

多様物性研究部門

Division of Diverse Condensed Matter Science

物性科学の歴史は、常に「想定外の現象」と「新しい物質群」の発見によって切り拓かれてきた。多様な物質が示す一見ばらばらの現象の背後には、物質の多様性を包摂する物理法則の普遍性が存在する。多様物性研究部門は、多様性と普遍性の相互視点を通じて物性科学を探究することを目的とする。強相関系、量子現象、人工薄膜、表面界面反応、タンパク質機能、細胞機能といった分野の研究者が連携し、幅広い時空間スケールと階層性に渡る多様な物質世界に内在する普遍的原理を解明する。本部門は、学際的アプローチを通じて、新物質の探索と物質科学における新たな方法論の開発を進め、物質機能の創発を理解するための学理の創出を目指す。また、研究分野の多様性だけでなく、女性や外国人研究者を含む「研究と人」の多様性の実現にも取り組んでいく。

Condensed matter science has evolved through the discovery of unexpected phenomena and new classes of materials. Behind the apparently different phenomena exhibited by diverse materials, there consistently exists the universality of physical laws that hold across material diversity. The Division of Diverse Condensed Matter Science (DCMS) aims to explore condensed matter science through the complementary perspectives of diversity and universality. Researchers across the fields including strongly correlated systems, quantum phenomena, artificial thin films, surface and interfacial reactions, protein functions, and cellular functions collaborate to elucidate the universal principles inherent in the diverse material world across a wide range of temporal and spatial scales and hierarchical structures. Through interdisciplinary approaches, this division advances the exploration of new materials and the development of novel methodologies in condensed matter science, with the goal of establishing scientific principles that enable a deeper understanding of emergence of material functions. In addition, the Division is committed to realize the diversity not only in research fields but also in people including female and international researchers.

部門主任 リップマー ミック
Leader LIPPMAA, Mikk

井上研究室 Inoue Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 光受容型膜タンパク質ロドプシンの分子機能メカニズムの機能解析および分光研究
Functional and spectroscopic studies on the mechanism of molecular function of photoreceptive membrane proteins, rhodopsins
- 2 先端的分光計測法の生体分子研究への応用
Application of advanced spectroscopy for biomolecular study
- 3 ゲノムビッグデータをもとにした新奇光受容型タンパク質探索
Exploration of novel photoreceptive proteins using genome big data
- 4 機械学習法と実験自動化を用いた生体分子の機能決定因子の解明とそれにもとづく新規機能性分子開発
Elucidation of functional determinant factors of biomolecules and the development of novel functional molecules using machine learning methods and experimental automation



特任教授 井上 圭一
Project Professor INOUE, Keiichi

専攻 Course

新領域先端生命

Integr. BioSci., Frontier Sci.

新領域物質系

Adv. Mat., Frontier Sci.

理学系化学

Chem., Sci.



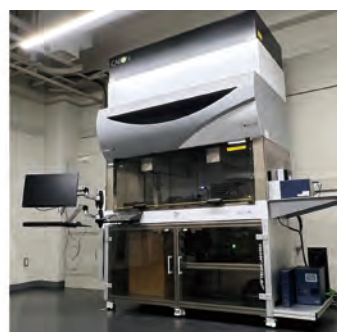
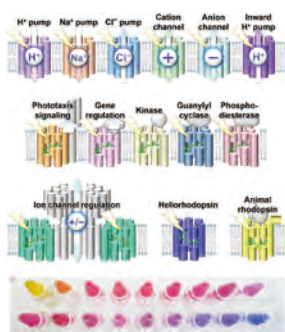
助教 永田 崇
Research Associate
NAGATA, Takashi



特任助教 加藤 善隆
Project Research Associate
KATO, Yoshitaka

多くの生物は太陽光を、自身の生理活動のためのエネルギー源や、外界の環境変化を知覚するための情報源として利用する。そしてこのときに中心的な役割を果たすのが、多様な光受容タンパク質である。

