

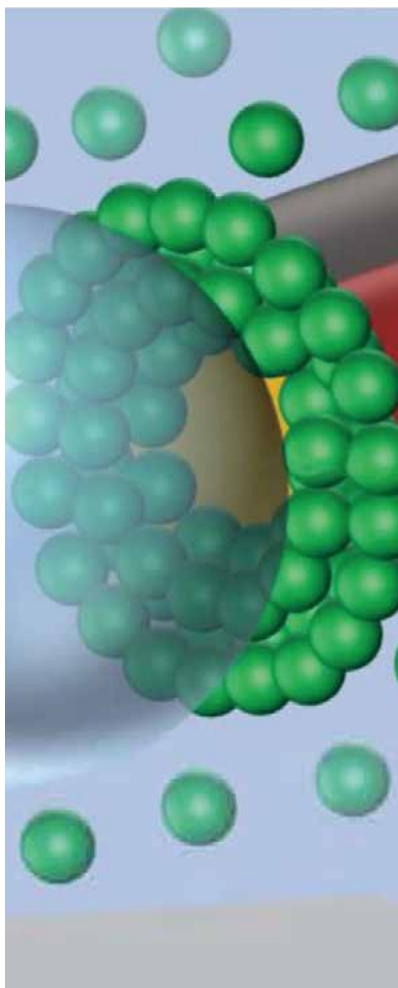


JST MIRAI Program

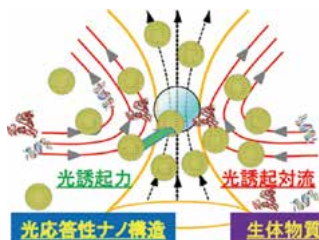
未来社会創造事業

探索加速型「共通基盤」領域 本格研究

低侵襲ハイスループット光濃縮システムの開発



光でミクロな物質を捕えて
ヒトと地球の「健康を守る」



研究開発代表者
飯田 琢也

大阪公立大学
大学院理学研究科/
LAC-SYS研究所
教授/所長



CONTENTS

01
未来社会創造事業とは

03
プロジェクト概要

05
研究開発成果の紹介

13
今後の展望



未	来	社	会
創	造	事	業
と	は		

未来社会創造事業では、社会・産業ニーズ(潜在的なニーズを含む)を踏まえ、経済・社会的にインパクトのあるターゲット(出口)を明確に見据えた技術的にチャレンジングな目標を設定し、戦略的創造研究推進事業や科学研究費助成事業等の有望な成果の活用を通じて、実用化が可能かどうか見極められる段階(概念実証/POC:Proof of Concept)を目指した研究開発を実施します。その研究開発において、斬新なアイデアの取り込み、事業化へのジャンプアップ等を柔軟かつ迅速に実施可能とするような研究開発運営を採用します。

本事業は異なる2つのアプローチ「探索加速型」と「大規模プロジェクト型」で構成されます。

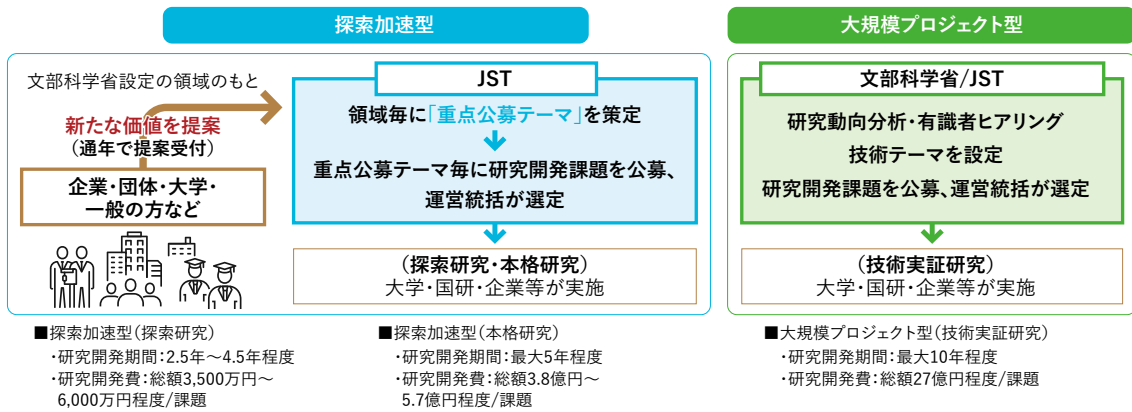
【探索加速型】

比較的小額の課題を多数採択(スモールスタート)する探索研究から、それらの課題を絞り込み、集中投資する本格研究へと段階的に研究開発を進めます。探索研究では、多くの斬新なアイデアを公募して取り入れ、本格研究に向けてアイデアの実現可能性を見極めるための研究開発を行います。探索研究から本格研究への移行時や、本格研究実施期間中において、ステージゲート評価を実施し研究開発課題を絞り込むことで、最適な研究開発課題を編成します。

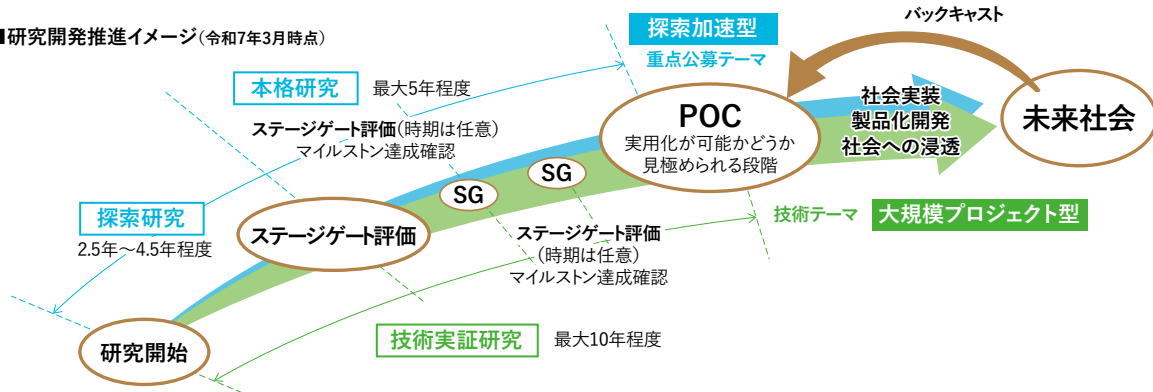
【大規模プロジェクト型】

科学技術イノベーションに関する情報を収集・分析し、現在の技術体系を変え、将来の基盤技術となるよう文部科学省が特定した「技術テーマ」に係る研究開発課題を公募し、集中的に投資します。

■事業概要図(令和7年3月時点)



■研究開発推進イメージ(令和7年3月時点)



