



生命分子工学専攻

がんの診断と治療を同時に実現する 超多機能性ナノ粒子の開発

未来社会創造機構 特任教授 | 湯川 博

生命分子工学専攻の馬場嘉信 教授、湯川 博 特任教授らの研究グループは、応用物質化学専攻の鳥本 司 教授、亀山達矢 准教授、医学系研究科 佐藤和秀 特任講師らと共同で、悪性腫瘍(がん)の蛍光/磁性バイモーダルイメージング診断と光温熱治療/化学力学的治療を可能とする超多機能性Gd₂O₃/CuSナノ粒子(BCGCR)の開発に成功しました(図1)。

開発したBCGCRは硫化銅(CuS)が強い近赤外光吸収を示し、レーザー照射により悪性腫瘍内に効率的に熱を発生させることができるため、光温熱治療(PTT)効果を有することを明らかにしました。また、熱発生によりフェントン反応が促進されるため、ROS産生が加速されることによる非常に高い化学力学的治療(CDT)効果も発揮されることを確認しました。PTT効果とCDT効果の相乗効果により、担がんマウスの腫瘍組織を消滅させることに成功しました(図2)。すなわち、ナノ粒子(BCGCR)が持つ超多機能性を利用した、がんに対する新規複合的治療法の可能性を提示することができました。

更に、BCGCRは、血管内に投与しても毒性が無く安全であり、室温で簡便

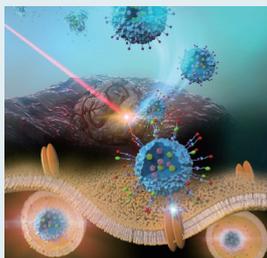


図1 本研究の概念図

かつ低コストで作製できることから、様々な進行がんに対する治療効果の検証、抗がん剤との併用療法の可能性及び製剤化検討も含めた臨床応用の今後の展開が期待されます。本研究成果は、ACS Applied Materials & Interfaces (DOI: 10.1021/acsmami.2c06503)に掲載されました。

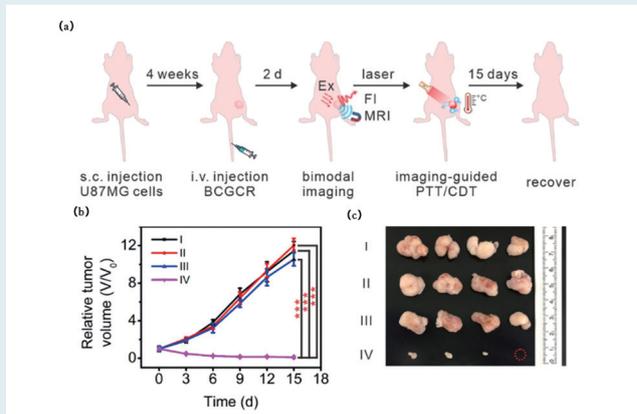


図2 マウス生体内における悪性腫瘍の相乗的 PTT / CDT 効果 (a) 担がんモデルマウスに対する治療評価実験スキーム (b) 悪性腫瘍の体積変化比較 (IV: BCGCRによる治療群) (c) 摘出された悪性腫瘍の写真比較 (IV: BCGCRによる治療群)

