

# コンシューマー向け 3D センサを用いた 3D スキャンシステムとその応用について

岐阜県立岐阜工業高等学校 研究推進部

山口 剛正

## 1. はじめに

2012年にマイクロソフト社製 Kinect が発売されてから、コンシューマー向け 3D センサの応用が様々な業界で研究されるようになった。Kinect 以降多様で高性能な 3D センサが発表され、あらゆる産業で必要不可欠なものとなっている。とりわけ、製造業や建設業においては、ポイントクラウドの取得やサーフェススキャンなど業務の精度や高速処理を目指して開発されているものが多く、そのいずれもが非常に高価である。本研究ではそういったシステムを教育活動でも実利用が可能となるよう、コストパフォーマンスに優れた教材の開発を行った。

## 2. 産業における 3D データ処理の課題

高等学校における 3D データはポイントクラウド、ポリゴン、サーフェス、ソリッドに大別されるが、これまでの教育課程では扱いがポリゴン以上であった。しかし、ここ数年ポイントクラウドによるデータ収集が産業界では主流になっており、ポイントクラウドのサーフェス化が主要技術のコアとなっている。したがって、採取したポイントクラウドを有用な CAD データにするには以下の課題をクリアする必要がある。

1. Lidar などのハードウェアおよび制御ソフトウェアのマッチング
2. ポイントクラウドデータの適正化(不要データ削除および軽量化)
3. 適正化されたデータのポリゴン化
4. ポリゴン化されたオブジェクトのサーフェスモデル化

## 3. 3D スキャンシステムの構築

本研究では、以下のような数種の 3D スキャナおよび Lidar を使い、ポイントクラウドの採取を行い、データの確度を求めた。

表 1.3D スキャンシステムの構成表

ハードウェア		ソフトウェア
センサ	制御用 PC	
Intel Realsense(L515,D435,D455)	ASUS GZ301V	RTAB-MAP
STEREO LABS ZED mini	CPU : core i9 13900H	Dot3d
Microsoft Azure Kinect	GPU: Nvidia Gforce4070	SCENE Capture
SHINING 3D EINSTAR	RAM: 32GB	Einstar Software

※センサと PC の接続は USB3.0 TYPE-C を用いた。

表 2. 各種測定条件と確度(測定 PC : ASUS GZ301V)

ソフトウェア	センサ		平均確度 (mm/1000mm)
RTAB-MAP	Intel Realsense	L515	5.5
		D435	7.6
		D455	5.4
	STEREO LABS	ZED mini	50.6
	Microsoft	Azure Kinect	4.9
Dot3d	Intel Realsense	L515	3.1
		D435	4.6
		D455	3.8
SCENE Capture	Intel Realsense	D435	4.5
Einstar Software	SHINING 3D		1.4

※ 使用したソフトウェアのうち、Dot3Dのみ有償である。ただし Einstar Software はスキャナ専用となり、他のセンサは利用できない。

これらの結果より、RTAB-MAP(オープンソースソフトウェア)は無償であり、建築物の測定に用いるならば、センサの平均価格 8 万円程度から考えて、高いコストパフォーマンスを有することがわかる。

また、近距離、小型オブジェクトの 3D スキャンを行う場合、SHINING 3D は実用上問題のない確度を有し、18 万円程度の支出が可能であればリバースエンジニアリングの分野でコストパフォーマンスは高い。



図 1 3D スキャンシステムの外観

#### 4. ポイントクラウドの適正化

空間容積 108m<sup>3</sup>(W:3000mm×D:3000mm×H:3000mm)におけるポイントクラウドデータ容量は Raw データを ply 形式に出力し 271MB である。同 ply データを e57 ファイル形式に変換したのち、Atchicad27 にインポートした。このとき CPU の利用率は 20%程度であるが、GPU は 50%を超えており、快適に扱うには程遠いことが分かった。

つぎに、ポイントクラウドデータのサンプリングを行い、軽量化(間引き)を行った。ここでは元のデータのサンプリング率(多いほど元データの残存率が低い)と作業者の作業性を比較した。サンプリングは CloudCompare (オープンソースソフトウェア)を用いた。

※利用 PC は ASUS GZ301V

※評価条件は、ポイントクラウドをインポートし、壁、柱、スラブの造作を行った時の視認性、操作性を評価した。

表 3 ポイントクラウドの容量と作業性の比較

データ容量(MB)/%	視認性	操作性
231/100	良好(各種形状・色がハッキリわかる)	不良(各種操作の大幅な遅延)
113/50	良好(各種形状・色がハッキリわかる)	不良(各種操作がリニアでない)
68/40	良好(細部の形状・色が分かりにくい場所がある)	良好
46/20	やや良好(エッジ部分が鮮明でない箇所がある)	快適
23/10	不良(全体の形状が判別しにくい)	快適

上記の比較では、ポイントクラウドの容量が 50MB 程度、元のデータの 20%程度であれば快適な作業性を確保できることが分かった。ポイントクラウドの採取対象(建屋外観、内部)を適切に選択(平面、直線部が多い)すれば、本 3D スキャンシステムが有効であることが分かる。

