

直射日光など強い外乱光下での 高速形状計測

産業技術総合研究所

知能システム研究部門

インタラクティブロボティクス研究グループ
研究グループ長 佐川 立昌

2019年7月2日

運動体の形状計測

- さまざまな場面において、ダイナミックなシーンの3次元形状計測が求められている
 - マルチメディア、医療、スポーツ、材料解析
 - 高速に運動する観測対象の形状計測
- 太陽光下などさまざまな環境での計測の必要性

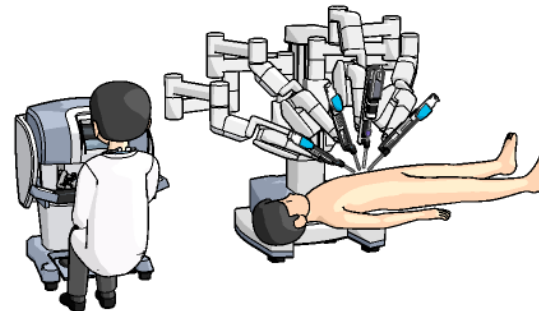
マルチメディア



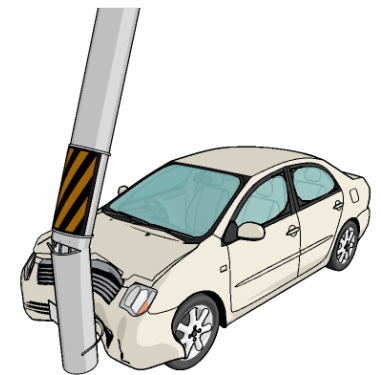
スポーツ



医療



材料解析

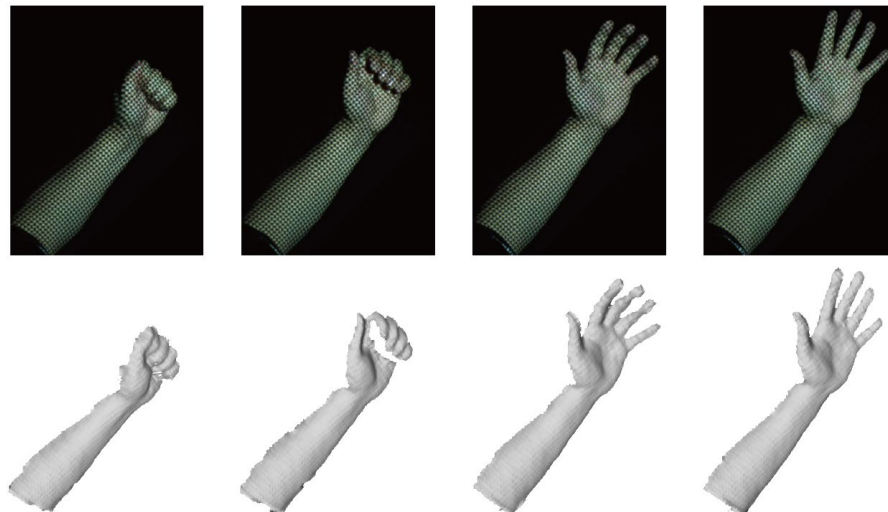
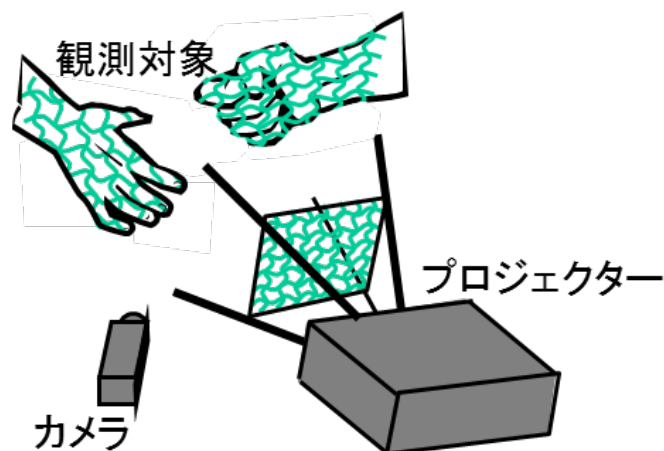


本発表の技術

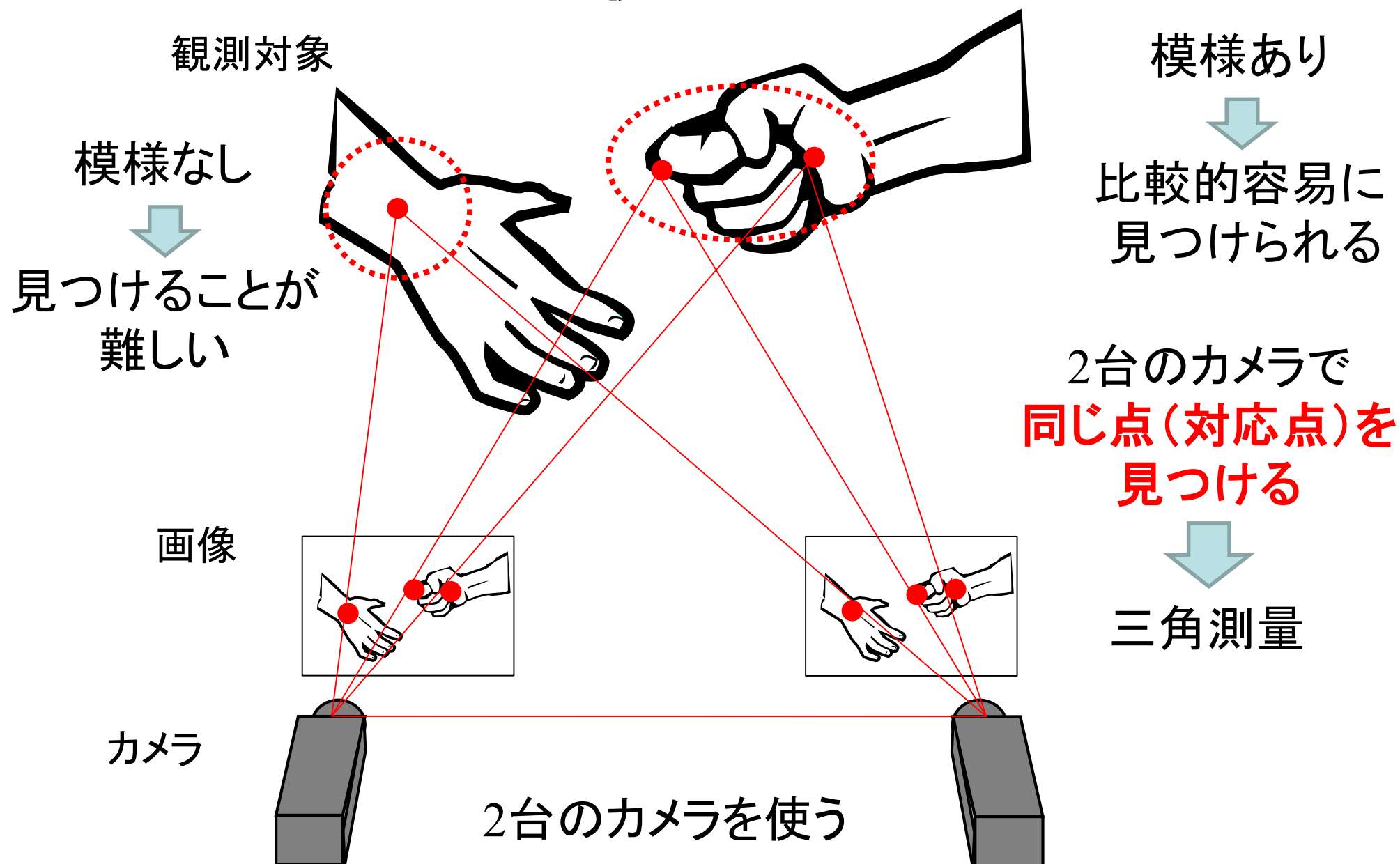
- 高速形状計測法
 - 2000コマ／秒以上で撮影した事象の形状計測
- 外乱光分離技術
 - 直射日光下で150mWレーザー光源による照明の抽出

形状計測システムの概要

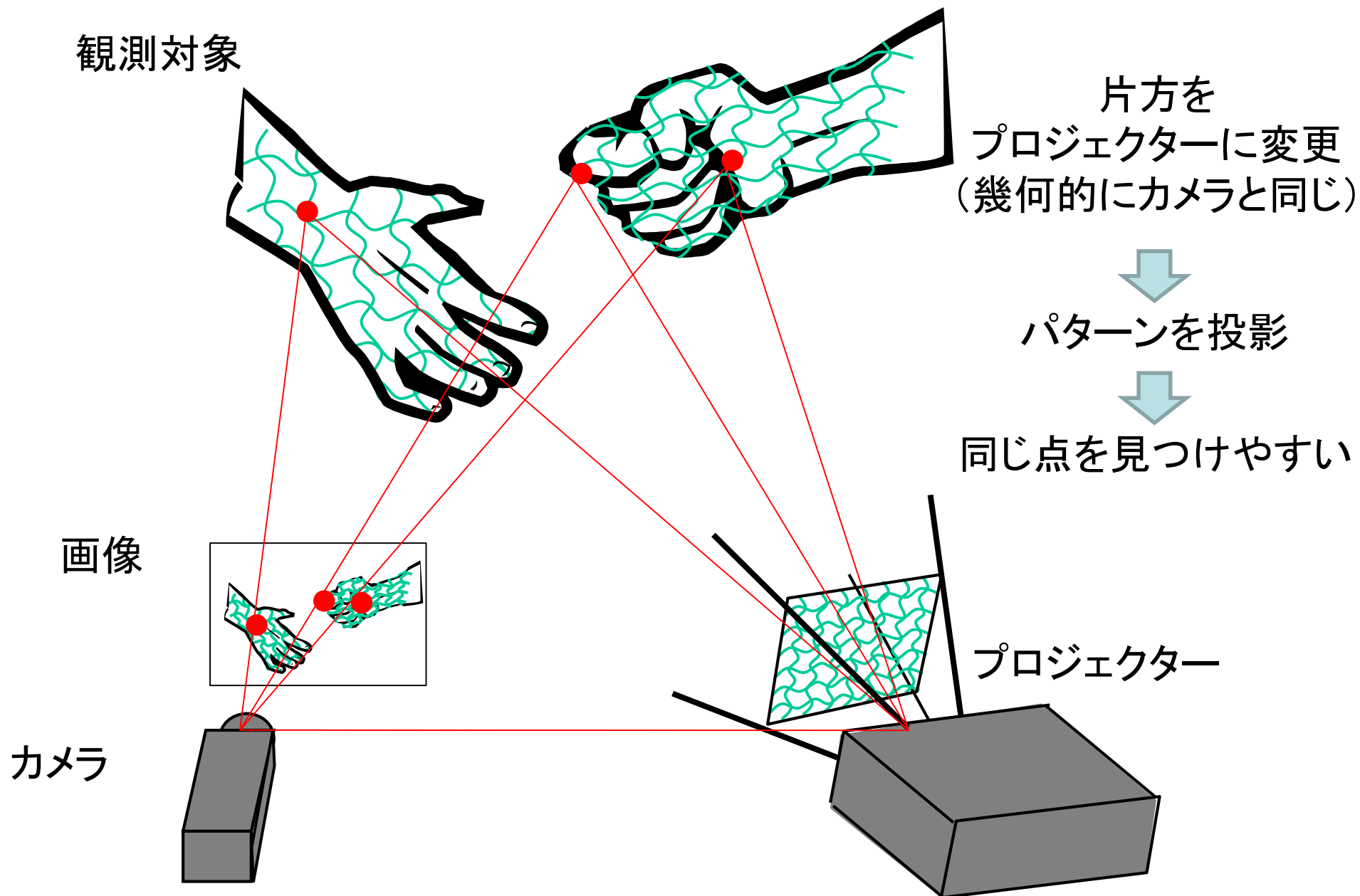
- プロジェクターとカメラを使ったシステム
 - 波線の格子パターンを投影
 - 撮像された瞬間の物体表面形状を計測
- 高速・高精度・高密度の計測を実現
 - さまざまな対象物の計測が可能



