

II-16 3次元レーザーミラースキャナーによる形状計測システムの精度検証

An Experiment on the Accuracy of Measurement
by the 3D Laser Mirror Scanner村山盛行^{※1}大津慎一^{※2}佐田達典^{※2}清水哲也^{※3}

Shigeyuki Murayama

Shun-ichi Ohtsu

Tatsunori Sada

Tetsuya Shimizu

※1(株)フィールドテック ※2三井建設(株)技術研究所 ※3(株)タクモ

【抄録】3次元レーザーミラースキャナーを用いた測量業務を行うための基礎実験を行った。3次元レーザーミラースキャナーは、レーザー距離計測を連続して面的に実行する計測器であり、極めて短時間に広範囲を計測することができる。測定ポイントで構成される画面の各画素は、XYZの3次元座標データを持つ。今回の実験は、測定対象物に当たるレーザー一点数の予測点数と実測点数の比較、及び座標変換の基準となる点の抽出方法とその精度の検証を行った。その結果、予測点数と実測点数にそれほど違いはないことと、一定の大きさや距離の条件で、基準点の抽出が可能であることがわかった。

【Abstract】We examined the accuracy of measured data by the 3D Laser Mirror Scanner which is capable of measuring 3-dimensional range over the wide area in a short time. All pixel formed by the measuring points have 3-dimensional coordinate. We compared the number of prediction points with that of actual points, which hit the target, and examined the sampling method for the determination of reference point to transform the coordinates. As the result, we found that there is little difference between predicted point number and actual number, and it is possible to pick out the reference point with high accuracy.

【キーワード】3次元計測、座標変換、CAD、レーザー、トータルステーション

【Keywords】3-dimensional measurement, coordinate transformation, CAD, Laser, Total station

1. はじめに

3次元レーザーミラースキャナーは、様々な地形や建物の測量に利用できるリアルタイム3D形状計測装置である。特徴として、非常に短時間で広範囲を測定できることが挙げられる。現在の測量の主流である光波測距儀やGPSによる測量と大きく異なる点は、測定精度は劣るものの、一度のスキャンで大量のデータを取り込むことができ、そこから必要な3次元座標データを抽出し、形状計測、変位計測が短時間で行えることである。また、測定データを既知点の座標に関連付けて座標変換することに

よって、簡単に現地座標にあわせた図面データを作成できる。

今回の実験は、3次元レーザーミラースキャナーを形状計測に適用するための基礎的な機能実験を行った。実験に使用したのはReagl社製LMS-Z210レーザーミラースキャナーである。このスキャナーでは、座標情報以外に、各点の反射強度・RGB情報も同時に得ることができ、これらの情報から、必要な点データをDXF、ASCITEXT、VRMLなどのファイル形式で抜き出すことが可能である。また、スキャンを行う際、画像解像度を変更することが可能

連絡先：佐田達典 三井建設(株)技術研究所 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1

TEL 0471-40-5207 FAX 0471-40-5218

であり、測定点の角度間隔をライン方向・フレーム方向共に 0.04gon ($1\text{gon} = \pi/200\text{rad} = 1.8^\circ$) 刻みで設定できる。このスキャナーで取り込んだデータは Range データと Intensity データと RGB データの 3 つで表示される。スキャナーの主な仕様とスキャナーの機構を表-1 と図-1, 図-2 に示す。

表-1 LMS-Z210 仕様

項目	仕様
測定範囲	2~350m(自然物ターゲット 反射率80%以上) 2~150m(自然物ターゲット 反射率20%以上)
スキャン範囲	ラインスキャン 80° フレームスキャン $0^\circ \sim \text{Max} 330^\circ$
測定精度	$\pm 2.5\text{cm}$ (測定条件により $\pm 10\text{cm}$)
測定レート	最大28000Hz
レーザー波長	$0.9\mu\text{m}$ (近赤外線領域)