本研究室では、それら多様な光受容タンパク質の機能発現メカニズムを統一的に明らかにすることを目的とし、レーザー時間分解分光実験や振動分光実験などを通じて、高次複雑系である光受容タンパク質分子の化学反応素過程を調べる研究を行っている。さらに電気生理学実験や、生化学的手法と組み合わせることで、原子・分子レベルから細胞・個体レベルにおよぶ多階層的な理解を目指している。そして、これらの知見をもとに、光遺伝学などの応用を目標とした機能性生体分子の開発にも取り組む一方で、近年の急速なゲノム解析技術の発展がもたらすゲノムビッグデータをもとに、新奇な光生物学的現象とそれに関わる分子群の探索研究や機械学習法ならびに実験自動化法の開発を行っている。

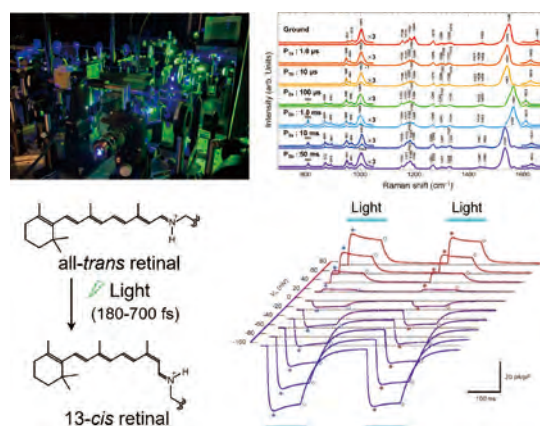


多様な機能を持つ微生物ロドプシン（左上）とその精製タンパク質試料（左下）。タンパク質機能解析用自動化実験ワークステーション（右）。

Microbial rhodopsins with a variety of functions (top left) and the purified protein samples (bottom left). Automated experimental workstation for protein functional analysis (right).

Most living organisms use sun light as energy source for their biological activity and information source to recognize environmental change. In this photobiological events, a wide variety of photoreceptive proteins play the central role.

Our research aims unified understanding of the mechanism of biomolecular functions of various photoreceptive membrane proteins called “rhodopsins”. The chemical elementary process of these supra complex photoreceptive proteins is studied by time-resolved laser spectroscopy and vibrational spectroscopy, and we are promoting further research by combining biochemical and electrophysiological techniques to achieve multi-layer understanding from atomic and molecular to cellular and individual levels. Furthermore, whereas we are developing novel artificial biomolecules for the application to optogenetics and so on, based on the fundamental insights, exploration studies of new photobiological phenomena and related molecular groups, and developments of machine learning technology and experiment automation methods are being conducted with genome big data accompanying the development of genome analysis technology in recent years.



独自光学系によるロドプシンの時間分解共鳴ラマン分光（上）およびロドプシン分子内におけるレチナールの光異性化過程（左下）。ホ乳類細胞に発現させたチャネルロドプシンの光電流（右下）。

Time-resolved resonance Raman spectroscopy of rhodopsin using the original optical system (top) and photo-isomerization process of retinal in rhodopsin (bottom left). Photo currents of ChR expressed in mammalian cells (bottom right).



高木研究室 Takagi Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 多軌道強相関電子系における新物性探索
Search for new properties in multi-orbital strongly correlated electron systems
- 2 トポロジカル構造にまつわる機能性の開拓
Functionality related to topological magnetic structures
- 3 分子軌道を起点とした電子相の設計・解明
Design and elucidation of novel electronic phases based on molecular orbitals



准教授 高木 里奈
Associate Professor TAKAGI, Rina

専攻 Course

新領域物質系

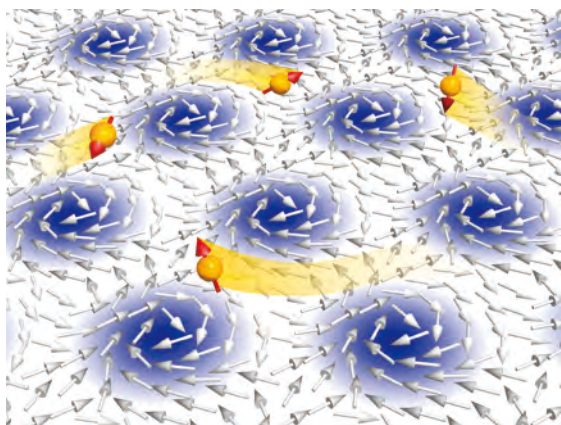
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 浦井 瑞紀
Research Associate
URAI, Mizuki

