

高速形状計測と振動分布計測技術の研究開発
(これまでとこれから)

森本吉春
4D センサー株式会社
代表取締役会長 CEO
(和歌山大学名誉教授)

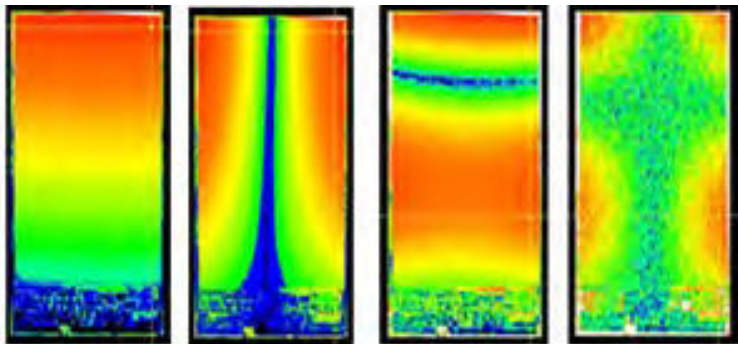
全空間画像計測コンソーシアム第 14 回セミナー
(2021 年 3 月 3 日 (水) WEB セミナー)

注：この資料は、「全空間画像計測コンソーシアム第 14 回セミナー」の資料を転載させていただきました。
ご許諾いただきました 森本様と関係者の皆様に感謝いたします。

高速形状計測と振動分布計測技術の 研究開発 (これまでとこれから)



4Dセンサー(株)



1次モード 40Hz 2次モード 167Hz 3次モード 250Hz 4次モード 544Hz

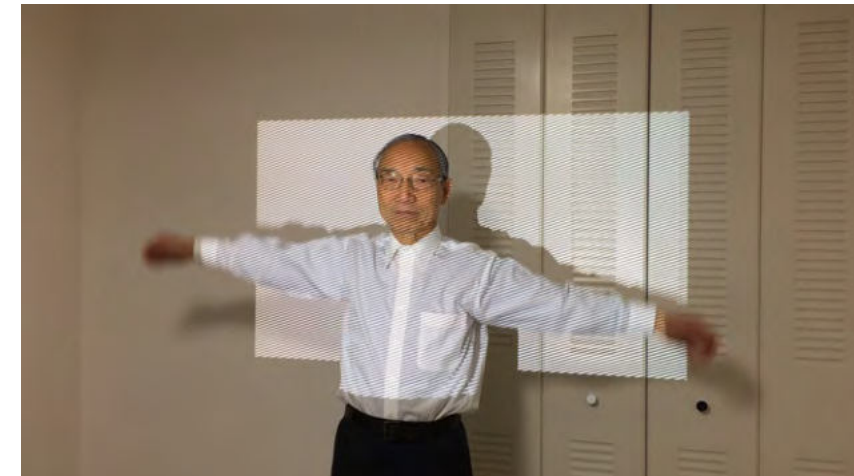
片持ち平板の振動モード計測

森本吉春

代表取締役会長 CEO
(和歌山大学名誉教授)

〒640-8550 和歌山市梅原579番地1
073-454-1004, 090-9993-6972(直通)

<http://www.4d-sensor.com/>
morimoto@4d-sensor.com



リアルタイム全画素モーションキャプチャ

4D (x,y,z,t) = 3D (x,y,z) × 時間軸 (t)
高速をアピールするために4次元と命名

和歌山大学発研究開発型ものづくりベンチャー

大学の研究成果を実用化するため
(一社)モアレ研究所を設立
(2009年)



その成果を実用化する
ため株式会社を設立

- 設立年月日: 2012年2月1日
- 設立時資本金: 999万円

ベンチャーキャピタルの支援 (テック系、政府系、銀行系)

- リアルテックファンド: 東証一部ユーグレナ系VC
- グローカリンク: 研究者集団リバネス系VC
- JST (科学技術振興機構): 政府より出資
- 紀陽銀行リースキャピタル: 地元銀行系VC
- 三菱UFJキャピタル: 都市銀行系VC
- JR西日本イノベーションズ: JR西日本グループ
- セイコーエプソン

資本金: 9999万円

- 高速・高精度・小型・安価な形状・変形・ひずみ・振動の計測装置の研究開発
- 和歌山大学, モアレ研究所, 4Dセンサーの特許技術の有効利用
- 開発した3Dカメラ、4Dカメラ、シャドーモアレカメラ、サンプルリングモアレカメラ、OPPA振動分布計、OPPAカメラの販売
- コンサルティングによる技術移転

