

俯瞰ワークショップ報告書

ナノテクノロジー・材料分野 全体会議

**「ポストコロナ時代における研究開発・人材育成手法の変革と
注目すべき技術領域」**

2020年10月3日（土）、7日（水）開催



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

本報告書は、国立研究開発法人（JST）研究開発戦略センター（CRDS）が令和2年10月3日、7日に開催した『俯瞰ワークショップ（WS）ナノテクノロジー・材料分野 全体会議「ポストコロナ時代における研究開発・人材育成手法の変革と注目すべき技術領域」』に関するものである。

2019年末に初めて確認され、瞬く間に世界中を覆った新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、世界の経済・社会に非常に大きな衝撃を与えた。その影響は短中期的な経済的ダメージに留まらず、中長期的な社会構造の転換さえも引き起こしかねない甚大なものとなっている。ナノテクノロジー・材料分野は、社会における様々な活動の基盤を支えているために、COVID-19により引き起こされる社会の変化とも、深い関係を持つことになる。そこでCRDSは、2020年7月に「ナノテクノロジー・材料分野が新型感染症対策にどのように貢献するか」を議論するWS¹を開催したのに続いて、「新型感染症により変容する社会に対しナノテクノロジー・材料分野がどのように貢献し得るのか」を議論するためにこのWSを開催した。

本WSは、次に述べる4つのセッションで構成されており、COVID-19の状況にも鑑み、大部分の出席者をオンライン講演とするハイブリッド形式で行われた。以下に、それぞれのセッションでの主な議論を示す。

セッション1「研究開発現場の現状と課題、及び研究開発活動の革新」

大学・国立研究開発法人の共用施設や独特な取り組みを行っている大学の研究室での、COVID-19に対する取り組み事例や今後の展望などが議論された。2020年春先から夏にかけての最も厳しい入構制限の時期から、秋以降の制限が緩和された状態に至るまでに、どのような困難があったか、それにどう対処したか、うまくいった点、うまくいかなかった点は何かなど、いくつかの研究現場の状況・取り組みの具体例についての議論がなされた。メーカ担当者が来訪することができない状態での装置メンテナンス、人数を絞った交代制での研究室運営、研究設備の遠隔操作化やDX化、全自動化システムを用いた無人での研究遂行などの事例が紹介され、今後の課題が述べられた。

セッション2「新しい生活様式下での教育/人材育成の在り方」

最も厳しかった時期を除けば、制限は存在するものの施設内で活動を継続できた研究現場が多かったのに比べると、授業に関しては年度内は完全にオンラインで行う方針の大学が出てくるなど、教育現場の変容は大きなものであった。このセッションでは、大学教育を中心に、こうした状況変化にどのように対処してきたか、また、この経験を踏まえ今後どうあるべきかについて議論がなされた。人と直接相対しないと伝えられない実験技術やノウハウの存在が焙り出されるとともに、そうした活動のデジタル化の可能性やリアルとデジタルのハイブリッド化の必要性が論じられた。学生実験用のキットを製作して学生の

1 CRDS-FY2020-WR-05 俯瞰ワークショップ報告書 ナノテクノロジー・材料分野 区分別分科会「ナノテク・材料研究が実現する新興感染症対策能力の持続的強化～ポストコロナ時代を見据えて～」

自宅に送付し、それによって実験・演習を行なう取り組みなども紹介され、現場の工夫により学生の体験を豊かなものにできることが認識された。一方で、リモート化にはこれまで気づかなかったメリットがあるということも指摘された。海外留学の予定が COVID-19 により渡航禁止となったが、授業は国内にいたままで受けることができ、実験以外の単位は、現地に赴かなくても良かった事例なども紹介され、これが新しい留学、教育の形として取り入れられるのではないかといった議論や、デジタルツールを活用した海外大学との人材交流で予想を超えた満足度が得られた事例から、国際協力の有効なツールになり得るとの議論がなされた。こうしたことは、COVID-19 以前から、技術的には可能であったが、研究者の間では、それほど広くは使われてこなかった。今回、強制的にこれを経験させられたことにより、その有用性が広く認識されるに至った。

セッション 3「ナノテク・材料分野において、社会変化から、重要になる研究分野、挑戦課題」

このセッションでは、民間企業や大学・国立研究開発法人のマネジメント層やベンチャーキャピタルの視点から、COVID-19 を機に起こりうる社会変化の予想と、そこで重要となる研究分野や必要となる挑戦課題について、パネルディスカッション形式で議論を行った。強化すべき研究開発内容としては、以下のものが挙げられた。

- ・ ニューノーマルで増大する情報処理ニーズに応えるための 5G・ポスト 5G の通信技術、低消費電力の半導体デバイス、量子コンピューティングなどの革新的コンピューティング
- ・ サイバー空間と物理空間の融合（Cyber-Physical System）を支えるインターフェースとしてのセンサ、アクチュエータ
- ・ 自然災害、天災に強いレジリエントな分散型社会を支える分散型製造プロセス開発、サーキュラーエコノミー、SDGs など持続可能な社会を支える環境・エネルギー技術、食糧生産技術
- ・ ハイスループット実験とインフォマティクスの融合による自動・自律的な材料・デバイス開発手法の創出

これらの中のいくつかの話題については続く総合討論でも、より深く検討がなされた。

セッション 4「総合討論」

このセッションでは、ここまでのセッションで議論された話題のいくつかをより深める議論を行った。取り上げられた議題としては、「今後リモート（サイバー）に移行すべきものの、リアルに残すべきものにはどんなものがあるか」、「教育・匠の技の伝承、DX 化における課題」、「材料科学系の DX 人材育成問題」、「DX 化の推進策」、「ダイバーシティの拡大」などが挙げられる。COVID-19 に強制される形で始まったリモート化を単なる緊急避難的な措置と捉え、パンデミック終息後に元の状態に戻すのではなく、ここで得られた貴重な知見をもとにナノテクノロジー・材料分野の新しい研究開発スタイルを構築していくことが重要であるとのコンセンサスが得られた。

これらの議論の結果は、CRDS でさらに検討を加えて、2021 年に発行を予定している「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2021 年）」に反映させるとともに、今後の研究開発戦略提言にも活用していく予定である。

目 次

エグゼクティブサマリー

趣旨説明

曾根純一、眞子隆志（JST-CRDS）	1
---------------------	---

1. 研究開発現場の現状と課題と研究開発活動の革新

1.1 低下する生産性と変化への対応	
藤ヶ谷剛彦（九州大学）	3
1.2 感染拡大防止対策下における共用機器運営	
松尾保孝（北海道大学）	10
1.3 研究者が創造性を最大限発揮できる研究開発環境に向けて ～コロナ禍によって、加速される変化～	
一杉太郎（東京工業大学）	18
1.4 ウィズ&ポストコロナにおける研究開発と共用施設・設備支援	
小出康夫（物質・材料研究機構）	24

2. 新しい生活様式下での教育 / 人材育成の在り方

2.1 大学におけるデバイス系研究—どう変わるか、変わるべきか—	
岩本敏（東京大学）	32
2.2 実験を伴う研究室における教育形態の模索： ICT と座学とコミュニケーションの重要性	
長谷川美貴（青山学院大学）	38
2.3 ニューノーマルでの大学院生と若手研究者 ～ポストコロナ時代へのデジタル化教育と研究～	
本間格（東北大学）	45
2.4 京都工芸繊維大学での新型コロナウイルス対応と課題 —ナノテク・材料分野の教育・研究を中心に—	
吉本昌広（京都工芸繊維大学）	50
2.5 早稲田大学・電子系研究室におけるニューノーマルの模索	
渡邊孝信（早稲田大学）	55

3.	ナノテク・材料分野で、社会変化から、重要になる研究分野、挑戦課題	
3.1	素材・化学分野における有望次世代技術の考え方 ～ベンチャーキャピタルの視点から 木場祥介（ユニバーサル マテリアルズ インキュベーター（株））	62
3.2	ナノテク・材料分野で、社会変化から重要になる研究分野、挑戦課題 瀬戸山亨（三菱ケミカル（株））	67
3.3	ニューノーマルにおける重要・挑戦課題 藤井輝夫（東京大学）	71
3.4	社会変化から重要になる研究分野、挑戦課題 宮本重幸（日本電気（株））	73
3.5	感染症に備えた研究開発インフラと研究開発課題 村山宣光（産業技術総合研究所）	76
3.6	東レにおける社会変化への認識と対応 山根深一（東レ（株））	79
3.7	ディスカッション ファシリテーター 眞子隆志（JST-CRDS）	81
4.	総合討論 ファシリテーター 福井弘行（JST-CRDS）	86
付録		
付録 1.	開催趣旨・プログラム	92
付録 2.	参加者一覧	96

趣旨説明

曾根純一、眞子隆志（JST-CRDS）

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が猛威を振るう中、世界は新しい生活様式に適応することを余儀なくされている。COVID-19の影響は必ずいつか収束すると信じるが、これまでは集まって熱く議論を戦わしていた CRDS のワークショップ（WS）が、このようなオンライン開催になっていることに象徴されるように、ポストコロナ時代には社会の様々な活動がコロナ前とは大きく異なったものになると多くの人が予期している。

我々は、2020 年 7 月に開催した WS で「ナノテクノロジー・材料分野が新型感染症対策にどのように貢献していけるか」を主題とした議論を行ったが、今回はより視野を広げ、新型感染症により変容する社会の中で、ナノテクノロジー・材料研究が何に対してどのように貢献し得るかについて議論を行いたいと考えている。WS の内容は報告書としてまとめるとともに、来年発行する俯瞰報告書 2021 にそのエッセンスを反映する予定である。

本 WS の具体的な議論内容としては、以下の 3 つの論点を予定している。1 つ目が研究開発現場の現状と課題を把握して、今後求められる研究開発活動の革新を議論すること。2 つ目が、新しい生活様式下における、科学者、技術者の教育、人材育成の在り方を議論すること。そして 3 つ目が、予想される社会変化から今後重要になってくると考えられる研究分野や挑戦課題について議論することである。これらの議論を行いたいと考えるに至った我々の問題意識は以下のようなものである。

- ・ COVID-19 は、国際社会に、痛みを伴う大きな変革を強いた。今後、社会の価値観の変化が起こり多くの産業分野において、メインプレーヤの交代を含む業態の大きな変化が起こってくると思われる。ナノテクノロジー・材料の研究開発分野にも、この社会構造の変革による大きな影響が及ぶと考えられる。
- ・ 新しい生活様式下の研究開発においては、DX 化がさらに加速していくと考えられるが、ナノテク・材料分野は ICT 系の分野に比べて、人やモノとの接触を減らすことが難しい特質を持っている。
- ・ 接触を減らしながら、研究開発スピードを落とさないためには何が必要か、対面が制限される環境での人材育成はどのようにすべきか、など、考えなければならないことは多い。
- ・ また、「COVID-19 からの影響を小さくする」という「守り」の姿勢ではなく、「変容する社会に対し積極的に貢献する」という「攻め」の姿勢が重要であろう。

参考のために、我々が想定している、社会産業構造の変化を図に示した。細かな内容について賛否はあるかとも思うが、二日間議論を行う際の足掛かりになれば幸いである。

ご講演の先生方には、事前に我々の問題意識をお伝えしたうえで上記 3 つの論点に関する話題提供をお願いしている。是非とも活発なご議論をお願いしたい。



CRDSが想定する社会/産業構造の変化

社会の変化

- (1) 非集合、非接触の社会へ、
 - ・デジタル庁の設立は一つの象徴的事象
- (2) 清潔感意識の社会へ
- (3) 職住のあり方見直し
 - ・都市一極集中から分散/ネットワーク化指向へ
 - ・Homeの重要性増大(在宅時間の増大)
- (4) 消費行動の変化
 - ・不要不急、外見だけの無駄な物から真に必要な物へ
 - ・個人指向でアナログ的な物への価値の見直し(私だけの物)
 - ・環境に優しく、リサイクル可能な消費財指向。健康志向。
- (5) グローバル化への懐疑
 - ・産業国内回帰の動き。極端な場合には、排外主義につながる。

産業構造の変化

- (1) DX化(オンライン、自動化、ロボット化、遠隔操作、AR/VR、通信・5Gの活用)
- (2) サプライチェーンの見直し(分散化、国内回帰、最低限必要なライフラインは自立)
 - 米中経済活動デカップリングがこれを加速
- (3) 働く場の環境変化(リモートオフィス、スマート工場/農業)
- (4) 消費行動の変化がもたらす新たな需要の発生、新たなビジネスの登場
- (5) 環境・エネルギー・資源問題への継続的対応の重要性
 - ・経済不況に対する国の大型投資
 - ・生活の変化から生ずる人々の持続性社会への意識、
 - ・深刻化する自然災害

図 CRDSが想定するCOVID-19がもたらす社会/産業構造の変化

1. 研究開発現場の現状と課題と研究開発活動の革新

1.1 低下する生産性と変化への対応

藤ヶ谷 剛彦（九州大学）

大学の研究室という現場で、コロナ禍において何が起こったか、どうやって過ごしてきたか、どのような影響があったか、さらに今後どうしていくかというローカルな話題を提供する。我々の研究室はスタッフが4人、学生が約25人という規模で、コアタイムは9時半～17時、検討会・雑誌会は週1回、研究テーマは複数あり、極めて平均的な研究室といえる。

九州大学では感染拡大防止のための活動制限レベルが5段階になっている（図1-1-1）。レベル4と5では、原則、研究室での活動はできない。レベル3では研究室に少人数なら入ることができる。レベル2は滞在時間を減少すれば活動可、レベル1は通常運転可、となっている。この4月にレベル4から始まって、2ヶ月間は本当に何もできなかった。6月に入って研究活動に関しては一部制限解除になったものの、大学への爆破予告や放火予告という事件が起きたりした。現在では人数制限なしで研究活動ができるようになってきている。Googleカレンダーで研究室内の人数をしっかりと制御しながら、徐々に開放してきたところである。

どのように過ごしてきたかという、研究室運営の面ではメンタルのケアを重視し、朝礼で生活のリズムを取った。研究を開始するとなかなかできない文献調査や、論文執筆を学生にさせるようにした。検討会やミーティングはオンラインでおこなった。それまで研究室にチームというのはなかったが、チームに分けてミーティングをしたり、個別ディス

これまでの経緯

九州大学の制限レベルと
対応の履歴

段階	研究	授業	学外者立入り
1	拡大防止を配慮	拡大防止を配慮	拡大配慮
2	滞在時間減	原則遠隔のみ	訪問削減
3	最小限の人数で	原則遠隔のみ	訪問自粛要請
4	緊急性を要する時	遠隔のみ可	訪問自粛要請
5	原則停止（許可性）	開講中止	禁止

	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
段階		4	3	3'	2	3	2	
ラボ		在宅	秋修生の のみ	人数制限（by Googleカレンダー）				制限なし
				5名	9名	9名	12名	

☆緊急事態宣言

☆授業開始

☆研究制限の一部解除

☆爆破・放火予告

☆中間試験（学部4年

☆本学でも感染拡大

☆総合試験（修士2年）

☆大学院入試

図1-1-1 これまでの経緯

カッションをおこなったりするなど、よりきめ細やかな教育を心がけた。自分はメルマガを毎日配信していたが、そのようにして手を替え品を替え、前倒しにしてやってきた。中止にしたことも多く、歓送迎会も学会参加も中止にした。新たに始めたこととしては、Zoomなどを使ったオンライン検討会やミーティング、ディスカッション、Slackを使ったチーム内の情報交換など。また、ワークスペースが自宅と研究室の二元化して、どちらが新しいデータか分からなくなったりしたため、データの保存、やり取りにはクラウドを使うように切り替えた。授業もオンラインになり、YouTubeを用いたデジタル授業配信を始めた。心がけたこととしては、感染者を出さず、研究を止めず、メンタルケアをするという点であり、そこにはかなり腐心した。

研究室の活動への影響については、文献調査や論文執筆などを前倒してやってきたことで、研究面での遅れは現段階では軽微ではないかと私自身は感じている。6月に研究面での制限が少し緩和されたことが非常にありがたかった。ただし、学生達は2か月遅れたと思っているらしい。私自身は、いろいろなことが中止になって論文執筆の時間ができるとかと思いきや、オンラインの講義や評価などで結局相殺された。特に、オンライン講義の作成は非常に負担が大きく、体調を崩してしまった。他大学との共同研究については、遅れが生じたとは感じていないが、特に海外の大学とは人的交流が途絶えて関係が希薄になった。一方、企業との共同研究は少し遅れたと感じている。特に大きな企業ほど停止していた期間が長く、手続きに遅れが生じた。学会は、最初の頃は中止になっていたが、その後オンラインで開催されるようになった。オンライン学会は最小限の時間で必要な情報が得られるというメリットがあり、参加した学生も楽しかったと言っていたが、学生を打席には立たせたもののスタジアムには行かせていないのに等しく、スタジアム独特の高揚感、すなわち学会の雰囲気というものを経験させることができていない。

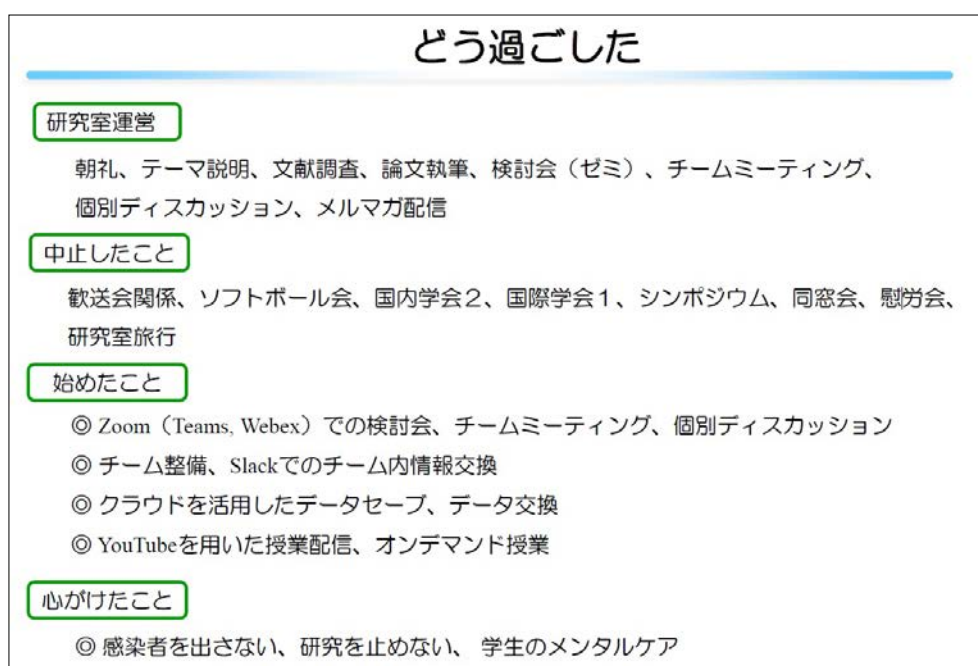


図1-1-2 どう過ごしたか

どう影響したか

学生の研究

- ✓ 論文執筆や文献調査の時間を前倒して対応、遅れは（現段階では）軽微
（教育面の制限より研究現場の制限緩和は早かったのが幸いした）
ただ、学生は「2か月遅れた」と感じているらしい

私の活動

- ✓ 論文執筆の時間ができるといきやオンライン講義の準備・評価で相殺された

共同研究

- ✓ 他大学との共同研究
→遅れてはいないが人的交流ができず、希薄になった。
- ✓ 企業との共同研究・社会実装
→手続きが遅れ開始が遅れた（規模の大きい会社ほど遅かった）

学会活動

- ✓ オンライン開催は成功だったが。。。最小限の時間で、必要な情報を得た。
（学生を打席に立たせたが、スタジアムには行かせていない状態）



海外グループとのZoom会議

図1-1-3 どう影響したか

これまでやってきて良かったこと、これからも続けていきたいと考えていることは、学生の日報である。九州大学に着任して以来10年以上、学生にはずっと日報を出させており、それをコロナ禍でも続けていて良かったと感じている。日報にはその日にやったこと、それに対する自分の考察、明日の予定、これらを手短かに書いて帰るときに提出する。学生は日報を課されることを知った上で研究室に入ってくるので、嫌がることはないが、「毎日Twitterできるなら毎日日報もできますよ」というのが私の殺し文句である。メリットは、学生は日報に書くために、毎日何かやろうと努力する。その日に何をやったかいろいろ考えて、その気づきを最後に復習することで、「気づき」力を鍛えることになる。また、考えたことを活字に起こさなければならないので、頭を整理して科学的に正しい表現を使うことの鍛錬になる。予定を自分で立てるので自主性も身につく。スタッフ側の立場でのメリットは、全てのデータを把握できること、出張先でも確認できるので安全の確保にも有用であること、成長や精神状態をモニターできることが挙げられる。特に、精神状態が不安定なときは、行間からそれが読み取れるので、コロナ禍にあって学生の精神状態が気がかりなときにウォッチすることができる。また、実験ができない中で、学生達は皆、日報に何かを書くために前進する工夫をしていた。その点でも良かったと思う。このような管理教育を学生は望んでいるのかと疑問に思われるかも知れないが、最近の子は意外に放置を望んでおらず、きめ細やかな対応を好む傾向にある。面倒を見過ぎではないかという話もあるが、返信をするかしないか、返信の内容でエンカレッジするか叱るか叱咤激励するか、そのように、対応で調整することができる。自主性を重んじて放置することも可能であれば、管理することも可能であり、メンタルケアもできる。これは他の先生方も是非やったら良いのではないかと考えている。

やってよかったこと

日報制度

1. その日やったこと
2. それに対する自分の考察
3. 明日の予定

をメールでスタッフ全員に提出

- ✓ 毎日何かやる
- ✓ 思い出すことで「気づき」力を鍛える
- ✓ 活字に起こすことで頭を整理し、科学的に正しい表現で伝える鍛錬
- ✓ 予定を立てることで自主性を身に付けさせる
- ✓ 全てのデータを把握できる
- ✓ 出張先でも確認できるので、安全の確保にも有用
- ✓ 成長や精神状態をモニターできる
- ✓ 実験ができない中でも前進する工夫
- ✓ 論文や資料作成の中からの「気づき」を誘導できる
- ✓ 考えること、成長することを止めない
- ✓ 最近の子は必ずしも放置を望んではいない



毎日Twitterできるなら
毎日日報もできますよ

返信の有無や内容で自主性と管理教育とのバランス、メンタルケアも可能

図1-1-4 やってよかったこと

現状、10月からは、人数制限なしで研究室活動を実施している。ただし、登校を強制することはできないため、完全に自主性に任せており、コアタイムもなくしている。九州大学の伊都キャンパスというのは人里離れた山奥に1万人が通っているため、朝は大変な3密になってしまうので、分散登校で密な通学環境を回避している。学生には検温、消毒をさせ、1日に2回ドアノブなどのアルコール洗浄をしている。顕在化してきた問題の一つは、伝承の質の劣化である。何か聞きたくても先輩が不在のことがあり、メンターの重要性を再認識している。ラボの知識の継承というのを、どうにかしなければならない。また、やる学生とやらない学生の差が大きく開いてきたと感じている。一段と管理をおこなうのか、あるいは、面白いテーマを与えれば学生はやり出すので、学生の興味を引くテーマを立案することがスタッフとしては必要であると考えている。また、ある程度、学生だけでも自走するような研究体制、あれこれ言われなくても学生同士のチームでやっていけるということが必要で、それには博士過程の学生が非常に重要であると実感している。また、今はSlackなど、いろいろなツールで学生にすぐにコンタクトできるようになって便利ではあるが、同時に危うさも感じている。よく大学から注意されるのは、学生に電話で指示をするなということ。それは、人によってはアカハラと感じるということで、やはり教員が学生にコンタクトし過ぎてしまうのは精神面を考えると良いことではない。バランスのよいラボ運営が求められるが、ラボを上手く運営するための定法というものは存在せず、教員は変化への対応力が問われている。したがって、教員側の質の保証というのにも必要であるが、大学教員には免許がなく、ファカルティ・ディベロップメントなどで質の保証を図っていかなければならないと考えている。

今後、何を残していくのか、何をもとに戻すのかについては、取捨選択が必要になると思うが、個人的に残したいのはオンラインの検討会である。検討会はオンラインでも割と上手く機能しており、先生がにらみを利かせていないので、かえって学生が質問をしやす

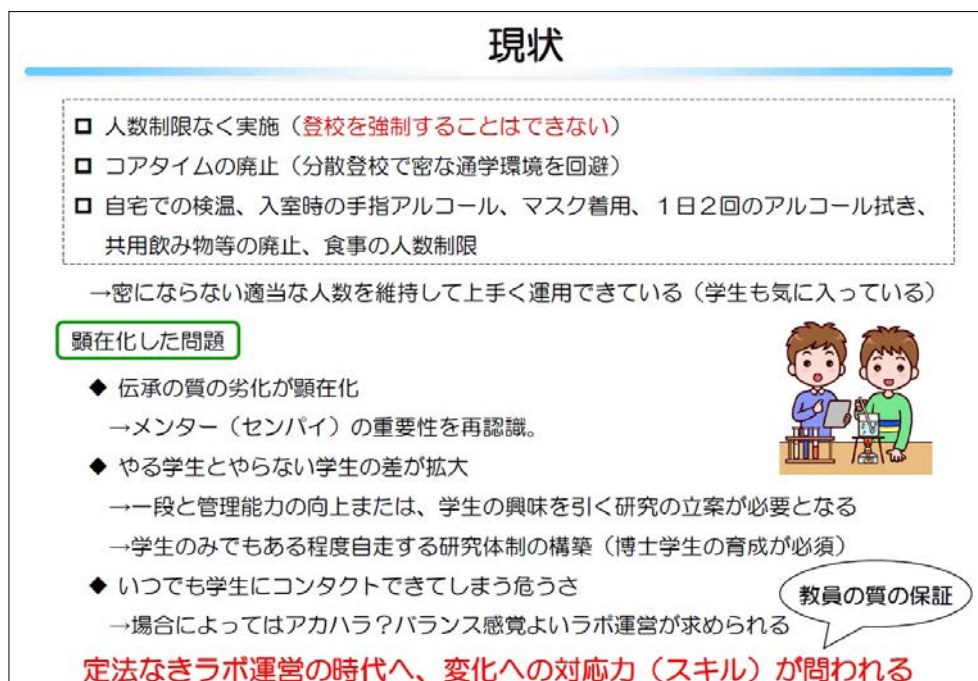


図1-1-5 現状

い。どこからでもプレゼンができるので時間が捻出できる。何よりもペーパーレスにできる。また、複数のチーム体制を作ったことも良かったといえる。オンデマンド授業も苦労して作ったので、また使いたいと考えている。一方、もどに戻した方が良いこととしては、学会はせめてハイブリッドにして、学生に発表経験を積ませたい。大事なのは学びの経験と出会いであるが、出会いは全くななくなってしまったので、その機会を確保することが重要であると考えている。今後、どう備えるかということでは、今我々が進めているのはICT化である。オンラインで検討会をやると、顔は見えるが手元の資料に書き込めないのが、全員にタブレットを渡したいと考えている。また、電子実験ノートを取り入れたい。今のところ実験ノートは持ち出し禁止にしているが、どこでも電子実験ノートに書き込めるようになり、データサイエンス、MI化への布石にもなるので、これらを連動させて研究を高効率化させたい。問題は、そのための費用をどこから捻出するかであるが、今回分かったことは、旅費というのは割と削ることができるので、もし学会が一部オンライン化すれば旅費の削減分で対応できると思われる。ただし、タブレットを20個、30個も購入しようとする、大学事務方との戦いになる。また、電子実験ノートと連動して、共用装置をもっと活用したいと考えている。共用装置にMIのハブ化をさせて実験時間を削減することに加え、各研究室が個々に所有している機器がスペースを取って環境を密にしているので、これらを共用装置に回してスリム化することでスペースを捻出すれば、3密を回避したラボ環境が整えられるのではないかと考えている。

今後の研究

何を残すか？

1. オンライン検討会（質問しやすい、チャット機能の活用、時間の捻出、紙レス）
2. 複数チーム体制（きめ細かい対応が可能、自走できる体制づくり）
3. オンデマンド授業（どこでも授業）、YouTube配信（研究内容の発信へ）

何を戻すか ～コロナは終わる前提で～

1. **学会**（ハイブリットスタイルへ？）
☆発表経験（特に国際学会）の経験を失うのは大きい。**学びと経験と出会いの機会の確保**
2. **コアタイム** ☆ただしラボでの始動にはこだわらない

どう備えるか

◎ **タブレット配布・ICT化**（ペーパーレス化、オンライン対応、電子実験ノートの導入）
現状、実験ノートの持ち出しは禁止だが電子実験ノートなどが進めば場所を選ばず活動可能
→ **データサイエンス・MIとの運動に対応し、研究の高効率化**
→ **旅費削減によるコスト削減分に対応**

◎ **共用装置の利用促進**
→ スペース捻出で3密回避・MIハブ化で研究時間削減



適当な予算がないのが悩み

図1-1-6 今後の研究

【質疑応答】

Q：共用装置の活用という話があったが、それは学内、学科単位で持っている装置の共用化という話か。それとも、大型の共同利用施設のようなものまで考えているのか。

A：現時点で考えているのは、学内の共用装置をもう少し充実させるということ。今、九州大学ではナノテクプラットフォームの装置も含め、全ての学内共用装置を一括して予約可能なシステムを整備している。そういうものに載せることができれば、必ずしも個々の研究室がいろいろな装置を持つ必要はなくなり、その分のスペースが捻出できるようになる。また、電子実験ノートから、各ラボのデータをマテリアルサイエンスのデータベースに載せようというときに、それを個々の研究室でやるのは時間の無駄なので、共用装置とデータのハブを一体化させたい。各研究室が共用ネットワークで整備されたデータベースにアクセスし、データがどんどん吸い込まれていって、そのデータを利活用することでさらに研究が加速するというイメージである。それが全国のネットワークにつながれば、さらに好ましいが、第一段階としては学内の共用装置を基軸に考えている。

Q：学生に日報を課しているとのこと、先生の方も返信が大変ではないか。

A：基本的に返信はしていない。先生というのは毎日学生にあれどうなったと聞きたくなってしまうものだが、学生にはそれが苦痛なこともあるので、学生側が適当に言って終わりというのが精神衛生上良いのではないかと始めたときには考えていた。ただ、実際にやってみたところ学生の教育に非常に良い効果があり、返信するかしないか、返信の内容によってもバランスを取れることが分かった。今後、いつでもどこでも研究ができるようになると、一定程度のモニタリングが人材育成のために必要ということもあり、また、皆「いいね」が欲しい世代で承認欲求があるので、レスを返す機会

があるのは良いことだと考えている。

Q: 共用施設の活用に関する提案について、これを実際に運用するにはスタッフをかなり充実させる必要があるのではないか。学内でそのような議論はあるか。

A: 全く同感であり、共用施設はそこにいる人次第だと思う。自分自身もナノテクプラットフォームをやっていたが、ナノプラは人材育成に成功しており、それは宝だと思っている。学内でやっていこうという話にはまだなっていないが、米国などを見ても、共用施設をマネージする人にはある程度の社会的地位があり、キャリアのパスの一つとしてしっかりしたポストがある。日本でも技術職員の社会的地位をもっと向上させることが非常に重要であると考えている。

1.2 感染拡大防止対策下における共用機器運営

松尾 保孝（北海道大学）

北海道大学におけるナノテク関連の機器共用に関して話題提供する。北海道大学では、平成17年からオープンファシリティーという形で共用機器の運用を開始し、その後、文科省のナノテクノロジーネットワーク、それに続く現在のナノテクノロジープラットフォーム事業に参画している。ナノテクノロジープラットフォームでは、微細加工プラットフォームと微細構造解析プラットフォームの2つに入っている。その他、文科省の先端研究基盤共用促進事業にも参画している。私はその中で、微細加工と構造解析の運用に関わっていると同時に、電子顕微鏡などを扱う構造解析のマネジメントを担当している。

北海道は新型コロナウイルスの感染拡大が全国でも一番早く、2月28日に北海道独自の緊急事態宣言が出された。その当時はそれほど切迫感があったわけではなく、一部の企業で出張が停止になったことを受け、技術代行への切り替えがあった程度だった。その後、緊急事態宣言は一旦解除されたものの、感染者がどんどん増えていき、4月16日には全国に緊急事態宣言が出された。北海道大学も危機レベルを表すBCP（行動指針）が3になり、できるのは装置の維持活動のみになった。北海道独自の非常事態宣言が一旦解除されてから全国的な非常事態宣言が出るまでの間は、装置講習や補助業務は停止し、人との接触を避けて装置を動かしていたが、4月20日以降はほとんどのメンバーが在宅勤務中心になった。ただし私自身は、装置の維持管理・運営のために割と頻繁に大学に来て、装置にトラブルがないかどうか確認していた。全国の緊急事態宣言が解除になった後も北海道は残り火のように感染が続いていたが、6月1日にはBCP2になり、制限をかければ少し研究して良いとなった。7月10日にはBCP1になり、感染防止対策をしっかりとこなった上で、ある程度のことができるようになった。このあたりから本格的に活動を再開した。

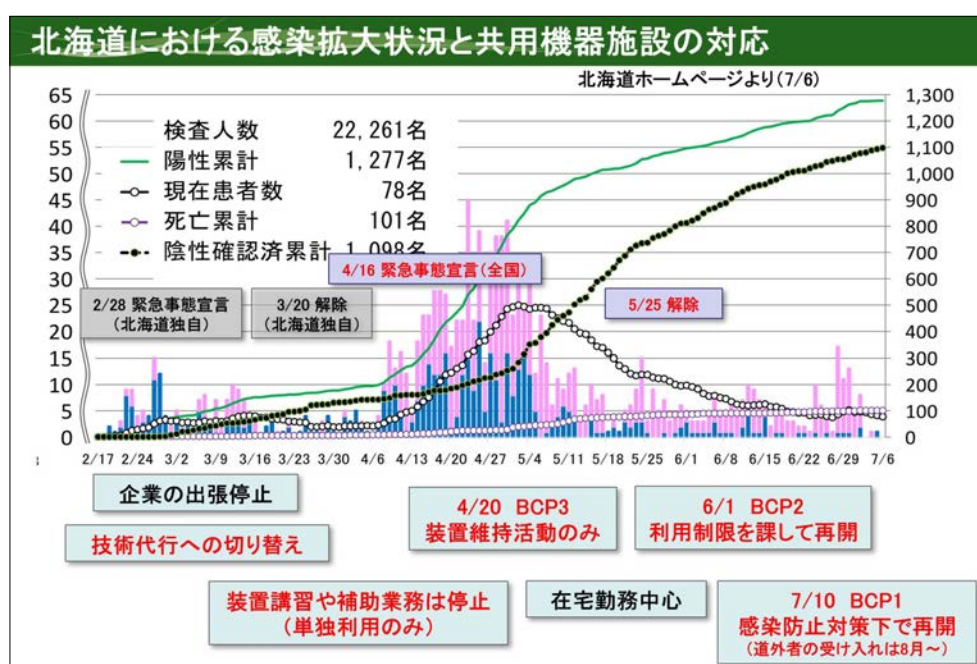


図1-2-1 北海道における感染拡大状況と共用機器施設の対応

大型装置のほとんどを管理している立場から、共用機器の運営において何が問題点になるか、何をやる必要があるか、在宅勤務中に考えた。共用機器というのは通常のラボ数部屋分のところに装置がいくつも置かれ、様々な所属の学生、研究者が出入りする環境にある。誰がいつ来るかというのは予約システムを見れば分かるものの、すぐに完全に把握することはできない。ただ、一部屋に細かい装置が複数台あるような場合は過密になる可能性があるが、クリーンルームに置かれている装置は1台が大きく、一つの装置当たり2メートル四方取っていたりする。なおかつ、基本は単独利用なので、クリーンルーム内は人と人との間隔を十分に取ることができ、しかもウエアを着てマスクもして使うので、それほど過敏になって対応する必要はない。一方、共用で利用していたウエアなどの物品については、個人利用に切り替えて管理するようにした。また、利用者間の接触状況等は把握しにくいいため、入退室の管理、予約システムの活用をしっかりとすること、COCOAなどの接触確認アプリに登録することを呼びかけた。しかし、講習では接近して長時間の会話が発生してしまうこと、共用施設の運用状態が各研究室で様々でありアクセスが減っていること、換気できない装置が多い、といった問題があった。そこで、研究効率の低下を避けるため、リモート対応を含めた対策が必要になった。