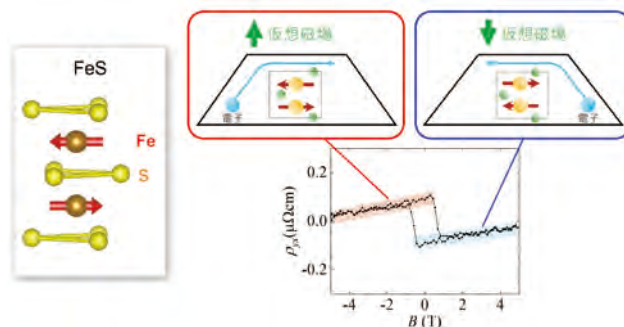
物質中に存在する多数の電子が強く相互作用する系では、化学的性質（元素の種類や結晶構造）や物理的環境（温度・磁場・圧力）を僅かに変化させることで様々な電子相が発現する。本研究室では、物質合成、磁化や電気伝導などマクロな物性測定、そして散乱実験や核磁気共鳴など微視的な実験手法を駆使し、電子が持つ電荷・スピン・軌道自由度が織りなす相転移現象やトポロジカル構造の研究を行っている。特に結晶中の分子軌道に着目することにより、現象の背後にある物理の解明と新しい電子物性の設計を目指す。研究対象は、遷移金属化合物や希土類合金などの無機結晶に加え、有機分子からなる分子性導体など幅広い物質を扱っている。具体的には、トポロジカル磁気構造にまつわる新物性・機能性の開拓、分子性導体における圧力下新奇電子相の探索などを進めている。

In strongly correlated electron systems, various electronic phases can be generated by slightly changing chemical properties (element type and crystal structure) or the physical environment (temperature, magnetic field, and pressure) of the matter. Our group is interested in electronic phase transitions and topological structures, in which charge, spin, and orbital degrees of freedom interact with each other. By combining material synthesis, macroscopic measurements of physical properties such as magnetization and electrical conduction, and microscopic techniques such as scattering experiments and nuclear magnetic resonance, we aim to elucidate the physics behind the phenomena and to design new electronic properties, especially by focusing on molecular orbitals in crystals. Our research targets cover a wide range of materials, including inorganic crystals such as transition metal compounds and rare earth alloys, as well as molecular conductors. Specifically, we are exploring new properties and functions related to topological magnetic structures, and novel electronic phases in molecular conductors under pressure.



多軌道強相関電子系において伝導電子が媒介する磁気相互作用によって生じるトポロジカル磁気構造の概念図。

Schematic of topological magnetic structure generated by magnetic interactions mediated by conduction electrons in a multi-orbital strongly correlated electron system.



磁性半導体の FeS では、反平行スピン配列が誘起する仮想磁場によって室温で異常ホール効果が生じることを見出した。

In the magnetic semiconductor FeS, a fictitious magnetic field induced by the antiparallel spin arrangement gives rise to anomalous Hall effect at room temperature.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/takagi_group.html

中辻研究室 Nakatsuji Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 トポロジカル磁性体の室温量子伝導
Room-temperature topological transport in magnetic materials
- 2 強相関電子系における異常金属相と新しい超伝導体の開拓
Strange metal behavior and unconventional superconductivity in strongly correlated materials
- 3 トポロジカル量子状態の制御によるスピントロニクスとエネルギーハーベスティング応用
Manipulation of topological states for spintronics and energy harvesting applications

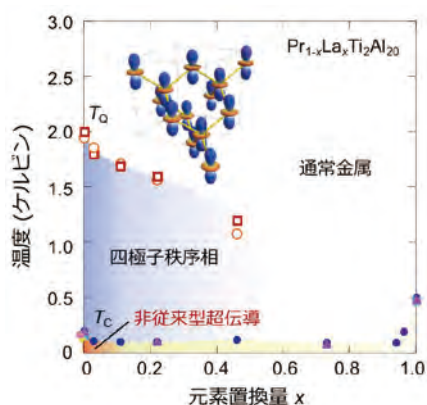


特任教授 中辻 知
Project Professor NAKATSUJI, Satoru

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.

