

News Letter

静岡大学 グリーン科学技術研究所

Vol. 11 2022年4月

特集1：生物機能を利用したバイオテクノロジー

グリーンケミストリー研究部門 教授 加藤 竜也

特集2：分光反射特性からグリーン植生状態の早期探知とモニタリング に向けて-植物機能のハイパースペクトルリモートセンシング

グリーンバイオ研究部門 教授 王 権

プロジェクト研究成果報告、学術活動、河岸 洋和教授 最終講義、国際交流、
受賞、出版物、報道、研究業績トピック（論文、外部資金、科研費、特許出願）

新所長あいさつ

社会・環境変化に柔軟に対応できる知識集約型グリーン 科学技術の構築

世界的な環境悪化や地球温暖化の影響は地域ごとに異なります。しかし、あらゆる生物の生存に対して、深刻な被害を与える可能性があることは世界共通です。これらの問題を解決するために、グローバルな視点に立ち、世界中のどこでも適用可能な科学技術の革新が求められています。これを達成するために、異分野の先端研究を融合させた学際的アプローチの推進が不可欠であります。このような深刻な社会・環境の変化に対応できる知識集約型グリーン科学技術の構築を目指し、2013年4月に時代を先取りした組織として研究所が誕生しました。

2022年4月からは、これまでのグリーンエネルギー、グリーンバイオ、グリーンケミストリーの3研究部門制と技術面から支える研究支援室を進化・深化させ、7研究コア制（グリーン分子創造技術・生物分子機能・植物ストレスマネジメント・植物ゲノミクス・フィールドインフォマティクス・超分子・分子集合体・新エネルギー）を発足しました。各研究コアの構成員である本学の研究フェローや若手重点研究者は、世界をリードする基礎的・独創的研究に取り組んでおり、国内外の共同研究、地元自治体との積極的な連携により、社会に対する責任を果たしていきたいと考えています。また、創造科学技術大学院と一体となって、高度技術者や人材育成にも取り組んでいきたいと考えています。本学のミッションでもある「自由啓発・未来創成」の理念のもと、構成員が一丸となって環境・命を支えるグリーン科学技術研究の先導革新研究に取り組んでいく所存です。

グリーン科学技術でワクワクする社会を一緒に作り上げていきませんか？

間瀬 暢之



特集 1：生物機能を利用したバイオテクノロジー

グリーン科学技術研究所グリーンケミストリー研究部門 教授 加藤 竜也

グリーン科学技術研究所において、新たに“生物機能”、“ナノ素材”、“組換えタンパク質”、“ウイルス検出”、“ワクチン”をキーワードに、生物分子機能研究コアを立ち上げました。“感染症や疾病等リスクが顕在化する現在の経済社会や国民生活において、バイオマテリアル、分子認識機能、糖質素材創出により、健康増進、健康寿命延伸、及びQOL向上に貢献する”をミッションとして、SDGs 目標3（健康）と9（技術革新）に向けて研究を推進していきます。

キーワードにある“生物機能”について、生物機能を利用して様々な分野に応用していく技術（バイオテクノロジー）はこれらSDGs目標達成だけでなく、日本のバイオ戦略にも謳われているバイオエコノミー社会の実現に必要な不可欠な技術であります。バイオテクノロジーといってもその技術は幅広い分野にまたがっています。醤油や味噌、納豆などの発酵食品に関わる“発酵”は、微生物の機能を利用したバイオテクノロジーの原点となるものであり、微生物の機能を利用したアミノ酸、ビタミンや抗生物質、組換えタンパク質、糖関連物質などの生産への応用が行われてきました。また微生物だけでなく、植物バイオテクノロジーとして機能性やストレス耐性を付与した新品種開発、組織培養や細胞培養による有用物質生産、動物や昆虫のバイオテクノロジーなど様々な分野で技術革新が起きており、現在生物機能を人工的に設計した細胞を作り出す“合成生物学”がバイオエコノミー産業実現、SDGs目標達成を支えるとされています。バイオテクノロジーは、グリーン科学技術研究所でも掲げる健康、食料、環境分野すべてで重要な技術であります。

私たちの研究室は名前の通り“バイオテクノロジー”の名の生物工学研究室であり、私は大きく分けて2つのテーマ①カイコを用いたバイオテクノロジー、②糸状菌による有用物質生産の研究を進めてきました。これら生物の機能を、最大限利用するということです。それらの研究について、紹介したいと思います。

①カイコを用いたバイオテクノロジー

カイコの飼育“養蚕”は紀元前から行われており、絹糸生産で長く利用されてきました。日本でも江戸時代に入り盛んに養蚕が行われ、明治・大正・昭和と絹糸は日本の重要な輸出物として発展を支えてきました。しかし、太平洋戦争や化学繊維の普及により養蚕業は衰退してきます。絹糸はカイコ幼虫が蛹になるときに作る繭の構成成分であり、フィブロインとセリシンというタンパク質から成ります。したがって、繭を作り出す直前の5齢幼虫は大量のタンパク質を作り出す能力を持っていることとなります。組換えタンパク質生産の宿主として、その能力を利用することができます。

現在までに、ヒト由来棟転移酵素や病原性原虫の抗原タンパク質、ウイルスの構造タンパク質など様々な組換えタンパク質生産をカイコ幼虫やカイコ蛹で行ってきました。特に、2021年度のグリーン科学技術研究所のプロジェクト研究において、ブタロタウイルスの2種類の構造タンパク質の組換えタンパク質生産がカイコ幼虫で可能となっています。これらの組換えタンパク質はカイコ幼虫約100～500頭の脂肪体および体液から20～40mg精製タンパク質として得られています。

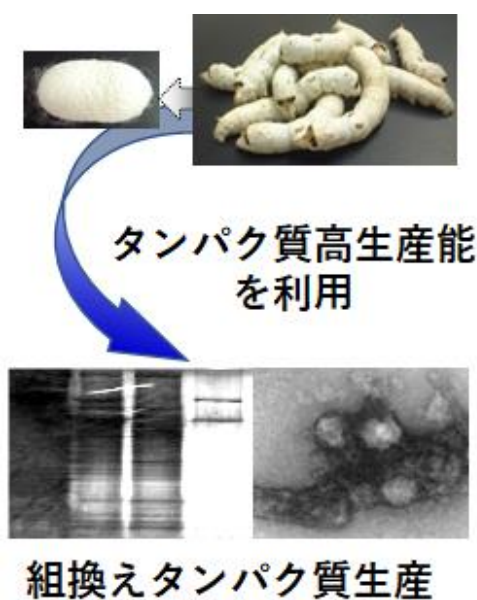


図 1 カイコを利用した組換えタンパク質生産
カイコ5齢幼虫は、タンパク質から成る絹糸を繭として多量に生産する。その高タンパク質生産能を利用して、組換えタンパク質高生産を行う。

一部のタンパク質については、カイコ1頭当たりには得られる精製タンパク質量が現在までに報告がある中でも大変優れており、今後ブタロタウイルスワクチンへの応用が期待できます。実際にこれら組換えタンパク質を6-7週齢の子ブタに接種することで、ブタロタウイルスに対する中和抗体産生の誘導が認められています（未発表）。今後さらにワクチンとしての有効性を確認していくとともに、より効果的なワクチンの開発をカイコの機能を利用して行っていきます。

②糸状菌による有用物質生産

糸状菌は、酒や醤油など醸造食品生産で利用される麹菌がよく知られており、その代表的なものとして *Aspergillus oryzae*（黄麹菌）があります。日本におけるバイオテクノロジーでは、なじみの深いものがあります。またクエン酸やイタコン酸は *Aspergillus niger* と *Aspergillus terreus* の発酵生産が知られており、有用物質生産への利用が図られています。

私たちの研究室では、*Ashbya gossypii* を用いたリボフラビン（ビタミンB₂）とサナギタケ *Cordyceps militaris* を用いたコルジセピン（3'-デオキシアデノシン）の研究を進めてきました。*A. gossypii* は培養が進むにつれてリボフラビンを生産するため、工業的なリボフラビン生産に用いられている糸状菌です。変異原を用いたリボフラビン過剰生産変異株の単離や、遺伝子工学的な組換え生産株の構築が行われており、代謝フラックス解析など代謝工学的研究も進んでいます。私たちの研究室では、*A. gossypii* のリボフラビン生産が長寿遺伝子と呼ばれるサーチュイン遺伝子で制御されていることを見出だしています¹。サーチュインはNAD⁺依存性タンパク質脱アセチル化酵素であり、この制御にはヒストンのアセチル化やミトコンドリアの機能変化が関与していることも示唆されています^{1,2}。リボフラビンはFADやFMNの前駆体であり、フラビンタンパク質が多く存在するミトコンドリアの機能を高めることで、細胞の老化を抑制するという報告もあります³。*A. gossypii* は、寿命や老化とリボフラビンの関係を解析するためのツールとしても利用可能であると考えています。

またもう一つの研究であるサナギタケ *Cordyceps militaris* を用いたコルジセピン生産についても説明をしたいと思います。コルジセピンは生体内でアデノシンアナログとして働くことでDNA合成を阻害する作用を持ち、抗腫瘍活性を持つとされています。しかし、*C. militaris* が産生するコルジセピンが宿主への感染時にどのように働くのかは不明であり、感染中に産生されているのかも不明であります。このコルジセピン産生の意義を解明することで、コルジセピン高生産株構築へつなげていきたいと考えています。

グリーン科学技術研究所および生物分子機能研究コアの一員として、カイコや糸状菌の生物機能を利用してSDGs目標達成、バイオエコノミー産業実現に向けて研究に邁進していきます。

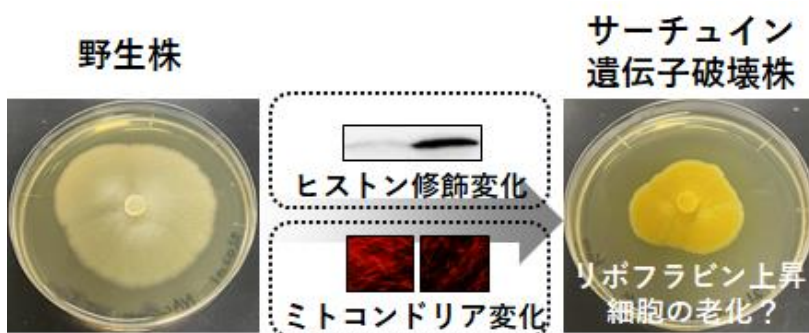


図2 *A. gossypii* のリボフラビン生産 *A. gossypii* のサーチュイン遺伝子を破壊することでリボフラビンを過剰に生産する。そのリボフラビン生産上昇には、ヒストン修飾の変化やミトコンドリアの機能変化が認められている。これらの変化は細胞老化でも認められる変化であり、リボフラビン過剰生産と細胞老化との関係性が示唆される。

1. Kato T, Azegami J, Kano M, El Enshasy HA, Park EY. Effects of sirtuins on the riboflavin production in *Ashbya gossypii*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 105(20), 7813–7823, 2021.
2. Kato T, Azegami J, Kano M, El Enshasy HA, Park EY. *Submitted*.
3. Nagano T, Awai Y, Kuwaba S, Osumi T, Mio K, Iwasaki T, Kamada S. Riboflavin transporter SLC52A1, a target of p53, suppresses cellular senescence by activating mitochondrial complex II. *Mol. Biol. Cell.* 32(21), br10, 2021.

特集 1 :分光反射特性からグリーン植生状態の早期探知とモニタリングに向けて-植物機能のハイパースペクトルリモートセンシング

グリーン科学技術研究所 グリーンバイオ研究部門 教授 王 権

光合成能力などの植生の生理的機能は、環境変化に対する生態系の適応度の理解と正確な予測において重要であり、植物構造及び組成的な特性よりも環境変化に迅速に反応することから、地球規模で生態系をモニタリングする際に最も敏感に変化する指標の一つといえます。リモートセンシングは、光合成特性やそれに関連する水・炭素循環など、植生の状態をさまざまな空間・時間スケールでモニタリングするために利用されてきました。様々なリモートセンシングアプローチの中で、ハイパースペクトルリモートセンシングは植生の機能評価研究においてその再現精度を高め、不確実性を低減することが実証されています。

現在、ハイパースペクトルリモートセンシングは、植生構造に関するパラメータのマッピングやモニタリングから、植生の生化学特性や生理機能の推定へと発展しています。特に、植物の光合成特性と水フラックスのハイパースペクトルリモートセンシングは活発な研究分野であり、地上植生の炭素および水循環をモニタリングするための新しいアプローチとなっています。これまでに統計解析からモデルインバージョンに至るまで様々なアプローチが開発され、ハイパースペクトル情報からの光合成および水利用特性の推定に大きな進歩がありました。しかし、最大カルボキシレーション反応速度のようないくつかの生理機能の変動は、光学的ハイパースペクトル信号で探知することは困難とされてきました。さらに、そうした植物機能の空間的・時間的変動に関する情報の欠落が、陸上生物圏モデルにおける水循環や炭素循環のシミュレーションにおける大きな不確実性の要因となっています。

そこで私は、リモートセンシングしたハイパースペクトル情報を使って、植物の光合成特性や水利用など、さまざまな生態系における植物の生理機能とその環境応答を追跡することを、グリーン科学技術研究所における主要な目標としています。

具体的には、これまでに陸域生態系の炭素動態の理解に不可欠な光合成能力、蛍光、キサントフィルサイクルなどの植物光合成特性を、ハイパースペクトル情報を用いて個葉スケールでの推定に取り組んできました。また、温帯落葉樹林の野外測定および室内制御実験によって、光合成特性と反射スペクトルを同時にモニターし、そのデータベースを構築しました。さらに、阻害剤処理および自然条件下で収集した蛍光およびキサントフィルサイクルに関するデータをハイパースペクトル指標を用いて解析しました。最大カルボキシレーション反応速度と最大電子伝達速度で表される光合成能力の追跡には、ハイパースペクトル指数、部分最小二乗回帰、ディープラーニングなども適用しました。その結果、植物の光学特性に直接的または間接的に影響を与える光合成特性が、分光反射率を用いて評価できることがわかりました（図1）。光合成と反射スペクトルの間のメカニズム的なリンケージはまだ完全には明らかにされていませんが、この研究結果は機能的に関連する植生特性の推定においてハイパースペクトル情報の可能性を明らかにする画期的なものといえます。

ハイパースペクトル反射率情報から、中生および乾性生態系における様々な乾燥ストレス条件下での植物水分状態および水利用特性の再現について、個葉とキャノピー（個体または森林）の両方のスケールで、実験室とフィールドにおいて試みてきました。

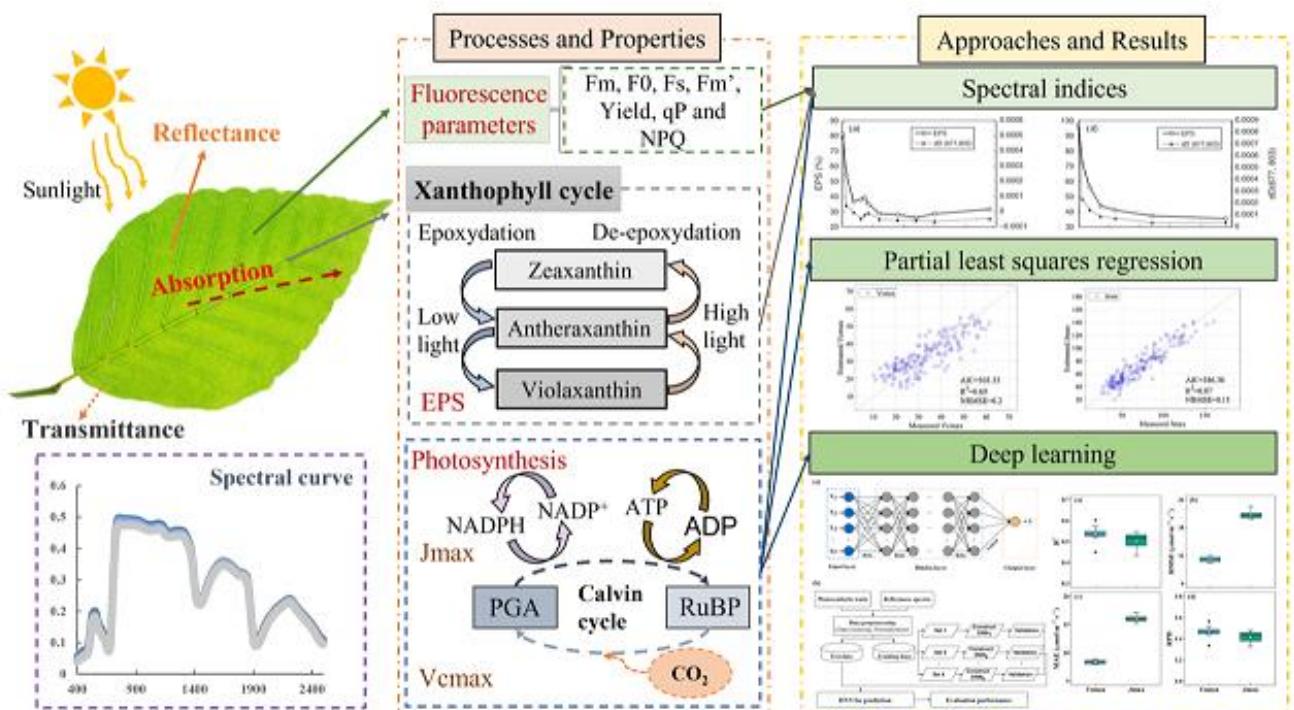


図1. 植生光合成特性のハイパースペクトルリモートセンシング (Wang & Sonobe, IEEE IGARSS 2016, 1723–1726, 2016; Sonobe & Wang, Func. Plant Bio., 43, 438–447, 2016; Sonobe & Wang, J. Environ. Manag., 227, 172–180, 2018; Jin et al., Remote Sens., 12, 1124, 2020; Jin et al., Photosyn. Res., 151, 71–82, 2022; Song & Wang, Remote Sens., 13, 4467, 2021)。

反射率と植物の水分状態および水利用特性の同調データは、実験室における環境制御実験、フィールドにおけるモニタリング、およびモデルのシミュレーションによって獲得しました。そして、植生指数（VI）や部分線形平方回帰（PLSR）などの統計的アプローチを適用し、EWTで表される植物の水分状態や蒸散量（Tr）で表される植物の水分使用量を追跡するための最適な指標をモデルを用いて同定しました（図2）。その結果、ハイパースペクトル指数とPLSRモデルの両方が、様々な乾燥ストレス条件下での植物の水分状態と水利用特性をトレースする可能性を持つことが明らかになりましたが、生態系によってその性能は大きく異なることが明らかとなりました。また、ハイパースペクトル情報を利用した水フラックスのリモートセンシングは、エネルギーバランスによる間接的な推定よりも簡便であることが証明されました。今後、大規模に適用可能な指標やPLSRモデルを開発するには、その基礎となるメカニズムについてさらなる詳細な調査が必要となります。

地球規模の気候変動が様々な生態系に及ぼす影響について、世界的な注目が集まっていますが、健全なグリーン生態系を維持することは人類の持続可能な発展のための重要な鍵となります。ハイパースペクトルリモートセンシングは、このような生態系の機能変化を検出・モニタリングし、環境管理の基礎とするための有望な手段を提供します。

