日本照明工業会 セミナー (第14回)

『測光試験所の品質システムと測定の不確かさ評価』





講演 次第



	講演タイトル
1.	「ISO/IEC 17025:2017 への指摘の事例紹介」
	講師: 岩澤 洋様 (独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センター 試験認証認定課)
2.	「測光試験所の品質システム事例紹介」
	講師:小井土 稔 様 (一般社団法人日本照明工業会 照明測定技術小委員会) (岩崎電気(株)評価試験センター)
3.	「測光・放射測定におけるCIEでの最近の話題」
	講師:大嶋 浩正 様 (一般社団法人日本照明工業会 第2部会国内小委員会 委員(前幹事) (大塚電子株式会社)
4.	「測光・放射測定における不確かさ評価」
	講師: 市野 善朗 様 (国立研究開発法人産業技術総合研究所 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門 総括研究主幹 兼 光放射標準研究グループ 研究グループ長)

一般社団法人日本照明工業会セミナー 2024年3月28日

ISO/IEC 17025:2017 への指摘の事例紹介

独立行政法人製品評価技術基盤機構 認定センター 試験認証認定課 岩澤 洋



本日の内容

- 1. JNLA審査における 不適合、懸念事項の件数
- 2. 不適合事項の事例紹介



1. JNLA審査における不適合、懸念事項の件数

・2023年度(4月1日~12月31日)審査における不適合、懸念事項の件数

不適合	懸念事項
68件	26件

JIS法、JNLA登録の一般要求事項に対する不適合等の件数は除いています。



JNLA審査における不適合、懸念事項

【不適合】

登録要求事項に対し、事業所が適合していることのエビデンスを示せなかった事項であって、 不適合と判断できる客観的証拠がある事項。是正報告書の提出を要請します。

【懸念事項】

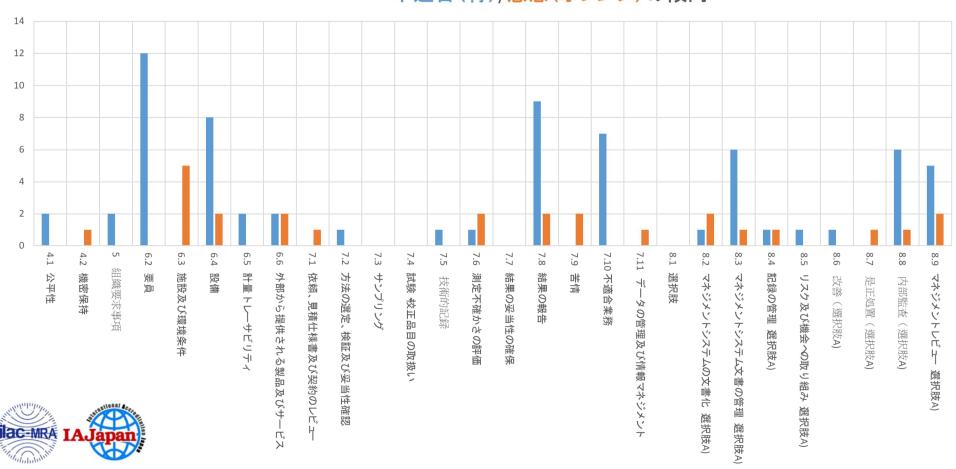
登録要求事項に対し、事業所側が現時点では適合していることを主張し、何らかのエビデンスが提示され、審査側も確認できたが、当該マネジメントシステムを継続的に運用した場合、いずれは「不適合」になる可能性があると懸念される根拠(証拠、状況)がある事項。回答書の提出を要請します。

*不適合に対する是正報告書、懸念事項に対する回答書は、合意日の翌日より 登録試験事業者の20営業日目までに提出をお願いしています。



JNLA審査における指摘事項の傾向(2023年4月~12月)

不適合(青)/懸念(オレンジ)の傾向



ISO/IEC 17025:2017 箇条別の件数

ISO/IEC 17025:2017の要求事項	不適合	懸念事項
4 一般要求事項		
4.1 公平性	2	0
4.2 機密保持	0	1
5 組織構成に関する要求事項	2	0
6 資源に関する要求事項		
6.1 一般	0	0
6.2 要員	12	0
6.3 施設及び環境条件	0	5
6.4 設備	8	2
6.5 計量トレーサビリティ	2	0
6.6 外部から提供される製品及びサービス	2	2



ISO/IEC 17025:2017 箇条別の件数

ISO/IEC 17025:2017の要求事項	不適合	懸念事項	
7 プロセスに関する要求事項			
7.1 依頼,見積仕様書及び契約のレビュー	0	1	
7.2 方法の選定,検証及び妥当性確認	1	0	
7.3 サンプリング	0	0	
7.4 試験・校正品目の取扱い	0	0	
7.5 技術的記録	1	0	
7.6 測定不確かさの評価	1	2	
7.7 結果の妥当性の確保	0	0	
7.8 結果の報告	9	2	
7.9 苦情	0	2	
7.10 不適合業務	7	0	
7.11 データの管理及び情報マネジメント	0	1	



ISO/IEC 17025:2017 箇条別の件数

ISO/IEC 17025:2017の要求事項	不適合	懸念事項
8 マネジメントシステムに関する要求事項		
8.1 選択肢	0	0
8.2 マネジメントシステムの文書化(選択肢A)	1	2
8.3 マネジメントシステム文書の管理(選択肢A)	6	1
8.4 記録の管理(選択肢A)	1	1
8.5 リスク及び機会への取組み(選択肢A)	1	0
8.6 改善(選択肢A)	1	0
8.7 是正処置(選択肢A)	0	1
8.8 内部監査(選択肢A)	6	1
8.9 マネジメントレビュー(選択肢A)	5	2

注意:8.2から8.9は、選択肢Bを選択した登録試験事業者の不適合等の件数も含めています。

2. 不適合事項の事例紹介

<5 組織構成に関する要求事項>

- 5.2 ラボラトリは、そのラボラトリについて総合的な責任をもつ ラボラトリマネジメントを特定しなければならない。
- 5.5 ラボラトリは、次の事項を行わなければならない。
- b) ラボラトリ活動の結果に影響する業務を管理,実施又は検証する**全ての要員の責任,** 権限及び相互関係を規定する。
- ・品質マニュアルのマネジメントシステム上の管理者の責任と権限を規定する項目において、ラボラトリマネジメントとしての事業所長の責任と権限が明確に規定されていない。



<6.2 要員>

6.2.2 ラボラトリは、学歴、資格、教育・訓練、技術的知識、技能及び経験に関する要求事項を含め、**ラボラトリ活動の結果に影響を与える各職務に関する 力量要求事項を文書化**しなければならない。

- ・試験技術者の力量要求事項が文書化されていない。
- ・品質管理者、技術管理者、報告書発行責任者の力量要求事項が文書化されていない。



<6.2 要員>

- 6.2.5 ラボラトリは、次の事項に関する手順をもち、**記録を保持しなければならない**。
- a) 力量要求事項の決定
- b) 要員の選定
- c) 要員の教育・訓練
- d) 要員の監督
- e) 要員への権限付与
- f) 要員の力量の監視
- ·内部監査員へのISO/IEC 17025: 2017の教育の記録が残されていない。
- ・品質管理責任者、技術管理責任者についてパフォーマンスの監視が行われていない。



<6.4 設備>

6.4.9 過負荷又は誤った取扱いを受けた設備,疑わしい結果を生じる設備,又は欠陥をもつ若しくは規定の要求事項を満たさないことが認められた設備は,業務使用を停止しなければならない。その設備は,それが正常に機能することが検証されるまで,使用を防止するため隔離するか,又は業務使用停止中であることを示す明瞭なラベル付け若しくはマーク付けを行わなければならない。ラボラトリは,不具合又は規定された要求事項からの逸脱の影響を調査し,不適合業務の管理の手順を開始しなければならない。

- ・不具合となった設備に対して不適合業務として開始していなかった。
- ・○○(計測器)の外部校正を1回/3年と規定しているにも関わらず、この校正周期を 超過して外部校正をしていたが、不適合業務の管理の手順を開始していなかった。



<6.4 設備>

6.4.13 ラボラトリ活動に影響を与え得る**設備の記録を保持しなければならない**。記録には、適用可能な場合、次の事項を含めなければならない。

e) 校正の日付、校正結果、調整、**受入基準**及び次回校正の期日又は校正周期。

- ・校正対象機器について外部校正後の受入基準が設備の記録に含まれていない。
- ・○○の受け入れ基準が明確ではなく、その記録が保持されていない。



<7.6 測定不確かさの評価>

7.6.1 ラボラトリは**, 測定不確かさへの寄与成分を特定**しなければならない。測定不確かさを評価する際, サンプリングから生じるものを含み, **重大な全ての寄与成分を, 適切な分析方法を用いて考慮**しなければならない。

7.6.3 試験を実施するラボラトリは、**測定不確かさを評価**しなければならない。試験方法によって、厳密な測定不確かさの評価ができない場合、原理の理解又は試験方法の実施に関する実際の経験に基づいて推定しなければならない。

- ・○○試験の測定不確かさの評価手順を「不確かさ手順書」に規定しているが、「△△の不確かさ」、及び「□□の不確かさ」の不確かさ要因の算出に不備がある。
- ・試験実施者の人数が変わっているにも関わらず、測定不確かさが見直されていなかった。



