

ERATO

光コムを用いた瞬時形状測定方法 及び 形状測定装置

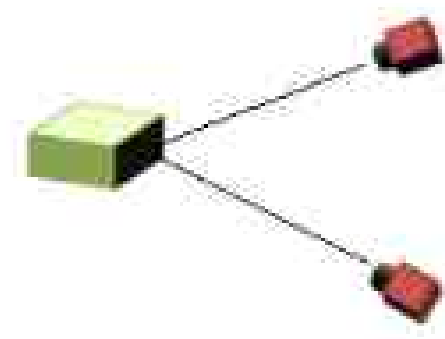
電気通信大学
大学院情報理工学研究科
教授 美濃島 薫

背景 (1)

- 光を用いて測定対象（被測定物体）の形状を測定する方法は、非接触・非破壊であるという優れた特徴を持っており、工業計測のみならず様々な分野において応用が期待され、様々な手法が提案されている。
 - ✓ 2つのカメラから得られるステレオ画像に三角測量法を適用する方法
 - ✓ モアレ法をはじめとするコード化されたパターンを用いた方法
 - ✓ 測距法を利用した方法
 - ✓ ……etc

ステレオ法

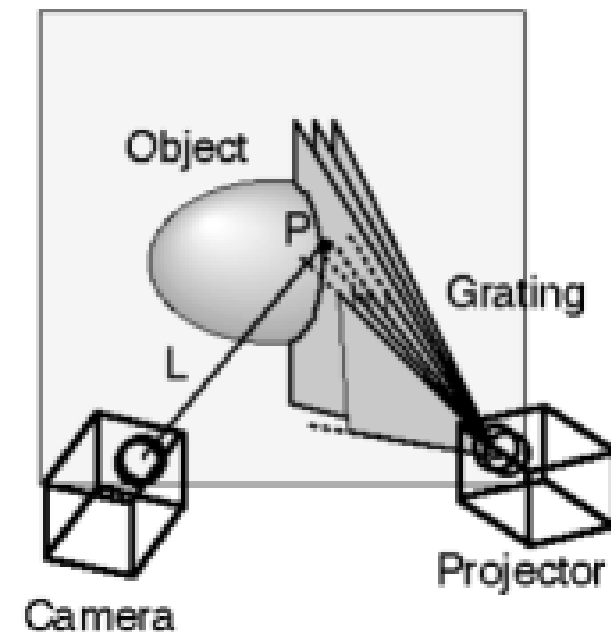
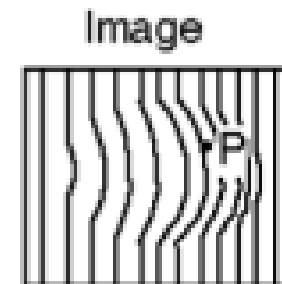
- 2つのカメラから得られるステレオ画像に三角測量法を適用する方法
 - ✓ カメラ等を左右に2台並べて、
三角測量の原理で計測を行う方法
 - ✓ カメラ二つの画像間の対応付けに問題点がある



モアレ法など

➤ 規則正しい等間隔な格子模様を計測対象のモノに描く
モアレ法など、コード化されたパターンを用いた方法

- ✓ 格子を投影し二次元解析を行う
- ✓ 位相解析により精度向上
- ✓ レンズの収差やひずみを補正して
精度を上げようとすると計算時間
がかかる
- ✓ 投影方向や観測方向に依存



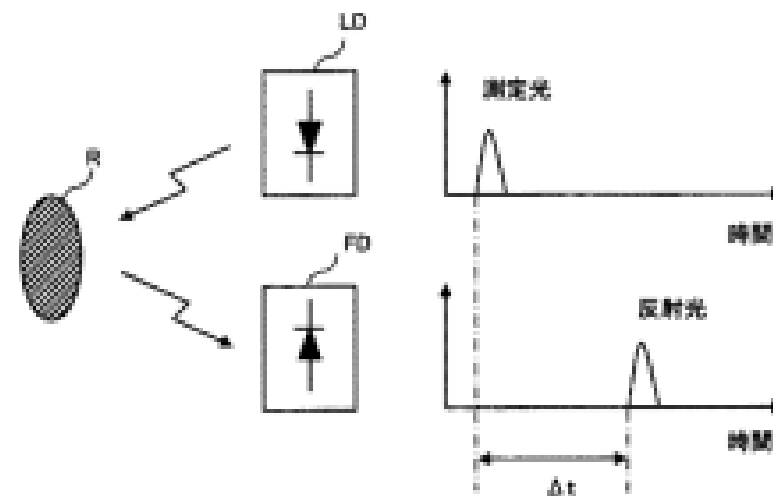
□ 以上はいずれも定量性、精度に課題

背景 (2)

- 近年のレーザー、特に超短パルスレーザーの発展はめざましく、小型光源も出現しているなか、その特徴を活かした、形状・空間情報の計測法の実現が望まれている。
 - ✓ 光パルスの飛行時間を介した長さや形状などの空間情報を取得
 - ✓ 変調されたレーザー光の到達時間から空間情報を取得
 - ✓ レーザー光の可干渉性を利用し光の位相情報から空間情報を取得

