

安価・小型・高速・高精度を実現した 高輝度格子投影ユニットによる 三次元計測装置

福井大学 学術研究院工学系部門
知能システム工学講座
教授 藤垣 元治

2025年9月4日

三次元計測の適用分野と基本原理

建築・土木

- ・崖崩れ検知
- ・インフラ健全性評価
- ・構造物の欠陥調査
- ・路面、壁面形状調査 等

製造・加工

- ・電子部品形状検査
- ・金型形状検査
- ・マイクロマシン評価
- ・大型構造物計測 等

医療・福祉・服飾

- ・人体形状計測
- ・遠隔健康モニタリング
- ・手術ナビゲーション
- ・義足ソケット製作 等

農産物・文化財・他

- ・農産物分類装置
- ・農産物成長計測装置
- ・宇宙構造物計測
- ・考古物・文化財三次元記録 等

マイクロマシンから，人体，
考古物，巨大構造物や宇
宙構造物まで

複雑な座標計算をしている
ような印象があるが...

間接測定の基本

Input

現象に応じ
た情報

物理，数学，
その他の法則

関係性

Output

測定値

出力

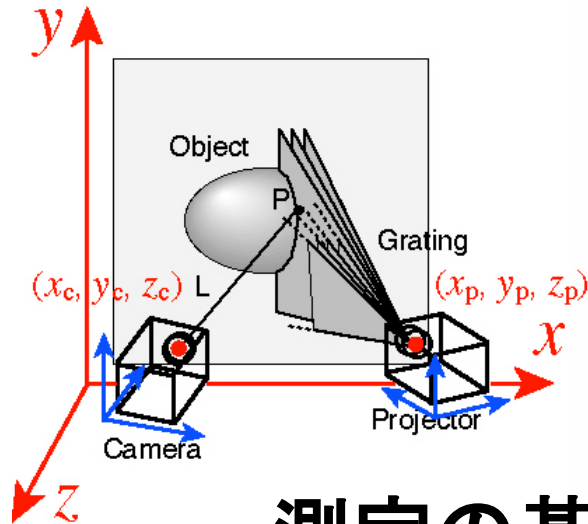
ここが重要

関係式

↑
パラメータを
きちんと求める

キャリブレーション

入力



測定の基本原理に
立ち返れば，実は簡単

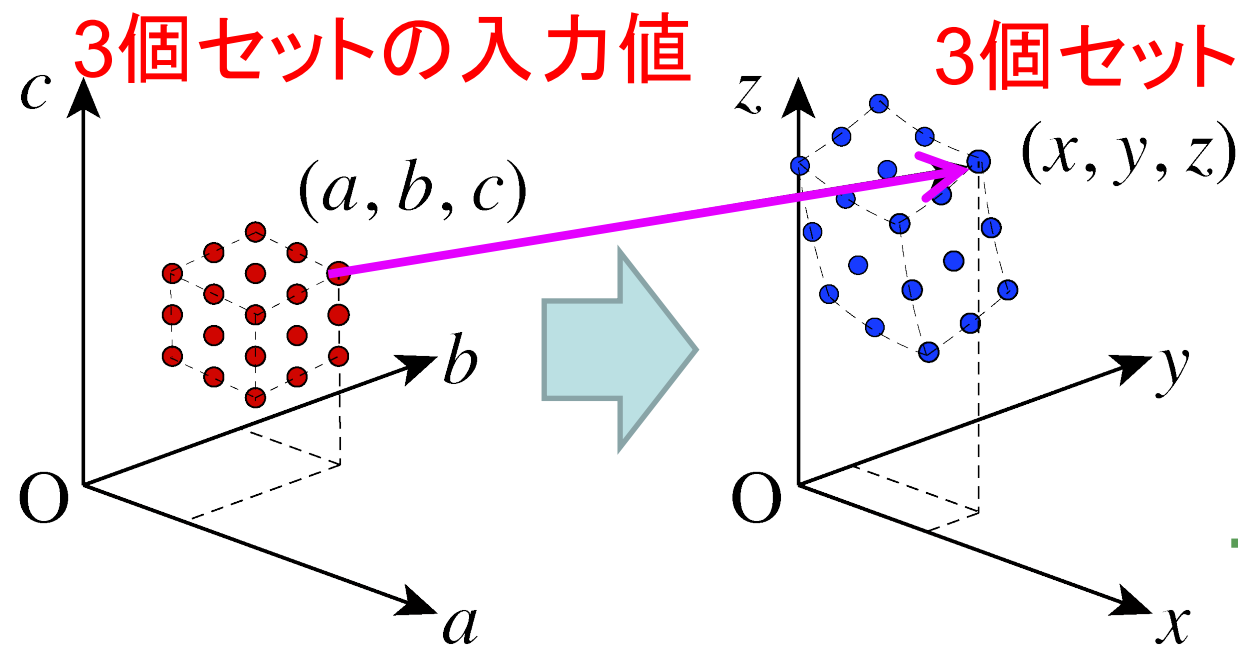
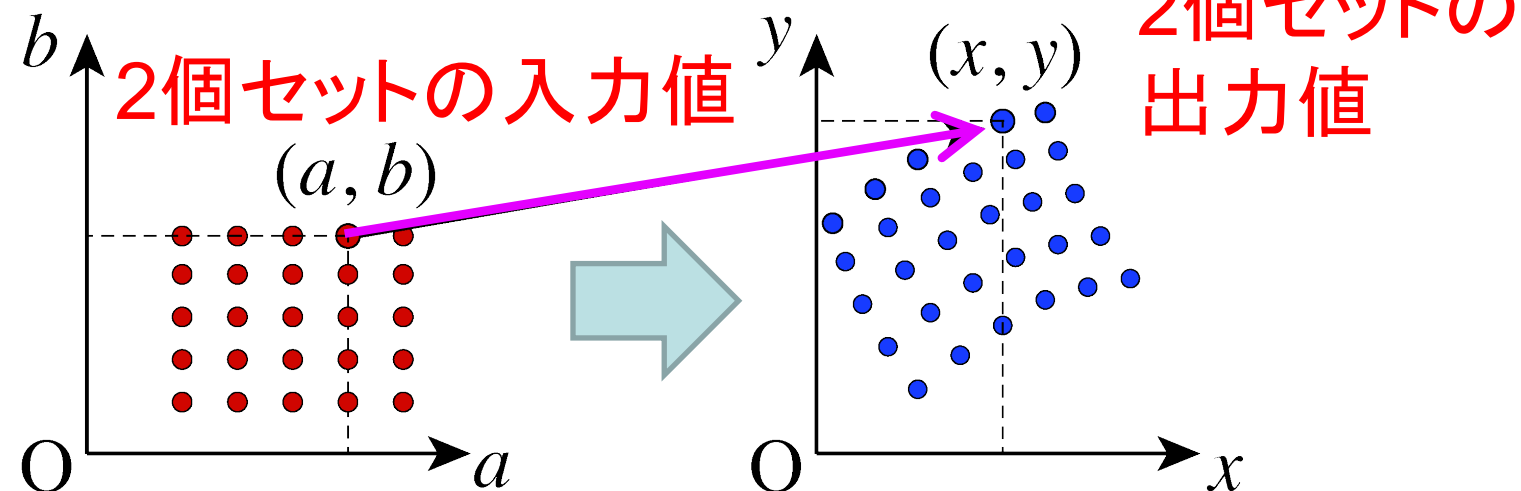
間接測定の基本の考え方 (測定したい値が3個セットの場合)

