

# 大規模点群の立体視による大型構造物の劣化検証システム

電気通信大学 ○青木 智子, 山本 恵里佳, 増田 宏

## 1. 序論

高度成長期に建造された工業設備の老朽化が進展する一方で、熟練者の引退や若手人材の不足により、労働集約的な保全作業が持続困難になっている。そのため、保守作業の効率化が強く求められており、レーザスキャナによる現況の3次元情報の取得がそのための有力な手段となっている。

これまでに、我々は、保守管理作業を効率化するため、燃焼炉や鉄塔などの設備の点群データから補修箇所を自動検出する手法を検討してきた。しかし、自動検出には、見落としや誤検出が避けられないため、実用上は、専門家による目視検査が必要となる。また、目視検査では、想定外の状況の発見も期待できる。

本研究では、レーザスキャナで高密度に計測された点群データから、目視で現況を確認するための手法について考える。近年、安価な仮想現実(VR)デバイスが開発されている。保全作業者が安価な立体視デバイスを用いて、仮想環境での目視検査ができるのであれば、現況把握や点検のために現場に赴く必要がなくなり、保守作業の飛躍的な効率化が期待できる。

仮想環境上で設備の点検を行うにあたっては、高密度な点群の描画が必要である。しかし、VRでの描画には高いフレームレートが求められるため、大規模な点群の描画は困難である。一方で点群を間引くと、点検を行うために十分な情報を得られなくなるという問題がある。さらに、レジストレーション誤差のために亀裂などの詳細部が視認できない可能性もある。

そこで、本研究では、VRデバイスを用いた設備点検において、劣化自動検出と詳細点群を組み合わせることで、必要な箇所のみを詳細化し、設備点検を効率的に行う手法について検討する。

## 2. 目視検査のための大規模点群の描画

### 2.1. 概要

本研究では燃焼炉を例として検討を行う。自動検出された劣化は比較的小容量のメッシュモデルで得られ、高速に描画することが可能である。一方、例題で用いる燃焼炉の点群は約4億5千万点と非常に大容量であり、重複部を間引いても1億点以上となるため、VRデバイスで描画できる限界を越える。

そこで、メッシュで表現された自動検出と、詳細な点群のデータを組み合わせることで、これらを局所的に置き換えて描画することで、高いフレームレートを維持することを考える。

### 2.2. VRデバイスの描画性能の検証

ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を使用する場合、90fps程度のフレームレートが必要とされている。これは、実環境と仮想環境間のズレを防ぎ、ユーザーの不快感を抑止するためである。

そこで、まず、通常のPCにおける表示点群数及び点群サイズとフレームレートとの関係を検証した。VRデバイスはVIVE Pro eyeを用いた。また、点群の表示はUnity上で行っている。本研究で用いたPCは、CPU: Intel Core i9, 3.70 GHz, RAM: 64GB, また、GPUはNVIDIA GeForce RTX 2080 Tiである。

