

Kinectセンサーを用いた 現場合わせ管の計測システムの開発

九州大学 大学院工学研究院海洋システム工学部門

准教授 木村 元
JMU 安田 達也
修士1年 中村 匠

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

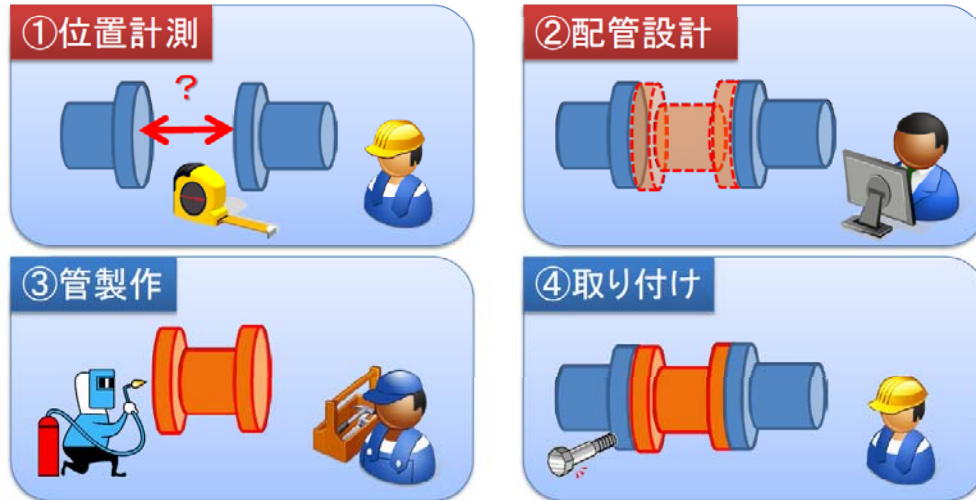
研究の背景・目的

現場合わせ管について

- ・船体のブロックや船内配管で最後につなぐパイプは、建造時に計画寸法との誤差が生じるため設計段階では後で誤差を吸収できるように考えられている
- ・建造の最終段階で、実際の寸法に合わせて配管を接続していく作業を**現場合わせ管**と呼ぶ



研究の背景・目的



生産システム部門研究発表講演会2014
AR技術を用いた配管施工支援システムについて より



現場合わせ管の艤装

- ・位置計測や配管設計等に熟練した技術が必要
- ・多数の現場合わせ管が存在し、工期を短縮するためには簡易化が必要

研究の背景・目的

3DスキャナやKinect等で計測された点群データから
フランジ位置と方向の推定方法を提案
フランジ間のパイプ設計・3D描画システムの構築



現場合わせ管の位置計測・設計の簡略化

安価な3Dスキャナ: Kinect

- ゲーム機用の入力デバイス(2万円程度)
- 奥行き 0.4~5メートルの深度マップを約320x240ドットで生成:ただし精度は±10mm程度(距離に依存)
- 1秒間に最大30フレーム計測

多数回計測し、統計処理で精度向上



本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

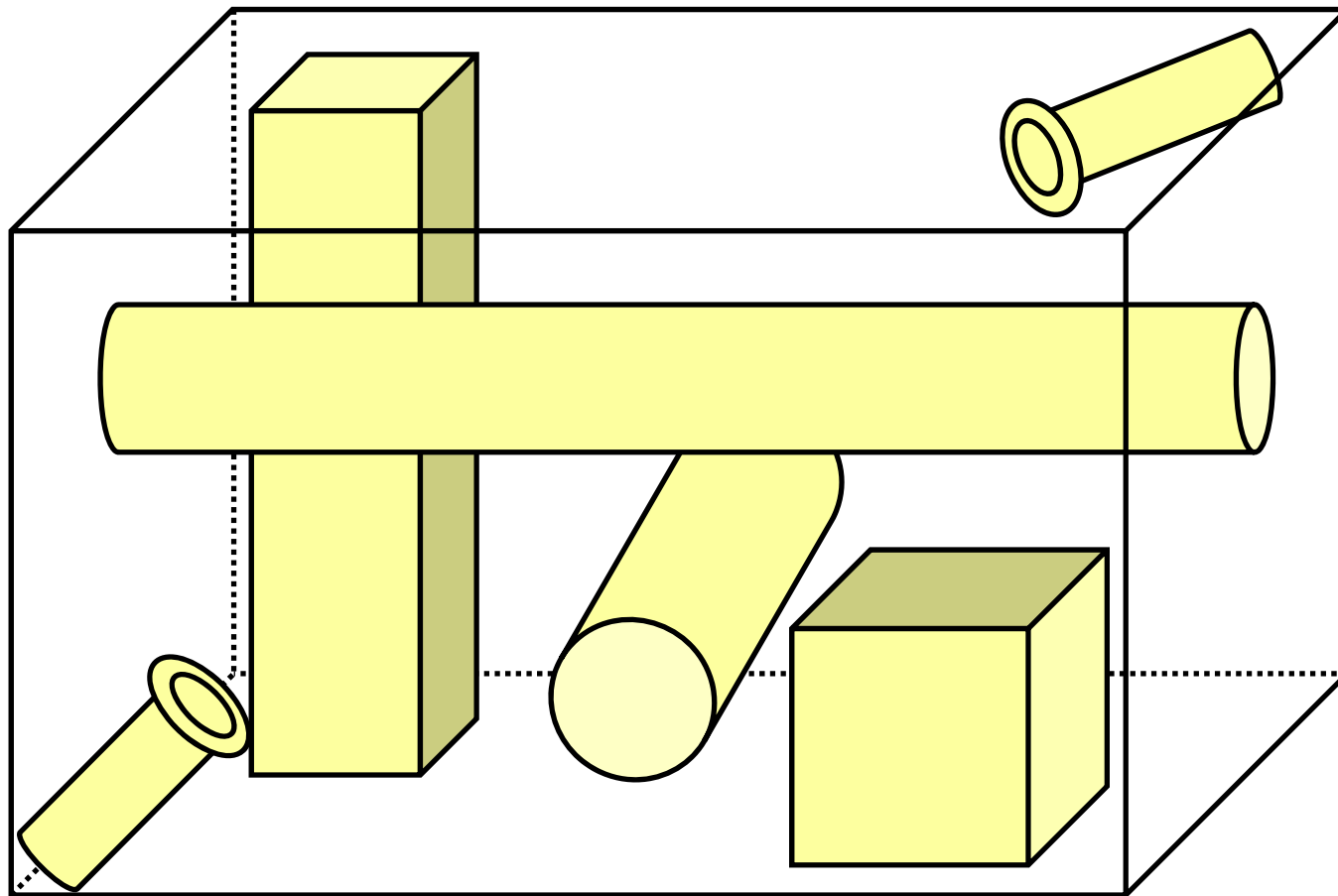
最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

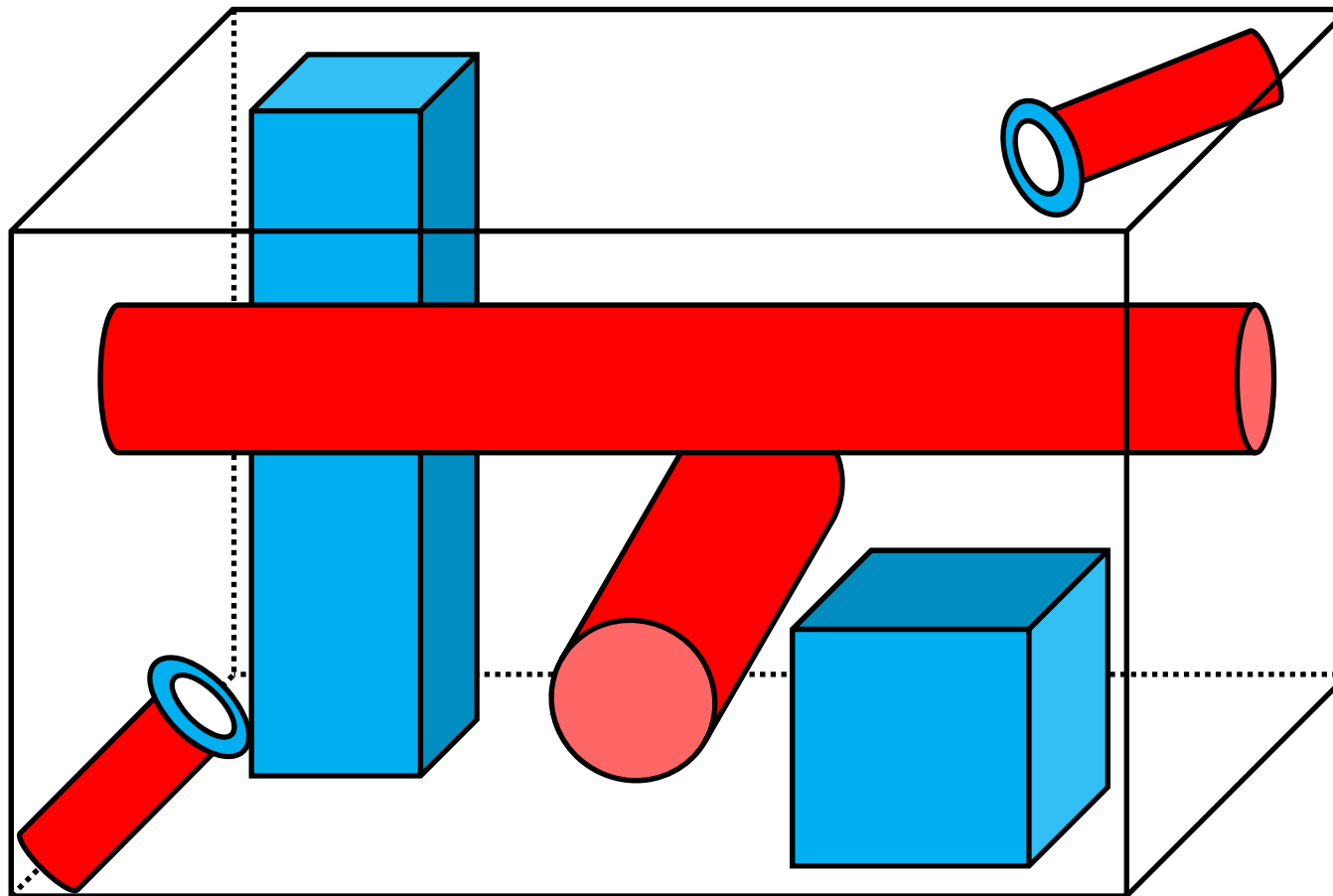
最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

アプローチ

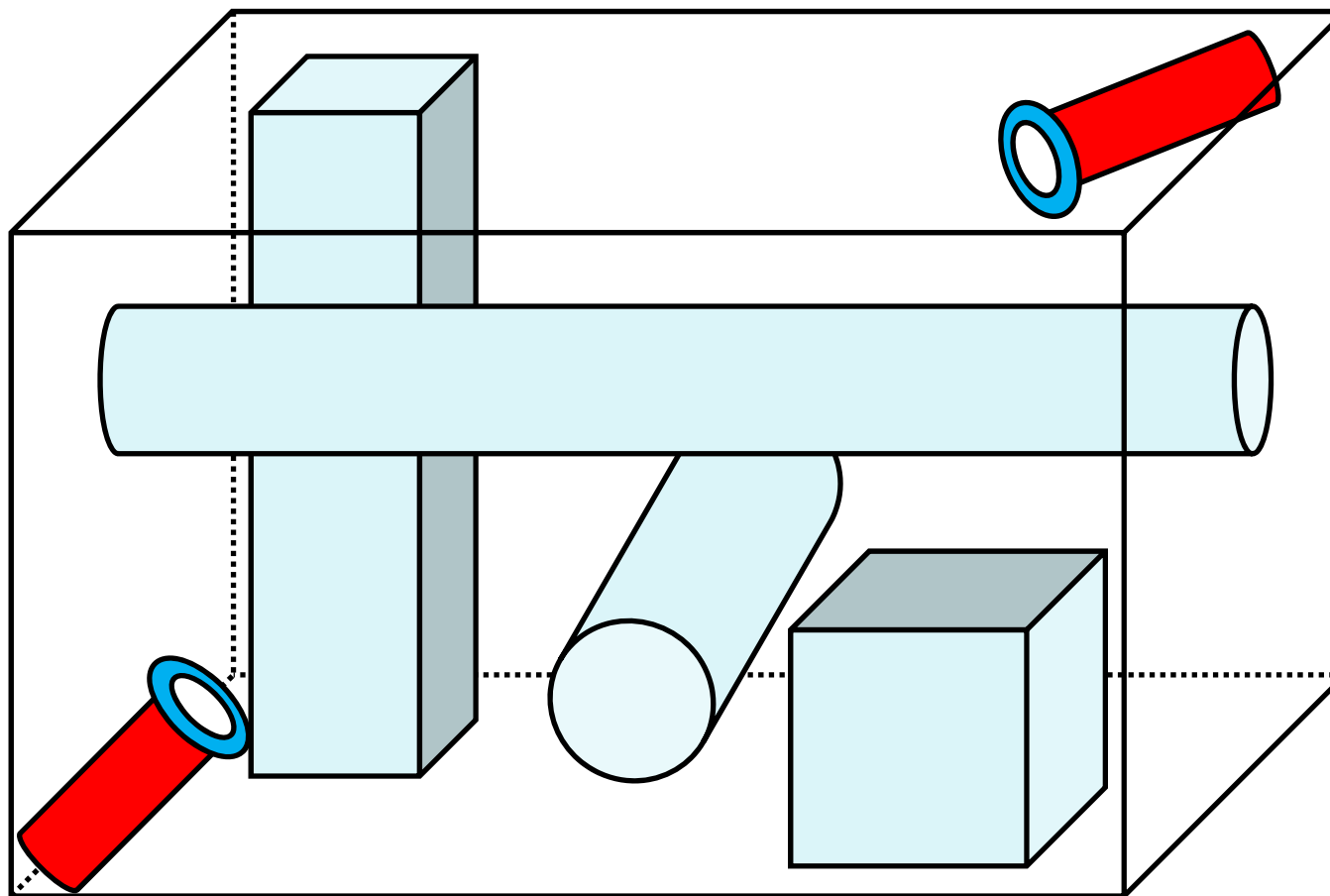


アプローチ



複数検出される円筒と平面の中でも、円筒の中心線と直交する平面と円筒をフランジ付きのパイプとする

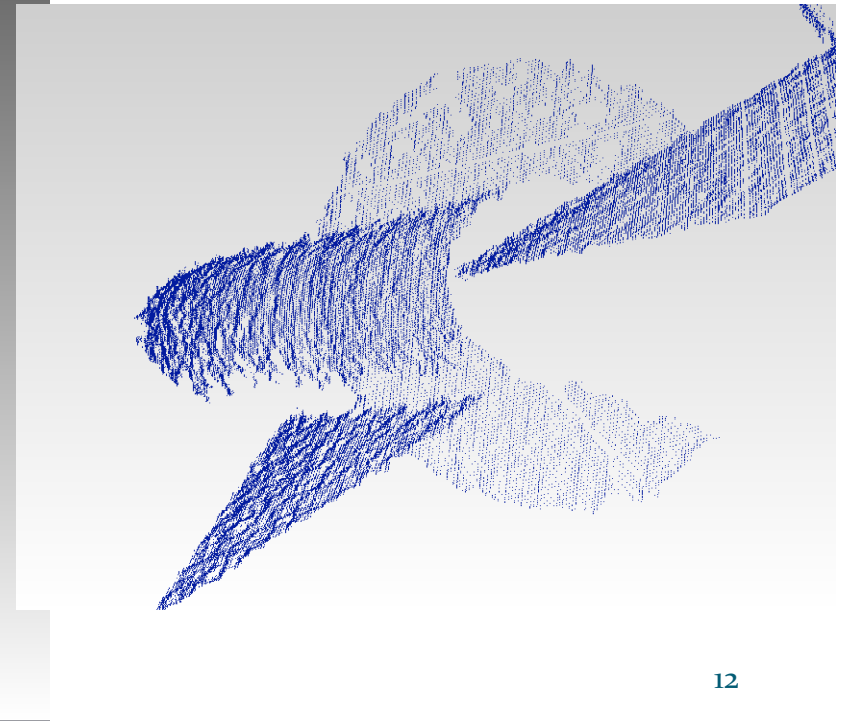
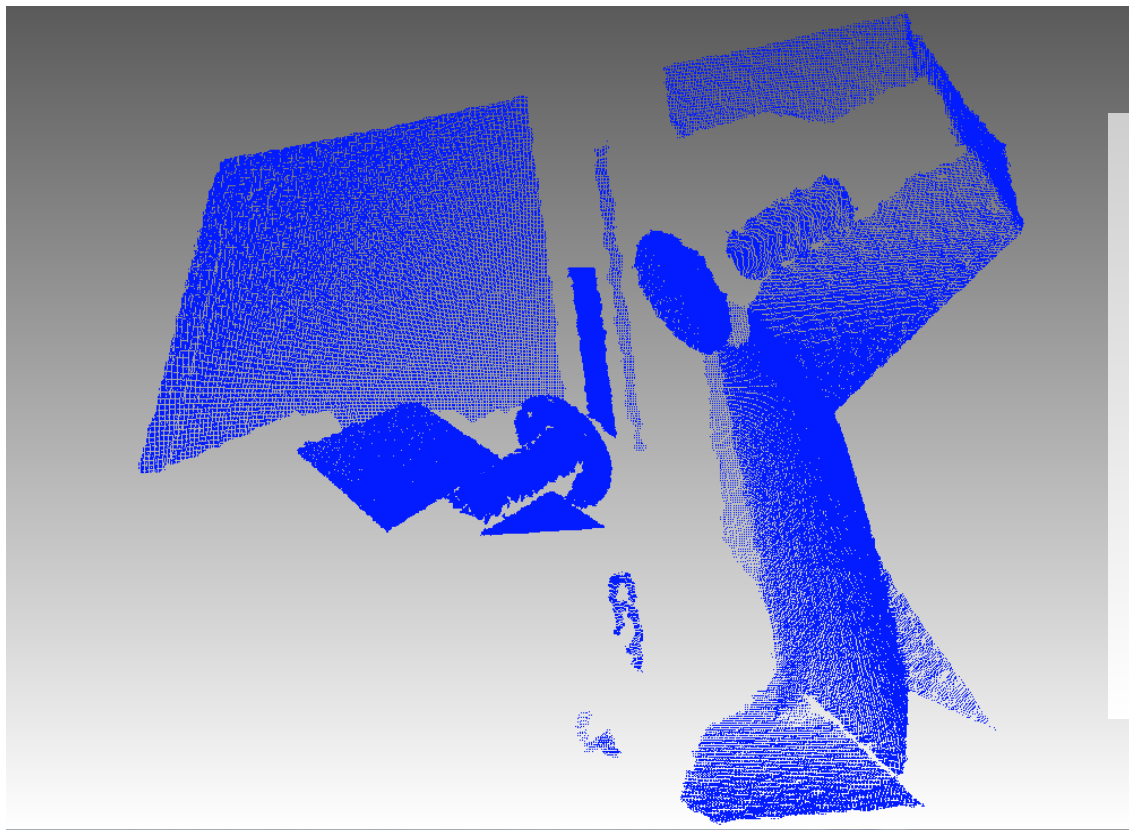
アプローチ



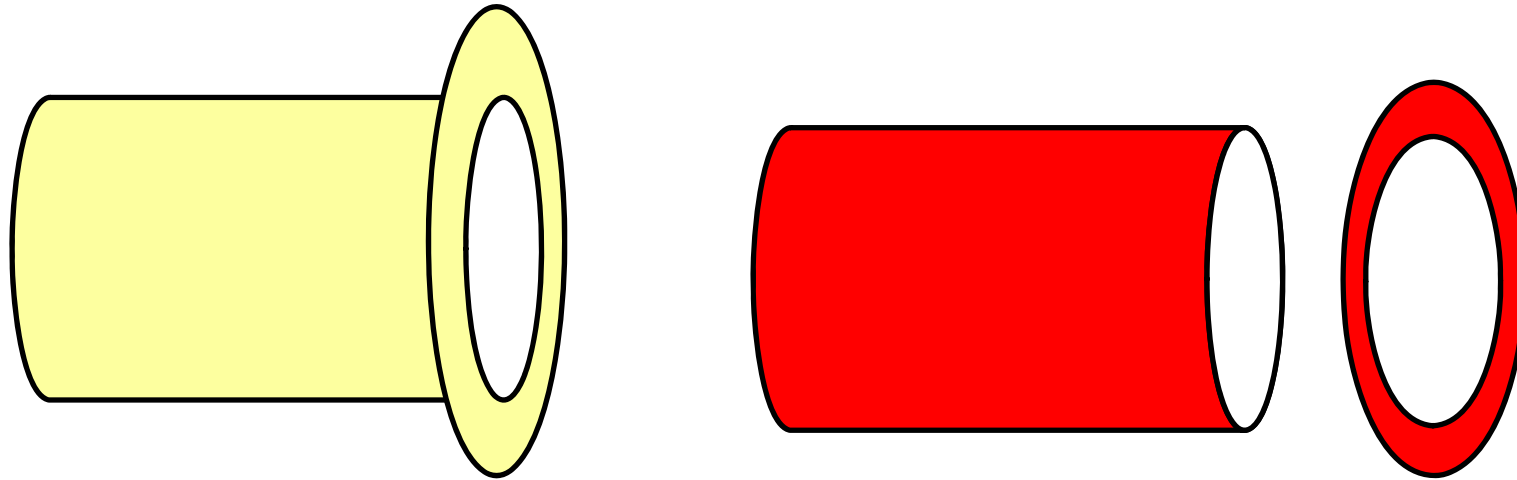
複数検出される円筒と平面の中でも、円筒の中心線と直交する平面と円筒をフランジ付きのパイプとする