飛行時間を介した空間情報取得

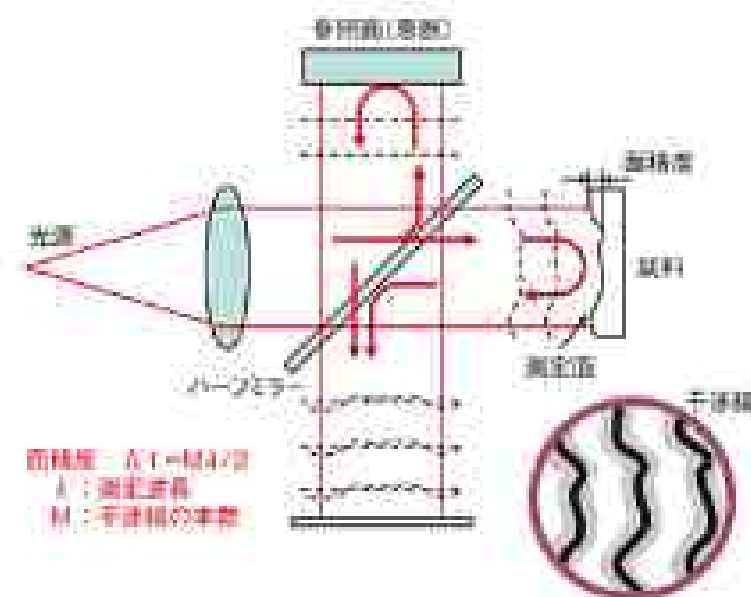
- パルス変調した光源を使用し、発光・受光タイミングの時間差情報を検出し演算することで、距離データを得る
 - ✓ 変調されたレーザー光等の到達時間（TOF：Time-of-Flight）から情報取得。距離リニアイメージセンサ、エリアセンサーが実用化。
 - ✓ 太陽光等の環境光に対する高い耐性，ダイナミックレンジの拡大，サブミリメートルの距離分解能の実現は課題である。
 - ✓ 3次元形状を得るにはビーム走査が必要で高速化が困難



レーザー光の可干渉性を利用

- 測定面からの反射光と参照面からの反射光を干渉させ波長の半分の光路差ごとに明暗の縞が観測されることを利用し高精度に面形状を計測する

- ✓ 高精度であるが、波長に比べて形状に大きな変位がある場合には干渉縞にとびが出て決定できない



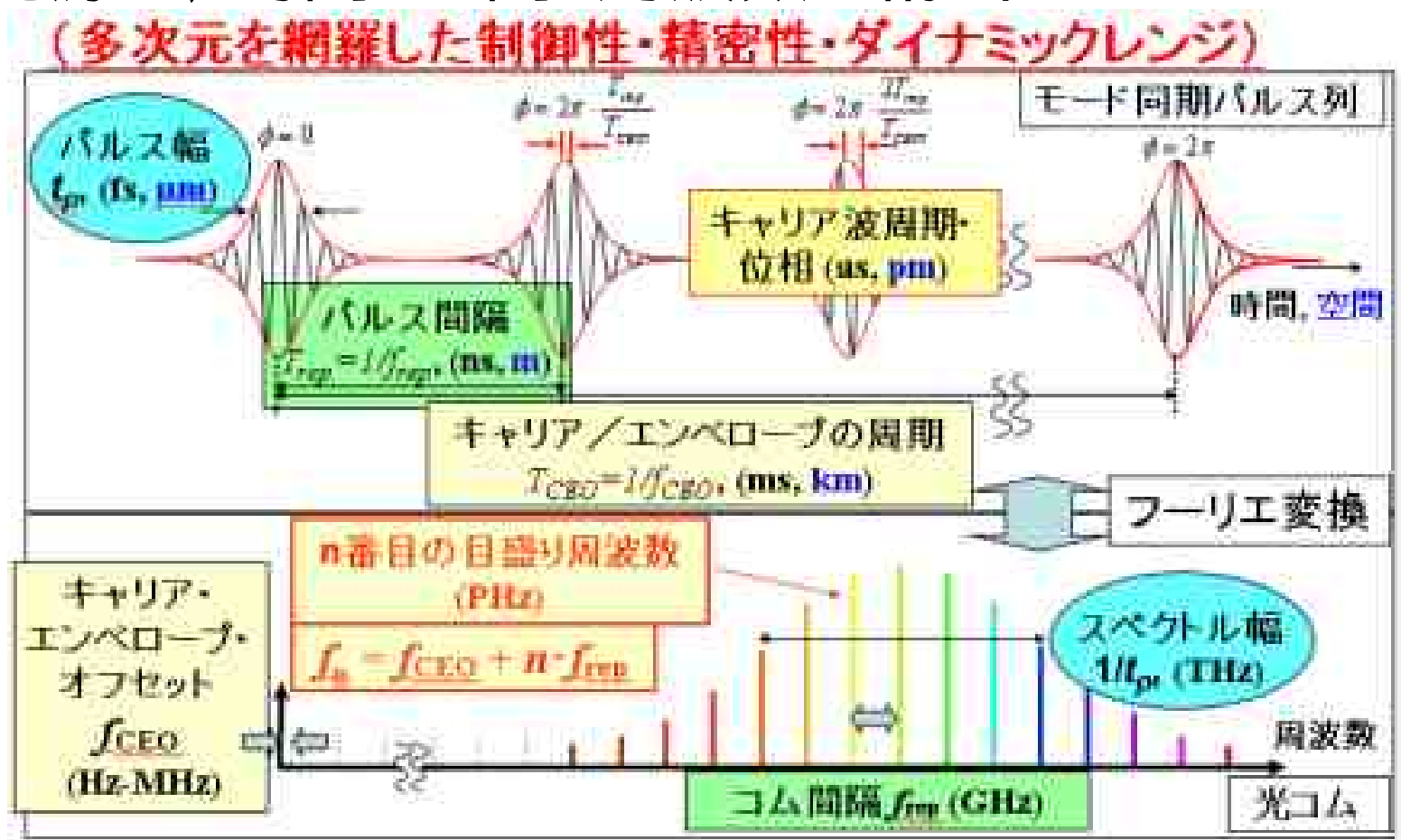
<https://www.global-optosigma.com/jp/category/int/int03.html>

