

量子ビーム技術を駆使した細胞内構造転移の機能解明


 量研代表者：藤井 健太郎・量子生命科学研究所

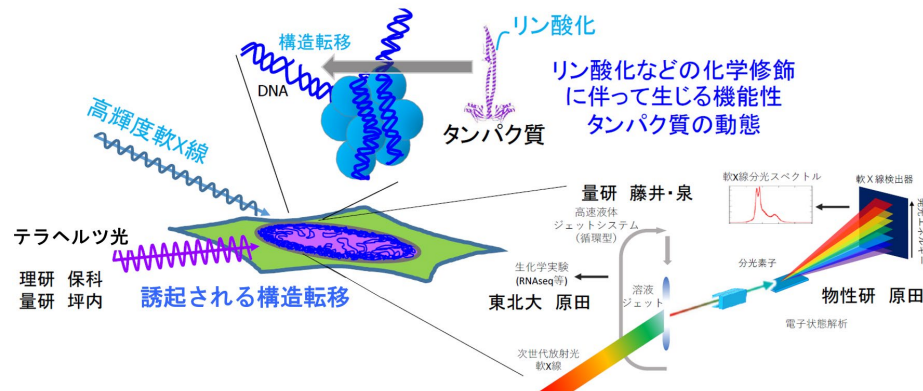

 東北大代表者：原田 昌彦・大学院農学研究科

研究計画の強み

量子ビーム技術を利用して細胞内分子動態を理解・制御することを目標として、次世代放射光施設の強みである放射光軟X線が持つ偏光特性や工学特性を駆使した分光学的な解析を行う。研究代表者に加え、先駆的な生体分子の分光実験を行う東大物性研・原田慈久、テラヘルツ光学を専門とする理研・保科宏道と量研・坪内雅明、液体ジェットシステムを整備している量研・泉雄大が参画することによる多彩な研究ネットワークも、本研究の強みである。

両機関が協力することで期待される成果

高輝度放射光などの量子ビームを駆使して、環境変化や外部からの分子摂動に応じて誘起される細胞内生体分子の構造相転移の機構を明らかにする。放射光軟X線分光により、高強度テラヘルツ光による生体分子制御の機構や、生命科学現象における電子状態の理解が深まることによって、これらの科学原理に基づいた生命現象の人為制御技術の基盤が構築されると期待される。



研究成果からもたらされる社会へのインパクト

放射光軟X線分光手法は、固体物理や材料科学分野において、超伝導メカニズムの解明や材料の高機能化の発展に大きく寄与してきた。本研究ではこの手法を生命科学の領域に適用することで、量子生命科学の分野の飛躍的発展を目指す。さらに、量子ビームによるゲノム・細胞機能の人為操作を可能とし、将来的には、生物を用いた物質生産、農畜水産物の育種・管理などの農学領域や、再生医療などの医学領域にも大きな影響を与える。


