

# 協働ロボットによる作業者補助を実現する操作システムの開発（第2報）

—ロボットマニピュレーションのための3D点群の処理と取得—  
坂東直行\*、生駒晃大\*\*、塚原誠也\*

## Development of support system for the operators using collaborative robots (II) - 3D point cloud processing and sensing for robotic manipulation - BANDO Naoyuki\*, IKOMA Akihiro\*\* and TSUKAHARA Seiya\*

環境認識のためのデータが2Dから3Dになれば、より高度なロボットアプリケーションが実現できると期待し、ロボットマニピュレーションに活用することを目指した3D点群の処理と取得について検討した。

まず、ロボットマニピュレーションにおいて有用な点群からのオブジェクト認識処理を評価した。次に、3D点群の取得方法としてSfMを取り上げ、シーン点群が取得できることを確かめた。最後にSfMで取得したシーン点群からオブジェクトが認識できることを示した。

### 1. はじめに

製造業における生産性を向上させるため、DXに関心が高まっている。そうした背景のもと、筆者らは協働ロボットに着目し、中小企業における多品種少量生産に対応するロボットシステムを開発している<sup>1)</sup>。

ロボットの活用において、環境認識レベルはロボットから引き出せるポテンシャルを左右する。環境認識を単純なセンサで行う場合、ロボットも単純なことしかできない。ロボットが高度な動作を行うには、環境認識においても高いレベルが求められる。そのため、状況に応じた柔軟な動作を実現しているロボットアプリケーションにおいては、多くの場合、マシンビジョン技術が活用されている。

マシンビジョン技術においては、カメラから取得するイメージデータに対する画像処理技術、つまり2Dデータの活用が先行している。一方で近年は、自動車の自動運転や、自動搬送ロボットの分野で3Dデータ（3D点群）の活用が進んでいる。これらをサポートするモジュールが安価に手に入るようになり、技術的ノウハウも蓄積され、3Dデータを扱うハードルは下がりつつある。また、環境認識のためのデータが2Dから3Dになれば、より高度なロボットアプリケーションが実現できると期待できる（図1）。

そこで、ロボットマニピュレーションに活用することを目指した3D点群の処理と取得について検討したので報告する。

続く第2章では、機械部品オブジェクトで構成されるシーンを仮想し、シーン点群が与えられた際のオブジェクト認識について述べる。第3章では、機械部品サイズのワークがある実シーンから点群を取得する方法について述べ、第4章では取得したシーン点群からワークを識別した結果を示す。最後に第5章でまとめを述べる。

\* 機械部

\*\* 情報技術部

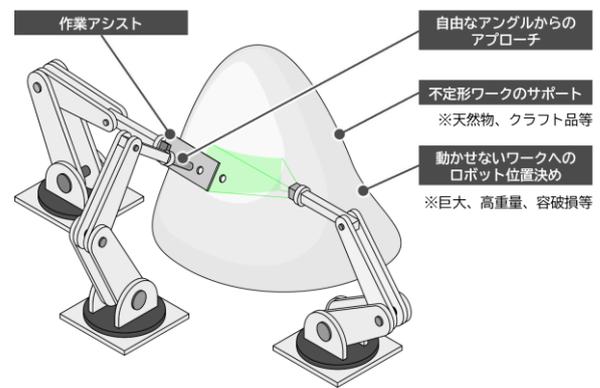


図1 高度なロボットアプリケーションの例

### 2. 点群処理技術の活用

ここでは3D点群処理技術のうち、ロボットマニピュレーションにおいて有用なシーン点群からのオブジェクト認識について検討する。

#### 2.1 オブジェクト認識フロー

オブジェクト認識フローを図2に示す。ここでは、認識するオブジェクトの形状は既知とし、CADで情報が与えられるものとする。

まず、オブジェクトのCADモデルから点群を生成する。つぎに、シーン点群、オブジェクト点群のボリウムを下げるため、ボクセルによりダウンサンプリングする。次に点群から特徴量を求める。特徴量をもとにシーン点群からオブジェクト点群と重なる部分に、オブジェクト点群を位置合わせし、重なった点群をシーン点群から取り除く。これを繰り返してシーンに含まれるオブジェクトを抽出する。最後に、位置合わせによって得られたオブジェクトの位置・姿勢情報を使って、オブジェクトのCADモデルでシーンを再構成する。