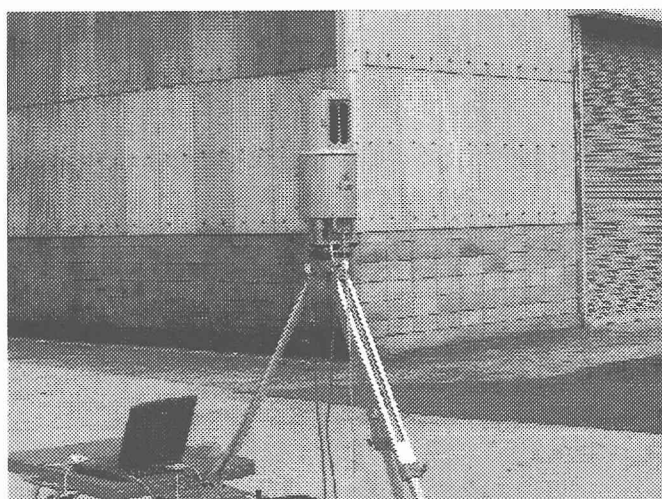


図-1 3D レーザーミラースキャナーLMS-Z210

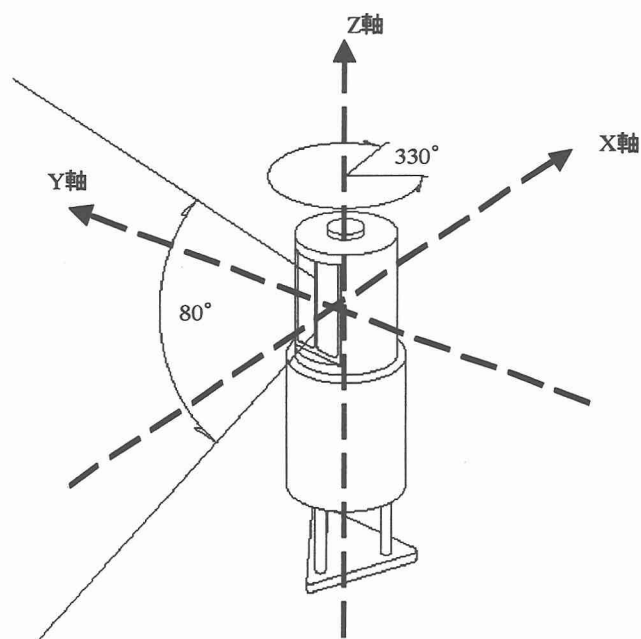


図-2 LMS-Z210 の測定機構

2. 実験目的と実験方法

2.1 実験目的

3D レーザーミラースキャナーの測量分野への実用化に向けては、その基礎となるべき測定データの座標点の精度検証を行う必要がある。これまでの実験で、測定された点の持つ精度は、距離に依存せず $\pm 2.5\text{cm}$ (測定条件により $\pm 10\text{cm}$)であることを確認した¹⁾。今回の実験の目的は、画像合成を行う際の、座標変換の基準となる点の抽出方法とその精度を検証することと、観測計画を立てる際の目安となる、測定対象物に当たるレーザー点数の確認と予測式の信頼性を検証することである。

① 点の抽出方法の検討

複数の計測データを扱う場合、1つのデータの測定点数が非常に多く、その中から複数データ間共通の基準点を認識するのが困難である。そこで、ターゲットに当たった点の座標の平均値を取り、それをターゲットの中心とできないかと考えた。

② レーザー照射点数の確認

測定対象物に当たるレーザー点数を把握する意味は、大きく2つある。1つは観測計画を立てる際の目安になること。もう1つは測定対象物を形状認識するためには、どのくらいの数のデータ点数が必要なのかを見極めるためである。前者については3章で触れる。後者については、測定対象物を最小点数で認識するためには、どの位置から測定するのが望ましいのかを測定前に把握するためである。

例えば、ある建物を計測したとする。遠くからスキャンすれば、当然建物に当たるレーザー点数は少なくなり、測定データから建物を認識できないことになる。反対に、近くからスキャンした場合、データ点数は多くなるが、建物自体を認識するのに必要な点数以上のデータ数になり、データ容量が膨大なものになってしまう。

今回の実験では、10m 程度の距離において、ターゲットの大きさ別に予測点数と測定点数を比較する。

2.2 実験方法および検証方法

実験方法としては、3D スキャナーを光源位置が地面から約 2m となる高さに固定し、地面に対して水平

となるように設置する。スキャナーから水平距離約10mの位置に、大きさの異なるターゲットを設置し、スキャナーの解像度毎にスキャンする。解像度変化は0.12gon、0.16gon、0.20gonの3段階とする。ターゲットは反射シートを貼り付けたR=25cm、R=17.5cm、R=13cm、R=7.5cmの半径が異なる4種類の円盤状のターゲットを使用する。また、レーザー機械軸と同一座標系において、トータルステーションを用いて円盤の中心点を測定する。トータルステーションで測定した点の座標を最確値として比較をする。

