

# ノイズの多い大規模点群データからの Out-of-Core なメッシュ生成手法

## An out-of-core mesh generation method from noisy large point-clouds.

村上建治 (東京大)

藤井智 (東京大)

増田 宏 (東京大)

田中一郎 (東京電機大)

Kenji MURAKAMI,  
Tokyo UniversitySatoshi FUJII,  
Tokyo UniversityHiroshi MASUDA,  
Tokyo UniversityIchiro TANAKA  
Tokyo Denki University

Recently, 3D scanners are significantly improved and a state-of-art 3D scanner can measure tens of millions of points in only one scanning. However, most PCs cannot handle such a large number of points because of the limitation of memory space. We intend to build 3D models of a manufacturing facility. Although it is difficult to process the huge data of an entire facility in limited memory space, most components in the facility can be processed if they are separately stored. Therefore, we subdivide a huge point-cloud into sub-sets, generate mesh models from each set of points, and merge mesh models. We applied our technique to point-clouds of a nuclear power plant.

**Key Words:** *point-cloud, 3D model, as-built model, mesh model, out-of-core*

### 1. はじめに

プラント設備の保守や更新の検討をモデルベースで行うために、点群計測に基づくアズビルトモデリングが注目されている。大型設備から膨大な点群を短時間で測定するには、位相差方式のレーザスキャン技術がよく用いられる。対象物にレーザ光を照射し、反射波の位相のずれから距離を計測することで、数千万点を数分で計測することが可能である。

大型設備の場合には、モデル化に大量の点群を必要とする。大雑把に言って、10cm の製品計測と同等の点群密度を得るために、10m の設備では 10,000 倍の点群が必要である。そのため、大型設備の計測では、数千万から数億点の点群データがごく普通に扱われる。

しかしながら、それだけ大規模な点群は、32 ビットの計算機のメモリには乗らないため、処理が容易ではない。大量のメモリを積んだ高額な 64 ビット計算機であればメモリ上には乗るが、それでもメッシュ生成や幾何処理の計算コストは極めて大きくなるため、工夫が必要である。

本研究では、プラント設備が多数の部品から構成されていることに着目し、メッシュ化の処理を行う。まず、点群を処理可能な単位にグルーピングし、個別にメッシュ化する。生成されたメッシュは、連結成分ごとに分割して管理する。次に、メッシュモデルを併合して個々の部品のメッシュモデルを生成する。本手法では、点群の分割とメッシュの併合によって処理を行うためスケーラブルであり、32 ビットのノート PC でも処理が可能である。

### 2. 位相差方式で計測された点群データの特徴

位相差方式による点群計測では、計測原点はほぼ固定され、レーザ光の照射角度が緯度と経度の 2 自由度で制御される。照射角度が決まると、その方向での距離が計測される。したがって、計測点を球面座標  $(r, \theta, \phi)$  として表現すると、計測点は  $\theta-\phi$  平面上に重なることなく分布する。

位相差方式による計測では、距離  $r$  の誤差はかなり大きく異常値も多いため、 $(x, y, z)$  座標を用いて正しくメッシュ生成を行うことは非常に難しい。一方、角度は機械的に制御されるため異常値は存在しない。そこで、すべての計測点を  $\theta-\phi$  平面上に投影して、三角形分割を行うことを考える。

図 1 は、点群を  $\theta-\phi$  平面上に投影した図で、濃淡は反射光の強度に基づいている。各頂点が奥行きを持った距離画像と見做すこともできるが、頂点は格子状には並んでいない。

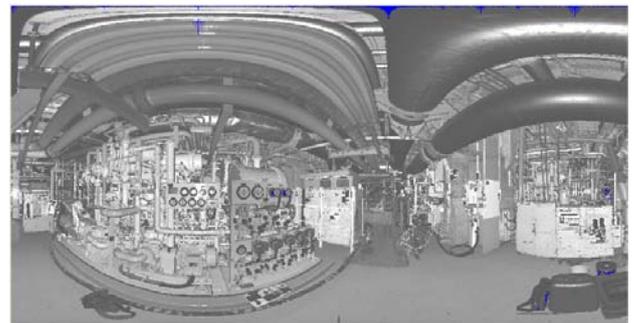


図 1.  $\theta-\phi$  平面上に投影した点群データ

### 3. メッシュ生成の手順

本システムでは、点群データは座標  $(x, y, z)$  と明度を持ち、ハードディスクに格納されている。処理にあたっては、座標をストリーミング形式でハードディスクから直接読み出して処理し、メモリ上には保持しない。

メッシュ生成には、ドロネー分割がよく用いられ、 $n \log n$  の計算オーダーである。我々の実験では、100 万頂点程度であれば、2GM メモリのノート PC を用いて 5 秒程度で三角形分割できる。そこで、 $\theta-\phi$  平面を格子状に分割し、各矩形領域が 100 万頂点以下になるようにする。図 1 では、点の個数が 4764 万 4348 個なので、64 分割すれば十分である。図 2 はそのうちの一つの矩形領域である。この矩形領域には、図 3 に示すような四角錐の視体積内部の点が含まれる。

次に、一つの矩形領域に属する点群データを  $\theta-\phi$  平面上で三角形分割する。この際、隣接する頂点の奥行き之差がある閾値よりも大きければ非連結と見做し、エッジを張らない。すると、図 4 に示すように、各部品の境界が検出でき、連結成分が抽出できる。なお、この図で離れているはずの部品が連結した箇所があるのは、スポット割れによる異常値のためである。異常値の除去はメッシュ生成後に文献 1 の手法を用いてできるが、ここでは述べないことにする。