3次元形状・変形・振動計測の世界拠点を目指して

- 世界最速の3Dスキャナ
- 世界一有用な振動分布計

- ◆大学発研究開発型ものづくりベンチャー企業
- ◆自社及び和歌山大学の特許の利用
- ◆技術系、政府系、銀行系ベンチャーキャピタルの支援
- ◆働き方改革の導入
- ◆多くの顧客に弊社和歌山まで来ていただいている

経営の特色（新しい経営手法の導入）

- 研究開発者の大部分が外国人
- フレックスタイム
- 基本的に残業ゼロ
- 最初からプレミアムフライデーの導入
- テレワーク
- テレビ会議
- フリーアドレスオフィス
- クラウドの利用（ペーパーレス）

**オリジナリティの高い研究開発をする
新しいスタイルの会社**

メンバー(高度技術者集団)



+α



- 自動車会社、製造業、建設会社
- 政府系研究機関、大学
- 中堅・中小企業も

- ◆ WEB会議による打ち合わせ
- ◆ 来社による計測トライ
- ◆ 現場での計測トライ
- ◆ カスタマイズ仕様の決定
- ◆ コンサルティング

納入実績表

製品	顧客
4D Sensor for Factory Automation	大手製造業、大手自動車会社 、政府系研究機関
4D Sensor for Vibration	大手自動車会社、大手土木建 設会社、高速道路会社
4D Sensor for Material Test	大手建設会社、大手製造業、 大学、政府系研究機関
4D Sensor for Bridge / Tower / Infra	大手電力会社、政府系研究機 関、大手交通機関
その他	政府系研究機関、中堅・中小 企業



弊社 3Dカメラの例
 (この例は低速な例)

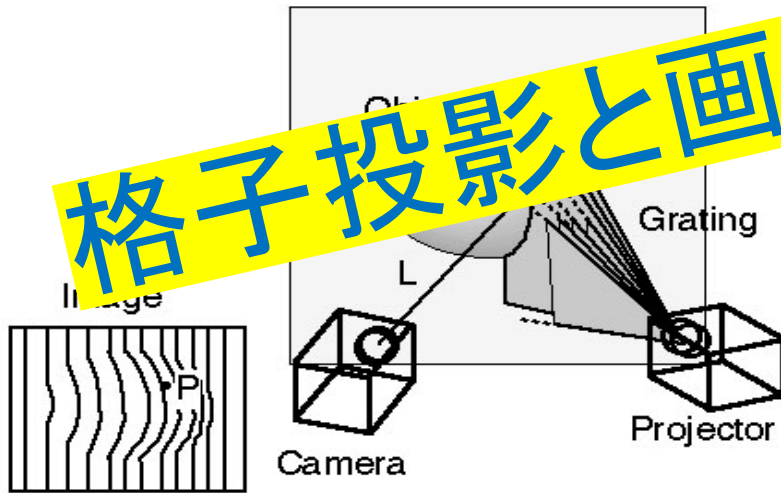
- 形状計測技術
- ◆ 格子投影法
 - ◆ 位相解析法
 - ◆ 全空間一ブル化手法

