

**ゲノム関連技術の ELSI・RRI のための研究実験フィールド調査
「オープン型バイオ実験拠点等に関する国内外俯瞰」調査
報告書**

2020 年 3 月

MRI 株式会社三菱総合研究所
ヘルスケア・ウェルネス事業本部

本資料は、国立研究開発法人科学技術振興機構社会技術研究開発センターからの委託により、株式会社三菱総合研究所が調査を行った結果をまとめたものです。

本資料においては、調査によって得られた情報に関して考察を加えていますが、あくまで限定された視点に基づく一考察であり、必ずしも国立研究開発法人科学技術振興機構、社会技術研究開発センターおよび委託先の公式見解を示すものではありません。

また、本資料の掲載情報を利用して受けた一切の損害について、国立研究開発法人科学技術振興機構、社会技術研究開発センターおよび委託先は何ら責任を負うものではありません。

緒言

本業務は、国立研究開発法人科学技術振興機構（以下「JST」という。）の社会技術研究開発センター（以下「RISTEX」という。）が、研究者、NPO、企業、行政関係等と人的ネットワークを形成しつつ進めている「社会技術研究開発」において、今後の社会に大きな影響を与えうるゲノム合成等のゲノム関連技術の ELSI (Ethical, Legal and Social Implications) や RRI(Responsible Research and Innovation)を検討・推進していくことを目的に、国内諸機関や世界各国の取り組み状況の把握や関係機関等の連携を行いながら、今後顕在化していくと思われる諸論点の抽出と検討に資する調査・レポートを行った。

2020年3月
株式会社三菱総合研究所

目次

1. 調査の全体像	1
1.1 背景	1
1.2 目的	1
1.3 方法	2
2. 結果サマリ	3
3. 日本調査結果	5
3.1 YCAM バイオ・リサーチ	5
3.2 FabCafe	8
3.3 BioClub	11
3.4 metaPhorest	14
3.5 FabLab Japan	16
3.6 オープン型バイオ実験拠点等に対する規制等	18
4. 米国調査結果	22
4.1 Genspace	22
4.2 BioCurious.....	26
4.3 Baltimore Underground Science Space (BUGGS).....	29
4.4 BosLab	32
4.5 Biotech Without Borders.....	35
4.6 オープン型バイオ実験拠点等に対する規制等	38
5. 欧州調査結果	39
5.1 Biohackspace	39
5.2 Biomakespace Cambridge	42
5.3 OpenGenX.....	45
5.4 top (Association for the promotion of Cultural Practice)	48
5.5 Waag Society's Open Wetlab	51
5.6 オープン型バイオ実験拠点等に対する規制等	54
6. 課題と考察	55
6.1 オープン型バイオ実験拠点等の現状	55
6.2 オープン型バイオ実験拠点等の課題と今後必要な支援や規制	55
6.3 オープン型バイオ実験拠点等のポテンシャル	57

1. 調査の全体像

1.1 背景

国立研究開発法人科学技術振興機構（以下「機構」という。）では、2018年10月にCREST・さきがけ「ゲノムスケールのDNA設計・合成による細胞制御技術の創出」領域（以下「CREST・さきがけ領域」という。）の採択課題による研究が開始され、それに呼応する形で、社会技術研究開発センター（以下「センター」という。）においてゲノム合成等に関するELSI（Ethical, Legal and Social Implications；倫理的・法的・社会的視点）やRRI（Responsible Research and Innovation；責任ある研究・イノベーション）を検討することを目的に、CREST・さきがけ領域との「人と場の協働」を行いながら、ゲノム合成等関連技術の進展予測とそれに伴う様々な可能性の検討、過去の類似議論の整理と知見の反映、議論の継続的实施と技術進展のフォローアップを、公開性を持ちながら推進しようとしており、2019年6月には「ゲノム倫理」研究会（以下「研究会」という。）を設置した。今後、研究会の活動内容そのものは、技術開発の進展状況や社会動向に伴って見直し、適応的に設計されていくが、現時点では以下を取り組むべきテーマとして想定している。

- A. 技術予測とそれに伴うさまざまな可能性の検討
- B. 類似議論の整理と知見の反映
- C. 議論の継続・フォローアップ
- D. 国際視点・国内外連携
- E. 次世代研究人材育成
- F. CREST・さきがけ領域との「人と場の協働」
- G. 公開性

これらテーマのために、次のような活動を想定している。

- a. 研究会運営
- b. 委託調査研究
- c. CREST・さきがけ領域との協働活動
- d. 国内外他機関連携構築
- e. 成果の蓄積・公開
- f. 多様な関与者とのコミュニケーション
- g. その他

このような枠組みのもとで活動を推進している中、本調査は「b. 委託調査研究」として、特に研究・実験を取り巻く社会状況の調査に主眼を置くものとする。

1.2 目的

本調査は、センターが、研究者、NPO、企業、行政関係等と人的ネットワークを形成しつつ進めている「社会技術研究開発」において、今後の社会に大きな影響を与えうるゲノム合成等のゲノム関連技術のELSIやRRIを検討・推進していくことを目的に、国内諸機関や世

界各国の取り組み状況の把握や関係機関等の連携を行いながら、今後顕在化していくと思われる諸論点の抽出と検討に資する調査・レポートを行う。

近年、研究者だけではなく、クリエイター、企業、市民（以下、「市民等」という。）がともに作り、ともに学ぶ「オープン型実験拠点」が世界各国で形成されており、日本においても、様々な拠点が研究者だけに閉じない研究実践を展開している。中でも、合成生物学を含むゲノム関連技術との関係では、「DIY バイオ」と呼ばれるような、生物化学の実験や研究を、研究者や市民等が、大学等以外の施設さらには個人宅で行うケースも出始めている。このように実施主体が研究者に留まらないことは、本技術がこれまで以上に身近になりオープン化が進んでいると同時に、様々な懸念についての検討の必要性も生じている。

本調査では、各国のオープン型バイオ実験拠点等の現状を調査・整理した上で、その結果を俯瞰可能な形にまとめることで、今後の研究会における議論に資することを目的とする。なお、本調査において「オープン型バイオ実験拠点」とは、ゲノム関連技術を用いた、一時的または恒久的な施設・プロジェクトを指す¹。

1.3 方法

本調査では、三菱総合研究所にてデスクトップ調査およびインタビュー調査を実施し、山口情報芸術センターの津田和俊先生（2019年11月現在）からご助言をいただきながら報告書を取りまとめた。インタビュー調査では、DIY バイオに関する有識者ならびに国内のオープン型バイオ実験拠点等の運営に関わっている方として、metaPhorest を主宰する早稲田大学理工学術院教授の岩崎秀雄先生と BioClub ディレクターで株式会社ロフトワークに所属する石塚千晃様にご協力をいただいた。

¹ 大学や専門の研究機関、インキュベーション施設、博物館、科学館等は本調査の対象外としている。

2. 結果サマリ

● 調査概要

調査の目的

JSTの社会技術研究開発センター（RISTEX）が、研究者、NPO、企業、行政関係等と人的ネットワークを形成しつつ進めている「社会技術研究開発」において、今後の社会に大きな影響を与えるゲノム合成等のゲノム関連技術のELSI（Ethical, Legal and Social Implications）や RRI(Responsible Research and Innovation)を検討・推進していくことを目的としている。

加えて、本調査では、各国のオープン型バイオ実験拠点等の現状を調査・整理した上で、その結果を俯瞰可能な形にまとめることで、今後の研究会における議論に資することも目的としている。

調査の内容等

近年、研究者だけではなく、クリエイター、企業、市民がともにつくり、ともに学ぶ「オープン型実験拠点」が世界各国で形成されており、日本においても、複数の拠点において研究者だけに閉じない研究実践が展開されている。中でも、合成生物学を含むゲノム関連技術との関係では、「DIY バイオ」と呼ばれるような、生物化学の実験や研究を、研究者や市民等が、大学等以外の施設さらには個人宅で行うケースも出始めている。このように実施主体が研究者に留まらないことは、本技術がこれまで以上に身近になりオープン化が進んでいると同時に、様々な懸念についての検討の必要性も生じている。

本調査では、国内外のオープン型バイオ実験拠点等の現状を調査・整理した上で、その結果を俯瞰可能な形にまとめる。

調査対象国：日本、米国、欧州（主にイギリス、ドイツ）

調査内容：国内外のオープン型バイオ実験拠点等の概要や取り組み
必要な支援や規制 等

調査手法：文献調査、インタビュー調査

「オープン型バイオ実験拠点等」とは

主にゲノム関連技術を用いた、一時的または恒久的な施設・プロジェクトを指す。（ただし、大学や専門の研究機関、インキュベーション施設、博物館、科学館等は本調査の対象外）

● 調査結果概要

国内拠点の現状	海外（米国・欧州）拠点の現状
<ul style="list-style-type: none"> ■ 自治体、企業、アカデミアがそれぞれ主体となっている拠点があるが、数は少ない。 ■ P1レベル準拠の実験施設を備えた拠点もある。 ■ 提供しているサービスやプログラムとしては、イベント・ワークショップや貸しラボが中心である。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ELSIに関するプログラムはあるが、市民向けのものは少ない。 ✓ 展示会やワークショップ等、アート視点のプログラムはある。 ■ 関連する規制としてはカルタヘナ法やヒトゲノム・遺伝子解析指針等がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 企業からの出資や寄付、会費等様々な形で資金を得ており、拠点数は多い。 ■ バイオセーフティレベル1準拠の実験施設を備えた拠点もある。 ■ 倫理規範を定めて公開している拠点もある。 ■ 提供しているサービスやプログラムとしては、イベント・ワークショップや貸しラボに加え、有用物質の生産など具体的にバイオ技術を活用したプロジェクトが多く展開されている。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ELSIに関するプログラムはあり、一部は市民向けに開催されている。 ✓ 米国ではアート視点のプログラムは少ない一方で、欧州ではアーティストの育成を行っている拠点もある。 ■ 米国はカルタヘナ議定書を批准しておらず、日本のカルタヘナ法にあたる法律は存在しない。遺伝子組み換え作物等に関しては「バイオテクノロジー政策に関する調和的枠組み」によって規制されている。 ■ 欧州はカルタヘナ議定書を批准しており、EUの指令や規則を基に各国での法規制が整備されている。
<p>ステークホルダーの関係図（YCAM※バイオ・リサーチの事例）</p> <p style="text-align: right;">※ 山口情報芸術センターの略称</p>	

● 課題と考察



3. 日本調査結果

3.1 YCAM バイオ・リサーチ²

3.1.1 概要

(1) 運営体制

2015 年から山口情報芸術センター³（以下、YCAM という）館内にバイオラボを設置し、バイオ・リサーチのプロセスを一般市民と共有するためのリサーチ・ショーケースやワークショップの開発、アーティストとの展覧会の制作などの活動を行っている。プロジェクトチームは 5 名体制からはじまっている。バイオテクノロジーの高等教育を受けた R&D ディレクターに加え、照明デザイナーやエデュケーターも、このプロジェクトに参加している。バイオラボは P1 レベル⁴に準拠しており、DNA 解析などの基本的な実験が可能な環境になっている。

(2) 設立の趣旨・目的

YCAM における研究開発プロジェクトのひとつで、芸術表現、教育、コミュニティ等の様々な観点からバイオテクノロジーの可能性を追求することを目的としている。ワークショップや展覧会等の活動を通じてバイオテクノロジーの応用可能性等を模索するとともに、生命倫理や安全性等の課題をコミュニティとともに考えている。

3.1.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

ワークショップや展示会を中心に数多くのプログラムに取り組んでいる。代表的なものに例えば「森の DNA 図鑑」「ゲノム弁当プロジェクト」等がある。

a. 森の DNA 図鑑

ワークショップ参加者が山口市内や YCAM 近郊の森で植物サンプルを採集し、それらの顕微鏡などによる観察や DNA 解析を行った上で生物種を特定し、全天球カメラで撮影

² YCAM バイオ・リサーチウェブサイト：<https://www.ycam.jp/projects/ycam-bio-research/>（2020 年 3 月閲覧）

³ YCAM は市民やさまざまな分野の専門家とともにつくり、ともに学ぶことを活動理念としたアートセンターで、公益財団法人山口市文化振興財団が山口市からの委託を受けて管理・運営にあたっている。

⁴ 「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）」の「研究開発等に係る第二種使用等に当たって執るべき拡散防止措置等を定める省令（二種省令）」によって定められている拡散防止措置のレベルのひとつ。このレベルの措置をとることにより、病原性がない微生物の遺伝子組換え実験等を行うことが可能になる。

した風景上にプロットしていくプロジェクト。その結果はウェブサイト⁵上で公開されている。

b. ゲノム弁当プロジェクト

ゲノムが解読されている生物種の実を食材にした弁当「ゲノム弁当」を開発・販売するプロジェクト。ライフサイエンス統合データベースセンター（DBCLS）の片山俊明氏や山口市内のレストランのシェフとともに共同開発している。

