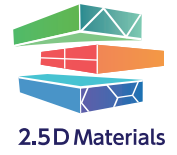


2.5D MATERIALS

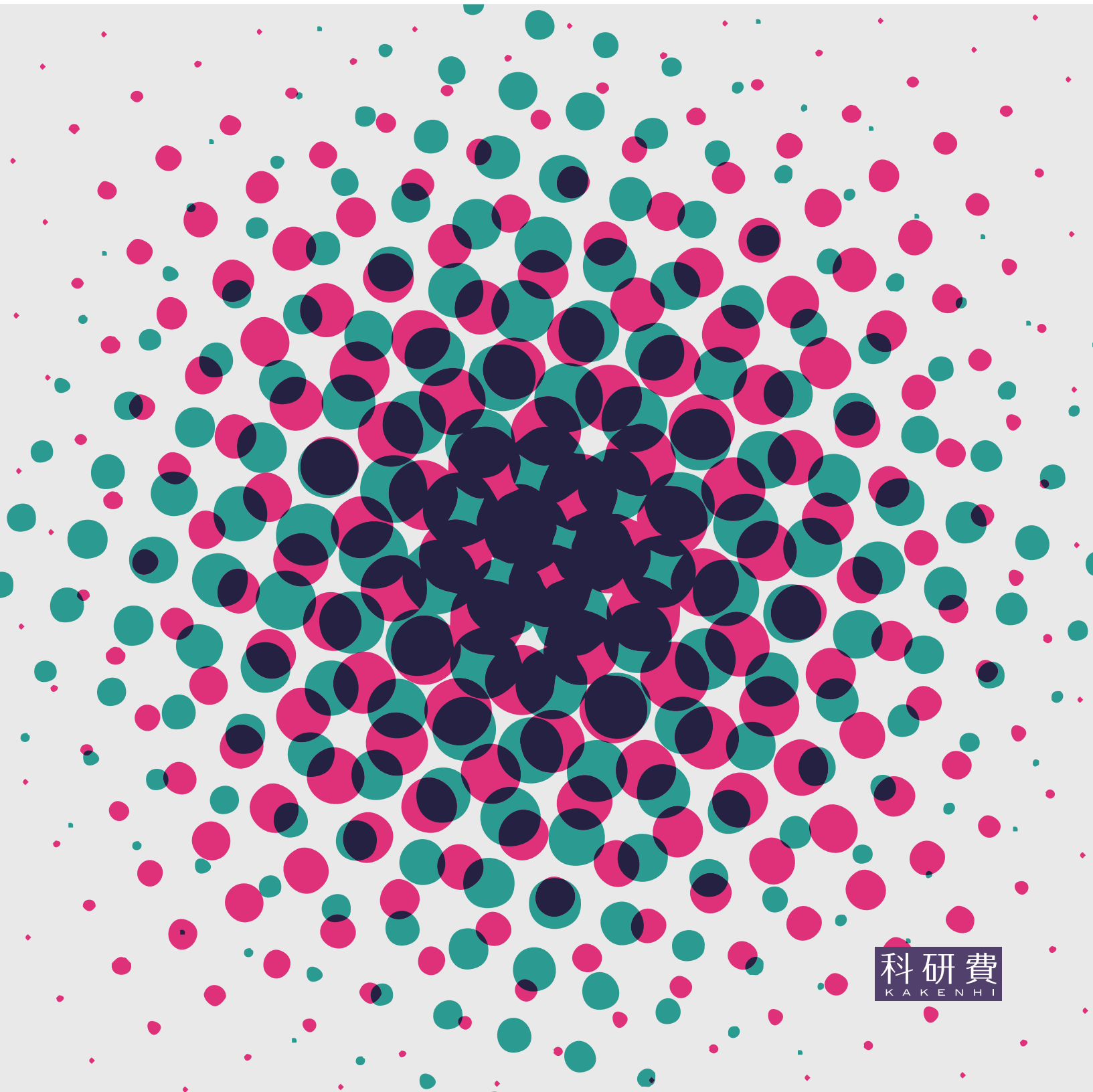


Grant-in-Aid for Transformative Research Areas (A)

