

3次元計測と

モデリング技術の最新動向

3次元計測に基づく生産設備の3Dモデル生成

東京大学大学院工学系研究科

増田 宏

大型設備の3次元計測

- 目的
 - メンテナンス, 改修
 - 災害時の修復検討.
 - 生産ライン・シミュレーション
- デジタルシミュレーション
 - 作業場所の制約
 - 海外プラントや海上プラント
 - 精度のよいプランニング
 - 設備や生産ラインの干渉
 - 作業手順の手戻り

設備計測に基づく3Dモデリング

写真測量 複数写真からの3次元情報の取得

長所: 測りたい箇所が確実に計測できる。

短所: 画像認識が必要なため、モデリングの自動化が難しい。
定型的でない形状のモデリングは難しい。

点群計測 レーザースキャナで点群データを取得

長所: 物体表面の3次元座標が直接得られる。

短時間で膨大な計測点を得られる。

短所: 自動化ツールが未熟（現状は人手がかかる）。
計測の確認が簡単にできない。

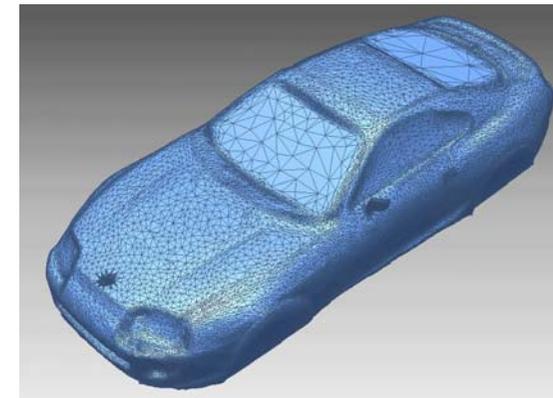
3Dデータ作成の目的

- 大型設備のモデリング
 - 既存ツール
 - 3DCAD, モデルベースシミュレーション
 - 3次元計測の目的
 - 現物と3次元CADへの橋渡しをする
 - 要求
 - 入力: 3次元座標を持った点群
 - 出力: CADモデル (既存3D CADへの入力)
- 文化財のモデリング
 - 3次元計測の目的
 - 現状の記録, デジタルアーカイブ
 - 要求
 - 出力: メッシュモデル, 点群

3D CADモデル

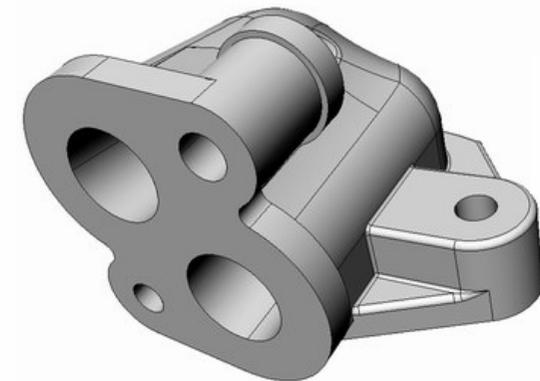
- ポリゴンモデル

- 小さい多角形の集まりで形状を表現. 三角形と四角形がよく用いられる.



- 曲面モデル

- 曲面パッチを張り合わせて作られる.
 - 曲面={円柱, 円錐, 球面, ..., 自由曲面}



※点群処理では, まずポリゴンモデルが作成され, 次に曲面モデルに変換される.

典型的なモデル生成の手順

- データ計測
 - 3次元の点群を得る.
 - 異常値除去を行う.
- メッシュモデルの生成
 - 点群をメッシュモデルに変換する.
- スムージング
 - ノイズの多いメッシュを滑らかにする.
- セグメンテーション
 - 点群のグループ分け.
- 曲面当てはめ
 - 円筒, 円錐などの方程式を算出.
- 曲面モデルの生成
 - CAD システムで読み込める形式に変換

点群の計測方法

- 三角測量

- 計測距離: 最大2.5m
- 計測点数: 数十～数百万点 (総計)
- 計測精度: **0.2 mm at 1m**

- 位相差方式

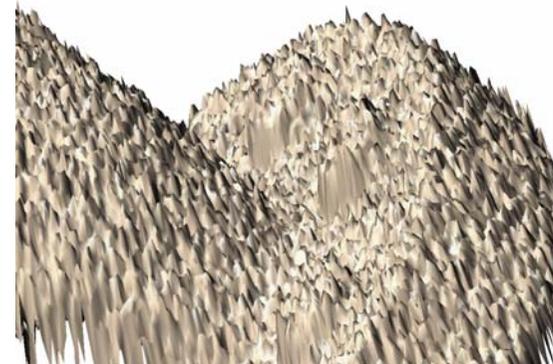
- 計測距離: 最大79m
- 計測点数: **50万点/秒**
- 計測精度: 2~3mm at 25m

