

# PA と UPR の技術解説書 (2017.1.20 時点)

## 1. はじめに

### 1.1 PA に代えて UPR が該非判定に使われるようになった理由

長年にわたって位置決め<sup>1</sup>の正確さ (Positioning Accuracy) PA の値をもとに該非判定が行われてきた。しかし、PA の値の中に含まれる送りねじのバックラッシュやピッチ誤差などの再現性のある誤差 (系統誤差) は、NC 装置の補正機能を使って誤差の補正ができるために、NC 装置の補正機能の影響を受けないパラメータを該非判定基準に用いるべきとの提案がなされた。

位置決め精度試験で得られる偏差 (データ) のうち、ランダムに分布する値をもとに統計的に処理された一方向位置決め<sup>2</sup>の繰返し性 (Unidirectional Positioning Repeatability、UPR) は、NC で補正できないとされており、機械に固有の値であるという理由で UPR の値が該非判定の基準値として採用されることになった。

### 1.2 位置決め精度に及ぼす要因

位置決め<sup>3</sup>の正確さに影響を及ぼすと考えられる要因には、表 1 に示すようなものがあり、そのうち、UPR に影響を及ぼすと考えられる要因は、ボールねじのねじ軸・ナット及びそれを支持する軸受や案内面の潤滑状態 (摩擦力) の変化やテレスコピックカバーの引きずり、リニアガイドのシールの摩擦などであり、その時々によって変化する可能性のある要因である。これら影響を及ぼすと考えられる要因には、アンダラインを付してある。

表 1. 位置決め精度に及ぼす要因

1. ベッド、コラム、クロスレールなどの案内面をもつ本体構造部品
構造部品単体の精度及びその組立精度
真直度、平面度、直角度、平行度
構造部品の温度変化、振動
案内面の真直度 (単体)、平行度 (二部品間)、直角度 (二部品間)
2. テーブル、サドルなどの直線運動部品 (案内面、リニアガイド)
運動部品の姿勢変化 (ピッチ、ヨー、ロール)
機械原点の移動 (機械の熱変形などによる)
滑り案内 (摺動面) の摩擦力変化
潤滑油及びその粘度 (温度変化、経年変化)
隙間 (温度変化、経年変化)
摩耗粉・切屑などの潤滑油への混入
転がり案内 (リニアガイド) の摩擦力変化
転動体径のばらつき、真円度、真球度
軸受予圧、リテーナ、ワイパブロックとレールとの間の潤滑状態、
転動体の循環、摩耗粉・切屑などの混入
転がり案内 (リニアガイドレール) 取付け方法
取付け面の仕上げ (フライス仕上げ、研削仕上げ、キサゲ仕上げ)

固定ボルト本数、ボルトの締付けトルク

3. ボールねじなどの駆動部品

ボールねじの誤差 (リード精度)

リード誤差 (回転同期成分)

ボールねじ軌道面の粗さ・うねり

リード誤差 (回転非同期成分)

転動体 (径のばらつき・真球度不良)

転動体の循環による振動

ボールねじの剛性、バックラッシ

ボールねじ・ナット予圧

ボールねじ軸のサポート軸受予圧

プリテンション (予張力) 及びその抜け・緩み

ボールねじ・ナット・サポート軸受の温度変化

ボールねじ軸の固定方法及び取付け誤差

ボールねじ軸の固定方法 (固定-固定、固定-支持など)

心だし誤差 (ボールねじ軸と直進運動との平行度)

取付け誤差

相対運動する要素間の摩擦トルクの変化

ボールねじ軸とナットとの間の潤滑状態 (潤滑剤の粘度、性状)

ボールねじ溝の摩耗 (非同期成分)

摩耗粉・切屑などの混入

4. 位置検出要素部品

リニアスケール

取付け位置、熱膨張、取付け誤差、目盛誤差、てい倍誤差

シールド構造部の摩擦による誤差

ロータリエンコーダ

取付け誤差 (回転軸との同心度)、目盛誤差、てい倍誤差

5. 送り駆動モータ

回転むら (非同期成分)、温度上昇

フィードバックセンサの誤差

6. その他の部品

防護カバーの摩擦

電気・通信ケーブルなどの引きずり

油圧ホースの引きずりなど

摺動面用潤滑油供給装置の間欠給油

- 20
- 21 **1.3 同一機械を同一条件で測定した時の PA と UPR の測定結果の出方について**
- 22 PA の値は、系統的な誤差の影響を大きく受ける。例えば、バックラッシやピッチ誤差の影響である。こ
- 23 れらの誤差は、比較的安定していて、同一の機械を同一の条件で測定すれば、大きく変化することはない。
- 24 UPR は、系統的な誤差ではなく、NC で補正できないランダムな誤差であり、機械各部の摩擦力、例え