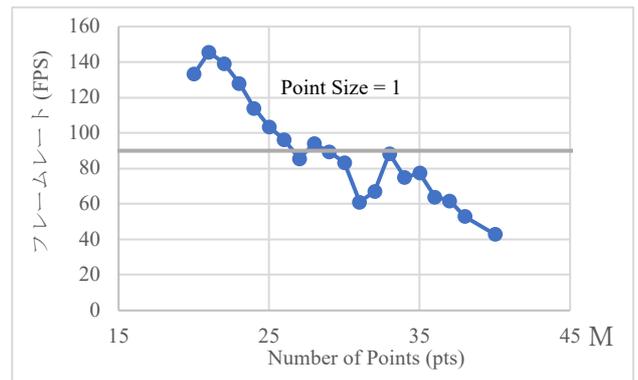
本研究で用いたGPUで描画可能な点数を図1(a)に示す。ここ

では、ポイントサイズを1として描画を行なった。また、点の個数をptsとして示している。この評価では、90fpsを維持できるのは、約30Mptsまでであった。

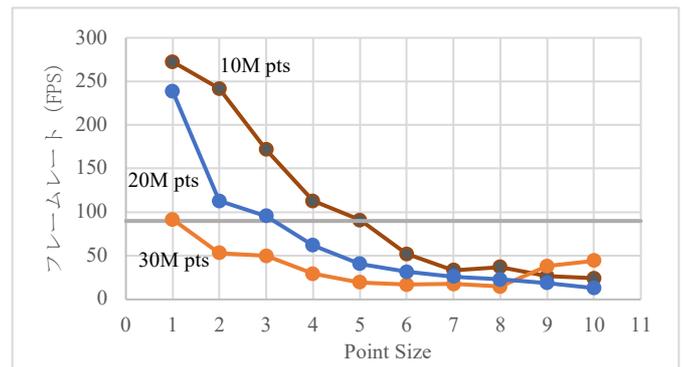
また、点群描画では、背後が透けて見えることを防ぐために、描画の際に、ポイントサイズを大きくすることが多い。そこで、ポイントサイズとフレームレートとの関係についても調べた。

その結果、図1(b)に示すように、ポイントサイズを多くするに従って、90fpsで描画可能な点数が減少していくことが確認できた。この評価では、10Mptsの場合でポイントサイズが5以下、20Mptsで3以下、30Mptsで1のとき、90fpsで描画可能であることがわかった。

以上より、本研究における計算機環境では、ポイントサイズ5以下で描画すると仮定すれば、最大描画点群数は10Mpts程度であると考えられる。



(a) 描画点数とフレームレートの関係



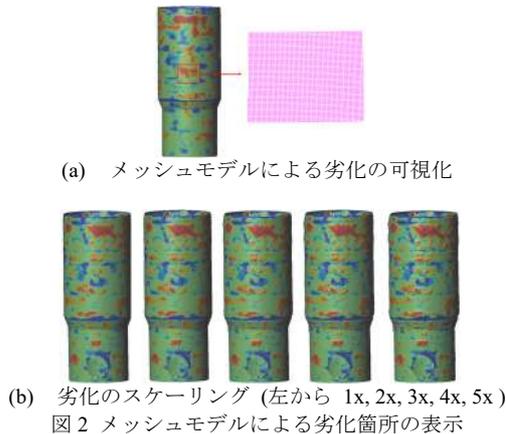
(b) ポイントサイズとフレームレートの関係

図1 描画におけるフレームレート

### 2.3. 劣化の自動検出

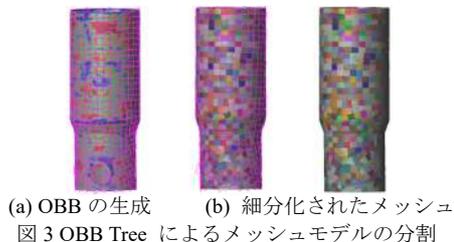
設備の劣化検出の典型的な方法では、劣化がない健全面を推定し、剥落や付着物などの劣化を、推定された健全面からの差分として検出する。健全面は、平面や円柱などの滑らかな面が用いられ、これらへの近似曲面として算出される。

ここでは、円柱と円錐から構成される燃焼炉からの劣化検出[1]を例題として考える。この方法では、壁面を局所的に滑らかな B-Spline 曲面に近似し、その曲面を健全面として劣化検出を行う。ここでは、劣化を可視化するために、差分の大きさを RGB で表示し、健全面を緑、剥落を赤、付着物を青で表示する。また、現実の劣化の差分は、高さが約 20m の全体形状に比べて非常に小さいため、目視での把握を容易にするために、差分を実際よりも誇張した座標も算出しておく。検出された劣化は、図 2(a) に示すように、メッシュモデルとして表現する。この例では、face と vertex の個数は、それぞれ約 23 万であり、点群の個数と比較してデータ量は非常に小さい。



#### 2.4. 描画データの細分化

メッシュと詳細点群を局所的に入れ替えるために、OBB Tree による細分化を行なった。OBB Tree では、再帰的に空間を直方体領域に 2 分割していく。図 3 に、1024 分割したメッシュモデルを示す。ここでは、同一の OBB に含まれる face を同じ色で示している。ここでは、face が複数の OBB に跨る場合には、領域が連続になるように、いずれかの OBB に帰属させた。



