

# 断面推定に基づく大規模点群からの形状再構成(第 4 報)

電気通信大学 ○緑川 佳孝, 齋藤 和人, 増田 宏

## Extraction of Surfaces of Revolution by Estimating Sectional Curves and Rotation Axes (4<sup>th</sup> Report)

The University of Electro-Communications: Yoshitaka Midorikawa, Kazuto Saito, Hiroshi Masuda

So far, many researchers have proposed methods for shape reconstruction of pipe structures by extracting cylinders and planes. However, in manufacturing plants for liquids and gases, rotating surfaces and generalized cylinders are typically used as well as cylinders and cones. In addition, free-form surfaces that cannot be represented as generalized cylinders are also used in engineering equipment. In this paper, we discuss methods for precisely reconstructing rotating surfaces and generalized cylinders, and approximately reconstructing other general shapes such as fillets as mesh models. In our method, we combine our surface extraction method with a general shape reconstruction method to reconstruct complete shape models of engineering plants.

**Key words:** Point-Cloud, Reconstruction, Solid of revolution

### 1. 緒言

工業設備における干渉判定や配置検討などのシミュレーションを行う際には、現況に忠実な 3D モデルを作成することが求められる。そのためには、固定式レーザスキャナによって取得された高密度点群を用いた形状再構成が有用である。点群を用いた形状再構成では、点群から平面や円柱のような比較的自由度の小さい形状を抽出して、配管系統などの形状再構成を行う研究が行われてきた。しかし、工業設備には平面や円柱以外の形状も存在するため、従来手法では 3D モデルの自動生成が難しいケースも多く存在する。

我々が、これまで、液体や気体を扱う工業プラントにおいて特徴的に現れる形状として、回転体と一般化円筒を抽出する手法について提案した[1]。回転体は中心軸の周りに 2 次元形状を回転させて得られる形状、一般化円筒は、断面形状を中心軸に沿ってスイープさせて得られる形状である。ただし、工業プラントには、回転体や一般化円筒では記述できない自由曲面が存在することも多い。

極所的な陰関数当てはめなどによる汎用的な形状再構成については、これまで多くの研究がなされてきた。たとえば、Kazhdan らの Poisson Surface Reconstruction (PSR) [2]では、法線付き点群を満たすような陰関数を算出し、空間をボクセルに分割してメッシュモデルを生成した。

しかし、そのような方法では欠落のない点群を前提としているが、生産設備の計測では、計測箇所が限られているため、点群の欠落が避けられない。陰関数による方法では、点の欠落がある場合、不自然な曲面を生成してしまうという問題がある。図 1(a)の例題に対して PSR を適用した結果を図 1(b)に示す。図 1(d)(f) に示すように、配管などが密接して存在する箇所においては、点群が欠落するために、周囲の部材と融合してしまい、工学的に意味のない形状が生成されている。

本報では、我々が提案した、回転体、一般化円筒を生成する手法を、PSR などのボクセルベースの汎用的な形状再構成手法と組み合わせることで、部分的な欠落のある点群から、工学的に妥当な形状再構成を行うことを考える。

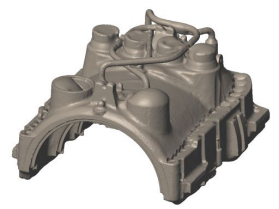
### 2. 手法の概要

まず、点群から、回転体と一般化円筒曲面を抽出する。点群をワイヤフレームモデルに変換した後、座標軸方向に等間隔に切断することで切断面を得る。その後、切断面上の切断面から楕円検出を行い、楕円をグルーピングすることにより、回転体、一般化円筒曲面を生成する。

次に、法線付き点群を生成する。法線は、点群の各点について、近傍点から主成分分析を用いて計算する。この法線付き点群に、PSR などのボクセルベースの手法を適用する。その際、



