日本照明工業会 セミナー のご案内

日頃から、当工業会の活動にご理解を頂き感謝申し上げます。

当工業会は、照明の測定を行う試験所の整備を推進しています。このたび、試験所の能力として重要な、“測定の不確かさの評価”に関して、下記のとおりセミナーを開催いたしますので、ぜひご参加くださるようにご案内いたします。

「測定の不確かさ評価（応用編）」セミナー概要

1 日 時： 2016 年 3月 9日 水曜日 13:00-17:00

2 場 所： 全国家電会館 5階 講堂 （東京都文京区湯島３－６－１）

3 講 師： 小井土 稔　（一社）日本照明工業会 工業会指定試験所分科会 委員
赤澤 幸造　同　事務局

4 プログラム （多少、変更の可能性があります。）

13:00- 受付開始

13:30- **＜モンテカルロ法による不確かさの求め方＞ 講師：小井土 稔**

1. モンテカルロシミュレーション（MCS）の概要（簡単な事例、正規乱数）
2. 測光における事例１（全光束）
3. 測光における事例２（色特性）
4. 参考　（GUM 補足文書１、エクセル関数）14:40- Q&A

＜休憩＞

15:10- **＜不確かさの見積もりに関する留意点＞ 講師：赤澤 幸造**

1. 不確かさのバジェットの参考例
2. 不確かさ要因の特定
3. 不確かさ成分の評価
4. 感度係数
5. 合成標準不確かさの計算
6. 包含係数 k の決定
7. 拡張不確かさ（k =2）の計算
8. 不確かさの報告の悪い例

16:30- 総合Q&A

17:00- 終了

5 受講証明書

受講者には、受講証明書を発行します。

6 その他

受 講 料：無料（会員）、￥1,000（非会員） 受講料は、当日申し受けます。 領収書を発行します。

問合せ先：清水 E-mail:shimizu@jlma.or.jp

以 上

日本照明工業会「測定の不確かさ評価」（応用編）セミナー

モンテカルロ法による不確かさの求め方

（一社）日本照明工業会
工業会指定試験所分科会
小井土　稔

内容

1. MCSの概要

一般社団法人日本照明工業会

モンテカルロ法(Monte Carlo method)

モンテカルロ法：
シミュレーションや数値計算を乱数を用いて行う手法の総称。
元々は、中性子が物質中を動き回る様子を探るためにジョン・フォン・ノイマンにより考案された手法。カジノで有名な国家モナコ公国の4つの地区（カルティ）の1つであるモンテ・カルロから名付けられた。
（ウィキペディア）

・難解な物理現象の解析にも適用できるが、不確かさ計算などの比較的簡単な対象についてはパソコンがあれば誰でも利用可能な手法である。

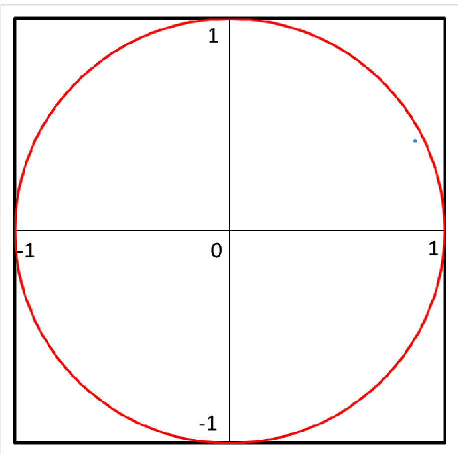
1. MCSの概要

一般社団法人日本照明工業会

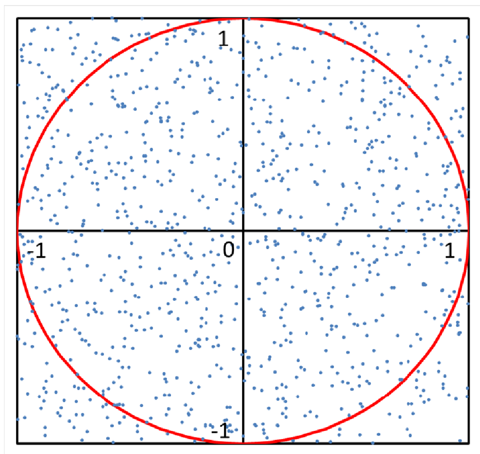
乱数を用いたシミュレーション事例

例： πの値を求める計算（ πの推定値）

一辺の長さ2の正方形（面積　4）の中に
半径が1の円（面積　π）がある。



この正方形内に
ランダムに点を打つ。
（点の分布は一様になる）



この点が円の内部にはいる確率Pは、

$$P = \frac{円の面積(1\times1\times\pi)}{正方形の面積(2\times2)} = \frac{\pi}{4}$$

正方形内の全点数と円の内部に入った点数との比を求め、
その値を4倍すると π の近似値になる （π = 4×P）

【方法】

1) 座標x, yそれぞれに、-1~+1の範囲で
乱数を発生させる。（例：1000個）
【ランダム発生】2*RAND()-1　　RAND()は、0~1乱数発生

2) 原点から(x_i, yi)までの距離d_i
を求める。

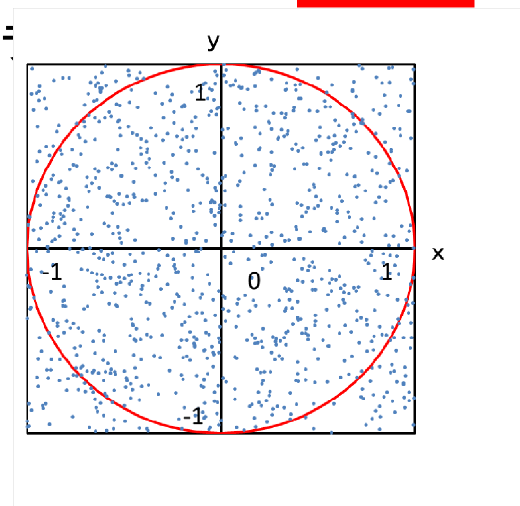
$$d_i = \sqrt{{x_i}^2 + {y_i}^2}$$

3) 距離 d_i が1より小さい点（円の内側）
の個数を求める。（例：815個）
【条件付カウント】COUNTIF（範囲,検索条件）

4) この確率は、
815÷1000=0.815

5) これより、πの推定値は
4×0.815 =3.26

エクセル



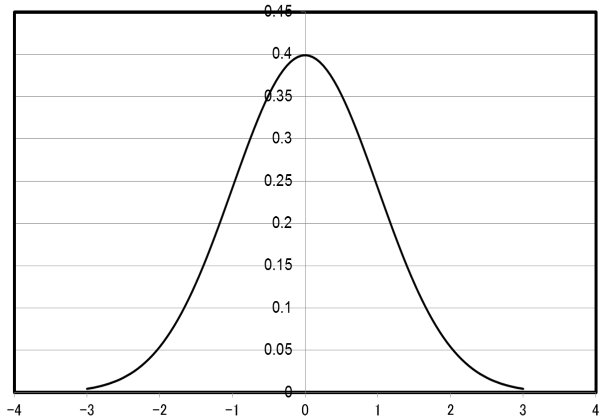
1. MCSの概要

一般社団法人日本照明工業会

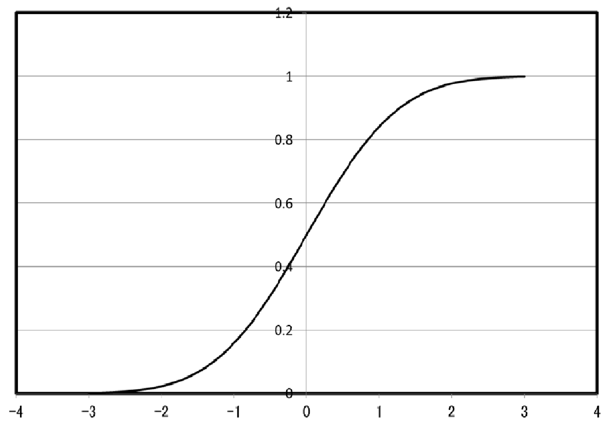
正規分布にかかわる関数について

平均　0　標準偏差　1のとき

確率密度関数



累積分布関数



エクセル関数：NORMDIST（xの値,平均,標準偏差, 関数形式)
関数形式：“FALSE”→ 確率密度関数　“TRUE”→累積分布関数

1. MCSの概要

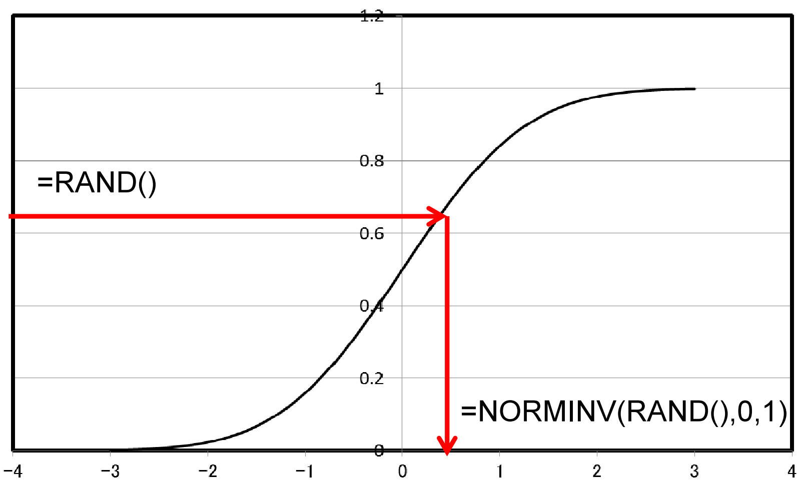
一般社団法人日本照明工業会

累積分布関数を利用した正規乱数の発生

(縦軸の数値をランダムに発生して、正規分布に対する乱数を求める)

エクセル関数：NORMINV（RAND(),平均,標準偏差)