カメラを使った形状計測



プロジェクターとカメラを使った形状計測



プロジェクターとカメラを使った形状計測

計測対象

今回の問題：
動いている対象の形状計測を行いたい
(従来は主に静止物体)

に変更
と同じ)

使えるのは画像1枚だけ
(従来法の多くは複数の画像を使う)

パターンを投影

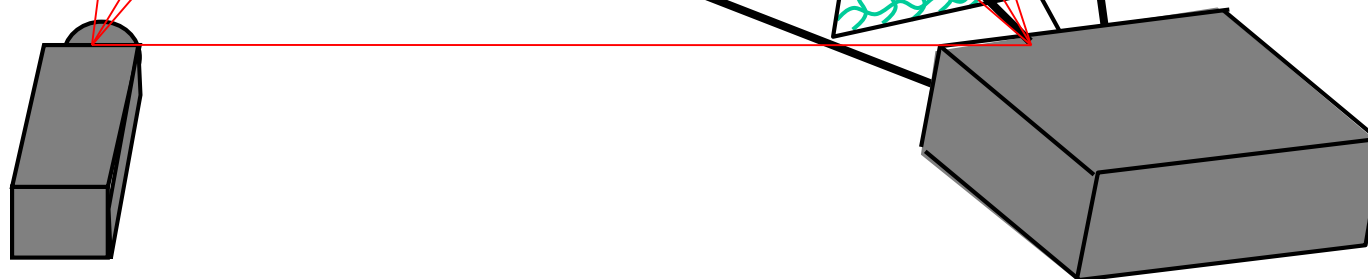
つけやすい

画像

どんなパターンが同じ点を見つけやすいか？

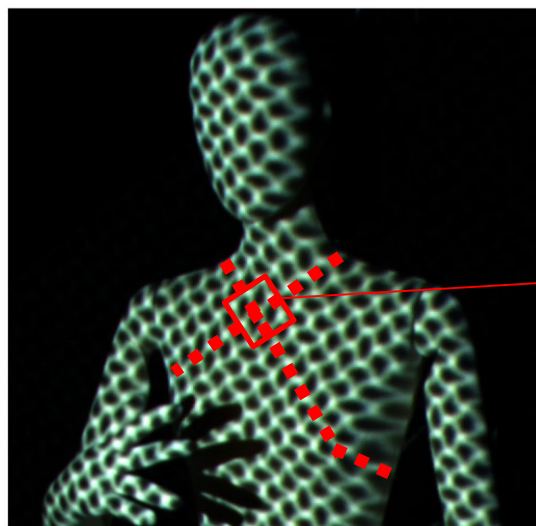
プロジェクター

カメラ

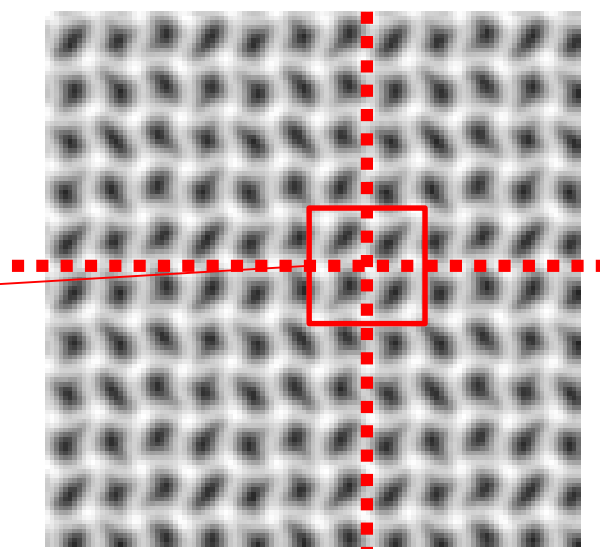


波線ワンショット形状計測法

- 縦・横の波線からなる格子パターンを投影
- 格子点における交差の状態によって区別
 - 格子点における波形が異なる
- 1つの格子点から決定できない場合もある
 - 格子点の接続情報も利用
 - 画像中で同じ線上にある点は、プロジェクターパターン上でも同じ線上にあるはず

