



 **TSC Foresight**

Innovation Outlook

Version 1.0 増補版

バイオエコノミー分野

2026年6月

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
イノベーション戦略センター

目次

3-6 バイオエコノミー分野	1
3-6-1 分野の俯瞰	1
3-6-2 解決すべき社会課題(M)	2
3-6-3 社会課題を取り巻く国内外の市場・技術・政策動向	3
(1) 市場動向	3
(2) 技術動向	4
(3) 政策動向	6
3-6-4 社会課題の解決のために取り組むべき領域(F): 高度センシングによる先制ヘルスケア (精密栄養と環境防疫を基軸とした行動変容モデル構築)	7
3-6-5 取り組むべき具体的な手段(T)のテーマ例	12
コラム 地域特有の再生可能資源を基盤とした循環型バイオ産業	26

3-6 バイオエコノミー分野

3-6-1 分野の俯瞰

バイオエコノミー分野全体を俯瞰すると、下記の図のとおり整理できる。

図 3-6-1 は市場・製品の視点からの俯瞰であり、対象市場が極めて多様であること、及び多くの社会課題の解決に関係することを示す。図 3-6-2 は技術の視点からの俯瞰であり、対象となる技術の多様性を示している。

くわえて、後述のとおり、バイオテクノロジー関連技術は、基礎科学研究の成果であっても短期間で破壊的イノベーションへと展開し得る潜在力を有する。なお、バイオエコノミーを構成する要素技術はバイオテクノロジーに限らず、デジタル技術、化学、工学、電子・電気工学等の周辺分野も含まれるため、研究開発の高度化・効率化や産業化の推進には、これら複合領域の知見が重要となる。

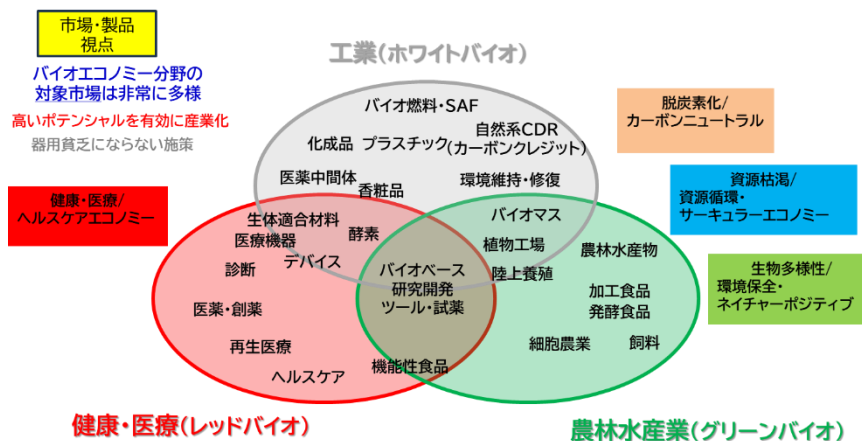


図 3-6-1 バイオエコノミー分野の俯瞰図(市場・製品視点)

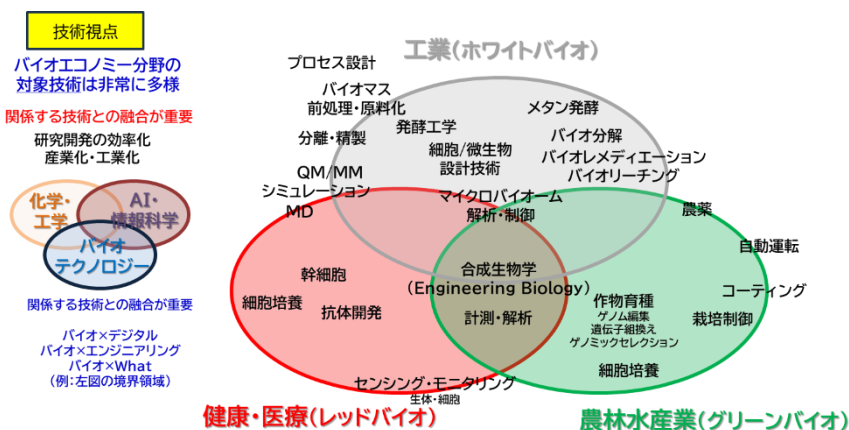


図 3-6-2 バイオエコノミー分野の俯瞰図(技術視点)

本増補版では、バイオエコノミーの広範さを踏まえつつ、社会的緊急性と我が国の競争優位性の観点から、とりわけヘルスケアエコノミーに着目し、分析を進める。

なお、バイオエコノミー分野において、Innovation Outlook Version 1.0 で提案した『化石原料から再生可能原料への転換』領域に関連して、「地域特有の再生可能資源を基盤とした循環型バイオ産業」については、別途コラムで述べる。

3-6-2 解決すべき社会課題(M)

日本が先行して直面する超高齢社会を踏まえ、Innovation Outlook Version 1.0 では、解決すべき社会課題(M)の一つとして、ヘルスケアエコノミー(HE)を設定した。ヘルスケアエコノミーにおける社会課題に関する我が国の主な目標は、以下のとおりである。

- ヘルスケアエコノミー(HE)の実現

(健康・医療戦略(第2期)¹:2040年までに健康寿命を男女とも75歳以上へ/
健康・医療戦略(第3期)²:平均寿命の伸びを上回る健康寿命の延伸)

ヘルスケアエコノミーの実現においては、高齢化の進展を背景に、健康寿命の延伸と公的保険外のヘルスケアサービス産業の拡大が政策課題として位置づけられている。従来の「治療中心」から「予防・健康増進中心」への転換³を通じて、QOL向上と社会保障費の最適化を両立する持続可能なヘルスケアシステムの構築が不可欠である。生体情報とデジタル技術を活用し、生活習慣に寄り添った解決策を提供することは、ウェルビーイングの向上を通じて経済成長をけん引し得る。次節以降では、この観点からヘルスケアエコノミーを重点的に検討する。

¹ 健康・医療戦略(第2期)(令和2年3月27日閣議決定)

<https://www.cas.go.jp/jp/seisakukaigi/kenkouiryou/senryaku/index.html> (2026年3月閲覧)

² 健康・医療戦略(第3期)(令和7年2月18日閣議決定)

<https://www.cas.go.jp/jp/seisakukaigi/kenkouiryou/senryaku/index.html> (2026年3月閲覧)

³ 健康日本21(第三次)(厚生労働省)

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryou/kenkou/kenkounippon21_00006.html (2026年3月閲覧)

3-6-3 社会課題を取り巻く国内外の市場・技術・政策動向

本節ではバイオエコノミー分野全体の動向を俯瞰し、後節で焦点化するヘルスケアエコノミー(予防・健康増進)を見据えた観点から、要点を整理する。

(1) 市場動向

表 3-6-1 我が国のバイオエコノミー戦略の 5 つの市場領域ロードマップ

市場領域	2018年時点	2030年(目標)
バイオものづくり・バイオ由来製品	合計 32.5兆円	合計 53.3兆円
高機能バイオ素材・バイオプラスチック (バイオ生産システムを含む)	23.1兆円	41.4兆円
有機廃棄物・有機排水処理	7.7兆円	8.1兆円
バイオ関連分析・測定・実験システム	1.7兆円	3.8兆円
持続的一次生産システム	3.6兆円 (国内 0.3兆円) (海外 3.3兆円)	14.9兆円 (国内 1.7兆円) (海外 13.2兆円)
木材活用大型建築・スマート林業	国内 0.5兆円	国内 1兆円
バイオ医薬品・再生医療・ 細胞治療・遺伝子治療関連産業	2020年時点 26.6兆円 (国内 1.5兆円) (海外 25.1兆円)	2030年(目標) 58.6兆円 (国内 3.3兆円) (海外 55.3兆円)
生活習慣改善ヘルスケア、デジタルヘルス	2016年時点 25兆円	2030年(目標) 39.1兆円

我が国の『バイオエコノミー戦略』⁴では 5 つの重点市場領域が設定され、現状と 2030 年目標を整理すると表 3-6-1 のとおりであり、ヘルスケアエコノミーを含むバイオエコノミー分野は国内外市場を見据えた成長分野として期待される。同分野では、予防・健康増進の重要性の高まりを背景に、ウェアラブルによるリアルタイム生体データ取得、クラウドによるデータ連携、AI による疾病リスク分析の高度化等、デジタル投資が急速に進展している。企業と自治体の連携による新サービス創出も加速している。例として、血糖値モニタリング用ウェアラブルの世界市場は、2023 年 652 億米ドルから 2032 年 1,629 億米ドルへ成長する予測がある⁵。

このように、ヘルスケア市場は「治療」から「予防・健康増進」中心へ構造転換が進み、デジタル基盤の産業横断型エコシステムが形成されつつある。

⁴ バイオエコノミー戦略(令和 6 年 6 月 3 日 統合イノベーション戦略推進会議決定)
<https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/index.html> (2026 年 3 月閲覧)

⁵ WiseGuy Reports, Diabetes Wearables Market Report, 2025.
<https://www.wiseguyreports.com/ja/reports/diabetes-wearables-market> (2026 年 3 月閲覧)

(2) 技術動向

本分野の技術は多岐にわたるため、詳細は後述のフロンティア領域で検討する。本項では、技術トレンドを大局的に捉える。

(i) ノーベル賞に見る研究ツール～社会実装の加速化

生体高分子の同定・解析(2002年 化学賞)、緑色蛍光タンパク質(2008年 化学賞)、クライオ電子顕微鏡(2017年 化学賞)、指向性進化(2018年 化学賞)等は、研究開発を飛躍的に効率化した好例であり、基礎から産業利用・社会実装への橋渡しを加速させた。近年は、ゲノム編集(2020年 化学賞)、mRNA ワクチン(2023年 生理学・医学賞)、タンパク質構造予測 AI(2024年 化学賞)等、発見から標準化・産業化までの時間短縮が際立つ。基礎研究であっても短期間で破壊的イノベーションへ至り得る点は、フロンティア検討の重要な視点である。

(ii) 世界各国・機関の戦略に見る重点技術

世界各国の戦略文書では、AI・量子と並び、「バイオテクノロジー」が重点分野として位置づけられる(表 3-6-2)。米国の『Critical and Emerging Technologies』(2024年)、英国の『Engineering Biology』(2023年)、中国の『第14次五か年計画』(2021年)における「遺伝子・バイオテクノロジー」等が代表例である。NATO や CFG 等の国際機関でも「バイオ」「ニューロテクノロジー」「人間拡張」が重要技術として挙げられている(表 3-6-3)。共通キーワードとしては、「合成生物学」「バイオものづくり」「センサー・センシング」が広く見られ、ほかには、「生物・非生物相互作用」「ブレインテック」等もフロンティア領域の候補になり得ると考えられる。

表 3-6-2 各国政府が公表しているエマージングテクノロジー(バイオ関連)

発行国	戦略文書	エマージングテクノロジー (バイオ関連) の対象
米国	CETsの最新リスト (2024/2)	バイオテクノロジー ・核酸、ゲノム、エピゲノム、タンパク質の合成・工学を含む新しい合成生物学 (設計ツールを含む) ・マルチオミクス、その他の生体計測学、生物情報学、計算生物学、予測モデリング、機能表現型の分析ツール ・細胞内システム、多細胞システム、マルチスケール・システムのエンジニアリング ・無細胞システムと技術 ・ウイルス及びウイルス送達システムの工学 ・生物/非生物インターフェイス ・バイオものづくりとバイオプロセス技術
中国	第14次五年計画 (2021/3)	バイオメディカル 遺伝子とバイオテクノロジー ・ゲノム学研究の応用、遺伝細胞と遺伝育種、合成生物学、バイオ医薬品等の技術のイノベーション ・ワクチン、体外診断、抗体医薬品等の研究開発 ・農作物、家畜・家禽・水産、農業用微生物等の重大新品種の開発 ・バイオセーフティ重要技術の研究
イギリス	英国科学技術フレームワーク (2023/3)	エンジニアリング・バイオロジー
ドイツ	ホワイトペーパー技術主権 (2021)	バイオテクノロジー
フランス	フランス2030 (2021/10)	バイオ燃料 バイオセラピー・革新的療法のバイオ製品 ヘルステック 新興感染症・核放射線生物・化学的脅威
韓国	12大国家戦略技術 (2022/10)	先端バイオテクノロジー ・合成生物学 ・感染症ワクチン・治療 ・遺伝子・細胞治療 ・デジタルヘルスデータ分析・活用

表 3-6-3 国際機関が公表しているエマージングテクノロジー(バイオ関連)

発行機関	戦略文書	エマージングテクノロジー (バイオ関連) の対象
NATO (North Atlantic Treaty Organization)	科学技術のトレンド 2020-2040 (2020/3)	バイオテクノロジーと人間の強化 ・バイオインフォマティクスとバイオセンサ ・人間拡張 ・医療対策とバイオ医療技術 ・合成生物学
CFG (Center Future Generations)	今すぐ行動すべき 5つのエマージングテクノロジー (2024/3)	ニューロテクノロジー バイオテクノロジー
WEF (World Economic Forum)	2024年のトップ10 エマージングテクノロジー (2024/6)	移植のためのゲノミクス

