

平成23年度

測定の不確かさの活用のための調査研究報告書

平成24年3月

社団法人 日本計量振興協会

まえがき

福島第一原子力発電所における事故による放射線量の増加、放射性物質による汚染について、地域での放射線量、食糧品、資材などの放射能濃度など安心・安全に関わる問題で関心も高く、測定が幅広く行われている。急激な活動の広がりから、放射性物質の発見、高濃度場所の特定などの効用もあるが、十分な測定技術もなく測定結果が示され、測定値の信頼性、測定機器による測定値の違い、測定条件による測定値の変化などの疑問点も提示されている。これらの問題は測定の不確かさに関係している。今後は使用する測定機器のトレーサビリティ、測定方法、測定条件の統一、測定者の技術レベルの向上などにより測定の不確かさの改善が進むものと思われる。

新しい技術分野の測定への対応、生産拠点の海外移転による測定技術の低下、安易に測定値が得られる測定機器の導入、測定者の測定技術の不足などの測定条件の変化、測定の目的の高度化に対する測定技術レベルの相対的不足などにより、測定の不確かさが測定の目的に影響している例が散見され、測定の不確かさのニーズが高まっている。

本年度の測定の不確かさの活用のための調査研究委員会活動は標準研究部門、企業の設計、生産、検査、保全及び製品試験所の測定の不確かさの評価とその結果の活用事例が寄せられた。

測定の不確かさの求め方は校正機関で適用されている GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement) の方法、自動車関係の規格 ISO/TS16949 関連マニュアル MSA に示されている GRR (Gage Repeatability and Reproducibility) の適用、JIS Z 9090「測定—校正方式通則」による方法、技能試験の結果の分析から評価する方法が活用されている。測定の不確かさの評価とその結果の活用により製品の品質向上、検査における誤判定・判定トラブルの減少、試験結果の信頼性向上などの事例が報告されている。

測定の不確かさの厳密な評価の研究は今後の課題として、本書を参考として、多くの測定の不確かさの展開が進み、製品の安全・安心への寄与及び品質の向上による損失の減少を期待するものである。

この調査にご協力いただきました委員各位、研究機関及び関係企業にはご尽力いただいた。心より厚くお礼申し上げます。

なお、本書は財団法人 JKA の補助金を受けて実施した。ここに記して感謝申し上げます。

平成 24 年 3 月

社団法人日本計量振興協会
測定の不確かさの活用のための調査研究委員会
委員長 阿知波 正之

平成23年度 測定の不確かさの活用のための調査研究報告書

目次

まえがき

第1章 測定の不確かさの概念と意義	1
1.1 生産分野への測定の不確かさ導入の意義と効果	1
1.2 設計・試験・品質保証等における不確かさの活用	4
1.3 製品検査基準と4:1理論について	7
1.4 ISO/IEC 17025における不確かさの要求事項	10
1.5 ISO 10012 計測管理システムにおける測定の不確かさ要求事項	13
第2章 生産における不確かさの導入活用事例	17
2.1 不確かさの求め方の事例	17
2.2 圧力センサ、圧力計におけるGRR評価と不確かさを考慮した合否判定の事例	24
2.3 製品合否判定への不確かさ(精度)の反映	29
2.4 医療用リニアックの校正の不確かさの低減によるがん治療の信頼性向上	31
2.5 電気部品生産における消費者リスクと検査規格について	36
2.6 繊維試験における不確かさの推定・評価(日本繊維製品品質技術センター)	41
2.7 測長システムにおける不確かさの評価事例	45
2.8 非破壊検査の試験所認定における不確かさの推定・評価	54
2.9 超音波厚さ計による測定の不確かさ評価(あいち計測研究会)	59
2.10 残留農薬検査結果に求められること(食品分析開発センター)	64
第3章 測定の不確かさの活用に関する企業との意見交換結果	67
3.1 (一財)日本繊維製品品質技術センターにおける不確かさ導入についての意見交換	67
3.2 複写機製造業における不確かさに関する意見交換	70
3.3 電力システムにおける不確かさ活用に関する意見交換	73
第4章 平成22年度 不確かさ実態調査委員会の報告書における事例の抜粋	75
4.1 自動車用ディスクホイール寸法管理における不確かさの導入(中央精機株式会社)	75
4.2 ナット回転強度における不確かさの適用(中央精機株式会社)	81
4.3 塗装膜厚測定への不確かさの適用(中央精機株式会社)	84
4.4 流量計における精度管理基準について(株式会社オーバル)	87
4.5 揮発性有機化合物混合標準液の不確かさ評価事例(関東化学株式会社)	90
4.6 食品分析における不確かさの導入(国立医薬品食品衛生研究所)	91

第1章 測定の不確かさの概念と意義

1.1 生産分野への測定の不確かさ導入の意義と効果

1.1.1 はじめに

生産現場では、生産活動における判断を多くの情報によって行っている。この情報の多くは、測定によって得られており、品質管理の国際規格である ISO 9001 においても、「製品の監視及び測定」という規格要求項目が定められている。また、経済のグローバル化に伴い、生産現場では常に改善による競争力強化が求められており、コストダウン、品質向上活動が行われている。品質の良し悪しは、4M(材料・設備・方法・人)が左右するといわれている。この4要素の情報は、対象となる要素の測定を通じてもたらされることが多い。日常的に行われる判断において、正しい測定により得られる情報の存在によって、正しい判断が下すことができるようになる。

このように生産活動において、測定により得られた情報を基に、多くの判断が行われており、測定の重要性は益々高まっている。また、日本の製造業の強みである職人的技の伝承が困難になっている対応策として、自動化が行われている。この自動化には、測定による情報が不可欠であり、測定の信頼性を維持向上することが、製造技術維持、向上に重要な役割を果たしている。

1.1.2 測定に関する要求

計測マネジメントに関する要求を定めた ISO 10012 においては、計測のマネジメントシステムとして要求事項を定めており、計測機器および測定プロセスが、組織の製品の品質に影響を与えるような不正確な結果を出すリスクを管理し、運用の効果として品質の向上、生産性の向上や安心安全を確保することを目的として、以下のような項目が要求されている。

- ① 計量確認として、校正と計測機器が意図された使用目的に対する要求事項に適合すること。
- ② 計測プロセスの設計として、どの段階でどのような計測機器でどんな測定をし、どの程度を合格範囲とするか、またどんな工程条件をどのように測定し、管理するかを設計すること。

具体的な項目としてまとめると、これらの規格は生産活動において、

① 効果的な測定が行われるため

- ・ 日常点検された計測機器の使用
- ・ 定期校正された計測機器の使用
- ・ 測定の要求に見合った計測ポイント、計測方法を定めた作業要領に基づく測定
- ・ 測定の要求に見合った精度の計測機器の選定
- ・ 要求に見合った測定スキルの確保
- ・ 計測のトレーサビリティの確保(不確かさの評価を含む)

を要求しており、その結果、

- ② 正しい判断と管理を行うことを通じて組織の品質の向上、生産性の向上や安心安全を確保するという効果を期待している。

1.1.3 不確かさの評価について

測定値の不確かさを評価することは、計測のマネジメントシステムにおける要求事項としての計測のトレーサビリティを確保するだけでなく、以下に紹介するように不確かさを改善することによる有形無形の効果が期待できる。

1) 不確かさの改善による効果

計測管理によって得られる効果を更に高める工程管理の手法として、測定の信頼性を示すパラメータである測定の不確かさを評価し、この測定の不確かさを改善することが行われている。

測定の不確かさを小さく改善することにより、加工工数の削減、材料費の削減につながり、結果としてコストダウンが可能となる。直接的コスト削減だけでなく、間接的な効果も期待できる。その例を以下に示す。

① 長さ測定の場合

図1のような丸棒を加工した製品を製造する場合を考える。

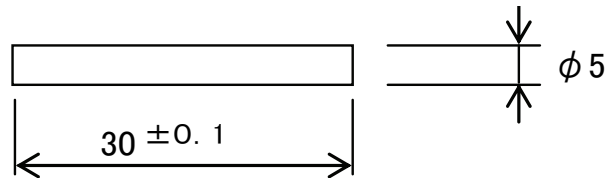


図1 丸棒加工の例

一例として、30mm 丸棒の加工において、加工寸法の中心値、加工のばらつきを一定として、測定系の測定の不確かさの内、長さ測定器の校正の不確かさ、長さ測定のばらつきが異なった場合に、測定の結果から得られる工程能力 $Cp1.33$ を確保するために必要となる加工ばらつきの関係を表1に示す。

表1 長さ測定の測定系の不確かさが工程能力、加工ばらつきへ及ぼす影響

測定系の標準不確かさ要因				測定系の拡張不確かさ (2σ) mm	加工ばらつき(σ) mm	工程能力 Cp	Cp1.33を確保できる加工ばらつき(σ) mm
長さ測定器の校正(σ) mm	温度膨張差(σ) mm	製品端面の平行度(σ) mm	測定のばらつき(σ) mm				
0.0200	0.00052	0.0010	0.0300	0.0721	0.020	0.81	--
0.0200	0.00052	0.0010	0.0150	0.0501	0.020	1.04	0.001
0.0100	0.00052	0.0010	0.0150	0.0361	0.020	1.24	0.017
0.0100	0.00052	0.0010	0.0075	0.0251	0.020	1.41	0.022
0.0020	0.00052	0.0010	0.0075	0.0157	0.020	1.55	0.024
0.0020	0.00052	0.0010	0.0038	0.0089	0.020	1.63	0.025

この表から、測定系の不確かさが大きいと工程能力が小さくなり、同じ加工能力が有っても量産の場合に要求される工程能力 $Cp1.33$ を確保できないことが発生し、加工工程の改善又は全数検査をしなければならなくなる事が判る。

逆に工程能力 $Cp1.33$ を確保するために必要な加工ばらつきを計算すると、測定系の不確かさが小さいと、加工ばらつきが大きくてもよいことが判る。

このように測定の不確かさを小さくすることができれば、工程中の検査負荷の低減、加工中の管理負荷の低減により、加工工数を削減できるようになる。また誤判定による不良の発生も少なくすることができる。

② 材料費を少なくする例

容器への液体の充填において、量目不足を防ぐため質量の測定の不確かさに相当する分以上に、多く入れることが一般的に行われている。このような管理を行う場合、質量測定の不確かさを小さくすることにより、余分に入れる量を少なくすることができる。この結果材料費を少なくでき、コストダウンにつながる。

③ 間接的効果

上記のような直接的な効果に加え、間接的な効果も期待できる。測定の不確かさを推定するためには、測定工程の不確かさ要因の分析を行う。このためまず、不確かさの要因が測定者をはじめとする関係者に見えるようになる。バジェット表を公開すれば、不確かさ要因の寄与率が関係者に見えるようになり、測定工程の問題点の見える化が実現できることになる。

見える化によって

- ◆ 関係者が改善点を明確に認識でき、改善意欲の向上が図れる。
- ◆ 改善結果の把握ができる。

という効果が得られ、結果的に改善が進むことにつながる。

また、測定系の不確かさを小さくして、加工結果のばらつきに対する測定系の不確かさの寄与率が33%以下になった場合には、加工結果のばらつきに対する測定系の不確かさの影響が小さくなる。このため、測定系の不確かさを必要以上に小さくしても、加工結果のばらつきは不確かさの改善に比較して小さくならない。測定系の不確かさが工程全体のばらつきに対する影響を、寄与率で確認することにより、改善の目標値を合理的に決めることができる。このような改善は、機械加工だけではなく、あらゆる産業の測定に対して応用が可能である。

1.1.4 まとめ

生産分野に測定の不確かさを導入することにより、測定系の不確かさに対する要因の影響を解析して、測定系の改善を行うことができる。測定形の改善の結果、作業時間の削減、材料費の削減が可能となり、コスト削減ができる。また、測定系の改善の目標値を適切に設定できるようになる。

また別の効果として、測定系の不確かさ要因が見える様になることにより、改善意識、改善ポイントの明確化、結果の明確化ができ、工程改善を更に推進できるようになる。この結果、製品の信頼性向上、競争力強化が期待できる。

1.2 設計・試験・品質保証等における不確かさの活用

1.2.1 はじめに

生産企業では製品の設計、材料、部品の評価試験、品質保証、設備保全などの目的で、多くの測定が行われている。これらの測定結果から設計条件の選定、品質管理、材料・部品の評価、設備保全などが行われており、測定の不確かさがそれらの活動に影響がある。不確かさの評価とその活用により測定結果の信頼性の向上が図られ、製品の品質向上、コスト低減、安全性の向上などが期待できる。

1.2.2 設計における不確かさの活用

設計段階において、製品を構成する材料の強度、各部の構造寸法など水準値を最適な値に設定する方法としてパラメータ設計が行なわれることがある。パラメータ設計は図1に示す手順により設計条件の確認のため、複数の設計要素の水準を変えた組合せの試作品を作成し、その試作品の機能を測定し、その結果を解析し、最適な水準を選定する。さらに選定した最適条件の組合せの試作品と比較条件の組合せの試作品を作成し、確認実験を行いその測定結果を解析し、再現性を確認し、設計条件が決定される。最適条件の選定と再現性の確認に測定の不確かさが影響する。最適条件の効果の推定と再現性の確認実験はSN比(db)が用いられる。試作品のばらつき(σ_s)と測定の不確かさ(σ_m)の比率(精度比)の利得への影響は表1に示す。比率が小さいと影響が大きく、測定の不確かさを評価し、製品のばらつきに対して適切な精度比を確保する必要がある。実験データの測定の不確かさの影響により、分析結果から十分な再現性が得られなければ、反復実験を行うことが多くなり、開発時間の遅延原因の一つになる。

設計段階において測定の不確かさの評価・改善により、評価精度の向上、実験回数の減少、開発期間の短縮効果が期待できる。

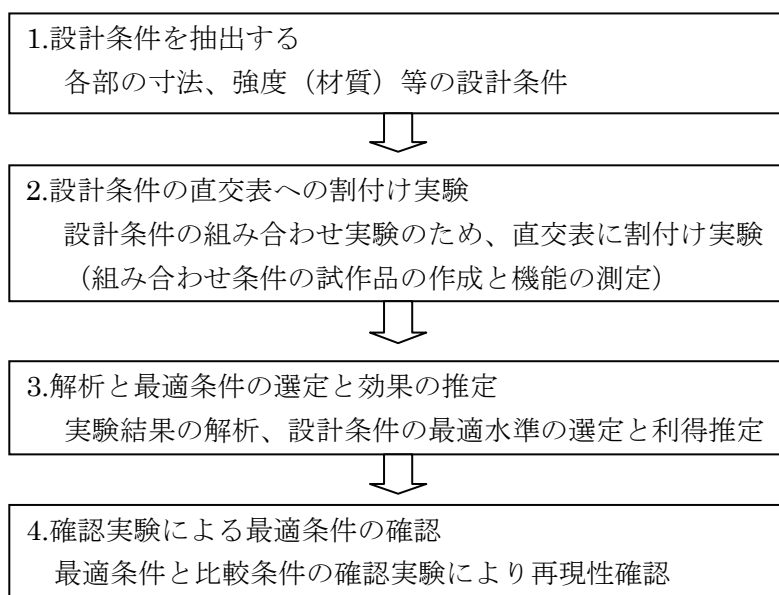


図1 パラメータ設計の手順

表1 利得への不確かさの影響 (db)

精度比 (σ_s/σ_m)	最適条件のSN比利得(db)		
	3	6	10
1:1	-1.02	-1.37	-1.48
2:1	-0.35	-0.45	-0.48
3:1	-0.17	-0.21	-0.23
4:1	-0.10	-0.12	-0.13
5:1	-0.06	-0.08	-0.08

1.2.3 試験における不確かさの活用

材料、熱処理、溶接などの加工後の製品の品質保証の目的で試験が行われる。試験は単独特性の測定は少なく、例えば材料強度試験の場合、試験環境の温度、試験速度、加えられる引張り力、試料の伸びの測定などの複数の測定が行われる。これらの試験に関わる測定の不確かさが試験結果に影響する。

引張り強度試験において、試験環境条件の測定の不確かさ σ_{m1} 、試験速度の不確かさ σ_{m2} 、伸びの長さの測定の不確かさ σ_{m3} 、引張り力の測定の不確かさ σ_{m4} とすると試験結果の不確かさ σ_T は(1)式で表すことができる。(1) 式中の $\beta_1 \sim \beta_3$ は各試験条件の各特性値の試験結果への影響（寄与率）から求められる感度係数とする。

試験における測定の不確かさの活用により試験結果の信頼性向上の効果が得られる。

$$\sigma_T = \sqrt{(\beta_1 \sigma_{m1})^2 + (\beta_2 \sigma_{m2})^2 + (\beta_3 \sigma_{m3})^2 + \sigma_{m4}^2} \quad (1)$$

1.2.4 品質保証における不確かさの活用

1) 生産工程における測定の不確かさ

品質は生産工程でつくり込むと言われるように、生産工程の測定が製品の品質保証に重要である。生産工程は図2に示すように原材料、部品が生産設備にインプットされ、製品がアウトプットされる。目標値通りの製品の品質を確保するためには、原材料・部品等インプット条件の測定、生産設備の工程条件（変数）の測定、環境条件の測定、アウトプットである製品の特性の測定とその結果に基づく調整・調節が行われている。生産工程は、測定の結果を基に生産設備の調整・調節が行われるフィードバックシステムであり、不確かさが大きければ、誤った調整・調節が行われ、製品の品質を悪くする作用がある。材料部品の測定の不確かさ σ_{m1} 、加工条件の測定の不確かさ σ_{m2} 、環境条件の測定の不確かさ σ_{m3} 、製品特性の測定の不確かさ σ_{m4} 、生産設備と調整・調節によるばらつきを σ_p とするとその製品のばらつき σ は(2)式で表すことができる。(2) 式中の $\beta_1 \sim \beta_3$ は材料部品の測定、加工条件の測定及び環境条件の測定の対象特性の製品特性への影響（寄与率）から求められる感度係数とする。生産工程における測定の不確かさは対象製品のばらつきに直接的な影響があり、測定の不確かさを導入し、製品のばらつきに対する評価と改善は製品の品質改善の効果が得られる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_p^2 + (\beta_1 \sigma_{m1})^2 + (\beta_2 \sigma_{m2})^2 + (\beta_3 \sigma_{m3})^2 + \sigma_{m4}^2} \quad (2)$$

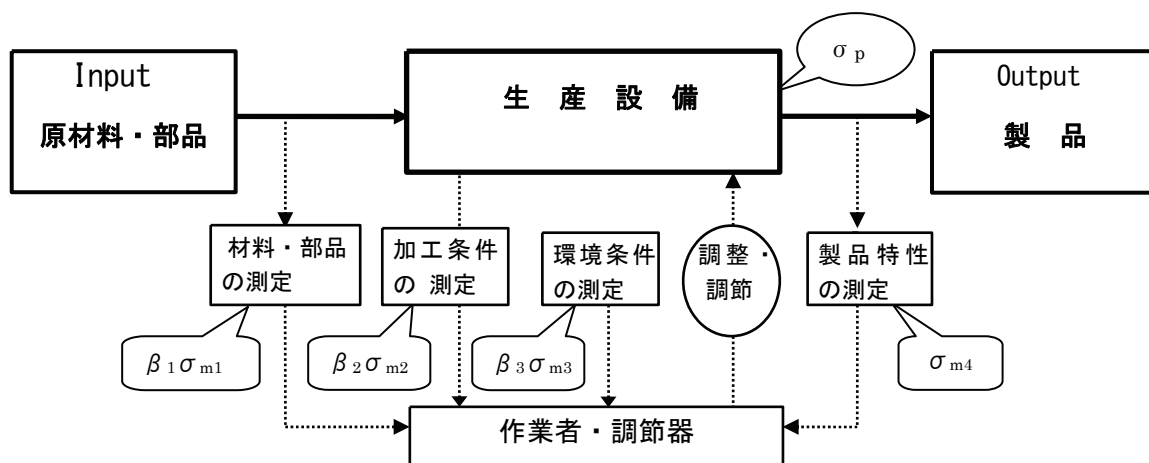


図2 生産工程の測定制御システム

2) 検査における測定の不確かさ

生産された製品が顧客の要求に適合していることを確実にするため、検査が行われている。検査における測定の不確かさは、測定結果が判定基準（規格値）に適合しているかどうかで適合又は不適合を判定するが、測定の不確かさにより判定の誤りが発生する。

- ① 不適合品を適合とする誤り
- ② 適合品を不適合とする誤り

不適合品を適合とする誤りは顧客の損失となり、適合品を不適合にするより損失は大きくなり、また不要なトラブルによる損失が発生するため、不確かさを導入し、不確かさに相当するガードバンドを設定して判定する。

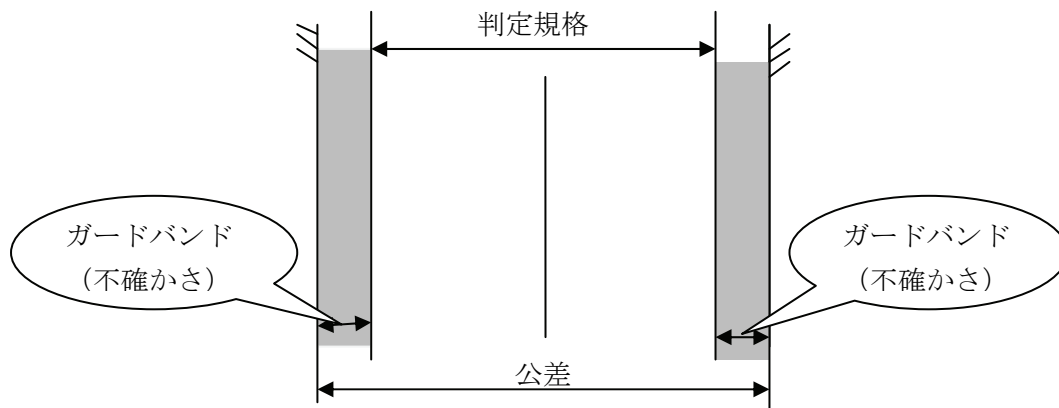


図3 不確かさのガードバンド

3) 不確かさの活用の効果

生産工程の測定の不確かさは製品のばらつきを増加させる作用があり、その損失 L は(3)式により求められ、測定の不確かさの改善効果は損失 L の改善効果により算出できる。検査において不確かさによるガードバンドを適用するとガードバンド内の適合品は出荷できなくなり製品の廃棄又は手直しする損失が発生することから、不確かさの改善により、不要な廃棄・手直し損失が低減できる。

$$\text{不確かさによる損失 } L = \frac{A}{\Delta^2} \sigma_m^2 \quad (3)$$

A : 製品が不適合となった時の損失 (円)
 Δ : 製品特性の許容差
 σ_m : 製品特性の測定不確かさ

1.2.5 設備保全への不確かさの活用

生産設備の故障予防、事故予防などのため設備の定期点検とその測定結果により設備の劣化状況を評価し、限界に達すると改修作業が行われている。化学工場プラントなどの大型設備の場合、劣化状況の限界超の見逃しは漏洩、爆発などの大きな損害を生じることがある。また、安全な状態にあるのに改修すれば無駄を生じる。設備保全における測定の不確かさは対象設備の正常・異常の判断に影響する。

設備保全における測定の不確かさを評価し改善することにより、設備の正常・異常の判断の信頼性が向上し、故障の予防及び保全コストの低減効果が期待できる。

1.3 製品検査基準と4：1理論について

1.3.1 精度比とリスクから検査の合否判定基準を決める方法

生産し、出荷している製品が“製品規格に適合している”と企業が宣言する場合、測定の不確かさを把握することは重要な要素の一つであることは言うまでもない。

そこで、「規格」「製品の仕様」「顧客の要求仕様」等に適合していることを表明する場合において、今から10年以上も前から注目されていたガードバンドの技法を用いて統計的にリスクを把握し、測定の不確かさを考慮して合否判定基準を決定する方法を紹介する。バラツキが大きいと“測定結果の信頼性がない”、バラツキが小さいと“測定結果の信頼性がある”。このようにバラツキの大きさによって、測定結果の信頼性に影響がでるということは誰でも解る。しかし、

- ◆ どの程度、バラツキが大きいと測定結果に信頼性がないのか？
- ◆ どの程度、バラツキが小さいと測定結果に信頼性があるのか？

これに答えるためには“どの程度”について定量化する必要がある。この“どの程度”を定量化するために、「精度比とリスクから合否判定基準を決める方法」を提案し、社内で展開してきた。ここでは3つのキーワード ①精度比、②リスク、③合否判定基準、について順に紹介する。

①**精度比**とは「意図された用途＝検査対象の製品精度」と「測定機器・測定プロセスの精度」の比で、4：1以上を推奨する。

この精度比4：1を目安にして4：1以上を推奨する根拠は、細かいことを気にしなくて済むという大きなメリットがあるからであり、そのメリットの内、簡単に説明できる一つを以下に紹介する。

- ◆なぜ4：1以上が良いのか？

製品精度【A】が0.5%を想定し、それぞれの精度比【1：1～10：1】毎に計測器の精度【B】

を求め、測定の精度【C】を、誤差の伝播則 $C = \sqrt{A^2 + B^2}$ (A, Bは標準偏差【精度】を表す)にて測定の精度【C】を求める。

さらに、精度比に応じた影響度【D】を計算し、有効数字2桁で表すと以下の影響度【D】の右欄のようになる。

表1 計測器の精度が製品精度に与える影響

精度比 A : B	製品 精度 A	計測器の 精度 B	測定の 精度 C	影響度 D(=C/A)	
低 い ↑ ↓ 高 い	1 : 1	0.50 %	0.50 %	0.71 %	1.41 ⇒ 1.4
	2 : 1	0.50 %	0.25 %	0.56 %	1.12 ⇒ 1.1
	3 : 1	0.50 %	0.17 %	0.53 %	1.06 ⇒ 1.1
	4 : 1	0.50 %	0.13 %	0.52 %	1.03 ⇒ 1.0
	5 : 1	0.50 %	0.10 %	0.51 %	1.02 ⇒ 1.0
	10 : 1	0.50 %	0.050 %	0.50 %	1.00 ⇒ 1.0

この表 1 から分かるように精度比が 4 : 1 ~ 10 : 1 と高い場合は、影響度【D】は全て 1.0 となり、計測器の精度【B】が製品精度【A】に影響していないと言える。

- ② ここでいうリスクとは、「測定した結果が、規定された範囲内にあり合格と判断したものの中に、真の値が仕様を超えて存在する可能性の最悪値」のことである(図 1 参照)。

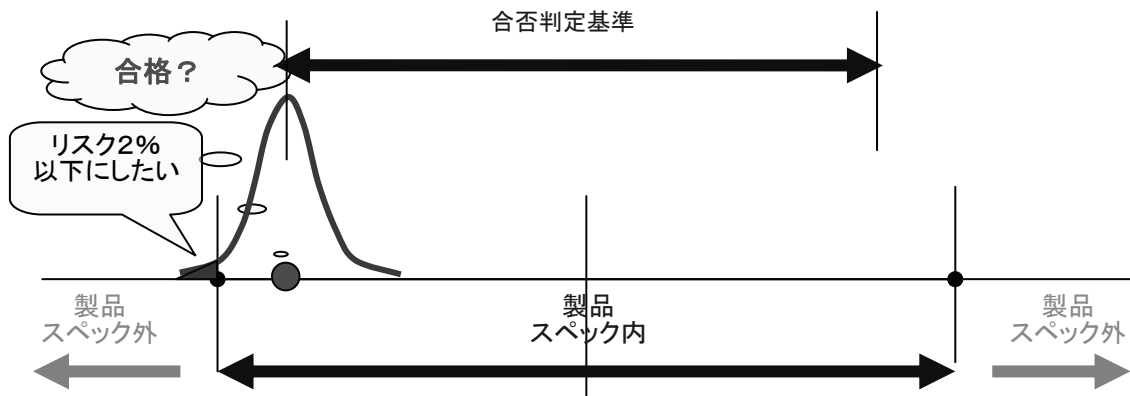


図1 仕様の際に測定結果があった場合のリスクのイメージ

“リスクの最悪値”は管理限界ギリギリの測定結果で合格と判定したものが、測定精度の影響(バラツキなど)により真の値が規定された範囲外に存在する確率が最も高くなることがお解かりいただけるだろう。このリスクは一般的に2%以下が推奨される。

<参考規格>ANSI/NCSL Z540.3-2006 5.3 測定・試験装置の較正

b) 測定量が特定の許容差内にあることを判定するために較正が行われる場合は、校正の判定に関するリスク(不合格品を誤って受け入れる)は、2%を超えてはならないものとし、かつこれが文書化されていなければならない。

(この日本語訳は正式な訳ではないため、詳細は原文を確認のこと)

- ③ 合格判定基準は、図 3 を利用し、精度比とリスク 2%から合格判定基準を決める。精度比が 4 : 1 の場合、リスク 2%との交点から、製品 SPEC の 0.77 を合格判定基準と定めることになる(図 2 参照)。

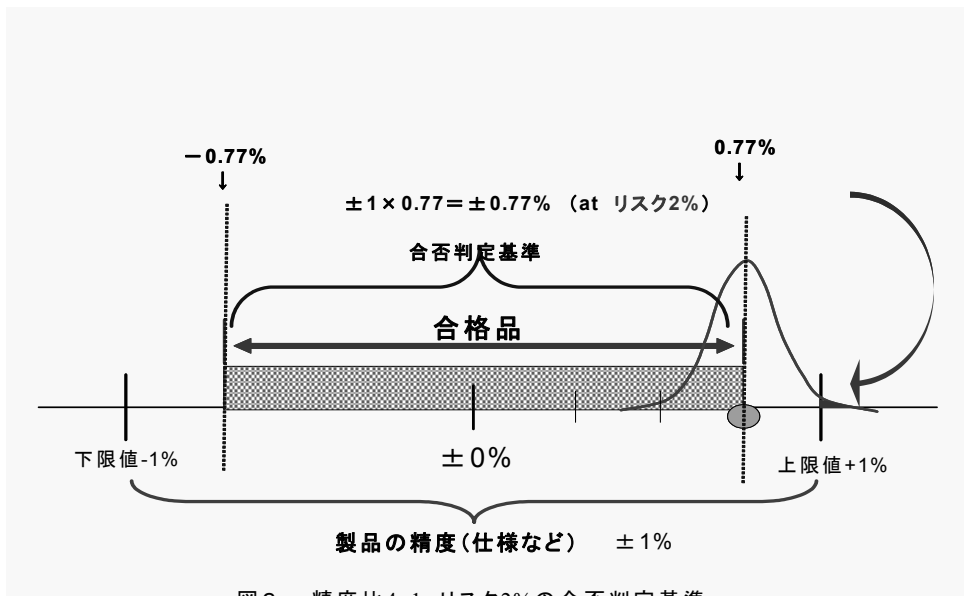


図2 精度比4:1 リスク2%の合格判定基準

2%Risk、精度比=4:1 ⇒ K=0.77

測定対象が『一様分布』の場合

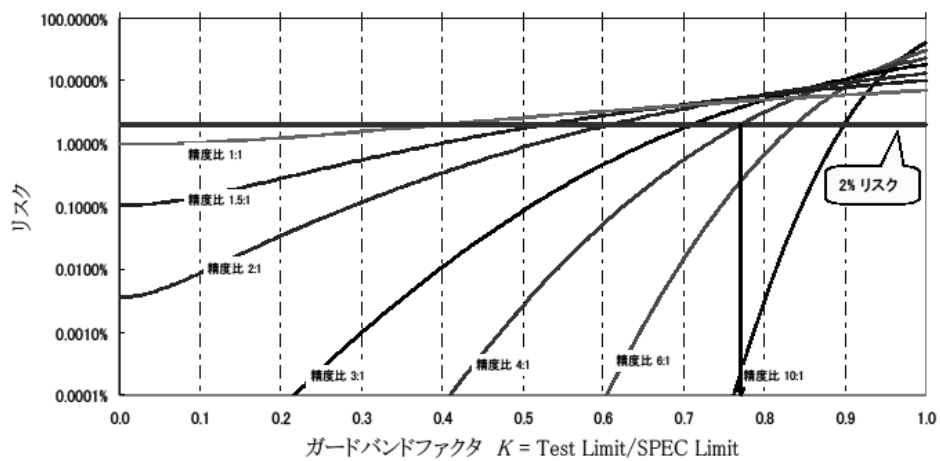


図3 合格判定基準の選定グラフ(1:1~10:1)

* 「現場技術者のための計測技術入門」 P 161 引用

合格判定基準を決める手順のまとめ

- ① 測定対象と測定器の精度比を確認
- ② リスクを2%と設定
- ③ 図3から2%リスクと精度比の交点を確認、合格判定基準が決定

この方法で決めた合格判定基準に従って「製品の検査」や「計測機器の校正」などを実施することによって、製品などの仕様や規格に対して「適合性の表明」が可能になる。

1.4 ISO/IEC 17025 における不確かさの要求事項

1.4.1 ISO/IEC 17025 の概要

1978年にISO/IECガイド25「校正機関及び試験所の能力に関する一般要求事項」が発行され、認定機関が校正事業者や試験所を認定する際に、特定の試験又は校正を実施する能力を有しているかを評価するときの基準として利用されてきた。その後、1999年にISO 9001:1994との整合を考慮した見直しが行われ、ISO/IEC 17025「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項」に衣替えして、国際規格として制定されている。さらに、2005年にはISO 9001:2000を加味した改訂が行われ、現在に至っている。

この規格は試験所や校正事業者がその品質システムの認定を受けるときの審査基準を定めた国際規格として広く使用されており、日本においても技術的に内容を変更していないJIS規格として、JIS Q 17025が制定されている。

この規格の実質的な要求事項は4章、5章に記述されており、「管理上の要求事項」と「技術的要求事項」とに大きく分けて規定されている。4章「管理上の要求事項」は品質マネジメントシステムの要求事項としてよく知られているISO 9001に相当する部分である。一方、5章「技術的要求事項」は、ISO 9000シリーズにはない技術的要求事項を詳細に定めていて、独特の規格となっている。

1.4.2 技術的要求事項

ISO/IEC 17025では、第5章で技術的要求事項を規定しており、その項目は以下のような項目となっている。このなかで、5.2項「要員」については、ISO 9001の6.2項「人的資源」で規定されている内容に近いが、その他はISO/IEC 17025独自のものとなっている。

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 5.1 一般 | 5.2 要員 |
| 5.3 施設及び環境条件 | 5.4 試験・校正の方法及び妥当性の確認 |
| 5.5 設備 | 5.6 測定のトレーサビリティ |
| 5.7 サンプルング | 5.8 試験・校正品目の取扱い |
| 5.9 試験・校正品目の品質の保証 | 5.10 結果の報告 |

この技術的要求事項の中でも重要なのが、5.4項「試験・校正の方法及び妥当性の確認」である。この項では、以下の内容が規定され、その試験所又は校正事業者が自らの責任で試験・校正方法の妥当性確認を行い、顧客ニーズを満たしていることを、客観的証拠を元に、確認することが要求されている。

- | | |
|-----------------------|------------------|
| 5.4.1 一般 | 5.4.2 方法の選定 |
| 5.4.3 試験所・校正機関が開発した方法 | 5.4.4 規格外の方法 |
| 5.4.5 方法の妥当性確認 | 5.4.6 測定の不確かさの推定 |
| 5.4.7 データの管理 | |

5.4.1「一般」では、『試験所・校正機関は、業務範囲内のすべての試験・校正について適切な方法及び手順を用いること。それらの方法には、試験・校正を行うべき品目のサンプルング、取扱い、輸送、保管及び準備が含まれ、また、適切な場合、測定の不確かさの推定及び試験・校正データの分析のための統計的手法が含まれる。』とし、試験・校正の全般的な要求事項を規定している。5.4.2から5.4.4は試験・校正を行う方法についての規定があり、5.4.5ではその妥当性の確認が求められている。5.4.6「測定の不確かさの推定」では不確かさの推定を要求し（詳細は後述）、5.4.7「データの管理」では『計算及びデータ転記は、系統的な方法で適切なチ

ェックを行うこと。』として試験・校正結果を得るためのデータの管理についての要求が規定されている。

1.4.3 不確かさについての要求事項

不確かさに関しては、主に 5.4.6 項「測定の不確かさの推定」で要求事項が規定されている。ここで、『5.4.6.1 校正機関又は自身の校正を実施する試験所は、すべての校正及びすべてのタイプの校正について測定の不確かさを推定する手順をもち、適用すること。』として、試験所や校正事業者が行うすべての校正について不確かさを推定することを要求している。また、試験所については、『5.4.6.2 試験所は、測定の不確かさを推定する手順をもち、適用すること。』と規定されており、試験所が行う測定に関しても不確かさの推定を行うことが要求されている。

測定の不確かさの推定に当たっては『5.4.6.3 測定の不確かさを推定する場合には、当該状況下で重要なすべての不確かさの成分を適切な分析方法を用いて考慮すること。』として、重要なすべての要因について適切な分析を行うことが求められている。なお、不確かさ算出の詳細については、5.4.6.3 の注記 3 に『この問題について更に情報を得るには、ISO 5725 及び“測定の不確かさの表現の指針(GUM)”を参照する。』と記述されているように、この規格には具体的な算出方法については規定されていない。不確かさを算出するためには GUM 他関連する文献を参照いただきたい。

注) ISO 5725 (JIS Z 8402) : Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results (測定方法及び測定結果の精確さ (真度及び精度))

GUM : Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (ISO/IEC Guide 98 part3:2008).

