

ホワイトペーパー

計測の第一線で - CMM スタイルスの選択ガイド

三次元測定機（CMM）でのワークの計測に最適な手段を決める場合には、以前の経験に基づいて多くの選択肢がデフォルトで選択されています。多くの場合、CMM の精度仕様、使用に最適なセンサーの種類（タッチまたはスキャニング）、最適な測定方法は、疑問を持つことなく、当たり前のご選択として受け止められています。しかし、最高の計測を行うためのこの原理は、スタイルスの不適切な選択によって損われ、その結果として、計測精度に悪影響が及ぶ場合があります。



CMM に必要とされる精度を考える際には、CMM の不確かさと測定公差の比率は 1:5 以上を使用するのが一般的です（1:10 が理想的ですが、これを実用に用いるには多くの場合、多額の費用がかかります。）この比率を使用することにより、測定物のばらつきに対して測定の不確かさは小さくなり、測定結果に余裕を持たせることができます。厳しい公差でも 1:5 の比率を維持できれば、精度を維持できることになります。

スタイルスを変更しても影響はないと考えられがちですが、実は精度に大きな影響を与え、目に見えるほどのばらつきを測定結果に生じることがあります。CMM の年間校正だけでは、校正時に使用したスタイルス（通常短いもの）の結果を確認するのみであるため、この精度をチェックするには不十分で、単に最良の状態での精度を測定することにしかありません。様々な測定で予想される精度を完全に理解するためには、スタイルスが測定の不確かさにどのような影響を与えるかを理解する必要があります。



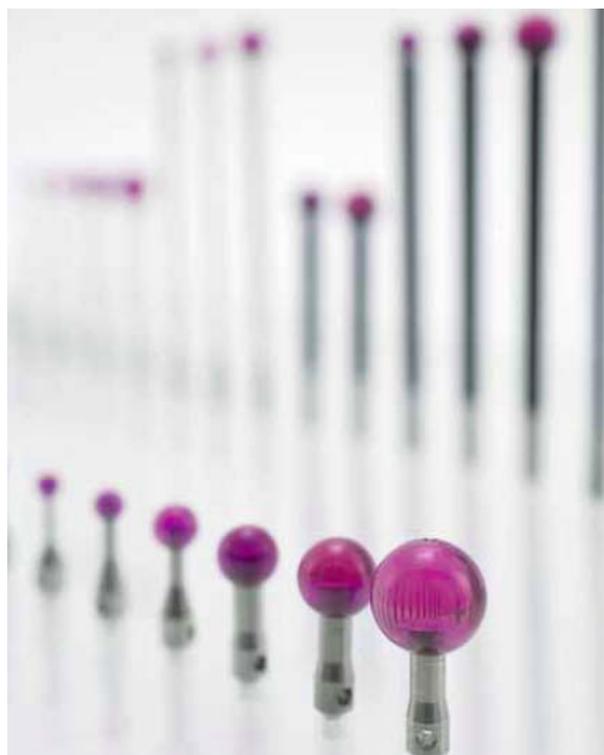
スタイルスの仕様と構成が計測結果の精度に影響を与えることがあります。

本書では、CMM 精度全体に影響を及ぼす 4 つの主なスタイルスの要因について紹介します。

1. スタイルス球の真球度
2. スタイルスのたわみ
3. 熱安定性
4. スタイルス球材質の選択（スキャニング測定）

1. スタイルス球の真球度

ほとんどのスタイルスの先端には、通常合成ルビーから作られた球が使用されています。先端球の真球度の誤差は、CMM 測定の不確かさであり、場合によっては CMM の精度が 10% も損われることになります。



ルビー製のスタイルス球

ルビー球は、グレードによって定められた各精度レベルに沿って製造されています。グレードは完全な球体と比べた最大偏差を表しています。最も一般的に使用される球の仕様は、グレード 5 とグレード 10 の 2 つです（グレード数が低いほど真球度が高くなります。）グレード 5 からグレード 10 に球のグレードを下げると、スタイルスの費用を多少安くすることができますが、1:5 の比率が損われる可能性があります。ここで懸念されるのは、球グレードを視覚的に判断することが不可能で、測

定結果に明確に示されるわけではないため、この影響が大きかったとしても、その度合いを推し量ることが難しいことです。これに対する1つの対策は、グレード5の球を標準として指定することです。グレード5の球は費用が多少高くなりますが、間違っても良品をスクラップとしてはじいたり、不合格品を良品として処理することで発生する費用に比べたら、わずかな金額です。一方、CMMの精度が高ければ高いほど、球グレードの影響も大きくなります。最高仕様のCMMでは、これが原因で精度が10%も損われる場合があります。これを具体的に見てみましょう。

グレード5の球のスタイルスで測定したISO 10360-2 (MPE_P)の平均測定誤差が次の通りだとします。

- MPE_P = 1.70 μm

この数値は、25ポイントの測定により取得した25の半径で評価したものです。この半径偏差の範囲がMPE_P値です。スタイルス球の真球度は測定精度に直接影響を与え、グレード5の球をグレード10の球に変更すると、この値が0.12μm増加し、測定誤差が7%増加します。