 量研代表者：藤井 健太郎・量子生命科学研究所

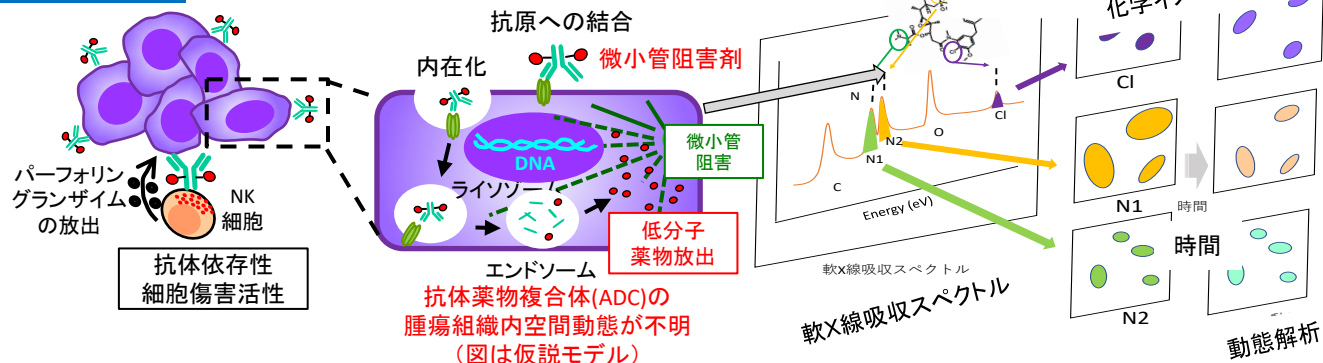

 東北大代表者：権田 幸祐・大学院医学系研究科

研究計画の強み

抗体薬物複合体に含まれる低分子薬物の細胞内動態や薬効は、これまでの分析技術では評価が困難であり、放射光軟X線イメージングが唯一その課題解決の可能性を有している。がん細胞内における低分子薬物の局在や薬効の現場を直接押さえるイメージング技術が実現すれば、薬物効果の最適化に基づいた分子設計が可能となる。抗体薬物複合体が作用した腫瘍組織内のがん細胞に対し、次世代放射光のイメージング分光技術を適用し、先行技術には無かった研究手法で抗体薬物複合体の開発に応用することが、本研究の強みである。

両機関が協力することで期待される成果

東北大学・医学系研究科で培った薬物評価技術と、量研のもつ軟X線分光技術を融合することで、既存の技術では成しえなかった薬物動態や薬効のイメージング解析が実現し、がん創薬技術の飛躍的な進展が期待できる。



研究成果からもたらされる社会へのインパクト

抗体薬物複合体に含まれる低分子薬物の動態と薬効が明らかになることで、既存技術では困難であった薬物効果の最適化が可能となる。このことは薬物投与量を減少させ、副作用を抑制することに繋がると期待される。抗がん剤の薬効を高めることは、がん患者の生存率の向上に加え、QOLを極めて高いレベルで維持することに貢献できる。

量子科学技術研究開発機構－東北大学マッチング研究支援事業 採択課題 室温量子情報処理に向けたワイドギャップ半導体スピン欠陥 への電気・光学的スピン注入によるスピン状態制御



量研代表者：大島 武・高崎量子応用研究所量子機能創製研究センター

東北大代表者：好田 誠・工学研究科



研究計画の強み

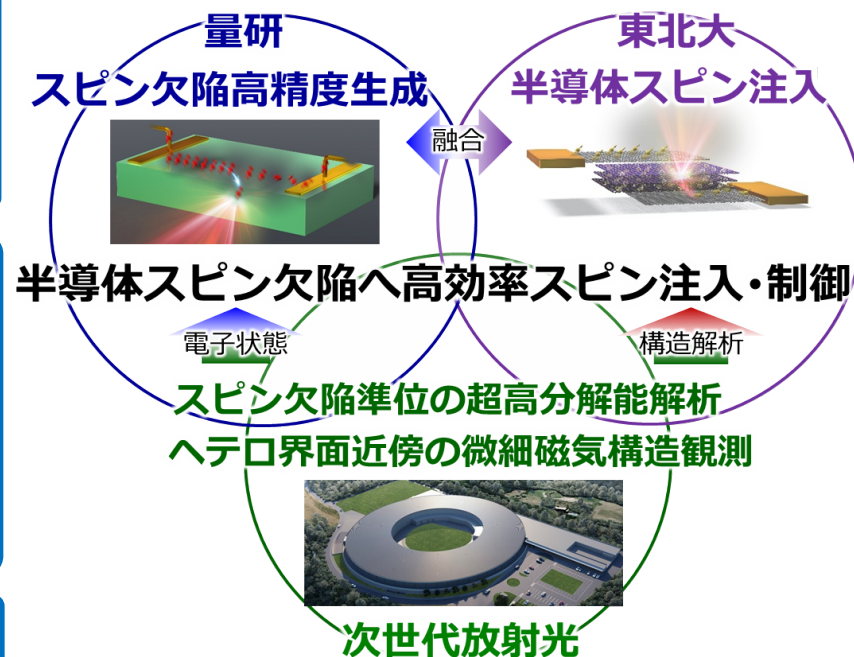
世界的にも量研が先導するイオン・電子ビームによるワイドギャップ半導体内への高精度スピン欠陥形成と本学の強みであるスピントロニクス技術に基づく電氣的スピン注入を融合したスピン欠陥制御技術を生み出す。