<7.8 結果の報告>

7.8.2.2 ラボラトリは、その情報が顧客から提供されたものである場合を除き、報告書に記載された全ての情報について責任をもたなければならない。**顧客によって提供されたデータは、明確に識別されなければならない**。さらに、その情報が顧客から提供されたもので、結果の妥当性に影響する可能性がある場合には、免責条項を報告書に記載しなければならない。ラボラトリがサンプリング段階に責任を持たない場合(例えば、試料が顧客から提供された場合)には、結果は受領した試料に適用される旨を報告書に記載しなければならない。

・試験成績書内で、顧客によって提供されたデータについて明確に識別されていない。



<7.10 不適合業務>

7.10.1 ラボラトリは、そのラボラトリ活動の何らかの業務の側面、又はその結果が、 ラボラトリの手順又は顧客との間で合意された要求事項に適合しない場合(例えば,設備又は環境条件が規定の限界を外れている場合、監視の結果が規定の基準を満たさない場合)に実施しなければならない手順をもたなければならない。 この手順は、次の事項を確実にしなければならない。

- b) **処置**(必要に応じて、業務を停止する又は繰り返すこと、及び報告書を保留することを含む。) **を、ラボラトリの設定したリスクレベルに基づいて定める**。
- c) 以前の結果に関する影響分析を含め、不適合業務の重大さを評価する。
- 7.10.2 ラボラトリは、不適合業務及び7.10.1のb)~f)に規定する**処置の記録を保持 しなければ**ならない。
- ・リスクレベルに基づく処置や不適合の重大性の評価をした記録が残されていない。



<8.3 マネジメントシステム文書の管理>

- 8.3.2 ラボラトリは、次の事項を確実にしなければならない。
- a)文書の発行に先だって、**権限をもった要員が**その文書の妥当性について**承認を与える**。
- b)文書を定期的に見直し、必要に応じて更新する。
- c)文書の**変更及び最新の改訂の状況が識別**される。
- d)適用される文書の適切な版が使用に際して入手でき,必要に応じてそれらの文書の 配布が管理される。
- e)文書に固有の識別を付す。
- f)廃止文書の意図しない使用を防止する。目的を問わず,廃止文書を保持する場合は, それらに適切な識別を付す。
- ・各種文書の改訂承認者は品質管理者であるが、品質管理者として認定される前の者が各種文書の承認を行なっていた。
- ・現場で使用されている作業標準は、変更内容が分からない状況となっていた。



<8.7 是正処置>

- 8.7.1 不適合が発生した場合,ラボラトリは,次の事項を行わなければならない。
- b) その**不適合が再発又は他のところで発生しない**ようにするため,次の事項によって, その不適合の原因を除去するための処置をとる必要性を評価する。
- 不適合をレビューし、分析する。
- その不適合の原因を明確にする。
- 類似の不適合の有無、又はそれらが発生する可能性を明確にする。
- ・内部監査の指摘に対して類似の不適合の有無を確認していない。



<8.8 内部監査>

- 8.8.1 ラボラトリは、マネジメントシステムが次の状況にあるか否かに関する情報を提供するために、あらかじめ定めた間隔で内部監査を実施しなければならない。
- a) 次の事項に適合している。
- ラボラトリ活動を含めた、ラボラトリ自体のマネジメントシステムに関する要求事項
- この規格の要求事項
- b) 有効に実施され、維持されている。
- ·2021年及び2022年に実施された内部監査で、指摘事項への是正処置が取られている ことを報告書から確認できなかった。また、2年続けて同じ指摘がされ、有効な改善が 行われていなかった。



<8.9 マネジメントレビュー>

8.9.2 マネジメントレビューへのインプットは、記録しなければならない。また、マネジメントレビューへのインプットには、次の事項に関係する情報を含めなければならない。

 $a)\sim 0$

- 8.9.3 マネジメントレビューからのアウトプットは、少なくとも次の事項に関係する全ての決定及び処置を記録しなければならない。
- a)マネジメントシステム及びそのプロセスの有効性
- b)この規格の要求事項を満たすことに関係するラボラトリ活動の改善
- c)必要とされる資源の提供
- d)あらゆる変更の必要性
- ・マネジメントレビューへのインプット項目とマネジメントレビューからのアウトプット項目は、要求されている全ての項目の内容を網羅していない。



ご清聴ありがとうございました。

認定センター(IAJapan)ホームページ https://www.nite.go.jp/iajapan/index.html

JNLAホームページ https://www.nite.go.jp/iajapan/jnla/index.html

ASNITEホームページ

https://www.nite.go.jp/iajapan/asnite/index.html



IWASAKI

(一社)日本照明工業会 セミナー 『測光試験所の品質システムと測定の不確かさ評価』

測光試験所の品質システム 事例紹介

2024年2月28日(水)

岩崎電気株式会社 評価試験センター 小井土 稔

本日の内容

- 1. 岩崎電気(株)評価試験センターの紹介
- 2. 評価試験センターの品質システム体系
- 3. 試験装置・機器の管理(弊社の事例)

1. 岩崎電気(株)評価試験センターの紹介

● 組織

岩崎電気株式会社 評価試験センター

*会社直下組織で、上位組織を持たない

● 所在地

埼玉県 鴻巣市下忍3361 岩崎電気 吹上事業所1F

(本社、営業管轄拠点) 東京都中央区

(開発・製造拠点) 埼玉県行田市

* 社内利害部署と所在が異なる。

● 設立

2016年4月1日

1. 岩崎電気(株)評価試験センターの紹介

- ●主な業務内容社内外のお客様からの以下の依頼試験の受託及び実施
 - 1) JIS C 7801に基づくランプ・電球類の測光試験 (全光束及び効率)及び光源色試験
 - 2) JIS C 8105-5に基づく照明器具の測光試験 (光度、全光束及び効率)

1. 岩崎電気(株)評価試験センターの紹介

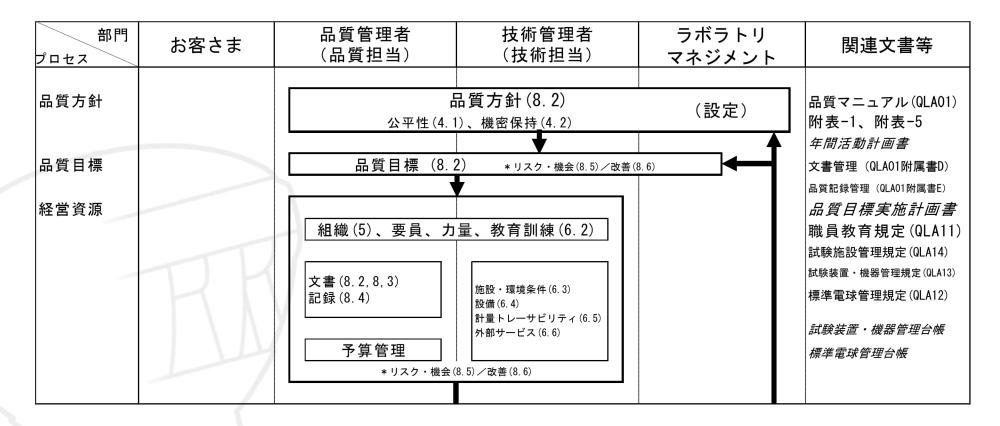
JNLA認定事業(国際MRA対応)の内容

<認定番号 JNLA 170390JP Testing>

- ・照明器具電気的特性試験(効率、配光特性、全光束)
 (試験方法規格) JIS C 7620-2 附属書A JIS C 7801 7
 JIS C 8105-5 5.6 7.2.1 7.3.1及び7.3.5
 (これらを引用する規格) JIS C 8157 附属書AのA.1及びA.3
- ·光源色試験 (色度座標x,y、相関色温度、演色評価数) (試験方法規格) JIS C 7801 9 JIS Z 8724 5 JIS Z 8725 5 JIS Z 8726

