

研究スタイル・研究環境の変革 RX(リサーチトランスフォーメーション)へ向けて

2021年1月27日

永野智己 (NAGANO Toshiki)



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

- COVID-19感染拡大の影響により、世界・日本の研究開発活動はこの一年で広範囲に停滞
- わが国の**研究開発現場の再起動・新たなかたちは如何に**。
→ 国全体の研究力向上へつながるかたちが求められる
- **分野や組織で異なる状況**(生命科学/物質・材料/環境/エネルギー/ICT、大学/国研/企業、都市部・地域部)
→ やるべきことはどこでも同じではないが、全体整合的に
- 次なる新たな感染に耐えながらも「止まらない」
→ **強靱な研究開発活動**の環境を構築
- 在宅・テレワークのまま研究を遠隔化するシステム、実験の自動化・ロボットの導入による、研究現場の省人化
→ **DXによる研究活動の効率化やシステム革新**によって、労働集約的な研究開発環境から脱却
- 研究開発現場の施設・空間の再設計と、**リアルの価値再考**
- **研究者の新しい働き方や活躍の在り方**、心理的負担の軽減、キャリア・進路選択の不安払拭

2021年1月発行



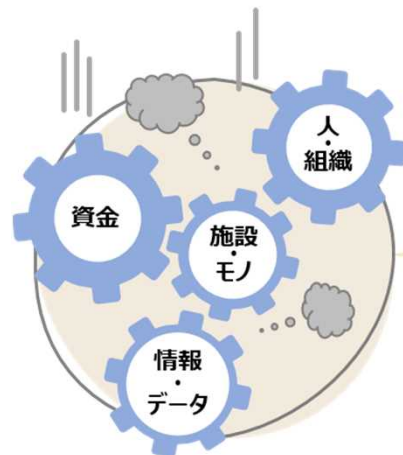
<https://www.jst.go.jp/crds/report/report04/CRDS-FY2020-RR-06.html>

DXを駆動力にRXを推進

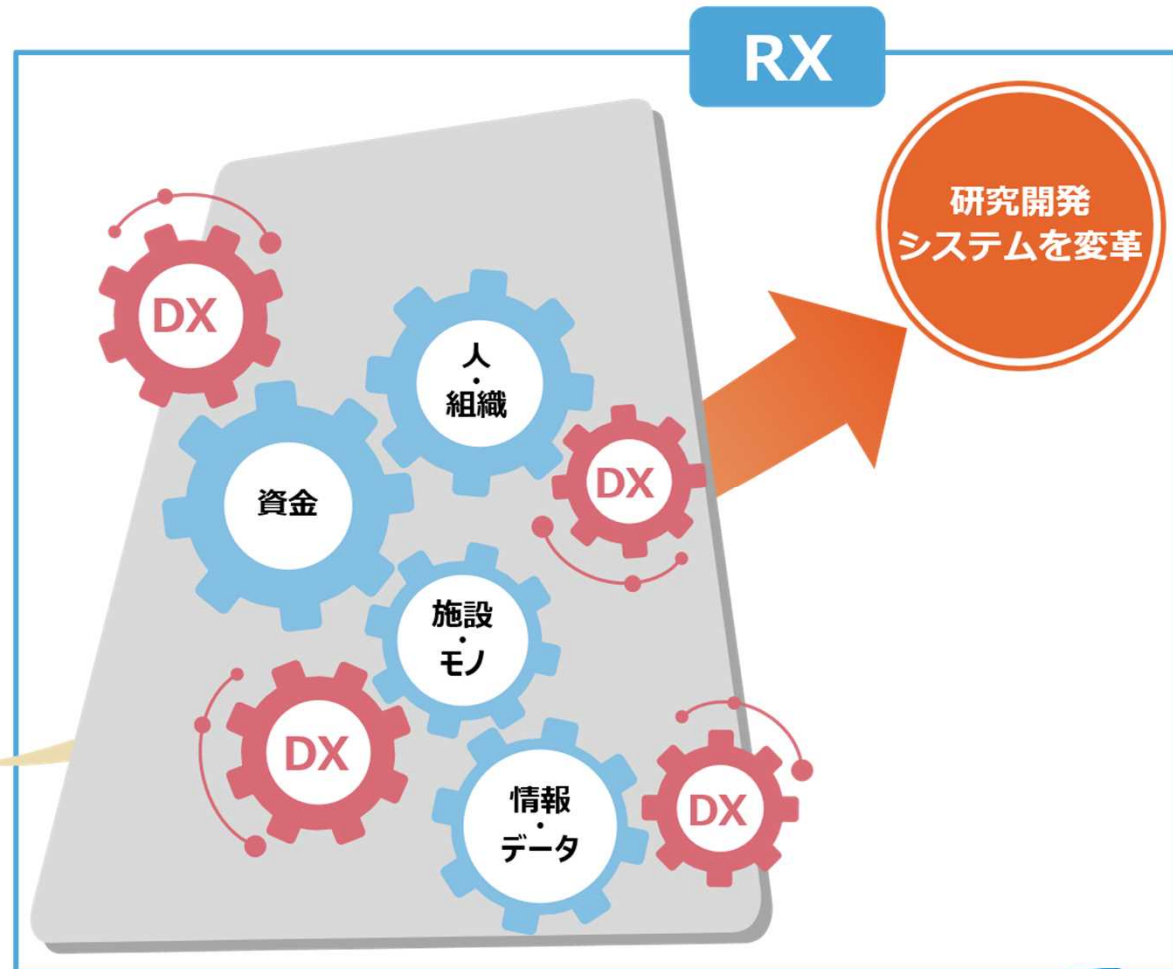
今、社会・産業だけでなく研究開発も、新たな時代の新たな姿へと変わることが必要。それはCOVID-19を経たがゆえの進化・高度化であり、これまでの延長線だけでは開けない地平に挑むために必要な変革。研究開発活動のオペレーティングシステムをトランスフォームする、これを**リサーチトランスフォーメーション (RX)**と呼ぶ。