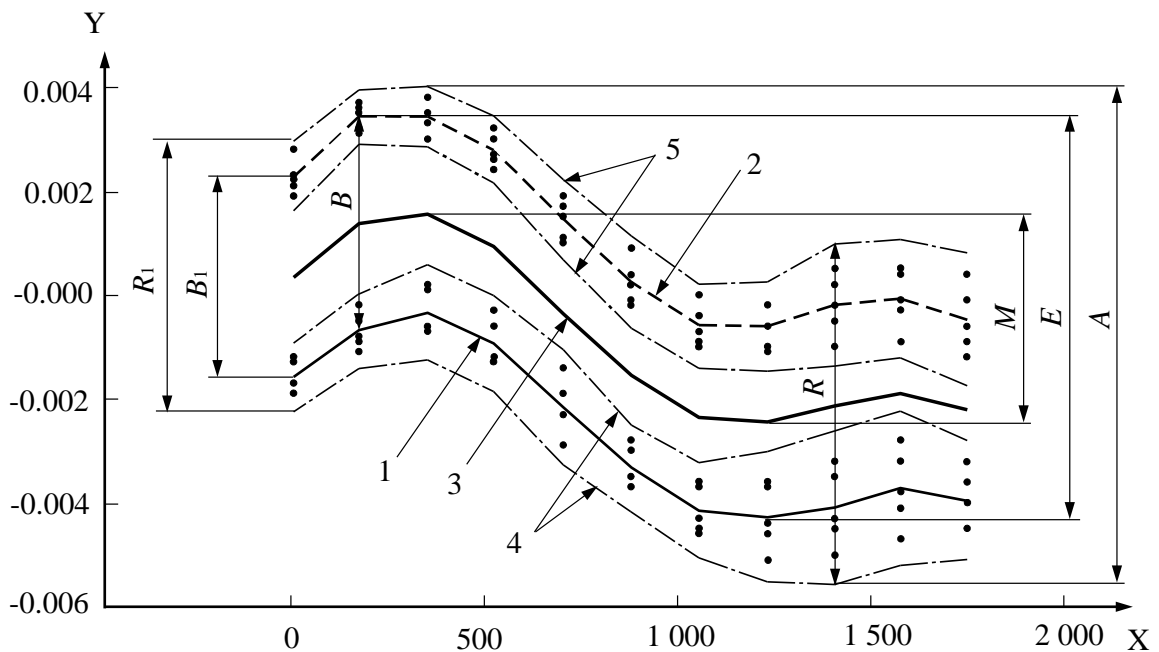
25 ば、滑り案内面、リニアガイド、ケーブル、配管、テレスコピックカバーなどの摩擦力の影響を受け、ラ  
 26 ンダムに変化する。したがって、同一の機械を同一の条件で測定しても、測定日を変えたりすると、UPR  
 27 が変化することが十分に考えられることから、UPR 精度測定日工会ガイドラインに従った測定を行うこと  
 28 が重要である。

29

#### 30 1.4 測定結果を用いた、PA と UPR との違いの説明

31 図 1 は、ISO 230-2:2014 (JIS B6190-2:2016) の表 2 の記載された測定結果を基に描いた図で、ISO  
 32 230-2:2014 (JIS B6190-2:2016) の図 2 に記載されている位置決め精度の測定例と同じ図である。図中の(●)  
 33 がレーザー測長器で測定した値と目標位置との偏差 (Y) を表している。この図には、バックラッシ (軸の  
 34 反転誤差  $B$ ) やピッチ誤差などの系統誤差が含まれている。

35 従来は、図 1 に示す PA の値 (A) で該非判定が行われていた。ところが、これではバックラッシなどの  
 36 NC で補正することのできる値 (B) も含まれており、NC の補正の程度の影響を受ける。



- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| X : 位置 (mm)             | $R_1$ : 位置1における両方向位置決め繰返し性 |
| Y : 偏差 (mm)             | $B_1$ : 位置1における反転誤差        |
| 1 : $\bar{x}_i$ ↑       | $B$ : 軸の反転誤差               |
| 2 : $\bar{x}_i$ ↓       | $M$ : 軸の平均両方向位置決め誤差        |
| 3 : $\bar{x}_i$         | $E$ : 軸の両方向系統位置決め誤差        |
| 4 : $\bar{x}_i$ ↑ ±2s ↑ | $A$ : 軸の両方向位置決め誤差          |
| 5 : $\bar{x}_i$ ↓ ±2s ↓ | $R$ : 軸の両方向位置決め繰返し性        |

37

38 図 1 JIS B 6190-2(ISO 230-2:2014)の図 2 に記載されている PA の定義

39

39 図 1 に示した結果を、一方向位置決め繰返し性の定義が理解しやすいように分けて描くと図 2 のよ  
 40 うになる。図 2 に示す正の向きの一方向位置決め繰返し性  $R\uparrow (= \max[R_i\uparrow])$  及び負の向きの一方向位置  
 41 決め繰返し性  $R\downarrow (= \max[R_i\downarrow])$  のうち、小さいほうの値を該非判定基準とする。