両機関が協力することで期待される成果

半導体や原子層物質のスピン操作可能なスピン欠陥に電気・光学的にスピン注入することでスピン初期化・制御を実現する。これにはスピン欠陥の微細構造の把握が必須であり、次世代放射光がその威力を発揮する。これまで室温量子情報に不向きとされたスピン欠陥を活用できる可能性があり量子情報社会に向け材料選択肢を大きく広げることができる。

研究成果からもたらされる社会へのインパクト

Siベースの集積化技術や通信に有利な近赤外領域の発光、さらに原子層単層のフレキシブル・透明性等を量子情報処理・通信に活用でき、量子情報社会を見据えたエッジ・クラウド双方の量子情報技術や量子デバイスへ大きな影響を及ぼす。



既存シリコンテクノロジーや次世代
トランジスタ技術に立脚した
室温量子情報デバイス基盤を確立



量研代表者：境 誠司・高崎量子応用研究所量子機能創製研究センター

東北大代表者：橋本 克之・理学研究科

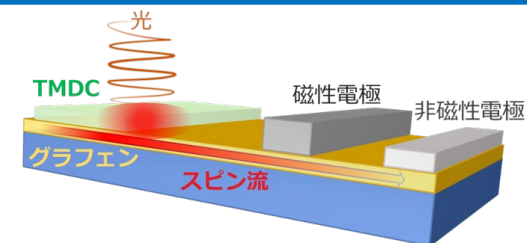


研究計画の強み

本研究では、次世代放射光施設や東北大学が有する最先端の顕微・分光技術、および、量研が有する二次元物質等の量子材料技術を駆使して、次世代電子デバイスとして注目されるスピントロニクスデバイスを光により動作させる光-スピン操作の原理・技術を創出し、光・電子情報技術の高度な融合(光-スピン融合)による情報技術の飛躍的発展に道を拓く。

両機関が協力することで期待される成果

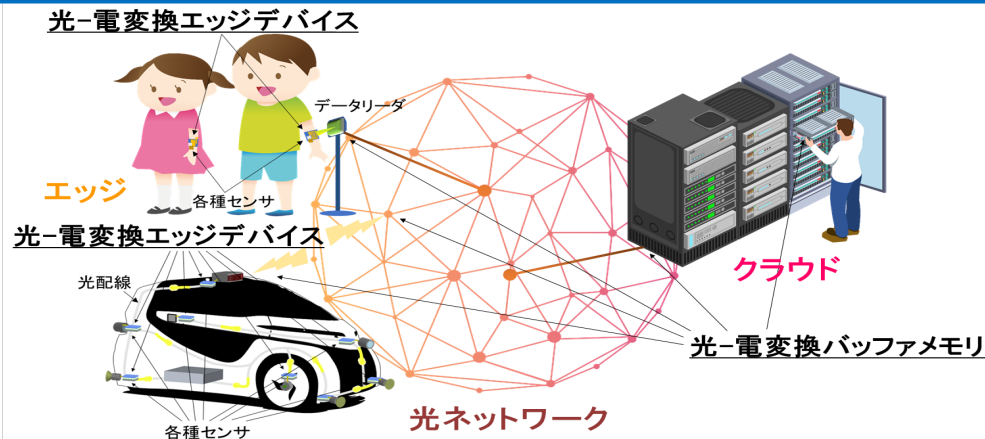
量研が誇る自由度の高い二次元物質デバイスの作製技術と東北大が有する原子構造や電子・スピン状態の実空間観測が可能な世界有数の走査プローブ顕微鏡技術に加え、次世代放射光による研究を見据えた顕微・スピン分解角度分解光電子分光技術を集結することで、革新的光駆動型スピndevice開発に重要となるミクロスコピックな光に対するスピン応答性や電子・スピン状態の解明が期待される。



光動作する革新的スピndevice

研究成果からもたらされる社会へのインパクト

本研究が目指す光駆動型スピントロニクスデバイスは、ネットワーク上のエッジからクラウドの随所に存在する光-電変換デバイスの情報処理機能の飛躍的向上を可能にする。このようなデバイス開発により、光ネットワークが膨大な数の電子デバイスを結ぶSociety 5.0時代の情報システム「オールフォトニクス・ネットワーク」の構築への多大な貢献が期待される。