最初に電子顕微鏡から対策に着手した。図1-2-3に示したのは2台とも収差補正型透過型電子顕微鏡で、原子分解能を持つものである。左の装置は壁に輻射パネルという温調のためのパネルが取り付けられており、風が当たると装置が揺れて測定できないため、基本的に換気はしない。操作は専属オペレーターがおこなっている。一方、右の装置が置いてある部屋も換気はできないが、こちらは独立の操作端末が別の部屋にあり、その部屋は換気できるので、ユーザーが自由に使うことができる。ただし、学外のユーザーは来学すること自体が難しい。そこで、一般的になってきたWeb会議システムを使って、遠隔化しようということになった。

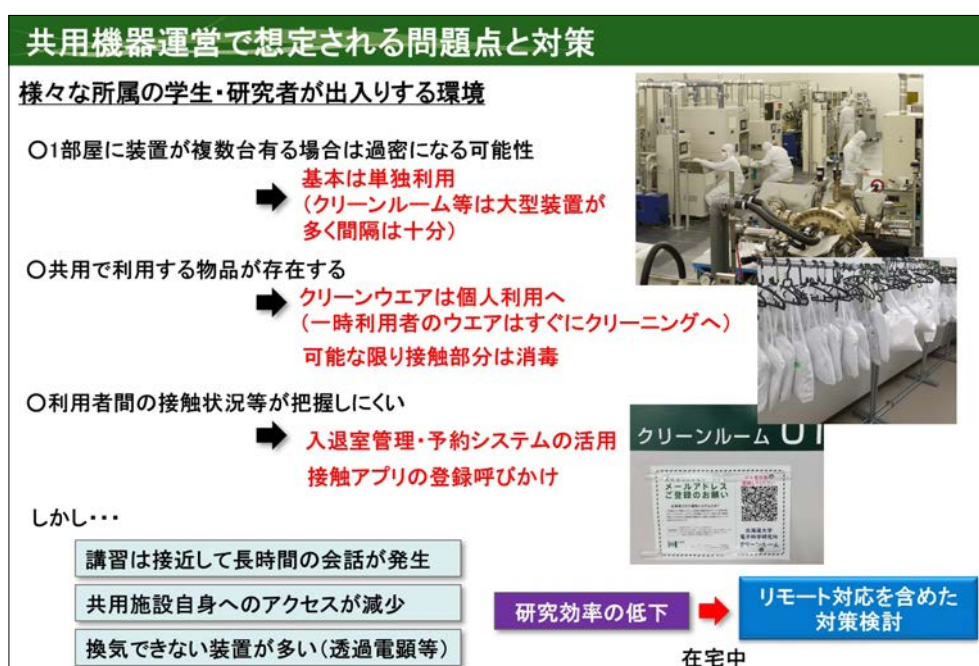


図1-2-2 共用機器運営で想定される問題点と対策

通常、制御用の PC から観察用の画面に HDMI などのケーブルが出ているが、そこに分配器を入れ、Web 会議用の PC に取り込む。観察している画面をユーザーと共有し、リアルタイムに見てもらう。Web 会議でつないでいるので音声で議論しながら、そこは違う、そっちを測定してください、というように議論しながら進めることができる。6 月の初旬にセットアップをおこない、学内の在宅勤務者と議論して問題ないことを確認して、6 月末にはこのシステムで関西圏の大学のユーザーに対応した。以後、ほとんどのユーザーに

透過型電子顕微鏡の場合

JEM-ARMF200



輻射パネルによる温調のため換気しない
専属オペレーターが操作し、別室の操作端末が無い
ためユーザーと長時間接触する可能性
(端末増設も1000万円かかり現実的でない)

Titan G2



独立の操作端末が存在するが、
学外ユーザーが来学するのは難しい

Webミーティングによる遠隔化への対応

図1-2-3 透過型電子顕微鏡の場合

透過電子顕微鏡の対策1

Web立ち会の実現



観察画面
WebミーティングPC
分配器

6月初旬にセットアップし、学内在宅勤務者との間で動作確認。

6月末に関西圏の大学ユーザーへ実施。以後、大部分(学外は全て)ユーザーについてWeb立ち会いで対応中。

(1) 観察用画面(HDMI信号)を分配、別PCへキャプチャ
(2) ユーザーにZoomなどでアクセスしてもらい、観察画面をリアルタイムで共有



Web会議を通じての画像共有のため、音声で議論しながら測定可能

メリット

再測定の必要が大きく減少
(測定ポイントが明確化し、効率的に)
ユーザーはデータをすぐに取得できる

次は遠隔操作(SEMでは実現)

図1-2-4 透過電子顕微鏡の対策1

対して、この Web 立ち会いで実施している。メリットとして大きかったのは、再測定の必要が大きく減ったこと。以前はデータを送った後、ちょっと違うと言われて測定し直すことがあったが、今はユーザーと議論しながらデータを取っているの、あっという間に測定を終えることができる。しかも取ったデータをそのまま Dropbox に入れて渡し、すぐにユーザーが見ることができるので、実験の効率がかなり上がった。次の課題は遠隔操作で、SEM では実現できているが、透過型電子顕微鏡の場合はシステムが複雑なため、まだそこまではいっていない。

もう一つの問題として、装置を実際にユーザー、あるいは学生に使わせるために講習会が必要になるが、それには人との接触が避けられない。講習の人数はいつも 3、4 人でやっていたが、2 名くらいまでに減らし、マスク着用必須にした。また、マニュアルの事前配布や動画資料の作成をおこなった。動画は技術スタッフが在宅勤務中に編集してつくったものを、YouTube にアップしてユーザー、学生に案内している。それによって学生の装置への理解が非常に良くなり、講習にかかる時間も短くなり、講習中に質問も出るようになって、とても良かったと感じている。さらに、動画を装置の横の PC に置いておくと、操作中に困ったときに学生がスタッフを呼ばなくても自分で操作ができる。

一方、微細加工をおこなうクリーンルームの方は、もの作りをおこなうので電顕と違って工程が多い。なおかつ、装置に手で押さないといけないボタンや、PC だけではなくシーケンサーで制御するものもあり、遠隔操作のハードルが高い。技術代行は増加が予想されるが、負荷が非常に大きく、さらに困ったことに、装置メーカから出張修理に来てもらえなくなってしまい、自分たちで対応する必要性が生じた。そこで、こういったデバイスを使って遠隔化するかというのを考えた（図 1-2-5）。スマートフォンはカメラが付いているので、現場を写して相手とやり取りができる上に片手で使える。ただし、画面が小さく、少し操作がしづらい。タブレットは画面が大きくて視認性も良く、遠隔アプリも使いやすい



図1-2-5 クリーンルーム内装置利用時の遠隔対策

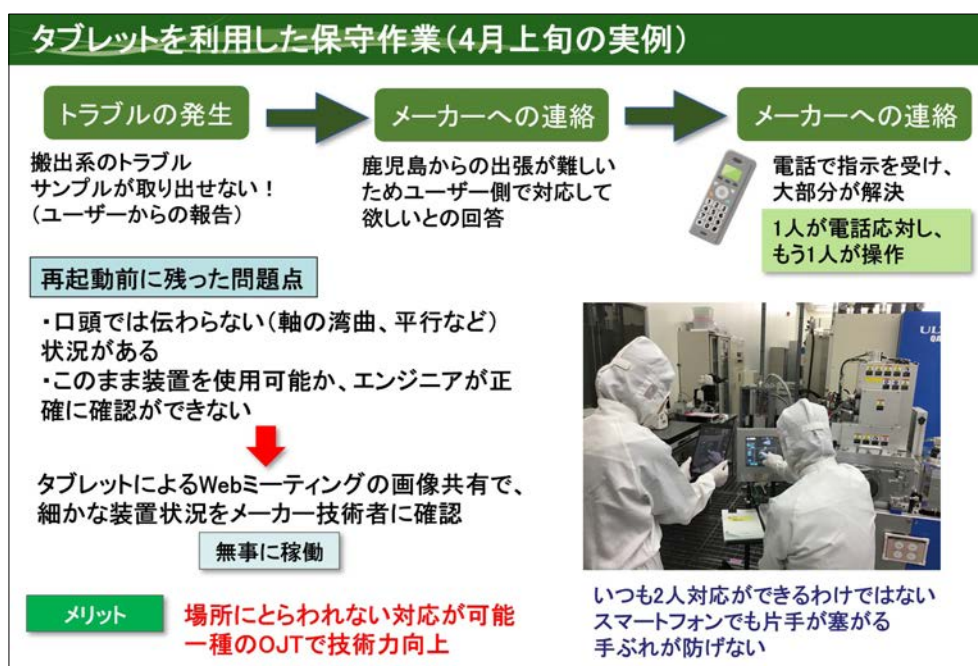


図1-2-6 タブレットを利用した保守作業 (4月上旬の実例)

いが、両手がふさがってしまう。そこで、次に期待しているのはスマートグラスである。カメラがあり、OLED のモニターがあって、画像が投影される。アンドロイドを登載したコントローラー、タッチパッドがあり、モニター上のカーソルを動かすと操作できる。ハンズフリーで、拡張現実を導入した遠隔アプリも使うことができる。ただ、価格が10万円～30万円と高額なのが少しネックになっている。

実際にタブレットを利用して保守をおこなった。装置の搬出系が壊れてしまったが、鹿児島県のメーカーから出張するのは難しいと言われ、タブレットでもう一人に写してもらいながら修理をした。最初は電話で指示を受けながらやっていたが、口頭では伝わらない状況があり、タブレットを使うことで無事に稼働できた。場所にとらわれない対応と、メーカーの方にトレーニングしていただく形で技術者の OJT にもなり、非常に良かった。

スマートグラスはまだ有効活用するところまではいっていないが、スマートグラスと TeamViewer という遠隔ソフトを使うと、視線で画像を別の PC に送ることや、PC から画面上に矢印を書いたりして、ここを触ってくださいといった指示を、音声と画像で実際の作業者に伝えることができる。さらに、これを技術代行に活用できると、小さな試料を扱いながら、自分の視線で見たサンプルの状況を画面でユーザーに伝えられる。デバイスの作製プロセスをその場でユーザーに理解してもらって問題点を抽出することで、フィードバックが早くできる。それが将来的にユーザーの装置・機器利用につながってくるのではないかと期待している。ただし、まだコントローラーが重かったり、タッチセンサーの入力に慣れが必要だったり、スマートグラスが少しずれるとディスプレイが見えないなどの問題点がある。今後のデバイスの改良に期待したい。

また、研究効率の改善という観点から、電子線リソグラフィにシミュレーションソフトを導入した。北大には3台の電子線リソグラフィ装置があるが、それぞれ少しずつ特徴が異なり、ユーザーは個々に装置に合わせた CAD・設計ファイルを作らなければならない。

技術代行へのスマートグラス応用

技術代行業務では、途中でデバイスの出来映えをユーザーに確認したい。
(不要な作業を最小限に)

条件設定等、間違いが無いかの再確認

スマートグラスの活用



小さな試料も扱うことからハンズフリーが有利

目線の画像を送れるので、サンプル状態のみならず装置の稼働状況も細かに示すことができる

デバイス作製プロセスを理解してもらい、問題点などを早期抽出
機器利用へつなげる(利用のハードルを下げたい)

気になる部分



- ・コントローラーが重い
- ・タッチセンサーでの入力に慣れが必要
- ・スマートグラスのディスプレイは慣れても見にくい
(視野からずれると何も見えない)
- ・クリーンウェア着用時にずり落ちてしまう。(フィット感)

今後のデバイス改良へ期待

図1-2-7 技術代行へのスマートグラス応用

講習をおこなうのが大変な上、ユーザーも全ての装置の特徴を覚える必要がある。さらに、描画でものを作るには、実験結果を設計データにフィードバックすることが非常に重要だが、コロナ禍で実験時間が十分に確保できない中、どうすれば良いかという話になった。そこで、シミュレーションソフトを導入することになった。

導入したのは電子線照射と現像のシミュレーションができるソフトで、CAD データをもとに電子線の照射量を最適化するシミュレーションと、現像、すなわち電子線を当てた後で薬液に溶かすプロセスのシミュレーションがソフト上で、しかも遠隔で可能になった。これで実験の試行回数を減らして、最小限の実験でデバイスを作ることができる。また、異なる装置間の CAD データの互換性を確保して、装置の効率運用ができるように進めている。このような新しいソフト導入によって、三次元構造の作製などの新しい機能も付加することができ、全体的なパフォーマンスは上がっている。

ただ、このような遠隔化・自動化で見えてきた課題がいくつかある。まず、ネットワークのセキュリティーや回線の強化が必要であると考えている。TeamViewer は PC を外部から完全に操作できるので、もし乗っ取られたらどうするかという問題や、通信状態によっては画質劣化するという問題がある。また、遠隔での技術代行には人が必要になるので、マンパワーを増強しなければならない。そもそも遠隔に対応できない装置もある。昭和 60 年に今の東北大学総長の犬野先生が導入された電子顕微鏡がまだ現役で頑張っていたりする。さらに、遠隔化・自動化のためには、ロボット開発や安全対策の面でメーカーの協力が欠かせない。例えば、共焦点顕微鏡では、インキュベーターから培養細胞をロボットで搬送してきて顕微鏡に置き、観察して、また戻して細胞を育てるという風に、試料をセットすればずっと測定を続けることができるシステムが登場してきている。今後、こういった技術開発に期待したい。

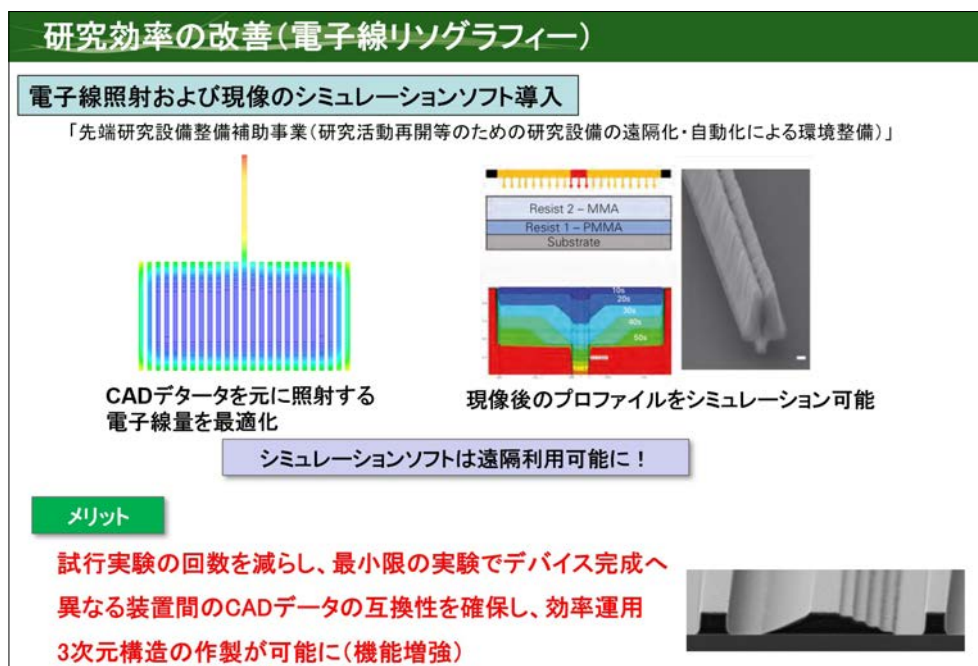


図1-2-8 研究効率の改善(電子線リソグラフィー)

新しい形として、全ての人にリモートの概念が植え付けられ、今はほぼ全てのユーザーがウェブ会議になった。以前は、北海道は飛行機で来ればすぐだと言って勧誘をしていたが、その必要はなくなっている。企業からは地域分散によるリスクヘッジのために、ある装置を研究開発拠点として使いたいという申出もあった。また、今まで講習は装置の場所が限られているので2、3人でやるのが常だったが、スマートグラスなどを使うことで講義形式にして、全員に画面を見せながら事前学習ができるようになった。動画も良いが、こうしたリアルライブの講習もおこなっていく予定である。こうした取組を通して、北大でも、地方でも研究ができる、ということから、北海道大学だからこそできる研究があるという状況に持っていきたいと考えている。

【質疑応答】

Q: 共用機器の遠隔操作に関して、自分は企業の方からリモートデスクトップで機器を操作したいと言われている。また、業務上、ルーチンで多くのサンプルを測定する必要があり、ロボティクスを入れて欲しいという要望もある。ただ、さきほどの話では、装置には古いものも多く、全てリモート操作に対応するのは難しいということだったと思うが、実際にはどのような状況か。

A: WindowsなどのOSで動く装置は、TeamViewerなどのリモートデスクトップで動くソフトで動かせるが、古い装置には手で押さないといけないボタンなど、メカニカルなスイッチ部分がたくさん残っているので、リモートでやるのは難しい。その部分は新しい装置に入れ替えていくしかないと考えている。また、たくさんのサンプルを測りたいという要望もある。例えば、電子顕微鏡の遠隔操作では、1個しかサンプルを入れられないという問題がある。安定的に測るために1個にしているが、今後、そのあたりはメーカーに考えてもらう必要がある。ただ、最後に少し紹介した培養細胞観

察システムでは、細胞の培養プレートが40個も入るものが開発されている。しかも、何番を測定する、といったプログラムを組んでおけば、自動でロボットが持ってきて測ってくれる。将来的にはこうしたことが広くできるようになると期待されるが、ロボットを作っているのは装置本体のメーカーとは異なるので、分析機器などのメーカーと、ロボットのメーカーに組んで開発してもらう必要があるのではないかと考えている。

Q: 様々な対策を進められており、時間もかかって大変だったのではないかと思います。それらは研究者というよりも、専属の技術官の方々が中心となって進めてこられたのか。

A: 在宅勤務中に、マニュアルの整備以外にも何か有効なことを見つけていこうということで、私からも幾つかアイデアを出し、現場の方からもアイデアを出してもらってやってきた。その一つが、例えば動画の作成。かなり編集が上達したということで、また次の装置の動画を制作してもらっている。

Q: 共用装置の遠隔化や Web 立ち会いというのは有効で、これから重要になってくると思うが、一方で、微細加工などの世界には、職人的な技術を持つ匠のエンジニアというのがいる。そのような人は、その場で指示を受けて作業することに抵抗を感じるようで、そういった人間的なところも、エンジニア側に立って考える必要があるのではないか。

A: その通りで、匠の技といったものがあり、そこは当然尊重したいと考えている。ただ、北海道大学の場合、遠隔地のためユーザーがなかなか来られないので、技術代行をやっていかなければならない。代行の状況を逐次伝え、どういう形でものができてくるのかユーザーに理解してもらう上で、リモートはやはり必要になってくる。また、匠も大事ではあるが、それに頼っていると最終的にその人がいなくなったときに困ることになる。例えば、細胞培養では、細胞を取ってきた人のレベルによって細胞の善し悪しがあったりする。それを自動化することで、実験データの均一性をある程度担保できるようになり、最高レベルの品質ではなくとも、底を上げられるという面がある。微細加工に関しても似たところがあるのではないか。また、リモートで作業を見てもらうことで、技術の全体的な底上げにつながるのではないかと思います。

1.3 研究者が創造性を最大限発揮できる研究開発環境に向けて ～コロナ禍によって、加速される変化～

一杉太郎（東京工業大学）

新型コロナウイルスの流行により、世の中のデジタル化が加速したと強く感じている。研究環境におけるデジタル化も同様であり、研究開発力、産業的な国際競争力を含め、日本が負けるのも勝つのも、その決着までの時間が短くなるであろう。

本講演では、そのような状況の中で「研究の進め方」、そして、それに関連する教育のあり方についての考えを、我々の取り組みとともに紹介する。

もっとも重要な点は、「研究は楽しい、新しい発見があつてわくわくする」と研究者が感じながら、創造性を発揮して研究を進める環境や雰囲気日本全体で作り上げていくことである。そこでまず、今の日本のナノテク・材料分野の研究環境を振り返る。

図1-3-1は研究者の典型的な習熟度曲線である。研究開始当初は様々な知識を吸収し、順調に成長していく。しかし、実際には創造的な仕事ばかりではなく繰り返し作業が研究には多くあり、この部分はそれ以上学ぶことが少ないため、徐々に曲線が頭打ちしていく。後述するように、この繰り返し作業をAIやロボットに任せて自動化・自律化することが今後重要なアプローチであると考えられる。それにより大きな変化が訪れる。自律的に実験が進むために膨大なデータが手に入る。そのデータを有効活用できるようになり、新しいマテリアルを予測できるようになる。

では、自動化して生まれた時間を使って、研究者は何をすべきか。最先端の放射光施設で分析を行う、新しい学理を構想する、新しい合成法を考案する、実用化に向けた取り組

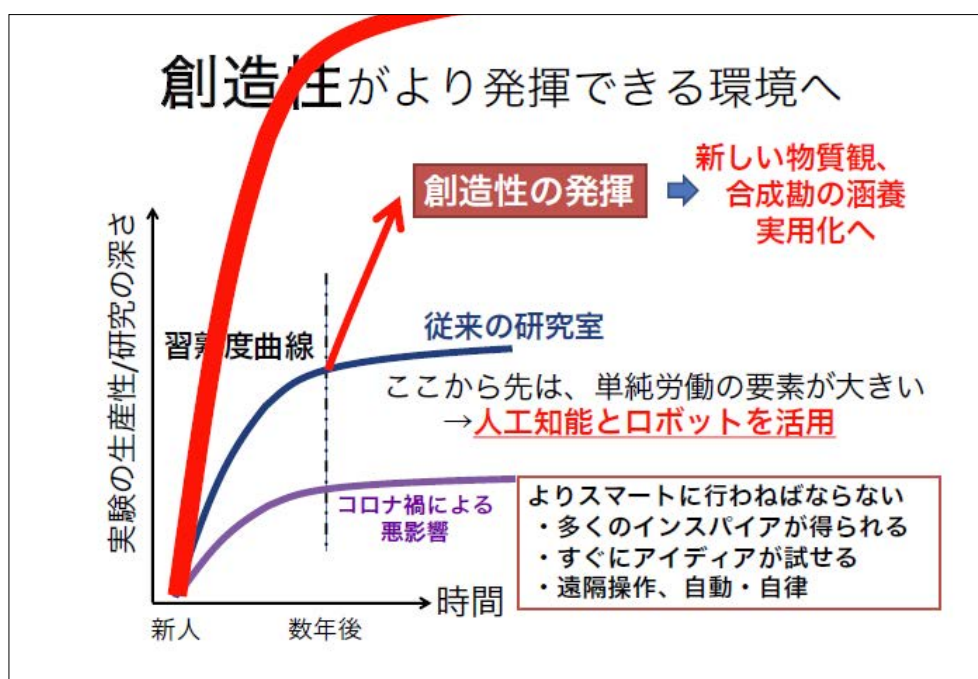


図1-3-1 ナノテク・材料研究の習熟度曲線

み行うなど、空いた時間を有効に使う「創造性が高い」仕事に時間を振り分けるべきであろう。膨大なデータを独自の切り口で解析し、新たな知見を得ることもオリジナリティの源泉となるだろう。学生さんに、能力向上が伴わない繰り返し作業を、精神修行のように実施させてはならない（もちろん、そのような場面も必要であり、良いバランス感覚が重要である）。

コロナ禍で現実的に起きていることは、研究者の「習熟度の立ち上がりがとても遅く」なってしまう、成果もなかなか創出されない状況である。対面が許されないため技術の伝承が制限されている上、研究室での滞在時間も制限されている。現状を克服するには、「スマートな研究環境」を構築し、「スマートに研究する」必要がある。ここでいうスマートとは、研究者が「より多く」刺激を受け、「より創造的」なアイデアを多数創出し、人間は本質的なことに取り組むことである。したがって、狙うべき目標としては、図 1-3-1 から突き抜けてしまうような、「成長を描ける環境」を構築することである。

次に、今後 10 年間で展望する。現在は研究者が、課題設定、実験計画策定、実験、データ解析、解釈、学理構築の全てを行っているが、このプロセスを AI やロボットの助けを借りて加速させる試みはまだ成功していない。現状では、図 1-3-2 に示すように AI とロボットは断絶している。AI がビッグデータから十分な洞察を引き出して研究者を刺激しているか？マテリアルインフォマティクスで予測された物質をすぐに合成して検証できているか？ロボットを使って自律的かつスピーディーにアイデアを検証できているか？と考えていくと、現在は端緒が開かれたばかりである。人間、ロボット、AI が協調して研究を進める仕組みが重要であろう。

これらを改善した 2030 年の姿を展望してみる。ロボットによるハイスループット実験や AI によるマテリアル予測技術を構築することにより、高度化した AI が人間にひらめきや気づきを与える本質を提示してくれるであろう。その気づきをもとにすぐに新たなアイデアを

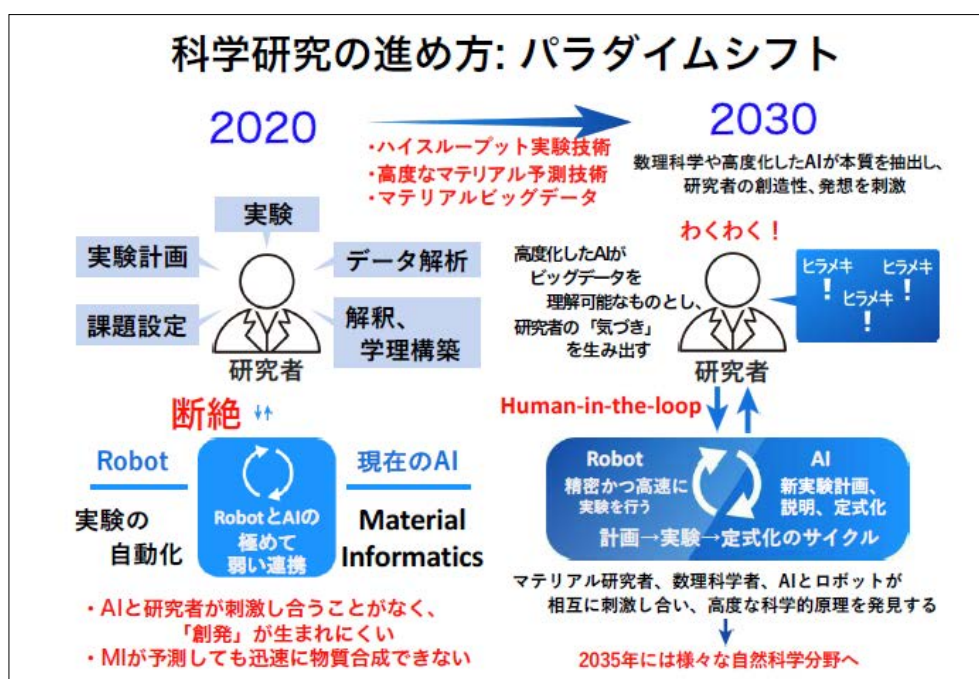


図 1-3-2 人、AI、ロボットが協調した新たな材料開発のスタイル

ハイスループット実験・計算で試し、それが新たなデータとなり、アイデアをまた生み出す。このように研究者（人間）と機械・AIが協調した物質開発のループは Human-in-the-loop と呼ばれている。このような研究の進め方は、コロナ禍を契機として「世界中で加速」しており、強い危機感を覚えている。日本は崖っぷちの状態といってもよい。以下ではニューノーマルの研究開発で考慮すべき視点や課題を3つ述べる。これはコロナ禍に特有ではなく、人口減少が進む日本において、必ず克服しなければならない課題である。

1つ目は、対面での議論や指導がしづらくなり、「暗黙知が伝えづらい」ことである。これまで、人が隣にいて、「沸騰したら止める」や、「反力を感じるぐらい押し込んだら良い」など、暗黙知で教えていたことを、今後はデータ（数値）で全て見せる必要があるであろう（＝デジタル化）。さらに、我々研究者は、視覚、音、あるいは匂い、そういう五感を総合的に用いて研究を進めているので、究極的にはこれらをすべてデジタル化していくということが期待される。

アナログからデジタルへの移行が進んだときに起きることについては、私達は過去に経験がある。つまり、水平統合が加速し、結果としてプラットフォーム化や標準化が進み日本のプレゼンスが下がっていった。このような動きは研究環境の場でも同様であると考えており、デファクトスタンダードを握った強者に富がどんどん集中していくことが非常に心配される。

もう現に半導体製造は TSMC に集約されていき、インテルでさえも最先端半導体を作れない状況が生じている。このような流れがほかの材料にも生じることは容易に想像でき、日本の素材・材料産業にとって大きな課題である。

2つ目はコロナ禍や働き方改革の影響で「ラボにいる時間を極力短く」する、つまり「事前にしっかり予測してピンポイントで実験を行う」という流れである。この実例としてトポロジカル量子物質の開発を紹介する。2000年代中頃から結晶構造データベースを利用して数値計算によるトポロジカル判定が可能となってきた。また、2010年頃からバンド構造のデータベースが整備されることにより判定も容易になり、現在ではトポロジカル量子物質か否かを自動的に判定することが可能になってきている。実験研究者はデータベースの中から興味のある物質を選んで合成するという時代になっており、予測先行で研究が進んでいる。最近の水素化物における室温近傍の超伝導も予測先行である。このような予測先行型の材料開発が様々な材料系に広がるのは確実であろう。

しかし、「物質合成はいまだに人間が行っている」。ここに研究開発の急激なブレーキがある。

3つ目が、遠隔操作・自動的・自律的に研究を進めるということである。つまり、「実験がクラウド化」ということであり、今後、特に、「自律化」が極めて重要になるだろう。自律化することはデジタル化することであり、大量のデータを集め、活用することができる。ここに大きな発展がある。

現在の実験室を考えてみる。人間は試料を実験装置にセットする。処理や測定が終わったら次の実験装置に、人間が試料を運ぶ。人間が定型動作や試料搬送をすることにどの程度、付加価値があるのか強く疑問を感じている。これでは実験の遠隔化・自動化は進まな

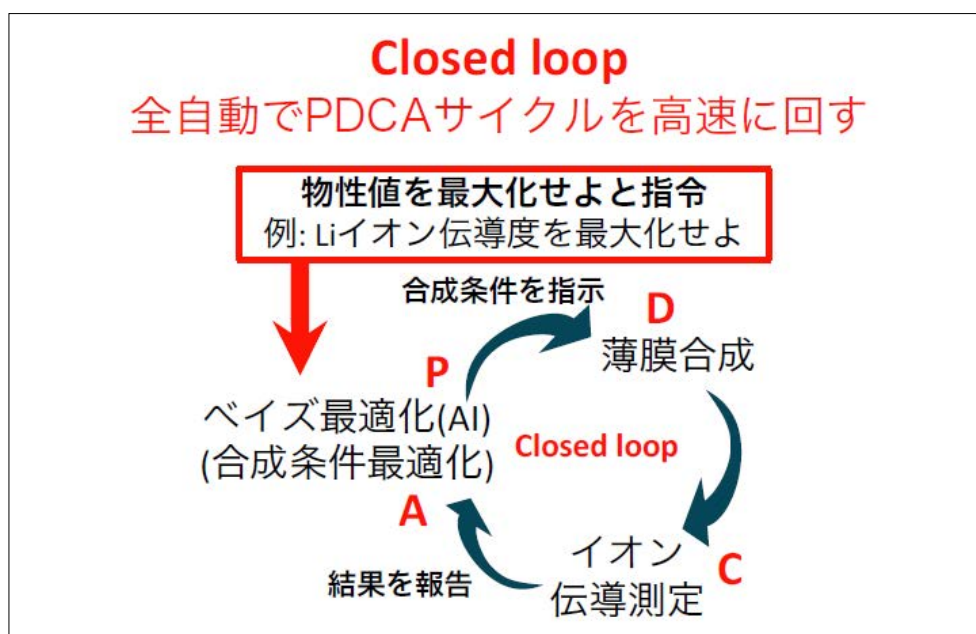


図1-3-3 全自動かつ自律的な物質探索スキーム (Closed loop)

い。また、データも集まらない。これを今後数十年間、学生が続ける必要があるのか。そのような未来は考えられず、「ラボ全体に革命を起こす」必要がある。研究者を実験室に縛り付けてはならない。

自動車の分野では現在 CASE と呼ばれる変革が進んでいる。Connected (コネクティッド)、Autonomous (自動化／自律化)、Shared (シェアリング)、Electric (電動化) を表しており、実験室も同じように全ての実験が中央集中的にコンピューターに管理されるように変わっていくと考えられる。ここでは、我々の取り組みを紹介する。

我々のグループでは図 1-3-3 のように研究を AI とロボットを使って自律的に行っている。例えば、ある物性目標を掲げたときに、ロボットが物質を合成して自動的に評価する。さらにその結果をデータベースとして集約して、機械学習により、次の実験条件を予測する。このような PDCA サイクルを高速に回している。

実際に、合成条件最適化を行う機械学習と、物質合成と電気抵抗評価を全自動で行う機械を統合し、自律的に薄膜合成を行う物質探索ロボットシステムを開発した¹。これにより、人間が介在することなく、自律的に二酸化チタン薄膜の電気抵抗を最小化することに成功した。

2020 年はこのような自律化の動きの転換期になることは間違いなく、現実には世界で研究が加速している。例えば、英国では mobile robotic chemist と呼ぶロボットが実験室の中を動き回って全自動で触媒探索を行う取り組みが進んでいる²。または Self-driving laboratory とよばれる同じく全自動、自律的な実験によって薄膜材料の探索が進んでい

1 Autonomous materials synthesis by machine learning and robotics, R. Shimizu, T. Hitosugi *et al.*, APL Mater. 8, 111110 (2020).