42

図 2 に示した結果の場合は、 $R\uparrow=3.0 \mu\text{m}$  及び  $R\downarrow=2.6 \mu\text{m}$  であったことから、該非判定に用いる数値は、

43  $R_{\downarrow}=2.6\mu\text{m}$  になる。

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

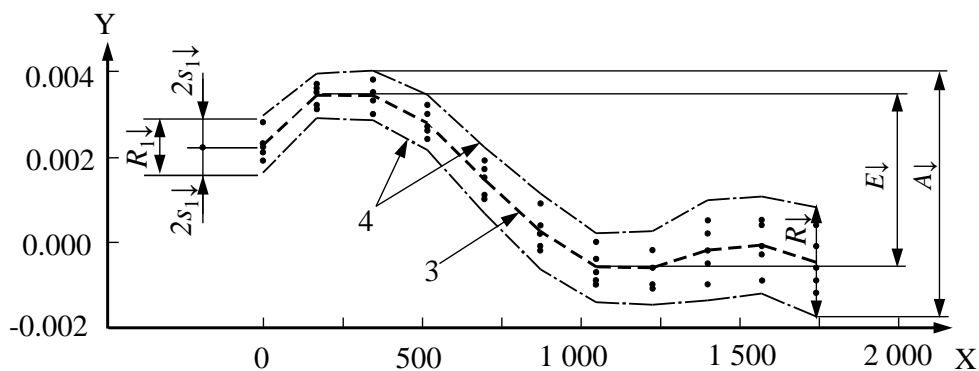
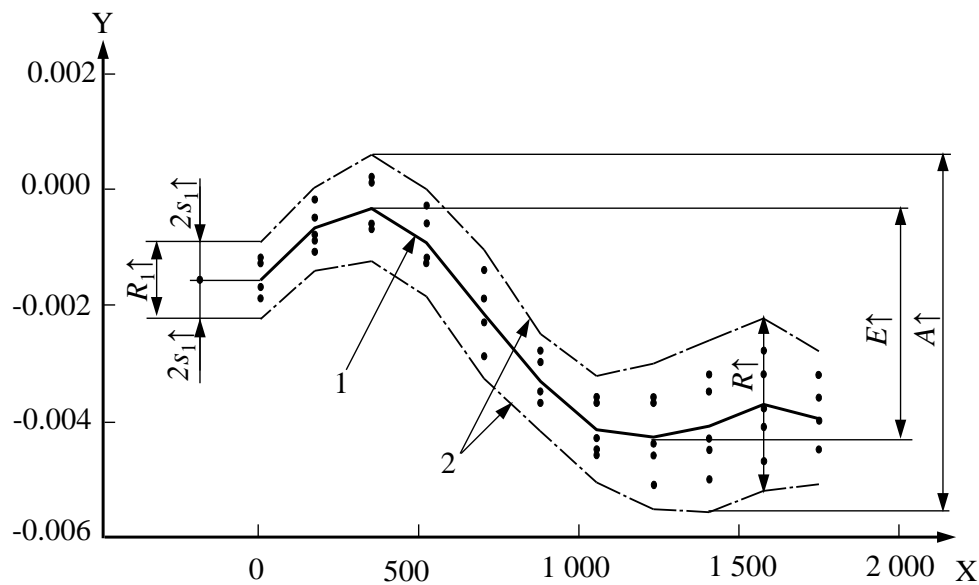
63

64

65

66

67



X : 位置 (mm)                       $R_1$  : 位置 1 における両方向位置決めの繰返し性  
Y : 偏差 (mm)                       $R_{\uparrow}$  : 軸の一方方向位置決めの繰返し性 (正方向)  
1 :  $\bar{x}_i \uparrow$                                $R_{\downarrow}$  : 軸の一方方向位置決めの繰返し性 (負方向)  
2 :  $\bar{x}_i \uparrow \pm 2s \uparrow$                        $E_{\uparrow}, E_{\downarrow}$  : 軸の一方方向系統位置決め誤差  
3 :  $\bar{x}_i \downarrow$                                $A_{\uparrow}, A_{\downarrow}$  : 軸の一方方向位置決め誤差  
4 :  $\bar{x}_i \downarrow \pm 2s \downarrow$

68

69 図 2 UPR の定義 : JIS B 6190-2:2016(ISO 230-2:2014)の図 3 に記載されている

70 一方方向位置決めの繰返し性

71

72 1.5 案内面及び送り装置を構成する部品の精度と UPR

73 工作機械の案内面には、滑り案内や転がり案内が用いられ、送り装置にはボールねじが多用されている。

74 位置決め精度に影響を及ぼすと考えられる要因は、表 1 に示したように非常に多い。

75 これらの要因のなかで再現性が高く、繰り返して運転しても同じように現れる誤差、すなわち系統誤差  
76 (systematic errors) と、繰り返して運転したときに不規則に現れるランダム誤差 (random errors) とがある。

