

特徴点を使用しない 単純形状物体の3次元位置計測

弘前大学大学院理工学研究科
知能機械工学コース

教授 佐川 貢一

平成31年3月7日

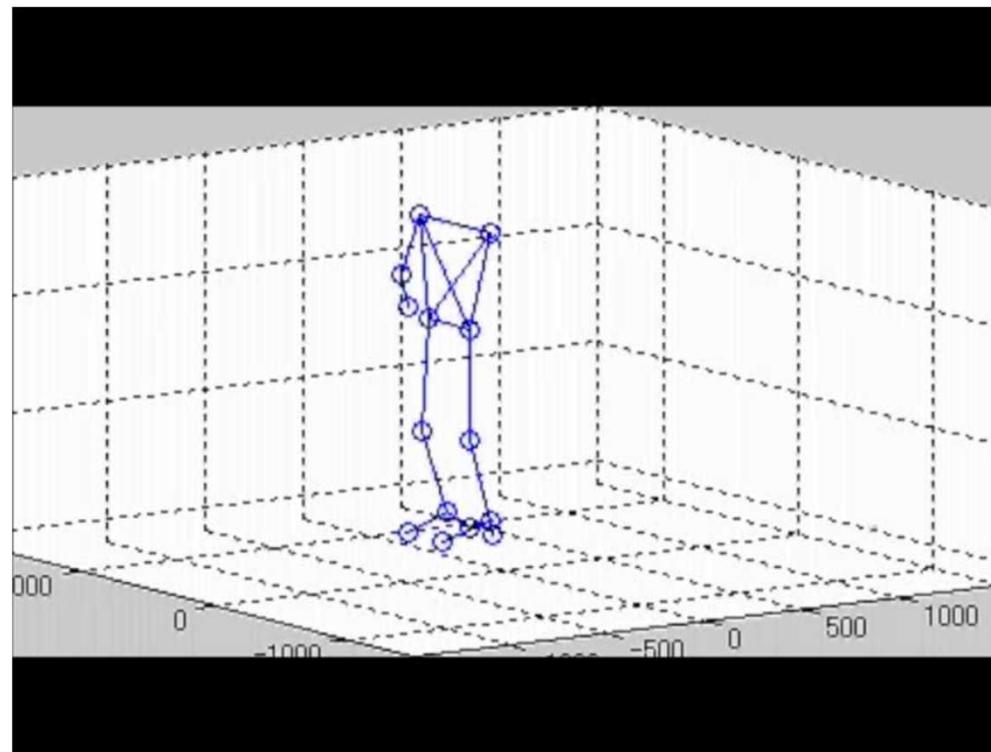


3次元位置計測に関する 従来技術とその問題点

- 光学式モーショントラッキング
 - 高精度、最も一般的
 - 高価
 - 複数マーカの判別必要
- 磁気式モーショントラッキング
 - 高精度
 - 送受信機必要
 - 磁性体の影響を受ける
- ステレオカメラ
 - 容易に入手可能
 - 環境光の影響大
 - 画像処理・物体認識技術必要
- CT、MRI
 - 高精度
 - 高価、巨大な装置
 - X線被ばく、時間分解能低い
- 超音波診断装置
 - 断層撮影可能、2次元
 - 測定対象と接触(ゲルの塗布必要)
- 慣性センサ
 - 安価、どこでも計測可能
 - 初期状態の位置情報必要
 - 積分誤差の影響大
 - 加速度2階積分から位置計測
 - 角速度積分から方向

動作計測のGold Standard

光学式モーションキャプチャシステム



- 複数の赤外線カメラで反射マーカの3次元位置計測
- 測定精度高い(1mm以下の計測誤差)
- テレビゲーム、映画のCGで使用
- 高価(数千万円以上)



反射マーカ (¥1,000/個)

