CRDS-FY2020-RR-06

The **Beyond Disciplines** Collection

リサーチトランスフォーメーション（RX）

ポスト/withコロナ時代、これからの研究開発の姿へ向けて

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

エグゼクティブサマリー

「リサーチトランスフォーメーション（RX）」とは、ポスト/with コロナ時代におけるこれからの研究開発の姿へ向けて、研究開発活動の変革を指す語である。今、社会・産業だけでなく研究開発も、新たな時代の新たな姿へと変わらなければならない。それは COVID-19 を経たがゆえの進化・高度化であり、これまでの延長線だけでは開けない地平に挑むために必要な変革である。研究開発活動の一連のプロセスにおいて、そのオペレーティングシステムをトランスフォームすること、JST 研究開発戦略センター（CRDS）ではこれを “RX” と表現した。RX を推し進めていく一つのドライバーとして、研究開発のデジタルトランスフォーメーション（DX）とその積極導入・展開は重要な手段となりうる。しかし、DX 自体は目的ではない。DX だけではない、研究開発システム全体を新しい姿へと導く変革が RX である。このような RX の本来的意味を考えれば “Transformation of R&D systems with digital technology as the main driver”（デジタルテクノロジーを主なドライバーとする研究開発システムの変革）とするところだが、各地の現場において変革の方向性を広く共有することが求められている背景から、かけ声の意味も含め和製の造語として RX を用いることとした。

日本を含む世界各地の研究開発活動は、他の社会・経済活動と同様に、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い多大な影響を受けている。わが国ではとりわけ、大学における学生の入構制限が長期化し、高等教育および研究開発活動は全国的に停滞することを余儀なくされている。産業界や国立研究開発法人等における研究開発はかなりの部分が持ち直しているものの（2020 年 12 月現在）、新型コロナ以前とまったく同じ状況というわけではない。多様な状況にあるわが国の研究開発現場の再起動は、新たなかたちは、いかにあるべきなのか。世界と協調しつつ、国全体の研究力向上につながるかたちが求められるが、その道筋は共有されていない。分野による違いや、法人・組織の状況、あるいは都市部／地域部によっても、現場の状況は多様に異なっており、やるべきことはどこでも同じではない。本報告書では、今後も起こる可能性のある新たな感染拡大に耐えながらも止まることのない「強靭な研究開発活動の環境」を、日本全体にわたって築いていくために RX の概念を掲げ、様々な先行事例や海外動向も紹介しながら方向性を示すものである。

RX はいわば、“リサーチプロセス・リエンジニアリング” とも捉えることができる。研究開発活動に関連する一連の工程を見渡した時、単にデジタルテクノロジーをどの部分に導入するかといった話ではない。例えば、実験研究において遠隔操作のシステムを導入することや、自動化・ロボットの導入による研究室等現場の省人化などはすでにいくつかの機関で開発・導入され始めている。しかし、これら活動は全体整合的におこなわれるほどには未成熟で発展しておらず、関連する技術開発が多数必要であったり、また、誰もがその恩恵を享受できるように標準化して、現実的に導入可能なコスト構造で実現していくことが必要であったりと、今後の課題は山積である。これまで人がリアルに集まって直接に手を触れながらできていたことをオンラインで代替するといった適応策的な対応では、研究力向上はおぼつかない。リアル・アナログで技能を習得したり、ノウハウを継承したりしなければならないことも多数ある。科学技術の進展とともに社会・経済が複雑化するに伴い、研究開発課題もより複雑化し難易度が高まり、そして取り扱うデータの量が増大している。そのようななかにあってのコロナ禍を乗り越えるには、研究者・技術者等関連人材の新しい働き方や、人の移動・時間の使い方が変化していくにあたっての組織構造・雇用環境の見直し、AI などデータ科学の手法活用による新しい取り組み、労働集約的な研究開発環境からの脱却は一層重要になる。また、オフライン・リアルでこその違いや付加価値を創出できること、その在り方の再考が求められる。共同研究や学会活動など、研究上のコミュニケーションの新形態の構築・最適化、個々人の心理的負担の軽減や、世代の違いによるテクノロジー活用に対する親和性や格差の調和、学生や若手のキャリア・進路選択の不安を

払拭することなども含め、全体がより整合的になるよう RX を実現していくことが求められる。世界のスタンダードから逸脱しているとされる日本の研究システムにおける旧弊・弊害を、今度こそ構造転換する機会にすべきであるし、COVID-19 の衝撃を、わが国の科学技術力再生の唯一無二の機会と捉えて変革を成し遂げるべきである。

本報告書ではまず第 1 章「変わる研究開発環境」で、これからの研究開発環境はどう変化していくのか、現状とのギャップや課題を論じながら大きな方向性を示す。RX の概念、研究開発 DX としての遠隔化システム、自動化・知能化技術の導入、そして極めて重要な問題と考えられる研究コミュニケーションのかたちに関しての方向性を述べる。続く第 2 章では「強靭な未来のラボの姿へ向けて」として、実験研究やフィールド研究における DX 導入の先行事例や、関連する諸課題の具体例を、CRDS の調査によって内外から集めた 16 の事例をもって紹介する。また、研究インフラの在り方とその活用は、今後さらに重要になっていくと考えられ、共用研究施設やデータインフラに関する方向性を、最近の OECD（経済協力開発機構）の提言を引用しながら紹介する。第 3 章は国内外の動向として、文部科学省における関連の取り組み・施策の方向性や、大学単位での取り組みを紹介し、後半では諸外国の政策や大学・研究機関の取り組み事例を紹介する。最後にまとめとして、RX の要諦を示す。RX を推進する主役は研究開発現場におけるエキスパートであり、言い換えれば、研究開発活動を担う人々の考え方と行動の変革が要である。また、世代や個性によって多様な見方があることを認識し、その上でなおも調和へと向かうための知恵と行動が必要である。RX には必ずしも唯一の正解があるものではなく、一定の冗長性を加味しておくことが望ましい。産学官における様々な場で RX を体現しようとする人や組織を応援し、学び合い、さらに良い形を共に導いていく。そのような RX 推進の動きの一助となることを期待して、本報告書を取りまとめた。

【目次】

エグゼクティブサマリー …… 1

1 変わる研究開発環境 …… 4
1-1 リサーチトランスフォーメーション（RX） …… 4
1-2 研究活動の遠隔化、疎な現場 …… 16
1-3 自動化・知能化 …… 20
1-4 研究コミュニケーションのかたち …… 22

2 強靭な未来のラボの姿へ向けて …… 29
2-1 各分野の先行例 …… 29
2-2 研究インフラ（共用研究施設、研究データインフラ）の在り方 …… 45

3 国内外の動向 …… 50
3-1 わが国における取組 …… 50
3-2 諸外国の政策・施策事例 …… 57

4 まとめ …… 73

1 変わる研究開発環境

1-1 リサーチトランスフォーメーション（RX）

世界中が新型コロナウイルスの感染拡大によって一変したことに伴い、日本を含む世界各地の研究開発活動も、多大な影響を受けている。わが国ではとりわけ、大学における学生の入構制限が長期化しており、研究活動は全国的に停滞することを余儀なくされている。産業界や国立研究開発法人等における研究はかなりの部分が持ち直して行われているものの、新型コロナ以前とまったく同じ状況というわけではない。産学の様々な研究開発の現場において影響が生じている。多様な状況にあるわが国の研究現場の再起動、新たなかたちは如何にあるべきなのか。国全体の研究力向上につながるかたちが求められるが、その道筋は共有されておらず、明らかにもされていない。分野による違いや法人・組織の状況、あるいは都市部／地域部によっても、現場の状況は多様に異なっており、やるべきことはどこでも同じではない。

本報告書では、今後も起こる可能性のある新たな感染拡大に耐えながらも、止まることのない「強靭な研究開発活動の環境」を日本全体で築いていくために、「リサーチトランスフォーメーション（RX）」の概念を掲げる。研究開発活動におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）はその重要な手段の一つであろうが、DX だけではない様々な研究開発のシステムを含めて、構造的にトランスフォームすることが必要であると CRDS では考えるに至った。

リサーチトランスフォーメーション（RX）：
今、社会・産業だけでなく研究開発も、新たな時代の新たな姿へと変わらなければならない。それは COVID-19 を経たがゆえの進化・高度化であり、これまでの延長線だけでは開けない地平に挑むために必要な変革。研究開発活動のオペレーティングシステムをトランスフォームする、これをリサーチトランスフォーメーション（RX）と呼ぶ。RX を推し進めていく一つのドライバーとして、研究開発の DX 化と、その積極展開は重要な手段となりうる。しかし、DX 自体は目的ではない。DX だけではない、研究開発システム全体を新しい姿へと導く一連の変革が RX である。

※ 上記のような RX の本来の意味の英語表現を考えれば “Transformation of R&D systems with digital technology as the main driver”（デジタルテクノロジーを主なドライバーとする研究開発システムの変革）とするところだが、ここでは和製の造語として RX を用いている。

RX はいわば “リサーチプロセス・リエンジニアリング” とも捉えることができる。研究開発活動の一連の工程を見渡した時、長年かけて構築してきたであろう各界・各組織の研究開発現場において、「これまでと同じでいいのか？」との問いを投げ掛けてみることである。例えば、在宅・テレワークのまま研究活動を遠隔化するシステムはどれだけ有効に機能させられているか、実験の自動化・ロボットの導入による研究室等現場の省人化など、DX による研究活動の効率化施策を積極活用することはもちろんである。それだけでなく、リアルでこそ付加価値を創出できる部分や、その在り方を再考すること、研究者・技術者の新しい働き方や活躍の検討、労働集約的な研究環境からの脱却、研究現場の良好な空調・衛生環境を実現する施設・空間の再設計、個々人の心理的負担の軽減やキャリア・進路選択の不安を払拭することなども含んでの RX だと考えるべきではないか。世界のスタンダードから逸脱しているとされる日本の研究システムにおける旧弊・弊害を、今度こそ打ち破り構造転換する機会にすべきである。ただし、その際に研究開発を担う研究者・チームにおける競争力の源泉を失うことなく、むしろより強化して創造的なものとしなければ、真の意味での RX とは言えないだろう。世

界のなかで日本の研究者および関連人材、研究機関とが、この社会のなかで科学技術をさらに推進していくことのできるような、DX だけではない研究開発の新たな状態（常態）への構造的なトランスフォームを遂げることが重要である。

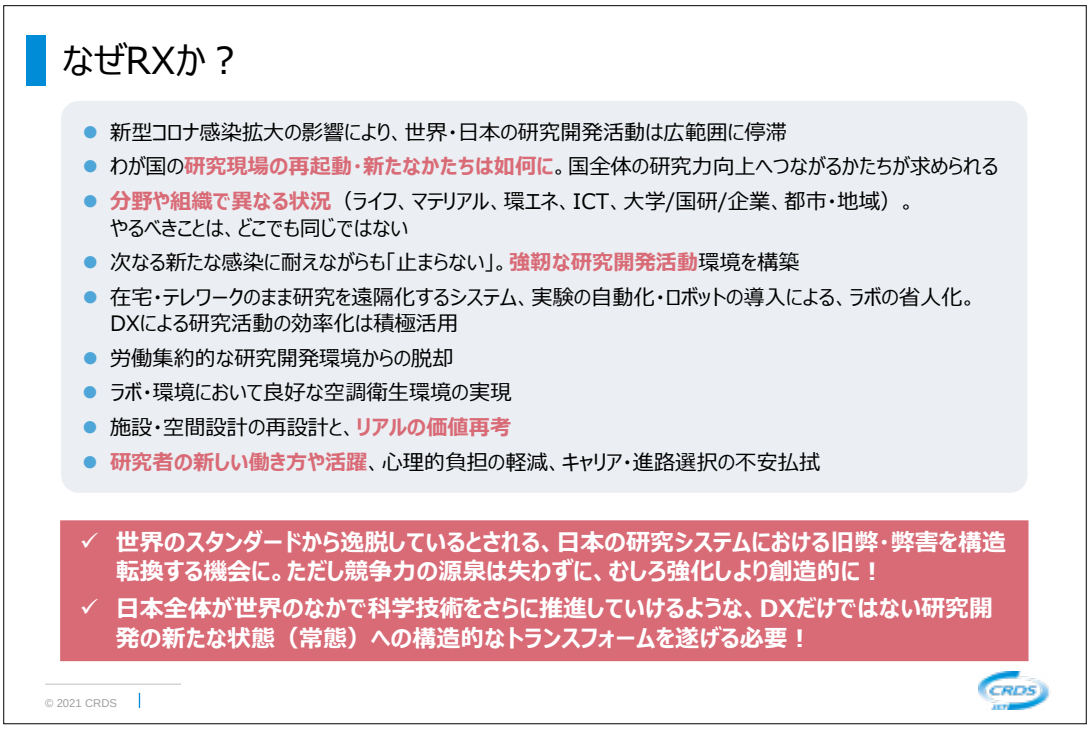

図 1-1　なぜ RX か？

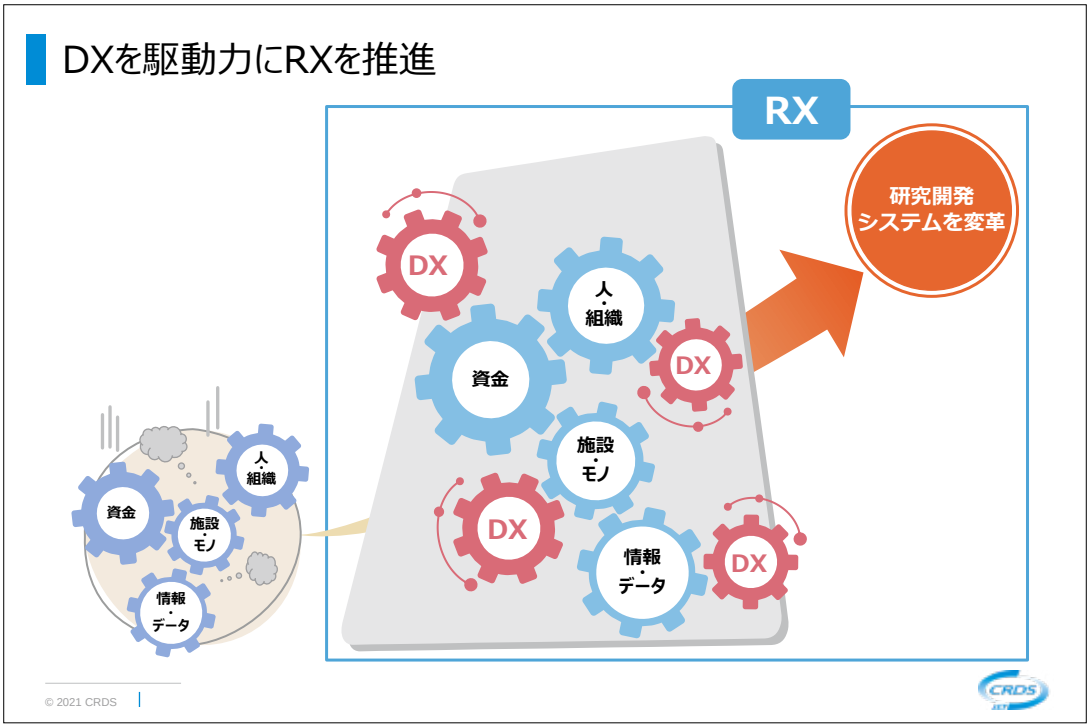

図 1-2　DX を駆動力に RX を推進

大学等の研究現場で何が起きているのか

本報告書では、どの研究テーマが重要であるかといった直接的な研究内容に関することは扱わないが、分野や地域によって研究現場で起きている状況には多様な違いがあることへの認識は重要である。例えば、新型コロナウイルス感染症そのものに関連する研究は、コロナ禍であっても研究を維持・推進することが強く期待され、緊急事態宣言下の入構制限を敷く各地の大学にあっても、多くは特例的に実施されてきた。国としても緊急的に研究開発が必要であるとして、下表の多数の日本医療研究開発機構（AMED）事業を始めとして、積極的な感染症関連研究への公的投資を拡大している。

表 1. AMED が実施する感染症対策関連諸事業（2020 年 12 月現在）
（※新型コロナウイルスを研究課題公募の対象として含む事業を抜粋）

・新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業
・新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対するワクチン開発
・新興・再興感染症研究基盤創生事業（海外拠点活用研究領域）新型コロナウイルス感染症に関する研究
・ウイルス等感染症対策技術開発事業
・ 新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業「新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対する治療薬開発」
・感染症研究開発 ELSI プログラム
・臨床研究・治験推進研究事業（アジア地域における臨床研究・治験ネットワークの構築事業）
・医療研究開発革新基盤創成事業（CiCLE）
・新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対するワクチン開発
・ 地球規模保健課題解決推進のための研究事業（日米医学協力計画の若手･女性育成のため日米共同研究）（COVID-19 感染症に対する日米アジア共同研究）
・ 新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業（新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対する治療薬開発推進のための技術開発等）

一方、これら感染症関連研究ではないその他の分野、化学・物理実験、機械工学系や環境フィールド調査等は、研究者や学生の移動の制限を始め、研究活動に様々な制限を設けていることで、研究活動は低減または停止せざるを得ない場もある。他方、システム・情報科学系の分野では、リアルの実験系には元々依らないコンピュータサイエンスを中核とする研究等である場合、テレワーク・オンライン環境の充実によってその影響はほとんど無いか、軽微なままに研究開発活動は進展している。

AMEDの新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に関する研究開発支援について（まとめ）
https://www.amed.go.jp/news/topics/covid-19.html

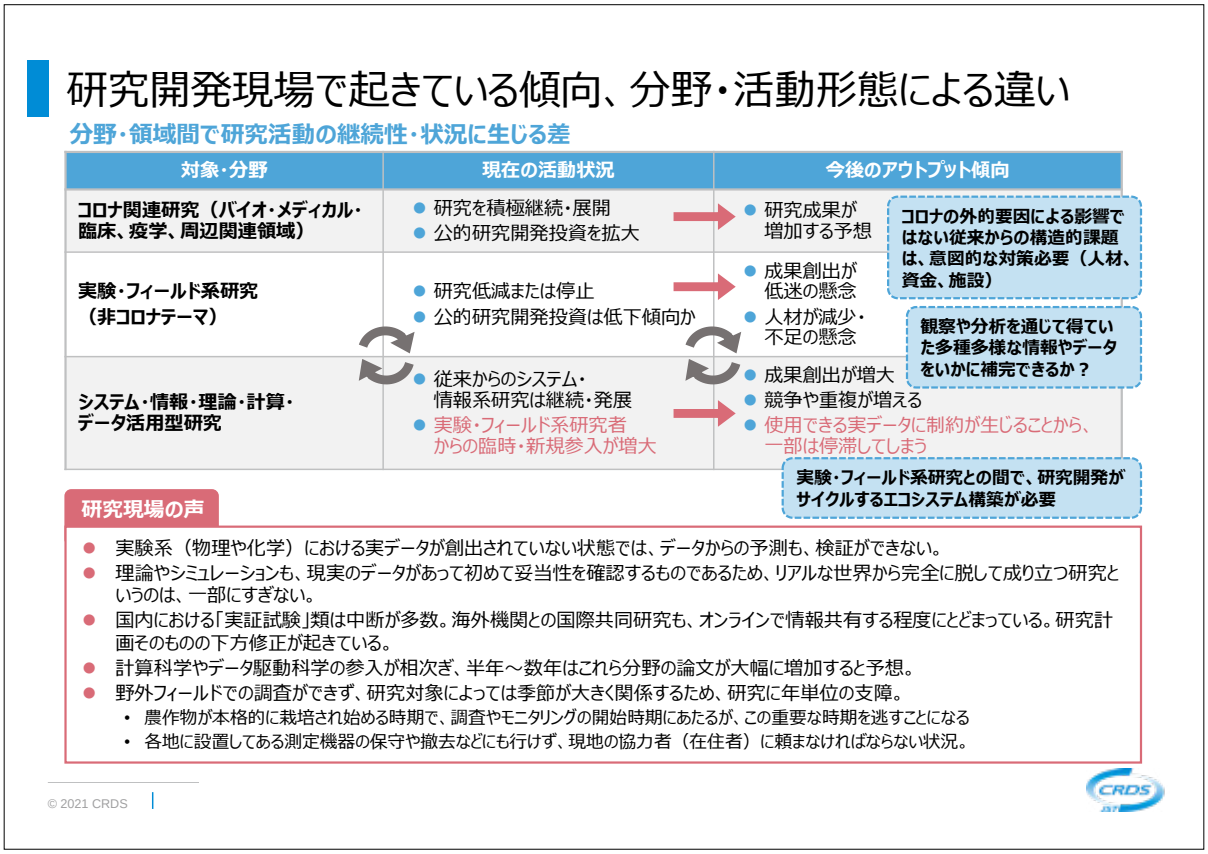

図 1-3 研究開発現場で起きている傾向、分野・活動形態による違い

ライフサイエンス・バイオメディカル分野に関しては、上述のように感染症関連分野への公的研究開発投資は補正予算措置等によって一時的に非常に拡大していると理解することができる。ただし、これら分野の研究者人口が急激に変動するようなことは予想しにくい。新型コロナ感染症の外的要因によらない、ライフサイエンス・バイオメディカル分野全体の構造的課題に対しては、RX の方向性はやはり重要となる。研究開発そのものの DX や、先端機器を集約した融合研究拠点の不足などには相変わらず課題があり、抜本的な対策が必要である。これらに関して、CRDS では感染症に関わる研究開発に関する提言として「感染症に強い国づくりに向けた感染症研究プラットフォームの構築に関する提言」を 2020 年 10 月に発行しており、これを参照いただきたい。

また、感染症関連分野以外のその他のライフサイエンス・バイオメディカル分野は、やはり他分野と同じように実験系を中心に研究活動は影響を受けている。例えばマウスやサルなどを研究に用いる動物実験系では、飼育・管理上の問題から（人が毎日飼育をすることに支障）、大学等の研究現場でも維持に困難が生じている。これに伴い、動物を供給する民間の関連業者には廃業や事業撤退が生じている。このように一部の生物・動物系は維持の難しさから需要が減退し、供給側においても事業継続に影響が出ている。一方で、感染症研究分野では、ワクチン開発の前臨床段階では動物試験が必須であり、特に今は COVID-19 ワクチン開発が世界的な競争状態となっていることから、試験動物（特に霊長類）の輸出入に影響が及ぶといったことも生じている。

感染症に強い国づくりに向けた感染症研究プラットフォームの構築に関する提言
https://www.jst.go.jp/crds/report/report04/CRDS-FY2020-RR-05.html

物理や化学に基礎を置く物質・材料・ナノテクノロジー分野や、環境・エネルギー・機械工学等の分野では、対象となるモノの存在が重要であることから、それを取り扱う研究開発は大きな影響を受けている。理論や計算科学・シミュレーションを主体とする研究領域・テーマであったとしても、実験・試験を通じて実データが創出されて初めてデータからの予測や妥当性の検証が可能になることから、これらリアルの対象を扱う分野の活動は広範囲に停滞している。リアルの研究対象から完全に脱して成り立つ研究というのは一部に過ぎないことに留意しなければならない。実証試験施設も多数が稼働を中断している状況にある。また、海外との国際共同研究に関しても、移動の制限からオンラインコミュニケーションによる情報共有やディスカッションは活況であるものの、リアルの研究対象や研究機器を用いるケースでは「同じ対象」を共有できないことからどうしても制限・限界があり、研究の計画を下方修正せざるを得ないといったことが相次いで生じている。

野外のフィールド調査を主体とする研究分野では、人の移動の制限から調査の実施そのものができない、または縮小せざるを得ないケースや、環境の変化・生態系など、研究の対象によっては季節（時期）が重要な条件であることも多く、これら分野の研究は年単位での影響が及んでいる。研究者自ら野外・現地調査に赴く事に制限が生じると、広範な地域に在住する市民から多様性・継続性の高いデータを収集する方法の有益性が改めて重要視される。在野研究者と多分野の研究機関研究者の協働を通じて、シチズン・サイエンスを新規研究分野に発展させる動きが生まれている。

以上のように、リアルの実験やフィールド調査等が重要となる分野では、研究活動への制限が避けられなくなっている。このようななかでも研究を継続するために、計算科学・データ科学の側面からの研究アプローチに重心をシフトする研究者は増加しており、今後しばらくはそうした研究発表・論文は増加するものと予想される。同時に、これら研究上の競争や類似研究も増加するものと考えられる。しかしその後には、やはり実験やフィールド調査等の実データがどうしても不足してくることから、リアルのデータ創出を如何に再起動し拡大していけるかが、焦点になってくるだろう。

文部科学省の科学技術・学術政策研究所がおこなった調査「新型コロナウイルス流行の研究活動への影響等に関する調査 －博士人材データベース（JGRAD）におけるウェブアンケート調査－（2020年９月、調査資料 -298）」によれば、新型コロナウイルスの流行により研究活動に「現時点で既に影響が出ている」と回答した割合は、博士課程在籍者で 85%、博士課程修了者等で 79% に上る。また、どのような面で影響が出ているかについては、「（影響が出ていることに）該当し、研究活動に大きな支障が出ている」と回答した割合が最も高かったのは「研究活動に利用している建物・研究室、設備（実験機器）等の利用停止」であった。さらに、調査項目の一つとして博士課程在籍者に新型コロナウイルス流行による博士号取得遅延の見込みに関しても回答が寄せられている。その結果、「博士の取得がすでに遅れる予定だ（あるいはすでに遅れた）」と回答した割合は 6%、「博士の取得が遅れる可能性がある」と回答した割合は 30% であった。また、求められる支援策を尋ねた自由記述の回答には、経済支援や学位課程の柔軟化等があげられている。

文部科学省 科学技術・学術政策研究所　新型コロナウイルス流行の研究活動への影響等に関する調査
－博士人材データベース（JGRAD）におけるウェブアンケート調査－（2020年9月、調査資料-298）
https://www.nistep.go.jp/archives/45780

RX のシフト：研究開発のオペレーティングシステム（OS）を替える

そもそもコロナ禍如何によらず、わが国は人口減のなかにあって研究者人口も同様に減少傾向にあるなか、国全体としての研究力の低下が叫ばれ、研究開発活動のみならず、社会活動における多方面でデジタル化が国際的に遅れていた。そのようなときのコロナ禍で明らかになったことは、やっぱり日本は他の先進各国に比較してデジタル化が遅れていたことが露呈し、もはや人口減のなかで労働集約的な研究環境にあっては、国全体としての研究力の維持・向上は望むべくもないということである。これまでのわが国における組織行動の慣習からすれば、モノゴトの進め方は長い時間をかけ少しずつ改善していくスタイルだったかもしれないが、コロナの激震によって、模索しながらも一気に変化を遂げなくてはならなくなった。RX のシフトにおいても、DX を積極導入していくことはもちろんのこと、人・組織、施設・モノ、資金、情報・データ・ノウハウのあらゆる観点から、在り方やプロセスを再考し、これからの研究開発活動の姿を徐々にではなく一気に見出さなくてはならないし、その機会としなければならない。

人・組織に関しては、研究者および関連人材（技術者やアドミニストレータを含む）の働き方や雇用体系、母体となる組織はこれまでとこれからでどう変わっていくべきなのか。人の移動が制限される一方で、オンラインで日本各地・世界各地の研究機関とのコミュニケーションはすでに日常となってきた。こうなってくると研究関連人材も、他の業種と同じように「所属」の概念が多様になってくると考えられる。地理的に固定された一つの特定の大学・研究機関だけに所属して実施する研究活動が今後も最適であり続ける理由はない。研究開発活動における法人組織の物理的な意味は、人材も含め必要となるリソースをリアルの場に集約しておけることにあると考えられる。そうなると、人・組織の観点で「リアルでなければならないこと」の吟味が始まるだろう。一つの組織で且つリアルの集約が必要な要素や機能は本質的に何かと考えだすと、まさに組織が持つ「複数の人が共通の目標を有し、目標達成のために協働を行う、行為やコミュニケーション」の機能において、リアルの必然性がどこにあるのかを認識し、オンライン・遠隔で本質的に代替不可能かを問う必要も出てくる。もちろん、オンラインのコミュニケーションはリアルとは同じでなく、リアルの良さには替え難いものがあるのだが、それすらも世代や個性によって多様な見方があることを認識すべきである。

より具体を考えてみれば例えば、すでにクロスアポイントメント（以下クロアポ）制度があるが、よりフレキシブルに 3 機関以上のクロアポを活用できるかもしれない。クロアポとは、研究者等が複数の大学や公的研究機関、民間企業等の間で、それぞれと雇用契約を結び、業務を行うことを可能とする制度であり、人材流動性の向上や若手の活躍機会創出のために積極的な活用が推奨されている。クロアポが活用されることにより、研究者等の人材が組織の壁を越えて活躍することが可能となり、研究機関間における技術の橋渡し機能が強化されることが期待されている。ところが課題も多く、例えば大学等から企業へのクロアポの事例はまだ一部にとどまっている。制度を利用する研究者等へのインセンティブ（混合給与の促進）や、制度促進に向けた手続きの明確化、労務・知財管理などの契約面における課題が挙げられている。大学研究者の場合、当該組織における教員としてのキャリア継続と業務負荷の時間的バランスの問題がある。しかし、テレワークを多用するクロアポであれば移動の時間が低減される点で、物理的に遠く離れた機関でのクロアポにはよりメリットが生じるかもしれない。国内だけでなく、海外機関とのクロアポの場合は尚更であろう。広く求められる研究者ほど、特定単一組織だけの所属には依らない、複数の機関や場を目的によって使い分けながら活躍することや、随時のプロジェクト参加型のようなかなり自由度の高いタイプの人材も出てくるであろう。ただしそれには検討しなければならない課題もあり、組織の概念であれば、指揮命令系統の混線や、新たな人材評価スキームの整備、デジタル化された情報の管理・機密保持のルール整備、研究者のエフォート管理からアウトプット管理へのシフト、または並行といったことの可能性にも検討の余地があろう。

産業界では昨今、メンバーシップ型雇用からジョブ型雇用へのシフトに関する議論が活性化しているが、研究者の場合は同じではない。「何のために何の研究を、どの組織の所属で、どのリソースでどのように実行するのか」、いわば目的に応じてそれらが多様に変化していく、「パーパス型」とも呼ぶような研究者の働き方・雇用体系を構築していくべきなのかもしれない。

図 1-4 多様な組織・雇用環境の実現へ向けて

また、このことは若手、特に学生への育成投資と進路選択の在り方についても、新たな問いを投げかけている。大学のオンライン講義が拡がったことで、「その大学の学生であることの意味は何か」を学生は自ら問うようになり、大学もまた問われることとなった。今、世界最高峰とされる海外大学の講義を、世界のどこにいようとオンラインで選択して受講することもできるようになってきた。そのとき、学生がある一つの大学に所属してその大学（だけ）の講義を学ぶという限定と、そこに紐づいて決まる学費等のコスト制約の付加価値とは一体何か、国内外のいくつもの大学の最高の講義を組み合わせて受講することだけでは得られない、差別化された付加価値の提供・創出が焦点である。そこでは、オンラインの積極活用だけではない、リアル・アナログの教育・研究環境の再考や、オンラインとリアルのハイブリッドで何を実現しようとするのかといった、当該大学ならではの最適化が課題となる。学生は進路選択において、当然自ら学びたい内容の教育・研究環境・テーマの有無や教員の存在、卒業生の進路や活躍の実績、学歴等も考慮するものだが、学生と大学の教育・研究環境サービスの提供関係が一対一ではなく、一対多数となってくる。学生が多くの時間を過ごさないキャンパスとは何か、といった問いも見るようになった。その時、教育機関としての再編・競争スピードが一