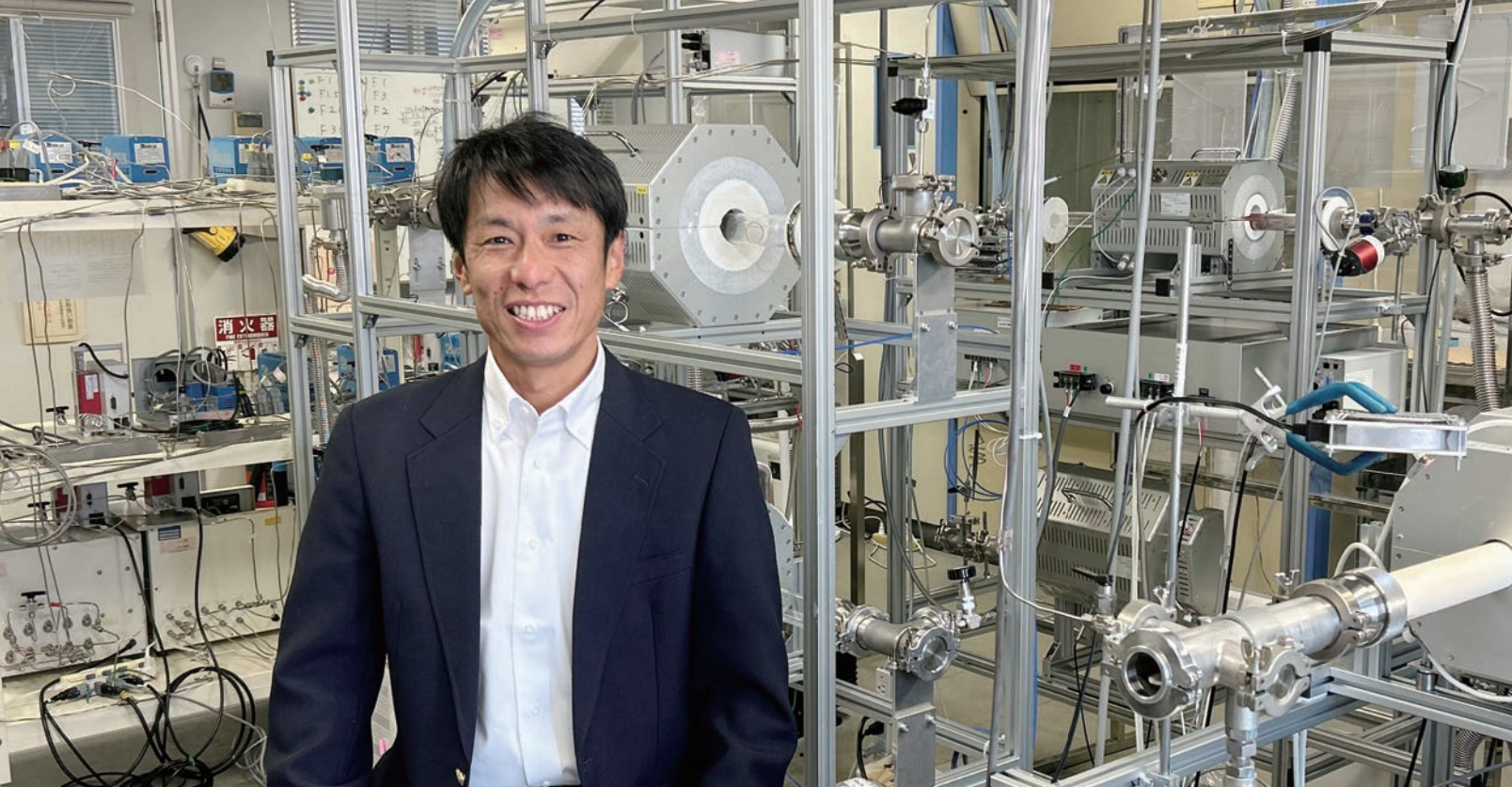
SCIENCE OF 2.5 DIMENSIONAL MATERIALS

Paradigm Shift of Materials Science Toward Future Social Innovation

2.5次元物質科学：社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト



科研費
KAKENHI



Explore infinite possibility of materials

物質科学は、多様な機能を備えた数多くの物質を創出し、我々の生活を大きく支え、かつ豊かにしてきました。私たちは「2.5次元物質」という独自の視点に基づいて研究を展開し、物質科学にパラダイムシフトをもたらすような新たな学理を構築するとともに将来的な社会変革につなげたいと考え、本領域を立ち上げました。