- Time-of-Flight

- 計測距離: **最大300m**
- 計測点数: 5万点/秒
- 計測精度: 4mm

● 誤差と異常値

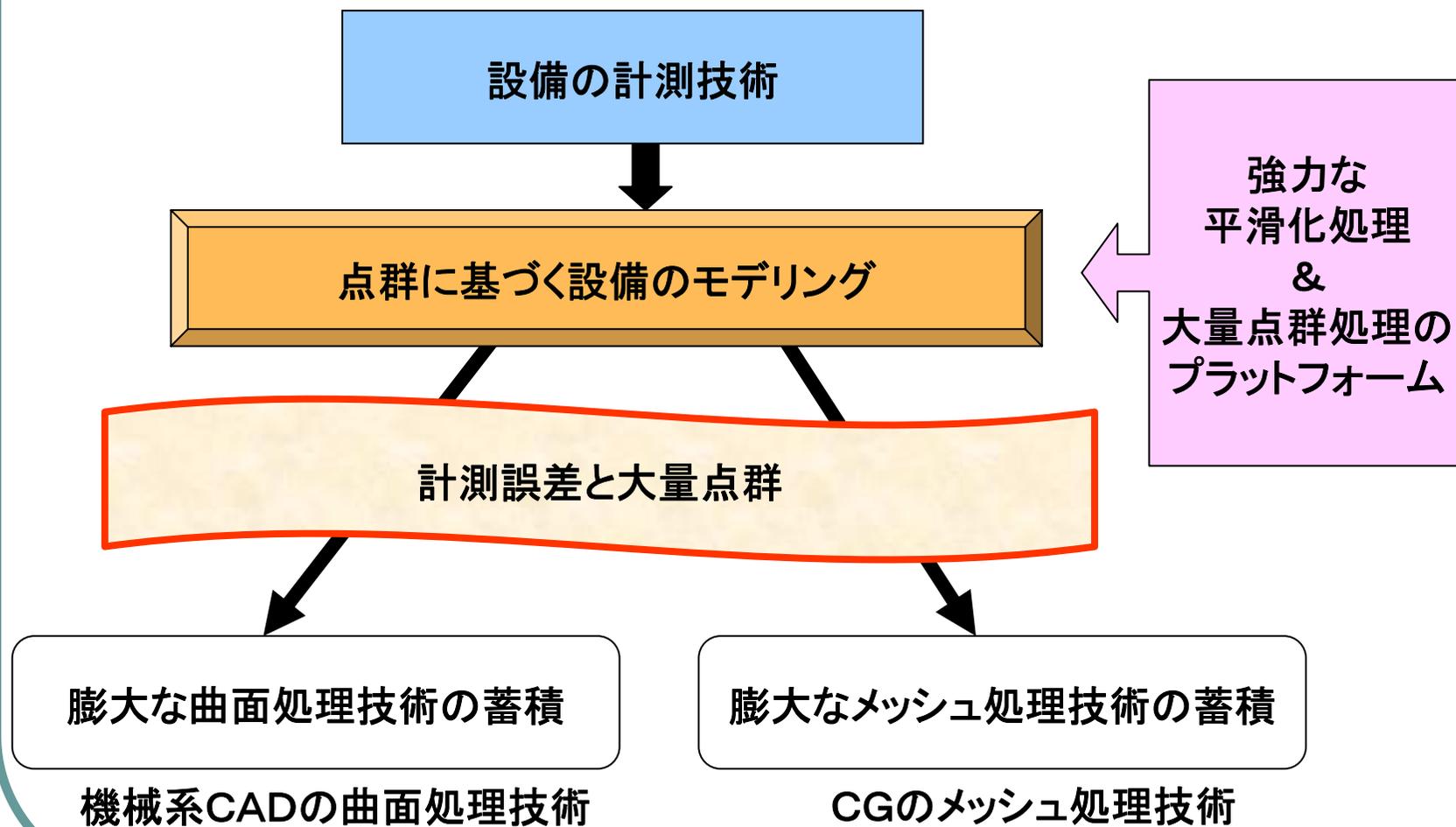
- 位相差方式の計測データは，誤差が大きい.
⇒ 微分できない.
曲面当てはめの誤差が大きい



● 大規模点群

- 機械系CADでは，高精度の点群が数十万点程度のことが多い.
- 設備モデリングでは，数千万点～数億点
 - 大きなメモリが必要.
 - 計算コストが大きい.