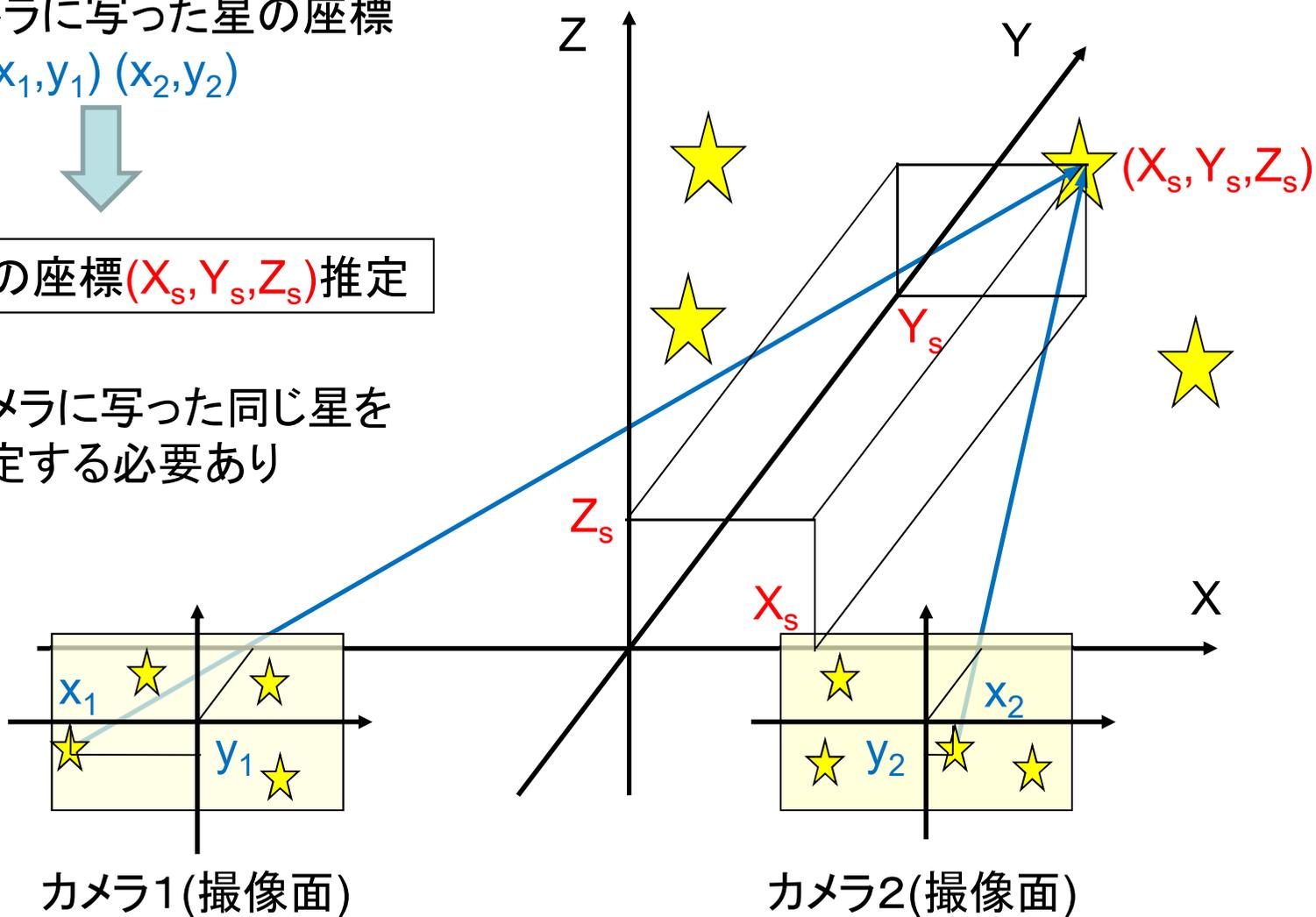
光学式モーショントラッキング、 ステレオカメラの原理

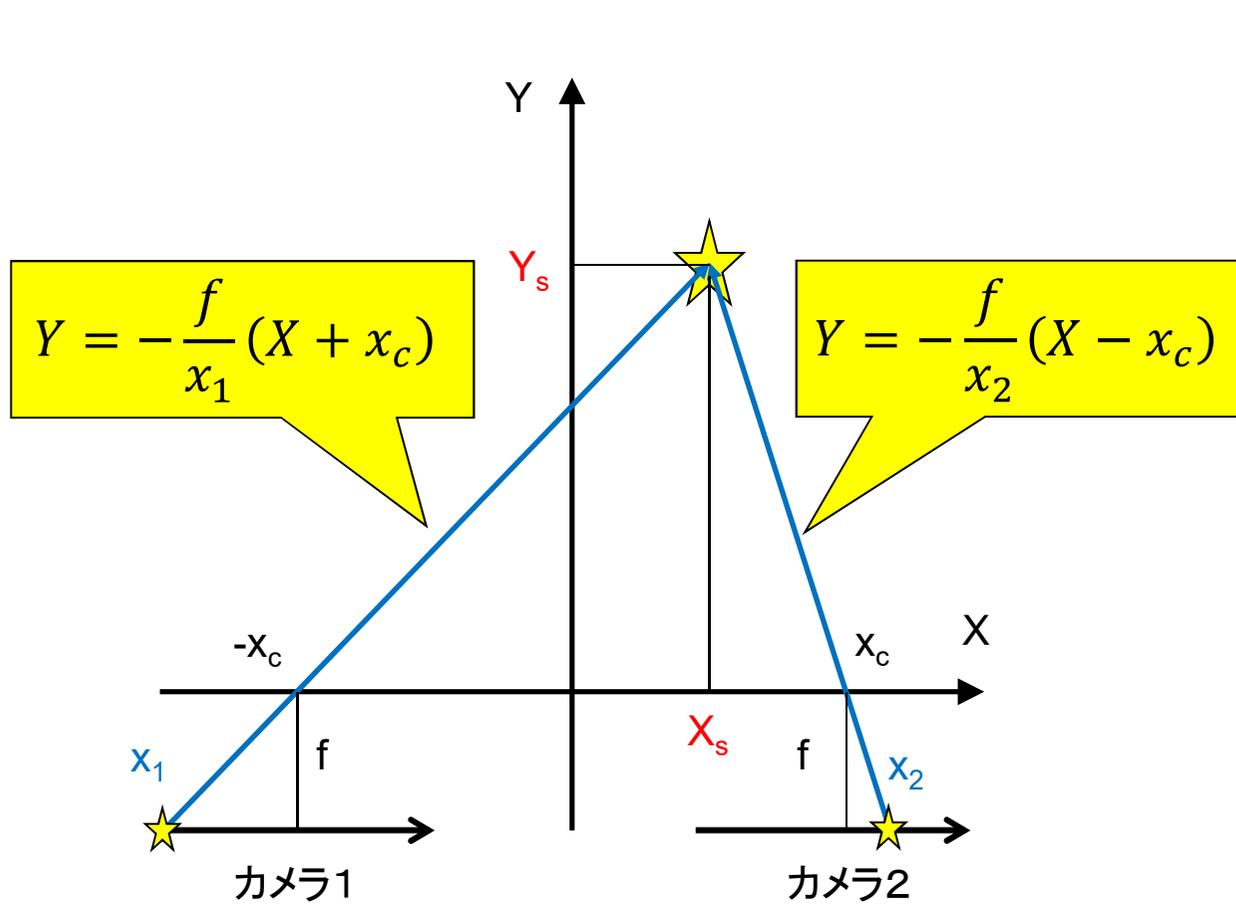
2台のカメラに写った星の座標
 (x_1, y_1) (x_2, y_2)



