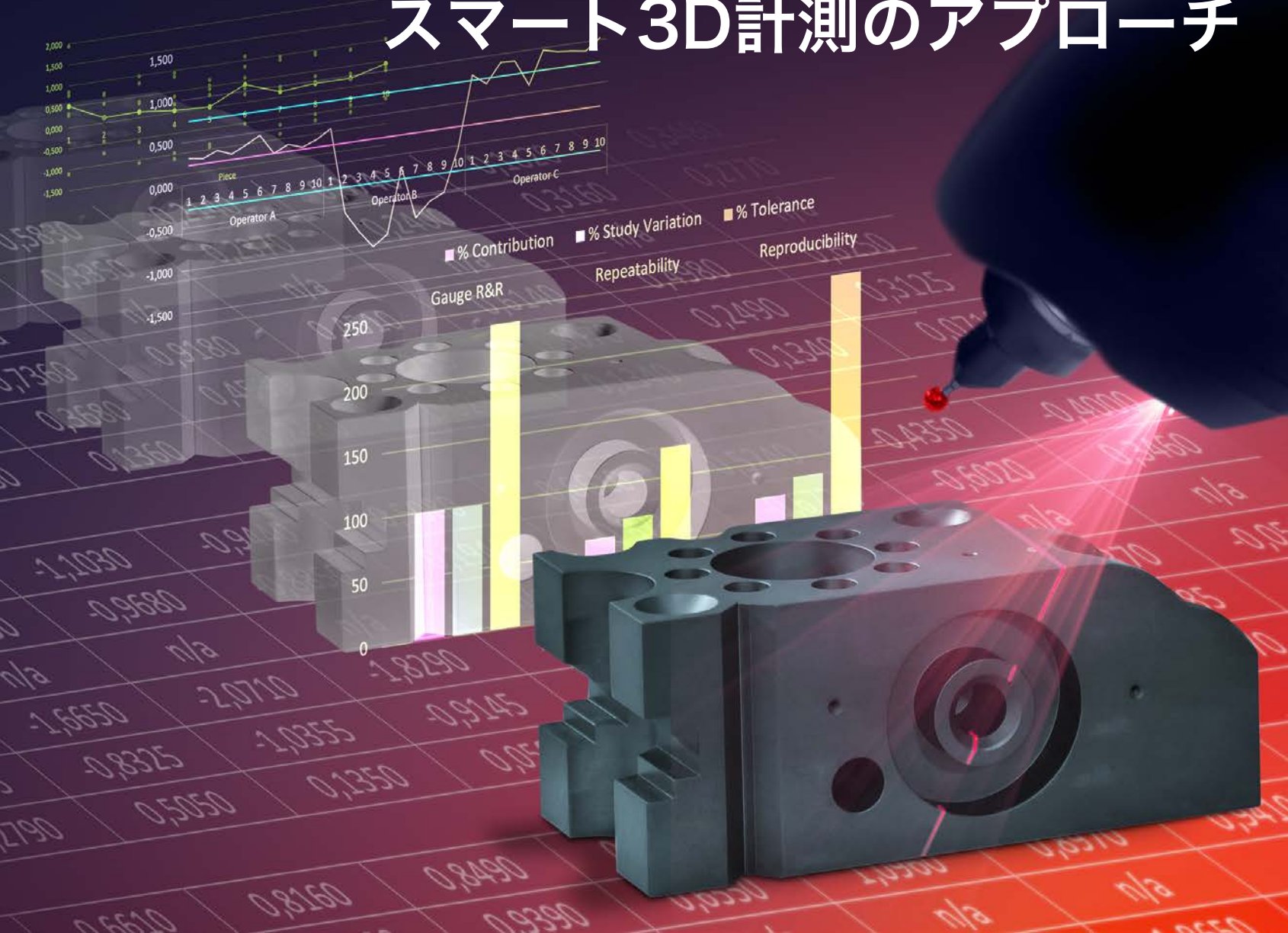


信頼性の高い3D測定データ収集 スマート3D計測のアプローチ



信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

- 繰り返し性分析
- ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

信頼性の高い3D測定データ収集 スマート3D計測のアプローチ

製造業各社では、寸法測定データの収集によって製品品質モニタリングを日常的に行っています。このデータは、製造プロセスの安定性の調査、部品の品質と機能性を保証するための製造プロセスの能力の判定、寸法要件を満たすための製造プロセスの能力を定量化するための指標の確立に使用されます。これらはすべて、製造業各社の継続的な改善プロセスの一環です。

新しい製造プロセスの導入時に、プロセスの安定性で問題に気付いても、その原因の特定と修正ができないことがあります。これらの問題は、場合によっては、製造プロセスではなく、測定システム自体に関連している可能性があります。

計測の専門家なら、測定は完全な正確さを持つことができないことを知っています。数多くのばらつきの原因が測定システムのパフォーマンスに影響を及ぼし、測定の不確かさにつながります。繰り返し性およびゲージR&Rの分析による測定システム解析（Measurement System Analysis、以下MSA）を実施することで、測定システムの変動を推定できます。このような分析を行うことで、計測担当者は測定システムの有効性を評価し、測定された全プロセス変動に寄与する因子で測定システムに由来するものを最小限に抑えることができます。

