

# アーム型三次元座標測定機の精度向上の研究

中島明哉\* 根田崇史\*\* 新谷隆二\*\*

アーム型三次元座標測定機は門型に比べ安価で扱いやすい反面、精度が低いことが問題である。そこで、本研究ではアーム型三次元座標測定機の精度向上を目的に、測定機のアームリンク部における“たわみ”と“ねじれ”を補正するためのレーザと2次元PSDを組み合わせたリアルタイム計測システムを開発した。その上で、開発した計測システムを搭載したアーム型測定機を試作し、平面度の測定を行なうことでその有効性を示した。また、測定機に負荷がかかった場合の影響を低減できることを示すことで、手動測定時のばらつきが抑えられることを明らかにした。

キーワード: 三次元座標測定機, アーム型, 精度

## Improvement the Measuring Accuracy of 3D Measuring Arms

Akichika NAKASHIMA, Takashi KONDA and Ryuji SHINTANI

In general, while 3D measuring arms are associated with low price and easy to operate, the problem of low measuring accuracy compared with bridge-type 3D coordinate measuring machines. In this study, for the purpose of improving the measuring accuracy of 3D measuring arms, it is developed that the real-time measuring system composed of laser and 2D PSD for compensate deflection and torsion angle. Measuring arm was prepared equipping with this system, and the effectiveness of this system is confirmed by measuring flatness. It is confirmed to reduce dispersion by manual operation, due to the influence of load is reduced by this system.

Keywords : 3D coordinate measuring machines, 3D measuring arms, measuring accuracy

### 1. 緒 言

機械部品加工業において、寸法精度は品質を管理する上で重要な評価項目のひとつである。以前はノギスやマイクロメータを使用した一次元的な測定による評価が中心であったが、三次元測定機の登場により立体的な測定が可能となった。これにより、複雑な三次元形状加工への要求が高まると共に、加工精度の追求が飛躍的に高まった。

三次元測定機においては、図1に示す門型とアーム型の2種類が多く利用されている。国内において現在主流の門型では、サブミクロン台の測定も可能な機種もあるなど高精度の測定が可能である。しかしながら、プローブの校正など測定にあたっては高い専門性が必要であり測定が容易とは言い難い。また、測定機本体の大きさに対し測定範囲が小さいといった問題もある。そのため、外形の大きな部品を測る場合は大型の高価な機種が必要となる。一方、アーム型の三次元座標測

定機は、安価と言うだけでなく、測定機本体の大きさに対し測定範囲が大きく測定操作が容易(直感的)であることから、近年、国内で普及してきた。しかしながら、現状の精度は±0.025mm程度であり、門型ほどの精度が得られていない。

アーム型三次元測定機の精度を向上させることができれば、大きな部品でも高精度に測定できる安価な測定機となる。アーム型測定機については精度低下原因の一つとしてアームリンク部の“たわみ”や“ねじれ”の



門型

アーム型

図1 三次元座標測定機

\*繊維生活部 \*\*機械金属部

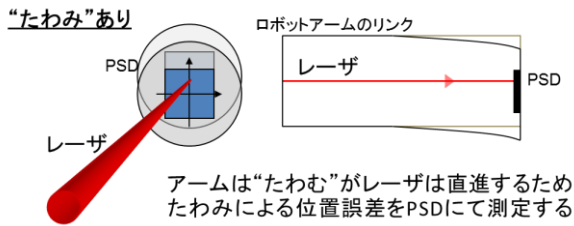


図2 たわみの計測

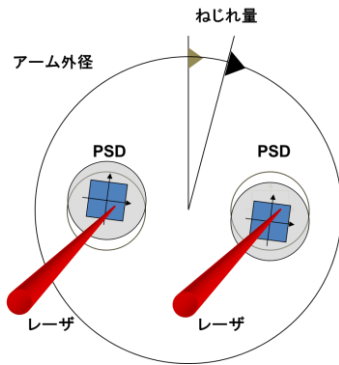


図3 ねじれの計測

影響が指摘されている。本研究では、その“たわみ”と“ねじれ”を補正することを目的に、リアルタイムで計測するシステムを開発し、そのシステムを搭載した試作機を作製することで、その有効性を調べた。