さらに 5.4.6 項以外でも不確かさについての要求事項がいくつかある。4.13 項「記録の管理」の中では、『個々の試験・校正に関する記録は十分な情報を含み、可能な場合、不確かさに影響する因子の特定を容易にし、元の条件にできるだけ近い条件での試験又は校正の繰返しを可能とするものであること。』と規定されており、試験・校正に関する記録で、不確かさに影響する因子にかかわる記録を残すことが要求されている。

また、5.10.3 「試験報告書」では『試験結果の解釈のために必要な場合、試験報告書は次の事項を含むこと。—中略— c) 適用可能な場合、推定された測定の不確かさに関する表明。試験報告書中の不確かさに関する情報は、試験結果の有効性又は利用に関係する場合、顧客の指示によって要求される場合、若しくは不確かさが仕様の限界への適合性に影響する場合に必要とされる。』とあり、試験結果の中に必要な場合不確かさに関する表明を含めることが要求されている。

一方、5.10.4 「校正証明書」では、『校正結果の解釈に必要な場合、校正証明書は次の事項を含むこと。—中略— b) 測定の不確かさ及び/又は特定された計量仕様若しくはその項目に対する適合性の表明』とされ、校正証明書には不確かさを記入することが要求されている。さらに『適合性の表明を行う場合には、測定の不確かさを考慮すること。』とあり、仕様への適合表明をする場合には不確かさを考慮することが求められている。

1.4.3 不確かさの必要性

今まで、ISO/IEC 17025 における不確かさの要求事項について述べてきたが、ここで ISO/IEC 17025 で不確かさの推定が要求されている背景を考えてみたい。

- 1) トレーサビリティの確保

まず、最初に考慮されるのは測定のトレーサビリティである。トレーサビリティの定義は JIS Z 8103「計測用語」によると、『不確かさがすべて表記された切れ目のない比較の連鎖によって、決められた基準に結びつけられ得る測定結果又は標準の値の性質。基準は通常、国家標準又は国際標準である。』となっていて、測定のトレーサビリティを確保するためには、不確かさが表記されていなければならないということになる。前項で記載したとおり、ISO/IEC 17025 では、校正事業者に対し 5.10.4 項で校正証明書に不確かさを含むことを求めているのもこのためである。校正証明書を受け取ったユーザは、その校正証明書に記載されている校正結果の不確かさをもとに、自身の測定の不確かさを推定することができるのである。

しかし、残念なことに、JCSS など ISO/IEC 17025 の認定を受けた校正事業者が発行するものを除くと、必ずしも校正証明書に不確かさが表記されているとは限らないのが現状である。

2) 試験・校正結果の信頼性の確認

ISO/IEC 17025 の 4.4.1 の注記 2 には『業務能力の確認においては、試験所・校正機関が必要な物理的、人的及び情動的資源をもち、かつ、試験所・校正機関の要員がその試験・校正の実施に必要な技量及び専門知識をもつことを確認することが望ましい。業務能力の確認は、過去に参加した試験所間比較若しくは技能試験の結果、及び/又は測定の不確かさ、検出限界、信頼限界、その他を確定するための既知のサンプル若しくは品目を用いた試行試験又は校正プログラムの実行の結果を含むことがある。』とある。少し長いので、わかりにくいですが、ここでは顧客の要求事項を満たすための業務能力を確認する手段が述べられている。その手段の一つとしてとして、測定の不確かさが取り上げられており、測定の不確かさを評価することによって、試験結果または校正結果が顧客の要求を満足できる能力があるかどうかを自ら判断できるのである。

また、不確かさの大きさを見ることにより、その測定の能力、信頼性がわかるので、ユーザが校正事業者を選択するときの判断材料ともなる。

1.4.4 まとめ

ISO/IEC 17025 は試験所および校正事業者に求められる要求事項であり、試験所や校正事業者を除く一般の企業には適用されない。しかし、不確かさを考慮していく上で、ISO/IEC 17025 の考え方を理解することは重要であり、参考になる規格である。また、ISO/IEC 17025 の認定を受けている校正事業者が発行する校正証明書には不確かさが付与されているので、企業内で不確かさの推定を行なうときに、有効に活用できる。

1.5 ISO 10012 計測管理システムにおける測定の不確かさ要求事項

1.5.1 ISO 10012（計測マネジメントシステム—測定プロセス及び測定機器に関する要求事項）の概要

1) 制定までの推移

1950年代から、米軍調達物資の品質問題の解決法が必要となり米軍規格 MIL-Q-5923「品質管理要求事項」を経て MIL-Q-9858：1979「品質保証共通仕様書」が誕生し、その付属規格として MIL-C-45662「キャリブレーションシステムの要求事項」が制定された。この規格の有効性が認められ、産業界では、ANSI/NCSL Z540-1994に発展した。一方ヨーロッパでは、MIL-Q-9858をベースに各国で、それぞれの規格が制定された。そのような状況の下に ISO 10012 は、計量に限定した専門規格として ISO 10012-1（1992）「測定器のための品質要求事項—第1部：測定機器の管理システム」、ISO 10012-2（1997）「測定装置の品質保証—第2部：測定プロセスの管理の指針」が制定された。

1990年代に ISO 9000 シリーズが誕生し、その規格の参考規格として ISO 10012-1、ISO 10012-2 が呼び出されている。その後、ISO 10012-1 及び ISO 10012-2 を統合し、2003年に ISO 10012 の規格になった。

2) ISO 10012 の要求事項

序文

- | | |
|----------------|------------------------|
| 1. 適用範囲 | 7. 計量確認及び測定プロセスの実現 |
| 2. 引用規格 | 7.1 計量確認 |
| 3. 用語及び定義 | 7.2 測定プロセス |
| 4. 一般要求事項 | 7.3 測定の不確かさ及びトレーサビリティ |
| 5. 経営者の責任 | 8. 計測マネジメントシステムの分析及び改善 |
| 5.1 計量機能 | 8.1 一般 |
| 5.2 顧客重視 | 8.2 監査及び監視 |
| 5.3 品質目標 | 8.3 不適合の管理 |
| 5.4 マネジメントレビュー | 8.4 改善 |
| 6. 資源マネジメント | 付属書 A（参考）計量確認プロセスの概要 |
| 6.1 人的資源 | |
| 6.2 情報資源 | |
| 6.3 物的資源 | |
| 6.4 外部供給者 | |

3) ISO 10012 計測マネジメントシステムのモデル

顧客要求事項をインプットに、顧客満足度をアウトプットにして図 1 に示すように「経営者の責任」、「資源管理」、「計量確認及び測定プロセスの実現」、「計測マネジメントシステム分析及び改善」のサークルを実施している。

まず、インプットの顧客要求事項を計量要求事項に変換し、測定プロセスを設計する。これは、品質管理上測定プロセスのどの工程で、どのような測定器を使い、どのような方法で測定・検査するのが最適か検討・設計し実現する。それには、測定の不確かさを含めて、統計的な手法を使い、リスクとコストの釣り合いがとれているかが必要である。

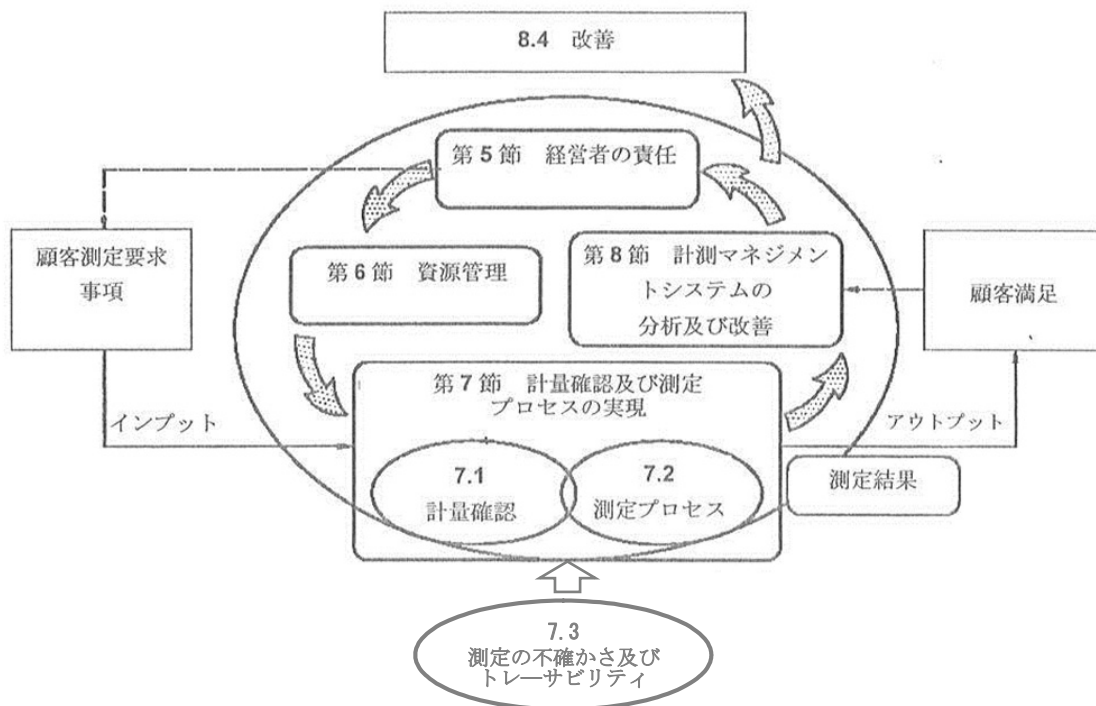


図1 計測マネジメントシステムのモデル

4) 一般要求事項（第1節～第4節）

「事業者は、ISO 10012 を適用する範囲を明確にして、その範囲内でこの規格を順守しなければならない」ということが要求されている。この規格を全ての計測に関わる範囲に適用させるとコストが増大するため、適用範囲を特定する必要がある。

5) 計量確認と測定プロセスの実現（第7節）

適正な計量を実施する上において及び顧客満足を実現するために、何をすればよいかを具体的な要求事項としてまとめられている。

6) 7節1 計量確認

計量確認には、測定機器の校正と検証があり、他のISO と比べて特徴的な要求事項である。検証とは、校正された測定機器が使われていることの確認の他に、計量プロセスに使用される測定機器が、計量要求事項に適したものを選定して設計され、実現されているかを検証することも含まれている。

7) 7節2 測定プロセス

測定プロセスの設計及び実現は、計量確認と並びISO 10012 の車の両輪として重要である。今までは、計量管理というと一般的には測定機器の定期校正に重きがおかれているが、測定プロセスの設計及び実現も重要な要素である。

8) 7節3 測定の不確かさ及びトレーサビリティ

測定の不確かさ及びトレーサビリティについては下記 1.5.2 を参照。

1.5.2 ISO 10012 における測定の不確かさの要求事項

ISO 10012 規格の 7.3.1 には、次のように書かれている。

7.3 測定の不確かさ及びトレーサビリティ

7.3.1 測定の不確かさ

測定の不確かさは、計測マネジメントシステムの対象となるそれぞれの測定プロセスについて推定しなければならない。（*5.1 参照）

不確かさの推定値は、記録しなければならない。測定の不確かさの分析は、測定機器の計量確認および測定プロセスの妥当性確認の前に完了しなければならない。測定のばらつきの既知の原因は、全て文書化しなければならない。

*：上記の 5.1 の手引きの内容には、次のように書かれている。

計量機能は、単独の部門であってもよいし、又は組織全体に分散してもよい。

従って、計測マネジメントシステムの対象範囲を決めておくことが必要である。

また、7.3.1 の手引きには、

関連する概念及び不確かさの構成要素を組み合わせる結果を表現する際に利用できる方法については“計測における不確かさの表現ガイド（GUM）”に示されている。この他の文書化されて受け入れられている方法を使用してもよい。

不確かさの一部の構成要素には、他の構成要素から比較すると小さく、そのため、技術的または経済的根拠からすると、詳細な決定が妥当でなくなるものがある。このような場合は、判定及び妥当性の根拠を記録することが望ましい。いずれの場合も、測定の不確かさの決定及び記録に費やす労力は、組織の品質に対する測定結果の重要性に釣り合ったものであることが望ましい。不確かさの決定の記録は、個々の測定プロセスに付加される要因を含めて、類似タイプの測定機器に対して“共通記述”の形態をとってもよい。

測定結果の不確かさは、その他の要因の中でも、特に、測定機器の校正の不確かさを考慮することが望ましい。

以前の校正結果の分析及び複数の類似測定機器の複数の類似項目の校正結果の評価に統計的技法を適切に使用することは、不確かさの推定に役立つことができる。

注記：上記の GUM は、ISO/IEC Guide 98-3：.2008, Uncertainty of measurement— Par 3 ; Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)として制定されている。

と書かれている。

また、2011 年 5 月に制定された JIS Q 10012 の解説には、

測定の不確かさを推定する方法としては、組織の製品の重要性に釣り合ったもので行なうとしており、その際には、“測定における不確かさの表現の指針（GUM）”を用いることを推奨している。この製品の品質の重要度には、この製品の品質の重要度には、その測定の重要性又は複雑性、製品の安全性を確保する測定、コスト高を招くような測定が含まれる。それ以外の一般的な製品及び部品の簡単な測定は、汎用形として、機器製造者から提供されるデータ（カタログ）・仕様書などを利用して、測定機器の精度（許容限界）を測定の不確かさの推定値に置き換えてもよい。ただし、作業者の技能水準や環境条件などによる影響度合いは、この測定の不確かさの推定値の中に含まれていないケースが多いので留意すべきであり、工程が不安定な場合などは、測定の不確かさを推定し、原因追究し、改善することが必要である。

と書かれている。

上記に書かれているように、測定の不確かさは、計量特性を客観的に明確にするツールとして非常に有効的なものであるが ISO 17025 と比較すると要求内容が少し異なっている。

ISO 17025 においては、計量要求と計量特性を比較するための重要特性として測定の不確かさを位置づけており、測定の不確かさを推定することを要求している。

一方、ISO 10012 においては、「不確かさを正確に算出することを要求するものではなく、また、不確かさを推定する手順も規定されていない。ある一定値以下に管理されていることが必要なのである。」すなわち「不確かさをどう活用するか」に重点をおかれている。従って、計測管理システムの範囲に入っている測定プロセスに対し、測定の不確かさを推定しなければならないが、ISO 17025 で要求されているような、厳密な不確かさ算出手順を明確にすることは規定されていない。

実際の製造プロセスにおいては、測定の不確かさが無視できるようにプロセス設計をすることが望ましいが、測定にはいろいろな要因が関係しバラツキが生じる。

従って、製造工程の全ての測定に不確かさを推定する必要があるが、多大な工数が必要となるため、人体に影響を及ぼすもの、火災になる恐れがあるもの、その他重要な測定については“「測定における不確かさの表現の指針 (GUM) ”を用い、その他については、計量要求精度と使用測定機器との精度比を大きくしておく方法、自動車業界で使われているMSA (測定システム解析ツール)・GRR などの統計的方法や、計量委員会などにより経験的な推定も可能である。

使用測定機器の不確かさは機器製造者から提供されるデータ (カタログ)・仕様書などを利用し、測定者や環境におけるバラツキを考慮してガードバンド幅を決めておくのも一つの方法である。

また、生産現場で使用される測定機器は、定期的に校正し、管理規格内入っていることを確認し、測定機器の校正の不確かさを測定のバラツキに考慮することが望ましい。

重要なことは、その測定プロセスにおける測定の不確かさが製品品質の判定にどの程度影響しているかを判断することである。

上記の ISO 10012 の手引きにあるように、測定の不確かさ算出には多大な工数がかかるので、製品品質への影響の度合いにより、GUM を用いる方法、精度比とガードバンドやその他、公に認められている方法等の中から算出方法を選び、測定結果の重要性と不確かさ算出等に費やす費用が釣り合ったものであることが望ましい。

第2章 生産における不確かさの導入活用事例

2.1 不確かさの求め方の事例

2.1.1 表示器の生産における発光面の輝度測定方法の不確かさ

1) はじめに

照明パネル、発光体等の発光の程度は輝度として、その測定値が指定されており、単位は面積当たりの光度 (cd/m^2) で、この輝度を測定する輝度計の原理を図1に示す。

測定対象とする製品はランプ照明による発光パネルでその測定対象の代表例は以下である。

- ・輝度範囲 50~160 cd/m^2
- ・測定径 2mm

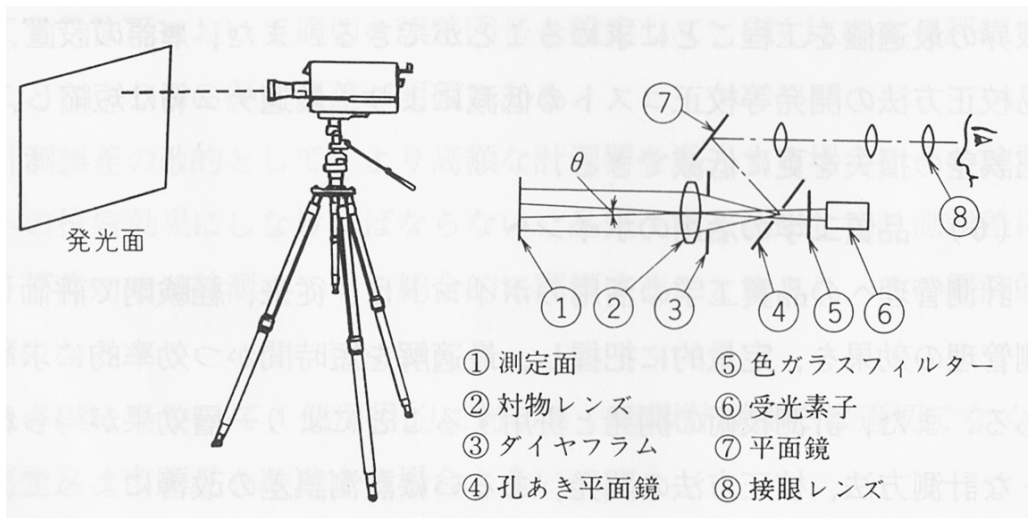


図1 輝度計の原理

2) 製品の輝度測定の最適条件

製品を輝度測定する場合の最適条件とそのときの誤差分散を実験により求める。

① 実験の方法

- ・測定対象直径 2mm が測定できる視角 0.2° 、 0.1° のいずれかを選択するため制御因子とした。
- ・使用している輝度計3台は標示因子とした。(輝度計により測定条件を選択)
- ・測定する輝度の標準(信号因子)は製品を使い、輝度は原理的に照明用電球の電流の2乗に比例することから、電流値により輝度値を設定した。
- ・測定者と輝度測定のピント合わせの誤差を考慮し、測定者と繰返しを誤差因子とした。

② 因子と水準

輝度測定の因子と水準を表1に示す条件で実験を行った。

② 実験のわりつけと結果

実験のわりつけと結果を表2、表3に示す。

表 1 輝度測定因子と水準

因子		水準		
		1	2	3
制御因子	A : 視角	0.1°	0.2°	—
表示因子	K : 輝度計	No1	No2	No3
信号因子	M : 輝度	$50\text{cd}/\text{m}^2$	$100\text{cd}/\text{m}^2$	$150\text{cd}/\text{m}^2$
誤差因子	R : 測定者	校正担当者	使用者	—
	r : 繰返し	1 回目	2 回目	—

表 2 輝度測定のわりつけと実験結果

K	A	M		M			M	
		R	M_1	M_2	M_3	M_3	M_3	
K_1	A_1	R_1	45.5	45.7	90.2	90.8	133.5	133.0
		R_2	45.4	45.8	90.5	91.0	133.8	133.3
	A_2	R_1	45.2	45.0	89.8	89.3	132.3	132.0
		R_2	45.3	45.1	89.6	89.4	132.4	131.8
K_2	A_1	R_1	50.0	50.5	98.0	99.5	148.3	146.5
		R_2	50.9	50.6	98.1	99.4	148.0	146.6
	A_2	R_1	49.8	49.5	97.8	98.0	144.8	144.5
		R_2	49.3	49.6	97.7	98.1	144.0	143.8
K_3	A_1	R_1	43.0	42.8	84.5	84.4	125.2	123.8
		R_2	43.5	42.5	85.8	84.3	124.1	123.6
	A_2	R_1	43.8	43.3	86.7	85.5	127.8	126.3
		R_2	43.7	43.4	86.5	85.6	127.6	126.5

表 3 実験結果の補助表

K	A	M_1	M_2	M_3
K_1	A_1	182.4	362.5	533.6
	A_2	180.6	358.1	528.5
K_2	A_1	202.0	395.0	589.4
	A_2	198.2	391.6	577.1
K_3	A_1	171.8	339.0	496.7
	A_2	174.2	344.3	508.2

③ SN比の計算

ゼロ点比例式を適用した場合、標準の非線形誤差が含まれると考え S_{Mres} を誤差分散に入れないでSN比を求めた。

輝度計： K 、視角： A の各組合せごとにSNを求める。

$$S_T = 45.5^2 + 45.7^2 + \dots + 133.3^2 = 112352.05 \quad (f = 12)$$

$$r = 4(50^2 + 100^2 + 150^2) = 140000$$

$$S_\beta = \frac{(182.4 \times 50 + 362.5 \times 100 + 533.6 \times 150)^2}{140000} = 112340.486 \quad (f = 1)$$

$$S_M = \frac{(182.4^2 + 362.5^2 + 533.6^2)}{4} = 112351.243 \quad (f = 3)$$

$$S_{Mres} = S_M - S_\beta = 112351.243 - 112340.486 = 10.757 \quad (f = 2)$$

$$S_e = S_T - S_\beta - S_{Mres} = 112352.05 - 112340.486 - 10.757 = 0.807 \quad (f = 9)$$

$$V_e = \frac{S_e}{f_e} = \frac{0.807}{9} = 0.0897$$

$$\text{SN比 } \eta = \frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_e} = \frac{1}{140000} \frac{(112340.486 - 0.0897)}{0.0897} = 8.95(m^2 / cd)^2 = 9.52(db)$$

・他の水準についても同様にSN比を求めた。結果を表4に示す。

表4 水準ごとのSN比

単位 db

輝度計 視角	K_1 (No1)	K_2 (No2)	K_3 (No3)	平均値
A_1 (0.1°)	9.52	2.43	2.48	4.81
A_2 (0.2°)	12.21	9.94	3.36	8.50
平均値	10.87	6.19	2.92	6.66

この結果から、視角AについてSN比の大きい水準は A_2 (0.2°)であり、 A_2 を標準とした。輝度計Kは K_3 がSN比が小さく、受光素子の劣化が予測され交換修理を行った。

視角 0.2° の時のSN比から誤差の推定値 $\hat{\sigma}^2$ は K_2 の場合

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{\eta(\text{真数})} = \frac{1}{10^{\frac{9.94}{10}}} = \frac{1}{9.86} = 0.101(cd/m^2)^2 \text{ となる。}$$

4) 校正の誤差

輝度計の校正方法は図2に示す透過方式と反射方式があり、どちらを採用すべきか実験を行った。

実験は表5に示す条件で実験を行った。実験の結果、表6の結果が得られ、透過方式の方がSN比が1.3db大きいことから、透過方式を選択した。この時の校正誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_c^2$ は以下の結果が得られた。

$$\hat{\sigma}_c^2 = \frac{1}{\eta_c} = \frac{1}{6.894} = 0.145(cd/m^2)^2$$

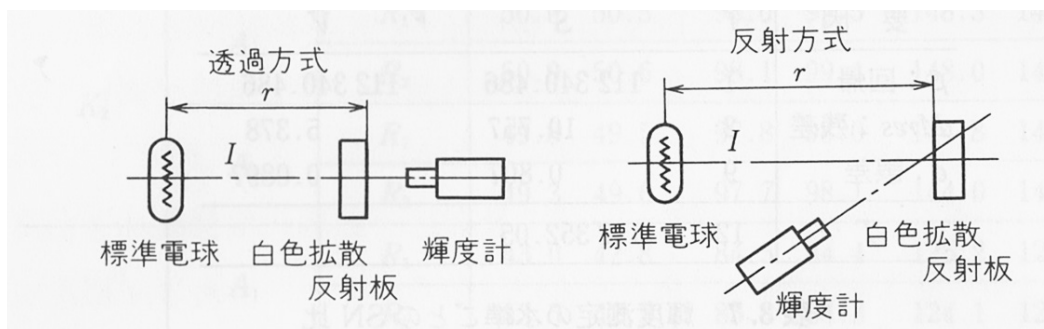


図2 輝度計の校正方式

表5 校正方式選択の実験条件

要因		水準		
制御因子	校正方式	A_1 : 透過	A_2 : 反射	
信号因子	輝度	M_1 : 50cd/m ²	M_2 : 100cd/m ²	M_3 : 150cd/m ²
誤差因子	測定距離*	R_1 : 25cm	R_2 : 50cm	
	繰返し	1回目	2回目	

*輝度計と拡散板との距離

表6 校正方式選択の実験結果

校正方式	η	db 値	S/N比の比較
A_1 : 透過	6.894	8.38	+1.3db
A_2 : 反射	5.106	7.08	基準

5) 輝度測定の不確かさ

輝度測定の総合誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_T^2$ は標準の光度の校正不確かさ σ_o を 0.6% とすると以下となった。

① 輝度計 A_1 の場合

$$\text{総合誤差分散の推定 } \hat{\sigma}_{T1}^2 = \hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_o^2 = 0.06 + 0.145 + 0.6^2 = 0.565(\text{cd/m})^2$$

$$\text{合成標準不確かさ } \sigma_{T1} = \sqrt{0.565} = 0.75(\text{cd/m}^2)$$

拡張不確かさ σ は包含係数 $k=2$ とすると

$$U = k\sigma_T = 2 \times 0.75 = 15(\text{cd/m}^2)$$

② 輝度計 A_2 の場合

$$\text{総合誤差分散の推定 } \hat{\sigma}_{T2}^2 = 0.101 + 0.145 + 0.6^2 = 0.606(\text{cd/m}^2)^2$$

$$\text{合成標準不確かさ } \sigma_{T1} = \sqrt{0.606} = 0.78(\text{cd/m}^2)$$

$$\text{拡張不確かさ } U = k\sigma_T = 2 \times 0.78 = 16(\text{cd/m}^2)$$

2.1.2 自動車部品における長さ測定の不確かさへの GRR の適用事例

1) GRR の概要

ISO/TS 16946 に基づく品質マネジメントシステムの認証制度において、測定システム解析の手法として MSA（測定システム解析）マニュアルがあり、測定のばらつきの評価として GRR（ゲージ R&R）、図 3 に示す、測定の繰返し性(Repeatability)と測定者による測定結果の差の大きさである再現性 (Reproducibility) を合わせて測定システムの繰返し性、再現性 (GRR 又はゲージ R&R) として評価している。

この測定システム解析の結果から得られる GRR は測定のばらつきを定量化する方法の 1 つであり、不確かさに関連している。

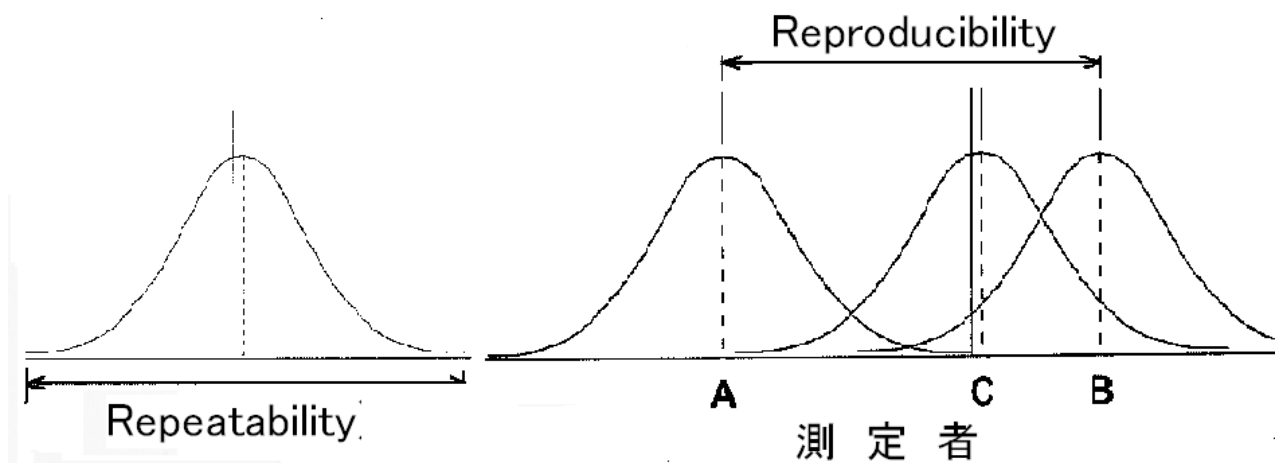


図 3 GRR

2) 平均値－範囲法

MSA では GRR の方法として範囲法、平均値－範囲法、ANOVA 法が示されている。この中から一般的に適用し易い、平均値－範囲法を適用した。

平均値－範囲法は 10 個の測定対象品を 2 名または 3 名の測定者が 2 回または 3 回の繰返し測定を行い、その測定結果から GRR を求める。

測定上注意する点は測定者 A から測定するとき、1 回目の測定値を測定者 B 及び測定者 C の測定時及び 2 回目以降の測定時に見せてはいけない。また 2 回目以降の測定は測定対象の順序をランダムな順序で行う。測定を終了したら、測定対象・測定者毎に平均値と測定値の範囲 (R) 及びその平均値を求めて調査表 (表 7) に記録する。

3) マイクロメータによる外径測定事例

測定対象部品 10 個をサンプリグし、測定者 2 名が 2 回測定した結果を表 7 に記録し、表に示されている平均値、範囲を求め、手順に従って GRR を求める。

$$\text{繰返し性 } EV = \bar{R} \times K_1 = 0.00115 \times 0.8862 = 0.0010$$

$$\text{再現性 } AV = \sqrt{(X_{DEF})^2 - \frac{AV^2}{nr}} = \sqrt{(0.00001)^2 - \frac{0.0010^2}{10 \times 2}} = \sqrt{-0.00000004} \rightarrow 0$$

$$\text{GRR } GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{0.0010^2 + 0^2} = 0.0010 \text{ (mm)}$$

表 7 マイクロメータの外径測定の内 R R

測定者	繰返し	測定対象(外径測定Φ19.02+0.043、+0.022)										平均
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	1回目	19.059	19.045	19.053	19.046	19.054	19.053	19.045	19.048	19.054	19.061	19.0518
	2回目	19.059	19.043	19.053	19.046	19.053	19.054	19.043	19.044	19.051	19.059	19.0505
	3回目											
	平均	19.059	19.044	19.053	19.046	19.054	19.054	19.044	19.046	19.053	19.060	19.0512
	範囲	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.002	0.0015
B	1回目	19.060	19.044	19.054	19.046	19.054	19.052	19.043	19.046	19.054	19.061	19.0514
	2回目	19.060	19.043	19.052	19.046	19.055	19.054	19.044	19.046	19.054	19.060	19.0514
	3回目											
	平均	19.060	19.044	19.053	19.046	19.055	19.053	19.044	19.046	19.054	19.061	19.0514
	範囲	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.0008
平均		19.060	19.044	19.053	19.046	19.054	19.053	19.044	19.046	19.053	19.060	19.0513
		R=(Ra+Rb)/2		0.0011						R _p	0.0165	
		X _{MAX}	19.0514		X _{MIN}	19.0512		X _{DIFF} =X _{MAX} -X _{MIN}	0.0002			
		UCL _R =R*D4									0.0030	
		LCL _R =R*D3=R*0									0.0000	
EV		繰返し性・機器変動: EV=R*K ₁										0.0010
AV		再現性・測定者変動: AV=√(X _{DIFF} *K ₂) ² -(EV ² /nr)										0.0000
GRR		繰返し性・再現性: GRR=√(EV ² +AV ²)										0.0010
PV		部品変動: PV=R _p *K ₃										0.0052
TV		総変動: TV=√GRR ² +PV ²										0.0053
%EV		%EV=100[EV/TV]										19.3%
%AV		%AV=100[AV/TV]										0.0%
%GRR		%GRR=100[GRR/TV]										19.3%
%PV		%PV=100[PV/TV]										98.1%
ndc		ndc=1.41(PV/GRR)										7.182
定数												
	繰返し	2	3		繰返し	2	3		測定者	2	3	
	D ₄	3.27	2.58		K ₁	0.8862	0.5908		K ₂	0.7071	0.5231	
	D ₃	0	0									
					n: サンプル数=10			r: 繰返し数=2				
	サンプル数	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	K ₃	0.7071	0.5231	0.4467	0.403	0.3742	0.3534	0.3375	0.3249	0.3146		

不確かさは GRR の結果と測定に用いたマイクロメータの校正の不確かさ $\hat{\sigma}_c$ 及び校正に用いた標準の不確かさ $\hat{\sigma}_o$ を合成し、合成不確かさの推定値 $\hat{\sigma}_T$ を求める。

$$\hat{\sigma}_c = 0.00063(mm)、\hat{\sigma}_o = 0.00012(mm) とすると$$

$$\hat{\sigma}_T = \sqrt{GRR^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_o^2} = \sqrt{0.0010^2 + 0.00063^2 + 0.00012^2} = 0.0012(mm)$$

拡張不確かさ σ は包含係数 $k=2$ とすると下記の結果が得られた。

$$U = k\hat{\sigma}_T = 2 \times 0.0012 = 0.0024(mm)$$

4) ノギスによる長さ測定事例

ノギスは長さ測定に広く用いられており、部品の長さ (60mm) 測定について、10 個の部品を 2 名の測定者が 2 回繰返し測定を行い GRR を評価した結果を表 8 に示す。

表 8 ノギスによる長さ測定の GRR

測定者	繰返し	測定対象(全長 60 O、-1.5)										平均
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	1回目	59.54	59.11	59.21	59.38	59.50	59.37	59.38	59.37	59.42	59.35	59.3630
	2回目	59.54	59.13	59.26	59.43	59.54	59.35	59.41	59.22	59.34	59.35	59.3570
	3回目											
	平均	59.540	59.120	59.235	59.405	59.520	59.360	59.395	59.295	59.380	59.350	59.3600
	範囲	0.000	0.020	0.050	0.050	0.040	0.020	0.030	0.150	0.080	0.000	0.0440
B	1回目	59.59	59.19	59.27	59.55	59.33	59.33	59.35	59.27	59.36	59.23	59.3470
	2回目	59.35	59.37	59.32	59.35	59.34	59.36	59.34	59.33	59.34	59.35	59.3450
	3回目											
	平均	59.470	59.280	59.295	59.450	59.335	59.345	59.345	59.300	59.350	59.290	59.3460
	範囲	0.240	0.180	0.050	0.200	0.010	0.030	0.010	0.060	0.020	0.120	0.0920
平均		59.505	59.200	59.265	59.428	59.428	59.353	59.370	59.298	59.365	59.320	59.3530
		R=(Ra+Rb)/2		0.0680							R _P	0.3050
		X _{MAX}	59.3600		X _{MIN}	59.3460		X _{DIFF} =X _{MAX} -X _{MIN}		0.0140		
		UCL _R =R*D4										0.1754
		LCL _R =R*D3=R*0										0.0000
EV		繰返し性・機器変動: EV=R*K ₁										0.0603
AV		再現性・測定者変動: AV=√(X _{DIFF} *K ₂) ² -(EV ² /nr)										0.0000
GRR		繰返し性・再現性: GRR=√(EV ² +AV ²)										0.0603
PV		部品変動: PV=R _P *K ₃										0.0960
TV		総変動: TV=√GRR ² +PV ²										0.1133
%EV		%EV=100[EV/TV]										53.2%
%AV		%AV=100[AV/TV]										0.0%
%GRR		%GRR=100[GRR/TV]										53.2%
%PV		%PV=100[PV/TV]										84.7%
ndc		ndc=1.41(PV/GRR)										2.245
定数												
	繰返し	2	3		繰返し	2	3		測定者	2	3	
	D ₄	3.27	2.58		K ₁	0.8862	0.5908		K ₂	0.7071	0.5231	
	D ₃	0	0									
					n: サンプル数=10			r: 繰返し数=2				
	サンプル数	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	K ₃	0.7071	0.5231	0.4467	0.403	0.3742	0.3534	0.3375	0.3249	0.3146		

