

SEMI E89-0707 (Reapproved 0313) GUIDE FOR MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS (MSA)

測定システム分析(MSA)のガイド

Notice: This translation is a REFERENCE COPY ONLY. If differences should exist between the English version and a translation in any other language, the English version is the official and authoritative version.

免責事項: この SEMI スタンドアードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

SEMI スタンドアード日本語翻訳版をご利用にあたっての注釈を本文の末尾に記載しております(「すべきである」「しなければならない」について等)。

本スタンドアードは、the Metrics Global Technical Committee で技術的に承認されている。現版は 2012 年 12 月 20 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2013 年 3 月に www.semiviews.org および www.semi.org で入手可能となる。初版は 1999 年 9 月発行。前版は 2007 年 7 月発行。

注意: 本文書は、編集上の修正を伴い、再承認された。

1 目的

1.1 本ガイドの目的は、一連の一貫した用語を提示し、測定システム分析(MSA : measurement system analysis)の計画および実施に対する簡略化した推定的実験のアプローチについて記述することにある。

1.2 MSA の目標は、製造やラボの環境で使用されることを意図して測定システム(MS)の性能を特性評価することである。

1.2.1 MS の偏り、サイズ、およびすべての変動性のソースを正確に特定することにより、その MS が意図した機能を実行する能力があるかどうかを決定できる。さらに、よく設計された MSA を使用して最も改善が必要な領域を特定し、定量化できる。

2 範囲

2.1 本ガイドは、MS の能力の特定の尺度を決定するための手順を記載し、次の項目を含む。

- 次の項目を含むさまざまな条件における測定の変動性(つまり、繰返し精度)
 - 繰返し精度の影響
 - ロード、アンロード状態
 - 時間
- 偏りおよび偏りに関連する次の項目を含む
 - 線形性
 - 安定性
 - 適合許容公差

2.2 本ガイドは、測定精度と許容範囲の比率(P/T)や信号対雑音比(SN 比)等の二次的測定基準についても記載する。

2.3 本ガイドの第一の焦点は、通常の操業状態での自動ウェーハ測定システムの測定能力に関するものであるが、定義や方法は、処理されたダイス、パッケージ化されたデバイス、フラットパネルディスプレイ、部品片等のユニット自動測定に関わるその他の多くの測定状況にも拡張できる。

2.4 MSA の実行については一般に受け入れられる正しい方法はないが、本ガイドで説明するアプローチは技術資料(§ 11 を参照)によってサポートされ、ISO 5725-2 で提示されている方法に一致する。本ガイドに記載されている手順は、MSA を実行するためのアプローチについて記述し、さまざまな用途に対して機能しなければならない基準となる基本的な方法について記載する。特定の環境においては、他の方法が適切であることもある。

2.5 非システムの(つまりランダムな)誤差のさまざまなソースを分離することを意図した本ガイドの手順は、要因分析および分散分析(ANOVA)に基づいている。本ガイドの第一日の焦点は自動 MS の評価であるため、異なるオペレータによって持ち込まれる変動は最小であると予測する。

注 1: 測定の不確実性の計算に関する情報は、関連情報 1 に記載する。正規性および等価繰返し精度についての測定値分布のテストに関する情報は、関連情報 2 に記載する。

注意: このスタンダードおよび安全ガイドラインはその使用に関連した全ての安全上の問題を取り扱うことを意図していない。この文書の使用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事項を決定し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

3.1 MSが管理されていなければ、MSの能力を決定することは無意味である。MS管理の確立およびメンテナンスを行う方法は、本ガイドの範囲を超えている。そのような方法は、ISO 9000 あるいは類似の規格によって必須とされる品質管理システムの一部でなければならない。確立された手順のないラボ用の追加のガイダンスについては、ASTMのデータの提示と管理チャート分析に関するマニュアル(*Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis*)¹に記載されている。

3.2 本ガイドは、測定される対象物の変化に関連する測定値の不確実性に関する側面については、空間的あるいは時間的、どちらについても対処しない。

3.3 本ガイドは、サンプルを破壊する測定あるいは MS が測定を行うことによって測定する対象物が変化する場合の測定能力の決定には対処しない。

3.4 本ガイドは、テスト方法のラボ間の精密度を測定するように設計されたラボ間の実験には適用されない。

4 参照スタンダードおよび文書

4.1 ISO Standards²

ANSI/ISO Z540-2 — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

ANSI/ISO/ASQC A3534-1 — Statistics – Vocabulary and Symbols – Part 1: Probability and General Statistical Terms

ISO 3534-3 — Statistics – Vocabulary and Symbols – Part 3: Design of Experiments

ISO 5725-2 — Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method

ISO 9000 — Quality management systems – Fundamentals and vocabulary, 2000

注意: 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新版である。

5 用語

5.1 本ガイドで直接には使用されないこの項の用語は、MSA の実行中に現れることが多い。

5.2 方法論や統計に関連するその他の多くの用語の定義は、VIM³、ANSI/ISO/ASQC A3534-1、ISO 3534-3 に記載されている。

5.3 略語および頭字語

5.3.1 AIAG (Automotive Industry Action Group) — 自動車産業行動委員会

5.3.2 ANOVA (Analysis of Variance) — 分散分析

5.3.3 CRM (Certified Reference Material) — 認証標準物質

5.3.4 CV (Coefficient of Variation) — 変動係数

5.3.5 GRR (Gauge Repeatability and Reproducibility) — 測定装置の繰返し測定精度と再現性

¹ *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis*, 6th edition, MNL 7 (ASTM International, West Conshohocken, PA, 1991)

² International Organization for Standardization, ISO Central Secretariat, 1 Rue de Varembé, Case postale 56, CH-1211 Geneva 20, Switzerland. Telephone: 41.22.749.01.11; Fax: 41.22.733.34.30; <http://www.iso.ch>; ISO standards are available in the United States through the American National Standards Institute, <http://www.ansi.org>, and in most other countries through the ISO member body.

³ International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, Second Edition [VIM] (ISO, Genève, 1993).