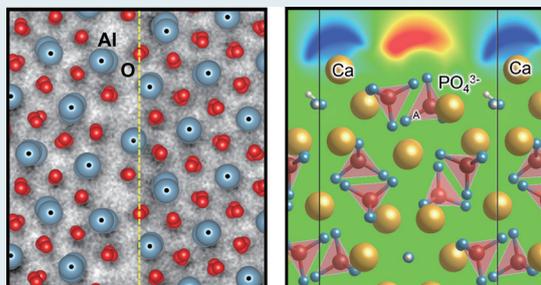
物質科学専攻

結晶欠陥の新しい概念：機能コア科学

物質科学専攻 教授 | 松永 克志
物質科学専攻 講師 | 横井 達矢

現在、研究途上の先進物質だけでなく実用化されている材料も、その内部には必ず欠陥が含まれています。私たちの研究グループは、物質・材料において、これまでネガティブな印象をもたれてきた結晶欠陥に焦点を当て、物質の新機能をもたらす「機能コア」と再定義し、実験及び計算科学を駆使したナノレベルでの物質科学研究を進めています。半導体の示す暗室下での巨大塑性変形能の発見、硬質セラミックスの界面制御による飛躍的強度向上、酸化物表面における貴金属原子の特異な吸着構造の発見、生体用リン酸カルシウムのイオン交換・分子吸着能の起源解明、機械学習型原子間ポテンシャル開発による複雑なセラミックス粒界構造解明、半導体における複合欠陥や結晶粒界の構造・機能の系統的解析など、幾多の研究例があります。特定の物質・材料分野に留まることなく、多様な物質・材料における多様な幾何学的構造を持つ結晶

欠陥の構造と物性の解明に取り組んでいます。詳しくは、ホームページ、YouTubeチャンネル等(ともに「機能コア」で検索)をご覧ください。



(左) 高精度原子間ポテンシャルにより決定された Al₂O₃ 結晶粒界構造 (右) 水溶液中におけるリン酸カルシウムの表面ポテンシャル解明

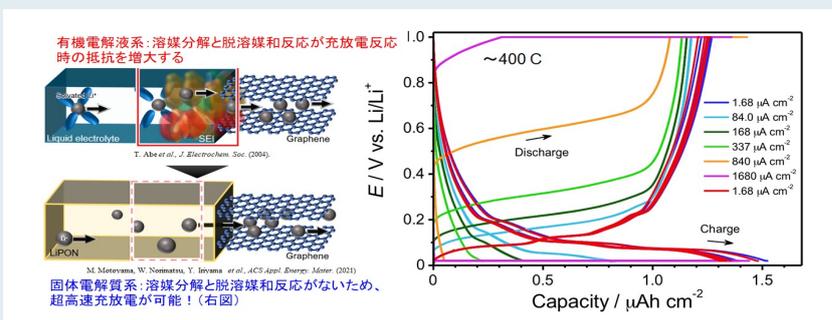
材料デザイン工学専攻

理論計算、シミュレーション、AI、そして、 高度先端計測技術を展開したマテリアル創出

材料デザイン工学専攻 教授 | 山本 剛久

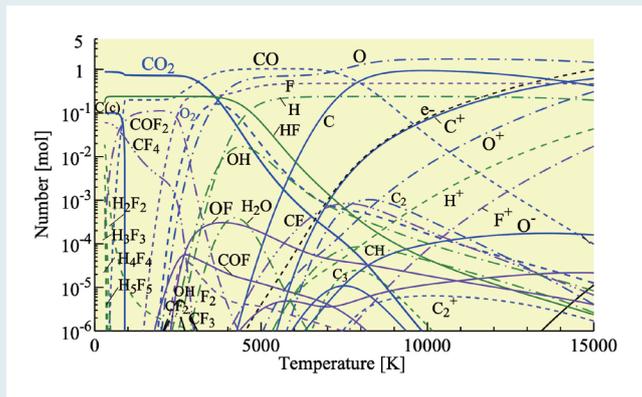
材料デザイン工学専攻は、シンクロトロン光や超高分解能透過電子顕微鏡を展開する先端計測(高嶋圭史教授、山本剛久教授)、マテリアルを計算機で設計し、実現する先端理論計算(足立吉隆教授、君塚肇教授、小山敏幸教授、原田寛教授)、計測、理論グループと連携してマテリアルを創出する(入山恭寿教授)各グループから構成されており、物質プロセス工学・化学システム工学専攻と連携し、資源から社会実装までを包括する先端研究に取り組んでいます。図は入山恭寿教授らが最近見出した黒鉛負極と固体電解質を組み合わせることで実現する超高速充放電の成果です(新学術領域研究(領域代表)、NEDO)。リチウムイオン電池は有機電解液を用いるため、黒鉛負極と電解液の界面で生じる溶媒分解や