「共通基盤」領域

「共通基盤」領域は、新たな学際領域を切り拓き、世界最先端の研究成果をもたらす基盤として我が国の基礎科学力を支え、持続的な科学技術イノベーションの創出に貢

献する、広範で多様な研究開発活動を支える共通基盤技術や先端的な研究機器などを対象とします。

重点公募テーマ

革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現

研究現場は将来の社会に大きなインパクトをもたらす革新的な「知」や飛躍的な製品を創出する源泉です。一方で、研究開発の活力を示す指標の1つである論文生産数は、中国における科学技術イノベーション政策の一層の推進、その他新興国の台頭、日本の少子化など、社会構造の変化などを背景にここ数年伸び悩んでおり、日本の研究力の低下を懸念する声もあがっています。日本の研究力向上に基礎科学力の強化が不可欠であり、研究現場をより活性化する仕掛けとして、社会ニーズに直接応える研究のみならず、研究現場のニーズに応えることによって研究力を高めるための活動についても着実に推進する必要があ

ります。

これを促すべく、本重点公募テーマの下、①ハイリスク・ハイインパクトで先端的な計測分析技術・機器などの開発、②データ解析・処理技術等のアプリケーション開発やシステム化、③研究現場の生産性向上等に資する技術の開発を重視し、日本の研究力・産業競争力強化への貢献を目指します。また、システム・装置化を目指す研究に加え、昨今応用展開が急速に進展している数理解析・数理工学に立脚した数理解析・シミュレーション等の高度化により、時間・空間分解能、スループット等の飛躍的な向上を図ります。

光でマイクロな物質を捕えて ヒトと地球の「健康を守る」

光のエネルギーを利用した光濃縮は、迅速かつ高感度に、細胞や細菌および、たんぱく質、核酸などの生体分子を、機能保持したまま捕えることができる技術だ。がんや認知症、感染症など、早期発見と早期治療がその後を左右する疾患の新しい検査法の開発、創薬への活用や、環境、食品などさまざまな分野で我々の生活、健康を守る技術として、実用化が期待される。



飯田 琢也 Takuya IIDA

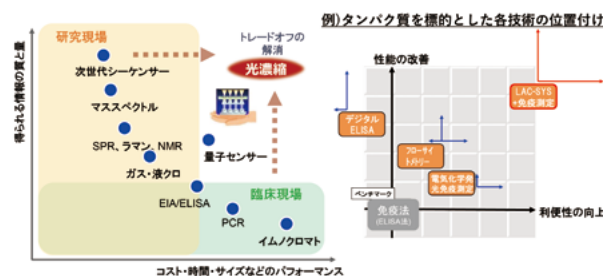
Profile

大阪公立大学 大学院理学研究科 教授 /
LAC-SYS研究所 所長
2018年より未来社会創造事業研究開発代表者



背景

近年、腫瘍学の領域では、がん患者の病態を正確に把握し、治療計画などに反映させる精密医療への流れが加速しており、治療薬開発とともに微量のバイオマーカーを検出する優れた検査方法の開発の重要性が高まっている。また、がんだけでなく、認知症、微生物感染症など多くの疾患の早期診断法の1つとして、抗原抗体反応に基づく検査法による微量たんぱく質の分析が重要な役割を果たしている。しかし、従来の検出法では、数時間の超遠心分離を含めた工程や、複雑な前処理が必要であるなど、特に費用や効率の点で大きな問題があった。



光濃縮による反応加速がもたらす分析技術の革新
—たんぱく質を標的とした各技術の位置付け—



実現したい未来社会

本プロジェクトにより、困難であったがんや認知症の早期診断・早期治療が可能になるとともに、期待が高まる精密医療への貢献が想定される。「光濃縮」技術の適用先は医療に留まらず、食品検査(食中毒菌、ウイルス検査)、環境計測(環境DNA・RNA、マイクロプラスチック)など幅広い産業分野への展開が可能となる。また、本技術の展開により、従来、専用の施設で実施されていた医療・食品・環境計測が、簡単な装置を用いてどこでも実施可能になり、例えば、医療分野での実装により未病段階で超早期検査・診断・治療の実現、超早期診断法の構築に貢献する。さらに、汎用型光濃縮システム開発により微生物検出や環境負荷物質の検出に応用し、食品検査や環境計測の新機軸構築を目指す。本プロジェクトは乳幼児から高齢者まであらゆる世代の人々が、安全な食の確保、がんや新型コロナ

ウイルス感染症をはじめとする感染症、認知症などに苦しむことのない健康長寿社会の実現を見据えている。

実現したい未来社会像 (Vision of future society to be realized)

これまで見えなかった分子を光濃縮で見つけ、助からない命を救う!!!
「未病段階で超早期検査・診断・治療」を実現、高齢者から乳幼児までが、がんや感染症(新型コロナなど)、認知症、食糧難におびえず、健康長寿社会を実現



分散型都市での医療・食品・環境計測インフラ基盤提供

- ポータブルにどこでも手軽・迅速に検査・診断
診療所・薬局で「その場」診断 / 自宅で検査、リモート診療
- 飲食物の出荷前およびオンサイト品質検査
飲食店、スーパーへの出荷前検査、「その場」検査の迅速化、産地検査の迅速化



研究概要

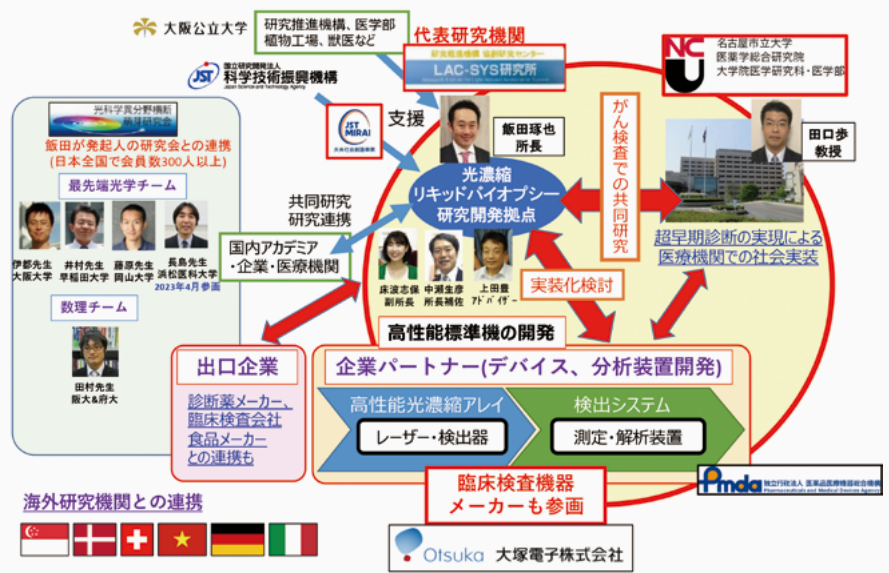
探索研究では、光で発生する圧力と、光で発生する熱による対流の相乗効果を最大限に発現する光応答性材料を含むシステムの開発を行った。光による生体サンプルへのダメージを極限まで抑制して高濃縮する新原理を発見し、迅速・高感度・簡便に微量のバイオマーカーを検出する革新的な検査法を実現した。