これらの潮流は、生命現象の多面的で精緻な理解と制御に向けた基盤整備が急速に進むことを示しており、その影響はヘルスケア全般に波及している。近年は、遺伝要因に加え、代謝・腸内菌叢・生活習慣等の統合的管理が重視され、「精密栄養(Precision Nutrition)」関連の技術革新に期待が高まっている。

(3) 政策動向

バイオエコノミーの定義・範囲は国際的に統一されておらず、世界各国は自国の定義と戦略を策定し、取組を加速している。我が国では 2024 年 6 月に『バイオエコノミー戦略』⁶を公表し、5 つの重点市場(バイオものづくり・バイオ由来製品、持続的・一次生産システム、木材活用大型建築・スマート林業、バイオ医薬・再生医療等、生活習慣改善ヘルスケア・デジタルヘルス)を設定した。民間投資を喚起し、2030 年に国内外で 100 兆円規模の市場創出を目指す。

各国の共通した特徴として、バイオものづくり(Biomanufacturing)を戦略の中核に位置づけ、研究開発から社会実装まで一体的に支援している。OECD、ISO、UNEP 等による標準化・認証の国際議論も進展している。さらに、先進国を中心に高齢化に伴う医療費・介護費の増大に対処すべく、予防・健康増進の重点化は世界的な潮流である。我が国の『バイオエコノミー戦略』では、生活習慣改善ヘルスケア、デジタルヘルス領域の国内外の市場規模として、39.1 兆円(2030 年)を目指す目標が掲げられている。また、『新しい健康社会の実現に向けた「アクションプラン 2023」』⁷では、医療 DX や健康経営等の施策を推進することで、公的保険外のヘルスケア・介護に係る国内市場規模として、累計 77 兆円(2050 年)を目指す目標が掲げられている。

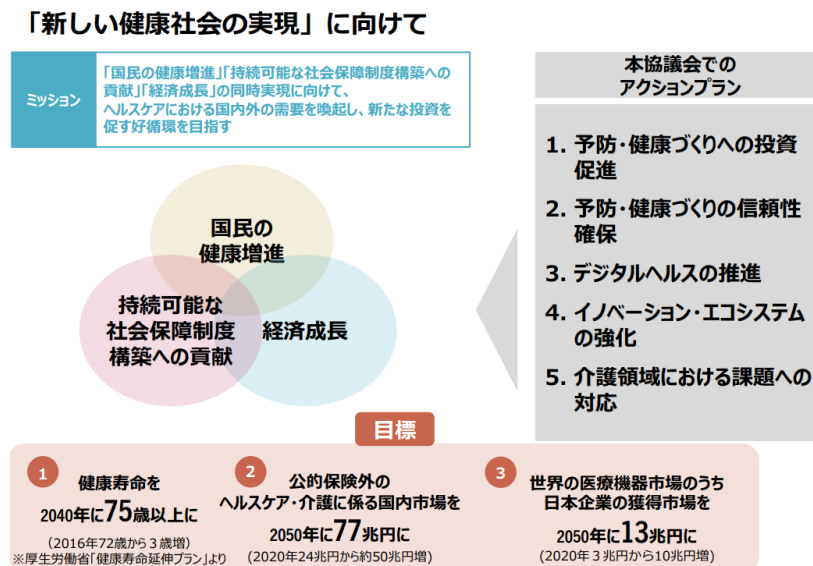


図 3-6-3 新しい健康社会の実現に向けた「アクションプラン 2023」の概要

⁶ バイオエコノミー戦略(令和 6 年 6 月 3 日 統合イノベーション戦略推進会議決定)
<https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/index.html> (2026 年 3 月閲覧)

⁷ 新しい健康社会の実現に向けた「アクションプラン 2023」(健康・医療新産業協議会、2023 年 8 月)
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/kenko_iryu/20230824_report.html (2026 年 3 月閲覧)

3-6-4 社会課題の解決のために取り組むべき領域(F): 高度センシングによる先制ヘルスケア (精密栄養と環境防疫を基軸とした行動変容モデル構築)

世界各国が独自戦略の下に取組を加速する中、本分野では短期・中長期的な視点で戦略をローリングし、実装・改善を続けることが重要である。本検討では、カーボンニュートラル(CN)、サーキュラーエコノミー(CE)、ネイチャーポジティブ(NP)、HE という一般的にオーソライズされた社会課題(M)に対し、貢献する提供価値(F)と具体的手段(T)の関係を明らかにするため、図 3-6-4 (MFT ツリー:概要図)を作成した。今後も新たな社会課題の設定と MFT 分析を継続し、見落とされがちな領域におけるイノベーション発掘とフロンティア領域の探索につなげる。

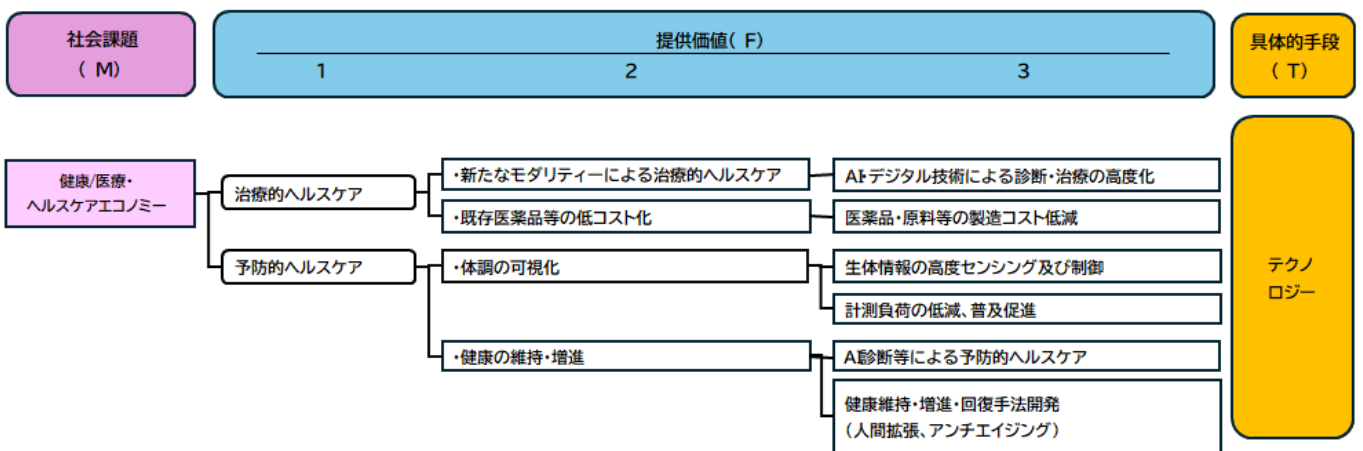


図 3-6-4 MFT ツリー(概要図)

図 3-6-4 では、HE は「治療的ヘルスケア」と「予防的ヘルスケア」に大別される。

本増補版では、HE の提供価値のうち「予防的ヘルスケア」に焦点を当て、その課題構造と取り組むべきフロンティア領域を明確にするため、図 3-6-5 (ロジックモデル:MFT)を整理した。

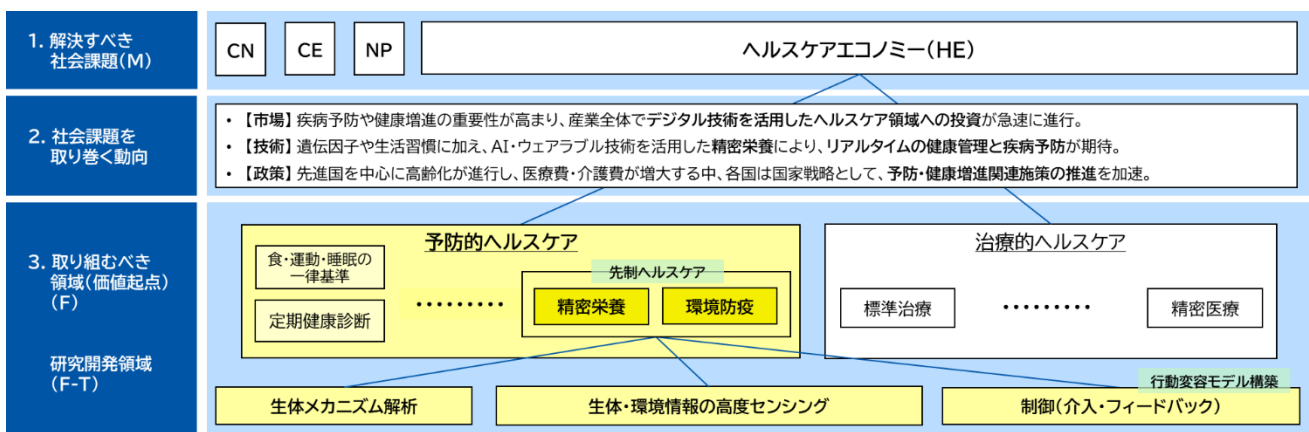


図 3-6-5 フロンティア領域のロジックモデル(MFT)

予防的ヘルスケアは、必要な行動を継続することが難しいという課題がある。その主要因の一つとして、日々の行動と健康成果(アウトカム)との因果関係が可視化されにくい点が挙げら

れる。例えば、食習慣を改善しても効果が実感しづらい、運動を行っても成果が表れるまで時間を要する、あるいは評価が年に数回の検査に限定されるなど、行動変容のためのモチベーションが継続しにくい状況が生じている。すなわち、予防的ヘルスケアにおいては、従来の年数回の検査・診断といった断続的な評価に加えて、個人の生活環境や生活習慣(食事・運動・睡眠等)、ストレス負荷に対する生体応答、代謝状態の変動、更に数か月単位で徐々に変化する生体機能を日常生活下で負荷なく継続的に取得・可視化することが求められる。その実装において中心的な役割を果たすのが、「高度な生体センシングに基づく行動変容」である。

なかでも栄養摂取は、日常生活において最も重要であり、かつ制御可能性の高い生体への入力要素である。そのため、近年では、生活習慣や代謝特性に基づき個人への最適化を図る「精密栄養(Precision Nutrition)」が注目を集めている⁸。しかし、精密栄養を実効的な行動変容につなげるためには、栄養介入が生体指標に与える影響を定量的に把握し(図 3-6-6)、その変化を個人に適時フィードバックする仕組みが不可欠である。すなわち、予防的ヘルスケアでは、個人データの縦断的变化を適切にフィードバックし、その好循環を通じて行動変容をより自発的かつ持続的なものへと誘導することが重要となる。

さらに、高齢者においては、健康指標の個人差が大きいため、一般的な標準値との比較のみでは適切な評価につながりにくい。むしろ、個人のベースライン値を基準とし、過去の自身のデータとの変化に基づいて評価する方が、介入効果の解釈がより明確となる。

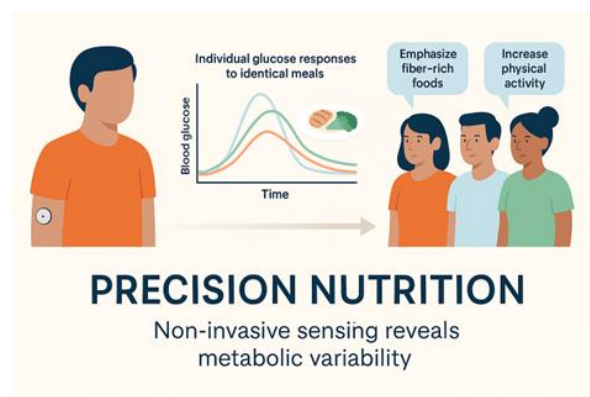


図 3-6-6 精密栄養の概念図

※同じ内容の食事を摂っても、血糖値推移には個人差がある一方で、その違いは計測しなければ分からない。

⁸ 次世代型食・栄養研究 ～地球環境の持続可能性とヒトの健康を両立する食・栄養の実現へ(JST CRDS、2025年3月)
<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2024-SP-03.html> (2026年3月閲覧)

精密栄養(Precision Nutrition)及び環境防疫に関する高度センシングに基づき、行動変容を実現するための仕組みを図 3-6-7 に示す。

精密栄養の観点からは、はじめに、生体メカニズムの理解に基づいて、介入においてモニタリングすべき生体情報(バイオマーカー)を特定する((1))。続いて、これらのバイオマーカーが日常生活の中でどのように変動するかを把握するため、非侵襲または低侵襲の技術を用いて継続的な計測を実施する((2)・(3))。収集した多角的データを解析し、個々の生理状態に最適化された介入方針を設計・提示する((4))。その後、介入による反応を再び(2)及び(3)の計測系で評価し、データ駆動型のフィードバックループとして次の介入に反映させる。さらに、環境中の病原体や有害物質等を対象とした防疫/環境センシングにより、曝露リスクを継続的に可視化し、個人の行動の最適化と連動した社会レベルの「先制ヘルスケア」を実現する((5))。