測定値と入力値との対応付けがあればよい

出力値

入力値

2個セットの値の測定には、2個セットの入力値との対応付けがあればよい



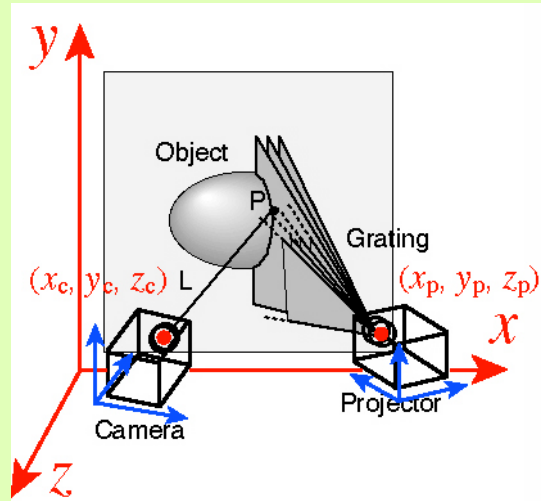
同様に、3個セットの値の測定には、3個セットの入力値との対応付けがあればよい

三次元計測はこれをしている

従来技術とその問題点

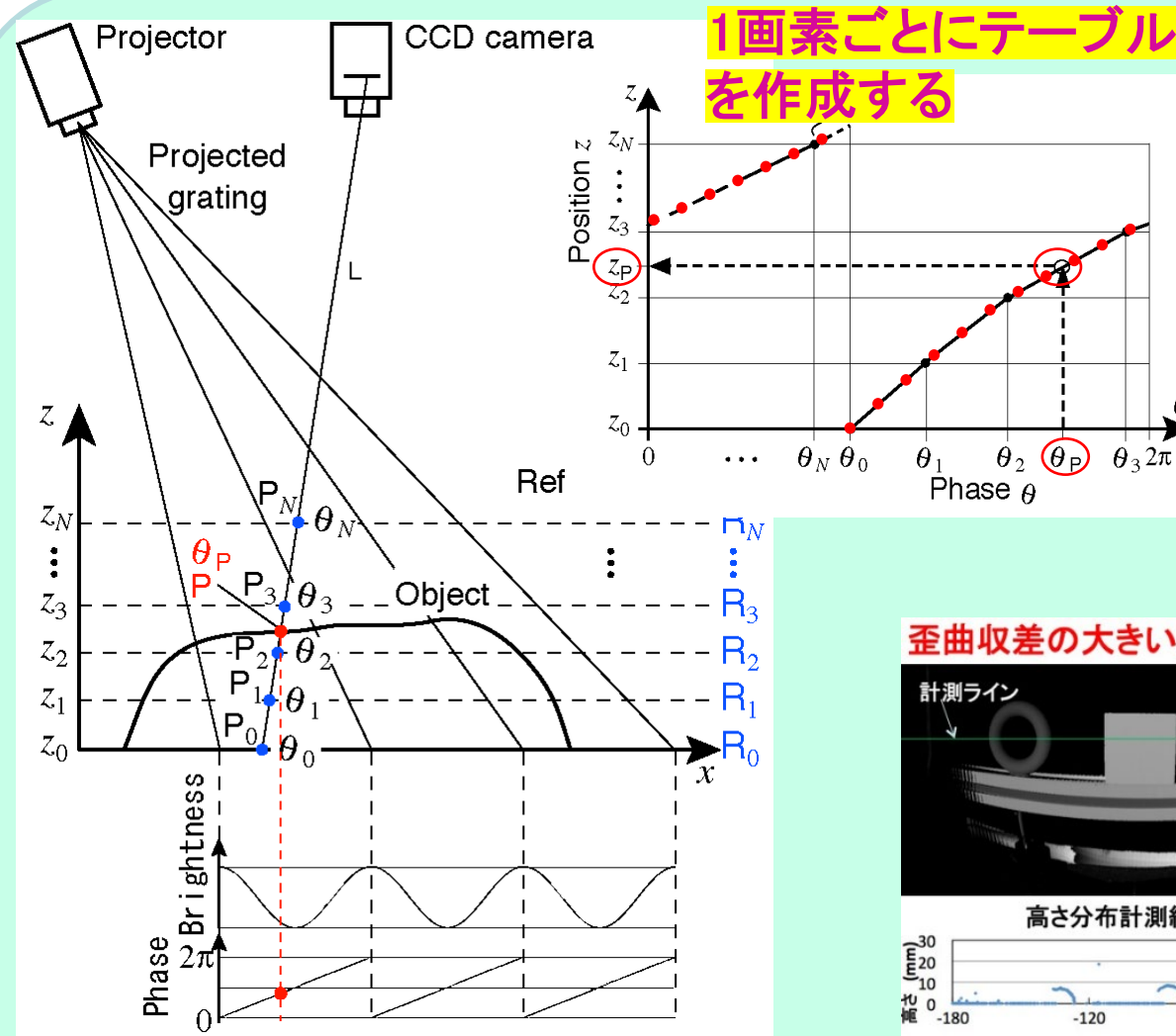
ベースとなる手法「全空間テーブル化手法」 高速かつ高精度が実現

既存の3次元計測手法



◆従来手法（モデル化）

- ・三角測量の原理
→複雑な座標計算が必要
- ・誤差要因の補正
→モデルの複雑化
- さらに計算時間がかかる
(誤差要因：レンズ収差，投影格子のゆがみ など)



どの1画素について見ても、
高さ $z_0, z_1, z_2 \dots z_N$ と
位相 $\theta_0, \theta_1, \theta_2 \dots \theta_N$ は、
1対1の関係になる。