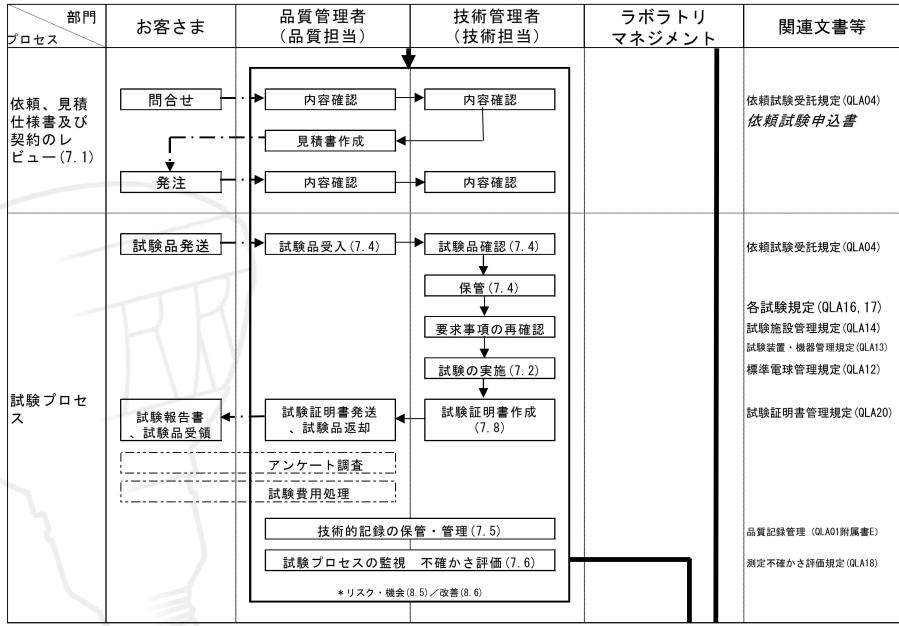
2. 評価試験センターの品質システム体系

ISO/IEC 17025に基づく品質マネジメントプロセス体系図



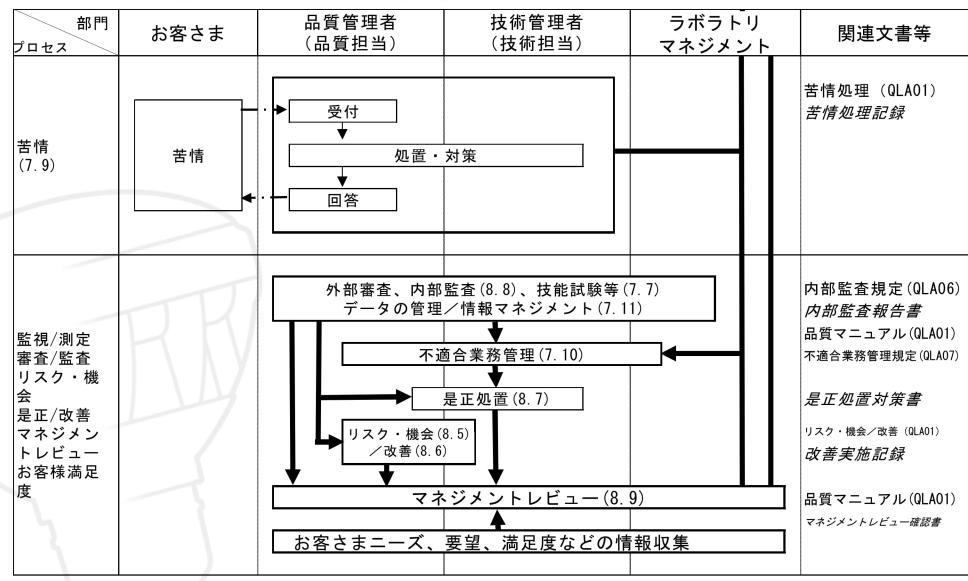
2. 評価試験センターの品質システム体系

ISO/IEC 17025に基づく品質マネジメントプロセス体系図 (続き)

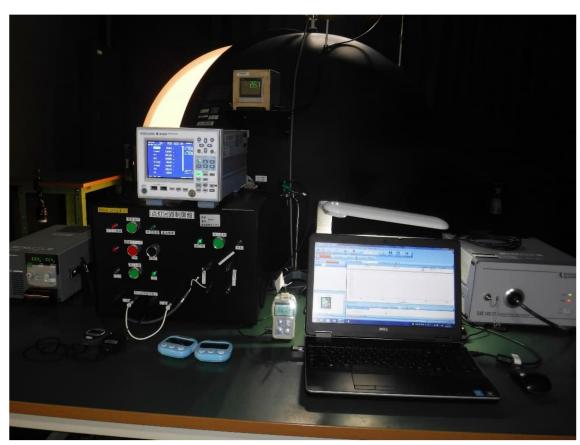


2. 評価試験センターの品質システム体系

ISO/IEC 17025に基づく品質マネジメントプロセス体系図 (続き)



- <弊社所有の試験装置・機器の校正及び点検: JIS C 7801試験用>
 - 校正・点検は、原則 年1回 *標準電球による分光測光器への校正・値付けは試験時都度実施
- ・分光測光器(ポリクロメータ)【内部点検】
- •積分球【内部点検】
- ·積分球内温度計(試験場所用)【JCSS校正】
- デジタルパワーアナライザ【JCSS校正】
- •直流安定化電源【内部点検】
- ·交流安定化電源【内部点検】
- ·温湿度計(環境用)【JCSS校正】
- ・光出カモニタ【JCSS校正】
- *参照標準
- 分光全放射束標準電球【日電検】
- 注)URP24"IAJapan計量トレーサビリティに関する方針" 7.2項への適合



分光測光器(ポリクロメータ)の点検内容

JIS Z 8724 5.2.3 分光測光器 より、次の3項目を実施している。

- a) 波長目盛の精度
- b) 応答直線性及びその繰返し性
- c)迷光

点検は、年1回実施。

a) 波長目盛の精度

分光測光器の波長目盛の精度は、(中略) ポリクロメータを用いた分光測光器では、,規定した 波長の単色放射に対して、アレイ状の受光素子の 各素子のそれぞれの単色放射に対する<u>光電出力</u> から求めた重心波長との差で表し、それらの値を 表1による。[JIS Z 8724 5.2.3 a)]

表1-分光測光器の波長目盛の精度

単位 nm

	• • •
検査波長	精度
435.8 a)	
546.1 a)	±0.3 以内
696.5 ^{b)}	
注 ^{a)} 低圧水銀放電の輝線スペクトル	

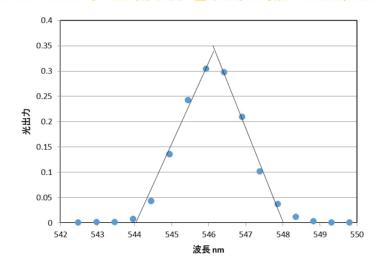
b) アルゴン放雷の輝線スペクトル

[点検に使用する機器]

波長校正用水銀アルゴン光源



[546.1 nm単色放射を分光器で測定した例]



| 各測定値から求めた重心波長 -546.1 | ≦ 0.3

b) 応答直線性及びその繰返し性

分光測光器の応答直線性及びその繰返し性は、入射光に対して、波長が450 nm, 550 nm及び650 nm おける分光測光器の出力の直線性からの外れを測定する。また、その繰返し性を標準偏差の2倍で評価し、それぞれの値は表2による。 [JIS Z 8724 5.2.3 b)] 表2-分光測光器の直線性及びその繰返し性

単位 %

強度比	直線性からの外れ	繰返し性(2σ)
2:1	±0.5以内	0.2 以内
10:1	±1以内	0.5 以内

[点検に使用する機器]

暗室設備: 測光用光学ベンチ (5 m)



[測定方法]

JIS Z 8724附属書F(参考)のF.2 a) 測光 ベンチによる測光距離を変えた測定方法

分光測光器の受光面の照度が、光源と 受光面との距離の逆二乗則に従うことを 利用して、その入出力直線性を測定する。

強度比 2:1 → 距離比 1:1.4142

強度比 10:1 → 距離比 1:3.1623

c)迷光

分光測光器の迷光は付属書Bによって測定し、その値は表3による。[JIS Z 8724 5.2.3 c)]

附属書B (規定) B.1 迷光の測定方法

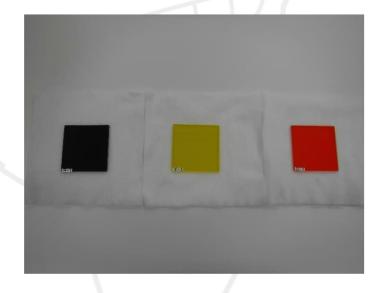
表3-分光測光器の迷光	(抜粋)
-------------	------

分光測光器	検査波長 (nm)	迷光
ポリクロメータ	450	
を用いた	500	1%以内
分光測光器	600	

[点検に使用する機器]

シャープカットガラスフィルタ

透過限界波長 左から 659 nm ,499 nm , 561 nm (弊社測定)



[測定方法] (附属書B 抜粋)

ハロゲン電球を光源として(中略),ポリクロメータの場合には、電球の放射を入射して、透過限界波長がそれぞれ500±5 nm,560±5 nm及び660 ±5 nmのシャープカットガラスフィルタを入射光路に挿入したときの波長がそれぞれ、450nm,500nm及び600nmの受光素子の出力(迷光成分)と、挿入しないときの出力とを測定してその比を求める。(透過限界波長:フィルタの透過率が72%となる波長と5%となる波長の中点)

[結果の例]

項目	検査波長 nm		
	450	500	600
フィルタあり	0.0001	0.0002	0.0004
フィルタなし	0.0257	0.0496	0.1286
比 %	0.56	0.37	0.29
判定基準	±1%以内		
判定	適合	適合	適合

<弊社所有の試験装置・機器の校正及び点検:JIS C 8105-5試験用>

校正・点検は、原則 年1回

*標準電球による配光測定装置への校正・値付けは試験時都度

- 配光測定装置本体【メーカ点検】 (ミラー回転式: 旧JIS C 8105-5 附属書B 図B.3 b))

- •配光測定装置受光器【分光応答度社内校正】
- デジタルパワーアナライザ【JCSS校正】
- •直流•交流安定化電源【内部点検】
- ·温湿度計【JCSS校正】

(照明器具周囲温度用、受光器周囲温度用の2種類)

*参照標準

全光束標準電球【JCSS校正】

 \downarrow

常用全光束標準電球【内部校正】

注)URP24"IAJapan計量トレーサビリティに関する方針"6.2項への適合



配光測定装置受光器の分光応答度の校正・点検

年1回定期的に実施し、変動を監視する。(色補正に関する不確かさへ反映)

[測定方法]

JIS C 1609-1 "照度計 第1部:一般計量器" 附属書3(参考) 分光応答度測定方法による。

[測定に使用する機器]

·標準受光器(SiPD)【JCSS校正】

•分光応答度測定装置

[分光応答度測定装置の性能]

