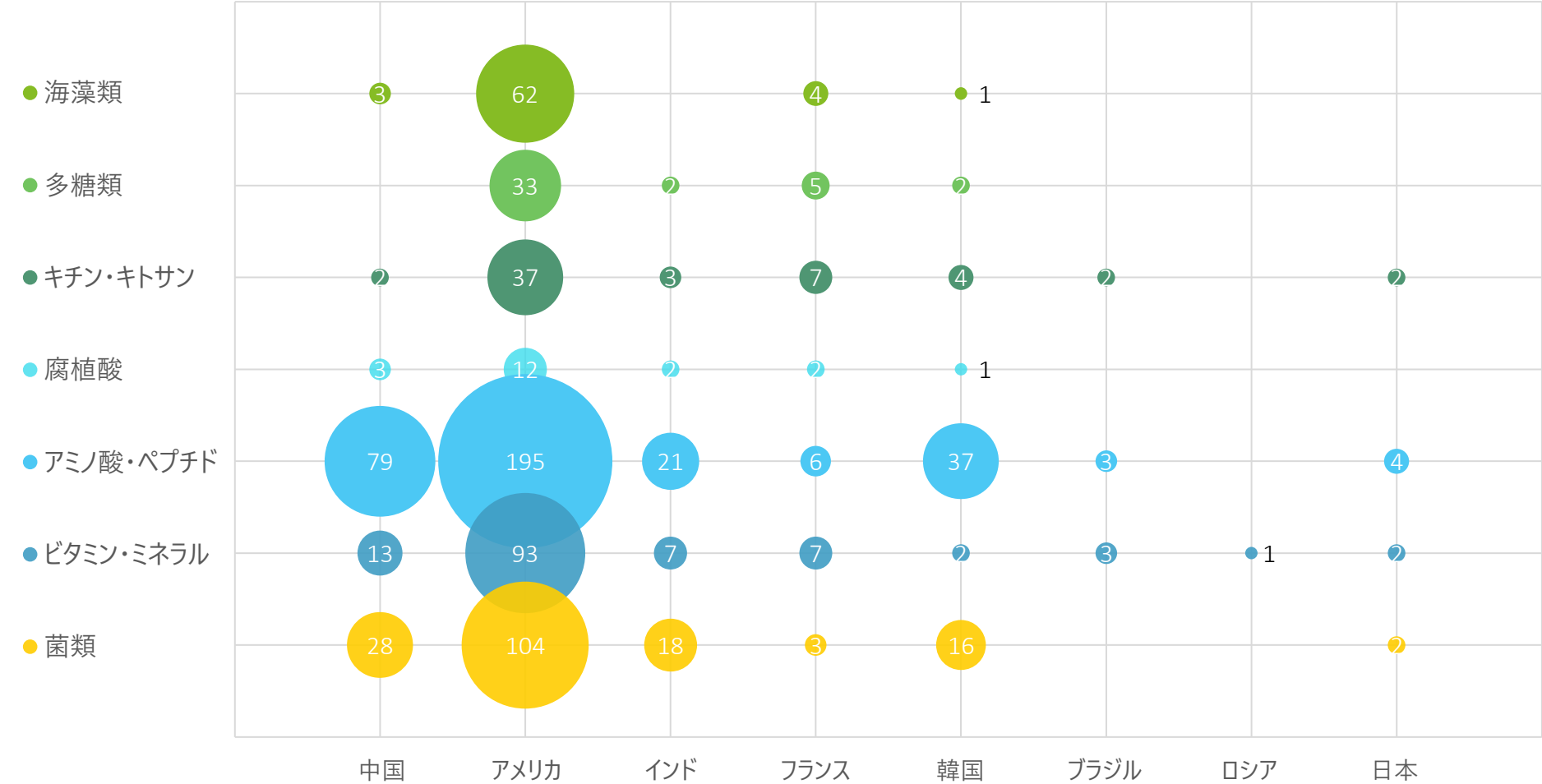
バイオスティミュラントに関する特許出願件数の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

2003～2012年にかけては、中国とアメリカを中心としてアミノ酸・ペプチドやビタミン・ミネラル、菌類に関する特許が多く出願

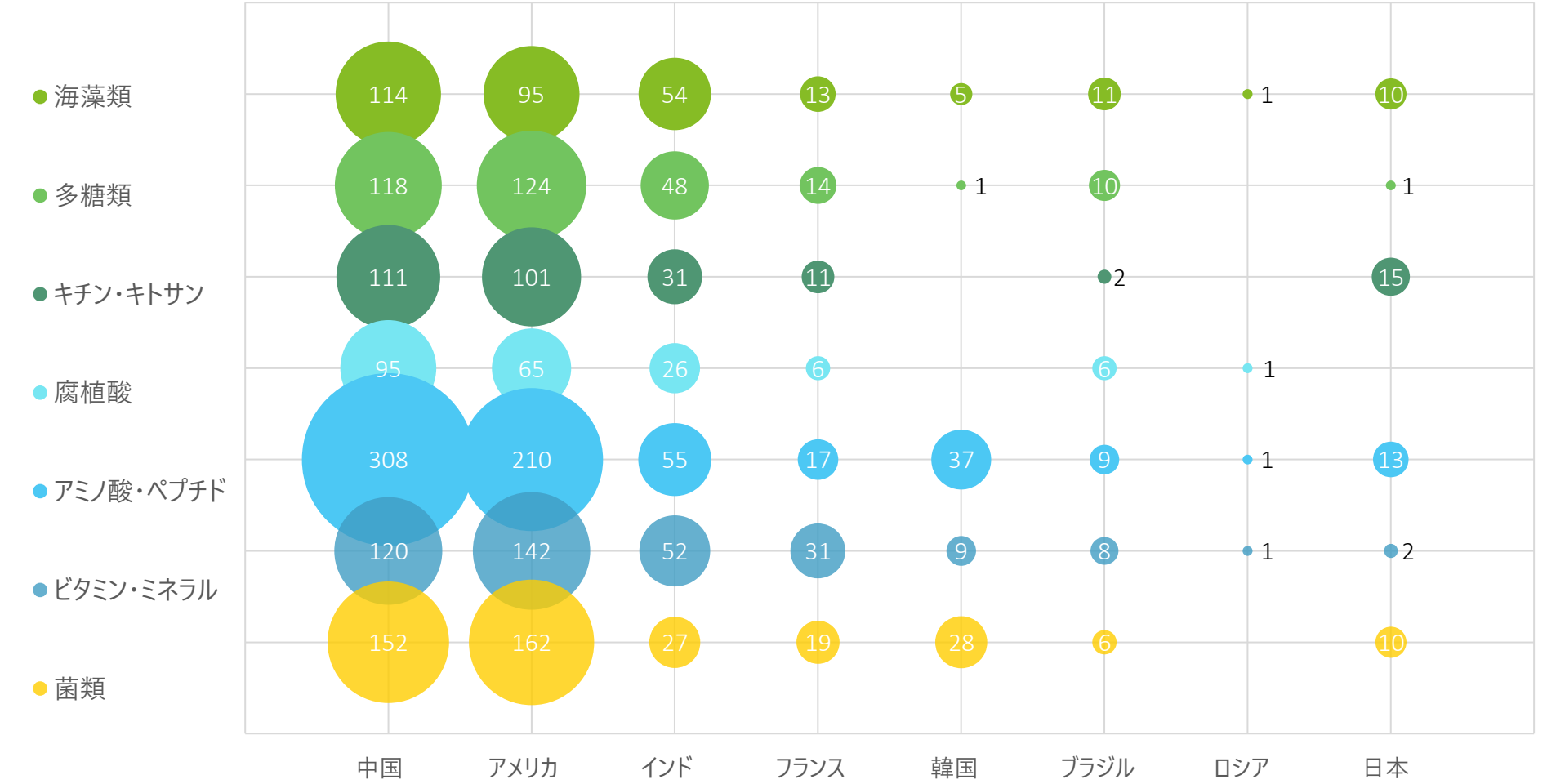
バイオスティミュラントに関する特許の出願国分布（2003-2012、出願数上位7カ国及び日本を抽出）



出典：Questel

2013年以降中国とアメリカ、インドを中心に、様々な資材を活用したバイオスティミュラント技術に関する特許が出願

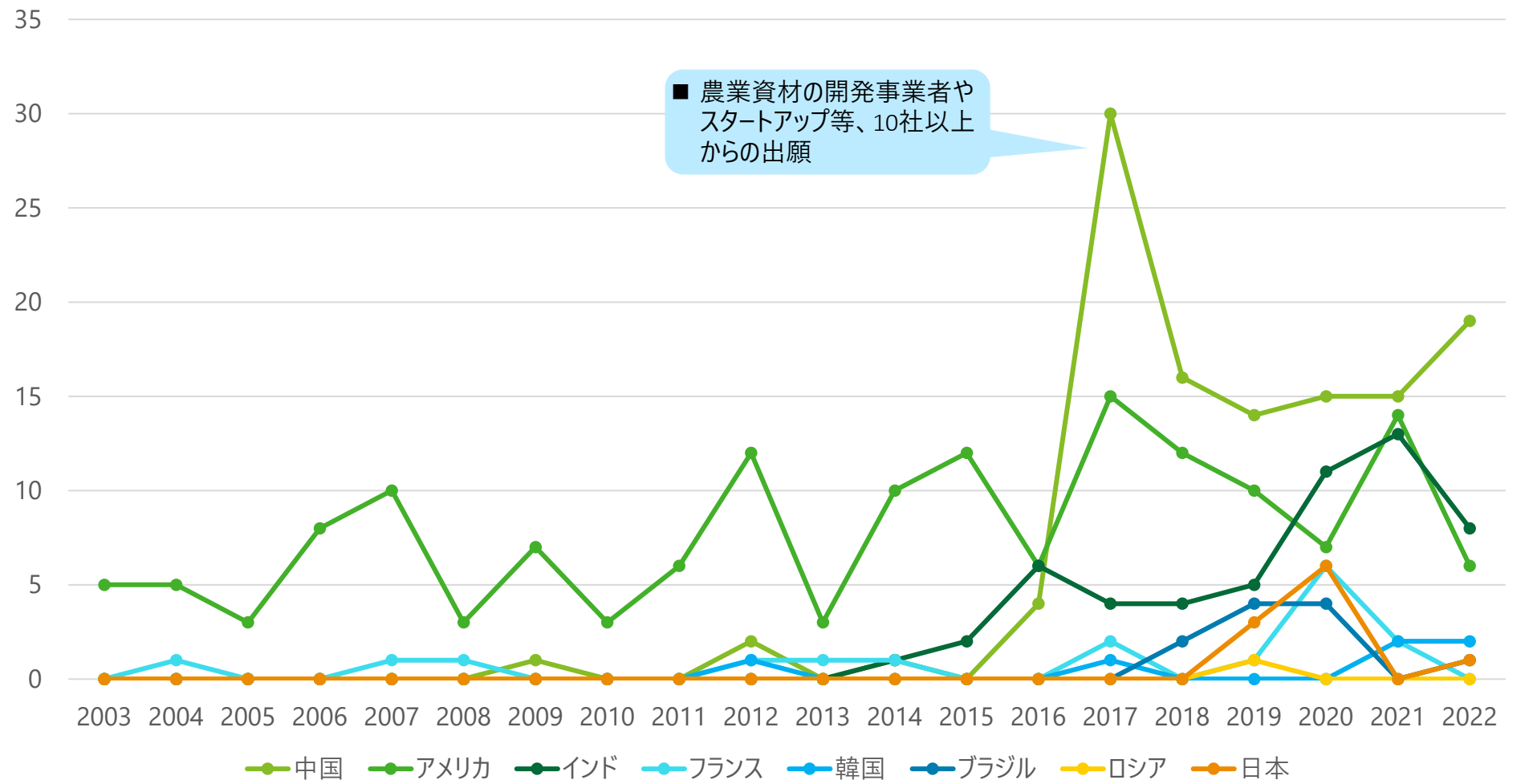
バイオスティミュラントに関する特許の出願国分布（2013-2022、出願数上位7カ国及び日本を抽出）



出典：Questel

海藻類に係るバイオスティミュラント関連特許に関して、2016年までアメリカからの出願数が最も多かったものの、2017年以降中国からの出願が急激に増加

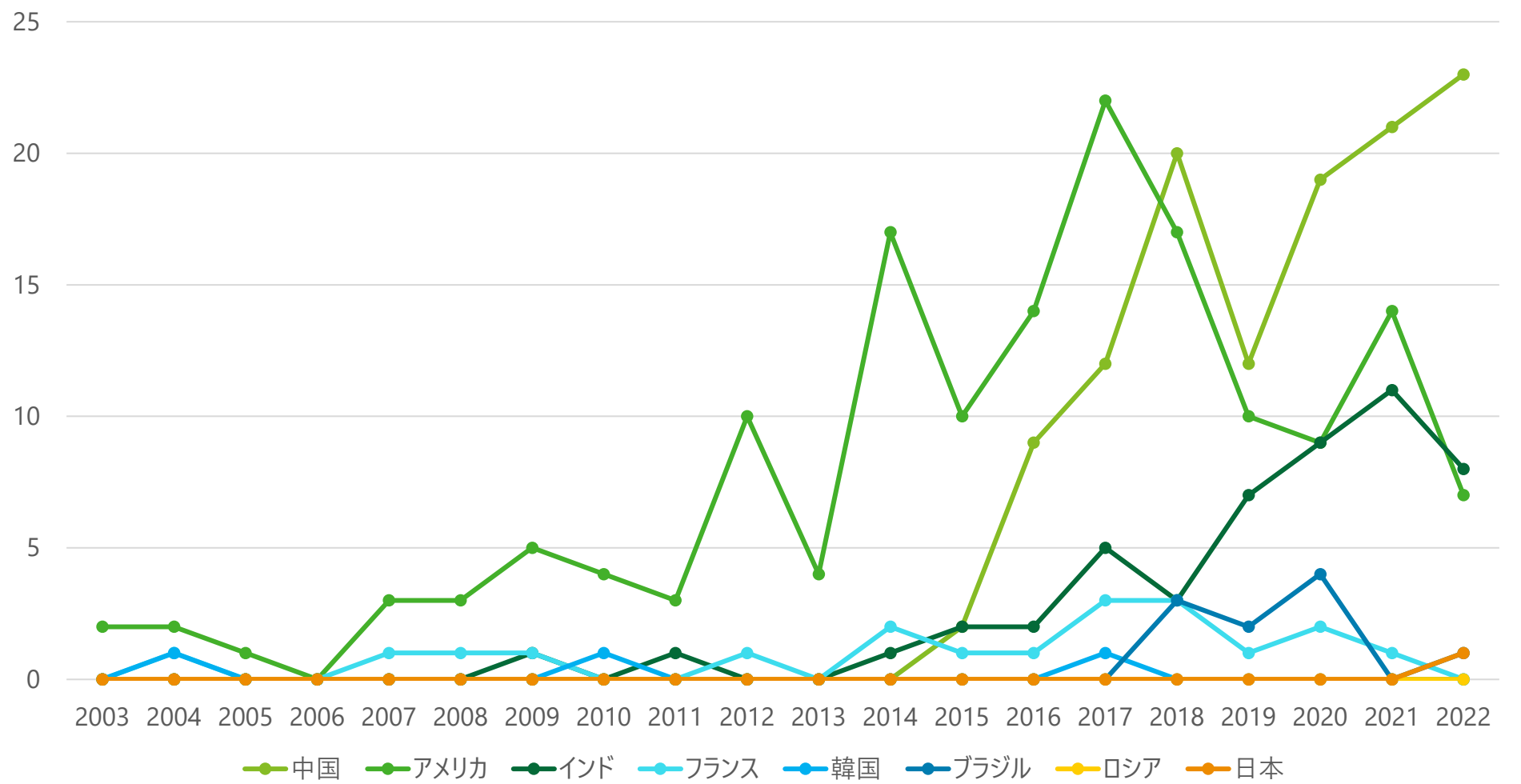
バイオスティミュラント（海藻類）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

