

# 機械学習とロボットが切り拓くセラミックス研究開発の未来：自律実験システムによる材料探索の最前線

宮脇 直也\*, 富田 成明, 一杉 太郎

## 1. はじめに

国際競争の激化に直面する日本のセラミックス産業において、新材料開発期間の短縮が急務である。材料開発の現場では広範な組成・プロセス空間の探索が必須であり、開発に要する時間、手間は増大する一方である<sup>1)</sup>。少子化に伴う将来的な熟練技術者の減少も、技術力の維持に対する懸念材料となっている<sup>2)</sup>。したがって、研究者による勘・コツ・経験に基づいた試行錯誤型の研究開発手法に加え、新たな研究開発の進め方について、革新が求められている。

その新しい進め方として近年注目を集めているのが、ロボットによる自動実験と機械学習を組み合わせた「自律実験システム」である<sup>3),4)</sup>。この新しい研究インフラは、Self-driving Laboratory と呼ばれ、研究者の生産性を大幅に向上させる技術として期待されている。Nature 誌では、2025年にもっとも注目すべき研究の筆頭にあげられる<sup>5)</sup>など、大きな関心が集まっている。

筆者らの研究グループは、このような潮流に先駆け、自律実験システムの開発と応用を推進してきた。目指しているのは、煩雑な繰り返し作業をシステムが代行することにより、研究者が「人間にしかできない創造的な探究活動」に専念できる、新しい研究スタイルの実現である(図1)。さらに最近では、人間では実現不可能でロボットのみ可能な実験への展開を進めている。匠の技を超える実験の開拓(未踏実験)である。本稿では、自律実験システムの利点と筆者らの研究グループの応用事例をはじめに紹介し、さらに人材育成や知財戦略といった周辺領域にもたらす波及効果について論じる。

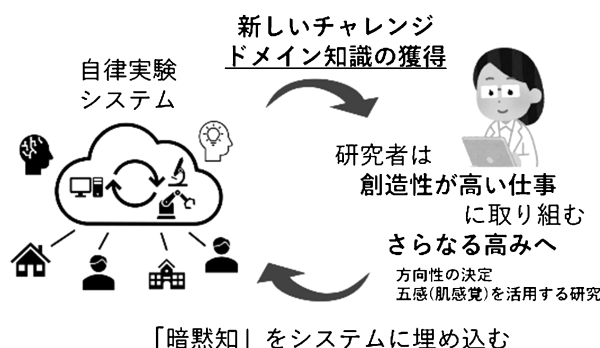


図1 自律実験システムが切り拓く新しい研究スタイル

## 2. 自律実験システムの利点

自律実験システムとは、ロボットによる実験プロセスの完全自動化と、次に実行すべき実験条件を自ら推定・決定する機械学習を融合させた、次世代のデータ駆動型研究設備である。本章では、自律実験システムが有する利点を、「高速化・効率化」、「精度・再現性の向上」、「確証バイアスの排除」という3つの観点から説明する。

### 2.1 実験サイクルの高速化・効率化

自律実験システムはロボットと機械学習の連携により、研究者の勤務時間と場所の制約を受けず、実験サイクルを昼夜問わず実行できる。例えば、Cooper らのグループは、水から水素を製造する光触媒の探索に自律実験システムを活用し、8日間で688回の実験を行った。そして、光触媒と正孔捕捉剤のみを水に溶かしたベースラインよりも6倍高い活性を示す配合を発見した<sup>6)</sup>。また、Ceder らのグループが開発した自律実験システム「A-Lab」は、17日間の連続運転で合計355回の実験を遂行し、41の新しい無機粉末材料の合成に成功した<sup>7)</sup>。これ

\* 東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻【〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 ☎(03)5841-4354】

らの事例は、自律実験システムが人間の物理的・時間的制約から研究を解放する、強力なツールであることを示している。この高速化・効率化は、これまで試行回数の制約から探究が困難であった広大なパラメータ空間の探索を現実的なものとし、新たな科学的発見の機会を増大させることができる。