2 A mobile robotic chemist: B. Burger, *et al.*, Nature 583, 237(2020)

る³。これらは一例であるが、研究開発の進め方に大きな変革が起きている。

自動化・自律性（Closed-loop、Self-driven、Autonomous）、最適化（optimization）、実験（experiment）といったキーワードを and 条件で論文探索を行うと、論文数が世界で急増している。また、分野を材料に絞るとまだ論文数は 100 報以下しかないが、2018 年以降急増している。この動向が加速していくのは確実である。

このような萌芽的な動きに対して主導権を持っているのは中国、米国であり、それに日本やドイツが付随している状況である。諸外国はバイオ系を中心とした取り組みが強く、無機材料、固体材料、機能性材料を対象としたアプローチはあまり進んでいない。したがって、日本は今がチャンスである。日本は機能性材料の創製に関して培われた勘、コツ、経験が蓄積しており、ロボット産業も強みを有しているので、これらを統合することにより、今から全力で取り組めば、「材料の分野では十分に勝機がある」と考えている。もう「黒船」は日本に來ている。研究者の意識改革が急務である。

以上の 3 つのポイントは独立しているのではない。実験の自律化を進め、データを活用して高いマテリアル予測能力を獲得し、研究者を刺激する。これにより、研究者は多くの着想を得て「わくわく」しながらすぐに実験を試す。このようなサイクルを高速で回す研究環境の構築が急がれる。場所にとらわれず、家からでも実験が可能となる。

このような研究環境の構築として並行して重要なのは人材育成である。私が所属する東京工業大学では物質・情報卓越教育院を設立し、新たな取り組みを進めている。具体的には、物質科学の専門家でありながら、情報科学を使いこなし、さらに「社会」における課題解決をリードしうる博士人材を育成している。実験系の研究者が情報・数理系の研究室に滞在することによる学際性の促進や、企業に数週間滞在して課題抽出やコンサルティングを行うといった実践力も重視している（プラクティススクール）。これら教育において、企業の役割は大きい。企業の若手が、学生と机を並べて学ぶとともに、企業のシニアな研究者が学生のメンターとなって社会で起きていることを伝えている。

新しい教育のスタイルである。現在、25 社と連携しており、それを 30 社程度とすべく、現在、その会員企業を募集している。

AI 技術やロボット工学の素養も備えた材料分野の人材を育成し、そのような人材が産業界やアカデミアで活躍することにより、日本全体としてのハイスループットによるデータ生成、そのデータシェアや AI 技術による予測精度の向上、そして材料創出という正のスパイラルを創ることが重要であることを強く提言したい。

【質疑応答】

Q：研究環境のプラットフォーム化が進んでいくと研究の標準化や環境への適応性という観点での二極化が進んでいくと考えられる。そのようななかで研究の差別化はどのように図るのか。また、競争力の源泉はどこにあるのか？

3 Self-driving laboratory for accelerated discovery of thin-film materials: B. P. MacLeod et. al., Science Advances Vol. 6, No. 20, eaaz8867(2020)

A: 差別化のポイントとしては、膨大なデータや解析結果からどのように「コンセプト」や「上位概念」をつくり上げるのか、という点が研究者としての腕の見せ所だと考える。人間の強みは、社会の状況や人のつながりを考えた「課題設定」や「大局的な判断」をする点である。そこに競争力の源泉がある。

Q: ハイスループット実験、実験室の DX 化という取り組みを進めると、データの共有・マネジメントルールが問題になるが、戦略を聞かせて欲しい。

A: コンソーシアムを中心としたシェアクローズドという考え方が非常に重要だと考えている。そのコンソーシアム中でオープンにできるところはオープンにし、参画した企業同士が win-win の関係になることが狙いである。さらにより基礎的な部分でオープンにすべきデータは世界のためにシェアしていく。これは NIMS のデータベース機能を活用することを考えている。オープン、シェアクローズド、クローズド、このバランスが非常に重要である。

1.4 ウィズ&ポストコロナにおける研究開発と共用施設・設備支援

小出康夫（物質・材料研究機構）

ナノテクノロジープラットフォーム事業（以下ナノプラ）を通じて実施している共用施設・設備支援事業におけるファクトデータを示した上で、コロナ禍の研究現場ではどうい
う影響があったか、それを踏まえて、ポストコロナにおける研究支援の方向性について紹
介する。さらに、ロボット化、自動化、スマート化に関して、NIMS の取組事例を述べる。
ナノプラは2012年からスタートした10年間のプログラムで、現在9年目にある。ナノテ
クノロジーに関する最先端の研究設備を25法人、37の実施機関が全国的な設備共用体制
をつくっている。微細構造解析、微細加工、分子・物質合成の3つの技術領域で、産学官
の利用者へ利用機会を、高度な技術支援とともに提供している。これまでの利用状況は、
利用課題の件数が年間3,000件弱で推移している。その内訳は大学等アカデミアが65%、
企業が大企業・中小企業を含め30%程度である。利用の形態としては、機器利用が60%
割弱、技術代行と技術補助が30%程になっていて、共同研究が10%程度、そして技術相
談も積極的に受けており2%程の割合でこの8年間推移してきている。

事業のセンター機関を務めるNIMSでは、ナノプラを含む日本全国の共用装置の台数調
査をした。主要設備である超高分解能TEM、フォト&レーザーリソグラフィ、EBリソグ
ラフィ等のクリーンルーム環境における加工設備、NMR、および超高分解能の800メガ
ヘルツ以上の大規模NMR、さらに放射光XPS、FIB/SEMが、公設試、国研、大学、民
間でどのくらい共用装置として提供されているかを調査した。その結果、例えば超高分解
能のTEMでは全国で53台が共用されており、その内ナノプラは55%程を占めている。
フォト&レーザーリソグラフィについては、全国220台弱の中で、45%程をナノプラから提
供している。EBリソグラフィも52台の内50%、NMRからXPS、放射光XPS等々も大
体10%くらいがナノプラを通じて全国展開している。

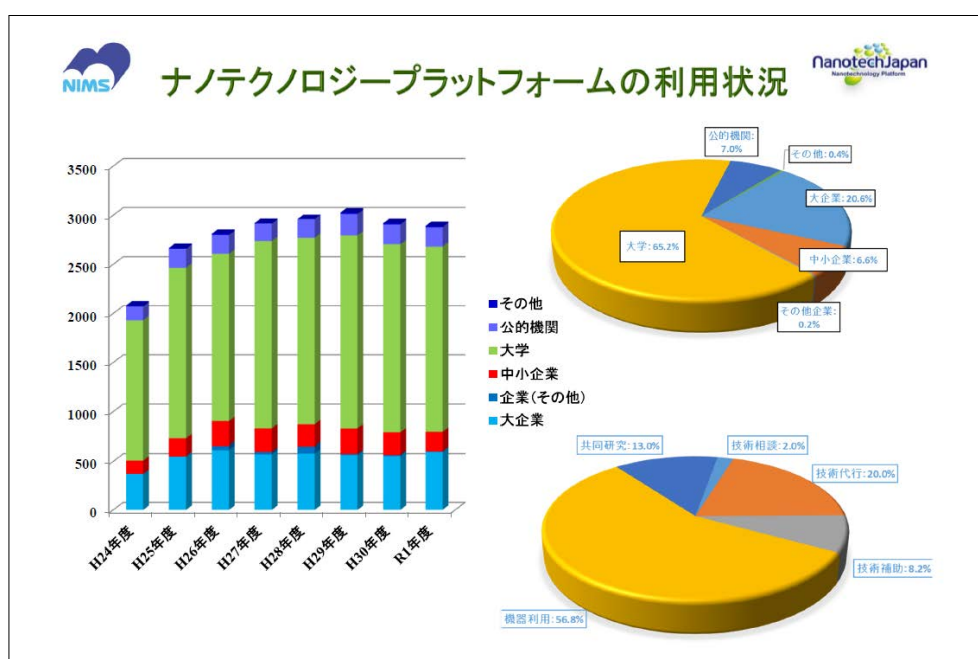


図1-4-1 ナノテクノロジープラットフォームの利用状況

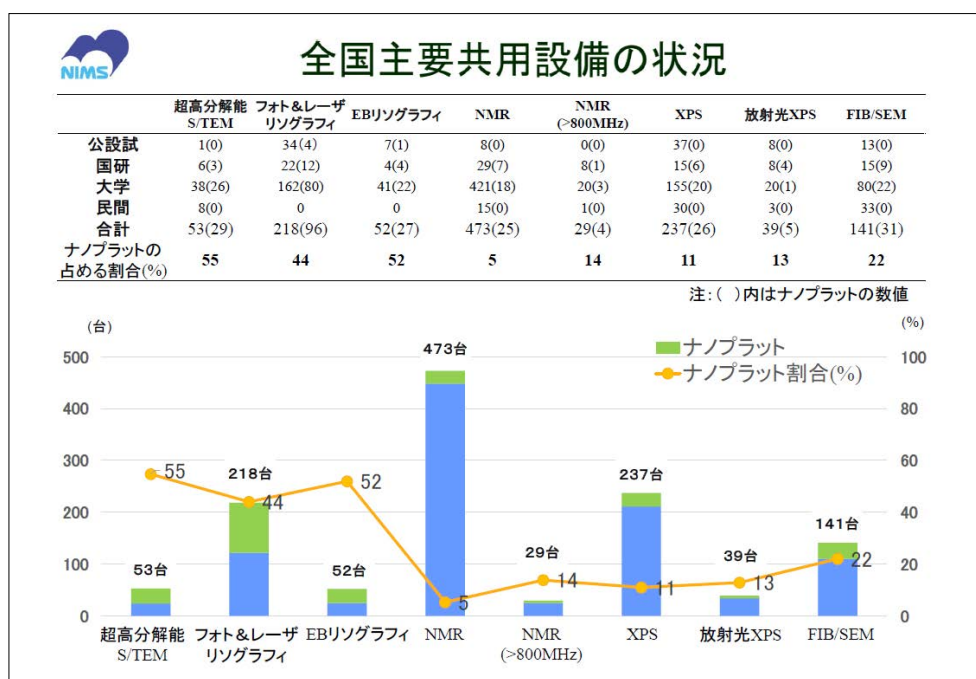


図1-4-2 全国主要共用設備の状況

年間 3,000 件の利用課題を持ち込むナノプラのユーザーがどのような論文を発表しているのかについても調査をした。エルゼビア社の Scopus を用いて解析をした結果、平均で毎年 600 報程の論文をユーザーが発表しており、引用数も年 7,300 件に上る。FWCI という、異なる分野間の被引用率を調整して全世界平均が 1.0 となるような指標を見てみると、ナノプラのユーザーによる論文は平均 1.17 であり、東北大や東工大と同程度の引用数があり、非常にレベルの高い支援をしていると考えられる。

さらに、発表論文の分野を分析すると、2012 年から 2018 年まで約 400 分野の論文があり、物理、化学、化学工学、材料、工学、エネルギー、環境、宇宙、農学、バイオ、医学にわたり、非常に幅広い分野の論文として発表いただいていることがわかった。その傾向は、ナノプラの 8 年間で特にバイオや医学分野で論文を発表するユーザーが増えており、レベルの高い論文が出ている。論文数が 100 以上ある 7 つの分野を表にリストアップしているが、全論文の 26% を占め、注目度というエルゼビアの指標で 100 またはそれに近い、非常に活発な分野である。ナノカーボン関連の研究課題の支援は非常に多く、注目度は 100 に近い。プラズモニクス、メタマテリアル、光触媒、太陽電池、二次電池、リチウムイオン関連の合金材料、鉄鋼分野のオーステナイト、マイクロ構造の解析などが多い。有機 LED、ソーラーセル、コンジュゲートポリマー、ゼオライト、触媒の分野も非常に多い分野となっている。FWCI が高く且つユーザーによる発表論文の注目度が高い、ハイレベルな支援をしていることを物語っている。

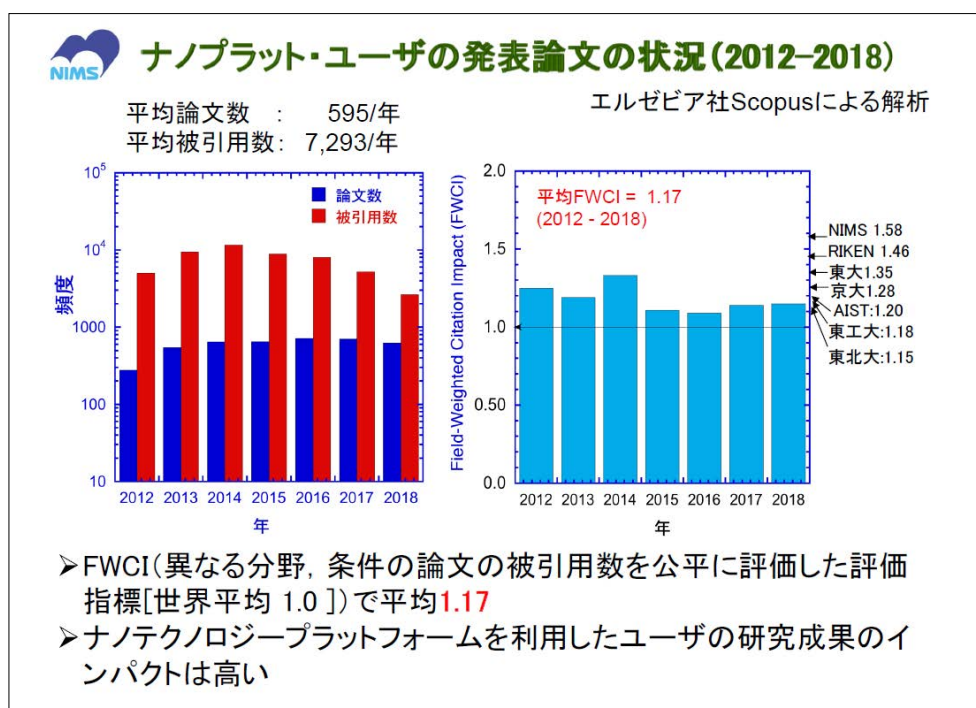


図1-4-3 ナノプラユーザーの発表論文の状況

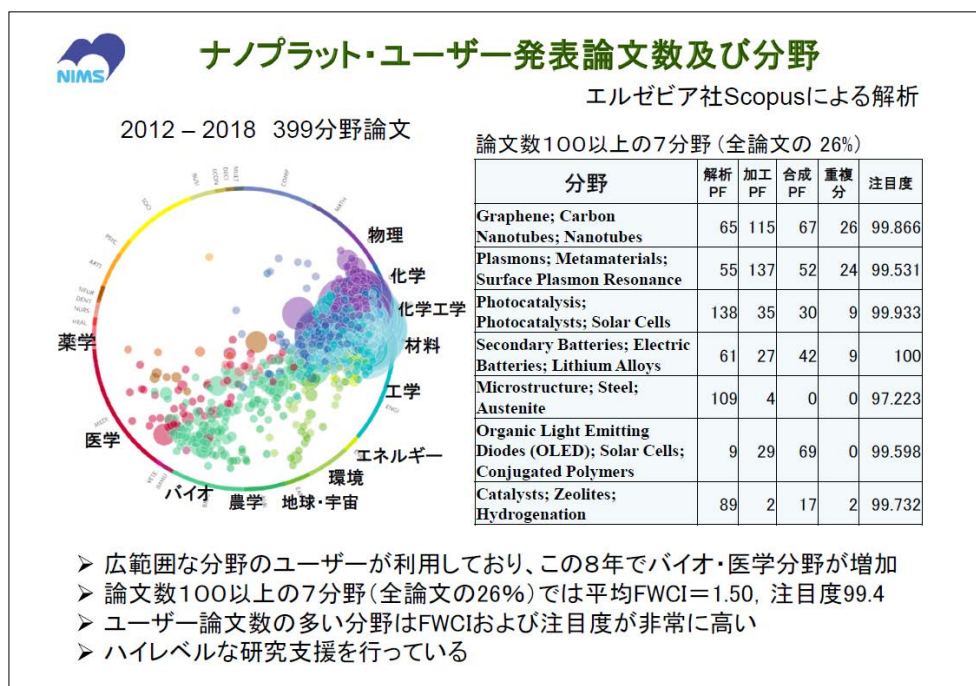


図1-4-4 ナノプラユーザー発表論文数・分野

ナノプラ 25 法人のコロナ禍の対応状況がどうであったかという、全国の緊急事態宣言が出るあたりから6月ころまでは多くの機関で利用を停止していた。一部、技術代行という形で支援を継続できていたところもあるが、やはり技術的なサービスを提供するエンジニアが出動できない事情があった。多くは6月から利用を再開している。



ナノプラット・25法人のコロナ禍対応状況

	実施機関	利用停止期間 (含一部停止)	利用再開 (制限付を含む)
1	千歳科学技術大学	4/14～6/14	6/15
2	北海道大学	4/20～6/1	6/2
3	東北大学	4/6～5/20	5/21
4	北陸先端科学技術大学院大学(JAIST)	5/13～6/4	6/5
5	信州大学	4/24～6/3	6/4
6	物質・材料研究機構(NIMS)	3/27～5/18	5/19
7	産業技術総合研究所(AIST)	4/2～5/18	5/19
8	筑波大学	3/30～6/18	6/19
9	東京大学	3/30～5/31	6/9
10	早稲田大学	4/8～6/7	6/8
11	東京工業大学	4/6～5/31	6/1
12	名古屋大学	4/6～5/31	6/1
13	名古屋工業大学	4/23～5/31	6/1
14	豊田工業大学	3/28～6/7	6/8
15	分子科学研究所	4/10～5/31	6/1
16	京都大学	4/6～5/31	6/1
17	奈良先端科学技術大学院大学(NAIST)	4/13～6/3	6/4
18	大阪大学	4/6～5/24	5/25
19	日本原子力研究開発機構(JAEA)	4/7～6/15	6/16
20	量子科学技術研究開発機構(QST)	4/7～6/14	6/15
21	香川大学	3/31～5/6	5/7
22	広島大学	4/6～5/31	6/1
23	山口大学	(停止はせず※)	※機器利用は県内のみ
24	九州大学	4/7～5/24	5/25
25	北九州産業学術推進機構	4/8～5/24 5/31～6/18	6/19

図1-4-5 ナノプラ25法人のコロナ禍対応状況

今、ナノプラで提供してきた共用事業を今後どう展開させていくかが問われている。1つの指針は文部科学省と経済産業省が6月に公表した、「マテリアル革新力強化のための政府戦略に向けて（戦略準備会合取りまとめ）」である。その様々な施策の一つとして、データを基軸としたマテリアル研究開発のプラットフォーム整備をおこなうべきとされている。データ駆動型の研究開発を推進するために、高品質なマテリアルデータを集めることの重要性が掲げられている。そのとき、既にナノプラで根づいてきている世界最高水準の共用設備体制と、関連する産学官の優れた人材と連携関係を強みとして、マテリアルデータを集めていくようなシステムを設備していくことが重要であると考えられる。当然現場では、デジタル化、リモート化、遠隔化も含めたスマート化とオンデマンド化を進めていくべきである。年間3000件の利用課題があるナノプラは、それだけのマテリアルデータを創出する利用者があるわけで、データを創出、蓄積、流通、利活用されるようなマテリアルDXプラットフォームを整備していくことが重要になる。この土台の上で、圧倒的な生産性向上を図って、データを有効活用するようなマテリアル研究開発のジャパンモデルを確立する方向性が示されている。

これをどう実現していくか。例えば計測評価装置に関する一つの案として、計測装置を統合化して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効率的な循環をつくる。従来の分析複合型装置は単独であったが、ベルトコンベア方式で有機的に試料が自動的に移送されていくようにする。X線解析装置、AFM・SEM、X線光電子分光等々で一連の測定をしてデータをつくり、そしてAI解析をして、次の試料へとつなげていくというような構想が考えられる。将来は10分の1の時間でデータを集積し、次のべ

ルトコンベア方式の自動計測をし、このような一気通貫の計測・解析を実現することが考えられる。

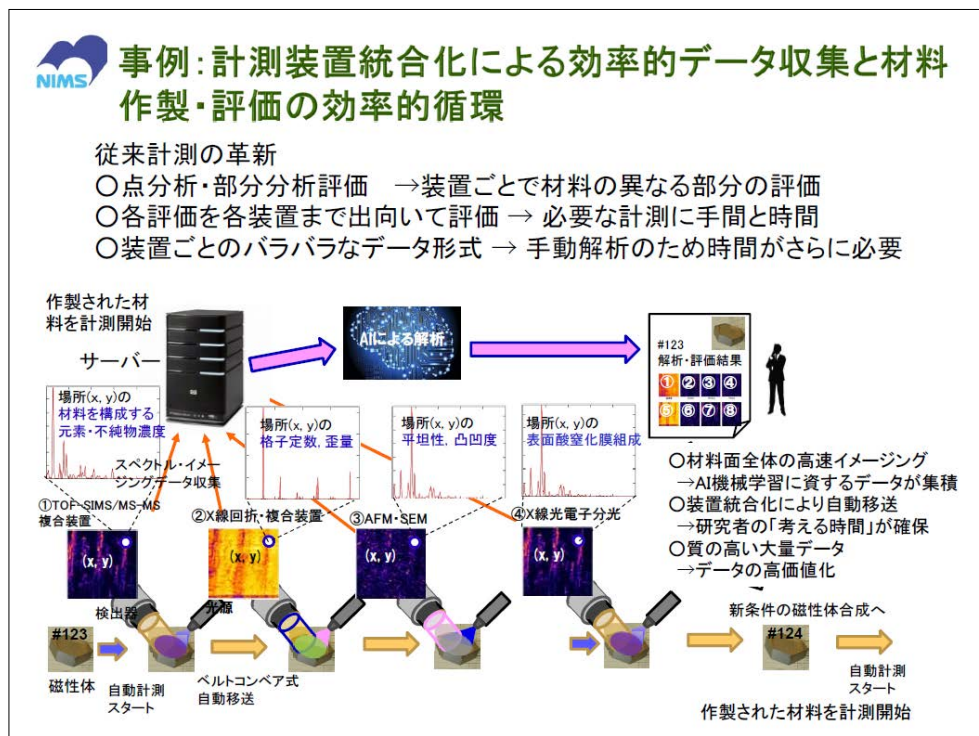


図1-4-6 計測装置統合化によるデータ収集と材料作製・評価の効率的循環

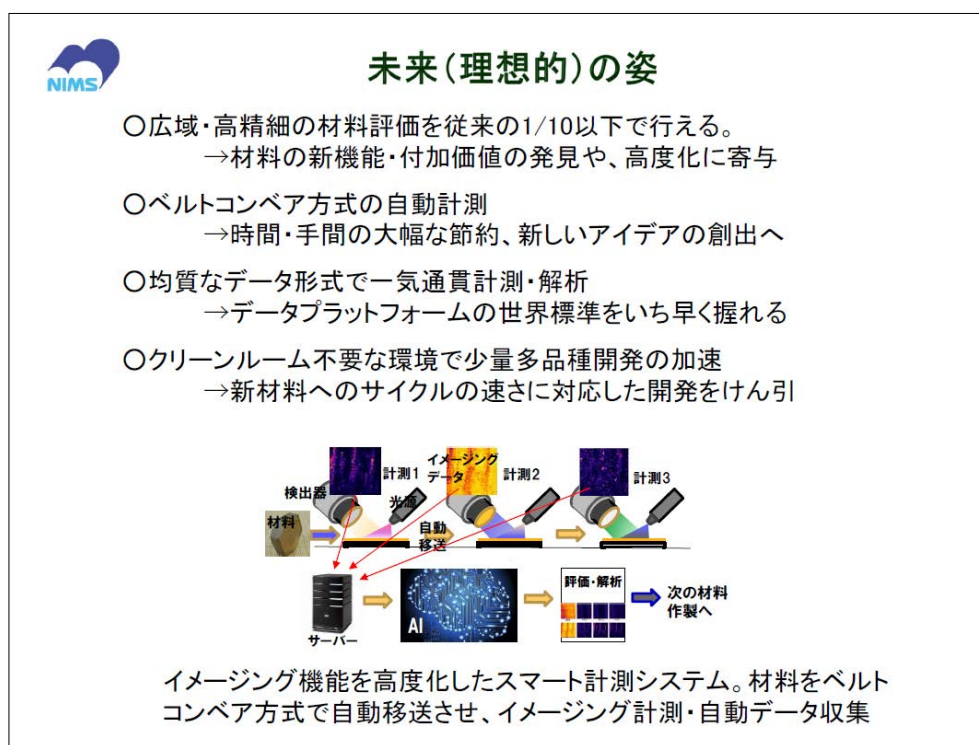


図1-4-7 未来の材料計測・評価研究の姿

もう一つ、NIMS が進めているスマートラボトリ開発プロジェクトがある。匠の技をAIで自動化してデジタルアーカイブをつくり、組織・破面解析、アトムプローブ試料作製などを展開する。モノづくりと計測・解析を有機的に結合させたスマートラボを構築する。

その事例としてまず蓄電池のケースを紹介する。電解液の最適化はトライ・アンド・エラーで非常に難しい。そこにハイスループット探索システムを導入し、測定とハイスループット実験を組み合わせ、1日1,000サンプルの評価を実施できる。

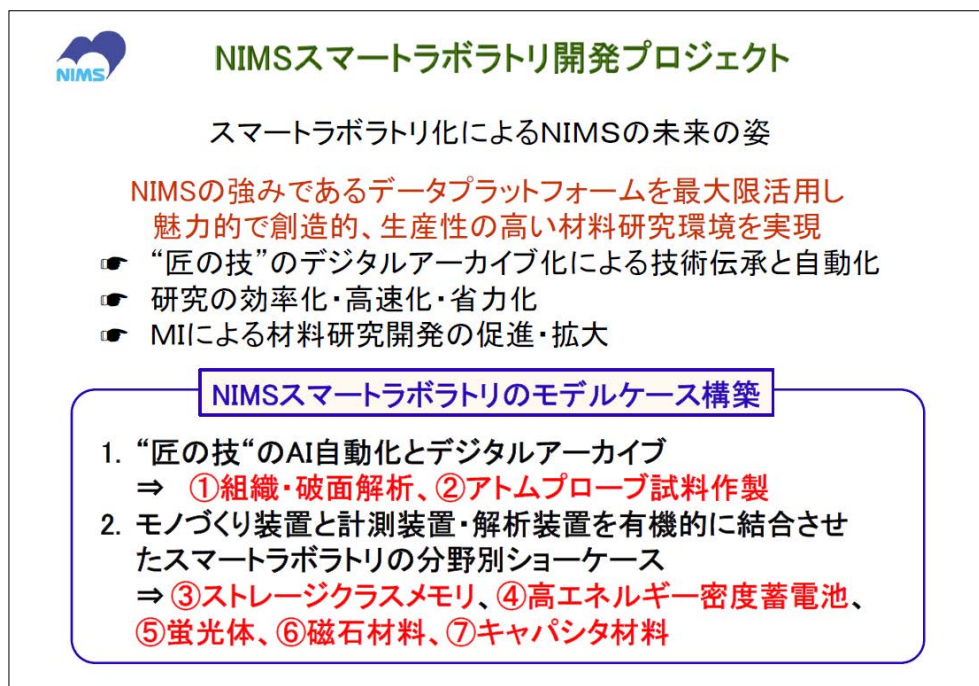


図1-4-8 NIMSスマートラボトリ開発プロジェクト

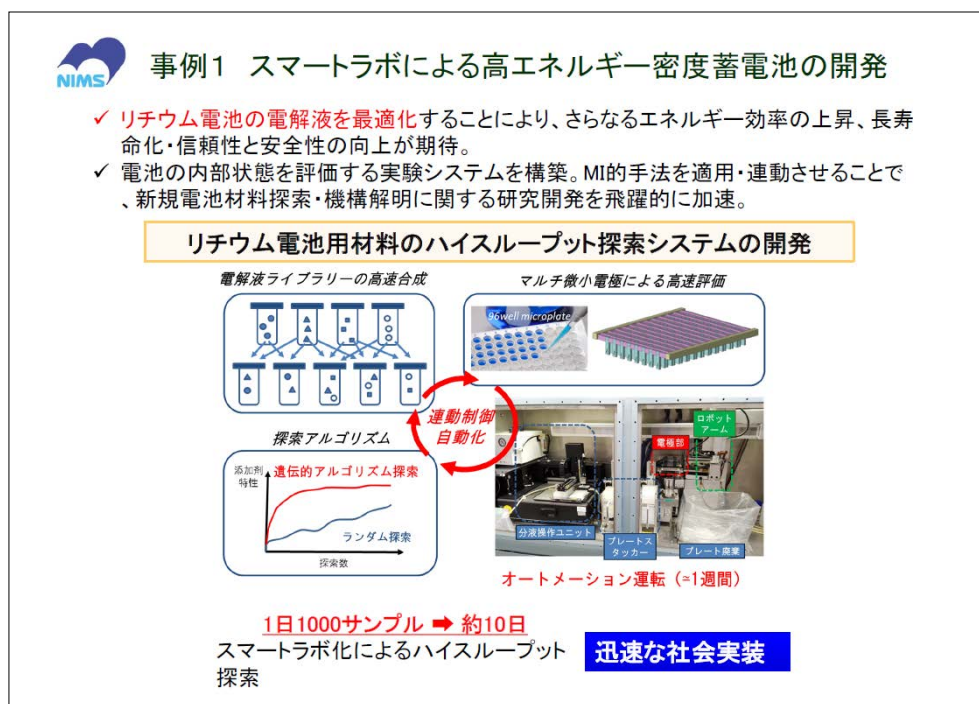


図1-4-9 スマートラボトリによる高エネルギー密度蓄電池の開発

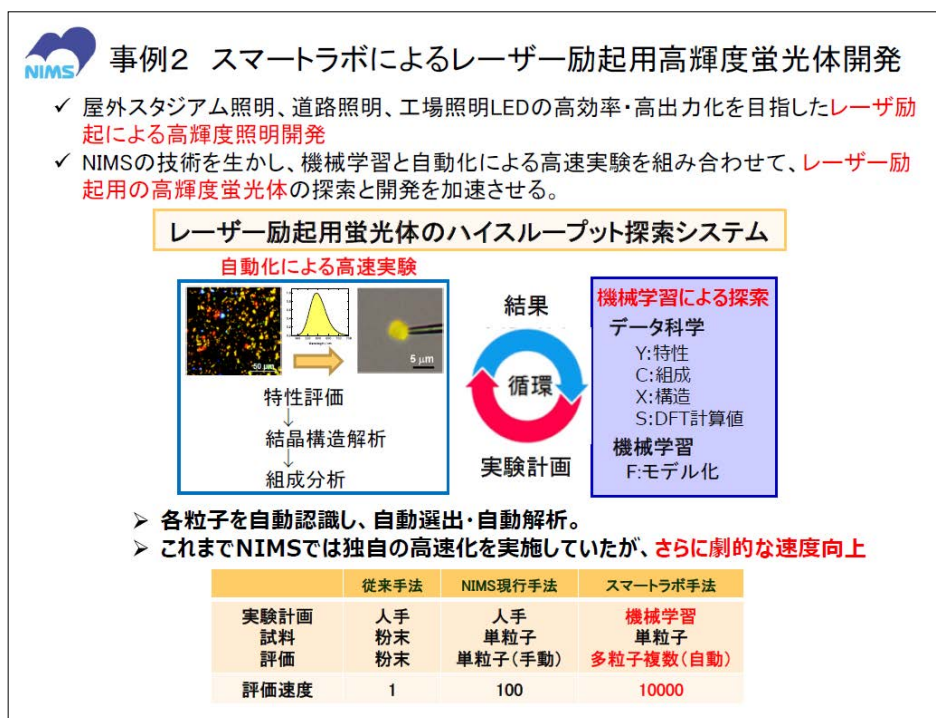


図1-4-10 スマートラボラトリによるレーザー励起用高輝度蛍光体開発

2 例目として、NIMS が力を入れている蛍光体の材料開発がある。野外照明や道路、工場照明用途のために、高効率・高出力なレーザー励起で照明をつくる。そこで用いる蛍光体の開発に、ハイスループットの材料探索システムを使う。ミクロンオーダーで合成した材料を自動的に蛍光測定し、結晶構造解析をして、組成分析をする一連の自動解析測定と、機械学習による組成解析から次の材料予測をするということを既に始めている。

以上をまとめると、研究開発と設備・技術支援の方向性としても、やはりデジタル化、遠隔化も含めたりモータ化、スマート化、オンデマンド化の推進をしなければならない。また、ナノプラを通じた毎年 3,000 件の利用課題があるなかで、データ駆動型材料開発につながるような高品質なマテリアルデータを創出し、集積し、利活用を進めるようなシステムをつくっていくことを今後やっていくべきである。産学官のマテリアルデータが持続的・効果的に創出され、共用化され、蓄積、流通、利活用されるような、新しい形態の事業に進化させていくことが重要であると考えている。

【質疑応答】

Q: 共用事業の利用者からマテリアルデータを得て、それを利活用できるように持っていくというところには、まだ政策的な議論と現場とのギャップが大きいのではないかな。

A: データを提供することに抵抗感のある研究者は多い。データを使ってもいいという形に合意するユーザーは、現時点ではまだ少ない印象。例えば NIMS の微細加工プラットフォーム実施機関の中では、データを機関内でクローズするかたちを検討してきたところ。いわゆるオープンデータ、シェアクローズドデータ、クローズドデータという観念があって、恐らくシェアクローズドの中では、ある程度の理解を得ていくこと

はできるだろう。さらにオープンデータに持っていくときには、オープンの仕方にも議論がある。データ利用の有料化や、AI等のツールも一緒に、他のデータと融合させて新しい解析方法を提供するような、サービスも含めての提供など、色々な形が考えられる。今後検討を深めて新しいかたちを作っていきたい。

Q：計測が自動化されることは非常に良いが、データを使うには、そのマテリアルの素性がわからなければ利用できない。マテリアルの素性をどうやって担保して利活用できる形にすればよいのかについての考え方はあるか。

A：NIMSの材料情報統合部門が専門的に今やっているが、素性がわかるようなメタデータを付与し、合成と計測データをリンクさせる方向で設計している。

2. 新しい生活様式下での教育／人材育成の在り方

2.1 大学におけるデバイス系研究—どう変わるか、変わるべきか—

岩本 敏（東京大学）

本話題提供では、コロナ禍における、特に2020年4月に発出された緊急事態宣言でリモートワークを余儀なくされたなかで、我々の研究室がどのように研究・教育活動を進めたかを報告する。さらにニューノーマルとして新たな研究・教育活動のスタイルに移行するために現在取り組んでいることを紹介するとともに、今後の展望を考察する。

まず我々の研究室の状況に触れる前に、私が所属する先端科学技術研究センターが行ったアンケートを紹介する（図2-1-1）。東京大学は4月初めから5月末まで、活動制限が4段階中のレベル3（制限・大）に設定され、基本的にリモートワークとなった。このアンケートはちょうどそのさなか4月末に行われたもので、必ずしも回答率が高いわけではないが、ある程度研究所の職員が考えていることが反映されているととらえている。

図2-1-1上の円グラフが示す通り、リモートワークがメインになり以前より時間ができたと、感じる方が多いようであった。私個人にとっても、働き方がフレキシブルになったことで、滞りがちだった原稿の執筆が進んだというのはポジティブな面としてあげられる。