なお、この点群処理アルゴリズムはOpen3Dを使って実装した。

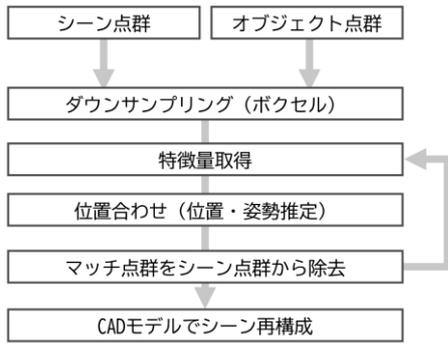


図2 オブジェクト認識フロー

### 2.2 シーンとオブジェクト

ここでは図3(a)に示すオブジェクトを図3(b)に示すシーンから認識できるかを取り上げる。オブジェクトは、機械部品のマニピュレーションを念頭に、2種のシャフトとした。シャフトの一つは、端部に貫通穴、他端部に平面取り加工のあるもの、他方は、中央部に貫通穴、両端に平面取り加工のあるものとし、直径および長さは一とした。シーンは、机上にシャフト7本が適当に置かれている状況とした。ここでは純粋に点群処理技術の評価するため、シーン点群はCADモデルを元に生成し、各シャフトの床面側の点群は除去している。これは影に

なる(オクルージョン)部分のデータ取得が実際の点群取得では容易でないためである。また、測定ノイズの存在を踏まえ、シーン点群の各座標値にはガウシアンノイズを付加している。

### 2.3 結果と考察

シーン点群と識別結果を図3(c)および図3(d)に示す。ここから、シーン点群からオブジェクトを認識できることがわかる。また、このとき、オブジェクトの姿勢もわかるので、ロボットはこの情報を用いて、オブジェクトに対し正しい向きでアプローチすることが可能になる。活用例としては、貫通穴に他の部品を挿入するような場合が考えられる。オブジェクト姿勢の正確な推定は従来の2D画像処理等では難しいので有用である。

次に貫通穴内部側面と上下に重なった箇所における下側オブジェクトの重なり部分の点群を除き、より実際の点群品質に近づけたシーン点群(図3(e))において、オブジェクト認識を試みた結果を図3(f)に示す。機械部品のように特徴が少ない様な平面で構成され、左右対称・軸対称な形状が多いオブジェクトの場合、姿勢の誤認識が生じることがわかる。また、似た部品同士の誤認識も認められる。これら誤認識はシーン点群中のオブジェクトの特徴形状の有無によるので、正確に認識したい場合は、十分に緻密で欠けのない点群を取得する必要がある。