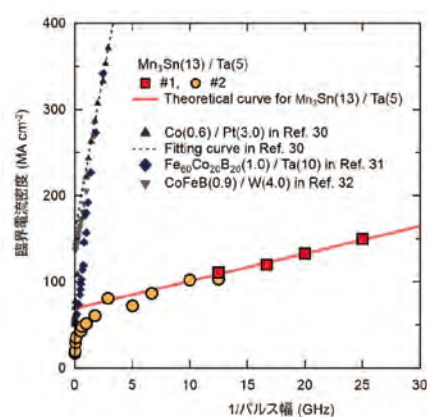
現在、磁性や超伝導、スピントロニクスといった分野が、トポロジーという概念によって再び整理・統合され、多くの新しい物理現象の発見に繋がっている。これらの物性物理の変革には、素粒子論、宇宙論、量子情報などで発展してきた概念が大きく関わっており、既存の分野の枠組みを超えた新しい視点での研究が重要になっている。私達の研究室では、そのような新しい概念を具現化する量子物質を自ら作り出し、世界最高精度の物性測定技術によってその背後にある物理法則の解明を目指して研究を行っている。それだけでなく、量子物質の驚くべき機能性をスピントロニクスやエネルギーハーベスティングに利用するための研究も行っており、産業界からも注目を集めている。

The condensed matter physics is considered one of the most versatile subfields of physics, embracing big ideas from particle physics, cosmology, and quantum information. Recently, the concept of topology has brought up a new era in condensed matter research that integrates a diverse spectrum of fields and topics, bridging basic science with technological innovations. Thus, it is critical to push beyond the traditional disciplines to establish new conceptual framework and to target at the significant problems. Our research activities focus on designing and synthesizing new materials with emergent quantum properties that have never been seen before, then exploring the physics and functionalities of such properties with our world-leading measurement facilities. Our goal is to lead the innovative quest for new quantum materials that bear a far-reaching impact not only on basic science but also on our everyday life in the future.



$\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ti}_2\text{Al}_{20}$ の低温相図。非従来型超伝導が強四極子秩序（挿入図）相内で現れる。[Nat. Commun. 16, 2114 (2025)]

Low temperature phase diagram for $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ti}_2\text{Al}_{20}$. Unconventional superconductivity appears in the ferro-quadrupole ordered phase (inset). [Nat. Commun. 16, 2114 (2025)]



$\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{Ta}$ 素子（赤・黄）は、ピコ秒領域での低消費電力動作に有利なスケールングが得られる。強磁性体デバイスに比較して、2桁以上低い消費電力を実現する。[Science 392, 761-765(2026)]

$\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{Ta}$ devices (red and yellow) show advantageous scaling behavior for low-power operation in the picosecond regime. This enables power consumption that is more than two orders of magnitude lower than that of ferromagnetic devices. [Science 392, 761-765(2026)]



林研究室 Hayashi Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 DNA オリガミ製ナノスプリングを用いたモータータンパク質の精密な力計測
Precise force measurement of motor proteins using DNA origami nanosprings
- 2 帯電性ナノバブル混入培地による iPS ニューロンの培養
Culture of iPS-derived neurons using media containing charged nanobubbles
- 3 中性子散乱実験データへのベイズ推定の応用
Application of Bayesian inference to neutron scattering experimental data



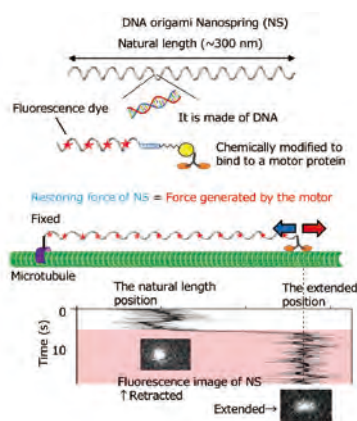
教授 林 久美子
Professor HAYASHI, Kumiko

専攻 Course

新領域複雑理工学

Complex. Sci. and Eng., Frontier Sci.