平均　0　標準偏差　1　のとき　NORMINV（RAND(), 0, 1)



後に説明する測光事例（分光分布）において、要因の不確かさは、正規分布であることを前提としていることから、標準偏差＝標準不確かさとする。

全光束測定における分光分布測定
に起因する不確かさ

分光器を使用し、分光分布より全光束を求める場合には、測定された分光分布の不確かさが全光束に与える影響を検討する必要がある。

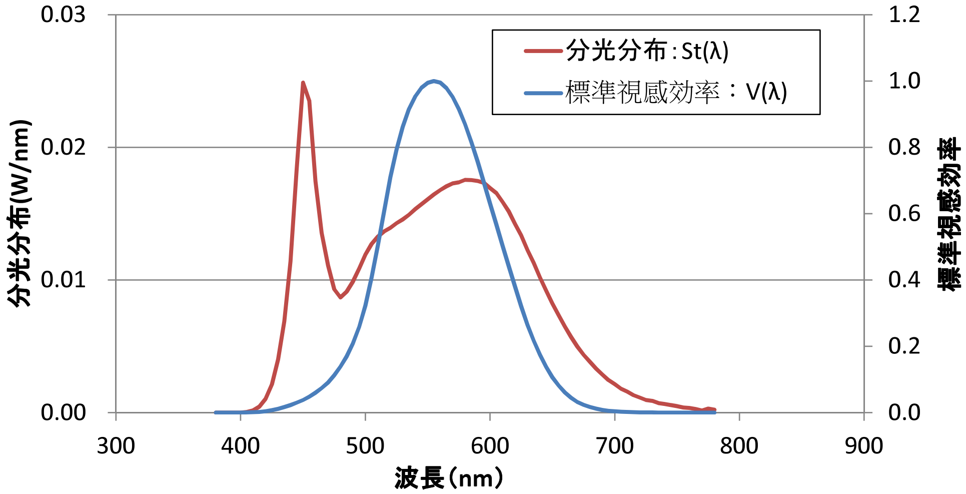
2.測光における事例1（全光束）

一般社団法人日本照明工業会

例）LED電球

＊分光分布測定値から計算された全光束値（参照値）：1110.$_{20}$ lm

分光分布の不確かさ成分は全光束値の不確かさに伝播する。



$$\Phi = 683\int_{-\infty}^{+\infty} S_t(\lambda)\cdot V(\lambda)\cdot d\lambda \fallingdotseq 683\sum_{360}^{830} S_{t(\lambda)}\cdot V(\lambda)\cdot \Delta\lambda \qquad (lm)$$

2.測光における事例1（全光束）

例）LED電球（参照値　1110.20 lm）

分光分布の標準不確かさ

360 nm	～	450 nm	±3.0%
455 nm	～	600 nm	±2.0%
605 nm	～	830 nm	±2.5%

上記標準不確かさの範囲で、各波長に標準不確かさに対応する変化（正規分布の変化）を与えた分光分布データ10000セットについて、それらの全光束のバラツキと実測値の差を評価する。

2.測光における事例1（全光束）

分光分布の乱数発生について

NORMINV（rand(),”平均値”,”標準偏差”）関数を使用する。

“平均値”→“分光分布の値”　　“標準偏差”→“標準不確かさの値”

分光分布乱数　=　NORMINV(RAND(),分光分布の値、標準不確かさの値)

例）450nm分光分布について乱数を10,000データ発生

分光分布の値　　:0.02489

標準不確かさの値:0.0007467

（3.00%）

↓

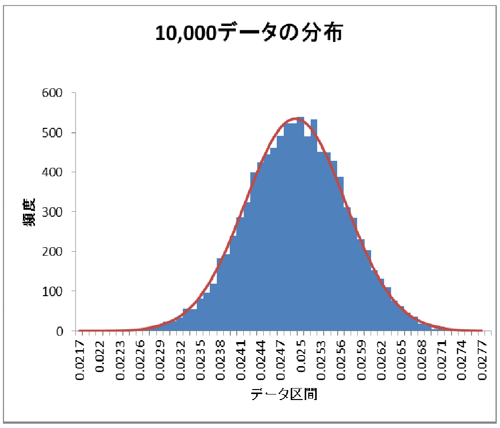
NORMINV(RAND(),0.02489,0.0007467)

(10,000回)

↓

MCS平均値　:　0.024894（差:0.02%）

標準偏差　:　0.0007454（差:0.17%）



2.測光における事例1（全光束）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

エクセル

例）LED電球（参照値　1110.20 lm）

エクセルシートでのシミュレーション

	A	B	・・・	U	・・・	CR
1	波長　nm　　*5nm間隔	360	・・・	450	・・・	830
2	実測分光分布　W/nm （参照値：1110.20 lm）	・・・	・・・	0.02489	・	
3	標準不確かさ　％	・・・	・・・	3.00%	・	
4	標準不確かさの値　W/nm	・・・	・・・	0.00075	=U2*U3	
5	分光分布　乱数発生	・・・	・・・	0.02515	=NORMINV(RAND(),U2,U4)	
6	V(λ)	・・・	・・・	0.048	・・・	・・・
7	分光分布乱数×V(λ)	・・・	・・・	0.001207	=U5*U6	
8	シミュレーション全光束値　lm	1114.00	=683*sum(B7:CR7)*5			
9	シミュレーション全光束値と参照値の差　lm	3.80	=B8-1110.20			

【正規乱数関数】
確率引数：ランダム
平均　：実測分光分布
標準偏差：標準不確かさ値

シミュレーション全光束値と参照値との差のデータのばらつきについて、
確率分布を考慮して、不確かさを求める。

2.測光における事例1（全光束）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

分光分布10000データのよるシミュレーション結果（参照値　1110.20 lm）

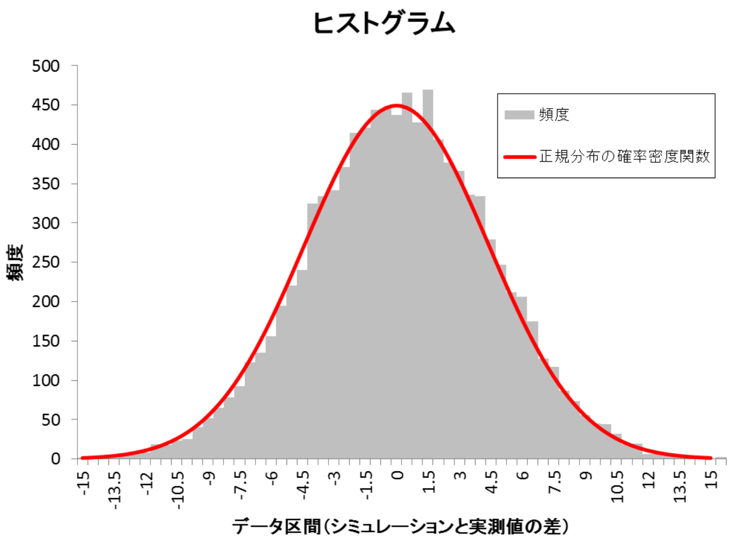
	シミュレーション全光束値 lm	シミュレーションと参照値との差 lm
平均値	1110.20	0.00
標準偏差		4.40

標準偏差は、標準不確かさとなるか？

2.測光における事例1（全光束）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

分光分布10000データのよるシミュレーションと参照値の差の分布



分光分布10000データのよるこの分布は、正規分布とみなせる。
よって、10000データより求めた標準偏差の2σの値は95%信頼区間に相当するとみなせる。

2.測光における事例1（全光束）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

これより、シミュレーションにより求めた分光分布による
全光束値の不確かさは、

標準不確かさ（σ）	4.40 lm	→	0.397%
拡張不確かさ（2σ）			0.80%

となる。

３．実際の使用例（１）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

MCSデータ数の違いによるばらつき

＊シミュレーション平均値と参照値の差による比較
（シミュレーションを各データ数について20回繰り返したときの結果）

回数	100データ		1000データ		10000データ		50000データ	
	MCS−参照値の平均 lm	MCS−参照値のばらつき2σ lm	MCS−参照値の平均 lm	MCS−参照値のばらつき2σ lm	MCS−参照値の平均 lm	MCS−参照値のばらつき2σ lm	MCS−参照値の平均 lm	MCS−参照値のばらつき2σ lm
1	0.0	8.17	0.0	8.66	0.0	8.71	0.0	8.75
2	−0.1	8.80	0.0	8.96	−0.1	8.78	−0.1	8.74
3	−0.1	8.37	0.0	8.78	−0.1	8.72	−0.1	8.80
4	−0.1	9.04	0.0	9.00	−0.1	8.72	−0.1	8.75
5	0.0	8.01	0.0	8.69	0.0	8.73	0.0	8.76
6	0.0	9.61	0.0	9.41	0.0	8.83	0.0	8.75
7	−0.1	8.31	0.1	8.67	−0.1	8.73	−0.1	8.75
8	0.0	8.62	0.0	8.56	0.0	8.55	0.0	8.68
9	0.0	9.33	0.0	8.50	0.0	8.62	0.0	8.70
10	0.0	9.04	−0.1	8.65	0.0	8.83	0.0	8.78
11	−0.1	7.73	0.1	8.69	−0.1	8.80	−0.1	8.78
12	0.0	9.16	−0.1	8.79	0.0	8.90	0.0	8.79
13	0.0	7.90	0.0	8.69	0.0	8.73	0.0	8.72
14	−0.1	9.11	0.1	8.85	−0.1	8.70	−0.1	8.74
15	−0.1	9.19	−0.1	8.49	−0.1	8.72	−0.1	8.74
16	−0.1	9.89	0.0	8.72	−0.1	8.69	−0.1	8.68
17	−0.1	7.80	0.0	9.07	−0.1	8.69	−0.1	8.73
18	0.0	8.10	0.0	8.64	0.0	8.70	0.0	8.74
19	0.0	8.78	0.0	8.94	0.0	8.86	0.0	8.73
20	0.0	9.68	0.0	8.94	0.0	8.81	0.0	8.78
20回ばらつき σ %		7.52		2.49		0.95		0.38