層加速することはおそらく必然であり、研究・教育機関はむしろポスト/with コロナ時代の姿への変革を実現する契機と考えるべきだろう。

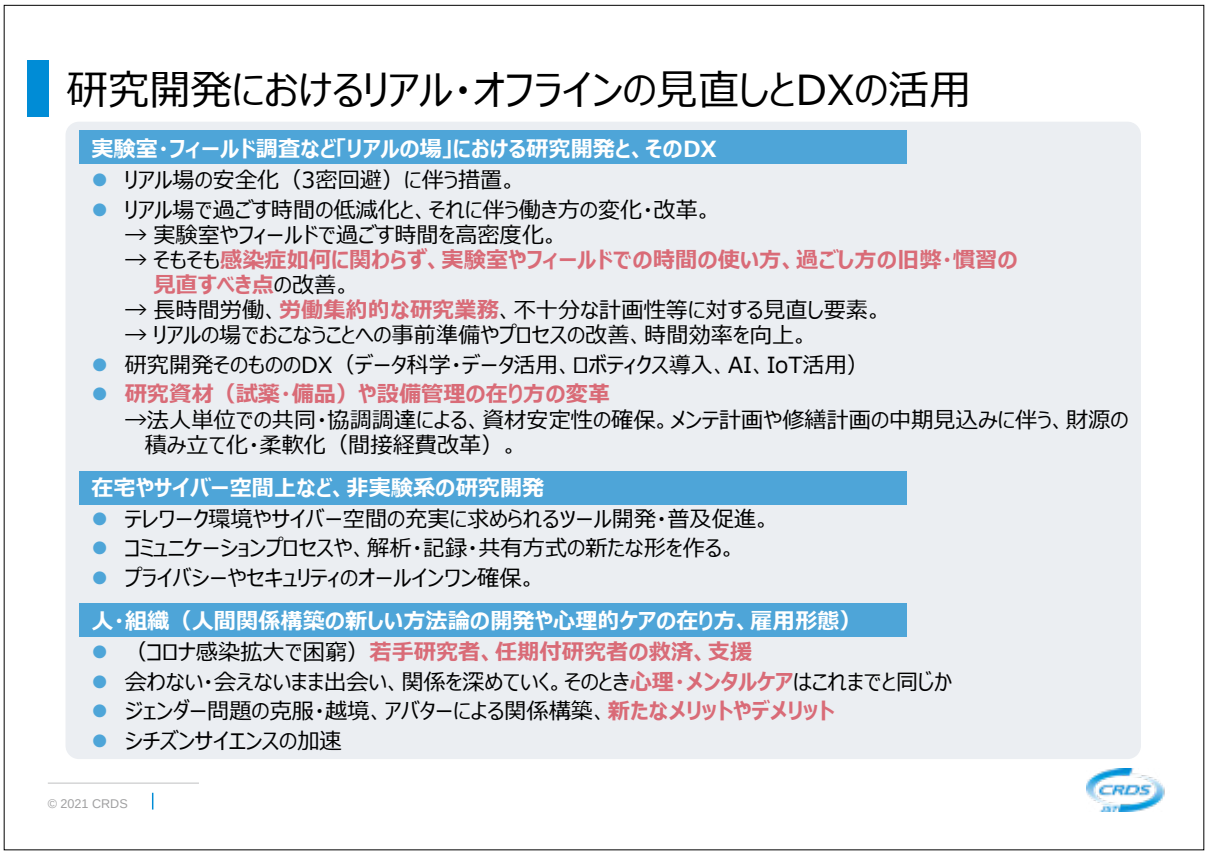

図 1-5 研究開発におけるリアル・オフラインの見直しと DX の活用

コラム　博士課程学生の社会人としての尊重（英国の事例）
ー高等教育機関の研究システム運営の柔軟・強靭化ー

コロナ禍の中にあっても、強靭な管理運営体制を備えた企業や国立研究開発法人等では、研究開発活動が続けられていた。それは保健医療分野のみならず、製造・物流・情報・コミュニケーションの分野にも渡る。殆どの大学が閉鎖や入構制限をする中、慎重な安全対策の下に業務を続行していた。大学等高等教育機関の多くは、教育と研究の使命を帯びるが、比較的開かれた空間の中に、研究者として育成途上にある学生を多く擁し、その保護の為、安全策を重視する。各国では大学が閉鎖された後、段階的再開に際して、学位申請とキャリア形成を控えた博士課程学生の研究活動復帰を優先する配慮がなされた。欧米では、『学位（博士）を取るまでは科学者としては一人前扱いされないが、大学院生というのは一つの専門職であり「社会人」としてみなされる』。この考えをもとに管理運営体制を備えれば、大学構内であっても、慎重な安全対策を布く研究環境を確立し、博士課程学生や若手研究者が十分な研究を継続できる可能性がある。

英国では、2018 年の行政組織改革に伴い、教育・研究それぞれの予算の流れ・監査や、卓越性に関する評価基準・手順・体制を明確化し、結果は公開される。英国の研究系博士課程学生の 23%、同修士課程学生の 28%は、パートタイム学生である。その多くは、就業経験者や在職者であり、追加学位や専門性向上を目指している。職務に関わる学位認定は、修了後速やかに昇進・昇給に反映される。フルタイムの博士課程学生の場合でも、英国研究イノベーション機構（UKRI）の各研究会議が、担当分野の課題について、Collaborative Doctoral Award studentships（CDAs）、Collaborative Doctoral Partnership studentships（CDPs）や CASE（Collaborative Awards in Science and Engineering）studentships 等の奨学金プログラムを用意している。奨学金に採用された学生は、大学とパートナー組織（企業、或いは政策立案機関）の双方で研究指導を受け、大学に籍を置きつつ、パートナー組織でも研究に従事する。大学・パートナー双方にとって、資源・知識・専門性等の共有という便益を、長期的に育成し確立させるものとしている。

社会人として認められる大学院生は、社会的責務を果たす。高等教育機関が、学生と納税者に「支払いに見合った価値（Value for Money）」を提供するよう、政府は常に質保証基準を課す。この一環として、学生個人や学生組織が、大学の教育卓越性評価に委員として関わる。近年、教育・研究に加え、国・地域社会・国際社会の課題解決に貢献することが、高等教育機関においても益々重要視されるようになっている。コロナ禍に伴い、英国の大学では迅速に、政府の緩和対策から抑制対策への転換を進言、各国政府の政策・対応時期・厳格さ等を追跡する WEB サイト開設等の貢献をしている。又、科学的助言の在り方について、疫学・保健医療・ライフサイエンスのみならず、情報科学・行動科学・コミュニケーション・データサイエンス・統計・数理科学・建築学・人類学・倫理等、多様な分野から、助言・提言が発信された。

学外で研究活動を行う博士課程研究者は、科学技術に限らず大学や学協会の蓄積する文化・歴史・社会等に関わる見識や、連携網創りの具体策、同世代コミュニティの見解等について、他セクターの組織・人々に伝える事が期待されるだろう。又、一般社会の需要・疑問・フィードバック等を高等教育機関に媒介する事もできる立場にある。このような期待に応えることを通じて、多分野で活躍し、未知の課題に対応する力を涵養することができる。

https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2019/RR/CRDS-FY2019-RR-03.pdf
https://www.hepi.ac.uk/wp-content/uploads/2020/05/Postgraduate-Education-in-the-UK.pdf
https://ahrc.ukri.org/documents/project-reports-and-reviews/ahrc-funded-collaborative-studentships-report/
https://bbsrc.ukri.org/skills/investing-doctoral-training/case-studentships/
https://epsrc.ukri.org/skills/students/industrial-case/intro/
https://mrc.ukri.org/skills-careers/studentships/how-we-fund-studentships/industrial-case-studentships/
https://www.officeforstudents.org.uk/advice-and-guidance/teaching/about-the-tef/
https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/report-9-impact-of-npis-on-covid-19/
https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker

施設・モノの観点に関しては、特に都市部ではその限られた空間制約にあって、当初から「密」な状態での使用を想定して設計・運用されてきた場が非常に多い。突然逆に「疎」な現場が必要になってしまった。本質的には疎であることは手段であり、新たな感染を防ぐことのできる空間が必要である。個人のレベルではマスクやフェイスシールドの着用があるものの、室内における気流の流れをテクノロジーによって緻密にコントロールし、近距離にあっても個人間での狭小な範囲において気流を分離したままにするといった技術開発や、室内人員数のオートコントロール・アラートシステムの導入、紫外線などを活用して室内の壁や配置されたモノを自動的に殺菌処理するといった技術開発も進展する。すでに、オフィス環境の在り方に関しては、組織における一定割合がテレワークで働くことを前提として、新たなゆとりある空間やオープンスペースを考案することや、座席配置とそのパーティション構造の工夫が進む。各地で対策的に導入された透明なビニールシートやアクリル板を、人と人の間に挟む対処療法的な対策だけでなく、今後はそもそもの空間設計と併せて、新しいテクノロジーを活用・導入し、自然なコミュニケーションを可能とする新たなリアル場を構築することが重要になるだろう（研究室や研究所内の空間設計については次項で記述）。

大学や研究機関では、従来は研究室の単位で必要な消耗品や備品を調達することが多かったが、世界的なパンデミックのような非常に広範囲に経済活動が影響を受けるようなケースでは、国内外を越えてサプライチェーンの維持に支障をきたすこともわかった。自然災害時も同様に支障を生じるが、世界的な感染症の場合はその範囲が異なる。日本全土に加えて海外でも国・地域によってロックダウン等状況が異なる措置が取られることから、必要な資材の供給が生産地と輸送路の状況によって影響を受ける。グローバル企業はサプライチェーンの再設計を急ぎ進めているが、研究開発資材においても、サプライチェーンの急変によって供給・調達が滞る。特にわが国では海外メーカーに依存しているものが非常に多い試薬類や備品・装置等では、それによって研究活動が支障を受ける場面が発生した。逆に需要サイドの活動自粛によって供給メーカーが資材事業を継続維持できなくなる事態も生じている。今後も同様のことが起こる可能性を考慮し、そのリスクをできるかぎりヘッジする方策を考えておくべきである。例えば、研究室ではなくより大きな研究所単位や法人単位での共同調達や、場合によっては複数法人間での共同調達、資材融通をおこなうことなども考えられるだろう。研究開発活動において非常にクリティカルな試薬や備品の場合（例えばヘリウムガスや希少な実験動物等）、単一の供給ルートだけではなく、代替調達先のリストアップ等もリスクマネジメントの意味で一定の有効性があるだろう。また、もし供給が滞ってしまった場合に、備蓄分でどれくらいの期間の活動を継続することができるのかについての、マネジメントと合わせておこなうことが望ましい。実験系の研究の場合、テーマによっては「貴重でかつそれがなければ実験することができない」ようなクリティカルな資材があることから、それらへのリスクヘッジを研究者・研究室単位の対応だけに委ねるのではなく、より大きな組織単位での協調体制と、それを実現する組織内の柔軟な会計・事務処理ルールを整備・運用するべきである。

資金の面では、財源の一層の多様化と、異なる財源の合算使用の柔軟化、大学法人の場合は間接経費使用における自由度の向上、企業等民間からの受託・共同研究費・寄付金等の自己収入に関する越年の積み立て実現といったことが挙げられる。これらは、過去にも何度となく議論されてきて今なお実現のできていない（または実現が一部に限られる）、わが国の大学等公的研究機関における研究開発システム・財源スキーム上の残された課題である。2020 年 10 月に、東京大学が償還期間 40 年で 200 億円の大学債権を発行したことはエポックであるといえよう。大学債は、投資に規模が必要となるような資金使途において、長期計画に基づく執行が他の財源では難しいことが背景にある。東京大学債の目的は、自由度の高いまとまった資金を確保して、「ポストコロナ時代の新しいグローバ

ル戦略」と「キャンパスの徹底したスマート化の促進」等とされ、「国際求心力を高める先端研究施設や設備の整備を加速することと、ウィズコロナ、ポストコロナ時代に学生・研究員・教職員が安心して教育研究に集中できるように、サイバーとフィジカル両面で優れたキャンパスへの転換するための整備を中心に投資を行う」と表明されている。つまり、ポストコロナにおいて大きな変化を遂げるためであり、大学キャンパスの DX 実現であり、目的は本報告書の掲げる RX とも多数重なる。このような変革は、40 年間の長期債を財源にしなくてはできない現実があることの裏返しでもある。40 年の長期間のなか、前半期に他の財源だけでは難しい戦略的な投資をおこない、教育環境の充実とそれに伴う人材育成のみならず、研究開発活動や産学連携展開をダイナミックに活性化させたうえで、ベンチャーへの出資・当該企業の成長や、特許ライセンス等に投資成果を結実・拡大させ、社会実装による付加価値化までに時間のかかる回収を実現しようとする。大学等公的研究機関における戦略的「経営」の在り方が活発に議論されるようになってきているが、大きなトランスフォーメーションを実現するための経営をしようにも、経営をできなくしている既存財源に関する会計原則や、内部に残る自己規制は多数ある。民間には、危機時のリスク管理において「キャッシュ イズ キング」の概念がある。機動的投資財源の存在は、変化を起こすための選択肢そのものであるが、長期対応のキャッシュを用意しておくことが現状ではほとんどの機関でできていないため、危機時においての選択肢は狭まり、ひいてはその危機に応じた特定目的の政策投資を待つことに頼らざるを得ないかたちとなる。ほとんどの機関にとっては、東京大学のような債権発行は高いハードルがあるが、間接経費や民間資金の扱いにおいて、より自由度を向上させて合算使用や積立使用をスムーズに行うといった、目の前のことをできるようにすることが肝要である。

一口に大学といっても、都市部の有力大学と、地方の国・私立大学では置かれた環境と事情がまったく異なる。運営費交付金や私立大学等経常費補助金の減少、競争的資金の格差は非常に大きく、疲弊の実情は経営努力の問題としてだけでは片づけられない。コロナ禍で影響を受けているのが学生であることを考えれば尚更である。地方大学の再編論も進むものの、上述のようにリアルと同じではないとはいえオンライン教育の提供が拡がるなか、都市部／地域部間の研究・教育環境上の隔たりを越えた広域の連携を拡げることを提案したい。例えば、大学間でリソースや特徴・得意分野に違いがあることを活かして、大学の担う教育サービスの受益者たる学生を固定せず、単位互換をより多様に実現することは可能なはずである。また、研究共用機器類のプラットフォームの相互活用のなかで、学生や研究者が研究を実施するために、機関間での保有装置等の役割分担や活動の連結を充実させることが考えられる。

東京大学FSI債
https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/public-info/for_investors.html

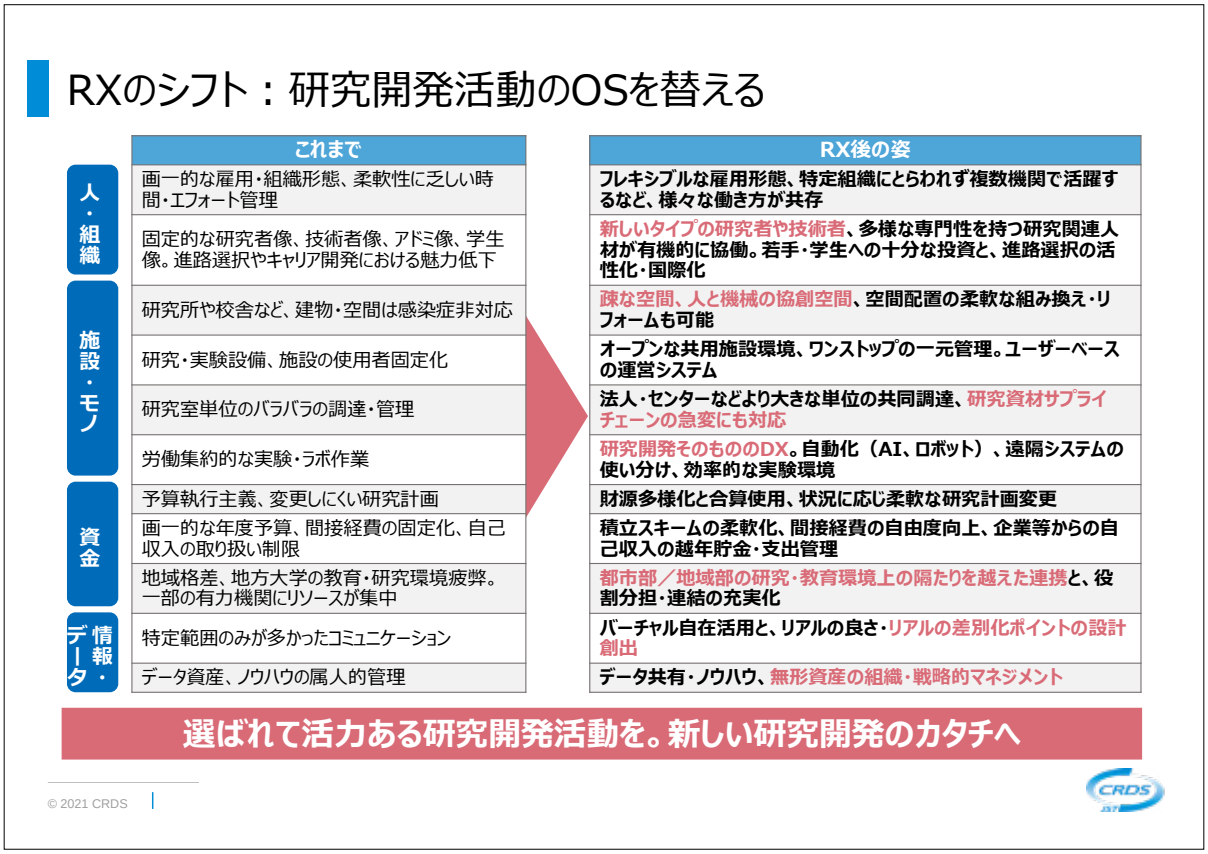

図 1-6 RX のシフト：研究開発活動の OS を替える

1-2 研究活動の遠隔化、疎な現場

（1）遠隔化

室内において人が密集することなく研究活動を遂行するには、「疎な空間」を設計することと共に、すべての人員が同一空間内に居なくとも活動できるようにすることである。すなわち、オンラインツールを用いての遠隔環境の構築は一つのテーマである。遠隔によってあらゆる実験や調査分析研究を完全にできればいいのかもしれないが、「完全遠隔」の実現は容易ではなく、すぐにやろうとしたところで現実的ではない。ここでいう完全遠隔とは、人が実験室やフィールドに全く存在しないまま、遠隔地からの通信のみで、ロボティクスを活用して実験や解析、サンプリング操作等を可能とする活動を指す。現状では、ごく限られた装置や実験・解析・サンプリングのみしか対応ができず、そのための機器・システムの開発が広範囲に必要である。また、無人現場の標準的な安全管理・セキュリティ対策を構築する必要があるが、投資だけでなくその開発に要する期間や新たなルール整備も必要になるため、少し将来的なものとして完全遠隔は見ておくべきだろう。その前にステップとしてまず実現すべきは、「半遠隔」型の研究開発環境の構築である。半遠隔とは、限られた人員数（実験・技術に精通した職員や実技実習生等）のみが現場でリアルの操作を担い、他の研究者らは遠隔地からコミュニケーション（ビデオ、スマートグラス、VR 等による共有）によって、実験等を協働協調的に同時遂行するような研究をいう。

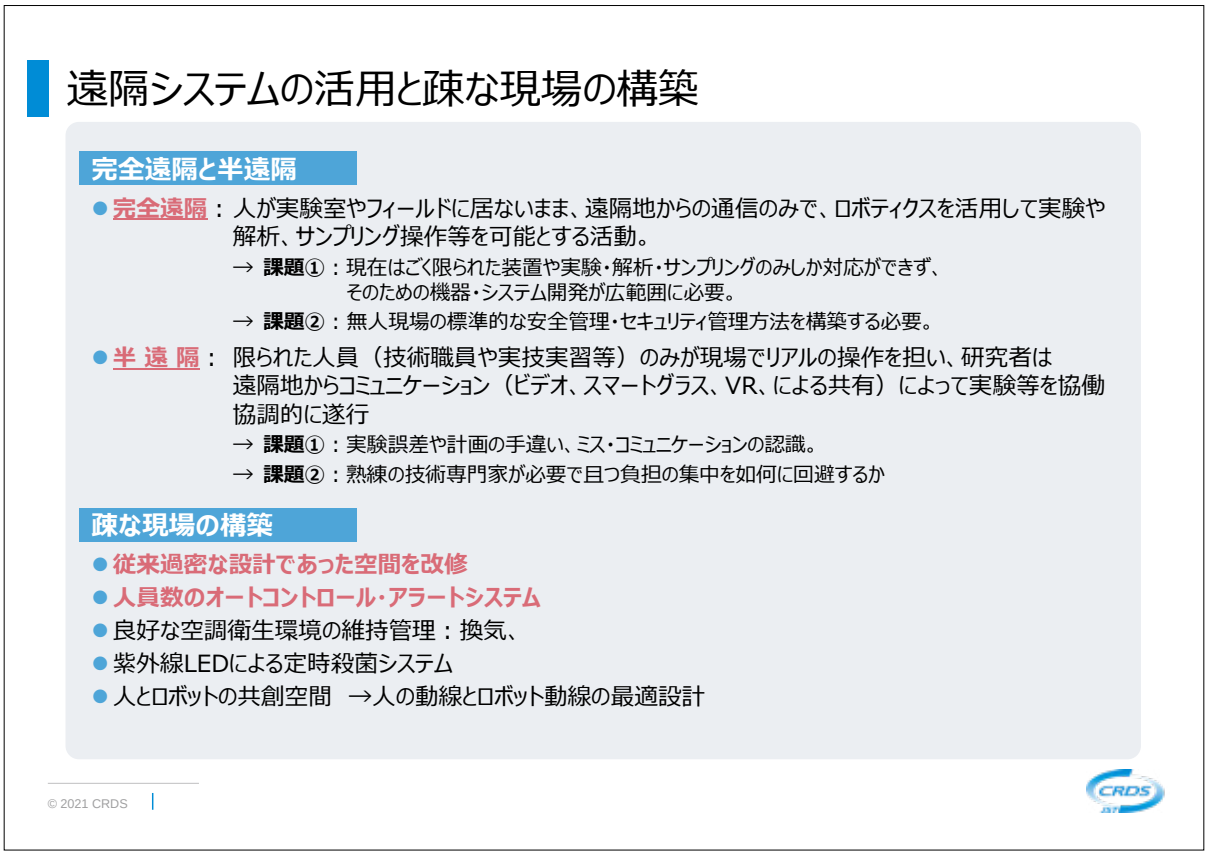

図 1-7 遠隔システムの活用と疎な現場の構築

下図の半遠隔の実験研究環境のケースでは、実験室内においてはプロフェッショナルな高度技術を持った専門技術者が実験機器の直接の操作を担う。特定人物だけに負荷が集中しないように、時間や日にちで業務を交代するなどの工夫が必要であろう。この専門技術者は装着したスマートグラスなどによって、手元の実験操作や画面等を遠隔の研究者とリアルタイム共有している。VR/AR システム、デジタルツインの併用や、4K・8K 高解像度の視覚画像と音声コミュニケーションを共有する。遠隔の研究者が覗くモニター上には、実験施設内の技術者の視線と映像が再現される。同時に、クラウド上で実験データの処理・解析をリアルタイムで実行し、その結果はオンラインで共有され、さらなる実験にフィードバックされる。遠隔地から参画する研究者は、それぞれが別の地にいる「多地点参加型」であっても問題はない。すでに一部の大学や研究機関では、このような取り組みの先行導入を進めているところである。

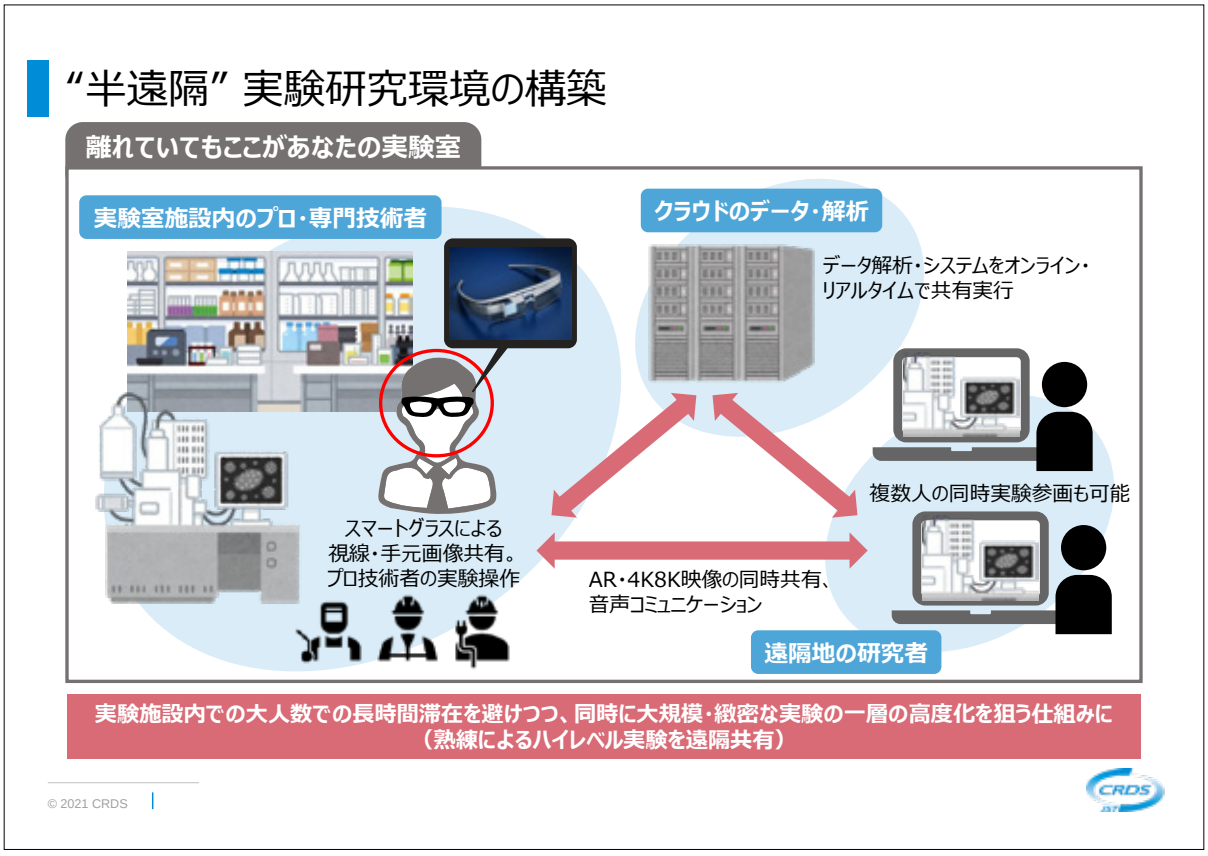

図 1-8 “半遠隔” 実験研究環境の構築

半遠隔型の研究環境をより深く考えてみると、これまではいわゆるゼネラルなスキルが必要とされた日本的研究者について、研究における「仮説設計、実験計画、結果の解析・考察」のパートと、直接的な技術面である「実験準備、実験操作・装置運転・加工・計測・分析」のパートを高度に連携、分業・協働するようなかたちになる。研究者は緻密な実験計画を立て、確かなスキルを持つプロフェッショナルの技術者は、実験操作の責任を担うようなかたちである。こうすることで効率的でハイレベルな実験が安定的に可能になる。ただしこの場合においても、学生や若手研究者といった、キャリアの初期段階では両方を経験することが重要であり、特に実験技術の習熟を積む必要があろう。その上

で、研究者だけでなく、プロの技術者としての道も選択肢として検討できるような職業環境の構築が課題である。海外、特に米国やドイツでは、元来、技術専門職と研究職のキャリアがそれぞれに確立しているが、日本ではこれまでなかなかそのような状況にはならなかった。RX のなかでは、それぞれの専門性があればこそ実現可能な連携・協働と、それに相応しい職業観や評価体系を育てていくことも重要になる。さらにいえば、変化の速い時代にあって、ある一つの専門性は時間とともに陳腐化していくことは避けがたいことから、研究職であろうとも技術職であろうとも、自らの知識やスキルを深掘りだけでなく、新しい領域へとアップデートしていく育成・研究活動も欠かせないことを認識すべきである。こうした一連の方向性のなかでは、熟練技術や伝統的技術といったものが時間とともに失われていく懸念も強い。そこで高度な技術を持つ専門家のノウハウや、失敗データなどもデジタルアーカイブ化して再現・再利用可能にしていくことも併せて進める必要がある。

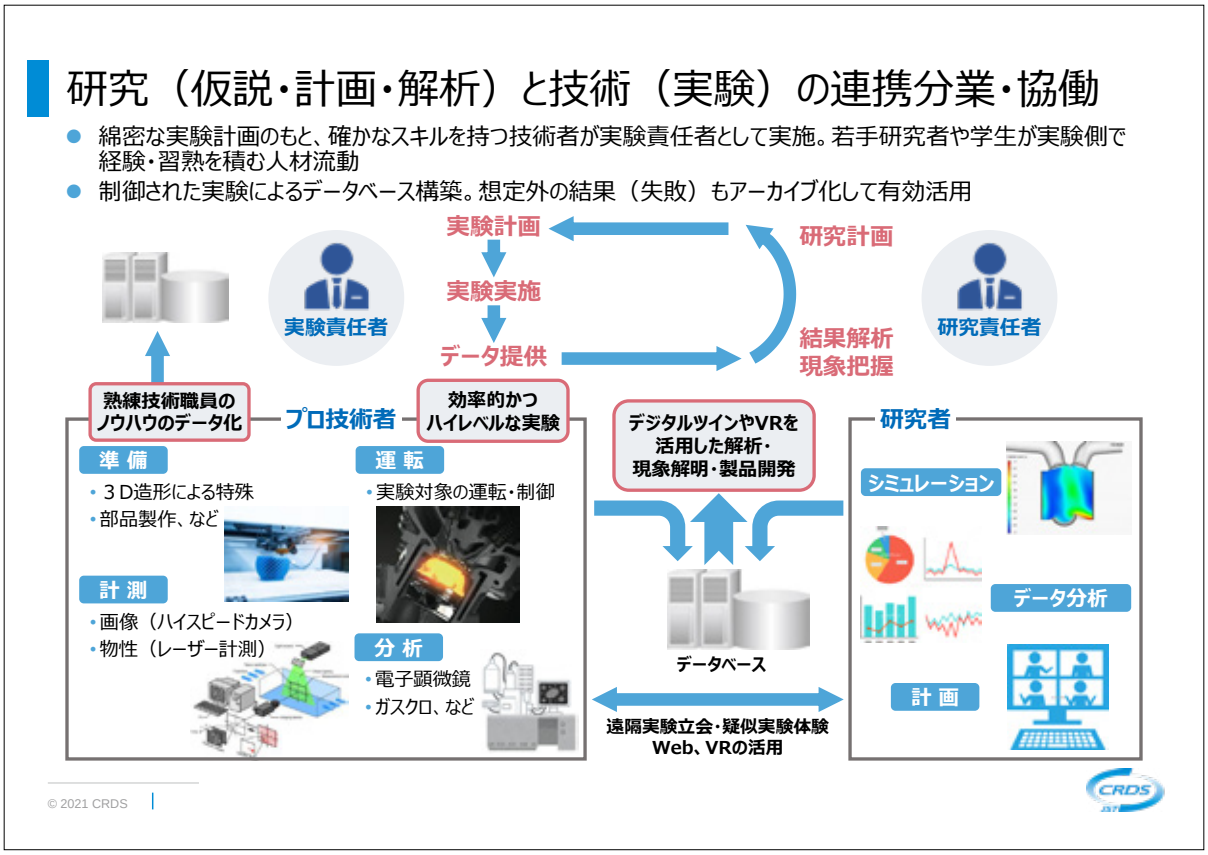

図 1-9 研究（仮説・計画・解析）と技術（実験）の連携分業・協働

（調査報告書）環境・エネルギー分野における非連続的なイノベーションを支える工学研究基盤強化
https://www.jst.go.jp/crds/report/report04/CRDS-FY2020-RR-02.html