一方、左下の円グラフのように当時はほとんど完全にリモートで活動するグループが50%を占め、97%の回答者が8割以上のリモート率となっていた。

右下の円グラフのように、ミーティングについては自粛期間前よりも増えたというグ

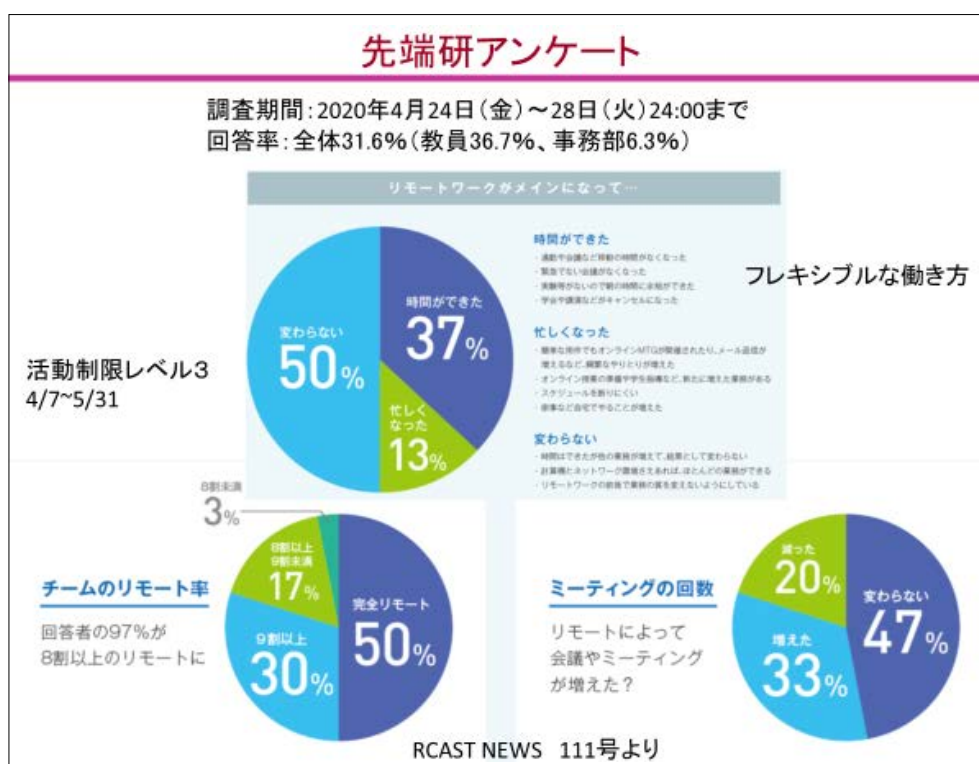


図2-1-1 東京大学先端科学技術研究センター（RCAST）が行ったアンケート結果

ループも相当数あったようである。これはセッション1の議論にもあったように、メンバーの状況把握等も含めてより多くのミーティングが行われたのではないかと想像している。ちなみに、このデータは全て、先端研が発行する RCAST News 111 号に公開されているので、もし興味があれば御覧いただきたい。

また、「今後変えていきたいこと」という点についても調査されており、総じてコロナ禍を機会に研究室の運営方法や教育の在り方というものを改めて考えたいという声が挙がっていた。興味深いのは、オンライン等を活用しながらも、グループのメンバー間、もしくは他の研究仲間との直接の対面でのやり取りが重要であるという意見が多く挙がっていたことである。これは雑談を含めた対面の議論を一定の割合で、きちんと行う必要があるという点で、私も痛感しているところである。

ここまでは先端研のアンケートを紹介したが、ここからは、私のグループの状況、対応等を紹介し、本セッションのトピックである教育についても展望を述べる。

我々のグループは 2020 年 10 月現在で 13 名の学生がおり、研究員も含めるとうち 10 名が外国籍で、多様な文化を持った人たちがこのコロナ禍を過ごすという経験をした。残念ながらコロナ禍で新入生の 3 名はまだ来日できていない状況である。また、他のグループと同様に、コロナ前まではいろいろと対面で集まって行っていた活動をオンラインに移行せざるを得なかった。

イベントという観点では、例年の研究所のキャンパス公開は残念ながら中止となった。研究室としての親睦会、交流会などの内部活動も対面では行っておらず、例えば、毎年恒例のグループ写真も今年は Zoom のスクリーンショットで撮影するなど、なかなか団結感が得づらい状況にあることは間違いない。

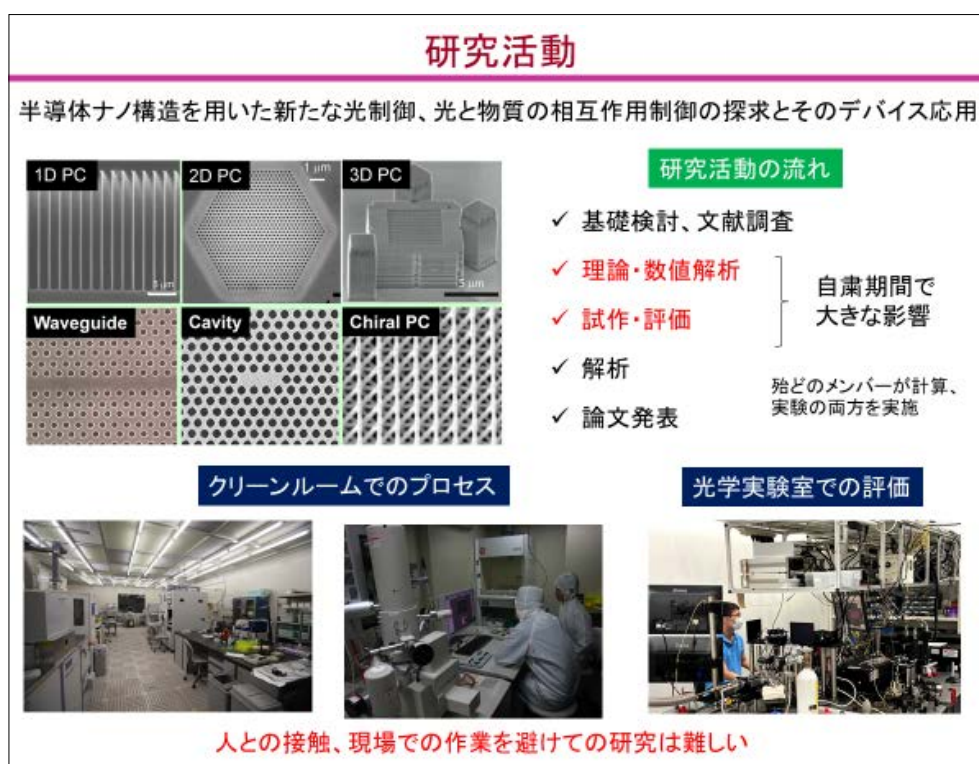


図2-1-2 当研究グループの研究の流れ

研究活動としては、我々のグループは主に半導体の微細構造を作製することで新たな光機能の発現やデバイス応用を目指した研究を進めている。研究の流れとしては、図 2-1-2 のように多くのグループと同じかと思うが、研究計画の基礎的な検討の後に、理論的・数値的な解析を行って、実際に半導体プロセスを使ってデバイスを試作する。その後主に光学的な性能評価や解析を進め、成果を発表するという流れとなっている。

我々のグループは、私の方針もあって、個人ごとに計算だけ、実験だけというように特化せず、ほとんどのメンバーが実験も計算も両方行うというスタイルでこれまで運営してきたが、実験も計算も自粛の影響で進捗に大きく影響を受けた。

図 2-1-2 下はクリーンルームでの実験や光学実験室の様子であるが、作業中はある程度の人との接触が免れないし、やはり現場での作業が研究活動の上では避けにくい。当然自粛期間に入ってリモートワークに切り替わったので、これらクリーンルームや実験室は全て閉鎖をすることとなった。

グループやメンバーとの打ち合わせはオンラインに移行し、Slack を導入してメンバー間の情報交換を行った。

今回 4 月という入学の時期で、新しく来たメンバーが十分なじむ前にリモートワークになってしまったので、交流の場を設けるために Zoom を利用して毎日一定の雑談を行っていた。

このようなオンラインツールによって様々な利点もあったが、以下ではリモートワークで生じた課題を紹介する。

まずは、進捗が芳しくない学生が若干現れた点である。計算系の研究だとリモートワークでもあまり問題がないようにとらえられがちだが、いくつかのリソース、もしくはソフトウェアのライセンスの関係で、必ずしもリモート環境ですぐに実行できるわけではなく、リモートワークとセキュリティとの関係も重要であることを再認識した。

また、オンラインでの議論にも最初はなかなか難しさがあつた。徐々に慣れてきているが、やはりホワイトボード等を使った対面の議論の自由度と比べると制約が生じるのは事実であろう。

さらに、メンバーが顔をそろえる機会がなくなったことで全体の士気が下がったという印象を持っている。互いに顔を合わせることや雑談等から生まれている雰囲気は想像以上に重要であったことを私自身再認識した。

教育面ではセッション 1 で藤ヶ谷先生が指摘された通り学生のモチベーションの差が今まで以上に大きく開くという現象を体験した。在宅ということもあり、生活リズムの乱れや精神面の影響など、そのあたりのケアは難しい課題であったととらえている。

また対面でないと指導が難しい領域もあり、このあたりをどのようにデジタル化していくかが今後の課題であると感じている。

総じて、自粛の間で分かったことは、研究者の経験によって、どれだけうまくサバイブできるかが違うということである。研究員や博士課程の学生など、ある程度研究経験を積んでいる人たちは、自律的に研究を進められていたが、新入生を含め研究歴の浅い学生にとっては、かなり大変な時期だっただろうと振り返っている。

研究室としては 6 月 1 日からリアルも含めての活動を再開し、感染対策に努めながら本

日まではほぼ定常状態に落ち着いている。

クリーンルーム等も運営が再開されているが、クリーンスーツは個人管理に切り替えたり、使用済みの手袋やマスクの廃棄は注意深く取り扱ったりというように感染防止対策に努めている。

全体の打合せはオンラインを継続しているが、少人数のテーマごとの打ち合わせ等は、対面も併用しながら進めている。講義に関しては、オンラインが継続されている。

以下、研究教育環境の変化のよかった点をあげる。感染予防対策の一環で、各メンバーの予定表や活動実績をきちんと記録するようにしており、各メンバーの活動の様子がよく把握できるようになった。また、研究室を再開できたことによって、やはりメンバーの活気が戻ったなというのは強く感じている。特に、実験ができない、あるいは時間が限られることが多かったことで、より計画的に実験するようになったメンバーが増えたことは思わぬ副産物であったと振り返っている。

一方で以下は今後の課題として解決していくべき点を紹介する。

例えば、研究室へ来ることをなかなか促しづらいこと、より臨場感のあるオンライン会議システムの必要性などを感じている。仮想のホワイトボードを共有した会議ツールなどもあるが、ネットワークの帯域やトラフィックの問題も指摘されており、そのようなデバイス・サービスの開発をさらに進める必要があると感じている。

また、学会もオンラインに移行しているところが多くあるが、今までのリアルな学会と異なり、新たな人的ネットワークの形成や議論を通して新たな着想を得ることが難しくなっていると感じている。オンラインを活用しつつ、議論の機会をどのように生み出すのかという点で学会の在り方には注目している。

我々のグループの独自の課題としては、先ほど紹介したように新入生が来日できない状況がある。授業はオンラインで受講できるが、実際の研究はなかなかスタートできない状況が継続している。

我々のグループは、情報のデジタル化はあまり実際進んでいなかったが、プロセス技術、機器の利用法、計算ノウハウ等のデジタル化を進めないといけないということを強く感じていて、徐々に対応を進めている。

最後となるが、我々のようなデバイス開発を行う研究室が今後どのような運営体制を構築すべきか、極端な例も含めて幾つか可能性を紹介したい。

1つはファブレス化の方向性である。近年ラボレベルでもファウンドリサービスが利用可能になっており、デバイス作成を外部委託することでクリーンルームでの接触を防ぐことはもちろん可能である。一方で、これまで培ってきたユニークな技術を手放すことにもなるため、研究内容の差別化をどのように図るのかというのは重要な検討点である。また、半導体プロセスを理解した人材の育成ができなくなることも課題であろう。

2つ目は技術代行で、クリーンルームの技術職員に技術を代行してもらうという可能性はあると考えているが、十分なマンパワーの確保が難しいという課題がある。

3つ目はプロセスや計測の自動化という方向性である。ある程度装置の改造で対応でき部分も多いであろうし、実験自体はコンピュータ制御でかなり自動化できるようになっているので、これから大きく進展していく部分だと感じている。

一方で、我々の研究室では光学系や測定系を一から構築したり、組み替えたりすることが多いが、これは現時点では人間しかできない、機械化・自動化は難しい状況である。

4つ目は分業化という選択肢も考えている。計算の人は計算の人、実験の人は実験の人というのもあり得るかと思うが、個人的には、教育上の観点から、学生に自身で全ての工程を体験してほしいと考えている。

大学の教育機関としての側面からは、オン・ザ・リサーチ・トレーニングの機会をいかに確保するかを検討しないといけないと強く感じている。残念ながら、今ではまだオンライン講義や学会が続いているため、リアルな議論で得られる知識やアイデアの獲得や人的交流の場を提供することが難しい状況であるが、特に若い学生に対して、これらの機会をいかに提供するかが重要であると感じている。

関連して、学会の在り方も今後変化していくと感じている。いわゆる総合大会的なものはオンラインで、もう少しローカルに密な議論をするのは現場でやられるような、階層構造を持ったハイブリッド構成になっていくのではないかと想像する。

コロナ禍を契機にナノテク・材料分野の学生離れが加速することも懸念されており、興味を持っている学生にしっかりと研究機会を提供する必要が最も重要であると感じている。

今進んでいる変化を維持しながら、やはり大学で勉強した、研究したと感じられるような場を提供していくことが大学としての責任であろう。研究室のメンバーと接する時間が増えたなど良かった点をしっかり維持しつつ、新しい研究室のスタイルを今後も模索していきたい。

【質疑応答】

Q: 材料デバイス系の研究室で、同じような課題を抱えているということがよく認識できた。3名の外国籍の方が来日できていないというお話だったが、研究・教育への参画状況はどのようになっているか。

A: 授業については、オンラインで受講できる。研究室の打合せや週例の論文紹介は、オンラインで行っているので参加可能である。あとは、随時 Zoom 等で打ち合わせしながら、簡単な数値計算等から研究を始めてもらっているというような状況である。

Q: 光学系の構築・アラインメントというのは非常に大変で、これをオンラインでやることはほとんど不可能だと思うが、特に新しいメンバーにどのように教育しているのか。

A: 光学系の部分は実際悩ましい。ある程度自分で苦勞もしながら、先輩にも教えてもらいながらやらざるを得ないので、ここはちょっと人数を限りながら、じかに教えるという取組を今やっている。すべてを自動化するのはかなり難しいという点は賛同する。

Q: 一番深刻に感じたのは、材料を目指す学生が減少するのではないかと懸念である。踏み込んだ対応策や意見があればお聞かせいただきたい。

A: コロナ以前からの傾向であり抜本的な対応策というのはなかなかないが、少なくとも我々のグループにきた学生をきちんと育ててあげるような接し方、あるいは研究の機会をできる限り提供したいということを心掛けています。また、若い時の経験が研究の

センスにつながると思うので、実際に手を動かしてもらうことも重視して取り組んでいる。

2.2 実験を伴う研究室における教育形態の模索： ICT と座学とコミュニケーションの重要性

長谷川 美貴（青山学院大学）

私たちの研究室は化学・生命科学科に所属し、私はマテリアルケミストとして主にコンセプトを持った分子をつくる仕事をしている。具体的な目的は発光現象と分子の設計、あるいは分子の特性を知るためにスペクトル解釈をすることで、レアアースを組み込んだ錯体を研究対象としている。合成とスペクトル測定さらに精密な構造解析が必要であり、研究室ではこれらの実験のトレーニングをしてから個々の課題を始めるのが例年の流れである。ここでは、コロナ禍における本研究室において取り組んだことを中心に、現在受け持っている各講義の取組、改善と挑戦について話題提供したい。

私たちが扱っているレアアースの発光体は、非常にシャープなスペクトル形状を有し「色純度が高い」と表現される。図 2-2-1 に示すような、ユーロピウム (Eu)、テルビウム (Tb) などの金属そのものの発光が、希土類の発光の特徴である。例えば赤く光る Eu と緑に光る Tb を混ぜると、発光色が混ざり黄色の発光を確認できる。これはセキュリティインクなどに既に応用されている。

本研究室では、イオン液体に溶かす、触媒に使うなど、より多様な研究を展開している。また、表示材料を目指して分子にヘリシティを持たせる研究も最近行っている。この有機合成は非常に難しいので毎年年度初めには合成技術のトレーニングも行っている。

更に、分子を結晶化せずに秩序を持たせる膜化にも挑戦している。私たちの系では、通常は四方八方に広がる光に、「直線偏光発光」という特徴を持たせることが可能となる。図 2-2-2 に示す写真はたった 5 層の分子膜だが、目で見える程強く発光している。これは希土類が非常に少なくてもよいということを意味し、省エネルギー化による新しいセンサや表示材料への応用に向けた研究にも注目されている。

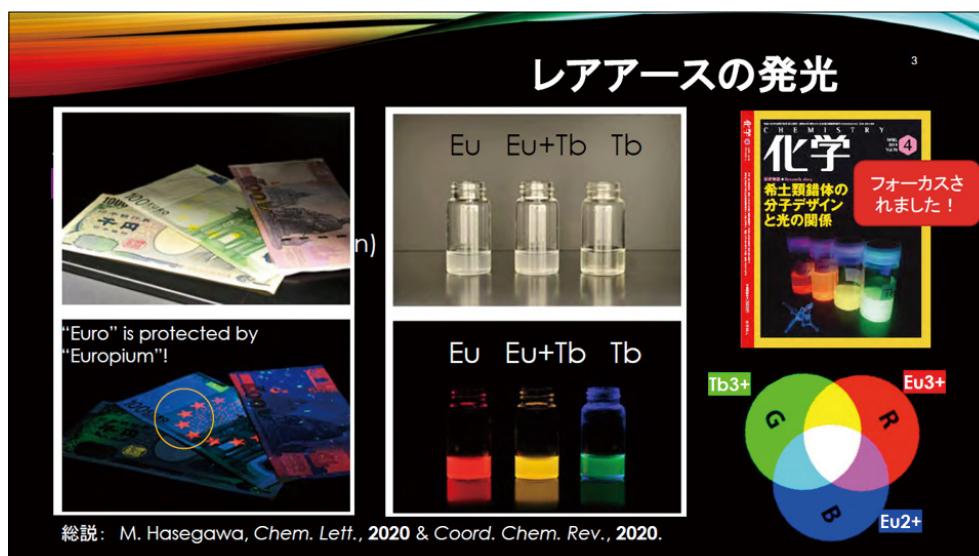


図2-2-1 希土類の発光

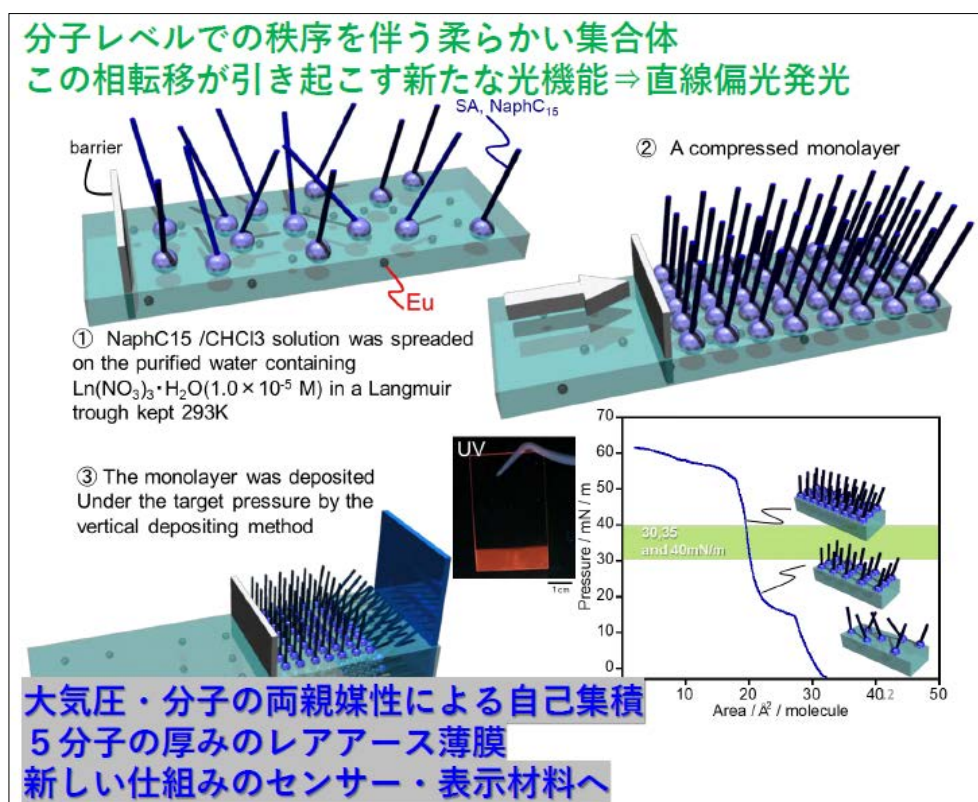


図2-2-2 直線偏光発光

有機合成をしっかりと行い、希土類のスペクトルの解釈について十分に理解してから実際の研究に臨む必要があるが、今回のコロナ渦においては2か月以上圧縮して実験準備を行っている状況にある。以下、6月のロックダウン解除以降の具体的な取組を紹介する。

まずは、物理的な予防、接触時間の短縮、基礎体力の維持を試み、感染予防と学生のモチベーションを両立するための工夫を行ってきた。本研究室では、健康・安全・安心を第一に、その次に研究・教育活動、最後にコミュニケーションをモットーとして掲げているが、今年はコミュニケーションの優先順位を上げ第二のモットーとし日々心がけている(図2-2-3)。

また、スタッフ間もなかなか直接話せず、意思疎通ができない部分も見えてきたため、密な情報交換を心がけている。加えて、スタッフと研究室にまだ来たことがない4年生との間に、大学院生をトランスレーターとして同席させ、大学院生にもチーム内の役割を担ってもらうよう取り組んだ。

更に、共同研究先とも話し合い、実際にウェブシステムを使ってメキシコと日本の2つの研究室でセミナーを開催した。ちょうど地球の反対側に位置し時差が大きい、英語が母国語でない国同士、非常にアットホームな研究会が実施できている。どの国も同じ苦しい状況だが、励まし合える関係性が構築できつつあり、特に修士課程の学生が話をしたいと率先して参加しており、良い機会を得たと考えている。現在はスペインの研究室が加わり3か国間のセミナーに発展している。

その他、私たち自身のモチベーションを保つような仕組みもなるべく断らずに取り組んでいる。例えばCHEMSTATIONという非常にオーソライズされているサイエンスコミュ

長谷川研究室の2020年度

感染予防と学生のモチベーションを両立するための工夫

- **物理的に予防**（マスク50枚、フェイスシールド、デスクパーティションを各自に配布、設置）
- **接触時間を短くする**
電車ラッシュ時を避けた登室・帰宅
Monday：全員在宅ワーク（ゼミ）
登室：3チームに分けて曜日交代制
- **基礎体力を維持する**
- **スタッフ間の密な情報交換**
- **大学院生を連携の基点とする**

2020年度版

長谷川研 3つのモットー

- ・ 健康&安全&安心
- ・ コミュニケーション
- ・ 研究、教育活動




一括して参考資料を通販で購入し、学生の自宅に郵送

図2-2-3 研究室における工夫

その他の持続的な研究教育観や環境・モチベーション維持のための取り組み

- ・ Web会議システムを使って個別面談
- ・ SNS等を使って就職相談
- ・ Web会議システムを使ってシンポジウムへの参加
- ・ Web会議システムを使って学会発表・参加

Youtubeで配信中。

933 回視聴・

2020年4月開始 隔週火曜日
朝日小学生新聞
"ハセミキ先生の科学なぜなぜな～ぜ???"
LINE 朝日こども新聞登録で購読可

2020年5月10日
CHEMSTATIONでの基調講演
生配信は世界中から2000名が視聴。
現在Youtube配信中。




図2-2-4 モチベーション維持のための取組

ニケーターの集まりがあるが、そのバーチャルシンポジウムにおいて招待講演を行った(図2-2-4)。

この同時配信時には世界中から 2,000 名以上が視聴していた。現在 YouTube で配信されており、数日前には視聴回数が 1,000 回に届くところとなっていた。皆が共通に学習できる新しい形の場の提供として、このような機会は非常に有り難く感じている。

その他、例えば小学生に対して、家の中でこういう実験をしたら楽しいと伝える場も持っている。コロナと全く関係なく始まった企画だが、朝日小学生新聞の隔週火曜日に「ハセミキ先生の科学なぜなぜな～ぜ???'というタイトルで発信している。私の気づきからわくわくする日常の科学を子供たちに伝えるものである。

次に、講義について紹介する。前期に 4 科目講義、1 科目学生実験、後期に 3 科目講義

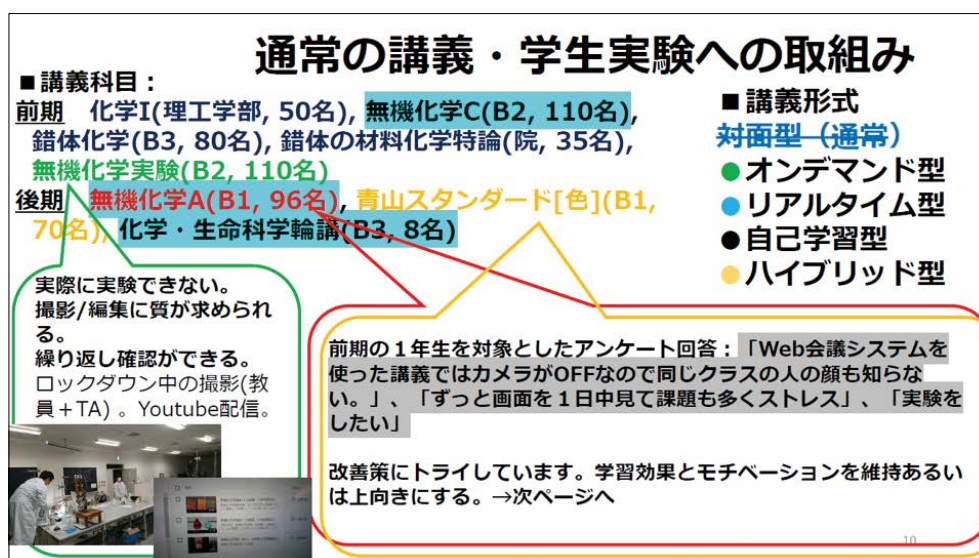


図2-2-5 講義・学生実験への取組

を担当している。本学はオンデマンド型、リアルタイム型、自己学習型、ハイブリッド型の講義形式を取っており、後期も対面型の授業は実施していない。学部2年生110名が受講する学生実験の無機化学実験では、実際に実験ができないという状況だったため、ロックダウンの最中に教員と大学院生若干名が大学に出向き撮影し、YouTubeを介して限定公開で配信した(図2-2-5)。

前期の1年生を対象としたアンケートでは、「ウェブ会議システムを使った講義ではカメラがオフで同級生の顔もわからず孤独」「画面を一日中見ていて目が痛く、課題も多くてストレス」などの回答があった。教員側もきちんと教育をしたいという思いが強く出てしまい、時間の短縮や課題の頻度を下げよという指示が大学から出る程の状況だった。また、やはり実験系の学科にいる学生からは「実験をしたい」という希望が多く聞かれた。

無機化学実験の準備でも感じたことだが、撮影や編集に非常に苦労した。時間がかかり、ライトの当て方や編集時間の検討等、かなりの経験が必要だということが分かった。

そこで一番私たちがやりやすいこととして、図2-2-6のように、後期の1年生の講義(無機化学A)では、グループワークを適用してみた。受講者96名をウェブ会議システム内で6チームに分ける。相模原市淵野辺に私たちのキャンパスがあるので、頭文字をとってSGMFCNという16名ずつ6個のチームを作った。

成績には無関係だが、自分たちが学習して楽しんだ証を後輩たちに残すことを目的とするものである。元素の周期表を学ぶ授業でもあるため、各チームで数種類の元素を調べ、資料として提出してもらう。表現法を調整した後に、私たちのホームページに周期表をつくり、ある元素をクリックすると彼らが調べたものが出てくるような仕組みをつくるということを考えた。本試みにより、わくわく感の持続、モチベーションの維持が期待できると非常に強く感じた。

現在2回目のグループワークが終わったところだが、学生間には想定していたような温度差がある。様々な理由でカメラをオンにしないケースもある。一方でカメラをオンにす

無機化学A(B1, 96名)

グループワークの適用 6チーム（16名）

■目的：グループワークを通じてコミュニケーションを養おう。成績にはかかわらない。コロナに負けない、自分たちが学習を楽しんだ証を後輩たちに残そう！わくわく感の持続。

■実際の課題：各チームで3～5種の元素について調べ、資料としてまとめる。

■プレゼンテーション：教員と最終的な表現方法を確認後、長谷川研のホームページに掲載。周期表の元素を指定すると成果にリンクし内容が読める仕組みを成立する。

■現在、2回目が終わったところ：チームごとのルール作りから。

2. クラスメートに会おう！

今日は顔合わせですが、ちょっとお出かけの気分、シャイなあなたも笑顔でカメラON！え、青銅片羽けなやさん、そんなと気にしない、気にしない！あなたの笑顔しか皆見えなさい！



SAGAMIHARA FUCHINOBE

記念写真 9割以上がカメラON！（私の講義は出席を取りません）



図2-2-6 グループワークの適用

るのは当初恥ずかしかったものの、実際一度オンにしてしまうと予想以上に楽しいという反響が多くあった。

文系も含めた学部の授業も後期は行っている。「青山スタンダード『色』」という科目である。「熱」「毒」など色々な科目があり、3人以上の教員がオムニバス形式で行う授業である。この授業は物理学と生理学と化学の立場からの3名の教員が担当するオムニバス形式で、私は「色をつくる」という化学の立場からの講義を担当をしている。例年は、毎回演示実験をしたり、実際に自分で手作りの分光器でスペクトルを眺めるなど体験してもらい、自分で見るとこれほど楽しいのかと実感してもらう授業である。

今年度は履修定員を例年の半数70名に限定し、その分の予算を使って実験キットを用意し受講者全員に郵送した。オンデマンド型講義、場合によってはリアルタイムの講義をしながら、できるだけ自宅でできる実験の機会を与えようという試みである。現在は郵送が終わり、次週から実際に実験をしてもらうところで非常に楽しみである。

この準備には研究室の学生が協力してくれた。経費削減のため、何種類もの非常に大きなフィルムを小さく切り全部袋詰めしてくれたのだが、全員が楽しんで手伝ってくれたことが非常に印象的であった。

最後に、この6か月間の私の気づきをまとめた。まず技術習得以前に、興味や挑戦したいという意気込みが学生にはあり、これが学習や研究活動の源になると感じた。加えて、学生間のコミュニケーションがないと授業における情報が偏り、特に1年生は孤独と不安の中で学習効果やモチベーションの低下に繋がるとみられた。人との会話が苦手になった等のアンケートもあり、総合的に様々な心配に繋がる可能性があることが分かった。

一方で、メキシコやフランス、イタリアなどとの研究交流を通じ、ICTの発展と国内外の理解があり、インフラが安定な時代になっているということに今回気づかされた。画面を介したface-to-faceに対して、徐々に皆が慣れ安心して近くにいるような気持ちで本音を話すことができるようになり研究が進むという段階に入ってきたような印象を受ける。その他、学習の場の多様性も感じた。実際にオンライン授業中に教員が講義の参考になる動

A：前期は時間に余裕がなく、授業ツールに不慣れだったこともあり、現状実現できていないが、いずれ準備できればと考えている。教員が実験室で実験をして色が変わる様子を撮影をして、それを授業中に流して説明をするなど、デジタル教材を活用することは行った。

Q：face to face のコミュニケーションに言及されていたが、チャット等の文章上でのコミュニケーションは利用していないのか。

A：チャットも非常に活用している。20 名程度であれば顔を出してもらうこともあるが、50 名を超えるとネットワークの接続が不調になる場合があり、チャットを活用している。

C：この時勢により、ものづくりをする人が減ってくるのではという課題もあるが、今回のように身につけたウェブ配信の技術により、ウェブ授業・ウェブ実験を高校生や中学生など若い世代に広く見せることができれば、ものづくりの魅力を伝えられるという側面もある。

2.3 ニューノーマルでの大学院生と若手研究者 ～ポストコロナ時代へのデジタル化教育と研究～

本間 格（東北大学）

最初に東北大学全体のニューノーマル下での状況について説明し、その次に私自身の研究室で起きたことを紹介する。

東北大学では4月7日にBCPがレベル2になり、学生は全員自宅待機で実験もできなくなった。4月中旬にはBCPがレベル4になり、教員、事務の職員もほとんど大学に出てこない状況になった。そして、4月20日から授業が全てオンラインで始まった。その後、5月末に緊急事態宣言が解除され、6月1日にBCPがレベル2になり、例えば私の研究室では週1、2回は学生が研究室に出てきて実験を始められるようになった。7月1日にやっとBCPがレベル1になって、ほぼ元の通りに研究室で活動できるようになった。現状は3密を避けながら、実験をおこなっているという状況である。この間、大学の業務には大きな変化があった。例えば、これまで大学院の入試というのは対面や筆記で試験をやっていたが、オンラインで推薦入試をやった。また、一般入試も遠方から受験する学生は来られないので、オンラインで、問題をその時間に配信して解かせた。9月に入って大分緩和され、2学期からは授業を対面とオンラインのハイブリッドでおこなっている。

この半年を振り返ると、大きな変化があり、特にデジタル化が急速に進んだ。例えば講義はオンラインとレポート提出でやっている。私の講義は大学院の学生120人くらいが聞きに来るが、まだ一度も会ったことがない。また、大学の重要な業務には入試、学生指導、学位審査などがあるが、全てオンライン、あるいは一部がオンラインになった。学位の授与式はライブ配信、今年度の入学式は中止になり、大野総長のメッセージがホームページに掲載されただけで終わってしまった。その他、教員の評価や採用人事などもオンラインでおこなった。教授会や委員会、ワークショップ、その他企業との連携活動などもオンラインということで、半年間ほとんど、あまり人と会わないで業務をこなしてきた。

また、海外との関係も変わってきた。海外の大学もオンライン授業になっており、例えば、東北大多元研では北京科技大の授業を受け持っていて、昨年度は私も北京まで出張して講義をおこなったが、今年度は全てオンラインで、各回1時間半の授業を日本から配信することになった。物理的な移動がなく、経費も削減できて楽になった面もあるが、向こうに行けないのでface-to-faceの交流ができなくなってしまった。また、海外の大学では教員採用審査の際に模擬授業や模擬セミナーを課し、応募者は当地に行って実際に学生に授業をおこない審査を受けるが、今はそれも全てオンラインでおこなわれている。

このような状況にあって、東北大学はコネクテッドユニバーシティ戦略というのを打ち出した。本戦略は3つの基本方針からなっているが、本ワークショップに関係があるのは、基本方針の1番目「サイバー×リアル融合 DXの加速的推進」であるので、それに関連する状況を報告する。

まず教育の状況は、県外に滞在している学生が2,700名いるので、オンライン授業をやらざるを得ない。したがって後期の授業も基本はオンライン、それに加えて対面という、ハイブリッドのスタイルでやっている。大きな問題点として、3密アルバイトが禁止されたために生活困窮学生が大幅に増えてしまった。東北大学全体で学部生と大学院生を含め