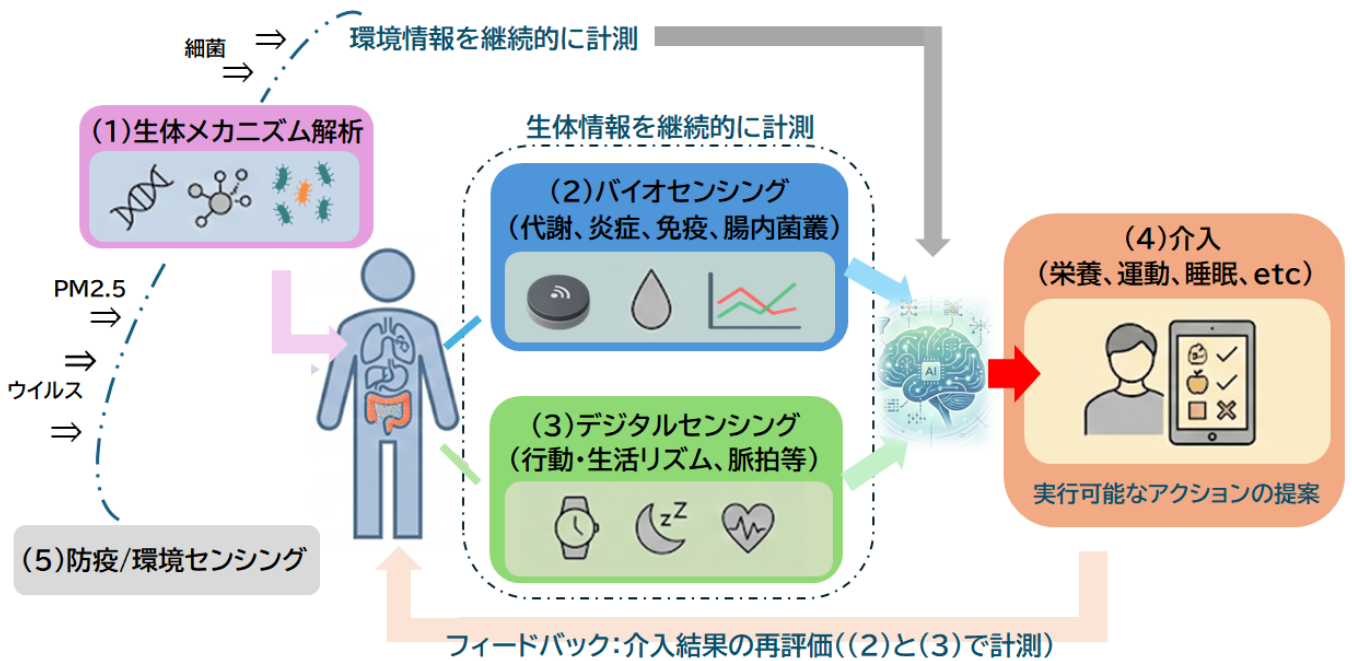


図 3-6-7 生体・環境情報の継続的センシングが実現する先制ヘルスケアの個別最適化

※精密栄養を行動変容に繋げるには、介入応答の可視化・フィードバックが重要である。

上述の「個人に最適化された先制ヘルスケアの実現」について、その将来性、技術・アイデアの革新性、日本の優位性、民間のみで取り組む困難性、重要経済安保技術、更にその他特筆すべき理由の観点を踏まえ、以下に要点を整理する。

①将来性(成長性・社会課題)

先進国を中心に、高齢化と慢性疾患の増大、それに伴う医療費及び介護費の増大を背景に、従来の治療中心から予防・健康増進中心へと資源シフトし、保険システムの再構築が加速している⁹。

日本では、健康寿命の延伸を最重要課題として位置づけ、2050年の公的保険外のヘルスケアサービス産業の市場規模を77兆円(健康づくり:58.1兆円、介護:18.9兆円)まで拡大させる目標を掲げる(2020年は24兆円)¹⁰。

②技術・アイデアの革新性

疾病予防には、従来の画一的な基準には限界があり、ライフスタイルや個人の生物学的特性(遺伝子、代謝、腸内菌叢等)に基づいた介入が有効である。個人に最適化した先制ヘルスケアの実現には、分子生物学、オミックス解析、データサイエンス、そして、体調・環境で変化する免疫、代謝特性をセンシングするデバイスの開発等、分野横断的な要素技術の革新と融合が鍵となる。

③日本の優位性

腸内菌叢に関する世界規模のデータベースを構築済みである¹¹。腸管機能(受容体・免疫)に関する研究にも強みを有する¹²。また、世界に先駆けて機能性表示食品の制度を整備し、科学的根拠に基づいた食品開発の土壌がある¹³。センサー、光学機器、素材産業において、世界トップレベルの技術を有している。

④民間のみで取り組む困難性

個人の生物学的特性と体調に関する科学的根拠の集積には、巨額の研究開発投資が必要である。ヘルスケアビジネスには、規制の不確実性(グレーゾーン)があり、国の積極的な支援と環境整備が不可欠である。

⁹ Declaration on Building Better Policies for More Resilient Health Systems(OECD, 2024)
<https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0500> (2026年3月閲覧)

¹⁰ 新しい健康社会の実現に向けた「アクションプラン 2023」(健康・医療新産業協議会、2023年8月)
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/kenko_iryu/20230824_report.html (2026年3月閲覧)

¹¹ 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所(NIBN), Japan Microbiome Database(NIBN JMD)
<https://microbiome.nibiohn.go.jp/> (2026年3月閲覧)

¹² 食品の機能性表示制度について(消費者庁食品表示企画課, 2015年12月)
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/kenko_iryu/20230824_report.html (2026年3月閲覧)

¹³ 國澤 純, 合田 昌史, 清野 宏, 「腸管免疫のユニーク性の解明と粘膜ワクチンへの展開」, 薬学雑誌, 127(2), 2007.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/127/2/127_2_319/pdf (2026年3月閲覧)

⑤重要経済安保技術

疾病による労働力喪失や医療費増大は経済的な脅威である。予防技術は人的資本の維持と社会保障の確保に不可欠である。バイオセンサーや AI 診断等は次世代産業の中核であり、技術覇権のために、自国開発が不可欠である。生体情報は、国家・企業の競争力と安全を左右する戦略的資源であり、自国で収集し、管理する必要がある。

⑥その他特筆すべき理由

日本は高齢化に伴う社会課題の「先進国」であり、本領域で培った予防技術(バイオセンサー、AI 診断、ウェアラブル、栄養・生活習慣介入)は、ハード・ソフト統合型ソリューションとして、輸出が期待できる。

先制ヘルスケアは、疾病や健康リスクが顕在化する前段階での介入を可能にするため、個人と社会という異なるレイヤーにおける高度センシングを基盤とする。

個人レベルでは、精密栄養に代表される生体センシングにより、栄養応答や代謝状態の個人差を捉え、個別化された予防介入を実現する。また、社会レベルでは、防疫を目的とした環境中ウイルスのリアルタイムセンシングにより、感染症リスクを集団単位で把握し、社会システムとしての先制ヘルスケアを支える。

以上を踏まえ、『精密栄養と環境防疫を基軸とした行動変容モデル構築』をフロンティア領域等として提案する。次節では、本節で整理した提供価値(F)を現実の行動変容へと結び付けるための具体的手段(T)について、整理する。

3-6-5 取り組むべき具体的な手段(T)のテーマ例

個人が日常生活において先制ヘルスケアを負荷なく実現する、すなわち、個別最適化するには、生活環境、生活習慣(食事、睡眠、運動等)やストレスに対する生体応答、代謝状態の変化、また、数か月にわたって徐々に変化する生体機能を日常生活下で負荷なくリアルタイムに、かつ継続的に計測を実現する高度な生体センシング技術の実現が求められる。

生体成分のリアルタイム計測の実現例として、連続血糖モニタリング(Continuous Glucose Monitoring:CGM)が挙げられる。CGMは、グルコースを特異的に酸化する酵素(グルコースオキシダーゼ)をセンシング素子として利用し、低侵襲的に皮下間質液中のグルコース濃度を日常生活において継続的に計測することをウェアラブルデバイスで実現している。近年では、糖尿病患者の血糖コントロールを目的とした医療用途のみならず、糖尿病非発症者のヘルスケア、ウェルネス用途(血糖モニタリング)においても市場が拡大している。同事例は、生体センシングが、個人の自発的な健康維持に寄与し得る可能性を示した例と言える。一方で、広範な人を対象に先制ヘルスケアを実現するには、血糖値に限らず、代謝状態、炎症・ストレス応答、免疫活性等に関わる生体指標を継続的に計測可能な次世代生体センシング技術の実現が望まれる。利用者に負荷をかけないウェアラブルなセンシングデバイスにおいては、特に次の要件を満たすことが求められる。

1. 実用上、十分なリアルタイム計測
2. 連続・長期の使用に耐える安定性
3. 小型化・低消費電力
4. 計測デバイスの生体適合性及び装着快適性
5. 単一デバイスによるマルチセンシング

スマートフォンやウェアラブルデバイスを起点としたデジタルバイオマーカー(Digital Biomarker:DBM)は、非侵襲かつ連続的なデータ取得が可能であり、簡便に行動や生理状態(心拍数、血圧等)の変化を捉える点で大きな利点を有する。一方で、現行のデジタルバイオマーカーは集団平均モデルに基づくものが多く、層別化や個別化への展開は限定的である。また、その多くは表現型や疾患リスクとの統計的相関に基づいて定義されており、生体メカニズムとの対応関係が必ずしも明確ではないケースもある。DBMを単独で用いるのではなく、生体メカニズムに基づいて選定された生体分子の変化と組み合わせることで、介入に対する応答を簡便に捉える指標として位置づけることも期待できる。その結果、DBMの感度・特異度を向上させるとともに、DBMを対象群別に最適化することも期待できる。

上述の実現への寄与が期待される具体的な手段(T)について、以下に論じる。

(1) 生体メカニズム解析

(i) 多層オミックス解析

多層オミックス解析は、ゲノムから代謝物まで複数の階層の分子情報を統合し、生体内の分子機構を体系的に理解するための中核技術である。統合解析には、生物学的ネットワークに基づく解析手法(図 3-6-8)¹⁴や深層生成モデルを含む機械学習アプローチ¹⁵、更に、複数のオミックスデータを俯瞰して統合する戦略¹⁶が用いられ、複雑な生体反応の因果関係の解明に寄与している。一方で、データの異質性や解析手法の標準化の不足、計算コストの高さといった課題が指摘されている¹⁷。

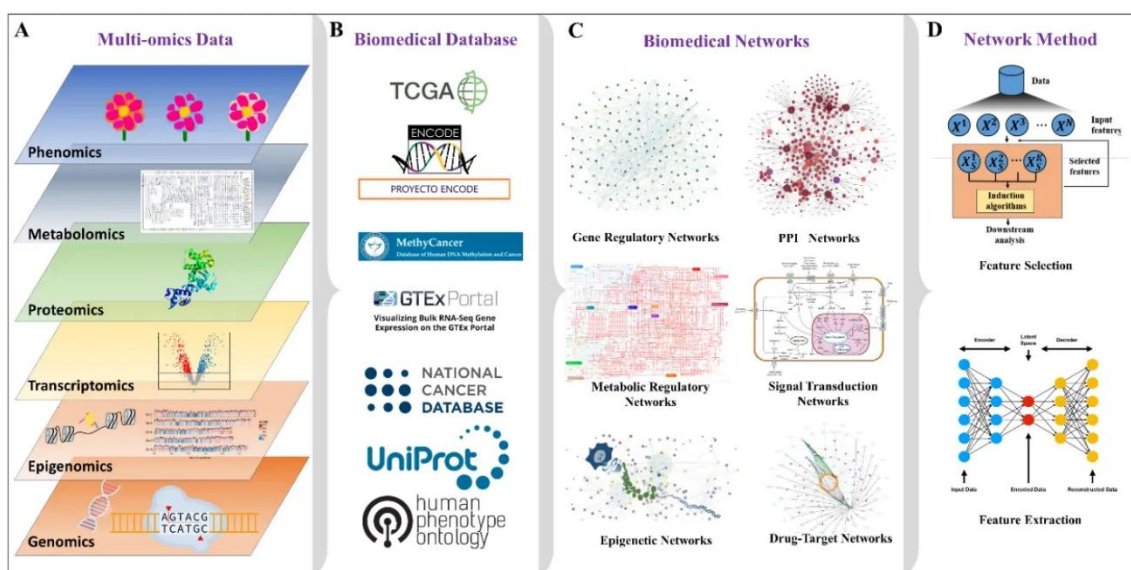


Fig. 1 A workflow diagram from omics data generation to network-based analysis. (A) Integration of multi-omics across the major omics layers (genomics, epigenomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, and phenomics); (B) The aggregation and archiving of multi-omics data into specialized databases, showcasing how these data repositories support standardization, preservation, and accessibility of large-scale biological data; (C) Multi-omics data extracted from databases are used to construct various biological networks (GRNs, PPI networks, MRNs, STNs, epigenetic networks, DTIs). The complex interactions in these networks reflect different biological activities; (D) The application of network-based analytical techniques to decipher the constructed networks. It includes methods like network feature selection methods and feature extraction methods]