「グラフェン」と呼ばれる原子一個分の厚みの究極的に薄い、炭素からなる二次元シートが2004年に報告され、構造のユニークさに加えて、その中を移動する電子が物質中で最高の速さ（キャリア移動度）で移動するといった突出した物性などから大きな注目を集めました。その後、半導体、絶縁性、超伝導体、強磁性体といった様々な特性を示す原子厚みの「二次元物質」が作られ、研究が非常に活発に行われるようになりました。また、半導体デバイスや各種センサー、タッチパネル、バッテリーなどの幅広い応用研究も大きく期待されています。

本領域では、複数の二次元物質の組み合わせによる大きな広がりに着目し、様々な組成をもった二次元物質の重ね合わせやひねりの導入、層間に広がる二次元ナノ空間の科学、二次元物質と他の次元の物質との融合、そして社会変革を目指した実社会（三次元）への応用など、科学のフロンティアの開拓を目指して研究を推進します。二次元物質がもつ多くの自由度や可能性を0.5次元と象徴的に表し、「2.5次元物質」科学というユニークな視点から、世界をリードする成果を得て物質科学に変革をもたらしていきます。

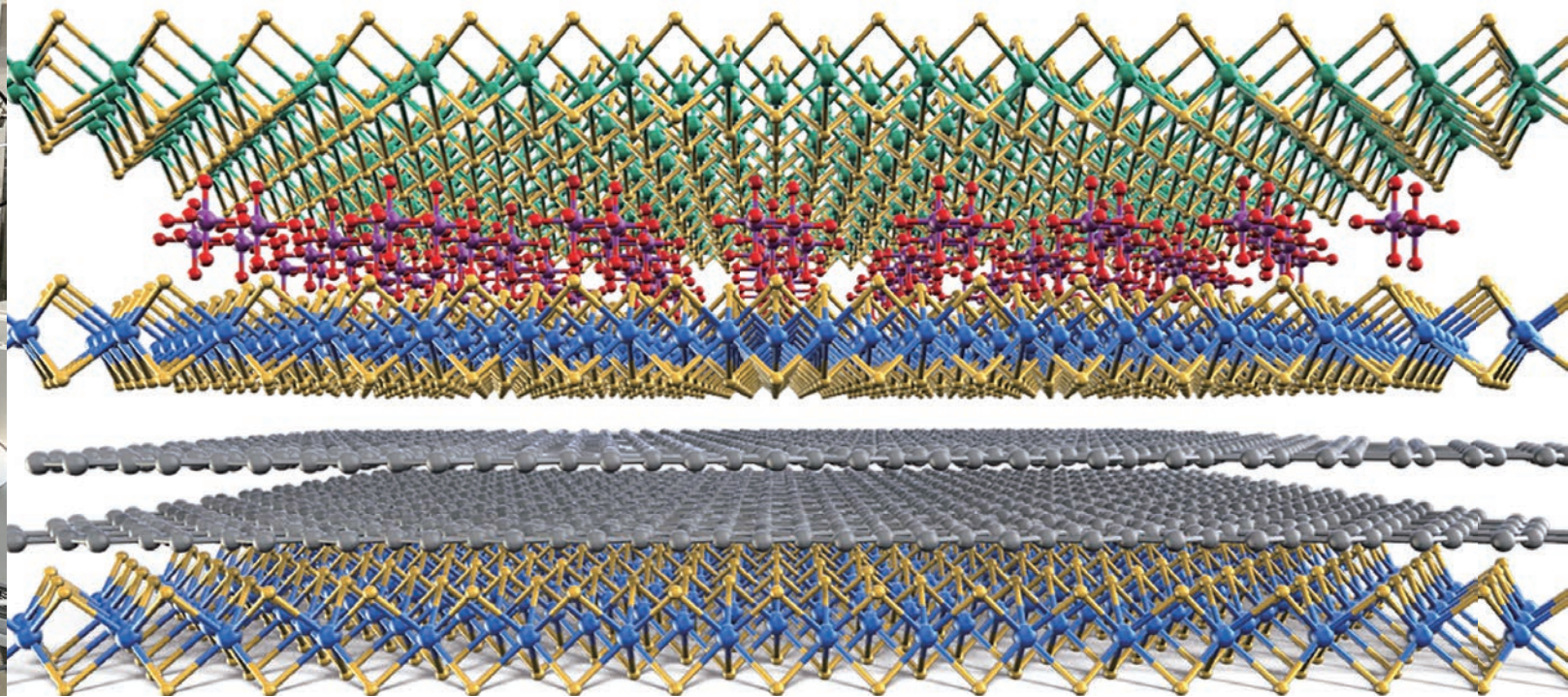
【領域の主な研究テーマ】

- ・二次元物質の合成（新物質合成、高品質化、ウェハー合成）
- ・ファンデルワールス力の制御による新しい物質創製と物性開拓
- ・二次元ナノ空間を活用した物質科学
- ・社会変革につながる応用研究