## 2.2 精度、再現性の向上

人間による手作業には、熟練度の差やその日の体調、集中力の変動といった人的要因が常に付きまとう。しかし、自律実験システムは、これらの実験作業をすべてロボットに委ねることで、人的要因を根本的に排除することが可能である。ロボットは指定された実験手順を高い精度で忠実に実行するため、実験結果が特定の研究者の技量に左右されず、高い再現性が確保される。例えば、小野らの研究グループは、試料調製から測定結果の解析までを自動的に行う自律型粉末X線回折測定システムにより、熟練のオペレーターに匹敵する精度を安定して達成できたことを報告している<sup>8)</sup>。

さらに、この特性は、地理的に離れた複数の研究拠点が連携して研究を進める上で、極めて重要な意味を持つ。Aspuru-Guzikらの研究グループは、ロボットによる自動化と標準化されたプロトコルを活用して、地理的に分散した拠点での再現性を担保した。それにより、複数の研究グループでの協働研究を推進し、わずか2カ月間で有機固体レーザー用の21種類の新規材料を発見した<sup>9)</sup>。

## 2.3 確証バイアスの排除

人間は、自らが立てた仮説や既存の信念を支持する情報を無意識のうちに優先し、それに反する情報を軽視してしまう確証バイアス<sup>10)</sup>に陥りやすく、斬新なアイデアの創造を妨げてしまうことがある。

自律実験システムの頭脳として機能する機械学習は、このようなバイアスから解放された客観的な探索を可能にする。Batraらは、全自律型の計算探索エンジン「AI-expert」が、人間の専門家と同等以上の予測性能を示しただけでなく、人間の化学的直観に反するような機能性ペプチド配列を複数提案したと報告している<sup>11)</sup>。また、筆者らの研究グループでも、自律実験システムを用いた「固体電解質」の探索過程で、予期せず有望な「電極材料」を発見した(次章で述べる)。これは、バイアスフリーな探索が、人間の既存概念の外側にある有望な候補の発見を後押しすることを示している。

## 3. 筆者らの取り組み

### 3.1 薄膜合成条件の自律的最適化システム構築と新物質発見

筆者らの研究グループは2020年に、無機固体物質において世界で初めてとなる、全自動で自律的に物質探索を行うシステム(自律実験システム)を開発した<sup>12)</sup>。本システムにおいて定常動作を担うハードウェアは、全自動試料搬送アーム、薄膜作製装置、電気抵抗を自動測定する評価装置から構成されている。そして、機械学習の一種であるベイズ最適化を頭脳とし、人間が介入することなく、過去に行った実験で得た「薄膜合成条件と電気抵抗値のデータセット」から、次に最適と思われる薄膜合成条件を予測し実験を実行する。

筆者らの研究グループはこのシステムを、全固体リチウム二次電池の「固体電解質材料」の探索に活用したところ、思いがけず新規の「電池電極材料」を発見した<sup>13)</sup>。本研究では、イオン伝導度の最大化を目的とし、出発物質である $\text{Li}_3\text{PO}_4$ と $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$ の組成比、および成膜後の熱処理温度をパラメータとして、システムによる自律的な探索を実行した(図2)。その結果、システムは2,601の候補からなる広大な探索空間から、53回の実験で、イオン伝導度が極大となる2領域を見出した。うち1つの領域では、出発物質と比較して1桁高いリチウムイオン伝導度(室温で約 $3.4 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}$ )を示す、新規の固体電解質材料( $\text{Li}_{1.8}\text{Al}_{0.03}\text{Ge}_{0.05}\text{PO}_{3.3}$ )を発見した。

