

# レーザー光の FM 変調特性に 影響されない FMCW 光距離センサ

金沢大学 理工研究域 フロンティア工学系

教授 飯山 宏一

2023 年 8 月 17 日

# 本発明について

- 内容
  - 光による測距装置（電磁波でも適用可能）
  - FMCW 法を利用
- 特徴・新規ポイント
  - 2つの干渉計の干渉信号を利用する
  - 2つの干渉信号の瞬時ビート周波数の比較により、測定対象までの距離を測定する
  - 特殊な信号サンプリングや信号処理は不要である
  - 電子回路のみで (PC 不要で) 距離測定も可能である

# 研究背景

## 光を用いた距離計測技術の開発・発展

### ■ 特徴

- ・ 非接触測定・遠隔測定
- ・ 耐電磁無誘導
- ・ 高感度
- ・ 高精度

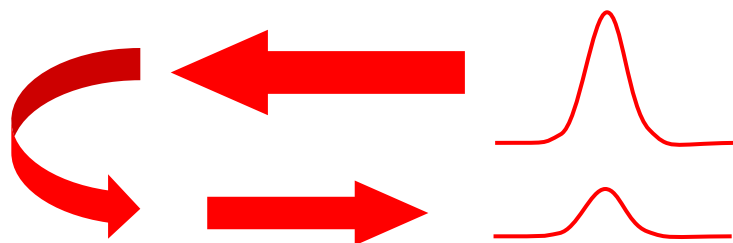
### ■ 応用例

- ・ 物体形状測定
- ・ レーザレーダ (LiDAR)
- ・ 各種測量

# 光による測距技術の応用例（自動車レーダー）

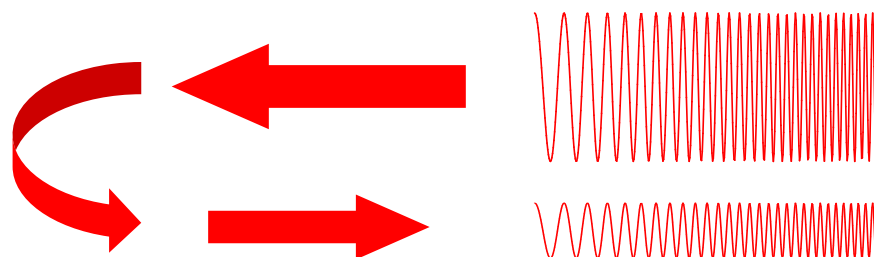


## パルス法



- 短パルスを照射
- パルスが戻ってくる時間を測定
- 精度や分解能はパルス幅に依存
- 短パルスは受信が困難
- ピーク光パワーは大きい（100 W）

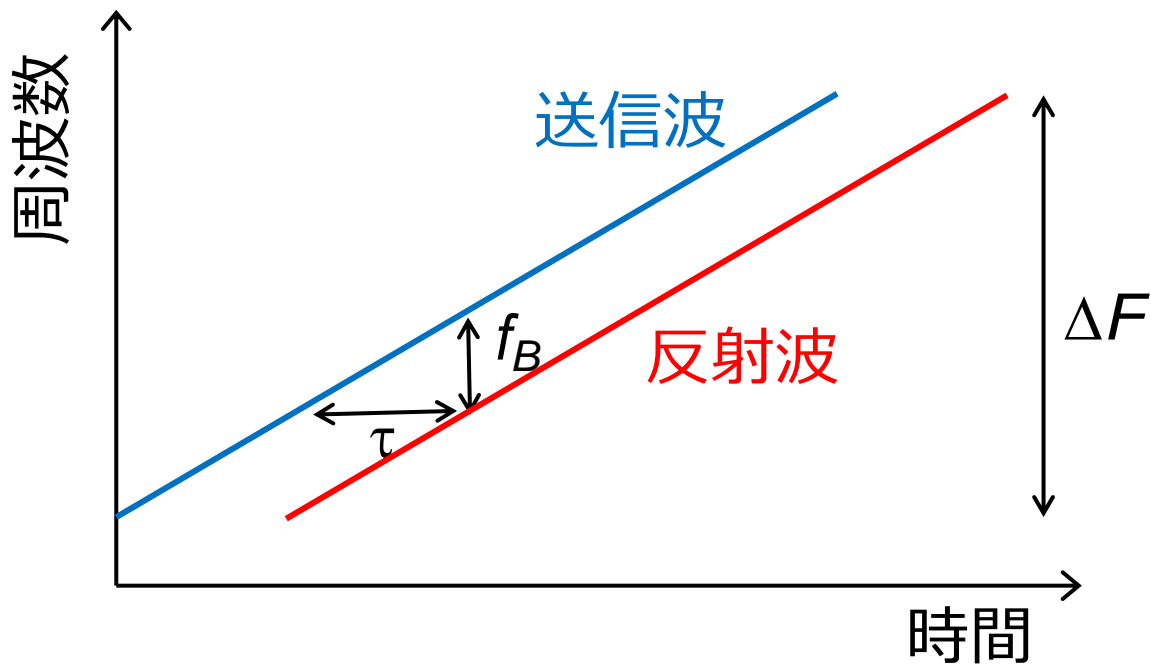
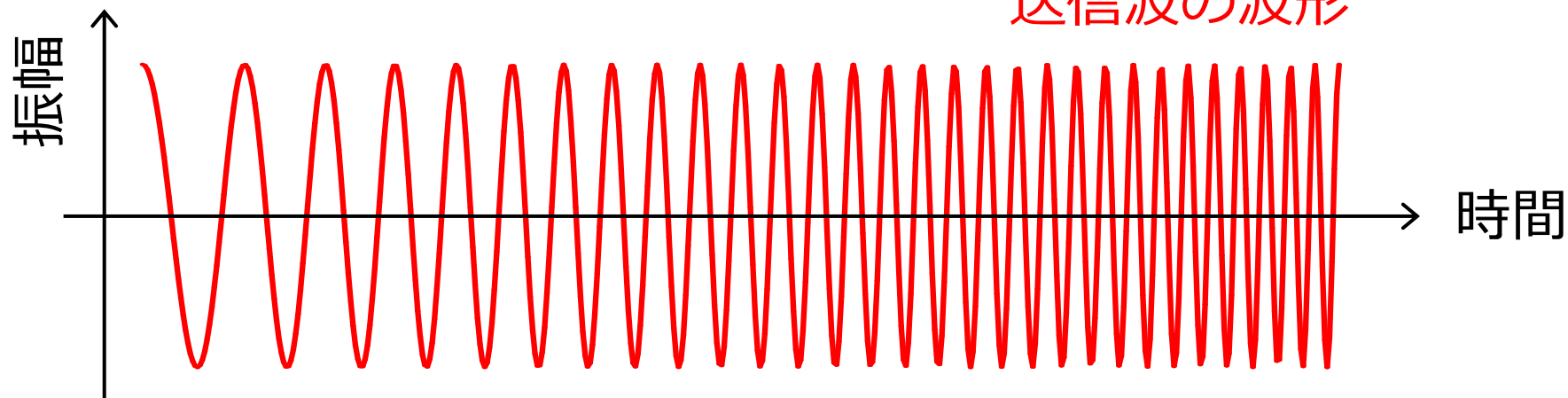
## FMCW 法



- 周波数チャープ波を照射（連続光）
- 反射波と送信波のビートを測定
- ビート周波数は距離に比例
- 精度や分解能はパルス法より高い
- 光パワーは小さい（数 10 mW）
- 周波数解析が必要

