

今どきの高周波測定技術と 測定器管理の基礎知識

~ その6 「測定誤差」から「測定の不確かさ」へ~

ここまで5回に渡って高周波測定技術を、測定標準とその比較法という観点で考察を進めてきた。最終回となる今回は、測定結果そのものに付きまとう「精度」や「確度」という概念を取り上げる。普段、何げなく「この測定器は 0.1dB の測定確度がある」などということがあるが、その意味するところを正確に説明するのは意外と難しい。この問題を乗り越えるためには、従来の「測定誤差」という概念を排除することが必要になる。現在は、測定結果がどのくらい信頼できるのかという指標として「測定の不確かさ」を用いることが一般的である。ここでは、この「測定の不確かさ」の正体に迫ってみたい。

アンリツカスタマーサポート株式会社 山崎 俊雄



高周波コネクタの Pin Depth 測定

はじめに

今日では、あらゆる工業製品が国境を越えて行き来 している。それらが仕様通りの性能を確保しているこ とを確認するためには、信頼できる測定器を使用して の測定値が必要になる。この測定値の記載方法が各国 で異なっていては、実際の輸出入行為に支障を来す恐 れがある。このため、測定値と測定値の信頼性の表現 方法を世界的に統一する動きが加速している。

本稿では、まず従来の「精度」や「確度」という用語に潜む解釈の曖昧さについて言及する。次に、現在国際規格で利用が推奨されている「測定の不確かさ」について、その基本概念を説明する。最後に、高周波測定器において測定の不確かさを軽減するために実施する測定上の留意事項の事例を紹介する。

測定結果を表す用語の意味

測定器が表示する値の信頼性を端的に表す意味で「誤差」「精度」「確度」などの用語が日常的に使われている。JIS Z 8103:2000 (計測用語)によると、これらの用語は次のように定義されている。

誤差 (error):測定値から真の値を引いた値 精度 (accuracy):測定結果の正確さと精密さを含め

た、真の値との一致の度合い

確度(limit of error): 指定された条件における誤差 限界で示した測定器の精度

例えば「この測定器は 0.1dB の確度で測定できる」などと言う場合、一般的には「真の値から少なくとも 0.1dB 以上は離れていない測定値が表示されるはずである」と解釈することが多いのではないだろうか。

しかし、ここで大きな疑問が生じることになる。果たして「真の値」というものを知ることはできるのだろうか。

測定器は較正により値付けされるが、たとえ較正という作業自体が正しく実施されたとしても、実際には上位標準器にも「誤差」がある。また較正時の測定条件によっても較正値は異なるものになるだろう。実際には、私たちが容易には知り得ないさまざまな「誤差要因」が存在し、それらが複雑に作用して最終的に測定器の測定結果が表示されることになる。しかし、これらの「誤差要因」を全て取り除いて「真の値」に辿り着くのは容易ではない。「真の値」というものは、



実際には知り得ないものと考えるのが妥当であると言えるだろう。

測定の信頼性をどのようにして伝えるか

「真の値」は知り得ないという前提に立てば、測定器に対する較正値が持つ信頼性の指標として単に「精度」や「確度」という用語を使用すると、未知の「真の値」に対する曖昧さを残してしまう。このように、用語自体の解釈の曖昧さは、国家間の貿易を管理する際に、異なる測定結果を比較することが必要な場合に常につきまとう問題となっていた。

そこで、国際度量衡委員会(CIPM)およびその事務局である国際度量衡局(BIPM)が提言し、国際標準化機構(ISO)が中心となって、測定結果の表現のルールを示す国際文章が制定されることになった。国際文書では、「精度」や「確度」に代わる用語として測定の「不確かさ(uncertainty)」という概念を導入し、実際に1993年には「計測における不確かさの表現のガイド」(Guide to the expression of Uncertainty in Measurement:以下 GUM と略す)が制定されている。その後、GUM は ISO/IEC Guide 98-3(JCGM 100)として整備再編され、今日に至っている。

「真の値」と「測定値」の関係

このように、「真の値」を実際に知ることはできないが、私たちは、なんとか測定結果からこの「真の値」を導きだそうとする。この関係を考えるとき、例えば図1のような関係図を描くことができる。

