

平成 2 2 年度

測定の不確かさ活用のための実態調査報告書

平成 2 3 年 3 月

社団法人 日本計量振興協会

まえがき

測定の不確かさは測定結果の信頼性を表す方法として、測定結果の表現のルールを示す国際文書（Guide to the expression of uncertainty in measurement :GUM）が 1993 年に出版され、その後の改訂内容も含め 1996 年に国内に紹介されて以来不確かさの理解とその活用は計量器の校正分野では不確かさの評価と明示が定着してきた。

さらに国際化の進展により、国内規格の国際規格への整合性が進み、各種試験への 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」、計量管理への ISO 10012「計測マネジメントシステム—測定機器に関する要求事項」の適用をはじめ、計量に関わる業務に国際規格または指針の適用が求められてきており、測定の不確かさの理解が進んでいる。

しかし、規格適合性評価のための検査における測定、品質を作り込むといわれるモノ作りにおける測定など、第一線の現物の測定における不確かさは対象の分野が広く、要求レベルも多様のため、不確かさの評価、活用は個々の企業、検査・試験機関に止まり、紹介される事例は少ない。また、不確かさを求める方法が分からない、不確かさを求める過程が複雑で不確かさ活用の効果が不明、不確かさを求めなくても測定結果を信頼できるなどの理由からその展開は十分ではない。

不確かさの活用としては大別すると次の 2 つの面が考えられる。

① 検査のためのガードバンドの適用

規格適合判定において、安全性の判断における危険性の予防、供給側と受領側の判定差異の予防のため、測定の不確かさに相当する幅（ガードバンド）を考慮した判定の実施。

② 製品品質への不確かさの影響評価

製品製造における製品の品質を示すばらつきへの測定の不確かさの影響評価の実施。

いずれの場合も測定の不確かさの大きさによる損失が生じるので、不確かさの評価と改善活動の効果が得られる。

本年度の委員会の活動は少ない情報の中から、現物の測定に関わる不確かさの調査及び活用を進められている研究機関と企業の事例を中心に紹介するもので、本書をきっかけとして、多くの事例が寄せられ、測定の不確かさの評価と改善の展開が進み、製品の安全・安心への寄与、検査における誤判定・判定トラブルの減少、品質の向上など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 23 年 3 月

社団法人日本計量振興協会
測定の不確かさ活用のための実態調査委員会
委員長 阿知波 正之

平成 22 年度
測定の不確かさ活用のための実態調査報告書
目次

まえがき

第 1 章	測定の不確かさの概念とその意義	1
1. 1	測定の信頼性確保と不確かさによる評価について	1
1. 2	不確かさの定義／算出方法及び表現の JIS 化(TS)について	5
1. 3	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 における技術的要求事項と測定の不確かさの推定	7
1. 4	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	10
1. 5	生産分野への測定の不確かさ導入の意義と効果	14
第 2 章	生産における合否判定基準（検査規格）及び不確かさの要求事項	18
2. 1	ISO 14253-1 製品の幾何特性仕様－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	18
2. 2	国際法定計量（OIML）適合審査判定での不確かさの採用について	20
2. 3	品質管理への測定の不確かさの導入	31
第 3 章	生産における不確かさの導入・活用事例	34
3. 1	不確かさの求め方事例	34
3. 2	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	41
3. 3	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	51
3. 4	塗装膜厚測定への不確かさの適用－中央精機株式会社	63
3. 5	計量確認及び測定プロセス実現の実例－トヨタ自動車株式会社	73
3. 6	電気機器検査工程における合否判定基準の決め方事例－株式会社 山武	83
3. 7	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
3. 8	圧力計における不確かさの評価活用事例－長野計器株式会社	90
3. 9	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	94
3. 10	放射線診断における測定の不確かさの導入－独立行政法人産業技術総合研究所	98
第 4 章	測定の不確かさの活用実態に関する企業との意見交換結果	103
4. 1	自動車部品製造業生産における不確かさ導入についての意見交換	103
4. 2	電気部品製造における測定リスクに関する意見交換	106
4. 3	流量計製造業における合否判定基準に関する意見交換	109
4. 4	食品分析研究所における不確かさの導入についての意見交換	113

第1章 測定の不確かさの概念とその意義

1.1 測定の信頼性確保と不確かさによる評価について

1.1.1 不確かさ導入の背景

過去の試験研究機関の試験、企業の生産、検査などで行われている測定について、その結果（データ）を見ても分からないため、その測定の実施者を信用して使われていた。一方、測定を行う当事者は「測定誤差」又は「測定精度」について意識されていたが、測定結果についての評価と明示は進んでいなかった。さらに「誤差」の定義では具体的な値が求められたため、測定の信頼性を表す方法として「不確かさ」が定義された。

不確かさの取り組みは、1977年にはじまりメートル条約の国際度量衡委員会（CIPM）の発案で国際度量衡局（BIPM）が世界の各国の計量標準機関（NMI）に対し、標準設定をどのような誤差評価方法で行っているかをアンケート調査し合同作業を実施するところから始まった。その結果、NMIや各学術団体で採用している方法がさまざまであることが明らかになった。そして、国際的合意のある共通の尺度が必要であることをCIPMは強く痛感し作業部会を招集した。そして1980年にCIPMはBIPMに対して「不確かさに関する勧告 ICN-1(1980)」を提出した。その内容は、次の5つに分類される。

- ・ある測定の結果の不確かさは一般にいくつかの成分からなり、これらの成分はその数値が見積もられた方法によって2つの種類に分けられる。Aタイプは統計的手法によって評価されるもので、Bタイプはその他の手段によって評価されるものである。
- ・種類Aの成分は推定された分散 s^2 （あるいは推定された「標準偏差 s 」）と自由度 f で記述される。必要であるならば、共分散も与える。
- ・種類Bの成分は、その分散が存在すると仮定したときの、対応する分散とみなされる量 u^2 により記述されるべきである。量 u^2 は分散と同じに、また量 u は標準偏差と同じように扱うことができる。必要であるならば共分散も同じように取り扱う。
- ・合成不確かさは、通常の分散の合成方法を適用して得られる数値により記述されるべきである。合成不確かさとその成分は「標準偏差」の形で表されるべきである。
- ・特別な適用の場合で、合成不確かさにある係数を掛けて拡張不確かさを求める必要がある場合には、用いた係数の数値を必ず明記しなければならない。

CIPMは1981年にこの勧告を承認し、1986年に再確認している。この勧告に従った詳細なガイドの作成が国際標準化機構（ISO）の計測に関する技術諮問グループ(TAG4)の第3作業部会

(ISO/TAG4/WG3)で行われ、1993年に図1に示した計測にかかわる国際的な7機関（BIPM、ISO、国際法定計量機関(OIML)、国際純粋・応用物理連合(IUPAP)、国際・純正・応用化学連合(IUPAC)、国際標準電気会議(IEC)、国際臨床化学連合(IFCC))の共同編集によって「不確かさ表現」ガイドが発刊（1995年改定版発行）された。

主要国のNMIはこの文書の概念を積極的に取り入れ、校正証明書の記述にも適用している。我が国でもこのガイドの翻訳版が出版されており計測標準のトレーサビリティ制度、品質システム審査、試験所認定の技術試験などに導入されている。

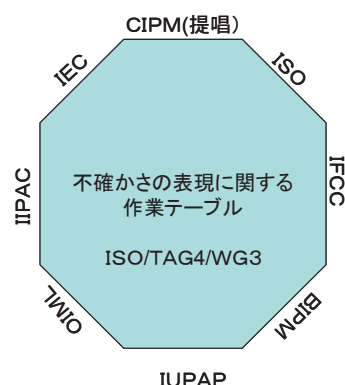


図1 不確かさ表現に関する作業メンバー

1.1.2 不確かさの二つのタイプ

国際文書では、従来の系統誤差と偶然誤差に分ける方法を採用せずに、すべての測定の一連のばらつき成分を統計的に求められるものをAタイプとし評価して、不確かさ表現ガイドでは一連の互いに独立な測定による繰り返し観測値 x_i ($i = 1 \sim n$) から試料分散 s^2 を次のように求める。

$$s^2 = \sum (x_i - \bar{X})^2 / (n - 1)$$

ここで、 n は観測数、 $\bar{X}$ は観測値の平均値で測定量の最良推定値になる。この試料分散を用いてAタイプの標準不確かさを表す分散 u^2 は s^2 に等しい。Aタイプの標準不確かさを表す分散 u は s と推定する。さらに、不確かさ表現ガイドの中では、最小二乗法や分散分析法の利用なども言及しているがあまり詳細に論じられていない。

Bタイプの評価においては、繰り返し観察から求めることができない不確かさを入手可能な情報に基づく科学的判断により、分散（またはそれと等しいもの） u^2 あるいは標準偏差（またはそれに等しいもの） u として推定する。情報源とみなせるものとして表1に挙げた。

表1 Bタイプ評価のための代表的な情報源

1)	これまでに集められた観測値
2)	測定試料や測定システムに関する知識、経験
3)	引用した参考データの不確かさ
4)	国家標準とトレサブルな校正証明書や成績書記載のデータ
5)	計測器メーカーの仕様
6)	一般常識、経験値、文献値

このような情報源から、データの分布が仮定されるのであればその分布における分散及び標準偏差の推定は可能となる。

不確かさ表現ガイドでは、正規分布のほか、三角分布、矩形分布、台形分布、などが想定できるのであれば推定の例が示されている。例えば、

- ・ 正規分布であるならば不確かさ $u(x_i) = a/2.58$ ここで a は分布の範囲で0を中心に左右等しい長さである
- ・ 三角分布では不確かさは $u(x_i) = a/\sqrt{6}$ 、ここで a は分布の半幅

- ・矩形分布では不確かさは $u(x_i) = a/\sqrt{3}$ 、ここで a は分布の半幅
- ・二等辺台形分布では不確かさは $u(x_i) = a\sqrt{1+\beta^2}/\sqrt{6}$ 、ここで a は分布の半幅、 β は短辺の長さである

すでに述べたように不確かさ表現ガイドでは測定の際のばらつきに注目しているが誤差(測定値－真値)の概念を導入していないことである。不確かさは、未知の残差について憶測よりもむしろ測定についての既知のものから推定されるべきであるとしている。

1.1.3 不確かさ解析の一般的な手順

具体的に不確かさを求めるためのステップを以下に述べる。

- ・測定・校正の手順「作業手順を記録する」

ここでは原理、原則、測定方法、測定装置、機材など実験ノートに記述する。

- ・数学的モデルの構築

ここでは式による不確かさ表現が可能であればそれを記述する。要因間に相関がない場合があり、相関がある場合には共分散を求めなければならない。多くの場合には相関がないと考えられる。数式の形で表現できない場合には、不確かさの要因を列挙して合成する。そして、実験計画法に基づく実験と要因分析から有意差検定を行い、要因別の不確かさを見積もる。

- ・補正の項目とその方法を明確化

補正ができれば、不確かさの推定は補正後のデータに対して行う。最良推定値を求める。

- ・不確かさ成分の分析と見積もり（Aタイプ、Bタイプに分類）

→標準の持つ不確かさ（標準不確かさで記述）

→標準との比較における不確かさ

校正装置、校正環境、校正条件、校正作業、被測定物における不確かさなどの標準不確かさの根拠を明確にする。

- ・合成標準不確かさの計算（二乗和の平方根）

ここではAタイプ、Bタイプの区別がなくなる。

- ・拡張不確かさの計算

一般には $k=2$ とする、 $k=2$ 以外の場合にはその旨を明記することが必要。結果の表記は、 $y \pm U$ とする。

- ・数値例の提示

以上の7ステップによって求める。

1.1.4 おわりに

現在、世界の国家計量標準機関はもとよりあらゆる国際的な科学技術分野の団体が測定結果の確かさを表す尺度として計測の不確かさを導入してきており、課題を残しながらも最近ではその浸透速度は目を見張るほどになってきている。

庶民の生活の安心安全の原点でもある食品、医療、治療関係にもこの考え方は導入され始めて注目されている。また、ものづくり現場においてもいち早く計測の不確かさの考え方を取り入れた品質向上の取り組みがなされ、品質向上はもとより企業利益を押し上げる事例も報告されているのが実情である。

参考、引用文献

- 1)飯塚幸三：測定器の精度表示の問題点、精密機械、35-11（1969-11）66-71

- 2)飯塚幸三：測定器の精度評価に関する諸問題、機械の研究、22-7（1970）17-22
- 3)今井秀孝：計測の信頼性をいかに確保するか：日本機学会誌（C編）、65-575(1994－7)2207
- 4)今井秀孝：形状における不確かさの解析、精密工学会誌、61-8(1995)1057
- 5)小池昌義、今井秀孝：計測における不確かさ評価と表記方法：計測と制御、34-8、(1995)646
- 6)今井秀孝：誤差・精度から「不確かさ」へ：精密工学会、65-7(1997)937
- 7)田中健一：トレーサビリティと測定の不確かさ：精密工学会誌、65-7(1997)945
- 8)独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センター(Webサイト)：不確かさの入門ガイド（認定部門－ASG104-03）
- 9)田中秀幸：Webサイト不確かさ評価について

1.2 不確かさの定義／算出方法及び表現の JIS 化 (TS) について

1.2.1 不確かさの定義

JIS Z 8404-2:2008 における「測定の不確かさ」の定義は次のとおりである。

測定の不確かさ (uncertainty of measurement) : 測定の結果に伴う、合理的に測定される量に結びつけられ得る値のばらつきを特徴付けるパラメータ又はパラメータの推定値。これは測定結果に付記される。

① このパラメータは、例えば標準偏差 (又はそのある倍数) であっても、あるいは信頼水準を明示した区間の半分の値であってもよい。

② 測定の不確かさは一般に多くの成分を含む。これらの成分の一部は一連の測定の結果の統計分布から推定することができ、また実験標準偏差によって特徴づけられる。その他の成分は、それもまた標準偏差によって特徴づけられるが、経験又は他の情報に基づいて確率分布を想定して評価される。

③ 測定の結果は測定量の値の最良推定値であること、及び、補正や参照標準に付随する成分のような系統効果によって生ずる成分も含めた、すべての不確かさの成分はばらつきに寄与することが理解される。

上記で述べた測定の不確かさの定義は、測定結果とその評価された不確かさに焦点を合わせた作業上のものとなっている。しかし、それは次のような他の測定の不確かさの概念と矛盾するわけではない。

- ・ある測定の結果から得られる測定量の推定値の誤差の尺度
- ・ある測定量の真の値が存在する範囲を示す推定値

これらの二つの伝統的な概念は理想的なものとしては有効であるが、知ることのできない量、すなわち、ある測定の結果の「誤差」及び測定量の「真の値」に焦点を合わせている。いずれの不確かさの概念が採用されたとしても、不確かさの成分は常に同じデータと関連情報を用いて評価される

また GUM は、詳細で、技術的に特殊な説明書というよりも、計測における不確かさの評価と表現の為の一般的な規則を与える。さらに、GUM はある特定の測定結果が、評価された後、いろいろな目的にどのように使うことができるかを議論しているわけではない。すなわち、例えば、ある結果が他の類似の結果と整合性があるかどうかについて結論をひきだすとか、ある製造工程における許容限界を定めるとか、ある一連の行動が安全に行えるかどうかを決める、というような目的につかうことができるかどうかを議論しているわけではない。したがって、特定分野の測定に固有な問題を扱ったり、あるいは不確かさの定量的な表現の様々な使用方法を扱う場合には、GUM に基づいて特別な規格を別に作る必要がある。

1.2.2 不確かさの算出方法

不確かさ算出方法は以下のとおりとなる

まず標準不確かさの評価をする為測定のモデル化を行う

①測定量 Y を入力量 $X_1, X_2, \dots$ (入力量とは、測定結果を導くために用いる量や、測定結果に影響を与えるその他の量) の関数として表し、数学的モデルを設定する。

$$Y = f(X_1, X_2, \dots)$$

②それぞれの入力量 X_i に対する推定値 x_i を求め、次により測定結果を決定する

$$y = f(x_1, x_2, \dots)$$

次に各入力量に対する標準不確かさの評価を行う。

入力量の推定値 x_i の標準不確かさ $u(x_i)$ を、一連の観測値の統計的解析による方法（Aタイプの評価方法）、あるいはそれ以外の方法（Bタイプの評価方法）で求める。

合成標準不確かさの決定

測定量 Y の推定値、すなわち測定の結果を y とすると y の標準不確かさは、入力推定値 $x_1, x_2, \dots$ の標準不確かさを不確かさの伝播則を利用して合成することによって測定結果の合成標準不確かさ $u_c(y)$ を求められる。

$$u_c^2(y) = \sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (\text{入力量間の相関がない場合})$$

入力量間に相関がある場合は、上式に相関係数を含む項が加わる。

包含係数の選択

合成標準不確かさ $u_c(y)$ 、もしくはこれを定数（包含係数）倍した拡張不確かさにより、不確かさの大きさを表現する。拡張不確かさを用いる際には、信頼の区間が一定の信頼の水準に相当するような包含係数 k を用い、 k の大きさを併記する。

Aタイプの評価、及び不確かさの伝播則は、それぞれ、従来の誤差評価でも行われてきた統計解析と誤差伝播則とはほぼ同等である。Bタイプの評価では、しばしば、利用可能な情報にもとづいて、入力量 X_i の可能な範囲を表す確率分布がまず想定され（先験的分布と呼ばれる）、この分布の標準偏差として標準不確かさが計算される。従来の誤差評価において混乱することが多かった系統誤差の扱いが、Bタイプ評価の導入により整理されたといえる。以上からもわかるように、評価手順という点では、従来の考え方に基づく誤差解析が注意深く行われていれば、それを不確かさ評価に翻訳することは一般に困難ではないと考えられる。

1.2.3 不確かさの表現の JIS 化 (TS) について

現在 JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology) で GUM 及び VIM のメンテナンスを行っている。そこで決定された事項として GUM はしばらく改訂しないこと（ただし、GUM を補足するための文書を作成）及び GUM の ISO Guide 化等が決定された。

日本の対応としては、GUM 本体の日本語版は日本規格協会から出版されている。また GUM 本体及び VIM は JIS の TS（標準仕様書）として近々出る予定である。但し GUM 補足文書に関しては、日本語版はなく、翻訳の予定も現在のところない。

参考文献

- 1) JIS Z 8404-1:2006(ISO/TS 21748:2004) 測定の不確かさ—第1部：測定の不確かさの評価における併行精度、再現精度及び真度の推定値の利用の指針
- 2) JIS Z 8404-2:2008(ISO/TS 21749:2005) 測定の不確かさ—第2部：測定の不確かさの評価における繰返し測定及び枝分かれ実験の利用の指針
- 3) 監修飯塚幸三：計測における不確かさの表現のガイド、(財)日本規格協会、2-2、(1999-11) 20

1.3 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おける技術的要求事項と測定の不確かさの推定

1.3.1 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、欧州を中心に試験所の能力を評価する指標として利用されてきた。1999 年に ISO/IEC 規格として ISO/IEC 17025(以下 17025 という)が発行され、2005 年に現在の形に改定されている。17025 は試験所や校正機関がその品質システムの第三者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いる。日本工業規格でも JIS Q 17025 として同じ内容の規格が制定されている。

わが国では、工業標準化法に基づく試験事業者登録制度(JNLA)や計量法に基づく校正事業者登録制度(JCSS)などの審査基準として 17025 が用いられている。審査に合格すると、登録事業者として JNLA や JCSS のロゴマーク(図 1,2)がついた校正証明書や試験成績書が発行できる。この審査を行っている製品評価技術基盤機構 認定センター(IAJapan)は国際試験所認定協力機構(ILAC)の相互承認協定(MRA)に参加しており、ILAC のロゴマークを付記した証明書は世界的に通用する。わが国では法律に従って登録事業者と称しているが、国際的には Accredited Laboratory (認定試験所) と言われている。



図 1 JNLA のロゴマーク



図 2 JCSS のロゴマーク

17025 の規格は 5 章からなり、事業者への要求事項は第 4 章と第 5 章に定められている。第 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り、17025 の認定を取得している事業者は ISO 9001 とほぼ同等の品質システムを構築していると言える。また、第 5 章「技術的要求事項」は ISO 9001 にはない要求事項であり、独特の規格となっている。また、自動車業界が要求する品質マネジメントシステム規格 ISO/TS 16949 では、外部に試験・校正を依頼する場合、17025 の認定事業者に依頼することが求められている。

1.3.2 技術的要求事項について

17025 の第 5 章「技術的要求事項」は、次の 10 項目が規定されている。

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

5.1 項「一般」の 5.1.1 で次の通り試験・校正の正確さ及び信頼性の要因について述べており、5.2 項から 5.8 項が寄与する要因に含まれるとして挙げられている。また 5.1.2 項では測定の不確かさへの寄与する程度について言及している。

5.1 一般

5.1.1 多くの要因が、試験所・校正機関によって実施された試験・校正の正確さ及び信頼性を決定する。これらの要因には次の事項からの寄与が含まれる。

- － 人間の要因(5.2)
- － 施設及び環境条件(5.3)
- － 試験・校正の方法及び方法の妥当性確認(5.4)
- － 設備(5.5)
- － 測定のトレーサビリティ(5.6)
- － サンプルング(5.7)
- － 試験・校正品目の取扱い(5.8)

5.1.2 各要因が総合的な測定の不確かさに寄与する程度は、個々の試験(の種類)及び個々の校正(の種類)によってかなり異なる。試験所・校正機関は、試験・校正方法及び手順の開発において、要員の教育・訓練及び資格認定において、並びに使用する設備の選定及び校正において、これらの要因を考慮すること。

技術的要求事項 5.1 項から 5.10 項は、試験所や校正機関が、その顧客に報告する試験・校正結果について、信頼できるものとするために必要な項目が列挙されている。

不確かさの推定について

技術的要求事項の 10 項目では不確かさについて直接取り上げられていないが、不確かさの推定については、5.4 項「試験・校正の方法及び妥当性の確認」の中で、5.4.6「測定の不確かさの推定」として規定されている。ここでは測定の不確かさを推定する手順を持ち、不確かさの要因の特定を行い、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が求められている。

5.4.6 測定の不確かさの推定

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。

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。ある場合には、試験方法の性質から厳密で計量学的及び統計学的に有効な測定の不確かさの計算ができないことがある。このような場合には、試験所は少なくとも不確かさのすべての要因の特定を試み、合理的な推定を行い、報告の形態が不確かさについて誤った印象を与えないことを確実にすること。合理的な推定は、方法の実施(performance)に関する知識及び測定の範囲(scope)に基づくものであること。例えば、以前の経験又は妥当性確認のデータを活用したものであること。

注記 1 測定の不確かさの推定において必要とされる厳密さの程度は、次のような要因に依存する。

- － 試験方法の要求事項
- － 顧客の要求事項
- － 仕様への適合性を決定する根拠としての狭い限界値の存在

注記 2 広く認められた試験方法が測定の不確かさの主要な要因の値に限界を定め、計算結果の表現形式を規定している場合には、試験所はその試験方法及び報告方法の指示に従うことによってこの項目を満足すると考えられる。

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。

注記 1 不確かさに寄与する源には、用いた参照標準及び標準物質、用いた方法及び設備、環境条件、試験・校正される品目の性質及び状態並びに試験・校正実施者が含まれるが、必ずしもこれらに限定されない。

注記 2 予想される試験・校正品目の長期の挙動は、通常、測定の不確かさを推定する場合に考慮に入れない。

注記 3 この問題について更に情報を得るには、**JIS Z 8402 ***及び“測定の不確かさの表現の指針(GUM)”を参照する。

*** : JIS Z 8402 (ISO 5725) 測定方法及び測定結果の精確さ（真度及び精度）**

ここでは不確かさの推定について、基本的な枠組みを示しているものであり、実際に不確かさの算出を行なうためには 5.4.6.3 の注記 3 に記載されているように「測定の不確かさの表現の指針(GUM)」を参照して求める必要がある。

17025 は試験所、校正機関に求められる要求事項であり一般の企業で適用する必要はない。しかし、17025 を理解することは重要であり、不確かさを考慮していく上でも参考になる規格である。また、17025 の認定校正事業所が発行する校正証明書には必ず不確かさが付与されているので、測定機器を管理し、企業内で不確かさの推定を行なう上で、有効活用できる。

1.4 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

1.4.1 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として米軍規格 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」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ISO10012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
2. 引用規格
3. 用語及び定義
4. 一般要求事項
5. 経営者の責任

- 5.1 計量機能
- 5.2 顧客重視
- 5.3 品質目標
- 5.4 マネジメントレビュー

6. 資源マネジメント

- 6.1 人的資源
- 6.2 情報資源
- 6.3 物的資源
- 6.4 外注供給者

7. 計量確認及び測定プロセスの実現

- 7.1 計量確認
- 7.2 測定プロセス
- 7.3 測定の不確かさ及びトレーサビリティ

8. 計測マネジメントシステムの分析及び改善

- 8.1 一般
- 8.2 監査及び監視
- 8.3 不適合の管理
- 8.4 改善

付属書A（参考）計量確認プロセスの概要

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下図に示すように「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し設計する。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。

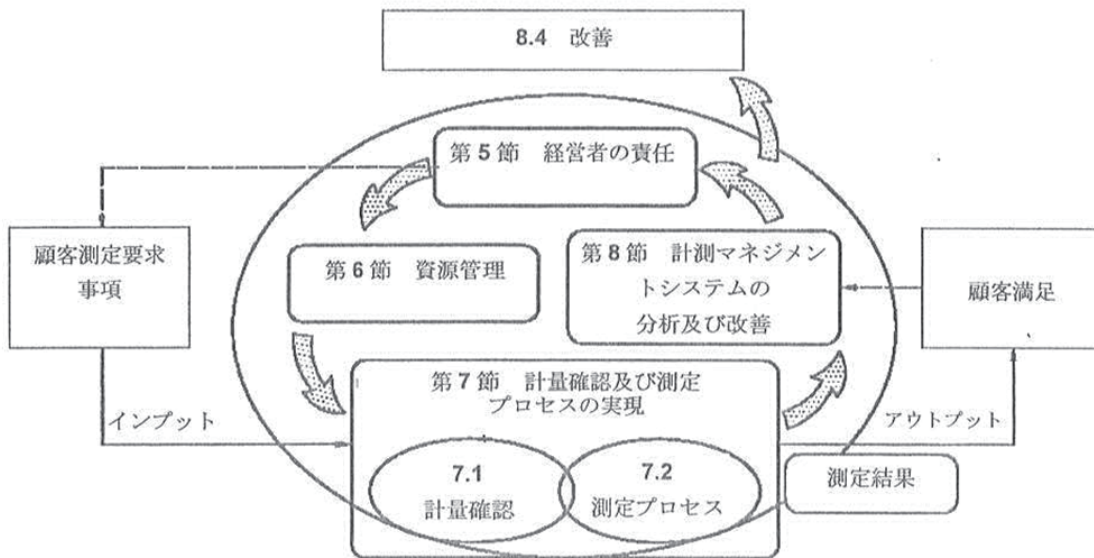


図1 計測マネジメントシステムのモデル

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がされ、実施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の 測定の不確かさ及びトレサビリティについては下記 1.4.2 を参照

1.4.2 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— Part 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 3 月に制定予定の 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、最終製品の重要度（重要又は複雑な測定、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など）に応じて“測定における不確かさの表現の指針（GUM）”を用いるとよい。それ以外の一般的な製品や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。しかし、作業者の技術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、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。

1.5 生産分野への測定の不確かさ導入の意義と効果

1.5.1 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よって、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、5M1K(材料・金型・設備・方法・人・工具)が重要であるといわれている。この6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、機械化が行われている。この機械化には、計測による情報が不可欠であり、計測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。

1.5.2 測定に関する要求

(1) 監視・測定に関する要求：ISO 9001

監視・測定に関する国際規格では、ISO 9001, ISO 10012 が代表的な規格として定められており、特に ISO 9001 は多くの企業に採用されている。この中で、測例及び監視について説明する。

ISO 9001 では、要求事項として「監視及び測定」と「監視機器および測定機器の管理」を挙げており、監視測定の中で計測器による計測を含めた工程及び品質システムの監視と計測機器の管理についての要求事項を定めている。主な要求事項として、測定値の正当性が保証されなければならない場合、測定機器等に関しては、次の事項を満たすことが要求されている。

- a) 定められた間隔又は使用前に、国際又は国家計量標準にトレース可能な計量標準に照らして校正又は検証すること。
- b) 機器の調整をするか、又は必要に応じて再調整すること。
- c) 校正の状態が明確に出来る識別を行っておくこと。
- d) 測定した結果が無効になるような操作が出来ないようにすること。
- e) 取り扱い、保守、保管等において損傷及び劣化しないような保護をすること。

(2) 計測マネジメントに関する要求：ISO 10012

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、測定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。

- a) 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。
- b) 計測プロセスの設計として、どの段階でどのような計測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

a) 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器の選定

- ・ 要求に見合った測定スキルの確保
を要求しており、その結果

b) 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。

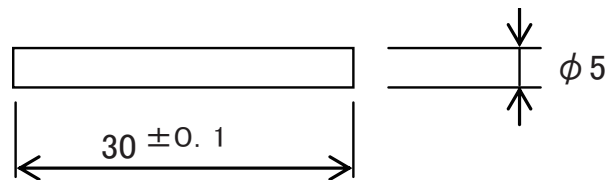
1.5.3 不確かさの導入について

(1) 不確かさを改善する効果

測定工程の管理によって得られる効果を更に効果的にするために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。

測定の不確かさ改善の直接的な効果としては、測定の不確かさが製品の公差に比較して大きく、製品のバラツキに対しても大きい場合に、測定の不確かさを小さくすることによって、製品の仕上がり状態を公差に対し余裕を持った値に設定する必要がなくなるため、コストダウンにつながる。一例として長さ測定の場合を例に紹介する

図のような製品を製造する場合を考える。



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 Cpk 及び、Cpk1.33 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。

測定系の標準不確かさ要因				測定系の拡張不確かさ mm	加工ばらつき(2σ) mm	工程能力 Cpk	Cpk1.33を 確保できる加工ばらつき mm
長さ測定器 の校正 mm	温度膨張差 mm	製品端面の 平行度 mm	測定のばら つき mm				
0.0200	0.00052	0.0010	0.0300	0.0721	0.040	0.81	--
0.0200	0.00052	0.0010	0.0150	0.0501	0.040	1.33	0.003
0.0100	0.00052	0.0010	0.0150	0.0361	0.040	1.24	0.035
0.0100	0.00052	0.0010	0.0075	0.0251	0.040	1.41	0.043
0.0020	0.00052	0.0010	0.0075	0.0157	0.040	1.55	0.048
0.0020	0.00052	0.0010	0.0038	0.0089	0.040	1.63	0.049

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

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 Cpk1.33 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いことが判る。

逆に工程能力 Cpk1.33 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) 改善例

測定の不確かさを小さくすることにより、結果として工程のばらつきを小さくできたことにより、費用を削減できた報告例を図2、図3に示す。

①塗装の膜厚測定の不確かさを小さく改善した場合

塗装の膜厚の測定の不確かさを小さくすることにより、塗装の膜厚設定を薄くすることができ、塗料の使用量を削減できた。結果的に年間効果として100万円のコストダウンできた。

①塗装膜厚測定の不確かさを改善（圧縮）

・塗料の使用量を低減

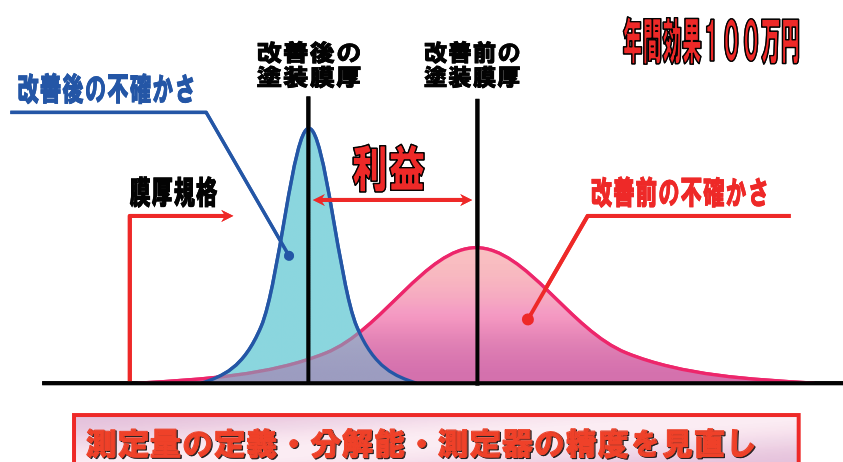


図2 塗装膜厚測定の改善による効果

②強度試験の不確かさを小さく改善した場合

ナットの締め付け強度測定の不確かさを小さくすることにより、締め付け強度の実力値も向上したことにより、誤判定による損失の減少で年間効果として80万円コストが削減出た。

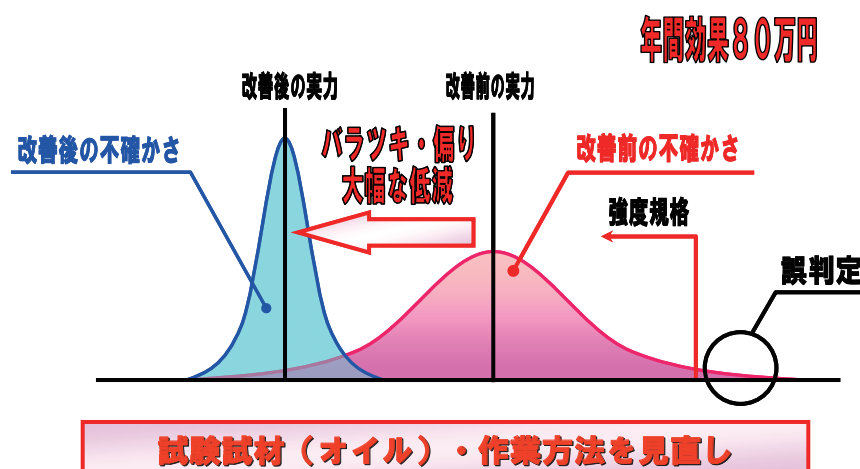


図3 ナット締め付け強度試験の改善

(3) 間接的効果

上記のような直接的な効果と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。見える化によって改善点を関係者が明確に認識でき、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の要因の内、測定系の不確かさを小さくしても、結果的に加工のばらつきを大きくすることができないことが判る。

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、寄与率による効果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。

1.5.4 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。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ることにより、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。

第2章 生産における合否判定基準（検査規格）及び不確かさの要求事項

2.1 ISO 14253-1 製品の幾何特性仕様—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

2.1.1 ISO 14253 の概要

国際規格 ISO 14253「製品及び測定装置の測定による検査」は GPS 規格群(Geometrical Product Specifications：製品の幾何特性仕様)の一部として作成された規格で、以下の 4 部構成となっている。

第1部：仕様に対する合否判定基準

第2部：GPS 測定、測定機器の校正及び製品検証における不確かさの推定の手引

第3部：測定の不確かさの表示に関する協定の指針

第4部：決定規則における機能的限度値及び仕様限度値の背景

第1部では測定結果と合否判定について不確かさとの関連を規定している。第2部ではその不確かさの推定についての手引き、第3部では供給者と顧客の間での不確かさの合意形成についての指針、そして第4部では仕様限界と機能限界について合否判定を行う際の背景が記述されている。なお、第1部は ISO 規格であるが、第2部から第4部は ISO/TS 規格(技術仕様書)となっており、第1部を補完する規格である。

日本工業規格ではこれらの規格のうち第1部、ISO 14253-1「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」（以下 14253-1 という）について内容に技術的な変更を加えない IDT（一致）規格として JIS B 0641-1 を制定している。

2.1.2 単純な合否判定

ここでは説明を簡単にするためにある部品の寸法を検査するときの合否判定を例に取り上げる。部品寸法はその公差とともに図面に記載され、通常はその公差を基準(規格値)として合否判定を行っている。単純な合否判定の事例を図1に示す。

図面上の呼び寸法 S に対し $\pm t$ の寸法公差が設定されているとする。この場合、寸法の公差範囲(仕様範囲)が領域 A であり図面上はこの範囲のものを合格(14253-1 では適合)としている。領域 B は公差下限(LSL)以下、領域 C は公差上限(USL)以上で不良となる。不確かさを考えなければ単純に測定結果が A の領域にあれば合格、B、C の領域にあれば不良品と判断される。従来はこのような単純に合否判定を行っていた。

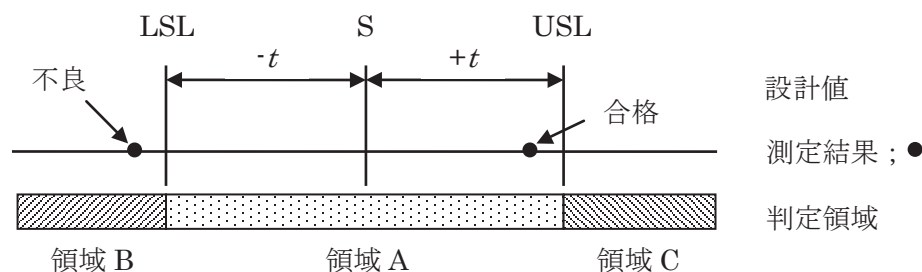


図1 単純な合否判定

2.1.3 14253-1 における合否判定基準

14253-1 では測定機器及び製品(部品)の検査において、測定結果から不確かさを加味してどのように合否判定するかを規定している。上記の単純な合否判定に不確かさ $\pm U$ を考慮した場合を図2示す。

