



国立大学法人  
東京農工大学  
Tokyo University of Agriculture and Technology

# 光のままの信号処理を活用する レーザー距離変位計測とファイバ触覚

大学院工学研究院

先端電気電子部門

教授 田中 洋介

2024年 7月 25日

# 本日紹介する技術の概要

【目標】 シンプルさと高精度が  
両立したレーザ計測システム

【紹介するシステム】

A. レーザ距離変位計測システム

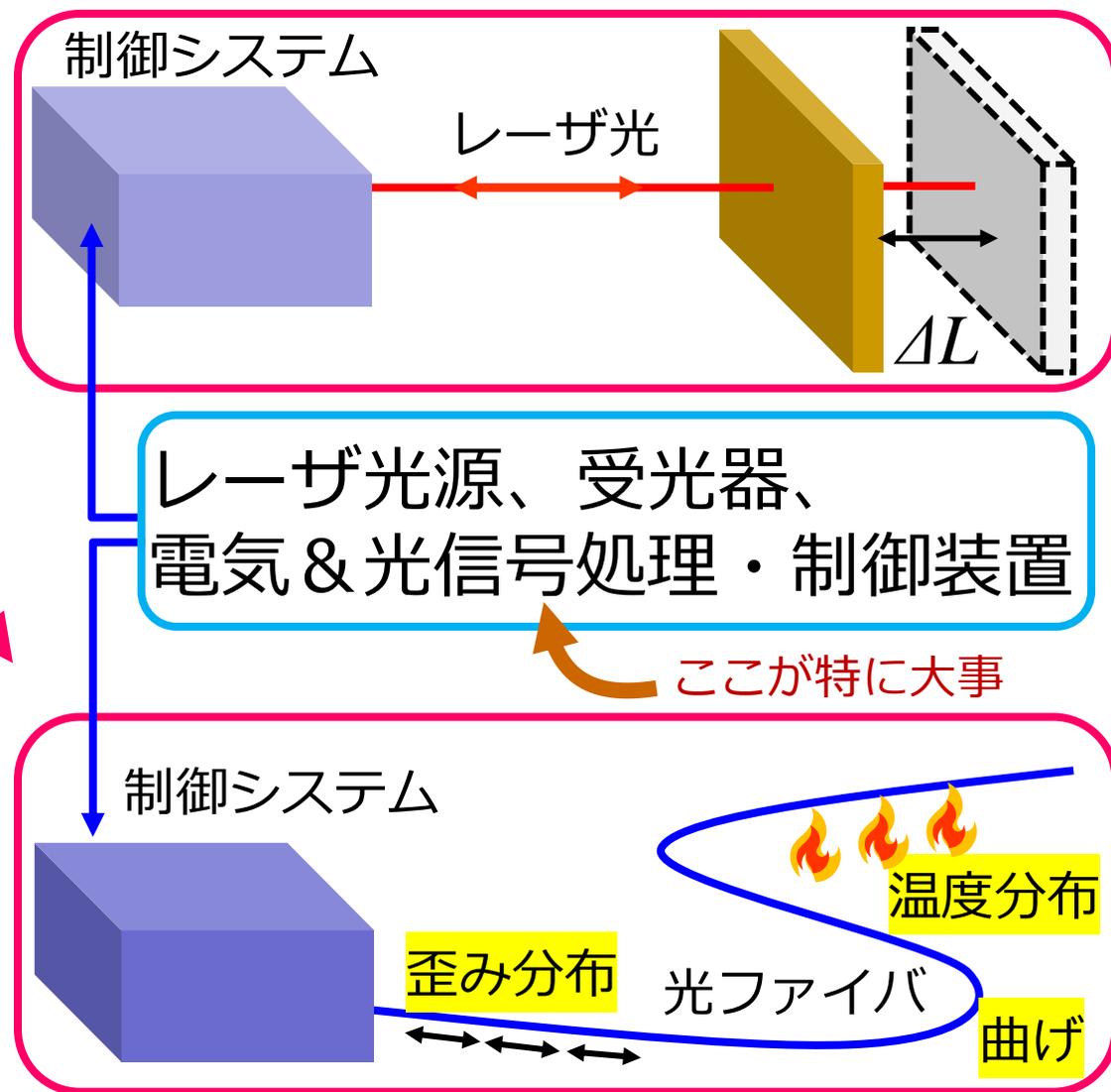
レーザで非接触計測

B. 光ファイバ触覚システム

物体に貼りつけて触覚のように機能

【カギとなる技術】

光のままで可能な信号処理は、  
電気にせず、**光のまま行う技術**

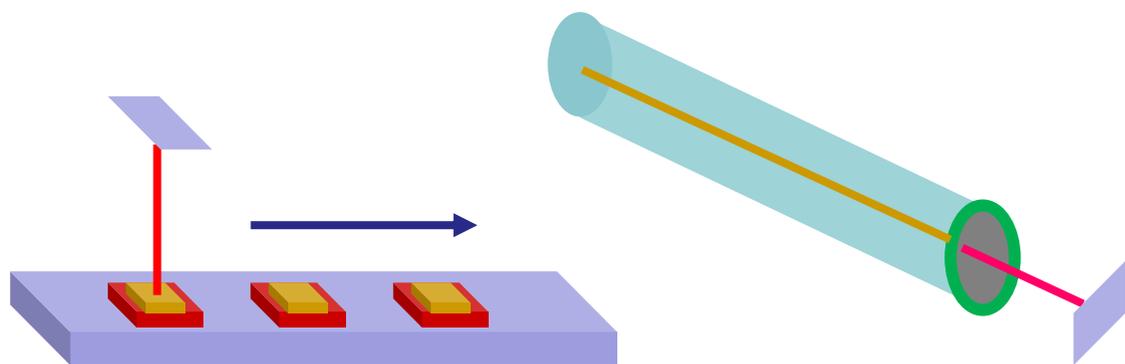


# 技術の特徴、応用、期待される性能

## A. レーザ距離変位計測

(特徴)非接触、高精度、高速、  