多糖類に係るバイオスティミュラント関連特許に関しては、2014年頃から中国やアメリカ、インドからの出願が増加しており、既に一定の技術力を保有

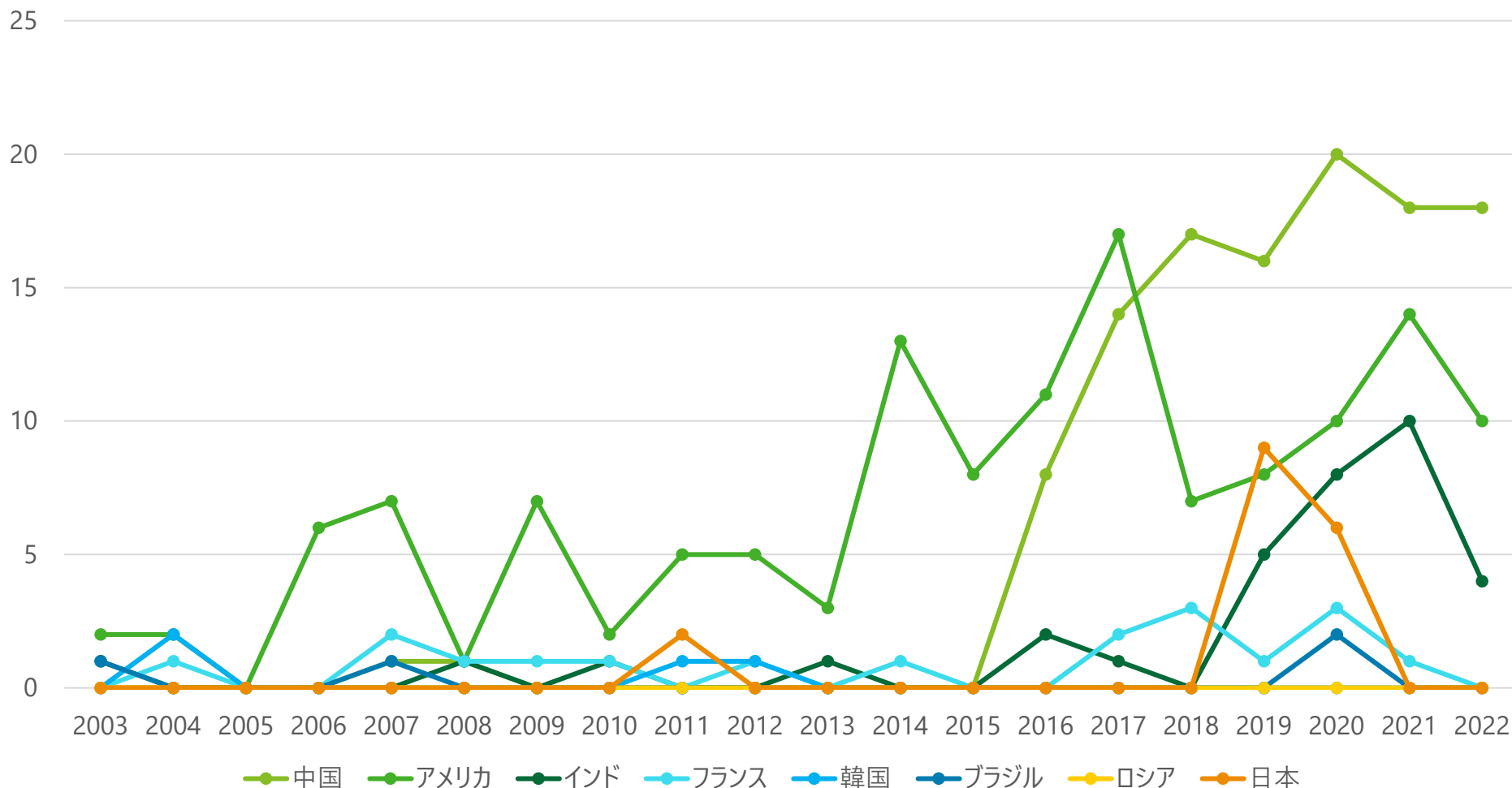
バイオスティミュラント（多糖類）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

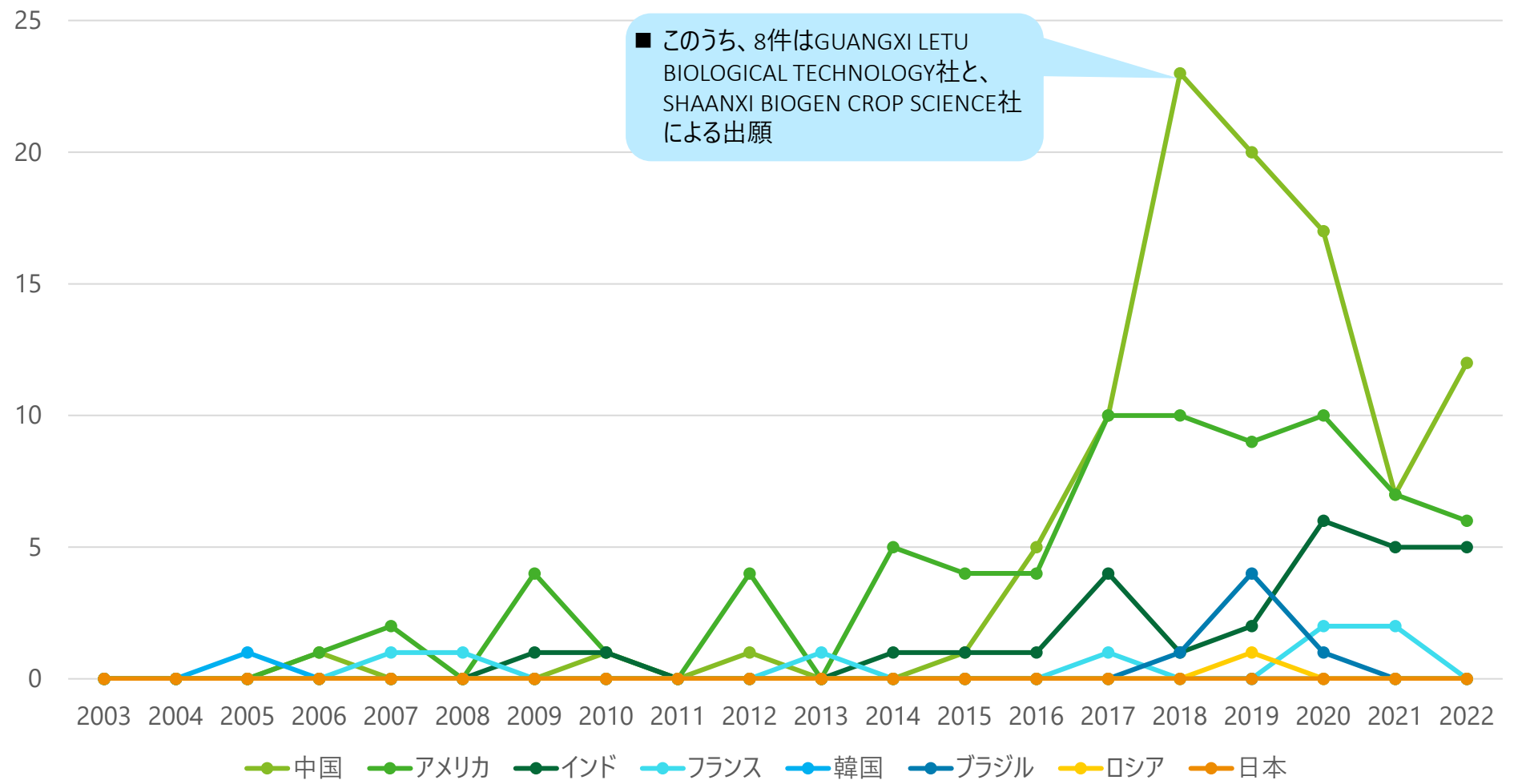
キッチン・キトサンに係るバイオスティミュラント関連特許に関しては、アメリカからの出願数が徐々に増加している一方、2015年より中国からの出願が急激に増加

バイオスティミュラント（キッチン・キトサン）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



2016年～2020年にかけてアメリカや中国から腐植酸に係るバイオスティミュラント関連特許の出願数が増加したものの、直近では減少傾向

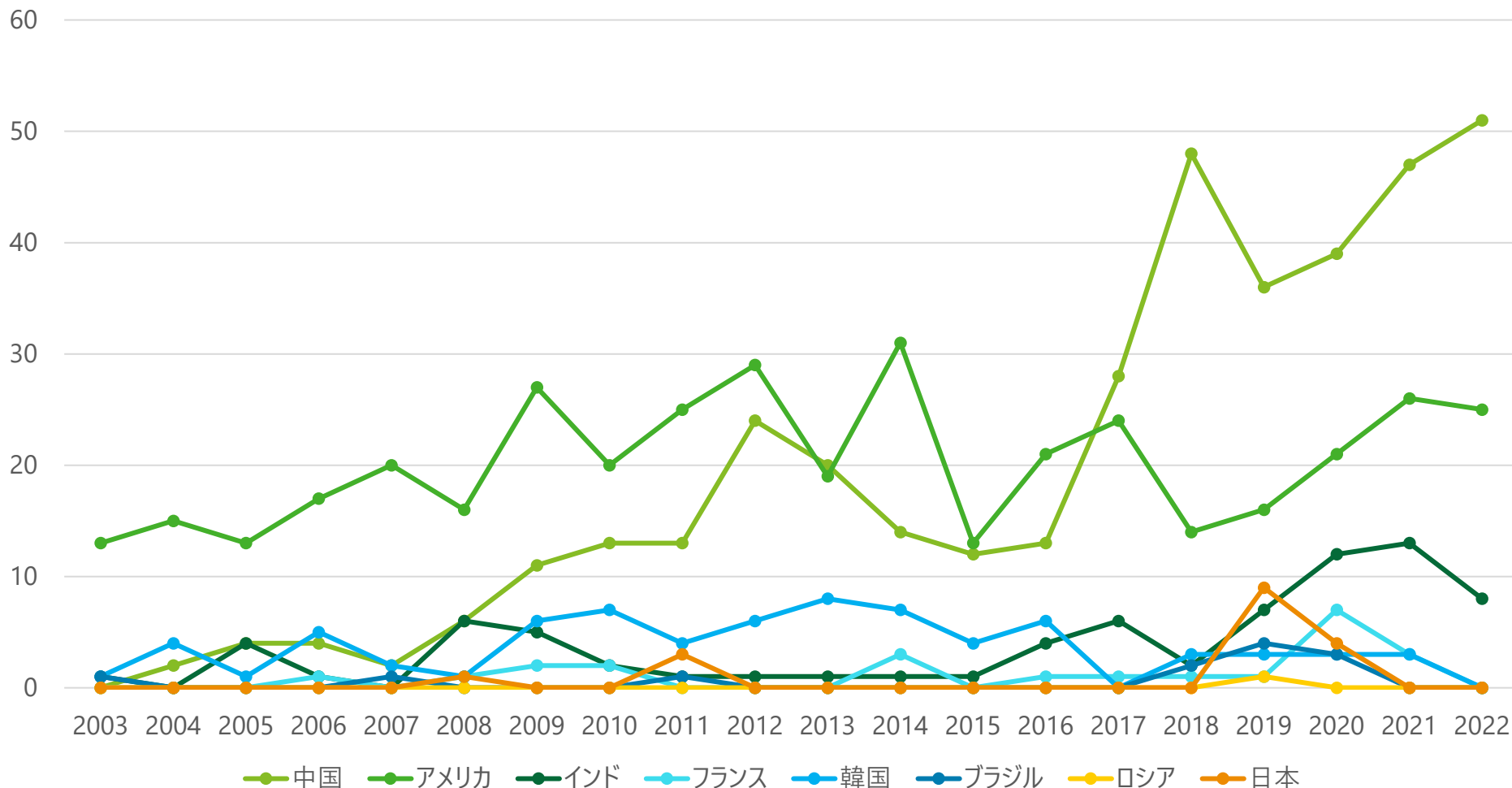
バイオスティミュラント（腐植酸）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

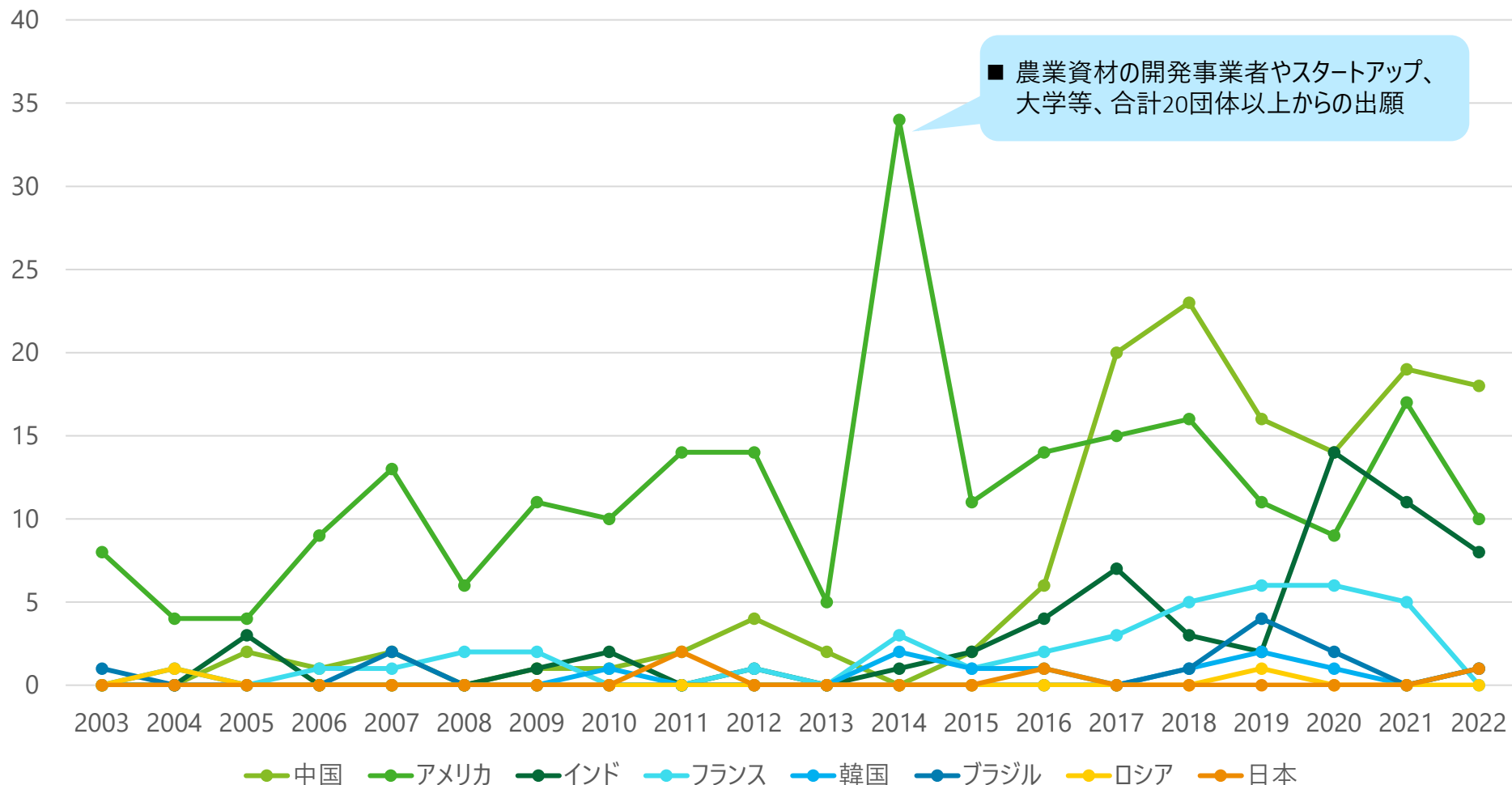
アミノ酸・ペプチドに係るバイオスティミュラント関連特許については、アメリカからの出願数が一定数みられる一方、2017年より中国からの出願が急激に増加