3次元メッシュモデルを生成するためには、図4の2次元メッシュモデルの各頂点に元の座標  $(x, y, z)$  を与えればよい。図5に3次元メッシュモデルを示す。

#### 4. メッシュの連結

本手法では、 $\theta-\phi$  平面で格子状に分割した点群をメッシュに変換している。そのため、連結な曲面上の点群であっても、所属する矩形領域が異なれば、異なるメッシュに属する。

そこで、分断されたメッシュを連結することを考える。隣接する矩形領域から生成されたメッシュの接合は、2次元の矩形領域を連結させればよいので容易である。

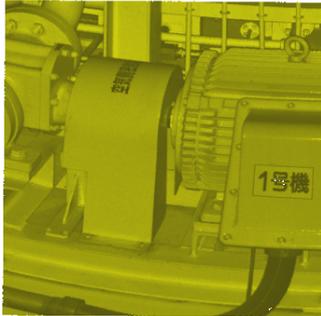


図2.  $\phi-\theta$  平面の矩形領域

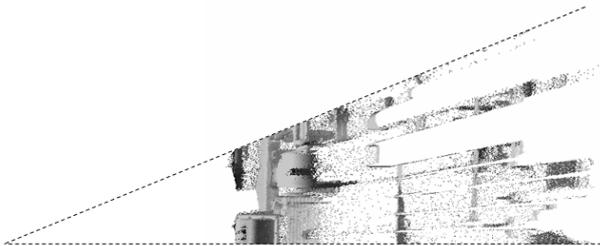


図3. 視体積 (上から見た図)

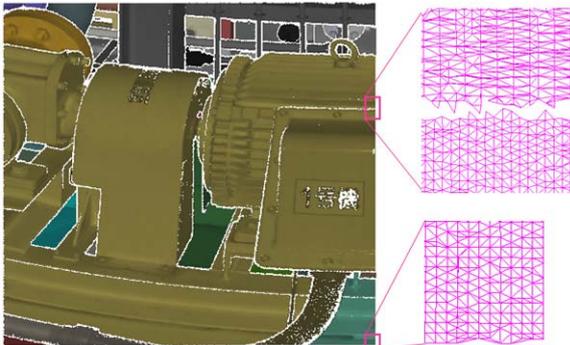


図4.  $\theta-\phi$  平面上での2次元メッシュモデル



図5. 矩形領域の3次元メッシュモデル

図6は、図4の右側に隣接する領域の点群と合わせて表示したものである。図7は、右側の矩形領域の2次元メッシュである。二つの領域の境界はほぼ直線となるので、2次元メッシュの隣接する境界上の頂点を  $\theta$  に関してソートし、奥行き之差が閾値以下のときに三角形メッシュを張ってメッシュを連結する。図8に連結させたメッシュモデルを示す。

#### 5. まとめ

本研究では、ハードディスク上の膨大な点群データから3次元メッシュモデルを生成する方法を示した。点群の座標を角度領域に写像して処理を行うので、点群の分割とメッシュモデルの併合が容易に行える。

今後は、併合されたメッシュのデータ量が巨大になる場合に対応できるように、メッシュの単純化を一連の処理に組み込んでいきたいと考えている。

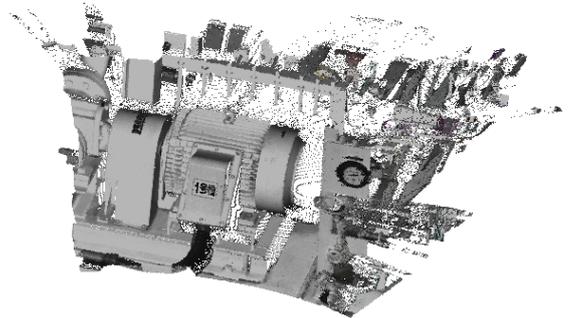


図6. 隣接する二つの矩形領域に属する点群

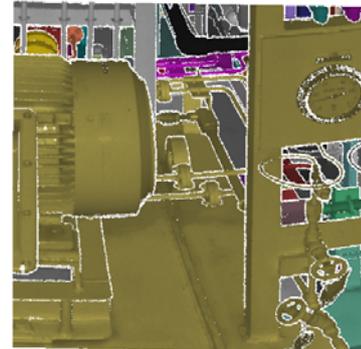


図7. 隣接する矩形領域の2次元メッシュモデル

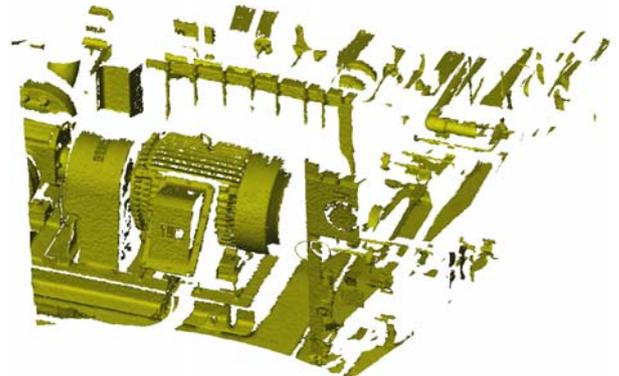


図8. 併合されたメッシュモデル

#### 参考文献

1. 増田宏, 村上健治, 藤井智: 既設プラントモデリングのための点群データ平滑化と曲面生成, 2007年度精密工学会秋季大会講演論文集