（2）疎な現場

半遠隔による研究活動をケースとして述べてきたが、これからの研究室やラボの空間設計の在り方についても検討する必要がある。実験室としては半導体研究開発に用いるクリーンルームが参考になるであろう。クリーンルームでは、入室時に専用のウェアやマスクを着用し、さらにその上で身体のホコリをエアシャワーで吹き飛ばしたあと入室する。一般的にクリーンルーム内は陽圧に保たれ、外部からの汚染物質の流入を防いでいる。逆にウイルスや放射性物質を扱う部屋では外部への拡散を防ぐために室内は陰圧に保たれる。通常、クリーンルームでは、室内に同時に入る人員数も、内部のクリーン度を保つために定員が定められている。このようにして内部の清浄度を常に保っている。では、ウイルスの人への感染を防ぐような実験室環境に求められることは何か。ベースとしては通常のオフィス環境でおこなう対策があるが、入室時に衣服等に付着したウイルスを持ち込まないことは重要な対策である。そのためには、入室時に清浄な着衣を用いることや、紫外線源による殺菌技術の導入などにより、実験室内での感染原因を低減することが可能になる。さらに研究機器類の配置や人の動線の再設計が必要になるだろう。これまでの実験室は機器類が密集していたり、同時に活動することのできる人員数についても具体的な設計は無かったに等しい。今後はロボット技術の導入なども想定すれば、空間に余裕を持った配置と、人とロボットとの共創空間を構築していくことは一つの方向性ではないかと考えられる。

図 1-10　人とロボットが共創する研究環境

異分野融合を促し、研究力向上を支える土壌を育む（—The Beyond Disciplines Collection—）
https://www.jst.go.jp/crds/report/report04/CRDS-FY2019-RR-02.html

1-3 自動化・知能化（AI・ロボットが人から動作を学び、実験し、予測・検証をする）

研究における実験操作等を省力化・自動化し、AI の活用等によって知能化していくことは一つの大きな流れである。（1）個々の装置を自動化・知能化することと、（2）異なる装置間を結びつけて自動化・知能化することの、二段階で進歩していくものと考えられる。

まずは（1）の個々の装置を自動化・知能化することだが、通常は人が操作していた装置の稼働部分や研究対象サンプルの準備などを、ロボティクスの導入により自動化していくことが考えられる。とはいえ、各々の装置はそもそも人が操作することを前提として設計されているものが大半であることから、既存装置を完全に自動化することは容易ではない。特にサンプルの準備や機器のセッティングを自動化するには、それをおこなうための機器の開発なり、システムの開発なりが必要となる。CRDS の調査では、単純な動作を除けば、まずは研究者自身がそうした開発技術を有しているなどのケースに限定され、自動化の試みを進展させている事例が多い（2-1 項では、自動化や知能化を導入し始めている各地の事例を紹介する）。自動化に必要なロボット技術には標準化されたものはまだあまり見当たらないことから、目の前の装置に自動化を導入するためには、どの部分をどのように自動化するのかについて設計し、ロボット関連企業等に具体的な機器の作製を依頼することから始めなければならない。一方、いつまでもこの状況であるわけではなく、今後は徐々に、標準的な自動化支援導入機材が各分野で拡がっていくものと考えられる。同時に、元々の装置設計に自動機能が組み込まれた状態で販売される研究機器類も増えてくる。多くの科学機器メーカーは、装置の自動化・知能化の方向へと開発を推し進めている。また、そこでは当然のごとく専用のデータ取得・解析ソフトウェアが内部のコンピュータに随伴しており、そうしたソフトウェアについても、AI を用いた実験条件の範囲設定や、機械学習によるデータ解析・処理を実行していくタイプの機器が増加していく。

その上で今度は（2）異なる装置間を結びつけて自動化、知能化することとして、実験室やラボ内の任意な区分において、様々な装置間を如何に結び付けるか、物理的にも情報システム的にもコネクトし装置間で情報のやり取りが行われる方向へと進んでいく。物理的にとしては、例えば材料開発における計測分析装置に関する一つの案として、複数の計測装置を統合的に運用し、効率的にデータ収集し、そして材料作製の評価にフィードバックする循環をつくるといった取り組みが始まっている。従来の計測装置は個々に単独で測定し、人が順番に装置へサンプルを持ち込むものであったが、これをベルトコンベア方式で装置間をつなげ、あるいは自走式のロボットが人に替わって装置間を移動し、有機的にサンプルが自動移送されていくようにするものである。例えば、X 線解析装置、走査型電子顕微鏡、X 線光電子分光等々による一連の測定を自動的に順次実施し、測定データを創出する。それを AI 解析して、次の試料へとつなげていくというようなスキームである。また、情報・システム的にも、個々の装置の処理システムがバラバラに稼働するのではなく、複数装置を統合運用するための AI やサーバーが中央で稼働するといったシステムを組み上げていくことになろう。このようなコネクトされた複数装置間での統合運用が実現すれば、実験者は労働集約的な作業から解放され、実験を進める効率も格段に向上するとの期待がある。2-1 項では、自動化や知能化を導入し始めている各地の事例を紹介するが、そうした先行事例から、この方向性が確実に動き出していることが捉えられるだろう。

図 1-11 研究開発機器の自動化・知能化

これらを推進する上でよくよく考えておかなければならないことは、研究基盤の DX 化におけるラボやフィールド調査等の自動化は手段であり、研究の仕方自体の変革が重要だということである。RX を推進する主役は研究現場におけるエキスパートであり、言い換えれば、研究を実施する人々の考え方と行動の変革である。今後の新たな世代は、自動化の進む研究室で育つ将来の研究者であり、そのようなデジタルネイティブの研究者は、それ以前とは全く異なる思考パターンによってこれまでの研究者が出せなかった成果を創出する可能性がある。これがもし研究ではなく工場の生産現場などの場合であれば、多品種少量生産の流れなどもあるものの、基本的には予め決まった仕様のものを再現性高く生産するシステムである。対して研究の場合は、そもそも何が創出されるのか分からない、未知の新たな成果を生み出すものが研究であり、決まったワークフローを動かすだけとはならない。機器やそれらの接続方法の標準化や自動化・ロボットの導入、得られたデータの統合的な扱いは進むが、それらをさらにどう組み合わせ、どう動かすか、それぞれの機器自体をどう進化させるかなどの段階では、現場のエキスパートの創造性が極めて重要になる。また、それらをシステム化するスキルも同時に必要となる。つまり、推進するのは研究現場のエキスパートたる人々である。デジタルネイティブの研究者や、RX を体現する研究者は今後時間と共に自然に増えていくと考えられるが、そのような研究開発環境・システムを現実のものとして実装していくエキスパートは自然に存在するわけではない。政策・施策的な方向性としては彼らの育成を推進・支援することが重要であろう。

日本学術会議 学術フォーラム「コロナとの共生の時代における分析化学の果たす役割」
ポストコロナ時代の分析機器メーカーとしての目指すべき方向性
杉沢 寿志 （一般社団法人日本分析機器工業会 技術委員長）
http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/295-s-1111-t3.pdf

1-4 研究コミュニケーションのかたち

（1）研究現場のコミュニケーション

大学等研究機関では入構制限措置によって、現場のコミュニケーションは大きな影響を受けている。人と人とのコミュニケーションが発生する場面は多岐にわたるが、打ち合わせ、研究活動、研究指導および学生教育等に関して、JST による聞き取り調査をもとに見えてきた状況をまとめる（2020 年 10 月時点）。

大学においては、まず学外関係者との打ち合わせ等はオンラインでリモート化する傾向が強い。その一方で、学内の者が参加する研究室や研究グループ内の打ち合わせは、状況に応じて対面とオンラインのいずれでも実施されている。徐々に入構制限が緩和されることに伴い、少人数で集まる場合は概ね対面で行われるようになってきている。ただ、40 人 50 人といった数十人規模の大研究室においては、在籍者の出勤・登校を、日にちや時間帯で分けるなどして密の状態を回避する措置を取っている。そのため、現在の状況下では学外・学内いずれにおいても、オンラインによるリモートのコミュニケーションを継続的に活用することは必須と考えられる。こうしたリモート化が、研究活動の進捗に与える影響はどうであろうか。仮に、ある研究チームにおいて、既に進行中の実験等研究テーマであれば、当事者間で互いに取り組むべき事項の方向性がある程度共有されており、オンラインのコミュニケーションでも大きな支障は生じないとの見解がある。しかしながら、これから新たに始めようとする研究の場合、研究分野の特徴・特性によって異なるものの、実際に会って研究に用いる装置や対象物を前にしながら構想を議論しなければ話が進まないとの声が聞かれる。実験のセットアップを複数の研究チームが共同で行うようなケースでは、共同研究自体を停止するなどの状況が生じている。こうした場合、同一機関内か機関外かによらず、技術的な細かな点についての認識共有が難しく、共同研究の円滑な進展が困難な状況、並びに海外機関との打ち合わせを予定どおり進めることができない状況が見受けられる。研究に用いる装置や解析の手段などを各自が自宅に持ち帰って操作することが可能であれば進められる研究もあるが、それが可能な研究領域は一部に留まる。

大学における研究指導と学生教育に関していえば、実験・実習と講義で大きく異なる。教育・指導を要する学生に関しては、対面の指導や、自ら直接手を動かしながらでなければ実技習得が不可能なものが多い。実験・実技実習の科目に関して、オンラインで教員が自ら実験操作するビデオを、学生が自宅から視聴するといった代替を試みた大学は多い。しかし、専門教員による失敗のない実験操作動画から学生が学び習得することのできる実技は極めて限られたものとなり、実技の習得に至らない知識としての内容に留まってしまう状況がある。

他方、講義を中心とする教育に関しては、オンライン形式に関する様々な賛否がある。好意的な反応も多く、復習や質問のしやすさ、教員との距離が実は近くなるといった意見が挙がる。モニター画面に向かって話している教員からすれば「空」に向かって講義をしているかの感覚を持つが、学生からすれば普段は大教室で遠くから話す教員を眼前に感じることができ、板書も目の前、スライド配布があればページ送りを自分のペースで確認しながらできるなど、学習効果としてのメリットを挙げる学生もいる。また、教室での大人数講義の場合、教室内には多人数ゆえのある種の空気が存在するものだが、オンラインの場合は学生個々人のため、一人一人が空気の影響をあまり受けることなく集中できるといった声もある。一方でデメリットも指摘され、学生の表情がわからず、講義内容についていくことができずに遅れてしまう学生が出ても、教員がそのことに気が付くことができない、試験よりも事後課題による評価が多くならざるをえず、多数の科目で大量の事後課題が重なって十分な学習時間を確保することが物理的に困難、といった問題を挙げる学生もいる。ウェブカメラを受講生の側で切る、あるいはアバターの使用を認める大学もあるが、いわゆる非言語コミュニケーション（身の

こなしや視線）によって学生の状態を把握してきた教員の側からすると、学生の理解の程度をリアルタイムで把握することができず、アバターへ向かっての講義は無機質で異質なものと感じてしまうケースも多いようである。特に、オンライン科目においてグループディスカッションを学生に課すことも多いが、いわゆるブレイクアウトルームでのディスカッションに順応ができず、コミュニケーションに難が生じることが続き、結果として心理的な負荷となって受講を継続できない、出席を断念してしまう、経済的な事情なども相まって休学や退学の選択をするケースも多数起きている。

しかし、新型コロナ感染拡大の一年を過渡期として捉えれば、オンラインツールの急速な普及、そして今後の発展や最適化へ向かう方向には期待を持ちたい。使用する教員・学生両者の使いこなし方の変化によって、この状況はさらに大きく変化していくことが予想される。いわゆる EdTech（Education × Technology を組み合わせた造語）として投資が活発化する様々な教育系新サービスの登場、MOOCs（Massive Open Online Courses）に代表される大規模公開オンライン講義の普及拡大や配信方法のイノベーション、リカレント教育の広がりなど、関連投資が呼び水となってさらなる投資環境が充実し、標準的な方法の普及と安定化が進むことが期待される。

（2）オンラインコミュニケーションツールの今後の展開、およびその活用に向けて

研究現場で「以前の当たり前を取り戻す」際に、以前と同様の環境を取り戻すのではなく、デジタル技術が浸透したこれからの時代に適した形態を築いていくことが重要である。そうした形態の構築における一つの鍵は、オンラインコミュニケーションツールである。このツールを、世代を越えて使いこなせるものに発展させていくことが求められ、誰もが簡単に使いこなせるツールの利用が一般化していくことが重要である。そのうえで各ツールをより人に優しいものへと改良・開発していくことが求められよう。

こうしたツールの発展に向けて、計算機を用いた協働作業からの学びは大きいといえる。計算機の分野では、1980 年代から CSCW（computer-supported cooperative work）として研究が発展してきた。CSCW を実現するグループウェアのひとつとして遠隔会議システムが研究され、「超リアルさ」が追求されたこともあったが、CSCW の研究者の中には、技術者の思い込みだけで技術の高度化を目指してきたことを反省し、より使いやすいアプリを作るには利用者の心理といった「人間」に焦点を当てた開発が必要であるという意見もある。これはリモート会議アプリにも当てはまり、より自然な、疲れない、効果のあるリモートコミュニケーションを実現するには、情報科学からのアプローチだけでなく、心理学といった人文社会系からのアプローチと併せて実施していく必要がある。

上述してきたように、ツールの改良・開発はオンラインでの研究コミュニケーションにおいて大きな役割を果たすといえるが、それに加えて、そうしたツールを適切に活用することも重要であり、以下に示すようにアプリ機能を含むツールの活用に関する課題も聞かれる。

例えば、現在主流の各種リモート会議アプリは、主催側でさまざまなルールを別途設けて運用しているケースがよく見受けられる。その中には、会議の円滑な進行のため、通信帯域を気にして画像表示を控えるべきであるとか、チャット禁止など、リモート会議における活発な議論を生む仕掛けを無意識のうちに殺してしまうようなルールを決める場合もある。または、画面上の参加者表示の上座・下座を気にする、あるいは会議終了後は相手が接続を終了して退室するまで接続を切ってはいけないなど、現実世界のマナーや文化的背景をリモート会議に持ち込むといった事例も見られる。また、実際に参集して行う会議と異なり、複数人が同時に発話してしまうと聴き取り難いため、内容理解や議論が困難であることや、聴衆の反応が見えないために発言が長くなるといった声も聞かれる。さらに、自分の発話や資料共有が相手に伝わっているかどうかのフィードバックがないため、多くの発表者が「聞こえていますか」、「見えていますか」という確認をし、それに時間を費やしている。こうしたリモー

ト会議における非技術的な課題の克服に向けて、アプリの改良や環境整備はもちろん、意識的に従来の会議運用を見直すことも含め、アプリ機能を最大限に活かした会議の進め方を設計することが求められる。

（3）研究交流のコミュニケーション（学会活動等）

研究現場の外で研究成果やアイデアを交換する学会等については、開催延期や中止とする対応から、徐々に実施を模索する動きが見られる。学会のバーチャル開催が進み、これまで時間的・資金的な制約などから参加が難しかった学会に参加できるようになったとの声が聞かれる。バーチャル開催の学会では、ポスターセッションの工夫や仮想空間の利用が盛んである。試行錯誤の中でリアルさを追求したツールやインタラクティブな仕掛けも登場し、参加者間のコミュニケーションに活用された事例が見られる。

図 1-12 学会等研究コミュニケーションの DX 進展と課題

JST 研究成果展開事業センターオブイノベーション（COI）プログラムでは、イノベーション創出のための異分野交流を目指す「COI 学術交流会」をオンラインで開催した（P26 コラム参照）。ポスト/with コロナ社会での新たなコミュニケーション手法としてオンラインポスターセッションツール

Science Portal「学術集会もVR空間で―コロナ禍にあっても「身体と精神の制約を解き放つ」意欲的な試みで実現」（2020.08.17）科学技術振興機構（JST）https://scienceportal.jst.go.jp/explore/reports/20200817_e01/
https://www.youtube.com/watch?v=WqsK8qVASZA

を実行委員会が自ら開発し、参加者がロールプレイングゲーム風のポスターセッション会場内を歩き回ってチャットベースで活発な議論を行える環境を整えた。

仮想現実を用いた学会の萌芽も見られる。2020 年 7 月には、米国在住の日本人研究者と海外日本人研究者ネットワークのメンバーによる学術集会が、バーチャル・リアリティ（VR）技術を使った仮想空間で行われた。参加者はアバターを介して一つの空間を共有する臨場感を得られ、チャットは会場での“おしゃべり”により一層近づき、偶然の出会いの要素もある。それでいて、時間さえ合わせれば世界中どこにいても参加でき、子供向けの科学教室に各国研究者が家族ぐるみで参加する、といった垣根のなさは新たな可能性を感じさせる。

成果発表以外の目的を持つ交流の場も、より気軽に、耳目を集める形で開催可能になってきた。2020 年 10 月に開催された、ラボラトリーオートメーション（研究の自動化）に関する議論・情報交換・交流のための学会「LADEC」は、開発者やユーザー、研究者、ビジネス関係者らを対象に 600 名を超える参加登録を集めた。「生産性向上のための研究生活の自動化」「ロボット実験にふさわしい実験プロトコルのあり方」や、次世代の研究環境を広く捉えたそのテーマ性だけでなく、研究者を取り巻くプロフェッショナルが共通の目的のもと、集合知を形作る動きとして注目される。

Laboratory Automation Supplier's Association
https://laboratoryautomation.connpass.com/

コラム：新しい学会に向けた試行的取組：「第 3 回 COI 学術交流会」の開催

COI STREAM 構造化チーム「若手人材の活躍促進・支援活動」の一環として、学術交流会（第 1 回 2018 年 10 月、第 2 回 2019 年 9 月）が実施されている。この学術交流会は、研究者と研究の推進を支援するリサーチ・アドミニストレーター（URA）が中心となって企画し、異分野融合と人材交流を図ることを目的に進めており、第 3 回の開催に向けて 2020 年 2 月頃から企画を開始していた。しかしながら、新型コロナ感染症の拡大により、参加者が一堂に会しての会合が困難となり、中止も含めて実行委員会の中で議論が行われた。収録したビデオを流すことなど含めて、既に多くの学会がオンラインでの開催を実施しており、それらを参考にしながら取り組むといった意見が見られた。

（実施概要）
2020 年 7 月 2~3 日
申込者 302 名、参加者約 180 名

・COI プログラムに参加のプロジェクトリーダーやリサーチリーダーからの講演

・ポスター発表者（62 件）からのフラッシュプレゼン（1 分）、及びインタラクティブ・バーチャルポスターセッション※

※バーチャルポスターセッションでは、ロールプレイングゲームのように会場を動き回ることができ、気になるポスター（番号の書かれた看板）に近づくと内容が大きく表示される（右図）。チャット機能を使ってポスター発表者に質問やコメントができる他、周りの人とも意見交換できる。

バーチャルポスターセッション

・オンライン懇親会

参考：https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2020/202008/pdf/2020_08.pdf

実施後には運営側から、通常であれば時間的な制約から講演が難しい研究者の登壇にこぎ着けたことや、前年度と比較して約 2 倍の参加者があったことなどが聞かれた。一方で、オンライン開催の困難さも改めて浮かび上がってきた。例えば、発表者の回線状況の問題で円滑なプログラム進行が難しい、申し込み数に比較して参加者数が少ない、などの運営上の課題である。また、学会の目的である異分野融合や人材交流を図ることができたのかという観点からみると、名札がないため一目で属性が分からず不安を感じる、本音で話し合うには意図的にクローズドな場を設定する必要がある、などの課題も見受けられた。特に異分野間の研究者同士が出会って新たに関係を構築していくためには、こうしたツール自体のさらなる発展はもちろん、オフラインでの「せっかく来たから聴いていこう、見ていこう」といった人間心理をうまく考慮したツール運用も併せて必要だろう。

（4）当たり前を問い直す：何のための研究コミュニケーションか

＜オフライン・リアルにおける価値＞

本節では、大学等研究機関の研究現場、そして学会活動を中心とした研究交流に関する現状を通じて、主にオンラインの活用の観点から新たなコミュニケーションのかたちを述べてきた。研究現場では、「以前の当たり前を取り戻す」際に、デジタル技術が浸透したこれからの時代に適した形態を築いていくことが重要であると述べた。このことは、相手が“より他者”となる研究交流についても同様に当てはまる。一方で、学会等の研究交流における工夫、および共同研究時におけるオンラインでの意思疎通の難しさ、オンライン会議や学会における活発な議論の欠如など、オンラインならではの課題は、相手が“より他者”であるほど顕著であるように見受けられた。

こうしたオンラインにおける課題から、「研究コミュニケーションの目的」が改めて問われているといえる。研究現場・研究交流においては、さまざまな場面でコミュニケーションが行われ、その目的も多様であるが、ここで着目したいのは、集合知を構築し、研究自体の付加価値を高めることである。この付加価値をより高めることとしては、研究室内であれば「構成員間の協力と切磋琢磨」があり、研究室から一歩外に出れば「批判的思考や未知との遭遇、多様なステークホルダーを内包する社会との共創」があるだろう。こうした研究コミュニケーションの目的やその付加価値向上のために、オンラインツールが果たした役割は大きい。

しかしながら、上述したオンラインにおけるコミュニケーションの難しさや活発な議論の欠如など様々な課題も見受けられ、オンラインでは代替できない、オフライン・リアルにおけるコミュニケーションの価値が改めて再認識される。こうしたオフライン・リアルにおける価値については、研究とはやや縁遠い社会経済活動の中でも当然見受けられる。コロナ禍において、例えば臨場感あるライブコマースは、バーチャルとリアルの狭間で顧客に価値を届け続けている。やわらかい介護ロボットは、生活支援の手段となるのみならず、社会参加をも促進している。情報そのものだけでなく価値を届けることの重要性は、研究コミュニケーションにおいても変わらない。

研究コミュニケーションにおけるオフライン・リアルの大きな価値は、偶然からくる「セレンディピティや閃き」の機会提供である。同じ場にいることで、偶然目があって雑談をしたり、ちょっと声をかけて会話をしたりするといったことが簡単かつ同時多発的・偶発的に行える。こうした雰囲気や互いの反応を感じ取ることが、新たな発見や発想の広がりを誘発している。ここから今後の RX を支える要素を捉えるときに、ツールとなる技術の発展の重要性とともに、課題解決志向のマインドセットの重要性も指摘したい。データインフラ、ロボット、グループウェアなどの技術発展に加えて、人文社会系からのアプローチと融合した研究や、すでにある技術をどう組み合わせて所望の機能を実現するかという、ソリューションの開発も望まれる。いわゆる非言語コミュニケーションを補い、情報伝達とコミュニケーションの間を埋めるような、雰囲気や互いの反応を感じ取ることができる「場の感覚」の実現も求められよう。さらには「セレンディピティや閃き」を得る前提ともいえる、研究における多様性をいかに実現するかも改めて問われる。

また、研究開発でのリアルな活動の価値として、オリジナリティや競争力の源泉の確保が考えられる。いわゆる DX があらゆる場所で浸透すると、DX を最適化していく過程でさまざまな活動プロセスが効率化され、標準化が進むものと考えられる。すなわち、DX の本質には、高度な標準化によって実現される超高効率化という面がある。そうした環境下において、リアルな活動の価値をいかに活かし、内包させつつ研究活動を高度化していくのかが問われるだろう。今後もより一層の進展が予想されるオープンサイエンスやオープンデータの流れをみれば、アナログ情報をデジタルデータ化する最初の部分には、研究アプローチとしてのオリジナリティが肝要である。オリジナリティと DX とを有機的に結び付けつつ研究活動を進めていくことが重要であるといえる。

さらに、これまでオンラインとの対比からオフライン・リアルが有する価値について述べてきたが、それ以外にも、デジタル格差という観点からオフライン・リアルの価値をみることも重要であろう。リモート会議やリモート授業でも、より充実した環境にある者とそうでない者との差は大きい。また世代間でいえば、いわゆるZ世代（概ね1990年代以降に生まれた世代）やデジタルネイティブの世代にとってはバーチャルとリアルは連続的につながっているような認識があり、両者の境界への意識やバーチャルへの抵抗感は低い傾向にある。一方、個人差を考慮してもなお、シニア世代が新しいデジタル技術に使いこなしづらさを感じることや、長年慣れ親しんだ方法から離れるのに抵抗感を持つことは一般的傾向だといえるだろう。イノベーションの効果や恩恵を環境や世代にかかわらず受け取ることができる、インクルーシブで「誰も取り残されない」社会を目指すにあたり、オフライン・リアルの価値を見直していくことも今後の課題である。

＜共創に向けて＞

研究・実験への自動化・知能化の導入を含めて「研究コミュニケーションのオンライン化」は、研究者を時間的・地理的に解放してきたといえる。自動化・知能化はいわば人と機械とのコミュニケーションの側面があり、人と人とのコミュニケーションと併せて研究環境を次世代化・全体最適化することになる。しかしながら上述してきたように、オフライン・リアルならではの価値がオンラインとの比較により顕在化してきている。そこで、そうした状況を踏まえて今後の研究コミュニケーションのあるべき姿について考えたい。

コロナ禍により、研究現場では通常のコミュニケーションが困難となりオンラインを活用した研究コミュニケーションが進められてきたが、オフラインとオンラインのいずれも重要なコミュニケーションツールであるという認識が研究者間で浸透しつつある。時間的・地理的な制約、コスト面を考慮すると、オンラインでのコミュニケーションは非常に効率的であり、研究者にとって利点も多い。その一方で、次世代を担う学生も含む研究者等の間では、認識の齟齬やオフラインにおける偶発性から生じるセレンディピティや閃きを削ぐ可能性や、世代間格差といった課題もあり、オフライン・リアルを有機的に組み合わせつつ、コミュニケーションの価値を高めることが重要である。その際、こうした研究コミュニケーションの意味や在り方について検討することも必要である。人間情報学、環境保全学、デザイン学、科学教育・教育工学、脳科学、言語学、社会学、心理学といった多様な分野の専門家を含め、研究活動の価値創造をより一層高めるコミュニケーションのかたちを模索することが求められる。

RXの方向性においてDXが主要なドライバーであることは間違いないが、当面はトランスフォーメーションを先に遂げていく組織・人と、そうでない人たちとで差が極端に拡大していくと考えられる。その世界的な動きは速く、リアルのコミュニケーションに制約がある今、その状態のまま放っておくような組織・人の周辺には、自然と断絶が生じてしまい、取り残されてしまう可能性がある。競争論としてはそれをよしとする考えも一方であるかもしれないが、研究開発環境として全体のベースを向上させていくことが重要であり、ここにオフライン・リアルの価値が融合することで、二極化をやわらげていくことができないだろうか。研究者同士のみならず、研究者と社会、研究者と次世代人材、こうした広がりを自然な形で育むことのできるようにしていくことが求められよう。これからの社会課題の解決は、多様な主体が相互に関わり、ともに創造していく「共創」がより重要である。共創の活動では、人に寄り添い、課題を抽出し、調和を図りながら解決へと導く仕組みが求められる。その際、自然科学分野だけでなく、人文学・社会科学分野や、それらを横断・融合する活動のなかで、デジタル技術を駆使しながらも調和の取れたRXを実現していくことが重要である。

2 強靭な未来のラボの姿へ向けて

2-1 各分野の先行例

ここでは主に実験研究や調査研究における自動化やロボティクスの導入、取り組みを中心として、内外での先行的な研究 DX 事例や、関連する課題などを取り上げ分野ごとに紹介していく。CRDS の調査にもとづくピックアップとして、ライフサイエンス、マテリアル、エネルギー・機械・加工、環境・フィールド科学の順に 16 事例を紹介する。

（1）Robot scientist Eve（ライフサイエンス研究事例）

新薬開発には 10 年以上の期間と 1,000 億円以上の費用が必要とされており、創薬の効率を高めることが強く求められている。そのため、目的とする活性を有する化合物を効率的に選抜できるロボットを導入したハイスループットのスクリーニングが一般的となっている。ケンブリッジ大学とマンチェスター大学の研究グループにより開発されたロボットサイエンティスト「イブ」は、一日当たり 1 万化合物のスクリーニングを可能としているが、その特徴は、単に数をこなすだけではなく、陽性を示した化合物を統計学・機械学習により解析し、より高い活性をもつ新たな化合物の構造を予測することにある。すなわち、仮説を立てて、それを実験により検証、実験結果を解釈して仮説を修正するというサイクルを繰り返して、仮説主導のハイスループット研究を自動化することを可能にした。

研究グループは、イブを抗マラリア薬のハイスループットスクリーニングに採用し、多くの練り歯磨きに含まれるプラーク形成抑制成分であるトリクロサンが、マラリア原虫に対する新薬候補になることを見い出した。メカニズム解析を行ったところ、トリクロサンは DHFR と呼ばれる酵素を特異的に阻害することによりマラリア原虫の生育に影響することが明らかになった。DHFR はよく使われる抗マラリア薬のピリメタミンの標的酵素であり、この薬剤に対する耐性はしばしば見られることであるが、トリクロサンは薬剤耐性をもつ原虫に対しても有効であることを確認している。

イブの例は、力ずくのアプローチだけではなく、AI と機械学習による知的なアプローチを併せ持つロボットサイエンティストを創出することに成功したと言える。このような手法を導入することにより、製薬企業が手を出しにくい希少疾患等に対する創薬開発が推進されることが期待される。

図 2-1 Robot scientist Eve

https://www.cam.ac.uk/research/news/artificially-intelligent-robot-scientist-eve-could-boost-search-for-new-drugs

（2）DBTL サイクルと実現パイプライン（ライフサイエンス研究事例）

微生物等によるファインケミカルの生産は、サステイナブルな製造ソリューションとして期待されている。微生物の生合成経路を利用して有用化合物を効率的に生産するプロセスの構築に際しては、設計・構築・テスト・学習の DBTL（Design-Build-Test-Learn）のサイクルを何度も回して、最適なデザイン（遺伝子の改変）につなげていくことが重要である。一方で、このサイクルを回すには大規模なデータ取得とその解析が必要になるため、実験コストを抑えたハイスループットな評価システムの構築が課題となっている。