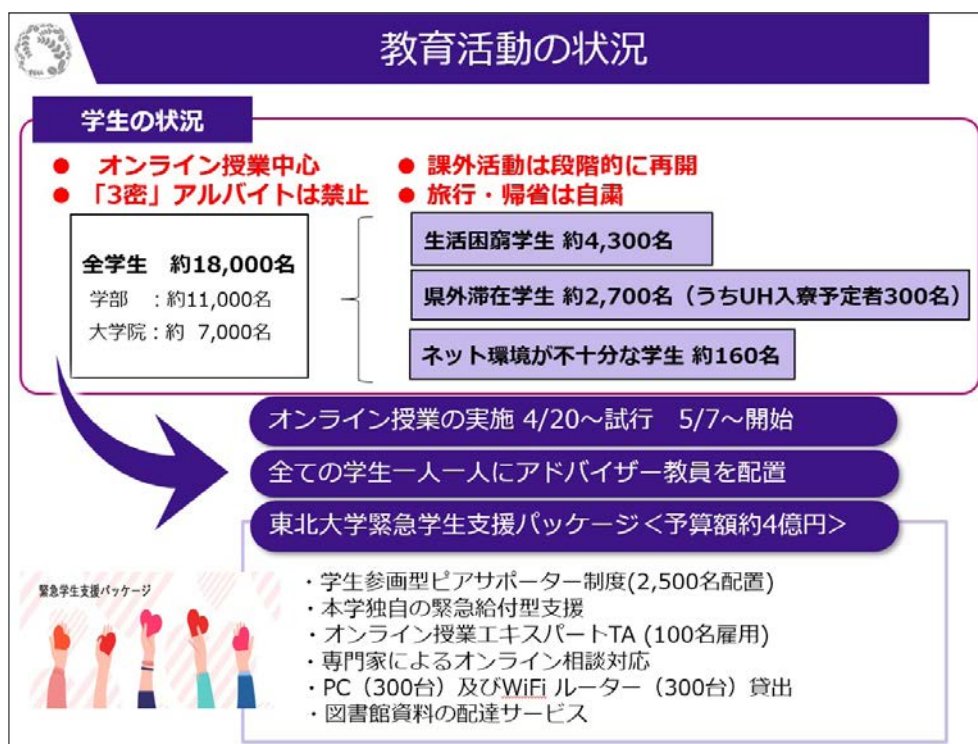


図2-3-1 教育活動の状況

約 18,000 名の学生がいるが、そのうち 4,300 名程度が生活困窮学生に該当するというデータがあり、そのような学生に対する支援パッケージをつくっている。総額として 4 億円ぐらいのパッケージで、例えば TA に採用するといった形で給与を支給する制度が始まっている。

次に研究活動の状況である。図 2-3-2 の 1. は東北大でこれまでに実施してきた文部科学省予算によるコロナ関連の事業であり、それに加えて、2. に示した新規の研究関連のプロジェクトもスタートしている。図中の右下に Co-Pro7 とあるが、東北大学は総合大学でいろいろな学部があるので、それらを融合させようという動きもある。例えばコロナ感染症対策の特別研究プロジェクトを総長裁量経費で開始している。また、SLIT-J という放射光施設でコロナに対応していくというコミュニケを発表したり、デジタルヘルス関係の COI でコロナに対応した研究を進めていくという方針を打ち出したりしている。本ワークショップに特に関係のありそうなところでは、データ駆動科学オンラインセミナーというのを実施しており、実験研究者に向けて、データ駆動科学の考え方を紹介している。特別プロジェクトは 10 月から始まっている。東北大学が持っている総合智を使って感染症対策のモデルを科学的に検証し、ポストコロナ社会を構築するための研究のスタートを支援するというもので、特に学際的な研究を募集している。社会科学と情報科学を融合させるものや、人文科学と生命科学を融合させるもの、そういった研究のスタートアップを支援して、JST で募集が始まっているコロナ対策のプロジェクトなどへの応募を促進する。

データ駆動科学オンラインセミナーは、5 月から全学的に開催している。これまでに材料科学にデータ科学をどう使うかという話や、シミュレーション科学とデータ科学の融合、さらにライフサイエンスへの適用について扱ってきた。様々な分野でデータサイエンス、

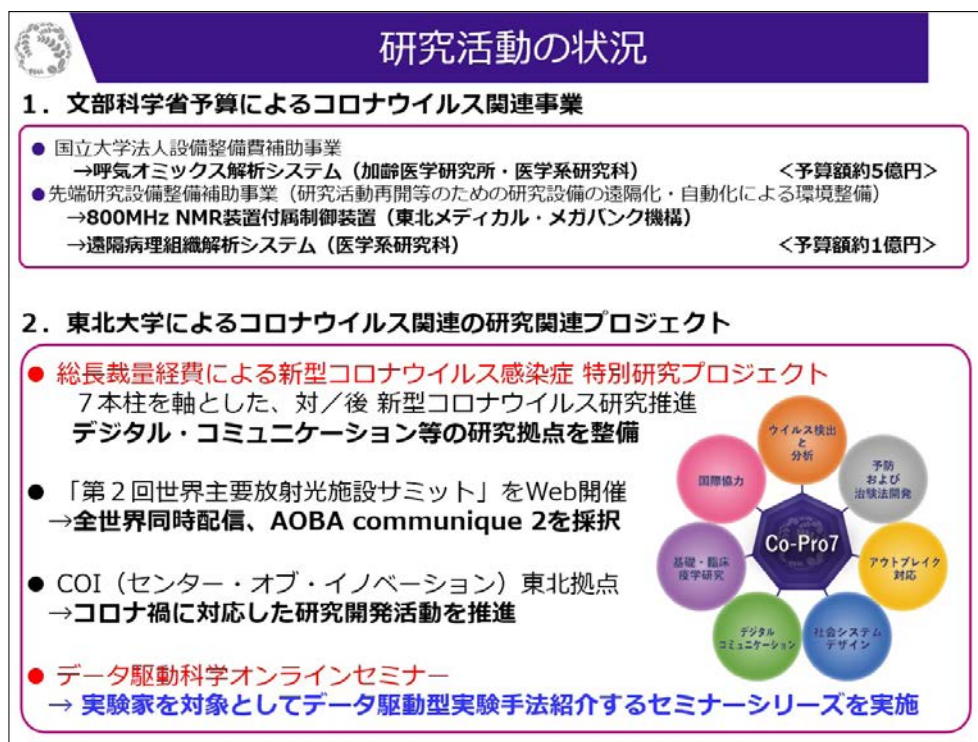


図2-3-2 研究活動の状況

AIなどの適用が進み、研究の価値を決定づける一助になっていること、また、実験を中心とする研究コミュニティにおいて、今後、データ活用に軸足を置いた実験研究の方法論を模索する動きが活発化すると予想されていることを念頭に、特に若手研究者や大学院生にセミナーに参加してもらい、研究に取り入れてもらおうとしている。前述の東北大学コネクテッドユニバーシティの戦略の中で一番重要なポイントはサイバー空間とリアル空間の融合であり、データ科学の活用もその一貫といえる。

以下では、私自身の研究室の大学院生と若手研究者の状況について、何人かにインタビューした結果を紹介する。まず、大学院の修士1年生のK君は、9月にUCLA大学院に入学したが、渡米する予定だったその数日前に急に全ての授業がオンラインに変更になってしまい、米国に入国するための権利を失って、やむなく日本で大学院生活を始めた。向こうの生活に合わせなければならず、カリフォルニアの朝8時が日本の夜12時なので、夜12時に起きてアメリカの授業を1日受けるという完全に昼夜逆転した生活を送っているそうである。

次に、企業からクロスアポイントメントで多元研に来ている研究者のS先生で、エフォート10%の教員として大学院生の研究指導にも従事している。本務は八王子にある会社で、以前は仙台まで来られていたが、コロナ以降は来られなくなり、共同研究と大学院生の指導はオンラインでおこなっている。作業は全て会社でおこない、オンラインで結果報告をするという形になったことで、移動にかかる時間やコストが不要になり、効率が非常に向上したという。

また、K先生も同様に10%のエフォートで企業から来ているクロスアポイントメント教員で、主に放射光を使って材料の研究をされている。今後、リモート実験とロボティクス



ポストコロナ時代の研究開発・人材育成の提言

- 【大学院教育・人材育成の国際化推進】** 世界中オンライン授業です！
 - ・在日のまま海外大学へのサイバー留学（逆に海外から国内大学への留学も）
 - ・外国大学への（からの）併任も簡単、グローバル教育を推進出来る
- 【サイバー＆リアル融合でナノテク・材料研究推進】**
 - ・ロボット実験＋リモートデータ処理で効率化
 - ・実験と理論・計算を融合したデータ駆動型材料科学
- 【産官学連携と国際連携の研究開発推進】**
 - ・サイバークロスアポイントメントで産官学連携を効率化できる
 - ・企業は海外での研究開発を、大学は国際共同研究を加速できる
- 【女性活躍・副業の推進】**
 - ・在宅勤務で育児家事と両立できる。副業兼業がリモートで簡単。

図2-3-3 ポストコロナ時代の研究開発・人材育成の提言

を使って、ルーチンでサンプルをたくさん測り、効率アップを図りたいとのことである。現在は在宅で、多元研のサーバに入って計算をされている。

最後に助教のI先生は実験家だが、データ駆動科学セミナーに参加して、これからは理論的なアプローチを取り入れることにしたという。コロナが収束に向かっているとは言われるものの、コロナの以前のように実験のみで研究を進めるということは難しいので、理論的なアプローチも用いて研究を進めていくという考えだそうである。

以上を踏まえて、ポストコロナ時代にどのように研究開発、人材育成をするかということについて、3つほど提言したい。

1つは、大学院教育・人材育成の国際化の推進。今、世界中でオンライン授業がおこなわれており、先ほどK君の例を紹介したが、彼は在日のままUCLAにサイバー留学している。したがって、逆も可能であり、海外から日本の大学へ入ることもできる。そのようにして、国際教育というのが推進できるのではないかと考えている。また、教員の外国大学との併任も双方向に可能になるので、グローバル教育が推進できるのではないかと考える。

次に、ナノテク・材料研究の推進に関しては、ロボット実験やリモートデータ処理で効率を上げることや、理論と実験、計算を融合したデータ駆動型の材料科学が重要である。

さらに、産官学連携と国際連携の推進。サイバークロスアポイントメントというのは私の造語だが、実際、多元研でクロスアポイントメントしている研究者はサイバー空間で全ての業務をおこなっている。物理的移動がなく、実験もリモートでできるということになれば、産官学連携が大きく効率化できるのではないかと考えている。また、その延長上には、例えば海外に研究開発拠点をつくって研究開発をすることや、国際共同研究の加速が

あるだろう。これらに加えて、女性活躍や副業の推進も、デジタル化によって進むのではないかと考えている。

【質疑応答】

Q: オンライン授業が浸透して、ある先生の授業を世界中で何千人、何万人も受けられるようになると、大学としてのアイデンティティが薄れてくるといったことはないか。研究室のレベルになると、特定の研究室に所属していることの意味が大きくなるが、学部生のレベルでは変わってくるのではないか。

A: 状況が変わってくることへの予感はある。米国も中国も日本も全てオンライン授業なので、提携や連携の許諾が得られれば、相手の大学の授業を聞けるという状況にある。そうすると、人気教授の授業を世界中の、例えば何万人の学生が聞くというようなこともあり得る。それがどれだけアイデンティティを脅かすことに繋がるかは分からないが、少なくとも研究現場はこの半年で激変している。前述した UCLA の学生も、日本にいながらにして座学の単位は全て取れると言っている。

2.4 京都工芸繊維大学での新型コロナウイルス対応と課題 ーナノテク・材料分野の教育・研究を中心にー

吉本 昌広（京都工芸繊維大学）

私は京都工芸繊維大学で副学長を務めており、また新型コロナウイルス対応の担当理事をしている立場から、小さな地方国立大学がどのように対応してきたかという点について説明する。また講義も行っており、オンライン授業も初めて体験したので、その立場から、大学院生・ポスドク、それから学部生の状況について話し、最後にまとめる。

当大学について説明する。工科系単科大学であり、教員数が270名ほど、職員数が150名ほどで、学部生が2,600名、大学院生が1,200名という小規模な大学である。教員は学系という枠組みになっており、大体30人前後が1つの学系を形成している。ナノテク材料分野は、材料化学系、分子化学系、電気電子工学系の半分ぐらいの教員が該当する。

新型コロナウイルス感染症の拡大の影響で、3月中頃に活動を停止したため、卒業式、入学式も取りやめとなり、1か月間、完全に研究室活動を停止した。その後、博士課程については完全に活動を止めると問題が生じるため、緊急事態宣言下でも少しは活動を認め、6月に入って研究室は5割程度以下を目安に活動を再開、10月以降は在室人数の制限を撤廃して、徐々に研究室活動を回復してきた。結局、教員・ポスドクについては、原則在宅勤務の1か月間、それから博士、修士課程については1か月とか2か月半、研究室活動が止まるという状況であった。

本日は、ナノテク材料の分野で、非常に活発な教員5人ほどにインタビューした結果を紹介する。研究活動としては、平時の2/3からフルに戻ってきた。だらだらやらなくなり、集中力が上がる効果があり、また学生には実験したい欲求がある、という声が多く聞かれた。基本的な対策としては一般的なもので、ソーシャルディスタンスの確保という観点から、人数を2割のみの状況から、5割へと増やし、その後、人数制限は無しでシフト制を敷いて、ほぼフルの活動に戻ってきた。ただし、研究会、ゼミはオンラインという制限をつけている。

現状の課題は3つある。1つ目は、大きな意味での研究室の滞在時間が制限されている点である。マテリアル研究は、現場で作業をするのが必須であるが、一方で、交代制を敷き、時間を節約し、さらにマスク着用という状況では、研究がなかなか進まず、非常に大きな課題となっている。また、全員マスクをしているため、新しい研究室メンバーの顔が分からない、と話す教員もいる。

2つ目は、交流機会の確保という点である。これはローカルからグローバルまで非常に幅広い問題である。対面ならではの良さがあり、これをどうやって確保するかが課題である。学生間の格差も顕著に出ている。意識の高い学生や、せっぱ詰まった学生は、活動量をキープしているが、モチベーションが上がりづらい学生は、活動量が大幅に低下している。

3つ目は、機会均等の確保という点である。大学の場合、これは避けられない難問である。体の弱い方に対する対応というのは、どうしたら良いかまだ分かっておらず、課題だけを上げておく。

課題

① 研究室滞在時間に関する課題 【時間の節約】、【研究姿勢】

- 時間をかけるべき作業の時間をいかに確保するか。
交代制、早く帰れ、マスク着用では長時間働けない。
現場で手を動かしてナンボの世界。

② 交流機会の確保 【対面ならではの良さ】

- **研究室内交流**、国内外との交流の両方で大きな障害
居室に集住すれば「密」
ディスカッションや指導が、その場で、できる機能は捨てがたい。
ラボミーティングがオンラインでは限界
学生間格差の増大：意識の高い・切羽詰まった学生は活動量キープ、
意識の低い学生は活動量大幅低下
- **国内外との交流**をどうするか

③ 機会均等の確保：大学（＝教育機関）としては避けて通れない問題 【難問】

体の弱い方など：土日実験する例もある。



図2-4-1 コロナ禍での3つの課題

まず、研究室滞在に関する課題である。今までの議論と類似しているが、インタビューした先生方の考えというのは大きく2つに分かれる。

1つは、すでに岩本先生の講演で有ったように、まず手を動かして自ら考えるというプロセスは外せないのではないか、という考えを持つ先生である。限定された中で結果を出すことと教育との両立をどう実現するかという点について、非常に悩んでいる。この先生方の問題意識としては、装置共用化や遠隔利用を活用することで作業時間を確保したいという点にある。これについては後ほど説明する。

もう1つは、むやみに実験はしない、と考える先生である。こちらは、理論・シミュレーションに励み、論文を読み込んで情報を収集することを重視し、これまでのように実験することで知見を得るという姿勢は、むしろ変えるべきだ、と強く主張される。こちらの先生方は、当大学では閲覧可能なジャーナルの規模が小さいため、規模を大きくしたい、という非常に強い意見を持っている。

以上のように、大きく2つに分かれるが、いずれもAI、データサイエンスの積極展開を図りたい、と考えている。手を動かすべき、と考える先生方も、AI、データサイエンスを使って実験に必要な時間を50分の1に短縮したい、と考えているし、むやみに実験をしない、と考える先生方も、行っている実験の解析に、画像データ解析など、AI、データサイエンスを取り込みたいと考えている。

実験重視派の先生がどのように考えているか、について説明する。有機高分子や有機、無機、ハイブリッド材料をやっている先生だが、この分野は、構成元素や分子構造が多様で、無限に近い配列の可能性がある。それらをナノオーダーで階層的に組み上げるため、経験と勘に頼るところが多く、職人技の世界になっている。じゅうたん爆撃な試行錯誤が

なされているため、多くの時間とコストがかかっている。それを 50 分の 1 ぐらいにできないか、と考えている。

具体的には、データの見える化にデータサイエンスの手法を確立して、うまくフィッティングできないときに、人間の感性を取り込むことで新しいものをつくる。AI だけではできないし、AI なしでもできない、という世界がマテリアル分野に既に到来しており、その方向で研究を進めていきたいと考えている。既に試行的に始めていて、分野横断型で教員体制を組み、学生が共用化された計測設備を使い、実際に自分の研究から説明変数と目的変数を抽出した上で、練習、課題を提案して、他分野の教員がその研究に助言する形で関わる、という取り組みを行っている。

それから、設備の共用化や装置遠隔化については、インタビューした先生の 1 人の話で非常に納得したのは、当大学でも小型の装置、数 100 万円とか 2000 ～ 3000 万円くらい装置はそろっているが、これらは非常に遠隔化が難しい。多くが Windows 7 かそれ以前の OS で動作していて、遠隔化はできそうにはない。こんなところで大学間格差が広がると考えられて、非常に危機感を持っている。

交流機会に関しては、実は解を持っておらず、むしろ対面で頑張っていきたい、ということ、今日は申し上げざるを得ない。これは最近の新聞からの引用になるが、先月末で退任した、京都大学の山極前総長の意見である。集団で意見を交わし、自分の考えを正していくという大学本来の議論の在り方、セミナー的な討論の場、そういった場が持ちにくい。やはり対面でないと難しい、と述べている。

同様の意見は、当大学の先生方も持っていて、マスクで顔も分からない。非常に危惧されるのは、研究室には文化があるが、それが無くなってしまうのではないかな。あるいは、学会発表に関しては、大学院生の大きなモチベーションとして存在していたが、それがうまくいっていない。さらに、海外との交流は、既存のものは良いが、新しい関係構築が非常に難しい。

最後に、学部生について。私たちも遠隔授業をやって、板書ではできないことができるため、非常に良い。授業形態が変わるよい契機になったと考える。一方で、このような模式図が、板書だと普通に黒板に書けるが、オンラインでは著作権の問題も関わるので、ネット上から拾ってペタッと貼りつけるわけにもいかず、自分で書き直すということになり、なかなか大変である。こういう図表等のプールが出来ると良い。

課題という観点では、講義は確かに数千人、数万人に配信可能だが、質保証（テスト）が大きな問題である。それから、教員格差が大きい、将来的には現場の教員は反転学習とか、質保証を担当していく、という方向に変わっていくだろう。実験・実習に関しては、基本は対面でやる、その場で手を動かす、ということが重要だが、中にはシミュレーションに切り替えたことで効果が上がった、ということも多いようだ。一方で、若者の感覚が変わってきているのではないかな。最先端の実験などクオリティーが高ければ、それを見せるのも効果的である。彼らはイメージから入る、若者の文化がそうってきているという指摘もある。体験するという実験・実習の趣旨も、学生の感覚によって少し変えていく必要があるのではないかな。

学部生について

■ 遠隔授業 急遽、遠隔授業に切り替えて、大変だったが・・・

- ✓ 板書ではできないことができる。動画などをフル活用しビジュアルでわかる。
- ✓ 我々は式からイメージであったが、彼らはイメージから式となっている。
- ✓ 講義の形態が変わる良い契機となった。

期待：公共財（著作権が緩い、フリー）としての概念図、概念動画のプールができないか

課題

- ✓ 質保証（テスト）が課題。

放送大学でも単位認定試験は対面実施

- ✓ 教員格差が大きい。→ やがては、大学間相互乗り入れ？集約化？

ナノテク・材料の標準講義ライブラリー？
現場の教員は、反転学習、質保証（テスト）を担当？

■ 実験・実習

- ✓ 実験・実習：シミュレーションに切り替え、効果を上げる例もある
- ✓ しかし、実際に実験しないとわからないことが多い
- ✓ 一方でこんな意見も



若者の感覚が変わってきているのではないかな。
最先端の実験など実験のクオリティが高ければ、それを見るのも効果的。彼らはイメージから入る。
若者の文化がそうなっている。

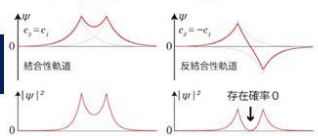


図2-4-2 コロナ禍での学部生の教育について

最後にまとめる。研究活動は平常時にほぼ戻った。課題は、時間の節約という部分、それから研究姿勢、どういう立場を取るか、というところで2つに分かれている。学部教育については、講義の形態が変わるよい契機になりそうである。将来的には、大学間の相互乗り入れ、集約化、講義ライブラリーという方向に行くのではないかと感じる。

【質疑応答】

Q：若者の感覚というか、捉え方が変わってきているという指摘があったが、これは体験というもののだけではなく、ビデオなどを見ながら興味を持っていくことが多い、という意味か。

A：我々は、ビデオなどが無く、大学で何かを習う際は、式や考え方で習い、それに基づいて頭の中でイメージを作り、それをさらに展開して自分の研究・開発に活用したが、彼らの世代は動画が生まれたときから周りにあふれているため、式から入らずに動画からいきなり入る、そういう状態に頭の構造が変わってきており、それに合わせた体験というものがあるのではないかな。

Q：対面の重要性について指摘があったが、学問や研究以外でも、大学生の時代にある集団の中で生活するというのは重要だと考えるが、副学長の立場からのコメントが欲しい。

A：私は、来週からでも全て対面に戻したいと考えている。学びという非常に大きな観点から考えると、一人ではできない。1回生、2回生、3回生のレベルで、自分はどうやるか、自分はどうしようかという問いにぶつかった時、一人では考えにくい。仲間と

対話することによって自分の答えが出る、それこそが大学生活である。それが絶たれている、という点が、大学の教員として一番残念である。その原因が、教室が足りない、換気が足りない、当大学だと Wi-Fi が足りない、そういう点にあるのも、非常にがゆい思いである。

Q：海外との共同研究の難しさに関して述べていたが、研究の効率アップという観点で、海外パートナーとうまく交流していくというのはとても重要だと思う。特に若手で既存の付き合いがない方は、どうやって関係構築をすべきか、が課題だと考える。そういう状況で、どうやってアプローチしていくべきか、アイデアとか取組があれば教えてほしい。

A：非常に難しい。既存関係の維持については、それほど問題はない。一方、新しい関係構築はオンラインの国際会議では難しく、対面でないと実現しづらい。

Q：格差が広がっているという発言があったが、去年まではすごく頑張っていたが、コロナ禍でオンラインになった結果、なぜか活動が低下したという学生が出ているということか。

A：そういうイメージだ。大学生活は、仲間に依存する部分が大いだと思うが、そこが分断された。意識が高い学生は実験室が空いたので、装置が自由に使えるため、喜んで研究をしている。一方、来なくなった学生は全く来なくなった。今までも同様のことはあったが、より顕在化した。教育機関としては、来なくなった学生をそのままにするわけにはいかない。この点は課題である。

2.5 早稲田大学・電子系研究室におけるニューノーマルの模索

渡邊孝信（早稲田大学）

最初に、早稲田大学を中心とするコロナ対策をタイムライン形式で振り返る。早稲田大学でイベント自粛の方針を打ち出したのが2月23日。その直後に卒業式と入学式、両方中止を決定した。授業開始を5月11日まで延期する決定をしたのが3月24日。このあたりから小池都知事が外出自粛を要請するなど、緊迫感がにわかに高まってきた。4月2日に授業の全面オンライン化を決定し、4月8日からキャンパスの立入りが禁止された。したがって、オンライン化のための準備を僅か数日間で行わなければならず現場は混乱した。学生が許可証なしで入構可能になったのが6月22日。このあたりから研究活動が通常状態に徐々に戻ってきた。それまでの約2ヵ月半の間、実質的に学生を中心とする実験が行えなかった。

教育現場で一番影響が大きかったのが専門必修の実験科目。こちらの対応について少し報告したい。前述のとおり、4月2日に全面オンライン化の方針が決定され、4月8日から教職員もキャンパスに入構できなくなってしまった。この間に週末も含まれるので実質的な準備期間は2～3日。この短期間に突貫で現場での撮影が必要なコンテンツを用意した。早稲田大学の理工系学部には実験専門の職員がおり、彼らが中心となって臨場感のある実験の動画コンテンツを用意した。ご覧いただいているのはパワーデバイスという大電流をオン・オフする半導体デバイスの実験だが、配線の仕方から、スイッチング時の過渡的な状態を観測する実験の様子である。クオリティーの高い動画が制作できたため、これはコロナ禍が去った後も、今後の予習・復習用教材として使われていくと思われる。

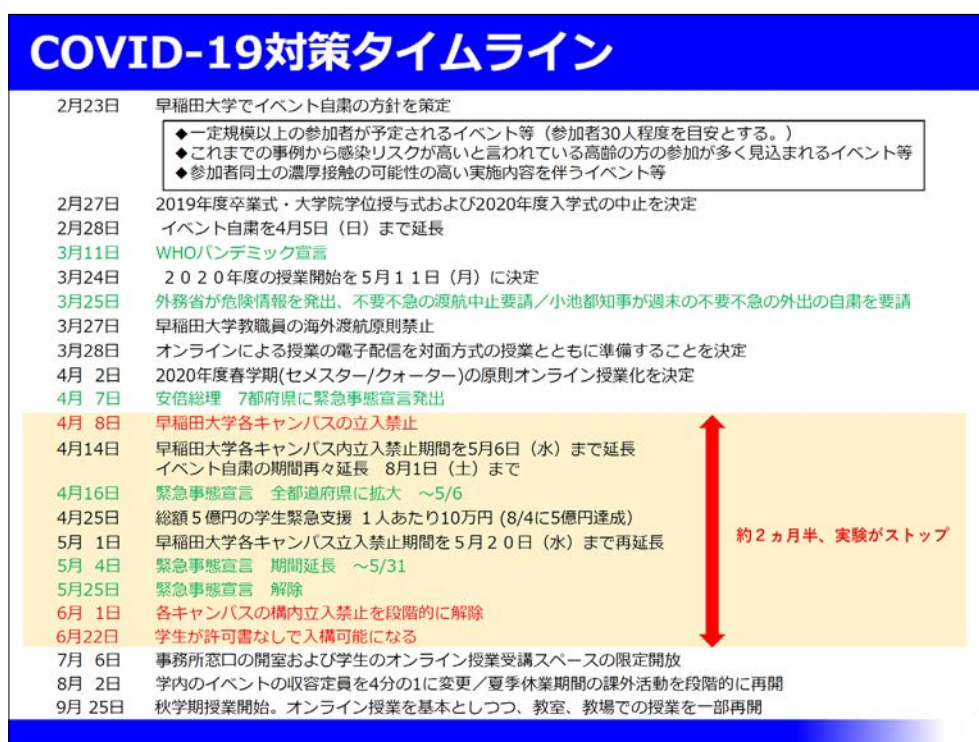


図2-5-1 COVID-19対策タイムライン

一番気の毒なのが、今年度入学したばかりの新生。私が所属する学部は一括入試を採用し、1年進級次に学科が決まる制度になっている。この秋から私が所属する電子物理システム学科で学科独自の実験科目「電子物理システム実験A」が始まるが、最初からオンライン実験はいかなものかと教員の間で議論し、回路製作実験用の在宅実験キットを送付することに決めた。図2-5-2に実験キット中身を示す。3,500円のオシロ、500円のテスター、3,500円のファンクションジェネレーター、電子部品、Arduinoの互換品など、全部合わせて1セット1万2千円。これを90セット用意して計108万円かけた。実験科目の内容すべてを補うことはできないが、少しでも手を動かす経験をさせる必要があること、そしてもう一つ、大学が学生一人一人を忘れていないという、メンタル面に訴えるメッセージになり得るとの考えから、学科として決断した。

私自身、このようなキットを1万2千円で揃えることができる時代になっていることを知らなかった。オシロスコープは200キロヘルツ程度の波形まで観測できる。これだけあればかなりの回路実験が自宅でできる。予算さえ確保できれば、この在宅実験キットの頒布は、ひょっとしたらコロナ禍終息後も常態化するかもしれない。続いて、私の研究室のゼミと研究活動の状況を報告する。この春学期の研究室のメンバーは、私とポスドク、秘書などスタッフも入れると計34名。うち学生は29名、そのうち海外からの留学生が9名いる。シリコンのデバイス技術を研究テーマとしている。ムーアの法則が終焉を迎えようとしている今日、微細化・スケーリング戦略で集積回路の性能向上を目指す時代ではなくなったので、長期的目標として未来の新しいアプリケーションをイメージし、バックキャスト型で研究テーマを設定している。長期目標の一つがスマート・ダストと呼ばれるばらまき型センサ。もう一つは超小型ドローンによるスウォーム・センシング。こうした未来

在宅実験キットの送付

➤ 今年学科に進級してきた2年生全員に、秋学期から始まる「電子物理システム実験A」の回路製作実験用に在宅実験キットを送付予定。



電子部品類 ¥2,500

オシロ ¥3,500

ファンクションジェネレーター ¥3,500

テスター ¥500

Arduino (互換品) ¥2,000

<配送予定品一覧>

- ・オシロスコープ
- ・ファンクションジェネレータ
- ・テスター
- ・Arduino (互換品)
- ・センサー多数
- ・電子素子各種 (抵抗、コンデンサ、トランジスタなど)

12,000円×90セット

= 108万円

➤ 電子部品商社に受講生の配送情報を提供し発送を委託。配送先の情報を目的外に利用しない契約を締結。

図2-5-2 在宅実験キット

をつくるには今どういう技術が必要だろうかと考え、現在取り組んでいる研究テーマが、シリコンの微小熱電発電デバイスの開発、さらにその基礎研究としての、熱電材料の分子動力学シミュレーションである。未来のドローン技術として、羽ばたき飛翔ロボットの開発、その制御技術の研究にも取り組んでいる。

このように様々な研究テーマがあり、新型コロナの影響で入構制限があった中でも問題なく進んだ研究もあれば、そうでない研究もあった。入構制限下でも進んだ研究として、半導体デバイスのマスク設計作業がある。当研究室では熱電デバイスを産総研のT I Aで製作することを計画しており、そのマスク設計を春から夏にかけて行った。週1～2回ぐらいの頻度でオンラインのミーティングを重ね、作業を学生たちと分担して設計図面をつくった。これはコロナ禍でも全く問題なく進んだ。それから、デバイスシミュレーションや分子動力学シミュレーションの研究も問題なくできた。羽ばたきロボットの研究グループも、制御プログラムの作成作業は問題なく進めることができた。論文執筆作業も進んだ。実験が停止したため、未発表のデータを使って論文執筆を進め、今年の上半期は例年の倍近いペースで論文を発表できた。

一方、手を動かす実験の研究は全く進まなかった。ロボット製作と制御の実験、実際に飛翔させる実験が全くできなかった。ただし、今振り返ると研究を進める方法はあった。学生が自宅から、例えばチップワンストップとかモノタロウに部品を直接発注して自宅に納品する、あるいは自宅からDMM.makeで3Dプリンティングの発注をするなど、発注と納品を学生自身が自宅でするように調達制度が緩和されれば、これはテレワークでも進められたと思っている。また、半導体デバイスの製造プロセスの実験も、大学の構内への入構が禁止されていたので全く進まなかった。それから電気特性評価実験。真空プローバの容器を開けて、測定ステージに半導体チップを置き、プローブ探針を当て、蓋を閉めて電気特性を測定し、同時にサーモグラフィーカメラで温度分布を観測するという実験は、大学に来なければ全く進めることができない。デジタル・トランスフォーメーションが声高に叫ばれているが、このような汎用的なプロシージャが確立していない実験を自動化するには、おそらく装置をつくるための費用の一桁上の金額が必要になると思われる。デジタル・トランスフォーメーションを目指すのは現実的ではない。

次にゼミ活動について。当研究室では全員集まるゼミを金曜日と、土曜日の午前に実施している。今年はこれらを全面オンラインで実施した。今回、研究室の所属学生を対象に、無記名のアンケートを実施した。その結果を図2-5-3に示す。

オンラインゼミの総合的満足度は、「たいへん満足」という回答が多かった。集中できたかどうかという設問では、「まあまあ集中できた」という回答が多数だった。通信品質は学生個々の環境、家の状況によって違うようだが、ゼミが成立しなくなるような問題は起きなかった。オンラインと教室でのリアルゼミ、どちらのほうの方が積極的に発言や質問ができるか、どちらが良いかという設問については、ポジティブな意見とネガティブな意見と半々ぐらいだった。

その他、自由記述の回答から、「通学の負担がない」、「聴衆の顔が見えないので発表時の恐怖心がない」、「画面がクリアに見える」といった、オンラインゼミのメリットが明らかになった。一方で「聴衆の反応が分からないのでやりにくい」という意見もあったが、総合的にオンラインゼミは想像以上に評判がよかった。