背景 (3)

- 測定方法への要求はより高度になり、大きな対象、複雑な物体などを精度良くかつ高速に測定することが切望されている。
- 超短パルスを発生するモード同期ファイバーレーザーが発明され、小型で安定かつ安価な光周波数コム（光コム）が実現された。

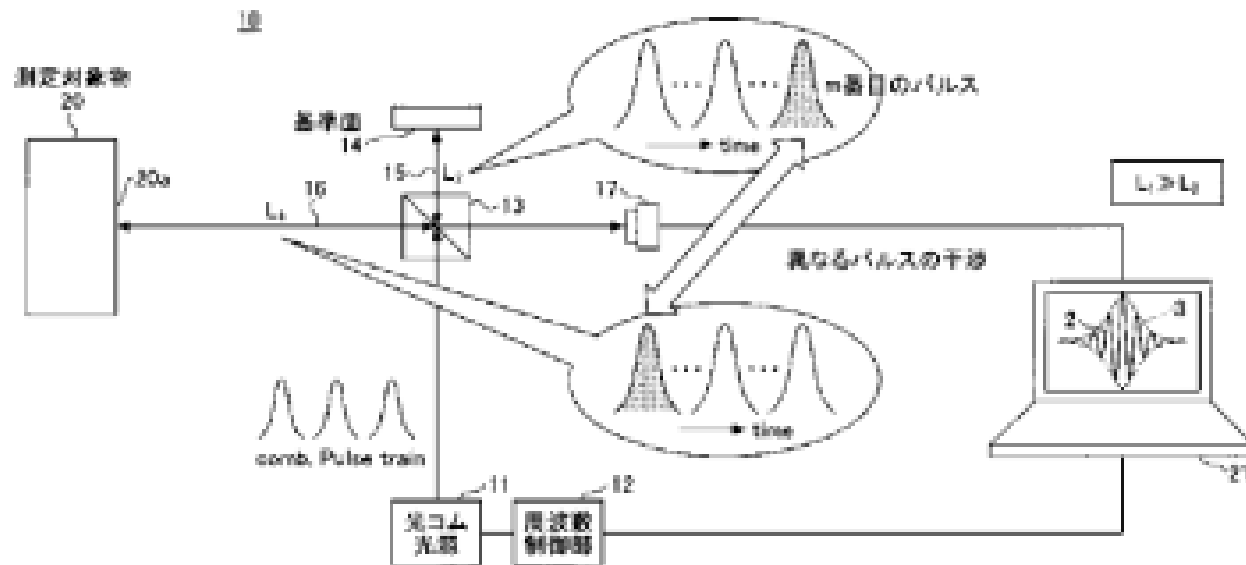
光コムとは

- 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で、時間・空間・周波数の精密なものさしとして利用可能



光コムを利用した距離測定

- 異なるパルス間の干渉縞の発生位置から距離を求め、長い距離範囲の任意位置での精密測定が可能
 - ✓ 形状測定では、測定対象物のスキャンが必要で装置が複雑になるばかりで無く、移動物体や、ナノ秒からフェムト秒 (10^{-15} s) オーダーの高速現象のイメージングは困難である