広計測範囲

(応用)構造ヘルスマモニタリング  
形状計測、品質管理



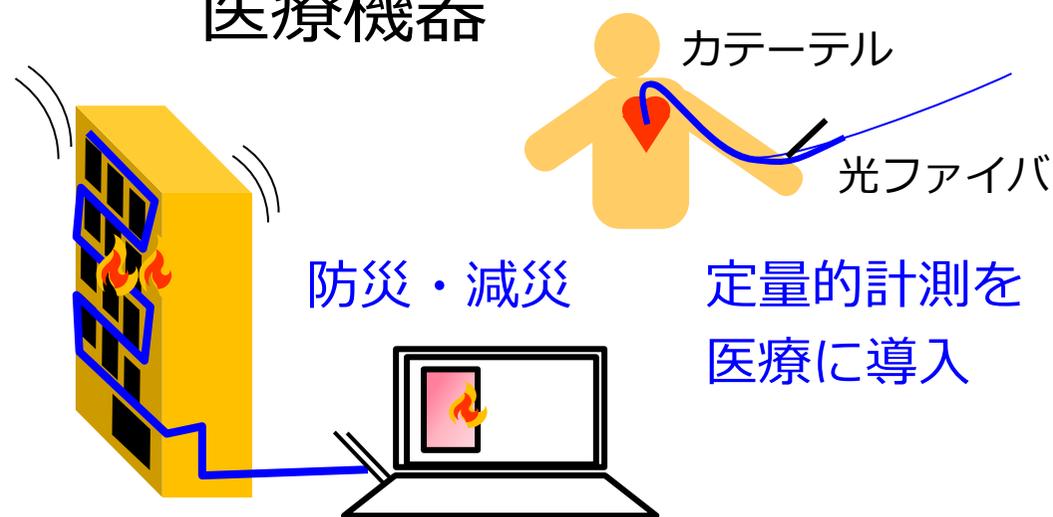
生産ラインの品質管理  
多品種少量生産への対応が  
今後より重要

建造物の検査  
目視に頼らない  
検査

## B. 光ファイバ触覚

(特徴)低侵襲、形状自由、  
電磁雑音フリー、高速  
高精度、分布・多点計測

(応用)構造ヘルスマモニタリング、  
医療機器



防災・減災

定量的計測を  
医療に導入

→ 高精度のまま、計測範囲を広げたい

→ よりシンプルに、より高速に

# レーザー距離変位計測システム（構成 1）

- 高精度レーザー距離変位計測には何らかの高周波信号が必要
  - これ自体は問題ない

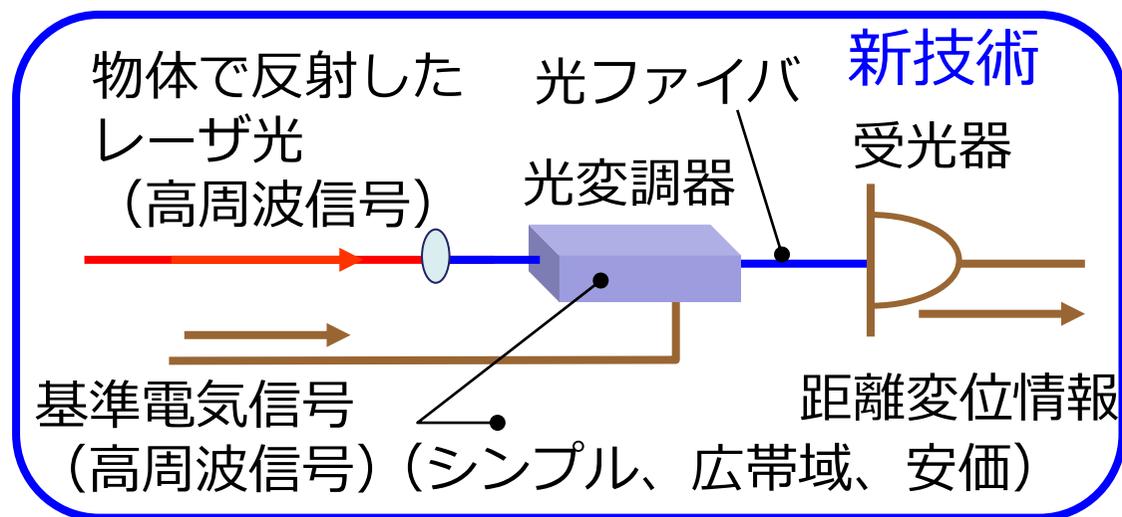
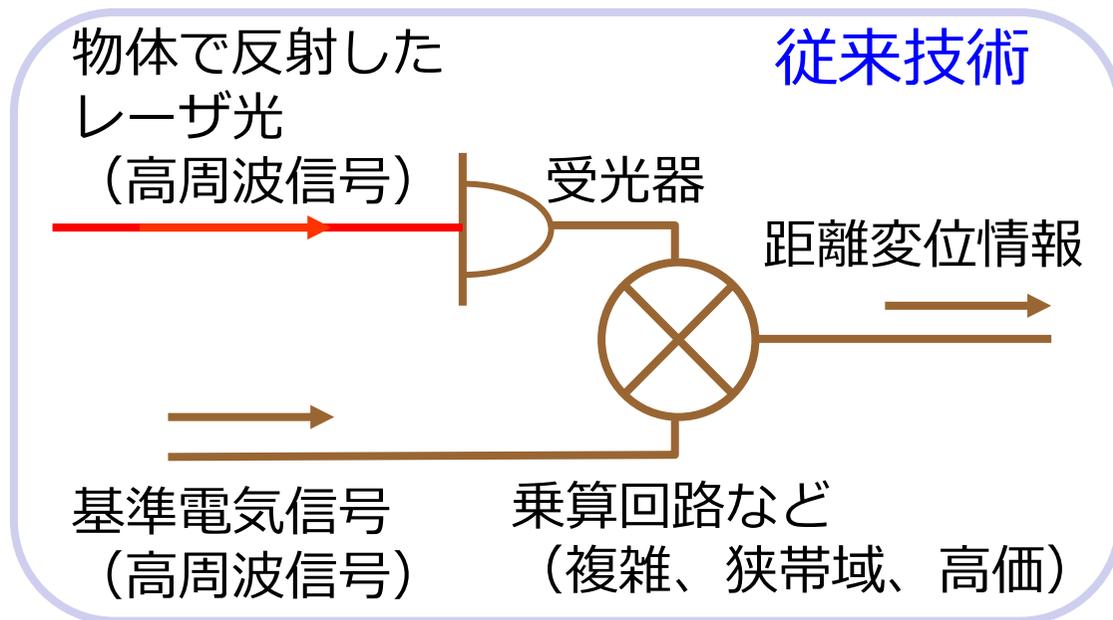
## 【従来技術】