- 5.3.6 GR&R — GRR 参照
- 5.3.7 LSL (Lower Specification Limit) — 仕様下限値
- 5.3.8 MS (Measurement System) — 測定システム
- 5.3.9 MSA (Measurement System Analysis) — 測定システム分析
- 5.3.10 P/T (Precision-to-Tolerance (ratio)) — 測定精度と許容範囲の比率
- 5.3.11 RSS (Root Sum of Squares) — 二乗和平方根
- 5.3.12 SNR (Signal-to-Noise Ratio) — 信号対雑音比
- 5.3.13 USL (Upper Specification Limit) — 仕様上限値
- 5.3.14 VIM (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology) — 国際計量基本用語集

5.4 定義

5.4.1 正確度 (accuracy) — 対象物上で得られるテスト結果あるいはテスト結果の平均値と、真の値との一致度³。

5.4.1.1 議論 — 正確度は測定プロセスの精度と偏りの両方で変わる。日常業務的に使う場合には、エラーのランダム成分 (不正確さの結果) とエラーの系統的成分 (偏りの結果) は完全には切り離せないで、報告された正確度はこれら 2 つの要素が組み合わさったものと解釈されなければならない。

5.4.2 偏り (bias) — 測定プロセスおよび測定される特性について、真 (標準サンプル) の値からのテスト結果の母集団平均間の差。

5.4.2.1 議論 — 偏りは、測定値不確か性のシステムティックな成分である。1 つ以上のシステムティックな成分が偏りの一因になることがある。真値と母平均は両者とも未知である。真値は合意値の使用によって、推定できる。測定の変動性の影響を適切に緩和するために十分な数の測定がおこなわれた場合、母平均は、次の標本平均から推定できる。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

ここで、

$\bar{x}$ = 標本平均
 n = 測定数
 x_i = i 番目の測定値

5.4.3 較正 (calibration) — 測定システム (MS) に示される量の値と標準物質に割り当てられた、対応する値によって示される量の値の間の関係を確立する操作の集合。

5.4.3.1 議論 — 較正の目的は、MS 内の偏りを低減したり、取り除いたりすることである。

5.4.4 認証標準物質 (certified reference material (CRM)) — 技術的に有効な手順で認証された 1 つ以上の特性値を有する標準物質で、認証団体が発行した証明書やその他の文書が添付されていたり追跡可能なもの。

5.4.5 変動係数 (coefficient of variation (CV)) — 平均値のパーセント値で表される母標準偏差。

5.4.5.1 議論 — CV は、次のように、分布の標本標準偏差 s および標本平均 $\bar{x}$ から推定できる。

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

CV は、標本標準偏差が平均に比例している場合のみ変動性の適切な尺度である。そうでない場合は、測定量の値によって変化する。標本標準偏差が測定量の値から独立している場合、CV ではなく標本標準偏差を直接使用した方がより適切である。

5.4.6 効果 (effect) — 任意の要因が、あるレベルから別のレベルに変化したことによる任意の応答の予測値の変化。これは、特定の変数レベルが出力変数に及ぼす影響力の尺度である。

5.4.6.1 固定効果 (fixed effect) — 各レベルについて平均の推定値が得られる変数。

5.4.6.2 変量効果 (random effect) — 各レベルについて平均の推定値が得られない変数。変数はむしろ分散成分として取り扱われる。

5.4.7 要因 (factor) — (設計された実験において) 応答変数に対する効果を評価する意図によってレベルが変化する予測変数 [ISO 3534-3 から適用]。

5.4.7.1 交差要因 (crossed factor (s)) — 1 つの要因のすべてのレベルが第 2 の要因のすべてのレベルと共に現れる場合、2 つの要因は交差している。

5.4.7.2 固定要因 (fixed factor) — すべて実験で示されたレベルあるいはランダムではないプロセスによって選択されたレベルの要因。

5.4.7.3 ネストされた要因 (nested factor (s)) — レベルの異なる集合が第 2 の要因の各レベル内に現れる要因。要因 B のレベルのランダム化が要因 A の特定のレベルに制限されている場合、要因 B は要因 A 内にネストされている。

5.4.7.4 偶然要因 (random factor) — レベルの母集団から無作為に抽出標本されるレベルの要因。

5.4.8 ゲージ (gage) — gauge (ゲージ) の異なる綴り。

5.4.9 ゲージ (gauge) — 物理的存在や現象の定量的・定性的特性に対して値を特定するために用いる機器。

5.4.10 相互作用 (interaction) — 応答変数に関する 1 つの要因の明らかな影響が 1 つ以上の他の要因に依存する効果 [ISO 3534-3]。

5.4.11 レベル (level) — (設計された実験における) 要因の値 [ISO 3534-3 から適用]。「変数の設定」とも呼ばれる。

5.4.12 線形性 (linearity) — 測定範囲内の種々の点で測定を行なうと、変動性や偏りに変化がないこと。

5.4.12.1 議論 — 従来の線形性の定義は、変動性は測定範囲や偏りによって変化することがあるという事実を無視している。測定範囲にわたる一定の変動性を仮定することについては、MS の分析時に検証しなければならない。

5.4.13 仕様下限値 (lower specification limit (LSL)) — その値を下回ると製品が準拠していないとみなされる属性の値。

5.4.14 適合許容公差 (matching tolerance (Δ_m)) — 再現性がある条件下で行われる、同じ種類の任意の 2 つの測定システム (MS) の偏りの差。

5.4.15 測定量 (measurand) — 測定の対象となる現象、物体、物質の特定の属性 [VIM]。

5.4.16 ゲージの測定分解能 (measurement resolution, of a gauge) — ゲージによって意味のある形で区別可能な測定量の最小の差。

5.4.17 測定サブシステム (measurement subsystem) — その測定において共通の目的を共有する一組の実体、プロセス、条件。

5.4.17.1 議論 — サブシステムがそれ自体のサブシステムを 1 つ以上含むことがある。例えば、ウェーハ処理メカニズムがさらに、ウェーハ載置やウェーハ位置決め of 各サブシステムで構成されていることがある。

5.4.18 測定システム (measurement system (MS)) — 任意の測定プロセスによって得られるテスト結果に影響を及ぼし得るすべての実体、手順、条件。

5.4.18.1 議論 — 測定システムは、ゲージ、オペレータ、セットアップ手順、ウェーハ、ウェーハ上の位置、環境条件、ゲージに用いるソフトウェア、測定方法などを含むが、これらに限定することはない。本システムは測定サブシステム (複数) で構成されることがある。

5.4.19 測定システム分析 (measurement system analysis (MSA)) — 測定システム (MS) に関連する偏りの関連ソースおよび変動性が推定される手順。