特開2016-48188

本日の内容

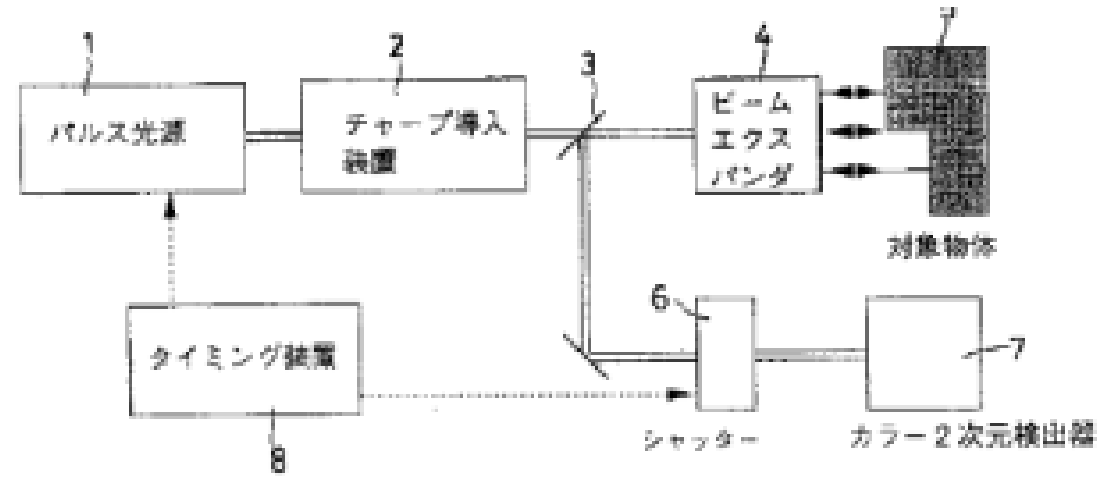
光コムを用いた瞬時形状測定について述べる

先行技術 (1a)

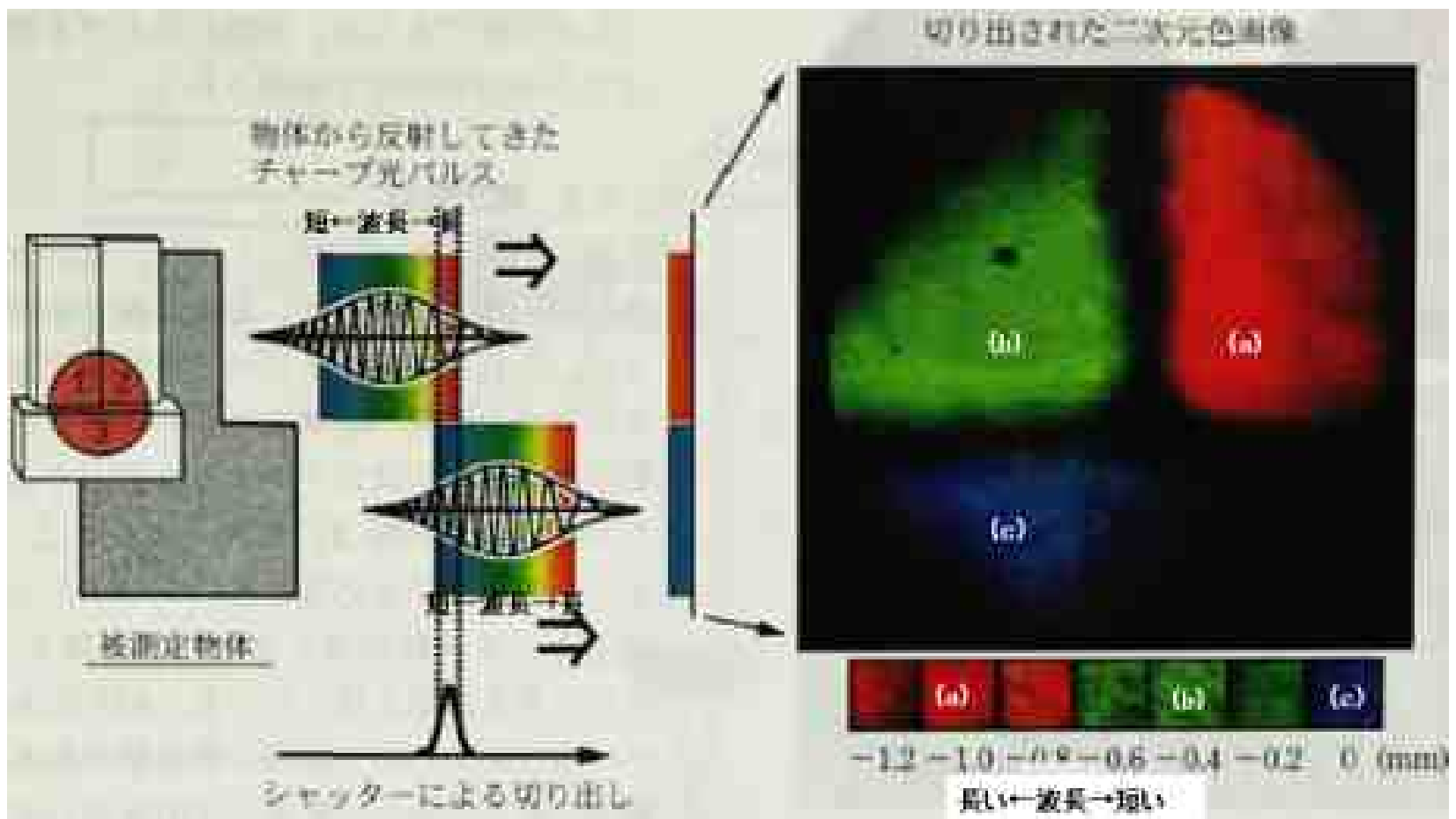
「光パルスを用いた三次元形状測定装置」

(特許2500379)

- ✓ パルス光源 1 より発された光パルスをチャープ導入装置 2 でチャープしたチャープ光パルスをビームエキスパンダ 4 で拡張して対象物体 5 に照射し、該対象物体 5 の表面で反射した反射光をシャッタ 6 の開閉により切り取り、カラー二次元検出器 7 で画像検出することにより、色付き等高線マップの二次元画像として取得する。



