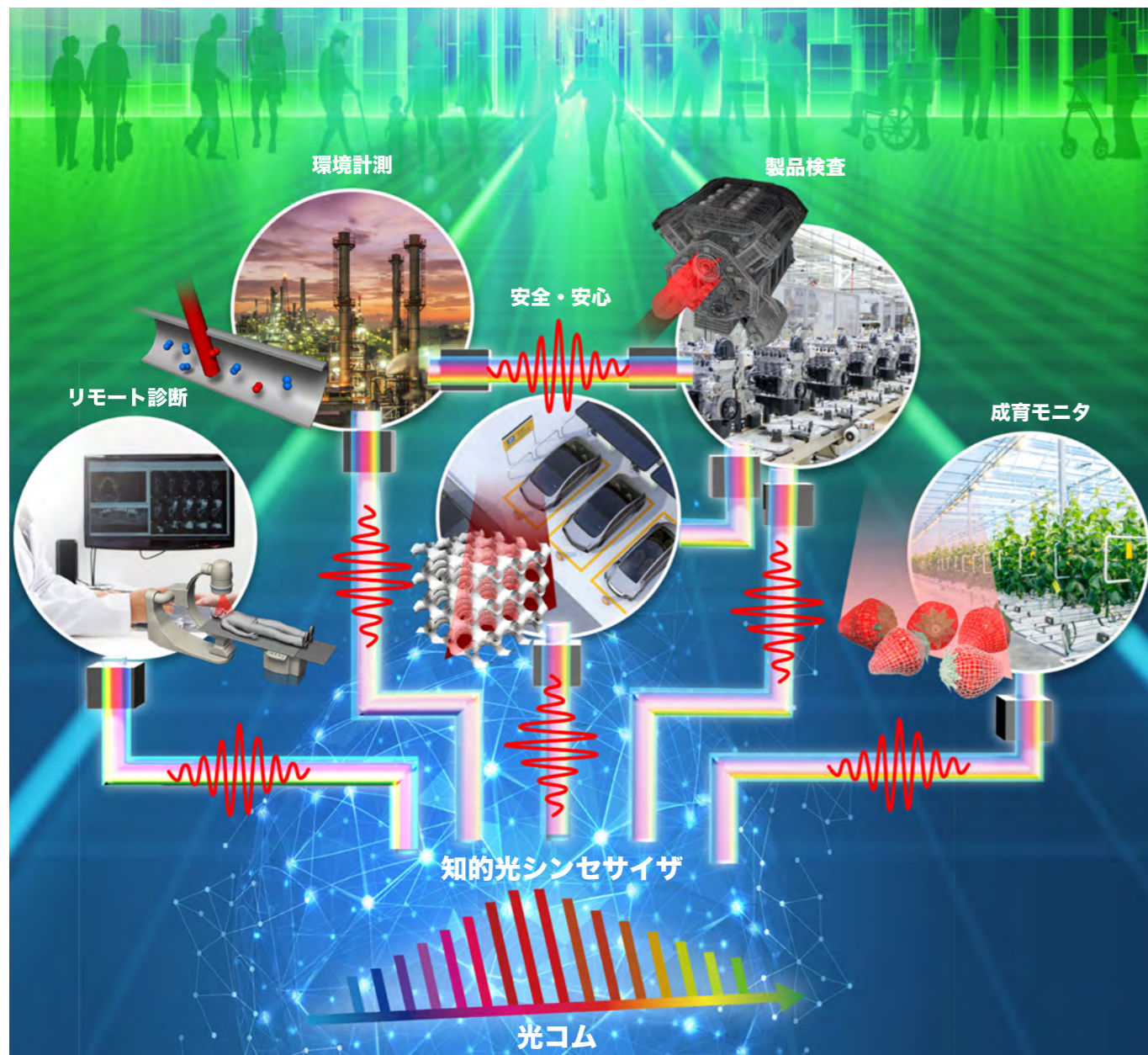


知的光シンセサイザの拓く世界



美濃島知的光シンセサイザプロジェクト

お問い合わせ

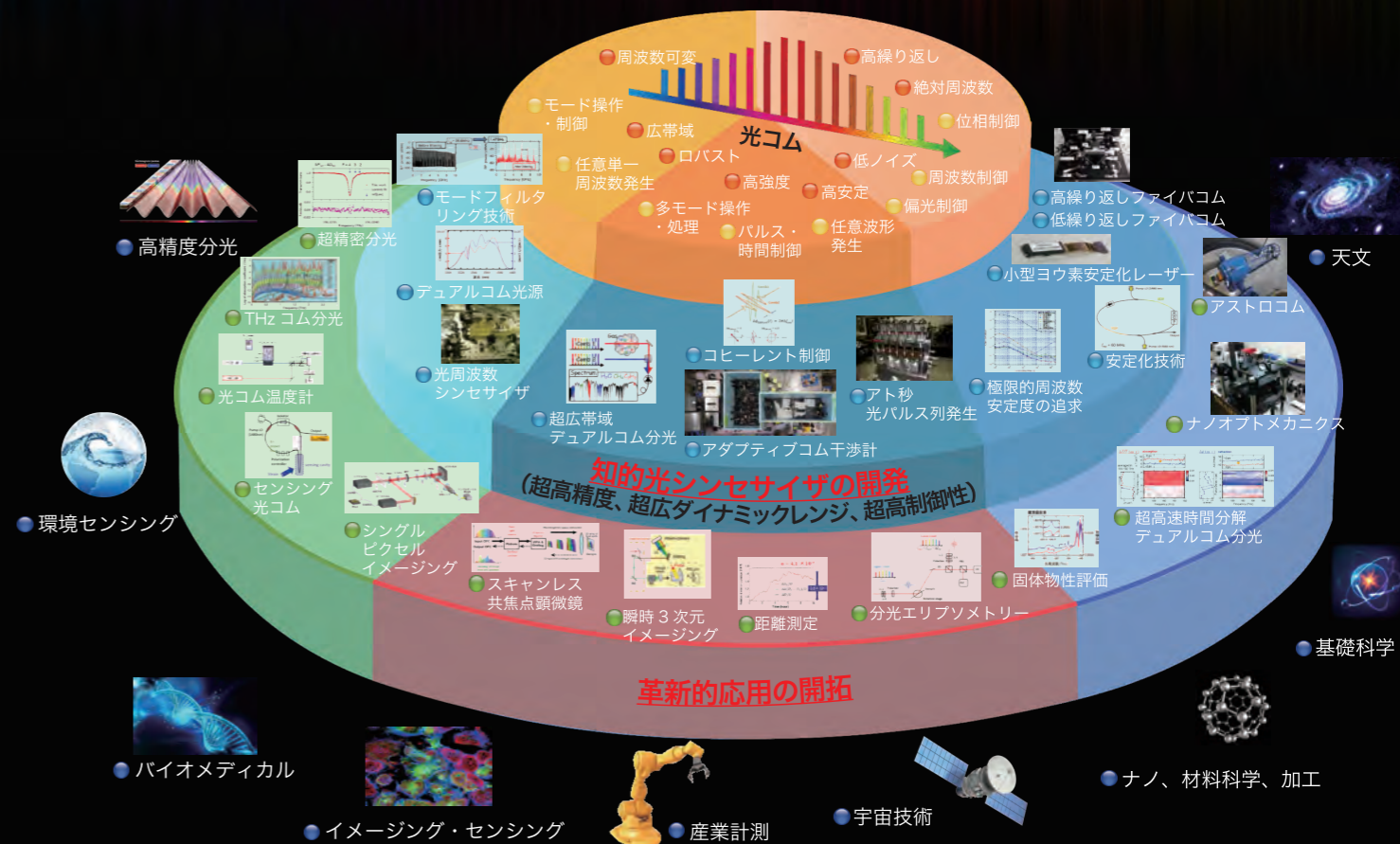
JST ERATO 美濃島知的光シンセサイザプロジェクト ヘッドクォーター

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
 電気通信大学 情報理工学研究科 基盤理工学専攻
 TEL : 042-443-5758
 E-mail : erato-ios-webmaster-ml@uec.ac.jp

JST ERATO 美濃島知的光シンセサイザプロジェクト

MINOSHIMA Intelligent Optical Synthesizer Project

光コムを駆使したエレクトロニクスと光技術との融合により
 「知的シンセサイザ」を実現し、革新的応用分野の開拓を目指します



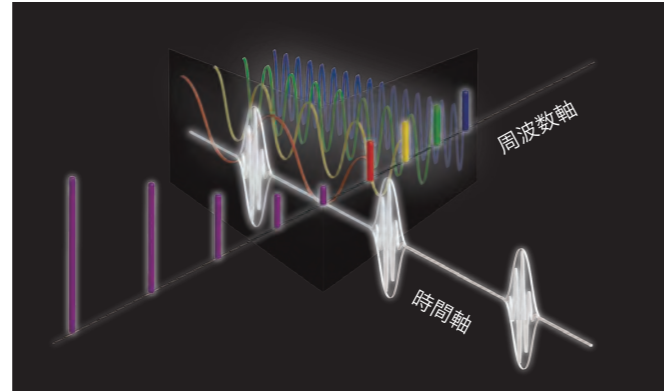
プロジェクト概要

- 研究領域 知的光シンセサイザ
- 研究期間 2013年10月～2019年3月
- 研究総括 美濃島 薫(電気通信大学 大学院情報理工学研究科 教授)