３．実際の使用例（１）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

MCSデータ数の違いによるばらつき

＊シミュレーション平均値と参照値の差による比較

データ数が少ないシミュレーションでは、結果がばらつく。

各データ数におけるばらつきが不確かさに与える影響は、０．０３％未満であるが、モデル式によっては、ばらつきが大きくなることもある。

よって、この影響が生じないようシミュレーションのデータ数は十分大きくしなければならない。

色度座標x, yにおける分光分布測定に起因する不確かさ

分光分布の不確かさが、色度座標x, y の不確かさにどの程度影響するかシミュミレーションにより、検討する。

色度座標x, yを求める基本式(JIS Z 8724:2015 色の測定方法－光源色)

1)三刺激値X, Y, Zの計算(等色関数$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$からの計算)

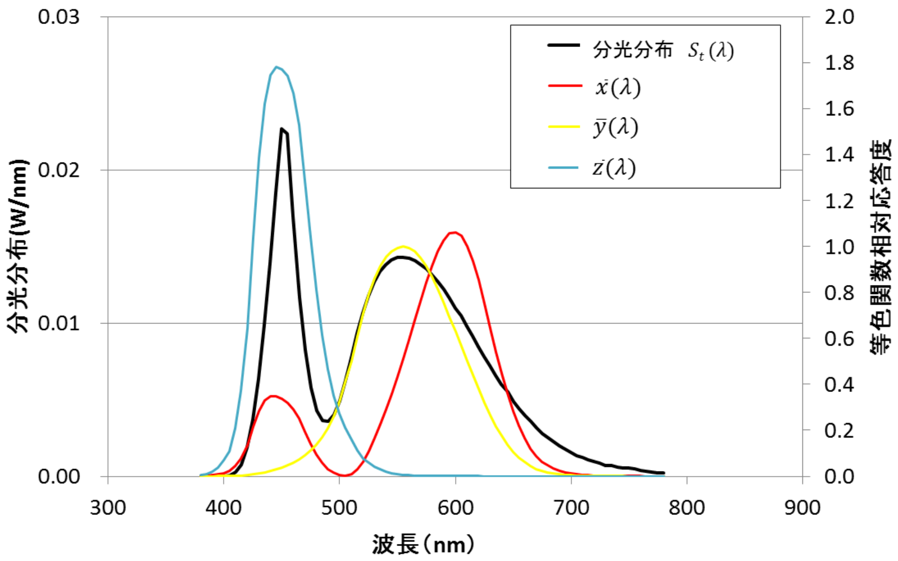
$$X = k \cdot \sum_{\lambda=360}^{830} S_t(\lambda) \cdot \bar{x} \cdot \Delta\lambda$$

$$Y = k \cdot \sum_{\lambda=360}^{830} S_t(\lambda) \cdot \bar{y} \cdot \Delta\lambda$$

$$Z = k \cdot \sum_{\lambda=360}^{830} S_t(\lambda) \cdot \bar{z} \cdot \Delta\lambda$$

$St(\lambda)$: 光源の分光分布
$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: XYZ表色系における等色関数の値
$\Delta\lambda$: 波長間隔(一般的に5nm)
k: Yの値が測光量に一致する定数

3.測光における事例2（色特性）



2）三刺激値X, Y, Zから色度座標x, yの計算

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{y}{X+Y+Z}$$

3.測光における事例2（色特性）

例）LED電球（参照値　色度座標　x =0.3219$_0$　y =0.3381$_0$）

分光分布の標準不確かさ

360 nm　～　450 nm　　±3.0%

455 nm　～　600 nm　　±2.0%

605 nm　～　830 nm　　±2.5%

上記、標準不確かさの範囲で、各波長に標準不確かさに対応する変化（正規分布の変化）を与えた分光分布データ10000セットについて、それらの色度座標x, yのバラツキを評価する。

3.測光における事例2（色特性）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

例）LED電球（参照値　色度座標　$x = 0.32190$　$y = 0.33810$）

	A	B	…	U	…	CR
1	波長 nm *5nm間隔	360	…	450	…	830
2	分光分布	…	…	0.02489	…	…
3	標準不確かさ %	…	…	3.00%	…	…
4	標準不確かさの値 W/nm	…	…	0.00075	=U2*U3	
5	分光分布 乱数発生	…	…	0.02497	=NORMINV(RAND(),U2,U4)	
6	$\bar{x}(\lambda)$	…	…	0.33620	…	…
7	$\bar{y}(\lambda)$	…	…	0.03800	…	…
8	$\bar{z}(\lambda)$	…	…	1.77211	…	…
9	分光分布乱数× $\bar{x}(\lambda)$	…	…	0.008394	=U5*U6	
10	分光分布乱数× $\bar{y}(\lambda)$	…	…	0.000949	=U5*U7	
11	分光分布乱数× $\bar{z}(\lambda)$	…	…	0.044246	=U5*U8	
12	MCS X	1.16483	=sum(B9:CR9)*5			
13	MCS Y	1.22466	=sum(B10:CR10)*5			
14	MCS Z	1.24166	=sum(B11:CR11)*5			
15	MCS x	0.3208	=B12/(B12+B13+B14)			
16	MCS y	0.3373	=B13/(B12+B13+B14)			
17	MCSと参照値との差 x	-0.0011	=B15- 0.3219			
18	MCSと参照値との差 x	-0.0008	=B16- 0.3381			

3.測光における事例2（色特性）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

分光分布10000データのよるシミュレーション結果

（参照値　色度座標　x=0.32190　y=0.33810）

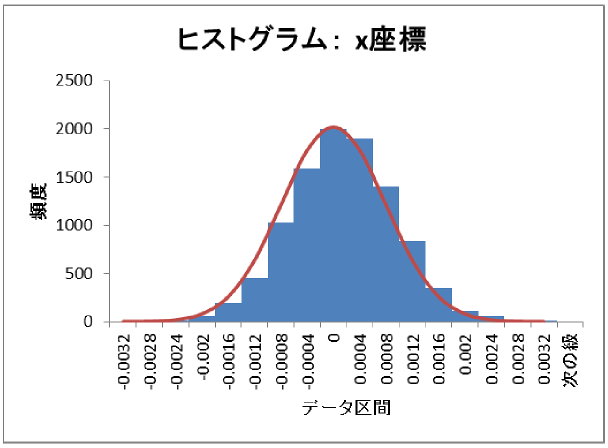
		シミュレーション	シミュレーションと参照値との差
平均値	x	0.32193	0.00003
	y	0.33812	0.00002
標準偏差	x		0.00079
	y		0.00132

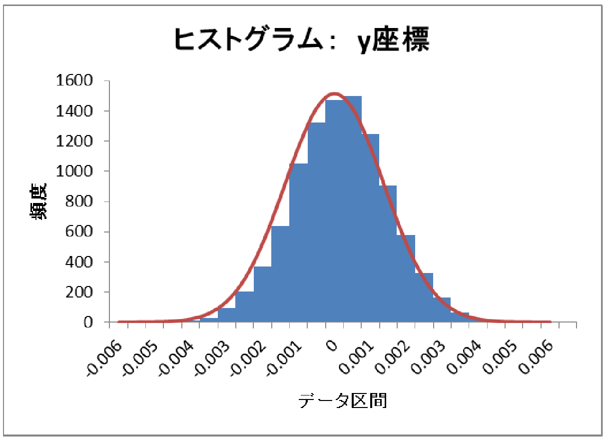
参照値とシミュレーション値の平均値に若干の違いがある。

3.測光における事例2（色特性）

一般社団法人日本照明工業会

分光分布10000データのよるシミュレーションと参照値の差の分布





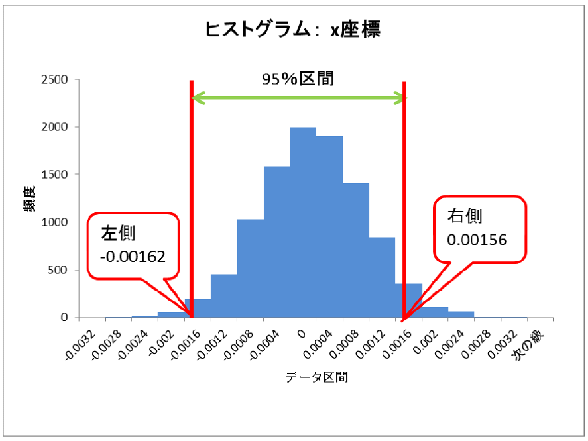
分光分布10000データのよるこの分布は、
正規分布からのかたよりがみられる。

3.測光における事例2（色特性）

一般社団法人日本照明工業会

シミュレーション結果に**平均値のずれ**や**分布のかたより**などがあり、正規分布とみなせない場合には、中心とした値（本事例では0）を基準に95%の範囲にある区間を求め、分布の左右で大きな値となる方を95%信頼区間の不確かさとして採用する。（10,000データでは9545データの区間）

座標x　：左側　-0.00162
　　　　右側　+0.00156
これより、大きい方を採用し、
色度座標xの不確かさ
(95%信頼区間）は、0.0017
となり、
同様の手順で、
座標y　：左側　-0.00268
　　　　右側　+0.00263
より、色度座標yの不確かさ(95%信頼区間）は、0.0027
となる。（標準不確かさは、それぞれ1/2）



