**UPR精度測定日工会ガイドライン（案）（2017.1.20時点）**

**1．適用範囲**

このガイドラインは、数値制御工作機械の位置決め精度試験を行うときに十分に理解しておかなければならない事項についてまとめたもので、我が国の製造業者が国内及び海外で生産した数値制御工作機械に適用する。

**2．測定条件**

**(1) 測定環境**

位置決め精度を測定するときの工作機械の設置環境は、**JIS B 6190-2:**2016 (**ISO 230-2**:2014)の**4.1**によると、次の条件を含めることになっている。

1. 環境温度の変化の最大幅及び変化の周期。 **例：**±1℃、1時間
2. 試験中に環境温度が上昇又は下降するときは、その温度勾配の上限。 **例：**2℃/h

カタログや仕様書に記載した位置決め精度を実現するために必要な温度環境に関する指針を製造業者がもっていれば、その指針に基づいた環境で試験できるようにする。そのとき、使用者が製造業者の推奨する温度環境を提供した場合の位置決め精度試験の結果については、製造業者が責任を持つ。

そこで、本ガイドラインでは、**ISO230-3**の**附属書C**を踏まえ、測定環境のうち、１軸の測定が１時間以内で終わる場合には、「１軸の測定中の環境温度変化は、±1℃以内を許容する」こととし、１軸の測定が１時間を超える場合には、「１時間ごとの環境温度変化は、±1°C以内を許容する」こととした上で、「１時間ごとの平均温度の変化は、１℃以内とする。」（**図１**参照）。

なお、測定場所は、直射日光の当たる場所、エアコンの空気吹き出し口近く、工場搬出口付近などは避ける。

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が行ってある場所で測定するのがよい。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、天井走行クレーンなどの走行）を排除して行うのが望ましい。



**注記**　この図は、説明のために作成したものであり、測定中の温度変化を逐次記録することを要求するものではない。

**図1**－**１軸の測定中において許容する環境温度変化**

**(2)試験する機械の状態**

**JIS B 6190-2:**2016 (**ISO 230-2**:2014)の**4.2**によると、これから試験を開始しようとしている機械の状態は、次によることとなっている。すなわち、

1. 機械は、完全に組み立てられ、かつ使用できる状態で据え付けたもので、すぐに運転を開始できる状態でなければならない。
2. 位置決め精度試験を実施する前には、あらかじめ水平出しをしてあり、かつ、幾何精度試験も終わっていることが必須である。
3. 機械に組み込まれた補正機能、例えばピッチ誤差補正や、熱変位補正（ボールねじ軸の軸心冷却なども含む）などの機能を使用した場合には、補正を行ったことを報告書に必ず記載する。
4. 機械には、位置決め測定のために使用する測定器類だけを定置するだけで、工作物や工具などを取り付けた状態では行わない。
5. 試験していない軸や運動部品は、可能な場合には、それぞれの軸の動きの中央に置く。ただし、例えば、旋盤でX軸の位置決め精度を測定する場合に、工具と工作物との間の相対距離を測定するために、X軸を主軸側に近い位置（Z軸の中央でない）に置いて測定してもよい。

本ガイドラインでは、上記の①～⑤以外に、「機械に組み込まれた位置補正に関わる補正機能は全て使用して位置決め精度の測定を行う」こととする。

**(3)測定する前の暖機運転**

**JIS B 6190-2:**2016 (**ISO 230-2**:2014)の**4.3**によると、試験する前の暖機運転は、次のように行うことになっている。

通常の運転状態で機械を試験するとき、試験は、機械の製造業者の指定に基づいて、又は受渡当事者間の協定に基づいて適切な暖機運転を行った後に直ちに続けて行わなければならない。

暖機運転条件の指定がない場合には、データを取らないで位置決め精度試験の“予行演習”を行うか、又は測定器の取付けに必要な運転に限ってもよい。暖機運転を実施した場合には、試験報告書に記載しなければならない。

任意の一つの目標位置における位置決め偏差1)が、測定回数とともに一定の傾向で変化するような熱的に安定していない状態が認められた場合には、暖機運転を行ってこの傾向を最小化するのが望ましい。

以上の規定に関わらず、このガイドラインでは、試験する前の暖機運転は、次のように定める。

各軸をそれぞれ試験プログラムを利用して連続運転して、測定の両端における位置決め偏差を位置決めするたびに測定し、その偏差が定常に達したと判断された時点から、続けて位置決め精度試験を実施し、UPRを算出する。

