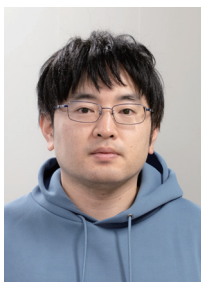


# 光周波数と位相を活用した光周波数コムによる 光計測手法の開発

## 加藤 研究室



加藤 峰士  
Takashi KATO

光周波数コム(光コム)は、高い制御性と高いコヒーレント性を持つ超短パルス列であり、これを周波数軸上で見ると、スペクトルが等間隔に並んだくし形(コム)になっていることから、光コムと名付けられました。光コムは光の絶対周波数を高精度かつ高安定に制御できる光源で、光の「ものさし」として有用です。連続波(CW)レーザーの周波数を高精度に決定したり、逆に所望の光周波数を持つようにCWレーザーを制御した

りすることが可能になり、光計測分野において欠かせない光源となりました。

やがて、天文学や超精密分光などさまざまな分野への応用が進み、2009年には日本のものさしの基準となる「長さ」の特定標準器(国家標準)が、従来の「ヨウ素安定化He・Neレーザー」から、「協定世界時に同期した光周波数コム装置」へと改定されました。

### 時間、周波数、長さを自在に横断する

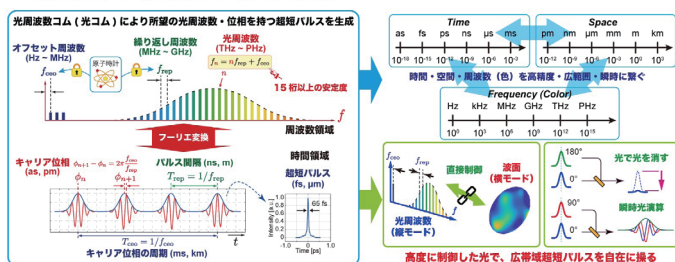
加藤峰士准教授は、光周波数と位相を効果的に利用し、光コムを使ったさまざまな光計測手法や光源の開発を進めています。「見えないモノは測ることができず、測

ることができないモノは作ることできない。そのため光の性質を活用した超高速撮影による対象物の可視化や、精密計測の高精度化が求められている」と加藤准教授はその背景について説明します。

光コムの実用例には、何かと比較せずに距離を測定できる「絶対距離計測」や、原子時計に同期した光コムで光波長を測定する「光の絶対周波数計測」、原子や分子を広帯域に分光する「デュアルコム分光」などがあります。これに対し、加藤准教授は光コムで所望の光周波数や位相を持つ超短パルスを生成し、「異なる次元(時間・周波数・長さ)を自在に横断できる革新的な光学技術の開発」を目指しています。25センチメートル

角の箱の中に、長さの国家標準と同じ構成を持つ、非線形偏波回転を利用したモードロックファイバ

### 研究計画で実現を目指す技術



異なる次元を自在に横断できる革新的な光学技術の開発を目指す

レーザーを自作し、この光源を使って精密な計測技術の開発などに取り組んでいます。

### 光コムを使った 光フェーズドアレイ

一つ目のテーマが、光コムによる光フェーズドアレイの開発です。これは超短パルスを全帯域においてコントロールできる光コムを使った位相制御技術を基盤とし、光周波数で光の波面を制御する技術です。光集積回路を使った従来手法は、3次元計測が可能な3次元レーザー用の光源としての応用などが検討されています。これは、既存の光点走査手法であるガルバノミラーやMEMSミラーなどに比べ、圧倒的な高速走査が

### キーワード

光周波数コム、光計測、光演算、3次元計測、分光計測、光ファイバ、モード同期ファイバレーザー

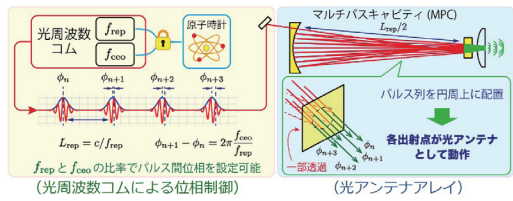
所属	大学院情報理工学研究科 基盤理工学専攻
メンバー	加藤 峰士 准教授
所属学会	応用物理学会、日本光学会、レーザー学会、日本物理学会、OPTICA、日本コンピューター外科学会
E-mail	takashi.kato@uec.ac.jp

光周波数コムを用いた光フェーズドアレイ

T. Kato, and K. Minoshima, arXiv:2405.03053, 2024.

▶ 光周波数の制御による、広帯域波面制御を目指す

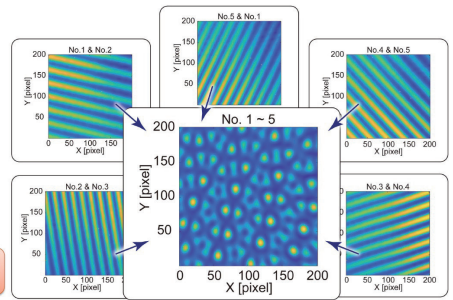
1. 光周波数コムの2つの周波数制御で位相制御を実現
2. パッシブな共振器で光アンテナアレイを構築