光波の持つ位相情報や周波数情報を余すことなく利用できれば、圧倒的なダイナミックレンジを持つ情報をそのまま利用できるようになり、光は単なる情報伝達媒体でなく、真にインテリジェントな主役、すなわち対象の計測から信号解析、情報処理や伝達、そしてユーザの利用までを担う主体になることができます。例えば、産業計測や安全計測において、欠陥・変形などのその場検出を光で行い、該当の画像のみを選別して高速で伝送し、結果に対応して光で加工・修復を行うなど、一連の作業を高速かつ知的に実現することが考えられます。このように光を主役として活用することにより、医療、環境、エネルギー、安全・安心、製造等の様々な産業・社会に対し日常的に恩恵がもたらされるでしょう。

このような背景のもと、本研究領域では周波数軸上においてスペクトル強度が櫛状に精密かつ等間隔に並んだ先端光源「光コム」を、エレクトロニクスと光技術との融合により、基盤的かつ革新的な「知的光シンセサイザ」へと進化させます。これによって、光波の時間、空間、周波数、位相、強度、偏光などの全てのパラメータを自在に操作でき、様々な応用に使えるところまで進化している知的光源を開発し、その未踏な応用分野を開拓することを目標とします。

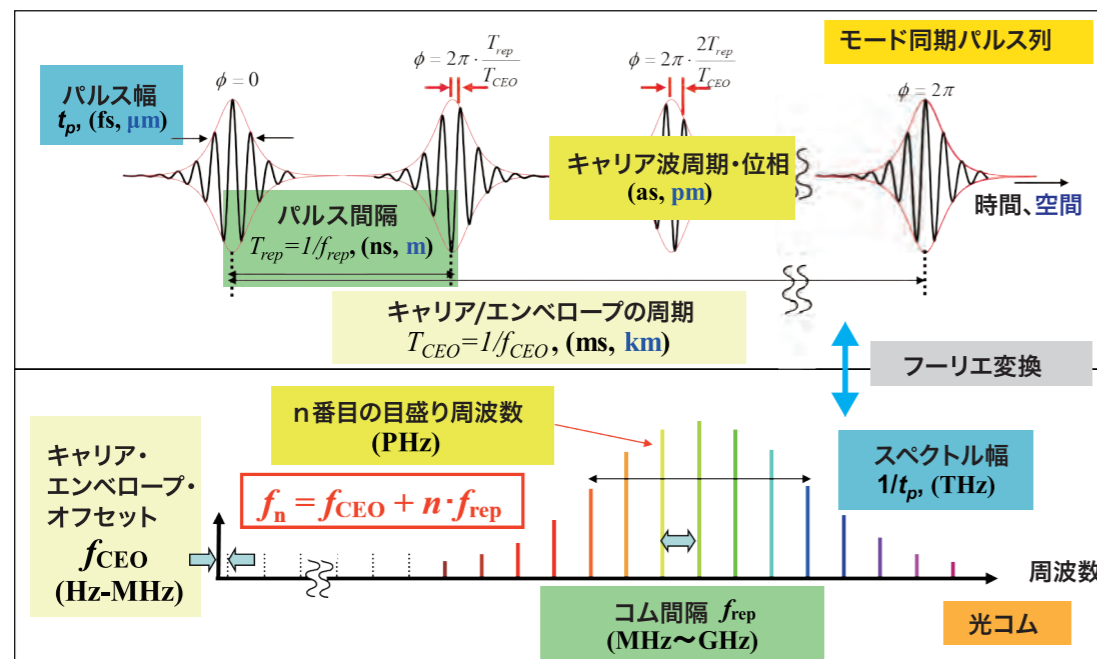
<http://www.jst.go.jp/erato/minoshima/index.html>