私たちの「2.5次元物質科」領域は2021年9月に採択されました。総括班を中心とする有志により、今後の学術の発展や社会の行く先なども見据えて、2019年4月から計8回、領域の方向性や研究内容に関して繰り返し議論を行いました。そして、二次元物質によるモアレの科学、空間科学、新奇な電子物性といった学術研究、ならびにデバイス・エネルギーをはじめとする応用研究を推進することにしました。日本を代表するアクティブな研究者間の共同研究を通じて物質科学に革新をもたらし、世界をリードしていく！ という熱い思いをもって領域を立ち上げることができました。目標の実現のため、本領域では以下に示すような多くの活動を進めています。

1. 領域会議

多様なバックグラウンドをもつ研究者が共同研究を開始し、それを発展させていくには、対面でのディスカッションが大切である、と考えて、コロナ禍においても対面での会議を重視して行っています。特に、コーヒブレイクを長くにとってコミュニケーションを促すとともに、サンプル見本市や理論説明会などの企画も行いながら、領域会議を年に2回開催しています。



“ Science of 2.5D materials ”

2. 共同利用拠点

領域内での共同研究を促進するため、4か所の共同利用拠点（合成拠点（九大）、積層拠点（東大）、分析拠点（構造測定：北陸先端大、光測定：京大））を領域内に設置しています。領域メンバーが自由にアクセスできるようにして、研究レベルの高度化や効率的な装置利用につなげています。

3. 若手支援

次代を担う若手の育成を目指して、大学院生や若手研究者を対象とした対面の若手の会を開催し、若手同士の交流や議論の場としています。また、海外の研究室でのインターンシップなども領域として支援しています。

4. 国際連携

国際共同研究の活性化のため、海外の研究チームや研究機関とのジョイントワークショップの開催、ならびに最先端で活躍している研究者による国際セミナーなどを行っています。

5. 領域内共同研究セミナー（ランチタイムセミナー）

領域メンバーの研究をより深く知って共同研究につなげるため、ランチタイムにオンラインでの領域セミナーも行っています。領域研究者の考えや進行中の研究内容などを気軽に紹介し、肩ひじ張らずに自由に意見交換する場としています。

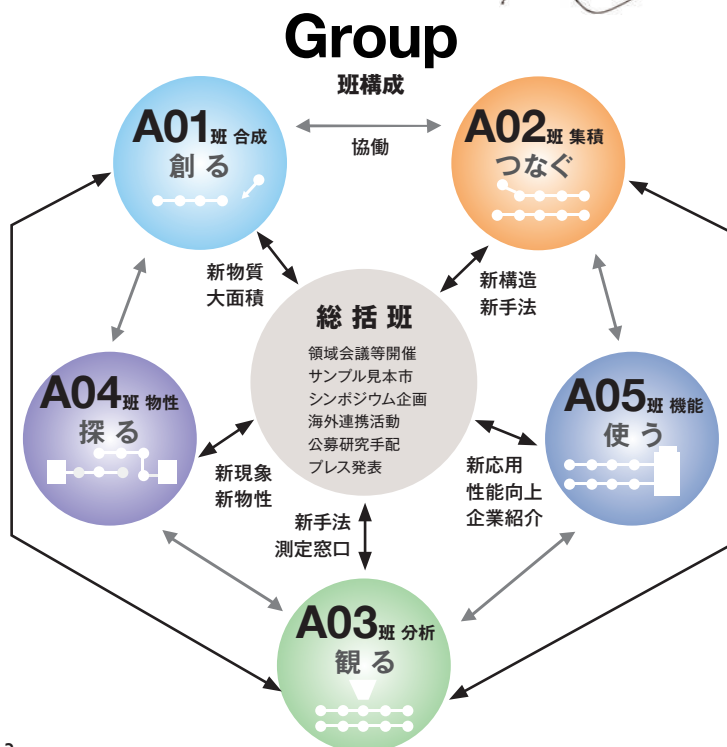
6. ニュースレター

領域の活動を幅広く知ってもらうため、ニュースレターを発行しています。研究者のこれまでの経歴なども含め、一般に分かりやすいニュースレターを目指しています。本領域の研究に関連した漫画も発信するなど独自の取り組みも行っています。