- 高周波信号どうしの演算は一般に複雑な電気回路が必要

## 【新技術①の信号処理】

- 光変調器による光信号のままの演算を導入（相関信号検出）

参考：特許7493773



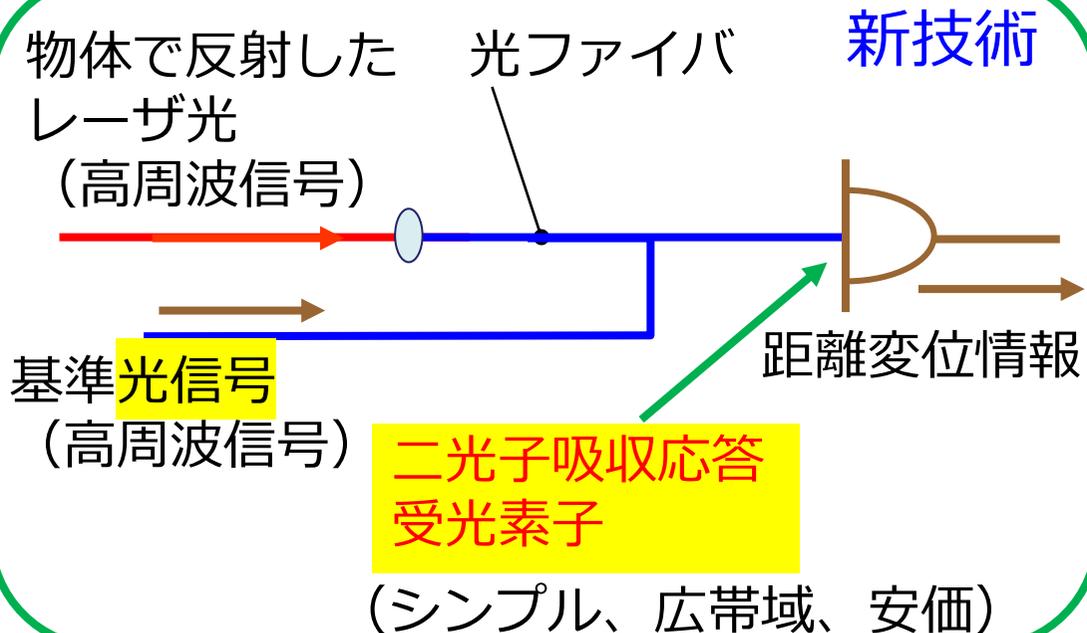
# レーザ距離変位計測システム（構成2）

## 【新技術②の信号処理】

- 受光素子の二光子吸収応答（二乗特性）の利用



### 一般的な受光素子の応答



- 新技術①、②ともに広帯域なため、どのような周波数の光信号にも柔軟に対応できる

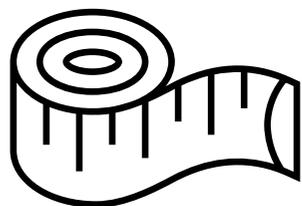
参考：特許7493772、特許7061364

# レーザー距離変位計測（計測範囲拡大）

- 計測精度の維持と計測範囲の両立は重要

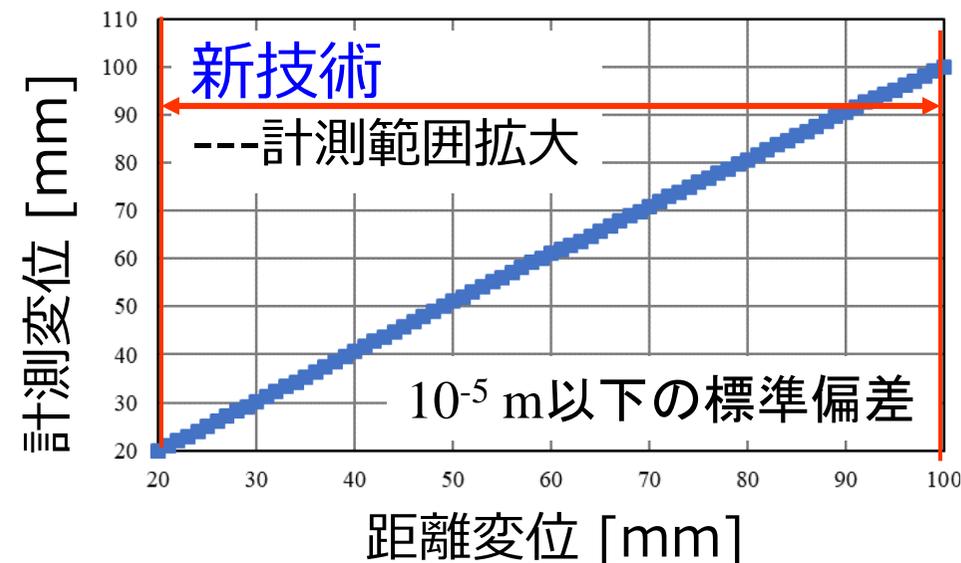
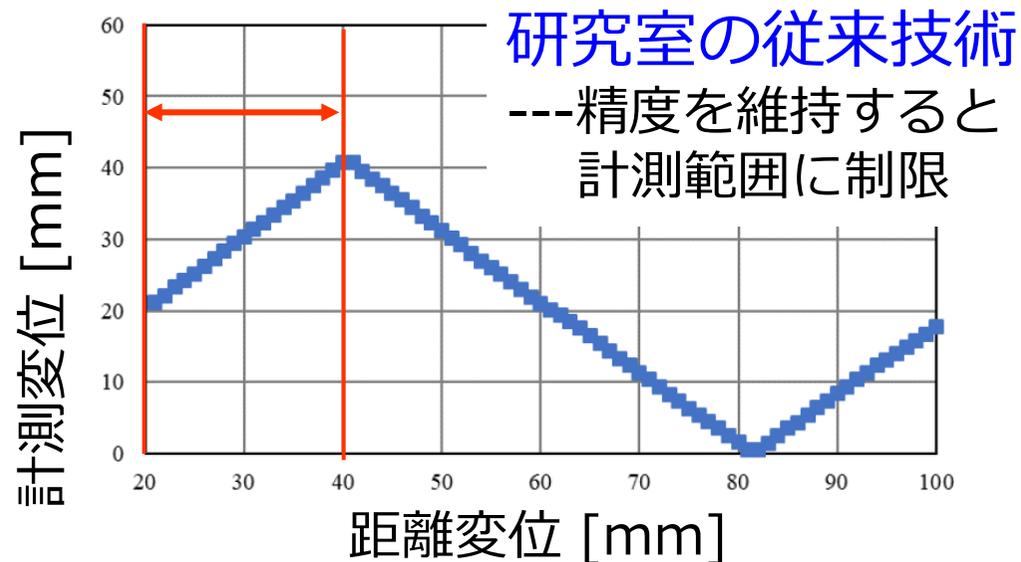