先行技術 (1b)



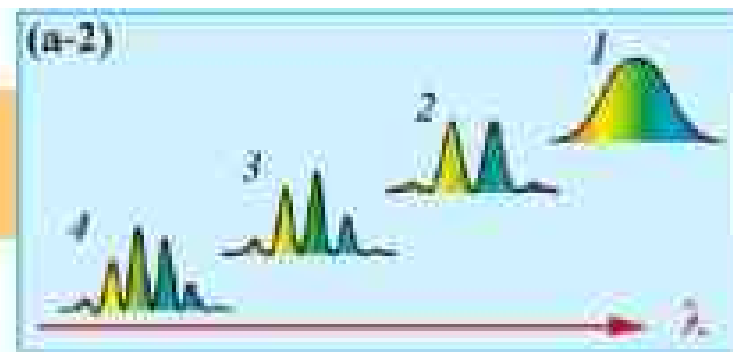
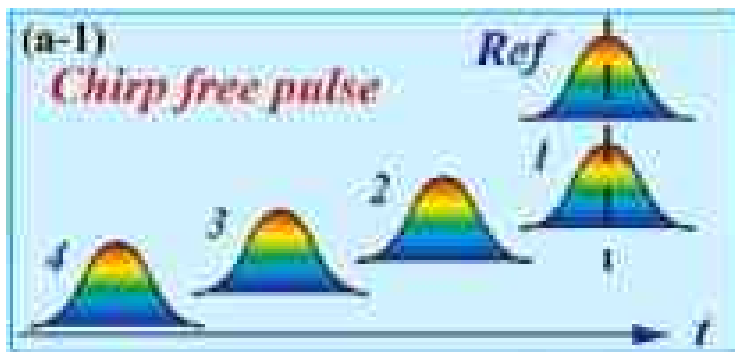
- ✓ 形状計測は、時間とともに規則正しく色の変化するチャープパルス光が測定対象に照射され、高速シャッターによって一部が切り出されることで、空間情報が遅延時間情報を介して色情報に変換される。

従来技術とその問題点

- 情報を切り出す高速シャッターに非線形光学効果であるカー効果を利用していたため、光源に高強度のレーザー、すなわち複雑・大型、安定性の低い増幅チタンサファイアレーザーが必要であった。
 - ✓ 高精度化とともに、可搬性・安定性など実用性に難がある
- 一度に測定できる奥行き方向の範囲がチャープパルス幅で制限されていた
 - ✓ 高精度と広範囲の両立が困難

新技術の説明(1)

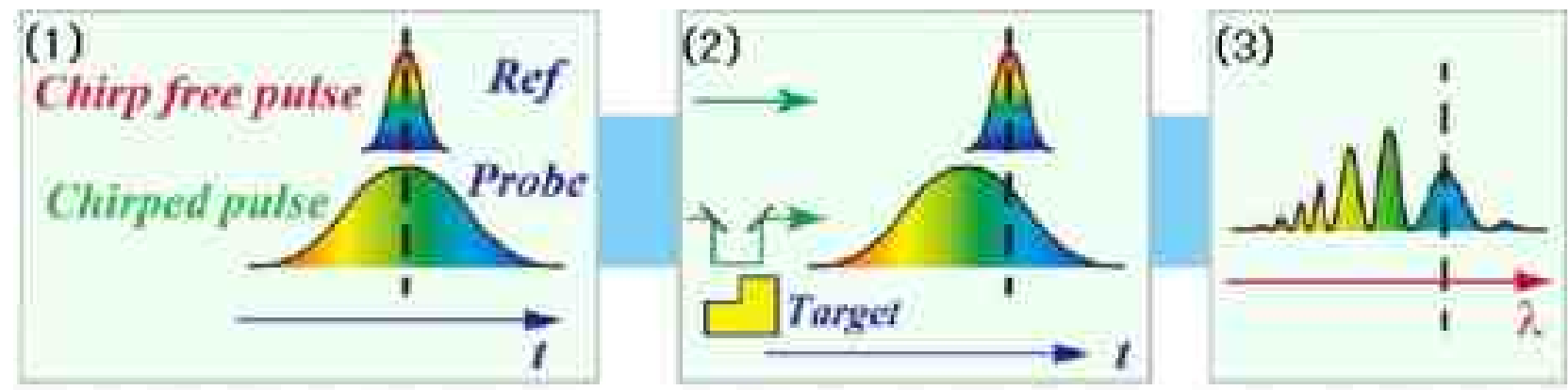
- 計測対象までの距離情報を色（周波数）情報に変換して取得する高精度で広範囲な瞬時イメージング方法
 - ✓ ファイバレーザー光コムから出射される超短パルス光を2つに分け、一方から生成した色（周波数）が規則的に変化するパルス光（チャープしたパルス光）を被測定物に照射し、その反射戻り光をもう一方のチャープの無いパルス光と重ね合わせて干渉
 - ✓ 干渉パターンスペクトルを画像素子を用いて計測し、これを解析することで距離情報を抽出