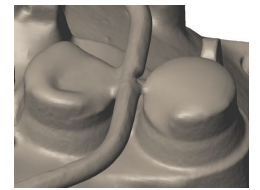
(a)例題として用いる点群



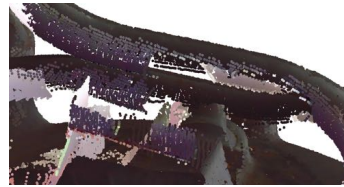
(b) PSR による曲面生成



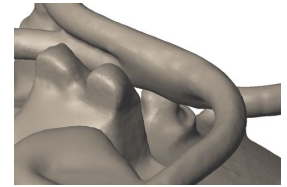
(c)例題 1: 配管上部の点の欠落



(d) 例題 1 から生成された曲面



(e)例題 2: 配管隙間の点の欠落



(f) 例題 2 から生成された曲面

図 1 欠落のある点群からの曲面生成

検出された回転体、一般化円筒曲面からも、法線付き点群を生成して追加することで、欠落のある点群を補完する。その後、PSR により形状再構成を行う。

最後に、生成されたメッシュモデルのうち、回転体と一般化円筒に相当する部分を補正する。

### 3. 回転体、一般化円筒の検出

図 2 に、回転体と一般化円筒を生成する手順を示す。本手法では、部分的な欠落のある点群からでも比較的安定して形状を抽出することが可能である。まず、点群をワイヤフレームに変換し、XYZ の各種軸に垂直な切断面との交点を算出する。図 2(a) は、等間隔に設定された切断面により生成された切断面を示している。次に、切断面上で、楕円検出を行う。その際、信頼性の低い楕円弧を除くために、閾値を設定し、楕円弧上に点が存在する角度範囲が小さい楕円と、短径と長径の比率が大きい楕円を除去する。検出された楕円を図 2(b)に示す。

次に、図 2(c)のように、楕円弧の中心点同士の距離に近いものをグループ化して、回転体、一般化円筒の候補とする。楕円

のフィッティングは各断面点の連結成分に対して最小二乗法を用いて適用しているため、点が欠落している場合には、図 3(a)のように、誤った楕円が検出されることがある。この問題を解決するために、本研究では楕円のグループが検出され、中心軸が推定された後、中心軸に垂直な平面でワイヤフレームの切断点を計算し、円弧フィッティングを行うことで、断面形状を補正する。この操作により、図 3(b) のような円弧が検出できる。円弧計算は、楕円の計算に比べて安定しているため、このような 2 段階の計算を行うことで計算の信頼性が向上する。

最後に、得られた円弧グループを用いて、回転体、一般化円筒曲面の生成を行う。回転体の場合は中心軸と中心軸を通る平面上の 2 次元形状、一般化円筒の場合は、楕円弧の中心点集合から得られる中心軸と半径値を用いてそれぞれ曲面を生成する。曲面の生成結果を図 2(d) に示す。

#### 4. 法線付き点群の補完

図 4 に示すように、法線付き点群が与えられたとき、点の位置と法線を満たす曲面を生成する方法として、PSR が知られている。この手法は、out-of-core 法により、大規模点群でも扱えるように拡張されている。しかし、この方法は点の欠落がある場合、不自然な曲面を生成したり、周囲の曲面と融合したりする問題がある。そのため、生産設備を計測した点群に適用した場合、図 1(c)-(f) に示したような工学的に許容できない形状を生成してしまう。

そこで、本研究では、生産設備に多く見られる回転体と一般化円筒を検出し、それらを用いて、欠落点群を補完することを考える。補完点群は、曲面の中心軸方向に等間隔かつ垂直な平面で切断して得られる円弧上に等間隔に点を生成することで取得する。その後、円弧の中心点から生成した点に対しての方向を持った単位ベクトルを計算することにより、法線情報を付与する。図 5 に、図 1 の例題で示した配管を一般化円筒として抽出し、法線付き点群として記述した例を示す。

本研究では、生成された法線付き点群を元の点群に追加することで、欠落した点群を補完する。図 6 は、生成された法線付き点群を元の点群に追加したものを示している。この点群に対して、PSR を適用することにより、曲面を生成する。生成された曲面モデルを図 7(a) に示す。