- 従来は精度を維持すると計測範囲に制限



- 新技術は、さまざまな信号に対し、高調波の位相情報の利用で計測範囲拡大

参考：特許7493773



# レーザー距離計測（計測時間の短縮）

- 計測精度の維持と計測時間の両立は重要



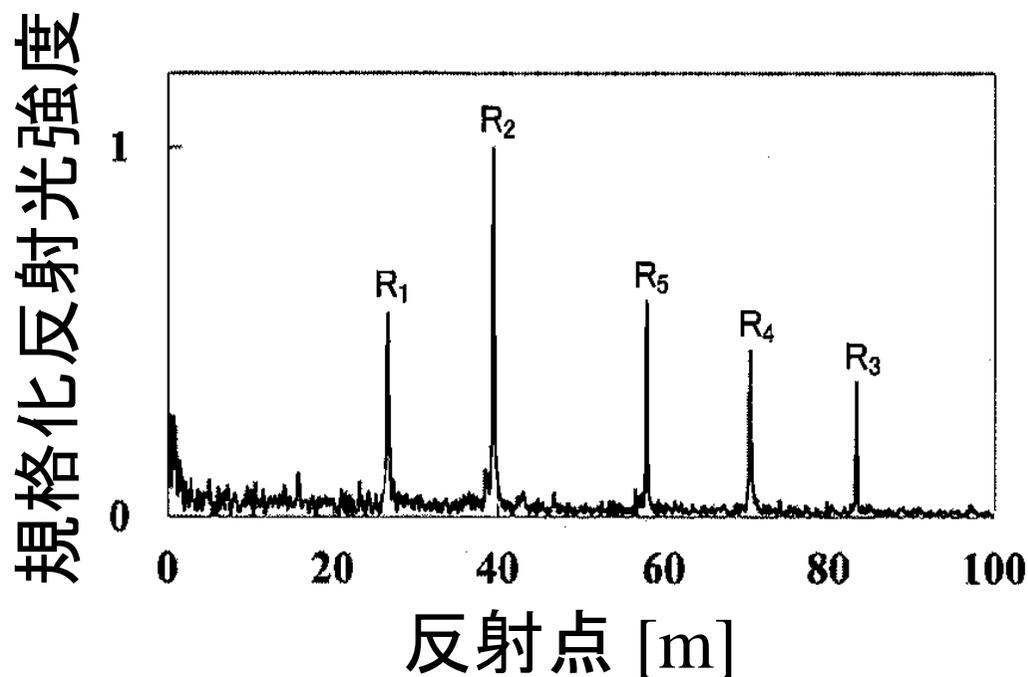
- 適切な信号処理が必要



×全電気信号処理では、演算ハードウェアが柔軟に対応できない



○光のままの信号処理なら信号周波数が自在に変更可能  
→適切な高周波信号処理



信号周波数の調整により、精度を落とさず、計測時間を1/10以上短縮した多点反射点計測（光ファイバ反射点計測）

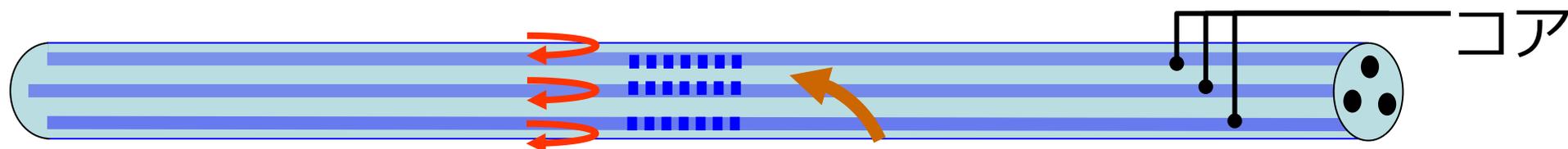
参考：特許7061364

# 光ファイバ触覚システムその1

【曲げ形状センシング】①光の通り道（コア）が複数ある

＜マルチコア光ファイバ＞を使用

③屈折率変化による光反射



④反射波長 $\propto$ 屈折率変化の周期

②周期的な屈折率変化を付与  
(光ファイバ回折格子)