4．参考（GUM 補足文書1）

一般社団法人日本照明工業会

GUM（ISO/IEC Guide98）関連文書

ISO/IECGuide の番号	タイトル	JCGM 文書番号	備考
98-3	測定における不確かさ表現のガイド Guide to the expression of uncertainty in measurement, GUM 1995 with minor modifications	JCGM100	発行済み（2008年）
98-3/ Supplement 1	モンテカルロ法による分布の伝播の計算 Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" -- Propagation of distribution using a Monte Carlo method	JCGM101	発行済み（2008年）
98-3/ Supplement 2	多出力量に関するモデル Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Extension to any number of output quantities	JCGM102	発行済み（2011年）
98-3/ Supplement 3	モデリング Supplement 3 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" -- Modeling	JCGM103	審議中
98-1	GUM及び関連文書の紹介 An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement"	JCGM104	発行済み（2009年）
98-2	測定不確かさの評価に関する概念，原理及び手法 Concept, principles and methods for the assessment of measurement uncertainty uncertainty	JCGM105	審議中
98-5	測定データの評価－適合性評価における不確かさの役割 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment	JCGM106	発行済み（2012年）

4．参考（GUM 補足文書1）

一般社団法人日本照明工業会

GUM補足文書、ISO 98-3/Supplement 1
：モンテカルロ法による分布の伝播（ JCGM101）

＜本文書の構成内容＞
序文，緒言
1．適用範囲
2．引用文献
3．用語と定義
4．規則と記号
5．基本原理
6．入出力量の確率密度関数
（矩形、曲線の台形、台形、三角、Uタイプ、正規、多変量正規分布、t分布、指数、ガンマ分布）
7．モンテカルロ法の解釈
8．結果の妥当性確認
9．事例(1)質量校正(2)マイクロ波パワー(3)ゲージブロック
付録：経緯，感度係数と不確かさの見積もり，確率分布からのサンプリング等

Excelの関数について

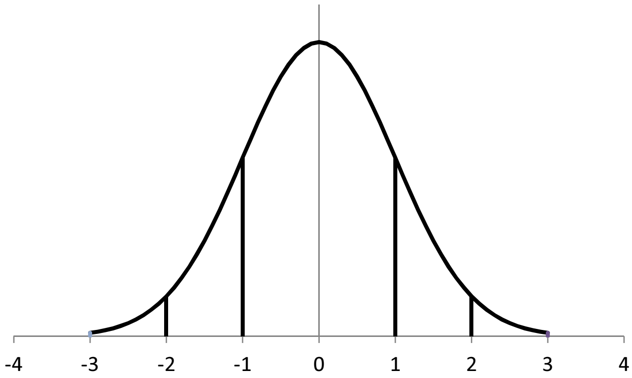
・基本的な関数
・正規分布に関する関数
・その他

注：Excelバージョンによって異なることがあります。

基本的な関数

・標本平均	：AVERAGE(範囲)
・n-1で割る分散	：VER.S(範囲)
・nで割る分散	：VER.P(範囲)
・n-1で割る標準偏差	：STDEV(範囲)
・nで割る標準偏差	：STDEVP(範囲)
・平方根	：SQRT(範囲)
・和	：SUM(範囲)
・二乗和	：SUMSQ(範囲)

正規分布に関する関数：NORMSDIST(値)



±1σの確率　NORMSDIST(1)－NORMSDIST(-1)＝0.683・・・

±2σの確率　NORMSDIST(2)－NORMSDIST(-2)＝0.954・・・

±3σの確率　NORMSDIST(3)－NORMSDIST(-3)＝0.997・・・

４．参考（Excel関数）

正規分布に関する関数:NORMSINV(確率)

例えば、95%のときの値を知りたい場合は、正規分布は左右対称なので、＝NORMSINV（0.975）で計算できる。

＊0.95＋（1-0.95）/2 ＝0.95＋0.025 ＝ 0.975

NORMSINV（0.975）=1.96　　＊1.96σの範囲

・NORMSINV（0.683＋（1－0.683）/2）＝1

・NORMSINV（0.954＋（1－0.954）/2）＝2

・NORMSINV（0.997＋（1－0.997）/2）＝3

乱数の発生

- 整数の乱数　　:RANDBETWEEN（最小値、最大値）
- 0～1の乱数　　:RAND()　括弧内は何も書かない
- -1～1の乱数　:2＊RAND() - 1
- 正規乱数（正規分布する乱数）:NORMSINV（RAND()）

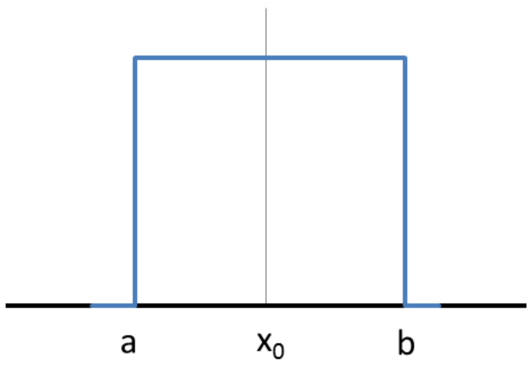
矩形分布の乱数発生

矩形の両端の値

a, b (b > a)

期待値　$\mathrm{E(X)} = \frac{a+b}{2}$

分散　$V\mathrm{(X)} = \frac{(b-a)^2}{12}$



乱数:　$= a + (b - a) * RAND()$

＊最良推定値 x_0、標準偏差 s_xを用いる場合は、 $a = x_0 - \sqrt{3} \cdot s_x$ 、$b = x_0 + \sqrt{3} \cdot s_x$ より

乱数:　$= x_0 + 2\sqrt{3} * sx * (RAND() - 0.5)$

その他

- COUNTIF(範囲、“条件”)

  ・・・範囲内の値の中で条件を満たす値の個数

  例)COUNTIF(A1:A60,"<"&B7)

  A1:A60の範囲内でB7より小さい値の個数

- FINV(a,f_A,f_e)・・・F検定

  a・・・(100×a)%有意で検定を行う。

  f_A・・・因子Aの自由度

  f_e・・・因子eの自由度

日本照明工業会「測定の不確かさ評価（応用編）」セミナー

不確かさの見積もりに関する留意点

Notes on Estimating Measurement Uncertainties

2016年 3月 9日（水）
於　全国家電会館５階講堂

（一社）日本照明工業会 技術部　赤澤 幸造

目 次

はじめに（信頼性の指標としての用語及び定義）

一般社団法人日本照明工業会

“誤差”，“精度”，“不確かさ”の違い

真の値の存在を前提

- 誤差＊1（error）:
  測定値から真の値を引いた値
- 精度＊1（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

真の値を知ることはできない！

真の値は知り得ないという前提

- 不確かさ＊2（uncertainty）:
  測定の結果に付随した，合理的に測定対象量に結び付けられ得る値の<u>バラツキを特徴付けるパラメータ</u>

〔出典〕 ＊1：JIS Z 8103:2000， ＊2：TS Z 0033:2012

1．不確かさのバジェットの参考例

一般社団法人日本照明工業会

CIE S 025/E:2015 “Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules” の附属書に不確かさのバジェット例が複数添付されている。このうち，参考になると思われる資料に<u>国内の事情を考慮して修正を加えたバジェット例</u>を以下に紹介する。

要　因 X_i	標準不確かさに対する相対的な寄与 $u_{\mathrm{rel},i}(y)$
全光束標準電球の全光束の不確かさ（校正値の不確かさ）	0.7 %
標準電球の経時変化	0.3 %
標準電球点灯電圧による不確かさ	0.4 %
標準電球の安定性による不確かさ	0.2 %
分光放射計の直線性による不確かさ	0.8 %
分光放射計の波長精度 (0.5 nm) による不確かさ	0.4 %
分光放射計の迷光による不確かさ（2,700 K ～ 6,500 K）	1.0 %

つづく

要　因 X_i	標準不確かさに対する相対的な寄与 $u_{\mathrm{rel},i}(y)$
分光放射計の再現性による不確かさ	0.1 %
自己吸収による不確かさ（補正後）	0.3 % [b]
ランプ近傍の吸収による不確かさ	0.3 %
積分球の不均等性による不確かさ（標準電球との配光特性相違）	0.9 % [c]
積分球システムの再現性による不確かさ	0.3 %
積分球システムの安定性による不確かさ（校正間隔）	0.3 %
周囲温度（及び温度計の不確かさ）による不確かさ	0.3 %
試験ランプへの供給電圧（及び電圧計の不確かさ）による不確かさ	0.2 %

つづく
⬇

1．不確かさのバジェットの参考例（つづき）

JLMA
一般社団法人日本照明工業会

要　因 X_i	標準不確かさに対する相対的な寄与 $u_{\mathrm{rel},i}(y)$
試験ランプの再現性（安定性を含む）	0.3 %
相対合成標準不確かさ	2.0 % [c]
相対拡張不確かさ（k =2）	4.0 % [c]

b 数値は，一般的に小形 LED ランプ測定に用いられる反射率 95%の 1.5m 積分球の値である。数値は，積分球の条件及び DUT(Device Under the Test，測定対象物）の大きさにより変化することがある。

c 広配光の光源に対する値。

不確かさの見積もり表(*Budget sheet*：バジェットシート)は，測定装置やシステムにより異なるため画一なものは無く，測定者はそれぞれ固有の計測システムに合わせて検討する必要があり，第三者が見ても分かり易いバジェットシートを作成することが大切である。

2. 不確かさ要因の特定

一般社団法人日本照明工業会

全光束測定における主な要因例としては,

- 標準器(全光束標準電球など)の校正の不確かさ
- 標準器の安定性・再現性による不確かさ
- 標準器の経年変化による不確かさ
- 測定装置の安定性・再現性による不確かさ
- 測定装置の性能(仕様)による不確かさ
  (非直線性, 波長ずれなどを含む)
- 繰り返し測定のバラツキによる不確かさ
- 測定方法や手順に起因する不確かさ

2. 不確かさ要因の特定 (つづき)

一般社団法人日本照明工業会

- データ処理方法(補正など)による不確かさ
- 測定対象(被試験ランプ(DUT))の短期安定性による不確かさ
  (測定対象の長期安定性・再現性は, 通常評価しなくてよい)
- 周囲温度など測定環境の影響による不確かさ
- 標準器の点灯条件設定の不確かさ, 及び, 被測定対象の点灯条件設定の不確かさ
  (電気計測器の指示値, 校正の不確かさ, 及び点灯条件に対する有効数字の影響などを含む)