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

いくつかの ELSI/RRI に関連するワークショップを開催しており、2019 年には「パーソナル・バイオテクノロジー⁶」というテーマで 3 日間にわたって開催された集中ワークショップの中で取り扱っている。DNA 合成やゲノム編集といった技術とそれらに付随する倫理的な問題について、1 日にわたって講義やディスカッションが行われた。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

アート視点を含んだワークショップや展覧会が多く実施されており、2019 年には集中ワークショップ「パーソナル・バイオテクノロジー」、展覧会「wow, see you in the next life. / 過去と未来、不確かな情報についての考察」、オープンラボ「ナマモノのあつかいかた」等が開催されている。

a. wow, see you in the next life. / 過去と未来、不確かな情報についての考察

アーティスト集団の contact Gonzo と共同で開催している展示会で、「身体はどこから来て、どこへ行くのか」という問いを出発点に、YCAM が近年取り組んでいるバイオテクノロジーの知見を生かし、DNA などによる遺伝的継承と、物語や伝承などによる文化的継承といったアプローチから、新作インスタレーション作品を制作/発表⁷している。参加者が実際に体験しながらバイオテクノロジーについて考えはじめる機会をつくるための装置なども設置された。

b. ナマモノのあつかいかた

世界各国からバイオラボやバイオアートに携わる実践者によるトークセッション。アートに関してはスロベニアのカペリツァ・ギャラリーでキュレーターを務めるサンドラ・サジヨヴィッチ氏から、当該ギャラリーの概要と、バイオアートの変遷について紹介された。すべてのゲストが登壇するディスカッションでは、地域社会におけるバイオラボの役割やアートと科学のコラボレーションに関する問題点、自律的な組織の運営などについて意見が交わされたが、中には生物を芸術表現で扱う上での生命倫理に関わる側面も議論に挙がっ

⁵ 森の DNA 図鑑ウェブサイト：<https://special.ycam.jp/dna-of-forests/#/>（2020 年 3 月閲覧）

⁶ パーソナル・バイオテクノロジーウェブサイト：<http://special.ycam.jp/personal-bio/>（2020 年 3 月閲覧）

⁷ 「wow, see you in the next life. / 過去と未来、不確かな情報についての考察」パンフレットより引用

た。

※肖像権保護のため、非公表とさせていただきます

図 1 オープンラボ「ナマモノのあつかいかた」の様子（撮影：谷 康弘 提供：山口情報芸術センター [YCAM]）

3.1.3 サービス及びプログラムの成果の形態

ワークショップや展覧会といったイベントに加え、森の DNA 図鑑のようなウェブサイトやゲノム弁当、展覧会関連マガジンなど成果の形態は多岐にわたっている。また、YCAM バイオ・リサーチを含む YCAM 全体の取り組みをまとめた冊子等も出版している。

また、YCAM ではオープンな共同研究開発を行う上での契約書のひな形を GitHub 上で作成・公開している⁸。「成果のオープン化（第三者が一定の範囲で自由に利用できるよう公開すること）を前提とし、その効果を高めつつクリエイティビティの向上することを目指していることが最大の特徴」とされている。

⁸ 共同研究開発契約書：

https://github.com/YCAMInterlab/GRPCContractForm/blob/master/GRPCContractForm_Japanese.md

3.2 FabCafe

3.2.1 概要

(1) 運営体制

株式会社ロフトワークと、クリエイティブディレクター・福田敏也氏がプロデュースし、2012年3月東京にオープンした。現在は東京、京都、飛騨の3拠点に展開している。

(2) 設立の趣旨・目的

FabLab Japan（後述）が Tokyo Designers Week 2010 のコンテナ展に FabLab を出展し、そこでカフェを併設させたのが FabCafe の原型となっている。「クリエイターが毎日訪れ」「誰でもカジュアルに参加できる」ことを目的としている。

3.2.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

デジタルワークスペースの提供やイベント開催を中心に行っている。カフェとしてのサービスも提供しているほか、BtoBでのコラボレーション支援も行っている。

a. デジタルワークスペース

レーザーカッターや UV プリンタなどのマシンを自由に使って、工作をすることができる。初心者でも楽しめるように簡単な体験キットが用意されている。カウンターにはものづくりのエキスパートであるスタッフがおり、相談することも可能となっている。指定の時間をオンライン予約するプランと、当日飛び込みで利用するプランがある。

b. イベント・ワークショップ

ものづくりのワークショップやセミナーが開かれているほか、多様なバックグラウンドの人たちがアイデアやプロジェクトをシェアする Meetup アップイベントが毎月開催されている。また、デジタルファブリケーションツールやスペースを活用した企業向けのワークショップやチームビルディング研修などの開催も依頼することができる。

c. カフェ

ドリンクやフード、スイーツが提供されている。また、インターネット回線と電源が無料開放されておりコワーキングスペースとしても利用可能。

なお、BioClub の活動拠点となっているバイオラボは、FabCafeTokyo に併設されている。

d. コラボレーション支援

クリエイターと企業をつなぐマッチングサービスを提供しており、実際に製品開発や素材・新技術活用、人材育成などが行われている。

(2) ELSI/IRRI に関連するプログラム・講義等

以下、2018年以降に開催されたプログラムを紹介する。

a. 「アート・ワークショップ WETBOTS プロトセルとウェットなオートマタ」

生命の起源や再定義をテーマにした作品を制作しているアーティストが講師となり、「生命らしい技術」がもっているアートへの可能性や倫理性の問題について考えるワークショップが開催された。BioClub が運営しているバイオラボ (FabCafeTokyo に併設) にて行われた。

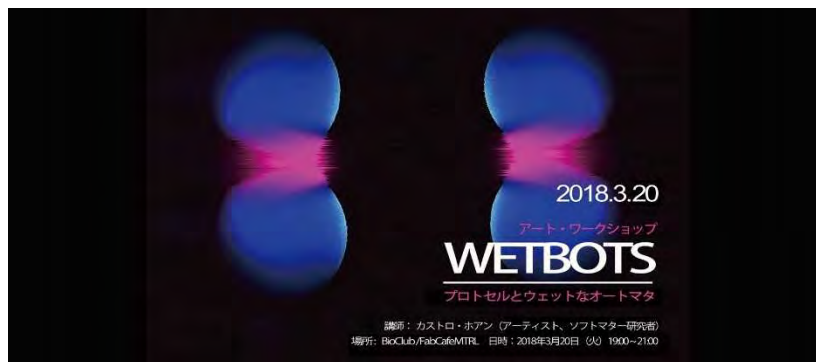


図 2 アート・ワークショップ WETBOTS プロトセルとウェットなオートマタ⁹

b. 「細胞グ。~あなたの体はあなたのもの、なのか?~」

細胞培養技術がもたらす未来について、その可能性と倫理的・法的問題について議論された。また、細胞の抽出体験もおこなわれた。



図 3 細胞グ。~あなたの体はあなたのもの、なのか?~¹⁰

⁹ Fab Cafe tokyo ウェブサイト：https://fabcafe.com/tokyo/events/biomedial_workshop (2020年3月閲覧)

¹⁰ Fab Cafe tokyo ウェブサイト：https://fabcafe.com/tokyo/events/201803_saibo-gu (2020年3月閲覧)

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

アーティストやクリエイター、研究者などによるワークショップやトークイベントが開催されている。以下、2018年以降に開催されたプログラムを紹介する。

a. 「ファッション x バイオ 拡大する FAB とバイオがもたらすファッションの未来」

3D クリエイターや農研機構の研究者、科学と芸術の融合について研究をしている現代芸術家、ファッション雑誌の記者が登壇して、トークセッションがおこなわれ、バイオアートやマテリアルイノベーションについて紹介された。

b. 「岩崎秀雄×AKI INOMATA – アートで生命を扱うことについて –」

作品の中にバイオアートの文脈を取り入れているアーティストが招待され、芸術の中に生命を扱うこととそれによってアーティストが示したいことについて議論された。

3.2.3 サービス及びプログラムの成果の形態

展示会やトークイベントの開催について、ウェブサイトで活動の成果が発表されている。

3.3 BioClub¹¹

3.3.1 概要

(1) 運営体制

FabCafe と株式会社ロフトワークによって運営されているプロジェクトであり、体制は下表の通りである。現在メンバーは 20 名ほど所属している。

属性	氏名（所属等）
ファウンダー / Founder	Georg Tremmel (BCL) 福原志保 (BCL) 林千晶 (Co-founder and Representative Director) 諏訪光洋 (CEO Loftwork.ink)
ディレクター / Director	石塚千晃 (Loftwork / artist) 小原和也 (FabCafeMTRL)
アドバイザー / Adviser	岩崎秀雄 (早稲田大学先進理工学部教授, metaPhorest 主宰) 北野宏明 (システム・バイオロジー研究機構所長) 南條史生 (森美術館館長) 伊藤穰一 (MIT Media Lab 所長)
パートナー / Partner	経済産業省 生物化学産業課 独立行政法人製品評価技術基盤機構 (NITE) システム・バイオロジー研究機構 早稲田大学先進理工学部岩崎研究室 (metaPhorest) 多摩美術大学 情報デザイン学科メディア芸術コース FabLab Hamamatsu 山口情報芸術センター YCAM バイオ・リサーチ

(2) 設立の趣旨・目的

研究者、クリエイター、企業、ホビイストなど、異なる分野に存在するサイエンスへの興味を持つ人々が集う場を提供し、様々な領域のプロフェッショナルと協働し、新たな視点を生み出すプラットフォームを形成することを目的としている。バイオという技術をどう活かしていくかということサイエンティストではない人々が一緒に考え、議論し、学ぶことができる場を目指している。

3.3.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

オープンミーティング、イベント・ワークショップ、バイオラボ運営を中心に行っている。

¹¹ BioClub ウェブサイト : <http://bioclub.org/> (2020 年 3 月閲覧)

a. オープンミーティング

コミュニティメンバー主導で毎週ミーティングが開催されており、だれでも参加可能となっている。ゲノム関連技術に関する議題等について取り上げている。

b. イベント・ワークショップ

DNA 鑑定やゲノム編集などバイオ分野に関する内容を中心としたイベントやワークショップが開かれている。また、DIY バイオのレクチャープログラムである BioHack Academy (オランダ・Waag Society が提供) の開催拠点にもなっている。その他にも世界の発酵文化や発酵醸造業の裏側を扱った「麴の学校」や、バイオテクノロジーやデジタルファブリケーションを扱った「WET/WEAR – FAB/FABRIC」といったものがある。

c. バイオラボ運営

活動拠点である FabCafeMTRL に併設しているバイオラボを運営している。P1 レベルに準拠しており、本格的な実験や研究が可能となっている。バイオベンチャーの入居やアーティストによる遺伝子組み換えバイオアート作品の展示が行われている。バイオラボの運営に関しては、早稲田大学の岩崎先生(次項で詳述)の支援のもと安全講習の手引書を作成し、本手引書を用いた講義を受けることで遺伝子組み換え実験を行うことができるようなルールの整備も行っている。

iPS 細胞で筋肉のオルガノイドをつくる研究をしていた研究者が、その後バイオベンチャーを立ち上げた事例もある。

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

ELSI や RRI にデザインやアートの観点から議論するトークイベント「いま、わたしたちはなにをデザインすべきか?—未知数の問題〈デザイン X〉とポスト人間中心主義のデザイン、あるいは思索〈スペキュレーション〉」等が開催されている。

a. 「いま、わたしたちは何をデザインすべきか?—未知数の問題〈デザイン X〉とポスト人間中心主義のデザイン、あるいは思索〈スペキュレーション〉」

川崎和也氏らによって刊行されたデザイン書である、「SPECULATIONS: 人間中心主義のデザインを超えて」に関するトークイベント。近年のデジタルテクノロジーとバイオテクノロジーの革新がもたらす倫理的な問題に対して、今後のデザイナーに何が求められているのかを問うている。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

アート視点を含んだトークイベントがいくつか実施されており、「半生命的素材とはなににか—バイオテクノロジーと芸術の融合がもたらす革新と危機」、「音楽と酵母」等のプログラムが実施されている。

a. 半生命的素材とはなにか——バイオテクノロジーと芸術の融合がもたらす革新と危機

バイオテクノロジーとファッションデザインの融合に焦点を当て、それらが人間の生活や身体に関わる認識をどのように変化させうるか議論するトークイベント。バイオマテリアルに関する倫理的・社会的・環境的な諸問題について議論しつつ、人間中心主義のパラダイムを超えた新たなファッションのありようについて模索している。

b. 「音楽と酵母」

かつて、時計のない時代に清酒の醸造過程で歌われた「酒造り唄」を、酵母に記憶させる方法を探るためのトークイベント。音楽を DNA 塩基配列に変換し、酵母に保存する方法を探っている。

3.3.3 サービス及びプログラムの成果の形態

トークイベントやワークショップの実施に加え、それらの報告をウェブサイトにレポートの形で掲載している。有識者によると、バイオアートの場合は作品とフェイクが表裏一体の関係にあり、Eduardo Kac 氏の「GFP Bunny¹²」に代表されるようにしばしば議論が巻き起こるといふ。