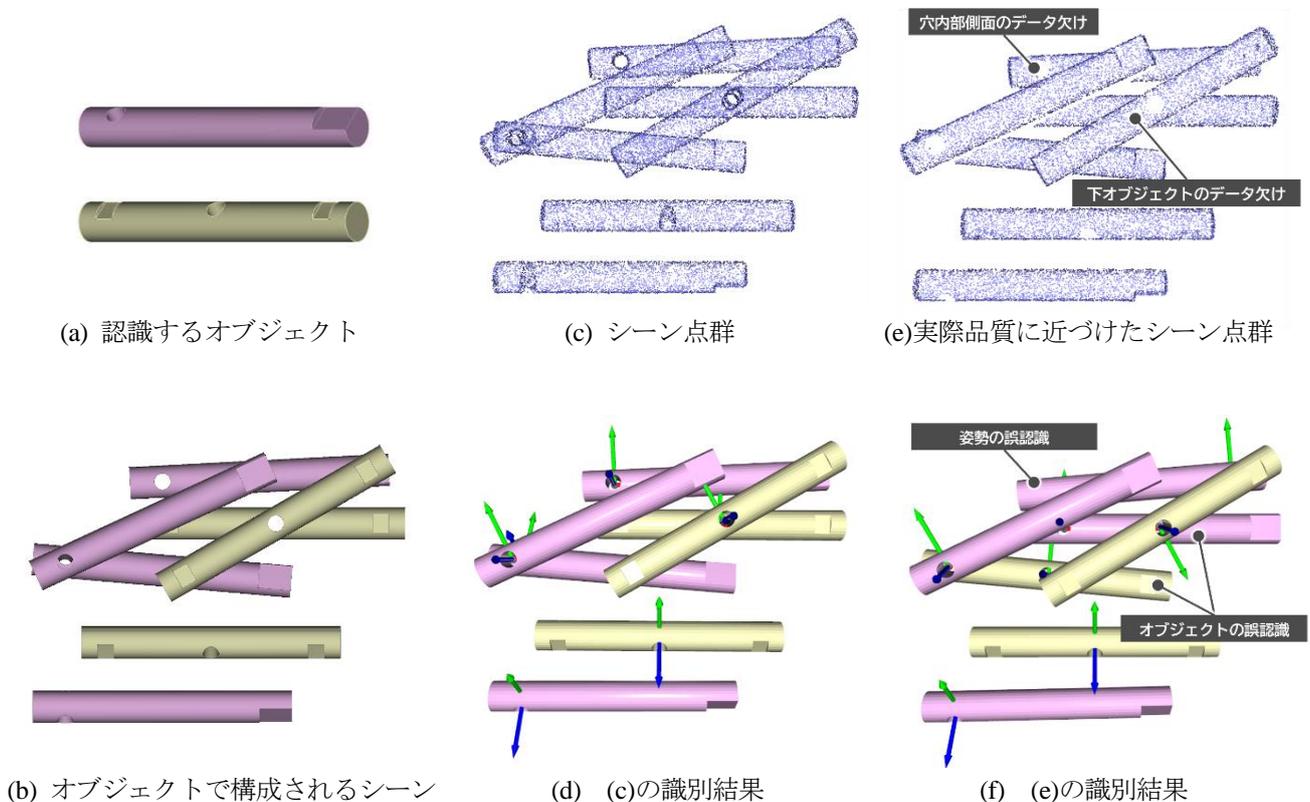


図3 オブジェクト、シーン、点群および識別結果

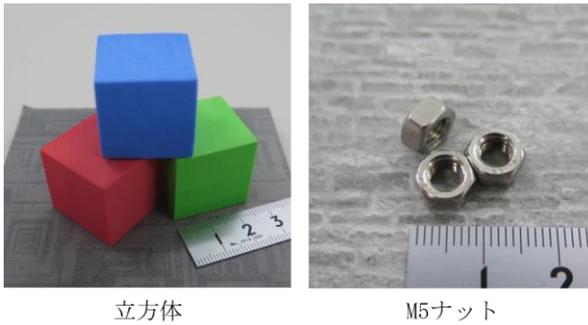


図4 測定ワーク

### 3. 3Dデータの取得

次に、ロボットでマニピュレーションすることを念頭に機械部品サイズのワークを対象とした3Dデータの取得方法について検討する。

#### 3.1 デプスセンサによる方法

3Dデータを取得できるセンサにデプスセンサがある。デプスセンサは対象物までの距離を画像として取得できるセンサで、取得した画像は3D点群に変換できる。また、方式の異なるいくつかの製品があるが、いずれのセンサも計測距離に範囲があり、対象物があまりに遠いもしくは近い場合、データを取得することはできない。ここでは最小計測距離が短く対象物に近接して計測できるため、ロボットに取り付けてセンシングするのに適したIntel RealSense D405、およびIntel RealSense D435iで検討を進める。D405は赤外線画像を使ったステレオカメラ方式のデプスセンサで7cm~50cmの範囲で計測できる。D435iも同じ方式のデプスカメラで計測距離は30cm以上が推奨されている。