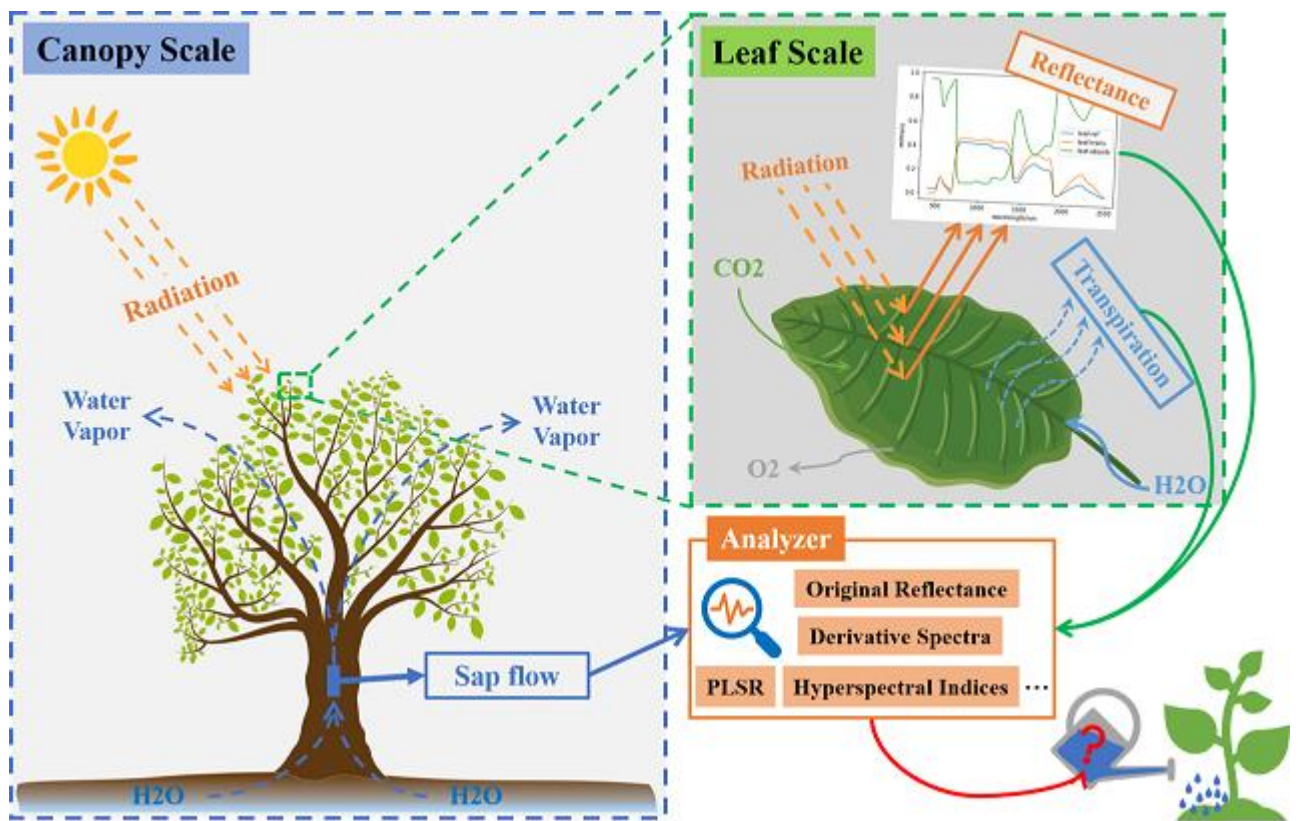


図2. ハイパースペクトルによる植物の水分状態と水分フラックスのリモートセンシング
 (Cao et al., *Ecol. Indicators*, 54, 96-107, 2015; Wang & Jin, *iForest*, 9, 30-37, 2016; Jin & Wang, *Ecol. Inform.*, 35, 1-8, 2016; Jin et al., *Environ. Moni. Assess.*, 191, 13, 2019)。

プロジェクト研究成果（所長選考）

令和2年度グリーン科学技術研究所プロジェクト研究 成果報告

グリーン科学技術研究所では、研究所内外での共同研究を進め、研究力向上と研究成果の社会実装を推進するため、令和元年度よりプロジェクト研究をスタートさせました。

この研究プロジェクトは、研究所内外での共同研究を推進するため、他学部や他機関・他大学の研究者が参画できるようになっています。また、研究所員から応募があった研究課題を選定し、採択された研究課題にプロジェクト研究費を支援しました。

毎年開催している静岡県三大学連携シンポジウムにて成果発表をおこなう予定でしたが、新型コロナウイルスの感染拡大の影響によりNewsletterに成果報告を掲載いたします。

研究課題：電気化学的シグナルを用いた新型コロナウイルスの高感度検出法の開発

研究代表者：朴 龍洙教授（グリーン科学技術研究所 グリーンケミストリー研究部門）

研究分担者：鈴木 哲朗教授（浜松医科大学）、鈴木 忠樹部長（国立感染症研究所）

清水 博之室長（国立感染症研究所）、轟木 堅一郎教授（静岡県立大学）

【研究概要】

本研究は、新規高導電性ナノ材料グラフェン量子ドット—金ナノ粒子—ポリアニリンナノワイヤー（GQD-AuNP-PAni）からなる電極を抗原認識素子として、電極からのシグナルをインピーダンスとして変換することによって、簡便かつ迅速に標的ウイルスの検出を可能にする電気化学的応答型ウイルス検出センサーの構築である。

1) 電極の作製：ウイルス検出用電極は、①電極の表面にポリアニリンをコーティングする工程、②ナノ粒子—ポリアニリンナノワイヤー（AuNP-PAni）の合成工程と抗体の修飾、及び③ウイルスの検出工程で試作した。本研究では、図1の工程②の合成条件（Q2）と工程③のウイルス検出環境条件（Q3）を重点的に調べ、最適化を行った。

工程①：0.5M H₂SO₄中0.1Mアニリンを、電位0～1V範囲で7サイクル電解重合を行い電極表面上にポリアニリン層を作製した。工程②：0.1 M塩酸と60 mM HAuCl₄の懸濁液に、有機層中の0.5 Mのアニリンモノマーを加え、界面で自己酸化還元反応による金ナノ粒子—ポリアニリンナノワイヤー（AuNP-PAni）を合成した。さらに、チオ尿素とクエン酸を用いた水熱法によってグラフェン量子ドット（GQD）を合成し、さらにGQDには窒素（N）及び硫黄（S）分子をドーピングした。GQD上のNとウイルス特異的抗体（Ab）を化学的な架橋反応（EDC/NHS法）で修飾した。また、AuNP-PAniは抗体修飾GQD（Ab-GQD）上のS分子とAuのチオール基との親和性により結合させ、Ab-GQD-Au-PAni複合体を作製し、電極表面にドロップキャストしてウイルス検出電極とした。工程③：ブランク電極用電解液としてリン酸緩衝液（PBS）のpHや電極の安定化時間を調べた。

2) 抗SARS-CoV-2 Nタンパク質抗体の評価：抗体候補として、抗N protein SARS-CoV-2抗体 rabbit-poly（GENETEX）、抗N protein SARS-CoV-2抗体 mouse-mono（GENETEX）、抗N protein SARS-CoV-2抗体 FPZ0502、FPZ0503及びFPZ0504（日水製薬株式会社）の5種類を用いた。評価は、SARS-CoV-2の細胞破碎液を用いたウエスタンブロットとELISAを行い、Nタンパク質との親和性を比較した。SARS-CoV-2を感染した293T細胞破碎液は国立感染症研究所から分譲、非感染293T細胞破碎液はGENETEXから購入した。

3) SARS-CoV-2のS、Nタンパク質の検出：上記の1) で作製した電極を用いてSARS-CoV-2を感染した293T細胞破碎液のSとNタンパク質を検出した。Sタンパク質とNタンパク質は、それぞれ抗2019-nCov S Protein抗体（Abigen）とNタンパク質は抗SARS-CoV2抗体（SKOT9 mouse IgG1）を用いた。

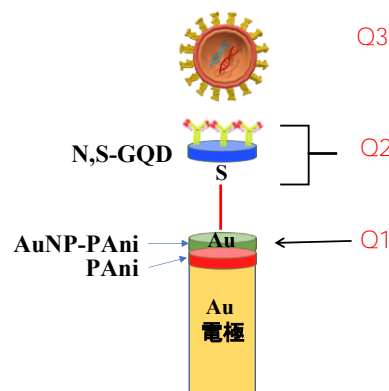


図1. 電極作製の工程

プロジェクト研究成果（所長選考）

【研究結果】

1) 電極の作製：工程①の変動係数（標準偏差を平均値で割ったパーセント）は11%程度で安定した。工程②においてAuNP-PAniの合成結果、PAniの金ナノ粒子（AuNP）の分布が偏ったり、凝集現象が見受けられ、合成時のAuイオンの濃度を調整した。Auイオン濃度は増えるとAuNPの塊を形成しやすく、濃度を減らすとPAni上のAuNPが少なくなった。種々の濃度で合成を行った結果、Auイオンの濃度を0.3 mMとしたところ、PAni上にある程度均一なAuNPの存在が確認できたため、合成時Auイオンの濃度を0.3 mMとした。工程③については、検体のpHを6、電極をPBSで20分間浸すことで、電極の安定性を確保した。

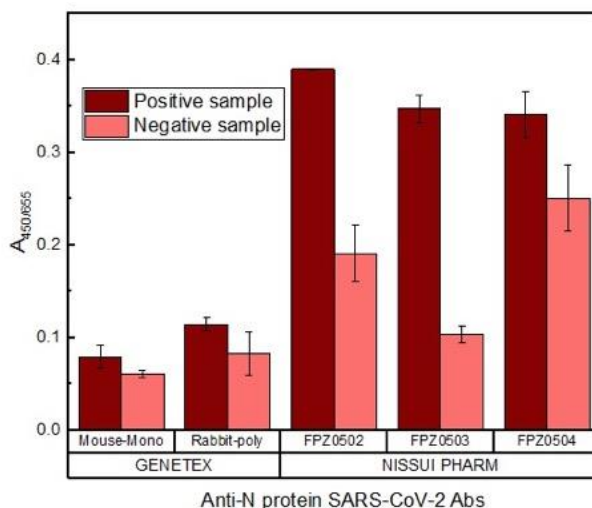


図2 抗SARS-CoV-2 Nタンパク質抗体のELISA。褐色バー：SARS-CoV-2に感染した293T細胞破碎液。赤バー：非感染293T細胞破碎液（ネガティブコントロール）。

2) 抗SARS-CoV-2 Nタンパク質抗体の評価：電極表面には標的ウイルスと親和性が高い抗体を修飾する必要がある。

診断を目的とした場合、変異が入りやすい表面スパイクタンパク質Sよりカプシドタンパク質Nの安定性が高いため、抗Nタンパク質抗体を5種類調べた。GENETEXの2種類の抗体は、SARS-CoV-2に感染した293T細胞破碎液に対して、低い吸光度を示した（図2）。しかし、FPZ0502、FPZ0503及びFPZ0504は、GENETEXの抗体に比べ、3.5~4倍高吸光度を示した（図2の褐色バー）。細胞培養液の夾雑物の影響を調べるために、非感染細胞破碎液に対して、結合を調べたところ、FPZ0502とFPZ0504は、吸光度0.2を越える値を示したが、FPZ0503は、0.1程度であった。この値は、FPZ0503は他の二つに比べて非特異的結合が少ない抗体であることを示す。

3) SARS-CoV-2のN、Sタンパク質の検出：SARS-CoV-2に感染した293T細胞破碎液を用いて上記1)電極で検出を行った。Sタンパク質はNタンパク質より感度面で優位であったが、何れも相関係数は、0.97以上であった（図3）。タンパク質濃度1 fg/ml~1 ng/mlの範囲で検出が可能であり、組換えSタンパク質の検出感度12.6 fg/mLであった。本プロジェクトは、国立遺伝学研究所から検出用試料の提供、浜松医科大学のRT-PCR解析など各分担者の協力の下で遂行することができた。

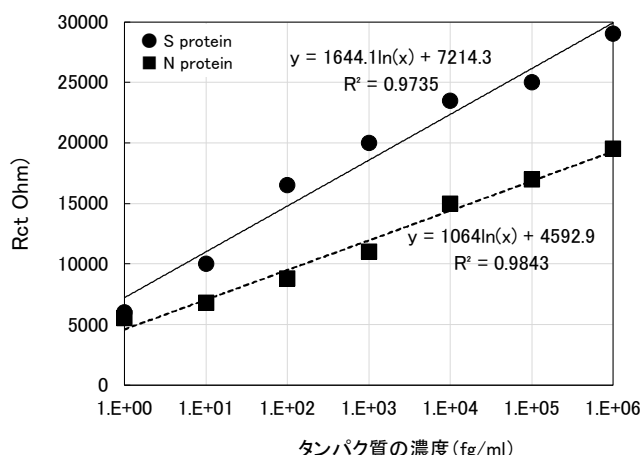


図3 SARS-CoV-2のNタンパク質検出結果。Sタンパク質は、抗2019-nCov S Protein抗体（Abigen）、Nタンパク質は抗SARS-CoV2抗体（SKOT9 mouse IgG1）を用いた。

【研究成果の波及効果】

上記の研究成果は、SDGs 3.3やSDGs 3.dの実現に貢献する。

プロジェクト研究成果（所長選考）

研究課題：機械学習最適化を組み込んだ植物成長調節剤フェアリー化合物のグリーン合成

研究代表者：間瀬 暢之教授（グリーン科学技術研究所 グリーンエネルギー研究部門）

研究分担者：河岸 洋和教授（グリーン科学技術研究所 グリーンエネルギー研究部門）

菅 敏幸教授（静岡県立大学）、武田 和宏准教授、佐藤 浩平助教（工学部）

【研究の概要】

静岡大学で発見されたフェアリー化合物の喫緊の課題は、低環境負荷型手法による量的供給である。作業工程数を極限まで削減することが鍵であり、近年、我々が開発しているフロー技術による高収率当量反応と、ファインバブル技術による気相が関与したグリーンな反応を組み合わせ、フェアリー化合物の前駆体AICAの連続合成システムを開発することを目的とした。さらに、機械学習による合成反応条件最適化を、それぞれの段階で組み込み、高効率、かつ、迅速な合成手法確立の実現を目指した。また、バッチ手法だけではなく、連続攪拌槽反応方式も含むフロー手法により、フェアリー化合物の前駆体AICAを合成するとともに、合成法のレシピ化・半自動化を進め、有機合成の専門的知識・技術がない作業員でも合成できるシステムを開発していくこととした。

2-シアノアセトアミドのオキシム化、水素還元、カップリングによる環化反応の3段階でAICAを合成するスキームを新たに考案し、各ステップの反応条件を最適化した。オキシム化とカップリングに機械学習反応条件最適化手法を導入し、最高収率と最高収量の予測最適条件を特定した。また、噴霧型FB発生装置を導入することによるオキシムの還元反応の反応性向上を達成した。最終的に、オキシム化（74℃, 15 min, 86%, 35 g/h）、水素還元（50℃, 2.5 h, 94%）、カップリング（82.5℃, 10 min, 43% (2 steps), 1.2 g/h）で目的物のAICAを合成し、当初の目的を達成した。

今後、本手法のブラッシュアップが必要であり、本研究を通じてSDGsの下記項目に貢献する基盤技術として確立していく。

ゴール2 飢餓を終わらせ、持続可能な農業を促進する

ゴール2 全ての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する

ゴール12 持続可能な生産消費形態を確保する

【研究成果】機械学習最適化を組み込んだ植物成長調節剤フェアリー化合物のグリーン合成

1. 緒言

植物の成長を制御するフェアリー化合物（AHX, AOH, ICA）は、2010年に静岡大学の河岸らによって発見・構造決定され、その多様な生物活性によりストレス圃場での活用が期待されている¹⁾。しかし、報告されている化学合成手法は、多ステップ、毒性ガスの使用、長時間反応など、社会実装化できる手法が確立されているとは言い難い（Fig. 1）。これまでに我々は「グリーンものづくり」を指向して、ファインバブル（FB）による効率的気相-液相反応の開発やフロー反応における反応条件最適化法の確立を達成してきた²⁻³⁾。そこで、本研究ではこれら技術を集積化し、フェアリー化合物の実用化に向けた効率的生産手法の確立に取り組むこととした。

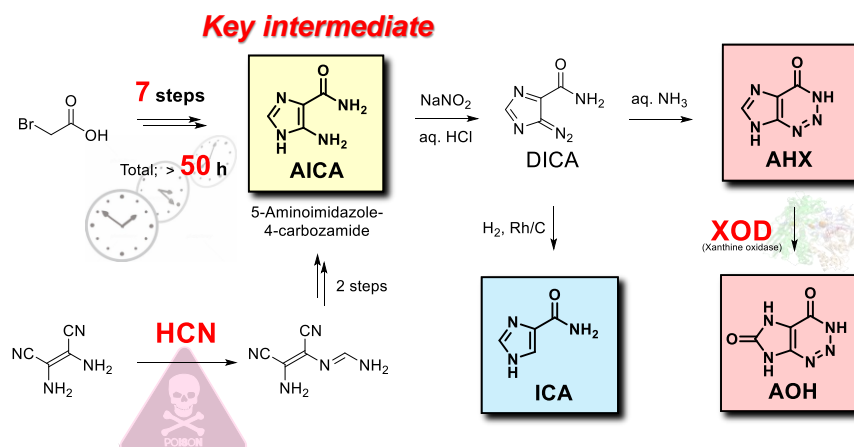


Figure 1. Reported synthetic method of FCs

プロジェクト研究成果（所長選考）

2. 実験方法、結果および考察

まず、フェアリー化合物合成における鍵中間体5-アミノイミダゾール-4-カルボキサミド（AICA）のスケールアップを指向した合成スキームを設計した（Fig. 2）。出発原料を2-シアノアセトアミド（1）とし、亜硝酸ナトリウムによるオキシム化、続く水素添加反応によるオキシムの還元、最後にホルムアミジンとのカップリングによる環化反応によってAICAへと誘導することとした。

第一ステップであるアミド1と1.1当量の亜硝酸ナトリウムによるオキシム化反応におけるフロー反応条件を、50~150°Cグラジエント昇温（昇温時間20分）、滞留時間（5, 10, 15分）で最適化した。反応の進行をフローIRにより連続モニタリングし、反応溶液中のオキシム2を定量した。これら3実験の結果を三次元プロットし、応答曲面近似により最高収率と最高収量の予測最適条件を特定した結果、既知の合成報告例では10時間の反応時間を要していたが、本反応条件では15分まで反応時間を削減した（Fig. 2）。次に独自に開発した噴霧型FB発生装置によるオキシム2の還元反応を評価した。オキシム2のメタノール溶液を加熱条件下（50°C）、水素ガスおよびPt/Cで充填された反応管へ送液し（9.0 mL/min）、循環系反応を検討した結果、液面衝突時における気体の巻き込み⁴⁾により発生するFBの効果により、最高収率94%でアミノニトリル3が得られた（Fig. 2）。また、本反応において、生成物の安定性が低いことから、Flow IRによる閉鎖系での反応進行度確認をした。

最後にアミノニトリル3とホルムアミジン（4）のカップリングによる環化反応を最適化した。まず、本反応のフロー化を検討する前に、バッチにて反応条件をスクリーニングした結果、試薬当量；2.0当量、濃度；0.5 Mの条件が最も良好な条件であった。得られた条件より、容量7.5 mLの反応管でオキシム化反応と同様にフロー反応条件を80~140°Cグラジエント昇温（昇温時間15分）、滞留時間（10, 15, 20分）で最適化した。3実験180データから予測最適条件（滞留時間；82.5°C/10分）を特定し、AICAを43%の収率で合成した（Fig. 2）⁵⁾。

3. 総括

フロー手法による2-シアノアセトアミドのオキシム化・カップリングによる環化反応の反応条件最適化を検討し、最高収率・収量の予測最適条件を特定し、実際に鍵中間体AICAを合成した。今後、本手法をブラッシュアップし、本研究を通じてSDGsの下記項目に貢献する基盤技術として確立していく。最後に、2021/7/24に急逝された菅敏幸先生に心より哀悼の意を表します。

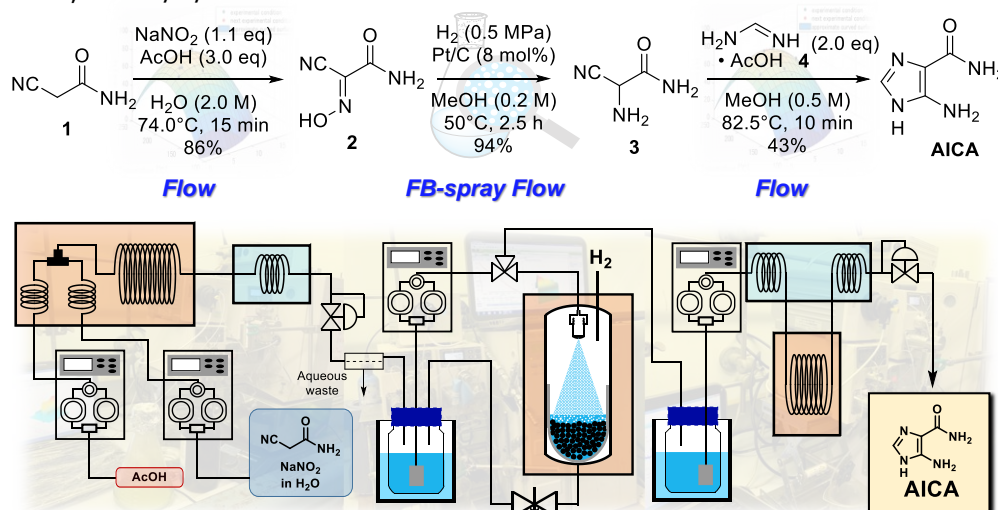
ゴール2 飢餓を終わらせ、持続可能な農業を促進する

ゴール2 全ての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する

ゴール12 持続可能な生産消費形態を確保する

4. 文献

1) Choi, J.-H.; Kawagishi, H. *et al. Angew. Chem. Int. Ed.* 2014, 53, 1552; 2) Mase, N. *et al. Synlett* 2020, 31, 1919; 3) Mase, N. *et al. Chem. Rec.* 2019, 19, 77; 4) Thoroddsen, S. T.; Etoh, T. G. *et al. J. Fluid Mech.* 2012, 708, 469; 5) ○土居瑞希・佐藤浩平・鳴海哲夫・河岸洋和・間瀬暢之「グリーンものづくり：植物成長調節剤フェアリー化合物のフロー合成による連続生産」日本化学会第101春季年会, A19-2pm-07, 2021/3/20.