図 1(d)(f) に示した不具合は、図 7(b)(c) に示した図のように周

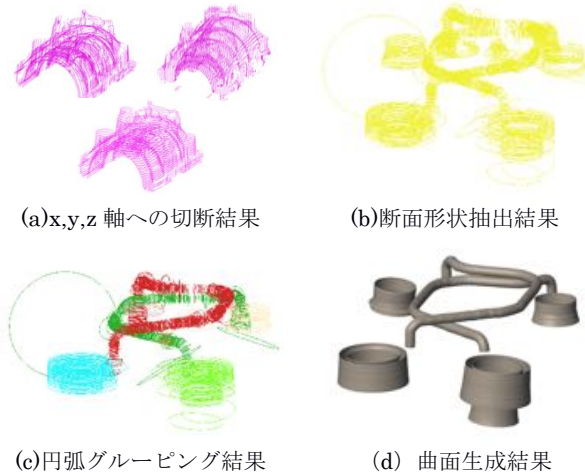


図 2 曲面生成までの流れ

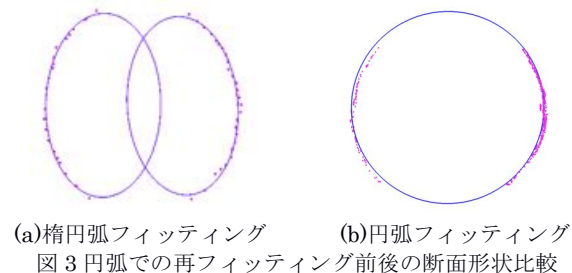


図 3 円弧での再フィッティング前後の断面形状比較

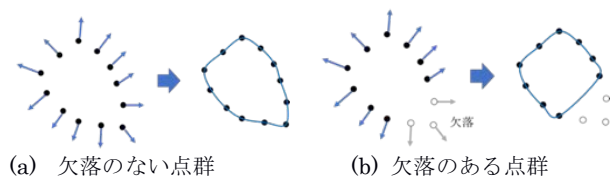


図 4 法線付き点群からの曲面生成

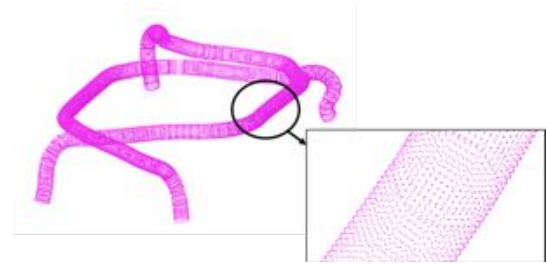


図 5 追加する補完点群

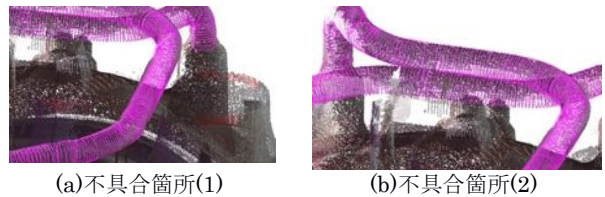


図 6 元の点群と補完点群の合成結果



図 7 補完点追加前後の PSR による曲面生成結果

辺の曲面と融合することがなく、正常な曲面が生成されていることがわかる。

ただし、PSR では、汎用的なメッシュとして出力され、一般化円筒や回転体といった制約は消失しているため、正確な曲面形状とはなっていない。そこで、一般化円筒や回転体として検出された部分については、メッシュの座標を補正する。

#### 5. 結言

本報では、本研究の手法を用いて生成される曲面から作成した補完点群と、既存手法である PSR を併せて用いることによって、精度の高い曲面が得られることを示した。

今後は、回転体に関して回転角の範囲の推定手法や、点群をパッチ単位に分割する手法について検討を行なっていく。

#### 参考文献

- [1] 緑川佳孝, 齋藤 和人, 増田 宏: 断面推定に基づく大規模点群からの形状再構成 (第 3 報), 精密工学会秋季講演会 2017
- [2] M.Kazhdan, M.Bolitho, H.Hoppe: Poisson Surface Reconstruction, Eurographics Symposium on Geometry Processing 2006