## 2. たわみとねじれの計測

### 2.1 計測システム

“たわみ”と“ねじれ”を補正することを目的に、レーザーと2次元光位置センサ(Position Sensitive Detector, 以下2次元PSDと表記)を図2, 3のように組み合わせたリアルタイム計測システムを試作した。システムに用いたレーザーと2次元PSDの仕様を表1に示す。このシステムにおけるレーザー照射位置について、測定値のばらつきを調べた結果、照射時間が1秒では0.002mm, 10秒では0.004mm, 10秒以上の照射時間では0.007mmであった。

### 2.2 たわみの計測

試作したシステムをCNC画像測定システムNEXIV VMH300N(ニコン社製)を使用して、レーザーダイオードと2次元PSDの相対的な位置の移動量を擬似的なたわみとして測定した。その結果、目標とした分解能0.005mmに対し、相対的な移動量としては0.002mmまでの判別が可能であった。

表1 レーザと2次元PSDの仕様

	レーザー	2次元PSD
メーカー	エドモンド・オプティクス・ジャパン(株)	浜松ホトニクス(株)
型式	EOレーザーダイオードモジュール 59081-K	2次元PSD S2044
仕様	[発振波長] 635nm [最大出力] 1mW [集光ビーム径] 0.15mm @300mm [コリメートビーム径] 3×2mm@10m [外径寸法] φ12mm×41.5mm	[受光面サイズ] 4.7×4.7mm [感度波長範囲] 320~1060nm [受光感度] 0.6A/W [位置検出誤差] A:±40μm (MAX ±100μm) B:±70μm (MAX ±150μm) [位置分解能] 0.6μm

### 2.3 ねじれの計測

三次元測定機UPMC550 CARAT S-ACC(カール・ツァイス社製)のロータリーテーブル上に、2個の2次元PSDを38.839mm間隔で配置し、回転させることで擬似的なねじれとして測定した。その結果、30秒(約0.083度)までの判別が可能であった。なお、ねじれ量は、2次元PSDの位置が既知なことから、2点のレーザー照射位置から計算した回転前と後の2直線のなす角とした。

以上の結果から、試作したシステムは、現状のアーム型測定機の精度に比べ、十分な精度で“たわみ”と“ねじれ”をリアルタイムに計測することが可能であることを明らかにした。

## 3. アーム型測定機の試作

レーザーと2次元PSDを用いた“たわみ”と“ねじれ”のリアルタイム計測システムを組み込んだアーム型測定機の試作を行なった。試作機概略図を図4に、仕様を表2に示す。試作したアーム型測定機は、2次元PSDへの外乱の影響を極力小さくするために、アームリンク部を中空構造としアームリンクの中にレーザーと2次元PSDを配置した構造とした。試作機外観を図5に示す。