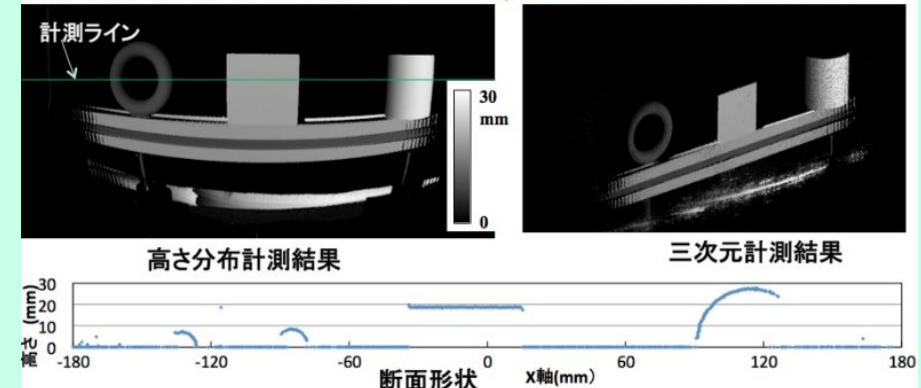
★精度がよい

- ・レンズ収差の影響を受けない。
- ・投影格子の輝度分布のゆがみの影響を受けない

★三次元座標が瞬時に得られる

- ・座標計算は必要ない

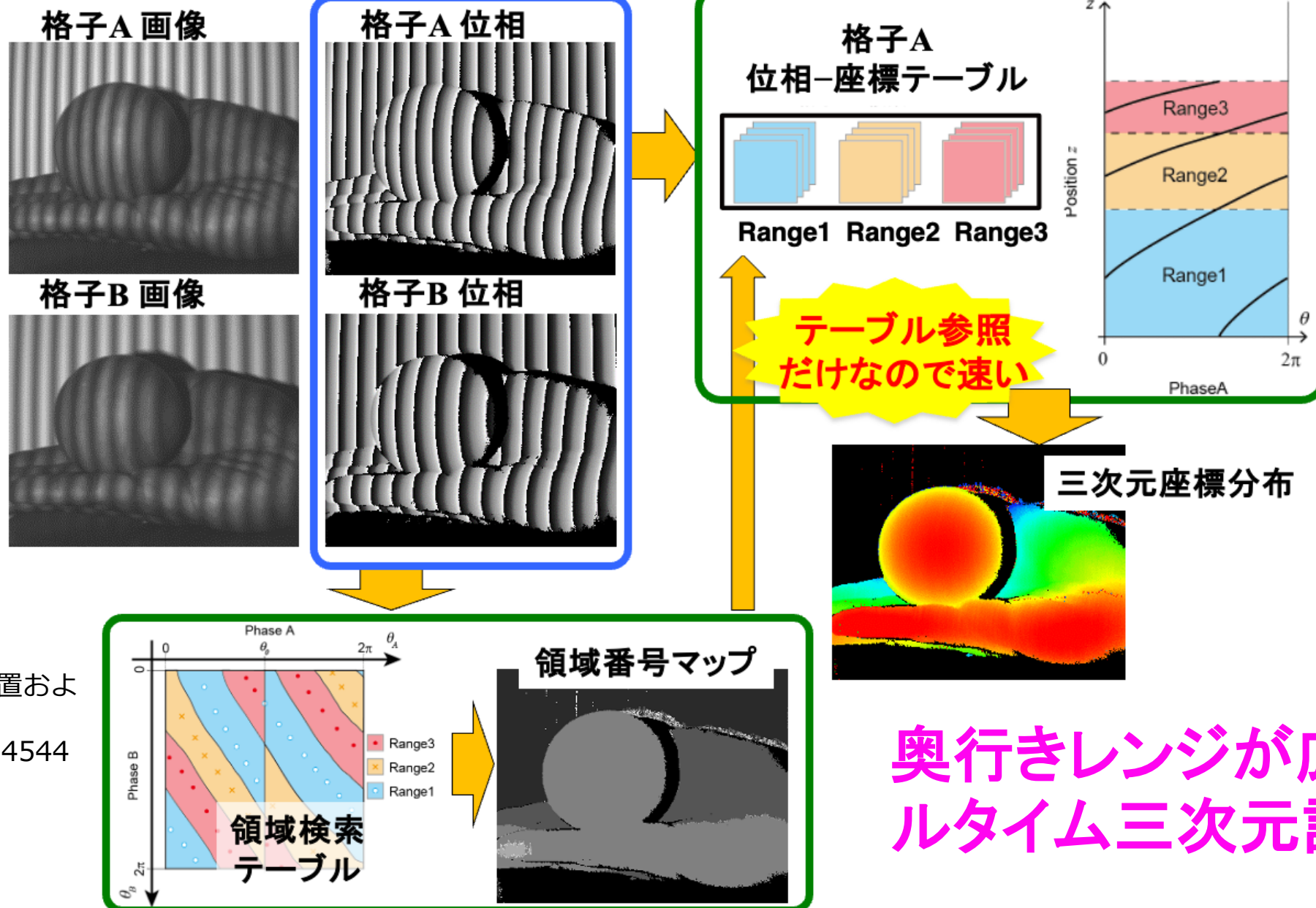
歪曲収差の大きい広角レンズ ⇨ 計測結果はゆがまない



藤垣元治, 森本吉春, 松井徹, 松永康寛, 村田康太郎, 多数の基準面を用いた形状計測方法と形状計測装置,
特願2007-127229(2007.5.11), 特許第4873485(2011.12.2).

従来技術とその問題点

領域検索テーブルを用いたリアルタイム三次元計測



藤垣元治, 坂口俊雅, 形状計測装置および形状計測方法, 特願2015-078639(2015.4.7), 特許第5854544号(2015.12.18).

奥行きレンジが広いリアルタイム三次元計が実現

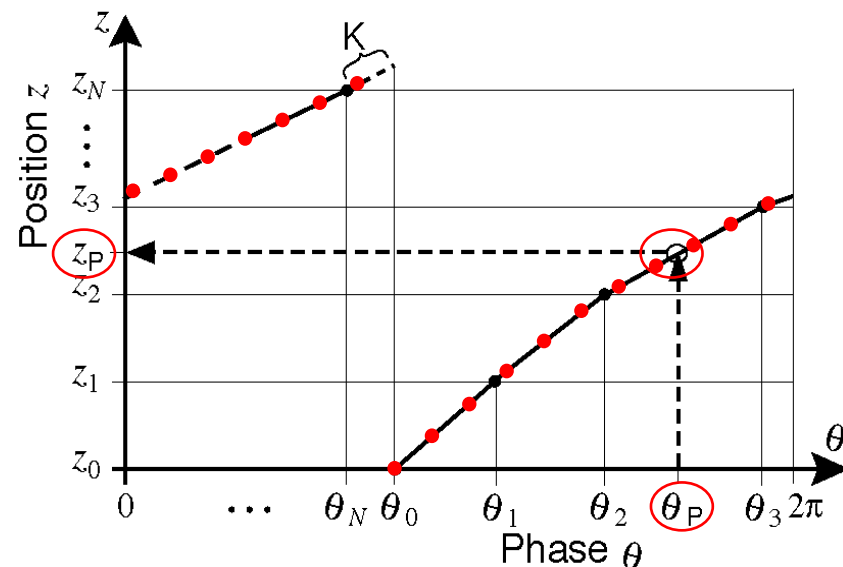
従来技術とその問題点

全空間テーブル化手法の問題点

1画素ごとにテーブルを作成しているため、テーブルのデータ容量が画素数に比例して増大する.