などが挙げられる。

2．不確かさ要因の特定（つづき）

一般社団法人日本照明工業会

- 不確かさ評価で一番難しいのは，**不確かさ要因の特定**（評価する不確かさの項目）である。

- 不確かさ要因は色々あるが，抽出したもの全てを**見積もりに加える必要はない**。

- 要因の影響を実験する場合，**複数の要因をまとめた方が実験が容易になることがある**。このような時には，関係する要因をまとめて，その影響をバジェットシートに計上してもよい。

2．不確かさ要因の特定（つづき）

一般社団法人日本照明工業会

- 複数の要因が相互に影響するモデルでは，要因個別の影響に加えて，要因間の影響も評価する（要因に加える）必要がある。
この様なモデルのモンテカルロシミュレーションでは，**相関関係を持つ要因は全てパラメータに加えて評価する必要がある**。

- 最終的な不確かさ（合成標準不確かさ）に与える影響が小さく無視できる要因*は切り捨て，**影響が大きなものをピックアップする**ことが重要である。

＊ 切り捨ての目安は，相関がない場合，**一番大きな要因の1/10以下のものを選ぶとよい**。

一番大きな要因の1/10の場合，最終的な不確かさに与える影響は，一番大きな要因の0.5％未満である。

〔合成標準不確かさ試算例〕$\sqrt{(1^2+0.1^2)}$ ≒1.004988 ≒ 100.499%

不確かさは通常，多くとも2桁で報告すればよいことから，0.5％未満の影響は小さく無視できる。

（要因の大小関係によっては，1/4程度のものでも影響しないことがある）

2. 不確かさ要因の特定（つづき）
JLMA 一般社団法人日本照明工業会

＊ 他方，ある器物の測定では1/10以下となる要因であっても，
他の測定器物では1/10以上になる場合もあることから，

一律に切り捨てるのではなく，常に要因の大小関係（合成標準不確かさへの寄与度）を考慮することが必要である。

3. 不確かさ成分の評価（標準不確かさの算出）

3.1 タイプAの評価法

十分な数の N 個のデータを取って，それらのデータの統計解析を行い，バラツキを算出する方法。
これらのデータの実験標準偏差を，繰り返し測定回数 n の平方根で除した値(＝平均値の実験標準偏差)が，
タイプAの評価法で求められた標準不確かさとなる。

N 個のデータの実験標準偏差を $s(x)$，i 個目のデータを x_i，データの平均値を $\bar{x}$ とすると，データの実験標準偏差 $s(x)$ は下式で求められる。

$$s(x)=\frac{1}{\sqrt{N-1}}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2}$$

⇐ データの実験標準偏差（測定値のバラツキ）

また，個々のデータが n 回測定されたものの平均値であれば，その平均値の実験標準偏差 $s(\bar{x})$ は下式で求められる。

$$s(\bar{x})=\frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

⇐ 平均値の実験標準偏差（平均値のバラツキ）

3. 不確かさ成分の評価（つづき）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

〔注記〕

通常の試験においては1回限りの測定なので，標準不確かさは
データの実験標準偏差($s(x)$)として扱える。
ただし，プールされた実験標準偏差や繰り返し測定の結果から，
平均値のバラツキを標準不確かさ($s(\bar{x})$)として見積もる場合は，
データの実験標準偏差($s(x)$)を $\sqrt{n}$ で除して算出する。

なお，あらかじめ測定するデータの独立した観測数 N は，十分な数とすることが望ましい。
少ない観測数から求められたタイプA評価の標準不確かさは，信頼性が十分ではなく，適切な評価とはいえない。

ISO/IEC Guide 98-3:2008（測定における不確かさの表現のガイド）附属書G.6.6 によれば，独立した観測数は概ね 10 以上あればよいことが示唆されている。

3.2 タイプBの評価法

➢主として未知のかたより＊を，確率分布を仮定してバラツキとして評価し，標準不確かさに変換する方法。
＊その状態を再現するためには時間・費用・人手があまりにも掛かり過ぎて再現することが難しく，知ることが困難なかたより

➢標準不確かさの包含区間は，計算（合成及び拡張）の都合により，実験標準偏差（σ）に揃える必要がある。

➢そのために，バラツキの状態（確率分布）に応じて，データの限界値を除する値が“除数”であって，表１で示す値になる。

➢モンテカルロシミュレーションなど，バラツキの状態が表１の

確率分布にならない場合には，上記の考え方を準用して，標準偏差に相当する包含区間から，標準不確かさを決定する必要がある。

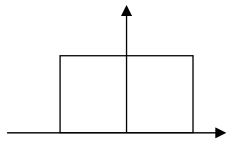
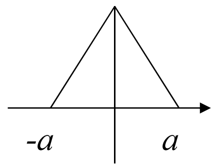
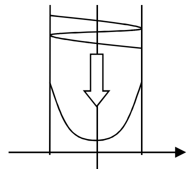
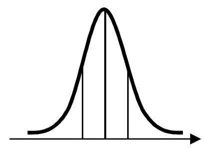
➢具体的な事例としては，
・中央値を挟んで68％の確率を与える片幅を標準不確かさにする。
又は，
・中央値を挟んで95％の確率を与える片幅の半分を標準不確かさにする。
・中央値に偏りがある場合，偏りの影響を加える（幅の大きい方を採用）

3. 不確かさ成分の評価（つづき）

一般社団法人日本照明工業会

表1　確率分布と除数について

確率分布の半値幅を除数で割った値は，タイプBの評価法での標準不確かさとなる。仮定する確率分布により代表的な除数がある。

				
	矩形分布（一様分布）	三角分布	U字分布	正規分布
	最もよく使われる分布。 限界値のとき等に適用。 除数は　√3	中心が多く、端にいくほど少なくなる分布に適用。 正規分布のときはこの分布を適用することが多い。 除数は　√6	周期的に変化する要因に対して適用。 除数は　√2	校正証明書などで不確かさが分かっている時に適用。 除数は　2
標準不確かさ	a/√3	a/√6	a/√2	u/2

※　a　は半値幅　⇔　推定する確率分布の上限と下限の間の半分
　　U　は拡張不確かさ・・・校正証明書などで記載されている

3. 不確かさ成分の評価（過去セミナーでの質問と回答）

一般社団法人日本照明工業会

Q1 “データの実験標準偏差”と“平均値の実験標準偏差”の使い分けは？

A1 1回限りの測定（同一個体をN回測定した場合）では，標準不確かさ＝実験標準偏差として扱える。但し，プールされた実験標準偏差や繰り返し測定の結果から，平均値のバラツキを標準不確かさとして見積もる場合は，実験標準偏差を√nで除して算出する。

Q2 タイプAの不確かさ成分評価法において，複数サンプルの安定性・再現性による不確かさを評価する場合，「N個のデータ」は「サンプル数」，「繰返し測定回数n」は「各サンプルの繰返し測定回数」として算出しても良いか？

A2 事例で紹介した計算式は，同一個体に関するものであり，複数個体の評価に用いることは出来ない。複数個体を扱う場合には，個々の個体について事例の評価を行い，その中の最悪値を採用するか，詳細な分析を行なう場合には，分散分析を用いる。

Q3 受光器の周囲温度変化の影響による不確かさ評価において，測光値の変化が基準の温度に対して非対称な特性をもつ場合の算出方法の考え方は？
例えば，25℃の測光値に対して，23℃において−0.3%，27℃において+0.5%の変動幅がある場合では，不確かさとして変動幅の半分“（0.5%−（− 0.3%））/2=0.4%” を用いてよいか？

3. 不確かさ成分の評価（過去セミナーでの質問と回答）

一般社団法人日本照明工業会

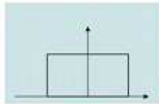
A3 変動幅は基準値に対するものを採用する。過小評価にならないように，変動幅の大きい値(質問の例では0.5%)を採用するのが一般的である。

Q4 なぜ標準電球の経時変化による不確かさを評価するのか？

A4 標準電球は点灯時間に伴って光束が低下する。この低下は標準電球を使用するごとに，ほぼ等しく減衰していくため，経時変化の不確かさを校正時における光束の低下分を幅とする矩形分布として算出する。

Step2　標準不確かさ　・・・　u3

u3　標準電球の経時変化による不確かさ



受光器の校正には全光束標準電球を使用している。
この全光束標準電球の校正は、外部校正機関へ委託し
その校正周期は1年としている。
直近3年間の校正履歴は右表のとおりである。
標準電球は、点灯時間に伴って光束が低下する。
この低下は、標準電球を使用する毎に一様にほぼ等しく
減衰していく。

	光束 (lm)	試験電流 (A)
前々回	888.0	3.200
前回	885.0	3.200
今回	880.0	3.200

ここでは経時変化の不確かさを、1年間の校正時における
光束の変動率を幅とする矩形分布（除数は√3）と仮定して
算出する。

前回の変動率　＝　（885.0　－　888.0）　／　888.0　×　100　≒　－0.34　（%）
今回の変動率　＝　（880.0　－　885.0）　／　885.0　×　100　≒　－0.56　（%）

大きい方の変動を採用し、この変動幅の半分を√3で除して標準不確かさを求める。

0.56　／　2　／　√3　≒　0.16　（%）

<過去セミナーでの説明資料>

Q5 標準電球の経時変化による不確かさ評価において，光束変化は初期値に対して減衰だけなので，変動幅の半値ではなく，変動率を除数で割るべきではないか？

3. 不確かさ成分の評価（過去セミナーでの質問と回答）

一般社団法人日本照明工業会

A5 紹介事例は標準電球における目盛りの経時変化の影響を補正して使用する場合の不確かさの評価例であり，補正を行わない場合は，ご指摘の内容を採用する必要がある。

Q6 標準電球は1年周期で不確かさを評価しなければならないのか？

A6 1年間の周期は参考例である。試験所が設定する周期で求めると良い。一般的には，校正周期が長くなるほど，経時変化の不確かさは大きくなる。所望する不確かさより，校正周期を設定することができる。