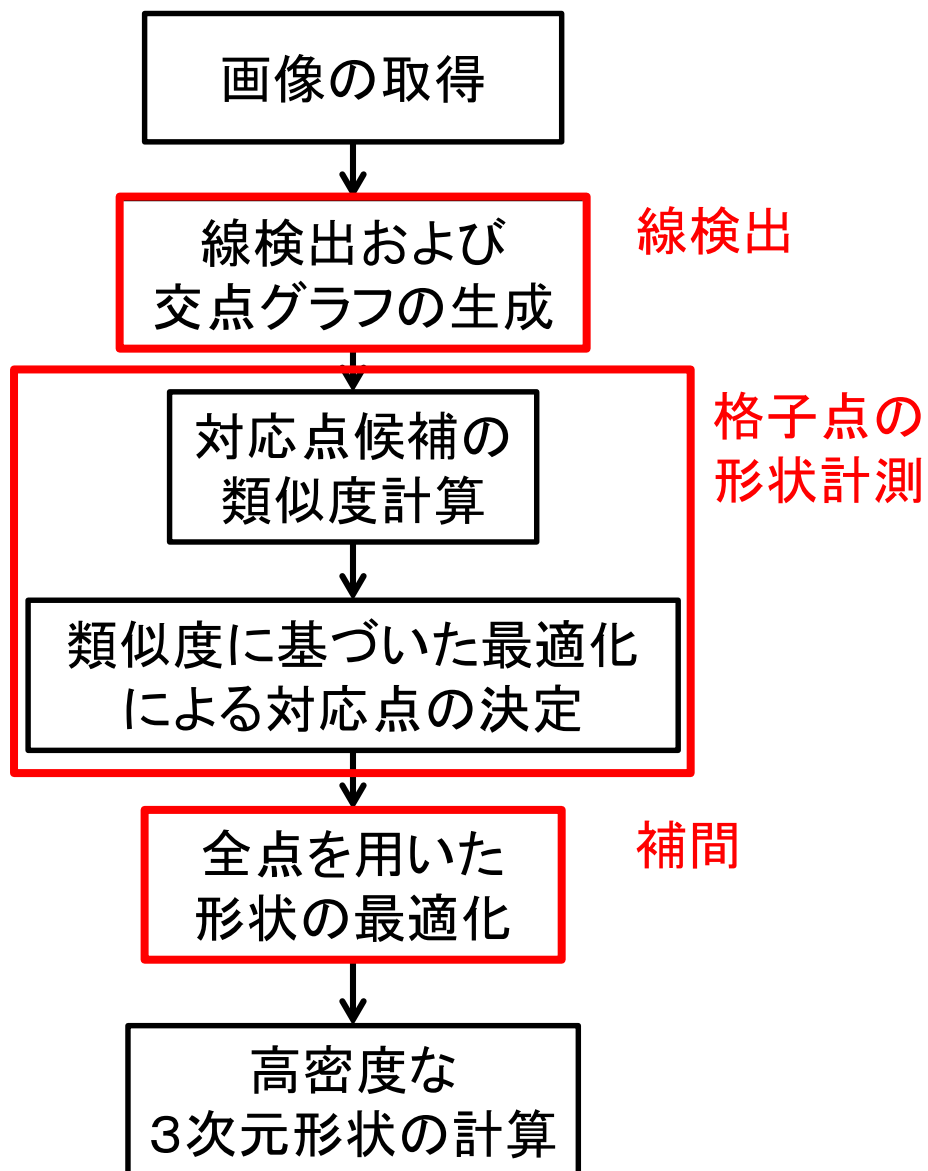


カメラ画像

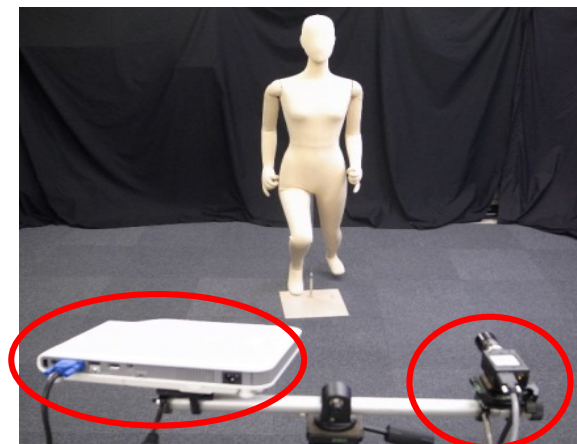


プロジェクターパターン

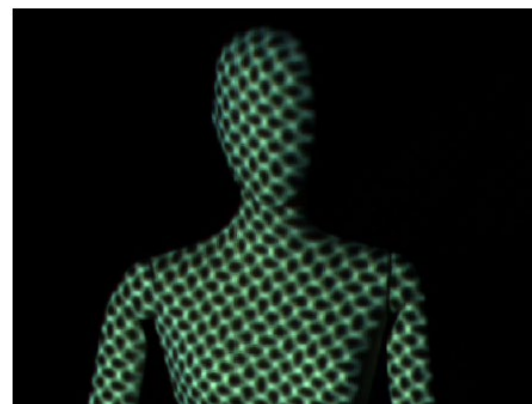
手法の流れ



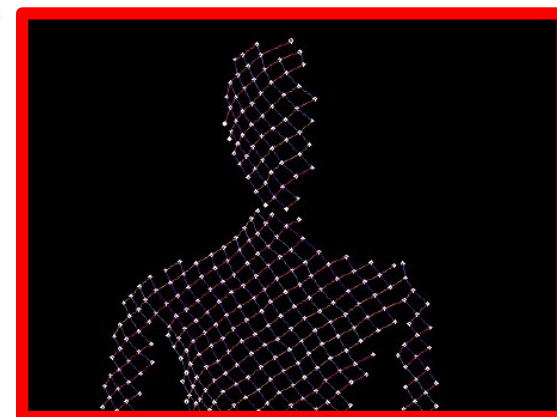
プロジェクタ



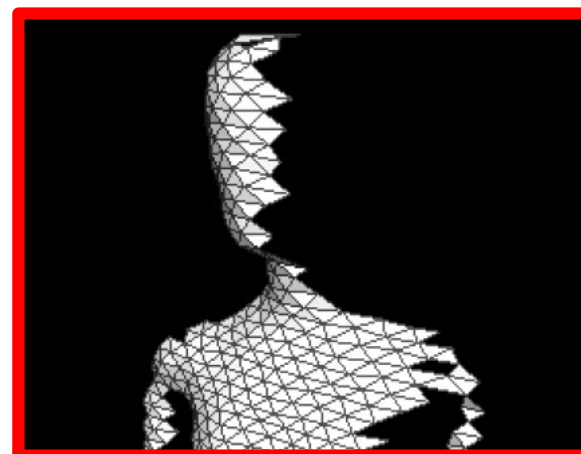
カメラ



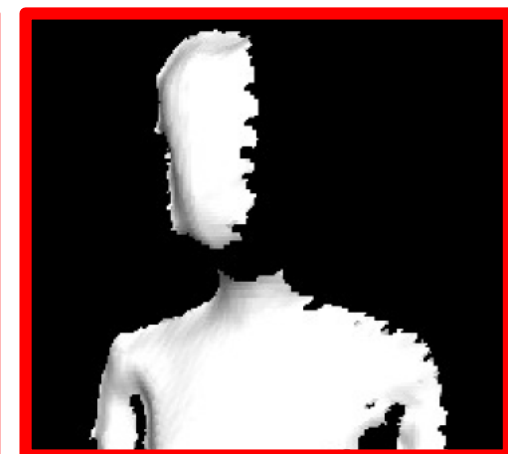
カメラ画像



線検出結果



交点の形状



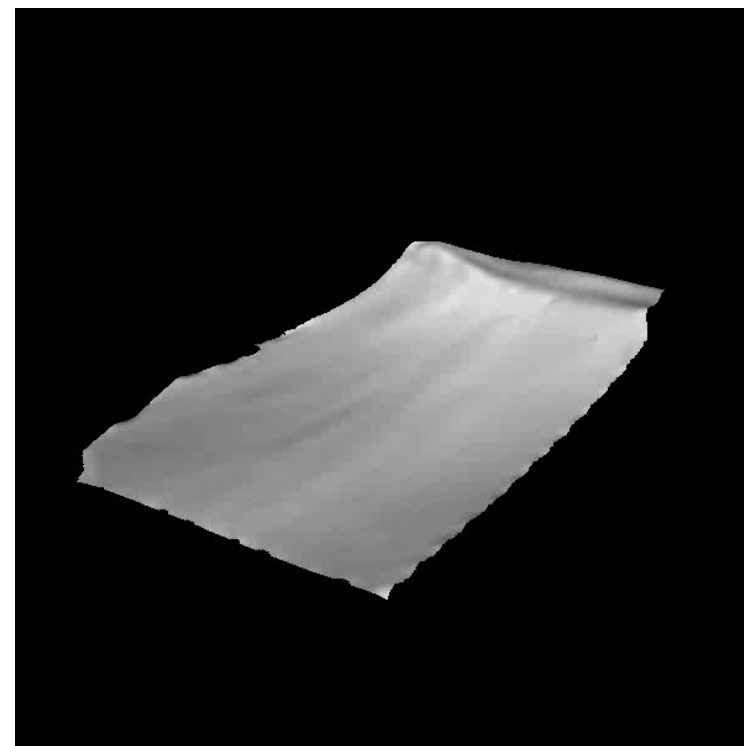
密な形状計測

高速度カメラを使った計測例1

- 水面の波の計測
 - 撮影: 250コマ/秒
- 応用: 流体シミュレーションの検証



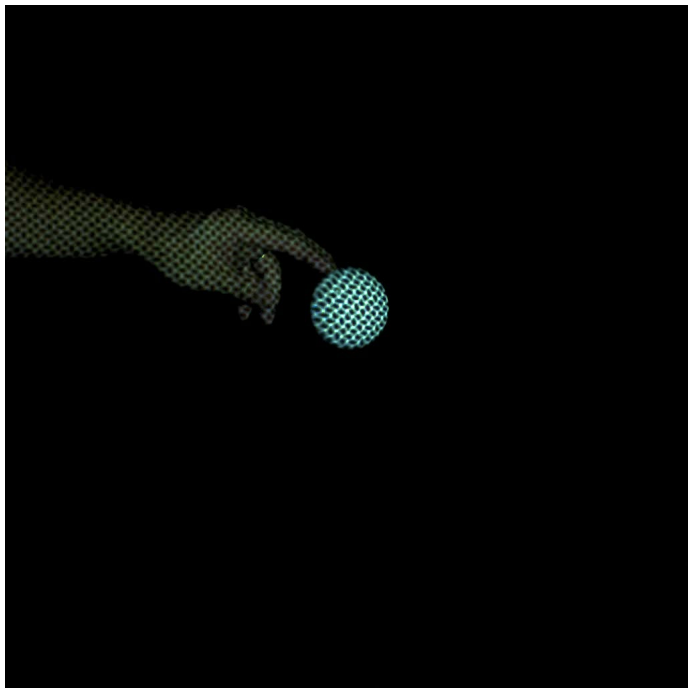
入力映像



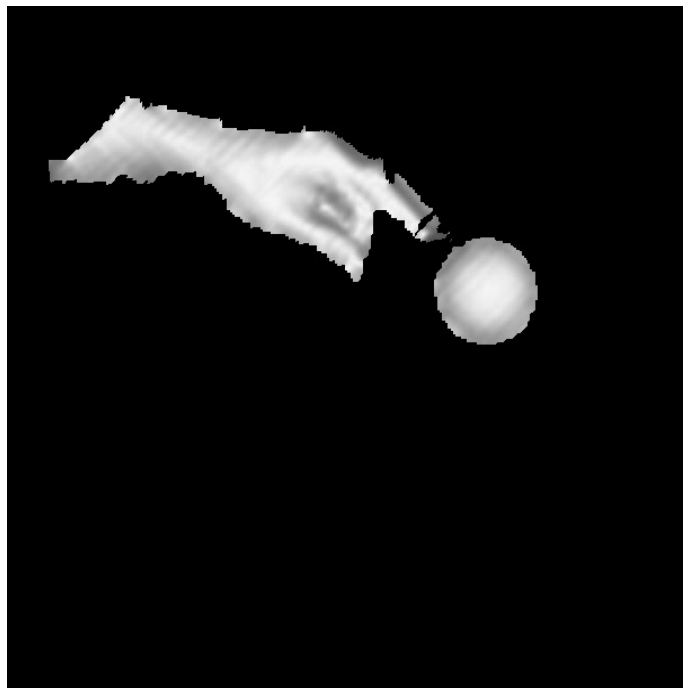
形状計測結果

高速度カメラを使った計測例2

- ボールを叩きつける
 - 撮影：2000コマ／秒
- 応用：運動科学、材料解析



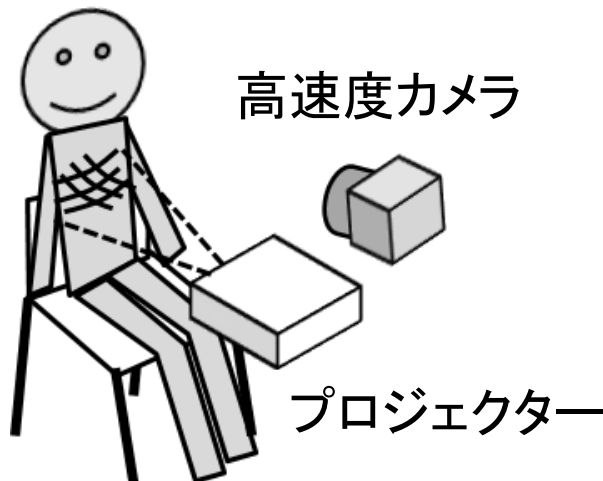
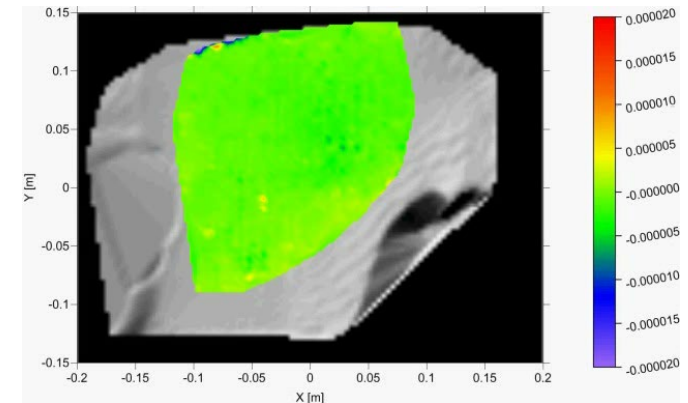
入力映像