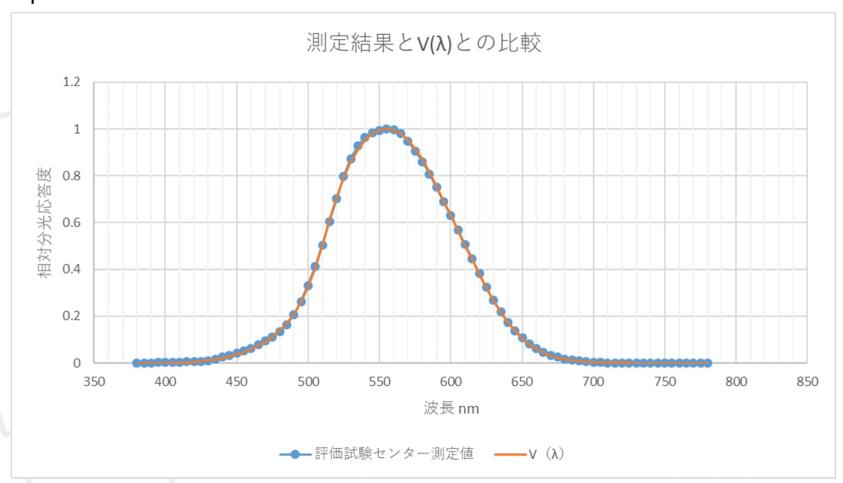
JIS C 1609-1 附属書3(参考) 4. 測定装置【抜粋】		装置等の仕様		
a)	国標準受光器は家標準とのトレーサビリティが確保されているものを用いる。	標準受光器: JCSS校正		
	回析格子形モノクロメータを用いる。	回析格子形モノクロメータ		
b)	出射光照射面の放射照度むらが少なく、迷光(散乱光)が 少ない構造であること。	迷光:1×10 ⁻⁴ 以下		
	単色放射の等価帯域半値幅は10 nmまで設定できる	等価帯域半値幅 0~12 nm		
	波長分解能(波長読み取りの最小単位)は0.5 nmより細かいこと。	最小波長分解能:半値幅0.1 nm		
c)	光源には、JIS C 7527に規定するJPD形又はJC形のハロゲン電球、又はキセノンランプを用いる。	JC形ハロゲン電球(24 V 150 W)を使用		

• 分光応答度測定装置



[結果の例]

f₁': 1.0(メーカ実測値 0.8)



まとめ

弊社の試験装置・機器の管理として、これらの点検方法の一部を紹介した。

試験装置・機器の管理を厳しくすれば、費用、作業工数が増加する。 逆に、管理を緩くすれば、試験品質に支障をきたす場合もある。 この管理の程度は、それぞれの試験所の状況により異なると思います が、ISO/IEC 17025のリスク及び機会により分析(起こりうる事象、発生 頻度、結果の重大性など)し、より適正な管理方法(校正・点検方法、周 期等)を定めることが重要である。

弊社試験所では、外部からの試験も受託しております。

詳細は、以下をご参照・お問合せください。

www.iwasaki.co.jp/corporate/rd/jnla.html

専用 E-mail: etc@eye.co.jp



測光・放射測定における 国際照明委員会(CIE)での最近の話題

大嶋 浩正 第2部会国内小委員会 前幹事 大塚電子株式会社

本日の内容



- 国際照明委員会(CIE)の紹介
- ・最近の出版物から
 - ➤ ISO/CIE 23539 測色 物理測光のCIEシステム
 - ▶ CIE 251 フォトメータ校正用のLED参照スペクトル
- ・第2部会関連の技術委員会(TC2-##)
- Conference CIE 2023から
 - ▶分光視感効率に関する議論
 - > 波長方向の積分値に対する測定不確かさの評価
 - ▶白熱ランプに替わる測光・放射測定の校正標準

国際照明委員会(CIE)



光と照明の分野で 技術、科学、芸術に関するあらゆる事項を議論する非営利団体

計量学の基本的な基準と手順を開発

国際・国内規格の開発に おける原則と手順の ガイダンスを提供

国際フォーラムの提供

規格、報告書などの 出版物の作成と発行 他の国際機関との連絡 および技術的交流

視覚、測光、測色 紫外、可視および赤外領域にわたる自然放射、人工放射 画像に関する測定、通信、処理、再生

CIE部会



視覚と色

第1部会



光と放射の 物理測定

第2部会



屋内環境と 照明設計

第3部会



交通と屋外 照明

第4部会



光生物学と 光化学

第6部会



画像技術

第8部会



CIE第2部会関連の最近の出版物



- ISO/CIE 23539 測色 物理測光のCIEシステム
 - ▶ 明所視、暗所視、薄明視、10度視野などの分光視感効率や最大視感効果度などが規定されている
 - ▶ 更新されたSI単位系のカンデラの定義に対応している
 - ▶ 錐体基準の分光視感効率(cone-fundamental-based spectral luminous efficiency functions)が付属書(参照)に追加されている
- CIE 251 フォトメータ校正用のLED参照スペクトル
 - ➤ CIE標準イルミナントA代替えのLEDイルミナント「CIE reference spectrum L41」に関する技術報告書
 - ▶CIE reference spectrum L41で校正して、LEDや他の光源を測定した場合の異色測光誤差(spectral mismatch error)に関する情報が記載されている

ISO/CIE 23539 測色 - 物理測光のCIEシステムから



$$Q_{\text{v,X}} = \frac{K_{\text{cd}}}{V_{\text{X}}(\lambda_{\text{cd}})} \int_{\lambda} Q_{\text{e},\lambda}(\lambda) V_{\text{X}}(\lambda) d\lambda$$

where

 $Q_{e,\lambda}(\lambda)$ is a given spectral radiometric quantity (e.g. spectral irradiance)

 $Q_{V,X}$ is the corresponding photometric quantity (e.g. illuminance)

 $K_{\rm cd}$ is the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540 \times 10¹² Hz (683 Im·W⁻¹)

 $V_{X}(\lambda)$ is the relavant spectral luminous efficiency function

is the wavelength at 540×10^{12} Hz according to the definition of the unit candela (555,017 nm in standard air)

 $V_{\rm X}(\lambda_{\rm cd})$ is the value of the relevant spectral luminous efficiency function at the wavelength $\lambda_{\rm cd}$ in standard air

最大視感効果度



Observer $V_{X}(\lambda)$	Symbol $K_{X,m}$	standard air, λ (Im W-1)		Approximate value (Im W ⁻¹)
_	$K_{\sf cd}$	$\lambda_{\rm cd}$ = 555,017 nm $v_{\rm cd}$ = 540 THz	683 (exactly)	683
Photopic vision	K_{m}	λ _m = 555 nm (exactly)	683,002	683
Scotopic vision	K'_{m}	$\lambda'_{\rm m}$ = 507 nm (exactly)	1 700,13	1 700
10° photopic vision	$K_{m,10}$	$\lambda_{\rm m.10}$ = 557 nm (exactly)	683,601	684

$$K_{\mathrm{X,m}} = K_{\mathrm{cd}} \frac{V_{\mathrm{X}} \Big(\lambda_{\mathrm{X,m}} \Big)}{V_{\mathrm{X}} \Big(\lambda_{\mathrm{cd}} \Big)}$$

is the maximum luminous efficacy for

 $K_{\rm X,m} = K_{\rm cd} \frac{V_{\rm X}(\lambda_{\rm X,m})}{V_{\rm X}(\lambda_{\rm cd})}$ $K_{\rm X,m}$ a specified photometric condition $V_{\rm X}(\lambda)$ is the relevant spectral luminous efficiency function is the wavelength of the maximum of $V_{X}(\lambda)$

CIE 251 フォトメータ校正用のLED参照スペクトルから



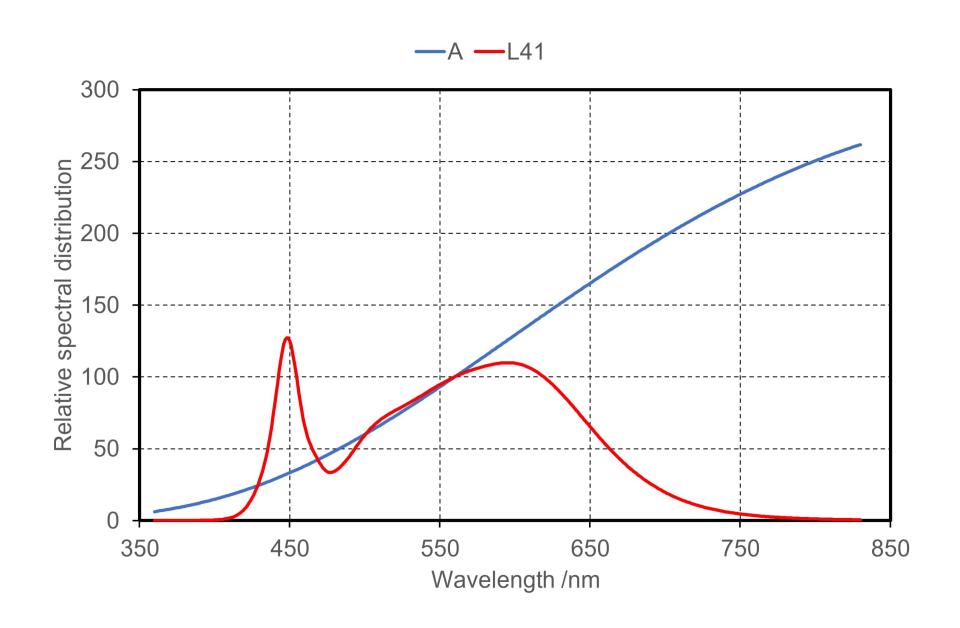
- CIE参照スペクトルL41
 - ▶相関色温度4 103 K
 - ▶蛍光体変換青色LEDに近似して造られたスペクトル分布
 - ➤実際のタイプの異なる1 500種類のLEDの分光分布と100以上のフィルター測光器の相対分光感度との異色測光誤差の解析から選択された
 - > 紫外放射と赤外放射がない
 - ▶校正の目的だけに使用する
- 異色補正係数(Spectral mismatch correction factor)

$$F_{\text{L41}} = \frac{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} S(\lambda) s_{\text{rel}}(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} S_{\text{L41}}(\lambda) s_{\text{rel}}(\lambda) d\lambda}{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_{\text{L41}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