もう一方の領域では、当初目的としていたリチウムイ

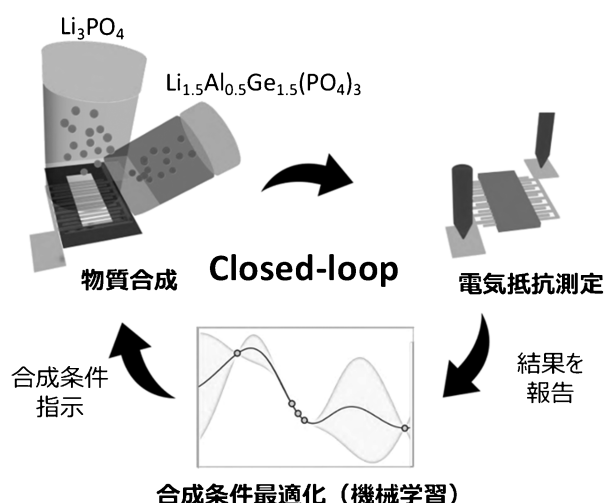


図2 自律実験システムによる固体電解質材料の探索

オン伝導体とは異なる挙動を示す材料を見つけ、検証の結果、電池の電極材料として作用することが判明した。これは、人間の経験則に基づいて固体電解質のみに注目した探索では見過ごされた可能性が高い発見である。この成果は、自律実験システムが、予期せぬ新しい材料を発見する強力なツールとなり得ることを示唆している。

以上の通り、自律実験システムにより新材料に巡り合う可能性が高まるが、最終的に重要になるのは研究者の創造力の発揮であると実感する。自律実験システムは客観的な探索により大量の実験データを生み出す。しかし、理論に照らしてデータ間の関係性を考察することや、設定した探索空間の外挿領域まで発想を飛躍させるのは、研究者にしか成しえないことからである。

### 3.2 デジタルラボラトリー(dLab)によるデータ駆動型研究基盤の構築

筆者らの研究グループは、3.1で述べた自律実験システムをさらに発展させ、固体材料研究のための実験データを網羅的かつ構造的に収集するためのデジタルラボラトリー(dLab)を構築した<sup>14)</sup>。これは、これまで単に実験装置を収容する場所であった実験室を、「実験装置をシステムとして作動させ、材料やデータを生み出す工場」へと変革する取り組みである。

dLabでは、スパッタリング法による薄膜合成装置をはじめ、様々な実験機器がモジュール化され、ロボットアームによって物理的に相互接続されている(図3)。これにより、薄膜材料の合成から、走査型電子顕微鏡(SEM)による表面微細構造観察、X線回折(XRD)による結晶構造解析、ラマンスペクトル測定、光透過率測定(UV-VIS)といった多岐にわたる物性評価まで、一連のプロセスを完全に自動化している。

これら計測装置はモジュール化されている点に特徴がある。各装置は筆者らが公開した物理フォーマットや接続プロトコルに準拠しているため、Plug and Playのように接続されている。これは、様々な測定装置をフレキシブルに組み合わせ、多様な研究に対応することを可能とする。また、実験装置のコストダウンにつながる。JEOL やリガクからすでに自動測定装置としてモジュールが販売されている。

dLabでは、材料合成時の温度や雰囲気などのプロセスデータと、合成した材料の特性測定データを自動的に収集し、一元的に管理できる。特に、各測定・分析装置から取得されたデータを、日本産業規格(JIS)になっている共通データ形式(MaiML形式)で出力している。そ