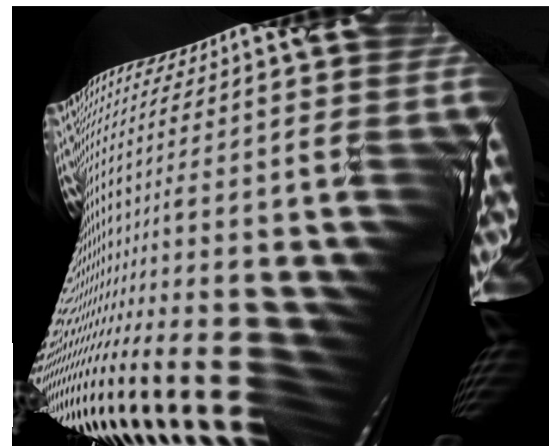
形状計測結果

非接触心拍計測

- 胸部を高速形状計測
 - 撮影: 100コマ/秒
- 形状データから波形を抽出
 - 心電図と相関を持つ波形
- 心拍計測の簡便さの向上に利用可能

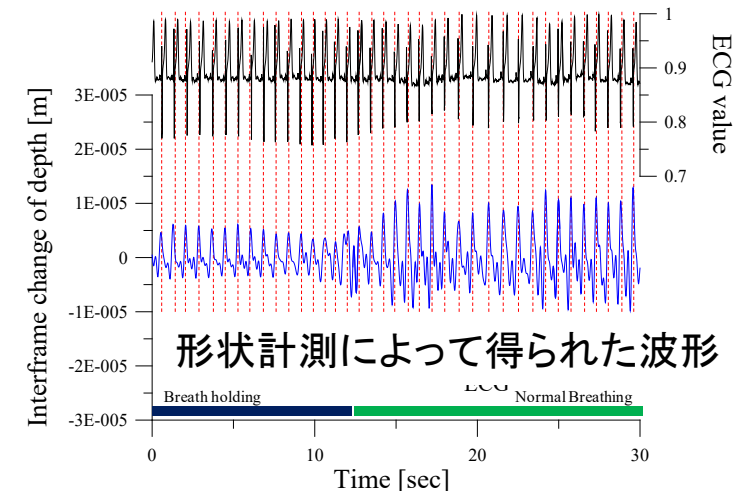


胸部の形状計測



入力画像

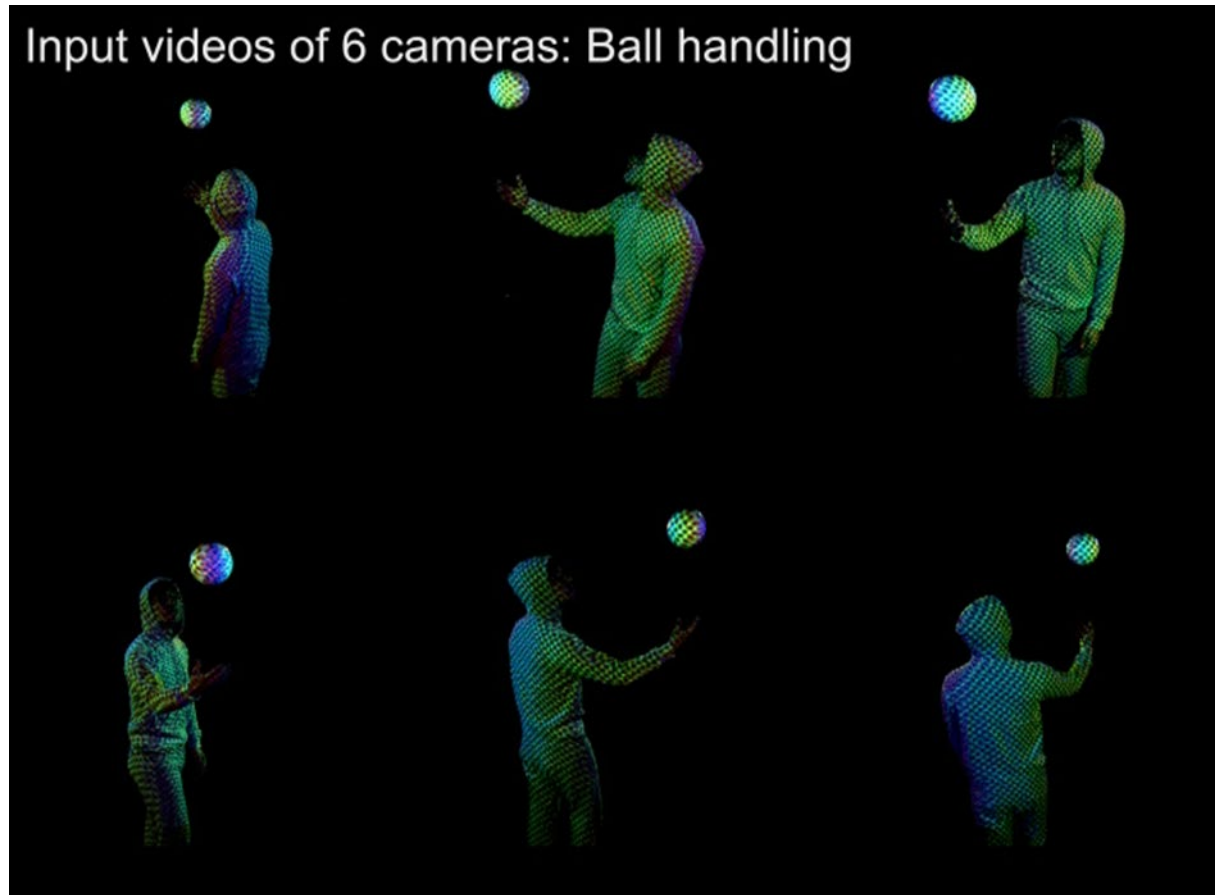
心電図の波形



心電図との比較

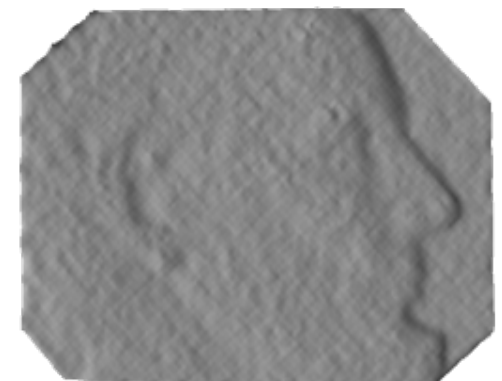
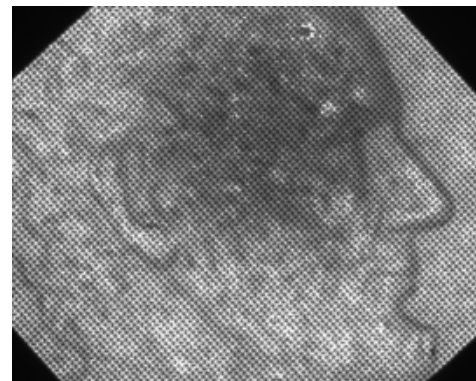
全周形状計測

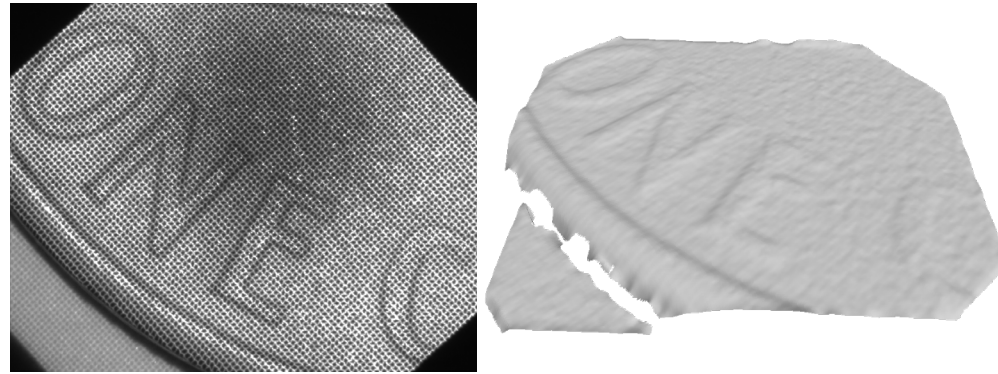
- 複数のカメラ・プロジェクタ
 - 同時に前後左右から計測



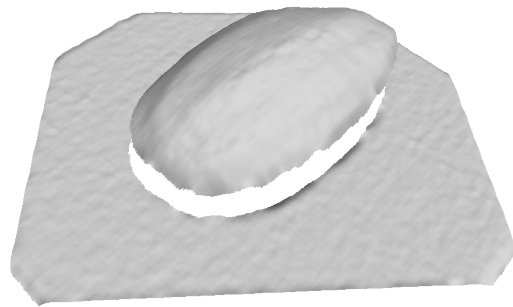
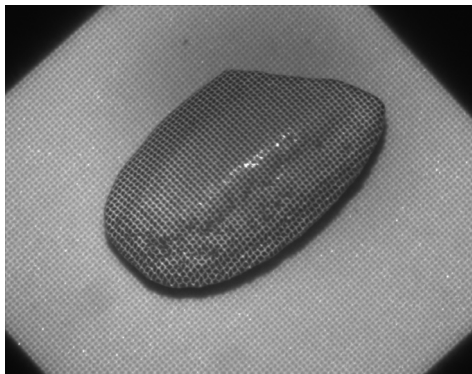
顕微鏡による形状計測

- この技術では、パターン投影できれば計測可能
 - 柔軟に機器を変えて計測できる
- 顕微鏡の接眼レンズからパターンを投影
 - 接眼レンズに装着するマスクを追加するだけで実現
 - 投影されたパターンの間隔 0.05mm
 - 0.05~0.10mmの凹凸を計測可能

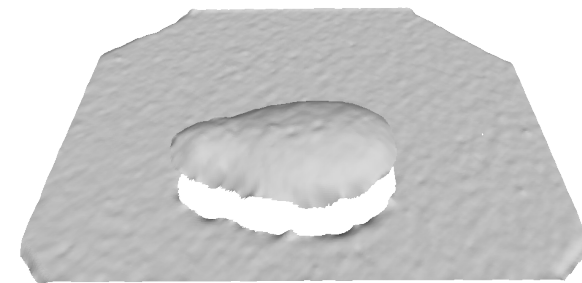
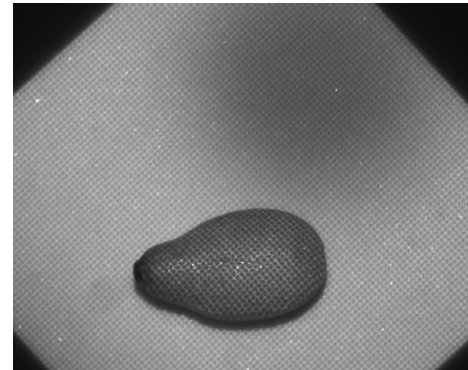




1セント硬貨



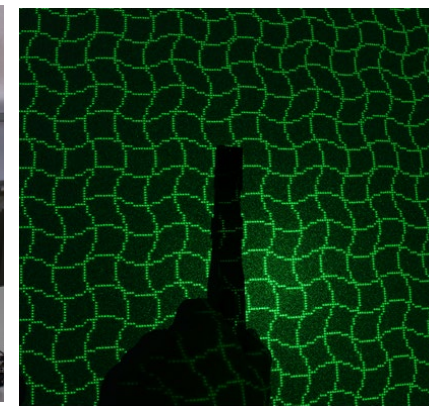
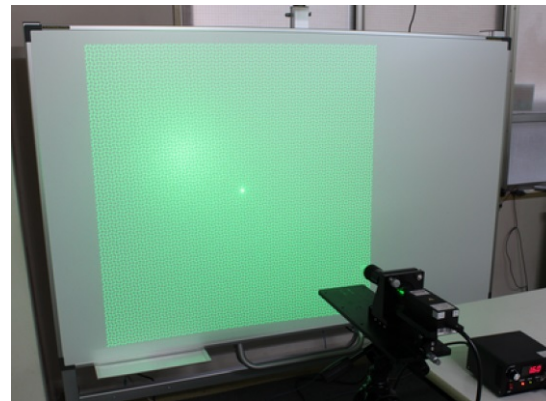
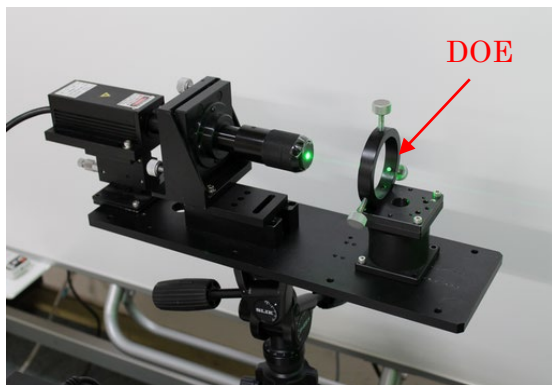
米粒