バイオスティミュラント（アミノ酸・ペプチド）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



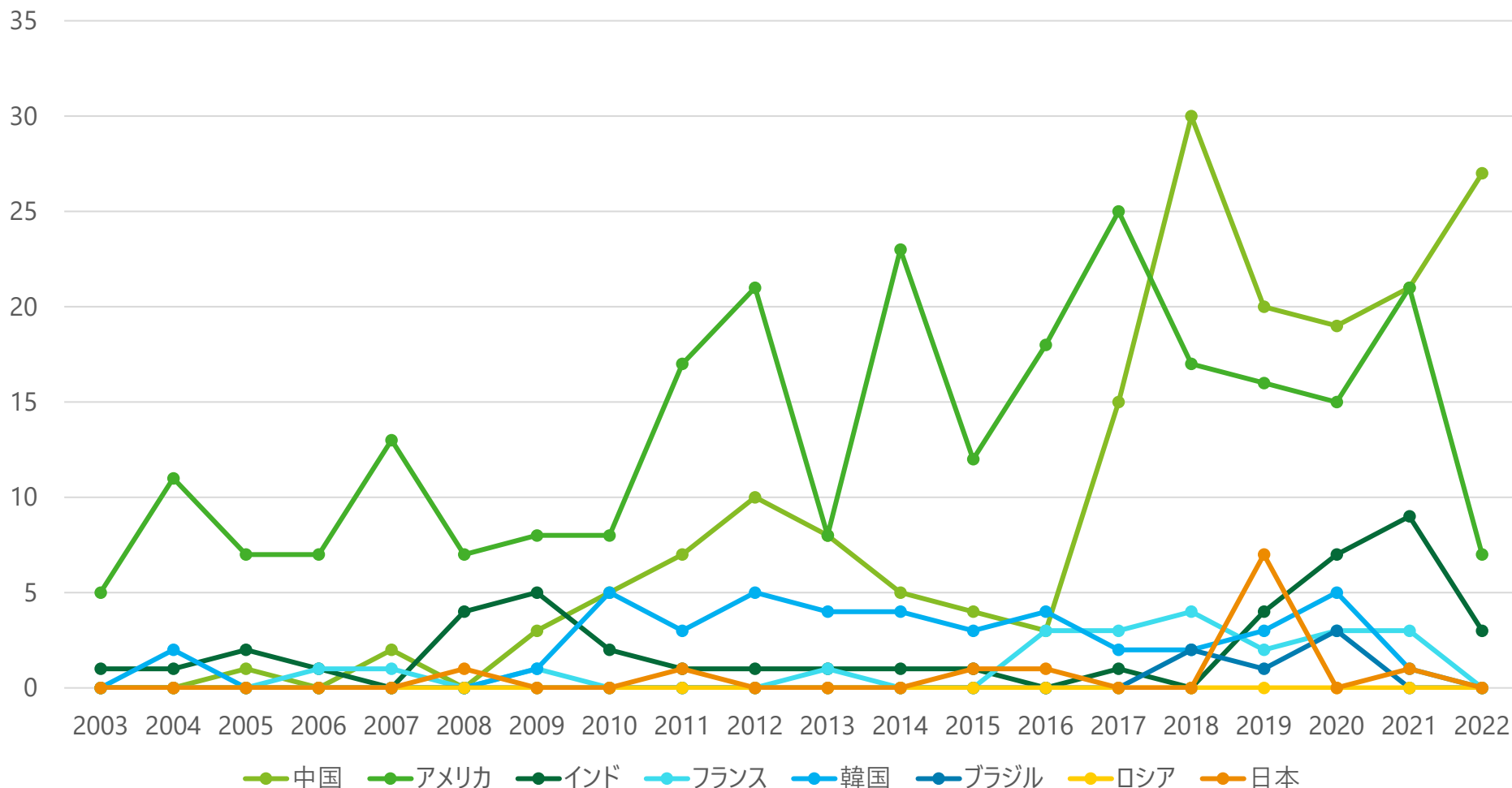
ビタミン・ミネラルに係るバイオスティミュラント関連特許については、アメリカからの出願が一定数存在しつつ、2017年以降中国からの出願数も増加

バイオスティミュラント（ビタミン・ミネラル）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



菌類に係るバイオスティミュラント関連特許については、アメリカからの出願数が徐々に増加している一方、2017年以降中国からの出願が急激に増加

バイオスティミュラント（菌類）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



バイオスティミュラント関連特許の調査方法の概要は以下のとおり

調査対象特許	PCT出願
調査対象年	2003～2022年（優先権主張年）
使用データベース	Questel社「Orbit Insight」
調査方法	■ 以下の検索式にて、文献の母集団を形成 ■ 母集団として整理した各文献に含まれる技術単語（キーワード）について、各資材（例：海藻、多糖類、キチン、キトサン）に関連する単語が含まれる特許を抽出
検索式	(((Biostimula+ OR Bio-stimula+)/TI/AB/CLMS/OBJ/ADB/ICLM AND (agri+ OR crop OR crops OR plant OR plants)/TI/AB/CLMS/OBJ/ADB/ICLM) Not (A61# OR C01#)/IPC/CPC)) OR (((Biostimula+ OR Bio-stimula+)/TI/AB/CLMS/OBJ/ADB/ICLM AND (agri+ OR crop OR crops OR plant OR plants)/TI/AB/CLMS/OBJ/ADB/ICLM) AND (Seaweed OR algae OR alginate OR algnic OR fucoidan OR carrageenan OR chitin OR chitosan OR corrosive acid OR humic OR fluvic OR amino scid OR peptide OR protein hydrolysate OR vitamin OR mineral OR microorganism OR bacteria OR rhizobia OR mycorrhizal fungi OR yeast OR Bacillus subtilis)/TI/AB/CLMS)) OR (((abiotic stress)/TI/OBJ/ADB Not (A61# OR C01#)/IPC/CPC)) OR (((abiotic stress)/TI/OBJ/ADB AND (Seaweed OR algae OR alginate OR algnic OR fucoidan OR carrageenan OR chitin OR chitosan OR corrosive acid OR humic OR fluvic OR amino scid OR peptide OR protein hydrolysate OR vitamin OR mineral OR microorganism OR bacteria OR rhizobia OR mycorrhizal fungi OR yeast OR Bacillus subtilis)/TI/AB/CLMS))

バイオスティミュラントに関連する論文数は直近約20年間継続して増加傾向にあり、特に2020年を境に急激に増加

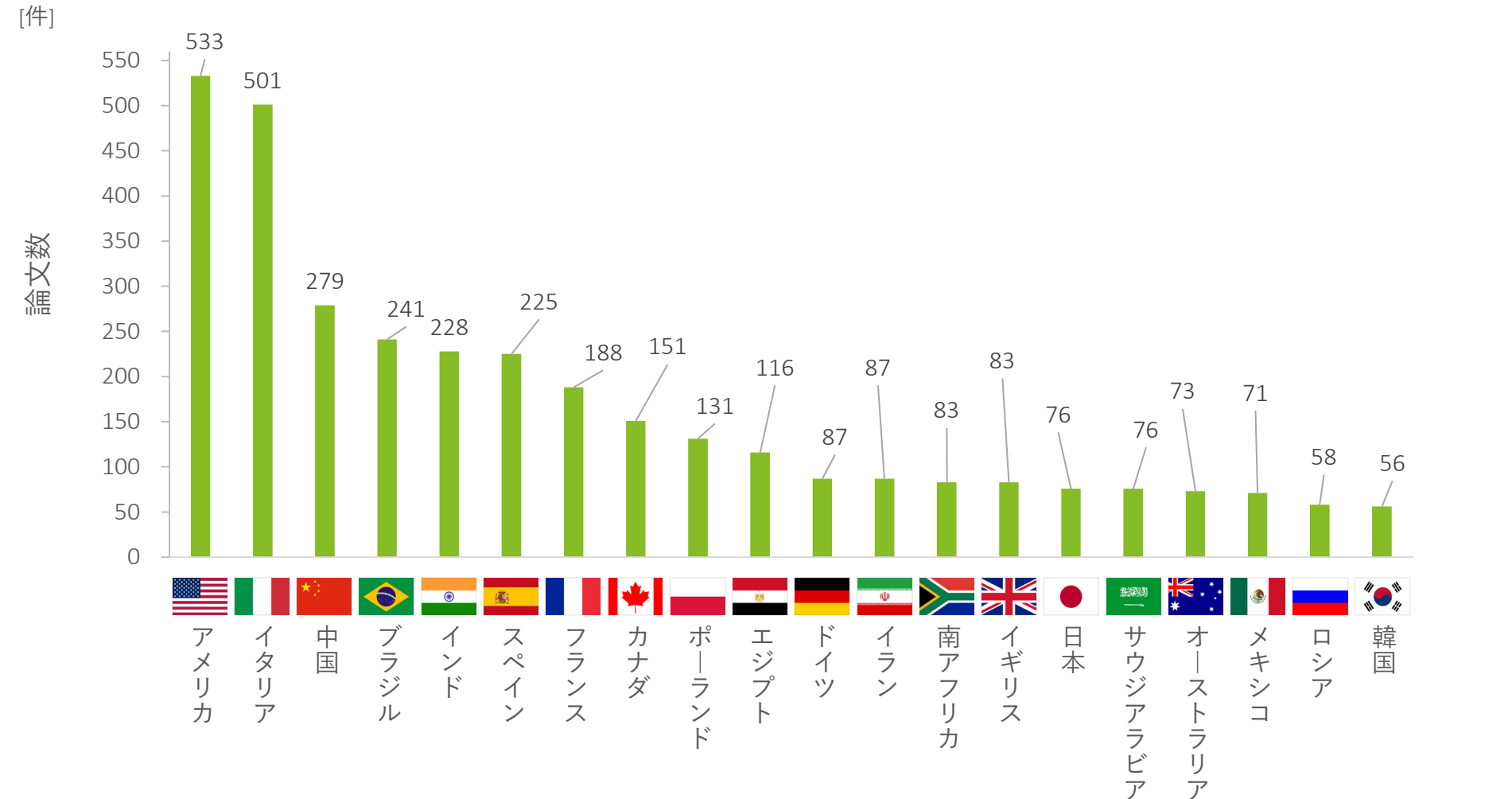
バイオスティミュラント関連の論文数推移（2004～2022年）



出典：Questel

論文数の上位3か国には、特許と同様にアメリカと中国が入っており、その他にはイタリア、ブラジル、インド等の国が並ぶ

国別のバイオスティミュラント関連の論文数順位



出典：Questel

技術戦略分析

- ① SAF
- ② バイオスティミュラント
- ③ 人工衛星等による生育観測
- ④ ゲノミックセレクション

圃場における土壌の物理特性や化学特性、作物の生育状況を観測する技術であり、取得可能なパラメータや測定する波長帯によって、4種類の技術に大別

人工衛星等による生育観測技術の概要

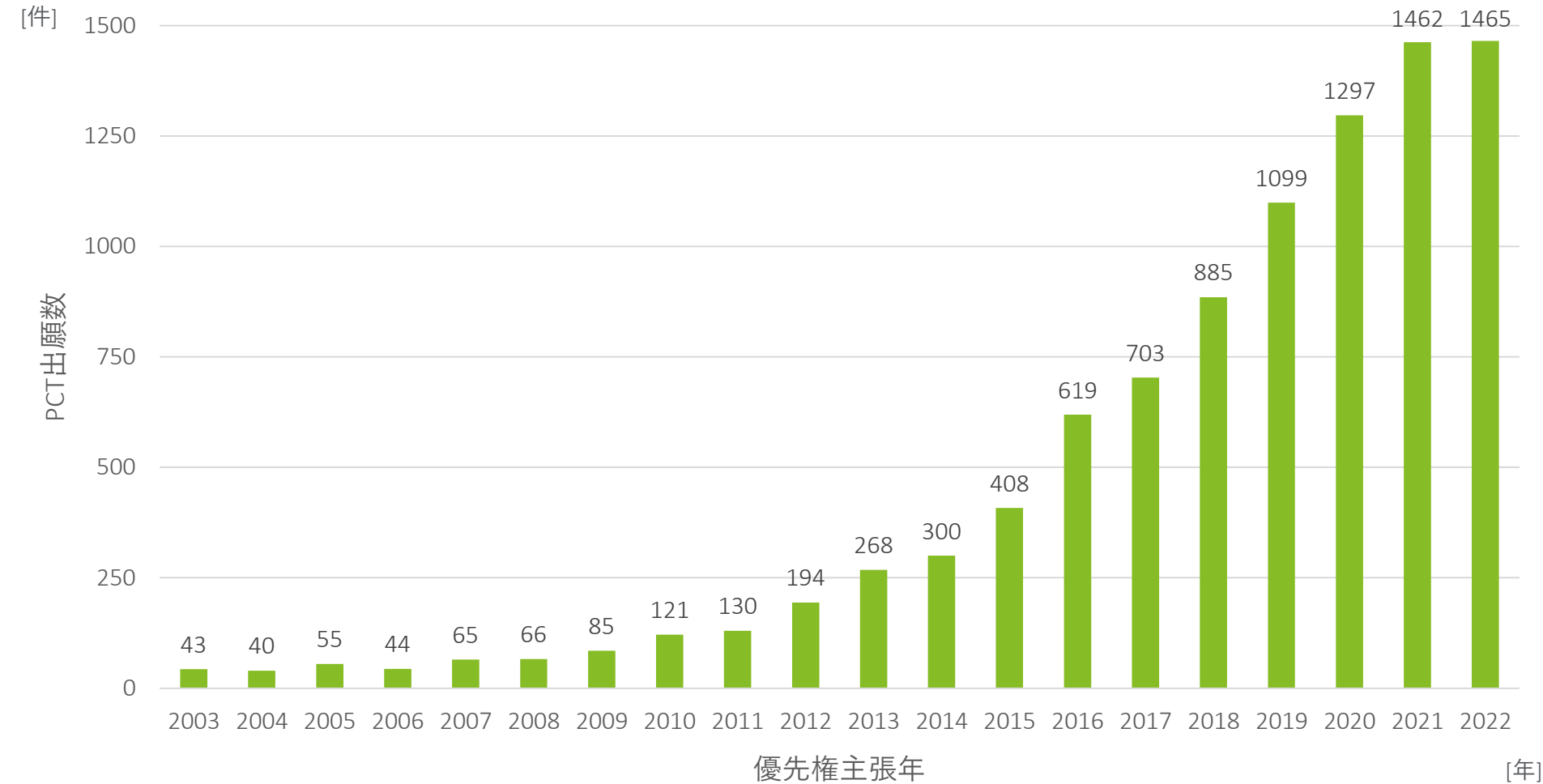
区分	取得可能パラメータ	観測範囲	技術概要
可視光利用型 (波長：350nm～800nm)	- NDVI※1 - 腐植量 - 土壌水分量 - 地温 等	広い (数km～数百km)	- 計測対象から届く短波長の電磁波（可視光や赤外線）をセンサによって観測する手法や計測対象に電磁波を照射した際に得られる反射波から観測する手法が存在 - 太陽光が地球の表面等で反射や散乱、吸収した電磁波を観測 - 主に、人工衛星に搭載したセンサを活用
赤外線利用型 (波長：800nm～1,700nm)			
レーダ利用型 (波長：350nm～1m)	- 土壌水分量 - 地温 - EC※2 - pH 等		計測対象から届く短、長波長の電磁波（可視光、マイクロ波等）をセンサによって観測する手法や計測対象に電磁波を照射した際に得られる反射波から観測する手法が存在
ドローン／ UAV※3利用型 (波長：350nm～1,700nm)	- NDVI - 腐植量 - 土壌水分量 - 地温 等	狭い (～1km※4程度)	- 計測対象から届く短波長、長波長の電磁波（可視光、マイクロ波等）をセンサによって観測する手法 - 衛星センサに比べ、搭載センサや解像度を柔軟に選定可能

・ 1つの圃場における土壌中の物理特性（水分量等）や化学特性（養分量等）を評価するIoT技術

※1 Normalized Difference Vegetation Index（正規化植生指数）、※2 Electric Conductivity（電気伝導度）、※3 Unmanned Aerial Vehicle（無人航空機）、※4 100haから1km2、1kmに換算
出典：農林水産省「令和元年度ICTやAI化に対応した新たな土づくり体制実態調査委託事業」（令和元年11月）等より作成
https://www.maff.go.jp/j/budget/yosan_kansi/sikkou/tokutei_keihi/R1itaku/R1ippan/attach/pdf/index-195.pdf