77 図 1 に示した軸の平均両方向位置決め誤差 ( $M$ )、軸の両方向系統位置決め誤差 ( $E$ ) 及び軸の反転誤差 ( $B$ )

78 (通常、これはバックラッシと呼ばれることが多い。)の三つの誤差は、系統誤差であり、NCのバックラ  
79 ヲ補正機能やピッチ誤差補正機能を使えば、補正可能である。

80 ピッチ誤差補正とバックラッシ補正とが、それぞれの位置で正確に補正されているとすると、測定され  
81 た位置決め偏差には、ランダム誤差だけが現れることになる。このランダム誤差をもとに、UPRを計算す  
82 る。

83 ここで、表1に示した位置決め誤差の要因を、再現性のある誤差(系統誤差)と再現性のない誤差(ラン  
84 ダム誤差)に分類すると、系統誤差に関する要因は多く、ランダム誤差に関するものは少ない。こ  
85 のことは、案内面や送り装置を構成する部品精度及び組立精度を高めていけば、工作機械の位置決め精度  
86 を高めることはできることを意味している。ランダム誤差に関する要因は、多くないが、機能要素であ  
87 るリニアガイド・ボールねじの球直径の不揃いなど、機能要素の精度と関係しているほか、リニアガイド  
88 のシールのような軌道面を清浄に保つための要素の摩擦が関係しているものが多いことがわかる。

89

## 90 1.6 位置決め試験時の送り速度

91 位置決め精度試験を実施するときの送り速度は、JIS B 6190-2:2016 (ISO 230-2:2014)では「使用者と製  
92 造業者との協定によって決める」と規定されている。その一方で、NSGでの合意に基づき“輸出貿易管理  
93 令の運用について”(運用通達)では、「位置決め精度の測定中の送り速度(スライド速度)は、早送り速  
94 度とすること」と規定されている。これを正しく理解し、確実な測定を行うためには、送り速度に関して  
95 一定のガイドラインが必要である。

96 大形の機械では、位置決め精度の測定に時間がかかることから、遅い速度での測定は望ましくない。そ  
97 の一方で小形の機械では、「早送り速度で試験する」となっても早送り速度になる前に目標位置に到達  
98 してしまい、単に「早送り速度が望ましい」とするだけでは、実際にどのように測定すればよいのか大変  
99 に困ってしまう。

100 そこで、この技術解説書では、従来、該非判定のためのデータを取るとき、「早送り速度で行う」と  
101 されてきた条件を変更し「早送り速度指令に設定して位置決め精度の測定を行う」ことを標準とする。

102 なお、送りオーバーライドは、100%とする。

103

## 104 2. PAとUPRとの技術的差異

### 105 2.1 PAとは何か

#### 106 2.1.1 PAの定義(ISO 230/2:1988及び2006)

107 ISO 230-2:1988(第1版)とISO 230-2:1997(第2版)以降の版とでは、一方向位置決めの一方向性の値  
108 を求めるときに、データのばらつきを見る一つの尺度として標準偏差 $s$ が使われていた。一般にランダム  
109 に変化するデータは、標準偏差 $s$ の $\pm 3$ 倍を取ると、99.73%のデータがその幅の中に入る。しかし、NC  
110 装置、ボールねじの精度の向上などによって、95.45%のデータがその中に入り得る標準偏差 $s$ の $\pm 2$ 倍を  
111 考えればよいとして、第1版では $\pm 3s$ であったものを、第2版以降では $\pm 2s$ に変更した。

112 この $s$ の係数を、包含係数( $k$ )と呼ぶ。

113 包含係数が3から2に変わったことから、PAの定義式も変わり、機種別規格で与えられていたPAの許  
114 容値も2/3と小さくなった。

115 具体的に、PAの値(A)の定義は、第1版では

$$116 A = \max. [\bar{x}_{i\uparrow} + 3s_{i\uparrow}; \bar{x}_{i\downarrow} + 3s_{i\downarrow}] - \min. [\bar{x}_{i\uparrow} - 3s_{i\uparrow}; \bar{x}_{i\downarrow} - 3s_{i\downarrow}]$$

117 であったものが、第2版以降では

118  $A = \max. [\bar{x}_{i\uparrow} + 2s_{i\uparrow}; \bar{x}_{i\downarrow} + 2s_{i\downarrow}] - \min. [\bar{x}_{i\uparrow} - 2s_{i\uparrow}; \bar{x}_{i\downarrow} - 2s_{i\downarrow}]$

119 となった。

120 これは、 $i$  番目の目標位置  $P_i$  における一方向位置決め繰返し性  $R_{i\uparrow}$  及び  $R_{i\downarrow}$  が、第 1 版で

