

歯車測定の信頼性向上のために
(第五版)



2022年6月

TPR大阪精密機械株式会社

歯車測定センター(GMC)

————— 目 次 —————

1. まえがき	1
2. メンテナンス	2
3. トレーサビリテイの確保と校正の実施	
3.1 トレーサビリテイとは	2
3.2 不確かさとは	5
3.3 校正	6
3.4 JCSS（計量法校正事業者登録制度）	7
3.5 国際的枠組	8
3.6 関連規格	9
3.7 歯車及び歯車測定機の校正	10
4. 不確かさの推定	
4.1 一般的な不確かさの求め方	13
4.2 歯車校正の不確かさ	14
4.3 歯車測定機現地校正の不確かさ	16
4.4 日常歯車測定の不確かさ	17
5. 歯車測定機の管理	
5.1 統計的管理	20
5.2 中間チェック	21
5.3 定期点検(校正)	22
5.4 マスターギヤの定期校正	22
6. あとがき	23

歯車測定の信頼性向上のために

2018年8月

TPR 大阪精密機械株式会社
歯車測定センター(GMC)

1. まえがき

弊社は歯車測定機の製造者として技術開発に取り組み、永らく歯車測定精度の向上に努めて参りました。当初は高精度化・高速化・自動化といった技術的なご要望が大半でありましたが、お客様のご要望あるいは関連規格の要求も変化し、近年では品質マネジメントシステムに関わるご要望も多くなって参りました。いわゆるトレーサビリティ・校正といった事柄です。

そうした状況の中、弊社におきましては「歯車測定」の信頼性向上のため、歯車の校正機関として様々な活動を行い、以下の校正において校正機関としての認定を取得し、校正業務を実施しております。

2007年4月 JCSS ブロックゲージ校正

2008年3月 JCSS 歯車校正

2014年5月 JCSS 歯車測定機現地校正

※ (JCSS=計量法校正事業者登録制度)

一方、産業界では品質マネジメントシステムの普及はもとより、「信頼性」が重要視され FMEA 等様々な取り組みがなされています。このような状況において、歯車測定機メーカーとして私たちのこうした取り組みの中で得た知識と経験は、お客様の歯車測定品質向上・信頼性向上に役立つことも多いと考えます。

私たち JCSS 校正事業者は、後で述べます ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025)の要求事項をもとに、認定機関の審査を受けています。この規格の要求内容は規格の序文を引用すれば、

「この規格は、校正機関がマネジメントシステムを運営し、技術的に適格であり、かつ、技術的に適切な結果を出す能力があることを実証しようとする場合、それらの校正機関が満たさなければならないすべての要求事項を含んでいる。」とあります。

その要求事項を一つずつ見ていけば、すべてが測定結果の信頼性を確保するために必要なことであり、極論、「測定の信頼性を確保するには、17025 の要求事項を満足すれば良い。」とも思えてくるほどです。

当然、ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025)は校正機関に対する要求事項ですから、一般の測定に使用するには過度な要求部分も多いので、それらの部分を取り除けば、本書の3項4項で記述します「校正・トレーサビリティ」・「不確かさ」といった部分が重要であり、その他は5項で記述します「管理的側面」と、お客様における「人的資源」「物的資源」程度が残ることになります。

こうしたことから歯車測定の信頼性向上のために、歯車測定機の校正・管理の面からお客様のお役に立てる場面もあるのではとの思いから情報をご提案する次第であります。

本ガイドブックが皆様の歯車測定の信頼性向上に僅かでもお役に立てれば幸いです。

また、なるべく難しい言葉を避けておりますので、厳密な意味において関係専門家の表現と異なる場合があることをご了承願います。

2. メンテナンス

弊社から出荷されている歯車測定機は、管理されたマスターギヤ類を用いて精度確認されており、一定の品質レベルを維持しています。その品質(信頼性)を長期間維持することが何より重要と考えます。

それを歯車測定機側で自動的に行えれば良いのですが、残念ながらお客様の手をお借りしてメンテナンスをしていただく必要があります。

ところが、弊社サービスマンの報告あるいはオーバーホール・修理等で弊社に戻ってきた歯車測定機を見ると、良くメンテナンスされておらず、比較的早期に摺動面が摩耗し性能が劣化している測定機が少なからずあります。

これから述べます内容は、歯車測定機のメンテナンスが出来ておらなければ成り立ちませんし、日常の使用において精度が劣化したり、不安定な状態になり、最悪使用出来なくなりますので、日常的な給油・清掃の実施、及び定期的な弊社のメンテナンスを受けて戴くことが必要です。



3. トレーサビリティの確保と校正の実施

歯車測定の信頼性を維持するには、測定機のメンテナンスが大変重要ですが、それだけでは初期性能の維持だけに止まります。

測定機の信頼性を確保するには、

**その測定機がどの程度正確な結果を出しているのか、国家計量標準に対し
てトレーサビリティが確保されている「値付けされた標準器」を測定して、定期的
に確認することが不可欠です。**

以下に、その背景と有意性を述べます。

3.1 トレーサビリティとは

Traceability—もともとの意味は、「跡をたどることのできる、突き止められる」「追跡可能性」などですが、現在では「食品のトレーサビリティ」のようにある食品や製品の製造元や起源を割り出すことで、それらの品質保証において大きな役割を担っています。

計量計測分野では、米国で約 50 年前に宇宙開発事業を中心にこの考え方が取り入れられ広まったと聞いています。日本においては遅れること 30 年、1993 年に計量法トレーサビリティ制度が発足しました。

【サンジバール島の時計】 (独立行政法人 製品評価技術基盤機構 ホームページより)



むかしむかし、ザンジバール島の村はずれ。
もと船長さんが村のために毎日正午の大砲を撃つのを日課
にしていたそう。



もと船長さんは、村に買い物に行くついでに時計屋さんで
時刻を合わせます。



時計屋さんは、もと船長さんの大砲で時刻を合わせます

さて、正しい時刻はどっち？

答えは・・・島の中ではどちらも正しいとも言えるし、どちらかを基準としてもよいでしょう。

それでは、島の外と時間を合わせる時はどうしたらよいでしょう。

その時にこそ、計量計測のトレーサビリティが必要になります。

前述は、独立行政法人 製品評価技術基盤機構のホームページから抜粋したのですが、これと同じようなことが歯車製造業界でも言えるかもしれません。

また近年、経済活動の国際化に伴い、各国の経済取引に関する技術的基盤として、計測のトレーサビリティの確保はますます重要になっています。

トレーサビリティといっても、食品等の移動履歴を除いた私たちの周りの計測機器に関して言えば、厳密にいうと二とおりの意味合いがあります。このことが計測機器の管理方法を曖昧にしている原因の一つでもあるのですが、一つは ISO 9001 に関する場合で単に「トレーサビリティ」と言っており、もう一つは計量・計測に携わる場合で「計量計測トレーサビリティ」と言っています。若干意味合いが異なるので、もう少し詳しく説明します。

- ・ISO 9001 では、「考慮の対象となっているものの履歴、適用又は所在を追跡できること」を意味しており、
- ・計量・計測分野では、「個々の校正が測定不確かさに寄与する、文書化された切れ目のない校正の連鎖を通して、測定結果を計量参照に関係づけることができる測定結果の性質。」と定義されています。

こうして比べると、管理すべき歯車測定機がどういう使われ方をして、社内のどのようなルールで管理されているかによって、トレーサビリティの確保の仕方も変わるのかもしれませんが。

単に履歴を追跡出来るトレーサビリティでは、その中身の信頼性が不明確であります。後で述べますが「不確かさ」が記載され、「国家標準」への連鎖が証明されていると、その信頼性の差は明らかであり、商取引や歯車測定の信頼性向上といったことを考えれば、計量・計測分野的なトレーサビリティの確保が望ましいと思われれます。

図 1.は、歯車測定機のトレーサビリティ体系(JCSS 校正)ですが、「国家標準に対して不確かさがすべて表記された切れ目のない比較の連鎖」が確保され、各段階の校正技術も含めて後で述べます JCSS という制度によりトレーサビリティが保証されています。