# FMCW 法

送信波の波形



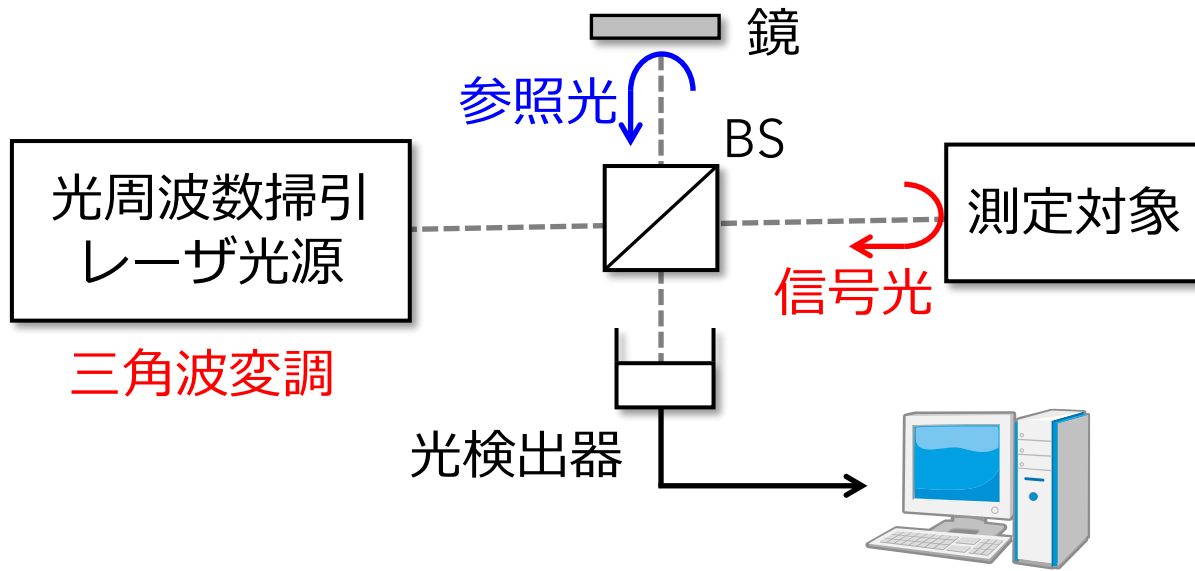
$\tau$  : 反射波の遅れ時間  
 $f_B$  : ビート周波数  
 $\Delta F$  : 周波数変化幅

ビート周波数 :  $f_B = \gamma\tau = \frac{2n\gamma}{c}L$

距離分解能 :  $\delta L = \frac{c}{2n\Delta F}$

$\gamma$  : 光周波数掃引率 (左図の傾き)

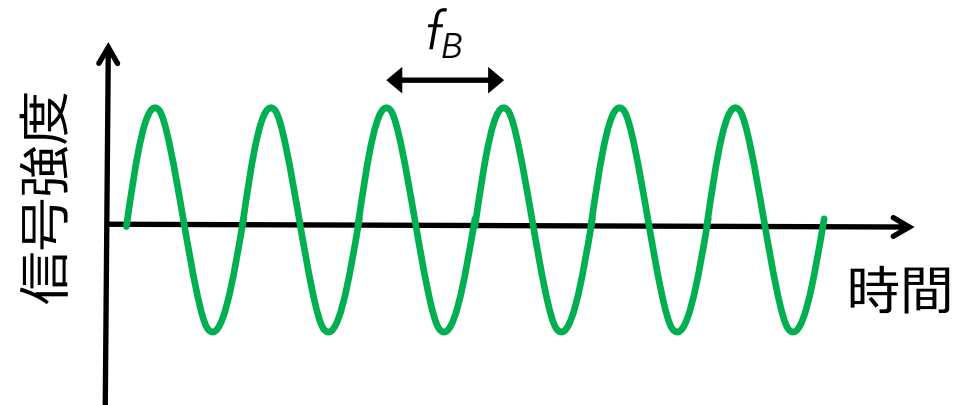
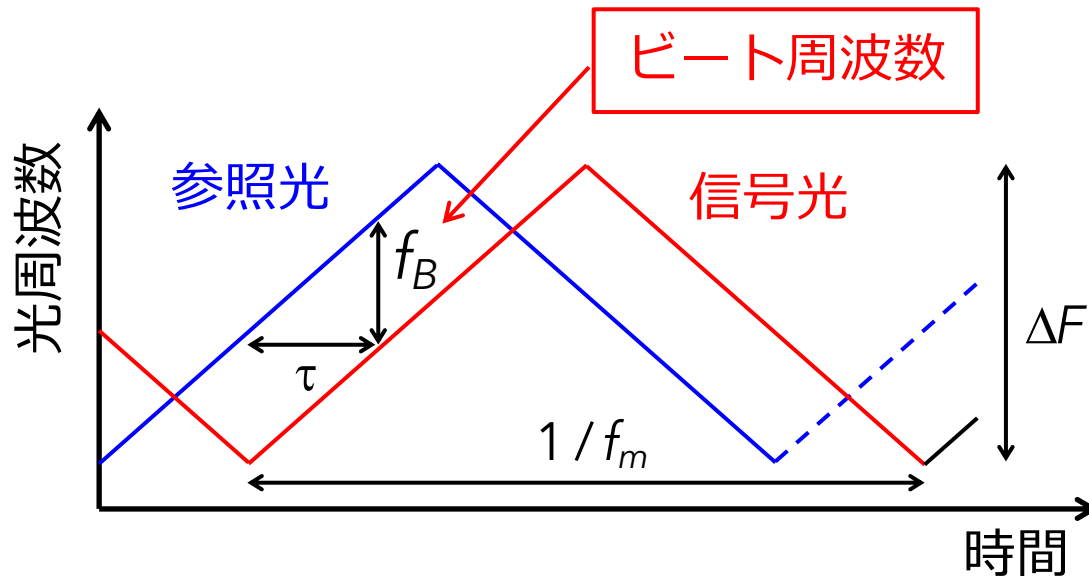
# FMCW 光距離センサ



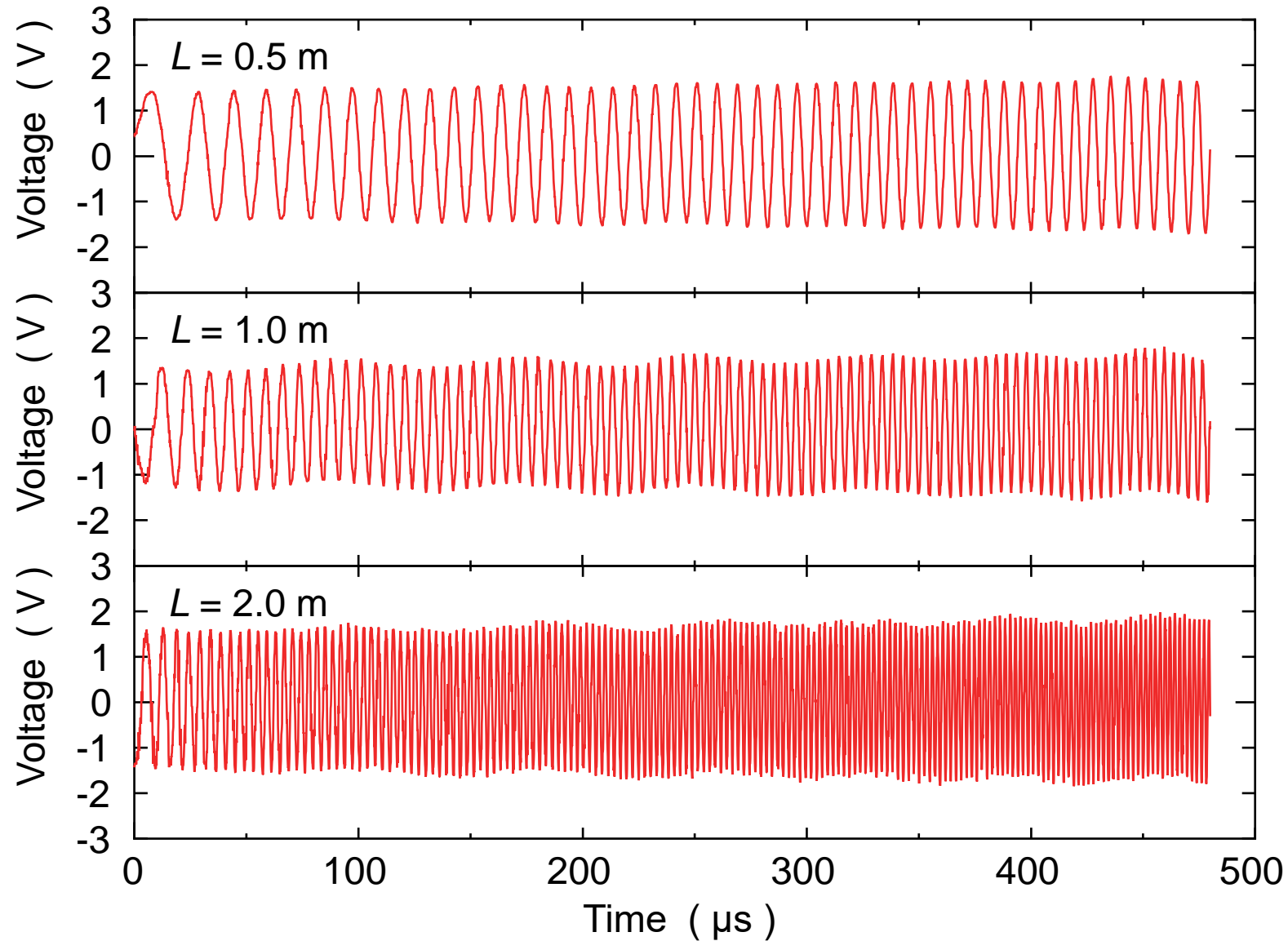
光の干渉を利用  
(参照光と信号光を乗ずる)