2003～2022年にかけて、土壌・生育診断関連特許の出願数は増加傾向にあり、特に2019年を境に毎年1,000件以上の特許が出願

人工衛星等による生育観測技術に関する特許出願数の推移



出典：Questel

※検索条件は別ページに記載

土壌・生育診断関連特許の上位特許権者は中国に一極集中しており、多くは大学・研究機関等が保有

土壌・生育診断に関する上位特許権者リスト

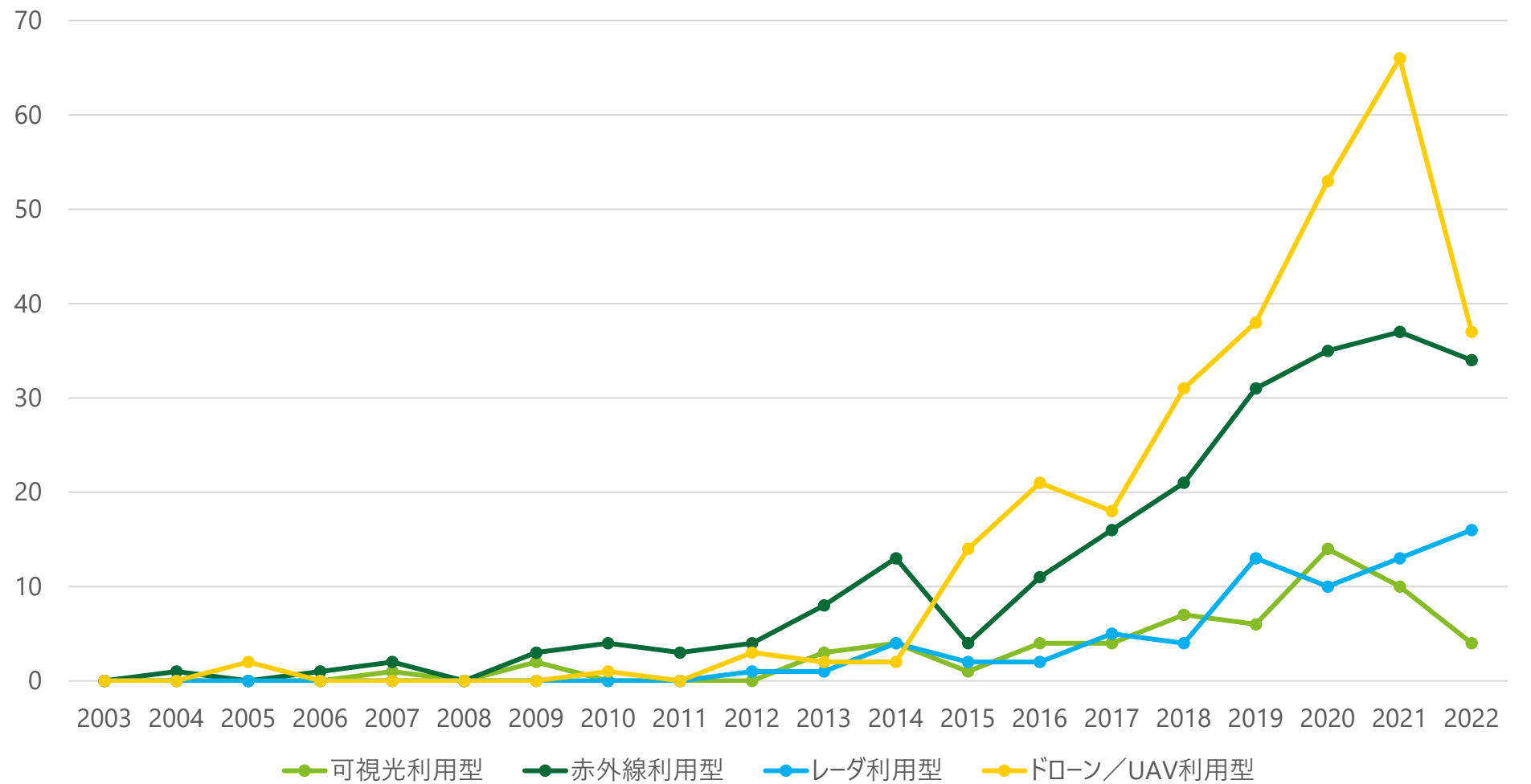
#	特許権者名（国籍）	保有数
1	CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	107
2	ZHEJIANG UNIVERSITY（中国）	91
3	NANJING AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	59
4	NORTH WEST AGRICULTURE & FORESTRY UNIVERSITY（中国）	52
5	CHINA INSTITUTE OF WATER RESOURCES & HYDROPOWER RESEARCH（中国）	51
6	INSTITUTE OF AGRICULTURAL RESOURCES & REGIONAL PLANNING CHINESE ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES（中国）	45
7	PETROCHINA（中国）	41
8	INSTITUTE OF GEOGRAPHIC SCIENCES & NATURAL RESOURCES RESEARCH CAS（中国）	39
9	SHANDONG AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	38
9	WUHAN UNIVERSITY（中国）	38

#	特許権者名（国籍）	保有数
11	BEIJING RESERACH CENTER FOR INFORMATION TECHNOLOGY AGRICULTURE（中国）	37
11	HEFEI INSTITUTES OF PHYSICAL SCIENCE - CHINESE ACADEMY OF SCIENCES（中国）	37
11	NORTHEAST INSTITUTE OF GEOGRAPHY & AGROECOLOGY - CHINESE ACADEMY OF SCIENCES（中国）	37
14	SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	34
14	SHENYANG INSTITUTE OF APPLIED ECOLOGY - CHINESE ACADEMY OF SIENCES（中国）	34
14	PRECISION PLANTING（アメリカ）	34
17	JIANGSU UNIVERSITY（中国）	32
18	BEIJING RESEARCH CENTER OF INTELLIGENT EQUIPMENT FOR AGRICULTURE（中国）	31
19	NANJING UNIVERSITY（中国）	29
19	HOHAI UNIVERSITY（中国）	29

出典：Questel

2014年以降、全ての区分の特許出願数が増加しており、特にドローン／UAV利用型及びレーダ利用型に関する特許出願数が急激に増加

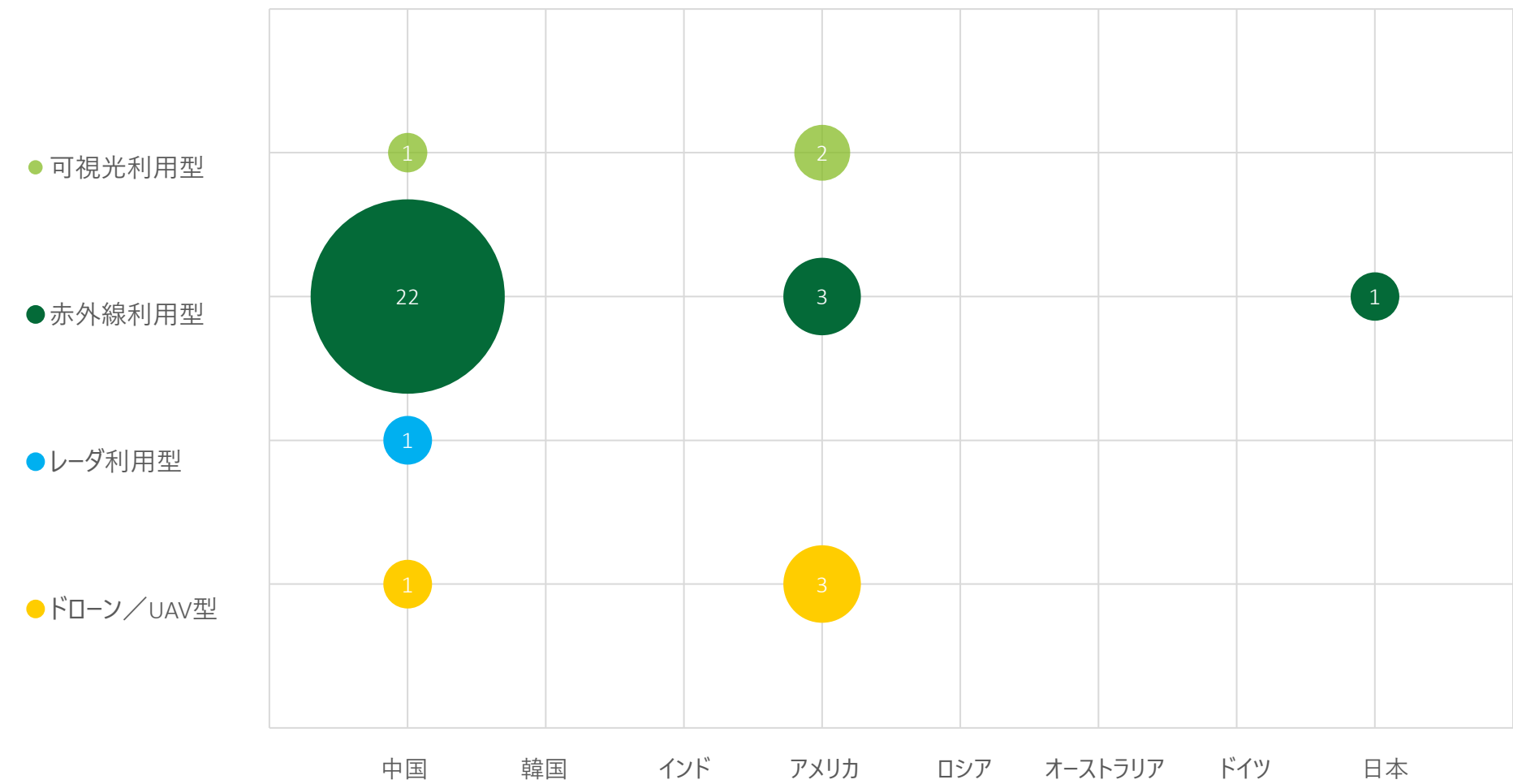
人工衛星等による生育観測技術に関する特許出願件数の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

2003年から2012年にかけては中国からの特許出願がほとんどであり、多くは赤外線利用型関連特許

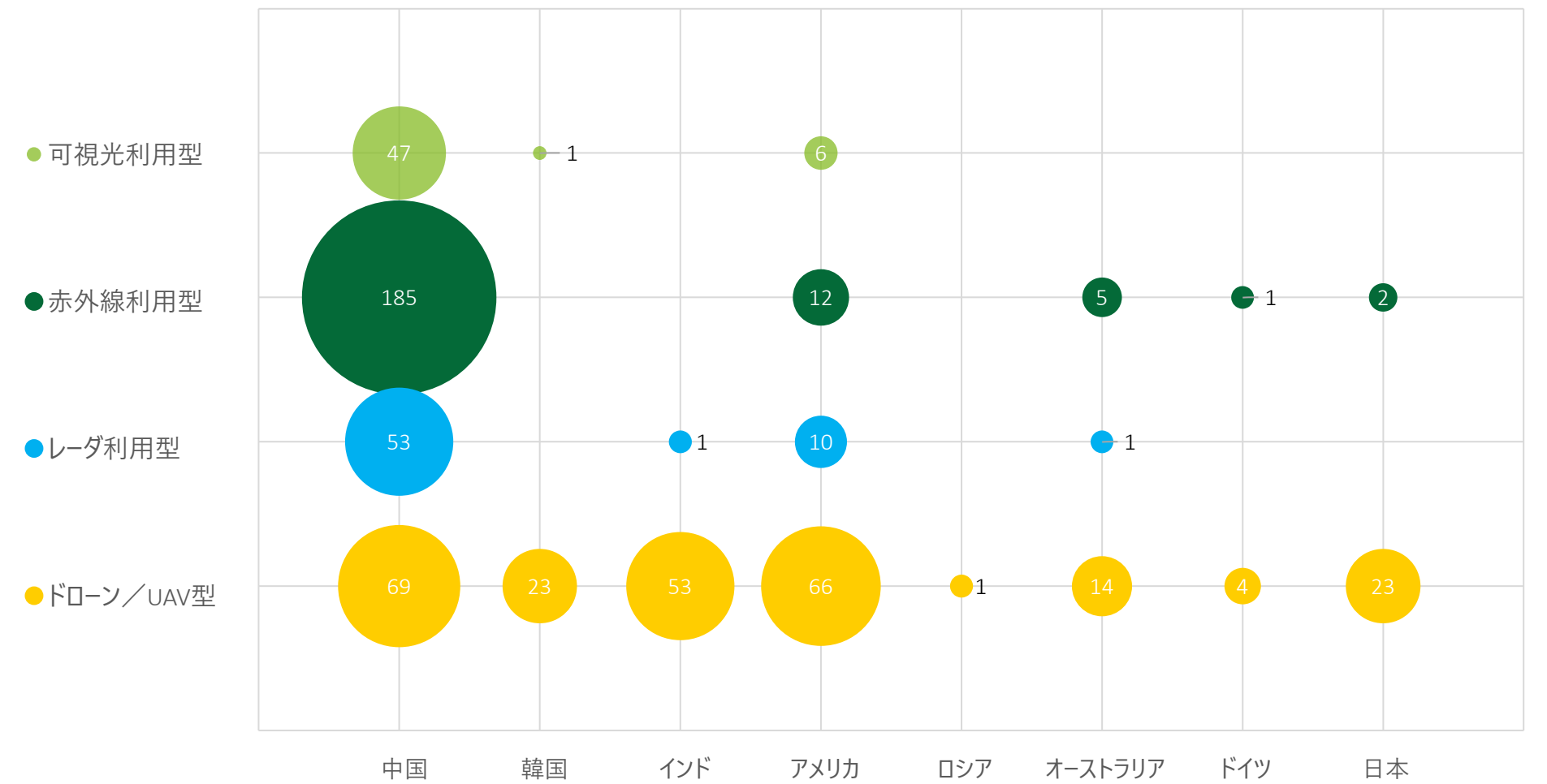
人工衛星等による生育観測技術に関する特許の出願国分布（2003-2012、出願数上位8カ国を抽出）



出典：Questel

2013年以降は、韓国やインド等からの特許出願が増えているが、中国からの特許出願数が群を抜いている

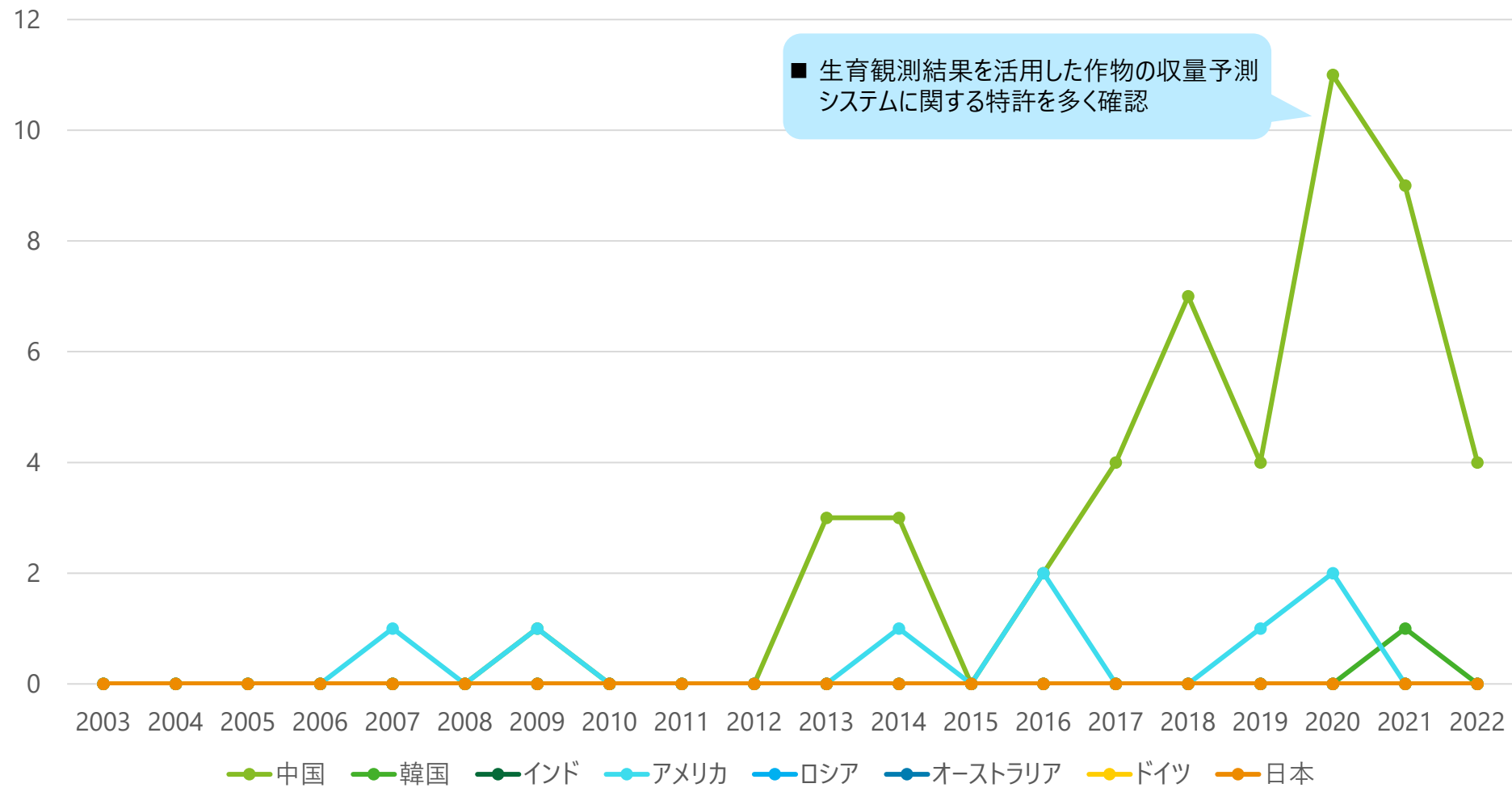
人工衛星等による生育観測技術に関する特許の出願国分布（2013-2022、出願数上位8カ国を抽出）



