– 調査報告書 – APRC-FY2021-RR-05

アジア・太平洋総合研究センター
Asia and Pacific Research Center

オーストラリア・中国・インドにおける新興技術「合成生物学」の進展と課題

Advances and Challenges in the Emerging Technology Field of "Synthetic Biology" in Australia, China and India

2022 年 3 月

国立研究開発法人科学技術振興機構

2021 年 4 月に発足した国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）のアジア・太平洋総合研究センター（Asia and Pacific Research Center：APRC）は、調査研究、情報発信、交流推進を 3 本の柱として、アジア･太平洋地域における科学技術分野の連携･協力を拡大･深化し、我が国のイノベーション創出の基盤構築に貢献することを目指します。

本報告書は、アジア・太平洋地域における科学技術イノベーション政策、研究開発動向、および関連する経済・社会状況について調査・分析を行う調査研究の一環としてまとめたものとなります。政策立案者、関連研究者、およびアジア・太平洋地域との連携にご関心の高い方々等へ広くご活用いただきたく、APRC ホームページおよびポータルサイトにおいて公表しておりますので、詳細は下記ホームページをご覧ください。

（APRC ホームページ）
https://www.jst.go.jp/aprc/index.html

（調査報告書）
https://spap.jst.go.jp/investigation/report.html

エグゼクティブ・サマリー

合成生物学は、バイオセーフティなどのリスクを孕みながらも、経済成長と社会課題を解決する重要・新興技術としてわが国および人類にとっても極めて有益な技術であることは自明である。そのため、オーストラリアやインドに加えて本分野で世界のトップを走ると言われているアメリカや大規模研究開発投資を進める中国を含めたアジア・太平洋地域における我が国のポジショニングが極めて重要である。

本調査では、アジア・太平洋地域で科学技術力が高く合成生物学分野における将来性が期待できるオーストラリア、インドおよび中国を軸としてアメリカの基礎データとも比較しつつ、わが国への科学技術イノベーションの観点からの影響について分析を行い、そして合成生物学に関わる施策に関してわが国が取るべき方向、これらの諸国との協力の可能性についてまとめた。

各国の政策とファンディングの特徴：

オーストラリアにおける合成生物学は、2000年代後半のiGEM 参加といった個人・研究室・プロジェクト単位から、2015年12月の「国家イノベーション・科学アジェンダ（NISA）」[1]の発表のとおり大規模なネットワークによる取り組みへと成長を遂げている。同アジェンダを踏まえ、国内の既存の研究インフラネットワークを活用・強化することで、知識共有や教育ハブの形成が活発化している。2021年8月には、CSIROが「国家合成生物学ロードマップ」を公表し、2040年までに年間最大270億豪ドル（約2兆5,380億円）の収益と4万4,000人の新規雇用を生み出す市場に成長する可能性があると予測している。また、同年11月には内務省が「クリティカルテクノロジー・サプライチェーン原則（Critical Technology Supply Chain Principles）」を発表し、サプライチェーンの安全保障を目的に戦略的に重要な新興技術として合成生物学を特定している。加えて、同年12月には、政府の重要技術政策コーディネーションオフィス(CTPCO)が、重要技術を保護し促進するための戦略として、「重要技術ブループリント（Blueprint for Critical Technologies）」と「行動計画（Action Plan）」を公表し、10年以内に重要性が高まると予測された合成生物学を含めた9つの技術領域を指定している[2]。これに関連して2022年7月には、オーストラリア国防科学技術研究サミット（ADSTAR）を開催し、アメリカやイギリスの政府担当者などがバイオテクノロジーのリスクに関する議論を行った。このようにオーストラリアでは、近年、基礎研究から産業展開、そして国防・安全保障の観点から重要分野として捉えて総合的に合成生物学を推進している。

中国は、2008年の香山科学会議をマイルストーンとし、合成生物学を含めたバイオテクノロジー研究が医療や農業、環境修復、天然資源利用といった分野での課題を解決し、国の経済社会発展をもたらすとの期待から、産学官あげての研究開発への投資、合成生物学の名を冠したジャーナル創設、他国からの人材の誘致、ハイレベル人材の育成に取り組んでいる。近年の政策では、2021年発表の「国民経済及び社会発展第14次五カ年計画及び2035年遠景目標綱要」においても、「破壊的」「戦略的ニーズ」「フロンティアテクノロジー」「キーテクノロジー」などのキーワードと共に合成生物学の技術について触れ、世界的リーダーとなるべく中長期的な開発の必要性が述べられている。ファンディングとしては、科学技術部（MOST）の国家重点研

[1] 後述のとおりNISAでは、オーストラリアのあるべき将来の姿が打ち出されている。賃金の高い雇用や、新しい経済繁栄の波を生み出すには、イノベーション・科学の分野で新しい考えを取り入れ、新たな成長の牽引役を作り出す必要があるとする。①文化と資本、②協力・共同、③作業技能と才能、④政府による手本に重点を置く。

[2] Commonwealth of Australia 2021 “Critical Technology Supply Chain Principles”

究計画（国家重点研发计划）における「合成生物学」や化石燃料依存の脱却を目指す「グリーンバイオ製造（绿色生物制造）」といったプログラムや中国国家自然科学基金（NSFC）における重大研究計画プログラムなどにおいて、微生物利用から *in silico* での代謝ネットワーク構築など、他面的な研究への支援がなされている。

インドは、合成生物学にフォーカスした明示的な政策や基礎研究寄りのファンディングは多くないものの、2021 年に発表された「国家バイオテクノロジー発展戦略 2021-2025（NDBS2021-2025）」では、対象期間において「知識とイノベーションが主導するバイオエコノミー」に貢献するという野心的な目標の中で合成生物学分野の人材育成などに触れている。また、2022 年 8 月に科学技術省は、「アムリット・グランド・チャレンジ（AMRIT GRAND CHALLENGE）」という学際的で質の高いハイリスク研究開発を支援することとして、バイオテクノロジー庁（DBT）とバイオテクノロジー産業研究支援協議会（BIRAC）が主導する新規プログラムを発表した。本プログラムの対象分野には、健康、農業バイオ、気候変動などとならび合成生物学が含まれている。加えて、DBT が進める国立バイオテクノロジーパーク・スキームでは、中央政府と州政府が、バイオテクノロジーパーク、インキュベーターおよび官民の協力によるパイロットプロジェクトを設立することにより、国内のバイオテクノロジー研究を活性化させるために取り組んでいる。

各国の研究開発動向：

オーストラリアは、海外との共同研究はもとより、拠点化による国内の大学・研究機関の協力が活発である。CSIRO は、2018 年 9 月に、製造業、産業バイオテクノロジー、環境修復、農業、ヘルスケア産業のイノベーションを支援し商業化の機会を創出するため SynBio FSP を設立し、環境と生物制御、化学物質と繊維、共生生物とオルガネラの 3 プログラムに注力している。また、マッコーリ大学が代表者となるオーストラリア研究会議（ARC）の合成生物学 COE（CoESB）では、ワイン酵母を対象に含めた微生物の設計に対する新しいアプローチを開拓し、カスタム設計された微生物群の開発や新規の合成酵素の開発を目指している。クイーンズランド大学オーストラリア生物工学ナノテクノロジー研究所 (AIBN) では、バイオエコノミー研究として、2021 年末に IDEA Bio（Integrated Design Environment for Advanced Biomanufacturing) という菌株の発酵特性評価、マルチオミクス特性評価、および細胞設計といったプロジェクトデザインを目的とした新たな統合設計環境施設を開設するとしている。

中国は、北京、上海、およびグレーターベイエリア（粤港澳大湾区）への集中投資が顕著であり、特長ある機関が数多くある中で、中国科学院（人材を提供）、深圳市政府（土地、施設を提供）、香港中文大学（提案者）の 3 者共同で設立された中国科学院深圳先端技術研究所（SIAT）合成生物学研究所や中国科学院天津工業生物技術研究所（TIB）・天津大学バイオファウンドリーの動きが活発である。SIAT は、産学連携を積極的に行い、BGI、HUAWEI、Tencent など多くの企業との協力関係にある。SIAT に限ったことではないものの人材誘致にも積極的で、例えば 2017 年には酵母を用いたマラリア特効薬（アルテミシニン）生合成に成功したカリフォルニア大学バークレー校のジェイ・キースリング教授（Prof. Jay D. Keasling）が SIAT の客員教授として漢方薬資源の合成から商業化の促進を目指した冠ラボを開設している。また、2012 年設立の TIB・天津大学は、2019 年 11 月 8 日、天津空港経済区における「国家合成生物学イノベーションセンター（國家合成生物技術創新中心）」の建設を科学技術部に承認され、同年国際バイオファウンドリー連盟（Global BioFoundry Alliance, GBA）に中国科学院深圳先端技術研究所（SIAT）深圳合成生物学研究所と参画し、中国の合成生物学研究をリードしている。TIB の近年の顕著な研究成果としては、2021 年 9 月 24 日の Science 誌に掲載された中国科学院大連化学物理研究所との共同研究による人工デンプン同化経路の設計、無機触媒を用いた二酸化炭素のメタノール還元、酵素を用いて六炭糖に変換するといった二酸化

炭素からデンプンへの人工合成の世界初の実現があげられ、2021 年度の「中国・国際科学技術ニューストップ 10（科技日報主催）」に選出されている。

インドは、2009 年設立の BIRAC の旗艦センターの 1 つである細胞分子プラットフォームセンター (C-CAMP) が主要な研究開発支援機関である。バイオスタートアップ用の国立インキュベーターとして、インドのシリコンバレーと言われ、イノベーションの中心地とも言われるカルナカータ州バンガロールに設置されており、高分解能 3 次元 X 線顕微鏡、質量分析機や電子顕微鏡、組換えモデル生物など、創薬支援研究やバイオテクノロジー研究に必要な基盤設備が整備されている。C-CAMP は、国立生物科学センター（NCBS）、inStem、タタ遺伝学研究所 (TIGS) と共にバンガロールライフサイエンスクラスター (BLiSC) の一つとして、330 以上のスタートアップへの資金提供により存在感を発揮している。最たる成功事例は、グラム陰性／陽性の薬剤耐性菌（Anti-microbial Resistance, AMR）にも作用可能な新規抗生物質の開発を行う 2014 年設立の Bugworks 社である。また、IT 大国と言われるインドの特長を生かすバイオインフォマティクスをベースとした Strand Life Sciences 社も、精密医療化の世界的な流れに乗ったグローバルな成功企業の一つとしてあげられる。基礎研究での国際連携は他国に比して乏しいものの、産業分野におけるグローバル展開は活発である。

日本への示唆：

合成生物学は、健康・医療産業、食品産業、環境・エネルギー産業、化学産業などと、応用範囲が極めて多岐にわたり、各国共に経済成長を牽引すると期待している分野である。基礎から応用研究段階においては、アメリカと中国が他国を大きくリードしている状況であるものの、日豪合成生物学ワークショップ（2022 年 3 月 16 日開催）で研究者からあげられたような、細胞まるごとシミュレーション、代謝モデリング - 逆合成パスウェイ探索（データベースとアルゴリズム／モデリング）、バイオ水素エネルギー製造、バイオ部品（バイオブリック等）とそのデザイン研究やバイオファウンダリー基盤技術（バイオものづくり）など、アカデミアが取り組む研究課題はまだまだ多い。

中国やインドのように研究分野での国際連携が乏しい国があるものの、本調査での論文解析では「コドン最適化」「DNA データストレージ」「ジーンドライブ」「バイオプロスペクティング」といった分野は「論文件数」の指標で日本の優位性が乏しく、このような分野で日本は各国と協働するアプローチが考えられる。

グローバル競争が顕著であり、人工カスタム細胞、バイオ 3D プリンター、分子ロボティクスや DNA データストレージといった新規技術の登場になぞらえられる通り、技術進歩のスピードが速い本分野においては、日本も研究プラットフォームの重点化やトップレベルの海外機関との共同研究を活発化、およびアカデミアと産業の連携加速が期待される。

Executive Summary

It is obvious that synthetic biology is an important emerging technology that contributes both to economic growth and solutions to social issues, and is extremely beneficial to Japan and humanity, despite the risks associated with biosafety and other issues. Due to this, Japan' s position in the Asia-Pacific Region, including the United States, which is said to be the world leader in the field in addition to Australia and India, and China, which is promoting large scale R&D investment, is extremely important. In this study, we analyzed the impact on Japan in terms of science and technology innovation, by comparing basic data from the U.S. with those from Australia, India, and China, which have strong scientific and technological capabilities in the Asia-Pacific region and show great potential in the field of synthetic biology, and then examined the direction that Japan should take regarding measures related to synthetic biology. The report also summarizes the direction that Japan should take with respect to policies related to synthetic biology and the possibilities for cooperation with these countries.

Science and technology policy and funding

Synthetic biology in Australia has grown from an individual, laboratory, or project-based effort, such as participation in iGEM in the late 2000s, to a large-scale network effort as announced in the National Innovation and Science Agenda (NISA) in December 2015. In light of this, knowledge-sharing and educational hubs are being actively formed by leveraging and strengthening the country's existing research infrastructure networks. In August of 2021, CSIRO (the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) published Australia' s Synthetic Biology Roadmap, which predicted that the national market could grow to generate up to A$27 billion in annual revenue and supply 44,000 new jobs by 2040. In November of the same year, the Department of Home Affairs released its Critical Technology Supply Chain Principles, identifying synthetic biology as an emerging technology of strategic importance for supply chain security purposes. In addition, in December of the same year, the government's Critical Technology Policy Coordination Office (CTPCO) published the Blueprint for Critical Technologies and Action Plan as a strategy to protect and promote critical technologies. The Blueprint for Critical Technologies and the Action Plan, as a strategy to protect and promote critical technologies, designated nine technology areas, including synthetic biology, that are expected to increase in importance within the next 10 years. In connection to this, the Australian Defense Science and Technology Research Summit (ADSTAR) was held in July 2022, where government officials from the United States and the United Kingdom, along with representatives of other countries, discussed the risks of biotechnology. As a result, Australia has been comprehensively promoting synthetic biology in recent years, viewing it as an important field from the perspective of basic research, industrial deployment, and national defense and security.

China, setting a milestone at the 2008 Xiangshan Science Conference (XSSC), has been investing in R&D through collaboration between industry, academia, and government, establishing a journal named "Synthetic Biology Journal," and promoting biotechnology research, including synthetic biology, with the

expectation that it will solve problems in the fields of medicine, agriculture, environmental restoration, and natural resource utilization and bring about economic and social development in the country. The government is also working to attract human resources from other countries and develop high-level human resources. In recent years, the "Fourteenth Five-Year Plan for National Economic and Social Development and the Outline of Distant Objectives for 2035," announced in 2021, mentions synthetic biology technology with keywords such as "disruptive," "strategic needs," "frontier technology," and "key technology," and emphasizes the need for medium- to long-term development to become a world leader. Funding is also provided by the National Key Research Program of the Ministry of Science and Technology (MOST) for "synthetic biology" and "green biomanufacturing (绿色生物制造)," which aims to break away from fossil fuel dependence, as well as by the National Natural Science Foundation of China (NSFC) for its Major Research Programs. The NSFC's Critical Research Program also provides support for other types of research, from microbial applications to *in silico* metabolic networking.

India does not have many explicit policies focused on synthetic biology or funding that leans toward basic research, but the National Biotechnology Development Strategy 2021-2025 (NDBS2021-2025) announced in 2021 mentions human resource development in synthetic biology among its ambitions goal of contributing to a "knowledge and innovation-driven biotechnology economy" during the period it covers. In addition, in August 2022, the Ministry of Science and Technology announced a new program led by the Department of Biotechnology (DBT) - Biotechnology Industry Research Assistance Council (BIRAC) supporting interdisciplinary, high-quality, high-risk research and R&D called the "AMRIT GRAND CHALLENGE". The program's target areas include synthetic biology, along with health, agricultural biotechnology, and climate change. In addition, under the DBT's National Biotechnology Park Scheme, the central and state governments are working to stimulate biotechnology research in the country by establishing biotechnology parks, incubators, and pilot projects through public-private partnerships.

R&D Trends

Australia is actively collaborating with domestic universities and research institutions through hubs as well as with overseas collaborations; in September 2018, CSIRO established the Synthetic Biology Future Science Platform (SynBio FSP) to support innovation and create commercialization opportunities in the manufacturing, industrial biotechnology, environmental remediation, agriculture, biosecurity and healthcare industries and focuses on three programs: environment and biocontrol, chemicals and fibers, and symbionts and organelles. In addition, the Australian Research Council (ARC) Synthetic Biology COE (CoESB), headed by Macquarie University, is pioneering new approaches to microbial design, including for wine yeast, to develop custom-designed microbial populations and novel synthetic enzymes. The Australian Institute of Bioengineering and Nanotechnology (AIBN) at the University of Queensland opened a new integrated design environment facility called IDEA Bio (Integrated Design Environment for Advanced Biomanufacturing) at the end of 2021 for project design, including fermentation characterization, multi-omics characterization, and cellular design.

China's has a significant concentration of investment in Beijing, Shanghai, and the Greater Bay Area, and among the many unique institutions, the Shenzhen Institute of Advanced Technology (SIAT), which was jointly established by the Chinese Academy of Sciences (providing personnel), the Shenzhen municipal

government (providing land and facilities), and the Chinese University of Hong Kong (the proponent) and the Tianjin Institute of Industrial Biotechnology (TIB) of the Chinese Academy of Sciences are very active in the field. SIAT is actively engaged in industry-academia collaboration and has cooperative relationships with many companies such as BGI, HUAWEI, Tencent, etc. Although not limited to SIAT, it is also active in attracting talent. In 2017, Prof. Jay D. Keasling of the University of California, Berkeley, who succeeded in the biosynthesis of a special malaria drug (artemisinin) using yeast, opened an endowed research lab at SIAT as a visiting professor, aiming to promote the synthesis and commercialization of Chinese herbal medicine resources at that time. TIB-Tianjin University, established in 2012, was approved by the Ministry of Science and Technology on November 8, 2019, to build the National Synthetic Biology Innovation Center [3] (國家合成生物技術創新中心) in the Tianjin Airport Economic Area, and in the same year, TIB joined the Global BioFoundry Alliance (GBA) with the Shenzhen Institute of Advanced Technology (SIAT) Shenzhen Institute of Synthetic Biology, Chinese Academy of Sciences, to lead synthetic biology research in China. TIB's recent notable research achievements include the publication of a paper in Science on September 24, 2021, on the artificial starch assimilation pathway in collaboration with the Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences (Dalian Institute of Chemical Physics), the, inorganic-catalyzed methanol reduction of carbon dioxide, and the world's first realization of artificial synthesis of carbon dioxide to starch, including enzymatic conversion of carbon dioxide to hexacharose, and was selected as one of the 10 Chinese domestic science and technology stories (organized by Science & Technology Daily) for the year 2021.

One of India's BIRAC flagship centers, the Center for Cellular and Molecular Platforms (C-CAMP), was established in 2009. It is located in Bangalore, Karnakatha, the Silicon Valley of India, which is also known as the center of innovation. The facility is equipped with the basic facilities necessary for drug discovery and biotechnology research, including high-resolution 3D X-ray microscopes, mass spectrometers, electron microscopes, and recombinant model organisms.

It is also part of the Bangalore Life Science Cluster (BLiSC) along with the National Center for Biological Sciences (NCBS), inStem, and Tata Institute of Genetics (TIGS), and has a strong presence by funding over 330 start-ups, the most successful of which is Bugworks, founded in 2014, which develops novel antibiotics that can act on Gram-negative and Gram-positive drug-resistant bacteria (Anti-microbial Resistance, AMR). Another successful global company that has taken advantage of the global trend toward precision medicine is Strand Life Sciences, a bioinformatics-based company that takes advantage of India's status as an IT powerhouse. While international collaboration in basic research is lacking in India compared to other countries, global development in the industrial field is active.

Implications for Japan

Synthetic biology has an extremely wide range of applications in the health and medical, food, environment and energy, and chemical industries, and is expected to drive economic growth in each of these countries. Although the U.S. and China are far ahead of the other countries in the basic and applied research phases, there are still many research issues in the field of synthetic biology that academia is

[3] Tentative translation by JST

working on, including whole-cell simulation, metabolic modeling - reverse synthetic pathway exploration (database and algorithm/modeling), and biohydrogen energy production, bio-bricks (parts from DNA to tissue) and their design research and biofoundry infrastructure technology (bio manufacturing) as mentioned by researchers at the Australia-Japan Synthetic Biology Workshop (held on March 16, 2022).

While there are countries such as China and India that lack international collaboration in research fields, the paper analysis in this survey suggests that collaboration with other countries in fields such as "codon optimization," "DNA data storage," "gene drives," and "bioprospecting" where Japan lacks advantage in terms of "number of papers" is a possible approach. In the fields of "global competition" and "artificial customization," Japan has a strong competitive edge.

In this field, where global competition is prominent and technological progress is rapid, as exemplified by the emergence of new technologies such as artificial custom cells, bio-3D printers, molecular robotics, and DNA data storage, Japan should focus on research platforms, activate joint research with top-level foreign institutions, and collaborate with other countries in academia to develop new technologies. In this field, where technological progress is rapid, it is expected that Japan will focus on research platforms, collaborate with top-level foreign institutions, and accelerate collaboration between academia and industry.

目 次

エグゼクティブ・サマリー…… i

Executive Summary …… iv

1 はじめに ……1

1.1 合成生物学の定義……1

1.2 背景……2

1.3 調査の目的……5

1.4 調査手法……5

2 政策・研究開発動向 ……7

2.1 オーストラリア……7

2.1.1 政府組織・体制 ……9

2.1.2 主要政策・重点課題 …… 10

2.1.3 ファンディング …… 16

2.1.4 主な研究機関および大学の研究開発動向 …… 19

2.1.5 主要産業の動向 …… 22

2.2 中国…… 24

2.2.1 政府組織・体制 …… 26

2.2.2 主要政策・重点課題（中央政府）…… 27

2.2.3 主要政策・重点課題（地方政府）…… 30

2.2.4 ファンディング …… 32

2.2.5 主な研究機関および大学の研究開発動向 …… 34

2.2.6 主要産業の動向 …… 38

2.2.7 その他の関連動向 …… 39
2.3 インド …… 41
2.3.1 政府組織・体制 …… 43
2.3.2 主要政策・重点課題 …… 48
2.3.3 ファンディング …… 55
2.3.4 主な研究機関および大学の研究開発動向 …… 59
2.3.5 主要産業の動向 …… 62
2.4 アメリカ（比較参考情報） …… 65
2.4.1 主要政策・重点課題 …… 65
2.4.2 主な研究機関および大学の研究開発動向 …… 66
3 論文・特許分析 …… 73
3.1 論文・特許データの母集団 …… 73
3.2 論文分析によるグローバルな研究・技術領域の同定 …… 75
3.2.1 新興バイオテクノロジー分野 …… 75
3.2.2 合成生物学分野 …… 78
3.3 特許分析によるグローバルな研究・技術領域の同定 …… 79
3.3.1 新興バイオテクノロジー分野 …… 79
3.3.2 合成生物学分野 …… 81
3.4 論文分析による各国の研究・技術領域の同定 …… 83
3.4.1 オーストラリア …… 83
3.4.2 インド …… 85

3.4.3　論文数から見た各国の優位な個別領域 …… 87

4　まとめ …… 88

5　APPENDIX …… 89

5.1　主な合成生物学関連キーワードおよび用語解説…… 89

5.2　日豪合成生物学ワークショップ

（2022 年 3 月 16 日オンライン開催）…… 91

5.3　中国の「第 14 次 5 カ年計画」に基づく主な省・市の政策…… 97

5.4　中国の国家重点研究開発プログラム「合成生物学」および

「グリーンバイオ製造」…… 101

執筆者一覧…… 104

1　はじめに

1.1　合成生物学の定義

合成生物学は、生物学、工学、システム生物学、バイオインフォマティクス、数学、化学、コンピュータサイエンスなど、さまざまな分野を融合し生命機能を人工的に設計したり、人工の生物システムを構築したりする学際融合分野である。

1910 年頃にフランス人生物学者のステファン・ルデュック博士（Prof. Stéphane Leduc）が「合成生物学（Synthetic Biology）」という言葉を使ったのが最初と言われている[4]。一方、現代の合成生物学は、解析技術の進歩に伴ってポーランドの遺伝学者ワクロー・シバルスキ博士（Prof. Wacław Szybalsk）が 1974 年に提唱した「新しい制御要素を考案し、新しいモジュールを既存のゲノムに追加するか、まったく新しいゲノムを構築する」というアイディアに基づいている[5]。

本調査においては、合成生物学（Synthetic biology、ないし Engineering Biology）を「分子生物学やシステムバイオロジーを工学原理と組み合わせ､生体システムやバイオファクトリーを設計する学問分野」とし、目的は「エネルギーの生成、食料の生産、産業処理の最適化、疾病の診断、予防、治療といった分野において将来の課題に対応できる、より高度な生物学的機能を作り出すこと」と位置づける[6]。

なお、バイデン政権下でのアメリカ議会調査局（CRS）の報告書「バイオエコノミー入門編」には以下の記載があり、合成生物学はバイオテクノロジー分野の 1 つの構成要素とある[7]。

- バイオテクノロジーとは、技術やプロセスを開発するために、細胞や生体分子のプロセスを利用することである。
- 合成生物学はバイオテクノロジーを構成する要素の一つである。具体的には、合成生物学は、新しい能力を持つように生物を工学的に設計することで、有用な目的のために生物を再設計する科学分野である。合成生物学は、特定の問題を解決するために、より大きな統合システムに組み入れるだけでなく、モデル化し、理解し、特定の性能基準を満たすように微調整できるコアコンポーネント（酵素の一部、遺伝子回路、代謝経路など）の設計と構築に重点を置いている。
- バイオエコノミーは、生命科学とバイオテクノロジーの研究とイノベーションによって推進される経済活動であり、工学とコンピュータおよび情報科学の技術的進歩によって可能となるものである。

[4] S. Tirard. (2009) “Stephane Leduc (1853-1939), from medicine to synthetic biology”, *Histoire des sciences medicales*, 43(1):67-72

[5] W. Szybalski. (1974) “In Vivo and in Vitro Initiation of Transcription”, in A. Kohn and A. Shatkay (Eds.), *Control of Gene Expression*, pp. 23–24, and Discussion pp. 404–405. New York: Plenum Press.

[6] サーモフィッシャーサイエンティフィック社ウェブサイト“合成生物学”より：https://www.thermofisher.com/jp/ja/home/life-science/cloning/synthetic-biology.html

[7] N. Chaudhary, et al. (2021) “mRNA vaccines for infectious diseases: principles, delivery and clinical translation”, *Nat Rev Drug Discov*, p. 817–838

1.2 背景

(1) 合成生物学の発展

バイオテクノロジーと計算能力の進歩により、世界は合成生物学の時代を迎えている。2008 年に細菌 *Mycoplasma genitalium* の全ゲノム合成に初めて成功したアメリカの分子生物学者クレイグ J. ベンター博士（Dr. Craig J. Venter）は、遺伝暗号を読む（Read）ことから、それを書き込む（Write）段階へと移行していると述べている。

バイオテクノロジーの観点から、合成生物学の発展を後押ししたのは、核酸配列決定（Read）、ゲノム編集、マイクロアレイ、核酸合成（Write）、および単一細胞操作技術と言われる。図 1-1 に示すとおり、ヒトゲノム・プロジェクト[8]以来 20 年程度の間、次世代シーケンサーや情報処理技術の発展により、2000 年に 100 億円を要したヒトゲノム解析費用は 2020 年になると 6 万円程度で解析可能となり、合成生物学進展の強力な原動力となっている。

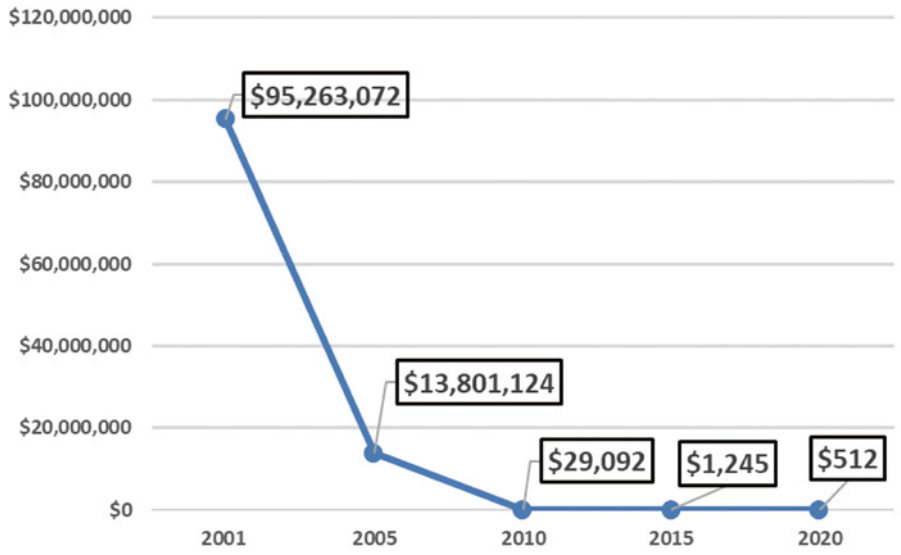


図 1-1　ヒトゲノムあたりの解析コスト

（「アメリカ国立ヒトゲノム研究所（NHGRI）ヒトゲノムの解析コストの推移」[9]を元に APRC 作成）

近年、CRISPR-Cas9 といったゲノム編集技術が登場し、作物育種や医療分野への応用研究が急速に進展している。また、合成 RNA 技術を活用した COVID-19 の mRNA ワクチンの開発[10]も合成生物学分野における成果といえる。加えて、数万塩基対以上の長鎖 DNA を合成する技術が確立しつつあり、細胞内での機能発現を解析することで、ゲノムに関する機能やその原理を理解するための研究が進みつつある。これらの技術革新の恩恵を最大限に活用した代表例としては、ニューヨーク大学のジェフ・ビョーク教授（Prof. Jef D Boeke）等が 2018 年に報告した 16 染色体ある酵母ゲノムの合成プロジェクト（Sc2.0）、および 2016 年

[8] ヒトゲノム計画（Human Genome Project）は、アメリカ DOE と HHS によって計画されたヒトゲノムの全塩基配列を解析するプロジェクト。1990 年に計画され、2000 年にはドラフト配列が公開され、2003 年に解析完了。

[9] NHGRI Cost per genome data (2021): https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Sequencing-Human-Genome-cost

[10] 投与した mRNA が体内で異物として認識されるという課題に直面していたカタリン・カリコ博士（Dr. Katalin Karikó）とドリュー・ワイスマン博士（Dr. Drew Weissman）等は、ウリジンを人工合成したシュードウリジンに置換し免疫機能の回避というボトルネックを突破した。

にアメリカで始まったハーバード大学のジョージ・チャーチ教授（Prof. George Church）等がリードするヒト細胞株および農業上・公衆衛生上重要な生物のゲノム合成による生命の設計図の理解をめざす Genome Project-Write（GP-Write）と呼ばれる国際プロジェクトである。

また解析基盤となるコンピュータの計算能力の飛躍的な向上により、分子動態から生物システムを *in silico* で再現し、システムで理解するといったシステムバイオロジー分野やハイスループット化・自動化技術も急速に進展している。生命の設計図の理解が進み、前出の技術が更に進展すると、将来的には DNA などの生体分子の製造プロセスが、産業での組み立てラインに類似したような形で、標準化･自動化ができ、遺伝子標的治療や医薬品・食品製造などがより効率的かつ環境に優しく、コストを抑えて容易に供給される未来が描ける。

これら合成生物学の発展に寄与した技術の多くは、アメリカで開発されたものである。アメリカが合成生物学分野をリードする要因は、一般的にいえば、ひとえにバイオテクノロジーの研究開発に大小問わず継続的な支援を行い、新興企業への投資が盛んで商業化にいたるエコシステムが機能していることに尽きる。

(2) 合成生物学の市場

「合成生物学の世界市場（Markets and Markets 社 “Synthetic biology market”）」による 2026 年までの合成生物学の将来展望としては、アジア･太平洋地域が最も急成長する地域と予想されており、主要因として、合成生物学の研究プロジェクトの増加、中国市場での外資企業との連携促進、アジア・太平洋地域の研究開発予算の増加などが列挙されている。合成生物学の市場はツール（オリゴヌクレオチド・合成 DNA、酵素など）、技術開発（ゲノム工学、シーケンシングなど）、および応用（医療、医薬品、農業など）と多岐にわたっており、図 1-2 の右上「STAR」で示されるような Thermo Fisher Scientific（米国）、Novozymes（デンマーク）、Merck KGaA（ドイツ）や Agilent Technologies（米国）といった老舗企業と、アメリカを中心とした新興企業といったプレーヤーが市場シェアのしのぎを削っている。老舗企業では、ハイテク新興企業の M&A や市場の拡大が大きく見込まれる中国への研究開発部門を含めた進出が活発であり、例としてドイツの医薬品メーカー・メルク社は、張江グループ（Zhang Jiang high tech Park, 张江高科技园区）と提携し、中国国家発展改革委員会および科学技術部の許認可を受けた国家レベルの重点ハイテク産業開発区である張江科学城に最大規模のメルク上海イノベーションベース（上海市浦東区）を開設し、イノベーションエコシステム、ヘルスケア、バイオテクノロジー、エレクトロニクスに焦点を当てた新しいプロジェクトを推進している。メルク社は上海のほか、広東省広州市にもイノベーションセンターを設けている。[11]

[11] Merck ウェブサイト：https://www.merckgroup.com.cn/cn-zh/innovationhub_en.html

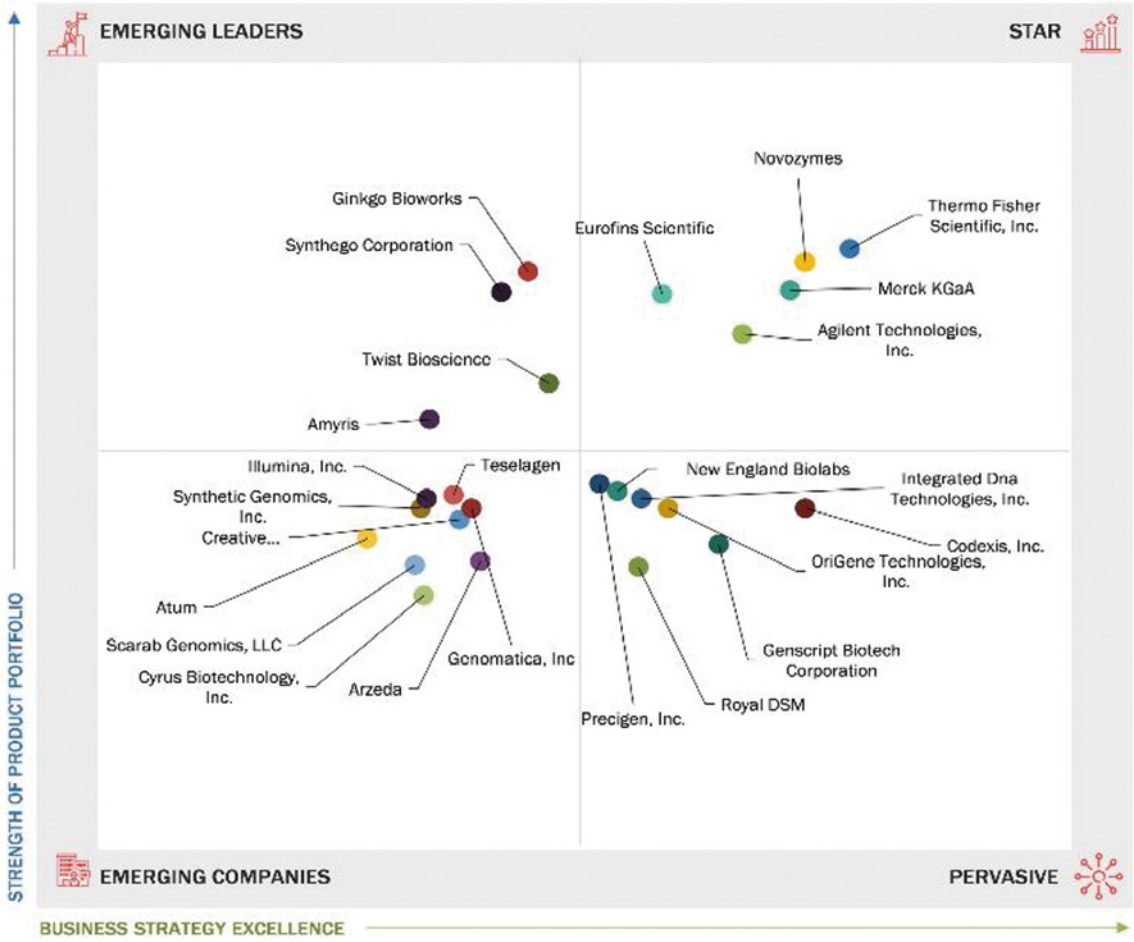


図 1-2　2020 年の合成生物学市場の企業評価マップ（Markets and Markets 社「FIGURE 28 SYNTHETIC BIOLOGY MARKET: COMPANY EVALUATION QUADRANT, 2020」より許可を得て掲載）[12]

(3) 合成生物学が内包するリスク要因

合成生物学の発展と応用は、バイオセーフティ、バイオセキュリティ、倫理に関する問題やリスクを包摂する。また合成生物学は、軍事的性格を有するデュアルユース技術である。世界経済フォーラムが発表したグローバルリスクレポート 2022（The Global Risks Report 2022）[13]では、「技術の進歩がもたらす負の遺産」のカテゴリにおいて、意図的／非意図的な技術の例として AI、ブレイン・コンピュータ・インターフェース、バイオテクノロジー、量子技術などの分野を明記している。近年の研究成果の例をあげると、2018 年にカナダ・アルバータ大学の研究者等が、ゲノムのヘアピン構造やテロメアなどの問題でクローニングが困難とされている馬痘（horsepox）の 212kbp の長さとなるウイルスゲノムについて、10 個の合成フラグメントをあわせることで再構築した[14]。類似の実証例や病原体に限らず、前出のチャーチ教授がリードする絶滅動物（マ

[12] 図 1-2 中右上「STAR」は、強固な製品ポートフォリオ、高い市場シェア、アプリケーションの幅広いカバー、グローバル展開といった点で評価が高く、革新的ツール・技術を提供する成熟した企業とある。図中左上「EMERGING LEADERS」は、製品に革新性があり、市場において大きな存在感を示しているものの強力な成長戦略を有していないとある。図中右下「PERVASIVE」は、強力なビジネス戦略を持ち、グローバルな流通と製品の供給力を持つものの、市場シェアが STAR に比べて劣るとある。図中左下「EMERGING COMPANIES」は、ニッチな製品を提供し、成長が期待される企業とある。

[13] WEF グローバルリスクレポート 2022: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf

[14] Ryan S., et al. (2018) "Construction of an Infectious Horsepox Virus Vaccine from Chemically Synthesized DNA Fragments", *PLOS ONE* 13, no. 1: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188453

ンモス）の再生の試みなど合成生物学による光と影の側面を有する取り組みが耳目を集めている。技術の発展を止めることや排除することは困難である中で、ゲノムなどの設計プロセスにおいて保護・マーカー機能を組込む必要があるなどリスクやガバナンス体制に関する議論は、政府に限らず、iGEM[15]のような研究者コミュニティにおいても活発である。加えて、2021 年 3 月 21 日に開催された日米豪印首脳テレビ会議 (Quad Summit) では、Fact Sheet に「日米豪印重要・新興技術作業部会：バイオテクノロジーを含む重要・新興技術（Critical & Emerging Technologies）の開発に関する動向及び機会をモニターするための協力を円滑化すること」とあり、2022 年 5 月 24 日の日米豪印首脳会合共同声明においても、バイオテクノロジーに関する継続的な議論がなされている。

1.3　調査の目的

合成生物学は、バイオセーフティなどのリスクを孕みながらも、重要新興技術としてわが国および人類にとっても極めて有益な技術であり、かつ新産業としても鍵を握る分野として国際的にも注目され、主要先進国はその技術的主権（当該産業において不可欠な技術を保持し、他国に技術を依存しない状態）を確保すべき緊要な技術の一つとしても積極的に推進している。このような国際的な動きの中で、アジア・太平洋地域における合成生物学分野の主導国といえるオーストラリア、中国、およびインドにおける政策や研究開発動向に関する情報を収集することで、科学技術イノベーションの観点から合成生物学に関わる施策に関してわが国が取るべき方向、これらの諸国との協力の可能性について有意義な示唆を得ることを目的とした。なお、これらの諸国に加えて本分野で世界のトップを走ると言われているアメリカ[16]の関連情報も参考として調査している。

1.4　調査手法

本調査では、主に以下 3 項目の手法により情報収集し、分析を行った。

(1) 政策・研究開発動向（第 2 章）

オーストラリア、中国およびインドの合成生物学に関わる科学技術イノベーション政策および研究開発の動向を把握するために、まずバイオテクノロジーやヘルスケア関係の動向を全般的に俯瞰しながら、それぞれの国における合成生物学に焦点を当てた動向があればそれらを深く調査するという形を取り、これら諸国における合成生物学の国家的なイニシアティブ、重要な資金提供機関および研究開発機関についてデスクトップ調査を行った。

合成生物学に関する国家的なイニシアティブが明確に見てとれない（フラッグシップ政策を掲げていないとも言える）インドについては、同分野を包含するバイオテクノロジー分野というまとまりとして調査を行ったことを断っておきたい。なお、アメリカについては参考情報としてその政策や研究開発動向について付記し、調査の目的を果たす上で重要な情報とした。

[15] iGEM（The International Genetically Engineered Machine competition）は、毎年開催される合成生物学の世界最大規模の大会。遺伝子をブロックのイメージとして捉え、各ブロックを組み合わせ（組み立て）ることで、様々な機能を生物に与える。直近の大会となる iGEM2022 は、全世界から 5000 人以上、346 チームが参加し、パリでハイブリッド開催された。https://blog.igem.org/

[16] Protecting U.S. Technological Advantage (2022), National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. https://doi.org/10.17226/26647

(2) 論文・特許分析（第 3 章）

論文データの収集には、Clarivate 社が提供する学術文献データベース Web of Science を、特許データの収集には、LexisNexis 社が提供する世界最大級の特許データベース TotalPatentOne® をそれぞれ使用し、新興バイオテクノロジー分野の中でも合成生物学に特化したキーワードをもとにデータ分析を行った。

(3) まとめ（第 4 章）

オーストラリア、中国、インドおよび参考情報としてのアメリカの政策・研究開発の状況を踏まえ、わが国への科学技術イノベーションの観点から、合成生物学に関する施策において今後わが国がどのような方向を模索し、またこれらの諸国とどのような分野での協力関係を築けるか、その可能性についてまとめた。

(4) APPENDIX - 日豪ワークショップ概要、他

第 2 章の政策・研究開発の調査を補完するため、オーストラリアの研究開発動向について、日豪のトップ研究者の参加によるワークショップを JST アジア･太平洋総合研究センター（APRC）は JST 国際部と協力し、文部科学省 (MEXT)、オーストラリア連邦政府産業科学エネルギー資源省（DISER）、連邦科学産業研究機構（CSIRO）、在日オーストラリア大使館共催の下で 2022 年 3 月 16 日に開催し、情報収集および両国で協力すべき分野に関するディスカッションやヒアリングを行った結果を参考までに掲載する。本ワークショップでは､日本側チェアの近藤昭彦教授（神戸大学副学長）､オーストラリア側チェアのクラウディア･ビッカーズ博士（Dr. Claudia Vickers, Provectus Algae Pty Ltd. CSO）、14 名の講演者を迎え、150 名以上の参加者が合成生物学の研究成果や最新情報を共有した。

なお、本報告書に記載の通貨レート（円換算）は、以下の 2022 年 3 月末時点でのレート（TTS）で算出している。括弧内は、各国の会計年度を示す。

・オーストラリア・ドル：94 円／ AUS ドル（7 月～翌年 6 月）
・インドルピー：1.78 円／ルピー（4 月～翌年 3 月）
・中国人民元：19 円／元（1 月～ 12 月）
・アメリカドル：123 円／ドル（10 月～翌年 9 月）

2　政策・研究開発動向

2.1　オーストラリア

オーストラリアの研究開発投資総額は、OECD 統計では、2019 年で総額 356.02 億豪ドル（約 2 兆 9,532 億円）であり、対 GDP 比は 1.8%（2019 年推定値）[17]となっている[18]。またオーストラリア大学協会の統計では、研究開発費の原資として政府、州政府および企業など様々な由来が上げられ、2019/20 年は総額 356 億豪ドル（約 3 兆 3,464 億円）となっている。政府の 2021/22 年の研究開発費支出としては 118 億豪ドル（約 1 兆 1,092 億円）となっており、前年より 1.84 億豪ドル（約 172 億円）の減少となっている[19]。総研究開発費の 31.5%が高等教育部門に充てられている。政府の研究開発予算として 2020/21 年の予算額（推計値）は、106 億 47 百万豪ドル（2019/20 年 , 93 億 28 百万豪ドル）となっている[20]。なお、政府の支出により大学の研究および研究インフラがすべて賄えているわけではなく、大学が留学生からの収入（授業料）に依存する状況[21]は、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）による影響を考慮すれば持続可能ではないと考えられおり、このギャップをどう埋めていくかが課題でもある。

合成生物学分野への投資額は、公的資金で 80.7 百万ドル（2016 年 -2021 年、99 億 26.1 百万円）[22]、民間資金（2020 年度）で 20 百万ドル（約 24 億 60 百万円）以上[23]となり、10 のスタートアップが設立されたものの、世界のマーケットシェアの 33-39% を占めるアメリカの公的資金 14 億ドル（2005 年 –2015 年、約 1,722 億円）、民間資金 53 億ドル（2018 年、約 6,519 億円）、スタートアップ数 336 件、およびマーケットシェア 8-12% を占めるイギリスの公的資金 5.5 億ドル（2009 年 –2016 年、約 676 億円）、民間資金 9.1 億ドル（2018 年、約 1,119 億円）、スタートアップ数 150 件と比較すると一桁以上少ない規模である[24]。

連邦政府としての科学技術政策としてあげられるのは、近年では 2015 年に発表された「国家科学研究優先課題」と 2017 年の「国家科学声明」であるが、後述のとおり 2022 年 7 月の政権交代を経て更新される予定で、アルバニージー政権としても「科学への回帰（Put science back into government）」を念頭にエビデンス・ベース政策を策定することとしている。

[17] OECD Main Science and Technology Indicators, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB

[18] 2017 年のデータではあるが、民間企業の投資は 174.3 億ドルと 3 分の 2 以上を占めていると見られる。OECD, Gross domestic expenditure on R&D by sector of performance and source of funds, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=GERD_SOF&_ga=2.235261765.556047645.1620879487-64687999.1620879487（2022 年 10 月 20 日閲覧）

[19] University Australia “RESEARCH FUNDING”: https://www.universitiesaustralia.edu.au/policy-submissions/research-innovations/research-funding/（2022 年 10 月 6 日閲覧）

[20] “Australian Government R&D programs and activities valued at over $100 million in 2021-22”, https://www.industry.gov.au/publications/science-research-and-innovation-sri-budget-tables

[21] 授業料が大学の研究費の 27 % を負担しているとされる。“University research funding: a quick guide” より https://www.aph.gov.au/About_Parliament/Parliamentary_Departments/Parliamentary_Library/pubs/rp/rp2122/Quick_Guides/UniversityResearchFunding（2022 年 10 月 6 日閲覧）

[22] ARC CoESB（ARC と NSW 政府から 37 百万ドル）、CSIRO Synbio Future Science Platform and BioFoundry（27.7 百万ドル）、NCRIS Biofoundry Capability（8.3 百万ドル）、Macquarie Biofoundry（2.5 百万ドル）、QUT Mackay Renewable Biocommodities Pilot Plant（5.2 百万ドル）への公的資金予算総額。本予算額には特定の研究プロジェクトに対する資金は含まれていない。

[23] Provectus Algae（2020 年 10 月に 3.25 百万ドル）および Nourish Ingredients（3 月に 11 百万ドル）へのシード投資を含む

[24] CSIRO “A National Synthetic Biology Roadmap”, 2021

オーストラリアは、2005年にノーベル生理学・医学賞を受賞した西オーストラリア大学のロビン・ウォーレン名誉教授（Prof. John Robin Warren）とバリー・マーシャル教授（Prof. Barry James Marshall）によるピロリ菌の発見が有名である。この研究はウォーレン名誉教授が1979年に胃炎患者の胃粘膜に小さな曲がった未知の細菌（ピロリ菌）を発見したことに由来し、この分野の研究における息の長さを感じさせる。また最近では、COVID-19の原因ウイルス（SARS-CoV-2）の遺伝子配列を中国と共に最初に世界に発信したのは、ウイルス研究を専門とするシドニー大学のエドワードC. ホルムズ教授（Prof. Edward C. Holmes）である[25]。この発見は、その後のオーストラリアのワクチン候補探索に関する前臨床試験、臨床試験の加速に貢献したといわれる。