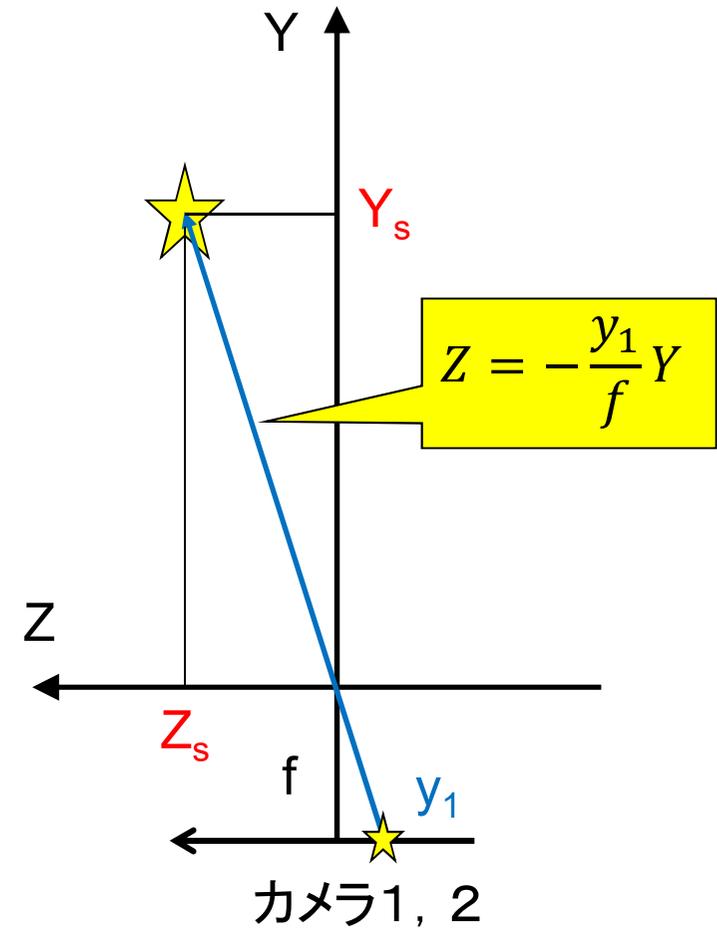
実際の星の座標 (X_s, Y_s, Z_s) 推定

2台のカメラに写った同じ星を
特定する必要あり





上から見た図

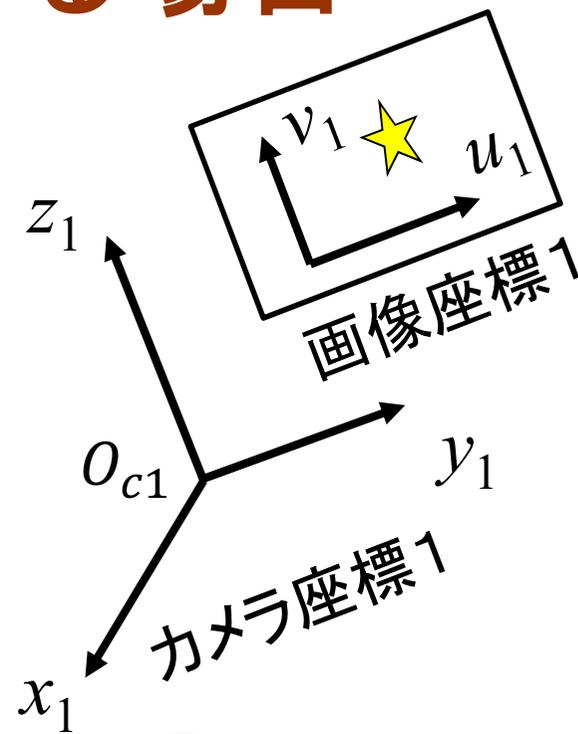
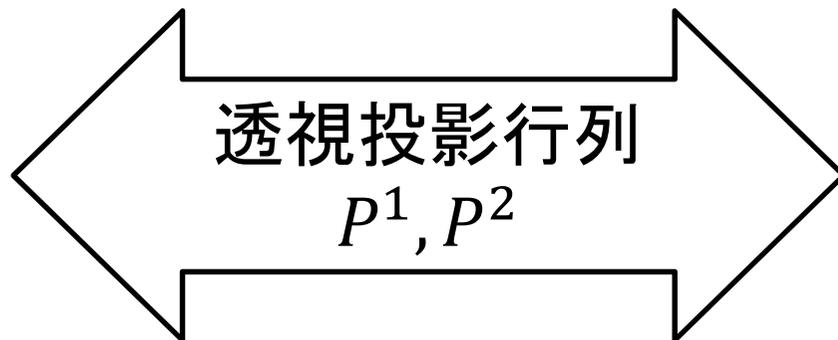
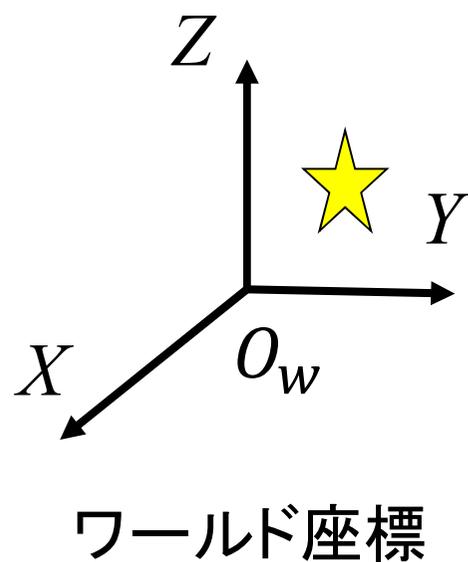


横から見た図

星★の3次元座標は？

$$X_S = \frac{x_1 + x_2}{x_1 - x_2} x_c, Y_S = \frac{2f}{x_2 - x_1} x_c, Z_S = \frac{2y_1}{x_1 - x_2} x_c$$

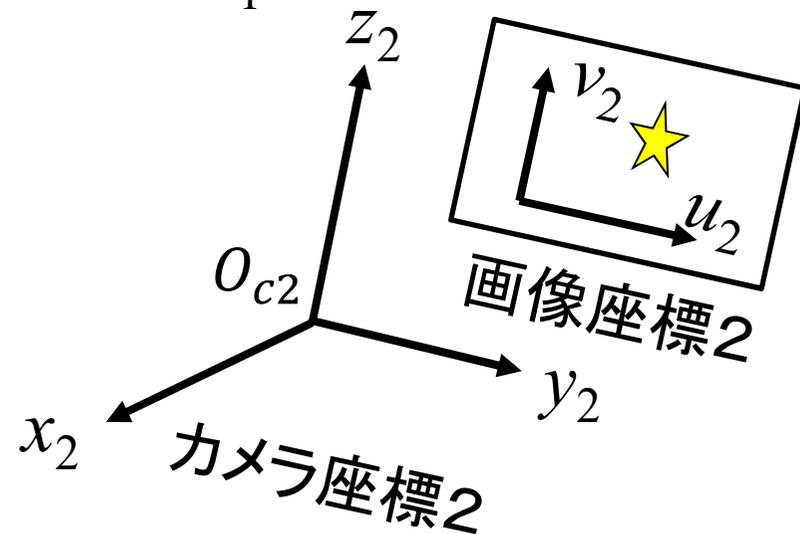
カメラが適当に並んでいる場合



関係式

$$w_i \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{pmatrix} = P^i \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