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化の積極展開は重要な手段となる。しかし、DX自体は目的ではない。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。

※このような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。



- ✓ 日本の研究システムにおける旧弊・弊害を構造転換する機会に。ただし競争力の源泉は失わずに、むしろ強化しより創造的に！
- ✓ 日本全体が科学技術イノベーションをさらに推進していけるような、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！



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

研究現場の声

- 実験系（物理や化学）における**実データが創出されていない状態では、データからの予測も、検証ができない。**
- 理論やシミュレーションも、現実のデータがあって初めて妥当性を確認するものであるため、リアルな世界から完全に脱して成り立つ研究というのは、一部にすぎない。
- 国内における「**実証試験**」類は**中断が多数**。海外機関との国際共同研究も、オンラインで情報共有する程度にとどまっている。研究計画そのものの下方修正が起きている。
- 計算科学やデータ駆動科学に新たに参入する研究者が相次ぎ、今後半年～数年はこれら分野の論文が増大すると予想。
- **野外・フィールド系のテーマは実地調査ができず、研究対象によっては季節が大きく関係するため、研究に年単位の支障。**
 - ・ 農作物が本格的に栽培され始める時期で、調査やモニタリングの開始時期にあたるが、この重要な時期を逃すことになる
 - ・ 各地に設置してある測定機器の保守や撤去などにも行けず、現地の協力者（在住者）に頼まなければならない状況。

分野・領域間で研究活動の継続性・状況に生じる差

対象・分野	現在の活動状況	今後のアウトプット傾向
コロナ関連研究（バイオ・メディカル・臨床、疫学、周辺関連領域）	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究を積極継続・展開 ● 公的研究開発投資を拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究成果が増加する予想
実験・フィールド系研究（非コロナテーマ）	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究低減または停止 ● 公的研究開発投資は維持か低下傾向か 	<ul style="list-style-type: none"> ● 成果創出に低迷の懸念 ● 人材の減少・不足に懸念
システム・情報・理論・計算・データ活用型研究	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来からのシステム・情報系研究は継続・発展 ● 実験・フィールド系研究者からの臨時・新規参入が増大 	<ul style="list-style-type: none"> ● 成果創出が増大 ● 競争や重複が増える ● 使用できる実データに制約が生じることから、一部は停滞してしまう