オーストラリアの医療技術・バイオテクノロジー・製薬分野の同国全体の経済に占める寄与は2021年で55億豪ドル（Gross Value Added: GVAベース、約5,170億円）とされ、2019年比ではそれぞれ3億豪ドル（約282億円）の増加となる[26]。雇用で見ると、この2年間で合計5,000人の雇用増化を示している一方、サプライチェーンの課題に直面し、この2年間での輸出は、18%減を経験している。しかし、これまでの堅実な努力を踏まえ2025年までに76億豪ドル（同，7,144億円）に成長させ、新たに3,000人の雇用を生み出すという展望を掲げている。このために後述のとおりバイオテクノロジーの研究開発および産業育成に関して、政府関係機関、大学などの公的機関および産業界が様々な計画を策定し、その実施に向けた具体的な資金的、制度的な支援制度を打ち出している。

オーストラリアにおける合成生物学は、2000年代後半のiGEM参加といった個人・研究室・プロジェクト単位から、2015年12月の「国家イノベーション・科学アジェンダ（NISA）」[27]の発表のとおり大規模なネットワークによる取り組みへと成長を遂げている。同アジェンダを踏まえ、国内の既存の研究インフラネットワークを活用・強化することで、知識共有や教育ハブの形成が活発化している。

2021年8月には、CSIROが「国家合成生物学ロードマップ」を公表し、2040年までに年間最大270億豪ドル（約2兆5,380億円）の収益と4万4,000人の新規雇用を生み出す市場に成長する可能性があると予測している。また、同年11月には内務省が「クリティカルテクノロジー・サプライチェーン原則（Critical Technology Supply Chain Principles）」を発表し、サプライチェーンの安全保障を目的に戦略的に重要な新興技術として合成生物学を特定している[28]。加えて、同年12月には、政府の重要技術政策コーディネーションオフィス(CTPCO)が、重要技術を保護し促進するための戦略として、「重要技術ブループリント（Blueprint for Critical Technologies）」と「行動計画（Action Plan）」を公表し、10年以内に重要性が高まると予測された9つの技術領域（5G/6G、AI、サイバーセキュリティ、ゲノミクス・遺伝子工学（合成生物学を含む）、量子技術など）を指定している。

このように、オーストラリアでは、基礎研究から産業展開、そして国防・安全保障の観点から重要分野として捉え、総合的に合成生物学を推進している。本章では、合成生物学を含むバイオテクノロジー分野におけるオーストラリア主要政策・研究開発や主要産業の動向をまとめる。

[25] Fan Wu et. al. (2020) “A new coronavirus associated with human respiratory disease in China”, *Nature*, Vol. 579

[26] MTPConnect. (2022) “Medical Technology, Biotechnology and Pharmaceutical Sector Competitiveness Plan”, MedTech and Pharma Growth Centre, p5, https://www.mtpconnect.org.au/images/2022_MTPConnect_SectorCompetitivenessPlan.pdf (2022年10月20日閲覧)

[27] 後述のとおりNISAでは、オーストラリアのあるべき将来の姿が打ち出されている。賃金の高い雇用や、新しい経済繁栄の波を生み出すには、イノベーション・科学の分野で新しい考えを取り入れ、新たな成長の牽引役を作り出す必要があるとする。①文化と資本、②協力・共同、③作業技能と才能、④政府による手本に重点を置く。

[28] Commonwealth of Australia 2021 “Critical Technology Supply Chain Principles”

2.1.1 政府組織・体制

2022 年 5 月に行われた連邦議会選挙の結果、労働党のアンソニー・アルバニージー（Anthony Albanese）党首が次期首相となることが決まり､6 月 23 日には新政府組織を発表､7 月 1 日から新体制が正式に発足した。

オーストラリア政府の科学技術イノベーション政策に関しては、1989 年に政府全体の科学技術の優先事項について、権威ある独立した科学的助言を提供するため、産業科学資源省の傘下に首席科学顧問オフィス（Chief Scientist Office）が設置され、また 2014 年に、首相を議長とし首席科学顧問が参加する「国家科学技術会議（National Science and Technology Council）」が科学技術に係わる重要な課題について首相および関係閣僚に助言する機関として設置されている。アルバニージー政権での合成生物学に関係した主な組織・機関を概略図として図 2-1 に示す。

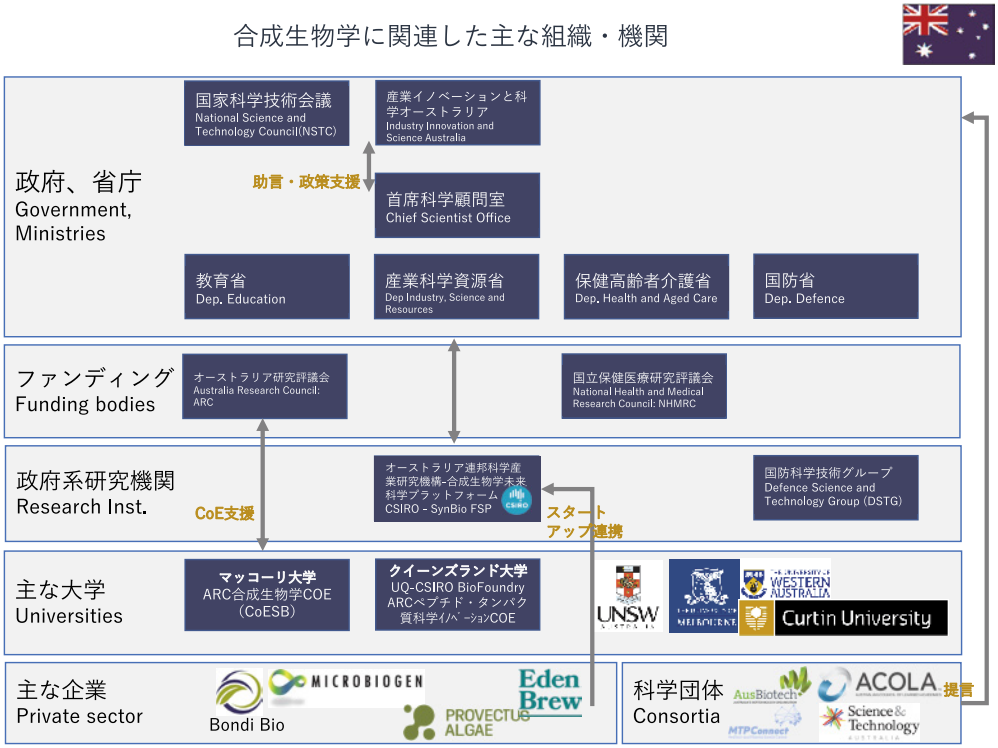


図 2-1　オーストラリアの合成生物学に関連した主な組織・機関

首席科学顧問は常勤職ポストで､同時に「国家研究基盤（インフラストラクチャー）専門家委員会｣､｢オーストラリア気候変動科学フレームワーク調整グループ」などの議長を務め、その他国内外の重要な科学技術関係の会議のメンバーとなる。首席科学顧問室で作成した報告書は、首相、関係大臣との協議の後、産業・科学・技術大臣に提出される。9 人目となる現在の首席科学顧問は、2018 年 8 月に任命された、CSIRO で半導体エレクトロニクスの研究に携わり多くの実績を挙げたキャシー・フォリー博士（Dr. Cathy Foley）[29] である。

国家科学技術会議も重要な科学技術問題に関して首相および関係大臣に助言を行う機関である。会議では、首相が議長を､科学技術関係大臣が副議長を務める。首席科学顧問は､事務局長(Executive Officer)に当たり、CSIRO の機構長は常勤メンバーとなる。このほか学識経験者ら 6 名を加えた体制となる。本会議の任務は、

[29] Dr Cathy Foley,Australia' s Chief Scientist: https://www.chiefscientist.gov.au/DrCathyFoley（2022 年 10 月 6 日閲覧）

科学技術に関する長期的、かつ新興の課題、政策的優先性、科学技術システム、国家科学技術声明（後述）が定める目標の達成、その他首相および関係大臣の要請に関して対応することである。年間 4 回開催されることを通例とする。また、科学界から議会や国会議員等への助言プロセスとして、上記首席科学顧問等の機能、研究者との直接対話、Science Meets Parliament（科学と議会の出会い）[30]といったイベントやオーストラリア学士院評議会 (ACOLA) など、様々な場が設けられている。

図 2-1 の概略図の通り、スコット・モリソン（Scott Morrison）政権当時との相違は、「教育訓練省」が「教育省」に、「保健省」が「保健高齢者介護（Health and Aged Care）省」に、「産業科学エネルギー資源省」が「産業科学資源省（DISR）」に再編され、「気候変動・エネルギー・環境・水省」が新たに設置されたことである。[31]また、国防省の傘下にある国防科学技術グループ（DSTG）は、オーストラリアとその国益を守るために科学技術を利用する研究機関であり、首席国防科学官をトップに、科学者、エンジニア、IT スペシャリストを中心に約 2,200 人のスタッフを擁するオーストラリア最大の組織の一つとして、国防と国家安全保障のために専門的で公平なアドバイスと革新的なソリューションを提供している。

オーストラリアの科学技術イノベーションに関する主な政府研究資金提供機関については、研究者の科学的探究心を基礎としてグラントを提供するボトムアップ型の組織として、教育省の管轄になるオーストラリア研究評議会（Australia Research Council, ARC）および保健高齢者介護省の下にある国立保健医療研究評議会（National Health and Medical Research Council, NHMRC）の 2 つがあげられる。

一方、トップダウン型のファンディングとしては、各省庁や関連機関で行うことがあり、国内研究機関とともに社会経済・環境上の課題に対応する研究に対するグラントの例として、DISR の「協力研究センター（CRC）グラントプログラム」がある。[32]近年の科学技術イノベーションにおける課題としては、論文ランキングなどを踏まえた研究開発の成果は評価されるものの、その成果を商業・商品化するまでに至っていない点があげられる。[33]

2.1.2 主要政策・重点課題

近年のオーストラリア政府、関係機関による合成生物学に関連した主要政策を概観する。

（1）国家イノベーション・科学アジェンダ（National Innovation and Science Agenda, NISA）[34]

2015 年 11 月に発表された NISA は、起業家への財政支援を拡大しリスクを取り公的研究の充実を図ること、産業界・研究機関の協力を拡大し世界的な課題の解決に貢献し雇用を創出すること、世界の優秀な研究

[30] Science Meets Parliament は、1999 年に始まった連邦国会議員と科学技術関係者とのネットワーキングイベント。2023 年は Katalin Karikó 教授の講演を 3 月に予定。本イベントの主催者は Science & Technology Australia（前身：オーストラリア科学技術協会連合 (FASTS)）という複数の科学技術関係団体が母体となる組織。https://scienceandtechnologyaustralia.org.au/what-we-do/science-meets-parliament/science-meets-parliament-2023/

[31] Administrative Arrangements Order made on 23 June 2022, https://www.pmc.gov.au/sites/default/files/publications/administrative-arrangements-order-23-June-2022.pdf（2022 年 10 月 6 日閲覧）

[32] “Backing research centres to boost economic output 13 January 2023”, https://www.minister.industry.gov.au/ministers/husic/media-releases/backing-research-centres-boost-economic-output

[33] オーストラリア議会 Tim Brennan, “Parliamentary Library Briefing Book - Science and research”, June 2022 https://www.aph.gov.au/About_Parliament/Parliamentary_departments/Parliamentary_Library/pubs/BriefingBook47p/ScienceResearch

[34] National Innovation and Science Agenda report: https://www.industry.gov.au/publications/national-innovation-and-science-agenda-report（2022 年 10 月 2 日閲覧）

者を引きつけること、そして産業に繋がるイノベーションをとらえることを目的とし、その後4年間にわたり11億豪ドル（約1,034億円）を投じるという計画である。このアジェンダにおいて、バイオテクノロジーに関連して「有望な発見を商業化するバイオ医学トランスレーション基金（Biomedical Translation Fund, BTF）の創設」が提案され、政府が250百万豪ドル、民間企業が251.25百万豪ドル（約236億円）を支出し、合計501.25百万豪ドル（約471億円）の規模で運営されている[35]。

（2）2015年国家科学研究優先課題（National Science and Research Priorities）[36]

オーストラリア政府（現・産業科学資源省）が2015年に定めた国家科学研究優先課題には、9の優先分野が特定されており、食料、土壌と水、健康、製造技術などバイオテクノロジー関連の分野が掲げられている。本優先課題はARCのファンディングの基本的な支援対象となっている。なお、オーストラリア政府は、2022年9月27日に、産業科学資源省にタスクグループを設けて首席科学顧問主導で検討を開始し、今後12ヶ月を目途に優先課題の更新作業を完了するとしている[37]。

上記(1)および(2)は、気候変動、感染症対策、新興重要技術といった喫緊の課題に直面する前のものであり、アルバニージー政権ではこれらの課題に対応する形で科学界や産業界と対話の上、2022年から1年かけて産業科学資源省主導により優先度を見直すこととしている。

（3）2017年国家科学声明（National Science Statement）[38]

「国家科学声明」は、2017年に策定され、国家としての長期的目標を定め、政府に対するガイダンスとなることを目指している。主な内容は、オーストラリアの科学システムを強化し（strong science system）、政府の投資と政策決定に対する指針を提供することなどである。

この声明では、企業の投資が大学または公的支援を受けた機関との協力に回っていないこと（企業投資の4.8%のみ）、STEM教育が弱体傾向にありスキルのある労働力の供給が困難になっていることがオーストラリアの課題であるとしている。このため、この声明は、科学を経済発展の基礎とする、科学研究への投資を高度な研究に集中する、研究への支援を安定化させ予見可能なものとする、学際的、業際的、国際的な協力を促進し支援する、すべてのオーストラリア人に対して科学に携わる機会を最大限与えることを指針としている。

[35] Biomedical Translation Fund: https://www.bulletpoint.com.au/biomedical-translation-fund/（2022年10月2日閲覧）

[36] Science and Research Priorities: https://www.arc.gov.au/funding-research/apply-funding/grant-application/science-and-research-priorities（2022年10月2日閲覧）

[37] Australian Government to revitalise our science priorities: https://www.industry.gov.au/news/australian-government-revitalise-our-science-priorities；https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2022-09/revitalising-australias-science-priorities-terms-of-reference.pdf（2022年10月6日閲覧）

[38] National Science Statement 2017: https://nicm.edu.au/__data/assets/pdf_file/0004/1233823/National-science-statement.pdf（2022年10月6日閲覧）

（4）オーストラリアにおける合成生物学：2030 年までの展望（Synthetic Biology in Australia: An outlook to 2030）[39]

2018 年にオーストラリア学士院評議会（ACOLA）が「オーストラリアにおける合成生物学：2030 年までの展望」と題した、将来を展望する（ホライゾンスキャンニング）文書を公開した。主査は、オーストラリア技術科学工学アカデミーのフェローでクイーンズランド大学・オーストラリア生物工学ナノテクノロジー研究所（AIBN）の初代所長でもあるピーター・グレイ教授（Prof. Peter Gray）である。本文書は政府の見解を示すものではないものの、クラウディア・ビッカーズ博士（Dr. Claudia Vickers, APPENDIX 参照）等、オーストラリアのアカデミーに属する著名な専門家が多数関与し、(5) にあげる首席科学顧問室の提言書につながった。本文書のポイントは以下のとおりである。

- オーストラリアは、強力な科学的基盤と、農産業における高度な知識を有しており、合成生物学分野においても好位置につけている。
- 集中的かつ協調的な取組みにより、オーストラリアは国際競争力のある新産業を創成すると共に農産業の輸出基盤を保護することができる。
- 合成生物学の潜在的なメリットとリスクを国民に効果的に伝えることは極めて重要である。
- オーストラリアの遺伝子組換え技術規制制度は、世界で最も効果的かつ先進的なものの一つであり、国際動向などを反映し改訂することは、合成生物学の発展のために不可欠である。
- STEM や HASS（人文、芸術、社会科学）の知識を持った人材の育成、国際競争力向上に向けた国家インフラ基盤の構築が必要である。

（5）首席科学顧問室による提言書（Occasional Paper: SYNTHETIC BIOLOGY）[40]

政府の首席科学顧問室は、前記 ACOLA の文書を元に、2020 年 8 月 5 日に提言書を発表した。主な内容は、ACOLA の文書を踏襲しているものの、オーストラリアは合成生物学分野における研究能力と専門知識、規制環境、アジア市場へのアクセス、強力な農業関連産業を有し、合成生物学がもたらす機会を活用できるとしている。提言書では、オーストラリアが取り組むべき課題として以下 4 項目をあげている。

- 【科学と産業の溝を埋める】現在の合成生物学のツールでは、複数の合成パーツを組み合わせて作った遺伝子などの回路の動作結果を予測できない。そのため、2018 年にノーベル化学賞を受賞した指向性進化法やパーツのモジュール化がアプローチの一つとして重要となる。LEGO® ブロックのような交換可能なパーツを多数用意することが必要不可欠である。CSIRO では BioBricks ライブラリー構築優先事項とし、産業育成のために Synthetic Biology Future Science Platform を設立している。
- 【スキル・知識の向上】オーストラリアの大学や産業界は、ツール開発、回路設計、タンパク質工学、生物工学の分野で特に優れているとしているものの、ゲノム設計と人工遺伝子構築の技術基盤強化が必要である。学際的な分野である合成生物学の応用展開に向けて、設計、試験、製造の基盤となる IT、人工知能、工学、ロボティクス、機械学習分野の人材育成強化が必要である。
- 【インフラ投資・構築】商業施設は、研究の所見を合成生物学由来の製品や部品から成る大規模生産に移行することが求められる。過去過去 10 年間で、合成生物学に対する研究開発支援・投資が拡大し、国家共同研究インフラストラクチャー戦略の下、国立生物製剤施設やクイーンズランド工科大学マッケイ再生可能バイオ商品パイロットプラント（Mackay Renewable Biocommodities Pilot Plant）の整備な

[39] Synthetic Biology in Australia: An outlook to 2030: https://acola.org/hs3-synthetic-biology-australia/

[40] Clarissa Fraser, Peter Gray, Office of Australia’s Chief Scientist (2020) “Synthetic Biology Occasional Paper”: https://www.chiefscientist.gov.au/news-and-media/occasional-paper-synthetic-biology

どが進んでいる。また、ニューサウスウェールズ州政府は、バイオファウンドリー（DNA 組立・評価の自動化設備を有するゲノムファウンドリー）[41]を設立するためにマッコーリ大学へ 2.5 百万豪ドル（約 2 億 3,500 万円）を支援すると共に、CSIRO とクイーンズランド大学ではバイオファウンドリーを設立するために提携している。

・【リスク管理のための規制整備】合成生物学がもたらす人体への影響、バイオセキュリティ、環境に及ぼす潜在的なリスクの予測や評価が重要であり、遺伝子技術の見直しや規制枠組みが必要である。

（6）国家合成生物学ロードマップ（National Synthetic Biology Roadmap）[42]

2021 年 8 月に CSIRO が発表した国家合成生物学ロードマップは、ACOLA の文書や首席科学顧問室による提言書を踏まえた内容であり、合成生物学がオーストラリアにもたらす価値を特定し、アプリケーションの実証、拡大、商業化の加速方法を示している。

合成生物学が 2040 年までに世界で 7,000 億豪ドル（約 65 兆 8,000 億円）の産業規模になるとの予測の下、オーストラリアがアジア・太平洋地域で競争力のあるリーダーとなるためは、2021/25 年を「能力涵養および商業的実現性の実証期間」、2025/30 年を「早期商業化の成功およびクリティカル・マスの確立期間」、2030/40 年を「市場決定の優先的応用の拡大を通じた成長期間」と位置付けている。なお、本ロードマップは、政府、産業界、研究機関の 60 以上の組織を代表する 140 名以上の人々からのインプットをもとに共同で作成された。

（7）国家研究基盤ロードマップ 2021（National Research Infrastructure Roadmap）[43]

教育省による国家研究基盤ロードマップ 2021 は、オーストラリア全土の研究インフラへの今後の投資についてニーズを特定し優先順位を設定するものであり、具体的なファンディングは国家共同研究基盤戦略（NCRIS）プログラムを通じて行われる。本ロードマップは、ロイヤルメルボルン工科大学（RMIT）のジギー・スウィトコウスキー学長（当時 , Dr. Ziggy Switkowski）を主査とするオーストラリア専門家グループによってまとめられ、今後 10 年間でオーストラリアの卓越性とイノベーションを維持し、新規課題に対応するための研究に必要となる国家研究基盤についてまとめている。

合成生物学は、ロードマップの「勧告 8」の中で、将来の課題に取り組むための備えとして、デジタル基盤、環境・気候研究および橋渡し研究と並び、バイオエコノミーの実現のための研究基盤として以下の項目について言及している。各種のオミックス研究やハイパフォーマンスコンピューティングなどの既存ネットワークが合成生物学研究に役立つものの、これらと連動した合成生物学のための強力なネットワーク形成が国家研究基盤として必要としている。

・合成生物学研究のベースとなる工学的プロセスを合理化し、様々な生物学的システムやキャパシティに対応でき、速いスピードで製品開発するためのバイオファウンドリーが必要である。

・研究者が試験研究のために、様々な種類と規模のバイオリアクターにアクセスできることが望ましい。

[41] 国家合成生物学ロードマップによれば、”A facility containing the resources, equipment and software required for high-throughput engineering of DNA-encoded biological components and systems. Biofoundries conduct the Design-Build-Test and Learn stages of advanced bioengineering and synthetic biology research and development (R&D)” と定義されている。

[42] CSIRO, “Australia's Synthetic Biology Roadmap,” 2021. https://www.csiro.au/en/work-with-us/services/consultancy-strategic-advice-services/csiro-futures/future-industries/synthetic-biology-roadmap

[43] Australian Government, Department of Education, “National Research Infrastructure”: https://www.education.gov.au/national-research-infrastructure

・他の国家研究基盤との連携や国際組織などの既存の合成生物学プラットフォームの統合・ネットワーク化により、効率性や相乗効果の最大化が重要である。
・学際分野である合成生物学では、様々な技術に精通した専門家による、バーチャル／物理的なサポートが必要とされる。

（8）保健医療に関する戦略計画 ― オーストラリアのバイオテクノロジー（Biotechnology in Australia Strategy plan for health and medicine）[44]

政府は、2022 年 3 月にこれまでの「保健医療産業成長計画 2018」を発展させた「保健医療に関する戦略計画 ― オーストラリアのバイオテクノロジー」をまとめた。これは基礎研究から応用、特に医療製品の商業化を目指すまでのイノベーションエコシステムへの投資がねらいであり、そのためには CSIRO、原子力科学技術機構（ANSTO）[45]および国防科学技術グループなどの政府研究機関／グループ間の連携協力が必要であるとしている。本計画では、次の 3 つの柱を設けている。

・産官学のパートナーシップを促進するため、戦略的な投資を重要分野に投じて世界クラスの研究開発を支援する。
・研究能力、プロセス、インフラの国際的競争力を強化してグローバルな関心を引く高品質かつ安全な臨床開発体制を確保する。
・産官学のパートナーシップ、製薬および医療技術製品の製造支援を通じて商業化を加速する。

この戦略計画は、2020 年 10 月に産業科学エネルギー省（当時）が発表した「近代製造戦略に基づく医療製品ロードマップ（Medical Products Roadmap under the Modern Manufacturing Strategy(MMS)）」[46]とも連携が図られ､バイオテクノロジー部門において今後 10 年で､付加価値で 80 億豪ドル（約 7,520 億円）以上、関係企業数で 1,400 社以上、支援雇用数で 80,000 人以上、臨床試験の持続的成長による製品輸出額で 120 億豪ドル（約 1 兆 1,280 億円）以上の活動に貢献するとしている。

バイオテクノロジー部門としては､医療製品（医薬品､レッド）､農業バイオ（グリーン）､産業･エネルギー（グレイ）､海洋（ブルー）の色で分けられた各分野が含まれており、合成生物学に関しては、ワクチン技術、診断技術、治療技術の重要性が指摘され、前出「国家合成生物学ロードマップ」に実証、拡大、商業化の加速方法が示されている。なお、この戦略計画は５年ごとに見直しをされ、また優先度は２年ごとに再定義されることとなる。

なお、本政策の動きに関連し、オーストラリア国防科学技術研究サミット ADSTAR 2022（Australian Defence Science, Technology and Research Summit 2022）が、2022 年 7 月 20 日から 22 日に国防科学技術グループ主催（国防省を代表）によりシドニーで開催されている。[47] 本サミットは、①紛争環境におけるレジリエンス、②防衛のための人工知能、および③防衛のためのバイオテクノロジーをテーマとし、テーマ③については、セッション基調講演として、イギリス国防省のデイム・アンジェラ・マクリーン教授（Prof.

[44] Biotechnology in Australia: https://www.health.gov.au/sites/default/files/documents/2022/03/biotechnology-in-australia-strategic-plan-for-health-and-medicine.pdf

[45] ANSTO の国立重水素化施設では、生物医学研究および医薬品研究双方に利用する重水素化生体分子を大量に生産しており、mRNA 製品の商業化に貢献している。

[46] Modern Manufacturing Strategy(MMS)：2020 年 10 月、産業科学資源省によって策定され、総額 13 億豪ドル（現在は 1.46 億豪ドルへ増額）を投じてオーストラリアの製造業の支援を行う戦略。医療製品は、食料、リサイクル / クリーンエネルギー、国防、宇宙等とともに 6 つの優先課題になっている。https://www.industry.gov.au/news/modern-manufacturing-initiative-and-national-manufacturing-priorities-announced（2022 年 10 月 1 日閲覧）

[47] ADSTAR2022: https://www.dst.defence.gov.au/event/australian-defence-science-technology-and-research-summit-adstar

Dame Angela McLean, DBE FRS)、アメリカ国防総省のバイオテクノロジー担当首席ディレクター代行ステファニー・ロジャーズ博士（Dr. Stephanie Rogers)、オーストラリア国防省 ニック・ビーグレイ博士（Dr. Nick Beagley）およびグレッグ・コイア博士（Dr. Greg Coia）により、Synthetic/Engineering Biology とデュアルユースや、アメリカ DARPA の取り組み、アメリカ製造業協会 (Manufacturing USA) BioMADE などに関する講演と議論がなされた。サミットでは、防衛首席科学官のタニヤ・モンロー教授（Prof. Tanya Monro）より、バイオテクノロジー関与同盟（Safeguarding Australia through Biotechnology Response and Engagement alliance, SABRE）によるオーストラリアのバイオ研究保護・強化と、SABRE は今後、オーストラリアの大学、研究機関、中小企業（SME）で取り組むバイオテクノロジーの意見などをまとめ、国防・国家安全保障部門のニーズと結び付けるとした話題提供があった。

（9）重要技術アクションプラン（The Action Plan for Critical Technologies）

外務省は、2021 年 4 月、「オーストラリアのサイバーおよび重要技術に関する国際的行動戦略（International Cyber and Critical Technology Engagement Strategy）」[48]を発表した。この戦略における重要技術とは、「オーストラリアの繁栄、社会的結束および国の安全保障を含む国家的利益を高めるとともに、それらへのリスクともなりえる能力を有する技術」と定義され、サイバースペース、人工知能（AI)、5G、モノのインターネット（IoT)、量子コンピュータと共に合成生物学が重要技術として掲げられている。重要技術に係わる国際的な活動として引き続きインド太平洋を重点とするサイバー・重要技術の外交目的を推進し、新規ないし既存のパートナーシップの構築に努め、民主主義という共通する価値観を追求できる活動を強化するとし、サイバー・重要技術の供給、利用が国際の平和と安全保障、そして民主主義的価値を危険に晒すことがないよう保障する必要があると基本的な方針を示している。

2021 年 11 月 17 日、モリソン (Morrison) 元首相は、4 つのゴールと 7 つのアクションからなる「重要技術のブループリント（Blue Print for Critical Technologies)」を発表した[49]。この文書では、合成生物学についてオーストラリアの国益を著しく向上させる、あるいはリスクをもたらすものであり、初期に注目すべき重要技術のリスト（List of critical technologies of initial focus）の一つとした[50]。

また、同日付けで発表した「重要技術アクションプラン（The Action Plan for Critical Technologies)」[51]では、8 カテゴリの 63 技術をリスト化した具体的な対策が示されている。このプランは、国益に沿って重要技術を保護し推進する具体的なビジョンを明確にするものである。合成生物学は、バイオ製造、バイオ材料、遺伝子技術、ゲノム・遺伝子配列・解析、ナノバイオテクノロジーおよびナノスケール・ロボティクスで構成される「バイオテクノロジー、遺伝子技術およびワクチン」のカテゴリに掲げられている。このカテゴリの中では、当面「ゲノミクス・遺伝子工学」として、遺伝子工学、ゲノム・ゲノム配列・解析（次世代シークエンシングを含む）および合成生物学に焦点を当てるとされている。

関連する研究開発プログラムに関しては、①問題なし（No regret)、②対応的支援（Responsive support)、③先制的支援（Pre-emptive support)、④国内化および規制（On-shoring and regulation）の 4 段階に区分した上で、個別の対応を行うとしている。現行のバイオテクノロジーまたは合成生物学関係プロ

[48] International Cyber and Critical Technology Engagement Strategy : https://www.internationalcybertech.gov.au/strategy

[49] Critical Technologies Policy Coordination Office, “Blueprint”: https://www.pmc.gov.au/resource-centre/domestic-policy/blueprint-critical-technologies

[50] Critical Technologies Policy Coordination Office, “Critical Technologies”: https://www.pmc.gov.au/resource-centre/domestic-policy/list-critical-technologies-initial-focus

[51] The action plan for critical technologies: https://www.industry.gov.au/publications/action-plan-critical-technologies

グラムで、この区分④として特掲されているものは、COVID-19 で脚光を浴びた mRNA タイプのワクチン製造技術（Sovereign mRNA vaccine capability）である。

（10）その他安全規制に関する関連法など

オーストラリア・ニュージーランド食品基準庁（Food Standards Australia New Zealand, FSANZ）は、オーストラリア・ニュージーランド食品基準法 1991（Food Standards Australia New Zealand Act 1991）[52]にもとづき食品に関する基準の策定と管理を所管している。その任務は、安全な食品供給を確保することにより、オーストラリアとニュージーランドの人々の健康と安全を守ることである。

FSANZ が策定する基準には、オーストラリアとニュージーランドを対象とするものと、オーストラリアのみを対象とするものがある。全体として、オーストラリアとニュージーランドの食品に関する基準は、食品基準コードとして知られている。

2000 年遺伝子技術法（Gene Technology Act 2000）[53]は、遺伝子組換技術がもたらす、あるいはその結果として生じるリスクを特定し、遺伝子組換生物の一定の取引を規制することにより、国民の健康と安全、および国の環境を保護し、それらのリスクを管理するためのオーストラリアにおける遺伝子組換生物規制の国家制度である。

オーストラリアは 1993 年から生物多様性条約（Convention on Biological Diversity 1993, CBD）の締約国であり、CBD の下での義務を国家の優先順位に従って実施することを約束している[54]。1996 年、オーストラリア政府は、CBD の義務をどのように国内的に実現するかを示す最初の国家生物多様性戦略および行動計画（NBSAP）を承認した。広範なレビューを経て、オーストラリアは 2019 年 11 月 8 日に第 3 次改訂版 NBSAP「オーストラリアの自然に対する戦略（Australia's Strategy for Nature）2019-2030」[55]を発表した。

2.1.3 ファンディング

基礎から応用研究を対象とする合成生物学に関連したファンディングについてまとめる。

（1）大学および企業へのファンディング

大学に対する競争的資金は、基本的にはオーストラリア研究会議（ARC）および国立保健医学研究会議（NHMRC）が配分主体となる。表 2-1 に、助成金情報システム「GrantConnect」[56]のデータを元にした 2018 年 1 月から 2023 年 1 月迄の合成生物学をキーワードに含む大学別の件数とファンディング交付額、合計 39 件で 9,446 万豪ドル（約 84.6 億円）をまとめる。

[52] Australian Government's Health, “Food Standards Australia New Zealand”

[53] Office of Parliamentary Counsel, Canberra. (2000) “Gene Technology Act 2000”

[54] 生物多様性条約に基づき「合成生物学に関する技術専門家部会」が設けられており、その締約国会議（COP）の第二部会が議論をしている。2022 年 12 月、カナダ・モントリオールで開催された COP15 では、「合成生物学と生物多様性」（議題 27）に関して合成生物学が生物多様性条約において議論すべき「新規事項」に該当するか否かの結論が出ていないことを認識した上で、将来展望の分析・解釈（horizon scanning）を実施し、COP16 においてそのプロセスの有効性が検討されることが決定された。参考：https://www.nacsj.or.jp/2022/12/33376/

[55] Commonwealth of Australia. (2019) “Australia's Strategy for Nature 2019-2030”: https://www.australiasnaturehub.gov.au/national-strategy

[56] GrantConnect は、オーストラリア政府の助成金情報を登録する包括的なデータベース。Keyword「synthetic biology」、Date Range「01-Jan-2018 から 01-Jan-2023」で検索ヒットした 42 件を解析対象とした：https://www.grants.gov.au/

表 2-1　2018 年 1 月から 2023 年 1 月迄の大学別合成生物学研究ファンディング交付額

大学・研究機関	交付額 (2018-2023 年、万豪ドル)	プロジェクト件数		
		ARC	NHMRC	DISR
クイーンズランド大学	3,648(内 COE 3,500)	4	0	0
マッコーリ大学	3,593(内 COE 3,500)	2	0	0
オーストラリア国立大学	378	3	0	0
モナシュ大学	368	5	1	0
西オーストラリア大学	324	3	2	0
シドニー大学	241	4	0	0
ニューサウスウェールズ大学	204	3	0	0
メルボルン大学	191	3	0	0
ニューキャッスル大学	120	3	0	0
HydGene Renewables	110	0	0	1
ウォルター・アンド・イライザ・ホール医学研究所	79	0	1	0
フリンダース大学	59	1	0	0
カーティン大学	53	1	0	0
クイーンズランド工科大学	39	1	0	0
シドニー工科大学	34	1	0	0
総計	**9,446（約 84.6 億円）**	**34**	**4**	**1**

クイーンズランド大学「ペプチド・タンパク質科学 COE（CIPPS）」[57]およびマッコーリ大学「合成生物学 COE（CoESB）」への ARC Centres of Excellence（いわゆる COE 拠点形成支援費であり、7 年間で 35 百万豪ドル（約 32 億 9,000 万円）の支援）が大学交付金の大部分を占める中、支援ファンディング機関の主体は全体の 96% 近くを占める ARC（9,050 万豪ドル（約 85 億円））であり、次いで、3% の NHMRC（286 万豪ドル（約 2 億 4,064 万円））、1% の DISR（企業研究イノベーションイニシアティブ（Business Research and Innovation Initiative, BRII, 110 万豪ドル（約 1 億 340 万円））が続いている。5 カ年の[58]総計で 9,446 万豪ドル（約 84.6 億円）の交付となる。

ARC の個別プログラムには、日本の科学研究費補助金のような「Discovery」からネットワーク形成支援費である「Linkage」、産学連携支援費となる「Industrial Transformation Research Hubs」など様々な個別プログラムが含まれている。

NHMRC の採択プロジェクトには、合成生物学を用いた新しい治療薬のデザイン、がん免疫療法を改善に向けた受容体工学、局在解析のための FRET ベースタンパク質センサーの開発などといった応用研究が散見される。

DISR から企業研究イノベーションイニシアティブ（Business Research and Innovation Initiative,BRII）の助成を受ける HydGene Renewables 社は、マッコーリ大学キャンパスにおいて、合成生物学的アプローチで緑藻クラミドモナスなどの遺伝子機能を操作し、炭水化物を含む原料から再生可能な水素ガスを生成する研究開発に取り組んでいる。HydGene Renewables の研究開発のベースは、2017 年にマッコーリ大学の

[57] CIPPS は、国家合成生物学ロードマップ内では合成生物学の文脈として触れられていない。

[58] 一部、ARC-COE の 7 年間支援の額を含む。

学生チームが合成生物学の世界大会 (iGEM) でエネルギー賞（Best Energy Project 2017）を受賞したことに端を発している[59]。マッコーリ大学は、CSIRO と共にバイオファウンドリー共同研究プラットフォーム機能を有しており、研究者は国家共同研究基盤戦略（NCRIS）プログラムを通じて支援されるバイオプラットフォーム･オーストラリア（Bioplatforms Australia）、国立生物製剤施設、フェノミクス･オーストラリア、オーストラリア植物フェノミクス施設などとの連携を通して最先端のインフラを利用することができる。

（2）医療研究未来ファンド（Medical Research Future Fund, MRFF）

MRFF は、2015 年にアボット政権により設立された基金で、2020 年 7 月に 5 年間で基金に投資された累計額が 200 豪億ドル（約 1 兆 8,800 億円）規模となった。MRFF 第 2 次 10 年投資計画期間となる 2022 年 /23 年～ 2031 年 /32 年の間に 63 億豪ドル（約 5,922 億円）を投じ、人の健康に関する研究、雇用創出、地域産業の強化などにより研究イノベーションを支援して、医学研究において世界を主導することを目指している。投資対象は、①臨床研究、イノベーション治療など患者へ恩恵を与える研究（14 億豪ドル（約 1,316 億円））、②先導的な研究者、保健専門家、ステークホルダーなどを集約する重要な研究（15 億豪ドル（約 1,410 億円））、③研究者のスキル向上や市場化を目指す研究開発の支援（13 億豪ドル（約 1,222 億円））、④エビデンスベースのトランスレーショナル研究の支援（21 億豪ドル（約 1,974 億円））である。なお、近年の投資額を表 2-2 にまとめるが、2021 年 /22 年は 2019 年 /21 年比で 2 倍近い増額となっている。

表 2-2　保健医療分野における研究開発活動に対する年間投資額（百万豪ドル）[60]

ファンド名	2019-2020	2020-2021	2021-2022
NHMRC グラント	901	891	870
医療研究未来ファンド MRFF	393	580	646
バイオメディカル・トランスレーション・ファンド BTF	29	58	25
研究開発税制インセンティブ	246	251	267
その他	112	99	114

（3）協力研究センター（CRC）プログラムグラント[61]

協力研究センター（Cooperative Research Centres, CRC）プログラム自体は、1990 年に設立されたオーストラリア政府主導のプログラムであり、産業界、大学等の研究者、エンドユーザーの間で実施される、産業界主導の共同研究に資金を提供するものである。このプログラムでは、研究機関と産業界を結びつけ、研究の応用に焦点を当てて、最長 10 年の産業界主導の中長期的な共同研究を支援する協力研究センター（CRC）プログラムグラントと、産業界主導の 3 年以内の短期共同研究を支援するグラントと、2 つの財政支援が行われる。このプログラムに対する戦略的な監督は、イノベーション・アンド・サイエンス・オーストラリア[62]とその CRC 諮問委員会が行っている。

[59] マッコーリ大学 iGEM2017: https://2017.igem.org/Team:Macquarie_Australia

[60] データは「Biotechnology in Australia – Strategic Plan for Health and Medicine」より転載：https://www.health.gov.au/resources/publications/biotechnology-in-australia-strategic-plan-for-health-and-medicine?language=en

[61] Cooperative Research Centres Program impact evaluation: https://www.industry.gov.au/publications/cooperative-research-centres-program-impact-evaluation

[62] Industry Innovation and Science Australia, https://www.industry.gov.au/science-technology-and-innovation/industry-innovation-and-science-australia

このCRCプログラムグラントは、オーストラリアのノウハウを活用してオーストラリア企業のための実用的な成果に生かすことを目指す産業界主導の研究センター（CRCプログラムグラントの設立と同時期に創設）に対して資金を提供して、最長で10年間の産業界主導の共同研究センターを支援するものである。現在DISRが所管している。助成金の申請は、すべての産業部門に関わる研究分野を対象としており、申請者は、申請者を含むパートナーに対して少なくとも助成金額と同額の現金または現物出資を求める必要がある。2023年1月13日に第24回のラウンドの募集が開始されている。

創設以来、236のCRCと189のCRCプロジェクトの設立に55億ドル（約5,170億円）以上を提供し、さらにパートナーからの現金および現物出資で168億ドル（1兆5,792億円）を活用している。DISRによれば、CRCグラントは、研究と商業化の間にある欠落しがちなステップを提供するものであり、新技術を用いた製品、サービスの商業化を通じて、2025年までに経済生産性に約325億ドル（約3兆550億円）の効果をもたらすことがあると評価されている。

主な助成対象となった合成生物学関係のCRCは、未来燃料、デジタルヘルス、未来電池産業、食糧ロス対策、未来食糧システム、海洋バイオプロダクトなどである。

（4）スタートアップ支援[63]

バイオメディカル・トランスレーション・ファンド（Biomedical Translation Fund, BTF）は、2015年のNISAで発表されたアーリーステージのバイオメディカル企業への投資を目的とする保健高齢者介護省所管のファンドである。支援総額は501百万豪ドル（約470億円）であり、政府資金より250百万豪ドル（約234億円）、企業資金として251.25百万豪ドル（約236億円）が用意され、特発性肺線維症の治療薬などを開発するBlade Therapeutics Pty Ltdなどこれまで27件近くのスタートアップ支援が行われている。

（5）研究開発税制インセンティブ（R&D Tax Incentive）[64]

バイオテクノロジー部門に限った支援制度ではなく、また直接の資金的支援制度ではないものの、研究開発投資を行った場合に税額控除が得られる研究開発の支援制度である。特に治療薬の臨床試験に取り組む企業に対しては、税務当局と保健省が協力して利用しやすい制度構築を図っている。創設されて10年以上経過するが、これまで毎年1,000社以上が25億豪ドル（約2,350億円）の税額控除を受けている。

（6）特許ボックス・イニシアチブ（Patent Box Initiative）[65]

2022年5月に発表されたイニシアティブで、医学・バイオテクノロジー部門の新規特許に対して2022年7月1日以降に発生する収益に適用される割引税制である。一定の資格基準を満たす医学・バイオテクノロジー部門の企業の法人収入に対して17%の率で割引が適用される。

2.1.4 主な研究機関および大学の研究開発動向

オーストラリアには、図2-2に示すとおり、ARC Centers of Excellenceで支援を受けている大学と

[63] BTF: https://business.gov.au/grants-and-programs/biomedical-translation-fund

[64] R&D Tax Incentive: https://www.ato.gov.au/Business/Research-and-development-tax-incentive/

[65] “Patent Box - tax concession for Australian medical and biotechnology innovations”, https://www.ato.gov.au/General/New-legislation/In-detail/Direct-taxes/Income-tax-for-businesses/Patent-Box---tax-concession-for-Australian-medical-and-biotechnology-innovations/#:~:text=In%20the%202021%2D22%20Budget,effective%20from%201%20July%202022（2022年10月2日閲覧）

CSIRO が緊密に連携し、国際バイオファウンドリー連盟に参加し、また医療やアグリバイオ研究に長けた研究所や民間企業が多数あり、また欧米との共同研究も活発である。以下に代表的な研究機関を挙げる。

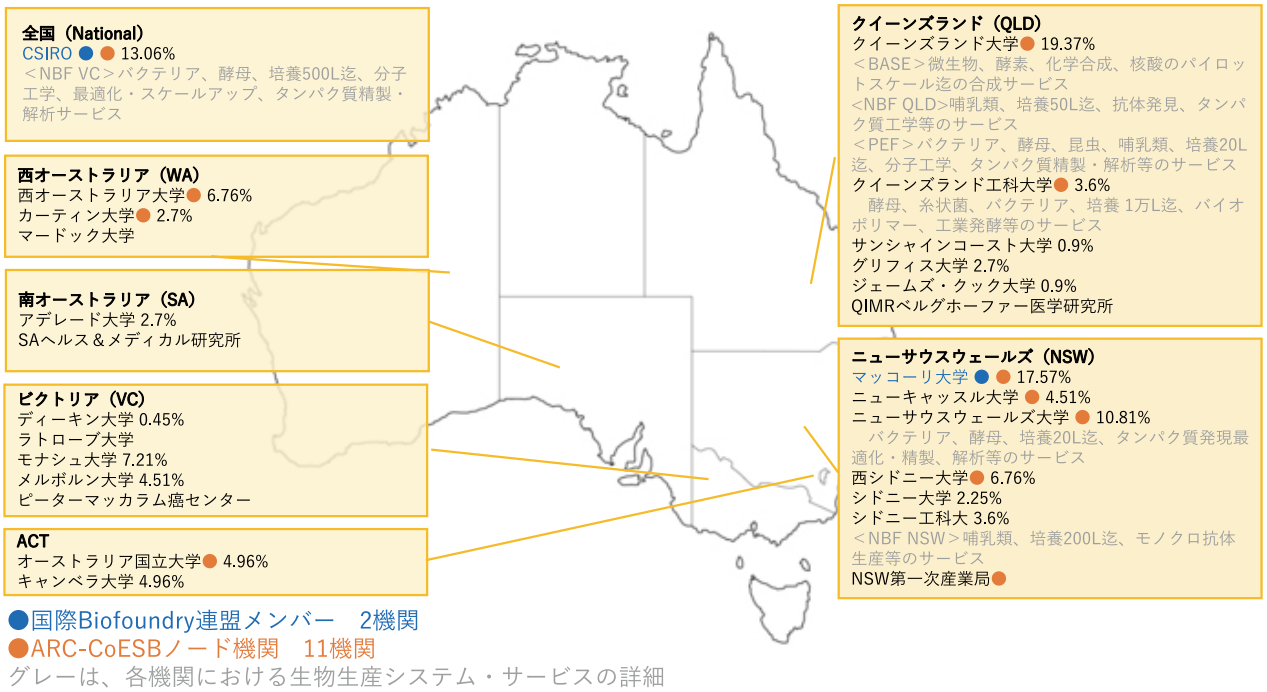


図 2-2　オーストラリアの合成生物学研究機関。括弧内は 2015-2020 年迄の Web of Science 情報を元にした国全体に占める合成生物学研究の割合（「国家合成生物学ロードマップ」を元に作成）

（1）CSIRO 合成生物学未来科学プラットフォーム（Synthetic Biology Future Science Platform, SynBio FSP）[66]

CSIRO は、2018 年 9 月、製造業、産業バイオテクノロジー、環境修復、農業、ヘルスケア産業のイノベーションを支援し、商業化の機会を創出するため、SynBio FSP を設立した。2018 年には SynBio FSP に 13 百万米ドル（約 15 億 9,900 万円）を投資し、環境と生物制御、化学物質と繊維、共生生物とオルガネラの 3 プログラムに注力した。SynBio FSP の創設者で前 Director のクラウディア・ヴィッカーズ博士（Dr. Claudia Vickers、現 Eden Brew 社 CSO）および Director であるコリン・スコット博士（Dr. Colin Scott）によると、SynBio FSP は、オーストラリアの 24 の研究室（研究機関）と 17 の海外連携機関を通じて、Future Science Fellows や SynBio FSP PhD Top-up Scholarships である約 100 人の博士研究員を育成してきた。[67] また、国際アドバイザリー委員会として、インペリアルカレッジロンドンのポール・フリーモント教授（Prof. Paul Freemont）、クレーグ・ベンター研究所のジョン・グラス教授（Prof. John Glass）、ハーバード大学のパメラ・シルバー教授（Prof. Pamela Silver）等 10 名程度の第一線の研究者を委員とし、効果的な運営に務めている。SynBio FSPs 内には CSIRO BioFoundry（「バイオファウンドリー」というバイオ生産システム）が設置されており、コンビナトリアル遺伝子設計、DNA アセンブリ、ハイスループット株構築、表現型解析、データ分析などのデザイン / 構築 / テスト / 学習（DBTL：Design - Build – Test – Learn）プロセスの受託解析を行っている。

[66] CSIRO SynBio: https://research.csiro.au/synthetic-biology-fsp/

[67] JST/APRC workshop “Future Trends and Emerging Technologies in Synthetic Biology” 2022, https://www.jst.go.jp/aprc/en/event/2022ausjp.html

（2）マッコーリ大学 ARC 合成生物学 COE（ARC Centre of Excellence in Synthetic Biology（CoESB））

マッコーリ大学が代表者となる ARC の合成生物学 COE（CoESB）は、微生物の設計に対する新しいアプローチを開拓し、カスタム設計された微生物群の開発や新規の合成酵素の開発を目指すセンターである。CoESB 代表でベンター（J. Craig Venter）が設立したゲノム研究所（TIGR）において微生物ゲノム配列決定プロジェクトを長年率いてきたイアン・ポールセン教授（Prof. Ian Paulsen）によれば、CoESB は 19 の内外研究グループ、19 の産業界の連携機関および 16 の研究パートナーで構成され、酵母 2.0（Yeast 2.0）国際コンソーシアムへの貢献（第 14 および 16 染色体の合成に貢献）[68]やオーストラリアにおけるゲノム解析の拠点（Genome Foundry）として存在感を発揮している。特に、酵母の代謝経路などバイオプラットフォームの支援を受けているオーストラリアワイン研究所 (AWRI) のメタボロミクス施設とパートナーシップを結び、合成生物学的アプローチによる機能改変を中心に研究を行っている。2019 年 5 月、神戸において世界バイオファウンドリー・アライアンス（Global Biofoundries Alliance, GBA）[69]が設立されたが、オーストラリアからは、創設メンバーとしてクイーンズランド大学およびマッコーリ大学（CoESB の母体）が参加している。

（3）クイーンズランド大学（UQ）— オーストラリア生物工学ナノテクノロジー研究所 (AIBN)[70]

UQ- オーストラリア生物工学ナノテクノロジー研究所 (AIBN) は、エネルギー、健康、バイオエコノミーの課題解決に向けて数百名の科学者で構成される、2004 年に設立された大規模な研究所である。バイオエコノミー研究に関しては、2021 年末に IDEA Bio（Integrated Design Environment for Advanced Biomanufacturing）[71]という NCRIS が資金提供する菌株の発酵特性評価、マルチオミクス特性評価、および細胞設計といったプロジェクトデザインを目的とした新たな統合設計環境施設を開設することを、アラン・

[68] Yeast 2.0 プロジェクトは、合成生物学のツールを活用し、世界初の合成真核生物ゲノムを構築することに焦点を当てた国際的なパートナーシップである。このプロジェクトには、ニューヨーク大学（アメリカ）、ジョン・ホプキンス大学（アメリカ）、ジョイントゲノム研究所（アメリカ）、BGI（中国）、天津大学（中国）、清華大学（中国）、インペリアルカレッジ・ロンドン（イギリス）、エディンバラ大学（イギリス）、そして現在オーストラリア（マッコーリー大学主催）などの機関から主要な国際リーダーが参加。成果は、SCIENCE 誌の 2017 年 3 月 10 日号（Vol.355, 6329）で特集されている。

[69] GBA は、2018 年に世界の 15 カ所のバイオファウンドリーが相互の効率的な運営を目指して設立の議論を始めたことに由来している。2022 年時点で世界 30 カ所あり、アジア・太平洋の 12 カ所の内訳（順不同）は、日本（1）、中国（5）、オーストラリア（2）、インド（1）、韓国（2）、シンガポール（1）である。全機関は次のとおり。Agile BioFoundry（アメリカ）、Australian Genome Foundry（オーストラリア）、BIOFAB, University of Washington（アメリカ）、Biofactorial（カナダ）、The BioFoundry at UBC（カナダ）、BioFoundry India（インド）、Colorado Cyberbiofoundry（アメリカ）、CompuGene, TU Darmstadt（ドイツ）、Concordia Genome Foundry（アメリカ）、CSIRO BioFoundry（オーストラリア）、DAMP lab, Boston University（アメリカ）、DTU Biosustain BioFoundry（デンマーク）、Earlham DNA Foundry（イギリス）、Edinburgh Genome Foundry（イギリス）、GeneMill, Liverpool（イギリス）、iBioFAB-Illinois Biological Foundry for Advanced Biomanufacturing（アメリカ）、K-Biofoundry (KAIST KRIBB)（韓国）、Kobe Biofoundry（日本）、LARA, Laboratory Automation Robotic Assistant Biochemistry Greifswald（ドイツ）、Living Measurement Systems Foundry, NIST（アメリカ）、London BioFoundry ICL（イギリス）、SIAT Biofound Shenzhen（中国）、SJTU（上海交通大学）Synbio BioFoundry（中国）、SKy Biofoundry Sungkyunkwan University（韓国）、SYNBIOCHEM, Manchester（イギリス）、SynCTI, Singapore BioFoundry（シンガポール）、Tianjin BioFoundry-Tianjin Institute of Industrial Biotechnology（中国）、Tianjin University BioFoundry（中国）、VTT Technical Research Centre of Finland（フィンランド）、浙江大学（中国））：https://www.nature.com/articles/s41467-019-10079-2.pdf?proof=t+target%253D

[70] UQ-AIBN: https://aibn.uq.edu.au/

[71] IDEA Bio: は 1 週間で数百の菌株設計やテストを可能とするハイスループット設備を有する。https://www.ideabio.org.au/

ローワン研究所長（Prof. Alan Rowan）が発表した。IDEA Bio は、アメリカのバイオテクノロジー会社アミリス（Amyris Inc）、アメリカの製薬会社ゾエティス（Zoetis Inc）やダウ・アグロサイエンス社（Dow AgroSciences Inc）などと協力し、合成生物学の最先端研究をリードする。

同施設は、同大学の次世代の mRNA ワクチンや治療法を開発する BASE（国立生物製剤施設とタンパク質発現施設の共同施設）[72]、メタボロミクス・プロテオミクス施設 (Q-MAP) やタンパク質発現施設（PEF）など多くの大学内施設と協力し、効率よく研究開発を進めるとしている。

また、合成生物学に関連して、ペプチド研究やタンパク質の構造解析において世界をリードする研究者であるデーヴィッド・クレイク教授（Prof. David Craik）をセンター長とする ARC ペプチド・タンパク質科学 COE（CIPPS）では、オーストラリアの多様な動植物から新しいタンパク質とペプチドを発見し、それらの機能解析を通じて、新規のタンパク質やペプチドを合成するとしている。3 本あるフラッグシップ研究の柱の一つとして「ペプチド、タンパク質工学のためのバイオ合成技術」がハイライトされており、東京大学の菅裕明教授が開発した RaPID システム技術などを活用し、SARS-CoV-2 スパイクタンパク質などの新規のペプチドを特定している。

2.1.5 主要産業の動向

2020 年、アジア・太平洋地域の合成生物学市場のうち、オーストラリアは 15.3 % のシェアを占め、2021 年の 2.75 億米ドル（約 338 億円）から 2026 年には 8.63 億米ドル（約 1,061 億円）に達すると予測され、期間中の年平均成長率（CAGR）は 25.7％となる[73]。オーストラリアのバイオテクノロジー関連産業全体としては、主に医療技術、デジタル保健、製薬および食料・農産物企業で成り立っており、特に合成生物学にも関連する製薬、食料・農業関係の成長が突出している。

オーストラリアの企業団体 AusBiotech の 2019 年の報告[74]によれば、バイオテクノロジー関係産業は 2017 年以来 16％の伸びを示している。企業数では約 15％の伸びとなり、市場価値は 17 億米ドル（約 2,091 億円）とされる[75]。同産業は、比較的広く分布しているが、とくにヴィクトリア州（707 社、2019 年）およびニューサウスウェールズ州（652 社、同）に多く、全体の 73％がこれらの州に所在する。企業による研究への投資は、2020/21 年までに主としてゲノミクス、トランスレーション研究、脳腫瘍および臨床研究で 20 億米ドル（約 2,460 億円）となり、保健高齢者介護省 DHAC が遺伝子医療研究を支援する事業であるゲノミクス保健未来ミッションは、2018/19 年から 10 年間にわたりパーソナル治療の確立に寄与する検査、診断を改善するゲノミクス研究に 5 億米ドル（約 615 億円）を投じるとしている。また、AusBiotech は、2022 年 3 月、「バイオテクノロジー・ブループリント－オーストラリアのバイオテクノロジー産業のための 10 年戦略（Biotechnology Blueprint: A Decadal Strategy for the Australian Biotechnology Industry 2022-2032）」[76]を発表した。産学官との協議を経て、オーストラリアのバイオテクノロジー産業を将来の基幹産業とすべく、トランスレーション研究の振興とイノベーション創造を中心に据え、商業化に関するデュアル・フォーカス（大

[72] UQ-BASE: https://basefacility.org.au/

[73] Markets and Markets, “Synthetic biology market - Global forecast to 2026,” 2021.