光コムとは

超短パルスレーザー(モード同期レーザー)のスペクトル(色)を細かく分解して見ると、等間隔に並ぶ多数の光周波数モード列が現れます。これが櫛状に見えることから、光コム(コムは櫛のこと。光周波数コムとも言う)と呼ばれます。

光コムは、時間、空間、周波数の精密なものとして利用できます。ひとつのものの中に異なるサイズの目盛があるように、光コムも異なるレンジの基準を持っています。例えば、周波数軸なら、光周波数(サブPHz)、スペクトル広がり(THz)、コム間隔(GHz)、オフセット周波数(MHz以下など)です。これらは、相互に精密な関係を持っており、広範囲の精密な基準として用いることにより、超高精度計測や制御を実現できます。



プロジェクト体制

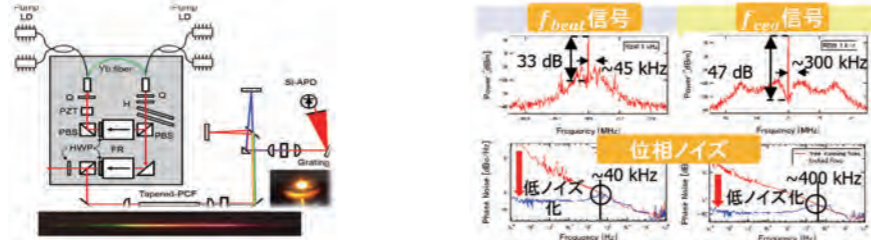


研究成果紹介 (知的光シンセサイザの開発)

「知的光シンセサイザ」を実現するために、光源と制御手法の高度化と光コムのポテンシャルを生かすための利用手法技術の開発を中心に研究を実施しました。光コムの周波数性能の極限化、光コムの波長域の拡大、光コムの利用技術の高度化を推し進め、以下のような成果が得られました。

高繰り返しファイバコム

光源開発として、光コムの応用展開において重要な鍵となる高繰り返し化技術を開発しました。高繰り返し化すると、モード間隔が拡大し、モード強度が増大して、個々のモード操作が容易になるというメリットがあります。波長 1 μm 帯のイッテルビウム添加ファイバを用いて、繰り返し周波数 750 MHz、中心波長 1046 nm の高品位な光コム光源を実現しました。さらに、プリアンプとメインアンプを構築して、低ノイズで、10 W の高出力を達成しました。この光源は、汎用のシリコン検出器に感度があり、非線形光学効果による可視光発生が容易という特長も備えています。



高繰り返し・高出力ファイバコムのブロック図 (左) とその特性 (右)

デュアルコム光源

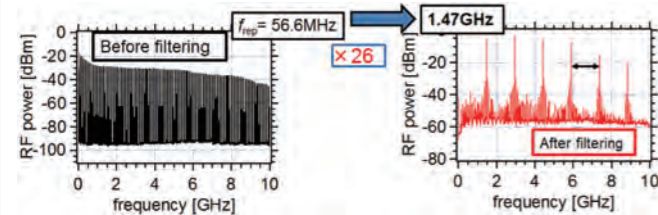
デュアルコム法は、光コムを利用する際には非常に有用な技術ですが、高いコヒーレンス性と安定性を備えた 2 台のレーザーが必要になるという問題がありました。その問題を解決するために、1 台のレーザー共振器から 2 つの光コムを発生する、デュアルコムファイバレーザー (双方向動作型と全偏波保持型の 2 種類) の開発に取り組みました。その結果、低雑音、高安定、高コヒーレントなデュアルコム光源の開発に成功しました。このレーザーは堅牢かつ小型で実用的であるため、デュアルコム分光において強力なツールとなると共に、材料特性評価、イメージング、センシング等、多くの分野への活用が期待されます。



双方向動作型デュアルコムファイバレーザーのブロック図 (左) とその特性 (右)

モードフィルタリング技術

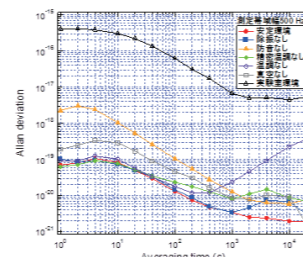
光コムの標準的光源であるエルビウムファイバレーザーを用いた光コムにおいて、その高制御性を保ったまま、高繰り返し化をするためのモードフィルタリング技術に取り組みました。繰り返し周波数 56.6 MHz の光コムをファブリペロー共振器に入射し、共振器長を制御することにより、繰り返し周波数 1.47 GHz (26 倍) のモードフィルタリングに成功しました。また、残留しているサイドモードを抑制するために、2 段のモードフィルタリングを行い、抑制比が 50 dB を超える高品位な光源を実現しました。さらに、小型で安定なシステムを目指して、全ファイバ型モードフィルタリング手法の開発に取り組み、10 倍以上の高繰り返し化と 40 dB 以上の抑制比が得られることを実証しました。



