

モーションコントロールの測定方法

Motion Control Metrology Primer

私たちの約束

研究、防衛および産業界に対して、最良の技術情報とソリューションを提供したいという当社の継続的な努力の中で、「保証値」と「代表値」と示された仕様から、ユーザーが当社の製品を用いて期待できる真の性能を反映するように、当社の製品仕様記述の多くを拡充してきました。このモーションコントロールの測定方法のガイドは、これらの「保証値」や「代表値」の仕様が何を意味するか、それらはどのようにして導き出され、どのように検査されるかについての議論を網羅しています。仕様が導き出される仕組みを理解すれば、単純な数値以外で製品の真の性能のより良い理解を得ることが出来、アプリケーションに最適なソリューションを選択することができます。

This is our promise!

For Motion, Think Newport!

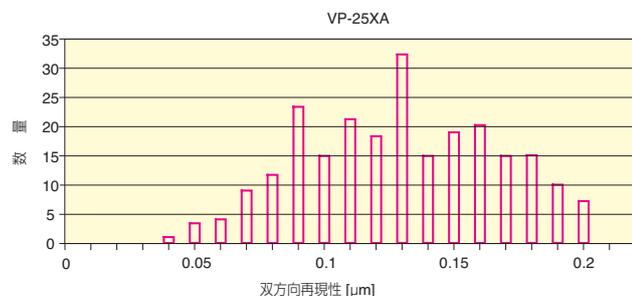


図1：双方向再現性

「保証値」と「代表値」性能仕様

Newportの「保証値」の仕様記載

当社の位置決め製品は、(明示されておりましたが)以前より「保証値」によって仕様が記述されてきました。これらの値はNewportのA167計量値試験手順に従って検査されているため、ユーザーが特定の製品について期待できる最大の性能(もしくは誤差の値)です。これらの「保証値」を超過する検査結果をもつ位置決め製品は、すべて再加工されるか、スクラップ処分されます。

Newportの「代表値」による仕様記載

当社のほとんどの普及品の位置決め用製品には代表値が提供されており、代表値は何年にもわたる製造許容検査によって得られた統計的な検査データに基づいております。示された代表値は、特定の仕様に関する「平均的な」性能値を示していると解釈でき、いくつかのステージに関しては統計的な検査データが示されています。たとえば、VP25XAシリーズのステージの両方向再現性仕様の「保証値」は0.2 mという値を示しますが、このステージに対して実際にこれまで実施してきた試験結果によれば両方向再現性仕様の「代表値」は0.15 mという性能を示しています。

Newportのモーションコントロールの測定方法

30年以上に渡って、Newport総合カタログは、研究者、科学者、エンジニアの方々にとって技術、発見、製品開発の進展のための参照用の標準として用いられてきました。製品の大きさの縮小、精度と分解能の向上の要求、ナノメートルスケールのデバイスが扱われる今日の世界では、最高級品質の部品を利用可能にすることは極めて重要です。そのために、NewportはXM、GTS、IMS、ILS、MTM、UTS、MFA、VP、RGV、RV、URS、PR/SR、LTA、およびTRAそれぞれの製品毎に、軸上精度、再現性、軌道の誤差(たとえば直進ステージにおけるピッチとヨー、および、回転ステージにおける回転軸の角度偏差と偏心)に関する検査方法と検査データを提供しております。検査データシートサンプルを下の図2に示します。

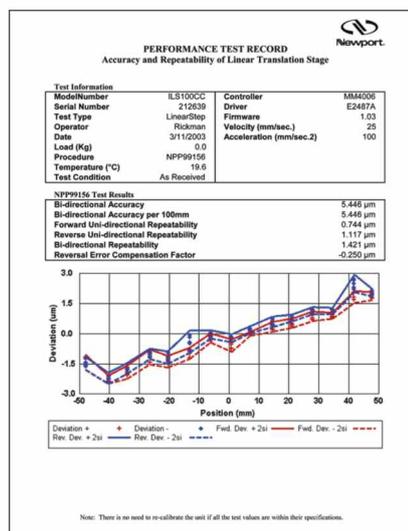


図2：検査報告書の例

位置決め装置の最終性能は、機械加工部品の精度や組み立ての許容度など、製造過程の多くの要因に依存するため、厳格な品質管理と計量手順は、ステージやアクチュエータが公表の仕様を満たすことを保証するための唯一の方法です。

Newport社内の計量手順は、ASME B5.57とISO 230-2を含む他の広く認知されている手順を非常にわかりやすい形で組み合わせただけです。当社のお客様に対して最高品質の製品を保証するこの検査手順の大部分は以下の内容を含みます。

- **ステージの全移動量に渡って分散された21の測定点について、管理された検査台でデータが取得されます。**このように多くの測定点をとることで、ステージの全移動範囲についてステージの特性が慎重に鑑定されます。ある典型的な位置決め装置は、移動範囲の特定の測定点では非常によい性能を発揮するかもしれませんが、しかし、ベアリングあるいは送りネジの不完全性により、他の測定点では全く異なった特性を持つかもしれません。たとえば4、5点しか取らないような少ししかデータを取得しないような手順は、位置決め製品の本当の性能を正確には反映せず、全移動範囲においては公表された仕様を満たすとはかぎりません。

Newportのすべての計測専用室は、 19.5 ± 1.5 に温度が一定に保たれています。検査されるすべてのステージは、実際の測定が行われる前に、安定化のために少なくとも12時間以上保管されます。可能な限り最良の精度を保証するために、公認された第三者の計量機関によって、検査器具の定期的な較正がなされます。