不確かさは GRR の結果と測定に用いたノギスの校正の不確かさ $\hat{\sigma}_c$ 及び校正に用いた標準の不確かさ $\hat{\sigma}_o$ を合成し、合成不確かさの推定値 $\hat{\sigma}_T$ を求める。

$$\hat{\sigma}_c = 0.0080(mm)、\hat{\sigma}_o = 0.00012(mm) とすると$$

$$\hat{\sigma}_T = \sqrt{GRR^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_o^2} = \sqrt{0.0603^2 + 0.0080^2 + 0.00012^2} = 0.061(mm)$$

拡張不確かさ U は包含係数 $k=2$ とすると下記の結果が得られた。

$$U = k\hat{\sigma}_T = 2 \times 0.061 = 0.122(mm)$$

2.2 圧力センサ、圧力計における GRR 評価と不確かさを考慮した合否判定の事例

2.2.1 はじめに

自動車業界のセクター規格である ISO/TS 16949 では、測定システムの信頼性を評価する方法として要求されている、Measurement System Analysis（測定システム解析:以下 MSA と略す）がある。MSA は測定システムのバラツキを評価する Gage Repeatability and Reproducibility（以下 GRR と略す）と、偏りの評価との二つの評価を行うことにより、測定システムの信頼性を確認するものである。

MSA において GRR は、測定システムのばらつきの大きさにより表 1*¹に示すように測定システムに対する処置の基準が定められている。評価する特性の測定システムのばらつきが、評価する特性の全変動に対して 10%以下であると、特性を評価する測定システムとして許容できる範囲としている。偏りについては、偏りの平均値の標準偏差と信頼水準 95%の範囲を与える係数（包含係数 k と同意義）との積が、偏りの平均値より大きいと偏りの影響は少なく許容されるとしている。

測定の不確かさの評価は、計測機器の校正の不確かさ、測定値のばらつき、測定環境の影響、測定者の影響等から測定のばらつきを評価することであり、MSA の評価で偏りが十分小さい場合は、GRR のばらつきの評価は、測定の不確かさを評価することと、ほぼ同じであるといえる。

偏りが大きく無視できない場合は、計測機器の校正値を基に計測機器を調整するか、測定値の補正をすることで、偏りの影響を小さいレベルにすることができる。

表 1 測定システムの受入基準

GRR	決定	コメント
10%未満	一般に受容れられる測定システムと考えられる。	推奨される、特に部品の合否判定、きつい工程管理を行う場合に有用である。
10%以上～30%以下	ある適用に対して、受容れられることがある。	決定は、例えば、適用の重要性、測定装置のコスト、修理コストに基づいて行い、顧客に承認されるべきである。
30%超	受容れられない	測定システムのあらゆる改善努力を行うべきである。 この状態は、適切な測定方法で対処してもよい。例えば、測定変動を小さくするため、同じ部品特性の繰り返し測定値の平均値を用いる等。

* 1 MSA スタディガイド: 株 ジャパン・プレクサス発行

ここでは、MSA の中で、測定の不確かさに大きく寄与する可能性が高い、測定システムのばらつきに関する評価を行う GRR の評価例と、不確かさを評価して不確かさを考慮した合否判定を行った事例を報告する。

2.2.2 GRR 評価事例

1) マイクロメータによる外径測定

圧力センサの検出部を構成する部品の外径寸法を、マイクロメータで測定する検査システムの評価を行った事例を示す。

規格値 : 5.45 mm ±0.05 mm

- a) マクロメータによる外径測定データ（試料 10 個を 1 個のマイクロメータで 3 人別々に測定し、測定を 3 回繰り返す）を表 2 に示す。

表 2 マイクロメータによる外径測定の測定結果

Gage Repeatability and Reproducibility Data Collection Sheet											[[マイクロメータ(外形φ5.45±0.05mm)]]	
測定者/試行数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	
測定者A	1	5.441	5.442	5.443	5.448	5.450	5.436	5.444	5.446	5.438	5.442	5.4430
	2	5.443	5.442	5.443	5.449	5.450	5.439	5.442	5.447	5.439	5.442	5.4436
	3	5.442	5.443	5.444	5.448	5.451	5.438	5.444	5.447	5.438	5.442	5.4437
Average		5.4420	5.4423	5.4433	5.4483	5.4503	5.4377	5.4433	5.4467	5.4383	5.4420	\bar{X}_a = 5.4434
Range		0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	R_a = 0.0013
測定者B	1	5.442	5.443	5.442	5.448	5.451	5.437	5.442	5.446	5.438	5.443	5.4432
	2	5.443	5.443	5.444	5.448	5.450	5.438	5.443	5.446	5.438	5.442	5.4435
	3	5.442	5.442	5.443	5.448	5.451	5.438	5.444	5.447	5.439	5.441	5.4435
Average		5.4423	5.4427	5.4430	5.4480	5.4507	5.4377	5.4430	5.4463	5.4383	5.4420	\bar{X}_b = 5.4434
Range		0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	R_b = 0.0012
測定者C	1	5.442	5.442	5.442	5.448	5.450	5.437	5.442	5.446	5.439	5.443	5.4431
	2	5.442	5.441	5.443	5.448	5.450	5.438	5.444	5.445	5.438	5.442	5.4431
	3	5.442	5.442	5.443	5.447	5.451	5.437	5.444	5.446	5.439	5.442	5.4433
Average		5.4420	5.4417	5.4427	5.4477	5.4503	5.4373	5.4433	5.4457	5.4387	5.4423	\bar{X}_c = 5.4432
Range		0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	R_c = 0.0010
Part												\bar{X} = 5.4433
Average		5.4421	5.4422	5.4430	5.4480	5.4504	5.4376	5.4432	5.4462	5.4384	5.4421	R_p = 0.0129

- b) 外径マイクロメータの GRR 計算評価の計算シートを表 3 に示す。

表 3 外径マイクロメータの GRR 計算シート

Gage Repeatability and Reproducibility Report				[[マイクロメータ(外形φ5.45±0.05mm)]]			
部品名: 圧力センサ		ゲージ名: マイクロメータ		日付:			
特徴: 外形φ5.45		ゲージ番号: EAIE-007		実行者:			
仕様書: 18091341EA		ゲージタイプ: 寸法					
データシートから:							
\bar{R}	0.0012	$\bar{\Sigma}_{DIFF}$	0.0003	R_p	0.0129		
測定単位分析				%プロセス変化			
繰返し性-機器変化(EV)				%EV = 100[EV/TV]			
EV = $\frac{\bar{R}}{K_1} \times K_1$							
K ₁ = 0.5908							
EV = 0.0006893				%EV = 4.14 %			
再現性・評価者変化(AV)				%AV = 100[AV/TV]			
AV = $\sqrt{[(\bar{\Sigma}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / nr)]}$							
部品数 n = 10				%AV = 0.36 %			
試行数 r = 3							
K ₂ = 0.5231							
※平方根の中が負になる場合、測定者変動(AV)は“0”とする。							
AV = 0.00006				n = 部品数			
				r = 試行数			
繰返し性と再現性(RR)				%GRR = 100 × [GRR/TV]			
GRR = $\sqrt{(EV^2 + AV^2)}$				%GRR = 4.2 %			
GRR = 0.0006919							
部品変化(PV)				%PV = 100[PV/TV]			
PV = $\sqrt{(TV^2 - GRR^2)}$							
PV = 0.01665				%PV = 99.91 %			
全変化(TV)							
TV = 許容差 / 6							
TV = 0.01667				ndc = 1.41(PV / GRR)			
許容公差幅: 0.1				ndc = 33			

%GRR は、4.2%と 10%以下なので、この外径測定のマイクロメータ及び測定者は受容られる。

全変化 TV は、仕様に対する適合、不適合を判断する製品管理の場合は、公差に基づいて決定する。工程の安定性、傾向及び工程変動への適合性を判断する場合、TV は工程能力に基づいて決定する。

2) 工具顕微鏡による内径測定測定

圧力センサのケース内側に加工された穴の内径を、工具顕微鏡で測定する検査システムの評価を行った事例を示す。

規格値：φ10.4±0.05

a) 工具顕微鏡による穴の内径測定の測定データ（試料10個1台の工具顕微鏡でを3人別々に測定し、測定を3回繰り返す）を表4に示す。

表4 工具顕微鏡による穴の内径測定結果

Gage Repeatability and Reproducibility Data Collection Sheet											[[工具顕微鏡(外形φ10.4±0.05)]]	
測定者/試行数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	
測定者A	1	10.377	10.395	10.420	10.401	10.407	10.408	10.413	10.412	10.402	10.421	10.4056
	2	10.377	10.395	10.418	10.398	10.408	10.406	10.410	10.410	10.404	10.420	10.4046
	3	10.378	10.394	10.419	10.401	10.410	10.410	10.412	10.410	10.404	10.418	10.4056
Average	10.377	10.395	10.419	10.400	10.408	10.408	10.412	10.411	10.403	10.420	\bar{X}_a	10.40527
Range	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.003	R_a	0.0024
測定者B	1	10.378	10.395	10.418	10.397	10.406	10.410	10.412	10.413	10.403	10.418	10.405
	2	10.377	10.395	10.418	10.398	10.410	10.409	10.411	10.411	10.403	10.419	10.4051
	3	10.378	10.394	10.420	10.399	10.408	10.410	10.415	10.411	10.405	10.420	10.406
Average	10.378	10.395	10.419	10.398	10.408	10.410	10.413	10.412	10.404	10.419	\bar{X}_b	10.40537
Range	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.001	0.004	0.002	0.002	0.002	R_b	0.0021
測定者C	1	10.378	10.393	10.423	10.405	10.408	10.412	10.412	10.412	10.403	10.422	10.4068
	2	10.378	10.394	10.421	10.402	10.406	10.411	10.414	10.411	10.403	10.424	10.4064
	3	10.375	10.396	10.417	10.400	10.411	10.410	10.410	10.412	10.402	10.420	10.4053
Average	10.377	10.394	10.420	10.402	10.408	10.411	10.412	10.412	10.403	10.422	\bar{X}_c	10.40617
Range	0.003	0.003	0.006	0.005	0.005	0.002	0.004	0.001	0.001	0.004	R_c	0.0034
Part											\bar{X}	10.4056
Average	10.377	10.395	10.419	10.400	10.408	10.410	10.412	10.411	10.403	10.420	R_p	0.042889

b) 工具顕微鏡による穴の内径測定の GRR 計算シートを表5に示す。

表5 工具顕微鏡による穴の内径測定 GRR 計算シート

Gage Repeatability and Reproducibility Report				[[工具顕微鏡(外形φ10.4±0.05)]]	
部品名: KA52		ゲージ名: 工具顕微鏡		日付: 2006.11.20	
特徴: 外形φ10.4±0.05		ゲージ番号: RR5040		実行者: 海瀬, 赤穂, 根石	
仕様書: 007-V40-127B		ゲージタイプ: 寸法			
データシートから:				\bar{R}	0.002633
				σ_{DIFF}	0.0009
				R_p	0.042889
測定単位分析			%プロセス変化		
繰返し性-機器変化(EV)			%EV = 100[EV/TV]		
EV = $\bar{R} \times K_1$					
$K_1 = 0.5908$					
EV = 0.001556			%EV = 9.33464 %		
再現性-評価者変化(AV)			%AV = 100[AV/TV]		
AV = $\sqrt{[(\sigma_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / nr)]}$					
n = 10			%AV = 2.252696 %		
r = 3					
$K_2 = 0.5231$					
※平方根の中が負になる場合、測定者変動(AV)は"0"とする。					
AV = 3.75E-04			n = 部品数		
			r = 試行数		
繰返し性と再現性(RR)			%GRR = 100 × [GRR/TV]		
GRR = $\sqrt{(EV^2 + AV^2)}$			%GRR = 9.6 %		
GRR = 0.0016					
部品変化(PV)			%PV = 100[PV/TV]		
PV = $\sqrt{(TV^2 - GRR^2)}$					
PV = 0.01659			%PV = 99.54 %		
全変化(TV)			ndc = 1.41(PV / GRR)		
TV = 許容差 / 6			ndc = 14		
TV = 0.016667			許容公差幅: 0.1		

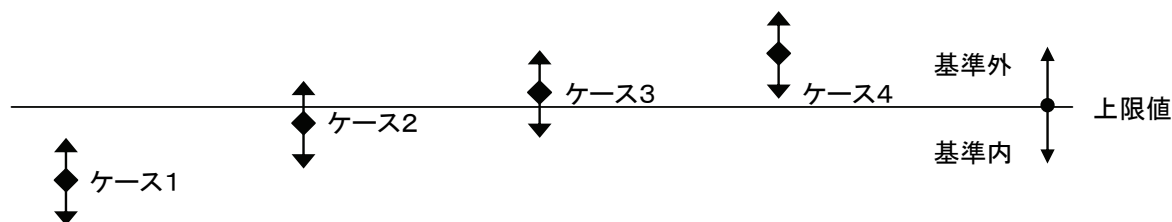
%GRRは、9.6%と10%以下なのでこの工具顕微鏡及び測定者は受容られる。

2.2.3 不確かさを考慮した合否判定の事例

GRR を評価し、測定の不確かさを小さくできなくても、測定の不確かさが製品個々に評価できる場合は、ILAC G8:2009 Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification (国際試験所協力機構 仕様への適合性の評価及び報告に関する指針) で示されている不確かさを考慮した合否判定基準で、製品の合否判定を行うことにより信頼性の高い合否判定を行うことが出来る。また、JIS B 0641-1 製品の幾何特性仕様 (GPS) - 製品及び測定装置の測定による検査 - 第 1 部 : 仕様に対する合否判定基準 でも同じ判定基準で合否判定している。

1) 合否判定基準への不確かさの反映

合否判定の基準 ILAC G8 : 2008 の合否判定の基準は、測定値、不確かさ、合否判定基準の関係をケース 1 ~ 4 までに分類し、判定の指針を示している。この判定指針を図 1 に示す。



ケース 1 : 製品の適合を宣言できる。

ケース 2 : 製品の適合は宣言できない。しかし、信頼水準 95%以下が容認できるのであれば適合の宣言は可能かも知れない。

ケース 3 : 製品の不適合は宣言できない。しかし、信頼水準 95%以下が容認できるのであれば不適合の宣言は可能かも知れない。

ケース 4 : 製品の不適合を宣言できる。

図 1 ILAC G8 仕様への適合判定の基準 (上限値付近)

2) 測定の不確かさを考慮した合否判定の事例

測定値および測定値の不確かさを考慮した合否判定の例として、圧力計の校正結果を基にして不確かさを評価したバジェット表を表 6 に、校正値、不確かさ、許容範囲の関係を図 2 に示す。

表 6 圧力計の校正結果と不確かさの評価例

表示値(MPa)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
標準器の不確かさ(kPa)	0.0079	0.0125	0.0185	0.0246	0.0308
繰り返し性(kPa)	0.15	0.12	0.15	0.1	0.12
校正環境による不確かさ(kPa)	0.15	0.16	0.17	0.19	0.21
表示分解能(kPa)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
標準不確かさ(kPa)	0.36	0.35	0.37	0.36	0.38
拡張不確かさ(kPa)	0.72	0.70	0.74	0.72	0.75
校正値 (昇圧) (MPa)	0.4000	0.7990	1.1990	1.6000	2.0010
校正値(降圧)(MPa)	0.3995	0.7980	1.1975	1.5990	2.0010
合格範囲(MPa)	0.4±0.005	0.8±0.005	1.2±0.005	1.6±0.005	2.0±0.005

図 2 に示すように校正結果は、不確かさを加味しても、校正値は、圧力計の公差範囲内であるので、圧力計の合否判定は合格となる。

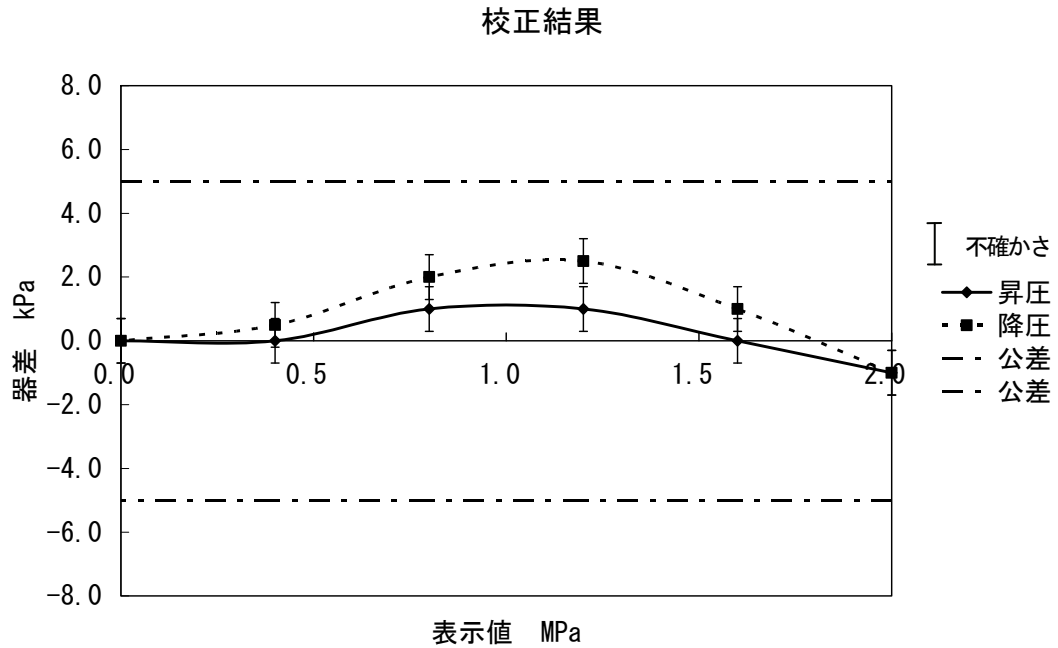


図 2 圧力計の校正結果と不確かさ

2.2.4 まとめ

測定システムのバラツキを評価する GRR が全変動の 10%以下であれば、製品の評価する上で十分小さな不確かさであることと GRR の評価例を紹介した。測定の不確かさを測定毎に評価することは、大きな負担となる。しかし、GRR、偏りを最初に評価して、不確かさが無視できる範囲にすることができれば、測定毎に測定の不確かさを評価しなくても、測定の不確かさの影響が小さい信頼性の高い合否判定ができることになる。

GRR の評価は、信頼性が高い合否判定、工程変動の判定に有益な手法である。一方、GRR を小さくできない場合は、不確かさを評価して合否判定を行うことにより、信頼性の高い判定ができる。測定システムの安定性、コスト、重要性を考慮して、合否判定に用いる測定システムを評価し、合否判定基準を決定することが大切と考える。

2.3 製品合否判定への不確かさ（精度）の反映

生産の現場で使用されている計測器は、計測器の管理幅の中にあることを定期的に校正し、確認している。“精度”で表され、キチンと管理された（リスクを考慮し合否判定を実施した）計測器であれば、精度（許容差＝管理幅）は最悪のばらつき幅と考え（詳細はGUM参照）この結果を不確かさとして使用することも可能である。

重要なことは、その測定プロセスにおける測定の不確かさ（特に測定機器の校正の不確かさ）が、製品品質の判定に影響を与えるか否かを判断し、無視できないならばその対策を講じることである。対策の一例として、「1.3 製品検査基準と4：1理論について」で「測定対象の精度（仕様）」と「その測定に使った計測器の精度」の比率から影響の大きさがわかるので、この影響の大きさにあわせて測定対象の精度（仕様）の合格判定基準を設けることで製品規格への適合性を表明する方法を紹介した。

以下に精度比を利用して合否判定基準を設定する具体例を紹介する。

◆事例1 金型の寸法測定 (A %FS)

加工精度が±0.18mmを要求している金型がある。その金型の寸法をノギスで測定し、正しく出来ていることを確認したい。金型の測定寸法は、50 mm、75 mm、100 mm の3箇所。ノギスの精度は0.03 mm。それぞれの検査規格をどのように設定するか？

金型の要求精度：0.18mm
 ノギスの精度：0.03mm
 精度比：0.18 対 0.03＝6 対 1
1.3の図3 にて、ガードバンドファクタ：0.84 であることから
 製品精度の0.84 ⇒0.18mm×0.84＝0.15mm が合否判定基準となり、
検査基準：50mm±0.15mm
75mm±0.15mm
100mm±0.15mm 以内 ならば合格と判定できる。

測定点	要求精度	計測器精度	精度比	(K) 合否判定基準	
50 mm	0.18 mm	0.03 mm	6:1	0.84	±0.15 mm
75 mm	0.18 mm	0.03 mm	6:1	0.84	±0.15 mm
100 mm	0.18 mm	0.03 mm	6:1	0.84	±0.15 mm

◆事例2 デジタルマルチメータによる抵抗値測定 (A %Reading + B Counts)

① 計測器（デジタルマルチメータ）の精度：0.005%Reading + 0.0005Ω

② 製品（固定抵抗）の精度：0.02%

①の精度で測れるデジタルマルチメータを使い、②の製品（固定抵抗）を出荷検査する。

そのときの測定点は100Ωで、リスク2%として合否判定基準を設定するとき、この製品は100±何Ωならば出荷できるか？

この例で精度比を算出する為には、計測器の精度 $0.005\%rdg+0.0005\Omega$ と製品精度 0.02% の単位を同じにする必要があり、単位 Ω で精度比を算出することとする。

測定点：100 Ω
 製品精度： $100 \times 0.02 \times 0.01 = 0.02 \Omega$
 計測器精度： $0.005 \times 0.01 \times 100 + 0.0005 = 0.0055 \Omega$
 製品精度と計測器精度の比（精度比）： 0.02Ω 対 $0.0055 \Omega = 3.6$ 対 1
1.3 の図 3 にて、精度比 3.6 のガードバンドファクタ：0.73 であることから
 製品精度の $0.73 = 0.02 \Omega \times 0.73 = 0.0146 \Omega$ が合否判定基準となり、
検査基準：100 $\Omega \pm 0.015 \Omega$ 以内ならば合格と判定し出荷できる。

測定点	製品精度 抵抗 0.02%	計測器精度 $0.005\%rdg+0.0005\Omega$	精度比	(K)	合否判定基準
100 Ω	0.02 Ω	0.0055 Ω	3.6 :1	0.73	$\pm 0.015 \Omega$

実際の現場では精度比 4 : 1 を満足しない場合もあるので、そのような場合の対応事例を紹介する。

◆事例3 精度比 4 : 1 を満足しない場合の対応事例

製品の精度：最小レンジで、 $\pm 10 \mu V$ を要求されている。

検査規格（合否判定基準）は $\pm 8 \mu V$ に設定した。

試験器の自己診断の規格： $0 \pm 2.5 \mu V$ に設定。

⇒これにより、製品精度：試験器の自己診断仕様= $10 \mu V : 2.5 \mu V = 4 : 1$ に設定している。

しかし、使用する計測器（デジタルマルチメータ）の仕様は $\pm (0.5+3.5) \mu V$ 。

このまま使用すると精度比が $10 : 4 = 2.5 : 1$ になってしまう。

また、試験器の自己診断で $0 \pm 2.5 \mu V$ の設定に対し、 $\pm (0.5+3.5) \mu V$ の計測器ではエラーになってしまう！！

対応策として、計測器の定期校正時に、計測器の仕様は $\pm (0.5+3.5) \mu V$ であるが、

$\pm (0.5+1.0) \mu V$ 以下にゼロ点補正し、 $\pm 1.5 \mu V$ 以下に校正することとした。

これにより、調整精度・その他の誤差を含め、試験器の精度を $\pm 2.5 \mu V$ 以下とし、精度比 4 : 1 以上を維持している。

このように精度比とリスクから合否判定基準を決めることにより製品検査における計測を管理された状態にすることが大切であり、規格への適合性を確実に表明できるようになるのである。

計測器の仕様書や取扱説明書に記載される「精度」は、計測器の能力を表す数値であって、測定結果の信頼性を表す不確かさとは、意味合いや使用される目的が異なる。製造プロセスで使用される計測器で影響する要因や影響の程度を把握し、不確かさを算出して測定結果の信頼性を保証することは容易ではない。実際の製造プロセスで使用される計測器は許容差内であることを定期的に確認しているので、精度を使用して要求する測定レベルを満たすことが出来るのであれば、「不確かさ」よりも「精度比」を使う方が安全で便利である。

2.4 医療用リニアックの校正の不確かさの低減によるがん治療の信頼性向上

-不確かさの低減による産業の高度化-

2.4.1 背景

厚生省発表の平成 23 年(2011 年)人口動態統計の年間推計によると平成 22 年の日本における日本人の死因第一位は悪性新生物、いわゆるがんである。死亡者が 1,197,012 人中の 353,499 人ががんで死亡しており、その割合は 3 割を超える。およそ 3 人に 1 人である。この割合は年々増えていっており、がん患者数そのものも増加の傾向にある。がんは現代の日本では、だれにとっても身近な脅威のひとつであると言える。

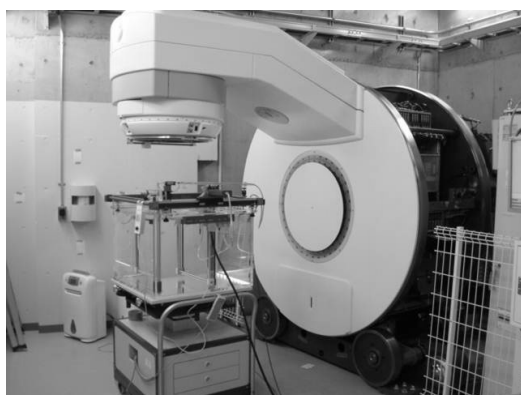
そのがんの三大治療療法と言われているのが、外科療法、化学療法、放射線療法である。外科療法とはいわゆる手術によりがん細胞を切除する治療法で、化学療法は抗がん剤の投与による方法である。放射線療法は X 線などの放射線を照射することでがん細胞の活動を抑制する治療法である。外科療法による治療が日本ではがん治療全体の 1/2~2/3 ほどとされるが、外科療法のみによりがん治療が行われるわけではなく、実際にはいくつかの療法を組み合わせることで治療計画を立てることで、効果的ながん治療を狙うことは多い。例えば、乳がんなどでは外科療法による手術後に、再発予防の放射線療法が用いられることもある。

放射線療法は放射線治療の方が外科療法よりも高い治療効果があると言われているがんや、外科療法が不可能な脳などに生じるがんで使用されるということもあるが、比較的早期のがんで、治療部位の機能や形態を温存させたいときに行われるというイメージが一般的だろう。実際に、早期の舌がんや喉頭がんで放射線治療は最初の選択肢になることが多い。早期の喉頭がんであれば、45 日程度のうちに、30 回前後放射線の照射を行うという治療計画が実施され、治癒に至るとするのが典型的なモデルケースとなる。(上記のとおり、化学療法と併用されることもある。)このケースでは、副作用を放射線が照射された箇所の炎症程度で抑えることができ、重篤な後遺症はほとんどなく、もとの声に回復すると言われている。一方で切除手術を行った場合では、声帯が切除範囲に入れば、ある程度の声がれは避けられず、また切除範囲によってはものを誤って気管に飲み込みやすくなり、肺炎などのリスクが高まることも指摘されている(この後遺症が予想される場合は、一定の訓練が行われるとのこと)。

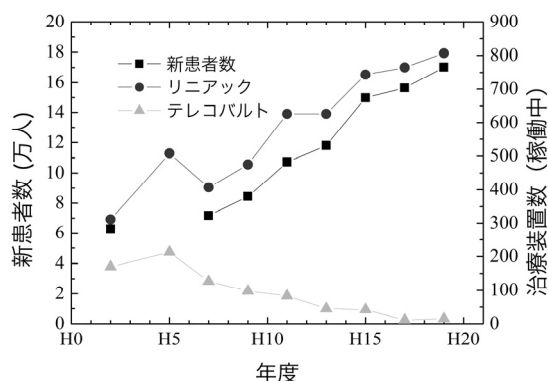
さらに副作用を小さくしようとする試みも盛んである。特に近年は、コンピュータによる計算によって腫瘍部分のみに強い照射を行い正常細胞への照射をなるべく抑える強度変調照射法や、多方向から放射線を放射し腫瘍部分のみに放射線を集中させる定位放射治療などに代表される照射技術の向上により、さらに小さい副作用の治療が期待されるようになってきている。

上記のように小さい副作用が期待できる放射線治療は近年さらに注目を集めている。放射線治療器にはいくつかの種類がある。現在もっともよく用いられているものはリニアックあるいはライナックと呼ばれるタイプのものである。がん治療のためには強力な放射線が必要になり、それを実現するためには大きな電圧をかけてまず電子を加速する機構が必要になる。リニアックはリニア・アクセラレータ(線形加速器)を意味している。これは一直線上に電圧をかけ小型加速器によって電子を加速し、ターゲットの金属に当てることで透過力の強い高エネルギー強力な X 線を得る機構である。他にもテレコバルトと呼ばれる放射性同位元素を利用した方式も旧来からあるが、これに比べても放射線を発生するなどの利点がある。図 1a に産業技術総合研究所計測標準研究部門に導入された ELEKTA 社製の医療用リニアックを示す。これは実際に医療現場で用いられているものと同じタイプのものである。図 1b に示すように、テレコバルト装置に代わり、

リニアックの治療装置の普及は近年ますます進んでいる。それに伴って、患者数も増加し、平成19年の段階で17万人ものがん治療に利用されている。患者数が多い医療機関では一日に70、80人に治療を実施しているとのことである。



(a)



(b)

図1 (a) 産業技術総合研究所計測標準研究部門に導入された ELEKTA 社製の医療用リニアック (産業技術総合研究所計測標準研究部門量子放射科放射線標準研究室ホームページ¹⁾より引用)、(b) 国内における放射線治療を受けた患者数と放射線治療装置の推移 (産業技術総合研究所量子放射科放射線標準研究室 清水研究員より提供)

さて、照射の制御方法が高まれば高まるほどにある問題が浮上してくる。それは患部に吸収された放射線の量の正しさである。コンピュータ上で正しいとされた投与線量を入力し、治療を実施したとしても、実際に照射される値が想定よりも大きければ、予想される以上の副作用をもたらす可能性が高くなり、想定よりも小さければ、十分な治療の効果が望めない可能性がある。このために投与線量のさらなる精度の向上が求められている。

精度の更なる向上のために、計量標準の立場からも、より精密な校正を行うことが求められつつある。現在の医療用リニアックによる投与線量の不確かさは5%程度である。ちなみに、喉頭がんの再発率を例にすると、投与線量の不確かさ5%というのは、10%程度の再発率のばらつきに相当する。上記のような制御の手法が精密になればなるほどに、校正もそれに合わせ精密に行うことは重要な意味を持つ。今後、ますます校正の不確かさの低減を求める声は大きくなることが予想される。産業技術総合研究所計測標準研究部門量子放射科放射線標準研究室 (以下、産総研放射線標準研究室) では、標準供給の方法をドラスティックに変更することで、投与線量の不確かさを2%程度に低減することを当面の目標としている。これは再発率に置き換えると5%程度ということになる。

本報告書では、産総研放射線標準研究室の不確かさの低減を更なる医療用リニアックによる治療の効果の拡大につなげようとする取り組みを紹介する。2.4.2項では計量計測トレーサビリティとその不確かさについて説明し、どのように校正が行われ、何が大きな不確かさ要因になっているかについて述べる。2.4.3項ではその不確かさを低減するための産総研放射線標準研究室の試みについて解説する。2.4.4項でこの報告を簡単にまとめる。

2.4.2 計量計測トレーサビリティと不確かさ

不確かさの定量化のためには国家標準または国際標準へのトレーサビリティの確保が肝要である。図2に一般的なトレーサビリティの体系図を示す。各医療機関のリニアックは放射線量を測定する線量計を仲介器にして、医療機関ごとに持つレファレンスの線量計と値を校正することが行われる。この校正は毎日～1週間に1回程度行われる。また、医療機関ごとのレファレンス線量計も校正をしなければならない。この線量計は医用原子力技術研究振興財団のもつ標準器と値を比較する。この校正は一年に一度程度のペースで行われる。さらに医用原子力技術研究振興財団の標準器はおよそ二年に一回、産業技術総合研究所計量標準総合センターの校正を受けている。このようにしてトレーサビリティが実現され、不確かさの定量的な表現を実現している。

この校正における大きな不確かさの要因を低減することによって、より精度の高い照射を実現することができる。校正においては、「電離箱」と呼ばれる装置を用いる。これは空气中に放射線を通すと、放射線のエネルギーにより空気分子がイオン化することに着目し、電離箱内に発生する電荷を電位計によって計測することで放射線の強度を測定する機器である。これは電荷を測定しているのであって、放射線のエネルギーを直接測定できていないわけではない。電荷がきちんと測定できているかどうかの確認は技術的にはそれほど難しくない。医用原子力技術研究振興財団のホームページ²⁾にあるように電位計は一日二回の計測を行いその信頼性を確認している。実は大きな不確かさの要因になっているのは、この電気量から人間が吸収するだろう放射線のエネルギーへの変換であるということが不確かさの解析の結果明らかになっている。

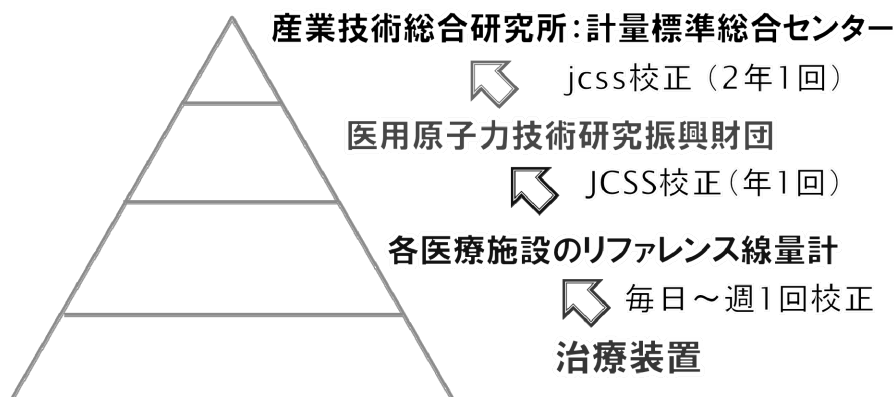


図2 トレーサビリティ体系図

一般に、人体の吸収する放射線のエネルギーについてどのように考えられているかという、水がどのくらい放射線のエネルギーを吸収するかと同じ程度であるとの前提のもとに治療を行うのが一般的である。放射線をどのくらい吸収するかは放射線がどのくらいの密度のものを通過するかのみほとんど依存する。X線実験装置からの被ばくを防ぐために鉛のシールドが使われるのは、鉛が放射線を止める特別な性質を持っているというよりも、むしろその重さのためである。さて、人体への照射に話を戻すと、その部位によって、吸収線量は変化する。水の密度に対して骨はやや重く1.8倍程度、筋肉はほとんど水と同じ程度、脂肪は逆に0.9倍程度である。筋肉質の人がプールで水に沈み、脂肪の割合が多い人がプールに浮くことから人間の密度はおおよそ水と同じ程度であることが分かるだろう。さて、空気の密度はというと水の実に千分の一である。いかにかけ離れたもので校正を行おうとしているか分かるだろう。

上記の2つの問題、「エネルギーではなくて電位を計っている」ことと、「あまりに性質の異なるものを媒介にして校正している」ということが、大きな不確かさの要因を作っている。

2.4.3 不確かさの低減に向けて

産総研放射線標準研究室では、一定以上の密度の物質が放射線から吸収するエネルギーを直接測定することにより、不確かさを低減することを試みている。ここで「一定以上の密度の物質」などという遠回しな言い方をしたのは、それが残念ながら水ではないからである。水に放射線を当てて、そのエネルギーを測定する試みも海外では行われている例はあるが、技術的には困難が大きい。水にエネルギーを与えるということは、水に熱を与えるということである。水に熱を与えるとお湯になる。お湯の密度は冷水よりも小さいために、暖められたお湯は冷水に浮かぼうとする。すると位置が入れ替わって、今度は冷水にエネルギーを与えることになる。その冷水も暖められてお湯になる。このようにして起きる水の流れを対流と呼ぶ。エネルギーの測定とはすなわち温度差の測定であるが、対流が起きることによって、どの部分の温度差をどう測定するのが、吸収エネルギーを代表するものとしてふさわしいか難しいという問題が起こる。

これを防ぐためには固体に吸収されたエネルギーを測定すればよい。ただし、固体の場合には今度は熱エネルギーがきれいな結晶構造を壊してしまうことがある。これはエネルギーが物質の温度の上昇以外のことに使われることを意味しており、やはり放射線により与えられたエネルギーを測定するには困難がある。このため、産総研放射線標準研究室では、結晶構造が壊れにくい固体であるグラファイトをターゲットに選んだ。図3にグラファイトカロリメータの写真と断面図を示す。