軟X線XAFSとラマン分光を組み合わせた溶液中の構造解析 手法の開発と生体分子・機能性材料への展開

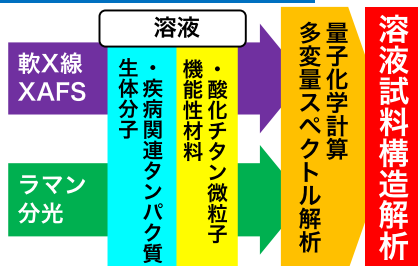


量研代表者：佐伯 盛久・高崎量子応用研究所東海量子ビーム応用研究センター



東北大代表者：中林 孝和・薬学研究科

研究計画の強み



放射光を用いた吸収分光法（軟X線XAFS）とレーザー光を用いたラマン分光を組み合わせ、溶液中の試料の構造解析を行う新たな測定手法の開発を行う。軟X線XAFSでは、特定元素の局所的な電子構造（イオン価数など）や幾何構造（隣接原子数や結合長）の情報を得ることができ、ラマン分光では、水素結合などの化学的な情報を得ることができる。この性格の異なる分光法を組み合わせることで、溶液中の構造解析を行う。X線結晶構造解析やクライオ電子顕微鏡など、固体の構造解析手法は確立されているが、**生体分子や機能性材料などが実際に機能を発現する溶液中での構造解析手法は未だ確立されていない**。本研究を通して、溶液中の構造解析のスタンダードとなる手法提案を行う。

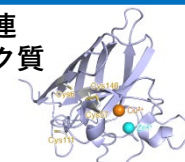
両機関が協力することで期待される成果

次世代放射光施設では蓄積電子ビームの収束性が良いことを利用し、高輝度と高エネルギー分解能を兼ね備えた軟X線による、高品質なXAFSスペクトルが測定できる。このアドバンテージを活かし、溶液中の遷移金属錯体のXAFS分光研究を専門とする量研研究者（代表：佐伯）とラマン分光を用いた生体分子の構造解析を専門とする東北大研究者（代表：中林）が協力することで、新しい溶液試料の構造解析システムが開発できる。互いの長所を活かす研究であり、共同研究を行う意義は高い。

研究成果からもたらされる社会へのインパクト

- 疾病に関係するタンパク質の水溶液中での構造解析による、疾病の発症機序の解明・創薬への展開
- 薬学・医学・生物研究を進める上で重要な生体分子の水溶液中での構造と反応機構解明
- 水素エネルギー合成触媒など、機能性材料の溶液内反応のその場解析と産業応用への展開
- 走査型透過X線顕微鏡（STXM）など次世代放射光で整備する新規ナノ領域顕微分光システムへの活用