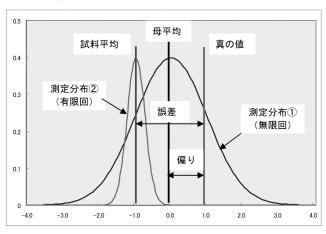


図 1 よく管理された測定結果の分布の一例

一般に、よく管理された測定の結果は正規分布する ことが知られている。仮に、測定回数を限りなく増や すことができた場合、その分布は図1の測定分布①のようになる。このとき、分布のピークに当たる点が母平均となるが、この母平均は実際には「真の値」とは必ずしも一致しない。理由は、測定器それ自体が何らかの原因による固有の偏りを持っていること、温度など測定時の環境条件などの要因により偏りが生じること、などが挙げられる。

そして、実際には3回、あるいは10回というように限定した測定回数となることがほとんどである。このとき抽出されたサンプルは図1の測定分布②となる。結果として、私たちは実際の測定によって得られる試料平均の値を基にして、ここから「真の値」にできるだけ近いと思われる測定結果を導き出さなくてはならない。

では、実際に「真の値」に近づくためにはどうしたらよいのであろうか。留意すべき点は3つある。

- (a) あらかじめ分かっている偏りを補正する
- (b) 較正時の条件と同じ測定条件を再現する
- (c) 未知の「誤差」要因や測定のばらつきを考慮した 測定値の信頼性を数値化する。

実際に、(a)は特定の測定条件で発生する「偏り」の評価値があれば、「偏り」をある程度は補正することが可能である。(b)は較正条件を上位較正機関と一致させることで実現することができるであろう。

最後の(c)ついては、「誤差」の要因を評価して、実際に GUM の手順に基づいてその評価値を算出することが必要になる。

GUM の基本概念

GUM の特徴を要約すると以下の 4 点を挙げることができる。

- (1)測定の信頼性を表す指標として「誤差」ではなく「不確かさ」を用いていること。
- (2)不確かさの成分を個別に評価して、それらを合成することで総合的な測定の不確かさを求めていること。
- (3)不確かさの成分の合成方法を、不確かさの伝播則による二乗和による方式に限定していること。
- (4)測定の不確かさの範囲を「拡張不確かさ」という指標を用いて表現していること。
 - (1)は従来の「誤差」という概念を排除し、「不確かさ」



という新たな考え方を導入している点を指す。

(2)はさまざまな不確かさの成分を評価する際に、その大きさを示す指標として、不確かさの要因の出現確率分布に着目して統計学的な確率分布をあてはめること。また、その標準偏差(以下、 1σ と表す)相当を評価値とすること。およびそれらを統計学的な手法で合成することを表している。

(3)は具体的な合成方法として、既存の「誤差の伝搬則」と呼ばれる計算手法を、不確かさの合成においても確定的に使用することを示している。具体的な合成方法は、例えば、(1)式に示すように測定値 z が x、y、t の 3 つの要因に依存して決まる場合、測定値 z の合成された不確かさの大きさは (2) 式で計算されるということである。このようにして求められた不確かさは「合成標準不確かさ」と呼ばれている。

$$z = f(x, y, t) \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$\sigma_{z} = \sqrt{\sigma_{x}^{2} + \sigma_{y}^{2} + \sigma_{t}^{2}} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (2)$$

但し σ_z:測定値 z の合成標準不確かさ

 σ_x : 要因 x の不確かさの 1 σ σ_y : 要因 y の不確かさの 1 σ σ_t : 要因 t の不確かさの 1 σ

このような不確かさの合成が可能となる理屈は、統計学上の「中心極限定理」の原理に基づいている。「中心極限定理」によると「母集団の分布がどのような分布であってもその標本平均と分散は正規分布に従う」ということが証明されている。詳しい説明は数学の専門書に委ねるとして、ここでは合成後の不確かさの分布は必ず正規分布になるという結果のみを用いることにする。

(4)は正規分布として求められた「合成標準不確かさ」 をもとに、具体的に不確かさの大きさを確定する行為 のことを表している。

測定の不確かさが正規分布であるとき、ある区間に測定値が存在することを示すために「信頼の水準 (p)」という指標が使われている。p は正規分布が包含する割合を示すものであり、図 2 のような正規分布を考えたとき、 1σ で p=68.27%、 2σ で p=95.45%、 3σ で p=99.73% が包含されるという関係がある。このときの σ に掛かる係数を包含係数 (k) と呼ぶ。k>1を採用する場合、評価結果は「拡張不確かさ」と呼ばれ