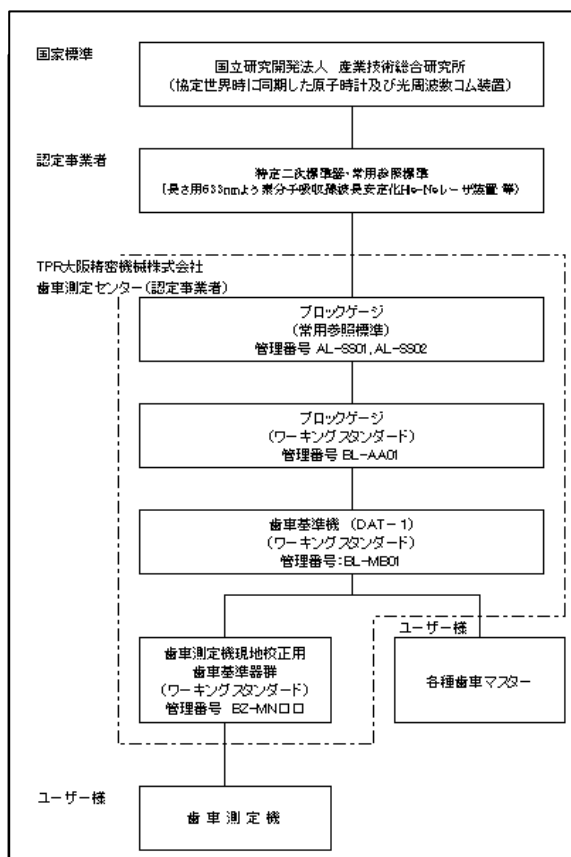


図 1. TPR 大阪精密機械株式会社 歯車測定機トレーサビリティ体系図

3.2 不確かさとは

校正・トレーサビリティといったことを理解する上で「不確かさ」という言葉が重要な意味を持ちます。世の中の多くの測定値の大部分には、不確かさが書かれておらず、特に日常生活・一般商取引に支障はありませんが、測定結果の信頼性が必要な分野では、不可欠なことであり、その活用範囲は徐々に広まっています。

「不確かさ」という言葉が誕生した経緯は、1977年に国際度量衡委員会(CIPM)が、国際度量衡局(BIPM)に対して、世界の標準研究所とともに計測の誤差評価の方法について検討するように諮問したことが始まりです。そこで、不確かさの表現に関する統一的な方法について議論がされたようです。また、その課程で各国に対して誤差評価方法に関するアンケート調査を行いました。回答結果から各国の各技術分野で採用している方法、つまり測定誤差の表し方が世界各国でばらばらだったようです。それでは国際的な商取引に支障をきたすため、1981年のCIPM勧告を経て、1993年にISOガイド「計測における不確かさの表現ガイド(GUM)」,「国際計量基本用語(VIM)第2版」として発行され、現行最新版はVIM3となっています。

不確かさという言葉が何を意味するかといえば、測定結果において得られた値がどの程度の疑わしさを計測されたのか。言い方を変えると、どの程度の信頼性をもっているかということです。

一般に、正しい計測器を用いて測定を行えば、正しい答えが得られると考えるかもしれませんが、どんな測定においても、どんなに細心の注意を払って測定しても測定値には疑わしさ(不確かさ)が存在し、すべての不確かさを除去することは不可能です。そのため、僅かな不確かさが残り、それがどの程度の幅で存在しているのかを示すために不確かさという言葉が用いられます。

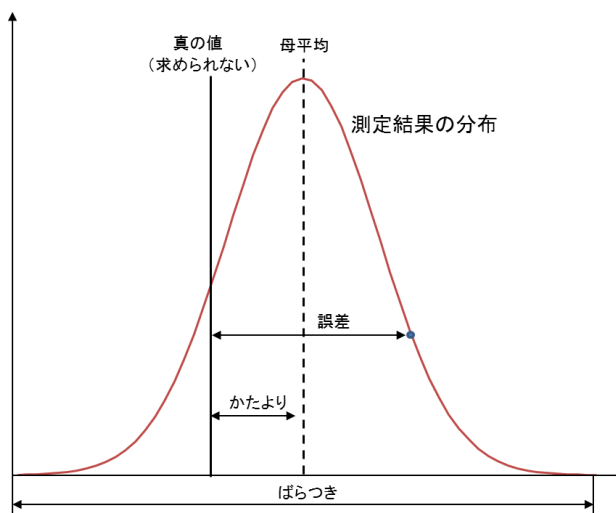
不確かさが併記された測定結果はその信頼性がどの程度か知ることができますが、不確かさが書かれていなければ、その信頼性は全く不明です。

疑わしさを現す言葉に「誤差」という言葉がありますが、誤差とは、得られた測定結果と「真の値」との差を言います。その「真の値」はどんなに高度な測定をしても絶対に求めることは出来ません。

(「神のみが知る値」とも言われます。)

ですから、求められない誤差を統計学を用いて推定した値のことを不確かさと言うことも出来ます。

図2は測定結果の分布を示したものです。上記のように「真の値」は求められませんので、「かたより」と「誤差」は求められません。しかし、測定結果がランダムなばらつきであれば母平均は統計学的に推定でき、図2のような正規分布の曲線が得られます。



ばらつき:測定値が揃っていないこと。不揃いの程度。

一般的には、標準偏差を用いて現す。

かたより:測定値の母平均と真の値の差。

誤差:測定値と真の値の差

図2. 真の値と誤差

また、図 3.のように測定結果の標準偏差($\pm \sigma$)は約 68%の区間であり、その 2 倍($\pm 2\sigma$)は約 95%の区間であり、この区間の幅のことを信頼の水準と呼びます。従って統計学的に推定した測定結果の分布から、信頼の水準〇〇%の信頼区間の大きさ(幅)を求める表現を不確かさと言っています。

ですから、不確かさを明記して測定結果を表す時は次の二つを含める必要があります。

一つは信頼できる幅、すなわち「信頼区間」であり、

もう一つは「信頼の水準」、すなわち真の値が何%の確率で区間内にあるのかということです。

例えば、ある物体の長さの測定値に不確かさを付け加えて記述すると、

100.01 mm \pm 0.02 mm

(信頼の水準 95%) と書かれ、校正証明書では、校正結果 100.01 mm
校正の不確かさ 0.02 mm
包含係数 $k=2$

のように、測定結果・信頼区間・信頼の水準の3つ数値で表されます。因みに包含係数 $k=2$ とは、信頼区間を決定するために合成標準不確かさに乗じる係数のことで、一般的には信頼の水準約 95%に相当する $k=2$ が採用されます。

ですから、上の記述の例は、

「求めた測定値 100.01 mm から ± 0.02 mm 範囲に約 95%確率で真の値があります。」

と、言っていることとなります。

3.3 校正

校正という言葉は、計量・計測分野では実は前述の「トレーサビリティの確保」とほぼ同じ意味合いを持ちます。すなわち

「不確かさを伴うふたつの値の関係を確立すること」が「校正」を意味します。

ブロックゲージの比較校正を例にすると、

しかるべき校正機関で値付けされたブロックゲージを基準として、比較測定装置を用いて対象となるブロックゲージを値付けする作業です。つまり、呼び寸法に対して $+0.15\mu\text{m}$ と値付けされている標準器と比較したら $-0.05\mu\text{m}$ の結果だから、校正値は呼び寸法に対して $+0.10\mu\text{m}$ というものです。

実作業としては道具さえあれば誰にでも出来るほど簡単な作業ですが、この作業だけでは一般的に

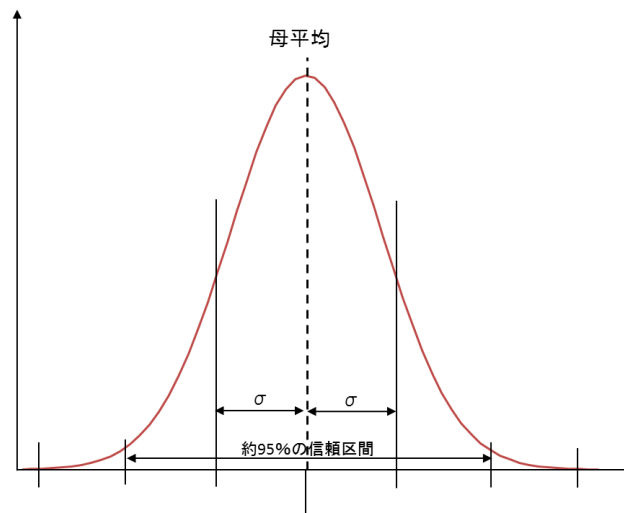


図 3. 標準偏差と信頼区間

は「検査」であり、この作業を校正と呼ぶためには「校正の不確かさ」を示す必要があります。

つまり、校正値とその不確かさが判っている標準器を用いて校正作業を行い、その作業の結果である校正対象器物の校正値とその不確かさを示すことにより、その作業を校正と呼べることになります。

さらに校正値の信頼性を高めるために不確かさを小さくしようと思えば、それなりに設備・環境・技量が必要になります。またさらに校正機関として認定を取得するには、マネジメントシステムも構築し、校正に関する技術的事項と併せて審査を受けなければなりません。