高感度化を実現



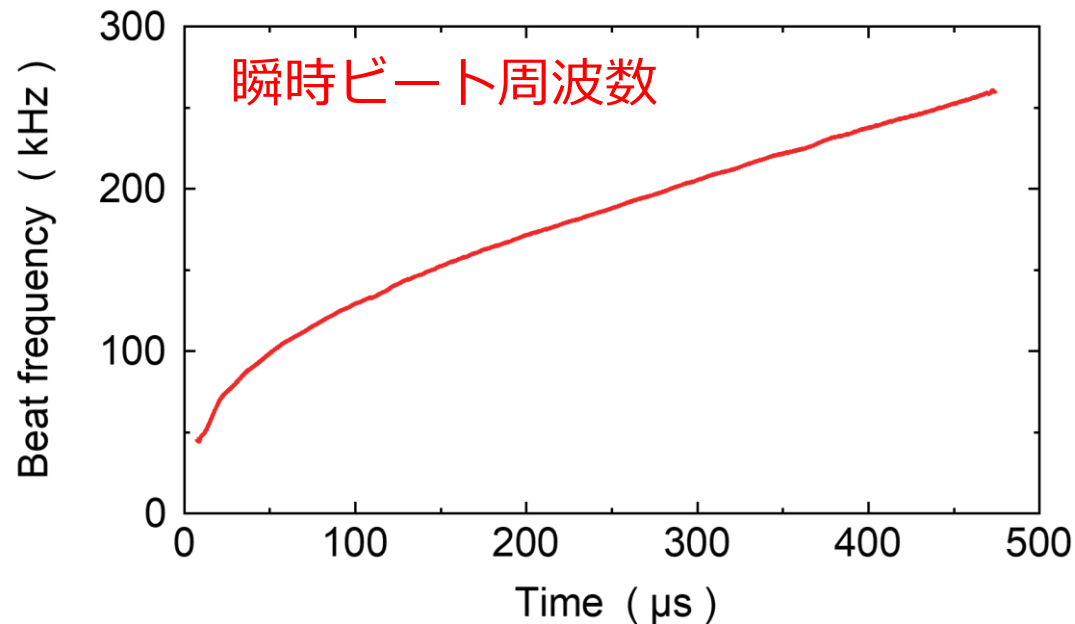
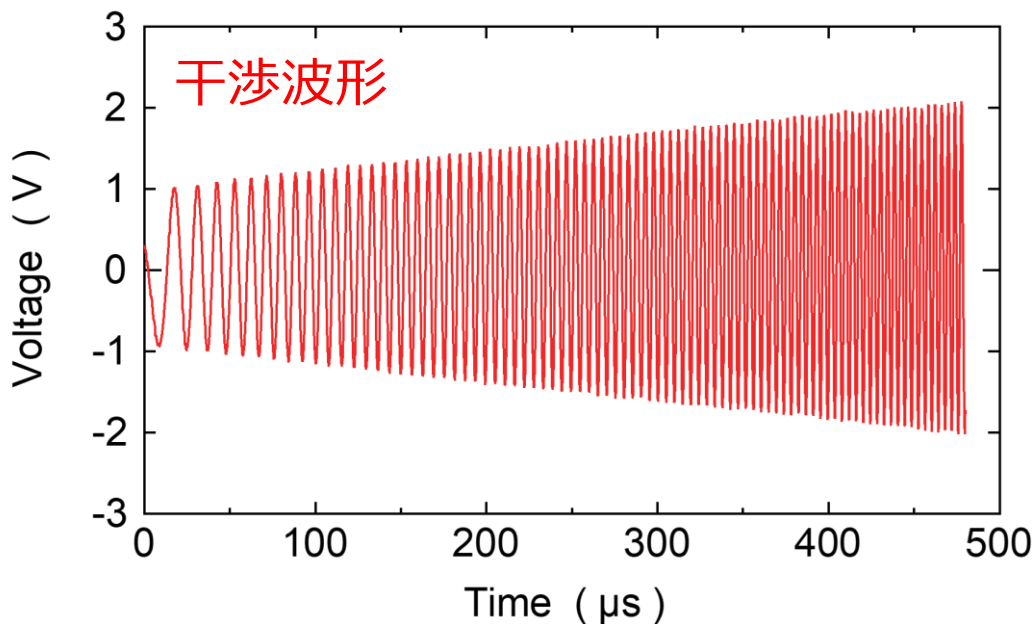
# FMCW 光距離センサ – 距離測定例



距離  $L$  が  
長くなる

ビート周波数  
は高くなる

# FMCW 光距離センサ – 問題点



干渉信号の周波数は一定ではなく、変動する  
(光周波数掃引が非線形のため： $\gamma$  が時間変動する)