なお、試験プログラム以外のプログラムを使って適切に暖機運転ができる場合は、試験プログラムを用いなくてもよい。

**注**1)位置決め偏差とは、測定した値のことで、実際の位置と目標位置との差。

定常になったとの判断は、次の三段階で行う。

1. 試験プログラムで連続して運転し、測定した位置決め偏差のうち、両端の目標位置における正若しくは負方向のいずれかの位置決め偏差又は両方向の位置決め偏差が、**図2**に示すように、一定方向に増加した後に減少に転じたとき、若しくは一定方向に減少した後、増加に転じたとき、又は偏差の変化が**表1~4**に示す偏差の変化の値以下になったとき、定常に達したと判断する。
2. 1)の方法で60分間連続運転しても定常状態に達したと判定できない場合は、引き続き60分以上連続運転を行い、最後の60分間における両端の目標位置における位置決め偏差の変化が、最初の60分間に記録された偏差の変化の15％以下であれば定常に達したと判断する（**図3**参照）。

なお、この引き続き行う最後の60分間の暖機運転の間に、偏差が増加から減少に、又は減少から増加に転じたとき、又は偏差の変化が**表1~4**に示す偏差の変化の値以下になったときは、定常に達したと判断してよい。

1. 2)の暖機運転を実施しても定常と判断できない場合は、1)及び2)の暖機運転を行った時間も含め、各軸とも試験プログラムで4時間の暖機運転を行った後にすぐに位置決め精度試験を実施する（**JIS B 6190-3**の**7.2.3**参照）。ただし、1)、2)の暖機運転を行わない場合でも、暖機運転時間は、各軸とも4時間とする。

なお、軸の移動範囲が4,000mmを超える場合の暖機運転は、軸の移動範囲全長2)に亘って行った後、所定の測定区間ごとに偏差を読み取ってよい。



**図2－定常になったと判断する状態（第1段階）**







**図3－定常になったと判断する状態（第2段階）**

暖機運転が適切に行われたかどうかの判定は、上記の1)又は2)の暖機運転が終わった後に続けて行った５往復分の両端における位置決め偏差の変化が、上記1)又は2)に記載した偏差の変化の条件を満足していることが必須である。

**注**2)　 軸の移動範囲が4,000mmを超える機械の“軸の移動範囲の全長”とは、最初の測定区間における測定の開始点から最後の測定区間における折返し点までの距離をいう（図4参照）。

**表1**－**NC旋盤・4軸NCフライス盤の軸の移動範囲に対応する位置決め偏差の変化**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 軸の移動範囲（mm） | 1,000未満 | 1,000以上 |
| UPRの該非閾値（µm） | (0.9) | (1.1) |
| 偏差の変化（µm） | 0.5 | 0.6 |

**表2**－**5軸NCフライス盤の軸の移動範囲に対応する位置決め偏差の変化**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 軸の移動範囲（mm） | 1,000未満 | 1,000以上  4,000未満 | 4,000以上 |
| UPRの該非閾値（µm） | (0.9) | (1.4) | (6.0) |
| 偏差の変化（µm） | 0.5 | 0.8 | 3.5 |

**表3**－**ジグ中ぐり盤・3軸又は4軸NC研削盤の軸の移動範囲に対応する位置決め偏差の変化**

|  |  |
| --- | --- |
| 軸の移動範囲（mm） | 全軸長 |
| UPRの該非閾値（µm） | (1.1) |
| 偏差の変化（µm） | 0.6 |

**表4**－**5軸NC研削盤の軸の移動範囲に対応する位置決め偏差の変化**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 軸の移動範囲（mm） | 1,000未満 | 1,000以上  4,000未満 | 4,000以上 |
| UPRの該非閾値（µm） | (1.1) | (1.4) | (6.0) |
| 偏差の変化（µm） | 0.6 | 0.8 | 3.5 |

**3．試験プログラム**

**(1)目標位置の設定**

目標位置の設定は、**JIS B 6190-2:**2016 (**ISO 230-2:**2014)の**5.2**によると次の式に基づいて行うことになっている。

*P*i＝( *i*  1 ) *p*＋*r* (1)

ここに、*P*i：i番目の目標位置

*p*：目標位置の間隔（最大値は、250 mm）

*r*：乱数（ボールねじのピッチより小さく、0.001 mm以上の数値）

機械の全移動範囲のできるだけ両端に近い位置を折り返し点とし、その間にほぼ等間隔に目標位置を設定する。１メートルを超える軸においては、目標位置の数は、1メートル当たり5点以上とし、１メートル未満の場合は全体にわたって最小5点とする。