コロナの外的要因による影響ではない従来からの構造的課題は、意図的な対策必要（人材、資金、施設）

観察や分析を通じて得ていた多種多様な情報やデータをいかに補完できるか？

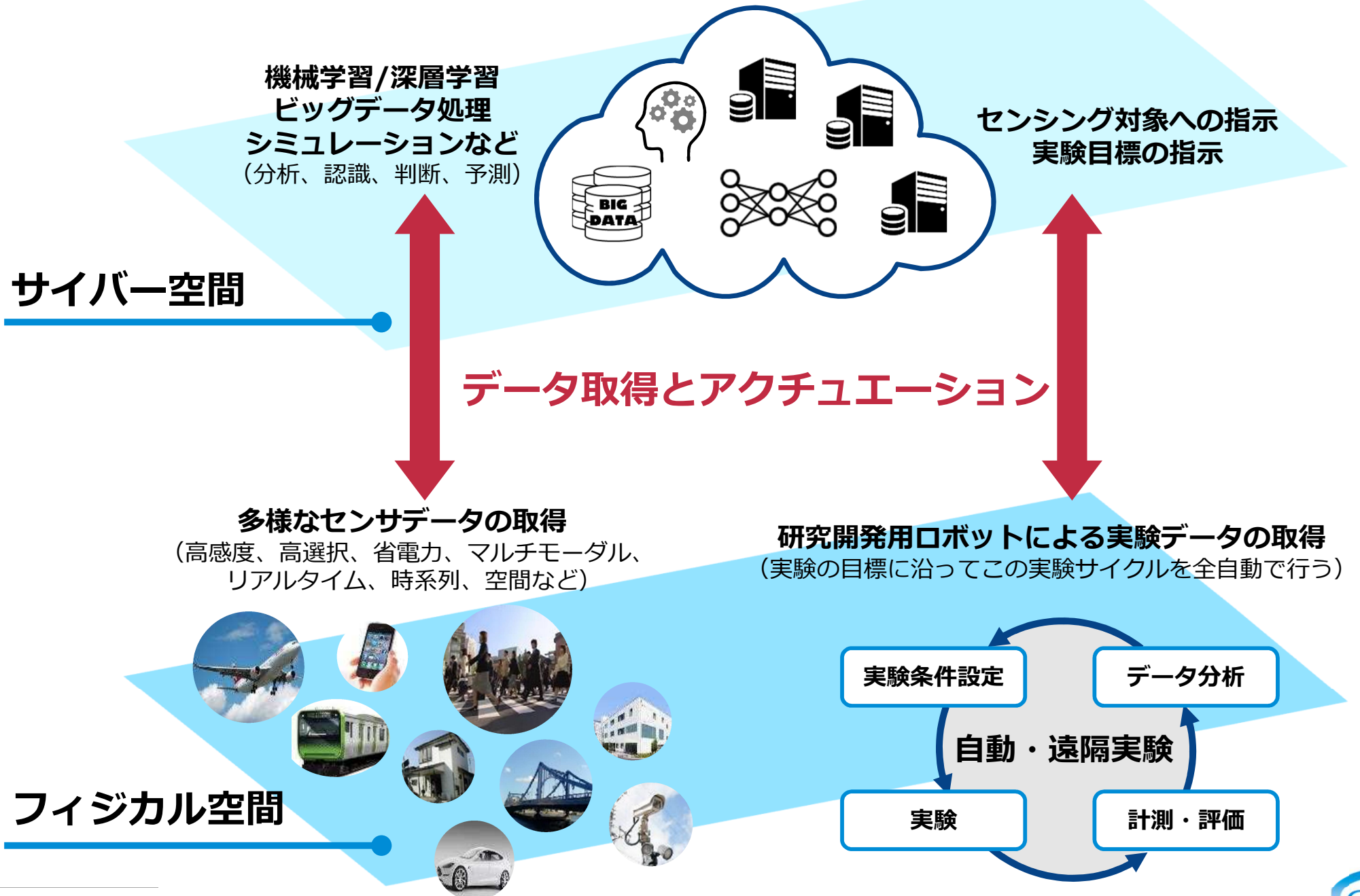
実験・フィールド系研究との間で、研究開発がサイクルするエコシステム構築が必要

RXのシフト：研究開発活動のOSを替える

	これまで	RX後の姿
人・組織	画一的な雇用・組織形態、柔軟性に乏しい時間・エフォート管理	フレキシブルな雇用形態、特定組織にとらわれず複数機関で活躍するなど、様々な働き方が共存
	固定的な研究者像、技術者像、アドミ像、学生像。進路選択やキャリア開発における魅力低下	新しいタイプ の研究者や技術者、多様な専門性を持つ研究関連人材が有機的に協働。若手・学生への十分な投資と、進路選択の活性化・国際化
施設・モノ	研究所や校舎など、建物・空間は感染症非対応	疎な空間、人と機械の協創空間 、空間配置の柔軟な組み換え・リフォームも可能
	研究・実験設備、施設の使用者固定化	オープンな共用施設環境、ワンストップの一元管理。ユーザーベースの運営システム
	研究室単位のバラバラの調達・管理	法人・センターなどより大きな単位の共同調達、 研究資材サプライチェーンの急変にも対応
資金	労働集約的な実験・ラボ作業	研究開発そのもののDX 。自動化（AI、ロボット）、遠隔システムの使い分け、効率的な実験環境
	予算執行主義、変更しにくい研究計画	財源多様化と合算使用、状況に応じ柔軟な研究計画変更
	画一的な年度予算、間接経費の固定化、自己収入の取り扱い制限	積立スキームの柔軟化、間接経費の自由度向上、企業等からの自己収入の越年貯金・支出管理
データ・情報	地域格差、地方大学の教育・研究環境疲弊。一部の有力機関にリソースが集中	都市部／地域部の研究・教育環境上の隔たりを越えた連携 と、役割分担・連結の充実化
	特定範囲のみが多かったコミュニケーション	バーチャル自在活用と、リアルの良さ・ リアル の差別化ポイントの設計創出
	データ資産、ノウハウの属人的管理	データ共有・ノウハウ、 無形資産 の組織・戦略的マネジメント

選ばれて活力ある研究開発活動を。新しい研究開発のカタチへ

Society5.0の社会と研究開発活動との連続



研究開発における“リアル”の見直しとDXの活用

実験室・フィールド調査など「リアルな場」における研究開発と、そのDX

- リアル場の安全化（密回避）に伴う措置
- リアル場で過ごす時間の低減化と、それに伴う働き方の変化・改革
 - 実験室やフィールドで過ごす時間を高密度化
 - そもそも**感染症如何に関わらず、実験室やフィールドでの時間の使い方、過ごし方の旧弊・慣習の見直すべき点**の改善
 - 長時間労働、**労働集約的な研究業務**、不十分な計画性等に対する見直し要素
 - リアルの場でおこなうことへの事前準備やプロセスの改善、時間効率を向上
- 研究開発そのもののDX（データ科学・データ活用、ロボティクス導入、AI、IoT活用）
- **研究資材（試薬・備品）や設備管理の在り方の変革**
 - 法人単位での共同・協調調達による、資材安定性の確保。メンテ計画や修繕計画の中期見込みに伴う、財源の積み立て化・柔軟化（間接経費改革）

在宅やサイバー空間上など、非実験系の研究開発

- テレワーク環境やサイバー空間の充実に求められるツール開発・普及促進
- コミュニケーションプロセスや、解析・記録・共有方式の新たな形を作る
- プライバシーやセキュリティのオールインワン確保

人・組織（人間関係構築の新しい方法論の開発や心理的ケアの在り方、雇用形態）

- （コロナ感染拡大で困窮）**若手研究者、任期付研究者の救済、支援**
- 会わない・会えないまま出会い、関係を深めていく。そのとき**心理・メンタルケア**はこれまでと同じか
- ジェンダー問題の克服・越境、アバターによる関係構築、**新たなメリットやデメリット**
- シチズンサイエンスの加速

遠隔システムの活用と疎な現場の構築

完全遠隔と半遠隔

- **完全遠隔**：人が実験室やフィールドに居ないまま、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。
 - **課題①**：現在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・システム開発が広範囲に必要。
 - **課題②**：無人現場の標準的な安全管理・セキュリティ管理方法を構築する必要。
- **半遠隔**：限られた人員（技術職員や実技実習等）のみが現場でリアルな操作を担い、研究者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、による共有）によって実験等を協働協調的に遂行
 - **課題①**：実験誤差や計画の手違い、ミス・コミュニケーションの認識。
 - **課題②**：熟練の技術専門家が必要で且つ負担の集中を如何に回避するか