脱溶媒過程が充放電反応速度を大きく低下させていましたが、全固体電池は固体電解質を用いるため、これらの阻害因子がなくなり、超高速充放電が可能となることを見出しました。



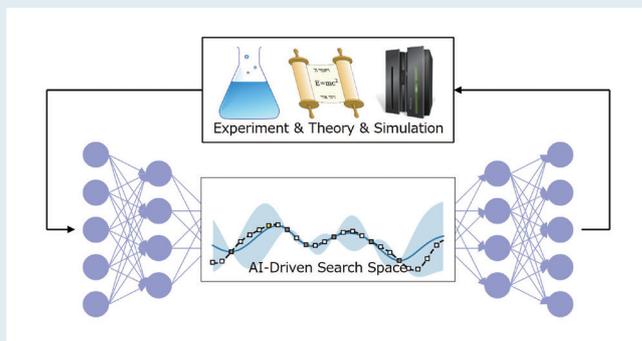
超高速充放電の成果

電気工学専攻では、大電力機器・伝送システムの特性・現象解明と高性能化を目的として、統計力学・物理化学・量子化学・大電流工学などの理論を複合適用させつつ、研究を進めています。これらの研究の一つでは、電力機器メーカーとの共同研究として、自然系分子とHFO系分子からなる混合ガスについて、大電流遮断プロセスにおける構成化学種の変化、ひいては高温下での電気絶縁耐力を見出しています。ここでは、HFO系分子の分子定数と生成エンタルピーを導出し、次いで、約100種に及ぶ多原子分子などの化学種に対して、多様な反応を表現する多元非線形連立方程式から、独自考案した安定収束計算手法にて解に導いています。さらに、分析から主要な反応とその優先性、ひいては適正なHFO系ガス混合率を提案することに成功しています。この研究過程を通じて、大電流遮断プロセスでのO₂分子の残存が電気絶縁耐力の高性能化につながることをつきとめ、別分子の混合の提案に展開させています。



高い電気絶縁耐力と低い地球温暖化係数であるHFO-1234yfを混合した自然系ガスに対して、高温ガス特性の一つである化学組成を温度15000Kから300Kまで示しています。高温下での化学組成特性は、電気絶縁特性・熱力学・輸送・放射特性の導出につながります。

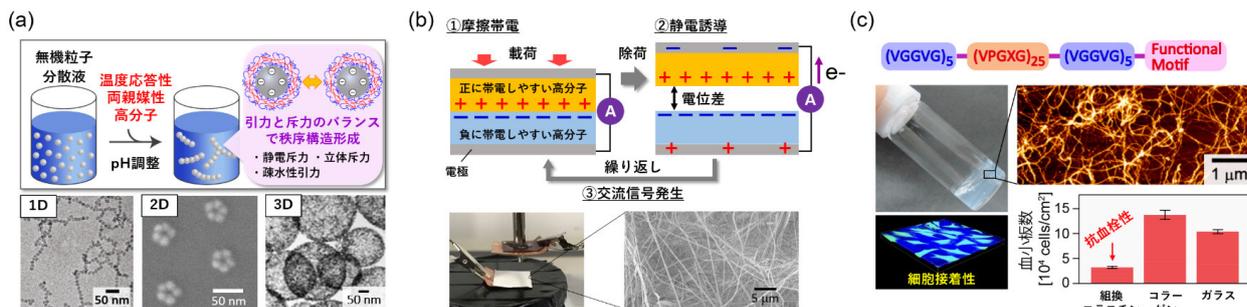
機械システム工学専攻・生体システム制御グループは、2022年度より、AI・機械学習を基盤とし、データ駆動型科学技術を研究するグループとして生まれ変わりました。データ駆動型アプローチは、実験、理論、シミュレーションに次ぐ第4のアプローチとして、科学研究や技術開発に革新をもたらすことが期待されています。私達の研究グループでは、AIや機械学習に関する理論的・実践的な研究に取り組み、データ駆動型アプローチによるものづくりを推進していきます。現在、CREST (JST) やムーンショット (内閣府) などの大型プロジェクト研究を受託し、様々な分野におけるAIの研究と実践を進めています。