¹² この作品において、作者は「GFP を用いてうさぎを発光させた」と謳いながら、実際にはうさぎの写真をフォトショップで加工していた。

3.4 metaPhorest

3.4.1 概要

(1) 運営体制

早稲田大学理工学術院教授である岩崎秀雄氏を主宰とし、現在は8名で運営されている。研究者やアーティストによって構成されており、今までに20名ほどが利用してきた。BCL、AKI INOMATA、石橋友也といった国内外で先鋭的なアートを先導してきた作家たちも在籍している。2007年から早稲田大学先端生命医科学センター内に研究室を設置しており、PIレベルに準拠している。

a. 設立の趣旨・目的

生命科学等の視点をくみつつ、生命に関わる芸術の実験・研究・制作を行うためのプラットフォームとして設立された。アーティストやデザイナーが研究者と実験設備やセミナーを共有しながら活動するための機会を提供することを目的としている。

3.4.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

ラボの貸し出しや共同研究・共同制作、セミナー・ワークショップを中心とし、論文・記事の掲載、展示会の開催等も行っている。

a. ラボ貸し出し

アーティストやデザイナーにラボの貸し出しや実験設備の共有を行っている。ラボの使用を希望する場合、遺伝子組み換え講習を受講した上で、研究室のメンバーに制作の計画等をプレゼンし、了承を得なければならない。

b. セミナー・ワークショップ

metaPhorest セミナーを全51回（2019年1月10日現在）にわたって開催している。多様な講師が登壇し、扱うテーマも生命科学、現代美術、音楽、自然哲学など、多岐にわたっている。直近では培養細胞を用いたアートプロジェクト、花卉に関する数理形態、バイオメディア・アートの展示・保存等のテーマが取り上げられている。

また、東京藝術大学における「バイオメディア・アートワークショップ」の開催や、その他にもイギリス、オーストラリア、オランダ等、海外とも連携したワークショップを開催している。

c. 展示会の開催・出展

「医学と芸術展」（森美術館）、「AKI INOMATA 展」（十和田現代美術館）、「Project Genesis

展」(アルスエレクトロニカセンター)、「Ghost in the Cell」展(金沢 21 世紀美術館)など、国内外の著名な美術館・芸術祭に数多く参加しており、非常に高いプレゼンスを有している。文化庁メディア芸術祭優秀賞(2019, 2020)、YouFab Global Creative Awards グランプリ(2014)、STARTS 賞(2019)ほか、メンバーの受賞も多い。

d. 論文・記事の掲載

バイオメディア・アートに関する論文を筆頭に、学術誌への掲載や、団体の活動が雑誌に取り上げられる等、活動内容の発信が行われている。

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

セミナーの題材として生命倫理等が多く取り上げられている。また、主宰者の岩崎氏が「細胞を創る」研究会の共同創設者であること、科学史学会生物学史分科会のメンバーであることから、特に合成生物学と芸術分野、人文・社会系の研究者を繋ぐ活動が手掛けられてきた。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

アーティストに対してラボの貸し出しや実験設備の共有を行うことが多い。ELSI に関する題材を取り上げたアート作品も多く制作されている。有識者によると、バイオアーティストの多くは何らかの形で ELSI に問題意識の発端を持っており、あるタイプのバイオアートというのは、実践型の ELSI の活動であり、科学教育やアウトリーチ活動とは異なるタイプの ELSI/科学コミュニケーション活動だと捉えられうるとされる。

3.4.3 サービス及びプログラムの成果の形態

上述のように、セミナー・ワークショップや展示会の開催、学術誌や雑誌への論部・記事の掲載によって活動の成果が発表されている。有識者によると、企業連携においては知的財産の取り扱い等も含めて情報の発信に制限が課される場合が多く、オープンなコミュニティとしての取り組みとのバランスが課題となっている。

3.5 FabLab Japan

3.5.1 概要

(1) 運営体制

2011年に「Fablab 鎌倉」「Fablab つくば」がオープンし、現在は全国で18拠点ある。運営形態は様々で、大学などの教育研究機関や地域のコミュニティセンター、文化施設と一体化したもの、NPO/NGO、一般社団法人あるいは個人によるものなど、それぞれが独自の運営を行っている。

(2) 設立の趣旨・目的

「多様な工作機械を備えたオープンな市民工房」というコンセプトのもと、デジタルからアナログまで自由なものづくりを広げることを目的としている。Fablabの名称を利用するための条件として、一般市民に開かれていること、Fablab憲章の理念に基づき運営されていること、共通の推奨機材を備えていること、国際規模のネットワークに参加することの4つが挙げられている。

3.5.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

全国の各拠点によって実施・提供するサービス及びプログラムは多岐にわたっている。工房における機材の貸し出し等が中心ではあるが、制作支援やイベント・ワークショップの開催、受注制作等も提供している拠点がある。

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

国際的には、合成生物学やバイオテクノロジーについて学ぶための学習プログラム「Bio Academy（別名：How To Grow (almost) Anything）」がFablab対象に試験的に開講されてきた。初回の講義では、最重要事項としてバイオセーフティや生命倫理に関して学ぶ講義がおこなわれている¹³。

国内のFablabによるバイオやゲノムに関連するプログラムや講義の事例はまだあまりないが、2015年に国内のFablab運営者が集まって開催されたイベント「FabCamp」で、飲用可能な材料だけでDNA抽出をおこなう「Strawberry DNA Cocktail」のワークショップ等が実施されている¹⁴。

¹³ Bio Academy ウェブサイト：<http://bio.academany.org>（2020年3月閲覧）

¹⁴ FabCamp ウェブサイト：http://fablabkitakagaya.org/fabcamp/camp_ws/strawberry-dna-cocktail-workshop/（2020年3月閲覧）

3.5.3 アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

美術館やアートセンターなどと連携したアートに関するワークショップの事例はあるが、バイオやゲノムに関連するプログラムはほぼない。

3.5.4 サービス及びプログラムの成果の形態

貸し出した機材を用いたり、制作支援を受けたりすることによって利用者達自身で学びながら、作品等を制作している。また、イベントやワークショップの開催も一つの成果の形態となっている。

3.6 オープン型バイオ実験拠点等に対する規制等

関連する規制等について(1)オープン型バイオ実験拠点等の施設等に関する規制等、(2)オープン型バイオ実験拠点等における取り組み内容や製造・制作された成果等に関する規制等に分けて整理する。なお、直近ではオープン型バイオ実験拠点等において医療目的や臨床検査の開発等を目的とする実験は行われないことを前提とし、これらに関連する規制等はここでは含まないこととする¹⁵。

(1) オープン型バイオ実験拠点等の施設等に関する規制等

実験施設に関連する法規制は消防法、毒劇法、高圧ガス保安法等多数存在し、実験の場所・内容等に応じてそれぞれ準拠すべき法律や基準が異なる。また、実験動物については動物愛護法に基づき、「研究機関等における動物実験等の実施に関する基本指針」が示されている。



13

図 4 大学の実験施設に関する法規制の例¹⁶

オープン型バイオ実験拠点等に対して特に関連が強いのは「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」(以下、「カルタヘナ法」という)である。カルタヘナ法は「生物の多様性に関する条約のバイオセーフティに関するカルタヘナ議定書(カルタヘナ議定書)」(2000年に採択、2003年に締結)を日本で実施するために公布・施行された法律である。カルタヘナ法の概要については農林水産省のウェブサイト¹⁷において以下の通り説明されている。

(以下、引用)

“カルタヘナ法の目的は、遺伝子組換え生物等を使用等する際の規制措置を講じることで、

¹⁵本報告書では、再生医療等安全性確保法のように臨床研究にかかる法律についても医療目的に該当するものとして除外している。

¹⁶ 第2回国立大学等施設の設計に関する検討会 資料 1-3 (山本委員提出資料)

https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/029/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2013/10/21/1340477_03.pdf
(2020年3月閲覧)

¹⁷ カルタヘナ法とは <https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/about/> (2020年3月閲覧)

生物多様性への悪影響の未然防止等を図ることです。

カルタヘナ法では、遺伝子組換え生物等を用いて行うあらゆる行為のことを「使用等」とし、使用形態に応じて「第一種使用等」と「第二種使用等」とに分け、それぞれの使用に応じて、とるべき措置を定めています。

例えば、遺伝子組換えトウモロコシの輸入、流通、栽培など、遺伝子組換え生物等の環境放出を伴う行為は第一種使用等です。第一種使用等をする際には、使用に先立ち、遺伝子組換え生物の種類ごとに、予定している使用によって生物多様性に影響が生じないか否かについて審査を受ける必要があります。審査の結果、問題が無いと評価された場合のみ承認を受けることができ、使用が可能となります。

一方、第二種使用等とは、遺伝子組換え生物等を、環境への放出が生じない空間（これを達成するための設備や使用方法全体を「拡散防止措置」といいます）で使用することです。第二種使用等についても、使用に先立ち、拡散防止措置が適切なものとなっているか確認を受ける必要があります。”

（引用ここまで）

第二種使用等においては実験区分や実験分類等によって準拠すべき拡散防止措置が定められている。微生物使用実験においては P1-P3 のレベルが規定されている。国内のオープン型バイオ実験拠点等においては、YCAM バイオ・リサーチ、BioClub、metaPhorest が P1 レベルに準拠したラボを有している。

また、2010 年には「バイオセーフティに関するカルタヘナ議定書の責任及び救済に関する名古屋・クアラルンプール補足議定書（補足議定書）」が採択され、これを日本国内において実施するためにカルタヘナ法の改正が行われた（2017 年に公布、2018 年に施行）。本改正の概要については農林水産省のウェブサイト¹⁸において以下の通り説明されている。

（以下、引用）

“今回のカルタヘナ法の改正により、生物の多様性への著しい悪影響が生じた場合、環境大臣は、その回復を図るための措置を命ずることができるとの規定が追加されました。

具体的には、カルタヘナ法に基づく承認等を受けずに、違法に遺伝子組換え生物等を使用（輸入・流通・栽培等）した結果、生物の多様性への悪影響（指定された種や地域に係る、生息密度の低下、生息地の面積の減少、生息環境の悪化等）が生じた場合、その使用者は、その回復を図るために必要な措置（例えば生息環境の整備、人工増殖・再導入等）を行うことが求められます。

措置命令の対象となる種や地域は、環境省令で指定されています。また、措置命令の要件、損害の回復を図るために必要な措置の内容等については、基本的事項に規定されています。

“

（引用ここまで）

¹⁸ カルタヘナ法とは <https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/about/> （2020 年 3 月閲覧）

(2) オープン型バイオ実験拠点等における取り組み内容や製造・制作された成果等に関する規制等

バイオ関連実験の取り組み内容を直接的に規制する法律はないが、ヒトゲノムや遺伝子解析を行う場合には「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」を遵守する必要がある。本指針では以下の8つの基本方針を示している。

- ① 人間の尊厳の尊重
- ② 事前の十分な説明と自由意思による同意
- ③ 個人情報の保護の徹底
- ④ 人類の知的基盤、健康及び福祉に貢献する社会的に有益な研究の実施
- ⑤ 個人の人権の保障
- ⑥ 研究の適正の確保（研究計画の作成、独立した倫理審査委員会による事前の審査及び承認）
- ⑦ 研究の透明性の確保（第三者による実地調査、研究結果の公表）
- ⑧ 啓発活動（国民・社会の理解の増進、国民との対話）

製造・制作された成果等のうち、食品に関連するものは食品安全基本法、食品衛生法、食品表示法等の規制を受けることになる。食品表示法においては組換えDNA技術に該当する「遺伝子組み換え食品」は遺伝子組換え表示制度に基づく表示が必要となるが、組換えDNA技術に該当しないゲノム編集技術等を用いている場合には食品表示基準の表示の対象外となっている。また、食品衛生上の扱いとしても、従来の育種技術でも起こりうるリスクにとどまるものは届出・公表のみを義務付けており、組換えDNA技術のような安全性審査は不要とされている（図5図5）。

