

三次元座標測定機のスタイラスシステム剛性と測定精度との関係

島津達哉^{*1}、水野和康^{*1}、松浦勇^{*1}、依田康宏^{*2}

Relations between Stylus System Stiffness of CMM and Measurement Accuracy

Tatsuya SHIMADZU^{*1}, Kazuyasu MIZUNO^{*1}, Isamu MATSUURA^{*1}
and Yasuhiro YODA^{*2}

Industrial Technology Division, AITEC^{*1*2}

検査用標準球を三次元座標測定機（CMM）により測定し、プロービング誤差 P を評価した。基準スタイラスを用いた場合、 $P=0.5\pm0.2\mu\text{m}$ （信頼水準 95%）であり、CMM の性能を評価する指標の 1 つである最大許容プロービング誤差 $MPE_P=0.8\mu\text{m}$ を導出した。続いて、種々のスタイラスや付属の治具で構成されるスタイラスシステムを用いて P を評価し、値を比較することで測定精度の変化の有無を検討した。その結果、スタイラスシステムの剛性を表す値 G が 30N/mm を下回る場合、 P の値が大きくなることから、測定に使用するスタイラスシステムの剛性不足が測定精度の悪化に影響することが確認された。

1. はじめに

三次元座標測定機（CMM）は、様々な機械加工部品の三次元形状や位置、寸法を高精度に測定することができ、現在では製造業の品質管理において不可欠なものとなっている。一方、CMM の測定精度に関しては、JIS B 7440 に CMM の性能評価として規格化されているが、その値は CMM 製造業者が指定する特定の条件下で、十分に剛性の高い基準スタイラスを使用した場合のみ適応される値であり、CMM を用いた測定全体の精度を保証するものではない。実際の測定では、測定作業者が測定課題に応じて大小様々なスタイラスや、付属の治具を選択し組み付けたスタイラスシステムを用いるため、測定精度も一定ではない。信頼性のある測定データを提供するためには、測定に用いるスタイラスシステムの信頼性を把握しておくことが重要である。

2. 実験方法

2.1 測定装置の詳細

本研究に使用した CMM は、カールツァイス社製 UPMC 550 CARAT で、温度 $20\pm0.1^\circ\text{C}$ 、湿度 $50\pm5\%$ に制御された恒温恒湿クリーンルームに設置されている。

2009 年にレトロフィットを行い、導入当時の 2 軸クランプ 1 軸力検出方式から、常時 3 軸力検出のプローブヘッドとなり、プロービング方向によって測定精度が悪化する不具合が改善された。測定精度は導入当時の JIS 規格 (JIS B 7440:1987) で、空間測定精度 $U_3=0.8+L/600$

μm ($L[\text{mm}]$:測定長さ)である。

2.2 プロービング誤差 P

CMM の性能を評価する指標の 1 つに最大許容プロービング誤差 MPE_P がある。 MPE_P は CMM の受入検査・定期検査におけるプロービング誤差 P の限界値と定義される。JIS B 7440-2:2003 によれば、検査用標準球の少なくとも半球上にほぼ均一に分布した任意の 25 点（図 1）を測定し、得られた測定結果から最小二乗球の中心を計算する。この球中心位置から各測定点までの距離 R を計算し R の最大値 R_{Max} と最小値 R_{Min} の差が P である。

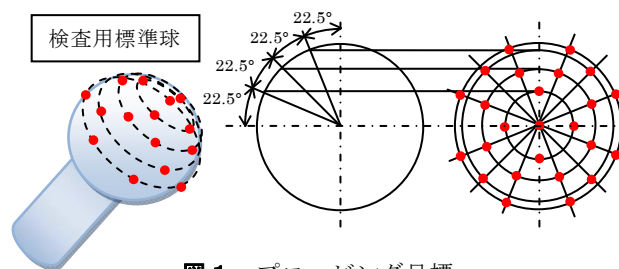


図1 プロービング目標

本測定では、更に細分化した点を加えた合計 57 点を測定点とする。 $\phi 30\text{mm}$ 検査用標準球を測定対象とし、プロービング誤差 P の評価を行う。

2.3 測定条件

まず、基準スタイラスを用いて $P (=P_s)$ を評価する。続いて、表 1 に示す各スタイラスを図 2 に示す姿勢 Z 方向に取り付けたスタイラスシステム、D8 短、D8 長スタイラスを姿勢 X 方向に取り付けたスタイラスシステム、

*1 工業技術部 機械電子室（現自動車・機械技術室）

*2 工業技術部 機械電子室（現総合技術支援・人材育成室）

D8短スタイラスに図3に示す材種の異なる長さ100mmのスタイラスエクステンション (EX) を組み付けたスタイラスシステムを用いてPを評価する。

各々のスタイラスシステムを用いて得られたPとPsとを比較し、測定精度の変化の有無を検討する。

表1 スタイラスの種類

名称	球径 mm	シャフト径 mm	シャフト長 mm	シャフト 材質
D8短	8.0	6.0	86	セラミックス
D8長	8.0	6.0	46.5	超硬
D3短	3.0	2.0	22	超硬
D3長	3.0	2.0	46.5	超硬
D0.8	0.8	0.5/1.0	11.6	超硬