本格研究では、医療の応用例としてリキッドバイオプシーに適用し、「ELISA法」などの100マイクロリットル以上のサンプル量を必要とする従来検量法に対して、わずか数マイクロ

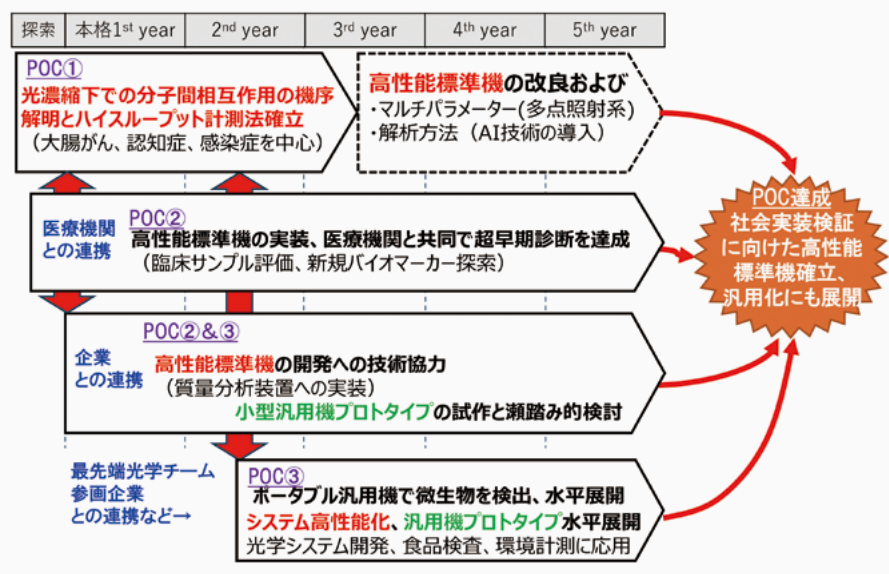
リットルの検体量で検査感度、および速度について100倍もの向上を目指した。これにより、従来は十分な解析技術を持った研究室でしか扱えなかったピコグラムからフェトグラムという極めて低濃度の重要な生体マーカーの検出と臨床現場での検出を可能とした。

これらの成果は、がん、認知症、感染症などの医療検査、食品中のウイルス検査、環境中の有毒ナノ粒子の検出など幅広い分野での水平展開が期待できる。

研究開発体制



研究開発の流れとPOC



研	究	Introduction of research and development results	
開	発	成	果
の	紹	介	



飯田 琢也
Takuya IIDA

大阪公立大学
大学院理学研究科 教授／
LAC-SYS研究所 所長

光濃縮技術を確立 研究所設立し社会実装へ

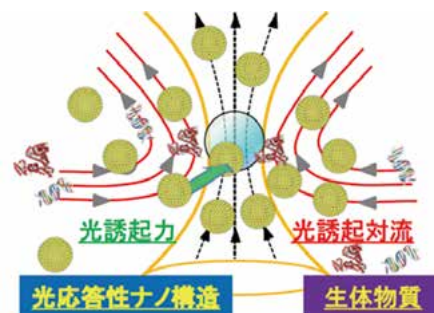
生体サンプルを傷めず高濃縮する

物質を観察するには、そのものを捕まえる必要があるが、手や道具を使っても非常に小さな物質は捕まえられないことがある。そこで生まれたのが、光で物質を捕まえる「光ピンセット」という技術だ。物質に光を照射すると、光のもつエネルギーが物質に伝わり、光圧(光誘起力)が生じることを利用して細胞などの物質を捕捉するもので、開発したアーサー・アシュキン博士は、2018年にノーベル物理学を受賞している。具体的には、レーザー光を光の波長と同程度の回折限界まで集光することにより、発生する光の圧力を高め、光誘起力で細胞など数マイクロメートル以下の小さな粒子を捕えて操作する。少数の細胞を対象とした精密計測には向いているが、多数の細胞を迅速に捕捉することは困難だった。

飯田教授らは、この光ピンセットに着想を得て、光誘起力で捉えた金属ナノ粒子の集合体を光熱源とし、その周りに発生した対流により運ばれてきた粒子や微量のたんぱく質を、同時に発生したバブルと基板の間に集積するという光濃縮の原理を世界で初めて実証した。作用範囲が数ミリメートルに広がったことで、ナノ・マイクロ物質の捕捉数は格段に向上し、誘導・濃縮・高密度集積が可能になった。

例えば、従来の分析方法で乳酸菌などの細菌を検出する場合、生体サンプルに含まれるシグナル伝達分子の濃度が低すぎるため、人工的に培養して細菌数を増やしたり、遺伝子操作で発光するようにした細菌を使うなどの前処理が必要だった。しかし、この光濃縮技術を応用することで、前処理なしに乳酸菌を生きたまま高密度で集積して、検出することができる。この技術では細菌やウイルスなどの微生物、DNAやたんぱく質などの分子の高濃縮も容易になった。

また、高濃縮した物質の動きを制御したり、反応を加速したりすることで、さまざまな分野への活用が考えられる。飯田教授らは、この光濃縮を活用したシステムを、Light-induced Acceleration Systemの頭文字と「楽に生体サンプルを光制御・検出するシステム」という意味を関連付けて「LAC-SYS(ラクシス)」と名付け、技術の確立と社会実装の可能性を研究している。2017年には、飯田教授を所長としてLAC-SYS研究所を設立。専門領域の異なるさまざまな研究者が知恵を出し合い、痛みを伴わない高速・高感度な光濃縮検査技術を使った低侵襲ハイスルーブット光濃縮システムの開発と、検査方法が簡便で高効率な検査装置の実現などをメインテーマに、幅広く研究を進めている。