モードフィルタリング前 (左) と後 (右) の光コムの RF スペクトル

極限的周波数安定度の追求

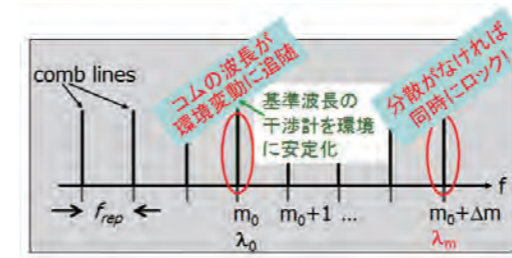
光コムの安定度劣化要因を解明し、世界最高の周波数安定度を実現するための研究に取り組みました。周波数安定度を律速するのは主として光ファイバノイズであり、光ファイバに影響を与える環境要因としては音響振動や熱雑音と考えられます。そこで、密閉、真空、温調、防音、除振などの環境条件を変えられる機能を備え、光ファイバが発生する位相雑音を測定する実験系を構築し、評価を行いました。その結果、最も安定な環境下では、平均時間 1 秒で 7×10^{-20} 、平均時間 10000 秒で 2×10^{-21} という、世界最高レベルの周波数安定度を得ることができました。



周波数安定度の測定データ

アダプティブ・コム

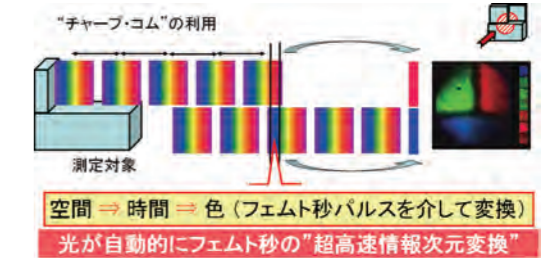
光コムの最大の特長である、広帯域にわたる極めて高い等間隔性と、かつそれが常に高精度に保たれるというアダプティブ性を利用するオリジナル技術を開発しました。コムの波長が環境変動に追従する物差しとなり、光が環境を自己補正するので、センサが不要で超高精度の測定ができます。このアダプティブ・コムを 2 色干渉計に適用し、距離測定において高い成果を得ることに成功しました。(「空気屈折率自己補正技術」参照)



アダプティブ・コムの概念

チャープ・コム

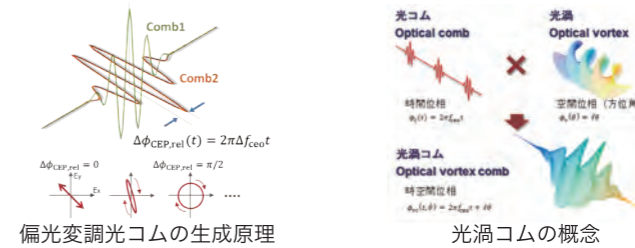
周波数が時間とともに規則的に変化する光コム (チャープ・コム) を利用して、空間、時間、周波数 (色) の瞬時多次元情報変換ができる技術を開発しました。本技術は、超高速現象の分光やイメージ計測など、様々な分野での利用が期待されます。応用として、チャープ・コムを 3 次元形状計測に利用し、従来にない画期的なイメージング法を実現しました。(「瞬時 3 次元イメージング」参照)



チャープ・コムによる瞬時多次元情報変換

光コムのコヒーレント制御

光コムは非常に高い位相制御性 (コヒーレント制御性) を有していますが、これまでこの制御性は十分に活用されていませんでした。そこで、光コムの潜在能力を使い尽くした新たなコヒーレント制御技術の開拓に取り組みました。複数の光コムを位相同期して 1 つのシンセサイザ光源として扱う「コヒーレンス・シンセサイザ」を開発し、多くの周波数パラメータを制御して、多彩なコヒーレント変調ができることを示しました。また、2 つの光コムを、偏光を直交させた状態で重ね合わせ、任意の偏光変調の制御に世界で初めて成功しました。さらに、光コムと光渦を融合した「光渦コム」の時空間位相制御という新概念を提案し、新たな可能性に挑戦しています。

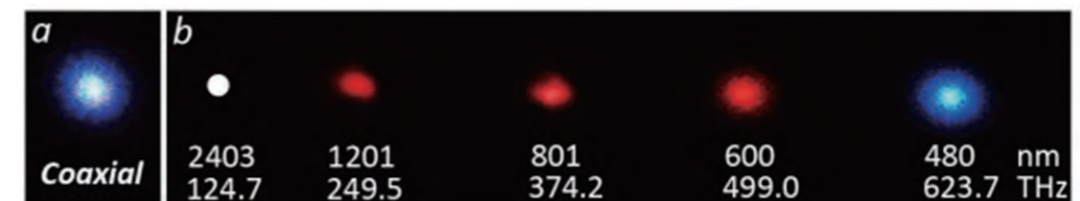


偏光変調光コムの生成原理

光渦コムの概念

アト秒光パルス列発生

新しい光源技術として、アト秒極限パルス列発生、および任意波形発生技術に取り組みました。周波数間隔が 100 THz を超える極めてスペクトル離散性の高い光コムの発生技術、ナノ秒パルスと連続波の 2 つの領域においてそれぞれ確立し、いずれの光コムも、超短パルス列を安定に形成するのに十分な時間・空間コヒーレンスを有していることを確認しました。実際に、スペクトル離散性が極めて高いスペクトル群に特有的に機能する独自の振幅・位相制御技術を開発して用い、それぞれパルス幅 1.2 fs および 1.6 fs の超短パルス列を長時間に亘って安定に形成することができました。また、キャリアエンベロープ位相も制御可能なことや、任意光振幅波形発生 (矩形波や鋸波など) に応用できることが確かめられました。



周波数間隔 125 THz の新規光コム

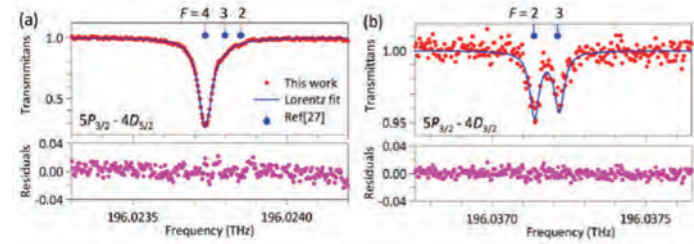
研究成果紹介 (革新的応用の開拓)

分光計測

利用する光コムの特長から、「光の周波数物差しとしての利用」、「光コムモード光源としての利用」、「光コム・レーザーとしての利用」の3つのカテゴリーについて、様々な「革新的応用の開拓」を行い、光コム利用が画期的な分野創成につながることを示しました。それぞれの成果を、「分光計測」、「イメージング」、「距離測定、センシング、他」に分類し、以下に紹介します。