- $S(\lambda)$ is the spectral distribution of a light source
- $s_{\text{rel}}(\lambda)$ is the relative spectral responsivity

CIE標準イルミナントAとCIE参照スペクトルL41





CIE第2部会の関連技術委員会(TC2)



番号	名称	状況	備考
67	自動車用ランプの測光	国際規格最終原案 (FDIS)の準備中	GTB* Working Group Photometryで審議
68	照明用有機ELの 光学測定方法	作業原案(WD)投票 後のコメント対応中	
78	ランプ及び照明器具の 配光測定	委員会原案(CD) 投票準備中	CIE 121, 070, 084の 改訂
79	積分球に基づく測光及び 分光放射測定	委員会原案(CD) 投票準備中	CIE 084の改訂
91	LEDパッケージ及び LEDアレイの光学測定方法	WD投票準備中	国際規格(IS)設立を 目指す
96	ISO/CIE 19476(照度計および輝度計の性能記述)の改訂	WD審議中	CIE S023の改訂も含む
97	CIE S025(LED照明の 試験方法)の改訂	WD審議中	TC2-78, 79との調和

※: Groupe de Travail "Bruxelles 1952" United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)内のVehicle Regulations関連グループ

Conference CIE 2023から



• 概要

➤ Innovative Lighting Technologies

▶2023年9月18日から20日 リュブリャナ、スロベニア

➤ Oral presentations 19セッション

➤ Presented posters 3セッション

➤ Poster presentations 2セッション

➤ Workshops 5セッション

• 測光 • 放射測定関連

- ➤ Workshop
 - ◆ 錐体基準は、日常の測光で使えるのか?

> Oral

- ◆ 測光単位を導出する基礎として錐体基準の測光法を導入することの計量学的な影響
- ◆ 波長方向の積分値(三刺激値など)に対する測定不確かさの評価
- ◆ 時間変調する光の測定不確かさ
- ◆ 時間変調する光を測定する際のサンプリング周期に関する系統的誤差

➤ Poster

◆ 白熱ランプに代わる測光・放射測定の校正標準

分光視感効率に関する議論



- V(λ)の制定100周年
- V(λ)の問題点
 - ▶短波長領域で過小評価
 - → 視野条件
- ・ 錐体基準の分光視感効率 $V_{F}(\lambda)$
 - ➤ CIE 170-1:2006 Fundamental Chromaticity Diagram with Physiological Axes Part 1
 - ➤ CIE 170-2:2015 Fundamental Chromaticity Diagram with Physiological Axes Part 2: Spectral Luminous Efficiency Functions and Chromaticity Diagrams
 - ➤ ISO/CIE 23539:2023 Photometry The CIE system of physical photometry (Annex E)
- さらなる議論
 - Consultative Committee for Photometry and Radiometry (CCPR) WG-SP TG16

https://www.bipm.org/en/committees/cc/ccpr/wg/ccpr-wg-sp-tg16

➤ CIE Research Forum (RF) 05
https://cie.co.at/researchforum/rf-05

賛否両論



利点

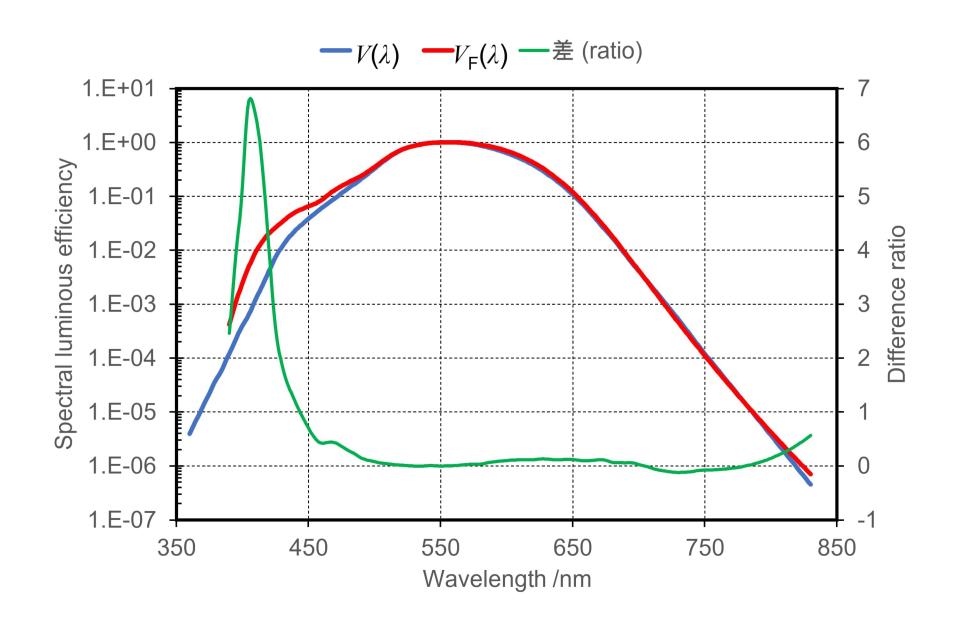
- ▶より科学的に信頼性の高い視覚機能に基づいた視覚反応の定量化
- ▶より生理学的に重要なデータの取得が可能になる
- ▶より汎用性の高い測光:年齢、性別などに応じた分光視感効率(および 等色関数)のパラメータ化

• 問題点

- ▶測光スケールの不連続性
- ▶さまざまな利害関係者に対する影響が少ない
- ▶特に業界において否定的な反応を招く可能性がある(製品仕様の変更などにより)

$V(\lambda)$ と $V_F(\lambda)$ との比較





波長方向の積分値に対する測定不確かさの評価



• 波長方向の積分値

- ▶測光値(輝度、照度など)、三刺激値、異色測光誤差
- ・測定不確かさの推定は難しい
 - ▶積分することで、規格化効果や平均化が起こる
 - ▶波長データ間で相関関係がある
 - ▶モンテカルロシミュレーションを使って推定する

シミュレーションの方法

- ▶ 波長ごとの値とスケール幅の値とを別々に評価する
- 戸評価プロセスで出力量間の相関関係を特定する
- ▶スペクトルデータは、特定の確率分布で不確かさに寄与する
- ▶加算成分、加積成分、非相関成分、完全相関成分、部分相関成分
- ➤部分相関成分は、直交基底関数 or 既知の共分散行列を適用する

結果

> 非相関成分と完全相関成分は、三刺激値に大きな影響を与えない

白熱ランプに替わる測光・放射測定の校正標準



- Joint research project 22IEM05 NEWSTAND
 - ➤ 2023年6月にEuropean Partnership on Metrology内に設置
 - ▶3年間のproject
- Transfer標準光源(UV-VIS-NIR)の開発
 - ▶扱いやすく
 - ▶ 既存の標準と互換性をとる
 - ▶拡張不確かさ 0.5%
- 検出器ベースで分光放射照度のトレーサビリティーを可能にする方法の開発
 - ▶最低限の要求スペック
 - ▶校正方法
- ・ 少なくとも3機関で実証試験をする
 - ▶合成拡張不確かさ 1%
- ・上記、開発した標準光源、分光放射計や校正方法、測定方法 に関するGood practice guidesを開発する

まとめ



- 国際照明委員会(CIE)の紹介
- ・最近の出版物から
 - ➤ ISO/CIE 23539 測色 物理測光のCIEシステム
 - ◆最大視感効果度
 - ▶ CIE 251 フォトメータ校正用のLED参照スペクトル
 - ◆ CIE参照スペクトルL41
- ・第2部会関連の技術委員会(TC2-##)
- Conference CIE 2023から
 - ▶分光視感効率に関する議論
 - ◆ V(λ)とV_F(λ)との比較
 - ▶波長方向の積分値に対する測定不確かさの評価
 - ◆ 部分相関成分の影響
 - ▶白熱ランプに替わる測光・放射測定の校正標準
 - ◆ヨーロッパの3年Project