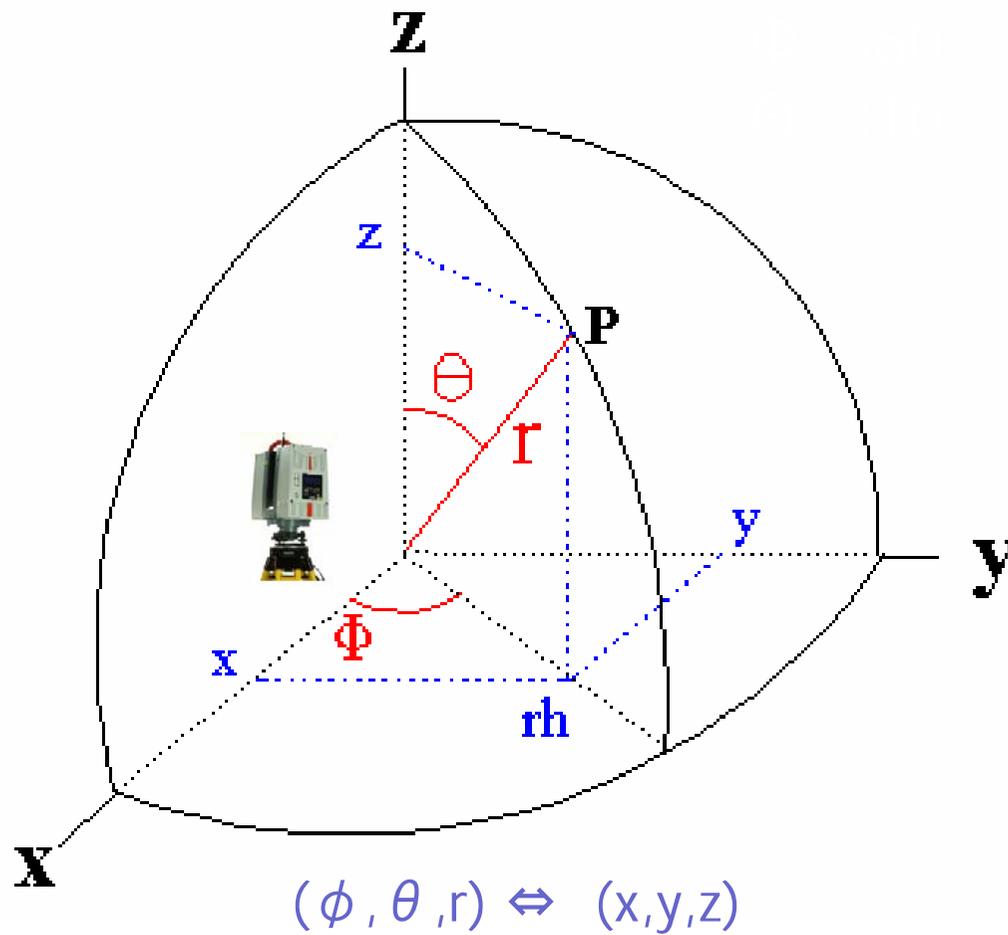
大規模設備の3Dモデリング



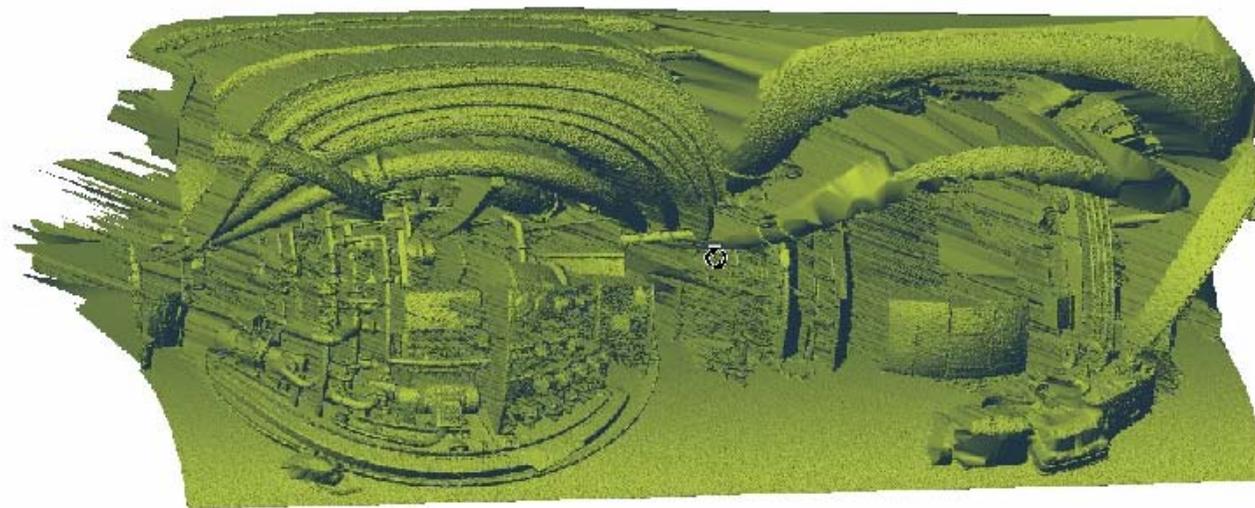
大規模点群処理

- メッシュ生成
- 平滑化
- ストリーミング処理

点群からのメッシュ生成

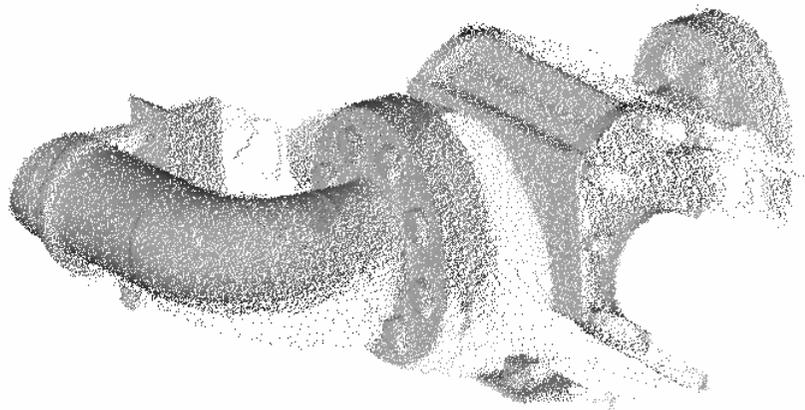


距離画像と3Dモデル

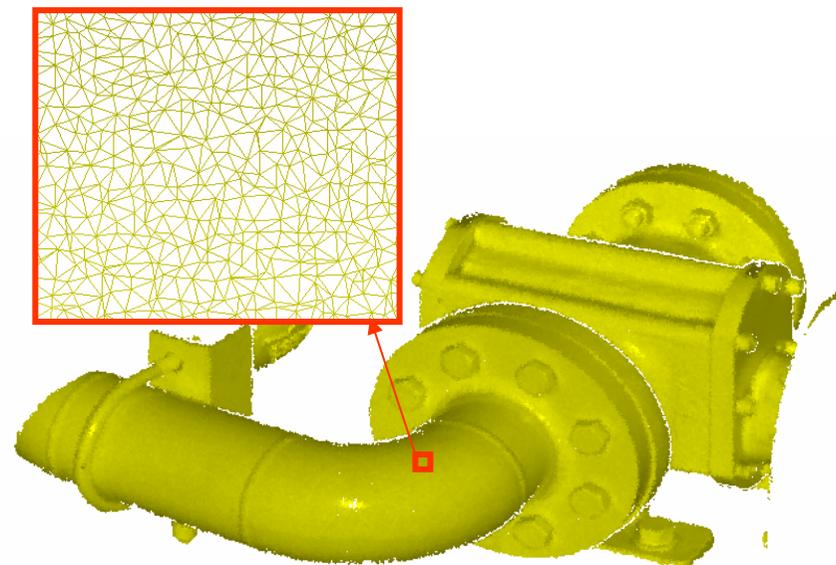


点群からのメッシュ生成

- 計測点を ϕ - θ 平面上でメッシュ生成



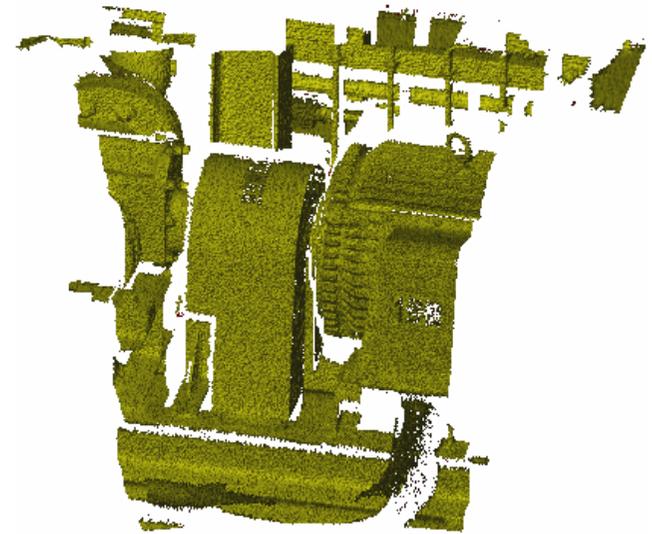
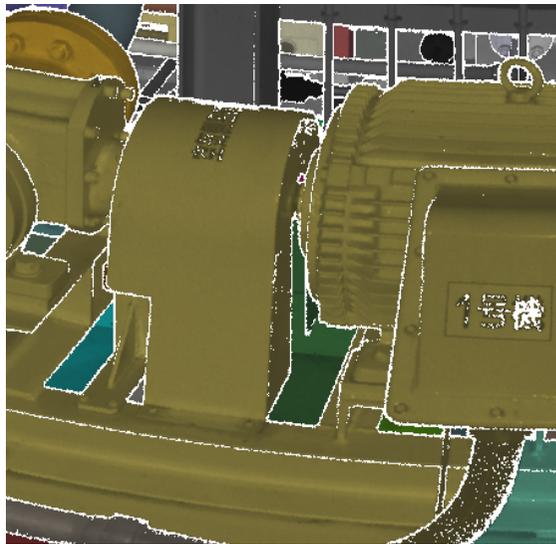
点群データ: (X, Y, Z) 座標