マンチェスター大学の研究グループは、多様なフラボノイド化合物の重要な前駆物質となる（2S）- ピノセンブリンの生産を題材に、各段階での自動化と迅速で反復的な DBTL サイクルを実証した。まずは、独自のソフトウェアを用いて、アミノ酸の一種である L- フェニルアラニンから（2S）- ピノセンブリンを合成するのに必要となる 4 種類の酵素の遺伝子を植物等から選抜して大腸菌に導入した第一世代の生産菌を構築した（ピノセンブリン蓄積量は 0.14mg/L）。次に、4 種類の遺伝子の発現バランスを調整した 2,500 種類以上の生産菌を設計し、実験による評価を実施したところ、蓄積量は最大 6.6mg/L に増大した。さらに 2 回目の DBTL サイクルの適用により、生産物の蓄積量は最大 88mg/L に到達し、最初の設計から生産効率が 500 倍改善された生産経路を確立することに成功した。

この事例は、自動化された DBTL サイクルの適用が合成経路の最適化において非常に効率的であることを示している。今後、迅速に DBTL サイクルを回す自動化技術はバイオ生産における重要なツールとなろう。

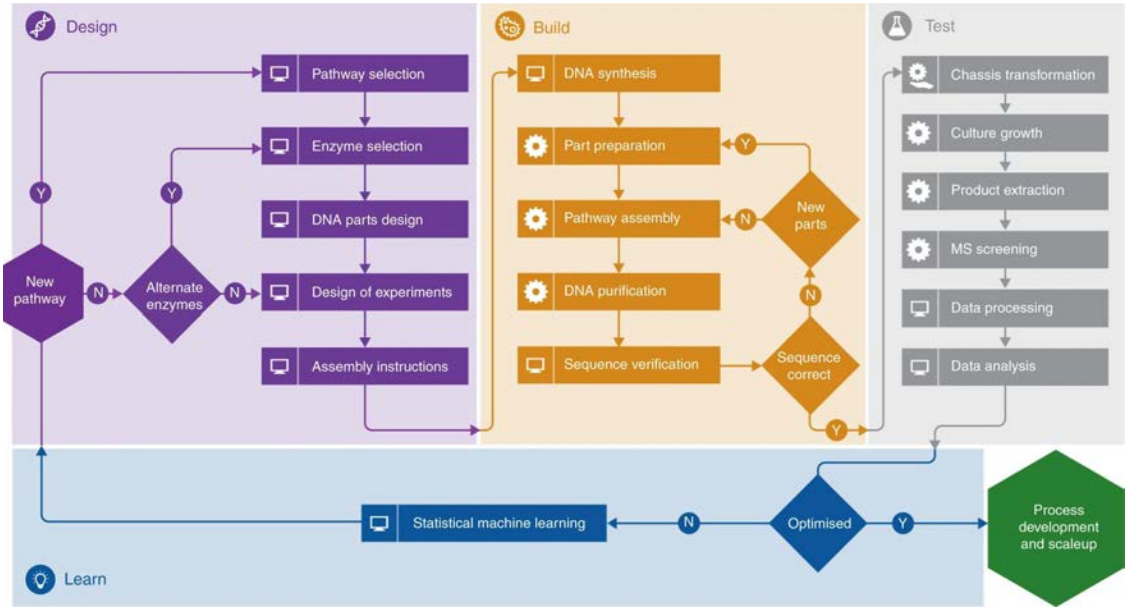

図 2-2　DBTL サイクル

Manchester Centre for Synthetic Biology of Fine and Speciality Chemicals （SYNBIOCHEM）, Manchester Institute of Biotechnology
http://synbiochem.co.uk/research2/synbiochem-research/

（3）AI・ロボティクスを用いた細胞内一分子イメージングの自動化・ハイスループット化（ライフサイエンス研究事例）

システムバイオロジーや構造生物学の進展により、細胞内の反応経路や因子の網羅的な把握に加え、オルガネラ、超分子複合体といった細胞内機能素子の実環境での構造が明らかになってきた。さらに、細胞内機能素子の動的構造と機能との相関を解明するためには、核酸・タンパク質などの生体分子の空間的局在情報と時間的動態情報を網羅的・統合的に取得し、細胞内機能素子の構造や動態と連関させることが必要であり、そのための計測技術の開発が求められている。

大阪大学の研究グループは、人間の操作をロボットに置き換え、細胞を探すといった人間の認識にかかわるところを機械学習（AI）に置き換えて、細胞内の分子の動態を観る「1 分子ライブイメージング」の自動化を進めている。本技術は、96 ウェル中の細胞に添加する溶液の添加時間や添加量を全てプログラムし、自動で焦点を合わせて細胞を探し、得られた画像から 1 分子を自動的に認識して位置と蛍光強度の時間変化を追跡することができるというものである。ウェルごとに異なる条件での細胞の観察が可能であり、1 日で 8,000 細胞まで見ることができるようになっている。

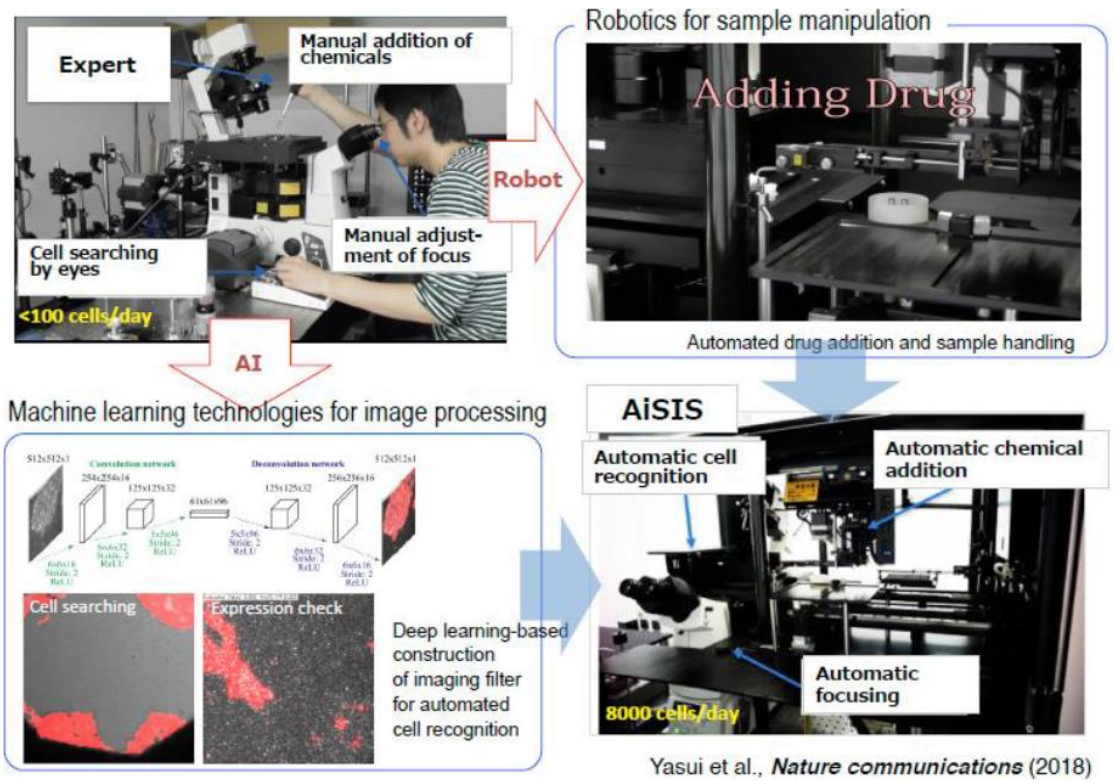

図 2-3　AI・ロボティクスを用いた細胞内一分子イメージングの自動化

CRDS科学技術未来戦略WS報告書「アトミック・セル・ダイナミクス」
https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2020-WR-01.html

（4）ロボティック・バイオロジーによる生命科学の加速（ライフサイエンス研究事例）

理化学研究所、産業技術総合研究所などは、JST の未来社会創造事業を通じて共同で、様々なロボットや機器が相互に連携して生命科学実験を自動実行するロボット実験センターの構築を目指している。

ロボティック・バイオロジー（ロボットによる生命科学実験の自動化）は、生命科学の研究全体を大きく進展させることが期待されている。実現すれば、再現性の危機や研究不正の問題が解決するだけでなく、日々の単純作業に時間を費やさざるを得ない多くの研究者を「ピペット奴隷」状態から解放でき、生産性が飛躍的に向上することが期待される。しかし、現状では個別の実験操作は自動化できても、実験プロトコル全体では、いまだに人が機器と機器の間を「つなぐ」役割から解放されていないため、実験全体を自動化する際のボトルネックとなっている。研究グループは、現在、ロボット実験センターのプロトタイピング・ラボを整備し、異種のロボットと実験機器を相互に連携させるネットワークシステムおよび実験プロトコルの共通記述言語を開発中であり、ゲノム編集、オミクス解析、再生医療を皮切りに様々な分野でロボット実験の実証を行っている。このプロトタイプを通じて、(1) 実行可能なプロトコルのカバー率、(2) 実験結果の信頼性・再現性、(3) 実験実行システム・施設の総保有コストの３つの主要指標を総合して、ロボティック・バイオロジーが技術的、事業的に高いレベルで実現可能であることを示そうとしている。

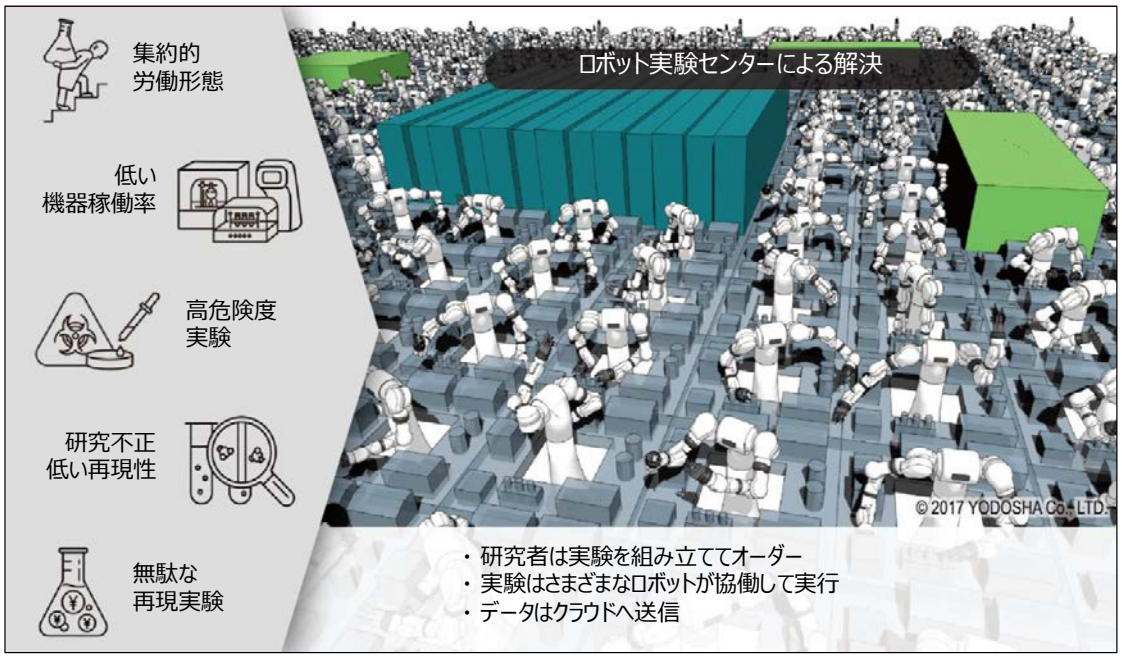

図 2-4　ロボティック・バイオロジーによる生命科学の加速

JST未来社会創造事業「共通基盤」領域 研究課題「ロボティックバイオロジーによる生命科学の加速」理化学研究所　高橋 恒一
https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/core/JPMJMI20G7.html

（5）求められる新しい動物実験環境（ライフサイエンス研究事例）

新型コロナウイルスの感染が広がる中、大学・研究機関への入構制限などの影響から、ライフサイエンス研究の中で最も人の手が掛かるとされる動物実験に関する影響調査を CRDS で行ったところ、以下のような問題が発生していることが判明した。

- 大学等研究機関では十分な管理人員を確保できず、飼育・維持に困難が発生
- 学生の動物実験実習が極端に減少したことにより、学生・若手は実技の習得ができていない
- 実験動物を供給する側の企業では、大学・研究機関からの受注が減少したことに伴い、廃業や事業撤退が発生
- 実験動物業界では、新型コロナの発生以前から人手不足が課題となっていた。元々、噛傷や感染等のリスクに加え、糞尿等の汚れ洗浄等の作業があるため、「汚い」「臭い」というイメージがあった。また、動物愛護運動の拡大に伴い、現状では代替の効かない動物実験系への影響が懸念されている。医薬品開発等においては、動物実験を本質的に代替することは現時点では想定できないことから、難しい課題となっている
- 現在、ワクチン開発等の前臨床試験で用いられる霊長類（アカゲザル、カニクイサル等）の供給が世界的に不足している。最大供給国の中国は自国におけるワクチン開発研究需要を優先するため、日本での輸入に困難が生じている

このような状況に対応できる実験研究用のインフラとして、以下の声が挙がった。

- モルモットやサルなど、中型・大型動物に対応する共通実験室の整備
- 動物実験に関する共通的な教育システムの整備と運用
- 異なる機関間で連携した実験リソースの保存、情報管理・発信

現時点では、実験動物の飼育管理現場における省力化はほとんど進められていないが、将来的には、ケージ交換、ケージ洗浄、動物観察などを自動化することによる省力化が求められている。実験動物飼育の省力化システムとしては、以下のような装置が開発されており、こうした研究インフラの導入によって、動物実験環境の維持を効率的におこない、人的な負担を低減しシステム化していくことが期待される。

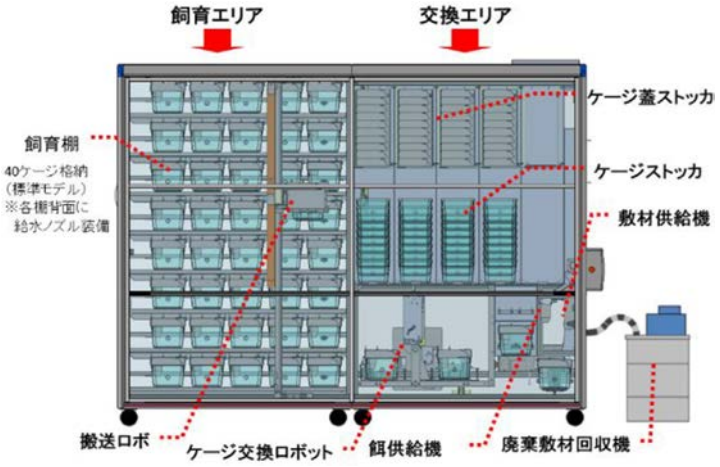

図 2-5　実験小動物自動飼育装置

グローバル・リンクス・テクノロジー株式会社　RoboRack®システム http://glinx.co.jp/products02/

(6) 研究室内を自走する実験ロボット化学者（マテリアル研究事例）

英国リバプール大学に「マテリアル・イノベーション・ファクトリー」が 2018 年に開設された。英国研究パートナーシップ投資基金（UKRPIF：UK Research Partnership Investment Fund）、Unilever、Royce 等からの合計 8,100 万ポンド（約 110 億円）の投資にもとづき、11,600m^2 の施設で、計算化学とロボットを組み合わせて新しい材料を発見するため研究開発を実施している。

従来のロボット実験では、各装置とロボットアームを連動させるためロボット実験プラットフォームをカスタムデザインすることが必要であったが、リバプール大学の研究グループは、一般的な自走式のロボットを改良し、実験室の中を移動し、通常の化学者が扱うものと同じ機器を用いた実験ができるようにした。ロボットによる光触媒の性能向上を目的とした実験を 8 日間で 688 回実行し、最初の配合と比べて活性が 6 倍高い光触媒組成物を見出している。このロボットは、充電時間以外は実験を継続することができ、毎日 21.5 時間の実験をおこなう。結果、このような短期の日数で成果を実現できたものである。同様の作業を従来のように人間が行えば、数か月かかると思われる。この方法は、実験機器ではなく研究者の手足の動きに相当する部分を自動化するものであり、既存の実験機器をそのままに、幅広い実験に応用することが期待されている。

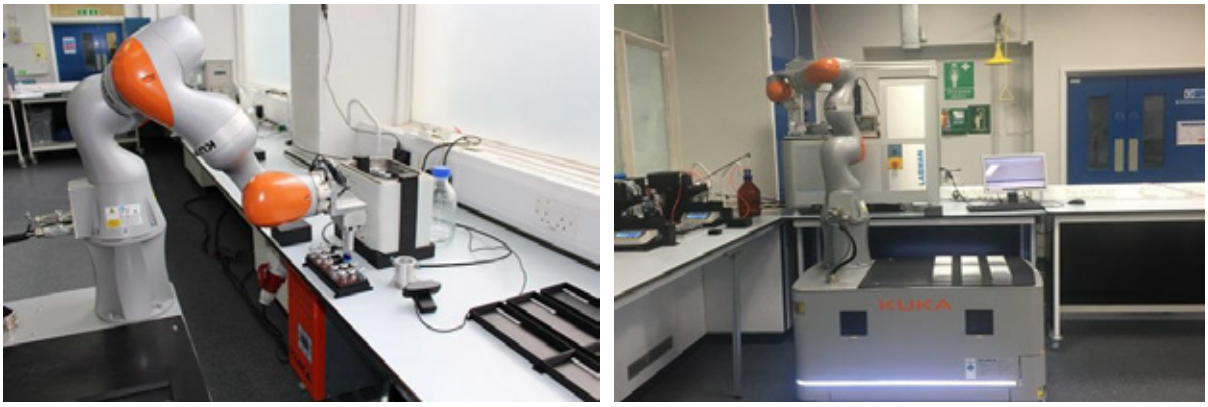

図 2-6 研究室内を自走する実験ロボット化学者

リバプール大学 マテリアル・イノベーション・ファクトリー
https://www.liverpool.ac.uk/materials-innovation-factory/
https://www.liverpool.ac.uk/materials-innovation-factory/news/articles/experiment-too-big-hire-a-mobile-robot-scientist/
Benjamin Burger, Phillip M. Maffettone, Vladimir V. Gusev, Catherine M. Aitchison, Yang Bai, Xiaoyan Wang, Xiaobo Li, Ben M. Alston, Buyi Li, Rob Clowes, Nicola Rankin, Brandon Harris, Reiner Sebastian Sprick & Andrew I. Cooper, "A mobile robotic chemist", Nature 583（2020） 237-241）
https://www.liverpool.ac.uk/cooper-group/news/stories/title,1215738,en.html

(7) ハイスループット実験― 材料バーチャル研究所（HTE-MC）（マテリアル研究事例）

米国では Materials Genome Initiatives の後継策の一つとして、HTE-MC（High Through-put Experimental Material Collaboratory）が動きだしている。HTE-MC は、高品質な実験データを迅速に大量取得してデータベースに登録し、材料設計を大幅に改善するための材料合成・特性化・データ管理サービスの統合型ネットワークである。サンプル・ライブラリとデータ／メタデータ・レコードを紐つけ、永久的なコードを付与している。サンプルそれぞれと各設備には、クイックレスポンス（QR）コードが付いている。これにより、サンプル・ライブラリに関連付けられたすべてのデータおよびメタデータをワンステップで発見することが可能になっており、また、バーチャル研究所内の様々な測定装置でサンプル測定する際に、新しく測定したデータとサンプル・ライブラリとを自動的に関連付けすることができるようになっている。

“Collaboratory”は、Collaboration + Laboratory の造語で、複数の研究所の壁を取り除いた組織、バーチャル研究所を意味している。この仕組みは、天文台の国際アライアンス International Virtual Observatory Alliance のデータ共有のあり方を参考にしたものとされ、データの取り扱いについて求められる FAIR（Findability, Accessibility, Interoperability, and Reusability）ガイドラインを実践している。また、初期は公的資金が必要としつつ、その後は官民協力により自律的な運営ができる体制を目指して活動している。

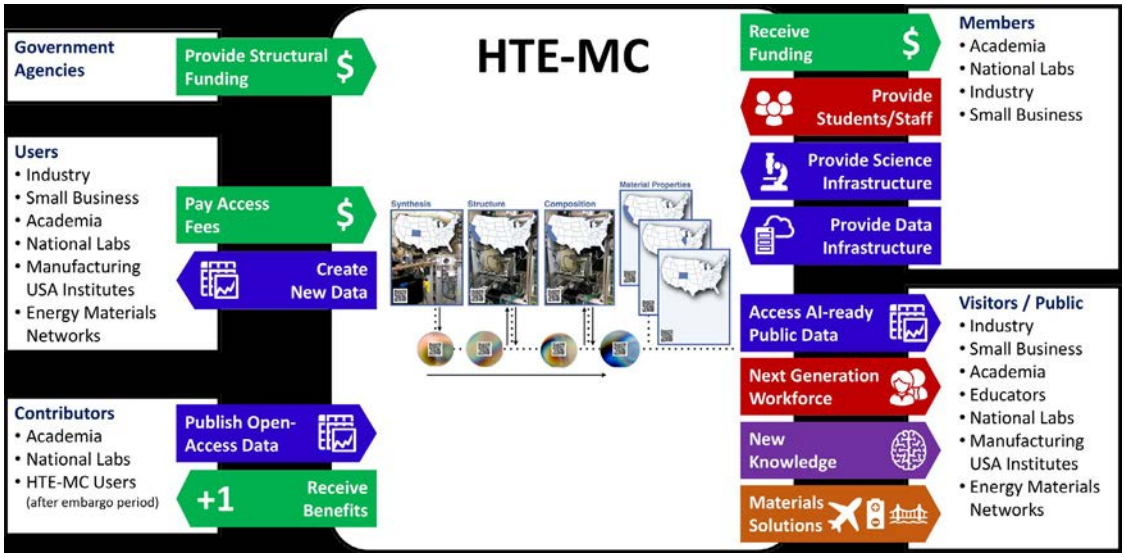

図 2-7 High Through-put Experimental Material Collaboratory

米国立標準技術研究所（NIST）
https://www.nist.gov/programs-projects/high-throughput-experimental-materials-collaboratory

（8）自動実験ロボットによる太陽電池フィルムの作成（マテリアル研究事例）

カナダ・ブリティッシュコロンビアの大学等の研究グループでは、有機薄膜の合成、加工、特性評価を自律的に行う、モジュール式でフレキシブルな運転ができる自動運転プラットフォーム “Ada” を開発した。薄膜の特性を最適化することは、原料組成、成膜条件や処理条件などのパラメータの数が多いため、非常に時間がかかるものである。これらのパラメータには相関関係にあることも多く、隣接層の構造や特性に大きな影響を受ける可能性もある。また、組成や構造に乱れがある場合にも特性を予測できる計算ツールはほとんど存在しないため、プロセスの最適化は未だに経験則に大きく依存している。ハイスループット実験（HTE）は、パラメータ数が多い空間を検証することに適した方法であるが、薄膜形成の全パラメータを検証することは不可能である。

Ada には、空気圧グリッパーを備えたロボットアームがあり、液体の注入やシリコン基板の移送をすることができ、さらに種々のユニットと組み合わせることによって、必要な実験を実施できるようにデザインすることが可能である。また Ada は、最大限の情報量を得られるように実験を自律的にデザインし反復的に実施することで、目標とするパラメータを自動的に見つけることができる。

有機太陽電池薄膜の最適化実験では、できるだけ高い移動度を持つ薄膜組成を発見することを目的とした自律的反復実験を実施している。原料インクの調整、基板上にスピンコート、熱的なアニール時間の最適化、可視光カメラでの撮影、UV-vis-NIR スペクトル測定、電流 - 電圧曲線測定、移動度の計算、ベイズ最適化による次の実験の設計、というループを自律的に繰り返すことにより、従来は 9 か月かかっていたものが、今では 5 日間でできるとしている。

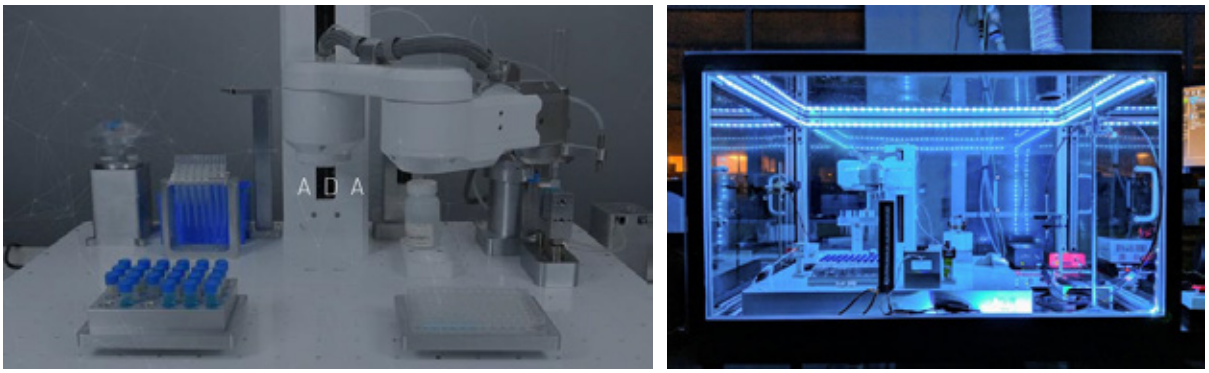

図 2-8　自動運転プラットフォーム “Ada”

ブリテッィシュコロンビア大学
Self-driving laboratory for accelerated discovery of thin-film materials
Science Advances 13 May 2020:Vol. 6, no. 20, eaaz8867
http://www.projectada.ca/#section1
https://www.nrcan.gc.ca/science-and-data/funding-partnerships/funding-opportunities/current-investments/autonomous-discovery-accelerator-materials-innovation/21556

(9) クラウド上の AI に有機合成を依頼し、ロボットが合成（マテリアル研究事例）

IBM は、AI とロボット、クラウドを組み合わせて、“RoboRXN” と呼ばれる新たな化学研究所をクラウド上に構築した。研究者がリモートで新たな分子を設計・合成するのを支援する。研究者は web ブラウザ経由で RoboRXN にログインし、分子化合物の骨格構造をキャンバス上に描くと、RoboRXN が機械学習を用いて必要な材料と調合の手順を予測し、遠隔地の研究所のロボットに指示を送ってその内容を実行させる。実験が完了したら、分析結果が研究者に送信される仕組みである。ウェブブラウザ経由で RoboRXN に接続し、目的の分子構造を描くか貼り付けると、推薦合成ルートが提示され、ロボット合成のプログラムも作成される。

IBM は、2018 年に化学反応を予測するための機械学習モデル RXN for Chemistry を開始している。RXN for Chemistry はニューラル機械翻訳アーキテクチャを活用しており、順合成反応予測は 90% 以上の精度を実現するとしている。2019 年には、逆合成予測も RXN for Chemistry に統合された。ロボット合成を実現するためには、化学合成の手順をプログラムすることが必要であるが、RoboRXN では、文献から自動抽出して構築した化学合成手順のデータベースが統合され、これにより有機合成ロボットのプログラムを自動的に作成することができるようになっている。また、ハードウェアに依存しないため、市販のロボットを活用することも可能である。ユーザーが分子の設計をリモートで送信し、合成した分子の分析結果を受け取るというコンセプトは、新規分子の発見を加速させるための重要な一歩であると考えられている。

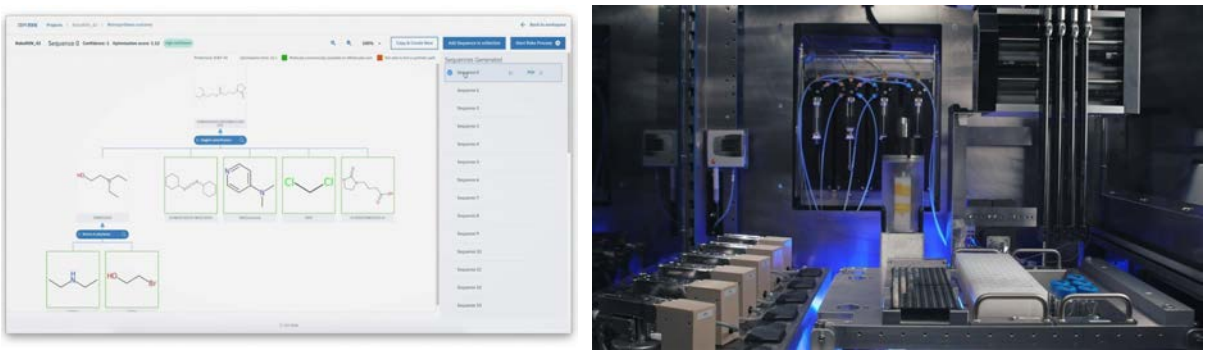

図 2-9　AI・ロボット・クラウド有機合成システム “RoboRXN”

IBM　https://rxn.res.ibm.com/

（10）AI・ロボット・研究者が協働するデジタルラボラトリ（マテリアル研究事例）

東京工業大学の一杉太郎教授らのグループは、ベイズ最適化と自動合成、自動物性評価を組み合わせたシステムを開発した。図のように中央に試料搬送用ロボットアームを配置し、その周辺に自動成膜装置、自動評価装置がサテライト状に配置されている。ベイズ最適化を用いて、それまでの成膜・評価結果から次の最適な合成条件を導出し、成膜条件の最適化を行うことができる。これらの成膜・評価・最適化をコンピュータにより一括制御することで、全自動で物質探索ができるシステムとなっている。

全固体電解質の成膜プロセスの最適化実験では、24 時間で 10 回程度の成膜がコンスタントに可能であり、人間が実験する場合の約 10 倍のスループットが実現できるとしている。また、現在の装置を拡張した「マテリアル・ドック」（図 2-10）というコンセプトを提唱している。新規物質を合成した際に、目的とする物性だけでなく、電気特性や発光特性、熱電特性、イオン伝導性などの物質の特性を徹底的に調べてデータベース化するものであり、別目的で別の材料を作り出そうとする際に、これまでに蓄積されたデータを活用できるため、効率的な研究開発が可能になることが期待されている。