例えば, 1画素ごとに1000個の要素を持つとすると,
1画素で12kバイト必要.

2000 × 2000画素の画像の場合, テーブルのサイズ
は, $12k \times 4M = 48 \text{ Gバイト}$ になる.



このテーブルを画素数分
(数十万個～数百万個)作る

新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術

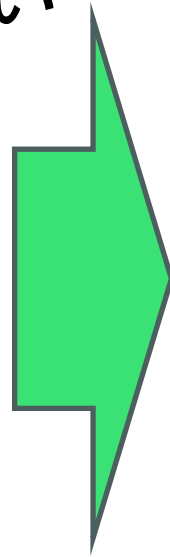
- ・テーブルに急変部がある
→テーブルの圧縮ができない



- ・多くのメモリーが必要
(数十Gバイト)

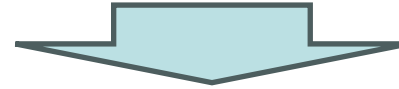


- ・高価なPCが必要
- ・ボードPCには搭載できない
- ・装置が大掛かりになる



新技術

位相差にすることで、要素の値が3次元的に徐々に変化するテーブルとなる



3次元的な圧縮が可能.
→テーブルの容量を小さくすることができる



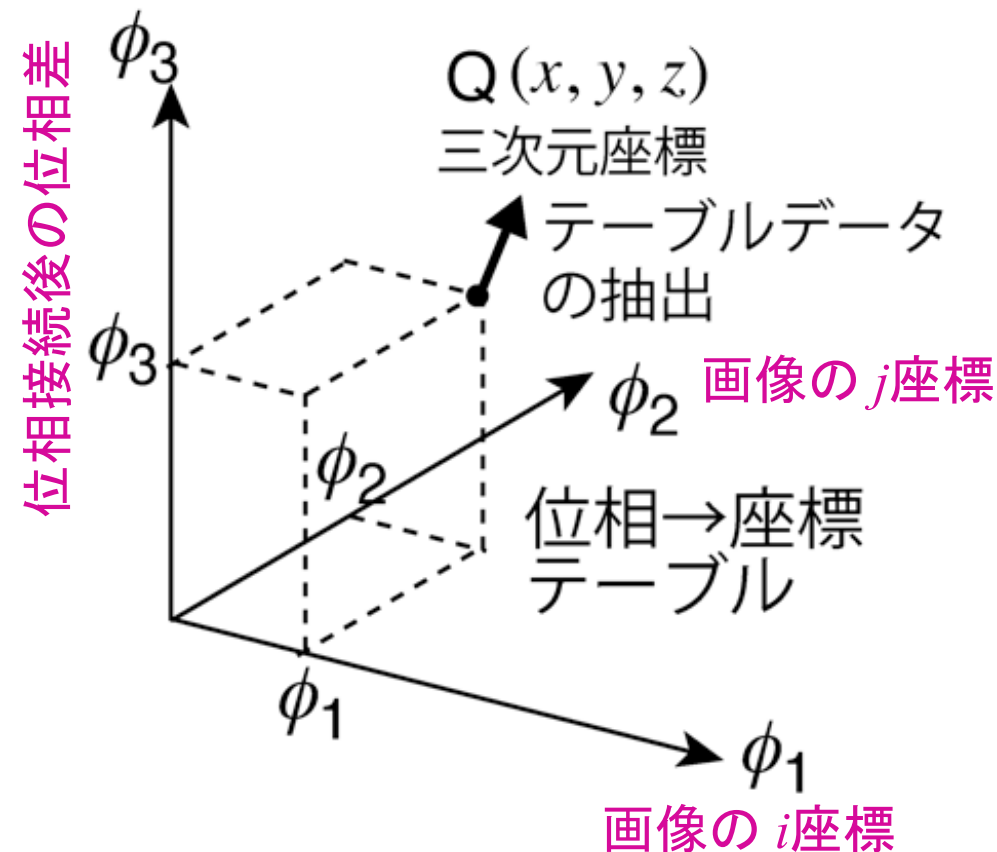
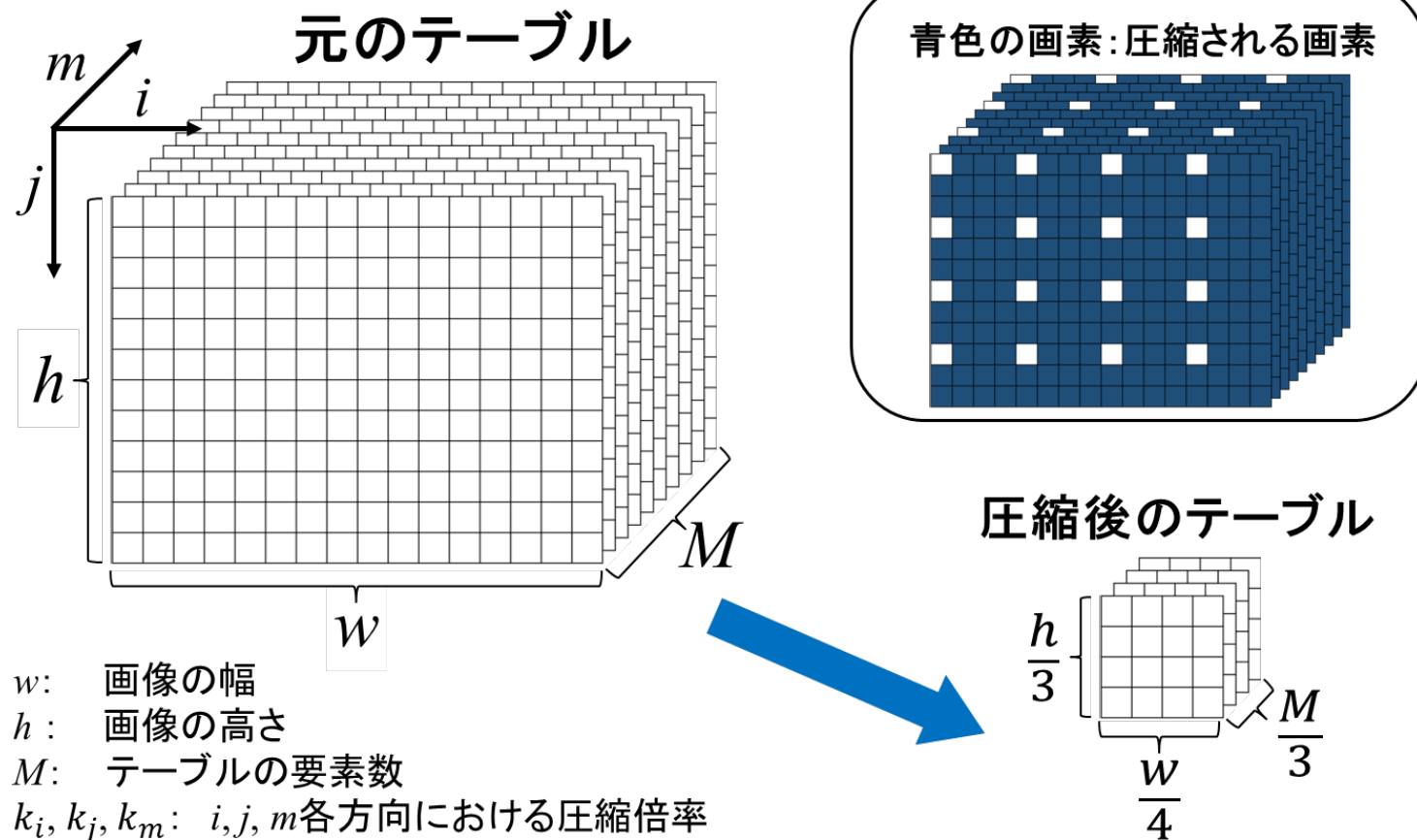
- ・安価な処理装置
- ・ボードPCにも搭載可能
→軽量化→ドローンにも搭載できる
→適用範囲が広がる