固体物理分野を対象とした物性計測に加え、生体、特に細胞を対象とした物性計測も物理の新しい対象である。生きた細胞は複雑な非平衡環境にあり、細胞内のタンパク質分子動態は物性計測の観点から最も困難な対象の一つといえる。近年、超解像顕微鏡の発展により、長さスケールの精密計測が可能となり、細胞内構造に関する理解は飛躍的に進化した。一方で、細胞内におけるタンパク質分子の力やエネルギーといったダイナミックな物理量を正確に測定する技術は、依然として発展途上にある。本研究室では、こうした課題に取り組むため、力やエネルギーなどのダイナミックな物理量を計測する新たな技術の開発を進めている。得られた測定データに基づいて細胞内現象の理論モデルを構築し、細胞内のダイナミクスを物理学的に定量理解することを目指す。これにより、神経疾患をはじめとするさまざまな病態の理解を深め、医学への貢献につなげることを目指している。

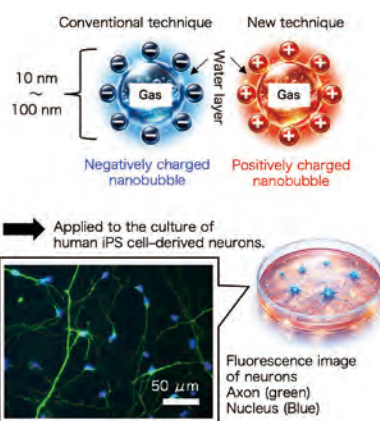


DNA オリガミ製ナノスプリング (NS) を用いたモータータンパク質キネシンの力計測の開発。NS の蛍光画像から長さを推定し、力の値に変換する。従来法の光ピンセット法よりも精密な力測定が可能になった。

Development of force measurements for the motor protein kinesin using DNA origami nanosprings (NS). The length of the NS is estimated from fluorescence images and converted into force. This approach enables more precise force measurements than conventional experiments using optical tweezers.

In addition to physical measurements in solid-state physics, physical measurements of biological systems, particularly living cells, have emerged as a new frontier in physics. The observations and manipulation for intracellular protein molecules in nonequilibrium environments living cell represent one of the most challenging targets. In recent years, advances in super-resolution microscopy have enabled precise measurements at the length scale, leading to significant progress in our understanding of intracellular structures. In contrast, techniques for accurately measuring dynamic physical quantities such as force and energy of protein molecules inside cells remain underdeveloped.

To address this challenge, our laboratory is developing new methodologies to measure dynamic physical quantities such as force and energy. Based on these measurements, we aim to construct theoretical models of intracellular phenomena and achieve a quantitative physical understanding of cellular dynamics. Ultimately, we aim to further advance the contribution of physics to medicine by deepening our understanding of various diseases, including neurological disorders.



ラジカルを生成する帯電性ナノバブル (NB) は細胞死を誘導し、プラス帯電性 NB はより強い効果を示す。この特性を活用し、NB を用いたヒト iPS 細胞由来神経細胞の高純度培養法の開発を目指す。原田研との共同研究。

Charged nanobubbles (NBs) that generate radicals induce cell death, and positively charged NBs exhibit a stronger effect. By exploiting this property, we aim to develop a high-purity culture method for human iPS cell-derived neurons using NBs. This is a collaborative study with the Harada Group.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/hayashi_group.html

吉信研究室

Yoshinobu Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 よく規定されたモデル触媒による分子の活性化と表面反応の研究
Activation and surface reaction of molecules on well-defined model catalysts
- 2 2次元物質エッジ面の電子状態と反応性の研究
Electronic states and reactivity of edge surfaces of two-dimensional materials
- 3 THz パルスによる表面における振動分光と分子ダイナミクスの研究
Vibrational spectroscopy and dynamical processes of molecules on surfaces using THz pulse
- 4 中性粒子およびプラズマと相互作用した材料表面の分光学的研究
Spectroscopic study of materials surfaces reacted with neutral particles and plasma



