

複数のレーザスキャナによる平面計測精度の比較

東京大学 ○榎本昌一, 小栗昇悟, 増田 宏, 東京電機大学 田中一郎

Accuracy assessment of Mid-Range Laser Scanners by measuring a flat board

The University of Tokyo Masakazu Enomoto, Shougo Oguri, Hiroshi Masuda, Tokyo Denki University Ichirou Tanaka

In this research we will investigate the degrees of accuracy of the state-of-arts laser scanners. Recently, mid-range laser scanners have been intensively improved in preciseness as well as scan speed. However, their experimental evaluations are not available, and it is difficult for us to determine appropriate threshold values in point processing. Therefore, we measured accuracy levels by measuring a planar board while changing distances between the laser scanner and the object. We also investigate accuracy levels while changing precision modes, which are implemented in some scanners. In this study, we could clarify the accuracy levels of different types of scanners.

1. はじめに

3次元レーザスキャナ計測による大規模設備の形状モデリングでは、様々な距離の対象物を扱う。しかし、スキャンされた点群データの精度が距離に応じてどのように増大するかはあまり知られていない。また、最近のスキャナでは、計測時に精度に関連する複数のモードから一つを選択するようになっており、高い精度を要求するほど計測時間が長くなるようになっていく。毎秒100万点の計測ができるスキャナも存在しているが、その速度を達成するには「低精度」を選択する必要がある。しかしながら、モードの選択によってノイズレベルがどのように変わるかについては十分な記載がない。

点群処理を行うにあたって、ある曲面に当てはめたときのずれ量の標準偏差は非常に重要である。たとえば、また、領域成長法やRANSAC法では、ある点が曲面上に乗っているかどうかを判定する閾値が必要である。このとき、計測点 (x_i, y_i, z_i) の当てはめ誤差が正規分布に従うならば、 $1\sigma, 2\sigma, 3\sigma$ 以内にそれぞれ68.28%, 95.44%, 99.74%が含まれるはずなので、標準偏差が推定できれば、それに基づいて点群処理のための閾値を決定することができる。

そこで、本研究では、計測原理の異なる複数のスキャナに関して、距離と品質モードを変えながら平面の計測実験を行い、平面からの各点の距離に関して標準偏差を算出する。また、標準偏差が距離に応じてどのように変化するかを調査する。

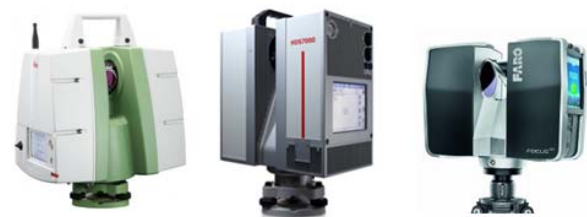
2. 実験方法

評価したレーザスキャナは、図1に示すように、Leica Geosystem社のScanStation C10とHDS7000、および、Faro社のFocus3Dの3機種である。それぞれのカタログスペックを表1に示す。C10はTime-of-Flight (TOF)方式のスキャナで遠距離まで計測できるのが特徴である。HDS7000とFocus3Dは両社の最新式で最高性能の位相差方式のスキャナで、毎秒約100万点の計測ができる高速モードを備えている。Focus3Dは小型軽量で、携帯が容易なことが特徴である。一方、HDS7000はクラスIの不可視光を用いており、多くの人が集まる場所でも計測可能である。

図2と図3に実験方法を示す。図2のように被測定物となる白色の平板を立て、2メートルから28メートルまで距離を変えながら計測を行う。解像度は10メートルで2ミリメートルピッチになるように設定する。図3は、計測に用いたホワイトボードである。実験場所は屋内とし、窓を塞ぐことで太陽光が入らないようにした。また、Focus3DではクラスIIIのレーザーを扱うため、安全上、レーザー光が計測用平板の反対方向へ飛ばな

いようにスキャナの後方に覆いを付けた。

HDS7000とFocus3Dでは計測時に品質モードを選択するようになっている。HDS7000ではLow, Normal, High, Premiumの4通りで計測を行った。Focus3Dではさらに細分化された設定ができるが、HDS7000の各モードに最も近い計測速度を選択することとし、1×, 2×, 3×, 4×の4通りで計測を行った。なお、品質のレベルが一つ上がるごとに、スキャナのミラーの回転速度が半分になり、計測時間は2倍かかる。すなわち、上記の4通りの品質モードにおいて、最低品質と最高品質で同じ個数の点群を取得する場合、計測時間の差は8倍となる。



(a) ScanStation C10 (b) HDS7000 (c) Focus3D
Fig1: Laser scanners

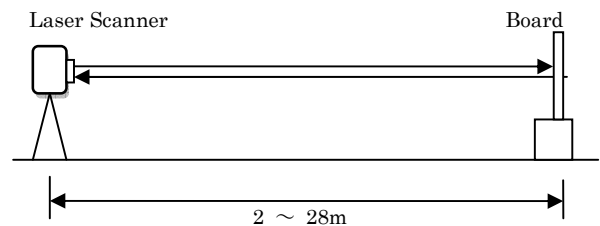


Fig2: Field of experiments



Fig3: Whiteboard and scanner

Table 1: Specifications of laser scanners

	ScanStation C10	HDS7000	Focus3D
Method	TOF	Phase	Phase
Wave	532nm	1.5 μ m	905nm
Class	3	1	3
Max Dist.	300m	187m	153.49m
Pts/Sec	50,000	1,016,727	976,000
Weight	13Kg	9.8Kg	5Kg