MSAでの分析の設定と実行はかなり複雑ですが、3D計測の場合には一層複雑になり、利用可能なデータを得るには統計に関する幅広い知識が求められます。

このホワイトペーパーの内容は下記の通りです。

- ・ MSAの主要な概念および3次元測定機器での実践的な応用の解説
- ・ 繰り返し性およびゲージR&Rの分析の設定と実行から、分析と結果共有のためにExcel形式で結果を直接取得する方法まで、完全にデジタル化されたプロセスの解説
- ・ 結果分析に関する計測担当者向けの推奨事項



信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

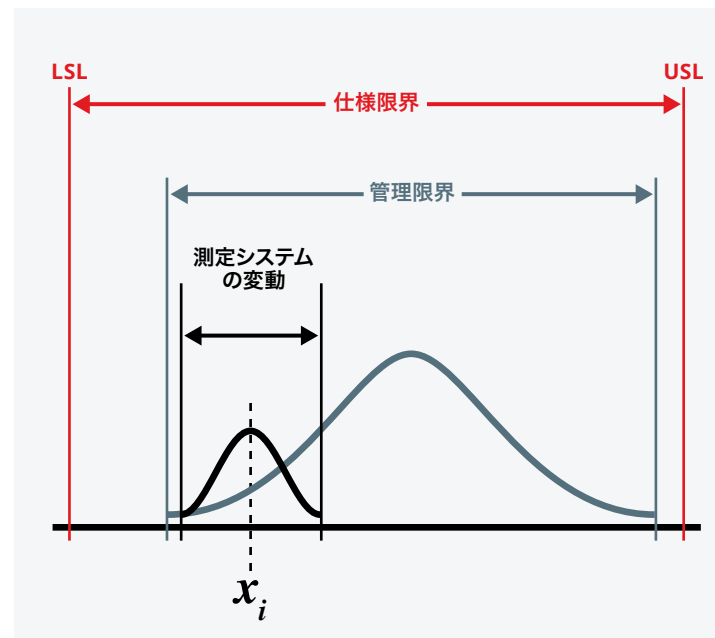
結論

MSAの基礎を理解する

全般的な部品検査プロセスの観点から、MSAの重要な役割について詳しく見ていきましょう。このプロセスでは、計測担当者は大きさ、寸法、位置、輪郭、方向といった重要な特性を測定して、これらの値が設計仕様から逸脱していないかを判定します。公差や要件を使用して、管理計画に記載されている技術仕様への適合性を評価します。各測定は、実際の逸脱（実際の値）を表す要素、測定システムの変動を反映する要素という2つの主要な構成要素によって特徴付けられます。測定システムが測定において信頼・信用できることを確認するために、計測担当者は、測定システムの変動の大きさを特定し、その変動が仕様限界の最大10%~30%であることを確認する必要があります。測定システムのパフォーマンスのばらつきは、製造プロセスと測定システムの両方の変動を考慮して、測定された全プロセス変動に対する有意の寄与因子にならないように、また製造プロセスが仕様限界 (LSL,USL) または公差から外れないように、相応に小さくなければなりません。

図1
全プロセス変動
に対する測定システム
のパフォーマンス

図1はこの交互作用を表したもので、測定システムのパフォーマンスと測定値 (x_i) は、測定されたプロセス変動に対して比較的離散的かつ予測可能な寄与因子となっています。この変動は、統計的工程管理手法を使用する生産ラインからの部品の測定結果から得られたものです。通常、管理限界はこのデータを使用して計算されます。つまり、測定システムのパフォーマンスは、測定された全プロセス変動の結果に影響を及ぼします。MSAでの解析ワークフローを利用してこのパフォーマンスを特定できます。