[74] AusBiotech は、治療薬、医療技術（デバイス、診断）、デジタルヘルス、農業バイオテクノロジーなど、オーストラリアのライフサイエンス分野の 3,000 社を超える会員で構成される業界団体で 35 年以上、活動を行っている。Australia’s Life Sciences Sector Snapshot 2019: https://www.ausbiotech.org/documents/item/589

[75] 主として Synthetic Biology Market-Global Forecast to 2026 より。

[76] Biotechnology Blueprint2022: https://www.ausbiotech.org/documents/item/703

学、企業）の支援、小企業の中規模化などの特別プロジェクトの実施、国際環境の中でのオーストラリア研究者の競争力の向上、バイオテクノロジーの主権的な能力の構築（sovereign capabilities）など8つの勧告[77]を行った。これらの勧告は、前述2.1.2(8)で触れた保健省による「保健医療に関する戦略計画―オーストラリアのバイオテクノロジー」とも整合性が取られている。

また、2015年に創設された非営利団体であるMTPコネクト（MTPConnect）[78]は、医療技術、バイオテクノロジーおよび製薬部門の成長や産学連携の促進を目的としている。2016年に最初の部門競争力計画（Sector Competitiveness Plan, SCP）を発表した後、2022年にこれを再改定した。MTPコネクトのSCPは、この業界の商業化研究の潜在力や成果を明確にしていく上で主導的な役割を果たしている。特にその成長センターは、BioMedTech Horizons(MBTH)、バイオ医学トランスレーショナル橋渡し(BTB)、産業界との研究交流・発展イニシアティブ(REDI)、標的型トランスレーショナル研究アクセラレータ(TTRA)、臨床応用と商業化イニシアティブ(CTCM)の5つのMRFFプログラムを総合的に運用することで商業化、スタートアップや小企業の大規模化への支援を可能している[79]。

ここでは注目すべき主な企業として国家合成生物学ロードマップで示されたディープテックを対象とした10社のスタートアップ企業のうち、ARC-CoESBやCSIROと関係が深い以下の4社をあげる。

（1）Bondi Bio (NSW) 社[80]

2018年設立のBondi Bio社は、代謝効率が高いシアノバクテリアをシャーシ株とするCyanoworks ™を開発し、香水・化粧品、栄養サプリ・医薬品、香料、物質生産を行うスタートアップ企業である。アスタキサンチン生産、スクワレン（サメの肝油）、サンダルウッドオイル、ヌートカトン（グレープフルーツの香料成分）などの生物学的な生産をカーボンニュートラルに行っている。2021年10月国連FAOのスタートアップ イノベーション賞（UN WFF Innovator of the Year）を受賞した。シドニー工科大学、ニューサウスウェールズ大学、マッコーリ大学、クイーンズランド大学、海洋生物製品共同研究センター（MB-CRC）、ARC-CoESBとパートナーシップを締結している。

（2）MicroBioGen(NSW) 社

2001年にマッコーリ大学の研究員だったフィリップ・ベル博士（Dr. Philip Bell）、ポール・アティフィールド博士（Dr. Paul Attfield）等4名で創業したMicroBioGen社は、遺伝子組換えをしていない酵母株のライブラリー（GM規制対象外）を保有することに強みがある。デンマークのNovozymes社と共同でInnova®Driveなどの菌株を開発し第1世代のバイオエタノールの量産に成功した。また、オーストラリア政府より8百万豪ドル（約7億5,200万円）の助成（ARENA）を受けて、第2世代のバイオエタノール生産最適化プロセスの開発にも成功した。高タンパク質飼料の生産に適した酵母の産業用菌株を開発・最適化している。マイクロバイオジェン社は、第一世代バイオ燃料用酵母を「Innova」ブランドで開発し、主要パートナーであり出資者でもあるノボザイムズ社が販売・マーケティングを行っている。

[77] AusBiotech: “Industry-backed plan to navigate Australian biotech into the future”, 12 May 2022, https://www.ausbiotech.org/news/industry-backed-plan-to-navigate-australian-biotech-into-the-future（2022年10月2日閲覧）

[78] MTPコネクト：https://www.mtpconnect.org.au/

[79] “Sector Competitiveness Plan”, MTPConnect: https://www.mtpconnect.org.au/images/2022_MTPConnect_SectorCompetitivenessPlan.pdf (2022年10月2日閲覧)

[80] Bondi Bio社：https://www.bondi.bio/about

（3）PROVECTUS ALGAE（QLD）社

2018 年設立のスタートアップ Provectus Algae 社は、微細藻類をベースとしたバイオテクノロジー製造技術[81]を有する。創業者で海洋生物工学者のナスキ・スパントン博士（Dr. Nusqe Spanton）は、サンシャインコースト大学遺伝学研究センター (現在のバイオイノベーションセンター) と協力して、遺伝子組み換え藻類の大規模で迅速な製造を含む商用アプリケーションに使用できる新規葉緑体発現システムを開発した。

2020 年 10 月に、照明設備などを独自開発した藻類の合成生物学プラットフォームの商業化を加速させるべく、シードラウンドで香港の Vectr Ventures から 3.25 百万ドル（約 399 百万円）の資金を調達に成功させた。2022 年には、CSIRO の中小企業向け研究開発支援プログラム Innovation Connections[82]を活用し、同発現システムをさらに改良および最適化し、ペプチドとタンパク質の商業生産に向けたプロトコルを開発した。同社は 2023 年に 4 つの商用製品を市場に投入する予定で、スタッフ数を拡大し、アメリカへの拡大を目指している[83]。

（4）Eden Brew（NSW）社

アニマルフリーの牛乳生産を目指すフードテックのスタートアップである Eden Brew 社は、オーストラリア最大の酪農協同組合 Norco および CSIRO のベンチャーキャピタル Main Sequence からの資金提供を受けて 2021 年に創設された。CSIRO で開発された組換え酵母を活用したタンパク質生産技術を用い、カゼインや β - ラクトグロブリンなどの一般的な 6 つの乳タンパク質を生産する。2022 年には、CSIRO の未来科学プラットフォームのディレクターを務めていたクラウディア・ビッカーズ博士（Dr. Claudia Vickers）を最高責任者（CSO）として迎えた。ビッカーズ博士は、Synthetic Biology Australasia の創設者であり、オーストラリアの国家合成生物学およびインフラストラクチャー投資計画の専門家ワーキンググループメンバーであると共にオーストラリア・ニュージーランド食品基準庁 (FSANZ) などの諮問委員会や世界経済フォーラムの合成生物学に関するグローバル未来評議会の共同議長を務めている。

2.2　中国

中国の 2022 年の研究開発投資総額は、国家統計局の発表によれば（速報値）、2021 年比 10.4％増の 3 兆 870 億元（約 59 兆円）、対 GDP 比も 2021 年より 0.12 ポイント増加して 2.55％に達している。これは「第 13 次五カ年計画」が始まった 2016 年以降、年平均成長率が 8％となっており、「第 14 次五カ年計画」（2021 ～ 2025 年）で目標とした「7％以上」の成長率を上回ったこととなる。とくに基礎研究費は前年比 7.4％増の 1,951 億元（約 3 兆 7,000 億円）で R&D 投資全体に占める割合は 6.32％となり、4 年連続で 6％以上の水準を維持している[84]。

[81] Precision Photosynthesis® と呼ばれる光制御で遺伝子発現を調整するシステムにより、細胞増殖とバイオ製造の生産性を高め食品、化粧品、農業生産物に資する新規化合物を生産する。
https://provectusalgae.com/microalgae-biotechnology-biomanufacturing-platform/

[82] Innovation Connections: https://www.csiro.au/en/work-with-us/funding-programs/SME/Innovation-Connections/About-the-program

[83] CSIRO: https://www.csiro.au/en/work-with-us/funding-programs/SME/Innovation-Connections/Medical-Pharmaceuticals-Success-Stories/Provectus-Algae?utm_source=Snapshot_October_2022&utm_medium=newsletter&utm_campaign=Snapshot_October_2022

[84]「中国の研究開発投資 2022 年は 3 兆元を突破」, CRIonline、2023 年 1 月 23 日 https://japanese.cri.cn/2023/01/23/ARTIngCJezQjHA3nzckUTHd7230123.shtml#:~:text=%E5%9B%BD%E5%AE%B6%E7%B5%B1%E8%A8%88%E5%B1%80%E3%81%8C%E3%81%93%E3%81%AE%E3%81%BB%E3%81%A9,%EF%BC%85%E3%81%AB%E9%81%94%E3%81%97%E3%81%A6%E3%81%84%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82

合成生物学分野における研究開発への投資額としては明確ではないが、アメリカ議会の「米中経済・安全保障調査委員会」が 2021 年 11 月に議会に提出した 2021 年版年次報告書によれば、合成生物学における戦略の一環としてバイオテクノロジー分野に中央政府、地方政府合わせて 1,000 億ドル（12.3 兆円）以上を投資しているという見解が示されている。[85]

中国は、合成生物学を含めたバイオテクノロジー研究が医療や農業、環境修復、天然資源利用といった分野での課題を解決し、国の経済社会発展をもたらすとの期待から、産学官あげての研究開発への投資、他国からの人材の誘致、ハイレベル人材の育成に取り組んでいる。近年の政策では、2021 年発表の「国民経済及び社会発展第 14 次五カ年計画及び 2035 年遠景目標綱要（第 14 次五カ年計画）」などにおいても、「破壊的」、「戦略的ニーズ」、「フロンティアテクノロジー」、「キーテクノロジー」などのキーワードと共に合成生物学の技術について触れ、世界的リーダーとなるべく中長期的な開発の必要性が述べられている。

中国における合成生物学への取組の起点は、2008 年の香山科学会議（北京市で開催、香山科学会议第 322 学术讨论会综述 , 2008）[86]において初めて「合成生物学」をテーマに採用し、中国科学院院士の張春霆（Zhang Chunting, 张春霆院士) 等が出席し、合成生物学が将来のバイオエコノミーに多大なる価値をもたらすとして、本分野に対する政府の支援強化を呼びかけた。この会議の後に「合成生物学重点実験室」が中国科学院によって 2008 年に設立され、中国政府が初めて公式に合成生物学に着手することとなった。以降、科学技術部による国家重点研究開発計画（当時は、「863 計画」、「973 計画」と称する）による中国科学院、中国工程院や各大学などに対する積極的な研究支援や、大手企業の北京ゲノム研究所 (華大基因 , Beijing Genomics Institute, BGI) が主導したシーケンシングやオリゴヌクレオチド合成能力の拡大によるプラットフォーム構築などによって、本分野は中国で急速に発展した。[87] また、中国政府は、ゲノム解析情報に密接に関連するバイオデータバンクの設立にも積極的である。2011 年認可（2016 年開所）に中国国家発展・改革委員会により深圳市に設立された中国国家遺伝子バンク（China National GeneBank, CNGB）は、中国初の国家レベルの遺伝子保存バンクであり、Biorepository（バイオレポジトリー）、Bioinformatics Data Centre（生物情報データセンター）、Living Biobank（生きたバイオバンク）、Digitalization Platform（デジタル化プラットフォーム）、Synthesis and Editing Platform（合成・編集プラットフォーム）の 3 つのバンクと 2 つのプラットフォームをコアとし、これらの情報をデータベース化した中国国家遺伝子バンクデータベース（China National GeneBank DataBase, CNGBdb）を有する。[88] 現在、中国は世界最大のゲノム保有量を有していると言われる。[89]

象徴的な研究所としては、2017 年に中国科学院が深圳に設立した合成生物学研究所である。本研究所は 2018 年に深圳高度統合技術研究所（SIAT）との連携をスタートし、定量的合成生物学センター、合成ゲノミクスセンター、合成生化学センター、合成マイクロバイオーム センター、ゲノム工学および治療センター、合成免疫学センターなど、多数の研究センターを開設し、中国の合成生物学の中心的存在となっている。

[85] 2021 REPORT TO CONGRESS of the U.S.-CHINA ECONOMIC AND SECURITY REVIEW COMMISSION, NOVEMBER 2021, https://www.uscc.gov/sites/default/files/2021-11/2021_Annual_Report_to_Congress.pdf

[86] 香山科学会議は、学問の自由な議論の場を提供するといった趣旨で科学技術部が主導し、科学技術部と中国科学院の共同支援により 1993 年に正式に発足した。支援機関は、中国国家自然科学基金、中国科学院、中国工程院、教育部、中央軍事委員会科学技術委員会、中国科学技術協会、国家衛生家族計画委員会、農業部：http://www.xssc.ac.cn/waiwangNew/index.html#/xsscNew/homeNew

[87] LeiPei et al. (2011) “Synthetic biology: An emerging research field in China”, *Biotechnology Advances* Vol 29, Issue 6, pp804-814

[88] China National GeneBank DataBase (https://doi.org/10.25504/FAIRsharing.9btRvC (2022 年 6 月 10 日閲覧）)

[89] アメリカ CSET Roll Call. (2021) “China’s amassing of genomic data highlights global biotech race: https://cset.georgetown.edu/article/chinas-amassing-of-genomic-data-highlights-global-biotech-race/

2.2.1 政府組織・体制

中国の政府組織・研究開発体制を、図 2-3 に示す。中国の科学技術政策策定の中核的役割を果たしているのは、中国共産党とその指導の下に活動する国務院と科学技術部（MOST）である。

科学技術関係の国の予算と決算は、科学技術部（MOST）と財政部と共同で作成し、国務院の審査・承認を受ける。[90] 中国におけるファンディング制度は、中央政府による統一管理を基本としている。具体的には、国務院や科技部の主導下で、国家全体としての基本政策に沿って、また、科技発展の需要に基づき中長期の科学発展計画が制定され、それが中央の政策として公開される。これらを受け、地方（省、市、自治区など）政府と各庁局は、当該地域と各庁局の事情にあわせ、政策に対して調整を行って各種施策を実施する。[91] 科学技術部傘下には､基礎研究を支援するファンディング組織である国家自然科学基金委員会（NSFC）があり、2018 年の「党と国家機構との改革を深化する方案」により、NSFC は、国務院から科技部の所管に変わり、従前よりは独立性を持つ組織となった。中国の合成生物学に関連した研究開発においては、科学技術部が主要な研究開発プロジェクトを監督している。また、国の研究開発プロジェクト推進は、大学や中国科学院、中国農業科学院といった研究機関が中心であるものの、その多くは地方都市政府の支援や企業との協力も多い。中国科学院は国務院直属の機関として置かれており、傘下に研究所、大学、シンクタンク、出版社、スピンアウト企業等を有する一大組織となっている。

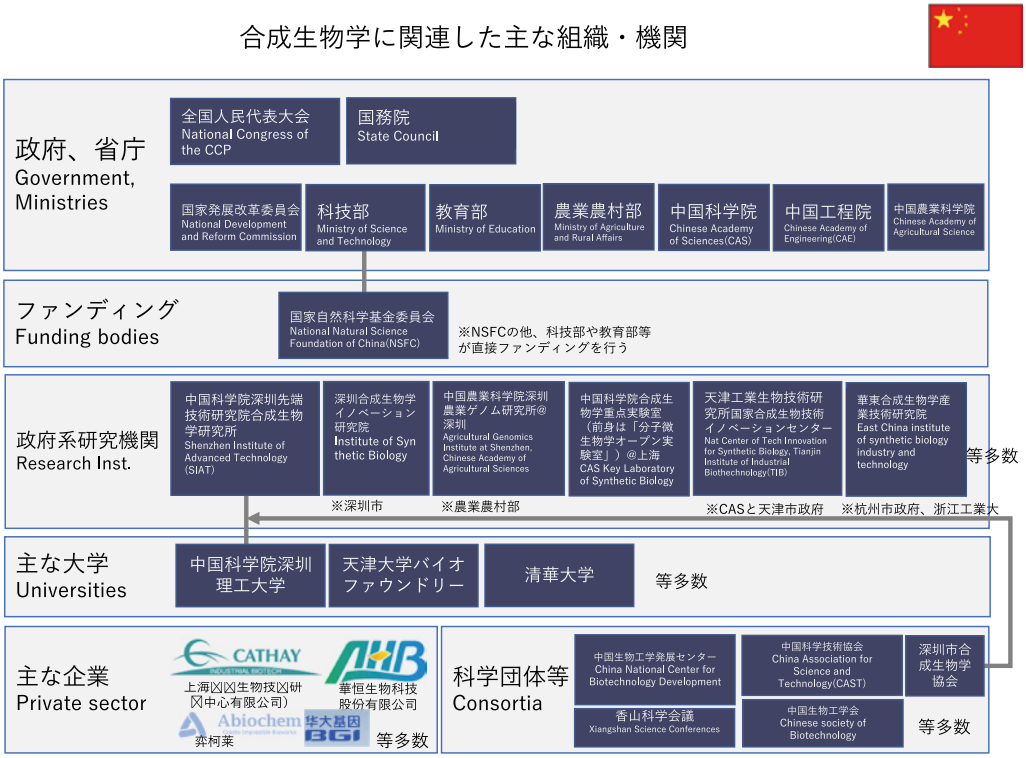


図 2-3 中国の合成生物学に関連した主な組織・機関

[90] JST アジア・太平洋総合研究センター「中国における基礎研究の振興および「科研管理」改革の行方」（APRC-FY2021-RR01）pp33-34 より一部転載

[91] 中国のファンディング制度は、3 段階に分けられるが、まずは、科技部、教育部、国家発展委員会などを含む中央レベルのファンディング、次が、地方各省市の科技庁、財務局などによる地方レベルでのファンディング、そして最後が、一部の民営団体や企業が独自で行っているファンディングである。（同上、APRC-FY2021-RR01、p151）

2.2.2 主要政策・重点課題（中央政府）

中国は経済・社会政策を 5 カ年間隔で策定する。国務院が「国家中長期科学技術発展計画綱要（2006 年～2020 年）」を発表した 2006 年以降の政策について、合成生物学に関連する主なバイオテクノロジー関連項目などを表 2-3 に示す[92]。アメリカ合衆国議会に設置された米中経済・安全保障調査委員会の 2021 年次報告書[93]によれば、中国政府（中央・地方政府）の合成生物学を含むバイオテクノロジー分野に、1,000 億ドル（約 127 兆円）以上の政府投資が研究開発に投じられていると報告されている。M&A による企業の事業強化も活発化し、例として 2017 年には、スイスの農薬会社シンジェンタを中国化工集団公司が 430 億ドル（約 5 兆 4,610 億円）で買収し、当時としては中国による外国企業の買収としては過去最大額となった。また、各国との協力・支援を通じて、バイオバンクでのヒト・非ヒトゲノム情報の収集も活発化している点も注目に値する。

表 2-3　2006 年以降の国家科学技術五カ年計画における政策の変遷（合成生物学に関連する項目を抜粋）

計画	期間	項目	重点領域・分野（抜粋）
国家科学技術 11 次五カ年計画	2006 年～ 2010 年	自主イノベーションの推進	情報、生命、宇宙、海洋、ナノ、新材料など
		ハイテク産業発展の重点	2　バイオ産業（8 件中）
国家科学技術 12 次五カ年計画	2011 年～ 2015 年	国家科学技術重大特定プロジェクト[94]	8　遺伝子組換えによる生物育種 9　重大新薬の開発（11 件中）
		戦略的新興産業	3　バイオ産業（7 件中）
		先端技術分野	2　バイオと医薬技術（10 件中）
国家科学技術 イノベーション 13 次五カ年計画	2016 年 ～ 2020 年	重大科学技術プロジェクトの実施	⑦育種技術・種子産業の自主的イノベーション（15 件中）
		産業技術の国際競争力向上	①先進的農業技術 ⑦先進的バイオ技術 (10 件中)
		基礎研究の強化	**社会ニーズに向けた戦略的基礎研究** ①農産物の遺伝的改良 (9 件中) **先端的基礎研究** ③タンパク質複合体と生命過程の制御 ⑧合成生物学 ⑨ゲノム編集 (13 件中)

[92] JST 中国総合研究・さくらサイエンスセンター（現アジア・太平洋総合研究センター）,“中国の科学技術の政策変遷と発展経緯 ,” 2019 年 3 月 .

[93] “2021 REPORT TO CONGRESS of the U.S.-CHINA ECONOMIC AND SECURITY REVIEW COMMISSION, ONE HUNDRED SEVENTEENTH CONGRESS FIRST SESSION,” U.S. Government Publishing Office, https://www.uscc.gov/sites/default/files/2021-11/2021_Annual_Report_to_Congress.pdf (2021 年 11 月閲覧)

[94] 863 計画、および 973 計画等（2016 年に「国家重点研究開発計画」に統合）での支援を受けて、真核生物酵母ゲノムの合成に関する国際協力プログラム「人工酵母菌ゲノム開発プロジェクト（Sc2.0）」を北京大学、清華大学、深圳 BGI の中国チームとアメリカ等と共同研究により *syn Ⅱ*、*syn Ⅴ*、*syn Ⅹ*、*syn Ⅻ* の 4 つの染色体の設計と全合成を完了。

計画	期間	項目	重点領域・分野（抜粋）
国民経済及び社会発展第 14 次五カ年計画と 2035 年までの長期（遠景）目標綱要（科学技術・イノベーション関係）	2021 年～2026 年（遠景として～ 2035 年）	第二編　イノベーション駆動発展を堅持し、全面的に発展の新優勢を作り上げる 第四章　国家戦略科学技術力の強化 第二節 独創的なイノベーションが駆動する科学技術の難関攻略の強化	国家の安全と発展の全局面に関わる基礎核心分野において、戦略的科学計画と科学プロジェクトを実施する。人工知能、量子情報、集積回路、生命健康、脳科学、生物育種、航空宇宙科学技術、深地深海などのフロンティア領域を狙って、将来性、戦略性を持つ国家重大科学技術プロジェクトを実施する。 **【科学技術フロンティア領域の重要取組】** **05 遺伝子とバイオテクノロジー** ゲノム学の研究応用，遺伝細胞・遺伝育種・合成生物学・生物薬品などの技術革新、ワクチンの革新、体外診断、抗体薬物などの研究開発，農作物・家畜家禽水産物・農業微生物などの重大な新品種創製，生物安全重要技術の研究開発
		第四節　重大科学技術イノベーションプラットフォームの建設	北京、上海、粤港澳大湾区が国際科学技術イノベーションセンターを形成することを支持し，北京懐柔、上海張江、大湾区、安徽合肥に総合的国家科学センターを建設し、条件を満たす地方が区域科学技術イノベーションセンターを建設することを支持する。 **【コラム 3　国家重大科学技術基礎施設】** **04　民生改善型** トランスレーショナル医学研究施設、多モードトランススケール生物医学イメージング施設、モデル動物の表現型と遺伝型研究施設、地震科学実験場、地球システム数値シミュレータなどを建設する。

上記のほか、関連する主な科学技術政策として、今後 15 年間を見据えた中国の科学技術政策の根幹と位置付けられる国務院が 2006 年に発表した「国家中長期科学技術発展計画綱要（2006 年～ 2020 年）」では、遺伝子組換、新薬開発、伝染病、バイオテクノロジー、タンパク質研究、発育・生殖研究が、「中国製造 2025（2015 年）」では、バイオ医薬・高性能医療機器、「国家イノベーション駆動型発展戦略綱要（2016 年～ 2030 年）」では健康技術が重要な取り組みなどとしてハイライトされている。

また、「国家中長期科学技術発展計画綱要（2021 年～ 2035 年）」では、量子情報や AI、バイオ医薬などの分野で国家級の実験室を建設するとともに、従来の「国家重点実験室」を改組することが盛り込まれている。基礎研究の強化もうたわれており、重点フロンティア 8 分野として、AI、量子情報、集積回路、生命健康、脳科学、遺伝子・バイオ育種、宇宙科学技術、深地層・深海が位置付けられている。なお、本発展計画綱要は、2021 年 3 月以前に公表の予定であったものの、新型コロナウイルス感染症対応などが優先され公表延期となっている。

加えて、「第 14 次 5 カ年計画」発表に先立ち、2020 年 9 月 25 日には国家発展改革委員会が「戦略的新興

産業への投資拡大による新成長分野の育成・拡大に関する指導意見」[95]を発表した。この指導意見では、2016年に戦略的新興分野として指定・投資してきた産業分野にフォーカスし、投資拡大を図ることで、産業構造の転換、高度化や質の高い経済発展の達成を加速するとある。合成生物学に関して、以下に抜粋する。

バイオ産業のイノベーションと発展ペースの加速

革新的なワクチン、*in vitro* 診断および検出試薬、抗体医薬品などの主要産業プロジェクトを加速し、ワクチンの種類とプロセスのアップグレードを促進する。国家のバイオセーフティリスクの予防および管理システム構築を体系的に計画し、バイオセーフティおよび緊急対応への投資を増やし、国家の生物製品検査および検証イノベーションプラットフォームの構築を強化し、遺伝子、細胞および遺伝子育種技術の研究開発センター、合成生物学イノベーションセンターとバイオ医薬品技術イノベーションセンターの建設は、バイオテクノロジーの健全な発展を促進する。漢方薬の審査・承認メカニズムを改革・改善し、漢方薬の研究開発と産業の発展を促進する。バイオテクノロジーに利益をもたらすプロジェクトを実施して、自己革新的な医薬品、医療機器、その他の製品の市場を創出する。（担当部署：国家開発改革委員会、保健委員会、科学技術部、工業情報化部、中国伝統医学局、食品医薬品局など）

2022年5月10日には、国家発展改革委員会が五ヵ年計画における政策に関連して「第14次五カ年計画バイオエコノミー発展計画」[96]を通達している。発展計画では、ホールゲノムシーケンシング、システムバイオロジー、合成生物学、人工知能（AI）を活用した生物育種技術に取り組み、合成生物学を活用した人工タンパク質の創成や食品開発を促進するとしている。いずれも前述の第14次五カ年計画及び2035年遠景目標綱要で重点化するとした内容であるものの、従来の「規模重視」の姿勢から「質重視」にシフトしている点が新しい視点である。また、「一流の科学技術施設と革新的なプラットフォームを確立および改善し、積極的な支援を行いバイオテクノロジーの開発をサポートしている」として、アメリカ、ドイツ、イギリス、フランス、日本をあげ、ハイレベルな国家研究機関・大学の支援、革新的なプロジェクト支援、リーダー育成およびハイレベルなバイオ産業クラスターの構築を通じたイノベーション創出を図ることとしている。中でも、北京、上海、広東・香港・マカオ大湾区を中国の主導による国際的な科学技術イノベーションセンターとするとして強調している。直結する政策ではないものの、国務院より公表されたカーボンピークアウト・カーボンニュートラル（双炭）に関連する政策も、バイオエネルギーの生産効率化の観点から合成生物学的手法を使った研究開発が含まれており、継続した注視が必要である。

一方、政策に直結したものではないが、中央レベルの動向として注目されるのは、中国科学院および中国工程院の学術会議における習近平国家主席のスピーチであり、2018年にはバイオテクノロジーに加えて、「合成生物学」の単語を初めて用い、また2021年には「生命の合成と設計」の観点から生命倫理の重要性について触れている。該当箇所は下記抜粋のとおりで、いずれもその時の国家政策に準じた発言となっている。

① 2018年5月28日開催　中国科学院の第19回学術会議、および中国工程院第14回学術会議

「21世紀の初め以来、世界の技術革新はかつてないほど集中的かつ活発な時期に入り、技術革命と産

[95] 国家発展改革委員会，“关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见　发改高技1409号，”2020. [オンライン]. Available: https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202009/t20200925_1239582.html?code=&state=123. [アクセス日：12022].

[96] 国家発展改革委員会ウェブサイト：https://www.ndrc.gov.cn/、徐涛・中国科学院院士による解説：https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202205/t20220509_1324432.html、馬炎和・天津市人民代表大会常務委員会副主任兼中国科学院天津工業研究所所長による生物製造に関する視点での解説：https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202205/t20220510_1324454.html

業変革の新たなラウンドが世界の革新マップを再形成し、世界の経済構造を再形成しています。人工知能、量子情報、モバイル通信、インターネットオブシングス、ブロックチェーンに代表される新世代の情報技術は画期的なアプリケーションを加速し、合成生物学、遺伝子編集、脳科学、再生医学に代表されるライフサイエンスの分野は新しい変革を生み出します。[97]」

② 2021 年 5 月 28 日　中国科学院第 20 回学術会議、中国工程院第 15 回学術会議、および中国科学技術協会の第 10 回全国会議

「人類は、「人間 - 機械 - モノ」が統合する形で、あらゆるもののインテリジェントな相互接続の時代に突入しています。 生命科学の基礎研究と応用研究は急速に発展しています。科学技術イノベーションにより、生体高分子や遺伝子研究は、生命の理解と進化から、合成と設計に至るまで、人類に利益をもたらすのみならず、生命倫理上の課題として規制する段階になりました[98]」

2.2.3 主要政策・重点課題（地方政府）

前述の「国民経済及び社会発展第 14 次五ヵ年計画と 2035 年までの長期（遠景）目標要綱」を受けて、各省・市独自の産業高度化などに関する計画が公表されている[99]。中国では省や市などの地方政府でも、各政策にもとづき、プラットフォーム建設やスタートアップ支援などの研究開発支援を行っている。中でも、国家発展改革委員会と科学技術部より建設が承認された中国 4 大国家科学センター（四大综合性国家科学中心：北京懐柔、安徽合肥、上海張江および深圳）のうち、とくに上海張江および深圳において、合成生物学に関連した研究開発計画が予定されているほか、浙江省や山西省などでも重点的取組が示されている。図 2-4 に概要をまとめる。加えて、各省・市の合成生物学に関連すると推察される政策を、APPENDIX 表 A-3 にまとめた。

図 2-4 「第 14 次 5 カ年計画」に基づく各省・市の合成生物学研究の促進状況

[97] 中国科学院，“习近平：在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话，” 5 2018: https://www.cas.cn/zt/hyzt/ysdh19th/.

[98] 习近平：在中国科学院第二十次院士大会 . (2021) “中国工程院第十五次院士大会、中国科协第十次全国代表大会上的讲话，” 28 5: https://www.cas.cn/zt/hyzt/ysdh20th/yw/202105/t20210528_4790360.shtml

[99] 中国科学技術部，“中国科学技術部・地方科技”：http://www.most.gov.cn/dfkj/bj/

このような地方政府による政策をサポートする地方の科学技術発展資金は、2021 年 11 月に発布された「中央が指導する地方の科学技術発展資金管理弁法」に従い、第 5 条記載の 4 分野（自由探索型の基礎研究、科学技術イノベーション拠点の建設、科学技術成果展開・技術移転、およびイノベーションエコシステムの構築）を支援することとなっている。[100]

表 2-4 は、財政部の通知に基づく 2022 年の中央指導による地方政府への科学技術発展資金予算（総額 45 億元（約 855 億円））の内の上位 10 の省・市をまとめたものである。[101] 国家統計局の「2020 年全国科技経費投入統計公報」によると、2020 年の国の科学技術に関する財政支出は総額 1 兆 95 億元（約 19 兆 1,805 億円（中央政府 3,758 億 2,000 万元（約 7 兆 1,495 億円）、地方政府 6,336 億 8,000 万元（約 12 兆 399 億円））である。[102] 同統計より、2020 年の地方政府の研究開発費支出額として民間部門を含めた研究（試験・開発）費を表 2-5 にまとめる。内訳では、企業が 76.6%　地方別に見ると、R&D 経費の投入額が 1,000 億元（約 1 兆 9,000 億円）を超えている省・市は広東省や江蘇省など 8 か所ある。表に整理した予算は合成生物学研究に限ったものでないが、中央政府から地方政府、並びに地方政府による予算のいずれも国家科学センターの中では広東省への予算投入が突出しており、科学研究の黎明期といっても過言ではない状況である。

表 2-4　2022 年の中央指導による地方の科学技術発展資金予算表（トップ 10）

No.	省・市	予算額（万元）
1	広東	34,500
2	四川	31,900
3	江蘇	27,500
4	浙江	26,000
5	山東	25,300
6	安徽	20,000
7	湖北	18,500
8	河南	18,000
9	陝西	15,700
10	湖南	14,800
全省・市合計		450,000

[100] 中央人民政府 . (2021) “关于印发《中央引导地方科技发展资金管理办法》的通知财教”, 204 号 11 2021: http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/22/content_5663957.htm.

[101] 中央人民政府財政部 . (2022) “关于下达 2022 年中央引导地方科技发展资金预算的通知,” 88 号 : http://jkw.mof.gov.cn/gongzuotongzhi/202204/t20220429_3807720.htm

[102] 中国国家統計局 . (2021) “2020 年全国科技经费投入统计公报,” 22 9. 中央・地方政府の財政支出の決算値。: http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rdpcgb/qgkjjftrtjgb/202109/t20210922_1822388.html

表 2-5　2020 年の地方政府の研究開発費支出額

No.	省・市	研究開発費（億元）	研究開発費投入率（%）
1	広東	3479.9	3.14
2	江蘇	3005.9	2.93
3	北京	2326.6	6.44
4	浙江	1859.9	2.88
5	山東	1681.9	2.30
6	上海	1615.7	4.17
7	四川	1055.3	2.17
8	湖北	1005.3	2.31
9	河南	901.3	1.64
10	湖南	898.7	2.15
全省・市合計		24393.1	2.40

2.2.4 ファンディング

2018 年に国務院直属の事業組織から科学技術部（MOST）の管理に変更された国家自然科学基金委員会（NSFC）は、中国における基礎研究分野へのファンディングを行う。図 2-5 に、2010 年から 2019 年に合成生物学関連分野に関連したプロジェクト数をまとめる[103] [104]。

2010 年から 2019 年の 10 年間で、合成生物学の分野におけるプロジェクトの申請と資金提供の数は、明確な増加傾向を示している。合計 3,258 件の応募の内、793 件が採択（採択率は 24%）され、総額 5 億 6,700 万元（約 107 億円）の配布となる。なお、NSFC のファンディングは主に基礎研究への支援であることから、中国における合成生物学全体のファンディングの傾向を示すものではない。

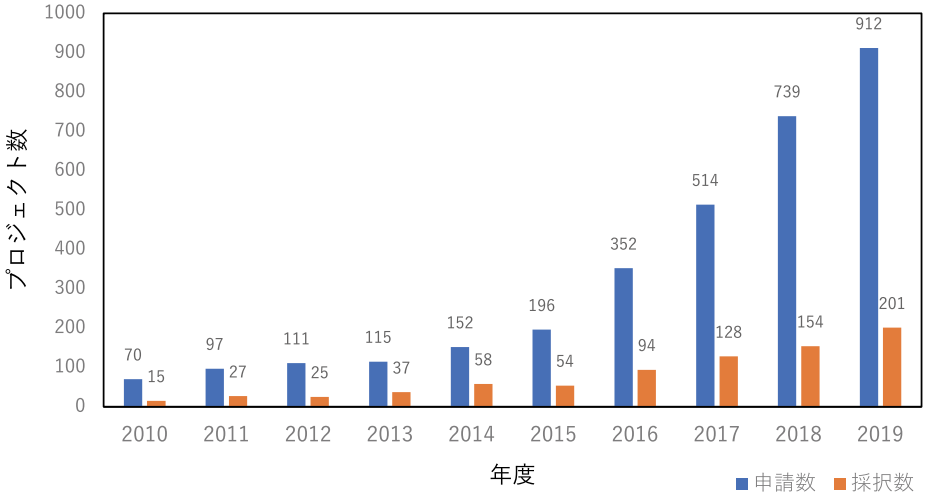


図 2-5　合成生物学関連分野に関連した NSFC でのプロジェクト数（2010-2019）

[103] 杜全生，洪伟，祖岩．(2020) “2010—2019 年国家自然科学基金资助合成生物学领域情况”，*合成生物学*,1(3): 385-394 doi: 10.12211/2096-8280.2020-06

[104] 個別のプロジェクト情報は LetPub サイトからも閲覧可能：https://www.letpub.com.cn/index.php?page=grant#fundlisttable

NSFC のファンディング事業で最も主要な一般プログラム（面上类项目）では、ゲノム編集やシャーシ細胞・モデル動物構築などのキーワードが含まれる 97 件のプロジェクト（合計 4,544 万元（約 8 億 6,336 万円、1 件あたり約 900 万円））が採択されている。また、近年世界的に取り組まれているゲノムの人工合成は、4 件（合計 129 万元（約 2,451 万円、1 件あたり約 600 万円））、遺伝子回路構築は 17 件（811 万元（約 1 億 5,410 万円、1 件あたり約 900 万円））、合成代謝ネットワーク関連研究は 104 件（4,906 万元（約 9 億 3,214 万円、1 件あたり約 900 万円））であった。研究対象の多くは、大腸菌や酵母などの微生物（62%、158 機関）であり、その他コメ、コムギやテンサイなどの植物（62 機関）、マウスや霊長類などの動物（45 機関）、ヒト（74 機関）とある。

人材育成プログラム（人才类项目）の中で、合成生物関連のプロジェクトは革新的なグループ研究プログラム（创新群体研究项目）7 件に 4,300 万元（約 8 億 1,700 万円、1 件あたり約 1 億 1,671 万円）、国家優秀若手科学者基金プログラム（国家杰出青年科学基金项目）6 件に 2,250 万元（約 4 億 2,750 万円、1 件あたり約 7,125 万円）、優秀若手科学者基金プログラム（优秀青年科学基金项目）15 件に 1,880 万元（約 3 億 5,720 万円、1 件あたり約 5,953 万円）として、合計 28 件、9,555 万元（約 18 億 1,545 万円）を 11 大学、7 研究機関に対して支援している。

革新的なグループ研究プログラムでは、天津大学副学長で院士の元英進教授（Prof. Yuan Yingjin, 元英进）のチームは、ゲノム欠損を正確に修復する方法を確立し、研究成果の一部は Science などの雑誌に掲載され、2017 年度の中国科学のトップ 10 成果（中国科学十大进展）として取り上げられた[105]。本研究は、ニューヨーク大学のジェフ・ビョーク教授（Prof. Jef D. Boeke）との共同研究成果である。また、中国科学院深圳先進技術研究所（SIAT）の戴俊彪博士（Dr. Dai Junbiao）、酵母の Sc2.0 プロジェクトで活用した SCRaMbLE 法により、酵母のゲノム合成中に生じる配列欠損を高速・高効率で再構築（修復）する方法を開発した[106]。

重点プログラム（重点类项目）のうち、重点プログラム（重点项目）では、モデル生物の構築、微生物による薬剤合成、人工生命システムなどの 12 プロジェクトに 3,271 万元（約 6 億 2,149 万円、1 件あたり約 5,180 万円）が支援され、重大プログラム（重大项目）では前述分野で 5 件のプロジェクトに 2,992 万元（約 5 億 6,848 万円、1 件あたり 1 億 1,369 万円）が支援されている。加えて、大型研究プログラム（重大研究计划）5 件に 325 万元（約 6,175 万円、1 件あたり約 1,235 万円）が配布され、非ヒト霊長類の疾患モデルの構築研究などが実施された。

重点プログラム支援による顕著な成果としては、中国科学院分子植物科学研究センターの覃重軍博士（Dr. Qin Zhong Jun, 覃重军）による酵母の 16 本の染色体を融合し、真核生物として初めて 1 本の直線染色体（SY14 酵母）を作出し Nature Protocols に掲載された 2019 年の成果をあげる[107]。これは、CRISPR-Cas9 を用いて機能的な染色体融合方法を確立しており、新規の染色体の設計から染色体融合、そして機能検証まで 18 日以内に達成するとしている。また、2016 年と若干古いが、中国科学院脳科学・知能技術研究センターの仇子龍博士（Dr. Qiu Zilong, 仇子龙）のチームが非ヒト霊長類の自閉症動物モデルを確立し、研究成果の一部を Nature[108] などに発表している。上記の他、NSFC のファンディング事業には、国際共同研究支援プログラムなどが存在するが本節では省略する。

このように、応用分野に限らず、NSFC を通じて合成生物学の基礎研究へも多くの研究費支援がなされ、中国ではイノベーション創出の機運が高まっている。

[105] XIE Z X, et al. (2017) ""Perfect" designer chromosome V and behavior of a ring derivative". *Science*, 355(6329):

[106] Wei Liu, et al. (2018) "Rapid pathway prototyping and engineering using in vitro and in vivo synthetic genome SCRaMbLE-in methods", *Nature Communications*, 9(1): 1936.

[107] SHAO Y, et al. (2019) "Creating functional chromosome fusions in yeast with CRISPR-Cas9" *Nature Protocols*, 14(8): 2521-2545.

[108] LIU Z, et al. (2016) "Autism-like behaviours and germline transmission in transgenic monkeys overexpressing MeCP2", *Nature*, 530(7588): 98-102.