正確なビート周波数の測定が不可能

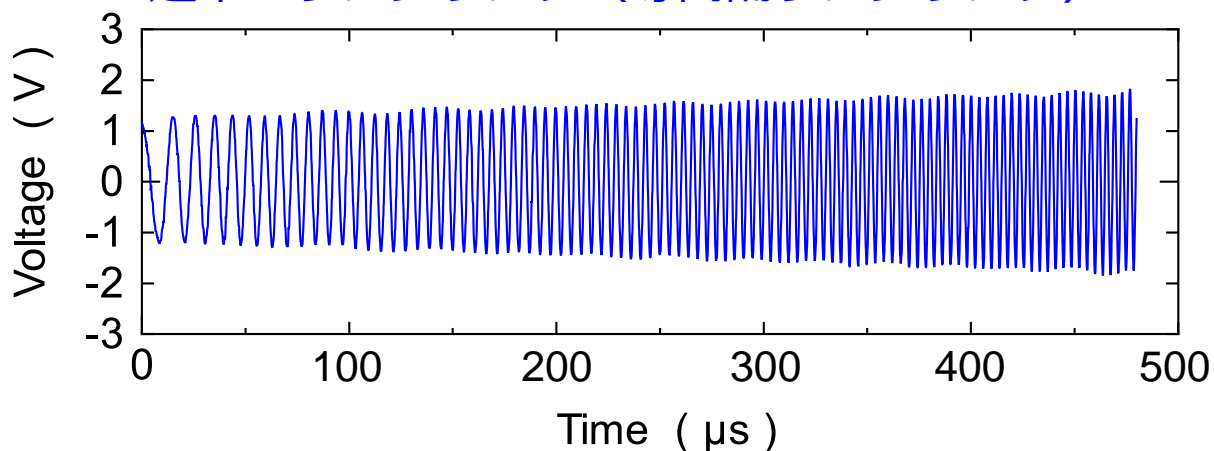


正確な距離測定が不可能

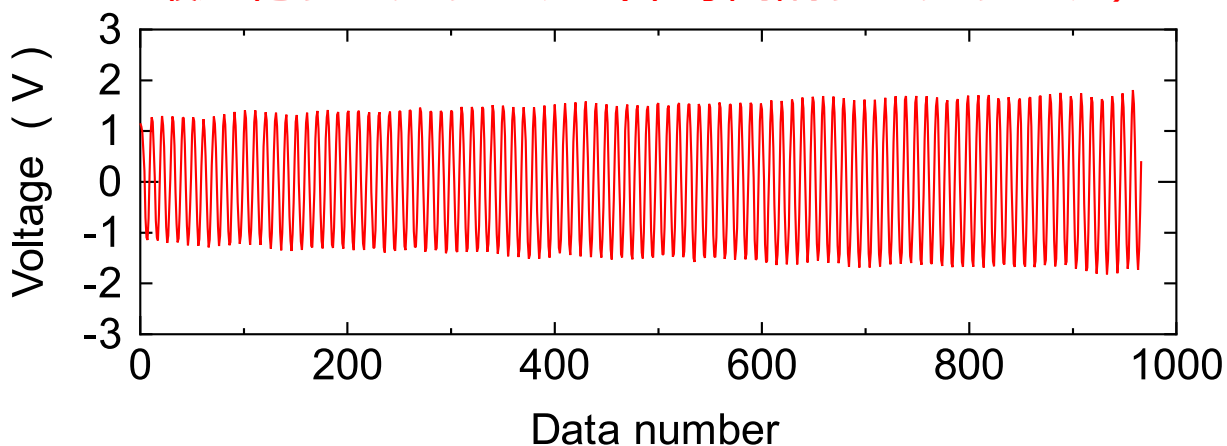


# 従来の解決法

通常のサンプリング (等間隔サンプリング)



最適化サンプリング (不等間隔サンプリング)



