



分野・専攻だより

応用物質化学専攻

光の力で原子スケールの構造を画像化 ～半導体ナノ粒子が持つ光触媒機能の可視化に成功～

応用物質化学専攻 准教授

亀山 達矢

応用物質化学専攻の鳥本司 教授、亀山達矢 准教授らの研究グループは、大阪大学の菅原康弘 教授、石原一 教授らと共同で、光照射により発生する力(光圧)を計る顕微鏡(光誘起力顕微鏡)を用いて、液相合成された半導体ナノ粒子の近接場光を1nm以下の分解能で画像化することに世界で初めて成功しました(図1)。半導体のナノ粒子は光触媒、太陽電池などに用いる光機能材料として注目されています。光を用いる走査型顕微鏡は、このような試料の光学特性を反映した画像が得られる利点がありますが、原子スケールの分解能までは得られませんでした。光を照射した走査型顕微鏡のプロブ先端とナノ材料の間に働く力(光圧)を高感度に取り取る新しいタイプの顕微鏡により、桁違いの高分解能像度を実現することが出来ました。

研究チームは高性能な光触媒材料として設計・合成されたダンベル型半導体ナノ粒子を複数の波長の光を用いて観測し、この粒子が設計

通りの化学的性質を持つことを原子分解能像度で迫る光圧画像で確認しました。これらは機能性ナノ材料の設計・評価のための新しい基盤技術として期待される成果です。本研究成果は、英国科学誌『Nature Communications』に掲載されました(DOI: 10.1038/s41467-021-24136-2)。

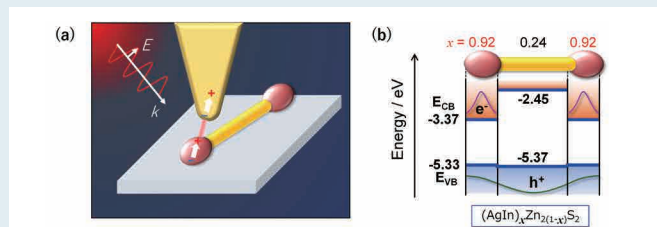


図1 (a) 光照射された走査型顕微鏡のプロブ先端と試料の間に働く力(光圧)を読み取る光誘起力顕微鏡の模式図。(b) 高性能な光触媒機能を持たせるために組成の異なる二種の化合物で出来たダンベル型半導体ナノ粒子。

物質科学専攻

新しいIV族混晶半導体の結晶成長からデバイス応用まで

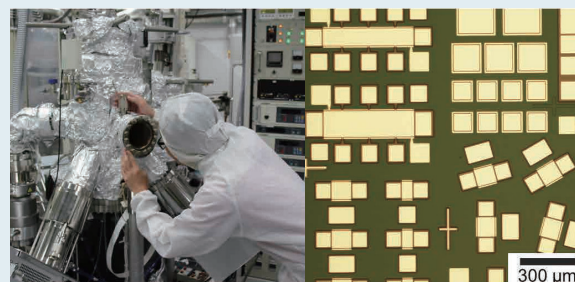
物質科学専攻 教授

中塚 理

現代社会を支える半導体工学においては、高度情報処理機器としての超々大規模集積回路(ULSI)のみならず、発光ダイオード・レーザーなどの発光素子、光・熱・化学センサ、太陽電池などのエネルギー変換素子、動力制御のためのパワーエレクトロニクスなど、幅広い分野でその応用・展開が広がっています。我々、物質科学専攻・ナノ電子デバイス工学研究グループでは、最先端半導体プロセスに立脚して、シリコンULSI上に種々の半導体デバイスを融合・集積できる材料・プロセス・デバイス工学の構築を目指して、特にSnを含む新しいIV族混晶半導体薄膜の結晶成長とその材料・界面物性の解明・応用に関する研究を進めてきました。