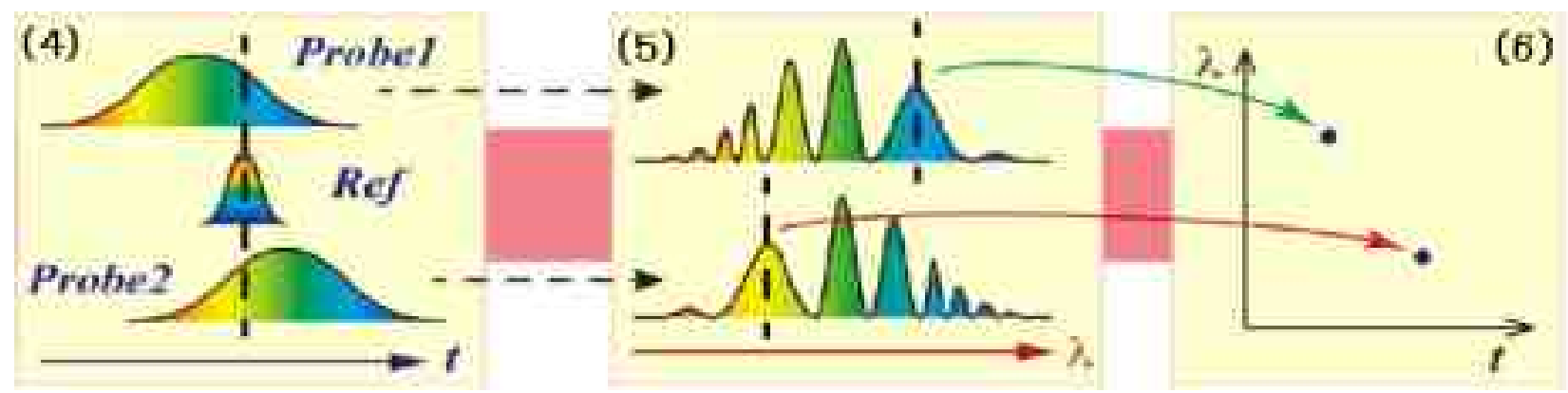
チャープの無いパルス
 どうしの干渉は到達時
 間差が大きくなると縞
 間隔が狭まる

新技術の説明(2)