この場合、領域 A は公差範囲の上限、下限から不確かさ U を差し引いた範囲である。14253-1 ではこの範囲を適合(合格)の領域であり、受け入れが可能であるとしている。つまり測定結果がこの範囲にあれば基本的に設計仕様を満足していると言える。逆に領域 B、C は不確かさを公差範囲の外側に設けてあり図1に比べてその分だけ不良の領域が狭くなっている。14253-1 ではこの範囲を不適合(不良)の領域とし、受け入れを拒否できるとしている。測定結果がこの範囲にあれば完全に不合格であると考えてよい。

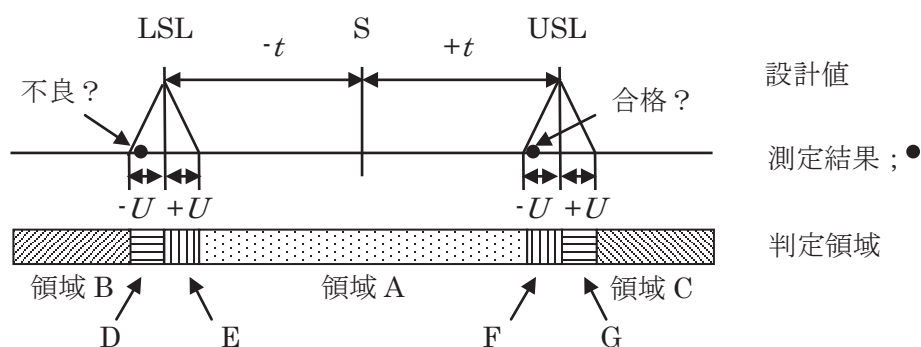


図2 不確かさを考慮した合否判定

ここで問題となるのは領域 D, E, F, G である。14253-1 ではこの範囲を不確かさの領域として、「使用に対する適合も不適合も実証されない。」としている。単純な合否判定の時は合格とした領域 E, F については、不確かさの範囲なので、不良品が混在する危険性がある領域である。供給者はこの領域のものを合格であると主張することできない。従って測定の結果が不確かさの範囲にあると、良品の可能性があっても不良と判断するほうがよい。また、顧客はこの領域のものを受け入れた場合、不良品を受け入れてしまう危険性があり、拒否したいところである。一方、単純な合否判定の時は不良とした領域 D, G については、合格品が存在する可能性がある領域でもある。

14253-1 ではこれらの領域 D, E, F, G は「一方的に受入、若しくは拒絶されることはない。」としているだけで、この領域の具体的な取り扱いについては触れていない。また、上述の判断基準は「受渡当事者間でその他の基準の合意がない場合に有効となる基準である。」としている。従って、供給者と顧客の相互の間で合意事項があれば単純な合否判定を行ってもよいことになる。一般的には供給者側に製品・部品の品質を保証することを求められているため、領域 A のみを合格とするのが物作りの原則と考えるべきであろう。同一企業内であればこの D, E, F, G についての合意形成をすることも容易であるが、後工程で不具合となることを考えれば、やはり不良とすることが望ましい。

このように、不確かさが大きいと供給者は良品であっても不良品として扱わなければならないケースが大きくなり、経済的な損失がでる。そこで、測定の不確かさを適切に評価し、大きい場合には不確かさを小さくする改善を行うことが重要となってくる。

2.2 国際法定計量（OIML）適合審査判定での不確かさの採用について

OIML TC3/SC5では、法定計量器および形式承認試験においても、計測の不確かさの概念を導入した試験結果を報告することが重要であるという認識から、アメリカ国立標準研究所（NIST）の研究者を中心に進めてきた研究成果を受けて、法定計量における適合審査判定の際の測定の不確かさの役割(1次草案)がまとめられた。ここではその内容を紹介する。

2.2.1 はじめに

多くの法定計量活動は、比較的‘迅速かつ簡便’な合否判定を行うことを意図しており、測定の不確かさの審査・使用方法の選択は、活動を効率的なものにする上で重要になってくる。公式な測定の不確かさの使用は計量・計測世界の潮流であって、計量界及び試験所認定団体のいずれにおいても不可欠なものであるとして広く認められている。従って特定用途について法定計量の意思決定プロセスに、複雑さと混乱とを最小限に抑えた上で、測定の不確かさを通常的に組込むことができるさまざまな方法を検討する必要が出てきた。この文書は、法定計量における計量器及びシステムを試験する際に、確率的根拠に基づいて、効果的にしかも効率的に公式な測定の不確かさを組込むために考慮すべき選択肢に関する手引きを提供することを意図している。

一つの例が、測定された指示の誤差が許容限度内であるかどうかについての‘安全な’結論を出すために、‘拡大した’又は‘内輪の’最大許容誤差（以後、MPEという）を指定するという慣行である。標準器（基準器）の誤差の最大許容比率 $1/3$ 又は $1/5$ などの分数を規定するという慣行が、もう一つの例である。しかし、測定の不確かさの確率的性質は、このさらに古典的手法においてだけ明示的に考慮されるのではない。2.2.2項はこの手法がさらには公式な測定の不確かさを考慮に入れる法定計量における適合試験を考える際の基盤となることから、法定計量における適合試験の判定に対するこの古典的な基本的手法について詳しく述べている。

測定の不確かさの公式な概念¹⁾の導入に伴い、法定計量において適合判定を行うことは、判定自体を行うことについて考慮すべき事柄が増えているためだけでなく複雑化してきており、そこで用いられる用語が時には混乱を招き、相反するように思われることさえある。もっとも特筆すべきは、そのいずれもが測定品質に関わっているという点で“誤差”及び“不確かさ”の概念はある種の類似性を共有しているにもかかわらず、実際にはこれらは著しく異なる概念なのである。一見したところ皮肉に思われるかもしれないが、“指示誤差”は、それ自体測定可能なものであり、したがって付随する測定の不確かさを持った値である。[誤差]と[不確かさ]とのこの違い及びこれらが法定計量において（及びその他の計量分野において）どのように共存するのかは、附属書A（法定計量における“測定誤差”及び“測定の不確かさ”の共存（測定と試験との関係））に詳しく述べられている。

公式な測定の不確かさが法定計量の適合審査判定において考慮に入れられるとき、以前に論じた、測定した“指示誤差”を指定されたMPEと比較する方法が引き続き用いられる。しかし、これに加え公式な測定の不確かさに伴う測定の確率的解釈により、たとえ測定した値がMPEの限度内にあっても、指示誤差の実質的に一意の真の値が実際には指定されたMPEの限界外にあること、及びその逆の場合を確率分布の視点から考えることが必要になる。

表された確率に基づき、ある試験が合格であるか否かを判定するために、さまざまな“判定規定”を定めることができ、かつ間違った判定を出す付随“リスク”を計算することができる。2.4.3以降ではこのことと関連する論題について詳しく述べ、OIML 勧告及びその他のOIML 文書を策定する際に考慮すべき選択肢を提供する。

所定の試験の手順に対して適切なMPEを定めることも、測定の不確かさの影響を受ける。不必要に大きい又は小さいMPEの使用に伴う消費者、販売業者又は製造事業者のコストは、最初にMPEを定める際に可能性の高い測定の不確かさを考慮に入れることによって削減することができる。非常に小さなMPE

を設定することは、より厳しい要件を満たすためにさらにコストのかかる計器を製造しなければならない計器の製造事業者にとって費用がかさむおそれがある（製造事業者は、その追加コストを消費者に回す可能性が高い！）。

計量器のさまざまな用途に対して可能性の高い測定の不確かさのレベルを検討することによって許容可能なリスクレベルをもたらすことなどを目的として、さらに最適なMPEを設定することが可能である。2.2.4項は、OIML 勧告及びその他のOIML 文書の中でMPEを規定する際に測定の不確かさを考慮に入れるための選択肢について詳しく述べる。

2.2.2 適合試験判定及び測定の不確かさに関係する基本的な検討事項

法定計量の重要な役割の一つは、計量器及びシステムの設計（型式承認）の性能及び適切性並びに各種の規制対象の用途について、個々の計量器及びシステムの性能を評価することである（初期検定及び事後検定）。そのような評価を行うために用いられる基本的な試験の種類には、測定された指示誤差を特定の用途に対して指定された最大許容誤差（MPE）と比較することを必要とする。指示誤差の値（ E_I ）は、一般的に、測定量を測定する際に得た計量器又はシステムの指示値とその測定量の真の値との差として定義される。その測定量の真の値を知ることにはできないので、運用上、指示誤差は、測定量を測定する際に得た計量器又はシステムの指示誤差（ I_I ）と標準器を使用したときに測定される同じ測定量の値（ I_S ）との差となると通常考えられている。数学的には次のように表される：

$$E_I = I_I - I_S \quad (2.2.1)$$

（歴史的に、法定計量においては、“真値”という用語は、通常この文書に示すような意味で使用されるのではなく、計量器を試験するプロセスの中で使用される測定標準に付随する値を指すために用いられていることに留意すること。この後者の意味は、この文書の中での真の値という用語の意味ではない。一般的に、 I_S は、測定量の値を‘測定モデルに入力した量’⁴⁾に関連付ける‘測定モデル’^{1), 4)}を使うことによって求めることができる（すなわち、 I_S は、値 x_1 に依存するか、又は値 x_1 の関数（ f ）である）：

$$I_S = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.2.2)$$

実施される試験のカテゴリ（型式承認、初期検定又は事後検定）に依って、試験の実施方法の詳細に大きな違いがある。この違いには繰返し測定によって得ることが望ましい個々の指示誤差のデータ数、及びいつ、どのようにして計器の動作条件を調整（仮に行う場合）するのが望ましいかなどが含まれる。しかし、試験のすべてのカテゴリに共通しているのは、最終的に適合判定が、測定した指示誤差をMPEと比較する1回又は複数回の試験の結果に基づいて行われることである。

適合判定を行うことを目的として、測定した指示誤差を1組のMPE（上限及び下限）と比較するという概念を図1に示す。横軸は指示誤差の予想値 E_I を表す。上限及び下限のMPEは、それぞれ MPE_+ 及び MPE_- と表され、0対称で示されるが、これは必ずしも必要ではない（例えば、レーダーガンを試験するとき）。単一の測定された指示誤差だけを用いて適合判定を行う場合、その単一の測定された指示誤差がMPEによって定められる区間の中にあれば、その計器はその試験に合格であると見なされる。そうでなければ、その計器はその試験に不合格であると見なされる。公式な測定の不確かさは、この考察又はこの図の中では明らかにされていないが、MPEは特定の測定の種類に対する測定の不確かさの可能性の高いレベルに基づいて定められたと見なされている。

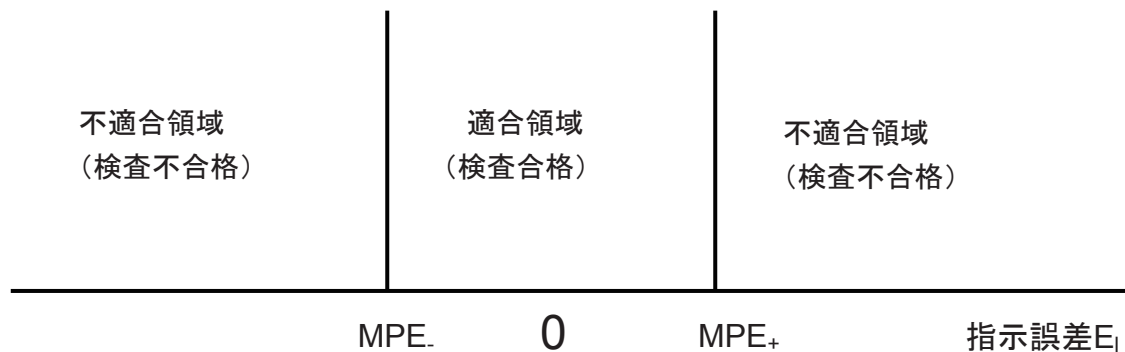


図1 適合判定を行うための指示誤差 (E_I) 及び最大許容誤差 (MPE) の使い方
(測定の不確かさを明らかにしない場合)

いくつかの OIML 勧告においては、測定値の不規則変数を説明することを目的として、個々の適合判定が単一の測定された指示誤差に基づくのではなく、2 個以上の指示誤差を求めてその平均値を適合判定の基盤として用いることが認められる／求められるように、試験が構成されているものがあることに留意すること。これは、図1 の中で記号 E_I を用いて示されており、この場合 E_I が適合領域にあるため試験は合格であると見なされる。さらにもう一つの種類は、2 個以上の測定した指示誤差を求めることを認め、次にそれらの指示誤差の一部（例えば、3 個のうち2 個）が適合領域にあることを求めるというものである。2.2.3項で実証されるように、公式な測定の不確かさが考慮に入れられているときは測定された偶然変動が測定の不確かさの中に組み込まれることから、適合判定を出すこれらの複数の方法間の違いはなくなる。

2.2.3 測定の不確かさを公式に組み込んでいる適合試験判定

はじめに示したように、測定の不確かさを法定計量における適合試験判定に公式に組み込むためには、そのような判定について、2.2.2項に述べたものとは別の考え方（附属書A）が必要である。計量器が指定されたMPE 要件を満たし、従って特定の適合試験に合格することを断定的に示すことが可能なのではなく、計量器が各MPE 要件に適合することの確率だけを示すことが可能なのである。そのような統計的手法に内在するのが、最終的に合否判定を出す際にはある程度リスクを考慮しなければならないことである（例えば、判定が誤っていることリスク）。測定の不確かさは、そのような確率及びリスクの定量的値を定めるプロセスで用いられる。

測定プロセスの繰返し性又は再現性を審査することを目的として特定の指示誤差の複数回の測定が行われる場合、測定した個別の指示誤差のそれぞれに付随する測定の不確かさを審査する必要はない。むしろ、一連の個別の測定値から指示誤差 (E_I) の平均値を計算して、測定した指示誤差として使用することが可能であり、この一連の個別の値の標準偏差を、平均値に関連させることが望ましい測定の不確かさの1 成分として使用することが可能である。

しかし、OIML 勧告（及びその他のOIML 文書）は、測定の不確かさの偶然成分が測定の不確かさの全てではないこと、及び測定の不確かさの系統成分も含めなければならないことを強調することが望ましい。この項の他の部分は、受験器／システムの適合判定を行うために、指示誤差の測定の計算された標準不確かさ（以後、 u_{EI} という）を使用することが可能となり、かつ使用することを望ましいとするような方法について論じている。

1) 確率密度関数 (PDF)

測定の不確かさの概念に内在する問題は、測定を実施したときに間違いが起きたのかどうかを知ることができないために、測定することを意図したものの真の値を知ることができないということである。また、たとえ測定を実施する中で間違いは一切起きていないことが分かったとしても、実際にはすべての測定には、完全に管理又は理解されていない何らかの付随する未知の系統的側面及び偶然変動が伴う。従って、いくつかの値がその他の値よりも測定量の真の値に一致する可能性が高いという確率的基盤に基づいて測定量の真の値を知るという観点から、論じられなければならない。これを捉える方法の一つが、確率密度関数（以後、PDFという）として知られる関数を構成することが可能であるというもので、この関数は測定量の真の値を知ることについての確率を示す。

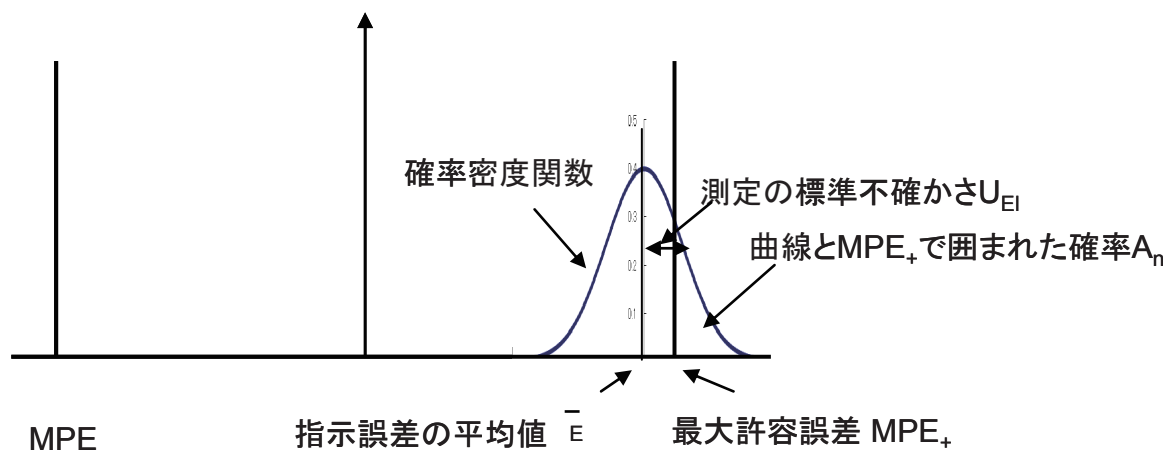


図2 平均指示誤差 $\bar{E}_I$ の分布

PDFの概念は、図2 に示されている。図1 のように横軸は予想される指示誤差の値 E_I を表す。図2 では、指示誤差の真の値が、特定の指示誤差の値を中心とする微小領域の中に入ることの予想される確率密度を表す縦軸が加えられている。指示誤差の値が指示誤差の2つの指定値の間にある確率（又は、まちがいは一切起きていないという前提に基づく確率）は、その2つの指定値に囲まれたPDF曲線の下領域（面積）を数学的に積分することによって求めることができる。

PDF 曲線は、一般に使用される（必ずということではないが「モンテカルロ法⁶⁾」参照）。曲線の平均値 (E_I) 及び標準不確かさ (u_{EI}) が示されている。この曲線は、曲線と横軸で囲まれた面積が1 になるように正規化されており、横軸上のどこかに指示誤差の値を見つける100 %の確率があることを意味する。このようになるはずではあるが、指示誤差の値は、実際には、測定実施中に間違いがあった場合など、PDF 曲線のかかなり外側にある可能性がある。PDF が系統効果及び偶然効果の両方など、測定量についての既知の情報のすべてを含んでいることを、再度強調することにも価値がある。偶然変動だけのヒストグラムに適合する曲線は、一般的に正規分布をしておりPDF はヒストグラムに対するそのような適合性はないが測定の系統効果に由来するその他の情報を含んでいる。

2) 適合性の確率

図 2 を用いて、2.2.2項で述べた古典的な手法を用いて適合判定を下すことと、GUM の不確かさ手法を用いて適合判定を下すこととの重要な違いを実証することができる。古典的な手法を使うと、指示誤差の平均値 (E_I) は図1 で定めた適合領域の中にあることから、計量器は図2 に示す特定の試験に合格すると見なされるであろう。

不確かさの手法を用いて、測定の不確かさを特定の試験について考慮に入れると、適合領域の外側にあるPDF 曲線の下に大きな領域がある（すなわち、 MPE_+ の右側）ことを図2 に見ることができ、これは、たとえ指示誤差の平均値（ E_I ）が適合領域の中に入っているとしても、指示誤差の真の値が適合領域の外側にある確率があることを意味する。

適合領域の外側にあるPDF 曲線の下領域（図2 の確率密度関数の曲線と MPE_+ 下で囲まれた面積）は、 A_n で表され（ここで“n”は‘不適合’を意味する）、指示誤差の真の値が適合領域の外側にあるために計量器がMPE 要件に適合しない確率 p_n は、 $p_n = A_n$ （ $= 100 \cdot A_n$ 、 p_n が百分率（%）で表される場合）で与えられる。従って、計量器が特定の試験に合格であると見なされるか否かについての判定は、確率（リスク）の許容レベルが、その試験の種類に合致したものであったかどうかによる。

指示誤差の平均値 E_I が、適合領域のわずかに外側にあっても指示誤差の真の値が適合領域の中にある高い確率があることに留意する。この場合、古典的手法では計量器が特定の試験に不合格と見なされるかもしれないが、改めて特定の試験に対して、そのような種類の試験に対する許容される確率（リスク）のレベル及び誰がそのリスクを負うのかに依り、不確かさの手法を用いてその計量器が特定の試験に合格するという判定を出すことがまだ可能かもしれない。リスクアセスメントの問題は、特定の試験が合格又は不合格と見なされるかどうかを判定するための規定と共に、次の節で取り扱われている。

3) 適合判定に関連するリスク及び判定規定

MPE などの許容区間要件を満たすことに基づいて試験の適合判定を下すことに伴うさまざまな種類のリスクには、種々の処置が講じられ名称が与えられてきた^{7, 10)}。概略としては、次の3つの基本的種類のリスクがある。

- ・試験を誤って合格とするリスク
- ・試験を誤って不合格とするリスク
- ・共有リスク

① 誤った合格についてのリスク及び判定規定

誤った合格のリスクとは、試験は合格だと見なされたが、実際はMPE 要件が満たされていなかった可能性があることを意味する。この場合、図3 A)に示すように、測定された指示誤差の値はMPEによって囲まれた領域の中にあるが、PDF はMPE によって囲まれた領域の外側の領域まで延びており、指示誤差の真の値はMPE によって囲まれた領域の外側にある可能性があると考えられる。誤った合格のリスクは、計量器又はシステムの評価者又は使用者が負うことに留意すること。このリスクは、計量器又はシステムが、たとえ試験結果が合格しているとしても、規格内で機能していないというものである。誤った合格のリスクの値は、MPE によって囲まれた領域の外側にあるPDF 曲線の下領域 A_n として計算され、これは、図3 A)の曲線の下斜線領域である。

法定計量試験に関連付けられると思われる判定規定の一つは、誤った合格の確率又はリスク（ p_{fa} ）は、なんらかの明示値（例えば5 %）未満でなければならないというものである。判定規定を満たさなければならない場合、指示誤差の値 E_I は、MPE によって囲まれた領域の中にあり、さらには、通常、該当するMPE の境界線のすぐ近くにある可能性さえないことから、このリスクは計器／システムの評価者又は使用者に有利であり、計器／システムの製造事業者又は販売事業者にとっては不利であろう。

② 誤った不合格についてのリスク及び判定規定

逆に、誤った不合格のリスクとは、試験は不合格だと見なされたが、実際はMPE 要件が満たされていた可能性があることを意味する。この場合、指示誤差の測定値は、MPE によって囲まれた領域の外側にあるが、PDF はMPE によって囲まれた領域の内側の領域まで延びている。（図3 B）参照）不合格のリスクは、計量器又はシステムの製造事業者又は販売事業者が負うことに留意すること。このリスクは、計器又はシステムがたとえ試験結果が不合格しているとしても、規格内で機能しているというものであ

る。指示誤差の測定値がMPE によって囲まれた領域の外側にあるとき、誤った不合格のリスクの値は、MPE によって囲まれた領域の内側にあるPDF 曲線の下領域として計算される。

法定計量試験に関連付けられると思われる判定規定の一つは、誤った不合格のリスク (p_{fr}) は、何らかの明示値（例えば2 %未満）であるというものである。判定規定を満たさなければならない場合、指示誤差の値 E_I は、MPE によって囲まれた領域の外側にあり、さらには、通常、該当するMPE の境界線のすぐ近くにある可能性さえないことから、このリスクは計器／システムの製造事業者又は販売事業者には有利であり、計器／システムの評価者又は使用者にとっては不利であろう。

誤った合格のリスク及び誤った不合格のリスクの両方が混在する所与の試験については、判定規定を備えることはできないことに留意することが重要である。すなわち、利益は、評価者／使用者又は製造事業者／販売事業者のいずれかにもたらされ、同時にその両方にもたらされることはない。

③ 共有リスク

一方、共有リスクは、利益も不利益ももたらさない試験の結果に関与する複数の当事者間での、MPE（両側の点線）の境界線に近い測定された指示誤差 E_I の値の測定不確かさの考察に関する取決めである。

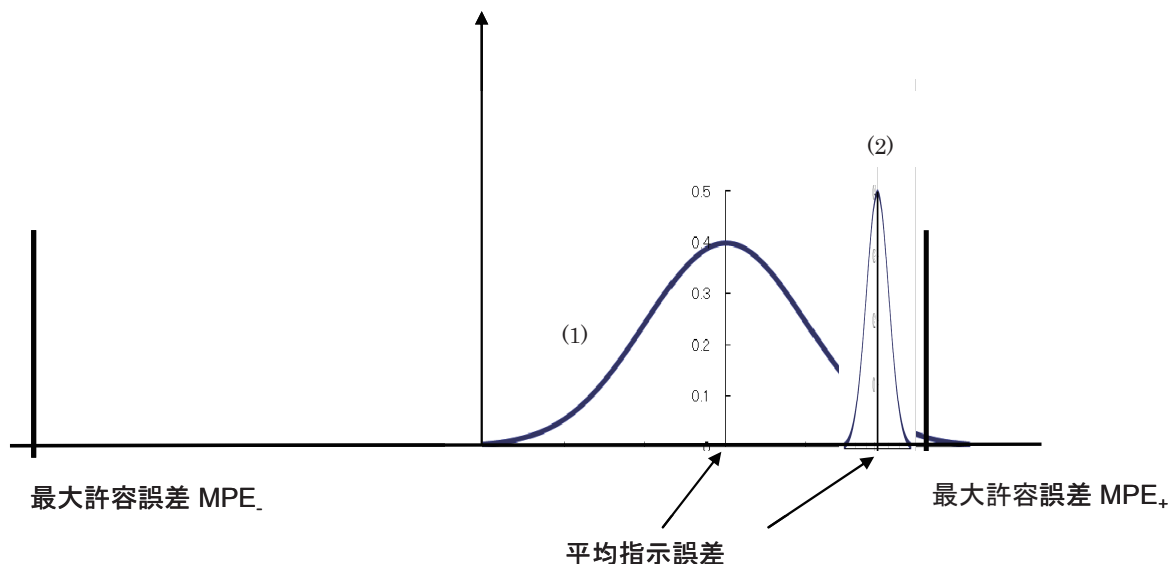


図4 最大許容誤差近傍のリスク

そのような取り決めに内在する問題は、測定の不確かさ u_{EI} は、MPE に対しては‘小さい’（すなわち、比率 (u_{EI}/MPE) が‘小さい’）ので、MPE の境界線に非常に近い E_I の値についてだけ、誤った判定の著しいリスクが存在するということである。このことは、図4 の中で1つの測定に対する2つの可能性のある異なるPDF について示されている。左端 (1) の標準正規分布曲線に付随する不確かさ u_{EI} は、共有リスクの取決めには大きすぎる可能性が高く、一方、右端 (2) の標準正規分布曲線に付随する不確かさ u_{EI} は、ほとんどの用途について合格になる可能性が高い。共有リスク手法の利点は、リスクが同等に共有され、したがってリスクの計算が一切必要ないため、指示誤差に対するPDF を知る必要がないことである。この利点は少なくとも部分的に判定決定プロセスを簡便化することから、共有リスク手法の利用はOIML 勧告又はその他のOIML 文書の中でどのような判定規定を提案すべきかを検討する際、この利点によって極めて望ましいものとなる。

④ (指示誤差の)最大許容不確かさ

比率 (u_{EI}/MPE) がもつことが許容されている最大値を、指示誤差の“最大許容不確かさ”に換算して参照すること (以後、 MPU_{EI} という) が一般的に成り立つ (例えば¹³⁾)。これは次によって定義される:

最大許容不確かさ $MPU_{EI} = f_{EI} \cdot MPE$ (2.2.3)

ここで、 f_{EI} は、1 未満の指定された数であり、大抵の場合はおよそ1/3 又は1/5 (0.33 又は0.2) である⁸⁾。最大許容不確かさ (MPU_{EI}) は、一般的に、共有リスク手法を用いることが可能な所与の指示誤差 E_I の測定値に対して u_{EI} がもつことができる最大値と考えられている。 MPU_{EI} に関連して適用すべき判定規定は、 u_{EI} が MPU_{EI} より大きい場合、試験は不合格と見なされ u_{EI} を小さくするための (又は大きな MPE を組込むための) 手段を開発する必要があるというものである。

MPU_{EI} を指定する必要性についてのもう一つの考え方は、 u_{EI} が MPE と同等であった場合は、例えば0 と MPE_+ の間の中間近辺の E_I の値については、図4 (1) で示されるように指示誤差の真の値が MPE_+ から遠く離れた右の方に位置する確率 (つまり、 E_I が、MPE に非常に近いところに位置する場合) が比較的高い可能性がありこれは多くの場合、許容できないリスクである。 MPU_{EI} をもつことによって、そのような確率が排除される。

⑤ (測定標準器の)最大許容不確かさ

‘(指示誤差の)最大許容不確かさ’を指定する必要性とは別に、上記の理由から頻繁に用いられるもう一つの判定規定は、標準器の最大許容不確かさ (以後、 MPU_S という) を指定することである。これは次によって定義される:

標準器の最大許容不確かさ $MPU_S = f_S \cdot MPE$ (2.2.4)

ここで、 f_S は1 未満の指定された数であり、やはり大抵の場合はおよそ1/3 又は1/5 (0.33 又は0.2) である。さらに、最大許容不確かさ (MPU_S) は、所与の指示誤差 E_I の測定値に対して u_S がもつことができる最大値である。

この要件の根拠は、MPU が大きすぎる場合、上記の MPU_{EI} に基づく合否判定は、試験対象の計器/システムの品質ではなく、測定標準及び/又は試験所の品質によって左右されることになる可能性がある (u_{EI} は、 u_S 及びその他の不確かさの成分を含むことに留意すること) ことである。計器製造事業者の計器を、大半の u_{EI} で構成される不確かさをもつ測定標準を使って試験することは、不公正と見なされる。なぜなら、その場合、特定の試験について指示誤差の不確かさが許容可能な小ささ (すなわち MPU_{EI} 未満) を維持するためには、指示値の不確かさ (u_I) 及びその計器/システムに付随するその他の不確かさの予想される成分は相対的に小さいものとなる必要が生じるからである。 f_S が相対的に小さく (例えば、1/5 未満) なることを要求することによって、試験所間の著しい差異又は食い違いを避けることができる。したがって、個々のOIML 勧告は、各個別の種類の試験に適切な許容可能な f_S (又は MPU_S) を指定することが望ましい。

⑥ 判定規定についての考察の要約

担当するOIML 勧告及びその他のOIML 文書にどのような判定規定を組込むことが望ましいかについて検討する際、OIML 幹事国はリスクの許容可能なレベルを提案するときには間違った判定の影響を考慮に入れることが望ましい。誤った合格の影響が過度に深刻なものにはならないと考えられる場合、共有リスク手法は測定の不確かさを引き続き考慮に入れながらも、適合を判定する比較的効率的な方法であることから、この方法の採用を推進することが望ましい。法定計量においては、共有リスク手法は、

ある種類の試験に対応するMPE を過度に小さくする必要がない（下記の第2.2.4項を参照）限りはその試験にうまく使用することができ、かつMPUを許容可能な程度に‘大きく’保つことができる。共有リスク手法を用いることができず、その代わりに適合判定を行うために誤った合格のリスクを用いることが必要である場合、これを行う便利な手段がある。これは、法定計量を目的として $C_m = MPE / (2 \cdot u_{EI})$ と定義されている測定能力指数⁷⁾の概念を利用したもので、試験評価者に求められる時間及び手間を最小限に抑えることができる。附属書E は、MPE、誤った合格のリスク (p_{fa})、測定された E_I 及び計算された U_{EI} がすべて既知である場合に、どのように測定能力指数を用いて、比較的‘迅速’な判定を下すかについての考察及び例を提供している。

指示誤差の不確かさ (u_{EI}) が一定であると見なされる場合に誤った合格（又は誤った不合格）のリスクを使用するという特別な事例については、“ガードバンディング”として知られる特に便利な方法を用いて、適合判定を行うことができる。そのような条件下では、MPE の境界線は、それぞれのリスクに対応する量だけ内側（誤った合格の場合）又は外側（誤った不合格の場合）に‘移動’するに過ぎず、従って測定された指示誤差 (E_I) が移動した適合性の境界線の内側又は外側にあるかどうかに基づいて適合判定を下すことができる。参考文献⁷⁾は、ガードバンドの原理について非常に有益な考察を提供している。

判定規定及び関連するリスクは、それらの影響と共にOIML 勧告の中で考察及び論議が成されることが望ましいが、OIML 幹事国及びTC/SC メンバーは、さまざまな種類の試験に対して指定された許容可能な確率のレベルを要求すること又は提言することには慎重に検討することが望ましい。製造事業者にとってのリスクは、一般的に勧告の範囲外となっている深刻な経済的影響をもつ恐れがある。

2.2.4 MPE 及び正確さの等級を設定する際に測定の不確かさを考慮すること

多くのOIML 勧告及びその他のいくつかのOIML 文書は、特定の試験に用いるべきMPE を指定している。MPE がどのような値をもつことが望ましいかを定めるには、通常、費用及び場合によっては安全上の理由から、計量器／システムの消費者又は使用者を十分に保護しながらも、やはり費用を理由として製造事業者又は販売事業者も保護することなどを含めた検討事項のバランスが必要である。見逃されることがあるのは、特定の試験のために物理的に達成することができる最低レベルの測定の不確かさの検討であり、これによって使用可能なMPE の下限が設定される。OIML 幹事国は、特定の試験のためのMPE を指定する際、又は特にMPU が指定されている場合に計器の型式に対する正確さの等級を定める際、このことを考慮に入れることが望ましい。

例えば、一般的に不確かさ u_{EI} がある1つの量でかつ簡単に低減できない場合、この試験に対応するMPE は、2.2.3項3)の④で論じた比率 ($f_{EI} = u_{EI} / MPE$) が許容可能な低さに維持できるように、適切に指定されることが望ましい。この場合、 u_{EI} を減らすことができないことから、図4 (2)の正規分布曲線によって示された条件が得られるように、MPE を増大させることが必要になる可能性がある。

測定標準についても同様に、一般的に $f_s (= u_s / MPE)$ が所与の種類の試験には大きすぎる場合は、MPE が適切でない恐れがあり、したがって可能であれば、勧告の中でより大きいMPE を指定することが必要になるかもしれない。その他の理由からMPE を低減することができない場合は、より小さい測定の不確かさ (u_s) をもつ測定標準／システムの型式を指定することが必要になるかもしれない。

2.2.5 OIML 勧告及びその他のOIML 文書への記載を考慮することが望ましい測定の不確かさに関連する選択肢

担当する勧告及びその他のOIML 文書の中に測定の不確かさをどのように組み込むかを論じる際、幹事国及びTC/SC メンバーは、次を考慮することが望ましい。

- 1) OIML 勧告に関連する適合判定の中に、どのように測定の不確かさを組み込むことができるか、及び組み込むことが望ましいかを強調する1つの節を各OIML 勧告の中で示すこと。提案文言（斜体で表

記) :

“XX 測定の不確かさ

測定の不確かさを使用することは、法定計量を含め計量のあらゆる側面において重要かつ必須の要素の一つとなった。測定の不確かさに関連する用語及び概念の一般的理解を得るために、並びに測定の不確かさの審査方法及び使用方法についての手引きを得るために、“法定計量における適合審査判定の際の測定の不確かさの役割”についてのOIML ガイドOIML TC3/SC5を参照することが望ましい。

測定の不確かさは、このOIML 勧告に関連する測定及び適合審査判定のあらゆる側面において検討しなければならない。これを行う方法については手引きが提供されている。

この勧告を使用している場合、計量器／システムの試験中に報告されるあらゆる測定結果は、測定値をその付随する測定の不確かさと共に含まなければならない。例外には、測定された各値が計量器／システム及び／又は試験手順の繰返し性若しくは再現性に付随する測定の不確かさの1 成分を審査する目的で得られている場合、又は測定の不確かさの1 成分が特定の測定用途においては重要ではないことを決定する場合（ここはそうのように表すことが望ましい）などが含まれる。”

2) 個々のOIML 勧告は、その勧告が対象として含む計器の型式、試験システム及びプロセスに対して、適切な測定モデルの測定の不確かさを計算することについての手引きを提供することが望ましい。そのような手引きの例は、下記の7つの手順に示されている。一般的に手引きは、次の方法について提供されることが望ましい。

－（手順1）被試験計器（IUT）について、試験を実施するために用いられる測定システムと共に、記載する。この説明には、計量器に影響を与える可能性のあるすべての量、計量器／システムに影響を与える可能性のあるすべての影響量を含め、試験中に（影響）量を保っておく状態（ある場合）、又は試験中に（影響）量が収まっていなければならない範囲（例えば、計量器／システム及びIUTの両方の定格動作条件及び／又は基準動作条件）を指定する

－（手順2）型式評価及び／又は検定のために実施する必要があるさまざまな試験のすべてを識別する。手順1 の説明に基づき、各種の試験を実施するために用いられる測定の数学モデル（式2.2.1にあるような）を作る。各モデルは、最終的に“指示誤差”の式を提供しなければならず、かつ測定した各指示誤差に付随する測定の標準不確かさの式も含まなければならない（指示誤差の繰返し測定値が得られない場合。その場合、指示誤差の平均値を、繰返し測定値から得た1 つの成分を組込んだ測定の標準不確かさと共に、示さなければならない。下記の手順5 を参照）

－（手順3）測定標準又はシステムの付随する測定の標準不確かさ（ u_s ）を計算する

－（手順4）測定量の指示値（指示器の分解能及び／又は偶然変動による成分を含む）に付随する測定の標準不確かさ（ u_i ）を計算する

－（手順5）計量器／システム及び／又は試験手順の繰返し性又は再現性に付随する測定の標準不確かさ（ u_{rep} ）を計算する

－（手順6）計量器が定格動作条件の範囲全体にわたって動作するとき、計器に対する固定入力に対して計量器の指示が変動することが分かった場合は、測定の標準不確かさ（ u_{roc} ）を計算する