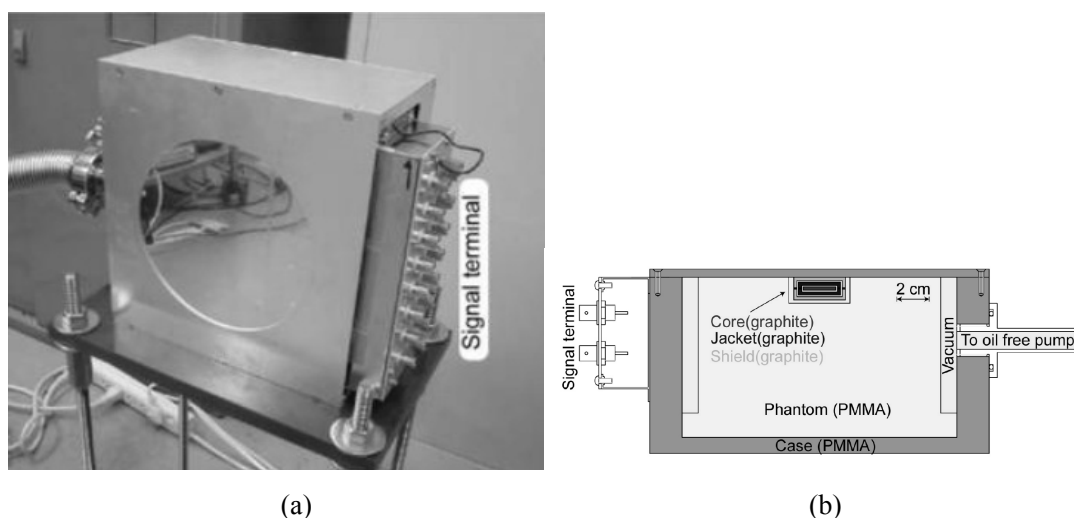


図3 グラファイトカロリメータの(a) 写真、および(b) 断面図（産業技術総合研究所量子放射線標準研究室 清水研究員より提供）。断面図の上方向から放射線が入射し、コア（Core）の吸収熱量から吸収線量を求める。

もちろん、このような試みは決して簡単なものではない。どうして従来から、グラファイトを用いた校正が行われてこなかったかという点、簡単に言えば実現ができなかったからである。例えば、温度測定の問題がある。喉頭がんでの標準的な吸収線量であれば、500 ml のペットボトルの水がわずかに 0.03 °C 上昇するのみである。いかに精密な測定が必要か分かるだろう。ちな

みに、グラフィットは同じ熱量を与えられたときに水よりも温度の上昇率が高いことも知られている。グラフィットを用いると水で試験するよりも同じ吸収線量であれば、大きな温度差を計測することができ、計測が容易であることもグラフィットが選ばれた理由である。その他にも、グラフィットから水の吸収線量への変換に際してはこれまでのノウハウがなく、ち密な実験と計算による検討が必要になるなどの点でいくつかの難しさがあった。産総研放射線標準研究室での研究的取組によりこれらの困難を克服しつつあり、近年中の標準の整備が期待されている。

2.4.4 まとめ

日本人の3人に1人が罹るがんの治療において、その三大治療法のひとつである放射線治療は、その副作用の小ささから着目を浴び、その代表的な治療器であるリニアックの普及台数、また患者数ともに上昇していく傾向にある。さらに、放射線の制御技術が複雑化し、高度なリスク管理が実施される中、リニアックから発生する放射線強度の不確かさはがんの再発率に置き換えると10%ほどあり、この低減が求められるようになってきた。このためにはこれまで電離箱で行ってきた電荷に基づく校正方法を、エネルギーの直接測定による方法に変更することが有用である。産総研放射線標準研究室ではグラフィットの温度差を測定することにより、放射線の線量を校正する方法に着目し、様々な課題を克服しつつ、近い将来の標準の供給につなげようとしている。

謝辞ならびに注記

この報告は産業技術総合研究所計測標準研究部門量子放射科放射線標準研究室 清水森人研究員とのインタビューならびに同研究員からの提供資料を基に作成しました。清水研究員の多大なるご協力に深く感謝いたします。この報告の責は日本計量振興協会の産業における不確かさの活用委員会の負うところであり、産業技術総合研究所ならびに清水研究員に負うところはありません。

参考文献

- 1) 独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門量子放射科放射線標準研究室ホームページ、“医療用リニアックからのX線・電子線計測技術の開発”、<http://www.nmij.jp/~quant-rad/xg/study/liniac/linac.htm> (2012年1月29日最終確認)。
- 2) 財団法人医用原子力技術研究振興財団ホームページ、“放射線治療品質管理”、http://www.antm.or.jp/03_activities/0213.html (2012年1月29日最終確認)。

2.5 電気部品生産における消費者リスクと検査規格について

不確かさ活用の取組みとして、電気部品生産における「MSA を用いた全数検査工程への応用により消費者リスク一定の全数検査を実現」の事例を紹介する。

(MSA : Measurement Systems Analysis)

ISO/TS16949(旧QS-9000)では、適切な統計的手法を活用して測定システムを分析することを要求しており、関連マニュアル『MSA(Measurement Systems Analysis)』において具体的な分析方法や合格基準が示されている。消費者リスクCR (Consumer's Risk) の定義は、検査測定後に製品規格内の合格品と判定した中に、製品規格外の不合格品が混在する確率である。また、生産者リスクPR (Producer's Risk) の定義は、検査測定後に製品規格外の不合格品と判定した中に、製品規格内の合格品が混在している確率である。

製品を全数層別する検査工程では、生産ロット毎に平均値や標準偏差が変わっている。しかし、検査工程の検査規格は固定であり、消費者リスクや生産者リスクが日々、変化しているにも拘らず、定量的に把握できていない。特に消費者リスクはきちんと把握し、一定レベルを保証したい。

製品規格は一定であり、層別前に平均値、標準偏差、GRR 等を把握することができれば消費者リスクを一定レベル以下にすることができる。そのためには、GRR を簡単に精度よく求める必要がある。(GRR : Gage Repeatability and Reproducibility)

解決策として、消費者リスク一定の全数検査を実現するために3つのツールを作成した。

- ① SMDP (Search MSA's Data Program)
測定ばらつきの標準偏差 (GRR) を求めるプログラム
- ② CPRP (Consumer and Producer Risk Program)
消費者リスクと生産者リスクを求めるプログラム
- ② CRFP (Consumer Risk Fixed Program)
指定した消費者リスクになるよう検査規格を設定するプログラム

これにより、生産ロット毎に平均値、標準偏差、消費者リスク、生産者リスク、良品率、測定システムのGRRが解り、合否判定の規格を変えることで消費者リスクをコントロール可能(一定水準以下に管理可能)とした。

2.5.1 消費者リスクを求めるために必要な要素

測定システムの消費者リスクと生産者リスクを決定するためには下記の5つの要素を決める必要がある。

- ① 製品規格
- ② 検査規格
- ③ 測定システムの不確かさの標準偏差
- ④ 製品ロットのばらつきの標準偏差
- ⑤ 製品ロットの平均値

上記の①～⑤の要素は、個別の製品ごとにより異なっているため汎用性に欠けている。このため、汎用性を高めるために工程能力指数 C_p 、精度比(TUR: Test Uncertainty Ratio)、ガードバンドファクタ K 、製品ロットの平均値の製品規格中心からのズレの大きさ ΔF を

用いて上記①～⑤の項目を表現する。下記に製品ロットのばらつきの標準偏差 σ_T 、測定システムの不確かさの標準偏差 σ_S 、製品規格半値幅 SL 、検査規格半値幅 TL としたときにどの様に表現できるかを示す。

- (1) 工程能力指数 C_p
 工程能力指数 C_p の定義から、
 $C_p = \text{製品規格幅} / 6\sigma_T = (\text{製品規格上限} - \text{製品規格下限}) / 6\sigma_T$
 と表現することができる。
- (2) 精度比 TUR
 精度比 TUR の定義から
 TUR は、製品ロットのばらつきの標準偏差 σ_T と測定システムの不確かさの標準偏差 σ_S の比で表現できる。
- (3) ガードバンドファクタ K
 ガードバンドファクタ K の定義から、
 $K = \text{検査規格半値幅 } TL / \text{製品規格半値幅 } SL = (\text{検査規格幅} \div 2) / (\text{製品規格幅} \div 2)$
 と表現することができる。したがって、片側のガードバンド $G = SL \times (1 - K)$ と表現できる。
- (4) 製品ロットの平均値の製品規格中心からのズレの大きさ ΔF
 製品ロットの平均値の製品規格中心からのズレの大きさ ΔF を製品ロットばらつきの標準偏差 σ_T の何倍であるかで表現する。

上記の(1)～(4)を表現することにより、上記①～⑤の内容を表現したことになる。これを理解しやすいように図1に示す。

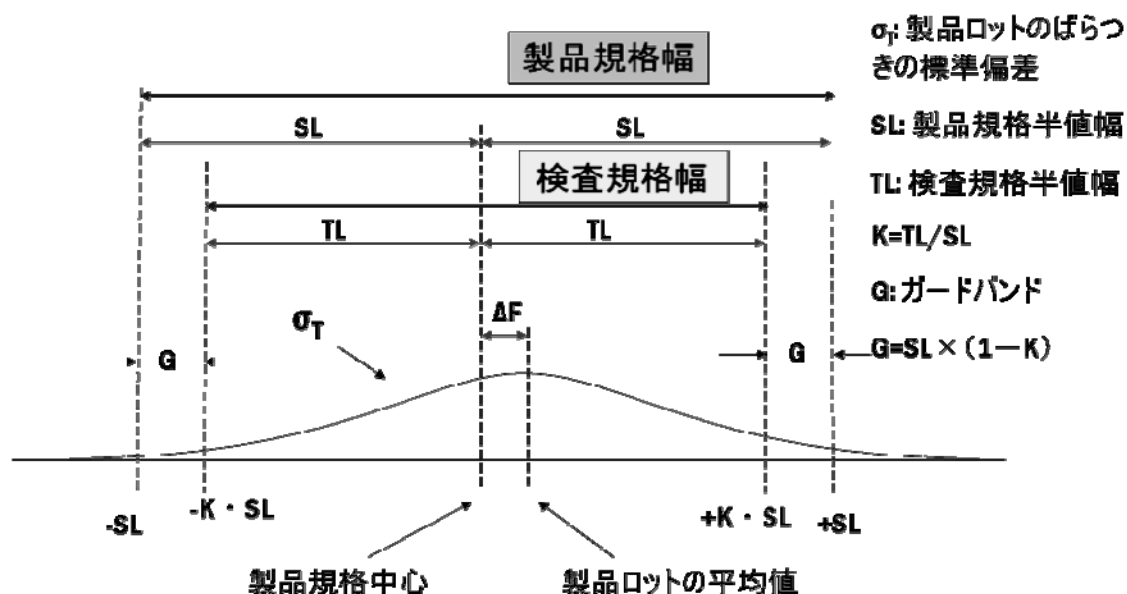


図1 製品規格、検査規格、ガードバンドなどの関係図

2.5.2 良好な生産工程

次に、標準的な消費者リスクを求めるために必要な良好な生産工程の状態の考え方について述べる。

まず、標準的な消費者リスクを考える上で参考にした自動車業界におけるシックスシグマ

の不良率が 3.4ppm であるという考え方について図 2 を用いて説明する。

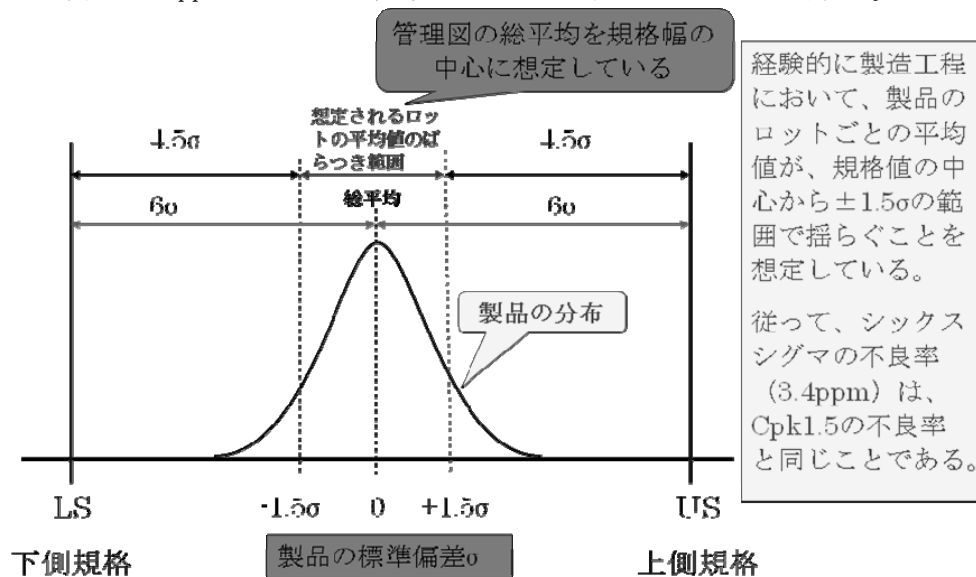


図 2 自動車業界のシックスシグマの不良率 3.4ppm の説明図

図 2 からわかるように、自動車業界における良好な生産工程は $C_p=2.00$ で、製品ロットの平均値のばらつきの範囲が製品規格の中心から $\pm 1.5\sigma$ (製品ばらつきの標準偏差 σ の 1.5 倍) であることがわかる。従って、これを産業用 (車載用) における標準的な消費者リスクを算出するときの製品ロットのばらつきの標準偏差 σ_T と製品ロットの平均値の製品規格の中心からのズレの大きさ ΔF と規定するときの値として適切であると考えた。

また、一般的に生産工程の良好な状態の C_p は $C_p=1.33$ であるといわれている。このときの製品ロットごとの平均値のズレは一般的に規定されていないが、産業用 (車載用) と同等であると考えることが妥当と思われる。従って、この状態を汎用品 (カタログ品) の良好な生産工程の状態と考え、汎用品 (カタログ品) の標準的な消費者リスクを算出するときの製品ロットのばらつきの標準偏差 σ_T と製品ロットの平均値の製品規格の中心からのズレの大きさ ΔF と規定するときの値として適切であると考えた。この説明図を図 3 に示す。

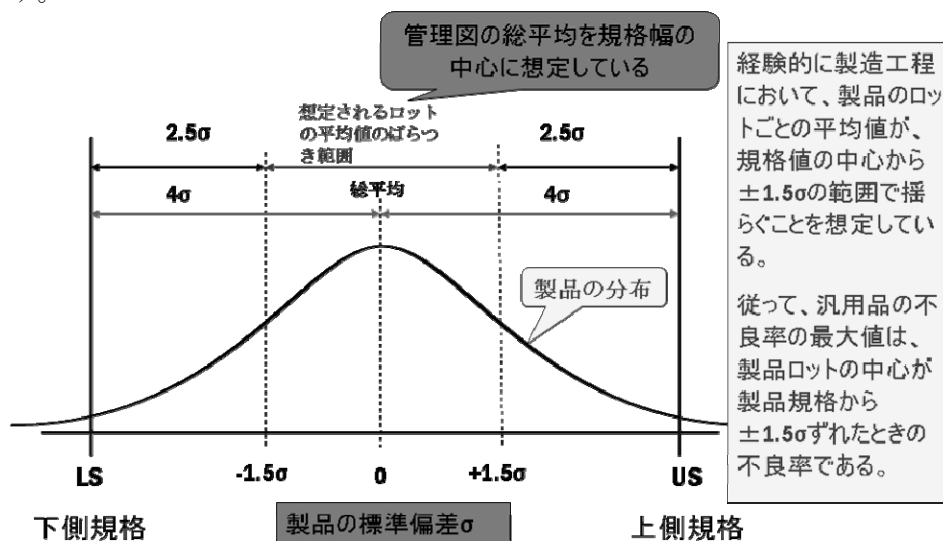


図 3 汎用品 (カタログ品) の良好な生産工程の状態の説明図

2.5.3 良好な測定システムの精度

良好な測定システムの精度を決めるための参考規格として下記の規格がある。

<参考規格>ANSI/NCSL Z540.3-2006 5.3 測定・試験装置の校正

・合否判定リスク（不合格品を誤って受け入れる）は、2%を超えてはならない。このときのガードバンド幅は、 $2.33s$ （ s ：測定システムの不確かさの標準偏差）

・この確率のレート（2%）を見積もれない場合は、測定の不確かさのレートは、4:1 とするか又はそれより大きくしなければならない。

（計測されるもの：計測するもの 精度比 4:1）

2.5.4 標準的な消費者リスクの考え方

標準的な消費者リスクの考え方は、良好な製品分布と良好な製品変動の状態で、良好な精度比の測定システムで良好なガードバンドで測定したときの消費者リスクと考えた。このため、2.5.2 で示した良好な生産工程と 2.5.3 で示した良好な測定システムの精度を用いて標準的な消費者リスクを計算した。

（1）産業用（車載用）

- ・製品分布： $C_p=2.00$ （製品規格幅/6 倍の製品ばらつきの標準偏差）
- ・製品規格の中心から製品平均値の最大変動幅 $\pm 1.5\sigma$ （ σ ：製品ばらつきの標準偏差）
- ・ガードバンド幅 $2.33s$ （ s ：測定システムの不確かさの標準偏差）
- ・精度比： $\sigma : s = 4 : 1$

上記の条件のときの産業用の製品が、標準的な消費者リスクであると考える。

このときの消費者リスク：9.80ppb

（2）汎用品（カタログ品）

- ・製品分布： $C_p=1.33$ （製品規格幅/6 倍の製品ばらつきの標準偏差）
- ・製品規格の中心から製品平均値の最大変動幅 $\pm 1.5\sigma$ （ σ ：製品ばらつきの標準偏差）
- ・ガードバンド幅 $2.33s$ （ s ：測定システムの不確かさの標準偏差）
- ・精度比： $\sigma : s = 4 : 1$

上記の条件のときの産業用の製品が、標準的な消費者リスクであると考える。

このときの消費者リスク：12.2ppm

2.5.5 指定した消費者リスク以下になるガードバンドを示す表

2.5.4 で示した2つの標準的な消費者リスクの付近のガードバンドを求めることができる表を考案した。その表を表1及び表2に示す。

表1 産業用（車載用）の標準的な消費者リスク付近のガードバンド

	消費者リスク 6ppb 以下	消費者リスク 8ppb 以下	消費者リスク 10ppb 以下	消費者リスク 12ppb 以下	消費者リスク 14ppb 以下
カードバンド ファクタK	0.896	0.900	0.903	0.906	0.908
ガードバンド定数	2.50 s	2.40 s	2.32 s	2.26 s	2.20 s

- ・ガードバンドファクタ K : = 検査規格半値幅 TL / 製品規格半値幅 SL = (検査規格幅 ÷ 2) / (製品規格幅 ÷ 2)
このときのガードバンド幅 G の計算: $G = SL \times (1 - K)$
- ・ガードバンド定数: 倍数 × 測定システムの不確かさの標準偏差 (s)
(表 1 の計算条件)
- ・精度比 $\sigma : s = 4 : 1$
(σ : 製品ロットのばらつきの標準偏差、 s : 測定システムの不確かさの標準偏差)
- ・ $C_p = 2.00$ 、製品ロットの平均値の最大変動幅 = 1.5σ

表 2 汎用品 (カタログ品) の標準的な消費者リスク付近のガードバンド

	消費者リスク 8ppm 以下	消費者リスク 10ppm 以下	消費者リスク 12ppm 以下	消費者リスク 14ppm 以下	消費者リスク 16ppm 以下
ガードバンド ファクタ K	0.846	0.850	0.854	0.857	0.860
ガードバンド定数	2.47 s	2.40 s	2.34 s	2.28 s	2.24 s

- ・ガードバンドファクタ K : = 検査規格半値幅 TL / 製品規格半値幅 SL = (検査規格幅 ÷ 2) / (製品規格幅 ÷ 2)
このときのガードバンド幅 G の計算: $G = SL \times (1 - K)$
- ・ガードバンド定数: 倍数 × 測定システムの不確かさの標準偏差 (s)
(表 2 の計算条件)
- ・精度比 $\sigma : s = 4 : 1$
(σ : 製品ロットのばらつきの標準偏差、 s : 測定システムの不確かさの標準偏差)
- ・ $C_p = 1.33$ 、製品ロットの平均値の最大変動幅 = 1.5σ

例えば、汎用品の条件 ($C_p = 1.33$ 、精度比 4 : 1) で消費者リスク 10ppb 以下を実現することができるガードバンドファクタ K とガードバンド定数を例で示すと、ガードバンドファクタ $K = 0.736$ 、ガードバンド定数 = 4.22 s である。

このように、製品分布などが大きい場合でもガードバンドを変化させることにより所望の消費者リスク以下を実現できることがわかる。

<参考文献>

- ・国際公開番号: W0 2010/137487 A1 (国際出願番号 PCT/JP2010/058324)
- ・国際公開番号: W0 2010/137488 A1 (国際出願番号 PCT/JP2010/058325)

2.6 繊維試験における不確かさの推定・評価（日本繊維製品品質技術センター）

一般財団法人 日本繊維製品品質技術センター（QTEC）繊維製品を中心とした総合試験・検査機関で1997年に工業標準化法に基づく試験業者（JNLA）の認定を取得しており、ISO/IEC 17025に対応するために不確かさの評価に取り組んでおり、以下にその事例を紹介する。

2.6.1 試験の不確かさの考慮事項

1) 試験方法による不確かさ

一般に試験では、試料の採取、処理、測定の手順で作業が進められる。これらのステップの各段階で不確かさが発生する。（サンプリング方法、試験片の処理、使用する試験装置、測定者の操作等）

2) 試験操作の繰り返しの不確かさ

試験は同一の測定者が、同一の試験装置を用いて同一試料を測定しても常に同一の結果が得られるとは限らない。（繰り返し性）

2.6.2 試験における一般的な不確かさ成分（要因の組合せを含む）

- ① 参照標準・校正の不確かさ
- ② 測定器読み取りの誤差
- ③ 用いた試験方法・試験条件の不完全さ
- ④ 環境条件による不確かさ
- ⑤ 試験装置の不完全さ
- ⑥ 試験実施者（操作を含む）に伴う不確かさ
- ⑦ 測定試料の不均質さ

試験における不確かさ評価手順に関して、GUM でいう不確かさは試験ごとに不確かさの評価が必要であるが非現実的であるため、予め十分な規模の実験を計画・実施し、主要な不確かさ成分を事前に評価した。そして現実の試験では、事前評価の不確かさを利用し、試料によって不確かさが変化する可能性を考慮した。

2.6.3 実験の計画と評価

- ① 環境条件、操作方法等の必要事項を確認し、実験計画を立てる。
- ② 計画に基づき試験を実施し、その結果をデータ表に整理する。
- ③ データ表から統計的手法を用い解析し、不確かさ成分を推定する。
- ④ 推定した不確かさ成分を合成する。
- ⑤ 拡張不確かさ又は合成標準不確かさを表示する。

なお、試験方法の種類ごとに要求される不確かさの程度に応じ、事前実験のデータ等の処理について予め評価手順を確立しておく。同じ試験方法に関する過去の記録等フィールド・データは、繰り返し測定、測定者間、試験日、試験機のばらつきを複合的に包含すると考えられ、不確かさ評価のための情報源として活用できる。（記録の層別）さらに技能試験プログラムによるデータも単に試験所間の能力比較だけではなく、蓄積されたデータと同様に不確かさ評価のための有用な情報源となり得る。

また、経験的判断に基づき、取り上げた要因が不確かさを決定づける要因かどうか検討する。以下のように不確かさの成分は、評価タイプ A、タイプ B に係わらず分散の伝播則によって合成されるため、過去のデータ等から経験的に不確かさ成分が小さいことがわかっている場合、主要な成分のいくつかを抽出することで、より効果的評価ができる。

- ・ある大きさの標準不確かさ成分： u_x
- ・付加的な不確かさ成分： u_y 、 u_z
- ・合成標準不確かさ成分： $u_c = (u_x^2 + u_y^2 + u_z^2)^{1/2}$

2.6.4 繊維製品の試験の状況

繊維製品における試験のステップは、「試料の提出→試料の採取→処理」となるが、以下のような試験の現状がある。

- ① 標準値・偏りを確定する標準物質がない。
- ② ほとんどが破壊試験であり、同一採取試料を繰り返し測定することができない。
- ③ 不確かさの真の原因が不明である。また測定者、試験日、試験機等が複合的に作用する。

また、破壊試験に対する不確かさへは、不確かさが最小と思われる試料を利用し、現実の試料でなくとも取り上げた要因に対し最小のばらつきを実現し得るとと思われる試料を選定する、さらに試験所の違いには環境条件、試験機（図1）、測定者、測定日の違い等全ての不確かさ要因を含んでいることから、多数の試験所が参加した比較試験データを利用するなど対応している。（便宜上試験方法の不完全に起因する不確かさと考える。）



図1 破裂試験機

2.6.5 破裂試験の不確かさ事例

JNLA 技能試験結果を活用し、JIS L 1018（JIS L 1096 へ統合）に規定する破裂試験の不確かさを推定する。測定試料は JIS に規定する標準アルミニウムを用い、試験方法の不確かさ、繰り返し誤差の不確かさ及び再現性の不確かさを見積る。

技能試験データを活用するには、試験所のばらつき状態と偏りの把握が必要であり、JNLA 参加試験所の状況を把握するためユーデン図を描く（図2）。この時、信頼性楕円は 95%の信頼の水準を、楕円の長軸方向の外れは偏りを、また楕円の長軸からの距離は繰り返し性を示す。

- 1) 技能試験データから QTEC 関係 12 試験所のデータを抽出したところ、全て $z < 2$ であり、ユーデン図からも外れ値はなく異常点は見あたらない（図3）。この抽出を分散分析し、アルミ箔（0.05 mm、0.1 mm）2 水準（母数因子）と試験所 12 水準（変量因子）を一次単位、繰り返し測定 5 回を二次単位とした分割実験を考える。
- 2) 破裂試験の不確かさ事例（バジェットシート）を表1に示す。尚、破壊試験における環境条件は通常恒温恒湿で測定が行われるため、温度及び湿度の影響は寄与しない。また目盛りの読み取りについても、最小目盛り幅 5.0 kPa に対する読み取り誤差を矩形分布として見積った結果 2.89 kPa であり、繰り返し誤差 25.73 kPa に比べ十分小さいため寄与しないと判断した。

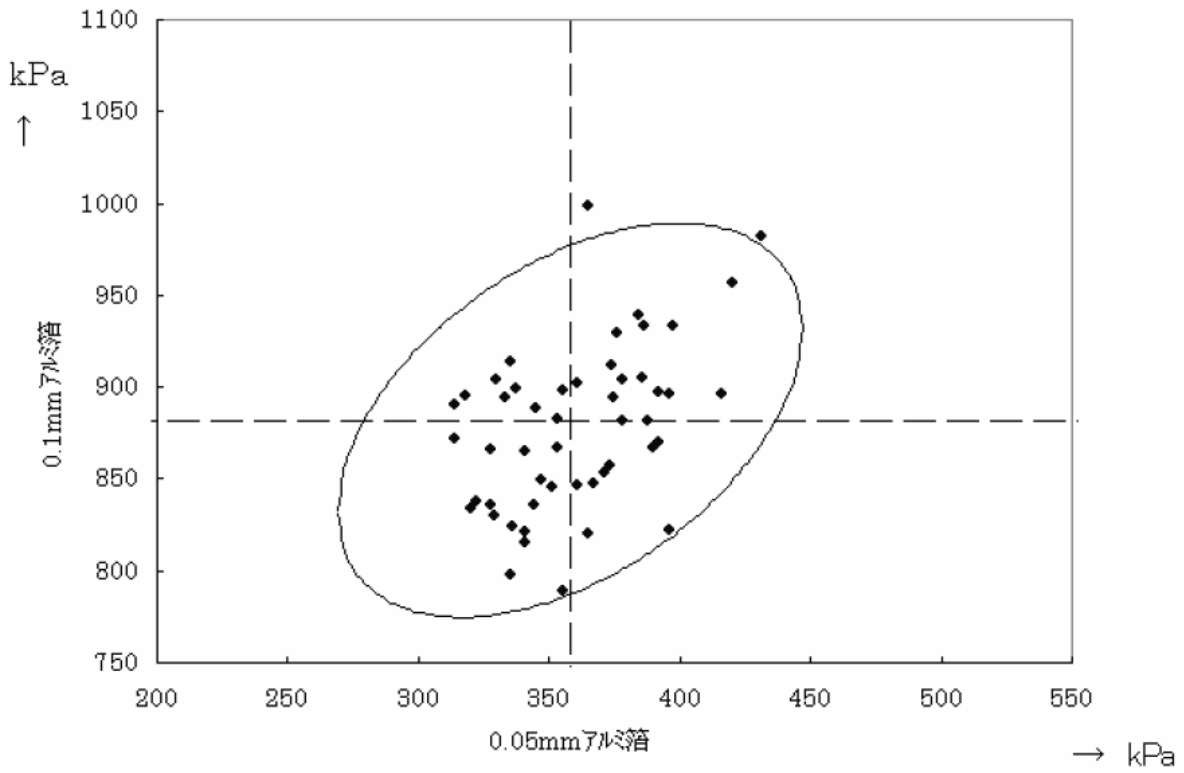


図2 JNLA 技能試験結果 (全データ)

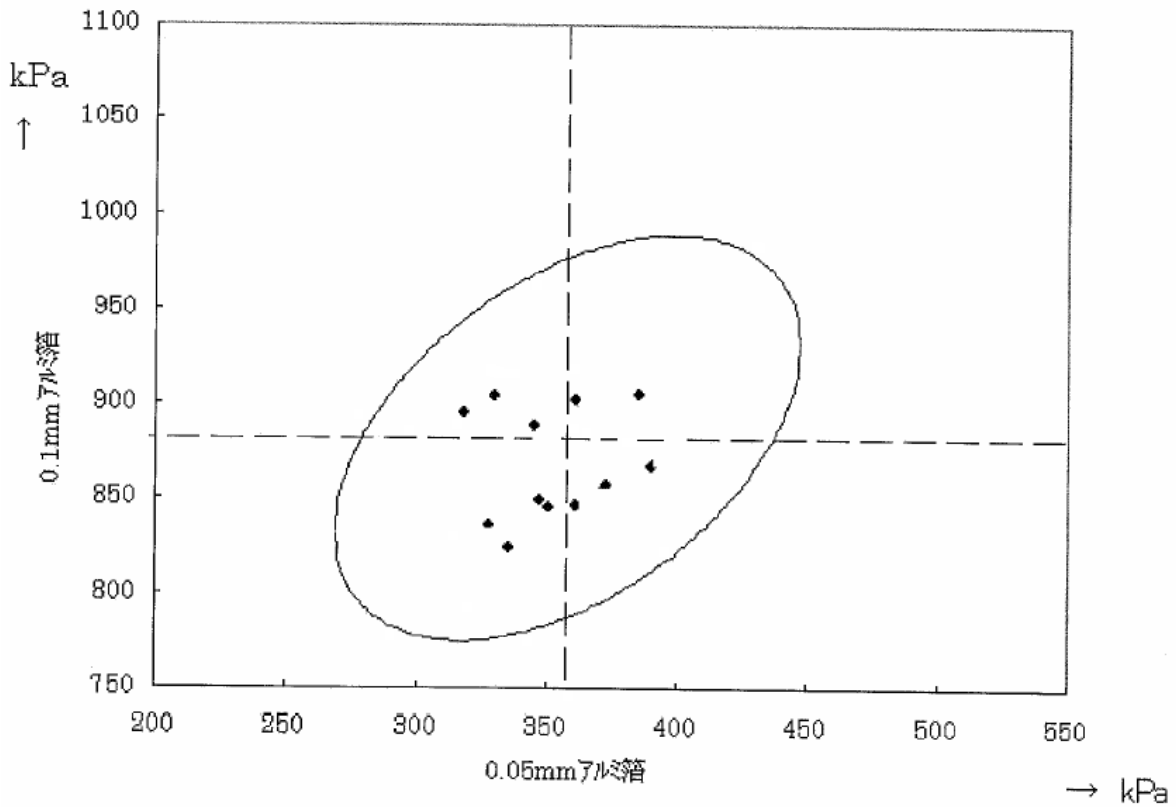


図3 JNLA 技能試験結果 (QTEC 12 試験所データ)

表1 破裂試験の不確かさ事例（バジェットシート）

不確かさ要因	評価のタイプ	推定値 (kPa)
環境条件	—	寄与しない
読み取り誤差	—	寄与しない
試験所間（試験方法）	A	8.7
繰り返し誤差	A	25.7
（再現性の誤差）	A	(272)
試験結果の標準不確かさ ($n=5$)		12.1
拡張不確かさ ($k=2$)		24.3

2.7 測長システムにおける不確かさの評価事例

2.7.1 概要

品質工学会の学会誌「品質工学」の2010年6月号 Vol.18 No.3に、論文「市販スキャナを使った測長システムの測定の不確かさの評価—2次元測長システムへのJIS Z 9090の活用—」（著者：曾我光英氏、富士ゼロックス㈱）が発表された。開発段階における不確かさの活用事例として、これを紹介する。

富士ゼロックス社では、市販のスキャナと自社開発の解析ソフトで構成された測長システムを開発し、プリンタや複合機の印刷性能を評価している。本論文は、試作ラインで使用している測長システムについて、測定の不確かさを評価した事例である。

この測長システムの測定手順を簡単に紹介する。

1) スキャナの校正

上位の測定器で校正された標準シート（サイズ：A3、パターン：格子状テストパターン）をスキャナにセットし、画像データを読み込む。そのデータを解析し、スキャナの校正を行う。

2) 印刷画像の測定

プリンタで標準シートと同じパターンをテスト印刷した用紙を、標準シートに代えてスキャナにセットし、画像データを読み込む。

3) データの解析

読み込んだ画像の座標データを解析し、プリンタの性能を評価する。

本事例においては、不確かさの評価にJIS Z 9090「測定—校正方式通則」を活用して実験を行い、測定のばらつきを求めている。この通則は、校正方式を定め方及び測定の誤差の大きさの求め方について共通事項を規定したものであり、誤差の大きさを実験によって求める方法などが具体的な適用例を挙げて紹介されている。

JIS Z 9090では L_{18} 直交表を使用した実験方法が附属書2に紹介されており、本事例でも使用の不確かさについて誤差因子を L_{18} 直交表に割り付け実験を行っている。なお、JIS Z 9090では、信号因子を直交表の内側に割り付けているが、本事例では1回の測定で数多くの座標データが取得できることから、外側に配置して解析を行っている。

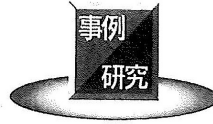
また、附属書1にしたがって、最適な点検間隔と修正限界についても検討しており、現状で毎稼働日ごとに行っている点検・修正が妥当であることが確認されている。

本論文では「斜め線を測定する場合、使用における不確かさが大きく、問題であることが分かった。この原因は、誤差因子であるプラテン上に置かれたサンプル角度が大きく聞いており、現状では対応できないことが分かった。」となっているが、曾我氏に話を伺ったところ、最新の測長システムではすでにこの点を解決したシステムとなっているとのことであった。不確かさを評価することにより、測定における課題（改善点）が明確になり、システムの改善につながっているよい事例でもある。

注) 斜め線とは、格子パターンの同一線上にない2つの交点の座標から求める長さのこと

品質工学会の許可をいただいたので、以下に論文をそのまま掲載する。

「品質工学」2010年6月号 Vol.18 No.3 © 品質工学会 より転載



市販スキャナを使った測長システムの 測定の不確かさの評価

— 2次元測長システムへのJIS Z 9090の活用 —

*Estimation of Measurement Uncertainty of a Length Measurement System
Using a Commercial Scanner*

— Using JIS Z9090 Measurement on a Two-dimensional Scale —

曾我 光英*

Mitsubide Soga

In a measurement system consisting of a commercial scanner and an in-house analysis program, JIS Z 9090 (Measurement - General rules for calibration system) was applied to calculate usage uncertainty, calibration uncertainty, and standard reading uncertainty and obtain a combined standard uncertainty. On the basis of the results, the current calibration system was validated by comparing its calibration interval and adjustment limits with the optimal calibration interval and adjustment limits. In this system, a 0.2-mm thick PET sheet is used as a standard. It was found that the standard reading uncertainty was too high to be ignored. It was also found that in the measurement of diagonal lines, usage uncertainty was high enough to raise problems. The cause was found to be the large effect of the angle at which the sample was placed on the platen, which is an error factor. Countermeasures are lacking at present.