• **両方向に4回の完全なサイクルの動作に対して、管理された検査台でデータが取得されます。**この要素は、位置決め装置の再現性とヒステリシスを検証するために必要不可欠であるだけでなく、位置決め精度のより精密な品質を備えます。この種の検査は、位置決め装置の特性が一致することを保証します。

これらの2種の検査が組み合わされることで、位置決め製品の本当の性能を決めるために使われる168点のデータが提供されます。このデータを評価するために用いられる統計手法を図3に示します。

| | Positive direction | Negative direction |
|--|--|---|
| Inaccuracy #i at position j: | x_{ij1} | x_{ijl} |
| Average inaccuracy at position x_j : | $\bar{x}_{j1} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 x_{ij1}$ | $\bar{x}_{jl} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 x_{ijl}$ |
| Standard deviation at position x_j : | $s_{j1} = \sqrt{\frac{1}{2-1} \sum_{i=1}^2 (x_{ij1} - \bar{x}_{j1})^2}$ | $s_{jl} = \sqrt{\frac{1}{2-1} \sum_{i=1}^2 (x_{ijl} - \bar{x}_{jl})^2}$ |
| Uni-direction repeatability: | $R = 3 \cdot \bar{s} = 3 \cdot \frac{1}{21} \sum_{j=1}^{21} s_j = 3 \cdot \frac{1}{21} \sum_{j=1}^{21} \frac{s_{j1} + s_{jl}}{2}$ | |
| Reversal value: | $B = \frac{1}{21} \sum_{j=1}^{21} B_j = \frac{1}{21} \sum_{j=1}^{21} \bar{x}_{j1} - \bar{x}_{jl}$ | |
| Accuracy: | $P_{abs} = \text{Max}_j(\bar{x}_j) - \text{Min}_j(\bar{x}_j) = \left \text{Max}_j \left(\frac{\bar{x}_{j1} + \bar{x}_{jl}}{2} \right) - \text{Min}_j \left(\frac{\bar{x}_{j1} + \bar{x}_{jl}}{2} \right) \right $ | |

図3：統計式

• これらの統計手法は、単一方向再現性（最大値）、ヒステリシス（平均値）、両方向の軸上誤差（平均値）の記載された仕様に一致します。これらの仕様値は、ユーザーがその製品を繰り返し使用するとき期待できる位置決め装置の真の性能を最も良く表します。

• **一方向再現性は、標準偏差の3倍（3シグマ）で示されます。**標準偏差は、順方向と逆方向で21点測定されるすべてのデータから算出されます。4サイクルの動作によって、合計で168の測定点となります。この多くのデータ点数と3シグマの手法によって、96%の信頼性で、最悪の場合の再現性をとても精確に示すことができます。つまり、同一の位置に何百回も動いたときに、そのうち96%の位置が、仕様に記載された範囲で再現されることを意味します。

• 注意：いくつかの会社では、検査値を魅力的に見せるためにRMSあるいは平均の再現性で仕様を記載するのに対して、Newportでは「保証される最悪の場合の再現性」で位置決め製品の仕様を記載していることを明白にすることが重要です。RMSあるいは「平均の」再現性は、同一の位置に何回も動く時に期待される繰り返し再現誤差です。それは、1シグマだけの範囲の仕様の確からしさに相当します。このような明白な違いは、平均RMS再現性が0.5 μm の製品を比べると、NewportのA167手順を用いれば1.5 μm の仕様（この値の方がその製品の実際の性能をよりよく表しています）を持つことになると意味します。

• **100のデータ点が、直進ステージにおけるピッチとヨーの検査、回転ステージにおける回転軸の角度偏差と偏心の検査において、Newport製LDS1000オートコロメータを用いて取得されます。**これらのデータ点は移動の途中でダイナミックに計測されます。検査報告書で示された性能仕様は、誤差の真の振幅（最大値と最小値の差）です。

• **回転ステージにおける回転軸の角度偏差と偏心の値は、全2回転を通じて測定されます。**1回転中でのデータ取得だけでは、すべての線形エラーを取得できないでしょう。なぜなら、ベアリングはステージの半分速度でしか回転しないからです。

• **すべての検査器具は、典型的な応用に近い形でキャリッジの中心上で高さ約50 mmの位置に取り付けられます。**直進ステージにおける再現性、ヒステリシス、精度は、較正されたレーザー干渉系との比較によって測定されます。回転ステージにおける再現性、ヒステリシス、精度は、ステージの回転プレートに連結された高精度ロータリーエンコーダとの比較によって測定されます。

• **XM、GTS、IMS、ILS、MTM、UTS、MFA、VP、RGV100BL、RV、URS、PR/SR、LTAとTRA製品に対する検査報告書（図2）は、お客様に追加費用無しに提供致します。**これらの検査報告書は当社製品の性能を保証するだけでなく、バックラッシュの補正、エラーマッピング、あるいは線形補正などによって位置決め製品の性能をユーザーが向上させることを可能にするのに十分に詳細な情報を提供します。

要約

昨今の高い精度が要求される環境では、**位置決め制御の仕様の意味と実際の測定方法**を明確に理解することは結果の数値よりも必須で、より多くのことを知ることができます。単に、製造業者に提供されるままの製品カタログ上の仕様の値（たとえば、再現性、精度、ピッチ、ロール、ヨーなど）に基づいて製品を評価する古いやり方では、特にサブミクロンの性能範囲において、製品を選ぶには大変なリスクを伴いかねません。

ご要望に応じて、Newportでは、評価に必要なほとんどの電動位置決め装置の過去の検査データを提供いたします。位置決め制御の仕様と技術のより詳しい情報については、位置決め制御に関するチュートリアル、ならびにアプリケーションノートをよく調べて頂くか、あるいは弊社またはお近くの代理店にご相談下さい。