－（手順7）指示誤差に付随する測定の合成標準不確かさ（ u_{EI} ）を計算するために、これらすべての測定の不確かさの成分を合成するOIML 勧告（及びその他のOIML 文書）は、測定の不確かさの偶然（タイプA）成分が、測定の不確かさ‘全体’ではないこと、及び系統（タイプB）成分も含めなければならないことを強調することが望ましい。これらが存在する場合は、測定の不確かさの成分を審査する特別な又は特異な側面の考察を記載すること。

3) 上記2) 手順2 で識別された各種の試験について、OIML 勧告は、その種類の試験に対してどのようなMPE が適切であるかについて論じ、かつ指定することが望ましい。例えば、型式評価試験の場合に、

指定されているMPE は、被試験計器に対するいくつかの予想される正確さの等級の一つと一致する可能性がある。検定試験の場合、規定したMPE は、第6 節で論じたさまざまな検討事項に基づく可能性がある。MPUEI 及びMPUS の値を指定することが望ましいかどうか、並びに指定することが望ましい場合は、それらの値とはどのようなものとするのが望ましいか（又は、どのような f_{EI} 及び f_S にすることが望ましいか。2.2.3項目3) の ④、2.2.3項目3)の⑤ 及び第2.2.4項目を参照）について判定することを目的として、 u_{EI} 及び u_S の可能性の高い値がどのようなものになるのかについての論議が行われることも望ましい。

4) OIML 幹事国及びTC/SC メンバーは、さまざまな種類の試験に対するリスクの‘許容可能な’レベルを、担当するOIML 勧告の中で提言することが望ましいかどうかについて検討することが望ましい。判定規定及び関連するリスクは、それらの影響と共に、OIML 勧告の中で考察及び論議が行われることが望ましい。しかし、これは規制上の問題との関連でだけ、行われることが望ましい。製造事業者にとってのリスクは、一般的に勧告の範囲外である深刻な経済的影響をもつ恐れがある。前の手順（該当する場合）で指定されたMPUEI 及びMPUS の値に応じて、‘共有リスク’の原則を使用すべきかどうか（2.2.3項目3) の ③を参照）、又は使用すべき指定されたリスク（確率）は存在するかどうかについて、及びそうである場合は、それが誤った合格のリスク（2.2.3項目3) の① を参照）であるのか若しくは誤った不合格のリスク（2.2.3項目3) の ②を参照）であるのかについて、論議が行われることが望ましい。OIML 勧告（又はその他のOIML 文書）の中で‘共有リスク’手法が用いられる場合、暗黙のうちに使用することは望ましくなく、むしろ、その使用についての明示的な文言を勧告の中で提供することが望ましい。

5) 誤った合格のリスク又は誤った不合格のリスクが用いられる場合、各測定に固定されたものとして u_{EI} を考慮すべきかどうか—この場合はガードバンドを使用して適合を判定することが可能である—、又は u_{EI} を指示誤差の各測定について個別に計算すべきかどうか—この場合は標準正規分布表若しくは測定能力指数を各回に使用することが可能である—を指定することがなお一層必要である。特定の勧告に対して標準正規分布表及び／又は測定能力指数の使い方についての予想される追加的な論議と共に、この“法定計量における適合審査判定の際の測定の不確かさの役割”についてのOIML ガイドOIML TC3/SC5の附属書B 及び附属書E への参照を提供することが望ましい。概して、PDF を構成すること及びPDF 曲線の下領域を計算することは、簡単なことではなく、したがってOIML 幹事国及びTC/SC メンバーは、担当する勧告の中でどのような助言及び支援を提供すべきかを検討することが望ましい（例えば、標準正規分布の利用又は数値的技法の利用）。

6) 指定された型式の計量器について個々の測定の指示誤差の測定の不確かさを審査することは、多少複雑なものとなる可能性があるが、いったん導出がすべて実施されて一般的な測定状態の値及び付随する測定の不確かさが得られてしまえば、測定の不確かさのほとんどの成分は個々の測定毎に変わることはないことから、所与の型式評価又は検定中に行われる事後の個々の測定のそれぞれに対する u_{EI} の値を得るプロセスは、比較的直観的なものとなるはずであるということに言及することが重要である。測定の不確かさの取扱いのこの側面は、測定の不確かさが関連する各OIML 勧告の説明の中に含まれることが望ましい。提案文言（斜体で表記）：

[指定された型式の計量器について個々の測定の指示誤差の測定の不確かさを審査することは、多少複雑なものとなる可能性があるが、いったん導出がすべて実施されて一般的な測定状態の値及び付随する測定の不確かさが得られてしまえば、測定の不確かさのほとんどの成分は個々の測定毎に変わることはないことから、所与の型式評価中に行われる事後の個々の測定のそれぞれに対する u_{EI} の値を得るプロセスは、比較的直観的なものとなるはずであるということに言及することが重要である。これによって、ガードバンド又は直観的な測定能力指数表（例えば、“法定計量における適合

**審査判定の際の測定の不確かさの役割” についてのOIML ガイドOIML TC3/SC5の附属書E を参照) ”
が使用できるため、 ‘現場’ 環境で測定の不確かさを組み込むプロセスが容易化される。]**

7) OIML 勧告は、測定の不確かさを記録するための試験報告書の様式への明確なエントリを提供し、記録されたあらゆる値（測定の不確かさ並びに／又は繰返し性及び／若しくは再現性を求めている最中は除く）を添えることが望ましい。測定の不確かさが無視できると推定できる場合、空白項目のままにするのではなく、これを適切な表記で文書化することが望ましい。また、‘測定能力指数’ (C_M) 法又は‘ガードバンド’ 法が用いられる場合は、これも、適切なパラメータの値を試験結果と共に記録するための余白と共に、試験報告書の様式に記録することが望ましい。使用された C_M グラフがどこに示されているかの参照のための余白も提供することが望ましい。

8) OIML 勧告は、検定試験の段階での測定の不確かさの取扱い方について、型式評価試験のために提供された手引きとのあらゆる違い、事前注意及び／又は特別の配慮を強調する手引きを提供することが望ましい。

参考文献

- 1) 測定の不確かさの表現の指針，ISO，1993：修正再版1995
- 2) 計量器のOIML 証明書制度，OIML B 3，2003（修正2006）
- 3) 型式評価国際相互受入れ取決めの枠組み（MAA），OIML B 10，2004（修正2006）
- 4) 国際計量基本用語集，第3 版，ISO，2007
- 5) C. アーリック，R. ディブカー，W. ウォーガー，基本的方針の進化と測定の説明（VIM3の予備的根拠），OIML 公報，2007 年4 月，23-35
- 6) 測定データの評価－補遺1（モンテカルロ法）．．． 2007
- 7) 測定データの評価－適合審査における測定の不確かさの役割，計量関係のガイドに関する合同委員会（JCGM），作業部会1（WG 1），文書106，作成中
- 8) K. ソマー及びM. コチーク，法定計量における適合判定の際の測定の不確かさの役割，OIML 公報，XLIII 巻，No. 2，2002 年4 月，19-24
- 9) C. アーリック及びS. ラズベリー，トレーサビリティにおける計量タイムライン，OIML公報
- 10) 基準との適合性の審査及び報告についての指針，ILAC－G8：1996
- 11) 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項，ISO/IEC 17025，2005
- 12) <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3671.htm>
- 13) H. カルグレン及びL. ペンドリル，法定計量における適合審査の際の不確かさ（MID 関連），OIML 公報，XLIII 巻，No. 3，2006 年7 月，15-21
- 14) WELMEC ガイド4.2，規制対象の測定において適切な信頼レベルを決定するための要素，第1 版，2006 年6 月
- 15) EMC 試験における不確かさの表現，英国認定機関（LAB34），第1 版，2002 年8 月

本文のほかに以下の付属書が幾つかの事例により解説が加えられている。

付属書 A 法定計量における“測定誤差”及び“測定の不確かさ”の共存（測定と試験との関係）

付属書 B 標準正規分布表の使用

付属書 C 指示誤差の測定の不確かさの審査例

付属書 D 測定の不確かさを組込んだリスクアセスメントの例

付属書 E 測定能力指数（CM）

付属書 F 適合性を試験した計量器／システムと共に用いる測定の不確かさの確定

2.3 品質管理への測定の不確かさの導入

2.3.1 品質管理活動と測定の不確かさ

日本の品質管理の育ての親と言われる W デミング博士 (Dr.W.E.Deming;1900-1993) が、生産における品質管理活動について、図 1 に示す、計画 (plan)、実行 (do)、評価 (check)、改善 (act) のサイクルを回すことの重要性を強調されたと伝えられており、さらにデミングは晩年 PDCA サイクルという言い方を使うようになったと言われる。ここで、評価 (check または study) の段階は広義の測定に基づく評価が行われる。したがって製品の適合性評価はもとより、製品の設計開発、生産工程、検査など品質管理の評価の段階で行われる測定の不確かさは品質管理活動に影響を与えている。

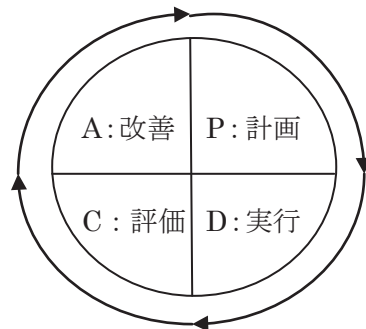


図 1 PDCA サイクル

2.3.2 設計・開発段階の測定の不確かさ

製品の品質に重要な位置を占める、設計・開発段階において、製品の機能及び性能の評価のため実験を行い、実験データの分析結果から設計目標値と許容差が決定されることがある。実験データの測定の不確かさは分散分析の結果に影響する。測定の不確かさが大きければ結果的に誤差分散が大きくなり、設計条件 (因子) の明らかな効果が認められない状態になる。たとえば設計要素 A についての実験結果の分散分析結果から表 1 の分散分析表が得られたとき誤差分散 V_e が大きければ要因 A の分散比 F_A が有意とならないので A の効果が認められないことになる。このような結果となった場合、測定の不確かさを評価せず、反復実験を行うことが多い。反復回数 n 回の平均値を測定結果とすることにより、測定の不確かさに占める実験標準偏差は反復回数の平方根の逆数に比例することから結果的に不確かさが改善されていることになる。しかし反復実験の増加により、開発時期の遅延、開発コストの増加になる。また、開発製品の評価のため評価試験が行われる。この評価試験における測定の不確かさは評価試験の信頼性に影響する。

製品の使用環境条件により設計要求仕様が決定されることもある。この製品が使用される条件の測定に信頼性がなければ製品の品質の評価に影響する。さらに国際化の進展により開発拠点が海外に展開されており、これらの測定データが広範に適用されるため、測定結果の信頼性への要求からも不確かさ導入の必要性が増している。開発段階の測定における不確かさの導入は不十分であり、不確かさの評価と改善が必要である。

表 1 分散分析表

要 因	自由度	變動	分散	分散比	純變動	寄与率
Source	f	S	V	F ₀	S [`]	ρ (%)
要因 A	1	S _A	V _A	F _A	S _A [`]	ρ_A
誤差 e	n - 1	S _e	V _e		S _e [`]	ρ_e
計	n	S _T			S _T	100

2.3.3 生産工程の測定の不確かさ

生産工程は図 2（生産工程の計量システム）に示すように、原材料、部品、エネルギーが生産設備にインプットされ、製品および排出物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、エネルギー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} 、生産設備とその管理によるばらつきを σ_P とするとその製品のばらつき σ は (1) 式で表すことができる。(1) 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。品質は工程でつくり込むと言われるように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。

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

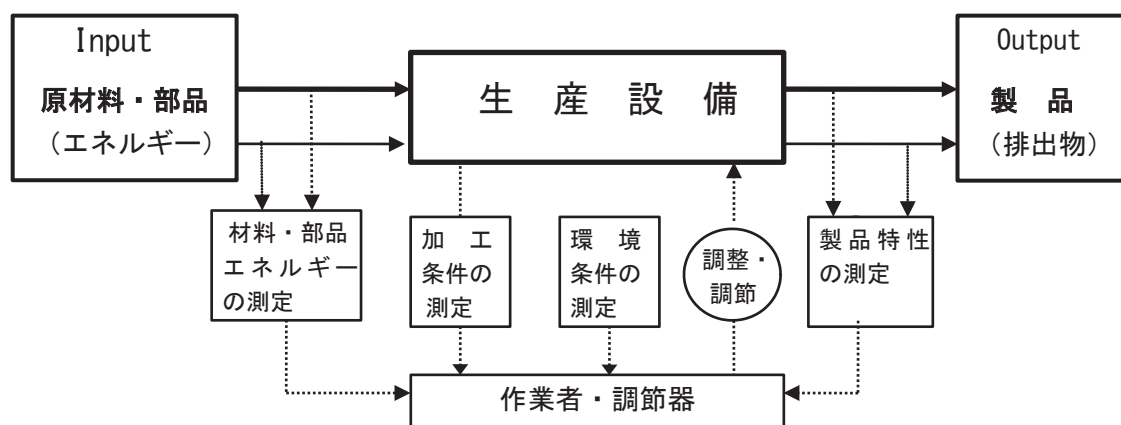


図2 生産工程の計量システム

2.3.4 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。検査の実施段階により、部品・材料の購入段階で実施する受入検査（又は購入検査）、半製品を次の工程に移動してよいかどうかを判定するために実施する工程内検査（又は中間検査）、出来上がった製品が要求事項を満足しているかどうかを判定するために実施する

最終検査（又は出荷検査）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、不確かさを導入し図3に示す、不確かさに相当するガードバンドを設定して判定する。

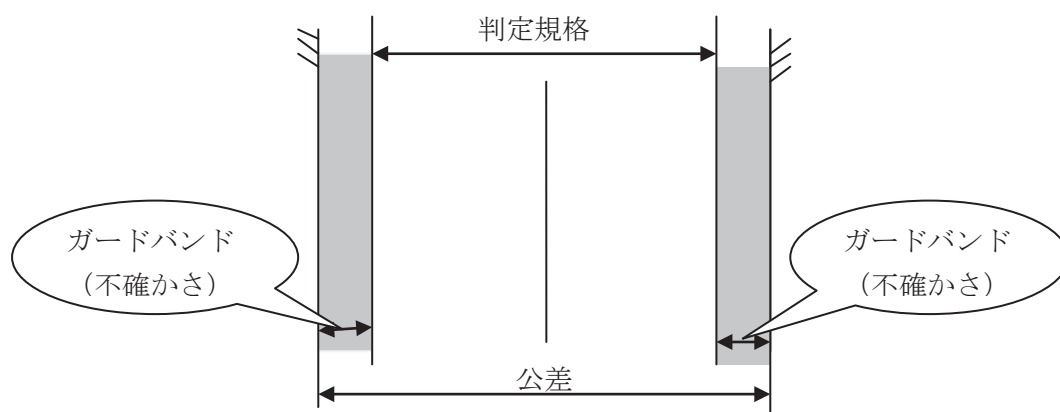


図3 不確かさのガードバンド

2.3.5 不確かさの導入効果

品質管理への不確かさの導入効果としては、測定の信頼度の向上と不確かさの改善により、設計・開発段階においては開発期間の短縮と将来の品質問題の予防効果が予測される。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(2)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。

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

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

参考文献

- 1) 田口玄一、横山巽子：実験計画法改訂版、日本規格協会（1987）
- 2) 計量管理協会工程計測委員会編集：経営者・管理者のための計測管理、日本規格協会（1982）

第3章 生産における不確かさの導入・活用事例

3.1 不確かさの求め方事例

3.1.1 GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement) の方法

国際度量衡委員会 (CIPM) の提案から始まり、ISO (国際標準化機構) から 1993 年に発行された GUM による不確かさの求め方は、計量標準のトレーサビリティ制度における不確かさの求め方として適用されている。

測定モデルから、不確かさの要因を抽出し、不確かさの成分を評価し、要因別の不確かさの成分から合成不確かさを決定し、測定結果の信頼区間を示す拡張不確かさを決定する。

1) 測定モデル化

例えば製品の長さを測定する場合のモデル式としては以下が考えられる。

$$\text{未知の測定値 } I_x = L_s + \delta I_d + L\alpha_T + I_R \quad (1)$$

I_x : 未知の測定値

L_c : 計測器の校正值

δI_d : 計測器の分解能

$L\alpha_T$: 温度変化による熱膨張

I_R : 測定の繰返し性

2) 繰返し観測値から評価される成分：標準不確かさAタイプの評価

測定対象の製品を繰返し測定を行い、実験標準偏差を求める。測定者の測定技術の影響が予測される場合は測定者も含み評価し、測定回数 n 回の毎回の測定値 x_i その測定値の平均値を $\bar{x}$ とすると、実験標準偏差 s は(2)式により求める。

$$\text{実験標準偏差 } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

3) 他の方法で評価される成分：標準不確かさBタイプの評価

測定モデル式に示される不確かさ要因のうち、計測器の校正証明書、技術資料等のから得られる情報からBタイプの不確かさ成分を見積もる。

① 計測器の校正の不確かさ

計測器の校正の不確かさ u_c は校正証明書に示されている拡張不確かさ U_c とその包含係数 k から (3) 式により求める。

$$u_c = \frac{U_c}{k} \quad (3)$$

② 最小読み取り値の丸めの不確かさ

丸めの不確かさ u_d は最小読み取り値を δI_d とすると、ゼロ点と測定値の丸めから (4) により求める。

$$u_d = \sqrt{\left(\frac{\delta I_d}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\delta I_d}{2\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\frac{2(\delta I_d)^2}{12}} = \frac{\delta I_d}{\sqrt{6}} \quad (4)$$

③ 温度変化による不確かさ

測定中の温度変化による不確かさ u_t は温度変化の大きさ、計測器と測定対象製品の熱

膨張係数の差及び測定長から求められる長さの変化量 Δ_L から (5) により求める。

$$u_t = \frac{\Delta_L}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

4) 合成標準不確かさの決定

合成標準不確かさ u_x は A タイプの実験標準偏差 s 及び B タイプの不確かさ $u_i(y)$ から

(6) 式により求める。

$$u_x = \sqrt{s^2 + u_c^2 + u_d^2 + u_T^2} \quad (6)$$

5) 拡張不確かさの決定

不確かさの大きさを 95% 信頼区間 (± 2 シグマ) とすると、包含係数 $k=2$ として (7) 式により求める。

$$\text{拡張不確かさ } U = k \times u_x \quad (7)$$

$k=2$ の場合 (k : 包含係数と呼ぶ)

6) 不確かさの表し方

一般的には測定値 y と合成不確かさ $u_c(y)$ または測定値 $y \pm U$ と表す。

3.1.2 JIS Z 9090「測定—校正方式通則」の適用事例

JIS Z 9090「測定—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実験によって求める方法

実際の測定では真の値が不明であり誤差を求めることは困難であるが、校正では取り除けない、実際の使用条件や環境条件によって発生する誤差の大きさを推定する方法が示されている。測定対象の現物に近い現物標準を信号因子とし、測定値に影響を与えるような変化する環境条件、使用条件を誤差因子として L_{18} 直交表に割り付け実験を行い、計測器の使用における誤差分散の推定値を求める。

この誤差分散の推定値と計測器の校正の不確かさから測定の不確かさを求められる。

1) 事例の概要

デジタルマイクロメータを使用し、外径 12mm の円筒製品の測定する場合の不確かさを JIS Z 9090 附属書 2「計測器の使用における誤差の大きさを実験によって求める方法」に基づき

不確かさを評価した。(実験はあいち計測研究会の実験結果による。)

2) 測定の不確かさ要因

現実の測定条件における不確かさの要因は多く、その要因の測定結果に与える影響についての情報が少ないため、現実の測定条件から影響を与える要因を特性要因図 (Fishbone Diagram) を作成し、もれなく挙げる。特性要因図を描く主要因として測定物、計測器、測定者、環境及び校正が挙げられ、その主要因と関連する要因を挙げ特性要因図を描く。測定の不確かさについての特性要因図の例を図 1 に示す。

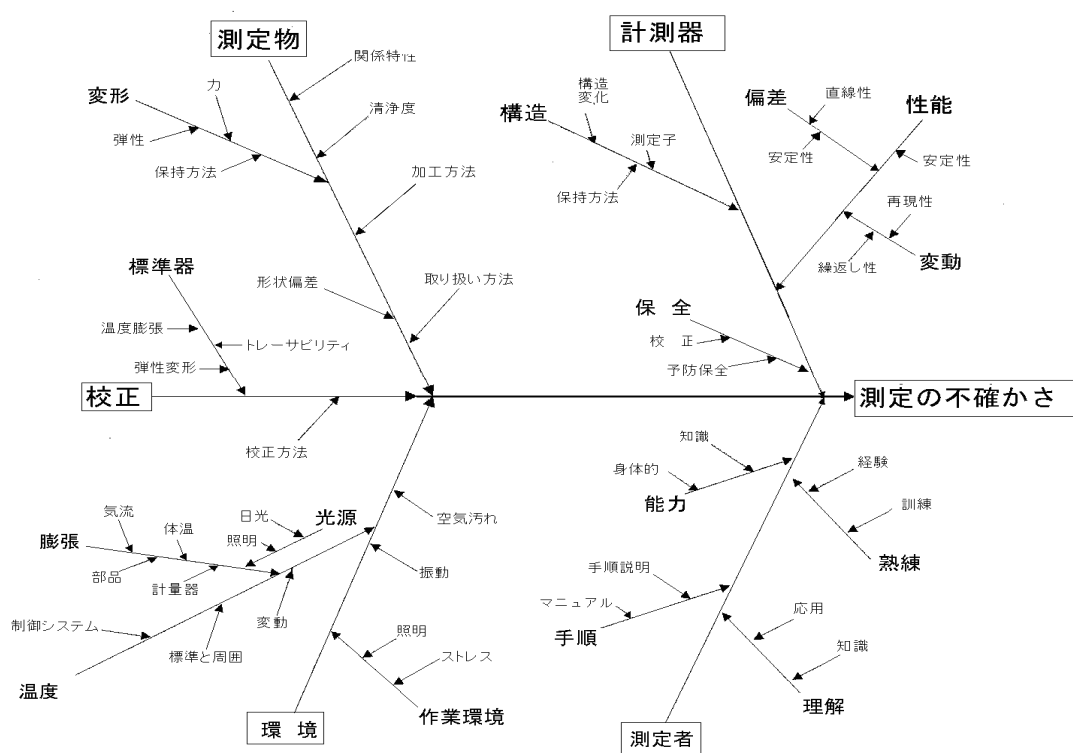


図 1 測定の不確かさの特性要因図 (長さ測定の例)

3) JIS Z 9090 附属書 2 計測器の使用における誤差の大きさを実験によって求める方法

① 信号因子

信号因子は測定対象品の範囲 $500\mu\text{m}$ がカバーできるよう、厚さ約 $300\mu\text{m}$ のテープを使用し、1 回巻き、2 回巻きにより等間隔の水準を設定した。

M_1 =なし ($0\mu\text{m}$) M_2 =1 回巻き (約 $300\mu\text{m}$) M_3 =2 回巻き (約 $600\mu\text{m}$)

② 誤差因子

図 1 測定の不確かさの特性要因図を参考に測定者の作業状態、測定現場の環境条件を幅広くとらえ、表 1 の誤差因子を設定した。また、水準の設定は計量値の場合のように設定する

$$\text{第 1 水準: } m - \sqrt{\frac{3}{2}}\sigma \quad (8)$$

第2水準：m

$$\text{第3水準：} m + \sqrt{\frac{3}{2}}\sigma \quad (9)$$

計量値でない場合は平均的使用条件と、実際に起こり得る使用限界と平均的な使用条件との幅の半分に近い条件とする。

表1 誤差因子とその水準

因子 \ 水準	1	2	3
A：体温の影響	手袋使用	素手で保持	
B：測定速さ	普通の1/2	普通の速さ	2倍
C：固定方法	測定物固定	マイクロ固定	固定なし
D：ラチェット	1回	3回	3回転
E：測定方向	縦	横	ななめ
F：温度差（測定物）	−6℃	0℃	+6℃
G：測定者	A	B	C

③ 実験の方法

信号因子及びA～Gの7つの誤差因子を表2のL₁₈直交表に割りつけ実験を行った。

④ 実験結果

実験の結果は表2に結果が得られた。

表2 L₁₈直交表と実験結果

実験 No	信号 M	誤差因子 A B C D E F G							測定値 (mm)	偏差値※ (μm)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	12.010	0
2	1	1	2	2	2	2	2	2	12.007	−3
3	1	1	3	3	3	3	3	3	12.005	−5
4	2	1	1	1	2	2	3	3	12.279	269
5	2	1	2	2	3	3	1	1	12.275	265
6	2	1	3	3	1	1	2	2	12.281	271
7	3	1	1	2	1	3	2	3	12.564	554
8	3	1	2	3	2	1	3	1	12.569	559
9	3	1	3	1	3	2	1	2	12.544	534
10	1	2	1	3	3	2	2	1	12.005	−5
11	1	2	2	1	1	3	3	2	12.009	−1
12	1	2	3	2	2	1	1	3	12.007	−3
13	2	2	1	2	3	1	3	2	12.284	274
14	2	2	2	3	1	2	1	3	12.292	282
15	2	2	3	1	2	3	2	1	12.294	284
16	3	2	1	3	2	3	1	2	12.567	557
17	3	2	2	1	3	1	2	3	12.550	540
18	3	2	3	2	1	2	3	1	12.558	548

※偏差値が別に測定し求めた元径（M₁=12.100mm）との差を示す。

⑤ 計算結果

$$S_T = \sum y_i^2 = 2258058 \quad (10)$$

$$S_\beta = (-yM_1 + yM^2)^2 / (6 \times 2) = 912457 \quad (11)$$

$$\beta' = (-yM_1 + yM_2) / (6 \times 2) \text{ hM} = 0.9192 \quad (12)$$

$$S_m = (\sum y_i)^2 / 18 = 1344800 \quad (13)$$

$$r = 6 \times 2 \text{ hM}^2 = 1080000 \quad (14)$$

$$S_M = (M_1^2 + M_2^2 + M_3^2) / 6 - S_m = 912463 \quad (15)$$

$$S_{Mres} = S_M - S_\beta = 6.25 \text{ (信号の誤差 : 誤差にプール)} \quad (16)$$

$$S_e = S_T - S_m - S_\beta = 801.25 \quad V_e = S_e / 16 = 50.08 \quad (17)$$

測定のスN比

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_e} + \frac{2\beta' + 1}{V_e} = \frac{\frac{1}{1080000}(912457 - 50.08)}{50.08} + \frac{2 \times 0.9192 + 1}{50.08} = 0.07355 \quad (18)$$

$$\text{誤差分散の推定値 } \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{0.07355} = 13.597 \text{ (} \mu\text{m}^2\text{)} \quad (19)$$

4) 測定の不確かさ

① 合成標準不確かさ

合成標準不確かさ u_x は使用における誤差分散の推定値と別に求めた校正作業の誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_c^2 = 0.400 \text{ (} \mu\text{m}^2\text{)}$ と校正に使用した標準の表示値の誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_o^2 = 0.014 \text{ (} \mu\text{m}^2\text{)}$ から (20) 式により求められる。

$$u_x = \sqrt{\hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_o^2} = \sqrt{13.597 + 0.400 + 0.014} = 3.74 \text{ (} \mu\text{m}\text{)} \quad (20)$$

② 拡張不確かさ

拡張不確かさ U は包含係数 $k=2$ とすると (21) 式で求められる。

$$U = k \times u_x = 2 \times 3.74 = 7.5 \text{ (} \mu\text{m}\text{)} \quad (21)$$

3.1.3 R & Rの適用 (MSA : ISO/TS 16949 参照マニュアル)

自動車関係の品質マネジメントシステム ISO/TS 16949 の要求事項

7.6.1 測定システム解析

各種の測定及び試験装置システムの結果に存在するばらつきを解析するため、統計的調査を実施すること。この要求事項は、コントロールプランに引用されている測定システムに適用すること。使用する解析方法及び合否判定基準は、測定システム解析に関する顧客レファレンスマニュアル※に適合すること。

※：測定システム解析 (MSA) マニュアル

測定システム解析 (MSA) マニュアル (第3版) では

Location variation(位置のばらつき) : Accuracy Bias Stability, Linearity

With variation (幅のばらつき) : Repeatability and Reproducibility (GRR or Gage R&R)

が示されており、測定のばらつきの大きさを求める方法として R & R が適用できる。

1) R & Rの概要

測定のはらつきとして、図2に示す、反復測定のはらつきの大きさ（**Repeatability**）と測定者による測定結果の差の大きさ（**Reproducibility**）を現実の対象物を反復測定し、評価する。

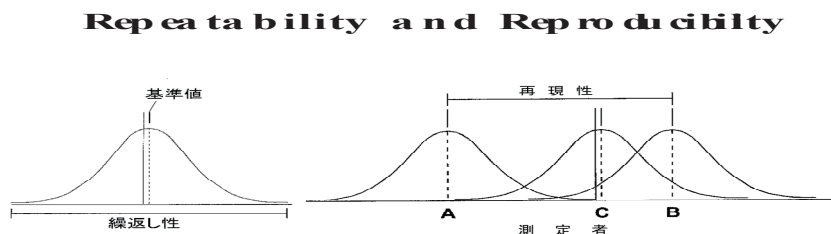


図2 R & R

2) 平均一範囲法

MSAに標準化された方法として、10個の部品を2名又は3名の測定者が2回又は3回の反復測定を行いその結果から、**GRR**を求める。

方法が示されており、デジタルマイクロメータで外径測定をした事例を表3に示す。

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の測定時及び2回目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表に記録する。（結果を表3に示す）

表3 測定結果

測定者	繰返	測定対象(外径測定Φ27-0.020、-0.041)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
A	1回目	26.968	26.971	26.969	26.973	26.969	26.971	26.969	26.972	26.970	26.969	26.970
	2回目	26.971	26.974	26.973	26.976	26.974	26.975	26.972	26.974	26.974	26.973	26.974
	3回目											
	平均	26.970	26.973	26.971	26.975	26.972	26.973	26.971	26.973	26.972	26.971	26.972
	範囲	0.003	0.003	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003	0.002	0.004	0.004	0.0035
B	1回目	26.966	26.970	26.967	26.972	26.968	26.971	26.969	26.970	26.970	26.969	26.969
	2回目	26.971	26.974	26.971	26.976	26.972	26.974	26.972	26.973	26.974	26.974	26.973
	3回目											
	平均	26.969	26.972	26.969	26.974	26.970	26.973	26.971	26.972	26.972	26.972	26.971
	範囲	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.0039
平均		26.969	26.972	26.970	26.974	26.971	26.973	26.971	26.972	26.972	26.971	26.972

3) 解析

① Equipment Variation (EV)

測定者毎の範囲 (R_A, R_B) の平均値 $\bar{R}$ と、繰返し回数から決まる表 4 に示す定数から、EV を(21)式により求める。

$$EV = \bar{R} \times k_1 = \frac{R_A + R_B}{2} \times k_1 = \frac{0.0035 + 0.0039}{2} \times 0.8862 = 0.0033 \quad (21)$$

② Appraiser Variation (AV)

測定者毎の平均値の差と測定者数から決まる表 5 に示す定数から、AV を(22)式により求める。

$$AV = \sqrt{(X_{DIFF} \times k_2)^2 - (EV^2 / nr)} = \sqrt{(0.001 \times 0.7071)^2 - (0.0033)^2 / 20} = 0.000 \quad (22)$$

$$\text{ただし } X_{DEF} = \bar{X}_A - \bar{X}_B = 26.972 - 26.971 = 0.001 \quad (23)$$

表 4 k_1 の値

繰返し	2	3
k_1	0.8862	0.5908

表 5 k_2 の値

測定者	2	3
k_2	0.7071	0.5231

③ R & R

R & R の値は EV 及び AV から (24) 式により求める。

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \hat{\sigma} = 0.0033 (mm) = 3.3 (\mu m) \quad (24)$$

4) 測定の不確かさ

① 合成標準不確かさ

合成標準不確かさ u_x は R&R の結果と前記 3.1.2 JIS Z 9090「測定—校正方式通則」の適用事例と同様に別に求めた校正作業の誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_c^2 = 0.400 (\mu m^2)$ と校正に使用した標準の表示値の誤差分散の推定値 $\hat{\sigma}_o^2 = 0.014 (\mu m^2)$ から(25)式により求められる。

$$u_x = \sqrt{\hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_o^2} = \sqrt{3.3^2 + 0.400 + 0.014} = 3.4 (\mu m) \quad (25)$$

④ 拡張不確かさ

拡張不確かさ U は包含係数 $k=2$ とすると (26) 式で求められる。

$$U = k \times u_x = 2 \times 3.4 = 6.8 (\mu m) \quad (26)$$

参考文献

- 1) 飯塚 幸三監修：計測における不確かさの表現のガイド、日本規格協会(1996)
- 2) 田口 玄一編集：JIS 使い方シリーズ校正方式マニュアル、日本規格協会(1992)
- 3) MSA Work Group : Measurement Systems Analysis Third Edition(2002)

3.2 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

3.2.1 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。

このような体質から脱却するため、会社TOP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。

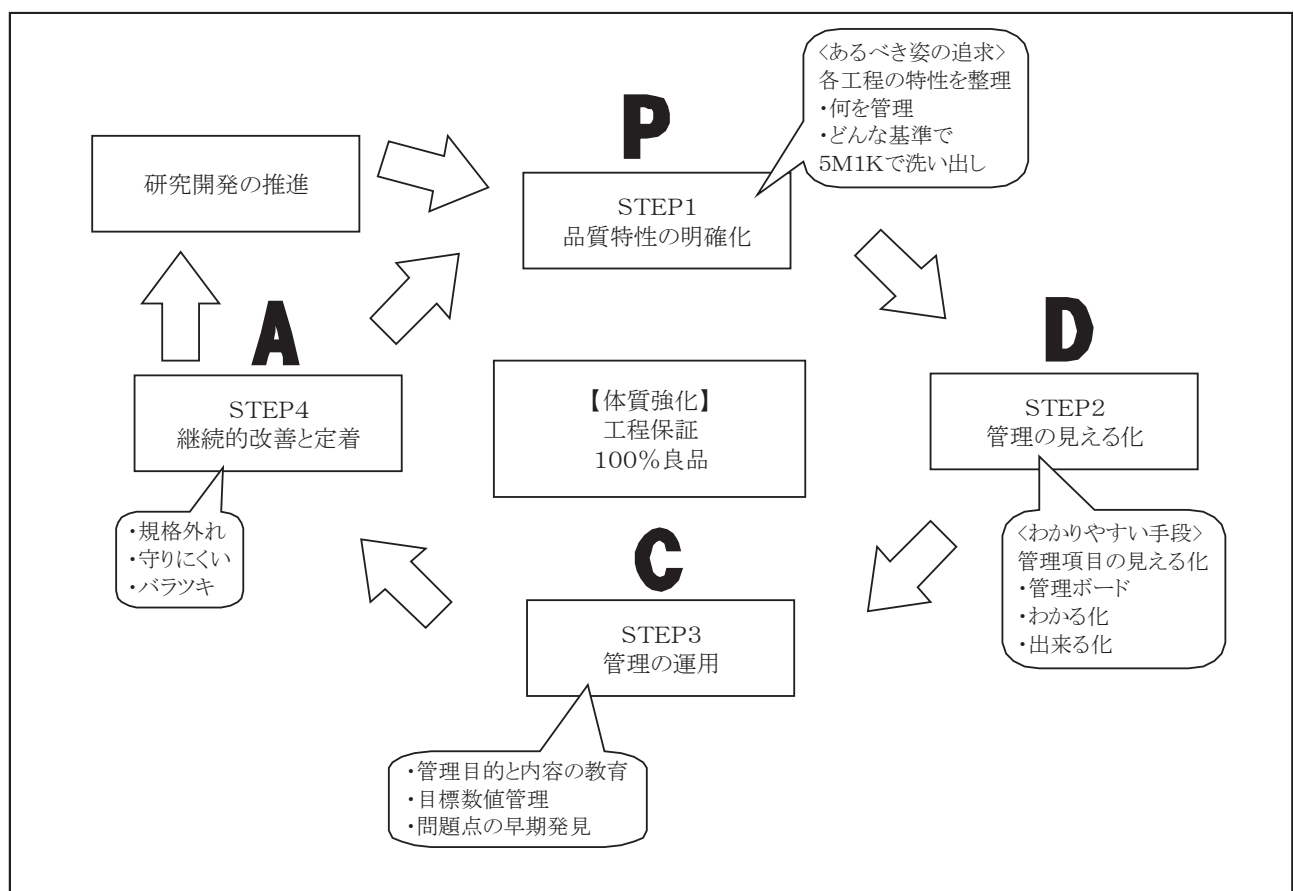


図1 工程品質活動のサイクル

MSAに代表される計測システムの解析は、単にISO/T S 16949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)

3.2.2 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($C_p \div 1.00$ の状態)だったとすると、

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

となり、約5%が製品規格から外れる($C_p \div 0.67$ 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。