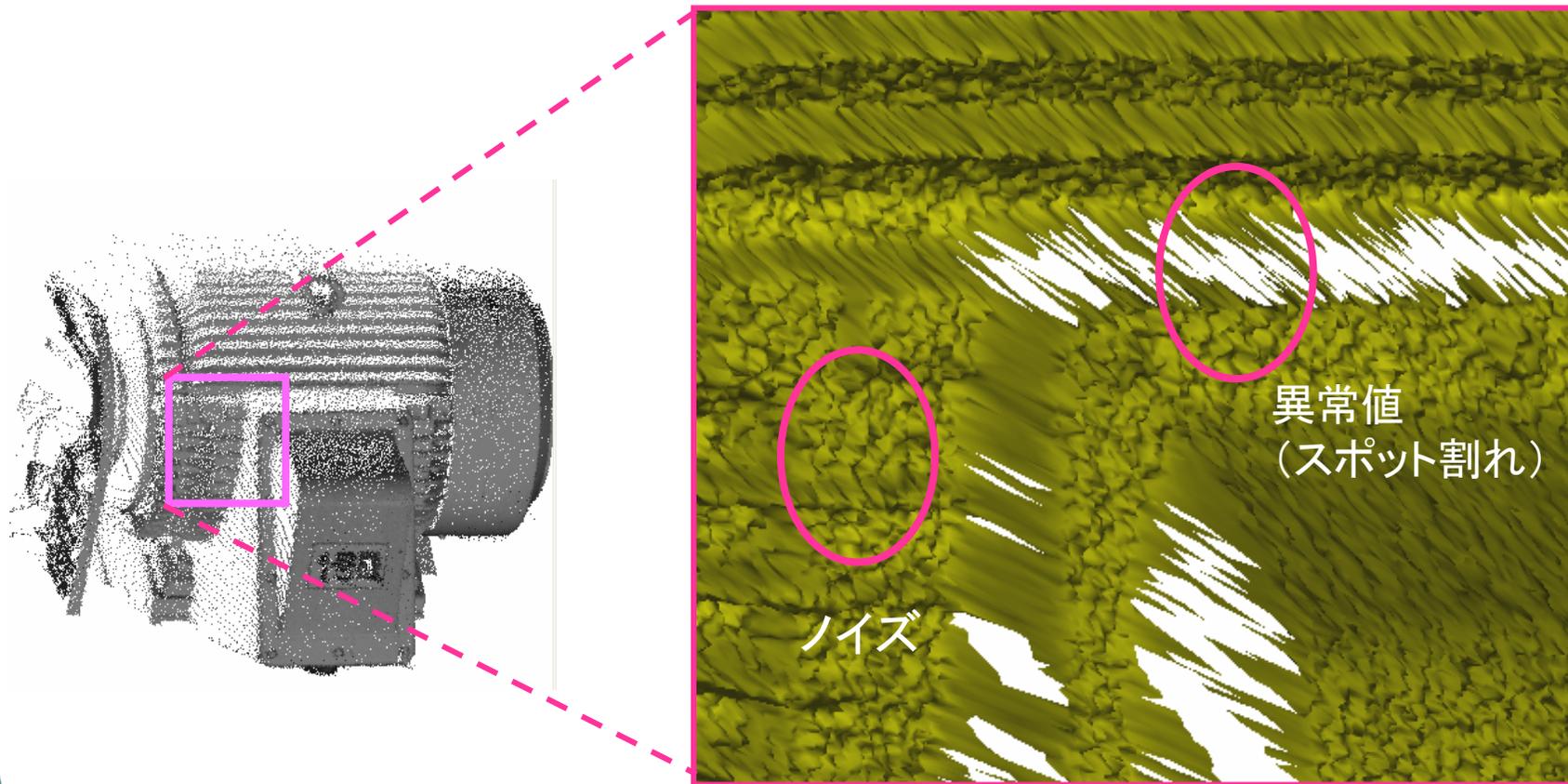
メッシュデータ: (ϕ, θ) 座標

点群からのメッシュ生成

- $(\phi, \theta) \Rightarrow 2Dメッシュ \Rightarrow (X, Y, Z)$



ノイズと異常値



点群の平滑化手法

- 誤差の大きい点群から元の曲面ができるだけ忠実に再現できるように平滑化を行う。
- 移動最小二乗法
 - 典型的な点群の平滑化
点群処理で最も広く用いられている
- 問題
 - 「移動最小二乗法は有効か？」

移動最小二乗法による点群平滑化

- 測定点の補正 (Levin らの方法)

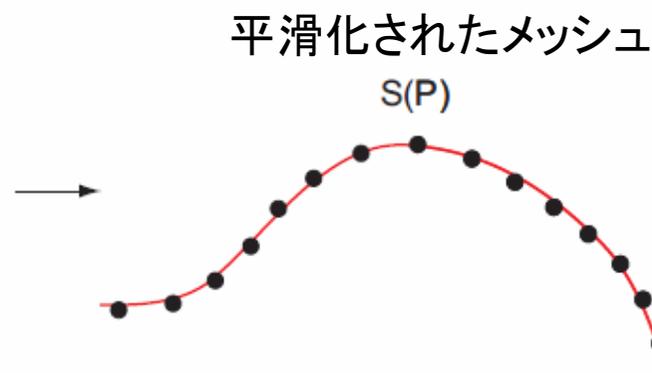
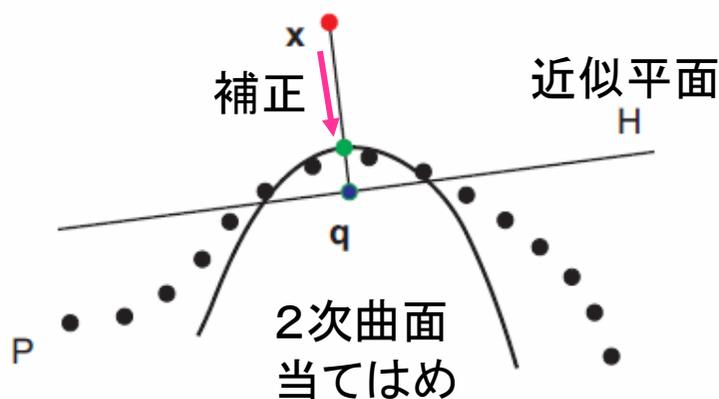
- 点xの近傍点から近似平面Hを算出