信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

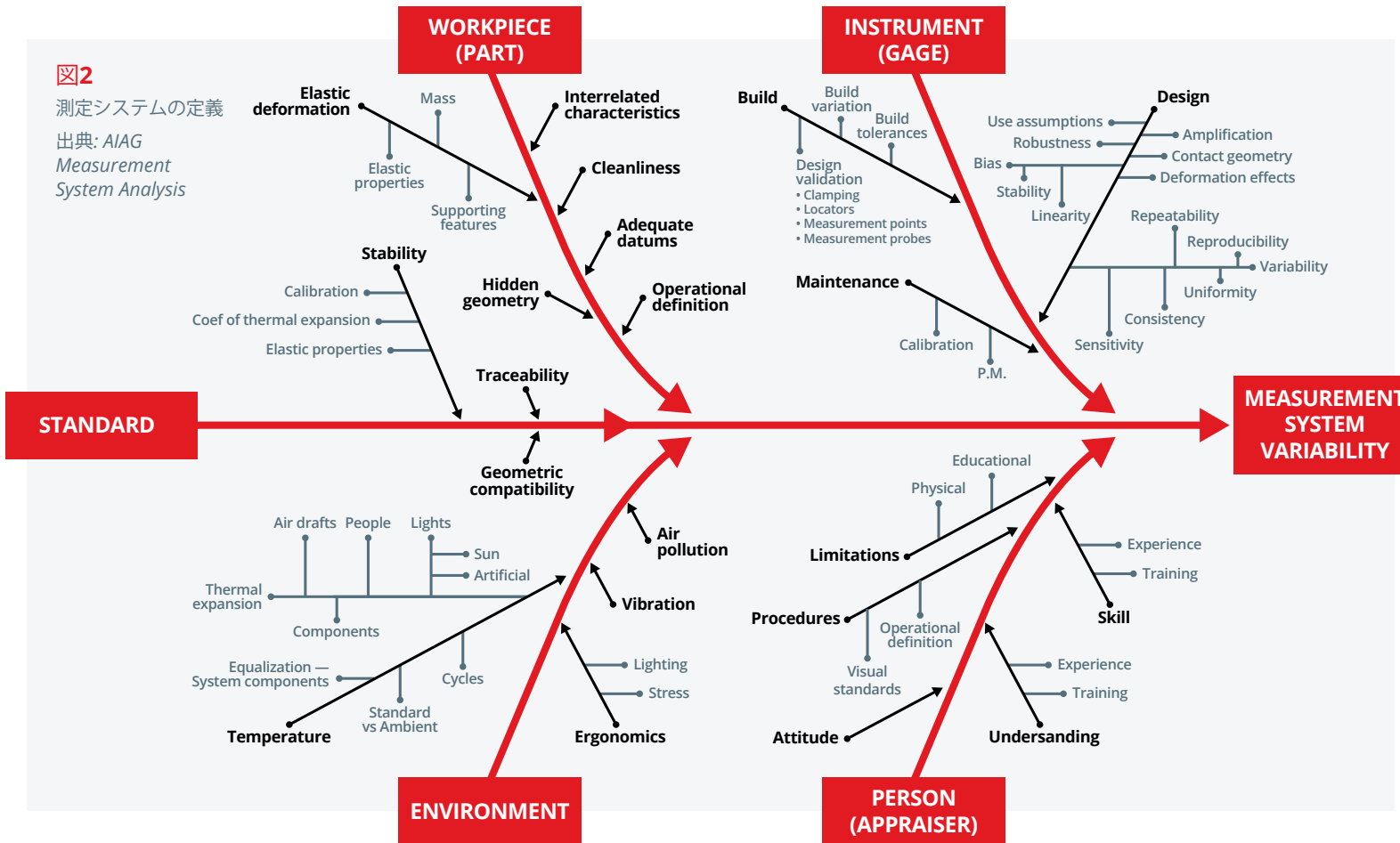
結論

測定システムの定義

測定システムのパフォーマンスを定義する前に、重要な特性の測定プロセスに影響を及ぼす可能性のあるばらつきの潜在的原因をすべて特定することが非常に重要です。

Automotive Industry Action Group (AIAG) は、

測定システムは、(器具・計器類、標準、オペレーション、方法、治具、ソフトウェア、人員、環境、および測定単位の定量化または測定対象の特性への評価の固定に使用される仮定、つまり測定結果を得るために使用されるプロセス全体)で構成されるとしています。図2に示すように、MSAではこれらのあらゆる要因を考慮する必要があります。これは、これらの要因が測定システム全体の不確かさに影響を及ぼすためです。



信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

測定システムのパフォーマンス指標

測定システムのパフォーマンスは、測定不確かさを分類・定量化する指標を使用しして判定されます。計測担当者は、プロセスのデータを収集して、変動に関連付けられる特定の挙動を見つけ出すことで、測定の変動を定量化できます。

通常、この挙動はガウス分布（正規分布）で確率変数（Random Variable、RV）と呼ばれます。図3はこの概念を図示したもので、黒の曲線は収集データ（測定プロセスからの測定値）を表し、その分布は位置（平均）と幅（標準偏差）のパラメーターによって定義されます。

測定プロセスに影響を及ぼす複数の要因は、各種の系統的な不確かさ（例：平均測定値 vs. 実際の値）またはランダムな不確かさ（例：測定値の広がり）の原因を意味しています。これらの不確かさは、特定された分布パラメーターに及ぼす影響に応じて分類できます。図4に示すように、系統的な不確かさには偏り、直線性、安定性が含まれ、ランダムな不確かさには繰り返し性、再現性が含まれます。各分類は特有の分布パターンによって明確に識別できます。