STEP 1：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。

STEP 2：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。

STEP 3：測定条件を標準化する。

STEP 4：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。

STEP 5：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。

STEP 1～5を繰り返す。

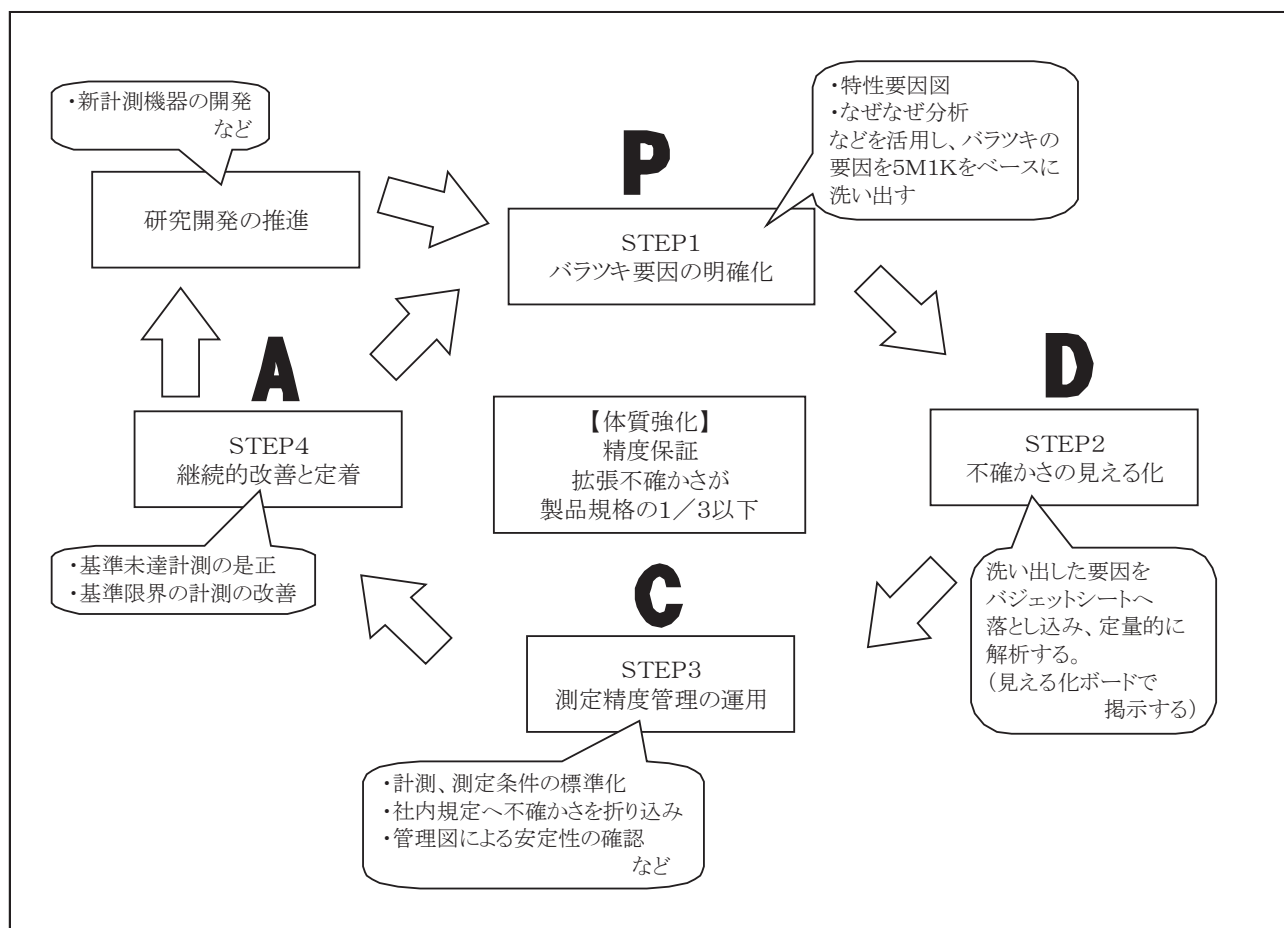


図2 不確かさ運用のサイクル

以下、3. 2. 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。

3.2.3 ハブ穴内径測定における不確かさの解析

1) テーマの選定理由

ハブ穴内径とはディスクホイールのセンターに位置する穴で、車両と製品のセンタリングが決まる重要な寸法特性であり、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。

不確かさの考え方を運用するにあたり、まずは現状の把握（拡張不確かさがどれくらいか）を見積もってみた。（測定はシリンダーゲージを用いて行う。）

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。

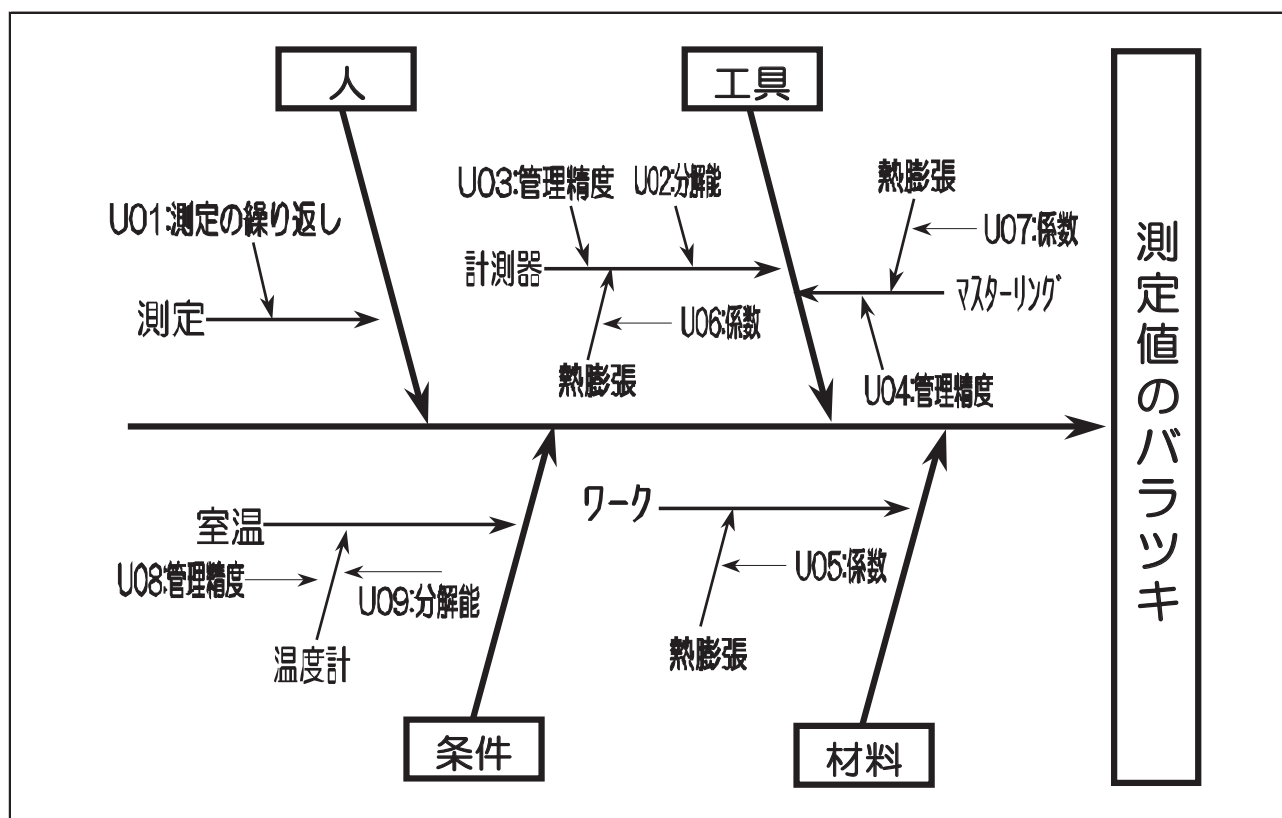


図3 測定値のバラツキに対する特性要因図

3) 不確かさの見積もり

特性要因図で洗い出された9要因をバジェットシートに落とし込み、それぞれ不確かさを見積もった。

U01：測定の繰り返し

同一ワークを7人の作業者がそれぞれ繰り返し20回測定し、標準偏差を求めた。

U02：計測器の分解能

シリンダーゲージに取り付けられるダイヤルゲージの最小目盛りは $1\mu\text{m}$ なので、 $\pm 0.5\mu\text{m}$ の矩形分布と見積もった。

U03：計測器の管理精度

シリンダーゲージ（ダイヤルゲージ含む）の管理精度は $12\mu\text{m}$ なので、 $\pm 6.0\mu\text{m}$ の矩形分布と見積もった。校正証明書に記載される不確かさは正規分布でこれより小さいが、ここでは最悪値として $\pm 6.0\mu\text{m}$ の矩形分布と見積もっている。

U04：マスターリングの管理精度

仕様書より $\pm 1\mu\text{m}$ の矩形分布として見積もった。校正証明書に記載される不確かさは正規分布でこれより小さいが、ここでは最悪値として $\pm 1\mu\text{m}$ の矩形分布と見積もっている。

U 0 5 : ワークの熱膨張

測定室は $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ での室温管理された状態にあるので、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の矩形分布として見積もった。熱膨張係数は文献値である $11.5 \mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ を採用する。

U 0 6 : 計測器の熱膨張

測定室内で実験された過去の実績値を採用する。シリンダーゲージ（ダイヤルゲージ含む）の熱膨張は最大 $6.2 \mu\text{m}$ であるとの実験結果から、 $\pm 3.1 \mu\text{m}$ の矩形分布と見積もった。

U 0 7 : マスターリングの熱膨張

測定室は $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ での室温管理された状態にあるので、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の矩形分布として見積もった。熱膨張係数は文献値である $11.5 \mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ を採用する。

U 0 8 : 温度計の管理精度

温度計の管理精度は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ であるので $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の矩形分布として見積もった。ワークとマスターリング双方の熱膨張への影響を考慮している。

U 0 9 : 温度計の分解能

温度計の最小表示値は 0.1°C なので、 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ の矩形分布と見積もった。ワークとマスターリング双方の熱膨張への影響を考慮している。

K 0 1 : 標準温度からの偏差

測定室の室温は 23°C であり、標準温度の 20°C から 3°C の偏りがある。このため、 3°C 分の偏りを参考値として求めている。（結果は影響なし）

4) 不確かさの見積もり結果（詳細はバジェットシート：表 6 参照）

見積もった不確かさをまとめると表 2 に示す通りとなる。尚、影響度合いの目安として、標準不確かさと合成標準不確かさの比から表 1 に示す 4 段階の区分をしている。

表 1 影響度合いの目安

比率	$1/10$ 以下	$1/10$ より大きく $1/4$ 以下	$1/4$ より大きく $1/3$ 以下	$1/3$ より大きい
区分	影響なし	低い	やや高い	高い

表2 ハブ穴内径測定の不確かさ

N o	要因	標準不確かさ	影響度合い
U 0 1	測定の繰り返し	6.84	高い
U 0 2	計測器の分解能	0.29	影響なし
U 0 3	計測器の管理精度	3.46	高い
U 0 4	マスターリングの管理精度	0.58	影響なし
U 0 5	ワークの熱膨張	2.07	低い
U 0 6	計測器の熱膨張	1.79	低い
U 0 7	マスターリングの熱膨張	2.07	低い
U 0 8	温度計の管理精度	0.33	影響なし
U 0 9	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	-

(単位: μm)

- (1) 推定される拡張不確かさは $16.9\mu\text{m}$ となり、製品公差の約 $1/2.4$ となった。
 目標 (拡張不確かさが製品公差の $1/3$ 以下) 未達であり、是正が必要である。
- (2) 測定の繰り返しおよび計測器の管理精度が拡張不確かさに大きく寄与していることが判った。
- (3) 寄与度は低いものの、温度 (熱膨張) にも若干の影響が観られる。

5) 影響が大きかった要因の解析

測定の繰り返し (U 0 1) および計測器の管理精度 (U 0 3) をなぜなぜ分析を用いて現地現物調査した結果、表3に示す通りであった。

表3 なぜなぜ分析結果

	U 0 1 : 測定の繰り返し			U 0 3 : 計測器の管理精度
	方法のなぜ	方法のなぜ	人のなぜ	方法のなぜ
なぜ1	データのバラツキが大きい			$12\mu\text{m}$ が大きい
なぜ2	作業員毎にバラツキの差異がある			製品公差の $1/5$ 以下であり問題なしと判断していた
なぜ3	記録量が異なっている	測定量の定義が異なっている	測定部位が異なっている	
なぜ4	数値の丸め方が異なっている	何をもって内径とするのか統一されていない		
なぜ5	標準化されていない	標準化されていない	標準化されていない	不確かさの考えを運用していない社内基準である

- (1) 作業員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) 作業員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) 作業員毎に測定部位が異なっていた。(測定方向)
- (4) $12\mu\text{m}$ は不確かさの考え方を考慮していない社内基準である。

各作業員間における差異を表4に示す。

表4 作業者間の差異

作業者	Aさん	Bさん	Cさん	Dさん	Eさん	Fさん	Gさん
データの丸め方	1 μ m単位直読み	1 μ m単位直読み	10 μ m単位未満切り捨て	10 μ m単位未満四捨五入	10 μ m単位未満切り上げ	1 μ m単位直読み	10 μ m単位未満切り捨て
測定量の定義	最小値	最小値	平均値	平均値	平均値	最大値	最小値
測定部位	0° , 90° 2方向	0° , 90° 2方向	0° , 90° 2方向	45° , 135° 2方向	0° , 90° 2方向	0° , 90° 2方向	45° , 135° 2方向

6) 対策

- (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 μ 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)
- (4) 今回の解析結果を基に、拡張不確かさを考慮した管理精度へ見直す。(次項7)の結果から、現状のままで良いことが判った。)

7) 効果の確認実験結果(詳細はバジェットシート:表7参照)

対策を実施した後、再度同様の実験を行い、不確かさを見積もった。
見積もった不確かさをまとめると表5に示す通りとなる。

表5 ハブ穴内径測定の不確かさ(対策後)

N o	要因	標準不確かさ	影響度合い
U 0 1	測定の繰り返し	2.73	高い
U 0 2	計測器の分解能	0.29	影響なし
U 0 3	計測器の管理精度	3.46	高い
U 0 4	マスターリングの管理精度	0.58	低い
U 0 5	ワークの熱膨張	2.07	高い
U 0 6	計測器の熱膨張	1.79	やや高い
U 0 7	マスターリングの熱膨張	2.07	高い
U 0 8	温度計の管理精度	0.33	影響なし
U 0 9	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	-

(単位: μ m)

- (1) 拡張不確かさは11.3 μ mと是正され、製品公差の約1/3.5となった。目標とする製品公差1/3以下を満足した。
- (2) 計測器の管理精度は拡張不確かさへの影響が大きいですが、現状のままで目標は達成出来る。
- (3) 熱膨張の影響も高いので、ワーク・計測器・マスターリングの温度慣らしが重要である。(温度幅が $\pm 4^{\circ}\text{C}$ になると拡張不確かさは製品公差の1/3を満足出来ない。)

8) 是正後の不確かさ活用について

当該ワークはプレス部品であるため、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。(図4)

このため、金型は定期的なメンテナンスが必要になるが、是正前の状態では2万ショットでメンテナンスが必要であったのに対し、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。

(是正前の基準である2万ショットは過去の経験値から感覚的に決められたものだが、不確かさを考慮した場合でも概ね適正なメンテナンス頻度であった。)

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。

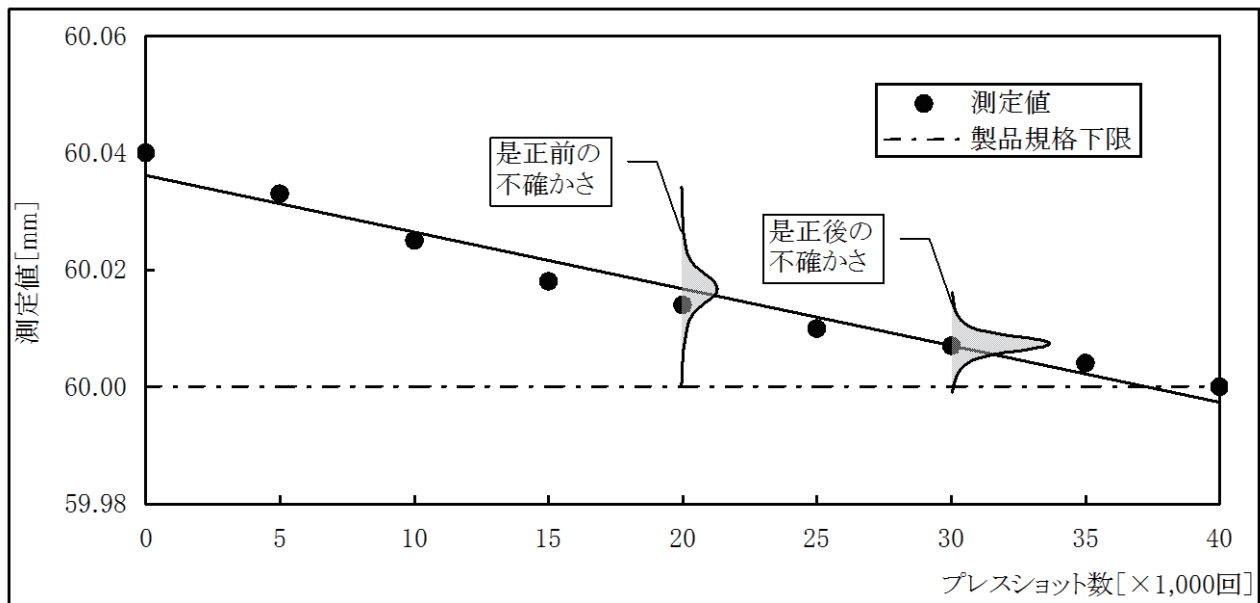


図4 プレスショット回数による測定値の変化

9) まとめ

本事例を含め、ディスクホイール各特性の測定に対する不確かさを解析した結果、約10%の特性について、拡張不確かさが製品公差の1/3以下を満足出来なかった。

原因を追及していくと、本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、測定点数など、標準化で解決出来る要因が非常に多いことが判ってきた。

逆に、計測器の性能や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ていく。

最終的には拡張不確かさを製品公差比の1/4以下へ改善していく。

表6:製品測定の不確かさバリエーションシート(対策前)

承認	解析
N	T

解析サンプル	MODEL1021
特性	ハブ穴内径
測定具	シリンダーゲージ
マスタースタム法(mm)	60
製品公差R(±)μ m	40
製品測定長(mm)	60

解析対象者			
Aさん	Bさん	Cさん	Dさん
Eさん	Fさん	Gさん	

解析結果			
【目標】拡張不確かさUが製品公差Rの1/3(33%)以下			
拡張不確かさU	U:R	%	判定
16.9	1: 2.4	42.2%	×

タイプ	記号	不確かさ要因			確率分布	除数	標準不確かさ		感度係数	標準不確かさ(μ m)	偏り	合成標準不確かさへの寄与度
		要因	値(±)	単位			値	単位				
A	U01	測定の繰り返し	6.84	μ m	正規	1	6.84	μ m	1	6.84	-	高い
B	U02	計測器の分解能	0.5	μ m	矩形	1.73	0.29	μ m	1	0.29	-	影響なし
B	U03	計測器の管理精度	6.0	μ m	矩形	1.73	3.46	μ m	1	3.46	-	高い
B	U04	マスタースタム法の管理精度	1.0	μ m	矩形	1.73	0.58	μ m	1	0.58	-	影響なし
B	U05	ワークの熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1.73	℃	1.195	2.07	-	低い
B	U06	計測器の熱膨張	3.1	μ m	矩形	1.73	1.79	μ m	1	1.79	-	低い
B	U07	マスタースタム法の熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1.73	℃	1.195	2.07	-	低い
B	U08	温度計の管理精度	1	℃	矩形	1.73	0.58	℃	0.563	0.33	-	影響なし
B	U09	温度計の分解能	0.05	℃	矩形	1.73	0.03	℃	0.028	0.00	-	影響なし
B	K01	標準温度(20℃)からの偏差	3	℃	-	1	3	℃	0.035	-	0.10	-
-												
-												
-												
-	Uc	合成標準不確かさ			正規			-		8.4	-	
-	U	拡張不確かさ(k=2)			正規			-		16.9	-	
-	K	偏り			-			-		-	0.1	

表7:製品測定の不確かさバジエットシート(対策後)

承認	解析
N	T

解析サンプル	MODEL1021
特性	ハブ穴内径
測定具	シリンダーゲージ
マスタースタマ寸法(mm)	60
製品公差R(±)μ m	40
製品測定長(mm)	60

解析対象者			
Aさん	Bさん	Cさん	Dさん
Eさん	Fさん	Gさん	

解析結果			
【目標】拡張不確かさUが製品公差Rの1/3(33%)以下			
拡張不確かさU	U:R	%	判定
11.3	1: 3.5	28.2%	○

記号		不確かさ要因					確率分布	除数	標準不確かさ		感度係数	標準不確かさ (μ m)	偏り	合成標準不確かさへの寄与度
タイプ	記号	要因	値(±)	単位	単位	値			単位					
A	U01	測定 of 繰り返し	2.73	μ m	正規	1	1	2.73	μ m	1	2.73	-	高い	
B	U02	計測器 of 分解能	0.5	μ m	矩形	1.73	1	0.29	μ m	1	0.29	-	影響なし	
B	U03	計測器 of 管理精度	6.0	μ m	矩形	1.73	1	3.46	μ m	1	3.46	-	高い	
B	U04	マスターリング of 管理精度	1.0	μ m	矩形	1.73	1	0.58	μ m	1	0.58	-	低い	
B	U05	ワーク of 熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1	1.73	℃	1.195	2.07	-	高い	
B	U06	計測器 of 熱膨張	3.1	μ m	矩形	1.73	1	1.79	μ m	1	1.79	-	やや高い	
B	U07	マスターリング of 熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1	1.73	℃	1.195	2.07	-	高い	
B	U08	温度計 of 管理精度	1	℃	矩形	1.73	1	0.58	℃	0.563	0.33	-	影響なし	
B	U09	温度計 of 分解能	0.05	℃	矩形	1.73	1	0.03	℃	0.028	0.00	-	影響なし	
B	K01	標準温度(20℃)からの偏差	3	℃	-	1	1	3	℃	0.035	-	0.10	-	
-	Uc	合成標準不確かさ					正規		-			5.6	-	
-	U	拡張不確かさ(k=2)					正規		-			11.3	-	
-	K	偏り					-		-			-	0.1	

3.3 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

1) テーマの選定理由

車両と製品の締結を保証する重要な性能評価のひとつにナット回転強度試験がある。
製品（鉄素地＋カチオン塗装＋色塗装）をハブボルトが打ち込まれた治具に装着し、ナットを試験機にて締め付けて、締め付けトルクとナット回転角の関係を測定するベンチ評価である。

<試験の規格>

初期トルク 29.4 N・m を 0 度として、負荷トルク α N・m にてナット回転角 β 度 以下のこと
ネジ・テーパ部 にスピンドル油塗布のこと

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指数が不足し、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→工程能力指数が低い→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。

2) 現状の把握

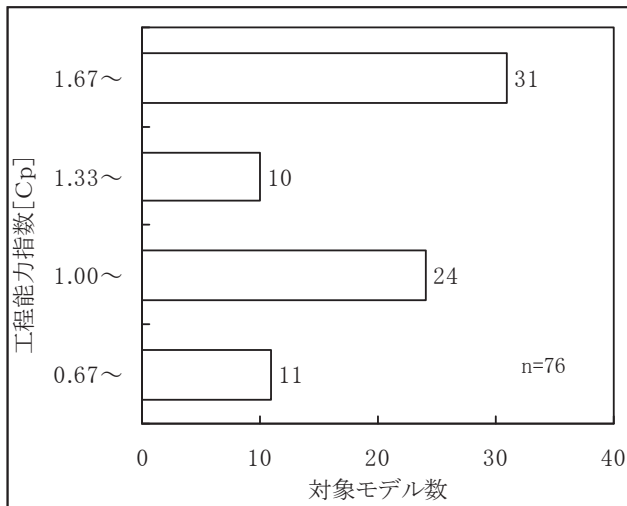


図1 工程能力別モデル数

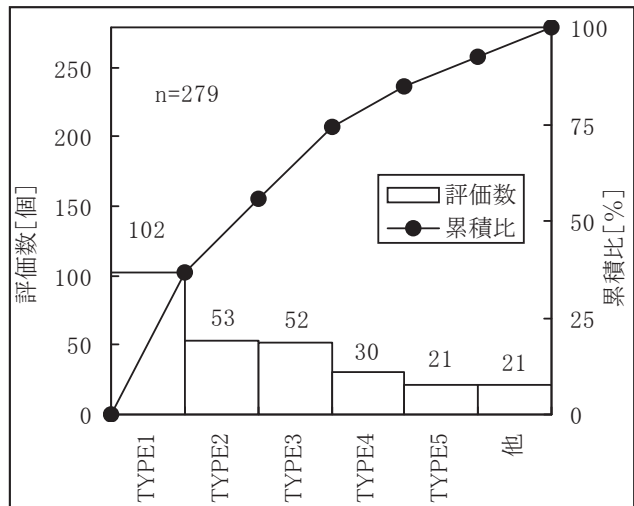


図2 年間評価数

- (1) 全モデル中、工程能力指数 1.33 未満のモデルが約 46% がある。(図1)
- (2) 年間の評価数は 279 個、TYPE1～5 の評価が 90% 以上を占めている。(図2)

3) 目標の設定

- (1) 年間評価数の 30% 低減・・・現状 279 個→195 個

(2) 全モデルの工程能力指数 $C_p 1.33$ 以上の確保

4) 要因の解析

試験値にバラツキが出る要因を図3に示す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、9項目の要因が確認された。

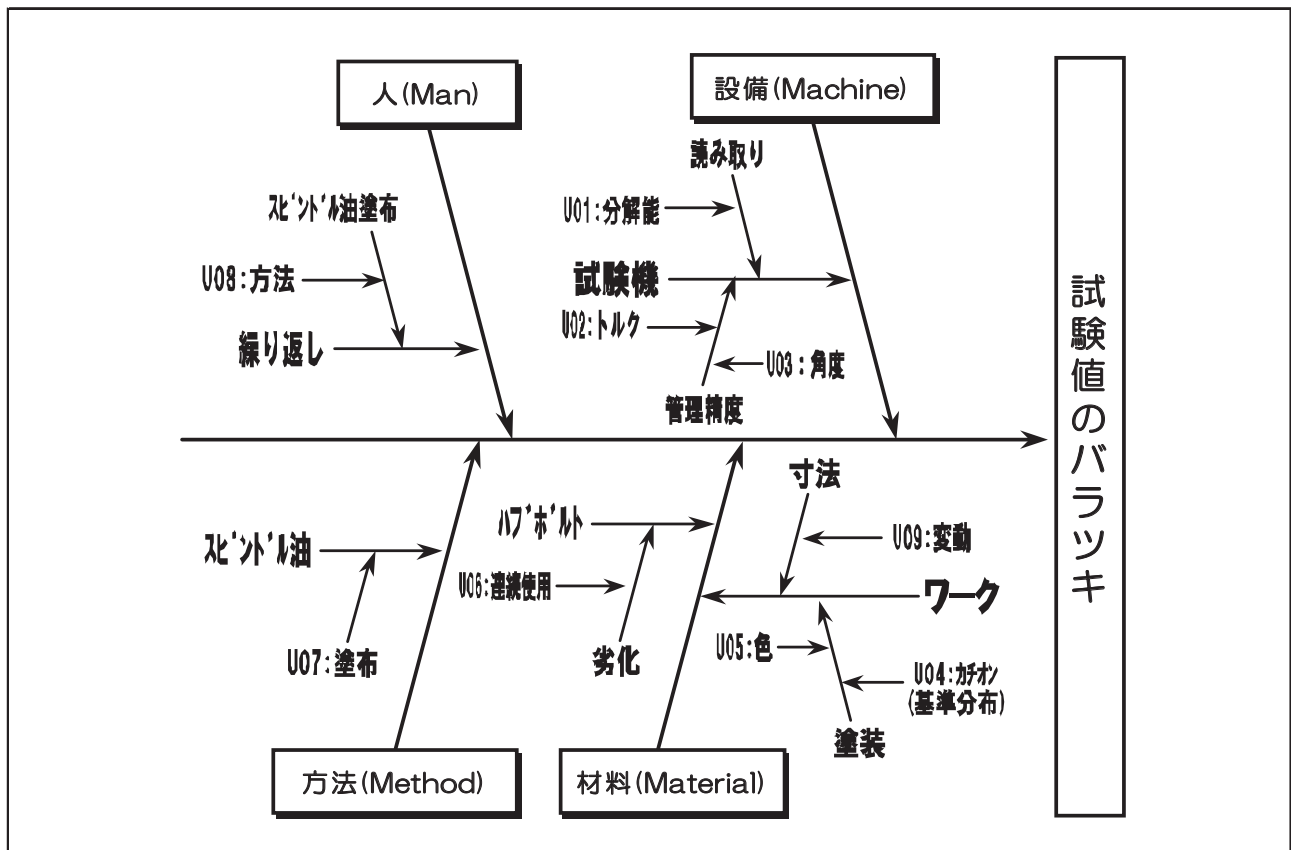


図3 試験値のバラツキに対する特性要因図

5) 調査対象品の選定

本試験は破壊試験であるため、繰り返しの試験を実施することが出来ない。
従って、履歴および特性値が明確になった同一ロットの製品を準備し、試験を繰り返す。
ここで選定する製品はTYPE1に属するMODEL1039とし、ナット座径、板厚、塗装膜厚等の特性値は全て $C_p \geq 1.67$ を満足するバラツキの極めて小さいロットとしている。
また、各実験の n 数は50個とした。

6) 不確かさの見積もり

特性要因図により洗い出された9要因をバジェットシートに落とし込み、各要因を折り込んだ調査品を試験することで複数の試験値を求め、不確かさの伝播則により各要因のバラツキを算出する。

(理論上バラツキが最も小さくなる試験条件で試験を実施、この結果を基準値とし、各要因を含んだ

試験値から伝播則を用いて減算する。)
また、同様に基準値からの偏りも併せて求めている。
尚、ここで言う偏りとは各要因により実力がどれだけ変動したかを示すものであり、試験値の誤差ではない。

U 0 1：試験機の分解能

試験機の分解能は1度であるため、0度以上1度未満の範囲で分布する。
従って、±0.5度の矩形分布と見積もる。

U 0 2：試験機の管理精度（トルク）

試験機のトルク管理精度は±3%である。実際の校正の不確かさはこれより充分小さいが、ここでは最悪値として±3%の矩形分布として見積もる。
ここでは定格トルク α Nm及び定格トルクの20%増しにあたる α' Nmにて試験値を求め、データ間の相関式（y = 3.675 x - 558.955）より、±3%分の変動を求めた。
α Nmの±3%は試験値にして±21.5度の矩形分布に相当する。（図5）

表 1 基準値の試験条件（以下、試験条件①とする）

塗装	ハブボルト	スピンドル油	測定者
カチオン	毎回交換	毎回脱脂	1名

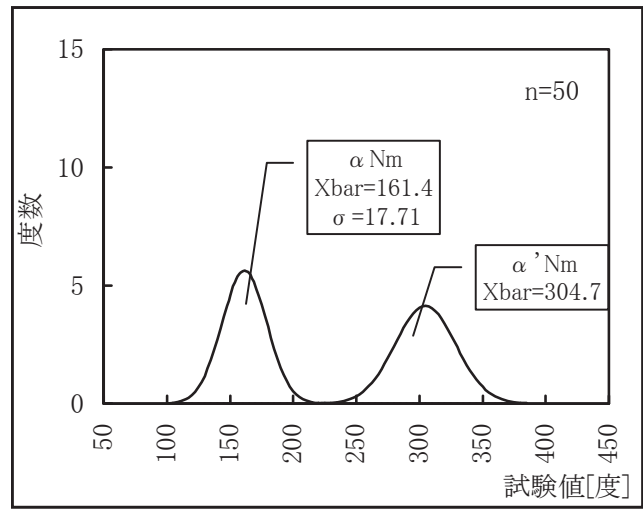


図 4 試験条件①

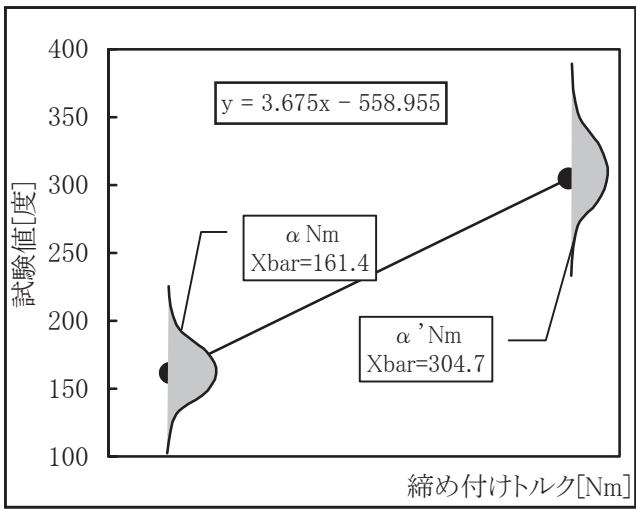


図 5 トルクと試験値の相関

U 0 3：試験機の管理精度（回転角度）

試験機の回転角度管理精度は±3度である。実際の校正の不確かさはこれより充分小さいが、ここでは最悪値として±3度の矩形分布として見積もる。

U 0 4：カチオン塗装の影響

図4に示す試験値となる。σは17.71度。
このバラツキには鉄素地（製品が塗装されていない状態）のバラツキも含まれるが、最悪値を見込んでここでは減算しない。

U05：色塗装の影響

表2 試験条件②

塗装	ハブボルト	スピンドル油	測定者
色	毎回交換	毎回脱脂	1名

図6の条件②に示す結果となった。 σ は34.01度、 $\bar{X}$ は270.2度。
ここから条件①（基準値）分を取り除くと、 σ は29.0度、偏りは108.8度となる。

U06：ハブボルト連続使用の影響

表3 試験条件③

塗装	ハブボルト	スピンドル油	測定者
色	連続使用	毎回脱脂	1名

図7の条件③に示す結果となった。 σ は34.11度、271.6度。
ここから条件①②分を取り除くと、 σ は2.5度、偏りは17.8度となる。

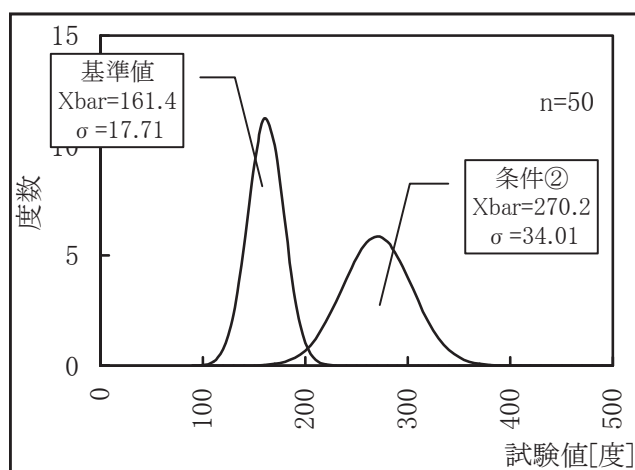


図6 試験条件②

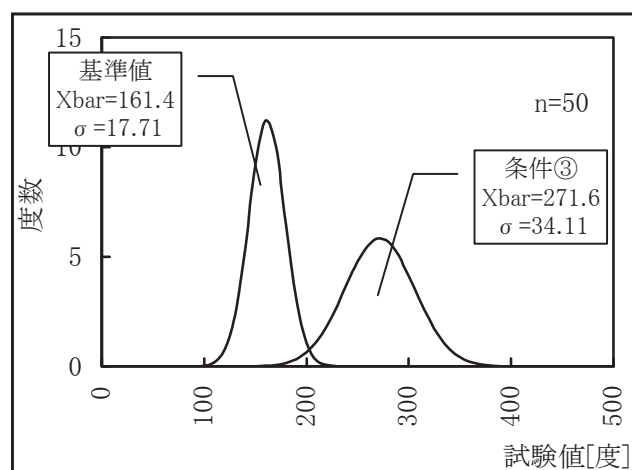


図7 試験条件③

U07：スピンドル油塗布の影響

表4 試験条件④

塗装	ハブボルト	スピンドル油	測定者
色	連続使用	毎回塗布	1名

図8の条件④に示す結果となった。 σ は93.02度、 $\bar{X}$ は442.8度。
ここから条件①②③分を取り除くと、 σ は86.5度、偏りは259.0度となる。

U 0 8 : スピンドル油塗布方法（作業者によるバラツキ）の影響

表 5 試験条件⑤

塗装	ハブボルト	スピンドル油	測定者
色	連続使用	毎回塗布	5 名

図 9 の条件⑤に示す結果となった。 σ は 1 0 5 . 8 9 度、 $\bar{X}$ は 4 8 1 . 0 度。
 ここから条件①②③④分を取り除くと、 σ は 5 0 . 6 度、偏りは 1 5 1 . 5 度となる。