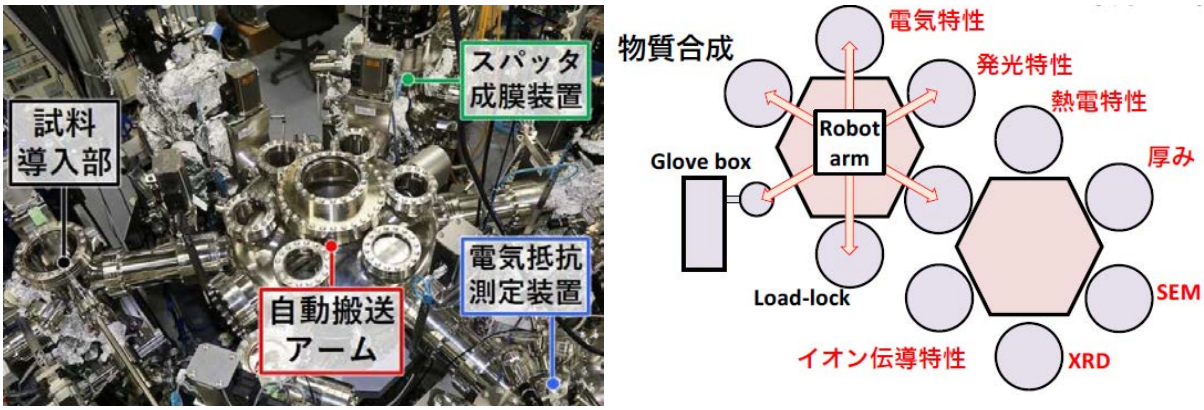

図 2-10　マテリアル・ドック

東京工業大学　一杉太郎教授
http://www.apc.titech.ac.jp/~thitosugi/instruments.html
https://www.tfc.tohoku.ac.jp/online_event/2020dsw/02/04_01.pdf
https://www.jst.go.jp/pr/announce/20201119/index.html

（11）リモート有機合成システムの構築（マテリアル研究事例）

JSTのERATO前田化学反応創成知能プロジェクトでは、有機合成化学のリモート化に着手している。有機合成化学のリモート化には様々なメリットがあるが、一般的に、危険性を有する化学薬品を使用し、種々の特殊な装置を直接操作する必要があることから、リモートで研究を遂行するのは困難とされる（図 2-11）。サンプリング等を自動で行うことのできる市販の有機合成装置が導入されている例もあるが、基本的に人間が作業することを前提としたシステムであるため、完全にリモートでの実験は難しい。しかし、操作命令を入力できるセキュアなネットワーク環境や、試薬の自動秤量・分注システム、反応生成物の自動分析システム、広角・多角度・複数のネットワークカメラからなるモニタリングシステムを総合的に組み合わせることにより、リモート実験が可能となる（図 2-12）。

同プロジェクトでは、2020 年 6 月より「新しい生活様式」に対応したシステムについて構想し、並行して事故発生時の対応方針などの安全管理体制の検討を進めた。市販の自動有機合成装置を導入後、チューニングを経て試運転を開始し、徐々により複雑な構造をもつ有機化合物の自動合成を試みた。また、自動有機合成装置に分析機器を組み合わせ、さらに、遠隔モニタリングのための複数のネットワークカメラを設置し、12 月現在、全システムを稼働させつつある。新型コロナウイルス感染症の再拡大が懸念されるため、研究遂行に役立てられるよう可能な限り早期のシステム活用を図るとしている。

本リモート有機合成システムにより、感染症への対策、作業者の危険な薬品への曝露の防止（安全性の向上）に加え、実作業時間が大幅に短縮する効果として科学者のライフプランに自由度をもたらし、研究者の生活の質の向上という観点でも強靭化にも貢献するものとして期待される。

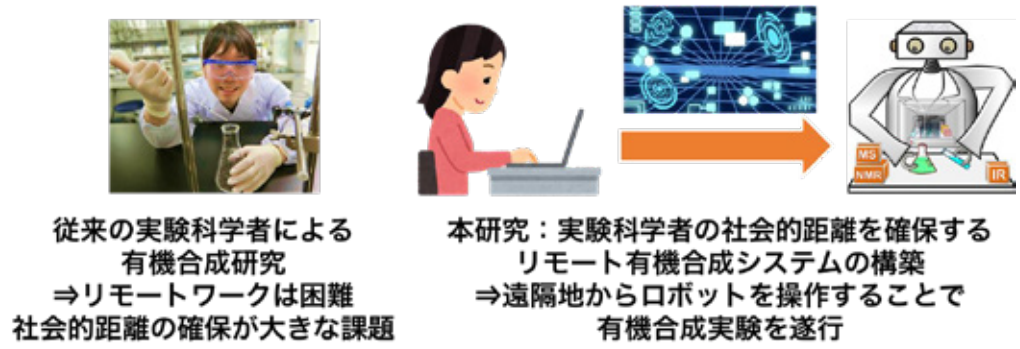

図 2-11　従来の有機合成研究と本研究におけるリモート有機合成システム

図 2-12　自動有機合成装置をベースにしたリモート有機合成システムの構築

JST-ERATO前田化学反応創成知能プロジェクト https://www.jst.go.jp/erato/maeda/

（12）下水を使用した疫学調査（環境研究事例）

MIT の Science City Lab の研究チームは、公衆衛生を改善する方法として下水を収集・分析する第二世代のロボット、ルイージを開発、発生源の近くでリアルタイムにデータを送信し、地域社会の健康状態のスナップショットを把握することに成功している。下水疫学調査は、集水域における麻薬使用の調査や、WHO のポリオウイルス撲滅プログラムなど、その有用性が認められつつあり、新型コロナウイルスへの適用も期待されている。一方、ほとんどの場合、下水処理場でサンプリングを行うため、分析対象の濃度が薄まる、処理場に流れ込むまでの 1 ～数日程度の時間遅れが生じる、更には場所の特定ができない、等の課題があった。ルイージは下水管内を遠隔操作で移動して下水管に流れる下水を直接ポンプで吸引しサンプリング、そのサンプルの状態を研究者が遠隔からモニターできることから、特定の狭い場所を対象としたリアルタイム分析の有望なツールになる。

また、ウイルスを選択的に濃縮し迅速かつ効率的に濃度測定するために、手間がかかる「サンプリング→分離→濃縮→沈殿→遠心分離」のプロセス自動化や、安定・安価・高感度な分析法の開発が行われている。このようなオンサイト・リアルタイムサンプリングと効率的な濃縮・分析方法を組み合わせることで、新型コロナウイルスなど感染症流行の早期検知などが期待される。

図 2-13　下水ウイルスの濃縮方法

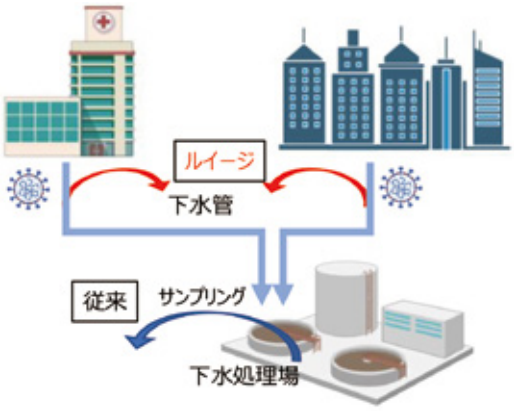

図 2-14　MIT のロボット、ルイージ

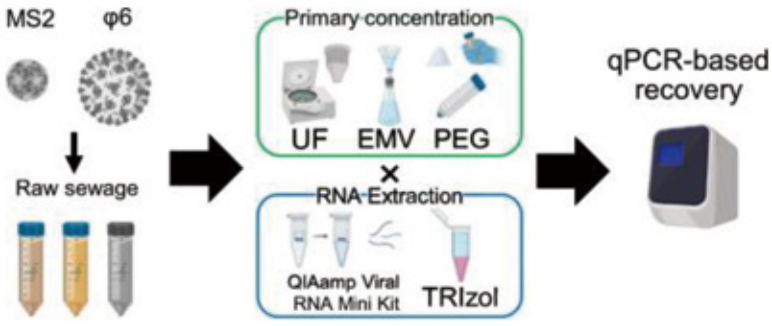

図 2-15　新型コロナウイルスへの適用

MIT
Comparison of virus concentration methods for the RT-qPCR-based recovery of murine hepatitis virus, a surrogate for SARS-CoV-2 from untreated wastewater, Science of The Total Environment, Volume 739, 15 October 2020, 139960
Sewer Robots Sift Data From Raw Human Waste, IEEE Spectrum's biomedical engineering blog. By Megan Scudellari, 20 Apr 2016

（13）バーチャル観察（エネルギー・機械研究事例）

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的燃焼技術」のガソリン燃焼チームでは、リーダー大学の慶應義塾大学に SIP エンジンラボラトリーを設置、実験及びデータの拠点化を行っている。8K・4K の高解像度ハイスピードカメラでの燃焼観察、各種センサー計測など、高価な最新の計測機器を共用して、マイクロフローリアクターなどを用いた基礎燃焼から、急速圧縮膨張装置機などを用いた 1 サイクル燃焼、可視化エンジン、単気筒エンジン、バーチャルエンジン（1D シミュレーション）などを用いたエンジン燃焼などの実機に近い状態まで、燃焼実験・解析を一貫して実施し、各種燃焼現象をデータ化している。また研究チーム内の全ての実験で使用する燃料を一括購入・統一することで、拠点ラボでの実験結果とクラスター研究機関での要素実験の比較・検討が可能となっている。参加する 29 のクラスター研究機関（22 大学）は、共有化を前提に取得されたこれらの” 使えるデータ “に遠隔でアクセスし、様々な視点で分析・解析を行っている。

今後、このような遠隔での研究協力の実績をベースに、拠点実験の遠隔監視・遠隔立会、更には、豊富な実験データに裏付けられた高度なシミュレーションをベースとしたデジタルツインの開発、VR との併用によるサイバー空間での真の意味でのバーチャル実験への発展が期待される。

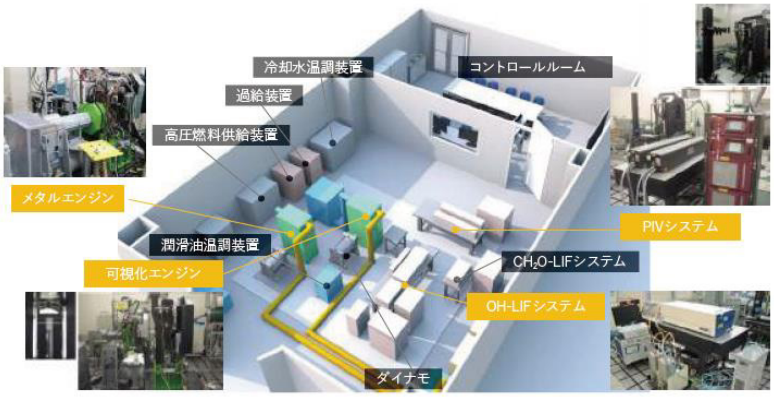

図 2-16　慶應義塾大学 SIP エンジンラボラトリー

図 2-17　可視化エンジンを使った燃焼試験
（左：可視化エンジンの構造、中央：燃焼撮影状況、右：PIV 計測結果と解析結果の比較）

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的燃焼技術」
http://sip.st.keio.ac.jp/outline/

（14）実験施設のスマート化（機械・加工研究事例）

大阪大学・櫻井教授らのグループでは、人の指示を介さず自律的に判断し、工場の工程を最適化する AI ソフトウェアの開発を目指している。櫻井教授らは、これまで開発してきた解析技術を発展させ、IoT ビッグデータから時系列モデル間の因果関係を捉え、事象の連鎖をモデル化することにより、既存の深層学習に基づく技術では実現できなかった高精度かつ高速の要因分析、将来予測、リアルタイム学習、出力結果の説明が可能な技術を開発している。予測精度は、例えば製造業データに対しは、最新の深層学習による予測手法と比較し最大で、約 670,000 倍の高速化、約 10 倍の高精度化（予測誤差 88% 減）になるとしている（2019 年 11 月プレスリリース時点）。開発した技術を発展・適用することで、スマート工場における装置故障など、様々な事故やトラブルの兆候をビッグデータから高速かつ自動的に抽出するための要因分析をリアルタイムに行うことを目指しており、現在複数の企業と、事業家に向けた共同研究を行っている。

この AI ソフトウェア技術・システムは、工場等の産業応用のみならず、実験施設、特に拠点実験設備のスマート化・省人化への適用が期待される。

図 2-18 「複雑事象のモデリングによる知的支援システムの開発」のイメージ図

JST未来来社会創造事業「超スマート社会の実現」領域、研究課題「複雑事象のモデリングによる知的支援システムの開発」
https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/super-smart/index.html
https://research-er.jp/articles/view/83745

（15）フィールドワーク研究の DX 化（環境研究事例）

実験室内の安定した環境で繰り返し行うことができる研究とは異なり、フィールド研究では、アクセス困難な森林奥地での調査や野生生物の個体数調査など、データ収集自体が困難な場合が多い。得られるデータが限られ、粗いデータになることもしばしばである。このため新しいデータ取得ツールやデータ解析手法の開発が重要な位置づけにある。こうした DX 化の流れの中での昨今の代表例は、環境 DNA を用いたゲノム情報の収集、無人機（UAV、ドローン）を使ったリモートセンシング、および主として画像データ解析へ機械学習の応用である。

環境 DNA とは、海や川・湖沼・土壌などの環境中に存在する生物由来の DNA を指す。これを解析することで、そこに生息する生物の種類やおおよその生物量の把握が可能となる。調査が採水・採土のみで可能となるため、調査の労力や環境負荷などを削減できる画期的な調査手法として、わが国でも研究が活発化している技術開発テーマの 1 つである。現在は、まだ生物種の「在・不在」の判定程度であるが、2018 年に新設された環境 DNA 学会を中心に、ツールとしての信頼性や有用性を高めるための取組みが行われている。国立環境研究所等では、海洋力学シミュレーションなどから得られた流動場の情報と、生物の水槽飼育実験などから得られた環境 DNA の放出率や分解率の値等を組み合わせて、生物の分布から環境 DNA 分布を予測するトレーサーモデルを構築し、それを逆解析して、環境 DNA 分布から生物分布を推定する手法を開発している。

無人機を使ったリモートセンシングは、衛星観測など高度な位置からのリモートセンシングでは得られないより高解像度な情報を、前述のように現地観測ではアクセス困難な場所でも観測可能としている。従来の観測手法の空白部分を埋める以上の効果が注目されている。信州大学・加藤教授らは、航空機データ等と組み合わせて、広域の森林内にある樹木一本ごとに樹種、立木位置、太さ、体積、樹形を精密に半自動で計測可能とする、安全・短時間・科学的な精密林業計測を開発し、森林の樹種別本数、材積とバイオマスの自動算定や、松食い虫やナラ枯れ被害などの調査に適用している。またベンチャーを立ち上げて事業化に取り組んでいる。このようにわが国でもその利用を検討する動きがあるが、まだ散発的であり、今後の展開が期待される。

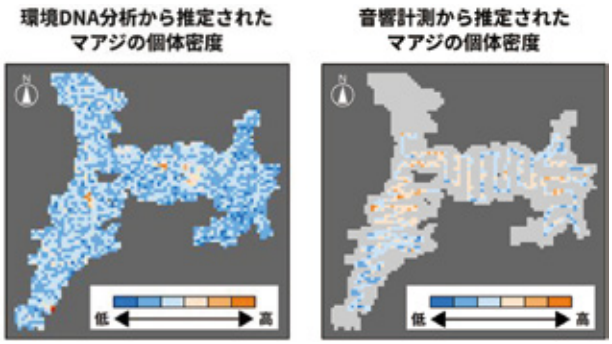

図 2-19　舞鶴湾のマアジの個体密度の推定例

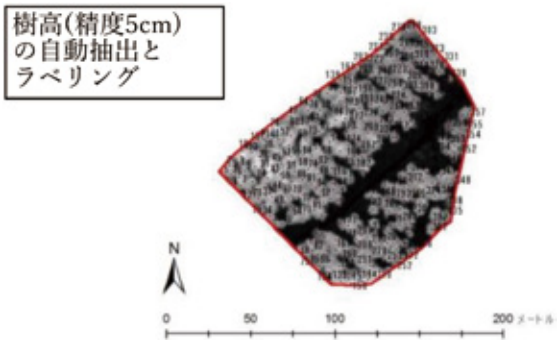

図 2-20　ドローンレーザスキャン例

国立環境研究所、JST CREST「環境DNA分析に基づく魚類群集の定量モニタリングと生態系評価手法の開発」
農林水産省、https://www.maff.go.jp/j/kanbo/needs/2_076_02.pdf
信州大学、http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/agriculture/lab/finfo/

（16）フィールド研究：生態系・生物多様性のデータ集約化と統合的利用（環境研究事例）

生態系や生物多様性の空間的な分布や時間的な変動、それらを取り巻く環境に関するデータ等を集約し解析する動きが活発である。そうしたデータ集約化と統合的利用がインパクトの大きい研究成果を生み出す源泉になっている。例えば「PREDICTS」と「BIOTIME」は、いずれも英国の大学等の研究機関が中心となって推進している長期・広域の観測データに基づく生物多様性の評価と予測のための国際プロジェクトである。前者は世界中の陸域生物の分布情報、後者では生物多様性の時系列変化のデータの集約が行われている。集約されたデータを使った解析からは Nature や Science 等の学術誌に掲載される成果が得られている。その他にも欧米を中心に多くのプロジェクトが取り組まれている。

地球観測データの解析プラットフォームを巡る民間企業同士の競争も顕在化している。Alphabet 社の「Google Earth Engine」には、衛星データ画像が一括してアーカイブされており、高速な処理が地球全体で一括して実施可能なことから、研究にも幅広く活用されている。マイクロソフト社も、衛星画像、写真、動画、現地観察などのデータを、AI を使って解析するクラウドサービス「AI for Earth」プロジェクトを 2017 年に開始した。同プロジェクトは、個人や組織による自然の監視、モデル化、管理の方法を変革するために AI を活用する取組みに助成金も提供している。さらに日本政府も参画する地球観測に関する政府間会合「GEO」下の生物多様性観測ネットワーク「GEO-BON」との協働も開始しており、AI 活用の技術サポートも行っている。

生態系・生物多様性のデータ集約化と統合的利用は欧米主導で進んでおり、日本は国際的な協調枠組みの中で東アジア地域の観測において重要な貢献をしてはいるが、データ解析など利活用面は十分でない。その結果、生態系・生物多様性は地域固有であるにも関わらず、東アジア地域特有の事情などが十分に考慮・理解されないままに欧米主導のデータ解析を基にした国際的な議論が進むことが懸念されている。この状況の打破には日本独自のデータ集約化や統合的利用を進める必要があり、例えば一つの流域を丸ごと長期観測の対象とするような「スーパーサイト」を全国に数か所設定し、あらゆる側面からのデータを継続的に収集・蓄積して解析する超学際的な研究の推進が望まれる。当然、データを安定的に維持・管理できる仕組みも必要である。自然資本の基盤である生態系・生物多様性はその国の基盤そのものであり、世界的には国が長期的観点から観測・利活用を主導することが一般的である。実験室の革新だけではなく、フィールドサイエンスにおける RX の推進も、研究力向上には鍵となる。

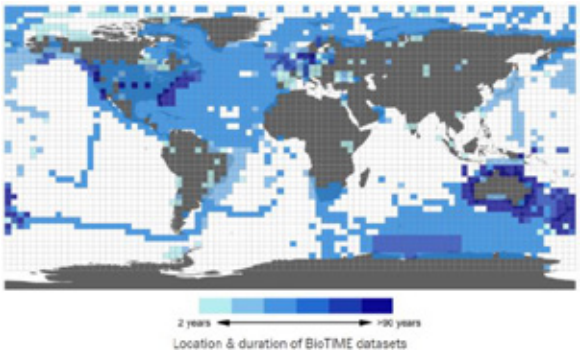

図 2-21 “BIOTIME” のデータベース：場所・期間マップ

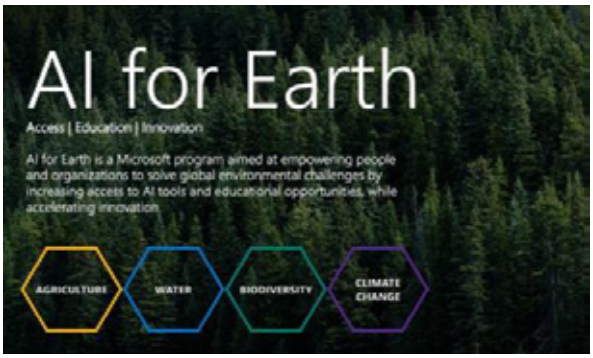

図 2-22 マイクロソフト “AI for Earth”

https://www.predicts.org.uk/
http://biotime.st-andrews.ac.uk/
https://news.microsoft.com/ja-jp/2017/07/14/blog-announcing-ai-for-earth/

2-2 研究インフラ（共用研究施設、研究データインフラ）の在り方

RX を推進するうえで欠かせない共用施設や研究データ共有等の研究インフラストラクチャー（以下、研究インフラ）の在り方について述べる。1-2（1）では研究の遠隔化システムについて一つの形態を紹介したが、「仮説設計、実験計画、結果の解析・考察」のパートと、直接的な技術面である「実験準備、実験操作・装置運転・加工・計測・分析」のパートを高度に連携、分業・協働するようなかたちを一つの姿として描いた。その際、実験に用いる施設・設備等は、科学技術の発展に伴いより高度で複雑且つ規模も大きく高価格なものが増えている。大規模なものや高価格の研究設備をすべての機関に同じように導入することは効率的でなく財源の観点からも現実的でないことから、国内のいくつかの機関に機能分担・集約して、その機関外の研究開発者も利用可能なオープンな共用施設として全国最適の観点で整備・運用していくことが重要と考えられる。

工学系分野を例に挙げると、図は自動車エンジン試験や化学合成プロセスにおける触媒評価のパイロットラインの事例だが、このように規模を伴って、技術的な集約・蓄積が欠かせないタイプの施設は特に該当するだろう。ライフサイエンスやマテリアルサイエンスでも同様に、高額の最先端研究装置や、稼働に専門技術を持ったスタッフの常駐が必要な設備、研究データインフラなども挙げられる。

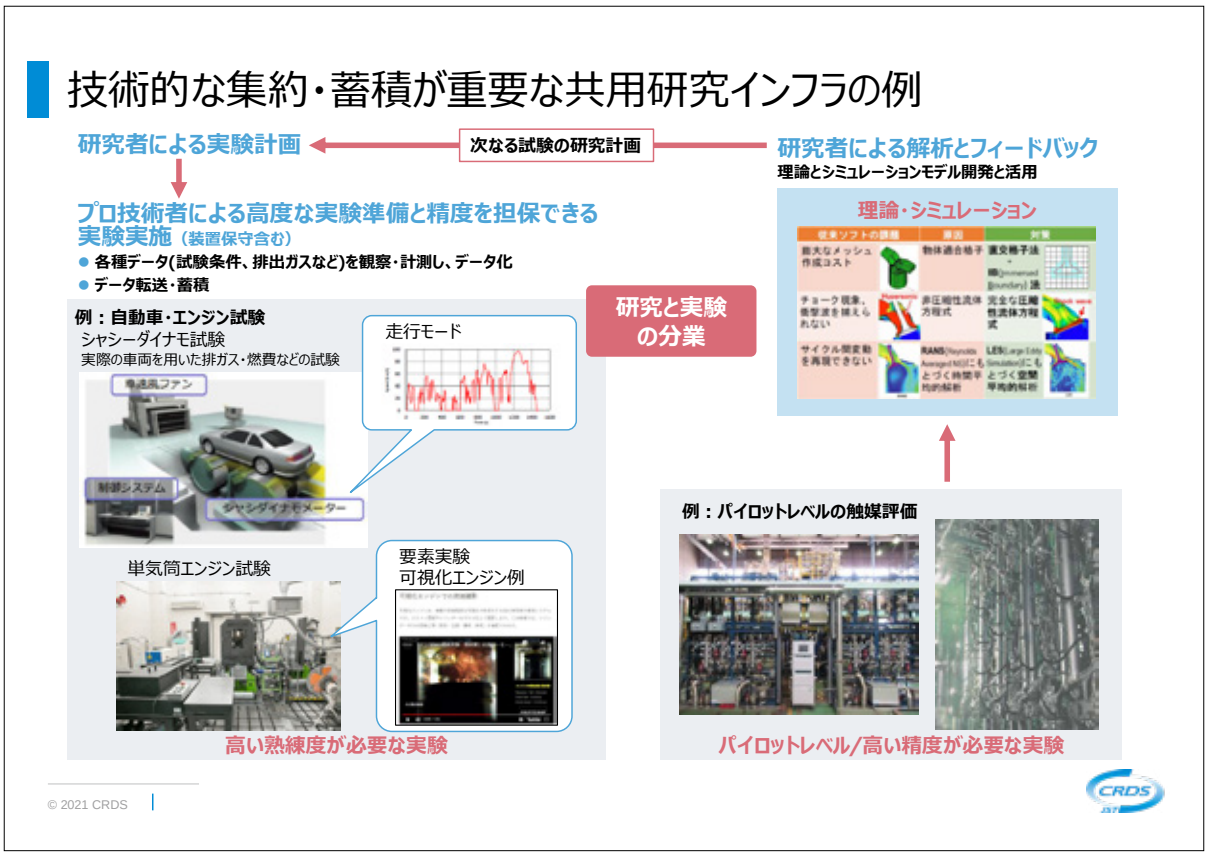

図 2-23 技術的な集約・蓄積が重要な共用研究インフラの例

総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会
自動車判断基準ワーキンググループ 交通政策審議会 陸上交通分科会 自動車部会 自動車燃費基準小委員会 合同会議 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/jidosha_handan/pdf/2015_001_03_00.pdf
SIP 革新的燃焼技術 http://sip.st.keio.ac.jp/outline/
https://www.jst.go.jp/sip/dl/k01/sympoend/006.pdf
コスモ石油株式会社 https://coc.cosmo-oil.co.jp/rd/catalyst/evaluation.html

研究インフラを充実させてオープンな運用をする施策はこれまでも文部科学省や経済産業省を中心としておこなわれてきている。RX の観点で今後特に求められることは、遠隔化や自動化システムを活用可能なものとするような研究インフラの DX 化と、研究データを創出、収集、蓄積、構造化、利活用がサイクルするようなデータインフラおよびデータ利活用研究を促進するためのソフト等ツール開発・提供である。また、こうしたデータインフラを含む研究インフラの DX 化とその運用には、それを実現する人材の行動によって形づくられていくものである。1-3 でも触れているとおり、研究の場合は工場などの生産現場とは異なり、決まったワークフローを動かすだけとはならない。機器やそれらの接続方法の標準化や自動化・ロボットの導入、得られたデータの統合的な扱いが進むなか、それらをさらにどう組み合わせ、どう動かすか、それぞれの機器自体をどう進化させるかなどの段階では、現場のエキスパートの創造性が極めて重要になる。研究インフラの構築・運営の観点でもこれは同じであり、それらをシステム化するスキルも同時に必要となる。つまり、実際にそれを推進するのは研究現場のエキスパートたる人々である。これからの研究インフラの新たなかたちを実装していくエキスパート人材の配置や育成を、政策的な方向性として推進・支援することは特に重要であろう。

OECD（経済協力開発機構）のグローバルサイエンスフォーラム（GSF）が、ベルギーの Science Europe と共同で公表した研究インフラ（データインフラ含む）に関する提言には重要な方向性や示唆が含まれている。原著名 “OPTIMISING THE OPERATION AND USE OF NATIONAL RESEARCH INFRASTRUCTURES”（2020 年 8 月発行）であり、日本語仮訳版「国レベルの研究インフラの運用と利用の最適化」を JST-CRDS が OECD の許諾を受けて翻訳し公表している（2020 年 10 月公表）。以下では同提言を引用しながら紹介する。

研究開発活動に用いる共通的な先端設備群や研究データ等の研究基盤、いわゆる研究インフラのほとんどは、国のレベルで資金提供及び管理、運用が行われ、主に各国内の研究機関・研究者の利用に供している。各国政府は限られた財源のなか、多様化し増大する潜在利用者に応じ、拡大し複雑化する研究インフラのポートフォリオを支えるという課題に直面している。そのため、研究インフラの運用及び利用には、慎重なバランス調整と最適化の実施が必要になる。OECD および Science Europe は、2018 年 11 月から約 2 年をかけて、日本を含む 14 か国の専門家が参画し、定期的な専門家会議を開催、さらに 2 度の国際ワークショップでの検討を踏まえ、提言を取りまとめている。提言には各国の経験や研究インフラの多様性を考慮に入れた数多くのオプションを含む、今後の研究インフラの利用及び運用をより良く改善するための包括的枠組みを示している。内容には 2 つの指針となるモデル（図 2-24、25 および表 2、3）が含まれ、1 つは研究インフラのポートフォリオ管理、もう 1 つは研究インフラの利用者に関する構造を最適化するためのモデルである。利用者構造の最適化とは、研究インフラの利用者の構成を維持または改善、拡張、より良く管理しようとする際に検討され得るプロセス及びメカニズム、政策を意味する。これら 2 つの指針となるモデルは、効果的な研究インフラポートフォリオ管理システムの基本原理を示し、研究インフラの利用者構造の最適化に関して、研究インフラマネージャーが考慮すべき要素を明らかにするものである。いずれも各国のシステムと研究インフラ運用のアプローチの多様性を考慮に入れたものとなっている。包括的な一連の政策提言と、研究インフラのポートフォリオマネージャー及び研究インフラマネージャー向けの推奨行動も掲載されていることから、実用的な報告書である。

今、各国政府機関や資金拠出機関は研究資金を COVID-19 対応の重点的な取り組みへと転じたため、研究インフラを支える予算はさらに圧迫されている。また、多くの研究インフラは、研究者ができる限り早く結果を得ることを可能にし、COVID-19 研究に従事する研究者のニーズにも応え、さらには通常よりも早い段階で結果を発表する手はずを整えるために、迅速／ファストトラックアクセスを設けており、最適化されたアクセス機構及びデータ共有、利用者サポート提供の重要性が強調されているところである。