超精密分光

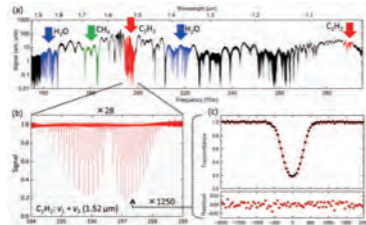
独自に開発したエルビウムファイバコム2台を同期させたデュアルコム分光システムを用いて、コムモード分解能を生かしたドップラーフリー分子分光への応用に取り組み、様々な原子分子に適用性の高い超精密分光技術を実現しました。ドップラーフリー光-光二重共鳴分光法に適用し、従来よりも2桁以上高い分解能での測定と、約 10^{-9} の相対不確かさで遷移周波数決定が可能であることを示しました。また、ドップラーフリー2光子吸収分光法に適用して、蛍光観測において1 Hz以下の狭線幅信号検出に成功し、約 10^{-10} の相対不確かさで絶対周波数を決定しました。



^{87}Rb 原子気体の二重共鳴スペクトル

超広帯域デュアルコム分光

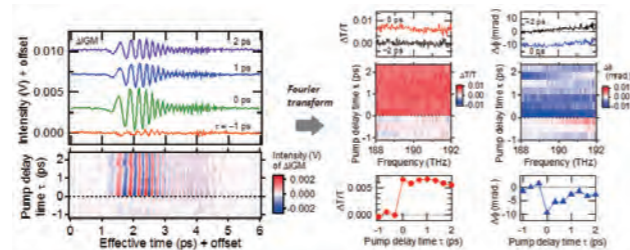
デュアルコム分光は、繰り返し周波数がわずかに異なる2台の光コムを用いて、高分解能、高速、広帯域の測定が可能で新しい分光法です。この方法を、さらに高度化、超広帯域化するための研究に取り組みました。超広帯域分光には2台の光コム相対線幅が狭いことが重要ですが、共振器長を高速制御することにより、1 Hz以下の相対線幅を実現しました。その結果、波長 $1.0 \sim 1.9 \mu\text{m}$ にわたる複数の分子吸収線の同時観測に成功しました。また、この方法を用いて、アセチレン分子の吸収スペクトルを様々な圧力下で精密に調べたところ、分子の衝突過程に核スピン依存性があることを世界に先駆けて発見しました。



混合ガスの超広帯域デュアルコム分光スペクトル

超高速時間分解デュアルコム分光

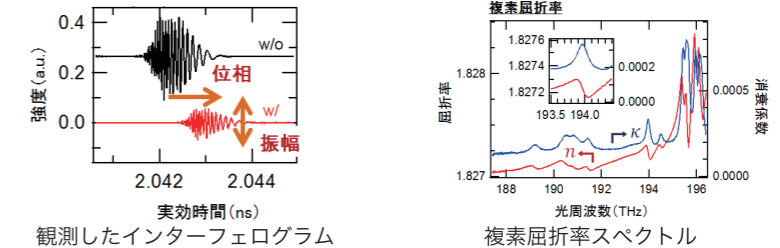
デュアルコム分光法とポンプ-プローブ分光法を融合させて、新しい超高速時間分解デュアルコム分光法を開発しました。デュアルコム的一方をポンプコムとシグナル(プローブ)コムに分け、測定試料を透過したシグナルコムを、デュアルコムのもう一方のコムと干渉させてインターフェログラムを取得するシステムを構築しました。半導体材料の光励起キャリアの緩和ダイナミクス観測において、インターフェログラムのポンプ遅延時間依存性から、振幅・位相スペクトルの過渡応答をそれぞれ分離測定することに成功しました。



インターフェログラムの過渡応答 振幅・位相成分の過渡応答

デュアルコム分光による固体物性評価

デュアルコム分光法を用いた固体材料の複素光学物性評価という新領域を、世界に先駆けて開拓しました。高精度に位相制御された2台のエルビウムファイバコムを光源として、固体材料の透過スペクトル測定を行うのに最適なシステムを新たに開発しました。これにより、Kramers-Krönig変換を用いずに複素物性を直接検出できるようになり、屈折率や吸収係数の精密な評価が可能となりました。数種類の光学結晶材料の測定を行って、位相屈折率とその分散を $10^{-3} \sim 10^{-4}$ のオーダーで高精度に評価できることを実証しました。また、複屈折測定や、エコー信号を利用した材料の厚さ測定やデバイス形状測定も精密にできることを確認しました。

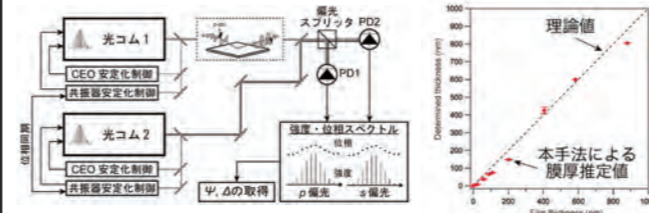


観測したインターフェログラム

複素屈折率スペクトル

デュアルコム分光エリプソメトリー

デュアルコム分光法の応用展開として、分光エリプソメトリーに適用し、新しい薄膜分析法を開発しました。従来の方法に比べて、入射光の偏光変調を機械的・電気的に行うことなく、試料を通った光の強度や位相などの情報を直接計測できるようになりました。さらに、光コムの高精度・高分解能という特長を活かして、分解能を飛躍的に向上させることができました。従来は $0.1 \sim 0.01 \text{ nm}$ 程度であった波長分解能が、本手法では $1.2 \times 10^{-5} \text{ nm}$ に向上し、より精密な分光エリプソメトリーを実現しました。本手法は、機能性薄膜や光学材料の静的・動的評価などにも展開が可能です。