疎な現場の構築

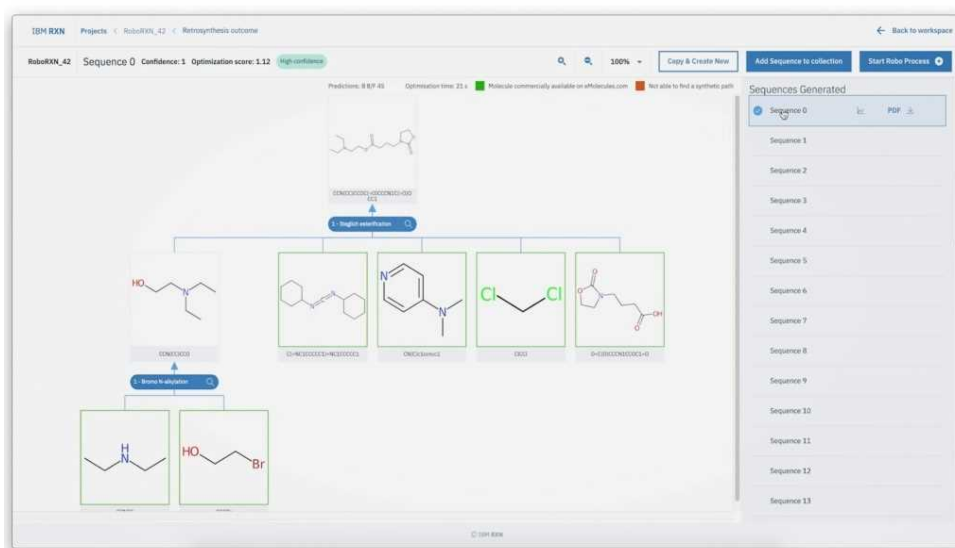
- 従来過密な設計であった空間を改修
- 人員数のオートコントロール・アラートシステム
- 良好な空調衛生環境の維持管理：換気、
- 紫外線LEDによる定時殺菌システム
- 人とロボットの共創空間 →人の動線とロボット動線の最適設計



CRDSレポート The Beyond Disciplines Collection
「異分野融合を促し、研究力向上を支える土壌を育む」
図：近未来のスマートなラボ

事例・マテリアル) クラウド上のAIに有機合成を依頼し、ロボットが合成

- IBMは、人工知能モデルとクラウド・コンピューティングのプラットフォーム、ロボットを組み合わせ、
「RoboRXN」と呼ぶ化学研究所をクラウド上に構築。研究者がテレワークで新たな分子を設計し、合成することを支援
- 研究者はWebブラウザ経由で、作成したい有機化合物の骨格構造をRoboRXN上の白紙のキャンバスに描くと、RoboRXNが機械学習を用いて必要な材料と調合の手順を予測、遠隔地の研究所のロボットに指示を送ってその合成を自動実行させる。実験が完了したら、結果と共に報告書を利用研究者に送信する仕組み
- 現時点では医薬品関連化合物が主に想定