教授 吉信 淳
Professor YOSHINOBU, Jun

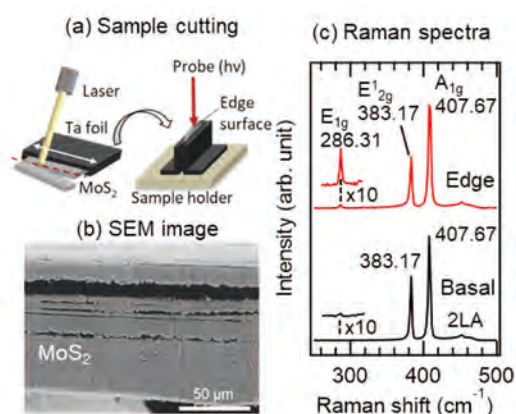
専攻 Course

理学系化学 新領域物質系

Chem., Sci. Adv. Mat., Frontier Sci.

外部から原子・分子を自在に供給し、新しい物質を構築する「反応場」であることが、固体表面の最も重要な特徴である。表面・界面は物質移動の場だけではなく、エネルギー変換の場としても重要である。原子スケールで物質移動を制御し、機能をもつ材料やデバイスを創製するためには、表面・界面における素過程を理解することが不可欠である。表面における原子・分子のダイナミクス研究は、触媒やデバイスだけでなく、さらに地球環境や宇宙における化学反応についても手がかりを与えてくれる。当研究室では、固体表面における原子・分子のダイナミクス、モデル触媒および低次元材料の構造・物性・反応、材料表面とプラズマとの相互作用を、振動分光、光電子分光、走査型トンネル顕微鏡など駆使して研究している。また、シンクロトロン放射光を用いたオペランド光電子分光を推進している。超広帯域 THz パルスによる時間分解分光と化学プロセス制御にも取り組んでいる。

The most important characteristic of solid surfaces is that they serve as “reaction sites” where atoms and molecules can be supplied from the outside to fabricate new materials. Surfaces and interfaces are important not only as the sites of mass transfer but also as the energy conversion sites. To control mass transfer at the atomic scale and create functional materials and devices, it is essential to understand the fundamental processes occurring at surfaces and interfaces. Research about the interactions of atoms and molecules with surfaces provides insights not only into catalysts and devices but also into chemical reactions in the environments in Earth and space. In our laboratory, we investigate the kinetics and dynamics of atoms and molecules on solid surfaces, as well as the structure, properties, and reactions of model catalysts and low-dimensional materials and the interactions between material surfaces and plasma, using vibrational spectroscopy, photoelectron spectroscopy, and scanning tunneling microscopy as well as DFT calculations. We are also advancing operando photoelectron spectroscopy using synchrotron radiation and we have engaged in time-resolved spectroscopy and the control of chemical processes using ultra-broad band THz pulses.



レーザー加工で作製した MoS₂ エッジ面 (a) 模式図、(b) エッジ面の SEM 像、および (c) ラマンスペクトル

Laser-fabricated MoS₂ edge surfaces: (a) Schematic diagram, (b) SEM image of the edge surface, and (c) Raman spectrum



THz パルス駆動表面反応装置（松永研究室との共同研究）

The apparatus for THz-pulse induced surface reactions (collaborated with Matsunaga Group.)



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/yoshinobu_group.html

リップマー研究室

Lippmaa Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 パルスレーザー堆積法による酸化物薄膜およびヘテロ構造の作製
Growth of thin oxide films and heterostructures by pulsed laser deposition
- 2 酸化物ナノ構造およびナノコンポジット薄膜の合成
Synthesis of nanostructures and nanocomposite thin films
- 3 光触媒におけるキャリアダイナミクス
Carrier dynamics in photocatalysts
- 4 薄膜のオートノマス合成
Autonomous synthesis of thin films



教授 リップマー ミック
Professor LIPPMAA, Mikk

専攻 Course

新領域物質系

Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 田中 友晃
Research Associate
TANAKA, Tomoaki