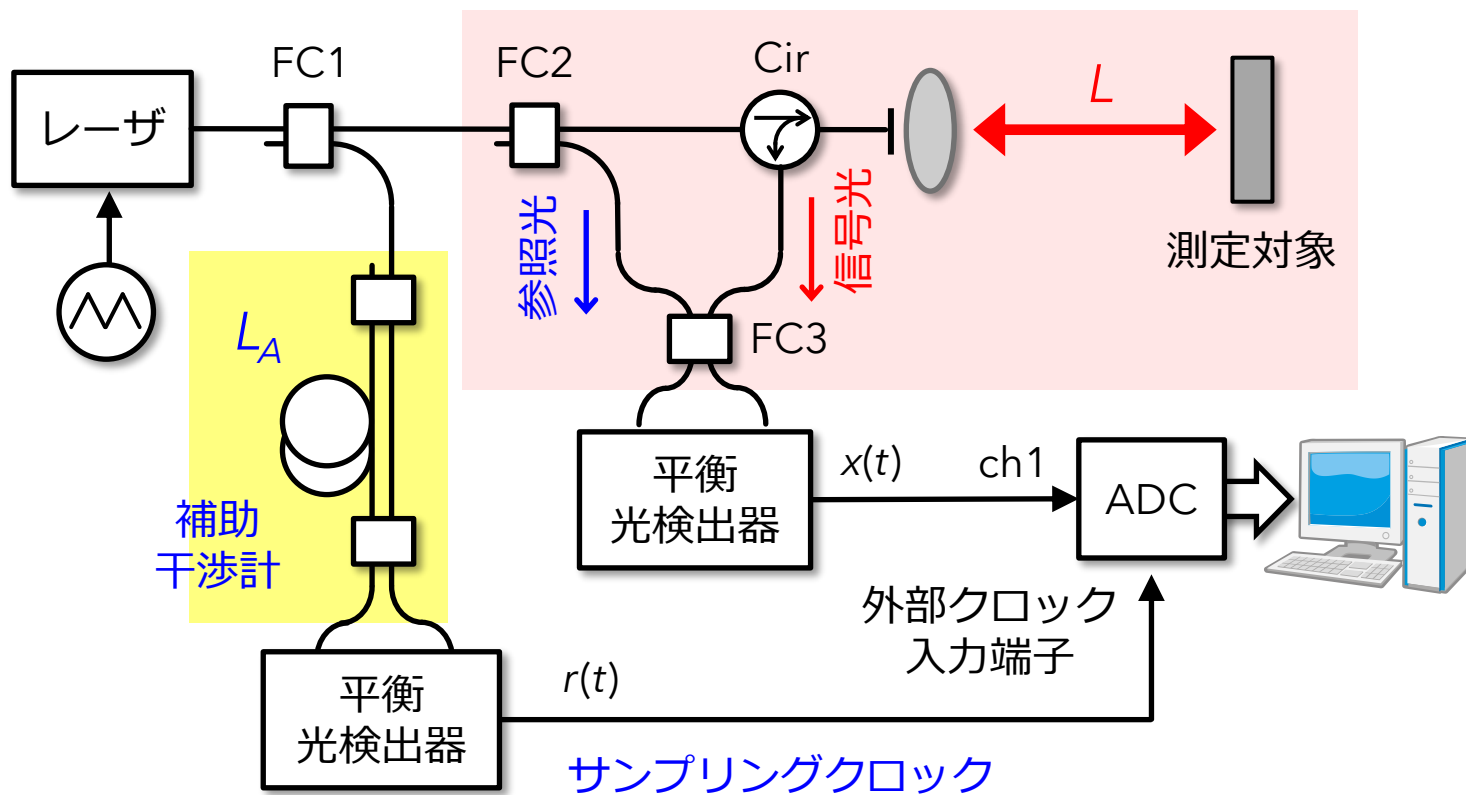
サンプリング間隔を自動的に最適化

- ビート周波数が低い時間では、サンプリング間隔を長くする。
- ビート周波数が高い時間では、サンプリング間隔を短くする。

- **k-サンプリング法**
- **リサンプリング法**

ビート周波数は、PCでのFFT演算により求める。

# k-サンプリング法とその問題点



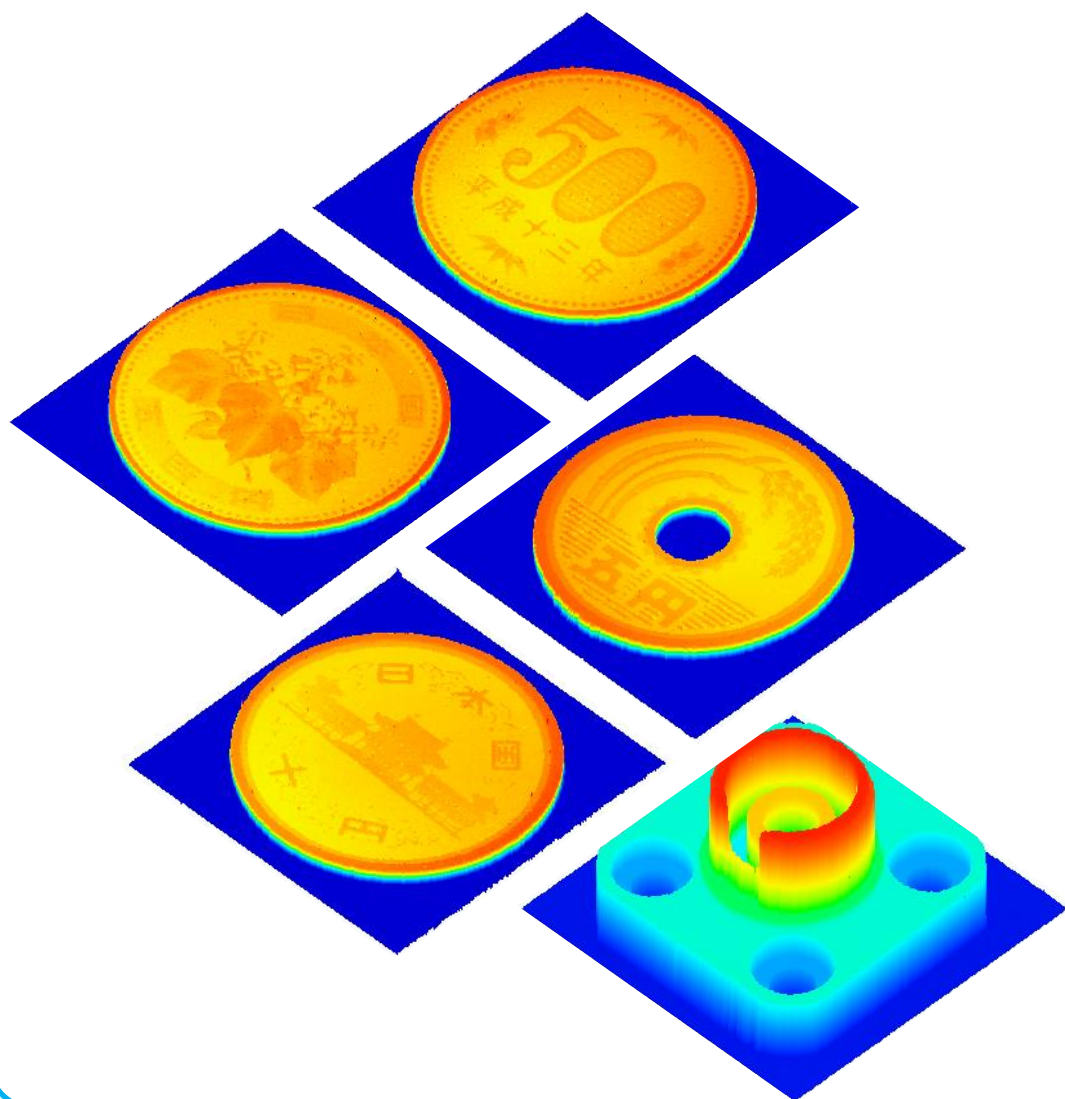
補助干渉計を設け，その干渉信号で距離測定信号をサンプリングする。



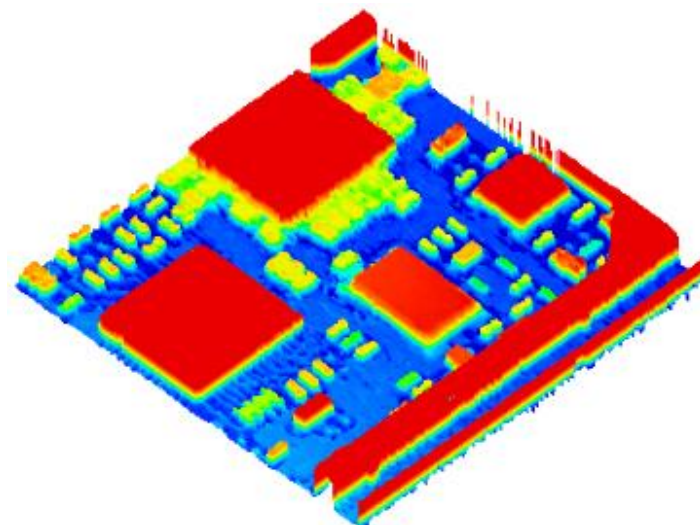
- AD変換器には，外部クロック入力端子が不可欠
- 測定距離は補助干渉計の遅延長  $L_A$  の  $1/4$  以下に制限（サンプリング定理）