図 3-6-8 オミックスデータ生成からネットワークベース解析までのワークフロー

¹⁴ Network-based multi-omics integrative analysis methods in drug discovery: a systematic review(W. Jiang et al., BigData Mining, 18 (27), 2025)

<https://link.springer.com/article/10.1186/s13040-025-00442-z> (2026年3月閲覧)

¹⁵ A technical review of multi-omics data integration methods: from classical statistical to deep generative approaches(A. R. Baião et al., Briefings in Bioinformatics, 26 (4), 2025)

<https://academic.oup.com/bib/article/26/4/bbaf355/8220754> (2026年3月閲覧)

¹⁶ Integrating Molecular Perspectives: Strategies for Comprehensive Multi-Omics Integrative Data Analysis and Machine Learning Applications in Transcriptomics, Proteomics, and Metabolomics(P. H. Godoy Sanches et al., Biology, 13 (11), 2024)

<https://www.mdpi.com/2079-7737/13/11/848> (2026年3月閲覧)

¹⁷ A technical review of multi-omics data integration methods: from classical statistical to deep generative approaches(A. R. Baião et al., Briefings in Bioinformatics, 26 (4), 2025)

<https://academic.oup.com/bib/article/26/4/bbaf355/8220754> (2026年3月閲覧)

このような課題はあるが、多層オミックス解析は、個人の代謝特性の違いを高精度に把握することができるため、食事反応の予測や栄養介入の評価といった「精密栄養 (Precision Nutrition)」の発展において有用である。また、疾病研究で蓄積された統合解析の知見は栄養科学にも応用可能であり、代謝変動の理解や新たなバイオマーカー探索への貢献が期待される¹⁸。

くわえて、多層オミックス解析は、腸内菌叢(マイクロバイーム)の機能解析、バイオマーカー探索において、解析効率とマーカーの信頼性を大きく高める利便性を備えている。従来の解析では、特定の菌が、偶然そこにいただけなのか、実際に生体影響に關与しているのかを判断できず、候補の絞り込みに膨大な時間を要していた。しかし、多層オミックス解析によって、菌の存在(DNA)とその菌が産生する代謝物をセットで特定できれば、生体影響のメカニズムに直結する候補を迅速に抽出できる。この手法の最大の利便性は、複数のオミックス層で共通して現れる変動を裏付けとして利用できる点にある。これにより、ノイズに惑わされることなく、有望なバイオマーカー候補を効率よくスクリーニングすることが可能となっている。

なお、多層オミックス解析をバイオマーカー探索の主軸としつつ、必要に応じて、栄養介入に伴う生体応答の初期過程を補足的に検討する手法として、NV センター(量子センシング)を用いた超高感度の物理量計測への活用の可能性も考えられる。

(ii) 腸内菌叢(マイクロバイーム)の機能解析

腸内菌叢(マイクロバイーム)は、食事由来成分の代謝や免疫調節を通じて健康に深く関わっており(図 3-6-9)¹⁹、その構成は個人間で大きく異なる上、微生物間の相互作用も複雑である²⁰。そのため、腸内菌叢の全体像と機能を把握するには、多層オミックスを統合する高度な解析技術が必要とされる²¹。さらに、腸内環境は食事や生活習慣によって動的に変動するため、個人レベルでの代謝応答を理解するには、因果推論を含む精緻な解析が求められる²²。

このような課題はあるが、腸内菌叢の機能解明は、新たなバイオマーカーの発見や疾病リスク評価に貢献し得ることに加え、腸内微生物の特性に基づいた個別の食事設計を

¹⁸ Nutrigenomics meets multi-omics: integrating genetic, metabolic, and microbiome data for personalized nutrition strategies(A. Nourazarain et al., Genes & Nutrition, 20 (30), 2025)
<https://link.springer.com/article/10.1186/s12263-025-00790-9> (2026年3月閲覧)

¹⁹ Unraveling the Gut Microbiota: Implications for Precision Nutrition and Personalized Medicine(A. Abeltino et al., Nutrients, 16 (22), 2024)
<https://www.mdpi.com/2072-6643/16/22/3806> (2026年3月閲覧)

²⁰ Gut microbiome-mediated transformation of dietary phytonutrients is associated with health outcomes(L. Zhang et al., Nature Microbiology, 11, 2025)
<https://www.nature.com/articles/s41564-025-02197-z> (2026年3月閲覧)

²¹ Microbiome multi-omics analysis reveals novel biomarkers and mechanisms linked with CD etiopathology(G. Serrano-Gómez et al., Biomarker Research, 13 (85), 2025)
<https://link.springer.com/article/10.1186/s40364-025-00802-1> (2026年3月閲覧)

²² Effects of a personalized nutrition program on cardiometabolic health: a randomized controlled trial(K. M. Bermingham et al., Nature Medicine, 30, 2024)
<https://www.nature.com/articles/s41591-024-02951-6> (2026年3月閲覧)

可能とする「精密栄養(Precision Nutrition)」の発展にも寄与する重要な研究領域である²³。

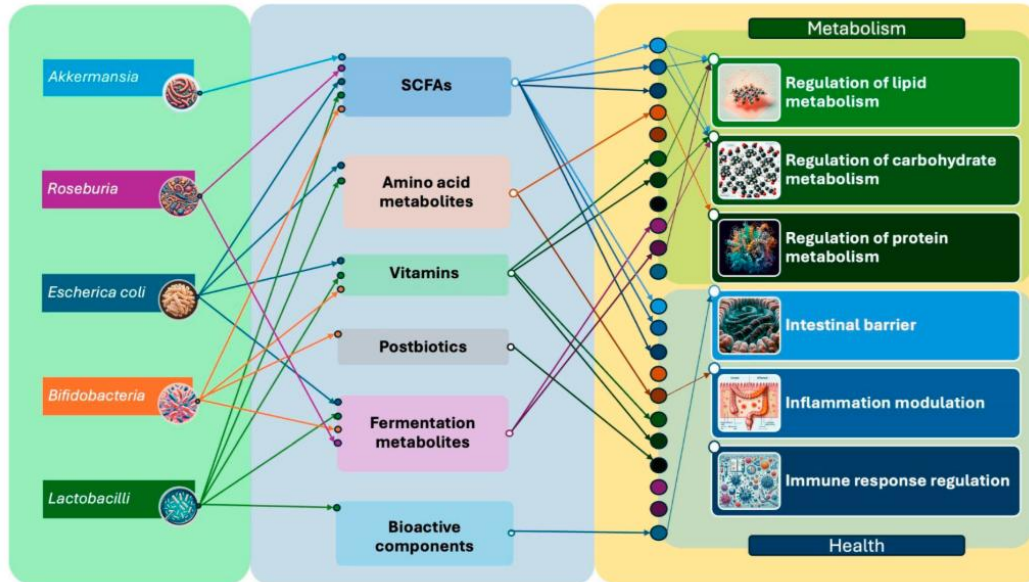


Figure 3. Schematic representation of the interactions between gut microbiota, their metabolites, and their effects on human metabolism and health.

図 3-6-9 腸内菌叢とその代謝物がヒトの代謝・健康に及ぼす影響の相互作用

²³ Human Gut Microbiome: A Connecting Organ Between Nutrition, Metabolism, and Health(S. Valencia et al., Int. J. Mol. Sci., 26 (9), 2025)
<https://www.mdpi.com/1422-0067/26/9/4112> (2026 年 3 月閲覧)

(2) バイオセンシング

生体分子のリアルタイム計測技術の代表例として、連続血糖モニタリング(CGM)が挙げられる。一方、先制ヘルスケアを広範なヒトを対象に実現するには、血糖値にとどまらず、代謝状態、炎症反応、免疫活性、ストレス応答等、より多様な生体指標を連続的に計測可能とするセンシング技術の開発が求められる。

図 3-6-10 に生体分子センシングデバイスの一般的な構成要素を示す。デバイスは、測定対象分子を特異的に認識する認識素子、認識素子を担持する電極系、それらを固定するフレキシブル基材、そして、信号処理回路及び電源から構成される。近年、デバイスの更なる小型化及びウェアラブル化を実現するため、各構成要素における材料・デバイス・回路技術の研究開発が精力的に進められている。

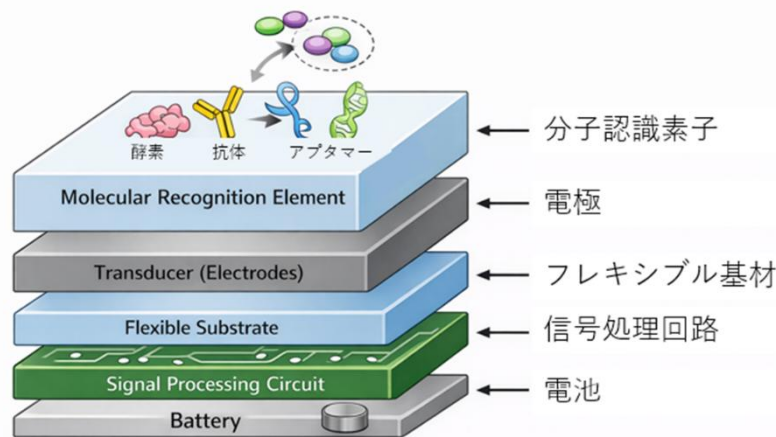


図 3-6-10 生体分子センシングデバイスの一般的な構成要素(概念図)

以下に各構成要素の研究開発動向と具体例を示す。

(i) 生体分子認識素子

近年、バイオセンシングの素子開発において、網羅的スクリーニングや経験に依存した素子探索から、分子構造や機能に基づく合理的設計へと大きなパラダイムシフトが進んでいる。従来、素子用途の酵素開発では、測定対象を基質とする酵素の探索が中心であり、また、抗体開発においても動物免疫に基づく取得プロセスに多大な時間と労力を要していた。

現在では、AI を活用した構造生物学及び計算科学の進展により、センサー素子として望ましい機能を有する酵素の立体構造について、基質認識や電子移動特性を考慮した分子設計が可能となりつつある。同様に、抗体に代わる認識素子として、*in vitro* で選抜・合成可能なアプタマーが登場し、取得や利用に関する従来の課題を軽減している。

a) 電気伝導型酵素(DET 型酵素)

酵素は、生体成分の連続計測における分子認識素子として確固たる実績を有しており、その代表例が連続血糖モニタリング(CGM)である。本技術は、酵素が生体刺激を電子信号へと変換する機能を活用することで実現され、糖尿病管理をはじめとする臨床応用を通じて、多くの人々の QOL 向上に寄与している。このような成功事例の蓄積により、酵素は分子認識素子として成熟した既存技術の一つとして受け取られがちである。しかし、近年、構造生物学及び情報科学の急速な進展により、酵素はもはや単なる天然由来材料ではなく、機能や応答特性を設計可能な分子デバイスへと移行しつつある。

このような背景の下、酵素の中でも電気伝導型酵素(Direct Electron Transfer Enzyme; DET 型酵素)は、外部メディエータを介さずに電極と直接、電子授受できる特性から、次世代バイオセンシングにおいて特に注目を集めている(図 3-6-11)²⁴。この方式では、酵素固有の標準酸化還元電位に近い電位で作動可能であるため、妨害反応を抑制した高い選択性と感度を実現できる。また、メディエータを必要としない簡素な構成が可能であることから、マルチセンシング用バイオセンサーの認識素子としても大きな利点を有する。

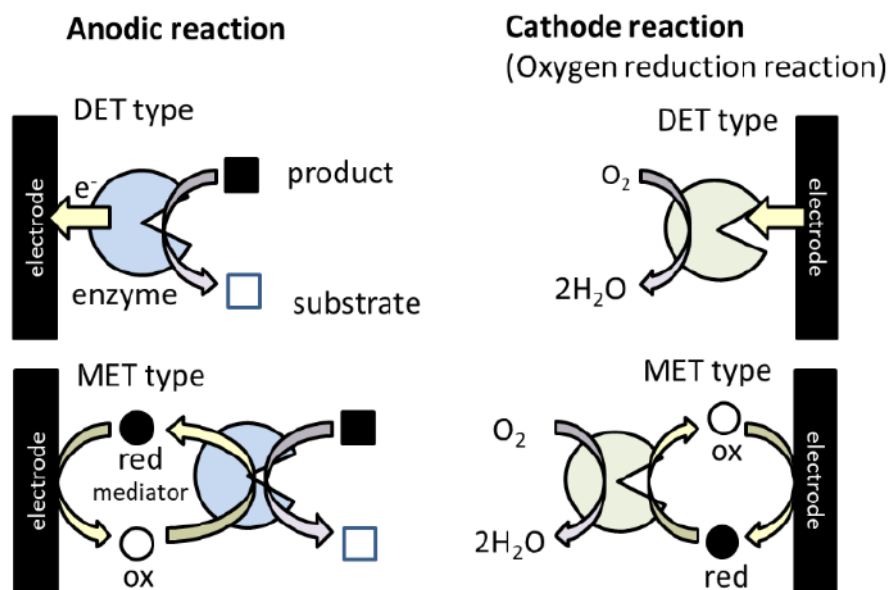


図 3-6-11 DET 型酵素のメカニズム

上: 酵素が電極に対して直接的に電子を受け渡す(DET 型)