現在、「狭ギャップIV族混晶による赤外多帯域受発光集積デバイス」(JST/CREST)をはじめ、各教員がそれぞれ、JSPS/科研費、JST/さきが

け等の研究プロジェクトにおいて、電子・光電・熱電ナノデバイスを志向した研究開発を進めています。



(左) クリーンルーム内に設置された超高真空薄膜堆積装置。(右) 微細デバイスの一例。特性評価用試料の光学顕微鏡像。

化学システム工学専攻

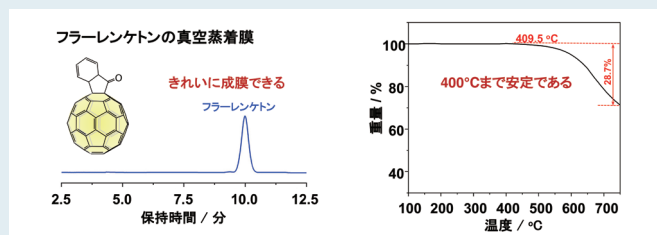
真空蒸着が可能なフラーレン誘導体を開発

化学システム工学専攻 教授

松尾 豊

化学システム工学専攻の松尾豊教授の研究グループは、抵抗加熱による真空蒸着が可能なほど高温に耐えるフラーレン誘導体を開発することに成功しました。得られたフラーレン誘導体の真空蒸着膜は均質で欠陥が少なく、フラーレン(C_{60})の真空蒸着膜と同等の電子移動度を示すことを明らかにしました。真空蒸着法は信頼性のある有機電子素子を作製する際に用いられ、フラーレン誘導体はn型有機半導体として有望な材料です。フラーレン誘導体が真空蒸着により成膜できるようになることにより、安定な有機太陽電池や分解能の高い有機イメージセンサの実現に貢献し、自然エネルギーの利用や豊かな情報技術社会の発展に寄与するものと期待されます。また、国内企業との共同研究により、この材料が全世界へ向けて販売されることとなりました。

One-step Direct Oxidation of Alkoxy to Ketone for Evaporable Fullerene-fused Ketone as Efficient Electron-transport Materials
H.-S. Lin et al., Communications Chemistry 2021, 4, 74.



(左) 真空蒸着が可能なフラーレン誘導体(フルーレンケトン)を真空蒸着しても分解しない。(右) 400℃まで高温にしても重量減少が見られない。

電気工学専攻

次世代型二次電池の研究開発

電気工学専攻 教授

福塚 友和

地球環境問題への関心の高まりから、二酸化炭素の排出抑制が世界的に望まれています。日本でも脱炭素社会の構築が国を挙げての目標となっています。なかでもガソリンではなく電気で駆動する電気自動車が一酸化炭素の排出抑制に大きく貢献できるものとして研究開発が盛んに行われています。電気自動車の心臓部は充放電が可能な二次電池ですが、現在の二次電池の主流であるリチウムイオン電池ではガソリン車に匹敵する走行距離などは達成できず、リチウムイオン電池を超える次世代型二次電池が望まれています。本研究室ではリチウムイオン電池に加え、全固体リチウム二次電池、ナトリウム二次電池、フッ化物シャトル電池などの次世代型二次電池に注目して研究を進めています。これらの電池系はポテンシャルが高いものの実用化には課題が多くあります。こ

のような課題に対して、基礎研究や新しい材料開発に取り組んでいます。これらの取り組みが将来の地球環境問題に資することを願っております。



図1 新規固体電解質とイオン伝導度測定セル



図2 全固体リチウム二次電池評価用装置

本専攻は新しい機械工学としてマイクロ・ナノ機械に関する科学と工学を総合的に教育・研究する専攻であり、若手教員による活躍な研究活動が特色の1つです。本記事では、若手教員による現在進行中の研究プロジェクトを一部紹介します。



JST 戦略的創造研究推進事業 さきがけ

青山忠義 准教授「人とマイクロ世界のインタラクション技術の開発」
伊藤伸太郎 准教授「界面相互作用計測による高分子境界膜の潤滑機構解明」
木村康裕 助教「電子流による原子拡散に基づくナノワイヤ結晶性デザイン」