研究課題：大型機器の共同利用を介した融合研究の展開

研究代表者：近藤 満教授（グリーン科学技術研究所 グリーンバイオ研究部門）

研究分担者：菅 敏幸教授、濱島 義隆教授（静岡県立大学 薬学部）

【研究概要】

本グリーン科学技術研究所分子構造解析部の大型機器を用いて有機架橋配位子の設計と合成を行い、新しい機能性化合物の合成を展開した。具体的には、負電荷をもつ色素を対イオンにもつカプセル分子を合成し、水溶液中において、過塩素酸イオンとの選択的な交換反応による色素の放出を利用して、過塩素酸イオンの呈色による検出活性をもつ化合物を合成した。過塩素酸イオンは25 ppb レベルでも子供の成長に有害となる生理活性をもつが、その検出は容易では無い。本研究では、目視で、10ppbレベルの過塩素酸イオンを検出することを可能にした世界で初の呈色剤である。

これらのカプセル分子にクラウンエーテル環を連結し、水溶液中から過塩素酸イオンとアルカリ金属イオンを同時に捕捉、分離し得るカプセル分子の合成に成功した。また、特定の溶媒分子を捕捉して構造を可逆的に変化させる高分子型の金属錯体の合成に成功した。

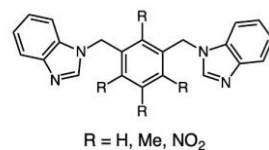
SDGs で掲げる目標のうち、目標 6 に含まれる、安全な水の確保、および集水、海水から真水を作る技術などに貢献するものである。

【研究背景】

陰イオンを捕捉する化合物はアニオンレセプター（あるいはアニオンホスト）と呼ばれ、また、陰イオンと同時に陽イオン（つまり、無機塩）を捕捉する化合物はイオンペアレセプターと呼ばれる。陰イオンの捕捉、分離、あるいは検出などの機能発現は、生産現場、医療現場、および環境保全活動のような多くの場面での利用が期待されている。これまで多くのアニオンレセプターおよびイオンペアレセプターが合成されてきたが、その機能発現は本質的に有機溶媒中に限られ、水溶液中でこれらのイオンを捕捉する化合物は本質的に開発されていない。本プロジェクトでは、水溶液中で特定の陰イオンや無機塩を捕捉するホスト化合物、および特定のゲスト分子を捕捉して構造を可逆的に変化させる配位高分子の合成を展開した。特に、25ppbレベルで乳幼児の成長に有害性を示しながら、その除去と検出が困難とされる過塩素酸イオンについて、10ppbレベルで水溶液を呈色させる活性をもつ陰イオン呈色剤の開発に成功した。これは、目視により、ppb レベルの過塩素酸イオンを検出を可能にした世界で初の呈色剤である。

【水溶液中の過塩素酸イオンの呈色】

先行研究により、BIm-CH₂-C₆R₄-CH₂-BIm (LB) (Scheme 1) を硫酸銅(II)と反応させて得られるM₂L₄ 型のカプセル分子 [SO₄ c Cu₂(bbitb)₄](SO₄) は、水溶液中から過塩素酸イオンを選択的に捕捉して [SO₄ c Cu₂(bbitb)₄](ClO₄)₂ を生成することを見出した。これは、[SO₄ c Cu₂(bbitb)₄]²⁺ イオンが対イオンに過塩素酸イオンを優先的に捕捉することに由来し、その選択性は、その高い疎水空間に由来する。本研究では、対イオンに水溶性の色素をもち、かつ水に不溶なカプセル分子 [SO₄ c Cu₂(LB)₄](dye)₂ (dye = 負電荷をもつ色素) の合成を検討した。色素の種類、および架橋配位子の種類を種々検討した結果、Figure 1に示すbbitrmotとアゾ色素 (MO) を用いて合成したカプセル分子が、ppbレベルの過塩素酸イオンを検出する活性を発現することが明らかとなった。つまり、[SO₄ c Cu₂(bbitrmot)₄](MO)₂ の DMF溶液を、過塩素酸イオンを含む水溶液に滴下した場合、対イオンのMOが過塩素酸イオンと置き換わって放出され水溶液が呈色する。MOの吸光係数が非常に大きいため、10ppbレベルの過塩素酸イオンを検出できる呈色活性を示すことを見出した (Figure 1)。



Scheme 1. L_B 配位子

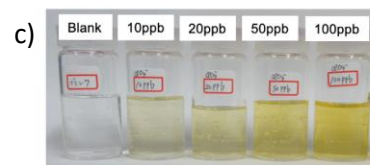
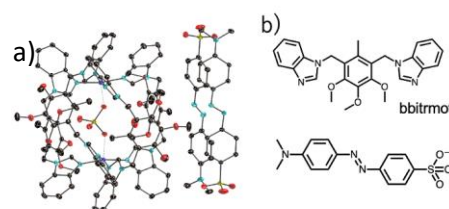


Figure 1. [SO₄ c Cu₂(bbitrmot)₄](MO)₂ (a)、および bbitrmot、MO の分子構造 (b) . [SO₄ c Cu₂(bbitrmot)₄](MO)₂ による水溶液中の過塩素酸イオンの呈色. 10 ppb でも薄い黄色に呈色し、目視で確認できる。水道水（静岡市）に溶かした過塩素酸イオンも、同様に検出可能（水道水のみでは着色しない）

プロジェクト研究成果（所長選考）

【水溶液中から無機塩を捕捉分離するカプセル分子】

LB と硫酸銅との反応から構築されるカプセル分子は、過塩素酸イオンに対する親和性が高く、特に、水溶液中でも過塩素酸イオンを捕捉し取り込む活性があることが明らかとなった。このカプセル分子に陽イオンに対して捕捉活性をもつクラウンエーテルを連結することで、水溶液中から陰イオンと陽イオンを同時に捕捉分離し得るカプセル分子の合成を検討した。この多段階に渡る合成ステップで Figure 2a に示す配位子 Lo を合成した。この Lo を 過塩素酸銅(II)水溶液に添加し、過塩素酸イオンの時間に対する濃度変化を追跡すると、過塩素酸イオンを捕捉した M2L4 カプセルの形成に伴い、1mM の過塩素酸イオンが 30分ほどで 0.6 mM まで減少することが確認された。続いて、Lo と過塩素酸銅を Li⁺、Na⁺、Cs⁺、Ca²⁺ をそれぞれ 1mM 含む水溶液に加えると、過塩素酸イオン濃度の減少と同時に、水溶液中のアルカリ金属イオン濃度が減少することが分かった。特に、Na⁺ と K⁺ において優先的な濃度の減少が確認された。

この反応において過塩素酸イオンとアルカリ金属イオンの捕捉の様子を確認するために、過塩素酸銅とLoを過塩素酸ナトリウムの存在下で反応させ単結晶を作成した。その結果、Figure 2b に示すように、過塩素酸イオンがケージ内に1つ、さらにケージ外に4つ捕捉され、さらに4つのクラウンエーテル環のうち、1つにNa⁺が1つ捕捉されたカプセル分子が生成していることが明らかとなった。

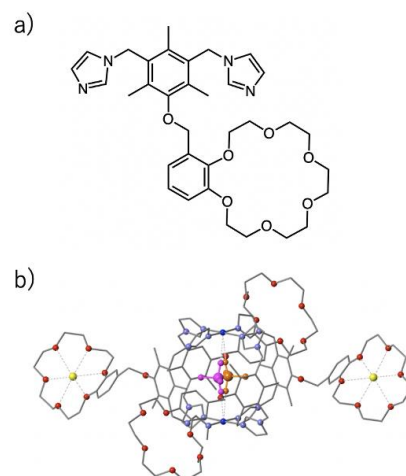


Figure 2. Lo の構造 (a)、および $[\text{ClO}_4^-]_4[\text{Cu}_2(\text{Na}^+ \text{Lo})(\text{Lo})_3(\text{ClO}_4)_2](\text{ClO}_4)_2$ の結晶構造 (b)

【特定の分子を捕捉し可逆的に構造を変化させる高分子錯体の合成】

配位高分子は金属イオンを配位子が配位結合により架橋した無限骨格をもつ。配位結合には可逆性があり、また配位高分子の骨格生成が自己集積的な反応によって進むことから、配位高分子は、特定の溶媒分子に応じて構造を可逆的に変化させる場合がある。

この反応は、特定の溶媒分子の選択的捕捉と分離に応用が可能である。

mbitrbと称する LB と硫酸銅を反応させた場合、反応させた溶媒に依存して、一次元構造（THF-MeOHの混合溶媒）と二次元構造（MeOH/H₂Oの混合溶媒）をもつ異なる配位高分子を生成することが分かった。さらに、これらの配位高分子は、合成に用いた溶媒に接触させることにより、それぞれの構造を可逆的に変換させることが見出された。

本研究は SDGs 目標 6 に含まれる、安全な水の確保、および集水、海水から真水を作る技術などに貢献するものである。

特許出願 イオン性金属錯体、陰イオン検出剤、陰イオン検出方法、及び芳香族化合物

(PCT/JP2020/32463 令和 2 年 8 月 27 日)

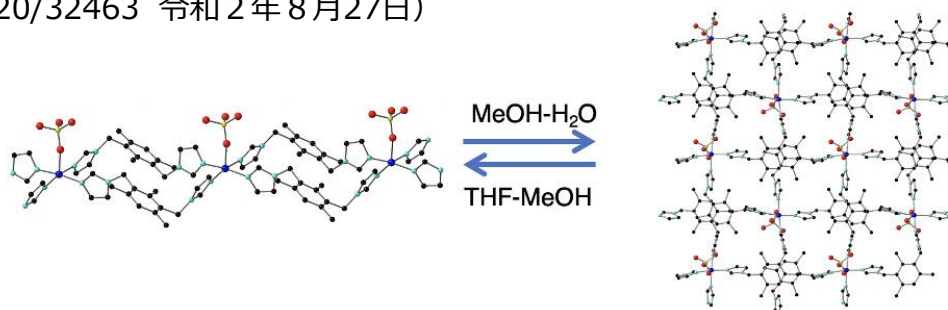


Figure 3. ゲスト分子の種類に依存して構造を可逆的に変換させる高分子錯体

プロジェクト研究成果（所長選考）

研究課題：スマートセルを用いた香気配糖体の生産技術の開発

研究代表者：大西 利幸教授（グリーン科学技術研究所 グリーンバイオ研究部門）

研究分担者：栗井 光一郎教授（電子工学研究所）

【研究概要】

植物は、光エネルギー、水、CO₂など基本的な物質から多種多様で複雑な構造を有した化合物（ファインケミカル）を産生する。スマートセル（高度に機能がデザインされ、発現が制御された生物細胞）による物質生産は、CO₂を資源化・固定化・循環させるものづくりシステムであり、SDGs達成に向けたカーボンリサイクル・炭素循環型社会実現を強く推進する。本研究では、世界市場の成長率が10%以上と見込まれている植物由来高機能成分（主に食品やデオドラン分野）として需要の高い香気配糖体をターゲット化合物として、研究代表者によって得られた香気合成酵素遺伝子および配糖化酵素遺伝子を、研究分担者が構築したシアロバクテリアなどの生産システム上で稼働させることにより、香気配糖体の生産を目指す。

これまでに機能同定した香気合成酵素遺伝子および配糖化酵素遺伝子に加え、本プロジェクトで新たな香気合成酵素遺伝子および配糖化酵素遺伝子群を大腸菌およびシアロバクテリアや大腸菌に導入して様々な条件で培養して、香気配糖体の定量分析を行った。本研究の目標は、SDGsの主課題の一つであるカーボンリサイクル・炭素循環型社会実現に向けたバイオ生産技術の開発である。

【研究成果】

植物は、光エネルギー、水、CO₂など基本的な物質から多種多様で複雑な構造を有した化合物（ファインケミカル）を産生する。スマートセル（高度に機能がデザインされ、発現が制御された生物細胞）による物質生産は、CO₂を資源化・固定化・循環させるものづくりシステムであり、SDGs達成に向けたカーボンリサイクル・炭素循環型社会実現を強く推進する。本研究では、世界市場の成長率が10%以上と見込まれている植物由来高機能成分（主に食品やデオドラン分野）として需要の高い香気配糖体をターゲット化合物として、研究代表者によって得られた香気合成酵素遺伝子および配糖化酵素遺伝子を研究分担者が構築したシアロバクテリアなどの生産システム上で稼働させることにより、香気配糖体の生産を目指す。近年、組換え大腸菌や酵母などの代謝経路を改変し、また新たに新規の代謝経路を導入することで化合物を生成する手法（代謝工学的手法）が盛んになっている。そこで研究代表者らが独自にクローニング、機能同定した香気単糖配糖化酵素や、香気二糖配糖化酵素を大腸菌またはシアロバクテリアに導入した組換え微生物を用いることで、カーボンリサイクルにより有用化合物を合成する。

香気単糖配糖化酵素はUDP-glucoseを、香気二糖配糖化酵素はUDP-xyloseやUDP-arabinoseを主な糖供与体とする。大腸菌と植物ではUDP糖の生合成経路や生成能が異なるため、大腸菌のUDP糖生成を向上させるためglucoseからUDP-glucoseを生成する遺伝子glucokinase (GLK)、phosphoglucomutase (PGM)、GALU (glucose-1-phosphate pyrophosphorylase) を、UDP-glucoseからUDP-xyloseを生成する遺伝子UDP-glucose dehydrogenase (UGD) と UDP-xyloside synthase (UXS) を導入する必要がある。複製開始点異なるdualベクターが市販されているが、ベクター数の増加に伴い形質転換効率が著しく低下し、また1つのプロモーターで複数のタンパク質発現を行うと発現量が低下する。この問題点を解決するために、目的遺伝子の前後にT7プロモーター、T7ターミネーターを連結させたユニットをタンデムに並べ、複数の遺伝子を発現させる発現ベクターpTOMを設計し、UDP-glucoseカセット (GLK/PGM/GALU; UG cassette) またはUDP-xyloseカセット (UXS/UGD; UX cassette) を導入したベクターを構築した。

プロジェクト研究成果（所長選考）

次に、pTOM2がUDP-glucose生成を増加させるか否かを検証するため、pTOM-UG cassetteを導入した組換え大腸菌を作製し、glucoseと培養した。内生UDP-glucoseを分析した結果、UDP-glucoseの増加を確認した。さらにUG cassetteに香気単糖配糖化酵素を連結させたpTOM-UG cassette-monoUGTベクターを導入した組換え大腸菌をglucoseと2-phenylethanol (2PE) と培養した。生成物をNMRおよびLCMSにより解析した結果、生成物は2-phenylethyl β-D-glucopyranoside (2PEG) であり、組換え大腸菌は培養液1 Lあたり64 mgの2PEGを生成した。次に、UDP-xyloseの生成を調査するためpTOM-UG cassetteとpTOM-UX cassetteを導入した組換え大腸菌をglucoseと培養した結果、組換え大腸菌がUDP-xyloseを生成した。そこで pTOM-UG cassette-monoUGTとpTOM-UX cassette-diUGTを導入した組換え大腸菌をglucoseと2PEと培養し、生成物をLCMSにより構造解析した結果、代謝産物のマスピークは、2PE β-primeveroside標準品と同じ保持時間を示し、マスフラグメントも一致したこと。これまでに大腸菌や酵母を用いた香気二糖配糖体を生成した報告はなく、本研究結果は、glucoseとアグリコン部のVOCsのみから香気二糖配糖体を生産できることを示した初めての報告であり、カーボンサイクルに資する有用物質生産方法の有望な手段である。

スマートセルを用いた香気配糖体の生産技術の開発



プロジェクト研究成果（部門長選考）

研究課題：植物ストレスタンパク質を利用したリポソームデバイスの保存技術に関する研究 —浜松医科大学光先端医学教育研究センターとの連携—

研究代表者：原 正和教授（グリーン科学技術研究所 グリーンバイオ研究部門）

研究分担者：朴 龍洙教授（グリーン科学技術研究所 グリーンケミストリー研究部門）

間賀田 泰寛教授、清水 広介准教授（浜松医科大学 光先端医学教育研究センター）

【研究概要】

脂質ナノ粒子はバイオ医薬品や化粧品材料として利用されているが、安定性に関する課題は十分解決されていない。研究代表者は、植物のストレスタンパク質デハイドリンがタンパク質の凍結保存性を向上させる仕組みを研究している。昨年度、本プロジェクトの前身にあたるプロジェクトを実施し、デハイドリンが脂質ナノ粒子のプロトタイプであるリポソームの凍結保存性を向上させることを見出した。本年度は、リポソームの凍結保存性を定量化する手法を確立するとともに、保存性能を評価し、最終的に保存機構の一端を明らかにした。

デハイドリンは、親水性に富む植物天然変性タンパク質であり、種子の長期保存性に関わることがわかってきている。このタンパク質のリポソームの凍結安定性へ及ぼす影響を調査するために、リポソームの凍結凝集実験系を確立した。粒径を概ね100 nmに整えた中性リン脂質リポソーム、酸性リン脂質リポソーム、それらを混合したリポソームをそれぞれ調製した。各種リポソームをバッファー中に分散させ、凍結融解を繰り返したところ、リポソームコロイドの濁度の上昇と粒径の増大が観察された（図1）。透過型電子顕微鏡による観察の結果、リポソームが当初の粒形が判断できない程度に凝集融合していることが分かった（図1右）。この実験系に実験植物シロイヌナズナのデハイドリンを作用させたと、作成した全てのリポソームの凝集を抑制することを見出した。この保護活性は、モル濃度ベース、質量濃度ベースともに、脂質膜の安定剤として用いられるトレハロースやポリエチレングリコールよりも有意に高かった。