下: メディエータを介して電子を受け渡す(MET 型)

一方で、目的基質を認識し、かつ DET 能を示す酵素を天然から見いだすことは極めて困難である。効率的な DET を実現するためには、一般に活性中心と電極表面との距離を約 10~15 Å 以内に保つ必要があるが、多くの天然酵素(例えば、グルコース酸化

²⁴ Developments in Bioelectrocatalysis Using Rationally Designed Enzyme, Electrode Materials(S. Tsujimura, Electrochemistry, 92 (10), 2024)
https://www.researchgate.net/publication/383328380_Developments_in_Bioelectrocatalysis_Using_Rationally_Designed_Enzyme_Electrode_Materials (2026 年 3 月閲覧)

酵素)では、活性中心がタンパク質構造の深部(約 17~22 Å)に埋没している。さらに、活性中心の電極に対する配向性も電子移動効率を大きく左右する重要な因子であるため、これらの幾何学的制約により、多くの天然酵素は DET 能を示さない。

このような天然由来 DET 型酵素の希少性という課題に対し、外部メディエータに依存せず、酵素自体に電子授受機能を組み込んだ人工酵素や酵素工学的に改変された準人工酵素の創出が報告されている(図 3-6-12)²⁵。くわえて、DET 型モデル酵素である膜結合型 D-fructose dehydrogenase(FDH)の全体構造がクライオ電子顕微鏡により解明されたことで、芳香族残基(例えば、Trp)を介した電子移動経路や電極反応部位が特定され、DET 能の分子機序が明確化された(図 3-6-13)²⁶。これらの知見は、新規 DET 型酵素の合理的設計に向けた重要な指針を与えている。さらに、近年では、AI や計算科学を活用した de novo 酵素設計が急速に発展しており、電極との電子授受や検出対象との相互作用を設計段階から組み込んだ人工酵素の創出を通じて、理想的な応答特性を有する次世代認識素子を開発する道が拓かれつつある。

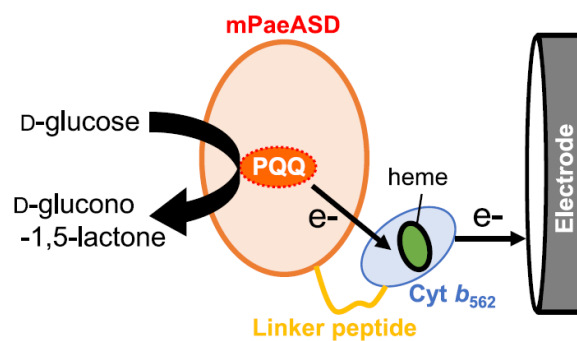


Fig. 1 Schematic illustration of mPaeASD-cyt b_{562} and its electron transfer pathway

図 3-6-12 mPaeASD-cyt b_{562} とその電子伝達経路の模式図

※MET 型である超好熱性古細菌 *Pyrobaculum aerophilum* 由来の PQQ 依存性アルドース糖脱水素酵素(PaeASD)に電子伝達タンパク質シトクロム b_{562} (cyt b_{562})を融合して DET 型酵素を作出。

²⁵ Creation of a highly stable direct electron transfer-type enzyme sensor by combining a hyperthermophilic dehydrogenase and natural electron mediator(M. Maeno et al., Biotechnology Letters, 47 (45), 2025)

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10529-025-03587-3> (2026 年 3 月閲覧)

²⁶ Essential Insight of Direct Electron Transfer-Type Bioelectrocatalysis by Membrane-Bound d-Fructose Dehydrogenase with Structural Bioelectrochemistry(Y. Suzuki et al., ACS Catalysis, 13 (20), 2023)

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscatal.3c03769> (2026 年 3 月閲覧)

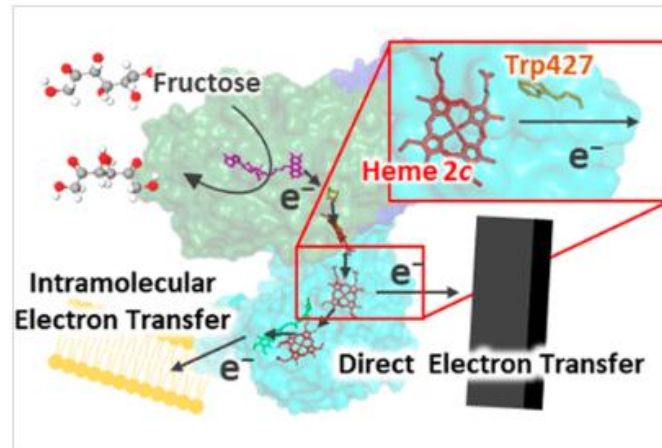


図 3-6-13 D-フルクトース脱水素酵素の立体構造と電気化学的特性に基づく直接電子移動(DET)のメカニズム

b) 核酸アプタマー

核酸アプタマーは、核酸高分子(20~100 塩基程度)であり、抗体に匹敵する高い特異性と感度を兼ね備え、小分子から複雑なタンパク質、細胞に至るまで広範なターゲットを認識する能力をもつ(図 3-6-14)²⁷。抗体とは異なり、化学合成可能であり、経済性と安定性において大きな利点がある。また、天然の核酸アプタマーはヌクレアーゼによる分解を受けやすい問題があるが、人工核酸の導入や化学的改変を施すことで、実用的な安定性を確保することが期待できる。アプタマーの柔軟な設計により、酵素では検出が困難なタンパク質に対しても、分子認識素子として機能させることができる可能性がある。アプタマーによるセンシングは、計測対象分子との結合に伴う構造変化を利用するが、結合した分子の解離に一定の時間を要するため、酵素と比べると連続測定における時間分解能が低くなる可能性がある点は留意が必要である。今後は、構造設計や電極界面制御、信号変換機構の高度化により、応答速度や可逆性の課題を克服し、連続測定型バイオセンサーへの適用の可能性が拡大することが期待される。

²⁷ A Brief Review of Aptamer-Based Biosensors in Recent Years(W. Wang et al., Biosensors, 15 (2), 2025)
<https://www.mdpi.com/2079-6374/15/2/120> (2026 年 3 月閲覧)

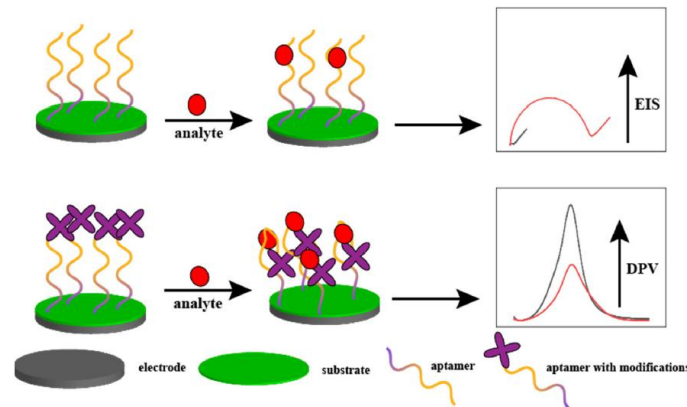


Figure 1. Aptamer-based detection mechanism for electrochemical sensors. The upper figure shows the electrochemical impedance method, which results in an increase in electrochemical impedance when the analyte binds to the aptamer; the lower figure shows the current method, which results in an increase in induced current when the analyte binds to the aptamer, causing the signaling molecules at the end of the aptamer to approach the electrode interface.

図 3-6-14 アプタマーを用いた電気化学センサーの検出メカニズム

上:インピーダンス法…分子がアプタマーに結合すると電気化学インピーダンスが増加。

下:電流法…分子がアプタマーに結合するとアプタマー末端のシグナル分子が電極界面へ近づき、誘導電流が増加。

c) その他

その他、人工細胞、受容体タンパク質・イオンチャネル、分子インプリントポリマー、レクチン等についても、生体分子認識素子としての応用が期待されている。特に、生物由来の機能を活用した分子認識素子に関する研究開発は、近年の合成生物学の急速な進展や AI を用いた分子構造設計技術の高度化を背景として、新たな発展段階へ移行しつつある。これらの技術は、天然分子の高選択性・高親和性と人工設計による高い安定性・チューニング自由度を統合し、次世代の高機能センシングデバイスの構築に大きく寄与することが期待される。

(ii) 電極及び基材開発

ウェアラブルバイオセンサーの研究開発においては、導電性と機械的柔軟性を同時に満たす弾性ポリマー基の導電性複合材料の活用が急速に進展している。特に、導電性高分子にグラフェンやカーボンナノチューブ等の炭素系ナノ材料を組み合わせた複合体は、高い電気伝導性と優れた機械的強度を併せ持ち、柔軟・伸縮性デバイスに適した材料系として注目されている²⁸。これらの材料は、従来の金属電極が有する伸縮性能の制限を克服し、電極と支持体の機能を一体化できる点で大きな利点を有する。

さらに、金や銀のナノ構造体を組み込んだ複合材料も高い導電性、耐久性、安定な界面特性を付与する目的で広く研究されている。このような材料設計によって得られた電極は、心電図(ECG)計測用電極、汗中成分のオンボディセンシング、身体運動を検知する伸縮性ひずみセンサー等、多様なウェアラブルデバイスへの応用が進んでいる²⁹。

²⁸ Behavior of Polymer Electrode PEDOT:PSS/Graphene on Flexible Substrate for Wearable Biosensor at Different Loading Modes(M. Aleksandrova et al., *Nanomaterials*, 14 (16), 2024)
https://www.mdpi.com/2079-4991/14/16/1357#Author_Contributions (2026年3月閲覧)

²⁹ Flexible Sensors Based on Conductive Polymer Composites(D. Zhao et al., *Sensors*, 24 (14), 2024)
<https://www.mdpi.com/1424-8220/24/14/4664> (2026年3月閲覧)

くわえて、単一材料系で複数の機能を統合する多機能化アプローチは、デバイス全体の薄型化・軽量化を促進し、装着時の快適性やユーザー体験の向上にも寄与している。

(iii) 自己給電デバイス

生体分子を継続的に計測する用途では、バッテリー容量の制限や交換の負担を克服する自己給電型ウェアラブルセンサーの実現が望ましい。その給電方法には、身体の動きを利用する物理的アプローチと生体成分を燃料とする化学的アプローチの二つの主要な動向がある。物理的な仕組みでは、圧電効果、摩擦帯電、電磁誘導、静電誘導を用いた発電技術の研究がある。これらは筋肉の収縮、心拍、歩行といった日常的な身体活動を電気エネルギーに変換し、ナノ材料や柔軟なフィルムを用いることで高効率な電力回収を図っている。一方、化学的な仕組みでは、体液中の成分を燃料とするバイオ燃料電池の開発が進展している。特に、汗に含まれる乳酸や尿・血液中のグルコースを酵素で酸化させて発電する手法は、測定対象そのものをエネルギー源とするアプローチである。最近では、和紙に電極をスクリーン印刷した柔軟な乳酸バイオ燃料電池アレイが開発され、汗のみで無線通信や活動量計を駆動させることが可能となった。このような自己駆動型デバイスは、電池切れの懸念がないため、ヘルスケア用途に加えて、スポーツや介護現場におけるリアルタイムな体調センシングへの応用も期待される。

(3) デジタルセンシング

スマートフォンやスマートリング等のウェアラブルデバイスを利用して、日常生活における活動量、睡眠、心拍変動等のデジタルバイオマーカー(DBM)の連続的な計測が実現している³⁰。歩行速度やキー入力特性の解析といった行動センシングは、認知機能低下や疾患の予兆を捉える DBM として期待される。DBM は、非侵襲かつ大規模なデータ取得が可能であり、行動や生理状態の変化を継続的に捉える点で大きな利点を有する。また、ミリ波センサーやモーションキャプチャーを利用した高精度な行動データに基づいた早期疾病予測の可能性も報告されている。具体的には、高齢 2 型糖尿病患者の歩行における「足関節の運動範囲の減少」が、サルコペニアの早期発見に有用な DBM となることが報告されている³¹。この指標は歩行速度に左右されず、身体機能低下を検出できるため、従来の評価法よりも感度の高い早期発見ツールとなり得る。将来的には、スマートフォンの映像から関節の動きを推定する技術により、専門設備のない自宅等での非侵襲的な早期診断の実現が期待される。一方で、デバイス間の精度のばらつき、臨床的妥当性の確立、高度な個人情報保護や規制の整備が普及に向けた大きな課題である。

以上の(2)バイオセンシング及び(3)デジタルセンシングによって取得された多層的な生体情報を統合・可視化する技術として、近年では、個人の生理状態や行動特性を仮想空間上に再構築し、状態の把握や将来予測に活用するヘルスケアを目的としたデジタルツインが注目されている³²。なお、デジタルツイン技術の活用にあたっては、個人に紐づく生体情報や行動データを取り扱うことから、適切なデータ管理及び個人情報の保護が不可欠である。

(4) 介入としての精密栄養

精密栄養は、本章で示した先制ヘルスケアのフロンティア領域等の中核を成す概念であり、本節では、前段で述べた分子型バイオマーカー探索及び生体・デジタルセンシング技術を統合し、具体的な行動変容として実装する介入手段として位置づける。

精密栄養は、個人の遺伝学的背景、代謝特性、腸内菌叢、環境要因等の多層的データを統合し、推奨される食事を最適化することを目的とする新たな栄養科学である。従来

³⁰ Digital biomarkers: Convergence of digital health technologies and biomarkers(S. Vasudevan et al., Digital Medicine, 5 (36), 2022)

<https://www.nature.com/articles/s41746-022-00583-z> (2026 年 3 月閲覧)

³¹ Spatiotemporal and kinematic gait characteristics in older patients with type 2 diabetes mellitus with and without sarcopenia(T. Manabe et al., Scientific Reports, 15 (18000), 2025)

<https://www.nature.com/articles/s41598-025-00205-0> (2026 年 3 月閲覧)

³² H. K. Rudsari et al. Digital twins in healthcare: a comprehensive review and future directions, Front. Digit. Health, 7, 2025.