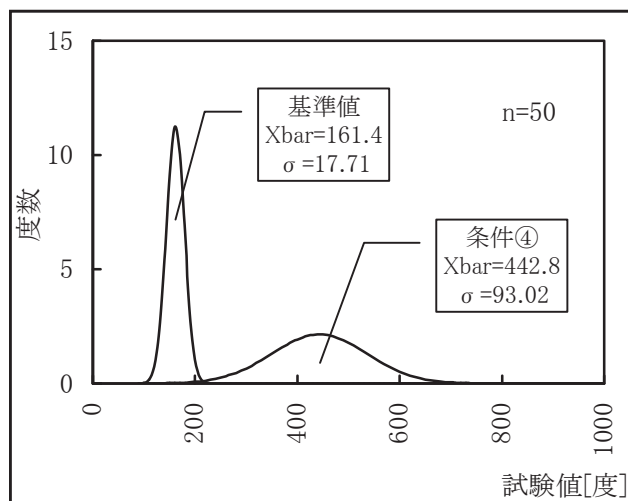


図 8 試験条件④

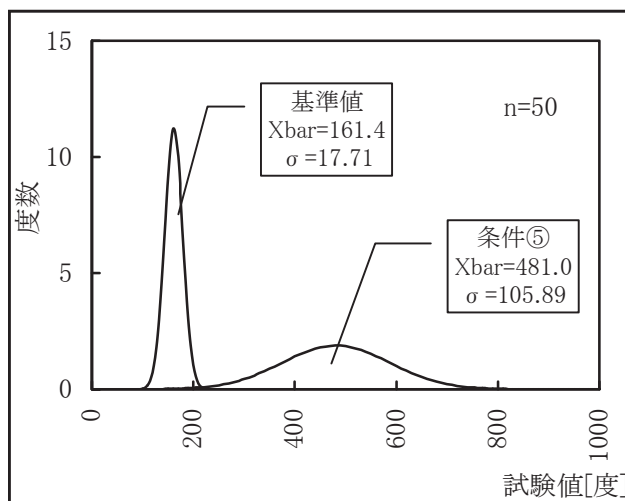


図 9 試験条件⑤

U 0 9 : ワークの寸法変動の影響

MODEL 1 0 3 9 における過去の試験実績から U 0 4 ~ U 0 7 を取り除くことで、量産工程内でのワークの寸法変動の影響を求める。

過去の試験実績を確認したところ全てのデータが試験条件①～④での作業者により評価されたものであったため、作業者間（U 0 8）の差異は無いものとする。

過去の試験実績は図 1 0 の条件⑥に示す通り。 σ は 9 3 . 1 1 度、 $\bar{X}$ は 4 4 3 . 8 度。

ここから条件①②③④分を取り除くと、 σ は 4 . 2 度、偏りは 2 3 . 0 度となる。

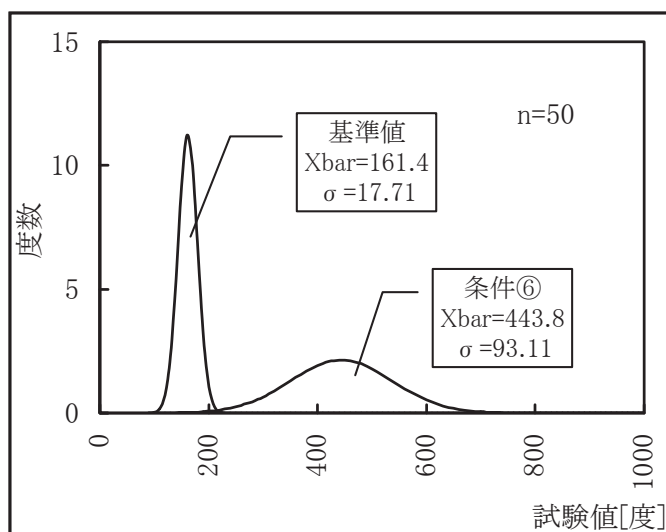


図 10 過去の試験実績

7) 不確かさの見積もり結果（詳細はバジェットシート：表 9 参照）

見積もった不確かさをまとめると表 6 に示す通りとなる。

表 6 ナット回転強度の不確かさ

N o	要因	標準不確かさ	偏り	影響度合い
U 0 1	試験機の分解能	0.3	-	
U 0 2	試験機の管理精度（トルク）	12.4	-	
U 0 3	試験機の管理精度（回転角度）	1.7	-	
U 0 4	カチオン塗装	17.7	-	
U 0 5	色塗装	29.0	108.8	大きい
U 0 6	ハブボルトの連続使用	2.5	17.8	
U 0 7	スピンドル油の塗布	86.5	259.0	大きい
U 0 8	スピンドル油の塗布方法（作業者間のバラツキ）	50.6	151.5	大きい
U 0 9	ワークの寸法変動	4.2	23.0	
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 度となった。規格幅 β の 1 / 3 以上になる。試験値の信頼性は低いと言える。
- (2) ハブボルトの連続使用が標準不確かさおよび偏りに及ぼす影響は僅かであり、現状実施しているハブボルトの交換は意味を成さない。過剰品質である。
- (3) スピンドル油の塗布および塗布方法は標準不確かさおよび偏りに及ぼす影響が非常に大きいため対策が必要である。
- (4) 色塗装の影響が大きい、塗装は製品仕様上避けられない要素であるため早急な対策は難しい。

8) 影響が大きかった要因の解析

スピンドル油の塗布（U 0 7）およびスピンドル油の塗布方法（U 0 8）をなぜなぜ分析を用いて現地現物にて原因を調査した結果、表 7 に示す通りであった。

表 7 なぜなぜ分析結果

	U 0 7 : スピンドル油の塗布		U 0 8 : スピンドル油の塗布方法 (作業員間のバラツキ)		
	材料のなぜ	方法のなぜ	方法のなぜ	方法のなぜ	治工具のなぜ
なぜ 1	締め付けトルク負荷時に発生する摩擦力が安定しない				
なぜ 2	油の粘度が高い		塗布位置が 作業員間で異なる	塗布量が作業員間で異なる	
なぜ 3	間違った油（マシン油）を 使用していた		塗布位置が 決まっていない	塗布量を計量していない	
なぜ 4	スピンドル油だ と思い込み	銘柄が決まっ ていない		塗布量が 決まっていない	計量出来ない
なぜ 5	容器に油種の 表示がない	標準がない		標準がない	計量器がない

- (1) 容器に表示が無く、間違った油を使用していることが判明した。
- (2) どの油を使用するのか、具体的な銘柄（スピンドル油の規格）が標準化されていなかった。
- (3) スピンドル油塗布位置が標準化されていなかった。
- (4) スピンドル油の塗布量が標準化されていなかった。
- (5) スピンドル油の塗布量を計量する計量器がなかった。

9) 対策

- (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た。
- (2) 試験に使用する具体的なスピンドル油の銘柄（規格）を技術指示書にて指示した。
- (3) 技術指示書および作業要領書へ塗布位置を記載し、各作業員へ展開した。
- (4) 技術指示書および作業要領書へ塗布量を記載し、各作業員へ展開した。
- (5) 計量器を設置し、毎回規定量のスピンドル油を塗布出来る様にした。

1 0) 確認実験（不確かさの再見積もり）

対策を講じた後、同様の実験（試験条件④⑤）を行い、再度 U 0 7 および U 0 8 の不確かさを見積もった。

U 0 7 : スピンドル油塗布の影響

図 1 1 の条件④対策後に示す結果となった。 σ は 3 7 . 3 4 度、 $\bar{X}$ は 3 1 0 . 0 度。
ここから条件①②③分を取り除くと、 σ は 1 5 . 2 度、偏りは 9 9 . 7 度となる。

U08：スピンドル油塗布方法（作業者によるバラツキ）の影響

図12の条件⑤対策後に示す結果となった。 σ は39.16度、 $\bar{X}$ は322.5度。

ここから条件①②③④分を取り除くと、 σ は11.8度、偏りは62.1度となる。

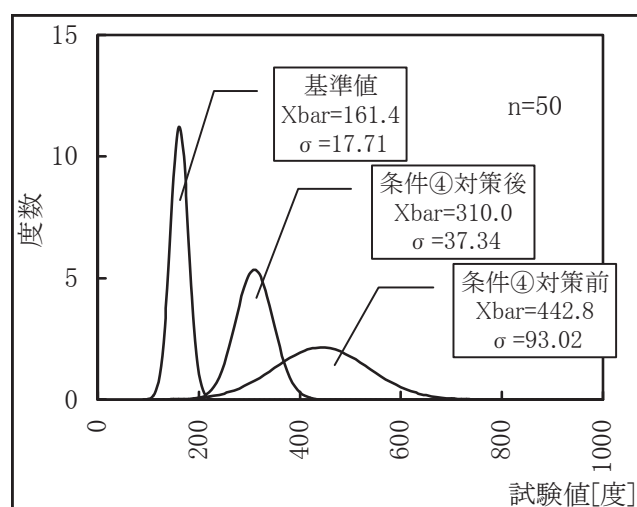


図11 試験条件④対策後

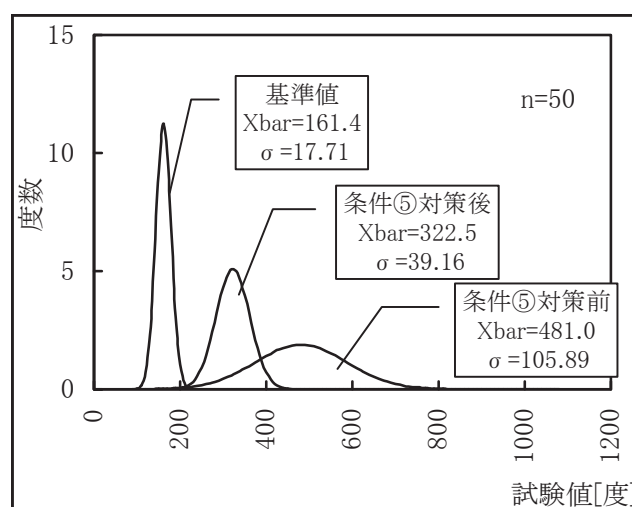


図12 試験条件⑤対策後

11) 不確かさの再見積もり結果（詳細はバジェットシート：表10参照）

見積もった不確かさをまとめると表8に示す通りとなる。

表8 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）

- （1） 対策が有効に機能し、拡張不確かさ（ $k=2$ ）は213.4度から82.6度へ是正された。
是正後の拡張不確かさ（ $k=2$ ）は規格幅 β の1/3を大きく下回り、十分な精度となった。
- （2） 対策が有効に機能し、偏りは320.4度から162.7度へ是正された。

1 2) 効果の確認

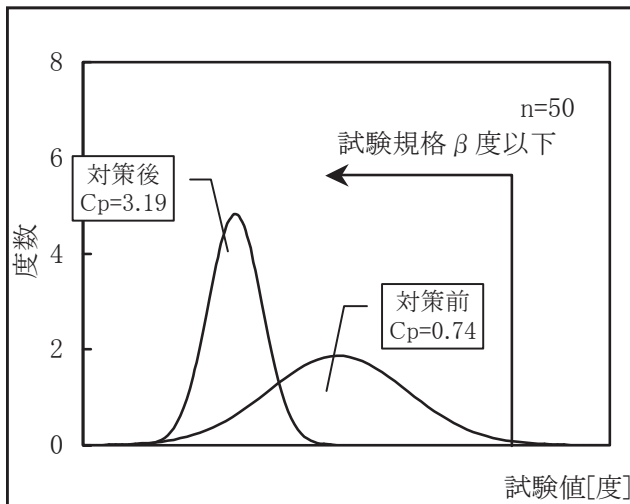


図 1 3 MODEL 1 0 3 9 の工程能力指数

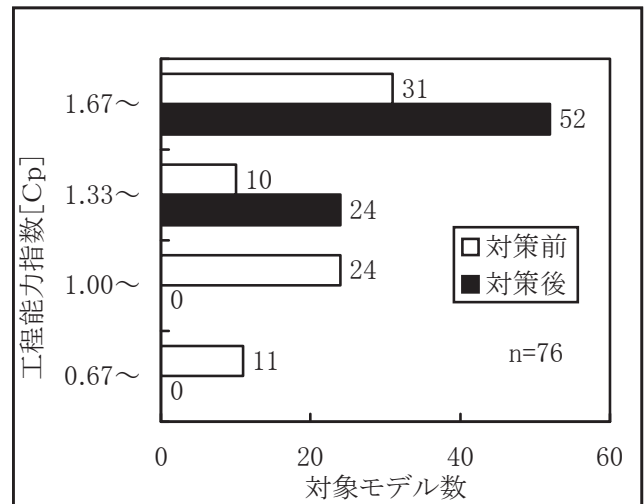


図 1 4 工程能力指数別モデル数

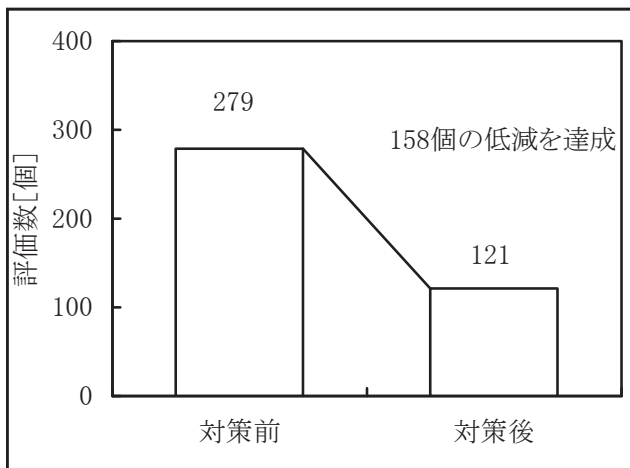


図 1 5 年間評価数

- (1) バラツキ要因是正後の試験値から求まるMODEL 1 0 3 9 の工程能力指数 (Cp) は 1. 3 3 を充分に満足出来るものとなった。(図 1 3)
- (2) 全 7 6 モデルの工程能力指数 (Cp) は 1. 3 3 以上を満足し、目標を達成した。(図 1 4)
- (3) 試験精度の向上に伴い、試験値から求まる工程能力指数 (Cp) が向上し評価頻度が低減された。対策後の評価数は 1 2 1 個となり、目標である 1 9 5 個以下を達成した。(図 1 5)

1 3) まとめ

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。

試験値がNGとなった場合、調査・対策の対応が各部署にて実施されることになる。対策前の状態では評価値のNG判定のほとんどが誤判定であると言えるため、対策後の対応費用はほぼゼロになり、非常に大きな効果となる。

バラツキを低減させることで得られる効果は大きいと再確認させられる案件であった。

また、ハブボルトの交換は試験値にほとんど影響していないという結果も得られた。

過去より実施してきたハブボルトの交換は過剰品質であったと言える。

対策後はハブボルトの交換が不要になったため、ハブボルト購入費用や交換工数も併せて低減され、無駄の排除につながり、更に評価コストを抑えることが出来た。

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。

表9:測定の不確かさ算出用バジエットシート

計測	□ 校正 計測特性	■ 試験・検査	計測名称	ナット座強度試験 (対策前)		
製品名	TYPE1 (MODEL1039)		計測部位	ナット座	製品規格	
計測器名	ナット座総合試験機		製造者	自社開発	計測器規格	
			型式	3TS-098	トルク 3%≧ 角度 3度≧	

記号	タイプ	記号	不確かさ要因			確率分布	除数	標準不確かさ		感度係数	標準不確かさ (測定量の単位)	基準値からの 偏り	備考
			要因	値(±)	単位			値	単位				
B	U01		試験機の読み取り分解能	0.5	度(DEG)	矩形	1.73	0.3	度(DEG)	1	0.3	-	
B	U02		試験機の管理精度 (トルク)	3.0	%	矩形	1.73	1.7	%	7.176	12.4	-	y=3.675x-558.955 (y:角度 x:トルク)
B	U03		試験機の管理精度(角度)	3.0	度(DEG)	矩形	1.73	1.7	度(DEG)	1	1.7	-	
A	U04		カチオン塗装 (基準値)	17.7	度(DEG)	正規	1	17.7	度(DEG)	1	17.7	-	
A	U05		色塗装	29.0	度(DEG)	正規	1	29.0	度(DEG)	1	29.0	108.8	影響大
A	U06		ハズボルトの連続使用	2.5	度(DEG)	正規	1	2.5	度(DEG)	1	2.5	17.8	
A	U07		スピンドル油の塗布	86.5	度(DEG)	正規	1	86.5	度(DEG)	1	86.5	259.0	影響大
A	U08		スピンドル油の塗布方法 (作業者間の差異)	50.6	度(DEG)	正規	1	50.6	度(DEG)	1	50.6	151.5	影響大
A	U09		ワークの寸法変動	4.2	度(DEG)	正規	1	4.2	度(DEG)	1	4.2	23.0	
Uc			合成標準不確かさ			正規分布					106.7	320.4	
U			拡張不確かさ			正規分布 (k=2)					213.4		

表10:測定の不確かさ算出用バリエーションシート

計測		□ 校正 ■ 試験・検査		計測名称		ナット座強度試験 (対策後)				
計測特性										
製品名		TYPE1 (MODEL1039)		計測部位		ナット座		製品規格		
計測器名		ナット座総合試験機		製造者		自社開発		計測器規格		
				型式		3TS-098				

3.4 塗装膜厚測定への不確かさの適用

中央精機株式会社

1) テーマの選定理由

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確実に保証するため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。

2) 現状の把握

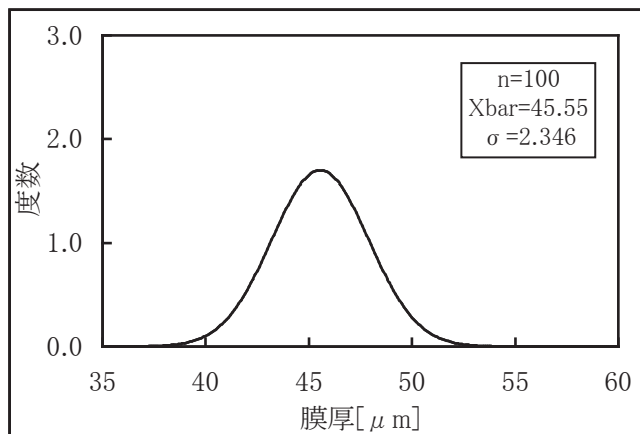


図1 塗装膜厚測定値の推測分布

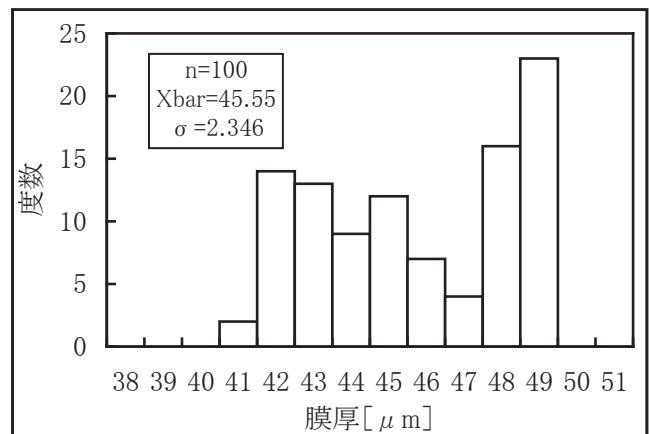


図2 塗装膜厚測定値の実分布

(1) 従来、塗装膜厚の測定値は図1に示す正規分布と考えていた。

(2) 測定データをヒストグラムにしたところ、図2に示す通り、正規分布していなかった。

3) 要因の解析

塗装膜厚測定値にバラツキが出る要因を図3に示す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。

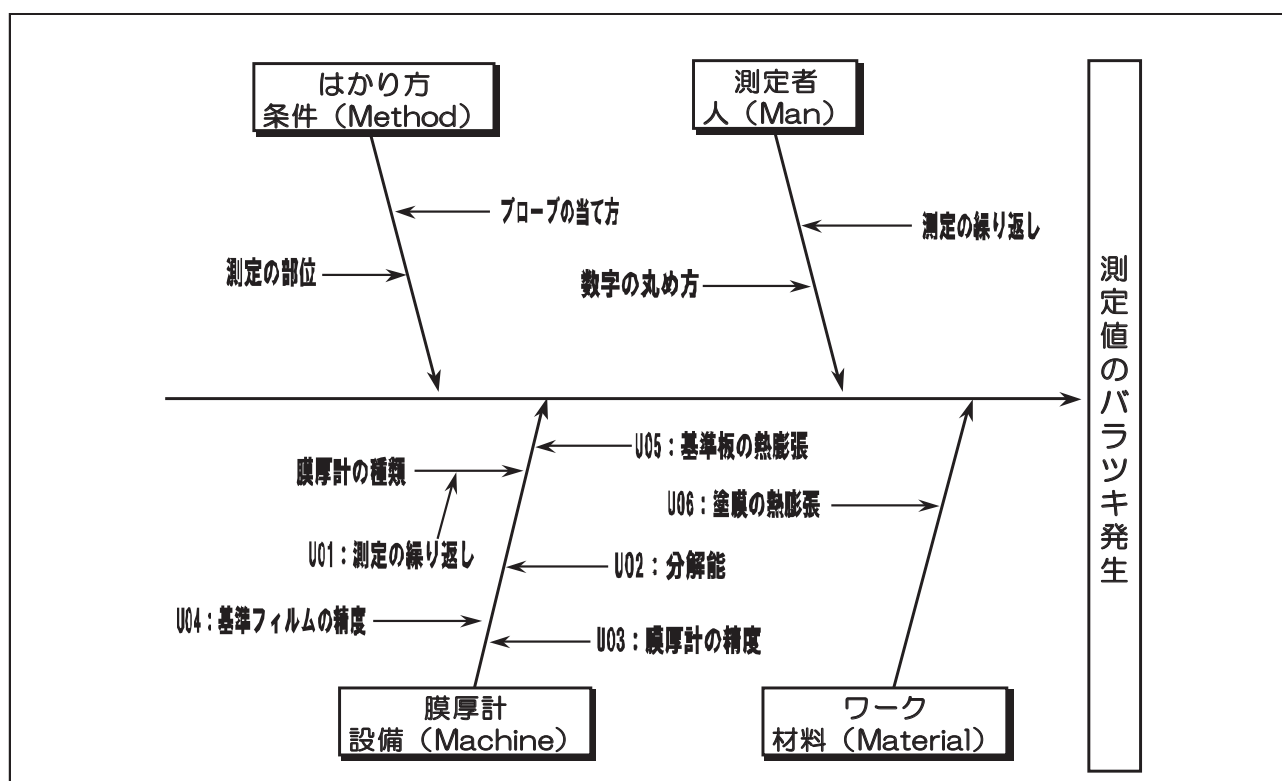


図3 測定値のバラツキに対する特性要因図

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表1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

4) 不確かさの見積もり

特性要因図により洗い出された6要因をバジェットシートに落とし込み、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（ $47.58\mu\text{m}$ ）を基準値とし、各膜厚計の測定値との差異を偏りとした。尚、基準値の測定についても不確かさが伴うが、 $0.07\mu\text{m}$ （ $k=2$ ）と十分に小さいためここでは考慮していない。

U01：測定の繰り返し

同一ワークの同一部位を繰り返し20回測定し、標準偏差を求めた。

U02：膜厚計の分解能

最小表示値の $1/2$ の矩形分布として見積もった。

U 0 3：膜厚計の精度

各膜厚計の仕様書より $\pm 1\%$ の矩形分布として見積もった。

校正証明書に記載される不確かさは正規分布でこれより小さいが、ここでは最悪値として $\pm 1\%$ の矩形分布と見積もっている。

U 0 4：基準板の精度

基準板の仕様書より $\pm 1\ \mu\text{m}$ の矩形分布として見積もった。

校正証明書に記載される不確かさは正規分布でこれより小さいが、ここでは最悪値として $\pm 1\ \mu\text{m}$ の矩形分布と見積もっている。

U 0 5：基準板の熱膨張

測定室は $23 \pm 3^\circ\text{C}$ での室温管理された状態にあるので、 $\pm 3^\circ\text{C}$ の矩形分布として見積もった。

熱膨張係数は過去の実験値である $24.4 \times 10^{-5}\ \text{cm}/\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ を採用する。

U 0 6：塗膜の熱膨張

測定室は $23 \pm 3^\circ\text{C}$ での室温管理された状態にあるので、 $\pm 3^\circ\text{C}$ の矩形分布として見積もった。

熱膨張係数は過去の実験値である $28.6 \times 10^{-5}\ \text{cm}/\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ を採用する。

5) 不確かさの見積もり結果（詳細は各バジェットシート：表 3～7 参照）

各社各型式の膜厚計について不確かさと偏りを見積もった結果、表 2 および図 4 に示す通りとなった。

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)

- (1) 型式N o 2～5については不確かさに大きな差異は確認されなかった。
- (2) 型式N o 1は不確かさが大きいことが判明した。(D社製品の2倍の不確かさ)
- (3) 型式N o 1～3は基準値からの偏りが大きいことが判明した。
- (4) 型式N o 4～5は基準値からの偏りが非常に小さいことが判明した。
- (5) これらが影響して、図 2 に示す様な測定値の分布になったことが判明した。
- (6) これらの差異は、各膜厚計にワークに対する特性の違いがあるものと考えられる。

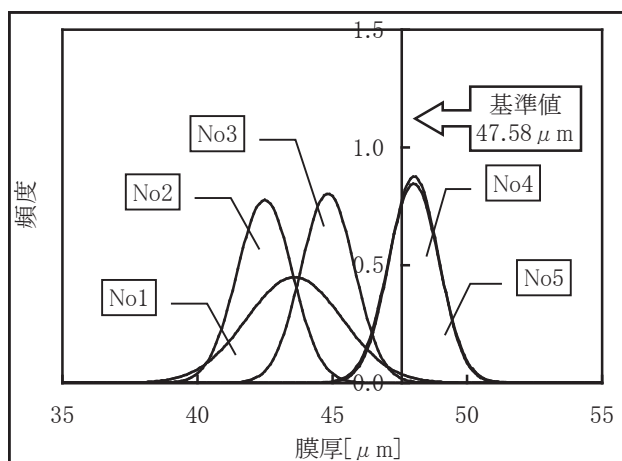


図4 膜厚計別の不確かさと偏り

6) 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。

- (1) 膜厚計はD社製のNo. 4もしくはNo. 5を使用する。
- (2) 最小読みとり値は1 μm 、未満切り捨てとする。(1 μm 未満を切り捨てることで、測定の変りを補正する。)

7) 効果の確認

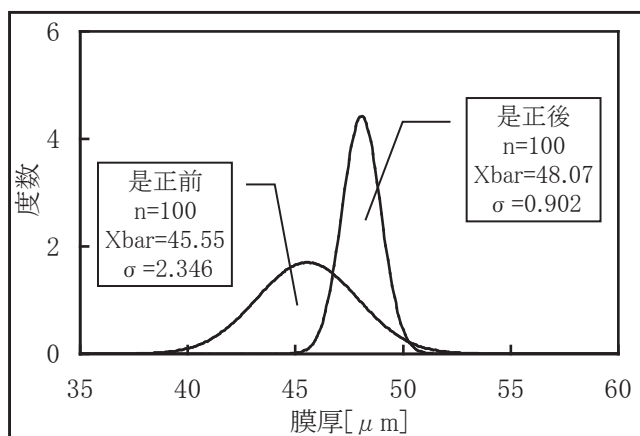


図5 塗装膜厚測定結果

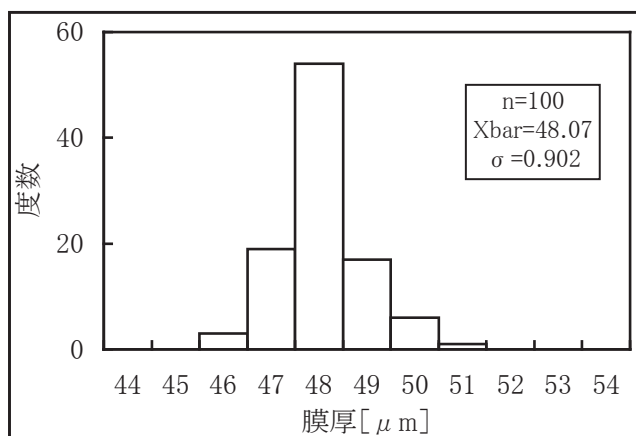


図6 塗装膜厚測定結果の実分布

- (1) 対策前の推定分布と比較すると、図5に示す通り、塗装膜厚測定値のバラツキは大幅に低減された。測定値のバラツキが測定の不確かさより小さいのは、不確かさを最悪値で見積もったためである。
- (2) 測定結果の実分布も図6に示す通り、正規分布を示した。

8) 是正結果を活かした原価低減

拡張不確かさ ($k = 2$) は約 $\pm 2 \mu\text{m}$ である。

是正後の塗装膜厚測定結果を観ると、平均値は約 $48 \mu\text{m}$ である。

これは、不確かさの考えを運用する以前から、塗装膜厚の狙い値が $48 \mu\text{m}$ であったことを示す。

測定の不確かさを考慮しても、規格下限値の $40 \mu\text{m}$ に対して十分な余裕がある。

従って、図 7 に示す通り、計測リスク 2% を見込んでも塗装膜厚の狙い値を約 $4 \mu\text{m}$ 下げることが可能である。

このことから、塗装膜厚の狙い値を $44 \mu\text{m}$ とし、製品を生産出来る様になった。

(計算上は約 $43.7 \mu\text{m}$ になるが、 $1 \mu\text{m}$ 単位で安全サイドへ切り上げる。)

これにより $4 \mu\text{m}$ / 個分の塗料費が低減され、大きな原価低減となった。

また、塗料使用量低減に伴い P R T R の使用量も低減されており、環境側面の改善にもつながっている。

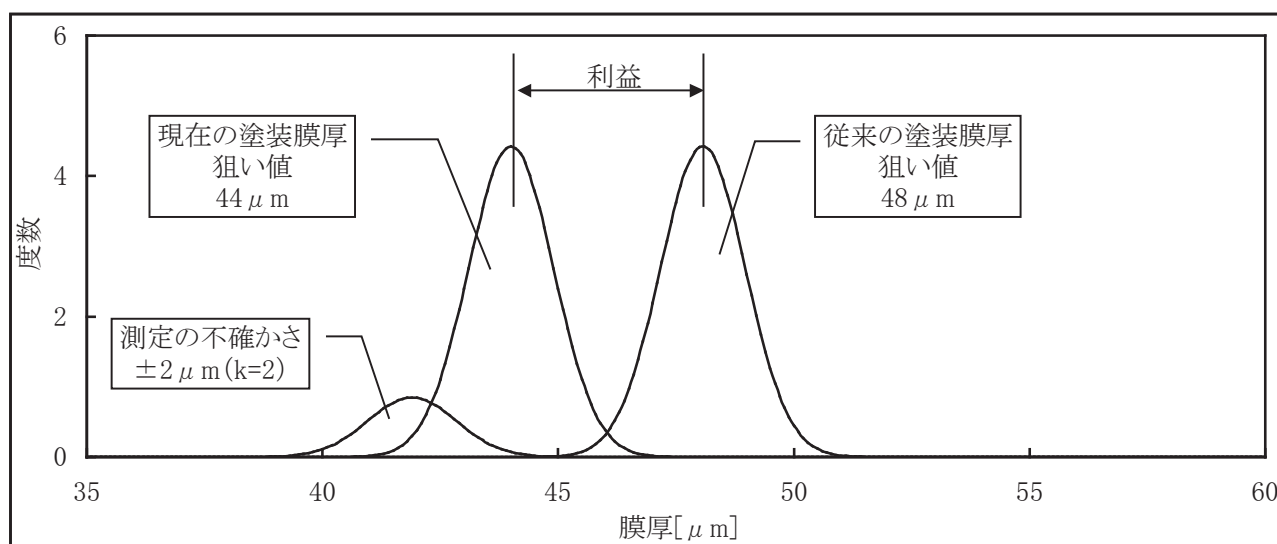


図 7 塗装膜厚測定結果と対策前後の膜厚狙い値

9) 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。

表3:計測の不確かさ算出用バリエーションシート

計測	校正 計測特性	試験・検査	計測名称		塗装膜厚測定	
			計測部位		スポーク部(固定)	
製品名	MODEL1013		計測部位		製品規格	
計測器名	膜厚計 (A社製No1)		製造者	A社	計測器規格	40 μ m $\leq$
						-
計測器名	膜厚計 (A社製No1)		型式	No1	計測器規格	$\pm 1\%$
						-

記号 タイプ	記号	不確かさ要因			確率分布	除数	標準不確かさ		感度係数	標準不確かさ (測定量の単位)	基準値からの 偏り	備考
		要因	値(±)	単位			値	単位				
A	U01	測定の繰返し	1.64	μ m	正規	1	1.64	μ m	1	1.64	-	
B	U02	膜厚計の分解能	0.5	μ m	矩形	1.73	0.29	μ m	1	0.29	-	
B	U03	膜厚計の精度	1	%	矩形	1.73	0.58	%	0.436	0.25	-	
B	U04	基準板の精度	1	μ m	矩形	1.73	0.58	μ m	1	0.58	-	
B	U05	基準板の熱膨張	3	$^{\circ}$ C	矩形	1.73	1.73	$^{\circ}$ C	0.012	0.02	-	測定に対して温度変化は無視できる
B	U06	塗膜の熱膨張	3	$^{\circ}$ C	矩形	1.73	1.73	$^{\circ}$ C	0.014	0.02	-	測定に対して温度変化は無視できる
-	K01	基準値からの偏り (測定の平均値-基準値)	-3.98	μ m	-	1	-	μ m	1	-	-3.98	
注)		基準フィルムの熱膨張係数 24.4×10^{-5} cm/cm $\cdot^{\circ}$ C										
		ワーク(塗膜)の熱膨張係数 28.6×10^{-5} cm/cm $\cdot^{\circ}$ C										
Uc		合成標準不確かさ			正規分布					1.8	-	
U		拡張不確かさ			正規分布 (k=2)					3.6	-	
K01		偏り			-					-	-3.98	

表4:計測の不確かさ算出用バリエーションシート

計測	校正	試験・検査	計測名称	塗装膜厚測定									
製品名	MODEL1013		計測部位	スポーク部(固定)			製品規格			40 μm≦ -			
計測器名	膜厚計(B社製No2)		製造者	B社			計測器規格			±1% -			
			型式	No2									
記号	不確かさ要因				確率分布	除数	標準不確かさ		感度係数	標準不確かさ (測定量の単位)	基準値からの 偏り	備考	
タイプ	記号	要因	値(±)	単位									
A	U01	測定の際の繰り返し	0.76	μm	正規	1	0.76	μm	1	0.76	-		
B	U02	膜厚計の分解能	0.5	μm	矩形	1.73	0.29	μm	1	0.29	-		
B	U03	膜厚計の精度	1	%	矩形	1.73	0.58	%	0.425	0.25	-		
B	U04	基準板の精度	1	μm	矩形	1.73	0.58	μm	1	0.58	-		
B	U05	基準板の熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1.73	℃	0.012	0.02	-	測定に対して温度変化は無視できる	
B	U06	塗膜の熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1.73	℃	0.014	0.02	-	測定に対して温度変化は無視できる	
-	K01	基準値からの偏り (測定の平均値-基準値)	-5.08	μm	-	1	-	μm	1	-	-5.08		
注)	基準フィルムの熱膨張係数 24.4×10 ⁻⁵ cm/cm・℃ ワーク(塗膜)の熱膨張係数 28.6×10 ⁻⁵ cm/cm・℃												
Uc	合成標準不確かさ			正規分布	1.0								-
U	拡張不確かさ			正規分布 (k=2)	2.1								-
K01	偏り			-	-								-5.08

表5:計測の不確かさ算出用バリエーションシート

計測	校正 ■ 試験・検査		計測名称		塗装膜厚測定	
	計測特性		計測部位		製品規格	
製品名	MODEL1013		スポーク部(固定)		40 μ m ≦	
計測器名	膜厚計 (C社製No3)		製造者	C社	±1%	
			型式	No3	-	

記号 タイプ	記号	不確かさ要因			確率分布	除数	標準不確かさ		感度係数	標準不確かさ (測定量の単位)	基準値からの 偏り	備考
		要因	値(±)	単位			値	単位				
A	U01	測定繰返し	0.71	μ m	正規	1	0.71	μ m	1	0.71	-	
B	U02	膜厚計の分解能	0.5	μ m	矩形	1.73	0.29	μ m	1	0.29	-	
B	U03	膜厚計の精度	1	%	矩形	1.73	0.58	%	0.448	0.26	-	
B	U04	基準板の精度	1	μ m	矩形	1.73	0.58	μ m	1	0.58	-	
B	U05	基準板の熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1.73	℃	0.012	0.02	-	測定に対して温度変化は無視できる
B	U06	塗膜の熱膨張	3	℃	矩形	1.73	1.73	℃	0.014	0.02	-	測定に対して温度変化は無視できる
-	K01	基準値からの偏り (測定平均値-基準値)	-2.74	μ m	-	1	-	μ m	1	-	-2.74	
注)		基準フィルムの熱膨張係数 24.4×10 ⁻⁵ cm/cm・℃										
		ワーク(塗膜)の熱膨張係数 28.6×10 ⁻⁵ cm/cm・℃										
Uc		合成標準不確かさ			正規分布					1.0	-	
U		拡張不確かさ			正規分布 (k=2)					2.0	-	
K01		偏り			-					-	-2.74	

表7:計測の不確かさ算出用バリエーションシート

計測	測定	校正 ■ 試験・検査 計測特性	計測名称	塗装膜厚測定			製品規格	40 μm ≤		
製品名	MODEL1013		計測部位	スポーク部(固定)			計測器規格	±1%		
			製造者	型式		計測器規格				
計測器名	膜厚計(D社製No5)		製造者	型式			計測器規格	±1%		
記号	タイプ	記号	不確かさ要因			標準不確かさ (測定量の単位)			基準値からの 偏り	備考
			要因	値(±)	単位					
A	U01		測定値の繰返し	0.63	μm	1	0.63	μm	-	
B	U02		膜厚計の分解能	0.5	μm	1.73	0.29	μm	-	
B	U03		膜厚計の精度	1	%	1.73	0.58	%	-	
B	U04		基準板の精度	1	μm	1.73	0.58	μm	-	
B	U05		基準板の熱膨張	3	℃	1.73	1.73	℃	-	
B	U06		塗膜の熱膨張	3	℃	1.73	1.73	℃	-	
-	K01		基準値からの偏り (測定値の平均値-基準値)	0.44	μm	1	-	μm	0.44	
注)			基準フィルムの熱膨張係数 24.4×10 ⁻⁵ cm/cm・℃							
			ワーク(塗膜)の熱膨張係数 28.6×10 ⁻⁵ cm/cm・℃							
Uc			合成標準不確かさ			正規分布	0.9			-
U			拡張不確かさ			正規分布 (k=2)	1.9			-
K01			偏り			-	-			0.44