しかし、現実的には世の中の測定機器すべてが、このような校正が出来る訳ではありませんし、履歴が判れば良いというケースが多いため、従来から行われている「検査」を校正と呼んでいる場合が多く、一般的にそれが認められているのが現状です。

一方、後述する ISO/IEC 17025 や IATF 16949 等、特別な分野では「不確かさがすべて表記された切れ目のない比較の連鎖」が重要視されており、その他の様々な信頼性が確保された校正を必要とする場面において不確かさをともなう校正結果の利用が増えています。

私たちに直接関係する歯車について考えると、歯車校正において従来から実施されている内容では、その歯車がどの程度の誤差を持っているのか知ることが出来ましたが、その信頼性は明確ではありませんでした。

また、歯車測定機においては従来から実施されている静的精度測定は、測定機本体の概略性能を知ることが出来、定められた許容値に入っておれば歯車測定に大きな支障が無いことは解りますが、どの程度歯車測定に影響し、測定結果がどの程度信頼出来るのか解りません。

先に述べたトレーサビリティが確保され、校正値と不確かさが明確なマスターギヤを測定することにより、示すべき値に対して歯車測定機がどの程度の値を示し、その示す値の不確かさを明確にすることが、歯車測定機の校正と言えます。

具体的に歯車や歯車測定機がどのように校正されるのかは 3.7 項で記述いたします。



3.4 JCSS（計量法校正事業者登録制度）

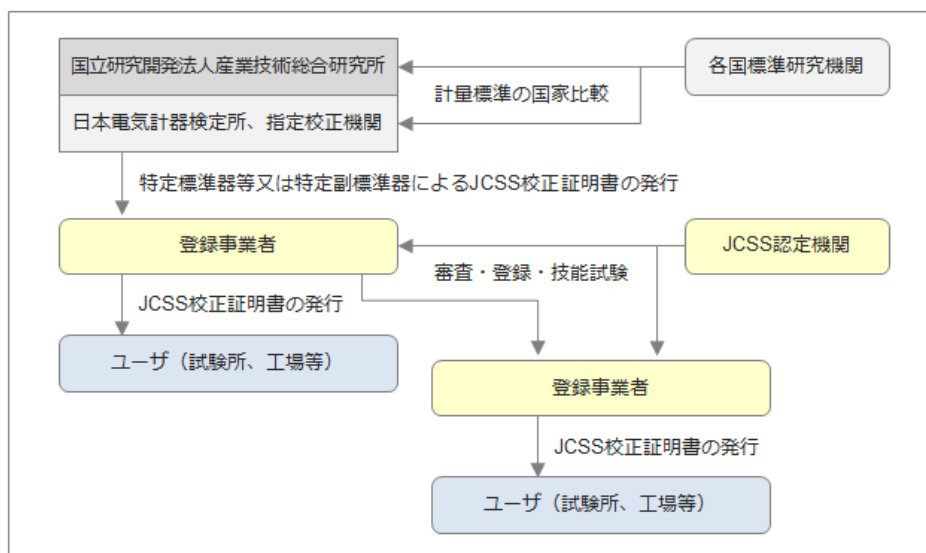
前述の「トレーサビリティ」や「校正」の方法・内容は、それぞれ実施する事業者が自ら確保し、実施しますが、その方法・内容が妥当なのかという疑問があります。同じ器物の校正を複数の事業者が実施した結果、不確かさの範囲を超えて校正値が整合しなかったり、トレーサビリティの確保の仕方が違っていたりすると問題です。

JCSS とは、計量法第 8 章の規定により、計量のトレーサビリティ確保と品質管理の信頼性確保のために設立された制度です。

計量器を校正する事業所の技術能力やトレーサビリティが、校正機関の能力に関する要求事項である国際規格 ISO/IEC 17025（JIS Q 17025）の基準を満たしていることを、認定機関である独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センター（略称 IAJapan）が審査・認定する仕組みであり、JCSS 校正事業者の発行する JCSS 標章付校正証明書は、その校正結果が国家計量標準へとつながっていることを、公に証明しているものです。

JCSS 標章付校正証明書があれば、さらに上位の国家計量標準へとトレーサビリティをさかのぼって調べる必要はありませんし、JCSS 標章のない一般的な校正証明書と違い、確かな計量のトレーサビリティの証になっています。

この制度により、校正証明書の利用者は安心して記載されている結果を使用することが出来、その信頼性を知ることが出来ます。多くの計測機器製造者や校正事業者は、自らの校正値の信頼性を高めるために JCSS の登録を取得しています。



3.5 国際的枠組

前述の JCSS は日本の計量法に基づくものですが、その JCSS の国際的な位置づけを簡単に説明します。

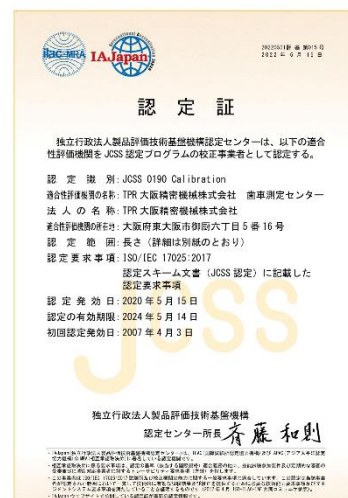
国際的には校正機関を認定する機関（認定機関）の協力組織として ILAC という組織があり、アジア太平洋地域においては APAC という組織があります。これらの協力組織と JCSS の認定機関である IAJapan が相互承認の署名(MRA)を結ぶことにより、JCSS 認定シンボル付き付校正証明書は世界各国において同等性を認められています。また、このことにより国際的商取引における計量分野における貿易障壁が取り除かれています。

このような制度の下で、認定された校正事業者は下記の認定シンボルを付けて校正証明書を発行することが出来ます。



TPR 大阪精密機械(株) 歯車測定センターは、認定基準として ISO/IEC 17025(JIS Q 17025)を用い、認定スキームを ISO/IEC 17011 に従って運営されている JCSS の下で認定されています。JCSS を運営している認定機関(IAJapan)は、アジア太平洋認定協力機構(APAC)及び国際試験所認定協力機構(ILAC)の相互承認に署名しています。

TPR 大阪精密機械(株) 歯車測定センターは、国際 MRA 対応 JCSS 認定事業者です。JCSS 0190 は、TPR 大阪精密機械(株) 歯車測定センターの認定番号です。



3.6 関連規格

ここで、歯車測定と信頼性に関わる関連規格を少し整理します。

3.6.1 JIS

ここ数年で歯車測定関連の JIS 規格が改正あるいは新たに制定されており、ISO 規格への整合あるいは国際的な競争力の向上がはかられています。

この中で JIS B 1757-2 から 4 はまだ一般的ではありませんが、より高度な歯車測定機の評価を目的とした規格で、歯車ではなく、球や平面といった幾何形状の標準器を用いて歯車測定機の評価を行うものです。

- ・ JIS B 1702-1:2016 歯車の歯面に関する誤差の定義及び許容値
- ・ JIS B 1757-1:2012 歯車測定機の評価方法—第1部:歯車形の基準器を用いる方法
- ・ JIS B 1757-2:2010 歯車測定機の評価方法—第2部:球基準器又は円筒基準器を用いる方法
- ・ JIS B 1757-3:2013 歯車測定機の評価方法—第3部:平面基準器を用いた歯すじ測定
- ・ JIS B 1757-4:2013 歯車測定機の評価方法—第4部:球基準器を用いたピッチ測定
- ・ JIS B 1758:2013 歯車測定機の受入検査

3.6.2 ISO 9001(JIS Q 9001)

品質マネジメントシステムに関する要求事項を規定した国際規格。

1987年に国際規格として制定され、1994年、2000年、2008年、及び2015年に改訂が行われています。世界中の多くの企業や団体で ISO 9001 の認証取得が行われています。

ISO 9001 は、あらゆる業種に適用できる規格であり、審査登録機関が審査を行い、ISO 9001 の要求事項を満たしていると判断されると認証登録が得られ、ISO 9001 を認証取得することで、ある一定基準以上の品質保証のしくみが整っていることの証になります。また、現在は製品品質改善や企業体質改善、基盤力強化を目的として認証取得を行う企業が多くなっています。

3.6.3 ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025)

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 は ISO 9001:1994 をベースに、校正機関に対する固有の技術的要求事項を付加した規格であり、校正機関の能力を認定機関が認定する際の基準として利用されています。