報告書:ゲノム編集技術応用食品等の食品衛生上の取扱い

(注)この概念図は、各タイプの代表となるケースとその取扱いを示したものであることに留意が必要。

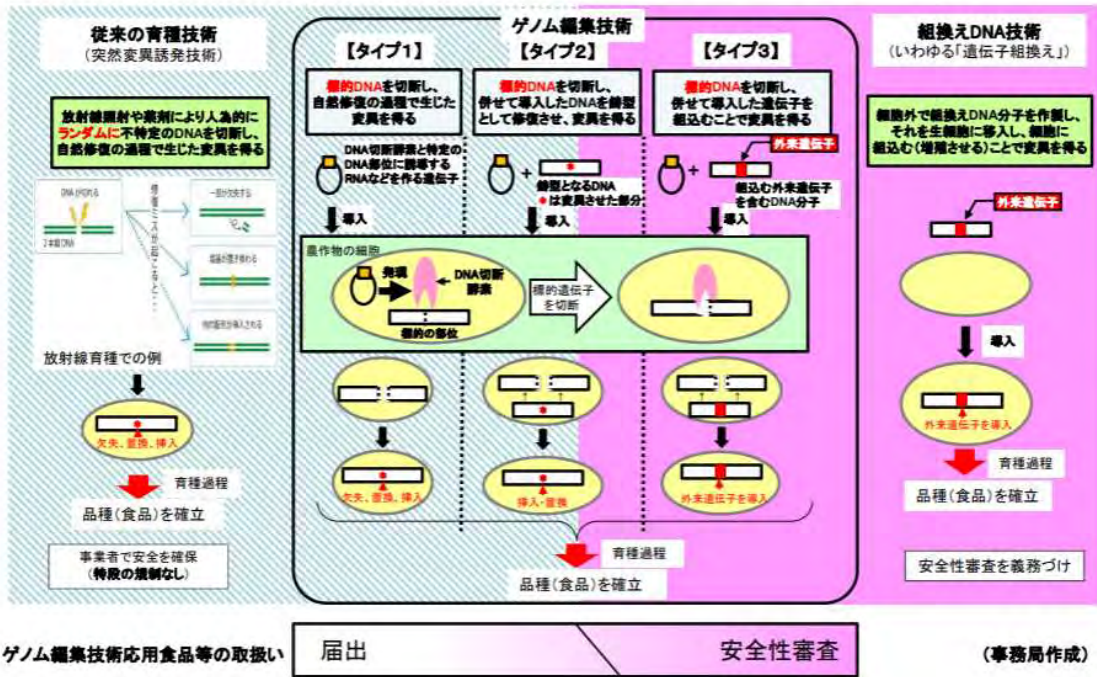


図 5 ゲノム編集技術応用食品等の食品衛生上の取扱い¹⁹⁾

¹⁹⁾ ゲノム編集技術を利用して得られた食品等の食品衛生上の取扱いについて
https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/food_safety/risk_commu_2019_001/pdf/risk_commu_2019_01_190726_0003.pdf (2020年3月閲覧)

4. 米国調査結果

4.1 Genspace²⁰

4.1.1 概要

(1) 運営体制

以下の体制で運営されている。実際の事業の運営には、これ以外のボランティアも参加している。

属性	氏名（担当業務等）
業務運営	<ul style="list-style-type: none">• Beth Tuck (Director of Science Education)• Angela Armendariz (Director of Operations)• Leticia certier Oxley (Program Associate)• Ashley Jane Lewis (Science Communicaiton Ambassador)
インストラクター / Instructor	<ul style="list-style-type: none">• Julie Wolf• Gillian Bayne• Daniell Trofe ほか 13 名
理事会 / Board	<ul style="list-style-type: none">• Jonathan Badal, Chair (Opentrons, CEO)• Nurit Bar-Shai (Genspace 共同設立者)• Kathy High (Rensselaer Polytechnic Institute, Professor)• Thomas Knight (Gingko Bioworks 設立者)• Mark Merrill (Poncho Solutions LLC 共同設立者)• Daniel Grushkin (Genspace 共同設立者、Biodesign Challenge 設立者・Executive Director)

会費は、コミュニティ会員が\$100/月、個人会員（専用の保管スペースが割り当てられ、自分で行った発見についての知的所有権も保持可能）が\$200/月、企業会員が\$800/月となっている。これらの会費のほか、協賛企業などからの援助が運営資金になっている。

(2) 設立の趣旨・目的

Genspace は、バイオテクノロジーへのアクセスを通じて、市民の間にサイエンス・リテラシーを浸透させるために設立された非営利組織である。具体的な活動としては、市民向けのアウトリーチ・プログラム、カルチャー・イベント、イノベーションのためのプラットフォーム提供を行う。

現在の会員は、研究者、科学者、アーティスト、デザイナー、企業家、ホビイスト、教師と学生などが参加している。

²⁰ Genspace ウェブサイト：<https://www.genspace.org/>（2020年3月閲覧）

4.1.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

2010年から実験室の提供を開始し、独立研究者、科学者、アーティスト、デザイナー、起業家、ホビイスト、教師や学生に設備を貸し出している。2017年からはバイオセーフティレベル²¹に対応した新しい実験室（Sunset Park）に移転した。

現在実施されているコミュニティ・プロジェクトは以下の通り。

a. Open Plant Collaboration

コケの一種である *Mitrasacme polymorpha* を使った物質生産プロジェクトで、国際的な研究コンソーシアムである Open Plant Project への参加を目指している。現在は実験材料としての *M. polymorpha* 系統の確立を進めており、将来的には遺伝子工学的な手法を用いて抗体等のタンパク質の製造を行う予定である。

b. Optgenetics

細胞に光応答性を付与することを目的とする。アウトプットとして光を発色する系の確立を進め、異なる光を組み合わせて遺伝子発現の調節を行うことを目指す。最新の合成生物学の手法を用いて生物を制御し、バイオマテリアルの生産、有用酵素の発現制御等を行うことを目標とする。

c. Expressive Matter: Biomaterials

生物を用いて、より持続可能な生産技術を確立するとともに、新素材の生産を目指す。様々な生物学的手法を用いて、現在の設計における問題点を解決するためのプロトタイプとソリューションを提案することを目指す。

上記のような実験プロジェクトと並行して、市民がバイオテクノロジーを学ぶための教室を開講している。これまでに実施した主な講義、体験講座は以下の通りである。なお、下記のようなバイオテクノロジーに関する講義以外にも、ニューロサイエンス、科学におけるピアレビューなど、科学技術全般に関する講義も実施している。

- ・ バイオハッカー・ブートキャンプ（定期的開催）
 - バイオ実験の入門講座であり、バイオテクノロジーの基礎を学んだ後、PCR、電気泳動、DNA 配列決定等の実験を行う。
- ・ プログラミング言語 R を用いたゲノムデータマイニング
- ・ 微生物学の最新トピックスに関する連続講義
- ・ 合成生物学に関する講義（3回コース）
- ・ CRISPR/Cas9 を用いた合成生物学実験（バイオ実験の経験者向け）

²¹ WHO の「実験室バイオセーフティ指針」に定められている基準のひとつで、これに準拠することによってヒトや動物に疾患を起こす可能性の無い微生物を用いた実験が可能となる。

- ・ 医学、アート、地球のためのタンパク質工学（3回コース）
 - ▶ タンパク質の合成実験を行った後、その応用（がん研究、製造、アート、環境等）についてディスカッションする。
- ・ CRISPR ベビー
 - ▶ ゲノム編集による双子児の誕生というニュースを受けて、この技術の利用のあり方について議論する。
- ・ 食物の将来：2050年の食品について考える講座
- ・ パーソナル遺伝学：独自の遺伝子検査を開発する
 - ▶ 遺伝子検査の歴史と今後の展望について議論した後、フリーのオンラインツールを用いて自分が興味を持つ形質についての遺伝子検査キットを考案する。

このほか、学校向けのプログラム（Biorocket Program）として、高校生を対象とした放課後バイオ講座、夏休み体験講座などを実施している。さらに、生物学の教師向けのバイオ実験教室を開催し、教師がPCR、電気泳動、DNA バーコード等の実験手法を学ぶ場を提供している。

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

ELSI/RRI に特化したプログラムは実施していないが、市民向け講義の中で ELSI/RRI に関する話題を適宜カバーしている。前述の通り、これまでの市民向け講座の中で CRISPR ベビー、遺伝子検査、遺伝子解読の生命倫理といった講義が行われている。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

米国微生物学会の Agar Art コンテストに参加し、発光バクテリアを使ったビジュアルな Agar Art の作製を行った。このほか、ハロウィンのパーティ等でも同様のイベントを行っている。



図 6 Agar Art の作品例²²

²² Genspace ウェブサイト（イベント紹介）：<https://www.genspace.org/events>（2020年3月閲覧）

4.1.3 サービス及びプログラムの成果の形態

サービスおよびプログラムは、講義、ワークショップ、体験講座、個別のプロジェクト、コンテスト参加といった様々な形態で行われている。

4.2 BioCurious²³

4.2.1 概要

(1) 運営体制

以下のメンバーを中心に運営されている。

属性	氏名（担当業務等）
理事会 / Board	<ul style="list-style-type: none">• Joe Bamberg (Ph.D, 有機化学)• Maria Chavez (Executive Director, Treasurer & Director of Community Engagement)• Eric Espinosa (Board Member)• Eri Gentry (Chairman of the Board)• Jay Hanson (Board Member)• Eric Harness (President, Secretary & Director of Lab Operations and Safety)• Innokenti Touloukhonov (Board Member, 2017 年から)

(2) 設立の趣旨・目的

BioCurious は、バイオテクノロジーによるイノベーションを市民にとってアクセス可能でオープンなものにすることを目指して、市民（アマチュア）、発明家、起業家等にコミュニティ・ラボを提供する。

BioCurious は 6 人の起業家により 2010 年に設立された組織で、シリコンバレーを拠点とする世界初のコミュニティ・ベースのバイオリボと謳っている。

4.2.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

誰もが科学に参加できるようにすべきとの考えから、市民に開かれたコミュニティ・プロジェクトを実施している。BioCurious のラボを用いる実験はバイオセーフティレベル 1 に準拠して行われている。現在実施中のプロジェクトは以下の通り。

a. バイオプリンタ

DIY の 3D 細胞プリンタの開発プロジェクトで、細胞を立体的に組み上げることで生体組織や器官の構築を目指す。

²³ BioCurious ウェブサイト : <http://biocurious.org/> (2020 年 3 月閲覧)

b. Real Vegan Cheese

Counter Culture Lab との共同プロジェクトで、動物を一切使用せずにチーズ製造を行うことを目指す。

c. Cuttlefish（コウイカ）の RNA 解読

環境変化と RNA エディティングとの関係を明らかにすることを目指す。

d. Kombucha Genomics（昆布茶のゲノミクス）

昆布茶の製造に関連するバクテリアと酵母のリボソーム配列の決定、微生物の単離と培養等を行う。

e. Open Insulin

ジェネリック・インスリンを製造し、上市することを目指す。

f. Community Garden Project

Biocurious が所有する市民農園において、様々な植物を栽培する。

そのほか、これまでに実施または中断中のプロジェクトとして以下のようなものがある。

- ・ Lab on a Chip（マイクロ流体デバイスの開発）
- ・ 量子生物学（表面プラズモン共鳴装置の開発）
- ・ 顕微鏡作製プロジェクト
- ・ iGEM2015 への参加
- ・ 植物バイオテクノロジー（暗闇で光る植物の開発）
- ・ Bioluminescence（生物発光）

また、イノベーションを目指す企業向けのワークショップを開催し、ラボの見学やシリコンバレーの周辺施設（Google、SRI インターナショナル）の訪問を含めた研修プログラムを提供し、イノベーションを達成するためのヒントを提供している。

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

BioCurious は市民に開かれたコミュニティ・ラボを志向しており、すべてのプロジェクトは RRI に関連しているものの、ウェブサイトの情報から判断する限り、BioCurious のプロジェクトは具体的な実験・解析を主眼とするもので、ELSI をテーマとしたプログラム・講義等は実施されていないと考えられる。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

アート自体を主眼としたプログラムは実施されていないが、上記の暗闇で光る植物や生物発光のプロジェクトは、バイオテクノロジーの成果をアピールする上で視覚的効果を意

識したプログラムと言える。

4.2.3 サービス及びプログラムの成果の形態

市民向けのプロジェクト、企業向けのワークショップ、研修サービスを中心にサービスを展開している。また、BioCurious の会員は合成生物学のコンテストである iGEM にも参加している。

4.3 Baltimore Underground Science Space (BUGGS)²⁴

4.3.1 概要

(1) 運営体制

Baltimore Underground Science Space (BUGGS)の運営体制は以下の通り。大学、企業関係者が中心メンバーになっている。

属性	氏名 (担当業務等)
理事会 / Board および運営幹部	<ul style="list-style-type: none">• Tom Burkett (チェアマン、ボルチモア郡コミュニカレッジ教授)• Anne Hamburger (ボード・メンバー、メリーランド大学名誉教授)• J. Casey Lippmeier (ボード・メンバー、Conagen Inc. 副社長)• Ryan Hoover (ボード・メンバー、メリーランド芸術大学教授、アーティスト)• Dileep Monie (ボード・メンバー、メイヨー・クリニックカレッジ・オブ・メディスン・アンド・サイエンス博士課程)• Lisa Scheifele (ボード・メンバー、兼 エグゼクティブ・ディレクター、メリーランド・ロヨラ大学准教授、生物学)• Ed Wonilowicz (バイオセイフティ・オフィサー)

活動資金は個人や企業スポンサー等からの寄付 (現物支給を含む)、会費により賄われており、スポンサーには、Becton Dickinson、米国生化学・微生物学会、アストラゼネカ、Qiagen等の企業・学会が含まれている。

(2) 設立の趣旨・目的

BUGGS は、誰もが生命科学の研究を実施できるように支援を行うオープンラボである。生物学が将来の製造技術になると考え、生物学、アート、工学と公共政策を結びつけることを目指している。