注 2: MSA は、時々、ゲージの繰返し精度および再現性 (GRR および GR&R) と呼ばれることがある。

5.4.20 ネストされた設計 (nested design) — 1 つの要因のレベルが第 2 の要因の各レベルに現れる実験的設計。

5.4.21 母標準偏差 (population standard deviation (σ)) — 母分散の平方根。

5.4.22 母分散 (population variance (σ^2)) — 母分布に関連するバラツキの尺度。

5.4.22.1 議論 — 連続分布について、母分散は第 2 中心積率である。

5.4.23 精密度 (precision) — 得られたテスト結果の平均値について、測定プロセスの変動性の一般的推定量。

5.4.23.1 議論 — 精密度は、測定の不確実性の無作為な成分である。測定プロセスが統計的に管理されている状態にない限り、プロセスの精密度には意味がない。テスト結果のバラツキが大きいと精密度は低くなるので、(再現性や再生産性といった)変動性の特定の尺度は、実際には測定プロセスの不正確さの直接的な尺度である。

5.4.24 測定精度と許容範囲(P/T)比 (precision-to-tolerance (P/T) ratio) — 測定システム(MS)の測定精度と許容公差(すなわち、製品仕様範囲全体の絶対値)に対する比。

5.4.24.1 議論 — MS によるパラメータの測定に関連付する変動性が仕様範囲と比べて非常に小さい場合、そのパラメータの値が実際に仕様限界内にあるときに仕様限界外のテスト結果が得られる確率は(逆に)非常に小さい。一方、その比が大きすぎる場合は、偽のテスト結果である確率ははるかに大きい。

5.4.25 予測変数(predictor variable) — 設計された実験の結果の説明に寄与できる変数。「入力変数」、「記述子変数」、「説明変数」とも呼ぶ。

5.4.25.1 議論 — 同意語として「単一変数」という用語は、独立と混同する可能性があるので推奨しない。

5.4.26 製品標準偏差(product standard deviation (σ_{product})) — 指定の条件下で製造された実体の特性を可能な限りすべて現実の値の分布に関連付けた母標準偏差。

5.4.26.1 議論 — 製品変動性は、母集団から代表的な標本を取り、MS の変動性を適切に考慮して標本標準偏差(s_{product})を計算することによって推定できる。

5.4.27 標準物質(reference material) — 特性値が十分に同質であって、MS の較正、測定方法の評価、物質への値の割当に使用するために良好に確立されている物質や物体。

5.4.28 繰返し精度(repeatability (σ_r)) — 繰返し条件で得られた繰返し測定に関連する変動性。

5.4.29 繰返し精度条件(repeatability conditions) — 同じ実験室の同じテストプロトコルと MS 装備、同じ装置、同じオペレータで、最も短時間で再較正が全くなしに、同じテストウェーハについて一連のテスト結果を取得することに関わるテスト条件。

5.4.29.1 議論 — 繰返し精度条件下でテストデータを得ることは、長期間のドリフト、オペレータや MS の違い、材料の変動性等の影響を回避することを意図している。MS を再較正するとテスト結果に不連続な差を生じると予測される。しかし、テストプロトコルに再較正が要求されたり、あるいは再較正が MS 内部の較正であったりする場合には、繰返し精度を決定する上で許容される変動であるとみなされる。

5.4.30 再現性(reproducibility (σ_R)) — 種々の(ただし典型的な)条件で測定したときの、測定システム(MS)に関連する総変動性。

5.4.30.1 議論 — サブシステムやテスト条件に関連する変化は、推定される変動の潜在的な原因(ソース)である。繰返し精度は、変動の原因(ソース)の 1 つである。変動性のその他の関連の原因(ソース)には、時間、オペレータ、セットアップ手順、ウェーハ(種類等)、測定場所、テスト機器、環境条件等を含むことができる。分散の要因になるものの総数が非常に大きくなることがあっても、通常は予測される MS の変動性の重要な部分の原因となるサブセットに焦点を当てる。明確に言えば、選択されたサブセットは、再現性と共に報告しなければならない。 q 個の異なる条件により、変動性が相互に独立に測定値に導入される場合、分散には直接、次の値が加算され、

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_q^2} \quad (3)$$

それらは注意深く設計された実験により分離できる。

5.4.31 応答変数(response variable) — 設計された実験の結果を表す変数。「出力変数」とも呼ばれる。

5.4.31.1 議論 — 同意語としての「従属変数」という用語は、独立と混同する可能性があるので推奨しない。

5.4.32 二乗和平方根(RSS)の差(root sum of squares (RSS) difference) — 2 つの数の RSS の差は、2 つの数の二乗値の差の平方根である。

5.4.33 二乗和平方根(RSS)の和(root sum of squares (RSS) sum) — 2 つ以上の数の RSS の和は、それらの数の二乗値の和の平方根である。

5.4.34 標本標準偏差(sample standard deviation (s)) — 標本分散の平方根。

5.4.35 標本分散(sample variance (s^2)) — 数値の集合の平均からの差の二乗の平均で出るバラツキの尺度。

5.4.35.1 議論 — x_i が個別の測定値である場合に、 $\bar{x}$ はすべての測定値全体の平均であり、 n は測定値の個数である。

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

n の代わりに分母の値 $n-1$ を使用して、標本分散を母分散の偏りのない推定量とする。

5.4.36 信号対雑音比 (signal-to-noise ratio (SNR)) — 測定システム (MS) の精密度に対する製造された製品の変動の比。

5.4.36.1 議論 — 測定機器による変動を含まずに製品の標準偏差を直接測定することは困難であるため、SNR は一般に次のように定義される。

$$SNR = \sqrt{\frac{\sigma_{Total}^2 - \sigma_R^2}{\sigma_R^2}} \quad (5)$$

ここで、 σ_{Total}^2 は、製品の代表的で大きな抽出標本を適切に測定することによって得られる全母分散の推定値である。

5.4.37 安定性 (stability) — 時間 (典型的に数日以上) を費やして測定値を得ることに起因する付加的な変動性がないこと。

5.4.38 統計的モデル (statistical model) — 既知の測定可能な入力への 1 つ以上の変動性、および 1 つ以上の未知の確率の (誤差) 項に関する数学的関数。