121  $R_{i\uparrow} = 6s_{i\uparrow}$  及び  $R_{i\downarrow} = 6s_{i\downarrow}$

122 であったものが、第 2 版以降では

123  $R_{i\uparrow} = 4s_{i\uparrow}$  及び  $R_{i\downarrow} = 4s_{i\downarrow}$

124 となったことによるものである。

125 なお、NSG（輸出令別表第 1 の 2 の項）では未だに第 1 版の定義が採用されており、WA（輸出令別表  
126 第 1 の 6 の項第六項）では第 2 版以降の定義が採用されていることに注意を要する。

127

## 128 2.1.2 PA の特性

### 129 ア) PA の特性 (PA の優れた機械が指すものとは)

130 PA の値が優れている機械は、PA の定義式及び図 1 からわかるように、

131 全体の位置決め誤差

132 反転誤差

133 一方向繰返し性の値

134 が小さい機械である。

135

### 136 イ) 軸長と PA との関係

137 一般に軸長が長くなれば、系統誤差が大きくなると考えられるために、PA の値は大きくなる（参考図  
138 1 参照）。

139

### 140 ウ) 試験中の環境・機械温度と PA との関係

141 リニアスケールを用いたフルクローズドループ方式の場合の位置決め精度の PA の値は、リニアスケールの  
142 精度及びその温度による伸びと関係する。

143 ロータリエンコーダによるセミクローズドループ方式の場合は、あらかじめ温度上昇を見込んで、ボールね  
144 じ軸にプリテンションを与えている場合には、温度上昇によるボールねじの伸びは大きくはないが、大形の機  
145 械やプリテンションを与えていない機械の場合は、温度変化に伴ってボールねじ軸が伸縮し、その結果として  
146 位置が変化し PA の値が大きくなる。

147 ちなみに、1 m の長さのボールねじであれば、線膨張係数を  $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  とすると、温度が  $+1^\circ\text{C}$  変化すると、  
148 1 m の位置で  $+12 \mu\text{m}$  の偏差を生じることになる。そのため、温度が上昇すると、PA の値は大きくなる。これ  
149 は室温だけでなく、慣らし運転の状況によってボールねじの温度が変化すれば、同様のことが発生する。

150

### 151 エ) 測定温度以外の環境変動と PA との関係

152 気温、気圧、相対湿度は、空気の屈折率を変化させるため、レーザの波長に影響を及ぼす。

153 測定環境内に中途半端な空気の流れ、例えば測定室のドアの開閉、エアコンの冷気の吹き出しなどが  
154 あると、レーザの読み取りが不安定になる可能性がある。このような不安定な状態で測定していると、  
155 PA の値は変化する。

156

157

158 **オ) PA の経年変化**

159 セミクローズドループ方式の場合、ボールねじやボールねじを支持する軸受の摩耗が進むとプリテン  
160 ションが抜けてバックラッシが増加し、反転誤差が大きくなることから、PA の値は大きくなる。また、  
161 滑り案内やリニアガイドの軌道面の摩耗によって隙間が拡大し、リニアスケールによるフィードバック  
162 をしている場合でも、PA の値に影響が現れる。

163

164 **2.1.3. PA の調整技術、補正技術**

165 バックラッシやピッチ誤差を補正したり、ナットやボールねじを冷却したりすれば、PA の値を小さく  
166 できる。

167

168 **2.2 UPR とは何か**

169 **2.2.1 UPR の定義 (ISO 230-2:2014)**

170 一方向位置決め繰返し性 (UPR) は、JIS B 6190-2:2016 によると、次のように定義されている。

171 「直進軸を一方向 (正の方向又は負の方向) に位置決めしたときの位置  $P_i$  における位置決め繰返し性  
172 の最大値。」

173  $R_{i\uparrow} = \max.[R_{i\uparrow}]$  及び  $R_{i\downarrow} = \max.[R_{i\downarrow}]$

174 ここで、 $R_{i\uparrow}$ 、 $R_{i\downarrow}$  は、各目標位置における繰返し性で、包含係数 2 を用いて、 $\pm 2s_i$  の値を評価している。  
175 すなわち、

176  $R_{i\uparrow} = 4s_{i\uparrow}$  及び  $R_{i\downarrow} = 4s_{i\downarrow}$

177 と評価している。

178 包含係数 2 は、全データの 95.45% がこの範囲内に分布するという意味である。

179

180 **注記 JIS B6190-2** では、用語として“直線軸”ではなく“直進軸”を使っているが、この解説書では、  
181 定義文以外では“直線軸”を用いる。

182

183 **2.2.2 UPR の特性**

184 **ア) UPR の特性 (UPR の優れた機械が指すもとは)**

185 UPR は、PA と違って各測定点における偏差のバラツキの大きさを表しており、5 回測定して得られた偏  
186 差から平均値及び標準偏差を求め、それに包含係数 2 を乗じた値の平均値からの幅として求めることがで  
187 きる。