## 4. 試作機による測定

試作機を用いて以下のような測定を行なうことで、“たわみ”と“ねじれ”を補正するために計測する本システムの有効性についての評価を行なった。

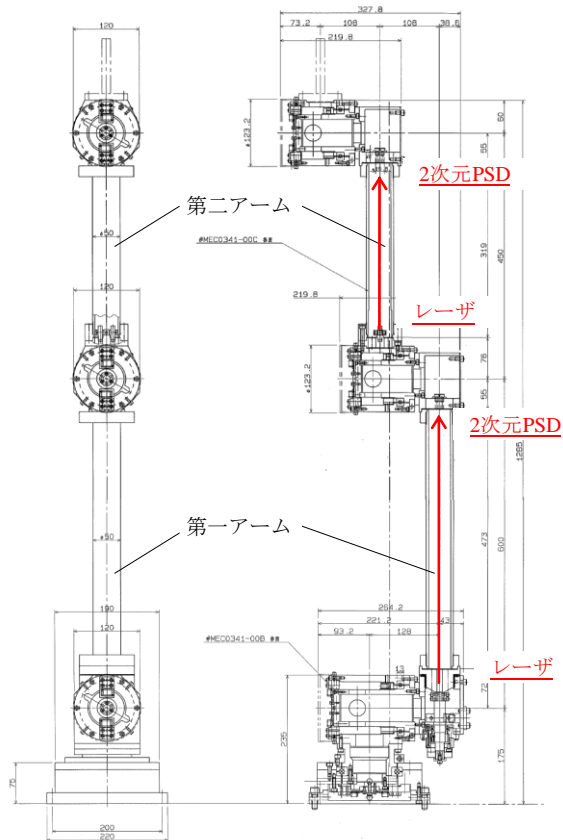


図4 試作機外略図

#### 4. 1 測定基準の設置位置による影響

測定基準の設置位置による補正効果の影響を評価することを目的に、試作機を2自由度(回転, 固定, 回転, 固定)に設定し、図6に示すような条件の下、定盤中心位置Ⅰ(275, 400)、Ⅱ(60, 440)、Ⅲ(45, 880)の3か所で平面度の測定を行なった。座標系は、アーム型測定機第1軸を原点とし、第1アームリンク方向をx軸+方向とした。“たわみ”と“ねじれ”の測定基準は、第1アームリンクと第2アームリンクが折重なった状態の姿勢である。平面度は、アーム先端に電気マイクロメータを取り付け、その値をZ座標値とすることで定盤上の点9点を測定し算出した。使用した定盤は、(株)藤田製作所社製 No.201型検査用精密定盤 JIS B 7513 1級 300×300mm であり、三次元測定機(カール・ツァイス社製 UPMC550 CARAT S-ACC)にて測定した平面度は0.002mmである。

本システムから算出した“たわみ”と“ねじれ”により測定機先端位置を補正した場合と補正しなかった場合の測定結果を表3に示す。この結果から、“たわみ”と“ねじれ”の測定基準位置に近い定盤位置Ⅰ,Ⅱに比べて

表2 試作機的主要仕様

軸構成*	①	4自由度 (回転, 旋回, 旋回, 旋回)
	②	3自由度 (回転, 固定, 回転, 回転)
第一アームリンク長	mm	600
第二アームリンク長	mm	400
エンコーダ分解能	秒	0.0396
たわみ測定分解能**	mm	0.0006

\*第一アームリンクは90度回転可能な機構を搭載

各軸にはロック機構を搭載

\*\*構成システム理論分解能(ノイズなどによる影響は除く)



図5 試作機外観

測定基準位置から遠いⅢでの補正量が小さいことから、“たわみ”と“ねじれ”の測定基準はなるべく被測定物に近い位置に設置したほうがよいことが明らかになった。

次に、“たわみ”と“ねじれ”の測定基準の測定機の姿勢の違いによる影響を評価するため、3種類の初期姿勢(1:第1軸0度, 第2軸0度, 2:第1軸0度, 第2軸90度, 3:第1軸0度, 第2軸180度)の場合について、中心位置(x, y)=(33.5, 762)の定盤の平面度測定を行なった。結果を表4に示す。この結果から、測定時の姿勢に最も近い初期姿勢2において補正の効果が高いことから、“たわみ”と“ねじれ”の測定基準はなるべく測定時の姿勢に近い設定としたほうがよいことが明らかになった。

表3, 4の測定結果から、どの測定条件においても“たわみ”と“ねじれ”を計測・補正することで平面度の値が三次元測定機(カール・ツァイス社製 UPMC550 CARAT S-ACC)での測定結果である0.002mmに近づいていることから、本システムが精度向上に有効であることを明らかにした。