得られた測定データから、反射強度の違いによるフィルタリングを行い、ターゲットの点情報を抽出する。点情報から斜距離と水平角と立体角の平均値を計算し、これをXYZの3次元座標に変換する。その結果をトータルステーションでの測定結果と比較し、画像合成時の座標変換の基準点として利用することができるかを検討する。

3. 測定点予測

3.1 測定点数期待値

測定を行うにあたり、ターゲットに当たるレーザー一点数の予測を立てる。レーザー点数は、測定距離、ターゲットの大きさ、スキャナーの解像度に依存する。図-2に示すX軸を法線とする平面が占有する1走査線当たりのレーザー点数は次の式より導き出せる。測定距離と設定解像度からおおよその測定点数が計算できる。実際の測定を行う際には、条件が必ずしも満たされるとは限らないが、測定対象物から得たい必要点数に応じて、おおよその測定距離、もしくはスキャナーの解像度が決定されるので、観測計画を立てる際に便利である。測定点数予想のための計算式(縦方向)は次のようになる。

鉛直方向のスキャンは、上下角40°が限界であり、1走査当たりのスキャン範囲限界高さZmax(m)は

$$Z_{\max} = X \cdot \tan 40^\circ + Z_l \quad (1)$$

X(m)は、ターゲットまでの水平距離、Zl(m)は機械高である。スキャン解像度を ϕ (度)、水平距離X(m)における地表とレーザー光軸とのなす角を θ_x (度)とすると、距離Xにおける最大スキャン点数Smaxは

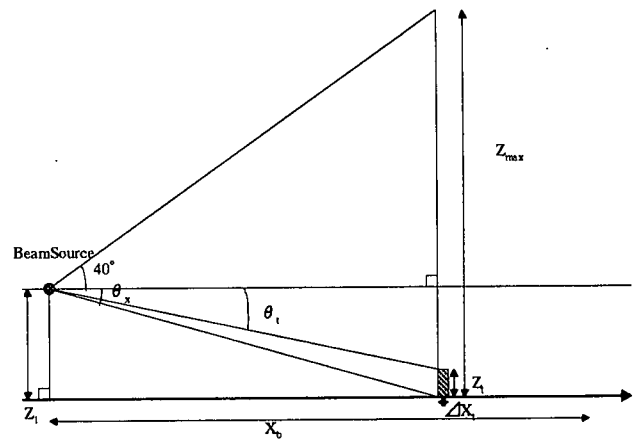


図-3 レーザー一点数予測式のイメージ図

$$S_{\max} = \frac{1}{\phi} (40 + \theta_x) + 1 \quad (2)$$

$$\theta_x = \left(\tan^{-1} \left(\frac{Z_l}{X} \right) \right) \quad (3)$$

である。

次にターゲット面における鉛直方向のスキャン点数Sztを考える。Sztは、

$$S_{zt} = \frac{1}{\phi} (\theta_x - \theta_t) + 1 \quad (4)$$

$$\theta_t = \left(\tan^{-1} \left(\frac{Z_l - Z_t}{X} \right) \right) \quad (5)$$

であり、 θ_t (度)は水平距離Xにおけるターゲットの面最上部とレーザー光軸とのなす角である。

式(2)~(5)は、水平方向において成り立つため、ターゲット面全体のスキャン点数Szttotalは、水平方向にターゲットの幅Ytまで積分することによって

$$S_{zttotal} = \int_0^{Y_t} S_{zt}(\xi) \cdot d\xi \quad (6)$$

となる。

3.2 レーザー光軸による誤差要因

実計測を行う上で問題となるのは、レーザー光軸の距離による広がりである。距離L(m)に置けるレーザー光軸の広がりdは、

$$d = \eta \cdot L \quad (7)$$

である円となる。 η はレーザー光軸の広がり係数である。ターゲット面が持つ法線とレーザー光軸が θ_{pt} (度)の角度を持っている場合において、任意の点におけるレーザー光軸の広がり d_{pt} は

$$d_{pt} = \frac{\eta \cdot L}{\cos \theta_{pt}} \quad (8)$$

となり、実計測を行う各点は、ターゲット面からの反射強度により、式(8)によって求められる長軸及び短軸を持つ誤差楕円を持つ。

4. 実験結果及び考察

予測点数と測定点数の比較表と R=7.5cm のターゲットの解像度別点データの表を以下に示す。

表-2 ターゲット点数比較表

ターゲット大きさ	0.12gon			0.16gon		0.20gon	
	0.12-1	0.12-2	0.12-3	0.16-1	0.16-2	0.20-1	0.20-2
R=25cm	141	135	143	82	81	48	52
予測点数	133			78		50	
R=17.5cm	64	69	66	39	38	24	23
予測点数	63			38		28	
R=13cm	37	36	35	21	24	14	15
予測点数	38			28		19	
R=7.5cm	13	13	11	8	7	5	4
予測点数	12			7		7	