<https://www.frontiersin.org/journals/digital-health/articles/10.3389/fdgth.2025.1633539/full> (2026 年 3 月閲覧)

の画一的な食事指針から、個別化かつ動的に調整される食事介入への転換を促す領域として近年急速に研究が進んでいる。

本領域の進展を象徴する代表的研究として、イスラエル・ワイツマン研究所による大規模コホート解析が挙げられる³³。同研究グループは、800名の参加者を対象に1週間の連続血糖モニタリング(CGM)を実施し、計46,898件の食事摂取に対する血糖応答を詳細に評価した。その結果、同一の食事であっても食後血糖反応(PPGR)には大きな個人差が認められることが明らかとなり、特定の食品は、ある個人では血糖上昇をほとんど引き起こさない一方、別の個人では急峻な上昇をもたらすといった高度に個別的な代謝応答が示された。

さらに、同研究所は、血液・身体計測データに加えて、腸内菌叢の構成及び機能的特徴を統合した機械学習モデルを開発し、未知の食事に対する個人のPPGRを高精度に予測するアルゴリズムの構築に成功した。これを用いた短期介入試験では、従来型食事指導を上回る血糖管理の改善効果が示され、腸内菌叢にも一貫して良好な変化が認められた。

このような国際的な潮流を踏まえ、米国国立衛生研究所(NIH)は、『2020-2030 Strategic Plan for NIH Nutrition Research』において、精密栄養を重点研究領域として明確に位置づけている³⁴。特に、Nutrition for Precision Health プロジェクトでは、約8,000名の多様な参加者を対象に、食事パターンに対する個別反応をAIで予測するアルゴリズム開発が進められており、医療現場及び日常生活で活用可能な個別化ヘルスケアの構築が目指されている。

以上のように、精密栄養は先制ヘルスケア実現の鍵となる日常的な体調維持・管理の個別最適化において重要な研究領域と言える。

腸内菌叢(マイクロバイーム)は、食事に対する代謝応答を規定する主要な決定因子であり、個体差の形成に大きく寄与することが知られている³⁵。先行研究では、腸内菌叢の構成が食後の脂質応答やPPGRの変動の相当部分を説明し、場合によっては食事に含まれる栄養素組成よりも強い影響を及ぼすことが報告されている。日本人向けの精密栄養の実装においては、和食、発酵食品、特有の調味料等、日本固有の食習慣が腸内菌叢に及ぼす影響を体系的に把握した国産マイクロバイームデータの整備が不可欠である。このような地域・文化特異的データが欠如した場合、日本人の生理的特性や食文化を十分に反映しない実効性の低い食事が推奨される可能性も懸念される。

³³ Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses(D. Zeevi et al., Cell, 163 (5), 2015)
[https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(15\)01481-6](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(15)01481-6) (2026年3月閲覧)

³⁴ Research gaps and opportunities in precision nutrition: an NIH workshop report(B. Y. Lee et al., Am. J. Clin. Nutr., 116 (6), 2022)
[https://ajcn.nutrition.org/article/S0002-9165\(23\)03718-8/fulltext](https://ajcn.nutrition.org/article/S0002-9165(23)03718-8/fulltext) (2026年3月閲覧)

³⁵ 医薬基盤・健康・栄養研究所のヒト腸内環境研究(細見 晃司、國澤 純、腸内細菌学雑誌, 39 (1), 2025)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jim/39/1/39_9/pdf (2026年3月閲覧)

これら(1)~(4)のように、メカニズムに基づく生体応答を可視化した上で、介入とフィードバックのループを構築することは、生体の分子応答レベルでの理解とデバイス開発、更に、データ解析と行動変容を個人レベルで統合的に接続するものであり、先制ヘルスケアを社会実装へと導く中核的な技術基盤である。

(5)防疫/環境センシング

先制ヘルスケアを多層的に実現するためには、精密栄養のように個人の行動を最適化する取組に加えて、個人では制御しにくい外的要因である環境中の病原性微生物を可視化し、防疫の仕組みを個人から社会レベルへと広げる技術の社会実装が望まれる。

環境中ウイルスのリアルタイム検出における第一の課題は、計測に供するウイルスの捕集と濃縮である。気中のウイルス濃度は極めて低いため、効率的な回収が困難であるが、例えば、湿式静電式サンプラーでは、溶解バッファを捕集電極に用いることで、核酸損傷を抑えつつ高い捕集効率を実現している(図 3-6-15)³⁶。しかし、長時間の安定稼働には捕集液の蒸発に伴う液量変動を制御すること求められる。第二の課題は、PCRに依存しない簡便で迅速な検出法の開発である。ウイルスの定量で一般的に用いられるRT-qPCR法は、高精度ながらも計測に時間を要し、専門機器や高度な技術を必要とする。これに対して、CONAN法(CRISPR-Cas3)³⁷やSHERLOCK³⁸等の技術は、最短1時間以内でPCR並みの高精度な検出を可能とする。これらの手法は、低コストかつ迅速であり、ウイルスの遺伝子配列の変異にも比較的簡便に対応できる。高効率な捕集技術と迅速な検出技術を統合することで、公共空間のウイルスを常時監視し、感染リスクを未然に把握する社会システムの構築が期待できる。

³⁶ Novel virus air sampler based on electrostatic precipitation and air sampling of SARS-CoV-2 (K. Fukuda et al., *Microorganisms*, 11 (4), 2023)

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37110367/> (2026年3月閲覧)

³⁷ CRISPR-Cas3-based diagnostics for SARS-CoV-2 and influenza virus (K. Yoshimi et al., *iScience*, 25 (2), 2022) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35128347/> (2026年5月閲覧)

³⁸ Nucleic acid detection with CRISPR-Cas13a/C2c2 (J. S. Gootenberg et al., *Science*, 356 (6336), 2017) <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aam9321> (2026年3月閲覧)

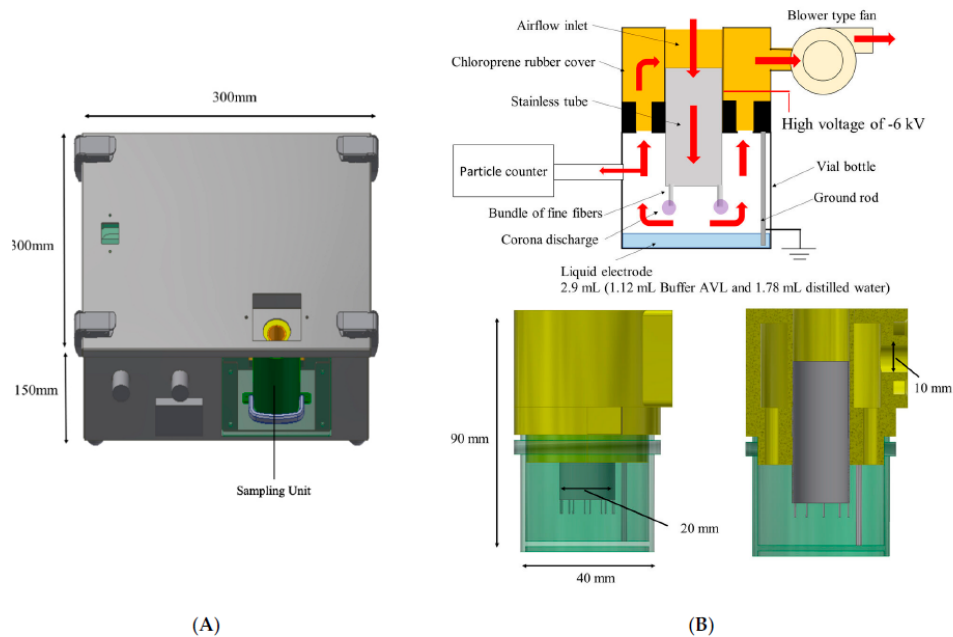


Figure 1. Schematic diagram of the developed electrostatic air sampler. (A) Exterior view of the air sampler. (B) Schematic diagram of the electrostatic sampling unit. Red arrows indicate the flow of air. The particle counter was installed to measure the particle collection efficiency.

図 3-6-15 湿式静電式サンプラー(模式図)

※湿式静電式サンプラー: 溶解バッファーを捕集電極に用いることで、核酸損傷を抑えつつ、高い捕集効率を実現。

また、早期に検出されたウイルスや細菌に対し、化学薬剤に依存せず、迅速かつ局所的で残留性のない防除を実現することで、防疫/環境の考え方を従来の「拡大後の抑制」から「初期段階での封じ込め」へと転換する基盤技術の実装が求められている。例えば、大気圧低温プラズマ³⁹や深紫外線 LED⁴⁰等の技術は、高度センシングによって検知された微量で局所的な病原体に対し、その場で即時に不活化処理を行う防疫技術としての展開が期待される。

以上のとおり、本節で整理した具体的手段(T)は、分子レベルの計測から行動変容としての介入、更に、環境・社会レベルの防疫に至るまで、先制ヘルスケアを多層的に実装する技術基盤を構成する。

³⁹ 大気圧低温プラズマを用いた殺菌・ウイルス不活化技術 (大澤 泰樹、沖野 晃俊、化学と工業 75-1, 2022)
<https://students.csj.jp/wp-content/uploads/2023/04/ko75-14-tokushu.pdf> (2026年3月閲覧)

⁴⁰ 深紫外光を用いた病原微生物の不活化 (南川 丈夫、日本レーザー医学会誌 45 (2), 2024)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsism/45/2/45_jsism-45_0028/pdf (2026年3月閲覧)

コラム 地域特有の再生可能資源を基盤とした循環型バイオ産業

Innovation Outlook ver. 1.0 では、バイオエコノミー分野の重点課題として「再生可能資源の活用による化石資源の削減」を取り上げた。本章では、この課題の中でも特に重要な論点であるバイオマス原料の持続的な活用に着目し、技術開発にとどまらず産業創出までを視野に入れた「地域特有の再生可能資源を基盤とした循環型バイオ産業」として、現状分析から将来展望までをまとめた。

一般に、どれほど優れた製造技術であっても、原料の安定供給が確保されなければ産業としての継続的な展開は難しい。バイオエコノミー分野においても同様であり、バイオマス原料の安定供給は、開発された技術を社会実装へとつなげる上で重要な課題の一つである。

この課題は、単に原料を調達するという問題にとどまらず、回収・集荷・前処理等の産業基盤の整備や長期的な事業展開を支える制度設計、更には、地域内での資源循環を通じた地域経済への波及といった観点を含め、中長期的な視点から全体構造を捉えることが求められる。

(1)現状と課題

バイオエコノミー分野において、現在、一般的にオーサライズされている社会課題(M)の中で、カーボンニュートラル(CN)、サーキュラーエコノミー(CE)、ネイチャーポジティブ(NP)の解決のために共通して貢献する提供価値(F)として、「再生可能資源の活用」が挙げられる。これは、将来像「自然共生経済」の実現にとって重要である。

その実現のためには、バイオマス資源や CO₂ を原料としてバイオ燃料やバイオマス由来素材等の有用物質を微生物生産する技術が有望となっており、グローバルに研究開発が進められている。

日本においても CO₂ を直接原料としたバイオものづくりが「グリーンイノベーション基金事業」⁴¹で、バイオ資源の利用については未利用資源(非可食バイオマス等)を原料とするバイオものづくりが「バイオものづくり革命推進事業」⁴²等で、それぞれ製造プロセスの高度化や実用化に向けた大規模な研究開発プロジェクトが進められている。

バイオマス資源を利用したバイオものづくりの社会実装の加速及びその拡大の実現のためには、原料の安定的・持続的な確保及び増産が必要となる。また、経済安全保障の観点から国内で調達することが望ましい。しかし、国内におけるバイオ製品や SAF 等の大規模生産では、糖質原料やバイオエタノール等の輸入原料を利用している。