²⁴ BUGGS ウェブサイト : <http://bugssonline.org/> (2020年3月閲覧)

4.3.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

BUGGS は、水曜日から金曜日の午後 3～9 時、土曜日の午前 9 時～午後 5 時まで一般に開放されており、バイオセーフティレベル 1 の実験を行うことができる。一般的な微生物学、合成生物学の実験設備のほか、3D プリンタ等のデジタル製造機器も保有している。

生物学の研究者は、BUGSS の教育委員会で承認されれば、BUGSS の設備を用いて市民向けの講座を開講できる。スタートアップ企業は、会費を支払うことで BUGSS の設備を利用したり、技術的な支援を受けたりすることができる。

一方、市民向けには、学校のクラブや親子向けの体験教室、iGEM に参加する学生の支援、生命科学に関連するセミナー、ワークショップ等を実施している。

このような活動から生まれたプロジェクトとしては、以下のようなものがある。

a. 酵母を用いた合成生物学プロジェクト

NSF 主催の Build-a-Genome ネットワークから生まれたプロジェクトで、酵母の染色体を操作することで、どのような新しい形質を付与できるか実験する。高温や高濃度のカフェインに耐性を有する酵母の作出に成功している。

b. DNA バーコード (Barcoding the Harbour)

ボルチモアのインナー・ハーバーの海水を採取し、海水中に含まれる DNA を解析することで、どのような生物が生息しているのかを明らかにする。ボルチモアにある国立水族館、海洋・環境工学研究所 (IMET) との共同プロジェクト。

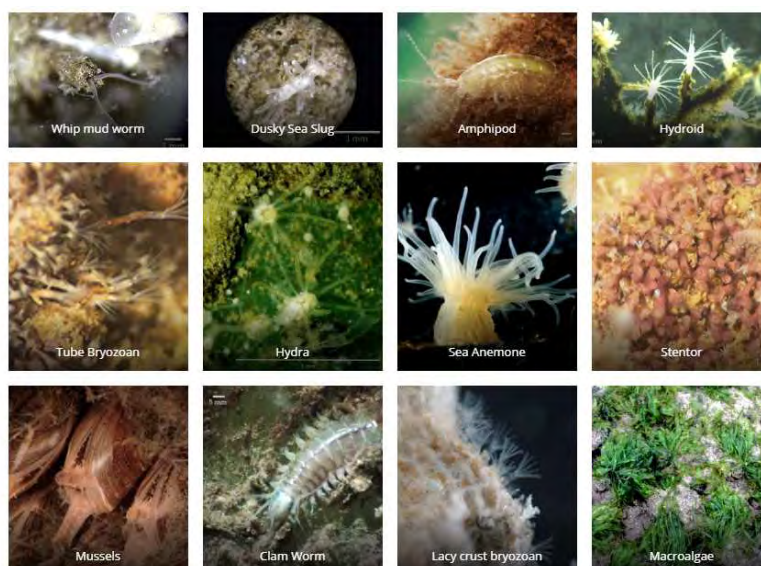


図 7 DNA バーコードプロジェクトで同定された生物²⁵

²⁵ BUGSS ウェブサイト (プロジェクト紹介) : <http://www.bugssonline.org/innerharbor/> (2020年3月閲覧)

これまでに開催されたセミナーや講座、パネルディスカッションのテーマには、CRISPR によるゲノム編集、プラスミド DNA の抽出、インフルエンザ対策（サーベイランスやワクチン開発）などがある。

(2) ELSI/IRRI に関連するプログラム・講義等

ELSI/IRRI に特化したプログラムは実施されていない。講義、セミナーの中で必要に応じて関連の話題が取り扱われていると考えられる。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

BUGGS の活動は生物学的視点が強く、アートを強く意識したプログラムは多くないが、市民向け活動の一環として微生物を培養してアート作品を制作する Agar Art のコンテスト（米国微生物学会主催）に参加している。

4.3.3 サービス及びプログラムの成果の形態

セミナー、ワークショップを中心にサービスを展開し、その一環でコンテスト（Agar Art）に参加するなどして、成果を発信している。また、DNA バーコードプロジェクトでは、外部研究機関（前述の国立水族館や IMET 等）と共同研究を行い、その結果を環境保全の基礎資料として活用することを試みている。

4.4 BosLab²⁶

4.4.1 概要

(1) 運営体制

BosLab の運営は、以下の中心メンバーにより行われている。

属性	氏名（担当業務等）
業務運営	<ul style="list-style-type: none">• Wendy Pouliot (プレジデント、神経科学者、科学教育とアウトリーチに関心あり)• Lada Sycheva (ボード・メンバー、構造生物学者、ワクチン開発に従事)• Francis Lee (ボード・メンバー、コンピュータ生物学)
インストラクター（担当コースと役職、経歴）	<ul style="list-style-type: none">• Sebastien Vigneau (「生物学入門」担当、ファシリテーター、パスツール研究所でがん研究に従事)• Kellen Andrienas (「バイオテクノロジーの基本」担当、インストラクター、ボストン大学出身、分子細胞生物学)• Sanda Zoji (「バイオテクノロジーの基本」担当、インストラクター、ボストン大学出身、分子細胞生物学)• Larry Melnick (「DNA 法医学」担当、インストラクター、PhD、バイテクスタートアップ企業の社長)

運営にあたっては、これ以外のボランティアが適宜協力している。旧運営メンバーには、微生物学者（MIT 出身者など）、バイオ企業の研究者、化学工学者、ソフトウェアエンジニア等が含まれている。

(2) 設立の趣旨・目的

BosLab は、バイオテクノロジーをアカデミアと産業界のためだけでなく、すべての市民のために民主化することを使命としている。バイオテクノロジーに関する講義、ワークショップを開催するとともに、公益に資するコミュニティ・ベースの研究を支援するためのラボを提供する。インクルーシブで楽しく、安全でイノベティブな環境のもと、あらゆるコミュニティメンバーの参加により、透明性の高い科学研究を進めることを提唱している。

²⁶ BosLab ウェブサイト：<http://boslab.org/>（2020年3月閲覧）

4.4.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

設立趣旨を踏まえ、活動は、講義・ワークショップと特定のテーマに関するプロジェクトに大別される。

講義・ワークショップとしては、バイオハッキングの基礎（分子生物学の基礎と初歩的な実験技術を学ぶ2日間コース）、実験技術と安全トレーニングなどが行われている。これらの実験はバイオセーフティレベル 1 に準拠した実験室で行われている。このほか関連の活動として、分子生物学のジャーナルの輪読会、研究者による研究紹介（アウトリーチ）も実施されている。

プロジェクトは以下のテーマで実施されている。

a. 酵母の遺伝子工学プロジェクト

酵母を遺伝子操作することにより、食品等に利用可能な香料などの有用物質を産生させる。

b. 裏庭の微生物叢解析

一般家庭の庭から土壌微生物を採取して 16s rDNA の解析を行い、どのような微生物が生息しているかを調査する。

c. 教育用ビデオ制作

形質転換、PCR 等の基本的なバイオテクノロジーの手法を誰もが学べるようなビデオを制作する。

d. DNA 配列決定（Nanopore Sequencing）

DNA 配列の決定方法と必要な実験技術、バイオインフォマティクスを学ぶとともに、ペットや土壌、食品の DNA を分析する。さらに、自分の DNA を対象に特定の変異の有無を調べる。

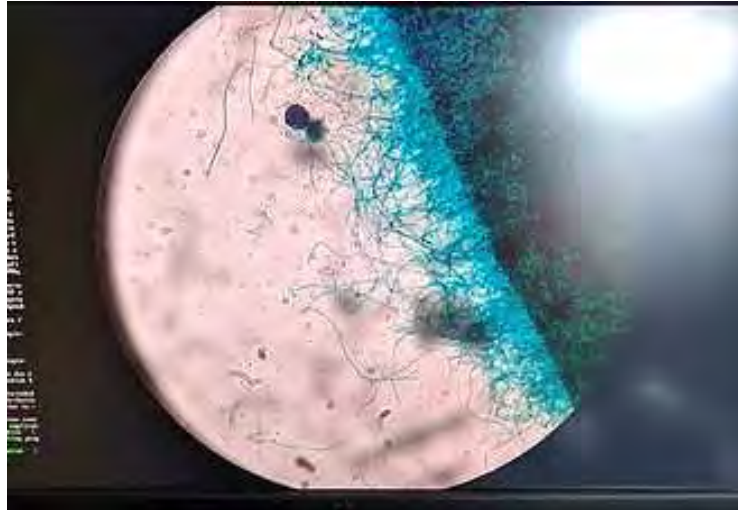


図 8 教育用ビデオの画面イメージ²⁷

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

ELSI/RRI に特化したプログラムは実施されていないが、上記のプロジェクトの中で、例えば、GMO 食品やヒトの遺伝情報の取り扱いなど、関連するトピックが取り扱われていると考えられる。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

BosLab のプログラムでは、アートを前面に出したプログラムは実施されておらず、微生物学、分子生物学を主眼とするプログラムが中心となっている。

4.4.3 サービス及びプログラムの成果の形態

講義、ワークショップとプロジェクトを中心にサービスを展開し、その一環として上述の技術教育用ビデオを制作している。

²⁷ BosLab ウェブサイト（プロジェクト紹介）：<https://www.boslab.org/projects>（2020年3月閲覧）

4.5 Biotech Without Borders²⁸

4.5.1 概要

(1) 運営体制

Biotech Without Borders の運営体制は以下の通り。

属性	氏名（担当業務等）
運営事務局（ボード）	<ul style="list-style-type: none">• Ellen Jorgensen (ボード・メンバー、PhD、バイテクスタートアップ企業の科学主任、2017年にはFast Company 誌により最もクリエイティブなビジネスリーダーに選定される。バイオハッキングや CRISPR をテーマに TED に出演した経歴を有する。)• Kumar Vadaparty (ボード・メンバー、PhD、コンピュータ科学者、大学での教職を経て現在は金融関係の業務に従事)• Megan Wallner (ボード・メンバー、M.A. 科学教育が専門。高校で DNA 科学と環境科学を教える。)

会費は一般会員が\$100/月、バイオセーフティレベル 2 の実験室を使用する会員が \$ 200/月となっており、こうした会費のほか、企業等からの寄付をもとに運営が行われていると考えられる。

(2) 設立の趣旨・目的

バイオテクノロジーを民主化して有用で平和的な目的に活用し、人類と地球に貢献することを目的とする。この目的を達成するためにバイオテクノロジーのすべてのエンドユーザー（市民）にバイオテクノロジーに参加する機会を提供する。

4.5.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

Biotech Without Borders のプログラムは、学生向け、教師向け、発明家向け、一般向けの 4 種類に大別される。

学生向けプログラムでは、地元の高校生、大学生がインターンとしてラボを使用し、遺伝子工学の基礎的な実験技術を習得する。

教師向けプログラムでは、地元の高校の教師にバイオテクノロジーを体験する機会を提供するほか、学校での実験に必要な試薬、機器の無償提供を行う。

発明家向けプログラムでは、起業家、ホビイスト、教育者等にラボを提供し、彼らが自ら

²⁸ Biotech Without Borders ウェブサイト：<https://www.biotechwithoutborders.org>（2020年3月閲覧）

のアイデアを実証する場を提供する。

市民向けプログラムでは、バイオテクノロジー、合成生物学、組織培養等のクラスを開講している。さらに、科学者によるフリー・トーク、ナイト講座（夜間に開催される市民向け講座）も実施されている。なお、実験室はバイオセーフティレベル 1 の通常の実験室のほか、安全キャビネットを備えたバイオセーフティレベル 2 実験室の両方を備えており、一般向けの実験では通常の実験室、企業関係など特定の実験についてはバイオセーフティレベル 2 の実験室を利用している。

最近開催された講座、ワークショップの例は以下の通り。

a. PCR とピザの夜（PCR & Pizza night、無料）

参加者がピザとビールを楽しみながら科学について議論するとともに、自分の DNA の抽出と PCR による増幅を行い、CCR5 遺伝子の変異を調べる。

b. キノコが地球を救う（有料）

キノコを中心とする糸状菌がわれわれの健康、社会、環境にどのように役立っているかを学ぶ。講義だけでなく、家庭で入手可能な資材を用いた簡単な培養実験を行う。

c. 実験技術講座：DNA の切断と測定

DNA の切断と電気泳動による DNA の分子量決定を学ぶ。

d. 合成生物学によるバイオセンサーづくり（3 日間のアドバンス・コース）

合成生物学の手法を用いてバクテリアの DNA を操作し、バイオセンサーを作製する。対象は 13 歳以上（18 歳未満は親の付き添いが必要）で、特別な予備知識は不要だが、事前に Biotech Without Borders の実験技術に関するワークショップに参加していることを推奨。