- 手順
1. 格子の投影
 2. 位相シフト
 3. 撮影
 4. 位相解析
 5. 3次元座標
 6. 描画

格子投影法

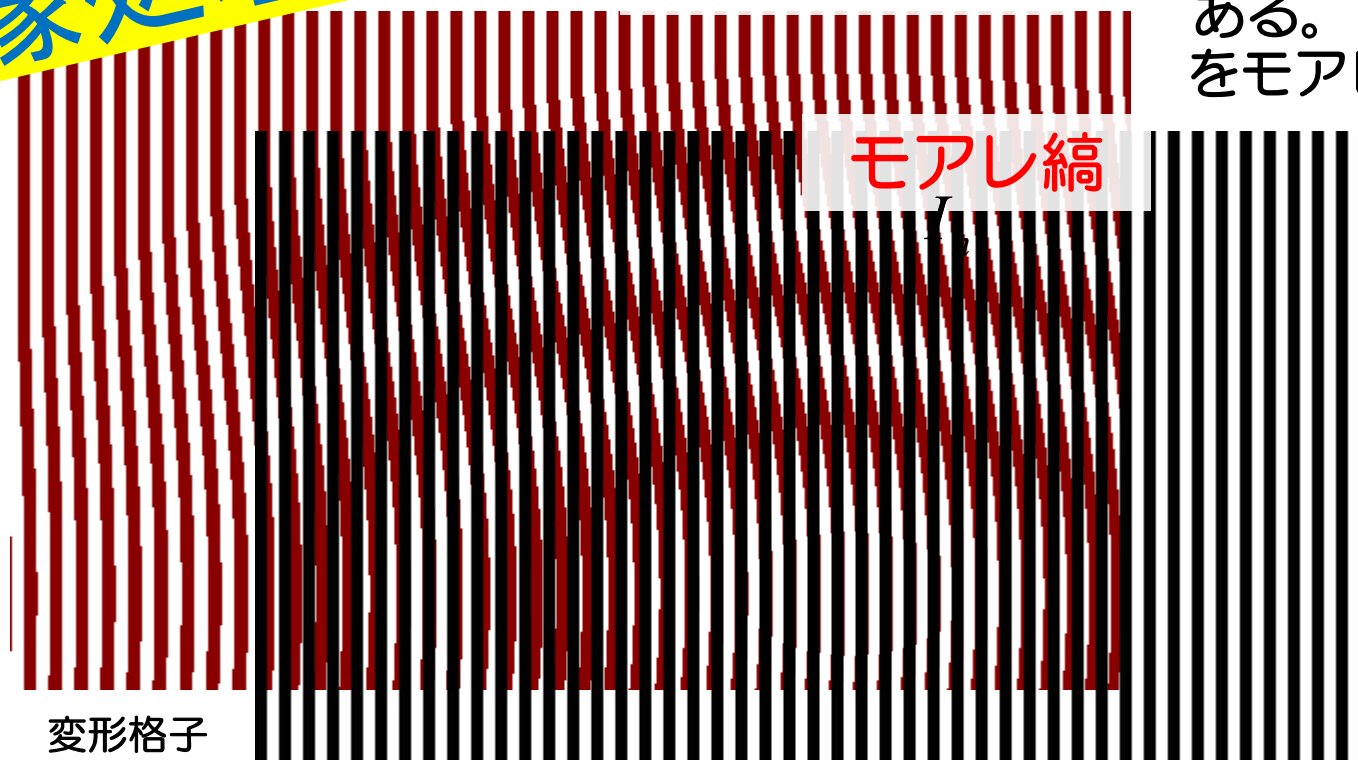
モアレ法

格子投影と画像処理により高速化



3次元物体に格子パターンを投影すると3次元形状に応じて格子線がゆがむ。

ゆがんだ格子線を解析すると形状が求められる。



変形格子

参照格子

モアレ縞を解析すると、形状や変形が求められる。

モアレ縞の例

2つの格子を重ねると、元の格子にないパターンの縞模様が現れる事がある。この縞模様をモアレ縞という。

変形格子をテレビカメラで撮影すればカメラの画素が参照格子の働きをする。

格子やモアレ縞の明るさ変化(位相)を解析

位相が高さや変形に対応

強度分布

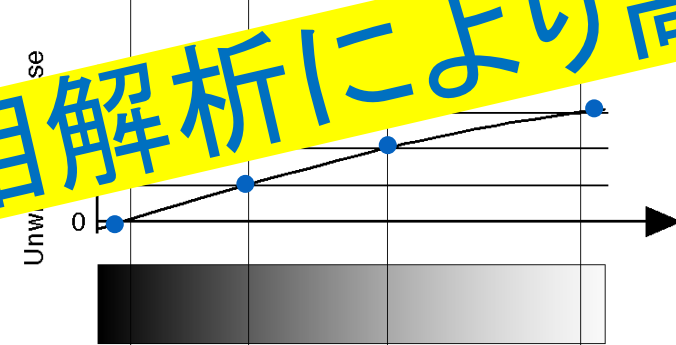
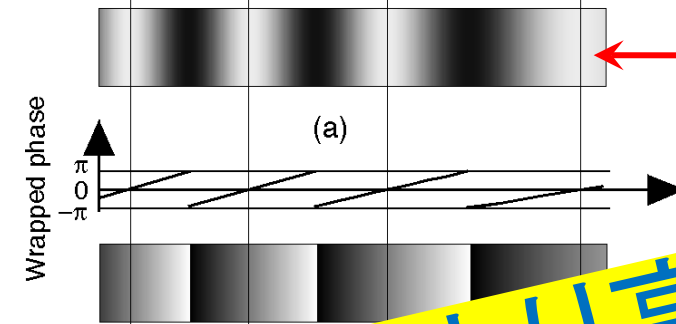
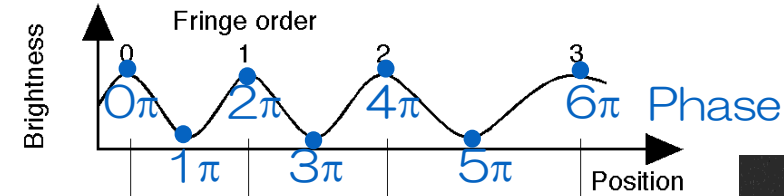
$$I = a \cos \theta + b$$