→ 中心点qの算出

- 近傍点を平面上に投影
- 2次曲面 $S(u,v)=0$ を算出
- 点xを2次曲面上に投影

$$\sum_i s(u_i, v_i)^2 \phi(\|p_i - q\|) \rightarrow \min$$

$$\phi(\|p_i - q\|) = e^{-\frac{\|p_i - q\|^2}{h^2}}$$



移動最小二乗法の適用

元データ



平滑化データ



移動最小二乗法の問題点

- ノイズの除去が不十分
- 角が欠落する



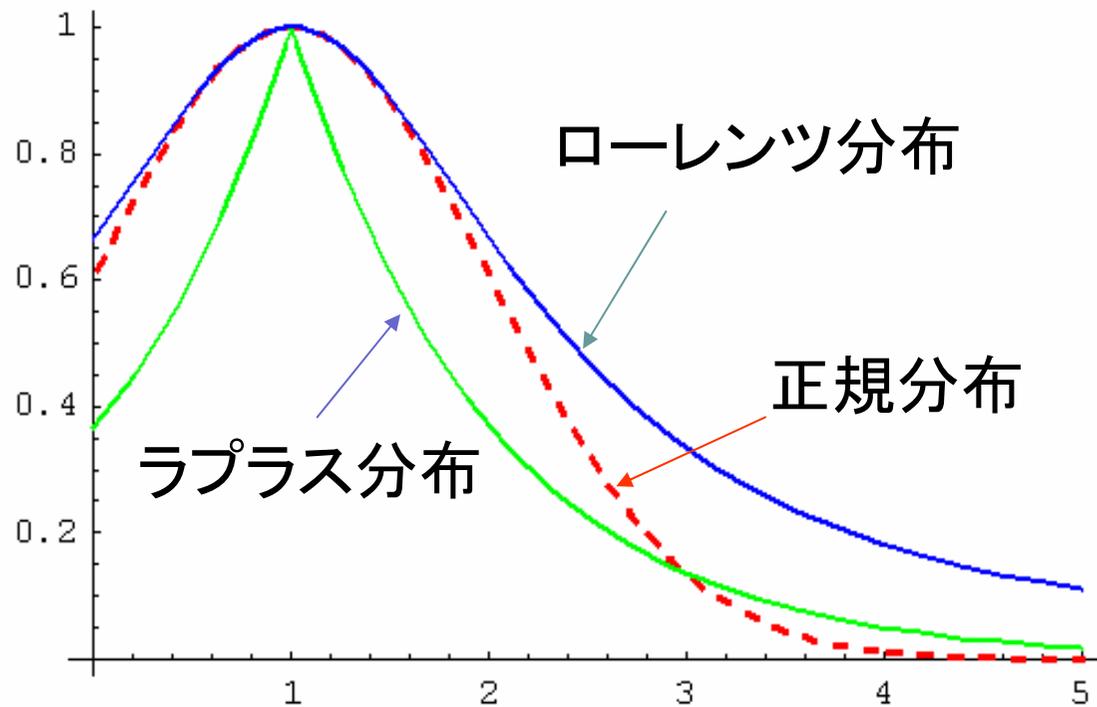
平滑化と曲面推定

- 平滑化
 - 誤差を持った計測値から、本来あるべき値を推定する.
- 推定法
 - 誤差がある統計モデルに従うと仮定.
 - 計測値を最も高い確率で生起させる曲面を計算する

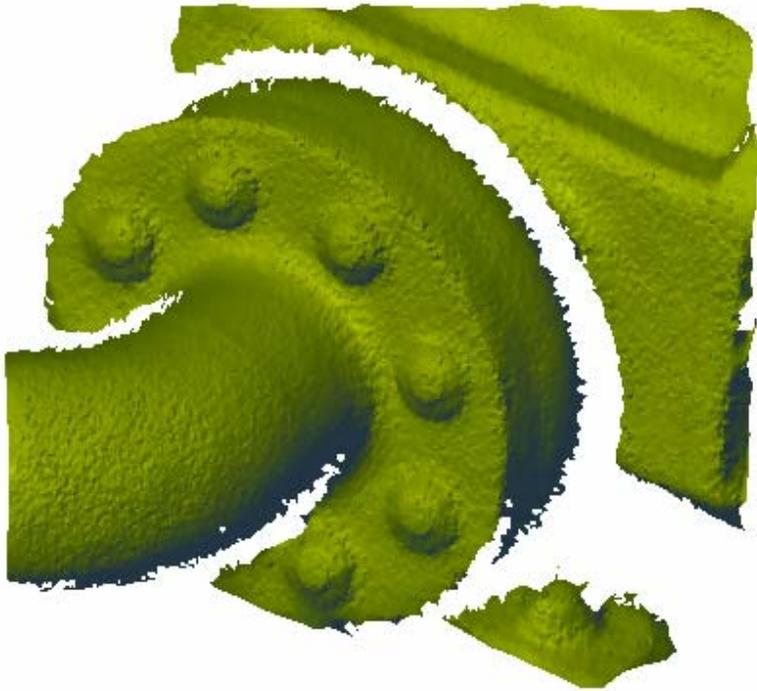
曲面推定

- 確率計算
 - 誤差が正規分布に従うならば, 最小二乗法の解は, 最尤推定の結果と一致する.
- 計測値の誤差は正規分布に従うのか?
 - 従わないならば, 移動最小二乗法は, 必ずしもよい結果とならない.