7. 「さん」づけキャンペーン

年齢・ポジションに関係なく共同研究を推進することを目的として、領域代表の考えで、お互いを「先生」でなく「さん」で呼び合うことで、より建設的な領域にしています。

2021年9月から始まりました4年半のプロジェクト「2.5次元物質科学：社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト」を領域メンバー全員で、全力で取り組み、新たな学理を構築するとともに、社会にも役立てていきます。皆様のご理解とご協力を何卒よろしくお願い申し上げます。



Members

A01

2.5次元構造体のための物質創製
【物質創製班】

計画班 ▶



研究代表者
岡田 晋
 筑波大学 数理物質系 教授
 DFTによる新規物質の
 設計と計算支援



研究分担者
吾郷 浩樹
 九州大学 グローバル
 イノベーションセンター 教授
 二次元物質のCVD成長と
 インターカレーション



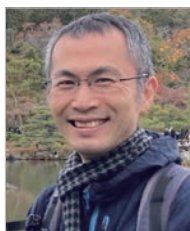
研究分担者
櫻井 英博
 大阪大学
 大学院工学研究科 教授
 有機合成に基づく
 擬二次元構造の創製



研究分担者
渡邊 賢司
 物質・材料研究機構
 特命研究員
 高品質h-BNの高圧合成と
 気相成長

A02

2.5次元集積構造の構築
【集積化班】



研究代表者
宮田 耕充
 東京都立大学 理学研究科
 准教授
 2.5次元物質の化学気相成
 長と集積化



研究分担者
町田 友樹
 東京大学 生産技術研究所
 教授
 ロボティック積層による
 集積構造の構築



研究分担者
荒井 俊人
 物質材料研究機構
 独立研究者・主任研究員
 液相/印刷プロセスによる
 自己組織化分子膜形成



研究分担者
松本 里香
 東京工芸大学 工学部 教授
 インターカレーションによる
 ナノ空間の活用

A03

2.5次元構造体の分析技術開発
【分析班】



研究代表者
松田 一成
 京都大学 エネルギー理工
 学研究所 教授
 2.5次元物質の光技術と
 機能創発



研究分担者
西堀 英治
 筑波大学
 数理物質系 教授
 先端放射光X線回折による
 2.5次元物質の構造評価



研究分担者
末永 和知
 大阪大学 産業科学研究所 教授
 最先端電子顕微鏡を用いた
 2.5次元物質の
 原子レベル構造解析



研究分担者
坂野 昌人
 東京大学
 大学院工学系研究科 助教
 2.5次元物質における
 バンド構造の直接観測

A04

2.5次元構造体の新奇物性開拓
【物性開拓班】



研究代表者
越野 幹人
 大阪大学
 大学院理学研究科 教授
 ハイブリッド・モアレ物質の
 物性理論と新機能開拓



研究分担者
高村 由起子
 北陸先端科学技術大学院大学
 先端科学技術研究科 教授
 シリセンなど単一組成原子膜と
 複層化による新奇電子物性創出



研究分担者
笹川 崇男
 東京工業大学 科学技術創
 成研究院 准教授
 結晶成長(トポシカル物質、超伝導物
 質)を駆使したエキゾチック物性開拓



研究分担者
蒲江
 東京工業大学 理学院
 准教授
 多様な2.5次元物質の電気伝導・
 光伝導・熱電特性の機能発現

A05

**2.5次元構造体の
 電子・光・エネルギー応用への展開**
【機能創出班】



研究代表者
上野 貢生
 北海道大学
 大学院理学研究院 教授
 2.5次元材料による化学センサ・
 光エネルギー変換デバイス



研究分担者
長汐 晃輔
 東京大学
 大学院工学系研究科 教授
 2.5次元界面制御による
 トランジスタ特性制御



研究分担者
大野 雄高
 名古屋大学 未来材料・シス
 テム研究所 教授
 2.5次元材料に基づくフレキ
 シブルエレクトロニクス の創製



研究分担者
松尾 吉晃
 兵庫県立大学 大学院工学
 研究科 教授
 2.5次元材料の
 蓄電デバイスへの応用

公募班 (第一期) ▶



公募研究
加藤 幸一郎
九州大学 大学院工学研究院 准教授
データ科学と第一原理計算の融合によるヘテロ積層型2.5次元材料のデザイン指針探索



公募研究
加藤 俊顕
東北大学 工学研究科 准教授
アトミックレイヤーファンクショナルゼーションによるヤヌス原子層科学の開拓



公募研究
黒澤 昌志
名古屋大学 工学研究科 准教授
大気・熱安定性に優れた14族2.5次元物質の創製と熱電応用への展開