# k-サンプリング法による測定例

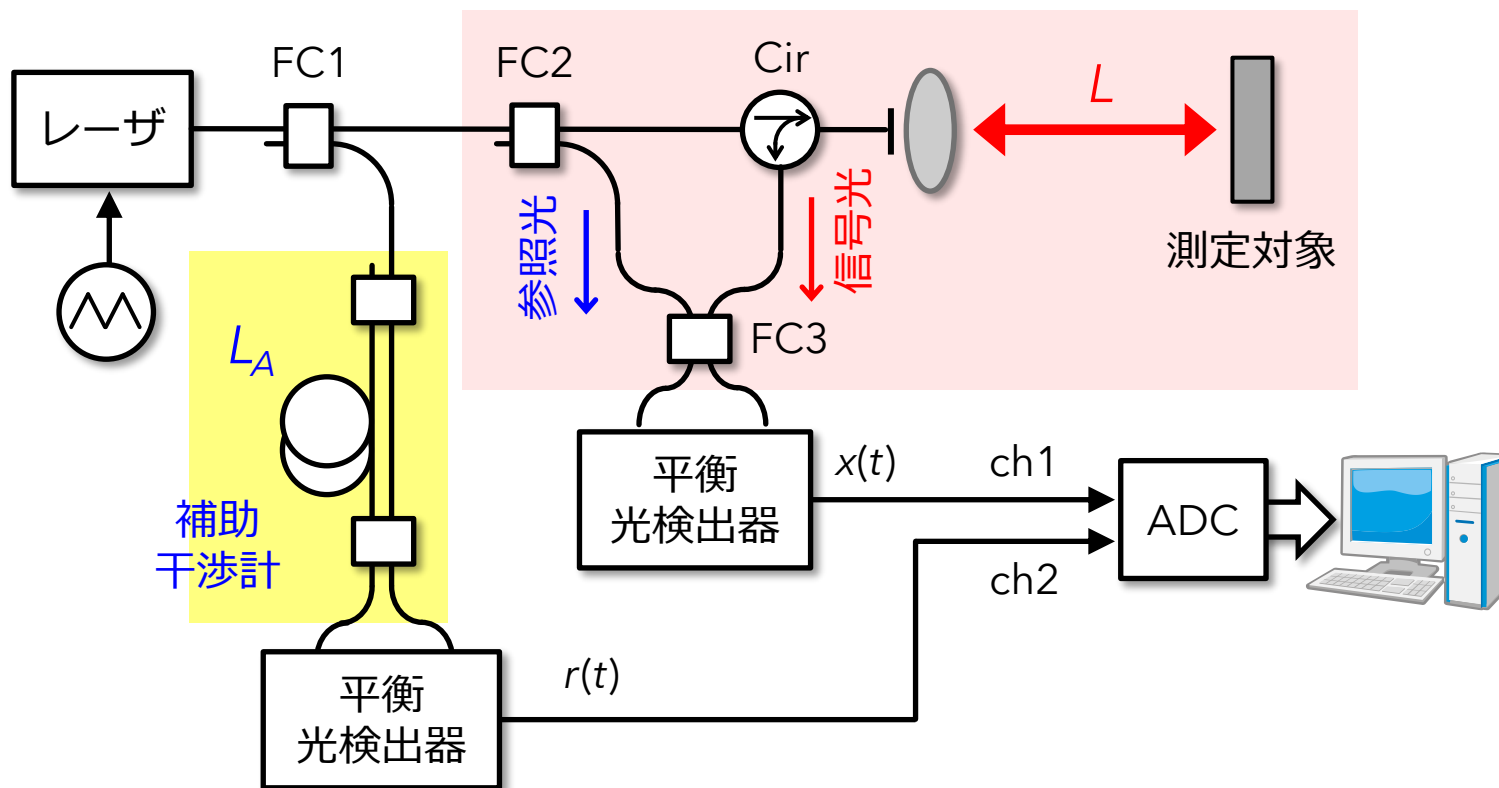
金属物体



非金属物体・金属物体混在



# リサンプリング法とその問題点

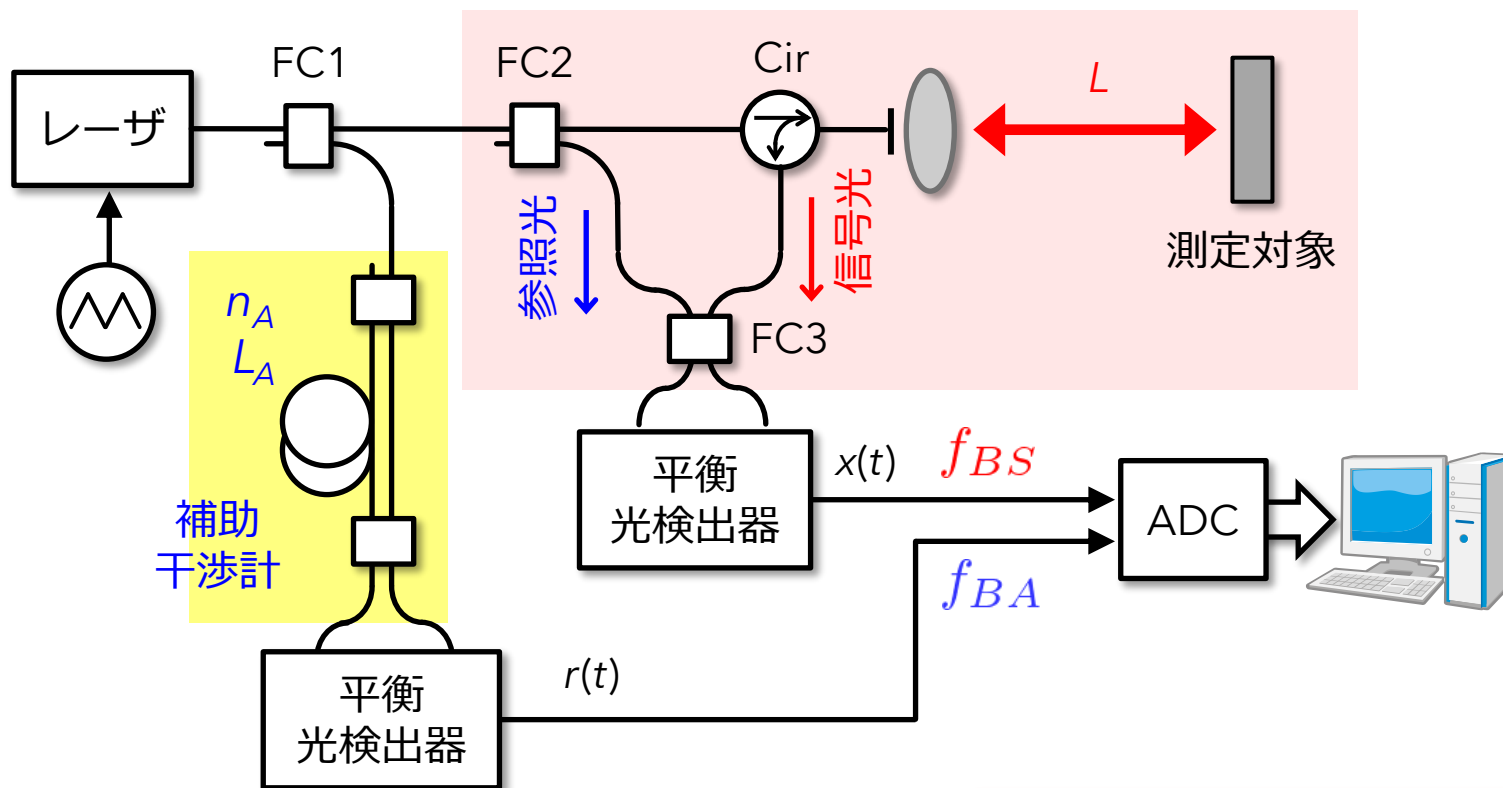


補助干渉計を設け，その干渉信号で距離測定データを抽出する。



- ・ 補助干渉信号の位相変化が等間隔となる時刻の，距離測定データを抽出
- ・ 位相変化量の計算が必要で，ソフトウェアの負担が多い

# 問題点を解決する新技術 (1)



補助干渉信号  
のビート周波数

$$f_{BA} = \frac{\gamma(t) n_A}{c} L_A$$

距離測定信号  
のビート周波数

$$f_{BS} = \frac{2\gamma(t)}{c} L$$

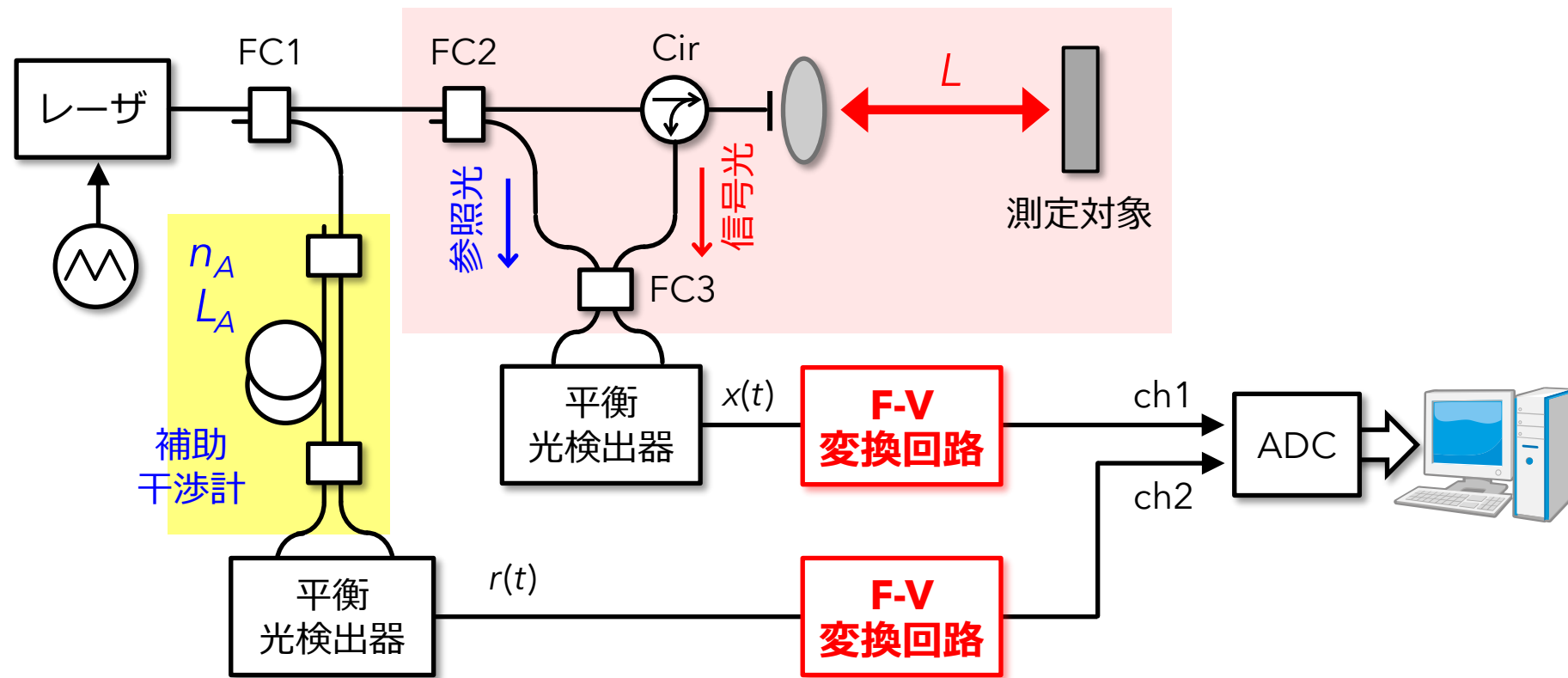
$$L = \frac{f_{BS}}{f_{BA}} \frac{n_A L_A}{2}$$