Key words : two-dimensional scale system, scanner, JIS Z 9090 Measurement - General rules for calibration system, PET sheet, Taguchi methods, quality engineering, S/N ratio

1. はじめに

複写機・プリンタの目的機能は、原稿や電子データの位置・濃度・色の情報を用紙上に再現することである。そのため、試作機や製品でテスト印刷画像を取り、その画像中の位置情報を測定することは当社にとって、重要な測定の1つである。

その中で、例えば多色間の色合わせが数十 μm 以内に収まっているか、また、印刷領域全体での画像

の伸び縮みや位置ずれが0.5%以内に収まっているか等の検査を行っている。後者の画像の伸び縮みに関しては、かつてはスケールや測長器を使って測定していた。近年、高精度なスキャナが安価になり、ホストコンピュータとの組合せで、一度に複数のポイントが測定できる、利便性の高い測長システムを構築し、導入を図ってきた。しかし、測定システムとして肝心な測定にまつわる不確かさの評価は十分でないまま導入され利用されている。

そこで今回、市販のスキャナと自社開発の解析プログラムで構成された測長システムにおいて、JIS

*富士ゼロックス(株)、正会員

Z 9090-1991「測定—校正方式通則」¹⁾を活用し、使用の不確かさ、校正作業の不確かさ、標準の表示値の不確かさをそれぞれ求めて合成標準不確かさを定量化した。

その結果から、最適校正間隔と最適修正限界を求め、現行の校正状況の妥当性を検証できた。

本システムではPETフィルムを標準として用いているが、標準の表示値が無視できない大きさであることが分かった。また、斜め線を測定するケースで、使用における不確かさが大きく、問題であることが分かった。

2. 本測長システムと標準シート

測定システムの構成は、図1の通りである。市販のビジネス向けスキャナを利用し、自社開発した解析ソフトと組み合わせて、スキャナで読み込んだ画像上の位置を測定するシステムである。図2に示すような格子パターンを認識させ、X位置とY位置を計算し、表示する。

本システムは、社内の上位測定器で値付けされた

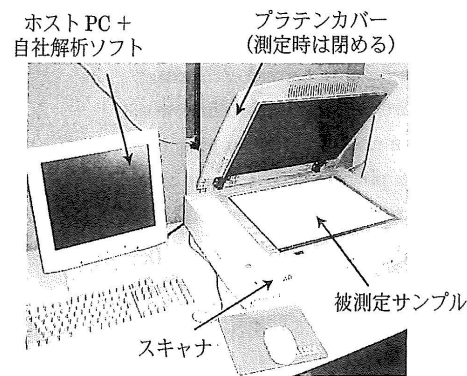


図1 システム構成写真

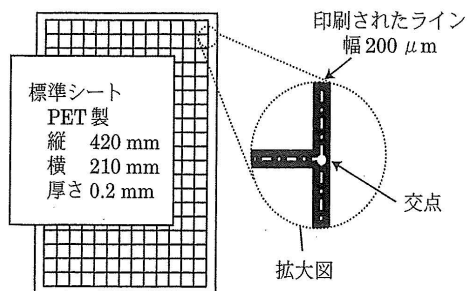


図2 標準シートと格子パターン（一例）

標準シートを用いて、校正を行っている。標準シートは、A3サイズで厚さ約0.2 mmのPETフィルム上に、線幅200 μmのラインを20 mm間隔で配置し、複数の格子状のテストパターンを印刷したものである。標準シート上には300点以上の縦線と横線が交わるポイントがあるが、その中から34点のXY座標が値付けされている。印刷された縦線・横線のそれぞれの両端ラインを出し、そこから中心ラインを計算し、その交点をポイントとしている。

PETフィルムの材料は、10年以上前に温湿度の影響を考慮して決められたもので、現在も同一材料を用いている。標準としては、温湿度の変化を考えると、ガラス素材が望ましい。しかし、運用上の観点を重視しPETフィルム製のシートを用いている。

3. 本測長システムの測定の不確かさ

3.1 測定での不確かさ成分の内容

測定の不確かさの評価方法としては、下記の3つの成分の不確かさを見積もり、それらを合成することによって行った。

① 使用の不確かさ (σ^2)

室温変化を含めた、誤差因子を L_{18} 直交表に割り付け、JIS Z 9090 附属書2（以下、附属書2）を活用し、実験的に求めた。

② 標準による校正作業の不確かさ (σ_c^2)

標準シートを用いて測定器を校正する際の不確かさである。JIS Z 9090 附属書3（以下、附属書3）を活用し、実験的に求めた。

③ 標準の表示値の不確かさ (σ_0^2)

校正用の標準シートで、一般に時間的、化学的な安定性が要求される。2002～2007年に毎年1回値付けされている。この計6回の値を利用し、標準の表示値の不確かさを求めた。

3.2 使用の不確かさ (σ^2) を求める実験

温度条件を考慮した使用における誤差を求めるために、誤差因子を検討し、附属書2に従って、表1に示すとおり、 L_{18} 直交表に割り付けた。

誤差因子は、6因子を取り上げて実験をする計画を立てた。そのうち3因子については、実際に実験を始めてみると簡易に水準を振ることが不可能であったので、結果として直交表 L_{18} に3因子を割り付けて実験を実施した。具体的には、標準シートの浮き、標準シートの置き方（斜め）、電源ON後の時

表1 使用の不確かさを求めるための誤差因子と水準値

誤差因子	水準1	水準2	水準3
A 温度・湿度	27.5°C, 61%RH	26.1°C, 53%RH	—
B 標準シートの浮き	実験できなかった		
C 電源電圧	100 V	102 V	104 V
D 標準シートの置き方	実験できなかった		
E スキャナ本体傾き	先端 1.4°上げ	標準	後端 1.4°上げ
F 電源投入後の時間	実験できなかった		

間の3因子は誤差因子として検討したが、今回の実験では取り上げられなかった。

因子Aの温度および湿度の水準値は、実験実施時の平均値である。A₁の状態では校正、その直後から実験No.1～9の9実験をランダムに実施した。その後、室内のエアコンを最大出力で1時間稼働し、室温を下げた。その状態で、A₂の実験No.10～18の9実験をランダムに実施した。A₁は、実験No.1～9実験実施時の平均値で、A₂は、実験No.10～18の平均値を入れている。

Cの電源電圧は、配電盤の電圧変動を1週間モニタし、その平均と変動幅から102±2Vとした。また、Eのスキャナ本体傾きは、概水平の状態とスキャナ本体の左右底面に15mm厚さのブロックを挟み浮かした状態で測定したものである。

上述の通り誤差因子を多く取り入れられなかったので、信号因子に関しては、直交表の外側に割り付けて、実験を実施した。

スキャナの読取りヘッドのアレイ方向を横線、移動方向を縦線として、横と縦の成分を含んだ線を斜め線とした。L₁₈直交表の1行の実験に対し、561のデータがあり、横線65本、縦線116本、斜め線380本が同時に測定される。なお、斜め線は縦横比が10:1から1:7までさまざまな要素の線を含んでいる。これらは本来、誤差因子であるが、標示因子的な扱いとして解析した。ここでの信号値は標準シートの校正値を用いた。信号の水準値とデータ数を表2にまとめた。

表1、表2の因子と水準にしたがって、実験を実施し、横線に対して表3のデータを得た。また、横軸を信号値、縦軸を偏差データ(実測値-信号値)

表2 使用の不確かさを求めるための標示因子と信号値

標示因子	信号の水準値	データ数
横線	M ₀₁ 39.990 mm ~ M ₆₅ 280.172 mm	65 × 18 = 1 170
縦線	M ₀₁ 39.958 mm ~ M ₁₁₆ 399.904 mm	116 × 18 = 2 088
斜め線	M ₀₁ 56.529 mm ~ M ₃₈₀ 488.295 mm	380 × 18 = 6 840

表3 横線の実験データ (65 × 18)

実験No.	信号(横線)					r
	M ₀₁	M ₀₂	...	M ₆₄	M ₆₅	
No.1	y _{01.1}	y _{02.1}	...	y _{64.1}	y _{65.1}	L ₁
No.2	y _{01.2}	y _{02.2}	...	y _{64.2}	y _{65.2}	L ₂
No.3	y _{01.3}	y _{02.3}	...	y _{64.3}	y _{65.3}	L ₃
...
No.16	y _{01.16}	y _{02.16}	...	y _{64.16}	y _{65.16}	L ₁₆
No.17	y _{01.17}	y _{02.17}	...	y _{64.17}	y _{65.17}	L ₁₇
No.18	y _{01.18}	y _{02.18}	...	y _{64.18}	y _{65.18}	L ₁₈

としたグラフを図3に示す。

下記の計算式で、ゼロ点比例式による分散分析を行い表4の結果を得た。

有効除数

$$r = M_{01}^2 + M_{02}^2 + \dots + M_{65}^2$$

$$= 39.990^2 + 39.993^2 + \dots + 280.172^2$$

$$= 1\,782\,454.488\,691$$

線形式

$$L_1 = M_{01} \times y_{01.1} + M_{02} \times y_{02.1} + \dots + M_{65} \times y_{65.1}$$

$$= 39.990 \times 40.004 + 39.993 \times 40.003 + \dots$$

$$+ 280.172 \times 280.216$$

$$= 1\,782\,746.570\,754$$

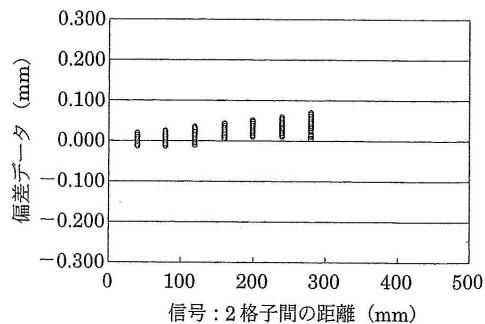


図3 使用における不確かさを求める実験での偏差データ(横線)

表4 使用の不確かさを求めるための分散分析表(横線)

Source	f	S	V
M_β 回帰	1	32 094 565.944 763	
M_{res}	64	0.075 116	0.001 174
A_β 温湿度	1	0.001 295	0.001 295
C_β 電源電圧	1	0.000 013	0.000 013
E 本体傾き	2	0.000 372	0.000 186
e 誤差	1 100	0.023 842	0.000 022
e' 回帰以外	1 168	0.100 638	0.000 086
T	1 169	32 094 566.045 401	

(途中省略)

$$L_{18} = M_{01} \times y_{01.18} + M_{02} \times y_{02.18} + \dots + M_{65} \times y_{65.18}$$

$$= 39.990 \times 39.997 + 39.993 \times 39.999 + \dots$$

$$+ 280.172 \times 280.203$$

$$= 1 782 731.947 761$$

全変動

$$S_T = y_{01.1}^2 + y_{02.1}^2 + \dots + y_{64.18}^2 + y_{65.18}^2$$

$$= 40.004^2 + 40.003^2 + \dots + 280.201^2$$

$$+ 280.203^2$$

$$= 32 094 566.045 401 \quad (f_T = 1 169)$$

信号 (M) の効果

$$S_M = \frac{(y_{01.1} + \dots + y_{01.18})^2}{18} + \frac{(y_{02.1} + \dots + y_{02.18})^2}{18}$$

$$+ \dots + \frac{(y_{65.1} + \dots + y_{65.18})^2}{18}$$

$$= 32 094 566.019 879 \quad (f_M = 65)$$

比例項の効果

$$S_{M\beta} = \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_{18})^2}{18 \times r}$$

$$= \frac{(1782 746.571 + 1782 767.252 + \dots + 1782 731.948)^2}{18 \times 1 782 454.489}$$

$$= 32 094 565.944 763 \quad (f_{M\beta} = 1)$$

2次以上の項の効果

$$S_{M_{res}} = S_M - S_{M\beta}$$

$$= 32 094 566.019 879 - 32 094 565.944 763$$

$$= 0.075 116 0 \quad (f_{M_{res}} = 64)$$

温度・湿度 (A_β) の効果

$$y_{A1} = (y_{01.1} + y_{02.1} + \dots + y_{65.1}) + \dots$$

$$+ (y_{01.9} + y_{02.9} + \dots + y_{65.9})$$

$$y_{A2} = (y_{01.10} + y_{02.10} + \dots + y_{65.10}) + \dots$$

$$+ (y_{01.18} + y_{02.18} + \dots + y_{65.18})$$

$$S_{A\beta} = \frac{y_{A1}^2 + y_{A2}^2}{9 \times 65} - \frac{(y_{A1} + y_{A2})^2}{18 \times 65}$$

$$= 0.001 295 3 \quad (f_{A\beta} = 1)$$

同様に, 電源電圧 (C_β) の効果

$$S_{C\beta} = 0.000 012 8 \quad (f_{C\beta} = 1)$$

また, 本体傾き (E) の効果

$$S_E = 0.000 371 8 \quad (f_E = 2)$$

残差

$$S_e = S_T - S_{M\beta} - S_{M_{res}} - S_{A\beta} - S_{C\beta} - S_E$$

$$= 0.023 842 1 \quad (f_e = 1 100)$$

誤差 e に対して, $M_\beta, M_{res}, A_\beta, E$ は有意であるが, 回帰による成分 M_β 以外は, すべて誤差因子である。

回帰成分以外を e' として,

$$S_{e'} = S_e + S_{M_{res}} + S_{A\beta} + S_{C\beta} + S_E = S_T - S_{M\beta}$$

$$= 0.100 637 9 \quad (f_{e'} = 1 168)$$

$$V_{e'} = \frac{S_{e'}}{1 168} = 0.000 086 2$$

同様に, 縦線に対して図4および表5, 斜め線に対して図5および表6を得た。

表4, 5, 6より, 温度条件を考慮した使用の不確かさ σ^2 は, 下記の通りとなった。

$$\sigma^2 = 86 / 197 / 1 599 \quad (\mu\text{m}^2)$$

横線 / 縦線 / 斜め線

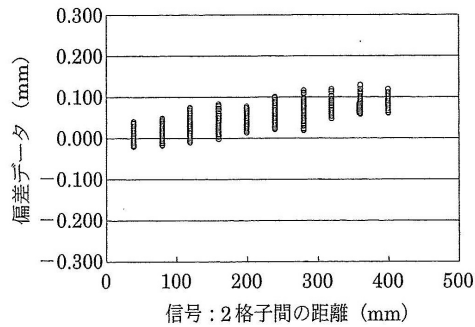


図4 使用の不確かさ実験データ (縦線)

表5 使用の不確かさの分散分析表 (縦線)

Source	f	S	V
M_β 回帰	1	86 961 327.395 385	
M_{res}	115	0.300 892	0.002 616
A_β 温湿度	1	0.017 310	0.017 310
C_β 電源電圧	1	0.000 135	0.000 135
E 本体傾き	2	0.001 653	0.000 827
e 誤差	1 967	0.091 060	0.000 046
e' 回帰以外	2 086	0.411 051	0.000 197
T	2 087	86 961 327.806 436	

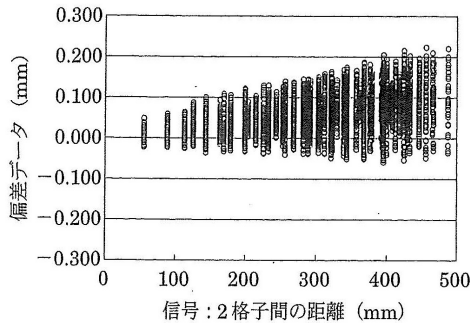


図5 使用の不確かさ実験データ (斜め線)

表6 使用の不確かさの分散分析表 (斜め線)

Source	f	S	V
M_{β} 回帰	1	688 564 483.395 597	
M_{res}	379	3.747 227	0.009 887
A_{β} 温湿度	1	0.022 836	0.022 836
C_{β} 電源電圧	1	0.001 376	0.001 376
E 本体傾き	2	0.017 470	0.008 735
e 誤差	6 455	7.145 308	0.001 107
e' 回帰以外	6 838	10.934 217	0.001 599
T	6 839	688 564 494.329 814	

3.3 標準による校正作業の不確かさ (σ_c^2)

標準による校正作業の誤差を求めるために、附属書3に従って実験を実施した。誤差因子は4回の繰返しとした。信号因子、標示因子およびそれらの水準値は、前節と同様である。

実験を実施、図6の偏差データと表7の分散分析表を得た。

表7より、標準による校正作業の不確かさは、斜め線の場合、 $244 \mu\text{m}^2$ となり、同様に横線、縦線

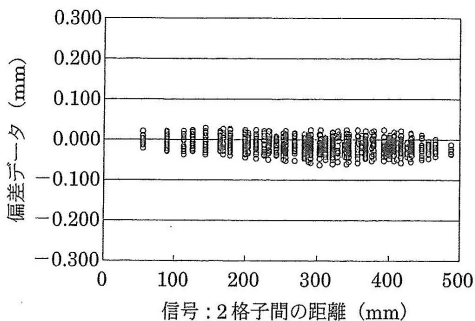


図6 標準による校正作業の不確かさを求める実験での偏差データ (斜め線)

表7 標準による校正作業の不確かさを求めるための分散分析表 (斜め線)

Source	f	S	V
M_{β} 回帰	1	152 939 105.735 382 0	
M_{res}	379	0.286 277 4	0.000 755
e	1 139	0.084 798 3	0.000 074
e'	1 518	0.371 075 7	0.000 244
T	1 519	152 939 106.106 458 0	

は下記の通りとなった。

$$\sigma_c^2 = 16 / 44 / 244 (\mu\text{m}^2)$$

横線 / 縦線 / 斜め線

3.4 標準の表示値の不確かさ (σ_0^2)

標準シートは、テストチャートの十字格子位置の値付けを行っている。この値付けは毎年1回行われている。本測定システムでは、少なくとも2002年からは同一の標準チャートを用いて校正され、運用されている。

標準の表示値の誤差は、2002年から6回分(6年分)の値付けしたデータを用いて見積もった。6回分を時系列に並べて観察を実施したが、経時的な傾向は特に見られなかった。そこで、6回分の平均値を信号として、その6回分のそれぞれをデータとして、分散分析を実施した。

その結果を表8、偏差データを図7に示す。

そして、標準の表示値の不確かさは、下記の通りとなった。

$$\sigma_0^2 = 145 / 170 / 283 (\mu\text{m}^2)$$

横線 / 縦線 / 斜め線

上記の通り、表示値の不確かさ (σ_0^2) は、横線および縦線において無視できない大きさであることが分かった。標準シートの材質には、いくつかの特性があるが、温度・湿度の膨張係数が重要な特性の1つであると言える。この材質のカatalog上の膨張係数は $1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 、 $1.2 \times 10^{-5}/\% \text{RH}$ であり、標準の値付けを行っている環境において、温度差で最大 3°C 、湿度差で最大 $10\% \text{RH}$ の記録が残っている。

表8 標準の表示値の不確かさを求めるための分散分析表 (斜め線)

Source	f	S	V
M_{β} 回帰	1	229 444 096.300 749 0	
e	2 278	0.644 503 5	0.000 283
T	2 279	229 444 096.945 252 0	

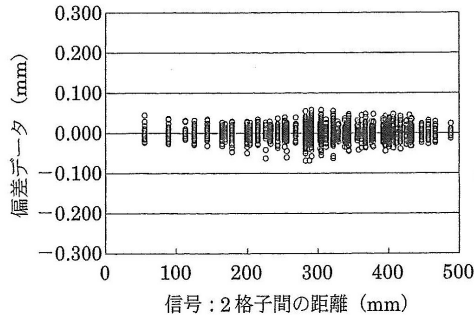


図7 標準の表示値の不確かさを求める実験での偏差データ (斜め線)

表9 合成標準不確かさ σ_T

標示因子	σ^2 (使用)	σ_c^2 (校正)	σ_0^2 (標準)	σ_T $=\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 + \sigma_0^2}$
横線	86	16	145	15.7 μm
縦線	197	44	170	20.3 μm
斜め線	1599	244	283	46.1 μm

単純な試算であるが、信号300 mmでは、50 μm 程度の変形の可能性があると言える。

標準シートの材質を温湿度の膨張係数の低いものへの切り替え、または、運用面を考慮しながらPET材質からほかのものに切り替えて行く必要がある。

3.5 合成標準不確かさ

JIS Z 9090による誤差の定義より、合成標準不確かさ $\sigma_T = (\text{使用における不確かさ}) + (\text{標準による校正作業の不確かさ}) + (\text{標準の表示値の不確かさ})$ である。

合成標準不確かさは、3.2～3.4節の結果をまとめて表9の通りとなった。

4. 現行の校正状況の妥当性の検討

前述の実験と解析から、合成標準不確かさを見積もった。本システムの測定損失の大きさを見積もり、現行の校正間隔の妥当性を検討した。

本測定システムでは、縦・横線、および斜め線の測定を実施している。対象は、日産10台の試作機ラインにおいて、社内向けの合否検査とした。試作機の許容差 Δ は1 mmで、それを外れた時は技術者がおおよそ5時間をかけて修正を実施している。技術

表10 現行の校正状況の一覧表

	項目	
Δ	試作品の許容差	1 mm
A	許容差を外れた時の損失	30 000 円
$n_0 = u_0$	点検および校正の間隔	10 台
B = C	測定器の点検・修正の経費	2 500 円
D_0	測定器の現行の修正限界	0.15 mm

者の工賃として、100 円/分として損失 $A = 30\,000$ 円となる。測定器は毎朝始業時に点検されて、この時同時に校正も実施する。これには20分の時間を要しているので工賃2 000 円となる。標準シートは測定器1台に対して1枚備えてあり、そのため時間のロスは発生しないが、標準シートの維持には年間20 000 円が掛かる。それを試作ラインの年間の稼働日数40日で割り、500 円。測定器の修正および点検に要する経費、 $B = C$ で2 500 円となる。測定器の現行の修正限界 D_0 は、0.15 mmとした。以上を表10にまとめる。

最適点検間隔 n 、最適修正限界 D は次のように与えられ、下記の通りとなった。

$$n = \sqrt{\frac{2u_0 B}{A}} \times \frac{\Delta}{D_0} = 8.6 \text{ (台)}$$

$$D = \left(\frac{3C}{A} \times \frac{D_0^2}{u_0} \times \Delta^2 \right)^{1/4} = 0.154 \text{ (mm)}$$

以上より、現行の点検間隔 $n_0 = 10$ 台は、上記の最適点検間隔 $n = 8.6$ 台とほぼ一致して、現行の校正間隔が妥当であると分かった。また、最適修正限界 D は0.154 mmでこれも妥当であることが分かった。

表9で求められた、合成標準不確かさは D の1/10程度が望ましい。横線の場合は約1/10、縦線で約1/7、斜め線で約1/3となり、斜め線の σ_T の改善が必要である。

また、測定による損失金額 L は、

$$L = \frac{A}{\Delta^2} \times \sigma_T^2 + \frac{B}{n_0} = 63.8 + 250 \text{ (円)}$$

右辺第1項は測定の誤差がもたらす損失を表し、第2項は測定器を校正するコストである。右辺の2つの項目が同じ程度であるのが妥当であるが、第2項は日産10台の生産量に対して、毎稼働日ごとに点検・修正を行っているため大きくなっている。これは対象が、数日間稼働日がない場合もある変則的な試作ラインであり、毎稼働日ごとでの点検・修正は妥当と判断している。

生産量が10台から増えてくれば、第2項の測定器を校正するコストが減り、損失金額Lが減ると考えている。

5. 斜め線の σ^2 についての考察

3.2節において、斜め線における使用の不確かさ(σ^2)の解析(図5や表6)では、割り付けた因子がすべて誤差因子なので、 L_{18} 実験の18回の実験をまとめて解析した。あらためて L_{18} 実験での18回の実験の行ごとにゼロ点比例のSN比を計算した。SN比は表11の通り、実験No.2で最大の28.30 dbになり、実験No.7で最小の12.55 dbになり、その差は約16 dbあることが分かった。

実験No.2とNo.7の偏差データのプロットは図8の通りとなり、大きな違いが分かる。

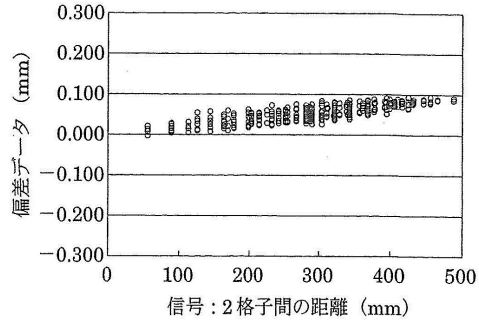
一方、前述の通り L_{18} 実験には組み込みなかったが、標準シートの置き方(斜め)は誤差因子となることが推測された。そこで今回の L_{18} 実験では、測定のために標準シートをプラテン上に置き直しながら実験を実施した。標準シート上の基準とする3点(左上, 右上, 左下)から、プラテン上に置かれたサンプルのおおよその角度が計算できる。

18回の実験でのサンプル角度を合わせて表11にまとめ、図9にサンプル角度とSN比の関係を示す。また、校正を実施した時のサンプル角度は 0.016° であった。ほぼこの角度に一致した場合のSN比が最大であった。そして、ここから左右どちらかにずれることによりSN比が低下していることが分かる。

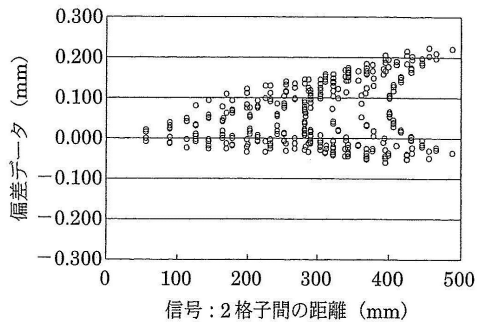
以上より、斜め線(σ^2)の使用の不確かさには、誤差因子であるプラテン上に置かれたサンプル角度

表11 使用の不確かさを求める18回の実験での測定時のサンプル角度とSN比

実験 No.	角度 (°)	SN比 (db)	実験 No.	角度 (°)	SN比 (db)
1	-0.010	13.68	10	0.036	16.22
2	0.017	28.30	11	0.001	16.86
3	-0.001	16.83	12	0.021	22.95
4	0.018	26.92	13	0.038	15.55
5	0.009	22.35	14	-0.002	16.24
6	-0.011	13.50	15	0.022	22.81
7	-0.016	12.55	16	0.021	21.19
8	0.018	23.29	17	0.005	19.15
9	0.009	21.85	18	0.007	19.88
校正時				0.016	—



(a) 実験No.2 (SN比最大)



(b) 実験No.7 (SN比最小)

図8 使用の不確かさを求める偏差データ(斜め線)

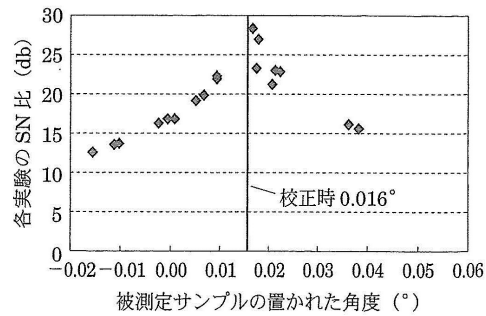


図9 使用の不確かさを求める実験でのサンプル角度とSN比

が大きく効いていることを発見した。サンプル角度 0.01° は、標準シートの長手方向420 mmに対して0.07 mmであり、人の置き方のばらつきや測定時にプラテンを閉めた時のずれも考えられ、現状では対応できないことが分かった。

6. まとめ

市販のスキャナと自社開発の解析プログラムで構成された測長システムにおいて、JIS Z 9090「測定一校正方式通則」を活用し、合成標準不確かさを定量化できた。

その結果から、現状の校正間隔と修正限界を、最適校正間隔と最適修正限界と比較し、現行の校正状況の妥当性を検証できた。

合成標準不確かさを構成する、使用における不確かさ+標準による校正作業の不確かさ+標準の表示値の不確かさでは、標準の表示値が無視できない大きさであることが分かった。また、斜め線を測定する場合、使用における不確かさが大きく、問題であることが分かった。この原因は、誤差因子である、プラテン上に置かれたサンプル角度が大きく効いており、現状では対応できないことが分かった。

謝 辞

本検討を進めるに当たり、有益なアドバイスを日本規格協会参与・矢野宏氏より多数いただいた。深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) JIS Z 9090-1991 測定一校正方式通則。
- 2) 田口玄一：校正方式マニュアル，日本規格協会，(1992)。
- 3) 鴨下隆志ほか：品質工学を利用した計測システムの校正方法の検討，品質工学，4，2，(1996)，pp.49-57。
- 4) 鴨下隆志ほか：実物標準によるトレーサビリティと計測の不確かさに関する研究，品質工学，8，2，(2000)，pp.39-45。
- 5) 石野信博，井上博道：新製品製造に伴う計測器の校正システムの検討，品質工学，9，3，(2001)，pp.59-63。
- 6) 山村英記ほか：薄肉S字型射出成形品の転写性の最適化研究(1)，品質工学，13，6，(2005)，pp.43-49。
(2009年10月5日受付)

Q & A

Q1 計測した電源電圧の変動幅から誤差因子の水準値を100，102，104 Vとしたとのことであるが、電力が安定しない海外事情を考慮すると、平均をも

とにした測定値を超え水準幅をさらに大きくとるべきではないか。

A1 指摘の通り、電源電圧の水準値はもっと大きく取れば、この実験からさらに情報が得られたと思う。しかし、ラインで実際に使用している測定システム一式を借りて実験をしているため、十分故障を起こさない範囲での実験となるように、因子や水準値を設定して実験を実施した。

Q2 合成標準不確かさは D の1/10程度が望ましいとあるが、その根拠とするものは何か。

A2 あくまで目安であるが、許容差 D の1/3程度に生産でのばらつきを抑えたい。そして、測定精度はその1/3は欲しい。それらから、測定システムの合成標準不確かさを許容差 D の約1/10以下を1つの目安と考えている。

Q3 図9において、校正時のサンプル角度 0.016° でSN比が最大となり、これは「人の置き方のばらつきや測定時にプラテンを閉めた時のずれも考えられ、現状では対応できない」との記載がある。サンプルをスキャン面に貼り付けた場合は、結果が変化するか否かを検証したことはあるか。

A3 サンプルをスキャン面に貼り付けての実験は行っていない。指摘の通り、サンプルを置いた後、何らかの手段で固定ができれば、「プラテンを閉めた時のずれ」に関してはなくせる可能性が高い。今後、検証して行きたい。

審査部会コメント

複写機、プリンタの試作機の画像の座標の評価に使用されている社内で開発した2次元測長システムについて、JIS Z 9090「測定一校正方式通則」を活用し、現状の測定誤差の不確かさの大きさを定量化した例である。不確かさは、現実には発生するであろう誤差原因(不確かさ成分)で、どの程度のばらつき(不確かさ)が発生するかを把握するものである。したがって、直接改善に結びつくわけではないが、結果的に不確かさに影響する誤差原因の大きさを知ることができるので改善に結びつくことがあるかもしれない。

本論文は、不確かさを求める場合に必要な統計的な方法として、JIS Z 9090の方法を示したことは評価できる。

2.8 非破壊検査の試験所認定における不確かさの推定・評価

工業分野でのグローバル化が進行中であるが、重工業製品の溶接等の非破壊検査もその中の一つである。今まで国内では、個人毎の技量を認定することで作業の妥当性を評価されていたが、西欧を初めとし、海外向けの構造物の非破壊検査は、今までの個人の資格の他に、組織を含めた第三者認定が必要となり、試験に対する国際的な要求事項である ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づいた試験所として認定され、管理された環境下で実施することを要求されている。

(米国向けは、ファスナー法を適用している)

試験所としての要求事項には、組織の管理体制、要員、施設・環境、設備、試験方法および「測定の不確かさの推定」等があり、国内においては非破壊検査に関して ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づいた試験所認定の事例の報告はほとんどされていなかった。

公益財団法人 日本適合性認定協会 (JAB) では、米国ファスナー法に対応するために、1996 年に、化学及び機械・物理試験を実施する ISO/IEC 17025 の認定業務を開始しており、不確かさの指針として JAB NOTE に指針が示されているが、一般的な試験には使用出来るが、数値が存在しない場合は、試験所データを統計的に解析し推定する必要があった。要員の技量に依存する非破壊検査では、具体的な適用方法や事例が見当たらないので、田口メソッドで用いられる L18 直交表を用いて検討した。

株式会社 東芝電力システム社 京浜事業所品質保証部が非破壊試験の中で、浸透探傷試験に関しては独自の測定方法による測定値の不確かさを推定・評価方法を開発し、日本適合性認定協会から 2010 年 5 月 13 日に ISO/IEC 17025 の試験所認定を受けた。(第一号)

(2012 年 1 月末現在、日本適合性認定強化から、非破壊検査で試験所認定を受けているのは、当社の 1 社だけである)

ここに紹介するのは、その時に使われている不確かさの推定・評価方法である。

なお、この内容は、2011 年に開催された第 19 回品質工学研究発表大会で発表された内容 (第 19 回品質工学研究発表論文集 pp. 286-289(2011)より転載[©])であり、2012 年 1 月 23 日に日本計量振興協会 河住専務理事、当委員会阿知波会長、JQA 高雄氏、及び三橋の 4 人で当社を訪問し説明を受けた。(ヒアリング議事録は 3.3 章を参照)

品質工学会の許可をいただいたので、以下に論文をそのまま掲載する。

「第 19 回品質工学研究発表大会論文集」論文発表 73.286-289 (2011 年)より転載[©] 品質工学会

非破壊試験の試験所認定における不確かさの推定・評価 *Uncertainty estimation and evaluation in nondestructive examination laboratory*

株式会社東芝

原田 茂 * (会員番号15965)

倉持 慎

東芝電子エンジニアリング株式会社

武部 智 (会員番号11681)

1. はじめに

工業分野でのグローバル化が進行する中で、試験所や校正機関の試験又は校正結果について、国家間で相互認証を行うことが重要視されてきている。これを達成する目的で、試験所や校正機関が技術的に妥当な結果出す能力があることを第三者機関が認定する際の要求事項を規定した規格として、ISO/IEC17025 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項 (JIS Q 17025/以下 17025)が制定されている。

最近弊社が受注した海外向け溶接構造物の重工業製品に適用する非破壊検査は、17025に従い試験所として管理された環境下で実施することが要求された。精密測定や化学分析の分野では17025に基づく試験所や校正機関がすでに適用されつつある。しかし我が国では、試験結果が検査員の技量に依存する非破壊試験の分野では、個人ごとの技量認定を適用することで作業の妥当性を確認しており、17025に基づく試験所の適用事例の報告は国内ではほとんど無かった。

試験所としての審査要件の中には組織の要員、施設・環境、設備に加え、採用する試験方法に対する測定の不確かさを推定し評価する要求事項が含まれている。その推定方法については、日本適合性認定協会発行のJAB NOTEなどで指針が示されている。一般に業界内で妥当であると認められた不確かさとして使用できる公差や基準値が存在すればこれを使用することがで

Shigeru Harada (Shigeru.Harada@toshiba.co.jp)

Makoto Kuramochi

Toshiba Corporation

Satoshi Takebe

Toshiba Electric Engineering Corporation

きるが、数値が存在しない場合は、試験所単位でデータを統計的に解析し推定する必要があり、その方法については代表的な事例で説明している。しかしながら、設備や環境のみならず要員の技量にも依存する非破壊試験に対する不確かさの推定については具体的な適用方法や適用事例は見あたらない。

そこで品質工学で用いられるL18直交表を利用して、非破壊試験の分野において不確かさを合理的に求める方法を検討し、適用した。本報告では非破壊試験手法のうち、浸透探傷試験に関して適用した事例について報告する。

2. 試験所の不確かさについて

試験所認定のためには、試験所における品質管理手法の確立とともに、作業実施に対する技術的要件として次の2点が上げられ、不確かさの推定が求められる。

- 非破壊試験を実施する設備、技量及びその管理レベルの妥当性が第三者機関により確認されていること
- 適用する試験に対する不確かさの推定と評価が適正に行われていること

不確かさとは、JAB NOTEによれば、測定の結果に付随した測定量に合理的に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ (誤差)のことであり、標準偏差または信頼水準を示した区間の半分値である。

また、不確かさは要因ごとに評価するため、測定環境での不確かさの要因をすべて列挙した上で見積もることが必要となる。また、不確かさは、業界内で公差や基準値として既知の場合はその数値を使用してよいが(タイプB)、観測値から統計的に評価して標準偏差を用いることが多い(タイプA)

実用計測における不確かさについては、図1に示す不確かさのブロックチャートで説明できる。すなわち、認証標準の不確かさに参照標準の不確かさを加えたものが①標準の不確かさとなり、これに試験機の不確かさを加わり、②試験機測定の不確かさとなり、さらに製品試験の不確かさが加わり、③製品試験の不確かさとなる。不確かさは各ステージで、発生要因ごとに分類、測定され、その影響は2乗和で計算される特徴を有している。

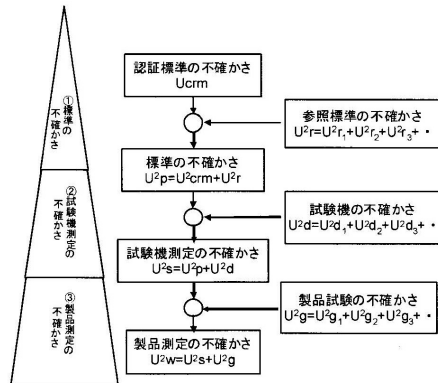


図1 不確かさの伝播と段階的推定図(ブロックチャート)