➤ 干渉パターンからの距離（到達時間差）情報の抽出



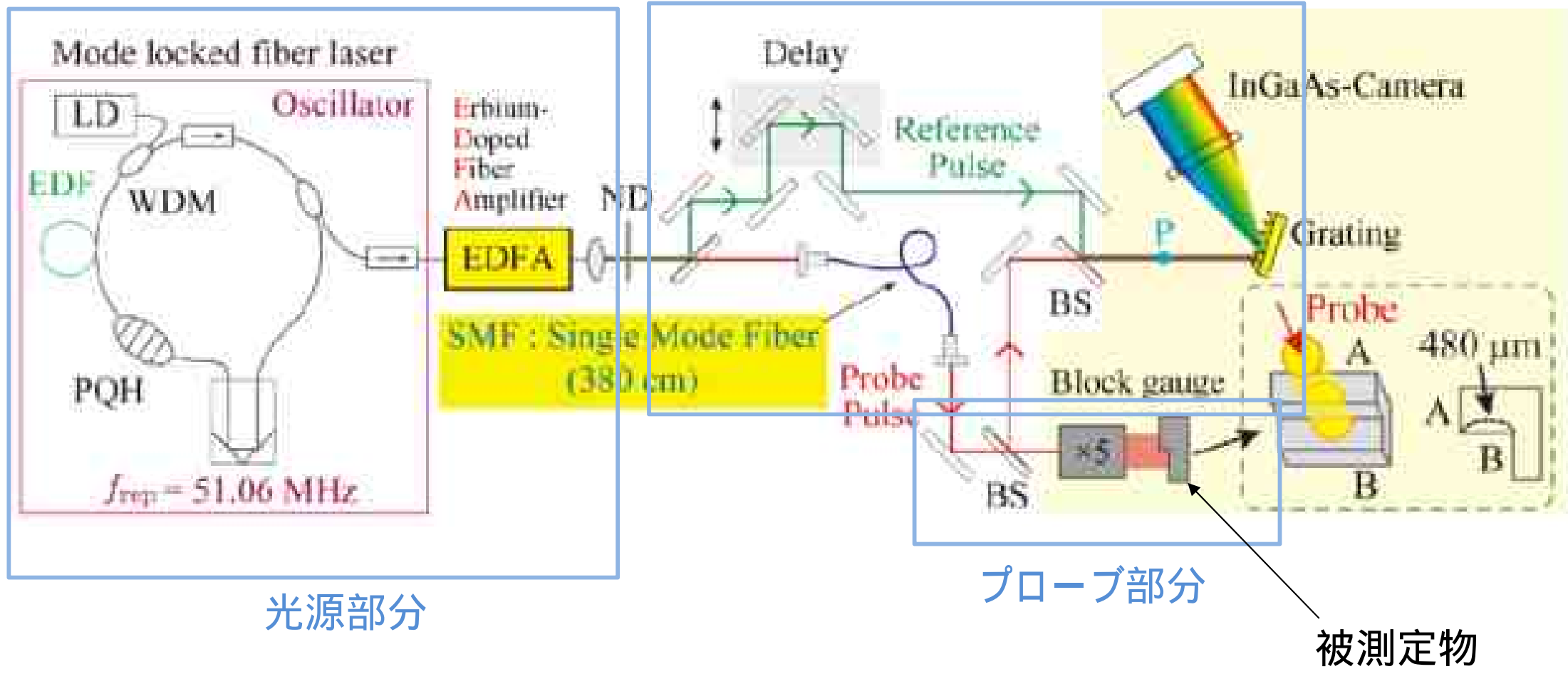
到達時間差と縞間隔が最も広くなる位置の対応が得られる



最も縞間隔が広い干渉縞位置(波長)から到達時間差が求められる

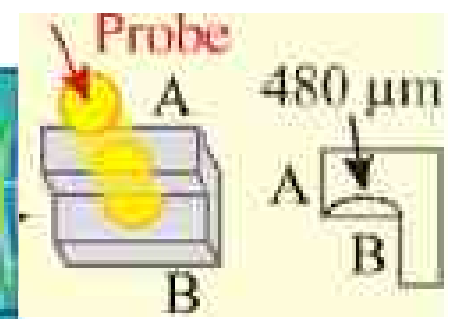
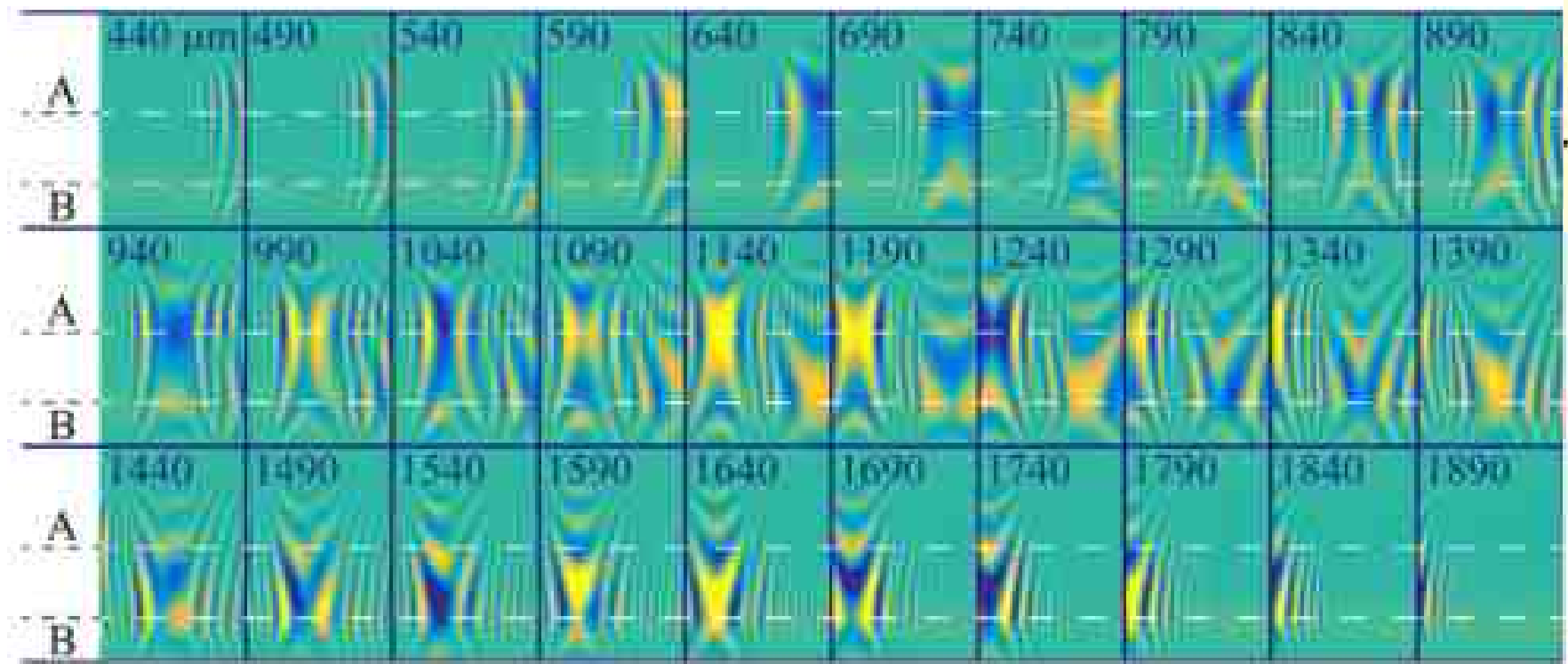
新技術の説明(3)