新規材料および電子デバイスの開発では、合成プロセスのパラメータ空間が非常に大きく、達成までに多大な時間を要する。当研究室では酸化物薄膜のパルスレーザー堆積法に取り組んでいる。試料作製では組成、圧力、温度、成長速度など約 10 次元に及ぶパラメータを扱うため、完全な最適化は困難である。そこで我々は、電子回折パターンに基づくリアルタイムフィードバックにより結晶構造を最適化する自律型合成ワークフローを開発した。回折画像の自動解析および薄膜の構造品質指標の抽出は、ニューラルネットワークによる画像セグメンテーションで実現する（図 1）。合成条件はベイズ最適化により決定され、多次元パラメータ空間においても迅速な条件探索が可能である。本手法は結晶品質の多次元マップを提供し（図 2）、複数材料を用いたデバイス設計に極めて有用である。このような品質マッピングは、完全自律型合成プロセスなしには実現困難である。

Developing new materials and electronic devices is a hugely time-consuming endeavor due to the large parameter space of the synthesis process. Our laboratory works on pulsed laser deposition of oxide thin films, where the process parameter space has around 10 dimensions (compositions, pressure, temperature, rate, etc.), making a complete optimization infeasible. We have therefore developed an autonomous synthesis workflow for the optimization of the structure of materials based on real-time electron diffraction feedback. We combine neural network image segmentation that enables automated analysis of diffraction images and the extraction of structural quality metrics for thin films (Fig. 1). The synthesis conditions are obtained from a Bayesian optimization algorithm that can rapidly find the best synthesis conditions even in a very multidimensional parameter space. Additionally, the optimization process provides a multidimensional map of the crystal quality in the synthesis parameter space (Fig. 2), which is an invaluable tool when integrating multiple materials in a device structure. Such quality mapping is practically impossible without a fully autonomous synthesis process

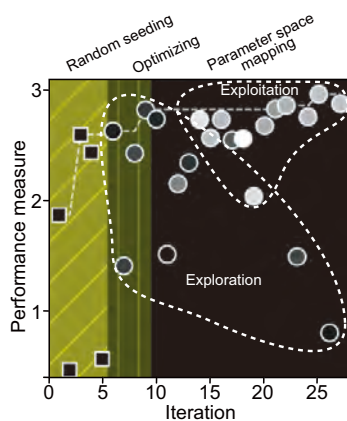


図 1：完全自律型の反復的材料合成プロセスにおけるプロセス性能指標の進化を示す。図は、最も高い結晶品質をもたらす最適な合成条件を探索するとともに、各プロセスパラメータが薄膜の結晶性に与える影響を明らかにするためにパラメータ空間を探索する、ベイズ最適化の経路を示している。

Fig. 1: Evolution of the process performance measure during a fully autonomous iterative materials synthesis process. The plot shows the Bayesian optimization path that finds the optimal synthesis conditions that yield the highest crystalline quality and explores the parameter space to build a map of how each process parameter affects the crystallinity of the thin film.

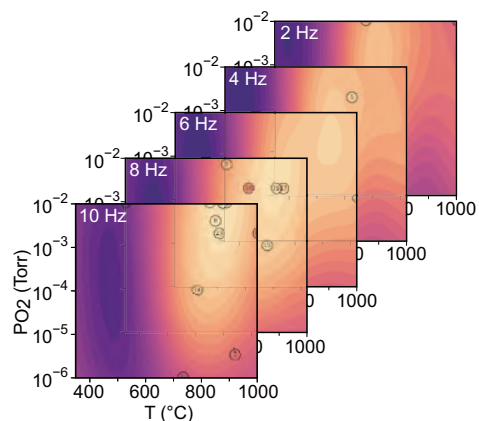


図 2：YSZ(111) 基板上に成長させた準安定 TbFeO₃ 薄膜に対する結晶品質マップ（明るいほど高品質）を示す。これは、成長温度、酸素分圧、および成長速度からなる三次元パラメータ空間において表現されている。

Fig. 2: A crystal quality map (brighter is better) for metastable TbFeO₃ films grown on YSZ(111) substrates, shown in a three-dimensional growth temperature, oxygen pressure, and growth rate parameter space.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/lippmaa_group.html