3. 浸透探傷試験について

非破壊試験における浸透探傷試験(PT)は、主に比較的滑らかな金属表面に開口した割れや気孔状の欠陥を精度良く検出する方法である。原理は図2に示すとおりである。まず、1)に示すように、検査すべき金属表面を洗浄する。水分や油脂が残らないよう溶剤を使い欠陥内部も含め金属表面を洗浄する。次に、2)に示すように、表面に赤色染料で着色した鋳物油の浸透液を検査対象の全面に塗り、欠陥内部まで浸透させる。製品ごとに定められた浸透時間が経過した後、3)に示すように、表面に付着した浸透液のみを注意深く拭き取る。その後、4)に示すように、白色微粒子溶剤に溶かした現像剤を金属表面にスプレーで吹付け、金属表面に白色粉体でできた薄い膜を作る。

開口欠陥が存在すると、欠陥の中に残存した浸透液が白色粉体の薄膜に拡散する。白いバックグラウンドに赤い浸透液が欠陥の幅より広い範囲に広がり、指示が現れるため、視認性が上がる。スケールを使い指示模

様の大きさを計測し、欠陥寸法を評価する。

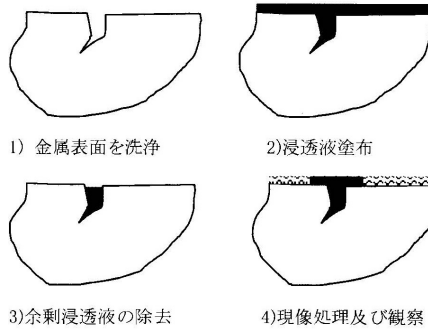


図2 浸透探傷試験の原理

4. 浸透探傷試験における不確かさの推定方法

1) 試験の方針

PTにおける不確かさは図1による③での製品試験の不確かさの影響が比較的大きく、これに①標準の不確かさと②試験機測定の不確かさがどの程度影響するかを評価することが主目的となると想定できる。そこで、作業員、測定器、検査環境を要因として先ず抽出した。標準の不確かさなどは相対的に小さいことが想定されるため、誤差項に含めて評価することとした。

2) 評価特性

今回の試験では、溶接部の表面に発生した線状の開口欠陥を使用することとした。

浸透探傷試験に使用した試験板と試験板で検出される指示模様を概要を図3に示す。

溶接部に発生している3箇所(欠陥a,b,c)に対して、欠陥の大きさと位置の評価を行った。浸透液が表面に拡散させる現像時間が異なると、測定値が異なることが予想されたため、10分、20分、30分で実験を行った。

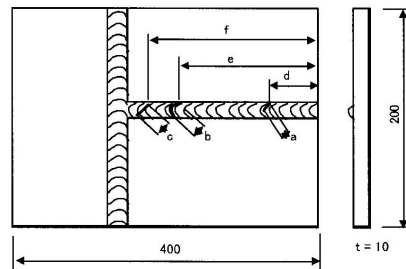


図3 PT試験板と欠陥

試験に使用した欠陥と位置、及び現像時間を表1に示す。欠陥3箇所について大きさ3×現像時間3=9、位置3×現像時間3=9の合計18のPT試験評価について不確かさの検討を行った。

表1 欠陥及び欠陥位置と現像時間

欠陥大きさ評価												
実際の大きさ(mm)	a:10.6			b:14.0			c:13.1					
現像時間(分)	10	20	30	10	20	30	10	20	30			
欠陥位置評価												
実際の位置(mm)	d:51.7			e:200.1			f:270.4					
現像時間(分)	10	20	30	10	20	30	10	20	30			

3) 誤差因子

測定誤差を与える変動要因を次のように設定した。

表2 不確かさに影響すると予想された変動要因

記号	因子名	水準1	水準2	水準3
A	試験体温度	下限近傍	上限近傍	-
B	e	-	-	-
C	浸透時間	通常	通常	上限
D	e	-	-	-
E	照度	低	高	高
F	現像膜厚	普通	濃く	濃く
G	測長器	スケール1	スケール1	スケール2
H	検査員	A	B	C

4) 実験結果及び評価方法

誤差因子をL18直交表に割り付け、繰り返し3回で実験を行った。欠陥大きさa:10.6mm、現像時間10分測定の実験結果を示す。

表3 試験の一例(対象欠陥a:10.6 現像時間:10分間)

試行No	欠陥位置	欠陥大きさ	現像時間	測長器			検査員			測定結果		
				スケール1	スケール1	スケール2	A	B	C	10分	20分	30分
1	上表面	a	10	スケール1	スケール1	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
2	上表面	a	20	スケール1	スケール1	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
3	上表面	a	30	スケール1	スケール1	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
4	上表面	a	10	スケール1	スケール2	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
5	上表面	a	20	スケール1	スケール2	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
6	上表面	a	30	スケール1	スケール2	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
7	上表面	a	10	スケール2	スケール1	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
8	上表面	a	20	スケール2	スケール1	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
9	上表面	a	30	スケール2	スケール1	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
10	上表面	a	10	スケール2	スケール2	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
11	上表面	a	20	スケール2	スケール2	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
12	上表面	a	30	スケール2	スケール2	スケール1	A	B	C	10.5	10.5	10.5
13	上表面	a	10	スケール2	スケール1	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
14	上表面	a	20	スケール2	スケール1	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
15	上表面	a	30	スケール2	スケール1	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
16	上表面	a	10	スケール2	スケール2	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
17	上表面	a	20	スケール2	スケール2	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5
18	上表面	a	30	スケール2	スケール2	スケール2	A	B	C	10.5	10.5	10.5

製品測定の不確かさは、全ての変動要因における測定誤差と考え、試験No.1~18の全データn=18×3を使用して望目特性のSN比30.1dbを算出した。

SN比=10log(m²/σ²)よりσ²=0.108、σ=0.329が算出され、製品測定の不確かさとした。

不確かさに対する各変動要因ごとの影響度評価については、L18直交表の試験No.ごとに望目特性の感度を算出し、分散分析表を作成することによって各変動要因の誤差の大きさの影響度を把握した。変動要因を割り付けていない2列目、4列目の効果は誤差項にプール

して、今回取り上げていない変動要因の効果として把握した。分散分析表より寄与率を算出し、変動要因別の不確かさを算出した。

表4 感度の分散分析表と寄与率計算

因子	f	S	V	寄与率	σ ² ×寄与率
A:試験体温度	1	0.012	0.012	2.40%	0.003
B:e	2	0.033	0.016	3.20%	0.003
C:浸透時間	2	0.071	0.035	6.95%	0.008
D:e	2	0.039	0.020	3.82%	0.004
E:照度	2	0.016	0.008	1.53%	0.002
F:現像膜厚	2	0.079	0.039	7.72%	0.008
G:スケール	2	0.050	0.025	4.93%	0.005
H:検査員	2	0.709	0.355	69.44%	0.075
e	2	0.000	0.000	0.01%	0.000
(eのプール)				7.03%	0.008
T(合計)	17	1.009	(0.511)	100.00%	0.108

寄与率を考慮した要因ごとの不確かさとブロックチャートとの関係を図4に示す。要因に割り付けられた項目については寄与率を考慮した分散が不確かさの2乗で評価されている。また、誤差としてプールされた項には①標準の不確かさと②試験機測定の不確かさが含まれていると考えられる。

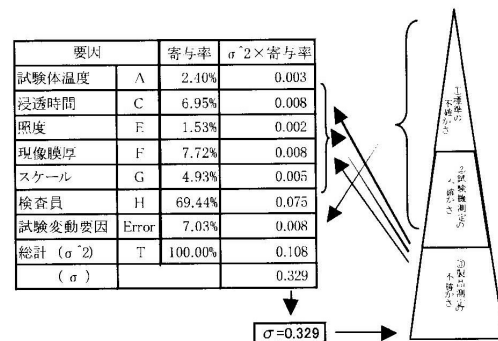


図4 不確かさの構成

欠陥の大きさ、位置は欠陥寸法として y=BM y:PT試験による欠陥寸法 M:欠陥寸法の真値として動特性のSN比で評価することもできるが、審査手続きをわかりやすくするために、個別に分散分析表を算出し平均した。実験結果を下表に示す。

表5 各種欠陥、位置に関する試験結果

評価項目	要因	分散分析表												寄与率
		欠陥位置1			欠陥位置2			欠陥位置3			欠陥大きさ			
		10分	20分	30分	10分	20分	30分	10分	20分	30分	10.6	13.1	14.0	
試験体温度	A	0.003	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	2.4
浸透時間	C	0.005	0.001	0.000	0.010	0.001	0.001	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	6.95
照度	E	0.002	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	1.53
現像膜厚	F	0.008	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	7.72
スケール	G	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	4.93
検査員	H	0.075	0.078	0.076	0.073	0.070	0.072	0.075	0.076	0.075	0.075	0.075	0.075	69.44
誤差	e	0.008	0.008	0.004	0.015	0.010	0.010	0.008	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	7.03
総計	T	0.108	0.028	0.022	0.059	0.053	0.053	0.059	0.052	0.052	0.059	0.052	0.052	100.00

PTに於いては、試験手順や判定すべき欠陥指示模様の大きさなど、要因の変動範囲が限定的であることから18種類の試験結果より不確かさ(合成不確かさ)求めた。結果を表6に示す。

表6 PTでの不確かさの推定(合成不確かさ)

変動要因		分散平均	寄与率
試験体温度	A	0.006	6.5%
浸透時間	C	0.006	6.5%
検査面照度	E	0.003	3.3%
現像膜厚	F	0.005	5.4%
寸法測定器	G	0.005	5.4%
検査員	H	0.052	56.5%
試験変動要因	Error	0.015	16.3%
総計	T	0.092	100.0%
不確かさ/標準偏差		0.303	

測定の信頼区間を与える拡張不確かさ(U)は合成不確かさ(Uc)に包含係数k=2を乗じて次のように求めた。

$$U = k \times U_c = 2 \times 0.305 = 0.61 \text{ mm}$$

PTによる合成不確かさは検査現場で遭遇する欠陥寸法が1-2mm以上からであり、決して小さいとはいえないが、分散分析表の結果より、その誤差変動の要因は試験条件や測定器によるものよりも検査員(記号H)や技量(記号F)に起因する分散が61.9%以上を占め、要領書で許容される試験方法の選択による要因(A,C,E,G,G)で発生する分散は限定的であることが分かった。

5. 本評価方法の有効性

不確かさの評価の結果は、バジェットシートと呼ばれる一覧表にまとめ、不確かさのピラミッドで示されたブロックごとに不確かさを求め、実用計測における不確かさを求めることが一般的である。各ステージでの要因に対する不確かさの値が既知であれば、これを使用することができる。しかしながら、非破壊試験のように、試験所を適用する工業分野での不確かさに対する取り組みが必ずしも十分に行われていない場合は、新規に立ち上げようとする試験分野ごとにおおのこの試験所が統計的手法に基づく、合理的な評価方法により、不確かさを推定する必要が生じる。

JAB NOTEでも、校正証明書による方法、規格公差による方法、実験による方法、実績から標準偏差を求め方法などが推奨されている。利用できる数値が既知と

なっていない場合は、統計的に求めることが一般的でありかつ推奨されている。しかし、事前に見積もった要因が多数ある場合は、要因ごとに条件を設定して統計的にデータを解析するには、かなりの労力を要することになる。

今回提案した評価方法は、不確かさを要因ごとに積み上げる従来の方法とは異なり、測定系の不確かさを求めた上で、その寄与度を合理的に明らかにして、不確かさの構成を明らかにする方法であり、変動要因に対する影響の度合いがある程度予測できる場合には、比較的適用しやすい評価方法であると考えられる。

6. まとめ

非破壊試験に関する試験所の認定を受けるために日本適合性認定協会(JAB)を認定機関として、審査を受審した。本報で報告したように、測定誤差を与える変動要因を18直交表に割付け実験を行い、浸透探傷試験の不確かさを効率的に評価し、推定することができた。これによりJABでの日本初の非破壊試験に関する試験所認定を受領することができた。

タグチメソッドで使用する直交表を活用し、様々な変動要因に対して1セットの試験で不確かさを定量的に求めることができて、また算出された数値の妥当性についても審査官より良い評価を受けることができた。直交表を使用して不確かさを求める新たな活用方法が提案できたと考えている。

参考文献

- 1) JIS Q 17025 試験所及び校正機関の能力に関する一般事項 (ISO/IEC 17025) (2005)
- 2) JAB NOTE 2 不確かさの求め方 日本適合性認定協会 (2000)
- 3) 田口玄一・横山巽子: ベーシックオフライン品質工学, 日本規格協会

2.9 超音波厚さ計による測定の不確かさ評価

あいち計測研究会 計量士 糸 正光

2.9.1 はじめに

非破壊検査に、金属のパイプや容器を壊さずに超音波で測定する方法がある。化学プラントでは使用されている金属パイプの定点を定め、年一回の間隔で厚みを測定し、厚さ（肉厚）が限界値に達したら更新を行うことにしている。ある年のこと一部の測定結果が、前年までは平均的な減肉であったが、1年間で5倍も減肉している測定結果が得られた。この1年は通常の運転であり、このような結果は考えられないので、測定値の確認のため超音波厚さ計による測定の不確かさの評価を行った。

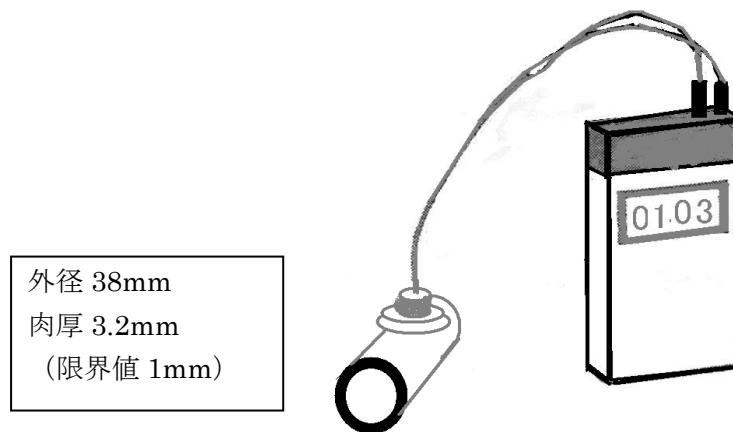


図1 超音波厚さ測定

2.9.2 不確かさを求める実験計画

1) 厚さ測定の方法

厚さ測定は JIS Z 2355 「超音波パルス反射波による厚さ測定」に従い、測定者が金属パイプの外側に、接触媒体を塗り、探蝕子押し付けパイプの肉厚を測定している（図1）。

2) 信号因子(M)

測定対象は $\phi 38$ mm、肉厚 3 mm のパイプであり、入手の関係から、 $\phi 34$ mm のパイプの厚みを 1.0 mm、1.8 mm、2.6 mm の現物標準を作り、信号因子とした。

3) 誤差因子(A,B,C,D,E,F)

測定上考えられる、温度、測定者、探蝕子の接触圧力、水平角度、測定角度および接触媒体を誤差因子とした。

4) 信号因子と誤差因子の水準

信号因子と誤差因子の水準は表1の水準に設定した。

5) 不確かさの評価方法

JIS Z 9090 「測定一校正方式通則」 附属書 2 「計測器の使用における誤差の大きさを求める実験による。」

表 1 信号因子と誤差因子の水準

因子	水準		
	1	2	3
A : 気温	15℃	25℃	
M : パイプの厚さ	1.0 mm	1.8 mm	2.6 mm
B : 測定者	新人	有資格者	経験者
C : 探触子の接触圧力	軽く	普通	強く
D : 探触子の水平角度	45°	正位置	90°
E : 探触子の測定角度	右斜め	垂直	左斜め
F : 接触媒質	水	グリセリン	マシン油

2.9.3 直交表への割付け及び実験結果

信号因子と誤差因子を L₁₈ 直交表に割付け、測定開始前に測定器の零点及び基準片による調整を行い、表 2 に示す超音波厚さ計の測定データを得た。

表 2 直交表への割付けと実験結果

行番	A	M	B	C	D	E	F	e	データ mm	偏差データ mm
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.9	1.9
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2.9	1.9
3	1	1	3	3	3	3	3	3	2.7	1.7
4	1	2	1	1	2	2	3	3	2.8	1.0
5	1	2	2	2	3	3	1	1	2.8	1.0
6	1	2	3	3	1	1	2	2	1.9	0.1
7	1	3	1	2	1	3	2	3	3.4	0.8
8	1	3	2	3	2	1	3	1	3.6	1.0
9	1	3	3	1	3	2	1	2	3.3	0.7
10	2	1	1	3	3	2	2	1	2.6	1.6
11	2	1	2	1	1	3	3	2	2.9	1.9
12	2	1	3	2	2	1	1	3	2.0	1.0
13	2	2	1	2	3	1	3	2	2.9	1.1
14	2	2	2	3	1	2	1	3	2.7	0.9
15	2	2	3	1	2	3	2	1	2.7	0.9
16	2	3	1	3	2	3	1	2	3.7	1.1
17	2	3	2	1	3	1	2	3	3.1	0.5
18	2	3	3	2	1	2	3	1	2.4	-0.2

2.9.4 計算

測定開始前に測定器の零点及び基準片による調整を行ったので一次式校正を想定して計算した。

$$S_m = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_{18})}{18} = 19.85$$

$$S_T = (y_1)^2 + (y_2)^2 + \dots + (y_{18})^2 = 25.75$$

$$y_{M1} = y_1 + y_2 + y_3 + y_{10} + y_{11} + y_{12} = 10.0$$

$$y_{M2} = y_4 + y_5 + y_6 + y_{13} + y_{14} + y_{15} = 5.0$$

$$y_{M3} = y_7 + y_8 + y_9 + y_{16} + y_{17} + y_{18} = 3.9$$

$$S_\beta = \frac{(-y_{M1} + y_{M3})^2}{6 \times 2} = \frac{(-10.0 + 3.9)^2}{12} = 3.10$$

$$\beta' = \frac{-y_{M1} + y_{M3}}{6 \times 2hm} = \frac{-10.0 + 3.9}{9.6} = -0.63542$$

$$S_e = S_T - S_m - S_\beta = 25.75 - 19.85 - 3.10 = 2.80$$

$$V_e = \frac{S_e}{f_e} = \frac{2.80}{16} = 0.175$$

$$r = 6 \times 2hm^2 = 7.68$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_e} + \frac{2 \times \beta' + 1}{V_e} = 0.628$$

$$10 \log \eta = -2.02(\text{db})$$

誤差分散の推定値

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{0.628} = 1.59(\text{mm})^2$$

$$\hat{\sigma} = 1.26(\text{mm})$$

2.9.5 使用における不確かさの改善処置

1) 改善処置

実験の結果から、チューブの厚さ 1~3 mm の測定における不確かさが限界値の 1mm より大きくなることが明らかとなったので、以下の改善処置を行った。

- ① 測定器の測定範囲が広すぎる (1~200 mm) ので、測定範囲が狭く、薄板が測定できるセンサーに替えた。
- ② 測定器の付属の校正用試験片 (平板 5 mm) での校正は不適切であると考え、実物に近いパイプ形状の標準を作り校正した。

$$(M_1 : 1.04 \text{ mm}, M_2 : 1.81 \text{ mm}, M_3 : 2.69 \text{ mm})$$

2) 確認実験

改善後確認実験を行い、表 3 の結果となった。

3) 使用における誤差分散の推定

表 3 の結果から、使用における誤差分散の推定値を求めた。

$$\text{SN比 } \eta(\text{真数}) = 227.84 \quad \eta(\text{db}) = 23.6(\text{db})$$

$$\text{誤差分散の推定値 } \hat{\sigma}^2 = 1/227.84 = 0.0044(\text{mm})^2$$

表 3 改善後の確認実験結果

行番	A 1	M 2	B 3	C 4	D 5	E 6	F 7	e 8	データ mm	偏差データ mm
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.2	0.16
2	1	1	2	2	2	2	2	2	1.1	0.06
3	1	1	3	3	3	3	3	3	1.2	0.16
4	1	2	1	1	2	2	3	3	1.9	0.09
5	1	2	2	2	3	3	1	1	1.9	0.09
6	1	2	3	3	1	1	2	2	1.8	-0.01
7	1	3	1	2	1	3	2	3	2.8	0.11
8	1	3	2	3	2	1	3	1	2.7	0.01
9	1	3	3	1	3	2	1	2	2.8	0.11
10	2	1	1	3	3	2	2	1	1.1	0.06
11	2	1	2	1	1	3	3	2	1.1	0.06
12	2	1	3	2	2	1	1	3	1.1	0.06
13	2	2	1	2	3	1	3	2	1.8	-0.01
14	2	2	2	3	1	2	1	3	1.8	-0.01
15	2	2	3	1	2	3	2	1	1.8	-0.01
16	2	3	1	3	2	3	1	2	2.6	-0.09
17	2	3	2	1	3	1	2	3	2.7	0.01
18	2	3	3	2	1	2	3	1	2.7	0.01

2.9.6 超音波厚さ測定の不確かさ

1) 超音波厚さ計使用における誤差分散

前記 2.9.5 の確認実験の結果から求められた誤差分散の推定値による。

$$\hat{\sigma}^2 = 0.0044(mm)^2$$

2) 超音波厚さ計校正の誤差分散

JIS Z 9090 附属書 3「校正の作業の誤差の大きさを実験によって求める方法」により、超音波厚さ計の校正作業の不確かさを求めた。信号因子Mは校正に使用する現物標準を誤差因子Nは室温 22℃～31℃の環境において 4 回の測定を行い、表 4 の結果が得られた。

表 4 校正の作業の実験結果

(a)校正作業の結果 (mm)				(b)偏差データ (mm)			
誤 差	信号因子			誤 差	信号因子		
	M ₁ (1.04)	M ₂ (1.81)	M ₃ (2.69)		M ₁	M ₂	M ₃
N ₁	1.00	1.90	2.70	N ₁	-0.04	0.09	0.01
N ₂	1.00	1.90	2.70	N ₂	-0.04	0.09	0.01
N ₃	1.10	1.90	2.70	N ₃	0.06	0.09	0.01
N ₄	1.00	1.80	2.70	N ₄	-0.04	-0.01	0.01

校正における誤差分散の計算

$$S_e = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{43}^2 = (-0.04)^2 + 0.09^2 + \dots + 0.01^2 = 0.0332$$

$$V_e = \frac{S_e}{n-1} = \frac{0.0332}{11} = 0.00302$$

$$\eta_c = \frac{1}{V_e} = \frac{1}{0.00302} = 331$$

$$\text{誤差分散の推定値 } \hat{\sigma}_c^2 = \frac{1}{\eta_c} = \frac{1}{331} = 0.00302(\text{mm})^2$$

3) 標準の不確かさ

現物標準の校正の不確かさはその不確かさ ($\sigma_0 = 0.05\text{mm}$) から誤差分散の推定値を求めた。

$$\hat{\sigma}_o^2 = 0.05^2 = 0.0025(\text{mm})^2$$

4) 合成標準不確かさ

合成標準不確かさの推定値 $\hat{\sigma}_T$ は使用における誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}^2$ 、校正の誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_c^2$ および標準の誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_o^2$ から求めた。

$$\hat{\sigma}_T^2 = \hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_o^2 = 0.0044 + 0.0030 + 0.0025 = 0.0099(\text{mm})^2$$

$$\hat{\sigma}_T = \sqrt{0.0099} = 0.10(\text{mm})$$

5) 拡張不確かさ

包含係数 $k=2$ の場合の拡張不確かさ U を求めた。

$$U = k\hat{\sigma}_T = 2 \times 0.10 = 0.20(\text{mm})$$

拡張不確かさは測定対象の限界値 (1mm) の 1/5 となり、測定結果は信頼できる。

2.10 残留農薬検査結果に求められること（食品分析開発センター）

食品製造の品質管理に関わる全ての人も同様であるが、食の安心・安全をゆるがす事件・事故が次々と起こり、安全の保証をつかさどる検査現場は正しい検査結果を得るための取り組みを行っている。

残留農薬のような ppb～ppm レベルの残留有害物質の分析結果に求められる信頼性等について厚生労働大臣登録の検査機関として食品に関する各種検査・分析及び幅広いコンサルト業務を行っている財団法人 食品分析開発センター（SUNATEC）の事例を紹介する。

2.10.1 試験室の信頼性

分析結果（数値）は実物が有るわけではないため、その正しさの調査はまず試験室の能力を評価することが必要とされる。1962年にFAOとWHOにより設立された国際食品規格の委員会、いわゆるCodex委員会では、国際的に通用する試験室条件として「食品の輸出入管理に係る試験所の能力評価に関するガイドライン」CAC/GL27:1997の中で以下のような条件を求めている。

- ① 妥当性が確認された分析方法を用いていること
→分析法バリデーション、ベリフィケーション
- ② 内部精度管理を行っていること
→管理試料、添加回収試験
- ③ 適切な技能試験に参加していること
→外部精度管理 FAPAS など
- ④ ISO/IEC 17025の要求事項を満たしていること
→組織、管理された機器・器具・試薬、記録

これらの条件が満たせて、第一関門がクリアされたといえる。精度管理や技能試験に関しては今や検査を行う上で常識となっているため、説明は割愛する。分析法の「妥当性確認」とISO/IEC 17025要求事項の「不確かさ」から自らの検査結果がどのような精確さを持つのかを知っている必要が有る。

2.10.2 分析法の妥当性確認

正しい分析結果を得るには、言うまでもなく正しい分析法が必要である。食品衛生法の適否を判断していく上では、通知試験法と同等な妥当性がある分析法が必要となる。

残留農薬分野における、「分析法が該当する目的に対し、妥当な結果が得られるかを評価すること」いわゆるバリデーション（Validation）については厚生労働省から平成19年11月15日食安発第1115001号「食品中に残留する農薬等に関する試験法の妥当性評価ガイドライン」として通知された。

（最終改正：平成22年12月24日付け食安発第1224第1号）通知試験法は不検出基準（これらは告示法によってのみ評価される）以外の規格基準との適否を決める試験法である。以前から通知試験法と同等以上の分析法であれば通知試験法に変えて自室開発の分析法を用いて良いこととなっていたが、この通知により、それまで各試験室の価値観にゆだねられていた「同等以上」の評価方法が明確になった。各パラメータのうち、分析結果の「精確さ」を示す、真度及び精度の目標値を表1に抜粋した。真度は、濃度範囲に寄らず、試行回数5回以上で回収率が70～120%とされており、精度は濃度範囲に応じたRSD%で示されている。これらパラメータは、分析結果の「不確かさ」に大きくかわることになる。その関係は「分析結果の不確かさ」として後述することとする。他のパラメータについては同ガイドラインを確認いただきたい。

表 1 妥当性評価ガイドライン中の真度および精度

濃度 (ppm)	試行回数 (回)	真度 (回収率) (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
≤0.001	5	70 ~ 120	30 >	35 >
0.001 < ~ ≤0.01	5	70 ~ 120	25 >	30 >
0.01 < ~ ≤0.1	5	70 ~ 120	15 >	20 >
0.1 <	5	70 ~ 120	10 >	15 >

2.10.3 分析結果の不確かさ

SUNATEC AT センターは 2008 年の 4 月に財団法人 日本適合性認定協会 (JAB) から農薬一斉分析で ISO/IEC 17025 の認定を取得した。この ISO/IEC 17025 技術的要求事項の中に「測定の不確かさの推定」という項がある。この不確かさの推定などを行うことにより、自分達の分析結果が数値としてどの程度絶対的な物として取り扱うことが出来るのかが明確になる。

多くの試験室がそうであると推測するが、自試験室で構築した分析方法の妥当性確認(Validation)もしくは公定法などが正しく再現できること (Verification) の確認は先に紹介した「妥当性確認ガイドライン」を機軸にすると考えられる。(当試験室の ISO/IEC 17025 取得においての Verification もこの妥当性評価ガイドラインへの適合とした。)そこでここでは精度が妥当性評価ガイドラインに沿っている分析法によって得られた分析結果にどの程度の「不確かさ」があるのかを考えることとする。

例えば、0.050 ppm という分析結果があったとして、この分析結果に対して、どのくらいの数値範囲を持つ可能性があるのかを考えてみる。妥当性評価ガイドラインに沿った妥当性確認が行われていた場合、0.050 ppm という分析結果数値を範囲とする分析法としては、室内精度 RSD%値で 20%程度のばらつきをもつこととなる (表 1 参照)。(厚生労働省の妥当性評価ガイドラインでは、各濃度範囲で一定の RSD%値が採用されているが、本来なら RSD%値は各濃度において

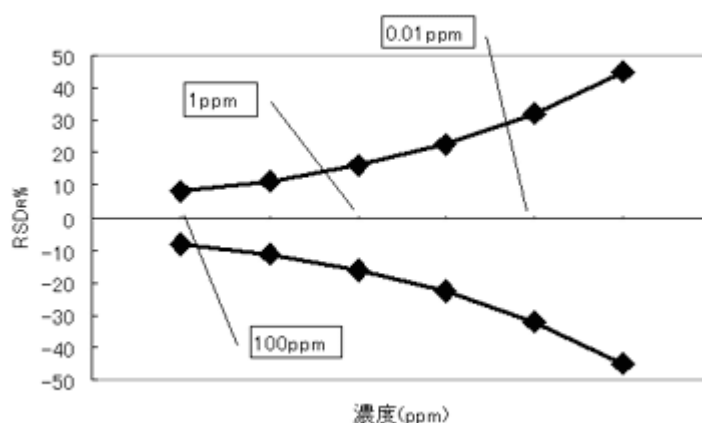


図 1 Hortwitz のトランペット

連続的に変化するものである。このような分析値のばらつきについては Horwitz の式が有名である。これは 100 以上の共同検査結果から求められたものであり、分析値のばらつきはその濃度に由来するというものである。(図 1 参照)厚生労働省の妥当性評価ガイドラインの精度もほぼ同様な数値である。近年はこの Horwitz の式を Thompson によって一部修正したものが FAPAS®をはじめ、多く用いられている。この Horwitz 修正式では 0.12 ppm 未満の濃度の室内再現性 RSD%値は 22%で一定となるというものである。)信頼水準を 95%と置くためにはこの室内精度 RSD%に 2 を乗じる必要がある。(ISO/IEC 17025 でも同様に包括係数として 2 を乗じる。)つまり、妥当性評価ガイドラインに適合した分析結果でも最大 20×2=40%程度のバラツキを生じると言うことになる。

要するに 0.050 ppm の結果に対して、約 95%の確率で 0.030~0.070 ppm の値の中に入ると言うことである。この場合、規格基準値が 0.05 ppm の場合、非常に厄介な数字となる。模式図を図 2 に示した。基準値が 0.05 ppm であるのでこの基準値に対して不適合となる場合は分析値が 0.055 ppm (基

準値+1桁を四捨五入した場合に基準値を超える場合)を示した場合になる。よって、0.050 ppm の分析値そのものは基準値違反とされないが不確かさを考慮すると違反の可能性も出てくる。(0.050 ppm の分析値に対して、0.055 ppm を超える確率は約 31%) 図-2 のパターン (1) もしくは (5) のように「違反」・「違反でない」ことが明確な場合は結果採用に迷いはないが、パターン (2) ~ (4) のような不確かさで基準値をまたぐ場合は、再試験を行い、再現性を確認し、どのパターンの結果であるか確定していく必要がある。

なお、検査依頼する立場におかれても検査成績書に記載された結果数字には上記のように「不確かさ」が有ることを理解いただかなくてはならない。

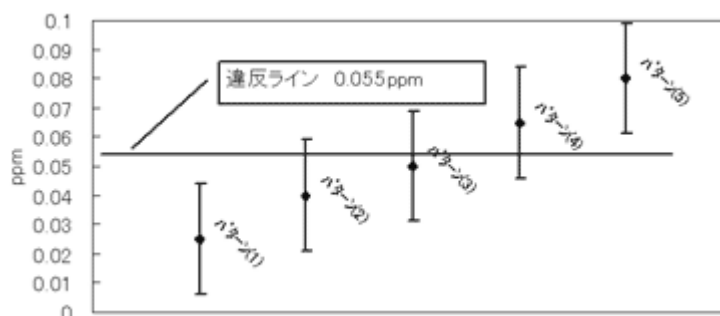


図2 基準値 0.05ppm の場合の分析値の判断

2.10.4 おわりに

毎日のように有害物質の混入・残留が報道され、製品の回収を判断する検査結果の信頼性の重要度は日々高まるとともに迅速さも同時に求められる。検査現場は1つの検査結果が持つさまざまな影響に手が震えながら結果を採用することになる。

このような社会的状況の中で、検査結果を提出していくには、まず自分たちの検査がどのような信頼性を持っているのかを正しく把握しておく必要がある。検査結果に絶対はない。必ず「不確かさ」が存在することを正しく理解し、得られた検査結果について説明できることが必要とされるであろう。

第3章 測定の不確かさの活用に関する企業との意見交換結果

3.1 一般財団法人 日本繊維製品品質技術センターにおける不確かさ導入についての意見交換

-繊維業界における不確かさの利用の現状と将来の課題-

日 時：平成23年10月26日（水）

場 所：一般財団法人 日本繊維製品品質技術センター

出席者：一般財団法人 日本繊維製品品質技術センター：アドバイザー 下谷忠義氏

不確かさ活用委員会委員：阿部正一、渡部良一、城野克広（記録）

事務局：倉野恭充

3.1.1 一般財団法人 日本繊維製品品質技術センター（QTEC）について

一般財団法人 日本繊維製品品質技術センター（以下 QTEC と略記する）は、「1993年に、歴史と伝統を持つ財団法人繊維雑品検査協会、財団法人日本メリヤス検査協会、財団法人縫製品検査協会の3検査機関が統合して、アパレルから生活用品、産業資材へと分野を広げて発足した繊維製品を中心とした総合試験・検査機関で（QTEC パンフレット（業務のご案内）より）」あり、「1994年には財団法人撚糸・縫糸検査協会、1997年には財団法人麻製品検査協会を統合し、業務活動の内容をさらに充実させ（同上）」ている。

QTECの主な業務は「品質評価業務（品質性能の評価と証明、外観品質の評価と証明）」、「技術評価業務・技術指導業務（QTEC 認証工場制度、QTEC 認証検品工場制度）」、「普及啓発業務（セミナーの開催、機関誌、テキストの発行）」、「適合性評価業務（登録認証業務、登録確認業務、校正事業）」、「交流と協力・標準化等業務」である。このうち、「品質評価業務」では、「国内で消費される繊維製品や諸外国へ輸出される繊維製品の製品性能、外観品質、表示事項などを評価し、証明（同上）」している。品質性能の評価は様々な項目について行い、「アパレル製品の品質性能試験」、「繊維製品中の化学分析試験」、「バッグ、傘、靴などの生活用品の消費性能試験」、「羽毛製品や寝装品の性能試験」、「抗菌性、抗かび性などの微生物試験」、「カーテン、じゅうたん等のインテリアファブリックスの性能試験」、「ベルト、ロープ等産業資材の性能試験」などがある。

これらの試験は JIS 等に定められた基準に従って行われている。特徴的なのは、その適合基準が JIS 等に定められたものがロープやタイル、カーペットに限られているということである。それ以外の試験項目のほとんどは、百貨店、量販店、通販、アパレル等の企業規格への適合を確認するために行われていることである。特に販売店の規格への適合が求められるという点が、標準化が難しいアパレルという業界の特徴をよく表している。

QTEC は 1997 年に工業標準化法試験事業者登録制度（JNLA）に基づく試験事業者資格を初めて取得し、品質評価業務の品質の向上に努めている。また、2005年にはガラス製温度計について JCSS 校正事業者の登録を受け、校正における信頼性の評価に対してもその理解を深めてきた経緯がある。

3.1.2 QTEC における不確かさ評価とその利用

おもに JNLA の取得に伴い、ISO/IEC 17025 に対応するために不確かさの理解を深めてきた。現在、社内の内部資料として、「より数・質量・寸法・水分率・厚さ試験」、「繊維製品引っ張り強さ試験」、「可溶性物質含有率・油脂分・溶剤抽出分析」、「破裂強さ試験」、「寸法変化試験」、「有害物質試験（ホルムアルデヒド）」、「縫目試験」、「引っ張り強さ試験」、「吸水性試験」、「繊維混用率」などの不確かさ算出の手順書を準備している。一方で、色落ち試験などの外観評価など目視で行われる官能試験を請け負うことも多い。これらの検査は単なる合否や、標準化された級数を付されて評価されることになり、不確かさ評価の対象とはしていない。

さて、QTEC においては、試験結果の報告書に不確かさを付すことはしていない。製品のばらつきに比べて、試験の不確かさが十分に小さいため、試験の不確かさが大きな問題となることは実際上も考えにくいと判断している。（サンプルのばらつきは試験の不確かさには通常含めない。）QTEC のみではなく、この業界の試験所全体が試験結果に不確かさを付けていないとのことである。顧客から要望があった場合には、不確かさを報告する準備はあるもの、実際のところ、顧客から不確かさを付する要望は無い。また、顧客からのクレームはヒューマンエラーやうっかりミスといった類のものがほとんどであり、試験のばらつきが原因であるとみなされるクレームはないということである。