#### 2.5. 詳細点群の分割

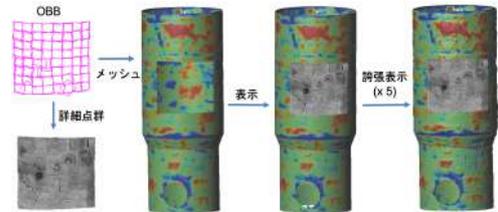
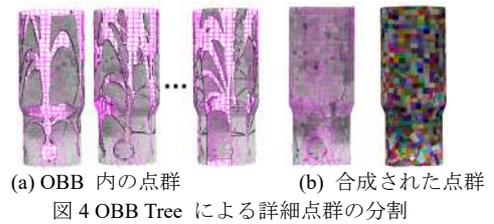
次に、OBB で細分化された詳細点群について考える。例題で用いた燃焼炉の点群データは、12 箇所から計測された点群から構成される。しかし、レジストレーション誤差によって亀裂等の微小な劣化が消失する可能性がある。

そこで、図 4 (a) に示すように、計測位置ごとの点群に対して OBB による細分化を行い、OBB 内の点群の個数が最も多くなる点群を保持した。図 4(b) に合成された点群を示す。図 4(b)右は、細分化された点群を色分けして示したものである。

なお、この処理では重複した点群が間引かれるので、点の個数は 4 億 5000 万点から 1 億 1000 万点に削減されている。しかし、依然として、点の個数は描画可能な点数を大きく上回っている。

#### 2.6. VR 描画システムの実装

本研究では、VR による描画は、Unity を用いて実装した。Unity では、描画単位は Game Object として管理される。ここでは、細分化されたメッシュと点群に OBB 固有の ID を付与しておく、



独立した Game Object として扱う。また、細分化されたデータはファイルに格納しておき、必要に応じてロードされる。OBB の直方体も Game Object として管理され、コントローラによるポインティングにおける接触判定を行うために利用される。

ここでは、コントローラで注視したい点を指定することで、操作対象となる OBB が決定され、表示中のメッシュモデルの一部が詳細点群に代替して表示される。図 5 に例を示す。指定された OBB の ID が得られると、対応する詳細点群がファイルから読み込まれて表示される。対応するメッシュは非表示となる。また、ユーザは必要に応じて、劣化のスケールアップを変更した誇張表示を得ることができる。

### 3. 評価実験と考察

本研究の手法では、ユーザーがコントローラで指定した点の周囲の点群を表示する。点群数が少ないうちは 90 fps 以上のフレームレートが維持できるが、点群数の増加に伴って描画性能が低下する。また、同一の点群数であっても、ポイントサイズを大きくすると描画性能が低下する。

そこで、上述のシステムを実装し、表示点群数をどこまで増やせるかを検証した。ここでは、ポイントサイズが 1 と 4 の場合において検証を行なった。その結果、ポイントサイズ 1 の場合で 2200 万点まで、ポイントサイズ 4 の場合で 800 万点まで 90fps が維持できることを確認した。すなわち、ポイントサイズが 1 の場合には全体の 20%、ポイントサイズが 4 の場合には全体の 7%までを詳細点群として表示することができる。

### 4. 結論

メッシュモデルと点群を組み合わせることで、VR での描画に適したフレームレートで大規模点群の描画を行い、劣化の検証を行うシステムを試作した。自動検出結果と詳細点群目視を適宜入れ替えることができるため、劣化の検証が効率的に行えることが期待できる。

詳細点群として描画できる点群数は限られているため、大規模点群でフレームレートを維持できるのは、局所的な表示に限られる。広範囲を詳細に描画することが必要な場合には、OBB 内の描画点数を制御する必要があると考えられるが、それについては、今後の課題である。また、描画範囲の指定を簡単に行うためのインタフェースとして、アイトラッキング等の利用についても検討したいと考えている。

#### 参考文献

[1] Y. Shinozaki, et al. : "Point-Based Virtual Environment for Detecting Scaffolding, Wearing, and Cracks of Furnace Walls," ASME Computers and Information in Engineering (CIE), 2018.