利用者は目的の有機化合物の骨格構造を、ロボRXNのキャンバスに描く



AI・ロボット・クラウド有機合成システム「RoboRXN」

IBM <https://rxn.res.ibm.com/>

“半遠隔” 実験研究環境の構築

離れていてもここがあなたの実験室

実験室施設内のプロ・専門技術者



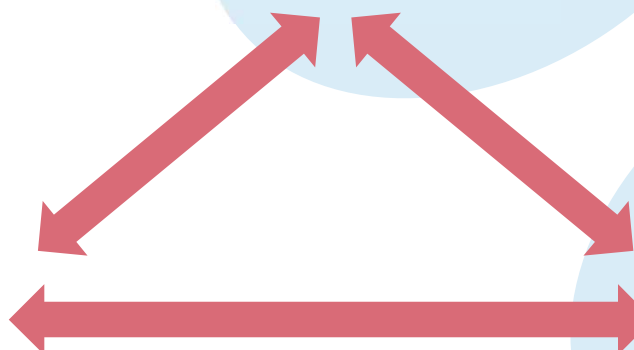
クラウドのデータ・解析



データ解析・システムをオンライン・リアルタイムで共有実行



複数人の同時実験参画も可能



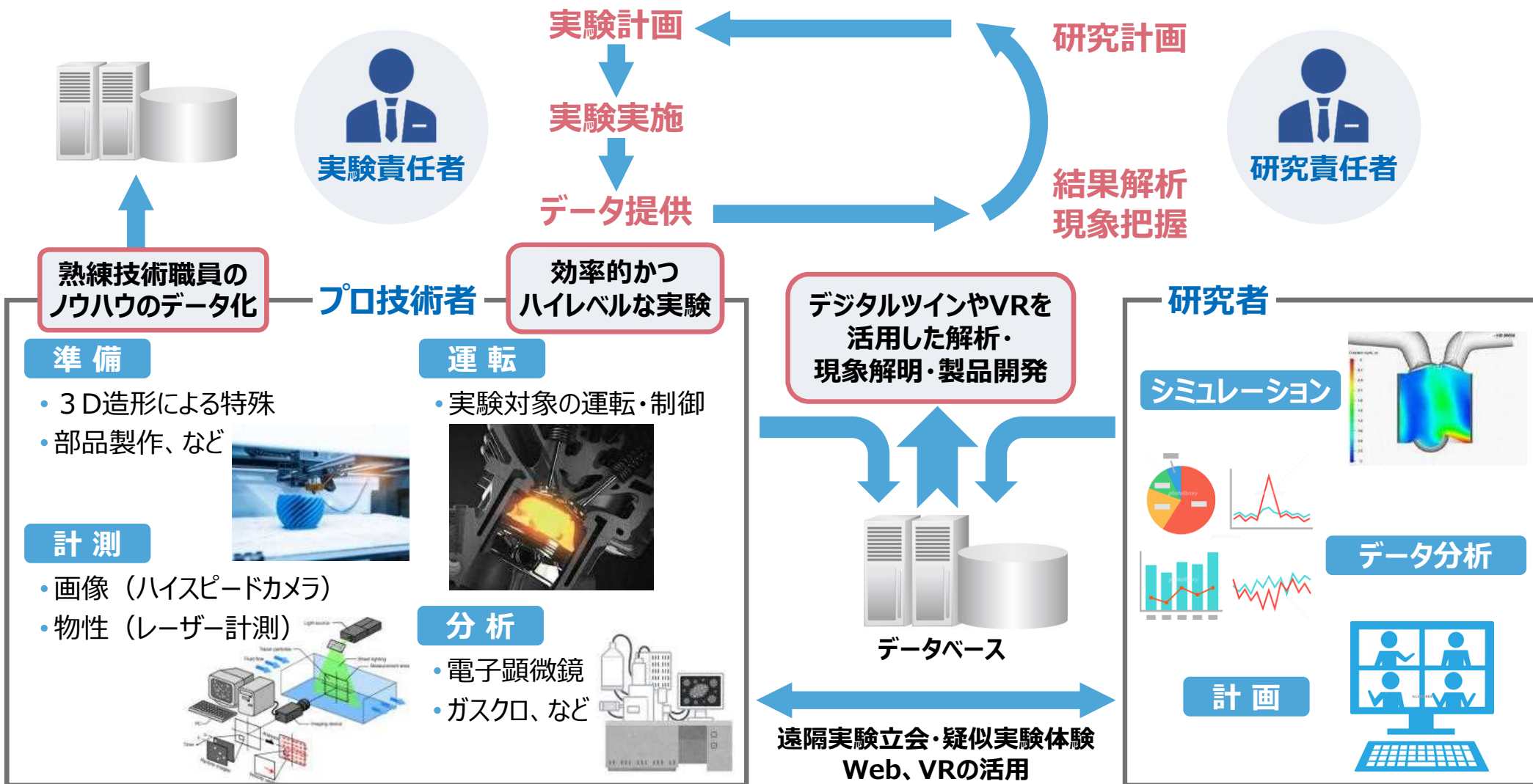
AR・4K8K映像の同時共有、
音声コミュニケーション

遠隔地の研究者

実験施設内での大人数での長時間滞在を避けつつ、同時に大規模・緻密な実験の一層の高度化を狙う仕組みに
(熟練によるハイレベル実験を遠隔共有)

研究（仮説・計画・解析）と技術（実験）の連携分業・協働

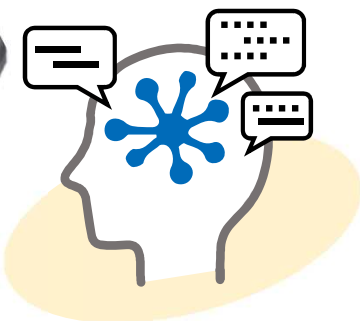
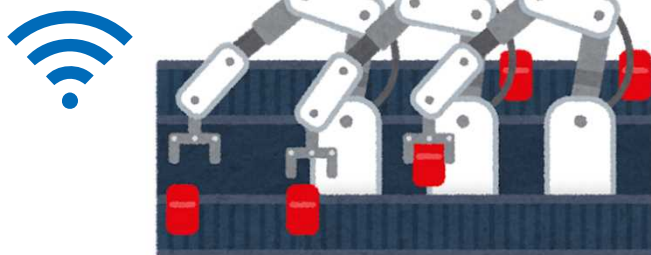
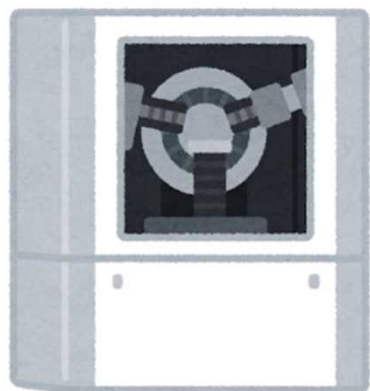
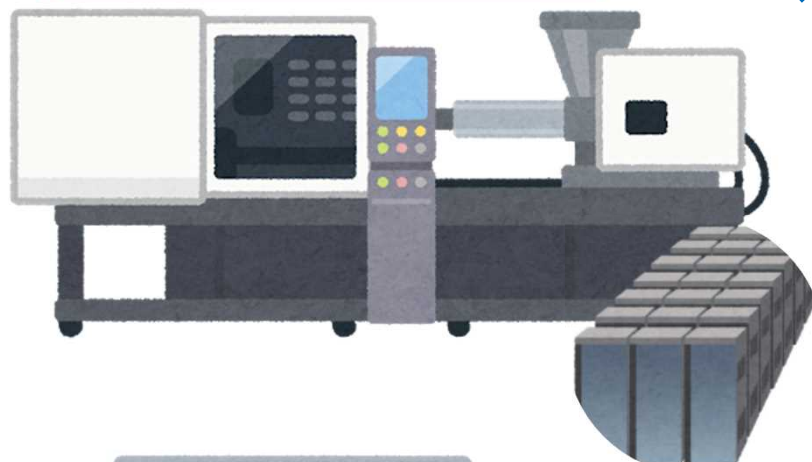
- 綿密な実験計画のもと、確かなスキルを持つ技術者が実験責任者として実施。若手研究者や学生が実験側で経験・習熟を積む人材流動
- 制御された実験によるデータベース構築。想定外の結果（失敗）もアーカイブ化して有効活用