⑤曲げると…

外側：  
周期 $\rightarrow$ 広がる

内側：  
周期 $\rightarrow$ 縮まる

⑥各コアの反射波長の変化から、  
曲げの向きと大きさがわかる。

【従来技術】各コア毎に計測

【新技術】全コアを1つの受光素子で一括計測

参考：特許7247446

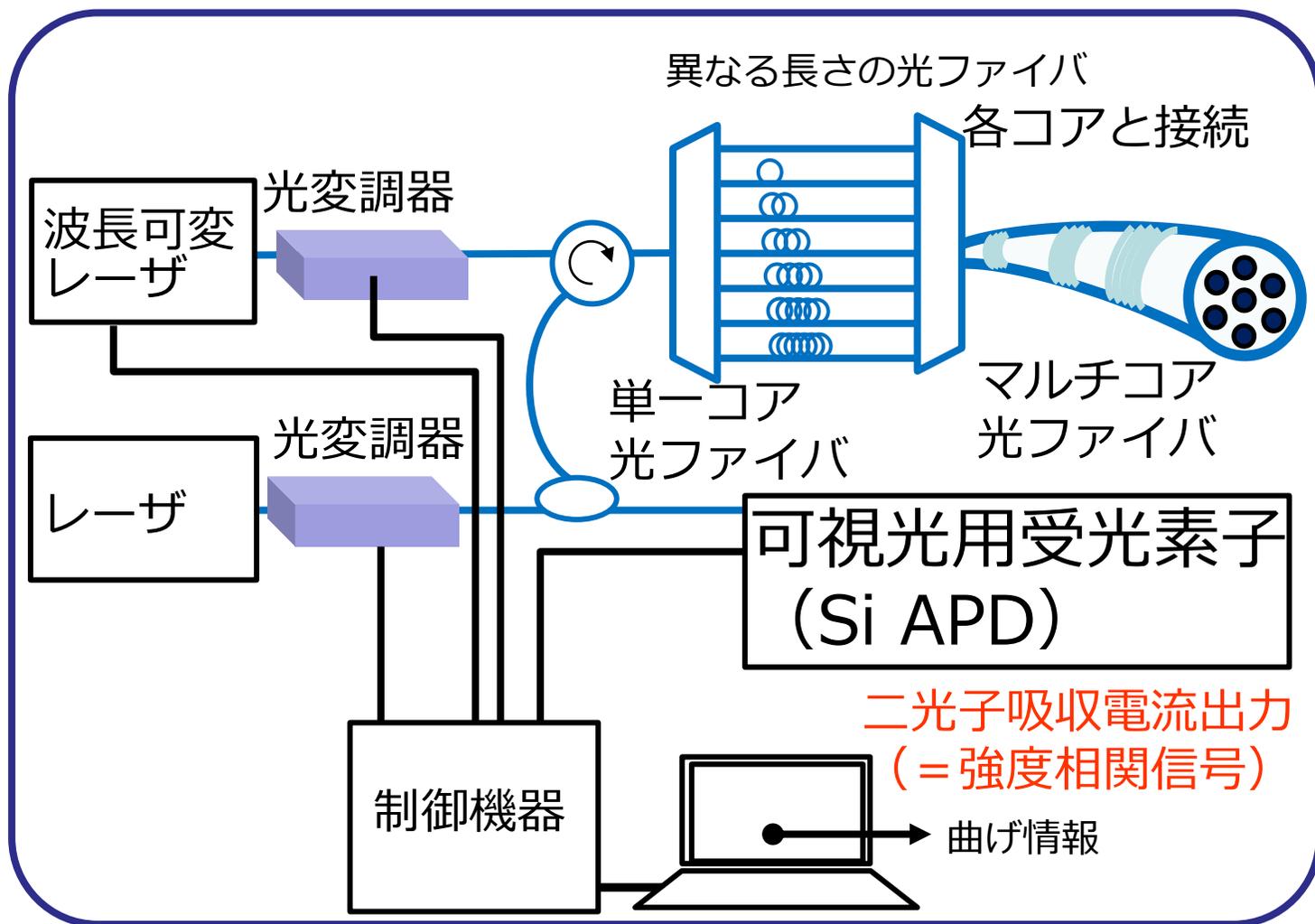
# 光ファイバ曲げ形状センサの基本構成

## 【新技術】

- 1台の受光器
- 1本の光信号線
- 長手方向の反射波長が重なっても計測可能

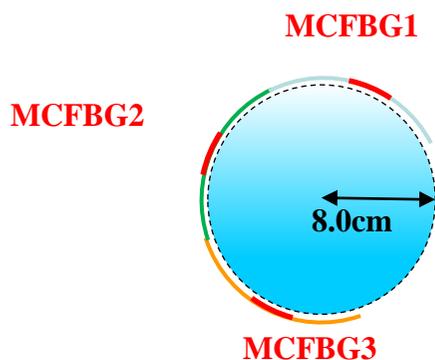
## 【従来技術】

- 光スイッチによる光路切換え、または
- 複数の光信号線と複数の受光器
- 長手方向の反射波長が重なると計測不能

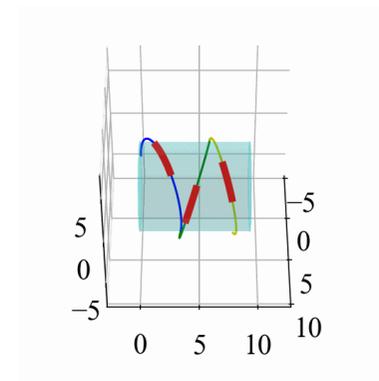
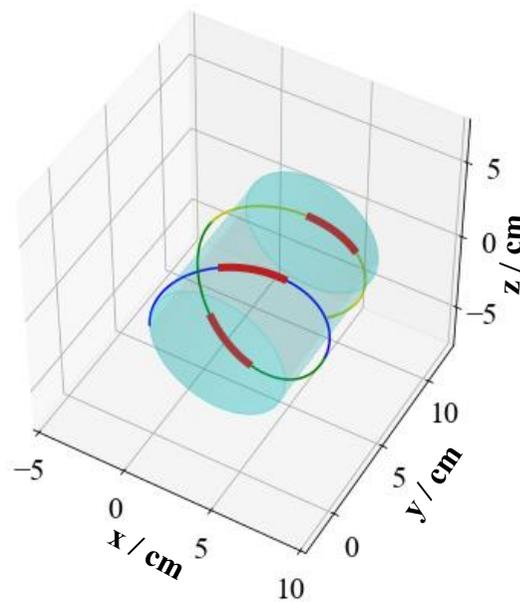
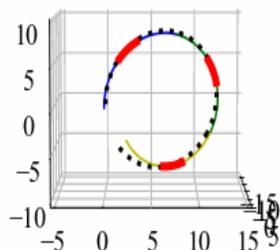
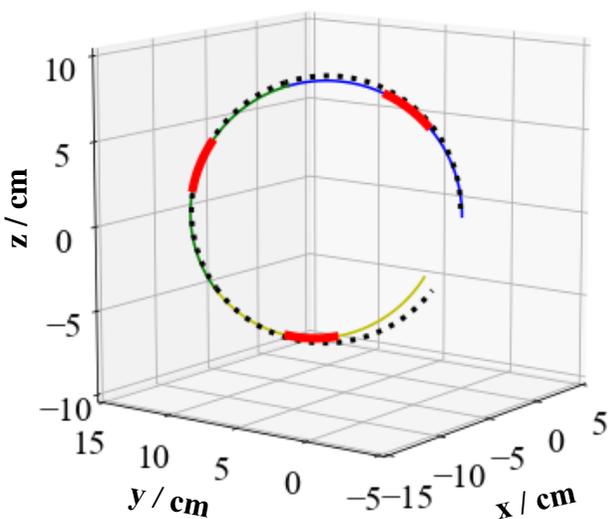
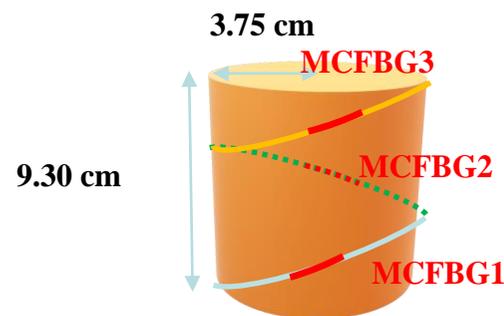