出典：Questel

可視光利用型については、2016年以降、中国からの特許出願が急激に増加

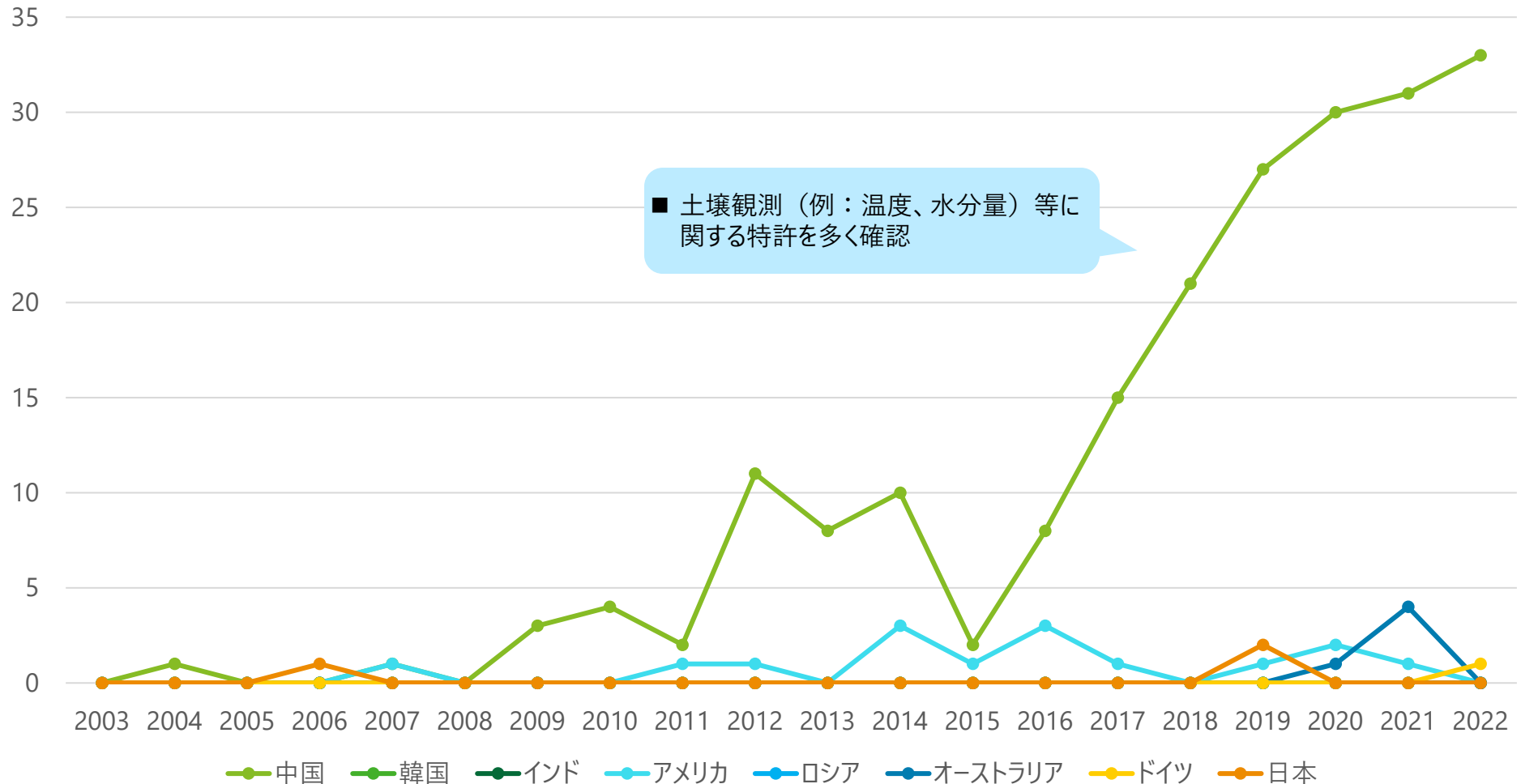
人工衛星等による生育観測技術（可視光利用型）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

赤外光利用型については、2016年以降中国からの特許出願が急激に増加しているが、ほとんどが大学及び研究機関からの出願であるため、これらの技術は実用化段階に至っていないと推測

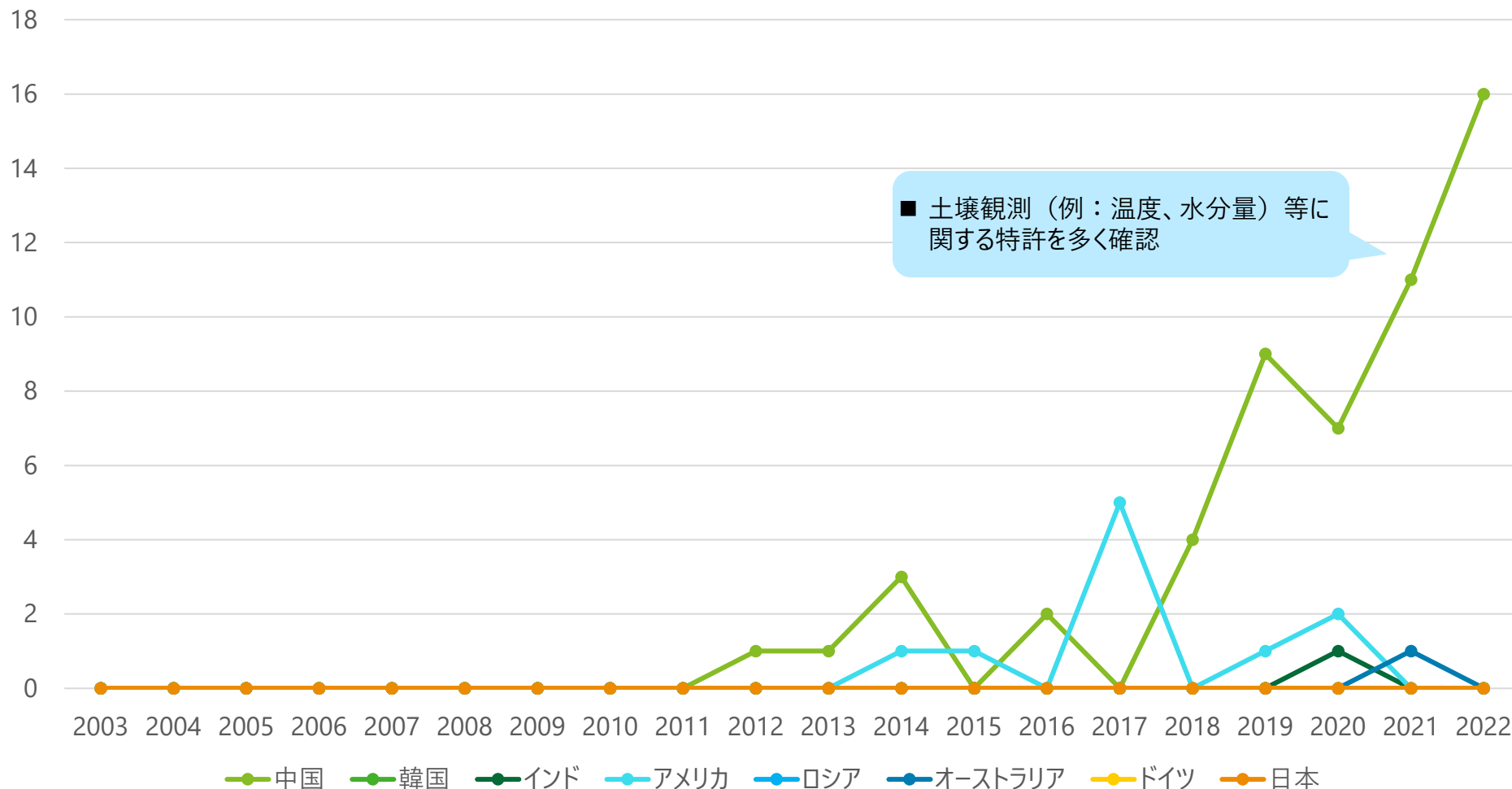
人工衛星等による生育観測技術（赤外光利用型）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

レーダ利用型については、2018年以降中国からの特許出願が急激に増加しているが、ほとんどが大学及び研究機関からの出願であるため、これらの技術は実用化段階に至っていないと推測

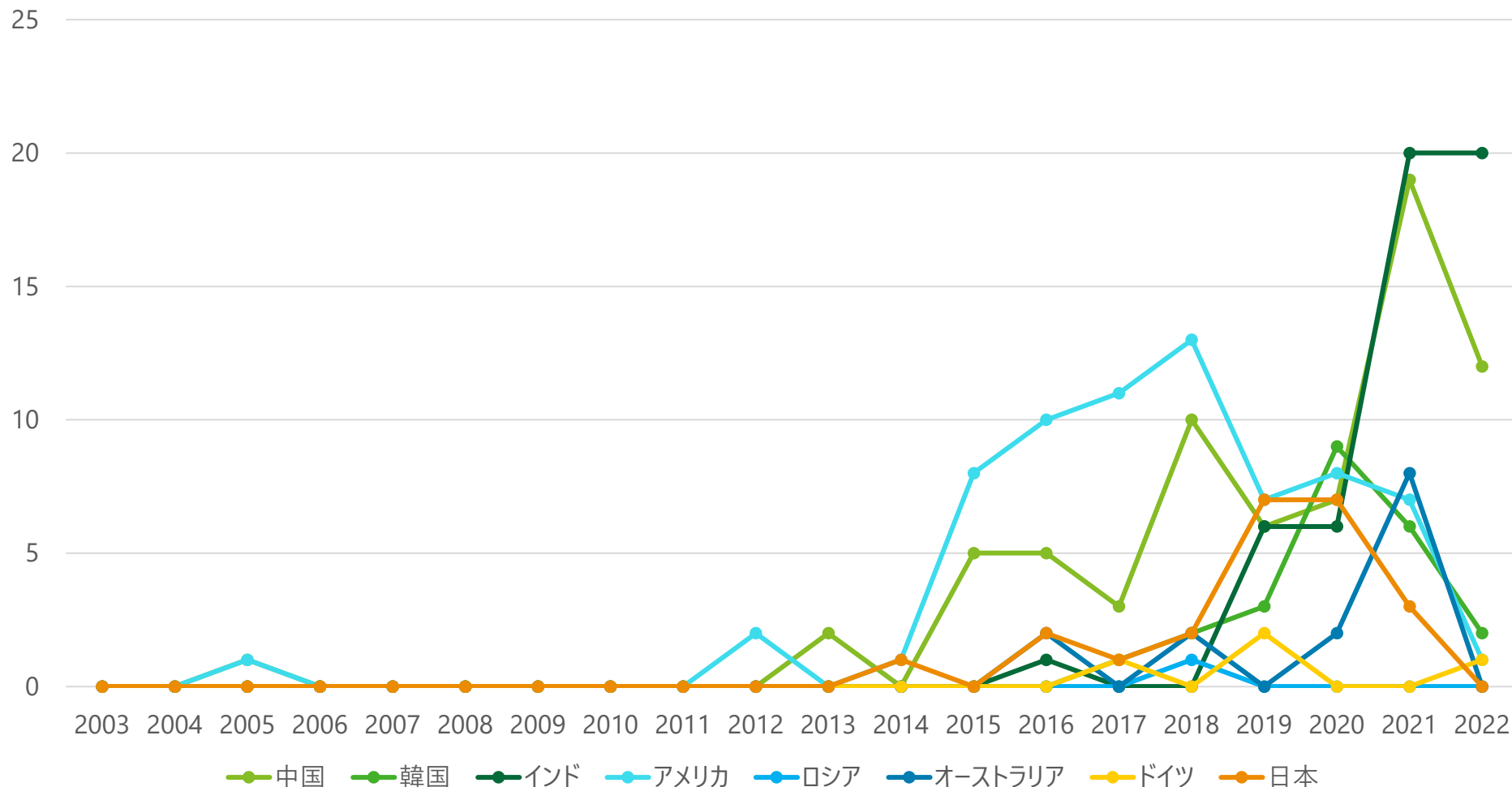
人工衛星等による生育観測技術（レーダ利用型）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

ドローン／UAV利用型については、2018年以降各国からの特許出願数が増加しており、直近は中国やインド、オーストラリア、アメリカといった国からの特許出願が多い

人工衛星等による生育観測技術（ドローン／UAV利用型）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



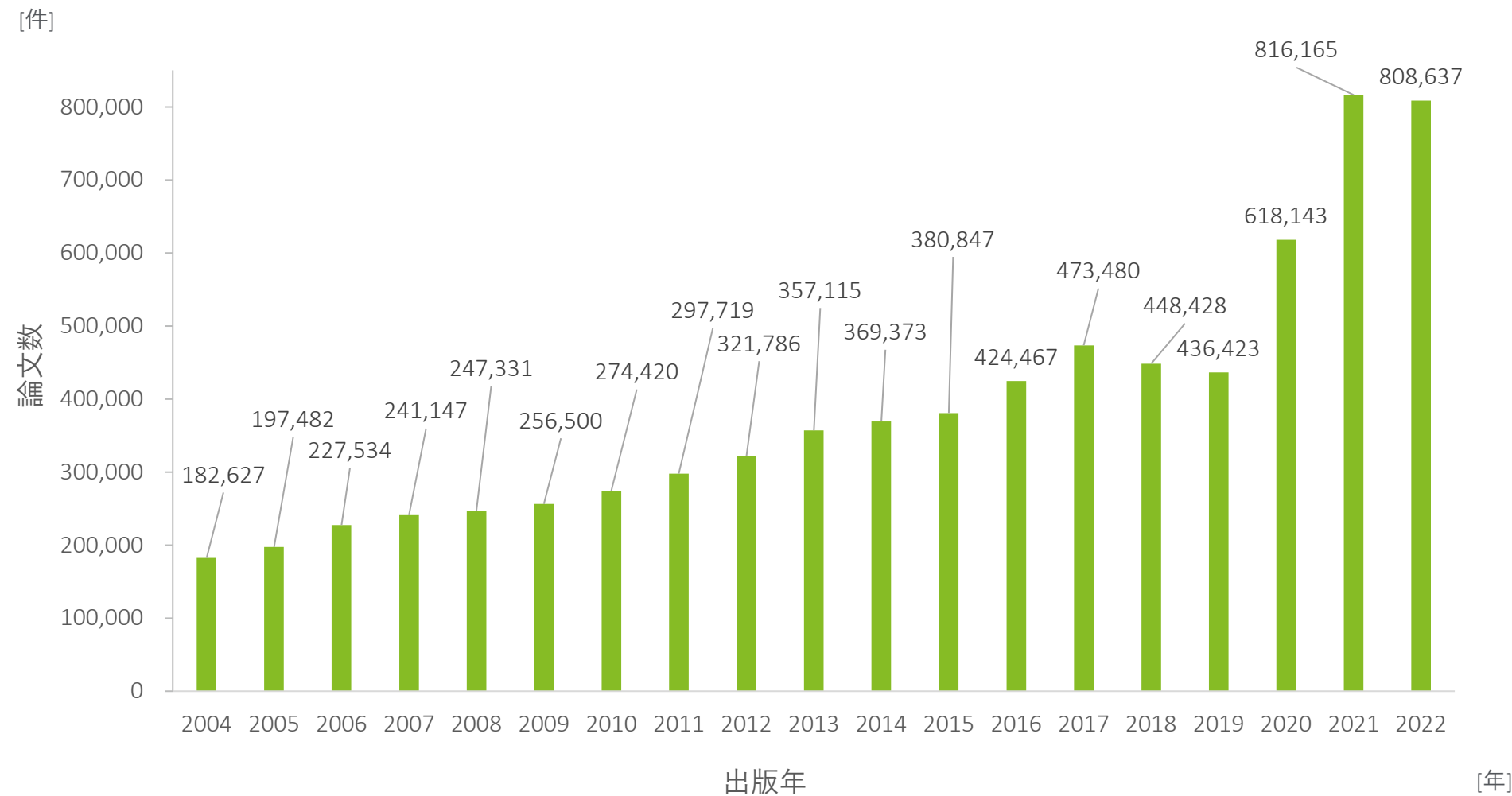
出典：Questel

土壌・生育診断関連特許の調査方法の概要は以下のとおり

調査対象特許	PCT出願
調査対象年	2003～2022年（優先権主張年）
使用データベース	Questel社「Orbit Insight」
調査方法	■ 以下の検索式にて、文献の母集団を形成 ■ 母集団として整理した各文献に含まれる技術単語（キーワード）について、データの取得手段（例：「infrared」、「radar」）に関連する単語が含まれる特許を抽出
検索式	((soil diagnos+ OR soil analys+ OR soil analyz+ OR soil mapping OR soil monitor+)/TI/AB OR ((soil condition)/TI/AB AND (g01+)/IPC/CPC) OR ((soil)/TI/AB AND (G16Y-010/05 OR G06Q-050/02 OR G01N-021)/IPC/CPC)) OR (((crop growth OR crop production OR crop health OR field product+)/TI/AB) AND(((detect+ OR analys+ OR analyz+ OR monitor+)/TI/AB) OR ((G16Y-010/05 OR G06Q-050/02 OR G01N-021)/IPC/CPC))