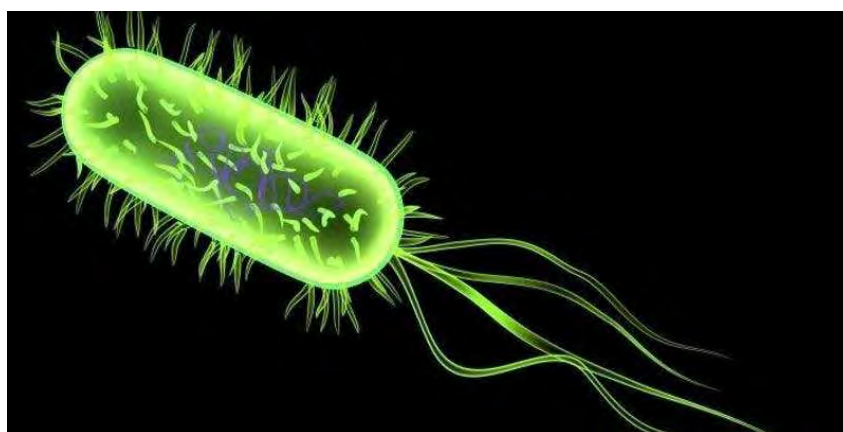


図 9 合成生物学によるバイオセンサーづくりのイメージ²⁹

²⁹ Biotech Without Borders ウェブサイト（コース紹介）
<https://www.biotechwithoutborders.org/classes>（2020 年 3 月閲覧）

このほかには、糸状菌の培養、科学ジャーナルの輪読会（ジャーナル・クラブ）、プログラミング教室も開催されている。

(2) ELSI/RRRI に関連するプログラム・講義等

ELSI/RRRI に特化したプログラムは実施されていないが、各種のセミナー、ワークショップの中で関連するトピックスが取り扱われている。

例えば、上記のジャーナル・クラブでは、2017 年からヒトの遺伝子治療をテーマに議論を行っている。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

Biotech Without Borders のプログラムでは、アートを前面に出したプログラムは実施されておらず、微生物学、分子生物学に関連するプログラムが中心となっている。

4.5.3 サービス及びプログラムの成果の形態

学生、教師、起業家、一般市民向けにバイオ教育やワークショップを開催することにより、幅広いステークホルダーに成果を発信している。

4.6 オープン型バイオ実験拠点等に対する規制等

米国はカルタヘナ議定書を締約していないため、日本におけるカルタヘナ法のような法律はない。遺伝子組み換え作物等に関しては「バイオテクノロジー政策に関する調和的枠組み」によって食品医薬局（以下、FDA という）、農務省（以下、USDA という）、環境保護庁（以下、EPA という）の3省庁によって分担して規制されている。遺伝子組み換え食品については連邦食品・医薬品・化粧品法に基づき FDA が、環境中で栽培される作物に対しては連邦植物保護法に基づき USDA が、害虫抵抗性作物については連邦殺虫剤・殺菌剤・殺鼠剤法に基づき EPA がそれぞれ規制している。

遺伝子組み換え食品については、2016年に全米バイオ工学食品情報公開法が制定され、表示義務が課せられるようになった。また、CRISPRをはじめとするゲノム編集技術を用いた農作物に関しては、2018年にUSDAが規制しない方針を発表した。一方で、DIYバイオにおけるゲノム編集技術の利用を規制する動きも出始めており、カリフォルニア州ではDIYバイオ用の遺伝子編集キットに「自己投与禁止」の警告文の記載を義務づける法律が2019年に制定された。

なお、米国に限らず国際的な指針として世界保健機関（以下、WHO という）が定めた実験室バイオセーフティ指針があり、本指針ではリスクによってバイオセーフティレベル1～4に分類され、それぞれの施設要件等が定められている。米国国内でも Genspace や BUGGS がバイオセーフティレベル1に準拠した実験室を有している。

また、科学雑誌の出版社等に対する規制も存在する。2003年のFinkレポートを機に、2005年にThe National Science Advisory Board for Biosecurity（以下、NSABB という）が設立された。当該機関は出版前の研究論文の内容を確認し、バイオテロへの悪用の可能性等がある場合には論文の修正、削除、発表差し控え等を勧告している。2011年には東京大学の河岡義裕氏らのグループがNatureに投稿した「鳥インフルエンザウイルス H5N1」に関する論文に対して発表の差し控えを勧告している³⁰。

³⁰ Nature Microbiology インタビュー記事

<https://www.natureasia.com/ja-jp/nmicrobiol/interview/6>（2020年3月閲覧）

5. 欧州調査結果

5.1 Biohackspace³¹ (英国)

5.1.1 概要

(1) 運営体制

Biohackspace は、コミュニティが運営する非営利の生物学・微生物学のラボであり、会費とスポンサーからの寄付により運営されている。運営担当者の詳細については HP に情報がない。

会費は週 2.50 ポンドまたは月 10 ポンドで、会費を支払うことにより、Biohackspace が所有する PCR、遠心機、インキュベータ、オートクレーブ等の機器を使用することができる。賛助会員は毎月 15 ポンドを寄付することが必要で、賛助会員も通常の会員と同様に実験設備を使用でき、通常会員と同様に各種の提案に賛否の投票を行うことができる。

このほか、サポーターは 10 ポンド、シルバー会員は 500 ポンドまたはこれに相当する資材、ゴールド会員は 2000 ポンドまたはこれに相当する資材を寄付することとされている。

2020 年 1 月現在、SynbiCITE、UCL Engineering、London Hackspace といった合成生物学、DIY リサーチに関連する団体がゴールド会員となっている。

(2) 設立の趣旨・目的

施設は Containment Level 1³²に準拠しており、簡単な non-GMO 実験を主に実施するほか、関連のワークショップ等を開催している。

5.1.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

Biohackspace では、以下のようなプロジェクトを実施している。

a. JuicyPrint

果汁を栄養源として微生物を培養し、バクテリアセルロースを用いた 3D プリンティングを行うことにより、有用な造形物を製造するプロジェクト。バクテリアセルロースの製造には、遺伝子組換え微生物 (*Gluconacetobacter hansenii*、アセトバクターとも呼ばれる) を用い、セルロース生産を光によりスイッチオン・オフする遺伝子を組み込むことを計画している。最終的には、様々なレイヤーからなる 3 次元構造体を作ることを目指している。

³¹ Biohackspace ウェブサイト : <https://biohackspace.org/> (2020 年 3 月閲覧)

³² 英国の「Genetically Modified Organisms (Contained Use) Regulations」によって定められた拡散防止措置のレベルのひとつ。これに準拠することによってヒトや動物に疾患を起こす可能性の無い微生物を用いた実験が可能となる。

b. *Pyrocystis fusioformis*

Pyrocystis fusioformis は単細胞の渦鞭毛藻であり、物理的・化学的刺激により発光する。この微生物の培養方法を確立することを目標とする。

c. OD600 分光光度計

バクテリアの培養においては、バクテリアの増殖が活発な時期（対数増殖期）を的確に把握することが必要であり、分光光度計による OD600 の測定が増殖の指標として用いられる。このプロジェクトでは、安価で頑丈、高信頼性の OD600 分光光度計を作製することを目指す。

上記のようなプロジェクト以外にも、DNA の抽出、顕微鏡の使用方法、バイオデザイン（Bio Inspired Shapes）等をテーマにしたワークショップを開催している。

(2) ELSI/RRRI に関連するプログラム・講義等

Biohackspace のウェブサイトの情報から判断すると、ELSI/RRRI を直接のテーマにしたプログラムは実施されていないと考えられる。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

必ずしもアートを主眼とするプログラムではないが、上述の *Pyrocystis fusioformis* プロジェクトやバイオデザインをテーマにしたワークショップにおいてアート視点を取り入れられている。

Bio Inspired Shapes のワークショップでは、生物の生み出す造形をヒントに新しいデザインを考案し、ソフトウェアを用いた描画を行っている。

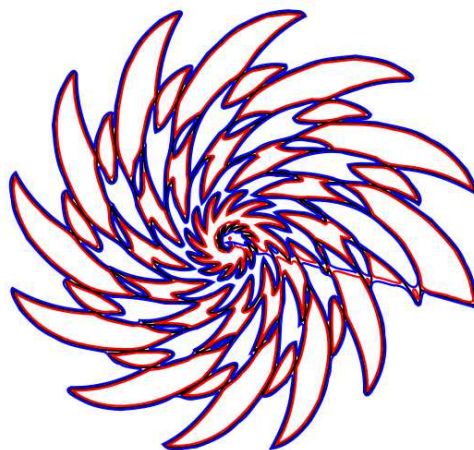


図 10 Bio Inspired Shapes によるデザイン例³³

³³ Biohackspace ウェブサイト：<https://biohackspace.org/2019/09/bio-inspired-shapes/>（2020年3月閲覧）

5.1.3 サービス及びプログラムの成果の形態

バイオテクノロジーに関する実験教室、ワークショップを開催しながら、上述のバイオデザインに関するワークショップ等を開催し、アート視点を取り入れた成果を外部に公表している。

5.2 Biomakespace Cambridge³⁴ (英国)

5.2.1 概要

(1) 運営体制

運営体制は以下の通りとなっており、ケンブリッジ大学の関係者が中心となっている。実際の運営に当たっては、これ以外にもボランティアやインターンが協力している。

運営資金は、サポーターからの会費、個人の寄付、スポンサーからの援助（ケンブリッジ大学、Gurdon Institute、Zapier 等）により賄われていると考えられる。

属性	氏名（担当業務等）
ディレクター (Director)	<ul style="list-style-type: none">• Dr. Jenny Molloy (ガバナンス・ストラテジー担当、分子生物学で PhD 取得、データマイニングに関する非営利の研究組織である ContentMine の設立にも関わる)• Roger Mason (安全・実験室管理担当)• Abigali Wood (トレーニング・広報担当)• Dr. Katia Smith-Litière (財務・パートナーシップ担当、ケンブリッジサイエンスセンターの共同設立者)
アドバイザー・ボード (Advisory board)	<ul style="list-style-type: none">• Prof. Jim Haseloff (ケンブリッジ大学、植物科学)• Nicola Buckley (ケンブリッジ大学科学・政策センター)• Dr. Jonathan Millner (Abcam Plc and Meltwind Ltd)• Stewart McTavish (ケンブリッジ大学アイデアスペース所属)• Dr. Jim Ajioka (ケンブリッジ大学、病理学)• Dr. Ward Hills (Open Labs and Makespace Ltd)

(2) 設立の趣旨・目的

Biomakespace Cambridge は、ケンブリッジ地域のコミュニティ・バイオラボであり、最先端のバイオテクノロジーの利用を希望する市民科学者、起業家、その他のプロフェッショナルのための組織である。あらゆる年代の生物学者、技術者、アーティスト、学生等にトレーニングと新しい経験を提供する。

ラボはケンブリッジ大学のバイオメディカル・キャンパス内の旧分子生物学実験室内に設置されている。

³⁴ Biomakespace Cambridge ウェブサイト : <https://biomake.space/> (2020年3月閲覧)

5.2.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

Biomakespace は、ウェットな実験のための3箇所のスペース（Containment Level 1）とワークショップやドライ実験のためのスペースを有している。建物は、ケンブリッジ大学が地元企業とのパートナーシップのもとリニューアルしたもので、起業家等の交流スペースであるアイデアスペース（Ideaspace）も同じ建物に入っている。

この設備を利用して次のようなプロジェクトが実施されている。

a. Open Source Bioreactor

微生物を培養するために低コストのバイオリアクターの開発を行う。

b. Plug and Play Synthetic Biology Education

プラグ&プレイで利用可能な遺伝子回路を構築するツールを開発するプロジェクト。

c. SCOBYseq

身の回りに存在する酵母などを対象に、塩基配列解読技術を用いて新しい食品微生物を探索するプロジェクト。

d. Bacterial Photography

ケンブリッジ大学合成生物学会の協力のもと実施されているプロジェクトで、光に反応して色を変えるバクテリアの創出を目的とする。アイデアの原点は、Nature や Cell に掲載された論文にもとづく³⁵。

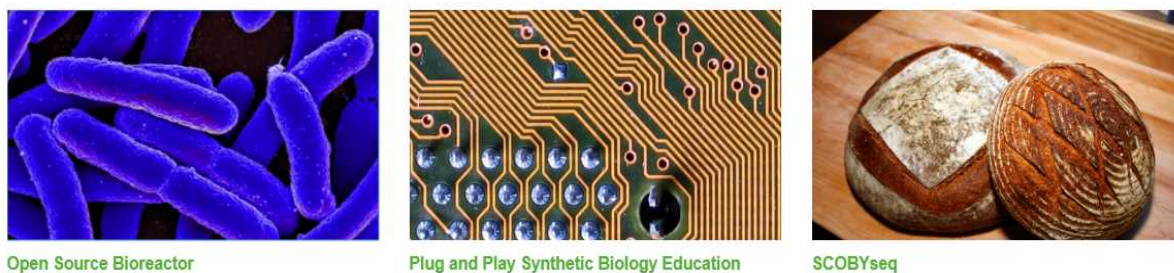


図 11 Biohackspace のプロジェクト例³⁶

Blog の情報によると、これらのプロジェクト以外にも、藻類の分離方法、動物の行動を研究するためのツールキット、分子生物学用の酵素キットといったテーマでプロジェクト