認定校正機関は、この規格の要求事項を満足するマネジメントシステムと技術的力量が備わっており、それが運用されています。

2017年11月には関連規格との整合が図られ、2017年版として改正されています。

3.6.4 IATF 16949

自動車産業に属する製造業における品質マネジメントシステムの規格。

自動車産業は購入部品の品質がそのまま自動車の品質に反映されるという特性が強いため、サプライチェーンとしてのマネジメントが非常に重要であり、サプライヤーへの品質マネジメントシステムに関する厳格な要求が必要になっています。このひとつとして、ISO 9001 認証取得の要求もありますが、全業種対応の規格である ISO 9001 では、規格の解釈と適用レベルに幅があるため、自動車産業としては、ISO 9001 の要求レベルをより具体化する必要があります。

当初 QS 9000 としてアメリカ BIG3 が主体となり制定されましたが、以後 ISO/TS 16949 として進化し、2016年に IATF 16949 として制定され、今日、自動車産業で広く適用されています。

自動車と歯車は深い関係にあります。この IATF 16949 では測定器を外部へ校正依頼する場合に

は、ISO/IEC 17025 の要求事項を満足する校正事業者へ依頼することが義務づけられています。

3.7 歯車及び歯車測定機の校正

今まで述べたようなことを背景に産業界、とりわけ計測に携わる業界では計量計測のトレーサビリティの確保に早くから積極的に取り組まれてきました。私たちも歯車測定機の製造者として製品のトレーサビリティを確保すべく行動し、歯車・歯車測定機の校正を開始しましたが、前述の内容を踏まえて、弊社において歯車・歯車測定機がどのような方法で校正されているのかを説明します。

3.7.1 歯車

3.1 項のトレーサビリティ体系図では、歯車基準器や歯車マスターはブロックゲージを介して「長さ」の国家標準に繋がっていますが、DAT-1 型という「歯車基準機」がブロックゲージと歯車の仲介役を担っています。

図 4. に示す DAT-1 型は超高精度に歯車を測定することを目的に開発された特別仕様の測定機ですが、基本的に弊社製品の全自動歯車測定機同様、互いに直交する三軸と回転軸及び歯車軸を支えるセンタ台移動軸から構成されており、インボリュート創成運動で歯車を測定します。

これらの各軸が完全に「直角」あるいは「平行」であり、「真っ直ぐに運動」あるいは「振れなく回転」すれば良く、各軸のスケール誤差がなければ良いのですが、現実的にはゼロではありません。

前述のトレーサビリティを確保し、歯車の校正を確立するためにはそれらのことを明確にする必要があります。以下の考えのもとに「歯車の校正」を行っています。



図 4. DAT-1 型 歯車基準機

- 歯車の校正結果(歯形誤差・歯すじ誤差・ピッチ誤差)は長さの単位、「 μm 」で表されており、その量は検出器の変位量である。



- DAT-1 検出器の変位量をブロックゲージで校正する。



- これだけでは十分ではないので、DAT-1 という装置の各軸の「直角」、「平行」、「運動の真直度」、「回転の振れ」等はインボリュート創成運動の不確かさとして見積もる必要がある。



- 従って、検出器が示す「長さ」の分野でトレーサビリティを確保し、検出器も含め構成要素はすべて「校正の不確かさ」である。

上記考えのもと、私たちは DAT-1 型の特徴を詳細に調査し、それらが歯車の測定結果に及ぼす影響を計算し、「校正の不確かさ」を表明することにより、「歯車の校正」が成り立っています。

なお、歯車の校正は DAT-1 型を用いて主軸との位相を 90° ずつ変えながら 4 回測定が行われ、校正証明書には、その「歯車」の歯形・歯すじ・ピッチの各項目の校正結果と、それぞれの不確かさが記載されます。

3.7.2 歯車測定機

歯車測定機の校正になると、もう少し単純になります。まず、トレーサビリティを確保するために、「校正された歯車」を用いて歯車測定機を検証することになります。ただし、具体的にどれだけの内容（緻密さ）で検証すれば、歯車測定機の性能を検証したことになるのか？という課題があります。おそらく、一つの歯車を一回だけ測定しても歯車測定機の性能を検証したことにはならないと思います。

そこで、「JIS B 1758:2013 歯車測定機の受入検査」という規格を運用します。この規格では、歯車測定機の性能を検証する方法が規定されているので、どれだけの内容で検証すれば良いのかが公に示されています。以下に弊社で受入検査を実施する場合の大まかな内容を記載します。

A) 歯形測定

使用する基準器は、歯車測定機の最大測定範囲に応じて、2 又は 3 種類の基準円直径の歯車形基準器を使用します。

- ・測定機の最大測定範囲 ϕ 250 mm 以上の場合
小径; ϕ 50 mm 中径; ϕ 108 mm 大径; ϕ 240 mm
- ・測定機の最大測定範囲 ϕ 250 mm 未満の場合
小径; ϕ 50 mm 大径; ϕ 108 mm

測定は各基準器を歯車測定機の主軸との位相を 90° ずつ変えながら左右歯面をそれぞれ 1 回ずつ全歯形誤差を測定します。



インボリュート基準器(小)



インボリュート基準器(中)



インボリュート基準器(大)

B) 歯すじ測定

使用する基準器は、基準円直径;100 mm 歯幅;75 mm の 0° , $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$ の 5 種類のねじれ角を持つ、歯車形基準器を用います。

測定は基準器を歯車測定機の主軸との位相を 90° ずつ変えながらそれぞれ 1 回ずつ全歯すじ誤差を測定します。



歯すじ基準器

C) ピッチ測定

使用する基準器は、基準円直径;108 mm 歯幅;20 mm 歯数;36 の歯車形基準器を用います。

測定は基準器を左右歯面をそれぞれ 1 回ずつ累積ピッチ及び単一ピッチ誤差測定します。



ピッチ基準器

以上が、「JIS B 1758:2013 歯車測定機の受入検査」規格に沿った歯車測定機の検証の内容になります。

受入検査規格に沿った内容では、上記の「校正された歯車基準器」を現場に持ち込んで測定を行い、歯車測定機の出力する測定結果と校正値の差が合意された許容値内であるかを判断することになります。

一方、JCSS 歯車測定機現地校正の場合は、同様の歯車基準器を用いますが「校正された歯車基準器」は JCSS 校正されている必要があり、測定回数は、歯形(大・中・小)・歯すじ(0° , $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$)・ピッチ各測定を歯車測定機回転軸との位相を 90° ずつ変えながら 10 回繰り返します。これらは歯車測定機校正の不確かさを推定するために必要なことです。

なお、JCSS 歯車測定機現地校正の場合は、その歯車測定機を用いて各種歯車基準器の歯形・歯すじ・ピッチの測定を行った場合の測定誤差が、校正証明書に不確かさとともに記載されます。

この不確かさには、「使用した歯車基準器の校正値の不確かさ」と「環境条件も含まれた繰り返し測定の不確かさ」が含まれています。

4. 不確かさの推定

4.1 一般的な不確かさの求め方

3項で「不確かさ」という言葉の説明をしましたが、自分たちの測定の信頼性を明らかにするためには実際に測定の不確かさを求めなければなりません。測定の不確かさを JCSS 認定レベルで求めるのは簡単ではありませんし、統計学の知識が必要になりますが、日常レベルであるとそう難しいものではありませんので、簡単に説明します。手順としては概ね以下のようになります。

1. 測定手順を明確にする。
2. 測定に影響する誤差要因を数え上げる。
3. その要因を数値化し、測定結果への影響量に換算する。
4. すべての誤差要因を合成する。(合成標準不確かさの決定)
5. 包含係数を決定し、拡張不確かさを求める。
6. 不確かさの報告。

4.1.1 測定手順を明確にする。

おおよそ一般的な測定には定められた手順があるはずですが、もし無ければまず手順を定めなければなりません。手順が定まっていないと、その都度誤差要因が変わってしまい、次項の誤差要因を特定することが困難になります。

4.1.2 測定に影響する誤差要因を数え上げる

一般的に、測定の不確かさの要因は一つではなく、複数の誤差要因が絡まり、積み重なっています。厳密に言えば関数モデルを構築し、それに沿って評価する必要がありますが、一般測定レベルであれば、その測定手順の中で起こっている誤差の要因を一つ一つ拾い上げていくことで十分と思います。たとえ関係が無いと思われる要因があっても数え上げ、次の段階で精査します。

