ノート

レーザ測長器を用いた三次元座標測定システムの開発

菅野　明宏*

Development of Three-dimensional Coordinate Measuring System Using a Laser Distance Meter

KANNO Akihiro*

1.　緒　　言

県内の製造業では，産業機械や鉄道車両そして造船の分野などにおいて数メートルから数十メートルといった大きな構造体の加工が行われている。その製造現場では，それら大型構造体の機械加工や溶接後の寸法を高精度に管理することで，後工程の組立時に生じる不具合や修正工数を低減させたいという要望がある。そしてそれを実現するためには，被測定物上の三次元座標を離れた位置から簡便かつ高精度に測定する技術が必要である。

ここで既存の三次元測定器について考えると，一般的には測定テーブル上に載せることができる比較的小さな物体を対象としているものが多い。数メートル以上の広空間に対して三次元座標を測定できる装置では，アーム式のタッチプローブ型座標測定器や，レーザ測距機能を応用した三次元レーザスキャナなどがある。しかし前者は，測定範囲に限界があることに加えて測定者の手の届かないような離れた場所の座標測定は困難である。一方で後者は，非接触で広空間の三次元形状が測定できるが数千万円といった価格であり，コスト面から前述のような製造現場における加工精度確認への応用は難しい。

そこで本研究では，製造現場で使用できる簡便かつ低コストな寸法測定技術の確立を目的として，レーザ測長器を利用した簡易的な三次元座標測定システムを試作した。本システムは数メートルから数十メートル程度離れた位置にある物体上の三次元座標をミリメートルの精度で測定することを目的として開発を進めている。本稿では，そのシステムの概要と測定実験の一例を紹介する。

*　下越技術支援センター

表１　システム構成要素の仕様

レーザ測長器	測定精度	平均±1.5mm/最大 2mm
	測定範囲	0.3～100m
	測定時間	0.5～4 秒/点
	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

2.　システムの概要

2.1　構成と仕様

本研究で作製したシステムの外観を図 1 に示す。本体部はレーザ測長器(Disto pro 4a：Leica Geosystems 製)と 2 つのデジタルガルバノミラー(FS-1AG15：キヤノン(株)製)で構成される。表 1 にそれら構成要素の仕様を示す。レーザ測長器による距離計測とガルバノミラーの駆動は

図１　システムの外観

本研究で開発したソフトウェアを用いてパソコンにより制御される。

2.2　三次元座標系と測定範囲

図 2 にレーザ走査部の詳細と測定座標系を示す。測定ではレーザ測長器から射出されたレーザが，2 つのミラー(X および Y ミラーとする)によって偏向され，被測定物上へ照射される。その際にレーザ測長器によって計測される距離データと 2 つのガルバノミラーの回転角度データより，レーザが照射されている点の三次元座標を演算する [1) 2)]。ここで測定座標系の原点は，2 つのミラーの回転角度が 0 度のときの Y ミラー上のレーザ反射点としている。そして測定できるのは Z 軸上から X 軸および Y 軸周りに±30 度の範囲である。また図 2 では鉛直上向を Z 軸としているが，ガルバノミラーを固定しているホルダーを 90 度回転させることで水平方向を Z 軸にすることができる。さらに本システムでは 2 点間の距離測定，および任意の断面プロファイルや領域に対する点群座標の自動測定が可能である。

3.　測定実験

3.1　実験内容

離れた場所にある構造体の測定を模して，工場などの天井にある角ダクトの寸法測定を行った（図 3）。ここで角ダクトは床から約 3m の高さにある。実験では図 3 に示したライン A およびライン B 上の座標を測定して断面プロファイルを求めた。測定ではガルバノミラーのステップ角度を 2.93×10^{-3} 度とした。このとき 3m 離れた位置では測定間隔が約 0.3mm となる。ライン A は 2,001 点の座標を，ライン B は 2,241 点の座標を測定した。そして，あらかじめ計測部の角ダクトの幅を直尺により測定しておき，本システムにより測定した座標から求めた値との比較を行った。加えてライン A 部については，天井を基準とした角ダクトの高さの寸法も求めて同様に比較を行った。

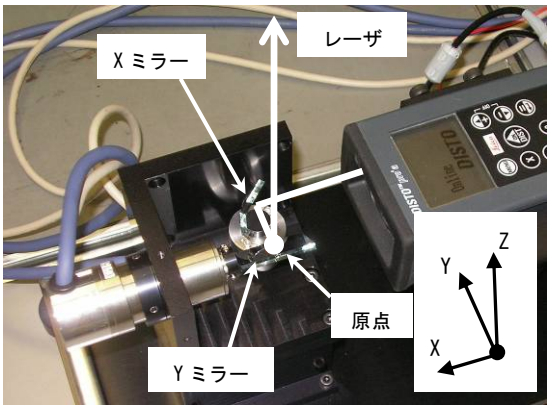

図 2　レーザ走査部の詳細と測定座標系

3.2　実験結果

図 4 に本システムでの測定結果を示す。それぞれのラインの座標測定では，Y ミラーを固定していたので，結果は X-Z 平面内の断面プロファイルとなる。ここでダクトの幅はエッジ部の 2 点の座標間距離から求めた。また，高さの演算では，はじめにダクト部と天井部の測定座標について最小二乗法により直線近似を行った。次に，エッジ部を基点としてダクト部の近似直線に対して垂直な線と天井部の近似直線との交点を求めて，先のエッジ部の基点座標との距離から高さを算出した。このとき，エッジ部の基点座標は後述する測定誤差の要因を考慮して，ダクト中心方向に 10 点の測定座標の平均値と