ゴマ

パターン投影システムの小型化

- レーザー光源の利用
 - 小型化、省電力化
- 回折光学素子によるパターン生成
 - Diffractive Optical Element, DOE



オンライン形状計測

- これまで紹介した結果はオフライン計測
 - 撮影した後に形状データを計算
- オンライン計測(＝撮影しながら計測)
 - インタラクティブな応用に必要
 - ゲーム、バーチャルリアリティ
 - 現在は5-10コマ／秒で計算
 - 今後の計算速度の向上を目指す

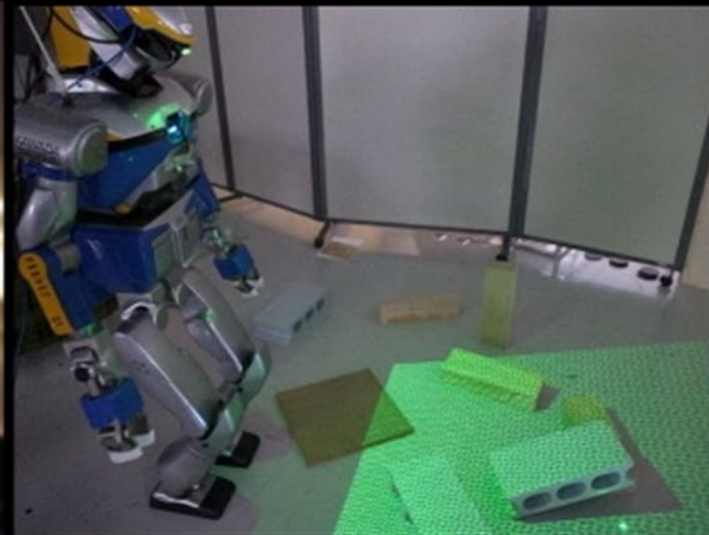


ヒューマノイド搭載システム

One-shot 3D reconstruction system
mounted on humanoid head



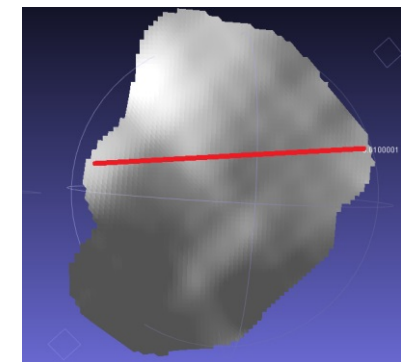
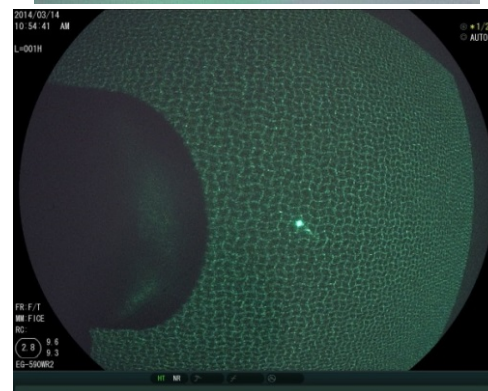
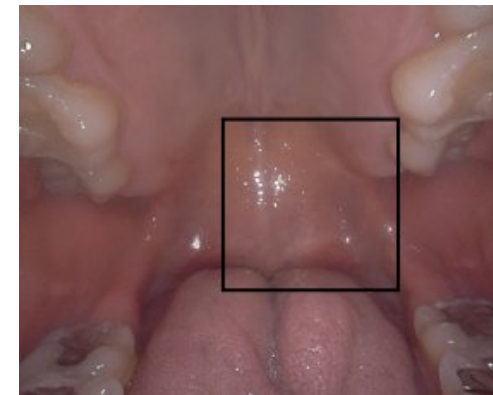
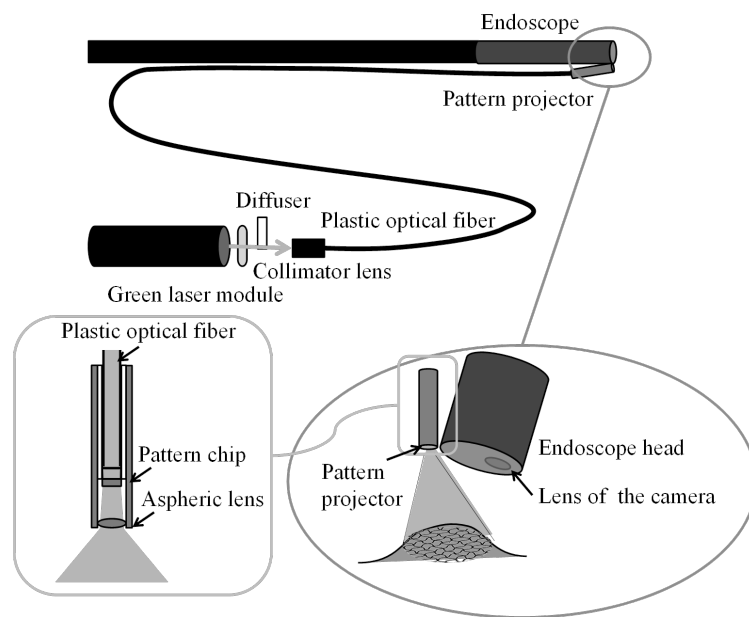
Projector-camera system



Pattern projection

3D内視鏡システム

- 内視鏡先端にパターン光源を装着



本発表の技術

- 高速形状計測法
 - 2000コマ／秒以上で撮影した事象の形状計測
- 外乱光分離技術
 - 直射日光下で150mWレーザー光源による照明の抽出

太陽光下での形状計測の問題点

- 照明の強さ
 - 太陽光: 3~10万ルクス
 - 室内灯: 約500ルクス
- 既存アプローチ
 - レーザースキャン方式
 - 屋外で使用可能、しかし解像度が不足、あるいは速度が遅い
 - パターン投影方式、ToFカメラ
 - 高解像度な計測が可能、しかしパターンの明るさが不足
 - パターン光源の高出力化には限界
- 開発した技術では、直射日光下でパターン投影による形状計測を実現



パターン投影方式による室内での計測

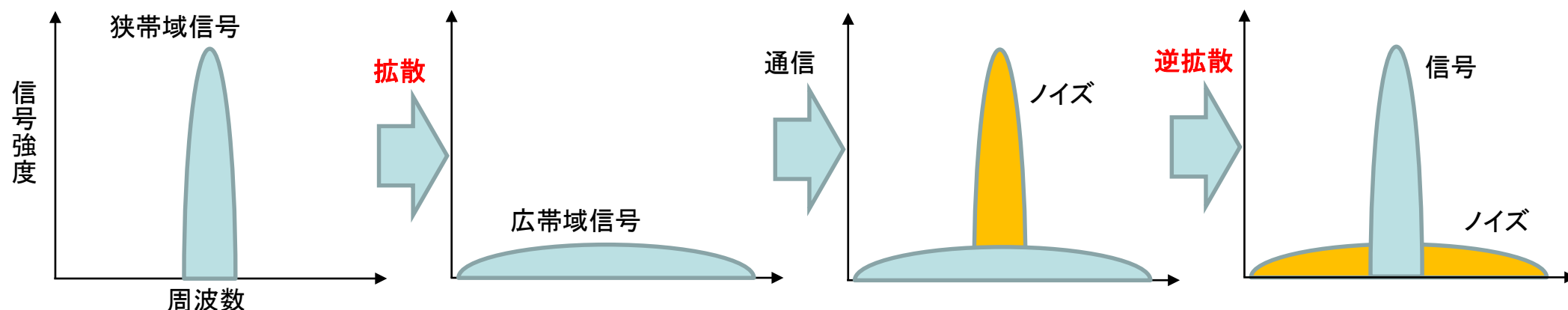
着想

- 携帯電話等の無線通信で用いられるノイズ除去技術を応用
 - スpektrum拡散変調技術
 - ノイズの多い環境で利用される
 - 小さな出力の電波による通信が実現
- パターン光源とカメラを用いた形状計測システム
 - パターン光源からカメラへの通信であるとみなす

無線通信： 送信機 ➡ 受信機
形状計測： パターン光源 ➡ カメラ

スペクトラム拡散変調技術

- 信号を広い周波数帯域に拡散
- 利点
 - ノイズに頑健な信号検出を実現可能
 - 逆拡散ステップにおいて、ノイズを拡散することにより弱める
 - 高エネルギー効率
 - 低出力発信源による通信を実現
- 直接拡散方式
 - 狭帯域信号に拡散符号を乗算する方式

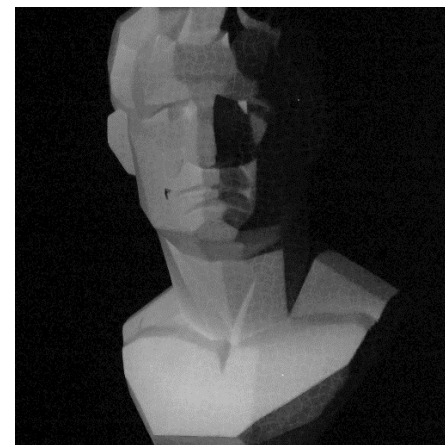


拡散符号

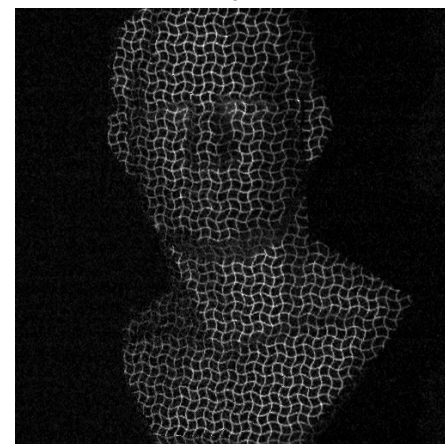
- 擬似乱数列の1つであるM系列を拡散符号として利用
 - 2値の数列: 例えば $\{1, 0, 0, 1, 1, 1, 0\}$
- M系列の特徴
 - 幅広い周波数成分を持つ
 - 異なるM系列で拡散された信号は相互に干渉しない
 - CDMA、WiFiなどの技術で用いられている特徴
- 拡散ステップ
 - 送信する信号と拡散符号を乗算
- 逆拡散ステップ
 - 観測した信号と拡散符号を畳み込み演算

