

# 自律移動ロボットによる工業設備の点群自動計測

## ～点群計測のための経路計画～

電気通信大学 ○細田 大貴, 増田 宏 日本工業大学 石川 貴一朗

### 1. 緒言

生産設備の改装検討や状況把握を行うためには、現況を把握する必要がある。近年、レーザスキャナの性能の発展により高精度な3次元点群の取得が行えるようになり、点群計測は現況の3次元情報を忠実に得ることができるようになった。しかし、点群計測を多頻度で行うことは、計測に熟練した人員が必要なことや計測に時間がかかるという問題がある。

この問題を解決するには、自動計測ロボットが有効である。ロボットが自動で点群を計測することができれば、夜間等設備が稼働していない時間帯に無人で計測ができるため、多頻度での計測が可能になると考えられる。

本研究では、自律移動ロボットが最適な計測を行うための経路を算出する手法について検討する。

### 2. 移動計測ロボット

本研究で使用を想定しているロボットは本研究室で開発した図1に示す移動ロボットである[1]。このロボットは、広域を計測できるレーザスキャナを搭載し、自律的に走行して点群計測を行う。WindowsとLinuxで稼働するPCを2台搭載し、それぞれで点群処理とロボット制御を行なう。



図1: 自律移動ロボット

### 3. 移動ロボットによる点群処理

#### 3.1 自己位置計算

ロボットによる点群計測では、計測環境での正確な自己位置を算出する必要がある。ここでは、自己位置計算は、TLSによって取得された点群を用いる。自己位置計算では、ラフな位置合わせの後に精密レジストレーションを行う。ラフな位置合わせでは、計測開始位置で点群計測を行い、床面と他の平面を検出する。それらの平面から3面を選んで変換座標を計算する。この操作を繰り返し、最も多くの平面が一致する組み合わせをラフ位置合わせの結果とする。その後、点-平面を一致させるロバストICPを適用して精密位置合わせを行う。図2に検出された平面とレジストレーション結果を示す。算出された座標変換によって、ロボットの位置と方向を求めて自己位置とする。

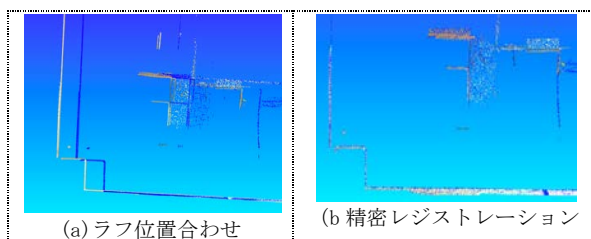


図2 レジストレーション

#### 3.2 移動可能領域算出

ロボットの移動可能領域を算出するために、まず、RANSAC法による平面検出によって床面を算出する。そして、床面を「通過可能領域」、「通過不可能領域」、「未計測領域」に分類する。ここでは、床面を格子に区切り、各格子から一定の高さ以内に干渉する点群がないか調べ、干渉する場合には、通過不可能領域とする。干渉計算では、ロボットを円柱で近似した。未計測領域は、点が取得できていない領域である。ここでは、格子内の点が閾値以下の格子を未計測領域とする。分類結果を図3に示す。

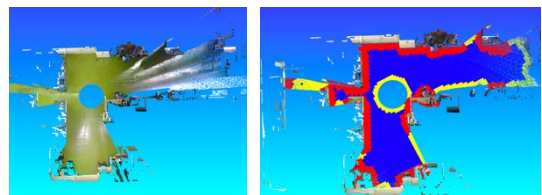


図3 通行可能領域 (赤: 不可, 青: 可能, 黄: 未計測)

#### 3.3 最適位置計測と経路探索

本研究では、最適計測位置の算出は、事前に測定された点群を用いて、オフラインで行う。ただし、現況が事前の計測とは異なる可能性がある。予定された計測位置に移動できない場合には、4章で述べる方法により、最適計測位置の再計算を行う。

計測位置が得られた後、現在位置から計測位置へ到達するための通過可能な経路を算出する。本研究では、初期位置から、算出されたすべての最適計測位置を通る最短経路をダイクストラ法を用いて算出する。ここでは、ロボットの現在地点からの経路が最短となる最適計測位置を順次迎える経路を算出する。

### 4. 最適計測位置の算出(オフライン処理)

#### 4.1 障害物と計測対象のモデル化

本研究では、事前情報として、TLSを用いて、計測環境と計測対象物の点群が十分多くの箇所での計測によって得られているものとする。計測された点群は、床面と天井付近の点群を除去した後、メッシュモデルに変換する。メッシュへの変換は、Poisson Surface Reconstructionを用いた。図4に、工業設備の点群をメッシュに変換した例を示す。このメッシュモデルは、計測の障



図4: 工業設備のメッシュモデル

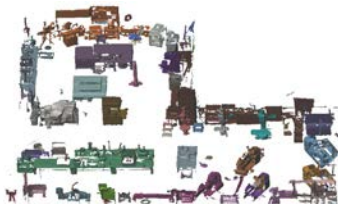


図5: 計測対象となる床面上の物体のモデル

害物として用いる。また、測定対象については、ユーザが選定するものとする。図5に、床面上に設置された物体を選定した場合のメッシュモデルを示す。計測においては、これらを最もよく計測できる計測位置が算出される。