疾病関連
タンパク質



SOD1 (PDBID: 1PU0)
© PDBj (cc) BY

新規アルミニウム合金水素化物の探索



量研代表者：齋藤 寛之・関西光科学研究所放射光科学研究センター



東北大代表者：味戸 沙耶・金属材料研究所

研究計画の強み

目標：水素を安全コンパクトに蓄えられる軽量安価な水素吸蔵合金の開発

従来指針：「**水素を吸蔵しやすい金属**」と「**水素を吸蔵しにくい金属**」を組み合わせた水素吸蔵合金の探索
高価・重い ➡ 重量・コスト面に課題

本研究独自の指針：「**水素を吸蔵しにくい金属**」同士を組み合わせた水素吸蔵合金の探索
既に高圧下でアルミニウム-鉄合金の水素吸蔵に成功

水素吸蔵圧を下げられれば、軽量で安価で優れた水素吸蔵合金の実現が可能に ➡ 東北大と量研で連携して解決

両機関が協力することで期待される成果

- 量研の「水素化物合成技術とイオンビーム照射・分析技術」
- 東北大の「水素検出技術および水素化物に関する計算科学・分析技術」

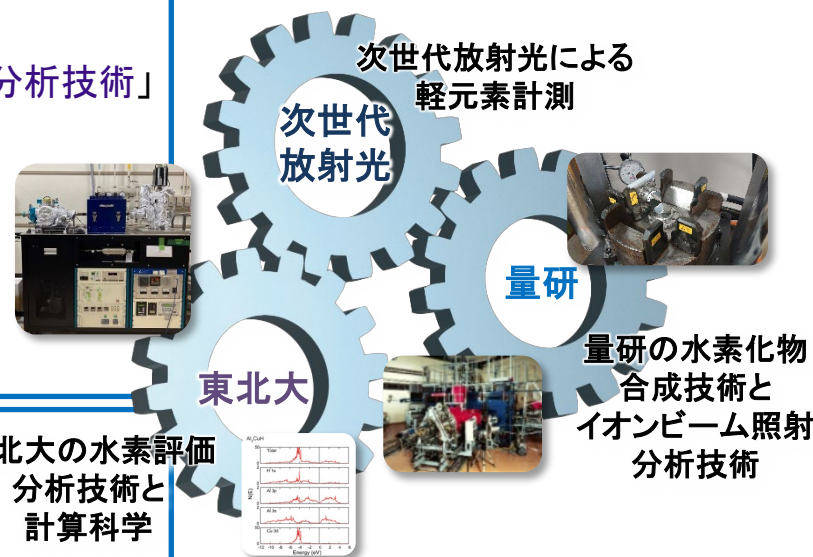
融合

アルミニウム-鉄合金の水素化圧力低減
新規なアルミニウム系水素吸蔵合金の実現

ポイントはアルミニウム-水素の結合状態の理解
➡ 次世代放射光による軽元素計測で研究を優位に進める

研究成果からもたらされる社会へのインパクト

軽量で安価な水素吸蔵合金が実現し実用化すれば、水素の貯蔵／輸送が容易となり水素エネルギー社会構築が飛躍的に進む



二次元物質・規則合金ヘテロ構造界面磁性の解明による革新的強磁性トンネル接合素子の創成


 量研代表者：上野 哲朗・関西光科学研究所放射光科学研究センター

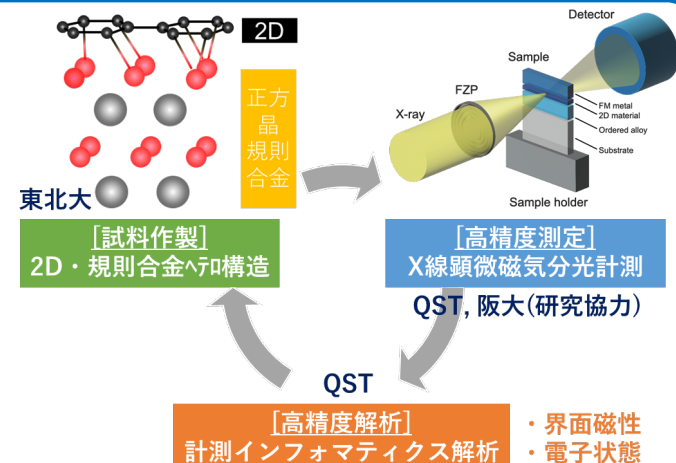

 東北大代表者：永沼 博・国際集積エレクトロニクス研究開発センター

研究計画の強み

量子科学技術研究開発機構(QST)の得意とする高精度な放射光分析および計測インフォマティクス技術と東北大学の得意とするスピントロニクス材料の研究を組み合わせることにより、次世代の超高記録密度の不揮発性磁気メモリの研究・開発において、学術面での深い理解とデバイスの産業応用の双方でインパクトのある成果が期待できる点が強みである。

両機関が協力することで期待される成果

カーボンニュートラルを目指す世界情勢のなか、消費電力の大きいフラッシュメモリなどの揮発性メモリを不揮発性磁気メモリに代替する研究が盛んに行われている。不揮発性磁気メモリを微小化するとエネルギー消費量を大幅に削減できることから、最先端の研究では10nm以下にまでメモリ素子が微小化している。そのような中、高度な分析技術をもつQSTと、微小メモリの作製技術を有する東北大学が協力することにより、10nm以下、つまりXnm世代の不揮発性磁気メモリを、学術的な理解の上に立脚した産業応用へ展開することが、両機関が協力することにより成果として期待される。



研究成果からもたらされる社会へのインパクト

スマートフォン、パーソナルコンピューターなどに用いられている揮発性メモリを不揮発性磁気メモリに代替することにより、動作時の消費電力を約9割も削減することが期待される。情報処理に関わるハードウェアのエネルギー消費の削減に貢献し、社会が目指すカーボンニュートラルの実現に向けて大きなインパクトとなる。



