ノート

広空間型レーザ三次元座標測定システムの高機能化に関する研究

菅野　明宏*

Functional Enhancement of Laser Three-dimensional Coordinate Measuring System with Wide Field of View

KANNO Akihiro*

1. 緒　　言

近年，大型構造体の製造現場では機械加工や溶接後の寸法を高精度に管理することで，後工程の組立時に発生する不具合の修正工数を低減させたいという要望が高まっている。そのためには，その大型構造体上の三次元座標を離れた位置から高精度に測定する必要がある。著者はそれらの要望に応えるために，レーザ測長器を用いた簡易的な三次元測定システムの開発を進めている。ここでは数メートルから十数メートル程度の大きさがある構造体の寸法を，数ミリメートルの精度で測定することを目標としている。昨年度の研究では，レーザ測長器とガルバノスキャナで構成した測定システムの試作開発を行った[1)]。

そして本年度の研究では，そのシステムのさらなる高機能化に向けて，近年低コスト化かつ高精度化が進んだ無線通信型レーザ測長器の本システムへの適用を行った。さらに測定時間の短縮を目的とした制御計測ソフトウェアの改良を行った。本報では，それらの開発概要を紹介すると共に，測定実験による形状測定精度の検証結果について報告する。

2. 高機能化の概要

2.1 無線通信型高精度レーザ測長器の適用

本システムの外観を図 1 に示す。また，測定器本体部の詳細とシステムの座標系を図 2 に示す。測定器の本体部分はレーザ測長器と 2 軸のガルバノスキャナで構成している。それらの仕様を表 1 に示す。

表 1　システム構成要素の仕様

レーザ測長器	測定精度	±1.0mm
	測定範囲	0.05～200m
	レーザ波長	635nm（＜1mW）
	レーザスポット径	6/30/60mm (10/50/100m 測定時)
ガルバノミラー	走査範囲	±30 度（光学角）
	分解能	1.17×10^{-4} 度/パルス

ここでレーザ測長器には Leica Geosystems 製の Disto D8 を用いた。これまで用いていたレーザ測長器の距離測定精度は±1.5mm であったのに対して本測長器は±1.0mm であり測定精度が高い。また，ここではそのレーザ測長器を本研究で開発したソフトウェアにより Bluetooth 通信を介して制御している。今後，RS-232C を介して制御しているガルバノスキャナ部の無線

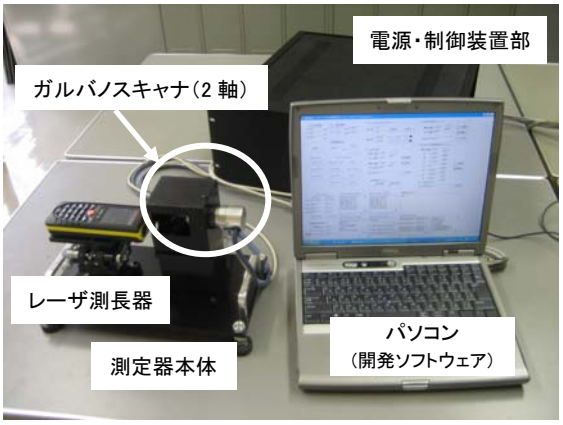


図 1　システムの外観

* 下越技術支援センター

通信化を行えば，測定者が離れた所から本測定器を制御して測定することも可能になる。これは大型構造体の内部寸法の計測などで，被測定物に変形や振動が発生するために測定者が構造体内部に入れない場合などに有用であると考えている。

2.2　制御計測ソフトウェアの改良

本システムでは，レーザ測長器から射出されたレーザ光をガルバノスキャナで偏向して被測定物上に照射し，その点までの距離計測値とレーザ光の偏向角度から三次元座標を演算している [2) 3)]。従って，三次元形状を精度良く測定するためには，レーザスポットを微小な間隔で移動して多数の点を測定する必要がある。それは，高精度な形状測定の場合には測定点数に比例して測定時間が長くなることを意味する。