ご清聴ありがとうございました

大嶋 浩正

oshima.kosei@otsuka.jp

大塚電子株式会社

https://www.otsukael.jp/



測光・放射測定における 不確かさ評価

国立研究開発法人産業技術総合研究所 計量標準総合センター (NMIJ, AIST) 市野 善朗

国立研究開発法人產業技術総合研究所 1/25



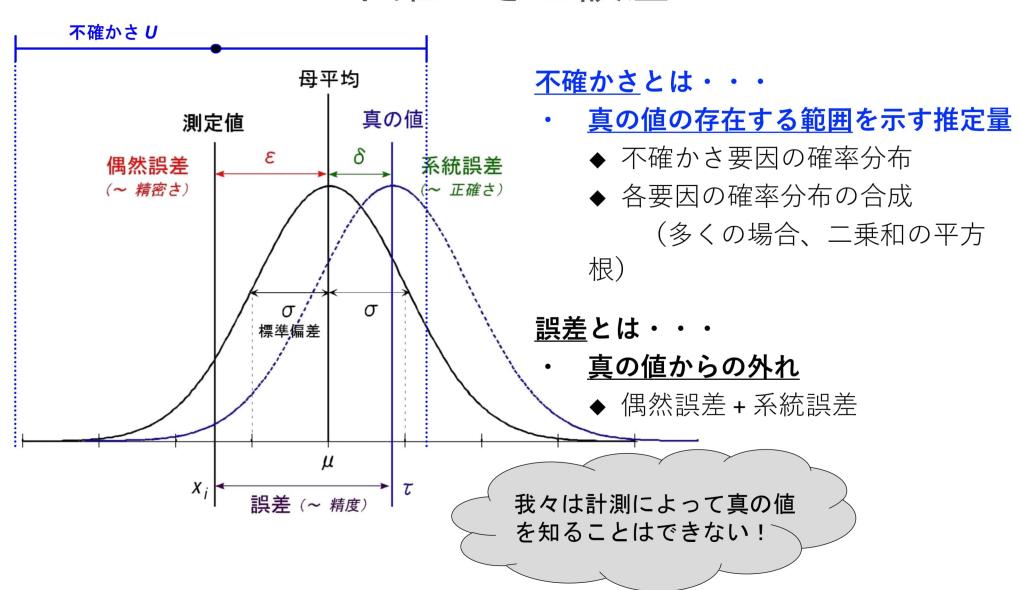
本日の講演内容

- ① 不確かさ評価に関する基本事項
- ② 測光・放射測定での不確かさ評価例
 - モデル式の構築
 - 感度係数の考慮
 - 標準不確かさの導出

国立研究開発法人產業技術総合研究所 2/25



不確かさと誤差



測定結果が不確かさの範囲内で一致 → 最良な測定整合性の推定方法

国立研究開発法人產業技術総合研究所 3/25



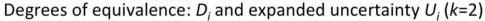
不確かさはなぜ必要か?

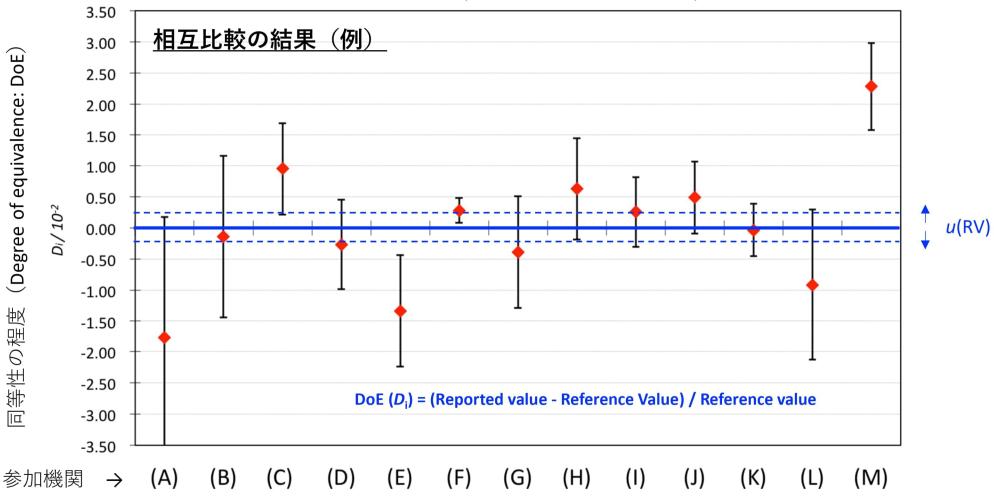
- 計量トレーサビリティを表明するため
 - ▶ 切れ目のない校正の連鎖を確保するためには、文書化された不確かさ評価 手順、不確かさを伴う校正証明書が必要 【トレーサビリティの要件】
- 計測の信頼性を示す手段として用いるため
 - ▶ ISO/IEC 17025:校正・試験機関の能力に対する一般的要求事項
 - ▶ 校正能力の第三者認定には、適切な不確かさ評価の手順が必須
- 計測結果の同等性を検証するため
 - ▶ 計測の信頼性(測定精度、値の整合性等)を検証する手段として活用
- 国際規格や取り決め等で評価を求められているため
 - ▶ 不確かさの報告を必須要件とする国際規格もある
 - ▶ 適合性評価への不確かさの概念の取り込みを推奨する国際的な動きあり
- 自らの測定結果を保証するため
 - ▶ 不確かさ → 真の値が存在する範囲の表明(統計学的な推定)
 - ▶ 測定結果の一致の程度の相場観(≒ 不確かさの範囲内で一致)
 - ▶ ユーザーへの必要な情報の提供

国立研究開発法人產業技術総合研究所 4/25



相互比較における不確かさの利用





Reference Value: EV(不確かさ等を考慮して導いた参照値 ← 最良推定値)に対して、測定結果が不確かさの範囲内で一致することが重要

国立研究開発法人產業技術総合研究所 5/25



不確かさの推定の基本手順

- 1. 測定・校正手順の記述
- <u>2.不確かさ要因の列挙</u>
- 3. 数学モデル(モデル式)の構築
 - ・ 測定値とそれに従属する各入力量との関係を表す関数 f を記述
 - ・理論式または要求精度に応じた数式でのモデル化
- 4. 不確かさ成分の分類
- 5. 各不確かさ成分について標準不確かさを推定
 - Aタイプ:統計的解析による評価
 - ・Bタイプ:統計的解析以外の手段による評価
- 6. 合成標準不確かさの算出
 - ・感度係数の評価(+相関の評価)
- 7. 拡張不確かさの算出
 - 包含係数の選定 (+有効自由度の評価)
- <u>8. 不確かさバジェット表の作成</u>

※ GUMでは、モンテカルロ計算に基づき不確かさを算出する方法も許容されている。

国立研究開発法人產業技術総合研究所 6/25



不確かさバジェット表の作成

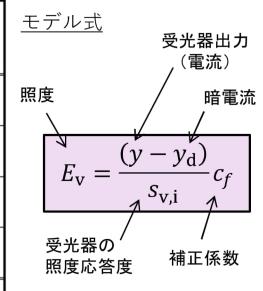
不確かさバジェット

個々の不確かさ要因(タイプ)とそれらの標準不確かさ、感度係数、自由度、 合成標準不確かさ、拡張不確かさなどを一覧にした表

受光器の照度応答度 $s_{v,i}(A/lx)$ と受光器の読み値 $y_i(lx)$ から照度 $E_v(lx)$ を求める場合の不確かさバジェット(例)

Symbol	Component	Value x_i	Standard Uncertainty $u(x_i)$	Unit	Туре	Sensitivity Coefficient c_i	Unc. Contribution $u_i(y)$
у	Photometer signal	1.819 × 10 ⁻⁶	2.42 × 10 ⁻¹⁰	A	A	9.88 × 10 ⁷	0.024
Уd	Photometer dark signal	-5.0 × 10 ⁻¹⁰	6.10 × 10 ⁻¹²	A	A	-9.88 × 10 ⁷	-0.001
Sv,i	Illuminance responsivity	1.0118 × 10 ⁻⁸	1.88 × 10 ⁻¹¹	A/lx	В	-1.78 × 10 ¹⁰	-0.334
$c_{ m f}$	Correction factor	1.000	7.90 × 10 ⁻⁴		В	179.8	0.142
$E_{ m v}$	NIST illuminance unit	179.83		lx			0.364

Relative expanded uncertainty for NIST illuminance unit (k = 2) 0.41 %



NIST SP250-95から抜粋



不確かさ評価で困ること

- 計測における不確かさの表現のガイド(**G**uide to the Expression of <u>U</u>ncertainty in <u>M</u>easurement, ISO/IEC Guide 98-3)
 - 総論中心であり、具体的な不確かさ評価例への言及が少ない
 - → ガイドの解釈および実装方法について指針が必要
- 不確かさ評価ではモデル式の構築が求められるが、具体的なアプローチが明確でない
 - → モデル式構築の基本的考え方、実例の蓄積が必要
- モデル式を伴う手順、確率分布に基づく考え方は、一見すると複雑な数学を駆使するイメージを与える
 - → 具体的な計算例の蓄積が必要(例:感度係数の導出)
 - ・不確かさ評価において最も重要な点は、各不確かさ要因の定量評価
 - 評価手順(方法)に関する蓄積が重要

国立研究開発法人產業技術総合研究所 8/25



モデル式の構築 - 導入 -

GUMで言う「モデル式」とは・・・

測定値(真の値の推定値)yと、N個の入力量の推定値 (x_1, x_2, \ldots, x_N) との間 の関数関係(ƒ)を表したもの。 $y = f(x_1, x_2, x_3, ..., x_N)$

不確かさ評価の対象となる 測定全体を数式で表現

yに付随する推定標準偏差(<u>合成標準不確かさ</u>) $u_{c}(y)$ は、各々の入力量の推定値 (x_1, x_2, \dots, x_N) に対する推定 標準偏差(<u>標準不確かさ</u>) $u(x_i)$ に基づき決定される。

●不確かさの合成の例(互いに相関がない場合) 標準不確かさ

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)$$
 感度係数 (入力量のばらつきに 対する影響の大きさ)

- モデル式の構築に必要な情報:
 - どういう測定を行なっているか?
 - 入力量(パラメータとして考慮するべき量)は何か?
 - 各入力量に対して考えられる不確かさ要因と測定への寄与

国立研究開発法人產業技術総合研究所 9/25



測光・放射測定での主な不確かさ要因(1)