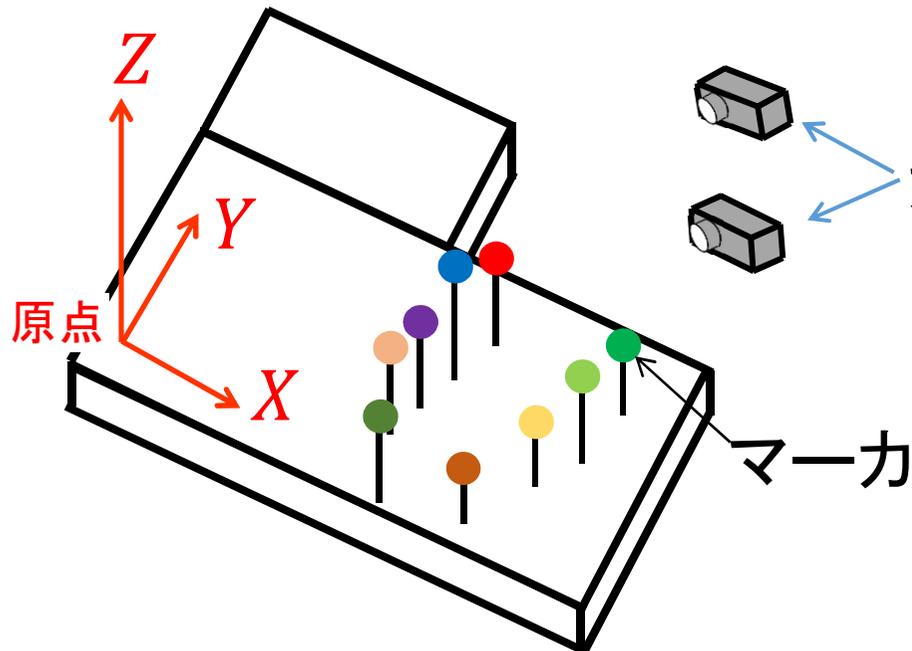
$(i = 1, 2)$



透視投影行列 P の求め方1

3次元位置が既知の点を撮影

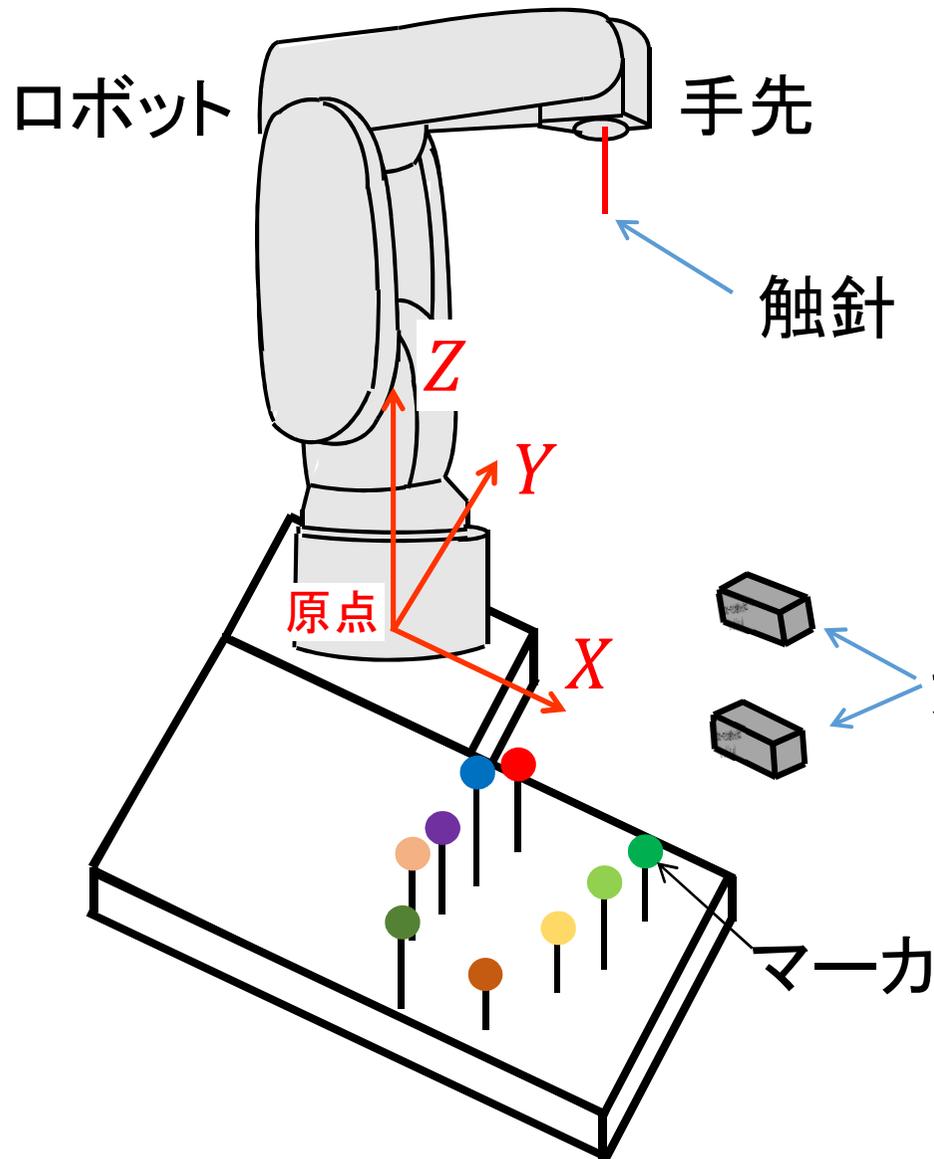
- 3次元座標 (X, Y, Z) が既知のマーカ



カメラで撮影したマーカの座標
 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$

透視投影行列 P の求め方2

ロボット座標系でマーカの位置を定義



触針がマーカに触れた時の
ロボットの手先座標 (X, Y, Z)

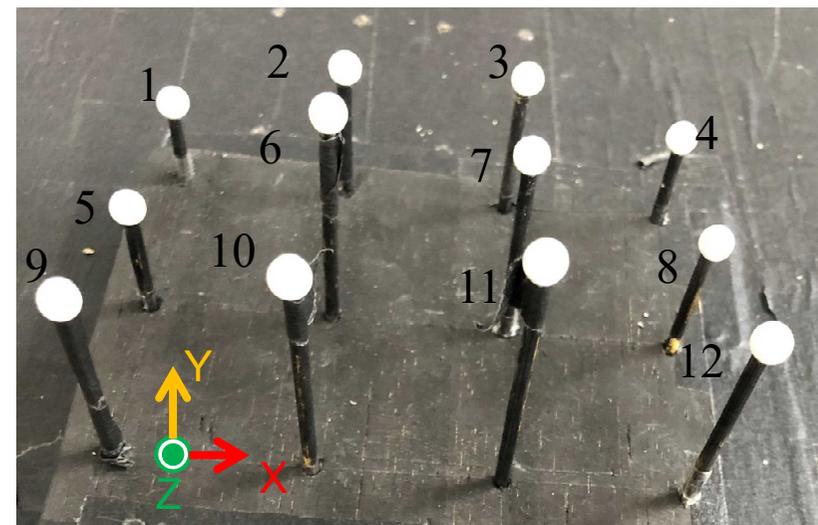
ロボットが触れたマーカの座標
 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$

透視投影行列 P の求め方

マーカの座標と撮影された座標の関係

1個の点 (X, Y, Z) と (u, v) についての式

$$w \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \end{pmatrix}}_P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (P_{34} = 1)$$



カメラ校正用のマーカセット
(自作)

w を消去

$$P_{11}X + P_{12}Y + P_{13}Z + P_{14} - uP_{31}X - uP_{32}Y - uP_{33}Z = u$$

$$P_{21}X + P_{22}Y + P_{23}Z + P_{24} - vP_{31}X - vP_{32}Y - vP_{33}Z = v$$

透視投影行列 P の求め方

3次元位置が既知の n 個の点を撮影

n 個の点 (X_i, Y_i, Z_i) と (u_i, v_i) についての式 ($i = 1, \dots, n$)

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_1 X_1 & -u_1 Y_1 & -u_1 Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -v_1 X_1 & -v_1 Y_1 & -v_1 Z_1 \\ & & & & & & \vdots & & & & \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_n X_n & -u_n Y_n & -u_n Z_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -v_n X_n & -v_n Y_n & -v_n Z_n \end{bmatrix} p = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \end{bmatrix}$$