Q7 標準電球の経時変化について，複数の校正データがない(変化量が不明な)場合は，どう処理すればよいか。自社で3ヶ月毎に測定した値を使用してもよいか？

A7 事例では，点灯時間に対する測光量の変動幅を得る手段として複数の校正結果から変動幅を求める方法を紹介した。直接，点灯時間における変動幅を求めることも可能である。各試験事業者において標準電球の校正周期として設定されている点灯時間の上限値に相当する変動幅を採用することが大切である。逆に，不確かさを低減するために，点灯時間の上限値を見直すこともできる。

4．感度係数

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

- 感度係数(c_i)とは，入力量(単位)の変動量を出力量(単位)の変動量に換算するための係数である。
- 測定のモデル式が一次式で直線性が確保されている場合は実験的に求めることもできる。
- しかし，一般的に測定のモデル式は複雑なケースが多いことから，入力量の変動量に対する出力量の変動量を近似で求めることになる。
- この場合，入力量に対する測定のモデル式の「傾き」を求めれば出力量に変換できることから，測定のモデル式を各変数で偏微分することによって，接線の傾き，すなわち「感度係数」を算出することができる。

21

5．合成標準不確かさの計算（二乗和の平方根で合成）

JLMA 一般社団法人日本照明工業会

合成標準不確かさ u_c を求めるには，各標準不確かさを二乗し，足し合わせ，その正の平方根をとる。

測定のモデル式を $Y=f(X_1,X_2,\ldots X_N)$ とし，
出力量 Y の推定値つまり測定の結果を y ，
入力量 $X_1,X_2,\ldots X_N$ の推定値をそれぞれ $x_1,x_2,\ldots x_N$ ，
これらの推定値の標準不確かさ
をそれぞれ $u(x_1),u(x_2),\ldots u(x_N)$ とすると，
前述４．の感度係数を含めて，測定結果 y の
合成標準不確かさ $u_c(y)$ を数式で一般化して
記述すると，以下のとおりとなる。

$$u_c^2(y)=\sum_{i=1}^{N}c_i^2u^2(x_i)=\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2u^2(x_i)$$

22

6. 包含係数*k*の決定

- 包含係数(*k*=2)(約95%の信頼の水準)が一般的である。
- モンテカルロシミュレーションによって標準不確かさを合成する*場合，包含係数の代わりに包含区間(包含確率)を用いるため，包含係数は不要となる。

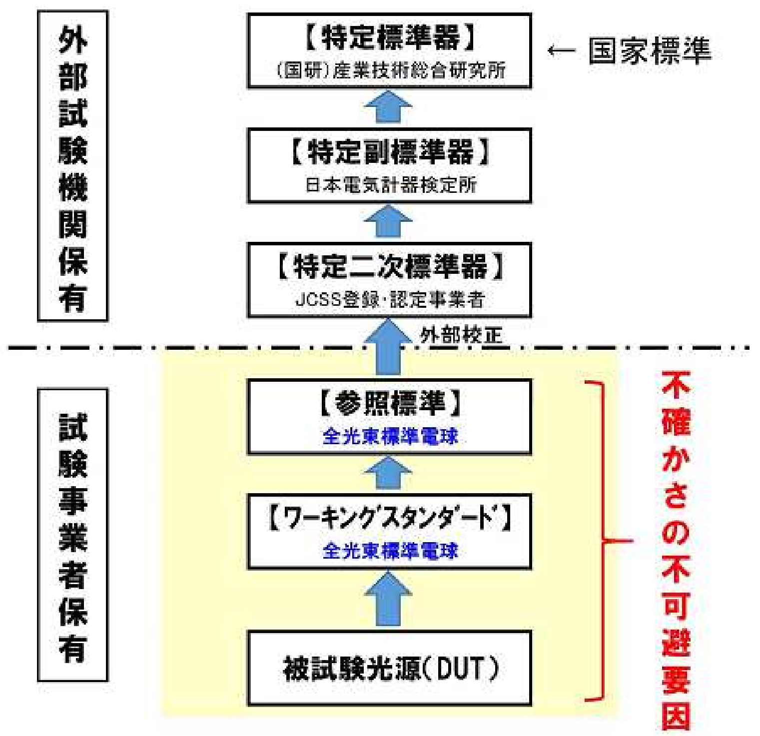
　*採用する際はIA Japanなど認定機関の事前了解が必要

7. 拡張不確かさ(*k*=2)の計算

- 合成標準不確かさに包含係数(*k*=2)を乗じて，約95%の信頼水準の拡張不確かさを求める。
- 拡張不確かさの有効数字は，例えば，全光束測定の場合では，3桁目を切り上げて2桁に丸めることが多く，一般的にも2桁に丸めればよいとされている。

7. 拡張不確かさの計算（つづき）

全光束測定の試験結果に関わる参照標準とそのトレーサビリティーの概要例



7. 拡張不確かさの計算（つづき）

一般社団法人日本照明工業会

JIS C 7801　全光束測定試験のバジェットシート

例示が目的で値は参考値である

●校正対象：JCSS校正全光束標準電球 ⇒ ワーキングスタンダード（WS）
全光束常用標準電球

記号	不確かさ要因	タイプ	値	確率分布	除数	標準不確かさ	感度係数	相対標準不確かさ（%）
u1	標準電球の校正値の不確かさ	B	1.00%	正規	2	0.50%	1	0.50
u2	標準電球の安定性による不確かさ	A	0.03%		1	0.03%	1	0.03
u3	標準電球の再現性による不確かさ	A	0.04%		1	0.04%	1	0.04
u4	標準電球の経時変化による不確かさ	B	0.03%	矩形	√3	0.02%	1	0.02
~~u5~~	~~標準電球の点灯電圧値に起因する不確かさ~~ 切り捨て（合成標準不確かさに与える影響が小さく無視できる要因）	~~B~~	~~0.002V~~	~~矩形~~	~~√3~~	~~0.001V~~	~~4.03 %/V~~	~~0.004~~
u6	WSの安定性による不確かさ	A	0.02%		1			
u14	分光分布の測定による不確かさ	B	0.40%	MC	1	0.40%	1	0.40
u15	分光器の直線性による不確かさ	B	0.07%	矩形	√3	0.04%	1	0.04
u16	分光器の波長ずれによる不確かさ	B	0.30nm	矩形	√3	0.17nm	0.73 %/nm	0.13
u17	分光器，積分球の出力温度安定性起因する不確かさ	B	2.00℃	矩形	√3	1.15℃	0.1 %/℃	0.12
u18	積分球内面の不均等性による不確かさ	B	0.28%	矩形	√3	0.16%	1	0.16
	合成標準不確かさ	上記相対標準不確かさ値の二乗和平方根で求める ⇒						0.70
	拡張不確かさ（k=2）	合成標準不確かさ値を2倍して二桁表示 ⇒						1.4

7. 拡張不確かさの計算（つづき）

一般社団法人日本照明工業会

JIS C 7801　全光束測定試験のバジェットシート

例示が目的で値は参考値である

●校正対象：ワーキングスタンダード（WS） ⇒ 被試験ランプ（DUT）
全光束常用標準電球　Device Under the Test

記号	不確かさ要因	タイプ	値	確率分布	除数	標準不確かさ	感度係数	相対標準不確かさ（%）
u1	標準器(WS)の校正値の不確かさ	B	1.40%	正規	2	0.70%	1	0.70
u2	標準器(WS)の安定性による不確かさ	A	0.02%		1			
u8	DUTの安定性による不確かさ	A	0.06%		1	0.06%	1	0.06
u9	DUTの再現性による不確かさ	A	0.04%		1	0.04%	1	0.04
u10	DUTの入力に起因する不確かさ	B	0.20%	矩形	√3	0.12%	1	0.12
u11	DUTの自己吸収補正による不確かさ	B	0.08%	矩形	√3	0.05%	1	0.05
u12	DUTの温度安定性による不確かさ	B	1.00℃	矩形	√3	0.58℃	0.14 %/℃	0.08
u14	分光分布の測定による不確かさ	B	0.80%	MC	1	0.80%	1	0.80
u15	分光器の直線性による不確かさ	B	0.07%	矩形	√3	0.04%	1	0.04
u16	分光器の波長ずれによる不確かさ	B	0.24%	矩形	√3	0.14%	1	0.14
u17	分光器，積分球の出力温度安定性起因する不確かさ	B	2.00℃	矩形	√3	1.15℃		
	合成標準不確かさ							1.47
	拡張不確かさ（k=2）	求める拡張不確かさ（JNLAでは3桁目を切上げて2桁表示を推奨している ⇒						3.0

8. 不確かさの報告の悪い例

JLMA
一般社団法人日本照明工業会

➢標準不確かさの算出で用いる除数の間違い

バジェットシートの確率分布の欄において，矩形分布と記載されているにも係わらず，除数の欄が“2”と記載されていた。
事務局から指摘をして“√3”に修正してもらった。

➢標準光源のトレーサビリティの不整合

光束が少ない低ワットLED光源の不確かさ見積もりにも係わらず，標準光源に200 W全光束標準電球を使用していた。
低ワットのLED光源の測定には少ない光束に適した小さな積分球が使用され，
一方，参照標準は200 Wあるいは500 Wと大きな光束に適した大きな積分球が使用されていたが，
これら使い分けられた大小積分球間のトレーサビリティ等が提出されたバジェットからは確認できなかった。
事務局から指摘をして，再評価してもらった。

8. 不確かさの報告の悪い例（つづき）

JLMA
一般社団法人日本照明工業会

➢提出書類の不足

申請試験区分とバジェットシートが不一致で，試験能力を確認するためのバジェットシートが提出されておらず，技術能力を有していると確認できなかった。
事務局から指摘をして，申請試験区分毎のバジェットシートを再提出してもらった。