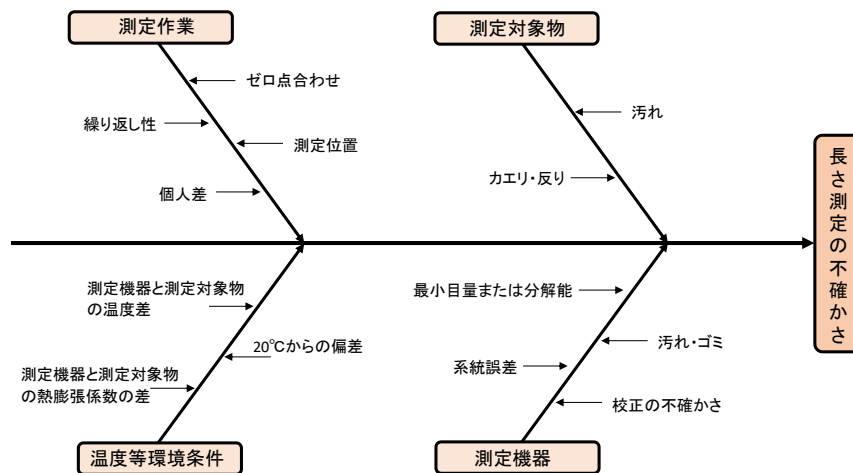


図 5. 不確かさの要因の例

4.1.3 要因を数値化し、測定結果への影響量に換算する。

前項で拾い上げられた誤差要因を数値化します。規格等の文献、あるいは使った測定器の校正証明書等から判る物はそれを使い(タイプ B と呼ばれます)、判らないものは実際の測定結果に基づき数値化(タイプ A と呼ばれます)します。

タイプ A の方法は、通常多数個のデータを採取し標準偏差を求めます。測定に使用した計測機器の校正証明書に不確かさが記載されている場合は、拡張不確かさを包含係数(通常は 2)で割ります。

タイプ B の方法では、多くの場合不確かさの上限下限しか判らない場合が多いため、適切な確率分布を想定し標準偏差に換算します。分布状態がよく判らない場合は、両側一様分布(矩形分布)における半幅と見なして限度幅を $\sqrt{3}$ で割ります。

つまり、誤差要因のすべての標準偏差を求めることになります。

得られる数値はすべて同じ単位で、最終的な結果と同じ単位であるとは限りません。例えば、長さ測定では温度変化が測定結果に大きく影響しますが、温度変化が不確かさの要因であるならば、温度変化量を測定し、標準偏差を求めます。それに対象物の熱膨張係数を乗じて、影響する長さに換算します。

上記により求められた各種誤差要因による不確かさは、それぞれ各要因の標準不確かさと呼ばれます。

4.1.4 すべての誤差要因を合成する。(合成標準不確かさの決定)

得られた誤差要因がすべて数値化されれば(すべての標準不確かさが求めれば)、それらを合成して合成標準不確かさを求めます。

一般的には、各標準不確かさを二乗和平方根して求めます。これにより図 3. で示す標準偏差(σ)が求められます。

4.1.5 包含係数を決定し、拡張不確かさを求める

測定の信頼の水準を明確にするため、包含係数と呼ばれる数値を決定します。通常は信頼の水準約 95% で表明することが多いので、包含係数は $k=2$ が使用されます。

4.1.4 で求められた合成標準不確かさに 2 を乗じて拡張不確かさが求められます。

4.1.6 不確かさの報告

最終的に報告すべき測定結果に、拡張不確かさと信頼の水準を併記して報告します。

4.2 歯車校正の不確かさ

3.7.1 項の説明で、「検出器が示す「長さ」の分野でトレーサビリティを確保し、検出器も含め構成要素はすべて「校正の不確かさ」である。」と一言で書きましたが、この部分を詳細に記述すると数十ページの内容になりますので、弊社の DAT-1 型を使用した歯車校正における不確かさの求め方の概要を示します。

この部分は前項の内容と併せて、お客様所有の歯車測定機の静的精度が歯車測定にどの程度影響するのかを把握するのに役立つかもしれません。

基本的には 4.1 項の内容を踏襲します。

4.2.1 測定手順を明確にする。

歯車校正の場合においては、DAT-1 型を使うということとその測定手順が手順書に定められていますので、それが基本となります。手順として気を付けることは測定の手順も大事ですが、歯車校正の場合 DAT-1 型の誤差要因を求めることを主に考えておくということです。

4.2.2 測定に影響する誤差要因を数え上げる

3.7.1 項でも述べましたが、DAT-1 型は測定誤差ゼロの装置ではありません。

装置の構成要素と運動性能の大部分が僅かですが誤差をもっており、歯車の測定結果に大なり小なり影響します。検出器・回転軸・三軸の運動・各スケールの精度等々、図 6.のように考えられる要因をすべて数え上げます。また、検証に使用する各種計測機器の不確かさや人的な要因・環境の要因も忘れてはなりません。

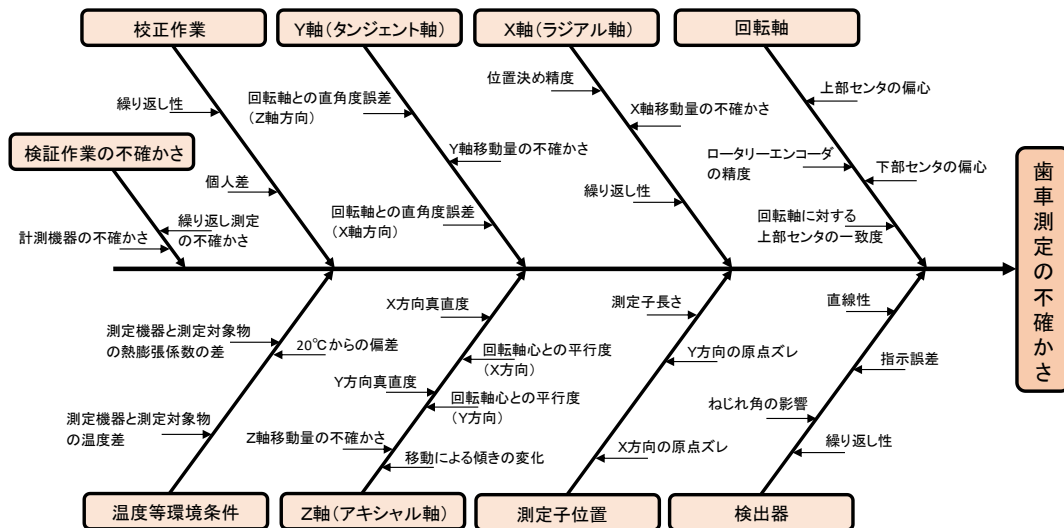


図 6. 歯車測定の誤差要因の例

4.2.3 要因を数値化し、測定結果への影響量に換算する。

上記で数え上げられた要因の値を測定実験により求めます。また、時系列的に変化する可能性のある要因は、管理幅を設定し日常管理でその値を確保します。

ここからが少し難しく手間の掛かる作業になりますが、求められた誤差要因の量が歯車測定にどれだけ影響するのかを理論式により計算します。当然、一つの誤差要因が、歯形測定・歯すじ測定・ピッチ測定に及ぼす影響も異なりますので、それらはすべて別々に計算します。

また、測定する歯車は一つではありませんので、歯車の種類毎に影響する量も異なります。それを測定する歯車毎に計算する必要がありますが、計算の手間を省くために、歯車諸元と誤差要因の量を入力すれば、各誤差要因が、歯車測定に影響を与える量を計算されるよう、ソフトウェアあるいは EXCEL シートを作成すると便利です。



4.2.4 すべての誤差要因を合成する。(合成標準不確かさの決定)

すべての誤差要因について、歯形・歯すじ・ピッチ測定に与える影響が計算されれば、それを測定項目毎に合成します。基本は二乗和平方根で、合成標準不確かさを求めます。

4.2.5 包含係数を決定し、拡張不確かさを求める

私たちは ISO/IEC 17025 の要求事項を満たす必要があるので、単純に包含係数を 2 と決める訳にはいきませんが、一般的には合成標準不確かさに 2 を乗じて、拡張不確かさを求めます。

4.2.6 不確かさの報告

最終的に、歯形測定・歯すじ測定・ピッチ測定各々について測定結果と不確かさを報告します。

歯車の校正で JCSS 認定を取得しようと思えば、4.2 項の内容を詳細に記述した文書を作成し、技術的内容を審査されることとなりますが、自身の歯車測定の信頼性を検証するだけであれば、比較的簡素に済ませることが出来ると思います。また、4.2.2 項の作業でたくさんの要因が出てくることと思いますが、計算してみると歯車測定に大きく影響する要因はそう多くないと思います。

4.3 歯車測定機現地校正の不確かさ

歯車測定機現地校正の場合は、不確かさが付記された「校正された歯車基準器」だけを用いて校正作業を行うため、あまり複雑な計算を必要としません。

歯車測定機現地校正の場合、不確かさの基本は同じですが、参照できる規格として JIS B 1757-1 があり、その中で不確かさを求める式(1)がありますので、それを利用します。ただし、その中で標準偏差を求める必要があるため、各測定を 10 回繰り返す必要があります。

$$U_{95} = \left[k \left(u_m^2 + u_n^2 + u_g^2 + u_w^2 \right)^{0.5} \right] + |E| \quad \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