よく知られた誤差分布のモデル



誤差分布モデルに応じた平滑化



正規分布を仮定



ローレンツ分布を仮定

誤差分布モデルに応じた平滑化



正規分布を仮定



ローレンツ分布を仮定

大規模データの処理

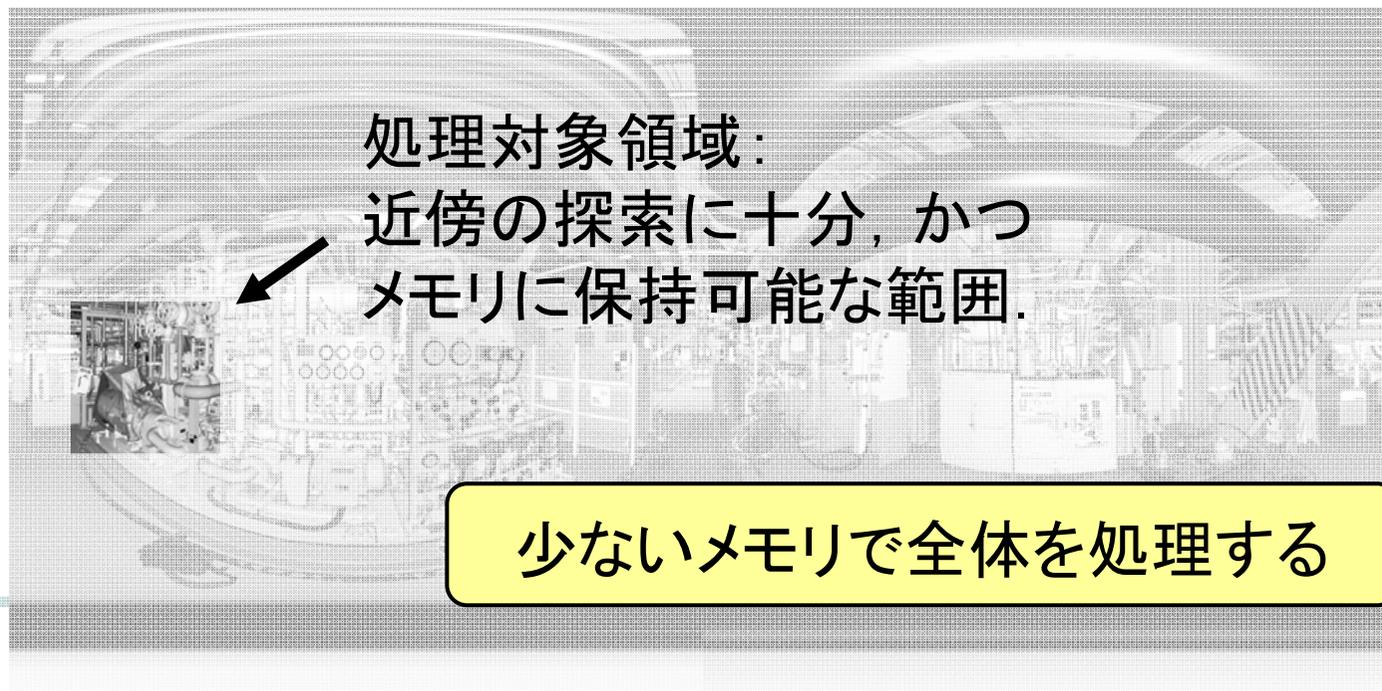


全体を一括して処理できない。
計算コスト、メモリ容量の制約

全体を64分割しても
100万頂点弱。

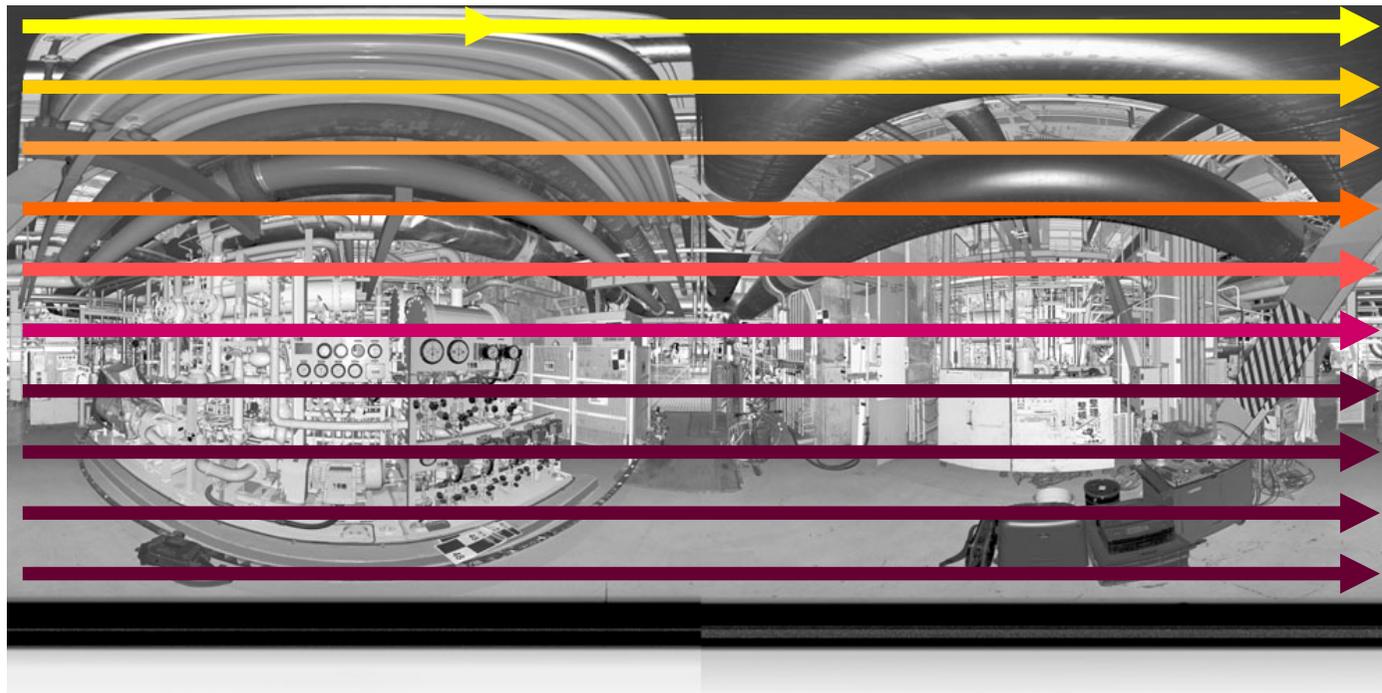
ストリーミング処理

- 限られた空間のみをメモリに保持.
- HDDをランダムアクセスしない.
- データは掛け流し方式.