188 偏差のバラツキが生じる原因として、表 1 にアンダラインを付して示した要因がある。この表 1 から、  
189 UPR の優れている機械とは、ランダム誤差の小さな機械である。UPR の影響を及ぼす要因としてボールね  
190 じやリニアガイドに関係する要因が多いことから、採用するこれら機能要素の設計や精度、温度制御に依  
191 存する。

192 また、主要な要素ではないが、案内面の保護に用いられる防護カバーなどの摩擦力変動が小さく、外部  
193 から摺動部に異物が混入しにくい機械でもあるといえる。

194 **イ) 軸長と UPR との関係**

195 UPR の特性で説明したように、リニアスケールによるフィードバック制御をしている場合には、UPR  
196 に影響を及ぼす要因は、リニアスケールのもつ繰返し性のほか、テーブルやサドルの姿勢度 (ピッチ、ロ  
197 ール、ヨー) の変化によって実際の位置とリニアスケールで検出する位置とに差が生じるとき以外にほと

198 んどない (参考図 1 参照)。

199 セミクローズドループ方式の場合には、ボールねじの温度変化が大きな影響を与える。特にボールねじ  
200 にプリテンションをかけていない軸やボールねじ軸長が長い場合は、微小な温度変化でも大きな影響を受  
201 けやすい。

202 なお、軸長の長い機械の場合の UPR の値は、温度分布の不均一、空気の乱れなどの環境要因に基づく不  
203 確かさの増加のため、一般に大きくなると考えられる。

204

#### 205 ウ) 試験中の環境・機械温度と UPR との関係

206 リニアスケールを用いたフルクローズドループ方式の場合の位置決め繰返し性 UPR の値は、環境温度  
207 及び機械温度の影響は余り受けない。

208 ロータリエンコーダによるセミクローズドループ方式の場合は、測定中の環境温度や機械温度が変化す  
209 ると、ボールねじ軸にプリテンションがかけてあれば温度変化の影響を受けにくい、プリテンションを  
210 かけていない場合は、その影響が UPR の値に現れる可能性がある。また、ボールねじの温度上昇に伴い潤  
211 滑油の粘度が変わり摩擦力が変化することから、UPR の値にその影響が現れる可能性が高い。

212

#### 213 エ) 温度以外の環境変動と UPR との関係

214 気温、気圧、相対湿度は、空気の屈折率を変化させるためレーザの波長に影響を及ぼす。測定環境内に  
215 中途半端な空気の流れがあると、例えば測定室のドアの開閉、光軸の近くを人が通過したり、エアコンの  
216 冷気の吹き出しなどがあつたりする場合には、レーザの読み取りが不安定になり、UPR の値に影響を及ぼ  
217 す可能性がある。

218

#### 219 オ) UPR の経年変化

220 経年変化が位置決め精度に影響を及ぼす要因として、例えばボールねじの摩耗が考えられる。摩耗が進  
221 行するとバックラッシが大きくなり PA の値が大きくなることが想定される。ねじ溝や球に発生した摩耗  
222 が一様であれば、バックラッシ、すなわち、反転誤差 (B) は大きくなる。しかし、一般に摩耗の状態は、  
223 必ずしも一様でなく、位置によって摩耗の程度が変わることがある。このように摩耗にむらがあれば、UPR  
224 に変化を生じる可能性がある。

225 また、ボールねじ、摺動部などの相対運動する部分に摩耗粉や切粉が残留・付着したり、潤滑油が劣  
226 化したりすると、UPR にも影響が現れる可能性もある。

227

### 228 **2.2.3 UPR の調整技術、補正技術**

229 ア) ~オ) に説明した UPR に及ぼす主要な影響因子は、温度と摩擦力である。温度は、機械各部の熱変  
230 形だけでなく、摺動部の潤滑油粘度の変化、ボールねじ軸のプリテンションの変化又はボールねじ軸の伸  
231 びに影響を及ぼす。また、相対運動する部分に働く摩擦力は、例えば、リニアガイドや滑り案内面でも摺  
232 動部への異物の侵入を防ぐために設けられているプラスチック製のワイパと案内面との摩擦力は、いつも  
233 一定であるとは限らない。

234 さらに、リニアスケールを、ボールねじ軸に近い位置に取り付けることが困難な設計の場合、テーブル  
235 の姿勢度 (ピッチ、ヨー、ロール) の変化によって実際の位置とスケールのフィードバック位置とが一致  
236 しないことがあり、しかも、摺動部に生じるスティックスリップなどの短い周期的な動きによって、位置  
237 決め誤差が発生する。これらの誤差は、例えば、油膜厚さ及び潤滑油への摩耗粉、切屑の粉の混入などに