**注記：**工具交換、パレット交換などのために主軸頭、テーブルなどを移動させるだけで、工作物の加工に使用しない範囲は、ここでいう「軸の移動範囲」には含めない。



**図4　目標位置の設定**

軸の移動範囲が2,000 mmを超え、4,000 mm以下の軸については、通常の作業領域で2,000 mmの試験区間を選んで目標位置を設定し、その区間だけでUPRを求める［**JIS B 6190-2:**2016 (**ISO 230-2:**2014)の**5.3.3.**参照］。この場合でも2,000 mmの試験区間における目標位置の数は、1 mにつき最少で5点とする。

軸の移動範囲が4,000 mmを超える場合には、**図5**に示すように、2,000 mmの試験区間を複数設定し試験する。例えば、4,000 mmを超え、8,000 mm以下の軸については、2,000 mmの試験区間を2か所設定し、8,000 mmを超え、12,000 mm以下の軸については、2,000 mmの試験区間を3か所設定する。それぞれの試験区間の間の距離と、移動範囲の両端から試験区間までの距離とは等しくする。これらの試験区間においてそれぞれUPRを求め、その最小値を該非判定に用いる。なお、移動範囲が4,000 mmを超える軸における、運動の向きを変える位置については、図5に示す距離a、b、cが等しくなるようにとるのが望ましい。



**図5　軸の移動範囲が4 000 mmを超える軸の位置決め精度試験区間の設定の考え方**

軸の移動範囲が、4,000mmを超える場合の位置決め偏差は、2,000 mmの試験区間ごとに5往復させて測定するか、又は複数の試区間を連続に5往復させて測定してもよい。

軸の移動範囲が**図5**に示す範囲の下限に近い場合には、距離a、b、cを十分な大きさに取れないことがある。

例えば、軸の移動範囲が4,250 mmの場合、目標位置間の距離を250mmとして、2000 mmの試験区間を２箇所とると、bの値は最大でも250／3≒83 mmになる。折り返す距離としてb = 80 mmを確保したとき、十分な速度に達しないことが懸念される。そのような場合であっても、試験区間2,000 mmを確保し、その区間においてUPRを算出する。すなわち、最初の試験区間における位置決めの始点から2000 mmの区間（以下、“試験区間１”という。）と、二つ目の試験区間における位置決めの終点から2,000 mmの区間（以下、“試験区間2”という。）とにおけるA及びUPRの値をそれぞれ求める。さらに移動範囲が短く、距離bを十分な大きさに取れないときは、移動範囲の中央付近の位置決めの目標位置は、試験区間1と試験区間2とで重複することがあってもよい。8,000 mmを超える移動範囲についても同様である。

なお、**JIS B6190-2:**2016の**5.3.3**（2,000mmを超える直進軸の試験）の規定“2,000 mmを超える直進軸の場合には、軸の全移動範囲で、各目標位置に各向きで一方向位置決めを1回行って試験しなければならない。”は、適用しない。

目標位置は、**図4**に示すように等間隔（*p*）にするのがよいと考えられがちであるが、ボールねじのピッチに起因する誤差やロータリエンコーダの格子線間隔に起因する誤差が存在する可能性があるため、ボールねじのピッチよりも小さい数で、かつ、エンコーダの目盛線の誤差の影響を考慮し1/1000 mmの桁まで考慮した乱数*r*を、式(1)に示すように各間隔*p*に加える。その例は、**JIS B 6190-2:**2016（**ISO 230-2**:2014）の**表2**を参照。乱数で1/1000mmまでの桁を考慮する詳細な理由については、**IS B 6190-2:**2016（**ISO 230-2**:2014）の**附属書C**（周期的位置決め誤差）を参照。

**(2)目標位置間の送り速度**

目標位置間の送り速度は、**ISO230-2**の第2版以降の版では、製造業者と使用者との協定に基づいて決めることになっている。しかし**ISO230-2**：1988（第1版）では、“早送り速度又は受渡当事者間で協定した送り速度”となっていた。これが、1997年発行の第2版以降の版から、“早送り速度”が消え、“協定した送り速度”だけになった。

なお、“貨物等省令第5条第二号イ、ロ及びハ（一）中の位置決め精度の測定方法”では、“早送り速度”となっているが、ストロークの短い小形の機械の場合に、5点もの目標位置を設定すると目標位置間の距離が短く、その間で早送り速度を達成することができないことから、本ガイドラインでは、「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。