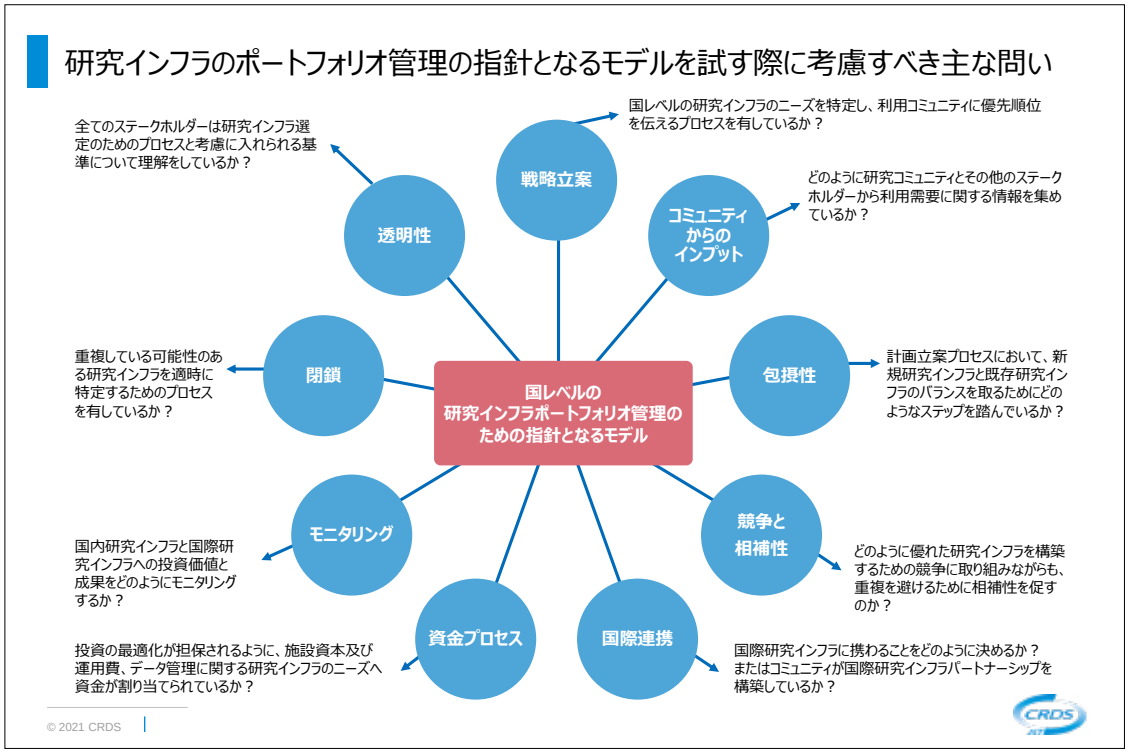

図 2-24　研究インフラのポートフォリオ管理の指針となるモデルを試す際に考慮すべき主な問い

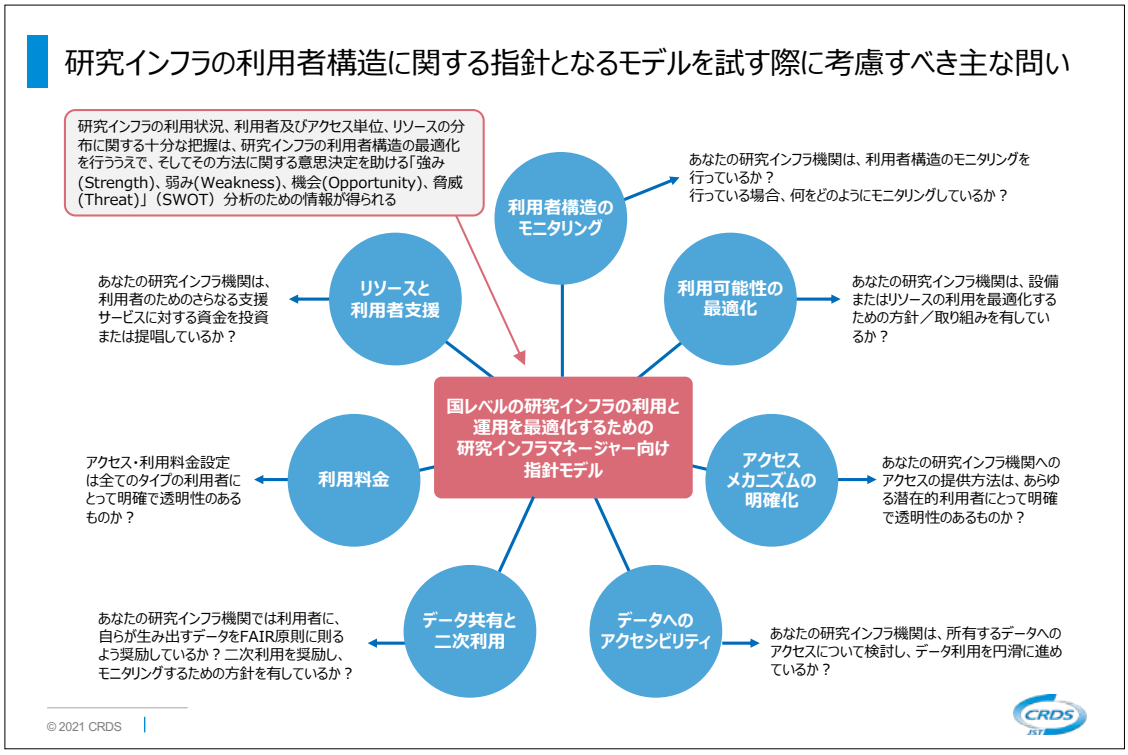

図 2-25 研究インフラの利用者構造に関する指針となるモデルを試す際に考慮すべき主な問い

OECD GSF / Science Europe, JST日本語仮訳　https://www.jst.go.jp/crds/report/report07/CRDS-FY2020-XR-03.html

表 2. OECD および Science Europe の「国レベルの研究インフラの運用と利用の最適化」に示される指針となるモデルを元に CRDS 作成

研究インフラポートフォリオ管理のための指針となるモデル

積極的な研究インフラポートフォリオ管理プログラムを運用するためには、以下の要素の一部または全てをアプローチに組み込むことが重要となる。

戦略的計画策定

国の科学技術・イノベーション戦略における研究インフラへのニーズに関する将来計画を策定するために、ボトムアップとトップダウンの情報（社会的課題の観点も含む場合もある）を収集するレビュープロセスが必要。策定される計画には、より広範で意欲的なものにも、資金拠出が行われた研究インフラのみに関わるものにもなり得る。新規研究インフラを、既存の研究インフラポートフォリオの枠組みの中で捉えるランドスケープ分析が助けとなる。各研究インフラの事例に着目したプロセスは、結果として得られるロードマップと同様に重要である。戦略的計画立案は、変化し続ける要件に対応するために一定の柔軟性がなければならず、さらなる（国際的な）協調と協力を促すために公表すべきである。

コミュニティからのインプット

研究及びデータ、運用の面のニーズに関して、研究コミュニティや研究インフラマネージャー、その他のステークホルダーからの情報を収集するためのプロセスを設けるべきである。このプロセスは、戦略的計画策定プロセスまたはコミュニティからのテーマ別の報告書を通じたものとなるだろう。研究インフラがその利用者構造を拡大している場合、または新たなタイプの研究インフラがポートフォリオに追加される場合などに関して、研究インフラの運用と利用の経験が乏しい研究コミュニティは、集約した情報を作成するための支援を必要とする場合がある。

包摂性

新規研究インフラと既存の研究インフラについて、まとめて調べる機会がもたらされるようにするために、ポートフォリオの全体を検討すべきである。それには、施設資本投資と運用費（人件費を含む）の両方を見ることのできるプロセスが必要となる。

競争と相補性

ポートフォリオ管理では、研究インフラに関する既存のキャパシティーを特定した上で、新たな提案が新しい要件を正当化するものであることを保証するものでなければならない。クラスタリングアプローチを通じてより小規模なセンター間の協力を促さなければならないが、戦略的計画策定段階では、優先順位が最も高い施設が確実に選ばれるように、最終的には競争が認められる。地域政策が、研究インフラの重複と次善的投資や利用につながらないよう確認することが必要である。

国際連携

国内研究インフラのための国際的なネットワーク形成と、国内研究インフラオプションと共に国際研究インフラオプションの組み入れを奨励することは、国内コミュニティの研究要件実現への最善の解決策を見出すために必要であり、国内のシステムにおいて国際的な視点の導入も促進するべきである。

資金投資プロセス

最も優先順位の高い研究インフラに対して、確実に適切な資金拠出が行われるようにするために、資金投資プロセスはリソースの配分（施設資本と運用費）と戦略的計画を考慮に入れたものでなければならない。このプロセスは、一元管理による配分または競争を通じたものであると考えられる。データの管理と長期的保管のコスト、そして研究インフラが計画している目標を達成できるようにするために、十分な期間にわたって割り当てられる資金を含む、研究インフラのフルライフサイクルコストを認識すべきである。

モニタリング

研究及び便益（インパクト）、管理、ガバナンスに関して、国内研究インフラと国際研究インフラのパフォーマンスをモニタリングするための、効率的なメカニズムを開発する必要がある。

閉鎖

協議プロセスと戦略的プロセスにおいて、閉鎖または他の管理機関に売却することのできる設備を特定する必要がある。このプロセスは、支出のプロファイルを最適化し、秩序ある移行を可能にするために、早期の段階から長期計画に組み込むべきである。

透明性

特に経済的、政治的、社会的な要因が、資金拠出の意思決定に考慮される可能性があるときは、プロジェクト選定プロセスについて、科学界の理解を確実にする必要がある。

表 3. OECD および Science Europe の「国レベルの研究インフラの運用と利用の最適化」に示される指針となるモデル元に CRDS 作成

研究インフラの利用者構造の最適化及び管理のための指針となるモデル

施設・設備と、それにより生成される研究データの利用を最適化したいと考える研究インフラマネージャーは、以下の要素の一部または全てを管理戦略に組み込むべきである。

利用者構造の理解とモニタリング

研究インフラでは、利用者構造全体、そしてその利用者構造（内部利用者を含む）においてアクセス単位（利用者に提供される利用のアクセス範囲について規定する研究インフラ特有の測定単位）、リソース、コストがどのように分布しているかをはっきりと理解しているべきである。そうした理解は、十分に活用されていないキャパシティーまたは限界を特定する上で役に立つ。研究インフラの利用を最適化するための施策の実施前に、明確な根拠が明らかになっているべきであり、その根拠は費用と便益の徹底的な分析を伴うべきである。また、研究インフラ機関は利用者構造の継続的モニタリングのための適切な手段を確立・維持しているべきであり、研究インフラ戦略を変更するときは、必ずそうした施策の再評価を実施すべきである。これに関連して、研究インフラマネージャーは、利用者モニタリングプロセスの自動化を検討すべきである。

利用可能性の最適化

キャパシティーが限定されている研究インフラがその利用を最適化しようとする場合、最適化には 1）現在の利用者選定プロセスと品質評価基準の変更、2）利用者により使用される時間・空間の管理の改善、3）リモートアクセス、バーチャルアクセス、二次アクセスの推進、が必要になると考えられる。研究インフラが利用者数を拡大する一定のキャパシティーや十分な余地を有している場合、新たな利用者グループを引き寄せて利用者構造を広げることを通じ最適化を行う可能性について、さらなる検討を行うことが有益になる。研究インフラの利用者構造の拡大には、1）新しい研究者グループへのアクセスの解放、2）専門領域の研究者への働きかけ、3）他のセクターによる利用の許可（例：公共セクター、商業セクターを含む産業セクター）、4）海外の研究者へのアクセスの解放、が伴うと考えられる。

アクセスメカニズムの明確性

潜在的利用者が、自ら研究インフラにアクセスすることができる根拠を確実に理解できるようにするために、研究インフラは整備されているアクセスメカニズムと様々なアクセスモードに適用される条件を明確にし、透明性を確保すべきである。

データへのアクセシビリティ

研究インフラが利用者構造を広げるためには、FAIR 原則（Findable, Accessible, Interoperable, Reusable）に従ってオープンで透明性のあるデータポリシーを有することが重要である。データリポジトリをまとめ、メタデータを調和させることを目的とした他の研究インフラとの連携は、研究インフラコミュニティ全体におけるオープンで透明性のあるデータポリシーの標準化における、重要ステップとなる。

データ共有と二次アクセスのモニタリング促進

研究インフラにより生成されたデータは、独自のもので、非常に貴重なものであることが多い。研究インフラは利用者（生成されたデータの所有者である場合が多い）に対し、自身の活動のためのデータ管理計画（data management plan: DMP）を策定し、プロジェクト完了後の妥当な（そして合意された）期間中、FAIR 原則に従うよう強く促すべきである。二次アクセスを促進する利点を理解し強調するためには、研究インフラはデータセットと機器を参照する方法についての指針を提供し、可能ならば恒久的なデジタルオブジェクト識別子（digital object identifiers: DOI）が確実に使われるようにすべきである。

アクセスコスト

個々の研究インフラ間及び個々の研究インフラ内にも、様々な料金設定方針が存在し、ある程度の柔軟性が必要であることが認識されている。研究インフラは、全てのアクセスモードに対する料金設定方針が明確で、コストに対する透明性を有するものになるようにし、可能であればメリットベース（merit-based）の学術的利用がオープンで且つコストフリーで提供されるようにすべきである。

利用者が利用できるリソースと利用者支援

研究インフラマネージャーは、財政的観点及び人材の観点から、利用者に提供するリソースを確実に熟知しているべきである。旅費やトレーニングコスト、宿泊費に対する補助などの支援サービスがあれば、特定の利用者グループにとってアクセスがより魅力的になる可能性がある。このような支援サービスに対する資金が必要であると見なされる場合、研究インフラ機関は資金拠出者／意思決定者に提起して、そうした追加のサービスを提供する便益を強調すべきである。費用を削減しつつ利用者により良いサービスを提供するために、類似のタイプの研究インフラはシナジーと相補性の創出（例えば、アドホックネットワークを通じて）を奨励すべきである。データ駆動型研究インフラと物理的施設研究インフラの間のネットワーク形成も、独自の相補性を提供する方法である。

3 国内外の動向

3-1 わが国における取組（文部科学省、国立大学法人）

国としては、文部科学省が「感染拡大の予防と．研究活動の両立に向けたガイドライン」（令和２年５月 14 日、10 月６日改訂）を発しており、『未来の社会変革や未知の困難に対応するためには、価値創造につながる「知」の多様性を確保することが重要であり、科学技術・学術には大きな期待が寄せられています。新型コロナウイルス感染症の影響を受け、人々の生活が本質的に変化していく中で、各大学・研究機関が果たす役割は大きく、その目的及び使命を果たすためには、各大学・研究機関における研究活動の一日も早い本格的な再開が不可欠です。』としている。感染拡大防止を前提にしつつも、研究活動の停滞を回復させた「新たな日常」の構築を積極的に図ることの重要性を国として示したかたちである。以下、記載内容を引用しながら紹介する。

競争的研究費制度では、資金配分機関（JSPS、JST、AMED 等）において、公募申請をはじめ各種手続きの期限延長など柔軟な対応を行っており、その旨大学や研究機関に周知している。現在文部科学省の競争的研究費制度において実施している柔軟な対応については、文部科学省 HP に一元的に情報を集約して研究者・研究機関向けに公表されている。内閣府を通じて関係省庁に情報提供し、他府省が取り扱う競争的研究費制度においても、それぞれの性格や実情を踏まえ、柔軟な対応の検討が要請されている。また、実験施設の運転計画を柔軟化（マシンタイムの割当時間のルールの柔軟化等）するなど、研究計画の円滑な進捗に向けた工夫が挙げられている。

海外との共同研究、海外への渡航、海外からの帰国・入国については、計画の進捗に支障（機関所属の教職員や学生等の渡航、帰国時期の遅れ、海外からの招へいの遅れ等）が生じた場合は、文部科学省や各研究費制度の担当機関において広く相談を受け付けている。若手研究者を海外に派遣する一部制度においては、出発時期延期や一時帰国を柔軟に認めるとともに、一時帰国や再渡航に伴う航空賃の支給を実施している（例：JSPS 海外特別研究員及び外国人特別研究員における新型コロナウイルス感染症拡大を受けた特例措置）。再入国許可（みなし再入国許可を含む）をもって出国した在留資格保持者で所定の手続を経た者に対しては、出国日にかかわらず、令和２年９月１日以降の再入国を認めることが決定されている。さらに、令和２年 10 月１日から、外国人研究者や外国人留学生を含め、原則としてすべての国・地域の中長期在留資格者を対象として、順次、新規入国を許可することとなった（ただし、防疫措置を確約できる受入企業・団体がいることを条件とし、入国者数は限定的な範囲に留める。）。

https://www.mofa.go.jp/mofaj/page1_000864.html
http://www.moj.go.jp/content/001326711.pdf
http://www.moj.go.jp/content/001327502.pdf
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ca/cp/page22_003380.html

共同利用施設等における研究継続支援のための具体的な事例

（「感染拡大の予防と . 研究活動の両立に向けたガイドライン」（文部科学省 令和2年5月 14 日、10月6日改訂）より）

（1）大型実験施設等において、リモート測定・自動測定や、研究試料の受け入れによる代行測定などを可能にすることにより、コロナ禍に対応する新たな研究環境を整備。

【自然科学研究機構 国立天文台の取組】

共同利用の望遠鏡群、特にすばる望遠鏡について、オンラインのリモート観測に比重を移すことで、従来のように共同利用のための海外渡航ができない観測者チームを支援し、研究活動に支障がでないように支援。

【高エネルギー加速器研究機構（KEK）フォトンファクトリー（放射光実験施設）の取組】

放射光実験施設において、学生の学位研究や大学や企業等の研究活動の維持のため、コロナ禍に対応する新たな研究手法として、リモート測定・自動測定や研究試料の受け入れによる代行測定などを可能とするなど、他施設への技術展開も見据えた研究環境を整備。

【理化学研究所放射光科学研究センター（SPring- 8等）の取組】

来所停止期間（4 月 6 日～ 6 月 16 日）は、加速器を含む施設運転は実施し、測定代行システムの整備（メーカー等から試料を送付、現地スタッフが測定作業を実施）や測定の自動化（試料交換の自動化等）・遠隔化（データの解析等のリモートでの実施）により、来所を伴わない形での新型コロナウイルス感染症関連課題を受け入れて対応（新型コロナウイルス感染症以外の課題は受け入れず）。６月１６日以降、感染予防に配慮したうえで段階的に国内ユーザーの来所利用を再開。

【物質・材料研究機構の取組】

外部からの共用設備・機器の利用については、３密を避ける等の環境を確保し、職員と同様の対応をとることで、利用を可能とするルールを策定。特に、NIMS 微細構造解析プラットフォームでは、３条件（装置利用環境ルールの順守、機器利用 or 技術代行、国内ユーザー）を満たす場合に限り、共用設備・機器の利用を再開。共用研究設備・機器の遠隔化・自動化を進め、より広い地域から容易に利用できる環境を整備し、バイオ×ナノテク等の融合的研究を促進。

（2）遠隔授業に関する知見の共有や、セキュアなリモート映像会議サービスの提供を通じて、全国の大学・研究機関・医療機関を支援。

【情報・システム研究機構 国立情報学研究所（NII）の取組】

民間企業と共同し、全国の大学・研究機関・医療機関の職員向けにセキュアなリモート映像会議サービスを提供。学術情報ネットワーク SINET の安定運用により、大学等の教育研究活動の維持、在宅での研究時の学術コンテンツへのアクセスの確保及び新型コロナウイルスに係る研究に必要なスパコンや大型実験装置の運用に貢献。

また、文部科学省はコロナ禍を受け、大学・国研等における研究活動の継続へ向けて様々な施策を開始またはさらに計画している。以下に、研究開発基盤に関するいくつかの取り組み状況を紹介する。科学技術・学術審議会の研究開発基盤部会では図 3-1 のように、感染拡大防止を図りつつ、研究基盤の運用継続・共用を図ることの重要性を提起している。研究施設・設備のリモート化やスマート化、若手を含めた全国の研究者のアクセス性を容易にすること、運用の要である専門人材の持続的確保・資質向上を図ることが不可欠であるとしている。現状からの研究活動の再開だけでなく、アフターコロナにおける研究施設・設備の利用改革を進め、研究開発の効率化とともにイノベーションの推進を図ることが必要であるとして課題と方向性を示している。

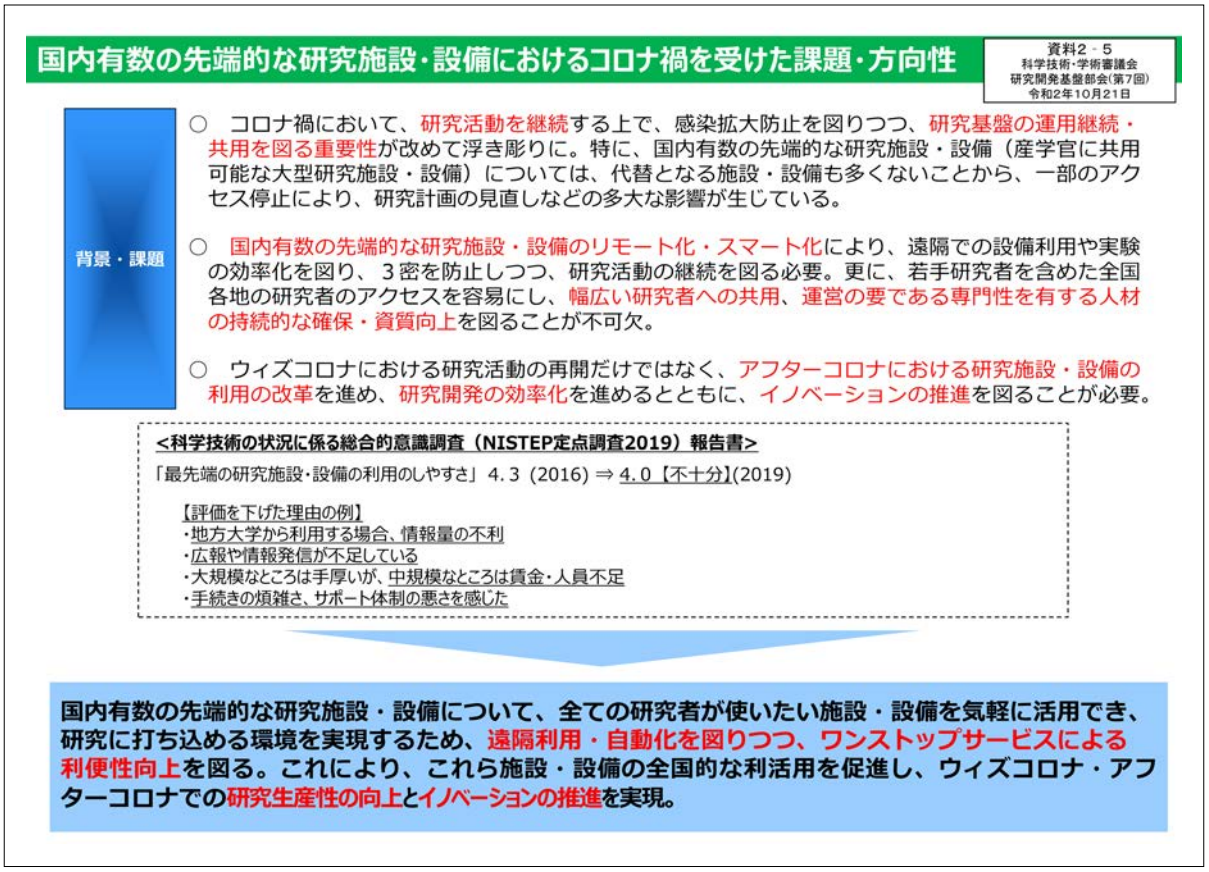

図 3-1　文部科学省 研究開発基盤部会資料：研究施設におけるコロナ禍を受けた課題と方向性

そしてまず令和 2 年度補正予算事業において、先端研究設備整備補助事業（研究活動再開等のための研究設備の遠隔化・自動化による環境整備）を実施した（図 3-2）。この事業では、研究設備の遠隔化・自動化にかかる整備提案を受け付け、21 億円の事業予算に対し 91 機関から応募があり、30 機関が採択されている。全国的に見れば限られた範囲の整備ではあるが、さらに現在、令和 2 年度 3 次補正予算事業（予算額 74 億円（案））でより拡張されることとなり（図 3-3）、全国各地の大学等に対し広くこの方向で研究現場とその活動を充実させていくべく施策展開がなされている。

https://www.mext.go.jp/content/20201021-mxt_kibanken01-000010542-6.pdf
https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/mext_00085.html

令和2年度補正予算：2,100百万円

文部科学省：先端研究設備整備補助事業（研究活動再開等のための研究設備の遠隔化・自動化による環境整備）

背景・目的

○ 新型コロナウイルス感染症の拡大の影響により、**大学や国立研究開発法人等においては、学生や研究者の入構が制限され、研究設備・機器を用いた実験等ができない状況。学位取得を目前に控えた修士・博士学生、ポスドクや任期付の若手研究者のキャリアへの影響を防ぐためにも、「３密」を防ぎつつ、研究活動を再開・継続できる環境を整備する必要。**

○ **研究者からのニーズの高い、共用研究設備・機器**について、**遠隔利用や実験の自動化を推進するための設備・機器の早期導入等を支援**することで、**学生・教職員等を新型コロナウイルス感染症の脅威から守りつつ、研究活動の維持を図る。**

◇ 遠隔利用が可能になることで、**研究施設・設備・機器が設置されている現場に行かずとも、実験が可能に。全国の若手をはじめとする研究者からのアクセスが容易になり、我が国の研究力向上**にも資する。
◇ AI,IoT,ロボット等を活用した**実験の自動化等により、保守・点検や研究開発そのものの効率化**が可能に。

概要

遠隔化

100百万円×21機関程度＝2,100百万円

研究施設・設備・機器の設置されている現場に行かずとも、遠隔で設備を利用できる環境を構築する。

遠隔観察

＜遠隔化への一例＞ ※既存設備・機器へ遠隔化機能を付加
○遠隔操作の監視（遠隔モニタリングシステム）
○遠隔操作のための通信環境整備
（高速通信システム、高速コンピュータ、遠隔操作用ソフトウェアなど）

自動化

設備整備費補助金（補助率：定額）：国 → 大学・研究開発法人等

試料の自動装填・交換や、実験の前処理・測定・解析を自動で行える環境を構築する。（→保守・点検の省力化により、少数のスタッフでの研究基盤の運用を可能に。更には研究開発そのものを効率化）

＜自動化への一例＞ ※既存設備・機器へ自動化機能を付加
○前処理の自動化（自動前処理装置）
○測定の自動化（オートサンプルチェンジャーなど）
○解析の自動化（オンラインデータ解析ソフトウェア）
○メンテナンスの効率化（液体窒素凝縮装置）

図 3-2　文部科学省令和 2 年度第 2 次補正予算 先端研究設備整備補助事業

先端研究設備整備補助事業

研究施設・設備・機器のリモート化・スマート化

令和2年度第3次補正予算額(案) 7,470百万円

背景・課題

○ **産学官が有する研究施設・設備・機器は、あらゆる科学技術イノベーション活動の原動力である重要なインフラ。**
○ **基盤的及び先端的研究施設・設備・機器のリモート化・スマート化により、遠隔での設備利用や実験の効率化を可能とし、研究における飛躍的イノベーションの実現等の加速が必要。**

【政策文書における記載】
- 研究設備・機器等の計画的な共用の推進、研究のデジタル化・リモート化・スマート化の推進に向けた基盤の構築等を図る。《経済財政運営と改革の基本方針2020(R2.7.17)》
- 効率的な研究体制の構築のため、遠隔操作可能な実験装置の導入など、共用研究設備等のデジタル化・リモート化を推進する。《成長戦略フォローアップ(R2.7.17)》
- ＡＩ、ロボット技術を活用した実験の自動化などスマートラボの取組や、遠隔地からネットワークを介して研究インフラにアクセスし分析等を実施する取組の推進、（中略）、研究開発環境と研究手法のデジタル転換を推進する。《統合イノベーション戦略2020(R2.7.17)》

事業概要

幅広い研究者への共用体制を構築している機関に対して、遠隔利用や実験の自動化を可能とする研究設備・機器の導入を支援し、時間や距離に縛られず研究を遂行できる研究環境を整備する。

【事業スキーム】 国 → 補助(定額) → 大学・国研等
先端研究設備整備費補助金

（事業規模）
最大４億円×１９件程度

（イメージ）

遠隔利用・自動化対応不可の核磁気共鳴装置(NMR)　遠隔利用・自動化機能付き高磁場NMR

【実施要件】

①共用体制
産学官への高い共用実績を有するなど、共用の仕組みを既に導入しており、幅広い若手研究者等の研究環境の改善に向けた共用体制が整備されている研究機関の提案であること。共用研究施設・設備・機器の管理体制が明確であるとともに、利用者から適正な対価を徴収することや研究機関内で経費を措置することで、研究機関として、長期的かつ計画的に、運営・維持管理に必要な資金が確保できる見込みがあること。

②事業の実施効果
遠隔利用や実験の自動化を可能とする共用研究設備・機器を導入することにより、研究現場の生産性向上に関して高い効果が認められる提案であること。その際、波及効果の観点から、研究機関内の若手研究者はもとより、地域の大学等の利用者への共用の取組が図られている点も考慮する。

【事業の波及効果】

研究生産性の向上、研究における飛躍的イノベーション、魅力的な研究環境を実現

✓ 実験（データ測定）の自動化により、データの創出増大を実現、測定時間から別の創造的な研究時間を創出。
✓ 幅広い研究者が最先端の研究設備の利用により、これまで得られなかった最先端の成果を創出。
✓ 設備のメンテナンスの自動化により、若手研究者を設備の管理から解放。

図 3-3　文部科学省令和 2 年度第 3 次補正予算 先端研究設備整備補助事業

また、研究設備の共用に関しては、これまで実施されてきた共用プラットフォーム形成支援プログラムの終了に伴い、より発展的な「先端研究設備プラットフォーム」を構築すべく事業設計がおこなわれている（図 3-4）。この事業構想ではワンストップサービスの設置や、機関間の施設・設備の相互利用促進、遠隔化や自動化に関するノウハウ・データの共有と技術の高度化、専門スタッフの配置・育成など、本報告書 1 章で論じてきた観点と通じる重要な強化の方向性が示されているところである。

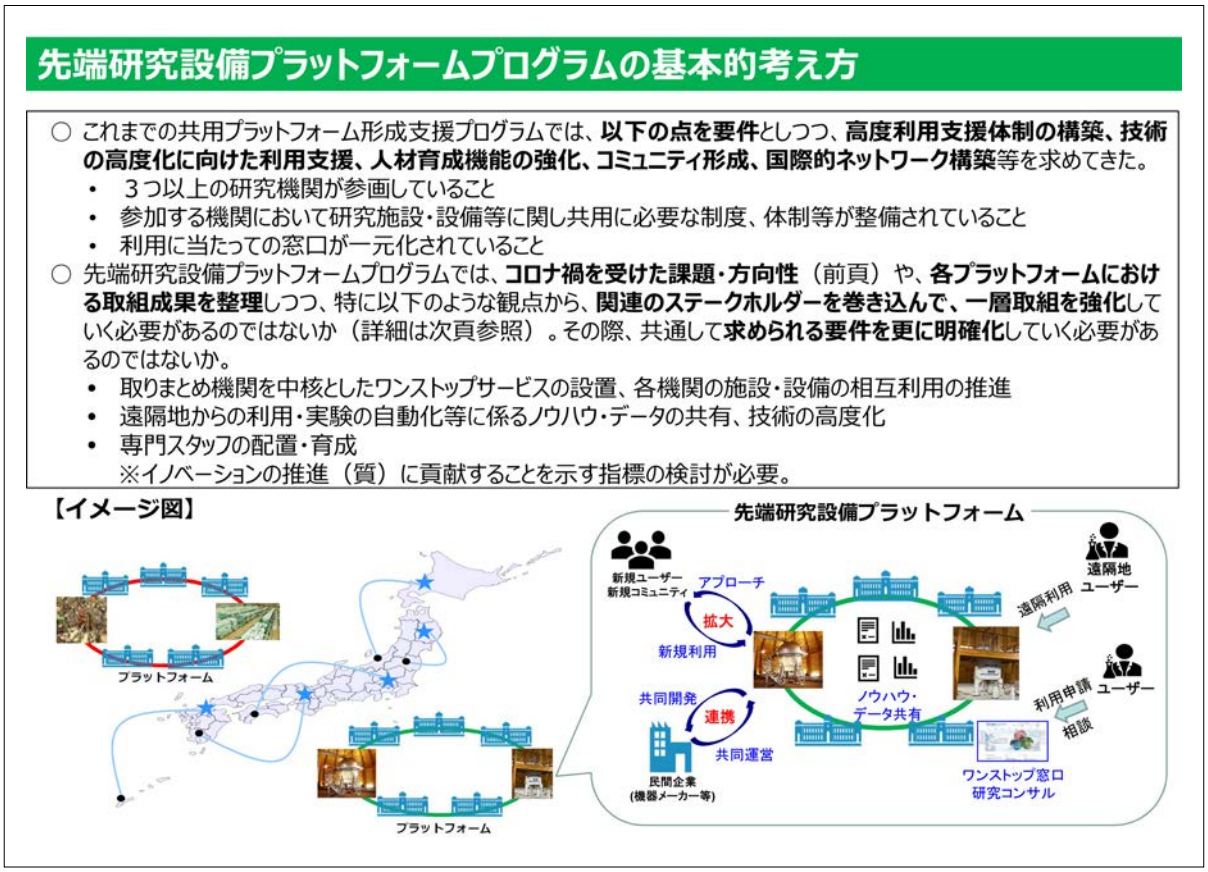

図 3-4　文部科学省における「先端研究設備プラットフォーム」へ向けた基本的考え方

大学法人の単位でも厳しい状況のなかで様々な取り組みがおこなわれているが、ここでは２事例（大阪大学、東京工業大学）を紹介する。

大阪大学は、「コロナ新時代における大阪大学の取組」として、教育、研究、産学共創・社学共創、国際、働き方改革に関し、大学を経営とその活動展開に関するビジョンを取りまとめて公表している（2020年７月）。産業界や自治体、経済団体、国際機関、NPO 法人、国の機関、さらには市民との共創へと、多様な主体との共創へ広く展開する、「社会との共創」を行っていくことが謳われている。オンラインメディアを利用して個々の共創活動の活動範囲を空間的に拡充することに加え、オンデマンドのオンライン環境の柔軟な活用により時間の壁を乗り越え、新しい課題に対して、その解決に向けた方法を迅速に提供することができるとしている。大学がコロナ新時代における新しいかたちの社会との共創を創成する時機が到来した、との認識を示している。