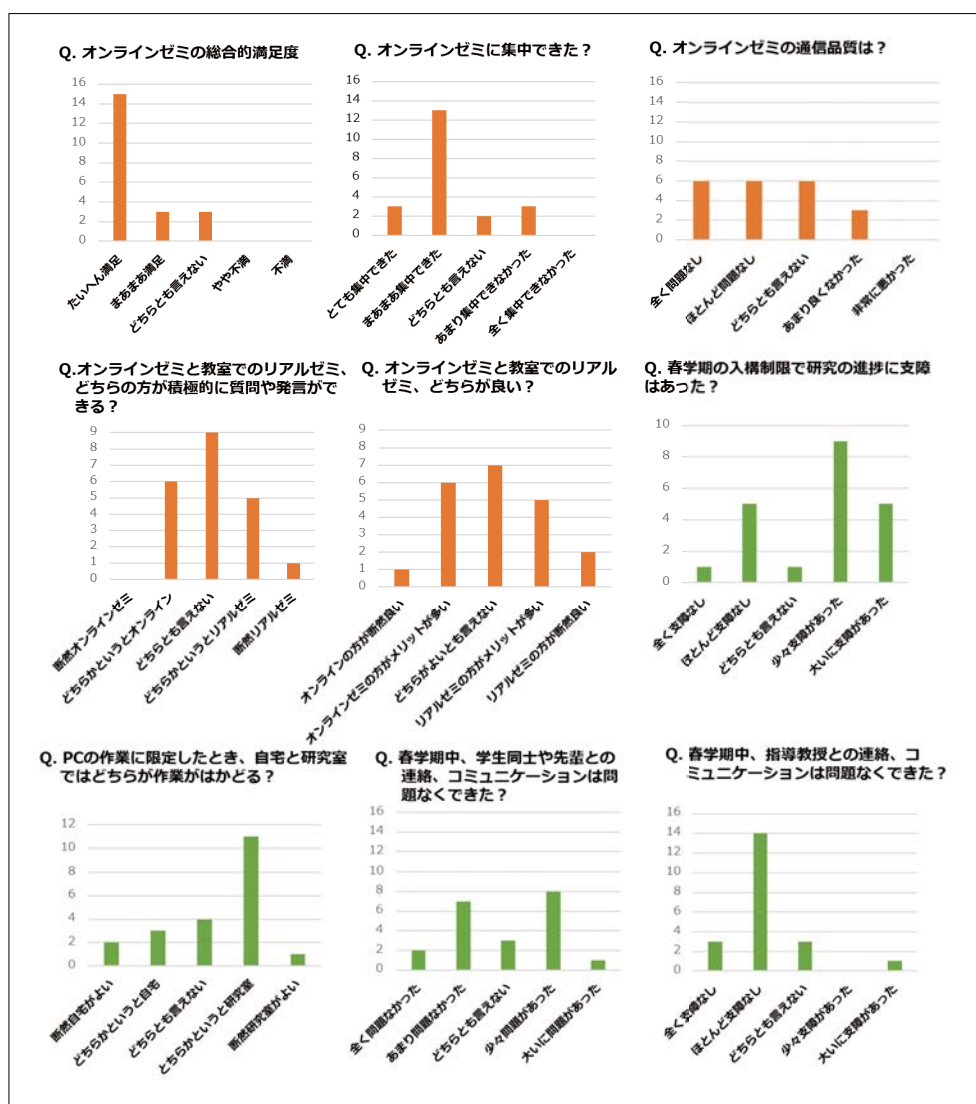


図2-5-3 研究室の学生を対象に実施したアンケートの結果

続いて研究活動についてのアンケート結果を紹介する。入構制限で研究の進捗に支障があったかどうかという設問については、様々な研究テーマがあるため、「支障がなかった」という回答と「大いに支障があった」という回答とに分かれた。また、PCの作業に限定したとき自宅と研究室ではどちらの方がはかどるか、という設問には、「どちらかという」と研究室のほうがいい」という回答が突出して多かった。日常的なデスクワークはリアルな環境で実施することを望んでいることがわかった。学生同士や先輩との連絡、コミュニケーションは問題なくできたかという設問の回答も、「あまり問題なかった」という意見と「問題があった」という学生と、半々ぐらいに分かれた。一方、私、指導教授との連絡、コミュニケーションは問題なくできたかという問いについては「ほとんど支障なし」という回答が大多数だった。オンラインでやり取りするぐらいの距離感が、教員と学生の間では適切らしい。

以上を踏まえて私の意見をまとめる。今回、大学ではオンライン授業を全面的に実施したが、そのためにたくさんのオンデマンド・コンテンツを用意した。リアルタイム授業を

実施した例もあるが、通信が途切れる可能性があるため、基本的に大学ではビデオ撮りのオンデマンド授業を推奨していた。このオンデマンド・コンテンツは大いに利用価値があり、予習・復習用の教材として、今後も常態化していくと思われる。新型コロナが終息したら当然リアル授業が復活すると思うが、オンデマンド教材が要らなくなるわけではない。両方準備することが要求されると思われる。早稲田大学では授業動画の公開を随分前から推奨していた。今回、ほぼ全ての教員が授業動画を用意したので、そうしたコンテンツを部分的に公開する動きが進んでいくと予想している。そうすると、講義の様子が多くの人の目にさらされ、講義の上手い・下手で教員が評価される時代になる。人気予備校講師や教育系ユーチューバーと比較され、大学教員はこれまで以上に授業に精を出さなければいけない時代になるだろうと予想している。

オンラインのゼミについては、メリットがかなりあることが分かった。例えば土曜日のゼミぐらいは、コロナが明けた後もオンライン化して、通学の負担を軽減しようと考えている。一方で聴講者の顔が見えないため、積極的に授業・ゼミに参加しているかどうか分からず、積極的に参加した学生とそうでない学生の差、取り組み方の差がこのままだと開いていく恐れもある。将来新しい新型感染症が流行したとき、こうした問題はVR会議技術で解決できているかもしれない。バーチャルな空間の中で、お互い目線を合わせながら会議ができるなら、学生が参加している様子を把握できると考えられる。VR会議を本格的に普及させていくには、高速通信環境を整える必要がある。そして高臨場感のVRディスプレイ。できればバーチャルなアバターじゃなくて、リアルな表情が映るような、お互いに目線が合わせられるような、そうしたデバイスを開発していく必要がある。一方、学生同士のコミュニケーションのためには、従来どおりリアルな研究室が必要だろうと考えている。オンライン試験も、場所を選ばず実施できるメリットはあるが、公平な試験環境の確保は難しい。試験のオンライン化は課題が山積している。

実験については、同じプロシージャを繰り返すだけで済む作業であれば、設備を整えてハイスループット化していく価値がある。ただし、一つ一つ手作業が必要な実験のリモート化はコストがかかり過ぎ、現実的ではないと考えている。それでも敢えてデジタル・トランスフォーメーションを進めるには、遠隔手術ロボット並みの手先の器用さと、重量物を持ち上げる能力、トルクレンチでネジを締めるといような力仕事ができる能力を持った分身ロボットを作ればよいが、それは遠い未来の話。そう考えると、やはり感染リスクを抑えて人が移動できる技術を開発するほうが先決だと思われる。

最近、日経新聞電子版に掲載された記事を紹介する。群馬大学で、頭からすっぽりかぶる自由外出マスクを開発している。これに空調機能を追加してマスク内の環境を快適に維持できれば、例えば春の花粉症対策、夏の熱中症対策にもなり、本格的に普及する可能性がある。また、クリーンルームの運用に関して、クリーンルームの前室までは今のところソーシャルディスタンスの制限があるが、当研究室で利用しているNIMSのナノテクプラットフォームや早稲田大学のナノテクリサーチセンターでは、クリーンルームの中の運用は従来通りと変わっていない。もしクリーンルーム内での作業が低感染リスクだと認識されているのであれば、大学構内、あるいは移動中の電車内など、クリーンルームに近い環境を目指していけば、例えば頭からかぶるマスクをみんなが着用するようにしていけば、経済活動と感染症対策を両立できるようになるのでは、と考えている。

【質疑応答】

Q: 1万数千円の在宅実験キットを送るという取り組みは大変見事だと思う。これをビジネスにする計画はないか。また、オンライン実験演習に関して、ロールプレイングゲームのようにすればある程度自分で作業している感覚を味わえるようになるのではないかな。

A: ビジネス化までは考えが及んでいなかったが、1万2千円という価格なら確かに大きな需要が見込める。オンライン実験をゲームのようにするという発想も面白い。今のゲームはものすごい臨場感があり、物理シミュレーターに基づいて仮想空間でリアルに物体をハンドリングできるゲームも登場している。こうした技術を集約すれば、かなりリアルな実験の体験をさせてあげられる可能性はありうる。

Q: クリーンルームの中の感染リスクが低いという話があったが、何かエビデンスは報告されているか。

A: エビデンスはない。現在のところ、早稲田大学とNIMSのクリーンルームの運用が従来通りになっているという事実があるのみ。岩本先生の講演にあったように、クリーンルーム内で二人並んで会話をしたら、感染リスクは当然あると思うので、クリーンルームの中であれば何も気にせず安全が確保されるということではない。

Q: VRの話があったが、私もそれができると、すごく臨場感ができて、オンラインミーティングの質が本質的に変わるかなと思っている。

A: VR技術はポスト・コロナ時代のデジタル・トランスフォーメーションを進めていく上で、ナノテクノロジー分野の格好の研究開発目標になると思っている。VRでは現在の大画面液晶ディスプレイよりも圧倒的に高精細で高指向性のディスプレイが必要になる。また、仮想空間でバーチャルなアバターを表示させるだけでは味気ないので、自分のリアルな顔も投影できるような技術も目指したい。仮想空間で視線が合うようなコミュニケーションを実現するには、デバイス側、通信技術側それぞれに、研究開発課題があると思う。VR技術の高度化を目指していくのは、ポスト・コロナ時代の取り組みとして有効ではないかと思う。

Q: 試験のオンライン化は難しいという話があったが、どういうツールがあれば公正な試験が遠隔で実施できるようになるとお考えか。

A: カンニングができない環境であるということを保証することが一番難しいと思っている。同じ場に集まって、そこで監督するからこそ公正な環境を保証できるが、遠隔ではそれが確実にできない点が課題。逆にそこさえクリアできれば、オンラインでも試験は可能だと思う。

Q: 入試はどのように実施する方針か。

A: 私自身は当事者でないので定かではないが、学部的一般入試は従来通り学内で実施する予定と聞いている。ただし、おそらく受験生同士の間隔を今まで以上に確保することになる。会場をいままでより拡大し、一つの教室に入る人数を制限する努力はすることになると思う。ただし、今年の夏から秋にかけて実施された大学院入試では、オンライン面接考査で可否を判定した大学が多いと思われる。ペーパー試験に相当する

学力考査はオンラインではなかなか難しい。質問数を極力絞り、その場で即答できる設問で学力を判断することしかできない。そのようにかなり制限があったが、辛うじて大学院入試はオンラインで実施できた。

C:今の大学院入試に関して、東工大の大学院入試の例を紹介したい。東工大ではオンラインでペーパー試験を実施した。資料持込み可でもできるような試験、要するに暗記問題じゃなくて本質的な理解を問うような問題を出題するように工夫した。今後、オンラインでも判定できる、本質的な理解力を問う設問を用意する方向に進んでいくべきではないかと思う。また、周辺に人が誰もいないこと、カンニングできない環境であることはカメラ等で監視できれば良い。そうした工夫で、公正なオンライン試験も可能になっていくのではないかと思う。

3. ナノテク・材料分野で、社会変化から、重要になる研究分野、挑戦課題

3.1 素材・化学分野における有望次世代技術の考え方 ～ベンチャーキャピタルの視点から

木場 祥介 (UMI)

最初に、簡単に UMI の紹介をする。UMI は 2015 年に創立した素材・化学分野に特化したベンチャーキャピタルである。世界中にベンチャーキャピタルは数多くあるが、素材・化学分野に特化したベンチャーキャピタルは我々を含めて 5 社しかない。2015 年に官民ファンドの産業革新機構からスピアウトした。我々の強みは、国内外の様々な大企業のネットワークを持つことや、官民ファンド出身ということでアカデミアの方々と日々様々な議論をしていることがある。設立から 5 年で 600 件を超える様々な新事業、新技術への投資を検討しており、現在は 100 億円と 95 億円の 2 つのファンドを運用している。このファンドには東証一部上場の大企業や金融機関に出資して頂いている。

ベンチャーキャピタルとしての我々の仕事は、未来を見据えた投資であり、特に図 3-1-1 の右側のチャートに示しているように、常に 10 年から 15 年後程度の業界のニーズや普遍的なニーズを探しながら投資を検討している。このため、日頃から将来、あるいは次世代にはどのような技術がでてくるのか、社内外の方々とよく議論をしている。その中で、ベンチャーキャピタルが次世代技術を探索する場合のポイントを 3 つ挙げている。

1 番目は「世の中の根本的な課題（普遍的なニーズ）を解決する技術であるか」である。研究開発はどうしても直近のテーマに振られやすいと思われるが、素材や化学は開発の時間軸が非常に長いので、時間がかかってもニーズとして存在し得るテーマであるのか、世の中の根本的な課題、普遍的なニーズを解決する技術であるかが重要である。2 番目は「抜

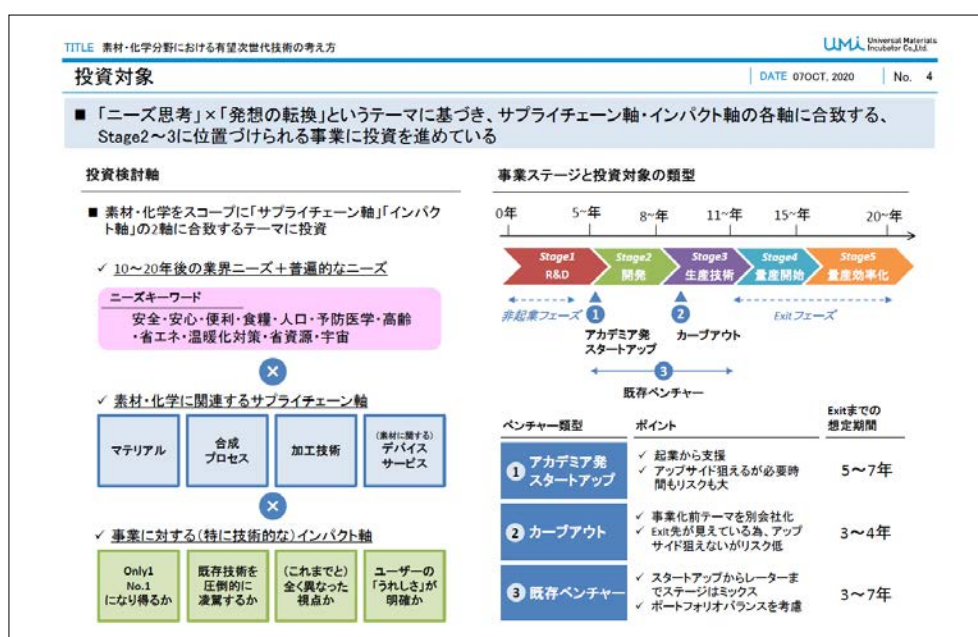


図3-1-1 投資対象

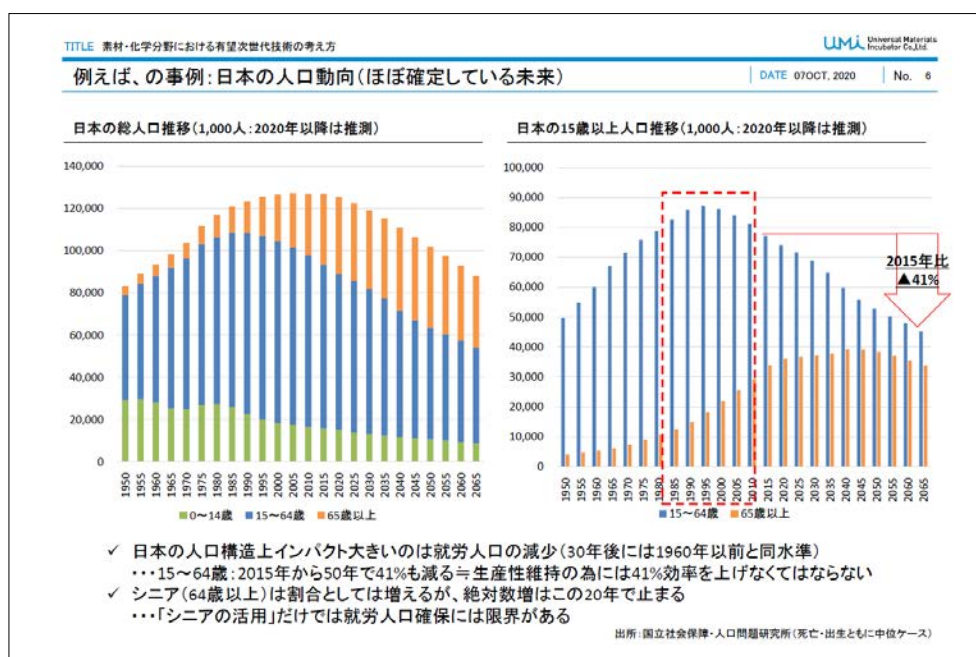


図3-1-2 日本の人口動向

群の Only.1 No.1 の技術であるか（サイエンスがしっかりしているか）」である。素材・化学分野は実用化までに時間がかかるので、フォロワーが出てきても追従出来ないような抜群の技術である必要があり、重点的に見るようにしている。3番目は「スケーラブルな技術か」である。テクノロジーとして本当にスケーラブルな技術なのかという観点も、実用化には必要と考えている。

特に素材や化学の分野では、数年後ではなく 20 年後、30 年後を見据えてマクロトレンドを把握する必要がある。例えば、私たちのところでよく議論になるのが日本の人口動向である。図 3-1-2 に示すように、これはほぼ確定している未来である。言い古された話ではあるが、昨今のコロナ禍の影響でますます顕著に出ているのは、就労人口の減少である。2015 年からの 50 年間で 41% も減ることは、確定している未来であり、生産性維持のためには 41% 効率を上げなければならない。

昨今のコロナ禍の影響で、人が外に出られなくなっており、特にシニアの方が厳しい。昨日も企業でマネジメントを行っているシニアの方と話したが、この環境では自分はハイリスク人材、非常に罹患しやすいので危ない人材だと言われていた。このような人達もいるので、ますます生産性を上げていかなければいけない。

人口減がもたらす素材・化学産業への影響について図 3-1-3 に例示的に示す。担い手が減る、内需が減る、海外利益比率が上がっていくなど、CRDS で提示されている環境変化とも近いところがあると思う。比較的確定した未来に対してどうアプローチするのか、改めて考える必要がある。これらに対して、様々な解決手段があると思うが、図 3-1-4 に示す技術を成立させるために必要な要素技術は何か、幅広く議論していくべきであろう。それに加え、昨今の社会変革の影響はあり得るのか、ということについても考えていく必要がある。

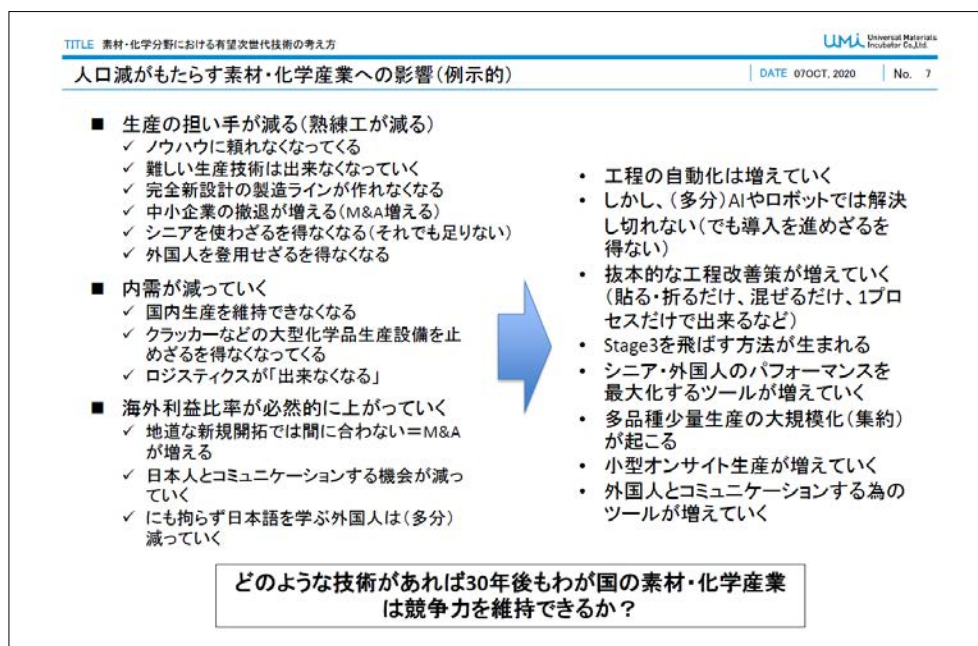


図3-1-3 人口減がもたらす素材・化学産業への影響(例示的)

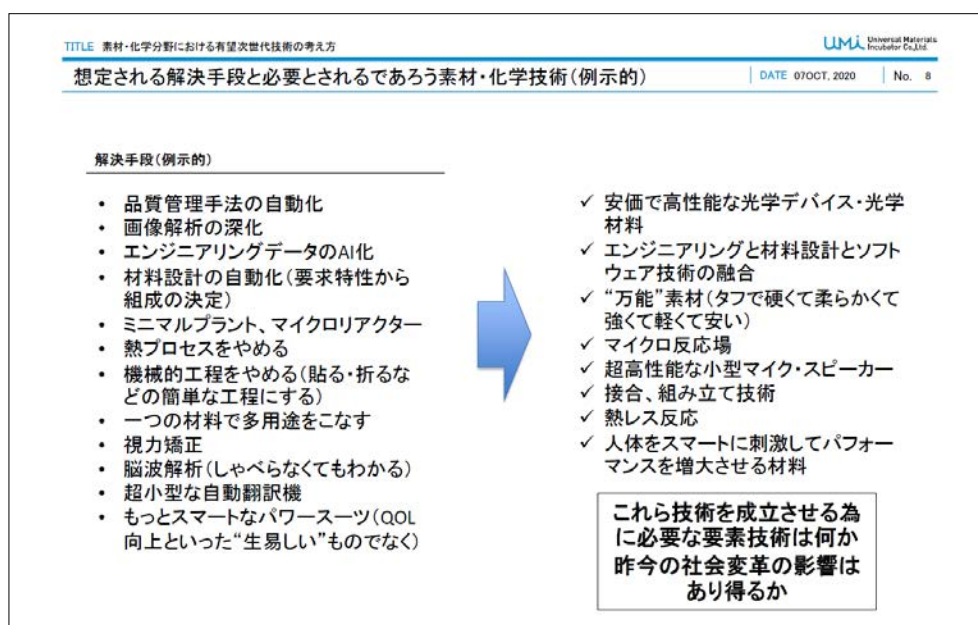


図3-1-4 解決手段(例示的)

一方で、人口の観点ではやはり世界の人口動向もよく理解する必要がある。意外と知られていないのは、65歳以降人口では2050年以降はインドが一番多くなる。人口動向は割と確定した未来であるが、社会変革等によりかなり影響を及ぼすので、これから推察される未来は何かという議論も重要であると思う。

このような背景の中で、考えていかなければならない次世代の技術として、我々は環境・エネルギー、食糧・農業、ライフサイエンス、モビリティ・宇宙、電子・情報というキーワードを上げている。この中で、今回はあまり着目されていないが人類社会にとってもナノテクノロジー・素材領域にとっても重要である食糧・農業分野について紹介する。

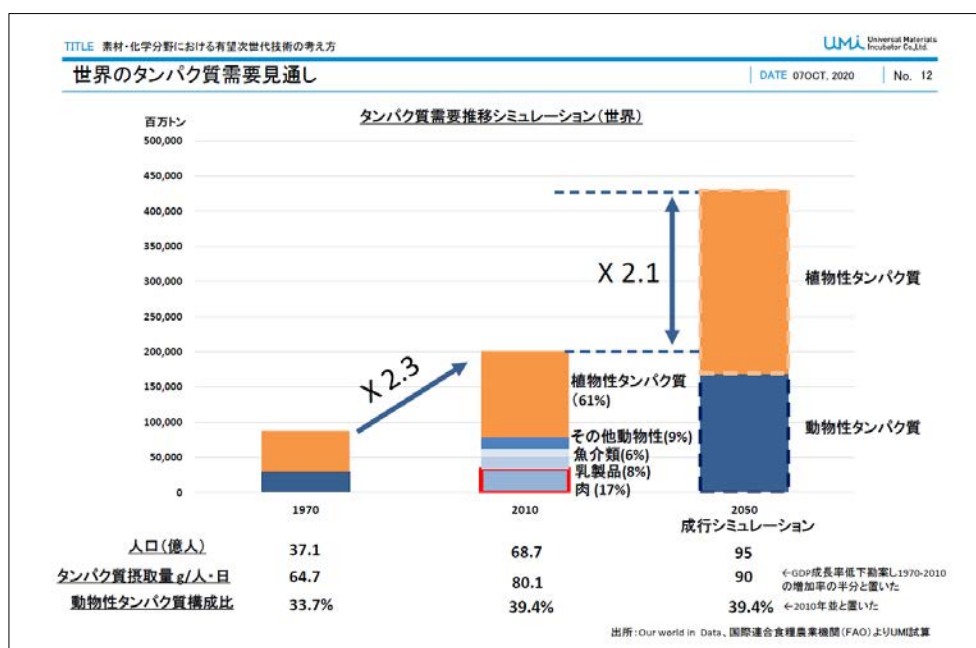


図3-1-5 世界のタンパク質需要見通し

これも比較的確定した未来であるが、図 3-1-5 に示すように経済発展が進むと 1 人当たりのタンパク質摂取量が増加していく。今の経済発展のスピードからすると、将来どの程度のタンパク質が必要なのかはある程度予測できる。例えば、このままの摂取量で行くと、2010 年から 2050 年までに人類が必要なタンパク質が 2 倍強に増えていくとの予測である。これは 1970 年から既に 2 倍以上に増えており、これはあり得るシナリオであろう。

タンパク質というと肉のイメージが強いが、人類の摂取しているタンパク質は意外と大豆のような植物が主である。しかし、グローバルの農業用地は既に不足している。これを広げようといった取組もあるが、そもそも土地の面積は決まっているので、楽観的なシナリオでもあと 23% しか増えない。悲観的なシナリオでは全く増えないという予測もあり、この量をどうやって賄っていくかが大きな論点になってくる。では、肉をたくさん食べるようにすればよいのか？ 畜産は生産効率性、プロテイン当たりの FCR、農地、GHG 排出、水使用という観点で非常に負荷が高いので、果たして畜産だけでよいかという話も出ている。最近では、コロナ禍の影響もあって、健康、ウェルフェア、環境に対して敏感になってきていると思うが、その中でもアニマルウェルフェアは欧州を中心に動物の生の尊厳を尊重する動きがあり、このような動きが畜産の生産性を押し下げる要因にもなりかねない。

そのような中で、植物肉、人工培養肉も増えるのではないかと。2050 年にはどのようなトレンドになりそうかを図 3-1-6 に示す。これはあくまでも我々の推測であるが、生産のイノベーションが起こり、タンパク質ミックスが増えていくのではないかと。また、ビヨンド・ミート、植物由来肉、人工培養が当たり前の時代になるかもしれない。さらに、(本当に昆虫を食べるのかという話もあるが) 昆虫食という話も出てくる。このようなテーマ(特に人工培養)では、再生医療の技術がそのまま転用されて人工培養の技術につながることから、素材や化学、特にナノテクノロジー領域が必然的に強く関わってくると考えている。

今回は代表的な例としてタンパク質がなくなっていくことを取り上げ、中長期に取り組

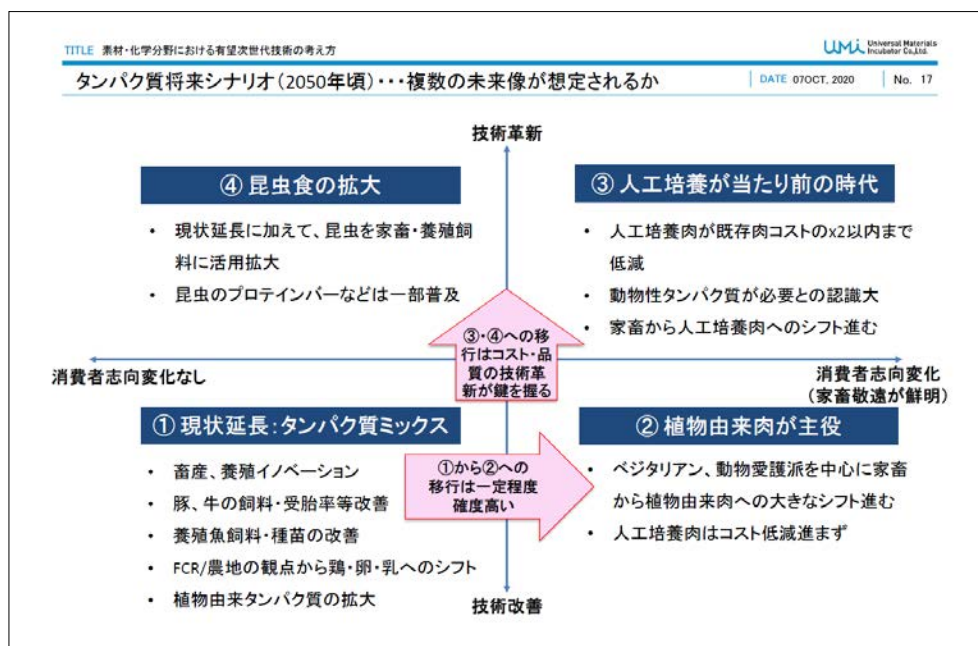


図3-1-6 タンパク質将来シナリオ (2050年頃)

みが必要なテーマであることを紹介したが、社会実装まで時間がかかる素材・化学分野の次世代技術は、このような長期のマクロトレンドをよく見るべきではないだろうか。また、昨今のように大きな社会変革が起こっているときこそ、人類の課題を解決するような大きなテーマや技術分野に、長期的に取り組める環境も検討すべきだと思う。

3.2 ナノテク・材料分野で、社会変化から重要になる研究分野、挑戦課題

瀬戸山 亨（三菱ケミカル（株））

このパネルディスカッションの主題は「ナノテク・材料分野で、社会変化から重要になる研究分野、挑戦課題は何か」であるが、それに対する私の視点は、「日本において世界に先駆けて深刻化し、その後、世界に波及していくような課題と、科学的高難度課題の解決案の間をどうつないでいくか」ということになる。

ここでは、まず解決すべき「社会的なボトルネック課題」について考察し、その課題を「技術的なボトルネック課題」に反映させ、その答えが出せるかどうかという観点で、ナノテクの関わり方を考える。その上で、さらに課題解決にむけたビジネス戦略として実践していかないと、世界の中で相対的に地盤沈下している日本にとって今後の発展にはつながらないと考えている。

注意すべきは、社会課題やビジネス課題というものは、「見えているようで見えていないことが多い」ということである。多くの場合は「当たり前だ」とか「そういうものだ」と思い込まれていて、それが変わることはなかなか想像できない。したがってそれが根底から覆された場合の影響、波及効果の大きさについてはほとんど考慮されることがない。今回のコロナの状況は、それが典型的に起こったような例ではないかと思える。今後、こういうことを考える良い機会だと思う。

そこで、最初にやるべきことは、思い込みを排除することにより、何が今の問題なのかということに気づく、社会的なボトルネック課題あるいは技術的なボトルネック課題を見出すことではないかと考えている。このボトルネック課題の解決が実際にどのぐらい社会的・産業的にインパクトがあるかについては、現状の事業や社会の状況・規模をベースに比較的精度良く予想できる。

しかし、今の一般的な科学的アプローチは、どちらかというと科学をベースにしてボトムアップ的に世の中を考えていくため、将来像が極めて曖昧なまま技術開発が進んでいくことが多いように感じる。日本の今後の発展に有効なことは、社会的・産業的にインパクトの大きいボトルネック課題を特定して、日本が強い最先端科学と科学技術で解決すべき課題を設定し、ビジネスモデルの観点から、独自の解法を潜航的に実践していくというアプローチでやっていくことではないかと考えている。

一例として、気候変動対策や温室効果ガス（Green House Gas: GHG）削減および、それと関係する再生可能エネルギーや環境技術について考えてみる。従来型の研究開発アプローチは、バックキャスト型またはフォアキャスト型で行われてきたが、このどちらのアプローチでも、多くの場合、実際、研究開発の当初想定した結果・未来社会は外れたものになる。さらに、外れるだけでなく、これらの課題が広く世界の共通認識となっているため、現状の日本のスピード感のなさからは、世界に対して勝ち残っていくことは相当困難だと考えている。

これに対し、そのようなアプローチではなく、日本において世界に先駆けて深刻化していて段階的に世界においても大きな問題になる課題、前の講演で、UMIの木場さんが指摘された、少子・高齢化の問題、都市化、過疎化の問題、あるいは自然災害の増加など、特に2つ目の都市化／過疎化の問題は日本が世界に先行して厳しい状況になってきていると思う。

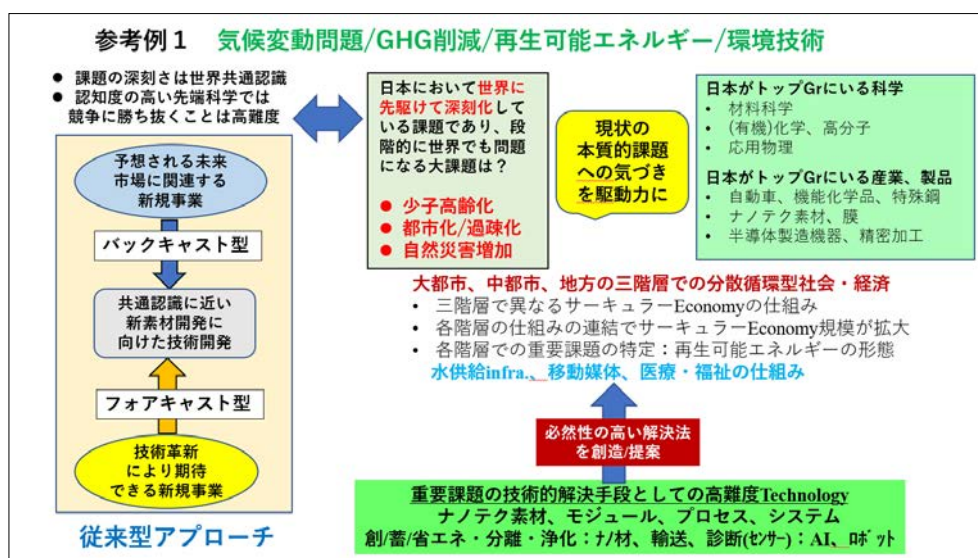


図3-2-1 従来型の研究開発と望ましいアプローチ

一方で、日本がトップのサイエンス、あるいはトップのグループにいる産業とか製品にどのようなものがあるかといえば、図3-2-1 右上にあげたようなものがある。こうした日本の特性をきちんと理解して本質的なボトルネック課題に気づくことが、重要である。

それらを踏まえたうえで、私の考えを述べると、おそらく、今後の日本社会は、大都市、中都市、地方の3階層で分散型の循環型社会とか経済をつくっていく必要があるだろう。言い方を変えると、3階層で異なるサーキュラーエコノミーをつくる仕組みが必要で、この階層はそれぞれでつながっていかなければいけない。各階層での答えの出し方はそれぞれ違っていて、大都市の東京と田舎では全然違う回答が必用だと考えられる。例えば水供給のインフラとか移動媒体とか、医療、福祉、これらの仕組みも多分、全国共通ではないと思われる。こういうものをどのように考えていくかについて、課題解決として、高難度のテクノロジーで「世界で勝てる」ものを見つけていく、このようなアプローチが有効ではないかと思っている。

そのような課題の例を探してみる。最近、プラネタリー・バウンダリーという言葉をよく耳にするが、この中では、気候変動の問題の優先度は上から5番目にある。一番優先度が高い、危ないと言われているのが窒素循環。2つ目が生物多様性、そしてリンの循環があって、4番目が土地利用。これらの後に、気候変動が5番目に来ている。上位のものは安全領域を超えてしまっているので、これを克服しないと地球が壊れてしまうと言われている。世界的には、気候変動の話が注目を浴び研究開発もそこが中心になっているが、これより上位にある課題は、世界でまだ解決策を見ていないものがほとんどである。これらはお互い関連しているので、日本の先行課題と絡めて解決策を考えていくことが非常に重要ではないかと考えている。

2例目は、水素エネルギーに関するものである。最近EUでも水素戦略を掲げていて、電解水素で2024年までに6ギガワット、2030年までに40ギガワットを目指すと言っている。投資としては、PV／風力発電、水素製造用電解装置、既存水素プラントのCCS、