JST 戦略的創造研究推進事業 ACT-X

村島基之 助教「AI 技術活用によるトライボフォーキャスト学問分野の創成」

JST 創発的研究支援事業

徳悠葵 講師「周期的電子風力を利用した原子再配列法の開拓」
竹内大 助教「生体内埋め込み多極神経刺激デバイスによる機能的運動の再建」
野老山貴行 准教授「2.5次元炭素骨格が生み出す超省エネルギー表面の創成と探索」
村島基之 助教「摩擦面リアクターその場潤滑剤生成による超低摩擦の新学理解明」

NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業

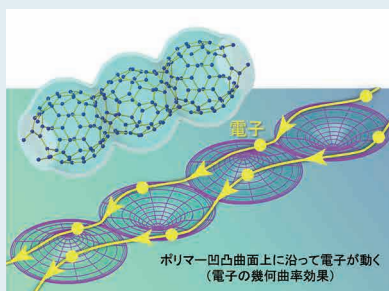
野老山貴行 准教授
「サブマイクロメートル接触面間摩耗粒子の進入可視化技術の開発」

1950年代から曲面上での電子系が理論的に研究され、電子挙動を記述するハミルトン演算子

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m^*} \left[\frac{1}{\sqrt{g}} \sum_{i,j=1}^2 \frac{\partial}{\partial q^i} \left(\sqrt{g} g^{ij} \frac{\partial}{\partial q^j} \right) + (h^2 - k) \right]$$

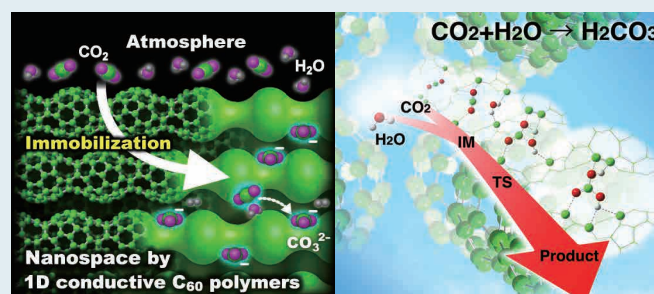
の第2項に曲面に誘起された幾何曲率項(平均曲率 h とガウス曲率 k)が現れることから、電子に影響するか否か大きな謎の1つでした。こ

こで、 $g = \det[g_{ij}]$ は計量テンソルを、第1項は電子の運動エネルギーの演算子です。エネルギーナノ材料科学研究グループでは、フラーレンC₆₀に電子線照射することで、1次元金属凹凸周期構造を有するC₆₀ポリマーが生成することを見出しまし



1次元凹凸曲面上を動く電子の様子とハミルトン演算子画。

た。我々は、この系における上記幾何曲率項による朝永・Luttinger指数を理論予測の上、光電子分光により得られた指数が予測通りであることを示し、世界で初めて「部分多様体における量子力学」を検証することに成功しました。最近、この曲面で構成されるナノ空間内が、CO₂と水が室温で反応する特殊反応場であることを見出しました。これは、CO₂固定・有価物質変換への応用が期待されます。



1次元凹凸フラーレンポリマー薄膜内で二酸化炭素と水が室温で反応する模式図

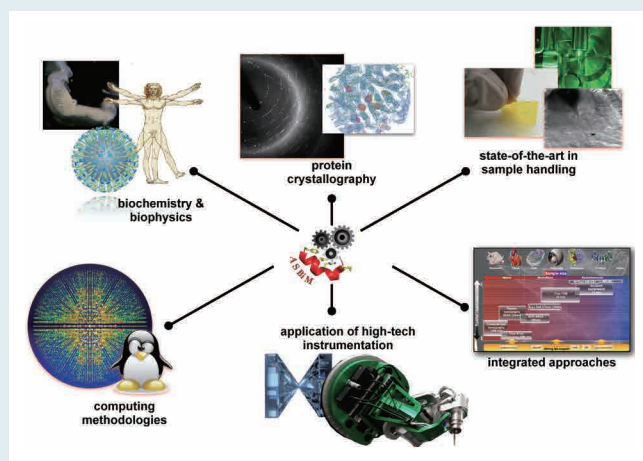
私達は「火」を用いて生活していますが、制御不能となれば火災になります。「地震雷火事親父」という言い回しが古くからありますが、私の専門分野である建築物の安全性では地震と火事が専らの対象となります。このうち地震は、日本では建物の耐震性能は必ず検討しますが、地震が殆ど発生しない国ではその必要はありません。ただし火事は人が暮らす全地域が対象で、建物は火災に対して必ず安全でなくてはなりません。私は、鋼材でできた建築物(鉄骨建築物)の火災時安全性を研究しています。今夏には建築物の骨組みとしての火災時挙動を把握するために、学外の大規模加熱炉を用いて実験を行いました。この実験では、やや薄っぺらい鉄骨部材が火災時に大きく変形することで、今までとは異なる荷重の伝達機構(カテナリー的な力の釣合)が形成されることを実験で初めて実証しました(図1)。今後も火災時安全性を向上させる研究を続けていきます。