研究開発機器の自動化・知能化

- (1) 一つ一つの装置を自動化・知能化すること、
- (2) 異なる装置間を結びつけて自動化・知能化すること（直接接続 or 稼働ロボットによる接続）
→研究施設における任意の区分を自動化・知能化させていく

(1) 装置を自動化・知能化

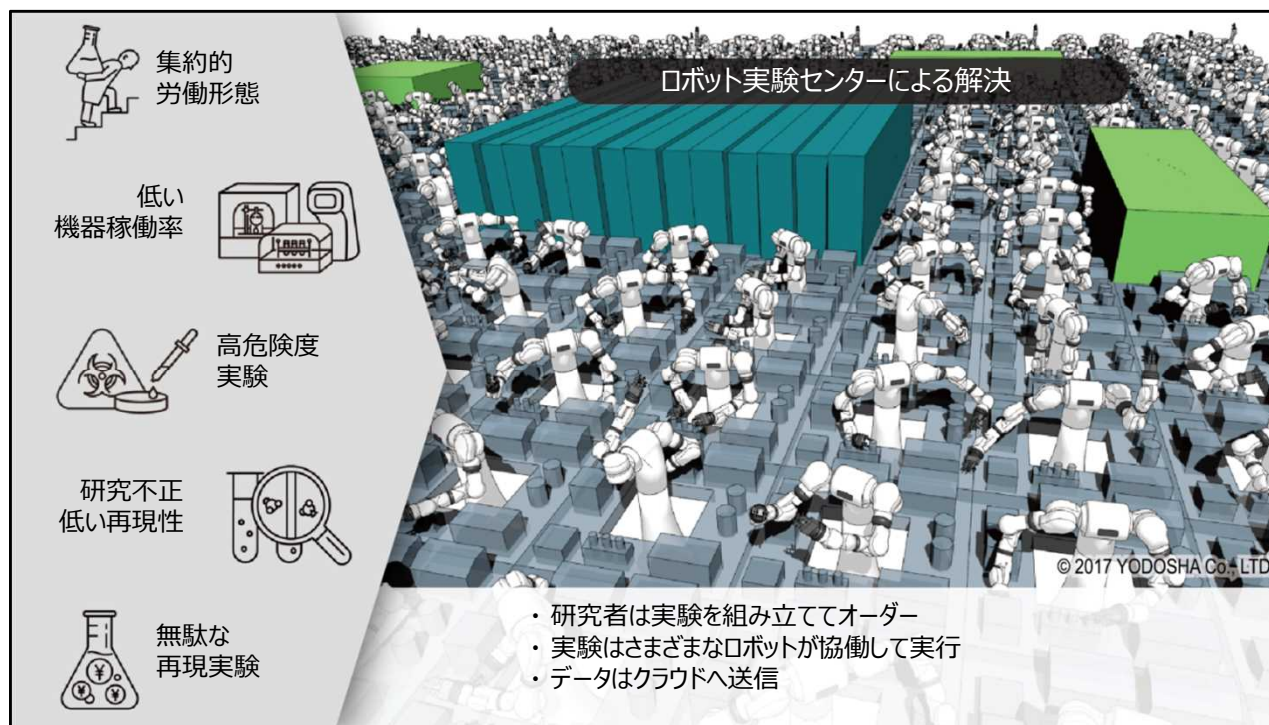


(2) 装置間を自動化・知能化



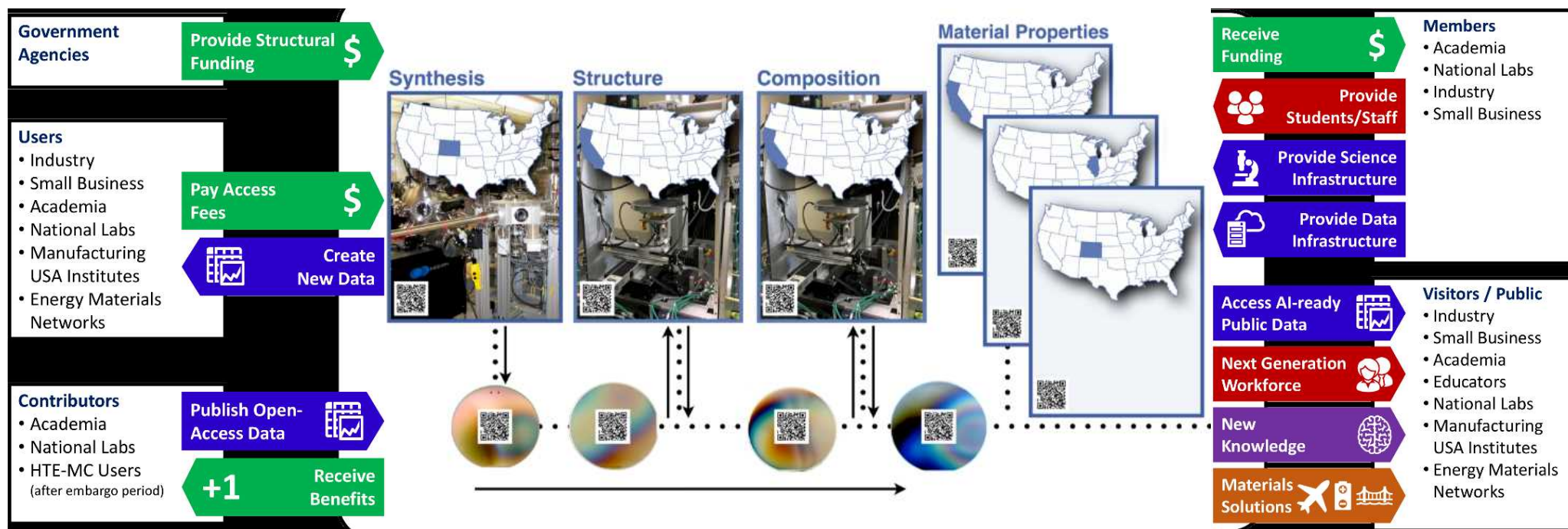
事例・ライフ) ロボティック・バイオロジーによる生命科学の加速

- 理化学研究所、産業技術総合研究所等は共同で、さまざま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を目指している。
- 日々単純作業に時間を費やさざるを得ない多くの研究者を解放し、生産性が飛躍的に向上することを狙う。
- 現在はまだ、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。
- ロボット実験センターのプロトタイプ・ラボを整備し、異種のロボットや実験機器を相互に連携させるネットワークシステムや実験プロトコル共通記述言語を開発中。
- ゲノム編集、オミックス解析、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う。



事例・マテリアル) ハイスループット実験

- 米Materials Genome Initiativeの後継の一つ、NIST : HTE-MC (High-Throughput Experimental Materials Collaboratory)
- 材料合成・特性評価・データ管理の統合ネットワーク。離れた研究機関間のデータ/試料が行き来することで材料研究を加速しようというもの。一種のバーチャル研究所
- サンプル・ライブラリ (物理オブジェクト) とデータ/メタデータ・レコード (デジタル・オブジェクト) を紐づけ、永久コードを付与。QRコードも。
- サンプルと新しい測定データを自動的に関連付け



<https://www.nist.gov/programs-projects/high-throughput-experimental-materials-collaboratory>

技術的な集約・蓄積が重要な共用研究インフラの例

研究者による実験計画

次なる試験の研究計画

研究者による解析とフィードバック