これまで開発したソフトウェアでは，2 次元断面形状測定において指定した測定幅を等間隔で測定している。そこで，測定時間の短縮を図るために，その測定幅を最大 8 つの領域に任意に分割して，それぞれの領域内の測定間隔を設定できるようにソフトウェアを改良した。これにより，エッジ部やコーナ部など被測定物の寸法測定における基準になる部分だけを微小間隔で高精度に測定し，それ以外の部分は大きな間隔で測定することが可能になる。後述の測定実験を一例に挙げると，等間隔での測定に対して測定時間が約 1／5 に短縮される。

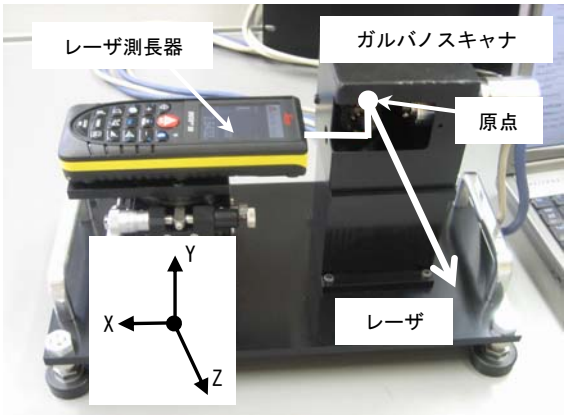


図 2　走査装置部の詳細と測定座標系

3.　測定実験

3.1　実験内容

被測定物までの距離の差による測定精度の検証を行うために，図 3 に示す段差ブロックの測定を行った。凹凸部の長さは 160mm で段差の高さは 10mm である。実験では，これらの段差ブロックを本システムから 1m と 3m，そして 5m 離れた場所に置いて一ラインの断面形状を測定した（図 4）。その測定結果から段差ブロックの凹凸部の長さを求めて，本システムのレーザ走査方向（ここでは X 方向）の測定精度を検証した。また，同様に段差の高さを求めて，測定距離に対して小さな段差が検出できるかを調べると共に，Z 方向の測定精度を検証した。実験では測定間隔を，エッジ部とコーナ部の近傍で 0.1mm とし，平面部では 2mm とした。

図 3　測定対象（段差ブロック）

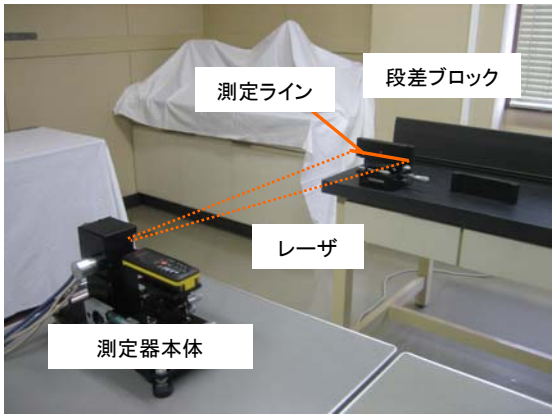
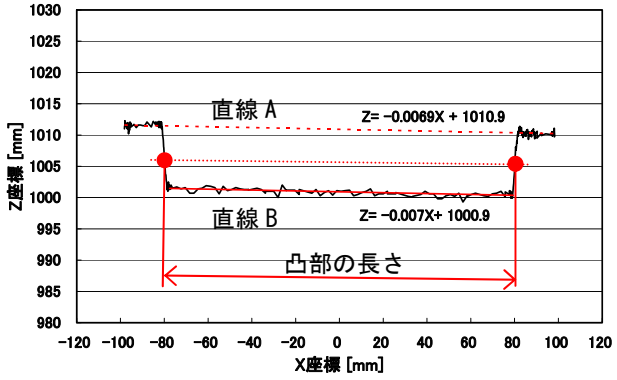