238 よっても変化したりする。

239 一方、UPR は、ランダム誤差であることから、調整したり、補正したりする技術はないが、機械温度を  
240 上昇させず、かつ、摩擦力を変動させることがなければ、小さくできる可能性はあるかもしれない。摩擦  
241 力を小さくし、しかもその変動も小さくした具体例は、空気静圧案内である。空気静圧案内は、摺動部  
242 における摩擦力が極めて小さく、また空気温度を制御できることから摺動部の発熱を抑制することもできる。

243

244

### 参考

#### 1. 軸長と PA 及び UPR との関係

245 考図 1 に示すように、X 軸の軸長が 2000 mm 以下における測定例を示す。この例に取り上げたマ  
246 シニングセンタ (19 機種) は、全てスケールフィードバックを行っている。

247

248

249

250

251

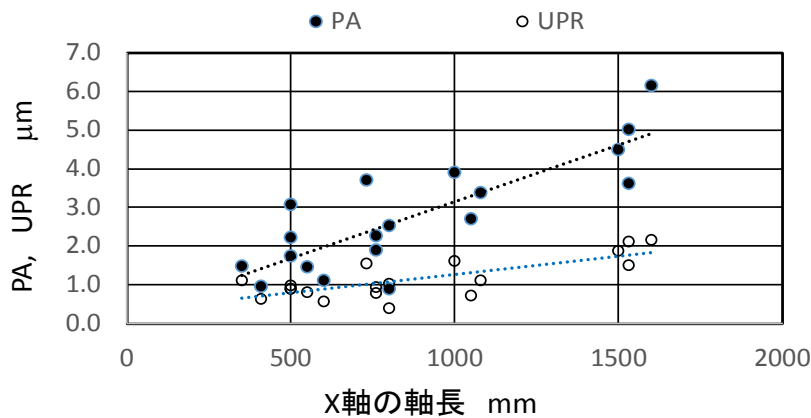
252

253

254

255

256



257

258

259

参考図 1 軸長と PA 及び UPR との関係

260

#### 2. PA と UPR との相関性

261

262 参考図 2 に示すように、PA と UPR との間には、強い相関性がある。

263

264 なお、参考図 2 のデータは、参考図 1 のデータに対応する。

265

266

267

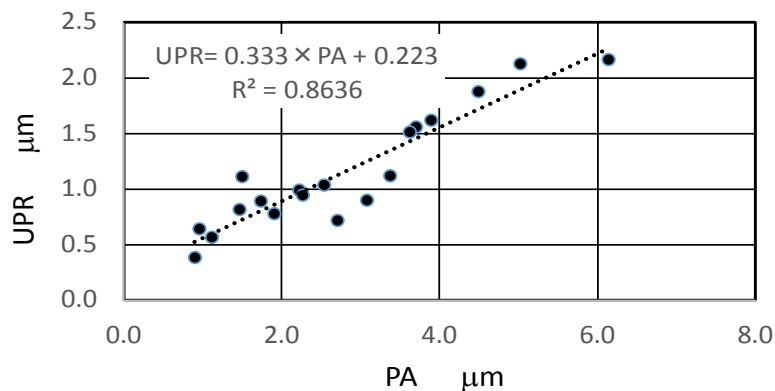
268

269

270

271

272



273

274

参考図 2 PA と UPR との相関性

275

276

277

278 3. UPR 測定上の注意点

279 (1) 該非判定基準

280  $R\uparrow(=\max. [Ri\uparrow])$ 及び $R\downarrow(=\max. [Ri\downarrow])$ のうち小さいほうの値を該非判定のUPRとする。

281 (2) 準拠すべき測定方法

282 輸出令別表第1中解釈を要する語の“一方向位置決め繰返し性”に記された測定方法

283 (3) 測定不確かさ、測定環境変動

284 ① 測定不確かさとは

285 GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement : (測定における不確かさの表現のガイド)  
286 では「測定の結果に附随した、合理的に測定量に結びつけられうる値のばらつきを特徴づけるパラメ  
287 ータ」と定義されている。ここで、JIS 及びISO では、測定不確かさ (measurement uncertainty) 又は  
288 測定の不確かさ (uncertainty of measurement) の両方の用語が使われているが、この解説書では、用語  
289 として“測定不確かさ”を用いている。

290 測定不確かさを引き起こす要因で、大きなものとして繰り返して測定したときのデータのばらつき  
291 がある。このばらつきには、測定器とその校正方法、標準器、測定のための装置、測定方法・手順、  
292 データ処理方法、測定対象の安定性・再現性、測定環境 (温度・気圧・湿度など)、測定者の技術など  
293 が原因となって現れるものが含まれている。これら個々のばらつきの程度 (不確かさ) を標準偏差で  
294 表したものを標準不確かさという。なお、UPR の値の中には、測定不確かさも含まれるが、法令では  
295 「測定不確かさは考慮しない」と規定されている。