³⁵ Engineering Escherichia coli to see light, Anselm Levska *et al.* Nature, 438, 441-442(2005)

A Synthetic Genetic Edge Detection Program, Jeffrey J. Tabor *et al.* Cell, 137, 1272-1281(2009)

³⁶ Biohackspace ウェブサイト（プロジェクト紹介）：<https://biomake.space/home/projects>（2020年3月閲覧）

のアイデアが提案されている模様である。

以上のようなプロジェクトのほかに、合成生物学に興味をもつ人のためのワークショップや交流会、合成生物学をテーマとするサイエンスカフェ (Café Synthétique)、実験室の見学ツアー、安全教育等を実施している。

(2) ELSI/RRRI に関連するプログラム・講義等

ELSI/RRRI に特化したプログラム・講義等は特に開催されていない。ワークショップや安全教育、トレーニングの中で必要に応じて関連の話題が取り扱われていると考えられる。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

ウェブサイトの情報から判断すると、Biomakespace の活動は、学術的な視点にもとづく合成生物学、微生物学を主たるテーマとしており、アート視点はあまり意識されていないと考えられる。

5.2.3 サービス及びプログラムの成果の形態

特定のテーマに関するプロジェクト、ワークショップを開催するほか、一般向けのサイエンスカフェを開催するなど様々な形態で成果を発信している。

5.3 OpenGenX³⁷ (英国)

5.3.1 概要

(1) 運営体制

OpenGenX はノッティンガム大学の生物学、計算機科学の大学院生が設立した DIY バイオを推進するための組織であり、英国ノッティンガム中部地域における最初の DIY バイオラボであると謳っている。ノッティンガム大学の学生を中心に運営されているが、人員構成など運営体制の詳細は不明である。

(2) 設立の趣旨・目的

生物学的システムを分解し、それを有用な方法で再び組み立てることにより、イノベーションにつなげることを目指している。併せて、外部との協力と安全の確保を重視している。

英国のヒト組織法 2004 (Human Tissue Act 2004) にしたがって、DIY バイオの実験では実験者本人の DNA しか使用せず、DNA 分析用に他人のサンプルの取得は行わない方針を採用している。また、英国の規制に対応して、現時点では遺伝子改変は実施していない。遺伝子工学実験を行う場合は、正式な承認を得ることを予定している。

こうした方針を受けて、病原微生物を使用したり、病原性を付与するような実験も行わないとしている。

OpenGenX では、倫理・安全に関する基本方針を倫理規範 (Ethical Code) として次のようにまとめている。

OpenGenX の倫理規範³⁸

- 透明性：我々は透明性とアイデア、知識、データと結果の共有を重んじる。
- 安全性：我々は安全なプロトコルを採用する。
- オープンアクセス：我々は市民による科学と脱中央集権的なバイオテクノロジーへのアクセスを促進する。
- 教育：我々はバイオテクノロジーとそのベネフィット、意味についての市民への教育を支援する。
- 謙虚さ：我々は人がすべてを知り得ないことを理解する。
- コミュニティ：我々はあらゆる懸念に耳を傾け、誠実に対応する。
- 平和目的：我々はバイオテクノロジーを平和的な目的にのみ使用する。
- 敬意：我々は人間とすべての生命システムに敬意を払う。
- 責任：我々は生命システムの複雑性とダイナミクス、およびそれらに対する我々の責任を認識する。
- 説明責任：我々は自らの行動と本規範を掲げることに対して説明責任を果たす。

³⁷ <http://www.opengenx.wordpress.com/>

³⁸ OpenGenX ウェブサイト <https://opengenx.wordpress.com/ethics-code/> (2020年3月閲覧)

5.3.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

OpenGenX では、DIY バイオに関する実験プロジェクトを実施している。これまでに組み込んだプロジェクトは以下の通りである。

a. ヒトのゲノム DNA の増幅

実験者本人の DNA を抽出し、PCR により目的遺伝子 (ホスホジェステラーゼ 1c、*PDE1c*) を増幅する。専門的な実験器具を使用せずに、台所製品のような日用品を用いて実験ができるような DNA 抽出プロトコルの開発を試みており、プロトコルはウェブサイトで公開されている。

Volumes used for the PCR:	
Reagent	Standard volume (μl) x 4.1 (μl)
10x PCR buffer:	2.50 10.25
Mg2+ (50mM stock):	0.75 3.08
dNTPs (5mM stock):	1.00 4.10
Taq DNA polymerase (1 unit/μl):	0.50 2.05
DEPC water:	12.75 52.28
F primer (10μM):	1.25 5.13
R primer (10μM):	1.25 5.13
Total:	20 82.00

Conditions used for the PCR:	
1) Initial denaturation at 94°C for 3 minutes	
2) 94°C for 45 seconds	
3) 58°C for 30 seconds	Step 2 to 4, 35 cycles
4) 72°C for 30 seconds	
5) 72°C for 10 minutes (final extension)	
6) 4°C pause	

図 12 OpenGenX による PCR 実験のプロトコル³⁹

b. 「汝の祖先を知れ」 (Know thy ancestor)

安価で確実なヒト DNA ジェノタイピング手法の開発を目的とする。容易に入手可能な薬品と器具を用いた DNA の抽出方法の開発、適切な SNP の選定と PCR 条件の最適化、PCR の結果を自動的に解析し、祖先の解析結果をスマートフォンで送信するアプリの開発を行う。

³⁹ OpenGenX ウェブサイト <https://opengenx.wordpress.com/protocol/polymerase-chain-reaction-pcr/> (2020 年 3 月閲覧)

c. ヒトの声の遺伝様式の解明 (Heritability of Human Voice)

ノッティンガム大学との共同プロジェクトで、人間の声のパラメータの遺伝様式を解明することを目標とする。最終的には、両親の声から子供の声を予測するアプリの開発を目指している。

(2) ELSI/RRR に関連するプログラム・講義等

ELSI/RRR を直接のテーマとする研究は実施していないが、前節で述べた通り、プロジェクトの実施に当たって倫理と安全に関する方針を定め、それに則ってプロジェクトを実施している。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

生物学、計算機科学の学生が中心となって運営されているため、アート視点というよりも、基礎的実験を重視したプログラムが中心になっていると考えられる。

5.3.3 サービス及びプログラムの成果の形態

実験参加者の DNA を用いた実験を中心に活動を行っている。実験の結果を踏まえて作成された DNA 抽出プロトコルはウェブサイトで公開されている。

5.4 top (Association for the promotion of Cultural Practice)⁴⁰ (ドイツ)

5.4.1 概要

(1) 運営体制

運営体制は以下の通りとなっており、科学者というよりはアーティストが中心となって運営を行っている点が特徴となっている。

属性	氏名 (担当業務等)
運営委員会 (Council of the Association)	<ul style="list-style-type: none">• Mindaugas Gapsevicius (ディレクター、アーティスト、博士課程)• Juan Pablo Diaz (ディレクター、文化活動家)• Mattias Roth (経理担当、アーティスト)• Kim Doty Hachmann(書記、アーティスト)
理事会 (Assessors of the Council)	<ul style="list-style-type: none">• Martin Wrede (アーティスト、デザイナー)• Karsten Asshauer (IT)• Barbara Lück (パーソナルアシスタント)• Persefoni Myrtsou

(2) 設立の趣旨・目的

top (Association for the Promotion of Cultural Practice) は、アーティスト、研究者等により2002年にベルリンで設立された。top は政治、環境、経済、科学技術を融合させたアイデアの醸成を支援することを目的とし、デジタル技術と生物学、文化の相互作用を通じてデジタル技術の人間化 (humanization) を行うことを主たる活動とする。メンバーの活動領域は、個人的な研究から国際的な活動まで広がっている。

5.4.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

プロジェクトスペース、バイオラボ、ウェブサーバーの提供を主なサービス内容とし、社会科学、バイオテクノロジーなど幅広い分野のワークショップ等を実施している。

a. バイオラボ

バイオラボ (TopLab) は、閉鎖的なラボではなく、市民に対するバイオテクノロジーの障壁を低くするための開かれた DIY ラボを目指している。2017年にはクラウドファンディング (約41万円調達) により実験器具等を整備した。

⁴⁰ top ウェブサイト : <http://top-ev.de/> (2020年3月閲覧)

バイオラボで行われているプロジェクトとしては、ベルリン工科大学バイオテクノロジー研究所、ベルリン・アート・ラボラトリーと共同での糸状菌を用いたプロジェクト（Mind the Fungi）がある。このプロジェクトでは、参加者が物質生産や芸術的な目的のために糸状菌を利用できるように、ベルリン地域から採取された糸状菌の培養等を行っている。

関連する活動として、自宅でのペニシリン製造ワークショップも開催されている。



図 13 Mind the Fungi プロジェクトのイメージ⁴¹

b. ワークショップ等

糸状菌のプロジェクトとも関連するが、2019年には「我々の足下の土壌」(Der Boden unter unseren Füßen) と題して、土壌微生物に関する連続ワークショップを実施している。

その他の食分野に関する ELSI やアート関連のワークショップ等については下記を参照されたい。

c. 読書会

2018 年からはポストヒューマニズムに関する読書会を月 1 回の頻度で開催している。このほかには、資本主義社会のあり方をテーマとする読書会（Capitalist Realism: Is there no alternative?）が開催されている。

(2) ELSI/RRI に関連するプログラム・講義等

ELSI 関連では、「食品バイオテクノロジーと政治」(FBB, Food Biotechnology Biopolitics) と題するプロジェクトを実施している。このプロジェクトは、文化のアイデンティティ、知的所有権、バイオポリティクス (biopolitics)、バイオテクノロジー、経済、環境、移民、コロニアリティ (coloniality) といった幅広い分野を対象としており、文化的遺産としての食品の利用を推進することを目的に、食品の生産と消費をめぐる問題についてのワークショ

⁴¹ top ウェブサイト : <http://www.top-ev.de/biolab/mind-the-fungi-2/> (2020 年 3 月閲覧)

ップ・会議の開催や農場等へのツアー、展示、ビデオ制作等を実施している。

バイオテクノロジー関連では、バイオテクノロジーの食品への応用にもなう負の影響、GMO食品の問題、生命に対する知的所有権の問題などについて議論が行われた。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

アーティストと市民が気軽に語り合う場として、**Artist Talk and Soup** と呼ばれるイベントを実施している。これと関連して、アーティストによる作品展示も行われている。

5.4.3 サービス及びプログラムの成果の形態

特定のプロジェクト、ワークショップを開催するほか、**Artist Talk and Soup** のようなアーティストと市民の交流の場を設置している。さらに上述の「食品バイオテクノロジーと政治」プロジェクトでは、展示やビデオ制作が行われている。

5.5 Waag Society's Open Wetlab⁴² (オランダ)

5.5.1 概要

(1) 運営体制

運営体制は以下の通りとなっており、設立者 Marleen Stikker が事務局長を務め、全体の活動をアドバイザー・ボード (Supervisory Board) が監督している。

属性	氏名 (担当業務等)
運営事務局	<ul style="list-style-type: none">● Marleen Stikker (事務局長、アムステルダムにおけるバーチャルコミュニティ The Digital City の設立にも関与)● その他、多数のスタッフが運営に関与
アドバイザー・ボード (Supervisory board)	<ul style="list-style-type: none">● Liesbet van Zoonen (Chair)● Hans Rob de Reus (Treasurer)● Geleyn Meijer (Member)● Pauline Westendorp (Member)● Haydee Sheombar (Member)

Waag の活動は多岐にわたるが、大きく以下の 4 分野に大別される。

- ✓ **Make** : DIY のマインドのもと、ハードウェア、生産工程、マテリアルを通じて社会と生態系についての問題を探求する。
- ✓ **Code** : 新しい技術の結果についての意識を高め、市民をよりレジリエントにするための具体的な代替案を作成する。
- ✓ **Learn** : 人々の社会参加を促進するための教育を行う。
- ✓ **Care** : ユーザー、デザイナー、アーティスト、デベロッパーとの協力のもと、ヘルスケア分野での研究と革新的なコンセプトの創出を行う。

(2) 設立の趣旨・目的

Waag は、科学、技術、アートの境界領域で活動し、技術と社会をよりオープン、公正、インクルーシブ (inclusive) にすることをモットーとして設立された。Waag の活動は、オランダの Creative Industries Fund と Amsterdam Fund for the Arts (AFK) の助成を受けている。2020 年で設立 25 周年を迎える。

⁴² Waag Society's Open Wetlab ウェブサイト : <https://waag.org/nl> (2020 年 3 月閲覧)

5.5.2 実施・提供するサービス及びプログラムの内容

(1) 全般

Waag Open Wetlab の活動は、上述の多様な活動の一環として行われている。このラボは、バイオアート、バイオデザイン、DIY バイオのための場であり、一般市民の参加のもとアーティスト、デザイナー、科学者、ハッカー等が共同して作業を行う。