なお、本調査でまとまった情報が得られなかったものの、NSFC のファンディング以外として「国務院の中央金融研究プロジェクトと基金の管理の改善と強化に関するいくつかの意見」によると、「中央金融科学技術計画（特別プロジェクトなど）の管理改革計画の深化に関する国務院の通知」、「国家重点研究開発事業の運営に関する暫定措置」など、2021 年度科技部承認の「合成生物学」重点特別プロジェクトおよび合成生物学的手法を用いた研究開発を募集する「グリーンバイオ製造」分野の採択プロジェクト情報は、Appendix の表 A-4 に整理している。「グリーンバイオ製造」では、2022 年度募集として、若手研究者によるイノベーティブな提案を募集する「揭榜掛帥（揭榜挂帅）」カテゴリで、3,500 万元（約 6 億 6500 万円）で 3 年間の大型プロジェクトを募集している。募集分野は、生物エネルギー利用による低炭素化、省エネ生産プロセスにおける核心技術の開発である。

2.2.5 主な研究機関および大学の研究開発動向

国家自然科学基金の国家科学技術重大特定プロジェクトや国家重点研究開発計画などで合成生物学に関する研究開発プロジェクトを支援している状況下、アウトプットである論文数（論文、レビューおよび会議プロシーディング）に関して表 2-6 にまとめた。多くの大学・研究機関では、国際共著よりも国内共著数の割合が多い傾向にある。分野としては、免疫学、微生物学、化学工学、化学の発表件数が顕著となっている。

表 2-6　2015-2020 年の合成生物学関連の中国論文発表数上位 10 機関による論文数の状況[109]

機関・大学名（主な論文執筆組織）	論文数	FWCI	国際共著 %[110]	国内共著 %	機関共著 %	単独 %
中国科学院（国家合成生物技术创新中心）	403	1.32	36.9	58.1	3.2	1.8
天津大学（教育部“珠峰计划”合成生物学前沿科学中心）	159	1.34	19.5	71.7	8.2	0.6
清華大学（清华大学合成与系统生物学中心）	141	1.59	32.9	37.1	22.9	7.1
上海交通大学（上海交通大学生命科学技术学院）	139	1.16	45	32.5	22.5	0
江南大学（合成与生物胶体教育部重点实验室）	99	1.49	27.3	61.6	10.1	1
北京大学（北京大学定量生物学中心）	80	1.48	30.8	52.3	16.9	0
浙江大学（浙江大学杭州国际科创中心、浙江大学药学院）	76	1.11	47.5	39	13.6	0
華東理工大学（华东理工大学生物反应器工程国家重点实验室）	56	1.52	32.1	51.8	16.1	0
武漢大学（武汉大学药学院）	52	1.59	30.2	58.1	9.3	2.3
山東大学（山东大学微生物技术国家重点实验室）	48	0.92	30.2	32.6	34.9	2.3

[109] M. J. et al. (2021) “An International Comprehensive Benchmarking Analysis of Synthetic Biology in China from 2015 to 2020,” *Chinese Journal of Chemical Engineering*, https://doi.org/10.1016/j.cjche.2021.05.036

[110]「国際共著」は中国を含めて 2 ヶ国以上の機関所属、「国内共著」は中国国内で複数の機関所属著者を有する、「機関共著」は同一機関所属の複数著者、「単著」は単独著者として定義。

上記機関のほか、2.3.2 で概説した科学予算額が大きな広東省やその周辺の省・自治区（中国・香港・マカオを結ぶ「グレーターベイエリア（粤港澳大湾区）」[111]）を中心に、今後継続して注目すべき大学・機関を以下にあげる。

・香港大学（香港大学生物医学学院）
・中山大学（中山大学生命科学学院）
・深圳 BGI 研究所（深圳华大生命科学研究院）
・深圳湾実験室（深圳湾实验室（広東生命情報生物医学研究所））
・廈門大学（厦门大学生命科学学院）
・中国科学技術大学（中国科学技术大学生命科学与医学部 , 安徽省合肥市）[112]

表 2-6 であげた合成生物学関連の中国論文発表数上位 10 機関のうち、論文数で上位の中国科学院および天津大学、並びに多くの化学工業関連工場が集まり、カーボンニュートラルへの対応を画策する山西大学について、近年注目される研究成果や取組について以下に概説する。

（1）中国科学院深圳先端技術研究所（SIAT）合成生物学研究所

SIAT は、中国科学院（人材を提供）、深圳市政府（土地、施設を提供）、香港中文大学（提案者）の 3 者共同で設立された IT とバイオテクノロジーを軸とする研究所である。産学連携を積極的に行い、華大基因（BGI）、HUAWEI、Tencent など多くの企業との協力関係にある。深圳市は、2011 年に開始した海外のハイレベル人材誘致計画「孔雀計画」などの制度を通じて、欧米で活躍する優秀な中国人研究者等の招致に積極的である。また 2017 年には酵母を用いたマラリア特効薬（アルテミシニン）の生合成に成功したカリフォルニア大学バークレー校のジェイ・キースリング教授（Prof. Jay D. Keasling）が SIAT の客員教授として漢方薬資源の合成から商業化の促進を目指したラボを開設している。[113]

深圳市は、中国政府が戦略的に推進する広東（深圳）- 香港 - マカオグレーターベイエリア（粤港澳大湾区）を構成する市の一つであり、国立科学センターの最初のスタートアップ地域として、深圳市光明地区（深圳北部に位置）には合成生物学に特化した工業団地を建設している。わが国も類似の状況にあるところ、中国でもシーケンサー、PCR や培養装置などのバイオテクノロジー分野の基幹研究機器や消耗品の大半は輸入品であり、調達、運用・維持費など全般的なコストが高く、データ駆動・AI 駆動を中心としたデジタルトランスフォーメーションやデザイン / 構築 / テスト / 学習（DBTL）フローに則った自動化に向けた障壁になっている。光明地区の合成生物学研究施設では、重要技術の開発として、「赤と青のルート（红蓝军路线）」が採用されている。赤ルートとは、0 から 1 の創出として国内研究開発チームとの協力により、自動ロボットアームや遠心分離機などを開発し、統合運用のための制御システムをも構築するとしている。青ルートは、0.5 から 1 の創出として、海外の先端技術の吸収を基本とし、設備の高度化を通じて、プラットフォームの建設を早期に完了させ、オープンプラットフォーム化する目論みである。結果的に、赤ルートの「1」と青ルー

[111] 2019 年 4 月 9 日に東京で開催されたシンポジウムでは、（いずれも当時の役職）香港特別行政区キャリー・ラム（林鄭月娥）行政長官、広東省 馬興端省長、澳門特別行政区 米健政策研究区域発展局局長が来日し、粤港澳大湾区（Greater Bay Area）計画について紹介：https://www.bayarea.gov.hk/filemanager/en/share/pdf/Outline_Development_Plan.pdf

[112] 粤港澳大湾区に位置していないものの、国家科学センターの 1 エリアに位置する大学として列挙する。

[113] SIAT ニュース：http://english.siat.cas.cn/News2017/SN2017/201709/t20170928_183586.html

トの「1」を合わせることで、1+1 が 2 より大きくなることを期待している。[114] また、フェーズ 2 構想として細胞合成や細胞機能検出を含めたトランスレーショナルリサーチに関するプラットフォームの構築を計画している。2022 年 2 月 15 日に、同市光明地区の中国科学院大学深圳医院に、深圳合成生物学イノベーション研究所臨床医療センターが開所しており、深圳光明地区の最先端拠点として臨床応用研究の動向が注目される。[115] また、当該地区や近郊には、多種の実験動物の提供が可能な脳解析・脳シミュレーションセンター、[116] マルチスケールのイメージングセンター、[117] DBTL の「D(設計)」に貢献できる国家スーパーコンピューティングセンター[118] および多種多様な遺伝子情報を保存する中国国家遺伝子バンク（2.2.7 に記述）といった研究施設が整備され、相互交流などを通じた相補関係の強化をねらっている。

2021 年 12 月 23 日､「中国合成生物学年次会議と第 3 回生物工学イノベーション会議･光明科学都市 2021」が、深圳開発改革委員会、深圳光明地区人民政府、中国生物工学会合成生物学部門、中国科学院深圳理工大学、中国科学院深圳先端技術研究所や DeepTech などの共催により開催された。[119] このイベントでは、合成生物学がもたらす新産業の展望、ハイスループット技術や DNA ストレージなどの新技術に関する議論や合成生物学コンペティション（Synbio Challenges、Synbio Hive）の立ち上げについて多くの発表がなされた。続く 2022 年 1 月 5 日には､「DNA 情報保存フロンティアフォーラム」を同研究所などが開催し､DNA 情報保存･産業イノベーション転換センター（DNA 信息存储产业创新转化中心）の除幕式を行っている。[120] DNA ストレージ研究は、DNA を情報記録媒体として用いる次世代のフロンティア分野とも言われ、SIAT や中国における研究開発動向に注目が集まる。

SIAT の最近注目される研究成果としては、二酸化炭素を効率的に還元し、生合成経路と組み合わせてブドウ糖と脂肪酸を合成するといった 2022 年 4 月に Nature Catalysis へ掲載（表紙掲載）[121] された成果があげられる。SIAT の于涛教授（Prof. Yu Tao）等の共著で、食品の人工合成研究の布石として科技日報社の 2022 年中国国内外 10 大科学技術ニュースで取り上げられた。

（2）中国科学院天津工業生物技術研究所（TIB）・天津大学バイオファウンドリー

2012 年設立の TIB および天津大学は､2019 年 11 月 8 日､天津空港経済区における「国家合成生物学イノベーションセンター（國家合成生物技術創新中心）」の建設を科学技術部に承認された。また､同年国際バイオファウンドリー連盟（Global BioFoundry Alliance, GBA）に中国科学院深圳先端技術研究所 (SIAT) 合成生物学研究所と参画し、中国の合成生物学研究をリードしている。[122] GBA には、上海交通大学生命科学技術学院お

[114] 张亭，冷梦甜，金帆，袁海 , (2022) “合成生物研究重大科技基础设施概述”, *Synthetic Biology* Journal，3（1）184-194 DOI: 10.12211/2096-8280.2021-077

[115] 深圳市光明区政府 , “深圳合成生物学创新研究院临床医学中心正式落户光明” : http://www.szgm.gov.cn/xxgk/tt/content/post_9576684.html.（2022 年 12 月アクセス）

[116] 脑解析与脑模拟重大科技基础设施 : http://www.braintechnews.com/nkjhy/20200828/165.html（2022 年 12 月アクセス）

[117] 深圳市と北京大学が協力して設立。多模态跨尺度生物医学成像设施深圳基地（深圳基地）:http://www.ibp.cas.cn/zhxw/2017zhxw/201803/t20180316_4976687.html（2022 年 12 月アクセス）

[118] 国家超级计算深圳中心 (深圳云计算中心): http://www.nsccsz.cn/（2022 年 12 月アクセス）

[119] Pharmadeer Information Technology Co., Ltd, “中国合成生物学学术年会暨第三届工程生物创新大会・光明科学城 2021,” : https://www.pharmadeer.com/activity/69979

[120] 深圳合成生物学创新研究院 , “DNA 情報保存フロンティアフォーラム ,” : http://www.isynbio.org.cn/news-detail.aspx?detail=5687&parm=577

[121] Tingting Zheng et al. (2022) “Upcycling CO2 into energy-rich long-chain compounds via electrochemical and metabolic engineering”, *Nature Catalysis*, Volume 5 Issue 5

[122] Nathan Hillson, et al. (2019) “Building a global alliance of biofoundries,” *Nat. Commun.*

よび浙江大学も参画している。前述の TIB・天津大学バイオファウンドリーでは、研究成果の迅速な実用化・市場展開のため、化学産業、生物医学、健康食品の分野について、「天津瑞普生物技术股份有限公司（瑞普-TIB 共同研究室；本社は天津空港経済区にあり食品・飼料・化学薬品などを製造）」などの企業との共同ベンチャー 16 件を設立している。[123]

天津大学は、教育部の「高等教育機関における基礎研究のためのエベレスト計画（高等学校基础研究珠峰计划）」にもとづき、2018 年に合成生物学のフロンティアサイエンスセンター（教育部“珠峰计划”合成生物学前沿科学中心）の建設が承認されている。また、2019 年には中国科学院と天津市人民政府の共同による国立合成バイオテクノロジーイノベーションセンターの建設が開始している。[124]

TIB 副所長の孫際賓博士（Dr. Jibin Sun, 孙际宾）によれば、TIB ではコハク酸、高麗人参などの薬草成分、ビタミン生産菌株改良などの生物生産研究に注力しており、「TIB では 3 日ごとに特許出願がなされ、承認された特許の 53％が活用されている」として、研究開発のみならず、企業連携による産業応用が活発である。[125] また、TIB では、PCR、プラスミド構築、形質転換からチェックに至る工程を自動化する BioFoundry 装置を 2012 年から開発しており、2,000 のプラスミドを 2 週間で構築できるとする。

TIB の顕著な研究成果としては、2021 年 9 月 24 日の Science 誌に掲載された、二酸化炭素からデンプンへの人工合成の世界初の実現があげられる。[126] TIB は中国科学院大連化学物理研究所との共同研究により、人工デンプン同化経路（Artificial Starch Anabolic Pathway, ASAP）を設計し、無機触媒を用いて二酸化炭素をメタノールに還元、酵素を用いて六炭糖に変換するなど 11 回のステップでデンプンを人工合成している。この方法によるデンプンの合成は、トウモロコシと比較して、8.5 倍のスピード、3.5 倍のエネルギー変換効率に達しており、植物よりデンプン合成効率が高いことが示された。科技日報社の 2021 年中国国内外 10 大科学技術ニュースで取り上げられた。

（3）山西大学・山西省合成生物学研究所

山西大学は、現時点で顕著な研究成果が見受けられない状況であるものの、カーボンニュートラル政策に絡めたアプリケーションにつなげる活動が活発化している点で注目が集まる。「山西省新材料産業の質の高い発展 3 年行動計画（2019-2021）」[127]では、先進金属材料、化学材料、無機非金属材料、最先端新材料および生物ベースの新材料（生物基新材料）の 5 つを特色ある新材料として開発のための行動計画を示している。

2020 年 7 月に「山西省千億級新材料産業クラスター育成計画」[128]が発表され、省内の企業・大学・研究所が大型国際新材料科学技術協力計画に参画することや、海外企業や研究機関が省内に新材料研究開発センターや成果のインキュベーション施設を設立することを奨励するなど、産学連携・社会実装につなげる計画が示されている。同年 10 月には、山西省移行・総合開発区と生物素材分野のユニコーンである Cathay Biotech 社（凱賽生物、詳細は次節に記載）が協力協定を締結した。山西大学合成生物学部や山西省合成生物学研究

[123] 天津大学，“联合实验室”：http://www.tib.cas.cn/cgzh/lhsys/

[124] 中央人民政府，“国家合成生物技术创新中心核心研发基地在津启动建设”：http://www.gov.cn/xinwen/2019-12/27/content_5464585.htm

[125] 2020 年 12 月に開催された合成生物学フロンティアフォーラムでの講演より。

[126] Tao Cai, et al. (2021) “Cell-free chemoenzymatic starch synthesis from carbon dioxide,” *SCIENCE*

[127] 山西省工业和信息化厅主办，“关于印发《山西省新材料产业高质量发展三年行动计划（2019-2021）》的通知，”：https://gxt.shanxi.gov.cn/zfxxgk/zfxxgkml/cl/202110/t20211018_2708027.shtml

[128] “山西发布千亿级新材料产业集群培育行动计划，”：http://www.shanxi.gov.cn/yw/sxyw/202007/t20200715_827936.shtml

所などとともに山西合成生物産業生態団地を建設している（山西省太原市陽曲県東黄水町）[129] [130]。

CathayBiotech 社では、石油製品代替を目指したバイオベース新素材産業の発展を促進する世界初の体系的な合成生物学の基地を設立し、生物由来のペンタンジアミン製造（年間生産量 50 万トン）、生物由来のポリアミド製造（年間生産量 90 万トン）および長鎖二塩基酸製造（年間生産量 8 万トン）など 10 のプロジェクトを実施しており、2022 年 2 月 22 日には、山西省産業情報技術局の「山西省の合成生物新素材産業のための 2022 年行動計画」[131]の通知に基づき、炭酸カルシウムと生分解性樹脂をペレット化した新素材の生分解性プラスチック技術や生物農薬の開発なども目指すとしている。

2.2.6 主要産業の動向

2020 年、アジア・太平洋地域の合成生物学市場のうち、中国は 30 % のシェアを占め、2021 年の 5.7 億米ドル（約 701 億円）から 2026 年には 23.55 億米ドル（約 2,896 億円）に達すると予測され、期間中の年平均成長率（CAGR）は 32.8％となる[132]。中国のバイオテクロノジー関連産業全体としては、「中国製造 2025」や「健康中国 2030」[133]などの政策が後押しとなっている。一例として、アメリカ・サーモフィッシャーサイエンティフィックなどの外資系企業による上海や杭州での拠点･工場設立、イギリスのアジレント･テクノロジーによる物流ハブの開設や独国メルク KGaA と同済大学（上海）とゲノム編集ツールへのアクセス可能なパートナーシップ締結など、基礎研究～産業展開まで、外資系企業の中国でのプレゼンスが拡大している。

合成生物学に関連した中国の企業は、現時点では製造業に偏っており、ここでは中国で営業利益上位を占めるベンチマーク的な企業 2 社を取り上げる。全般的な表現は否めないものの、バイオ製造の成功の鍵は、ひとえに「菌株の設計･構築」と「発酵プロセスの大規模化」であり、前者は理論研究や基礎研究に依存し、後者は発酵プロセスに関する応用研究に依存する。なお、本節では詳細に触れないものの、Cabio Biotech (Wuhan) Co.（嘉必优生物技术 (武汉) 股份有限公司、湖北省武漢市）[134]、Shandong Jincheng Pharmaceutical Group Co., Ltd.（山东金城医药集团股份有限公司、山東省）、Layn Corp.（莱茵生物、広西チワン族自治区桂林市）、Rianlon（利安隆、天津市）なども 2000 年前後に設立された活発な企業としてあげられる[135]。

[129] JST Science Portal China,“トウモロコシやコーリャンで作った服が登場,”2021 年 9 月 8 日 : https://spc.jst.go.jp/news/210902/topic_3_01.html

[130] 山西省転換型総合改革実証区管理委員会 ,“王一新在山西合成生物产业生态园调研,”https://zgq.shanxi.gov.cn/xmjs/202112/t20211222_4196504.shtml (2022 年 1 月閲覧)

[131] 山西省人民政府 ,“山西省合成生物新材料产业 2022 年行动计划,”2022 年 2 月 22 日 : http://www.sxzhb.gov.cn/onews.asp?id=58057&owen1=%CD%B6%D7%CA%D6%B8%C4%CF

[132] Markets and Markets,“Synthetic biology market - Global forecast to 2026,”2021.

[133]「健康中国 2030」とは、2016 年に国務院と中国共産党中央委員会によって公表された、2030 年までに国産医療機器の品質基準を国際規格に準拠させ、ハイエンドな国産医療機器などの製造能力強化をうたった政策。「中国製造 2025」は、2015 年公表の政策で、生産性の向上などにより中国を製造業のバリューチェーンに引き上げ、イノベーションを経済成長の原動力とする目的で国務院が公表した政策。

[134] 2004 年に浙江省に設立した食品系バイオテクノロジー企業。β - カロテンの生合成や Carbito®ARA（アラキドン酸、アラキドン酸）といったオメガ 6 系多価不飽和脂肪酸の生産を行い、乳児用調製粉乳等の製品を販売する。

[135] 2023 年合成生物学行业深度报告 合成生物学是 21 世纪最值得关注的行业之一、中信证券、2023 年 2 月 : https://www.vzkoo.com/read/20230201f2b8010e3eefb66ef3aa72be.html

（1）キャセイ・バイオテック（Cathay Biotech、上海凯赛生物技术研发中心有限公司）

キャセイ･バイオテック社は、アメリカから帰国した劉修才氏（Xiucai Liu, 刘修才）[136]が 2000 年に設立（会社登録）したバイオベースの酵素製剤やポリアミド生産等を得意とする。本社は、上海市浦東の張江ハイテクパーク内にあり、石油の副産物である n- アルカンを原材料とし、微生物発酵によって長鎖二塩基酸を生成するバイオベースのグリーン新材料産業の発展を目指し、近年は山西省政府と共同で生物生産拠点のクラスター化を進めている。同社と山西省の関係は深く、2015 年に潞安集団（山西省の主要石炭企業）から 8.3 億元（約 157.7 億円）の融資を得た際の目論見書では、山西省財政庁と山西省国有資産管理委員会が山西サイエンスパーク投資、潞安集団を通じて 20.30％の株式を保有している。キャセイ・バイオテック社は、2020 年 8 月に科創板に上場した。2022 年の第 1 四半期から第 3 四半期にかけて、キャセイ・バイオテックは前年比 4.8% 増の 18 億 3800 万元（約 349 億円）の営業利益を達成している。

（2）安徽華恒生物科学技術株式会社（Anhui Huaheng Biology、安徽華恒生物科技股份有限公司）[137]

Huaheng Biotechnology は、2005 年に安徽省で郭恒華氏（Heng Hua Guo, 郭恒华）等が設立した合成生物学的な手法によるアミノ酸やビタミンなどの生産を得意とする企業である。安徽省合肥市に本社があり、代表取締役社長（公司董事、高级管理人员）は張冬竹氏（Dongzhu Zhang, 张冬竹）である。食品添加物、健康食品、飼料、その他多くの分野で使用されるアラニン（L- アラニン、DL- アラニン、β - アラニン）、L バリン、D- パントテン酸カルシウム、アルブチン（α - アルブチン、β - アルブチン）など幅広く使用される原料を生産する。2021 年には、嫌気性発酵による L- バリン製品の生産量が増加し、収益と利益に大きく貢献した。2022 年には第 1 四半期から第 3 四半期までで、前年同期比で 9 億 8400 万元（約 187 億円）の営業利益を達成した。

サイエンスを基礎とした製品開発・生産を行い、研究開発をリードするのは、2013 年 11 月から同社の取締役を務め、2016 年 1 月からは同社のチーフ サイエンティストを務める張学礼博士（Dr. Xueli Zhang, 张学礼）[138]である。また、合肥大学で生物工学学士号を取得した唐思青氏といった張博士と同世代の若い技術者等が経営幹部に顔を揃え、中国科学院天津産業生物工学研究所、中国科学院上海生命科学研究院、中科院微生物研究所（北京）などの研究機関と長期的な協力関係を構築している点が特徴的である。

2.2.7 その他の関連動向

（1）遺伝子データベース整備

2011 年（2016 年開所）に中国国家発展・改革委員会により深圳市に設立された中国国家遺伝子バンク（China National GeneBank, CNGB）は、中国初の国家レベルの遺伝子保存バンクであり、バイオレポジト

[136] 安徽省生まれの劉氏は中国科学技術大学で修士号を取得後、ウィスコンシン大学ミルウォーキー校で化学の博士号を取得。イェール大学とコロンビア大学でポスドク研究を行った後、サンド ファーマシューティカルズの上級研究員として、医薬品開発に携わる。1990 年代に中国へ帰国し、ビタミン C 産業の支援に携わった。アメリカ籍取得。https://www.nytimes.com/2011/12/08/business/an-entrepeneurs-rival-in-china-the-state.html

[137]「安徽华恒生物科技股份有限公司」首次公开发行股票并在科创板上市招股说明书，福建省福州市湖东路 268 号：http://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESH_STOCK/2021/2021-4/2021-04-16/7052638.PDF

[138] 1981 年生まれの張学礼博士は、上海交通大学で博士号を取得しフロリダ大学や中国科学院天津産業生物工学研究所で微生物を対象とした研究を行った。2017 年第 14 回天津青少年科学技術賞し、中国特許 21 件、海外特許 7 件（DL －アラニンを生産する遺伝子操作細菌、及び前記遺伝子操作細菌を用いることによって DL －アラニンを生産する方法（特表 2016-503650）など）を取得。https://baike.baidu.com/item/%E5%BC%A0%E5%AD%A6%E7%A4%BC/24278992#reference-[1]-24721243-wrap（2022 年 12 月閲覧）

リー（Biorepository）、生物情報データセンター（Bioinformatics Data Center）、生きたバイオバンク（Living Biobank）、デジタル化プラットフォーム（Digitalization Platform）、合成･編集プラットフォーム（Synthesis and Editing Platform）の 3 つのバンクと 2 つのプラットフォームをコアとし、これらの情報をデータベース化した中国国家遺伝子バンクデータベース（China National GeneBank DataBase, CNGBdb）を有する。現在、中国は世界最大のゲノム保有量を有していると言われる。

CNGB には、国際的な遺伝学者で近年ケナガマンモスを CRISPR システムを用いて復活を試みるハーバード大学医学部のジョージ・チャーチ教授（Prof. George Church）の名を冠した ジョージ・チャーチ合成生物学共同研究所（乔治・丘奇合成生物学联合研究所）が 2017 年に中国 BGI 深圳と共同で設立され、効率的な DNA データストレージ手法に関する研究や 57 コドンの大腸菌の合成研究など合成生物学・ゲノム編集研究を行っている[139]。

2019 年に設立された中国国家生物情報センター（China National Center for Bioinformation, CNCB）のセンターの一つである国家ゲノムデータセンター（National Genomics Data Center, NGDC）[140]では、新型コロナウイルス感染症の流行が始まって以降、ゲノムデータの収集や SARS-CoV-2 の配列公開などに注力している。もともとは、精密医療と生物多様性に関する大規模ゲノム解析情報の収集･公開を目的としており、生データとメタデータ、ゲノム･変異、遺伝子発現、ノンコーディング RNA、エピゲノミクス、シングルセルオミックス、生物多様性・生合成、健康・疾病などのリソース情報が体系的に整理されている。また、老化研究の統合データベース「Aging Atlas」ではヒト、マウス、ラットおよびアカゲザルに関するエピゲノミクスやメタボロミクスデータが検索出来る。その他、2016 年の Nature 誌に「猿の王国（Monkey kingdom）」[141]として紹介があった脳研究に関するデータベース「Brainbase」などが整備されている。

なお、DNA 情報の産生につながる器官、組織、血液などの生物学的サンプルを含む遺伝的資源に関しては、すでに 2019 年および 2020 年の規則で外国のパートナーとの共有を管理することとなっているが、2022 年 3 月に提案された新たな規制ガイドラインでは、この管理をさらに強化するとの方針が示されている。このような規制の強化がこの分野の研究に関する国際協力に少なからず影響をもたらすと懸念する研究者もいる[142]。

（2）科学技術ジャーナル発行の動き

政府は、量より質を重んじ、海外ジャーナル偏重の傾向を是正するなどの政策を実行するため、「中国科学技術ジャーナル卓越行動計画（中国科技期刊卓越行动计划）」[143]を発表し、自国ジャーナルの育成に力を入れている。2019 年に中国科学技術協会、教育部、科学技術部などから共同発表された「中国科学技術ジャーナル卓越行動計画」第 1 期（2019-2023 年）の「実施方案」[144]では、①リーディングジャーナル（领军期刊）、②重点ジャーナル（重点期刊）③中堅ジャーナル（梯队期刊）、④高品質新ジャーナル（高起点新刊）の 4 カテゴリに加え、ジャーナルの育成プログラムなどを含めた 7 カテゴリが設定されている。合成生物学の

[139] 2017 年の第 12 回国際ゲノミクス会議（ICG-12）での発表：https://bgi-australia.com.au/news-1/f/george-church-institute-of-regenesis-in-cngb?blogcategory=2017

[140] NGDC: https://ngdc.cncb.ac.cn/

[141] David Cyranoski. (2016) ” Monkey kingdom”, *Nature* vol 532, pp300–302 : https://www.nature.com/articles/532300a

[142] Smriti Mallapaty. (2022) “China expands control over genetic data used in scientific research”, *Nature*: https://www.nature.com/articles/d41586-022-01230-z

[143] 中央人民政府，“培育世界一流科技期刊 四部门联合发文推动科技期刊改革发展” 2019 年 8 月 19 日：http://www.gov.cn/xinwen/2019-08/16/content_5421699.htm

[144] 教育部、中国科学技術協会，“关于组织实施中国科技期刊卓越行动计划有关项目申报的通知” 2019 年 8 月 19 日：http://www.moe.gov.cn/s78/A16/tongzhi/201909/t20190927_401259.html.

名を冠した自国ジャーナルの育成も徐々に進んでいる。2019 年には、280 のジャーナル（英語 180 種、中国語 100 種）の支援が決定され（総額約 2 億元／年）、2020 年および 2021 年には高品質新ジャーナルとして、年 30 件が支援された。合成生物学に関しては、2020 年 7 月に中国科学院創刊の「合成和系统生物技术（Synthetic and Systems Biotechnology）」が高品質新ジャーナル（高起点新刊）として認定されている。また 2020 年 12 月 12 日には、化学工業出版社、中国生物学会、SDIC Biotech Investment Co., Ltd. が協働し、化学工業出版社が隔月で発行する「Synthetic Biology Journal」を創刊した。本誌は、嘗ての中国生物工学会誌「Biotechnology & Business」が改名されたものであり、中国における合成生物学の国際的トップジャーナル、フラッグシップを目指している。当該ジャーナルは、BGI(深圳華大基因)、徐州医科大学（江蘇省）、アメリカ Twist Bioscience 社、アメリカ AMYRIS 社、北京擎科生物科技有限公司（Tsingke Biotechnology Co., Ltd.）などから組織的、資金的な支援がなされている。2020 年 12 月の同ジャーナルの第 1 回編集会議に併せて開催された「合成生物学フロンティアフォーラム」では国内の著名研究者から展望が述べられた。中でも北京化工大学長で中国工程院院士の譚天偉博士（Dr. Tan Tianwei, 谭天伟）の「緑色生物製造」と題する講演では、アメリカによるバイオテクノロジーの輸出規制に対応したイノベーションや、カーボンニュートラルの実現に向けた目標（双炭目標）による化学産業の変革の必要性が強調され、また山東省や江蘇省の化学企業の閉鎖に触れつつグリーンプロセスの重要性が指摘された。

2.3 インド

政府は研究開発投資総額について「科学技術イノベーション政策 2013 年」[145]では対 GDP 比 2%を早期に達成することと掲げており、民間企業の投資が順調に進めば 2018 年に達成する見込みであった。実際は、2018 年に政府投資額が 0.41%、民間投資額が 0.24%となり、全体では 0.65%で達成は困難であった。最新の研究開発投資総額を入手することは容易ではないが、科学技術省（Ministry of Science & Technology, MoST）が発表している統計によれば[146]、2018-19 年で 1 兆 2,384 億ルピー（約 2 兆 2,043 億円）であり、2017-18 年の 1 兆 1,382 億ルピー（約 2 兆 260 億円）から 8.8%増を示している。民間企業の寄与は、2010-11 年の 32.1%から 2017-18 年の 36.8%まで増加している。

合成生物学分野への投資額は不明であるものの、科学技術省傘下のバイオテクノロジー庁（Department of Biotechnology, DBT）の予算としては、2021 年度当初予算で 350.2 億ルピー（約 623 億円）[147]、2022 年度当初予算で 258.1 億ルピー（約 459 億円）[148]となり、新型コロナウイルス感染症の影響でワクチン製造や関連する製薬研究開発などの基盤が整備されつつあり、バイオテクノロジー関連予算は徐々に拡大している。

本章では、インドにおける合成生物学を含めたバイオテクノロジーに関わる政策・研究開発および産業の動向について取り上げる。

政府は、COVID-19 ワクチン製造の観点からバイオテクノロジーを「自立したインドキャンペーン

[145] Science, Technology and Innovation Policy, Government of India, http://dst.gov.in/sites/default/files/STI%20Policy%202013-English.pdf

[146] RESEARCH AND DEVELOPMENT STATISTICS 2019-20, GOVERNMENT OF INDIA, MINISTRY OF SCIENCE & TECHNOLOGY, DEPARTMENT OF SCIENCE & TECHNOLOGY, NEW DELHI-110016 (INDIA), December 2020: https://dst.gov.in/sites/default/files/Research%20and%20Deveopment%20Statistics%202019-20_0.pdf

[147] インド財務省 2022-2023 年度予算：https://www.indiabudget.gov.in/doc/eb/sbe90.pdf

[148] 2022 年 2 月 1 日にシタラマン財務相が 2022 年度インド予算案を発表。予算案は、前年度比 13.3%増となったものの、DBT 予算は約 100 億ルピー減少。インフラ公共投資（鉄道省及び道路交通省の予算増）に注力し、且つ DBT は 2021 年度の執行予算（約 296 億ルピー）により合わせたものと推定。

（Atmanirbhar Bharat Abhiyaan）」[149]に位置付けることとしている。「自立したインドキャンペーン」とは、モディ（Modi）首相が提唱する、「メイク・イン・インディア」政策促進のためインド経済のさらなる開放を目的とした、経済刺激策である。インド国外のパートナーと一層緊密に関わり合ってインドの製造業をより世界的に競争力のあるものにし、インドの消費・生産をグローバルサプライチェーンへ昇華し、弾力性を養い、投資と技術の両方を含有するものにする機会を与えることを意味する[150]。この政策的位置付けにより、政府は、バイオテクノロジーについて予算配分、手続の簡素化、投資家向け環境の整備、優秀な才能の構築を優先していくこととしている。

インドは、合成生物学にフォーカスした明示的な政策が見られず、基礎研究寄りのファンディングも多くなく、研究開発は欧米豪諸国の後塵を拝するものの、2022 年 8 月に科学技術省は、「アムリット・グランド・チャレンジ（AMRIT GRAND CHALLENGE）」という対象分野に合成生物学を含めた学際的で質の高いハイリスク研究開発を支援する DBT- バイオテクノロジー産業研究支援協議会（Biotechnology Industry Research Assistance Council, BIRAC）の新規プログラムを発表した。

インドのバイオテクノロジーは、バイオ分子、バイオシステム、バイオ製造、バイオコンピューティングの形で重要な産業基盤を構成しており、世界のバイオテクノロジー市場の約 3%を占め、世界で第 12 位、アジアでは第 3 位である[151]。産業規模は、2020 年で 702 億ドル（約 8 兆 6,346 億円）、2021 年で 801.2 億ドル（約 9 兆 8,523 億円）であり、年間 14.13%の成長率を示している。今後その規模は、年率 15%以上の成長が期待され、2025 年には 1,500 億ドル（約 18 兆 4,500 億円）、世界のバイオテクノロジー市場の 19%を占めると予想されている。現在、バイオテクノロジー産業は 3,500 社以上の新興企業で構成されており、2024/2025 年には 1 万社に達するとも推定されている。モディ首相が 2022 年 6 月には「バイオテック・スタートアップ・エキスポ 2022（Biotech Startup Expo 2022）」[152]という BIRAC 発足 10 周年を記念した展示会に出席し、政府として当該分野への支援に注力している様子が見られる。

とくにインドは COVID-19 ワクチン開発に 90 億ルピー（約 160 億円）の資金を投入してきており、科学者、研究者、医療慈善団体、企業家、テクノクラートなど関係者の連携した努力をもたらす絶好の機会であり、同産業は、20 億ドル（約 2,460 億円）から 50 億ドル（約 6,150 億円）に成長するとも期待されている。科学技術省、インド医学研究評議会（Indian Council of Medical Research, ICMR）、インド国防研究開発機構（Defence Research and Development Organisation, DRDO）、そして民間企業がワクチン生産のために注力したことで世界のワクチン需要の 50%をインドが占め、今後もバイオテクノロジー産業の発展の一つの強い要素となると期待されている。加えて、2023 年は第 18 回の G20 が 9 月にニューデリーで開催される予定で、保健医療課題に関する国際的議論も注目される。

このようにインドのバイオテクノロジー産業の発展には目覚ましい側面があり、政府の政策的努力、そして関連民間企業の積極的な投資が伺える。合成生物学に関しては、目立った研究開発プログラムが存在しな

[149] INVEST INDIA: https://www.investindia.gov.in/ja-jp/%20atmanirbhar-bharat-abhiyaan

[150] アニル・ワドワ . (2020)「パートナーシップ、より先進的なビジョンを持った取り組み」、インド展望、第 4 号 https://www.indiaperspectives.gov.in/ja/visionary-approach/（2022 年 9 月 5 日閲覧）

[151] インド政府商工省商務省設立の財団 India Brand Equity Foundation (IBEF)；https://www.ibef.org/industry/biotechnology-presentation

[152] Biotech Startup Expo2022 とは、BIRAC 発足 10 周年を記念して、2022 年 6 月 9 ～ 10 日にニューデリーで開催されたイベント。イベントには、BIRAC が支援する 75 のスタートアップ、75 のバイオテックインキュベーションセンター、21 の IIT や大学、商工省産業国内取引促進局（DPIIT）が支援する 50 のスタートアップや国内外の企業の紹介がなされ、DBT、CSIR、ICAR、DST、IIT、NIPER（国立薬学教育研究所）、NISER（国立科学教育研究研究所）、IISER の研究者との交流も行われた。DST ウェブサイト：https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1832055

い中、上述のとおり実態的な産業活動の活発化が見られる。大学、民間企業など研究開発や産業活動を推進する側からは、国際的な安全規制の在り方も踏まえた政府の方針の明確化が期待されており、政府としても政策の方向を示しつつ、具体化を図る作業を進めているところである。

2.3.1 政府組織・体制[153]

合成生物学を含めたインドのバイオテクノロジー関係の研究開発に関わる主たる官庁などは、図 2-6 に示したとおり、科学技術省 (Ministry of Science and Technology, MoST) 傘下の科学技術庁（Department of Science and Technology, DST)、バイオテクノロジー庁（DBT）および科学産業研究庁（Department of Scientific and Industrial Research, DSIR）である。この他の研究開発に関わる政府機関として国防研究開発機構（DRDO)、電子情報技術庁（MEITY)、新再生エネルギー省（MNRE）などがある。

これら政府の研究開発関係機関全体の予算は、2009-10 年の 2,655.9 億ルピー（約 4,647 億円）から 2017-18 年の 4,804.5 億ルピー（約 8,551 億円）へ 2 倍近く増加している。この間、DST は 198.6 億ルピー（約 353 億円）から 352.7 億ルピー（約 627 億円）へ、DBT は 72.7 億ルピー（約 129 億円）から 177.2 億ルピー（約 315 億円）へと増額している。[154] 全体では DBT が 2 倍以上の伸びを示しており、この伸びが、市場を支える政府のファンディングとなっている。その後 DBT は、2022 年度当初予算を 258.1 億ルピー（約 459 億円）とし、その内、バイオテクノロジー研究開発予算として 2022 年度に 131 億ルピー（約 233 億円)、産業・アントレプレナーシップ支援として 36 億ルピー（約 64 億円）の資金を提供する予定である。[155]

なお、政策的助言組織としては、1999 年、首相の下に首席科学顧問（Principal Scientific Adviser, PSA）とその事務局が設置され、現在、アジャイ・クマール・スゥード博士（Prof. Ajay Kumar Sood）が PSA を務めている。また首相府には PSA を委員長とする「科学技術イノベーション首相諮問委員会（Prime Minister's Science, Technology, and Innovation Advisory Council, PM-STIAC)」が設けられ、科学技術イノベーションに関する政策、省庁間の連携・調整などを行っている。なお、第 3 代（2018 年 4 月から 2022 年 4 月）PSA を務めたクリスナシュナミ・ヴィジャイラバガン氏（Prof. Krishnaswamy VijayRaghavan）は、元 DBT 長官である。

上記に加えて化学物質・肥料省（Ministry of Chemicals and Fertilizers, MoC&F）の医薬品庁（Department of Pharmaceuticals, DoP）が「ファーマ・ビジョン 2020」を策定し、政府は世界レベルのインフラの整備、国際的な競争力を有する製薬研究開発の推進、公的・民間の研究に対するベンチャー支援を行い、インドを製薬、医療機器イノベーションの先導国とすべく主導している。

[153] 主として Synthetic Biology Market-Global Forecast to 2026 より。

[154] RESEARCH AND DEVELOPMENT STATISTICS 2019-20, GOVERNMENT OF INDIA, MINISTRY OF SCIENCE & TECHNOLOGY, DEPARTMENT OF SCIENCE & TECHNOLOGY, NEW DELHI-110016 (INDIA), December 2020: https://dst.gov.in/sites/default/files/Research%20and%20Deveopment%20Statistics%202019-20_0.pdf

[155] 2022 年 2 月 1 日にシタラマン財務相が 2022 年度インド予算案を発表。連邦政府予算案は、前年度比 13.3％増となったものの、DBT 予算は約 100 億ルピー減少。インフラ公共投資（鉄道省及び道路交通省の予算増）に注力したためとある。

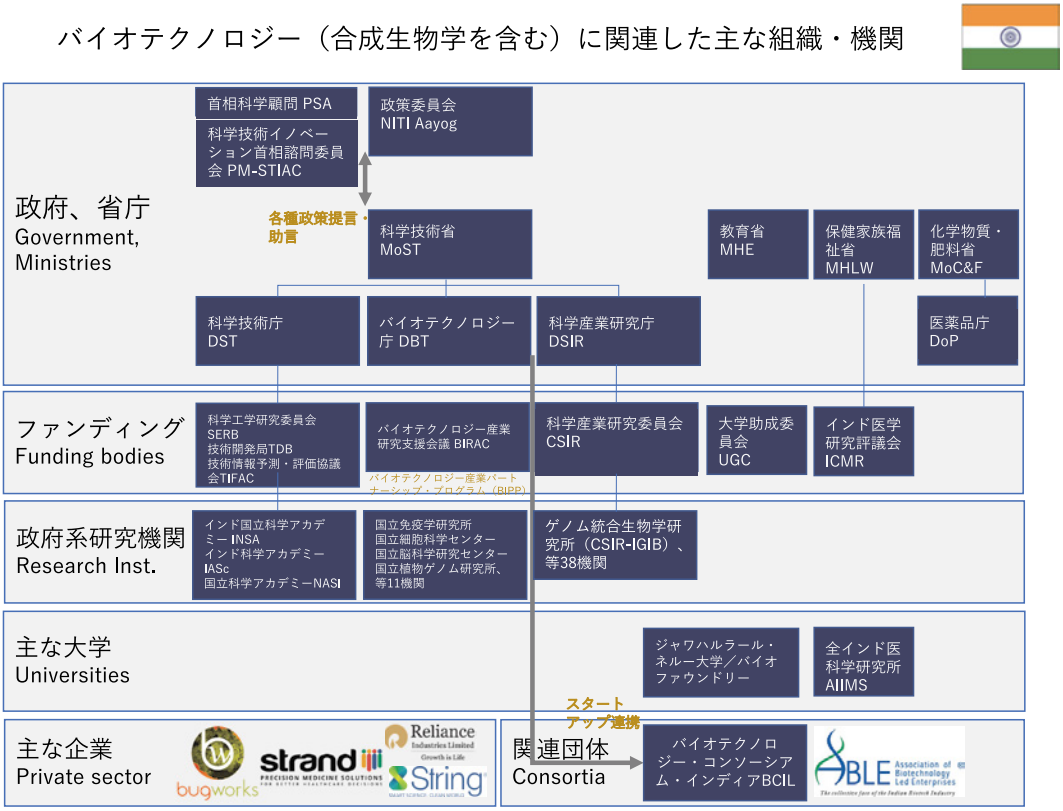


図 2-6　バイオテクノロジー（合成生物学を含む）に関連した主な組織・機関[156]

以下にインドのバイオテクノロジーに関連した主な省庁とファンディング機関の詳細を記載する。

（1）科学技術庁（DST）

DST は、科学技術省傘下の庁であり、科学技術に係わるインドの活動を組織し、調整し、推進する目的をもって 1971 年に設立された。DST の主な任務は、科学技術に係わる政策の策定、内閣科学助言委員会の補佐、新興領域における特定問題に重点を置いた科学技術の推進、横断的な科学技術関連組織との調整、技術調査、開発などに対する財政的支援、科学研究機関および科学協会などに対するグラントを通じた支援などとなっている。STP（2003 年）、STIP（2013 年）[157]といった主要政策も DST が関係する行政機関などとの調整に基づいてとりまとめた。DST の傘下には、科学工学研究委員会（Science and Engineering Research Board, SERB）のほか、3 つの自然科学アカデミー（インド国立科学アカデミー（Indian National Science Academy, INSA）、ノーベル賞受賞者の C. V. ラマン等によって設立されたインド科学アカデミー（Indian Academy of Sciences, IASc）、ならびに国立科学アカデミー（National Academy of Sciences India, NASI））など数多くの団体・研究機関などが置かれている。SERB は、科学および工学分野における基礎研究振興と研究者・研究所などへの財政的支援をミッションとする研究資金配分機関である。2009 年に、研究上の課題に迅速な意思決定を迫られる研究者や科学技術システムからの要望に応えるべく、研究者の科学的探究心を基礎としてグラントを提供するボトムアップ型の研究支援や挑戦的な研究を支援することなどをねらいとして設立された。委員長を DST 長官が、その他の政府高官や著名な科学者が委員を務めている。

DST が進める主な支援プログラムとしては、若手の優秀な研究を対象とするインスパイア・プログラム

[156] DST、DBT も ICAR、CSIR、DRDO や ICMR 等と同様にファンディング機能を有するものの、ここでは省庁のカテゴリに分類
[157] STI はいずれも後述する「科学技術イノベーション政策」。

（Innovation in Science Pursuit for Inspired Research Programme, INSPIRE）があり、この枠組みで若手研究者の早期支援、高等教育奨学金提供、研究キャリア形成の保障などを行っている。

（2）科学産業研究庁（DSIR）

1985 年に創設された DSIR は、独自技術の開発、利用及び移転を目的としている。すなわち産業による研究開発の推進、中小企業による商業的潜在力の開発の支援、研究室レベルの成果の早期の商業化、産業界の技術管理能力の強化などである。国家研究開発公社（National Research Development Corporation, NRDC）を通じて科学研究ラボと産業界との間の技術移転の関係を形成し、かつ投資を促進している。

DSIR には、1942 年に科学技術の成果を国民へ還元するために設立されたインド最大規模の研究開発組織である科学産業研究委員会（Council of Scientific & Industrial Research, CSIR）が配置されている。CSIR の組織構成としては、委員長を首相が、副委員長を科学技術大臣が務める。傘下には 38 の独立研究所があり、その中でバイオテクノロジー関係ではゲノム統合生物学研究所 (CSIR-IGIB、デリー)、細胞分子生物学センター（CSIR-CCMB、ハイデラバード）、中央薬物研究所（CSIR-CDRI、ラクナウ）、中央食品技術研究所（CSIR-CFTRI、マイソール）、ケミカルバイオロジー研究所（CSIR-IICB、コルカタ）、統合医学研究所（CSIR-IIIM、ジャンムー）、微生物技術研究所（CSIR-IMTECH、チャンディーガル）、国立植物研究所（CSIR-NBRI、ラクナウ）など 10 前後のバイオテクノロジー関連研究所がある。

また DSIR には、認証された機関（例：SCPL[158]）がファンディング、税制優遇措置などに際して企業の申請を支援するシステムがある。このシステムによる支援は、後段で述べるバイオテクノロジー産業研究支援会議（Biotechnology Industry Research Assistance Council, BIRAC）のプログラムを主な対象としている。さらに公的な支援（財政措置や優遇措置など）を受ける場合は、産業研究開発推進プログラム（Industrial R&D Promotion Programme, IRDPP）と称される政府の認証を受ける必要がある[159]。このプログラムで認証を受けると、それぞれ該当する組織あるいは制度（Scientific and Industrial Research Organizations, SIRO[160]）で支援が行われる。特に SIRO の制度において、大学などの組織は、自然科学、応用科学、農業・医学・社会科学の分野で知識の拡大に関わる活動を行い、ガバナンス体制の下、明確な目標をもって科学研究活動を行うものとして認定されることとなる。こうして認定された組織は科学研究機器・設備の輸入に対する免税措置や諸手続きが緩和されることができる。なお、COVID-19 による影響もあり、DSIR は SIRO の認証を延長する措置をとっている。

（3）バイオテクノロジー庁（DBT）

DBT は、農業、環境や産業応用を指向するバイオテクノロジー研究を推進する庁である。1986 年に、当時の首相であったラジブ・ガンディー（Rajiv Ratna Gandhi）が、バイオテクノロジーの世界的なトレンドに鑑み、MoST 内に独立した庁として設置した。研究開発・製造業支援、傘下の独立研究所の監督、産学連携の推進、人材開発、インフラ施設整備などを行っている。

DBT の政策立案に当たっては、国家バイオテクノロジー委員会（National Biotechnology Board, NBTB）

[158] SCPL：Scinnovation（scaling innovation）Consultants Pvt.Ltd. の略で、2005 年に設立された民間企業。スタートアップ等に対して IP 戦略、税制優遇措置等に関する支援を行うとともに、併せて研究開発に対するファンディングへのアクセスを得られるよう支援している機関である。（参考：https://www.scinnovation.in/（2022 年 9 月 9 日閲覧）

[159] IRDPP 詳細：https://www.indiascienceandtechnology.gov.in/programme-schemes/research-and-development/industrial-rd-promotion-programme-irdpp

[160] SIRO 制度詳細：https://www.mondaq.com/india/patent/1108600/application-process-of-getting-siro-recognition

が長期的展望の策定および優先分野の選定に関して助言を行う。また、NBTB は新興分野におけるプログラムの育成や固有の人材能力の強化についても任務を負っている。DBT は、2007 年に最初の「国家バイオテクノロジー発展戦略（National Biotechnology Development Strategy）」を発表し、2015 年以降は約 5 年おきに同戦略を更新している。最新版は「国家バイオテクノロジー発展戦略 2021-2025」[161]である。

DBT の 2022 年度予算は、2022 年 2 月に確立された連邦予算において 258.1 億ルピー（約 459 億円）とされ、基礎的インフラ、遺伝子工学、バイオインフォマティクス、農業バイオ、スキル訓練などに充てられるとされている。[162]

以下は、DBT が所管する主なプログラム・制度となる。

・全国的な技術イノベーションへの取り組みプログラム（Undertaking Nationally Relevant Technology Innovation/Atal Jai Anusandhan Biotech Mission, UNaTI）

2019 年 2 月の DBT 創立記念日に DBT が開始したプログラムで、健康、農業、エネルギーのセクターを 5 年の間に改革することを掲げており、以下のミッションを含む。[163]

▶ GARBH-ini：母体と子どもの健康を促進し早産の予測ツールを開発する。「GARBH-ini（Interdisciplinary Group for Advanced Research on Birth Outcomes—DBT India Initiative）」[164]は、2014 年に開始された連携学際プログラムであり、ハリヤナ州グルカーオンの市民病院で妊婦のコホート研究を実施している。

▶ Ind-CEPI ミッション：迅速なワクチン開発を通じた感染症対策として、国際イニシアティブである感染症流行対策イノベーション連合 (Coalition for Epidemic Preparedness Innovations, CEPI) と連携してインドのワクチン開発を支援する。DBT によって設立された非営利企業である、前述の「バイオ産業研究支援委員会（BIRAC）」にプログラム管理ユニットが設置されている。