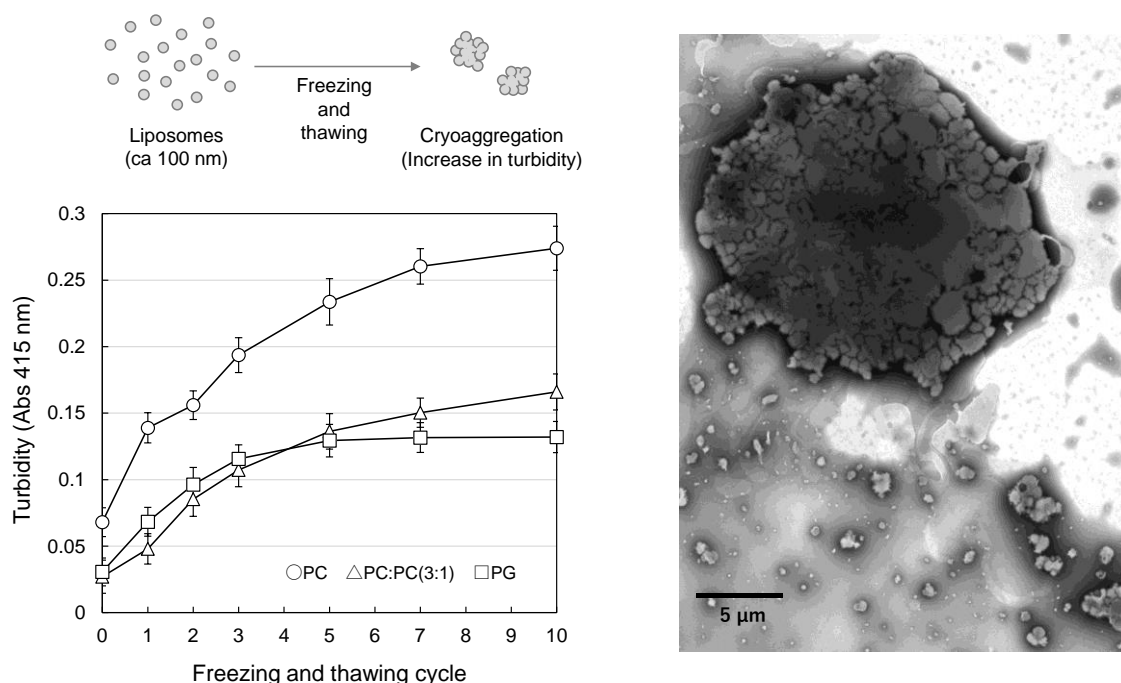


図1 リポソーム凍結凝集系の確立 右：凍結融解サイクルと凝集 左：凝集体の透過型電子顕微鏡像

プロジェクト研究成果（部門長選考）

次に、デハイドリンのリポソーム保護部位を特定したところ、デハイドリンの保存配列に活性があることが分かった。デハイドリン並びに保護活性部位ともに、リポソームの凍結凝集による粒径の増大を抑制した（図2）。さらに、各種物性試験を実施し、デハイドリンの保護活性部位がリポソームの凝集を抑制するメカニズムを推定することができた。

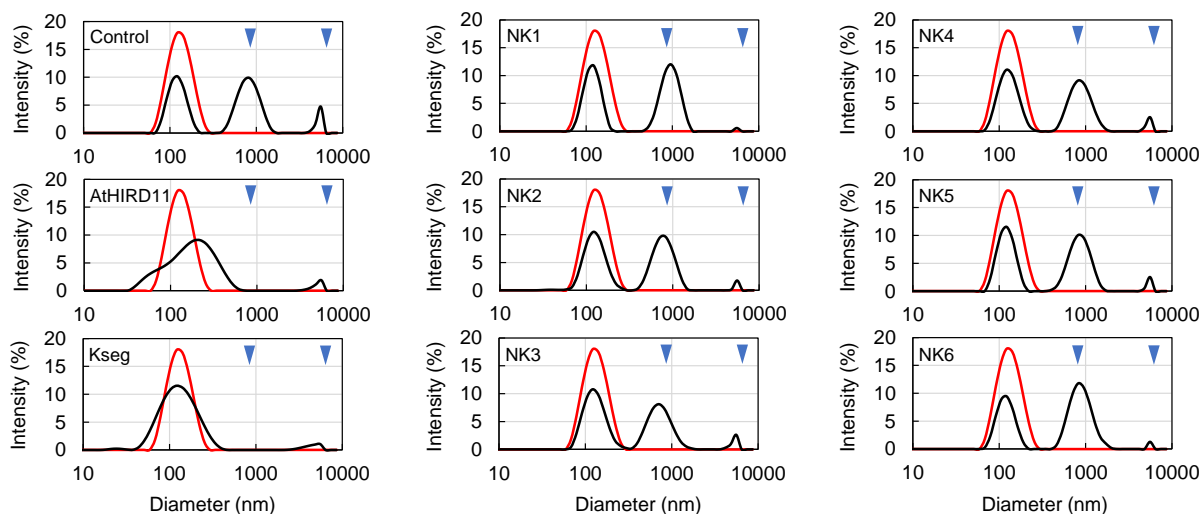


図2 リポソームコロイドの粒子径を測定する動的光散乱装置でデハイドリンの凝集抑制を評価した結果

【展望】

脂質ナノ粒子の凍結保護機構のより詳細な解明を目指す。

【SDGs】

人々に保健と福祉を（Good Health and Well-Being）

【学会発表】

○木村 友紀、大久保 智博、清水 広介、間賀田 泰寛、朴 龍洙、原 正和

デハイドリンセグメントによるリポソームの凍結凝集抑制に関する研究

日本農芸化学会2021年度大会[仙台] 講演番号：3H02-13

2021年3月20日 9：30-10：00 ミーティングルームH

プロジェクト研究成果（部門長選考）

研究課題：シアノバクテリオクロム研究の加速化と世界への発信

研究代表者：成川 礼講師（グリーン科学技術研究所 グリーンバイオ研究部門）

研究分担者：宮崎 剛亜助教（グリーン科学技術研究所 グリーンケミストリー研究部門）

【研究概要】

シアノバクテリオクロム（CBCR）は、成川の前研究室で初めて発見された光受容体で、基礎的にも応用的にも注目されている。成川はCBCR研究の先駆者として最先端で研究を牽引し続けている。これを維持し、萌芽的な分子の発見とその色調節機構の解明をさらに加速することで、今後も研究分野をリードし続けたい。昨年、研究分担者の宮崎との共同研究成果として、動物細胞で利用可能なCBCRの新規構造を報告した論文がPNAS誌に掲載され、さらにもう一つ、新規構造を決定し論文を準備中である。また、1つのCBCRから段階的の変異導入で8つの光変換分子を創出した研究成果についても、PNAS誌にminor revisionの評価を受け、リバイスを投稿中である。これに加えて、現在、特定のpHで光変換する分子や光変換しつつ蛍光を発する分子の解析を進めている。これらの結晶構造解析を宮崎と共同で推進することで、上記と同様なhigh impact研究成果に繋げ、世界に発信する。

【研究成果】

脂研究代表である成川が15年近く継続して解析してきたシアノバクテリオクロムの研究をさらに精力的に推進した。このプロジェクトの期間に4つの原著論文を責任著者として出版し（Ref. 1-4）、4つの共著原著論文も出版した（Ref. 5-8）。また、ブックチャプターの執筆も担当した（Ref. 9）。中でも、一つのシアノバクテリオクロム分子を土台として、段階的に変異を導入することで、7つの異なる光質に応答する改変分子を作出することに成功した研究については、Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.誌に責任著者として報告し、プレスリリースも行った（Ref. 1, 図1）。この論文の成果を踏まえて、さらに暗反転の性質や異性化活性に関する研究を進めることで、2つの原著論文を責任著者として報告した（Ref. 2-3）。また、2019年にProc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.誌に報告した蛍光分子について、さらに改変を施すことで、その蛍光特性を長波長化させることにも成功した（Ref. 4）。



図1. 改変分子の色多様性
右端の分子が天然分子で
それ以外は全て改変分子である。

共同研究の中でも、理化学研究所や国立環境研究所と共同で行った研究をNat. Commun. に報告することができた（Ref. 5, 図2）。この研究では、フィトクロムとクリプトクロムが融合したユニークな分子であるデュアルクロムを理化学研究所と国立環境研究所のグループが発見し、研究代表者の研究グループがデュアルクロムの分光特性を解析した。

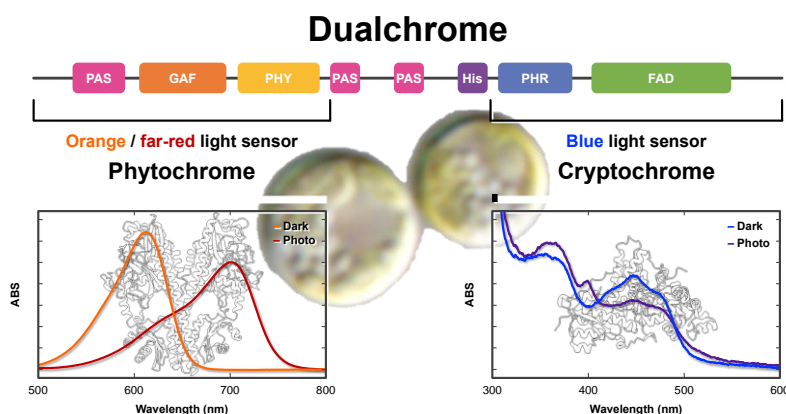


図2. フィトクロムとクリプトクロムが融合したデュアルクロム

プロジェクト研究成果（部門長選考）

それによって、フィトクロム領域で遠赤色光と橙色光を可逆的に感知し、クリプトクロム領域で青色光を感知するという非常にユニークな光感知を示すことを明らかにした。我々の担当した解析については、査読において「Major strengths」として高く評価された。それ以外にも、アメリカの共同研究先に我々のオリジナル分子のサンプルを提供することで積極的に共同研究を推進し、3つの共著論文の出版に至った（Ref. 6-8）。

また、分担者である宮崎助教との共同研究も推進し、ユニークな光受容体の結晶構造について、論文投稿準備を進めている。この分子は、これまでのシアノバクテリオクロム分子とは全く異なる構造的特徴を有しており、新規性の高い知見を得ることができた。

代表者の成川はこの3月に東京都立大学に異動したが、分担者である宮崎助教を筆頭に、グリーンエネルギー部門の木村教授、グリーンバイオ部門の本橋教授、研究支援室の道羅准教授・兼崎特任助教らとの共同研究を今も継続している。今後もグリーン科学技術研究所のメンバーとの共同研究を推進することで、研究所の隆盛に貢献していきたい所存である。

1. Fushimi K, Hasegawa M, Ito T, Rockwell NC, Enomoto G, Ni-Ni-Win Lagarias JC, Ikeuchi M, Narikawa R. Evolution-inspired design of multicolored photoswitches from a single cyanobacteriochrome scaffold. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2020, 117 (27): 15573-15580
2. Fushimi K, Matsunaga T, Narikawa R. A photoproduct of DXCF cyanobacteriochromes without reversible Cys ligation is destabilized by rotating ring twist of the chromophore. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2020, 19 (10): 1289-1299
3. Fushimi K, Narikawa R. Unusual ring D fixation by three crucial residues promotes phycoviolobilin formation in the DXCF-type cyanobacteriochrome without the second Cys. *Biochem. J.* 2021, 478 (5): 1043-1059
4. Fushimi K, Hoshino H, Shinozaki-Narikawa N, Kuwasaki Y, Miyake K, Nakajima T, Sato M, Kano F, Narikawa R. The cruciality of single amino acid replacement for the spectral tuning of biliverdin-binding cyanobacteriochromes. *Int. J. Mol. Sci.* 2020, 21 (17): 6278
5. Makita Y, Suzuki S, Fushimi K, Shimada S, Suehisa A, Hirata M, Kuriyama T, Kurihara Y, Hamasaki H, Okubo-Kurihara E, Yoshitake K, Watanabe T, Sakuta M, Gojobori T, Sakami T, Narikawa R, Yamaguchi H, Kawachi M, Matsui M. Identification of a dual orange/far-red and blue light photoreceptor from an oceanic green picoplankton. *Nat. Commun.* 2021, 12 (1): 3593
6. Tachibana SR, Tang L, Chen C, Zhu L, Takeda Y, Fushimi K, Seevers TK, Narikawa R, Sato M, Fang C. Transient electronic and vibrational signatures during reversible photoswitching of a cyanobacteriochrome photoreceptor. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2021, 250: 119379
7. Kirpich JS, Chang CW, Franse J, Yu Q, Escobar FV, Jenkins AJ, Martin SS, Narikawa R, Ames JB, Lagarias JC, Larsen DS. Comparison of the forward and reverse photocycle dynamics of two highly similar canonical red/green cyanobacteriochromes reveals unexpected differences. *Biochemistry* 2021, 60 (4): 274-288
8. Tachibana SR, Tang L, Zhu L, Takeda Y, Fushimi K, Ueda Y, Nakajima T, Kuwasaki Y, Sato M, Narikawa R, Fang C. An engineered biliverdin-compatible cyanobacteriochrome enables a unique ultrafast reversible photoswitching pathway. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22 (10): 5252
9. Fushimi K, Narikawa R. Phytochromes and cyanobacteriochromes: Photoreceptor molecules incorporating a linear tetrapyrrole chromophore. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2021, 1293: 167-187

プロジェクト研究成果（部門長選考）

研究課題：香気配糖体が惹起する高温ストレス緩和メカニズムの解明

研究代表者：大西 利幸教授（グリーン科学技術研究所 グリーンバイオ研究部門）

研究分担者：間瀬 暢之教授（グリーン科学技術研究所 グリーンエネルギー研究部門）

【研究概要】

研究代表者らは、香気合成遺伝子を過剰発現させた植物体が温度感受性を示すことを明らかにした。化学的要因を調査した結果、過剰発現体において香気成分はほとんど検出されず、香気成分が配糖化された香気配糖体が過剰に蓄積していたことから過剰発現体が温度感受性を示す要因は、香気配糖体の過剰蓄積がトリガーとなっていることを示唆した。しかし、温度感受性を示す分子メカニズムは未解明のままである。本研究は、香気配糖体が乾燥や高温、低温を緩和するトリガーケミカルであると仮説をたて、植物において香気配糖体が「いつ」「どこで」「どのように」生合成され、また環境ストレスに対してどのような応答を示すのかを分子レベルで解析することを目的とした。植物の傷害ストレスシグナル物質である(Z)-3-hexenolを曝露した際に、香気配糖体(Z)-3-hexenyl β -vicianoside (HexVic) が顕著に増加させ、HexVicが環境ストレスに対して植物の抵抗性を上昇させる。しかし、HexVicの生合成酵素および遺伝子などは同定されておらず、その分子メカニズムは未解明のままである。本研究プロジェクトにおいて、HexVic生合成酵素遺伝子の同定およびその酵素機能解析に取り組んだ。その結果、トマトにおいてUDP-依存性配糖化酵素が(Z)-3-hexenyl β -D-glucopyranoside (HexGlc) を糖受容体、UDP-L-Arabinoseを糖供与体として、HexVicを生合成することを明らかにした。HexVicの環境ストレス抵抗性から、本酵素遺伝子がトマトにおける環境ストレス緩和の分子ポイントの一つである可能性が高い (under revision)。

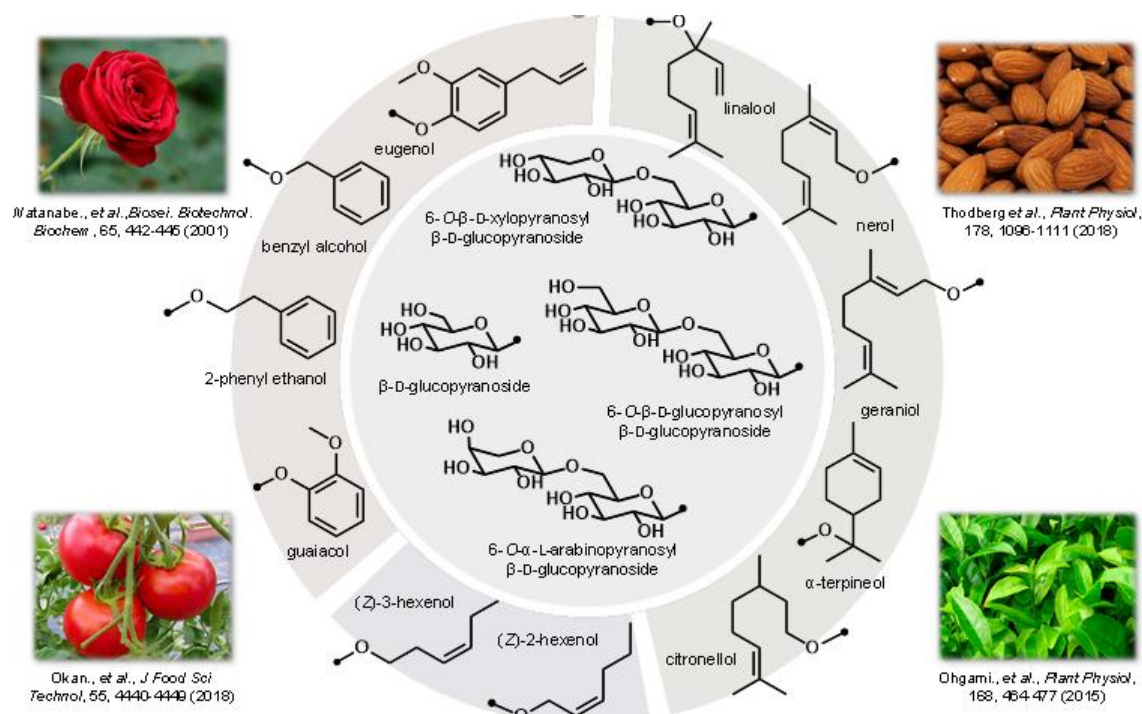
【研究成果】

世界において、慢性的に食料摂取不足による飢餓で苦しんでいる人々は、8億人を超えており、世界人口増加から2050年には20億人分の食料が不足する予測されている。そのためグローバルな農業システムの抜本的な変革が必要である。農産システム、中でも農作物生産は、気候変動の影響を受けやすいため、気候変動への対策が急がれる。特に気候変動に伴う乾燥や高温などの非生物学的要因だけでなく、近年問題になっているサバクトビバッタなどの食害生物や病原菌などの生物学的要因による農産物被害は甚大である。そのため生物学的ストレスおよび非生物学的ストレスを含んだ環境ストレスへの対応は喫緊の課題であり、食糧問題解決の糸口である。環境ストレス耐性を向上させ食糧増産を図るには、施肥灌水技術の向上、防除技術の向上、バイオスティミュラントの利用が挙げられる。バイオスティミュラントとは、植物が本来持つ防御力や環境適応能力を高め、耐寒性・耐暑性・耐乾燥性など非生物学的ストレス耐性を向上させる化合物であり、植物ホルモンをはじめ、様々な二次代謝産物がある。これまでに申請者は、香気配糖体を過剰に蓄積した植物体が、熱感受性になることを報告しており (Hamachi et al., 2019)、香気配糖体がバイオスティミュラントとしてポテンシャルをもつことを示してきた。またハスモンヨトウ (*Spodoptera litura*) に食害されたトマト (*Solanum lycopersicum*) は、VOCsの1つである (Z)-3-hexenolを放散し、放散された (Z)-3-hexenolは隣接する健全なトマトに取り込まれ、二糖配糖体 (Z)-3-hexenyl vicianoside (HexVic) として蓄積される (Sugimoto et al., 2014)。蓄積されたHexVicは、ハスモンヨトウの生育は抑制し、さらに生存率も低下させることから、香気配糖体が生物学的ストレス耐性に寄与していることが示された (Sugimoto, et al., 2014)。そこで本プロジェクト研究では、香気配糖体が有する環境ストレス耐性能に注目し、香気配糖体が植物において「いつ」「どこで」「どのように」香気配糖体が生合成され、また環境ストレスに対してどのように応答するのかを解明・検証した。