- MPE_P = 1.82 μm

スタイルス球の真球度は、スキヤニングプローブの精度を評価するための測定(球全体で4つのスキヤニングパスを使用した測定) MPE_{THP}にも影響を与えるので注意してください。

注:

- グレード5の球の真球度 = 0.13 μm
- グレード10の球の真球度 = 0.25 μm

レニショーでは、より公差の厳しい用途向けに、真球度がわずか0.08μmのグレード3の球を使用した一連のスタイルスをご用意しています。

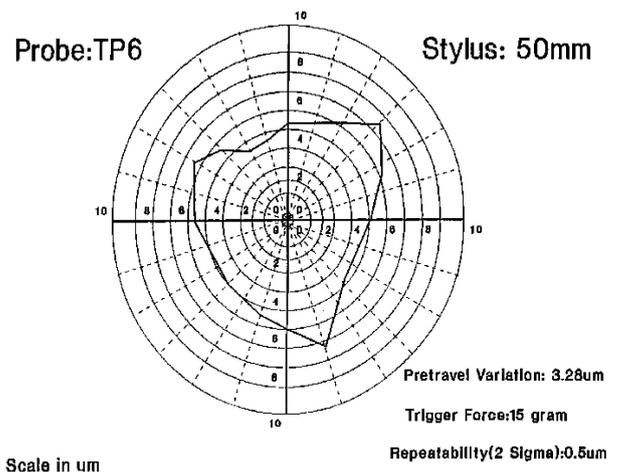


2. スタイルスのたわみ

業界標準のTP20のようなタッチトリガープローブを使用する場合、スタイルスモジュールを交換して、各測定箇所に最適なスタイルスを使用することが一般的です。すべての形状測定に1本の長いスタイルスを使用しない理由は、スタイルス長が長いと精度への影響が大きくなるためです。スタイルス長をできるだけ短くして、剛性を維持することが推奨されます。

その理由は、スタイルスが直接特定誤差を引き起こすわけではないものの、スタイルス長によってその影響が増大するためです。誤差は、プローブを様々な方向にトリガーするのに必要な様々な力によって引き起こされます。ほとんどのプローブはスタイルスとワークが接触した瞬間にトリガーされるのではなく、センサー機構内のバネを動かすために大きな力が蓄積され、この力によってスタイルスが弾性変形します。スタイルスのたわみにより、プローブは物理的に接触した後、トリガーされる前にワークの方へ少し移動します。この移動がプリトラベルと呼ばれます。

三点支持機構のプローブでは、トリガーの圧力にばらつきがあります。硬い方向には、スタイルスがかなりたわむまで、プローブはトリガーしません。これは、CMMがより長い距離を移動するため、プリトラベルがアプローチ角によって変化することを意味します(右の図を参照。)プリトラベルバリエーションは、複合アプローチ角(X、Y、Z軸)を使用する場合にはより複雑になります。



TP6 タッチトリガープローブに必要なアプローチ角度とプリトラベル。

この影響を低減するには、スタイルスを使用する前に、値付けされた基準球ですべてのスタイルスを校正する必要があります。このプロセスでは、スタイルスとアプローチ角のあらゆる組み合わせに対する誤差を特定することが望まれますが、現実的には時間を省略するために一部の角度をサンプリングした

り、平均を使用することが多く、多少の誤差が残る可能性があります。

測定の不確かさに対するこの影響を計算するには、実際にテストを行わないと非常に困難です。ここで注意すべき重要な要因は、もともとあるプリトラベルバリエーション誤差が選択したスタイルスの柔軟性によって増大することです。これはスタイルスの構成を考える上で、軸の曲げ剛性と重量やコストなどのその他の特性を秤にかけて、材質を選択することが一層重要になることを意味します。スチールは、ヤング率 $E = 210 \text{ kN/mm}^2$ でほとんどの短いスタイルスに最適です。一方、一般的に使用される最も剛性に優れた材質は超硬 ($E = 620 \text{ kN/mm}^2$) ですが、超硬は密度が高いため、長いスタイルスにはほとんど使用されません。その点カーボンファイバーは、剛性 ($E \geq 450 \text{ kN/mm}^2$) と軽量性で最も優れています。一方、セラミックの軸 ($E = 300 - 400 \text{ kN/mm}^2$) は、軽量性と熱安定性が重要になる工作機械での測定によく使用されます。