3.5 計量確認及び測定プロセス実現の実例

トヨタ自動車株式会社

一般に計量器の管理、測定誤差の管理をして正確な計量データを必要部署に提供し生産活動の基礎としての計量管理を実施しているといわれる。

計量問題というとすぐ計量器の管理、測定誤差の管理のことにふれ、それ自体を管理すればよいという錯覚に落ち入りがちである。工程管理が不十分で製品がばらついていては、いくら計量器の管理をしても測定誤差の管理をしても意味がない。計量結果を次元の高いところから見直して工程改善に活用されるような計量結果が得られるようにしなければならない。計量管理とは、その意味を解りやすく理解していただくため計量管理の木（図 1）で説明してみよう。

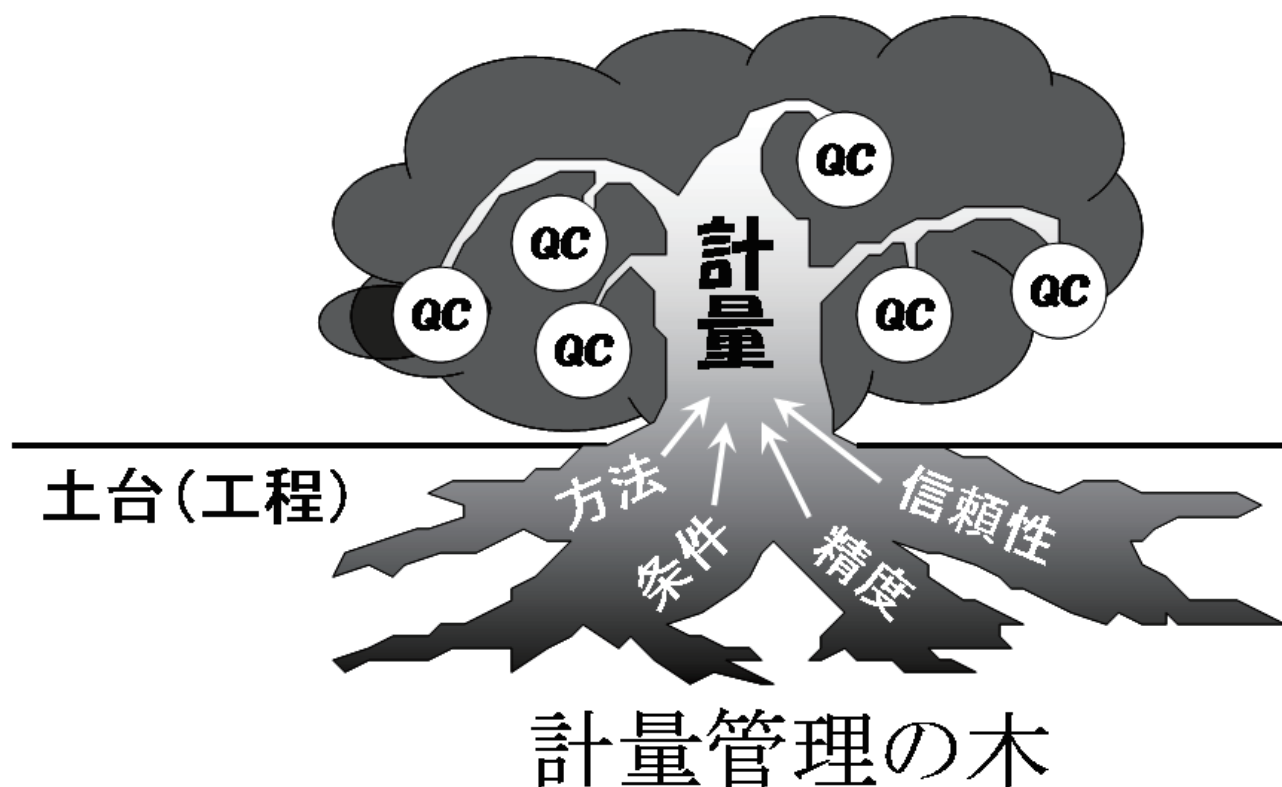


図 1 計量管理の木

生産活動を効果的に実施するためには、計量管理の木を大きく育て品質管理という QC の果実をたくさん実らせなければならない。それには計量器の管理、計量作業の管理をして計量器の信頼性、計量の条件方法、計量の精度などの栄養を十分与えなければならない。これだけでは不十分で、土台という工程がしっかりしていなければならない。それには、工程内計量システムを合理化して工程管理を整備充足する計測化の管理が必要である。計測化の管理をして工程管理の整備充足した上で計量器の管理、計量作業の管理を実施する。この管理活動を系統的に計量管理として総括する。このことによって計量結果の有効性が確保され工程管理に活用され製造品質の均一化の成果が得られる。これによって計量管理の必要が認識され、誤差の管理のみに重点をおいて事足りているとしていることを大きく反省しなければならない。そのために、製品品質を定量値に基づき客観的に保証・証明できるかが重要である。そして、従来から行われてきた OK/NG 選別の検査保証から、計量・計測値に基づき製品の品質を保証することが必要である。これにより、作った製品の出来栄が目標値（製品規格）に対し

てどの位置にあるのかが判るようになり、より中央値で作るために生産設備を調整したりして、不良製品を作らないようにすることができる。さらに、製品のばらつきが小さくなれば、測定値を傾向管理(品質管理)することでより安定した生産工程を作り上げ・維持することができるようになり、不良品流出防止はもちろんであるが、不良を作らない工程ができるようになる。これにより、コスト低減にも寄与できることになり、計測が大きく品質に貢献することができる。

もちろん、不良を作らない工程を実現するためには、統計的データに基づく品質管理が必要であるが、大前提として品質管理のデータの基となる測定データが正しくなければ意味がない。測定データを保証するためには、「正しい道具で、正しく測る」ことが必要であり、“正しい道具であることを保証するための指針として ISO17025”を“正しく測れていることを保証するための指針として ISO10012”を活用することで、「正しい道具で、正しく測る」ことを実現するために有効である(図2参照)。

不良品がお客様に与える損害は大きなものになり、会社の信頼そのものが揺らぎ、存続すら危ぶまれる事態となる。そうならないためにも、製造者としてお客様に不良品を渡してしまうことは、絶対に防がなくてはならない。品質リスクを見切る計量・計測の果たす役割は非常に大きい。

以上説明したように計量化の管理を次に計量器の管理、計量作業の管理の順に計量活動をする。計量管理を適正に計画・実施し有効性のある計量結果を確保し、これを活用するための管理技術が計量管理であると考え。計量管理と品質管理の境界は、工程内計測システムを合理化して工程管理を整備充足するところにあると思っている。この計量管理(又は計測管理)を実現するための、ものさしが「JIS Q 10012 / ISO10012 計測管理規則」であると考えている。



図2 ISO17025とISO10012が果たす役割

ISO 10012:2003の規格本文に、計測マネジメントシステムモデル図がある。その中の第7節は、「計量確認」・「測定プロセス」・「測定の不確かさ及びトレーサビリティ」の3つの項から構成されている。この3つの項の関係を、図3に示した。「7.3 測定の不確かさ及びトレーサビリティ」は、「7.1 計量確認」及び「7.2 測定プロセス」をベースとして支える部分にあたることから、土台のイメージで示した。それぞれの項は、独立したものでなく交互に作用することにより、計量確認及び測定プロセスが実現され品質へ計測が効果を発揮する。

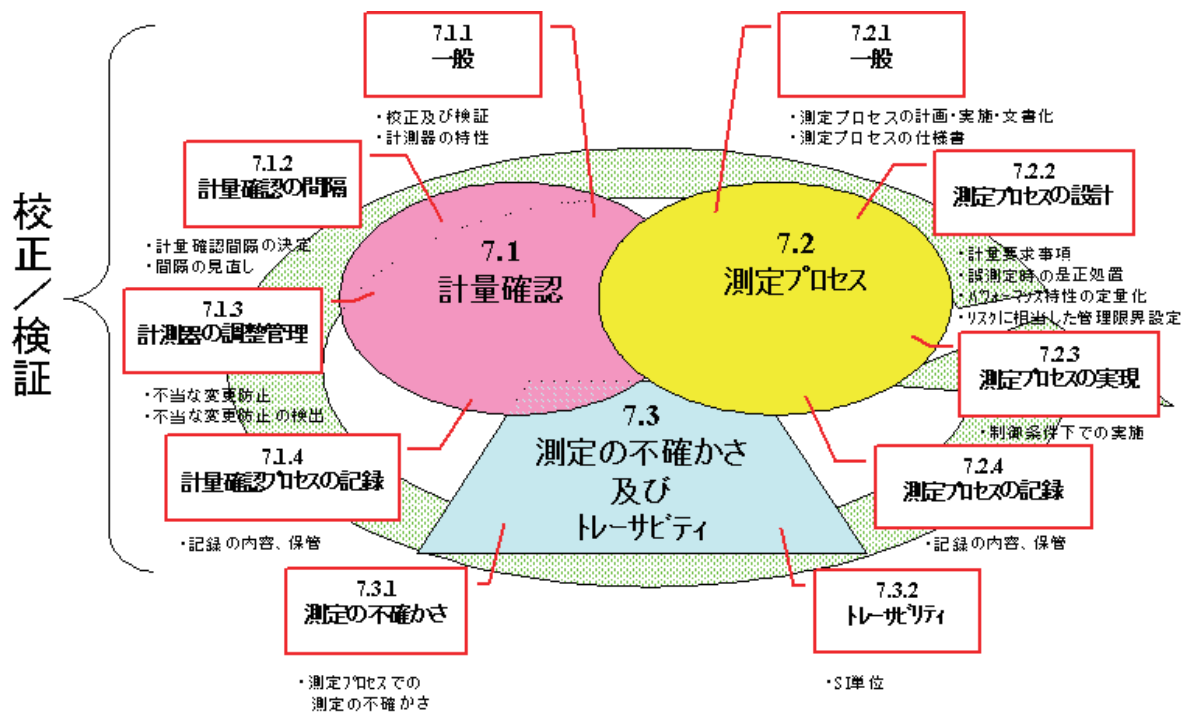


図3 計量確認及び測定プロセス設計のモデル

計量確認及び測定プロセスの実現の事例を交え解説する。以下の手順で実施すると計量確認及び測定プロセスの実現（図4参照）を理解しやすいであろう。

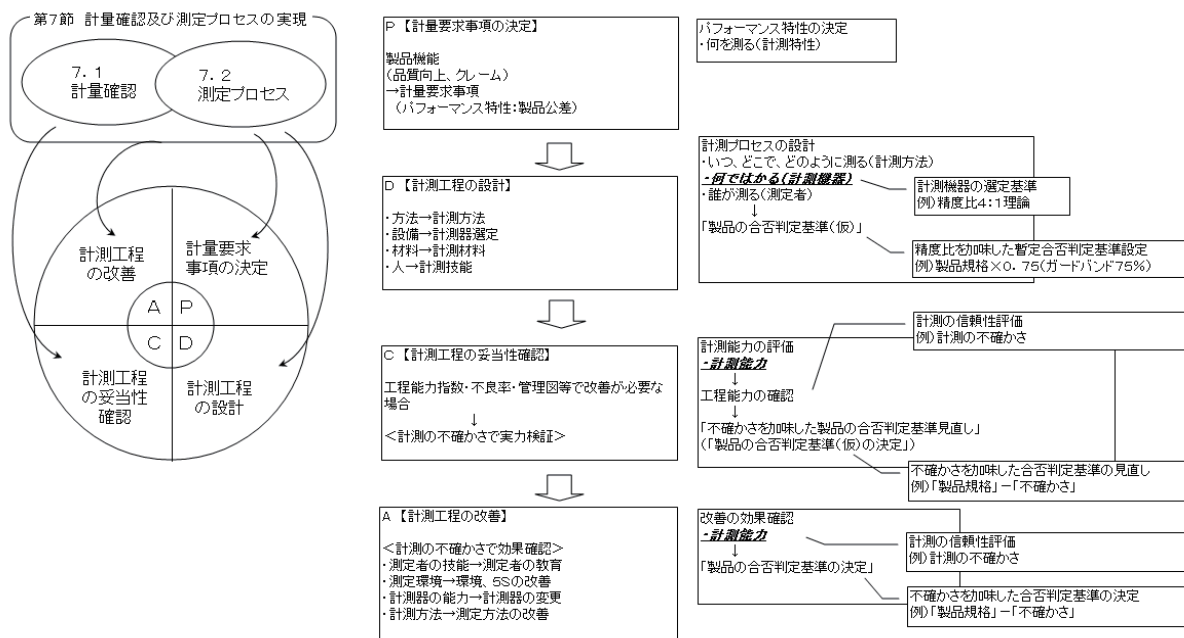


図4 計量確認及び測定プロセス実現のPDCA

事例は、自動車のプラスチック部品（バックドアトリム）を成形する製造工程における製品寸法の測定プロセスの実現及び計量確認である。

3.5.1 測定プロセスの実現

測定プロセスの実現は、計測工程の設計・実施・妥当性確認をすること。

1) 計量要求事項の決定

製品機能を保証するための計量要求事項を明確にし、そのパフォーマンス特性を定量化すること。
(例)

製品は、バックドア内にクリップにて取り付けられることから、穴位置がずれると、トリムが取り付けられないやトリムが変形するなどの不具合が発生することから、取り付け穴位置の精度が重要である。穴位置精度を計量要求事項（顧客要求）とした。従って、穴位置 $12 \pm 0.5\text{mm}$ が、パフォーマンス特性である。

2) 計測工程の設計

パフォーマンス特性を計測するための計測工程を計画すること。

計測特性に影響を与える要因(4M)を洗い出し、それぞれの要素がもつ条件の特性が計測特性である。

(例)

計量要求事項のパフォーマンス特性は、穴位置 $12 \pm 0.5\text{mm}$ であることから、正しい測定を行うために必要な計測工程の計測精度は、最低でも製品規格の $1/3$ 以上（ここでいう製品規格とは規格巾の半分とする・・・以下同様）必要であることから、測定機器の必要精度を製品規格の $1/5$ 以上とし、次の計測工程を設計した。

- ・設備 : 測定機器は、ノギスとする
- ・方法 : 基準位置から穴位置までの寸法を抜き取り検査にて手動で測定する
- ・材料 : 変形による寸法に影響を与えない 0.98N 測定力とし、検査温度は $5 \sim 35^\circ\text{C}$ 内とする
- ・人 : 製造工程の作業者とする

製品計測が要求する計測精度は、製品規格の $1/3$ の 0.16mm である。これより、測定機器の精度は、製品規格の $1/5$ 以上となるように、「測定範囲： $10 \sim 14\text{mm}$ ，精度： 0.10mm 」を選定した。測定機器の選定の結果、測定範囲： 150mm ，最小目盛： 0.05mm アナログ式ノギスを選定した。なお、この測定機器の精度は製造者の仕様書より ± 0.07 と書かれていたので、製品規格 $\pm 0.5\text{mm}$ に対して、 $1/7$ 以上の精度を確保したことになるので、計測能力は十分であると判断し、製品規格はそのままとした。なお、製品品質の安定度は、工程能力及び管理図を用いて日常管理することとした。

計測能力を把握する方法としては、工程能力を用いる方法もあるが、その他の方法として、製品規格外の製品を流出させない手法として、製品規格より計測の誤差を減じた、製品規格より測定の不確かさを減じる方法もある。また、ガードバンド手法(2%)を用いた製品規格 $\times 0.75$ ($\pm 0.375\text{mm}$) とする方法もあるが、既に工程能力($C_p > 1.33$)が十分あることが確認されている場合、過剰品質になる可能性もある。いずれも、暫定的に製品規格を決定する方法としては、有効な手段であるが、未来永久この暫定規格を使用することは、コスト的にデメリットもあることも理解しておく必要があり、製品品質が安定してきた時点で、見直すことも必要である。

いづれにしても、製品不良流出リスクと検査コストリスクのバランスを考えて製品規格を決定することが必要である。

3) 計測能力の妥当性確認

設計した計測工程をあらかじめ決められた制御条件下で測定を実施し、計測の妥当性評価をすること。なお、測定プロセスの妥当性確認は、既に妥当性が確認された別のプロセスの結果との比較、他の測定方法によって得た結果との比較、測定プロセス特性の継続的分析のいずれによるも

のでもよい。測定プロセス特性の継続的分析の方法を用いる場合は、工程能力指数を用いるとよい。

(例) 工程能力指数 $C_p > 1.33$ の場合

工程能力を用いた検証方法の場合、工程能力指数(C_p)を用いて評価する。工程能力が、1.33 以上ある安定した工程(図4参照)は、製品も安定した状態にあり、測定能力も十分ある。製品規格と製品バラツキの関係が、 $8\sigma/6\sigma$ になり工程能力は1.33 となる。しかし、工程能力が1.33 以上あっても、なんらかの工程異状(変化点)により製品の中央値がどちらかにずれたことがあるので、 C_p に合わせて C_{pk} でも管理することを推奨する。

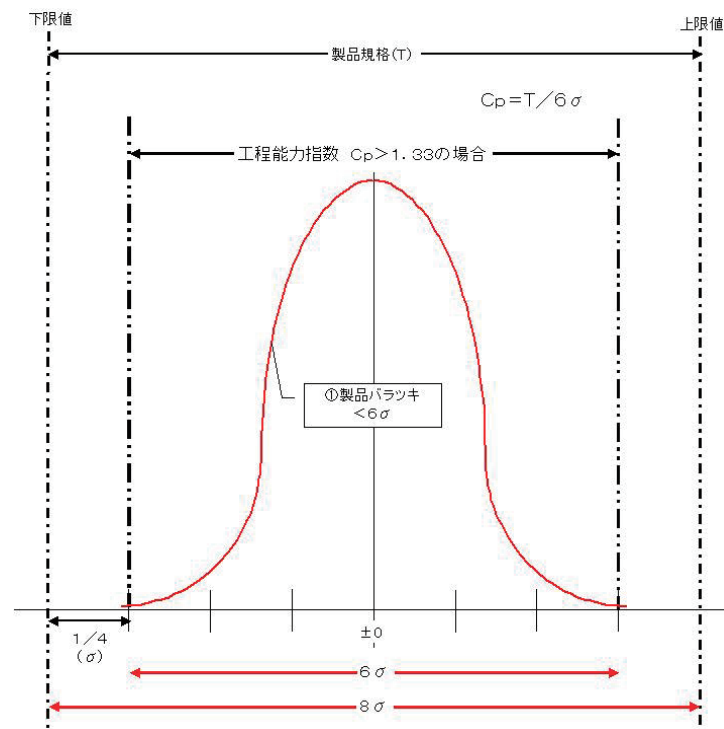


図5 工程能力 $C_p > 1.33$ の計測能力

(例) 測定の不確かさの場合

トリムの製造は、成型機にて加工された後、穴位置が基準内にあることをその日の初品にて確認する。検査の条件は、製品が試験場所の標準状態(温度 15 級: 5~35℃)の条件内であることである。この条件下で、表1の穴位置測定の不確かさを算出した。

解析の結果、穴位置測定の拡張不確かさは、0.08mmとなり、製品の計測精度は、製品規格の1/6 以上あり、トリム成型計測工程の測定能力はあることが確認できた。また、この製品は、安定した工程能力($C_p > 1.33$)であるため暫定的に計測設計時に決めた製品規格を最終規格とした。

表 1 穴位置測定のパジェットシート

計測	■ 試験・検査 計測特性：長さ			計測名称	バックアトリムの穴位置				
製品名	バックアトリム			計測部位	基準位置の穴位置	製品規格	中央値: 12mm 公差: ±0.5mm		
計測器名	ノギス			製造者	ミツトヨ	計測器規格	JIS B7507		
				型式	150/0.10mm		±0.07		

記号	不確かさ要因			確率分布	除数	標準不確かさ		感度係数	標準不確かさ (測定量の単位)	備考
タイプ	記号	要因	値	単位		値	単位			
A	U _{A1}	製品計測の繰り返し	0.016	mm	正規分布	1	0.016	mm	1	0.016
B	U _{B2}	ノギス読取の分解能	0.025	mm	矩形分布	√3	0.014	mm	1	0.014
B	U _{B1}	ノギス校正の不確かさ	0.025	mm	正規分布	2	0.028	mm	1	0.028
B	U _{B1}	製品とノギスの熱膨張係数の差	54.3×10 ⁻⁶ /℃	℃	矩形分布	√3	31.4×10 ⁻⁶ /℃	℃	PL _δ	0.005
B	U _{B2}	製品とノギスの温度差	0.5	℃	矩形分布	√3	0.29	℃	L _{αs}	0.0005
B	U _{B3}	ノギスの温度(20℃からの偏差)	15	℃	矩形分布	√3	8.66	℃	L _{αs}	0.014
注)		α _g : 11.5×10 ⁻⁶ /℃								
		PL(製品寸法): 0.012m								
		L: 0.15m, θ: 15℃								
	U _G	合成標準不確かさ			正規分布				0.04mm	0.038173944
	U	拡張不確かさ			正規分布(k=2)				0.08mm	0.076347688

なお、日本工業規格 JISB7507-1993 では、参考 2 ノギスの総合誤差として測定範囲：150mm，目量：0.05mm の場合の総合誤差は、±0.08mm であると書かれている。このことから今回算出したプラスチック部品の測定不確かさは、妥当性のある結果と判断する。

4) 計測能力の改善

計測能力を検証した結果，測定の不確かさが，製品規格の 1/3 以上に満たない場合は，測定機器の精度以外による他の要因の不確かさが寄与している。その要因として考えられるものには，測定者技能や測定環境などがある。要因を限定するために，測定の不確かさのパジェットシートは有効な手段になる。測定の不確かさの大きい要因を特定したら，その不確かさが小さくなるように改善をしていく。例えば，測定者の技能水準により不確かさが大きくなっている場合は，測定者の測定方法の訓練・教育を実施した後，再度測定の不確かさを算出するとよい。改善の効果が，定量化され容易に判断ができるであろう。一方，工程能力が低い工程の製品合否判定基準は，ガードバンド手法を用いることで，不良品の流出を防ぐことができる。但し，この前提として，計測精度が，製品規格の 1/3 以上であることが必要である。計測精度が確保されれば，“正しい道具で正しく測れている”わけであるので，工程管理者は，製品バラツキを小さくすることに注力し，改善を実施することができ，計測が品質へ貢献したことになる。

3.5.2 計量確認

計量確認とは，測定プロセス設計において，計量要求事項（顧客計量要求事項：CMR^a）に設計された，計測工程に使用する計測機器の能力（測定機器計量特性：MEMC^b）が当初設計したとおりにあるか，確認することである。校正結果の確認において注意すべき事は，今回の校正から前回の校正まで精度が維持できていたか，そして，今回の校正から次回の校正まで精度が正しく維持できるか，SI 単位系で校正された標準を用いて確認する必要がある。そして，校正の結果があらか

じめ決められた許容範囲内にあることを確認することである。確認の結果、問題が発見された場合は、これまで測定した製品計測の妥当性（遡り）の確認及び確認周期の見直しが必要となる。校正結果に問題なければ、計量確認済みの識別を計測機器に表示する。

注^a 顧客計量要求事項：CMR Customer metrological requirements

注^b 測定機器計量特性：MEMC Measuring equipment metrological characteristics

1) 顧客計量要求事項(CMR)

付属書Aには、「顧客要求事項は、顧客生産プロセスに関係するものとして顧客が規定する測定要求事項である。したがって、CMRは測定対象の変数の仕様に左右される。CMRには、生産プロセス及びそのインプットに起因する要求事項に加えて、製品と顧客仕様との整合性の検証に関係する要求事項が含まれるこのプロセスは、顧客に代わって適切な資格を有する人が実施することがあるが、こうした要求事項の決定及び規定は顧客の責任である。そのため、生産プロセス以外に、しばしば、計量に関する深い知識が要求されることがある。CMRには、悪い測定のリスク並びに、それが組織及び事業に及ぼす影響を考慮することが望ましい。CMRは、最大許容誤差、運転制限値などによって表される。CMRは十分に詳細なものにして、意図した用途に従って特定の測定機器が規定の変数又は数量を管理、測定若しくは監視することができるかどうかを、計量確認プロセスの操作者が明確に決定できるようにすることが望ましい。」との記述がある。言い換えると、顧客からの要求に基づき製品を提供する場合は、顧客の要求事項を計量要求事項に置き換えればよい。しかし、顧客の限定がなく広く製品を提供するような場合は、製品目標を顧客要求事項に置き換えると計量要求事項を決定しやすくなる。測定プロセス設計において、製品機能を保証するための計量要求事項を明確にし、そのパフォーマンス特性を定量化したことがこれにあたる。

(例)

製品は、バックドア内にクリップにて取り付けられることから、穴位置がずれると、トリムが取り付けられないやトリムが変形するなどの不具合が発生することから、取り付け穴位置の精度が重要である。穴位置精度を計量要求事項（顧客要求）とした。よって、穴位置 $12 \pm 0.5\text{mm}$ が、パフォーマンス特性である。この計量要求事項に適合する測定機器及び手順を次のようにした。

(例)

計量要求事項のパフォーマンス特性は、穴位置 $12 \pm 0.5\text{mm}$ であることから、次の計測工程を設計した。

- ・設備 : 測定機器は、ノギスとする
- ・方法 : 基準位置から穴位置までの寸法を抜き取り検査にて手動で測定する
- ・材料 : 変形による寸法に影響を与えない 0.98N 以下の測定力とし、検査温度は $5 \sim 35^\circ\text{C}$ 内とする
- ・人 : 製造工程の作業者とする

計測が要求する精度は、製品規格の $1/3$ の 0.16mm であることから、製品規格の $1/5$ にあたる「測定範囲： $10 \sim 14\text{mm}$ ，精度： 0.10mm 」の測定機器を選定することとした。これより、測定範囲： 150mm ，目量： 0.05mm ，器差： 0.07mm のノギスを選定した。

2) 測定機器計量特性 (MEMC)

付属書Aには、「しばしば、MEMCは校正（又は数回の校正）及び/又は試験によって決められるので、計量確認システム内の計量機能が、こうした必要な活動を規定し、管理する。校正プロセスのインプットは、測定機器、測定規格及び環境条件を明記した手順である。校正結果には、

測定の不確かさに関する記述を含めることが望ましい。これは、その機器を使用する測定プロセスの中で測定の不確かさを評価するときの、インプットとして重要な特性である。校正結果は、計量確認システムの中での適切な方法、例えば、校正証明書又は校正報告書（校正を外部に委託した場合）によって、若しくは校正結果の記録（組織の計量機能内ですべてを実施した場合）によって、文書化すればよい。例えば、測定の不確かさのような測定の重要特性は、測定機器だけでなく、環境、特定の測定手順、またときには、操作者の技能及び経験にも依存する。そのため、要求事項を満たす測定機器を選定する場合は、測定プロセス全体を検討対象とすることがきわめて重要である。具体的な活動は組織が実行しても、又は単独も計量専門家のような適切な有資格者が実行してもよいが、この検討事項は組織の計量機能の責任である。」

言い換えると、CMR で選定された測定機器の校正を、どのような校正方法で、どの範囲内で（測定規格）、どのような校正環境で行うかを文書化することが必要である。その中で、校正時の測定の不確かさ（校正の不確かさ）は、製品測定の不確かさに、とりわけ重要な要素を占めるで、適切に用いることが重要である。なお、校正の不確かさは、ISO/IEC 17025 取得の校正機関を活用すれば、容易に入手することができる。

（例）

選定された、測定範囲：150mm、器差：0.07mm のアナログ式ノギスの測定機器計量特性(MEMC)の手順を次のように決めた。

a) 校正手順

ノギスの校正は、0 級ブロックゲージを用いて、0 点及びフルスケール点を含む 5 箇所以上の点について校正

b) 校正規格

±0.07mm

c) 校正環境

温度 20±2℃、湿度 85%以下

d) 校正の不確かさ

校正の不確かさをバジェットシートにより算出

e) 校正周期

ノギスの校正周期は、メーカー推奨である 1 ヶ年を設定

（例）

ノギスの校正は、JCSS 校正を受けた 0 級ブロックゲージを用いて行った。校正結果は、最大値が +0.05mm で、前回の校正結果と同じであった。この校正結果は、測定機器の校正規格±0.07mm であることを確認できたので、校正証明書（成績書）を発行し、校正結果を管理台帳に記録した。このノギスの校正周期は、1 ヶ年なので、次回の有効年月を表示した有効期限ラベルを貼った。

3) 校正周期の見直しへの活用

測定機器の校正結果を診て、適正な校正周期見直しへ繋げることが必要である。

例えば、測定機器の仕様に対して、その測定機器が持つ能力（精度）が十分であると認められる場合は、校正周期を延長することも可能である。

① 測定機器仕様 > 実際の能力（校正結果）が十分な場合 : 校正周期の延長

② 測定機器仕様 < 実際の能力（校正結果）が不十分な場合 : 校正周期を短縮

仮に今回の測定機器において校正結果を検証してみると、今回の校正結果は、+0.05mm であることから当初の測定機器が必要な 1/5 以上の精度 0.1mm に対して、1/10 以上を確保できていることになる。また、前回及び前々回の校正結果をみてもこの測定機器の校正結果が同じであることか

ら、校正周期を現状の1ヵ年から2ヵ年へ延長しても問題ないと判断したので、校正周期選定表で校正周期延長の手続きをし、周期延長を実施することも可能である。

3.5.3 終わりに

ISO 10012 計測マネジメントシステムは、従来から日本の計量関係者が推進してきた計量管理そのものである。グローバル社会を迎えた現在における、まさに計量計測管理のあるべき姿である。「計測が品質を造り・改善する」モノづくりを支える日本の計量計測管理を、世界の先頭に立って推進していけるように積極的に活動していくためには、これまで先人の先輩達が行われてきたことを“愚直に・地道に・徹底的に”やることであると痛感している。なお、今回事例で紹介した「計量確認及び測定プロセスの実現」のフローを図6に示す。日本人の国民性上、計量計測管理を表舞台に立たせることはあまりないが、現在の日本産業を支えているのは、計量・計測管理そのものであることは間違いないと確信している。

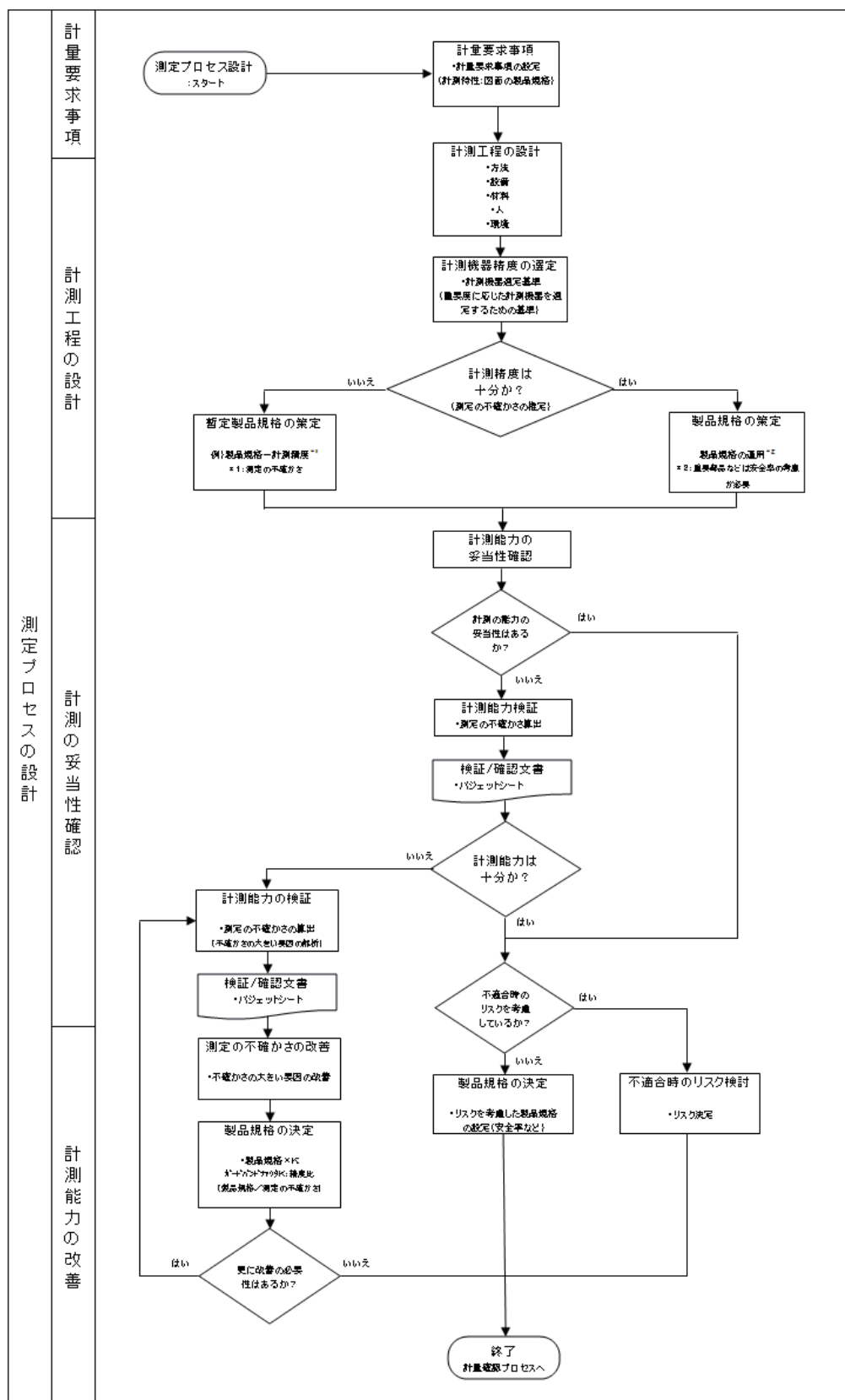


図5 計量確認及び測定プロセスのフロー図

3.6 電気機器検査工程における合否判定基準の決め方事例

株式会社 山武

3.6.1 精度比とリスクから検査の合否判定基準を決める方法

私たちが生産し、出荷している製品が“製品規格に適合している”と宣言する場合、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。

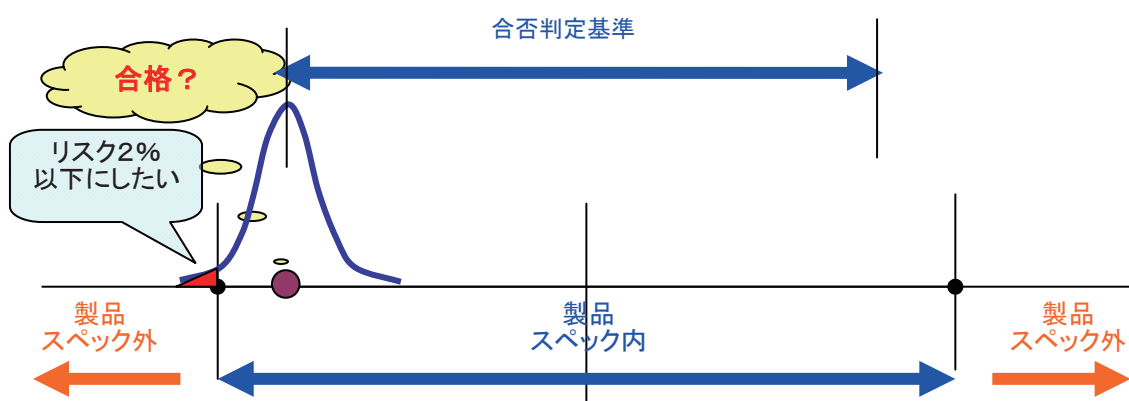


図1 仕様の際に測定結果があった場合のリスクのイメージ

“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 合否判定基準は、図 3 を利用し、精度比とリスク 2 %から合否判定基準を決める。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 を合否判定基準と定めることになる。 図 2 参照。