➢測定設備の概要が不明

提出されたバジェットシートでは，試験設備の概要が分からず，総合判定ができなかった。
事務局から指摘をして，試験規格毎の試験器概要書を作成/提出してもらった。

➢測色の標準が不適切

提出されたバジェットシートでは，ワーキングスタンダード（分光放射照度標準）を積分球の中で点灯させているのか測定方法の詳細が

8. 不確かさの報告の悪い例（つづき）

確認できなかった。積分球の中で点灯させているのであれば，**均一性等の補正**が確認できなかった。
事務局から指摘をして，バジェットシート上で明確にしてもらった。

上記以外に想定される悪い例について，紹介する。

➢不確かさ要因の欠如

不確かさ要因として**無視できないもの**（又は無視してはいけないもの）**がバジェットシートで見積もられていない**場合は，技術能力を有していると確認できない。
例えば，標準器（標準電球など）の校正の不確かさは，試験所の測定に起因する要因ではなく，上位の JCSS 登録事業者による校正の曖昧さに起因する要因であり，その標準器を試験所が使用する場合は**不可避的に見積もらなければならない**。
不可避要因を見積もっていないと，事務局から指摘をして対応してもらうことになる。

JLMA
一般社団法人日本照明工業会

8. 不確かさの報告の悪い例（つづき）

➢タイプA評価の不確かさの除数の誤り

観測数 N 個の**1回限りの測定データ**における標準不確かさを見積もる場合に，実験標準偏差 $(s(x))$ を，さらに観測数 N の平方根 $\sqrt{N}$ で除した場合は，**不確かさの過小評価**となる。

また，**平均値のバラツキ**を標準不確かさ$(s(\bar{x}))$として見積もる場合に，実験標準偏差を繰り返し測定回数 n の平方根 $\sqrt{n}$ で除していない場合は，**不確かさの過大評価**となる。

正しい統計処理をしていないこれらのケースでは，仮に合成標準不確かさの数値的に問題がなかったとしても，事務局から指摘をして対応してもらうことになる。

なお，モンテカルロシミュレーションを行った場合，このような問題は通常発生しない。

8．不確かさの報告（過去セミナーでの質問と回答）

一般社団法人日本照明工業会

Q1 標準電球の安定･再現性試験において，繰り返し測定に関する点灯条件（基準）はあるのか？
点灯→エージング→測定→消灯を都度繰り返すのか，又は，連続点灯で測定を繰り返すのか。

A1 測定方法は，求める不確かさの内容によって異なる。今回のセミナー事例では，安定性及び再現性をまとめて評価するため，都度点灯することが必要となる。

Q2 個々の標準電球について，変化を追ったデータがない場合はどうすればよいか？

A2 同じ形式で，個体差が無視できるのであれば，代表的なサンプルのデータを取得すればよい。

Q3 校正証明書に記載している拡張不確かさが相対値ではなく，測定量の単位で書かれている場合には，どのように相対値を算出するのか？

A3 校正証明書に記載されている拡張不確かさ（k = 2）の値を対象とする値（標準電球の場合は校正値，電気計器等の場合は表示値）で除して求める。この拡張不確かさの相対値を，更に除数2で除して相対標準不確かさを求める。

8．不確かさの報告（過去セミナーでの質問と回答）

一般社団法人日本照明工業会

Q4 不確かさバジェットシートの参考例（CIE S 025/E:2015）では，分光放射計の直線性による不確かさ，迷光による不確かさ，積分球の不均等性による不確かさが，寄与率の大半を占めている。
また，積分球の不均等性による不確かさの評価は，積分球内面レスポンスの角度特性を測定する必要があるが，測定は非常に難しく，この項目を参考例と同様な方法で測定し評価している国内試験事業者は，殆ど無いと考える。
こうした状況で，CIEのバジェットシートは参考例として適当なのか？

A4 不確かさの見積もりは，試験事業者が所有する測定装置や測定環境によって異なり，当工業会によるバジェットシート例の作成／公開は，コンサルティングやミスリードに繋がる恐れがあるため差し控えた。
しかしながら，不確かさの評価について理解を深めて頂くためには参考例が必要と考え，既公開の国際規格を例示した。
なお，当工業会では，拡張不確かさ（k=２）の上限値の規制は必要であると考えている。

Q5 品質管理などで日毎のデータ分析をするとき，データ数が日によって異なることがある。この場合に統計学上ではどのように処理すればよいのか？

A5 統計処理の応用問題への対応は，専門書を参照していただきたい。

８．不確かさの報告　まとめ

視点を変えて

◆測定不確かさ評価で大事なことは，測定対象（製品，サンプル等），測定器，測定目的を踏まえた，測定に対する**相場観を測定者自身が持つ**ことである。

◆測定不確かさ評価とは，試験所の要員が漠然と感じていた**測定のバラツキの定量化作業**であり，これによって試験結果の信頼性が実証される。

◆正しい理解の下で，測定不確かさを評価し，**測定結果の信頼性を得る**ことが必要である。

９．参考資料

JLMA
一般社団法人日本照明工業会

1．不確かさのバジェットの参考例*
　＊ CIE S 025/E:2015“Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules”の附属書に不確かさのバジェットの例が複数添付されている。このうち，参考になると思われるバジェットを別紙1に紹介する。
　URL　http://www.cie.co.at/index.php?i_ca_id=973

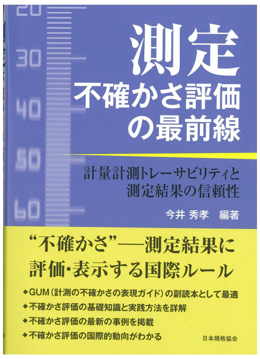
2．TS Z 0033:2012 “測定における不確かさの表現のガイド”*
　＊ 上記の標準仕様書は JISC のホームページで閲覧可能である。
　URL　http://www.jisc.go.jp/app/TPS/TPS00020.html

3．光における不確かさの要因項目として，JCSS の技術的要求事項適用指針　登録に係る区分：光　JCT21400 NITE
　URL　http://www.nite.go.jp/data/000001491.pdf#search='JCT21400+NITE'

4．不確かさの入門ガイド　ASG104　NITE
　URL　http://www.nite.go.jp/data/000050641.pdf#search='ASG104+NITE'

5．CIE 198 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry
　URL　http://www.cie.co.at/index.php/Publications/index.php?i_ca_id=824

6．CIE 198 SP1 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry – Supplement1 : Modules and Examples for the Determination of Measurement Uncertainties
　URL　http://cie.co.at/index.php?i_ca_id=826



新刊ご紹介

謝辞

本資料の作成にあたり，適切な助言を賜り，丁寧に
指導して下さった
独立行政法人製品評価技術基盤機構　認定センター
(IA Japan)の石毛浩美氏に感謝いたします。

ご静聴ありがとうございました。

2015 年 8 月 5 日
(一社)日本照明工業会
技術部

不確かさの見積もりに関する留意点

１．不確かさ要因の特定

不確かさ評価で一番難しいのは，不確かさ要因（不確かさの項目）の特定である。

不確かさ要因はいろいろあるが，抽出されたものすべてについて見積もりに加える必要はない。最終的な不確かさ（合成標準不確かさ）に与える影響が小さく無視できる要因*は切り捨て，影響が大きなものをピックアップすることが重要である。

＊切り捨ての目安は，相関がない場合，一番大きな要因の 1/10 以下のものを選ぶとよい。一番大きな要因の 1/10 の場合，最終的な不確かさに与える影響は，一番大きな要因の 0.5%未満である。不確かさは通常，多くとも 2 桁で報告すればよいことから，0.5%未満の影響は小さく無視できることになる。このため，要因の大小関係によっては，1/4 程度のものでも影響しないことがある。

＊他方，ある器物の測定では 1/10 以下となる要因であっても，他の測定器物では 1/10 より大きくなる要因もあることから，一律に切り捨てるのではなく，常に要因の大小関係（合成標準不確かさへの寄与度）を考慮することが必要である。

全光束測定における主な要因例としては，

- 標準器（標準電球など）の校正の不確かさ
- 標準器（標準電球など）の安定性・再現性による不確かさ
- 標準器（標準電球など）の経年変化による不確かさ
- 測定装置の安定性・再現性による不確かさ
- 測定装置とその校正方法による不確かさ（非直線性，波長ずれ等を含む）
- 繰り返し測定のばらつきによる不確かさ
- 測定方法や手順に起因する不確かさ
- データ処理方法（補正など）による不確かさ
- 測定対象（被試験ランプ）の短期安定性による不確かさ

（測定対象の長期安定性・再現性は，通常評価しなくてよい）

- 測定環境（周囲温度など）の影響による不確かさ
- 測定環境（周囲温度など）の測定器の校正の不確かさ

などが挙げられる。

２．不確かさ成分の評価（標準不確かさの算出）

2.1 タイプＡの評価法

十分な数の N 個のデータを取って，それらのデータの統計解析を行い，ばらつきを算出する方法。これらのデータの実験標準偏差を，繰り返し測定回数 n の平方根で除した値（＝平均値の実験標準偏差）が，タイプＡの評価法で求められた標準不確かさとなる。N 個のデータの実験標準偏差を $s(x)$，i 個目のデータを x_i，データの平均値を $\bar{x}$ とすると，実験標準偏差 $s(x)$ は下式から求められる。

$$s(x) = \frac{1}{\sqrt{N-1}}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$$

また，個々のデータがn回測定されたものの平均値であれば，その平均値の実験標準偏差$s(\bar{x})$は，下式から求められる。

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

〔注記〕通常の試験においては１回限りの測定なので，標準不確かさ＝データの実験標準偏差（$s(x)$）として扱える。ただし，プールされた実験標準偏差や繰り返し測定の結果から，平均値のバラツキを標準不確かさ（$s(\bar{x})$）として見積もる場合は，データの実験標準偏差（$s(x)$）を$\sqrt{n}$で除して算出する。