U_{95} : 測定不確かさ

k : 包含係数 通常、 $k=2$

u_m : 評価しようとする測定機で同一の生産品について再現性を含んで測定したときの測定値の標準偏差

u_n : 基準器の校正証明書に記載されている拡張不確かさの 1/2

u_g : 基準器と測定する生産品との幾何学的な相違から生じる不確かさ

u_w : 基準器と測定する生産品との材料特性、表面仕上げ、形状などの相違から生じる不確かさ

E : 評価しようとする測定機で基準器を測定した平均値と校正値の差

式(1)は生産歯車を測定する時の不確かさを求める式ですから、基準器を用いて歯車測定機の測定誤差(E)を求める歯車測定機の校正の場合は、余分な項目を削除すると下記式(2)になります。

$$U = k \left(u_m^2 + u_n^2 \right)^{0.5} \quad \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

インボリュート基準器(小) MC20-50 No.02 管理番号 BZ-MN02

ねじれ角	歯面	測定項目	校正値	拡張不確かさ	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均値	u_m	u_n	U
0°	左歯面	全歯形測定誤差: E(F _d)	1.9	0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.21	0.07	0.25	0.6
	右歯面	全歯形測定誤差: E(F _d)	1.3	0.5	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.07	0.07	0.25	0.6

インボリュート基準器(中) MC20-108 No.02 管理番号 BZ-MN04

ねじれ角	歯面	測定項目	校正値	拡張不確かさ	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均値	u_m	u_n	U
0°	左歯面	全歯形測定誤差: E(F _d)	1.3	0.5	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.18	0.11	0.25	0.6
	右歯面	全歯形測定誤差: E(F _d)	1.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.28	0.09	0.25	0.6

インボリュート基準器(大) MC20-240 No.02 管理番号 BZ-MN06

ねじれ角	歯面	測定項目	校正値	拡張不確かさ	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均値	u_m	u_n	U
0°	左歯面	全歯形測定誤差: E(F _d)	1.4	0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.7	-0.67	0.08	0.30	0.7
	右歯面	全歯形測定誤差: E(F _d)	1.4	0.6	0.8	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.64	0.10	0.30

全歯形測定誤差(最大値)	0.7
拡張不確かさ(k=2)	0.7

歯すじ基準器 MH75-100 No.02 管理番号 BZ-MN08

ねじれ角	歯面	測定項目	校正値	拡張不確かさ	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均値	u_m	u_n	U
0°	左歯面	全歯すじ測定誤差: E(F _β)	0.4	0.7	0.0	0.1	0.5	0.3	-0.1	0.1	0.4	0.2	0.0	0.4	0.19	0.20	0.35	0.9
15° LH	左歯面	全歯すじ測定誤差: E(F _β)	2.6	0.8	0.2	0.3	0.5	-0.1	0.0	0.4	0.1	-0.2	-0.1	0.3	0.14	0.24	0.40	1.0
15° RH	左歯面	全歯すじ測定誤差: E(F _β)	1.4	0.8	0.0	-0.2	0.3	0.4	0.0	-0.1	0.0	0.3	0.1	0.1	0.09	0.19	0.40	0.9
30° LH	左歯面	全歯すじ測定誤差: E(F _β)	2.2	1.0	0.7	0.5	0.1	0.1	0.3	0.3	-0.4	-0.2	0.0	-0.3	0.11	0.35	0.50	1.3
30° RH	左歯面	全歯すじ測定誤差: E(F _β)	1.1	1.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.18	0.04	0.50	1.1

全歯すじ測定誤差(最大値)	0.2
拡張不確かさ(k=2)	1.3

ピッチ基準器 MP20-108 No.02 管理番号 BZ-MN10

ねじれ角	歯面	測定項目	校正値	拡張不確かさ	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均値	u_m	u_n	U
0°	左歯面	単一ピッチ測定誤差: E(F _β)	1.2	0.3	-0.1	0.0	0.2	0.1	-0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	-0.1	0.03	0.14	0.15	0.5
		累積ピッチ測定誤差: E(F _β)	3.9	0.5	0.3	0.0	0.2	0.2	0.6	-0.1	0.1	0.0	0.3	-0.1	0.15	0.22	0.25	0.7
	右歯面	単一ピッチ測定誤差: E(F _β)	1.3	0.3	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.04	0.08	0.15	0.4
		累積ピッチ測定誤差: E(F _β)	4.0	0.5	0.2	-0.3	-0.2	0.3	0.5	-0.3	0.3	-0.2	0.0	-0.1	0.02	0.29	0.25	0.8

単一ピッチ測定誤差(最大値)	0.0
拡張不確かさ(k=2)	0.5
累積ピッチ測定誤差(最大値)	0.2
拡張不確かさ(k=2)	0.8

注. 1回目から10回目の各値は、測定結果から基準器校正値を減じた値である。 単位: μm

図 7. 歯車測定機校正の不確かさ計算例

不確かさの要因としては、繰り返し測定の標準偏差: u_m と、使用する基準器の不確かさ: u_n だけになり、その2つを二乗和平方根して包含係数2を乗じることになります。

なお、この JIS B 1757-1 に記載されている式(1)は、お客様の測定機で歯車基準器を測定することにより、生産歯車の測定不確かさを求める式ですから、本書の本来の目的である「歯車測定の信頼性向上」のために、そのまま使用出来る式であります。



4.4 日常歯車測定の不確かさ

お客様の日常の歯車測定の不確かさを求める場合は、概ね以下の方法が考えられます。

一つ目の方法は、JCSS 歯車測定機現地校正サービスをご利用戴くケースです。弊社の JCSS 現地校正サービスを利用して頂ければ、校正証明書に式(1)の E と式(2)の U が記載されていますので、基準器と生産歯車の形状や特性の違いによる影響 (u_g や u_w) がほぼ無視出来る場合は、それだけで測定結果の信頼性は判ります。ただし、使用する基準器と生産歯車がかげ離れている場合は、何らかの計算手法により不確かさに付け加える必要があります。

二つ目の方法は JCSS 現地校正を利用しないで基準器の校正のみ JCSS 校正サービスをご利用戴くケースです。実施する場合は、まず生産歯車とほぼ同じ諸元・材質のマスター的な物(歯面の状態の良い物)を準備して頂き、それを弊社で JCSS 校正する必要があります。JCSS 校正により校正値と不確かさが判りますので、それを用いてお客様が多数回の測定を実施し、式(1)により不確かさを求め

ることになります。この場合、基準器と生産歯車の形状や特性の違いによる影響(u_g や u_w)は無視出来るものと思います。

三つ目の方法は、歯車の JCSS 校正サービスを利用せず 4.3 項の方法でお客様自ら、歯車測定機の誤差要因を特定し不確かさを求める方法になるかと思えます。

お客様がご自身ですべて実施されても、JCSS 校正サービスを利用されてもいいのですが、コスト面・実用面・柔軟性を考慮した上でご判断いただければと思います。

4.4.1 JIS B 7443-3 の利用

前述のように、日常の歯車測定の不確かさを求めるには、その必要性により異なるアプローチがあることが判ります。一つ目の方法は、基準器と生産歯車の形状・特性の違いによる影響が、現実的に無視出来るかという面で疑問が残ります。三つ目の方法は、手間が掛かりすぎるため、製品歯車測定の不確かさを求めるには不向きかもしれません。コストパフォーマンス的には、二つ目の方法が有効な場合が多いと思われるので、もう少し説明をします。

校正された基準器を用いて製品歯車測定の不確かさを求める場合、前述の JIS B 1757-1 だけでなく、下記の三次元測定機関連規格も参考にすると、理解し易いかもしれません。

- ・ JIS B 7443-3:2015 一座標測定機:測定不確かさの求め方
第 3 部:校正された測定物又は測定標準を使用する方法

基本的にこの規格も ”校正された製品形状の標準器を用いて、測定の不確かさを求める” という内容ですが、ここで三次元測定機関連規格を取り上げた理由には2つあります。

- JIS B 1757-1 では総合的な歯車測定機の評価方法が主題であるので、”測定の不確かさを求めたい製品” と ”用いる基準器”の類似性について明確に示されていない。
- JIS B 1757-1 では具体的な事例が示されておらず、現実的に製品歯車測定の不確かさを求めるには理解が難しい。