位相シフト中の強度分布

$$I = a \cos(\theta + \alpha) + b$$

- a : 振幅
- θ : 初期位相
- α : 位相シフト量
- b : 背景強度

- 位相は1画素ごとに求められ、
 - 位相解析による精度向上
- 位相解析により、格子ピッチの
1/100~1/1000の精度で計測可能

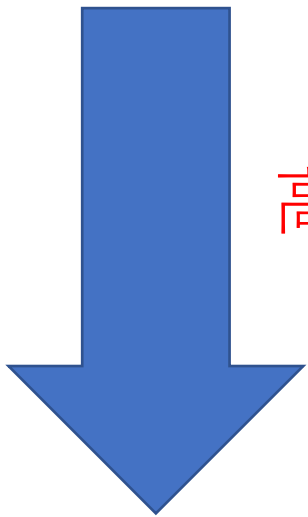


強度と位相の関係



格子や縞の位相解析により高精度化

- ◆全空間テーブル化手法
- ◆光源切替位相シフト法
- ◆サンプリングモアレ法
- ◆OPPA法



高速計測技術

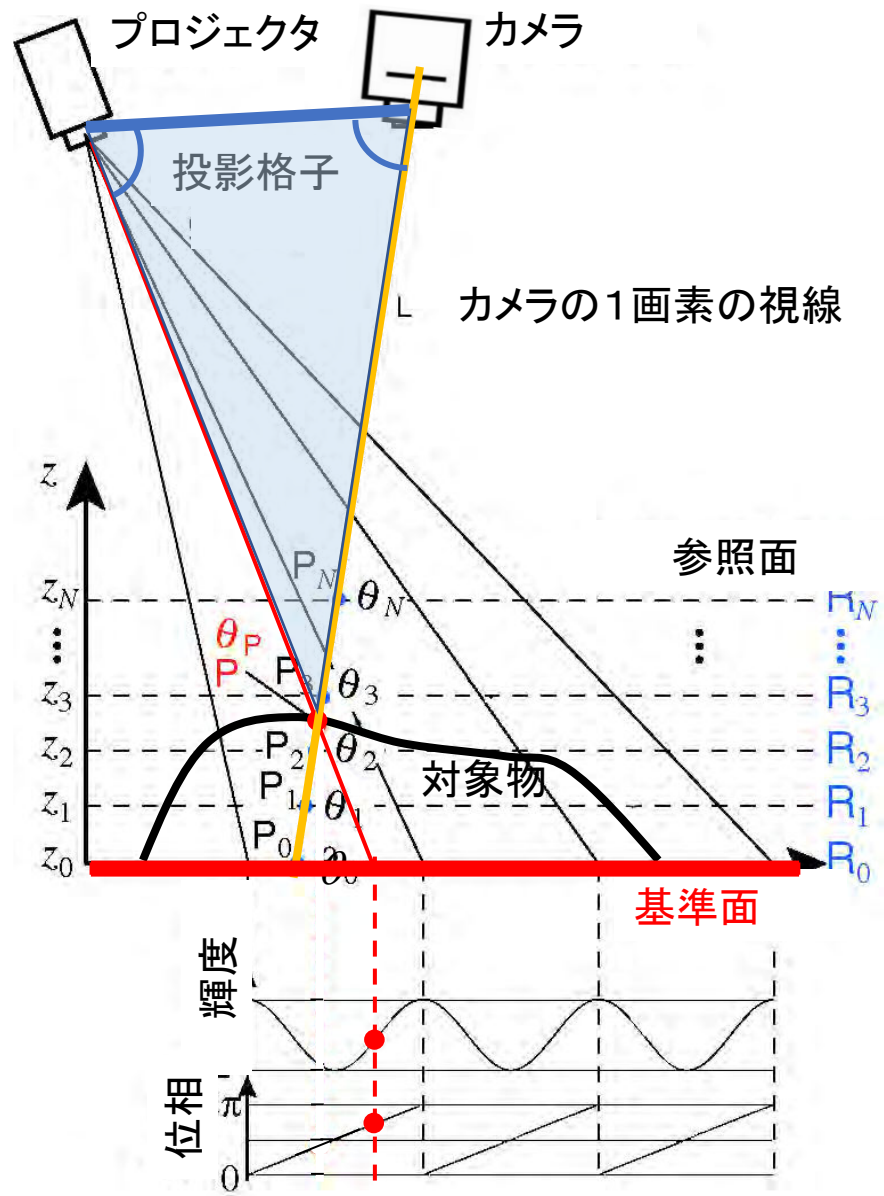
- 高速に形状・変形・き裂・振動を計測
- 高精度（格子ピッチの1/1000程度、精度 $2\mu\text{m}$ ）
- 高速度カメラ（300～50000fps）
- 生産ライン上の部品の検査、人体の運動計測、自動車の振動分布計測、衝突時の変形計測