図3
ガウス分布

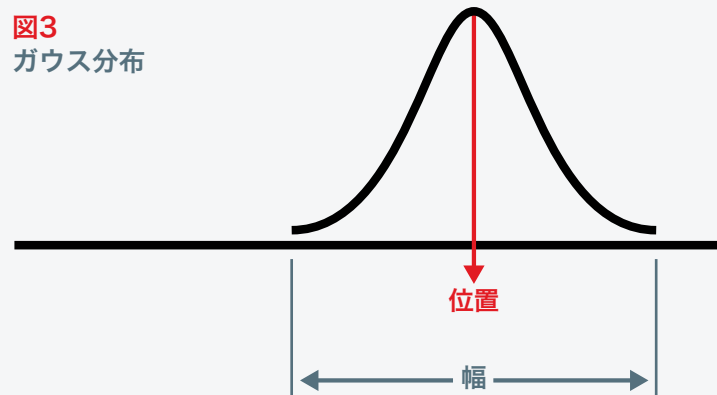
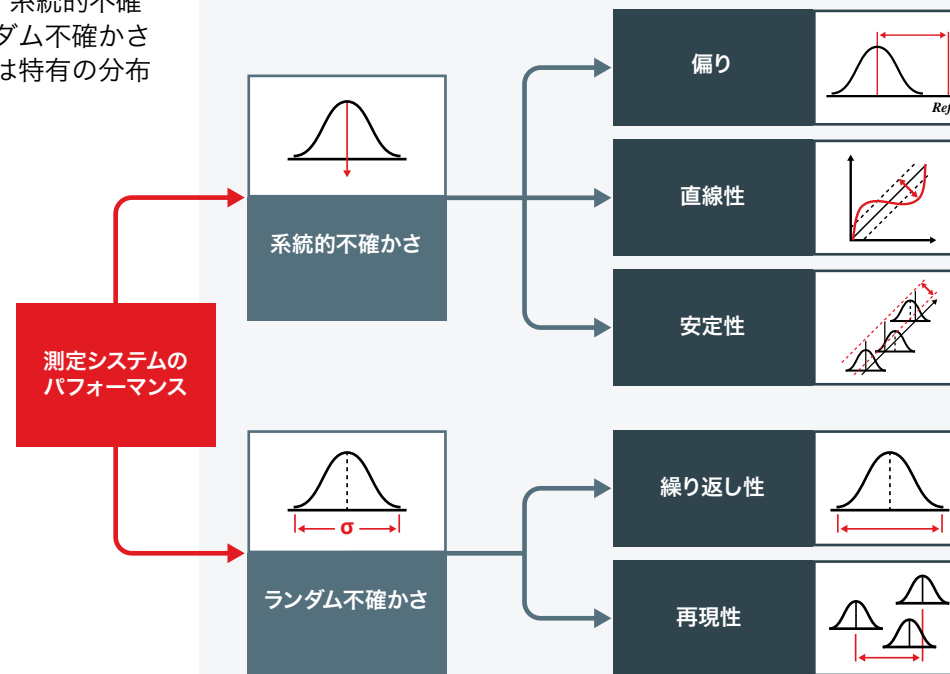


図4
パフォーマンス指標



信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的な不確かさ
- ・ ランダムな不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

・ 系統的不確かさ

系統的な不確かさは、既知の基準に関する正規分布の位置に強く関連する測定不確かさです。数学的には、この系統的な不確かさは測定データの平均値に影響を及ぼします。一般的には正確度の誤差とも呼ばれます。正確度の誤差は、1つまたは複数の測定結果の平均と基準値との間の正確さを表します。正確度の誤差は一般に再現可能であり、しばしば定量化と修正が可能な問題に起因します。系統的な不確かさには、偏り、直線性、安定性の3種類があり、偏りが最も一般的です。偏りは、1つまたは複数の測定結果の平均 (\bar{x}) と基準値 (Ref) との間の距離を表します。数学的には、偏りは真値 (Ref 値) と、同じ部品の同じ特性での測定値の実際的な平均値との間の差によって推定されます。直線性は、器具の測定範囲にわたって収集されたデータが基準値にどの程度一致するかを示すものです。測定機器の想定測定範囲にわたる偏りの差です。直線性は、測定範囲の端から端までの偏りの変化を表します。系統的な不確かさのさらにもう1つの種類が安定性です。測定システムがその計測能力を経時的に維持する能力を表します。偏りの経時的な（通常は2回のシステム校正の間の）ばらつきを示すものです。



・ ランダム不確かさ

もう1つの測定不確かさはランダム不確かさです。一般的には精度の誤差とも呼ばれます。精度の誤差は、測定されたデータにおける測定システムの制約に起因する統計的変動を示すものです。精度の誤差は、測定範囲にわたって繰り返された測定の想定されるばらつきを表します。ランダム不確かさには繰り返し性と再現性の2種類があります。繰り返し性は、非常に管理された条件下で得られた測定値の分散の幅を示すものです。測定システムが、同じ測定機器、部品、テンプレート、同じ環境条件で同じ測定値を得られる能力を表します。分散の幅が狭いと、測定の繰り返し性が高いこととなります。再現性は、複数のオペレーターが同じ測定機器を使用し、同じ条件下で実施した測定間のばらつきを表します。数学的には、これは各オペレーターによる測定値の平均のばらつきです。

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的な不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

測定システムの能力とパフォーマンス

測定システムの能力 ($\sigma_{capability}$) は、全標準不確かさとも呼ばれ、すべての系統的な不確かさとランダムな不確かさを合成したものです。この不確かさは、既知の条件下での測定に関連する疑いを定量化し、短期間にわたる測定システムの全不確かさの特定に使用されます。能力は次の数式を使用して計算できます。

$$\sigma_{capability}^2 = \sigma_{Bias (linearity)}^2 + \sigma_{R\&R}^2$$

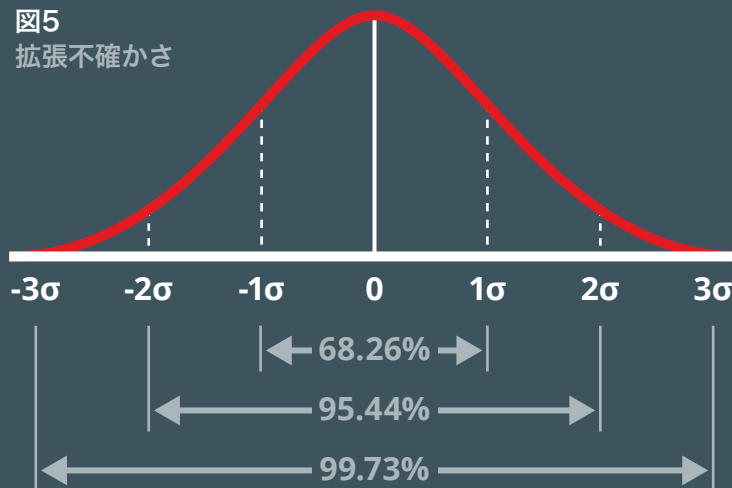
一方、パフォーマンスでは、系統的ばらつきとランダムなばらつきの原因だけでなく、経時的に発生するドリフトの原因も考慮します。パフォーマンスは次の数式を使用して計算されます。

$$\sigma_{performance}^2 = \sigma_{capability}^2 + \sigma_{stability}^2$$

拡張不確かさ

MSAプロセスの最後のステップでは、測定システムに関連する拡張不確かさ (U) を判定します。拡張不確かさは、特定の信頼区間内で測定システムによって得られる実際の測定結果を含むことが想定される範囲を表す全測定不確かさの値を表します。その数式は次のようになります。