JIS B 1757-1 と JIS B 7443-3 に記述されている不確かさを求める式・方法は基本的に同じですが、不確かさの中に測定機の誤差を含んでいるか、いないかの違いがあります。JIS B 1757-1 では、不確かさに測定機の誤差(E)を含んでいますが、JIS B 7443-3 では、系統誤差(測定機の誤差)を測定結果に加える事を前提としていますので、不確かさに測定機の誤差が含まれないので注意が必要です。

JIS B 1757-1 の式

$$U_{95} = \left[k \left(u_m^2 + u_n^2 + u_g^2 + u_w^2 \right)^{0.5} \right] + |E| \quad \dots \dots \text{式(1)}$$

JIS B 7443-3 の式

$$U = k \times \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2 + u_b^2 + u_w^2} \quad \dots \dots \dots \text{式(3)}$$

(E は含まない。JIS B 7443-3 では系統誤差 b として測定結果に加えることになっている)

それ以外は、 $u_n = u_{cal}$ 、 $u_m = u_p$ 、 $u_g = u_b$ 、 $u_w = u_w$ と考えられます。

JIS B 7443-3 では、「測定の不確かさを求めたい製品」と「用いる基準器」の類似性に関する要求事項が記載されています。歯車で例えると、モジュール:2、外径 80 mm 程度の基準器を測定して不確かさを求めても、それをモジュール:6、外径 200 mm の歯車に適用出来るのか？ということであり、つまり「不確かさを求めるにあたって、どの程度まで同じ形の品物と見なせるか？」です。以下に抜粋します。

- | | |
|---------------|--|
| a) 寸法特性(寸法) | 250 mm を超える場合は 10 % 以下の範囲で同一
250 mm 以下の場合は 25 mm 以下の範囲で同一 |
| b) 寸法特性(角度) | ±5° の範囲で同一 |
| c) 形状誤差及び表面性状 | 機能特性に関して類似 |
| d) 材料特性 | 機能特性に関して類似 |
| e) 測定戦略 | 同一(測定手順・測定点数・測定点の配置等) |
| f) 測定子構成 | 同一 |

すなわち、上記を満たせば測定の不確かさを求めるにあたって、ほぼ同一の製品と見なすことができ、この程度の製品形状の違いであれば、測定の不確かさは同じと考えて良いということです。

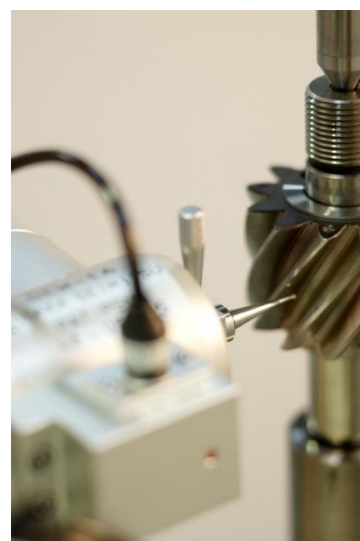
この類似性は三次元測定機での寸法測定を想定していますので、歯車測定機では測定時の、

- ・歯形ころがり長さ(Ta 軸移動長さ)と位置)
- ・歯すじ測定長さ(Ax 軸移動長さ)と位置)
- ・主軸回転角度
- ・軸長等

が考慮すべき特性になると思います。

従って、測定の不確かさを求めたい製品と、「類似性」を持った基準器を JCSS 校正していただき、JIS B 7443-3 に従って製品歯車測定の不確かさを求めていただく事になります。事例として JIS B 7443-3 付属書 A に手順が示されていますので参考して下さい。

付属書 A を見ていただければ判りますが、JIS B 1757-1 の u_g 、 u_w に相当する JIS B 7443-3 の u_b 、 u_w は、ほぼ同じ材料・表明性状で同一環境での測定であれば無視出来るほど小さな数値となり、最終的に式(1)は



$$U_{95} = k \times \sqrt{u_m^2 + u_n^2} + |E| \quad \dots \dots \dots \text{式(4)}$$

k : 包含係数 通常、 $k=2$

u_n : JCSS 校正された基準器の不確かさの 1/2

u_m : 10~20 回程度繰り返し測定した結果の標準偏差

E : 基準器の校正値と繰り返し測定結果の平均値の差

で簡易的に求められることとなります。ただし、繰り返しの測定データの取得方法には注意が必要です。良い値を出そうと普段とは異なった条件で測定するのではなく、人・環境・測定条件等、偏りのない日常の条件で測定しなければなりません。

繰り返し測定の結果、例えば歯形誤差測定における現実的な数値として、 $u_n=0.3$ 、 $u_m=0.2$ 、 $E=1.2$ であれば、その測定不確かさは 1.9 μm になります。

4.4.2 不確かさの改善

4.4.1 項で求めた測定不確かさが製品歯車測定結果の信頼性を表すものですが、満足出来る数値ではなく、製品歯車の品質保証において受け容れがたい場合があると思います。

その原因は様々ですが、改善のためには $u_n \cdot u_m \cdot E$ のどの部分の数値が大きいか、特に u_m と E の値が重要になります。（ u_n は校正事業者の能力で決定されてしまい、歯車校正に関しては、弊社の能力は国際的にも遜色無いレベルと思います。）

u_m は繰り返し測定の標準偏差ですから、主な原因は「環境条件」「測定手順」「センタの振れ」「歯車測定機の安定性」等であり、 E は「環境条件」「歯車測定機の能力」が主な原因となります。

これらの原因を特定するには、追加の測定実験が必要ですが、経験上繰り返し測定結果が悪い場合（すなわち u_m が大きい場合）は、下部センタの摩耗や取付不良・センタ穴の異物の咬み込みや不良・ワークドライバ（回り止め）の不適切な使用等、歯車の回転軸心と測定機の回転軸心の不一致が原因であることが多く、あるいは各軸の駆動系の緩み等が考えられます。また、温度環境の変動が大きい場合も繰り返し測定結果に影響します。

また、基準器の校正値と繰り返し測定結果の平均値の差が悪い場合（すなわち E が大きい場合）は、測定環境が標準温度 20 °C から大きく外れている場合や歯車測定機の劣化が原因であることが多いと考えられます。

いずれにせよ、追加の検証結果により不確かさが大きい原因を特定し、環境条件・測定手順等お客様ご自身で改善出来る部分は改善を実施していただき、歯車測定機の能力に関することは弊社にご連絡いただき、対応させていただくことにより歯車測定の不確かさは改善されるものと思います。

5. 歯車測定機の管理

製造現場における測定機器の管理は、お客様それぞれの管理手法があり、実績を積み上げていることと思いますが、測定機メーカーの立場からは以下のように考えています。

3 項 4 項で「トレーサビリティ」「校正」「不確かさ」といった事柄を説明しましたが、その実施は可能であればお客様が実施されても構いませんし、校正事業者に依頼されても構いませんが、これから述べる管理的側面は、お客様自らが実施する内容になります。

トレーサビリティ・校正・不確かさといった事柄は管理コストを考えると、通常最初だけ、あるいは数年に一度の作業になります。しかし現実的には毎日歯車測定機は使用されているわけで、最初だけ、あるいは数年に一度の測定データが維持出来る保証はありませんし、万が一校正された翌日に歯車測定機にアクシデントが発生していたならば次回の校正まで、間違った値を出し続けてしまうというリスクがあります。そのリスクを低減し、測定結果の信頼性を維持するためにも、何らかの管理体制が必要になります。

5.1 統計的管理

これは一般的によく実施されていると思いますが、比較的短い周期で同じ器物を測定し、管理図等で変化を確認するというものです。ずっと、ほぼ同じ値がでていけば、測定機は大きく変わっていないだろうという考え（それだけではないですが）です。

しかしながら問題点もありそうです。多くの場合、日常点検にあまり時間を掛けたくないのも、代表的な測定やピンポイントの管理になります。

ノギスによる測定を例に考えると、日常 50 mm から 200 mm 程度の部品を測定しているため、日常管理は 100 mm の製品で日常管理を実施しているとします。日常管理では問題が見られなくても、もし、200 mm 付近でノギスの不良がありますと、日常管理だけでは不具合が発見されず、200 mm の製品は間違った測定結果になってしまう場合もあります。

それでは、と 200 mm も日常管理をするようになれば、では 50 mm は？となります。このあたりは心配すればキリがないので、次項の中間チェックや定期校正とのバランスを、検査コストを考慮しながら合理的に決めることになると思います。