深層学習を用いたデータ駆動型アプローチによる科学技術開発のスキーム。深層学習モデルによって生成され、提案される仮説を実験・理論・シミュレーションによって検証するループを回すことで科学発見や技術開発を実現する。

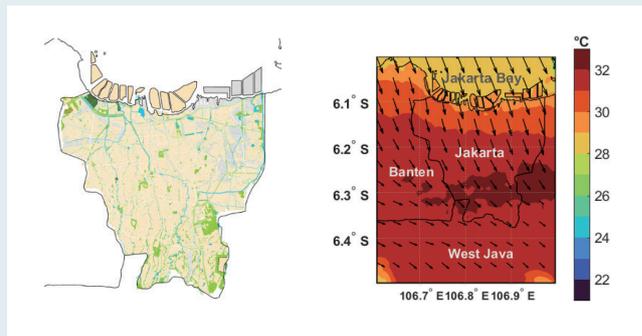
エネルギーソフトマテリアル科学研究グループでは、高分子・分子集合体・コロイド・ゲルなどのソフトマテリアルのダイナミックな性質を利用して、ナノスケールの材料を省エネルギー自己組織化でつくる研究、環境中の微小エネルギーから電力を得る研究、医療に役立つ新素材の開発など、持続可能な社会の実現に向けた研究に取り組んでいます。たとえば、温度応答性の両親媒性高分子の存在下、液相でナノ粒子を1~3次元に配列させる手法を確立し、現在はそのメカニズムを小角X線散乱測

定から解明しようとしています。また、電界紡糸で得られる高分子不織布を用いて、化学エネルギーを電気エネルギーに変換する摩擦帯電型ナノ発電機を構築し、その発電特性の向上を目指しています。さらに、振とうによって液状化、静置によって再ゲル化する人工タンパク質ハイドロゲルの開発に成功し、再生医療に役立つ足場材料として特許出願を行いました。



(a) ナノ粒子の自己組織化、(b) 摩擦帯電型ナノ発電機、(c) 人工タンパク質ハイドロゲル。

世界中の過半数以上の人々が生活を営む「都市」では、地球温暖化とヒートアイランドと呼ばれる都市固有の温暖化のダブルパンチにより、暑さが増しています。地球温暖化はますます深刻さを増し、さらに、東南アジア諸国などの成長著しい国々の都市では、その発展に伴い、ヒートアイランドも進行する一方です。このような暑さは、快・不快の範疇を遥かに超えて、人間健康を著しく害する「危険な暑さ」となっています。私たちの研究室では、成長国都市の1つであるインドネシア・ジャカルタを対象として、地球温暖化の進行下かつ都市発展が進む状況下で、都市の暑さがどのような状態になっていくかを最新鋭のコンピュータシミュレーションを駆使して予測し(図)、さらに、その暑さを緩和する策やその暑さに適応する策の導入検討を行っています。



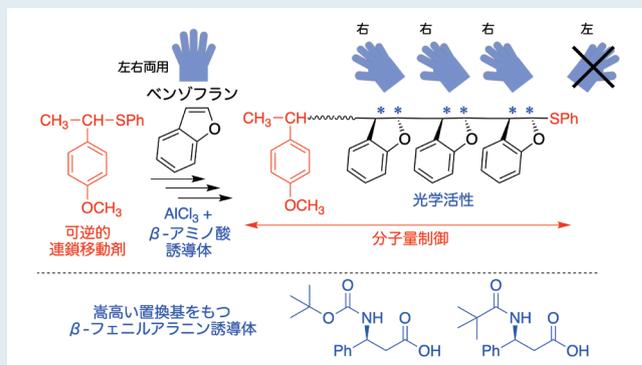
インドネシア・ジャカルタの将来都市計画(左)と暑熱環境予測(右)