ワークはセンサの能力評価のための立方体と、実作業を想定しM5ナットを採用した(図4)。なお、計測距離はワークを安定してセンシングできた最小距離とし、

D405は8cm、D435iは17cmとした。

測定結果を図5に示す。ここではセンサ内蔵のイメージカメラで取得した画像、およびデプス画像から生成される3D点群を示している。なお3D点群はデータから復元した3Dシーンに重ね描きし、センシングできない箇所がわかるようセンサ方向を正面としたときの斜め横から描画している。

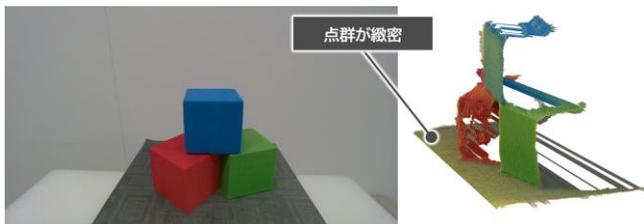
立方体の結果をみると、両センサともに形状が取得できている。しかし点群密度が異なり、D405のほうが緻密であった。この結果からD405のほうが細かな形状取得に適しているといえる。一方でM5ナットにおいては、D405では形状が歪んでおり、D435iでは更に点群が疎らであるため形状が失われている。センサをこれ以上ワークに接近させることはできないため、点群品質は図5に示した密度が限界である。

よって、デプスセンサによる形状取得ではワークサイズに限界があるとわかる。

#### 3.2 SfMによる方法

デプスセンサの他に3Dデータを取得する方法として、SfM(Structure from Motion)がある。これは、異なるアングルで撮影した画像から3次元形状を復元する技術で、ドローンによる空撮画像の処理などで活用されている。そこで、先ほどと同じワークでSfMを試みた。ワークを囲うようにいくつかの視点から画像を撮影し、SfMで3Dデータを生成した結果を図6に示す。ここでは復元した3Dシーンにテクスチャを貼り付けたものと、それに3D点群を重ね描きしたものを示している。

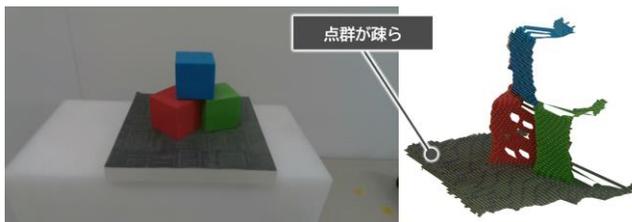
立方体の結果を見ると、SfMによって緻密な点群が得られることがわかる。ナットも同様に緻密な点群が得られているが、疎密の程度が大きく、疎らな箇所は形状が欠けている。形状の欠けは側面に多くみられることから、鏡面反射により床模様が映りこんだことで、画像間



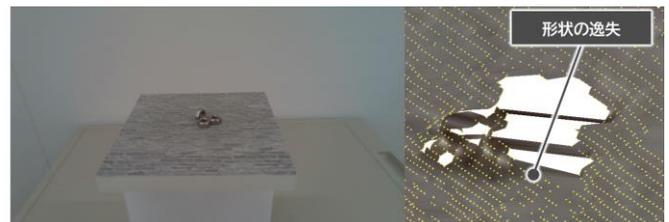
D405で取得した立方体の画像(左)と3D点群(右)



D405で取得したM5ナットの画像(左)と3D点群(右)

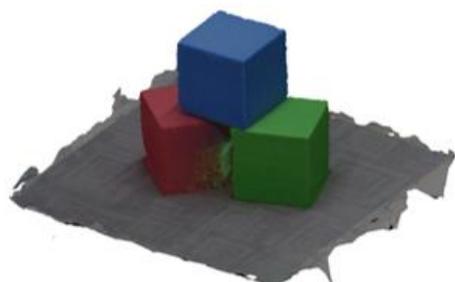


D435iで取得した立方体の画像(左)と3D点群(右)

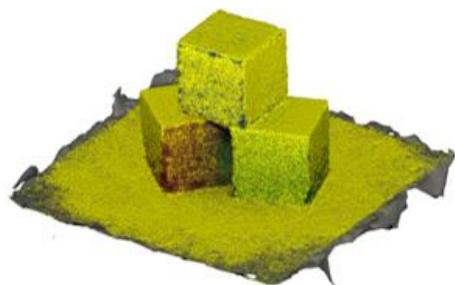


D435iで取得したM5ナットの画像(左)と3D点群(右)