- オンライン、リアルタイム
- 動く物体の計測
- 動く物体からの計測
（ロボット、ロボットアーム）

建物や橋梁などのインフラ計測に応用

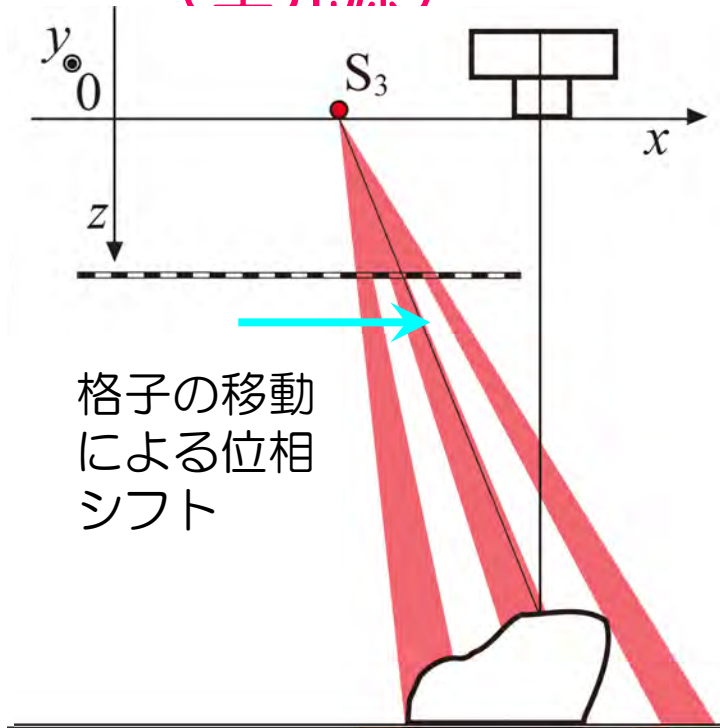
ドローン

- 三角測量の計算は時間がかかる。
- 三角測量の計算をせず、表を見るだけで座標を求める方法を提案



- 正確な座標を有する基準面をz軸に垂直に設置
- 基準面をz方向に少しずつ移動
- カメラの各画素ごとに、高さ $z_0, z_1, z_2 \dots z_N$ と位相 $\theta_0, \theta_1, \theta_2 \dots \theta_N$ の関係が得られる。
- テーブルを見れば、位相から高さzの値がすぐに求められる。(高速)
- 光学系の誤差がキャンセルされる。(高精度)

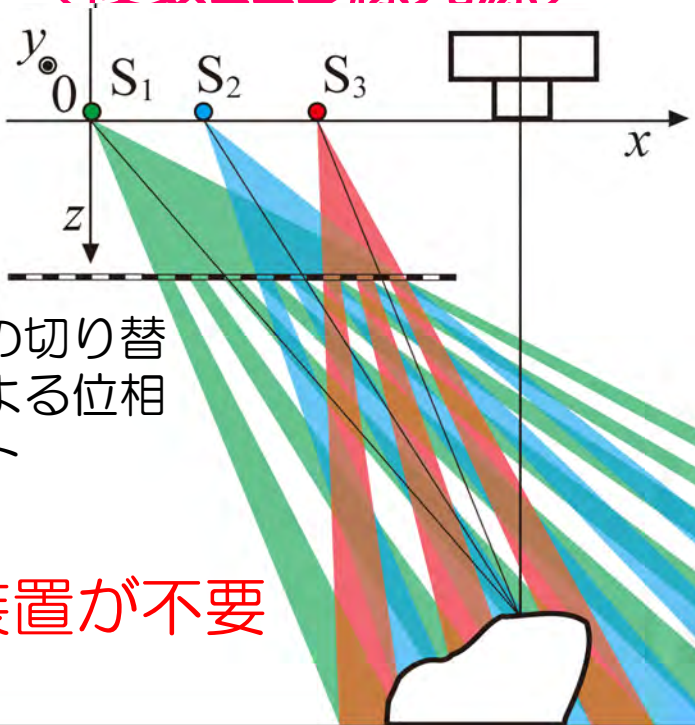
位相シフト法 (単光源)