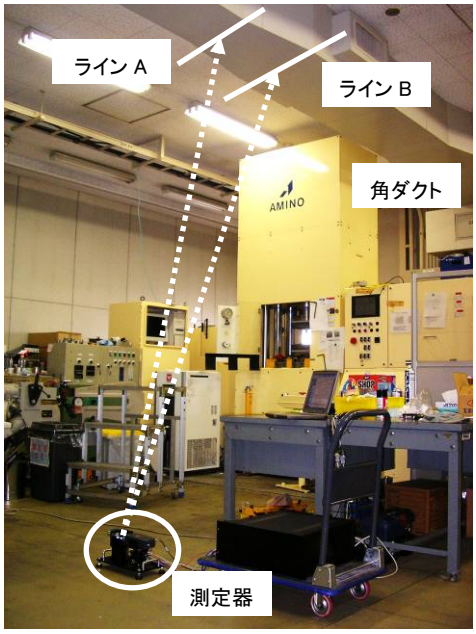

図 3　角ダクトの寸法測定風景

した。表 2 に本システムの測定座標から求めた値と直尺での測定値を示す。これより本実験では直尺での測定に対する本システムの測定誤差は-1.9mm から+2.6mm であった。すなわち，約 3m 離れた場所で数ミリメートル程度の精度で寸法測定が可能であると言える。

4. 考　　察

ここでは本システムにおける測定誤差の主な要因について考える。実験では，微小なステップでレーザ光を移動させて座標測定を行うことによりエッジ部分の座標を求めている。しかしながら，表 1 のとおりレーザのスポット径は測定距離が長くなるほど大きくなる。例えば 3m 離れた対象物上でのスポット径は約 5mm の大きさになる。従って，本実験のような測定では，エッジ部近傍でレーザ光がダクト突出部と天井部の両方に照射される場合がある。そのときの測距値はそのレーザ照射範囲の中央部分の平均値として現れるため，誤差が生じるものと考えられる。これは図 4 の測定断面プロファイルで，エッジ付近に明らかに大きな誤差を含んでいる座標値があることからも推察できる。紙面の都合上で詳細は割愛するが，今回はエッジ近傍において最大 4 ステップ分の測定座標値にそれらの誤差が含まれていた。なお本実験では，寸法測定の際にそれらの誤差を含む座標値は除外している。今後は，それらの座標値に対する補間アルゴリズムを検討することで，測定精度を向上できると考えている。

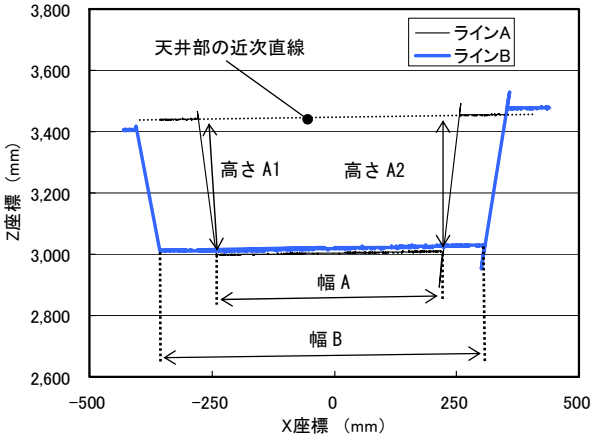

図 4　測定結果(X-Z 断面プロファイル)

表 2　測定結果(寸法測定)

測定箇所		測定結果(mm)		誤差 (mm)
		本システム	直尺	
ライン A	幅 A	461.6	463.5	−1.9
	高さ A1	443.3	442.0	+1.3
	高さ A2	444.6	442.0	+2.6
ライン B	幅 B	662.7	664.0	−1.3

5. 結　　言

(1) 大型構造体の寸法を簡易的に測定することを目的としたレーザ三次元座標測定システムを試作した。本システムにより約 3m 離れた位置にある凸形状の寸法測定を行い，数ミリメートルの精度で測定できることを示した。

(2)エッジなどレーザスポット径の範囲内で Z 座標が大きく変化する形状部の測定で誤差が大きくなる。測定精度をさらに向上させるためには，それらの測定座標値の補間アルゴリズムを検討する必要がある。

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，レーザによる座標測定技術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) 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.

2) 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.