公募研究
田代 省平
東京大学 大学院理学系研究科 准教授
環状中空分子の二次元集積化に基づく2.5次元ナノ空間の創製と機能化



公募研究
久木 一朗
大阪大学 基礎工学研究科 教授
水素結合でネットワーク化した2次元有機結晶の積層による2.5次元物質創成



公募研究
毛利 真一郎
立命館大学 理工学部 准教授
ナノ結晶・分子集積による「2.5次元モアレ超格子」の創製とその物性解明



AO1班:物質創製班 公募研究
蓬田 陽平
東京都立大学 理学研究科 助教
2.5次元遷移金属ダイカルコゲナイドナノチューブの創製とその大表面積応用



公募研究
上野 啓司
埼玉大学 理工学研究科 教授
ファンデルワールス積層構造のための新規バッファ層物質:硫化ガリウム応用



公募研究
北浦 良
物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
1.5次元から2.5次元への展開に基づく新物質群創出



公募研究
田中 秀和
大阪大学 産業科学研究所 教授
2次元層状物質表面場を利用した良質異種結晶の創製と機能集積



公募研究
杉本 宜昭
東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
走査プローブ顕微鏡を用いた2.5次元物質の創製と評価



公募研究
高橋 康史
名古屋大学 工学研究科 教授
2.5次元材料における局所触媒活性の実空間イメージング



公募研究
柳 和宏
東京都立大学 理学研究科 教授
格子不整合二次元ナノ界面における熱・電荷輸送の相関の解明と制御



公募研究
Lin Yung-Chang
国立研究開発法人産業技術総合研究所 材料・化学領域 主任研究員
原子レベルでの層間インターカレーション機構のリアルタイム可視化技術の開発



公募研究
塩見 雄毅
東京大学 大学院総合文化研究科 准教授
2.5次元物質における高効率スピン電流変換



公募研究
友利 ひかり
筑波大学 数理物質系 助教
格子ひずみによるグラフェン超格子構造の開拓



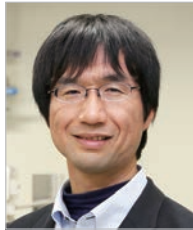
公募研究
若林 克法
関西学院大学 工学部 教授
2.5次元物質における光学応答効果と光・電子機能設計の理論



公募研究
石井 史之
金沢大学 ナノマテリアル研究所 教授
不整合ファンデルワールスヘテロ構造の熱電効果とスピン軌道結合係数の第一原理計算



公募研究
小野 倫也
神戸大学 工学研究科 教授
計算科学手法による2次元ナノ空間でのキャリア伝導予測と高機能デバイスデザイン



公募研究
河野 行雄
中央大学 理工学部 教授
カーボン系原子層物質の空間次元制御による新規テラヘルツ・赤外機能素子・計測の創出



公募研究
山本 真人
関西大学 システム理工学部 准教授
二次元強相関酸化物の創製とファンデルワールスヘテロ構造デバイスへの展開

Near Future

2.5次元物質で拓く社会変革



6G 通信

2.5次元物質を構成するグラフェンは、とても高速でデバイスを動かすことができます。そのため、次の時代の通信である6G、あるいはもっと先のコミュニケーションに、2.5次元物質が活躍するかもしれません。小型で軽くて、しかも超高速の通信で、臨場感あふれる体験ができるようになります。



フレキシブルデバイス

ほとんど光を吸収しない2.5次元物質はほぼ透明です。しかも柔らかいので、自由な形状にできるスマートフォン、持ち運びのできる屋外大スクリーンなど、あらゆる場所で活用できます。摩擦や振動、太陽光、あるいは雨で発電できる、軽くて持ち運びのできるバッテリーにも使えることでしょう。



太陽光による水の分解

2.5次元物質は表面積が大きく、また種々の活性サイトをもつので触媒として高い活性を示します。水を太陽光で分解して、エネルギーとして利用できる水素を発生させることができます。エネルギーを作るだけでなく、リチウムなどを層間に入れることができ、リチウムイオン電池などバッテリー技術にも利用できます。



ロボット

ロボットの様々なところで2.5次元物質が力を発揮します。頭脳となるコンピューターをはじめ、目として働く光センサー、鼻となる匂いセンサー、触った時の感触などを測る圧力センサーなど2.5次元物質の柔らかさと高い感度を利用します。家庭から工場までいろいろなところで活躍します。