▶薬剤耐性対策（Anti Microbial Resistance, AMR）ミッション：薬剤耐性病原菌に関する診断、治療、および予防措置の迅速性を保証する。

▶ Swachh Bharat[165]のためのクリーン技術ミッション（UNATI Mission Clean Technologies for Swachh Bharat）：バイオメタン化、人口湿地、バイオトイレ、薬剤と膜を使用しない水浄化などの 10 のクリーンテクノロジーを特定し、自治体などの地元のステークホルダーと連携してインド全土の様々な場所で実証を行う。

▶強化小麦による栄養改善（Fortified Wheat Nutritional Improvement）：2018 年に政府が開始した栄養不良対策キャンペーン「POSHAN Abhiyan」（「全体的な栄養学（Holistic Nutrition）」の意）に資するため、タンパク質に富んだ強化小麦を開発する。

[161] DBT (2021), “National Biotechnology Development Strategy2021-2025”, https://dbtindia.gov.in/sites/default/files/NATIONAL%20BIOTECHNOLOGY%20DEVELOPMENT%20STRATEGY_01.04.pdf

[162] Indian Biotechnology Industry Analysis: https://www.ibef.org/industry/biotechnology-presentation

[163] MoST (2019) “Key missions launched on foundation day of DBT", https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1566339

[164] Garbh-ini (n.d.) “About us", https://www.garbhinicohort.in/

[165]「Swachh Bharat」（「クリーンインド」の意）は、野外排泄のないインドの実現に向けて、2014 年に中央政府によって開始された全国的なキャンペーンである。

・農業バイオテクノロジー（Agriculture Biotechnology）[166]

技術的な進歩を取り入れることによって最先端領域における研究インフラと人材開発を強化しつつ農業研究を改革するために始められたプログラムである。知識の創生、生産性向上のための技術・製品開発、農作物の栄養価の増強と品質向上、非生物的・生物的ストレス耐性、投入資源の利用効率、気候レジリエンスやバイオセーフティといったテーマを担い、コメ、小麦、トウモロコシ、綿花、雑穀、油糧種子、豆類などの経済的に重要な農作物、また園芸用農作物についての研究を支援している。このプログラムの下で、DBT は分子育種 / マーカー支援選抜 (MAS)、QTL/ 遺伝子の特定などの基礎研究やそれを踏まえたビタミン A リッチな作物や斑点細菌病などの病害や自然災害耐性などの機能を付与した作物品質改良、国際共同研究、官民パートナーシップなどによる研究開発プロジェクトを支援してきたが、農家、消費者、輸出市場からの変化するニーズに応えて近年制度の見直しを行っている。

・北東地域のバイオテクノロジー事業（Biotechnology Programme for North Eastern Region）[167]

インドの北東地方は世界的に生物多様性が脅かされている地域として知られるが、この地方の生態系に広がる豊かな生物資源を地域の更なる経済的発展のために活用するプログラムである。DBT は毎年その予算の 10％をこの地域におけるバイオテクノロジー関連活動の促進・強化にあて、地域の課題解決や生物資源の地域発展への利用に向けた支援を行っている。効率的なプログラム運営のため、北東地方バイオテクノロジー管理部門（NER-BPMC：NER Biotechnology Programme Management Cell）がブバネーシュワルにある DBT 生命科学研究所（DBT-ILS：DBT-Institute of Life Sciences）に設置されている。

研究成果の製品、サービスへの転換を促進するための DBT の主要施策として、バイオテクノロジーパーク／インキュベーターの設立･運営がある。ここでは国家バイオテクノロジーパーク計画[168]に従って、科学者、中小企業が技術のインキュベーション、技術実証、パイロットプラント研究を実施し、バイオテクノロジーの商業開発を促進している。DBT は、これまで 9 のバイオテクノロジーパークを国内に設立している。このパークでは、インキュベーション段階を経てさらにスタートアップ段階に発展するエコシステムを内包させており、さらにスケールアップすることを支援している。

さらに DBT は、バイオテクノロジーパークの支援に加え、カーボンニュートラルの実現に向けたエネルギー研究に特化したセンター設立にも近年積極的である。現在、CSIR 国立化学研究所（ICT）と共同設立した DBT-ICT エネルギーバイオ科学センター (DBT-ICT-CEB、ムンバイ)、国内最大石油企業であるインディアン・オイル・コーポレーション（IOC）と共同設立した DBT-IOC 先端バイオエネルギー研究センター（ムンバイからニューデリー近郊のファリダバドに移転）、および国際遺伝子工学・バイオテクノロジーセンター（ICGEB、デリー）である。これらの研究所は、バイオディーゼル、バイオエタノール、バイオブタノールおよびバイオ水素の生産といったバイオ燃料研究にフォーカスしている。

以上の DBT の一連の活動を俯瞰すると、合成生物学を明示的に行う機関は少ないものの、インドのバイオテクノロジー研究は、国内に設けられた研究クラスターを中心に行われ、ここにアカデミーのコア施設、コアサービスなどの研究能力を導入しつつ、スタートアップのインキュベーションを推進しているという基

[166] DBT (n.d.) “Agriculture & Plant Sciences", https://dbtindia.gov.in/schemes-programmes/research-development/agriculture-animal-allied-sciences/agriculture-biotechnology

[167] DBT (n.d.) “North East Region (NER)", https://dbtindia.gov.in/scientificdecisionunits/ner

注：このページは 2022 年 3 月 21 日付の更新で内容が「準備中」に改められ、原稿作成時に参照した情報が削除された。

[168] バイオテクノロジーパーク計画：https://dbtindia.gov.in/sites/default/files/guidelines_biotech_Park_0.pdf

本的な姿がある。ここではゲノム解析、遺伝子表現型解析、ゲノミクス、プロテオミクス解析など一般的なサービス基盤が整備されている。政府は、このような形でイノベーションをおこすプラットフォームを形成している。特に DBT は、次に述べる BIRAC とインド・エンジェル・ネットワークを形成する覚書（MoU）を 2017 年 8 月に締結し、スタートアップが投資を受けやすい環境を構築している。

合成生物学に関しては、2018 年に DBT はバイオ燃料研究が盛んなフィンランド・アカデミーとの間で研究協力を推進する共同ファンディング計画を立ち上げている。また同年、DBT は合成生物学に関する、水生および海洋生物を対象とした生物工学の基礎的理解、学界から産業に至る基軸となる研究、コンピュータおよび実験合成生物学の実践、倫理 / 生物安全に関する知識などの取得を目的として、トレーニング・コースを立ち上げている。[169]

（4）バイオテクノロジー産業研究支援会議（BIRAC）

BIRAC は、DBT により創設された非営利組織であり、戦略的な研究・イノベーションを実施し、国が必要とする製品の開発ニーズに取り組んでいる。BIRAC のビジョンは、インドのバイオテクノロジー産業の戦略的な研究・イノベーション能力を育成・強化し、バイオエコノミー構築に向けて特に中小企業、スタートアップが広範な社会的ニーズに応える手頃な製品を生産することを目指している。

BIRAC がこれまでに支援したスタートアップなどは 3500 以上、技術・製品は 600 件、創設したバイオ・インキュベーション、プレ・インキュベーションは 74 か所、支援対象の学術組織は 344、支援総額は 400 億ルピー（約 712 億円）とされている。[170]

2.3.2 主要政策・重点課題

インドにおける科学技術政策は、2013 年の科学技術イノベーション政策（STIP2013）によれば、「高度な技術がインドを先導する科学、研究イノベーションシステム（Science, Research and Innovation System for High Technology-led path for India, SRISHTI）の形成を目標とし、特に農業、通信、エネルギーなどの基幹分野の重要研究を優先し、学際的研究の推進、中小企業のリスク開発の支援、包括的社会を目指すファンドの確立、科学技術イノベーションが主導する起業の支援などを重点政策として推進するとある。総研究開発投資額の対 GDP 比 2%（当時は 1%）まで増額し、研究開発人員（FTE 換算）を 66%増加させ、論文の世界シェアを当時の 3.5%から 2020 年までに 7%以上に増大させ世界の 5 位以内に入ることを目指している。[171]

その後継となる科学技術イノベーション政策 2020（STIP2020）草案[172]では、今後 10 年間でインドを世界第 3 位の科学技術大国とすること、5 年ごとにインドの研究開発総投資額（GERD）を倍増させ FTE 換算研究者数を倍増させること、今後 10 年間で卓越した個人と組織により世界最高レベルの賞を受けることと

[169] DBT training program in SYNTHETIC BIOLOGY、https://syntheticbioindia.weebly.com/dbt-syn-bio-training.html（2022 年 9 月 24 日閲覧）

[170] BRIAC ウェブサイトより：https://birac.nic.in/

[171] インドは、2020 年の統計で約 149 千編の論文数（分数法）を誇り、中国、アメリカについて第 3 位に位置しており、この計画の目標を達成したといえる。グローバルノート株式会社ウェブサイトより：https://www.globalnote.jp/post-5275.html（2022 年 9 月 8 日閲覧）

[172] STIP2020 の策定作業は、2019 年 10 月に開始されたとされているが、その後 2020 年 5 月に一般公衆および専門家からの意見募集のトラック I に着手し、2021 年 11 月のトラック Ⅳ に進み、首相府に報告されるという予定が示されている。2023 年初頭現在、最終的な政策が公表されたという情報に接していない。https://thesciencepolicyforum.org/initiatives/science-technology-and-innovation-policy-stip-2020/

されている。また2019年3月に策定された国家プロジェクトでは、自動翻訳技術、量子フロンティア、人工知能、生物多様性、電気自動車、健康医療、廃棄物利用、深海探査、イノベーションの商業化支援の実施を掲げている。[173] この計画に基づき諸政策が進められているが、ここでは、特にDBTにおける合成生物学を含むバイオテクノロジーに関連した主要政策を取り上げる。また、以下に詳細記述をしないものの、合成生物学研究の産業アプリケーションに関連する国家イニシアティブとしては、石油天然ガス省の「国家バイオ燃料政策（National Policy on Biofuels）」[174]とDBTによる「国家バイオファーマミッション（National Biopharma Mission）」[175]があげられる。

（1）国家バイオテクノロジー発展戦略 2015-2020（NDBS2015-2020）

DBTは、2000年に初めてのバイオテクノロジーに関する「ビジョン文書」を発行し、2007年9月にDBTでは初めてとなる国家バイオテクノロジー発展戦略（National Biotechnology Development Strategy）を策定し、黎明期と位置付けるインドのバイオテクノロジーのその後の展開に必要な様々なプロジェクトの立ち上げに貢献した。BIRACもこの戦略策定後の2012年に設立され、民間部門におけるバイオテクノロジーの開発に勢いをつけたといえる。一方、本格的な政策は、同じくDBTにより2015年12月に発表された「国家バイオテクノロジー発展戦略2015-2020」であり、この策定のため学術界、官界、産業界から多くの専門家が動員された。ここでは教育から生物科学研究および企業化の促進まで幅広く必要な施策がうたわれており、バイオテクノロジー分野における以下の基本方針が確立された。

①優秀な労働力とリーダーシップを確保する。
②成長する生物産業とともに知的環境を活性化する。
③基礎的、学術的および学際的な科学における研究の可能性を高める。
④目的を指向する新しい研究を促進する。
⑤包括的な発展のためのツールとしてバイオテクノロジーに焦点を当てる。
⑥技術育成型のイノベーション、移転能力および企業化を進め商業化を図る。
⑦透明で、効率的、かつ最善の規制システムおよびコミュニケーション戦略を備えたバイオテクノロジーと社会を実現する。
⑧国際的で、かつ国の同盟関係を育てるバイオテクノロジー協力を行う。
⑨ガバナンスモデルを再構築して制度的な能力を強化する。

その上で具体的な施策としては、学生向け専門家養成プログラムの確立、核心的施設／設備の整備、特別センター／企業化センターの創設および国立薬物探索研究所、感染症学際科学研究センター、国立海洋バイ

[173] インドの科学技術イノベーション全般については、「躍進するインドの科学技術政策の概観」、栗原潔、NIISTEPホライズン、2022年、Vol.8.No.2を参照。https://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-STIH8-2-00296.pdf（2022年9月25日閲覧）

[174] インドの石油天然ガス省が2018年に発表、2022年6月に改正した政策。同政策は、国産バイオ燃料の生産を促進し、石油製品の輸入削減を支援する趣旨となる。国際エネルギー機関（IEA）ウェブサイトより：https://www.iea.org/policies/17006-national-policy-on-biofuels-amendment-2022

[175] 2017年に経済に関する内閣委員会で承認された国家バイオファーマミッションは、「Innovate in India（i3）」と題して廉価な価格の製品開発を通じて国の健康水準向上や起業家支援強化によるイノベーション創出の加速をうたっている。このミッションは、「Make in India」や「Start-up India」といった他の国家ミッションとも連携している。2億50百万米ドル（約317億円）で、今後4年間に5～7種類のバイオ医薬品を市場投入するために取り組む。DBTウェブサイトより：https://dbtindia.gov.in/sites/default/files/uploadfiles/NBM%20WEBSITE-Dr.%20Madhavi_FV.pdf

オテクノロジー研究所などの国立研究所の創設による知識環境の整備を提唱し、また研究分野としては、ヒトゲノム、ワクチン開発、感染症、臨床、慢性疾患、幹細胞・再生医療、インプラント・診断などのバイオ設計研究、生物工学に焦点を当てられている。

合成生物学に関しては、まず上記基本方針のなかで、システムバイオロジー、ナノバイオテクノロジーとともに学際的分野の研究推進の中に新興分野として着目されており、具体的な施策としては、ヒトゲノム研究において遺伝子疾患の理解に向けた研究、および酵素工学的研究およびバイオ燃料に関する研究としてDBT が支援を強化することとしている。

この戦略では、以上の施策に加え官民協力体制の確保、知的財産権の保護施策の確立、遺伝子利用の安全規制策の整備および社会における理解増進の重要性が指摘されている。また国際協力に関しては、DBT は必要な協力体制の拡充を行うこととしているが、新興重要技術に関わる特別な配慮などはまだ見られない。なお、この戦略では、政府が投じる資金などの計画、あるいは将来のバイオテクノロジー開発がもたらす産業規模などに関する見通しは示されていない。

（2）国家バイオテクノロジー発展戦略 2021-2025（NDBS2021-2025）[176]

前述の発展戦略の後継として、2021 年に DBT が策定した「国家バイオテクノロジー発展戦略 2021-2025」では、対象期間において「知識とイノベーションが主導するバイオエコノミー」に貢献するという野心的な目標を掲げている。主要な戦略は以下のとおりである。

- 人材育成：高度スキル人材と最先端インフラの強化
- UNATI[177] バイオテクノロジーミッション：インドと世界の優先課題との整合
- バイオテクノロジーによる「自立したインド（Atmanirbhar Bharat）」を目指して：誰もが利用できる、安価な製品・技術
- 戦略的パートナーシップの強みを生かす：国内外
- 将来に向けた対策―知識基盤の構築・科学を社会へ：農村部門の活性化
- 効果的なアウトリーチとコミュニケーション：社会的信頼の構築
- グローバルなベンチマークとパフォーマンス評価：メトリクスによる品質管理・改善

「国家バイオテクノロジー発展戦略 2021-2025」[178]では、以上の戦略に基づき、2025 年までにインドのバイオテクノロジーを世界で 5 番以内に位置付けて世界のバイオ製造業のハブとし、バイオテクノロジーセクターの経済規模 1,500 億ドル（約 18 兆 4,500 億円）を達成することが目標に掲げられている。上記戦略において合成生物学は、人材育成、UNATI、将来に向けた対策および政策の実現のなかで以下抜粋のとおり重要分野として取り上げられているものの、現時点で、合成生物学に特化したプログラム公募などは掲げられていない。

- データサイエンス、合成生物学、細胞・再生医療、ゲノム編集、人工知能、計算・構造生物学、量子生物学などの戦略的分野に適応可能な人材育成。

[176] APRC-FY2022-PD-IND03（仮訳）より：https://spap.jst.go.jp/resource/pdf/aprc-fy2022-pd-ind03.pdf

[177] UNATI とは、Undertaking Nationally relevant Technology Innovation（Atal Jai Anusandhan Biotech）の略であり、母子の健康・抗微生物薬耐性（AMR）・感染症ワクチン・食料・栄養・クリーンテクノロジーといったインドおよび世界の重要課題に取り組むミッションである。

[178] DBT (2021), “National Biotechnology Development Strategy2021-2025”, https://dbtindia.gov.in/sites/default/files/NATIONAL%20BIOTECHNOLOGY%20DEVELOPMENT%20STRATEGY_01.04.pdf

・合成生物学、量子生物学、ニュートリゲノミクス、個別化医療、マイクロバイオーム操作技術などの生物学の新分野や、SDGs などに関連したブルースカイ研究への直接資金提供。
・新興バイオテクノロジー分野および最先端基礎研究での次の優先分野に向けた多額の集中投資拡大： 個別化医療、CAR-T 技術、ゲノム編集・治療、CRISPR-Cas、合成生物学、脂質生物学、糖鎖生物学、エピジェネティクス、植物二次代謝、海洋生物学、天然物薬化学、量子生物学、3D バイオプリンティングなど。
・合成生物学と新興技術に関する倫理と活用に関するガイドラインを策定する。

NDBS2021-2025 で様々な目標値が掲げられているなかで、1,000 億米ドル（約 12 兆 3,000 億円）規模の国際バイオテクノロジー製造拠点の設立（Biomanufacturing Global Hub）や 125 件のバイオインキュベーター、10 件のテクノロジー・クラスター、10 件のバイオテクノロジーパークおよび製造拠点、10 件のバイオテック大学―企業共同研究トランスレーショナルクラスター（UNIVERSITY RESEARCH JOINT INDUSTRY TRANSLATIONAL CLUSTER, Biotech URJIT Cluster）、10 件の新興技術卓越拠点（CONEs）といった拠点化事業の拡大の今後が注目される。

（参考）12 次五か年計画と合成生物学（2011 年）

インドでは第 1 次五カ年計画 (1951 年～ 1956 年) 以来、国家経済プログラムとして 5 カ年計画を策定してきており、最新の第 12 次五ヵ年計画は 2012 年～ 2017 年を対象としたものである（13 次五カ年計画は策定されていない)。この第 12 次五ヵ年計画期間中のインド政府の合成生物学等に関する活動について、その推進を勧告するために、「合成生物学およびシステム生物学に関するタスクフォース」が報告書「合成生物学およびシステム生物学のリソース・ネットワーク」を取りまとめている[179]。この報告書では、バイオ燃料、バイオ治療法、バイオセンサー、食料・健康における合成生物学の潜在的な利益が重視され、インドがこの分野の世界的リーダーとなるべく技術を強力に推進することが期待されている。

第 12 次五ヵ年計画の DBT 関係のプランとして「既存研究組織の連携強化によるバイオ産業などの強化」としてナノサイエンス、バイオサイエンスおよび合成生物学が取り上げられており、DBT による研究費補助およびパートナーシップ研究の強化策の対象とされている。なお、同計画においては、科学産業研究会議（CSIR）の計画期間中の設立予定の組織として「CSIR 合成生物学・システムバイオロジー研究所」が掲げられていたが[180]、実際は設立には至っていないとみられる。

一方、第 12 次五か年計画策定後も議会は、2013 年以来、独立した規制を行うバイオテクノロジー規制当局創設に関わる法案について審議しておらず、合成生物学にも含まれる遺伝子工学を取り巻く研究を左右する議論が進んでいない[181]。インドにおいては、遺伝子組み替えナス商品の禁止や遺伝子組み替え穀物に対する裁判を抱えるなどの状況にある。

[179] 12th FIVE YEAR PLAN, Report of the Planning Commission Constituted Task Force on Synthetic and System Biology Resource Network, https://dst.gov.in/sites/default/files/3-tsk_ssbrn-report.pdf

[180] Twelfth Five Year Plan (2012–2017), Faster, More Inclusive and Sustainable Growth,Volume I, 10 May, 2013, https://nhm.gov.in/images/pdf/publication/Planning_Commission/12th_Five_year_plan-Vol-1.pdf

[181] “India needs a policy on synthetic biology”, BusinessLine, December 16, 2019, https://www.thehindubusinessline.com/opinion/india-needs-a-policy-on-synthetic-biology/article30322176.ece

（3）合成生物学およびシステムバイオロジーリソースネットワークに関する企画委員会タスクフォース報告書[182]

2011 年に DST が本文書を発表した当時、インドにおける合成生物学とシステムバイオロジーは依然黎明期にあり、人材面でもインドの潜在能力が未開拓であることに議論の余地はない。この文書では、CSIR の関連研究所、インド理科大学院（IISc）、国家生物科学センター（NCBS）、インド工科大学カラグプル校（IIT-Kharagpur）、ボーズ研究所（Bose Institute）、ケララ大学、および企業数社といった限定的なプレーヤーしかいないインドにおいて、合成生物学への「後押し」が必要な時期であり、実現可能な技術から実用的な応用に至るまでの十分なサポートが必要であるとした。当面の目標は、合成生物学とシステムバイオロジーの専門知識とインフラ基盤を構築することであった。

インドは、小規模なバイオテクノロジー企業が製薬や石油の大手企業と同じ土俵で競争できるような正しい法的環境を整えることで、オープンソースの生物学的プラットフォームの保護・支援者として世界をリードする機会を得ようと試みている。

タスクフォースの提言では、機関、トレーニングセンター、ネットワークセンターの設立による能力の増強、人材開発の促進、トランスレーショナル能力の構築、マルチモーダルおよびファーストトラック資金調達メカニズムの発展、国際連携体制の構築などについて触れている。また、タスクフォースを新規メンバーで構成される常設委員会に昇華し、国内文書を作成し、国内の合成生物学およびシステムバイオロジー研究ネットワークを調整するよう提言している。

（4）合成生物学に関するフォーサイト・ペーパー[183]

1986 年に DBT が創設されて以来、インドでは、遺伝子組換技術に代表されるように合成生物学に関して如何に政府として対応していくべきかといったコンセンサスを長期間欠いていたといえる。一方、実態的には合成生物学の発展が 30 年以上もの歴史を持っている状況にあって、今後は、特に石油ベースの製品への依存を減らすことが持続可能で包括的な未来を築くうえで重要となってきている。このようななかで合成生物学とは何か、どのような応用があり得るのかという概念、さらにはいかなる規制が必要であるかを明確にする作業が必要であった。インド産業界としても合成生物学への投資を進めつつも、この技術に関する規制、政策も殆どない状況にジレンマを感じている様子で、策定される政策が、合成生物学の定義、公的部門が優先する研究開発、知的財産権を含む政策枠組みの指針および環境・社会経済的問題に対する規制の在り方を示すことが期待されていた。

このような状況下、2019 年 12 月に DBT は、ジャワハルラール・ネルー大学のパワン・クマール・ダール教授（Prof. Pawan Kumar Dhar）等のチームに合成生物学に関する展望を解析すべく調査を委託[184]し、ICGEB のサイード・シャムス・ヤズダニ博士（Dr. Syed Shams Yazdani）等多くの研究者が議論に参加した。このプロジェクトでは、この分野における官民の研究開発の現状と今後の方向、国の推進政策、国内・国際

[182] REPORT OF THE PLANNING COMMISSION CONSTITUTED TASK FORCE ON SYNTHETIC AND SYSTEMS BIOLOGY RESOURCE NETWORK (SSBRN) , https://dst.gov.in/sites/default/files/3-tsk_ssbrn-report.pdf

[183] Foresight Paper of Synthetic Biology, DBT, https://dbtindia.gov.in/sites/default/files/uploadfiles/2.%20JNU-FLEDGE%20Project%20Report%20on%20synthetic%20biology_updated%2008022022.pdf（2022 年 9 月 22 日閲覧）

[184] ジャワハルラール・ネルー大学は、グローバル・バイオファウンダリー・アライアンス (GBA) における Biofoundry India としてインドの代表ノードとなっている。Biofoundry India の共同代表は、本報告書をまとめたパワン・クマール・ダール教授とバイナリー・パンダ教授（Prof. Binay Panda）となる。プロジェクト課題「Policy and Research Planning for Synthetic Biology」、プロジェクト ID: BT/PBD/26/SP30134/2018：https://www.syntheticbiology.in/_files/ugd/cdb456_136f7cc2a81c4ddda4d7b194ba1b3cea.pdf

の法的な規制のあり方、国民との対話の方策などが検討された。その結果、国の政策を策定するためのさらなる展望が示され、とくに国の政策策定に重要な国際的な法的規制の要素を検討することが重要とされた。

また合成生物学が新しい産業革命を生むものであるとしつつ、利点とリスクを適切に評価すること、科学研究を加速することなどが国の重要課題であるとし、合成生物学に対するインド政府の立場を明確にし、その利益と熱意を国際社会に発信していくべきとされた。結果は「合成生物学のフォアサイトペーパー」としてまとめられ、2022 年 3 月 15 日までの期限で、DBT のウェブサイト上の意見募集が行われた。なお、2023 年初頭現在、この意見募集の結果に関する情報には接していない。

（5）バイオテクノロジーまたは合成生物学に関する安全規制

バイオテクノロジーの安全規制に関する国際的な議論が立ち上がったのは、1970 年代の組み替え DNA 研究が端緒であり（アシロマ会議）、インドも当時からのこの動きに合わせ国内の制度を構築している。その後は遺伝子組み換え植物または農産物に関する規制の必要性が生じ、1980 年代後半より国としてのバイオセーフティの枠組みが構築され、現在の規制枠組みは 1989 年に確立されたものである。[185]

合成生物学関係の研究に関連して懸念されている課題は、研究所員の想定外の感染や病原菌などの監視区域からの漏洩、生物安全レベル BSL2 の研究室に必要な認証・有効性の欠如、薬剤試験や臨床試験における生物学的廃棄物の不適切な取り扱い、遺伝子改変生物の意図的な環境への放出などである。国内には病原菌を扱う多くの BSL レベルの施設があり、DBT は BSL3 または 4 の研究施設の有効性に関わる申請制度を導入しているが、専門家の間では国のガイドラインや BSL 研究施設の認証・有効性の確認制度がないことを心配する声もあり、このような問題がインドにおける合成生物学の研究開発、市場への制約をもたらすことを懸念している。[186] 2020 年カーネギーエンダウメント報告書（Carnegie Endowment）[187]でも、BSL3 および 4 における安全規制は DBT が管理しているが、それ以下の施設に対する措置が十分ではなく、予期せぬ職員の汚染や環境中への異物の放出が懸念されるとしている。

関係するインドの法的な枠組みは、1986 年環境法、1989 年遺伝子工学生物などの製造、輸入などに関する規則（1989 年規則という）、2002 年生物多様性法、2003 年植物防疫法、2006 年食品安全標準法などであり、DBT、農業省、保健家族省などが所管している。また 1989 年規則に基づいて設けられている遺伝子操作レビュー委員会（Review Committee on Genetic Manipulation, RCGM）などの 6 つの規制／助言委員会の枠組みで具体的な手続がとられている（RCGM の事務局は DBT）。[188]

前記の NDBS2021-2025 では、適切な法制化によりバイオテクノロジー規制当局を確立する必要があるとされ、これにより規制人員の訓練の向上、ガイドラインの整備、国民への理解増進などを図るとともに、上記の RCGM などの規制の枠組みの改善を図る必要があるとされている。2021 年 3 月にオンライン開催された“Global Bio-India 2021”[189] では、欧米の規制枠組みなどを踏まえ従前のインドの制度を改定する必要があるとされており、上述の合成生物学に関するフォアサイト・ペーパー（2022 年）でもみられたように、当面の重要な課題となっている。

[185] Regulatory framework for genetically engineered plants in India: http://www.geacindia.gov.in/resource-documents/13_2-Regulatory_Framework_for_GE_Plants_in_India.pdf（2022 年 9 月 22 日閲覧）

[186] Synthetic Biology Market-Global Forecast to 2026

[187] DECEMBER 09, 2020, “Biological Risks in India: Perspectives and Analysis”, SHRUTI SHARMA, Carnegie India, https://carnegieendowment.org/2020/12/09/biological-risks-in-india-perspectives-and-analysis-pub-83399

[188] Review Committee on Genetic Manipulation：https://ibkp.dbtindia.gov.in/Registration/Index、https://ibkp.dbtindia.gov.in/Content/Commitee?AspxAutoDetectCookieSupport=1（2022 年 9 月 22 日閲覧）

[189] Global Bio-India 2021（DBT、BIRAC 主催）https://birac.nic.in/webcontent/1651648167_Global_Bio_India_2021_Report.pdf

（6）製薬産業に関わる研究開発イノベーション政策

製薬産業は、インドのバイオテクノロジーに関わる産業活動のなかで大きな比重を占めることはすでに述べたとおりである。化学物質・肥料省傘下の医薬品庁は、2021 年 10 月に製薬および医療機器関係研究開発イノベーション部門の政策案を発表した[190]。この政策案は、同年 11 月 21 日まで意見募集されており、インドの製薬産業に対する影響は大きく、この政策をベースとして産業界の動きが活発化すると見られている[191]。

この政策案[192]は、今後 10 年を展望し、具体的な活動、目標、日程などを定めるアクションプランに従って実行されるものであり、その基本的方向は、①規制プロセスの簡素化、②新薬開発の迅速化と医療機器の開発イノベーションの促進、③民間投資の動機付けの強化と財政的支援など様々なファンディングの評価、④産業・アカデミーの協力拡大を促進するエコシステムの充実である。とくに規制プロセスの簡素化に関しては、規制をよりイノベーション指向に向けるため、規制プロセスにおける重複の排除やタイムラインの明確化を目指した規制関係機関相互の共同作業が要請され、今後 2 年以内に新規薬品の承認時間を半減させること、医療機器の審査機関を 12 ヶ月以内とするなどとしている。また産業・アカデミーの協力拡大に関しては、アカデミーのインフラを産業界に開放し人材養成に活用し、「国立薬学教育研究所（National Institute of Pharmaceutical Education & Research, NIPER）」に産業界代表を参加させて博士課程などの高等教育における専門家育成を強化することがうたわれている。さらに政策案は、教育界と産業界の協力を円滑に進めるため、薬学部局間研究会議やイノベーション専門ハブの創設を提案している。

（7）経済安全保障政策との関係

政府は、2019 年 3 月に「インド国家安全保障戦略（India' s National Security Strategy）」を策定した。目的は、インドの主権を守り、領土の保全を図り、国際場裏におけるインドの適切な地位の向上を確実とし、国内の平和的環境を保障し、市民にとって公正で、平等、かつ繁栄をもたらす環境を構築し、生活と生活物資に対する危険から守ることとしている。現時点で、合成生物学との直接的な関係は薄いものの、参考情報的な位置づけでインドの安全保障戦略について概説する。

経済安全保障に関係しては、金融政策、財政政策からの重要性を挙げ、インド経済の脆弱性の低減を確保し、政府・市民、公共施設、電力、銀行、通信、コンピュータおよびインターネット環境の保全のため「国立デジタル安全機構」を創設するとしている。また技術開発に関しては、AI、ロボティックス、量子コンピューティングなどの発展が経済、国民生活の安全を脅かす恐れもあり、またサイバー空間における脅威を指摘し、これらに対する適切な防護措置、さらにはエネルギー安全保障、国防産業基盤の強化、核・宇宙・サイバー技術に対する対策を講じることとされている。

しかし、このような安全保障政策は、いわゆる高度な重要新興技術を取り巻く厳しい国際環境を踏まえ、技術協力、技術貿易、さらには先端分野における国際的な研究開発協力に対する国としての適切な対策を求めるところまでは包含していない。2022 年 8 月、インド政府のエレクトロニクス・情報技術省新興技術部が「重

[190] "Draft Policy to Catalyze Research & Development and Innovation in the Pharma - MedTech Sector in India", https://pharmaceuticals.gov.in/sites/default/files/Draft%20Policy.pdf (2022 年 9 月 23 日閲覧)

[191] "DoP releases draft policy to catalyse R&D and innovation in pharma-MedTech", Pharma.Biz, Gireesh Babu, New Delhi, Wednesday, October 27, 2021, http://pharmabiz.com/ArticleDetails.aspx?aid=143514&sid=1#:~:text=The%20draft%20policy%20aims%20to,stakeholders%20by%20November%206%2C%202021（2022 年 9 月 23 日閲覧）

[192] "Centre finalising policy to catalyse R&D and innovation in pharma and med-tech sectors", PharmaBiz. Com. February 8, 2023, この報道によれば、現在政府が最終的な政策の策定に向けた作業を進めているとみられる。http://www.pharmabiz.com/NewsDetails.aspx?aid=156229&sid=1

要な社会経済的インパクを有する先端技術の採択を進める」として、新興技術のリストを公表したが[193]、ここでは情報技術、AI、ロボティクス、IoT などが中心となっており、バイオテクノロジーを含む包括的な新興技術に関して国益を保護する方策とはなっていない。

ただし、インドは、QUAD の枠組みにおいて経済安全保障に関わる先端的な研究開発協力枠組みの構築に関しても高い関心をもって臨んでおり、とくにオーストラリアとの間では、量子研究に関するセンター・オブ・エクセレンスの協力枠組みを設立するなど具体面で突っ込んだ取り組みをしていることは注目に値する[194]。このような二国間、多国間協力においてインドがその経済安全保障政策を具体化していく姿勢および対策の内容が注目される。

2.3.3 ファンディング

科学技術イノベーションに対する資金支援の多くは、書誌データの解析結果を踏まえると DST や傘下の SERB、DSIR などの連邦政府や関連機関が主体であり、民間が負担する研究開発資金のトレンドをみても国全体の 3 割程度となっている[195]。民間の研究開発活動に対する意欲は、国全体としては大きく広がっている状況ではない。この他、一般的なファンディング機関としては、DSIR 傘下の科学産業研究員会（CSIR）、保健･家庭福祉省傘下のインド医学研究評議会（ICMR）、高等教育省傘下の大学助成委員会（UGC）、農業･農民福祉省傘下のインド農業研究会議（ICAR）、原子力エネルギー庁[196]傘下の核科学研究機構（BRNS）や国防省傘下の防衛研究開発機構（Defence Research and Development Organisation, DRDO）、DBT ／イギリス・ウェルカムトラスト財団アライアンス（India Alliance）[197]などがある。

また、政府は医薬品原料の国内製造を企業に奨励するための資金を提供している。2020 年 11 月にインド政府は、「Mission Covid Suraksha- インドの COVID-19 ワクチン」のために前記のとおり 90 億ルピー (約 160 億円) の第 3 次刺激策を割り当て、ワクチンの開発が加速された。2021 年 4 月には、プネに拠点を置く Gennova Biopharmaceuticals Ltd. が開発したインド初の mRNA ベースの COVID-19 ワクチン「HGCO19」の臨床試験に対する追加資金を DBT が提供した[198]。

政府はインドのバイオテクノロジー研究開発を促進するために、さまざまな計画やプログラムに資金を提供している。そのなかでも DBT が推進するバイオテクノロジーパーク 2316 件（2022 年）におよぶ進行中のプロジェクト、BIRAC が推進する 60 のバイオ・インキュベーション・センターが重要なコアとなっており、以下に具体的内容を紹介する。

なお、ファンディングにおける主たる制度における企業の応募資格は、当該企業の株式の 51％以上がインド国民によって保有されていること、インド国内に研究施設を有すること、DSIR 認証（DSIR の項を参照）

[193] Emerging Technologies Division Promoting the Adoption of Cutting-edge Technologies to create Significant Economic and Societal Impact、https://www.meity.gov.in/emerging-technologies-division

[194] Strengthening our technology partnership with India Statement 17 November 2021、https://www.foreignminister.gov.au/minister/marise-payne/media-release/strengthening-our-technology-partnership-india

[195] APRC-FY2021-RR-04「インドとの科学技術協力に向けた政策および研究開発動向調査」より。

[196] 原子力エネルギー庁傘下には、国立研究センターとしてタタ基礎研究所（TIFR）がある。生物学に関しては、ムンバイの生物学科（メインキャンパス）、バンガロールの国立生物科学センター、およびハイデラバードの TIFR 学際科学センターがある。

[197] 2008 年に発足した DBT とイギリスのウェルカムトラスト財団によって資金提供がなされる公共慈善団体。India Alliance：https://www.indiaalliance.org/

[198] DBT- S&T Interventions for COVID-19: https://dbtindia.gov.in/sites/default/files/DBT%27s%20Response%20to%20COVID-19_September%202021.pdf

を取得していること、商業化の可能性がある TRL レベル 7 であること、COVID-19 関係の場合は研究期間が 12 ヶ月以内であること、取得する知的財産権が当該企業の所有となることなどである。[199]

（1）国立バイオテクノロジーパーク・スキーム（DBT）

このスキームは、中央政府と州政府の両方が、バイオテクノロジーパーク、インキュベーター、および官民の協力によるパイロットプロジェクトを設立することにより、国内のバイオテクノロジー研究を活性化させるために取り組んでいる。このファンディングでは、パークにおけるバイオテクノロジー製品開発、企業化、研究イノベーションの促進を図るため、国として財政的支援を行い、商業化を目指す科学者および中小企業者に対して技術のインキュベーション、技術実証、パイロットプラントにおける研究の機会を提供している。その際、大学を中心としてパークが科学と産業をつなぐ効果的なコネクターとして活動し、さらには大学へ財政的に寄与することが期待されている。州政府設立のすべての研究所、その他の法人であれば、応募資格を有する。また既存のパークが支援を求める際は、高度な技術を要する雇用者数、製品数および申請特許数などを明確にして申請することができる。主なパークと活動内容を表 2-7 にまとめる。

財政的支援の目安は、パークの規模、参加企業数に基づき算定され、たとえば既存施設の場合、借料の 50％もしくは 1 フィート当たり 75 ルピー（約 133 円）以下か、いずれか低額の方となる。新規施設の場合は、国による財政支援は、パーク当たり 3 億ルピー（約 5.34 億円）、あるいはプロジェクトコストの 75％（開発が後れている地域のパークは 90％）とされ（残る 25％はパーク設置に参加するパートナーが負担）、建設費、管理費、機械設備費などとなっている。また土地は地方政府が負担することとなっている。プロジェクトはモニタリング委員会の下に監督され、資金はフェーズ毎に評価して支出される。このほか詳細な基準がパークの選考にあたり適用される。

表 2-7　バイオテクノロジーパーク[200]

場所・名称	活動内容
バイオテック（Biotech Park、ウッタルプラデーシュ州ラクナウ）	最初のインキュベーターで、DST、DBT およびウッタルプラデーシュ州の共同創設である。パークには、18 の共通施設と 27 の計測施設があり、36 のスタートアップが集積し、近隣の CSIR や ICAR などの研究施設を活用し、農業産物、生物肥料、生物殺虫剤などの開発に注力するとともに、人材育成に貢献している。とくに組織培養によるバナナの疾病フリー品種の開発などが有名。
バイオテクノロジーインキュベーションセンター（Biotechnology Incubation Centre、テランガーナ州ハイデラバード）	CSIR インド化学技術研究所（CSIR-IICT）と DBT、州政府の協力により設立し、バイオ・インキュベーター・センター社 (SBTIC) が所有するパーク。フーリエ変換核磁気共鳴装置 FT-NMR (500Mz) や LC-Q-TOF/MS/MS などの先端機器を整備し、プロセス開発から医薬品の品質分析・性能評価を行う点に特徴がある。[201]

[199] DSIR R&D Funding Scheme, https://www.dsir.in/rdfunding.php（2022 年 9 月 24 日閲覧）

[200] Biotech Parks & Incubators, DBT: https://dbtindia.gov.in/schemes-programmes/translational-industrial-development-programmes/biotech-parks-incubators（2022 年 9 月 24 日閲覧）

[201] BTIC が設置されているハイデラバードのハイテクビジネス地区ゲノムバレーに Advanced Analytical and Characterization Facility (AACR) が設置され、先端分析・解析設備 (AACR) が整備されている :http://sbtic.org/AACR.html

場所・名称	活動内容
バイオテックパーク（Biotech Park (BTCIF)、タミルナードゥ州チェンナイ）	タミル・ナデュ産業開発公社（TIDCO）が州政府、DBT の支援を得て設立したパークで、MALDI TOF/TOF やクロマトグラフィー装置など一連の分析装置が整備されているとともに、5L ～ 100L の微生物培養装置などバイオテクノロジー関係の研究設備を整備している。[202]
女性のためのゴールデン・ジュビリー・バイオテック・パーク（The Golden Jubilee Biotech Park For Women、タミルナードゥ州チェンナイ）	女性のためのゴールデン・ジュビリー・バイオテック・パーク協会は、2001 年にライフサイエンス分野の女性起業家を奨励するというビジョンの下に、タミルナードゥ州政府と DBT の支援を得て設立されたパーク。設立以来、500 人の女性の起業家、技術者などを育成し、現在も 200 人近く在籍している。BIRAC 支援により、一般的な研究設備を備え、インキュベーション・センターとしても機能している。[203]
バイオテック・パーク・テクノロジーインキュベーション・センター（Biotech Park Technology Incubation Centre(GBPIC)、アッサム州グワーハーティ）	アッサム州は、生物多様性が豊富でありながらホットスポットエリアでもある。本センターは、2009 年に認可され、IIT グワーハーティとグワーハーティ大学近接に設立された。8 つのモジュール式ラボを収納しており、精密測定に関わる共通の測定施設を装備している。雇用促進や天然資源を活用した製品開発による州の経済活性化を目指している。[204]
バイオテクノロジーパーク（Biotechnology Park、カルナータカ州バンガロール）	カルナータカ・バイオテクノロジー情報技術サービス（KBITS）、州政府、DBT などの貢献によって 2005 年に認可され、バイオテクノロジーのスタートアップに必要なイノベーションセンターとして各種計測機器、哺乳類・植物の組織培養設備、動物舎などを完備している。[205]
クリブス･バイオネスト（Kribs Bionest、ケララ州コチ）	ケララバイオテクノロジーパーク内に設立。以前は KINFRA Biotech Park と呼ばれていた。ラジブ・ガンディー生物工学センター (RGCB) とケララ・スタートアップ・ミッション（KUSUM) が施設を管理する。次世代シーケンサーやセルソータなどの細胞生物学やゲノミクス研究設備に加え、in vivo イメージングシステムを備えた動物舎や 100L の培養タンクなどの設備が充実している。28 のスタートアップが入居中（他 2 企業がバーチャル参加）、5 企業が卒業。[206]

（2）BIRAC によるファンディング

DBT によって設立された非営利企業である BIRAC は、主に中小企業を対象として産学イノベーション研究におけるギャップを埋め、最先端技術による斬新で高品質、かつ安価な製品開発を促進するためのプログラムやプラットフォームの設立・運営に関連したプログラムを推進している。表 2-8 に学術研究に関連した主なプログラムをまとめる。

[202] TIDCO Centre for Life Sciences 説明資料：https://ticelbiopark.com/ticel-new/uploads/BTCIF%20Brochure-2020.pdf
[203] Bio-NEST 設備：https://www.biotechpark.co.in/bionest.htm
[204] GBPIC グワハティバイオテックパーク：https://gbp.assam.gov.in/portlet-innerpage/guwahati-biotech-park-incubation-centre
[205] バンガロールバイオテックパーク：https://dbtindia.gov.in/bangalore-biotech-park-karnataka
[206] RGCB BioNEST サイト：https://rgcb.res.in/BioNest/facilities.php

表 2-8　BIRAC の主なプログラム

プログラム	内容
Bio-NEST[207] （インキュベーション）	イノベーションエコシステムの促進に向け、起業家へのスペース提供、起業家交流、知的財産の運用支援などアカデミアによるスタートアップ設立支援を行う。これまでにデリー大学、ハイデラバード大学などの 63 の大学・研究機関を支援し、200 の製品創出と 250 の特許出願の実績を有する。
学術研究の企業化推進（PACE[208]）	国家の重要課題や社会課題の解決のため、概念実証 (PoC) 迄を支援する。①アカデミック・イノベーション・リサーチ (AIR) カテゴリでは、500 万ルピー（約 890 万円）を 1.5 年間支援する。基礎・探索研究や商業的価値が低い提案は対象外とし、申請者は PoC の元となる論文において筆頭著者である、ないし特許出願済みであることが前提となる。②受託研究スキーム (CRS) では、TRL-3 以上の提案を対象とし、アカデミアを申請者とするものの、産業界のパートナーの参加が必須となる。支援期間および助成金額の上限は設定されていない。
バイオテクノロジー・イグニション・グラントスキーム（BIG[209]） （アイデアから初期段階）	BIRAC の旗艦プログラム。スタートアップや起業家を対象に、構想から実証段階まで 500 万ルピー（約 890 万円）を 1.5 年間支援。1 月と 7 月の年 2 回の公募があり、採択後は DBT 支援の細胞分子プラットフォームセンター (C-CAMP) や DST 支援の KIIT- 技術ビジネス・インキュベータなど全国の 8 つのパートナー機関を通じて管理される。
バイオテクノロジー産業パートナーシップ計画（BIPP[210]）	先端分野に対する開発リスクの高い官民連携研究の支援。国家優先課題にしたがって、a) 薬物輸送・医薬品、b) ワクチン・臨床試験、c) バイオシミラー・幹細胞、d) デバイス・診断技術、e) 農業、f) 産業バイオテクノロジー、g) バイオインフォマティクスの分野を対象に年 3 回の公募を行う。2008 年の事業開始後、214 のプロジェクトを支援（2020 年度末時点）、52 の製品創出などの実績を有する。
アムリット・グランド・チャレンジ（AMRIT GRAND CHALLENGE[211]） （2022 年度新設）	学際的で質の高いハイリスク研究開発を支援する 2022 年発表の新規プログラム。スタートアップ、産業界、アカデミアや研究機関を対象とし、2 ～ 3 年間で 10 ～ 15 億ルピー（約 17.8 億円～ 26.7 億円）を助成予定。対象分野は、国家的優先事項に対処し、インドがバイオテクノロジー分野の世界的リーダーになるためとして、健康、農業バイオ、気候変動、合成生物学、持続可能な生物資源管理としている。

なお、BIRAC が推進する合成生物学関連の研究開発は、2020 年時点でバイオテクノロジー･イグニション･グラントスキーム（BIG）のなかで、以下の研究分野を主に対象として募集している。[212]

[207] Bio-NEST サイト：https://birac.nic.in/bionest.php

[208] PACE：https://birac.nic.in/desc_new.php?id=286

[209] BIG サイト：https://birac.nic.in/big.php

[210] BIPP サイト：https://birac.nic.in/desc_new.php?id=216

[211] 2022 年 8 月 22 日、科学技術省のシン大臣は、国家的優先事項に対処し、インドがバイオテクノロジー分野の世界的リーダーになるために、健康、農業バイオ、気候変動、合成生物学、持続可能な生物資源管理の分野を支援するため、アムリット・グランド・チャレンジ（AMRIT GRAND CHALLENGE）プログラムを創設すると発表。参考動画は https://www.indiascience.in/videos/amrit-grants-for-biotech-initiatives-e（2022 年 12 月 25 日閲覧）

[212] R&D Proposals 2020 in Synthetic Biology by BIRAC, India: https://researchersjob.com/rd-proposals-2020/（2022 年 9 月 24 日閲覧）

・ファインケミカル、特殊化学物質、ポリマー、生物潤滑油、炭化水素用の微生物および藻類における工学的またはゲノム工学的プロセス（Pathway engineering/genome engineering in microorganisms and algae）
・酵素システムの改良（Improved enzyme systems）
・合成遺伝子パーツおよび合成反応回路の開発（Development of synthetic genetic parts and synthetic circuits）

このファンディングは、個人ないしチームでの申請とし、企業やコンソーシアム、アカデミア、スタートアップを対象としたイノベーション研究であり、基礎研究は対象としない。支援額は、500 万ルピー（約 890 万円）を上限とし、研究期間は最大 1.5 年となっている。合成生物学関係の国内のプロジェクトを支援しており、サハ核物理研究所による CRISPR-Cas9 を用いたバイオブリックのライブラリー構築、中央食品技術研究所（CFTRI）による酵母によるアントシアニンの生産、IIT マドラス校によるヒアルロン酸の生産など 11 プロジェクトが採択されている。[213]

なお、2022 年 8 月 22 日の科学技術省のシン大臣の発表[214]によると、DBT-BIRAC では、スタートアップ、産業界、アカデミアや研究機関による対象分野として合成生物学を含んだ学際的で質の高いハイリスク研究開発を支援するために、アムリット・グランド・チャレンジ（AMRIT GRAND CHALLENGE）プログラムを創設し、2 ～ 3 年間で 10 ～ 15 億ルピー（約 17.8 億円～ 26.7 億円）の助成金を準備するとしている。既存のバイオテクノロジーパークなどに設置された先端研究機器などの設備をフル活用した研究開発の加速に期待が寄せられる。

2.3.4 主な研究機関および大学の研究開発動向

インドの合成生物学研究は、主に前述 2.3.3 で列挙した全国に点在するバイオテクノロジーパークや当該パークを伴走支援する周辺の歴史ある大学や研究機関がメインプレーヤーとなり、最先端の研究インフラを整備している。本項では、DBT 所管の研究機関を含め主な研究機関および大学を図 2-7 に示すとともに、上述のメインプレーヤーの中でも顕著な活動を行う機関を以下に紹介する。

（1）細胞分子プラットフォームセンター (C-CAMP)