形成されたドットパターン

- ▶ 5本のビームを干渉させる
- ▶ 2本ずつの干渉縞
  - ✓ 波数ベクトルで決まる方向に傾いた縞模様
  - ✓ 組み合わせによって角度が違つ
- ▶ 5本重ねる
  - ✓ すべての位相が揃うところに光点が生れる

光点間の強度は相対的に低くなる  
▶ 孤立した光点



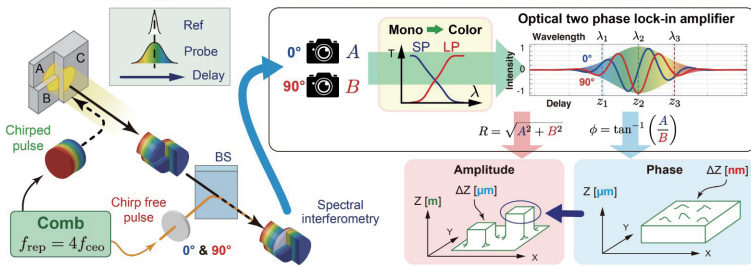
光による**瞬時3次元計測**も  
さらに、光を使った高精度なワ  
ンショット3次元計測手法の開発  
を目指し、「全光ヒルベルト変換  
による広ダイナミックレンジの瞬

可能な点で優れています。  
上述の通り、光フェーズドアレ  
イは機械駆動によらない光点走査  
であり、速度や安定性の向上が見  
込めます。加藤准教授は光アンテ  
ナからの光の位相パターン次第で  
自在に波面を制御できる光フェー  
ズドアレイを開発し、光の波面を  
制御することで、機械駆動なしに  
距離計測に向けた光点位置の高速  
走査に成功しました。現在、光位  
相変調器や光アンテナを光集積回  
路に作り込んだチップサイズの光  
フェーズドアレイが開発されてい  
ますが、光の位相制御に複雑な調  
整が必要で、さらに超短パルス  
のような広帯域光には適さない  
といった課題があります。光コムを  
使った広帯域光フェーズドアレイ  
の実現は、これらの問題を解決す  
るだけでなく、「周波数で空間を  
制御する光技術を確立したとの観  
点から、学術的な意義も大きい」  
と加藤准教授は語ります。

光演算による瞬時3次元計測

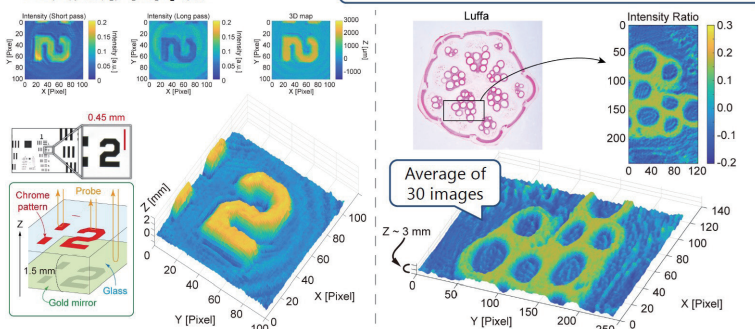
T. Kato, H. Ishii, K. Terada, T. Morito, and K. Minoshima, arXiv:2006.07801 (2020).

- 光演算と色フィルタを用いて干渉強度の色をピクセルごとに特定 ▶ **高解像度な形状計測**



超短パルスに記録された3次元情報を瞬時に取得可能

3次元形状計測



140x256 pixelの3次元形状をsub-μmの精度で瞬時計測

時3次元計測」を目指した研究も  
推進しています。3次元プリン  
ターや自動運転など、3次元形状  
を読み取る技術のニーズが増えて  
おり、光コムによる光演算で瞬時  
に3次元計測ができれば、広いダ  
イナミックレンジ計測と高速計測  
を両立でき、既存技術の空白領域  
を埋める高精度な3次元計測法が  
誕生します。加藤准教授はこれま  
でに、ナノメートル(ナノ)は10億  
分の1寸法の分解能で1メートル

ル程度の対象物の3次元計測が可  
能なことを実証しています。  
光コムでキャリア位相を制御  
そのほか、光コムで全帯域の  
キャリア位相を制御して完全な逆  
位相パルスを作り、これを用いる  
ことで計測に不要な光背景光を  
光で選択的に除去し、光断層計測  
や分光計測に応用する研究にも取  
り組んでいます。併せて、国際共  
同研究として、分光計測機能を持

つ光コムを中空フォトニック結晶  
ファイバの光センサーとして活用す  
るため、ガス封入中空フォトニッ  
ク結晶ファイバの基礎特性を評価  
する研究なども手がけています。  
加藤准教授は、美濃島薫研究室  
や浅原彰文研究室と連携しなが  
ら、このように光コムを使った最  
先端の光学技術を開発し、民間企  
業とも共同研究などの可能性を模  
索しています。

【取材・文】藤木信徳