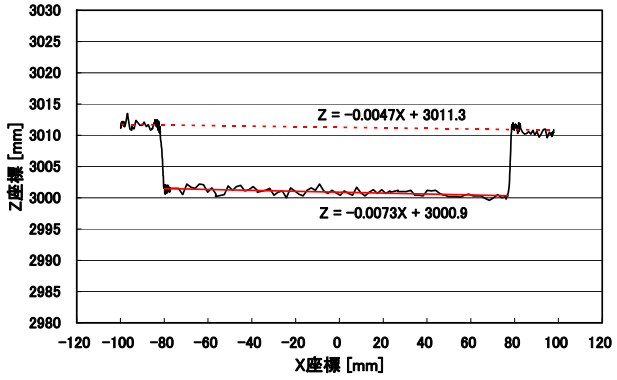
図 4　測定の様子（距離 1m の場合）

3.2　実験結果

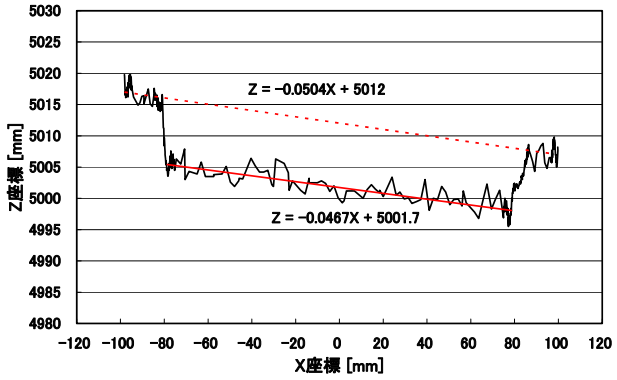
凸面のある段差ブロックの測定結果を図 5 に示す。ここでは図 5(a)に示すように凸部と両端の段差部の測定結果をそれぞれ最小二乗法により直線近似を行い，近似直線 A，B とした。そして凸部の長さを，近似直線 A と B の高さ方向の中間位置と測定結果のグラフが交わる測定点の 2 点間の距離として求めた。そして高さは，凸部の各測定点から近似直線 B に対する距離の平均値とした。図 6 には凹面のある段差ブロックの測定結果を示す。凹部の長さと段差高さの求め方は凸部と同様とした。それぞれの寸法測定値を表 2 に示す。これより凹凸部の長さの誤差は最大で+2.6mm であり，高さの誤差は+2.2mm であった。すなわち，5m までの測定距離においては数ミリメートル程度の精度で形状測定が可能であると言える。