図1 火災実験後の鉄骨試験体の様子。真ん中の梁が大きく変形している。写真内人物は研究室の博士後期課程の学生(実験を主担当)。

物理工学科・応用物理学専攻では、本年度より新しく応用構造生物学研究グループ (Applied Structural Biology and Methodology, ASBiM/レオナルド・シャバス教授らの研究グループ) が発足し、シンクロtron光研究センターと連携して研究を行っています。

本研究グループの目標は、統合的構造生物学 (Integrated Structural Biology) を取り巻く方法論に幅広い工学分野の専門知識を提供することです。今後は、生物学と物理学が融合する当該領域で世界水準の研究を推進するための最先端の装置と方法を工学的な観点で開発します。この目標を達成するために、生物学的試料の調製・ハンドリング・マイクロ流体工学・シンクロtron光実験・データモデリング・分析等の幅広い学際的なスキルを結集しています。世界中のシンクロtron光源や大規模施設で実験を行ってきた専門知識を持つこのチームは、革新的なアプローチの開発を行いつつ、大学の発展に貢献するため、効果的な共同研究の構築を目指しています。



ASBiM研究グループの組織図

物質プロセス工学専攻 水口将輝教授の研究課題「ナノ超構造がもたらす熱・スピン機能変革」が令和3年度 科学研究費補助金 基盤研究 (S) (令和3年度～令和7年度) に採択されました。本研究では、ナノメートルサイズの磁性超構造を作製することにより、熱とスピン角運動量の流れ(スピン流)の相関現象に関する革新的な物理を解明することを目的とし、さまざまな熱磁気効果に係る物理の理解を深化させることを目指します。同時に、ナノ磁性超構造を最適化し、これらを活用した新規熱電発電素子への応用性を実証することを目的とし、異常ネルンスト効果(図1に模式図)のような熱磁気効果を用いた高効率で多機能な熱電変換デバイスの実現を目指します。本研究から得られた知見や成果を、クリーンエネルギー分野に活用することにより、SDGsの達成と早期の脱炭素社会を実現するべく、研究を進めていく予定です。

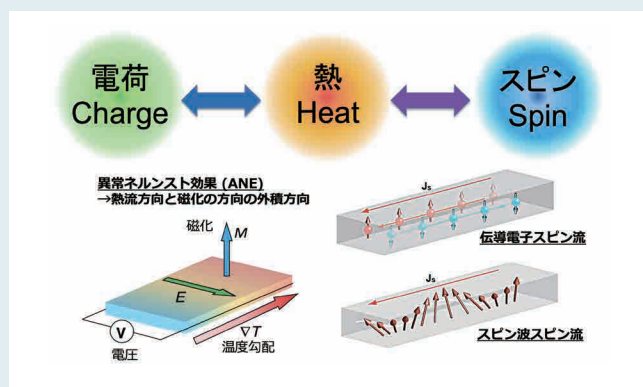


図1 本研究の概念図。

航空宇宙工学専攻の推進エネルギーシステム工学研究グループは、慶應義塾大学、JAXA宇宙科学研究所、室蘭工業大学との共同研究で、デトネーションエンジンの宇宙飛行実証に世界で初めて成功しました。本研究で開発したデトネーションエンジンシステムは、観測ロケット S-520-31号機のミッション部に搭載されて、2021年7月27日午前5時30分にJAXA内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられました。第1段のロ