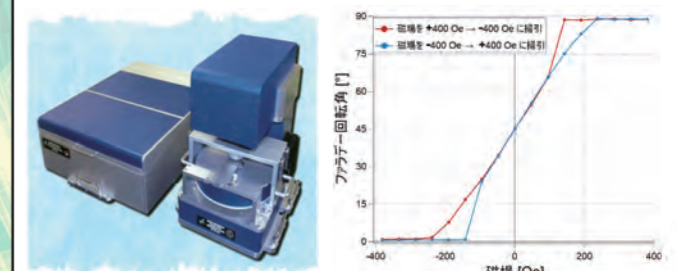


実験装置の概要図

膜厚推定値と実測値の比較

デュアルコム分光による磁気光学特性評価

独自開発した偏光デュアルコム分光技術と固体物性評価技術を活用して、磁性材料のファラデー効果を測定することに世界で初めて成功しました。印加磁場を掃引しながら、偏光の回転角度を精度良く計測し、ヒステリシス特性を取得しました。さらに、この成果をもとにして世界初となる、デュアルコム分光法を用いたファラデー効果測定装置を開発しました。これをベースに、広い波長域を一括で高速・高精度に磁気光学特性の評価ができる小型計測システムの早期実現を目指します。

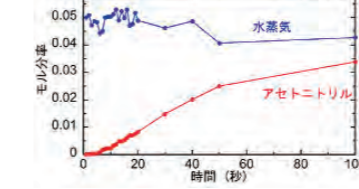


ファラデー効果測定装置

ファラデー効果測定データ

テラヘルツコム分光

光コムをテラヘルツ (THz) 波領域の分光応用に展開するため、様々な要素技術を開発し、応用実証をしてみました。THz コムの間隙部分をギャップレス化した「ギャップレス・デュアル THz コム分光法」、高精度性を実現しながらデータ量を大幅削減する「離散フーリエ変換 THz 分光法」、非制御レーザーの利用を可能とする「アダプティブサンプリング式デュアル THz コム分光法」、レーザー制御や2台の光源が不要な「2波長デュアル・ファイバコム光源を用いたデュアル THz コム分光法」などを開発しました。また、これらの THz 分光法をガス分析に適用し、煙混在ガスの実時間濃度モニタリングや、低圧ガス分光を行って、その有用性を実証しました。



煙混在ガスの実時間濃度モニタリング

アストロコム

天体望遠鏡で天体からの光のスペクトルを高精度に測定するために、高分散分光器の波長標準として光コムを用いた「アストロコム」を開発しました。波長帯域を適合させるために非線形光学効果を利用して可視域の広帯域光を発生させ、また、波長分解能を上げるために3つの光共振器を用いたモードフィルタリングにより高繰り返し化を行って、 $500 \sim 550 \text{ nm}$ にわたって42 GHz間隔のアストロコムを実現しました。このアストロコムを岡山天体物理観測所に設置し、188 cm天体望遠鏡に接続して、試験観測を行っています。その結果をもとに、さらなる性能向上を目指して、アストロコムの開発を続けています。



アストロコムが接続された天体望遠鏡

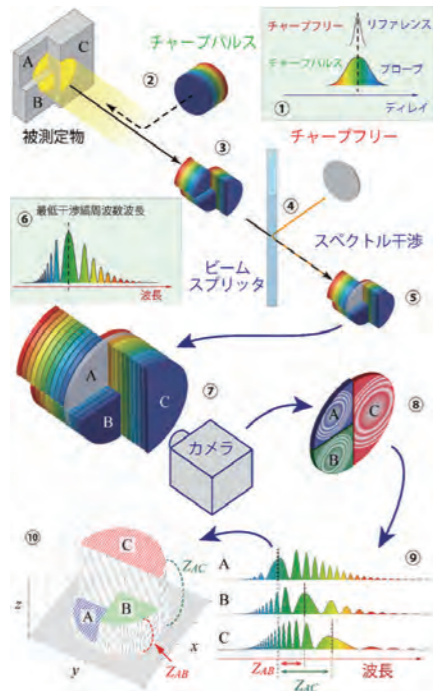
瞬時 3 次元イメージング

光コムの多次元の精密性を活用すると、多次元情報間の超高速変換が可能となります。本研究では、チャープした光コムを利用した多次元、高精度、広ダイナミックレンジを兼ね備えたイメージング応用技術の開拓に取り組みました。

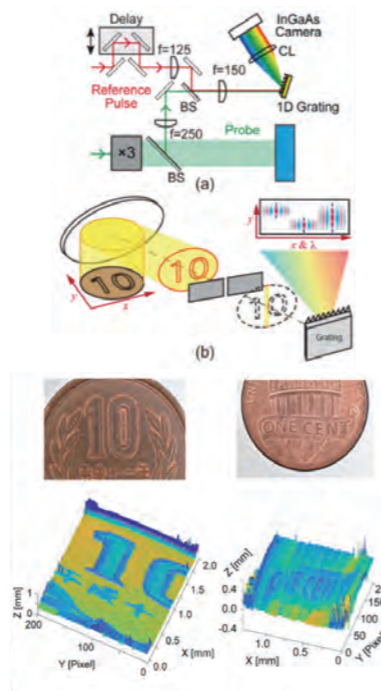
モード同期ファイバレーザーによる光コムを光源とし、光コムの広帯域波長成分を用いたパルス間スペクトル干渉による瞬時 3 次元イメージング法を開発しました。この方法を用いて、既知の段差を持つ被測定物（ブロックゲージ）の段差プロファイル形状計測を行い、 μm 以下の精度で、瞬時に 3 次元形状を取得できることを原理的に実証しました。また、光コムから繰り返し発せられる精密間隔のパルス列を用いることで、大きな物体でも精度を落とすことなく測定でき、計測における原理的なトレードオフの関係を解消できることも実証しました。

また、スペクトル干渉とは別に、高効率な非線形光学現象を用いて、奥行き情報を色情報に対応させる新たな手法を開発し、無走査 3 次元計測の原理実証を行いました。

本方法は、非常に小さな物体から、大きな段差や長辺と短辺の比が大きな物体の高速 3 次元形状計測、単発現象の瞬時イメージングなど、多様なイメージングへの応用が期待されます。