# 光ファイバ曲げ形状センサの出力例

- 円筒周囲の計測



- 螺旋形状の計測



# 光ファイバ触覚その2

## 【温度・歪み分布センシング】

### 基本原理

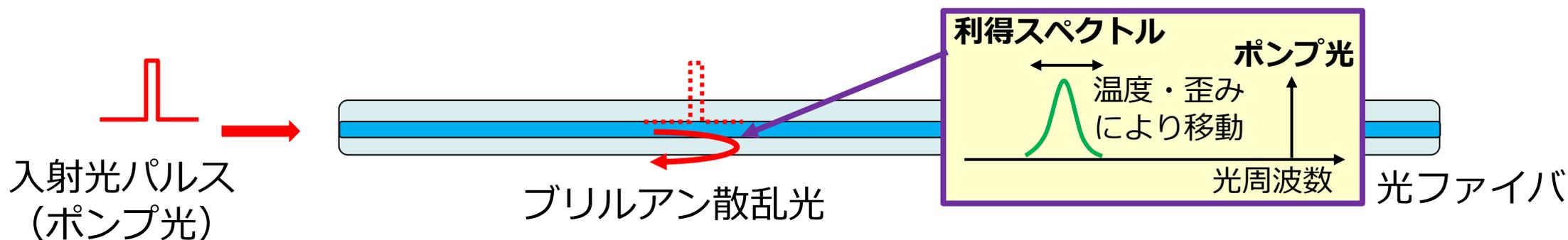
A) 散乱光は入射光の存在する位置だけで発生

→パルス光入射後の散乱光検出時間から、散乱光発生位置がわかる

B) 散乱光スペクトルは温度、歪みに比例して周波数軸上を移動

→スペクトル情報から、温度、歪みがわかる

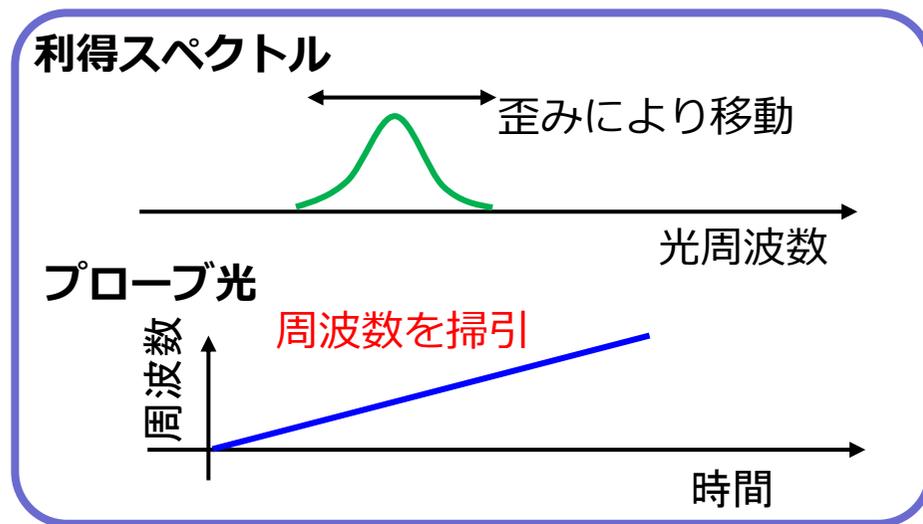
A), B) から、光ファイバに分布する温度、歪みの情報がわかる



# 光ファイバ温度・歪み分布センシング

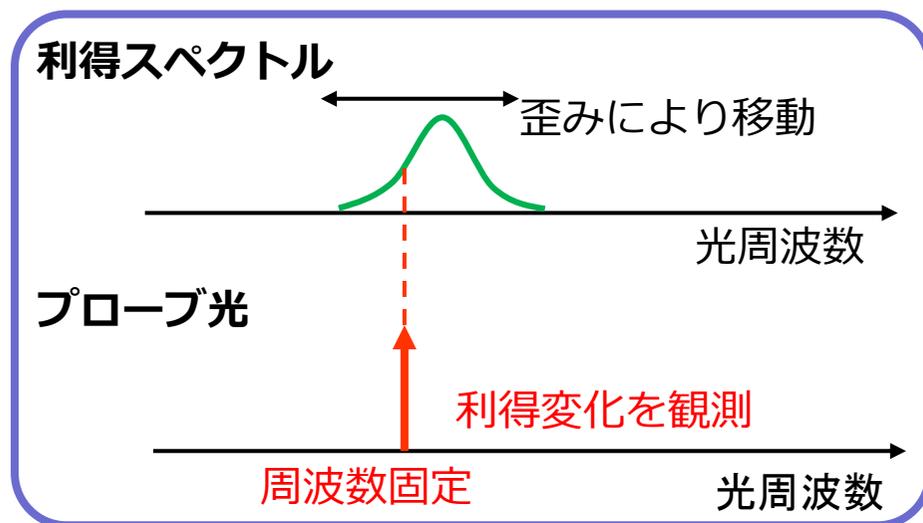
## 【従来技術①と課題】

- プローブ光等の周波数掃引によりスペクトル変化を測定
- 掃引時間・掃引制御に課題



## 【従来技術②と課題】

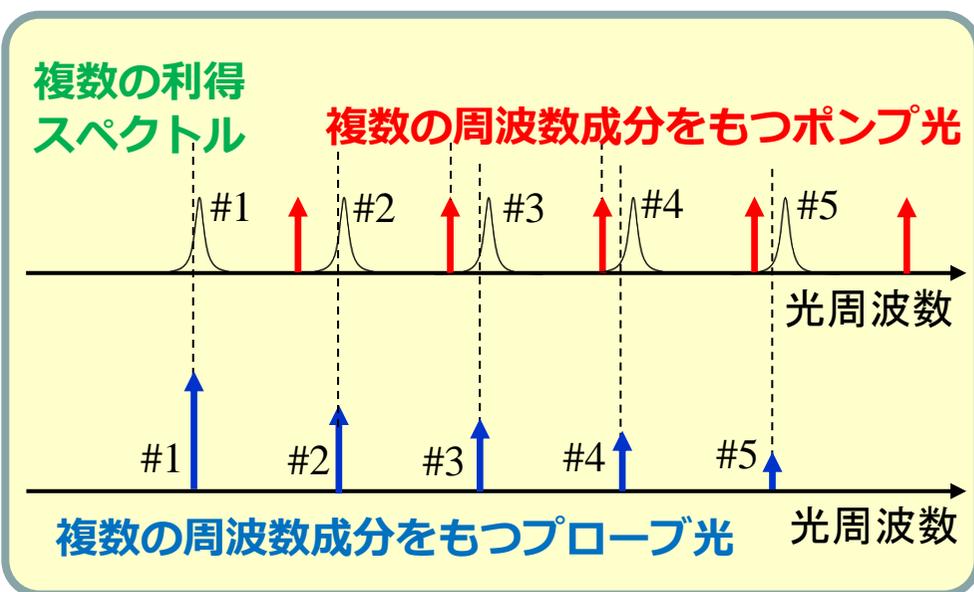
- 特定の周波数について、スペクトル移動に伴う散乱光パワー変化を観測
- 計測時間の短縮、しかし
- 出力の線形性に課題