表-3 ターゲットに当たった点の座標平均と光波で計測したターゲット中心点の座標との比較

	光波	点座標			(光波)-(レーザー)ずれ(m)			点間距離
		X	Y	Z	X	Y	Z	(光波基準)
設定解像度	0.12-1	-9.951	-0.628	-1.051	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.12-2	-9.953	-0.635	-1.047	0.002	0.007	-0.004	0.002
	0.12-3	-9.948	-0.629	-1.045	-0.003	0.001	-0.006	0.004
	0.16-1	-9.951	-0.633	-1.046	0.000	0.005	-0.005	0.000
	0.16-2	-9.948	-0.636	-1.045	-0.003	0.008	-0.006	0.003
	0.20-1	-9.937	-0.633	-1.046	-0.014	0.005	-0.005	0.014
	0.20-2	-9.954	-0.628	-1.047	0.002	0.000	-0.004	0.002
	0.20-2	-9.961	-0.638	-1.048	0.010	0.010	-0.003	0.010

解像度 0.12gon では、計算値より若干多い点数となったが、計算値とほぼ同じ点数がターゲットに当たっていることが確認された。解像度 0.12gon の場合と R=25cm の場合に測定点が計算値よりも大きくなった理由に関しては、解像度が高い場合、もしくは水平距離に対してターゲットが大きい場合、ターゲット周辺における変化点近辺のサンプル量が増加するためと考えられる。予測式を完全なものとするには、今後より多くの測定データを分析し、予測式を検討する必要がある。

R=7.5cm のターゲットについてレーザーの測定データ(ターゲットに当たった点)を平均して求めた点の座標とトータルステーションで測定した中心点座標の比較を表-3 に示す。各々で求めた点の点間距離は、1 ケースを除いて 1.0cm 以内となった。これは、最確値に対して測定データの平均値から求めた点が、最確値を中心にして半径 1.0cm の球体内にあることを意味している。このことから、ターゲットから求めた点を中心点として±1.0cm 程度の精度でデータ

の合成が可能であることが言える。他の大きさのターゲットデータに関しても同様の結果となった。1.0cm 以内に入らない測定結果において、レーザー光軸などの広がりなど多くの誤差要因が考えられるが、今回の場合、実サンプルが少ないため、今後さらに実験を繰り返し、要因の特定を行っていく。

合成に関して残る問題点は、合成誤差±1.0cm 程度と、レーザーの測定精度誤差±2.5cm が残ることである。体積を求める土量計測や、数 10cm や m 単位で管理すればよい変位計測には適用できるが、現状では mm 単位の精度を要求する図面などの作成にはそのまま適用できない。この問題を解決するには、複数回の計測によりレーザーの持つ誤差を、ソフト面で処理することによって小さくする方法を検討しなければならない。

5. まとめと今後の課題

今回の実験結果から①現在の予想式で、測定点数の目安がほぼつけられる。②今回の 4 種類の大きさのターゲットに関しては、ターゲットを 10m の位置に設置した場合、ターゲットの大きさによらず点データの平均値と標準偏差から求まる点の座標は、トータルステーションで測定したターゲットの中心座標と 1cm 程度のばらつき範囲内で一致する。以上のことがわかった。

今後の課題としては、①ターゲットの位置を更に離れた場合とターゲットの大きさを 1cm 程度にまでにすること。②合成誤差を小さくするための処理を考察すること。③本稿で用いた式は特殊解であり、今後本システムの開発適用を進める上で一般解が必要となる。等が挙げられる。

これらの基礎データを把握し、目的用途に応じた測量分野への適用を行っていく予定である。

参考文献

- 1)村山盛行・大津慎一・佐田達典:3次元レーザーミラースキャナーの計測精度検証,第55回土木学会年次学術講演会論文集第VI部門,2000.9