空飛ぶ車

とても軽いのに丈夫な材料も2.5次元物質から作られて、空飛ぶ車のボディにも使えるかもしれません。自動運転に必要なコンピューターにも、2.5次元物質からなるデバイスの高い処理速度が活かされます。人や車を感知するための赤外線センサー、人工衛星との通信にも2.5次元物質は有効です。



生体埋め込みデバイス

生体親和性が高い上に、とても柔らかくて、超高感度な2.5次元物質は体の中に埋め込む電気/生体デバイスとしても活用できます。体に貼り付けても、貼っているかどうか分からず、しかも自然に消えていく絆創膏などにも使われることでしょう。ウイルスなどを短時間に高感度で計測できるのも2.5次元物質の特長といえます。



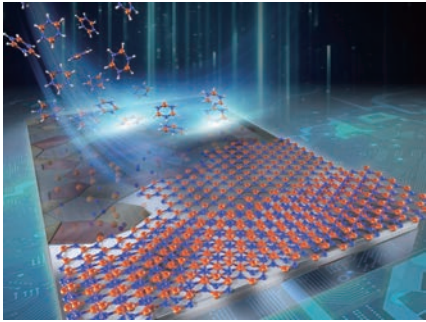
ゲーム

透明・軽量・フレキシブル・しかも高機能の2.5次元物質はゲームの世界でも活躍するでしょう。さらにはもっと進んで、ARと高速通信、それにロボットを使ってメッシやネイマールとサッカーしたり、錦織圭のサーブを受けたり、より新鮮な経験ができるようになるかもしれませんね。



半導体

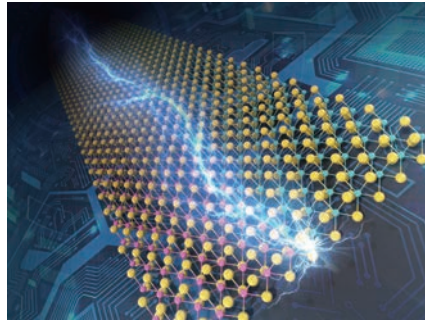
2.5次元物質を構成する遷移金属カルコゲナイドといった半導体材料は、シリコンの次を担う次世代材料として期待されています。いろいろな特徴をもった2.5次元物質を寄せ集めて、様々な機能を合わせもつ半導体を実現します。さらには、人工知能や量子情報など、最先端の科学に必要な半導体などの主役の役割を2.5次元物質が担います。



A01

2.5次元構造体のための物質創製 物質創製班

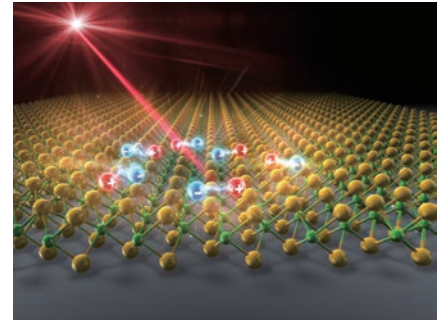
2.5次元物質科学の基盤となる様々な二次元物質の設計と合成を行います。第一原理計算により、2.5次元物質を設計したり、物性を理解していきます。導電性のグラフェン、半導体の遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)、絶縁体の六方晶窒化ホウ素(h-BN)などの結晶成長や大面積のウェハースケール合成を推進するとともに、それらの特性を合成にフィードバックしていきます。さらには、ユニークな物性を示す新たなタイプの二次元物質の有機合成や化学気相成長合成、そして化学修飾や物性探索も進めます。材料の提供をはじめとした領域内研究活動も積極的にを行うことで2.5次元構造体創製のための基礎学理に関する研究を行います。



A02

2.5次元集積構造の構築 集積化班

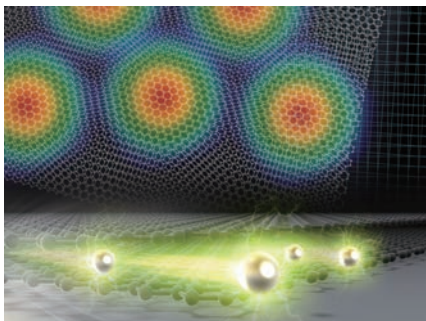
2.5次元物質科学の推進のため、二次元物質を重ねる・ひねる・つなぐ技術など、個々の独自技術の高度化とその融合を通じ、多彩な集積構造の作製を行います。機械学習やロボティクスを融合させた2.5次元物質の自動作製装置の開発と運用も担います。さらに、化学気相成長で直接的に積層構造や接合構造を作り出していきます。また、2.5次元物質特有のナノ空間を利用したインターカレーションによる新物質創製や機能開発も行います。さらには、有機系の二次元材料など新しい材料群にも対象を広げて、新しい2.5次元物質の創製と集積化によってもたらされるサイエンスを展開していきます。



