

# 大規模点群からのプラント設備の形状再構成（第2報）

東京大学 ○松岡 諒, 電気通信大学 増田 宏

## Reconstruction of Facilities from Large-scale Point Cloud

The University of Tokyo: Ryo Matsuoka, The University of Electro-Communications: Hiroshi Masuda

Large-scale facilities are composed of many primitive components, such as pipes, elbows, tees, bulbs, and flanges. Several methods have so far been proposed for reconstructing shapes of these components from large-scale point-clouds. Our previous work discussed methods for estimating shapes of basic components using combinations of fragmented surfaces. In this paper, we discuss a method for improving reliability of shape reconstruction based on visibility check on a depth-image. We also discuss shape reconstruction from registered point-clouds by merging shapes generated from each scan.

### 1. はじめに

レーザスキャナでのプラント計測により得られた点群からの形状再構成は、改修や保守等のシミュレーションに有用である。その際、プラントの構成要素であるパイプ、フランジ、エルボ、ティーなどを自動的に認識して形状モデルが生成できれば、モデル作成の負担を大きく減らすことができる。

前報では、曲面間の接続関係に基づいて部材の形状や位置を推定する手法を示した[1]。しかし、推定された部材には誤ったモデルも含まれている。本稿では、距離画像を用いることで適合度を評価し、誤って推定された部材モデルを除去する手法を示す。また、計測データが複数存在する場合に、それらの計測データから生成した部材モデルを統合するための手法についても論じる。

### 2. 適合度評価

#### 2.1 距離画像を用いた適合度評価

パイプに接続する部材を推定して作成された部材形状には誤ったものも含まれている。そこで、推定された部材形状を距離画像上に投影し、可視性に対する整合性を調べることで、誤って推定された部材を取り除く。

計測原点からの距離を考えた場合、図1のように、推定された部材が距離画像上の点よりも手前にあるならば、計測された点群は得られないはずなので、計測結果と矛盾する。そのため、このような部材形状は計測結果に適合していないとして取り除く。

可視性に基づく整合性判定では、推定された部材形状の点群を仮想的なレーザスキャナによって計算する。仮想的なレーザ光の計測ピッチは実際の計測と一致させて、距離画像の画素に対応させる。

仮想的なレーザで得られる点群は図2のように示される。この図において、赤は実計測データよりも手前にあるために矛盾と判定されたピクセル、青は整合的なピクセルである。このとき、部材モデルが距離画像に占める点の数を $N$ 、可視性に矛盾する画素の数を $N_v$ とすると、可視性に対する矛盾度 $P$ を式(1)によって評価する。

$$P = \frac{N_v}{N} \quad (1)$$

$P$ の値が大きいくほど、計測データに対する推定された部材形状の矛盾が大きい。 $P$ が閾値よりも大きい場合には、推定された部材を除去する。本研究では FARO FOCUS 3D で得られた点群による実験に基づいて、閾値の値を 0.15 とした。

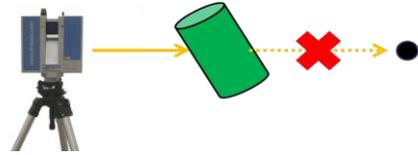


図1 可視性に違反するモデル

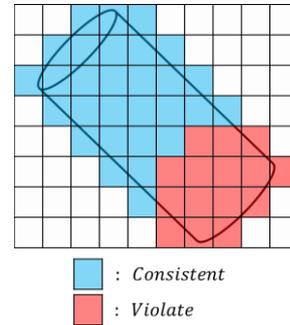


図2 距離画像を用いた適合性評価

#### 2.2 検証実験

図3は本手法の適用例である。誤って生成されたフランジの部材モデルが適切に除去されていることが確認できる。また、表1は適用しない場合と比較して、適用した場合にはどの程度適合率が改善したかを示した表である。本手法を適用することで、エルボ、ティー、フランジに関しては20%程度改善出来ていることがわかる。

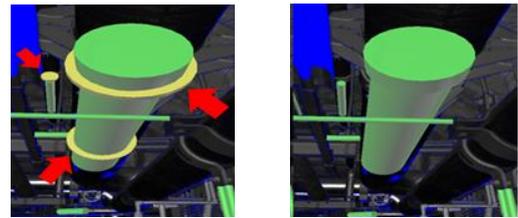


図3 不適切なモデルの除去

表1 適合度評価の効果(FacilityA)

	パイプ	エルボ	ティー	フランジ
適用なし	198/213 (93%)	34/47 (72%)	11/20 (55%)	29/42 (69%)
適用あり	188/195 (96%)	32/35 (91%)	9/11 (82%)	21/23 (91%)

### 3. 複数モデルの統合

#### 3.1 パイプの統合

複数の点群データから抽出されたパイプを統合することを考える。検出されたパイプ上に存在する点群は参照できるものとする。複数の点群データにレジストレーションが施されると、各点群データは座標変換行列を持つ。まず、パイプとパイプ上の点群の両方に座標変換を施し、複数データの座標系を統一する。

