

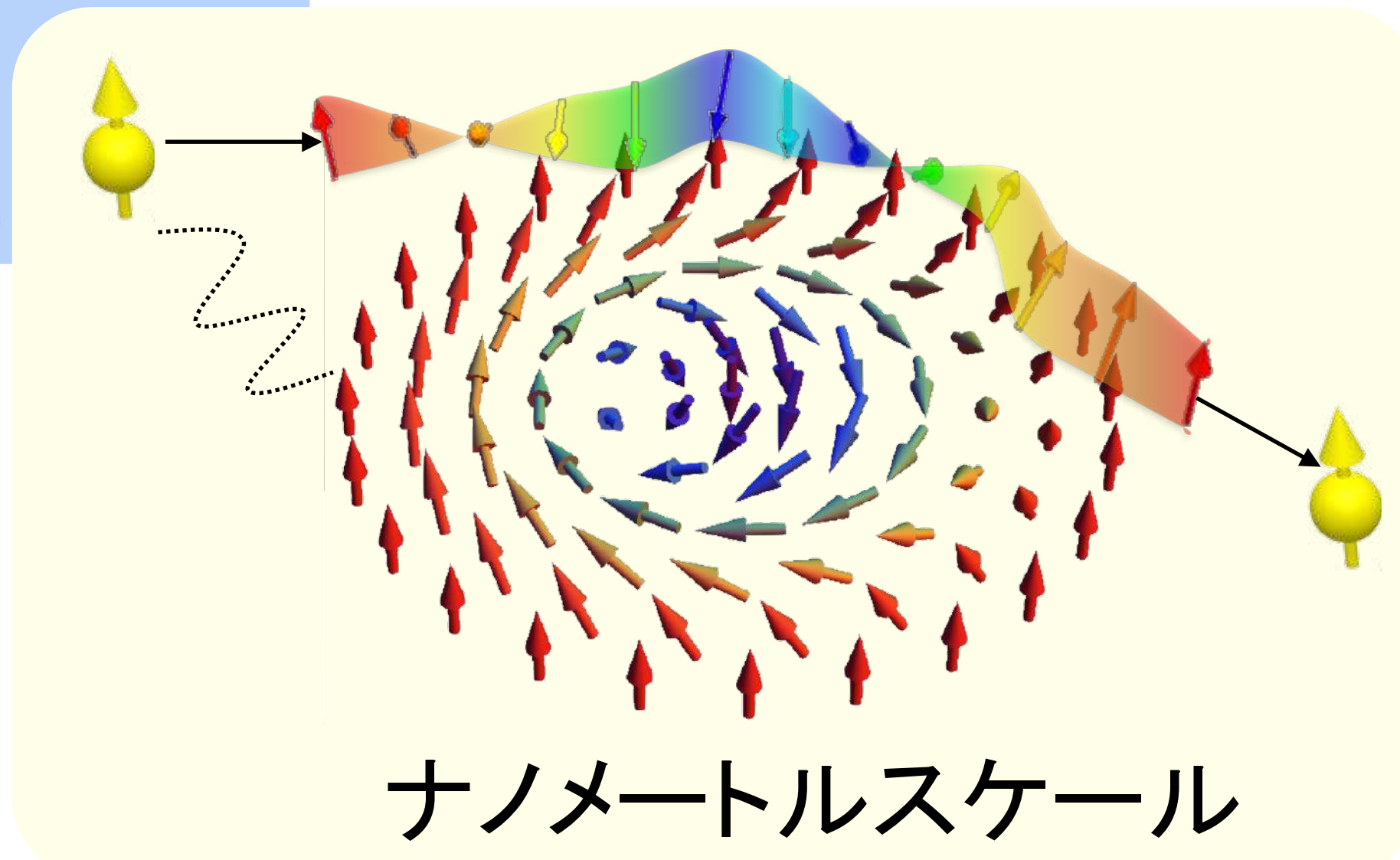
# 量子物質界面

物質-情報-生命現象をつなぐ新しい科学へ

金澤研究室@生産技術研究所へようこそ

「電気が流れる」とか「物にくっつく」だけじゃない！

量子の世界を理解して物質・機能をデザインしよう



ナノメートルスケール

金属はなぜ電気を通すのか、磁石はなぜ鉄とくっつくのか、私たちは量子力学の誕生によってその起源をマイクロなレベルで理解することができました。さらに現代では科学技術の急速な発展によって、原子スケールで物理現象や化学反応を目で見ることが出来ます。金属はただ電気を通す、磁石はただ鉄とくっつくだけでなく、ナノメートルスケールの磁気構造体が自発的に発現したり、電子がそのナノ構造体の幾何学的性質と相互作用して特徴的な伝導現象を示したりします。