理論とシミュレーションモデル開発と活用

プロ技術者による高度な実験準備と精度を担保できる
実験実施 (装置保守含む)

- 各種データ(試験条件、排出ガスなど)を観察・計測し、データ化
- データ転送・蓄積

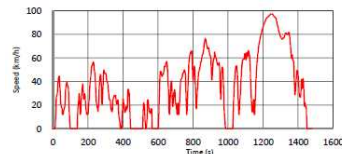
例：自動車・エンジン試験

シャシーダイナモ試験

実際の車両を用いた排ガス・燃費などの試験



走行モード



単気筒エンジン試験



要素実験
可視化エンジン例



高い熟練度がが必要な実験

研究と実験
の分業

理論・シミュレーション

従来ソフトの課題	原因	対策
膨大なメッシュ 作成コスト	物体適合格子	直交格子法 + IB(Immersed Boundary)法
チョーク現象、 衝撃波を捕えら れない	Hypersonic 非圧縮性流体 方程式	完全な圧縮 性流体方程 式
サイクル間変動 を再現できない	RANS(Reynolds Averaged NS) にもとづく時間平 均的解析	LES(Large Eddy Simulation)にも とづく空間平 均的解析

例：パイロットレベルの触媒評価



パイロットレベル/高い精度が必要な実験

事例・ライフ) 求められる新しい動物実験環境

■ 動物実験の維持に困難が生じている。

大学等研究機関で十分な人員を確保できず、飼育・維持に困難が生じている。

実験実習が極端に減少したことにより、学生・若手は実技の習得に課題。

実験動物の供給サイド（企業）も、大学・研究機関からの受注が減少し、廃業や事業撤退が生じている。

実験動物業界は、新型コロナ発生以前から人手不足が課題となっていた。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。動物愛護運動による影響も。

一方、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現状もある。

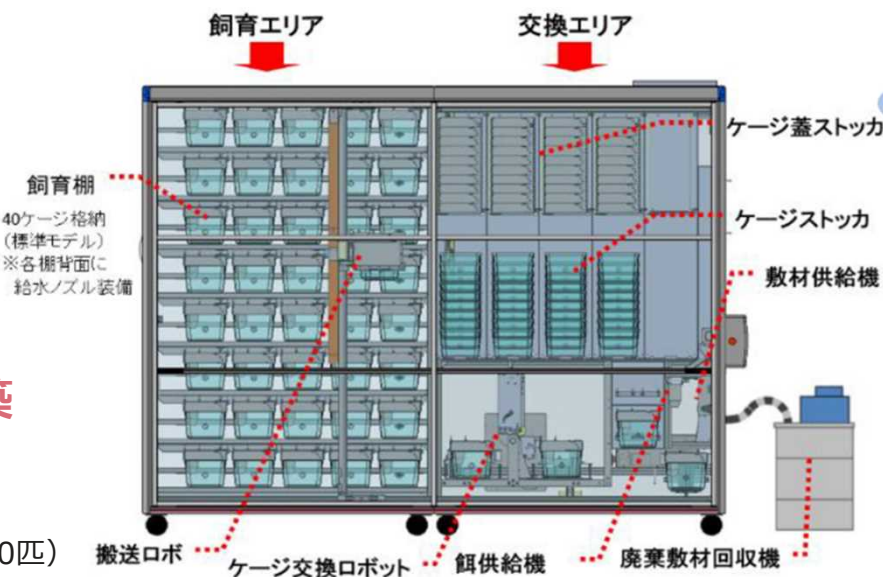
いま、ワクチン開発等の前臨床試験で用いられる霊長類（アカゲザル、カニクイサル等）には不足が発生。最大供給国の中国では国内研究需要を優先、日本での輸入に困難が生じている。

■ 求められるシステム

- このような状況に対応できる**実験研究インフラ**
- モルモットやサルなど中大動物に対応する**共通実験室**
- 動物実験に関して**共通した教育システム整備**
- 機関間で連携した**リソース保存、情報管理・発信**