光濃縮の基本メカニズムの概念図

**疾患の早期発見法を確立し
医療現場への実装を目指す**



田口 歩
Ayumu TAGUCHI

名古屋市立大学
医薬学総合研究院
大学院医学研究科
医学部 教授



長島 優
Yu NAGASHIMA

浜松医科大学
光医学総合研究所
光トランスレーショナル
リサーチ推進部門
光生体医学分野
教授

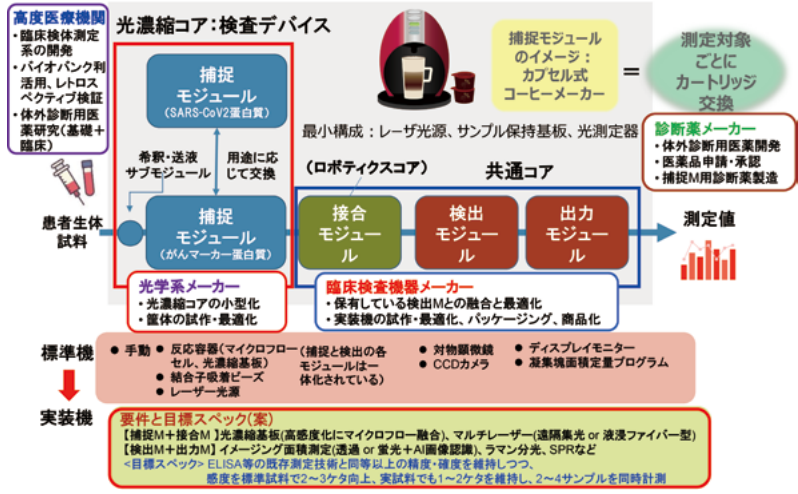
がんマーカーを短時間、高感度で計測可能に

がんの早期発見分野では、がん細胞から分泌されるナノ粒子が疾患マーカーとして注目されている。だが、従来法での検出には、超遠心分離で3~4時間かけて不純物などを除去する必要がある。がん細胞由来のナノ粒子である細胞外小胞(EV)と抗体修飾ビーズの反応をマイクロ流路の中でレーザー光照射により光の力で加速させ、得られた集積体の立体構造を共焦点光学システムで解析。その結果、わずか数百ナノリットルのサンプル中に含まれる約1,000個のEVを5分以内に計測する事に成功した。従来の質量分析によるEVの検出感度の実に100~1,000倍という高感度で、

時間も大幅に短縮することが可能となった。この方法を用いて、大腸がん細胞と肺がん細胞から分泌されるナノサイズEVの計測方法を確立した。

また、新規バイオマーカーや治療標的の探索同定・解析と大腸がん診断マーカーの開発などを行っている名古屋市立大学の田口歩教授とも研究を進めている。プロテオーム解析技術の進歩は目覚ましく、血液中に極微量しか存在しないたんぱく質の網羅的なプロファイリングが可能になる一方で、有望な極微量の血液バイオマーカーを高感度に検出できるアッセイが存在していないことにもどかしい思いを抱えていた田口教授にとって、光濃縮はまさに求めていたアッセイプラットフォームだった。

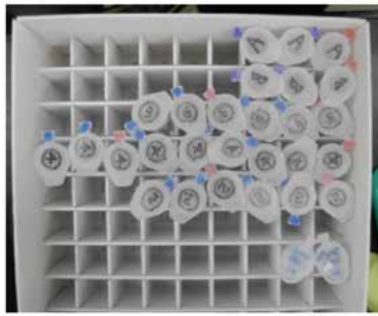
思い切ってプロジェクトに参画することを決め、がんの超早期診断の実現に向けて光濃縮による超早期診断に向けた研究開発に取り組んだ。まずは、飯田Gとマイクロフロー型光濃縮システム用に最適化された検査キットを共同開発し(飯田G高木裕美子特任研究員が共同研究の主担当)、そして、参画企業の大塚電子株式会社(大阪府枚方市)との共同研究で開発した小型光濃縮システムと解析ソフトウェアを融合して、Minimum Valuable Product(MVP)の構築を実現。大腸がんマーカーたんぱく質の高感度計測の大幅な時間短縮に成功した。光濃縮はたんぱく質だけでなく、自己抗体、エクソソーム、核酸など、様々な物質を同じプラットフォームで計れる。がんの早期発見においてはこれが大きな強みとなると田口教授は語る。「例えば優れたマーカーであることはわかっているが、単独では早期診断には使えず、DNAやたんぱく質など、感度、特異度が異なる物質をそれぞれに計ってパネルで総合的に診断しています。これらのマーカーを同一プラットフォームで、ハイスループットに計れる光濃縮は、大変魅力的ですね」。



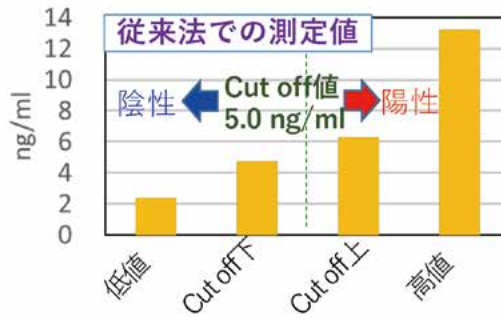
LAC-SYSのデバイスコンセプトと社会実装に向けた産学医の体制



マイクロフロー型光濃縮システムの MVP 機



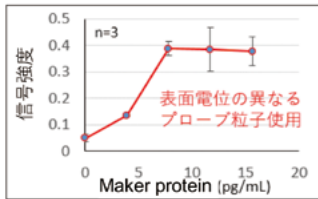
光濃縮による超早期診断法の開発(大腸がんマーカー)



マーカーの例

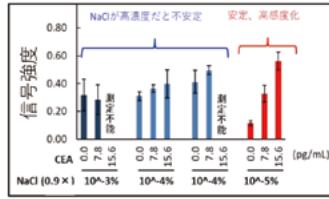


(A) ビーズの表面電位を調整

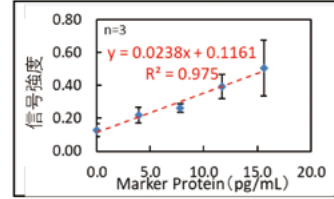


ビーズの種類を変更、抗体修飾ビーズ分散液組成の調整 (pH、電解質濃度、ブロッキング剤など)、品質管理徹底

(B) 希釈バッファー中の塩濃度を調整



(C) サイズの異なるビーズを少量混合



大ビーズと小ビーズの混合比を調整、信号増大、直線性向上、範囲拡大

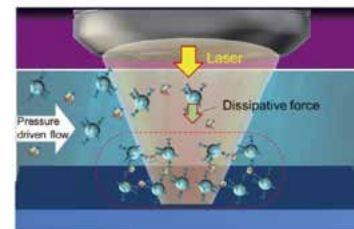
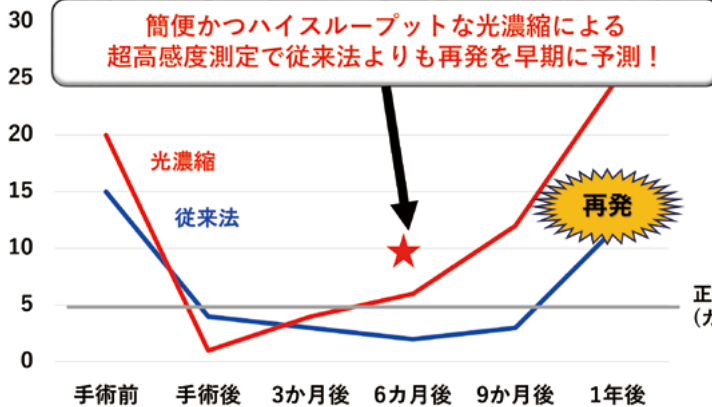


マーカー濃度: 2.4, 4.7, 6.3, 13.2 pg/mL (A~D)