$U = \pm K\sigma_{tot}$ ここで、 U は拡張不確かさ、 K は目的の信頼水準の正規曲線下の領域を表す包含係数 (例: 99.73% 信頼水準では $K=3$)、 σ_{tot} は測定システムの全標準不確かさで、通常その測定システムのパフォーマンスに相当します。MSAで最も一般的に使用される包含係数を下図に示します。



信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的な不確かさ
- ・ ランダムな不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

複雑な3D測定システムの不確かさの評価に適切な方法を選択する

システムの測定不確かさを評価するためには、最初にその測定モデルを定義する必要があります。このモデルは、測定システムの出力量と、測定プロセスに参与することが既知の入力量の関係の数学的表現です。直接、間接という2種類の測定が存在し、これがモデルの定義に影響を及ぼします。直接測定では、測定機器が出力量を直接提供します。例えば、マイクロメーターを使用して外径 (Y) が測定されることで、物理値 (X) が直接提供されます。この場合、測定モデル (関数) は $Y=X$ となります。ただし、ほとんどの3D測定機器は間接測定を行います。これらの測定機器では、物理値 (Y) を直接提供できませんが、複数 (n) の物理値 (X_i) の関数 $Y=f(X_1, \dots, X_n)$ を考慮します。例えば、アーム型3次元測定機では複数のエンコーダーの位置と方向を使用して特定の出力を得ます。出力量の計算に使用されるこれらの物理値 (この例ではエンコーダーの位置と方向) はすべて、特定の測定不確かさ (u_{x_i}) による影響を受けます。そのため、アーム (Y) によって得られた測定結果は、一連の数値 (X_i) および推定に使用される関連する不確かさ (u_{x_i}) に依存します。最終的に、測定値 (Y) も全不確かさを (u_y) を持ちます。

測定システムを表すモデルが明確に定式化されている場合、このモデルを使用して入力量からの不確かさを出力量に反映できます。使用できる戦略には、テイラー級数法、モンテカルロシミュレーションの2種類があります。これらの戦略は、[Guide to the expression of uncertainty in measurement](#) (GUM、測定における不確かさの表現のガイド)¹などの文献で詳しく解説されています。一方、**モデルが複雑すぎて明確に定式化できない場合や、パラメーターが不明な場合は、実験的戦略を使用する必要があります。**統計ツールを使用して出力量を分析することで、測定システムの全不確かさを推定できます。例えば、計測担当者がスキャナー搭載のポータブル型3次元測定機を使用して曲面形状を測定する場合、測定関数の特定ははるかに複雑になります。このような場合、実験的解析を使用する必要があります。この解析は測定結果で直接行われるため、計測担当者による測定システム全体の分類は不要です。そのため、よりシンプル・明快で、理解しやすい方法で解析を行えます。

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

- 繰返し性分析
- ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

¹ Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008)
(Bureau International des Poids et Mesures発行)

実験的方法とスマート3D計測ソフトウェアを使用したMSA

複雑な3D測定システムの拡張不確かさを特定するための実験的解析の実施では、まず繰り返し性分析、次に完全なゲージR&R分析が求められます。異なる構成と試験を使用して、システムの測定結果に関するデータを収集することで、計測担当者は前述のパフォーマンス指標を使用して全変動を推定できます。ただし、従来これらの分析は実施に手間がかかり、適切な結果を得るためには統計学に関する幅広い知識が求められます。

図 6
PolyWorks MSA ツールバー



PolyWorks® では、複雑な3D測定システムの解析を完全にデジタル化されたプロセスで実施できる統合されたMSAスマート3D計測ソフトウェアソリューションを提供しています。このソフトウェアソリューションでは、以下の作業も可能です。

- 1 管理計画で求められる重要な特性を特定
- 2 分析の種類を選択し、品質管理とトレーサビリティに不可欠な主要パラメーターを定義することで分析を作成
- 3 1つのユニバーサルソフトウェアプラットフォーム内であらゆる3D測定機器と測定条件でデータを収集し、分析を実施
- 4 豊富な情報を含むスマート3D検査データへのリンク付きのレポートを、Microsoft Excelの書式設定済みスプレッドシートに直接出力
- 5 統計ソフトウェアアプリケーションに関する高度な技能を必要とせず、Excelで複雑な解析を実施

PolyWorksのMSAソリューションでは、解析の設定から、測定データの取得、結果の自動生成（指標、図表など）まで、確実に1つのソフトウェアエコシステム内で各種計算が実行され、完全なデジタルチェーンによってデータの完全性と信頼できる結果が保証されます。