位相一座標テーブルの構築と圧縮

座標値を位相一座標テーブル内で連続的に滑らかに変化させることで、圧縮ができる。



テーブル参照時は、近くの要素の値から補間をして三次元座標を得る。

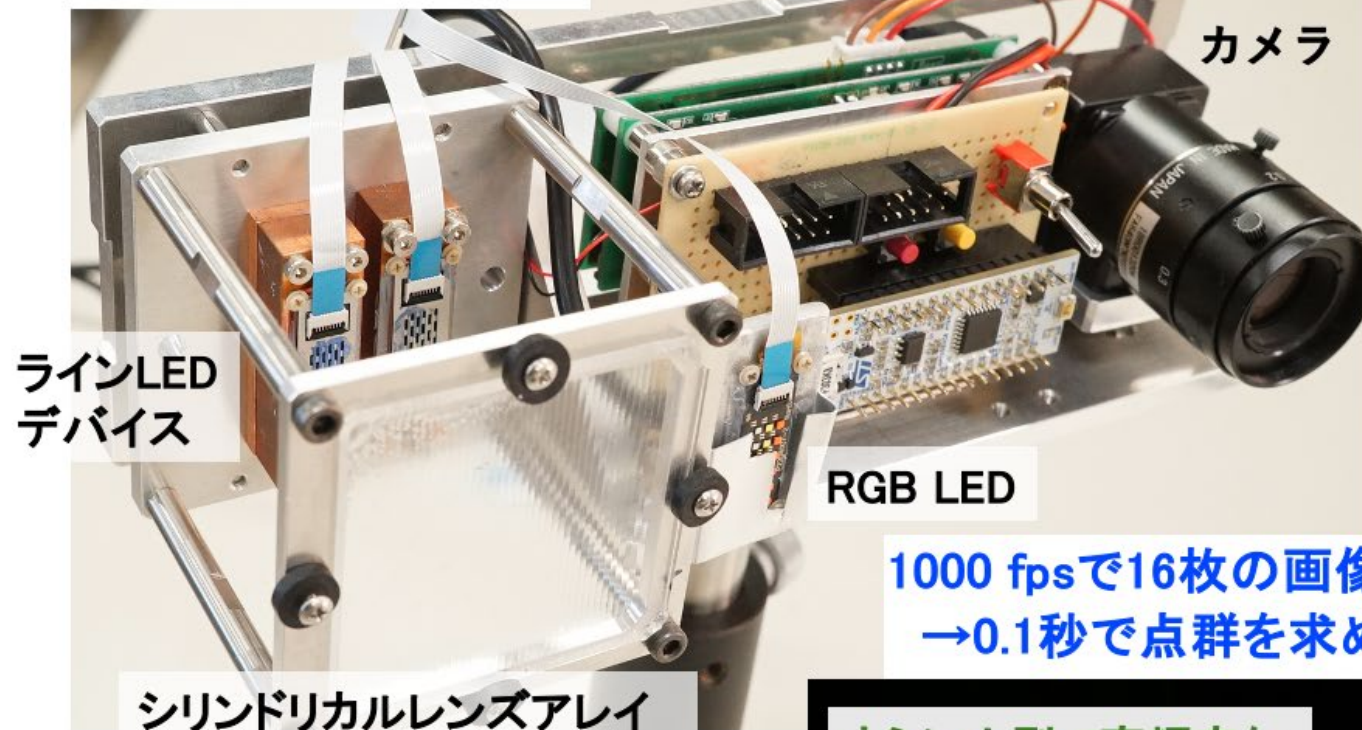


位相一座標テーブルの圧縮の効果

★それぞれ1/2にするだけで、容量は1/8になる。
(それぞれ1/10なら容量は1/1000)