**(3)ドウェル時間**

目標位置で、測定値を読み取るために一定の時間停止させる。レーザ干渉計を用いて測定する場合は、位置決めした直後に機械振動が残り、レーザの出力がばらつくことがあることから、本ガイドラインでは、機械の停止後、レーザの出力のばらつきが1 µm以下になった後に位置決め偏差の値を取得する（**図6**参照）。ただし、1 µm以下にならない場合は、レーザの出力のばらつきの幅が一定になった後に位置決め偏差の値を取得する。



拡大

**図6－残留振動機械停止直後後のレーザ出力の変化**

**4．レーザ干渉計の配置及び温度検出器の位置**

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に配置する[**JIS B 6190-2:**2016 (**ISO 230-2**:2014)の**5.3.1**参照]。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するために、反射鏡は、テーブルの端に取り付ける（**図7**参照）。



反射鏡

干渉計

レーザヘッド

環境補正装置

**図7　干渉計、反射鏡及び温度センサの配置例**

温度検出器（物体温度センサ、気温センサ）は、できるだけ光軸に近い位置で移動軸の中央付近に置く。

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考えにくいことから、光軸に近接して置く必要はない。

測定中に軸上の気温変化が1℃を超えるような場合は、ファンを使って空気を循環させるのが望ましい。特に長い垂直軸の場合は、温度変化が起こりやすいため、この対策が重要になる（**注記1**参照）。

環境条件を的確かつ正確に計測することによって、気温、気圧及び相対湿度の変化に対してレーザ光の波長を補正し、これらの環境変化に起因する計測誤差を排除することができる。

**注記1：** 干渉計は、一定に温度が保たれ完全に静止した空気中（空気の乱れがない状態）、又はファンを用いて空気を激しく撹拌若しく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、暖気又は冷気の大きなエアポケットがゆっくりとレーザ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、レーザ読取りの安定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よい。

（**JIS B6190-1**の**8.2.2.4**の**注記**、及びレニショー社レーザ校正システムソフトウエアユーザガイド(バージョン3.1.1)「**空気の乱れ**」参照）

**注記2：** 静止した空気は、ドア、窓などを閉め、ファン又はヒータをオフにして、レーザ光軸をダクト又はチューブ内に収めることによって得られる。 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。

（レニショー社レーザ校正システムソフトウエアユーザガイド(バージョン3.1.1)「**空気の乱れ**」参照）

**注記3：** レーザ干渉計で測定しているときに空気中を漂う塵埃は、光軸のごく一部を遮ったり、散乱させたりすることはあり得るが、空気の屈折率やレーザの波長を変化させることはない。したがって、測定は、クリーンルームのような埃の数を限定した環境ではなく、通常の工場環境で行ってよい。

**注記4：** レーザ干渉計を用いたときの位置決め精度の測定精度は、レーザの波長精度の影響を受けるため、波長補正が必要である。空気中におけるレーザの波長は、レーザ光軸の周囲環境、特に気温、気圧、相対湿度の値の影響を受ける。安定した測定を行うためには、室温センサ、気圧センサ及び湿度センサの三つのセンサで、時々刻々とそれぞれの変化を検出し、波長を補正する必要がある。

波長の変化を補正しない場合には、レーザによる位置決め測定の偏差が 50 ppm（1 mにつき50µm）に及ぶ可能性がある。温度制御を行っている室内であっても、日々の気圧変動によって20 ppm を超える波長の変化が起こり得る。目安として、各環境条件が次に示す程度変化したとき、約 1ppm （1mにつき1µm）の偏差が生じることを考慮しておくことが肝要である。

|  |  |
| --- | --- |
| 気温 | 1 ℃ |
| 気圧 | 3.3 mbar |
| 相対湿度 (20℃で) | 50% |
| 相対湿度 (40℃で) | 30% |

（レニショー社レーザ校正システムソフトウエアユーザガイド参照）

**注記5：** 工業標準温度は、**JIS B 0680**（**ISO 1**）で規定されている20℃である。**JIS B 6190-2:**2016 (**ISO 230-2**:2014)は、工作機械の位置決め精度の測定をこの工業標準温度で行うことを推奨している。しかし、通常の工場環境は、温度管理は行われているものの、恒温室のように厳密な温度制御が行われることはほとんどない。日本の多くの工場では、省エネも考えて、23℃に設定しているところが多く、その温度制御も±1℃と比較的変動の幅を大きくとっているところが多い。

機械の運転状況や周辺にある機械の稼働状況によっても機械の温度が変化する。そのような環境温度や機械そのものの温度が変化する状況下に置かれているとすると、機械も熱膨脹し、その影響で測定に誤差が生じてしまう。