$\gamma(t)$  に依存せずに  
距離  $L$  が測定可能

# 新技術の特徴・従来技術との比較

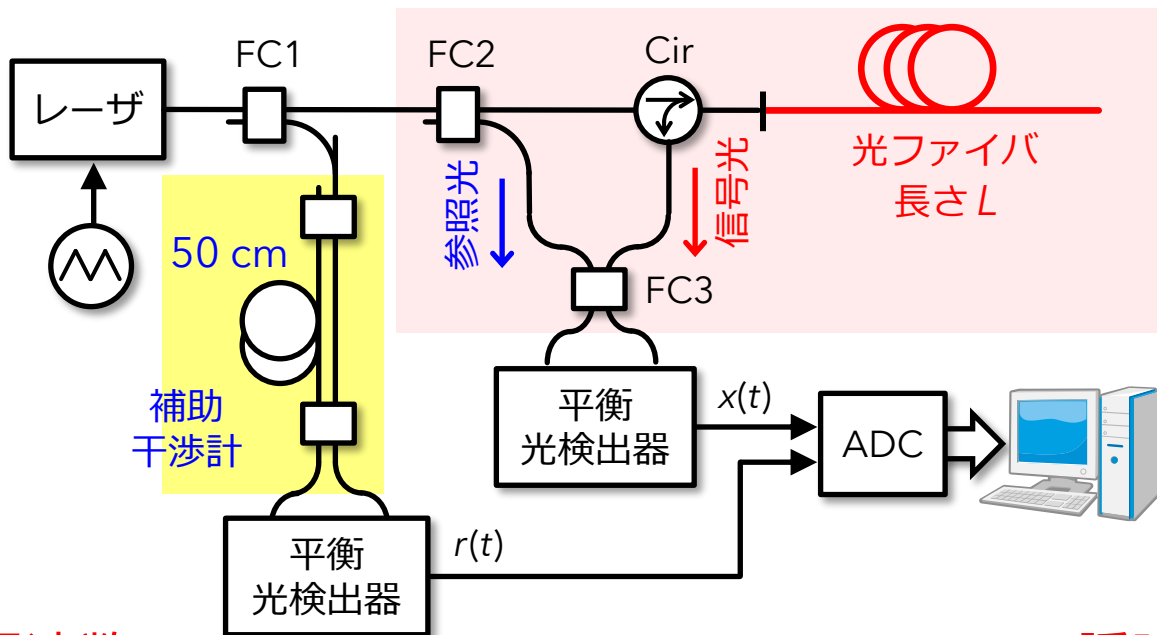
- **k サンプルリング法が不要**
  - 外部クロック入力端子を備えた AD 変換器が不要
  - サンプルリング定理による距離測定の制限を打破
- **リサンプルリング法におけるソフトウェア処理（位相変化量の計算）が不要**
  - 測定の高速度化
- **変調中に距離が変わっても測定可能**
  - 瞬時のビート周波数を測定するため

# 問題点を解決する新技術 (2)



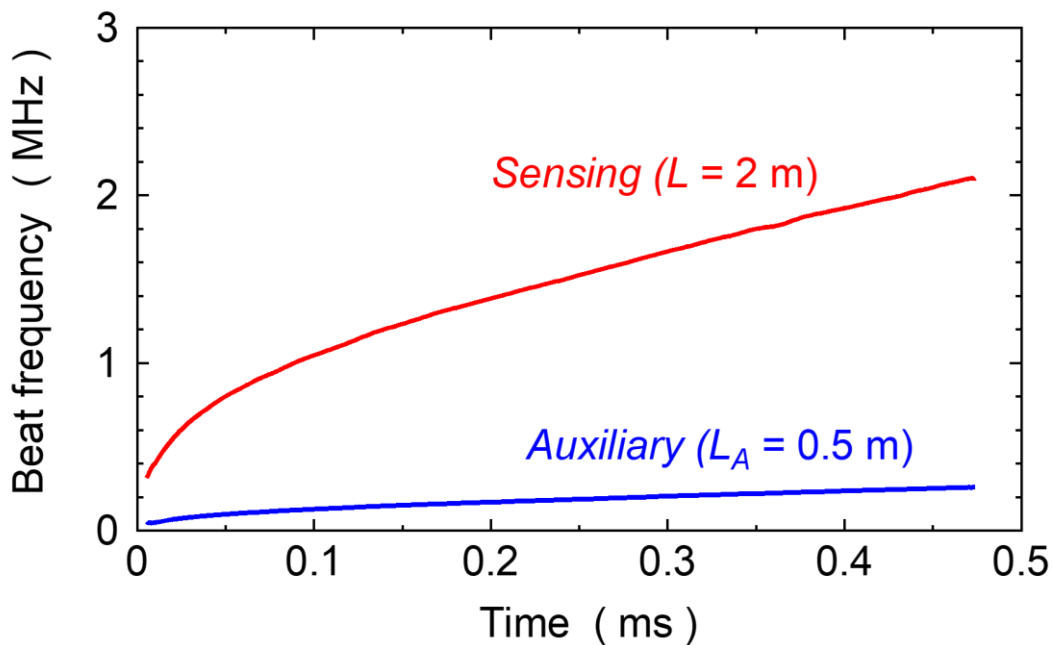
- 周波数 - 電圧変換回路 (F-V 変換回路) で電圧に変換し, ビート周波数を比較
- 除算器 (IC) を使えば, **PC 不要で距離測定が可能**