投影パターンのスペクトラム拡散

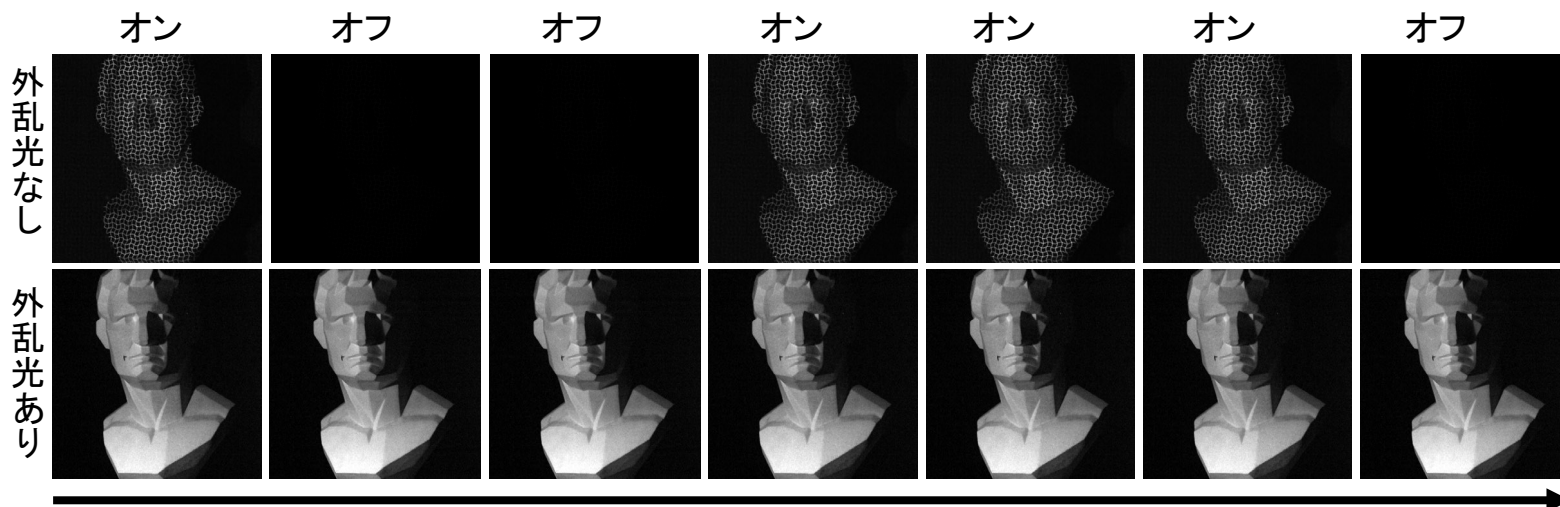
- 拡散
 - 時系列にパターンのオン・オフ
- 逆拡散(復調)
 - 画素ごとに拡散符号と畳み込み演算



スペクトラム拡散された
投影パターン



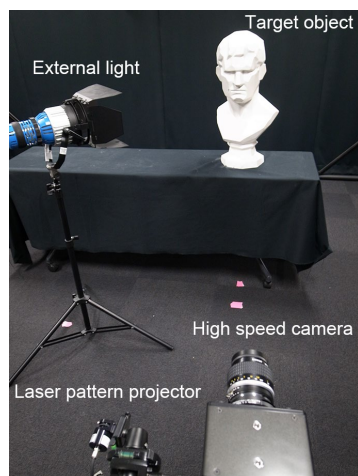
復調によって得られた
投影パターン



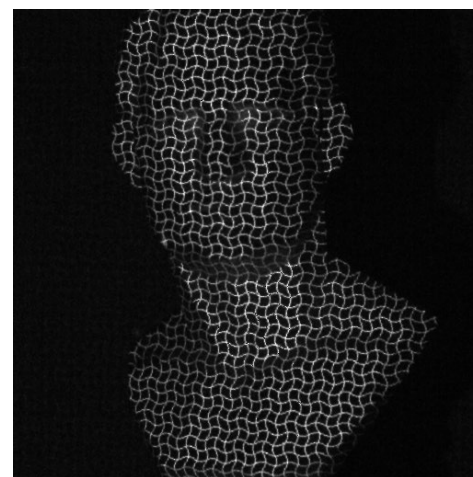
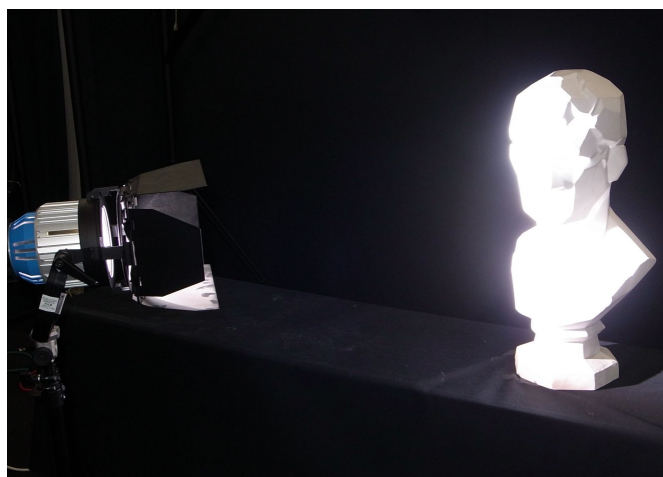
時間

外乱光の除去実験

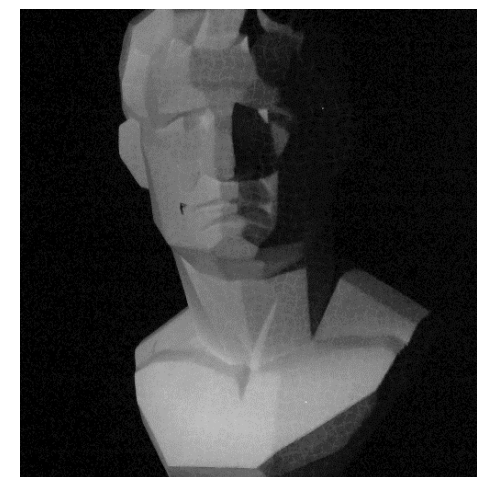
- 外乱光 400 Wランプ
 - 約10万ルクス
- ハイスピードカメラ、レーザーパターン光源
 - 撮影 22,500コマ／秒
 - パターンは外乱光と比べて弱く、認識困難



実験システム



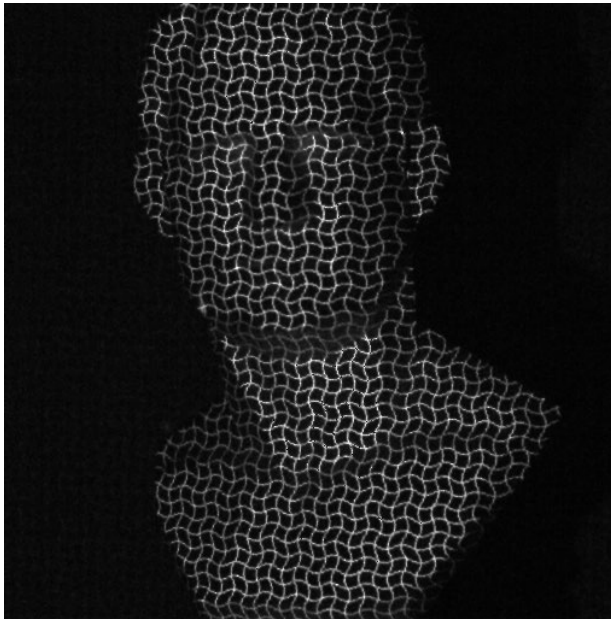
投影パターン



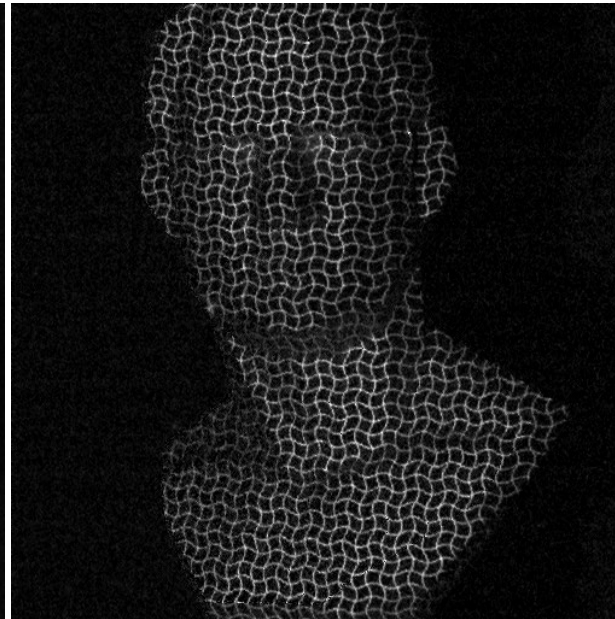
入力ビデオ

復調結果

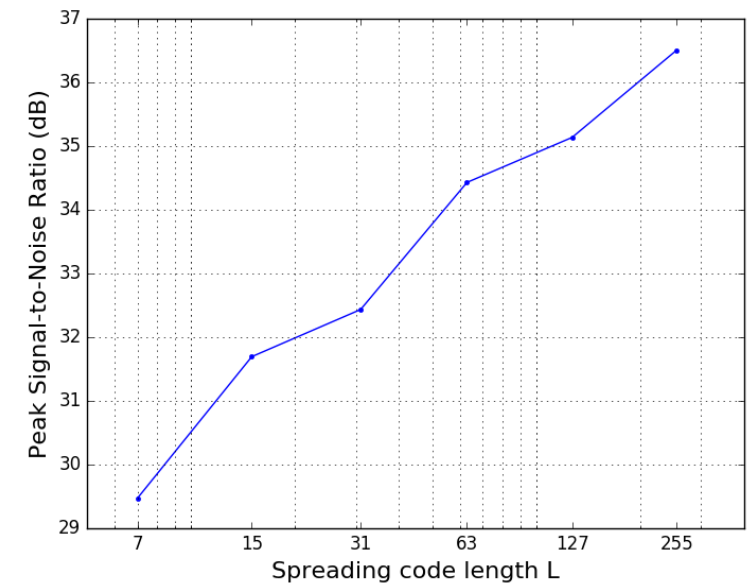
- 拡散符号の長さを変えてテスト
- 符号の長さに応じてピーク信号対雑音比(PSNR) が改善



