

# UVC-LED用照度計

国立研究開発法人産業技術総合研究所との共同開発



UV-LED用紫外放射照度計



1. 紫外放射照度計の紹介
2. UVC(殺菌線)の用途
3. 放射照度計に求められる特性とUVC-LED
4. 開発したUV-LED用紫外放射照度計の特性
5. UV-LED用紫外放射照度計での測定評価
6. UV-LED用紫外放射照度計の耐久性
7. 低圧水銀ランプの殺菌線 253.7 nmの測定
8. まとめ

紫外放射照度計は露光量の管理に用いる、放射照度を直読みできる現場用測定器



UV-351シリーズ  
紫外線光量計



UV-M03A  
紫外線照度計・光量計



UV-M10-P/Sシリーズ  
紫外線光量計



UV-LED-CS01  
UVA-LED用紫外線照度計



UV-LED-CS01C  
UVC-LED用紫外線照度計



UV-M08  
紫外線照度計・光量計

# 1. 紫外放射照度計の紹介

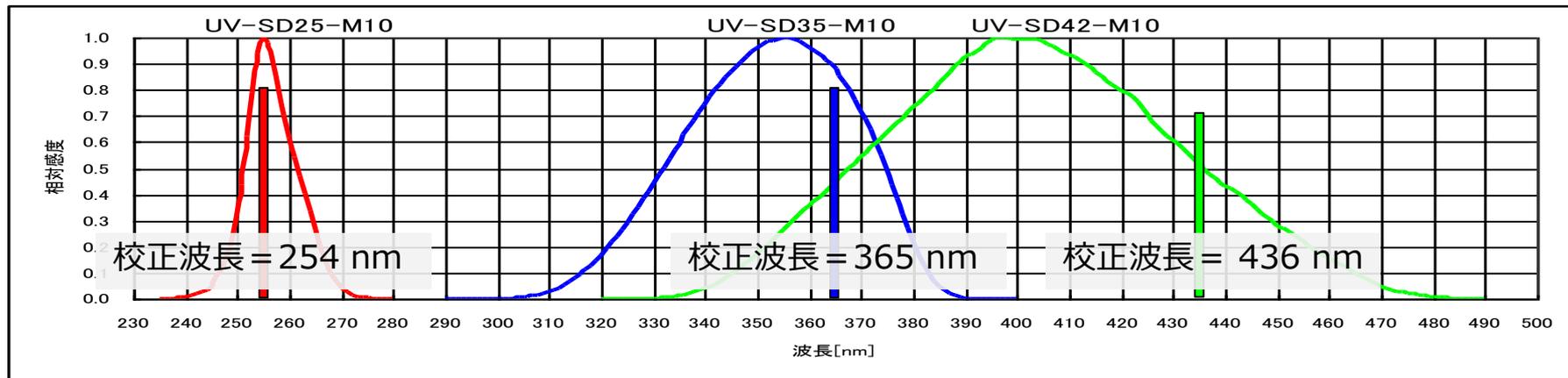
機種	測定対象光源・波長	分光応答度 FWHM	測定放射照度レベル
UV-25	水銀ランプ 254 nm 輝線	ベル型 5 nm	0.001 ~ 50 mW/cm <sup>2</sup>
UV-35	水銀ランプ 365 nm 輝線	ベル型 45 nm	0.001 ~ 50 mW/cm <sup>2</sup>
UV-42	水銀ランプ 436 nm 輝線	ベル型 60 nm	0.001 ~ 50 mW/cm <sup>2</sup>
UV-LED-CS01	UV-LED中心波長 345 nm ~ 435 nm	矩形 150 nm	0.1 mW/cm <sup>2</sup> ~ 20 W/cm <sup>2</sup>
UV-LED-CS01C	UV-LED中心波長 254 nm ~ 295 nm	矩形 70 nm	0.001 ~ 200 mW/cm <sup>2</sup>