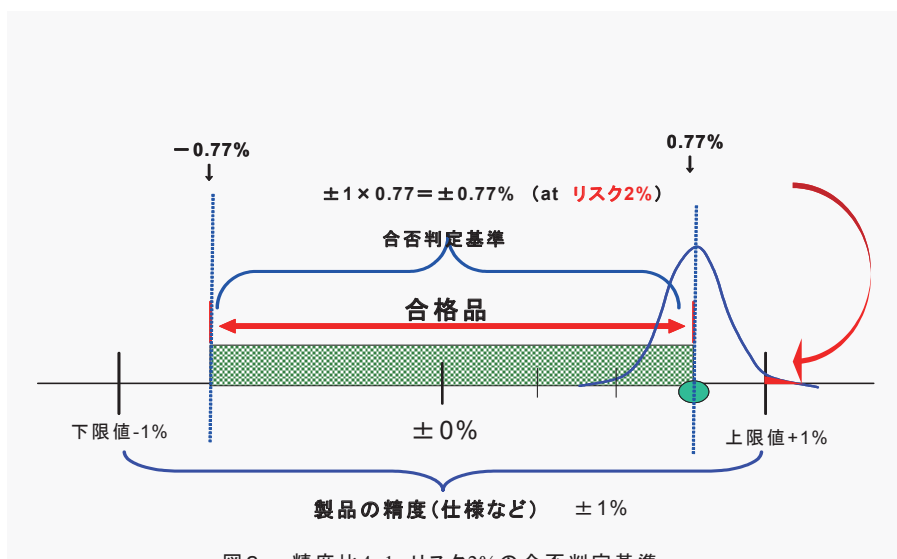


図2 精度比4:1 リスク2%の合否判定基準

2% Risk、精度比=4:1 ⇒ K=0.77

測定対象が『一様分布』の場合

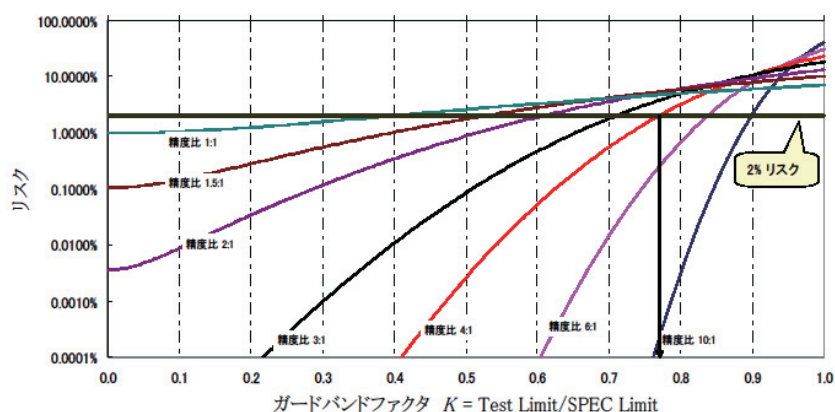


図3 合否判定基準の選定グラフ(1:1~10:1)

* 「現場技術者のための計測技術入門」 P 161 引用

合否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、合否判定基準が決定

この方法で決めた合否判定基準に従って「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。社内の標準として、「工程設計基準」にこの考え方を定め、教育し運用を開始した。

3.6.2 計測機器の校正における合否判定基準

「製品の精度」と「検査に使用する計測器」の精度比を4:1以上とすることを推奨し、測定の不確かさを考慮して合否判定をするのと同様に、計測機器の校正においても「検査に使用する計測器」と「校正に使用する標準器」の精度比を4:1以上とすることを推奨・

使用し、運用上の合否判定基準を 0.75 に設定し、これに外れる場合は、調整できる計測器は調整することとした。これにより、検査に使用する計測器は確実にその精度内であると言える。

社内標準として、「計測機器管理標準」に定め、運用している。

計測機器の校正

検査に使用する 計測器の精度	:	校正に使用する 標準器の精度
4	:	1 以上を推奨
合否判定基準 0.75に設定 (外れるものは調整 : 当社の運用例)		



製品の精度	:	検査に使用する 計測器の精度
4	:	1 以上を推奨
グラフより合否判定基準を設定		

製品の検査
(測定プロセス)

3.6.3 実際の製造プロセスでは「不確かさ」よりも「精度」の方が安全で便利

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、キッチンと管理された（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、「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品質を確保する方法を紹介した。

実際の製造プロセスでは、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」を使う方が安全で便利である。

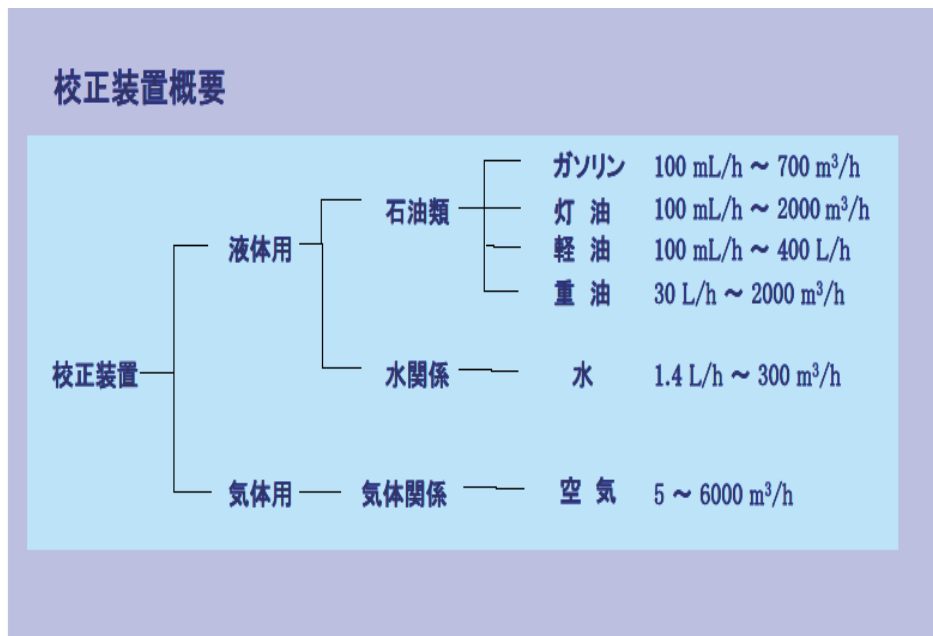
3.7 流量計における精度管理基準について

株式会社 オーバル

3.7.1 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。



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、
の中で当社の試験方法は下記のようになる。

**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。

3.7.2 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

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

$\overline{Q_{FM}}$: 被校正流量計を通過する試験液の質量流量 (kg/s)

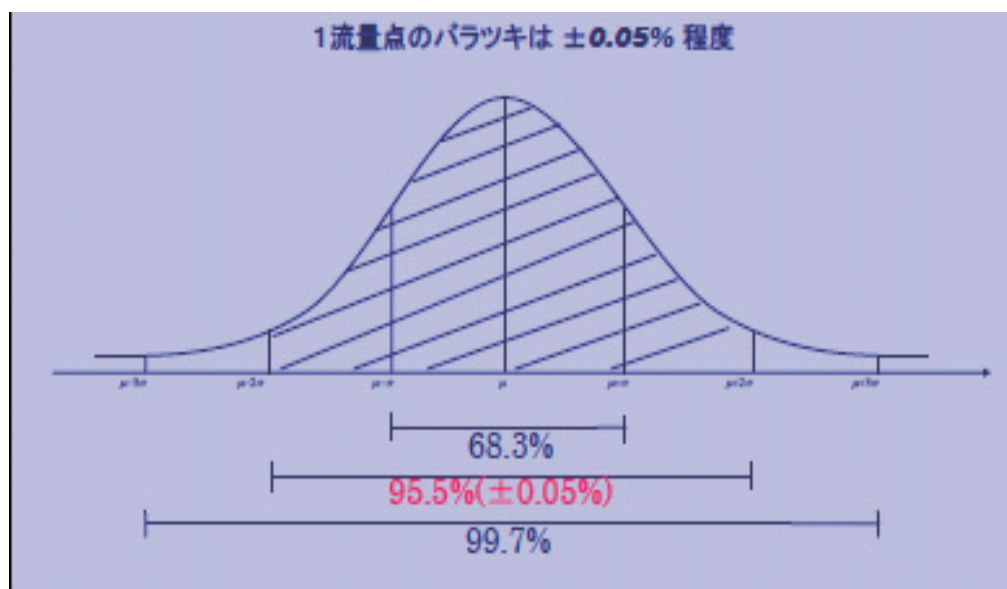
$\overline{Q_{ST}}$: マスターメータを通過する試験液の質量流量 (kg/s)

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。

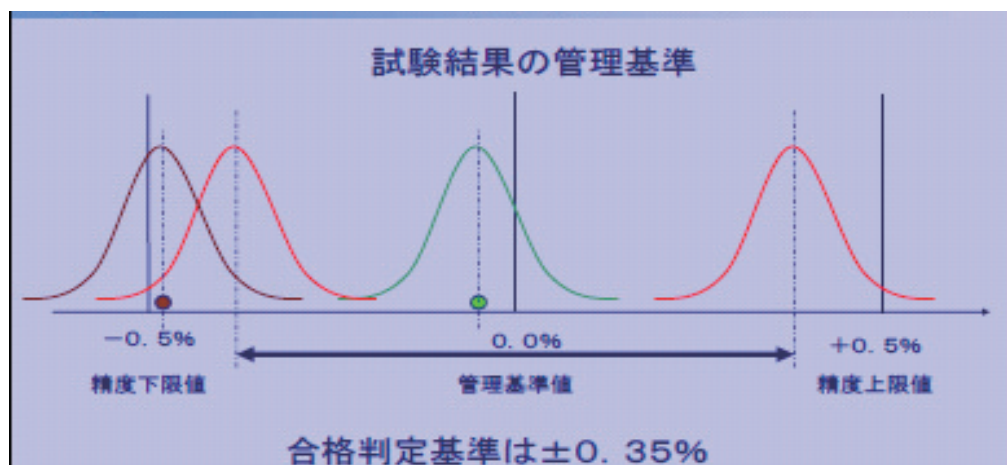
一般的な流量計の試験では、3 ポイントの流量観測点で実施し、1 流量観測点でのデータのバラツキは±0.05%程度となる。



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。

3.8 圧力計における不確かさの評価活用事例

長野計器株式会社

3.8.1 はじめに

長野計器では、圧力計及び圧力センサを中心にした圧力計測機器、制御用機器を主力製品として製造している。製品の中には圧力計の校正において標準器として使用される、重錘形圧力計、精密圧力計がある。また、JCSS 校正事業者として、登録されており、圧力計の校正事業も行っている。

圧力の標準については、図1に示す標準供給体制を構築して、トレーサビリティを確保している。圧力測定機能の測定以外の、電気的特性、寸法等の測定における不確かさの導入について報告する。

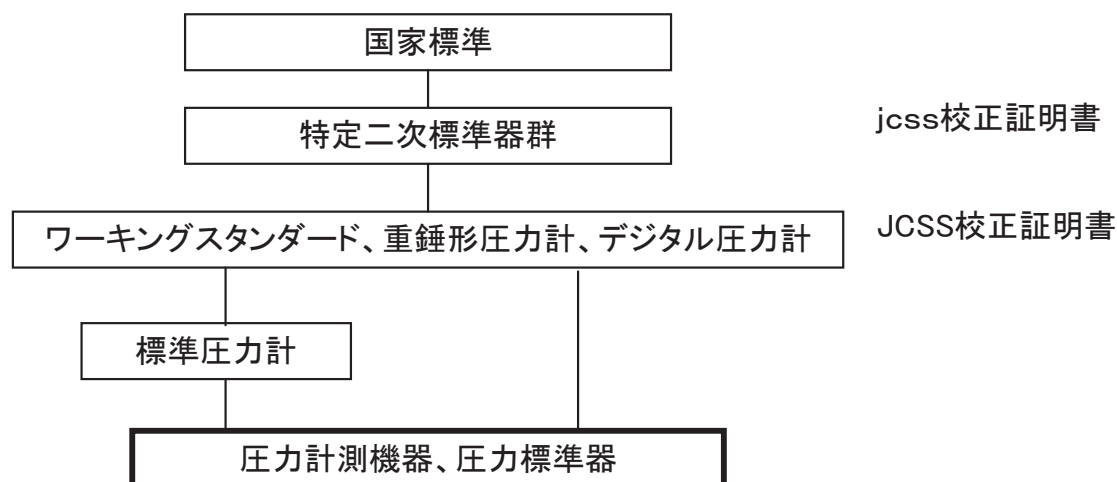


図1 圧力標準供給体制

3.8.2 計測機器の校正における不確かさ

(1) 一般の圧力計測機器の検査における不確かさの導入状況

当社の主要製品である圧力計、圧力センサ、圧力スイッチ、温度計、温度スイッチ等の圧力・温度計測機器の検査において、最も重要な機能である圧力及び温度の計測特性、すなわち圧力・温度表示精度、圧力・温度—電流(電圧)変換精度の検査は、製品の計測特性を校正によって明らかにし、標準の値との差が規格値以内であるかで判定している。

この判定には使用する圧力・温度標準器の精度、製品の繰り返し性、製品の調整能力を考慮して、規格値に対してガードバンドを設定している。特別な場合を除いて校正の不確かさを圧力の計測精度の合否判定には使用していない。製品の圧力・温度計測機能以外の機能の測定、例えば寸法測定についても、不確かさを考慮した合否判定は行っていない。

(2) 検査用機器における不確かさの導入状況

圧力及び温度標準器を含めて社内で使用している計測機器は、社内又は専門業者において校正を行っている。図1で示すように、圧力の標準については、上位の標準器においてJCSS校正を行っている。検定品を除いて、製品精度が1%F.S.~2.5%F.S.の製品の調整、検査に使用する標準圧力計はJCSS校正ではなく、JCSS校正された上位の標準器で校正をして所定の精度を維持できているかの評価を行っているが、校正の不確かさの評価は行っていない。

ただし、JCSS校正を行っていない標準器においても、計測特性値の測定は繰り返し測定を行っており、校正の不確かさを評価する必要がある場合は、校正の不確かさを評価できるように、データを取得している。また、使用時の不確かさについては準備段階で、要因を分析して使用時の不確かさ評価の基準及び、不確かさを推定する基本式を設定している。

製品を評価する主な計測機器は、重錘形圧力計、高精度デジタル圧力計等の圧力標準器、電流電圧測定に用いるデジタルマルチメータ、ノギス及びマイクロメータ等の長さ計である。

デジタルマルチメータ等電圧、電流測定用の電気計測機器については、外部の専門業者に校正を依頼している。これらの計測機器の使用時の不確かさについては、要因を分析して使用時の不確かさ評価の基準及び不確かさを推定する基本式を設定している。この使用時の不確かさ評価は、教育を主として社内計測機器の校正を行う部門で、電気計測機器の校正の不確かさ及び使用時の不確かさの評価について教育を行っている段階である。

これらの電気計測器の測定値の不確かさの主な要因としては、計測機器の校正の不確かさ、計測機器の経時変化、計測機器の使用時に発生する不確かさ（温度係数、姿勢差等）、被測定器の繰り返し性、被測定器の測定時に発生する不確かさ（温度、姿勢差等）を考慮している。

その他の計測機器については定期校正又は定期点検を行って、その校正值又は点検結果から合否判定を行っているのみで、計測機器の校正の不確かさ及び、その計測機器から得られた測定値の不確かさの評価は行っていない。

3.8.3 JCSS 校正品の不確かさの活用

(1) 校正值の不確かさ

JCSS 校正を行う製品については、校正において推定した不確かさを基に製品の合否判定を行っている。

圧力計の不確かさの要因としては、標準器の不確かさ、被校正器の繰り返し性、校正環境（取り付け姿勢、温度誤差）に関わる不確かさ、表示分解能等がある。これらの不確かさ要因を合成して、拡張不確かさを求め、不確かさを含めて規格値に以内であることを、合格条件としている。

校正值および校正值の不確かさ評価の例としてバジェット表を表1に、校正值、不確かさ、許容範囲の関係を図2に示す。

単位 kPa					
表示値(MPa)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
標準器の不確かさ	0.0079	0.0125	0.0185	0.0246	0.0308
繰り返し性	0.15	0.12	0.15	0.1	0.12
校正環境による不確かさ	0.15	0.16	0.17	0.19	0.21
表示分解能	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
標準不確かさ	0.36	0.35	0.37	0.36	0.38
拡張不確かさ	0.72	0.70	0.74	0.72	0.75
校正值（昇圧）(MPa)	0.4000	0.7990	1.1990	1.6000	2.0010
校正值(降圧)(MPa)	0.3995	0.7980	1.1975	1.5990	2.0010
合格範囲	0.4±0.005	0.8±0.005	1.2±0.005	1.6±0.005	2±0.005

表1 圧力計の校正結果と不確かさの評価例

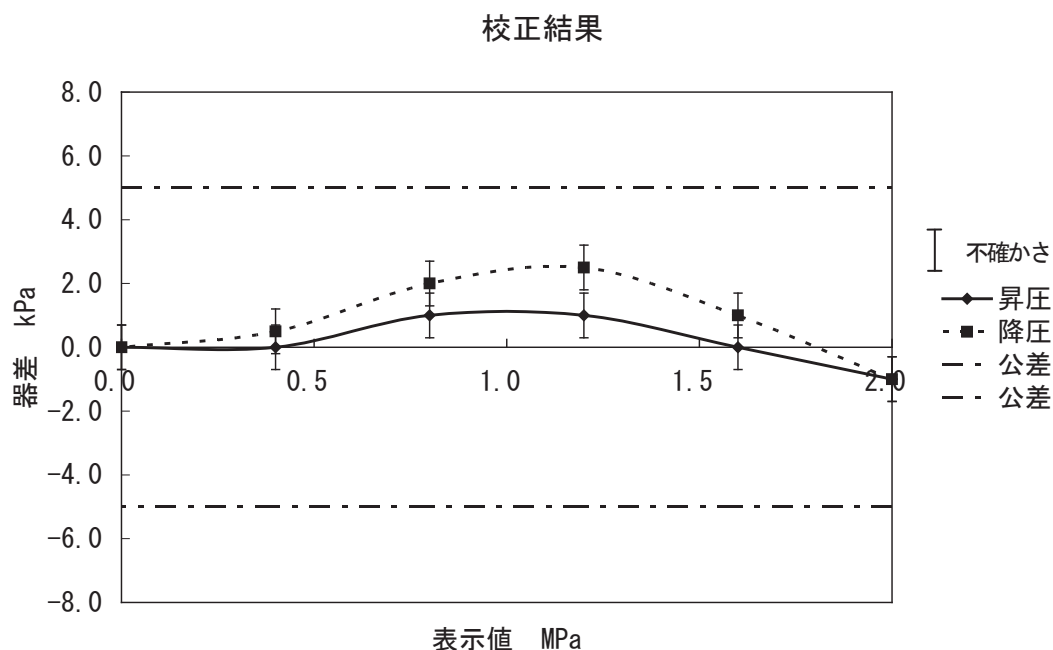
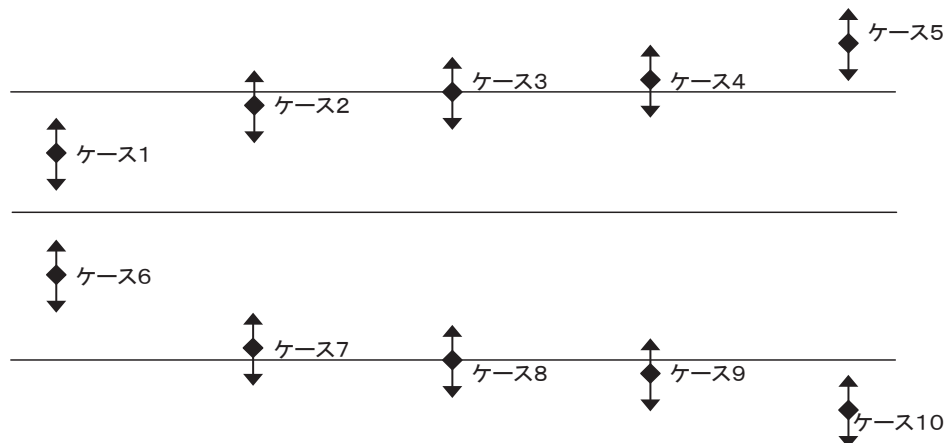


図2 圧力計の校正結果と不確かさ

(2) 合否判定基準への不確かさの反映

合否判定の基準は、ILAC G8 : 1996 (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) の判定基準を採用している。この指針では、測定値、不確かさ、合否判定基準の関係をケース 1~10 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3に示す。



ケース 1、6 : 製品の適合を宣言できる。

ケース 2、7 : 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、8 : 製品の適合も不適合も宣言できない。しかし信頼水準 95 % 以下が容認でき、仕様限界が $\leq$ で定義されるなら、適合の宣言は可能かも知れない。

ケース 4、9 : 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 5、10 : 製品の不適合を宣言できる。

図3 ILAC G8 仕様への適合判定の基準

当社ではこの指針のケース1及びケース6に該当する場合を合格としている。図2においては、不確かさの範囲を含めて上下の一点鎖線の内側に入っていることが合格条件となる。

JCSS 校正を行った圧力計については、不確かさを評価してあるので、校正值と不確かさを考慮して合否判定を合理的に行うことが可能である。

3.8.4 不確かさ導入の課題

不確かさを考慮して製品の合否判定を行うことは、全ての製品でJCSS 校正を行った製品の様に、校正值の不確かさを評価することが必要となる。現状においては、校正值の不確かさの評価を全ての製品について行うことは、製品の繰り返し性、温度特性等の不確かさに影響する要因の特性が製品毎に異なるので、これらの特性をJCSS 校正のように製品個々に評価することは非常に大変である。

製品の合否判定に不確かさを導入するためには、製品の計測特性の測てにおける繰り返し性、温度特性、標準器の使用時の不確かさ、検査員の校正能力、検査環境等から、製品の製造工程の能力としての不確かさの評価方法を確立することが必要となる。

このためには、使用する標準器及び計測機器の特性、検査員の能力、検査環境の不確かさへの影響評価は事前に評価を行い、製品の製造工程毎に製造工程の不確かさへの影響を設定しておくが必要となる。製品の繰り返し性、温度特性等の製品特性の影響は、製造工程における製品の特性評価、製品の事前評価により設定することが必要となる。これらの評価から、製品の検査時の校正值の不確かさを評価し、校正值及びその不確かさから製品の合否判定を行うことも可能と考えられる。

しかし現状では標準器の精度と製品を調整する工程の工程能力を考慮してガードバンドを設定し、製品の合否判定を行っている。製品の精度に対して標準器の精度が、製品の校正の不確かさの主要因である場合には、校正の不確かさを個々に評価して合否判定を行った結果と、ガードバンドを設定して合否判定を行った結果とでは、大きな相違がないことが予想される。

製品の精度に対する標準器以外の測定系の影響による校正の不確かさが、標準器の精度に対して無視できないほど大きい場合は、校正の不確かさを評価する方が、合理的な判定ができる。このため、全ての製品の合否判定に不確かさを考慮するのではなく、標準器の精度、測定系の影響による不確かさを比較して、合否判定に不確かさを考慮するか否かを決定することを検討していきたい。

3.9 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

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、分析制度管理・工程管理等に用いられている。また近年、計測分野における測定の信頼性への関心が高まり、化学分析においても「データの信頼性」が重要なキーワードのひとつとなっている。更に、現在の化学分析の主流となっている機器分析では、標準物質の信頼性が「データの信頼性」に影響を与える重要な因子と考えられる。

関東化学㈱は、計量法トレーサビリティ制度（Japan Calibration Service System：JCSS）の登録事業者として国家標準にトレーサブルな pH 標準液や金属標準液など 48 種類、70 品目を供給している。

特に測定対象物質が増加する中、分析手法として多成分一斉分析が採用されていることから、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。

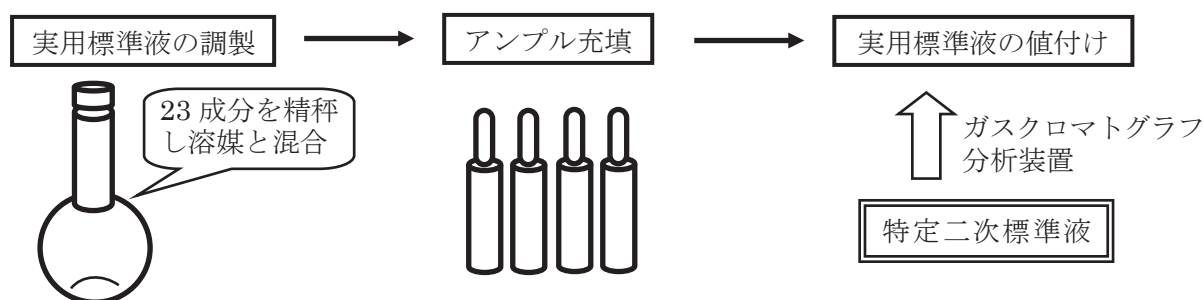
揮発性有機化合物 23 種混合標準液の JCSS 登録の詳細を〔表－1〕に示す。

表－1 揮発性有機化合物 23 種混合標準液の校正範囲及び最高測定能力（3/3）

校正手法の区分の呼称	種 類	成 分	校正範囲	最高測定能力 ($k=2$)
濃度 (pH 標準液以外の標準液)	揮発性有機化合物 23 種混合標準液 (メタノール溶媒)	1,1-ジクロロエチレン	1000 mg/L	1.4 %
		ジクロロメタン	1000 mg/L	0.9 %
		<i>trans</i> -1,2-ジクロロエチレン	1000 mg/L	0.9 %
		<i>cis</i> -1,2-ジクロロエチレン	1000 mg/L	0.8 %
		クロロホルム	1000 mg/L	0.7 %
		1,1,1-トリクロロエタン	1000 mg/L	0.8 %
		四塩化炭素	1000 mg/L	0.8 %
		ベンゼン	1000 mg/L	0.8 %
		1,2-ジクロロエタン	1000 mg/L	0.8 %
		トリクロロエチレン	1000 mg/L	0.7 %
		1,2-ジクロロプロパン	1000 mg/L	0.7 %
		ブロモジクロロメタン	1000 mg/L	0.7 %
		<i>cis</i> -1,3-ジクロロプロペン	1000 mg/L	2.6 %
		トルエン	1000 mg/L	0.7 %
		<i>trans</i> -1,3-ジクロロプロペン	1000 mg/L	3.5 %
		1,1,2-トリクロロエタン	1000 mg/L	0.8 %
		テトラクロロエチレン	1000 mg/L	0.7 %
		ジブromクロロメタン	1000 mg/L	0.8 %
		<i>p</i> -キシレン	1000 mg/L	0.8 %
		<i>m</i> -キシレン	1000 mg/L	0.8 %
		<i>o</i> -キシレン	1000 mg/L	0.7 %
		トリブromメタン	1000 mg/L	0.8 %
		1,4-ジクロロベンゼン	1000 mg/L	0.7 %

1) 値付けの工程

揮発性有機化合物 23 種混合標準液の値付けまでの工程を以下に示す。



2) 不確かさの要因

不確かさの要因は以下の 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。

- ① 特定二次標準液の不確かさ
- ② 特定二次標準液の安定性の不確かさ
- ③ 原料（混合する 23 成分）の不純物による不確かさ
- ④ アンプルの均質性の不確かさ
- ⑤ 実用標準液の値付けの不確かさ

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。



〔図. 1〕 ガスクロマトグラフ分析装置

3) 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〔図. 1〕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。（ $n=3$ ）

尚、23 成分を同時に分離測定できる条件がないため、2 種類の分離カラムを使用し、2 条件（20 成分と 3 成分）にて測定を実施した。測定により得られたクロマトグラムを〔図. 2〕に示す。

4) 不確かさの算出

揮発性有機化合物 23 種混合標準液の不確かさの算出例を以下に示す。

- 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_2^*

揮発性有機化合物 23 種混合特定二次標準液の不確かさは、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}

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_3

23 成分について、各々単一の標準液を調製したものを同条件でガスクロマトグラフ分析を行った。そして他の成分とピークが重なる不純物を定性し、原料より混入する不純物量として異物質若

しくは未定性物質の含量を、濃度に対する百分率(%)とした。さらに得られた結果を矩形分布として、不純物の不確かさを算出した。

参考として、*cis*-1,2-ジクロロエチレン中の不純物測定におけるクロマトグラム例を[図. 3]に示す。

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 回濃度を測定した。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。アンプル間の不偏分散を V_A 、アンプル内の不偏分散 V_B とすると $u_{h3}^2 = (V_A - V_B) / 2$ となる。但し、この式から得られる値 u_{h3}^2 が負になる場合は、均質性の不確かさをゼロとした。

1,2-ジクロロプロパンの均質性の不確かさの算出例を以下に示す。

測定データ (mg/L)		
測定 No.	測定回数	
	1 回目	2 回目
1	1001.2	999.1
2	1004.1	1002.8
3	1004.5	1003.3
4	1002.4	1000.9
5	1002.6	999.3
6	997.9	1003.5
7	1002.1	1002.1
8	1001.7	1001.3
9	1007.5	1001.5
10	1001.1	997.9
総平均		1001.8

1,2-ジクロロプロパンの分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散
アンプル間(V_A)	49.74097	9	5.526775
アンプル内(V_B)	49.02581	10	4.902581
合計	98.76678	19	

1,2-ジクロロプロパンの均質性の不確かさ $u_{h3} =$

$$\frac{\sqrt{(5.526775 - 4.902581) / 2}}{1001.8} \times 100 = 0.06\%$$

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 $u_{m3 \square}$

特定二次標準液による実用標準液の値付けの不確かさは、20 回の繰り返し測定を行い、得られた標準偏差を用い、固有の値付け回数(この事例は $N_m = 3$)における不確かさを算出した。

$$u_{m3 \square} = 100\sigma_m / (\bar{x}_{m3} \cdot N_m^{1/2})$$

σ_m : 20 回の繰り返し測定の標準偏差

$\bar{x}_{m3}$: 値付け濃度 (20 回の平均値)

N_m : 揮発性有機化合物 23 種混合標準液の値付け回数

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

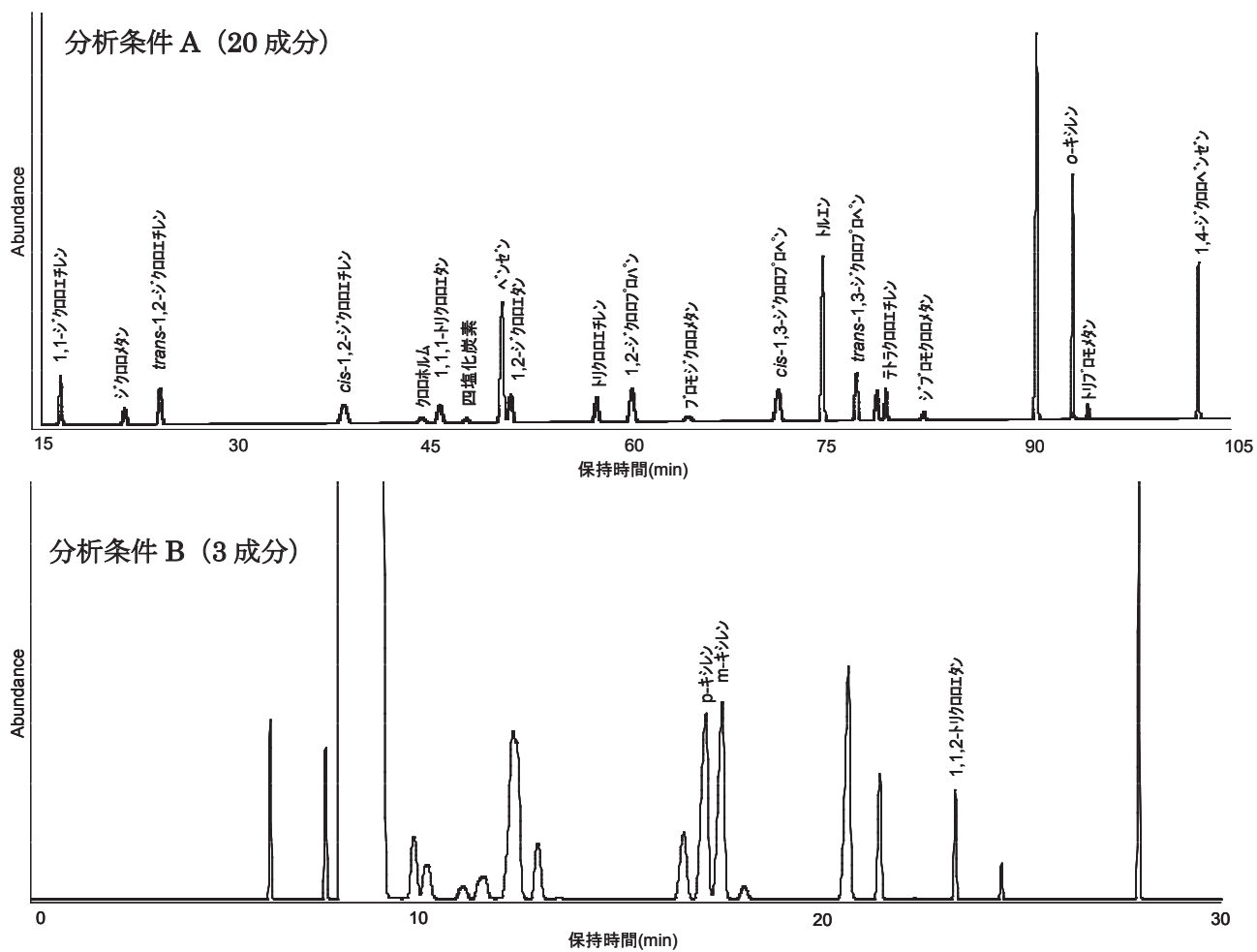
①～⑤の各要因をもとに、不確かさの伝播則に従って実用標準液の不確かさを算出した。尚、拡張不確かさは、合成標準不確かさに包含係数 $k=2$ を乗じ、小数点第二位を切れ上げた。

$$U^*_3 = 2u^*_3 = 2(u_{2^2}^2 + u_{s2}^2 + u_{\beta^2}^2 + u_{h3}^2 + u_{m3 \square}^2)^{1/2}$$

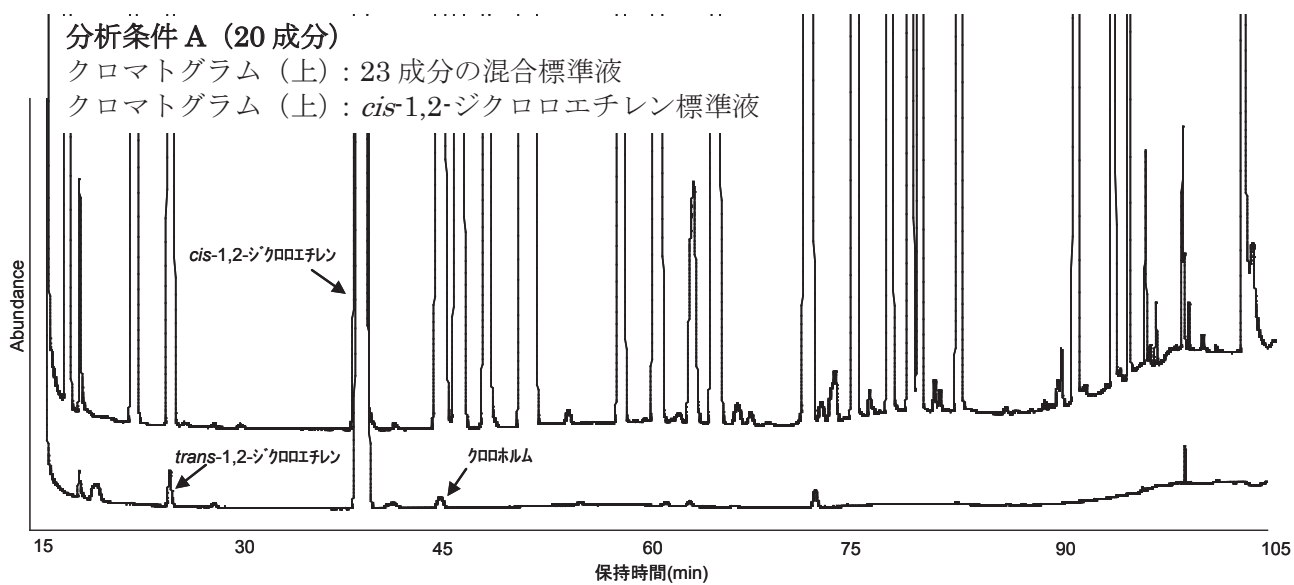
各成分の不確かさ、合成標準不確かさ及び拡張不確かさの算出例を[表-2]に示す。

[表-2] 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	$u_{2^2}(\%)$	$u_{s2}(\%)$	$u_{\beta}(\%)$	$u_{h3}(\%)$	$u_{m3 \square}(\%)$	$u^*_3(\%)$	$U^*_3(\%)$
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	0.1	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



〔図. 2〕 測定結果のガスクロマトグラム



〔図. 3〕 原料中の不純物測定例 (*cis*-1,2-ジクロロエチレン)

3.10 放射線診断における測定の不確かさの導入

独立行政法人産業技術総合研究所

3.10.1 はじめに

医療におけるがん治療は主要な放射線利用のひとつであるが、脳腫瘍などの外科的に治療できないような腫瘍に対しては透過性の高い γ 線をピンポイントで集中照射することでがん細胞を死滅させる。また、前立腺がんのように術後の生活の質が大きく損なわれる場合には、ヨウ素125（以後、 ^{125}I という）のような半減期の短い（59日）低エネルギー γ 線源（30 keV）を図1に示した小さなカプセルにつめて、がん細胞部分に埋め込む放射線治療も行われている。このような低エネルギーの γ 線は透過性が低いので、周りの臓器に影響することなくがん細胞のみを攻撃できる利点がある。

^{125}I の永久留置（線源を計50～100個留置）による小線源療法は、前立腺がんに対する放射線治療として、アメリカではすでに15年以上前から行われ一般的な治療として既に確立されている。最近ではアメリカで年間50,000人以上がこの治療を受け、この数は手術（前立腺全摘除術）を受ける人とほぼ同数である。

日本では2003年3月によりやく ^{125}I 線源の永久留置が医療法上認可され、2003年7月からこの治療が施行可能になった。現在、日本では全国の約10施設でこの治療が施行されている¹⁾。



図1 ^{125}I 密封小線源の形状¹⁾

3.10.2 標準の必要性

日本国内において過去の症例との比較や病院間での比較、さらには外国との比較が出来るには、吸収線量測定の標準が統一されなければならない。一般的な密封小線源については吸収線量の標準的な測定方法が定められている。 ^{125}I 密封小線源についても、財団法人癌研究会癌研究所を中心とした国内医療機関において、基準位置での空気カーマを用いて吸収線量の標準を統一しようとしており日本では独）産業技術総合研究所（以後、産総研という）もこれに協力している。しかし、医療機関の自主的な相互比較では限界があり、且つ国際的な整合性の維持の観点からも国家標準を確立することが求められている。