土壌・生育診断に関連する論文数は直近約20年間で増加傾向にあり、特に2020年を境に急激に増加している

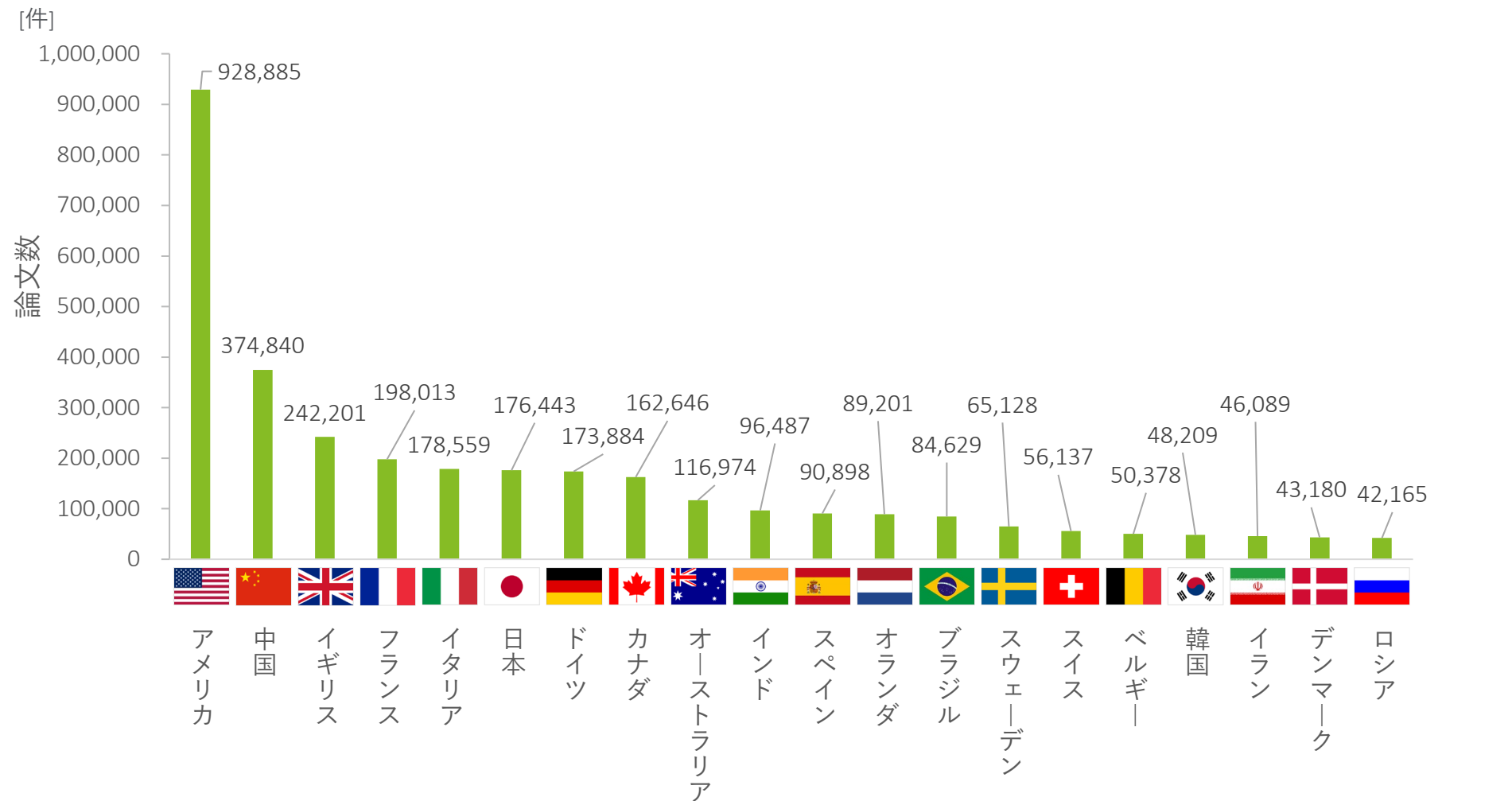
人工衛星等による生育観測技術関連の論文数推移（2004～2022年）



出典：Questel

論文数の上位4か国には、特許と同様にアメリカと中国が入っており、続いてイギリスやフランス、イタリアといった国が並んでいる

国別の人工衛星等による生育観測技術関連の論文数順位



出典：Questel

技術戦略分析

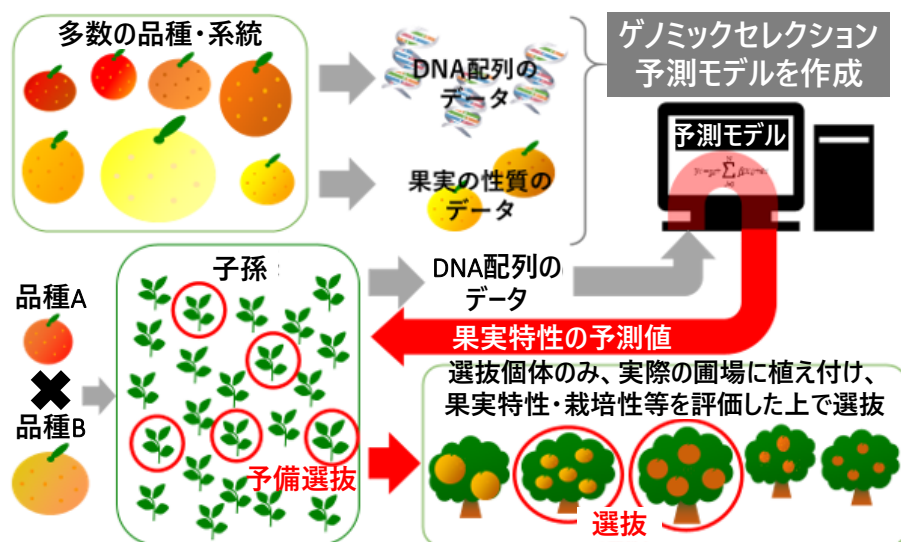
- ① SAF
- ② バイオスティミュラント
- ③ 人工衛星等による生育観測
- ④ ゲノミックセレクション

任意の品種・系統間における特性の違いとDNA配列等を基に作成した予測モデルにより、実際に植物を育成することなく求める特性を持つ個体を効率的に選抜する技術

ゲノミックセレクションの概要

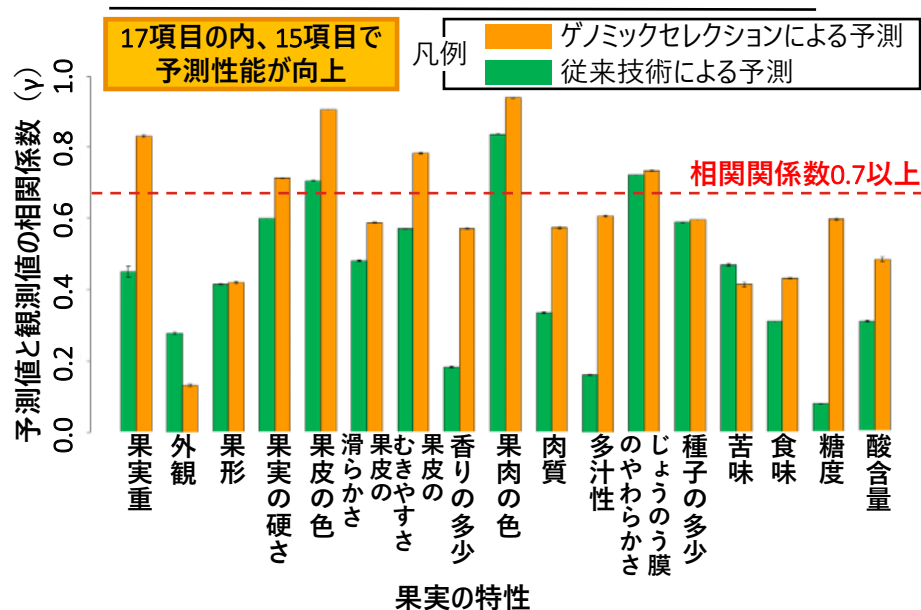
- 任意の品種・系統間における特性の違いとDNA配列を基に、優れた特性の個体を選抜する技術
 - 果実の性質等の形質とDNA配列との関係を表した予測モデルを作成
 - 本モデルを新たに交雑して得た個体に適用し、果実のつかない段階においても、DNA配列から形質を予測することで、有望な個体のみを選抜し、圃場に植え付けることが可能
 - それにより育種にかかる期間を大幅に短縮可能
- 適用対象としては、畜産物や作物（果物類、野菜類、穀物類）等

具体的な活用事例（果物類）



- 農研機構では、果実重、果皮の色、皮のむきやすさ、糖度、酸含量等17の果実特性及びゲノム全体を網羅する1,841個のDNA配列のデータを用いて、ゲノミックセレクションの予測モデルを作成

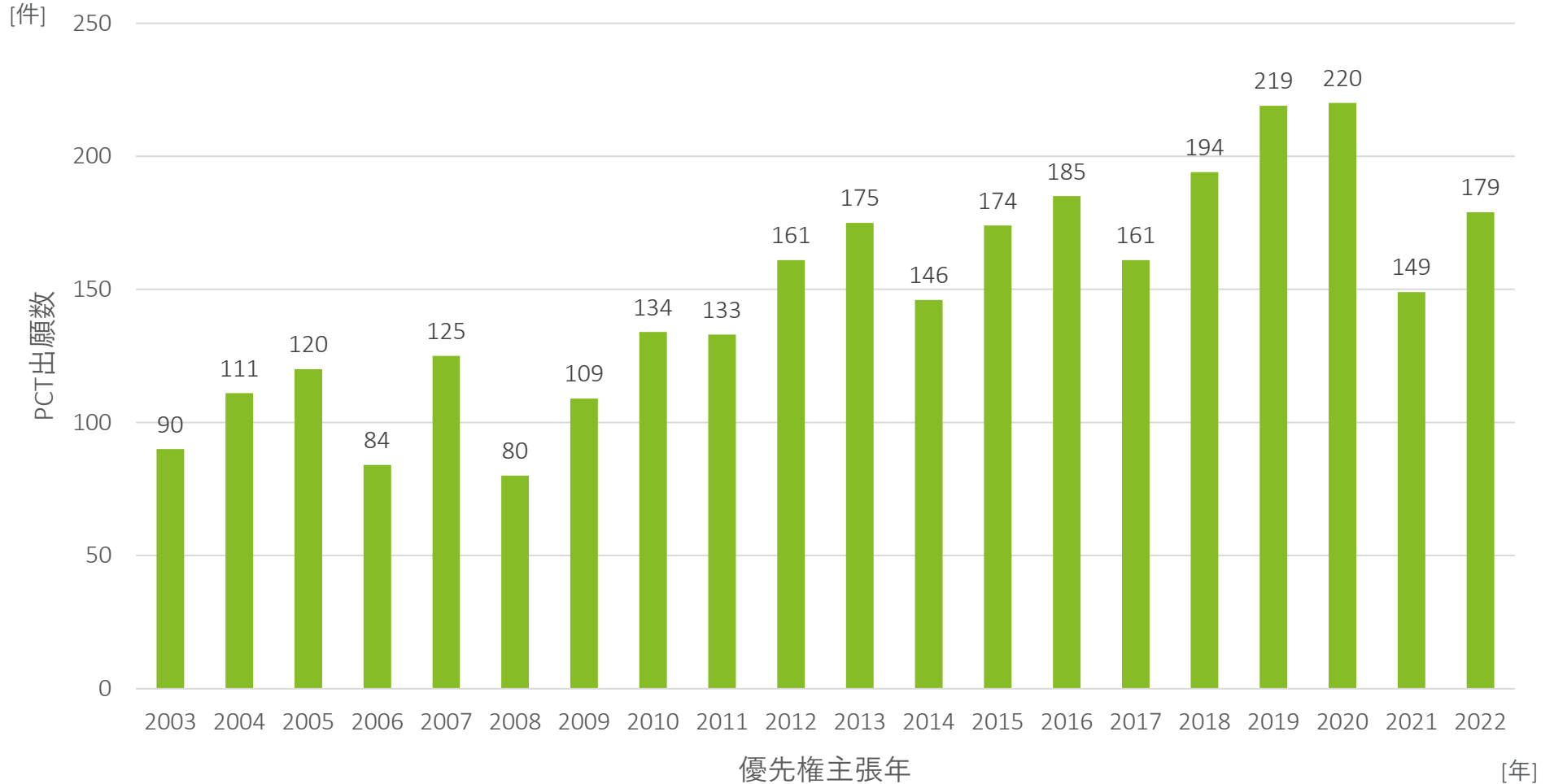
ゲノミックセレクションによる予測精度の評価結果



- ゲノミックセレクションによる予測モデルの活用により、果実重、果実の硬さ、果皮の色、果皮のむきやすさ、果肉の色、じょうのう膜のやわらかさを高精度（観測値と予測値との相関係数0.7以上）で予測

2003～2022年にかけて、ゲノミックセレクション関連特許の出願数は増加傾向にあり、特に2012年を境に毎年約150件以上の特許が出願

ゲノミックセレクションに関する特許出願数の推移



出典：Questel

ゲノミックセレクション関連特許の上位特許権者はアメリカ、中国に集中

ゲノミックセレクションに関する上位特許権者リスト

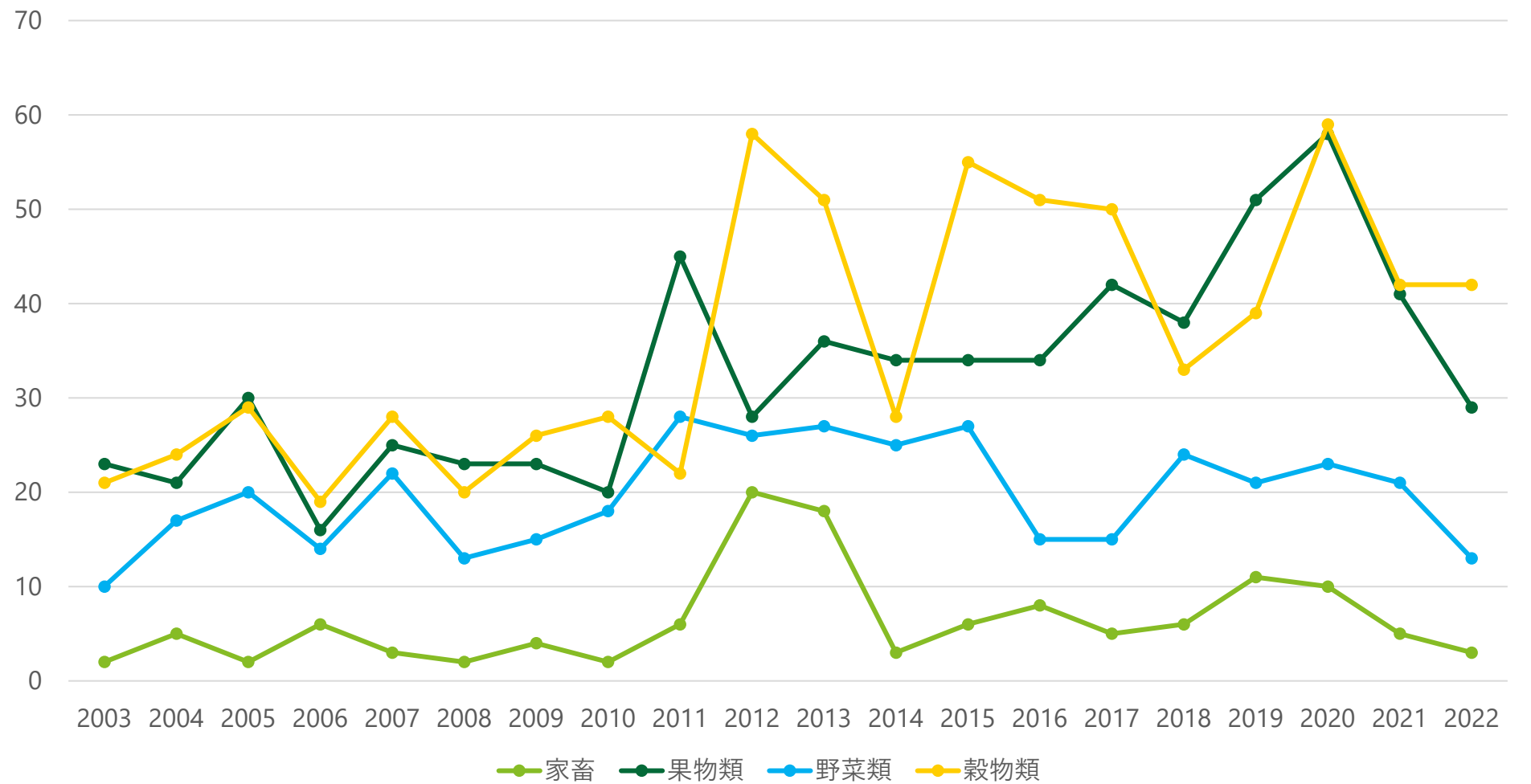
#	特許権者名（国籍）	保有数
1	MONSANTO TECHNOLOGY（アメリカ）	98
2	REPUBLIC OF KOREA NATIONAL FISHERIES RESEARCH & DEVELOPMENT INSTITUTE（韓国）	66
3	CHINA NATIONAL SEED（中国）	59
4	JIANGSU ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES（中国）	47
4	NANJING AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	47
6	HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	42
7	INSTITUTE OF CROP SCIENCES CHINESE ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES（中国）	40
8	PIONEER HI BRED INTERNATIONAL（アメリカ）	36
9	ZHEJIANG UNIVERSITY（中国）	32
10	BASF PLANT SCIENCE（ドイツ）	31