ラボでは、定期的なミーティングが開催されるほか、アーティストや学生はリサーチ・レジデントとしてラボで働いたり、BioHack Academy（下記参照）でトレーニングを受けたりすることもできる。

ラボの活動はオランダの他の DIY バイオグループとも連携しており、最近では発酵技術やキッチン・サイエンス⁴³に関する活動が行われている。なお、ラボでは遺伝子組み換え実験を行うことはできず、病原微生物を使用することもできない。

具体的には、以下のプロジェクトが実施されている。

a. BioHack Academy:Biofactory

微生物の培養方法と微生物による有用物質生産について学ぶコース。毎週開催される講義に出席するほか、エタノール、乳酸（ヨーグルト）、ペニシリン、食品（スピルリナ）等の生産をラボで実体験する。

b. Gene coop

今日のバイオ産業は、一人一人の遺伝情報から得られたデータを利用することで成立している。Gene coop では、市民が自らの遺伝物質と DNA 配列情報の自己所有権を保持できるような、社会的に責任のあるビジネスモデルの提案を目指す。



図 14 BioHack Academy で作製した機器と培養実験の様子⁴⁴

⁴³ 台所で実践できる科学のこと。

⁴⁴ BioHack Academy パンフレット：

<https://waag.org/sites/waag/files/2018-10/BHA6-call-for-partners.pdf>（2020年3月閲覧）

なお、Waag では Open Wetlab 以外にも、FabLab、ai culture lab、makehealth lab、future internet lab などのラボ活動を実施しており、その中でも医療などの生命科学に関連するテーマがカバーされている。

例えば、makehealth lab では、2020 年 7 月に Design4Health Conference⁴⁵を開催（トゥヴェンテ大学、シェフィールド・ハラム大学等と共同）し、研究者、医療関係者、行政関係者とデザイナー、クリエイターが今後の医療について議論する場を設けることとしている。

(2) ELSI/IRRI に関連するプログラム・講義等

前節で紹介した Gene coop プロジェクトは遺伝情報の利用における ELSI をテーマとしている。また、Design4Health の会議においても医療における倫理もテーマの 1 つになる予定である。

(3) アート視点を含んだプログラム、その他独自プログラム

Open Wet Lab の活動の一環として、バイテク・アーティストやデザイナー向けに 3Package Deal Bio Art & Design というプロジェクトが 2015 年から 2019 年にかけて実施された。このプロジェクトは才能あるアーティストの育成を目的としており、AFK の支援のもとでアーティストがレジデントとしてラボを利用し、作品の制作と発表を行った。

その他、現代美術とデザイン、テクノロジーの融合を目指した Critical Making プロジェクトも実施されている（実施期間 2017-2021 年）。

5.5.3 サービス及びプログラムの成果の形態

プロジェクトの実施、ワークショップ、シンポジウムの開催など多様な活動を展開している。BioHack Academy の成果報告会の様子やプロジェクトで作製された実験機器は、インターネットの動画視聴サイト等で公開されている。また、上述のアート関連のプロジェクトでは、展示会を開催してアーティストの作品を市民が鑑賞する機会を提供している。

⁴⁵ Design4Health Conference ウェブサイト：<https://www.design4health2020.nl/>（2020 年 3 月閲覧）

5.6 オープン型バイオ実験拠点等に対する規制等

EU ならびに英国やドイツをはじめとした欧州諸国はカルタヘナ議定書を批准している。欧州においては、遺伝子組換え生物の閉鎖系／開放系での使用についてはそれぞれ「Directive 2009/41/EC (Directive 90/219/EEC を改定) 遺伝子組換え微生物の閉鎖系での使用に関する指令」と「Directive 2001/18/EC 遺伝子組換え生物の開放系における意図的な使用に関する指令」でそれぞれ取り決めがなされている。

Directive 2009/41/EC は、人の健康や環境の保護の観点から遺伝子組換え微生物の閉鎖系での使用に関して必要な措置について規定し、リスクの評価とそれらに応じた措置をとることを定めている。なお、リスク分類は「Directive 2000/54/EC 職場における生物学的因子への暴露に関連するリスクからの労働者の保護に関する規則」に示されている以下の分類を参考とすることも可能だと記載されている。

- グループ 1：人の疾患を引き起こす可能性が低い生物学的因子
- グループ 2：人の疾患を引き起こす可能性があるが、コミュニティに拡散される可能性が低く、かつ有効な予防法や治療法が存在する生物学的因子
- グループ 3：人の重篤な疾患を引き起こす可能性があり、コミュニティに拡散される可能性もあるが、有効な予防法や治療法が存在する生物学的因子
- グループ 4：人の重篤な疾患を引き起こす可能性があり、コミュニティに拡散される可能性が高く、かつ有効な予防法や治療法が存在しない生物学的因子

Directive 2001/18/EC は製品としてまたはそれ以外（上市以外）の目的で環境中に遺伝子組換え生物を意図的に放出すること（野外試験等）に関して、人の健康や環境の保護の観点から必要な措置について規定している。環境リスク評価を行った上で、目的（製品またはそれ以外）によってそれぞれ必要な措置が規定されている。

また、遺伝子組換え食品やトレーサビリティ等については、「Regulation (EC) No 1829/2003 遺伝子組換え食品及び飼料に関する規則」と「Regulation (EC) No 1831/2003 「遺伝子組換え食品等の表示・トレーサビリティ規則」に定められている。これらの規則では、遺伝子組換え農産物を 0.9%以上含む全ての食品等を対象に表示及びトレーサビリティを義務付けている。具体的にはサプライチェーンの中の各ステップにおいて販売者が購入者に遺伝子組換え農産物が含まれていることを書面で伝えるとともに、記録を 5 年間保管することを求めている。これらに違反した場合の罰則規定についても示されている。

上記の指令や規則等に基づいて、EU 各国は法律を整備している。

6. 課題と考察

国内のオープン型バイオ実験拠点等の調査、ならびに有識者等へのインタビュー調査から、オープン型バイオ実験拠点等の現状とポテンシャル、ならびに課題と今後必要な支援や規制について以下に整理する。

6.1 オープン型バイオ実験拠点等の現状

オープン型バイオ実験拠点等において市民等が馴染みのないバイオテクノロジーを実際に体感することで、その可能性や問題点に気付く。これにより、拠点がバイオ関連技術の ELSI/RRI に関する問題提起や議論の場になり、社会に波及させる起点となる可能性がある。例えば、アートによって、教育や一般的な啓発活動とは異なる形でバイオ関連技術の ELSI/RRI に関する課題等が表現されることにより、一般市民に考えるための機会をつくり、技術と社会をつなぐきっかけになるものと考えられる。

また、拠点到に様々なバックグラウンドを持つ人々が集まり、バイオ分野以外の専門家や実務家も研究活動に加わることで、研究テーマの探索範囲が広がり、科学技術の発展の加速にもつながる。

さらに、DIY バイオが浸透することにより、関連する装置、試薬、各種サービスをはじめとした周辺産業が活性され市場が形成されることにもなる。農業、林業、水産業等の第一次産業での活用が進められると、地方におけるバイオ専門家の需要が高まり雇用拡大等にもつながる可能性がある。

6.2 オープン型バイオ実験拠点等の課題と今後必要な支援や規制

6.2.1 課題

(1) ELSI/RRI に関する課題

a. 規制上のグレーゾーンの存在

拠点における活動に対して既存の規制が適用されるのかが曖昧な場合がある。例えば、ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針においては「本指針は、ヒトゲノム・遺伝子解析研究を対象とし、その研究に携わる研究者等に遵守を求めるものである。」とされているが、そもそも拠点における活動が研究に該当するのかが否かについて明確な基準が設けられていないため、当該指針の適用範囲に該当するのかが曖昧となっている。

b. 一般向けの啓発活動の不足

特に一般に向けた ELSI/RRI のプログラムが少なく、技術とともに倫理的・法的・社会的課題を考えることの啓発があまり進んでいない。こうした背景もあり、拠点での活動は感覚的に危険なイメージを持たれることが多く、小さな問題であっても一度起こると風評被害的に広がる可能性が高い。海外では倫理規範を定めて公開することで透明性を高める試み

をしている拠点もある。

(2) 拠点等の運営等に関する課題

a. 設立・運営におけるノウハウの不足・手間

拠点の立ち上げの際に必要な手続きや、各種の規制対応に関する情報をまとめて入手することができず、関連情報を収集するのが難しい。既存の拠点においては協力的な有識者がたまたま周りにいたことで環境整備が進んだケースもあり、ノウハウの共有が十分にできていない状況にある。

運営にあたっては各拠点で共通的に発生する業務はできるだけ効率化する必要がある。例えば、プログラムによっては安全管理委員会や倫理審査委員会による審査が必要となることも想定されるが、各拠点が独自に持つのは負担が大きいものと考えられる。

また、実験に用いる機器や試薬等は大学や企業等の研究機関で使われることが前提となっており、その他の調達も想定されておらず、調達には手間がかかる。

b. 資金調達の難しさ

持続的な拠点運営をしていくための資金調達が難しい。提供しているサービスやプログラムによる収入で自立的に運営できている拠点は少ない。自立的な運営に向けて、産業活用が可能なプロジェクトを展開して企業と連携することも考えられるが、こうした取り組みにおいては情報公開に制限が設けられる場合が多く、オープンなコミュニティとしての取り組みとのバランスをとる必要が出てくる。

c. 専門人材の不足

ラボの適正な運用等、専門人材による管理が必要となる一方で、そうした人材が不足している状況にある。

6.2.2 今後必要な支援や規制

上記の課題を解決し、オープン型バイオ実験拠点等のポテンシャルを発揮するにあたっては以下のような支援や規制が必要になるものと考えられる。

(1) ELSI/RRI に関して必要な支援や規制

規制の観点からは、拠点における活動の位置づけを明確化させること（例：「研究」に該当するか否か）が必要になる。それによりグレーゾーンが解消され、既存の規制の適用対象か否かが明確化される。その上で、既存の規制でカバーしきれない部分については新たな規制の検討を進めなければならない。拠点における活動の位置づけと規制に対する適用の整理と同時に、適正な運営を行っている拠点の認証制度も重要になる。行政等がお墨付きを与えることにより、対外的にも安全に配慮して活動していることをアピールできるようにな

ることに加え、認証された拠点においては試薬等の調達も容易に行えるような制度設計も可能となるだろう。

また、一般向けの啓発を進めるにあたり、ELSI/RRI に関する優れたプログラムの横展開が必要となる。オープン型バイオ実験拠点等はもちろんのこと、研究機関や教育機関等も含めた様々なところで実施されているプログラムの情報を集約・公開することで、各拠点等での啓発に資するものとなる。

(2) 拠点等の運営等に関して必要な支援や規制

設立・運営ノウハウや共通業務（例：安全管理委員会、倫理審査委員会）を共有できる仕組みの構築することで、効率化を図る必要がある。さらに、実験機器等の流動的な活用を可能とする仕組みの構築や、長期的な視点を持った金銭的な支援等も求められる。米国では活動に賛同している大学が機材を寄贈するケースも多い一方で、わが国では基本的に研究費や補助金で購入した機材は目的外利用や償却期間内の外部引き渡しができない仕組みが主流となっている。こうした制約を除き流動性を高められると、より効率的な拠点運営が可能となる。また、同じく米国では、クラウドファンディングで資金調達をして拠点を立ち上げ、寄附金に関する税の優遇措置を受けられる“501(c)(3)団体”（日本の公益法人に相当）として運営しているものが多く、こうしたスキームを組み込むための検討が必要である。

長期的に必要な支援として、教育環境の整備も挙げられる。大学のオープンキャンパスや ELSI プログラムとの連携によって市民等が生命科学や付随する様々な課題について考える場を設けたり、早い時期からバイオ関連実験や関連する安全実習を経験できる教育カリキュラムを実装することにより、全体のリテラシー向上や将来的に拠点の管理等を行う専門人材の育成につながる。海外では拠点自体で生物学の教師向けの教育プログラムを提供することで底上げを目指しているところもある。

6.3 オープン型バイオ実験拠点等のポテンシャル

オープン型バイオ実験拠点等において市民等が馴染みのないバイオテクノロジーを実際に体感することで、その可能性や問題点に気付く。これにより、拠点がバイオ関連技術の ELSI/RRI に関する問題提起や議論の場になり、社会に波及させる起点となる可能性がある。例えば、アートによって、教育や一般的な啓発活動とは異なる形でバイオ関連技術の ELSI/RRI に関する課題等が表現されることにより、一般市民に考えるための機会をつくり、技術と社会をつなぐきっかけになるものと考えられる。

また、拠点到様々なバックグラウンドを持つ人々が集まり、バイオ分野以外の専門家や実務家も研究活動に加わることで、研究テーマの探索範囲が広がり、科学技術の発展の加速にもつながる。

さらに、DIY バイオが浸透することにより、関連する装置、試薬、各種サービスをはじめとした周辺産業が活性され市場が形成されることにもなる。農業、林業、水産業等の第一次産業での活用が進められると、地方におけるバイオ専門家の需要が高まり雇用拡大等にもつながる可能性がある。