RIXSの超高エネルギー分解能活用に向けた遷移金属酸化物における電子相の研究

量研代表者：石井 賢司・関西光科学研究所放射光科学研究センター

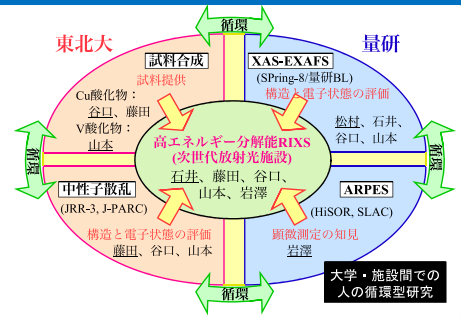
東北大代表者：藤田 全基・金属材料研究所



研究計画の強み

元素・軌道選択性を有する共鳴軟X線非弾性散乱(RIXS)は、電子に働く複数の相互作用の中から”本質”を抽出できる強力な測定手法です。本研究では、次世代放射光施設を含む大型実験施設を活用し、遷移金属酸化物における相転移を伴う電子相の発現機構を解明します。

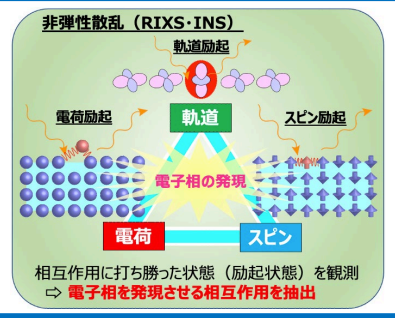
- 具体項目
- 東北大のものづくり(結晶作成)技術と量研の分析(放射光解析)技術の融合。
 - 先進的な大型実験施設に両機関が有する放射光・中性子装置の相互利用。
 - 世界最高性能を有する次世代放射光施設のRIXS分光器の活用。
 - 若手と学生が大学と実験施設で一連の実験に専門家と携わる循環型研究を実施。



両機関が協力することで期待される成果

それぞれの機関が得意とする、ものづくりと分析の研究ノウハウを融合することで、試料合成から測定・解析までを包括的かつ組織的に行う量子ビーム研究が可能となります。これにより、次世代放射光施設での迅速な学術成果の創出が期待されます。

- 具体項目
- 遷移金属酸化物における超伝導の多様性と新しい化学結合の形成機構の解明。
 - 電子が持つ電荷・スピン・軌道の複合的な運動に関する新知見の取得。
 - 未開拓である高エネルギー分解能RIXSでの顕微測定への展開。
 - 量子ビーム(放射光・中性子)を基盤とする物質科学研究チームの構築と人材育成。



研究成果からもたらされる社会へのインパクト

電子の持つ性質を活用する未来材料の開発を加速し、ものづくり社会を活性化します。また、学術上の成果創出を通して先端量子ビームのポテンシャルを引き出し、産業上の課題解決での利用につなげます。

- 具体項目
- 複合電子自由度を利用する低エネルギー損失なデバイス・材料の開発の推進。
 - 先端量子ビームの利用拡大と産学連携による関連技術の開発促進。
 - 量子ビームの活用による、ものづくり社会の活性化と「光イノベーション都市・仙台」の実現への貢献。

ナノ空間計測のためのビームライン技術開発と新奇トポロジカル量子現象の解明

量研代表者：堀場 弘司・次世代放射光施設整備開発センター

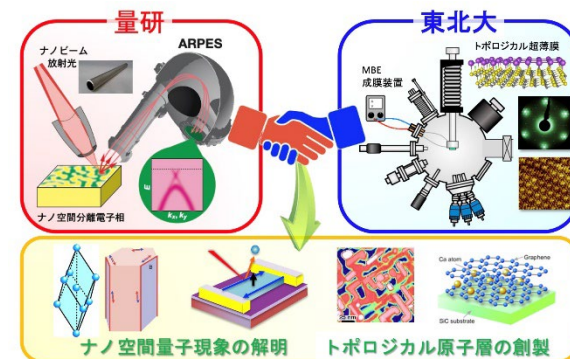
東北大代表者：佐藤 宇史・材料科学高等研究所

研究計画の強み

トポロジカル物質は、物質の中の数原子層程度の狭い領域に特殊な電子状態をもつ物質で、超低消費電力デバイスや量子コンピュータなどへの応用が期待されています。本研究では、量研が開発を担当する次世代放射光におけるナノARPESエンドステーションと、東北大が得意とするMBEによる原子層薄膜作製の高いシナジー効果により、これらの協働でしか成し得ない新しいトポロジカル物質の開拓を世界に先駆けて行います。