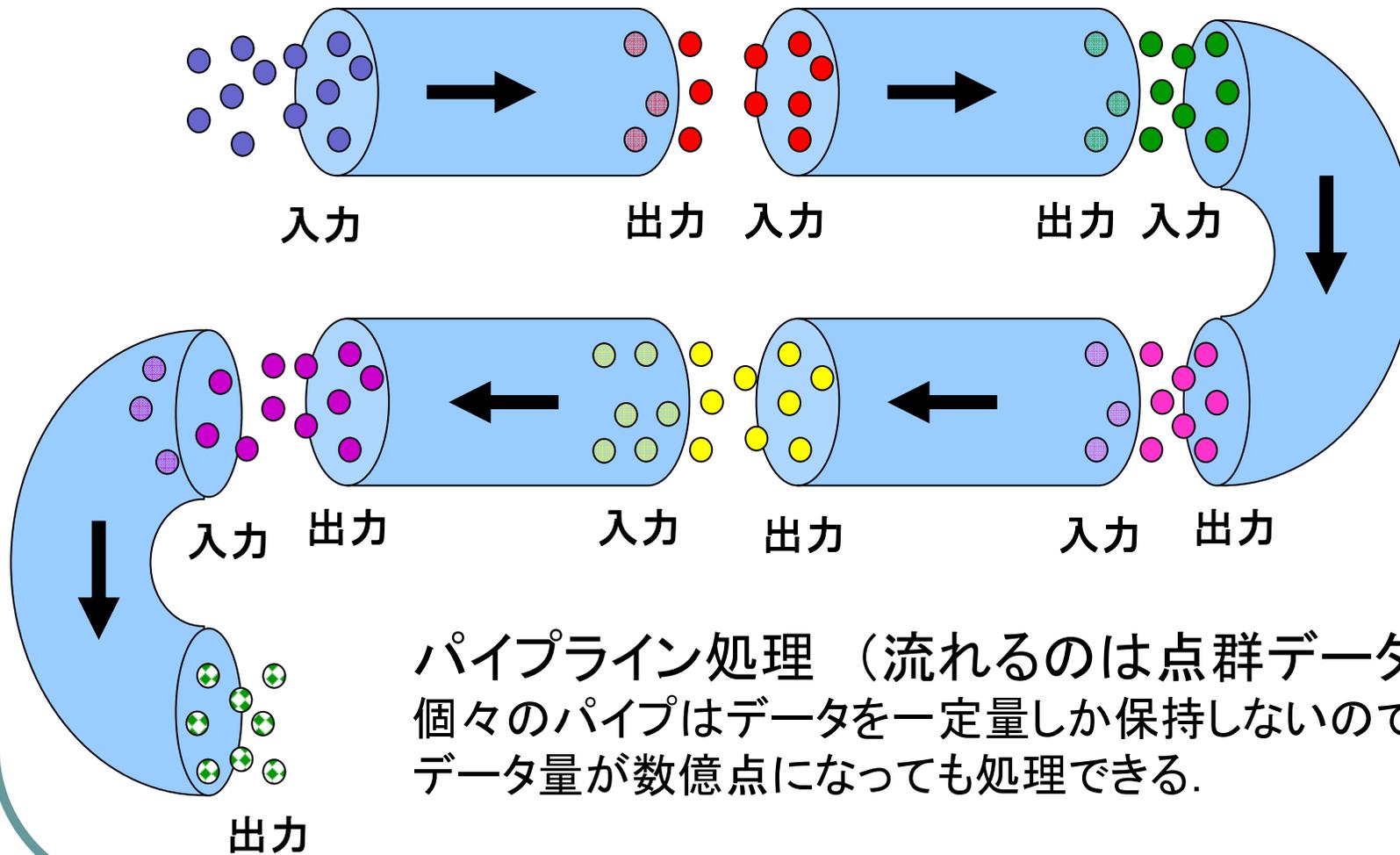


データの性質

- 測定機器の計測順序により、データの並び順が空間的な近接性と関連を持っている



ストリーミング処理



ストリーミング処理

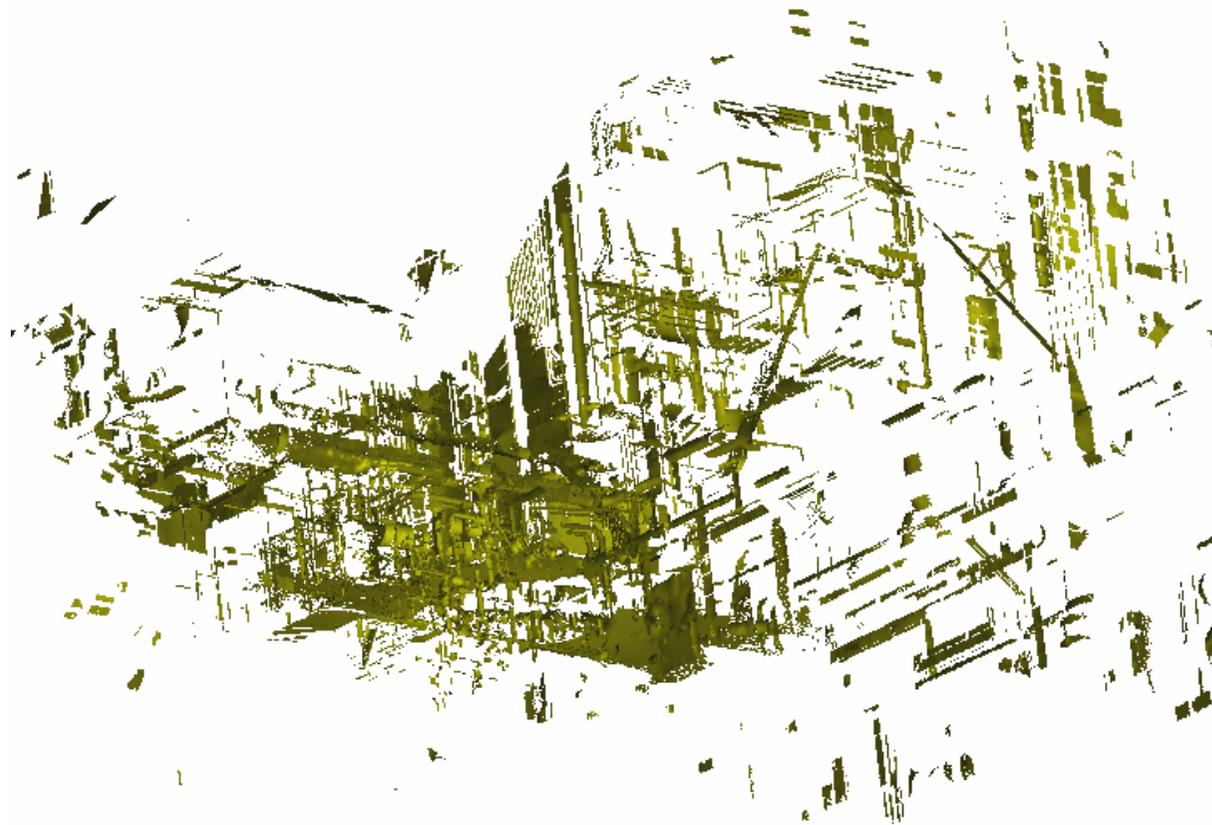
- ストリーミング処理のパイプを実装.
 - データの処理は, パイプを繋げて行う.
 - Windows, UNIX にはパイプ処理機能がある.
- 例: `prog1 sample.dat | prog2 | prog3 | prog4`