A ($2n \times 11$ 行列)

B

P の成分 (11 個)

$$p = [P_{11} \quad P_{12} \quad P_{13} \quad P_{14} \quad P_{21} \quad P_{22} \quad P_{23} \quad P_{24} \quad P_{31} \quad P_{32} \quad P_{33}]^T$$

$$\Rightarrow p = (A^T A)^{-1} A^T B \quad \text{カメラごとに導出}$$

1個の点の3次元位置 M の求め方

1つのカメラで撮影したマーカ座標 (u_1, v_1) についての関係式

$$P_{11}^1 X + P_{12}^1 Y + P_{13}^1 Z + P_{14}^1 - u_1 P_{31}^1 X - u_1 P_{32}^1 Y - u_1 P_{33}^1 Z = u_1$$

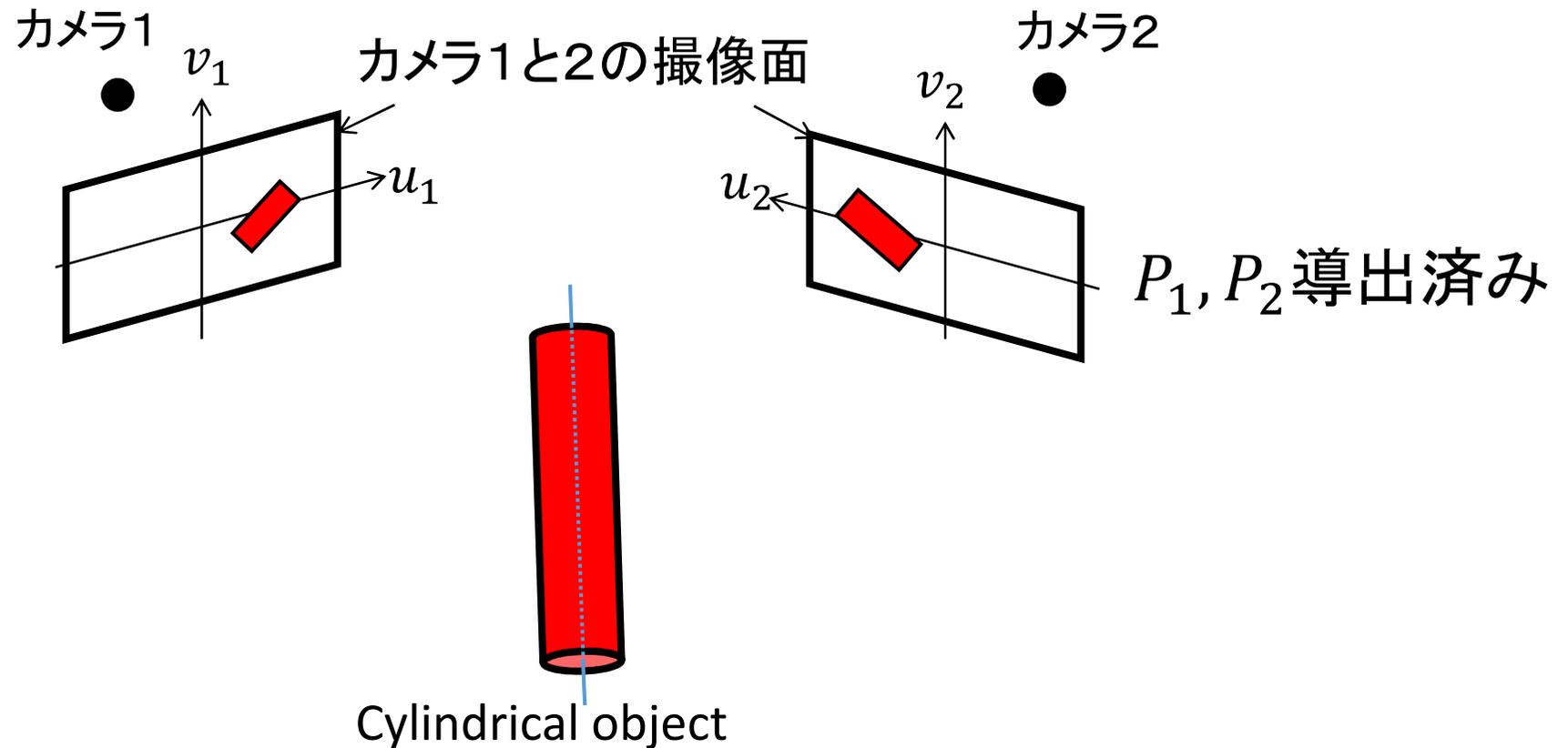
$$P_{21}^1 X + P_{22}^1 Y + P_{23}^1 Z + P_{24}^1 - v_1 P_{31}^1 X - v_1 P_{32}^1 Y - v_1 P_{33}^1 Z = v_1$$