大学の総合力を発揮するパッケージの方針として、「感染防止対策」「学生支援」「留学生支援」「卓越した研究の推進」「産学共創・社学共創活動を通じた新型コロナウイルス感染症対策」「働き方改革ならびに医療現場の取組」の６項目に関しての取り組みが示されている。短期的なものとともに中期的なものも視野に入れ、大学のマスタープランや 2022 年度からの第４期中期目標・中期計画の一部として再構成していくことを目指すとしている。

参考）大学単位の取り組み（大阪大学）

図 3-5 大阪大学「コロナ新時代における大阪大学の取組」

大阪大学「コロナ新時代における大阪大学の取組」
http://www.osaka-u.ac.jp/ja/news/topics/2020/08/files/corona_newera

東京工業大学では、2020 年 6 月に新型コロナウイルス感染症に起因する社会課題の解決を目指して「脱コロナ禍研究プロジェクト」を発足させている（図 3-6）。これは具体的な研究プロジェクトを中核とするパッケージで、「1 個体、1 分、1 ドルで判定可能な診断装置」「低温プラズマによるウイルス不活化」「複数の会話の輪が存在できるビデオ会議サービス」など 18 の研究テーマが実施されている。焦眉の急となっているワクチンや治療薬の開発だけでなく、医療デバイスや将来予測、そして働き方、ニュー・ノーマル（新しい日常）への理解など、様々な分野が対応する必要性から科学・技術と人文・社会科学双方の力が求められているとし、「課題の本質」を考えることの重要性を提起している。テーマ間連携の模索、外部資金の獲得、企業との共同研究の発足・強化などの検討が進められており、今後も研究テーマを拡充していくとしている。大学ならではの異分野融合の取組が効果を上げることを期している。

図 3-6 東京工業大学「脱コロナ禍研究プロジェクト」

東京工業大学「脱コロナ禍研究プロジェクト」
https://www.titech.ac.jp/news/2020/047374.html

3-2 諸外国の政策・施策事例

米国：ポストコロナにおける研究開発環境

データ共有・オープン化に関する戦略

米国ではパンデミックの発生前からトランプ政権が、データ共有・オープン化に向け、データへのアクセス、情報の発見可能性、および連邦政府のデータベースの使い易さの改善を政権の優先事項に置いていた。大統領マネジメントアジェンダ（President’s Management Agenda）、連邦データ戦略（Federal Data Strategy）、およびホワイトハウス国家科学技術会議（NSTC）所轄のオープンサイエンスに関する小委員会（Subcommittee on Open Science）などの組織を中心に、一連のイニシアチブを推進してきた。パンデミックの事態を収束するために、データを最大限に活用する目的で以下のような追加措置を講じた。

大統領府科学技術政策局（White House Office of Science and Technology Policy：OSTP）は、アレン人工知能研究所（Allen Institute for Artificial Intelligence）、チャン・ザッカーバーグ・イニシアチヴ（Chan Zuckerberg Initiative：CZI）、ジョージタウン大学安全と新興技術センター（Center for Security and Emerging Technology）、マイクロソフト社、国立医学図書館（National Library of Medicine：NLM）、及び国立衛生研究所（National Institutes of Health：NIH）などの官民機構を率い、「COVID-19 オープンリサーチデータセット（COVID-19 Open Research Dataset）」というプロジェクトを立ち上げた。同プロジェクトは、COVID-19 を含むコロナウイルスに関する研究論文及びそれに関連するデータ資料をデータセットに作成し、最も広範的、かつ機械可読なコロナウイルス文献コレクションを公開した。

また、同プロジェクトの下で、国立標準技術研究所（National Institute of Standards and Technology：NIST）と OSTP は 2020 年 4 月 15 日、COVID-19 対策に向けた研究用の検索エンジン開発を支援し、機械可読な COVID-19 データセットを作成する共同プロジェクトを立ち上げた。一方、保健福祉省（United States Department of Health and Human Services：HHS）は、「公衆データハブ（HHS Protect Public Data Hub）」を開設し、米国全土の病院、研究機構、NPO、及び産業現場のデータを広く収集して、タイムリーな情報として一般公開した。

研究開発の進め方・働き方の変化に関する議論

米国は EU や英国などの国や地域とは対照的に、パンデミックの事態が始まって以来、連邦政府は大学や研究機関などの研究開発現場に一括適用的な政策もしくはガイドラインなどの発表を行っていなかった。これに対して各連邦関連機関、各大学や研究機関では、自らの基準で研究活動の再開や、再開後の研究の進め方を定めている。場合によっては特定の研究機関が知恵を集め、研究の進め方に対してイノベーティブな提案を出している。以下に米国で注目を集めた 2 点の事例を紹介する。

ジェイソン・グループによる「COVID-19 下の大学の研究現場におけるリスクの特定や安全な研究再開に関する報告書」

独立した科学者によって構成される諮問グループ「ジェイソン・グループ（JASON Group）」が、COVID-19 下の大学の研究現場におけるリスクの特定や安全な研究再開に関する報告書「Managing the Risk From COVID-19: During a Return to On-Site University Research」を 2020 年 7 月 2 日に公

https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2020/10/Trump-Administration-ST-Highlights-2017-2020.pdf
https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/call-action-tech-community-new-machine-readable-covid-19-dataset/
https://www.nist.gov/news-events/news/2020/04/nist-and-ostp-launch-effort-improve-search-engines-covid-19-research
https://protect-public.hhs.gov/

表した。同報告書では、ジェイソン・グループの科学者らが大学における研究の再開や継続的な遂行を可能にするために、複数の科学技術専門分野の知恵を集め、以下の提言を出している。

- 大学は、必要とされるすべてのレベルの技術的パフォーマンスを満たすマスクを提供する。
- キャンパス内の人々を視覚的に表現する「インフォグラフィック」や「ダッシュボード」、ウイルス検査統計、COVID-19 規制の順守の活用について、状況認識の共有を促す。
- 大学は新たな感染者を検知し、人々の健康を追跡するために日々の症状証明（daily symptom attestation）を開発して、その利用を推進する。
- 症状証明のための携帯アプリは、感染可能性の閾値に達したかどうかを自動的に判定する有益な機会を提供する。
- 現段階ではウイルス検査はキャンパス内での伝染を防止するのに大して役に立たない。一方、有症状者が検知されれば、1 日もしないうちに過去 3-5 日間の接触者全員が特定・通知・隔離されるよう、追跡システムは迅速に対応する。
- 安価で迅速な市販のウイルス検査が利用できるようになれば、症状が出る前の段階の感染者、特に高いウイルス力価の感染者を探知し、授業の開始時に日常的に検査を実施する。
- クラスターを生むようなイベントの規模に上限を設け、接触する人数を制限
  空気感染を防ぐために、ラボ内の空気の流れに関して大学の施設・健康安全グループと相談し、1 時間当たり少なくとも 4 回の換気を行い、ラボが複数で使用されている場合の空気流量を上げるようにする。

MIT メディア・ラボによる論文

MIT のメディア・ラボは 2020 年 3 月 25 日に『MIT Sloan Management Review』で「パンデミック期におけるアイデアフローの管理」と題する記事を発表し、パンデミックの事態の下、研究ラボに限らず、ほとんどの仕事がリアル空間からバーチャル空間に移行することを踏まえ、デジタルツールの導入や活用を通じて、リアル環境において組織的な意思決定過程でしか達成できない成果をバーチャルな環境で維持し、もしくは向上する方策を提言した。

まず、メディア･ラボはバーチャル空間での「組織的な意思決定過程」における「アイデアフロー」を把握するあり方に着目する。対面的な意思疎通やアイデア交換ができない弊害を減少するために、特定のアプリケーションの導入を通じて、組織の電話会議、電話、電子メールなどのデジタルコミュニケーションの経路を追跡し、組織内のアイデアフローの可視化を可能にする他、組織の管理運営者がアプリケーションによるデータ分析の結果を借りて、組織の効率と成果を維持するに足る作業上の判断と指示を作成できると考察している。

また、組織的な意思決定ツールをデジタルな方式で改善することも期待されている。メディア・ラボは、バーチャル空間で意思決定の品質を向上するために、AI 搭載のアプリケーションの導入を提案している。リアル空間の組織的な意思決定過程では往々にして強勢な人にアジェンダの主導を握られるが、オンライン空間での意思決定過程では、秘密投票をサポートするアプリケーションなどの導入を通じて意見の平等を促進する機会が生じる。また、ビデオ会議をリアルタイムで分析する AI ソフトウェアを導入し、外向的な人が会話を支配しないように促し、内向的な人は疎外感を感じないようにし、組織全体の意思決定の品質が向上することが可能であると考察している。

メディア・ラボは、オンライン作業では「アイデアマーケット」機能に長けるアプリケーションの導入を通じて、アイデアフローを促進することを推奨する。すなわち、「アイデアマーケット」がバーチャル空間で導入された場合、あらゆる人がアイデアを投稿し、他の人より自分のアイデアに支持を得る競争が可能になる。アイデアが多くの支持を得られたら、より多い報酬を得られる仕組み（ピア報酬）を通じて、組織内の信頼と連帯関係が維持できるし、リアル空間では生み出されない最善のアイデアが生じることも期待できるとしている。

---

https://fas.org/irp/agency/dod/jason/covid-19.pdf
https://sloanreview.mit.edu/article/managing-the-flow-of-ideas-in-a-pandemic/

EU：ポストコロナにおける研究開発環境

デジタル化に関する EU の戦略

EU では新型コロナウイルスの発生前から、気候変動対策と共にデジタル化を最優先課題として掲げ、様々な戦略を打ち出していた。なかでも主要なものが、2020 年 2 月に発表された「欧州デジタル戦略」と「欧州データ戦略」である。

欧州デジタル戦略では、欧州の人々が DX による恩恵を受けられるよう、今後 5 年間に注力する 3 つの柱と主要施策を示している（表 4）。また、欧州データ戦略は、部門の垣根を越えて EU 域内で自由にデータを移転できるよう、「欧州データ空間（European Data Space）」の構築を目指すものである。具体的な戦略として、データ流通に係るルール作り、大規模プロジェクトへの資金投資、重点分野別の欧州データ空間設立などを掲げている。背景には、デジタル分野で EU の技術主権（Technology Sovereignty）を確保し、EU を信頼できるグローバルリーダーとして位置づける狙いがある。

表 4. 欧州デジタル戦略の柱と主要施策

柱	名称	主要施策
1	人々の役に立つ技術	・全欧州人のデジタルスキル向上のための投資 ・人々をハッキングやなりすまし等のサイバー上の脅威から守る ・医療・輸送・環境分野での革新的ソリューション開発のためのスーパーコンピューティング能力の拡充
2	公平かつ競争力のあるデジタル経済	・オンラインプラットフォームの責任強化とオンラインサービスの規則明確化を目的とした「デジタルサービス法」の提案 ・EU 規則がデジタル経済の目的に適合していることを確実にする ・高品質データへのアクセス向上、個人情報や機密情報の保護
3	民主的かつ持続可能で開かれた社会	・2050 年までに欧州が気候中立になれるように技術を活用 ・デジタルセクターの炭素排出量削減 ・欧州市民が自身のデータをより適切に管理、保護可能に ・研究・診断・治療加速のため「欧州健康データスペース」創出

欧州データ戦略で目指す欧州データ空間の構築に関して、欧州委員会はドイツとフランスが中心となって進めている「GAIA-X」構想とのシナジーを重視している。GAIA-X 構想は、欧州独自のクラウド / データインフラ構築を目指す取り組みで、2020 年 6 月に正式に始まった。データシステムの構築とシステムに蓄積・処理されるデータ管理を、非欧州企業に依存せず、欧州の自己決定により実行できる技術環境を整備しようとしている。

研究開発の進め方・働き方の変化に関する議論

EU の主要ファンディングエージェンシーである欧州研究会議（ERC）では、進行中のプロジェクト内容を調整し、新型コロナウイルスへの対応をしている。また、研究開始日の延期や終了日の延長にも応じている。新規プロジェクトの審査は、書面・面接ともすべてリモートで実施している。

新型コロナウイルスの発生を受け、研究開発にシチズン・サイエンスを活用する動きも促進している。2020 年 4 月に欧州委員会が主催した “EUvsVirus Hackathon” と呼ばれるハッカソンイベントでは、新型コロナウイルス問題の解決に資するアイデアの一般公募が行われ、2,164 チームによる提案があり、117 チームが選出された。選別されたチームは、5 月に行われたマッチングイベント

https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020_en_4.pdf
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0066&from=EN
https://www.data-infrastructure.eu/GAIAX/Navigation/EN/Home/home.html

“EUvsVirus Matchathon” に参加し、欧州委員会や EU 加盟国の支援の下、企業・アカデミア・公的機関など 458 のパートナーと全 2,235 件のマッチングが成立している。

研究データ共有・オープン化

新型コロナウイルスの発生を受け、EU では研究データの共有やオープン化に関する取り組みが進んでいる。研究データの共有事例の一つとして「COVID-19 Data Portal」の設立が挙げられる。これは、2020 年 4 月に欧州委員会と欧州分子生物学研究所の欧州バイオインフォマティックス研究所（EMBL-EBI）が、EU 加盟国やその他パートナーと共同で立ち上げた研究データの共有プラットフォームである。このプラットフォームでは、DNA 配列、タンパク質の構造、前臨床研究や治験のデータ、疫学的データなどさまざまなデータセットの保存・共有ができる、公開性・信頼性・拡張性のある環境を欧州と世界に提供している。

日本においても、本データポータルの枠組みに賛同する形で、国立情報学研究所のオープンサイエンス基盤研究センターと、国立遺伝学研究所の生命情報・DDBJ センターが共同で、10 月に「COVID-19 データポータル JAPAN」を公開し、新型コロナウイルスに関する研究データの共有を行っている。

オープン・アクセスについては、EU の研究開発プログラムである「Horizon 2020」において、4 月に欧州委員会によってオープン・アクセス・ガイドラインが改定され、新型コロナウイルス関連の研究成果に対する即時かつ完全なオープン・アクセスの提供が強く求められることとなった。

また、7 月末には欧州委員会が「COVID-19 研究に関する EU マニフェスト」を発表した。本マニフェストでは、新型コロナウイルスに関する研究成果へのアクセスを最大化するため、EU の公的資金提供によって得られた研究成果に関して、次の 3 原則を順守することを求めている。

○「Horizon 成果プラットフォーム」「既存の知的財産共有プラットフォーム」「既存の特許プール」などで、有形・無形に関わらず成果を遅滞なく公開・利用可能とする
○科学論文、研究データをオープン・アクセスで利用可能とする。特に、新型コロナウイルス関連の研究成果を「COVID-19 Data Portal」を通じて利用可能とする
○可能な場合には、ライセンス被許諾者が製品やサービスを迅速かつ広範に展開することを条件に、EU の資金提供によって得られた知的財産の通常実施権を無償で付与する

2020 年 10 月 15 日時点で、全欧科学アカデミーや欧州分子生物学研究所を始めとする 500 を超える機関（大学、研究所、企業）が本マニフェストを承認した。加えて、欧州全土から 1,500 人が支持を表明しており、マニフェスト発表から 3 か月で足らずで 2,000 以上の署名を集めている。

https://www.euvsvirus.org/
https://www.covid19dataportal.org/
https://ec.europa.eu/info/news/commission-launches-manifesto-maximise-accessibility-research-results-fight-against-coronavirus-2020-jul-28_en
https://ec.europa.eu/info/news/manifesto-eu-covid-19-research-celebrates-its-first-2000-signatories-2020-oct-15_en

英国：ポストコロナにおける研究開発環境

研究開発の進め方・働き方

ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）＆デジタル・文化・メディア・スポーツ省は、コロナ禍における様々な職場での安全指針の一環として、2020 年 5 月 11 日に研究室・研究施設での就業ガイドラインを発表した。各高等教育機関はこの原則に準じて、研究関連施設を段階的に再開する方針を示した。この中で、学位申請やキャリア形成に向けた大学院生等若手研究者の研究活動復帰を優先的する等の配慮を述べている。留学生を多く擁する英国では、研究室再開と大学宿舎再開のタイミングが合わない場合等、学生の生活面での支援も考慮されている。

コロナ禍を契機に R&D システムを更に迅速・双方向的・レジリエント・持続可能とする見直し

BEIS は、2020 年 7 月 1 日、政策文書「研究開発ロードマップ」を公開した。COVID-19 禍の中で、研究開発者・企業・公的機関等から自発的に示された、迅速で開かれた対応や、分野・業種を超えた協同の潜在力を、目前の危機への対応のみならず、将来の類似或いは未知の危機への対応や、従来計画していた研究開発躍進に基づいた社会構築に向けて、更に発展させるという方針が提唱された。

表 5. BEIS の R&D システムの改善案

改 善 案	現 状
長期的で系統的な予算配布	公的基金の複数予算案への拡散配布
人（研究者・チーム）宛の基金配分	企画宛の基金配分
閉鎖的な論文発表形式の見直し	職位維持の為のトップジャーナルへの拘泥、研究活動の遅延、閉鎖的出版による有益性・信頼性・インパクト低減、公的基金による研究成果の非共有
平等・多様性・包含（EDI）	いじめ・嫌がらせ・差別などにより、安心して就労できる若手研究者は 29% のみ。博士課程修了者の多くが職を離脱
戦略的な国際共同関係の構築	Brexit 以降
予算の脆弱性改善	留学生学費など第三者負担に依存する大学財政

総合的な研究開発人材・文化戦略

研究開発ロードマップの中で、才能ある多様な人々の牽引・定着・育成を成功させる要として、総合的な研究開発文化の活性化を挙げている。「研究の質アセスメント」・「公衆関与」・「オープンリサーチ」等について、英国が歴史的に国際社会を先導してきたと述べ、このような研究文化を更に向上させ、豊富な人材を最大限に活用すべきであるとしている。

又、次世代を育てる事の出来る影響力あるリーダー人材を育成する為、大学院研究者への新たな支援策定に投資する。大学院生や若手研究員が学術界・産業界・行政界を問わずキャリア発展できるように、支援政策・ファンディング開発のため、行政側も広範な分野から新鮮な考え方や多様な展望を導入する。

https://www.gov.uk/guidance/working-safely-during-coronavirus-covid-19/labs-and-research-facilitie
https://www.gov.uk/government/publications/uk-research-and-development-roadmap/uk-research-and-development-roadmap#fn:5

シチズン・サイエンス

英国研究・イノベーション機構（UKRI）は、シチズン・サイエンス的手法を学術研究に組込み発展させる取り組みを、研究機関研究者の中に普及・浸透させる為、2019 年パイロット研究を支援した。災害に伴い、研究者自ら野外・現地調査に赴く事に制限が生じると、広範な地域に在住する市民から多様性・継続性の高いデータを収集する方法の有益性が改めて重要視される。2020 年には、在野研究者と多分野の研究機関研究者の協同を通じて、シチズン・サイエンスを新規研究分野に発展させる企画を支援している。

UKRI では、単なる市民教育にとどまる事のない、研究としての質向上を目指している。採択例の一つでは、在野の非専門家研究者（lay experts）集団の質や取得データの信頼性を高めるパイロット研究と並行して、観察対象と観察者の関係から進化に関する仮説検証を試みている。又、他の例では、非専門家の中から、量子コンピューティング関連問題を解く才能を見出す可能性について調査している。

オープンサイエンス

BEIS は研究開発ロードマップの中で、下記のような方針を述べている：

- 研究方法の近代化、高品質・価値の情報の自動掌握 （研究者による入力作業の省略）
- 研究に関わるメトリックスの利用方法見直し、インテグリティと再現性を向上
- 新規の賢い評価・ピアレビュー方法、ファンディング業務の効率化

1. 英国政府基金の支援を受ける研究の成果を、全ての英国納税者に開示
   オープン出版の義務化、オープンデータ共有を強く奨励
   ➡ 再現性の向上、知識の共有・協同伝播
2. 研究成果公表に関わる、近代的な媒体の推奨（例：デジタルソフトウェア・データベース）
3. 研究者間、研究者・企業間の知識共有の効率化を支える基盤構造検討
   ➡ オープンイノベーションの加速

https://www.ukri.org/files/news/ukri-place-and-citizen-science-project-summaries/
https://www.ukri.org/news/call-supports-innovative-citizen-science-approaches/

ドイツ：ポストコロナの研究環境変化に向けて

背景：ドイツのデジタル化政策

連邦政府のデジタル化政策は、「デジタル・アジェンダ 2014-2017」を基本方針として推進され始めた。産業、行政、教育、科学など多様な分野を含む包括的な政策で、2013 年に発足した第三次メルケル政権の連立政権公約に基づいている。ドイツでは高速ブロードバンド、特に非都市部の光ファイバー整備が遅れており、デジタル・アジェンダならびに後継の「デジタル戦略」においても、ブロードバンド網への設備投資が急務であると指摘し、どちらかといえばハード面での整備を主とした政策である。なお同公約には、教育、研究、科学分野のデジタル化について、① 研究機関および大学のオープンな研究データベース、レポジトリ、オープン・アクセスを原則としたジャーナルの確立、構築を国内、欧州域内、および国際的なネットワーキングで実現するための助成を実施すること、② インターネットとデジタル社会に関する基礎研究は、対象を絞ったプロジェクトファンディングと適切な基盤的資金の提供を通じて強化、推進すると記述されている。さらに、インターネットの技術的、産業的側面だけでなく、政治的、法的および倫理的側面も検討する学際的なインターネット研究所を新設することが示された。

デジタル・アジェンダに加え、連邦教育研究省（BMBF）も大学ならびに研究機関のデジタル化、オープンイノベーション、スタートアップの支援などを盛り込んだ「BMBF デジタル戦略」を 2019 年に公表した。同戦略は、連邦政府の科学技術イノベーション基本政策である「ハイテク戦略」および上記のデジタル戦略への BMBF の具体的な貢献を示している。先に出された一連の「人工知能戦略（2018）」と「持続化戦略（2019 年）」、「デジタル知識社会のための教育イニシアチブ（2016 年）」、および中小企業研究開発支援プログラムと連動して実施されている。 連邦・州政府の連携による学校教育のデジタル化協定、ドイツ研究データインフラストラクチャ（NFDI）構築、高性能コンピューティング開発など一連のプロジェクトを実施している。

大学・研究現場のデジタル化に関する取り組み

大学や研究機関で取り組まれているデジタル化、研究環境改善の取組について以下に代表的な例を示す。

① ドイツ研究データインフラストラクチャ（NFDI）

研究データを社会的付加価値の高い科学的に広く使用可能なデータ資源とするために、連邦政府と州政府は、ドイツ研究データインフラストラクチャ（NFDI）を構築し、共同で推進することに合意した（2018 年）。現状、多くの場合、分散型でプロジェクトレベルごとに一時的に保存されている研究のデータベースを、NFDI のフレームワーク内で体系的に開発することを目指す。政府は、2019 年から 2028 年まで、年間 9,000 万ユーロを限度（連邦政府 90％、州政府 10％の投資割合）に投資を予定している。NFDI により、ドイツの科学研究に多様なステークホルダー間の連携と、研究領域、機関、国を超えた協力することが期待されている。個々のコンソーシアム（大学、公的研究機関、政府付属研究機関、アカデミー、その他の公的資金による情報イ

Digital Agenda 2014-2017, 2014年8月 連邦経済エネルギー省（BMWi）・連邦総務省（BMI）・連邦交通デジタルインフラ省（BMVI）
Digitale Zukunft: Lernen. Forschen. Wissen. Die Digitalstrategie des BMBF 2019年4月
High-tech Strategy2025, 2018年9月
助成プログラム名KMU-innovativ
National Forschungsdateninfrastruktur

ンフラ機関等）が、既存のデータ収集とサービスが統合され、新しい包括的なサービスと、ドイツでの研究データ管理のためのソリューションを確立する。2026 年までに 30 のコンソーシアムを承認する計画で、2020 年 6 月にまず 9 つのコンソーシアムが採択された。NFDI は、いわゆる FAIR の原則に従って、European Open Science Cloud（EOSC）などの国内および欧州のイニシアチブと連携し、オープンなシステムを構築することが謳われている。

② 大学教育コンテンツのデジタル化推進「デジタル講義（Digitale Hochschulbildung）」

デジタル化によって可能になる新しいフォーマットの教育や試験を実験的に構築し、より科学と実践に基づいた知見を集めることを目的に、2017 年から既に計 4 回の公募で 40 件を超える大学が採択された。これに先立ち、BMBF の助成で、ドイツ大学学長会議（HRK）やドイツ科学助成財団連盟が共同で運用する「大学フォーラム デジタリゼーション」などを通じて、大学カリキュラムのデジタル化についての情報共有などが先行していたことなどもあり、今回のコロナ禍でリアルな大学の講義が中止になった状況でも大きな混乱がなく比較的スムーズなオンライン講義への移行が実現したとされている。

③ 大学院研究支援プログラム「エクセレンスクラスター（Excellence Cluster）」Sim Tech

シュトゥットガルト大学IST研究所（Institute for Systems Theory and Automatic Control）のデータ統合シミュレーション科学。シュトゥットガルト大学のほぼ全学部から 200 名を超える研究者が参加。助成第一期（2007-2017 年）は工学的アプローチからのモデル化などに取り組み（合計 6,500 万ユーロ）、第二期（2019-2026 年）では更に大容量データやセンサー計測の取り扱い、データ解析手法の開発などを進め、統合システム科学に発展させる。（600 万ユーロ / 年を投資予定）。応用分野は、環境、健康、製造など。

シミュレーション技術は、さまざまな分野での研究開発に欠かせないものとなっており、同プロジェクトでは、センサー測定、データ調査、実験、シミュレーションから現在利用できる大量のデータから知識を得る新しい方法を研究開発する。データ統合シミュレーション科学における卓越性のクラスターの長期的な研究目的は、さまざまなタイプのデータから得られた情報をモデリング / シミュレーション / 分析サイクルに体系的に統合し、シミュレーションの適用性と精度を高め、科学と工学のやり方を根本的に変革する、新しいクラスのシミュレーションとデータ駆動の共同アプローチを開発することである。結果として生じる方法論の革新は、現代の工学と自然科学が直面する大きな課題に対応し、最終的には人間の生活の多くの側面に大きな影響を与えることが期待されている。7 つのプロジェクトネットワークは、学際的な研究者チームが共同で実施する、テーマに沿ったいくつかのプロジェクトで構成され、主任研究者は専門分野にグループ化されている。

FAIR 原則Findable, Accessible, Interoperable, Reusable
"Hochschulen, Corona und jetzt?", 2020年10月Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft
Hochschulforums Digitalisierung　2014年発足　情報発信やベストプラクティスの共有を図るフォーラム
大学学長へのインタビューシリーズ#LektionenAusCorona, 2020年6月 科学審議会
エクセレンス・ストラテジー下のサブプログラムであるエクセレンスクラスター（EXC） に採択されたプロジェクト
https://www.simtech.uni-stuttgart.de/
EXCは、国際的な評価の高い、競争力のある研究を領域横断的に実施可能なネットワーク構築を支援。
大学の研究所と主に大学外研究機関が協力するクラスター構築が条件。ドイツ研究振興協会（DFG）が受託し実施している。

コロナ禍での議論

新型コロナ感染拡大によるロックダウンを経験したドイツでは、これまでのデジタル化の取り組みが適切だったのか、想定したレベルに達しているのか、などの振り返りがしばしば行われている。また、DX に限らず、従前から存在しながら解決に至っていない課題がコロナ禍で浮き彫りになったとして、若手研究者やダイバーシティについて議論されてきた。

① 研究者の働く環境を改善する措置

コロナ禍では、助成期間終了が迫る進行中の研究プロジェクトの継続困難、通信インフラの過負荷、在宅ワークで女性研究者の論文発表が減っている問題などが明るみになった。さらに、ドイツでは国内の研究者育成の過程で博士課程 6 年、ポスドク 6 年の合計 12 年を超えてはならないという上限を定めた法律がある。5 月には同法が改正され、2020 年 3-9 月期に契約期限を迎える研究者はひとまず最長 6 ヶ月の任期延長が認められることとなった。BMBF の調査資料によると、ドイツの若手研究者（博士課程およびポスドク研究者）のうち、研究機関は 84％、大学では 93％が有期雇用であり、以前から不安定な雇用環境や給与水準の改善を求める声が上がっている。また、科学審議会が公表したドイツ国内の大学学長・事務局長へのインタビューシリーズでも、一部の領域を除いて比較的スムーズに移行した在宅での研究活動も、女性研究者の負担が大きかったことが報告されており、ジェンダーギャップ解消の取り組みは道半ばであることが指摘された。

② デジタル化の一層の推進

一方で、大学の講義をデジタル化して配信する動きが 2017 年頃から積極的に取り組まれていること、一部の先進的な大学では既に MOOCs によるオンラインでの受講を開始していたこともあり、大学の閉鎖による影響は最小限に抑えられたとする発言が科学審議会のインタビューでも見られた。しかしながら研究現場では、実験動物の飼育や細胞の維持等で困難を抱えたという報告も多くあり、研究イノベーション審議会やドイツ科学助成財団連盟の報告書でも、デジタル化のレベルは満足のいくものではなく、主に対面式（リアル）のイベントに基づく教育を非常に短時間でデジタル形式に変換し、既存の教育および試験形式のデジタル代替案を構築するために、他のタスク、特に研究の時間を犠牲にせざるを得なかったことを指摘している。今後、オンラインでの授業、遠隔での研究管理などと対面によるリアルなイベントのハイブリッド型となるだろうと予測されるが、個々の大学の努力では達成できない課題を大学間ネットワークの構築や、大学に CDO（Chief Digital Officer）を置くことで戦略的に取り組むべきであると提言している。