2009 年設立の BIRAC の旗艦センターの 1 つである Center for Cellular and Molecular Platforms（C-CAMP）は、バイオスタートアップ用の国立インキュベーターとして、インドのシリコンバレーと言われ、イノベーションの中心地ともいわれるカルナカータ州バンガロールに設置されている。C-CAMP には、高分解能 3 次元 X 線顕微鏡、質量分析機や電子顕微鏡、組換えモデル生物など創薬支援研究やバイオテクノロジー研究に必要な基盤設備が整備されている。また、NCBS、inStem、タタ遺伝学研究所 (TIGS) とともにバンガロールライフサイエンスクラスター (BLiSC) の一つとして、330 以上のスタートアップへの資金提供により存在感を発揮している。スタートアップの最たる成功事例は、グラム陰性／陽性の薬剤耐性菌（Anti-microbial Resistance, AMR）にも作用可能な新規抗生物質の開発を行う 2014 年設立の Bugworks 社である。ELUDE™ プラットフォームによりファースト・イン・クラスの抗生物質を見出している。アメリカ・ボストン大学主導の新規抗菌薬開発の加

[213] BIRAC-BIG 合成生物学の採択プロジェクトリスト：https://birac.nic.in/projects_supported.php?scheme=16&iscomplete=5（2022 年 9 月 24 日閲覧）
[214] DST プレスリリース：https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1853621

速化を牽引するグローバルネットワーク CARB-X（Combating Antibiotic Resistant Bacteria Accelerator）[215]のグラントに 2017 年にアジアで初めて採択された。欧米、日本、オーストラリアにも進出している。

また、IT 大国と言われるインドの特長を生かすバイオインフォマティクスをベースとした Strand Life Sciences 社も、精密医療化の世界的な流れに乗ったグローバルな成功企業の一つとしてあげられる。

C-CAMP では、スイスの Swissnex など海外機関とのパートナーシップ締結による資金調達やインド政府、国内の大学、産業界との連携を活発化している。2022 年 11 月、アジェイ・クマール・スード (Ajay Kumar Sood) 首席科学顧問（元インド理科大学教授（Indian Institute of Science,IISc）が、当該エリアにバンガロール科学技術クラスター (BeST) を設立するとして発表した。本クラスターは、インド科学研究所 (IISc) や C-CAMP などの連携・調整によるもので、健康、精密農業、都市交通、モンスーンと気候変動、量子技術、ロボティクスなどの分野を対象とした研究開発の強化を目指している。

（2）ジャワハルラール・ネルー大学―インド・バイオファウンドリー拠点（Biofoundry India）

2.3.2 で記載の「フォーサイト・ペーパー」をとりまとめた大学であり、国際バイオファウンドリー連盟（Global Biofoundries Alliance, GBA）のインド唯一の加盟機関である。オープンプラットフォームとして、人材育成や分析支援を行うとしている。各種ライブイメージングが出来るレーザー顕微鏡やタンパク質 X 線結晶構造解析ようの設備など様々な先端計測分析機器が整備されている。共同代表は、ジャワハルラール・ネルー大学のビナイ・パンダ教授（Prof. Binay Panda）[216]と前出のパワン・クマール・ダール教授（Prof. Pawan Kumar Dhar）である。パンダ教授は、Genome Project-Write（GP-Write）と呼ばれる国際プロジェクトのインド窓口も務める。

[215] CARB-X https://carb-x.org/partners/global-accelerator-network/

[216] パンダ教授は、オックスフォード大学で博士号を取得し、アメリカ・スクリップス研究所等でポスドクを経験している。デンマーク技術大学 DTU や東京大学医科学研究所において客員研究員を経験した。Nature India 誌（2016 年）において、論文のオープンアクセス化やインドの臨床ビッグデータの活用について課題提起をしている。https://www.nature.com/articles/nindia.2016.71

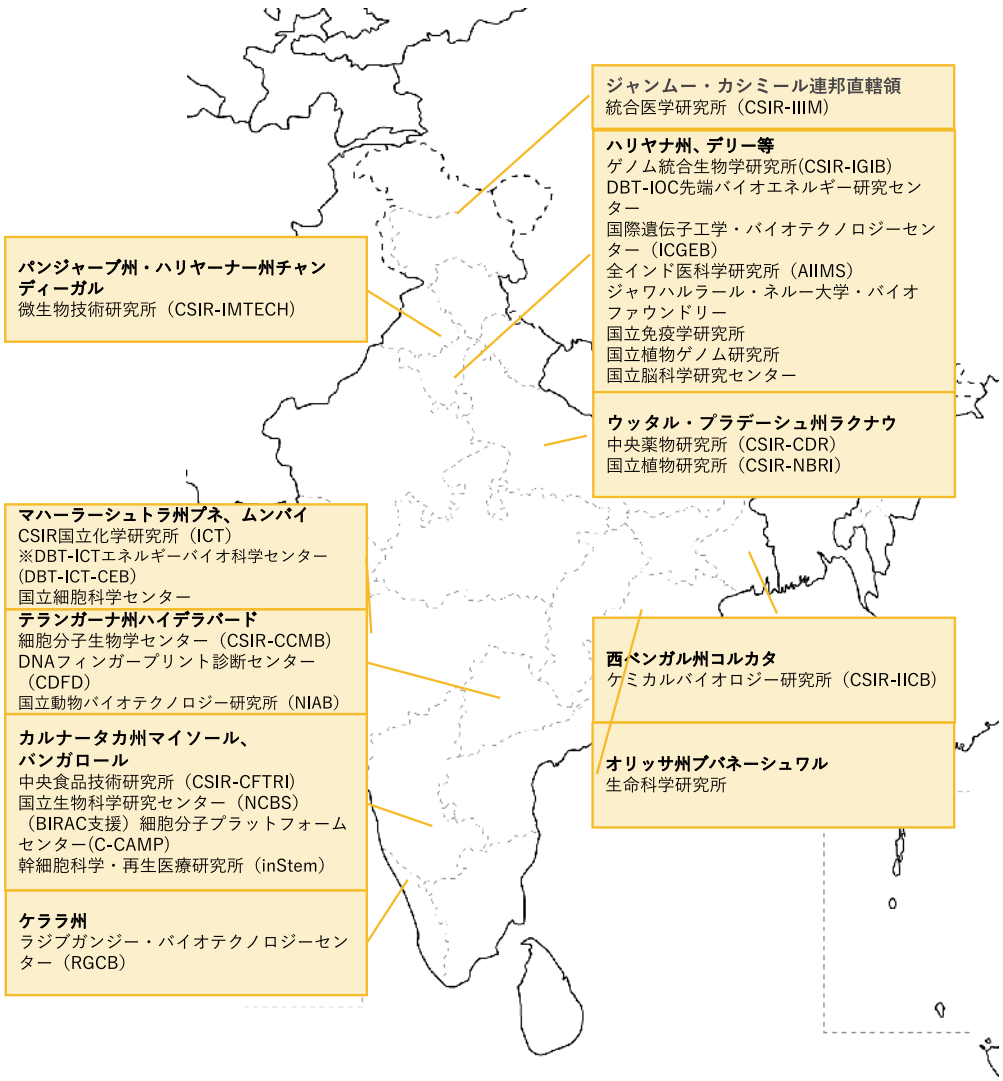


図 2-7　合成生物学に関連するインドの主要研究機関

上述の 2 機関に加えて、DBT 傘下の自律的研究機関（Autonomous Institutes）[217]をあげる。

・国立免疫学研究所、ニューデリー
・国立細胞科学センター（プネ大学キャンパス）、マハーラーシュトラ州
・国立脳科学研究センター、ハリヤナ州
・DNA フィンガープリント診断センター（CDFD）、ハイデラバード
・国立植物ゲノム研究所、ニューデリー
・生命科学研究所、オリッサ州ブバネーシュワル
・生物資源持続可能開発研究所 (IBSD)、マニプル州インパール
・ラジブ・ガンディーバイオテクノロジーセンター（RGCB）、ケララ州
・幹細胞科学・再生医療研究所（inStem）、バンガロール
・トランスレーショナル健康科学技術研究所、NCR バイオサイエンスクラスター・グルガオン
・国立動物バイオテクノロジー研究所（NIAB）、ハイデラバード

[217] DBT の傘下の自律的研究機関：https://dbtindia.gov.in/about-us/organization-structure/autonomous-institution

2.3.5 主要産業の動向

インドのバイオテクノロジー主要産業は、バイオ製薬、バイオ工業、バイオ農業およびバイオ IT そしてバイオサービス産業（製造･研究･治験の受託など）というカテゴリに分類されている。バイオテクノロジー関係の技能労働者は、100 万人以上に上ると予想される。各セグメントは、ワクチン 17.8%、バイオ IT/ 医療研究 15%、COVID バイオエコノミー 7.8%、診断 / 医療装置 25.6%、BT コットン[218] 14.4%、バイオ肥料 / バイオ殺虫剤 1.4%、酵素 3.7%、バイオ燃料 3.6%、生物学 / 治療学 10.7%となっており[219]、ワクチン[220]と診断 / 医療装置が牽引している。

とくにバイオ製薬の分野においては、世界的にもワクチン製造で主要な役割を果たし、三種混合ワクチン（DPT）、BCG、そしてバイオシミラー[221]などの供給量において主要な位置を占めている。インドは、FDA が承認する工場でアメリカ外に所在するものとしては、アメリカに次ぐ数の 665 の工場を稼働させており、WHO 要求に合致する製造工場は 1,400 以上にのぼり、また新規薬剤の申請としては世界の 44%を占めるまでになっている[222]。また、アメリカの SynBioBeta 社[223]によれば、インドに特徴的に多いベータサラセミアと鎌状赤血球貧血という遺伝性疾患の治療に向け、今後ゲノム編集技術を用いた効果的な治療法の開発に期待が寄せられている。

産業の成長要因は、国内的には政府のバイオテクノロジーに対するメイク･イン･インディア政策、スタートアップ・インディア政策であり、国外からはインドのワクチン[224]およびバイオ製薬に対する強力な需要である。これらに加え特に強調されるのは、2021 年末に発表された「製薬医療分野における研究開発イノベーション政策」のドラフト[225]、PLI[226]と呼ばれる産業育成策と臨床試験ルール[227]、製薬 / 医療機器産業への外国投資に対する支援、疫学的に特殊なインドの背景[228]などである。BIRAC が、バイオテクノロジー関係技術および製品に関わる構想から商業化までを戦略的に進める事業を強力に支援していることも極めて重要である。

[218] インドは世界最大の綿花生産国であり、2000 年代にモンサント社（当時）が発売し話題になった害虫抵抗性が高い Bt ワタ（殺虫剤の遺伝子を含む遺伝子組み換えワタ）を栽培している。

[219] “India's Biotechnology Sector: How India is Reinventing the Future”, Ajjay Kumar Guputa, NIIR PROJECT CONSULTATION SERVICE, April 19, 2022: https://www.linkedin.com/pulse/indias-biotechnology-sector-how-india-reinventing-future-gupta

[220] インドの Serum Institute とアメリカの Novavax が提携して COVID ワクチンを製造。世界初の DNA ワクチンは、アーメダバードをベースとする Zydus Cadila 社が開発。

[221] バイオシミラー市場は、年間 22%で成長し、2025 年までに 250 億ドルに達すると見込まれている。https://www.investindia.gov.in/sector/biotechnology（2022 年 9 月 22 日閲覧）

[222] Biotechnology industry in India , https://www.ibef.org/industry/biotechnology-india

[223] SynBioBeta 社は、アメリカ・カリフォルニア州を拠点とするメディア会社（ジョン・カンバーズ創業者兼 CEO）で、科学者、エンジニア、発明者、起業家、および投資家のための合成生物学に関連した情報提供や「グローバル合成生物学サミット」を主催する等の事業を行う。URL: https://www.synbiobeta.com/read/jugaad-epitomized-a-deep-dive-into-indias-synthetic-biology-scene

[224] インドは、世界 150 ヵ国へワクチンを輸出する（同上）。

[225] “Draft policy to catalyse R&D and innovation in pharma-MedTech sector” https://pharmaceuticals.gov.in/sites/default/files/Draft%20Policy.pdf（2022 年 9 月 22 日閲覧）

[226] PLI: An initiative started by the Government of India to not only encourage foreign companies to find workforce in the country and thereby generate employment, but also encourage domestic and local production to create micro jobs https://cleartax.in/g/terms/pli-scheme (2022 年 9 月 22 日閲覧)

[227] 2019 年の新しい薬品 / 臨床試験規則は、製薬市場にとってコスト低減、承認期間の短縮、手続の簡素化をもたらしたといわれ、臨床試験に適したところと受け止められている（同上）。

[228] インドにおける患者プールは人口増を背景として今後 10 年間 20%以上増加する見込みである。Indian Biotechnology Industry Analysis、https://www.ibef.org/industry/biotechnology-presentation（同上）

バイオテクノロジー産業で最大の規模である製薬産業は全体の 62％（2020 年）を占め、その規模は、2024 年には 650 億米ドル（約 8 兆 2,550 億円）、さらに 2030 年には 1200 から 1,300 億米ドル（約 16 兆 5100 億円）に達すると予想されている。[229] また製薬の輸出額は 230.4 億米ドル（約 2 兆 9,210 億円）であり、世界の製薬需要の 5.92％を占め、[230] インドの輸出額の第一位は製剤および生物製剤で 73.31％を占めている。[231]

合成生物学関連産業としては､2020 年のアジア･太平洋地域の合成生物学市場のうち､インドは 8.9% のシェアを占め､前出のオーストラリアの 15.3% には届いていない。同市場は､2021 年の 1.63 億米ドル（約 207 億円）から 2026 年には 5.67 億米ドル（約 720 億円）に達すると予測され､予測期間中の年間成長率は 28.3％となる。

ここでは製薬企業としてのインドで売上上位を占める 2 社および 2.3.4 でも紹介した研究開発活動において注目を集める 2 社を取り上げる。

（1）サン・ファーマ社（Sun Pharmaceutical Industries Limited）[232]

サン・ファーマは、1983 年に創業され、年間 51 億米ドル（約 6,273 億円）の売上を誇る世界第 4 位のジェネリック医薬品の製造会社である。40 以上の製造施設を抱え、高品質、低価格の医薬品を製造し、医療関係者からの信頼を集め、世界 100 ヵ国以上に供給している。研究開発に対する早期の投資を通じて技術の差別化を図り、ジェネリック開発の促進に必要な人材育成、製薬開発戦略チームの構築を通じて複雑な製品開発に取り組んでいる。

製品は慢性および急性の疾病の治療まで幅広い範囲を目標としたジェネリックと特殊医薬品であり、取引国の地域の需要にも敏感に応じる体制をとっている。医薬品開発における科学の重要性は同社の中心に据えられており、研究チームは、インド国内およびイスラエル、アメリカにある 6 つの研究センターをベースとする 2700 人を超える研究者から構成される。保有する特許は 1,400 を越える。

（2）オーロビンド・ファーマ社（Aurobindo Pharma Limited）[233]

オーロビンド・ファーマ社は、1992 年に創業を開始し、1995 年に上場した、インド市場で第 2 位の売上の製薬企業である。当初は半合成ペニシリンに特化した製薬企業であり、その後精神科、心臓血管系、抗レトロウイルス、糖尿病薬、胃腸、抗生物質などの治療薬で業績を上げていく。2020/21 年に 33 億米ドルの売上を記録し、世界 150 ヵ国へ輸出し、売上の 90％を輸出から得ている。

インドでは最大の研究施設を誇り、国内の 5 つの研究センターは合計で 16,000㎡の広さを持つ。またアメリカにも 3 つの研究開発センターがある。同社の科学者、分析者は 1,700 人以上に及んでいる。とくにハイデラバードの研究開発センターは、最新の機器を整備し、13,000㎡以上の敷地に 700 人を越える学際的な研究チームを抱え、創造的な環境を整備するとともに、また複雑な *in vitro* 解析やバイオ解析手法を用いて新薬開発チームを支援している。

[229] IBEF Posters on Indian economy and business：https://www.ibef.org/mediaevents/posters（2022 年 9 月 22 日閲覧）

[230] Pharmaceutical export from India: https://www.ibef.org/industry/biotechnology-india

[231] India Brand Equity Foundation、“Indian Biotechnology Industry Analysis” 2021, https://www.ibef.org/industry/biotechnology-india （2022 年 9 月 22 日閲覧）

[232] https://sunpharma.com/

[233] https://www.aurobindo.com/ より翻訳抜粋。

（3）ストランド・ライフサイエンス社（Strand Life Sciences）

ストランド・ライフサイエンス社は、2000年、India Institute of Scienceからスピンオフした最初に起業された会社である。ゲノミクスを基盤とした研究と診断にフォーカスした企業であり、ゲノムに含まれる遺伝情報の解読を開発につなげ、グローバルヘルスを向上させることを使命としている。

同社の強力なゲノミクス・ソリューションは、製薬会社やバイオテクノロジー企業の創薬研究を加速させることに貢献している。臨床データ、表現型データとともにゲノミクスデータにアクセスすることで、複雑な疾患に対する遺伝子レベル、分子レベルでの洞察を可能とし、パーソナル医療における研究を促進している。

ストランド・ライフサイエンス社とのパートナーシップは、大規模なゲノミクス研究を可能にしている。同社では何千人もの学者や医師と提携し、次世代ゲノミクスを応用して、がん、心血管・代謝疾患、眼・神経疾患などの疾患領域における貴重な知見を生み出している。

同社は、正確な診断と次世代シーケンサーを用いた遺伝子検査によって疾病の標的治療と予防医療を可能にしている。最新のテクノロジーと独自の解析・解釈プラットフォームにより、最適な治療や予防の選択肢について、迅速かつ信頼性の高いガイダンスを提供している。また同社は、CAP（アメリカ病理学会）およびNABL（アメリカ試験所認定協会）の認定を受けた検査施設であり、NGS検査においては、この2つの権威ある認定を受けたインドで最初の施設である。病理学者、科学者、エンジニアなど220名以上からなる学際的なチームが設けられており、科学者のうち約50％は世界有数の研究機関で博士号を取得した優秀な人材であり、また、国内有数の大学出身のエンジニアが、複雑な解析のための計算能力を提供している。20年近くにわたり、独自のプラットフォームであるRamanujanとAvadisをベースに、GeneSpring、Strand NGSなど堅牢で洗練されたバイオインフォマティクス･ソリューションの開発を行ってきた。同社は、インドのラボプロバイダーとしては最多となる3つのCAP認定中央ラボを有している。同社の検査は、がん、遺伝、不妊、母子の健康、感染症、アルゴリズムによるウェルネスなど、迅速なポイントオブケア検査から最も専門的な分子レベルの検査まで幅広く対応している。

（4）バグワークス社（Bugworks）[234]

バグワークス社は2014年に設立され、C-CAMPでインキュベートされてきた。コアとなる科学者チームは、200年以上の創薬経験を有しており、世界的に有名な複数のパートナーと提携し、画期的な広域スペクトルの活動を推進している。同社は、グローバルな課題の大きさと深刻さが、より大きなグローバルヘルスの問題と悪化する前に、この解決に取り組むことを目指した献身的かつ熟練した科学者の小グループとして出発した企業である。現在、アメリカに本社を置き、インドとオーストラリアに子会社を有している。長年にわたり、がん生物学と免疫学の領域で専門性を多様化させている同社は、感染症や癌などのクリティカルケアに必要な新しいクラスの広域抗菌剤と免疫療法を開発している。

最近認可された新規抗菌薬クラスは1987年に発見されているが、抗菌薬耐性（AMR）は、現代の大きな課題の一つであり、壊滅的かつ長期的な影響を及ぼすものである。同社は、新しい抗菌療法の研究開発に継続的に取り組んできており、患者および社会全体の両方が効果的なAMR対策から利益を得続けることができるよう活動をしている。また免疫療法を次のステージへ進化させることにも取り組んでいる。同社の研究プログラムは、アデノシンが免疫抑制および腫瘍促進環境を作り出すうえで極めて重要な役割を果たす、高濃度低酸素腫瘍に対する手頃で差別化された低分子治療薬の発見に重点を置いており、薬化学と腫瘍微小環境に関する深い理解が、免疫系に強力な抗がん反応を開始・維持するための「キックスタート」を与えるこ

[234] https://bugworksresearch.com/ より翻訳抜粋。

とによって、現在の免疫療法をより効果的にする可能性があるとされている。2021 年 4 月には、アメリカ国防脅威削減局（DTRA）から資金を得て、最も重要な細菌性生物脅威に対抗する、新規の広域スペクトル抗生物質 BWC0977 の開発を支援すると発表した。[235]

2.4 アメリカ（比較参考情報）

2.4.1 主要政策・重点課題

合成生物学の発展を可能にしたツールや技術の多くは、アメリカで開発されたものである。アメリカが現在もリーダーシップを発揮しているのは、バイオテクノロジーの研究開発に対する多額で継続的な支援と、量・質のいずれでもハイレベルなスタートアップが多く存在し、産学官連携によるイノベーションエコシステムが機能している点がその要因であるといえる。

2021 年 1 月 20 日、バイデン大統領は、大統領科学顧問でホワイトハウスの科学技術政策局（OSTP）局長（閣僚級ポスト）のエリック・ランダー博士（Dr. Eric S. Lander）宛の手紙で「人工知能から合成生物学まで、私たちの生活を一変させるような新しい技術が、ますます速いサイクルで登場しています。」として、中国との競争を念頭に、経済繁栄と国家安全保障に不可欠な未来の技術や産業において、どのようにして世界のリーダーとなることができるのかといった質問を投げかけた。[236]

近年のアメリカ大統領政権は、国家安全保障・防衛戦略の観点からバイオテクノロジーとその基盤となる研究開発の促進と規制にフォーカスしているものの、バイオテクノロジーに関する重要政策は表 2-9 のとおり PCR 法やゲノムシーケンサーの開発などバイオテクノロジーの黎明期ともいえる 1980 年代にさかのぼる。

表 2-9　近年のバイオテクノロジー関連政策の概要

政権	概要
レーガン政権	・1986 年、OSTP は、バイオテクノロジー製品の安全性を確保するための連邦政府による包括的な規制政策を記した「*バイオテクノロジー規制のための調整フレームワーク*」を発表。
オバマ政権	・「バイオテクノロジー規制のための調整フレームワーク」と付属ガイダンスの更新に注力。バイオテクノロジー規制に関する連邦機関の役割と責任を明確にした。 ・国家科学技術会議（NSTC）は、政権 2 期目（2013 ～ 2017 年）に、バイオセーフティ／バイオセキュリティやバイオサーベイランスなどを中心に、様々な観点でバイオテクノロジーを検討した報告書を多数公表[237] [238]。

[235] https://kyodonewsprwire.jp/release/202104264129　参照。

[236] ホワイトハウス，“A Letter to Dr. Eric S. Lander, the President’s Science Advisor and nominee as Director of the OSTP,” 15 日 1 月 2021 年：https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/01/20/a-letter-to-dr-eric-s-lander-the-presidents-science-advisor-and-nominee-as-direct

[237] アメリカ環境保護庁，“National Strategy for Modernizing the Regulatory System for Biotechnology Products,” 9 月 2016 年：https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-12/documents/biotech_national_strategy_final.pdf

[238] ホワイトハウス，“The Homeland Biodefense Science and Technology Capability Review (2016),” 12 月 2016 年：https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NSTC/biodefense_st_report_final.pdf

政権	概要
トランプ政権	・バイオエコノミーサミット[239,240]を主催し、産業界へのアウトリーチを実施すると共に農業用バイオテクノロジー製品の規制承認プロセス更新に注力。 ・2019 年 9 月、OSTP は「バイオエコノミーに関する情報要請（RFI）」を発行し、アメリカ政府がバイオエコノミーの促進をどのように支援できるかについて、コミュニティの意見照会を行い、合成生物学を含むバイオ分野への持続的かつ長期的な連邦政府の研究開発投資などのニーズが浮き彫りとなった[241,242]。 ・「未来の産業」[243]として AI、量子情報科学、5G/ 先進通信、先進製造と並び重視する新興技術領域の一つにバイオテクノロジーを挙げたものの、研究開発推進に関する主要な政策などの発行はなかった。 ・アメリカ商務省産業安全保障局 (BIS) では、輸出管理改革法 (ECRA) およびその下位規則であるアメリカ輸出管理規則において規制対象となる 14 の新興技術の例示としてバイオテクノロジー（ナノバイオロジー、合成生物学、遺伝子工学、神経工学）を挙げた。また、BIS は、生物・化学兵器の二重使用に焦点を当てた多国間輸出管理体制であるオーストラリア・グループへの参加に合わせて、輸出規制の目的でデュアルユース品目を特定するための商務省規制品リスト（CCL）で使用される輸出規制品目番号 (ECCN) へいくつかの項目追加を行った[244]。
バイデン政権	・バイオテクノロジーを連邦機関の研究開発優先分野として挙げ、COVID-19 と関連する脅威に対処するためのバイオメディカル技術の開発に重点を置く。 ・国家安全保障・防衛戦略の観点から、2021 年に公表された米中経済・安全保障調査委員会年次報告書では、中国が合成生物学などの新興技術への国家的な支援を強化している状況に鑑み、非ヒトゲノムデータの収集と保護などについて提言。

2.4.2 主な研究機関および大学の研究開発動向

アメリカは、ゲノム解読、ゲノム編集、ゲノム合成等のゲノムに係わる殆どの生命科学・生命工学の分野を牽引している。そのようなリーダー国であることから、産官学を問わず、合成生物学を含めたバイオテク

[239] ホワイトハウス , “SUMMARY OF THE 2019 WHITE HOUSE SUMMIT ON AMERICA’S BIOECONOMY,” 7 日 10 月 2019 年 : https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2019/10/Summary-of-White-House-Summit-on-Americas-Bioeconomy-October-2019.pdf

[240] George B. Frisvold. (2021) “Understanding the U.S. Bioeconomy: A New Definition”, *Sustainability*, 13, 1627

[241] Office of Science and Technology Policy (OSTP), “Request for Information on the Bioeconomy,” 9 2019: https://www.federalregister.gov/documents/2019/09/10/2019-19470/request-for-information-on-the-bioeconomy

[242] RFI 回答の例として、バイオテクノロジー業界を代表するアドボカシー団体 Biotechnology Innovation Organization (BIO) は、バイオテクノロジーの基礎研究に対する連邦政府の持続的な資金援助と、バイオサイエンスにおける強力な官民パートナーシップを求めています。また、バイオテクノロジー分野で「増加する高給科学職を活用できる」国内労働力を確保するために、強力な STEM 教育政策の必要性を強調。その他、微生物協会（ASB）、生化学・分子生物学協会（ASBMB）、大学協会等も回答。

[243] ホワイトハウス , “ADVANCING AMERICA’S GLOBAL LEADERSHIP IN SCIENCE & TECHNOLOGY -TRUMP ADMINISTRATION HIGHLIGHTS: 2017–2020,” 10 月 2020 年 . [オンライン]. Available: https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/10/Trump-Administration-ST-Highlights-2017-2020.pdf

[244] 例えば、2020 年 6 月に MERS コロナウイルスが生物兵器として使用される可能性を踏まえ ECCN 1C351-Human and Animal Pathogen and Toxins に追加するとともに、培養チャンバーを ECCN 2B352-Equipment Capable of Use in Handling Biological Materials のテクニカルノートに追加。2021 年 10 月には、デジタル配列データから機能的な遺伝要素を設計・構築できる核酸アセンブラ・合成ソフトウェアを追加（ECCN 2D352-「核酸アセンブラ / シンセサイザー用「ソフトウェア」」に分類）。

ノロジー研究開発に貢献する機関は枚挙にいとまが無い。以下に、基礎研究から応用研究、そして安全保障に関連した主な連邦政府機関のキープレーヤーを列挙する。

表 2-10　合成生物学を含むバイオテクノロジー研究を推進する主な連邦政府機関

政府機関	下部組織	主な責任と活動概要
農務省（USDA）	国立食品農業研究所（NIFA）	NIFA は、動物、植物、微生物、昆虫のバイオテクノロジー分野の研究開発を行うために、学術界や民間企業に連邦政府の資金を提供。
	農業研究サービス (ARS)	ARS は、農務省の主要研究機関であり、研究の多くは動物バイオサイエンス・バイオテクノロジー研究所（ABBL）で実施。
国防総省（DOD）	国防総省高等研究計画局 (DARPA)	DARPA の生物技術局（BTO）は、バイオマニュファクチャリングや合成生物学などの分野で、生物科学を活用した軍事的利益を高めるための取組みを実施。
	アーミー・リサーチ・ラボ（ARL）	ARL は、テキサス大学、UCSB-Institute for Collaborative Biotechnologies (ICB) などの大学やロッキードマーティン社などの企業と提携し、TRANSFORME（Transformational Synbio for Military Environments）プログラムを通じて、カスタムメイドの材料製造など合成生物学を活用した陸軍での運用改善を目指す。
	ネイバル・リサーチ・ラボ（NRL）	NRL はバイオ / 分子科学・工学センターを擁し、合成生物学―界面活性剤などさまざまなバイオテクノロジーの研究開発プロジェクトを実施。
	アメリカ製造業協会	DOD がスポンサーの 2 つのものづくり機関―BioFabUSA と BioIndustrial Manufacturing and Design Ecosystem (BioMADE) は、DOD 関連のバイオテクノロジー研究開発を支援。
エネルギー省（DOE）	科学局 (DOE SC) 生物・環境研究 (BER)	DOE SC の BER プログラムでは、量子技術を用いた微生物間相互作用のための新規バイオイメージング技術の開発や、植物・微生物の合成生物学的アプローチの研究に多くの資金を提供している。BER は、国立研究所と連携してゲノム科学とバイオエネルギー科学を推進しており、4 つのバイオエネルギー研究センター（BRC）[245] への資金提供も行う。 2022 年 2 月、DOE バイオエネルギー共同研究所 (Joint BioEnergy Institute JBEI) の飼料原料部牧草遺伝学部長で環境ゲノミクス・システムバイオロジー部門（EGSB）の生物学者であるパメラ･ロナルド博士（Dr. Pamela Ronald）が、イネの耐病性と環境ストレス耐性に関する研究でウルフ賞（農業分野）を受賞。
	ナショナル・バーチャル・バイオテクノロジー･ラボ（NVBL）	NVBL は、COVID-19 に対応したバイオテクノロジーの研究開発を行う DOE 国立研究所のコンソーシアム。

[245] DOE バイオエネルギー研究センター（BRC）：①ウィスコンシン大学マディソン校とミシガン州立大学が連携して主導する五大湖バイオエネルギー研究センター（Great Lakes Bioenergy Research Center: GLBRC）で、リグノセルロースからのバイオ燃料やバイオ製品の製造等に取り組む、②オークリッジ国立研究所が主導するバイオエネルギー・イノベーションセンター（Center for Bioenergy Innovation: CBI）で植物科学・ゲノム工学研究、バイオプロセスの改良やリグニン残渣を元にしたバイオ製品の開発など、バイオエコノミー社会の実現に向けた取り組みを行う、③ローレンス・バークレー国立研究所が主導する共同バイオエネルギー研究所（Joint BioEnergy Institute: JBEI）は、バイオエネルギー用作物改良、バイオマスの糖化プロセス開発、産業利用に向けた微生物の改良等の研究を行う、④イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校が主導する先端バイオエネルギー・バイオ製品イノベーションセンター（Center for Advanced Bioenergy and Bioproducts Innovation: CABBI）はススキ、ソルガム、サトウキビなどの飼料・エネルギー用作物の改良等に取り組み多くの圃場を有する。2017 年 7 月に、DOE が BRC として指定した。

政府機関	下部組織	主な責任と活動概要
保健福祉省（HHS）―国立衛生研究所（NIH）	医用画像・生体工学研究所（NIBIB）	NIBIB の研究者は、外部の研究者が合成生物学などの研究を行うためのバイオメディカル分野における研究開発助成金（Synthetic Biology Consortium）を提供。また、2021 年にはキーストーン・シンポジウム[246]で「合成生物学―遺伝子工学とヒトの治療法の岐路に立つ」のテーマで会議支援。
	国立ヒトゲノム研究機関（NHGRI）	NHGRI は、新規核酸合成技術開発、ヒトゲノム・プロジェクトのフォローアップ研究を含む NIH のゲノム研究をリード。分析・可視化・情報学実験空間 (AnVIL) プログラム[247]では、ブロード研究所、UC サンタクルーズ校をはじめとする多数の研究機関や大学と共同開発したクラウドベースのゲノムデータ共有・解析プラットフォームを運用している。
アメリカ科学財団 (NSF)	バイオサイエンス・オフィス（BIO）	BIO は、生物学の研究開発プロジェクトに資金を提供する主要なオフィスで、様々な合成生物学のプロジェクトを支援。

上記表のうち、注目すべき研究開発プログラムの詳細は以下のとおりであり、長期的戦略に基づいて支援がなされている。

（1）DARPA 生物技術局（BTO）

DARPA-BTO は、アメリカの軍事的利益のために生物科学を活用する DARPA の取り組みを主導している。近年の BTO プログラムの「Syn-Bio」タグのトピックには次のようなものがある。[248]

・B-SURE (Biomanufacturing: Survival, Utility, and Reliability beyond Earth)：
「バイオ製造：地球外での生存・実用・信頼性（BSURE）」プログラムは、パートナーと協力して、宇宙でのバイオ製造活動の可能性を研究するプログラム。2021 年の募集（募集番号：HR001122S0010）では、宇宙での代替原料の微生物利用、変動重力下での微生物増殖の最適化、および微生物の増殖と生物生産に対する銀河宇宙放射線の特定影響の緩和策に関するデータ収集といったプロジェクト概要となる。

・Bio-INC (Bio-Inorganic Nanoparticle Control):
「バイオ無機ナノ粒子制御（Bio-INC）」プログラムでは、微生物や生体分子を用いて、調整可能な希土類元素（REE）含有の光学および磁気無機ナノ粒子を合成する研究を実施（募集番号：HR001121S0025、バイオテクノロジーのカテゴリでの募集）。

・Living Foundries:
基本的な生物学的代謝プロセスをプログラムし、工業用化学物質、燃料、コーティング、接着剤など、防衛関連の幅広いアプリケーションにまたがる 1000 個の分子と材料の前駆体を製造することを目的として 2010 年に開始した Living Foundries プログラムで開発した合成バイオマニュファクチャリング技術について、開始から 10 年が経過した 2021 年 12 月に、1630 個以上の分子製造に成功するとともに、それらの技術

[246] キーストーン・シンポジウム：分子細胞生物学の研究者のためのシンポジウムで、毎年、北米で開催。各分野で著名な研究者がプログラム企画し、最も旬な研究を行う研究者が招待される。
[247] NHGRI , “Analysis Visualization and Informatics Lab-space,”: https://anvilproject.org/（2022 年 2 月閲覧）
[248] DARPA, “Biological Technologies Office (BTO),”：https://www.darpa.mil/about-us/offices/bto#OfficeProgramsList（2022 年 2 月閲覧）

を陸海空軍の5研究所に技術移転することに成功したとの発表があった[249]。約1630個の分子のなかには、先端ポリマー開発などで興味深い分子特性を有する化合物があり、装甲車などの車両構造用途の耐久性接着剤、航空機やミサイル用途の高性能複合材料に使用できる可能性があるとする。以下は、本プログラムにおける開発事例の一部となる。

・ベン・ハーベー博士（Dr. Ben Harvey）が率いる海軍航空戦センター兵器部（NAWCWD）のチームは、Amyris社およびZymergen社と共同で、さまざまな軍事用途に有用な高性能化学物質や材料を製造するツールや技術を開発。NAWCWDは、前駆体分子を高エネルギー密度燃料、エネルギー材料、耐熱性ポリマー、高性能複合材料に変換することに成功。これらの技術は、海軍研究局（ONR）生物工学・生物製造プログラム、ONR先端エネルギー製造パイプライン、ライト兄弟研究所／空軍研究所（AFRL）合成生物学チャレンジ、バイオインダストリアル製造・設計エコシステム(BioMADE) を通じてさらなる開発予定。

・グレッグ・ピターソン博士（Dr. Greg Peterson）、ジャレド・デコステ博士（Dr. Jared DeCoste）、ヴィピン・ラストギ博士（Dr. Vipin Rastogi）が率いる陸軍戦闘能力開発司令部化学生物学センター（DEVCOM CBC）のチームは、MITが提供する生物学的テンプレート材料を用いて化学・生物兵器剤に対抗するためのフィルター、布、除染ワイプを開発している。この技術は、国防脅威削減局の多機能材料プログラムの一環として、DEVCOM CBCでさらに試験・開発が行われる予定。

（2）アーミー・リサーチ・ラボラトリー（ARL）

陸軍最高の研究所であるARLでは、基盤プログラムの一つとして、多数の大学（テキサスA&M大学、MIT、タフツ大学など）や企業（Lockheed Martin社、Ginkgo Bioworks社など）と提携しTRANSFORME（軍事環境を変えるSynbio）プログラムを実施している。最近の成果としては、テキサス大学オースティン校による「スーパーチャージドタンパク質アセンブリ（SuPrA）」法による完全対称型のオリゴマー合成[250]や、MITのクリストファー・ヴォイト教授（Prof. Christopher Voigt）等のチームによる非培養環境下の細菌への効率的かつ誘導的なDNA導入ツールの開発[251]などが挙げられる。

（3）アメリカ製造業協会 (Manufacturing USA) BioFabUSA

2016年設立。ニューハンプシャー州の先端再生製造研究所(ARMI)が運営。連邦政府および民間から約3億ドルの資金提供を受け、細胞および組織培養をバイオファブリケーション、自動化、ロボット工学、および先端分析技術と統合し、破壊的なR&Dツールおよび製造プロセスを生み出している。

主なプロジェクトは以下のとおり。

・糖尿病治療に向けたβ細胞の自動製造を支援。若年性糖尿病研究財団から200万ドルの資金提供を受理。

・骨、靭帯、筋肉の自動製造プロジェクトでは、STEL Technologies社と協力し、組織製造（Tissue Foundry）の自動化プロセスを開発。

[249] DARPA, “OUTREACH@darpa.mil,” 8 12 2021: https://www.darpa.mil/news-events/2021-12-08

[250] AJ Simon et al. (2019) “Supercharging enables organized assembly of synthetic biomolecules,” *Nature Chemistry*

[251] JAN Brophy et al. (2018) “Engineered integrative and conjugative elements for efficient and inducible DNA transfer to undomesticated bacteria,” *Nature Microbiology*

（4）DOE エネルギー高等研究計画局（ARPA-E; Advanced Research Projects Agency-Energy: ARPA-E）

ARPA-E は、国防総省の DARPA をモデルに、エネルギー分野でのハイリスク・ハイリターン型のファンディングプログラム。合成生物学に関連した近年のプロジェクトは、「バイオエコノミー社会実現に向けたエネルギーと炭素最適化合成（ECOSynBio）」プログラムが挙げられる[252]。新しいバイオマス変換プラットフォームやシステム設計に向けて、高度な合成生物学ツールの利用を促進することを目的とし、① CO_2 排出を減らす炭素最適化発酵株、②異なるエネルギー源と炭素源を混合利用し、CO_2 の発生を抑える人工生物の開発、③バイオマス由来の糖・酸化炭素ガス発酵技術開発、④セルフリーの炭素最適化生体触媒によるバイオマス変換や CO_2 利用、⑤その他の技術といった 5 カテゴリで、企業や大学を主軸とした 17 のプロジェクトが 2021 年から推進中。

（5）アメリカ製造業協会 (Manufacturing USA) BioMADE

アメリカ製造業協会のなかで最も新しい機関。2020 年 10 月 20 日、DOD は BioMADE に 8700 万ドル、7 年間の発注を発表[253]。31 企業、57 大学、6 つの非営利団体などとコラボレーションして研究開発を加速する。BioMADE は、非営利団体の工学・生物研究コンソーシアム（EBRC）[254]からの参加メンバーが中心となり、ミネソタ大学が主催する。今後 7 年間で、BioMADE は、業界標準、ツールや計測技術の開発、レジリエントなバイオ産業製造エコシステムの育成、アメリカのバイオエコノミー推進に不可欠なサプライチェーンにおけるコア企業の育成などを行う予定。また、バイオセーフティや ELSI など社会課題への取り組みにも重点を置く。

2022 年 2 月時点で、毒素（その母体の微生物）除去を *in situ* で行うパイロット・スケールのプロトタイプ製造装置の開発（Amyris 社）や pH3.0 以下でのコハク酸の大規模発酵生産（イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校）など 10 のノベーションプロジェクトを実施しており[255]、今後も必要に応じてプロジェクト公募を行う予定。将来的には、化学薬品、溶剤、洗剤、プラスチック、布、農業原料、食品添加物などの新バイオ製品の産業レベルでの生産を目指す。

また、基礎から応用研究のキープレーヤーである大学について、合成生物学に関連した研究センターを有するといった観点から表 2-11 に主要大学をまとめた。他にも、多くの合成生物学関連企業がある西海岸を中心としてバイオテクノロジーに特化した研究センターとして、スタンフォード大学（Bio-X）、カリフォルニア大学アーバイン校の複雑系生物システム研究センター (CCBS)、ペンシルバニア大学（細胞・発生生物学センター、メカノバイオロジー工学センター、コンピュータ生物・バイオインフォマティクス研究所、ナノ・バイオ融合センター）、ウィスコンシン大学マディソン校（バイオテクノロジーセンター）、パデュー大学（再生資源工学研究所（LORRE）、バイオテクノロジー革新・規制科学センター（BIRSC））などが挙げられる。

[252] DOE-APRA-E, “ECOSynBio,” : https://arpa-e.energy.gov/technologies/programs/ecosynbio

[253] DOD, “IMMEDIATE RELEASE DOD Approves $87 Million for Newest Bioindustrial Manufacturing Innovation Institute,” 20 10 2020.: https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2388087/dod-approves-87-million-for-newest-bioindustrial-manufacturing-innovation-insti/

[254] EBRC: NSF が 10 年間支援した合成生物・工学研究センター (SynBERC) プログラム参加メンバーが、産業界や海外メンバーなどより広範な合成生物学コミュニティの進化と成長のために設立。政策提言、研究倫理 ELSI（安全保障）、教育や今後 20 年間のマイクロバイオームや材料科学等の優先的な基礎研究分野に関する技術ロードマップを作成している。

[255] BioMADE, “Technology & Innovation Projects,” : https://www.biomade.org/projects.（2022 年 2 月閲覧）

なお、ニューヨーク市に本社を構えるコンサルティングファーム Future Today Institute（Amy Webb CEO）の 2022 年度版テクノロジートレンドレポート[256]によれば、機器開発、CRISPR 技術、医療や食品への展開などの観点から、合成生物学の新興プレーヤーとして注目を集める大学･研究者[257]としては、下表のブロード研究所の他、スタンフォード大学のドリュー・エンディ博士（Dr. Drew Endy）[258]、DOE ローレンス・バークレー国立研究所のジェイ・キースリング教授（Prof. Jay Keasling）が主催する研究室（カリフォルニア大学バークレイ校と兼務）とある。

表 2-11　合成生物学を含むバイオテクノロジー研究を推進する主な大学

大学	センター名	概要
ジョンズ･ホプキンス大学（JHU）	ナノバイオテクノロジー研究所	がん治療のための工学的アプローチ、幹細胞研究、早期診断ツール、ナノスケールのプロセスエンジニアリングなど。
	基礎生物医学研究所	バイオセンサーを用いた細胞や分子動態を研究する細胞動態センターや、正常な発達や病気のエピジェネティック要因の探索ツールを開発するエピジェネティクスセンターや代謝・肥満研究センターを有する。
ノースウェスタン大学	合成生物学センター	「無細胞系」「哺乳類系」「技術基盤（ハイスループット技術など）」「倫理・社会的影響」の 4 つのテーマで合成生物学の研究を行う。センターのアドバイザリー委員には、指向性進化法を開発しノーベル化学賞を受賞したフランシス･アーノルド教授（Prof. Frances Arnold）や MIT のジェームス・コリンズ教授（Prof. James J. Collins）等が在籍。
	Simpson Querrey バイオナノテクノロジー研究所	自己組織化材料と超分子化学の研究で著名なサミュエル・I・スタップ教授（Prof. Samuel I. Stupp）が所長を務め、再生医療、標的ナノ治療薬、生物模倣材料、電気活性型のバイオ材料などを研究。ペプチド合成装置が整備されている。

[256] The Future Today Institute. (2022) “Synthetic Biology, AgTech & Biotech”: https://futuretodayinstitute.com/mu_uploads/2022/03/FTI_Tech_Trends_2022_Book12.pdf

[257] 大学・研究者以外では、ERS Genomics 社、CRISPR Therapeutics 社、Caribou Bioscience 社、Editas Medicine 社、Bayer 社、Ginkgo Bioworks 社、Twist Bioscience 社、Benchling 社、GenScript 社、BGI グループ、Built with Biology(前 SynBioBeta)、J.C. ベンター研究所（JCVI）、Synthace 社、Codexis 社、Zymergen 社、Amyris 社、Viridos 社、シャーロックバイオサイエンス社といった欧米を中心としたユニコーンや大手企業等の名前が挙がっている。

[258] バイオブリックス財団（Biobricks Foundation）理事長で iGEM の共同創設者。バイオクリックス財団は、MIT から GinkgoBioworks 社に移籍した Tom Night 博士と Drew Endy 博士らを中心とした研究者等により設立され、規格化・標準化した遺伝子情報等の「部品」をライブラリー化し、自由に利用することを目指す。

大学	センター名	概要
ハーバード大学	ワイス・バイオインスパイアード工学研究所	生物学的な設計原理を踏まえて、健康、エネルギー、建築、ロボット、製造のための技術開発を目指す。強力ハイドロゲル粘着技術と柔らかいロボットグローブ技術を開発したメンバーが、2022 年度のハーバード・イノベーションチャレンジ学長賞を受賞。3D プリント技術で製造したセンサー付生体機能チップやマイクロサイズのロボット開発など応用志向の研究所。中国の節で触れたジョージ・チャーチ教授も所属する。
	ハーバード・チャン公衆衛生マイクロバイオームセンター（HCMPH）	マイクロバイオームの理解を深めるため、疫学、栄養学、がん生物学、免疫学などの基礎研究を行い、生活習慣病などの治療に結びつけることを目的とする。
マサチューセッツ工科大学（MIT）	ブロード研究所（MIT-ハーバード大学ブロード研究所）	前 OSTP 局長のエリック・ランダー教授（Prof. Eric Lander）、バクテリア用のプログラミング言語を考案するクリストファー・ヴォイト教授（Prof. Christopher Voigt）、CRISPR-Cas9 の哺乳類への応用で著名なフェン・チャン教授（Prof. Feng Zhang）、1 塩基修正による早老症の治療法開発などを目指すデービッド・リウ教授（Prof. David Liu）等合成生物学分野の著名人をそろえ、先端研究を進める。
	ホワイトヘッド研究所	癌、細胞力学、細胞の発生・再生、遺伝学・ゲノミクス、感染症、代謝、神経の発生、植物生物学、タンパク質の構造・機能などの基礎研究を行う。
	リンカーン研究所	ハサンコム空軍基地内にあるリンカーン研究所は、MIT と DOD が共同出資して設立した国家安全保障上のニーズに応える幅広い先端技術の研究開発を実施。バイオテクノロジーとヒューマンシステム部門では、災害対応能力の強化、気候変動の影響への対応、生物・化学的脅威への防御の強化、人工腸デバイスの構築（腸内細菌叢研究）などを通じた米軍人・軍属の健康とパフォーマンスの向上を目的とした研究開発を実施。
イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校	Roy J. Carver バイオテクノロジーセンター	ゲノミクス、プロテオミクス、メタボロミクス、バイオインフォマティクス、フローサイトメトリー、トランスレーショナル医学といった 6 カテゴリの研究をサポートする中核研究解析施設。
	計算生物工学・ゲノム医科学研究センター（CCBGM）	NSF 支援センター、データ解析、人工知能、機械学習、高性能計算を活用した医学研究を推進。IBM や Infosys 社などの企業やサンディア国立研究所と連携。

※上述の DOE 支援の CABBI は本表から除く

3　論文・特許分析

本章では、各章の分析につながる共通認識として、学術誌などの論文情報と公開特許情報からみたインド、オーストラリア、およびレファレンスとして日本、中国、アメリカの合成生物学の研究開発動向を概説する。各種論文を基に新興バイオテクノロジー分野および合成生物学関連キーワードを抽出し、自然言語処理を用いたテキスト解析技術を用い論文・特許情報の全体像を俯瞰する手法を採用した。

詳細は「アジア・太平洋主要国における新興バイオテクノロジー分野の論文・特許動向解析（APRC-FY2021-RR-05（参考資料））」の別報告書を参考とし、以下に概要をまとめた。

3.1　論文・特許データの母集団

合成生物学は学際融合分野であり、データを漏れなく収集する意図で、本分析では、2000 年からの分野動向を計量書誌学的に補足した先行論文や、アジア地域における合成生物学の動向をまとめた論文に記載されたキーワード、並びに JST 研究開発戦略センター（CRDS）の俯瞰報告書など[259]を参考に、技術のみならず、技術を活用した生産物なども対象とした広範囲な検索キーワード・検索式を設定し、まず「新興バイオテクノロジー分野」として捉え、次いで合成生物学に絞ってまとめた。

論文データの収集には、Clarivate 社が提供する学術文献データベース Web of Science を、特許データの収集には、LexisNexis 社が提供する世界最大級の特許データベース TotalPatentOne をそれぞれ使用した。最終母集団としては、世界全体像を把握するため、国・地域および言語を指定せず、論文・特許情報を収集した。