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

繰り返し性分析



MSAの第一段階は繰り返し性分析です。この分析では、最小数のばらつき原因によって影響を受けた場合の測定システムの変動（測定機器のばらつき）を評価します。この分析は、さまざまなシステム構成間（治具のクランプ位置、計測ハードウェアのパラメーターなど）を迅速に比較する

ために、測定システムの初期評価で使用されます。

繰り返し性分析は下記の方法で行います。

- 1 - 部品を治具（該当する場合）に配置する
- 2 - 3D測定機器を使用して部品を測定する
- 3 - 部品を治具から取り除く
- 4 - 上記1～3の手順を繰り返す
（必ず同じ部品、治具、測定機器を使用する）

計測担当者は、管理計画を使用して、統計分析を行う必要がある重要な特性を特定します。測定機器のばらつきについて良好な推定を得るためには、測定回数は最低でも10回、通常は30回以上行われます。このタイプの分析は通常、測定プロセスでの迅速な問題発見とスムーズな解決に求められる経験を持つ上席の計測担当者が行います。

繰り返し性分析には下記の2つのタイプがあります。

タイプ1 ゲージ分析²：

- ・ 測定での偏りと繰り返し性の影響を評価
- ・ 寸法の既知である認証基準形状が必要
- ・ Cg、Cgkという2つの測定値を出力
- ・ 認証基準形状が使用可能であり、測定システムの安定性に懸念がない場合に適用

ゲージR分析³：

- ・ 測定システムの繰り返し性と安定性を評価
- ・ 認証基準形状は不要
- ・ MR管理図をばらつきと安定性の評価の基準として使用

この2つのタイプの主な違いは、タイプ1の分析では、偏りの可能性を特定するために認証基準形状が必要なこと、測定システムの安定性は評価しないことです。

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析

ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

² Measurement System Analysis Requirements for the Aero Engine Supply Chain (AS13003) (SAE International発行)

³ Measurement System Analysis (MSA) (Automotive Industry Action Group (AIAG) 発行)

どちらの繰り返し性分析も、PolyWorksのMSAソリューションを活用してスムーズに行えます。

- 1 - 計測担当者向けに、分析に必要な手順で段階的なガイドが提供されます。分析のための検査プロジェクトには、必要な各種測定、特性、管理、出力される測定値に加え、測定対象のピース数も含まれており、堅牢な測定を確実に実行できるテンプレートとなっています。
- 2 - さらに、測定データ収集の作業中は、オペレーター向けに、画面上に表示される説明と3D表示によるガイドも提供されます。
- 3 - 測定データ収集プロセスが完了すると、検査結果がExcelの書式設定済みスプレッドシートに自動的に出力されます。このスプレッドシートは、検査プロジェクトの3D検査データに動的にリンクされています。
- 4 - 書式設定済みスプレッドシートには、自動計算されすぐに分析に使用できる測定機器のばらつきの情報（繰り返し性、パフォーマンス指標、図表）が含まれています。
- 5 - PolyWorksではスプレッドシートの指標と図表の値を自動的に更新するため、この分析を実行して測定プロセスを迅速に最適化するために、検査プロジェクトの測定パラメーターを調整し、測定機器のばらつきへのその直接的影響を確認できます。

ゲージR&R分析

繰り返し性分析では、測定システムでの測定機器のばらつきの分析と最適化が可能ですが、測定システムの最終的な妥当性確認ではゲージR&R分析が必要となります。

ゲージR&R分析はより多くのリソース、部品、コストを必要とするため、通常は繰り返し性分析の後に実施されます。また、繰り返し性分析を最初に実施することにより、計測担当者は測定機器の再現性の分析・修正を行う前に、測定機器のばらつきを修正できます。測定システムの再現性と繰り返し性の不確かさを推定する経験的方法として受け入れられているものにはいくつかあります。そのうち最も一般的な方法は、X-bar R (Average and Range Method、平均値-範囲法)、ANOVA法 (Analysis of Variance Method、分散分析法) の2種類です。いずれの場合も、信頼できる結果を得るために、データ収集は厳格なルールに従って行われます。

- ・ **オペレーター数**：少なくとも3人のオペレーターが必要で、オペレーターは測定システムを製造環境で使用する必要があります
- ・ **部品数**：部品は少なくとも2個とし、製造プロセスで見つかったばらつきを代表する部品を選択する必要があります。可能であれば、推奨部品数は10個です。部品数が多いほど、プロセス挙動の推定を良好に行えます。
- ・ **反復数**：各オペレーターがすべての部品で複数回の測定を行う必要があります。通常は測定を2〜3回繰り返します。
- ・ **無作為の測定順序**：測定順序が結果に影響しないようにするために、各オペレーターは部品の測定を無作為の順序で行う必要があります。

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムのパフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析

ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

PolyWorksのMSAソリューションでは、このような2種類の標準的な方法を使用した完全なゲージR&R分析をユーザーが作成・実行できるようになっています。

- 1 - 計測担当者が分析方法を選択し、オペレーター数、反復数、部品数などのパラメーターを指定します。
- 2 - そうすると、すべての必要なピースが特定順序で含まれた検査プロジェクトがPolyWorksによって作成されます。
- 3 - 実行順序シートが自動的にExcelスプレッドシートにエクスポートされます。このシートは、測定データ収集プロセスで測定が無作為の順序で行われるように、オペレーターを誘導するものです。
- 4 - 確実にすべての重要な特性が測定され、十分なプローブ測定やスキャン測定に基づくデータが取得されて、信頼できる測定データを抽出できるように、検査プロセスにわたって、ツールバーにはオペレーター向けにガイドが表示されます。
- 5 - 測定が完了すると、計測担当者は検査プロジェクトを使用して、測定システムの変動を推定します。