5.4.38.1 議論 — 統計モデルは、3 つの部分から構成される。第 1 の部分は、モデル化される応答変数である。第 2 の部分は、予測変数を含むモデルの決定論的あるいはシステムティックな部分である。最後に、第 3 の部分はランダムな誤差あるいはモデルの確率論的部分であり、非常に複雑なものとなり得る。統計モデルの例は、次の通りである。

$$y_j = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + e_j \quad (6)$$

ここで、

y_j = j 番目の測定値
 p = 入力変数の数
 x_i = i 番目の入力変数
 β_i = その対応する係数
 e_j = j 番目の測定値に関連付けられる誤差

多くの場合、誤差分布は、モデルが適合される前に (例えば、正規分布であると) 指定される。

5.4.39 許容公差 (tolerance) — 製品仕様で許されている範囲。

5.4.40 全分散 (total variance (σ_{Total}^2)) — 製品の分散と再現性の二乗の和。

5.4.41 不確実性 (uncertainty) — 測定に関連するパラメータで、測定される対象物に合理的に起因し得る値のバラツキを特徴付けるものである。

5.4.41.1 議論 — 測定値の 2 つのタイプの不確実性は次の通りである。

- タイプ A: 統計的方法によって評価される不確実性の成分。
- タイプ B: 統計的方法以外の方法によって評価される不確実性の成分。

5.4.42 仕様上限値 (USL) (upper specification limit (USL)) — その値を上回ると製品が準拠していないと見なされる属性の値。

5.4.43 変数 (variable) — 1 つ以上の値を示すことがあり得る対象、プロセス、状態の定量的・定性的な特性。

5.4.43.1 議論 — その値が予測不能な現れ方をする場合、それは確率変数となる。

5.4.44 分散 (variance) — 母分散 (¶ 5.4.22 を参照)。

6 MSA の目標および MSA の計画における予備的手順

6.1 MSA の 1 つの主要な目標は、希望する動作条件下で MS の再現性を決定することである。このことは、単純に繰返し精度を検討することから、要因実験や ANOVA (分散の分析) を使用した MS 変動性の多くの原因 (ソース) の相対的寄与を複雑に決定するまでの範囲にわたる。MSA によって満たされるべき、いくつかの典型的なタイプの変動性決定の目標は、次の通りである。

6.1.1 繰返し精度の決定

6.1.2 測定の際にウェーハ抽出標本を載置したり、降ろしたりする影響の決定

6.1.3 安定性の決定

注 3: 安定性には、安定性の変動性成分によって混同されうる偏り成分もある (¶ 6.2.3 を参照)。

6.1.4 要因分析や ANOVA の使用を必要とする、MS の変動性に影響する複数の要因の評価。

6.1.5 最も重要なソースに改善努力を集中するための、変動性の最も大きなソースの評価。これは、正しく設計し、実行した要因実験の分析から特定することができる。

6.1.6 希望する条件にわたり再現性が決定されると、P/T 比や SNR 等の二次的な測定基準は簡単に計算できる。

6.2 MSA の第二の主要な目標の一つは、偏りや偏りに関する検討事項を決定することである。一般に、偏りの検討には、「既知の」真の測定値や合意の上一致した値を有する標準や「ゴールデンウェーハ」が必要である。偏り決定の結果として、単純な再較正から MS 修正までの範囲の是正処置が必要となる可能性がある。偏り検討のいくつかの代表的な要素には、次の項目が含まれる。

6.2.1 偏りの決定

6.2.2 線形性、あるいは測定装置が使用される値の範囲に渡り偏りが一定であるかどうか、の決定。

注 4: 線形性にも、変動性の成分がある可能性もある。

6.2.3 安定性、あるいは時間が経過しても偏りが一定であるかどうか、の決定。

注 5: 安定性にも、変動性の成分がある可能性もある (¶ 6.1.3 を参照)。

6.2.4 適合許容公差の決定。

注 6: 偏りの決定に必要な証明された基準物質あるいはその他の基準物質がない場合、適合が評価される 2 つの MS について同じテスト物質の集合を測定することによって、適合許容公差を決定できる。この代替法では偏りの値の尺度は得られないが、2 つの MS で測定された平均値の差は、偏りの差と同じである。

6.3 MSA を始める前に、実行される MSA によって獲得される特定の目標を決定し、リストアップすること。

6.4 強調すべきことは、本ガイドのすべての手順は、統計的に管理された測定機器についてのみ意味のある推定量が得られるということである。従って、MS 性能を分析するための最初のステップは、管理チャートやその他の認められた品質管理手法によって測定機器が統計的に管理された状態にすることである。これらの手法の詳細な説明は、本ガイドの範囲外である (¶ 3.1 を参照)。

6.5 次のことを決定するために分析された MS について事前に行われた検討を再検討することも有用である。(1) 変動性のどのソースが重要であったか。(2) 偏り、繰返し精度、再現性等の量の前に得られた値を決定すること。

7 再現性を決定する手順

7.1 MS の変動性の無視できないソースに寄与する対象物のすべての要因を特定する。実験を適切に設計し、正確に分析できるためには、これらの要因が明確になっていなければならない。よくあるソースには次のようなものが含まれる。

- 繰返し精度
- ロード、アンロード操作
- 数日あるいは数週間の時間経過
- ウェーハ上の同じ位置に測定プローブを置くことができるかということ等、ウェーハハンドリングハードウェア
- タイプ、リビジョン、あるいはその両方を含む、測定ソフトウェア
- 設定手順
- 温度や湿度を含む、環境条件

- シフト(環境条件や時間、またはその両方と混同されることがある)。
- 調査するテストウェーハ属性の大きさ
- オペレータ(通常、自動 MS については重要ではない)。

注 7: 記載した要因は、すべて「再現性」という用語に含まれる。再現性にどのような要因を含めるべきかどうか、ということについて共通の合意はない。従って、特定の MSA に含まれる要因の選択と記録は特に重要である。

注 8: 測定される項目の真値の差等、MS と独立した要因に関連づけられる変動性は、再現性に含めてはならない。MS の設計を考慮すると、変動性のこれらのソースが全変動性から取り除かれる前に、これらのソースを推定する必要があるかもしれない。そのような要因が MS に含まれている場合、ウェーハ上のさまざまな場所を測定するときに、これらの要因に関連づけられる変動性を推定し、MS の全変動性から取り除かなければならない。測定量を物理的に変化させる測定プロセスに起因する変動性(MS とウェーハの相互作用等)は、再現性に含めなければならないが、この項目は本ガイドの範囲外である(¶ 3.3 参照)。