プロジェクト研究成果（部門長選考）

本研究は、2015年9月に国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」の中核をなす「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals, SDG）」の目標2「飢餓をゼロに」および目標13「気候変動に具体的な対策を」に向けたプロジェクト研究である。

環境ストレスである食害昆虫に対して、トマトが生合成する香気二糖配糖体の一つである (Z)-3-hexenyl β -primeveroside は成長抑制活性を示す。このことは香気配糖体が環境ストレスに対する化学防御物質であることを示している。しかし、HexVicの生合成に関与する酵素遺伝子の同定には至っていない。これまでに我々は (Z)-3-hexenolを単糖配糖体である(Z)-3-hexenyl β -D-glucopyranoside (HexGlc) に変換するSIUGT1の同定およびその機能の解明に成功した。そこで、本研究プロジェクトでは、トマトにおいて (Z)-3-hexenyl β -D-glucopyranoside (HexGlc) を糖受容体、UDP-L-Arabinoseを糖供与体として、HexVicを生合成する酵素遺伝子の同定を試みた。すでに我々が独自に同定したチャの香気二糖配糖化酵素CsGT2を鋳型として、トマトのゲノム情報解析を行い、トマトにおける香気二糖配糖化酵素を選抜した。大腸菌異種発現系を用いて組換え酵素を調製し、糖受容体としてHexGlcをはじめとする香気単糖配糖体を用いて酵素活性試験を行った。酵素反応抽出物をLC-MSを用いて分析した結果、新たなピークを検出し、保持時間およびマスフラグメントパターンから、新規に検出されたピークが香気二糖配糖体であることを明らかにした。本研究結果は、大気中の揮発性化合物を効率よく配糖化するために、揮発性化合物に応答して単糖配糖体および二糖配糖化酵素を生合成する仕組みを明らかにした。今後、香気配糖体を貯蔵した植物が生物学的ストレスや非生物学的ストレスに対してどのような耐性メカニズムを示すのかを分子レベルで検証する。



Ohgami S, Ono E, Horikawa M, Murata J, Totsuka K, Toyonaga H, Ohba Y, Dohra H, Asai T, Matsui K, Mizutani M, Watanabe N, Ohnishi T. Volatile Glycosylation in Tea Plants: Sequential Glycosylations for the Biosynthesis of Aroma β -Primeverosides Are Catalyzed by Two *Camellia sinensis* Glycosyltransferases. *Plant Physiol.* 168, 464-477 (2015)

Sugimoto K, Matsui K, Iijima Y, Akakabe Y, Muramoto S, Ozawa R, Uefune M, Sasaki R, Alamgir KM, Akitake S, Nobuke T, Galis I, Aoki K, Shibata D, Takabayashi J. Intake and transformation to a glycoside of (Z)-3-hexenol from infested neighbors reveals a mode of plant odor reception and defense. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 111, 7144-7149 (2015)

プロジェクト研究成果（部門長選考）

研究課題：コルジセピン産生から見たカイコへのサナギタケ (*Cordyceps militaris*) 特有初期感染機構の解明

研究代表者：加藤 竜也教授（グリーン科学技術研究所 グリーンケミストリー研究部門）

研究分担者：河岸 洋和教授、朴 龍洙教授、宮崎 剛亜助教（グリーン科学技術研究所 グリーンケミストリー研究部門）、池尾 一穂准教授（国立遺伝学研究所 生命情報研究センター）

【研究概要】

サナギタケ (*Cordyceps militaris*) は昆虫病原性糸状菌であり、カイコに感染することで子実体を形成する。その子実体にはコルジセピンを始めとする様々な生理活性物質が含まれており、漢方薬などに利用されている。しかし、*C. militaris*の昆虫への感染機構が詳細に明らかとされていないため、本研究ではその感染機構解明を目的とした。カイコ5齢幼虫1頭当たり 2.5×10^4 個の分生子もしくはリン酸緩衝食塩水 (PBS) を体腔内に注射後、144時間後の脂肪体細胞の遺伝子発現をRNA-seqで解析した。他の昆虫病原性糸状菌の宿主への感染と同様に、プロテアーゼやプロテアーゼインヒビター遺伝子の発現が上昇していた。それと同時に特徴的に尿素回路やポリアミン代謝に関わるタンパク質遺伝子発現の上昇が認められた。

また同様の条件下で分生子を注射し、注射後144時間と168時間後の*C. militaris*内の遺伝子発現をRNA-seqで解析した。168時間後でアミノ酸トランスポーターやオリゴペプチドトランスポーター遺伝子発現が上昇しており、*C. militaris*のカイコ体内での増殖時にアミノ酸やペプチドを栄養源としていることが示唆された。また4個の遺伝子クラスターの発現も上昇しており、その中の1つは catechol 1,2-dioxygenase, salicylate hydrolase, 2,3-dihydroxybenzoate decarboxylaseをコードすると推測される遺伝子が含まれていた。*Beauveria bassiana*でもこれら遺伝子を含む同様の遺伝子クラスターが認められており、catechol 1,2-dioxygenaseの阻害剤である4,5-ジクロロカテコールで*B. bassiana*のカイコ内での菌糸増殖が阻害された。これらの結果から、*C. militaris*や*B. bassiana*のカイコ内での菌糸増殖には、カテコール関連化合物の分解が関与していることが示唆された。

【研究成果】

サナギタケ*Cordyceps militaris*がコルジセピン (3'-デオキシアデニン) をカイコ幼虫への感染時に産生することが前年度のプロジェクト研究で示唆されており、さらなる*C. militaris*のカイコへの感染機構の解明を目的に研究を行った。前年度のプロジェクト研究において、*C. militaris* NBRC103752株の分生子をカイコ5齢幼虫1頭当たり 2.5×10^4 個体腔内に注射することで、30頭のカイコにおいて120時間後から死に始め、144時間後に致死率が約50%、168後にはすべてのカイコ幼虫が死ぬことが確認された。このことから、*C. militaris*に対するカイコ幼虫の遺伝子発現変化を確認するために、カイコ致死率が50%になる144時間でリン酸緩衝食塩水 (PBS) と分生子注射群において、カイコ脂肪体内の遺伝子発現差解析を行った。3頭を1群として、 $n=2$ で脂肪体内から全RNAを抽出し、Illumina HiSeq 4000 (2 × 100 bp, Eurofins、Genomics K. K., Tokyo, Japan) でRNA-seqを行いMASER (Kinjo et al., Database (Oxford), bay027, 2018) を用いてFPKM (Fragments Per Kilobase of exon per Million mapped reads) で解析を行った。分生子注射により168遺伝子の発現が有意に上昇し、187遺伝子の発現が減少していた。特にプロテアーゼやプロテアーゼインヒビター遺伝子、クチクラタンパク質遺伝子発現の上昇が認められ、体液中の貯蔵タンパク質遺伝子の発現が減少していた。また尿素回路やポリアミン代謝に関するタンパク質遺伝子発現の減少が認められた。ポリアミン代謝に関するタンパク質遺伝子発現の減少は、RT-qPCRでも確認できた (図1A)。*C. militaris*がカイコ幼虫内で感染するために、カイコのポリアミン代謝に影響を与えることが示唆された。

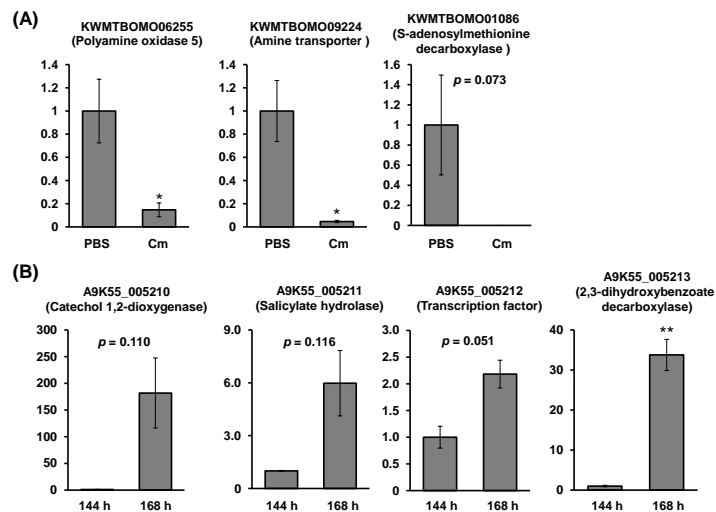


図1 RT-qPCRによる各遺伝子発現解析 (A) カイコ遺伝子発現、(B) *C. militaris*遺伝子発現。n = 3, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

プロジェクト研究成果（部門長選考）

次に、カイコ体内での*C. militaris*増殖時に特異的に発現する遺伝子を特定するために、分生子注射後144時間および168時間における*C. militaris*内の遺伝子発現差解析を行った。RNA-seqおよびその解析は、上記と同じである。168時間後においてアミノ酸トランスポーターやオリゴペプチドトランスポーター遺伝子が特異的に発現することが確認され、カイコ体内での*C. militaris*の増殖にアミノ酸やペプチドが栄養源になっていることが示唆された。また4つの遺伝子クラスターの発現が確認され、そのうちの一つにはcatechol 1,2-dioxygenase, salicylate hydrolase, 2,3-dihydroxybenzoate decarboxylaseをコードすると推測される遺伝子が含まれていた（図2）。この遺伝子クラスターの発現はRT-qPCRでも確認できた（図1B）。これらはカテコール関連化合物分解に関わる酵素であり、カイコ幼虫表皮のクチクラ層には、カテコールアミンを代表とするカテコール関連化合物を多く含んでいる。分生子を注射してから168時間後には*C. militaris*の増殖が進んでいることを考えると、*C. militaris*が増殖してカイコ幼虫表皮を突き破って表面に現れる際に、この遺伝子クラスターの発現が増加することが示唆された。Beauveria bassianaにも同じ遺伝子クラスターがあり、*C. militaris*と同様の働きがあると推測される。*B. bassiana* NBRC4848株の分生子を注射し、カイコ幼虫死後に0.1, 1, 10 mMのカテコールまたは4,5-ジクロロカテコールをカイコ幼虫に注射して

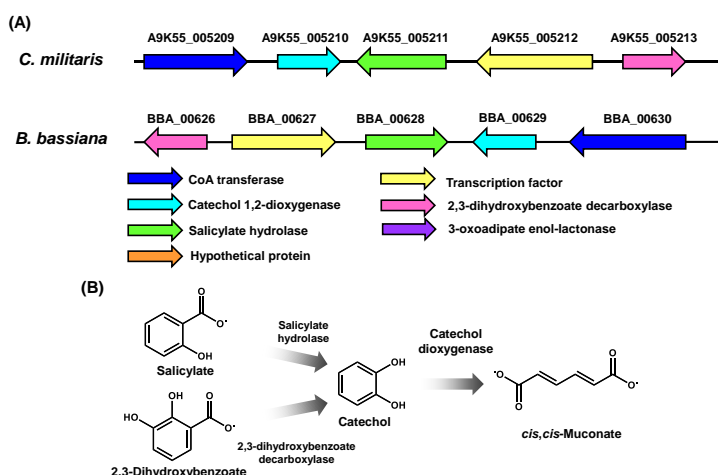


図2 特異的に発現が認められた*C. militaris*の遺伝子クラスター (A) *C. militaris*と*B. bassiana*の遺伝子クラスター (B) 推測される反応

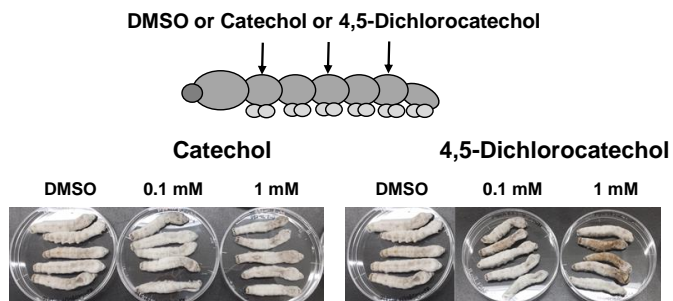


図3 カイコ幼虫内の*B. bassiana*菌糸増殖へのカテコールと4,5-ジクロロカテコールの影響

菌糸の増殖を確認したところ、4,5-ジクロロカテコール注射群で菌糸増殖の減少が認められた。4,5-ジクロロカテコールはcatechol 1,2-dioxygenaseの阻害剤であり、菌糸の増殖にこの遺伝子発現が必要であることが示唆された（図3）。*C. militaris*では菌糸の増殖が遅く、まだ4,5-ジクロロカテコールの影響が確認されていないが、カイコでの*C. militaris*菌糸増殖にこの遺伝子クラスター発現が必要であることが推測される。

今後RNA-seq解析結果を分子レベルで証明していくとともに、*C. militaris*感染の特徴である昆虫経皮からの感染の難しさの原因を解明していく予定である。他の昆虫病原性糸状菌*B. bassiana*や*Metarhizium anisopliae*の分生子に比べて、*C. militaris*の分生子のカイコ表面への付着数が少ないことが確認されており、カイコ幼虫表面での分生子の発芽や経皮感染に必要な付着器の形成など解析していく予定である。*C. militaris*がカイコ経皮から感染できるようになれば、効率的な*C. militaris*子実体生産系を確立することができると期待できる。

【研究業績】

2020年度論文

Kato T, Nishimura K, Suparmin A, Ikeo K, Park EY. "Effects of cordycepin in *Cordyceps militaris* during its infection to silkworm larvae." *Microorganisms* 25, 9(4), 681, 2021

2020年度学会発表

西村このみ, 朴龍洙, 加藤竜也 "Cordyceps militarisが産生するコルジセピンの宿主へ与える影響について" 日本農芸化学会中部支部第187回例会 (2020年9月)

西村このみ, 池尾一穂, 朴龍洙, 加藤竜也 "Cordyceps militarisが産生するコルジセピンのカイコ幼虫へ与える影響" 日本農芸化学会2021年度大会 (2021年3月)

プロジェクト研究成果（部門長選考）

研究課題：超分子化学に立脚したナノ空間の創製と機能化

研究代表者：小林 健二教授（グリーン科学技術研究所 グリーンケミストリー研究部門）

研究分担者：近藤 満教授（グリーン科学技術研究所 グリーンバイオ研究部門）

【研究概要】

超分子化学とは、ユニット分子に分子設計プログラミングを施し、配位結合や水素結合などの分子間相互作用によりユニット分子を自在に自己組織化させた分子集合体の構築と機能化を目指す学問分野である。ナノ空間の構築と利用は、分子やイオンの包接に基づく物質分離や触媒やセンシング機能とも関連し、超分子化学分野の重要課題の1つである。

本研究では、有機化学と超分子化学を専門とする小林と無機化学と超分子化学を専門とする近藤がチームを組むことにより、超分子化学に立脚したナノ空間の創製と機能化を目指した。具体的には、以下の3つの研究を行った。

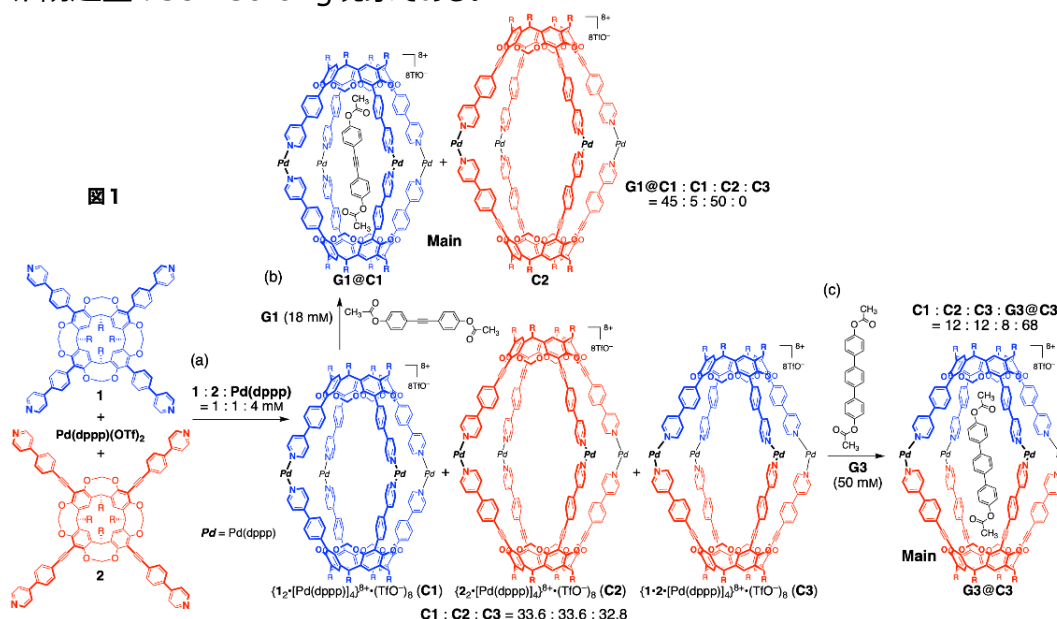
- (1) 配位結合に基づく分子集合カプセルの構築と性質解明 (小林)
- (2) 大環状アントラセン-アセチレン 6 量体の合成と環状パラフェニレンの選択的包接 (小林)
- (3) 多座配位子を利用したケージと多孔性配位高分子の構築、および陰イオン捕捉構造の決定 (近藤)

【研究成果】

(1) 配位結合に基づく分子集合カプセルの構築と性質解明 (小林)¹

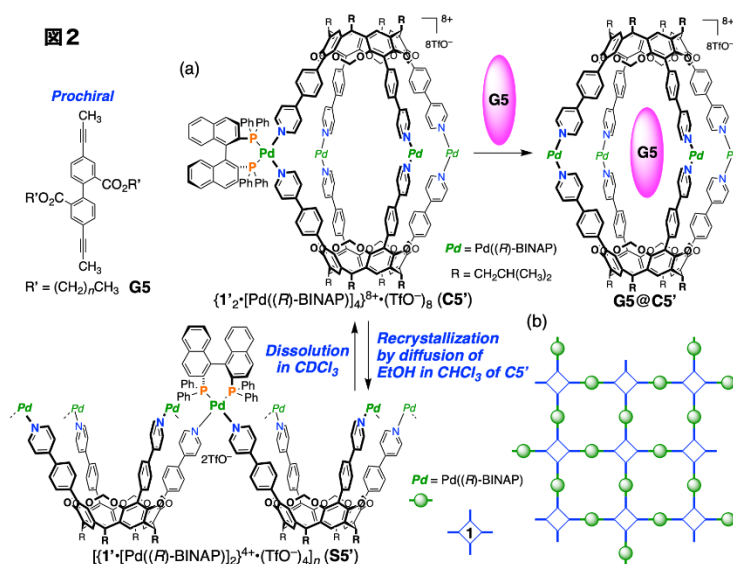
我々は、お椀型の大環状芳香族分子のキャビタンドを基盤として、キャビタンドに様々な相互作用部位を付与することにより、様々な分子集合カプセルの構築と機能化の研究を行っている。