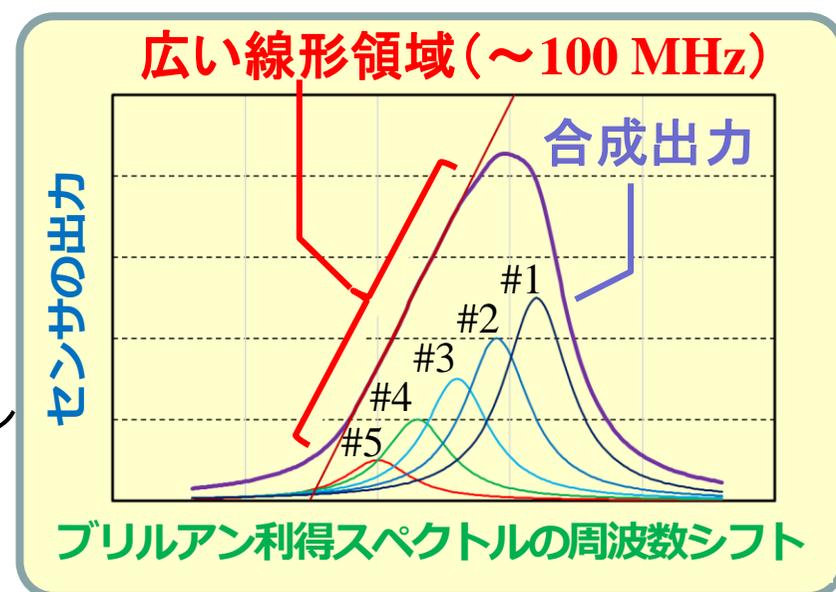
# 光ファイバ温度・歪み分布センシング

## 【新技術①】

- 複数の周波数成分をもつポンプ光を利用
- 各周波数成分の振幅と周波数間隔は適切に制御
- 複数の周波数をもつプローブ光を利用
- 各周波数成分の振幅と周波数間隔は適切に制御