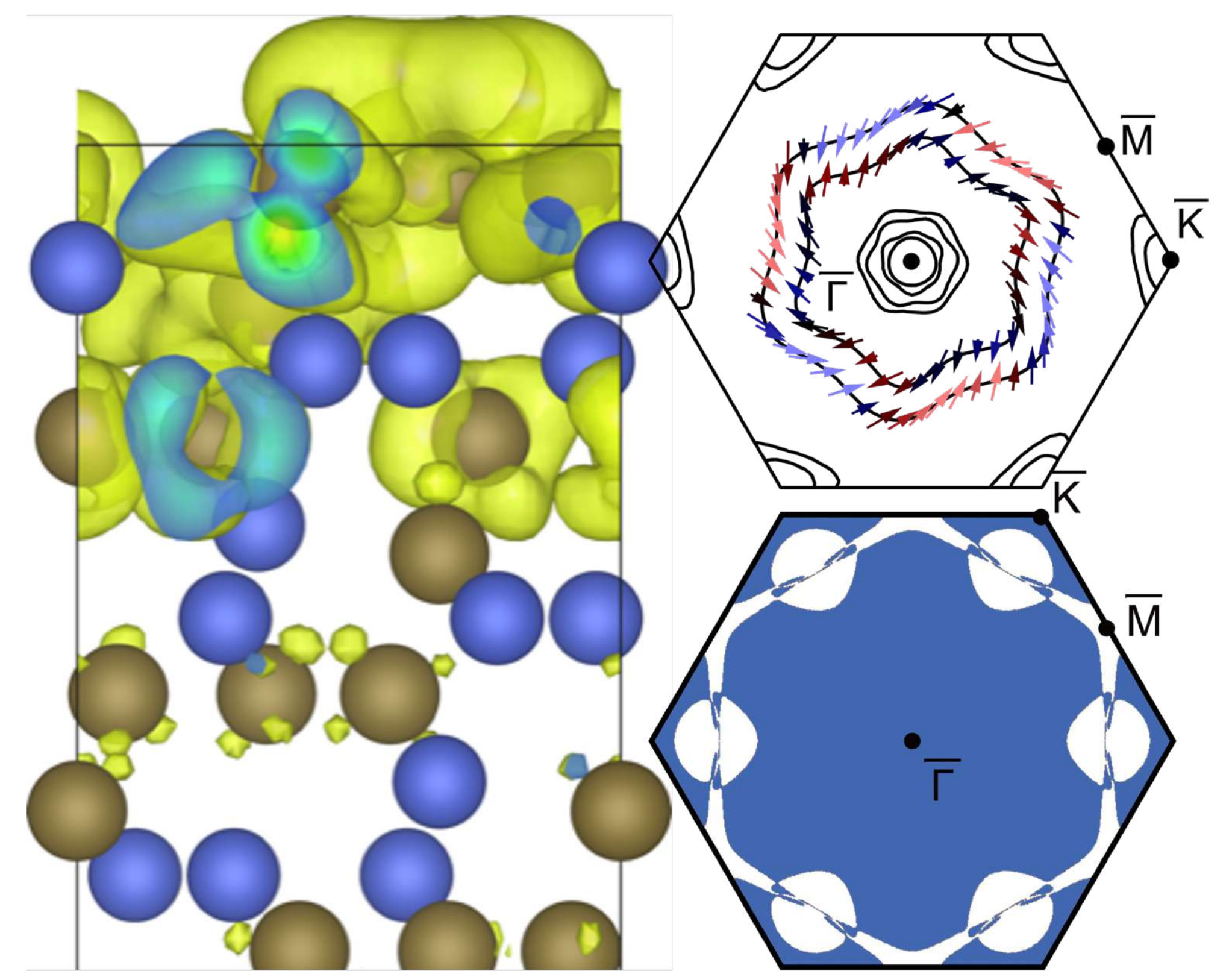
金澤研究室では化学結合を深いレベルで理解して、新物質開拓(特に表面や界面)と量子新機能の実現を目指します。