アプローチ

3Dスキャナで取得した点群データから
パイプとフランジを検出し、配管するパイプの
始点及び終点の**座標・向き**を出力する

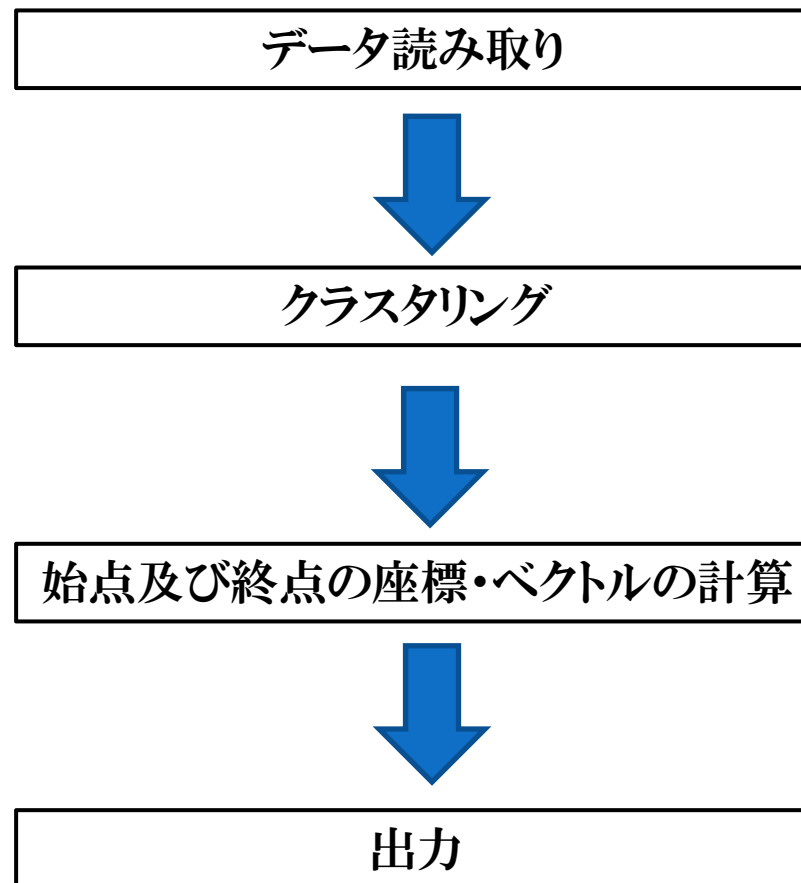


アプローチ



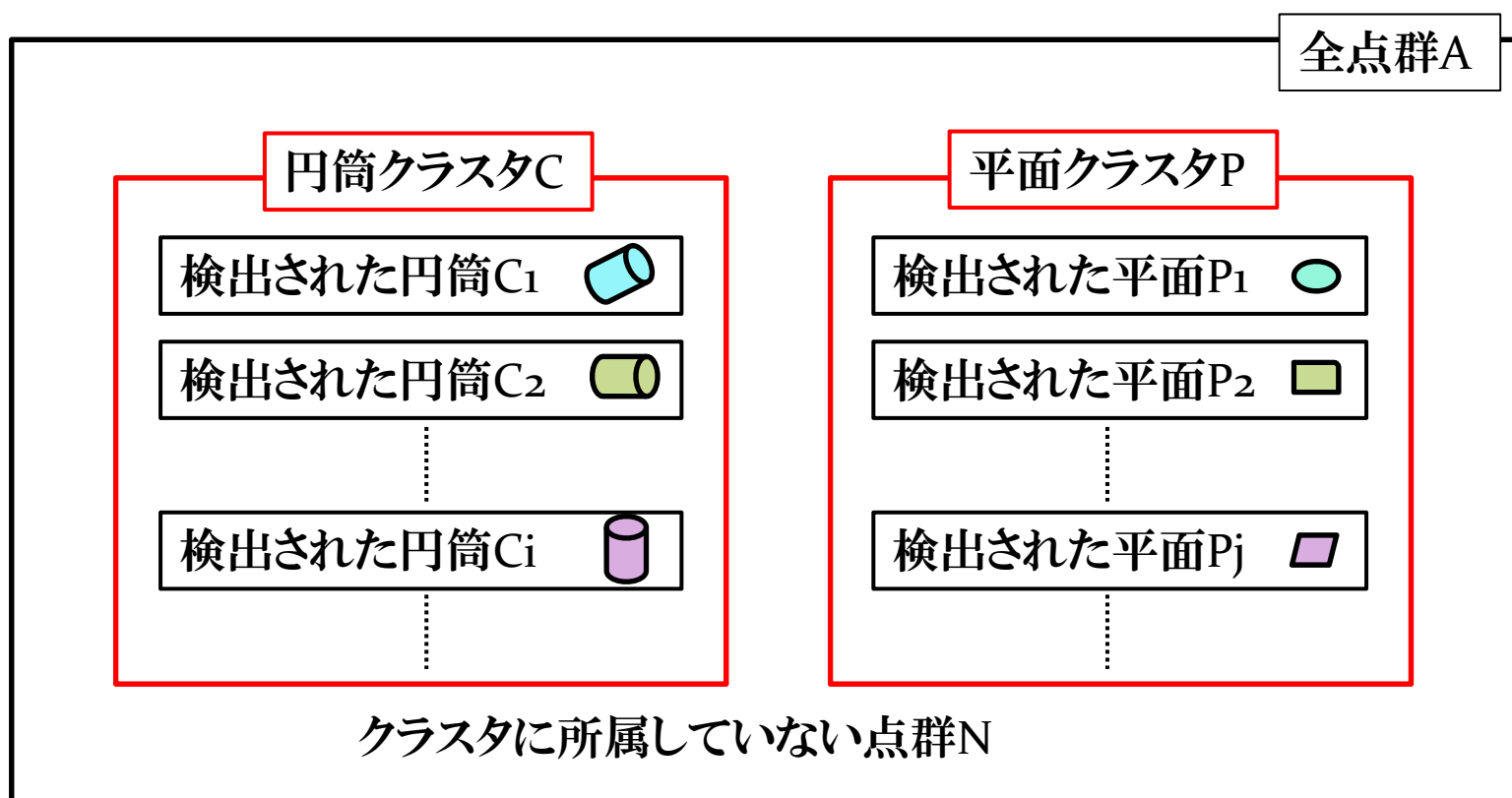
本研究では、パイプ部分を円筒、フランジ部分を平面とみなし、平面と円筒を別々に検出することで容易に対象を判別する

アプローチ



アプローチ

点群データのクラスタリング



本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

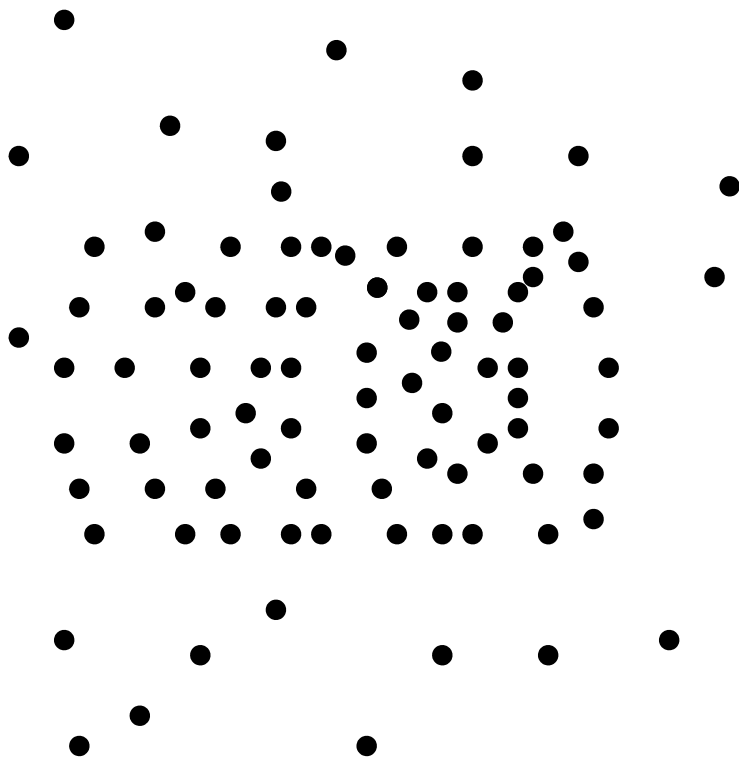
最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

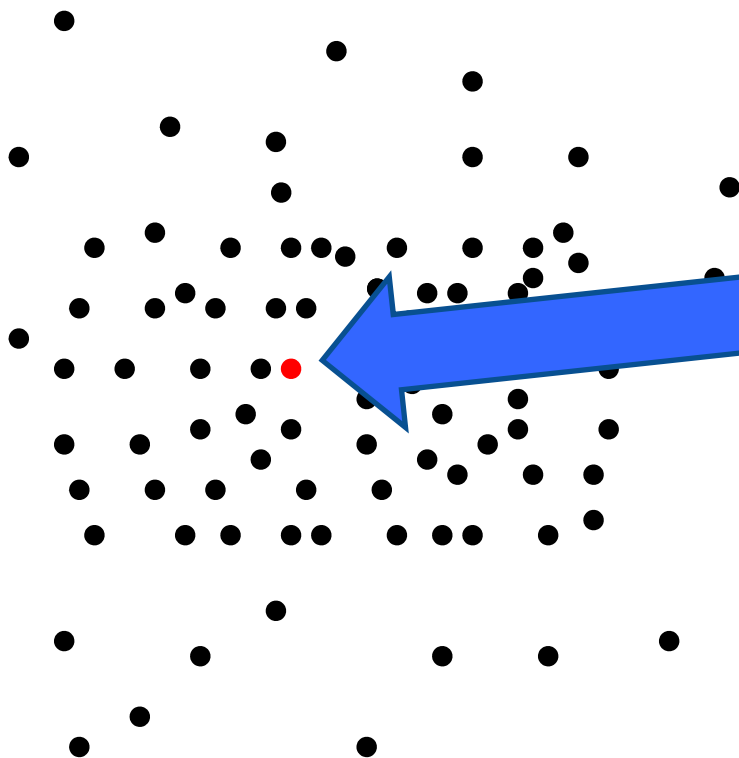
初期クラスタ生成



• フランジの中心位置と向きは
• パイプ部分を円筒、フランジ部分を
平面として点群から検出

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

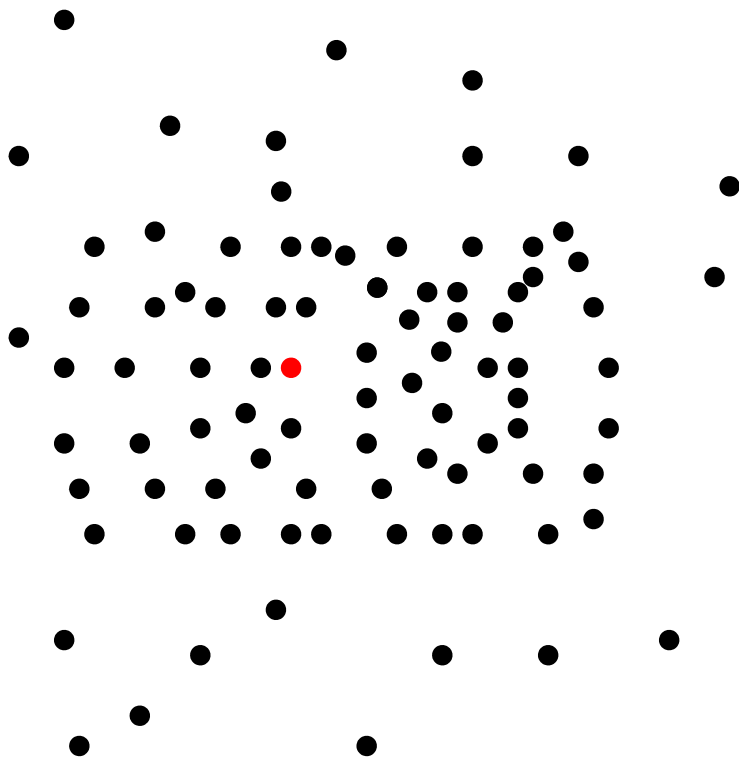
初期クラスタ生成



全点群Aの中からランダムに点を抽出

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

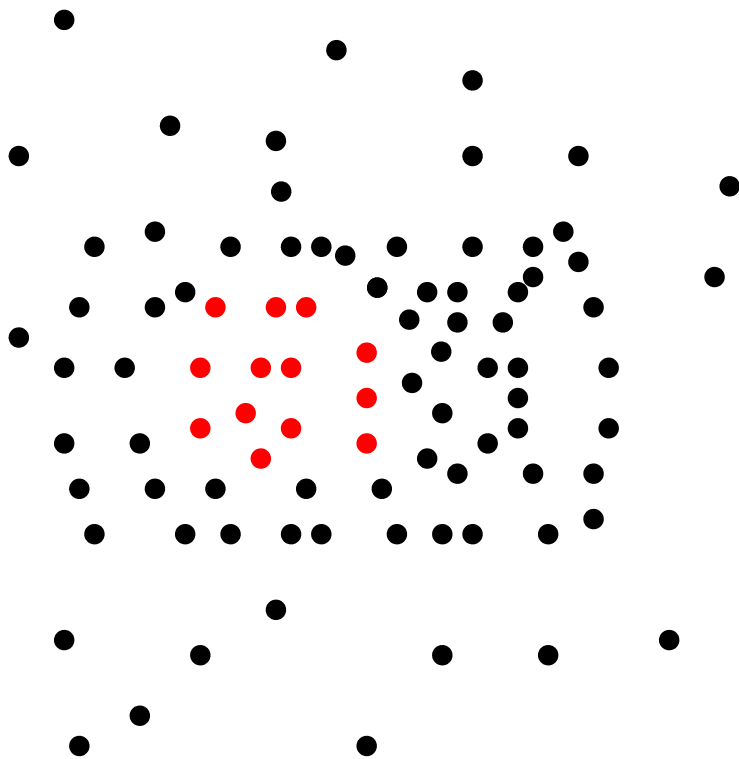
初期クラスタ生成



選んだ点の近傍点を一定数になるまで
加えて初期クラスタとする

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

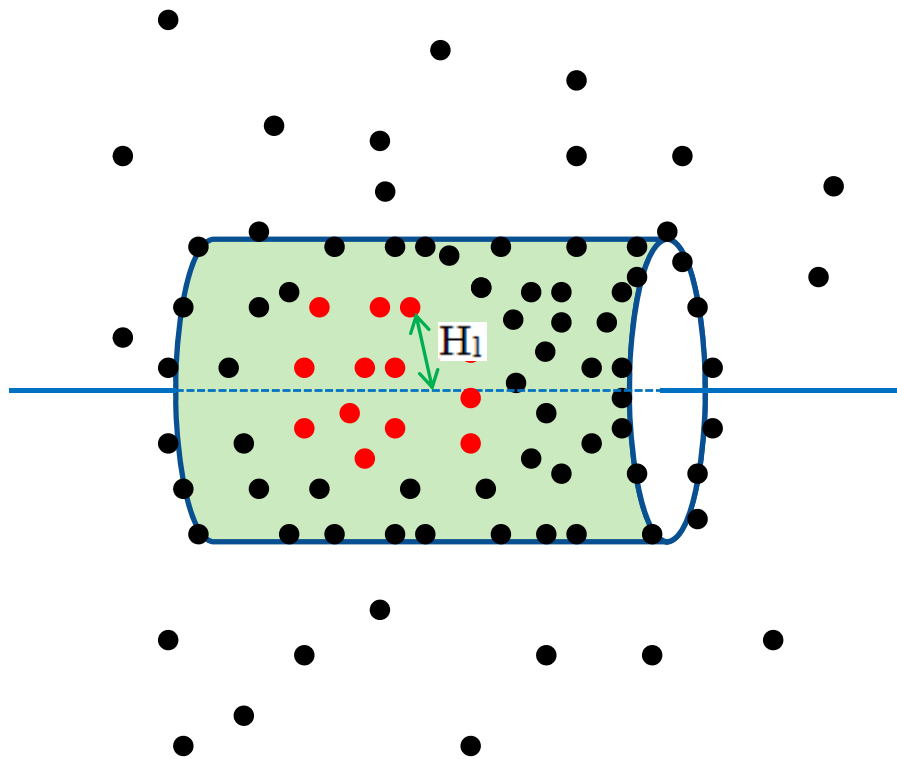
初期クラスタ生成



選んだ点の近傍点を一定数になるまで
加えて初期クラスタとする

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

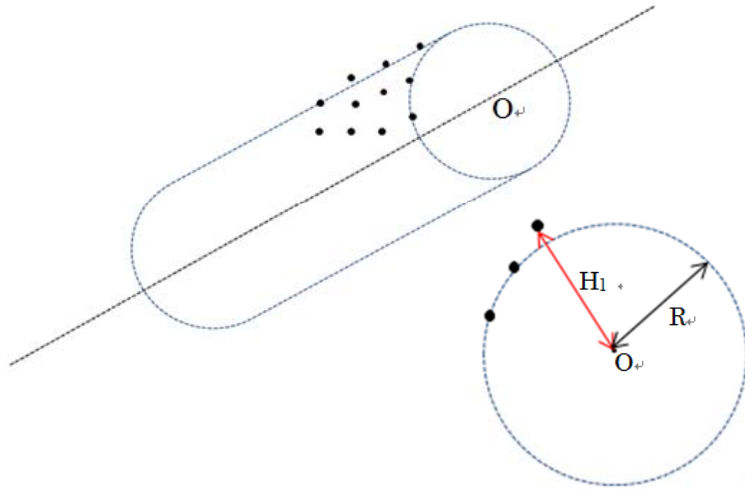
円筒の検出



初期クラスターIに対して
円筒かどうかを判定

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

円筒の検出



三次元の直線の方程式

$$\frac{x-x_0}{a} = \frac{y-y_0}{b} = \frac{z-z_0}{c}$$

既知の情報(パイプの半径) R

各点と中心線の距離をRと比較することで円筒かどうかを判定
各点と中心線の距離の二乗と半径Rの二乗の差 E_c の平均をコストとして
コスト J_c がより小さいものを中心線として決定

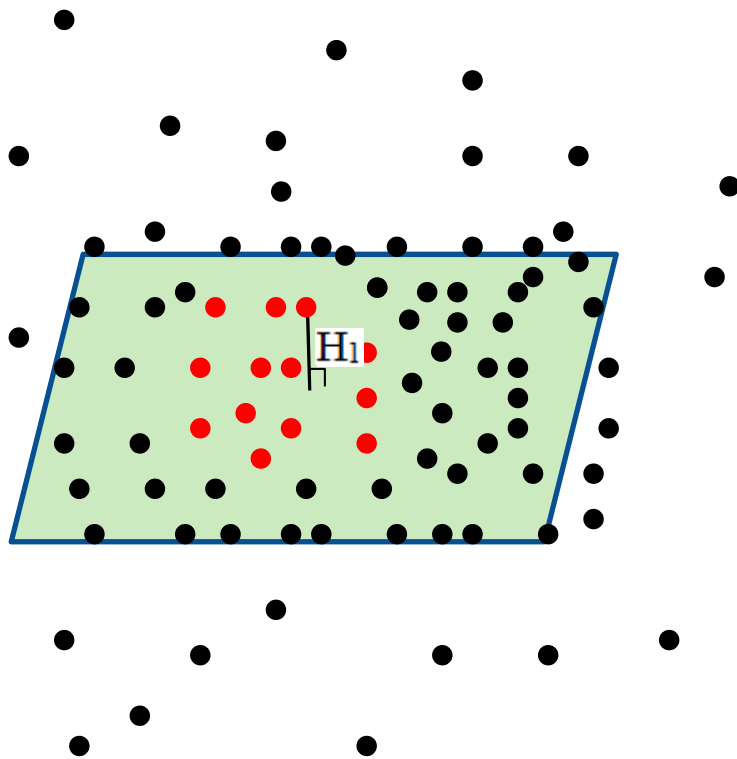
$$E_c = |H_i^2 - R^2|$$

$$J_c = \frac{\sum_{i=1}^n E_c}{n}$$

J_c が閾値以下ならば円筒 C_i と判定

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

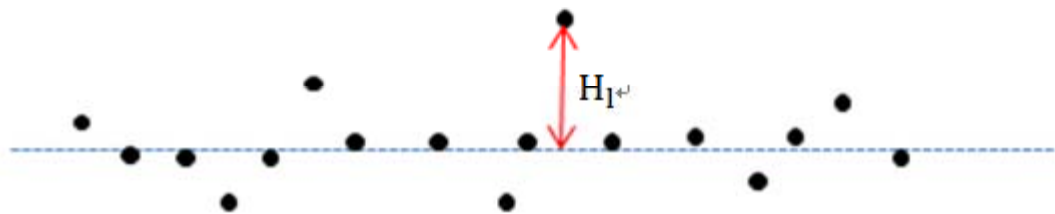
平面の検出



初期クラスタに対して
平面かどうかを判定

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

平面の検出



平面の式: $Ax+By+Cz+D=0$

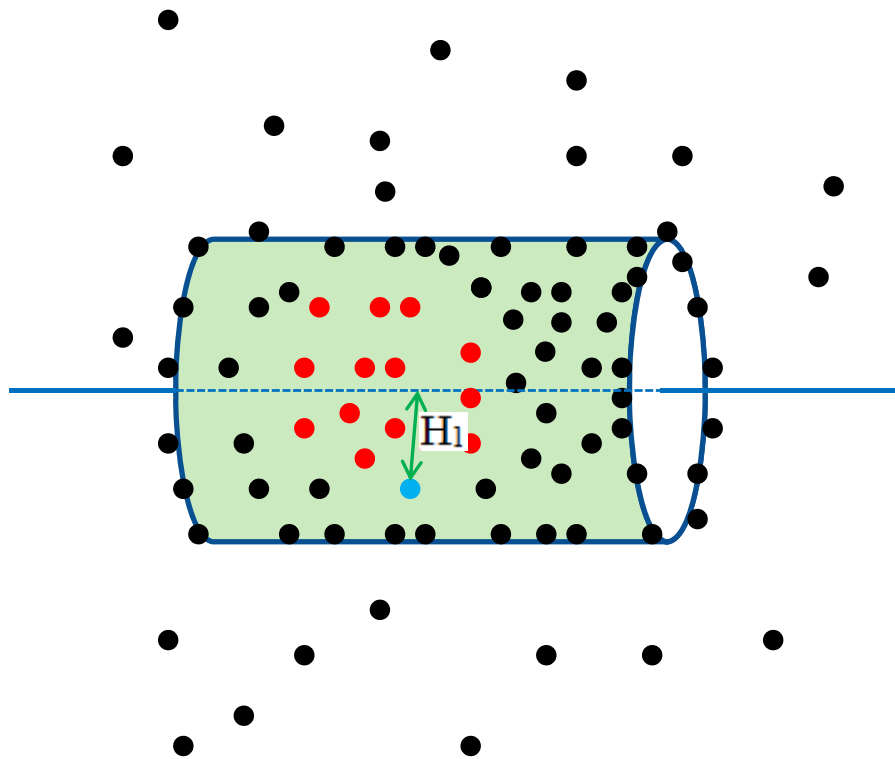
各点と平面の距離の二乗の平均をコストとして
コスト J_p がより小さくなるものを平面として決定