出典：Questel

#	特許権者名（国籍）	保有数
10	SYNGENTA PARTICIPATIONS（スイス）	31
12	SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	30
13	NORTH WEST AGRICULTURE & FORESTRY UNIVERSITY（中国）	27
14	CORTEVA AGRISCIENCE（アメリカ）	25
14	BEIJING ACADEMY OF AGRICULTURE & FORESTRY SCIENCES（中国）	25
14	BASF（ドイツ）	25
17	YUNNAN INSTITUTE OF TOBACCO AGRICULTURE SCIENCE（中国）	23
18	CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	22
18	SICHUAN AGRICULTURAL UNIVERSITY（中国）	22
18	DOW AGROSCIENCES（アメリカ）	22

2011年以降、果物類や穀物類を対象としたゲノミックセレクション技術に関する特許の出願数が増加

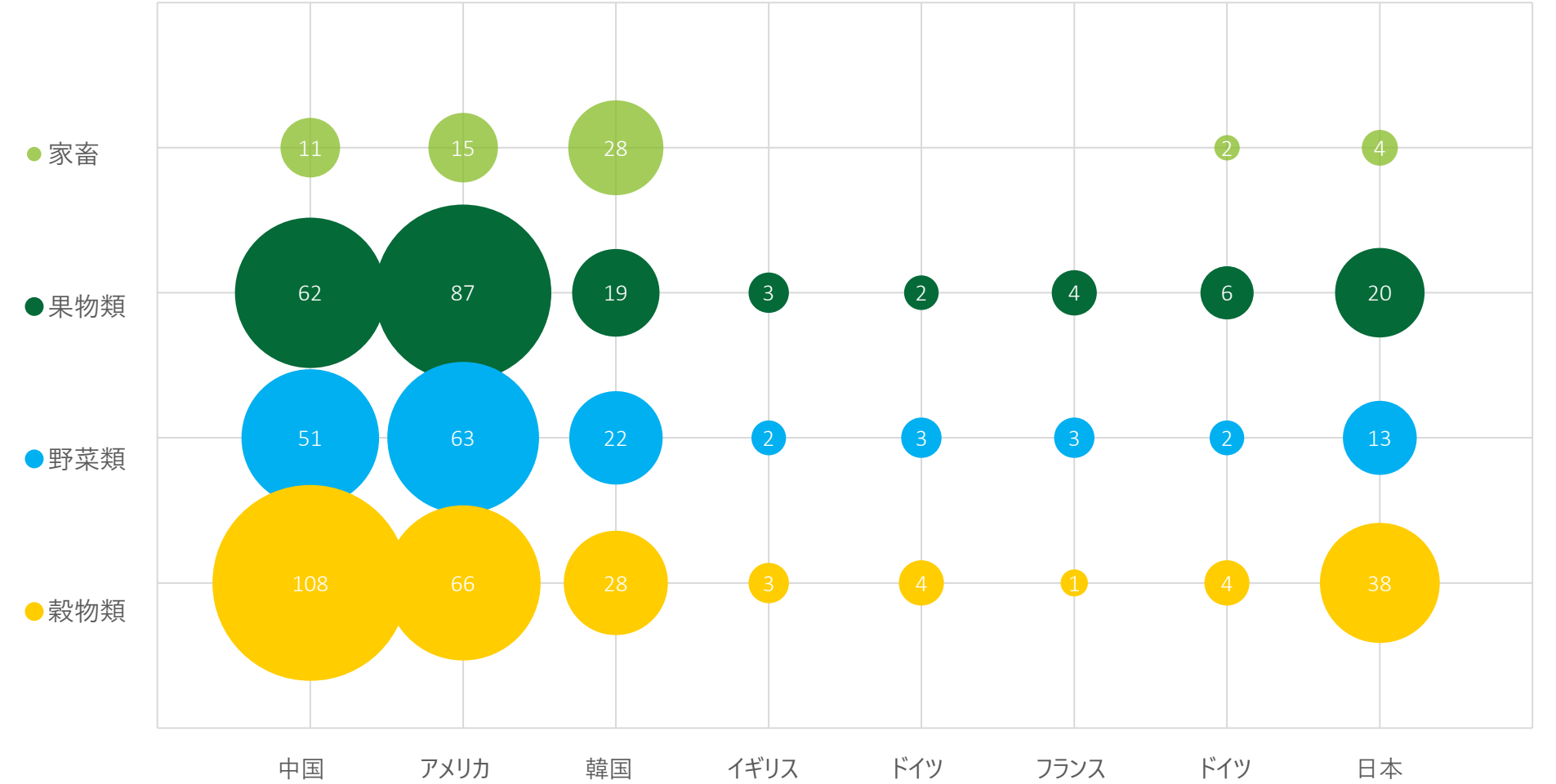
ゲノミックセレクション（適用対象別）に関する特許出願件数の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

2003年から2012年にかけて、出願国別では中国とアメリカから特許出願が多く、次いで日本や韓国から一定数の特許が出願

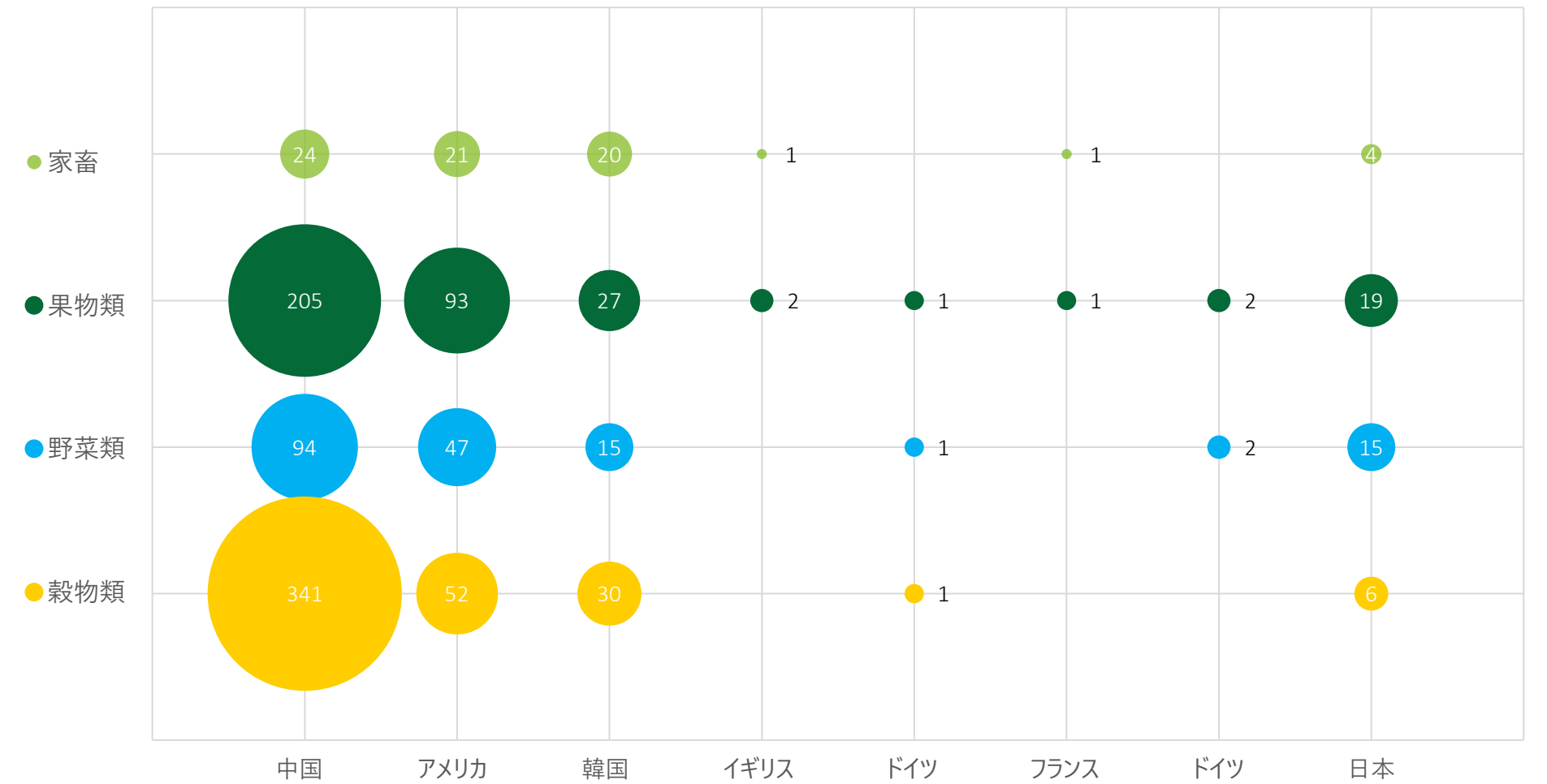
ゲノミックセレクション（適用対象別）に関する特許の出願国分布（2003-2012、出願数上位8カ国を抽出）



出典：Questel

2013年以降、果物類や穀物類を対象としたゲノミックセレクション技術に関する特許が中国から多く出願

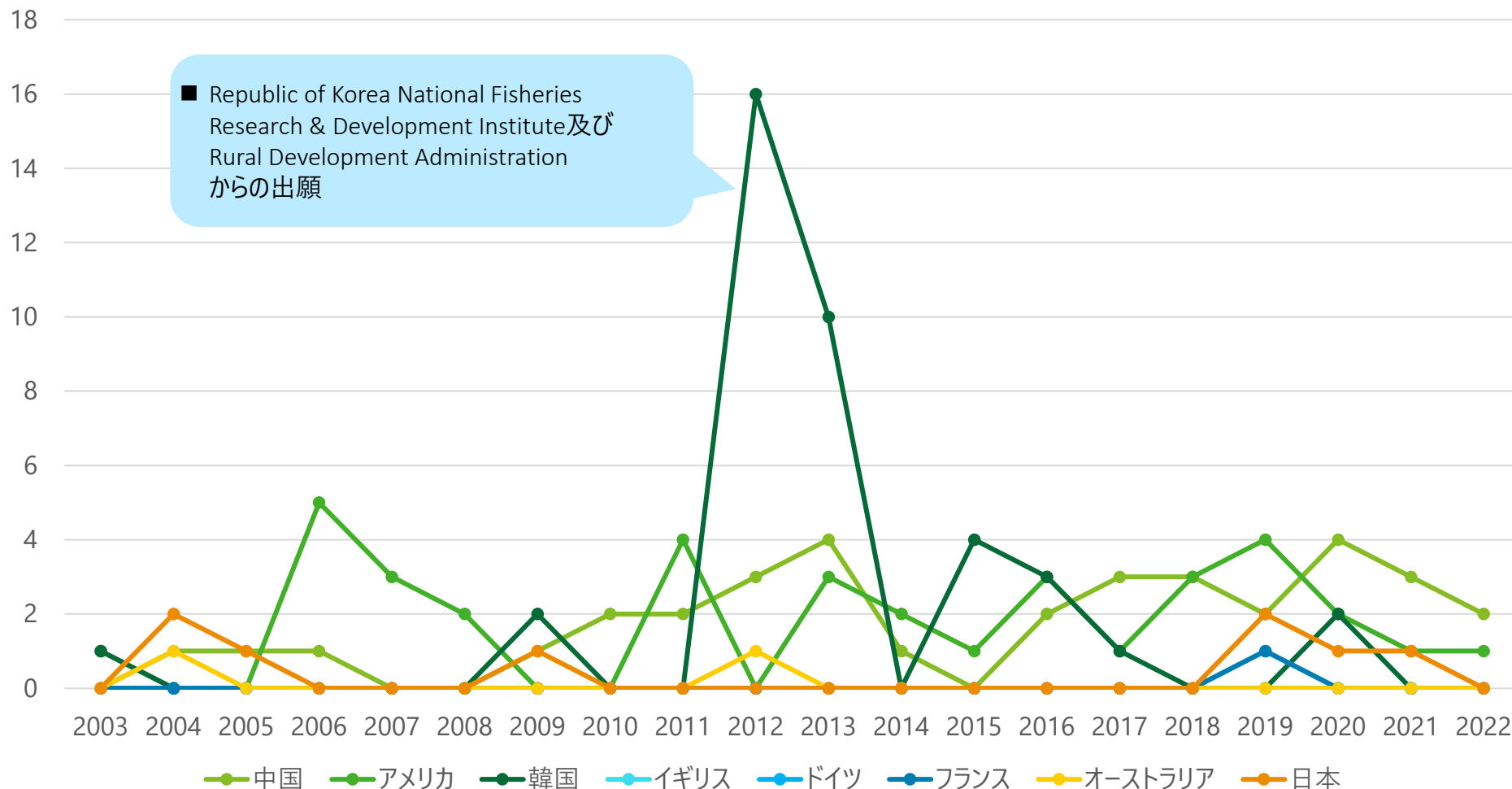
ゲノミックセレクション（適用対象別）に関する特許の出願国分布（2013-2022、出願数上位8カ国を抽出）



出典：Questel

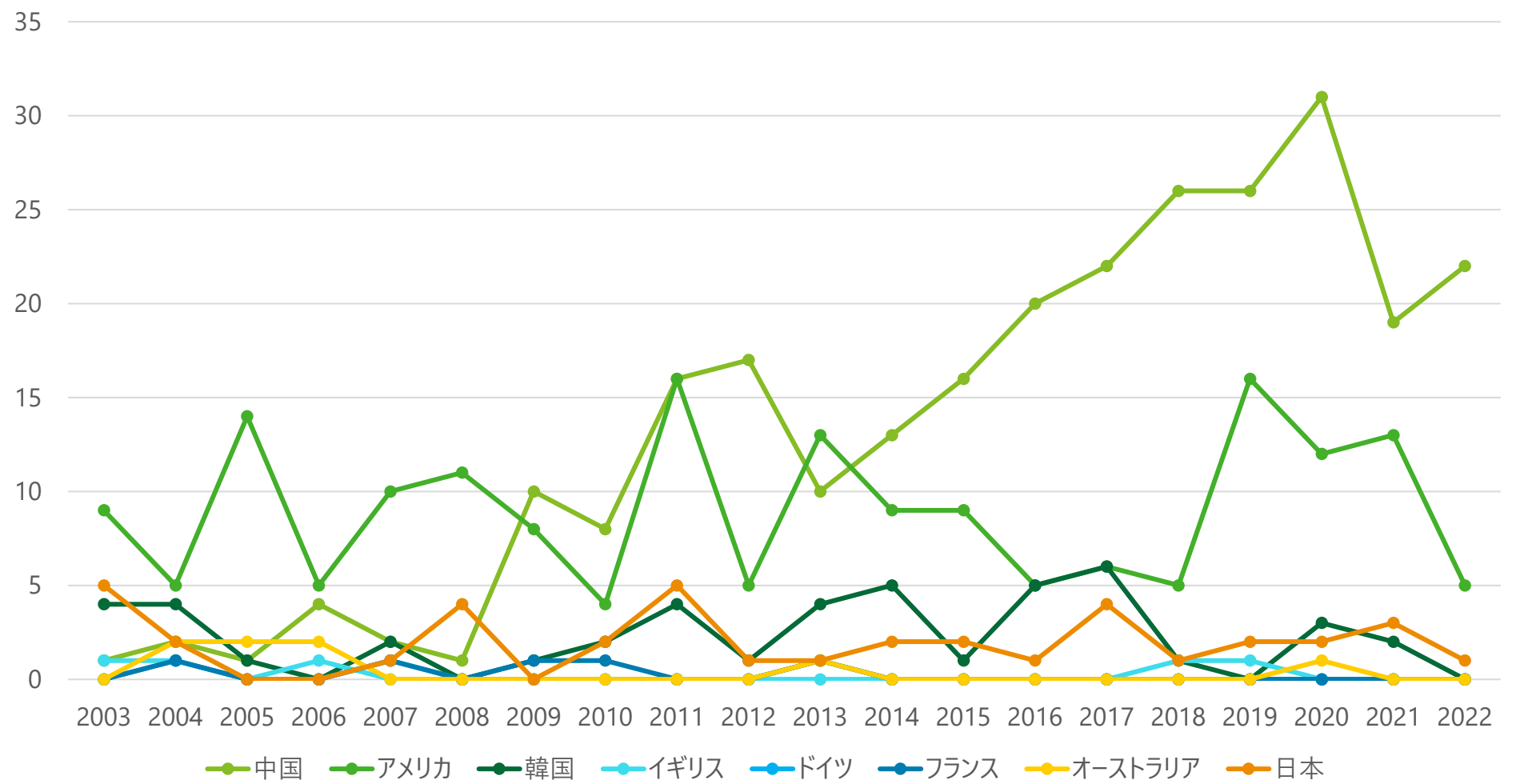
家畜を対象としたゲノミックセレクションについては、2012～2013年にかけて韓国から10件以上の特許が出願されたが、それ以外の期間では特徴的な傾向なし