2つのカメラで撮影したマーカ座標 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$ との関係式

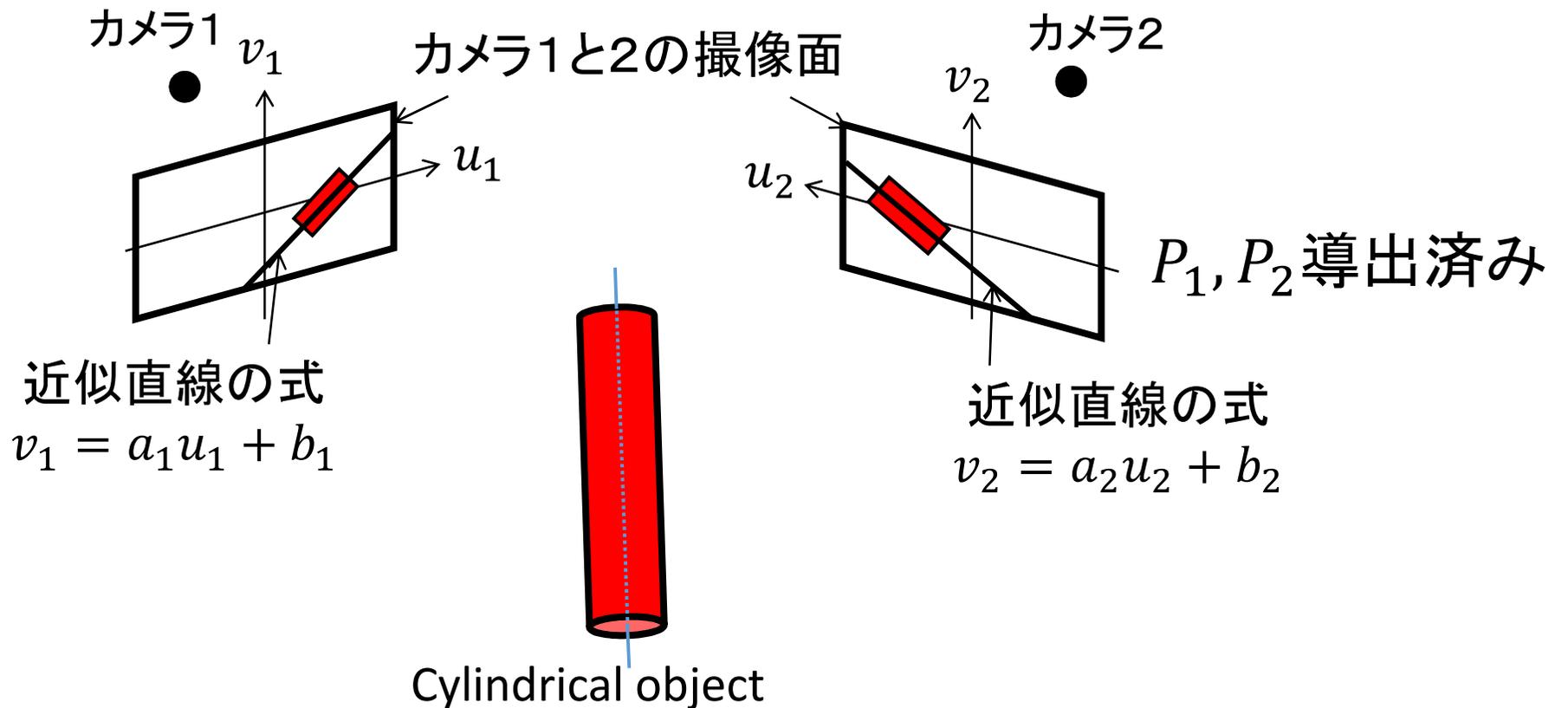
$$\begin{array}{c}
 \boxed{\begin{bmatrix} P_{31}^1 u_1 - P_{11}^1 & P_{32}^1 u_1 - P_{12}^1 & P_{33}^1 u_1 - P_{13}^1 \\ P_{31}^1 v_1 - P_{21}^1 & P_{32}^1 v_1 - P_{22}^1 & P_{33}^1 v_1 - P_{23}^1 \\ P_{31}^2 u_2 - P_{11}^2 & P_{32}^2 u_2 - P_{12}^2 & P_{33}^2 u_2 - P_{13}^2 \\ P_{31}^2 v_2 - P_{21}^2 & P_{32}^2 v_2 - P_{22}^2 & P_{33}^2 v_2 - P_{23}^2 \end{bmatrix}} \\
 C
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \boxed{\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}} \\
 M
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \boxed{\begin{bmatrix} P_{14}^1 - u_1 \\ P_{24}^1 - v_1 \\ P_{14}^2 - u_2 \\ P_{24}^2 - v_2 \end{bmatrix}} \\
 D
 \end{array}$$