基準画像



III-107
復調結果



復調画像のPSNR

太陽光下での運動体の撮影

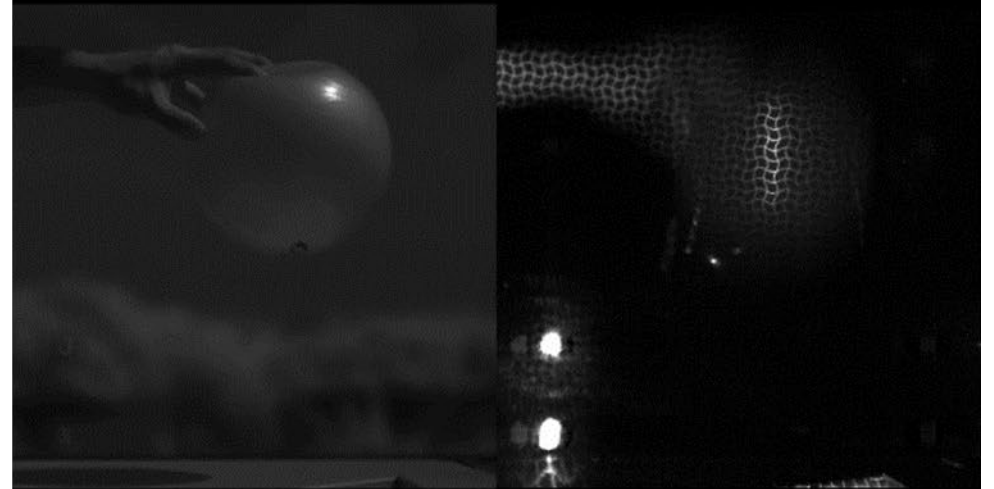
- 太陽光 5万ルクス
- 符号長 255

Structured-light method under sunlight



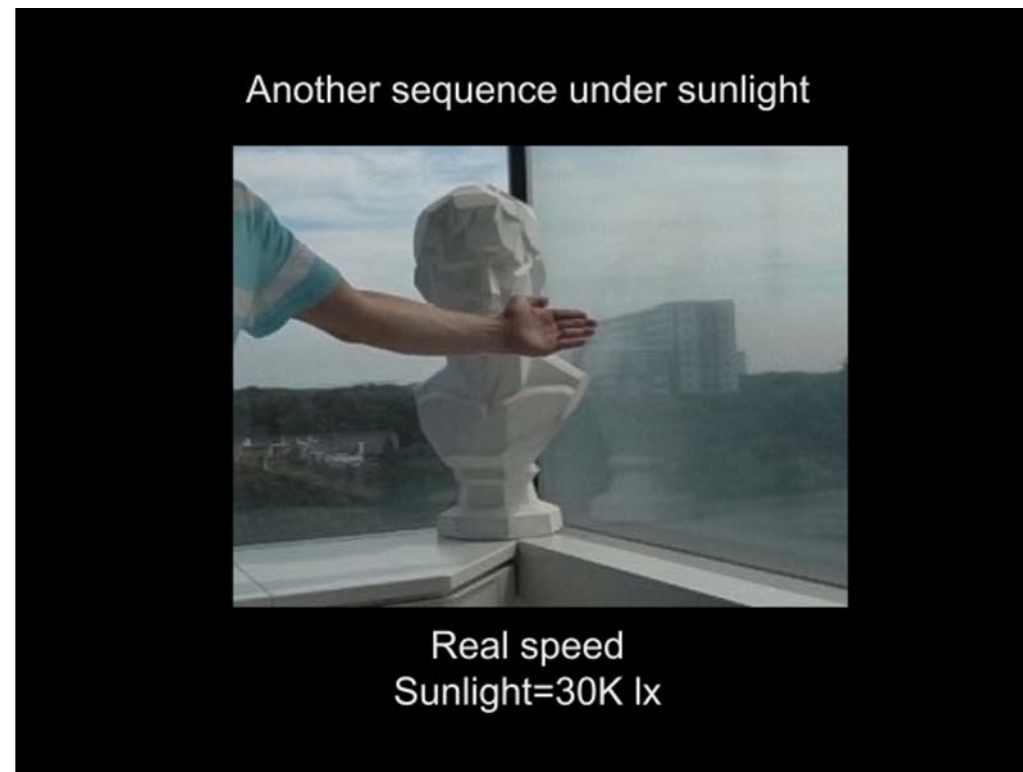
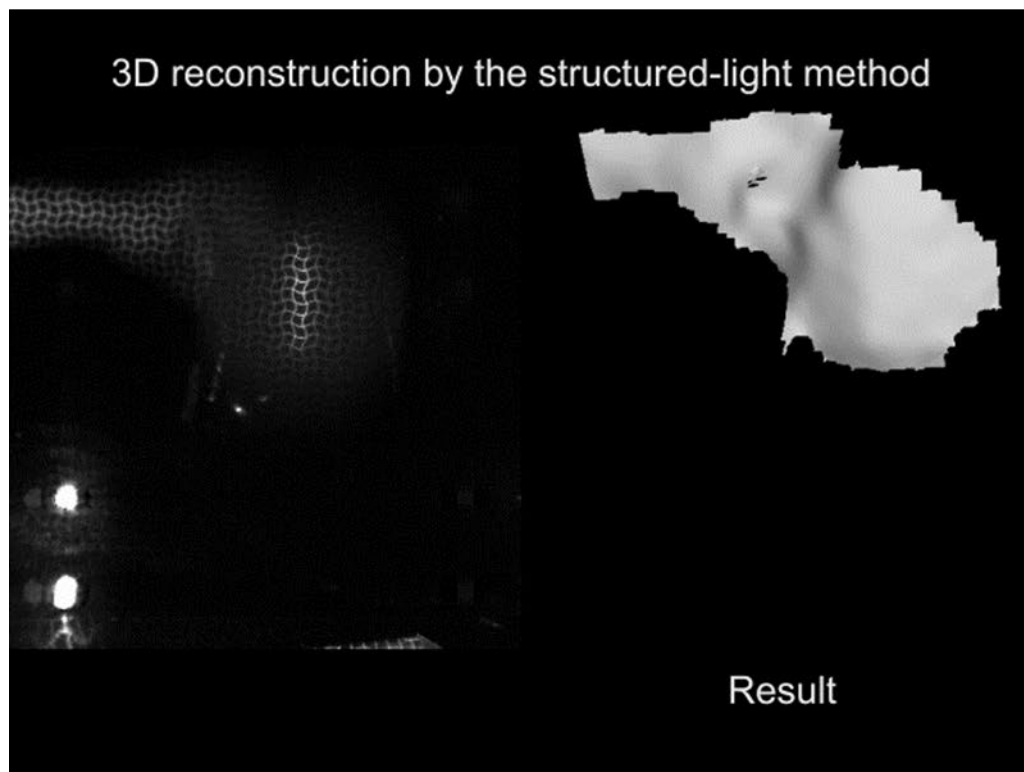
Real speed
Sunlight=50K lx

Demodulation with high-pass filtering



Result

運動体の形状計測



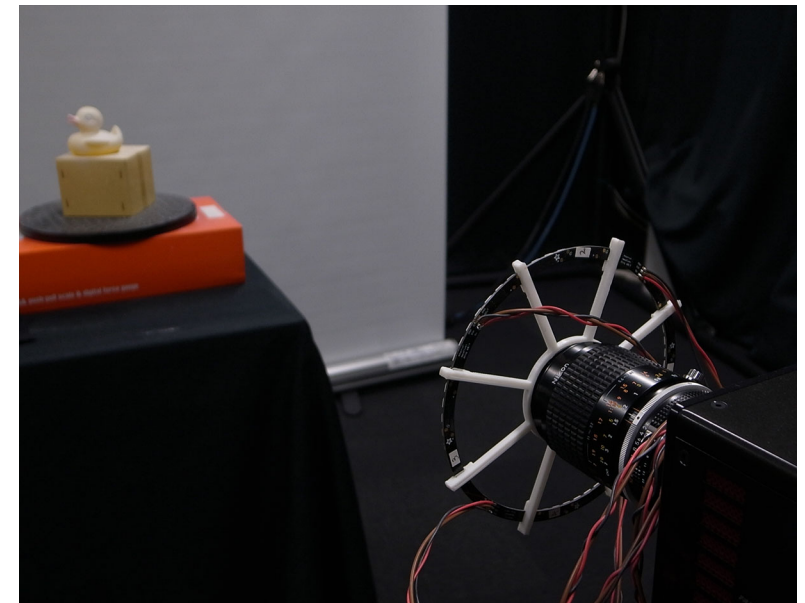
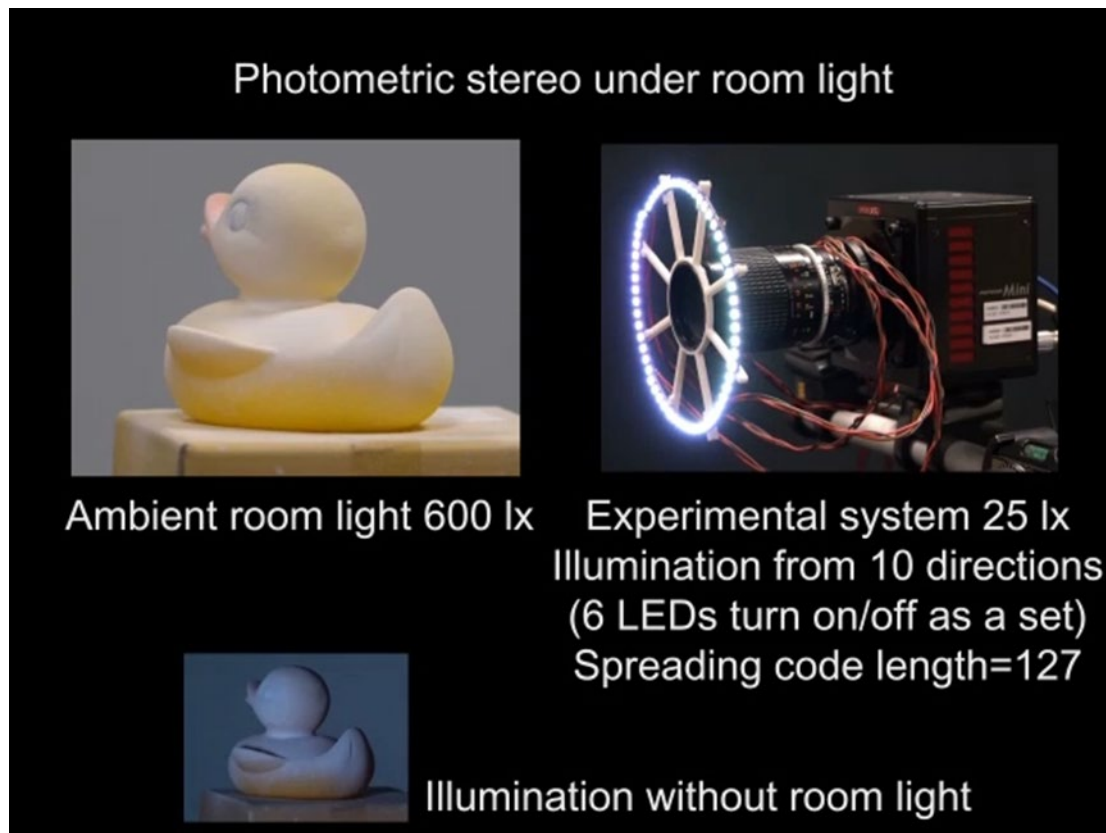
その他の応用例