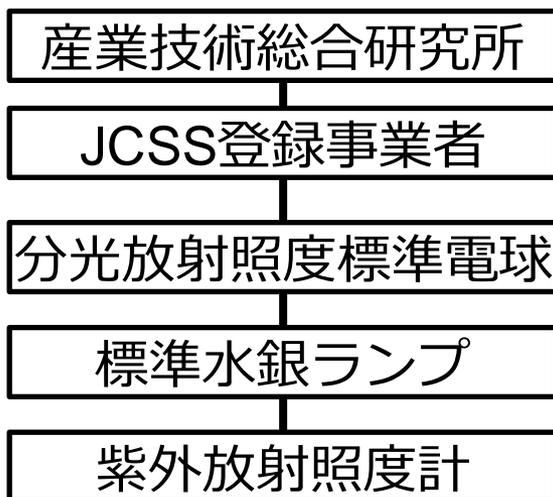
UV-LEDの測定を目的とした紫外放射照度計を新たにラインナップに追加  
測定対象光源が水銀ランプからUV-LEDになったことで仕様が大きく異なる

## 水銀ランプ用紫外放射照度計の値付け

用途：水銀ランプの特定の輝線を測定する。

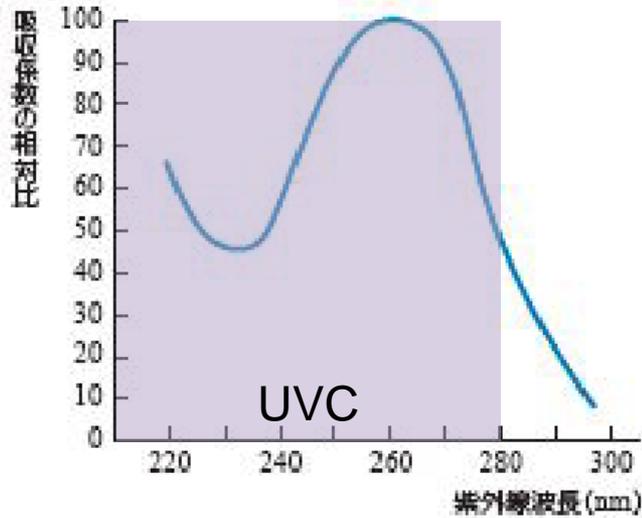
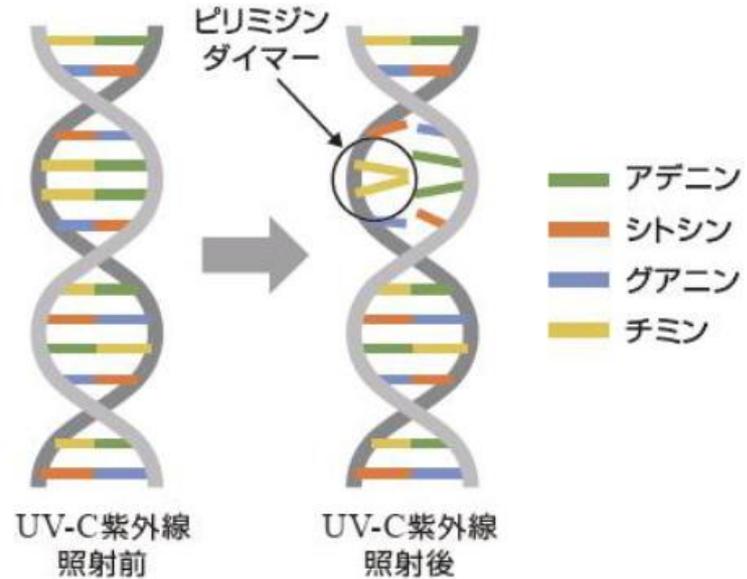