格子の移動
による位相
シフト

高価
デリケート
超高速化不可

光源切替位相シフト (複数LED線光源)

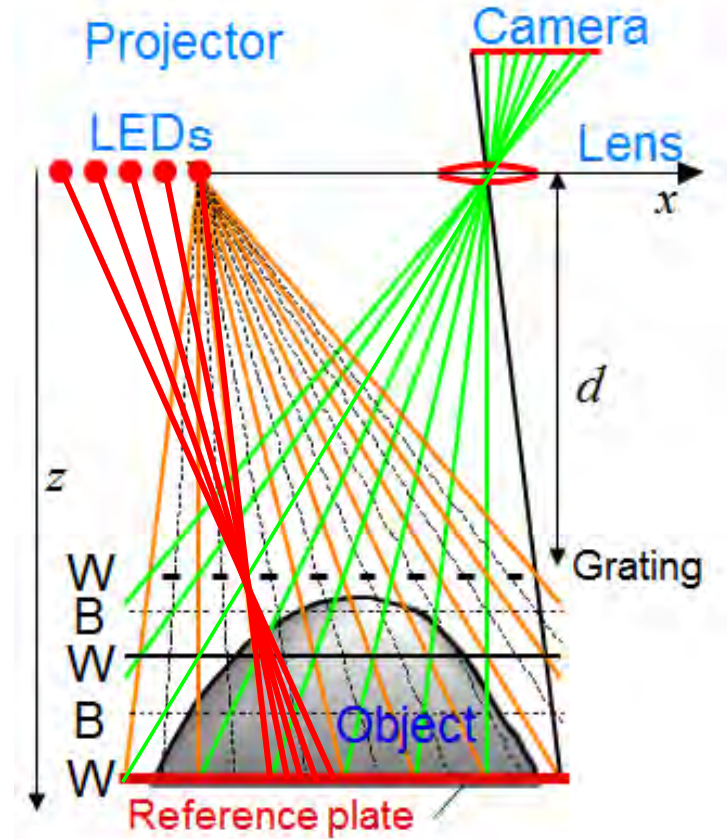


光源の切り替
えによる位相
シフト

移動装置が不要

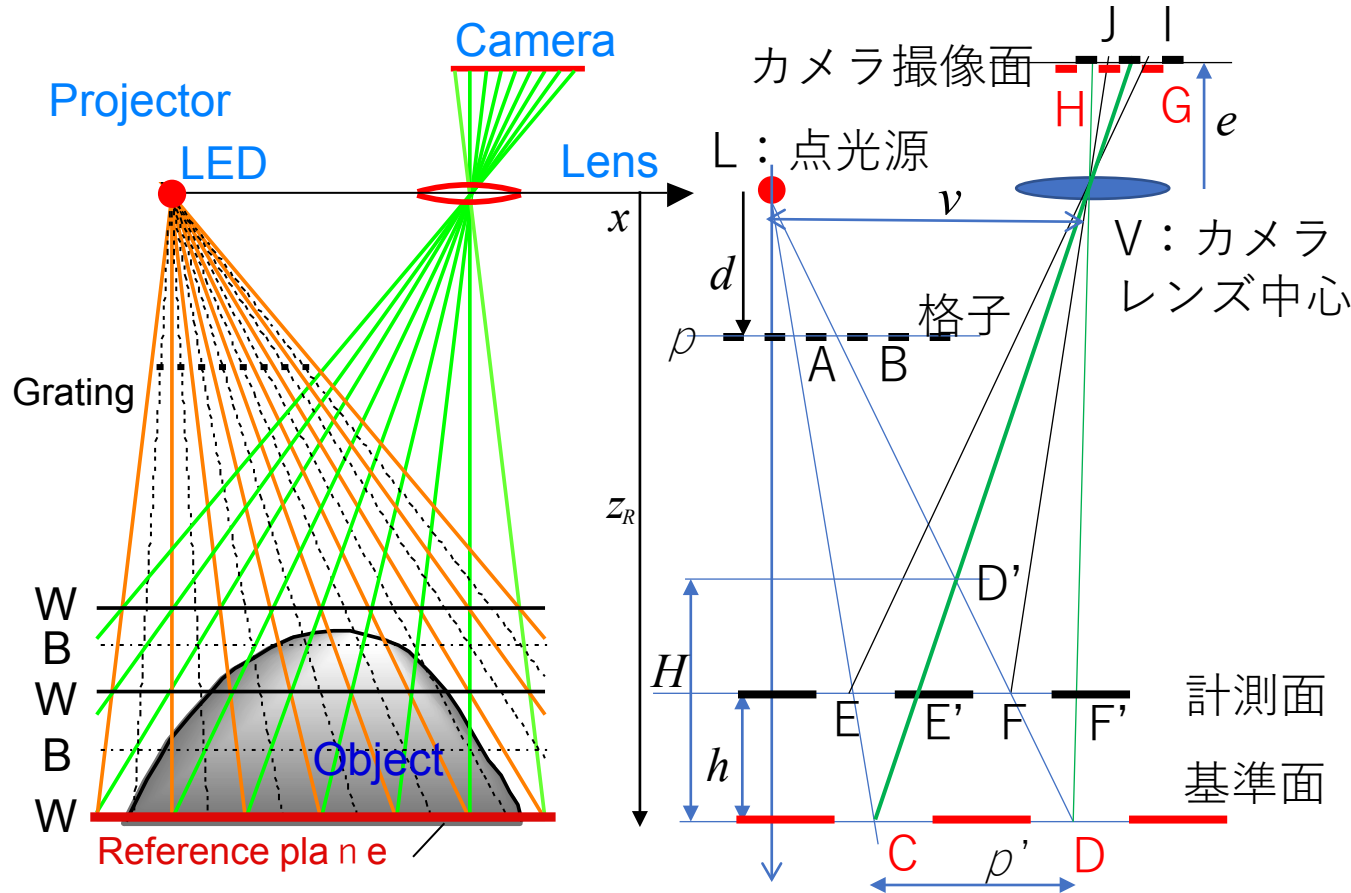
小型
安価
超高速化が可能

光源切替位相シフト シャドーモアレ法



場所によって位
相シフト量が異
なるため全空間
テーブルが必要

モアレトポグラフィの光学系において、1ピッチを N 画素に合わせると、どの高さにおいても**1ピッチが N 画素**となり、高さにより、位相のみが異なる。そこで**1ピッチ** (N 画素) のフーリエ変換を行い、その部分の位相を求めると、高さ h がわかる。



モアレトポグラフィの光学系

$$\overline{IJ} = \overline{GH} = N \text{ pixels}$$

$$\frac{p}{p'} = \frac{d}{z_R}$$

位相差 θ と高さ h の関係

$$h = \frac{p\theta z_R^2}{p\theta z_R + 2\pi v d} = \frac{p'\theta z_R}{p'\theta + 2\pi v}$$