## 電気分極のトポロジーと表面新物質相

—環境にやさしい高性能トポジカル材料の合成—

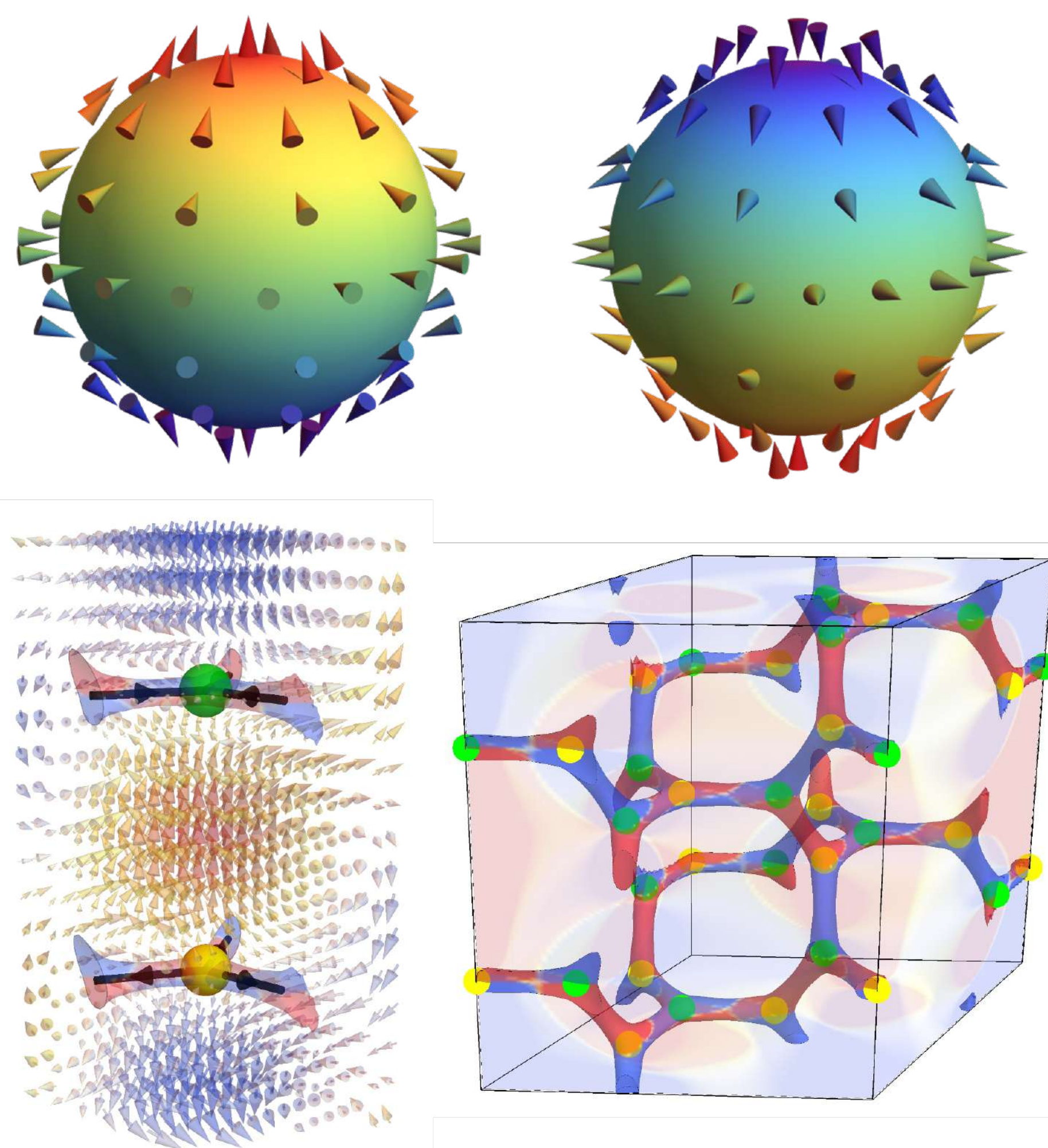
電気分極のトポロジーの中心概念であるZak位相をデザインすることで、物質表面に新しい量子状態を実現します。また表面の“対称性の破れ”に起因した量子状態の“方向性”を利用し、電気や熱で制御できる量子機能を設計します。

例えばこれまでに、FeSiという物質の表面に強スピン軌道結合状態を実現し、電流を流す方向で表面磁化の向きを自在に制御することに成功しました。これはMRAMといった次世代の不揮発性メモリに応用することができます。また希少元素を含まないことや、室温でも電気分極のトポロジーを保持できることから、環境にやさしい高性能トポジカル材料として応用が期待できます。



Zak phase

$$\theta(k_{\parallel}) = -i \sum_n^{\text{occ.}} \int_0^G \langle u_n(\mathbf{k}) | \frac{\partial}{\partial k_{\perp}} | u_n(\mathbf{k}) \rangle dk_{\perp}$$



## ナノ磁気構造体の複雑ネットワークと非線形現象

—ニューロモルフィックコンピューティングの新ハードウェア—

単純な構成要素から複雑なシステムが自発的に構築されることを“自己組織化”と言います。巨大分子や生命体、人間社会に至る広範な分野に渡って、その概念が注目を集めています。これらのシステムにおいては、構成要素間の相互作用に起因した非線形性によって複雑なパターンが現われ、構成要素の性質からは予測もできない様々な現象を引き起こします。

特に私たちは量子物質中の電子スピンに注目し、膨大な数のスピンの織りなすナノスケールの自己組織構造体やその集合体を物質界面に組み立て、わずかな刺激で大きく応答する非線形電気伝導現象を実現します。また大きな非線形効果を利用したニューロモルフィックコンピューティングへの応用を目指します。

## 低次元ナノ構造におけるゆらぎ現象

—マイクロエネルギーハーベスティングの実現—

一般にシステムのサイズが小さくなったり次元性が低くなると、構成要素の数や隣接する要素からの作用が減少するためゆらぎの効果が顕著になります。特に低次元量子物質においては電子状態密度の特異性が現れるため、熱ゆらぎ・量子ゆらぎの効果がより強く反映されます。ナノドット結晶成長やナノデバイス加工技術を駆使することによって特徴的な電子状態・スピン状態を微小空間に閉じ込め、高エントロピー流による熱電変換効率の増大や対称性の破れに起因したゆらぎ整流効果とマイクロエネルギーハーベスティングを実現します。