有機・高分子化学専攻では、不斉リビングカチオン重合を初めて開発し、60年前にG. Nattaらによって報告された光学活性合成高分子の分子量制御を達成すると共に、総合的な解析によりポリマーの立体構造を解明しました。

光学活性ポリマーは、タンパク質などの天然高分子に見られるように、高度に制御された立体構造により、優れた機能や性質を示します。このようなポリマーを化学的に精密合成する手法の開発は学術的にも工業的にも重要です。

今回、ベンゾフランのカチオン重合において、光学活性なβ-アミノ酸に高い置換基を導入した誘導体を添加することで、従来よりも高い旋光性を示す光学活性ポリベンゾフランの合成に成功しました(図)。さらに、チオエテルを添加して可逆的な連鎖移動反応を組み込むことで、分子量も制御可能な不斉リビングカチオン重合を達成しました。今回の研究は、精密重合反応の開発のみならず、新たな機能性高分子材料の

開発につながると期待されます。本研究成果は、アメリカ化学会誌『J. Am. Chem. Soc.』に掲載されました。[DOI: 10.1021/jacs.2c02569]

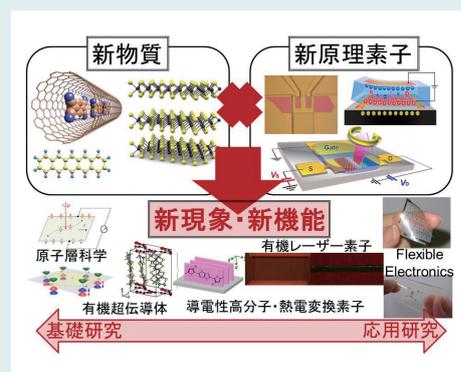


ベンゾフランの不斉リビングカチオン重合と有効なβ-アミノ酸誘導体の構造

応用物理学専攻の竹延大志教授の研究グループは、『新物質』と『新原理素子』の『掛け合わせ』により、基礎研究から応用研究までの幅広い研究分野に貢献する新現象・新機能の探索に挑戦しています。たとえば、層状物質であるグラファイトの単層膜であるグラフェンの発見により、近年では様々な層状物質の単層膜を組み合わせた『原子層物質』が新物質として注目を集めています。

当研究グループでは『原子層科学』に関する研究プロジェクト(科研費・学術変革領域研究(A)・基盤研究(S)・基盤研究(A))を推進しています。また、本質的な可撓性を有する有機材料は、古くて新しいエレクトロニクス材料として注目を集めています。また有機材料を用いた発光素子や熱電変換素子に関するプロジェクト(JST・CREST、科研費・学

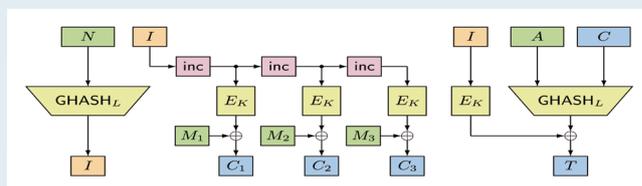
術変革領域研究(A))も推進しています。今後も、新しい科学は、新しい物質と新原理素子により切り開かれると信じ、科学・社会への貢献を目指して研究を進めていきます。



私たちの身の回りには、たくさんの暗号技術が使われています。たとえば、コロナ禍において、オンラインミーティングツールとして日常的に利用されているMicrosoft TeamsやZoomでは、データの暗号化にMcGrewとViegaによって設計されたGCM(Galois/Counter Mode)という方式を利用しています(図)。利用者の端末からはGCMの暗号文が送信され、受信側ではGCMの暗号文を復号しています。