なお,あらかじめ測定するデータの独立した観測数Nは,十分な数とすることが望ましい。少ない観測数から求められたタイプＡ評価の標準不確かさは，信頼性が十分ではなく，適切な評価とはいえない。ISO/IEC Guide 98-3:2008（測定における不確かさの表現のガイド）附属書 G.6.6 によれば，独立した観測数は概ね 10 以上あればよいことが示唆されている。

2.2 タイプＢの評価法

主として未知のかたより（その状態を再現するためには時間･費用･人手があまりにも掛かり過ぎて再現することが難しく，知ることが困難なかたより）を，確率分布を仮定してばらつきとして評価し，標準不確かさに変換する方法。確率分布の限界値(半幅の値)を下表の除数*で割った値が，タイプＢ評価の標準不確かさとなる。

ただし,校正証明書などで拡張不確かさ(包含係数k=2)が分かっている時には正規分布を適用し，拡張不確かさを除数（包含係数）“2”で割った値が標準不確かさとなる。

また，モンテカルロシミュレーション（乱数は正規分布に基づいて発生）などにより標準不確かさを求める場合にも，確率分布を考慮することが大切である。モンテカルロシミュレーションにおける除数は，包含区間（包含確率）を踏まえることが必要である。

＊確率分布と除数

確率分布	除 数
矩形分布（一様分布）	$\sqrt{3}$
三角分布	$\sqrt{6}$
Ｕ字分布	$\sqrt{2}$
正規分布	2 （校正証明書の場合）

３． 感度係数

感度係数（c_i）とは，入力量（単位）の変動量を出力量（単位）の変動量に換算するための係数である。測定のモデル式が一次式で直線性が確保されている場合は実験的に求めることもできるが，一般的に測定のモデル式は複雑なケースが多いことから，入力量の変動量に対する出力量の変動量を近似で求めることになる。この場合，入力量に対する測定のモデル式の「傾き」を求めれば出力量に変換できることから，測定のモデル式を各変数で偏微分することによって，接線の傾き，すなわち「感度係数」を算出することができる。

４． 合成標準不確かさの計算（二乗和の平方根で合成）

合成標準不確かさu_cを求めるには，各標準不確かさを二乗し，足し合わせ，その正の平方根をとる。測定のモデル式を$Y = f(X_1, X_2, ...X_N)$とし，出力量Yの推定値つまり測定の結果

を y，入力量 $X_1, X_2, ...X_N$ の推定値をそれぞれ $x_1, x_2, ...x_N$，これらの推定値の標準不確かさをそれぞれ $u(x_1), u(x_2), ...u(x_N)$ とすると，上記３．の感度係数を含めて，測定結果 y の合成標準不確かさ $u_c(y)$ を数式で一般化して記述すると，以下のとおりとなる。

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N} c_i^2 u^2(x_i) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

５．包含係数 k の決定

包含係数（k=2）（約 95%の信頼の水準）が一般的である。モンテカルロシミュレーションの場合，包含係数の代わりに包含区間（包含確率）を用いるため，包含係数は不要となる。

６．拡張不確かさ（k=2）の計算

合成標準不確かさに包含係数（k=2）を乗じて，約 95%の信頼水準の拡張不確かさを求める。なお，正規分布が仮定できる場合，合成標準不確かさの信頼水準は約 68%である。

拡張不確かさの有効数字は，例えば，全光束測定の場合では，３桁目を切り上げて２桁に丸めることが多く，一般的にも前述のとおり２桁に丸めればよいとされている。

７．不確かさの報告

不確かさの見積もり表（Budget sheet:バジェットシート）を作成する。バジェットシートは，測定装置やシステムにより異なるため画一なものは無く，測定者はそれぞれ固有の計測システムに合わせて検討する必要があり，第三者が見ても分かり易いバジェットシートを作成することが大切である。

８．不確かさの報告の悪い例

・標準不確かさの算出で用いる除数の間違い

バジェットシートの確率分布の欄において，矩形分布と記載されているにも係わらず，除数の欄が“2”と記載されていた。

事務局から指摘をして“$\sqrt{3}$”に修正してもらった。

・標準光源のトレーサビリティの不整合

光束が少ない低ワットの LED 光源の不確かさ見積もりにも係わらず，標準光源に 200 W 全光束標準電球を使用していた。低ワットの LED 光源の測定には少ない光束に適した小さな積分球が使用され，一方，参照標準は 200 W あるいは 500 W と大きな光束に適した積分球が使用されているが，これら使い分けられた大小積分球間のトレーサビリティ等が提出されたバジェットからは確認できなかった。

事務局から指摘をして，再評価してもらった。

・提出書類の不足

申請試験区分とバジェットシートが不一致で，試験能力を確認するためのバジェットシートが提出されておらず，技術能力を有していると確認できなかった。

事務局から指摘をして，対応するようにバジェットシートを提出してもらった。

・測定設備の概要が不明
提出されたバジェットシートでは，試験器（使用設備）の概要が分からず，総合判定ができなかった。
事務局から指摘をして，試験規格毎の試験器概要書を作成/提出してもらった。

・測色の標準が不適切
提出されたバジェットシートでは，ワーキングスタンダード（分光放射照度標準）を積分球の中で点灯させているのか測定の内容が確認できなかった。積分球の中で点灯させているのであれば，均一性などの補正が確認できなかった。
事務局から指摘をして，バジェットシート上で明確にしてもらった。

これら以外に想定される悪い例について，以下に紹介する。

・不確かさ要因の欠如
前述１．で示した不確かさ要因の例のうち，要因として無視できないもの（又は無視してはいけないもの）がバジェットシートで見積もられていない場合は，技術能力を有していると確認できない。
例えば，標準器（標準電球など）の校正の不確かさは，試験所の測定に起因する要因ではなく，上位の JCSS 登録事業者による校正の曖昧さに起因する要因であり，その標準器（標準電球など）を試験所が使用する場合は不可避的に見積もらなければならないが，このような要因を見積もっていないと，事務局から指摘をして対応してもらうことになる。

・タイプＡ評価の不確かさの除数の誤り
観測数N個の１回限りの測定データにおける標準不確かさを見積もる場合に，実験標準偏差$(s(x))$を，さらに観測数Nの平方根$\sqrt{N}$で除した場合は，不確かさの過小評価となる。
また，平均値のバラツキを標準不確かさ$(s(\bar{x}))$として見積もる場合に，実験標準偏差を繰り返し測定回数nの平方根$\sqrt{n}$で除していない場合は，不確かさの過大評価となる。
正しい統計処理をしていないこれらのケースでは，仮に合成標準不確かさの数値的に問題がなかったとしても，事務局から指摘をして対応してもらうことになる。
なお，モンテカルロシミュレーションを行った場合，このような問題は通常発生しない。

９．不確かさについて参考となる資料

・不確かさのバジェットの参考例*1

＊1 CIE S 025/E:2015“Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules”の附属書に不確かさのバジェットの例が参考として複数添付されている。このうち，参考になると思われるバジェットを別紙１に紹介する。

・TS Z 0033:2012“測定における不確かさの表現のガイド”*2

＊2 上記の標準仕様書は JISC のホームページで閲覧可能である。

・光における不確かさの要因項目として，JCSS の技術的要求事項適用指針　登録に係る区分：光　JCT21400 NITE

・不確かさの入門ガイド　ASG104　NITE

・CIE 198 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry

・CIE 198 SP1 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry - Supplement1: Modules and Examples for the Determination of Measurement Uncertainties

以上

別紙１

不確かさのバジェットの参考例

CIE S 025/E:2015“Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules”の附属書に不確かさのバジェットの例が参考として複数添付されている。このうち，積分球と分光放射計を測定設備とした場合のバジェットが参考になると思われるので，国内の事情を考慮して修正を加えたバジェット参考例を以下に紹介する。

尚，参考例はCIE TC2-71 作業部会において原案作成されたものであり，当会においては内容のご照会に対応しかねます。

積分球によるLEDランプの全光束測定における不確かさのバジェット例

要　因 X_i	**標準不確かさに対する相対的な寄与** $u_{\mathrm{rel},i}(y)$
全光束標準電球の全光束の不確かさ（校正値の不確かさ）	0.7 %
標準電球の経時変化	0.3 %
標準電球点灯電圧による不確かさ	0.4 %
標準電球の安定性による不確かさ	0.2 %
分光放射計の直線性による不確かさ	0.8 %
分光放射計の波長精度による不確かさ（0.5 nm (k=2))	0.4 %
分光放射計の迷光による不確かさ（2 700 K ～ 6 500 K）	1.0 %
分光放射計の再現性による不確かさ	0.1 %
自己吸収による不確かさ（補正後）	0.3 %[b]
ランプ近傍の吸収による不確かさ	0.3 %
積分球の不均等性による不確かさ（標準電球との配光特性相違）	0.9 %[c], (1.8 %)[d]
積分球システムの再現性による不確かさ	0.3 %
積分球システムの安定性による不確かさ（校正間隔）	0.3 %
周囲温度（及び温度計の不確かさ）による不確かさ	0.3 %
試験ランプへの供給電圧　（及び電圧計の不確かさ）による不確かさ	0.2 %
試験ランプの再現性　（安定性を含む）	0.3 %
相対合成標準不確かさ	2.0 %[c], (2.5 %)[d]
相対拡張不確かさ（k =2)	**4.0 %[c], (5.1 %)[d]**

b　数値は，一般的に小形 LED ランプ測定に用いられる反射率 95%の 1.5m 積分球の値である。数値は，積分球の条件及び DUT（Device Under the Test）の大きさにより変化することがある。

c　広配光の光源に対する値。

d　狭配光の光源に対する値。無指向性の標準電球を使い補正を施さない場合。