# 実証実験 (1~3m)

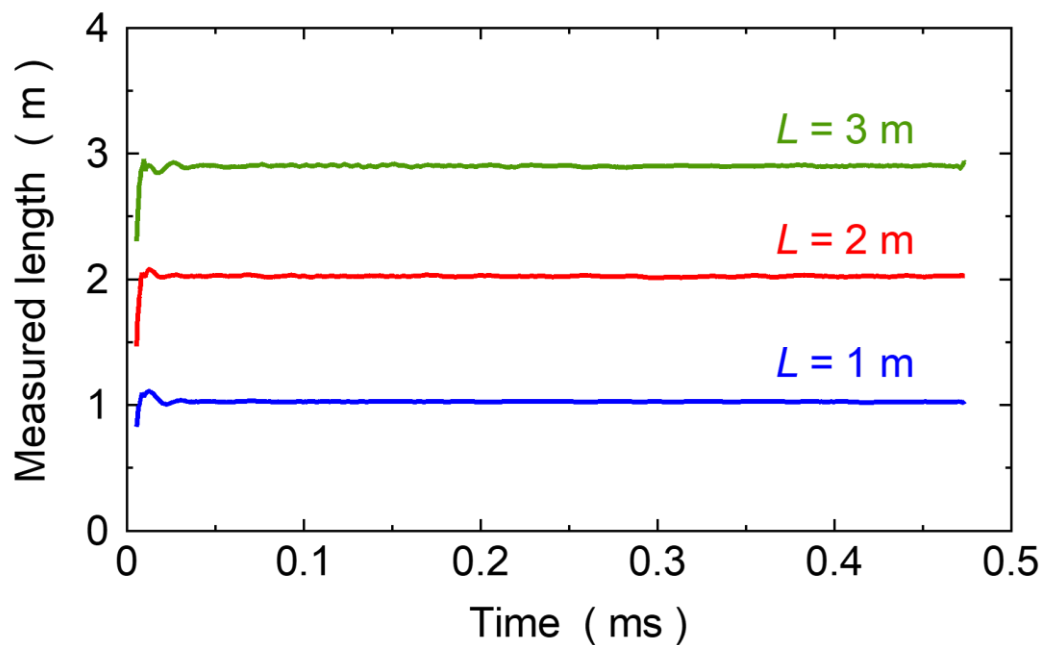


$$L = \frac{f_{BS}}{f_{BA}} \frac{L_A}{2}$$

瞬時ビート周波数

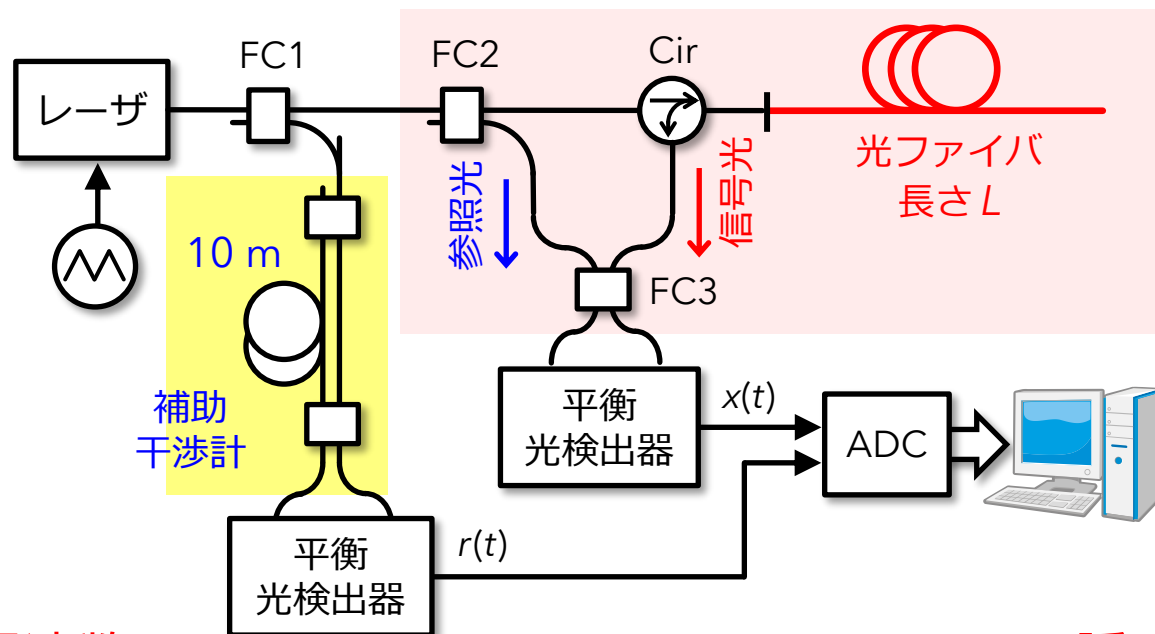


瞬時ビート周波数の比



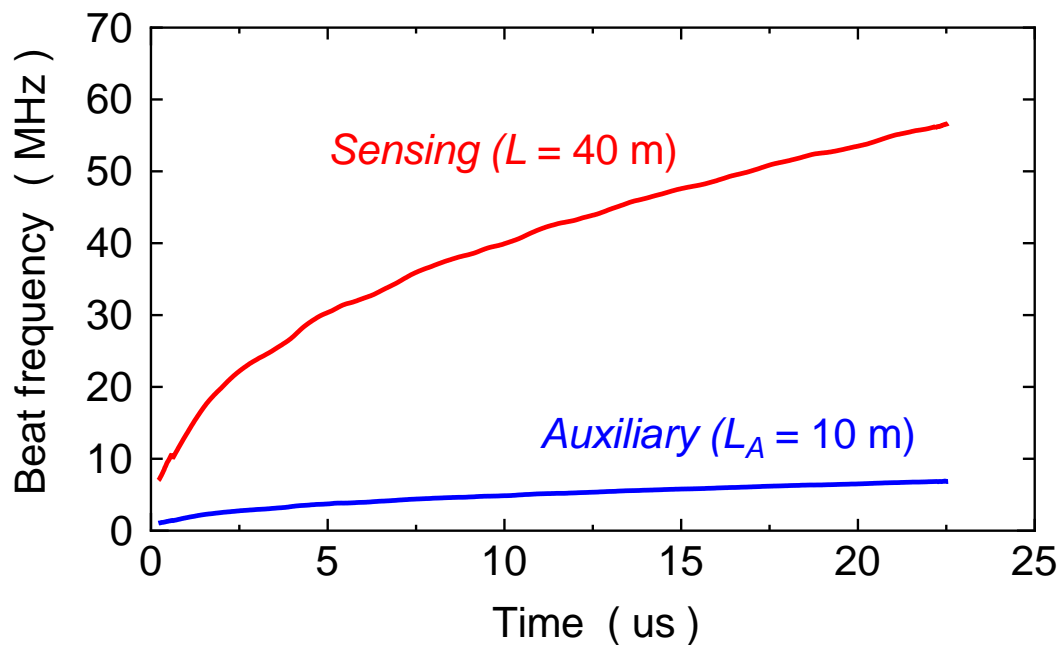


# 実証実験 (10~40m)

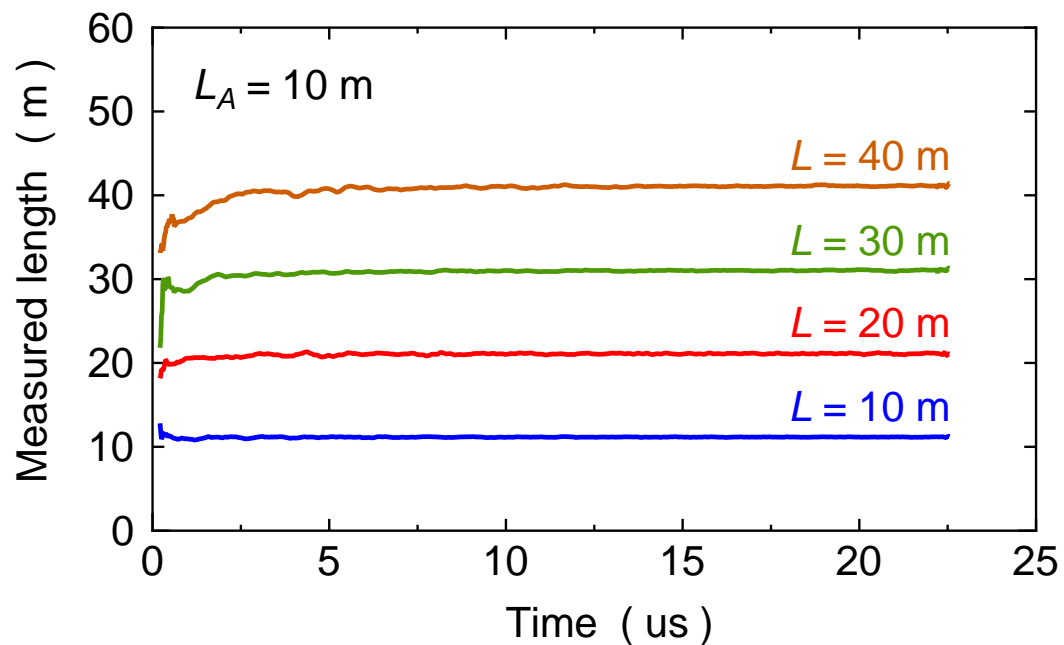


$$L = \frac{f_{BS}}{f_{BA}} \frac{L_A}{2}$$

瞬時ビート周波数



瞬時ビート周波数の比



# まとめ

- FMCW 光距離センサにおいて、**ビート周波数の比較による距離計測技術**を提案・開発した。
- PC での信号処理により、提案法を実証した。
- 周波数－電圧変換回路 (F-V 変換回路) と除算 IC の利用により、電子回路のみによる距離測定方法を提示した。  
この方法により、PC での信号処理が不要となり、高速な距離測定の可能性を示した。

# 想定される用途

- 物体の形状計測
  - レーザ光を空間的にスキャンして、測定対象までの距離分布を測定する
  - 機械加工物が正しく加工されているか、を検査する
- レーザレーダ (LiDAR)
  - 測定対象・障害物までの距離を測定する
  - 土木測量や自動運転自動車への応用

# 実用化に向けた課題

- 現在、PC 信号処理により瞬時ビート周波数を測定し、距離測定が可能であることを、光ファイバの長さ測定で実証済み。  
ただし、空間での距離測定は未実施である。
- 今後、周波数－電圧変換回路 (F-V 変換回路) と除算 IC を用いた電子回路を作製して、PC を使わない距離測定を実証する。
- 実用化に向けて、測定物体からの反射光が弱い場合でも適用できるように技術も確立する。

# 企業への期待

- 周波数－電圧変換回路 (F-V 変換回路) には複数の方式があると思われるので、回路設計のノウハウを持つ企業の協力を期待したい。
- 実用化のためには光学系の小型化も不可欠であるので、光導波路・光回路の設計・作製・実装技術を持つ企業の協力も期待したい。
- 測距装置・物体形状計測装置を開発している企業と協力して、開発を進めたい。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 測距装置及び測距方法
- 出願番号 : 特願 2022-109041
- 出願人 : 金沢大学
- 発明者 : 飯山 宏一

# お問い合わせ先

金沢大学ティ・エル・オー

TEL           076-264-6115  
FAX           076-234-4018  
e-mail        info@kutlo.co.jp