今回、テトラキス[4-(4-ピリジル)フェニル]キャビタンド1とテトラキス[4-(4-ピリジル)フェニルエチニル]キャビタンド2を合成し、キャビタンド1または2とPd(dppp)(OTf)₂を2:4の割合で混合すると、pyN-Pd配位結合によって自発的に分子自己集合して上下対称でキャビティーサイズの異なるホモカプセルC1とC2をそれぞれ生成することがわかった。C1は選択的にゲストG1を包接し、ゲスト包接カプセルG1@C1を生成する。一方、1と2とPd(dppp)(OTf)₂を1:1:4の割合で混合すると、C1とC2に加え、1と2から成る上下非対称なヘテロカプセルC3を1:1:1の割合で生成することがわかった。C3のキャビティーサイズはC1とC2の間である。この熱力学平衡混合物にゲストG1を加えると、熱力学平衡がシフトして選択的にG1@C1とC2を生成し、一方、別途、ゲストG3を加えると、選択的にG3@C3を生成することを見出した(図1)。これは分子自己集合におけるゲスト誘起型のSelf-Sorting現象である。



プロジェクト研究成果 (部門長選考)

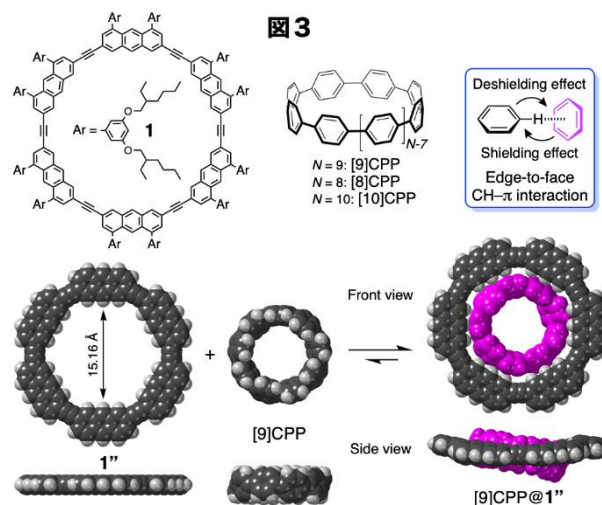
また、溶液中でキャビタンド1とPd((R)-BINAP)(OTf)₂を2:4の割合で混合するとキラルカプセルC5 (C5')に分子自己集合した。ゲスト不在下でC5'をCHCl₃-EtOHから単結晶化すると、結晶化過程で配位結合の組み替えが起こり、キラルな多孔性2次元配位結合ネットワークポリマーS5'になることを見出した(図2)。このポリマー結晶をCHCl₃に再溶解させるとキラルカプセルC5'に復元した。溶液中と結晶中での可逆的構造変換は珍しい現象で、新しい分野を拓く可能性を秘める。



また、プロキラルな分子のキラル誘導は、不斉触媒反応の開発や新奇な立体異性現象の発現とも関連し重要課題である。キラルカプセルC5にプロキラルなビフェニルゲストG5を加えると包接体G5@C5を形成し、C5のキラル空間内でG5のビフェニル部位のベンゼン環の回転がどちらか一方に抑制されるため、G5はキラリティーを発現し、G5@C5はジアステレオ包接選択性を発現することがわかった。

(2) 大環状アントラセン-アセチレン 6 量体の合成と環状パラフェニレンの選択的包接 (小林)²

オプトエレクトロニクス材料の母核として知られるアントラセンがアセチレンと交互配列した環状ヘキサ-2,7-アントリレンエチニレンやその誘導体はどのような性質を示すか興味深い。我々は、独自開発した1,8-ジアリール-3,6-ジボリルアントラセンを鍵とし、初めて環状ヘキサ-2,7-(4,5-ジアリール)アントリレンエチニレン誘導体1aの合成に成功した(図3)。環状体1aは自己会合せず、また、edge-to-face型CH- π 相互作用によって直径サイズ特異的に環状パラフェニレン9量体[9]CPPを包接することを見出した。

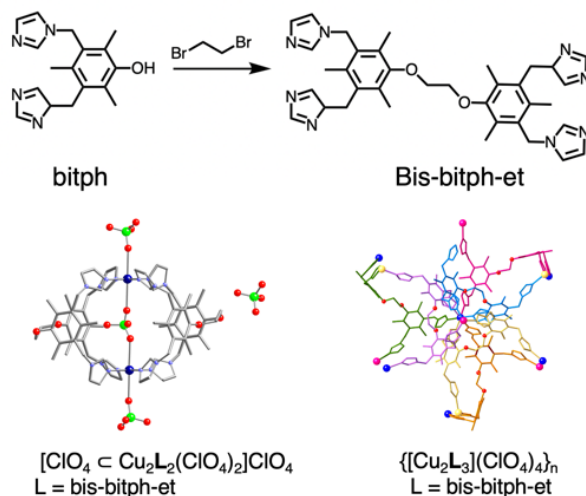


[n]CPPはカーボンナノチューブ(CNT)の最小単位の1つ。環状体1aは直径サイズの揃ったCNTの捕捉・可溶化・単離精製に使えると期待される。また、側鎖置換基を変えた環状体1は、nスタック会合多量体、即ち、分子集合nスタックナノチューブの形成とオプトエレクトロニクス材料への展開が期待される。

- 1) M. Nakamura, Y. Tsukamoto, T. Ueta, Y. Sei, T. Fukushima, K. Yoza, K. Kobayashi, *Chem. Asian J.* **2020**, *15*, 2218-2230.
- 2) H. Matsuki, K. Okubo, Y. Takaki, Y. Niihori, M. Mitsui, E. Kayahara, S. Yamago, K. Kobayashi, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 998-1003.

(3) 配位結合に基づくケージと多孔性配位高分子の構築と性質の解明（近藤）

ビスメチルイミダゾールをフェニル環で連結した架橋配位子は、銅(II)イオンとの組み合わせにおいて、その内部に過塩素酸イオンを捕捉したケージ化合物を選択的に形成することが明らかとなっている。この二座の架橋配位子を連結した場合、多次元骨格をもつ多孔性型の配位高分子の構築が可能になると期待される。本研究では bitph と称する二座の架橋配位子をジブロモエタンで処理し、四座の架橋配位子 bis-bitph-et を合成した。この bis-bitph-et を過塩素酸銅(II)と処理すると、紫色と青色の混合物が生成することが分かった。



単結晶X線解析の結果、紫色固体は、銅(II)イオン2つをbis-bitph-et 2つが架橋したケージ骨格を有し、その内部に過塩素酸イオンを取り込んだケージ型錯体であることが明らかとなった。bitph などから合成したカプセル構造もつ錯体は、架橋配位子がプロペラ状に配置する関係で、内部空間が隙間なく閉じているのに対して、bis-bitph-et 2つが銅(II)イオン2つを連結して生成したケージ錯体は、配位子と配位子の間に隙間が生じることがわかった。

一方、青色固体は、bis-bitph-et を銅(II)イオンが連結した三次元型の多孔性配位高分子であることが分かった。細孔内部には過塩素酸イオンと溶媒分子が取り込まれていることが分かった。いずれの化合物も陰イオンを捕捉した構造を形成しており、水溶液中からの陰イオン捕捉等の活性を示す機能性固体の開発に向けた応用が期待される。

研究課題：高強度化白金-ポリオキソタングステート構造体と含窒素ナノファイバーとの複合化による燃料電池電極触媒の創製

研究代表者：加藤 知香准教授（グリーン科学技術研究所 グリーンエネルギー研究部門）

研究分担者：菊池 圭祐主任研究員（静岡県工業技術研究所）

【研究概要】

リン中心ケギン型二核白金(Ⅱ)種配位ポリオキソタングステート $Cs_3[\alpha-PW_{11}O_{39}\{cis-Pt(NH_3)_2\}_2]\cdot 8H_2O$ およびケイ素中心ケギン型二核白金(Ⅱ)種配位ポリオキソタングステート $Cs_4[\alpha-SiW_{11}O_{39}\{cis-Pt(NH_3)_2\}_2]\cdot 9H_2O$ を空气中、 $700^\circ C\sim 900^\circ C$ の温度範囲で加熱処理し、得られた固体の組成および構造についてFT-IR、XRD、XPS、TEM等を用いて検討した。また、リン中心ケギン型二核白金(Ⅱ)種配位ポリオキソタングステートとバイオマス由来含窒素ナノファイバーを複合化し、得られた固体をフリーズドライ-還元炭化処理することで、燃料電池電極触媒用白金担持炭素材の試作を行った。

【研究成果】

我々はこれまで、ケギン型一欠損ポリオキソタングステートと *cis*-diamminedichloroplatinum(Ⅱ)(以下、cisplatinと略す)を水溶液中で混合し、反応条件を厳密に制御することで、リン中心ケギン型二核白金(Ⅱ)種配位ポリオキソタングステート($Cs_3[\alpha-PW_{11}O_{39}\{cis-Pt(NH_3)_2\}_2]\cdot 8H_2O$; 以下、**Cs-P-Pt**と略す)およびケイ素中心ケギン型二核白金(Ⅱ)種配位ポリオキソタングステート($Cs_4[\alpha-SiW_{11}O_{39}\{cis-Pt(NH_3)_2\}_2]\cdot 9H_2O$; 以下、**Cs-Si-Pt**と略す)の合成および構造解析に成功してきた(図1参照)。^[1]本研究では、これらの二核白金化合物とバイオマス由来含窒素ナノファイバーとの複合化による白金担持炭素材(以下、**Pt/C**と略す)の創製を視野に、空气中で $700^\circ C\sim 900^\circ C$ 、5時間の焼成処理がタングステート部位や二核白金サイトの組成・構造に与える影響について検討することを目的とした。

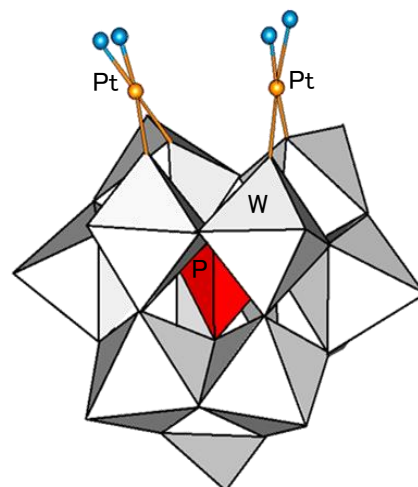


図1. **Cs-P-Pt**の多面体モデル

Cs-P-Ptを $700^\circ C$ で5時間焼成したところ、黒色粉体が得られた(得られた固体を**Cs-P-Pt-700-5**と略す)。**Cs-P-Pt-700-5**のFT-IRスペクトルより、**Cs-P-Pt**のケギン型一欠損構造がケギン型無置換体($Cs_3PW_{12}O_{40}$)へと構造変化していることを確認した。**Cs-P-Pt**を $800^\circ C$ または $900^\circ C$ で焼成することで得た固体(以下、**Cs-P-Pt-800-5**および**Cs-P-Pt-900-5**と略す)も同一のスペクトルを観測したことから、**Cs-P-Pt**のタングステート部位は $900^\circ C$ の加熱処理下でもケギン型構造を保持していることが分かった。粉末X線回折パターンでは、ケギン型無置換体によるピーク以外にPt(111)に由来するピークが観測された。XPSスペクトルでも0価の白金に由来するピークが観測されており、2価の白金サイトが0価の白金へと還元されたことが分かった。TEM観察では、いずれの焼成温度でも白金ナノ粒子の形成を確認しており、**Cs-P-Pt-700-5**、**Cs-P-Pt-800-5**、**Cs-P-Pt-900-5**の平均粒径は 3.6 ± 1.1 nm (図2参照)、 5.3 ± 2.0 nm、 9.3 ± 2.8 nmであった。これは、cisplatinを**Cs-P-Pt-700-5**と同程度の白金量(11 wt%)で酸化チタンに担持し、 $700^\circ C$ で5時間焼成することで得た固体中の白金ナノ粒子の粒径(31.4 ± 19.7 nm)に比べて著しく小さい値を示していた。また、**Cs-P-Pt**を $800^\circ C$ で100時間焼成することで得た固体中の白金ナノ粒子の平均粒径は 5.4 ± 1.9 nmであり、長時間の焼成処理によっても白金ナノ粒子の凝集が抑制されていることが分かった。

プロジェクト研究成果（部門長選考）

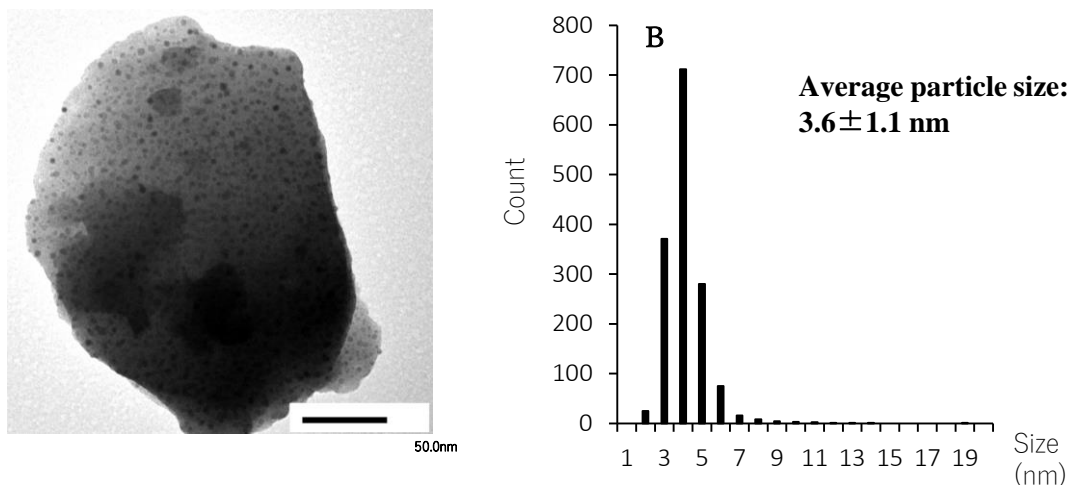


図2. (A)Cs-P-Pt-700-5のTEM像、(B)Cs-P-Pt-700-5中の白金ナノ粒子の粒径分布と平均粒径^[2]

Cs-Si-Ptを700℃で5時間焼成した場合も黒色粉体を得た(得られた固体をCs-Si-Pt-700-5と略す)。Cs-Si-Pt-700-5のFT-IRスペクトルでは、ケギン型一欠損構造がセシウムタングステート(Cs₄W₁₁O₃₅)へと構造変化することを確認した。Cs-Si-Ptを800℃または900℃で焼成することで得た固体(以下、Cs-Si-Pt-800-5およびCs-Si-Pt-900-5と略す)も同一のスペクトルを観測したことから、Cs-Si-Ptのタングステート部位はいずれの焼成温度でもセシウムタングステートへと構造変化することが分かった。粉末X線回折パターンではセシウムタングステートに由来するピークに加え、Pt(111)に由来するピークも観測されており、結晶性の白金粒子が形成していることが示唆された。Cs-Si-Pt-700-5、Cs-Si-Pt-800-5、Cs-Si-Pt-900-5のTEM観察では、平均粒径がそれぞれ19.9±9.9 nm (図3参照)、42.8±21.2 nm、100.8±70.7 nmの白金粒子を観測しており、Cs-P-Ptを焼成した場合に比べ、焼成処理温度の上昇に伴う粒子成長が著しいことが分かった。

上記の結果を踏まえ、白金ナノ粒子の凝集抑制効果を示したCs-P-Ptをバイオマス由来含窒素ナノファイバーと複合化し、フリーズドライ-還元炭化処理を施すことでPt/Cの試作を試みた。今後、得られたPt/Cを燃料電池電極触媒へと応用し、性能評価を進めていく予定である。

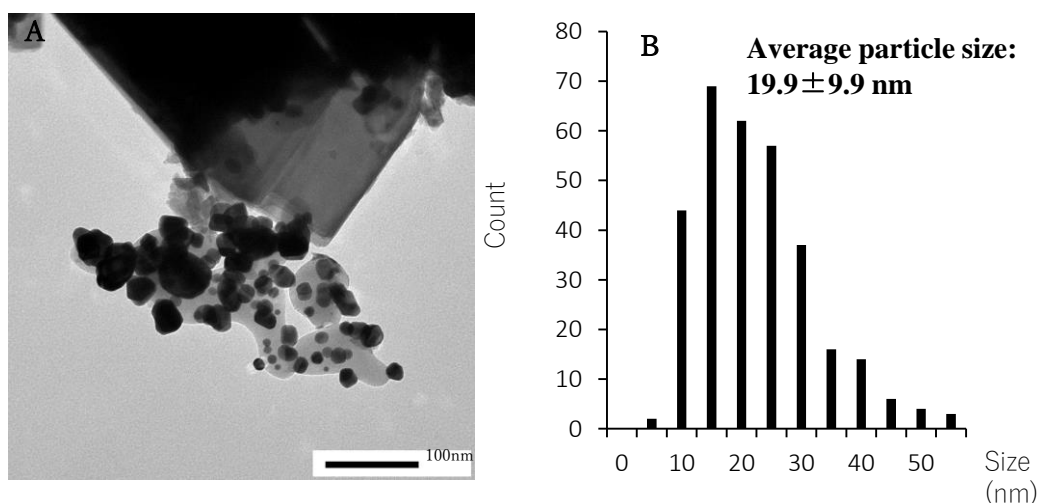


図3. (A)Cs-Si-Pt-700-5のTEM像、(B)Cs-Si-Pt-700-5中の白金ナノ粒子の粒径分布と平均粒径^[2]

【引用文献】

[1] C. N. Kato, Y. Morii, S. Hattori, R. Nakayama, Y. Makino, H. Uno, *Dalton Trans.*, 41 (2012) 10021.

[2] C. N. Kato, T. Kubota, K. Aono, N. Ozawa, *Catal. Lett.*, in press.