$$E_p = H_l^2$$
$$J_p = \frac{\sum_{l=1}^n E_p}{n}$$

J_p が閾値以下なら平面 P_j と判定

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

クラスタの拡大



・クラスタの拡大

まだクラスタに所属していない点群Nの

各点と中心線の距離 H_1 を求め、 H_1 の

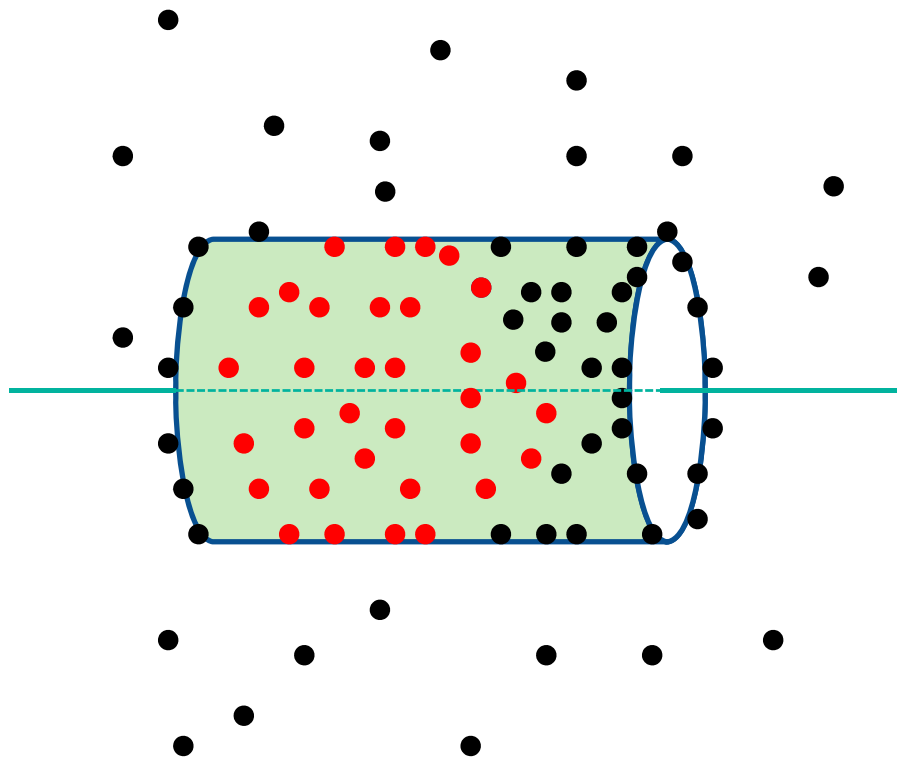
二乗と半径Rの二乗の差 E_c が閾値以下なら

円筒 C_i に追加

$$E_c = |H_1^2 - R^2|$$

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

クラスタの拡大

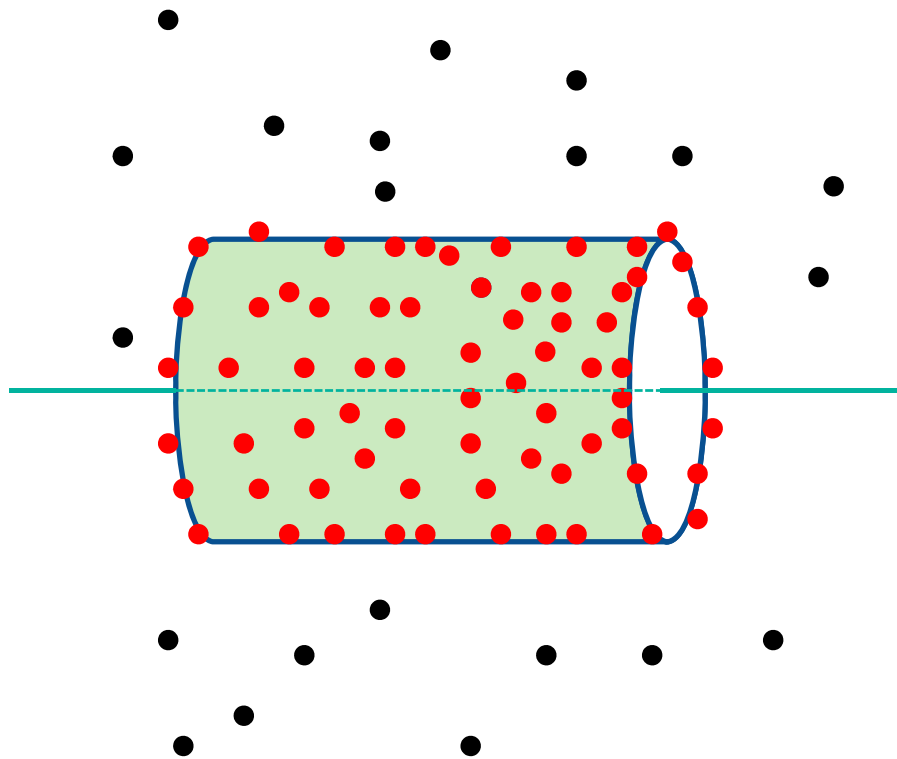


- クラスタの拡大
まだクラスタに所属していない点群Nの各点と中心線の距離 H_1 を求め、 H_1 の二乗と半径Rの二乗の差 E_c が閾値以下なら円筒 C_i に追加
$$E_c = |H_1^2 - R^2|$$

一通り点を見終わったら新たに加えた点も含めて円筒の中心線を決めなおす
これを追加する点がなくなるまで繰り返す

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

クラスタの拡大



・クラスタの拡大

まだクラスタに所属していない点群Nの

各点と中心線の距離 H_1 を求め、 H_1 の

二乗と半径Rの二乗の差 E_c が閾値以下なら

円筒 C_i に追加

$$E_c = |H_1^2 - R^2|$$

一通り点を見終わったら新たに加えた点も

含めて円筒の中心線を決めなおす

これを追加する点がなくなるまで繰り返す

追加する点がなくなったら再び最小二乗法

で円筒かどうか判定し、円筒ならば

円筒クラスタCに加え新しい円筒あるいは

平面を探す

平面でも同様にする

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

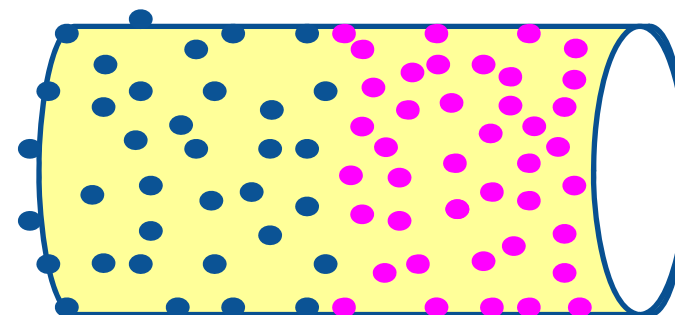
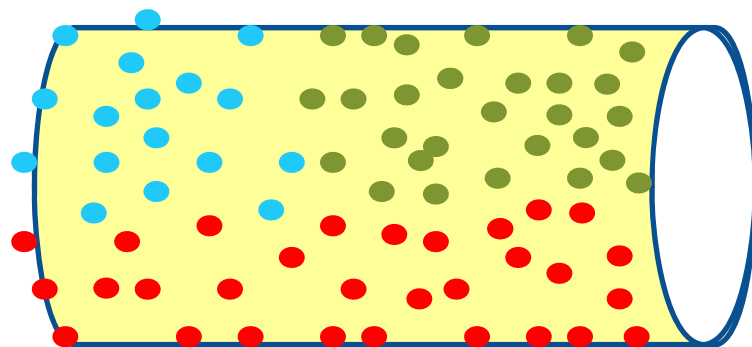
最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

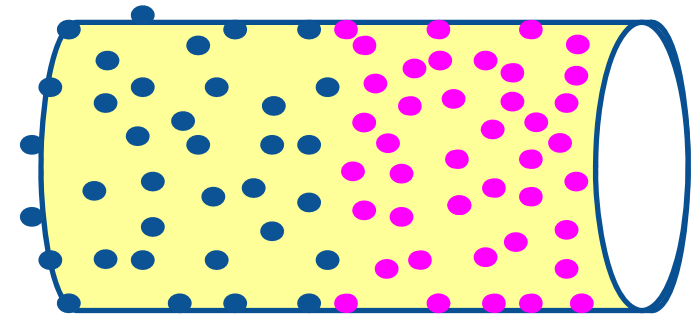
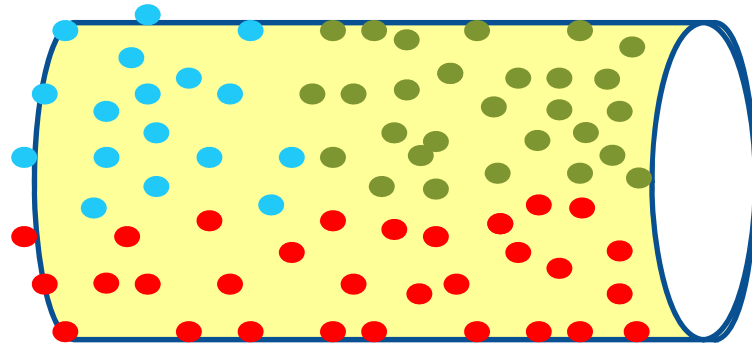
3.研究成果と今後の課題

検出された円筒の統合



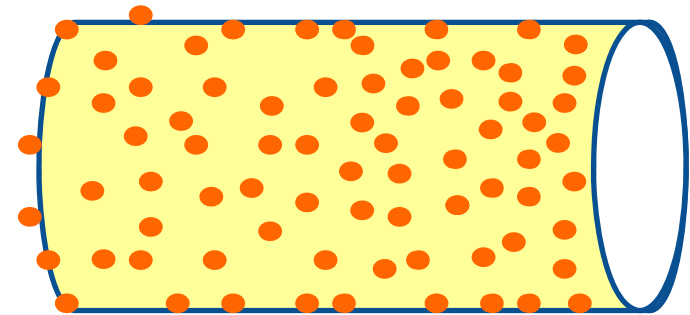
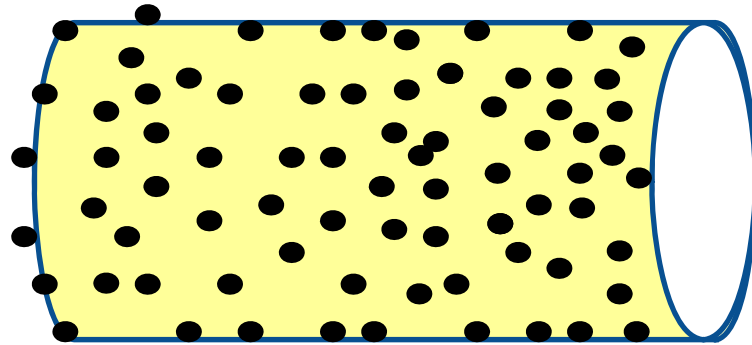
一つの円筒が複数の円筒として
別々に検出されることがある

検出された円筒の統合



各点の距離が近い場合はクラスタを統合し、一つの円筒とする

検出された円筒の統合



各点の距離が近い場合はクラスタを
統合し、一つの円筒とする

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

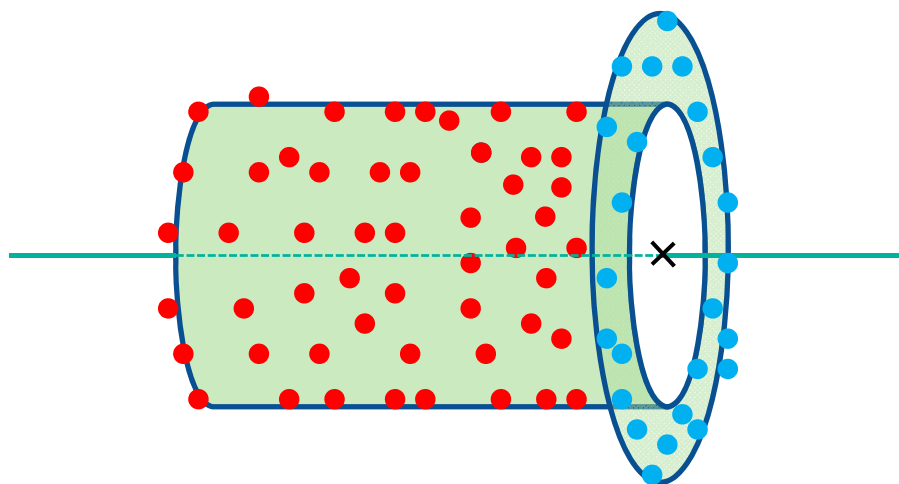
最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

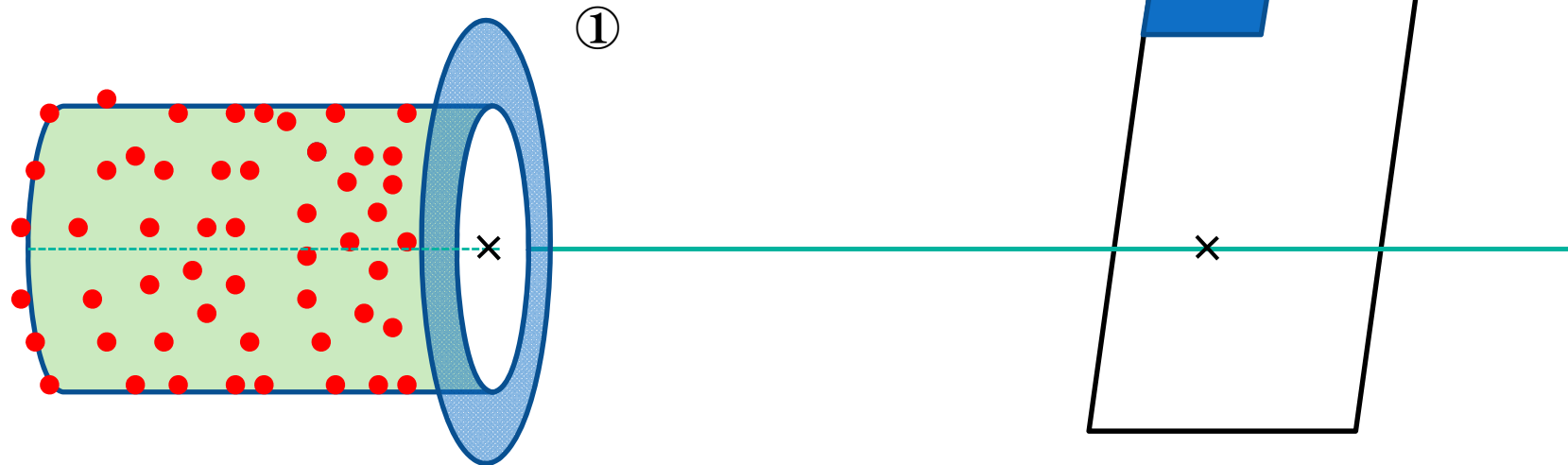
パイプの位置・向き の算出



フランジ部分の平面と円筒の中心線の交点を求めるパイプの位置とする
中心線と直交する平面をフランジ部分とする

パイプの位置・向き の算出

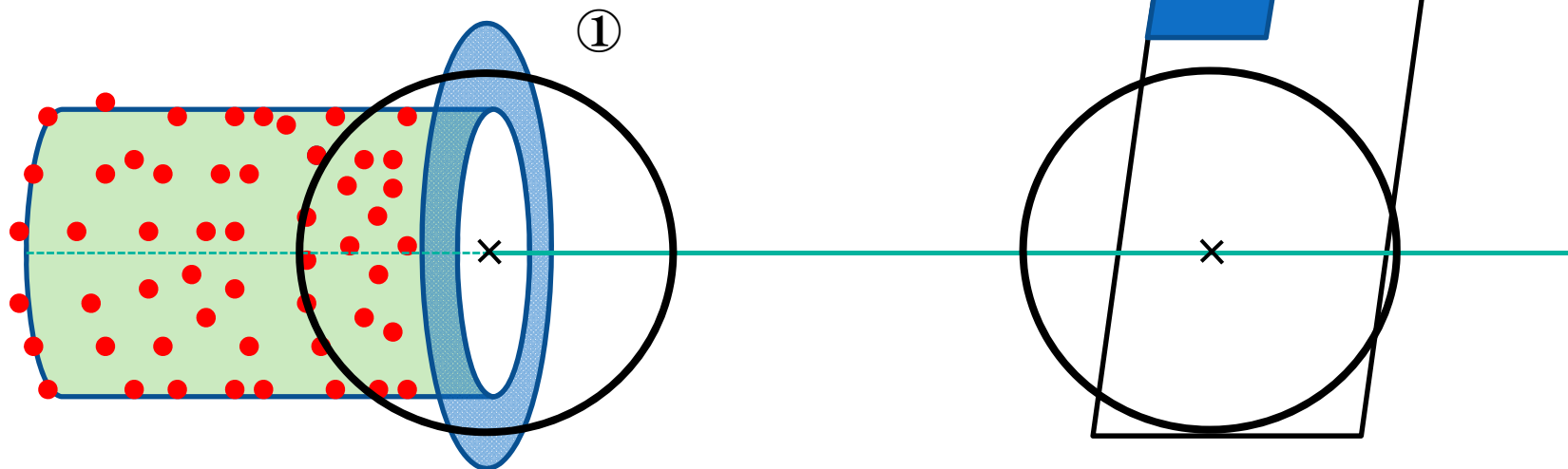
直交する平面が複数ある場合



直線に直交する平面が複数ある場合は
交点の周りの円筒の点の数を数えて多い方を選択

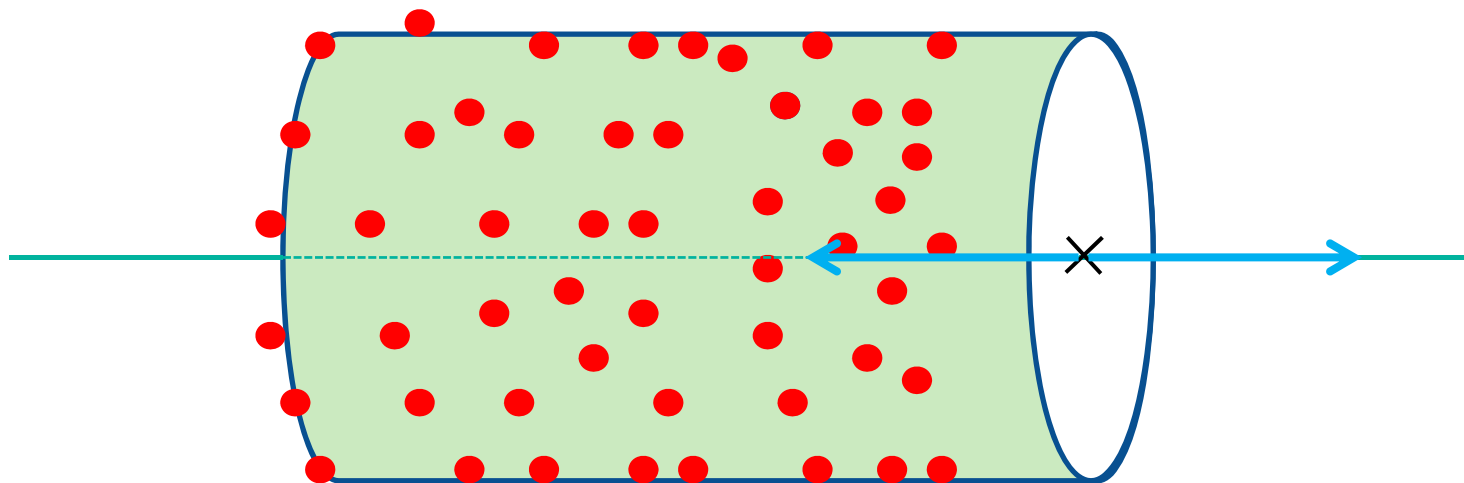
パイプの位置・向き の算出

直交する平面が複数ある場合



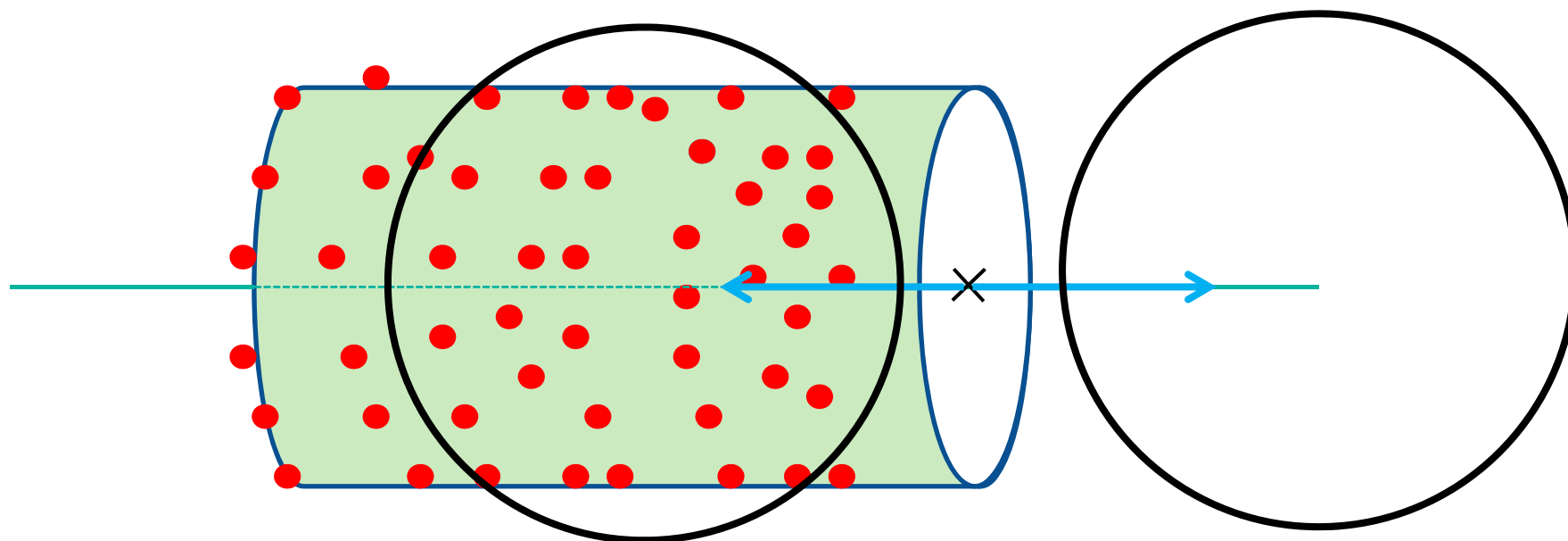
直線に直交する平面が複数ある場合は
交点の周りの円筒の点の数を数えて多い方を選択