#### 4.2 移動可能領域算出

移動可能領域の算出は、リアルタイム処理と同じであるが、ここでは、事前に計測したすべての点群を用いて行う。図6は、点群から計算された移動可能領域を示している。なおこの図では、メッシュモデルも合わせて表示している。

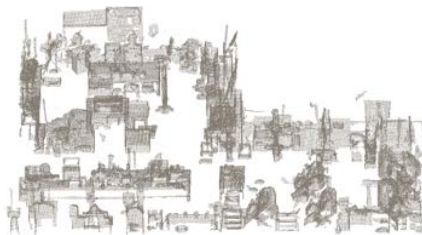


図6 移動可能領域 (青：移動可，赤：不可，黄：未計測)

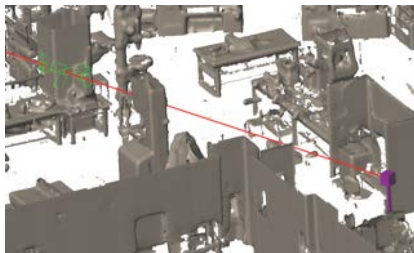
#### 4.3 最適計測位置算出

計測対象からできるだけ多くの点群が得られる計測位置を算出する。まず、図5の計測対象物のモデル上に、図7(a)のように、十分多くの点群を発生させる。次に、図7(b)のように、計測候補地点から仮想的にレーザを照射し、図4の障害物のメッシュに遮られなければ、計測可能と判定する。この処理をすべてのサンプリング点に対して行い、どの点が計測可能であるかを記録しておく。この操作を多数の計測候補地点で行う。なお、仮想レーザとメッシュとの交点計算は、OBB木によるラフチェックを用いて高速化している。

最初に選択される最適計測位置は、最も計測対象の点が計測できる位置とする。次の最適計測位置は、未計測の点を最も多く取得できる位置とする。この操作を繰り返していくことで、指定した個数の計測位置を算出する。この処理は非常に高速に行えるため、計測候補地点での可視点を保持しておけば、リアルタイムでの点群計測において、移動可能領域が変更になった場合でも、最適計測位置の再計算を行うことができる。



(a) 計測対象物からサンプリングした点群



(b) 計測位置からの可視判定

図7 計測対象物上の可視点群の計算

### 5. 評価実験

事前計測データとして、電気通信大学の機械設計工作室内の35箇所で計測された点群を用いて手法の検証を行った。点群数は、

約4億点である。この点群から、計測環境と計測対象のメッシュを作成し、最適計測位置の算出を行なった。ここでは、ロボットの移動可能領域に、間隔が60cm以下にならないように計測候補地点を算出した結果、図8に示す291地点が算出された。また、計測対象物から、10万点の点群をサンプリングした。291地点での可視点の算出に要した計算時間は、約15分であった。ほぼすべての計算時間が可視点の算出に使われており、可視点から最適計測位置の選定に要した計算時間は1秒以下であった。

図9に、計測地点の個数と、新規に得られる計測点の個数との関係を示した。この実験では、計測対象物からサンプリングした10万点のうちの90%を計測するのに最低6地点、95%では9地点、99%では15地点での計測が必要であった。図10に12地点(98.2%の点を計測)での最適計測位置を示す。

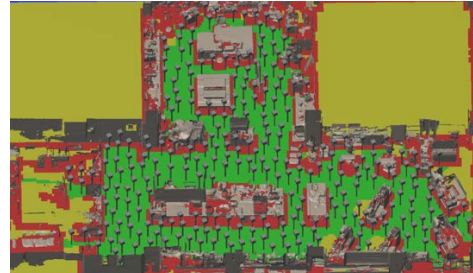


図8 計測位置候補 (ピンが計測位置候補，総数291個)

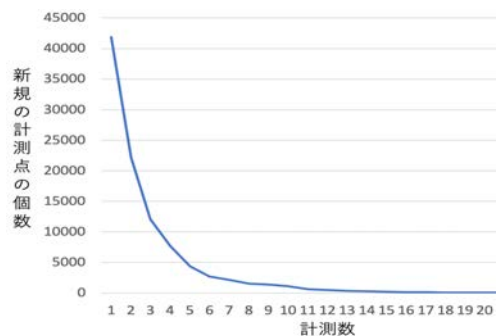


図9 計測数と計測点数

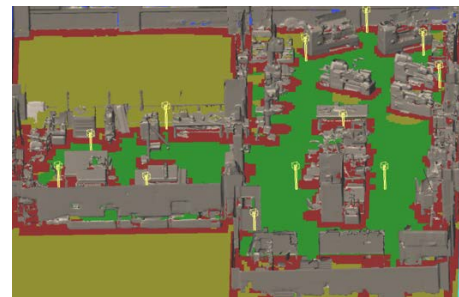


図10 最適計測位置 (黄色いピンが最適計測位置)

### 6. 結言

生産設備を計測した点群から移動可能領域の算出と最適計測位置算出を行い、初期位置での計測データを用いて初期位置推定を行った。算出された初期位置、計測位置、移動可能領域からロボットの移動経路の算出を行った。

今後は、今回実機での確認を行えなかったことで実際にロボットに提案したアルゴリズムを実装して本当に算出した経路が移動可能かの検証を行いたい。

### 参考文献

[1] 和田太一, 鈴木晶也, 増田宏, 石川 貴一郎: 自律移動ロボットによる屋内生産設備の点群データ取得システム, 精密工学会春季大会, 2019