三大学連携シンポジウムを開催

2021年11月19日

静岡大学超領域研究推進本部主催の「第15回超領域研究会」と静岡大学グリーン科学技術研究所主催の「第3回静岡県三大学連携シンポジウム」を合同で開催しました。

昨年に引き続き、Zoomによるオンライン開催となり、三大学や他の研究機関、企業などから研究者、学生及び教職員など154名の方に参加登録いただき、グリーンバイオ科学分野に対する関心の高さが伺えました。

本研究会／シンポジウムの詳細は、静岡大学テレビジョンのWebサイトからご視聴いただけます。

<静大テレビジョン>

<https://sutv.shizuoka.ac.jp/subchannel/161>



日本電磁波エネルギー応用学会「JEMEA Sympo 2021」

2021年10月13日～15日

- ・ 間瀬 暢之教授 講演名：マイクロ波技術とAIの接点：機械学習によるフロー反応条件迅速最適化
- ・ 間瀬 暢之教授、鳴海哲夫教授 講演名：Microwave Flow Chemistry: Toward the Realization of "Desktop Plant"

電子情報通信学会「革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA)」

2021年10月28日

峰野 博史教授 講演名：IoT/AIを用いたマルチモーダルフェノタイプングによる適応型情報協働栽培に向けて

「日本微生物生態学会第34回大会シンポジウム」

2021年11月1日

木村 浩之教授 講演名：微生物生態学を社会実証する！

静岡大学グリーン科学技術研究所「第3回静岡県三大学連携シンポジウム」

2021年11月19日

鳴海 哲夫教授 講演名：ペプチド・タンパク質のバックボーンケミストリー

「水産技術研究所セミナー」

2021年11月17日

二又 裕之教授 講演名：微生物を用いた水質浄化への試みと微生物燃料電池の将来展望

静岡県バイオテクノロジー研究会「令和3年度静岡県バイオテクノロジー研究会見学会」

2021年11月18日

兼崎 友特任助教 講演名：静岡大学の共同利用機器について

学術活動

- 東京大学「2021年度植物化学シンポジウム」** 2021年11月19日
轟 泰司教授 講演名：アブシシン酸生合成代謝の化学制御
- 「第10回 IoT/M2Mフォーラム講演会」** 2021年12月7日
峰野 博史教授 講演名：IoT/AIを用いた次世代情報協働栽培システム
- 国立大学55工学系学部「夢・化学-21 化学への招待 高校生のための化学講座」**
2021年12月12日
間瀬 暢之教授 講演名：不斉有機触媒とは？ ～第3の受賞者の存在～
- 「Pacifichem 2021」** 2021年12月18日
間瀬 暢之教授 講演名：Green organic synthesis using microwave, fine bubbles and flow technology
- 「京都大学化学研究所講演会」** 2021年12月20日
小林 健二教授 講演名：アントラセンを基盤とする有機パイ電子系化学と超分子化学
- 静岡大学グリーン科学技術研究所「The 1st SU-CNU Joint Symposium」**
2022年1月21日
- ・ 朴 龍洙教授 講演名：Importance of international joint research in "Nanotechnology-assisted virus detection"
 - ・ 二又 裕之教授 講演名：Enhancement of anaerobic wastewater treatment using a biomineral
 - ・ 崔 宰熏准教授 講演名：Chemical studies on substances involved in the crosstalk between *Lepista sordida* and turfgrass
- 東京医科歯科大学学生体材料工学研究所「第243回 IBBセミナー/第28回創薬学領域セミナー」** 2022年1月22日
鳴海 哲夫教授 講演名：ペプチド・タンパク質の主鎖改変を基盤とするケミカルバイオロジー
- 「日本農芸化学会2022年度大会」** 2022年3月17日
新谷 政己准教授 講演名：シングルセルレベルの解析技術を用いたプラスミドの動態解明
- 「第1回 東京海洋大学・静岡大学 研究交流会」** 2022年3月23日
道羅 英夫准教授 講演名：メタゲノム情報の活用法 ～深海魚の腸内細菌の菌叢解析から機能解析へ～
- 「日本薬学会第142年会（名古屋）」** 2022年3月27日
鳴海 哲夫教授 講演名：アルケン型ペプチド結合等価体によるペプチドの二次構造制御
- 「第95回日本細菌学会総会」** 2022年3月29日
新谷 政己准教授 講演名：シングルセルレベルの解析技術を用いたプラスミドの動態解明

河岸 洋和教授 最終講義

グリーン科学技術研究所グリーンケミストリー研究部門に所属されていた河岸 洋和教授の最終講義が、2022年3月7日に本学農学総合棟講義室にて開催されました。

1985年11月に静岡大学 農学部助手として赴任し、36年半に渡って菌類（主にキノコ）についての研究を追求し、日々研鑽を積んでこられました。

ヤマブシタケの抗認知症物質やスギヒラタケの急性脳症への科学的な解明、芝が輪状に繁茂、あるいは生育抑制される『フェアリーリング』の現象を科学的に解明し、植物成長を促すフェアリー化合物を発見した基礎研究の経緯や今後の応用展開などについてご講義いただきました。



河岸 洋和 教授
最終講義

「一路白頭二到ル 静岡大学での36年」

日時 2022年3月7日（月）
15:00～17:00（14:30～受付）

会場 静岡大学農学総合棟大講義室201
&
オンライン（ZOOM）開催

*会場は自由に入場可能です。
*感染症予防の観点から、ZOOMのみの開催となる場合がございます。

お申込み 事前申込みが必要です。下記のQRコードまたはURLよりお申し込みください。
<3月4日（金）締切>

<https://forms.gle/5F92tuzMM3WbVRAu8>

お問い合わせ 静岡大学農学部応用生命科学科 生物化学研究室
准教授 崔等憲 054-238-3037 / chojjaehoon@shizuoka.ac.jp



河岸 洋和教授が2021年秋の紫綬褒章を受賞されました。

今回の受賞は、天然物化学、特に「きのこ」に関する新規化合物の発見など、河岸教授の先駆的な研究と多大な業績に対して贈られたものです。静岡大学では、初の受賞となります。また、これまでに執筆された論文は

250を超え、著書28冊、総説64本、特許についても多く出願しております。それら大半のものが菌類・キノコに関する業績となります。これまでの研究の基礎的・応用的展開は、様々な分野に貢献し、今後の更なる活用展開が期待されます。

【受賞者コメント】

このたびは全く思いも寄らなかった紫綬褒章受章の栄に浴し、驚き、そして、大変光栄に思います。この受章は長年にわたる多くの方々のご指導ご支援のおかげであり、心から感謝申し上げます。

私は、博士号取得直後の1985年に静岡大学農学部助手として赴任しました。そして、主にキノコを対象にした天然物化学的研究を、知識も経験もほとんど無い状態から始め今日に至っています。赴任時には自由になる研究費はほとんど無く、研究室にあるビーカーの数を容量毎に全て詰みずることができるほど極めて乏しい研究環境でした。その状況下での私を、何の見返りも無いのにも関わらず物心両面で支えてくださった様々な先生方からのご恩は一生忘れません。今後さらに精進し、化学・科学の面白さを多くの方々を知っていただけるような研究を続けていきたいと思っています。（一部抜粋）



国際交流

- 第1回「SU-CNU Joint Symposium」を開催 -

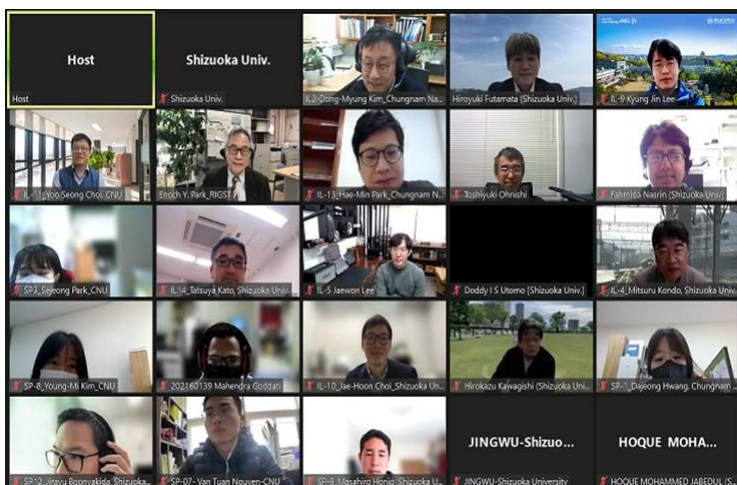
2022年1月21日

韓国の忠南大学校 第四次産業革命時代の収束化学物質の教育研究グループ (CCM4) と合同で第1回「SU-CNU Joint Symposium」を1月21日にオンラインシンポジウムを開催致しました。

第1回目となる本シンポジウムは、オンライン開催となり、両大学から70名以上の参加を頂き、両大学から計14名の教授による招待講演と14名の学生による発表が行われました。本シンポジウムの模様は、静岡大学テレビジョンのWebサイトからダイジェスト版をご視聴いただけます。

< 静大テレビジョン >

<https://sutv.shizuoka.ac.jp/video/161/2777>



忠南大学校

(Chungnam National University)

大田広域市儒城区弓洞 (クンドン) に本部を置く国立大学で、1952年に設置され、韓国中部で最も権威のある大学として国の発展に重要な役割を果たしてきた。

ほとんどの単科大学・附属機関は大学本部のある大徳 (テドク) キャンパスに集中しているが、医科大学・同附属病院・看護大学は大田広域市中区文化洞 (ムヌドゥン) 6の宝雲 (ポウン) キャンパスにある。韓国において主要国立大学で、多くの政府支援事業及び研究費の支援を受けている。

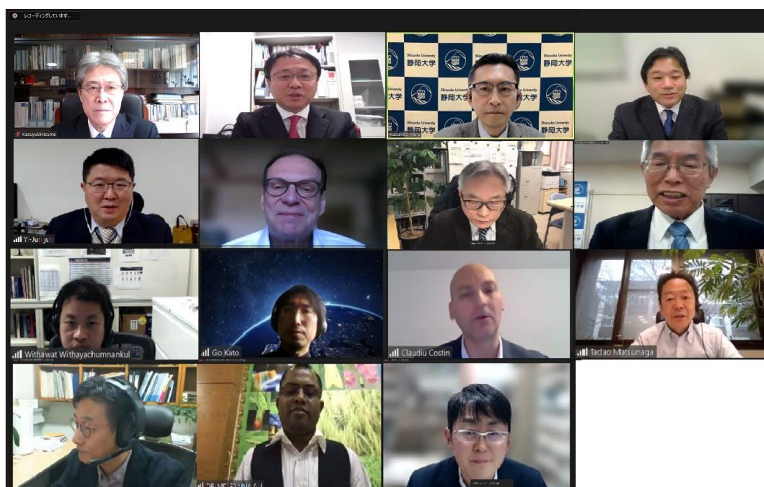
- 国際シンポジウム「ISFAR-SU 2022」を開催 -

2022年3月1日

グリーン科学技術研究所、電子工学研究所、創造科学技術大学院、大学院光医工学研究科、超領域研究推進本部が共同して第8回国際シンポジウムを開催致しました。

今年度は、情報科学、エネルギーシステム、ナビジョンサイエンス、ナノマテリアル、ベーシックリサーチ、環境・エネルギー科学、統合バイオサイエンス、光医工学を中心とする研究分野の研究者や学生など約100名が参加しました。

グリーン科学技術研究所からは、ドイツの食品化学研究所からUlrich H. Engelhardt教授を招へいし、ご講演頂きました。



学生受賞

2021年10月27日

総合科学技術研究科の矢原 裕大さん（指導教員：石原 進教授）筆頭著者の論文が「第29回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ」にて最優秀プレゼンテーション賞を受賞しました。

受賞論文：DTNによる不道路情報共有と避難行動間の相互影響に関する実地図に基づいたシミュレーション評価

2021年10月20日～22日

創造科学技術大学院の児玉有輝さん（鳴海研究室）が「第58回ペプチド討論会（日本ペプチド学会）」においてExcellent Poster Presentation Awardを受賞しました。

発表演題：Synthesis and structural characterization of b-turn mimics containing (Z)-chloroakene dipeptide isosteres

2021年10月30日

総合科学技術研究科の小塚 智貴さん（間瀬研究室）が「第52回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会（静岡）油化学部門（日本油化学会東海支部）」においてオレオ奨励賞を受賞しました。

発表演題：ファインバブル有機合成：気相－液相反応に対する微細気泡の効果

2021年10月30日～11月2日

総合科学技術研究科の山本 雪絵さん（金原・新谷研究室）が「日本微生物生態学会第34回大会」にて優秀ポスター発表賞を受賞しました。

発表演題：湖底泥試料から PromA 群プラスミドの『オリジナル宿主』を同定する



2021年11月11日～13日

総合科学技術研究科の近本 祐介さんと堤 悠喜さん（指導教員：石原 進教授）が「The 13th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking Organizing Committee (ICMU2021)」にてBest Poster/Demo Awardを受賞しました。

発表演題：Sewer Inspection System Using Drifting Wireless Cameras - Video Data Transmission and Video Frame Localization

2021年11月13日～14日

創造科学技術大学院の古田島 美颯さんと竹村 太秀さん（指導教員：河岸 洋和教授/崔 宰熏准教授）が「植物化学調節学会 第56回大会」で優秀発表賞及び企業推薦賞を受賞しました。

発表演題：植物成長調節物質ICAが関与する新しいメチル化機構の可能性（古田島 美颯さん/優秀発表賞）

発表演題：植物成長調節物質であるフェアリー化合物の生合成に関連した新規プリン代謝（竹村 太秀さん/企業推薦賞）

2021年11月23日～26日

総合科学技術研究科 化学バイオ工学コースの中道 菜緒さん（二又・田代研究室）が「EMBO Workshop: Bacterial Membrane Vesicles」において、Excellent Poster Presentation Prizeを受賞しました。

発表演題：Identification of a factor that promotes membrane vesicle formation in the hypervesiculating bacterium *Buttiauxella agrestis* DSM 4586T



学生受賞

2021年11月26日～27日

創造科学技術大学院のIfat Araさん（指導教員：新谷 政己准教授）が「第12回 ISAJ・学際研究シンポジウム2021」にてBest Presentation Awardを受賞しました。



2021年11月26日～27日

創造科学技術大学院のUmme Fawzia Rahimさん（指導教員：峰野 博史教授）が「3rd Asia Digital Image Processing Conference (ADIP 2021)」にてBest Presentation of Session 3を受賞しました。

受賞論文：Highly Accurate Tomato Maturity Recognition: Combining Deep Instance Segmentation, Data Synthesis and Color Analysis

2022年1月21日

創造科学技術大学院のJirayu Boonyakidaさんと農学部 応用生命科学科の砂金 敬太さん（指導教員：朴 龍洙教授）が「The 1st SU - CNU Joint Symposium」においてBest presentation awardを受賞しました。

発表演題：Decoration of GII.4 Norovirus-like Particles via SpyTag/SpyCatcher Bioconjugation System for a Modular Protein-displaying Platform (Jirayu Boonyakidaさん)

発表演題：Development of Fluorescence Amplified SARS-CoV-2 detection using Duplex-Specific Nuclease (砂金 敬太さん)

2022年1月21日

情報学部の寺本京祐さんと平原 健太郎さん（指導教員：峰野 博史教授）が「情報処理学会第33回CDS研究会」で学生奨励賞及び優秀発表賞を受賞しました。

受賞論文：複数受信機を用いたCSIベースの日常行動推定に関する検討（寺本 京祐さん/学生奨励賞）

受賞論文：植物生育記録の自動化に向けたKeypoint検出の検討（平原 健太郎さん/優秀発表賞）

2022年3月1日

総合科学技術研究科の森 寛之さん（指導教員：富田 因則教授）が「The 8th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University 2022 (ISFAR-SU2022)」でBest Presentation Awardを受賞しました。



発表演題：Development of isogenic rice Koshihikari multi-resistant to diseases and insects

2022年3月3日～5日

工学部の森本 蒼一郎さん（指導教員：石原 進教授）と情報学部の平原 健太郎さん（指導教員：峰野 博史教授）が「情報処理学会第84回全国大会」にて学生奨励賞を受賞しました。

発表論文：小口径下水管内における無線LANマルチホップ映像ストリーミングの基礎性能評価（森本 蒼一郎さん/学生奨励賞）

発表論文：植物生育記録の自動化に向けたKeypoint検出の評価（平原 健太郎さん/学生奨励賞）

学生受賞

2022年3月4日（3月8日受賞）

総合科学技術研究科の浅野 心夏さん（指導教員：石原 進教授）が「情報処理学会第84回高度交通システムとスマートコミュニティ（ITS）研究会」にて優秀論文賞を受賞しました。

発表論文：多車線道路における突発的障害物回避のための各車線の車両通過量の公平性に配慮した協調型車群制御

2022年3月

創造科学技術大学院の永井 幸政さん（峰野研究室）と加藤 新良太さん（石原研究室）が公益財団法人 電気通信普及財団の「第 37 回電気通信普及財団賞」にてテレコムシステム技術賞及びテレコムシステム技術学生賞に入賞しました。

受賞論文：Sub-1 GHz Frequency Band Wireless Coexistence for the Internet of Things（永井 幸政さん/テレコムシステム技術賞入賞）

受賞論文：「WiNE-Tap: Wireless network emulator with wireless network TAP devices（加藤 新良太さん/テレコムシステム技術学生賞入賞）

2022年3月

総合科学技術研究科の嵩井 陵太さん（指導教員：加藤 知香准教授）と理学部の山田 愛莉さん、田中 裕菜さん（指導教員：小林 健二教授）、工学部の飯尾 智裕さん（指導教員：鳴海 哲夫教授）が「日本化学会東海支部」にて日本化学会東海支部支部長賞を受賞しました。

受賞

2021年10月27日

石原 進教授が「第29回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ」にてベストカンバーサント賞を受賞しました。

2021年11月24日

加藤 知香准教授が「European Journal of Inorganic Chemistry」のTop Authors 2019-2021に認定されました。

1. Thermal Treatment of a Keggin-Type Diplatinum(II)-Coordinated Polyoxotungstate: Formation of Hydrophilic Colloidal Particles and Photocatalytic Hydrogen Production

2. Syntheses, Molecular Structures, and Counteranions-induced Structural Transformation of Monomeric α -Keggin-type Polyoxotungstate-coordinated Mono- and Di-palladium(II) Complexes

2022年2月

新谷 政己准教授が「日本農芸化学会」にて2021年BBB論文賞を受賞しました。

論文タイトル：Oxygen concentration affects frequency and range of transconjugants for the incompatibility (Inc) P-1 and P-7 plasmids pBP136 and pCAR1

2022年3月

朝間淳一准教授が「静岡大学イノベーション社会連携推進機構」の静岡大学産学連携奨励賞信金大賞を受賞しました。

出版物

2021年10月

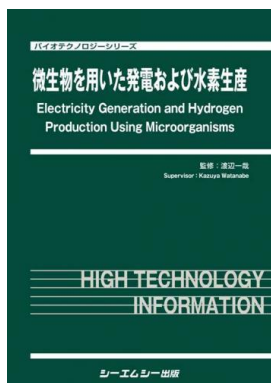
シーエムシー出版の『きのこの生物活性と応用展開』に河岸 洋和教授（監修及び執筆）と平井 浩文教授の執筆原稿が掲載されました。



CMC出版発行

2021年11月

シーエムシー出版の『微生物を用いた発電および水素生産／第4章 負極槽内に形成される微生物生態系の解析 - 微生物の電子授受の場における微生物生態系の特徴 - 』に二又 裕之教授の執筆原稿が掲載されました。



CMC出版発行

2022年2月

日本木材加工技術協会が会員向けに発行している会誌『木材工業』令和4年2月号に本橋 令子教授が執筆された「静岡大学イノベーション社会連携推進機構の取り組みについて」が掲載されました。

2022年3月

令和3年度静岡大学・読売新聞連続市民講座「リスクに向き合う～危機に備えたまちづくり・暮らしづくり～」に朴龍洙教授が執筆された「題5回感染症ウイルスを測る」が掲載されました。

報道関係

- 2021/10月号 月刊下水道 Vol.44, No.13, pp.60-61にはるひ建設（株）との共同研究
石原 進教授 「市販のカメラで管路内調査を～簡単、正確、低コスト目指して共同研究へ」
- 2021/10/17 読売新聞：朴 龍洙教授「静岡大・読売講座 感染症 闘いの歴史」
- 2021/11/02 静岡新聞、朝日新聞、毎日新聞、読売新聞、中日新聞：
河岸 洋和教授「秋の褒章 喜びの県内関係者」
- 2021/11/03 読売新聞：朴 龍洙教授「静岡大・読売講座 感染症ウイルスを測る」
- 2021/12/16 静岡新聞：新谷 政己准教授「静岡大学が出張講座/科技高生プログラミングなど学ぶ」
- 2021/12/17 日刊工業新聞：間瀬 暢之教授「産業電化が導く カーボンニュートラルの未来」
- 2022/01/31 週刊文教ニュース：間瀬 暢之教授「さくらサイエンスプログラム」
- 2022/01/31 静岡新聞：木村 浩之教授「掛川、菊川の新ごみ処理施設 検討委に専門家6人」
- 2022/01/31 静岡新聞：朝間 淳一教授「静岡大と浜松いわた信金 研究者3人を表彰」
- 2022/01/31 掛川市役所HP、YouTube
木村 浩之教授「第1回掛川市・菊川市新廃棄物処理施設整備検討委員会の動画配信」
- 2022/01/31 静岡新聞：
木村 浩之教授「産廃に慎重意見 掛川と菊川の廃棄物処理施設検討委初会合」
- 2022/01/31 中日新聞：
木村 浩之教授「新ごみ処理施設 方向性議論 掛川で検討委初会合 問題提起も」
- 2022/01/31 静岡新聞：木村 浩之教授「ニュースBOX「産廃処理、民設民営」崩れた構想
掛川・菊川の施設計画 地元不安に両市「再検討」」