ゲノミックセレクション（家畜）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



果物類を対象としたゲノミックセレクションについては、2009年以降中国からの特許出願が徐々に増加しており、技術力を蓄積

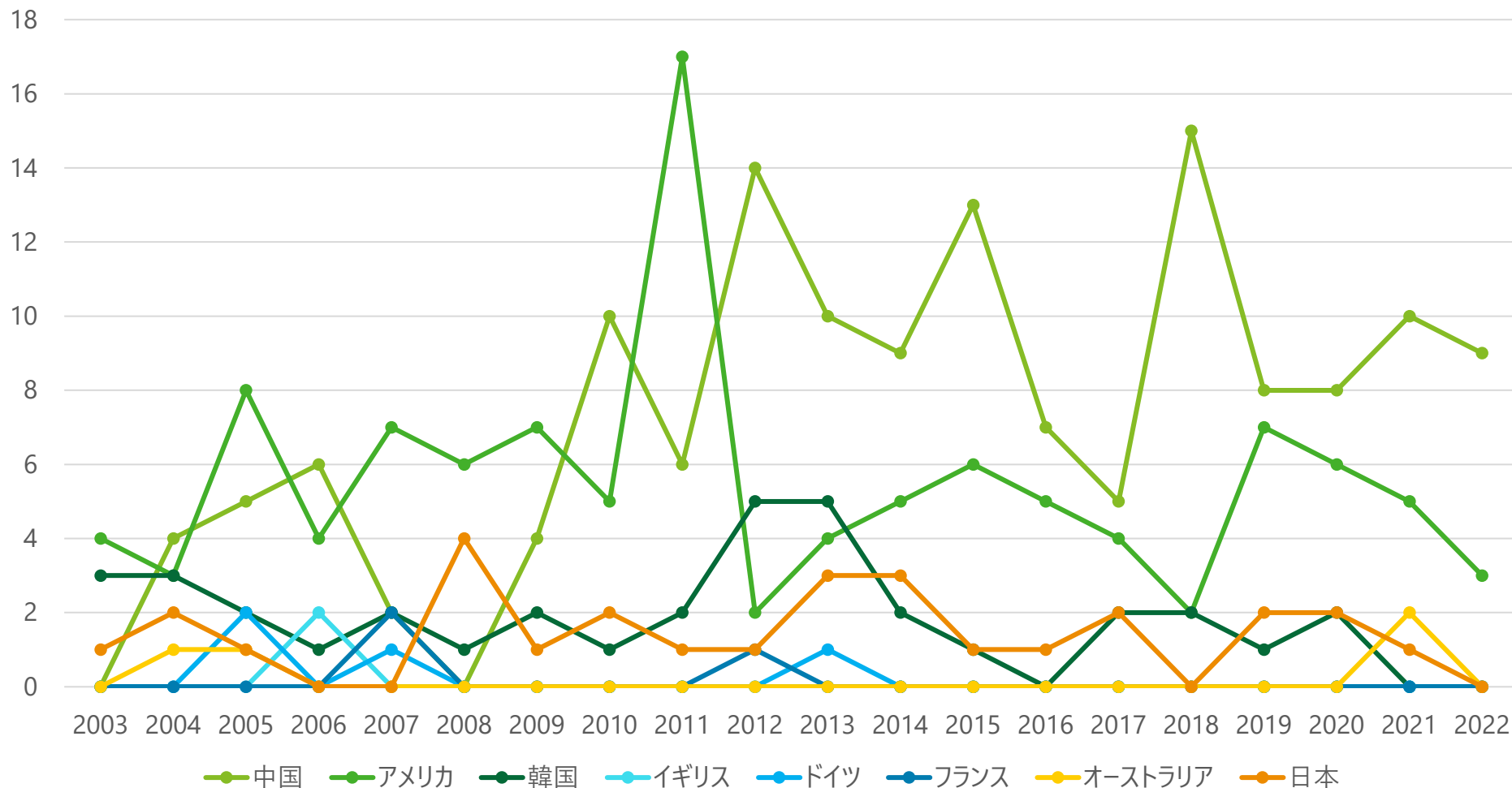
ゲノミックセレクション（果物類）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

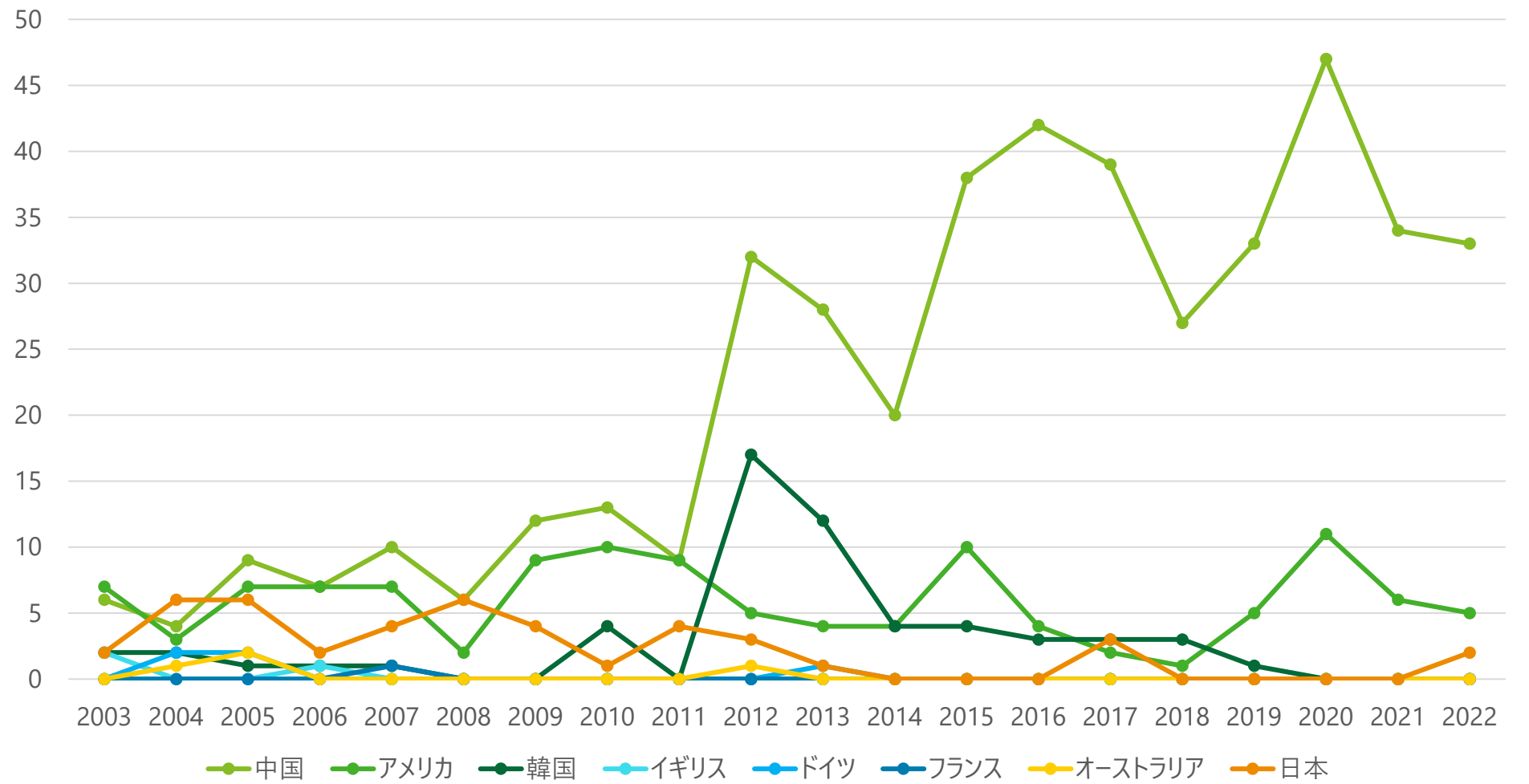
野菜類を対象としたゲノミックセレクションについては、中国やアメリカからの特許出願数が多い

ゲノミックセレクション（野菜類）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



穀物類を対象としたゲノミックセレクションについては、2012年以降中国からの特許出願が徐々に増加

ゲノミックセレクション（穀物類）に関する特許の出願国別の経年変化（2003-2022）



出典：Questel

ゲノミックセレクション関連特許の調査方法の概要は以下のとおり

調査対象特許	PCT出願
調査対象年	2003～2022年（優先権主張年）
使用データベース	Questel社「Orbit Insight」
調査方法	■ 以下の検索式にて、文献の母集団を形成 ■ 母集団として整理した各文献に含まれる技術単語（キーワード）について特許を抽出
検索式	(((A01H)/IPC/CPC) OR (plant+ OR crop+ OR fruit+ OR grain+ OR vegetable+)/TI/AB/OBJ/ADB) AND ((predict+ 3D breed+)/TI/AB/OBJ/ADB OR (genom+ 5D predict+ 5D model+)/TI/AB/OBJ/ADB OR(((gene 5D select+) OR (genom+ 5D select+)) Not (selective marker OR selectable marker))/TI/AB/OBJ/ADB))OR(((A01H)/IPC/CPC) OR(plant+ OR crop+ OR fruit+ OR grain+ OR vegetable+)/TI/AB/OBJ/ADB) AND((predict+ 3D breed+)/TI/AB/OBJ/ADB/ICLM OR (genom+ 5D predict+ 5D model+)/TI/AB/OBJ/ADB/ICLM OR(((gene 5D select+) OR (genom+ 5D select+)) Not (selective marker OR selectable marker))/TI/AB/OBJ/ADB/ICLM) AND (predict+ 3D breed+)/TI/AB/OBJ/ADB/ICLM AND(G16B)/IPC/CPC)

ゲノミックセレクションに関連する論文数は直近約20年間継続して増加傾向にあり、特に2020年を境に急激に増加

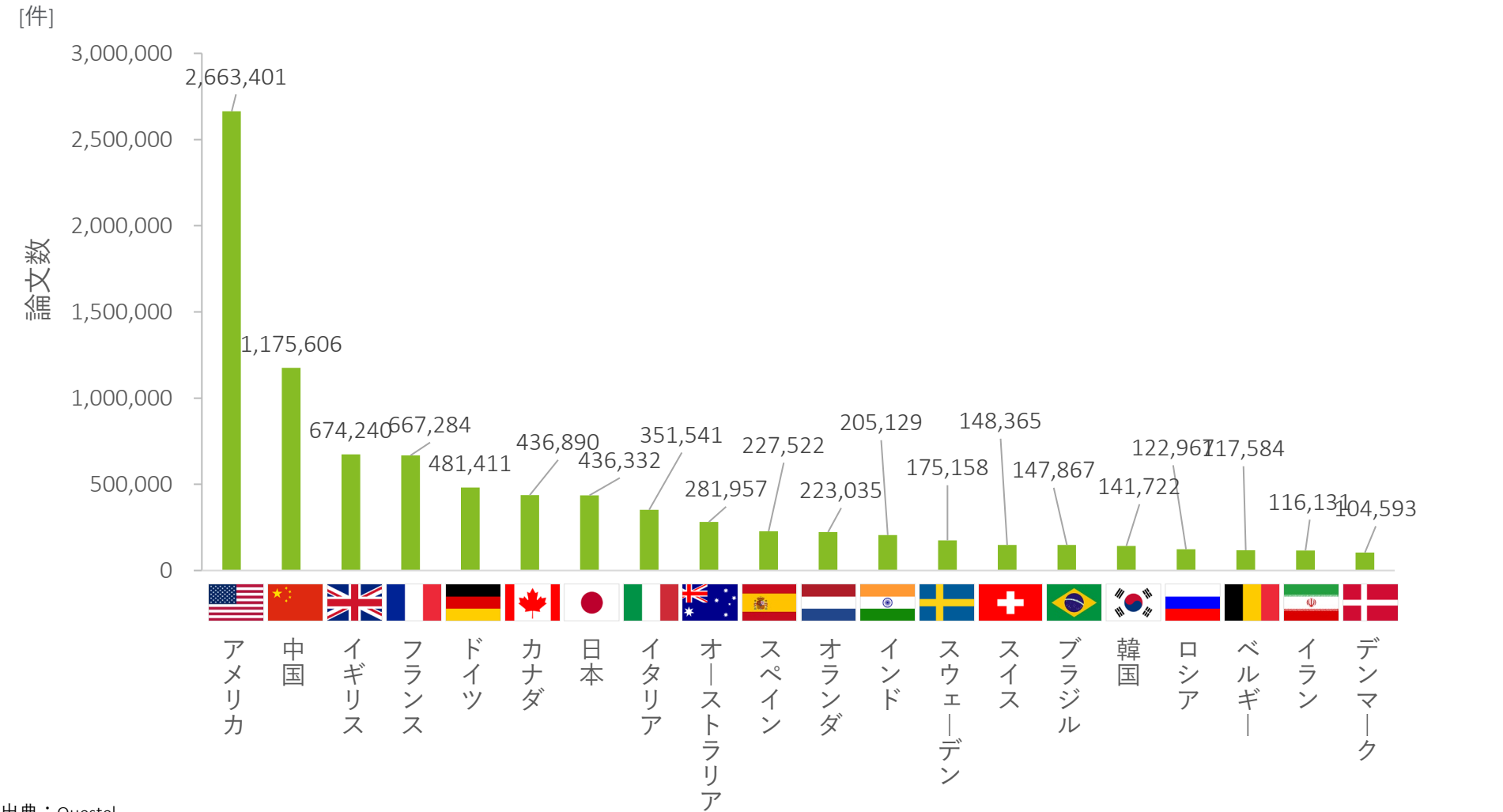
ゲノミックセレクション関連の論文数推移（2004～2022年）



出典：Questel

論文数の上位国には特許と同様にアメリカと中国が入り、特にアメリカについては、第二位の中国の論文数と比較すると2倍以上

国別のゲノミックセレクション関連の論文数順位



出典：Questel

Deloitte.

デロイト トーマツ

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイト ネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ 合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人 トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング 合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャル アドバイザリー 合同会社、デロイト トーマツ 税理士 法人、DT 弁護士 法人およびデロイト トーマツ グループ 合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスク アドバイザリー、コンサルティング、ファイナンシャル アドバイザリー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市に約1万7千名の専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループ Web サイト（www.deloitte.com/jp）をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイト トウシュートーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイト ネットワーク”）のひとつまたは複数を指します。DTTL（または“Deloitte Global”）ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTL および DTTL の各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTL はクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は www.deloitte.com/jp/about をご覧ください。

デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィック における100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ベンガルール、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、ムンバイ、ニューデリー、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャル アドバイザリー、リスク アドバイザリー、税務、法務等に関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約415,000名の人材の活動の詳細については、（www.deloitte.com）をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、DTTL、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。



IS 669126 / ISO 27001