ケット分離後、宇宙空間にて、回転デトネーションエンジン、パルスデトネーションエンジンが正常に作動し、画像、圧力、温度、振動、位置、姿勢データが取得できました。デトネーションエンジンはロケットエンジンを革新的に軽量化し、また、推力を容易に生成することで高性能化します。本宇宙飛行実証実験の成功によって、デトネーションエンジンは、深宇宙探査用キックモーターなどへの実用化に大きく近づくことになります。

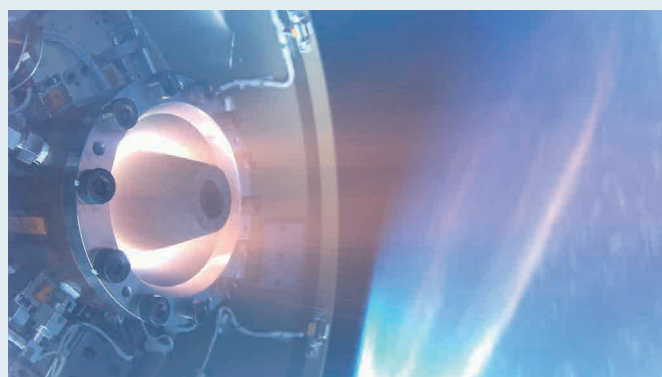


図1 回転デトネーションエンジン(RDE)の宇宙空間での世界初の作動の瞬間。画面左の楕円状の発光部分が二重円筒型の回転デトネーションエンジンの燃焼器部分。推力は約500N。画面右は宇宙空間から撮影された地球。本画像データは展開型エアロシェルを有する再突入力プセルRATSにて洋上回収しました。【Credit: Nagoya University, JAXA】



図2 デトネーションエンジンシステム(DES)の写真。【Credit: Nagoya University】

Googleによる量子超越性(量子計算が古典計算よりも高速に問題を解ける性質)の実証報告(F. Arute et al., Nature 2019)をはじめ、超伝導体を用いた量子計算機の研究開発が世界的に加熱しています。その中で、超伝導量子計算機の基本素子である磁束型量子ビットの動作には、外部からの磁束バイアスによる超伝導位相制御が動作に必須であり、大規模量子回路の実現に向けた課題となっています。今回藤巻研究室では、この課題を根本的に解決できる π 位相シフトした窒化物強磁性ジョセフソン接合の開発に成功しました(図1及び図2)。本素子を磁束型量子ビットへ導入することにより、大規模化のボトルネックであった磁束バイアスが不要となり、大規模量子回路開発の加速が期待

されます。本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構との共同研究による成果で、Scientific Reports誌より出版されました。

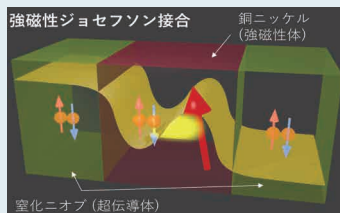


図1 π 位相シフト強磁性ジョセフソン接合の概念図。

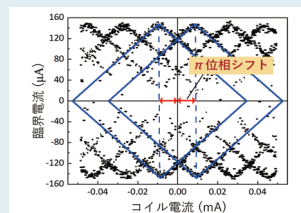


図2 π 位相シフト状態を示す実験結果。

原発事故による放射性物質放出のような有害物質の大気放出の影響を予測する大気拡散モデルでは、大気汚染物質のように放出源が水平に広く広がっている場合に比べて、点状放出源からの放出物の複雑な地形条件下での動態を高精度で予測することは長年難しい課題でした。我々の研究グループでは環境研究総合推進費により、東電福島第一原子力発電所(1F)事故後に改良が進められてきた国内外の先端的な