また、コンテンツの準備のみならず、行政への要請として、光ファイバー網整備の遅れが資金の不足と複雑な認可手続きによるものだとしている。新型コロナ危機を契機として、行政、大学、企業にとってのデジタル化の利点と機会がさらに明確になり、必要な手順を今すぐ実施すべきとまとめている。

"Are women publishing less during the pandemic? Here's what the data say", May 20. 2020
https://www.nature.com/articles/d41586-020-01294-9
研究者の任期雇用を定める法律（Zeitvertragsgesetz für die Wessenschaft）
医学系は博士9年＋ポスドク6年の最長15年。なお海外でのポスドク期間はこれに含まれない。
4年ごとに発行される若手研究者に関する包括的な調査: Bundesbericht Wissenschaftlicher Nachwuchs （BuWiN） 2017, BMBF
＃LektionAus Corona Hochschulen in Zeiten der Pandemie
https://www.youtube.com/playlist?list=PLEH7vc3utI9o_QEkvEuMzvzOnbS_TfVcB, Wissenschaftsrat

③ 研究者間の互助的な取組

一日も早いワクチン開発と有効な治療法の確立が求められ、実験や研究の追われている新型コロナウイルス研究に従事する研究者を直接的に関連しない他分野（バイオインフォマティクス、画像分析、AI など）の専門家が、単純で時間のかかるタスク、例えばデータの転記、手動での画像の注釈付けなどを代行するというサービスが始まった。DNA データベース検索や特定の試薬の探索など、数行のリクエストを入力すると、登録している研究者がその要求を理解し、手助けするというマッチングサイトで、無料で運営されている。マックスプランク動物行動研究所所属のポスドク研究者と有志によるイニシアチブ「Crowdfight COVID-19」には、現在 4.6 万人が登録している。

政府にイノベーション政策の助言やハイテク戦略実施の評価を行う研究イノベーション審議会（EFI）
EFI Policy Brief Nr. 1-2020, April 03,2020/ Nr. 2-2020, April 15, 2020 研究イノベーション審議会（EFI）
Max-Planck Institute of Animal Behavior
https://crowdfightcovid19.org/

フランス：ポストコロナにおける研究開発環境について

研究開発の進め方・働き方の変化に関する議論

新型コロナウイルス感染症の世界的蔓延をうけ、フランスの大学・公的研究機関の多くの研究現場である研究ユニット、個々の研究者においては、ロックダウンの期間もその後も、床面積あたりの許容人数といった、国の指針を受けた各所属機関の方針に沿った研究現場・施設の共有ルールあるいはテレワーク体制を取り入れ、研究活動全体の停止は限定的であり、ロックダウン解除後は漸進的に研究を再開、現場の柔軟な対応で研究を継続している。

国立科学研究センター（CNRS）では 2020 年 5 月、共同研究を行う民間企業のうち 48 社の大企業、中小企業の研究開発部門に調査を行い、コロナ禍において明らかになった経済の主権および環境的側面の重要性についての事例およびそれら事例への科学的技術側面からの提言からなる報告書（「コロナ危機はどのように研究開発に影響を与えたか？」）を発行している。

しかしながら博士課程・ポスドクなど、任期制で研究を行う人員に関しては、当然コロナ禍の影響による日程の遅れ等は発生しており、例えばライフ関連の動物実験や農業関連の植物の実験などの活動に関しては、年始からの実験分がすべて無駄になるなど日程の見直し等を余儀なくされる例もみられている。

この問題に対処するため、4 月 23 日付高等教育・研究・イノベーション省（MESRI）は全国の大学・公的研究機関に向け COVID-19 の蔓延によって影響をうけた博士課程契約、ポスドク契約の 1 年延長を許可する文書を発し、あわせて 2020 年に予定されていた ANR および研究を通じた育成のための企業との協定（CIFRE）を介した、国の研究助成金執行の期限を 2021 年に延長する旨を発表した。2020 年 6 月 17 日法でこの延長する権利について規定している。フランスでは博士課程契約に登録した人員のうち 71％は MESRI や上記 CIFRE など公的性格のファンディングを受けた博士課程契約を締結し、契約に基づき給与受給を受けて研究を行っている。今回の措置では博士課程契約人員のみならず、ポスドクや研究者、研究支援者など国の支援をうけたプロジェクト研究に従事する任期制人員も対象である。これら博士課程契約、ポスドク、任期制研究者・研究支援者の受け入れ機関は、国の示した資金支援条件に従って、国から追加資金を直接支給される。

研究活動の遠隔化、自動化、デジタル化一般の議論

以下に二つの事例を挙げるが、フランスでは新型感染症の蔓延以前より、健康・医療、環境、輸送、防衛・セキュリティを 4 つの優先分野とする「人工知能（AI）国家戦略」などを通じ、研究や行政を含む社会・経済の活性化・競争力強化を目指したデジタル化政策がとられている。また研究施設・情報基盤の整備に関しては、以下に掲げる事例に先立って「将来への投資計画」下のプログラムで段階的に投資が実施されており、「高度な研究設備　エキペックス（EQUIPEX）」プログラムの第一次は 2011～2012 年に 2020 年をめどとして 2 回にわけて公募が行われており、合計 5 億 9,100 万ユーロの資金配分がなされ、さらに 5 億 2,400 万ユーロの追加拠出が、海外ファンディング機関、公的ファンディング、地方自治体、民間などよりなされている。

http://www.cnrs.fr/sites/default/files/page/2020-08/ImpactsCrise_web.pdf
https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid151378/epidemie-de-covid-19-prolongation-des-theses-contrats-doctoraux-et-post-doctoraux-impactes-par-la-crise-sanitaire.html

・研究のための構造的設備プログラム・エキペックスプラス（EQUIPEX +）

研究とイノベーションのための包括的で全国規模の e インフラの構築に 2 億 2,400 万ユーロを資金配分する計画で 2020 年 5 月 ANR の公募を締め切った。高度な研究設備 EQUIPEX プログラム（2011 年～）の後継とされている。

公募条件としては、インフラ共用と階層ごとのデジタルサービスを介した、研究とイノベーションのデジタルトランスフォーメーションを目指しており、対象は設備取得と保守サービスで、具体的には共用データセンター・デジタル情報基盤、ソフトウェアプラットフォーム、データベース、モデリングツール、データシミュレーションとデータ利用、クラウド、ヴァーチャルインフラ、環境監視ネットワーク、センサーネットワークといったものが含まれ、分析・測定機器、画像機器、実験用プラットフォームなどが範疇に入ると考えられ、人文社会科学分野に関わる設備も含まれる。

・大学のハイブリッド・デジタル化と大学・研究施設の環境型断熱対策への投資

2020 年 9 月に政府により総額 1,000 億ユーロの「フランス復興計画」の大枠が発表され、政府は、環境移行、企業の競争力強化、社会と地域活性の 3 つの柱を明らかにした。1,000 億ユーロは国の年間予算の約三分の一にあたり、うち 400 億ユーロは EU の復興資金から充当される。環境移行には 300 億ユーロ、うち建物の断熱対策改修工事に 67 億ユーロが資金配分される。

高等教育・研究・イノベーション省所管（MESRI）には 65 億ユーロが割り当てられている。内訳は 31 億ユーロが大学やグランドゼコール、研究機関、研究支援機関といった機関への支援、トップダウン的テーマ別研究には 24 億ユーロ、MESRI の諸施策に 10 億ユーロとなっている。

以下に挙げる二つの施策はこの MESRI の諸施策 10 億ユーロに含まれており、この施策にはその他、ANR のファンディング能力引き上げ（4 億ユーロ）、民間の R&D 人材への雇用支援 3 億ユーロ、学生ローン保証強化（3,200 万ユーロ）、大学の新入生受け入れ能力増強（1 億 8,000 万ユーロ）、といった施策がある。

大学のハイブリッド化とデジタル機器整備

「フランス復興計画」の枠組みより、7 月に採択済みの大学のハイブリッド化公募に追加資金配分を行い、大学のデジタル化に合計 5,600 万ユーロの投資を行なう。7 月に採択済みの公募「高等教育のハイブリッド化」プロジェクトの目的は、高等教育施設とその学生が衛生状況の変化に関係なく、勉学の継続を可能にすることである。この公募で 69 件の応募があり、そのうち 65 件が採択可能とされ、90 万ユーロから 200 万ユーロまでの資金配分が採択された各大学になされた。

建物の断熱対策改修工事

先述の政府発表の、建物の断熱対策改修工事向け 67 億ユーロのうち、MESRI は公共の建物向けとされる 40 億ユーロの一部を大学・研究施設の断熱対策改修工事に充てる事を表明。現在 MESRI の所在する建造物の一部は 18 世紀から 19 世紀初頭に建造されているのをはじめとし、多くのフランスの大学施設は近世以来の歴史ある建造物をそのまま使用しており、冷房・空調施設が完備していない場合が多々見られ、特に夏季は難しい環境となっている。研究室の中にはこういった古い

https://anr.fr/fileadmin/aap/2020/AMI_ESR_2020.pdf
https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid153768/plan-de-relance-6-5-milliards-d-euros-pour-l-esri.html

建屋に所在しているところも多く、温室効果ガスにおける大学建屋のフットプリント削減、および近年の熱波における使用者の利便性向上を目指し具体的には、機器設備等の追加による即効性のある改修、断熱などの大規模構造改修、自然換気を優先した熱遮蔽、建築基準に則った安全・アクセス・出入口警備の改善工事がなされることになっており研究環境の改善が期待される。

オープン・アクセス、コミュニケーションなどについての議論

フランスでは、科学発表論文のオープン・アクセスを目指す欧州イニシアチブ cOAlition S 推進の立場であり、ＡＮＲがメンバーとして本イニシアチブに参加している。国内では 2018 年 7 月にオープンサイエンス国家計画を発表しており、3 つの柱として、1）発表論文のオープン・アクセスの一般化（公的資金支援を受けた研究由来の論文や著書が対象）、2）研究データの構造化、3）欧州および世界における持続可能活動への参画、をうたっており、2017 年の発表によるとフランスの科学発表論文 13 万 3,000 件の 41% がオープン・アクセスとなっている。国際的にはカナダケベック州政府とフランス語圏大学機構フォーラム開催を契機にデジタル教育の質向上、デジタルツール、研究とノベーティブな実践、デジタル時代のアクセス権、運営、使用性等について議論を予定していたが、本会議は新型コロナウイルス感染症の蔓延をうけて延期されている。

コロナ禍での会議ツールに関する事例としては、2020 年 11 月 16 日～ 20 日にオンライン開催を予定されている日独仏「人間中心の AI：第 2 回仏独日シンポジウム」に際しては、会議ツールとして新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行に対応して開発された VR（ヴァーチャル・リアリティ）のプラットフォーム「Laval Virtual World」で開催され、参加者に仮想世界での没入型体験を提供する、としている。

公的研究に関する情報開示のデータベース
https://data.esr.gouv.fr/FR/recherche/scanR?pk_campaign=bandeau_moteur_ESR
第2回仏独日シンポジウム
https://www.ai-symposium-france-germany-japan.com/

中国：ポストコロナにおける研究開発環境

官民一体でコロナ封じ込め

世界で初めて新型コロナウイルスが確認された中国では、産官学が連携し、最先端のデジタル技術を用いて感染拡大を抑制した。感染者の早期発見・報告・隔離・治療を徹底して行い、厳格な外出・移動の管理が実施された。

2020 年 2 月 14 日、習近平国家主席は中央包括的深化改革委員会にて、「感染状況のモニタリング・分析、ウイルスの追跡、感染予防、感染者の管理と治療、医療資源の配分等には、ビッグデータ、AI、クラウドコンピューティング等のデジタル技術の応用を奨励する」と発言。また、2 月 19 日、工業情報化部は「次世代情報技術の活用による感染拡大防止、操業・生産再開を支援する通知」し、感染対策、医療・研究開発、経済活動再開、そして社会インフラ構築にもハイテク技術を取り入れるよう奨励した。

政府の発表を受け、テック企業も様々な取組を開始した。政府が公開したオープンデータに位置情報データを統合し、ソーシャルメディアを通じて感染状況を共有した。AI 技術やビッグデータ分析技術を用いて、感染者の行動履歴や濃厚接触者の特定も可能になった。医療現場では、無人スマートロボットが消毒を行い、パトロールロボットが検温を行った。テック企業が開発した医療用画像 AI 診断システムが病院に導入され、医療診断時間の短縮と医療現場での感染拡大の防止に貢献した。

ポストコロナの経済活動再開においても、業務の自動化や事業再開支援にイノベーション技術が利用された。特定の施設に入る際や区域を移動する際には、デジタル通行証となる携帯用アプリ「健康コード」の提示が義務付けられた。各自の健康状態、過去の移動が登録されており、感染の再拡大を防ぎながら、人の移動が可能になることで、経済活動の再開につながった。

イノベーション技術と関連政策

ポストコロナにおいて、食品や生鮮食品の宅配サービス、オンライン教育、オンライン診療、リモートワーク等が急速に普及し、デジタル経済が発展していった。しかし、コロナ流行前より、中国社会はデジタル化が進んでおり、非接触生活様式の基盤は整備されつつあった。中国政府は、イノベーション型国家構築を目指し様々な中長期政策を実施してきた。上記の感染対策やデジタル社会の発展に関わった主要な政策として、「中国製造 2025」と「AI2030」がある。

○「中国製造 2025」―2015 年 5 月に発表された「製造強国」を目指す国家戦略。中華人民共和国 100 周年となる 2049 年までに、製造業大国として世界を牽引することを目標とし、第一段階において 2025 年までの 10 年間で「製造強国」の仲間入りをし、第二段階の 2035 年までに製造強国の中で中位レベルに到達させ、第三段階の 2049 年までに世界の製造強国のトップグループ入りを目指す。この第一段階の行動綱領が「中国製造 2025 年」であり、①国家の製造業イノベーションの能力の向上、②情報化と産業化のさらなる融合、③産業の基礎能力の強化、④重点分野（次世代情報通信技術、先端デジタル制御工作機械とロボット等）の実現等を戦略として挙げている。

○「次世代人工知能発展計画（通称：AI2030）」―2017 年 7 月に策定された新たな国家戦略。2030 年までに、中国が世界の “AI 革新センター” になることが狙い。第一段階として、2020 年までに AI 技術で世界のトップに追いつき、第二段階の 2025 年までに AI 産業アップグレードと経済モデルの転換を牽引し、2030 年までに AI 理論・技術・応用のすべてで世界トップレベルとなる。中国政府は、

http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/14/content_5478896.htm
http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-02/19/content_5480843.htm
http://www.gov.cn/xinwen/2015-05/20/content_2865552.htm

国家次世代人工知能オープン・イノベーション・プラットフォームに 5 企業（バイドゥ、アリババ、テンセント、アイフライテック、センスタイム）を指定。政府が企業を後押しすることにより、官民共同支援体制で技術基盤の構築を図った。

ポストコロナの新デジタル戦略

2020 年 5 月、コロナの影響で 3 月から延期されていた全国人民代表大会（日本の国会にあたる）が開催され、コロナ対策と中長期的成長の基盤整備を一体とした新インフラ投資の大幅増加方針が発表された。デジタル化に特化した「新型基礎インフラ建設（新基建）」構想は、2018 年から提唱され、コロナ流行後に再度注目を集めた。対象分野は、AI、 5 G、ビッグデータ、IoT、超高発送電システム、高度道路システム、電気自動車用充電スタンド整備。追加投資額は 2025 年までに約 10 兆元(約 150 兆円)、民間からの投資を含めると 17 兆元超の見通しである。

表 6. 新型基礎インフラ建設構想における投資分野・投資額

新インフラ投資分野	投資額
5 Gインフラ	2.5 兆元（38 兆円）
AI	0.2 兆元（3 兆円）
ビッグデータセンター	1.5 兆元（23 兆円）
IoT	0.65 兆元（10 兆円）
超高圧送電システム（UHV）	0.5 兆元（8 兆円）
高度道路交通システム（ITS）	4.5 兆元（69 兆円）
電気自動車用充電スタンド	0.9 兆元（1.4 兆円）

「中国電子情報産業発展研究院（China Center for Information Industry Development；CCID）」「新基建白書」より

イノベーション科学技術大国を目指した人材育成

新しいインフラ分野が莫大な投資により活気を帯びていく一方、AI 分野、IoT 等の分野の技術者は不足しており、人材育成の継続的強化を最優先事項とする必要性が指摘されている。2020 年に入り、イノベーションや起業を奨励する政策、科学技術分野・人文社会学分野での人材育成政策が相次いで発表された。

○ 2020 年 1 月発表―イノベーション駆動型発展戦略の実施促進、科学技術の新しい原動力の増強を図るべき重要な施策として、政府関係機関所属研究者によるイノベーション創出や企業のための休職、在職、兼職を支援する政策。

○ 2020 年 2 月発表―知財・大学改革と専門人材育成政策。2022 年までに特許出願・保護・応用等を含む大学の知的財産権の管理システムの充実、大学内のイノベーションシステムと技術移転システムの統合実現を目指す。知的財産及び技術移転分野の専門人材育成も焦点。

○ 2020 年 1 月発表―「強基計画」優秀人材政策。国家戦略領域の人材育成のため、科学技術分野お

http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm
http://www.gov.cn/xinwen/2020-08/31/content_5538616.htm
http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2020-01/22/content_439269.htm?div=-1
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A15/moe_776/s3258/202001/t20200115_415589.html

よび人文社会科学分野における基礎学科の優秀な学部生採用制度。北京大学や清華大学他 36 大学に選抜制度を導入し、対象はコア領域（ソフトウェア、インテリジェント技術、新材料、先進製造、国家安全等）。また、早急な人材育成が必要な人文社会科学分野も対象。学士、修士、博士課程までのシステム構築、学習・研究環境の整備、奨学金の支援等を行う。

4. まとめ

これからの研究開発活動の姿はどのような輪郭を形成していくのか。新型コロナウイルスの感染拡大以降、わが国はまったく予断を許さない状況がつづくなか、各地の研究開発活動は徐々に再開され、様々な工夫と努力が産学官の様々な立場で実施されている。本報告書で述べてきたリサーチトランスフォーメーション（RX）の概念は、一つ一つを要素分解してみれば特別に真新しいものがあるわけではない。変革の方向性を示すものであり、その一つ一つを有機的に連携・接続し全体最適を目指すことが重要である。COVID-19 の衝撃を、わが国の科学技術力再生の唯一無二の機会と捉えて変革を成し遂げるべきである。CRDS では報告書の発行に先立ち、「イノベーション・ジャパン 2020 大学見本市 Online」の開催を通じてストリーミングセミナーを実施し、RX に関する考え方を先行的に発信した。視聴いただいた多方面の方々から様々な反響が寄せられており、自身の属する大学や企業の研究開発活動の在り方・改革を問う上で参考にしたい等の積極的な声が届いている。本報告書は RX へ向かう行動変容を応援するものであり、その変革の内容には完全な正解があるわけではない。研究開発活動を担う現場の人・組織、関係部署・機関、社会、大学、国研、企業、省庁など様々な関係者間で、変革の大きな方向性を共有しながら日本全体の研究開発が次の姿へ向かうことを止めない、変革を遂げる、その意味でも強靭な活動であってほしいとの考えからまとめたものである。

報告書冒頭で述べたように、RX の重要なドライバーの一つは研究開発の DX 化とその積極展開である。これによって起こる作用（すでに起き始めていること）をよく考えておかなければならない。まず DX に関しては、各者各様で導入に時差が生じ、導入の仕方についても活動の全体を最適化する視点で整合的であることが求められる。しかし、個々の技術やシステムの導入が不整合なままバラバラに導入されてしまうといったことがあちこちで生じているのではないだろうか。これらによって起こるのは、DX の最適化によるトランスフォーメーションをいち早く先に遂げていく組織（チーム・人）と、大きく遅れるか、またはいびつな導入によって最適化に向かうことが難しくなり、むしろ研究開発の創造性の部分にまで負の影響を及ぼしかねないような事態である。DX を活用しながら、様々な研究開発システムのレイヤーやプロセスを新たな形に変えていくのはもちろん人であるが、個々人のスキルだけでなく、周囲の応援・理解・賛同による動機付けの維持など、モチベーション・メンタルベースの組織的な行動変容が大きく影響するものである。例えば研究開発活動の再開といったときに、以前と同様の環境を取り戻すのではなく、デジタル技術が浸透していくこれからの時代に適した形態を築いていくことが重要である。そしてテクノロジーを活かしながらもこうあってほしいという新たな姿・形を描き作り上げていく、その行動を共にすることが重要である。

今後、テクノロジーの活用においては組織・チーム・個人の単位で差は拡がり、二極化が進むと予想される。その差はあらゆる単位で極端に拡大していく恐れがあり、DX が構造的に進んだ組織やチームに、そうでない組織が追いつくことは容易ではない。DX の本質の一つは、高度に標準化されたプロセスであり、規格化や水平統合が進んでいくだろう。すると、高度に進んでいる者同士では、同じようなことが実現できるようになっていくことから、そこではある種の均一性が増していくと考えられる。すると研究開発において最も重要な他との違い、オリジナリティ、差別化のポイントをどこに求めるのかが重要になってくる。研究開発活動・成果創出において競争は重要な観点の一つであるが、研究開発競争において、競争優位の源泉をどう構造的に形成するのかは最大の焦点になる。DX の本質の一つが標準化にあるのだからこそ、差別化が重要ということになる。そこにこそ、研究者・チームの創造性や研究アプローチに関するコンセプチュアルスキルの発揮を期待したい。研究開発においてオリジナリティが重要であることは言わずもがなだが、研究開発活動を DX で進化させ、RX を遂

げる過程において、研究開発者としては容易に模倣されないノウハウの形成や、競合する組織やチームとの間で時差を獲得する構造構築は、より重要になってくるものと考えられる。

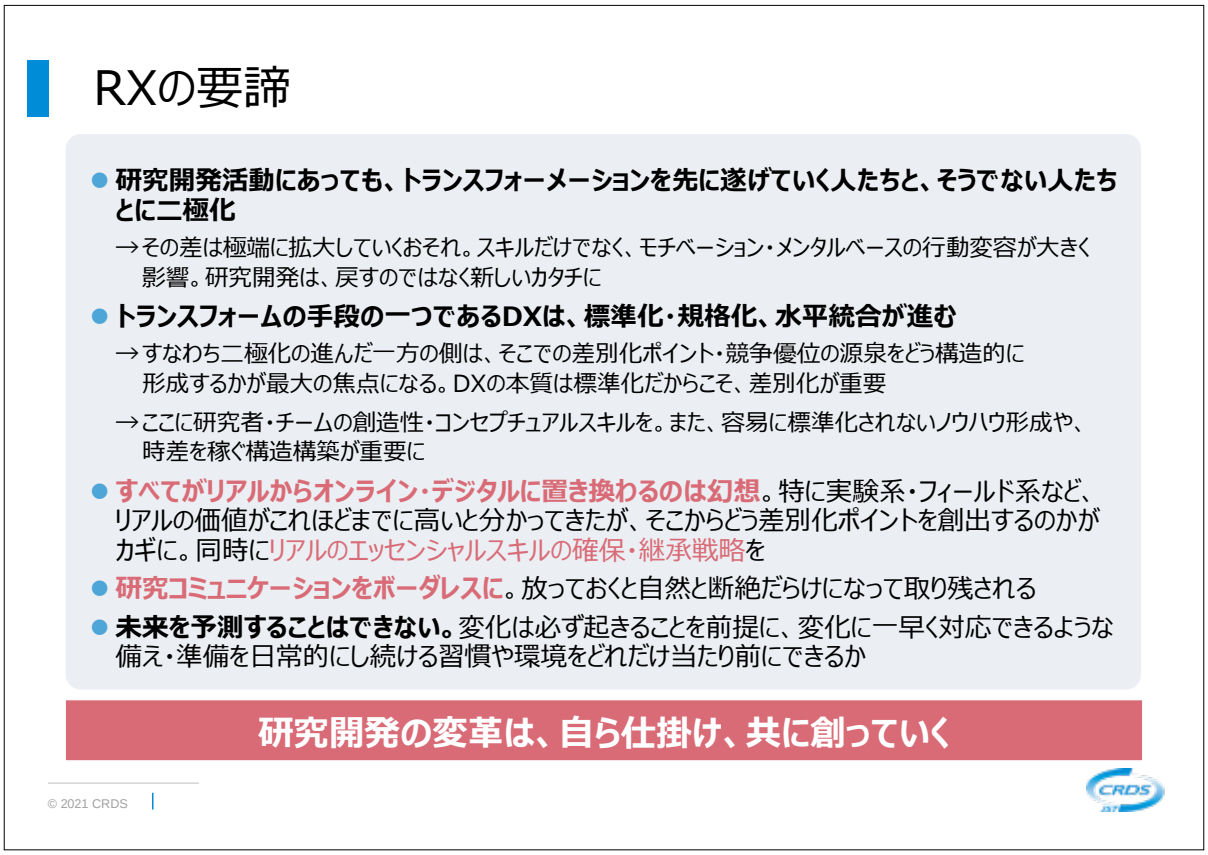

図 4-1 RX の要諦

1-2、1-3 節では研究開発活動の遠隔化、自動化の観点から、1-4 節では研究コミュニケーションの観点から論じたが、研究開発活動に関わる一連のプロセスや場面のすべてをオンライン・デジタルに置き換えればよいというものではなく、いずれすべてが置き換わると考えるのは幻想である。オンライン・デジタルで代替不可能なオフライン・リアルの価値は何であったのか、あるいはこれからの DX が進展するなか、リアルの部分に求める本質的価値が再考されることとなった。コミュニケーションだけでなく、研究開発の対象が物質・材料や機械、生命など実体を伴う場合は、対象が本質的にアナログでリアルであるのだからこそ、対象に対する研究アプローチには必然的にリアルとの接点、インターフェースが存在する。その部分で研究者が如何に独創性を発揮するのかは、一つの重要な観点になってくるのではないか。また、従来の研究開発環境において発展してきた、高度な実験スキルやフィールド調査スキルなどは、体系化され蓄積された重要な資産である。DX が進む過程において、これらが喪失される可能性もあり、リアルのエッセンシャルスキルを如何に確保・継承していくかの戦略的な対応が求められる。高度な技能を持つ専門家のノウハウを、デジタル技術を活用して保存し再現可能にすることができるかどうかは、各分野における一つの挑戦である。

人の移動に制限がある状況下や、人の密集を避けなければならない場では、遠隔化や自動化のテクノロジーを活用しての研究開発遂行は共通的な方向性である。これらを推進する上でよくよく考えて

おかなければならないことは、研究基盤の DX 化におけるラボやフィールド調査等の自動化は手段であり、研究の仕方自体の変革が重要だということである。RX を推進する主役は研究現場におけるエキスパートであり、言い換えれば、研究を実施する人々の考え方と行動の変革である。今後の新たな世代は、自動化が進展する研究室で育つ将来の研究者であり、デジタルネイティブの研究者は、それ以前とは全く異なる思考パターンでこれまでの研究者が出せなかった成果を創出する可能性がある。研究機器やそれらの接続方法の標準化や自動化・ロボットの導入、得られたデータの統合的な扱いは進むが、それらをさらにどう組み合わせ、どう動かすか、それぞれの機器自体をどう進化させるかなどの段階では、現場のエキスパートの創造性が極めて重要になる。また、それらをシステム化するスキルも同時に必要となる。推進を直接担うのは研究現場のエキスパートたる人々である。デジタルネイティブの研究者や、RX を体現する人々は今後時間と共に自然に増えていくと考えられるが、そのような研究開発環境・システムを現実のものとして実装していくエキスパートは、最初から自然に存在するわけではない。政策･施策的な方向性としてはそこを推進･支援･育成することが重要であろう。

人の移動が減っていても、世界の動きや変化はより早まっている。リアルのコミュニケーションに制約がある今、研究開発活動においてはその状態のまま「そのうち戻る」と放っておくような組織・人の周辺には、自然と断絶が生じてしまい、取り残されてしまう可能性がある。競争論としてはそれをよしとする考えも一方であるかもしれないが、研究開発の基盤的環境として全体のベースを向上させていくことが重要であり、ここにオフライン・リアルの価値が融合することで、上述の二極化をやわらげていくことができないだろうか。研究者同士のみならず、研究者と社会、研究者と次世代人材、こうした広がりを自然な形で育むことのできるようにしていくことが求められよう。世代や個性によって多様な見方があることを認識し、そのなかでも調和へ向かう知恵と行動が必要である。これからの社会課題の解決は、多様な主体が相互に関わり、ともに創造していく「共創」がより重要である。共創の活動では、人に寄り添い、課題を抽出し、調和を図りながら解決へと導く仕組みが求められる。その際、自然科学分野だけでなく、人文学･社会科学分野や、それらを横断･融合する活動のなかで、デジタル技術を駆使しながらも調和の取れた RX を実現していくことが重要である。COVID-19 の世界的な感染拡大という現世代が経験したことのない事象は、これが最後であったり、最大の困難と考えるべきではないだろう。未来を予測することはできない。これからもさらなる脅威や困難が訪れる可能性を念頭に置き、変化は必ず起こることを前提に、変化に一早く対応できるような備え・準備を日常的にし続ける習慣や環境をどれだけ当たり前にできるかが問われている。さらにいえば、研究開発活動の変革を自ら仕掛ける、自ら体現する、その動きを応援し、学び合い、さらに良くしていく。そのような RX の動きを止めないことが期待される。

■ 報告書作成メンバー ■

○	**永野　智己**	企画運営室 （監修・編著）
	梅原　千慶	企画運営室
	青木　孝	システム・情報科学技術ユニット
	福井　弘行	ナノテクノロジー・材料ユニット
	小泉　聡司	ライフサイエンス・臨床医学ユニット
	竹内　良昭	環境・エネルギーユニット
	中村　亮二	環境・エネルギーユニット
	日江井 純一郎	科学技術イノベーション政策ユニット
	石井 加代子	海外動向ユニット
	澤田　朋子	海外動向ユニット
	張　智程	海外動向ユニット
	八木岡 しおり	海外動向ユニット
	山村　将博	海外動向ユニット
	吉田　裕美	海外動向ユニット
	加藤　豪	研究プロジェクト推進部
	松尾　敬子	イノベーション拠点推進部
（企画・構成）	**小松﨑 美奈、野澤 陽子、根上 純子、鈴木 ソフィア沙織、中山 智弘**（企画運営室）	

○リーダー
※お問い合わせは下記までお願いいたします。

CRDS-FY2020-RR-06

The **Beyond Disciplines** Collection

リサーチトランスフォーメーション（RX）
ポスト/with コロナ時代、これからの研究開発の姿へ向けて

令和 3 年 1 月　January, 2021
ISBN 978-4-88890-697-5

国立研究開発法人科学技術振興機構　研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

〒102-0076　東京都千代田区五番町 7
電　話　03-5214-7481
E mail　crds@jst.go.jp
https://www.jst.go.jp/crds/

ⓒ2021 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.
Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ISBN 978-4-88890-697-5