両機関が協力することで期待される成果

次世代放射光施設におけるナノARPES(角度分解光電子分光)エンドステーションを開発する量研堀場チームと分子線エピタキシー法によるトポロジカル材料の薄膜作製を行う東北大佐藤チームが強力にタッグを組み、新しいトポロジカル材料や原子層超薄膜のナノ空間領域における電子状態を直接「見る」ことのできるプラットフォームを新たに構築します。これにより、まだ理論でしか予測されていないような原子層トポロジカル絶縁体(TI)や高次TIといった新たなトポロジカル物質の実証が進み、さらに高機能な物質の開発へと発展することが期待されます。



研究成果からもたらされる社会へのインパクト

トポロジカルな電子は最新の物理理論と数学で予測される状態で、欠陥や不純物の影響を受けにくいという特徴をもち、様々な物質の微小領域に存在すると考えられています。量研と東北大の連携によって次世代放射光を用いたナノ空間領域の薄膜物性を解明することで、トポロジカル電子の状態が次々に明らかになると期待されます。トポロジカル現象の主役を担う電子の振る舞いを明らかにすることで、次世代の超低消費電力デバイスの開発や、各国で開発競争が進む量子コンピュータの実現が加速すると期待されます。

外場下・空間分解 RIXS による量子物質の相競合の解明

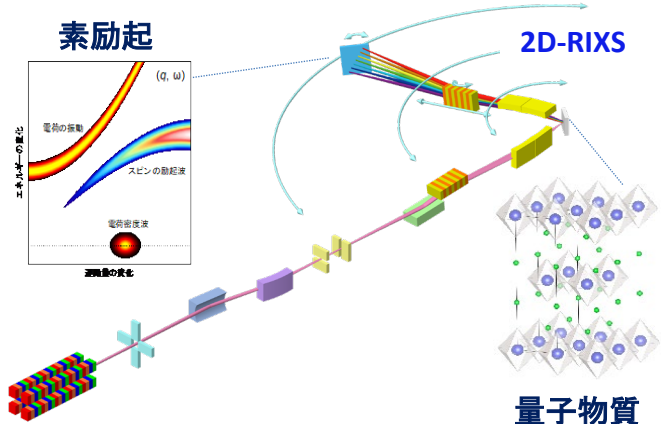

 量研代表者：宮脇 淳・次世代放射光施設整備開発センター


 東北大代表者：鈴木 博人・学際科学フロンティア研究所

研究計画の強み

本研究は次世代放射光が生み出す明るいX線が可能にする超高分解能共鳴非弾性X線散乱(RIXS)装置(BL02U)を活用した共同研究である。量子物質に含まれる化学元素の吸収端に合わせた軟X線領域の光を試料に照射し、散乱されて出てくる光のスペクトルを10メートルを超える巨大な分光器で観測する。これにより、様々な物質のナノスケールの構造を“素励起”(物質中で発生する固有振動)の観点から、試料を破壊することなく特徴づけることができる。

両機関が協力することで期待される成果



次世代放射光施設において超高分解能 RIXS 装置を開発している量研と、海外放射光施設での豊富なRIXS 測定経験を持ち、量子物質の試料合成、放射光実験、データ解析の体制を有する東北大が協力する。これにより、新規RIXS装置の光学系の立ち上げを速やかに実行する。装置の基礎的なコミッショニングが完了次第、新規装置のデザインが可能にする空間分解測定に進む(2D-RIXS)。さらに、RIXSの試料周りの高い自由度を生かした磁場・一軸圧力下の測定系を構成する。

研究成果からもたらされる社会へのインパクト

本研究を通して開発する空間分解 RIXS 測定法は、固体・液体・生態系など幅広い対象に適用可能であり、物質の微細構造に対する標準的な電子状態研究手法として確立することが予期される。また、磁場・一軸圧力下の RIXS 測定法の確立によって、量子物質から構成される機能性デバイスの動作下測定が可能になる。