このように外部機関の適合性の評価に不確かさを利用するということは現在のところ行われていない。しかし、QTEC では、QTEC 内の試験の精度管理のために、不確かさを利用している。例えば、JIS L 0848 に規定される「汗に対する染色堅ろう度試験方法」では、「垂直位置に複合試験片を取り付けた汗試験機を、 $37\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ の乾燥機中に入れて、4 時間保持する。（JIS L 0848, 7 項）」という記載がある。この温度の管理を厳密に行うために、温度計に付された校正値の拡張不確かさの分だけ厳しく温度管理するようにしている。すなわち温度計の校正値の拡張不確かさを U とすると、 $35\text{ }^{\circ}\text{C}+U$ と $39\text{ }^{\circ}\text{C}-U$ の間に温度を管理することを行っている。このように試験環境の温度に不確かさを考慮してすることで、より正確に JIS に定められた試験を実現するように努めている。

3.1.3 不確かさ評価における問題点：トレーサビリティ・ソースの問題

繊維品・縫製品の試験では、試験機による計測と環境条件の計測が行われている。標準の試験布や試験糸は存在しておらず、試験機の校正は直接的に行うことはできない。長さや質量、ノギスなどの標準を準備し、組み合わせる必要がある。また、環境測定の結果がどのように不確かさに影響するかは、感度係数によって結ばれるが、その算出も簡単ではない。これらのことから、考えうる不確かさを丹念に調べ上げても、トレーサビリティの確保という観点からは、やや問題のある評価になってしまう可能性がある。

トレーサビリティの確保が難しい一方で、繊維品・縫製品の業界では試験所間比較による外部精度管理を継続的に行い、試験所間でのばらつきを確認し、小さくすることに努めている。試験所間比較には様々な項目が設定されるが、おおよそ年に 3 回の頻度で何らかの試験所間比較を行っている。この試験所間比較による技能試験は項目によっては 80 試験所程度が集まり、共同的に測定する。もちろん、この場合も標準的な試験布、試験糸が存在しない問題はあるが、これは例えば布の場合はアルミ箔、糸の場合は釣糸などを用いることで解決している。

QTEC ではこれらの技能試験に継続的に参加している。さらに、その結果を不確かさ評価に

応用している例もある。例えば破裂強さ試験では、QTEC から 12 の事業所が試験に参加し、その結果から事業所間のばらつきの標準不確かさを定めている。統計学的には、これにより、トレーサビリティ・ソースが不明確な点をカバーすることができていると言える。不確かさが試験所間比較の結果の解釈に用いられることは多いが、試験所間比較の結果を不確かさ評価に用いるという逆の発想は、ユニークであり、興味深い。

3.1.4 海外の状況

QTEC では「海外事業所として、韓国・ソウル市、中国・上海市、青島市、無錫市、深圳市、バングラディッシュ・ダッカの 6 ヶ所に試験センターを設置し、クイックレスポンスが可能な体制を構築し、(QTEC パンフレット (業務のご案内) より)」顧客の要求に応じている。海外の試験所とは言え、多くは日本の顧客に対して、現地で試験を行うもので、JIS に準拠した試験を実施している。ただし、中国では、中国国内の規格 (GB) に準拠した試験も少しずつ行っているということである。細かい試験の方法が日本の規格と対応しないこともあり、国際的な標準化対応が必要になってくるかも知れないとのことであった。

3.1.5 まとめ

QTEC では現在、顧客に試験結果の不確かさは求めがない限り通知していないが、サンプリングの不確かさが大きく、試験の不確かさが問題なることは考えられないという理由には正当性がある。(サンプリングのばらつきは、工程能力指数と関係する。工程能力指数による品質の判断は、現在試験とは別に行われている。) 一方で、QTEC の試験結果の信頼を高めるために、校正の不確かさを利用するという提案は興味深いと感じた。トレーサビリティ・ソースの問題も上記のような理由から、実務的な問題ではないと言える。一方で、継続的な技能試験への参加によって、海外の試験センターも含めて、試験の精度を監視・維持することが今後も強く求められると感じた。

謝辞ならびに注記

この報告は一般財団法人 日本繊維製品品質技術センター (QTEC) アドバイザー 下谷忠義氏とのインタビューならびに提供資料を基に作成しました。下谷氏の多大なるご協力に深く感謝いたします。

3.2 複写機製造業における不確かさに関する意見交換

- ・開催日時：2011年11月25日（金） 14：00～16：00
- ・開場：富士ゼロックス株式会社 横浜みなとみらい事業所 7F 応接室 9
- ・テーマ：市販スキャナを使った測長システムの測定の不確かさの評価
- ・出席者：富士ゼロックス株式会社
商品開発本部 プロセスイノベーション部 曾我光英様
- ・委員：阿知波正之，山領泰行，磨田光夫，高井哲哉（記），河住春樹（事務局）

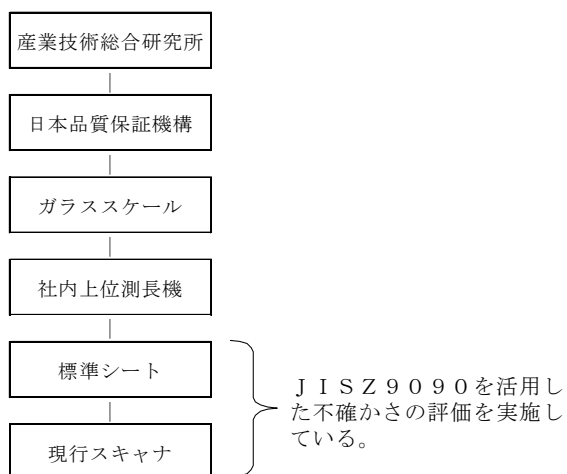
3.2.1 開会

訪問挨拶の後、今回のヒアリング調査の経緯と当委員会の趣旨について河住専務理事および阿知波委員長より説明した。

3.2.2 事例紹介

曾我様より、2010年に品質工学会を通じて発表された事例である『市販スキャナを使った測長システムの測定の不確かさの評価－2次元測長システムへのJIS Z 9090の活用－』について、紹介頂いた。併せて、品質工学が理解出来ればJIS Z 9090は非常に有効に活用出来るツールであるとの説明を頂いた。

1) 測長システムのトレーサビリティ体系



ガラススケールで値付けされた格子柄の標準シートをスキャンすることで位置情報を座標化（位置決め）し、スキャナの校正を実施している。事例で紹介頂いた精度は縦線、横線、斜め線（縦線、横線以外の成分）の精度。

標準シートによるスキャナの校正にJIS Z 9090を活用した不確かさの評価が用いられている。

2) 実験の概要

縦線の精度、横線の精度、斜め線の精度について、品質工学を用いて L_{18} の直交表に割り付け、実験を行った。誤差因子は温湿度、電源電圧、スキャナ傾きとし、4回の繰り返し測定をした。分散分析表より、回帰以外の因子を測定の不確かさと位置づけて見積もると、横線／縦線／斜め線の合成標準不確かさはそれぞれ、15.7／20.3／46.1(μm)となった。

3) 現行校正状況の妥当性の検討

損失関数を用いて計算すると、校正の最適間隔=8.6台(現行が10台)、最適修正限界=0.154mm(現行が0.15mm)となり、現行の管理値と概ね一致したため、現行の校正状況には妥当性があると判断した。

ただし、斜め線測定の不確かさが修正限界の約1/3となるので、改善が必要となった。

斜め線の不確かさはスキャナへの標準シートの置き方が寄与していることが、その後の実験で判明した。

(現場担当者のアイデアで標準シートを安定して置く事の出来る方法を用いた後継機での実験結果では、斜め線測定の不確かさが十分に小さくなった。被測定サンプルの置かれた角度と各実験のSN比から、判断に十分な傾向が伺える。)

3.2.3 Q&A

Q1：修正限界の0.15mmとはどのような限界値か？

A1：標準シートを用いて再校正を実施するポイントである。

作業の標準として、毎日標準シートで校正することになっている。(始業点検で校正を実施し、補正式を作っている)

Q2：前回校正時との校正值の差について特別な管理しているか？

A2：現状では気にしておらず、ソフトのデータを書き換えている。ただ、校正值の履歴は残る仕組みになっている。

Q3：事例では複写機の試作に使用するとあるが、量産品の仕組みと違うのか？

A3：量産品と同じ仕組みであり、展開も可能である。

Q4：誤差因子の温度や電源電圧の影響はどのように管理しているのか？

A4：電源電圧については考慮していない。

温度についてはソフト上で入力し、考慮している。熱膨張係数はカタログ値を使用している。

Q5：標準シートの置き方でSN比が大きく変動する結果が得られているが、どのように対応されているか？

A5：標準シートの傾きがある角度以上になるとNG処理とすることで対応している。

Q6：一般的な市販品のスキャナでスキャニングすると、画像がよく傾くのは何故か？

A6：一般的な市販のスキャナは位置決め精度が低いので画像が傾きやすい。

Q7：損失関数を用いた計算には市場状況を考慮しているか？

A7：市場不具合が無くなることによる効果は含んでいない。

ここで、不確かさの目標値に対する質問が高井委員からあり、富士ゼロックスでは標準不確かさが修正限界の1/10程度が良いのではないかと考えているという目標値に対して、磨田委員より、参考資料による精度比の考え方の紹介があった。

(資料では誤差の伝播則より 1/4 を推奨している旨が紹介されている。)

Q8：不確かさを考慮したガードバンドは設定されているか？

A8：現状では明確な設定値はない。

Q9：実験結果の偏差データを観ると、測定範囲で 0.1mm 程度の傾きがある。傾きが発生する要因があるはずなので、そこを考慮すればもっと良くなると思う。

A9：現状では傾きは補正しているが、標準シートの表示値そのものが効いてくるのかもしれない。まだ改善の余地はありそうである。

<その他、委員の意見>

- ・ 不確かさが統計的に分かってきて、その結果が改善につながっておりとても良い。本委員会のために添った活動である。
- ・ 問題点が見える化されており、今回の事例では紙の置き方など、設計に活かされている。
- ・ 富士ゼロックスでは多くの社員が品質工学 6 日間コースを受講されているとのこと。品質工学が社内で普及しており、大変素晴らしい。
- ・ 品質工学が社内で普及しているので JIS Z 9090 も使い易いと感じる。

3.2.4 閉会

計測管理部門の組織や各事業所の業務内容、品質工学会を通じての競合他社とのコミュニケーションなどフリーディスカッションし、ヒアリングは終了した。

3.3 電力システムにおける不確かさ活用に関する意見交換

- ・開催日時：2012年1月23日（月） 14:00～16:00
- ・会場：株式会社東芝 電力システム社京浜事業所応接室
- ・テーマ：非破壊試験の試験所認定における不確かさの推定・評価
- ・出席者：東芝電子エンジニアリング株式会社 武部智、山崎英俊
株式会社東芝 電力システム社 原田茂、松本浩一
- ・委員：阿知波正之、三橋克己、高尾明寿（記）、河住春樹（事務局）

3.3.1 開会

訪問挨拶の後、今回の趣旨説明を行った。

3.3.2 試験所における不確かさの導入経過と事例の概要

近年ヨーロッパ、アメリカ等では計測に関する取り決めは不確かさベースでの要求がなされるようになってきた。今回の事例は、欧州企業との取引の中で、事業所内で試験を行っただけのデータではなく、17025認定された試験所により試験を実施した結果が要求されたことから始まった。国内には非破壊検査の認定試験所がなく、海外の試験所に依頼すると費用が莫大になるため社内不確かさ算出と試験所認定を取得することとなった。

非破壊検査は各国に公的認定制度があり、検査員が個々に認定されている。しかし、欧州で受注する溶接構造部品は17025試験所で非破壊試験を実施するという要求があった。

不確かさを見積もる上で、GUMに従った要因の積み上げを行っていくことは、要因が推定しきれないため難しいと思われた。また、非破壊検査の認定実例や業界内の公差、基準値などがあればその値をBタイプとして評価することもできたが、資料を探しても見当たらなかった。

不確かさ評価を始めた当初は、Aタイプの因子は非常に多いので実験をして評価することも多難と思われた。しかし、以前から社内ですべて使っていた田口メソッドを適用することを考え、不確かさ評価の実験をL18直交表で実施することにした。

実験の解析の結果、検査員の不確かさ要因が大きな割合を占めたため、検査員の技量を把握しておけば試験所としての不確かさについても管理できることがわかった。

直交表を用いた実験と解析は非常に効率がよく、不確かさの推定も効率的に行えた。

今回の結果では、製品測定の不確かさ要因が他の要因（標準の不確かさ、試験機測定の不確かさ）より大きかったため、因子抽出と水準設定等にこの推定方法が有効であった。他の要因が大きいときは改めて実験をしなければならなかったと考えられる。

（事例の詳細は、2.8 非破壊試験の試験所認定における不確かさの推定・評価を参照）

3.3.3 Q&A

Q 試験員の国家資格をJABに登録しているのか？

A 国家資格を登録するのではなく、国家資格を持っている試験員を社内認定し、その認定された試験員を試験所で登録している。

Q 不確かさへの試験員の寄与率が高いが、試験員毎のばらつきをどのように扱うのか？

A 今回の不確かさ評価の過程で試験員に対する社内規格ができた。今回の実験から求めた標準

偏差を試験員の資格認定の判定基準に用いることにした。この基準を超えてしまった試験員は試験所に入れることができない為、判定基準を満たす技量になるまで教育を行うことにした。

Q JAB での認定において、探傷試験分野で他の認定事業者はいるか？

A 国内では初めてであり、まだ他社の取得例は無い。

Q 拡張不確かさ 0.61mm という数値を踏まえ、試験品の合否判断はどのようにしているか？

A 実際の試験は数ミリ単位のオーダーで合否判定を行うため、今回の不確かさは判定を行ううえで十分である。また、使用するスケールは 1 mm 目盛であり、この目盛を用いて 0.1 mm オーダーの数値を読み取っている。

Q この試験ではワレの深さはどのように扱うのか？

A 合否判定は長さだけで行う。深さは試験してもよいと規格にあるが、判定には使用しない。

Q 今回取り上げなかった他の不確かさ要因についてはどう考えているか？

A 検査液の塗布の仕方や試験方法については、国家資格認定の際に判断される為ばらつきになりにくいと考えている。また、試験員の不確かさの中でも評価されていると考えられる。溶接の欠陥はワレ状であり、検査液で見やすくして検出するが、ワレの端の部分の境界認識が検査員によりばらつきがあり、不確かさ要因として考えられる。この端部認識のばらつきは、画像認識の処理で判定する方法が研究されているが、実際問題として測定器をセットして検査するより検査員が検査したほうがはるかに早く試験ができる。

Q 欠陥の長さとは非破壊強度の関係はあるか？

A 規格上はクラックがあれば製品として不合格となる。ブローホール（小穴）はある程度許容される（数が規格化されている）。

Q 国内では、建築関連では試験所認定において不確かさは表記しなくてもよいということになったが？

A 海外ではその扱いはしてくれない。

Q 韓国ではどうか？

A 非破壊試験は、アメリカの規格を取り入れて実施している。今後ファスナー法案が広まれば他の分野でも不確かさが広まっていくかもしれない。

Q 認定取得について感じたことは？

A 分野ごとに不確かさ算出の適用例があると試験所認定の際に役立つと思う。また、算出方法も今回の方法以外にあるかもしれない。

3.3.4 閉会

事業所の業務内容、海外の状況等の話題を議論して終了した。

第4章 平成22年度 不確かさ実態調査委員会の報告書における事例の抜粋

4.1 自動車用ディスクホイール寸法管理における不確かさの導入

中央精機株式会社

4.1.1 不確かさ導入のいきさつ

中央精機（株）における従来の品質保証活動では不具合が発生した場合、原因を4Mで追求はしていたが、追求が不十分であり、経験や勘に頼った個々の再発防止対策で終わっていた場合が多かった。そのため、同じような原因で再発を繰り返し、もぐらたたき式の対策となっていた。

この様な体質から脱却するため、会社トップのリーダーシップのもと仕事の進め方の基本となる弊社独自の活動を「工程品質活動」と銘打ち、2005年より取り組みを開始した。

工程品質活動とは、例えば生産で言えば、どのように作れば100%良い製品が出来るのかを5M1Kの観点で明らかにさせて、その通りに造ることである。（品質は工程で造り込む）

5M1Kとは従来の4Mを仕事のニーズに合わせて更に細分化したもので、

材料 [Material]、方法 [Method]、人 [Man]、設備 [Machine]、金型 [Mold]、工具 [Kougu] の頭文字を取っている。

工程品質活動の目的は、図1に示す仕事のPDCAサイクルを回し続けることで、お客様に満足して頂き、会社の体質（良品率・出来高・製品利益率等）を向上、強化させ、利益を上げることである。

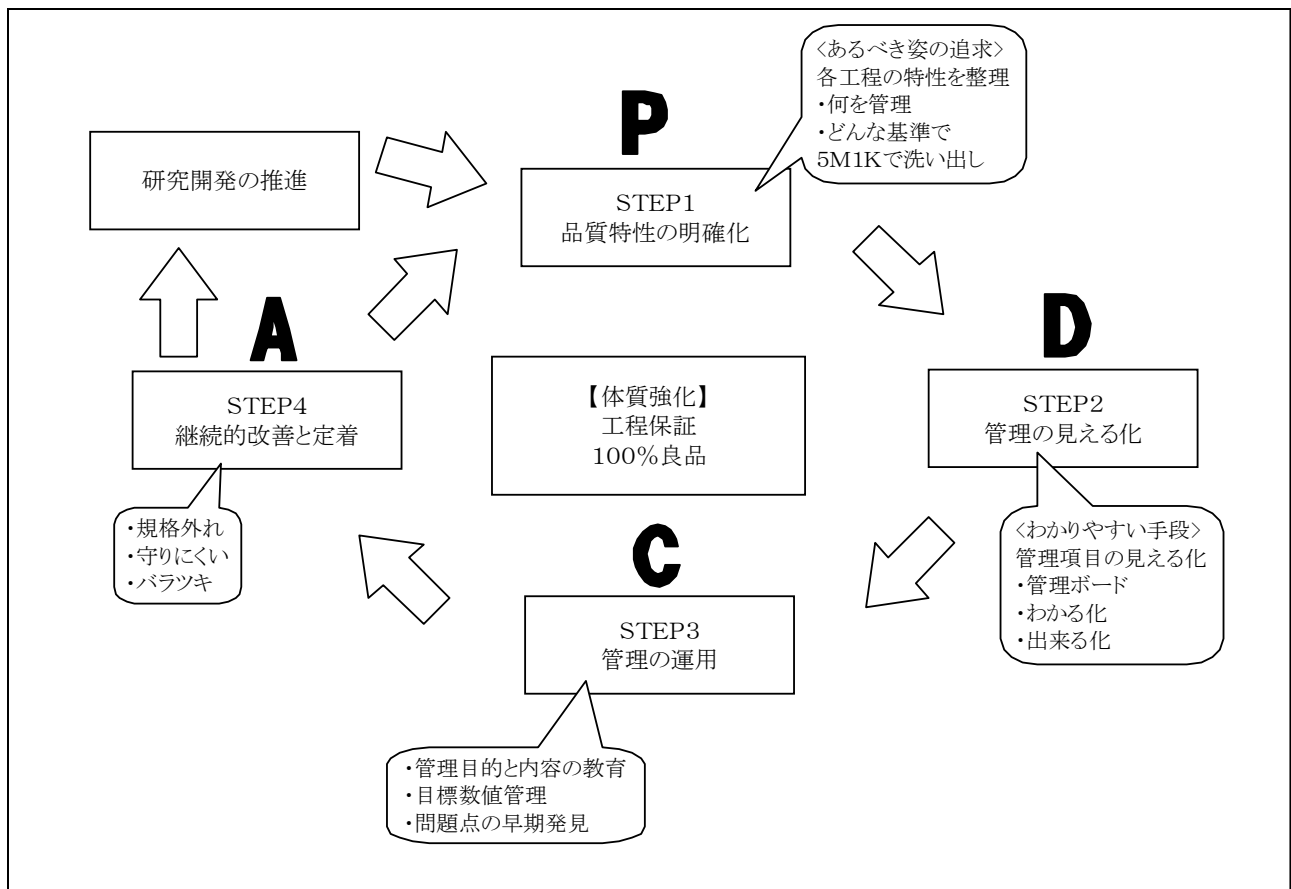


図1 工程品質活動のサイクル

MSA に代表される計測システムの解析は、単に ISO/TS16949 等の認証取得や現状把握のためだけのツールであってはならない。本来、計測システムの解析は、より良い計測、より良い測定へと是正または改善していくためのツールであるべきである。（結果、お客様の満足と会社の利益につなげる。）

工程品質活動の一環として、測定精度を如何に確保していくかを考えた時、バジェットシートを使用した不確かさの運用がこの活動を進める上で有効であろうと判断し、2007 年より取り組みが開始された。バジェットシートでは、各要因の影響度合いが定量的で容易に確認出来ることから、工程品質活動の PDCA サイクルが回しやすいという利点があると考えた。

工程品質活動に則った不確かさの運用とは、常に不確かさを解析し続ける（拡張不確かさというアウトプットを主として管理する）のではなく、どの様な計測機器を使って、どの様な環境下、どの様な条件（誰がどの様に等）で測定すれば、製品公差の 1/3 以下の拡張不確かさが確保出来るかといったインプット側を主として管理することである。（5M1K の徹底管理により、測定精度は測定工程で造り込む）

4.1.2 不確かさの運用について

まず、不確かさを導入するにあたり、拡張不確かさ ($k=2$) の目標値を「製品公差の 1/3 以下」と設定した。（以下、「拡張不確かさ」の表記は全て $k=2$ とする。）

この目標値は製品の規格幅を 1 とすると、拡張不確かさは約 0.33 となるので、仮に製品のバラツキが規格幅に等しい状態 ($C_p \doteq 1.00$ の状態) だったとすると、

$$\sqrt{(1^2 + 0.33^2)} \doteq 1.05$$

となり、約 5% が製品規格から外れる ($C_p \doteq 0.67$ の状態) 程度の能力が確保出来るところからきている。ただし、実際の製品のほとんどはロットのバラツキが小さく C_p が 1.33 以上あるし、不確かさは概ね最悪値を見込むので、拡張不確かさを考慮しても $C_p > 1.00$ 程度は充分満足出来ていると考える。不確かさの運用は図 2 に示す通り、工程品質活動の PDCA サイクルに則っている。

STEP1：特性要因図やなぜなぜ分析により、測定値のバラツキ要因を洗い出す。

STEP2：洗い出された要因をバジェットシートに落とし込み、定量的に解析する。

解析結果は見える化ボードを活用し、掲示する。

STEP3：測定条件を標準化する。

STEP4：基準未達の測定に対して是正する、また、基準限界の測定に対して改善する。

STEP5：現状の仕組みの中で目標を達成出来ない測定は、新計測機器の開発など研究課題として推進する。

STEP1～5 を繰り返す。

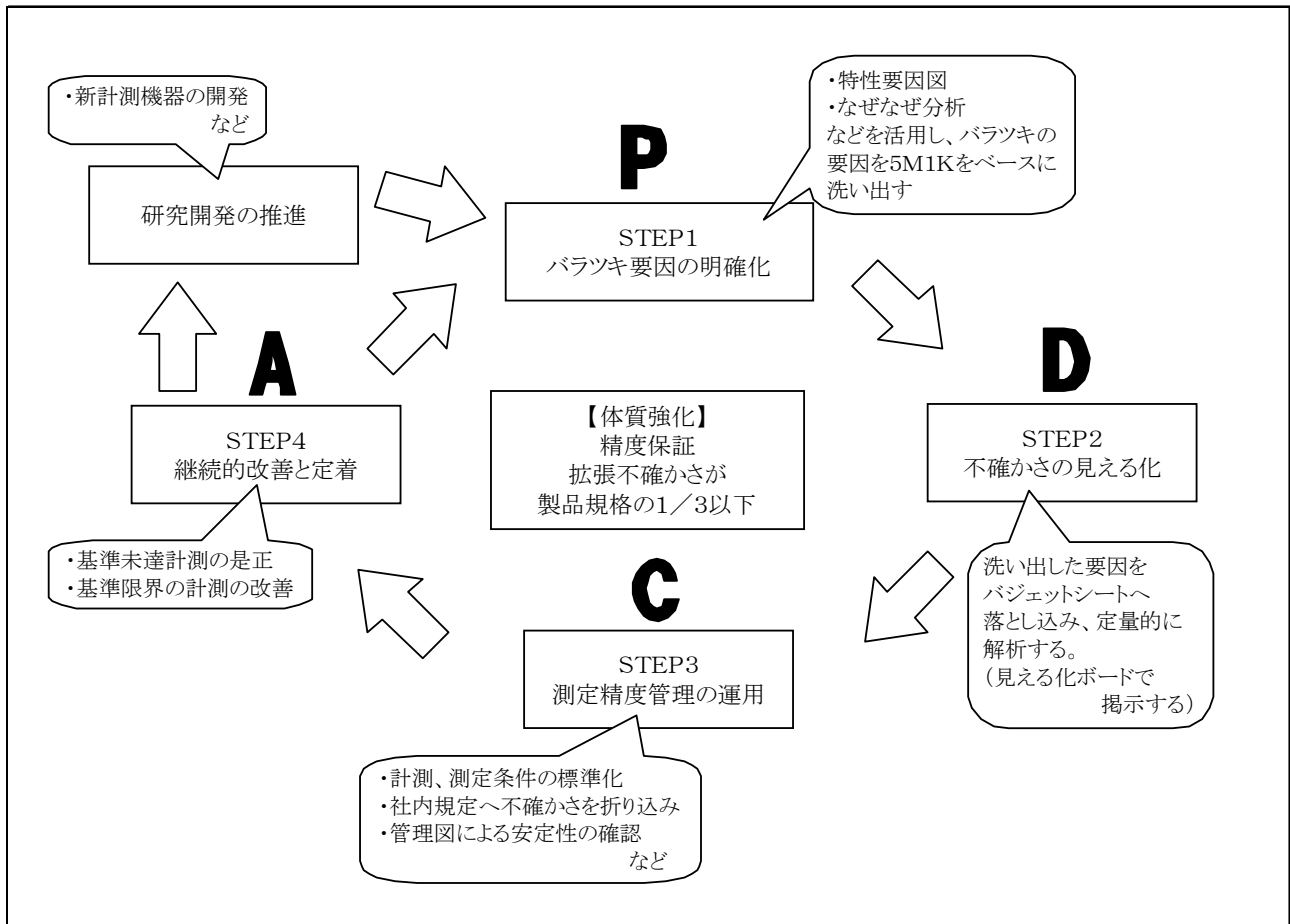


図2 不確かさ運用のサイクル

以下、4.1.3項より実際に行ったハブ穴内径測定における不確かさの解析事例を紹介する。

4.1.3 ハブ穴内径測定における不確かさの解析

1) いきさつ

ハブ穴内径はディスクホイールの諸寸法の中でも厳しい公差が設定されている特性のひとつである。従って、プレス金型メンテナンスへのフィードバック等、測定値が製造工程に及ぼす影響も大きい特性である。拡張不確かさが適正かどうかを見極め、目標値である製品公差幅の1/3以下を満足出来ない場合は対策する。

2) 要因の解析

測定値のバラツキ要因を図3に示す特性要因図によって洗い出した。要因洗い出しの結果、9項目の要因が確認された。

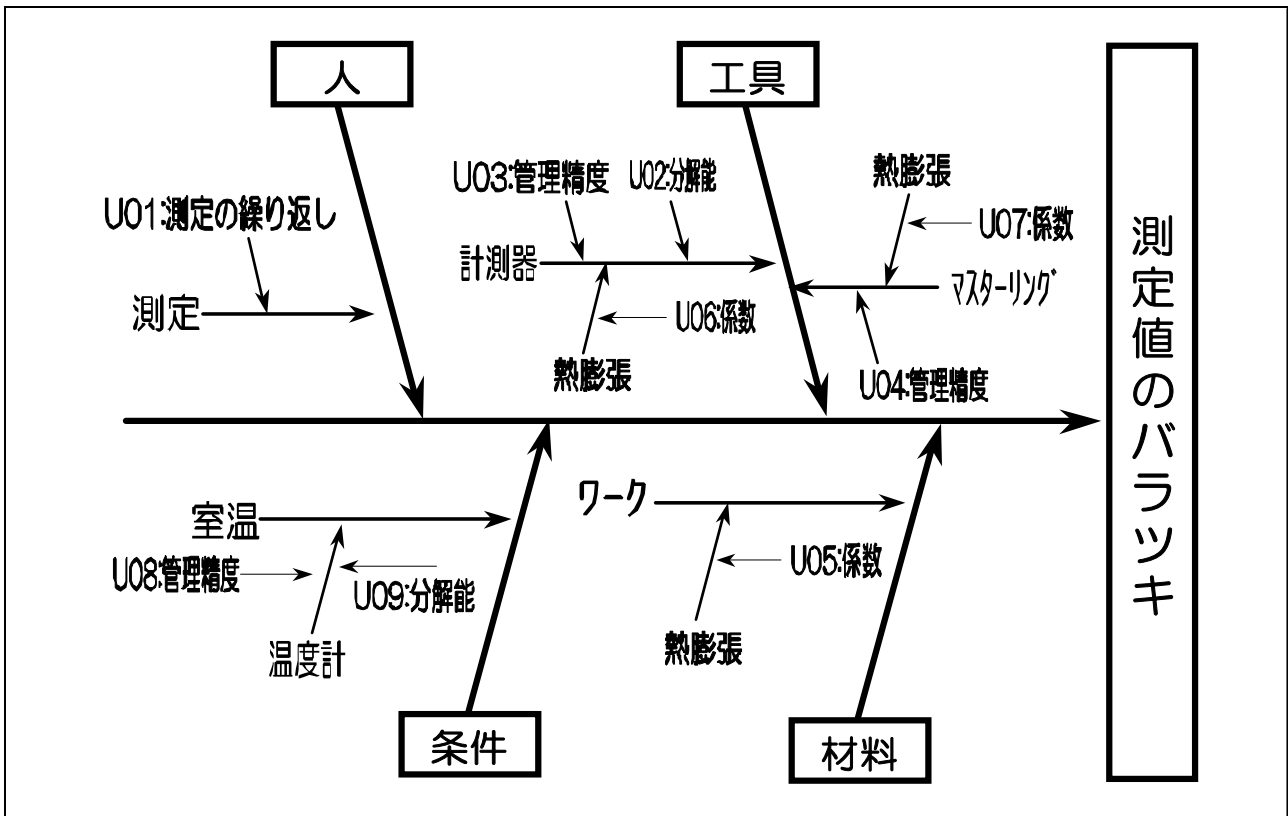


図3 測定値のバラツキに対する特性要因図

3) 不確かさの見積もり結果

表1 ハブ穴内径測定の不確かさ

No	要因	標準不確かさ (μm)	影響度合い
U01	測定の繰り返し	6.84	高い
U02	計測器の分解能	0.29	影響なし
U03	計測器の管理精度	3.46	高い
U04	マスターリングの管理精度	0.58	影響なし
U05	ワークの熱膨張	2.07	低い
U06	計測器の熱膨張	1.79	低い
U07	マスターリングの熱膨張	2.07	低い
U08	温度計の管理精度	0.33	影響なし
U09	温度計の分解能	0.00	影響なし
合成標準不確かさ		8.4	-
拡張不確かさ (k=2)		16.9	-

拡張不確かさ ($k=2$) は製品公差の 1/3 以上となり、是正が必要である。

以下の 3 要因により、測定の繰り返しについてバラツキが大きくなっていた。

- (1) 作業毎にデータの丸め方が異なっていた。(最小記録単位、切り捨て、切り上げ、四捨五入)
- (2) 作業毎に測定量の定義が異なっていた。(最大値、最小値、平均値)
- (3) 作業毎に測定部位が異なっていた。(測定方向)

4) 標準化

- (1) 測定要領へデータの丸め方を折り込み、標準化した。(最小記録量 $1\mu\text{m}$ 、未満切り捨てとする)
- (2) 測定要領へ測定量の定義を明記し、標準化した。(測定 2 方向の内の最小値とする)
- (3) 測定要領へ測定方向を明記し、標準化した。(0° および 90° の 2 方向とする)

5) 効果の確認

表 2 ハブ穴内径測定の不確かさ (対策後)

No	要因	標準不確かさ (μm)	影響度合い
U01	測定の繰り返し	2.73	高い
U02	計測器の分解能	0.29	影響なし
U03	計測器の管理精度	3.46	高い
U04	マスターリングの管理精度	0.58	低い
U05	ワークの熱膨張	2.07	高い
U06	計測器の熱膨張	1.79	やや高い
U07	マスターリングの熱膨張	2.07	高い
U08	温度計の管理精度	0.33	影響なし
U09	温度計の分解能	0.00	影響なし
合成標準不確かさ		5.6	-
拡張不確かさ (k=2)		11.3	-

標準化の結果、拡張不確かさ ($k=2$) は $11.3\mu\text{m}$ となり製品公差幅の 1/3 以下へ是正された。

6) 是正結果を活用したコスト低減

ワークはプレス部品であり、プレスショットの回数が増えるたびに金型が摩耗し、寸法が変化していく傾向にある。このため、測定のバラツキを考慮して金型は 2 万ショットで定期メンテナンスを実施していたが、是正後では 3 万ショットでメンテナンスすれば良いことになる。差異の 1 万ショット分、メンテナンスコストの低減につなげることが出来た。

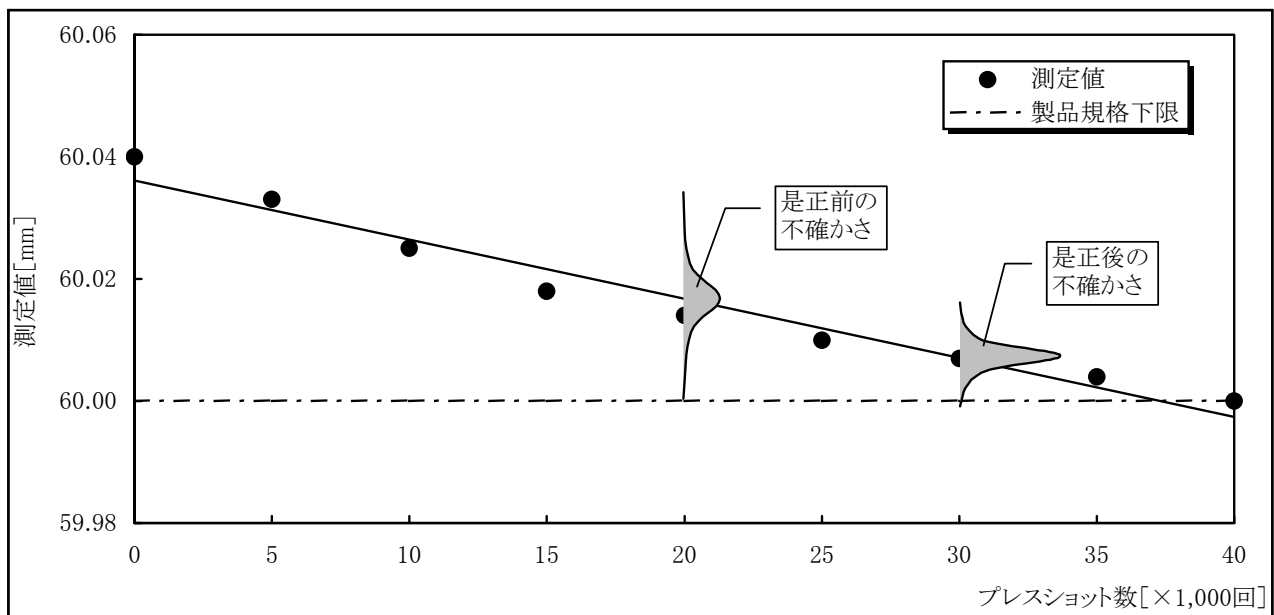


図4 プレスショット回数による測定値の変化

7)まとめ

紹介させて頂いた事例を含め、社内で実施している各測定に対する不確かさを解析した結果、一部の特性について、拡張不確かさが社内目標である製品公差の1/3以下を満足出来なかった。

原因を追及していくと、この事例に代表される様に、何をもって測定値とするのか、数値の丸め方、測定位置、測定点数、使用する計測器など、標準化で解決出来る要因が非常に多いことが判った。逆に、測定作業者のスキル不足が原因となっているバラツキは少ない傾向が伺える。

(測定に対して詳細に標準化していけば、多くの測定は不確かさを小さく出来る。)

信頼出来る測定値を得るには、測定の基準となる標準類の精度向上が必須である。

今後、更に標準類の精度を向上させ、精度の高い測定を実現出来る様、推進していく。

4.2 ナット回転強度における不確かさの適用

中央精機株式会社

4.2.1 いきさつ

ナット回転強度試験は試験値にバラツキが大きく安定しない傾向にあるにも関わらず、有効な対策がとられていないため、試験値から求められる工程能力が不足し、評価コストが増加している状態にある。(試験値のバラツキが大きい→工程能力が低い→試験頻度が高い→評価コスト増)