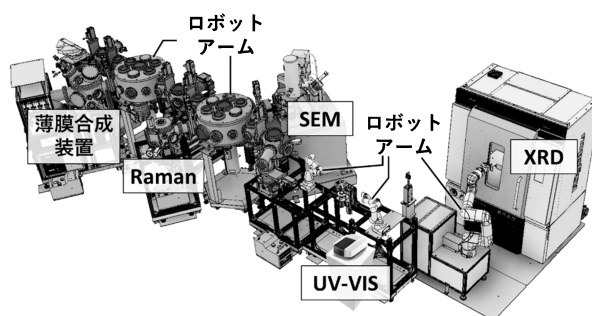


図3 デジタルラボラトリー(dLab)の全体図

れによりデータの利活用性を向上させている。収集したデータを機械学習モデルにフィードバックして次の合成条件を予測し、自律的な材料探索が可能である。

このような取り組みは、内閣府の「マテリアル革新力強化戦略」を背景に文部科学省が進めている「マテリアル DX プラットフォームの構築」<sup>15)</sup>とも合致する。この国家プロジェクトでは、日本における革新的材料の創出と社会課題の解決を目指し、先端的な共用設備や自動・自律実験システムを活用して、大規模かつ高品質なデータを創出することが狙いの1つとなっている。前述したdLabは、まさに、この取り組みにおける先端共用設備のモデルケースになり得る。24時間連続稼働による高いスループットはより多くのユーザーに利用機会を提供する。また、ロボットによるプロセスは、異なるユーザーが使用しても均質で比較可能なデータを生み出せるという共用設備として不可欠な強みを有する。ユーザーがdLabを利用して新たな物質を合成し、そこで得られたデータをプラットフォームに蓄積する。その蓄積されたデータを活用して新たな候補物質を見出し、再びdLabで合成・検証する、という研究開発エコシステムの構築に貢献できると期待している。

### 3.3 日本のセラミックス分野の研究開発加速に向けた取り組み

自律実験システムを活用した研究開発を加速すべく、筆者らの研究グループは、日本ファインセラミックス協会(JFCA)と日本分析機器工業会(JAIMA)とともにデジタルラボラトリー研究会を2023年に立ち上げた<sup>16)</sup>。研究会では最新技術動向の情報交換や討議、勉強会を開催しており、本稿執筆時点で民間企業50社以上が参加し、現在も加入企業が増加中である。セラミックスに限らず、ポリマーや有機、非鉄、鉄鋼材料等、広く議論している。

そして、2025年5月、デジタルラボラトリー研究会のメンバー企業8社とJFCA、そして筆者らの研究グル

ープは「協働ラボ」の設置を発表した<sup>17)</sup>。協働ラボでは、前述の dLab 開発で得られた知見を活かし、材料の合成・焼成・特性評価・分析の全自動化・自律化を実現する、世界最先端のセラミックス材料自律実験システムの開発を目指している。企業の若手研究者がこの場に集いデジタル化に取り組んでおり、人材育成の場ともなっている。本協働ラボにはロボット関連企業、情報システム企業、さらには分析計測機器メーカーが参画し、異分野の融合により全体システムの構築を進めている。本システムの構築により、日本が強みをもっているセラミックス分野において、新材料の創出スピードを飛躍的に高められると確信している。これら技術についてオープン・クローズ戦略を考えた上での仲間作りが重要である。

#### 4. 自律実験システムがもたらす変革

自律実験システムは、これまで見てきたように研究開発において極めて有用である。そして、その影響は研究開発の直接的なプロセスに留まらず、研究開発の進め方や知的財産戦略などにも変化をもたらす。最後に、「人材育成」と「知的財産戦略」という二つの側面における変革を考察する。

##### 4.1 研究開発の現場における人材育成の変革

今後、従来通りに人間が五感を使って手で研究を進める方法と、自動・自律実験システムを活用した研究開発法を並列して研究を進めることが重要である。前者は極めて重要である。熟練研究者が長年の経験で培った「匠の技」や言語化しにくい「暗黙知」が、実験結果の成否を大きく左右するからである。例えば、セラミックス材料開発における秤量、粉碎・混合、成形、焼成、加工、評価といった各プロセスには、それぞれ特有のコツが存在し、それが研究競争力を今後も決定することは確実である。

前者の重要性を踏まえた上で、後者の手法を活用して研究を進める人材像とその育成について考えたい。いくつか論点があるので分けて議論する。

- ①自動・自律実験装置や機械学習の導入により、これまで研究者が長時間かけて行っていた実験準備や繰り返し作業といったルーチン業務は自動化する。その分の時間を創造的な仕事に充てることができる。創造的な仕事とは、実験計画の戦略的立案、得られたデータの科学的な解釈・考察、次の研究展開に関するディスカッション、実用化に向けたコミュニケーションや組織作り、そして新たな実験へのチャレンジ(図1)といった、より高度な活動である。もちろん人間が五感を使う前者の取り組みも含む。