▶ 装置の全体図 (原理確認用) 干渉および検出光学系



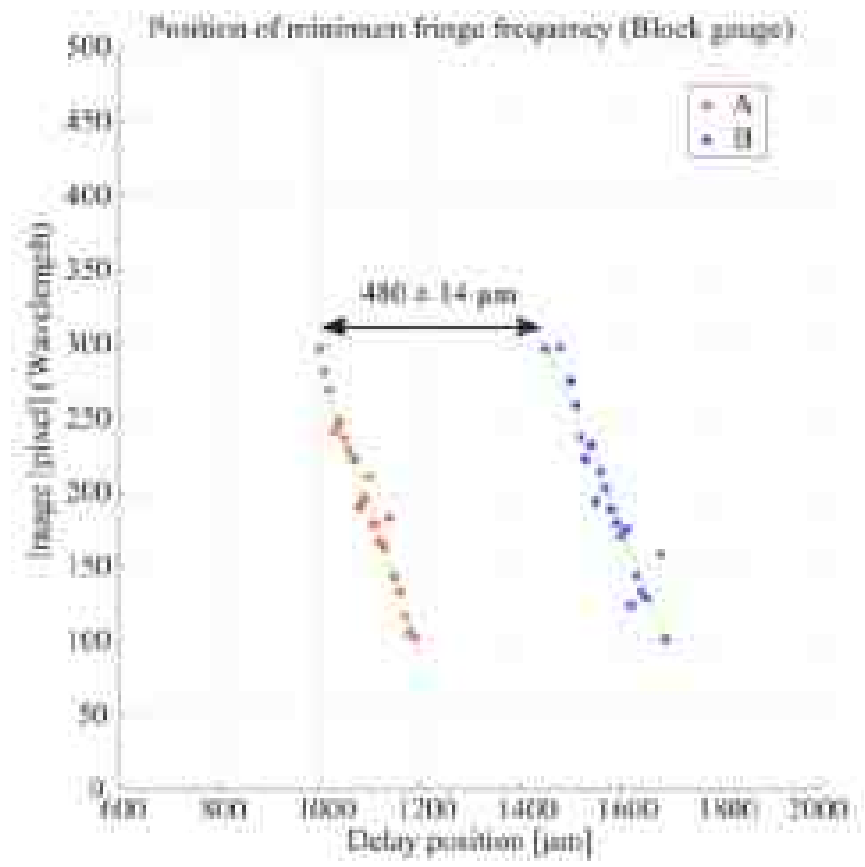
新技術の説明(4)

- 段差のあるテスト試料の同時スペクトル干渉計測
 - ✓ 参照光側の光路長をパラメータとして30枚の干渉パターンを取得し評価

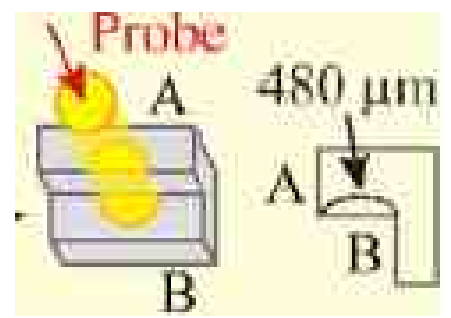


新技術の説明(5)

- 干渉縷の良好な20枚の干渉パターンから形状を解析
 - ✓ どのパターンからもAとBの段差が $480 \pm 14 \mu\text{m}$ であることが帰結



最新データではサブマイクロメートル達成



新技術の特徴・従来技術との比較

- 光コムを持つ高い制御性とコヒーレンスにより、mオーダーの測定範囲、nmの測定分解能、フェムト秒の超高速時間分解能が両立可能
- より複雑な形状の被測定物の複数箇所までの距離情報、すなわち形状情報の同時取得が可能
- ファイバーレーザーコムを用いており小型化・可搬化が可能

	測定範囲	測定分解能	データ取得時間
先行例 (特許2500379)	チャープ量による (高々数10mm)	μm (fsシャッター使用時)	高速度撮影 100 fs リフレッシュレート 20 ns 表示速度は画像装置(カメラ)による(1 / 30sec以下)
本願	数十m以上も可能	~ 数百nm (現在)	高速度撮影 100 fs リフレッシュレート 20 ns 表示速度は画像装置(カメラ)による(1 / 30sec以下)

新想定される用途

- 被測定物の高速3次元データ取得
- ものづくりにおけるmオーダーの大きさの対象物や
高アスペクト比形状物の精密計測
 - ✓ mオーダーの大きさ、nmオーダーの精度
- レーザー加工,物質改変,衝撃波発生等の
単発現象のイメージング

実用化に向けた課題

- 面内分解能向上のための光学系
 - ✓ 2次元情報取得光学系の実装と波長分解光学系とのマッチング
- 奥行き方向の分解能向上のための光学系の改良
 - ✓ 光学系のモジュール化による干渉縞パターンの安定化

企業への期待

- 計測ニーズに合致したカスタマイズ
 - ✓ 共同研究から開発へ

- 各部光学系の設計・モジュール化による高精度化、堅牢化、安定化
 - ✓ 多色光学設計

本技術に関する知的財産権

発明の名称	形状測定方法及び形状測定装置
発明者	美濃島薫
出願人	電気通信大学
出願番号	2016-040061

< 関連発明 >

- 「距離測定装置」：
特開2016-48188 電気通信大学、美濃島薫、中嶋善晶
- 「光パルスを用いた三次元形状測定装置」：
特許2500379 工業技術院長 美濃島薫、松本弘一

お問い合わせ先

電気通信大学大学

ERATO美濃島知的光シンセサイザ

研究推進主任 大平 博之

TEL/FAX 042 - 443 - 5565

e-mail [hiroyuki.ohira\[at\]uec.ac.jp](mailto:hiroyuki.ohira[at]uec.ac.jp)