表 3-1　新興バイオテクノロジー分野としての検索対象範囲

項目	論文	特許
使用データベース	Clarivate 社 Web of Science	LexisNexis 社 TotalPatentOne
種別	Article OR Proceedings	Publication
抽出年	2010 年 -2020 年	

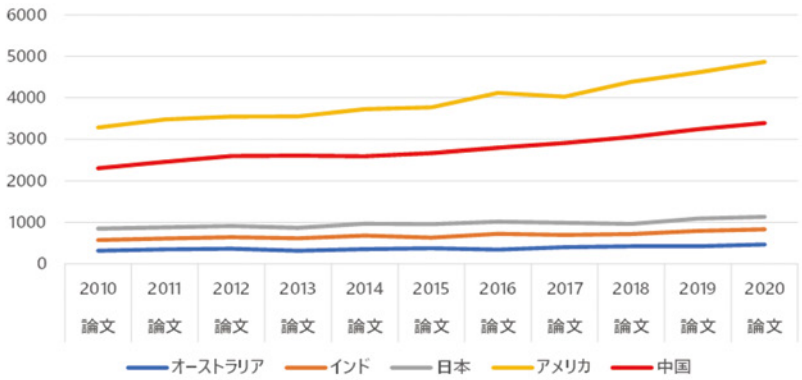
[259] Ning Mao et al. (2021) “Future trends in synthetic biology in Asia”, *Advanced Genetics*, https://doi.org/10.1002/ggn2.10038
P. Shapira, S. Kwon , J. Youtie. (2017) “Tracking the emergence of synthetic biology,” *Scientometrics*, 1439-1469
JST/CRDS 研究開発の俯瞰報告書　ライフサイエンス・臨床医学分野（2021 年）

<table>
<tr><td>検索式・キーワードの例</td><td colspan="4">「アジア・太平洋主要国における新興バイオテクノロジー分野の論文・特許動向解析（APRC-FY2021-RR-05（参考資料））」のとおり。参考として、以下に検索式の例として論文検索式を抜粋する。特許解析も以下と同義である。
<table>
<tr><th>検索式No.</th><th>検索式</th></tr>
<tr><td>1</td><td>TS=(("RNA" OR "mRNA" OR "tRNA" OR "tmRNA" OR "snRNA" OR "sirna" OR "rRNA" OR "ncRNA" OR "RNAi" OR "dsRNA" OR "protein*" OR "chromosome*" OR "gene* circuit*" OR "gene* network*" OR "*nucleotide*" OR "nucleic acid*" OR "DNA" OR "genome" OR "promoter*" OR "terminator*" OR "bio*brick*" OR "Bioprospecting" OR "broad-host range plasmids" OR "Cell-free system*" OR "Codon optimization" OR "CRISPR*" OR "*Cas9" OR "Directed evolution" OR "DNA assembly" OR "DNA data storage" OR "biomolecular engineering" OR "Antibody engineering" OR "engineering biolog*" OR "metabolic engineering" OR "microbiome engineering" OR "protein engineering" OR "Receptor engineering" OR "RNA engineering" OR "Genome engineering" OR "protein engineering" OR "gene drive" OR "chromosome" OR "mammalian gene*" OR "mammalian*cell*" OR "mammalian-cell*" OR "organelle*" OR "yeast") Near/10 (synthe* OR Biosynthe* OR cloning))</td></tr>
<tr><td>2</td><td>TS=(("Modelling" OR "machine learning") NEAR/10 ("bio*" OR "DNA" OR "RNA" OR "metabolic" OR "genome" OR "chromosome" OR "RNA" OR "protein"))</td></tr>
<tr><td>3</td><td>TS=("artificial cell*" OR "synthe* cell*" OR "xenovirology" OR "xenobiology" OR "synthetic gene*" OR "synthetic biolog*" OR "synbio*" OR "biosynthetic gene*" OR "biosynthe* cell*")</td></tr>
<tr><td>4</td><td>TS=((("gen*" AND "edit*") AND （"synthe*" OR "Biosynthe*" OR cloning)))</td></tr>
<tr><td>5</td><td>SO=("ACS SYNTHETIC BIOLOGY" OR "SYNTHETIC BIOLOGY" OR "SYNTHETIC AND SYSTEMS BIOTECHNOLOGY" OR "ARTIFICIAL CELLS NANOMEDICINE AND BIOTECHNOLOGY" OR "Biofabrication" OR "Bio-Design and Manufacturing")</td></tr>
<tr><td>6</td><td>PY = (2010-2020) AND (DT= (Article) OR DT=(Proceedings Paper))</td></tr>
<tr><td>対象特許</td><td>(#1　OR #2 OR #3 OR #4 OR 5) AND #6</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>1 次母集団</td><td colspan="2">15 万 3862 件</td><td colspan="2">7 万 1442 件</td></tr>
<tr><td>最終母集団（ノイズ削除後）</td><td colspan="2">14 万 6929 件</td><td colspan="2">5 万 7603 件</td></tr>
<tr><td>最終母集団における対象国の件数
(最終母集団に占める %)</td><td>オーストラリア
インド
日本
アメリカ
中国</td><td>4157(2.8%)
7545(5.1%)
10632(7.2%)
43374(29.5%)
30632(20.8%)</td><td>オーストラリア
インド
日本
アメリカ
中国</td><td>206(0.4%)
274(0.5%)
2760(4.8%)
14968(26.0%)
31500(54.7%)</td></tr>
</table>

検索の結果、各国が公開した論文件数と特許件数の推移をそれぞれ図 3-1、図 3-2 に示す。なお、論文は著者の所属機関の所在国、特許は優先権主張国をもとに国を分類している。

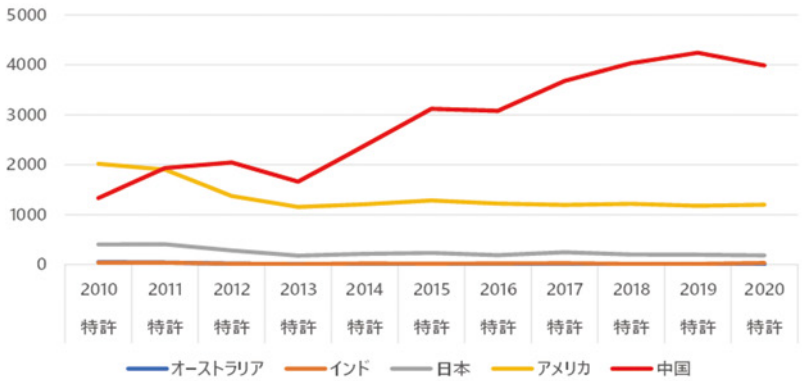
論文件数について、オーストラリアとインドはアメリカ・中国・日本 3 国には及ばないものの、近年もコンスタントに発表している。[2018 年から 2020 年の論文件数／全期間数] とした論文件数の直近比率は、それぞれ 30-32% で各国間に差はみられず、趨勢は同様な状況である。また、世界全体の論文件数としては、アメリカ、次いで中国となり、日本はドイツに次いで 4 番目に位置する。インドはイギリスに次いで 6 番目、オーストラリアは韓国、スペインに次ぐ 12 番目の論文発行数となった。

一方、特許件数については、オーストラリアとインドは、3 国と比較して圧倒的に少ない。また、オーストラリアは直近比率も低く､特許化の観点では他国に対して大きく後れをとっているのが現状である。また、中国の直近比率は他国と比較して高く、他技術分野と同様に、新興バイオテクノロジー分野でも積極的な特許出願の姿勢が明確である。



国	全件数 (2010-2020)	直近比率 (2018-2020 vs 2010-2020)
オーストラリア	4157	32%
インド	7545	31%
日本	10632	30%
アメリカ	43374	32%
中国	30632	32%

図 3-1　5 ヵ国の論文件数の年次推移ならびに直近比率



国	全件数 (2010-2020)	直近比率 (2018-2020 vs 2010-2020)
オーストラリア	206	16%
インド	274	24%
日本	2760	21%
アメリカ	14968	24%
中国	31500	39%

図 3-2　5 ヵ国の公開特許件数の年次推移ならびに直近比率

3.2　論文分析によるグローバルな研究・技術領域の同定

3.2.1 新興バイオテクノロジー分野

新興バイオテクノロジー分野の論文の最終母集団をトピックモデル[260]によって類似度を評価し、多様体学習[261]により二次元平面にマッピング[262]した。大域的な構造として、表 3-2 に示すとおり、特徴語や名称・要約・抄録などに基づいて「インフォマティクス」「病理」「感染症」「細胞関連」「タンパク質工学」「バイオセンサー」「代謝ネットワーク」「遺伝子機能解析」「遺伝子編集」の 9 の研究･技術区分（「その他」を除く）に大別し、類似度に基づいて 74 個の「個別領域（クラスター）」を特定した。

[260] トピックモデル（LDA：Latent Dirichlet Allocation）は確率モデルの一種で、文書中の「単語の出現する確率」を推定し、似た単語が出てくる文章を似たものとして評価する自然言語処理の基本的手法である。

[261] 多様体学習とは、多次元のデータからそれよりも低次元のデータを抽出する方法であり、例えば 3 次元データを 2 次元とすることで、計算量を落とすことができる。

[262] プロットの絶対的な位置には意味は無く、それぞれの相対的な位置関係のみが重要となる。

表 3-2　9 の研究・技術区分と含まれる 74 の個別領域

研究・技術区分	個別領域（クラスター）
インフォマティクス	機械学習、評価モデル、系統学的研究、信号検出・処理
病理	筋形成･機能、骨形成、生活習慣病、免疫異常･炎症、神経系疾患･認知機能、腫瘍、心臓関連疾患、miRNA と疾患、遺伝的要因、標的タンパク質、インターフェロン、胚細胞
感染症	HIV、HCV、デング熱ウイルス、インフルエンザなどのウイルス、ウイルス複製、結核菌、免疫応答
細胞関連	幹細胞調整、細胞培養・調整方法、細胞培養関連材料
タンパク質工学	融合タンパク質、組換タンパク質発現、無細胞タンパク質合成、蛍光プローブ、受容体リガンド結合性、ドメイン構造、翻訳開始因子、リボソーム生合成、機能性ペプチド（抗菌など）、抗原ペプチド、ワクチン
バイオセンサー	DNA 検出・構築、DNA メチル化・脱メチル化、金属イオン吸着、ナノ粒子
代謝ネットワーク	培養環境、生合成経路･制御、大腸菌･枯草菌、酵素活性最適化、テルペン生合成、二次代謝生合成遺伝子
遺伝子機能解析	遺伝子発現制御、配列決定、プラスミド・ベクター、アプタマー、分子マーカー、メタノール資化酵母、植物関連遺伝子、昆虫関連遺伝子
ゲノム編集・遺伝子改変	プライマー、核酸調整、染色体調整、CRISPR-Cas
その他	画像・音声など情報処理、飼料・環境影響、微生物多様性・環境浄化、ミトコンドリア機能、DNA 損傷・修復、DNA 複製、寄生虫、遺伝子相互作用・複合体、tRNA 合成酵素、天然由来抽出物、化合物合成･用途、プロ･プレバイオティクス、脂肪酸、抗体、漢方薬

図 3-3 は、世界の 2010 年から 2020 年までの論文情報の時系列変化を示したマップとなる。図中の点ひとつひとつは論文情報であり､類似度に基づいて赤い点線でクラスター（個別領域）を特定した。マップでは、各論文データの密集度の高低をヒートマップ化しており､密集度の高い（データが集積している）方から赤、黄色、緑、青、黒（データなし）となる。

2010 年から 2013 年までは幅広い分野に論文が分布しており、特に「微生物多様性・環境浄化」「筋形成・機能」「融合タンパク質」「酵素活性最適化」「遺伝子相互作用・複合体」「tRNA 合成酵素」個別領域で強い集積がみられた。2014 年から 2017 年の期間では、新たに「評価モデル」「信号検出・処理」「CRISPR-Cas」といった個別領域で強い集積がみられ､「インフォマティクス」区分ならびにゲノム編集のブレークスルー技術となった CRISPR-Cas への関心が大きく高まった期間であった。2018 年から 2020 年の期間では、新たに「機械学習」「二次代謝生合成遺伝子」個別領域で強い集積がみられた。「機械学習」ではオミクスデータを活用した機械学習･予測モデル､「二次代謝生合成遺伝子」では代謝工学や有用な二次代謝産物探索といった合成生物学に関連した論文がみられた。

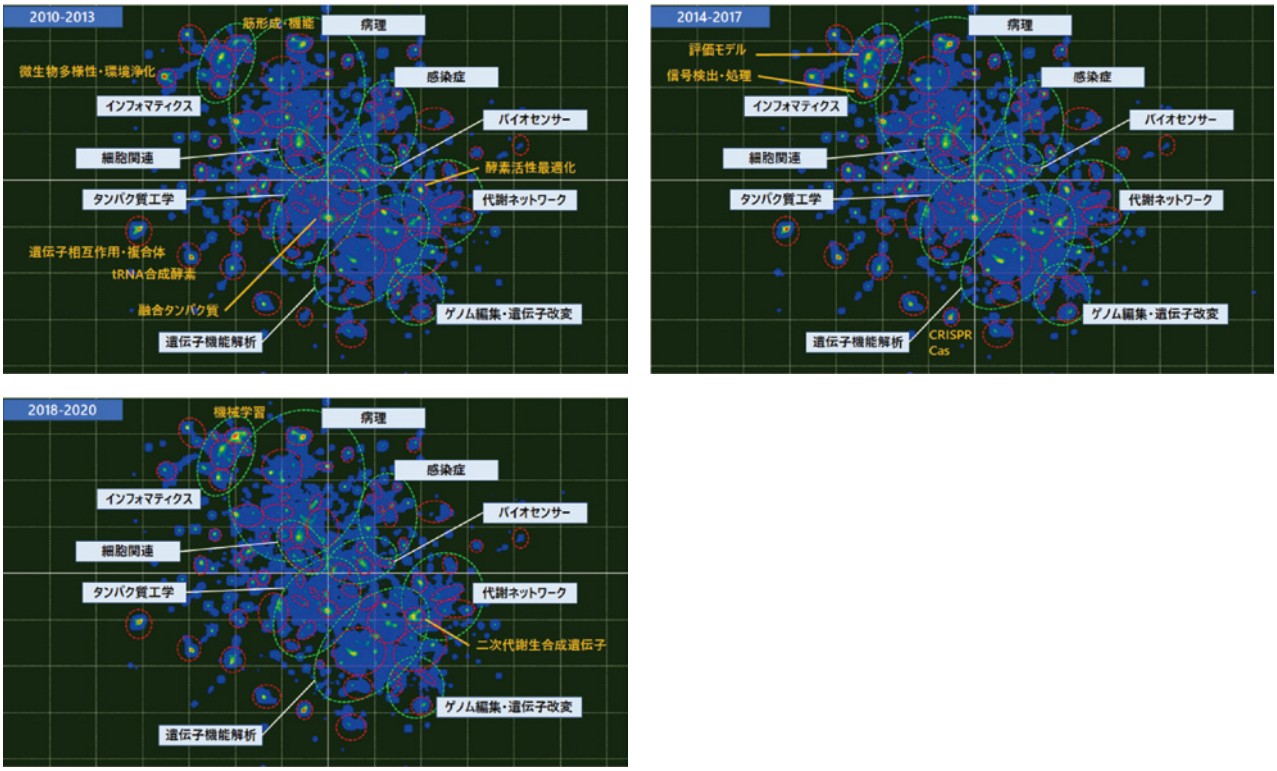


図 3-3　論文研究・技術マップの時系列変化

論文情報の時系列変化をより詳細に把握するため、各研究・技術区分毎の 2010 年から 2020 年までの件数と直近比率（2010 年から 2020 年までに公開された論文件数に対する、2018 年以降 2020 年までに公開された論文件数の割合。以降、直近比率と呼ぶ）を図 3-4 に示す。研究・技術区分で論文件数が最も多い区分は「病理」であり、次いで「遺伝子機能解析」「タンパク質工学」が多い。いずれも研究・技術マップ上での分布広がりが大きい区分であり、内容が異なる様々なテーマが多く含まれていると推察される。

一方、直近比率が最も大きい区分は「機械学習」区分に支えられる「インフォマティクス」であり、次いで「CRISPR-Cas」の技術進歩に牽引され、活発化が推察される「代謝ネットワーク」「ゲノム編集・遺伝子改変」が多い。「インフォマティクス」を除くと、区分間で直近比率に大きな差異はみられないものの、上述の論文件数が多い区分はいずれも直近比率が比較的低い。直近比率が高い 3 区分は、いずれも論文件数が少ないものの、今後件数が増加する可能性がある。

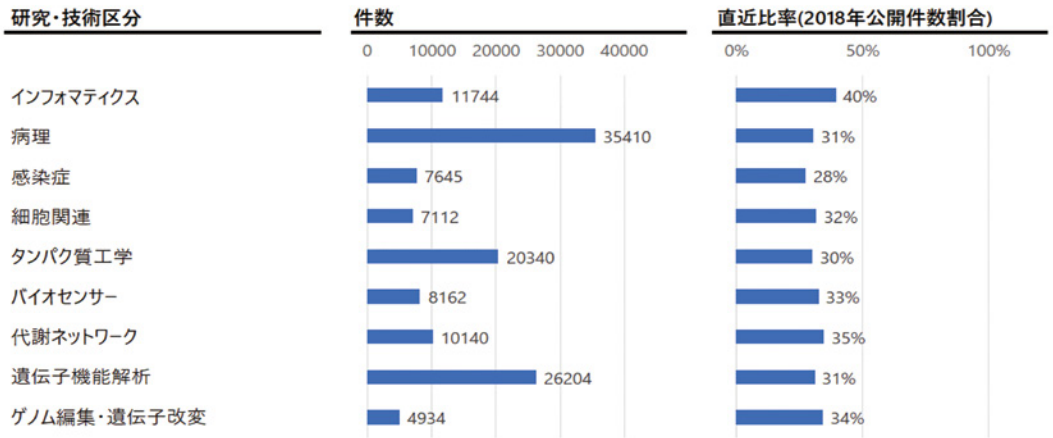


図 3-4　各研究・技術区分毎の論文の件数および直近比率

3.2.2 合成生物学分野

前節のデータ・解析を踏まえ、合成生物学により特化したキーワードを含む論文の時系列変化を分析した。図 3-5 には、2010 年から 2013 年まで、2014 年から 2017 年まで、2018 年から 2020 年までに公開された合成生物学に関連したキーワードを含む論文の推移を示した。

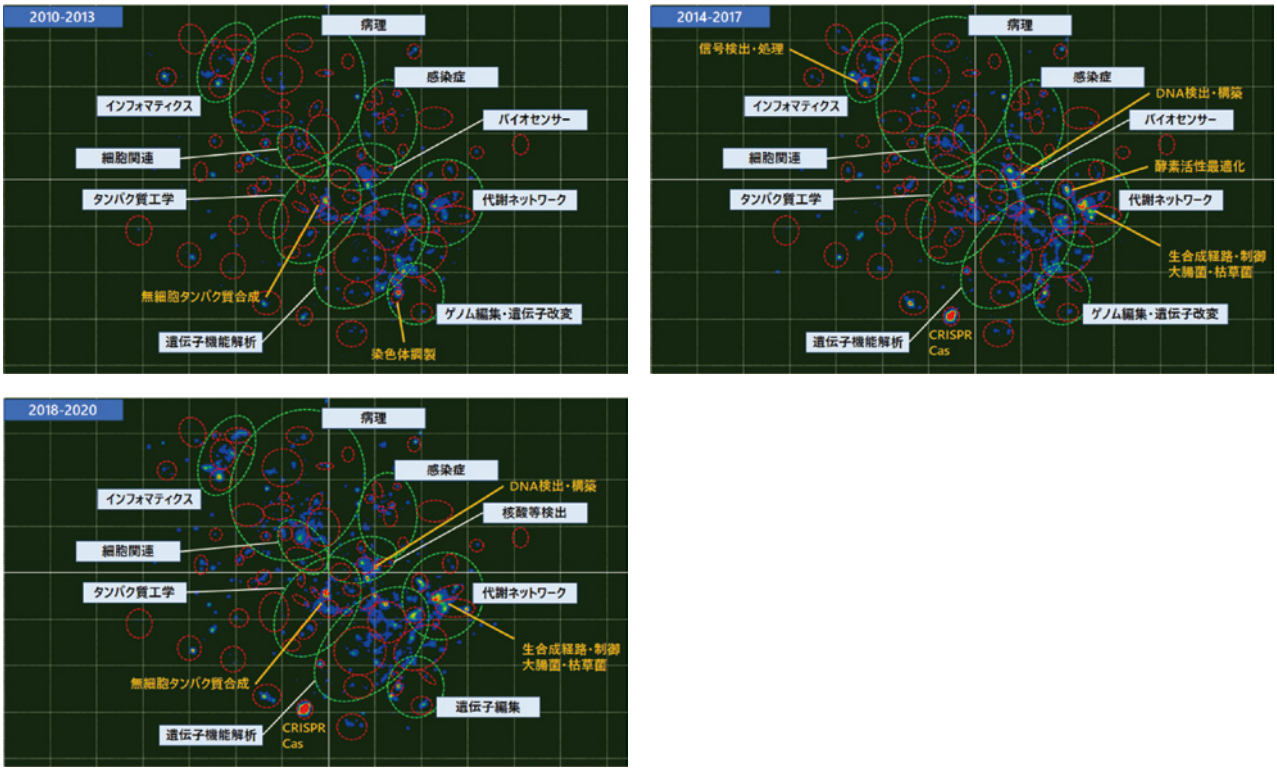


図 3-5　合成生物学に関連したキーワードを持つ論文分布の時系列変化

2010 年から 2013 年までの期間においては、論文が強く集積している領域は「無細胞タンパク質合成」「染色体調製」であり、その他の領域にはまばらに分布している。2014 年から 2017 年までの期間では、新たに「生合成経路・制御」「大腸菌・枯草菌」「酵素活性最適化」を中心とした「代謝ネットワーク」区分、「DNA 検出・構築」を中心とした「バイオセンサー」区分の他、「CRISPR-Cas」や「信号検出・処理」領域で強い集積がみられる。2018 年から 2020 年までの期間も強い集積が継続しており、特に「無細胞タンパク質合成」「生合成経路・制御」「大腸菌・枯草菌」「CRISPR-Cas」「DNA 検出・構築」領域で強い集積がみられ、当該領域に関連した合成生物学関連の研究・技術が継続している事が伺える。

図 3-6 に、合成生物学関連キーワードを含む論文件数ならびに直近比率を示す（ただし、論文件数が 20 件以上のものに限る）。DNA データストレージ、CRISPR-Cas、多重ゲノム編集など合成生物学関連キーワードを含む一部の論文は直近比率を踏まえると増加傾向にあり、特にデータ件数が少ないキーワードは今後の増加が期待される。

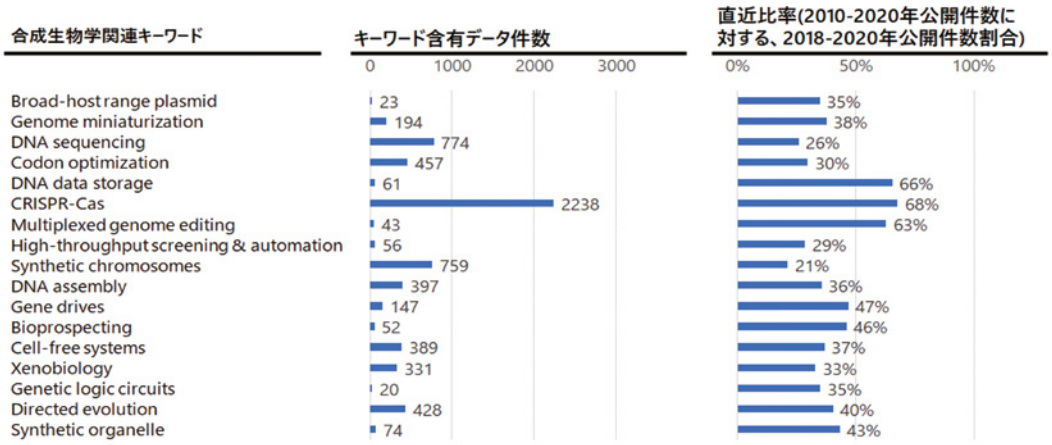


図 3-6　合成生物学に関連したキーワードを持つ論文の件数および直近比率

3.3　特許分析によるグローバルな研究・技術領域の同定

3.3.1 新興バイオテクノロジー分野

論文と同様な解析手法により、新興バイオテクノロジー分野における 2010 年から 2020 年までの研究・技術遷移とした特許の時系列変化を図 3-7 に示す。

2010 年から 2013 年までの期間において幅広い分野に特許が分布しているが、「ゲノム編集・遺伝子改変」区分に特徴的な強い集積がみられた。また、「プライマー」「核酸調製」といった「ゲノム編集･遺伝子改変」関連技術だけでなく、「抗体」といった新興バイオテクノロジーによる生産物関連特許の集積もみられた。

2014 年から 2017 年までの期間では、「ゲノム編集・遺伝子改変」区分の集積のほか、「代謝ネットワーク」「CRISPR-Cas」「大腸菌・枯草菌」「漢方薬」個別領域で新たな集積がみられる。「CRISPR-Cas」「大腸菌・枯草菌」領域ではゲノム編集技術に関する特許が多くみられた。2018 年から 2020 年までの期間は､「インフォマティクス」領域を除き、集積の分布は 2014 年から 2017 年の期間と同様な傾向にあり、全体として大きな差異はみられなかった。

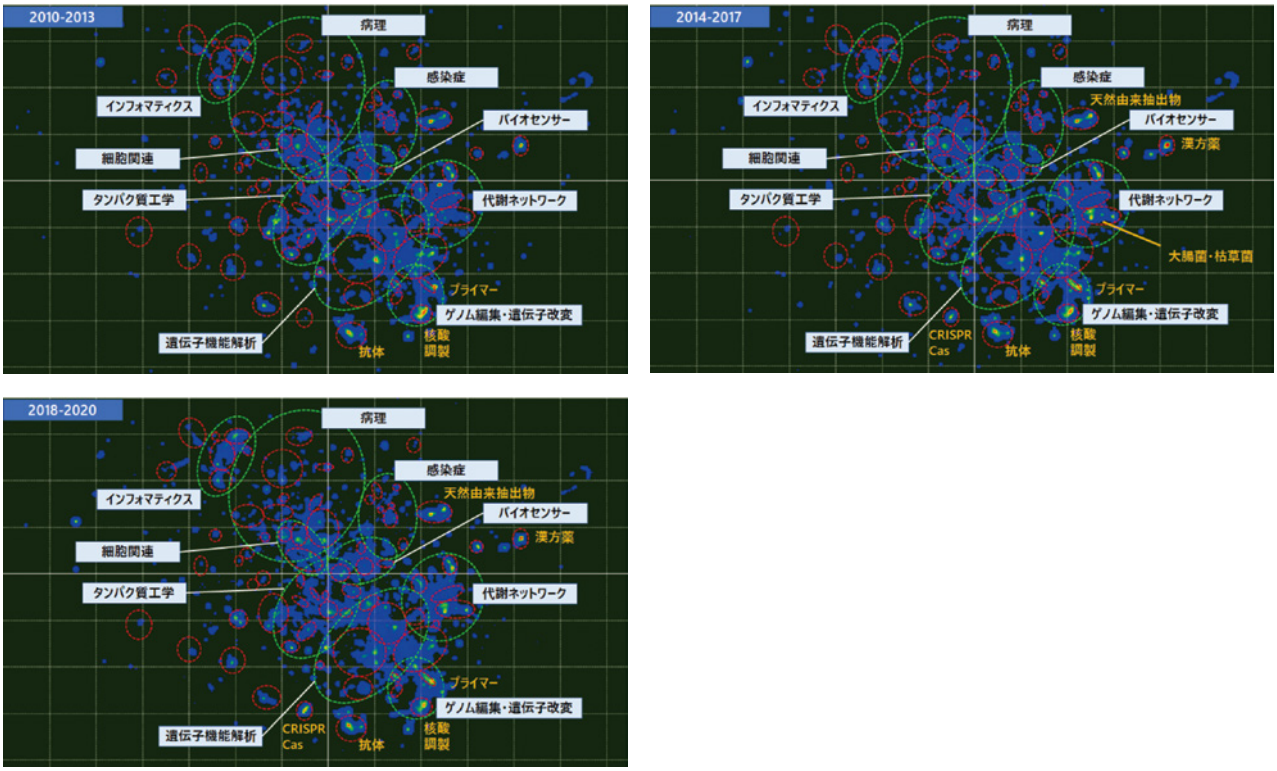


図 3-7　特許研究・技術マップの時系列変化

特許情報の時系列変化をより詳細に把握するため、各研究・技術区分毎の件数と直近比率を図 3-8 に示す。研究・技術区分で特許件数が最も多い区分は「遺伝子機能解析」であり、次いで「タンパク質工学」「ゲノム編集・遺伝子改変」が多い。いずれも研究・技術マップ上での分布広がりが大きい区分であり、内容が多少異なる様々なテーマが多く含まれていると考えられる。

一方、直近比率が最も大きい区分は論文同様に「インフォマティクス」であり、次いで「細胞関連」「病理」が大きい。「インフォマティクス」を支える技術領域は「機械学習」が主体であり、直近比率が高い一方で件数はまだ少ない。ハイスループット･自動化やシステムズバイオロジーの基盤となる「インフォマティクス」の実用化技術はまだ多くないものの、今後実用化が更に加速する区分と考えられる。一方で「細胞関連」「病理」は、「細胞培養材料･調製」技術や「miRNA と疾患」関連技術といった医療と関連のある研究･技術が多く、素材やセンシングに関連した技術が成長を牽引している可能性が示唆され、技術実用化が特に重要な区分と考えられる。

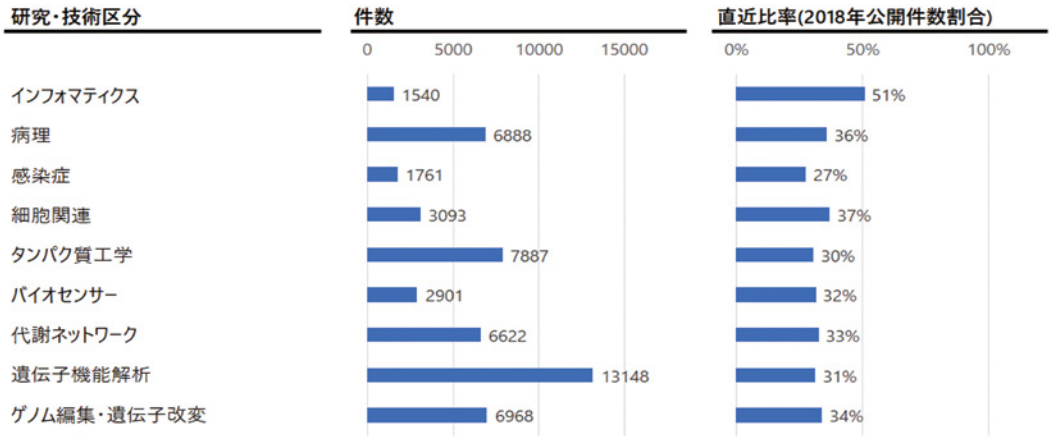


図 3-8　各研究・技術区分の特許件数ならびに直近比率

3.3.2 合成生物学分野

前述の論文分析と同様な流れで、新興バイオテクノロジー分野のうち、合成生物学に関連した特許（キーワードをタイトルあるいは要約に含む特許に限定）動向を分析した結果を図 3-9 に示す。

合成生物学に関連したキーワードを含む特許は、「遺伝子機能解析」区分とその周辺区分（「バイオセンサー」「代謝ネットワーク」「ゲノム編集・遺伝子改変（CRISPR-Cas）」に多く分布しているが、論文の場合と異なり、「インフォマティクス」「タンパク質工学」区分に分布は殆どみられない。合成生物学に関連したキーワードを含む特許として、「遺伝子機能解析」「代謝ネットワーク」区分では代謝工学やタンパク質工学に関連した特許が多く、「バイオセンサー」区分では DNA 配列決定といった、DNA 検出技術を応用した特許が多い点は論文と同様である。

2010 年から 2013 年においては、特許が強く集積している領域は「DNA 検出・構築」であり、その他の領域には殆ど分布していない。2014 年から 2017 年までの期間では、新たに「CRISPR-Cas」「大腸菌・枯草菌」で集積がみられ、2018 年から 2020 年までの期間も同様である。

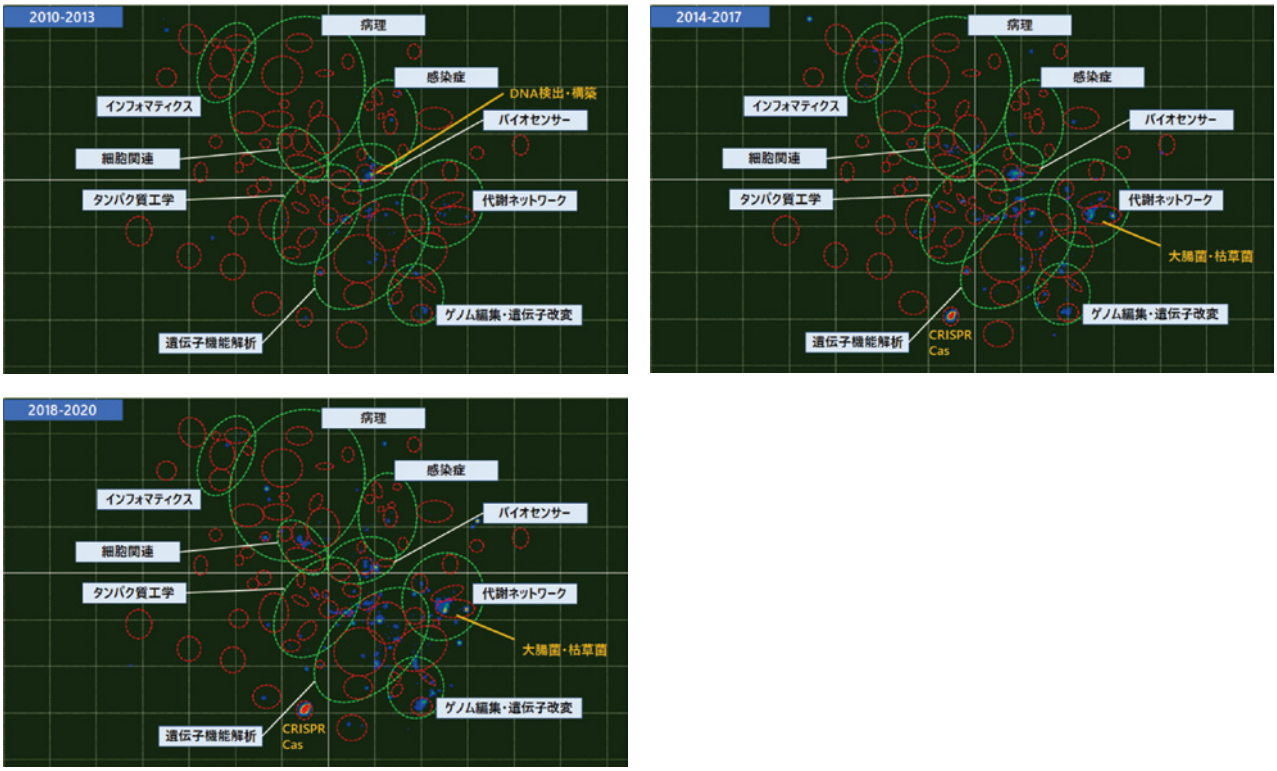


図 3-9　合成生物学に関連したキーワードを持つ特許分布の時系列変化

図 3-10 に各々の合成生物学関連キーワードを含む特許件数ならびに直近比率を示す。件数は少ないながらも DNA データストレージ、CRISPR-Cas や多重ゲノム編集など特許解析においても論文と同様なキーワードが増加傾向にあり、特許からみても合成生物学に関連した研究・技術が増加している事が想定される。

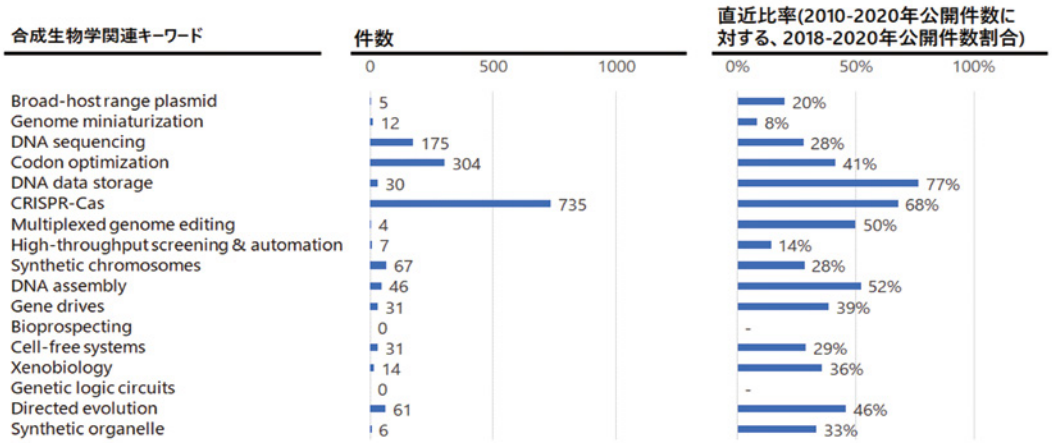


図 3-10　合成生物学に関連したキーワードを持つ特許の件数および直近比率

3.4 論文分析による各国の研究・技術領域の同定

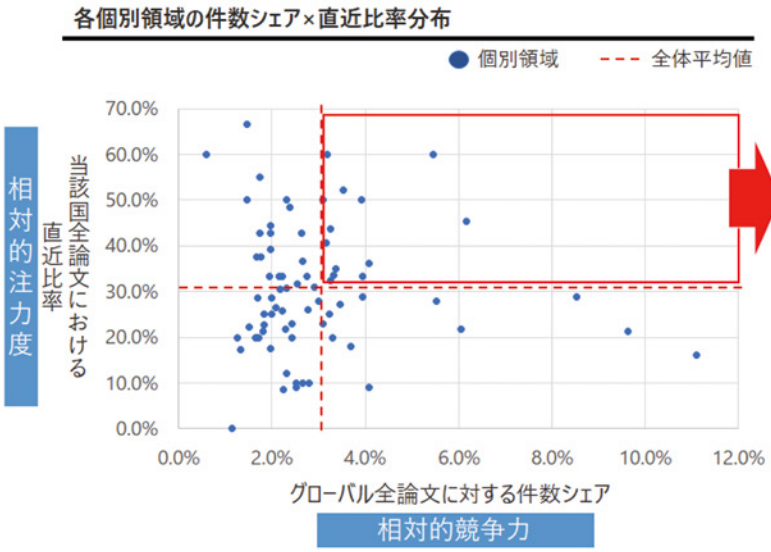
本節では、個別領域における各国の優位研究・技術分野や特長、ならびに主体となる研究機関を把握するため、2010 年から 2020 年までの各個別領域の論文件数（相対値）ならびに直近比率を整理した。[263]

3.4.1 オーストラリア

（1）論文から推定される相対優位研究・技術

図 3-11 の左側の散布図では、個別領域毎に、横軸にグローバル全体の論文件数に対するオーストラリア論文件数の割合､縦軸に直近比率をもとに個別領域をプロットした｡横軸はグローバルに対する論文件数シェアを示すことから相対的競争力の指標、縦軸は直近の論文件数の多さを示すことから相対的注力度の指標と設定した。相対的競争力と相対的注力度の双方で一定以上の評価となる個別領域を優位研究･技術分野とし、縦軸・横軸の値がオーストラリア全体の論文における平均値以上のエリア（散布図赤枠）に含まれる個別領域を抜粋、整理した。

「病理」「タンパク質工学」区分の個別領域の他、「代謝ネットワーク」「遺伝子機能解析」区分の植物生合成関係の個別領域が優位研究･技術分野と示唆された。また､合成生物学キーワードに特化した論文件数（相対値）では「ハイスループットスクリーニングと自動化」「遺伝子ドライブ」の割合が特に高く、遺伝子変異およびそのスクリーニングに関連したテーマの割合が高めである。一方で、直近比率では「バイオプロスペクティング」「指向性進化法」の割合が特に高く､「代謝ネットワーク」区分への論文件数が増加傾向にあることも考慮すると、ゲノム編集による代謝工学に関心が集まっている可能性が示唆された。



相対的競争力･注力度ともに平均以上個別領域（左散布図の赤枠内に含まれる個別領域）

大分類	個別領域	相対競争力	相対注力度
インフォマティクス	機械学習	3.5%	52.1%
病理	骨形成	3.3%	43.8%
病理	腫瘍	3.3%	32.3%
病理	患者遺伝的要因	5.5%	60.0%
細胞関連	幹細胞調製	3.2%	40.7%
タンパク質工学	融合タンパク質	3.3%	33.7%
タンパク質工学	機能性ペプチド(抗菌など)	4.1%	36.1%
タンパク質工学	抗原ペプチド	3.1%	50.0%
代謝ネットワーク	テルペン生合成	3.2%	60.0%
遺伝子機能解析	植物関連遺伝子	3.4%	35.0%
その他	飼料･環境への影響	3.9%	33.3%
その他	ミトコンドリア機能	6.2%	45.3%
その他	漢方薬	3.9%	50.0%

図 3-11　個別領域別の論文の件数（相対値）および直近比率から推定される相対優位研究・技術

[263] オーストラリアおよびインドともに全般的に特許件数が少ないことから、優位な技術領域を特定するのは困難として本節の分析対象から排除した。また、中国については、相対的優位研究・技術の詳細情報を割愛する。

（1）論文情報に基づく優位研究・技術を保有する主要機関

優位研究・技術において論文件数の多いオーストラリアの機関を表 3-3 に示す。主要機関の中でも、メルボルン大学、クイーンズランド大学、西オーストラリア大学および CSIRO については、合成生物学分野の論文件数が特に多く、2018 年以降の件数割合を踏まえるとニューサウスウェールズ大学も注目される。メルボルン大学では「インフォマティクス」区分や「ミトコンドリア機能」領域で論文が多く、クイーンズランド大学では、「細胞関連」区分や「融合タンパク質」領域に論文発表が多い。なお、表に記載がないものの、前章で触れたマッコーリ大学の COE（2020 年～）では、ワイン発酵槽の工学的制御に向けた合成生物学によるワイン酵母の群集制御や香り制御、ワイン酵母の共培養パートナーとする非 *Saccharomyces* 属の酵母（NSY）の機能解析などを精力的に進めており、今後の活動が注目される。

表 3-3　新興バイオテクノロジー・合成生物学分野における論文件数上位の主要機関

機関名	論文全体件数（合成生物学キーワードでの件数）	2018 年以降件数割合（合成生物学キーワードでの割合）
メルボルン大学	132 (26)	49% (50%)
クイーンズランド大学	112 (44)	41% (45%)
モナシュ大学	89 (11)	36% (45%)
西オーストラリア大学	88 (22)	42% (41%)
シドニー大学	87 (14)	36% (50%)
CSIRO	83 (34)	37% (50%)
ニューサウスウェールズ大学	55 (13)	49% (54%)
オーストラリア国立大学	41 (11)	39% (45%)

表 3-4 は、新興バイオテクノロジー分野での論文数が多いオーストラリア主要機関の所属研究者とアメリカ・中国・日本所在機関の所属研究者間での共著論文割合を整理したものである、日本は他 2 国と比較して共著論文割合が低い状況にある。特に、CSIRO（オーストラリア連邦科学産業研究機構）やオーストラリア国立大学については、中国との共著論文が特に多く注目すべき点である。

表 3-4　オーストラリア主要機関の海外共著状況

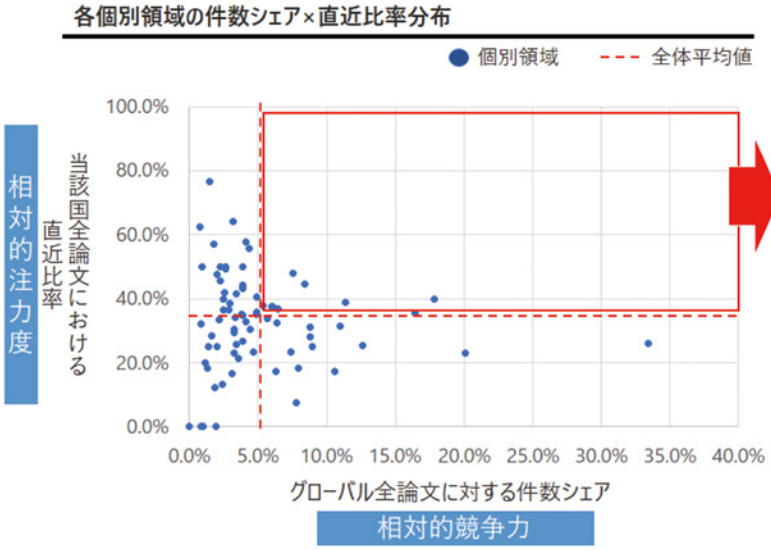
機関名	論文全体件数（2018 年以降の件数割合）	日米中との共著割合（2010-2020 年）		
		日本	アメリカ	中国
メルボルン大学	132 (49%)	5%	36%	8%
クイーンズランド大学	112 (41%)	4%	26%	13%
モナシュ大学	89 (36%)	8%	19%	13%
西オーストラリア大学	88 (42%)	2%	16%	11%
シドニー大学	87 (36%)	2%	25%	8%
CSIRO	83 (37%)	2%	6%	16%
ニューサウスウェールズ大学	55 (49%)	2%	27%	9%
オーストラリア国立大学	41 (39%)	7%	29%	20%

3.4.2 インド

（1）論文から推定される相対優位研究・技術

オーストラリアと同様、相対的競争力と相対的注力度の双方で一定以上の評価となる個別領域を優位研究･技術分野と考え、縦軸・横軸の値がインド全体の論文における平均値以上のエリア（散布図赤枠）に含まれる個別領域を抜粋し、右表に記載した。「バイオセンサー」区分の個別領域の他、「化合物合成・用途」領域などが優位研究・技術分野と考えられた。

また、合成生物学キーワードに特化した論文件数（相対値）では「バイオプロスペクティング」「コドン最適化」の割合が高い一方、直近比率では「DNA データストレージ」「多重ゲノム編集」「合成染色体」の割合が特に高く、遺伝子工学による DNA 構築に関心集まっている可能性が示唆された。



相対的競争力･注力度ともに平均以上個別領域（左散布図の赤枠内に含まれる個別領域）

大分類	個別領域	相対競争力	相対注力度
インフォマティクス	機械学習	7.5%	48.0%
タンパク質工学	ワクチン	6.0%	37.5%
バイオセンサー	金属イオン吸着	11.4%	38.7%
バイオセンサー	ナノ粒子	16.4%	35.6%
代謝ネットワーク	酵素活性最適化	5.3%	37.8%
遺伝子機能解析	植物関連遺伝子	6.1%	37.6%
その他	tRNA合成酵素	6.5%	36.8%
その他	化合物合成･用途	17.8%	40.0%
その他	プロ･プレバイオティクス	8.4%	44.5%

図 3-12　個別領域別の、論文の件数（相対値）および直近比率から推定される相対優位研究・技術

（2）論文情報に基づく優位研究・技術を保有する主要機関

優位研究・技術において論文件数の多いインドの機関を表 3-5 に示す。科学産業研究委員会（CSIR）、インド農業研究委員会（ICAR）、バイオテクノロジー庁（DBT）やインド工科大学（IITs）が、新興バイオテクノロジーおよび合成生物学分野のいずれにおいても件数上位の機関となっている。分析の結果、前述機関は 2010 年から 2020 年に公開された論文では、幅広い分野で論文を公開しているものの、特に「遺伝子相互作用・複合体」領域で集積が多い。また、2018 年から 2020 年に公開された論文に限定すると、インド工科大学では DNA データストレージ研究の一環で、大量データを少ない塩基数で保存する効率的なアルゴリズム開発など「インフォマティクス」区分の「機械学習」領域で論文が多く、科学産業研究委員会では改良酵母を用いた医薬品関連研究や「植物関連遺伝子」領域などで論文件数が散見される。なお、表 3-5 にあげた機関のほか、合成生物学の論文に限っては、科学イノベーション研究アカデミー（AcSIR）で 10 件（70%）、DNA フィンガープリンティング・診断センター（CDFD）で 8 件（13%）および中央食料技術研究所（CFTRI-CSIR）で 8 件（63%）が挙げられる。

表 3-5　新興バイオテクノロジー・合成生物学分野における論文件数上位の主要機関

機関名	論文全体件数（合成生物学キーワードでの件数）	2018 年以降件数割合（合成生物学キーワードでの割合）
科学産業研究委員会（CSIR）	264 (52)	31% (37%)
インド農業研究委員会（ICAR）	137 (25)	41% (40%)
インド工科大学（IITs）[264]	110 (25)	45% (36%)
バイオテクノロジー庁（DBT）	110 (31)	32% (45%)
国立工科大学（NIT）[265]	62 (-)	50% (-)
バナラシ・ヒンドゥー大学（BHU）	58 (-)	47% (-)
科学技術庁（DST）	54 (-)	28%（-)
国際ゲノム工学・バイオテクノロジーセンター（ICGEB）	49 (9)	24% (33%)
インド科学研究所・バンガロール（IISC）	44(11)	23% (45%)