- ②自動化により実験サイクルが加速し、従来は数週間かかっていた実験が数日、数時間で完了するようになり、研究者が短期間で多くの失敗、成功と改善を経験できる。学習サイクルが高速化することにより、早期のスキル・知識習得が可能になる。また、パラメータを広く振った大量の実験結果に接するために、俯瞰的な視点が早期に養われる。
  - ③研究者に求められるスキルも多様化し、材料科学や合成技術、分析計測技術に精通しているだけでは不十分となる。データサイエンスや機械学習、ロボティクスの基礎的理解も不可欠となる。
  - ④自律実験システムや機械学習の活用能力が研究競争力を決定づける。生成 AI ツールの活用により、経験の浅い者が熟練するまでの期間が大幅に短縮されることが報告されており<sup>18)</sup>、生成 AI の活用能力も問われている。自動・自律実験システムでも同様に活用能力が問われ、その優劣が研究競争力を決める。
  - ⑤新人加入後の研究の立ち上がりが早くなる。研究開発の現場において、実験技術の習得に多くの時間と労力を要している。新人は自動・自律実験装置を活用して、早期に研究に参画することが可能となる。自動・自律実験システムの導入は、新人が早期に活躍する環境を創出し、研究組織全体の生産性を大幅に向上させる。研究現場では実際にそれを強く実感する。今後は理論家でも自らの予測を検証するために実験を行う時代になるだろう。
  - ⑥自動・自律実験システムにより新人にとっては自動化された部分はブラックボックスとなる。過去の技術発展の歴史を見ても、それは必然的な流れである。ブラックボックス化した部分は専門家に任せ、いまだ自動化されていない部分で人間しかできない未知の実験領域に果敢にチャレンジする。それにより、新たな勘・コツ・経験を獲得する。そして、それをデジタル化してシステムに組み込み、また新たなチャレンジをしていく。このループが肝要であり、研究開発を加速させる原動力になる(図1)。
  - ⑦前者の五感を使って手で研究を進める実験に精通しているからこそ、「本当に使える自動・自律実験システム」を構築することができる。
- 自律実験システムにより繰り返し作業から解放されるからこそ、研究者は、人間にしかできない創造性の高い

スキルを積極的に磨いていく必要がある。研究者のオリジナリティーこそが強く求められる。問いを立てる力、仮説を立てる力・検証する力は、デジタル時代に必須の能力といわれており<sup>19)</sup>、研究開発の現場においてもその重要性は今後ますます高まるのは確実である。世の中の課題は複雑化しており、異分野の知見を集合して課題解決する必要がある。異分野の研究者と交流するために、コミュニケーション能力もますます問われる時代となる。

分野特有の体系的知見、すなわちドメイン知識の重要性は今後も変わらない。実験データが簡単かつ大量に得られるようになるからこそ、ドメイン知識に基づいて結果を正しく評価・解析する能力が研究者の腕の見せどころとなる。自動実験システムが生み出すデータを鵜呑みにせず、学理と照らし合せ、研究の進路を正確に判断することが重要である。若手のうちからその意識を持つことが必要である。

自動化や機械学習が進展しても、研究の本質である「問いを立て、解釈し、判断し、実行する力」は変わらない。物理的・化学的な制約や材料特性への深い理解などのドメイン知識に加え、世界の動向、社会のあり方に関して見識を持ち、総合的に判断して実行力を持つ人材の育成が重要である。

#### 4.2 自律実験システムが実現する知財戦略の革新

自律実験システムは、研究開発のスピードと質を向上させるだけでなく、企業の生命線である知財戦略、特に特許出願の遂行において、複数のアドバンテージをもたらす(図4)。

1つ目は、発明の完成を迅速化することによる、先願主義における競争優位性である。日本の特許制度では、同じ発明について複数の出願があった場合、もっとも早く出願した者にのみ特許権が与えられる。また、化合物や組成物といった「物の発明」で特許を得るためには、その物質を実際に製造できる方法を具体的に示すことが要求される。つまり、優れたアイディアを思いついただけでは不十分であり、それをいかに早く実験で具現化するかが勝負となる。自律実験システムは、24時間365日の連続稼働による実験速度と、機械学習による効率的な探索能力により、発明を完成させるまでの時間を短縮する。これにより、競合他社に先んじて有効な特許を出願できる可能性が高まる。