座標系が統一されたパイプの統合は図4のような流れに沿って行う。統合済みのモデル集合を $\chi$ とし、空集合で初期化しておく。そして、単一の計測データから生成されたモデル内のパイプ $C_i$ を逐次的に加えていき、もしも $\chi$ に重複する部分のあるパイプが存在する場合には、それらのパイプを統合する。重複のあるパイプは、以下の三点を満たす円柱のペアとして検出する。

- (1) 軸が一致する。
- (2) 半径が一致する。
- (3) 二つのパイプの一部に重なりがある。

複数の計測データからパイプのモデルを統合する際、部材が密集していると、誤ったパイプを統合する場合が多くなる。そのため、条件の(3)が重要であり、条件を満たすパイプを順次統合していくことによって、誤った統合を抑えることができる。

パイプを統合するとき、複数のパイプ上の点群を統合して円柱を再計算する。再計算では、RANSAC法によって初期値を算出した後、非線形形の最小二乗法を施して計算精度と信頼性を高めている。

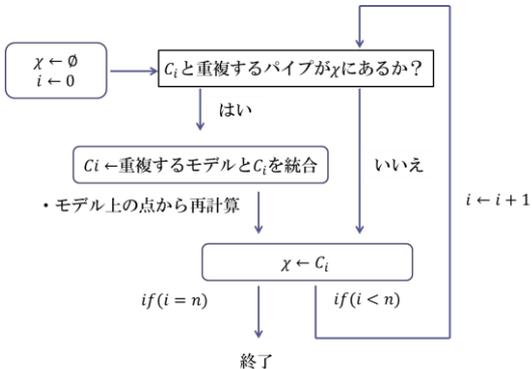


図4 パイプの統合手順

#### 3.2 接続部材の統合

計測データから生成した部材モデルは、固有のIDを持つものとする。統合されたパイプは、図5のように、IDのリストを保持するものとする。また、パイプを接続する部材であるエルボ、ティー、フランジに関しては、図6のように、どのパイプに接続するかをIDで保持しているものとする。

パイプに接続する部材モデルの統合は、統合されたパイプを元に行う。統合後のパイプに関して、接続部材に接続するパイプを選び、再計算されたパイプの形状に合わせて接続部材の形状を決定する。その際、同一の接続部材が複数生成されないように、各パイプに接続する部材のIDを参照して重複を検出する。

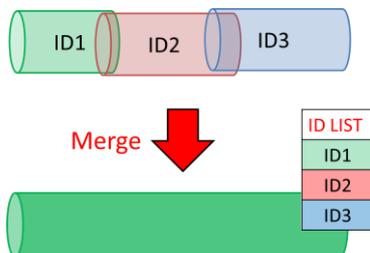


図5 パイプのID

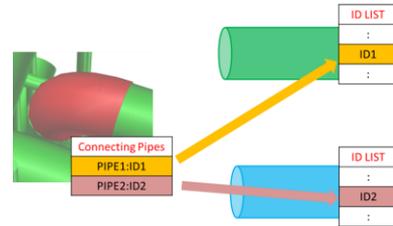


図6 接続するパイプの検出

#### 3.3 検証実験

本手法の検証においては、16GBのメモリを持ち、クロック周波数3.40GHzのCPUを持つ64bitPCを用いた。データには同一の生産設備を計測した7個の点群データを用いた。全てのデータに含まれる点の合計点数は約1億点である。表2はそれぞれのモデルに含まれる部材の数をまとめたものであり、図7はデータ1,2から生成されたモデルを表示したものである。

本手法を適用することにより、表3のような部材数のモデルが得られた。図8はモデルを表示したものである。7つのモデルを統合するのに要した計算時間は4分22秒であった。

表2 モデルに含まれる部材の数

	パイプ	エルボ	ティー	フランジ
データ1	205	43	5	21
データ2	184	27	6	11
データ3	99	19	4	1
データ4	149	27	1	17
データ5	94	21	0	3
データ6	117	21	4	2
データ7	111	26	2	4

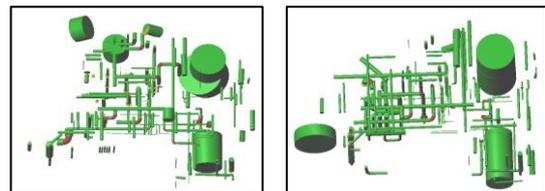


図7 適用対象データ

表3 生成された部材数

	パイプ	エルボ	ティー	フランジ
Merged	532	117	16	51

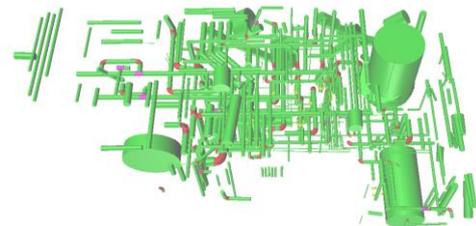


図8 統合されたモデル

### 4. まとめ

本稿では可視性に基づいて、誤って推定された部材モデルを除去するための手法を示した。また、複数の計測データから生成した部材モデルを統合するための手法について示した。

現在は複数の視点から適合度を評価することによって、適合率を更に向上させるための手法についての検討を行っている。

#### 参考文献

- [1] 松岡諒：大規模点群からのプラント設備の形状再構成，精密工学会秋季講演会 2013