ストリーミング点群処理

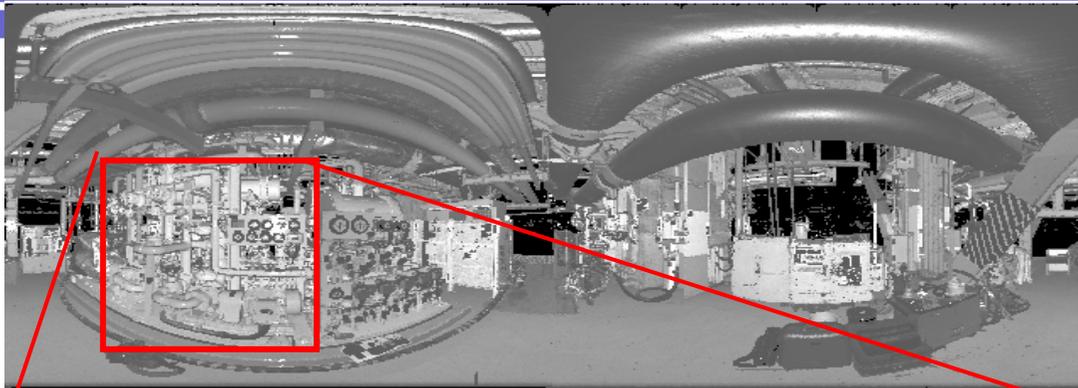
- 入力
 - 3次元座標データ. 5000万点.
- 出力
 - 平滑化されたメッシュモデル
- 実装例
 - 利用したパイプ: 13本
 - 計算時間: 50分程度
 - 滑らかなメッシュモデルを出力

平滑化されたモデル（簡略化）

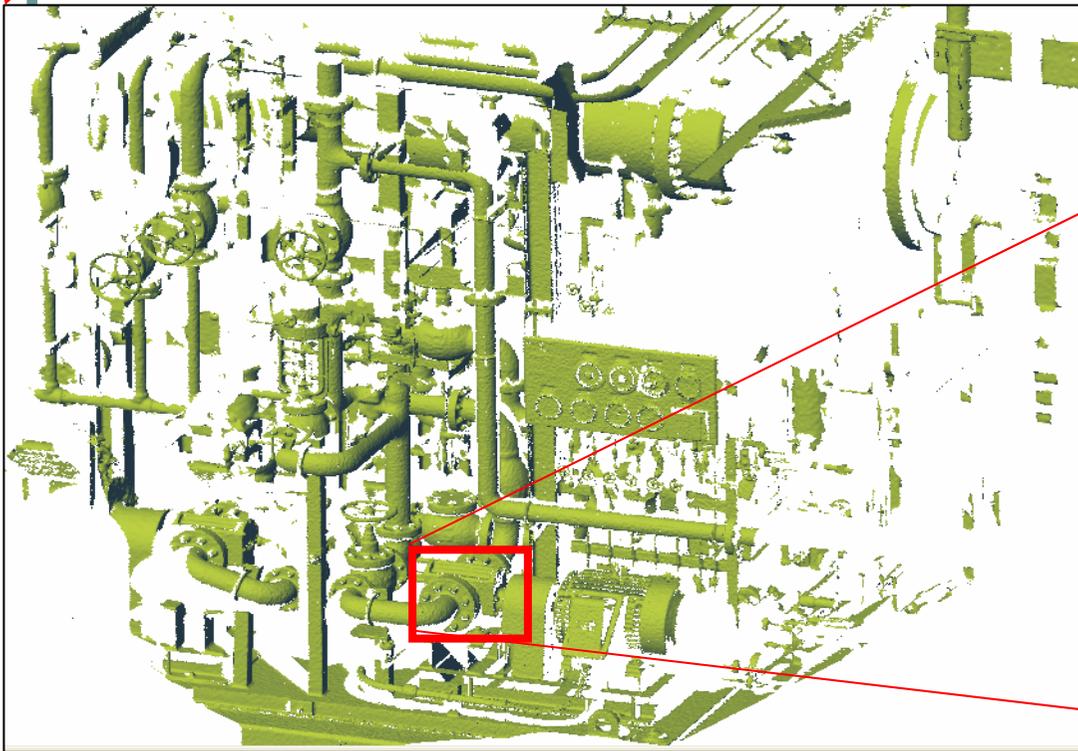
- プラント全体（4764万頂点）



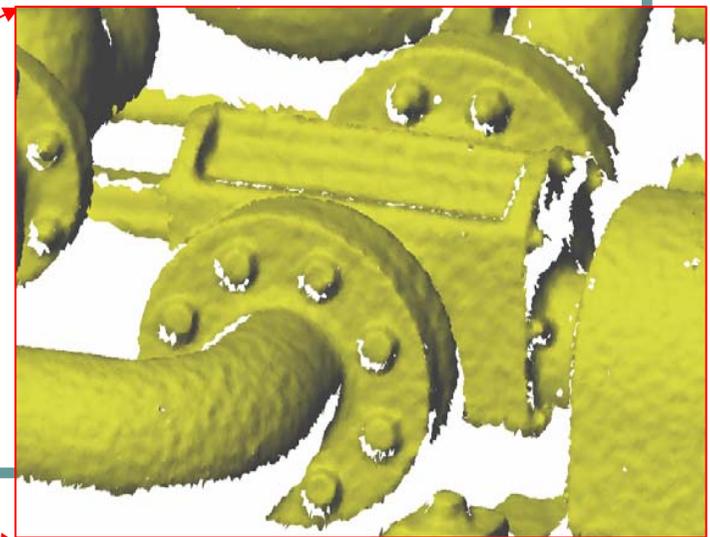
平滑化されたメッシュモデル



パイプライン処理によって
メッシュモデルを
全自動で一括生成する



拡大図



まとめ

- 大規模環境のデジタル化の特徴
- 大規模点群のデジタル化手法
 - メッシュ生成
 - 誤差処理
 - ストリーミング処理

今後の課題

- 表示
 - 1億ポリゴンのメッシュ表示
 - 多重解像度
- 計算時間
 - 最適化
- 簡略化, 曲面抽出
 - ストリーミング方式