296 ② 空気の揺らぎ、塵などによる測定変化

297 空気の乱れは、計測レーザービームが通過していく暖気や冷気の移動エアポケットによって生じる。  
298 レーザ波長がエアポケット内で変化し、レーザーの読み取りに変動をもたらす。

299 干渉計は、温度が一定に保たれ完全に静止した空气中 (空気の乱れない状態) か、ファンを用い  
300 て空気を激しく攪乱又は循環させている状態のときに最高の測定性能を発揮する。干渉計による測定  
301 性能が最悪となるのはこれら両極端の中間状態にあるときで、暖気や冷気の大きなエアポケットがゆ  
302 っくりとレーザービームを通過し移動していくような場合である。したがって、レーザー読み取りの安定  
303 性を向上させるには、これら両極端のいずれかの状態に近づくように測定環境を変えるのが最適であ  
304 る。

305 静止した空気は、ドアや窓を閉め、ファンやヒータをオフにして、レーザービームをダクトかチュー  
306 ブ内に収めることによって実現できる。静止した一定温度の空気環境の達成は、短い計測距離では容  
307 易であるが、長距離にわたる計測の場合は困難な場合がある。

308 攪乱状態の空気環境は、計測パスに沿ってファンを置くことで達成できる。この方法は、二つの作  
309 用効果をもつ。第一に、空気を攪乱することで暖気と冷気とが混合され、エアポケットのサイズと温  
310 度変化とが小さくなる。第二に、これらのエアポケットはサイズが小さくなって早く移動するた  
311 め、レーザービームをより素早く通過していく。こうした二つの効果によって、レーザー読み取り変化の振  
312 幅が縮小して周波数がさらに高まるため、より効果的に平均化を使用できるようになる。

313 レーザビームを遮るような大きな塵でない限り、塵は波長を変化させることがないために、通常の  
314 工場環境であれば問題になることはない。

315

316

317

318 4 日工会で守るべき測定要件

319 ① 測定環境の要件

320 レーザ干渉計の室温補正、機械温度補正を行っていて、急激に温度が変化するようなことがなれ  
321 れば特に問題ない。UPR の測定は、温度の安定したところか、又は測定中の温度変化が小さい場所  
322 で行えばよく、十分な暖機運転を行えば恒温室でなくてもよい。大きな支配要因である、温度変化によ  
323 る摩擦力の変化が少なければよい。

324 外部振動は、測定に大きな影響を及ぼす。可能であれば防振対策を行ってある場所で測定するのが  
325 よいが、それができない場合は、外部振動発生源（例えば、近くをフォークリフト、天井走行クレー  
326 ンなどの通過）を排除して行うのが望ましい。

327 ②測定温度の許容変動範囲

328 測定中の環境温度は、測定中の1時間の間で±1℃以内の変化を許容する。

329 なお、測定中の環境温度変化がゆっくりとした変化ではなく、例えば、エアコンの空気吹き出  
330 し口に近い位置に機械が据え付けられている場合には、機械そのものが変形して PA と UPR の  
331 値に影響が現れる可能性があるが、逆にゆっくりとした変化であれば、UPR に及ぼす影響は小さ  
332 い。

333 ③管理すべき測定の不確かさ（空気の揺らぎ、塵埃などの許容範囲）

334 空気中における光の屈折率は、気温、気圧及び相対湿度によって変化する。特に測定中に空気の流  
335 れの乱れがないような環境を確保する。例えば、エアコンの空気の吹き出し近く、人が多く通るとこ  
336 ろ、ドアの開閉が頻繁に起こるところは避けて行わなければならない。

337 なお、塵埃については、測定中にレーザー光を遮ることがなければ、通常の工場環境であれば特に考  
338 慮する必要はない。

339 ④測定器の要件

340 ア) “輸出令別表第1中解釈を要する語”で規定される測定器の要件

341 被測定の仕事機械の位置決め精度の4倍より良い精度であること（NSG Part 2、June 2015、  
342 Definitions、Positioning accuracy、(a)、(3)参照による）。

343 イ) 測定器の取付位置

344 レーザ干渉計を使用する場合、干渉計と反射鏡とは、工具と工作物との間の距離が測定  
345 でき、かつ、軸の移動範囲全長に渡って測定できるように、軸の一方の端で近接するよう  
346 に配置する。例えば、立て形の3軸マシニングセンタの位置決め精度測定において、干渉  
347 計を主軸に取り付け、反射鏡をテーブル上に取り付けた場合は、軸の移動範囲全長を測定  
348 するために、反射鏡は、テーブルの端に取り付ける。

349 レーザ光の波長を補正するために温度検出器（物体温度センサ、気温センサ）は、可能  
350 な場合には光軸に近い位置で移動軸の中央付近に置く。

351 気圧センサ及び相対湿度センサは、作業領域内で気圧と湿度とが局部的に変化するとは  
352 考えにくいことから、光軸に近接して置く必要はない。

353  
354 以上