2つ目は、プロセスデータや特性データを一元管理することによる、出願プロセスの効率化である。3.2で紹介した dLab では、実験条件、プロセス、結果、使用装

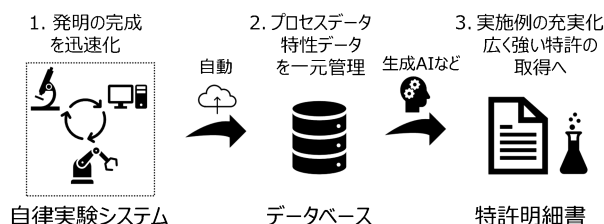


図4 自律実験システムがもたらす知財面のアドバンテージ

置、生成されたデータなどが全てデジタル形式で構造化されて記録される。この網羅的かつ正確なデジタルログは、化学・材料系の特許明細書における最重要部分の1つである「実施例」を作成する際の強力な基盤となる。手作業によるデータ整理や転記が不要になるため、明細書作成の時間が短縮されるだけでなく、転記ミスといったヒューマンエラーを未然に防ぐことができる。

3つ目は、豊富な実験データや実施例に裏付けられた特許戦略の遂行である。出願人の立場では「広く強い特許」の取得可能性を向上できる。誰もが、権利範囲が十分に広く、他者が容易に回避できない特許を取得したい。しかし、権利範囲を広く取ろうとしても、それを裏付ける具体的なデータ(実施例)が乏しければ、特許庁の審査において実施可能要件やサポート要件を満たさないとして拒絶される。自律実験システムは機械学習アルゴリズムに従って網羅的かつ客観的に実験を進めるため、研究者のバイアスに左右されず、人間では見過ごしがちな領域のデータも体系的に取得できる。この膨大かつ質の高い実験データは、広い権利範囲を主張するための強力な武器となり、抜け漏れのない強固な特許ポートフォリオの構築に大きく貢献する。また、豊富な実験データは、自社ビジネスの障害となる他社特許を回避するための特許戦略を描くことにも活用できる。

## 5. おわりに

本稿では、自律実験システムが研究開発、人材育成、知財戦略にもたらす変革を紹介した。自律実験システムは、単に実験を自動化するツールではなく、研究者を繰り返し作業から解放し、人間にしかできない創造的な活動に集中させてくれる強力なパートナーである。本稿により、自律実験システムに興味を持つ研究者や企業が増え、研究の進め方において変革が進めば幸いである。