値付け：水銀ランプの輝線を用いて行う



近年は紫外線光源としてUV-LEDが台頭

## UVCによる殺菌のメカニズム



DNAの吸収特性

UVCの照射により菌やウイルスの遺伝子が損傷し、複製が出来なくなる

- すべてのウイルスや菌類に対して有効。
- 薬剤耐性菌を作らない。

UVC-LEDの測定に最適な放射照度計のためのアプローチ  
測定対象(目的)に合わせて総合的に最適化することが重要

## 放射照度計のフィールド計測に影響する4つの要素

### ①スペクトルミスマッチ誤差

光源の分光分布、受光器の分光応答度

### ②校正方法 トレーサビリティ、校正条件

### ③フィールド計測における光の入射特性

光源の配光分布、受光器の斜入射特性

### ④応答の直線性 放射照度レベル、受光器の応答直線性

## 校正とフィールド計測の測定条件の違いとワーストケース

	校正	フィールド計測 (多くのケース)	放射照度計の特性
① <u>スペクトルミス マッチ誤差</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>校正光源の分光分布</li> <li>水銀ランプ輝線</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>任意の分光分布</li> <li>UV-LED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分光応答度</li> <li>ベル型(水銀ランプ用)</li> </ul>
ワーストケース例			
② <u>フィールド計測 における光の入 射特性</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定距離大 (ファーフィールド)</li> <li>水平光鉛直入射</li> <li>放射照度分布良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定距離小 (ニアフィールド)</li> <li>斜入射光多</li> <li>放射照度分布悪</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜入射特性</li> <li>受光面積</li> <li>受光面感度均一性</li> </ul>
③ <u>応答の直線性 (放射照度レベル)</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低レベル (<math>\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim \text{数mW}/\text{cm}^2</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低レベル～高レベル (<math>\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim \text{数W}/\text{cm}^2</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>応答直線性</li> </ul>

他の量目(電圧、長さ等)にくらべ、校正条件とフィールドでの測定条件が大きく異なる

特に放射照度計の理想特性との差が、測定条件の違いを顕在化させる

→フィールドでの高精度計測は**放射照度計の特性**が重要

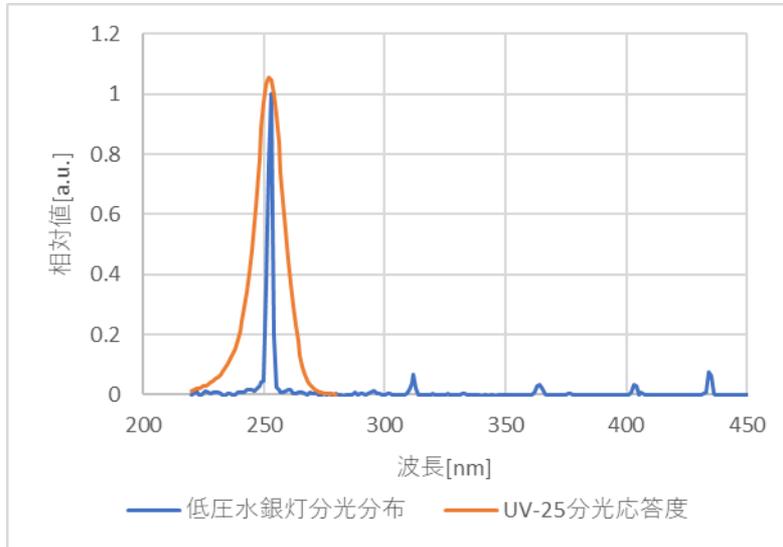
## 紫外線光源の特徴により放射照度計に対する要求仕様が異なる

### 低圧水銀ランプ

光源の特徴:

- ・広い領域に輝線が点在
- ・輝線中心波長は一定

放射照度計への要求仕様:  
特定の輝線を選択測定

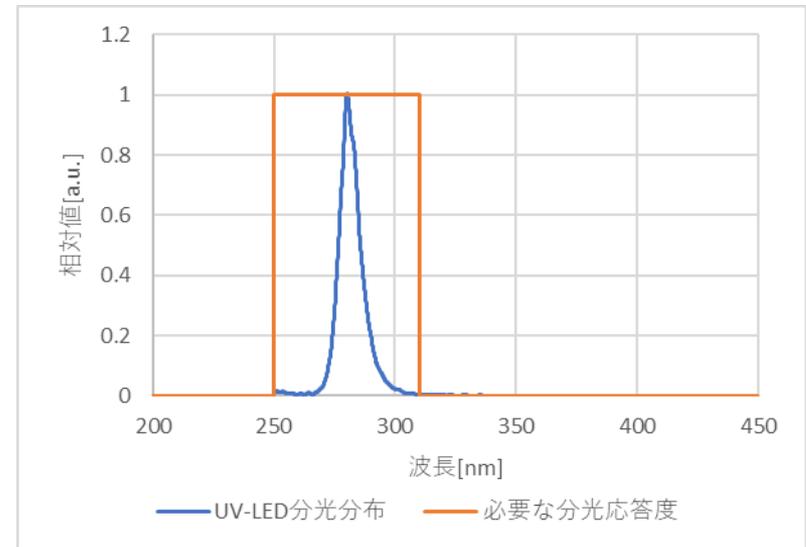


### UV-LED

光源の特徴:

- ・FWHM = 10 nm程度の分光分布
- ・分光分布不定(メーカー、ロット等)

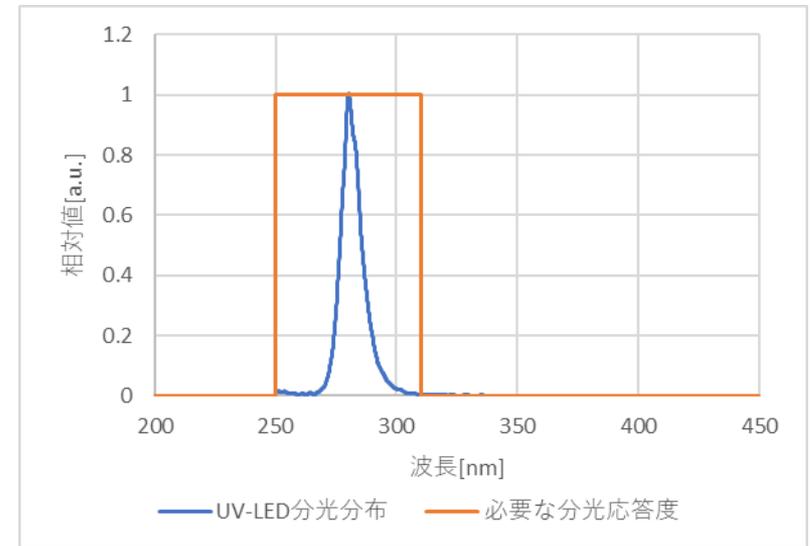
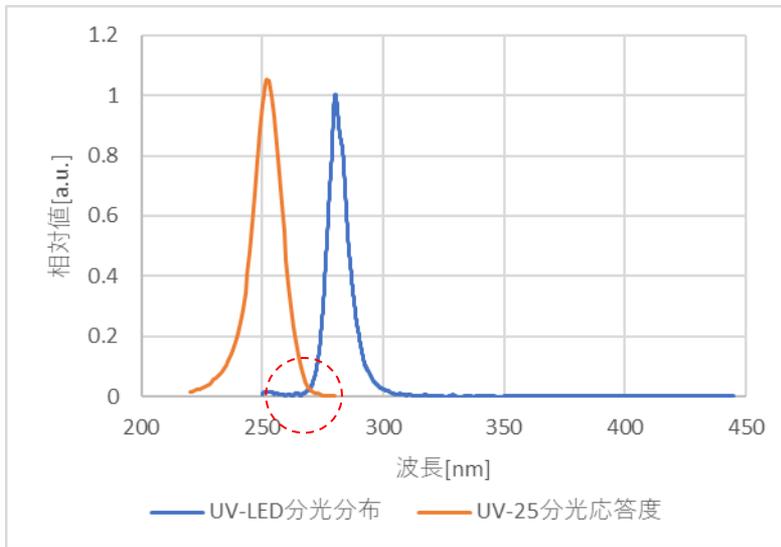
放射照度計への要求仕様:  
UV-LEDの帯域を一様に測定