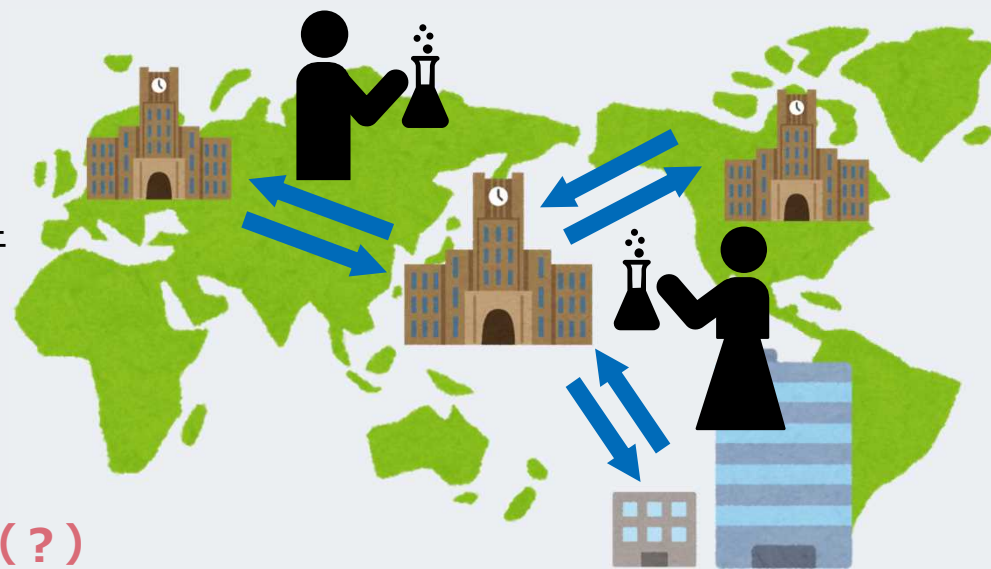
実験動物飼育管理現場における省力化システム構築
ケージ交換、ケージ洗浄、動物観察などを自動化することによる省力化。

RoboRack®システム（40ケージ～200匹）
<http://glinx.co.jp/products02/>



多様な組織・雇用環境の実現へ向けて

- フレキシブルな雇用形態、特定組織にとらわれず**複数機関で活躍するなど、様々な働き方が共存**
- 新しいタイプの研究者や技術者、多様な専門性を持つ研究関連人材が有機的に協働。若手・学生への十分な投資と、進路選択の活性化・国際化
- **人が移動しないことで、時間が有効活用できる面**
→ **クロスアポイントメントのより効果的活用**
- 大学、国研、企業等の組織・法人の壁を越えた人材・技術力の流動性向上
- 他機関から優秀な人材を獲得することにより、自機関のアクティビティを高め、研究基盤の強化・発展につなげることが可能
- 教員の場合、現職を離れることなく、双方の身分を持ちつつ柔軟な研究活動が可能に
 - ・ 複数機関の財源・施設を活用可能
 - ・ 学生指導を提供可能
- 異分野連携／国際連携／産官学連携
 - ・ 他大学：異分野融合の開始がしやすくなる
 - ・ 海外：国際連携・海外研究者の招聘にプラス
 - ・ 企業：産学連携 社会実装型へのスムーズな移行



今後の課題

- 指揮命令や評価スキームの整備
- 情報管理・機密保持
- **effort管理から output管理へのシフトは可能か（？）**

学会等研究コミュニケーションのDX進展と課題

- コロナ禍をきっかけに学会・イベントのバーチャル開催が進み、ポスターセッションの工夫や仮想空間の利用
- 一方、研究開発における多様なステークホルダーの参画や、成果発表以外の目的を持つ交流の場のさらなる充実は、コロナ以前からの課題（集合知の弱さ）
- バーチャル・リアル双方の強みを活かしたツール開発・環境整備が重要。セレンディピティや発想の広がりを誘発する仕掛けは可能か
- 誰もが十分に使いこなせるツールを利用できる基盤的環境を



学術集會も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



Sine Wave Entertainment社のデモビデオ

- Science Portal「学術集會も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>

RXの要諦・期待

- **トランスフォーメーションを先に遂げていく人・組織と、そうでない人・組織とに二極化する恐れ**
 - その差は極端に拡大していくだろう。スキルだけでなく、モチベーション・メンタルベースの行動変容が大きく影響。**研究開発は、戻すのではなく新しいカタチに**
 - 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。そこを推進・支援・育成することが重要。研究ファンド、基盤事業、拠点事業、技術人材等の多様な施策を、全体整合的に組みシナジーを**
- **トランスフォームの手段の一つであるDXは、標準化・規格化、水平統合が進む**
 - すなわち二極化の進んだ一方の側は、そこでの差別化ポイント・競争優位の源泉をどう構造的に形成するかが最大の焦点になる。DXの本質が標準化にあるからこそ、差別化が重要
 - **ここに研究者・チームの創造性・オリジナリティコンセプチュアルスキルを。**また、容易に標準化されないノウハウ形成や、時差を稼ぐ構造構築が重要に
- **すべてがリアルからオンライン・デジタルに置き換わるわけではない**
 - 特に実験系・フィールド系など、リアルの価値がこれほどまでに高いと分かってきたが、そこからどう差別化ポイントを創出するのかがカギに。同時にリアルのエッセンススキルの確保・継承戦略を
- **研究コミュニケーションをよりボードレスに。**放っておくと自然と断絶だらけになって取り残されてしまう

研究開発の変革は、自ら仕掛け、共に創っていく