表 3-6 は、新興バイオテクノロジー分野での論文数が多いインド主要機関の所属研究者とアメリカ・中国・日本所在機関の所属研究者間での共著論文割合を整理したものである。インドは、前述のオーストラリアに比べて国際共著割合が低い傾向が特徴的であり、なかでも日本は中国と同等レベルで共著論割合が低い状況にある。

表 3-6　インド主要機関の海外共著状況

機関名	論文全体件数（2018 年以降の件数割合）	日米中との共著割合（2010-2020 年）		
		日本	アメリカ	中国
科学産業研究委員会（CSIR）	264 (31%)	1%	6%	3%
インド農業研究委員会（ICAR）	137 (41%)	1%	3%	0%
インド工科大学（IIT）[266]	110 (45%)	3%	8%	1%
バイオテクノロジー庁（DBT）	110 (32%)	2%	7%	0%
国立工科大学（NIT）[267]	62 (50%)	0%	6%	2%
バナラシ・ヒンドゥー大学（BHU）	58 (47%)	0%	5%	0%
科学技術庁（DST）	54 (28%)	2%	6%	2%
国際ゲノム工学・バイオテクノロジーセンター（ICGEB）	49 (24%)	4%	4%	2%
インド科学研究所 , バンガロール（IISC）	44 (23%)	0%	14%	2%

[264] インド工科大学（IIT）は、インド国内最高峰の理工系高等教育機関。インド工科大学カラグプル校やインド工科大学ボンベイ校等、23 の大学の総称。

[265] 国立工科大学（NIT）は、インド政府の教育省が所有する中央政府所有の公立技術研究所

[266] インド工科大学（IIT）は、インド国内最高峰の理工系高等教育機関。インド工科大学カラグプル校やインド工科大学ボンベイ校等、23 の大学の総称。

[267] 国立工科大学（NIT）は、インド政府の教育省が所有する中央政府所有の公立技術研究所

3.4.3 論文数から見た各国の優位な個別領域

これまで、各国の分析では論文情報と特許情報を分析したが、オーストラリアとインドの特許件数は非常に限定的であり、特許の観点で優位な研究・技術を評価・他国と相対比較する事が困難であることから、「論文件数」情報から得られた優位性評価結果をもとに表 3-7 にテーマを整理した。

オーストラリアとインド、日本を比較すると、「CRISPR-Cas」「セルフリーシステム」「指向性進化法」など 3 か国で優位なテーマがあり、協働することにより更に優位性を高められる可能性がある。また、日本とオーストラリアもしくはインドで優位なテーマがある場合も、2 国間で協働することにより更に優位性を高められる可能性がある。一方で、オーストラリアと日本、あるいはインドと日本の双方で優位な分野を補完し合う協働関係を想定する場合は、日本に優位性のない「コドン最適化」「DNA データストレージ」「ジーンドライブ」「バイオプロスペクティング」で優位性のあるオーストラリアもしくはインドと協働するアプローチも考えられる。各国が優位な個別領域、合成生物学関連テーマを把握・整理する事は、協調戦略を検討するうえで重要なインプットとなる。

表 3-7　論文件数から見た各国が優位な合成生物学関連テーマ[268]

テーマ	各国の優位性（◎は相対的競争力・注力度双方で優位、○はいずれかで優位）				
	オーストラリア	インド	日本	アメリカ	中国
広宿主域プラスミド	○		◎	◎	
ゲノム小型化			○	◎	
コドン最適化		◎			○
DNA アセンブリ	○		○	○	◎
CRISPR-Cas	○	○	○	◎	◎
多重ゲノム編集		○	○	◎	◎
合成染色体	○		○	○	○
ジーンドライブ	◎			◎	◎
セルフリーシステム	○	○	○	◎	○
指向性進化法	○	○	○	◎	○
合成オルガネラ	○		○	○	○
ハイスループットスクリーニングと自動化	◎		○	○	
DNA データストレージ		○		◎	○
バイオプロスペクティング	○	◎		○	◎
ゼノバイオロジー			○	○	

[268] ここでいう「優位」とは、単純に論文数が多い順に◎、○を付与したものであり、執筆者（First/Last author 等）の重み付け等は一切考慮していない。○がないテーマは、論文数が一桁台等と件数が少なかったテーマとなる。

4　まとめ

合成生物学関連分野を始め、新興バイオテクノロジー分野には成長分野が依然として多く機会が豊富である一方で、長期的な研究開発投資が必要な分野であり、早期から研究開発に取り組む必要がある。そのような環境のなか、アメリカ、また近年では中国やオーストラリアが合成生物学関連分野を始め、新興バイオテクノロジー分野において政策や戦略の立案からファンディングについて集中的に取り組んでいることが本調査において明らかとなった。

今回調査したいずれの国においても、合成生物学研究も含めたバイオテクノロジー研究プラットフォームやクラスター構築の取組が顕著であり、特に中国においては、北京、上海、およびグレーターベイエリア（粤港澳大湾区）への集中投資が顕著である。オーストラリアやインドもスタートアップ支援に重点をおいた施策が多く、充実した設備を広く研究機関やスタートアップに開放して国内・国際連携を強力に振興するといった特徴が明らかである。

日本も、バイオエコノミーやバイオものづくりといった名のもと、各省庁での取組が活発化している。

一方で、アメリカや近年急速に合成生成物分野に集中投資を活発化した中国と伍する研究開発力を獲得するためには、選択と集中および主要国との協力戦略が不可欠であり、特に日本が強みとする分野での研究機器などの整備や人材育成を含めた研究開発投資を進めていくべきである。さらにサプライチェーンのレジリエンスを確保する観点からも重視されるべき「医薬品開発」においては、研究の成果を医療の現場につなげていく臨床検査体制の整備という社会実装の力とも一体となった努力を忘れてはならない。

具体的にいえば、日本は無細胞タンパク質合成技術などの一部の突出した技術が著名であるものの、神戸大学以外に目立った研究プラットフォームが見当たらず、産業展開の事例も限られている。グローバル競争が顕著であり、人工カスタム細胞、バイオ 3D プリンター、分子ロボティクスや DNA ストレージといった新規技術の登場になぞらえられるとおり技術進歩のスピードが速い本分野においては、日本も研究プラットフォームを重点的に強化するとともに、国際協力については、相互にウィン・ウィン（level-playing）となる分野において海外のトップレベルの研究機関との間で共同研究を活発化することを期待したい。

＜参考書籍＞

・「細胞を創る・生命システムを創る」実験医学増刊　2011 年 Vol29-No.7、竹内昌治、上田泰己（編集）
・「いま、生命科学と医学研究の明日を考えようーブレークスルーはあなたの中に！」実験医学 2017 Vol.35, No.13
・「Dr. 北野のゼロから始めるシステムバイオロジー」2015 年　北野宏明（企画・執筆）、羊土社
・「超生物学―次の X」実験医学別冊　2021 年　谷内江望（編集）

5 APPENDIX

5.1 主な合成生物学関連キーワードおよび用語解説

各種資料を参考にJSTアジア・太平洋総合研究センターにおいて、特に合成生物学に関連した主なキーワードを整理し表A-1にまとめた。本キーワードは、論文・特許検索の基礎情報としている。

表A-1 主な合成生物学関連キーワードおよび用語解説

分類	合成生物学関連キーワード	概要
対象・ツール	バイオブリック (BioBrick)	一定の機能や構造を有する標準化された合成DNAパーツ（部品）。アメリカの合成生物学者トム・ナイト教授（Prof. Tom Knight、Ginkgo Bioworks社）が提唱。iGEMウェブサイトに各パーツのカタログが掲載されている。
	広宿主域プラスミド (Broad-host range plasmid)	プラスミドは、細菌が有する環状DNA。広宿主域プラスミドは、遺伝子の水平伝播に重要な役割を果たすだけでなく、そのレプリコンはベクター構築に適している。
	ミニマルゲノム (Minimal genome)	生命機能を維持する上での必要最小限のスリム化されたゲノム。
	人工細胞 (Synthetic cell)	生物の細胞から分解・抽出した分子や、人工合成された分子を組み立てて、自然界には存在しない新たな設計図を登載した人工細胞のこと。
	合成染色体 (Synthetic chromosome)	代表例として、ニューヨーク大学のジェフ・ビョーク（Jef Boeke）教授らが2018年に報告した酵母ゲノム合成プロジェクト（Sc2.0）におけるSCRaMbLEシステムを用いた酵母の染色体再構成の研究。
	合成オルガネラ (Synthetic organelle)	核、ミトコンドリア、ゴルジ体などの細胞小器官（オルガネラ）を人工的に生成したもの。細胞治療などへの応用が期待される。
改変・合成技術	3D-バイオプリンティング (3D Bioprinting)	3Dプリンター技術を活用し、タンパク質、細胞や立体組織・臓器などの構造を模倣し、同様な機能・構造を構築する技術。医学や組織工学分野などで活用。
	バイオファブリケーション (Biofabrication)	3D-バイオプリンティングと同義。
	バイオプロスペクティング (Bioprospecting)	生物資源探査の意味で、生物資源のなかから医薬品・化学薬品・食料などに利用できる有用遺伝資源を見出すプロセス。
	コドン最適化 (Codon optimization)	異種宿主由来の遺伝子を導入することで、本来有さないタンパク質を生産させる際など生産量向上のために、導入する遺伝子配列を適切に設計すること。
	セルフリーシステム (Cell-free systems)	セルフリー（無細胞）タンパク質合成システムは組換えタンパク質を合成するための効率的な技術。大腸菌やコムギ胚芽、ヒト細胞株由来の細胞抽出液などをベースとし、RNA転写からタンパク質合成を行う。
	CRISPR-Cas	2020年ノーベル化学賞受賞の生物のゲノムを人為的に改変するゲノム編集技術の一つ。PAM配列の特異性やベクターサイズなどの問題で、Cas9とは異なるヌクレアーゼの開発が進んでいる。UCバークレーのジェニファー・ダウドナ教授（Prof. Jennifer Doudna）は、小型のCas Φを用いたゲノム編集に取り組む。

分類	合成生物学関連キーワード	概要
改変・合成技術	DNA 折り紙 (DNA origami)	長い一本鎖 DNA と膨大な短い一本鎖 DNA を混ぜ合わせ、さまざまな形状のナノ構造を創り出す分子設計・作製手法の 1 つ。
	指向性進化法 (Directed evolution)	2018 年のノーベル化学賞の実験手法で、自然界の進化・淘汰を模倣し、タンパク質・DNA などの機能を PCR で変化させる手法。
	ゲノム小型化 (Genome miniaturization)	機能維持に必要となる最小限のゲノムのみを残すことで、遺伝子操作の効率向上やハイスループットスクリーニングの有効化などを図る手段。
	遺伝的論理回路 (Genetic logic circuits)	細胞内に電気回路のように多様な人工回路を組み込む研究。2007 年、UCSF（当時の）のクリストファー・ボイト教授（Prof. Christopher Voigt）とローレンス・バークリー国立研究所のアダム・アーキン博士（Dr. Adam Arkin）等のグループが大腸菌で AND ゲートを用いて正確に遺伝子のスイッチングができる回路を示した。2013 年には MIT のティモシー・ルー教授（Prof.Timothy Lu）とスタンフォード大学のドリュー・エンディ博士（Dr.Drew Endy）が別に部位特異的組換酵素を用いた論理ゲートを開発するなど進展が著しい。
	ジーンドライブ (Gene drives)	CRISPR/Cas9 ゲノム編集システムそのものをゲノムに導入し、子孫すべての目的遺伝子を完全に改変しつくす技術。
	代謝工学 (Metabolic engineering)	生物の代謝経路の改変と解析に関する学問分野。
	多重ゲノム編集 (Multiplexed genome editing)	一度に多数の gRNA や Cas 酵素を発現させる多重化 CRISPR 技術。ゲノム編集や転写制御の範囲・効率を大幅に向上。
	微生物叢（マイクロバイオーム）工学 (Microbiome engineering)	微生物叢を工学的に改変することで、腸内細菌や生態系などにおける微生物叢の構造（菌種バランス）や機能を改変すること。
	タンパク質工学 (Protein engineering)	天然の物質を基礎に新しいタンパク質を人工的に改変･作成すること。
	リボスイッチ (Riboswitch)	mRNA の非翻訳領域に存在する配列で、保持する遺伝子の発現を制御する mRNA 分子。
	自己組織化により生じる多細胞構造 (Self-organizing multicellular structure)	生体材料や人工組織の作製などのプロセスにおいて、単細胞が時間とともに自律的に秩序化し（自己組織化）、多細胞化し 3 次元の構造体を形成すること。
設計・評価技術	DNA シーケンシング (DNA sequencing)	アデニン（A）、チミン（T）、グアニン（G）、シトシン（C）からなる DNA の塩基配列を決定すること。
	DNA アセンブリ (DNA assembly)	バイオインフォマティクスにおいて、大量の DNA 断片配列を繋げてゲノム配列を復元するコンピュータ処理すること。
	ハイスループットスクリーニングと自動化 (High-throughput screening and automation)	実験や創薬プロセスなどにおいて、化合物の有用性テストをロボットなどにより自動化する手法。
	モデリング、機械学習 (Modelling, machine learning)	有望配列検出、統計的学習、強化学習、構造予測、最適経路計算、定式・定量的な生命動態のデザインなど。
	臓器チップ Organs-on-Chips	臓器を模倣したマイクロ流体チップ／マイクロ流体デバイス。創薬などの加速に貢献する。

分類	合成生物学関連キーワード	概要
応用・関連用語	バイオファウンドリー (Biofoundry)	培養・運搬・受託製造などのバイオ生産システム。
	バイオエコノミー (Bioeconomy)	バイオテクノロジーや再生可能な生物資源などを利活用し、持続的で、再生可能性のある循環型の経済社会を拡大させる概念。
	DNA データストレージ (DNA data storage)	DNA を情報記録媒体とする技術。高密度で長期間のデータ保存が可能と期待されている。アイデア自体は、1999 年のアメリカ・マウントサイナイ医学校のグループによる。
	工学生物学 (Engineering biology)	合成生物学の同義語。生命システム、生命システムの構成要素、生物学的プロセスの改変予測を可能にするような学際的分野を指す。
	システムバイオロジー (Systems Biology)	遺伝子やタンパク質、代謝物、細胞などから構成される生体ネットワークを生命システムとして捉え、その機能がどのように制御され、摂動に対してどのような反応をするかなどを明らかにする研究。生命動態とも同義。
	ゼノバイオロジー (Xenobiology)	核酸の一部を人工合成高分子に置換するなど非天然の人工生命体を設計することを目的とした分野。生命の起源、地球外生命学、合成生物学、システム化学の積集合などともいわれる。

5.2 日豪合成生物学ワークショップ（2022 年 3 月 16 日オンライン開催）

日本とオーストラリア両国の合成生物学分野の研究者にネットワーキングの機会を提供して将来的な国際共同研究へ発展することを期待して、2022 年 3 月 16 日、JST アジア・太平洋総合研究センター（APRC）は JST 国際部と協力し、文部科学省 (MEXT)、オーストラリア連邦政府産業科学エネルギー資源省（DISER）、連邦科学産業研究機構（CSIRO）、在日オーストラリア大使館の共催による「Future Trends and Emerging Technologies in Synthetic Biology - Connecting Australia and Japan through science and technology」ワークショップを開催した。本ワークショップでは、日本側チェアの近藤昭彦教授（神戸大学副学長）、オーストラリア側チェアのクラウディア・ビッカース博士（Dr. Claudia Vickers）（Provectus Algae Pty Ltd. CSO）、14 名の講演者を迎え、150 名以上の参加者が合成生物学の研究成果や最新情報を共有した。

基調講演として、オーストラリア研究会議合成生物学 Center of Excellence（ARC 合成生物学 COE）のアレクサンドラ・フィリポフスカ副所長（Prof. Aleksandra Filipovska）からミトコンドリア RNA 編集ツールとその医療応用研究に関する講演、東京大学の野地博行教授からは人工細胞リアクター技術やオンチップ無細胞システムに関する研究について紹介した。続く 3 セッションでは、12 名の日豪の研究者から「人工細胞の構築と合成生物学の基盤技術」、「システムバイオロジーとタンパク質翻訳システム」および「合成生物学の応用研究」に関する講演をいただき、活発な質疑応答があった。

最後のディスカッションセッションでは、「代謝工学、システムバイオロジー・モデリング、データ科学とバイオインフォマティクス」、「人工細胞とゲノム工学」および「バイオプロダクトとバイオマテリアル、無細胞システム、タンパク質工学と生体触媒」をテーマに、講演者および参加者が 3 グループに分かれ、日豪それぞれの研究における特長や不足する点や、将来的な共同研究促進に向けた議論を行い、表 A-2 に概要を整理した。

表 A-2　ワークショップで議論された期待される共同研究分野

国	強み	弱み	期待される応用・産業分野
日本	・人工細胞シミュレーション ・ゲノム再構築 ・in vivo 組織工学 ・発酵などの酵素工学 ・人工膜 ・代謝経路探索 ・植物ホルモン研究（理研環境資源科学研究センター CSRI） ・ラボオートメーション（基礎研究に強い）	・ユニークなコミュニティであるものの他地域から孤立傾向にあり国際的な大型プロジェクトのビジビリティに乏しい ・合成生物学を単なる「合成」と捉えるが、アメリカ等は情報科学に強く関連付けている ・分野横断的な取組が欧米に比べて乏しい	遺伝子組換え作物の実地試験や食用 化学品の生産
オーストラリア	・システムバイオロジー ・創薬におけるタンパク質シミュレーション（AI プラットフォーム） ・分子ドッキングダイナミクス（応用研究志向） ・タンパク質工学（酵素工学やセンサ）	・代謝経路探索 ・AI を利用した研究展開	持続可能な農業 医療分野 産業用物質探索のための代謝工学 植物における遺伝子編集

●ディスカッションセッションで提案された主な共同研究分野と課題

・細胞まるごとシミュレーション
・バイオ水素エネルギー製造
・バイオマテリアル（生体適合材料、生体模倣材料）
・人工膜・タンパク質研究
・バイオ部品（バイオブリック等、DNA ～組織にいたるパーツ）とそのデザイン研究
・非膜有機体 -ATP を中心とした回転の制御
・バイオファウンダリー基盤技術（バイオものづくり）
・代謝モデリング - 逆合成パスウェイ探索：データベースとアルゴリズム / モデリング

●ワークショッププログラム・講演要旨

Future Trends and Emerging Technologies in Synthetic Biology

Connecting Australia and Japan through science and technology

1. Date : **Wednesday, 16th March 2022, 10:00 ～ 16:00 (AEST) / 9:00 ～ 15:00 (JST)**
2. Zoom Meeting
3. Language : **English**
4. Target Audience : Australian and Japanese representatives of research performing organizations, researchers, students in the field of synthetic biology, policymakers, etc.
5. Co-chaired by :

   Akihiko Kondo, Vice President, Kobe University

   Claudia Vickers, Chief Scientific Officer, Provectus Algae; Adjunct Professor, Queensland University of Technology; Adjunct Professor, Griffith University
6. Program

10:00 AEST / 09:00 JST	**Welcoming Remarks** · **Hiroya YAMANOUCHI**, Director, Office for Strategic Research Promotion, Strategic Planning, Research and Development Division, Science and Technology Policy Bureau, MEXT · **Steph Gorecki Natik**, General Manager of the International and Astronomy Branch, DISER
10:15 AEST / 09:15 JST	**Part 1: Morning part** **Chair: Akihiko Kondo**, Vice President, Kobe University
	Keynote speech "Medicinal Synthetic Biology" **Aleksandra Filipovska**, Deputy Director, the ARC Centre of Excellence in Synthetic Biology; Professor, University of Western Australia Keywords: energy metabolism, mitochondria, gene editing

10:35 AEST / 09:35 JST	Session A: Artificial cell construction, Basic technology · **Yuki Goto**, Associate Professor, the University of Tokyo **Artificial in vitro biosynthesis of backbone-modified peptides toward development of pseudo-natural products** Keywords: In vitro translation, posttranslational modification, macrocyclic peptides, natural products, in vitro selection, mRNA display · **Hirohide Saito**, Professor, the Center for iPS Cell Research and Application, Kyoto University **RNA and RNP synthetic biology to expand the possibility of synthetic living systems** Keywords: RNA and RNP synthetic biology, cell programming, microRNA, mRNA, translation · **Wenlong Cheng**, Professor, Monash University **Gold electronic skins and tattoos for connected healthcare** Keywords: Electronic skin, wearable sensors, bioelectronics, gold nanowires · **Ian Paulsen**, Director, ARC Centre of Excellence in Synthetic Biology; Macquarie University **The ARC Centre of Excellence in Synthetic Biology- Inspired by Nature, Designed by Science**
11:35 AEST / 10:35 JST	Session B: Systems biology, Protein translation systems · **Colin Jackson**, Professor, the Australian National University **How the study of protein evolution can aid protein engineering** Keywords: Protein Engineering, Molecular Evolution, Biocatalysis, Computational Protein Design, Bioremediation. · **Kirill Alexandrov**, Professor, Queensland University of Technology **Artificial protein allostery and construction of synthetic logic networks** Keywords: protein allostery, protein biosensors, signaling networks, protein ligand interactions, directed evolution · **Yutetsu Kuruma**, Associate Professor, Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology **Cell-free construction of cellular functions towards artificial cell construction** Keywords: Artificial cell, Cell-free system, Giant vesicle, Membrane proteins, Origin of life · **Nozomu Yachie**, Associate Professor, Canada Research Chair (Tier 2) in Synthetic Biology, University of British Columbia **HD Video Recorder of the Cell** Keywords: DNA event recording, cell lineage tracing, genome editing, base editing, high-performance computing
12:35 AEST / 11:35 JST	Lunch

13:30 AEST / 12:30 JST	**Part 2: Afternoon part** **Chair: Claudia Vickers**, Chief Scientific Officer, Provectus Algae
	Keynote speech 2 "Perspectives on building of autonomous cell systems based on femtoliter reactor technology" **Hiroyuki Noji**, Professor, The University of Tokyo Keywords: Femtoliter reactor technology, On-chip cell-free systems
13:50 AEST / 12:50 JST	Session C: Application · **Keiji Nishida**, Deputy Director, Research Center for Advanced Bioengineering, Kobe University; Bio Palette Inc. **Development and application of base editing technologies** Keywords: Genome editing, Base editing, CRISPR, Breeding · **Toshiya Muranaka**, Professor, Osaka University **Towards development of new varieties of plants with medicinal properties by synthetic biology** Keywords: Convention on Biological Diversity (CBD), genome editing, plant specialized metabolites, medicinal plants, synthetic biology · **Colin Scott**, Synthetic Biology Future Science Platform Leader, CSIRO **Artificial metabolic pathways in continuous-flow** Keywords: Enzyme fusion, modified cofactors, continuous flow biocatalysis · **Claudia Vickers**, Chief Scientific Officer, Provectus Algae; Adjunct Professor, Queensland University of Technology; Adjunct Professor, Griffith University **Synthetic biology tools to understand and control subcellular biocatalysis conditions** Keywords: Isoprenoids, nanotechnology, virus-like particles, biosensors, metabolic engineering
14:50 AEST / 13:50 JST	**Discussion Session**

Session 1	Session 2	Session 3
· Metabolic engineering · Systems biology and modeling, Data science and bioinformatics · Application	· Artificial cells and genome engineering · Synbio tools and nanotechnology · Application	· Bio-products and bio-materials · Cell-free systems, Protein engineering, Biocatalysis · Application

15:35 AEST / 14:35 JST	Wrap-up session by co-chairs: **Akihiko Kondo, Claudia Vickers**
16:00 AEST / 15:00 JST	Close

DISCUSSION SESSION

1. Discussion session' s length: approx 45mins. There are chair and co-chair for each session. Chair will moderate the session and co-chair will do the summarize at the end.
2. Questions

- What are the strengths in the discussion fields in Australia and Japan? What are the weaknesses?
- Where are the obvious areas for collaboration? – i.e. a strength in one country that compliments a weakness in another country
- What are the strategic and exciting new technical directions these technologies will move in?
- What application areas are strategic priorities for each country? How can we help support technology development in these areas?
- Given the various international frameworks and the fact that some countries, such as Europe and the United States, are becoming more active in research, what issues need to be addressed to stimulate joint research between Japan and Australia further?

Session 1	Session 2	Session 3
· Metabolic engineering · Systems biology and modeling, data science and bioinformatics · Application	· Artificial cells and genome engineering · Synbio tools and nanotechnology · Application	· Bio – products and bio – materials · Cell - free systems, Protein engineering, Biocatalysis · Application
Chair: Claudia Vickers **Co-chair**: Nozomu Yachie	**Chair**: Hiroyuki Noji, **Co-chair**: Ian Paulsen	**Chair**: Colin Scott **Co-chair**: Yuki Goto
Toshiya Muranaka Nozomu Yachie Yutetsu Kuruma Claudia Vickers	Hiroyuki Noji Keiji Nishida, Hirohide Saito Ian Paulsen Aleksandra Filipovska	Akihiko Kondo Yuki Goto Colin Scott Kirill Alexandrov Colin Jackson

5.3 中国の「第 14 次 5 カ年計画」に基づく主な省・市の政策

表 A-3 中国の「第 14 次 5 カ年計画」に基づく各省・市の合成生物学研究の促進状況

月日	省・市	政策名	政策における合成生物学に関連した記述（抜粋）
2021 年 6 月 11 日	浙江省人民政府	浙江省における科学技術革新の発展のための第 14 次 5 カ年計画[269]	イノベーション主導の開発戦略をさらに実施し、高等教育施設の建設を加速する。 2. 主要なコア技術開発の熾烈競争に挑む （1）主な課題 インテリジェントコンピューティング、新世代の通信ネットワーク、新世代のスマートチップ、量子情報、精密医療、新薬の作成と医療機器、最先端の新素材、精密製造、低炭素エネルギー、グリーンケミカル、環境ガバナンス、農業の生物学的特性、海洋資源開発と防災、数学的力学などに関する基礎研究にフォーカスする。
2021 年 8 月 4 日	山西省人民政府	山西省「14·5」14 の戦略的新興産業計画[270]	三、全体的な要求 （三）発展目標 2025 年までに、高い市場占有率と強い競争力を持つ産業クラスターをもち、その中でビッグデータ、半導体などの 3 から 5 つの戦略的新興産業クラスターは全省の新しい経済支柱になり、炭素基新材料、特殊金属材料、合成生物学産業国家級研究開発製造基地を完成し、産業基礎能力と産業チェーンの現代化レベルは著しく向上。（略） 四、発展の重点 （八）バイオ技術に基盤を置いた新材料産業 合成生物学の基礎研究とバイオ技術に基盤を置いた高分子新材料、生体模倣材料などの応用技術開発を展開し、合成生物産業エコロジーパーク、生分解ポリエステルなどの重点プロジェクトの建設を加速し、バイオベースポリアミド、生分解ポリエステル、生物炭素繊維複合材料などの製品を重点的に発展させる。
2021 年 8 月 8 日	河北省天津市人民政府	天津科学技術イノベーション第 14 次 5 カ年計画[271]	第 1 章 1. 技術イノベーション・開発の新潮流の把握 （1）現状 「第 13 次 5 カ年計画」以来、市はイノベーション主導の開発戦略を積極的に実施し、科学技術イノベーションの支援は、社会・経済的発展を推進する上で目覚ましい成果を上げてきた。（略）大規模地震工学シミュレーション研究施設や国立合成生物学イノベーションセンターなどの主要プラットフォーム構築や人工知能、生物医学、新素材などの主要分野で成果が得られた（酵母染色体の正確なカスタマイズ合成など）。 第 2 章 1. 応用施設と最先端技術の積極的な展開 - 北京 - 天津 - 河北（京津冀）のコラボレーティブイノベーションの促進（「細胞バレー」、「バイオ製造バレー」など）

[269] 浙江省人民政府，“浙江省科技创新发展“十四五”规划，”: http://kjt.zj.gov.cn/art/2021/8/6/art_1229247517_4698825.html. [アクセス日 : 1 月 2022 年].

[270] 山西省人民政府，“山西省「14・5」14 の戦略的新興産業計画，”: http://www.shanxi.gov.cn/sxszfxxgk/sxsrmzfzcbm/sxszfbgt/flfg_7203/szfgfxwj_7205/202107/t20210706_926554.shtml [アクセス日 : 1 月 2022 年].

[271] 天津市人民政府，“天津市科技创新“十四五”规划，”: http://www.tj.gov.cn/zwgk/szfwj/tjsrmzfbgt/202108/t20210812_5532506.html [アクセス日 : 1 月 2022 年].

月日	省・市	政策名	政策における合成生物学に関連した記述（抜粋）
			2. コア技術研究を促進するための取り組み （2）バイオテクノロジーと現代医学 合成生物学、新世代の DNA 合成、遺伝子編集、タンパク質モジュールの人工設計、遺伝子ネットワーク設計、デジタル細胞モデリングとシミュレーション、シャーシ細胞の設計最適化、人工遺伝子合成と組立て、およびその他の技術研究の開発にフォーカス。高価値の化合物や天然物の生合成経路を設計および構築し、バイオセンシングと環境修復、CO2 の生物利用、主要な疾患の診断 / 治療、合成生物学に基づく DNA 情報の保存技術の開発を支援することに重点を置く。
2021 年 9月22日	広東省人民政府	広東省科学技術イノベーション第 14 次 5 カ年計画[272]	第 2 章 2. 主要な科学技術インフラ・クラスターの建設促進 生命科学の分野では、合成生物学研究の主要な科学技術インフラである国立遺伝子バンクの第 2 期建設を加速させ、脳分析や材料科学の分野では、中国（東莞）散乱型核分裂中性子源の第 2 期工事を加速。 第 3 章 2. フロンティアテクノロジーと破壊的テクノロジーに関する研究を強化 主要分野の最先端・破壊的技術の特別プロジェクトを実施する。 合成生物学 細胞内、1 細胞、多細胞レベルでの人工生命体の設計に関する研究を行い、合成生物システムの定量的で予測可能な設計能力を向上させる。人工ゲノム設計、最適化された合成・設計技術、遺伝子編集技術などの研究を行い、ハイスループットで自動化・標準化された合成バイオ技術システムを構築する。 主要な人工生物システムを構築し、産業用生命知能、診断と治療、環境保全、エネルギー安全保障、国家安全保障分野における破壊的な先進技術、合成生物学技術のイノベーションと工学的応用を促進する。 産業用酵素の創製と応用、バイオ製造用産業菌株の構築、バイオ製造用原料の応用に関する研究開発を行う。
2021 年 9 月 2 日	江蘇省人民政府	江蘇省科学技術革新のための第 14 次 5 カ年計画[273]	「模範を示し、模範となり、最前線に立つよう努める」という新たな使命・要件の実現に向け、イノベーション主導の開発戦略を実施し、科学技術の強い省の構築を加速する。計画に従って、世界に影響を与える産業技術革新センターを創設する。 ※以下は、合成生物学に特に関連した内容の抜粋 （1）基礎研究とイノベーションの強化：戦略的な重要研究課題 No.13 合成生物学 （3）高効率で安全、かつエコロジーな近代農業技術の開発 （略）合成生物学、スマート農業、ボトルネック技術の研究強化、グリーン農業のための主要技術の開発加速し、農業ハイテク産業実証ゾーンの建設促進、農業システムのサービス改善、および品質・効率・競争力を向上する。

[272] 広東省人民政府 ,“广东省科技创新“十四五”规划 ,”: http://dara.gd.gov.cn/attachment/0/467/467916/3577549.pdf [アクセス日 : 1 月 2022 年].

[273] 江蘇省人民政府 ,“江苏省“十四五”科技创新规划 :,”: http://kxjst.jiangsu.gov.cn/art/2021/9/15/art_83527_10030709.html.

月日	省・市	政策名	政策における合成生物学に関連した記述（抜粋）
2021 年 9月28日	上海市人民政府	世界に影響を与える科学技術イノベーションセンターを建設する上海の第 14 次 5 カ年計画[274]	世界的な影響力をもつ科学技術イノベーションセンターの構築は、党中央委員会が上海に与えた重要な任務・戦略的使命であり、上海が質の高い経済社会的発展を加速し、都市のエネルギーレベルとコア競争力を高めるための重要な原動力であり、科学技術は重要な支えである。 （4）基礎研究の強化 4. 合成生物学と生命の創造 人工生合成システム構築のブレークスルー、生物製造科学技術、イノベーティブな戦略的新興産業を構築し、合成生物学の国際競争力を大幅に強化する。 ・学際融合研究の促進により、人工生命の設計、薬物の生合成、新たな構造・機能を有する薬物の効率的な合成、バイオレメディエーションのブレークスルー。 ・遺伝子編集、DNA アセンブリ、および定向進化に関する独自技術の開発による、効率的な人工生物学的製造システムの構築。 ・半導体合成生物学や機能性微生物ロボットなどの新しい方向性の探索。 （5）フロンティア分野における戦略的プロジェクトの実施 14. 細胞―電子混合システム 半導体合成生物学技術、自己駆動型チップインテリジェントセンサーシステム（ISS）の研究開発、インテリジェント電子薬物診断および治療システムの開発促進、薬物の早期検出とハイスループットスクリーニング、個別化医療、新しい微生物学的ドライバー（ロボット）およびその他応用研究。 ※上記のほか、ワクチン製造や臓器 3D プリンティングなど
2021 年 10月18日	深圳市光明区政府	合成生物学イノベーションチェーン産業の統合開発を支援するための深圳光明新区の措置[275]	合成生物学産業チェーンの構築を支援するとして、国のハイテク企業に一時的なインセンティブを与えるなどハイテク企業の育成強化、家賃補助、起業スペース支援などをパッケージ化する。また、合成生物学産業のエコロジー構築支援として、費用の 50%をサポートするイベント助成、「ダブルハイジャーナル」に選定される合成生物学分野のジャーナル、協会、シンクタンクなどへの支援などを行う。

[274] 上海市人民政府，“上海市建设具有全球影响力的科技创新中心“十四五” 规划，”:https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20210928/5020e5fdf5ac4c6fb4b219da6bb4b889.html.

[275] 深圳市光明区政府，“深圳市光明区关于支持合成生物创新链产业链融合发展的若干措施，”: http://www.szgm.gov.cn/xxgk/xqgwhxxgkml/zcfg_116521/qgfxwj/content/post_9261919.html.

月日	省・市	政策名	政策における合成生物学に関連した記述（抜粋）
2021 年 10月20日	湖北省人民政府	湖北省科学技術イノベーション第 14 次 5 カ年計画[276]	第 4 章国内で独自のイノベーションの源泉を確立 4. 基礎研究プラットフォームの支援・保証能力の強化 基礎的な分野の研究拠点の構築を推進する。（略）脳科学研究、合成生物学、磁場閉じ込め核融合などのトランスフォーマティブな技術にフォーカスし、最先端の横断的な基礎研究を実施し、破壊的な技術イノベーションを推進する。 科学技術施設プラットフォームの構築を強化する。生態系の保全、近代農業、気候変動、防災・管理に重点を置き、州レベルの野外科学観測研究基地を多数設置し、全国の野外科学観測研究基地の設置を推進する。（略）ヒトの遺伝子、微生物株、動植物株、ウイルスおよびその他の資源の収集、分類、保存および利用を強化し、武漢国立人間遺伝資源バンク、生殖質資源バンク、および微生物細菌（毒）種収集センターおよびその他の高レベルの自然科学および技術リソースバンクを運用。
2021 年 11月3日	北京市人民政府	北京市「14·5」時期国際科学技術イノベーションセンター建設計画[277]	第四に、独自の最先端の科学技術研究を強化し、主要なコア技術の重要な任務を勇敢に引き受ける （2）主要分野における最先端技術の推進 最先端バイオテクノロジー分野の研究開発支援。核酸・タンパク質の検出、細胞機能や病変の検出、新規標的生体内介入技術、新しい抗体技術、遺伝子編集、新しい細胞治療、幹細胞、再生医療などの分野で、独自の発見を生み出し、主要な流行、困難で稀少疾患のための正確な診断と画期的な治療法の確立。 （4）他のフロンティア分野の促進 革新的な生物育種研究の推進。多次元オミクス研究を中心に、キー遺伝子と遺伝資源を取得。効率的な形質転換技術、正確な遺伝子編集、合成生物学などの多くの重要技術の研究開発に焦点を当て、最新の生物育種システムを構築し、多くの主要新種・新品種を栽培（培養）して、食料安全保障を確保する。
2022 年 2月22日	安徽省人民政府	安徽省「14・5」科学技術イノベーション計画[278]	第 3 章：生活の質の向上を支える科学技術の実践 項目 7：社会開発分野における主な技術プロジェクトと重点テーマ 重点テーマ 5：タンパク質の細胞工学技術 タンパク質構造の AI 設計、融合タンパク質医薬品の効率的発現、ナノ抗体のスクリーニングとヒト化、合成生物学と細胞工場、リポソームによる核酸医薬の標的送達、幹細胞治療、オルガノイド構築、生体組織の 3D プリントなどのキーテクノロジーの開発に重点を置く。

[276] 湖北省人民政府，“湖北省科技创新 “十四五” 规划 ,: http://www.hubei.gov.cn/zfwj/ezf/202110/t20211020_3818129.shtml

[277] 北京市人民政府，“北京市 “十四五” 时期国际科技创新中心建设规划 ,:http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/202111/t20211124_2543346.html

[278] 安徽省人民政府，“安徽省 “十四五” 科技创新规划 ,”: http://fzggw.ah.gov.cn/public/7011/146472951.html.

5.4 中国の国家重点研究開発プログラム「合成生物学」および「グリーンバイオ製造」

「国務院の中央金融研究プロジェクトと基金の管理の改善と強化に関するいくつかの意見」によると、「中央金融科学技術計画（特別プロジェクトなど）の管理改革計画の深化に関する国務院の通知」、「国家重点研究開発事業の運営に関する暫定措置」など、2021 年度承認の「合成生物学」重点特別プロジェクトのリストは下表のとおり[279][280]。「グリーンバイオ製造（Green Biomanufacturing, 绿色生物制造）」分野[281]では、2022 年度募集として、若手研究者によるイノベーティブな提案を募集する「揭榜挂帅」カテゴリで、3500 万元（約 6 億 6500 万円）で 3 年間の大型プロジェクトを募集している。募集分野は、生物エネルギー利用による低炭素化、省エネ生産プロセスにおける核心技術の開発となる。

プログラムを概観すると、「合成生物学」分野での採択プロジェクトには、中国科学院深圳先進技術研究院（SIAT）が 25 件中 7 件と全体の四分の一となる件数が採択されている。加えて、SIAT が位置する広東省の大学など（広東省科学院微生物研究所、深圳大学、中山大学）を含めると 25 件中 11 件と全体の半数近くを広東省の研究機関が占有している。採択分野も人工染色体や人工ファージ、遺伝子改変に基づく人工細胞の構築といった基盤研究が多い。

他方、「グリーンバイオ製造」分野については、天津市、北京市といった、「環渤海経済圏」の主要都市にある研究機関の採択が顕著である。採択分野は、工業用微生物ゲノムの構築や効率的な酵素生産といったアプリケーションに直結した課題が大多数を占めるものの、一部は「合成生物学」の採択プロジェクトと重複しそうなものが散見される。

表 A-4　中国の国家重点研究開発プログラム「合成生物学」および「グリーンバイオ製造」のプロジェクト採択リスト

No.	プログラム	プロジェクト	代表研究機関	実施期間（年）	予算（万元）
1	合成生物学	真核生物の人工染色体の設計、構築及び機能研究	北京大学	5	25 プロジェクトの合計値として 3.5 億元（約 66.5 億円、1 件あたり約 1400 万元（約 2 億 6600 万円））
2		非天然塩基と非天然細胞の設計、合成、機能研究	中国科学院腫瘤・基礎医学研究所	5	
3		特殊環境の微生物基盤細胞の設計・構築	上海交通大学	5	
4		微細藻類基盤細胞の合理的設計とシステム改造	河南大学	5	
5		微細藻類基盤細胞の合理的設計とシステム改造	中国科学院青島生物能源・過程研究所	5	
6		ナノ人工ハイブリッド生物学的システムの構築と腫瘍免疫療法における その応用	浙江大学	5	
7		膵臓癌の早期診断と治療のためのナノ人工ハイブリッド生物学的システム	華東理工大学	5	
8		悪性腫瘍などの重大疾患の正確な診断とモニタリングのバイオセンシン グシステム	浙江省腫瘤医院	5	

[279] 中国生物技术发展中心「合成生物学」：https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/tzgg/202111/t20211115_51308.html

[280]「合成生物学」プロジェクトの評価委員は、グループ 1「特殊な微生物シャーシセルの設計と構築」として石河子大学（新疆ウイグル自治区）の张亚平教授等 7 名、グループ 2「食品安全検出のための合成バイオセンサーシステム」で国立食品安全リスク評価センター（国家食品安全风险评估中心）の陈艳研究員等 7 名で構成される。：https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/tzgg/202106/t20210608_33993.html

[281]「グリーンバイオ製造」分野：https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/tzgg/202106/P020210621622063947151.pdf

No.	プログラム	プロジェクト	代表研究機関	実施期間（年）	予算（万元）
9	合成生物学	食品安全検査の合成生物センサーシステムの研究	広東省科学院微生物研究所	5	25 プロジェクトの合計値として 3.5 億元（約 66.5 億円、1 件あたり約 1400 万元（約 2 億 6600 万円））
10		合成微生物叢に基づくゴミ埋立地浸出液の効率的な処理システム	広東省科学院微生物研究所	5	
11		高エネルギー・グルコース電池の設計と構築	中国科学院天津工業生物技術研究所	5	
12		新しい骨格の人工産物を構築するためのコンビナトリアル生合成	華中科技大学	5	
13		特殊酵母基盤細胞の染色体工程	復旦大学	5	
14		生物学的パターン形成の基本原理と人工制御の合成生物学研究	中国科学院深圳先進技術研究院	5	
15		非自然光合成独立栄養生物の設計、構築および応用	中国科学院深圳先進技術研究院	5	
16		病原体トレーサー化合物マーカーシステムの設計と合成	中国科学院深圳先進技術研究院	5	
17		生物学的炭素鎖延長およびエネルギー貯蔵細胞の設計と構築	中国科学院深圳先進技術研究院	5	
18		非天然人工ファージの設計と合成	中国科学院深圳先進技術研究院	5	
19		緑青シュードモナス菌のバクテリオファージの高効率調製物の合成と応 用	中国人民解放軍第三軍医大学	5	
20		薬剤耐性菌の診断と治療のための遺伝子回路の設計と合成	中国科学院深圳先進技術研究院	5	
21		窒素を含む新しい分子のための生化学反応の設計と効率的な生合成シス テムの構築	復旦大学	5	
22		窒素類を含む新しい分子のための生化学反応の設計と効率的な生合成シ ステムの構築	中国科学院天津工業生物技術研究所	5	
23		膀胱癌の免疫微小環境における DNA 情報の保存	深圳大学	5	
24		T ヘルパー細胞を標的とする腫瘍環境免疫療法の設計とメカニズム研究	中国科学院深圳先進技術研究院	5	
25		腫瘍溶解性ウイルス二重特異性抗体の「腫瘍微小環境の二次再プログラ ミング」新規併用免疫療法研究	中山大学	5	
1	グリーンバイオ製造	工業用酵素のインテリジェントデザインと触媒応用	湖北大学	3	予算申告制、ただし 2022 年 度 募集では、「揭榜挂帅」カテゴリで、3500 万 元（約 6 億 6500 万円）で 3 年間の大型プロジェクトを募集
2		工業用酵素のための一般的な高効率発現システムの構築	中国農業科学院北京畜牧獣医研究所	3	
3		医薬・食品産業における酵素生成と触媒作用	華東理工大学	3	
4		軽工業におけるコア酵素の分子設計と酵素製剤のインテリジェント製造	天津科技大学	3	

No.	プログラム	プロジェクト	代表研究機関	実施期間（年）	予算（万元）
5	グリーンバイオ製造	効率的な微生物細胞工場の設計原理と工法	山東大学	3	予算申告制、ただし 2022 年度募集では、「揭榜挂帅」カテゴリで、3500 万元（約 6 億 6500 万円）で 3 年間の大型プロジェクトを募集
6		微生物医薬品業界の基盤構築と適応性の最適化	上海交通大学	3	
7		重要な工業用化学物質のバイオ製造病原性微生物の次世代ネットワークモデルの構築と応用	北京化工大学	3	
8		産業用病原性微生物の人工転位技術	天津大学	3	
9		重要なアミノ酸産業病原性微生物システムの改造・産業実証	江南大学	4	
10		原料薬産業病原性微生物の改造基幹技術・産業の実証	浙江工業大学	4	
11		バイオリアクターとスマートバイオ製造	華東理工大学	3	
12		高効率膜分離技術とバイオエタノール生産のための一体設備	南京工業大学	3	
13		リグノセルロース系バイオマスの効率的な糖生産と総合利用のための基 幹技術	上海交通大学	3	
14		人工肉の高効率バイオ製造技術	江南大学	3	
15		天然酵素入り産物のバイオ製造技術	西北大学	3	
16		セルロース系エタノールバイオリファイナリーと産業実証	華南農業大学	4	
17		完全な生合成生体高分子のグリーン製造と産業実証	南京工業大学	4	
18		バイオベースのポリアミドモノマーと材料の効率的なグリーン生産と産 業実証	中国科学院微生物研究所	4	
19		新しいバイオベースのポリウレタンポリオールとそのグリーン製造技術 の開発と産業化実証	南京工業大学	4	
20		キラル化学物質のグリーンバイオ製造と産業化実証	中国科学院天津工業生物技術研究所	4	
21		重大疾病の予防管理のための API の バイオ製造の産業化実証	浙江工業大学	4	
22		高塩有機廃水の効率的な処理と資源化技術の実証	江南大学	4	
23		医学および食品用の機能性炭水化物工業用酵素の作成および触媒作用	天津大学	3	
24		軽工業向けの主要なオキシドレダクターゼの分子設計と効率的な生産	中国農業科学院北京畜牧獣医研究所	3	
25		工業用微生物ゲノムの大型断片の DNA 設計原理と操作方法	天津大学	3	
26		糸状菌産業基盤と重要な薬物生合成経路の適応と最適化	中国科学院青島生物能源・過程研究所	3	

出典：国家科学技術管理情報システムの公共サービスプラットフォーム（国家科技管理信息系統公共服務平台）[282]
（2021 年 12 月 15 日時点）

[282] 国家科学技術管理情報システムの公共サービスプラットフォームは、中国科学技術情報研究院が構築・運営

執筆者一覧

ファム　ティ　ヌー	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター フェロー（当時）
小林　義英	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター 主査
東　美貴子	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター 調査役
白尾　隆行	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター 副センター長

［謝辞］

本報告書を作成するにあたり、科学技術振興機構 北京事務所の茶山秀一所長および横山聡副所長をはじめとする事務所の皆様より有益な助言をいただきました。また、ワシントン事務所の津田憂子副所長にはアメリカの情報収集を、アジア・太平洋総合研究センター（APRC）のフェローである松田侑奈氏には中国の情報収集をサポートいただきました。加えて、研究開発戦略センター（CRDS）ライフサイエンス・臨床医学ユニット ユニットの皆様には論文検索キーワードについて有用なご助言をいただき、APRC スタッフである居城真奈美および佐々木陽子両氏には、翻訳ならびに編集支援をいただきました。この場を借りて関係者皆様に深く御礼申し上げます。

なお、第 3 章の論文・特許分析については、2021 年度に VALUENEX 株式会社に委託して実施した「アジア・太平洋主要国における新興バイオテクノロジー分野の論文・特許動向解析」調査報告書におけるデータを転載しています（一部加工を含む）。

調査報告書

APRC-FY2021-RR-05

オーストラリア・中国・インドにおける新興技術「合成生物学」の進展と課題

Advances and Challenges in the Emerging Technology Field of "Synthetic Biology" in Australia, China and India

2022 年 3 月発行（2023 年 3 月改訂）
ISBN　978-4-88890-852-8

本報告書に関するお問い合わせ先：
国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）アジア・太平洋総合研究センター（APRC）
Asia and Pacific Research Center, Japan Science and Technology Agency
〒 102-8666　東京都千代田区四番町 5-3　サイエンスプラザ
Tel: 03-5214-7556　E-Mail: aprc@jst.go.jp
https://www.jst.go.jp/aprc/

Copyright © Japan Science and Technology Agency
本書は著作権法等によって著作権が保護された著作物です。著作権法で認められた場合を除き、本書の全部又は一部を許可無く複写・複製することを禁じます。転載を希望される際は、事前に上記お問い合わせ先迄ご連絡ください。引用を行う際は、必ず出典：JST/APRC 調査報告書「オーストラリア・中国・インドにおける新興技術「合成生物学」の進展と課題」として記述願います。

This report is protected by copyright law and international treaties. No part of this publication may be copied or reproduced in any form or by any means without permission of JST, except to the extent permitted by applicable law. Any quotations must be appropriately acknowledged. If you wish to copy, reproduce, display or otherwise use this publication, please contact APRC.