ダイナミックレンジ H

$$H = \frac{p z_R^2}{p z_R + v d} = \frac{p' z_R}{p' + v}$$

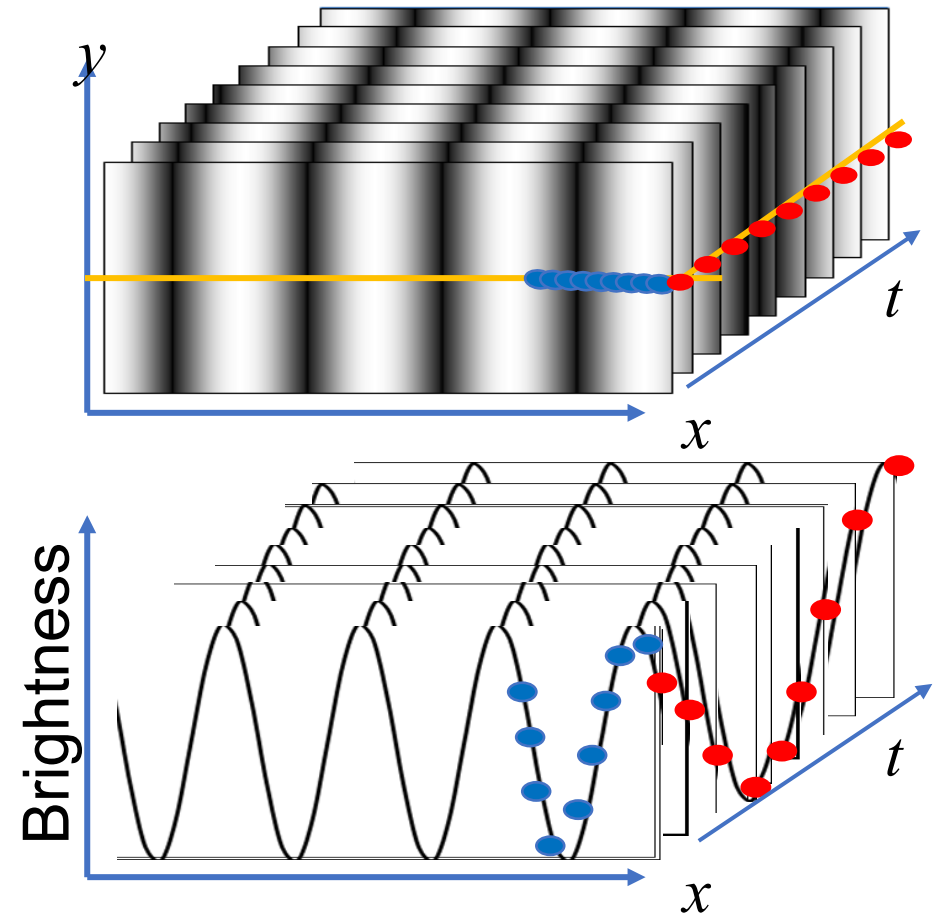
位相差 θ : 基準面の位相と計測面 (物体面) の位相の差

位相シフト法 (赤点の輝度を使用)

- 数枚の画像の同じ画素の輝度の時間変化を計測
- 空間分解能が良い
- 時間分解能が悪い
(動くものには適用できない)

OPPA法 (青点の輝度を使用)

- 1枚の画像の複数画素の輝度の空間変化を計測
- 時間分解能が良い
(動くものも高速に計測できる)
- 空間分解能は少し悪い
- 平面状の対象物は精度が良い



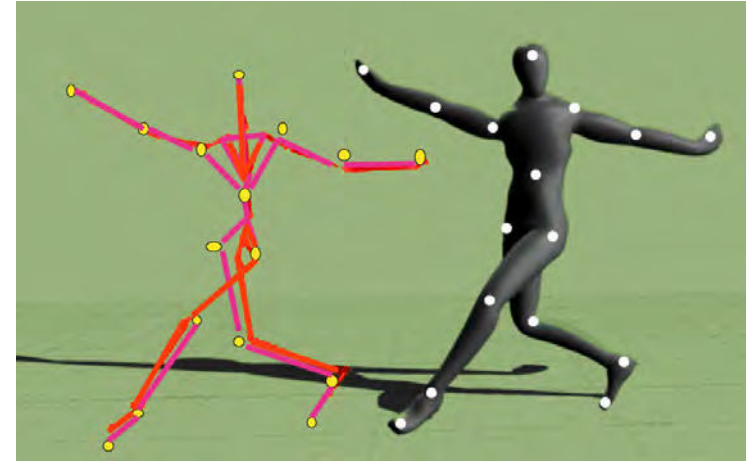
位相シフト法 (赤色使用)
OPPA法 (青色使用)

関節の動きの計測

OPPA法

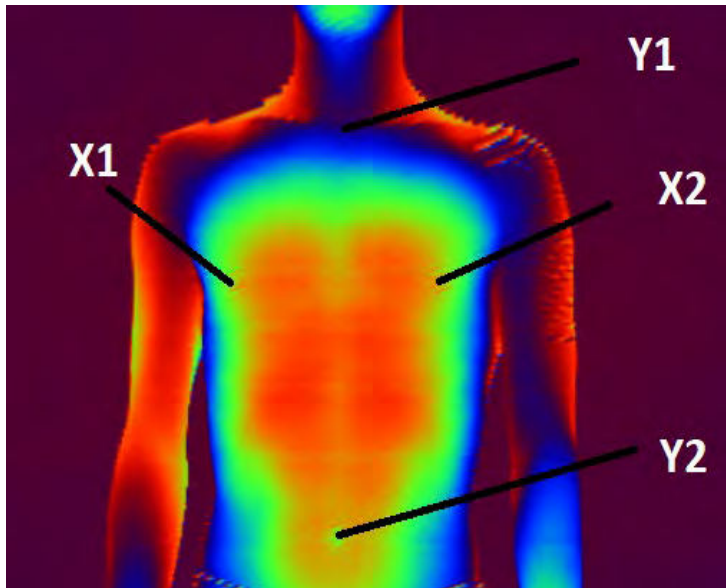


関節の座標データが得られるだけで、筋肉の動きなどはわからない。



ボールターゲットの位置で計測

皮膚の動きの計測



全画素の3次元座標が得られる。

<http://www.komatsuprocess.co.jp/product/target/target.html>

- オリンピック選手の強化
- 医療の新しい診断法
- 衣服の自動採寸