パイプの位置・向き の算出



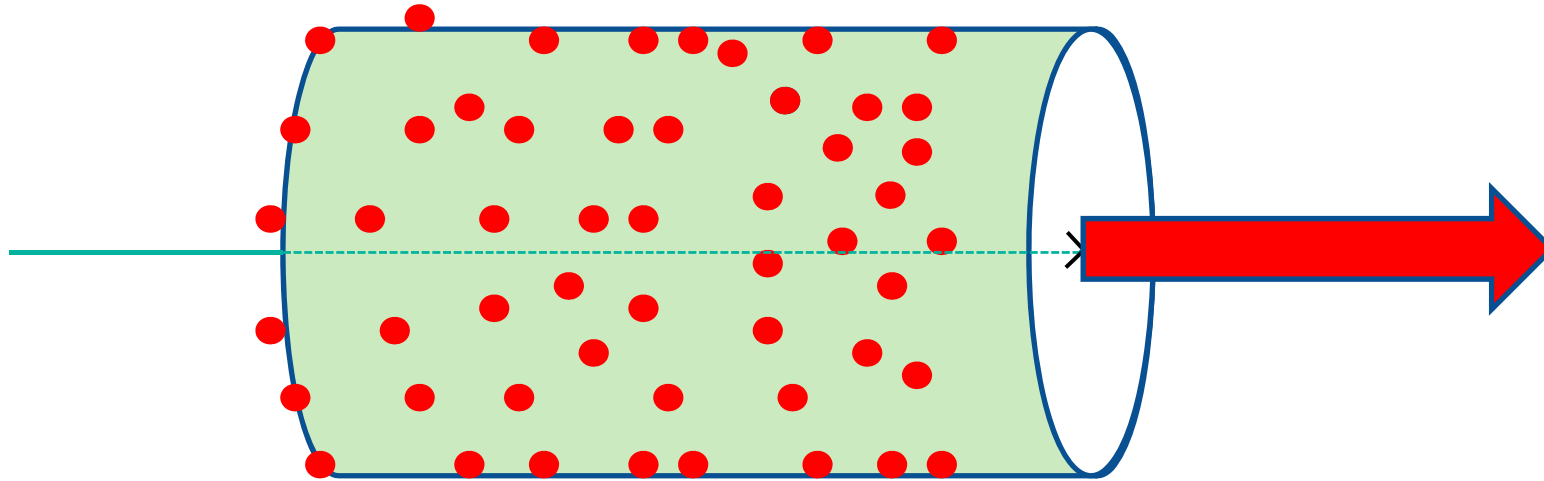
向きは交点から中心線に
沿った位置の円筒の点群 C_i の数が
少ない方に設定する

パイプの位置・向き の算出



向きは交点から中心線に
沿った位置の円筒の点群 C_i の数が
少ない方に設定する

パイプの位置・向き の算出



向きは交点から中心線に
沿った位置の円筒の点群 C_i の数が
少ない方に設定する

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

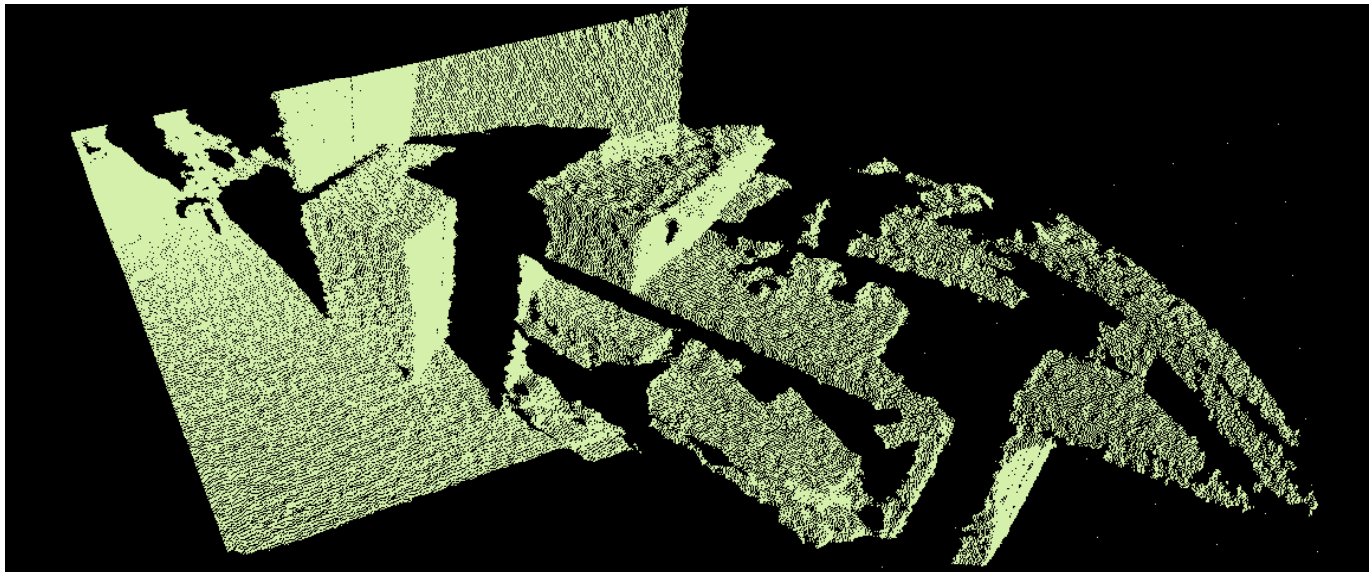
3.研究成果と今後の課題

人工データの生成

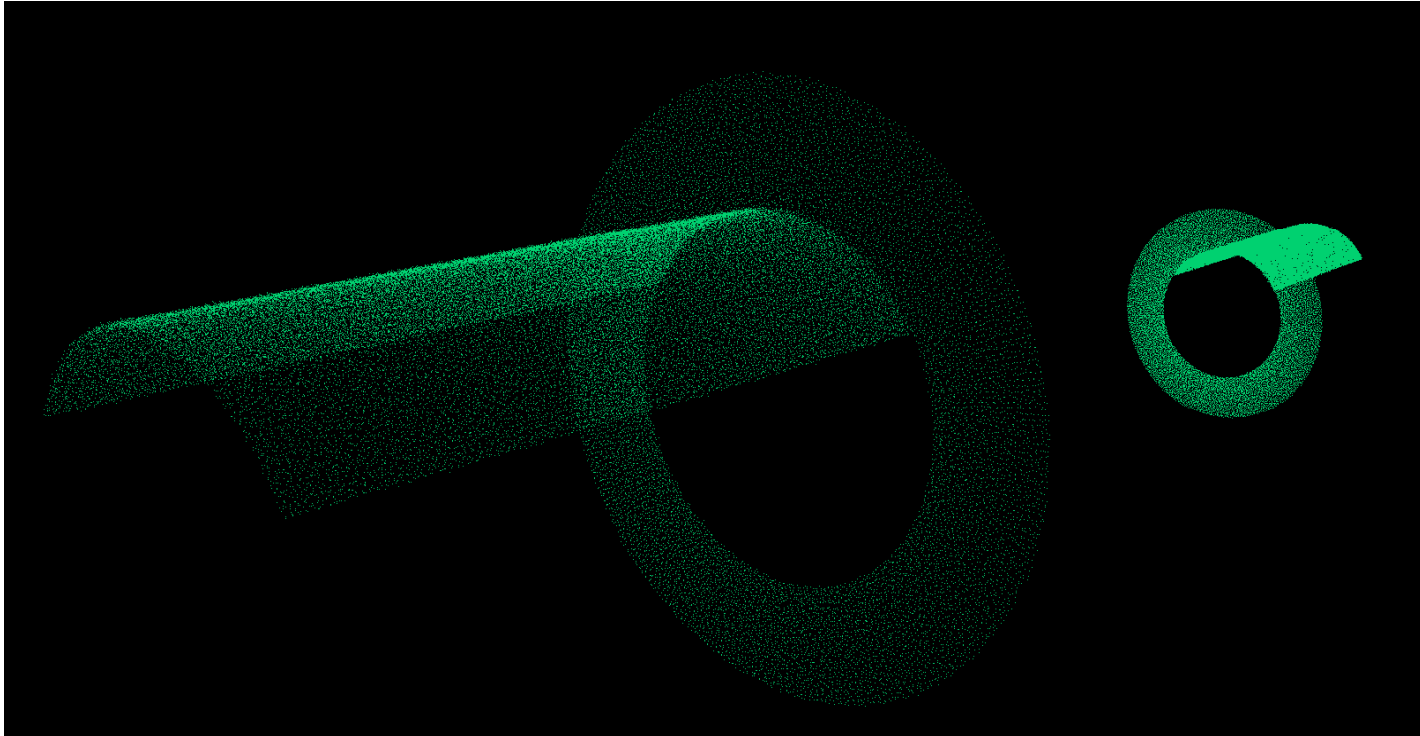
3Dスキャナからとったデータにはノイズが入る



人工的にばらつきのあるデータを作成
正規分布を使ってデータを作る



人工データの生成



円筒： $D=60$ 、フランジ $R=30\sim 50$ 、ノイズの標準偏差 σ で作成する
円筒部分は一方向からしか計測できないことを考慮して一部だけ作成する

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

シミュレーションに使用した人工データ

(円筒:D=60.0、フランジR=30.0~50.0)

ノイズの標準偏差 $\sigma = 1.67 \times 10^{-1} \sim 1.00$ (約 $5.00 \times 10^{-1} \sim 3.00$ mm)

始点	X1(始点部X座標)	0.00
	Y1(始点部Y座標)	0.00
	Z1(始点部Z座標)	100
始点部の向き	A1(ベクトルのX成分)	0.00
	B1(ベクトルのY成分)	0.00
	C1(ベクトルのZ成分)	1.00
終点	X2(始点部X座標)	500
	Y2(始点部Y座標)	200
	Z2(始点部Z座標)	600
終点部の向き	A2(ベクトルのX成分)	0.00
	B2(ベクトルのY成分)	0.00
	C2(ベクトルのZ成分)	-1.00

使用したPCの性能

OS

Windows7

プロセッサ

intel(R) core(TM) i7

-4770 CPU 3.40GHz

実装メモリ

8GB

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

全てのデータに対して、閾値を変更せずにシミュレーションを行った場合

人工データに与えるノイズの標準偏差						
	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
1回目	○	○	×	○	○	×
2回目	○	×	○	×	×	○
3回目	×	○	×	×	○	×
4回目						
5回目						

ノイズの大きさごとに閾値を設定する必要がある

人工データに与えるノイズの標準偏差						
	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
1回目	○	○	○	○	○	○
2回目	○	○	○	○	○	○
3回目	○	○	○	○	○	○
4回目	○	○	○	○	○	○
5回目	○	○	○	○	○	○

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

X1(始点部X座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-5.01E-02	5.55E-02	2.39E-02	-1.18E-01	-3.26E-01	1.60E-01
誤差	0.02	0.02	3.62E-05	-1.38E-02	-1.37E-01	3.65E-02

各人工データごとに行った
5回のシミュレーションの中で
出た誤差の最大値

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	3.25E-02	-3.98E-02	1.33E-02	1.55E-01	2.99E-01	-3.06E-01
誤差平均	1.01E-02	-1.37E-02	1.81E-03	5.36E-02	1.96E-01	-5.65E-02

各人工データごとに行った
5回のシミュレーションの
誤差の平均

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-0.01	-1.41E-01	-1.45E-01	-1.83E-01	-2.12E-01	-0.01
誤差	-0.01	-1.22E-01	-1.29E-01	-1.51E-01	-1.88E-01	-0.01

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

X1(始点部X座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-5.01E-02	5.55E-02	2.39E-02	-1.18E-01	-3.26E-01	1.60E-01
誤差平均	-1.68E-02	3.20E-02	3.62E-05	-1.38E-02	-1.37E-01	3.65E-02

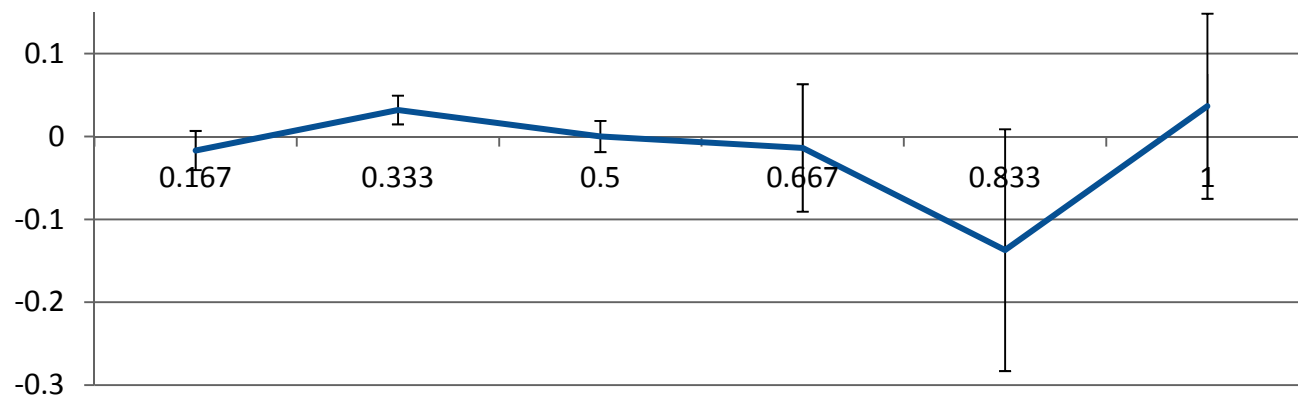
Y1(始点部Y座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	3.25E-02	-3.98E-02	1.33E-02	1.55E-01	2.99E-01	-3.06E-01
誤差平均	1.01E-02	-1.37E-02	1.81E-03	5.36E-02	1.96E-01	-5.65E-02

Z1(始点部Z座標)

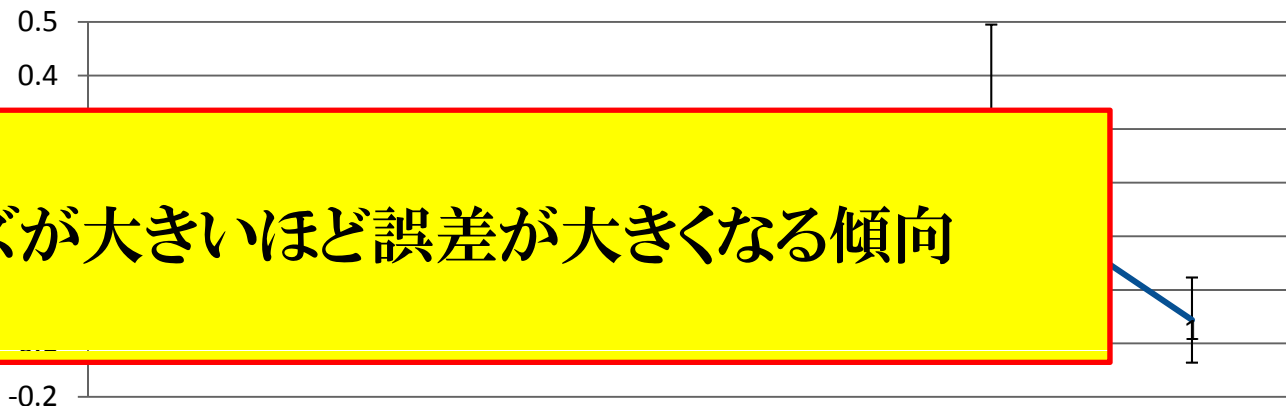
与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-1.18E-01	-1.25E-01	-1.41E-01	-1.45E-01	-1.83E-01	-2.12E-01
誤差平均	-1.13E-01	-1.14E-01	-1.22E-01	-1.29E-01	-1.51E-01	-1.88E-01

X1 (始点部X座標)
の誤差平均

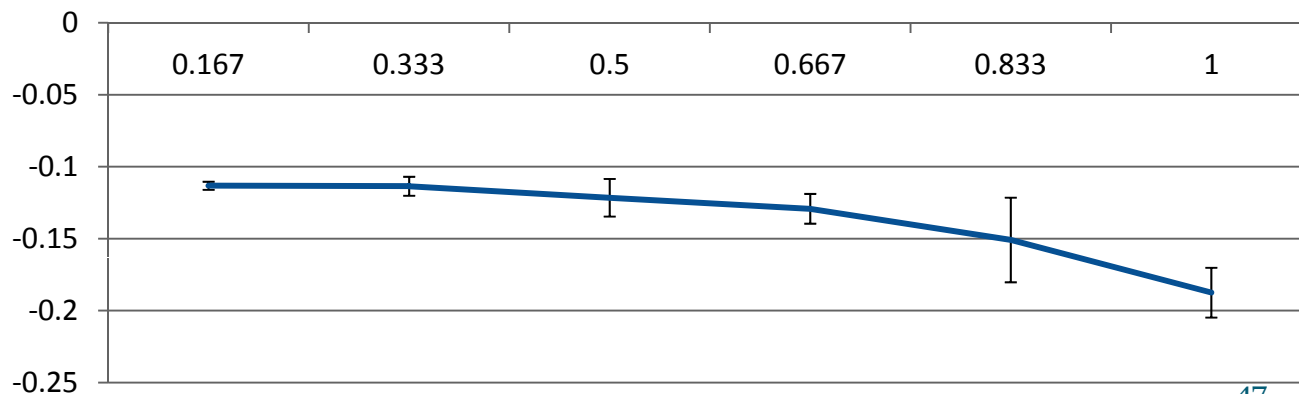


Y1 (始点部Y座標)
の誤差平均

ノイズが大きいほど誤差が大きくなる傾向



Z1 (始点部Z座標)
の誤差平均



最小二乗法を用いたシミュレーション結果

X2(終点部X座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	2.40E-02	1.40E-01	1.36E-01	-7.51E-02	-4.20E-01	4.37E-01
誤差平均	3.92E-03	6.85E-02	8.43E-03	-5.42E-03	-1.29E-01	1.35E-01

Y2(終点部Y座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-2.67E-02	-9.22E-02	1.01E-01	1.83E-01	4.29E-01	-2.92E-01
誤差平均	-2.95E-03	-3.67E-02	2.89E-02	5.02E-02	1.05E-01	-5.54E-02

Z2(終点部Z座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	1.45E-02	1.65E-02	3.43E-02	4.35E-02	9.90E-02	1.18E-01
誤差平均	1.36E-02	1.43E-02	2.45E-02	2.40E-02	5.33E-02	5.48E-02

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

X2(終点部X座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	2.40E-02	1.40E-01	1.36E-01	-7.51E-02	-4.20E-01	4.37E-01
誤差平均	3.92E-03	6.85E-02	8.43E-03	-5.42E-03	-1.29E-01	1.35E-01

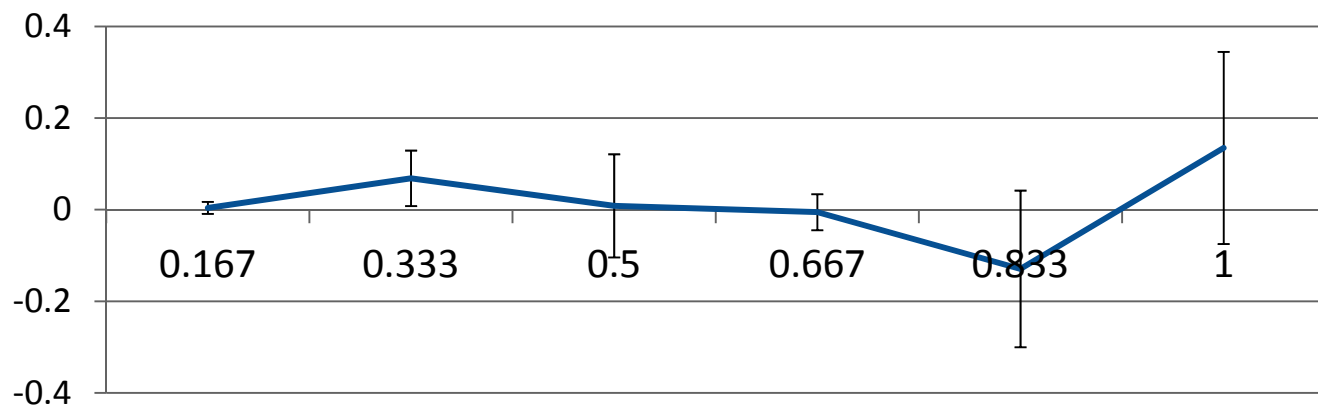
Y2(終点部Y座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-2.67E-02	-9.22E-02	1.01E-01	1.83E-01	4.29E-01	-2.92E-01
誤差平均	-2.95E-03	-3.67E-02	2.89E-02	5.02E-02	1.05E-01	-5.54E-02

Z2(終点部Z座標)