血漿に(A)を適用



大腸がん用光濃縮リキッドバイオプシー検査キットの開発。従来のELISAの検出限界である約数十〜百 pg/mLより1〜2桁高感度を実現(国際特許出願済み)。



数μLの血漿から5分で検出

大腸がんマーカーの術後モニタリング初期データの取得に成功し、従来法では測れないカットオフ値以下の濃度範囲で光濃縮計測により上昇傾向を確認した。

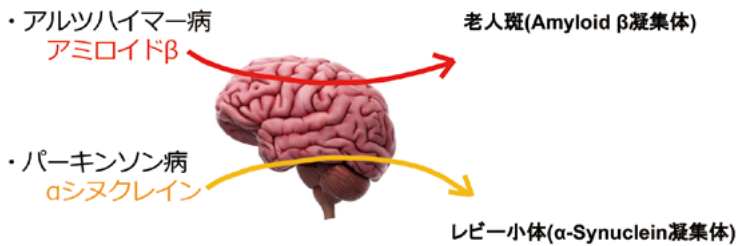
認知症の早期発見・早期治療への貢献

厚生労働省が公表した「認知症および軽度認知障害(MCI)の高齢者数と有病率の将来推計」によれば、2022年の認知症・MCI(軽度認知障害)の高齢者数は合計で約1,000万人を超え、65歳以上の約3.6人に1人が認知症もしくは軽度認知障害の予備軍だという。65歳以上のアルツハイマー型認知症患者にかかる医療費が1.1兆円、介護費が4.8兆円との試算もあり、その検査や治療・介護にかかる費用などの国民負担は今後さらに加速すると予測されている。治療法としては、近年、アルツハイマー病で脳に沈着するアミロイドβを除去する薬剤が上市されるなど、進歩が見られる。これら疾患修飾薬の適正な使用や治療効果判定を行うた

めに、新たな検査法の開発は喫緊の課題だ。

ここにも、光濃縮技術の応用が進められている。浜松医科大学の長島優教授は、500ナノメートルという極小でお椀のような構造を持つナノボウル光濃縮基板(床波G-飯田Gで共同開発)を用いて、レビー小体型認知症のバイオマーカーであるαシヌクレインの凝集体検出に成功した。検出に要する時間は、約5分。この方法が実用化されれば、従来法では数日かかる検査期間が大幅に短縮され、認知症患者の早期発見に資することが期待される。また、αシヌクレインの凝集体状態などをデータベース化することで、AIによって認知症のリスクのある人を抽出して治療につなげる取り組みも進めている。

神経変性疾患：アミロイド原生タンパク質が脳に凝集・沈着

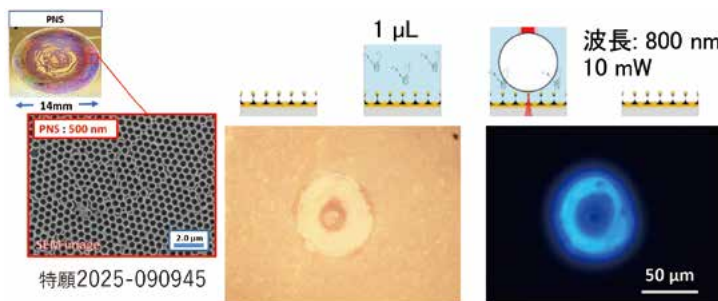


神経変性疾患の概要

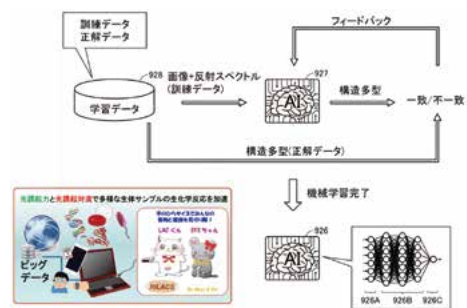
目的：光濃縮システムを用いた高感度アミロイド検出技術の開発
→バイオマーカーとなるアミロイドの血液中での高感度・低コスト・簡便な検出、病態の理解



光濃縮の認知症研究への応用、分光学的手法に立脚



光濃縮の認知症早期診断への応用。ナノボウル光濃縮基板により、レビー小体型認知症マーカーの光凝集加速に成功し、検査に要する時間を数日から数分へと大幅に短縮した。



光濃縮 DXによるコホートの病態解明の流れ

食品・環境の検査へ応用
エネルギー分野への展開も視野に



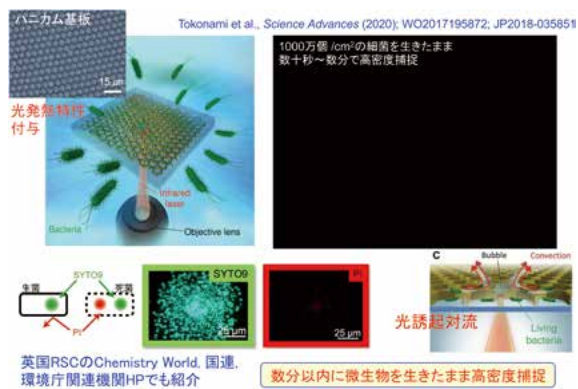
床波 志保
Shiho TOKONAMI

大阪公立大学
大学院工学研究科
教授／
LAC-SYS研究所
副所長

ハニカム基板で迅速に微量の細菌を検出

光濃縮技術は医療分野だけでなく、食品や環境等の分野での検査への応用も期待されている。細菌を生きたままの状態では基板上に高密度集積することができれば、検出だけでなく、細菌の代謝機構の基礎的評価や、有用細菌の応用研究などにも役立つ。大阪公立大学の床波志保教授らのグループは、細菌などの生体サンプルにダメージを与えずにレーザー照射で生きたまま高濃縮できる機構の研究を進めた。開発にあたり、自然界で最も稠密な六方最密構造を示すハニカム構造と外場による細菌捕捉技術から着想を得て、ミクロンオーダーの細菌に適合したサイズの細孔を有する「ハニカム型光濃縮基板」(ハニカム基板)の開発に成功した。

従来は、細菌を検出する場合、検出可能な濃度まで細菌を増やすために、培養に数日以上時間を要した。しかし、ハニカム基板を使った光濃縮技術を使えば、抗体を修飾したハニカム基板に光レーザー照射するだけで、細菌を凝集させることができる。所要時間は、7分程度だ。床波教授らはこの技術を用いて、リンゴジュースや牛ミンチ肉の肉汁などを測定。不純物など存在下でも数分以内に高感度・選



レーザー照射による細菌捕捉

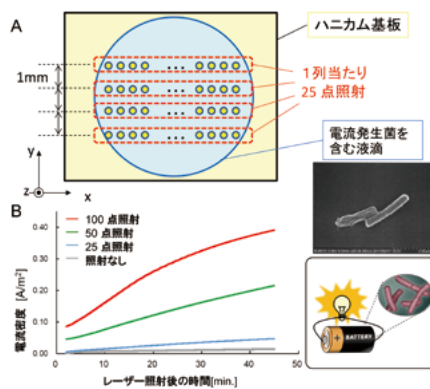
択的に細菌の検出が可能であることを確認した。この技術の社会実装が実現すれば、大規模な食中毒などの場合にも、即座に検査と対応が可能になる。また、食品工場の出荷前検査に活用すれば、食中毒の防止やフードロスの削減にもつながり、大きなメリットが期待される。