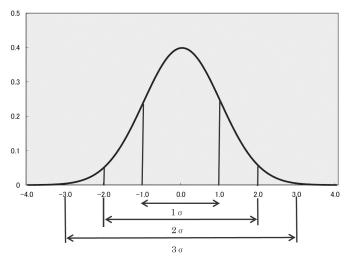


図2 正規分布と信頼の水準別の区間

ている。現在、「測定の不確かさ」はp を約 95% に設定することが国際的に一般化しており、多くの場合でk=2とすることが求められている「1」。

また GUM では以下の手順で測定の不確かさを評価することを推奨している [2]。

- ①測定プロセスの明確化
- ②関数モデルの構築(不確かさ要因の数え上げ)
- ③不確かさ成分の評価
- ④合成標準不確かさの計算
- ⑤包含係数の決定 (多くの場合 k=2)
- ⑥拡張不確かさの計算
- ⑦測定の不確かさの報告

①から③の作業は、実行しようとしている測定の手順を明確化し、そこに内在する測定の不確かさの要因が何であるかを探り出す工程である。この作業に不足や間違いが生じてしまうと、適切な測定値や測定の不確かさを得ることができない。

そこで、①から③については「測定の適切な関数モデルの設定と考慮すべき不確かさの要因」についての研究が、さまざまな産業分野で進められている。

測定の不確かさが生じる要因を排除する工夫

実際の測定において、偏りやばらつきが生じる要因を 考えると以下を挙げることができる[3]。

(1)測定する量の定義が不完全であること

(2)測定する量の定義が完全には実現されないこと



- (3)代表性のよくないサンプリングであること
- (4)測定に対する環境条件の効果が十分に知られていないこと、又は環境条件の測定が完全ではないこと
- (5)アナログ測定器の読取りに人による偏りがあること
- (6)機器の分解能には有限の識別限界があること
- (7)計量標準の値が不正確であること
- (8)他の情報源から得られる定数やパラメータの値が不正確であること
- (9)測定方法や手順に近似や仮定があること
- (10)見かけ上の同一条件の下での測定量の繰返し観測が変動すること

これらの要因への配慮としては、対応が難しいもの もあるが、日常的な作業の中で十分に対策ができるも のもある。実際に、高周波測定器の較正では以下のよ うな点を考慮する必要がある。

(ア) トルクレンチによるコネクタの締め付け

高周波コネクタは締め付けすぎると中心導体を圧迫して曲げてしまう場合がある。適正な締め付けトルクを維持するために、測定端へのコネクタ接続時にはトルクレンチを使用して締め付けを行うことが求められている。



図3 トルクレンチによるコネクタの締め付け

イ Pin Depth の測定

高周波コネクタの中心導体が規格値より突出していると、標準器へ接続した際に、標準器の高周波コネクタを損傷してしまう場合がある。較正対象の高周波コネクタを十分目視観察し、異常があれば接続する前にPin Gauge 計で対象高周波コネクタのPin Depth を測定しなければならない。

(ウ) 接続するコネクタの向きを変える

高周波コネクタの中心導体が偏心している場合、接続する向きによって測定値が変わることがある。物理的な偏心の有無を確認すると同時に、高周波コネクタを接続する向きを変えながら複数回の測定を行う。例えば、120度ずつ接続角度を変えて測定を繰り返すことが必要である。

まとめ

「この測定器は 0.1dB の確度で測定できる」という場合、GUM の考え方を適用すれば「この測定器は 0.1dB の拡張不確かさで測定ができる。その信頼の水準は 95%、包含係数は k=2 である」と言い換えることができる。統計学的な意味が付加されたことで、世界的に統一した土俵の上でお互いの測定結果を比較することが可能になっている。

これまで6回に渡り、「今どきの高周波測定技術と 測定器管理の基礎知識」と題して、測定器を取り扱う 現場技術者の立場から測定器の較正と測定技術という 観点で解説をさせていただいた。

測定技術を高度に維持、発展させることは製品の国際競争力を高める上で必要不可欠であり、海外ではそれを国策として展開して、大きな成功を収めている事例もある。測定の信頼性を高め、より少ない不確かさで測定を行うことができるよう、さらなる国内基盤の整備に微力ながら貢献していきたいと考えている。

謝辞:

今回、執筆の機会を与えていただいた電波技術協会 企画部杉山博氏、アンプレット通信研究所根日屋英之 氏に深謝する。また紙面のデザイン作成にご協力いた だいた松浦美恵氏に感謝する。

参考文献

- [1]NITE認定センター公開文書:「信頼の水準 95 %と認定機関 等の国際的動向について」2010年 9月 27日、独立行政法 人製品評価技術基盤機構
- [2]飯塚幸三監修: ISO国際文書「計測における不確かさの表現の ガイド」1999年、pp.230、日本規格協会
- [3][2]のpp.222-223