このため、ナット回転強度試験について試験値のバラツキ要因を解析し、有効な対策を講じることで試験精度を向上(試験値のバラツキを低減)させ、評価コストの低減を図る。

4.2.2 要因の解析

試験値にバラツキが出る要因を特性要因図によって洗い出しを行った。

要因洗い出しの結果、図1に示す9項目の要因が確認された。

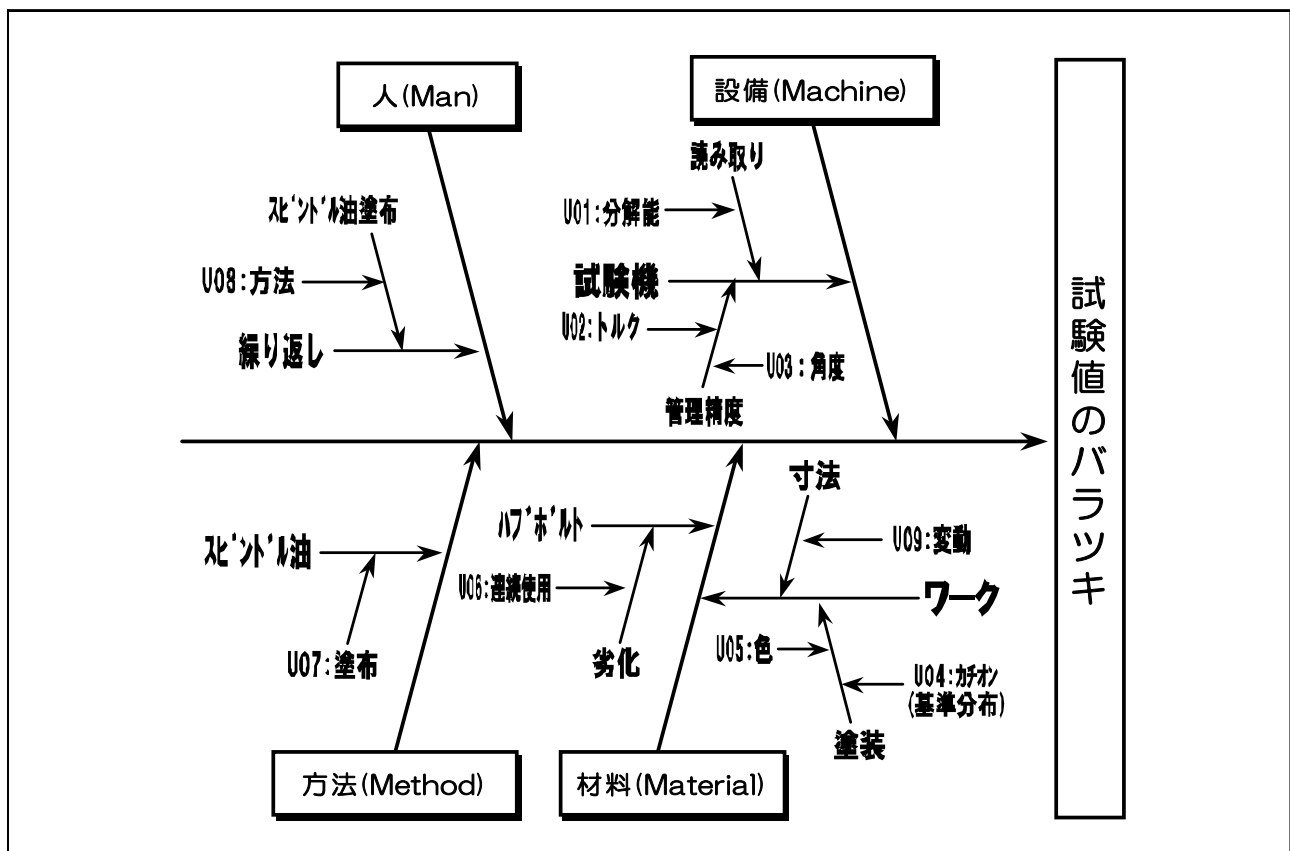


図1 測定値のバラツキに対する特性要因図

4.2.3 不確かさの見積もり結果

表1 ナット回転強度の不確かさ

No	要因	標準不確かさ	偏り	影響度合い
U01	試験機の分解能	0.3	-	影響なし
U02	試験機の管理精度（トルク）	12.4	-	低い
U03	試験機の管理精度（回転角度）	1.7	-	影響なし
U04	カチオン塗装	17.7	-	低い
U05	色塗装	29.0	108.8	やや高い
U06	ハブボルトの連続使用	2.5	17.8	影響なし
U07	スピンドル油の塗布	86.5	259.0	高い
U08	スピンドル油の塗布方法（作業者間のバラツキ）	50.6	151.5	高い
U09	ワークの寸法変動	4.2	23.0	影響なし
合成標準不確かさ		106.7	320.4	-
拡張不確かさ(k=2)		213.4	-	-

(単位：度)

- (1) 拡張不確かさ ($k=2$) は 213.4 度となり規格幅の 1/3 以上となった。(是正が必要)
- (2) 特に要因 NoU07 と U08 の影響が大きい結果となった。
- (3) スピンドル油種の間違いや、作業者による塗布量、塗布位置のバラツキが影響していた。

4.2.4 標準化

- (1) 正規のスピンドル油を調達、容器に油種を記載して設置し、要領書で標準化した。
- (2) 技術指示書および作業要領書へ塗布位置を記載し、各作業者へ展開した。
- (3) 技術指示書および作業要領書へ塗布量を記載し、各作業者へ展開した。

4.2.5 効果の確認

表2 ナット回転強度の不確かさ（対策後）

No	要因	標準不確かさ	偏り	不確かさは正率
U01	試験機の分解能	0.3	-	-
U02	試験機の管理精度（トルク）	12.4	-	-
U03	試験機の管理精度（回転角度）	1.7	-	-
U04	カチオン塗装	17.7	-	-
U05	色塗装	29.0	108.8	-
U06	ハブボルトの連続使用	2.5	17.8	-
U07	スピンドル油の塗布	15.2	99.7	82.4%
U08	スピンドル油の塗布方法（作業者間のバラツキ）	11.8	62.1	76.6%
U09	ワークの寸法変動	4.2	23.0	-
合成標準不確かさ		41.3	162.7	61.3%
拡張不確かさ(k=2)		82.6	-	

(単位：度)

標準化の結果、拡張不確かさ ($k=2$) は 82.6 度となり、規格幅に対して充分小さくなった。

4.2.6 是正結果を活用したコスト低減

試験値から求まる工程能力は十分に高い値となり、試験頻度の低減など評価コストの大きな低減につながった。

対策前は試験値にバラツキが大きかった為NG判定が散発していた。

対策後の結果を見ても判る様に、実際には工程能力が確保された製品がほとんどであり、試験値のNG判定は試験条件の不備によるバラツキや偏りにより発生した誤判定と言えるため、対策後の対応費用はほぼゼロになったことも、非常に大きな効果となった。

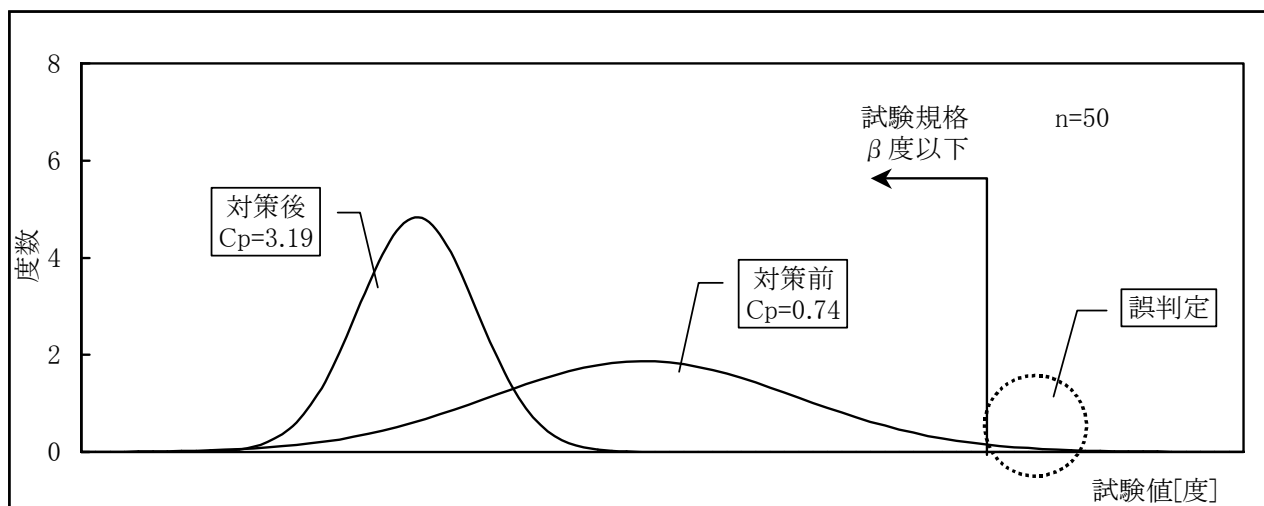


図2 対策後の試験結果

4.2.7 まとめ

測定の不確かさが是正され、精度の高い試験値をアウトプット出来るようになり、評価結果や試験機自体に対する信頼性が上がったことは良い収穫であったが、対策前の状態は技術的な検証がされないまま試験条件が設定されたり、試験方法が運用されていたりという失敗事例でもあった。

効率良く仕事を進めるためには、データに裏付けされた標準化を進める必要があると感じた。

4.3 塗装膜厚測定への不確かさの適用

中央精機株式会社

4.3.1 いきさつ

塗装膜厚の測定値にバラツキが大きく、信頼度が低い状態である。
 過去より塗装膜厚の測定値にバラツキが大きいことは感覚的に把握していたが、その原因について検証してこなかった。塗装膜厚は市場での防錆を保証する重要な特性であるため、生産現場では測定バラツキがあっても規格を満足する様に、厚目に塗装している。そこで、塗装膜厚測定の信頼性を高めて確実に保証するために測定の不確かさを検証し、バラツキの低減を図ることにした。

4.3.2 要因の解析

塗装膜厚測定値にバラツキが出る要因を特性要因図によって洗い出しを行った。
 推定要因の洗い出し後、現地現物にて確認した結果、6項目の要因が確認された。
 特に注目される要因として、各部署の測定で使用されている膜厚計のメーカーもしくは型式がそれぞれ異なっていることが判明した。現在社内で使用されている膜厚計は下記に示す4社5型式であった。

表1 使用されていた膜厚計のメーカーと型式

メーカー	A社	B社	C社	D社	D社
型式	No1	No2	No3	No4	No5

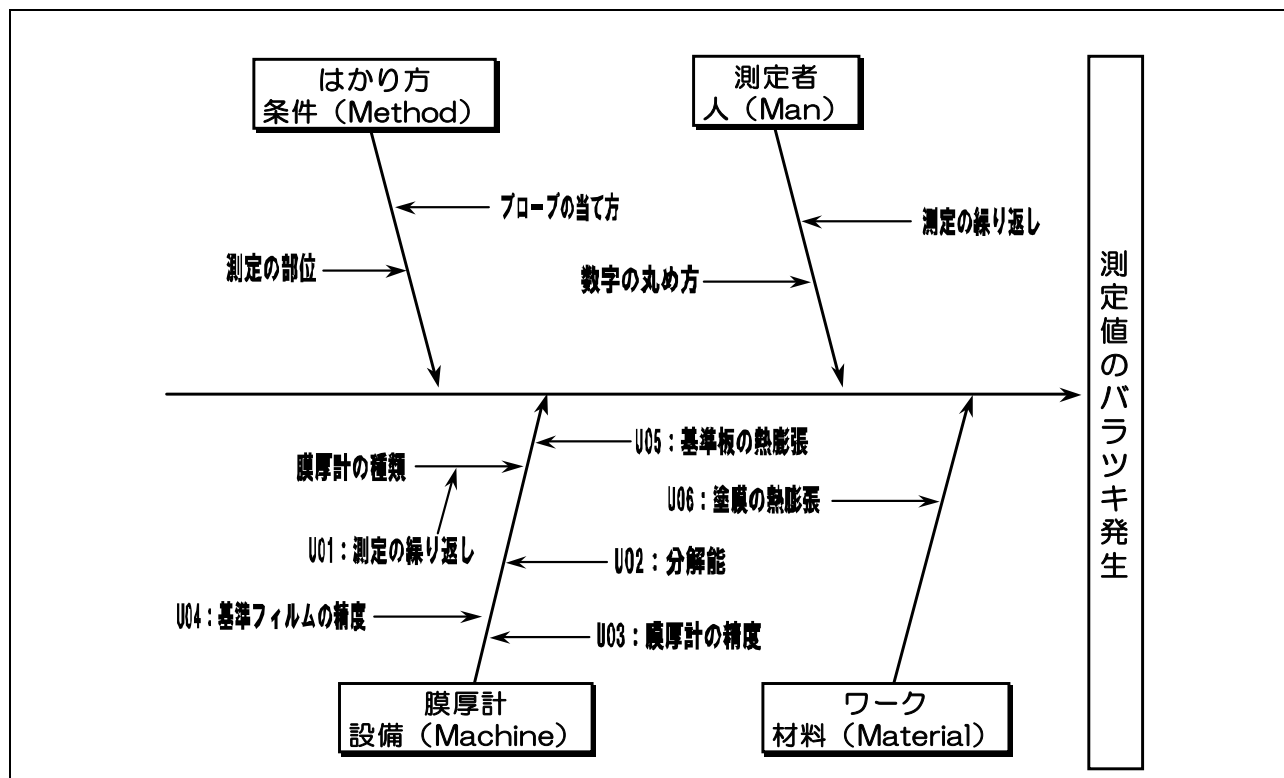


図1 測定値のバラツキに対する特性要因図

4.3.3 不確かさの見積もり結果

特性要因図により洗い出された6要因を基に5種の膜厚計についてそれぞれ不確かさを見積もった。また、測定値の偏り具合も併せて確認するため測定後のワークを切断し、顕微鏡による測定部の断面膜厚を求めている。顕微鏡での測定により求めた塗装膜厚を基準値とし、各膜厚計の測定値との差異を偏りとした。

表2 メーカーおよび型式別の不確かさと偏り

メーカー	A社	B社	C社	D社	D社
型式	No1	No2	No3	No4	No5
Xbar	43.6	42.5	44.8	48.0	48.0
偏り	-3.98	-5.08	-2.74	0.51	0.44
拡張不確かさ(k=2)	3.6	2.1	2.0	1.8	1.9

(単位：μm)

4.3.4 標準化

不確かさの見積もり結果より、塗装膜厚計について以下の通り標準化する。
この標準化により、測定の不確かさを大幅に是正出来る。(σ≒2.34→0.90へ是正)

- (1)膜厚計はD社製のNo4もしくはNo5を使用する。
- (2)最小読みとり値は1μm、未満切り捨てとする。

4.3.5 是正結果を活用した原価低減

是正後の塗装膜厚測定結果を観ると、平均値は約48μmである。
これは、以前から塗装膜厚の狙い値が約48μmであったことを示す。
拡張不確かさ±2μm(k=2)を考慮しても、規格下限値の40μmに十分な余裕がある。
このことから、塗装膜厚の狙い値を44μmとし、製品を生産出来る様になった。
(計算上は約43.7μmになるが、1μm単位で安全サイドへ切り上げる。)
これにより4μm/個分の塗料費が低減され、大きな原価低減となった。

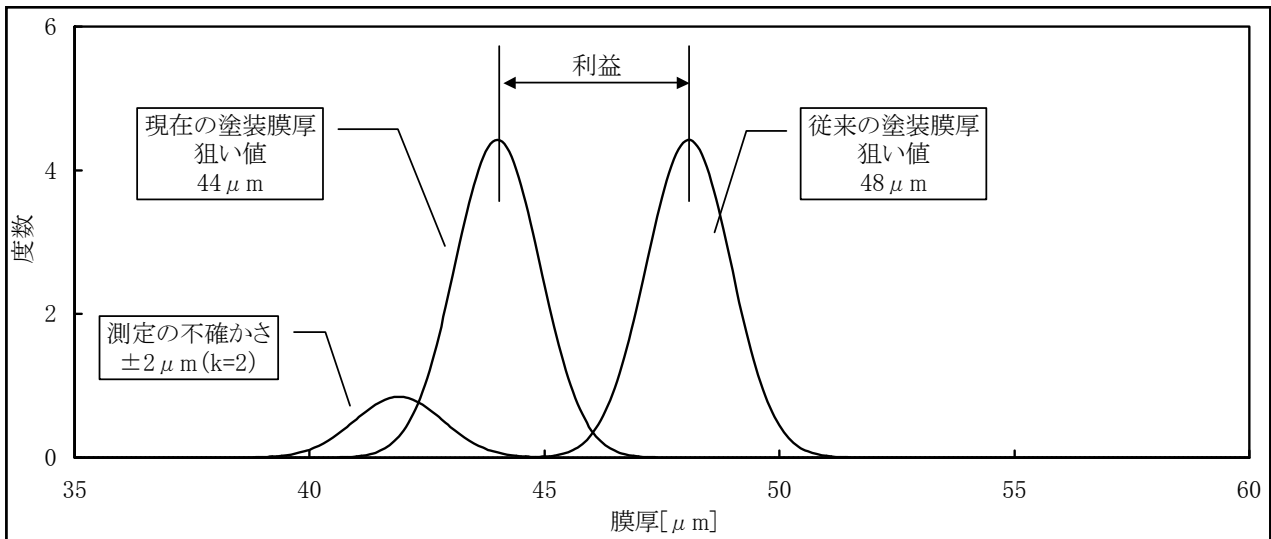


図2 塗装膜厚測定結果と対策前後の膜厚狙い値

4.3.6 まとめ

測定の不確かさを見積もることで、測定値の信頼性を高めることに成功した。

また、生産における塗装膜厚の狙い値の変更が可能と判り、大きな原価低減につなげることが出来た。しかし、本件は膜厚計導入の際に精密かつ正確な測定が可能であるかの検証を怠ったために発生した失敗事例である。

改めて、計測機器の選定には十分な検証と標準化が必要であることを思い知らされた事例であった。

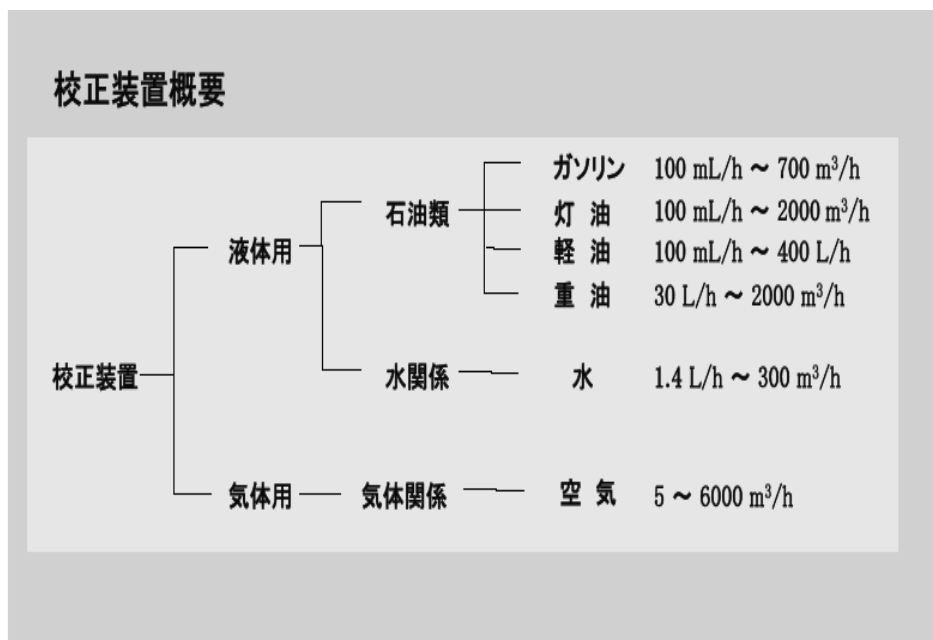
4.4 流量計における精度管理基準について

株式会社 オーバル

4.4.1 流量計校正設備の概要

流量計は、その構造や測定原理により測定流体の物性の違いで器差特性が変化する。

また、測定流量範囲も広範囲なため、当社では下記のように試験流体として水、石油類、空気を使用し、また測定流量範囲も可能な限り大きくした校正設備を用いて試験を実施している。当社の校正設備の概要は次の通り。



4.4.2 流量計の試験方法

流量計の試験方法は JIS B 7552 : 1993 (液体用流量計—器差試験方法) に記載されているが、その中で当社の試験方法は下記ようになる。

体積流量計の試験では、被校正流量計の積算体積と標準器の体積を比較します。

代表的な試験方法は

- ・ 基準タンク方式
- ・ 基準体積管方式
- ・ マスターメータ方式

があります。

4.4.3 精度管理基準

流量計の精度管理基準についてマスターメータ方式で説明する。マスターメータ式は下記の基本式で表される。この場合の不確かさの主な要因は校正流量計と標準流量計を通過する流体の体積比となる。この体積比は質量保存の法則から密度比となるので、試験流体の密度変化の要因となる温度と圧力の測定の不確かさが大きな要因となる。

マスターメータ方式の基本式

$$\overline{Q_{FM}} \cdot t_D = \overline{Q_{ST}} \cdot t_D + \Delta M_{LDV}$$

Q_{FM} : 被校正流量計を通過する試験液の質量流量 (kg/s)

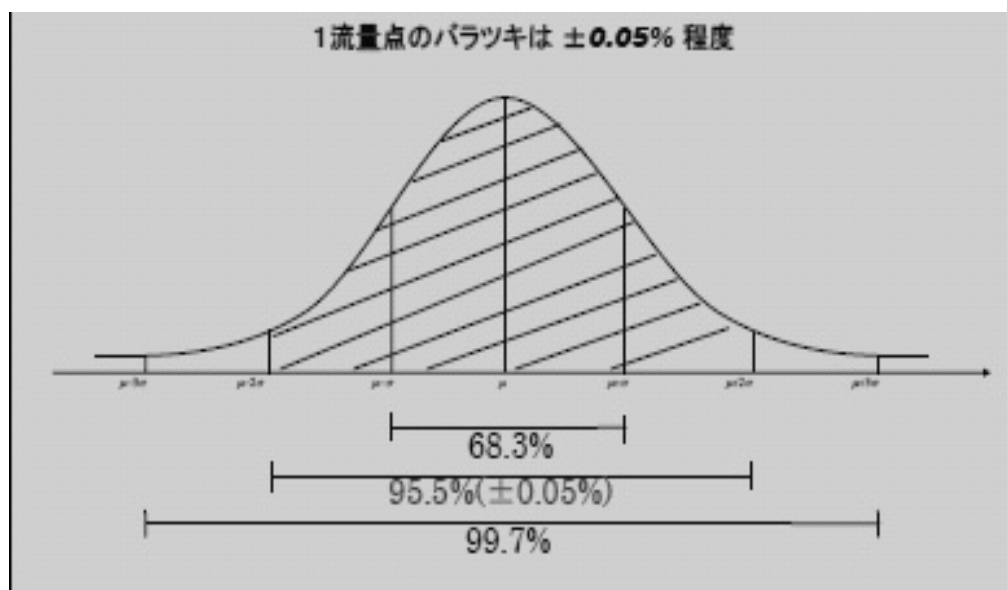
Q_{ST} : マスターメータを通過する試験液の質量流量 (kg/s)

ΔM_{LDV} : 接続管路内の質量変化量 (kg)

t_D : 被校正流量計の計測時間 (sec)

オーバルの精度管理基準は、不確かさの考え方が普及する以前に確立されており、この基準について説明する。

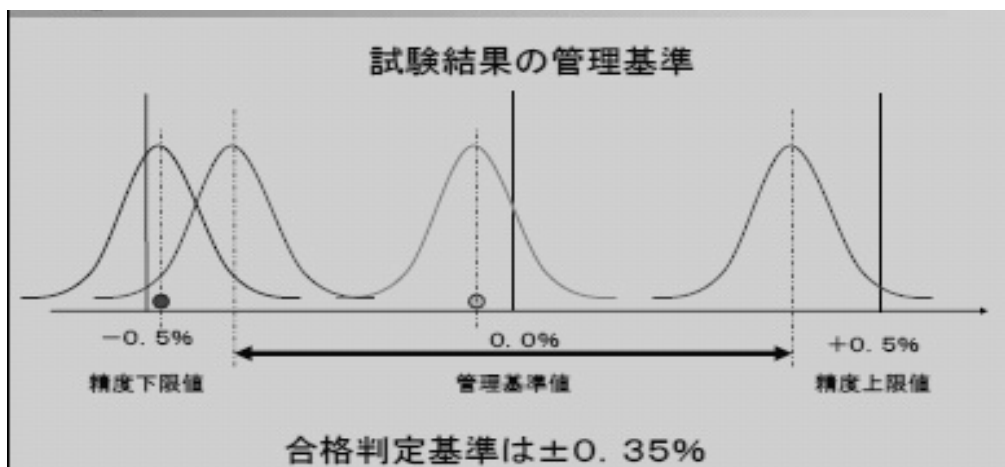
一般的な流量計の試験では、3 ポイントの流量観測点で実施し、1 流量観測点でのデータのバラツキは±0.05%程度となる。



以上のことから、温度と圧力の影響、マスターメータのバラツキ、校正流量計のバラツキを考慮すると校正結果のバラツキは±0.12%と考える。

● 温度・圧力測定による影響	-----	0.05%
● 被校正流量計のバラツキ	-----	0.05%
● マスターメータのバラツキ	-----	0.02%
上記影響を加算して	-----	0.12%

上記のバラツキを考慮し、保証精度±0.5%の流量計の精度管理基準を±0.35%としている。結果としてこの考え方は、0.15%をガードバンドとする考え方と同様になっている。



この時、それぞれのバラツキを単純加算している理由は、精度管理基準を確立した頃には、誤差伝搬の考え方が一部のユーザーで知られている程度であり、一般的には単純加算が通用しやすかったことによる。もちろん、不確かさという考え方は全く普及していなかったと思われる。

また、容積式流量計の特性として計測液体の粘度影響がある。一般的に容積式流量計の器差は計測液体の粘度に反比例する、つまり粘度の高い計測流体では器差はプラス方向にシフトし、粘度の低いそれでは器差はマイナス方向にシフトする。この事は、ユーザーでの使用時に影響する。流量計を使用するユーザーには購入時に計測流体の計測条件を提示していただくが、実際使用時の環境影響による計測流体の物性変化までは殆どの場合には提示さない。このようなことから、ある程度のユーザー使用環境による影響も含み入れて、校正のバラツキより大きいガードバンドを導入したことと同様な精度管理基準を規定した。

最後になるが、一般的な流量計の使用条件は環境影響を受ける状態で使用されている場合が多く、当社工場での校正結果がそのまま表れる事は少ないと考えるが、出来る限り校正結果に近い状況で使用できるように確かな校正が実施できるように努力している。

4.5 揮発性有機化合物混合標準液の不確かさ評価事例（関東化学株式会社）

4.5.1 はじめに

標準物質は、化学分析の分野における「ものさし」の役割を果たし、分析機器の校正、分析方法・分析値の正確さの評価、分析精度管理・工程管理等に用いられている。今回ベンゼンやジクロロメタンなど水質汚濁防止法等により国の環境基準・排出基準が定められている物質を含む揮発性有機化合物 23 種混合標準液の不確かさの算出事例を紹介する。

4.5.2 値付け方法

揮発性有機化合物 23 種混合標準液の値付けは、ガスクロマトグラフ分析装置を用い、各成分のピーク面積を特定二次標準液のピーク面積と比較することで算出した。（ $n=3$ ）

4.5.3 不確かさの算出

不確かさの要因は①～⑤の 5 項目とした。その他、実用標準液の値付けに際し、測定環境（温度、湿度など）や使用する装置・器具も不確かさの要因と考えられるが、値付けの工程が特定二次標準液との併行測定であることから、管理を適切に実施することにより不確かさには寄与しないと判断した。尚、特定二次標準液の安定性の不確かさとは、仮に校正周期内に濃度変化があった場合も、その濃度変化分を補正せずに値付け直後の値を標準液の濃度として用いる場合の不確かさを示す。

① 揮発性有機化合物 23 種混合特定二次標準液の不確かさ u_1^*

jcss 証明書に記載されている拡張不確かさ（ $k=2$ ）を使用した。

② 揮発性有機化合物 23 種混合特定二次標準液の保存安定性の不確かさ u_{s2}

一般財団法人化学物質評価研究機構が実施した保存安定性試験の結果を用いた。

③ 原料の不純物による不確かさ u_{p3}

原料より混入する不純物量の含量を濃度に対する百分率（%）として求め、矩形分布として不純物の不確かさを算出した。

④ 均質性の不確かさ u_{h3}

アンプル充填した試料を等間隔に 10 本採取し、アンプル毎に 2 回濃度を測定。得られた結果をもとに一元配置の分散分析を行い、濃度に対する百分率（%）として均質性の不確かさを求めた。

⑤ 揮発性有機化合物 23 種混合標準液の繰り返し 3 回の測定における値付けの不確かさ $u_{m3 \square}$

20 回の繰り返し測定を行い、得られた標準偏差を用い不確かさを算出した。

⑥ 揮発性有機化合物 23 種混合標準液の合成標準不確かさ u_3^* 及び拡張不確かさ U_3^*

①～⑤の各要因をもとに、不確かさの伝播則に従って実用標準液の不確かさを算出した。尚、拡張不確かさは、合成標準不確かさに包含係数 $k=2$ を乗じ、小数点第二位を切れ上げた。

$$U_3^* = 2u_3^* = 2 \left(u_1^{*2} + u_{s2}^2 + u_{p3}^2 + u_{h3}^2 + u_{m3 \square}^2 \right)^{1/2}$$

表 1 揮発性有機化合物 23 種混合標準液の不確かさ算出の一例

No	物質名	$u_1^*(\%)$	$u_{s2}(\%)$	$u_{p3}(\%)$	$u_{h3}(\%)$	$u_{m3 \square}(\%)$	$u_3^*(\%)$	$U_3^*(\%)$
1	1,1-ジクロロエチレン	0.5	0.21	0.012	0.22	0.32	0.67	1.4
2	ジクロロメタン	0.25	0.06	0	0.20	0.25	0.41	0.9
3	<i>trans</i> -1,2-ジクロロエチレン	0.25	0.10	0.023	0.19	0.28	0.43	0.9
4	<i>cis</i> -1,2-ジクロロエチレン	0.25	0	0	0.15	0.23	0.37	0.8

4.6 食品分析における不確かさの導入（国立医薬品食品衛生研究所）

食品中の残留化学物質に係わる分析の不確かさの推定について、国立医薬品食品衛生研究所が評価を実施しており、以下に試験室内の妥当性評価結果を用いて不確かさを推定した事例を紹介する。

4.6.1 はじめに

Codex 委員会が 1997 年に作成した「Guidelines for the assessment competence of testing laboratories involved in the import and export control of food（食品の輸出入に係わる試験室の能力評価に関するガイドライン）」では、食品の輸出入管理に係わる試験室が採用すべき品質基準として、ISO/IEC Guide25（現在は ISO/IEC 17025）に定められた要件の遵守が規定され、さらに妥当性の評価された（バリデートされた）分析法の使用と分析値の不確かさを推定することが求められている。これに従って、登録検査機関における製品検査の業務管理要領においても、「検査部門は、精度管理及び外部精度管理等の結果に基づいて測定の不確かさの評価の検討に努めること」が定められている。

4.6.2 不確かさの推定方法

不確かさの推定方法としては、分析手順の各段階での不確かさを推定して足し合わせるボトムアップアプローチと試験室内共同実験によるバリデーション結果等を用いるトップダウンアプローチがあり、食品中の残留化学物質に係わる分析値の不確かさ推定にはトップダウンアプローチが適切であるとされている。現在、トップダウンアプローチにより食品に係わる分析値の不確かさを推定する方法について、国際的に合意されておらず、Codex の不確かさに係わるガイドラインにおいても、いくつかの方法があると記されているのみである。

トップダウンアプローチの例として共同試験結果から推定された不確かさが挙げられるが、これは特定の分析法を用いて標準的な試験室が実施した分析結果に伴う不確かさであり、試験室間の変動が含まれる。試験室によって分析を実施する環境、機器、分析者の技能は異なっており、個々の試験室における分析値の変動、つまり室内精度は共同実験により得られる室間精度よりも小さいことが一般的である。一方、試験室内妥当性試験結果に基づいて推定した不確かさは、試験室間の変動を含んでおらず、特定の試験室において得られた分析値に伴う不確かさと考えることができる。

本研究では、農薬分析法の試験室内妥当性評価結果から、その機関における分析値の不確かさ推定を試み、ガイドラインに従って農薬試験法の妥当性評価を実施した結果、推定された室内精度から不確かさを推定した。

4.6.3 妥当性評価結果

妥当性評価実験は、農薬成分を $0.1 \mu\text{g/g}$ 及び $0.02 \mu\text{g/g}$ 添加し、ガイドラインに示された枝分かれ実験のモデルに従い、1日2併行分析を5日間行った。

大豆中にエチオン農薬標準品を添加した試料から得られた結果を表1に、また表1の結果から得られた分散分析表を表2示す。そして、ガイドラインに従って解析し得られた、真度、併行精度及び室内精度結果を表3に示す。尚、真度は10個の測定値の平均値と添加濃度との比で求められる。

4.6.4 不確かさの推定

真度が80～120%の範囲であり補正を必要としない。さらに妥当な併行精度及び室内精度が得られたため、室内精度をその試験室の不確かさとしてできると考えられた。包含係数を2とした拡張不確かさは真の値の存在範囲の約95%を示すとされ、分析値 \pm 室内精度 $\times 2$ の範囲として示される。よって、

大豆中のエチオン分析値の拡張不確かさは、添加濃度 0.10 $\mu\text{g/g}$ では $\pm 4.4\%$ 、0.02 $\mu\text{g/g}$ では $\pm 10.2\%$ と推定された。

尚、本法により推定された分析値の拡張不確かさは、室内妥当性評価を実施した試験室が、その分析法を用いて得られる分析値に適用可能である。したがって、本結果が全ての試験室について適用されるわけではなく、個々の試験室で評価する必要がある。

表 1 大豆中のエチオン分析の室内妥当性評価結果

添加濃度 ($\mu\text{g/g}$)	実測値 ($\mu\text{g/g}$)				
	1 日	2 日	3 日	4 日	5 日
0.1	0.08558	0.08367	0.08249	0.08431	0.08036
	0.08320	0.08137	0.08055	0.08337	0.08106
0.02	0.01583	0.01669	0.01643	0.01607	0.01626
	0.01776	0.01572	0.01719	0.01692	0.01522

表 2 表 1 のデータの一元配置分散分析結果

添加濃度 ($\mu\text{g/g}$)	変動因	平方和	自由度	分散
0.1	日間	1.8973E-05	4	4.74326E-06
	日内	8.0458E-06	5	1.60916E-06
	全体	2.70188E-05	9	
0.02	日間	1.61274E-06	4	4.03185E-07
	日内	3.52375E-06	5	7.0475E-07
	全体	5.13649E-06	9	

表 3 妥当性評価結果より推定された大豆中のエチオン分析の真度と精度

添加濃度 ($\mu\text{g/g}$)	平均値 ($\mu\text{g/g}$)	真度	併行精度	室内精度
0.1	0.0826	82.6 %	1.5 %	2.2 %
0.02	0.0164	82.0 %	5.1 %	5.1 %

平成 23 年度 測定の不確かさの活用のための調査研究委員会

委員長

阿知波 正之 阿知波計量士事務所

委員（五十音順）

阿部 正一 長野計器株式会社

城野 克広 独立行政法人 産業技術総合研究所

高井 哲哉 中央精機株式会社

高尾 明寿 一般財団法人 日本品質保証機構

磨田 光夫 株式会社 山武

三橋 克巳 株式会社 日立製作所

山領 泰行 株式会社 ミットヨ

渡部 良一 関東化学株式会社

事務局

河住 春樹 社団法人 日本計量振興協会 専務理事

倉野 恭充 社団法人 日本計量振興協会 事業部長

溝上 秀司 社団法人 日本計量振興協会 事業部

不許複製

測定の不確かさの活用のための調査研究報告書

平成24年3月

発行 社団法人 日本計量振興協会
測定の不確かさの活用のための調査委員会
〒162-0837 東京都新宿区納戸町25番1号
TEL. 03-3269-3259/FAX. 03-3268-2553

印刷 ニッセイエプロ株式会社
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
TEL. 03-5733-5151/FAX. 03-5733-5161



<http://autorace.jp/>

この報告書は、オートレースの補助金を受けて作成したものです。