このハニカム基板による光濃縮技術は、NEDO若サボ事業にも発展し、未来エネルギーの開発分野でも研究が進められている。自然界には、「電流発生菌」という有機物を分解するときに細胞外に電子を放出する性質を持つ微生物が存在する。つまり、有機物の供給によって電気をつくることのできる微生物だ。この電流発生菌は、微生物燃料電池への応用が期待されているが、発電量がごく小さいことやコスト面などのさまざまな課題があり、実用化には至っていない。床波教授らは、ハニカム基板を使って電流発生菌を濃縮し、効率的に電子を取得することを目指す研究を進めている。

電流発生菌を光レーザー照射によりハニカム基板の電極の外側に捕捉。捕捉した電流発生菌は光レーザー照射停止後も捕捉され続けているのを確認した。ここに有機物を供給すると、電流発生菌が有機物を分解して電流が発生する。

ハニカム基板で作成した微生物燃料電池の動作実験では、最大約10 W/m²程度の非常に高い電力を得られることを確認した。この微生物燃料電池によりLED電球の点灯にも成功した。長期安定性も数か月単位で高出力の維持を確認している。

この技術の社会実装が実現すれば、汚水などの有機物からのエネルギー創出と下水処理が同時に行える、地球上に優しい未来エネルギーとなるだろう。床波教授は、「今後は、企業と共同研究を通じて、安定性を高めていくと同時に、電池セルの大面积化と積層化で高効率を目指したい」と語る。



逐次多点照射による電流発生菌の捕捉と電流密度増大

薬剤を光で濃縮し狙った細胞に輸送 DDS応用から新規創薬技術へ



中瀬 生彦
Ikuhiko NAKASE

大阪公立大学
大学院理学研究科
教授 /
LAC-SYS研究所
所長補佐

膜透過性ペプチドを局所に濃縮しアポトーシス誘発に成功

薬学分野でも、光濃縮技術への期待は高い。創薬研究を専門とする大阪公立大学の中瀬生彦教授は、ドラッグデリバリーシステム(DDS)に光濃縮技術を応用する研究を進めている。

DDSとは、薬剤を狙った細胞内に取り込ませることで効果を発揮させる仕組みのことである。例えば、がん細胞に抗がん薬が取り込まれる場合、細胞の表面がへこみ、最終的に細胞膜にボールのように包まれて細胞の中に入る。さらに、この薬がミトコンドリアで作用し薬効を発揮するためには、細胞膜で包まれたボールから解放されることが必要だ。この細胞内への取り込みと解放をいかに行うかは、創薬にとって重要な課題である。

中瀬教授らのグループは、光濃縮技術をDDSに活用するための研究を行っている。一般的に投入する薬剤の濃度を高めれば、薬剤は細胞内に導入されやすくなる。しかし、多量の薬剤投入では関係しない細胞へのダメージなど副作用のリスクが高まり、コストも高くなる。そこで、光濃縮技術を用いて局所に高濃縮することで、少ない薬剤量でも標的細胞に薬剤を導入しやすくなるという狙いだ。

中瀬教授らは、ミトコンドリアを赤く染める試薬(MitoTracker)を使って、光濃縮技術による薬剤の集積促進を確認した。細胞内のミトコンドリアを赤く染めるには、通常は500nMの試薬が必要となる。しかし、光濃縮技術を使うと、100分の1の5nMでミトコンドリアを赤

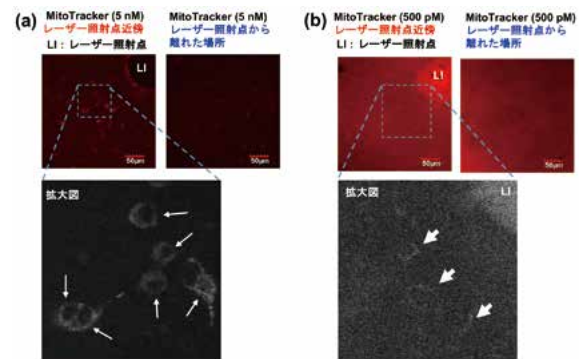


細胞内導入の光誘導加速の概念図
Nakase et al., DOI:10.1021/acs.nanolett.2c02437, Fig.1 is licensed under CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

く染めることが確認できた。さらに条件を変えることで1,000分の1の500pMまで濃度を落としてもミトコンドリアを染めることができた。

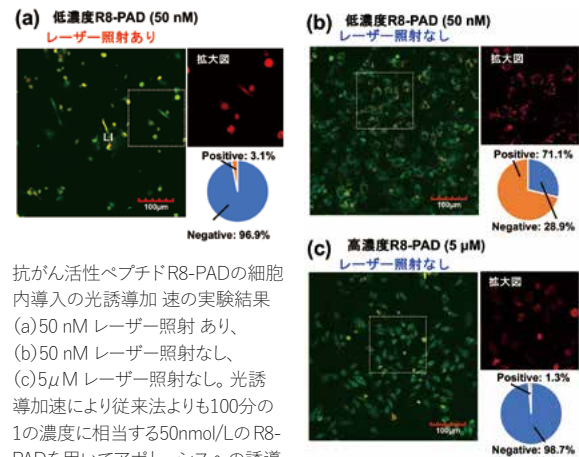
加えて、膜透過性ペプチドを光濃縮技術によって局所に濃縮させることで、標的細胞内への導入にも成功した。この膜透過性ペプチドに届けたい薬剤を乗せれば、標的細胞に運び入れることができる。中瀬教授らは、抗がん剤を乗せた抗がん活性ペプチドをがん細胞内に濃縮導入し、狙った細胞群の細胞死(アポトーシス)を誘発することに成功した。また、pH感受性膜融合ペプチドを使って、さらなる技術向上への研究も進めている。

「光濃縮とペプチドを組み合わせたDDSの研究を進めることで、少量の薬剤でも短時間で狙った細胞に効果的に導入することができ、高価な薬剤を無駄なく使うことができます。患者さんにとっても社会にとっても有意義な技術になると考えています」と中瀬教授。また、患者から細胞を取り出して、その細胞に遺伝子を導入して戻す *ex vivo* の基礎研究も進めており、これまでにない遺伝子治療の実現が期待される。



低濃度のミトコンドリア検出試薬(MitoTracker)の細胞内導入の光誘導加速の実験結果
MitoTrackerの濃度(a)5nmol/L,(b)500pmol/L。自然の細胞内導入時に必要とされる500nmol/Lの1,000分の1の濃度である500pmol/Lでも光誘起パルス近傍の細胞内のミトコンドリアだけを選択的に染色できた。

Positive: 正常ミトコンドリア(生細胞)
Negative: 機能破綻ミトコンドリア(死細胞)