## 5. ポイントクラウドデータのポリゴン化

ポイントクラウドデータは点の三次元座標と色を有するデータであることから、測定した物体の真の形状を表すものではない。採取したポイントクラウドを CFD を利用し解析する場合、ポリゴン化は必須である。ここでは紙面の都合上、詳細な結果は省くが、ply および e57 ファイルを stl、obj 形式への変換は Cloud Compare を用い処理できたことを紹介しておく。

## 6. ポリゴン化されたオブジェクトのサーフェースモデル化

ポリゴン化されたオブジェクトはデータの連続接続が無く、一般的な CAD で扱うには極めて不都合である。したがって、複雑形状のポリゴンの集合から非線形を抽出し、隣り合う線どうしからサーフェースを構成しなければならない。この非線形には NURBS を用いることが多く、最近は多くのソフトウェアで変換機能を実装している。そこで、元のポリゴンデータとサーフェース化されたデータ間の誤差は看過できるものか検証した。

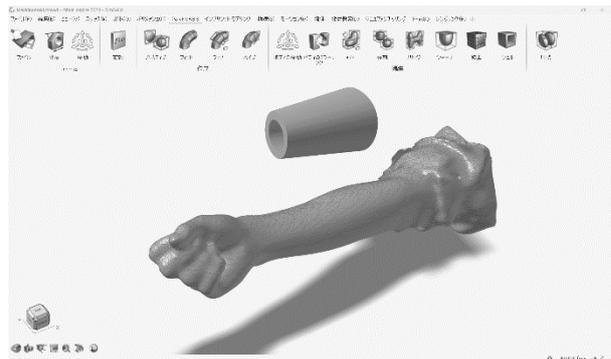


図 2 フィット機能による polyNURBS 化

表 4 サーフェース変換における頂点数とサーフェースモデルの誤差

polyNURBS フェイス数	平均誤差(mm)
2500	2.0
5000	0.8
10000	0.25

※サンプルデータは stl 形式でデータ容量は 2.4MB 変換には Altair Inspire2023 を用いた。polyNURBS 数が増加すると、元の形状に対し誤差が縮小傾向にある。20000 以上では誤差がほと

んど収束した。

## 7. ポリゴン化されたサーフェスモデルの応用

ポリゴンモデルをサーフェスモデルに置き換える分野はリバースエンジニアリングとして近年注目されてきた。本研究によって、高等学校の教育課程においても扱える分野であることが分かった。図3はスキャンした人体の腕をサーフェスモデル化し、医療用ギプスとしてリモデリングしたものである。

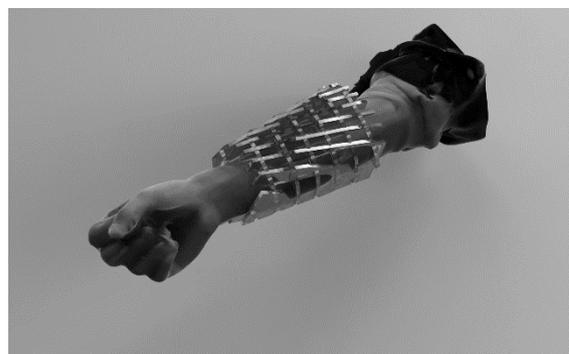


図3 派生した組み立て式ギプス

このギプスには随所に高校生らしい発想が盛り込まれ、多層ストラクチャ構造とすることで、フレーム自体をレーザー加工で切り出すことができる。

## 8. まとめ

本研究では安価な3Dセンサを用い、3Dスキャンシステムの構築が可能であることを証明した。オープンソースソフトウェアや教育機関に無償で提供されるアプリケーションを用いれば、さらに学習効果が高まるものと考えられる。各高等学校の施設・設備といったリソースがこのような形で利用シーンが広がることや、リバースエンジニアリング、知財学習にも展開可能である事例を示した。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人天野工業技術研究所様から多大なご支援を頂きました。ここに記して謝意を示します。

## 参考 URL

- 1) RTAB-Map(Real-Time Appearance-Based Mapping): <https://introlab.github.io/rtabmap/>
- 2) Dot3D: <https://www.dotproduct3d.com/dot3d.html>
- 3) SCENE Capture(ver.2020.0.7.6378)  
[https://ja-knowledge.faro.com/Hardware/Freestyle\\_2/Freestyle\\_2/Software\\_Download-Installation\\_and\\_Release\\_Notes\\_for\\_SCENE\\_Capture](https://ja-knowledge.faro.com/Hardware/Freestyle_2/Freestyle_2/Software_Download-Installation_and_Release_Notes_for_SCENE_Capture)
- 4) Intel® RealSense™ : <https://www.intelrealsense.com/>
- 5) stereo camera: <https://www.stereolabs.com/>
- 6) Microsoft Azure Kinect : <https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/kinect-dk>
- 7) SHINING 3D: <https://www.einstar.com/>
- 8) Altair Inspire2023: <https://www.altairjp.co.jp/inspire/>