（a）測定距離 1m

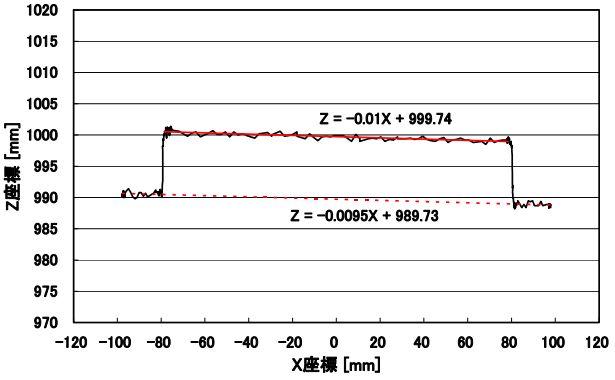


（b）測定距離 3m

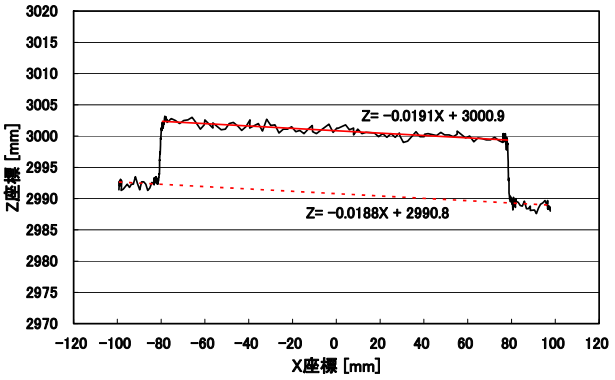


（c）測定距離 5m

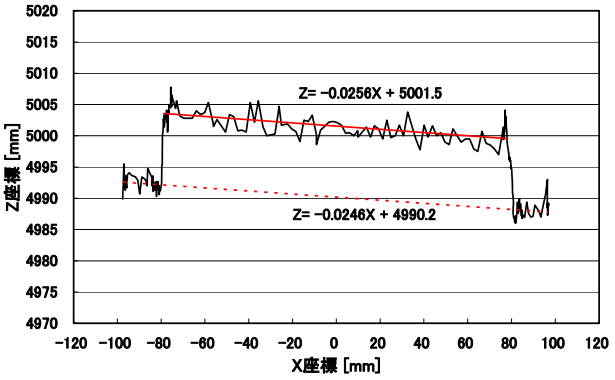
図 5　凸面段差ブロックの測定結果



（a）測定距離 1m



（b）測定距離 3m



（c）測定距離 5m

図 6　凹面段差ブロックの測定結果

表 2　測定結果（寸法測定）

	測定距離	凹凸部長さ(mm)	誤差(mm)	段差高さ(mm)	誤差(mm)	標準偏差
凸面ブロック	1m	160.1	+0.1	9.0	−1.0	0.40
	3m	159.0	−1.0	9.4	−0.6	0.48
	5m	162.6	+2.6	9.3	−0.7	1.29
凹面ブロック	1m	159.7	−0.3	11.0	+1.0	0.37
	3m	159.1	−0.9	11.0	+1.0	0.54
	5m	160.0	0.0	12.2	+2.2	1.54

4. 考　察

はじめに被測定物までの距離と測定誤差の関係について考える。表 2 の結果より凹凸部の長さと高さの測定において，測定誤差は距離に応じて大きくはならなかった。しかしながら，測定結果のグラフでは，明らかに測定距離が大きくなると各測定点のばらつきが大きくなることが分かる。そこで，前述の近似直線 A から，それぞれの測定点までの距離の標準偏差を求めた。その結果を表 2 の右に示す。これより距離 1m と 3m は標準偏差があまり変わらないが，5m ではその 3 倍程度まで大きくなっていることが分かる。これはレーザ測長器の距離測定のばらつきが影響しているものと思われる。しかしながら，本システムのように測定点数を多くして平均化すれば，数ミリメートルの精度での形状の測定が可能であることが言える。

次に段差の高さ測定ついて考えると，測定距離によらず凸面の場合では小さく測定され，逆に凹面の場合では大きく測定された。紙面の都合上，詳細は割愛するが複数回の測定でも同様の結果が得られている。すなわち，本測定系に測定幅の両端付近で Z 方向の成分が小さくなるような誤差が含まれていると言える。しかしながら本実験の結果では，1m から 5m 離れた位置から高さ 10mm という小さな段差の測定を再現性良く高精度な測定ができているとも言える。そして前述のような誤差は，校正方法を検討することで誤差を低減させることが可能であると思われる。

5. 結　言

（1）本システムに高精度なレーザ測長器を適用して基本性能の向上を行うと共に，Bluetooth 通信を介した無線での制御を可能にした。

（2）測定領域を最大 8 つに任意分割して，測定間隔を設定できる測定制御ソフトウェアを作製して，測定時間の短縮を実現した。

（3）測定距離を最大 5m まで変化させて段差ブロックの形状測定を行った結果，数ミリメートルの精度で寸法測定が可能であることを示した。

謝　辞

新潟大学工学部機械システム工学科の新田 勇教授には，レーザ測長器の Bluetooth による無線制御ソフトウェアの開発に関してご指導いただくと共に実験機材の貸与で多大なるご協力をいただきました。ここで深く感謝いたします。

参考文献

1）菅野明宏，“レーザ測長器を用いた三次元座標測定システムの開発”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p96-98.

2）新田勇，小森克也，飯村良雄，西村孝司，“レーザ測長器を用いた 2 点間測定に関する基礎研究”，日本機械学会 北陸信越支部第 43 期総会・講演会論文集，2006，p139-140.

3）新田勇，小森克也，“レーザ測長器を用いた 3 次元測定器の基礎研究”，日本機械学会第 6 回機素潤滑設計部門講演会論文集，2006，p153-154.