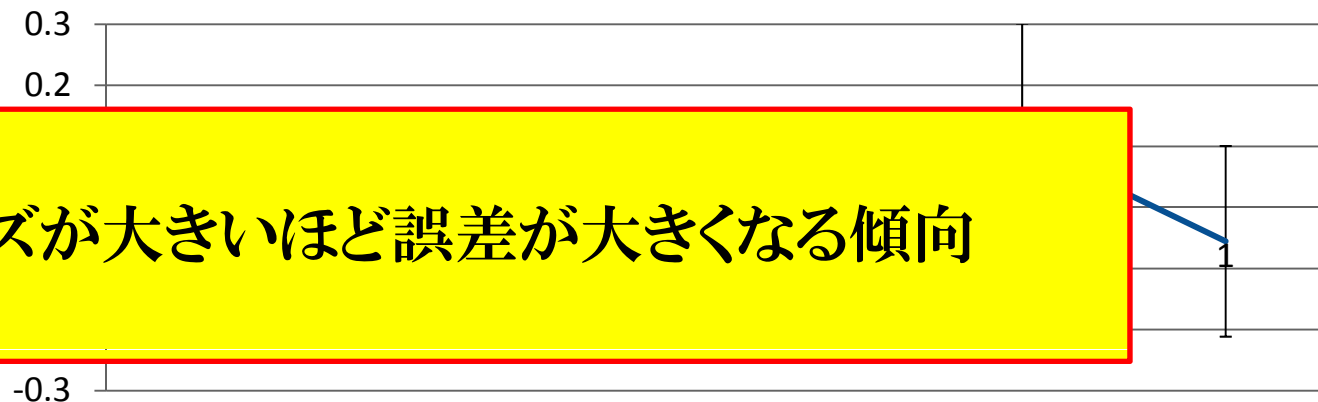
与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	1.45E-02	1.65E-02	3.43E-02	4.35E-02	9.90E-02	1.18E-01
誤差平均	1.36E-02	1.43E-02	2.45E-02	2.40E-02	5.33E-02	5.48E-02

X2(終点部X座標)
の誤差平均

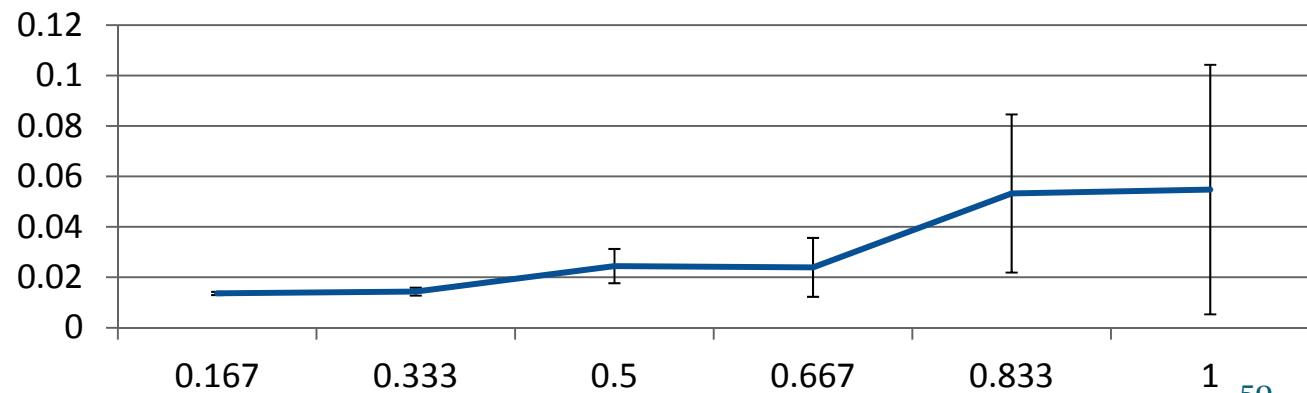


Y2(終点部Y座標)
の誤差平均

ノイズが大きいほど誤差が大きくなる傾向



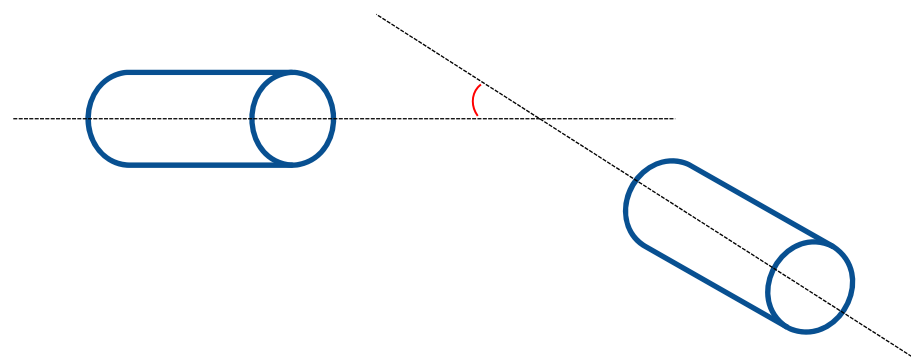
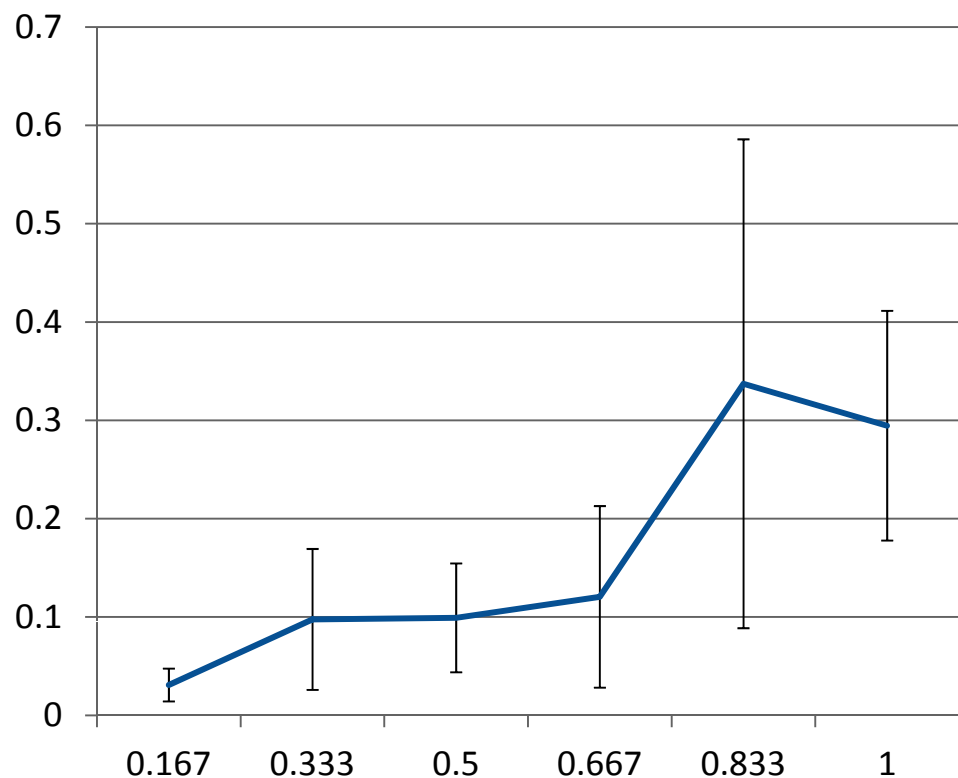
Z2(終点部Z座標)
の誤差平均



最小二乗法を用いたシミュレーション結果

中心線のベクトルがなす角度

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
角度の平均 [°]	0.030873	0.0976	0.0991601	0.120546	0.337248	0.294593



ノイズが大きいほど角度が大きくなる傾向

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

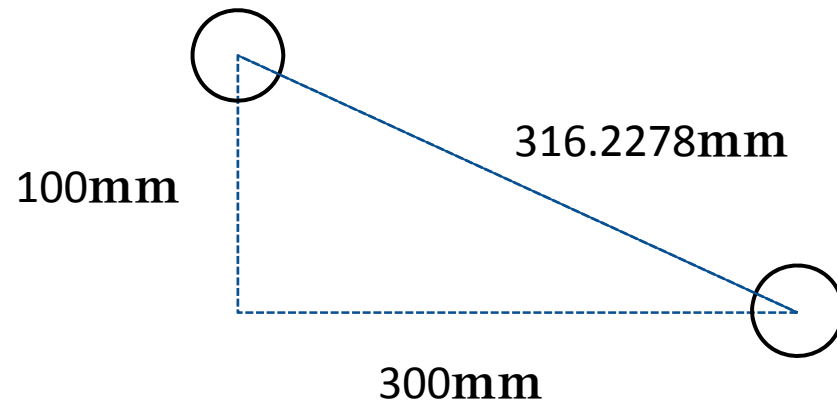
実際にレーザースキャナで取ったデータで
円筒・平面が検出できるかどうかを実験

データはkinectを使用して取得

Kinectは距離データを1秒間で
30フレーム取得できる



最小二乗法を用いたシミュレーション結果



計測では円筒の中心を
図のようになるように配置
円筒の直径は75mm

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

シミュレーションは5回行い、毎回Kinectでデータを取得した

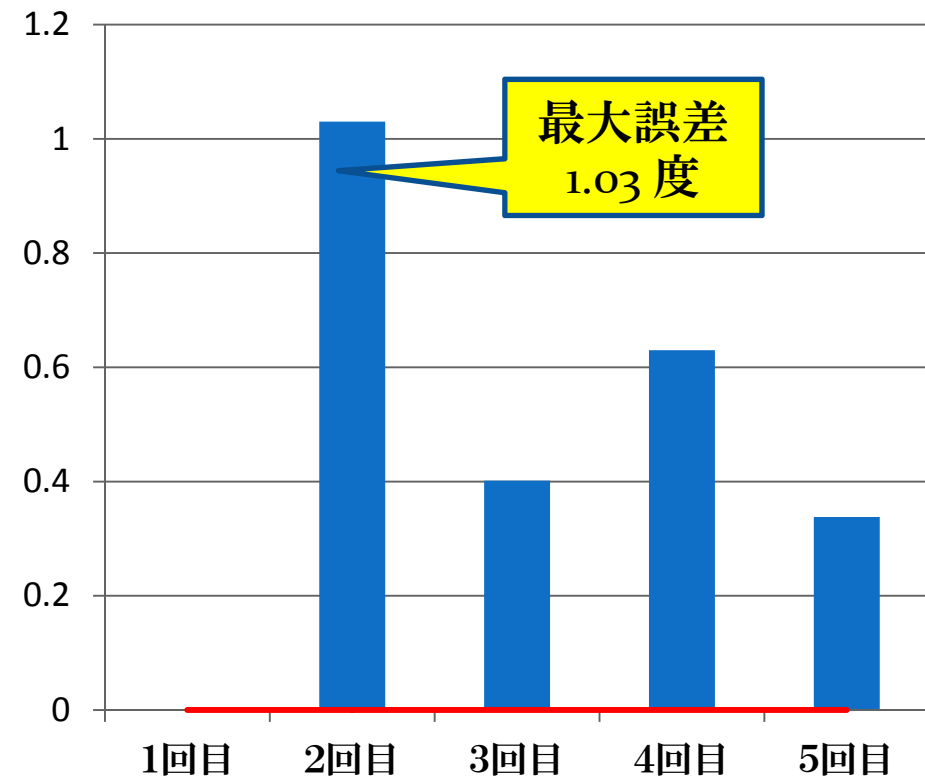
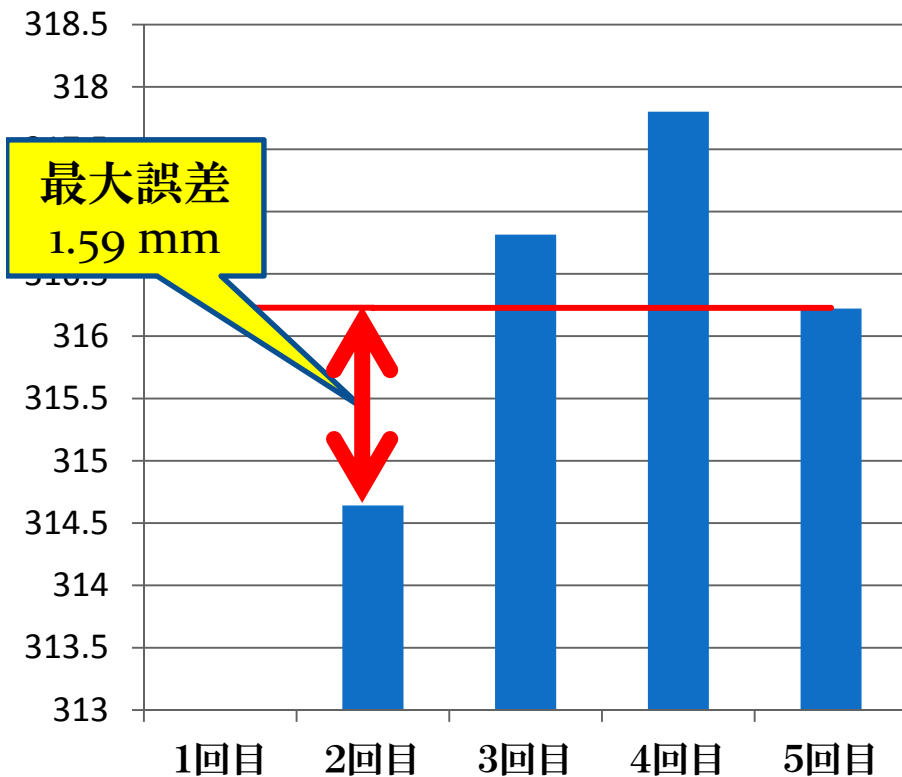
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
成否	×	○	○	○	○

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
計算時間	12m18s	12m21s	14m57s	15m19s	13m20s

検出失敗

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
現場合わせ管の距離 [mm]	×	314.6408	316.815	317.8016	316.2211	316.3696
中心線のベクトルが なす角度[°]	×	1.030222	0.401685	0.629958	0.338063	0.599982



本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

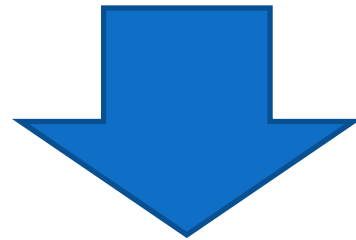
最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小二乗法ではノイズが大きい場合に
影響を受けやすく、検出の失敗等が発生することがある

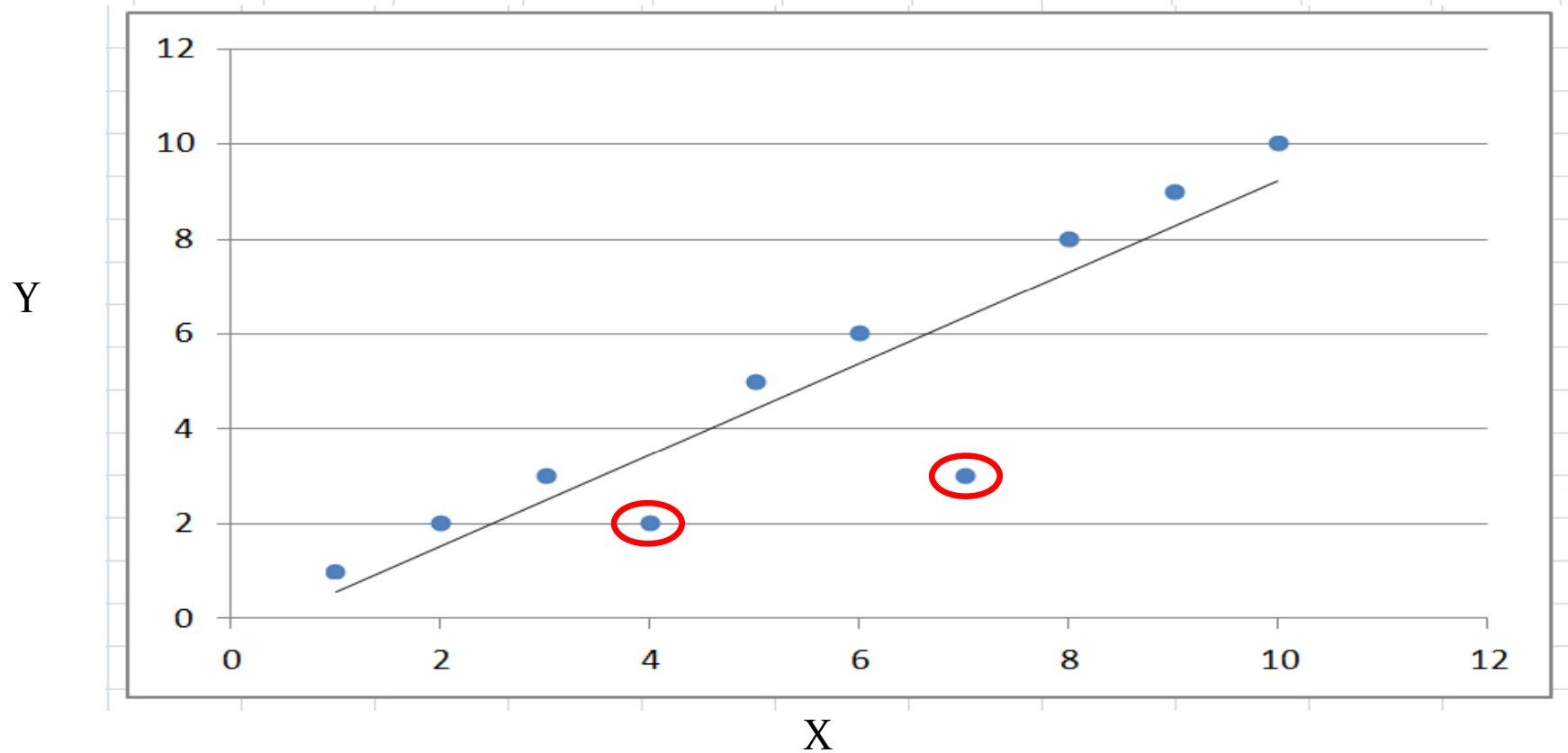


ノイズ等に強い最小メジアン法を用いる

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小二乗法

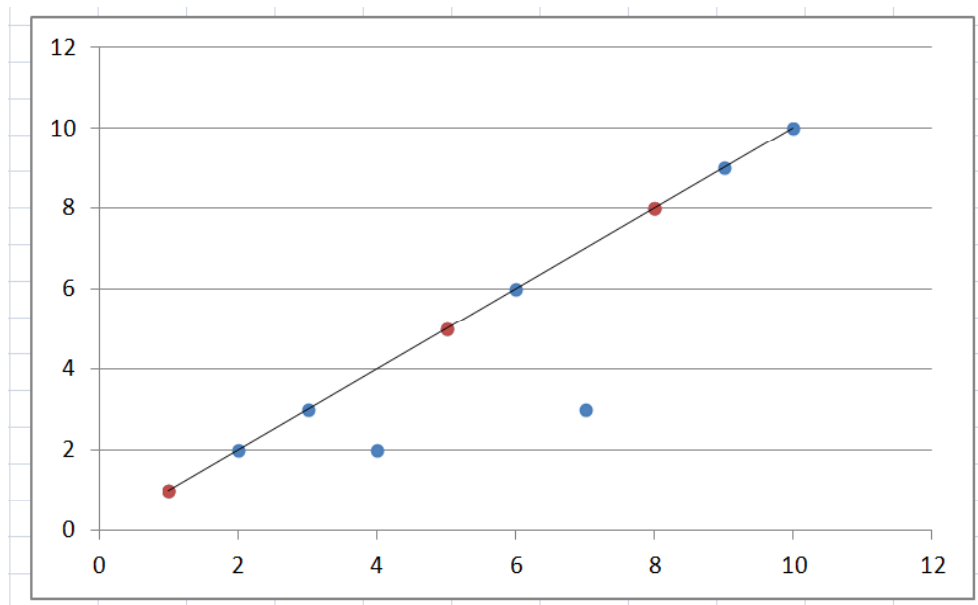
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	1	2	3	2	5	6	3	8	9	10



最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	1	2	3	2	5	6	3	8	9	10

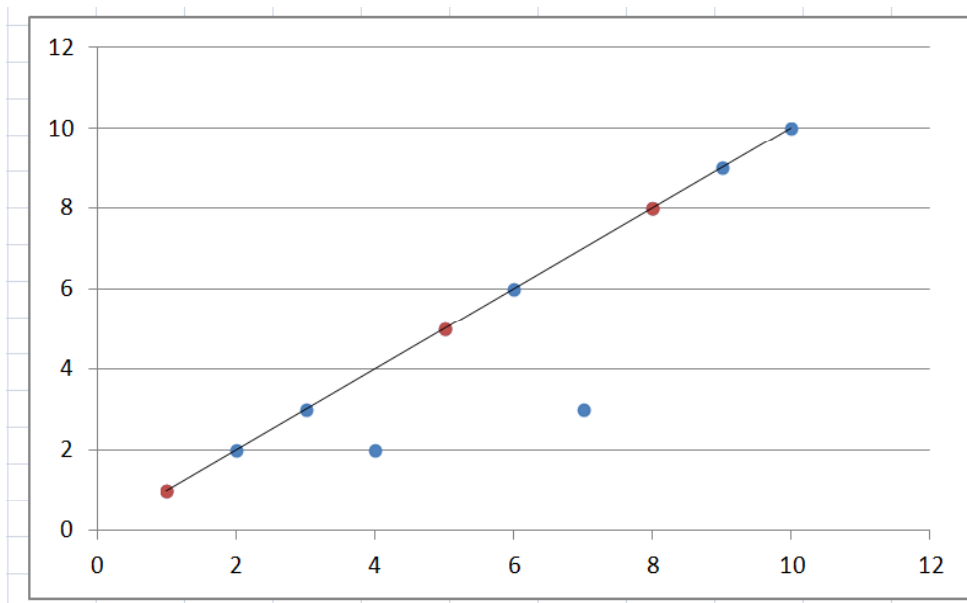
1. i 個のデータを選びパラメータを決定
2. 推定したパラメータで全データとのコストを評価し中間値を記録
3. 1と2を繰り返し、中間値が最小のパラメータを最良とする



最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	1	2	3	2	5	6	3	8	9	10

1. i 個のデータを選びパラメータを決定
2. 推定したパラメータで全データとのコストを評価し中間値を記録
3. 1と2を繰り返し、中間値が最小のパラメータを最良とする