7.2 MS 内の 1 つまたは複数の要因との相互作用が存在する可能性がある MS 外のすべての要因を特定する。これらの要因は固定要因として取り扱い、その相互作用は偶然要因として扱うこと。

注 9: 通常、検討される固定要因のみが測定対象物と関係があり、その場合には、異なる真値について異なる場所で測定を行う、あるいは異なるウェーハタイプについて測定を行うと、MS の特定の側面によって影響される可能性がある。

7.3 ネストされた要因およびそれらがネストされている要因を特定する。与えられた要因には複数のレベルのネストが存在する可能性がある。

注 10: 測定手順が事象の自然な階層構造の存在原因となる場合にネストが発生する。例えば、ゲージ内に固定されたウェーハで測定を行うことにより繰返し精度が推定され、そのウェーハを取り外して再び載置された後に第二の集合の測定を行うことによってロードアンロード操作に起因する繰返し精度が評価された場合、繰返し精度はロードアンロード中にネストされる。ネストが発生する理由は、繰返される測定のそれぞれの集合が、それらが現れるロードに固有のものであるからである。また、MSA において測定位置(場所)とウェーハタイプの両方が固定要因である場合等、物理的階層構造が存在する場合にもネストが発生する可能性がある(場所がウェーハタイプ内にネストされている)。

7.4 その MSA に適切なテストウェーハを選択する。

7.4.1 最も一般的な場合、多数のタイプのウェーハを使用しなければならない。これらは、タイプおよび評価される MS によって実際に測定されるレベルの代表でなければならない。

7.4.2 検査するテストウェーハが選択される場合、これらは、ハンドリング、載置、位置決めの変因が混乱しないように可能な限り均一でなければならない。

7.4.3 選択した装置タイプ毎に最低 1 枚のテストウェーハを使用すること。できれば、各ウェーハで複数の測定を行う場合は複数のテストウェーハを使用すること。

7.4.3.1 測定範囲の異なる点で再現性が異なると思われる理由がある場合は、測定範囲(例えばレベル)を測る複数のテストウェーハを使用すること。各テストウェーハを MSA 目的のための別々の実体物として見なすこと。

7.4.4 MSA 全体にわたり同じウェーハを使用すること。

7.5 MSA を正しく計画し分析するために MSA の統計モデルを作成すること。

注 11: 統計モデルについては、関連情報 3 で説明する。Eastman⁴が、再現性検討のためのモデルを例示している。

7.6 測定プロトコルを選択する。¶ 7.1 で選択されたそれぞれの要因の複数の例を含めること。

7.7 適切な MS 設定を選択し、実装する。

注 12: 通常、再現性を決定する MSA には単一の設定を使用する。しかし、設定手順が評価される要因として選択されている場合は、MSA では使用される様々な設定を選択する。

注 13: MSA の例を関連情報 4, 5, 6 に示す。それ以外の例は文献⁴に記載されている。

7.8 MS の較正が必要かどうかを決定する。

7.8.1 必要な場合は、製造元の推奨手順に従って較正する。

7.8.2 通常の操作手順により必要でない限り、MSA 中に再較正してはならない。

4 Eastman, S. A., "Evaluating Automated Wafer Measurement Instruments," SEMATECH technology transfer document 94112638A-XFR (February 28, 1995), § 5 and case studies in appendices. However, note that neither the terminology nor the nomenclature in this document is identical with that given in this guide. A PDF file of this report can be downloaded from SEMATECH's public web site at <http://ismi.sematech.org/docubase/abstracts/2638axfr.htm>.

7.9 可能な場合、選択された標本ウェーハや測定の実行順序を無作為に変えて MSA を実行する。すべての測定について実行された実際の順序を記録すること。

7.10 再現性および分散の個別のソースを正しく推定するには、分散成分分析を実行する。

7.10.1 実験が同じ(繰返し精度)条件で実行される複数の繰返し測定を含むように設計されている場合、繰返し精度を推定できる。複数の繰返し測定がない場合は、繰返し精度は変動性の他のソースと混同される。

7.10.2 その他の要因は実験の設計に含まれていた¶7.1の要因である。

7.10.3 再現性は、個別の分散成分の和の平方根である(¶5.4.30.1の式3を参照)。

注 14: 分散成分分析の正確な性質は、実行される実験の設計に依存する。詳細については、関連情報 4, 5, 6, Box, Hunter の文献, Hunter,⁵の文献, あるいはMontgomery⁶の文献を参照すること。完全に設計された実験や関連の分析を設計したり実行したりする際、販売されている何らかの形態の統計分析ソフトウェアを使用することを強く推奨する。そのような製品を使用する場合は、そのソフトウェア内で行われている仮説が本ガイドでの仮説と一致していることを確認することを忠告する。

8 線形性, 安定性, 適合許容公差を含む偏りを決定する手順

8.1 J 個の適切な基準物質、できれば認証標準物質(CRM)を入手する。ここで J は、対象とするパラメータの範囲全体がカバーされるように 3 ~ 10 とする。CRM がいない場合は、測定される属性の値の範囲をカバーする、十分に合意されている値のウェーハを使用する。基準物質は、評価される MS によって測定されるウェーハに類似の特性を有するべきものであるか、あるいは、その値はそのようなウェーハに転用可能であるべきものである。

注 15: 適切な基準物質がなければ、偏りは決定できない。その場合は、異なる MS 間のシステムティックな誤差を定めるために、相関実験を行う必要がある。偏りが未知である場合、これらのシステムティックな誤差は推定される再現性と混同される可能性がある。

8.2 適切な MS セットアップを選択し、実装する。

8.3 MS の較正が必要かどうか決定する。必要な場合は、製造元の推奨手順に従って較正する。通常の操作手順により必要でない限り、MSA 中に再較正してはならない。

8.4 J 個の基準物質のそれぞれについて実行する最小測定数 n を $(4\sigma/\delta)^2$ より大きな最小の整数として選択する。ここで、 σ は再現性の推定値(σ_R , § 7 を参照)、 δ は検出される偏りのシフトである。