当研究グループでは、こういった身の回りにある暗号技術の安全性解析を行っています。たとえば、GCMのオリジナルの安全性証明の誤りを指摘し、新たな安全性証明を与えたのは当研究グループとNECとの共同研究の成果です。ぜひ安心してGCMをお使いください。暗号

技術はネットワーク社会を支えるインフラ技術です。当研究グループでは、安心・安全なネットワーク社会への貢献として、今後も暗号技術の安全性解析を進めていきます。



GCMによるデータの暗号化

当専攻は、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、若手教員による活発な

研究活動が特色の1つです。今回は、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

<AIP加速課題>

青山 忠義 准教授「胚培養土の能力接続による易しい顕微授精システム」

<ACT-X>

東 直輝 助 教「プラズモニクナノ流路を用いたDNA1分子高速解析」

<さきがけ>

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創発的研究支援事業

徳 悠葵 准教授「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」

● NEDO官民による若手研究者発掘支援事業

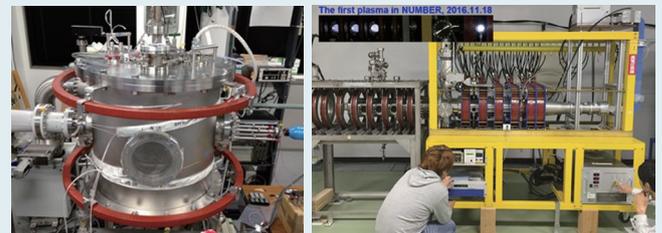
野老山貴行 准教授「サブマイクロメートル接触面間摩擦粒子の進入可視化技術の開発」



VR技術を用いた細胞操作システム

核融合エネルギーの実用化のためには様々な学術課題の解決や技術
の開発が必要とされており、世界の多くの研究所や大学の研究者が分
担して研究に取り組んでいます。その一員として、核融合プラズマ理工学
研究グループでは、環状プラズマ実験装置TOKASTAR-2や直線磁化
プラズマ実験装置NUMBERを用いた実験研究と計算機シミュレーシ
ョン研究を行っています。TOKASTAR-2装置では将来の核融合炉におい
て核融合反応を起こす炉心プラズマを、NUMBER装置では炉心プラズ
マから流出する熱や粒子を制御する境界層プラズマを模擬することが
できます。炉心プラズマでは、その断面を縦長にするほど性能が上がるこ
とが知られていますが、プラズマの垂直位置が不安定になりやすいこと

が課題となっています。最近、TOKASTAR-2ではプラズマの上下に設
置した簡単なコイルでその垂直位置を安定化できることを世界で初め
て実証しました。



(左) 環状プラズマ実験装置 TOKASTAR-2 (右) 直線磁化プラズマ実験装置 NUMBER

土木工学は、インフラの整備と管理を通して、自然災害から人の暮ら
しを守り、社会・経済活動を支える基盤をつくるとともに、豊かな生活空
間を実現するための学問です。よって、土木工学は自然と社会の両方を
理解し、社会に対して適切なソリューションを提示していく必要があります。
国土デザイン研究室では、自然と社会の相互作用に着目して、その
メカニズムを解明し、そこから得られた知見を用いた地域や国土のデザ
イン手法について研究しています。特に近年では、気候変動の影響も相
まって洪水や土砂災害等の水災害が各地で頻発しており、新たな治水
対策の検討が焦眉の課題となっています。中村晋一郎准教授は、日本の
治水対策に着目し、その手法が、いつ、どのような経緯で構築され、それ
が自然災害や社会要請と共にどのように変容してきたのかを、歴史的な
史料や長期データを用いて明らかにしました。その成果は書籍として出
版され、令和2年度土木学会出版文化賞など三つの賞を受賞しました。



令和元年東日本台風による長野県長野市の被害の状況 (撮影：中村晋一郎)