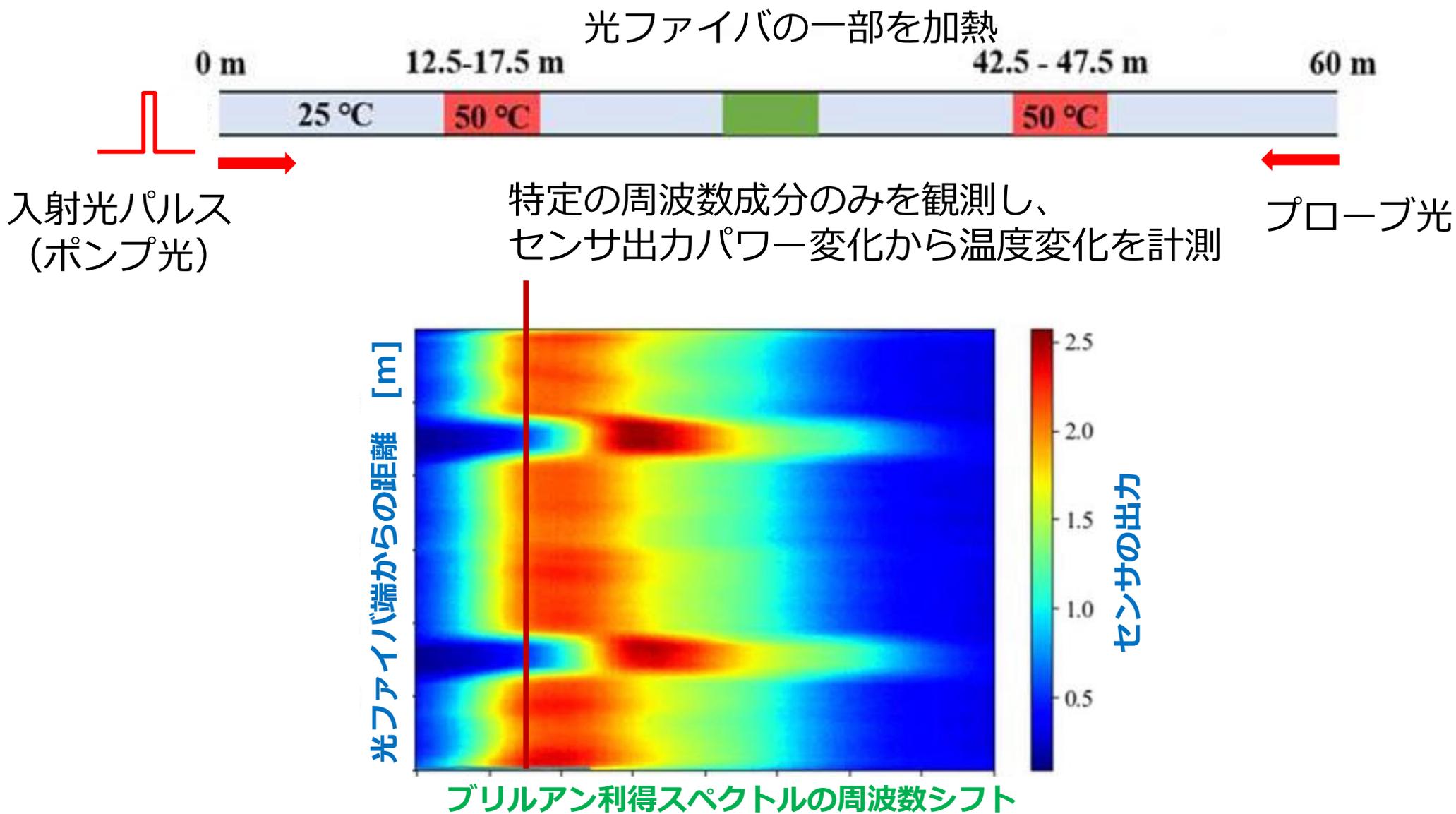


利得スペクトルが移動すると



参考：特許7352962

# 光ファイバ温度分布計測の例

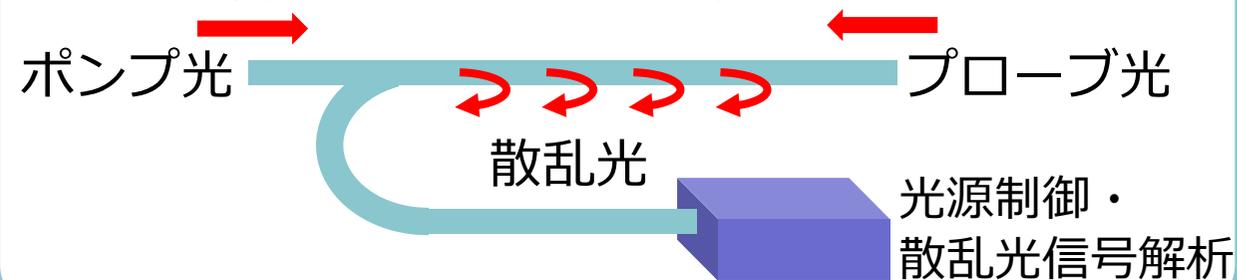


# 光ファイバ温度・歪み分布センシング

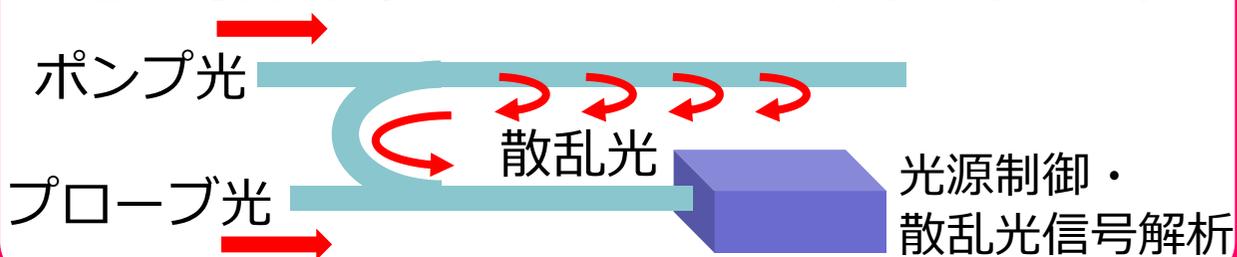
## 【新技術②】 出願済み（未公開）

- 光ファイバの片端だけからポンプ光を入射する手法（リフレクトメトリー）
- 散乱光検出を従来よりも少ないコンポーネントで行う技術を実現

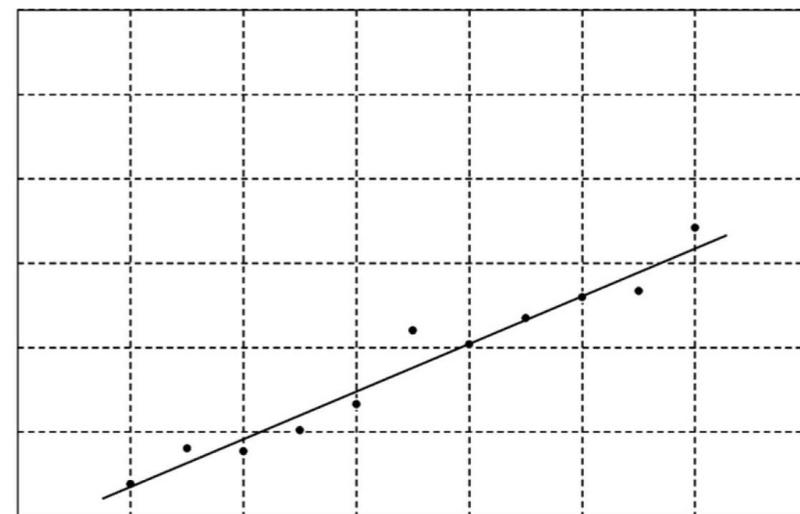
### 両端入射構成（ブリルアン解析法）



### 片端入射構成（ブリルアンリフレクトメトリー）



センサの出力



ブリルアン利得スペクトルの周波数シフト

# まとめ：従来技術の現状

- レーザ距離変位計測や分布型光ファイバセンサには数多くの手法があり、実用化されているものも数多い。
- 有用さは認識されているものの、コストの問題がさらなる普及の障壁と考えられる。
- より簡易な構成により、低価格化や、小型化が実現することで、今後の普及に拍車がかかると考えられる。

# まとめ：新技術の特徴

- 新技術では、高性能システムで重要な高周波信号処理を全て電気信号で行うのではなく、光で可能なことは光のまま行う。
- 光信号処理の広帯域性により、測定範囲や測定精度を柔軟に変更できるシステムが構築できる。
- 複雑な電気回路を削減できるため、システムコストを～1/2程度抑えられると期待できる。

## まとめ：想定される用途

- 新技術によるレーザ距離変位計測システムは、多品種少量生産される機械部品の検査装置に適用すれば、計測範囲可変のメリットが活かされると考えられる。
- 新技術による光ファイバセンサは、細長い空間や領域に設置して、より広い範囲を速く正確に計測する目的に適していると考えられる。
- これらは品質管理、構造検査、医用機器など多くの応用が考えられる。

# 実用化に向けた課題

- システム制御パラメータについて、より最適条件がないか、さらなる検討が必要。
- 実験室内での原理確認が中心であるため、実際の使用環境に即したデータの取得が必要。
- 現在は汎用機器からなるシステムとなっているが、必要な専用機器による実装化の検討が必要。

# 企業への期待

## ● レーザ距離変位計測について

レーザ形状計測や品質管理に関心のある企業との共同研究を希望。

## ● 光ファイバ曲げ形状センサについて

医療分野等で機器の曲げ形状計測をはじめ、先進的計測に関心のある企業との共同研究を希望。

## ● 分布型光ファイバセンサについて

光ファイバを組み込んだ鋼材等で構造物監視を行う技術を開発中の企業との共同研究を希望。

# 企業への貢献、PRポイント

- 紹介した技術は従来よりシステム構成要素が少ないため、実用化によりコスト削減に貢献できると考えている。
- 研究室では20年以上にわたり、様々な光ファイバセンサやレーザ計測技術を研究しており、それらの知見が蓄積されている。

# 本技術に関する知的財産権

出願番号	登録番号	発明の名称	出願人	発明者
2018-110825	特許7061364	距離測定装置及び距離測定方法	東京農工大学	田中 洋介
2019-46091	特許7247446	マルチコア光ファイバセンシングシステム	東京農工大学	田中 洋介
2020-24536	特許7352962	ブリルアン周波数シフト測定装置及びブリルアン周波数シフト測定方法	東京農工大学	田中 洋介 長谷川 貴大
2020-139983	特許7493772	距離測定装置及び距離測定方法	東京農工大学	田中 洋介
2020-139984	特許7493773	変位測定装置及び変位測定方法	東京農工大学	田中 洋介
出願済み (未公開)		測定装置及び測定方法	東京農工大学	田中 洋介

# お問い合わせ先

---

東京農工大学  
先端産学連携研究推進センター

Tel 042-388-7550

Fax 042-388-7553

e-mail [suishin@ml.tuat.ac.jp](mailto:suishin@ml.tuat.ac.jp)



MORE  
SENSE

Tokyo University of  
Agriculture and Technology