長いスタイルスとエクステンションには、剛性が高く軽量なカーボンファイバーが最もよく使用されています。

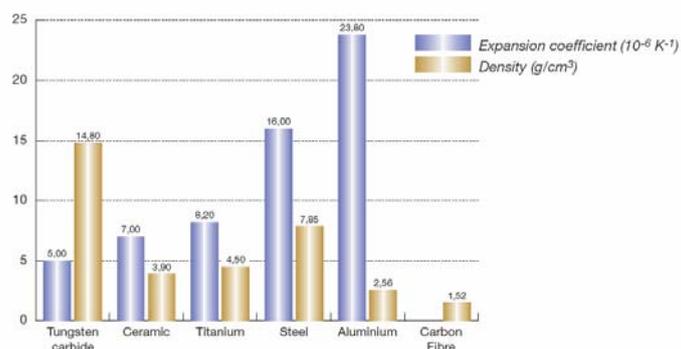
スタイルスの剛性は、スタイルスを組み合わせた場合の結合部によっても影響を受けます。原則としては、結合することでヒステリシスが発生することがあるため、スタイルスの連結はできるだけ避けることをお勧めします。しかし、固定式センサーで複雑なパーツを測定するためには、スタイルス、エクステンション、コネクタ、ナックルを組み合わせて使用する必要があります。この場合も、構成の剛性、重量、頑丈さは影響を与えるため、各要素の材質を慎重に選択することが重要になります。



複雑なスタイルス構成で精度を維持するためには、使用する材質を慎重に選択する必要があります。

3. 熱安定性

温度変化により、深刻な測定誤差が発生することがあります。スタイルスエクステンションに適切な材質を選択することで、変動する環境でも高い安定性を維持し、一貫した測定結果を得ることができます。熱による膨張は長さに依存するため、特に長いスタイルスを使用する場合は、熱膨張係数の低い材質が推奨されます。



軸材質の相対的熱膨張係数と密度

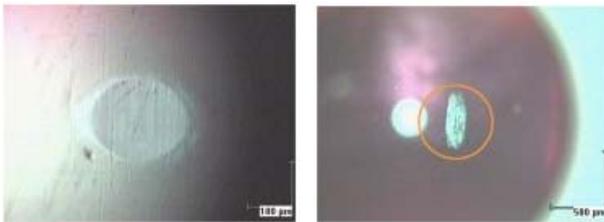
既に説明したように、長いスタイルスやエクステンションには、剛性が高く軽量で、温度が変動しても長さが変わらないカーボンファイバーが最もよく使用されています。ジョイントやナックルなどに金属製のものが求められる場合は、強度、安定性、密度の点でチタンが最も適しています。レニショーでは、これらの材質のプローブとスタイルスエクステンションをご用意しています。

4. スタイルス先端の材質選択

ほとんどの用途には、スタイルス先端の材質としてルビー球が最も一般的に使用されています。しかし、状況によっては他の材質が適している場合もあります。

タッチトリガー測定では、スタイルス先端が表面と接するのはわずかな時間で、ほとんど擦れることはありません。スキャンング測定では、スタイルス球が連続してワークの表面をスライドするため、磨耗につながります。このように長期にわたる接触によって、極端なケースではスタイルスの材質が削れたり、異物が付着して、真球度に影響が及ぶことがあります。球の特定領域がパーツと常に接触する場合には、この影響がさらに増大します。レニショーでは、これらの影響を広範に研究しており、2種類の磨耗過程について取り上げています。

- **磨耗**は、鋳鉄などの表面をスキャンする場合に、スタイルス球とワーク表面が微小な粒子の破片によって傷が付き、スタイルス球がわずかに平面化することによって発生します。このような場合には、頑丈なジルコニアのスタイルス球が最適です。



磨耗（左）によりスタイルス先端の材質が削られる一方、凝着磨耗（右）はスタイルス球に表面材が固着します。

- **凝着磨耗**は、スタイルス球とワークの材質が相互に化学的親和性を持つ場合に発生します。例えば、ルビー（酸化ア

ルミニウム）球でアルミニウムのワークをスキャンした場合に発生することがあります。これは、スタイルスに柔らかいワークの成分が移動し、スタイルス球がアルミニウムでコーティングされてしまい真球性に影響が及びます。この場合には、耐磨耗性に優れ、アルミに引き寄せられない窒化珪素が最適です。

5. その他の要因

スタイルスを選択する際には、次の点について更に考慮する必要があります。

- 選択したセンサーに適したネジ径のスタイルス
- スタイルスの種類 — ストレート、スター、スイベル、またはカスタム構成
- スタイルス先端の種類 — ボール、シリンダー、ディスク、半球
- スタイルス先端のサイズ（測定精度に対する表面の粗さの影響を低減するため）

これらの問題については、レニショーの『高精度スタイルス』で詳細に解説しています。

www.renishaw.jp/styli



結論

スタイルスは、センサーと測定物の間の不可欠な仲役で、あらゆる測定に不可欠な要素です。スタイルスは、パーツの形状を測定し、表面の位置をプローブに忠実に伝達する必要があります。高精度の検査を行うためには、スタイルスは測定要求に合った材質で、高精度の部品から構成される必要があります。適切なスタイルスを慎重に選択して使用することで、不確かさを低減し、一貫して信頼できる結果を得ることができるようになります。パーツの公差が厳しい場合に、長いスタイルスを使用するには、精度に対するスタイルスの選択の影響を慎重に考慮する必要があります。