A03

2.5次元構造体の分析技術開発 分析班

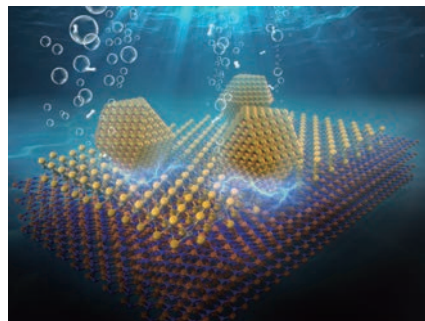
2.5次元物質で発現する特異な構造や電子状態を明らかにする分析技術を開発し、2.5次元物質科学の学術の発展を支えていきます。非常に薄い2.5次元物質に有効な手法の開発を進めるとともに、測定技術の領域内への提供を担って領域研究の活性化や高度化に貢献します。具体的には、様々な実験プローブ(光、X線、電子顕微鏡、電子分光)により、二次元物質を角度をつけて積層した集積の自由度から生じるモアレポテンシャルによる電子状態の可視化や解析、二次元物質で囲まれた特異な二次元ナノ空間での原子配列構造などの観察など、2.5次元物質の研究推進に資する評価技術の高度化を行います。



A04

2.5次元構造体の新奇物性開拓 物性開拓班

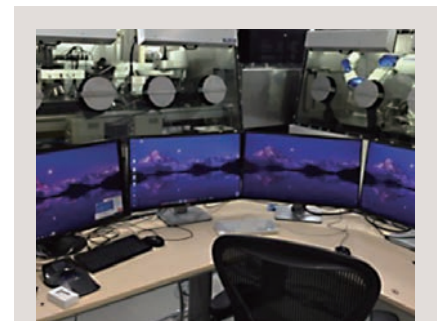
二次元物質に積層やナノ空間の自由度を加えた2.5次元物質を設計・作製し、新奇な物性を開拓することを目指して研究を行います。特に、材料工学と物性実験技術、物性理論を駆使することで、想像を越える電子・光・フォノン物性を示す2.5次元物質を創造していきます。それと同時に2.5次元物質の物性を系統的に理解するとともに、制御のための考察を行います。さらには、従来の結晶物理学では記述が困難な2.5次元物質を扱う理論体系を新たに構築し、2.5次元物質の設計指針を確立し、実験への提言も行っていきます。これらの研究活動を通じて2.5次元物質科学の礎となる物性科学の学理構築を担っていきます。



A05

2.5次元構造体の電子・光・エネルギー応用への展開 機能創出班

社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフトを実現するため、2.5次元物質の有望な応用とは何であるか、そしてどのようにして2.5次元物質が社会に貢献できるかをイメージしながら研究を展開します。特に、デバイス構成する共通コアである「界面・空間」を制御しながら、集積化された2.5次元物質を利用した電子デバイス、光デバイス、エネルギーデバイス等の創製から学理探索、そして様々な応用分野への展開を行います。それと同時に、A05班が中心となって産学官連携も積極的に推し進め、領域の研究成果を広く社会に還元していきます。



共同利用

2.5次元物質の共同研究支援 共同利用拠点

2.5次元物質の研究開発には、合成、積層、分析まで様々な装置が必要です。そこで、領域内で共同利用拠点を設置し、様々な装置を効果的に運営することで、ダイナミックな研究を後押ししています。合成拠点(九大)、積層拠点(東大)、分析拠点(構造測定:北陸先端大、光測定:京大)と4つの共同利用拠点を設置し、総括班で重点的に支援して、領域研究の推進に役立てます。これら4つの拠点には、領域メンバーが自由にアクセスすることが可能となっていて、効率的な装置利用や共同研究の活性化につなげています。



令和3(2021)年度学術変革領域研究(A)
2.5次元物質科学:
社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト
URL : <https://25d-materials.jp/>



学術変革領域研究(A)「2.5次元物質科学」領域事務局
九州大学 グローバルイノベーションセンター 吾郷研究室内
〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1
E-mail : secretary@25d-materials.jp