注 16: この関係では、不要なときに較正する最大許容確率(タイプ 1 の誤差)は 0.1、必要なときに較正されない最大許容確率(タイプ 2 の誤差)は 0.01 であると仮定されている。これらの誤差に他の値を使用する必要がある場合は、最小標本サイズの下より完全な式は、 $[\sigma(z_1 + z_2)/\delta]^2$ より大きい最小の整数である。ここで、

z_1 = これより大きいところに標準正規分布の $p_1/2$ パーセントが入る値。ここで、 p_1 は不要なときに較正する最大許容リスクである。

z_2 = これより大きいところに標準正規分布の $p_2/2$ パーセントが入る値。ここで、 p_2 は必要なときに較正しない最大許容リスクである。

σ = ¶8.4 で定義されている変動性の推定値。

δ = 検出されるシフト(偏り)。

8.4.1 MS の変動性について情報がいない場合、基準ウェーハについての最少で 16 個の測定値を使用して偏りを推定すること。

8.5 安定性に関する情報が必要かどうかによって、1 日あるいは数日間、測定を実行する。システムティックな誤差を小さくするために、それぞれの調査日の測定について基準ウェーハの測定シーケンスを無作為にする。MS を数日間実行する場合、1 日あたり少なくとも 2 回の測定を実行し、毎日の測定回数をほぼ同じとすること。

8.6 測定データの分析

8.6.1 この分析は、販売されているほとんどの統計分析ソフトウェアパッケージによって実行できる。¶8.7 に記載の手順は、そのようなソフトウェアがない場合のためのものである。

8.6.2 時間の経過および測定範囲にわたる偏りの効果を決定する完全なモデルは、次の通りである。

$$E[y_{ij}] = b_i + a_i x_{ij} \quad (7)$$

⁵ Box, G. E. P.; Hunter, W. G.; and Hunter, J. S., Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building (Wiley, New York, 1978)

⁶ Montgomery, D.C., Design and Analysis of Experiments, 5th Ed. (Wiley, New York, 2000)

ここで、

$E[y_{ij}]$ = i 番目の調査日の基準ウェーハ j の予測応答。

b_i = i 番目の調査日の偏り。

x_{ij} = i 番目の調査日の基準ウェーハ j の標準値。

a_i = i 番目の調査日の傾き。

注 17: 与えられた調査日に与えられた基準ウェーハについて複数の測定を実行する場合、次の式が仮定される。

$$E[y_{ijk}] = E[y_{ij}] \quad (8)$$

ここで、 k は、 i 番目の調査日の基準ウェーハ j についておこなわれる複数の測定の 1 つである。

8.6.3 日数が経過しても偏りと傾きが大きく異ならない場合 (つまり、すべての i について $a_i \approx a$ and $b_i \approx b$), 短縮されるモデルは次の通りである。

$$E[y_j] = b + ax_j \quad (9)$$

8.6.4 線形性 (Linearity) — 校正係数 a は、測定範囲の単位が変化する度に偏りが変化するレートに関連する線形定数である。この値は、1 と大きく異なってはならない。そうでなければ、その MS は非線形性を示す。

8.6.5 安定性 (Stability) — それぞれ式 7 および式 9 で与えられる完全モデルと短縮モデルの間の大きな差を求めるテスト。大きな差がなければ、継続する。そうでなければ、偏りは時間について安定ではない。

8.6.6 モデルについての適合性不足を求めるテスト。適合性が著しく不足すると、短縮モデルでは捕捉されない偏りに関わる非線形な関係を示す可能性がある。

8.6.7 適合性不足を求めるテストが重要でない場合は、 a および b を推定する。

8.6.7.1 a が統計的に 1 と異ならず、 b が統計的にゼロと異なる場合、 b は偏りの推定値である。

8.6.7.2 a が統計的に 1 と異なる場合、偏りは一定ではない。偏りと測定範囲の間に線形な関係がある。

8.6.7.3 b が統計的にゼロと異なる場合、偏りの推定値はゼロである。

8.7 詳細分析手順 — 測定が 1 日だけでおこなわれる場合は、¶8.7.1 と ¶8.7.2 はスキップし、¶8.7.3 から分析を開始すること。また、¶8.7.5 もスキップすること。その場合、偏りの時間的変動 (安定性) に関する情報は、MSA からは得られない。そうでない場合は、分析は ¶8.7.1 から開始すること。

8.7.1 毎日の測定について、次のように傾き ($\tilde{a}_i$) および偏り ($\tilde{b}_i$) を推定し、偏りに対する時間と測定範囲の効果を決定する。

$$\tilde{a}_i = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y}_i)(x_{ijk} - \bar{x}_i)}{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (x_{ijk} - \bar{x}_i)^2} \quad (10)$$

$$\tilde{b}_i = \bar{y}_i - \tilde{a}_i \bar{x}_i \quad (11)$$

ここで、

J = 基準ウェーハの数。

n_{ij} = i 番目の調査日の基準ウェーハ j の測定結果数。

y_{ijk} = i 番目の調査日の基準ウェーハ j の測定 k の結果。

$\bar{y}_i$ = i 番目の調査日の測定結果の平均値。

x_{ijk} = i 番目の調査日の基準パラメータの値。

$\bar{x}_i$ = i 番目の調査日の基準パラメータの平均値。

8.7.2 各調査日 i の各基準ウェーハ j について予測応答 $E[y_{ij}]$ を次のように計算する。

$$E[y_{ij}] = \tilde{b}_i + \tilde{a}_i x_{ij} \quad (12)$$

ここで、

x_{ij} = i 番目の調査日のウェーハ j の基準パラメータの値。

$\tilde{a}_i$ および $\tilde{b}_i$ は、それぞれ 8.7.1 の式 10 および式 11 から求められる i 番目の調査日の傾きおよび切片 (偏り) である。

注 18: 与えられた調査日に与えられたウェーハについて複数の測定がおこなわれる場合、すべての k について次の式が仮定される。

$$E[y_{ijk}] = E[y_{ij}] \quad (13)$$

ここで、 k は、 i 番目の調査日の基準ウェーハ j におこなわれた複数の測定の 1 つである。

8.7.3 データ集合全体について傾き ($\hat{a}_i$) および偏り ($\hat{b}_i$) を推定する。

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y})(x_{ijk} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (x_{ijk} - \bar{x})^2} \quad (14)$$

$$\hat{b} = \bar{y} - \hat{a} \bar{x} \quad (15)$$

ここで、

D = 測定が実行された日数。
 $\bar{x}$ = 基準パラメータの全体平均値。
 $\bar{y}$ = 測定結果の全体平均値。

その他のパラメータは、8.7.1 で定義されている。

注 19: この手順では、日数が経過しても偏りと傾きは大きく異ならないと仮定している。この仮定は 8.7.5 でテストされる。

8.7.4 各ウェーハ j について予測応答 $E[y_j]$ を計算する。

$$E[y_j] = \hat{b} + \hat{a} x_j \quad (16)$$

8.7.5 日数が経過しても偏りと傾きが大きく異ならないかどうかを次のように決定する。

8.7.5.1 2 つのケースの間の差の二乗の和 SS_M を計算する。

$$SS_M = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^J (E[y_{ij}] - E[y_j])^2 \quad (17)$$