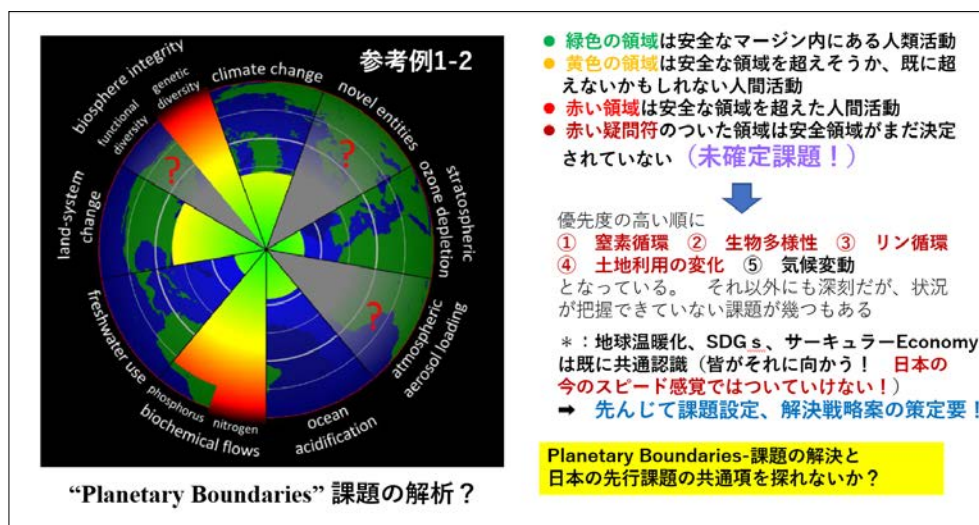


図3-2-2 プラネタリーバウンダリー

水素輸送・貯蔵・水素ステーションなどに、とんでもないお金、数十兆円というお金を投じるとのことである。産業分野でも、水素の燃料等を中心にいろいろな戦略が打ち出されている。

また、サウジに NEOM という都市があるが、そこで PV/ 風力発電の電力を利用して電解で作った水素を原料に、アンモニアを製造し、これをヨーロッパに運んで水素を使うという話をしている。このプロジェクトに総額 70 億ドル、8,000 億円近い資金を投入するが、年産 120 万トン規模のアンモニアプラントは、化石資源を利用したケミカルプロセスでつくると多分 500 億から 700 億円で建設可能である。逆に言えば再生可能エネルギーを利用した場合、現状の技術の寄せ集めでは、その 10 倍の投資をしなければこういうことができない。これには、ほとんど経済合理性はない。しかし、ヨーロッパのほうで水素エコノミーの機運が盛り上がっているのです、こういうことでもやらなければ済まない時代になってきている。

これは国家戦略として社会インフラの再整備上「仕方がないのでやる」ということととらえることができるが、日照時間の長い中東の太陽光／風力発電＋蓄電＋電気分解で水素をつくったケースでも、とんでもない建設費になることがわかる。基本的には、すべての構成要素の設備投資が大きすぎる。太陽光発電も高い、蓄電も高い、電気分解も高い、どれもこれも大きな投資であり経済合理性は余程長い償却期間を取らない限りない。世界全体としては、こういうことを真面目に考えていかなければいけない時代に来ているので、抜本的に違う技術をつくっていくか、とんでもないコスト破壊が起こるようビジネス戦略を立案するようなことをやっていかなければいけない。そうでないと、こういうことは実現できないが、EU は具体的なビジネス戦略を作ろうとしているということだろう。

3 例目は、ボトルネック型のアプローチである。

日本の化学産業は世界で一番エネルギーインテンシティ（Energy Intensity）が低い。売上高当たりの CO₂ 排出量が一番低いということである。世界で一番低いにも拘わらず、日

参考例3-2 創エネ・蓄エネ・省エネに関わるボトルネック技術課題
⇨ ビジネス上のボトルネック課題の技術的翻訳

- ◆ 150°C以下の排熱を効率的に電気に変換できる仕組みはない
 ⇒ 温水発電、太陽光発電、IC-Chip排熱回収が可能になる
- ◆ 酸素はPSAおよび深冷分離によって液体酸素として製造される
 ⇒ 安価に酸素富化ガスが供給できれば、製鉄、発電/エンジンへの適用可能
- ◆ 二次電池の容量、出力、安全性はLiBでは明確な限界がある
 現状ではEV大規模展開は元素戦略的にあり得ない
 ⇒ 全固体LiBは理論的に現行LiBの7倍以上の高効率になりうる（+安全）
- ◆ 太陽光により水を分解するには電気分解が工業化されているのみである
 ⇒ 光半導体を用いた人工光合成により安価なH₂製造の開発が進行中。
- ◆ 光合成植物によるバイオマス燃料/化学原料は生産性/成分分画の煩雑さの為に規模展開の余地は小さい。
 ⇒ 代謝工学の急進歩によるenergy穀物の生産性は急激に向上しつつある

① 現状の社会の中から本質的なボトルネック課題を見つける＝これは“気づき”の問題であり、発見確率向上の方法論の問題。

② 本質的ボトルネック課題の解決のヒントを最先端科学/革新技術の中から見だし、技術課題に翻訳する。

⇒ ①×②で競争せずに勝てる課題をステルス的な開発で解決する。

⇒ **日本で有効なビジネスモデルも作る！**

図3-2-3 ボトルネック課題

本の化学産業は再生可能エネルギー・資源を殆ど使っていない。それにもかかわらずこれだけ低いということは、高効率な製造をしているということに加えて付加価値の大きい製品を生産しているということである。これで、さらにエネルギーインテンシティを下げることであれば、これは明らかに日本の化学産業の世界市場での強みになるはずである。

こういうことを上手にやったのがヨーロッパで、ヨーロッパの場合にはバイオ戦略ということで、大きな産業を戦略的につくってきた。ヨーロッパでは既にバイオジェット燃料のマーケットが3兆円を超えているが、飛行機にバイオジェット燃料を使わないと着陸させないという仕組みをつくることで、高いものでも使わなければいけない状況をつくった。これは、技術だけではなく戦略的に考えていくことが非常に重要であることを示す例だと思っている。

最後にもう一言述べる。創エネとか蓄エネとか省エネに関わるボトルネック課題というのは幾らもあって、これが世の中に対してどのようなインパクトを持つか、まず考えることが非常に重要であり、それを革新技術として解決した上で日本独特のビジネスモデルをつくるようなことを考えていけば世界に貢献できるし、日本の産業にも大きく資することができるのではないかと考えている。

3.3 ニューノーマルにおける重要・挑戦課題

藤井輝夫（東京大学）

ニューノーマル時代に鍵を握るであろうナノテク・材料分野の重要・挑戦課題について、東京大学全学としての取り組み、私が所属する生産技術研究所や自身の研究室の取り組みをもとに話題提供を行う。

まず今日の社会情勢について振り返る。周知の通り、ニューノーマルになる以前から価値の主体がモノから知や情報、サービスへ移行するという知識集約型社会への転換がデジタル革新に伴って進んでいる。例えば通信回線の平均トラフィックは2004年以降急増しており2019年は9 Tb/s程度に到達していたが、2020年になってからは20 Tb/sに届くような水準になっている。すなわちこれまでSociety5.0といった枠組みで進んでいたスマート化やデータ駆動型へのシフトがますます加速していく状況にある。そのなかで、図3.3.1に示す以下が重要領域と考える。

1つ目はデジタル化・スマート化技術である。幸いなことに、日本はSINET5という全国の大学、研究機関等をつなぐ情報通信網が整備されており、全国どこでも100 Gb/sでつながっている（東京・大阪間は400 Gb/s）。これによって、各地の多数のセンサで拾い上げた情報がエッジ処理も行われつつ、リアルタイムでハイパフォーマンスコンピューティングすることが可能になっている。例えば集中豪雨が起きたときのダムの貯水量把握や、そこから放水したときの河川の水量変化予測がほぼリアルタイムで実施できるような状況になっている。

一方で、エッジにあるデバイスの数、あるいは全体の計算量が増大していくのは必至であり、それを支える半導体関連の技術、特にエネルギー消費や計算量を考慮すると、微細

志ある卓越。  東京大学
The University of Tokyo Discover Excellence.

ニューノーマルにおける重要・挑戦課題(ナノテク・材料関連)

- デジタル化・スマート化技術
 - デバイス技術・量子技術
 - 画像・音声関連技術(XR)
- リモート化・自動化技術→分散化・オープン化アプローチの進展
 - 5G/ビヨンド5G(インフラ/デバイス)
 - マルチモードインタフェース
- 接触・非接触制御技術
 - 塗料、コーティング、表面処理技術
 - 非接触センシング/制御技術
- バイオ/ナノ融合技術
 - 材料・表面機能化技術
 - バイオ・ナノセンシング(デバイス融合)
- コンテンツ強化・充実
 - Learning Media強化
 - オンライン/ハイブリッドへの工夫

図3-3-1 ニューノーマルにおける重要・挑戦課題（ナノテク・材料関連）

化をさらに進めていく必要があると考える。

この課題に応えるべく、東京大学は、TSMC と包括的な連携関係を構築している。半導体関連企業とコンソーシアムを立ち上げ、TSMC との間でアライアンスを結ぶことにより、半導体分野での産学連携、国際連携を加速させる予定である。

また、新たな計算パラダイムとして量子コンピューティングは重要領域である。東京大学では全学的に東京大学量子イニシアティブ構想を掲げており、IBM とパートナーシップを結び、さらに全国の量子応用を考える企業や大学・研究機関とコンソーシアムを形成しようと動き出している。このようなコンソーシアムの中で東京大学が持つ基礎科学へのアドバンテージを活かしながら、システムあるいはアプリケーションレベルまで一貫通貫で研究開発していくことを目標にしている。

このようにサイバー空間の重要性や持続可能性への要請が高まるなかで、2020 年 8 月にグローバル・コモンズ・センターを設立した。ここでは、地球という人類の共有財産（グローバル・コモンズ）に対して、責任ある管理（スチュワードシップ）を進めるためのインデックスの作成に取り組んでいる。サーキュラーエコノミーの分野では三菱ケミカルともパートナーシップを結んでおり、またサイバーの部分でもデータの質や信頼確保といった観点でのルール作りを進めているところである。

2 つ目は、接触・非接触制御技術が重要な領域となると考える。例えば、工学系研究科を中心とした全学的な取り組みとして、革新的コーティング技術に関する研究開発を日本ペイントと産学協働で進めている。全てのモノは表面のコーティングや処理が行われており、まさにニューノーマルを見据えての研究開発の強化を進めている。

3 つ目はナノとバイオの融合であり、我々の研究室の取り組みを紹介する。フランスの ANR（The French National Agency for Research）が新型コロナウイルスへの対応として、非常に広い分野で研究公募（ANR Flash Call COVID-19）を行った。そのなかで我々は DNA ナノテクノロジーを使った SARS-CoV-2 の検出技術の開発を進めている。固体の表面に付着した SARS-CoV-2 由来 RNA のクラスター化を促進し、携帯電話等の簡易的なデバイスで検出することを目指している。

4 つ目は、分散化・オープン化の研究アプローチの重要性である。我々の研究室では OMNI プロジェクトといって、低コストで構築、運用できる自由度の高い海洋観測システムを開発し、多様な海洋データを詳細かつ大規模に収集することを目指している。様々な市民がこのようなセンサを使い、その情報を拾い上げ、かつ誰でもアクセスできる。このようなオープンソース型の研究開発はニューノーマル時代と適合しており、広がっていくと考えられる。

5 つ目は、教育分野でさかんに議論されているようにニューノーマルに適したコンテンツ強化・充実である。例えば、東京大学では 1 つのニューノーマルの実装例として完全 VR を利用して高校生のためのオープンキャンパスを開催した。オンライン／ハイブリッドへの工夫など、今後も取り組みを進める必要がある。

以上のように、データ駆動型社会の加速に向けて、リモート化、自動化だけでなく、分散化あるいはオープン化のアプローチが進展していくと考えられる。それらをつなぐ技術、例えば 5G や beyond 5G のインフラやデバイスとして、ナノテク・材料分野は大きく貢献することが期待される。

3.4 社会変化から重要になる研究分野、挑戦課題

宮本重幸（日本電気株式会社）

私が所属する日本電気株式会社（NEC）は ICT、AI、通信等の情報通信技術をコアにして社会に価値を生み出すことをミッションとしている。価値創造の手段のコアは“技術”であり、最先端の技術トレンド、社会トレンドを収集した上でグループとしての技術戦略、開発戦略を策定し、それを内外に発信している。本話題提供では ICT 分野の企業の観点でナノテク・材料分野への期待を述べる。

コロナ禍において、生活、産業、公共といった多くの場面で劇的な変化が既に生じており、今後そのような変化が固定化されていくだろうと推測する。今後、以下の4つの価値1. タッチレス・リモート、2. 自動化・省力化、3. レジリエンス、4. トラスト、が強く求められると考えており、我々のグループとしては特にセキュリティやプライバシーという観点からトラストという価値へのニーズがより高まると考えている。

この4つの価値を技術ニーズとしてブレイクダウンすると、図3-4-1のようになる。例えば、タッチレスについては、接触認証から非接触認証への移行が求められる。より遠隔、つまりリモートとなると通信が非常に重要になる。その際は双方向、安定、かつセキュアであることが必要になる。同様に、自動化・省力化については、ロボットに代表される分野で、人手を介さない／無人による制御、管理が必要になる。トラストという観点では、デジタルデータでどう信頼性を確保するか、モノや人によらない信頼性をどう確保するかが重要になる。レジリエンスは、サプライチェーンが動的で流動的になるなかで、変化に対応できる ICT システムの構築が重要になると考えられる。また、デジタルトランス

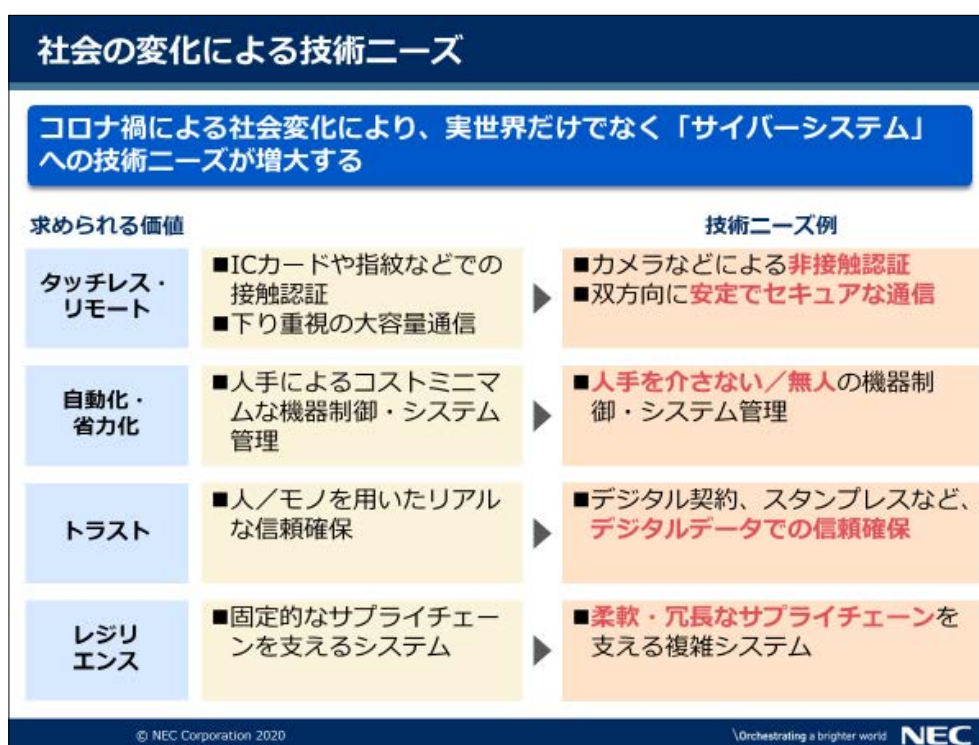


図3-4-1 ポストコロナで求められる4つの価値と対応する技術ニーズ



図3-4-2 ナノテク・材料分野で今後重要となる研究分野、挑戦課題

フォーメーションが進みつつあるなかで、実世界での社会活動、経済活動は益々サイバー空間に移行する、もしくは融合していくことは必然の流れである。

次にこれまでの認識に基づいてナノテク・材料分野で重要になる研究分野、挑戦課題について私見を含めて述べる。

サイバー世界、サイバーシステムに注目がある企業としては、図3-4-2のように実世界とサイバー世界のインターフェース部分、実世界の情報をどのように取得し、実世界にどのように働きかけるかという部分を支えるナノテク・材料技術に大きな期待を抱いている。それと同時に、サイバー世界全体を支えるハードウェア、例えばコンピュータ、AI、エッジコンピューティング、通信、そのあたりにも大きな期待を抱いている。以下個別のトピックについて紹介する。

1つ目はサイバー世界と実世界をつなぐインターフェースについてであり、以下に典型的な技術を列挙する。

(1) 非接触センサ【タッチレス・リモート】

電磁波・音波・磁気センサなどの非接触センシングが重要となる。Si フォトニクスによる回転ミラー不要な LiDAR、コンパクトな深度センサなどが高解像度という価値だけでなく、小型・安価にできると活用が広がる。

(2) ユビキタスセンサ（小型、低コスト、易回収・易分解）【タッチレス・リモート】

IoT が進展するなかでいたるところからデータを取得する社会になると、センサの易回

収性、易分解性といったサーキュラーエコノミー的な観点も求められる。また、AI 処理を前提としたデバイス開発が重要となると考えられる。例えば、レンズレス撮像素子のように撮像素子からのアウトプットを後段の AI で人間が認識できる画像を生成するなど、AI での処理を前提としたハードウェア開発をより進める必要があると考える。

(3) プライバシーを守るセンサ【トラスト】

セキュリティ問題の意識が高まる中で、そもそも顔などプライバシー性が高い情報をとらないセンサが重要になると考えられる。例えば赤外線センサなどは注目が集まる領域である。

(4) ヒューマンマシンインターフェース（軽量・小型）【タッチレス・リモート】

小型化・軽量化という方向を進めて普及させていく必要がある。たとえば、コンタクトレンズディスプレイはプロトタイプができていて、スタートアップが事業化を進めるといった動きもある。さらに、先物の技術としても、エナジーハーベスティングデバイス、埋め込み型脳内インターフェース、有機材料による小型・安価・フレキシブルなフォトリクスデバイスも注目している。

(5) 人と協働するロボット（軽量・小型、高出力、安全）【自動化・省力化】

人との共存に対する安全性へのニーズがより高まっており、有機・高分子材料によるアクチュエータが求められる。

(6) エネルギーデバイス（小型・軽量、安全、急速充電）

【タッチレス・リモート】【自動化・省力化】

(1) ～ (5) を支えるエネルギーデバイスについても、大きな期待がある。IoT を考慮すると小型・軽量、安全といった価値へのニーズがシフトしていくと考えられる。

2 つ目は、サイバーシステムを支えるハードウェアについてである。

(1) 高臨場感通信（大容量、低レイテンシ）【タッチレス・リモート】

高臨場感、つまり大容量で低遅延の通信を行うために、デバイス・材料としてより高周波領域を扱っていく、さらには光レーザを使った通信などは重要性が高まると考える。

(2) ヘテロコンピューティング【レジリエンス】

コンピューティングを高速にするという観点では、AI チップや量子コンピュータも重要性が高まると考えられる。

以上の通り、サイバー世界への技術ニーズが増大するなかで、実世界とのインターフェースの進化に関するナノテク・材料分野の研究開発には大きくそして様々な期待を抱いている。

3.5 感染症に備えた研究開発インフラと研究開発課題

村山 宣光（産業技術総合研究所）

今般の新型コロナに関し、現場マネジメントの立場での経験を踏まえ意見を述べる。

まず最初に、感染症に備えた研究開発インフラに関し一番困ったことは、人の移動の制限である。解決策の1つには遠隔操作あるいは自動化という技術の方向があるが、個人的には材料研究において実験室で手を動かすことはなくならないと感じるため、どのように実験室や製造過程で人が働く状況を確保するかという観点で解決策を考えてみた。

まず一点目として、今後地域分散型の研究開発インフラを国策として進めていく必要があると考える。その際、地方大学や研究所における地域センターなど、分散化された研究場所がより重要になってくる。第二に、国立研究開発法人の宿泊機能の充実が長期的に肝要である。例えば弊所（産業技術総合研究所。以下 AIST）では東京近郊からの通勤者が多いため、いざという場合には所内に宿泊しつつ予防対策をとりながら研究を継続するべく、宿泊機能が重要になると感じる。

三点目として、PCR 検査を高精度化・高速化し人の移動制限の合理的な緩和を図る。海外出張ができないことが企業活動の制約の大きな原因と聞いており、検査の技術開発により合理的な緩和を図りたい。四点目としては、パーソナル・非接触のモビリティを導入した人の移動制限の合理的な緩和を挙げる。これに係る技術開発が重要になるだろう。

研究開発拠点の分散化について、AIST では北海道から九州まで拠点があり、コロナ発生の前から東日本と西日本で同じクオリティの材料分析を提供するため、つくばセンターと中国センターにインフラを整備してきた。これにより、コロナ禍でも西日本の企業が中国センターのファシリティを活用でき、研究の継続に貢献できた。

PCR 法に関する AIST の取組としては、AMED の緊急プロジェクト（令和 2 年度「ウイルス等感染症対策技術開発事業」採択課題「新型コロナウイルス等感染症の精確な検査を可能にする極微量 RNA の超高感度増幅検出技術（RT-PCR 法）の開発」）において、メソポーラスシリカに DNA 増幅のための 2 種類の酵素を担持させ PCR 検査の性能を格段に上げるといった試みがある。

感染症下でも製造産業の事業継続を可能にするためには、例えば、通常は原料を輸入に頼っていても、いざとなれば多少コストがかかっても国内原料から化学品をつくる技術を備えとして持っておく必要があるだろう。また、アビガンの例に相当するが、いざというときには複数の企業が持つ製造技術を組み合わせて国内製造を可能にするような備えの仕組みも必要だろう。加えて、コンパクトで製造ラインを柔軟に変更できる製造技術も必要と思われ、これらに関連する 3 つの方向性で同時に技術開発を進めていく必要があると考えられる。

AIST の取組事例として、NEDO プロジェクト「機能性化学品の連続精密生産プロセス技術の開発（2019 年度～2025 年度）」では、従来のバッチ法による化学品の生産から、1 つのカラムに 1 つの触媒機能を担持したフローの連結によりコンパクトでフレキシブルに、短時間でものづくりができる技術を開発している（図 3-5-1）。製造業の国内回帰、インターネットを利用した遠隔地制御による自動生産、そしてモジュールを自在に移動して組み替えられることから感染症等の事態に応じたサプライチェーンのフレキシブルな再構

築が可能になることが期待され、図左下に示したモジュールを開発することを目標に研究を進めている。



図3-5-1 国内製造を可能とするフロープロセス技術

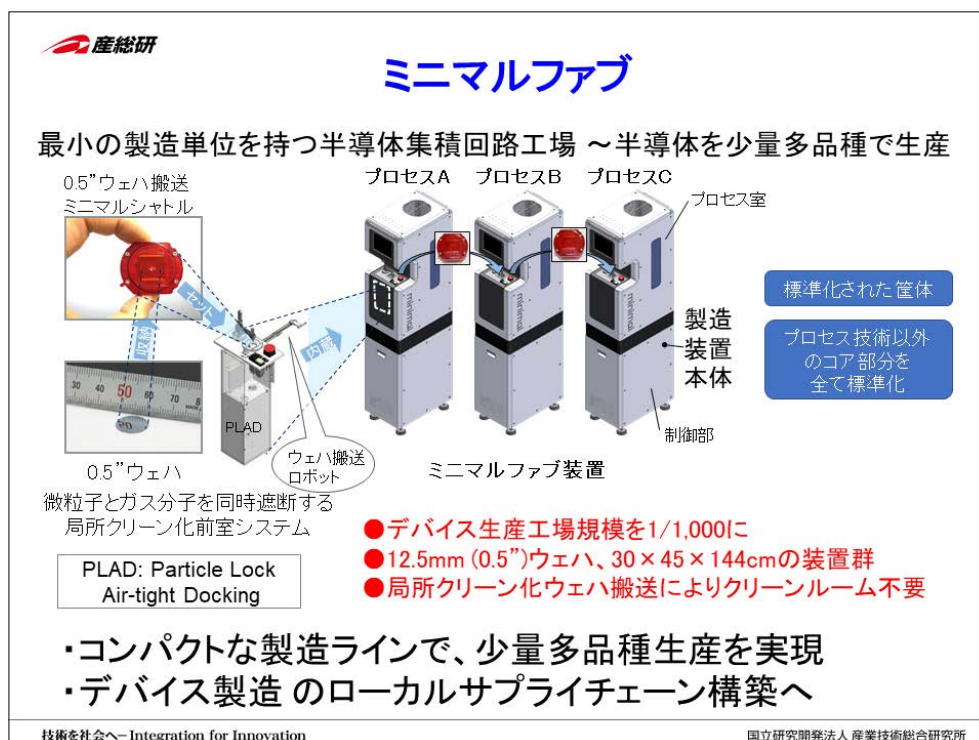


図3-5-2 「ミニマルファブ」

3. ナノテク・材料分野で、社会変化から、重要になる研究分野 挑戦課題

もう一つの事例は半導体の取組「ミニマルファブ」である。最少の製造単位を持つ半導体集積回路工場、半導体を少量多品種で生産するという技術だ。図 3-5-2 中央の写真にあるように、一つ一つのモジュールは 30 センチ× 45 センチ× 144 センチと非常にコンパクトで、例えば 1 つのモジュールにエッチング工程を負わせ、これらのモジュールを自在に組み合わせて要求に応じてオンデマンドな製造を実現する。特に MEMS などの少量多品種型の半導体デバイスに非常に効果があり、これは既に製品化し企業に導入が進んでいる。

以上のように、製造業の持続的な事業活動を支える課題に国として取り組むべきものと考えている。AIST においても社会課題の解決及び産業競争力の強化に今後も貢献していきたい。

3.6 東レにおける社会変化への認識と対応

山根 深一（東レ株式会社）

弊社（以下東レ）において今回の社会変化をどう認識しているか、どう対応していくかについて以下述べる。

従前から今後確定しているシナリオとして人口が減り需要が減っていくことがあるが、今回のウィズ・ポストコロナではその減少が突然来てしまった、すなわち、来たるべき人口減社会における需要減のシミュレーションと認識している。そのシミュレーションの場において、素材を作っている会社としての CSR 上の責任も含めた対策を考えてきた。

まず、企業には「社会の公器」としての資格がより問われている。企業価値・信頼感の拡大、そのための積極的かつ透明性の高い情報発信が求められる。東レでも NEWS PICKS というホームページにおいて、対談形式で研究者が情報発信を行っている。

組織内部としては、非接触・密回避という現状の中で、いかに従来の一体感を保っていくかが大きな課題である。東レでは創立 95 周年でもあり、企業理念や企業文化を一度整理し、Toray Philosophy と題してそれを浸透させる活動を行っている。色々な取組を行い、求心力を保持したいと考えている。

実際の現場では、リソースが非常に限られている。コロナによって売上や経営が影響を受けていることもあるが、刻々と状況が変わる中で柔軟に対応せねばならないという課題意識を持っている。これに伴う選択・集中にあたり素早い意思決定が経営側の課題であり、現場側としては「モノ」から「コト」への転換が求められている。これまでと同じように素材だけを売るのはではなく、「この素材でこういう世界を一緒につくっていきましょう」というような、素材にビジョンをつけた提供の仕方が必要になると思われる。このコロナ禍を契機として今後変革する勢力と踏襲する勢力のせめぎ合いが起き、その結果、会社の内外問わず取捨選択された世界になっていくだろうと感じる。

そのような中で、私の所属部署である研究本部では、コロナ禍により素材産業と DX は更に切っても切れない関係になりつつあると捉えている（図 3-6-1）。

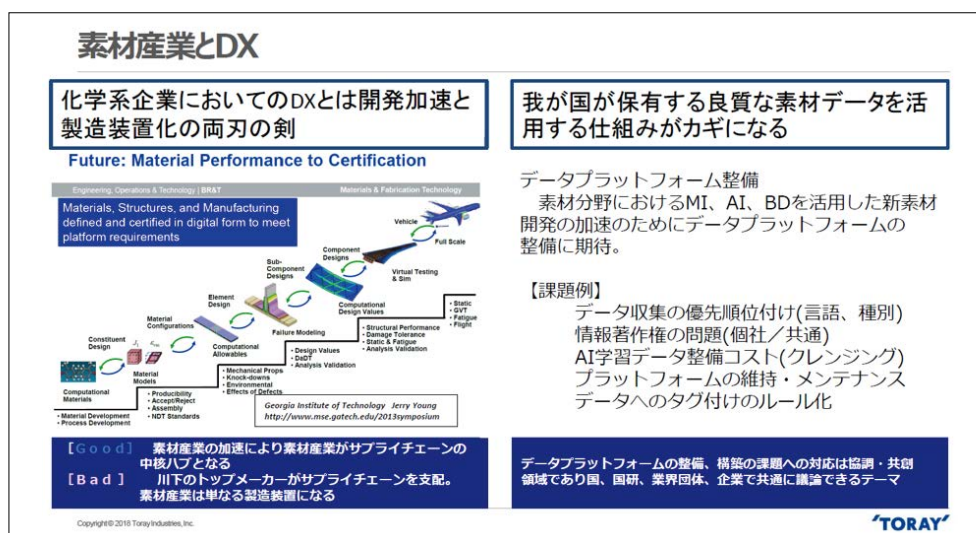


図3-6-1 素材産業とDX

この中で2点着眼点を挙げる。1点目は、化学系企業におけるDXは研究の開発加速と製造装置化の両刃の剣となっていることだ。これは危機感にあたる。左図のようにデジタルによって飛行機などの製品と、素材（性能）、構造、原子、分子が一通貫で繋がっていくと、グッドシナリオとして、素材産業の加速によって素材産業がサプライチェーンの中核ハブになると想定される。他方、川下のトップメカが素材産業を単なる製造装置と見なしサプライチェーンを支配するというバッドシナリオもあり得る。従って、我々素材産業としては、DXを進めつつも危機感も持っている必要がある。そのためには、先ほど述べたように単にモノだけ売るのではなく、川下のメカと一緒にビジョンを共有することが非常に重要である。

もう1点は、DXを進める場合にはデータをどう使っていくか、その仕組みが大きな鍵になるということである。素材産業においてMIやAI、BDなどを活用する際にはデータプラットフォームに期待するところが非常に大きい。しかしここ数年、いくつか課題も見えてきている。データを収集するにしても、どのようなデータをどの順番で集めていくかといった、言語や種別を含めた優先順位付けが課題である。また、論文や出版物には著作権があり、その対応の問題もある。また、AI自体が動くのは数秒、数分に過ぎないが、実は学習させるためのデータのクレンジングにも非常に手間がかかる。最先端の研究ではないが、クレンジング等のコストをどうやって下げていくか検討が必要である。加えて、プラットフォームの維持・メンテナンスといった泥臭い部分もあり、そもそものデータへのタグ付けルールが曖昧である問題もある。

ただし、このような課題は共創・協調領域の課題であり、国や企業の垣根を越えて共通で議論できるテーマであろう。

最後に、東レでは昨年12月に「未来創造研究センター」を滋賀に新設し、今我々が注目するナノ・材料分野の課題をテーマとしている（図3-6-2）。再生医療関係の材料、スマートテキスタイル、生体親和性材料、分離膜技術、水素社会向けの部材、低環境負荷印刷技術、移動システム、ディスプレイ関係や高速ネットワーク関係等の様々なテーマを含め、コンピュータを活用した新技術も組み合わせ取り組んでいるところである。



図 3-6-2 東レ未来創造研究センターの取組

3.7 ディスカッション

ファシリテーター 眞子 隆志 (JST-CRDS)

〔食料・農業、および プラネタリーバウンダリー〕

- ・食料の問題に関連してナノテク・材料の世界でも、人工肉、植物肉、昆虫肉などの研究例もある。中国では、食料危機を警戒し始めて様々なメッセージが発信されている。ところが、日本では、農業はペイしないという社会問題的な面もある。海外と日本とはだいぶ状況が違い、海外の方が喫緊の課題と意識されているように思える。
- ・日本では食にあまり困っていないという理由もあり、日本の農業関連のナノテク・素材関係の技術競争力は強くない。作物の収率向上や、植物や動物そのもののイノベーションは日本では少ない。一方で、中国やアメリカでは食の問題が重要であり、また大規模農業も実施されており、種苗やバイオスティミュラントといって植物がもともと持っている力を引き出す研究もかなり盛んである。日本としても、この領域はもっと力を入れてもいいのではないかな。日本は食糧を海外に依存しているのに、危機感として不足している。
- ・プラネタリーバウンダリーの問題は歴史が浅いが、SDGs や気候変動の上位概念に位置する。地球の循環に関しては水と浄化の問題が重要である。例えば東レが水の浄化や不純物の除去に取り組んでいるが、世界で勝っていける技術がいろいろあるはずである。ナノテク技術が重要であることは理解できるが、世界の中でどの位置にいるかをよく把握した上で議論する必要がある。特に食料・環境に関しては、日本が先導できている部分はいろいろとあるのではないかな。
- ・食料の問題は、日本としては、高付加価値化の方向で考えざるを得ない。カルチャーDMTのように人工的につくる食料で高付加価値のものをつくる。例えば医療用に、病院食用の高付加価値食料や、畜産における受精卵の培養とスクリーニングなど。水産でも農業と同様に、環境保全や空間利用と併せて考えていく必要がある。特にノルウェーなどで盛んに行われているイノベティブ・フィッシュ・マネジメントは、海洋環境の保全とともに、養殖によって高付加価値の食料をつくっており、そのようなアプローチを考えてもよいと思う。そこに技術が入っていくのがよいのではないかな。センシングやコーティングなどにナノテク・材料関係の技術が必要になる。
- ・グローバルには、肥料の問題がある。農業では、肥料によって生産性向上を図っているが、その肥料は海に流出して回収できていないのが現状であり、窒素とカリウムの回収をどうするかが課題である。膜を利用した元素の回収が期待できる。養殖に関しては、水質がネックになることが多く、ここでも膜技術が貢献できると思われる。
- ・肥料の中のリンは植物に入るのはたかだか 30%程度で、70%は土壌に堆積しており、リンの循環は極めて重要な課題である。一方で、肥料をいかに少量で有効に植物に供給するかという技術、例えば肥料の DDS 的な技術が重要で、中国では一部商品化されている。日本としても、より効率的な肥料、必要な量を必要な時に供給する肥料の開発が大きなテーマになるのではないかな。また、NEDO プロジェクトでは、窒素循環プロジェクトがスタートしたところである。

[DX化 (Digital Transformation) について]