気拡散モデルの参加を得て、国際的な相互比較試験を実施し、先端的モデルの性能向上を促進するとともに、防災目的でのモデル使用法のプロトタイプを提案しました。またこの研究の中では、1F事故の大気中放射性物質に関するデータの整備を進め、事故当事国として後世に残すべきデータセットが整備され、今後の事故影響評価とモデル検証に活用されることが期待されます。

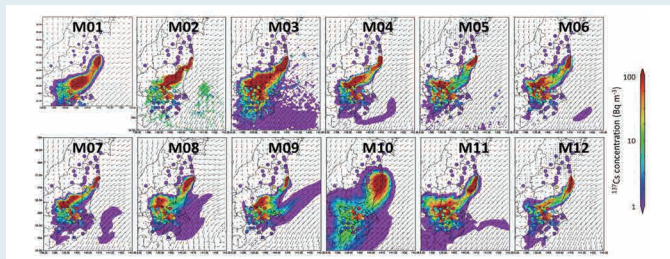


図1 国際モデル相互比較試験での地上濃度分布の例。丸印は実測。

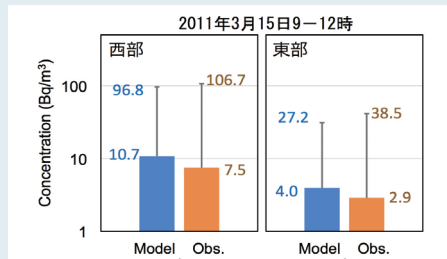


図2 1F事故で首都圏に高濃度ブルームが到達した事例でのモデル予測防汚利用法の検証。モデルによる不確かさを含めた大気中濃度予測が実測を良好に再現しています。

スーパーコンピュータ「富岳」は、48個の演算コアを持つCPUが158,976個も搭載された超並列計算機です。このようなメニーコア・メニープロセッサを有する計算機の性能を最大限に引き出すには、従来とは異なるアルゴリズムが必要です。そこで当研究室では、超並列計算環境に適した階層型直交メッシュ法であるビルディング・キューブ法を用いたオイラー型有限体積法による構造-流体統一解法とその産業応

用の研究をしています。オイラー型解法は、空間固定メッシュで構造と流体を計算する解法であり、構造-流体連成問題、構造の大変形問題、構造の破断問題のシミュレーションに適した手法です。現在、スーパー台風下における都市の安全性評価に関する研究をゼネコン各社と連携しながら進めています。また、自動車メーカー各社と連携して次世代自動車の非線形構造解析に関する研究も進めています。



図1 スーパーコンピュータ「富岳」

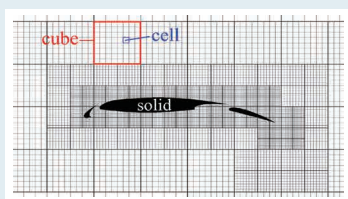


図2 ビルディング・キューブ法による階層型直交メッシュ。計算領域はCubeと呼ばれる立方体領域に分割され、各Cubeは同一の計算セルを有する。各プロセッサに割り当てるCube数を同一にすることで、各プロセッサの計算負荷が均等になり、高い並列化効率を実現できる。

海外だより

タシケント工科大学改革プロジェクトの開始

2019年12月、シャフカット・ミルジヨーエフ・ウズベキスタン共和国大統領が本学を訪問し、松尾清一名古屋大学総長へ将来のウズベキスタンの産業に貢献する工学人材育成への協力を要請されました。その後、工学研究科を中心としたワーキンググループが立ち上がり、タシケント工科大学(TSTU)の教育改革についての議論が始まり、2020年9月より、西山聖久国際機構特任講師がTSTUに赴任しました。以降、タシケント工科大学では本学の教員が作成した英語による動画教材を活用した名古屋大学特別コースの設置、TSTUの優秀な研究者の名古屋大学工学部の

国際機構特任講師(タシケント工科大学副学長)

西山 聖久

研究室への派遣など、TSTUに日本の工学教育の優れた要素を取り入れるべく、様々な活動に精力的に取り組んでいます。



(左)タシケント工科大学 (右)2021年10月19日開催の名古屋大学特別コース