8.7.5.2 二乗の和の差 (SS_e) を計算する。

$$SS_e = SS_Y - SS_\gamma - SS_M \quad (18)$$

ここで、

$$SS_Y = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y})^2 \quad (19)$$

ここで、

$$SS_\gamma = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y})(x_{ijk} - \bar{x}) \quad (20)$$

8.7.5.3 2 つのケースの差はないという仮説の下に、 $2D - 1$ 次および $n - 2D$ 次の自由度を有する Fisher の F 分布に従う関数 F_M に関連づけられる確率を計算する。

$$F_M = \frac{(n - 2D)SS_M}{(2D - 1)SS_e} \quad (21)$$

注 20: この確率は、Excel の関数 $\text{FDIST}(F_M, 2D - 1, n - 2D)$ を使用して計算できる。

8.7.5.4 F_M に関連づけられる確率が小さい(例えば, 0.05 以下)場合, 2 つのケースの間に差はないという仮説を棄却する。その場合, 偏りは時間について安定ではなく, その値は確定できない。

8.7.6 次のように適合性不足をテストする。

8.7.6.1 純誤差の二乗の和(SS_p)を計算する。

$$SS_p = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y}_j)^2 \quad (22)$$

ここで, すべての記号は前に定義済みである。

8.7.6.2 適合性不足 F のテスト値を計算する。

$$F_{LOF} = \frac{(J-2)SS_p}{(n-J)(SS_e - SS_p)} \quad (23)$$

ここで, 再度, すべての記号は前に定義済みである。

8.7.6.3 適合性不足はないという仮定の下では, 比 F_{LOF} は Fisher の F 分布に従う。この調査日に関連づけられる確率を計算する。

注 21: この確率は, Excel の関数 $FDIST(F_{LOF}, n-J, J-2)$ を使用して計算できる。

8.7.6.4 この確率が小さい(例えば, 0.01 以下)場合, 適合性不足はないという仮定を棄却する。その場合, MS にはおそらく非線形性が存在する。

8.7.7 適合性不足の証拠がない場合, $\hat{a}$ について約 95% の信頼区間を計算する。

$$\hat{a} \pm 2 \sqrt{\frac{SS_e / (n-J)}{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{n_{ij}} (x_{ijk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (24)$$

ここで,

$\bar{x}_j$ = 基準ウェーハ j の基準パラメータの(平均)値。

8.7.7.1 その区間に数値 1 が含まれている場合, $\hat{a}$ は統計的に 1 と異なっていない。その場合かつ $\hat{b}$ がゼロから大きく異なっていない場合, $\hat{b}$ は偏りの推定値である。

8.7.7.2 その区間に数値 1 が含まれていない場合, $\hat{a}$ は 1 から大きく異なり, 偏りはパラメータのレベルについて一定ではない。

8.7.7.3 $\hat{b}$ がゼロから大きく異なっていない場合, 偏りの推定値はゼロである。

8.8 適合許容公差

8.8.1 再現性の条件の下に, 同じ種類の 2 つの MS の偏りを決定する。

8.8.2 それぞれの MS について偏りが安定であるという結果になり, それぞれの MS が許容可能なレベルの線形性を示した場合, 2 つの偏りの差を取ると適合許容公差 Δ_m が得られる。

$$\Delta_m = bias_1 - bias_2 \quad (25)$$

ここで,

$bias_1$ = 第 1 の MS の偏り

$bias_2$ = 第 2 の MS の偏り

9 P/T 比を決定する手順

9.1 仕様が両側に対称である場合は $6s_R$ として, 仕様が片側に非対称の場合は $3s_R$ として MS の精密度 P を推定する。

9.2 次のように許容公差 T を取る。

9.2.1 両側に対称な仕様については, USL と LSL の差。あるいは,

9.2.2 USL (または LSL) と非対称な両側の仕様の目標値の間の, より小さな差。あるいは,

9.2.3 USL (または LSL) と片側仕様の予測分布の中央値の差。

注 22: 両側に対称な仕様が次の式のように与えられる場合、

目標値 ± 許容公差

正しい値を得るには、明記された許容公差を 2 倍にすること。

9.3 次のように、P/T 比をパーセント値で計算する。

$$P/T(\%) = \frac{P}{T} \times 100 \quad (26)$$

最も近いパーセント値に丸めること。

注 23: 一般に、P/T 比は 30% 以下でなければならない。

10 SNR を決定する手順

10.1 プロセスデータのプロセス分布の母標準偏差を $\sigma_{process}$ として推定する。MS に起因する分散を含めずに製品の標準偏差を測定することは直接測定することは困難なので、 $\sigma_{process}$ は一般に次のように定義される。

$$\sigma_{process} = \sqrt{\sigma_{Total}^2 - \sigma_R^2} \quad (27)$$

ここで、

σ_{Total}^2 = 製品を代表する大きな標本を測定することによって得られる分散。

σ_R^2 = 再現性から決定される分散 (§ 7 を参照)。

注 24: プロセス分布およびそれに関連づけられる標準偏差を得るための詳細な手順は、本ガイドの範囲外である。

10.2 次のように SNR をパーセント値で計算する。

$$SNR = \frac{\sigma_{process}}{\sigma_R} \quad (28)$$

注 25: 一般に、10 以上の SNR は、MS が製品を測定するに適切であることを意味するが、SNR が 3 あるいは 4 未満である場合は、特定の測定プロセスでは懸念される可能性がある。

11 関連文書

11.1 次の文書には、本ガイドで提言した MSA の方法と同様な方法が記載されている。

11.1.1 Ballard, D. H.; McCormack, Jr., D. W.; Moore, T. L.; Pore, M.; Prins, J.; Tobias, P. A. (1998). "A Comparison of Gauge Study Practices," Proceedings from the 1997 Joint Statistical Meetings of the American Statistical Association, Quality and Productivity Section

11.1.2 John, Peter, "Alternative Models for Gauge Studies," SEMATECH technology transfer document 93081755A-TR (February 24, 1994); PDF file can be downloaded from SEMATECH's public web site at <http://ismi.semtech.org/docubase/abstracts/1755atr.htm>