- パターン投影による形状計測
 - 複数のカメラ・プロジェクタを用いた計測
 - それぞれのパターンを分離可能
 - 自ら発光する物体の計測（例えば溶けた金属、溶接）
 - 発光による光を分離可能
- 外乱光下での照度差ステレオ法
 - 複数光源の同時投影
- ビデオへの不可視画像の埋め込み
 - カメラのみ検出でき、人間に見えない情報の提供

外乱光下での照度差ステレオ法

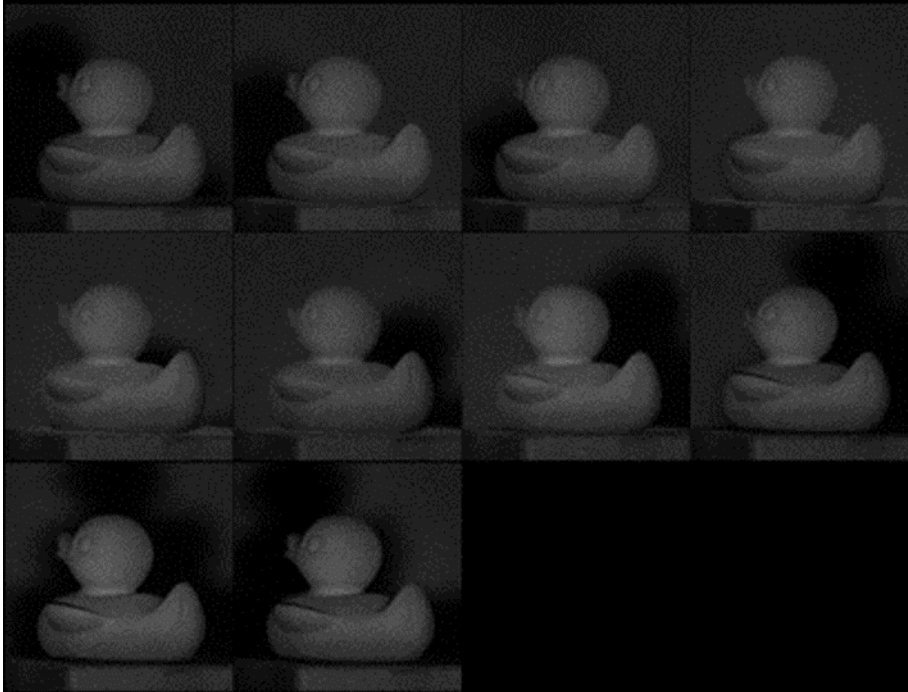
- 照度差ステレオ法

- 複数の特定方向から照明した画像の光源の強度と反射率の違いから画像を復元して形状を計測
- カメラレンズの周囲に60個のLEDを装着
- スペクトラム拡散変調に基づいて点滅(1000コマ/秒)

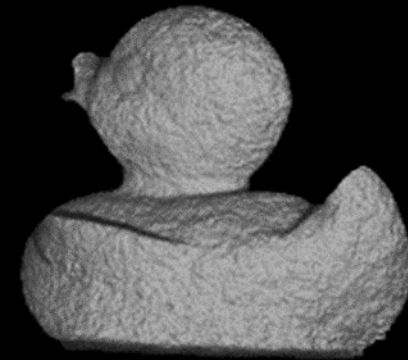


照度差ステレオ法による形状復元

Demodulation of multiplexed illumination
with high-pass filtering + every fourth shift count



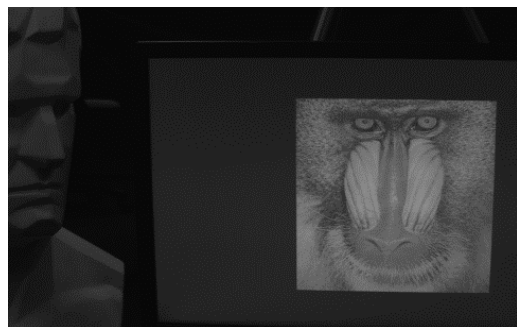
Result of demodulation
for ten lights



Result of
photometric stereo

ビデオへの不可視画像の埋め込み

- PCモニタを光源とみなす
 - 表示するビデオに低出力信号として画像を埋め込む
 - 人間の目には認識困難
 - 外乱光＝可視画像
- 不可視画像の輝度値をスペクトラム拡散変調によって復調し、可視画像を消去



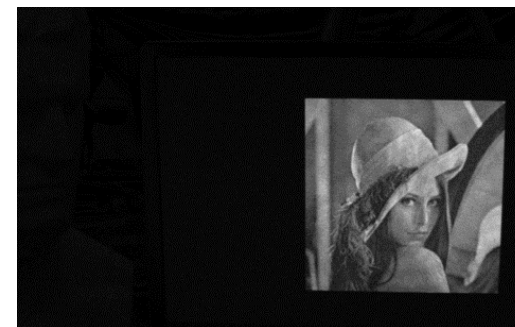
可視画像



不可視画像



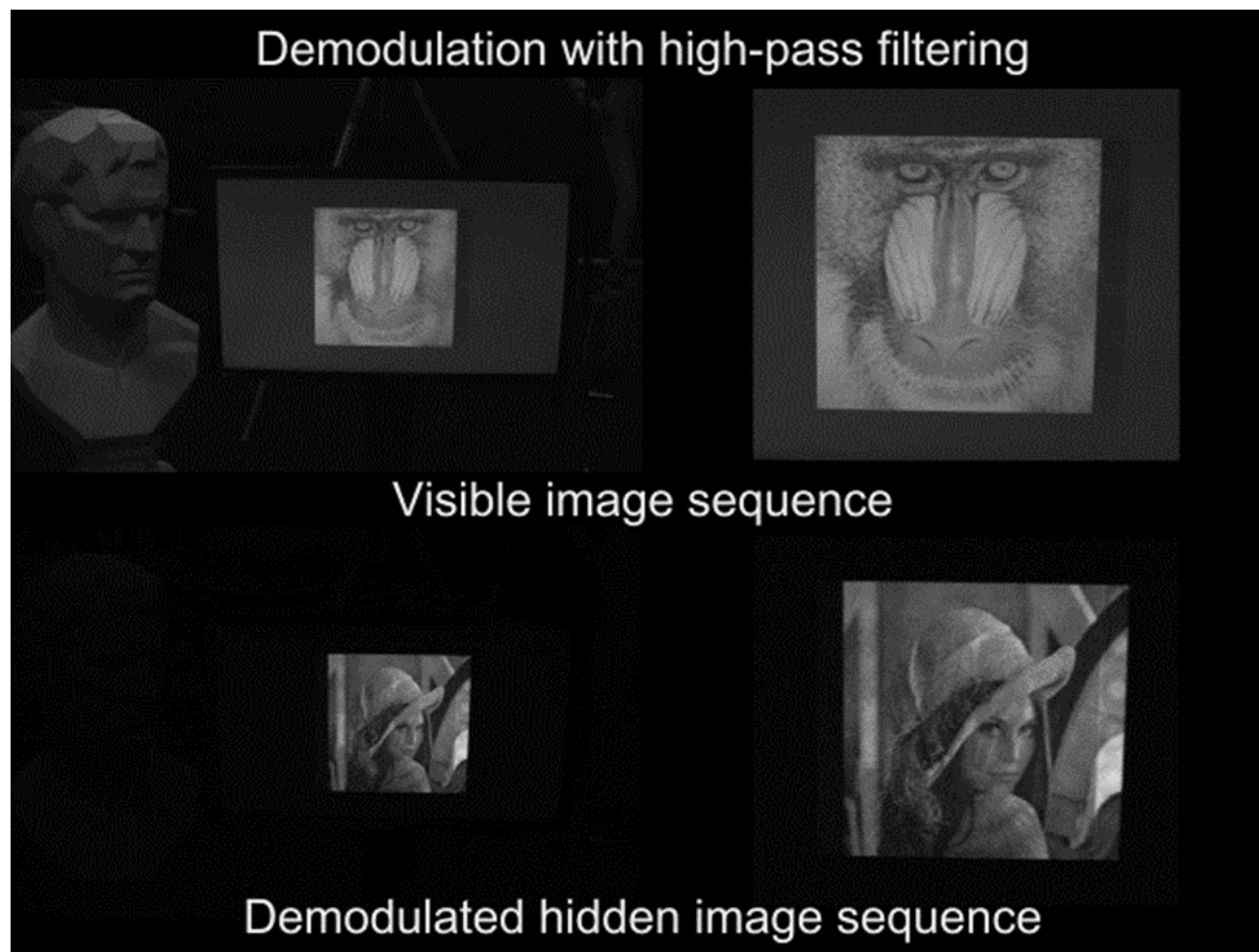
埋め込み画像



復調画像

ビデオへの不可視画像の埋め込み

- 可視画像: 右へ平行移動
- 不可視画像: 左へ平行移動



実用化に向けた課題・企業への期待

- 使いやすさの向上
 - キャリブレーションの手間の削減
 - エンドユーザー向けソフトウェアパッケージの作成
- 特定の用途向けへのカスタマイズ
 - ハードウェアの製作
- 計算の高速化

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称： 画像処理システムおよび画像処理方法
 - 登録番号： 日6270157、米9633439、中ZL201380040691.1、
仏 2881702、独 602013043648.7、英 2881702、
典 2881702、西 2696198
 - 出願人： 産業技術総合研究所、鹿児島大学、広島市立大学
 - 発明者： 佐川立昌、川崎洋、古川亮
- 発明の名称： 画像処理方法
 - 出願番号： 特願2018-564479
 - 出願人： 産業技術総合研究所
 - 発明者： 佐川立昌

お問い合わせ先

産業技術総合研究所

イノベーション推進本部

ベンチャー開発・技術移転センター

技術移転マネージャー 助川 武史

TEL 029-861-2655

e-mail sukegawa.takeshi@aist.go.jp

まとめ

- 直射日光など強い外乱光がある環境において、パターン投影による高速形状計測を実現
- スペクトラム拡散変調に基づいたパターン投影
 - 低出力光源による投影パターン光を検出
 - ノイズの影響を軽減
- 光源の分離
 - 投影光 vs 外乱光
 - 複数の投影光の分離
- 応用
 - さまざまな形状計測
 - 屋外、炉内の高温発光物体、複数視点同時計測
 - 光源－カメラシステムへの利用
 - 陰影、マルチスペクトル、バーチャルリアリティ