- ・ここまでの議論にあったように、今後、日本が、例えば人口が減る、需要が減る、コロナ禍を契機にさらに社会のDX化が進むこと、また、そのための技術として、ものづくりでは例えばセンサやアクチュエータとそれらのインターフェースが必要ということに関しては同感である。しかし、これを機会にどのような社会を目指すのかも検討するべきではないか。今回、DX化が急激に進んできているが、技術が不十分な面も出てきている。「より人間的でありたい」という方向性が重要だと思う。DX化により監視社会や個人の分離を促進する方向に向かうのではなく、ウェルビーイングの方向、身体的・精神的・社会的によりよい満足感、幸福感を得られるような方向に向かうための技術開発を目指すことを提案したい。
- ・DXは高度な標準化という側面も持っている。DXが製造装置などに実装された場合、模倣困難性や差別化をどのように実現するかが、従来より大切になる。製造プロセスのノウハウとして秘匿して継承していくことが重要である。
- ・半導体産業の経緯が参考になる。プロセス技術の多くが装置に埋め込まれオープン化され共通化したが、競争領域は確実にあって、それがマーケットを支配する構造になっている。日本は2000年初頭までは強い技術を持っていたが、熾烈な微細化競争が始まり、TSMC、サムスンだけが生き残っている。インテルも途中で立ち遅れてしまった。彼らは特許でビジネスを守っているのではなくて、プロセス技術、ノウハウが競争力の源泉になっている。
- ・DX化に伴い、今後、データの流通が盛んになると思われる。現状、種々の契約の際に知的財産は検討されるし、国からのガイドラインも出ているが、データ流出に関わるガイドラインは未整備であるので、整備していく必要がある。これは経済安全保障にも関わる部分だと思うので、重要なアイテムだ。

[国としての取り組み]

- ・国としてのアイデンティティが弱くなってきている。もう一度、国として動かなければいけないような時期に来ている。窒素やリンの循環の話でも、日本が、国として「こういう方向でやっていく」と強く打ち出さないと、技術だけでは負けてしまう。「国としてこういうふうにやっていきたい」という戦略性、アイデンティティを持つことを考えていく時代になっている。今回のコロナ禍はそのきっかけになったのではないか。
- ・先に出てきた環境や農業の話では、様々な省庁が協調しなければならない領域であるが、国としての戦略になっていないので、しっかり協調体制ができないなど支障が想定される。「国としてこんな未来社会をつくっていく」という姿、どんなふうになればハッピーになるか、日本が豊かになるかという視点が最初ないと、いろいろなものをつくってみても日本として残っていけないのではないか。
- ・国として取り組むべきなのは、基盤技術、オープン化、パブリック化などであり、その上に乗って最終的な競争力をつくるのは企業の役割ではないか。

- ・オープンな仕組みで案件を受け、そのプラットフォームにどれだけ最先端のプロセス技術やノウハウを蓄積できるかが重要。知財やノウハウの戦略も含めて、そのプラットフォームを使うことによって、そのプラットフォーム自体がどんどん強くなっていく構造をつくらないと、勝負にならないし、使うメンバーも集まってこない。好循環をどうやって上手につくるかということが重要だ。世界的にも、オープンに使える構造のプラットフォームの強みは、そういうところにあると思われる。
- ・プラットフォームの重要な役割は、最先端技術への取り組みと、そこで生まれるものをどう蓄積して、ある意味でのデータベース化、ほかの人が利用できるような形にしていくことであり、結果としてその蓄積された技術が進化していくということである。その際、プラットフォーム上で蓄積される技術、情報のオープンとクローズの区分がしっかり設計されていれば、いろいろな企業と、国研やいろいろな大学等が共同研究した技術成果がそこへ蓄積され、さらに横の展開が可能になる。プラットフォームに蓄積させる仕組み、そのためにはオープンとクローズの設計がとても重要である。
- ・プラットフォームにノウハウを蓄積するには、インセンティブが重要ではないか。そこと協業することによって何かいいことがあるという期待感。例えば IMEC やフラウンホーファーのように。

[ベンチャー]

- ・日本は諸外国に比べると、起業に対する意識が低いカルチャーがある。カルチャー面が理由にあるので、欧米並みにしていくというのはかなり難しい。しかし、最近 10 年ぐらいで起業環境や起業しようというモチベーションは大きく変わってきている。
- ・日本ベンチャーキャピタル協会が、COVID-19 に関連してワクチンなどのようにウイルスに対するアクションを行っている国内のベンチャーをリストアップして政府に対して提言をしている。製薬業界は比較的早期退職の風土があり、人材がかなり市場に流通してきている背景もあり、ライフサイエンス分野では起業を考える人が増えてきている。
- ・シリコンバレーでは、IT 産業で成功したエンジェル投資家が、ハードテック、ディープテック（素材などの領域）を支援していこうという流れもある。インドは、数年前に会社法が改正され、黒字化している会社は営業利益の数%を CSR 活動に使わなければならないことになった影響もあり、製造業やライフサイエンスに投資するようになってきた。これは、グローバルの兆候であり、日本もそこに立ち遅れないようにするべきである。

[DX 時代の製造技術]

- ・ポストコロナとしては、製造技術がクローズアップされてくるのではないかな。今後は、フレキシブル製造技術みたいなものが重要になってくる。
- ・産総研で検討中のフレキシブルプロセスインフラに関しては、万人向けの技術ではないのではないかな。大量生産が向くものではなく、日本が強みを持つ高付加価値製品が向いているのではないかな。規模は小さいがシェアが高い事業は、小回りが効くことが

重要であるので、フレキシブルプロセスインフラの良さが活かせる。

- ・フロープロセスは、少量で付加価値のある化学品、具体例には、医薬中間体などが一番有望だ。現在、コスト、人件費の面から、中国、インドから大量の医薬中間体を輸入しており、それを国内製造化できれば相当な経済効果がある。
- ・物を製造する際は、分離精製が重要でありコストがかかり、苦勞しているケースが多い。フロープロセスとしては、反応だけでなく、分離も含めたフロー系を目指してほしい。
- ・化学メーカーにおいても製造装置は内製化する。内製化しないものは、標準化の動きに飲み込まれる。特殊な装置にすることで差別化を達成した例はあるが、それはかなりニッチなものになってしまい、大きな事業展開ができるものではなくなってしまう。一方、汎用品は世界標準化されているが、その中で勝ち残るようなものは、日本はやってこなかった。しかし、エネルギーや資源関連については手つかずに近いので、独自技術をつくっていく余地は大いに残されている。
- ・ベンチャーにおいても、素材や化学の技術というのは「どうやってつくるか」という製造装置の部分がセットであり、どんなに小さいベンチャーであっても、そこを内製化していくことは非常に重要なポイントである。スケールアップする際には、近い技術や近い装置を持っている会社と協業するケースがある。
- ・素材や化学の場合は、ターン・キー・ソリューションのようなラインが確立されパッケージ化されているものが成立しにくい。周辺インフラの設備投資や技術が重いというのが理由化もしれない。
- ・産総研の例のように、素材や化学産業でもターン・キーのような形でものづくりができるようになるのとすると、これはかなり大きいイノベーションというか、パラダイムシフトが起きるのではないかという感じがする。ここは世界的にもあまり研究されておらず、日本がグローバルに先んじられる分野ではないかと考える。
- ・アイデンティティをどうやってつくるのが重要。例えばターン・キーになったとしても、それを使う人のノウハウやアイデアがあるから差別化できる。匠のような人が重要になってくるので、そういうアイデアを創造する人が働きやすくするにはどうするかということに焦点を当てる必要がある。そういう環境づくりが非常に重要であり、匠という人たちを恵まれたポジションにしているのかとか、博士課程の人材の活用だとか、そういう周辺状況も含めて考えていかなければいけない。
- ・技術の差別化がDX時代の一番重要なキーポイントである。いろいろな技術をデジタル化して、デジタルツインとして遠距離でも使えるようにするアプローチが進んでいるが、非常に危険である。つまり、日本の高品質な製品もしくは材料、いろいろなノウハウの入ったものを、単なるデジタルツインではなく、大切に秘匿化しながら、しかし国内では十分に技術力を上げるという意味で流布する、このような管理がこれからのナノテク、マテリアル技術の発展には非常に重要な方針になると考える。
- ・企業のプロセスに関するノウハウは、日本の素材産業の強みであり、この強みをさら

に強くするために国家戦略としてどうあるべきか、むしろ企業の方々にお任せするべきではないかという点を検討する必要がある。企業のノウハウやプロセスをさらに強化するための戦略はどうあるべきかというところが一番大きな課題ではないか。ノウハウはノウハウとして会社の中に蓄積されるようなことを加速するための国家戦略というスタンスがよいかもしれない。

- ・最終的にはノウハウや、装置の内製化によるクローズの技術、そのところが勝負の最終局面では極めて重要であろう。ただし、DX化はさまざまな技術が共通化され、これがないと競争に参加できないというか、ゼロから技術をつくり上げていたら費用も時間もかかってどうしようもない、一気にDXを使ってあるステージまで行くための必須のものである。そこから先の勝負は、プロセスのノウハウや装置の内製も含めた「本物」の技術が勝負を決めるのではないか。DXがないと勝負の土俵にも立てない状況であり、それを強化していくことは国としての役割である。
- ・DXで人間の能力を最大限、引き出せるだけ引き出すというのが上手な使い方である。DXの上に人間の強みを載せる、そういううまいDXをつくっていくことが一番重要なのではないか。最終的には、やはり人間の知恵と個性を最大限引き出す体制をつくることだ。

4. 総合討論

ファシリテーター 福井弘行 (JST-CRDS)

【論点説明】

ここまでの議論で、COVID-19により強制された実験とコミュニケーションの急速なリモート化については、それにより困難が生じることもあるが、逆にメリットが生まれることもあるということが、各現場における事例とともに紹介された。さらに、今後は実験とコミュニケーションのそれぞれを、リアル、リモートにうまくふりわけていくべきであるという方向性も示された。このセッションでは、さらに具体的にその部分の議論を行いたい。つまり、図1右上に示すマトリックスで何をどこに置くのかということが一つの議論のポイントかと思う。

議論の順序として、「本当にリアルに残すべきものは何なのか」から議論を始めたい。また、積極的にリモートに移すべきものもあると思われるが、その移行のためにはどういうものが必要なのか、何をなすべきなのかについても、その次に議論していきたい。さらに、今後は、否応なくサイバーフィジカルの連携ということが期待されてくるとと思われるが、リモートとリアルがうまく連携できるかどうかで、今後の状況が大きく変わっていくので、それらを担う人材育成の改革、変化についても議論したい。以上の論点について、あるいはここにあげたものに限らず、他の様々な観点から意見をいただきたいと思います。

以下では、Qが質問、Aが回答（複数）、Cはコメントを意味する

総合討論

1. リアルに残すべきもの： なぜ残す必要があるのか？ いかに関強化するか？
 - 日本の強みか？
 - or 成功体験への固執か？
 - 今はリアルでないとできない？
 - or 将来的にも残すべきか？
 - DX技術
 - a) 匠の技
 - b) 技術伝承・指導
 - c) 「手を動かしてなんぼ」
 - d) 手を動かすことで研究者センスが育つ
 - e) 新たな出会い
 - f) 新たな気づき、発想
2. リモートへ移行すべきもの： 移行のために必要なものは？ いかに関強化するか？
 - a) 人・モノ・金
 - b) DX技術、データ
 - c) 共用設備
3. リモートーリアル(Cyber-Physical)の連携強化
4. 人材育成の改革、質と量の確保
 - 3-1 (従来型)材料系研究者の育成： リアルが必要か？ どうやって育成するか？
 - 3-2 新しいタイプの材料系研究者： 材料科学 × データ科学 など
 - 3-3 タイバーシティ： 外国人・女性研究者の活用： リモートにより機会を広げられるか？
 - 3-4 技能者必要性： DX・リモート化に合わせ、処遇の再設計が必要では？

図4-1 総合討論の論点

【リアルあるいはローカルに残すべきもの、あるいは残さざるを得ないもの】

Q：匠の技的なものはどこまでリモート化できるのか？

A：多くのプロセスに、まだ数値化されていないような細かいところの作業が残っており、そういったものは言葉で伝えても分からないし、映像で見えても、そのときの音、微妙な肌触りの違いなどが伝わらない。外科手術で医師が実際に患者を触ったときの感覚とか、そういったものはなかなか伝えづらくて、現状では数値化等もなかなか難しい。そのような目に見えない部分を本当に数値として拾い切れるのかが今後のDX化の課題。

Q：手を動かすことで、そこから研究者のセンスが育つというような話もあったが、教育・人材育成の観点でリモート化が難しい点は何か。

A：・前出の「伝えにくい」が関係している。熟練者同士なら、うまく意思疎通できたはずが、若い学生のような初心者相手だとなかなか伝わりにくい。共通に持っている期待される感覚がまだ共有できていない場合には、まず、その共有の場が要るのではないか。

Q：学会がリモートになったため学生を、「打席には立たせたけれどもスタジアムに行かせていない、高揚感とか直接出会うの機会はリモートでは与えられない」という意見もあったが、本当にリアルでないと伝えられないものは、どういうところにあるのか。

A：・やってみないと分からないということは感覚の部分、感性の部分で非常に大事だと思っている。例えばこのコロナ騒動で我々科学者が大慌てしなかったのは、科学を分かっているデマにも右往左往しなかったおかげだと思う。それこそが、科学をやってきたからこそ感性だと感じる。そういう感性の部分はリモートだけだと多分養われないと感じる。

【積極的にリモートあるいはサイバーへ移行すべきもの】

Q：逆にリモートに移した方が良いものはどんなものか。

A：・教育においてもリモート化が有効になるケースも多い。例えば、デザインエンジニアの先生が自分のデザインの図を描いたり絵を描いたりするところを見せるのに、書画カメラを使って手元を拡大して見せることができる。スケールを変えたり非常に近づいて見たり、普通のリアルの間ではできないけれどもリモートだったらできることもある。

- ・会議やセミナーなど研究の議論に、圧倒的に大人数が聴講できる。数千人規模のセミナーを行うことも普通にできる。これによって、非常に広い範囲の人の意見を聞きながら研究開発を進めることができる。
- ・聴講者が自由なところから参加できるのと同時に、講演者も自由な場所から講演が可能になる。例えば、今回のようにロックダウン中で職場に入れなくても、自宅からきちんと配信できる。

Q：共用設備のメンテナンスに、ウェブ会議システムを使う話があった。そのあたりはリ

モートの良い点が出たのでは？

A：・ユーザーとメーカのいる場所に関係がなく、しかも時間のロスもなく対応できるというのは非常に魅力的であったし、リモートのために細かいニュアンスが伝えにくいところを互いの情報をライブで共有することで補えるというのは非常にスピード感があってよかった。

【教育・匠の技の伝承と DX 化】

Q：教育や人材育成にとってリモート化すると良い点、悪い点が挙げられてきた。直接的な教育効果以外の論点はないか。

A：・大学教育の多くがオンライン化され、実験も DX 化される傾向が進んでいくと泥臭い実験に興味を持つ人の割合が減って、材料分野を志願する人材が減ってしまうのではないかという危惧を述べる人がいるが、教育の現場にいるものとしては、割に楽観視している。このような事態になっても、研究室の人気という観点では、そんなに大きく変化はしていない。一定数のそういう材料に興味がある学生はずっといるという感じを持っている。

・ツールをどう使いこなすかという観点で考えると良い。我々の学生時代も、研究室の中ではようやく個人でパソコンが使えるようになったといった時代だった。そういう意味で、DX 化されるということは、ツールの範囲が広がっているだけであって、各分野の魅力は相変わらずそれぞれに存在する。

Q：今日までの議論に、匠の技の DX 化という話が何度かでた。しかし、匠の技の DX 化は、かつて半導体製造のノウハウが製造装置側に入ってしまう、装置を買えば誰でも半導体が作れるようになったために日本の半導体産業が斜陽化した、その二の舞を踏む可能性があるとの危惧もある。その点はどう考えるか。

A：・技術のコモディティ化の懸念は理解するが、我々がやらないと中国がやってしまう。そこで完全に主導権を奪われないように、日本も DX 化を進めるべきである。DX は、もう一瞬たりとも躊躇できない状態にある。

・企業の中でも匠の技は非常に大切だが、人材の高齢化が進んでいる問題もあって、現場の匠の技を引き継ぐ先が社内にはないというケースもかなりある。そういう意味では、それを引き継ぐためにも DX 化は必要で、DX 化するけれども同時にブラックボックス化しておくということをどうやるかも大切な気がする。

・実際に DX 化すると過去のデータが全部使えるようになる。そのデータを解析して次にやるべき高次の概念、上位概念を考えることができるようになる。それこそが、質の違う匠の仕事のひとつになってくると思う。

【材料科学系 DX 化人材について】

Q：材料系研究の DX 化を進めるためにはそれを行える人間を育てる必要があると思われる。どうやってそれを行うか。

A：・教育現場では、教員がDX化対応人材となっていない状態で、どうやってそのような人材を育成するかという話もある。重要な点は、その教育を行うことによって教員自身も学び直せるというところ。どういうステップで人材を育て、それを進めていくか、誰がどうやってやるかといった各論が大事。

・DX人材を育てる場面での悩みは、どっちつかずに中途半端な人材を育ててしまわないかということである。今でさえ材料科学の専門性を持った学生を育てるのは結構ぎりぎりなところを、加えてデータ科学を学生にやらせるというのは、学生が過負荷になりかねない。

・やはりこれらを、学ぶにはどうしても時間がかかるので、修士課程の間にこの両方をやるのは難しい。そこで、修博一貫で博士課程までかけて教育すれば、それによって過負荷にならないようにはできる。だから、修博一貫にするということは解決策になりうる。産業界も博士人材をより厚遇するようになってくれるとよい。

・会社では待遇として博士を評価している。特に最近では、採用時に博士を優遇している。そういう傾向はこれからも続いていく、しっかり根づいていくと思っている。

・ICTの世界では、スキルのある人を高給で採用している。社内の画一的な賃金体制は壊れ出している。今はデータサイエンティストだけかもしれないが、本当に優れた人材は、違う形で雇う仕組みがどんどん広がるのではないかと感じている。

Q：材料科学の学生にデータ科学と一緒に教えるという話があるが、どの程度の深さまでそれを身に着ける必要があるのか。材料に関する基礎学理と同じレベルまでデータサイエンスを深く身に着けることは、個人としてやはり過負荷ではないかと感じるが。

A：・教育の現場でやっているレベルは、まずはツールとして使うというレベル。アルゴリズムを自分でつくってAIをつくる、そういう人材は、今は求めている。もっと深くいきたいときには、AIの研究者と話し合えるぐらいのレベル。それで十分だと思っている。

・企業の側のニーズも、そのとおりである。一番大事なのは、データサイエンティストと会話ができること。基本的な話、用語が分かる、そういうところがあればいい。

【DX化推進策】

Q：共用設備などの分野で、今までとは違って遠隔で、リモートで共用設備をもっと活用していこうといったときに、何か困っていることなどはないか。

A：・大学の場合、装置自身がまだ古いものが多くて、ネットワークに全てつなげられない。大型の生産設備等であれば、全てネットワーク経由で情報を集められる環境になっているが、個々の先生方が集めた装置であると旧式の装置で、物理的にネットワーク化に対応できない。また、ネットワークの帯域等をもっと増強していく必要がある。

- ・産業界としてもその点が、非常に憂いている部分である。通信インフラの面では、国内の民間も使える太いネットワークをぜひ準備していただきたいというのがある。これまでも、外部の計算リソースを借りても、データが大き過ぎて伝送にとてつもない時間がかかってしまうためダウンロードできない問題が起こっている。
- ・先日、公表になった文科省の概算要求では、研究インフラをユーザーにつながるインフラに更新していこうという内容を含んだものになっている。次には、そこを介してマテリアルに関する材料データ、プロセスデータ、計測データ、この3種類のデータを集めて流通、活用していけるような環境を日本全体で構築しようという話になっている。

Q：インフラをつながるものにした後にデータを流通させたいと考えているが、どのようなルールを整備し、環境を整備したら産業界の方が安心してこういったスキームに参画いただけるのか。

- A：・データ流通に関しては、オープンデータ、クローズデータ、シェアクローズデータ、この定義がすごく不明瞭である。特に、シェアクローズドをどう扱うかというところは各社バラバラである。その辺を整理してもらえると、今後の議論が進むと思う。
- ・外部に対しては比較的クローズになっているが、コンソーシアムの中ではオープンといった形が望ましい。技術的な担保としては、そこを守るセキュリティ、そういうセキュアなものが担保されたプラットフォームが必要になると考える。
 - ・産業界からデータを出してもらうことはほとんど不可能だと思っているが、出した結果、出したものよりもはるかに大きなメリットがその会社側で得られることが分かれば、出してもらえる可能性はある。そういう制度設計なりインセンティブ設計が、非常に重要だろう。
 - ・企業側から見て、「まずデータを集めましょう」というストーリーはあり得ない。まず「何をする」というところを決めて、そこに賛同する者同士で契約に基づいてデータを出すという行為でない限り、企業は参画できないと思っている。

Q：DX化やデータ共用のために必要な人材の話をもう少ししたい。共用設備を運用し、リモートで測ってくれる人材は今、足りていないように思える。いわゆる研究者ではなく技能者が必要。データの収集に関しても、データサイエンティストではなくデータを整備する、そういう技術を持っている方が必要。この辺に対するニーズが顕在化しているのではないか。

- A：・共用設備を整備し正しくデータをとってユーザーに戻すには、それに長けた技術者が必要で、その技術者をちゃんと育てておく必要がある。これは共用設備をサステナブルに維持運用するときには必須となるが、国の予算だけで行おうとすると、なかなか難しい。共用プラットフォームについてのある種のビジネスモデル的なものを総合的に考えなくてはいけない。
- ・それは、ちょうど今年、文科省から概算要求が出ているマテリアル DX プラットフォームの主要部で実現しようとしていることそのものである。その中で、一番難しいと思っているのが、デジタルインフラやプラットフォームをつくっていけるよ

うなエンジニアの確保である。

- ・そういうことを専門で行うエンジニア、パーマネント雇用の研究者も育ってきている。測定装置メーカー間でデータフォーマットが違うものを、自動的に翻訳するツールから、収集してきたデータを共通のデータ構造に整理整頓（キュレーション）していくソフトウェアまで、いろいろなものを開発している。その部分は非常に、費用が掛かるが、今後のためにも人材も育成していかなければいけない。

【ダイバーシティの拡大】

Q：リモート化が可能になったことで、外国人研究者の活用、あるいは外国人講師によるオンライン講義、あるいは時間的制約がある女性研究者活用、などにより、材料分野で人材を確保、強化していくことができそうに思う。そのような事例はないか

A：・東京の八王子にある会社で仕事をされつつ東北大との連携研究で、サンプルのやり取りの他、研究室の正規教員として学生の教育も担当していたクロスアポイントメントの女性研究者が、コロナのために物理的に仙台まで移動できなくなった。それでも、完全にオンラインで議論したり指導したり、それなりの形で仕事が進んでいる点はデジタル化のメリットだと感じている。

- ・メキシコと我々の研究室、2国の2つの研究室間のセミナーを開催して大変成功した。時差がかなりあって、日本が朝9時でメキシコが前日の夜7時という時間帯で同時に始めて、約3時間かけそれぞれ学生が3人ずつ発表した。非常に盛り上った。これまではこのようなシステムが有効に機能するとは知らなかっただけが、このシステムを利用することでかなりいろいろな国の方たちとリアルタイムに、時差を超えて協同ができると実感した。
- ・女性研究者に関するコメントをするとすれば、例えば、いろいろな家庭の事情があると思う。これは女性に限ることではなくて、例えば介護が必要な家庭では、こういったコロナ禍の中で、やはり勤務先に行くのではなく介護が必要な家族の近くでオンライン勤務できることから、感染のリスクが少なくなるという意味で安心したという声も聞こえている。
- ・京都大学では3年ぐらい前からオンサイトラボ構想というのを始めていて、今、10ぐらいあるが、テーマ別に、京都大学と海外の各研究所なり、大学との1対1の対応という形で交流している。これがコロナの影響下で、特にZoomなりを使ってやっていくことで非常に効果的に進んでいると思う。

付録

付録 1：開催趣旨，プログラム

趣旨

2019 年末に発生した新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、世界中のほとんど全ての社会活動に大きな衝撃を与え、その影響は短中期的なダメージのみに留まらず、中長期的な社会構造の転換さえも引き起こしかねない状況も考えられています。そうした転換は、新型感染症そのものによる直接的影響だけでなく、COVID-19 以前から潜在的に存在していた課題がパンデミックを契機に顕在化、先鋭化したものも含まれます。ナノテクノロジー・材料分野が、人類の活動の多くの場面と関わっている、まさにその特性のために、当分野の研究開発は COVID-19 そのものや、それにより引き起こされる変化に、様々な側面において深い関係を持つことになります。

CRDS では、2020 年 7 月に「ナノテクノロジー・材料分野がポストコロナ対策能力強化にいかに関与し得るか」を主題としたワークショップを開催し今後、当分野で戦略的に取り組むべき研究開発課題について深く議論しました。このワークショップは、当研究分野と COVID-19 に代表される新型感染症との直接的な関り、すなわち、「当分野から新型感染症対策への貢献」の側面を取り扱ったものですが、もう一つの側面である「新型感染症により変容する社会に対しこの分野がどのように貢献し得るのか」についても議論することが非常に重要であると考えています。

以上の観点から、今後のナノテクノロジー・材料研究のあり方を深く議論する目的のために本ワークショップを計画しました。主な目的は、(1) COVID-19 対応で大きな変化がもたらされた、研究開発現場の現状と課題を把握し、今後求められる研究開発活動の革新を議論すること、(2) 新しい生活様式の下において、ICT 系の研究に比べると人・モノ間の直接接触や近接が避けにくい当分野での、教育・人材育成のありかたを議論すること、(3) 今後の社会変化から重要になる研究分野・挑戦課題について議論することです。

なお、本ワークショップは非公開（クローズド）とし、議論の内容は俯瞰ワークショップ報告書として纏め、CRDS の web サイト上で一般公開するとともに、俯瞰報告書ナノテクノロジー・材料分野（2021 年版）への反映や今後の提言書作成の参考に致します。

プログラム

(敬称略)

【第一日目】

開催日時：2020年10月3日(土) 9:00～16:00

開催会場：オンライン開催 (Zoom)

(JST関係者および希望者) TKP市ヶ谷カンファレンスセンター バンケットホール9C

司会 眞子 隆志 (JST-CRDS)

■ 10月3日午前の部

9:00～9:05 開会挨拶 曾根 純一 (JST-CRDS)

9:05～9:15 ワークショップの趣旨説明 眞子 隆志 (JST-CRDS)

セッション1 研究開発現場の現状と課題と研究開発活動の革新9:15～11:40 (各発表15分+議論10分)

9:15～9:40 「低下する生産性と変化への対応」 藤ヶ谷 剛彦 (九州大学)

9:40～10:05 「感染拡大防止対策下における共用機器運営」

松尾 保孝 (北海道大学)

10:05～10:30 「研究者が創造性を最大限発揮できる研究開発環境に向けて」

一杉 太郎 (東京工業大学)

10:45～11:10 「ウィズ&ポストコロナにおける研究開発と共用施設・設備支援」

小出 康夫 (NIMS)

11:10～11:40 ミニ討論、小まとめ

■ 10月3日午後の部

セッション2 新しい生活様式下での教育／人材育成の在り方13:10～16:00 (各発表15分+議論10分)

13:10～13:35 「大学におけるデバイス系研究：どう変わるか、変わるべきか」

岩本 敏 (東京大学)

13:35～14:00 「実験を伴う研究室における教育形態の模索：ITと座学とコミュニケーションの重要性」

長谷川 美貴 (青山学院大学)

14:00～14:25 「ニューノーマルでの大学院生と若手研究者

～ポストコロナ時代へのデジタル化教育と研究～」

本間 格 (東北大学)

14:40～15:05 「京都工芸繊維大学での新型コロナウイルス対応と課題

ーナノテク・材料分野の教育・研究を中心にー」

吉本 昌広 (京都工芸繊維大学)

15:05～15:30 「早稲田大学・電子系研究室におけるニューノーマルの模索」

渡邊 孝信 (早稲田大学)

15:30～16:00 ミニ討論、小まとめ

【第二日目】

開催日時：2020年10月7日（水）9：00～15：35

開催会場：オンライン開催（Zoom）

（JST関係者および希望者）TKP市ヶ谷カンファレンスセンター バンケットホール 9C

司会 眞子 隆志（JST-CRDS）

■ 10月7日午前の部

9：00～9：05 挨拶 曾根 純一（JST-CRDS）

9：05～9：20 趣旨説明・セッション1、2の振り返り

眞子 隆志、荒岡 礼（JST-CRDS）

セッション3 ナノテク・材料分野で、社会変化から、重要になる研究分野、挑戦課題9：20～12：00 （パネルディスカッション）

パネラー：木場 祥介（UMI）、瀬戸山 亨（三菱ケミカル）、藤井 輝夫（東京大学）、
宮本 重幸（日本電気）、村山 宣光（産業技術総合研究所）、山根 深一（東レ）

9：20～10：30 意見表明（パネラー1人10分程度×6人）

10：45～12：00 ディスカッション

■ 10月7日午後の部

セッション4 総合討論13：30～15：35

13：30～13：40 「論点整理」 眞子 隆志（JST-CRDS）

13：40～15：30 総合討論

ファシリテーター 福井 弘行（JST-CRDS）

論点：

- 1) ポストコロナに適合する研究開発手法
装置・設備、運用、働き方、
…（ロボット化、シミュレーション技術、共同利用施設）
- 2) 人材育成の変革
密を避けた指導法、効果測定法、採用・異動の方法、（人事・教育制度、非対面指導の方法）
- 3) 社会の変化とナノテクノロジー・材料研究
想定される社会変化、ナノテクノロジー・材料に求められること、新たな潮流
- 4) その他、セッション1-3で議論された、特に重要な論点。

15：30～15：35 閉会挨拶

曾根 純一（JST-CRDS）

付録 2：参加者一覧

(敬称略)

招聘識者（発表者）

- ・ 木場 祥介 ユニバーサル マテリアルズ インキュベーター（株）代表取締役パートナー
- ・ 小出 康夫 物質・材料研究機構 ナノテクノロジープラットフォームセンター長
- ・ 瀬戸山 亨 三菱ケミカル（株） エグゼクティブ・フェロー
- ・ 長谷川 美貴 青山学院大学理工学部 化学・生命科学科 教授
- ・ 一杉 太郎 東京工業大学物質理工学院 応用化学系 教授
- ・ 藤井 輝夫 東京大学生産技術研究所 理事・副学長、教授
- ・ 藤ヶ谷 剛彦 九州大学大学院工学研究院 応用化学部門 教授
- ・ 松尾 保孝 北海道大学電子科学研究所 教授
- ・ 宮本 重幸 日本電気（株）研究・開発ユニット コーポレート技術戦略本部
シニアマネージャー
- ・ 村山 宣光 産業技術総合研究所 理事、材料・化学領域領域長
- ・ 山根 深一 東レ（株） 研究・開発企画部 担当部長
- ・ 吉本 昌広 京都工芸繊維大学電子システム工学課程・専攻 理事・副学長、教授

JST-CRDS ナノテクノロジー材料ユニット

- ・ 曾根 純一 上席フェロー
- ・ 眞子 隆志 フェロー・ユニットリーダー
- ・ 赤木 浩 フェロー
- ・ 荒岡 礼 フェロー
- ・ 大山 みづほ フェロー
- ・ 永野 智己 総括ユニットリーダー・JST 研究監
- ・ 沼澤 修平 フェロー
- ・ 馬場 寿夫 フェロー
- ・ 福井 弘行 フェロー
- ・ 宮下 哲 フェロー
- ・ 渡邊 孝信* フェロー、早稲田大学電子物理システム学専攻 教授
- ・ 伊藤 聡 特任フェロー、計算科学振興財団 チーフコーディネーター
- ・ 岩本 敏* 特任フェロー、東京大学先端科学技術研究センター 教授
- ・ 川合 知二 特任フェロー、大阪大学産業科学研究所 招へい教授
- ・ 佐藤 勝昭 特任フェロー、東京農工大学 名誉教授
- ・ 清水 敏美 特任フェロー、産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
- ・ 玉野井 冬彦 特任フェロー、京都大学物質・細胞統合システム拠点 教授

- ・ 本間 格 * 特任フェロー、東北大学多元物質科学研究所 教授
- ・ 八巻 徹也 特任フェロー、量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所 上席研究員
- * 今回発表者

関係府省・機関等

- ・ 登内 敏夫 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）付
政策企画調査官
- ・ 馬場 大輔 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）付 企画官
- ・ 木全 修一 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）付
上席政策調査員
- ・ 小川 浩司 文部科学省研究振興局参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）付
参事官補佐
- ・ 久保田 唯史 文部科学省新興・融合領域研究開発調査戦略室 専門職
- ・ 鈴木 正義 文部科学省科学技術・学術政策局研究開発基盤課 調査員
- ・ 濱本 孝一 経済産業省大臣官房参事
- ・ 小野 雄平 新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター 研究員
- ・ 福田 浩章 新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター 研究員
- ・ 内山 博幸 新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部 主査
- ・ 土井 隆志 新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部 主査
- ・ 三宅 政美 新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部 主査
- ・ 吉岡 宏人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部 主査
- ・ 中村 大輝 新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部 職員
- ・ 佐々木 毅 産業技術総合研究所 材料・化学領域 研究戦略部 研究戦略部長
- ・ 堀田 裕司 産業技術総合研究所 材料・化学領域 研究戦略部 研究企画室長
- ・ 有沢 俊一 物質・材料研究機構 経営企画部門 部門長
- ・ 木村 阿紀子 物質・材料研究機構 経営戦略室 専門職

JST

- ・ 石正 茂 監事
- ・ 中山 智弘 CRDS 企画運営室 室長
- ・ 鈴木ソフィア沙織 CRDS 企画運営室 調査役
- ・ 梅原 千慶 CRDS 企画運営室 主査
- ・ 青木 孝 CRDS システム・情報科学技術ユニット
フェロー・ユニットリーダー
- ・ 竹内 良昭 CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー

- | | |
|----------|-----------------------------|
| ・日江井 純一郎 | CRDS 科学技術イノベーション政策ユニット フェロー |
| ・大濱 隆司 | 研究プロジェクト推進部 部長 |
| ・加藤 豪 | 研究プロジェクト推進部 調査役 |
| ・箕口 滋 | 戦略研究推進部 副調査役 |
| ・小川 ゆい | 戦略研究推進部 主査 |
| ・小林 雄太 | 戦略研究推進部 主査 |
| ・小関 徳昭 | 未来創造研究開発推進部 主任調査員 |
| ・三田 雅昭 | 未来創造研究開発推進部 主任調査員 |
| ・松尾 敬子 | イノベーション拠点推進部 副調査役 |

■ワークショップ企画・報告書編集メンバー■

曽根 純一	上席フェロー
眞子 隆志	フェロー・ユニットリーダー
赤木 浩	フェロー
荒岡 礼	フェロー
大山みづほ	フェロー
永野 智己	総括ユニットリーダー・JST 研究監
沼澤 修平	フェロー
馬場 寿夫	フェロー
福井 弘行	フェロー
宮下 哲	フェロー
渡邊 孝信	フェロー
伊藤 聡	特任フェロー
岩本 敏	特任フェロー
川合 知二	特任フェロー
佐藤 勝昭	特任フェロー
清水 敏美	特任フェロー
玉野井 冬彦	特任フェロー
本間 格	特任フェロー
村井 眞二	特任フェロー
八巻 徹也	特任フェロー

※お問い合わせなどは下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2020-WR-10

俯瞰ワークショップ報告書

ナノテクノロジー・材料分野 全体会議

「ポストコロナ時代における研究開発・人材育成手法の変革と
注目すべき技術領域」

令和 3 年 3 月 March 2021

ISBN978-4-88890-714-9

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
ナノテクノロジー・材料ユニット
Nanotechnology/Materials Unit,
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町
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／複製を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.