11.1.3 Montgomery, D.C. and Runger G. C. (1993), "Gauge Capability and Designed Experiments. Part I: Basic Methods," *Quality Engineering* 6(1), 115–135

11.1.4 Montgomery, D.C. and Runger G. C. (1993), "Gauge Capability and Designed Experiments. Part II: Experimental Design Models and Variance Component Estimation," *Quality Engineering* 6(2), 289–305

11.1.5 Potter, R. W. (1991), "Measurement System Capability Analysis," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, pp. 121–125

11.1.6 ---, Measurement Systems Analysis Reference Manual, Third Edition, (2002); Daimler Chrysler Corp., Ford Motor Co, and General Motors Corp. Automotive Industry Action Group (AIAG); <http://www.aiag.org>

11.1.7 ---, "NIST/SEMATECH Engineering Statistics Internet Handbook": <http://ismi.semtech.org/stats/handbook.htm>

関連情報 1

測定の不確実性の計算

注意：本関連情報は SEMI E89 の公式な一部ではなく、global Metrics Committee の活動から派生したものである。本関連情報の出版は、2004 年 8 月 16 日、完全な投票手続きにより出版が承認された。

R1-1 測定の不確実性の決定

R1-1.1 測定の不確実性は、MS の繰返し精度、時間に対する結果の再現性、テスト結果での測定の回数、測定結果と基準値の不一致に寄与する可能性がある偶然誤差とシステムティックな誤差のすべてのソースに依存する。

R1-1.2 次の規則に従い測定の不確実性を決定する。

- **不確実性の表現 (Expressing Uncertainty)** — 不確実性の各成文は、標準偏差によって定量化される。
- **偏り (Bias)** — すべての偏りは、是正されるものと仮定され、偏りに起因する不確実性は是正の不確実性である。
- **標準不確実性 (Standard Uncertainty)** — 不確実性のすべての成分 (標準偏差) は、タイプ A であろうとタイプ B であろうと (§ 5.4.41 を参照)、RSS の和として組み合わせられ、「標準不確実性」 u に帰結する。この標準不確実性は、測定結果に影響する偶然およびシステムティック両方の誤差のすべてのソースを考慮した、報告される値の標準偏差である。
- **拡張不確実性 (Extended Uncertainty)** — 不確実性に関する記述の目的が高いレベルの正確度がある範囲を提供することである場合、拡張不確実性は、 $U = ku$ として計算される。ここで、約 95% の範囲については、通常、 $k = 2$ が選択される。
- **不確実性区間 (Uncertainty Interval)** — Y が報告される測定値である場合、 $Y - U$ から $Y + U$ までの対称区間は測定値に関連づけられる不確実性区間である。

R1-1.3 不確実性が必要な測定結果は、次のように完全に指定しなければならない。

- 平均化された繰返し回数
- テスト方法
- 環境条件
- 繰返しがおこなわれた間の操作条件
- 較正の不確実性

R1-1.4 特定の測定と同じ仕様に従い、再現性の関連するすべての成分を含めておこなわれた再現性の決定 (§ 7 を参照) から、特定の測定に対するタイプ A の不確実性を得る。

関連情報 2

正規性および同等繰返し精度を求める測定分布のテスト

注意：本関連情報は SEMI E89 の公式な一部ではなく、global Metrics Committee の活動から派生したものである。本関連情報の出版は、2004 年 8 月 16 日、完全な投票手続きにより承認された。

R2-1 正規性を求めるテスト

R2-1.1 正規性を求めるテストは、よく適用される統計的仮説テストによって実行できる。このテストでは、検討される条件は、検査される標本は正規分布から来るということである。この手順を実施するにはいくつか方法があるが、どの場合も測定結果は正規分布から来ると仮定して、観測される特定の標本を得る確率を計算する。この確率の値 (p 値) を計算する前に、その仮説が妥当ではなく、観測される分布は正規分布ではなさそうだという結論を保証するには、この p 値はどの程度小さくしなければならないかという演繹的な決定を行う。通常は 0.05 のレベルが選択され、それによって標本をテストする。 p 値が 0.05 (0.05 でなければ、選択されたテストレベル) より大きければ、根底にある分布は正規分布であると認める。

R2-1.2 正規性を求める統計的テストは、販売されているほとんどの統計ソフトウェアにある。よくある 4 つのテストは、Andersen-Darling, Pearson の Chi Square, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk である。

R2-1.3 一例として、表 R2-1 に示す 25 個の観測値は、製造プロセスからとったランダムな標本である。よく使用される統計パッケージを使用して上記の統計テストを生成し、得られた結果を表 R2-2 に示す。

表 R2-1 測定データ

481	476	471	477	479
483	477	480	475	479
480	473	479	484	473
481	475	478	472	480
485	480	478	475	481

R2-1.4 p 値が不合格判定基準である 0.05 以下である必要がある場合、計算された p 値がすべて異なっているとしても、これらのどの統計的手順もこの製造プロセスの測定値の正規性が不合格であるとはしないということに注意すること。

R2-1.5 これらのいくつかのテストについては、ソフトウェアパッケージは、答えを得るために表にされた値と補間の組み合わせに頼っている可能性がある。そのために、同じテストのために与えられた数値は使用するソフトウェアによって異なる可能性がある。

表 R2-2 計算された正規性に関する統計量

テスト	テスト統計値	計算された p 値
Anderson-Darling	0.28726858	>0.250
Chi-Square	2.86169631	0.239
Kolmogorov-Smirnov	0.11888191	>0.150
Shapiro-Wilk	0.973356	0.731

R2-2 2つの測定システムの同等繰返し精度を求めるテスト

R2-2.1 2つの MS を比較する場合、繰返し精度が同等であるかどうかをテストできる。そのためには、各 MS の繰返し精度の比を計算する。個の比を形成する場合、分子に大きい方の値を置く。検討する仮説は、繰返し精度が等しいということである。これが真であれば、比は、分子については自由度が ν_1 、分母については自由度が ν_2 の F 分布に従う。

R2-2.2 単純な例として、25 個の観測値に基づき 9.243 の繰返し精度を示した MS1 と 23 個の観測値に基づき 7.658 の繰返し精度を示した MS2 を比較する。分子について $\nu_1 = 24$ の自由度と分母について $\nu_2 = 22$ の自由度の F 比は 1.207 である。