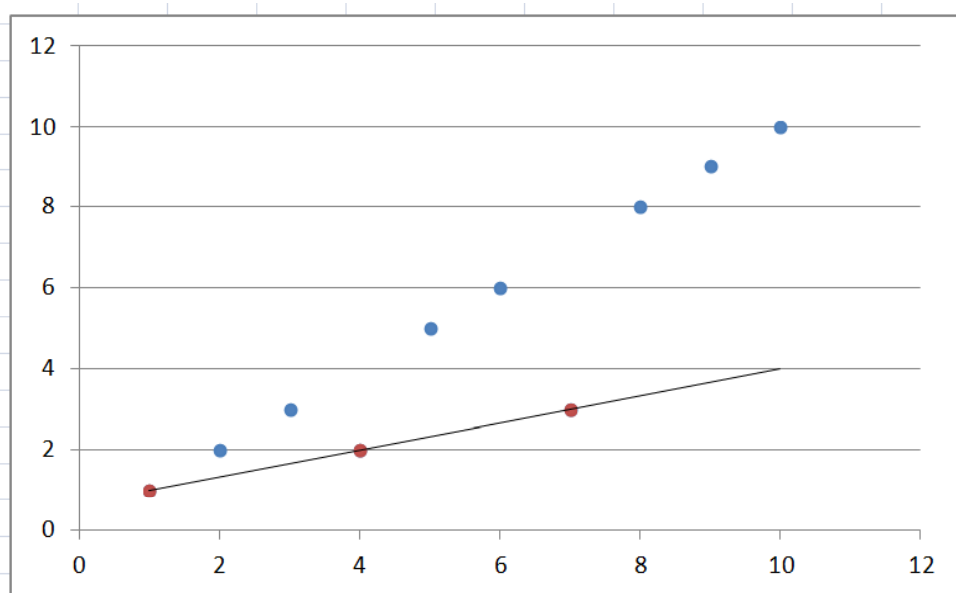


X	誤差
1	0
2	0
3	0
5	0
6	0
8	0
9	0
10	0
4	2
7	4

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	1	2	3	2	5	6	3	8	9	10

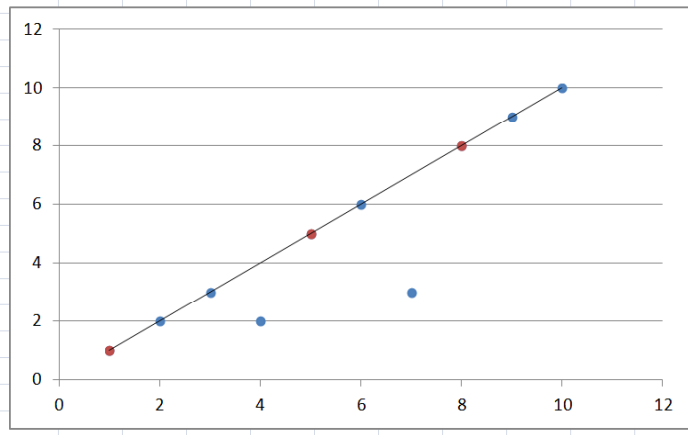
1. i 個のデータを選びパラメータを決定
2. 推定したパラメータで全データとのコストを評価し中間値を記録
3. 1と2を繰り返し、中間値が最小のパラメータを最良とする



X	誤差
1	0
4	0
7	0
2	0.667
3	1.333
5	2.667
6	3.333
8	4.667
9	5.333
10	6

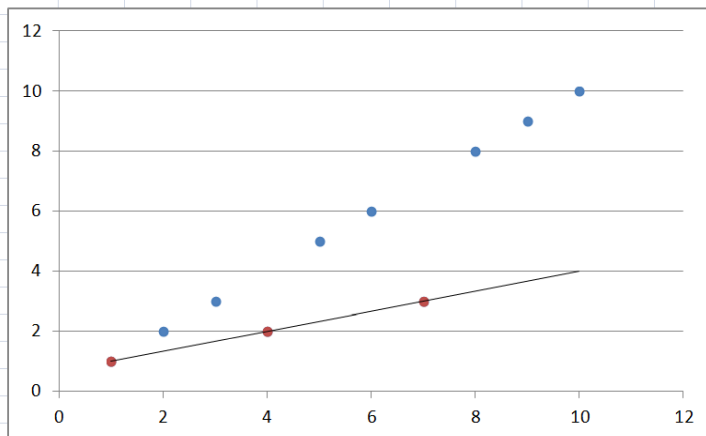
最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	1	2	3	2	5	6	3	8	9	10

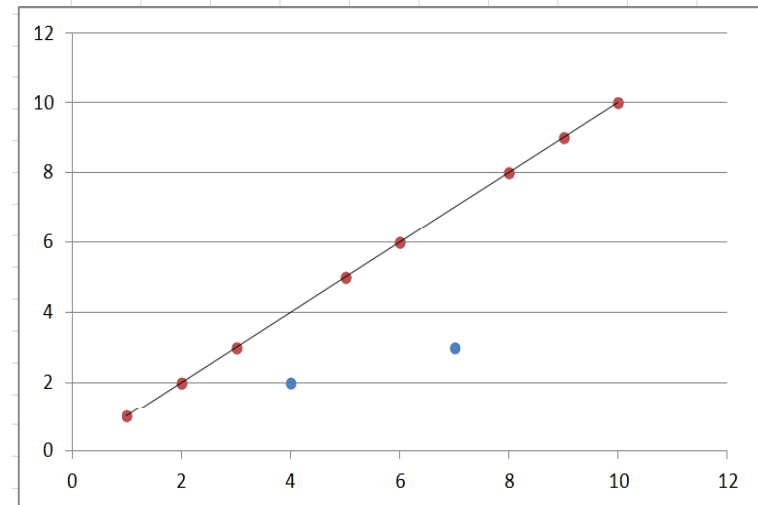


X	誤差
1	0
2	0
3	0
5	0
6	0
8	0
9	0
10	0
4	2
7	4

1. i 個のデータを選びパラメータを決定
2. 推定したパラメータで全データとのコストを評価し中間値を記録
3. 1と2を繰り返し、中間値が最小のパラメータを最良とする

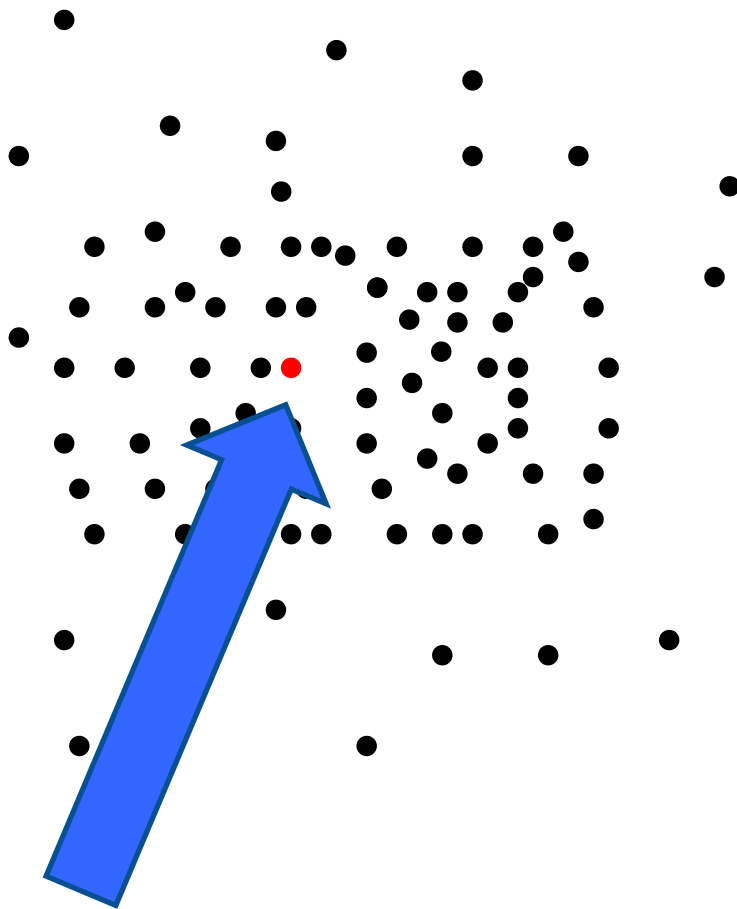


X	誤差
1	0
4	0
7	0
2	0.667
3	1.333
5	2.667
6	3.333
8	4.667
9	5.333
10	6



最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

円筒の検出方法



点群の中からランダムに点を抽出

1:初期クラスタIの生成

2:Iの中からq個点を選び、それらに対する円筒の中心線を定め、Iのすべての点の E_c を求め、その中間値を保存する

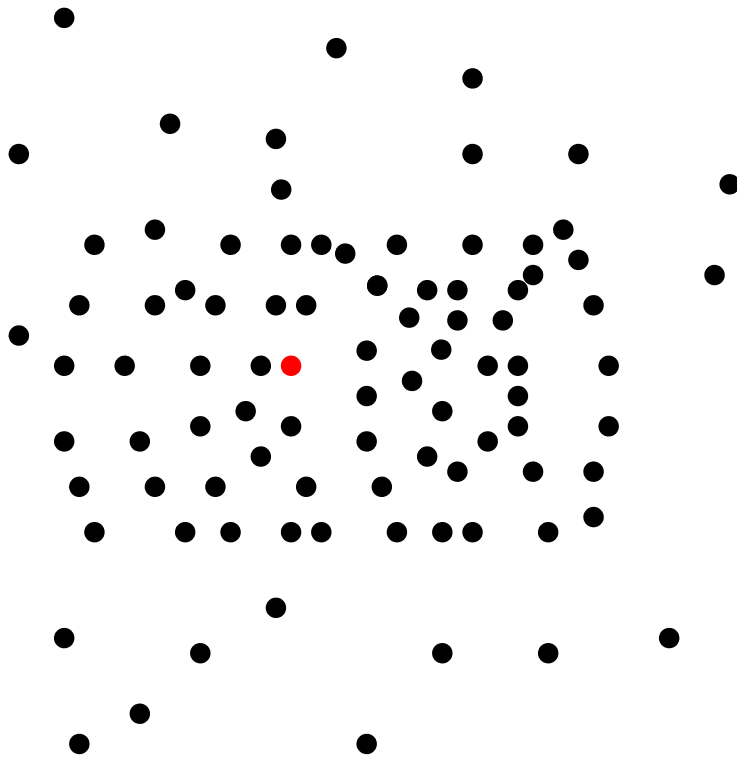
3:2をk回繰り返す、保存した中間値が最小になる中心線を選び、その中間値が閾値以上なら1からやり直す

4:選んだ中心線とまだクラスタに所属していない点群Nの各点との E_c を計算し、 E_c が閾値以下の点を円筒 C_i に入れる

全ての点群を見終わると円筒 C_i を円筒クラスタCに格納する

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

円筒の検出方法



選んだ点の一定距離以内の点を
加えて初期クラスタとする

1:初期クラスタIの生成

2:Iの中からq個点を選び、それらに
対する円筒の中心線を定め、Iの
すべての点の E_c を求め、その中間値
を保存する

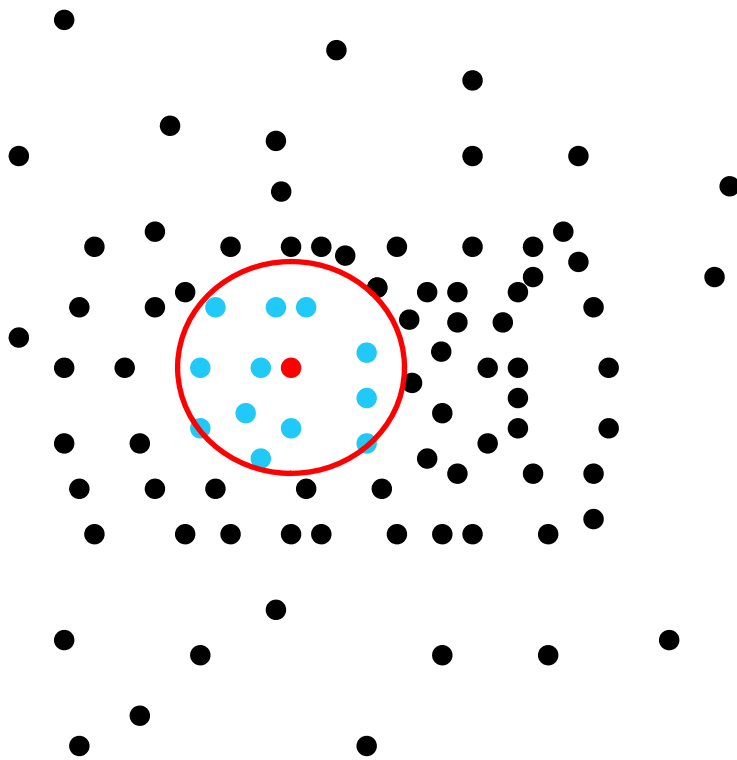
3:2をk回繰り返し、保存した中間値が
最小になる中心線を選び、その中間
値が閾値以上なら1からやり直す

4:選んだ中心線とまだクラスタに所属
していない点群Nの各点との E_c を
計算し、 E_c が閾値以下の点を円筒 C_i
に入れる

全ての点群を見終わると円筒 C_i を
円筒クラスタCに格納する

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

円筒の検出方法



選んだ点の一定距離以内の点を
加えて初期クラスタとする

1:初期クラスタIの生成

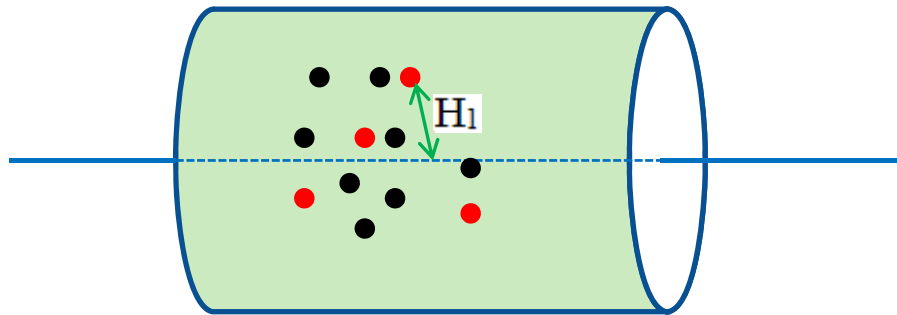
2:Iの中からq個点を選び、それらに
対する円筒の中心線を定め、Iの
すべての点の E_c を求め、その中間値
を保存する

3:2をk回繰り返す、保存した中間値が
最小になる中心線を選び、その中間
値が閾値以上なら1からやり直す

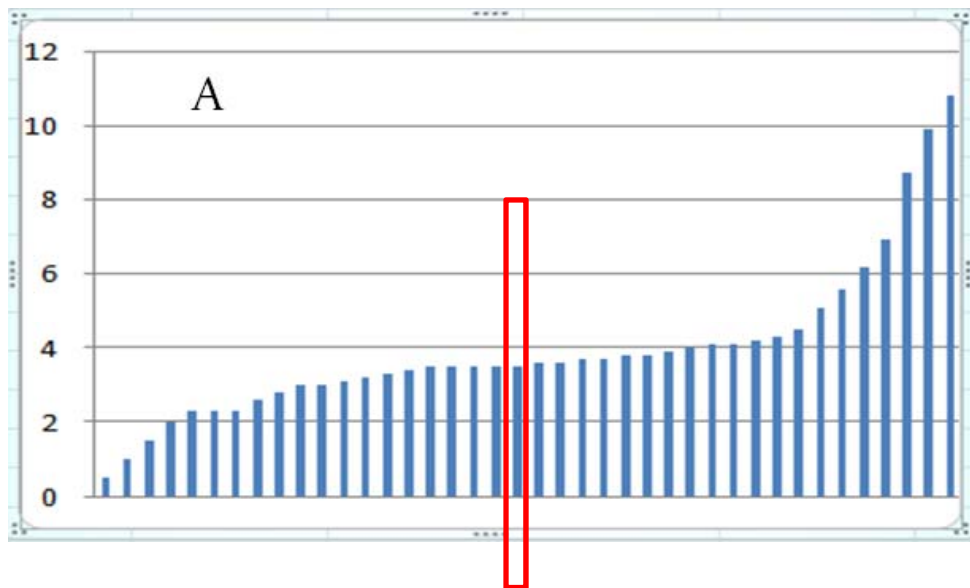
4:選んだ中心線とまだクラスタに所属
していない点群Nの各点との E_c を
計算し、 E_c が閾値以下の点を円筒 C_i
に入れる

全ての点群を見終わると円筒 C_i を
円筒クラスタCに格納する

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出



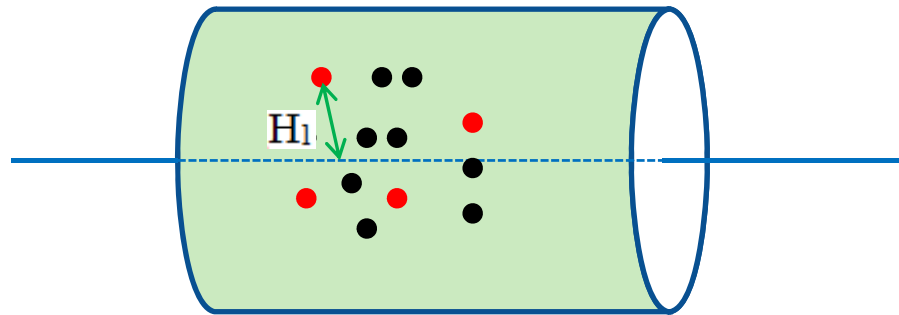
$$E_c = |H_1^2 - R^2|$$



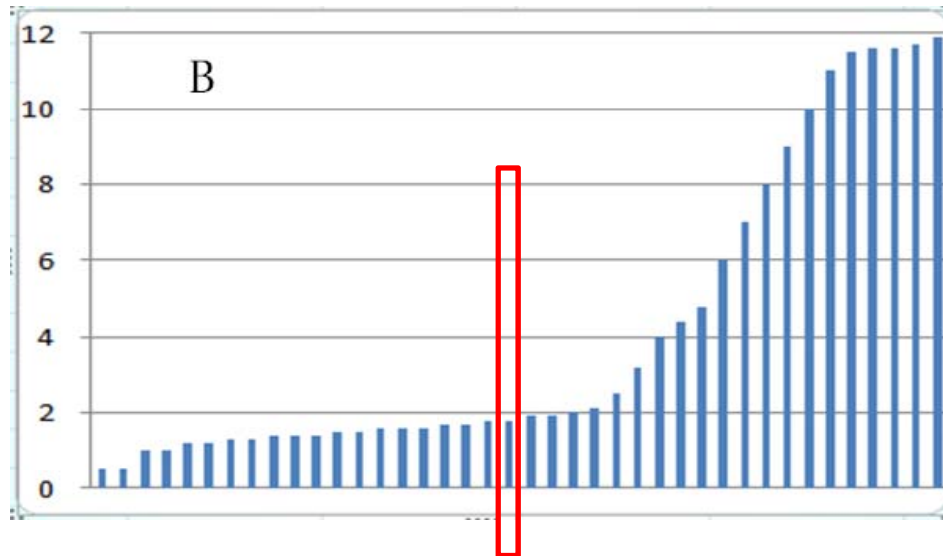
円筒の検出方法

- 1: 初期クラスタIの生成
- 2: Iの中からq個点を選び、それらに対する円筒の中心線を定め、Iのすべての点の E_c を求め、その中間値を保存する
- 3: 2をk回繰り返し、保存した中間値が最小になる中心線を選び、その中間値が閾値以上なら1からやり直す
- 4: 選んだ中心線とまだクラスタに所属していない点群Nの各点との E_c を計算し、 E_c が閾値以下の点を円筒 C_i に入れる
全ての点群を見終わると円筒 C_i を円筒クラスタCに格納する

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出



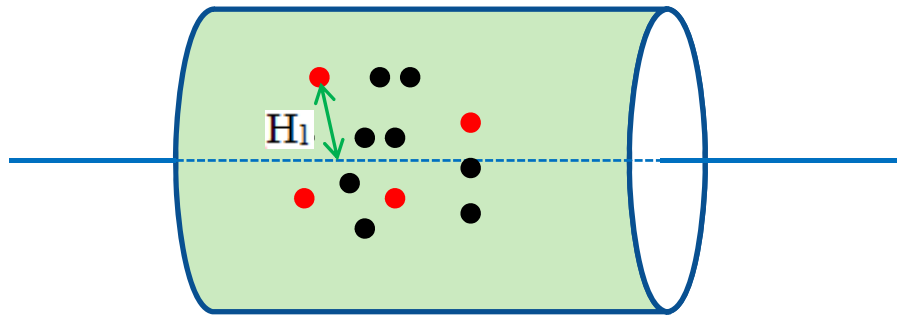
$$E_c = |H_1^2 - R^2|$$



円筒の検出方法

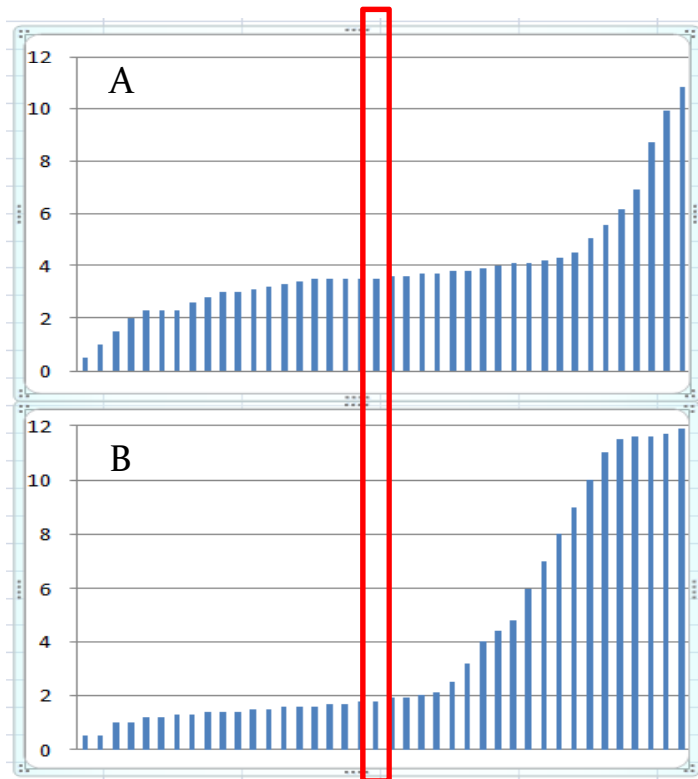
- 1:初期クラスタIの生成
- 2:Iの中からq個点を選び、それらに対する円筒の中心線を定め、Iのすべての点の E_c を求め、その中間値を保存する
- 3:2をk回繰り返す、保存した中間値が最小になる中心線を選び、その中間値が閾値以上なら1からやり直す
- 4:選んだ中心線とまだクラスタに所属していない点群Nの各点との E_c を計算し、 E_c が閾値以下の点を円筒 C_i に入れる
全ての点群を見終わると円筒 C_i を円筒クラスタCに格納する