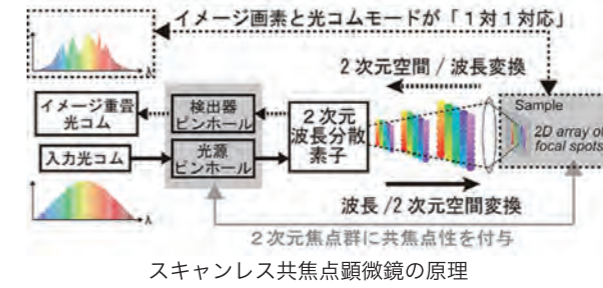
瞬時 3 次元イメージング法の原理



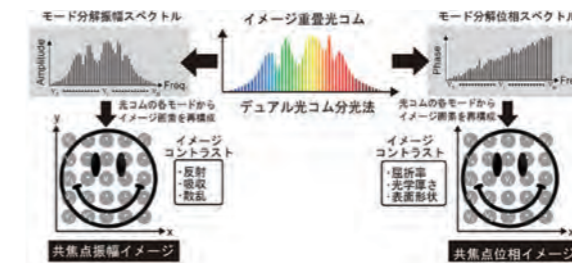
3 次元形状測定例

スキャンレス共焦点顕微鏡

共焦点レーザー顕微鏡は、高解像度のイメージと 3 次元情報の再構築が可能なのが特長ですが、機械的走査(スキャン)が必要であるという問題がありました。その問題を解消するために、光コムを「圧倒的多数の離散チャネルを有する光キャリア」として利用した共焦点顕微鏡を開発しました。波長 / 2 次元空間変換によって、イメージ画素とコムモードが 1 対 1 に対応するように、イメージ情報を光コムにスペクトル重畳させた後に、モード分解光コムスペクトルから一括して読み出すことにより、スキャンレスでのイメージ取得が可能になりました。さらに、デュアルコム分光法を用いて、イメージ重畳光コムのモード分解振幅スペクトルとモード分解位相スペクトルを取得し、イメージ画素とコムモードの 1 対 1 対応からイメージを再構成することにより、共焦点振幅イメージと共焦点位相イメージが同時に取得できることを実証しました。位相イメージは、位相差によってコントラストが付いているので、透明物体の観察や表面トポグラフィーが可能になり、計測対象が広がるのが期待されます。



スキャンレス共焦点顕微鏡の原理



デュアルコム分光を用いたスキャンレス共焦点振幅 / 位相イメージング

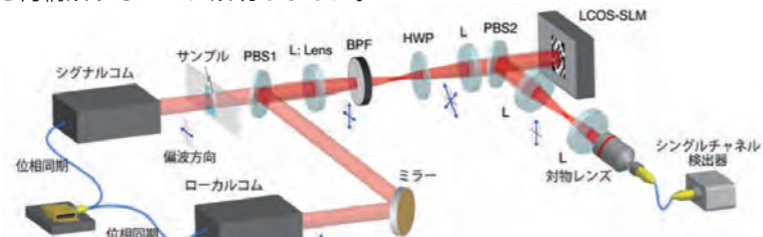


共焦点振幅イメージの例

共焦点位相イメージの例

シングル・ピクセル・イメージング

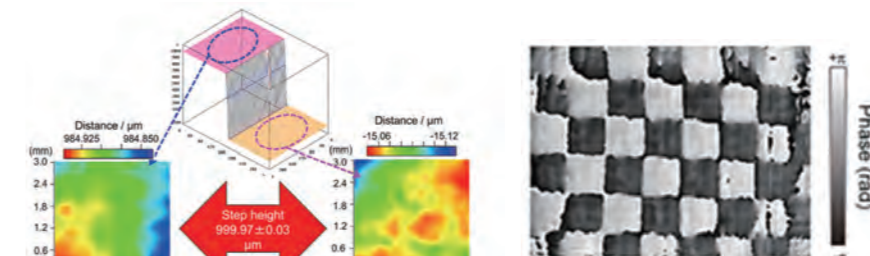
デュアルコム分光法をイメージングに拡張できれば、分光分析に基づいた分子イメージングに展開することが可能です。しかし、従来法では、高速な点型光検出器を使用し、測定物の機械的走査が必要という問題がありました。そこで、時間的に強度変調されたパターン照明光と点型光検出器信号の相関演算に基づいたシングル・ピクセル・イメージングをデュアルコム分光法に導入することにより、スキャンレスデュアルコム分光イメージングを実現しました。複数枚の照明パターンを測定物に照射し、インターフェログラムを取得して、スペクトル振幅と照明パターンとの相互相関により、2 次元分光イメージを再構成することに成功しました。



デュアルコム分光シングル・ピクセル・イメージングの実験装置

デジタル・ホログラフィー

表面形状の高精度測定を目的として、広帯域波長可変 / 狭線幅 / 高精度な光シンセサイザを光源とした、カスケードリンク型マルチ合成波長デジタル・ホログラフィーシステムを開発しました。5 種類の合成波長と $1.5 \mu\text{m}$ のレーザー波長を用いて、既知の段差計測を行った結果、 μm 以下の測定精度を達成しました。また、不透明物体の内部構造を可視化するために、テラヘルツ波を用いたデジタル・ホログラフィー装置を開発しました。サンプルの位相イメージから 3 次元形状を算出し、 μm の精度で計測可能であることを実証しました。



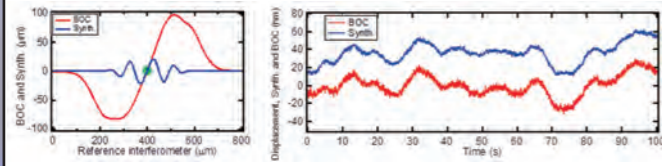
段差計測結果

テラヘルツ位相イメージ

研究成果紹介 (革新的応用の開拓)

長さ測定

光コム応用の中でも、長さ測定は、最もその長が活かされる実用化技術として期待されています。本研究では、長さ計測技術に重要な光コム干渉計の高度化技術を開発しました。特に、機械ステージ等を排除した周波数走査のみによる光路長走査範囲の増倍効果の実現、コンパクト化に重要なファイバ干渉計におけるファイバノイズキャンセリング技術の導入、高感度タイミングジッター検出法を導入したパルス包絡線ピーク位置の高精度検出技術などの基盤技術を開発しました。バランス光相関検出法と合成波長干渉差検出法の2つを用い、どちらの方法でも nm レベルのパルス包絡線ピーク位置検出が可能で、長距離の高精度絶対距離測定が可能であることを実証しました。