#### 4. 2 アームリンク部にかかる負荷の影響

試作機を2自由度(回転, 固定, 回転, 固定)に設定し、負荷のない状態(第1リンク、第2リンクともに負荷な

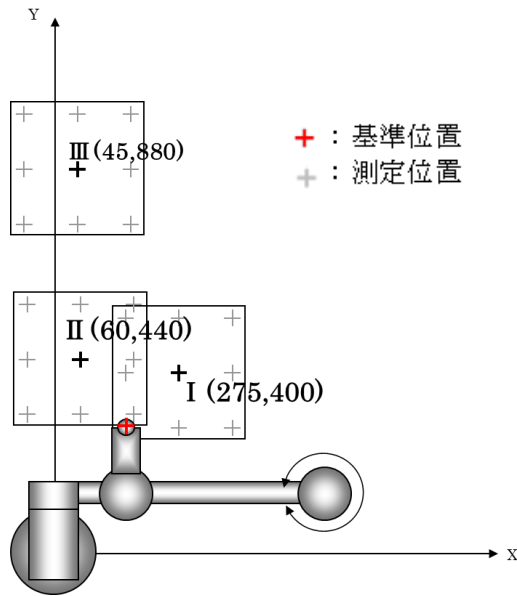


図6 平面度測定時の座標系と定盤位置

表3 平面度の測定結果

定盤位置	平面度 [mm]	
	補正なし	補正あり
I	0.298	0.086
II	0.208	0.051
III	0.338	0.290

※補正なし:たわみ・ねじれ値(レーザ照射位置の変異量から算出)を使用せず  
補正あり:たわみ・ねじれ値(レーザ照射位置の変異量から算出)から測定機先端位置を補正

し)を基準として、各リンク先端部に負荷を与えることで、アームリンク部にかかる負荷の影響の補正効果について評価した。結果を表5に示す。この結果から、補正しない場合は最大誤差が0.249mmであるのに対し、本システムから算出した”たわみ”と”ねじれ”により補正した場合は0.053mmであり、本試作機においては負荷の影響を約1/4に低減できることが明らかになった。

## 5. 結 言

アーム型測定機の精度向上を目的に、以下のことを行なった。

- (1) “たわみ”と“ねじれ”をリアルタイムで計測するためにレーザと2次元PSDを組み合わせたシステムを開発した。
- (2) 開発したシステムを搭載した測定機を試作した。
- (3) 試作機による測定の結果、開発したシステムが測定精度の向上に有効であることを示した。
- (4) 開発したシステムがアームにかかる負荷による影響を低減できることを示し、手動測定の際のばら

表4 初期姿勢の違いによる影響

No.	初期姿勢 各軸角度	平面度 [mm]		図(比較) - 補正なし - 補正あり
		補正なし	補正あり	
1	第1軸 : 0° 第2軸 : 0° 	0.354	0.314	
2	第1軸 : 0° 第2軸 : 90° 	0.353	0.269	
3	第1軸 : 0° 第2軸 : 180° 	0.353	0.308	

※補正なし:たわみ・ねじれ値(レーザ照射位置の変異量から算出)を使用せず  
補正あり:たわみ・ねじれ値(レーザ照射位置の変異量から算出)から測定機先端位置を補正

表5 負荷の影響

第2リンク先端	負荷 [g]	第1リンク先端	補正なし	補正あり
			なし	なし
	270	なし	0.027	0.006
	145	なし	0.012	-0.010
	1465	なし	0.183	0.052
	なし	1465	0.053	-0.014
	1465	1465	0.249	0.053

※補正なし:たわみ・ねじれ値(レーザ照射位置の変異量から算出)を使用せず  
補正あり:たわみ・ねじれ値(レーザ照射位置の変異量から算出)から測定機先端位置を補正

つきをより小さく抑える効果があること明らかにした。

## 謝 辞

本研究の一部は、平成22年度研究成果最適展開支援事業A-STEP FSステージ探索タイプにより実施しました。また、本研究を遂行するに当たり、測定機の試作にご協力を頂いたメカトロ・アソシエーツ(株)に感謝します。

## 参考文献

- 1) 実用 精密位置決め技術事典. 産業技術サービスセンター, 2008, p.754.
- 2) 牧野洋. 自動機械機構学. 日刊工業新聞社, 1976, p. 348.
- 3) “用語の説明”. 浜松ホトニクス. PSD/用語の説明, p.1.
- 4) “特性と使い方”. 浜松ホトニクス. PSD/技術資料, p.7.