抗がん活性ペプチドR8-PADの細胞内導入の光誘導加速の実験結果
(a)50 nM レーザー照射あり、
(b)50 nM レーザー照射なし、
(c)5μM レーザー照射なし。光誘導加速により従来法よりも100分の1の濃度に相当する50nmol/LのR8-PADを用いてアポトーシスへの誘導に成功した。

スマート量子バイオフォトニクスの確立へ 基盤構築と応用研究に挑戦

最先端光学チームやセントラルラボを組織



伊都 将司
Syoji ITO

大阪大学
大学院基礎工学研究科
准教授



藤原 正澄
Masazumi
FUJIWARA

岡山大学
学術研究院
環境生命自然科学学域
教授



井村 考平
Kohei IMURA

早稲田大学
理工学術院
教授



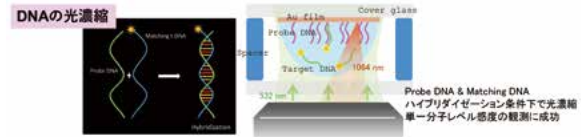
上田 豊
Yutaka UEDA

大阪公立大学
研究推進機構
協創研究センター
創薬科学研究所
特任教授／
LAC-SYS研究所
産学官連携アドバイザー

これらの光濃縮技術に関する基礎研究や応用研究は、さまざまな専門領域の研究者との共同研究に支えられている。その1つが最先端光学チームである。

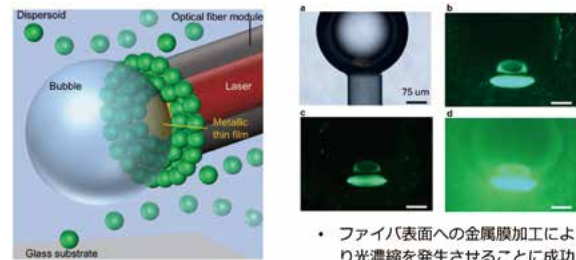
大阪大学の伊都将司准教授は、光濃縮下で単一分子がどのように動くかを観察して、DNAの二重らせん形成の機構解明を研究している。がんなどの疾患は遺伝子変異由来であり、DNAの二重らせん形成などの分子認識において

分子のサイズや形だけでなく、量子の働きが重要な役割を果たすことが明らかになりつつある。光濃縮下での単一分子分光によりDNAが二重鎖を形成するプロセスの評価を通じてこの課題に貢献した(飯田G豊内秀一特任講師が共同研究の主担当)。本プロジェクトはその解明の一助となることが期待される。



光濃縮環境下の分子認識の単一分子イメージング・追跡

光ファイバー技術の研究者である岡山大学の藤原正澄教授は、光ファイバーを使った遠隔地の水質モニタリングの方法などを研究している。この技術を使って、光濃縮試作機の光源部分に金薄膜をコーティングすることにより、光濃縮を発生させることに成功した(飯田G林康太特任助教が共同研究の主担当)。



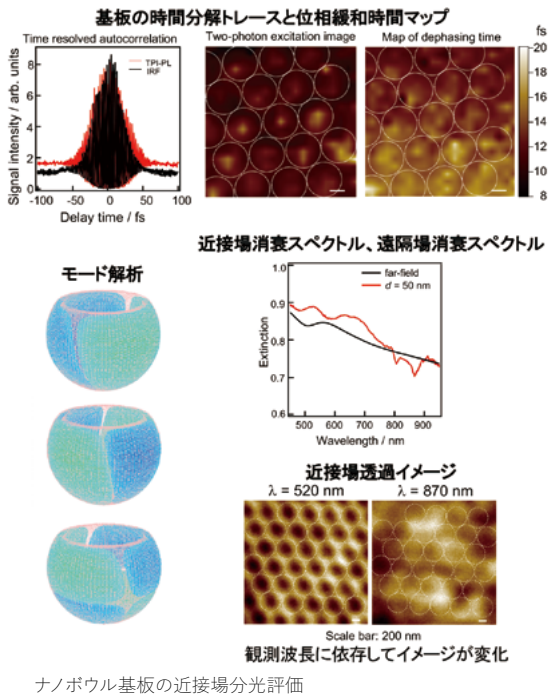
ファイバ型光濃縮デバイス

Hayashi et al., DOI:10.1038/s42005-025-02480-9, Fig.1(a) and Fig.2 are licensed under CC BY 4.0(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

早稲田大学の井村考平教授は独自の近接場分光技術を駆使し、床波G-飯田Gで共同開発したハニカム基板技術の一種であるナノボウル基板(飯田G叶田雅俊研究員が開発)の物性評価を推進し、光照射下で発生する熱の効果について電子やフォノン(格子振動)の相互作用や緩和プロセスにも注目した分光実験を行い、数理解析による物理機構の解明も進めている(飯田G田村守特任講師が担当)。

もう1つは、「スマート量子バイオフォトニクス」のセントラルラボへの展開だ。光濃縮がさまざまな技術に応用できる可能性を本プロジェクトでは示してきたが、今後はより光濃縮デジタルトランスフォーメーションにより、広範囲な分野で、これまで見えなかった情報を正確に迅速に取得あるいは提供できる体制の構築も目指している。

その最終目標は、各分野の研究成果を産学連携により社会実装に繋げることにある。そのためには企業と大学の密接な協力関係が求められる。産官学連携部門のアドバイ



ザーである大阪公立大学の田上豊特任教授は、企業と大学との共創を成功させるために重視していることを次のように語る。

「産学連携をコーディネートする上で、まず大切な事は、研究者との信頼関係を築くことです。研究を理解し、研究者にどのような価値を提供できるのか。その視点に立ち、研究者と向き合うことがプロジェクトを成功させる出発点となります」。

その上で社会実装を実現するには3つのステップがポイントとなるという。ステップ1は「社会実装の目標を明確にすること」で、研究者と企業の目標設定のイメージを明確に

すり合わせる。ステップ2は「リスクを軽減すること」。背景や事情、思惑が異なる中で進捗状況や方向性が見えにくくならないように、それぞれの活動を可視化・共有する仕組みを整える。そしてステップ3は、「プロジェクトに新たな展開をもたらすこと」。進行中のプロジェクトを単発で終わらせるのではなく、新たな接続点を多く作り出すことが重要だ。上田アドバイザーはこの3ステップを念頭に、ときには研究者と企業の間に入り、ときには研究者や企業に寄り添い、社会実装に向けてプロデュースを続けてきた。

また上田アドバイザーはこれに加えて、「研究を続ける上では、持続的な支援体制が重要です。特に光濃縮技術は幅広い分野に応用・活用が期待できる技術ですので、単発のファウンディングだけではなく、長期的なサポートが求められます。今回、未来社会創造事業の関わりは、単に支援・監査するだけでなく共に歩む姿勢で、私もいい経験になりました。こうした支援体制の継続が非常に大切です」と強調した。