一方、国内における未利用資源は、林業や農業の余剰生産物や残渣、食品加工業の副産物や廃棄物等がほとんどであり⁴³、未利用資源の生産量(供給量)は、主生産物の生産量や需要動向に依存するため、バイオものづくり産業の需要予測に応じた生産計画を立てることは困難である。

⁴¹ NEDO「グリーンイノベーション基金事業／バイオものづくり技術による CO₂ を直接原料としたカーボンリサイクルの推進」
<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/bio-manufacturing-technology/> (2026年3月閲覧)

⁴² NEDO「バイオものづくり革命推進事業」
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100246.html (2026年3月閲覧)

⁴³ NEDO「未利用資源のアベイラビリティ調査(バイオものづくり革命推進事業 俯瞰調査)」
 (2024年度)

国内に賦存するバイオマス資源として最も多いのは森林資源であるが、商業利用可能なものは木材用途に植林されたものであり、バイオものづくり用の原料として利用可能なものは副産物である合板にも適さない曲がり材、間伐材、枝条等である⁴⁴。特に林地残材は賦存量が多いが、林地内での集積には技術、労力、コスト等の面での課題がある。集積可能な資源についても林地外への運び出し、加工工場への輸送、木材チップへの加工、バイオ工場への輸送等にコスト、エネルギーを要することが課題となっている。

農業の余剰生産物や残渣、食品加工の副産物や残渣等をバイオものづくり原料として用いる場合、無価値あるいは極めて低価値の資源としてコスト計算してしまう傾向があるが、多くの場合、畑へのすき込みや燃料、飼料、肥料としての用途が既にあるため、その価値を踏まえた買い取り価格を設定しないと安定供給を可能にすることは難しい。したがって、未利用資源の価値を適切に設定したバリューチェーンの設定が重要となる。

このような状況を踏まえると、バイオマス資源の生産を前提とした農業や林業を確立し、これを起点としたバイオ産業としてのサプライチェーン、バリューチェーンを前提とした産業化の構想が重要と考えられる。また、バイオマス資源の生産は地域ごとの特性と深く関係しているとともに、輸送や貯蔵等のコストが課題であることから、地域内でのバイオマス資源から糖やエタノール、油脂等の原料あるいは製品製造までのサプライチェーンを地域内で構築することが有用である。さらに CN、CE、NP の観点から、地域内でのバイオマス資源の生産を起点とした循環型のバイオ産業、すなわち「地域特性を活かした循環型バイオ産業」を形成することが重要であり、さらに、その実現のためにはサプライチェーン全体として成長させるためのスキーム、施策が必要となる。

(2) 地域特有の再生可能な資源生産と循環型バイオ産業のポテンシャル

① 既存資源の増産、利用の拡張

i) てんさい産業

てんさいは、寒冷地に適した製糖原料作物であり、北海道における商品作物、輪作作物として重要な位置づけとなっている。北海道における製糖産業は、てんさい生産から製糖、残渣や副産物、廃棄物の有効利用も含めたバリューチェーン及びサプライチェーンの基盤が構築された地域における循環型のバイオ産業として確立している⁴⁵。例えば、北海道の広い範囲でてんさいが栽培されており、主要な生産地域の中心に位置するように製糖工場があって、全道をカバーした効率的に運搬・集積するロジスティックスが確立している。また、酵母や乳酸菌といった微生物や酵素の生産のプラントを有してバイオ事業を展開している製糖会社もある^{46,47}。したがって、地域特有の再生可能な資源生産

⁴⁴ 木質バイオマス燃料等の安定的・効率的な供給・利用システム構築支援事業(NEDO)
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100162.html (2026年3月閲覧)

⁴⁵ 日本甜菜製糖株式会社 Web ページ
<https://www.nitten.co.jp/> (2026年3月閲覧)

⁴⁶ 日本甜菜製糖株式会社 Web ページ
<https://www.nitten.co.jp/business/food/> (2026年3月閲覧)

⁴⁷ 北海道糖業株式会社 Web ページ
<https://www.hokutou.co.jp/bio/> (2026年3月閲覧)

を起点とした循環型バイオ産業の基盤が既に確立している(図 3-6-16)。一方、近年の砂糖消費の低減傾向や労働人口減少、脱炭素化対応等の課題の顕在化により、てんさい生産から製糖までの各種プロセスの高度化や新価値創造による新規事業創出等が重要になっていることから、新規の技術開発や環境整備等の施策によって、更なる産業拡大が期待される。例えば、日本甜菜製糖株式会社では、2025年に第2次中期経営計画の見直し⁴⁸の中で「てん菜糖業」から「てん菜産業」への飛躍を打ち出すとともにノルウェーの企業に出資して食料や飼料に資するマイコプロテイン生産の事業化を進めている。また、2025年度、ホクレン農業協同組合連合会が「バイオものづくり革命推進事業」に採択されており、余剰糖蜜を活用した微細藻類培養による油脂生産に関する技術開発、新規事業への展開が期待されている⁴⁹。

このような状況を踏まえると、てんさいの栽培及び製糖プロセスにおいて生産性を飛躍的に向上することで、副産物や余剰生産物等を用いたバイオものづくり産業の拡大が期待できる。てんさいの生産性向上のためには、高生産性、低肥料、超高糖性、高温耐性、病虫害耐性等を実現するための育種技術の高速化・高度化、バイオスティミュラント、土壌微生物叢・共生微生物叢を制御する土壌改良材の開発等が考えられる。

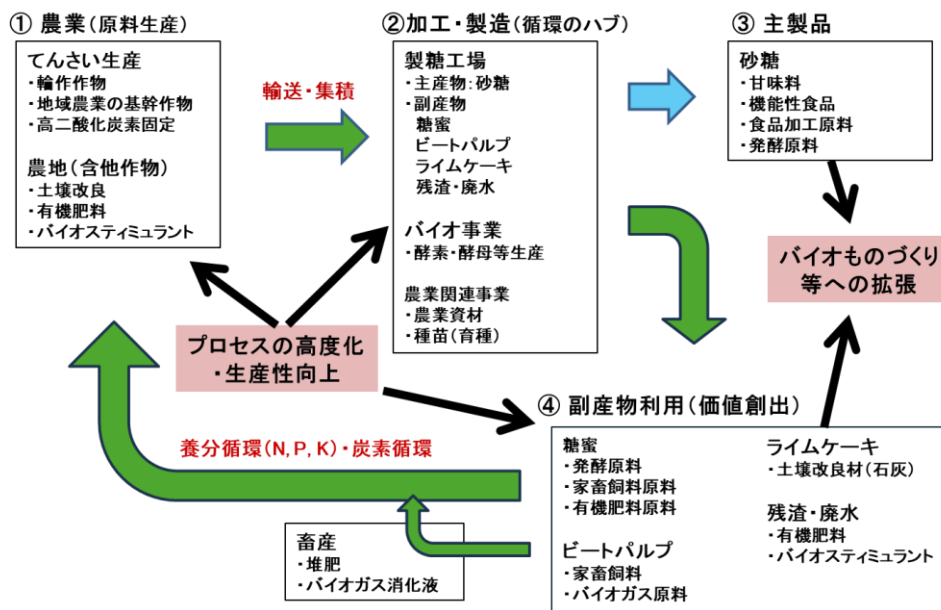


図 3-6-16 地域特有の再生可能資源を基盤とした循環型バイオ産業モデル
 (北海道における「てんさい産業」を事例として)

ii) でん粉産業

でん粉は、そのまま片栗粉等の食品として、あるいは、加工食品に添加して利用される他に、糖化製品や加工でん粉のように加工して利用されたり、グルタミン酸ソーダやビ

⁴⁸ 日本甜菜製糖株式会社 Web ページ
https://www.nitten.co.jp/dcms_media/other/2nd_medium_term_plan_revise_20250514.pdf (2026年3月閲覧)

⁴⁹ ホクレン農業協同組合連合会 Web ページ
<https://www.hokuren.or.jp/newsrelease/c6tjwkqcmfbu> (2026年3月閲覧)

ール、焼酎等の発酵や製紙、段ボール生産、医薬品生産等にも利用されたりしている⁵⁰。その中では糖化製品としての利用が最も多い。国内のでん粉供給量のうち 86%が輸入トウモロコシを原料とするコーンスターチであり、国内産はイモ類由来が主で、その内訳は、ばれいしょでん粉が6%、かんしょでん粉が 0.4%となっている。でん粉用のばれいしょは北海道で輪作体系を形成する基幹作物として、かんしょは九州で主に生産されており、いずれも地域農業や地域経済の上でも重要な位置づけとなっている。

余剰でん粉やでん粉製造の副産物等は、バイオものづくり等の原料としても期待される。例えば、「バイオものづくり革命推進事業」では、輸入トウモロコシから生産されるコーンスターチの規格外でん粉を原料として機能性糖質を生産するプロジェクトが進められている⁵¹。国内では、ばれいしょ(馬鈴薯)やかんしょ(甘薯)の栽培からでん粉生産、それらを利用した製造業のバリューチェーン、サプライチェーンが確立していることから、低肥料、高病害虫耐性、低コスト、低労力で機械化適性が高い、でん粉原料用品種の改良やバイオスティミュラント、微生物農薬といった先端的農業資材活用等の栽培技術の改良等、新規参入者でも大規模栽培が容易で高く安定な収量が得られるような技術の確立や副産物の加工技術の高度化等で、地域特有の再生可能資源を起点とした循環型のバイオ産業としての拡張が期待される。

iii) 飼料用ソルガムの利用拡大

ソルガムはイネ科の C4 植物で成長性が良く、日本国内では主に家畜の飼料用として約 11,700ha 栽培されており⁵²、近年、その生産量は、減少傾向にあるが、バイオものづくり等の資源作物としての利用拡大が期待されている。NEDO「再生可能原料アベイラビリティ調査」(2022 年度)において、全国の再生可能な荒廃農地での新規栽培可能面積及び生産量の推計結果が報告されている⁵³。

福島国際研究教育機構(F-REI)の東北大学を中心としたチームでは、ソルガムをバイオ資源としたトランスアコニット酸(バイオポリマー原料)及びブタノールの生産を目的とした研究開発事業を進めている。ゲノム編集技術を用いた代謝系改変によるトランスアコニット酸高蓄積株の育種を進めるとともに、搾汁残渣を原料としたブタノール製造プロセスの確立のため、高ブタノール生産株の開発等を進めている⁵⁴。また、東京都立大学を中心としたチームにより、顕微授精技術を用いて従来の交雑技術では同じイネ科であっても困難(生殖的隔離)であったサトウキビや野生イネ等とソルガムとの雑種形成によ

⁵⁰ 農林水産省、「でん粉をめぐる状況について」(2025 年 9 月)

<https://www.maff.go.jp/j/seisan/tokusan/imo/attach/pdf/siryou-16.pdf> (2026 年 3 月閲覧)

⁵¹ 三和澱粉工業株式会社 Web ページ

<https://www.sanwa-starch.co.jp/news/684/>(2026 年 3 月閲覧)

⁵² 農林水産省、「令和 5 年産飼料作物の作付(栽培)面積及び収穫量、えん麦(緑肥用)の作付面積」

https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/sakumotu/sakkyou_kome/siryu/r5_siryu/index.html#:~:text=%E7%B4%AF%E5%B9%B4%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF-,%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E7%B5%90%E6%9E%9C,%E5%89%B2%E3%82%92%E5%8D%A0%E3%82%81%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%E3%80%82 (2026 年 3 月閲覧)

⁵³ NEDO「再生可能原料アベイラビリティ調査」(2022 年度)

⁵⁴ 福島国際研究教育機構、「ソルガムに含まれる有用物質の活用やバイオブタノール製造の技術開発に関する研究」事業概要 https://www.f-rei.go.jp/assets/contents/240401_energy_01r.pdf (2026 年 3 月閲覧)

り、耐寒性や乾燥耐性を強化した品種の開発を進めている⁵⁵。また、トヨタ自動車を中心とする 7 社の連合体は、福島県大熊町でソルガムを栽培してセルロース由来バイオエタノールを製造する実証研究所(次世代グリーンCO₂燃料技術研究組合)を設置・運営している⁵⁶。

一方、名古屋大学を中心としたグループでは、JST「未来社会創造事業」等のプロジェクトにおいて、ソルガムの生産性を更に高めるために、雑種強勢の遺伝子同定とそれらを利用した迅速な育種技術の確立、超高生産性品種の開発が進められている。また、バイオエタノール等の原料とするには、可溶性の遊離糖(ショ糖、グルコース、フルクトース等)の含量が高いことが有用であることから、糖含量(15%程度)の高いスイートソルガム系統と高バイオマス生産性を組み合わせた新規品種「炎龍」が開発された。これまでに実証栽培が行われ、家畜飼料としての性能(v-score)が高いことが示されているため、まずは家畜飼料用品種としての栽培拡大が期待される。さらに、SAF 生産のための実証栽培、エタノール発酵としての利用のために搾汁や濃縮、発酵等のプロセス開発が進められている⁵⁷。また、成田国際空港の騒音対策用地において、スイートソルガム「炎龍」を栽培し、これを原料とした SAF の地産地消に向けた実証実験も進められている⁵⁸。なお、グルコースやフルクトース等のヘキソースは、ショ糖の結晶化の阻害因子となるため、製糖原料としては不向きであったが、さらに低ヘキソース型の遺伝子も同定しており、近い将来に製糖原料にも適したソルガム品種の開発も期待される。