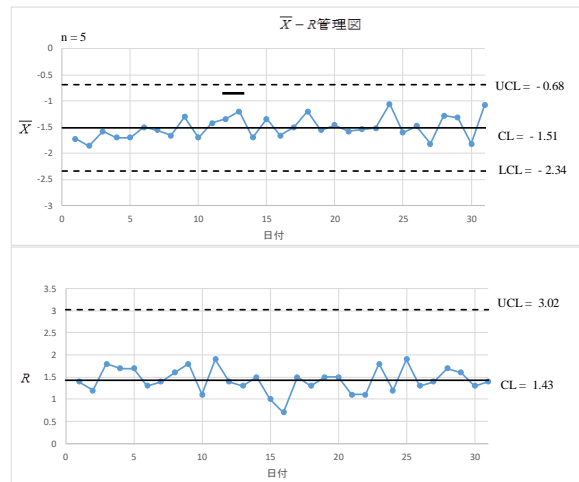


図 8. X-R 管理図

5.2 中間チェック

私たち校正事業者は、日常の短い周期での管理の他に、もう少し長い周期で少し手間を掛けた管理、ちょうど、「定期校正」と「日常管理」の中間的な標準器管理も実施しています。主旨は、日常使用する上位標準器あるいは測定システムが、定期校正の間変化していないか確認するためです。

私たちは、日常的に歯車校正を行っていますが、日常管理では検出器のチェックと下部センタのチェック及び歯すじ測定移動面とセンタ台の平行チェックのみ行っています。経験的にそれ以外の不確かさ要因はよほどのアクシデントが無ければ数日単位では変化しないと考えるからです。

しかし、数週間、数ヶ月単位では徐々に変化する不確かさ要因もあるので、それらは少し手間を掛け定期校正の間に一度確認を行うというやり方です。具体的には、比較的大きな歯形マスター、歯すじマスター、ピッチマスターの位相替え測定を行っています。

これとて、数年単位では、徐々に値が変化し、各マスターが変化しているのか、DAT-1 が変化しているのか判断に苦しむ場面もありますが、定期点検での大規模なチェックや長年のデータ蓄積でそれも見えてきます。

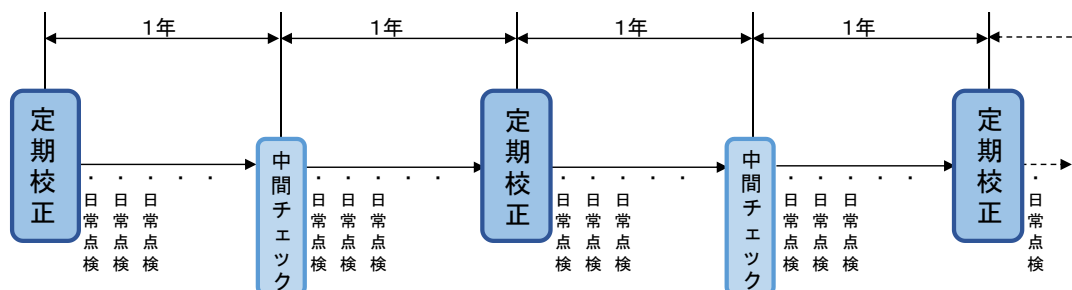


図 9. 管理スケジュールの例

5.3 定期点検(校正)

今日では、測定機器ではごく一般的な「定期校正」ですが、主な目的は「信頼性の確認」です。基本的には2年周期が一般的と思いますが、まず製造メーカーによるメンテナンスを実施した後、必要な検証作業に入ります。

この検証作業はその歯車測定機がどういう管理状況に置かれているかで、その作業の緻密さも変わります。自社で一から不確かさを推定する場合は、不確かさの推定に使用している管理項目の測定を主として、必要に応じ測定機の各部の状態を詳細に把握します。

マスターギヤの繰り返し測定によって不確かさを推定する場合は、取り決めた手順に従ってマスターを測定します。当然ながら、使用するマスターは、定められた有効期間内で定期校正されている必要があります。

校正事業者に依頼する場合は、依頼し、校正実施後に校正証明書を受け取ります。

5.4 マスターギヤの定期校正

5.4.1 定期校正の必要性

多くのお客様は、製品の品質管理も含めて ISO 9001 の取得をされていると思います。

ISO 9001:2015 (JIS Q 9001:2015)の 7.1.5.2 項「測定のトレーサビリティ」 a) では、
”定められた間隔で又は使用前に、国際計量標準又は国家計量標準に対してトレーサブルである計量標準に照らして校正若しくは検証、又はそれらの両方を行う。”

とあり、本書各項の実施を意味しています。

もちろん、これは ISO 9001 の要求事項であり、測定のトレーサビリティが要求事項になっている場合のことですが、これに限らず製品の品質保証・能力の確認のためには、マスター類(標準器)の校正を実施する必要があります。

では、一度校正を実施していれば良いのかというと、そうではありません。小さな鉄の塊とも言えるマスターギヤでも、一般的な測定機同様その使用状況・取り扱い・経年変化等により特性が変化することがあります。

日常の使用に伴うセンタ穴の傷や錆び、不適切な管理等に起因する軸の曲がりによる歯車部の偏心の影響、あるいは歯面の摩耗による歯面の性状の変化等が代表的な事例であり、これらにより測定結果が変化する場合があります。いわゆる校正値が変化することです。

その校正値の変化を把握し、歯車測定機の管理に影響を及ぼさないようにするためにも、定期的に校正を実施する必要があります。

5.4.2 校正周期は誰が決めるのか

ご承知のように、ISO 9001 では、校正周期の決定についての言及はありませんし、私たち校正事業者に対する要求規格 ISO/IEC 17025:2017 では、7.8.4.3 項に

”顧客との合意がある場合を除き、校正証明書又は校正ラベルのいずれも、校正周期に関する推奨を含んではならない。”

とあります。すなわち、校正事業者が勝手に校正周期を決めてはいけないということです。

従いまして、校正周期は使用者であるお客様ご自身で決定することになります。

5.4.3 校正周期の決め方

では、どのように校正周期を決めたら良いのでしょうか？

一般的には、「使用頻度を考えて・・・」と言われることが多いのですが、前述のように使わなくても

変化する可能性があります。また、校正周期が長いとそれだけ計測機器やマスターの異常を見逃すリスクを抱える期間が長くなります。

使用する環境が悪い・使用頻度が高い場合、校正周期は短い方が良いでしょうし、現在の使用状況で過去からの校正結果が安定しておれば、校正周期を延ばしても良いのかもしれませんが。ただし上記リスクの増加が懸念されます。これらのことを考えると通常は2年から3年、使用頻度が高い場合は1年程度が妥当な校正周期と思われます。

5項で述べた管理手法には、お客様の状況により様々なやり方があると思いますし、管理コスト面も考慮しなければなりません。いずれにせよ、測定結果の信頼性を確保・維持するため、何らかの管理手順の取り決めは必要と思います。

6. あとがき

私たち校正事業者にとって、測定結果である数値そのものが製品であり、その不確かさは品質を表す物と思っております。従って不確かさを小さくすることが品質向上であり、最終的に測定結果の信頼性を向上させます。

しかしながら、不確かさを小さくしようと突き詰めていくと、校正設備の管理や校正手順に過度な負担が掛かります。作業的にも研究業務的になってしまい実用性が乏しく、校正事業者としてコストパフォーマンス的に良くない業務になります。

お客様の現場においても、こういったことへの過度な取り組みは生産コストを圧迫するかもしれません。しかし、「製品の信頼性向上」が要求され、IATF 16949等の諸規格で要求事項が厳格化されている昨今では、必要な内容でもあります。トータルコストで考えますと不合格品の流出に対する膨大な処理コストの発生を低減できる可能性もあり、測定の不確かさを明確にすることによる「より合理的な品質管理」によるコスト削減等メリットも大きいと思います。

そういった中、弊社のようなJCSS校正事業者を上手く使って戴き、任せられるところは任せ、自ら出来ることはやるということで、測定の信頼性向上と管理コストのバランスを取って戴ければと思います。

－変更履歴－

初 版 2017 年 4 月

- ・新規発行

第二版 2018 年 8 月

- ・ ISO/TS 16949 に関する記述を、IATF 16949 に変更しました。
- ・ ISO/IEC 17025 の 2017 年版への改正記述を追加しました。
- ・ 5.4 項としてマスターギヤの定期校正に関する記述を追加しました。
- ・ その他、語句・表現を変更しました。

第三版 2019 年 9 月

- ・ 4.4.1 項として製品歯車測定の不確かさを求める手順を追加しました。
- ・ 4.4.2 項として製品歯車測定の不確かさの改善手順を追加しました。

第四版 2020 年 5 月

- ・ IAJapan 殿のご指導によりトレーサビリティ体系図を変更しました。
- ・ 認定ロゴマークを変更しました。
- ・ 地域認定協力機構の統合により APLAC を APAC に変更しました。

第五版 2022 年 6 月

- ・ 社名が大阪精密機械株式会社から TPR 大阪精密機械株式会社に変更になりました。