## 参考文献

- 1) 内閣府,「マテリアル革新力強化戦略(令和3年4月27日決定)」(2021) [https://www8.cao.go.jp/cstp/material/material\\_honbun.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/material/material_honbun.pdf)
- 2) 内閣府,「マテリアル革新力強化戦略 ―知のバリエーションの構築を通じて―(令和7年6月4日決定)」(2025) [https://www8.cao.go.jp/cstp/material/material\\_2025\\_honbun.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/material/material_2025_honbun.pdf)
- 3) 一杉太郎編,「マテリアル×機械学習×ロボット」,東京化学同人(2024)
- 4) 一杉太郎:日本物理学会誌, 77, p592-601 (2022)
- 5) M. Eisenstein: *Nature*, **637**, p1008-1011 (2025)
- 6) B. Burger, P.M. Maffettone, V.V. Gusev, C.M. Aitchison, Y. Bai X. Wang, X. Li, B.M. Alston, B. Li, R. Clowes, N. Rankin, B. Harris, R.S. Spric and A.I. Cooper: *Nature*, **583**, p237-241 (2020)
- 7) N.J. Szymanski, B. Rendy, Y. Fei, R.E. Kumar, T. He, D. Milsted, M.J. McDermott, E.D. Cubuk, A. Merchant, H. Kim, A. Jain, C.J. Bartel, K. Persson, Y. Zeng and G. Ceder: *Nature*, **624**, p86-91 (2023)
- 8) Y. Yotsumoto, Y. Nakajima, R. Takamoto, Y. Takeichi and K. Ono: *Digital Discovery*, **3**, p2523-2532 (2024)
- 9) F. Strieth-Kalthoff, H. Hao, V. Rathore, J. Derasp, T. Gaudin, N. H. Angello, M. Seifrid, E. Trushina, M. Guy, J. Liu, X. Tang, M. Mamada, W. Wang, T. Tsagaantsooj, C. Lavigne, R. Pollice, T. C. Wu, K. Hotta, L. Bodo, S. Li, M. Haddadnia, A. Wolos, R. Roszak, C. T. Ser, C. Bozalginstest, R. J. Hickman, J. Vestfrad, A. Aguilar-granda, E. K. Klimareva, R. C. Sigerson, W. Hou, D. Gahler, S. Lach, A. Warzybok, O. Borodin, S. Rohrbach, B. Sanchez-lengeling, C. Adachi, B. A. Grzybowski, L. Cronin, J. E. Hein, M. D. Burke and A. Aspuru-Guzik: *Science*, **384**, eadk9227 (2024)
- 10) 川合伸幸: 作業療法, **43**, p159-163 (2024)
- 11) R. Batra, T. D. Loeffler, H. Chan, S. Srinivasan, H. Cui, I. V. Korendovych, V. Nanda, L. C. Palmer, L. A. Solomon, H. C. Fry and S. K. R. S. Sankaranarayana: *Nat. Chem.*, **14**, p1427-1435 (2022)
- 12) R. Shimizu, S. Kobayashi, Y. Watanabe, Y. Ando and T. Hitosugi: *APL Mater.*, **8**, p111110 (2020)
- 13) S. Kobayashi, R. Shimizu, Y. Ando and T. Hitosugi: *ACS Mat., Lett.*, **5**, p2711-2717 (2023)
- 14) K. Nishio, A. Aiba, K. Takihara, Y. Suzuki, R. Nakayama, S. Kobayashi, A. Abe, H. Baba, S. Katagiri, K. Omoto, K. Ito, R. Shimizu and T. Hitosugi: *Digital Discovery*, **4**, p1734-1742 (2025)
- 15) 文部科学省,「マテリアル革新力強化戦略に基づく文部科学省の取組」(2024) <https://www8.cao.go.jp/cstp/material/9kai/siryo2-2.pdf>
- 16) 日本ファインセラミックス協会,「デジタルラボ(仮称)研究会の発足について」(2023) <https://www.jfca-net.or.jp/contents/view/4672> (accessed 2025-07-25)
- 17) 東京大学大学院理学系研究科・理学部,「Press Releases 一欲しい物質を自動的・自律的に合成する」(2025) <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/10741/> (accessed 2025-07-25)
- 18) E. Brynjolfsson, D. Li, L. Raymond: *The Quarterly Journal of Economics*, **140**, p889-942 (2025)
- 19) 経済産業省,「生成 AI 時代の DX 推進に必要な人材・スキルの考え方」を取りまとめました」(2023) <https://www.meti.go.jp/press/2023/08/20230807001/20230807001.html> (accessed 2025-07-25)

## ＜著者紹介＞

宮脇 直也(みやわき なおや)

2018年 特許庁 入庁

無機材料の特許審査に従事

2025年 東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻 研究生※  
現在に至る

富田 成明(とみた なるあき)

2023年 一般社団法人日本ファインセラミックス協会へ出向  
現在に至る

2024年 東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻 客員研究員

一杉 太郎(ひとすぎ たらう)

1999年 東京大学 博士(工学)

1999年 ソニー株式会社

2003年 東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻 助教

2007年 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 准教授

2015年 東京工業大学 大学院理工学研究科 応用化学専攻教授

2022年 東京大学 理学系研究科 化学専攻 教授  
東京科学大学 物質理工学院 特任教授も兼任

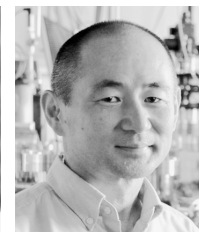
現在に至る



宮脇 直也



富田 成明



一杉 太郎

※特許庁から、東京大学 大学院理学系研究科に研究生として留学している。本稿は、特許庁としての見解を代表するものでなく、あくまで、研究生としての私見を述べている。