$$\Rightarrow M = (C^T C)^{-1} C^T D$$

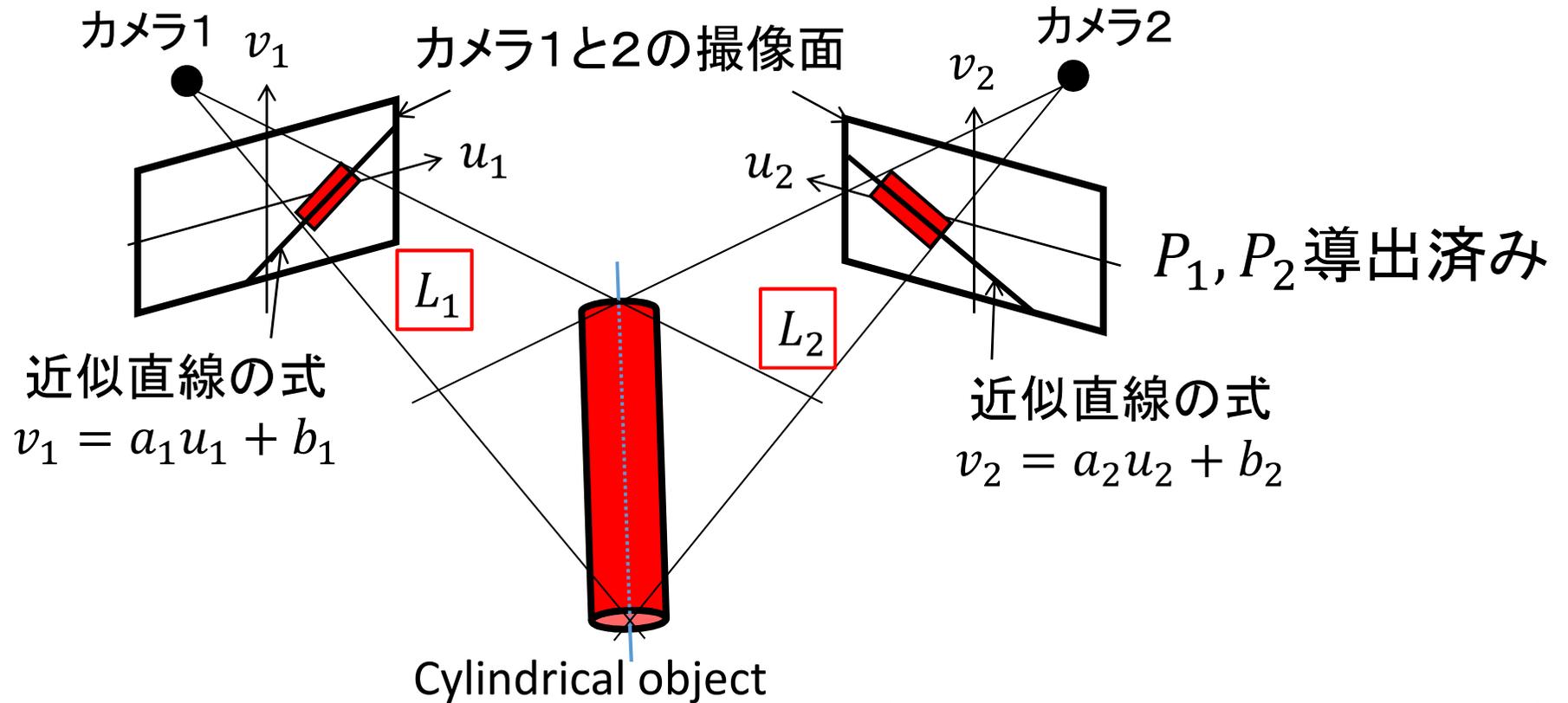
円柱中心軸の3次元位置推定



円柱中心軸の3次元位置推定



円柱中心軸の3次元位置推定

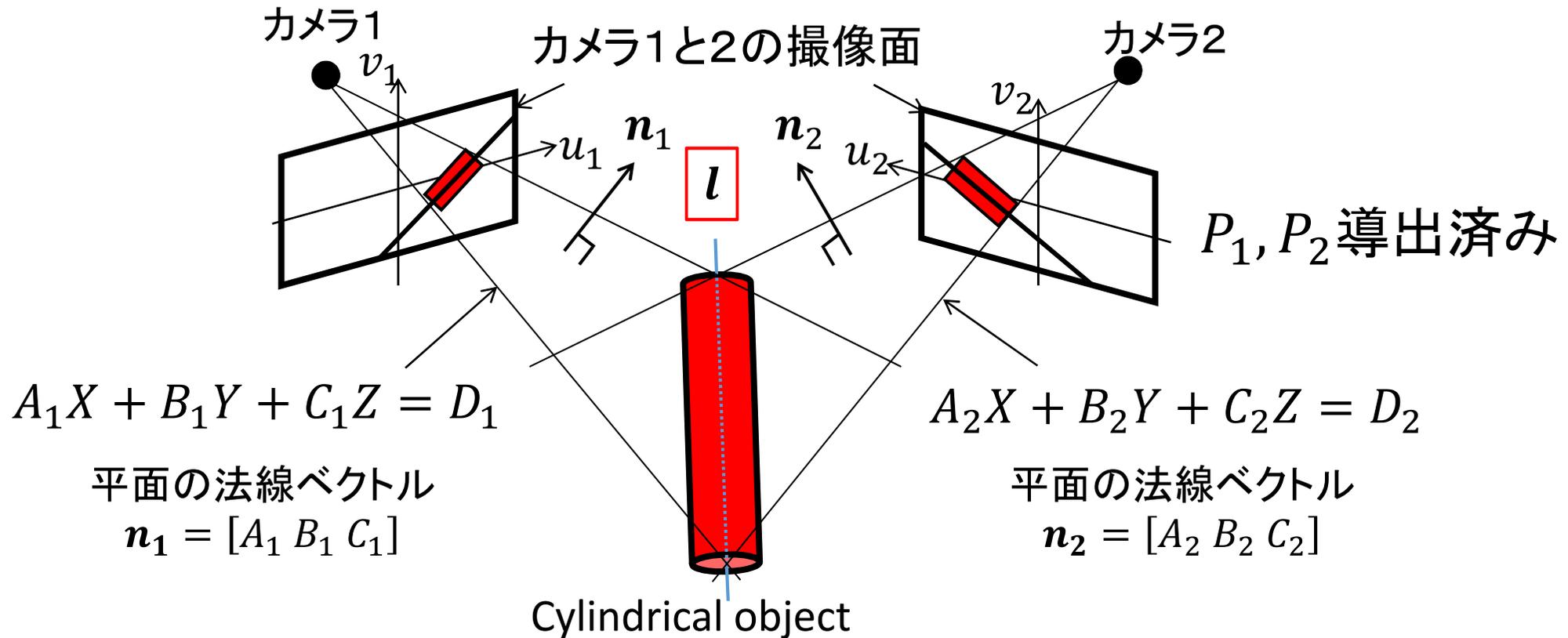


直線方程式を含む平面方程式 L_i

$$A_i X + B_i Y + C_i Z = D_i$$

$$\begin{pmatrix} A_i = a_i P_{11}^i + b_i P_{31}^i - P_{21}^i \\ B_i = a_i P_{12}^i + b_i P_{32}^i - P_{22}^i \\ C_i = a_i P_{13}^i + b_i P_{33}^i - P_{23}^i \\ D_i = -a_i P_{14}^i - b_i + P_{24}^i \end{pmatrix}$$

円柱中心軸の3次元位置推定



円柱の軸中心を表す交線方程式 l

$$l = \frac{\{\|n_2\|^2 D_1 - (n_1 \cdot n_2) D_2\} n_1 + \{\|n_1\|^2 D_2 - (n_1 \cdot n_2) D_1\} n_2}{\|n_1 \times n_2\|^2} + \frac{n_1 \times n_2}{\|n_1 \times n_2\|} t$$

(t : 媒介変数)