論文発表 (2021年10月~2022年3月, IF4以上)

- Yuu Hirose, Yoshiyuki Ohtsubo, Naomi Misawa, Chinatsu Yonekawa, Nobuyoshi Nagao, Yohei Shimura, Takatomo Fujisawa, Yu Kanesaki, Hiroshi Katoh, Mitsunori Katayama, Haruyo Yamaguchi, Hirofumi Yoshikawa, Masahiko Ikeuchi, Toshihiko Eki, Yasukazu Nakamura, Masanobu Kawachi, Genome sequencing of the NIES Cyanobacteria collection with a focus on the heterocyst-forming clade, *DNA Research*, 28/6, dsab024- (2021/10) (IF4.458)
- Tatsuya Kato, Junya Azegami, Mai Kano, Hesham A. El Enshasy, Enoch Y. Park, Effects of sirtuins on the riboflavin production in *Ashbya gossypii*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105/20, 7813-7823 (2021/10) (IF4.813)
- Fahmida Nasrin, Kenta Tsuruga, Doddy Irawan Setyo Utomo, Ankan Dutta Chowdhury, Enoch Y. Park, Design and analysis of a single system of impedimetric bio-sensor for the detection of mosquito-borne viruses, *Biomolecules*, 11/, 376 (2021/10) (IF4.813)
- Shuntaro Nakamura, Takanori Nihira, Rikuya Kurata, Hiroyuki Nakai, Kazumi Funane, Enoch Y. Park, Takatsugu Miyazaki, Structure of a bacterial α -1,2-glucosidase defines mechanisms of hydrolysis and substrate specificity in GH65 family hydrolases, *Journal of Biological Chemistry*, 297/6, 101366 (2021/11) (IF5.157)
- Sharmin Aktar, Yuhi Okamoto, So Ueno, Yuhei O Tahara, Masayoshi Imaizumi, Masaki Shintani, Makoto Miyata, Hiroyuki Futamata, Hideaki Nojiri, Yosuke Tashiro, Incorporation of plasmid DNA in to bacterial membrane vesicles by peptidoglycan defects in *Escherichia coli*, *Frontiers in Microbiology*, 12/, 747606 (2021/11) (IF5.64)
- Takatsugu Miyazaki, Marina Ikegaya, Santiago Alongo-Gil, Structural and mechanistic insights into the substrate specificity and hydrolysis of GH31 α -N-acetylgalactosaminidase, *Biochimie*, (2021/11) (IF4.079)
- Guangman Song, Quan Wang, Including Leaf Traits Improves a Deep Neural Network Model for Predicting Photosynthetic Capacity from Reflectance, *Remote Sensing*, 13/, 4467- (2021/11) (IF4.848)
- Jianqiao Wang, Ru Yin, Xue Zhang, Nana Wang, Pengfei Xiao, Hirofumi Hirai, Tangfu Xiao, Transcriptomic analysis reveals ligninolytic enzymes of white-rot fungus *Phanerochaete sordida* YK-624 participating in bisphenol F biodegradation under ligninolytic conditions, *Environmental Science and Pollution Research*, 28/44, 62390-62397 (2021/11) (IF4.223)
- Gahyeon Kim, Jinmyeong Kim, Soo Min Kim, Tatsuya Kato, Jinho Yoon, Seungwoo Noh, Enoch Y. Park, Chulhwan Park, Taek Lee, Jeong-Woo Choi, Fabrication of MERS-Nanovesicle Biosensor Composed of Multi-functional DNA Aptamer/Graphene-MoS₂ Nanocomposite Based on Electrochemical and Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 352/, 131060 (2021/11) (IF7.46)
- Arata Kato, Mineo Takai, Susumu Ishihara, WiNE-Tap: Wireless LAN Emulator with Wireless Network TAP Devices, *Ad Hoc Networks*, (2021/12) (IF4.111)
- Yuanbo Liu, Guoyu Qiu, Hongsheng Zhang, Yonghui Yang, Yinsheng Zhang, Quan Wang, et al., Shifting from homogeneous to heterogeneous surfaces in estimating terrestrial evapotranspiration: Review and perspectives, *Science China Earth Sciences*, 65/, 197-214 (2021/12) (IF4.368)
- Masaki Shintani, Haruo Suzuki, Hideaki Nojiri, Masato Suzuki, Precise classification of antimicrobial resistance-associated IncP-2 megaplasms for molecular epidemiological studies on *Pseudomonas* species, *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, in press/ (2022/01) (IF5.79)
- Jun Takeuchi, Saya Mimura, Toshiyuki Ohnishi, Yasushi Todoroki, Photostable abscisic acid agonists with a geometrically rigid cyclized side chain, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (2022/01) (IF5.279)
- Santiago Alonso-Gil, Kamil Parkan, Jakub Kaminský, Radek Pohl, Takatsugu Miyazaki, Unlocking the hydrolytic mechanism of GH92 α -1,2-mannosidases: computation inspires using C-glycosides as Michaelis complex mimics, *Chemistry – A European Journal*, (2022/01) (IF5.236)
- Gahyeon Kim, Jinmyeong Kim, Soo Min Kim, Tatsuya Kato, Jinho Yoon, Seungwoo Noh, Enoch Y. Park, Chulhwan Park, Taek Lee, Jeong-Woo Choi, Fabrication of MERS-nanovesicle biosensor composed of multi-functional DNA aptamer/graphene-MoS₂ nanocomposite based on electrochemical and surface-enhanced Raman spectroscopy, *Sensors and actuators. B, Chemical*, 352/, 131060- (2022/02) (IF7.46)
- Ojodomo J. Achadu, Njemuwa Nwaji, Dongkyu Lee, Jaebeom Lee, Eser M. Akinoglu, Michael Giersig, Enoch Y. Park, 3D hierarchically porous magnetic molybdenum trioxide@gold nanospheres as a nanogap-enhanced Raman scattering biosensor for SARS-CoV-2, *Nanoscale Advances*, 4/, 871-883 (2022/02) (IF4.553)
- Yuki Kodama, Sayuri Takeo, Junko Fujimoto, Kohei Sato, Nobuyuki Mase, Tetsuo Narumi, Synthesis and Structural Characterization of β -Turn Mimics Containing (Z)-Chloroalkene Dipeptide Isosteres, *The Journal of Organic Chemistry*, 87/, 2167-2177, (2022/02) (IF4.354)
- Quan Wang, Niken Andika Putri, Yi Gan, Guangman Song, Combining both spectral and textural indices for alleviating saturation problem in forest LAI estimation using Sentinel-2 data, *Geocarto International*, (2022/02) (IF4.889)
- Yuki Kimura, Tomohiro Ohkubo, Kosuke Shimizu, Yasuhiro Magata, Enoch Y. Park, Masakazu Hara, Inhibition of cryoaggregation of phospholipid liposomes by an Arabidopsis intrinsically disordered dehydrin and its K-segment, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 211/, 112286 (2022/03) (IF5.268)
- Marina Ikegaya, Toshio Moriya, Naruhiko Adachi, Masato Kawasaki, Enoch Y. Park, Takatsugu Miyazaki, Structural basis of the strict specificity of a bacterial GH31 α -1,3-glucosidase for nigerooligosaccharides, *Journal of Biological Chemistry*, (2022/03) (IF4.238)
- Guangman Song, Quan Wang, Developing Hyperspectral Indices for Assessing Seasonal Variations in the Ratio of Chlorophyll to Carotenoid in Deciduous Forests, *Remote Sensing*, 14/6, -, 1324, (2022/03) (IF4.848)

科研費 採択状況：継続（2022年3月31日時点）

石原 進 教授

- ・ 基盤研究 (B):「広域低速度無線通信とDTNを用いたセキュアな緊急情報配信技術の実証的研究」(代表) 2019～2022年度
- ・ 挑戦的研究(萌芽):「無線通信困難な地下空間でのドローン群活動のための高信頼無線ネットワーク技術の開発」(代表) 2021～2022年度

大西 利幸 教授

基盤研究 (C):「「香り」配糖体が司る開花制御メカニズムの解明」(代表) 2020～2022年度

加藤 竜也 教授

- ・ 基盤研究 (C):「フラビンタンパク質機能から紐解くAshbya gossypiiリボフラビン生産」(代表)2021～2023年度
- ・ 基盤研究 (A):「分子制御が可能な多抗原提示型ウイルス様粒子による蚊媒介感染症のワクチン開発」(分担)2020～2023年度
- ・ 国際共同研究強化 (B):「蚊媒介性ウイルス疾患の診断に向けた選択的かつ高感度多検体ウイルス検出技術の開発」(分担) 2020～2022年度

河岸 洋和 教授

特別推進研究:「フェアリー化合物の科学とその応用展開」(代表) 2020～2024年度

木村 浩之 教授

基盤研究 (B):「付加体の深部帯水層の地下温水と微生物群集を活用したメタン・水素生成リアクター」(代表) 2020～2023年度

轟 泰司 教授

基盤研究 (B):「新規アブシシン酸シグナル伝達機構の解明」(代表) 2018～2021年度

朴 龍洙 教授

- ・ 基盤研究 (A):「分子制御が可能な多抗原提示型ウイルス様粒子による蚊媒介感染症のワクチン開発」(代表) 2020～2023年度
- ・ 国際共同研究強化(B)「蚊媒介性ウイルス疾患の診断に向けた選択的かつ高感度多検体ウイルス検出技術の開発」(代表) 2020～2022年度

原 正和 教授

- ・ 基盤研究 (B):「超低温保存が可能な種子における天然変性蛋白質の卓越した保護活性の分子機構」(代表) 2018～2022年度
- ・ 挑戦的研究(萌芽):「植物の超低温生存力を支える蛋白質の機能を利用した革新的保存技術に関する研究」(代表) 2019～2021年度

平井 浩文 教授

- ・ 基盤研究 (A):「白色腐朽菌の環境汚染物質代謝能の意義解明及び汚染環境浄化への発展的応用」(代表) 2021～2024年度
- ・ 挑戦的研究(萌芽):「白色腐朽菌を用いたリグニン由来フェノール類高産生技術の確立」(代表) 2020～2021年度

二又 裕之 教授

- ・ 基盤研究 (B):「微生物制御の新展開：電気的代謝スイッチング制御機構の解明」(代表) 2021～2023年度
- ・ 挑戦的研究(萌芽):「微生物生態系のシステム崩壊と再安定化機構の解明」(代表) 2019～2021年度

間瀬 暢之 教授

基盤研究 (B):「ファインバブルによるグリーンものづくり：原理原則の解明から合成プロセス開発まで」(代表) 2021～2023年度

松井 信准 教授

- ・ 基盤研究 (A):「半導体レーザー維持プラズマの高効率化機構の解明と宇宙推進機への応用」(代表) 2018～2021年度
- ・ 挑戦的研究(萌芽):「超高感度マルチパスレーザーヘテロ干渉計の開発と衝撃波前方プリカーサ現象の解明」(代表) 2021～2023年度

峰野 博史 教授

- ・ 基盤研究 (A):「概日リズムの攪乱に由来する植物生育不安定性とノンパラメトリック栽培環境最適化」(分担) 2020～2023年度

本橋 令子 教授

- ・ 新学術領域研究(研究領域提案型):「ヤボネシア人とサトイモの来た道」(代表) 2021～2022年度
- ・ 基盤研究 (C):「高感度フォトン検出技術を用いた植物の環境日変動応答の解明」(代表) 2020～2022年度
- ・ 基盤研究 (B):「カンキツ果実における「回青」現象の発生機構の解明」(分担) 2020～2022年度

王 権 教授

基盤研究 (B):「植物生理活性の動的変化をトレース可能な放射伝達モデルの開発と生態系機能評価」(代表) 2021～2024年度

科研費 採択状況：継続（2022年3月31日時点）

朝間 淳一 准教授

- ・ 基盤研究 (B):「非対称構造を有するヘアリングレスモータの設計手法確立とインテリジェント化」(代表) 2020～2022年度
- ・ 基盤研究 (B):「ヘアリングレスモータにおけるアーンショウの定理の限界の探索」(分担) 2019～2021年度
- ・ 基盤研究 (B):「ヘアリングレスモータの磁気支持損失発生メカニズムの解明と高効率駆動システムの開発」(分担) 2020～2022年度

加藤 知香 准教授

- ・ 基盤研究 (B):「白金ナノ構造の超強度化による凝集抑制技術の確立と省エネルギー化社会への展開」(代表)2019～2023年度

狩野 芳伸 准教授

- ・ 挑戦的研究(開拓):「脳科学・認知科学による人間に近いモデルに基づく日本語話し言葉解析器の構築と検証」(代表)
2021～2023年度
- ・ 基盤研究 (S):「裁判過程における人工知能による高次推論支援」(分担) 2017～2021年度
- ・ 挑戦的研究(開拓):「自然言語処理技術を用いた日英仏議会テキスト解析による国会の特質・変異性の解明」(分担) 2020～2023年度

新谷 政己 教授

- ・ 基盤研究 (B):「細菌の多様性を生み出す遺伝子の伝播を真に担うプラスミドの同定とその伝播の実態解明」(代表) 2019～2021年度
- ・ 国際共同研究強化(B):「亜寒帯・温帯・熱帯植物の「植物体圏」におけるプラスミドの伝播現象の実態解明」(代表) 2020～2023年度
- ・ 新学術領域研究(研究領域提案型):「微生物間相互作用が解き明かすポストコホ微生物機能」(分担) 2019～2023年度

崔 宰燾 准教授

- ・ 基盤研究 (B):「細菌の多様性を生み出す遺伝子の伝播を真に担うプラスミドの同定とその伝播の実態解明」(代表) 2019～2021年度
- ・ 基盤研究 (C):「スギヒラタケの急性脳症事件の分子機構全容解明とその応用展開」(分担) 2019～2021年度

道羅 英夫 准教授

- ・ 基盤研究 (C):「冬虫夏草類の子実体形成と二次代謝を制御する分子機構の解明」(代表) 2021～2023年度
- ・ 基盤研究 (C):「代謝物を介した土壌での多糖分解微生物の共存機構の解明と微生物制御への利用」(分担) 2021～2023年度
- ・ 基盤研究 (C):「マナマコ内臓放出-横切断からの再生における再生芽形成と器官形成の分子機構の解析」(分担) 2021～2023年度
- ・ 挑戦的研究(萌芽):「アールン病における子実体形成メカニズムの解明」(分担) 2019～2021年度

宗林 留美 准教授

- ・ 基盤研究 (B):「駿河湾の生物生産に対する富士山系地下水の化学的影響」(代表) 2019～2021年度
- ・ 基盤研究 (B):「海洋における菌類様原生生物の分布と生態系・有機物動態への寄与」(分担) 2019～2021年度

鳴海 哲夫 准教授

- ・ 新学術領域研究(研究領域提案型):「ユビキチン鎖の空間配向制御を指向したケモテクノロジーの開発」(代表) 2021～2022年度
- ・ 基盤研究 (B):「アルケン型ペプチド結合等価体の分子特性の解明と創薬応用」(代表) 2021～2022年度

宮崎 剛亜 助教

- ・ 若手研究:「ヒト型糖鎖生合成酵素と相同性を有する昆虫由来酵素群の構造機能相関解明と応用展開」(代表) 2019～2021年度
- ・ 基盤研究 (A):「分子制御が可能な多抗原提示型ウイルス様粒子による蚊媒介感染症のワクチン開発」(分担)2020～2023年度
- ・ 国際共同研究強化 (B):「蚊媒介性ウイルス疾患の診断に向けた選択的かつ高感度多検体ウイルス検出技術の開発」(分担)
2020～2022年度

兼崎 友特 任助教

- ・ 基盤研究 (C):「Serial transfer法による常温性藍藻の長期高温適応進化実験」(代表) 2021～2023年度
- ・ 基盤研究 (C):「中等度好熱菌に比肩する高温耐性を獲得した常温性シアノバクテリア適応進化株の解析」(代表)2018～2021年度

研究業績トピック

科研費以外の外部資金 採択状況：継続（2022年3月31日時点）

加藤 知香准教授

公益社団法人スズキ財団「精密構造化貴金属タングステートによる廃棄物系バイオマス燃料電池電極触媒への展開」(代表)

狩野 芳伸准教授

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)「イノベーション創発に資する人工知能基盤技術の創出と統合化」領域「精神医学×メディア解析技術による心の病の定量化・早期発見と社会サービスの創出」(分担)

河岸 洋和教授

武田科学振興財団「高等菌類からの医薬候補物質の探索とその作用機構解明」(代表)

呉 静特任助教

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (ACT-X)「高等菌類におけるホルモンの解明」(代表)

新谷 政己准教授

- 国立研究開発法人 日本医療研究開発機構(AMED)「自然環境中における細菌-プラスミド相互作用の網羅的解析」(分担)
- 国立研究開発法人 日本医療研究開発機構(AMED)「薬剤耐性菌を殺菌する広宿主域バイオリジクスの開発」(分担)

宗林 留美准教授

国土交通省「流況変化に対する河川-海洋沿岸生態系の応答：狩野川水系における解明と生態系保全策」(分担)

鳴海哲夫 准教授

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED)「NS2を標的とする新規C型肝炎ウイルス阻害剤の開発」(分担)

朴 龍洙教授

公益社団法人 スズキ財団「セルフパワー型ウイルスの好感度検出技術の開発」(代表)

二又 裕之教授

- 国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)「インド国河川における医薬品汚染と薬剤耐性微生物の動態評価」(代表)
- 国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST) CREST「独創的原理に基づく革新的光科学技術の創生」(分担)

富田 因則 教授

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST) 大学発新産業創出プログラムSTARTプロジェクト推進型SBIRフェーズ1支援「スマートゲノム育種に基づく気候危機・自動化農業に適合する頑健・多収植物開発によるプロセスイノベーション」(代表)

峰野 博史教授

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)「マルチモーダルフェノタイピングによる適応型情報協働栽培手法の確立」(代表)

本橋 令子教授

一般社団法人 ヤンマー資源循環支援機構「葉緑体関連物質を用いた昆虫忌避剤の開発」(代表)

特許出願 (2021年10月～2022年3月)

松井 信 准教授

「水素ガス製造方法および水素ガス製造装置」 出願番号：特願2021-200814 出願日：2021年12月10日

朴 龍洙 教授

「WS S Vワクチン」 出願番号：PCT/JP2022/001638 出願日：2022年1月18日

富田 因則教授

「Oryza sativa L. コシヒカリ駿河d63Gw」 出願番号：品種登録出願第36036号 出願日：2022年2月26日

「Oryza sativa L. コシヒカリ駿河Bms」 出願番号：品種登録出願第36135号 出願日：2022年3月28日

「Oryza sativa L. コシヒカリ駿河d65GwBms」 出願番号：品種登録出願第36136号 出願日：2022年3月28日

「Oryza sativa L. コシヒカリ駿河e1d65」 出願番号：品種登録出願第36160号 出願日：2022年3月29日

「Oryza sativa L. コシヒカリ駿河sd1Hd16」 出願番号：品種登録出願第36171号 出願日：2022年3月30日

「Oryza sativa L. コシヒカリ駿河d64Bms」 出願番号：品種登録出願第36197号 出願日：2022年3月31日

お問い合わせ先： 静岡大学 学術情報部研究協力課 研究支援係
〒422-8529 静岡市駿河区大谷836
TEL:054-238-4264/4902 Email:kenkyu2@adb.shizuoka.ac.jp
グリーン科学技術研究所HP：<https://green.shizuoka.ac.jp/>