## 水銀ランプ用紫外放射照度計でUV-LEDを測定すべきでない

スペクトルミスマッチの例

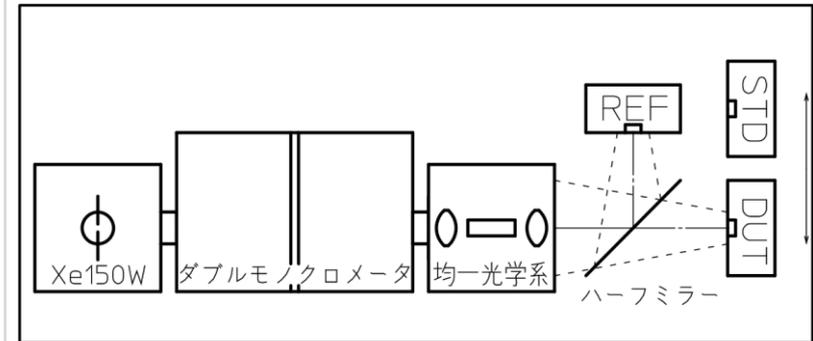
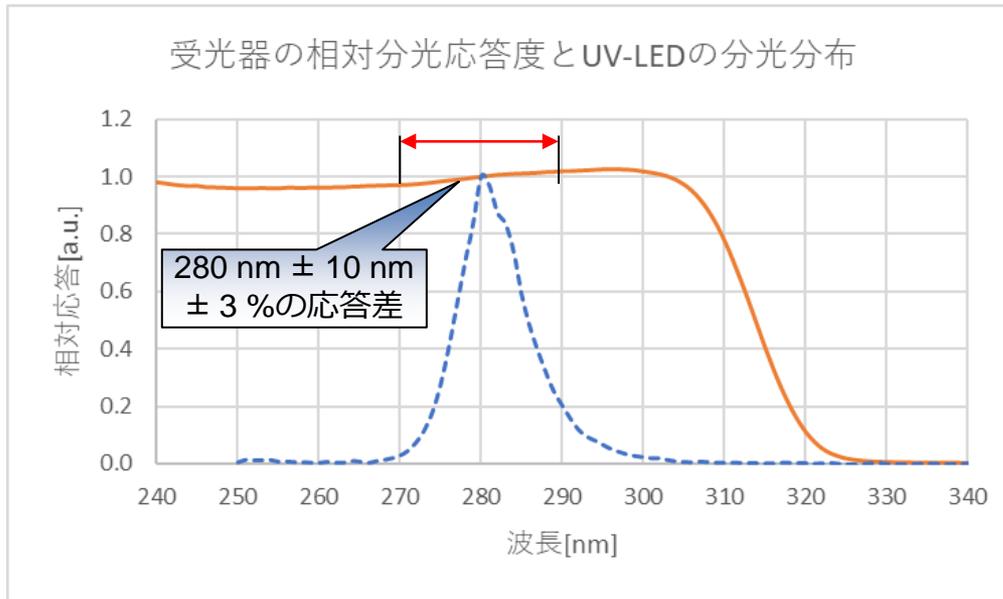
低圧水銀ランプ254 nm輝線用紫外放射照度計で280 nm UV-LEDを測定



## UV-LEDの放射を分光的に取得できない

- ・UV-LEDの分光分布に比べ分光応答度の幅が狭い → 放射を取得できない
  - ・校正した波長、分光分布と異なる 指示値の定義が無効化
- フィールドではスペクトルミスマッチ補正は非現実的