光濃縮DXで「スマート量子バイオフォトリクス」のセントラルラボに展開

主な論文

- Takuya Iida*, Shota Hamatani, Yumiko Takagi, Kana Fujiwara, Mamoru Tamura, Shiho Tokonami*, Attogram-level light-induced antigen-antibody binding confined in microflow, Communications Biology, 5, 1053 (2022), DOI: 10.1038/s42003-022-03946-0
- Kana Fujiwara, Yumiko Takagi, Mamoru Tamura, Mika Omura, Kenta Morimoto, Ikuhiko Nakase*, Shiho Tokonami*, Takuya Iida*, Ultrafast sensitivity-controlled and specific detection of extracellular vesicles using optical force with antibody-modified microparticles in a microflow system, Nanoscale Horizons, 8, 1034-1042 (2023), DOI: 10.1039/d2nh00576j
- Masatoshi Kanoda, Kota Hayashi, Yumiko Takagi, Mamoru Tamura, Shiho Tokonami*, Takuya Iida*, High-throughput Light-induced Immunoassay with Milliwatt-level Laser under One-minute Optical Antibody-coating on Nanoparticle-imprinted Substrate, npj Biosensing 1, 1 (2024), DOI: 10.1038/s44328-024-00004-z
- Shuichi Toyouchi, Seiya Oomachi, Ryoma Hasegawa, Kota Hayashi, Yumiko Takagi, Mamoru Tamura, Shiho Tokonami*, Takuya Iida*, Single Nucleotide Polymorphism Highlighted via Heterogeneous Light-Induced Dissipative Structure, ACS Sensors, 10(2), 751-760 (2025), DOI: 10.1021/acssensors.4c02119
- Kota Hayashi, Mamoru Tamura, Masazumi Fujiwara, Shiho Tokonami*, Takuya Iida*, Highly efficient three-dimensional optical condensation of nano- and micro-particles using a gold-coated optical fibre module, Communications Physics, Accepted (2026), DOI: 10.1038/s42005-025-02480-9

主な特許

- 飯田琢也、床波志保、叶田雅俊「微小物体の集積方法、および、それを用いた微小物体の検出方法」PCT/JP2022/019417
- 飯田琢也、床波志保、高木裕美子、林康太、豊内秀一「被検出物質の検出方法および被検出物質の検出システム」PCT/JP2023/006708
- 飯田琢也、床波志保、林康太、藤原正澄「微小物体の濃縮方法、微小物体の濃縮キット、および、微小物体の濃縮システム」PCT/JP2023/006701
- 飯田琢也、床波志保、高木裕美子、中瀬生彦、田口歩「糖タンパク質を検出するためのキット」PCT/JP2023/018633

今後の展望

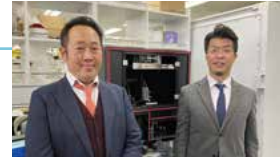
光濃縮技術は日常を変え、社会を変える

本プロジェクトの最終年度を迎える現時点で、当初の目標はほぼ達成されている。現在は、さらなる基礎研究に加え、社会実装の実現にも力を入れている段階だ。例えば、大腸がんマーカーたんぱく質のマイクロフロー光濃縮は、旅行カバン大の高性能標準機が作成され、ノートPC程度の小型試作機も構築され大阪・国際万博EXPO2025など国際展示会にも出展されている。

また、送液から光濃縮まで全自動で行うMVP(Minimum Valuable Product)機の開発も実装に向けて試作が進められ、2026年1月には名古屋市立大学医学研究科にMVP2号機が設置され臨床サンプルを用いた解析が進められている。光濃縮技術の医療現場への実装としては世界初となる。

将来、光濃縮の捕捉モジュールを測定対象ごとに簡便にカー

トリッジ交換できるような機器が実現できれば、我々の体内だけでなく、我々を取り巻くさまざまな物質を適切にモニタリングができるようになるだろう。光濃縮技術が私たちの日常を変え、ヒトも地球も守る技術となることを期待したい。



名古屋市立大学医学研究科へのMVP2号機設置時



「光濃縮医工計測エコシステム」メンバー



飯田 研究開発代表者より

物理・化学・生命科学の異分野横断の共同研究を推進し、光濃縮により多種多様な生化学反応を遠隔的に加速する次世代の光科学・量子科学の基盤技術である「光誘導加速システム(Light-induced Acceleration System; LAC-SYS)」を世界に先駆けて開発してきました。その中で、本プロジェクトでは特に医工連携を推進し、がんや認知症の早期発見につながる成果を上げることができました。今後は、得られた成果の臨床・研究現場への実装を進めるとともに、これまで見えなかった生体分子の情報を正確・迅速に取得・提供することで「未病状態の定量化・リスク計測」に貢献し、医療のみならず創薬、食品、環境のすべての分野の分析技術を革新していきます。

今後に期待すること



佐藤 孝明テーママネージャーより

本研究開発課題は、当初は別のプロジェクトに合流することを目的とした要素技術の枠で採択されました。この2枚の光濃縮基盤技術の提案書から始まったプロジェクトを、複数の大手企業やアカデミアとの連携を推進し、今では、本技術をコアとしたコンソーシアム構想に至るまで発展させました。

単純には濃縮出来ないたんぱく質をターゲットとし、理論物理学の研究者である飯田先生が、消化器がんの専門家である田口先生と、極めて挑戦的な分野横断的な共同研究を推進したことは大変意義のあることと考えます。現在は、光濃縮システムの試作機が名古屋市立大学医学部に設置され、臨床サンプルを用いた新たなバイオマーカーの探索が進んでいます。

今後は、本技術が臨床現場に速やかに実装され、がんや認知症の早期発見につながる事を期待します。

今後に期待すること

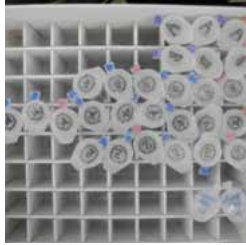
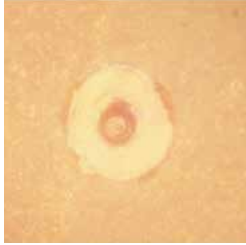


長我部 信行運営統括より

本研究開発課題は、基盤的な計測・分析技術の研究開発の一環として、光濃縮を用い、遺伝子やたんぱく質などを対象とするオミクス解析の高感度化・高速化を実現する機器の開発を目指すプロジェクトとして採択されました。

佐藤テーママネージャーによる医療機関との橋渡しと、大阪公立大学の全面的なサポートのもと、光濃縮システムとしてエンジニアリング可能なレベルまで光濃縮の原理解明を進めるとともに、差別化技術を明確にし、戦略的な特許化を進めました。この取り組みは、要素技術を社会実装につなぐモデルケースになると考えています。

今後は、本システムが目標とする標的物質のすべてに適用できるよう、光濃縮の学理構築をさらに深め、パートナー企業と共に研究現場への実装を進めて行くことを期待します。





国立研究開発法人科学技術振興機構
未来創造研究開発推進部

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's 五番町

TEL : 03-6272-4004

E-mail : kaikaku_mirai@jst.go.jp

WEB <https://www.jst.go.jp/mirai/jp/>



X https://x.com/JST_mirai



発行：令和8年3月