X-bar RとANOVAの主な違いは、結果の分析方法にあります。X-bar Rでは、管理図の計算を使用して繰り返し性と再現性の定量化が可能です。AIAGの"Measurement System Analysis" (測定システム解析) のガイドで、この方法が詳細に解説されています。ANOVAを使用するゲージR&Rでは、より多くの情報が提供されるため、より包括的な分析となります。

ANOVAは測定システムでのばらつき原因を以下のように分類する統計分析です。

- ・ **繰り返し性**：他のばらつき原因には起因しない測定システムからのばらつき。
- ・ **オペレーター**：オペレーター間のばらつき。
- ・ **部品/オペレーターの交互作用**：オペレーターと部品間の交互作用に起因するばらつき（オペレーターが複数の部品を異なるやり方で測定した場合）。
- ・ **部品間**：分析対象の部品間からのばらつき。製造プロセスの変動を表します。

使用する方法に関係なく、ばらつき原因は統計的に独立していると見なされます。そのため、これらのばらつきは無作為で合成され（ばらつきの和）、全不確かさが表されます。

最初に、この方法では部品とオペレーター間の交互作用に起因するばらつきが有意かを判定します。有意である場合は、下記のように、測定システムの全再現性 ($\sigma_{reproductibility}$) でこのばらつきが考慮される必要があります。

$$\sigma_{reproductibility}^2 = \sigma_{operator}^2 + \sigma_{interaction}^2$$

繰り返し性 ($\sigma_{repeatability}$) は分析中に直接特定されるため、測定システムの繰り返し性と再現性 ($\sigma_{R\&R}$) は下記のように求めることができます。

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{reproductibility}^2 + \sigma_{repeatability}^2$$

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析

ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

最後に、測定システムの繰り返し性と再現性を製造プロセスの推定変動 ($\sigma_{part\ to\ par}$) に加えることで、測定された全プロセス変動 (σ_{total}) が得られます。

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{R\&R}^2 + \sigma_{part\ to\ part}^2$$

結果の分析の内容は下記の通りです。

- 測定された全プロセスの変動に対する測定システムの不確かさ ($\sigma_{R\&R}$) の寄与が小さいことを確認します。ばらつき原因の大部分を推定された製造プロセスのばらつき (部品間) が占めている必要があります。部品間のばらつきの寄与が、その他の不確かさと比較して大きい場合、測定システムが確実に製造誤差を識別できていることとなります。

- ばらつきが最大で仕様限界の30%であることを確認するために、測定システムのばらつきを仕様限界 (公差) と比較します。

PolyWorksのMSAソリューションでの結果出力ステップでは、図7に示すように、見やすい表、サマリー、グラフなどを使用して、MSAでの解析データを解釈しやすい結果と利用可能なデータに変換します。これは、このデジタル解析プロセスのパワフルで重要な機能で、分析結果の解釈とトラブルシューティングを行いやすいように支援します。ユーザーは選択したX-Bar RまたはANOVAのExcelテンプレートに結果を出力して、測定誤差や他のばらつき原因の分析を迅速に行えます。例えば、ANOVA分析を実施する場合、ばらつきは部品、オペレーター、部品とオペレーター間の交互作用、測定機器に起因する繰り返し誤差という4つのカテゴリーに分類されます。

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析

ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

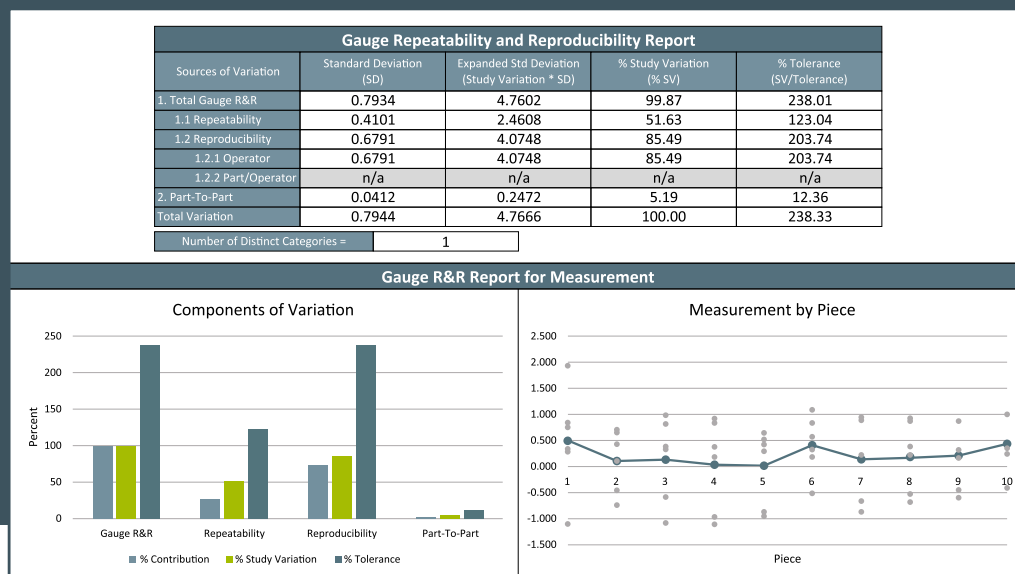


図7
ゲージR&R

計測担当者向け推奨事項

システムの測定で収集されたデータからは、測定の不確かさの影響についての評価が得られます。計測担当者は、パフォーマンス指標を使用して（ページ5）、修正措置を講じ、測定プロセスを最適化することができます。ここで、具体的な例（図8に示す誤差値のターゲットおよび散布図）を使用して解説しましょう。