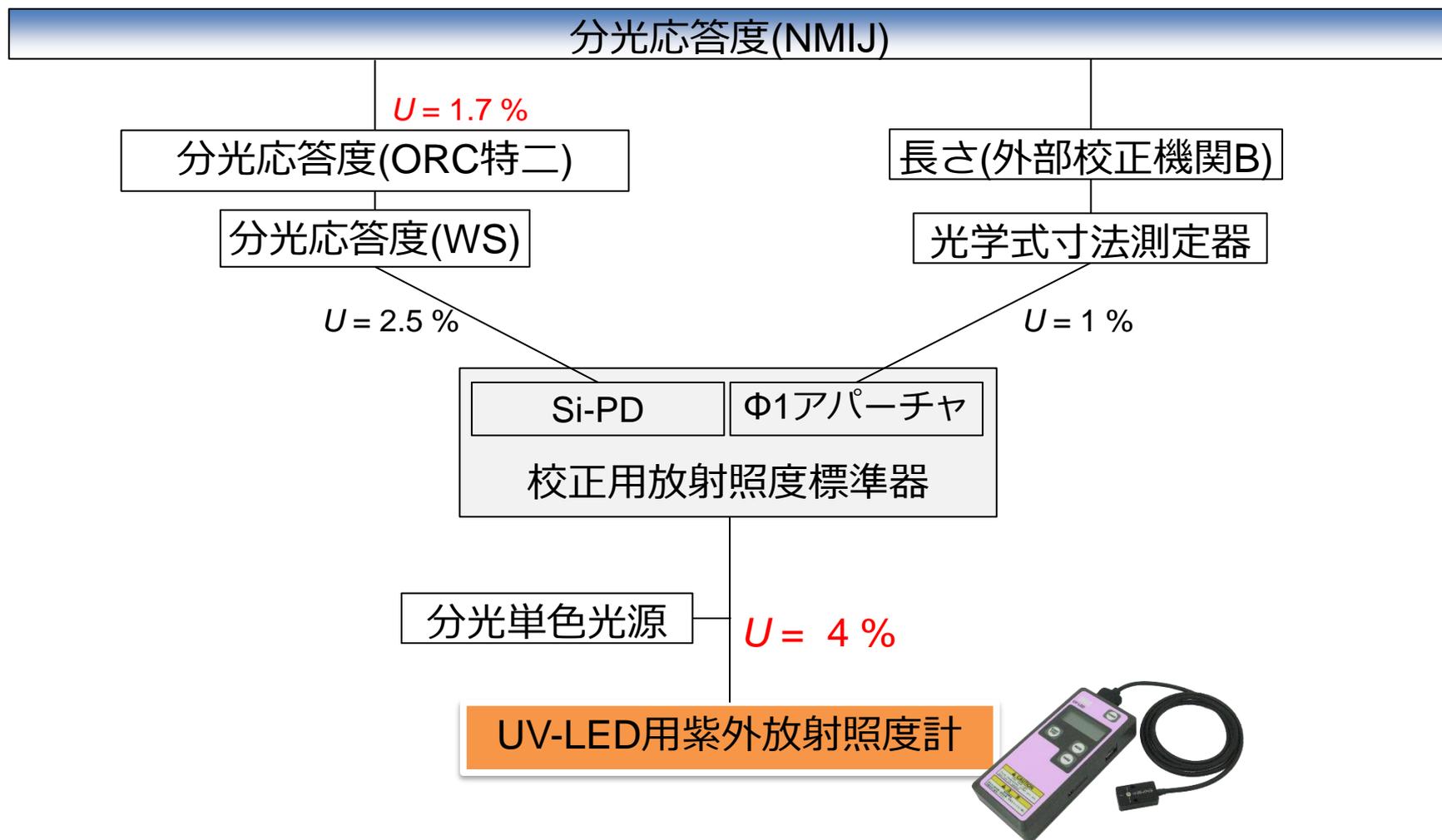
## 実現した放射照度計



分光応答度測定

240 nm ~ 300 nm の範囲で**平坦な分光応答度**を実現した  
 280 nmUV-LEDの分光分布の約90%が存在する280 nm ± 10 nmで± 3%の応答差  
 280 nmUV-LEDを測定した場合、分光応答度の平坦さの影響は1%以下(後述)