このような機械の熱膨張による測定の誤差を補正するために、通常、レーザによる位置決め測定ではNDE補正を行う[**JIS B 6190-2:**2016 **(ISO 230-2**:2014) の**5.3.1**参照]。

レーザ測長器に附属のソフトウェアには、機械の熱膨張補正機能が付いており、この機能を利用し、機械に物体温度センサを取り付けて 20 ℃で測定した場合に得られると推定される値を求めることができるようになっている。

温度制御を行わない環境でレーザ干渉計による位置決め測定を行った場合に、物体の熱膨張補正が適正でないと、機械の熱膨張が最も大きな誤差原因となる。機械の熱膨脹は、環境条件の変化による波長の変化やレーザ光軸の位置調整による誤差などと比べると比較的大きな誤差を発生させる。

（レニショー社レーザ校正システムソフトウエアユーザガイド参照）

**注記6：** 位置決め精度の測定に用いる測定器の測定精度は、測定する工作機械の位置決め精度（Aの値）の4倍よりもよい精度であること。

（NSG Part 2、Guidelines for transfers of nuclear-related dual-use equipment, materials, software, and related technology, June 2015, Definitions, Positioning accuracy, (a), (3)参照）

**5．測定を中断したときの対応**

停電や電源の遮断などによって測定を中断した場合は、中断後に再開した結果は、中断しない場合と同じ結果にはならないことから、再度、暖機運転を行った後、最初から測定を行わなければならない。

**6．結果の表示**

測定条件は、**JIS B 6190-2:**2016(**ISO 230-2**：2014)の**8.1**に規定する事項を試験報告書に記載する。

測定結果は、**JIS B 6190-2:**2016(**ISO 230-2**:2014)の**表2**と同様の表を作成する。

このデータシートに基づき、正方向の位置決めにおける一方向位置決めの繰返し性*R*↑、及び負方向の位置決めにおける一方向位置決めの繰返し性*R*↓をそれぞれ求める。

さらに測定条件を明確にするために**JIS B 6190-2:**2016(**ISO 230-2**:2014)の**表3**と同様のデータシートも作成する。

**7．記録の保管**

**JIS B 6190-2:**2016(**ISO230-2**:2014)の**表2**及び**表3**は、UPRが適切に測定されたことを示す資料であり、経済産業省に申告値を届ける場合のほか、同省に提出を求められた場合に必要となる輸出関連資料であることから、少なくとも次の期間は、保存する。なお、書面によらずともPDF等の電子媒体により保存しても良いことが「工作機械の位置決め精度等の申告値について」に記されている。

(1)輸出貿易管理令別表第1の2の項に該当する工作機械の精度測定記録は、7年間保存する1)。

(2)輸出貿易管理令別表第1の6の項該当機及び16の項に該当する工作機械の精度測定記録は、5年間保存する。

**8．該非判定基準**

該非判定基準：*R*↑及び*R*↓のうちの小さいほうをUPRの該非判定基準とすることが、貨物等省令第5条の欄中の「一方向位置決めの繰返し性」の解釈において規定されている。

**9.　中古機に対する該非判定**

中古機に対する精度測定に際し、本ガイドラインに則った測定ができない場合は、

以下の(1)～(5)の優先順に従って該非判定を行うことが可能である。

(1)当該中古機の型式の有効なUPR申告値に基づく該非判定（非該当の判定は、出荷時以降UPRの変更を伴う改造が行われていないことが明らかな場合に限る）。

(2)当該中古機の型式の有効なPA申告値に基づく該非判定。なお、ISO230-2(1988)の測定データにあるUPRをそのまま該非判定に利用することはできないため、当該データにある標準不確かさの推定値（Si）の4倍を求め、ISO230-2:2014に基づくUPRを特定してから該非判定に用いる（非該当の判定は、出荷時以降UPRの変更を伴う改造が行われていないことが明らかな場合に限る）。

(3)カタログ又は仕様書に記載されているUPR（R↑及びR↓のうち小さい値）が規制レベルに達した場合における該当判定（非該当の判定はできない）。

(4)工場出荷時の**ISO230-2** (1997)又は(2006)に基づくUPRによる該非判定

なお、**ISO230-2**(1988)の測定データにあるUPR値をそのまま該非判定に利用することはできないため、当該データにある標準不確かさの推定値（Si）の4倍を求め、**ISO230-2**:2014に基づくUPR値を特定してから該非判定に用いる（非該当の判定は、出荷時以降UPRの変更を伴う改造が行われていないことが明らかな場合に限る）。

(5)本ガイドラインによらない実機測定の結果、UPRが規制レベルに達した場合における該当判定（非該当の判定はできない）。