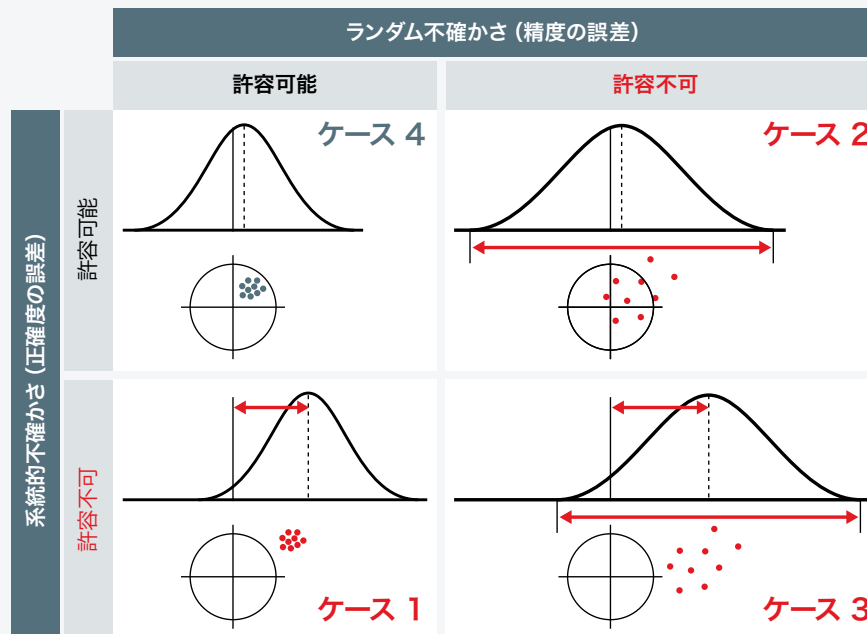


図 8 正確度と精度の誤差

最初の問題（ケース1）では、正確度の誤差があるかどうかを計測担当者が特定できます。この誤差はシステムの直線性の偏りに起因している可能性もありますが、いずれにしても、この誤差は簡単に修正できます。正確度の誤差で考えられる原因は下記の通りです。⁴

- ・ 測定機器で校正が必要
- ・ 測定機器、装置、治具が摩耗している
- ・ 解析プロセスで使用された標準の誤差
- ・ 測定方法（クランプ方法など）

計測担当者が直面する可能性のある2番目の問題は、精度の誤差がある場合（ケース2）です。これは、測定システム自体に関連しているか（繰り返し性）、オペレーターに起因している（再現性）可能性があります。

精度の誤差で考えられる原因は下記の通りです。⁴

- ・ **部品関連**：形状、位置、表面仕上げ、テーパー、サンプルの一貫性
- ・ **器具関連**：修理が必要、摩耗、装置・治具の不具合、メンテナンス品質の問題
- ・ **方法関連**：構成、手法、保持、クランプでのばらつき
- ・ **オペレーター関連**：技量、位置、経験・操作スキル・トレーニング不足、作業による疲労

すべての誤差原因が存在する場合（ケース3）、指標を使用して測定システムのパフォーマンスを分類し、誤差の修正をそのタイプごとに行って、測定システムを許容可能な状態にする必要があります（ケース4）。

⁴ Measurement System Analysis (MSA) published by the Automotive Industry Action Group (AIAG)

信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的な不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析

ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論

結論

効果的なMSAプロセスでは、信頼できる3D測定データを確実に収集できます。複数のサードパーティー製ソフトウェアソリューションや、統計ソフトウェアアプリケーションの高度な技能を必要とする旧式で複雑なプロセスに苦心する必要はありません。

PolyWorks®のMSAスマート3D計測ソフトウェアソリューションでは、3D測定機器を使用する環境向けにMSAでの解析の設定と実行の手順を大幅に簡素化し、測定システムの変動について信頼できる解析を行えるようになっています。完全にデジタル化された使いやすいワークフローにより、測定データの完全性が確保されており、製造業各社であらゆる新しい部品で確実にMSAを実施でき、より優れた品質管理を達成できます。

Laurent Émond-Girard
InnovMetric 製造プロセスエンジニア

polyworks Japan

詳細情報について

お問い合わせ先: 03-6433-3161 | info@polyworksjapan.com

ウェブサイト: www.polyworksjapan.com



信頼性の高い3D測定
データ収集 |
スマート3D計測のアプローチ

MSAの基礎を理解する

測定システムの定義

測定システムの
パフォーマンス指標

- ・ 系統的不確かさ
- ・ ランダム不確かさ

測定システムの
能力とパフォーマンス

拡張不確かさ

複雑な3D測定システムの
不確かさの評価に適切な方法
を選択する

実験的方法とスマート3D計測
ソフトウェアを使用した
MSA

繰り返し性分析
ゲージR&R分析

計測担当者向け推奨事項

結論