試作したフルカラーリアルタイム 三次元計測装置

サイズ：200×60×72 mm



高輝度化
2倍

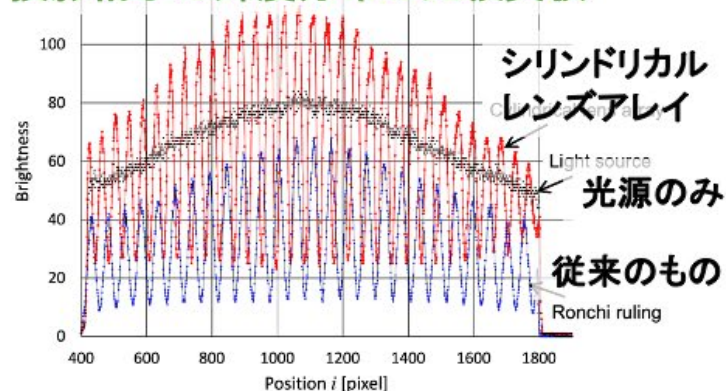
高速化
2倍

手ブレなし

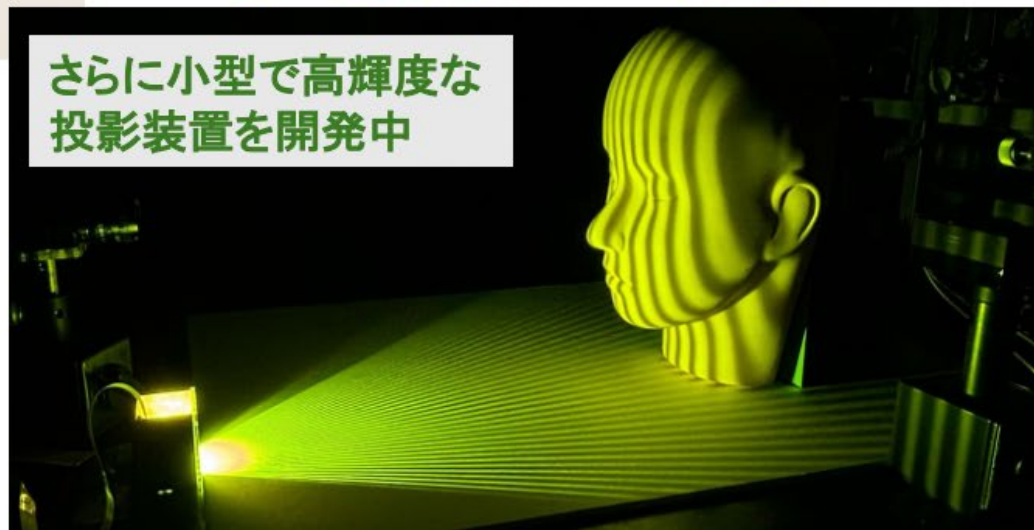
1000 fpsで16枚の画像を撮影(16ミリ秒)
→0.1秒で点群を求めて立体表示.

LED方式の格子投影装置と組み合わせて、1000回／秒で位相シフトをしながら撮影できる高速の3次元計測装置を試作した.