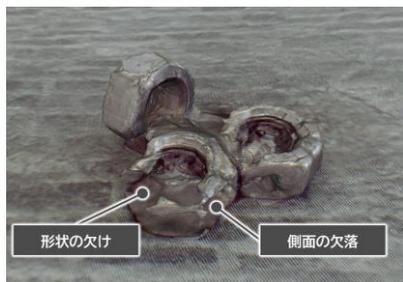
図5 測定結果



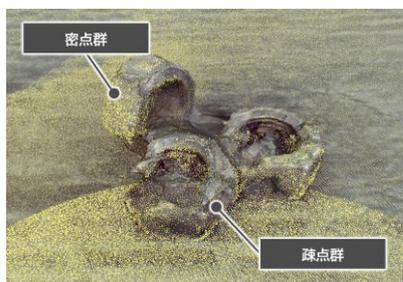
復元した立方体の 3D シーン



立方体の 3D 点群 (3D シーンに重ね描き)



復元した M5 ナットの 3D シーン



M5 ナットの 3D 点群 (3D シーンに重ね描き)

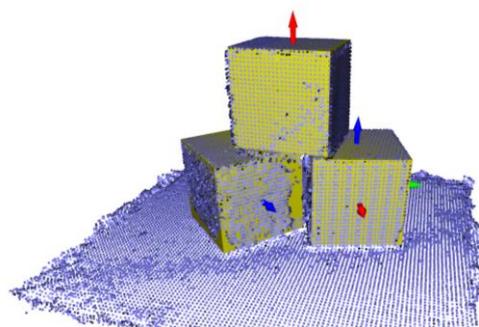
図6 SfM で取得した 3D データ

で一致する特徴が見つけられなかったことが原因と思われる。ここから SfM はワークの素材の影響を受けやすいことがわかった。また、1シーンを復元するのに分単位の処理時間がかかることも課題である。

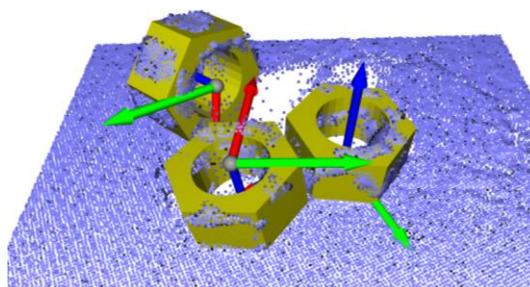
#### 4. 測定データからのオブジェクト認識

実測データからのオブジェクト認識について検討するため、SfM で取得した 3D データに対して、2.1 節に示したオブジェクト認識を試みた結果を図7に示す。

この結果から、高密度な 3D データが得られれば、そこからオブジェクト認識できることがわかる。



立方体



M5 ナット

図7 実測定データからオブジェクト認識した結果

一方で、M5 ナットのオブジェクト認識は誤差もみられる。その原因としては、取得した点群の品質が低いことがあげられる。対策としてオブジェクト認識フローにおすす前に、点群データを整えるための前処理を行うことが考えられる。

#### 5. まとめ

ロボットマニピュレーションに活用することを目指した 3D 点群の処理と取得について検討し、以下のことが分かった。

- ・点群処理技術を活用してシーン点群からオブジェクトの位置・姿勢がわかる。これは貫通穴に他の部品を挿入するような場面での活用が考えられる。
- ・SfM により実シーンから緻密な 3D 点群を生成できる。一方で、ワーク素材によっては困難な場合もある。
- ・SfM で取得した 3D 点群からオブジェクトを認識できる。しかし高精度に位置・姿勢を取得するには、点群品質を高める必要がある。

オブジェクト認識の確度を高めるための、高密度点群の安定した取得と取得した点群の高品質化については今後の課題である。

#### 【参考文献】

- 1) 坂東ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp7-8,2022