日本国内において、ソルガムの栽培から飼料としての利用までのサプライチェーンができているため、そこに搾汁、製品製造プロセスを組み込むことで、てんさい産業に類似のバリューチェーン、サプライチェーンの構築も期待される。また、高糖性と高成長性を併せもつ品種に精糖に適した形質を導入することで、温帯地域での製糖産業の創出の可能性が考えられる。

②新規資源生産技術の創出

i)「エネルギーの森事業」

国内森林資源の再生可能なバイオ資源としての利用の難しさを克服するため、NEDO「エネルギーの森事業」が進められている⁵⁹。ここでは、資源生産から燃料チップ生産、バイオマス発電までのサプライチェーン最適化を目指す。特に、再生可能資源とし

⁵⁵ 福島国際研究教育機構, 「顕微授精法を用いた高効率 CO₂ 固定化植物の研究」事業概要
https://www.f-rei.go.jp/assets/contents/240401_Energy_02.pdf (2026 年 3 月閲覧)

⁵⁶ 次世代グリーン CO₂ 燃料技術研究組合 Web ページ
<https://rabbit.or.jp/> (2026 年 3 月閲覧)(2026 年 3 月閲覧)

⁵⁷ JST「未来社会創造事業」第 3 回公開成果報告会より、「ソルガム雑種強勢の原理解明によって期待される脱炭素社会構築への波及効果」(名古屋大学、神戸大学、信州大学)
<https://www.youtube.com/watch?v=bYzupetmgMQ> (2026 年 3 月閲覧)

⁵⁸ 成田国際空港プレスリリース, 「成田空港で SAF の”千産千消”に向けた取り組みを行います」(2025)

<https://www.narita-airport.jp/files/edc42009fb2b4f4382b009e63578e6c2e9b79a71c7ba12e341e92815134e0dc1> (2026 年 3 月閲覧)

⁵⁹ NEDO「木質バイオマス燃料等の安定的・効率的な供給・利用システム構築支援事業」
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100162.html (2026 年 3 月閲覧)

て早生樹に着目し、バイオ資源供給を前提とした新たな林業体系の構築を進めている。休耕地等にヤナギ等の早生樹種を植林し、間伐を行わずに、5～10年で皆伐して利用することで機械化も進めつつ、低い生産コストで高い生産性でのバイオマス生産の実現を目指している。今後、国産木質バイオマス燃料の供給拡大に向け、事業の成果等を踏まえ、関係省庁が連携し、地域の農林業との調和を図りつつ、林地残材等の更なる利用に向けた体制構築、各地域に適した早生樹や広葉樹等の育林手法等の実証、適正な再造林等を推進していく。

ii) NEDO「ムーンショット型研究開発事業／遺伝子最適化・超遠縁ハイブリッド・微生物共生の統合で生み出す次世代 CO₂ 資源化植物の開発」⁶⁰

次の三つのコア技術を開発することで、従来比 30%増、各技術を適宜組み合わせることで、従来比 50%増のバイオマス生産性を実現する次世代バイオマス植物の開発を目指すプロジェクトである。

a) ゲノム編集による細胞壁強化技術

ゲノム編集によって細胞壁合成や木質形成を制御する遺伝子の機能を最適化し、木質増強した樹木(強度向上建材の高層木造建築等への利用等)、一次細胞壁強化草本植物(糖化適性、バイオマス生産性の高い植物)等の開発(産業技術総合研究所、住友林業株式会社)

b) 超遠縁ハイブリッド

前述の顕微授精技術を用いた生殖的隔離を乗り越えた交雑種開発の拡大(東京都立大学)

c) 植物の生育を促進する共生微生物の樹木(育苗)、イネ等への応用技術開発、a)あるいは b)と併用することでの生産性の飛躍的な向上(産業技術総合研究所)

iii) 施設園芸に特化した生育特性や生産物品質及び作物残渣の利用性向上等に資する技術開発

農作物の残渣についても再生可能なバイオ資源として期待される。残渣の種類が多さや成分の不均一さ、年間の供給頻度、運搬、集積、糖化やペレット・チップ化のコストや技術的な様々な課題があり、現状では主にすき込みや焼却処分されている。近年、拡大している大規模な施設園芸での野菜や花卉の生産では、年間を通して同じ作物を生産するため露地栽培に比べると均質な残渣を得やすく、バイオ資源としての供給予測も立てやすい。また、液肥栽培やスマート化の進展、果樹等の従来は園芸施設での生産に不適であった作物の適合化等に適した品種開発も施設園芸産業の拡大にとって重要となる。以上のことから、施設園芸での生産物の高付加価値な品質特性とともに、易糖化性等、バイオ資源供給に適した残渣特性を併せもつ専用品種及び栽培技術の開発によって、新

⁶⁰ NEDO「ムーンショット型研究開発事業／遺伝子最適化・超遠縁ハイブリッド・微生物共生の統合で生み出す次世代 CO₂ 資源化植物の開発」(国立研究開発法人産業技術総合研究所、東京都立大学、住友林業株式会社)
<https://www.nedo.go.jp/content/800031031.pdf> (2026年3月閲覧)

たな地域特有の再生可能資源を起点としたバイオ産業の創出につながる可能性が考えられる。また、モジュール化した可搬型の前処理や糖化、チップ化、あるいはバイオガス生産等の装置を開発することもこのような産業の創出に貢献すると考えられる。

③工業原料を生産する植物

マツ(ロジン等)^{61,62}、カンゾウ(グリチルリチン)⁶³等は、重要な植物由来原料であるが、ほぼ輸入に依存している。また、ウルシ(漆)⁶⁴、カクレミノ(黄漆)⁶⁵、クスノキ(樟脳)⁶⁶、ハッカ(ハッカ油)⁶⁷、ワタ(綿)、アサ(麻)、アマ(リネン)等は、植物由来の樹脂や精油、繊維として、かつて大規模に生産されていたか伝統的に利用されてきた。これらを国内の再生可能バイオ資源として生産して活用する産業を創出あるいは再興することで、地域特有の循環型バイオ産業とするポテンシャルが期待される。例えば、カンゾウについては、最新の知見や技術を基にした北海道内での商業栽培化が取り組まれており⁶⁸、よりグリチルリチンの生産性を向上させるための技術開発が求められている。樹木については、前述した早生樹のバイオマス原料用の栽培のように新たな資源樹木生産のための林業を創出することが必要と考えられる。

重要な植物由来工業原料には、パラゴムノキ(天然ゴム)やアブラヤシ(パーム油)等、熱帯地域でのみ栽培される植物に由来するものもある。これらの安定供給を図るためには、パラゴムノキやアブラヤシの持続的、低環境負荷で高効率な栽培技術や育種技術とともに、温帯地域で栽培可能な代替植物の利用技術の開発も重要と考えられる。

以上のようなバイオマス資源植物生産の革新のためには、それぞれの成分の合成、蓄積のメカニズムの解明とその情報を活用した育種、栽培技術の開発、生産された成分の抽出・加工技術の高度化が必要となる。また、余剰糖源等を再生可能資源とした各種植物由来工業原料の培養細胞での生産技術の開発等も注目されている。さらに、生産される原料・製品等の地域特有の価値やブランドの創出も重要となる。

⁶¹ 荒川化学工業株式会社 Web ページ

<https://tsunagu.arakawachem.co.jp/blog/aboutRosin> (2026 年 3 月閲覧)

⁶² ハリマ化成グループ株式会社 Web ページ

https://www.harima.co.jp/pine_chemicals/rosin1.html (2026 年 3 月閲覧)

⁶³ 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所 薬用植物資源研究センター、「令和 6 年度運営評議会」資料

https://www.nibn.go.jp/introduction/committee/documents/21_13_2-6.pdf (2026 年 3 月閲覧)

⁶⁴ 林野庁、「令和 3 年度 森林・林業白書」

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r3hakusyo/attach/pdf/zenbun-17.pdf> (2026 年 3 月閲覧)

⁶⁵ 徳島大学、「カクレミノ(Dendropanax trifidus)から有用成分を含む樹脂の調達プロセス構築」

<https://www2.st.tokushima-u.ac.jp/sci-tech/sci-tech2024/SCI-Tech-2/nakamura.pdf> (2026 年 3 月閲覧)

⁶⁶ 林野庁、「林野」(令和 7 年 8 月号(No.221))

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/kouhousitu/jouhoushi/attach/pdf/0708-5.pdf> (2026 年 3 月閲覧)

⁶⁷ 株式会社北見ハッカ通商「ハッカの知識」

<https://hakka.be/knowledge/cultivation/> (2026 年 3 月閲覧)

⁶⁸ 王子薬用植物研究所株式会社 Web ページ

<https://oji-yakuyo.jp/> (2026 年 3 月閲覧)

④地域特有の再生可能資源を起点とした循環型バイオ産業構築に向けた研究開発プラットフォーム

農業、林業、施設園芸等での資源生産、発酵等の生産プロセスの高度化、副産物や廃棄物のアップサイクル等におけるプロセスの効率化や低環境負荷化、新規製品の開発等には植物の育種技術の開発・栽培管理技術の高度化、生産性や品質・機能性等の向上に有用な微生物との相互作用の解析、新規微生物(叢)の探索や単離、培養、機能制御、複合微生物系の利用技術の開発等を一体的に進めることが有効と考えられる。例えば国内では、国立研究開発法人産業技術総合研究所 バイオものづくり研究センター⁶⁹において、「バイオリソース解析プラットフォーム」「微生物資源探索プラットフォーム」及び「バイオものづくり研究棟」が整備されており、企業や研究機関等との連携による活用が可能となっている。このようなプラットフォームを活用することで、微生物及び植物の先進的な活用技術の開発による様々な再生可能資源を基盤とした新たな循環型バイオ産業創出が期待される。

(3)まとめと展望

地域特有の再生可能資源を起点とした循環型バイオ産業は、バイオエコノミー分野の社会課題の解決に向けて、重要な基盤となり得る。しかし、国内のバイオマス供給は未利用資源への依存度が高く、供給量の不安定さ、既存用途との競合、収集・輸送コストの高さなど、産業化に向けた構造的課題が依然として存在する。これらを克服するためには、バイオマス資源を単なる廃棄物の有効利用ではなく、「計画的に生産される地域資源」として位置づけ直し、農業・林業・施設園芸・工業原料植物等、多様な資源生産及びそれらを活用した製造業を含めた産業体系を再構築することが不可欠である。

てんさい、でん粉原料作物、ソルガム、早生樹等、地域ごとに適合した資源ポテンシャルが存在しており、これらを活かした循環型バイオ産業の形成に向けた技術開発や実証が進みつつある。また、施設園芸残渣や伝統的工業原料植物等も地域特有の再生可能資源としての可能性がある。育種技術の高度化、微生物・酵素技術の活用、前処理・糖化・抽出技術の革新、可搬型設備の導入等、資源生産から製品化までの一連のプロセスを地域内で最適化する取組は、輸入原料への依存からの脱却と地域経済の強靱化に寄与する。

今後は、地域資源の特性に応じたサプライチェーン・バリューチェーンの設計とそれを支える制度・インフラ・人材育成の整備が重要となる。特に、労働人口減少の影響が既に顕在化し、今後も進展していくであろう農業分野では、経験の浅い新規参入者や企業等が大規模事業を展開し、成長させられるような環境や制度の整備、技術開発が必要になると考えられる。また、化石資源の代替や化石資源由来製品とのコスト比較といった価値に囚われすぎず、CN・CE・NP の観点を踏まえた地域の再生可能資源や循環型であ

⁶⁹ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 バイオものづくり研究センター Web ページ
<https://bprc.aist.go.jp/> (2026年3月閲覧)

ることの高価値化、地域ブランドの創出、企業・自治体・研究機関の連携強化によって、循環型バイオ産業を持続的に成長させるエコシステムの構築が求められる。

地域特有の再生可能資源を基盤とした循環型バイオ産業は、日本のバイオエコノミーの新たな成長へとつながる可能性を秘めている。資源生産から製品化までを地域内で循環させる産業モデル(図 3-6-16;前掲)を確立することで、環境負荷低減と地域経済の活性化を同時に実現する未来に期待したい。

TSC Foresight

Innovation Outlook Version 1.0 増補版

バイオエコノミー分野

2026年6月1日発行

作成メンバー

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
イノベーション戦略センター(TSC)

■センター長	岸本 喜久雄	
■事務局長	田辺 雄史	
■バイオエコノミーユニット		
・ユニット長	味方 和樹	
・研究員	鈴木 馨	
	石倉 峻	
・フェロー	馬場 嘉信	(2025年12月まで)
	湯元 昇	
	吉川 博文	
	水無 渉	(2026年3月まで)

●本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5200(イノベーション戦略センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料はイノベーション戦略センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。