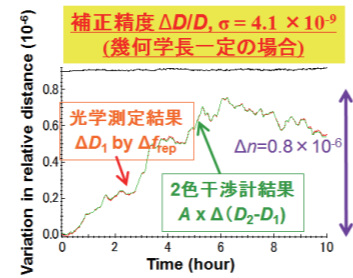


バランス光相関検出法 (左) と合成波長干渉差検出法 (右) による測定データ

距離測定、センシング、他

空気屈折率自己補正技術

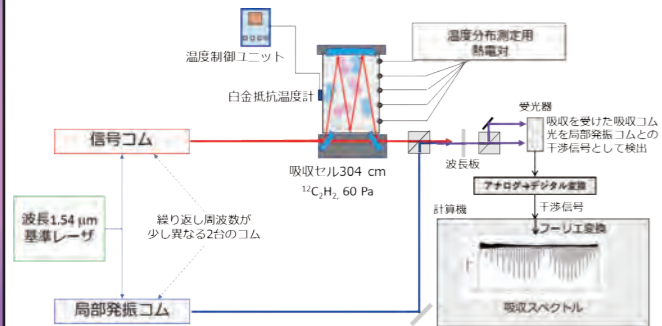
光コムのパルス間隔を常に等間隔に保つというアダプティブ性を利用して、実用的な距離測定において主要な不確かさ要因となる空気屈折率補正を高精度化する手法を開発しました。屈折率変動に寄与する環境パラメータを高精度測定する必要がなく、2波長の光学的測定のみで空気屈折率を自己補正できる2色法において、空気屈折率の経験式精度を凌駕する補正精度 (4.1×10^{-9}) を実現しました。さらに、実用的なシステムに有用な1色の光コム光源を用いて、パルスのエンベロープと内部位相を生かした群屈折率と位相屈折率を用いた「2色法」によって、同等の高精度自己補正を実現しました。また、高速な揺らぎの自己補正技術を実証しました。



2色法による空気屈折率自己補正の測定結果

光コム温度計

デュアルコム分光法を用い、気体分子の振動回転スペクトル観測により温度計測を行う手法を新たに開発し、研究を進めています。これは、気体分子の振動回転バンドの多数の吸収線の強度分布が、温度に対して複雑に形状を変えることを利用して、温度を求める方法です。デュアルコム分光により、多数の吸収線を正確かつ高速に観測できるので、非平衡状態や過渡状態の温度測定への応用も期待されます。

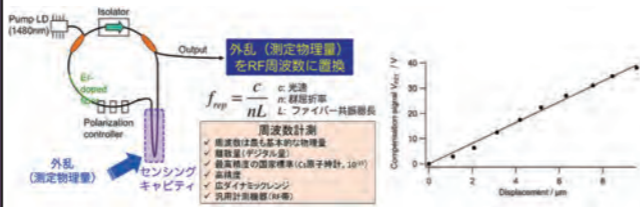


デュアルコム温度計の概要図

センシング光コム

光コム計測の新たな展開として、ファイバコム共振器の「外乱 /RF 周波数変換機能」を利用して、様々な物理量を RF 周波数に変換して高精度な計測を行う方法を開発しました。このセンシング光コム有望な応用として、以下の3つの方法を実証しました。

- ・歪み計測・・・変位に対して、コム制御に用いているピエゾ素子の制御電圧が線形に変化することから、変位量を計測。
- ・超音波計測・・・超音波周波数とコム周波数の相互作用により発生するサイドバンドから、超音波信号を計測。
- ・屈折率計測・・・ファイバ周辺の屈折率変化に対して、コム周波数の繰り返し周波数が線形に変化することから、屈折率を計測。

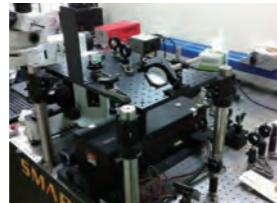


センシング光コム概念図

歪み計測データ

ナノオプトメカニクス

光コム応用として、ナノスケールの微細構造の機械的応答をレーザーで誘起・制御し、精密に計測するナノオプトメカニクス技術の創出に取り組んでいます。光コム周波数である数十 MHz オーダーの周波数で駆動する高速ナノメカニカルデバイスを作製し、エルビウムファイバコムを光源に用いたナノ構造振動計測システムを用いて、デバイスの振動測定および解析を行っています。



ナノ構造振動計測システム

アウトリーチ

プレスリリース

- 2016年6月 櫛の歯状のテラヘルツ波 (テラヘルツコム) で煙混在ガスの濃度をリアルタイムに分析 <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20160615-3/index.html>
- 2016年9月 分子の衝突過程に核スピン依存性を発見 -デュアル・コム分光計の成果- https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/files/2016/9/30/160930_1.pdf
https://www.ynu.ac.jp/hus/koho/16780/34_16780_1_1_160930014721.pdf
- 2017年6月 光コムを用いた新しい高速3次元イメージング法の実証に成功 ~瞬時立体計測と広範囲・高精度を両立~ <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20170616-2/index.html>
- 2017年9月 光コムを用いた新しい分光エリプソメトリー法を開発 ~高速・精密・堅牢な薄膜分析が可能に~ <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20170920/index.html>
- 2018年5月 高速に画像取得可能な光コム顕微鏡を開発 ~透明・非蛍光性細胞のライブ観察やナノメートル凹凸を持つ微小半導体部品の品質検査への応用に期待~ <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20180516/index.html>
- 2019年2月 双方向動作型デュアルコムファイバレーザの開発に成功 ~簡易・堅牢・高性能な実用分光システムの実現に向けて~ <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20190221-2/index.html>

国際シンポジウム・講演会

- 2017年8月 光コヒーレンストモグラフィー (OCT) に関する国際講演会 <http://www.femto-comb.es.uec.ac.jp/uec-eratosympo.html#symp20170825>
- 2017年8月 光コムに関する国際シンポジウム <http://www.femto-comb.es.uec.ac.jp/uec-eratosympo.html#symp20170826>
- 2018年4月 光コム・超短パルスレーザに関する講演会 <http://www.femto-comb.es.uec.ac.jp/uec-eratosympo.html#symp20180423>



展示会出展

- 2017年8月 ICO-24
- 2017年8月 JST フェア
- 2018年2月 nano tech 2018
- 2018年4月 OPIE 2018
- 2019年1月 nano tech 2019