3.10.3 ^{125}I 密封小線源の校正

埋め込み治療で使用する ^{125}I 密封小線源の放射能は1個あたり10 MBq程度である。図2左側に示した産総研既存の平行平板型では出力電流は10-17 A 程度となり測定は見込めない。放射能については、井

戸形NaI (Tl) シンチレーション検出器を用いたサンプイク法による放射能測定の上限は高々0.2MBq であるため、埋め込み治療で使用される線源の放射能10 MBqはそのままでは校正出来ないことになる。さらには、加圧型電離箱を用いた相対測定により放射能の校正を行う場合は線源容器の影響のため、極めて大きな不確かさが懸念されていた。

そこで新たに開発した図2右側に示した薄膜対向型は微弱な線量率まで測定可能な高感度標準器をある。その主な特徴は入射放射線ビーム上にある薄膜電極が対向させたことによって電荷収集領域が飛躍的に大きくなったことである。しかし、それでも ^{125}I 密封小線源で測定できる電流は $1.0 \times 10^{-14}\text{A} \sim 4.0 \times 10^{-14}\text{A}$ 程度ととても微小である。このような微小電流の安定な測定はことさら難しいことから、微小電流測定環境の最適化を図った。そのことによって、 ^{125}I からの線量率を絶対測定できるただ一つの測定器であって、微弱な線量率に対して諸外国よりも高感度な測定環境が整備できたことになる。この標準器の開発によって、医療現場の不確かさの要求（目安の不確かさ15%）、校正機関の不確かさ5%、国家標準の不確かさ2%が可能になるであろう。

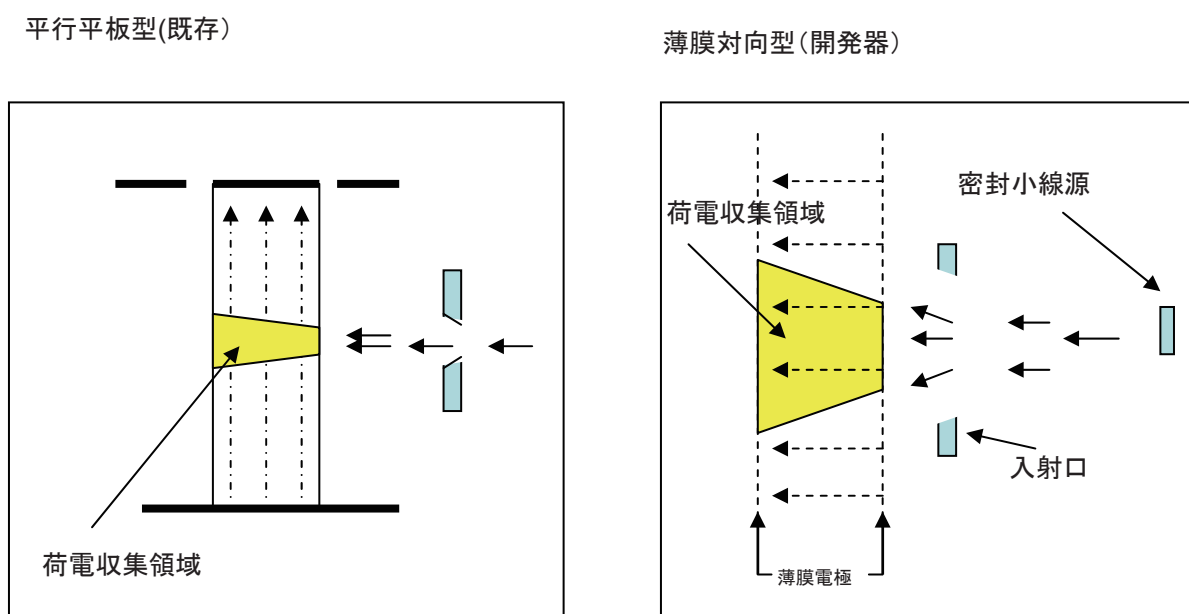


図 ^{125}I からのX線およびγ線による空気カーマ率測定装置²⁾

3.10.4 NIST での取り組み

NIST は現時点（1996年）において埋め込み治療用の ^{125}I 密封小線源の空気カーマ率の標準供給を行っている唯一の機関である。20年以上前から標準供給を行っており、現在の校正能力は線源から1m の距離に換算した空気カーマ率で $1.4 \times 10^{-10} \sim 2.8 \times 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲について、拡張不確かさ（ $k=2$ ）2%である。X線の国家標準を使用して空気カーマ率で校正した密封小線源校正専用の電離箱を維持しており、この電離箱を用いて ^{125}I 密封小線源の基準位置での空気カーマ率を校正している。当初は有効体積 5.5 cm^3 の比較的小型の電離箱を使用していたが、1999 年に有効体積 704 cm^3 の大型電離箱に変更して感度を100倍高めた。

NIST で使用されている大型電離箱は線源から規定面までの距離は30cmで使用し、検出器外形は底面の半径125 mm×高さ182 mmの円筒形をしており、入射窓がカソードの役割を果たし、検出器の有効領域を挟んだ反対面をガード電極で囲んだアノードとしている。カソード・アノード間距離は41mm から182

mm まで可変で、散乱の影響を評価出来るようになっている。線源と電離箱の間にはアルミ板を挿

表1 補正項目及び不確かさ (K=1) の算出³⁾

項目	相対不確かさ(k=1)	
	A タイプ	B タイプ
正味の出力電流	S* ¹	0.06
W 値		0.15
空気の密度		0.03
線源から規定面までの距離		0.24
電離箱の有効体積		0.01
半減期補正		0.02
電離箱での再結合補正		0.05
アルミフィルターでの減衰補正		0.61
規定面から電離箱までの空気の減衰補正		0.08* ²
線源から規定面までの空気の減衰補正		0.24
線源の広がり補正		0.01
湿度補正		0.07
電離箱内で散乱そ手測定にかかる X 線、 γ 線の補正		0.07
線源支持具の散乱補正		0.05
電離箱内での二次電子の損失の補正		0.05
入射窓枠透過の補正		0.02
電離箱外で散乱して測定にかかる X 線、 γ 線の補正		0.17
小計	$\sqrt{(s^2+0.11^2)}$	0.754
総計	$\sqrt{(s^2+0.762^2)}$	

*¹ 正味の平均出力の標準偏差

*² 参照日から 15 日以内の場合

入し、¹²⁵I線源及び線源容器からの低エネルギーX 線が電離箱に達しないようにしている。また測定中は線源の長軸を中心に回転させ、線源容器の壁の吸収等による空気カーマ率の非等方性が測定に影響しないように工夫されている。さらに²⁴¹Amからの α 線を照射して経時変化を確認し、測定に際しては圧力や温度のほか様々な補正を行っている。表1にNISTで使用されている補正項目及び不確かさ要因を示す²⁾。不確かさ要因の中ではアルミ板における減衰の不確かさが最も大きく、その他線源と電離箱の間の距離の不確かさ及び空気による減衰の不確かさの影響が大きい。

3.10.5 X線の標準供給

X線標準に関しては、空気カーマと照射線量の標準をX線のエネルギーに応じて軟X線標準（管電圧10-50 kV）、中硬X線標準（管電圧40-300 kV）として別々に維持、管理および標準供給を行っている。

表 2 X 線の質線指票と測定の不確かさ

	線質指票	管電圧 (kV)	管電流	空気カーマ率	校正距離	測定不確かさ
軟 X 線	QI=0.4	30,40,50	0～30mA	2.5×10^{-8} $\sim 1.0 \times 10^{-2} \text{Gys}^{-1}$	1m	0.7～2.0%
	QI=0.5	20,30,40,50				
	QI=0.6,0.7	15,20,30,40,50				
	QI=0.8	10,15,20,30,40				
	BIPM	10,25,30,50				
中硬 X 線	QI=0.4,0.5,0.6,0.7,0.8	40,50,60,75,100,125,150,175,200,225,250	0.2～15mA	9.0×10^{-9} $\sim 2.0 \times 10^{-3} \text{Gys}^{-1}$	1.2,1.5,2,3,4,5m	1.2～1.5%
	QI=0.9	175,200,225,250				
	BIPM	1,002,135,225,250				
	ISO 線質	40～300				

表1は各標準について利用可能な線質、空気カーマ率、測定の不確かさおよび校正条件について一覧にして示した。X線の標準を軟X線、中硬X線に分けている理由はX線のエネルギーが違いため、光電効果などで生じる二次電子の飛程が大きく違うことに起因している。

X線はX線管と呼ばれる装置で発生させる。X線管では赤熱させたフィラメントから発生する熱電子を40-300 kVの電管電圧と呼ぶ)で加速してやり、タングステンなどの金属標的に衝突させる。金属と衝突した電子は急激な減速により制動放射X線を放出する。このとき放出されるX線のスペクトルは管電圧 V に相当するエネルギーを最高値 ($E = eV_{\text{max}}$) として、光子のエネルギー0まで広範囲に分布する。この連続X線を、アルミ、銅、錫、鉛の薄い板 (フィルターと呼ばれる)に通すとスペクトルの低エネルギー部分は高エネルギー部分に比べて大きく減衰するのでスペクトルを変化させることができる。当然のことながら、管電圧が同じであっても、フィルターの厚さが違えばスペクトルの分布は違ってくる。このようなスペクトルの分布がX線場の特性を決めており、特定のスペクトル分布を線質と呼んでいる。

このようなX線の標準設定により例えば、従来視触診のみで行われていた乳がん検診は2000年度より日本でもマンモグラフィーでの診断が導入されその利用は増加の一途をたどっている。

3.10.6 おわりに

医療現場では放射線治療が欠かすことのできない治療ツールとなってきた。そのため治療現場でのさらなる安心を確保するために放射線標準の供給はその質が求められている。ここでは前立腺がんの患部に¹²⁵I線源を用いる例を挙げながら、そこで使われる放射線線量のより高精度な測定の不確かさ評価がなされてきていることを紹介した。また、胸部、乳がんの検診に不可欠な軟X線用電離箱式照射線量計や中硬X線式照射線量計さらにはγ線用電離箱式照射線量計の標準供給が行われている現状を述べた。

引用文献

- 1) 独) 国立病院機構四国がんセンター

http://www.shikoku-cc.go.jp/guide/class/urology/zenritsusen_shosengen_ryoho/

- 2) 海野泰弘：前立腺がんの安心な治療を支える計測技術、独)産業技術総合研究所 TODAY、(2010-10)
- 3) 柚木 彰：医療用 125I 密封小線源の線量及び放射線標準に関する調査報告、産総研計量標準報告、4-3 (2006-1) 201-210
- 4) 森下雄一郎：周辺および個人線量標準の設定に向けた調査研究、産総研計量標準報告、6-4 (2007-12) 215-223

第4章 測定の不確かさの活用実態に関する企業との意見交換結果

4.1 自動車部品製造業生産における不確かさ導入についての意見交換

ヒアリング担当委員 松田 次郎
山領 泰行
林 正智

- ・実施日時 平成22年12月1日（水） 14:00～16:00
- ・場所 中央精機株式会社豊田事業所 品質保証部
- ・テーマ ディスクホイール寸法測定における不確かさの適用について
- ・出席者 中央精機株式会社品質保証部豊田品質管理室 永坂恭彦室長・高井哲哉主任
委員 松田次郎、山領 泰行、林 正智 事務局 河住 春樹

ヒアリング内容 ディスクホイール寸法測定における不確かさの活用の経緯や内容の確認を行った。

4.1.1 開会

まず名刺交換を行った後、河住 春樹専務理事が挨拶を行った。

4.1.2 中央精機株式会社の概要のVTR紹介

会社の歴史・製品紹介・技術PR・生産設備・製品開発への取り組み・測定精度・品質保証への取り組み・環境への取り組等説明を受けた。

4.1.3 中央精機株式会社における不確かさの取り組みについて（高井主任）

- ①不確かさを工程品質活動の一環として取り組むいきさつ
自動車メーカーの計測管理連絡会で紹介があり、2007年から取組みを開始、品質保証部長の主導で推進している。
- ②工程品質活動の概要として各工程の5M1K（条件・材料・人・設備・金型・工具）の徹底管理
- ③工程品質活動のステップ
品質特性の明確化→管理の見える化→管理の運用→改善・定着
- ④不確かさの要因解析
- ⑤月単位で、品質コスト管理（予防コストを増やしてでも、評価コストと損失コストを減らし全体の品質コストを下げる取り組み）を実施している。
- ⑥測定精度の見える化
（バジェットシートによる解析・解析結果及び注意事項をボードにて展示）
- ⑦不確かさ活用の実用例
（塗装膜厚測定・ナット座回転強度評価・ディスクホイール測定）

4.1.4 質問及び回答

- ① 不確かさの活用の現状についてのQ&A

Q1：製造現場で生産する際に、不確かさを利用しているのか？

A1：品質保証部内で品質管理を行う時に利用している。

Q2：バジェット解析は生産部品ごとに行っているのか？それとも測定器ごとに行っているのか？

A2：測定項目ごとに行っている。

Q3：不確かさ $\leq$ 規格幅の 1/3 で不確かさを活用しているが、1/3 の根拠はどこからきているのか？

A3：不確かさが規格幅の 1/3 以下を満たした結果、工程能力指数が 1.33 という現状から見て不確かさは規格幅の 1/3 以下で十分であるという考え方からきている。

Q4：量産品の不確かさは定期的に見直しているのか？

A4：測定項目ごとに行っているため、計測機器が変わった時、新しい測定項目が出来た時等に行う。見直し時期は社内計測管理規程に織り込んである。

Q5：社内で不確かさの妥当性の検証は行うのか？

A5：妥当性の確認は難しいが、不確かさは最大値を想定しているので大丈夫と考えている。

Q6：最終製品の測定では、不確かさをを用いるのか？

A6：最終工程検査は抜き取りで行い、品質は各工程で作り込んでいる。不確かさは工程検査で算出している。現状では各工程で測定される特性のバラツキの目安として不確かさをを用いるのがメインである。

Q7：ガードバンドは使用しているのか？

A7：一般特性については使用していない。最大を見積もってガードバンドを使用する為、生産がなりたない。標準類への反映等、膨大な工数となってしまう。
特に重要なもの(クレームにつながりかねないもの)はガードバンドを設定している。今後どうするか課題である。

Q8：量産体制の前に工程での不確かさを見積もり工程で品質を作りこむ取り組みはいつごろから行なっているのか。

A8：数年前から取り組んでおり、一部の事例ではその効果を金額で具体的に示すことが出来ている。

②不確かさの算出についての Q&A

Q9：バジェットの要因は、GUM に基づいて考慮しているのか？

A9：主に QC 活動の特性要因図より要因解析をおこなっている

Q10：バジェットシートの個々の数値は、どこで測定した値か？

A10：品質保証部の現業部門で実験してもらってバジェットに数値をいれている。

Q11：実験データの数はいくつくらいか？

A11：データ数は 15 個から 20 個程度

Q12：データのサンプリングはどのようにおこなっているのか？

A12：約 10 カ月の間の時期、繰り返し測定を行っている。また、測定サンプルは測定の難しいものを選んでいる。

Q13：ホイールの測定項目はどれくらいあるのか？不確かさの算出はどの程度終わっているのか？

A13：ホイールの測定項目は 100 項目程度あり、全ての項目の算出は終わっている。

Q14：測定の不確かさへの熱膨張係数の影響はどのように考えているのか？

A14：熱膨張係数が同じぐらいのマスターを使用して比較測定を行い、影響を少なくしている。バジェットの要因へは織り込んでいる。

③社内での不確かさ普及状況についての Q&A

Q15：豊田事業所はどの位人数がいるのか？又計測部門の人数はどのくらいか？

A15：約 500 人で計測部門は 13 人。

Q16：不確かさの教育はおこなっているのか？

A16：計測部門には不確かさの概要を説明している。計算等の処理は品質保証部のスタッフが実施しているのが現状。

④他社との取引における不確かさの使用についての Q&A

Q17：計測器業者選定にも不確かさを用いているのか？

A17：業者選定には社内標準、アフターサービス等から選んでいる。

Q18：他社との取引で不確かさを用いているのか？

A18：他社とのデータ合わせは、各社との相関式等を用いて算出しており不確かさを用いるのは難しい。製品に不確かさをつけて納品することはない。

4.1.5 中央精機株式会社における不確かさの現状と今後についてのヒアリング

まずは、全工程について 不確かさ $\leq$ 規格幅 1/3 以下を目指す。

生産現場には、GUM に基づいて不確かさを算出して利用するには難しいものがある。現在はバジェットに落とし込んでバラツキを判断する 1 つのツールとして用いている。今後も社内標準化を推進して誰でも運用できるように不確かさを定着させ良い計測・測定を提供し、損失コストゼロをめざして企業利益をもたらすツールの 1 つとして利用することを目指す。

4.2 電気部品製造における測定リスクに関する意見交換

日時 平成 22 年 12 月 15 日（水）13:30～16:30（事業所見学含む）

場所 電気部品製造業 事業所内会議室

出席者 電気部品製造業 品質保証部品質テクニカル課 課長、ご担当者

委員：三橋克己、高井哲哉、磨田光夫（記録） 事務局：河住春樹

同行：産総研物性統計科応用統計研究室 田中秀幸様、城野克広様

（注：当研究室における不確かさの利用技術に関する調査のため同行参加した）

4.2.1 ヒアリング内容

生産における計測リスクと検査規格の設定について、不確かさの活用状況を確認した。不確かさ活用の取組みとして、「MSA を用いた全数検査工程への応用」について事例を含め、紹介していただいた。

（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。）

■現状の全数検査工程の課題

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。

■消費者リスク一定の全数検査工程のイメージ

製品規格は一定であり、層別前に平均値、標準偏差、GRR等を把握し、消費者リスクを一定レベル以下にする。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つのプログラムを作成した。

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

③ 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）となる。

■MSA導入の前提

① 計測器管理ができています。

② 定期的に自動層別機の測定のパラツキの標準偏差を求める必要がある。

③ 検査規格の設定方法が決まっている。

■活用事例 「10pF 狭偏差製品（規格 9.9～10.1 pF）への適用」

導入前の不良流出率は 0.0177ppm で、過剰品質となっている実態が明らかになり、流出不良率を 3ppm 以下（2.91ppm）とし、合否判定の規格を見直すことで、良品率を 4.02%改善することが出来た。

■課題

① 適正な消費者リスクをどう設定するか？ 3ppm 以下で良いか？

② ガードバンドを設定するときに使用する層別機のパラツキ（標準偏差）を SMDP で求めた値の 2 倍に設定している。 2 倍が妥当か？

4.2.2 質疑及び意見交換

Q1：カタログ品と特注部品は別管理なのか？

A1：全く別で、一品一様の管理をしている。

Q2：自動機は何台くらいあるのか？

A2：3 台試験したが、サイズにより何百台もある。

本社部門が分析し、事業側に結果を提示している。

Q3：事例で、導入前の不良流出 0.179 ppm が導入後 2.91 ppm となっているが？

A3：今回、導入してみて 0.179 ppm と過剰品質の実態が明らかになった。

目標とする 3 ppm 以下に修正することにより、検査規格が広がり、良品率が 4.02%改善された。

会社のポリシーとして安全志向であったため、どうしても過剰品質になりがちであったが、今回のように数学的モデルで説明することで、お客様の安心度が変わらと思う。

Q4：計算は毎回行われるのか？

A4：自動的に行っている。

Q5：全数検査は必要なのか？

A5：段取り変えの手間を考えると全数検査の方がコストは安い。

Q6：本件の特許は現状、どうなっているか？

A6：公開は 12 月末。PCT 出願の日本語版がでている。

(PCT: Patent Cooperation Treaty 特許協力条約)

課題①に対する意見交換

- ・ 生産者リスクと消費者リスクからトータルの品質コストが最少となることを考えるべきだが、顧客の損失コストが把握できない。
自動車業界での数字を参考に、3ppm で良いのでは。
- ・ 当社の品質規程で 3ppm ですと言ってしまう良いのでは。
- ・ 最悪値が 3ppm なので、実力値も出した方が良い。

課題②に対する意見交換

- ・ 不確かさを×2で拡張不確かさとしているのと同様に、層別機のパラツキ（標準偏差）を SMDP で求めた値の 2 倍としている。校正室で測定した不確かさは 6ppm 相当だが、現場で測定した不確かさは 360ppm 相当で、環境はそれほどよくないこ

ともあり、安全サイドとしている。

- ・ 使用時の不確かさを考えると他のバラツキ要因もあることから 2 倍しているのは安全サイドでもあり、良いのでは。

他にも・自動層別機の測定時間中の変化量を把握できていない。

- ・ 自動層別機間の比較をしていない。

等、課題は残っており、改善を進めてゆく。

4.2.3 事業所内見学

信頼性試験室、校正室、機械系試験室を見学。

以上

4.3 流量計製造業における合否判定基準に関する意見交換

1. 調査会社：（株）オーバル横浜事業所
2. 調査日：平成22年12月2日（木）14.30～17.00
3. 出席者： オーバル：五味信吾 横浜事業所長、小野 治 認定事業室長、
白鳥慎治 認定事業室課長
ヒアリング担当委員：高井、阿部、阿知波、三橋
事務局：倉野

4. 議 題：4.1 横浜事業所長挨拶—五味所長

4.2 調査趣旨説明—事務局倉野

オーバルQ：測定には動的測定と静的測定があるが、弊社は動的測定であり、その不確かさ算出に興味を持っている。本調査において、動的・静的の区分けを考えているか？

委員会A：特に区分けは考えていない。御社の他に、寸法測定をしている会社、電子部品製造会社、医薬品、食品を研究している国立機関について予定している。

委員会A：今まで不確かさの算出については、校正分野について、は実施していたが、今回はもっと下流の現場測定分野について調査することになった。

4.3 オーバル流量計の精度管理基準についての説明—白鳥課長

合否判定の基準は、古く、不確かさの概念がない時に作られたもので、いまでもそれを踏襲している。ガードバンドが言われるようになったので見直してみると、数値的には、それらしい数値になっている。

（1）流量計校正設備の概要（液体用—石油類）

ガソリン：100 mL/h～700 m³/h

灯 油：100 mL/h～2000 m³/h

軽 油：100 mL/h～400 L/h

重 油：30 L/h～2000 m³/h

その他に、水関係、気体用（空気）関係もある。

（2）流量計の試験方法

- ・基準タンク方式
- ・基準体積管方式（パイププルーバー）
- ・マスターメータ方式 → JCSS 取得

委員Q：上記の3試験法は、測定品種により選択されるのか？

A：測定量により決めている。小流量測定はタンク方式、大流量はパイププルーバーを使っている。なお、パイププルーバーは自動化ができる。

（3）容積式流量計（オーバルメータ）の作動原理の説明があった。

上記3方式について、JIS B7552：1993（液体用流量計—器差試験方法）による具体的な試験方法の説明があった。

4.4 精度管理基準

JCSS を取得しているマスターメータ方式について具体的な管理基準の説明があった。

（1）流量計の試験では、密度の影響、すなわちマスターメータ内と被校正流量計内

を通過する試験液の温度差と圧力差が大きく影響する。→実際の影響量は、
0.05 %と小さい。

(2) 1 流量点について実証したデータによると、バラツキは±0.05 %程度である。

(3) バラツキの項目

① 温度・圧力測定による影響・・・・・・0.05 %

② 被校正流量計のバラツキ・・・・・・0.05 %

③ マスターメータのバラツキ・・・・・・0.02 %

上記を加算して・・・・・・0.12 %

(現在は、二乗和の平方根で算出するが、当時は、単純加算している)

従って、±0.5 %の合否判定基準は、±0.35 %としている。

(4) 粘度の影響

容積式流量計の器差は、粘度に反比例する。

セミ・ログのグラフで、ガソリンと灯油と重油について精度管理基準のデータの紹介があった。

委員Q：粘度を指定した時は、その粘度で校正してもらえるのか？

A：その粘度で校正をする。

委員Q：標準器と被校正器は、比較するので、温度差がなければ夏校正しても、冬校正しても同じか？

A：校正に関しては同じであるが、実際の現場での測定では、校正時の気温と使用時の気温差で影響を受ける時がある。

委員Q：1 回の測定か、それとも複数回測定しているのか？

A：精度の高いものは、3 回測定している。

委員Q：3 方式とも 3 回測定しているのか？

A：法規制されているものは、3 回測定している。

委員Q：不確かさをつけようと思えば付けられるのか？

A： $k=2$ で良いか？という話になってしまうので、現在は付けていない。

ここで、有効自由度、 $k=2$ 等の話が出た。(ヨーロッパ、アメリカ、日本の JCSS, JAB 等の動向)

また、プールされたデータを使えば、1 回の測定でも不確かさ出せるのでは、という意見も出された。

委員Q：異常値が出たらどうするか？

A：もう 1 回測定する。それでも異常値がでれば製造に戻し、調査し、対策する。

(5) オーバルの技術基準について、液体用容積流量計の合格判定基準の説明があった。

精度±0.5 %と±0.2 %のものが有り、測定点 A, B, C, D である。上記の±0.2 %のものは、1 流点では、±0.03 %程度で、全レンジで、±0.2 %である。

委員Q：極差とは何か？ヒステリシスのようなものか？

A：複数回測定した時の、器差の最大値から最小値を引いた値である。

委員Q：極差は、片方に偏らないのか？

A：中央値を 0 になるように器差調整している。(分解能等の関係で、結果的には少し偏る場合もある)

委員Q：上記の±0.2 %のものであるが、もう少し精度が上がらないのか？

A：標準器の限界である。

委員Q：先程の±0.5 %の合否判定基準は、±0.35 %としているのでガードバンドの考え方と同じである。という説明であったが、これは、0.5 %からバラツキの加算の値 0.12 %を引くと約 0.35 %となるので、ガードバンドの考え方と同じようだ。という意味か？

A：そうです。

試験作業場見学を行った。

その後の質疑応答/意見交換概要

委員Q：JCSS校正の標準器は何か？

A：マスターメータで 300 m³/h、それ以上大きいのは（独）産業技術総合研究所（産総研）では、校正してもらえない。

委員Q：もっと大きい流量の校正はどうしているのか？

A：産総研の国家標準が 300 m³/h 迄なので、自社で拡張している。具体的には、300 m³/h のものを並列接続して測定しているがパイププルーバーは 2000 m³/h なので、7 台並列接続をしなければ校正できないので、困っている。

委員Q：パイププルーバー以外の標準器も、自社で拡張しているのか？

A：そうです。同じ方法で行っている。

委員Q：パイププルーバーは、産総研の依頼試験か？

A：そうです。

委員Q：JCSSではなくて、依頼試験でトレーサブルになっている。ということか？

A：今はそうです。あのような大きな標準器は、産総研にはない。産総研は特定二次標準器の校正だけなので、大きな標準器は、本当に必要なのか？必要であれば、自社で拡張して欲しいという見解である。

委員Q：不確かさは、当面、生産現場では使わないのか？

A：現実には、JCSS の案件だけは使うが、ユーザーが求めているのは一部だけである。

委員Q：世界的にも要求されていないのか？

A：世界的には違うが、当社のユーザは国内向け企業が多い。
不確かさの要求は、外資系の会社が多い。本国からの要求と思う。

ここで、ISO 10012 の規格は、生産現場で不確かさの要求があるので、それについての議論があった。

委員Q：製造現場を拝見した際、ZHE 活動推進中との表示があったがどのような活動か？

A：Zero Human Error 活動の略で、ヒューマンエラーを組織一丸となって無くしていこうという活動である。ヒューマンエラーを防ぐことで、更なる品質の向上を目指している。

委員Q：不確かさには直接関係はないが、私の勤務している会社の親会社の監査では、生産現場や外周がきたないと品質も悪いと評価される。先ほどの試験作業場見学した時に、外周通路や作業場内が綺麗であったので、御社の品質管理の質も高いと感じた。

A：事業所長の挨拶にあったように、当社は、5S に力を入れているので、それが浸透してきている。

委員：ZHE 活動、5S 活動とも、同じ製造業として品質を向上させていく上で、大変参考になりました。ありがとうございました。

以上

4.4 食品分析研究所における不確かさの導入についての意見交換

- ・調査日時 平成 22 年 12 月 10 日（金）14：00～16：00
- ・場所 国立医薬品食品衛生研究所 食品部
- ・出席者 国立医薬品食品衛生研究所 食品部 松田りえ子部長
- ・ヒアリング担当 阿知波正之、松田次郎、渡部良一（記録） 事務局 倉野恭充

事務局よりヒアリングにあたっての挨拶が行われた後に阿知波委員長より、不確かさ実態調査委員会の趣旨と今回のヒアリングの目的について説明が行われ、引き続いてヒアリングを実施した。

Q1：業務内容を教えてほしい。

A：我々の業務は食品衛生法の範囲内の内容である。生産現場における不確かさの活用という話だが、実施しているのは検査の部分のみであり、実際の検査は検疫所で実施し、ここではその検査方法を作っている。また食品衛生とは栄養成分などとは違い、含有する農薬など食品に表示されないものが対象である。例えば、ある農薬の規格基準が 0.01 ppm の場合、その基準以下であるかどうかを検査するというものであり、規格基準を超えたものを流通させないための検査である。

Q2：食品衛生分野における不確かさの活用状況はどうか？

A：食品衛生法における登録検査機関で行う食品等の検査は、「登録検査機関における製品検査の業務管理要領」により実施されるが、その中に不確かさを推定するように努める、という努力目標として書かれている。実際の努力の程度は不明で、また不確かさを推定している事例も少ないのが現状である。但し、海外からの要求に対応するため、主に輸出検査をしている一部の検査機関においては、ISO 17025 の認定を取得しているので、不確かさの推定なども実施していると思われる。

Q3：ISO 17025 の認定を受けている検査機関は多いのか？

A：数社～10 社だと思う。食品全般の分析ではなく、GC-MS を用いた農薬の分析、ICP による金属分析など限定して認定を取得している。日本の食品に関しては多くが輸入品であり対外的な圧力もないため ISO 17025 の認定を取得する動きは多くない。一方、ISO 17025 の認定を取得している海外の食品検査機関は日本より断然多く、特に中国なども多いようだ。但し、「登録検査機関における製品検査の業務管理要領」は ISO 17025 に基づき作成されているので、日本の登録検査機関は ISO 17025 のシステムに準じた体制で運用されている。業務管理要領に不確かさの記述があるのは、その理由による。また、日本の ISO 17025 認定取得が少ないのは、認定機関の審査が海外よりも厳しいのではないか。

Q4：国際的な動向について教えてほしい。

A：食品の国際規格として CODEX（コーデックス）食品衛生基準があり、各国が集まり規格の作成が行われている。その中の「分析・サンプリング法部会」で測定の不確かさやサンプリングの不確かさについて議論が行われている。国内の食品衛生分野については不確かさを付与することにはなっていないが、試験の分野に関して、国際的には不確かさを付与する方向で動いている。

Q5：ガードバンドの考え方は取り入れられているか？

A：不確かさが推定できていないこともあり、取り入れてはいない。現状では規格値が 0.1 ppm と定められている場合、0.15 ppm を超えた場合は違反としている。

まだ化学物質は良い方で、微生物などは物質とは違い検査対象物が増えたり減ったりするので、その不確かさを求めるのは非常に困難だということがお分かり頂けると思う。よって生菌数の測定などの不確かさの推定方法については、まだ検討段階にある。サルモネラ菌が発見された場合、不確かさがどうのこうのと言っている場合ではないように、コーデックスでも健康危害がある場合はガードバンドもなにも考えないとしている。

Q6：国内で不確かさの活用が普及していない理由は何だと思うか？

A：まず不確かさを推定する方法は厚生労働省で定めていないことがある。不確かさに関する研究は厚生労働省で進めているが、それが輸出入検査に反映する状況にはない。例えば農薬は約 800 種類あり、非常にたくさんの検査が実施されており、その一つ一つに不確かさを付与するというのは簡単ではない。前処理の工程が長い分析者のスキルに依存する部分が多く、不確かさよりも、まず正しいかが大事だということになる。そして、食品分析の不確かさにおいては分析ではなく、むしろサンプリングの部分の問題が大きい。サンプリングも分析の不確かさに含めるかどうかで議論にもなっている。

コーデックスでもサンプリングの部分をどうするかは意見が分かれており、サンプリングを含めるとロットの定義から考えなければならなくなる。局在しているものの代表としてカビ毒（アフラトキシン）がある。カビはどこかに集中して生えることが多く、分布が非常に偏っているのでサンプリング量は非常に多くなるが、それでも一ロットの量が非常に大きいので適切なサンプリングができていないという保証はない。また流通品の場合はロット自体がわかりにくく、サンプリングに起因する不確かさが読めないという難しさがある。現在、流通品のごく一部を検査しているのが現状だが、その目的は抑止力の意味合いが大きい。

加工食品のようにある程度管理された状態で製造されるものと生鮮食品の違い、またソーセージとハムの製法は異なるので防腐剤の均質性が異なるなど、今後サンプリングの不確かさを考えるのであれば、いろいろなサンプリングに関する知見を集めて新たな考え方を導入する必要がある。

Q7：EU における不確かさの使用について教えてほしい。

A：日本は、例えば残留農薬の試験であればその試験方法を規定しているが、EU は分析方法を示すのをやめてしまっており、標準不確かさが最大標準不確かさよりも小さい分析方法であればどのような試験方法でも良いとしている。但し、分析方法の規定であってサンプリングは含まない。また、分析値に基づく適合性の判定に不確かさが使用されているかは不明である。

Q8：不確かさを計算した事例があれば教えてほしい。

A：GUM は積み上げていく計算方式だが、食品分析の場合はステップが長く、また工程ごとのデータを得ることが困難なため積み上げていく計算をほとんどしない。そのためトップダウン方式より、技能試験や室内バリデーションのデータを用いて最終的な不確かさを付けてしまう方法を食品の分野では推奨されている。私が食品衛生の雑誌に寄稿したものがあるが、日本の場合の事例は非常に少ない。

どこが一番ばらついているのか、何が不確かさを大きくしている要因か、それがわかると不確かさを小さくできるヒントになるのだが……、また積み上げ方式の場合は不確かさが大きくなってしまいうという問題もある。

Q9：食品分析においては、技能試験が良くやられているようだが？

A：ほかに頼れるものがないので、技能試験は良くやられている。不確かさの要因について言えば、機器と人では、人のスキルによる影響の方が格段に大きい。

Q10：食品衛生の分野で不確かさの取扱いはどうなると思われるか？

A：コーデックスの流れから言って、いつごろになるかは不明だが、不確かさを付与することにはなると思う。ただ不確かさのガイドはあるもののその具体例がまだ示されていない。要望は高まっているので、将来的には実用的なガイドラインがまとまることが期待される。

Q11：食品分析における不確かさの研究をされている方は多いのか？

A：検査という特性上、大多数の人ができる方法を考えるので、新しいものではない。大学の先生方が研究される内容とは方向が違うため、不確かさについて研究している人は非常に少ないと思う。不確かさの求め方はいろいろあるので、みなさん暗中模索の状況にあり、不確かさの活用には至っていない。また、研究しようという人はあまりいないが、食品分析をされている方々は、今後どうなるかということで、興味を持っている人は多いようだ。むしろ食品メーカーや分析機器メーカーなどでは調査・研究をしているところがあると思うが、一般に論文として公開していないので、その実態はわからない。

Q12：サンプリングが不確かさを考える上で重要だということだが、国内で議論する場はあるのか。

A：国内ではない。分析法に関してはいろんな会議を作って話し合っている。

Q13：国として不確かさの重要性についての認識はあるのか。

A：重要性を感じてはいると思う。非常に小規模ではあるが農工大の松岡先生が代表となって検討会が実施されている。3年計画の今年が3年目で、不確かさ研究班の報告書が来年の5月には出される予定。但し、その結果がどう反映されるかはわからない。

（「平成20年度厚生労働科学研究補助金 食品の安心・安全確保推進研究事業 検査におけるサンプリング計画並びに手順のハーモナイズーションに関する研究報告書」をお借りした。）

Q14：学会誌に出された論文を紹介させていただきたい。

A：コピーで良ければお渡しできる。世界に遅れるわけにはいかないし、今後不確かさを付与する方向であることは間違いないので、その時に対応できるよう、これからも研究を行って行きたい。

（論文「食品中の残留農薬分析結果の不確かさの推定－試験室内妥当性評価結果を用いて－」のコピーをいただいた。）

その他、食品中に残留する農薬等に関する試験方法の妥当性評価ガイドライン（平成19年11月15日 厚生労働省医薬食品局安全部長通知）、CODEX（コーデックス）第31回 分析・サンプリング法部会概要などについてもお話しいただいた。

最後に、いろいろ貴重なお話をいただいたことに対して謝辞を述べ、ヒアリングを終了した。

以上

測定の不確かさ活用のための実態調査委員会

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
高井 哲哉	中央精機株式会社
磨田 光夫	株式会社 山武
林 正智	財団法人日本品質保証機構
松田 次郎	独立行政法人産業技術総合研究所
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

測定の不確かさ活用のための実態調査報告書

平成 2 3 年 3 月

発行 社団法人 日本計量振興協会
測定の不確かさ活用のための実態調査委員会
〒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 第一資料印刷株式会社
〒162-0818 東京都新宿区築地町 8-7
TEL. 03-3267-8211/FAX. 03-3267-8222



<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。