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出



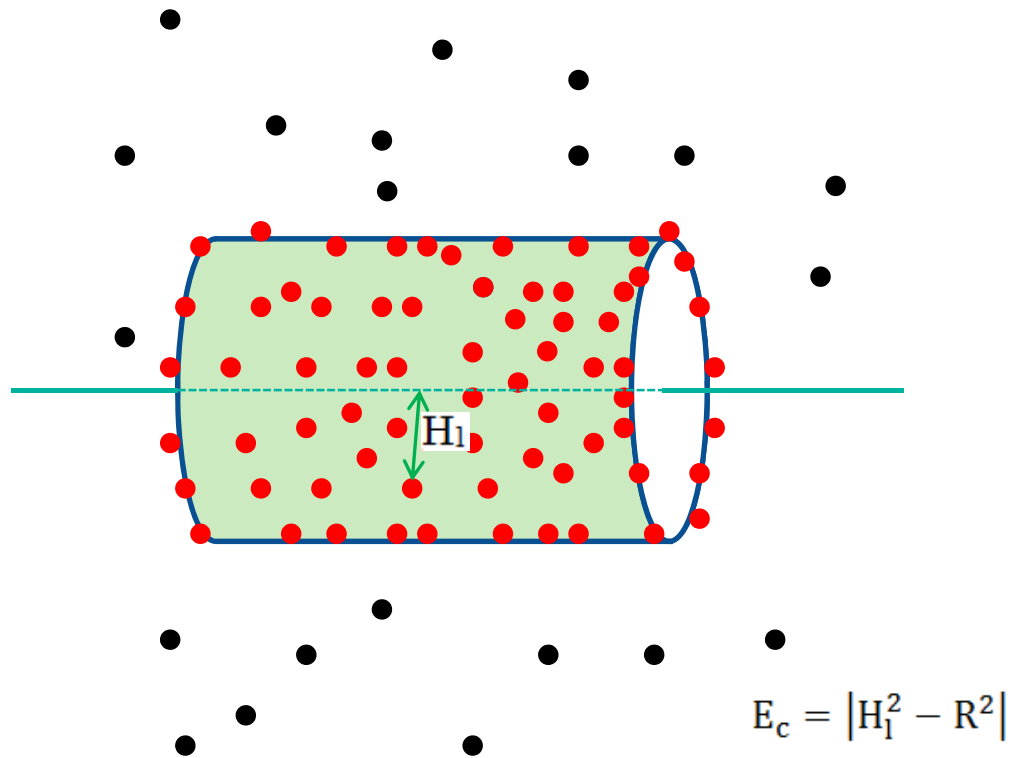
円筒の検出方法

- 1: 初期クラスタIの生成
- 2: Iの中からq個点を選び、それらに対する円筒の中心線を定め、Iのすべての点の E_c を求め、その中間値を保存する
- 3: 2をk回繰り返す、保存した中間値が最小になる中心線を選び、その中間値が閾値以上なら1からやり直す
- 4: 選んだ中心線とまだクラスタに所属していない点群Nの各点との E_c を計算し、 E_c が閾値以下の点を円筒 C_i に入れる
全ての点群を見終わると円筒 C_i を円筒クラスタCに格納する



$$E_c = |H_1^2 - R^2|$$

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出



平面でも同様にしてクラスタリングする

円筒の検出方法

- 1:初期クラスタIの生成
- 2:Iの中からq個点を選び、それらに対する円筒の中心線を定め、Iのすべての点の E_c を求め、その中間値を保存する
- 3:2をk回繰り返す、保存した中間値が最小になる中心線を選び、その中間値が閾値以上なら1からやり直す
- 4:選んだ中心線とまだクラスタに所属していない点群Nの各点との E_c を計算し、 E_c が閾値以下の点を円筒 C_i に入れる
全ての点群を見終わると円筒 C_i を円筒クラスタCに格納する

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

シミュレーションに使用した人工データ

(円筒：D=60.0、フランジR=30.0~50.0)

ノイズの標準偏差 $\sigma = 1.67 \times 10^{-1} \sim 1.00$ (約 $5.00 \times 10^{-1} \sim 3.00$ mm)

始点	X1(始点部X座標)	0.00
	Y1(始点部Y座標)	0.00
	Z1(始点部Z座標)	100
始点部の向き	A1(ベクトルのX成分)	0.00
	B1(ベクトルのY成分)	0.00
	C1(ベクトルのZ成分)	1.00
終点	X2(始点部X座標)	500
	Y2(始点部Y座標)	200
	Z2(始点部Z座標)	600
終点部の向き	A2(ベクトルのX成分)	0.00
	B2(ベクトルのY成分)	0.00
	C2(ベクトルのZ成分)	-1.00

使用したPCの性能

OS

Windows7

プロセッサ

intel(R) core(TM) i7

-4770 CPU 3.40GHz

実装メモリ

8GB

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

全てのデータに対して、閾値を変更せずにシミュレーションを行った場合

	人工データに与えるノイズの標準偏差					
	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
1回目	×	×	×	×	○	○
2回目	×	×	×	×	×	○
3回目						○
4回目						○
5回目						○

閾値

ノイズの大きさごとに閾値を設定する必要がある

	人工データに与えるノイズの標準偏差					
	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
1回目	○	○	○	○	○	○
2回目	○	○	○	○	○	○
3回目	○	○	○	○	○	○
4回目	○	○	○	○	○	○
5回目	○	○	○	○	○	○

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

X1(始点部X座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-2.45E-02	1.25E-01	-1.43E-01	2.77E-01	-1.75E-01	-1.77E-01
誤差平均	-8.88E-03	5.56E-02	-1.04E-02	1.30E-01	-7.19E-02	-1.40E-01

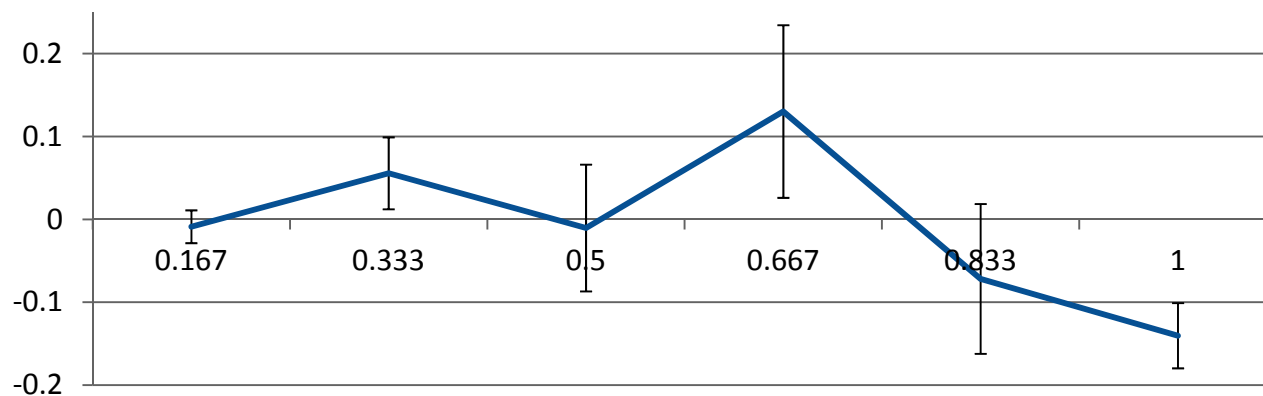
Y1(始点部Y座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-1.00E-02	-2.63E-02	1.49E-01	-2.23E-01	9.99E-02	1.86E-01
誤差平均	2.34E-03	-1.58E-02	3.62E-02	-7.49E-02	6.09E-02	8.30E-02

Z1(始点部Z座標)

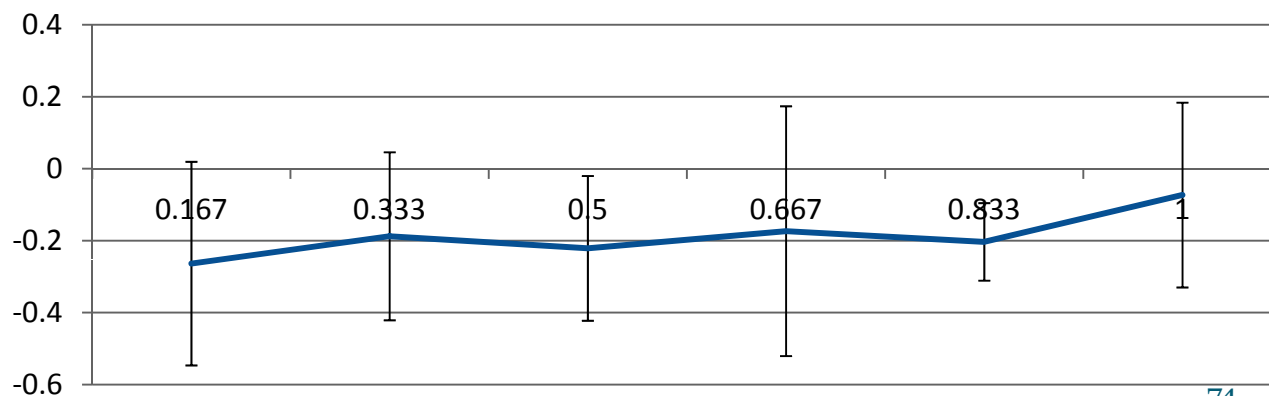
与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-6.02E-01	-5.84E-01	-5.35E-01	-6.59E-01	-3.34E-01	-3.82E-01
誤差平均	-2.64E-01	-1.88E-01	-2.21E-01	-1.74E-01	-2.03E-01	-7.32E-02

X1 (始点部X座標)
の誤差平均



ノイズが大きいほど誤差が大きくなる傾向
ただし、最小二乗法ほどその傾向は強くない

Z1 (始点部Z座標)
の誤差平均



最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

X2(終点部X座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-3.08E-02	7.33E-02	-1.28E-01	2.58E-01	-2.35E-01	-2.34E-01
誤差平均	-5.37E-03	7.89E-03	-4.24E-02	5.93E-02	-6.85E-02	-4.19E-02

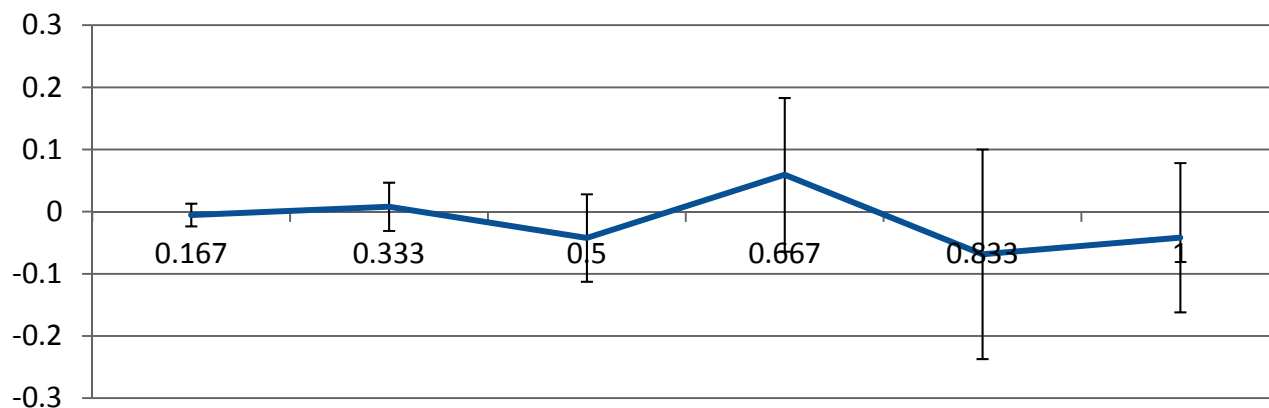
Y2(終点部Y座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	-1.95E-02	3.51E-02	5.59E-02	-4.67E-02	2.25E-01	3.63E-01
誤差平均	2.30E-03	8.67E-04	9.98E-03	-1.74E-02	7.03E-02	1.43E-01

Z2(終点部Z座標)

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
最大誤差	5.06E-02	1.42E-01	3.77E-01	9.91E-01	3.34E-01	5.98E-01
誤差平均	8.45E-03	1.50E-03	1.23E-01	-6.03E-02	8.64E-02	5.49E-02

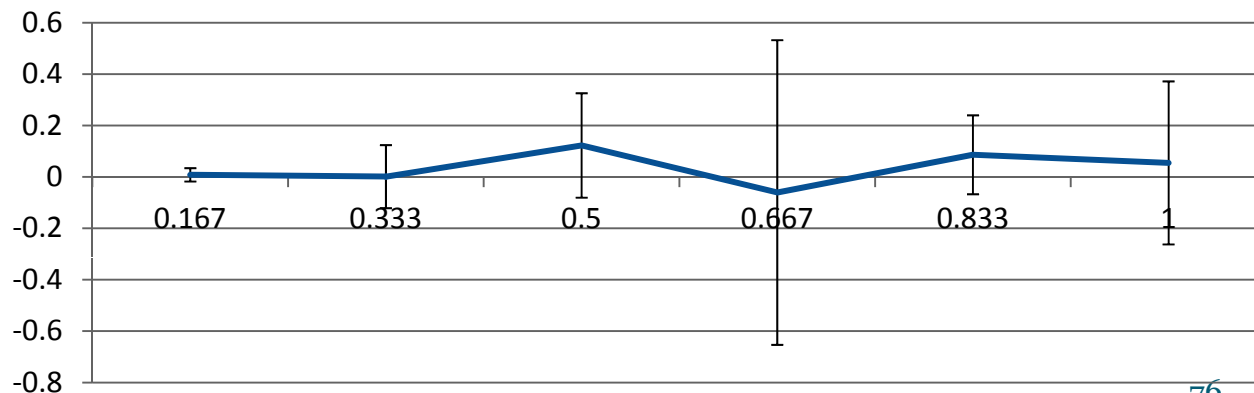
X2(終点部X座標)
の誤差平均



Y

ノイズが大きいほど誤差が大きくなる傾向
ただし、最小二乗法ほどその傾向は強くない

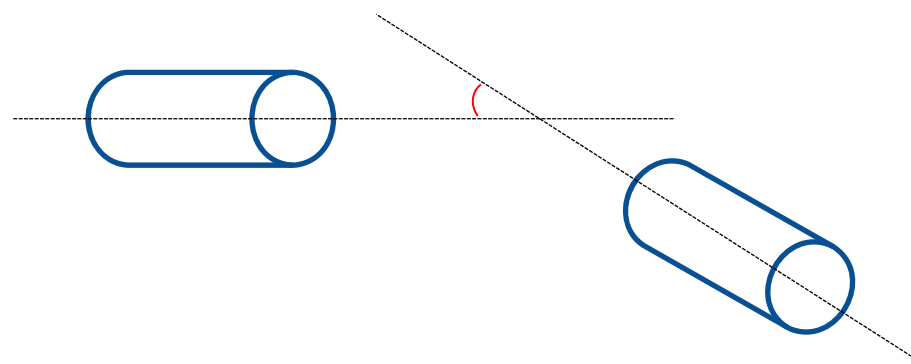
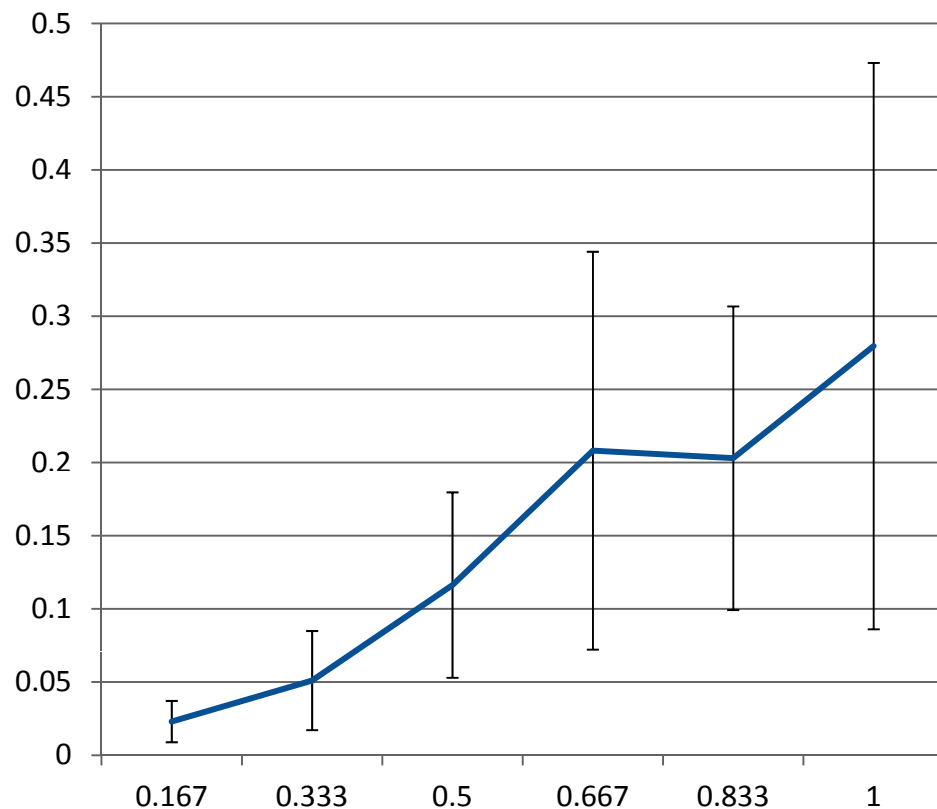
Z2(終点部Z座標)
の誤差平均



最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

中心線のベクトルがなす角度

与えるノイズの標準偏差	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1
角度の平均 (degree)	0.023035	0.05104	0.116295036	0.208137	0.202984	0.279578



ノイズが大きいほど角度が大きくなる傾向

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

実際にレーザースキャナで取ったデータで
円筒・平面が検出できるかどうかを実験

データはkinectを使用して取得



使用したデータは最小二乗法で使用したデータと同じもの

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

使用したデータは最小二乗法で取得したもの

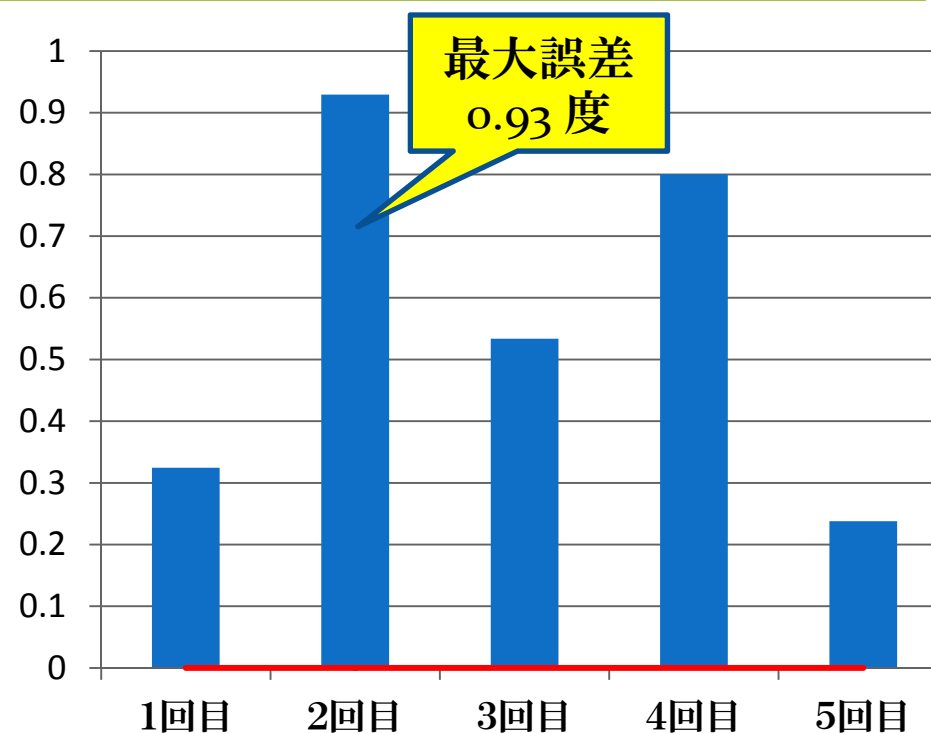
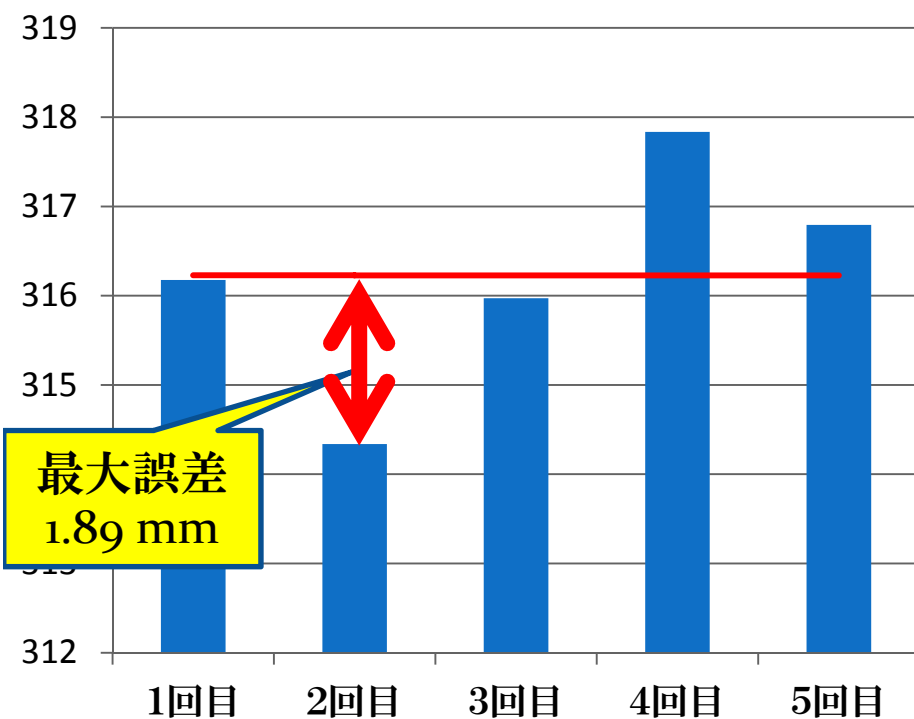
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
成否	○	○	○	○	○