投影格子の輝度分布の比較実験



さらに小型で高輝度な
投影装置を開発中

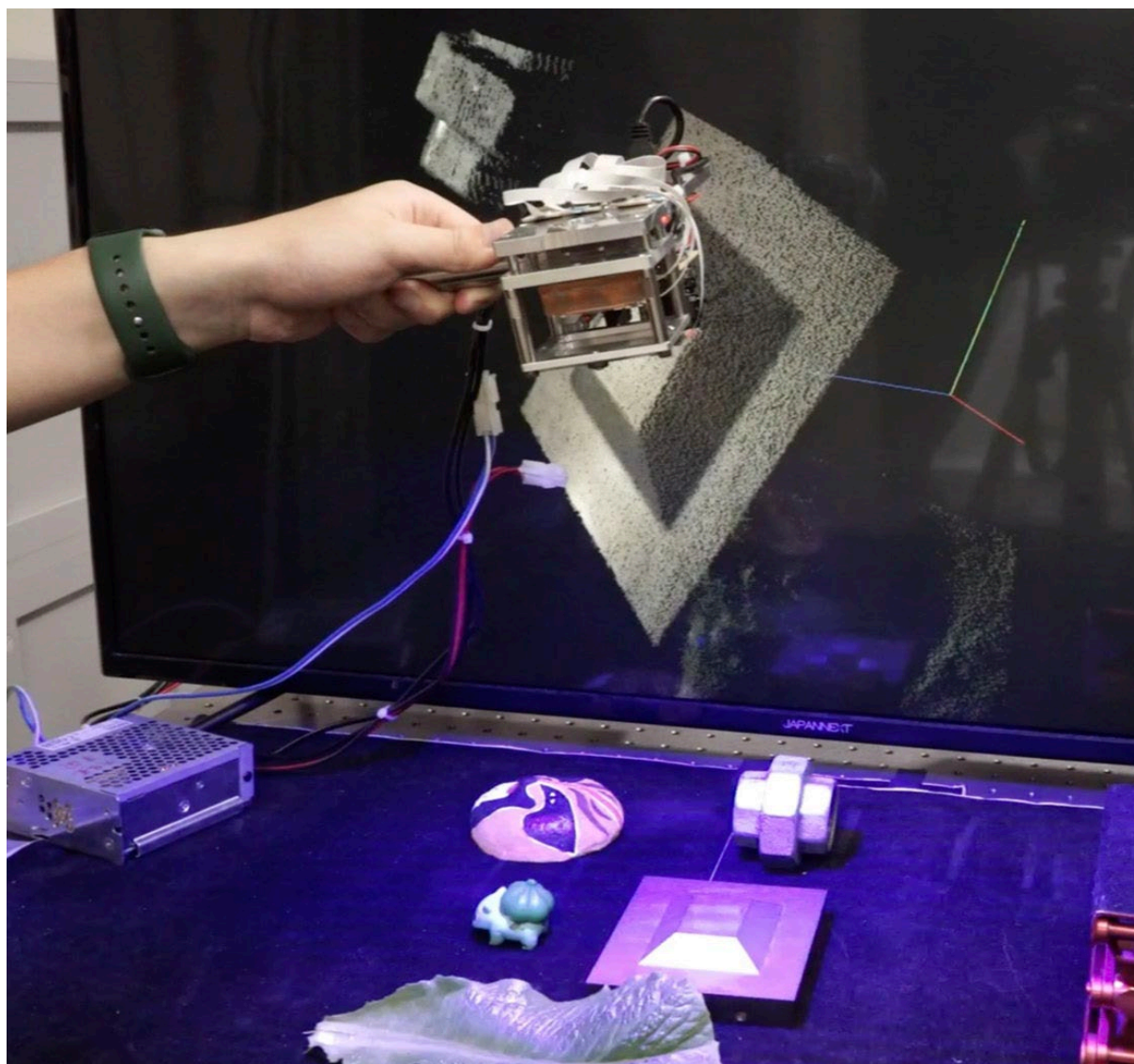


試作したフルカラーリアルタイム 三次元計測装置

1000 fpsで位相シフトをしながら撮影

1秒間に約10回、三次元形状計測とその点群表示

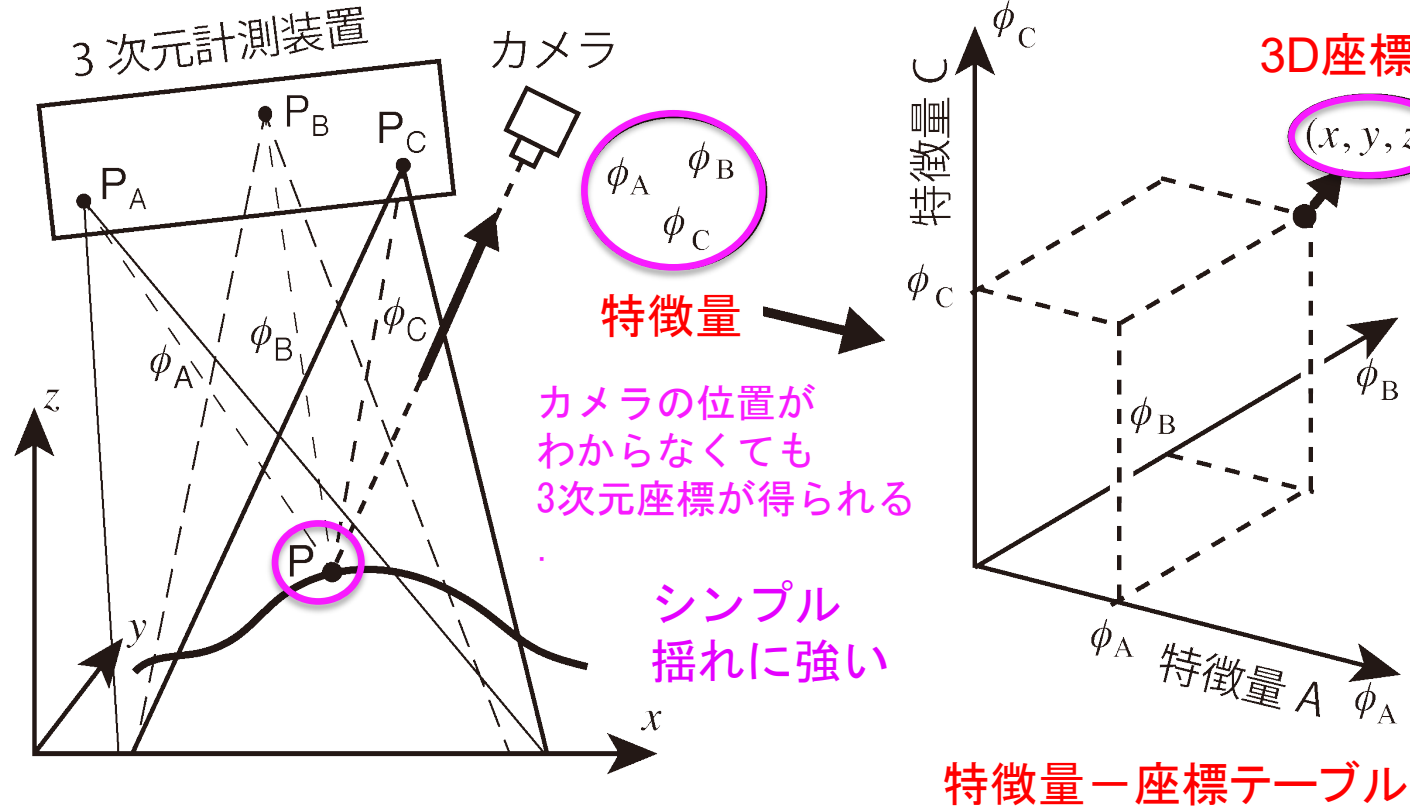
新型のラインLEDデバイスとシリンドリカルレンズアレイを組み合わせた新しい高輝度格子投影ユニット



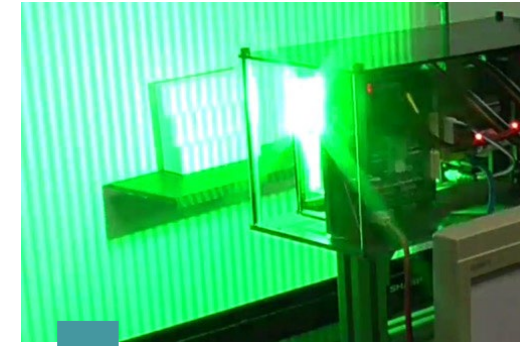
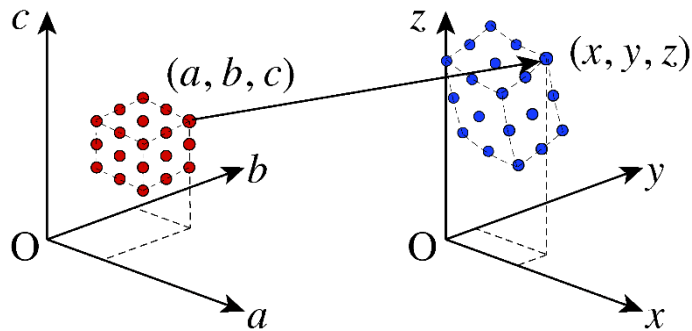
(プレゼンでは動画)

発想の元になった手法

特徴量型全空間テーブル化手法

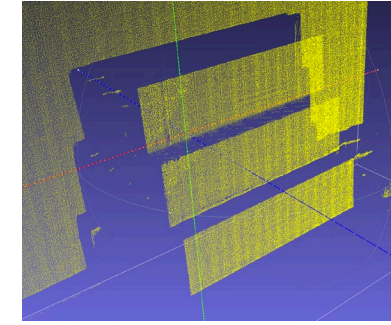
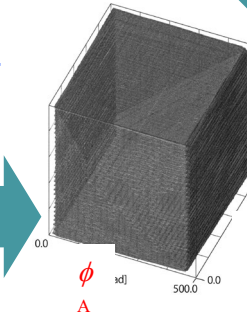