特徴点を使用せずに、物体の3次元位置を測定することが可能

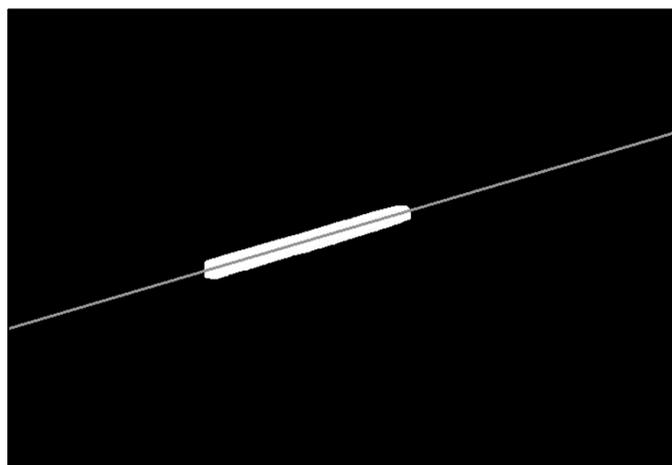
リアルタイム画像処理の例



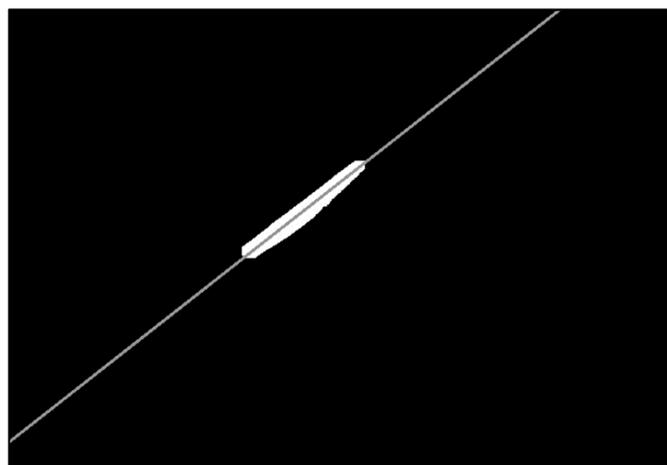
カメラ1の画像



カメラ2の画像



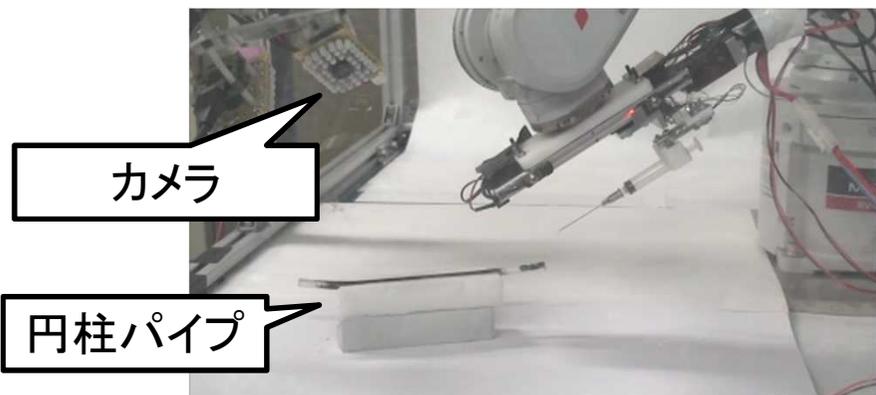
2値化動画



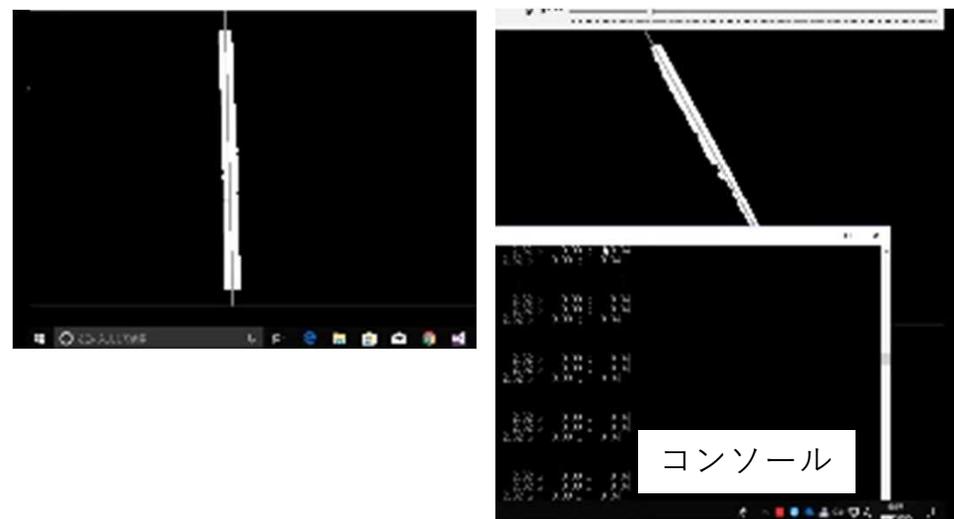
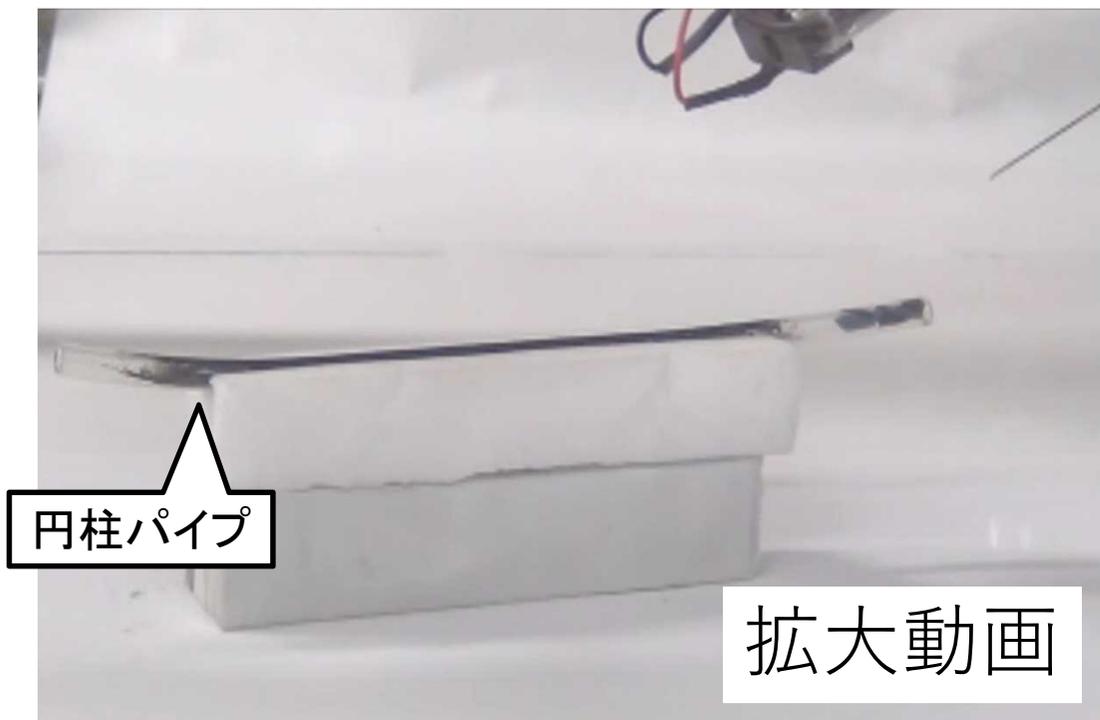
2値化動画

対象が動いても、リアルタイムに追隨できている

円柱物体の位置と方向の 実時間推定精度検証



カメラ画像



2値化画像（直線近似）

円柱物体(シリコンチューブ)に対して30度の角度で穿刺に成功

新技術の特徴・従来技術との比較

- 測定対象物の特徴点検出やマーカ不要
- 2値化の閾値が異なってもOK
- 点ではなく、物体全体の位置を数式で表現
 - 少ないパラメータ
- 計算量少ない
 - 汎用計算機で実時間位置計測可能

想定される用途

- 単純形状物体の計測・制御
- 高速処理が必要な画像解析

実用化に向けた課題

- 曲線形状物体の定式化
- 液体などの中にある物体の位置測定の際、光の屈折、散乱の影響を考慮した位置計測技術の開発
- 中心軸の推定精度を0.5[mm]以下まで改善

企業への期待

- 屈折率の影響については、媒介変数を利用した数式表記により克服できると考えている。
- 画像処理技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 医療関連企業や、医療分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

産学連携の経歴

- 青森県医工連携事業化推進実証事業
 - 転倒予測や運動機能評価に貢献する身体装着型歩行能力計測システムの開発(2014年度)
 - 疾病予兆の発見に貢献する高速歩行計測システムの開発(2015年度)
 - 疾病予兆の発見に貢献する高精度身体装着型歩行計測システムの開発(2016年度)

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 自動採血装置
- 出願番号 : 特願2017-154009
- 出願人 : 国立大学法人弘前大学
- 発明者 : 佐川貢一、長井力、遠藤善生

お問い合わせ先

**国立大学法人弘前大学
研究・イノベーション推進機構**

**リサーチ・アドミニストレーター
工藤重光、山科則之、渡部雄太（東京事務所在席）
産学官連携コーディネーター
三上 夫美加**



**TEL 0172-39-3176
FAX 0172-39-3921
e-mail ura@hirosaki-u.ac.jp**