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
計算時間	17m48s	6m51s	8m22s	8m01s	8m34s

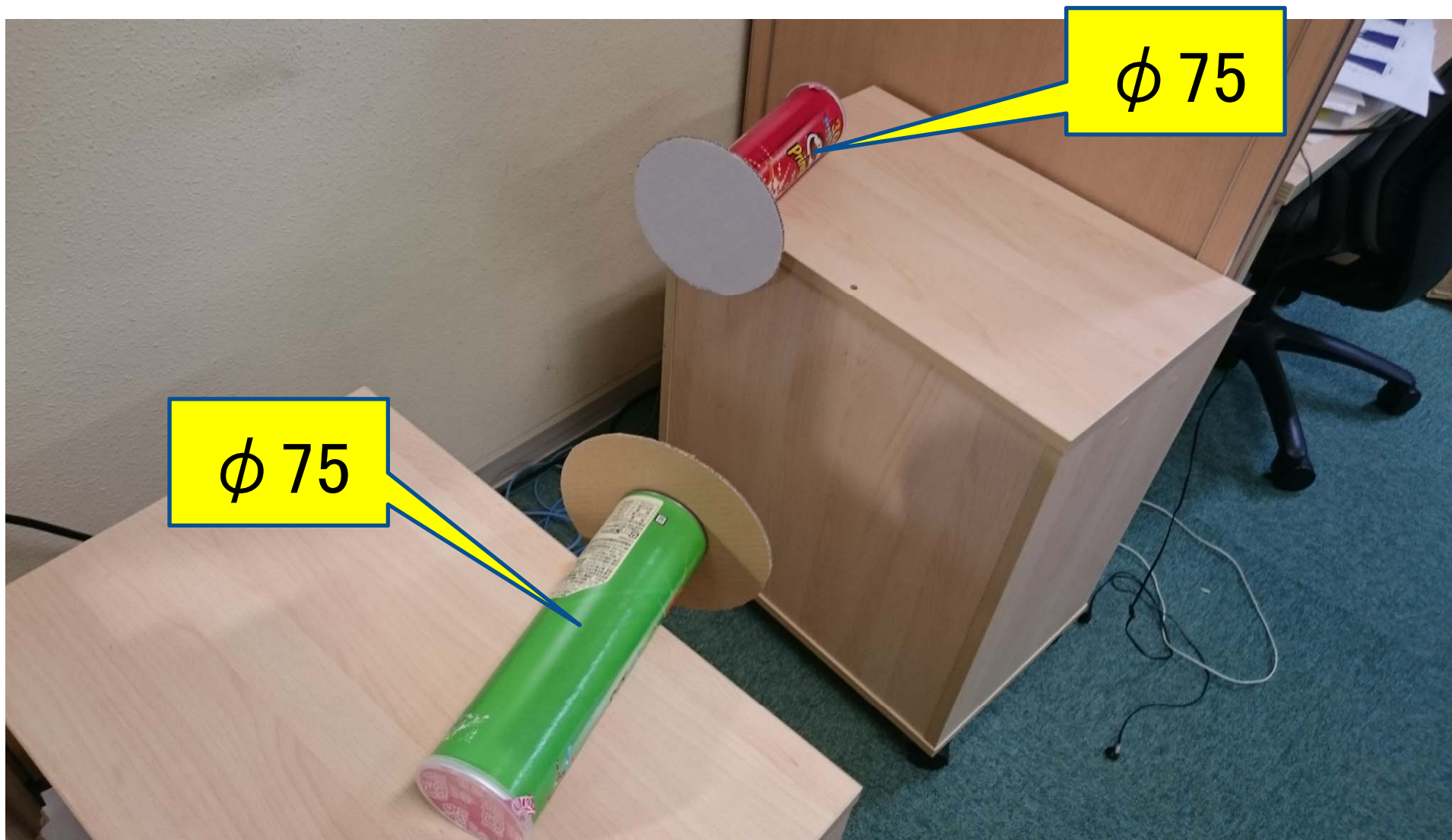
全て検出成功

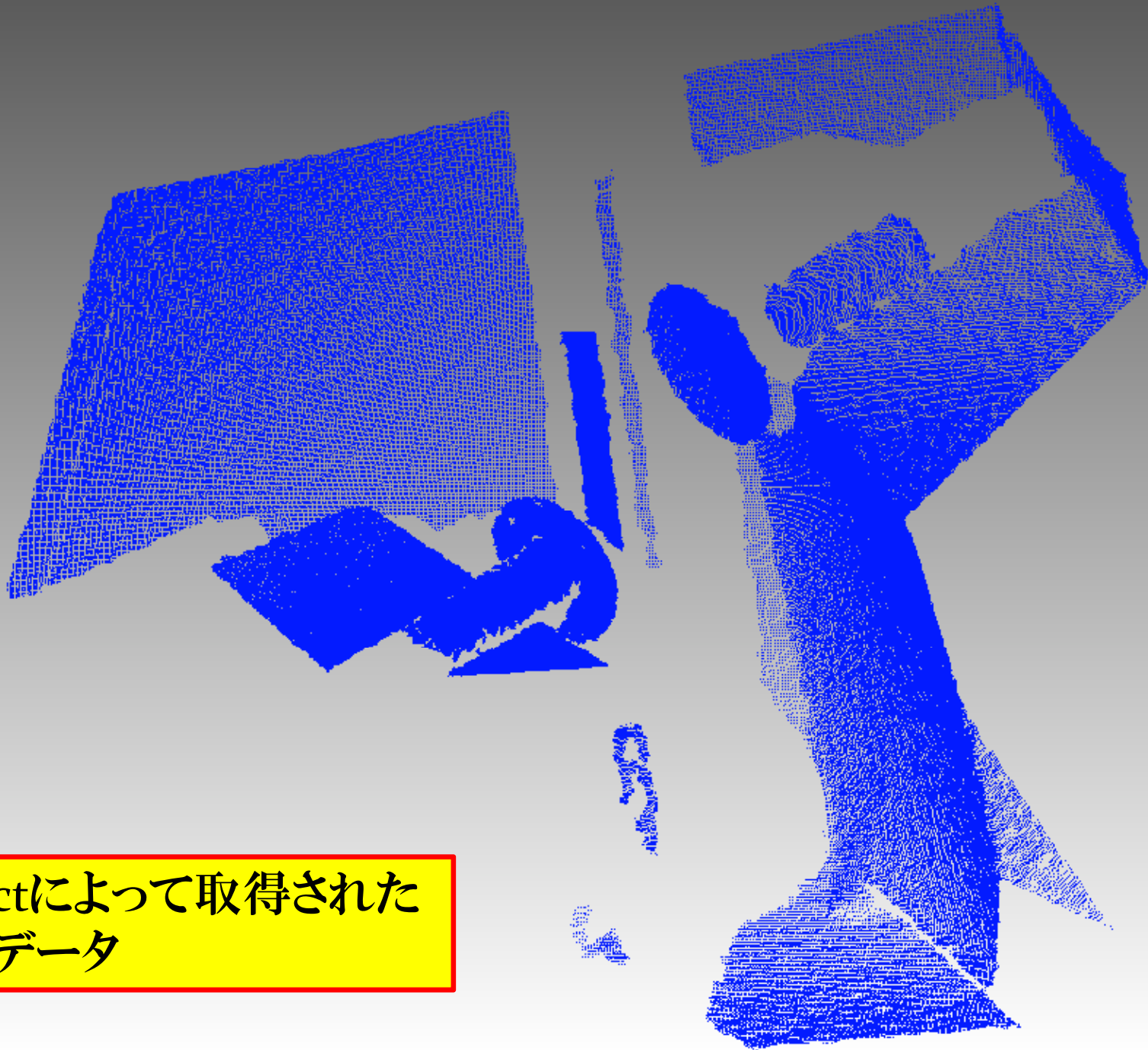
最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
現場合わせ管の距離 [mm]	316.1754	314.3376	315.9719	317.8356	316.7923	316.2226
中心線のベクトルが なす角度[°]	0.324452	0.929328	0.53372	0.800244	0.237769	0.565103



最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

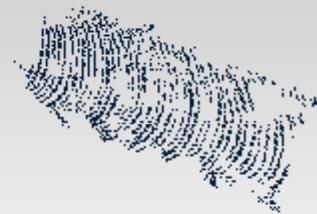
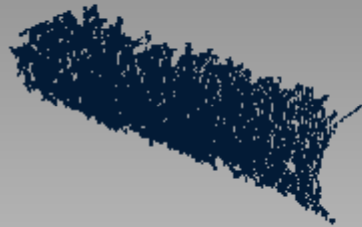




Kinectによって取得された
点群データ

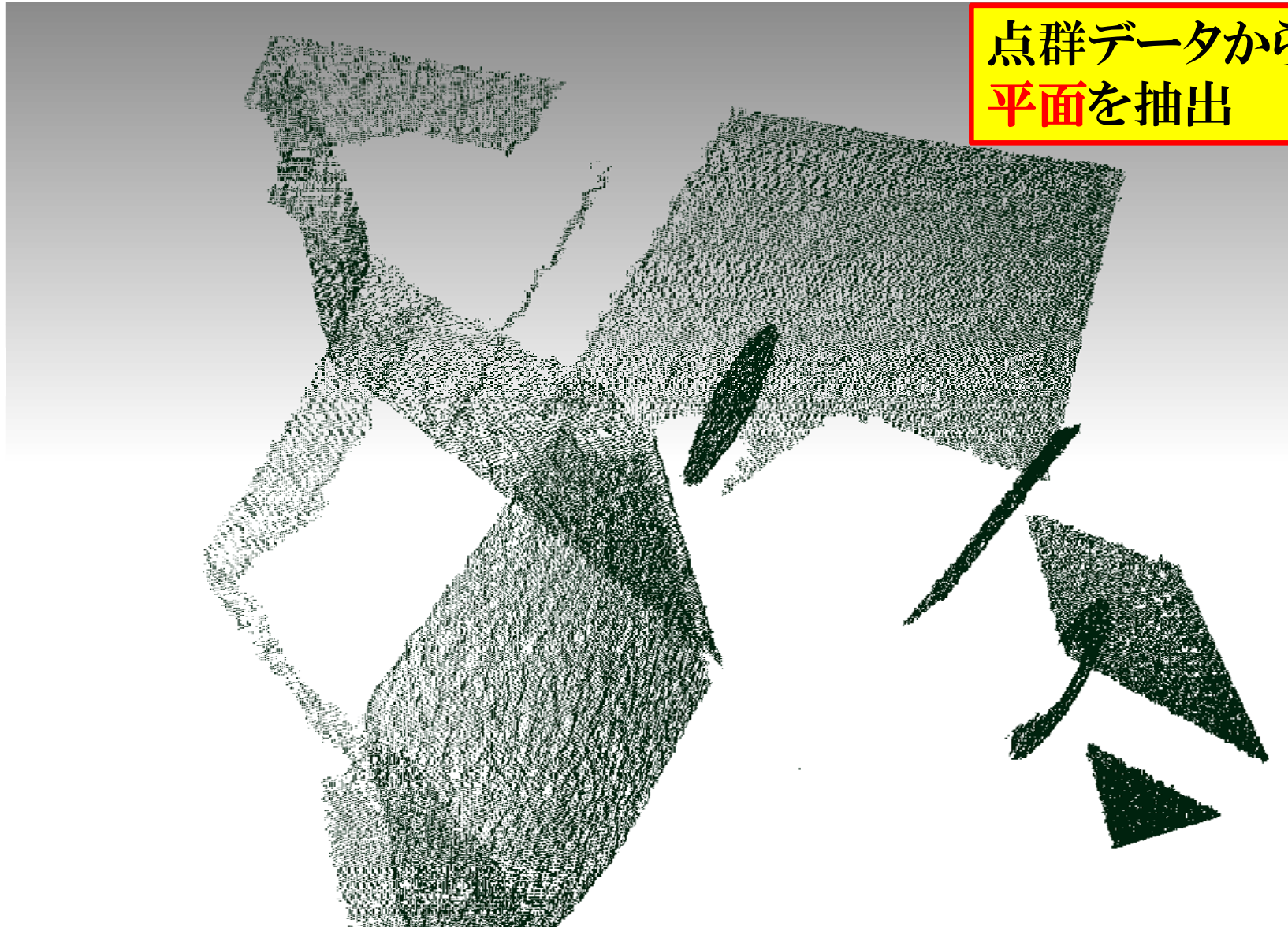
最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

点群データから
直径75の円筒面を抽出



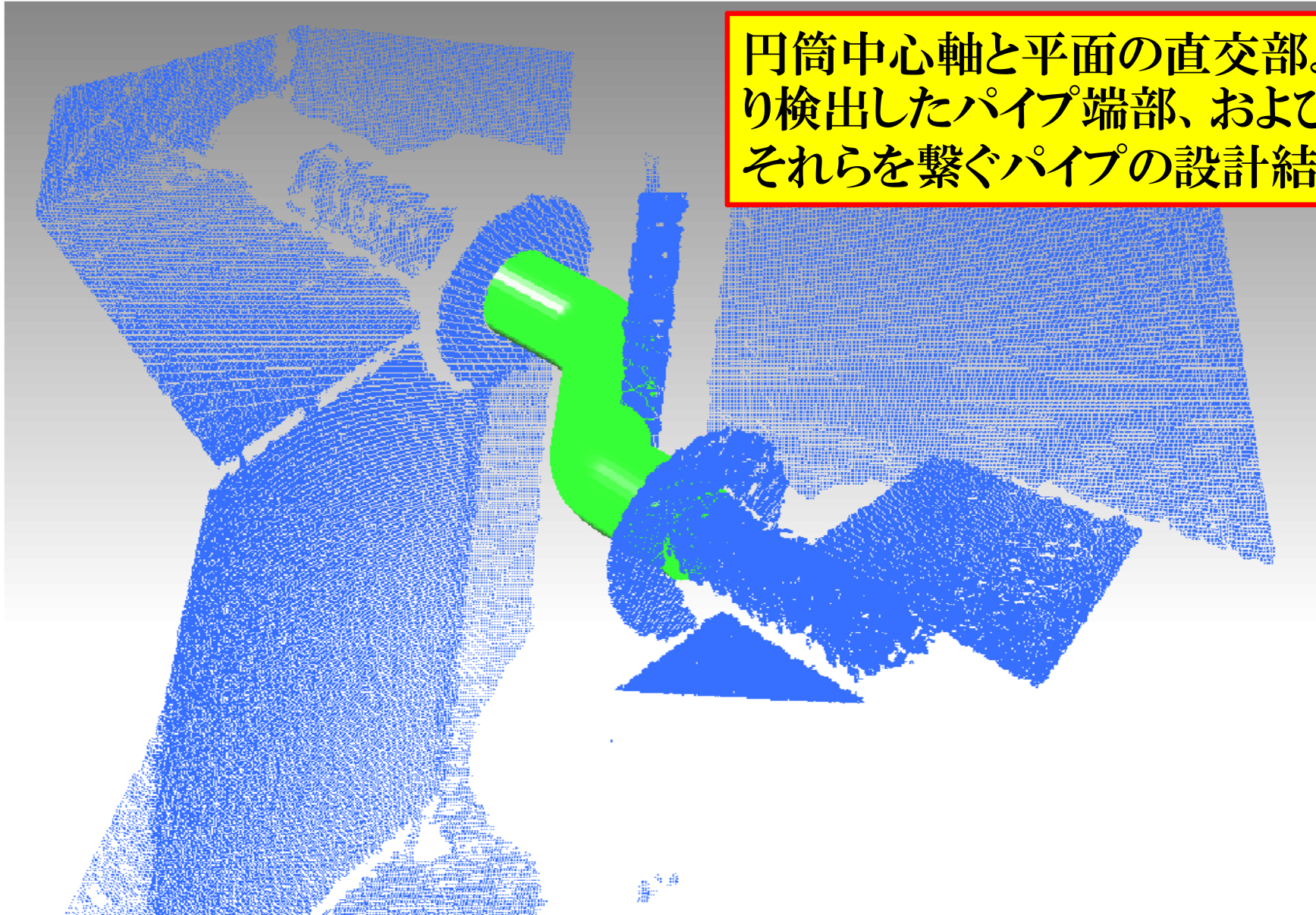
最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

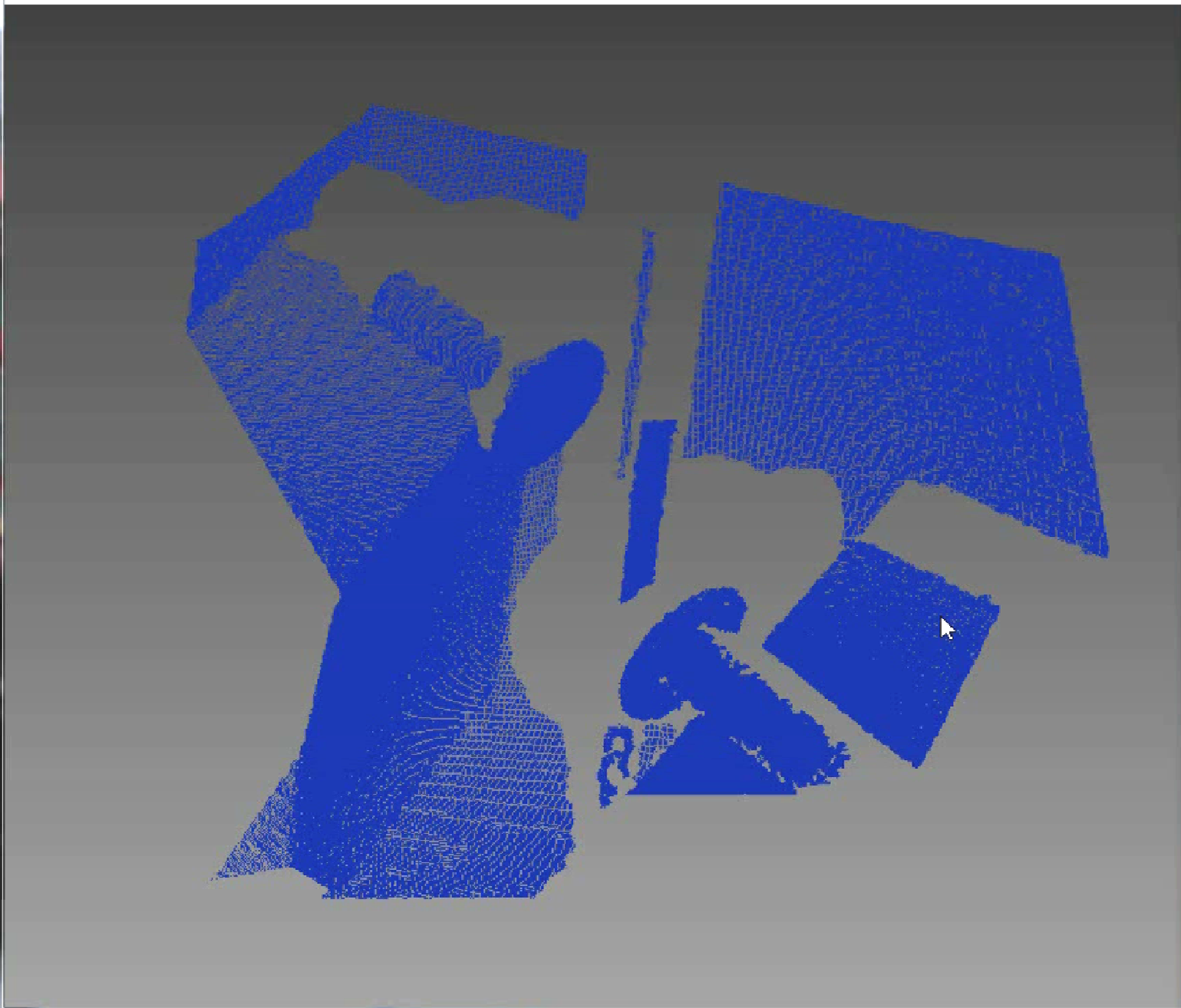
点群データから
平面を抽出



最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

円筒中心軸と平面の直交部より検出したパイプ端部、およびそれらを繋ぐパイプの設計結果





停止

干渉回避終了

直角曲げ2個 直角曲げ3個

Obstacle

Pipe

a : c = 1:1.0



a : b = 1:3.0



曲げ半径(k)C = 1.0



0 1 2 3

曲げ半径(k)D = 1.0



0 1 2 3

視点リセット

初期値

本発表の概要

1.背景と目的

2.現場合わせ管の位置・向き検出法の提案

アプローチ

最小二乗法を用いた円筒・平面の検出

検出された円筒の統合

パイプの位置・向きの算出

人工データの生成

最小二乗法を用いたシミュレーション結果

最小メジアン法を用いた円筒・平面の検出

最小メジアン法を用いたシミュレーション結果

3.研究成果と今後の課題

研究成果と今後の課題

研究成果

- 点群データを取得する3Dスキャナごとのノイズの大きさに応じた閾値の設定が必要
- Kinectで取得した点群からフランジ付きのパイプを模した円筒を検出した
- 検出したフランジ付きパイプから位置・向き情報を取得した
- 316. 2278mmの距離で置いていた二つの円筒を最大で誤差1.9mm、向きのずれ 0.93° 以下で検出した。また平均化することで0.01mmの位置精度に抑えることができた。

φ75パイプ距離300程度をキネクトで1M離れた場所から3~4秒(100回)計測することで誤差0.2mm以下で計測可能

研究成果と今後の課題

今後の課題

- レジストレーションを用いた、様々な角度からデータを取得した点群の取り扱い
- フランジ穴の検出
- 円筒の向きに関する精度の向上
- パイプが床を貫通している場合は床をフランジと判定する恐れがあるためその改善