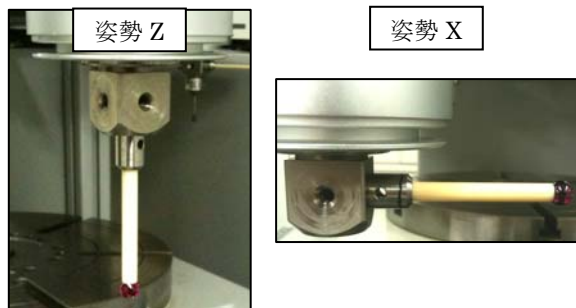


図2 取り付け方

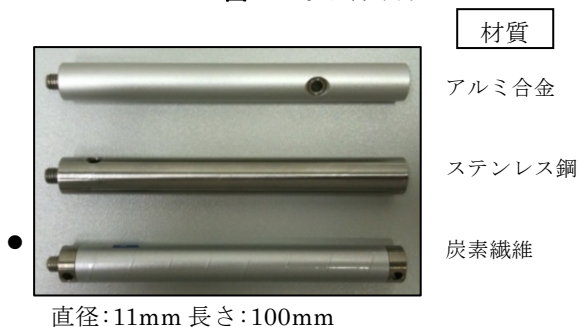


図3 スタイラスエクステンション (EX)

3. 実験結果及び考察

3.1 測定結果

基準スタイラスを用いて検査用標準球を測定した場合、 $P_s=0.5\pm0.2\mu\text{m}$ (信頼水準 95%) となった。更に、測定の不確かさ (検査用標準球の形状偏差) を考慮に入れて $MPE_p=0.8\mu\text{m}$ を導出した。

表1に示したD8短、D8長、D3短スタイラスを用いたスタイラスシステムの場合、 $P=0.4\sim0.5\mu\text{m}\approx P_s$ となり測定精度が維持できているといえる。しかし、D3長、D0.8スタイラスを用いたスタイラスシステムの場合は、 $P=0.8\mu\text{m}>P_s$ となり測定精度が悪化した。また、D8短、D8長スタイラスを用いたスタイラスシステムについては、取り付け方向 (姿勢Z、姿勢X) を変更してもPの値に変化は認められず、測定精度が維持できていると考

えられる。

$P\approx P_s$ であったD8短スタイラスに、図3の各EXを組み込んで構成されるスタイラスシステムについては、EXの材質がステンレス鋼製、炭素繊維製の場合、 $P=0.4\sim0.5\mu\text{m}\approx P_s$ であり測定精度が維持できているのに対し、EXの材質がアルミ合金製の場合、 $P=0.8\mu\text{m}>P_s$ となり測定精度が悪化した。一般に、アルミ合金のヤング率はステンレス鋼と比較して半分以下であるため、スタイラスシステムとしての剛性が不足し、測定精度の悪化の要因となったと考えられる。

3.2 スタイラスの剛性と測定精度の相関

一般にCMMにおける測定では、測定に用いるスタイラスシステムについて、事前に球径やシャフトのたわみ量等の情報を得るためのキャリブレーション (校正) を行う。本研究で用いたCMMに保存される校正結果の内、スタイラスシステムの剛性を表す値Gに着目した。基準スタイラスの剛性 $G_s=96\text{N/mm}$ であるのに対して、 $P\approx P_s$ のD8短、D8長、D3長スタイラスを用いた場合、 $G=65\sim129\text{N/mm}$ (姿勢Z) であり、 $P>P_s$ となるD3長、D0.8スタイラスを用いた場合、 $G=11\sim23\text{N/mm}$ (姿勢Z) であった。図4にGとPの関係を示す。

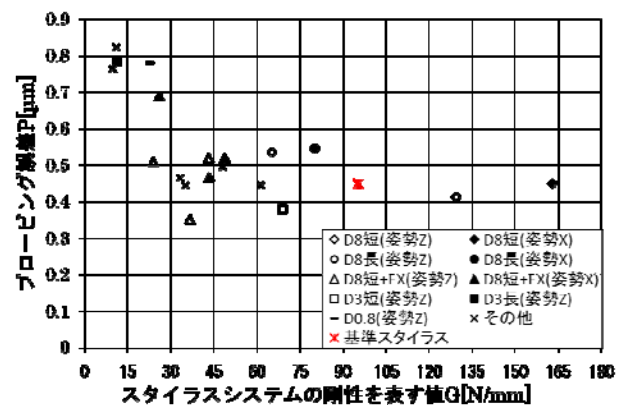


図4 GとPの関係

図4から、 $G>G_s$ のスタイラスシステムはもちろん、 $G\geq 30\text{N/mm}$ のスタイラスシステムであれば $P\approx P_s$ であり、測定精度が維持できていると判断できる。一方、 $G<30\text{N/mm}$ のスタイラスシステムでは $P>P_s$ となっていることから、使用するスタイラスシステムの剛性不足により測定精度が悪化したと考えられる。

4. 結び

本研究では、CMMの測定精度を評価する指標の1つである最大許容プロービング誤差に着目した。検査用標準球の測定において、プロービング誤差を評価することにより、使用するスタイラスシステムの剛性不足に起因する測定精度悪化の傾向を把握することができた。