入力3個, 出力3個の対応付けをしている。

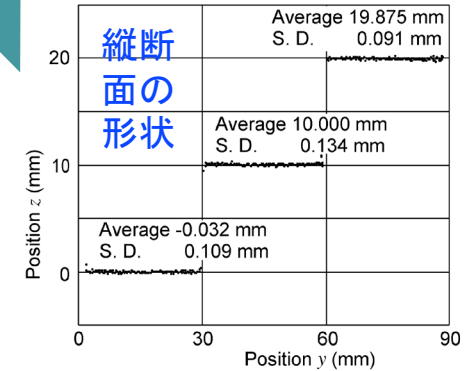


特徴量→座標
変換テーブル

位相分布

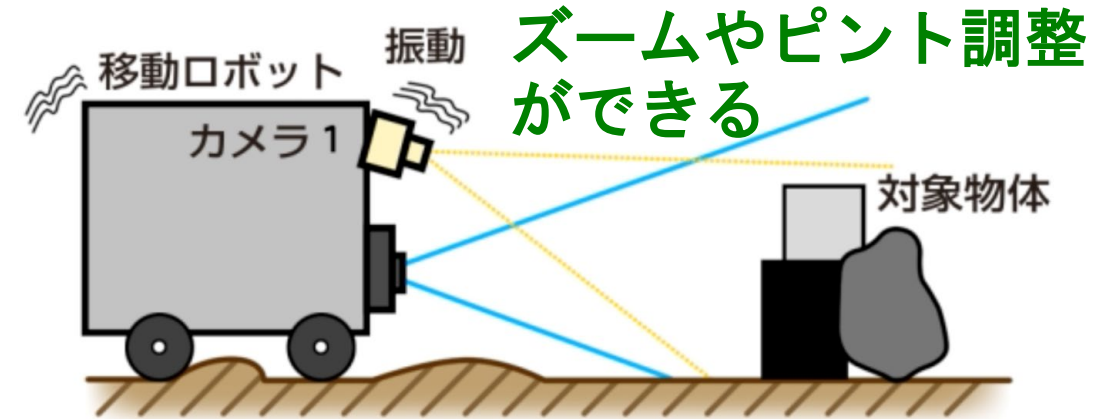


3次元点群



現状

- 計測時間 約0.3秒
- 精度 0.1 mm



想定される用途

従来のような高価な三次元計測装置は、
限られた場面でしか使われていない。



普及型の三次元計測装置になることをめざす。

そのために必要なこと:

- ・用途に合わせた設計・開発が容易にできる。
- ・要素部品の入手性をよくする。低価格化。
- ・アルゴリズムの公開

特徴(リアルタイム, フルカラー,
小型モジュール, 高精度, 安価)
を活かした用途

- ・ロボットアーム搭載
- ・ドローン搭載
- ・中小企業向け
- ・研究開発用途
など

そうすることで、多くの場面で活用されるようにできる。

建築・土木

- ・崖崩れ検知
- ・インフラ健全性評価
- ・構造物の欠陥調査
- ・路面、壁面形状調査 等

製造・加工

- ・電子部品形状検査
- ・金型形状検査
- ・マイクロマシン評価
- ・大型構造物計測 等

医療・福祉・服飾

- ・人体形状計測
- ・遠隔健康モニタリング
- ・手術ナビゲーション
- ・義足ソケット製作 等

農産物・文化財・他

- ・農産物分類装置
- ・農産物成長計測装置
- ・宇宙構造物計測
- ・考古物・文化財三次元記録 等

マイクロマシンから、人体、
考古物、巨大構造物や宇宙
構造物まで

実用化に向けた課題

現在、試作装置により、テーブル圧縮の有効性の確認はできた。

実用化に向けた今後の取り組み

- (1) 圧縮率と計測精度の関係の確認
- (2) 最適な圧縮率を求める手法の構築
- (3) 高速化のためのアルゴリズム構築
- (4) ボードPCへの組み込み
- (5) 対象物に応じた光学設計が容易にできるツールの開発
- (6) 装置の小型モジュール化
- (7) ロボットアームやドローンへの搭載などによる実証試験

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	<ul style="list-style-type: none">・アルゴリズムの構築・試作装置による確認	
現在	<ul style="list-style-type: none">・設計ツールの開発(利用目的に応じた設計が容易にできるようにする)	現場における3次元計測装置利用の規格化
1年後	<ul style="list-style-type: none">・小型PCボードへ搭載・小型3次元計測装置のモジュール化・小型格子投影ユニットの量産技術の確立	企業との共同研究による製品化
3年後	<ul style="list-style-type: none">・ドローンへ搭載・ロボットハンドへ搭載・AI利用による高精度化	インフラ点検への活用, 規格化技術開発組合の発足
5年後	<ul style="list-style-type: none">・AI利用による高精度化技術の実用化	技術の普及活動

企業への期待

1. 製品開発

- 大学との共同研究による製品化，技術移転

2. 要素技術開発

- プロジェクター部の薄型化のためのデバイス開発，光学部品，制御基板の試作・開発
- ソフト開発（例：スマホソフトなど）

3. 普及活動・人材育成

- 実施例，実績の公開，販売促進
- 企業間の協力
- 若手技術者・研究者の育成

企業への貢献、PRポイント

- 本技術を利用することで、解析装置のメモリ容量を大幅に減らすことができるようになる。
 - それによって、小型で安価な三次元計測モジュールを開発することができる。
- (例)
- ・ GPU付きボードコンピュータで解析
 - ・ ドローンへ搭載 など
 - ・ 既存の製造ラインへの組み込み
- 本格導入にあたっての技術指導等も可能

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 3次元テーブルの作成方法、
3次元テーブルを用いた計測
方法、および、その計測装置
- 出願番号 : 特願2025-022869
- 出願人 : 福井大学
- 発明者 : 藤垣 元治、曾根一路、朱思研

関連する知財 :

- ・ 藤垣元治, 森本吉春, 松井徹, 松永康寛, 村田康太郎, 多数の基準面を用いた形状計測方法と形状計測装置, 特願2007-127229(2007.5.11), 特許第4873485(2011.12.2).
- ・ 藤垣元治, 坂口俊雅, 形状計測装置および形状計測方法, 特願2015-078639(2015.4.7), 特許第5854544号(2015.12.18).
- ・ 藤垣元治, 赤塚優一, 高田大嗣, 特徴量を用いた3次元計測方法およびその装置, 特願2017-92144(2017.5.8), 特許第6308637(2018.3.23).
 - 【中国】 出願番号201880030908.3(2018.5.7), 登録番号 : ZL201880030908.3(2021.7.16).
 - 【米国】 出願番号US2021/0158551A1(2021.5.27), 登録番号 : US 11,257,232(2022.2.22).
 - 【英国】 出願番号1917402.8, 特許番号GB2577013(2022.5.4).

産学連携の経歴

- 2008年-2010年 JST, 地域イノベーション創出総合支援事業
(育成研究)
- 2012年-2013年 JST, A-STEPシーズ顕在化タイプ
- 2012年-2014年 JST, A-STEP本格研究開発ステージ
ハイリスク挑戦
- 2014年-2018年 NEDO, インフラ維持管理・更新等の社会課題
対応システム開発プロジェクト
- 2017年-2019年 JST, A-STEP ステージⅡシーズ 育成タイプ
- 2022年 大学発ベンチャー 「かえる計測株式会社」設立
- 2024年-2025年 日本鉄鋼協会 研究会I
その他, 企業との共同研究, 受託研究 多数

お問い合わせ先

福井大学

研究・地域連携推進本部 研究推進課（知財担当）

T E L 0776-27 - 9725

e-mail titekiall@ml.u-fukui.ac.jp