- ・ 標準器の特性に起因する不確かさ
 - ▶ 上位標準に基づく校正不確かさ(校正証明書)
 - ▶ 再現性・安定性など
 - ▶ 経時変化(校正周期に依存)
 - ▶ 不均一性、その他理想の状態からの外れ
- 電気的なパラメータの不確かさ
 - ▶ 点灯電圧・電流(I-V特性)
 - ▶ 安定性・再現性など
 - ▶ 周波数特性
 - ▶ ノイズ(繰返し性)
- ・ 環境条件に起因する不確かさ
 - ▶ 温度条件、湿度条件(温度計、湿度計の不確かさを含む)
- ・ 測定条件・手順等に起因する不確かさ
 - アライメントほか
 - ▶ 相互反射
 - ▶ 不完全な定義、定義からの外れ、その他理想の状態からの外れ

国立研究開発法人產業技術総合研究所 10/25



測光・放射測定での主な不確かさ要因(2)

- 光計測機器の特性に起因する不確かさ
 - ➤ 波長(目盛り)
 - ▶ 帯域幅(スリット関数)
 - ▶ 応答度(色補正係数ほか)
 - ▶ 再現性・安定性など
 - ▶ 斜入射特性
 - ▶ 迷光、偏光、ビーム広がり、 蛍光など
 - ▶ 応答非直線性
- ・ 補正に伴う不確かさ (補正の不完全さ)
 - ▶ 例えば、自己吸収測定、配光補正など
- DUTの特性に起因する不確かさ(含めない場合もある)
 - ▶ 例えば、安定性、均一性など

- ▶ 見込み角
- ▶ 不均一性
- ▶ 周波数特性
- > ノイズ
- ▶ 分解能
- ▶ (アナログ機器の場合)計器 の読み取りにおける偏り

国立研究開発法人產業技術総合研究所



CIE S025/E:2015 Annex D (抜粋)

表 D.1 - 不確かさのバジェットの例

[球形光束計測 (V(λ)受光器+積分球)によるLEDランプの全光束測定の場合]

※ 反射率95%、内径1.5 m積分球での例

【CIE SO25 Annex Dから抜粋】

# 117	2 +西 : 佳	の to	工店
参照	標準	・ひノヤ父	11年11世

参照標準の経時変化

参照標準の点灯電流 周囲温度の測定 LEDランプの点灯電圧 異色測光誤差 受光器の応答非直線性 自己吸収補正

積分球の応答不均一性

測定系の再現性 測定系の安定性

ニアフィールド吸収

LEDランプの再現性 参照標準の安定性

	Relative contribution to the output standard uncertainty $u_{rel,i}(y)$			
Name of the quantity X_{i}	Phosphor-type ^a		RGB-type ^b	
	Broad ^c	Narrow ^d	Broad ^c	Narrow d
Calibration uncertainty of SI traceable secondary luminous flux standard (case of U =2,0 %, k =2)	1,0 %			
Ageing of luminous flux standard lamp (gas-filled tungsten lamp)	0,6 %			
DC current uncertainty for standard lamp	0,4 %			
Ambient temperature (and uncertainty of thermometer)	0,3 %			
Supply voltage of LED (and uncertainty of volt meter)		0,2	2 %	
Spectral mismatch of sphere-photometer system (f_1' = 3 %)	1,	1,7 % 3,5 %		5 %
Linearity		0,3	3 %	
Self-absorption correction (residual uncertainty) e		0,3	3 %	
Spatial non-uniformity of sphere (difference in intensity distribution from the standard lamp)	0,9 %	1,8 %	0,9 %	1,8 %
Repeatability of the sphere system		0,3	3 %	
Stability of the sphere system (between calibrations)	0,3 %			
Near-field absorption	0,3 %			
Reproducibility of test lamp (including stabilization condition)	0,3 % 0,2 %			
Stability of standard lamps				
Relative combined standard uncertainty	2,4 %	2.8 %	3,9 %	4.1 %
Total expanded uncertainty (k=2)	4,9 %	5,7 %	7,7 %	8,3 %

国立研究開発法人產業技術総合研究所 12/25



どのように最適なモデル式を導くか

- 物理法則 (●●の法則)
- 測定方式に沿った標識(例:標準器との比較測定)
- 典型的な不確かさの寄与(例:温度変動の影響)
- 文献情報等から得られたモデル式の構成要素(モジュール)
- できるだけ多くの技術情報(CIE技術報告書、解説書(例:過去のJLMAセミナーテキスト、論文 等)を活用し、参考となる考え方を獲得することが望ましい
- ISO/IEC Guide 98-3 (JCGM 100) (GUM) の解釈および 実装方法には多様 な解釈・方法が存在しうる ← 正解は(おそらく)無数にある
- 不確かさ評価の妥当性の実証に繋がる技術的根拠(例)
 - 確固たる信頼性をもった参照値との比較(技能試験、相互比較など)
 - ISO/IEC17025に準拠した認定審査など
 - 専門家による技術レビューの積み重ね

国立研究開発法人產業技術総合研究所 13/25



モデル式の構築のためのモジュール(例1)

ランプ電流の測定(シャント抵抗の端子電圧の測定)

$$I = \frac{V}{R}$$
 オームの法則

不確かさの伝搬式

$$u^{2}(I) = \left(\frac{\partial I}{\partial V}\right)^{2} u^{2}(V) + \left(\frac{\partial I}{\partial R}\right)^{2} u^{2}(R)$$
$$= \left(\frac{1}{R}\right)^{2} u^{2}(V) + \left(-\frac{V}{R^{2}}\right)^{2} u^{2}(R)$$

$$u^{2}(I) = \left(\frac{1}{R} \cdot u(V)\right)^{2} + \left(\frac{V}{R^{2}} \cdot u(R)\right)^{2}$$

国立研究開発法人產業技術総合研究所 14/25



モデル式の構築のためのモジュール (例1)

ランプ電流の測定 (シャント抵抗の端子電圧の測定)

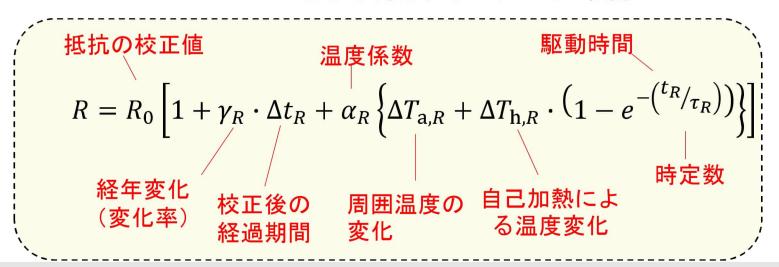
$$u^2(I) = \left(\frac{1}{R} \cdot u(V)\right)^2 + \left(\frac{V}{R^2} \cdot u(R)\right)^2$$
 する不確かさ

電圧測定に起因する不確かさ

(例:電圧校正値、経年変化、レンジ、温度

変化、ノイズ(繰り返し性) etc.)

シャント抵抗の抵抗値に起因する不確かさ要因および対応するモデル式の検討



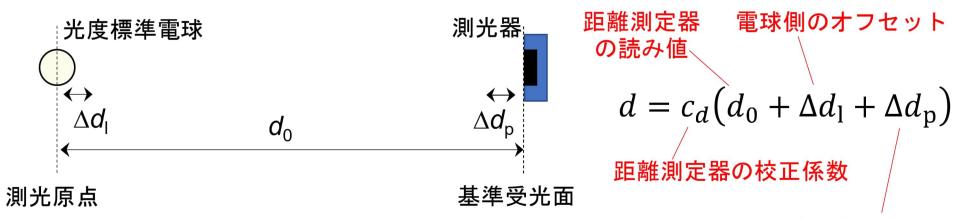
国立研究開発法人產業技術総合研究所 15/25



モデル式の構築のためのモジュール (例2)

測光距離の測定

ある測光距離d₀に光度標準電球(測光原点)および受光器(基準面)を 設置する場合



測光器側のオフセット

$$u^{2}(d) \approx d^{2} \left\{ \left(\frac{u(c_{d})}{c_{d}} \right)^{2} + \left(\frac{u(d_{0})}{d_{0}} \right)^{2} + \left(\frac{1}{d_{0}} \right)^{2} \left[u^{2}(\Delta d_{1}) + u^{2}(\Delta d_{p}) \right] \right\}$$

国立研究開発法人產業技術総合研究所 16/25



モデル式の構築のためのモジュール (例2)

測光距離の測定

$$u^{2}(d) \approx d^{2} \left\{ \left(\frac{u(c_{d})}{c_{d}} \right)^{2} + \left(\frac{u(d_{0})}{d_{0}} \right)^{2} + \left(\frac{1}{d_{0}} \right)^{2} \left[u^{2}(\Delta d_{l}) + u^{2}(\Delta d_{p}) \right] \right\}$$

距離測器の校正不確かさ

校正証明書から取得

読み取り誤差 温度依存性など

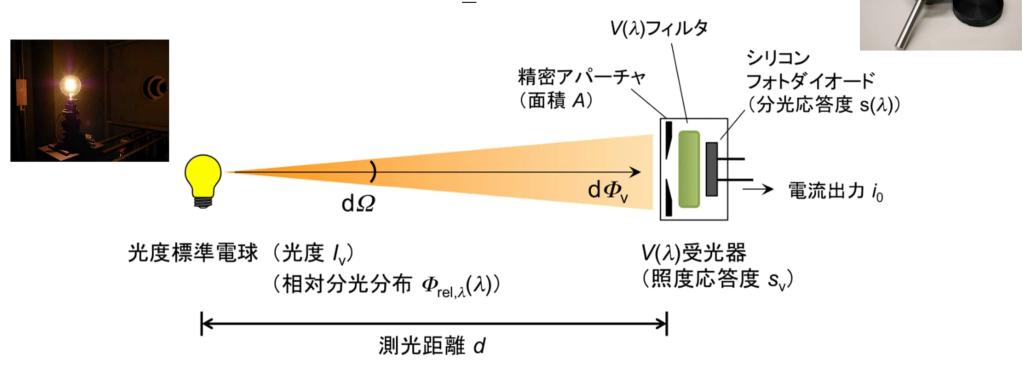
熱膨張係数を用いた一次近 似のモデル式) ミスアライメント オフセットの補正誤差など