3. 計測結果

まず、図 4(a) のように、計測されたデータから、手動で平面板の部分を選択し、それらの点群に対して最小 2 乗法で平面フィッティングを行う(図 4(b)). 図 4(c) は平面を横から見た図の一部を拡大したもので、計測点が平面近くに分布している様子を示している。それらの点と平面との距離を求め、その標準偏差を計算する。この計算をすべての計測データについて行う。

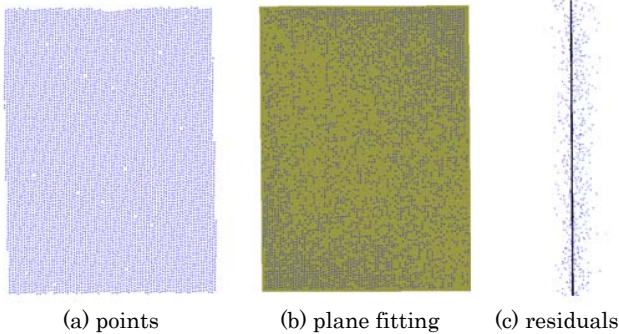


Fig4: Plane fitting

図 5 に実験結果を示す。横軸は、計測装置とホワイトボードとの距離、縦軸は平面当てはめの残差である。この結果から以下のことがわかる。

- (1) 今回の計測範囲においては、HDS7000 の精度が優れている。HDS7000 では Low モードでも、すべての距離において、他のスキャナよりもよい精度が得られた。また、High と Premium モードでは、今回の計測範囲では顕著な差は生じなかった。
- (2) 位相差方式のスキャナでは、距離が大きくなるに従って標準偏差が大きくなる。計測時の品質モードの差は、距離が大きくなるにしたがって顕著になる。

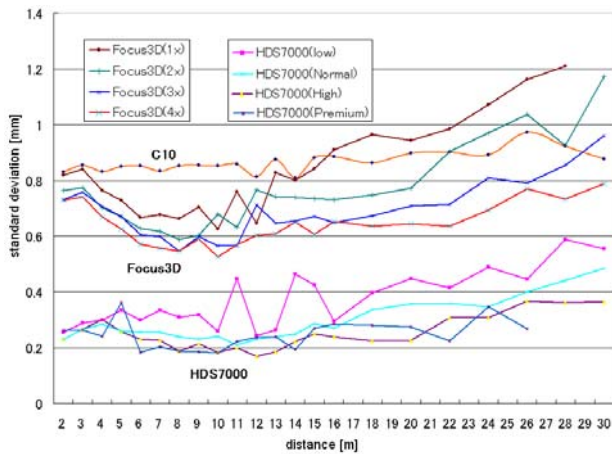


Fig5: Results

- (3) 一方、Time-of-Flight 方式の C10 は 28m までの範囲では大きな差がでなかった。
- (4) 位相差方式のスキャナにおいて、最高速度での計測は、他のモードと比べてやや信頼性に欠ける。

また、平面からの残差の分布が正規分布に従うかを調べるために、カイ二乗検定を行った。ただし、計測値は異常値を含むため、 3σ 以内の点のみを用いた。 3σ 以内の点の比率は、HDS7000(Normal), Focus3D(2x), C10 のそれぞれで 99.2%, 99.1%, 99.0% であった。5, 10, 15, 20m の距離のデータで検定を行った結果、いずれにおいても 5% の有意水準において正規分布に適合した。今回は平面板を計測しており、スポット割れによる大量の異常値は発生していないので、この結果は自然である。

4. 考察

図 6 に、計測した条件は異なるが、初期モデルの位相差方式スキャナ Imager5003 での計測実験の結果と、今回の最新モデルでの計測結果との比較を示す。短時間で大容量の点群が取得できる位相差方式のレーザスキャナが世に出た当初は計測精度に問題があったが、今回の実験では最新モデルを用いた実験を行い、精度が飛躍的に向上していることがわかった。特に、設備計測に適した中距離においては、位相差方式のスキャナが計測速度だけでなく、精度においても Time-of-Flight 方式のスキャナを上回ったことは特筆すべきことである。

一方で、最新機種であっても、標準偏差は機種や計測モードによって 2~4 倍程度異なるため、RANSAC 法などでの閾値処理では配慮が必要である。

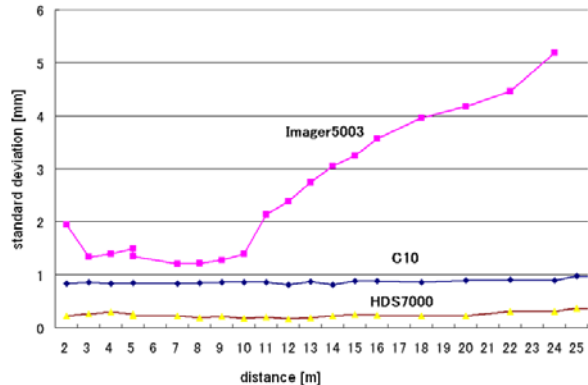


Fig6: Comparison with an early laser scanner.

5. まとめ

今回は、最新のレーザスキャナを用いて、中距離での平面計測を行い、距離と精度の関係を調べた。

なお、計測精度は照射角度や材質にも影響される。それらを変更した場合の精度に与える影響については今後の課題である。

参考文献

Leica Geosystem ScanStation C10 データシート

http://www.leica-geosystems.co.jp/jp/leica-scanstation-c10_79411.htm

Leica Geosystem HDS7000 データシート

http://www.leica-geosystems.co.jp/jp/HDS7000_90337.htm

FARO Laser Scanner Focus 3D データシート

<http://www.faroasia.com/products/laser-scanner/jp/downloads/>