実測による最大変化幅の推定(矩形分布)標準器-DUTの置換測定の場合、電球or受光器の何かのオフセットの効果を考慮する

国立研究開発法人產業技術総合研究所 17/25



<u>光度標準電球の光度値と逆二乗則から</u> 受光器の照度応答度*s*_v(A/lx)を算出する場合



$$s_{\rm v} = d^2 \frac{i_0}{I_{\rm v}}$$



不確かさ要因を考慮した(より精緻な)モデル式として表現すると・・・

国立研究開発法人產業技術総合研究所 18/25



<u>光度標準電球の光度値と逆二乗則から</u> 受光器の照度応答度s_v(A/lx)を算出する場合

距離(電球の位置、受光器

の位置の影響)

受光器出力 (電圧)

$$S_{v} = (d + \Delta d_{1} + \Delta d_{p})^{2} \cdot \frac{y_{0}}{G \cdot (1 + c_{T} \cdot \Delta T) \cdot \cos^{n} \varepsilon} \cdot \frac{1}{I_{v} \cdot (1 + c_{\theta} \cdot \theta) \cdot (1 + c_{\varphi} \cdot \varphi) \cdot \left(1 + m \cdot \frac{\Delta V}{V}\right) \cdot k_{1} \cdot k_{2}} \cdot k_{3} \cdot k_{4} \cdot k_{5}$$

受光器に起因する要素

G: アンプゲイン

 c_{T} :温度依存性

△T:温度変化

余弦則からの外れ

アライメント

電圧特性

電球に起因する要素

その他の補正因子 $(k_1 \sim k_5)$ (電球の経時変化、点灯再現性、色補正係数、非直線性、 逆二乗からの外れ)

国立研究開発法人產業技術総合研究所



プランクの放射則に基づき、黒体放射炉の分光放射輝度を測定する場合

$$L_{\mathrm{e,B}}(\lambda, T, \varepsilon_{\lambda}) = \varepsilon_{\lambda} \frac{2hc^{2}}{\lambda^{5}} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$



λ: 波長

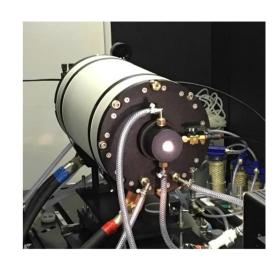
T: 熱力学温度

c:光の速さ

h:プランク定数

k:ボルツマン定数

 $arepsilon_\lambda$: 黒体の放射率



3500 K

3000 K

2000 K



プランクの放射則に基づき、黒体放射炉の分光放射輝度を測定する場合

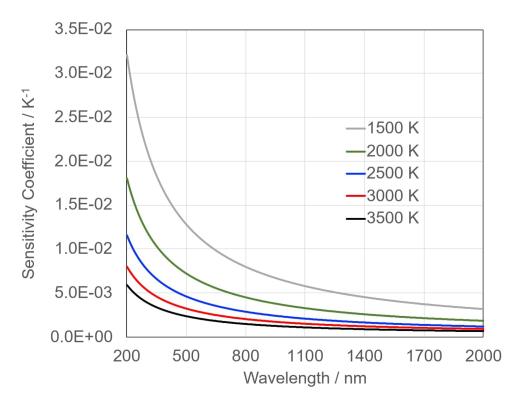
各不確かさ要因の寄与

$$u^{2}\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right) = \left(\frac{\partial\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial T}\right)^{2}u^{2}(T) + \left(\frac{\partial\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \lambda}\right)^{2}u^{2}(\lambda) + \left(\frac{\partial\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \varepsilon_{\lambda}}\right)^{2}u^{2}(\varepsilon_{\lambda})$$

① 熱力学温度 T に起因する不確かさ u(T) に付随する感度係数

$$\frac{1}{L_{e,B}(\lambda, T, \varepsilon_{\lambda})} \cdot \frac{\partial \left(L_{e,B}(\lambda, T, \varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial T} = \frac{hc}{\lambda k T^{2}} \cdot \frac{e^{hc/\lambda k T}}{e^{hc/\lambda k T} - 1}$$

熱力学温度T、波長 λ の関数





プランクの放射則に基づき、黒体放射炉の分光放射輝度を測定する場合

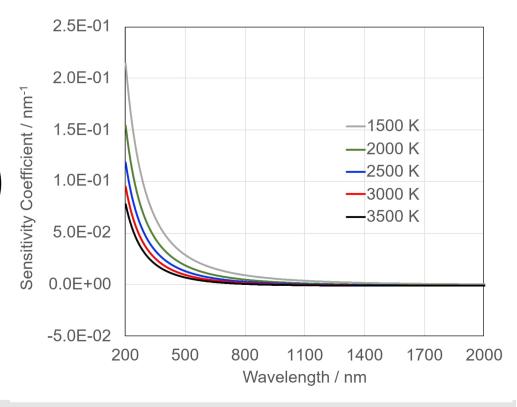
各不確かさ要因の寄与

$$u^{2}\left(L_{e,B}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right) = \left(\frac{\partial\left(L_{e,B}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial T}\right)^{2}u^{2}(T) + \left(\frac{\partial\left(L_{e,B}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \lambda}\right)^{2}u^{2}(\lambda) + \left(\frac{\partial\left(L_{e,B}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \varepsilon_{\lambda}}\right)^{2}u^{2}(\varepsilon_{\lambda})$$

② 波長 λ に起因する不確かさu(λ)に 付随する感度係数

$$\frac{1}{L_{\mathrm{e,B}}(\lambda, T, \varepsilon_{\lambda})} \cdot \frac{\partial \left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda, T, \varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \lambda} = -\frac{1}{\lambda} \cdot \left(5 - \frac{\frac{hc}{\lambda kT} \cdot e^{hc/\lambda kT}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}\right)$$

熱力学温度T、波長 λ の関数





プランクの放射則に基づき、黒体放射炉の分光放射輝度を測定する場合

各不確かさ要因の寄与

$$u^{2}\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right) = \left(\frac{\partial\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial T}\right)^{2}u^{2}(T) + \left(\frac{\partial\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \lambda}\right)^{2}u^{2}(\lambda) + \left(\frac{\partial\left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda,T,\varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \varepsilon_{\lambda}}\right)^{2}u^{2}(\varepsilon_{\lambda})$$

放射率 λ に起因する不確かさ $u(\lambda)$ に付随する感度係数: constant

$$\frac{1}{L_{\mathrm{e,B}}(\lambda, T, \varepsilon_{\lambda})} \cdot \frac{\partial \left(L_{\mathrm{e,B}}(\lambda, T, \varepsilon_{\lambda})\right)}{\partial \varepsilon_{\lambda}} = \frac{1}{\varepsilon_{\lambda}}$$

国立研究開発法人產業技術総合研究所 23/25



分光放射計の波長校正の不確かさの影響

標準光源との比較による分光測定

分光放射計による 試験光源の分光測定値

$$\Phi_{e,t}(\lambda, \Lambda) = \frac{X_{t}(\Lambda)}{X_{t}(\Lambda)} \Phi_{e,s}(\lambda)$$

△:分光放射計の波長表示

試験光源の分光分布

標準光源の校正値 (分光分布)

分光放射計による 標準光源の分光測定値

分光測定における分光放射計の波長校正の不確かさの影響

$$\frac{u_{\Lambda}(\Phi_{e,t}(\Lambda))}{\Phi_{e,t}(\Lambda)} = u_{\Lambda}(\Lambda) \cdot \left(\frac{1}{X_{t}(\Lambda)} \frac{\partial X_{t}(\Lambda)}{\partial \Lambda} - \frac{1}{X_{s}(\Lambda)} \frac{\partial X_{s}(\Lambda)}{\partial \Lambda}\right)$$

感度係数:分光測定値(スペクトル)の波長の1次微分に依存

国立研究開発法人產業技術総合研究所 24/25



標準不確かさを求めるためのアプローチ

- 測定対象物と同程度の仕様のサンプル(代表サンプル)を用いた評価 データ収集
 - ▶ 対象となる不確かさ要因に起因する測定結果の最大変化幅を推定
- 不確かさ要因となるパラメータを微小変化させることによる評価
 - ▶ 感度係数(変化率)の算出
 - ▶ 校正結果、許容幅などと組み合わせることによる不確かさ算出
- ランダムな要素として読み替えられる場合は、Type A評価も一案
 - ▶ 対象とする不確かさ要因が主となる繰り返し測定での標準偏差の推定
- 異なる測定系との対比による最大変化幅の推定
- 文献値の活用(ただし、妥当性についての根拠が必要)
 - ※測光・放射測定における不確かさ評価に関する参考文献は、(一社)日本 照明工業会の「文献リスト」にとても丁寧にまとめられています。 https://jlma.or.jp/labo/sikenjo/pdf/jlma_sikenjo_futasikasa_bunken.pdf

国立研究開発法人產業技術総合研究所 25/25

Society 5.0 に対応する次世代照明



END