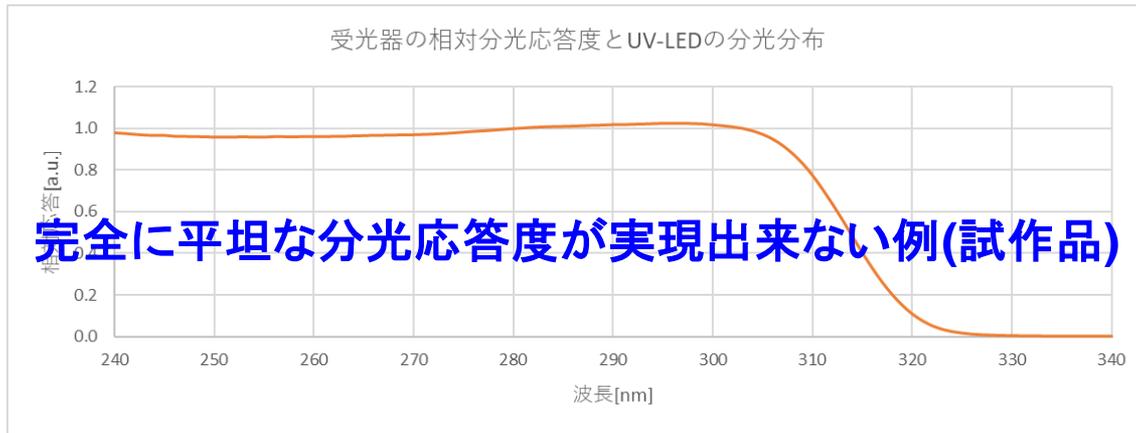
## トレーサビリティ体系図



供給の安定性や校正不確かさを考慮し、分光応答度標準を用いた校正・目盛付け

## UV-LED用紫外放射照度計の課題

平坦な分光応答度が理想だが、実現は難しいため  
**UV-LEDの中心波長毎に同様の分光分布**で応答度が校正される必要がある



完全に平坦でない分光応答度 + 不適切な校正光源(中心波長異、分光分布異)

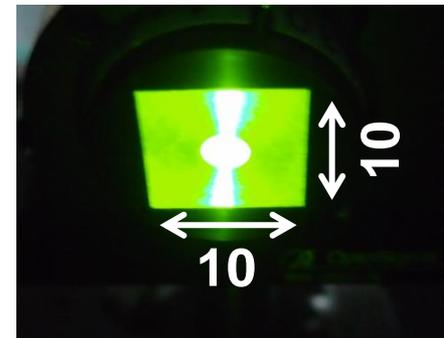
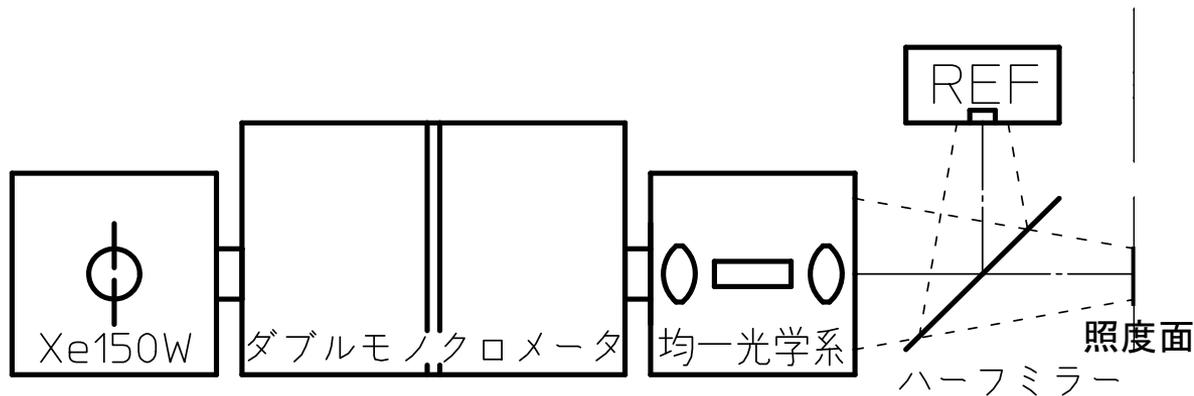
校正光源-被測定光源間でスペクトルミスマッチ誤差が発生

結果: ユーザーが精度良く測定できない

スペクトルミスマッチ誤差低減の為、校正光源に最適なものを用いなければならない

## 波長可変光源の説明

- ・Xe150Wを照明として25 cmダブルモノクロメータで分光
  - ・均一光学系を用いて均一な照度面を生成(均一面サイズ □10 mm)
- オーバーフィルで行う放射照度応答度の測定に最適化



波長可変光源構造概略図

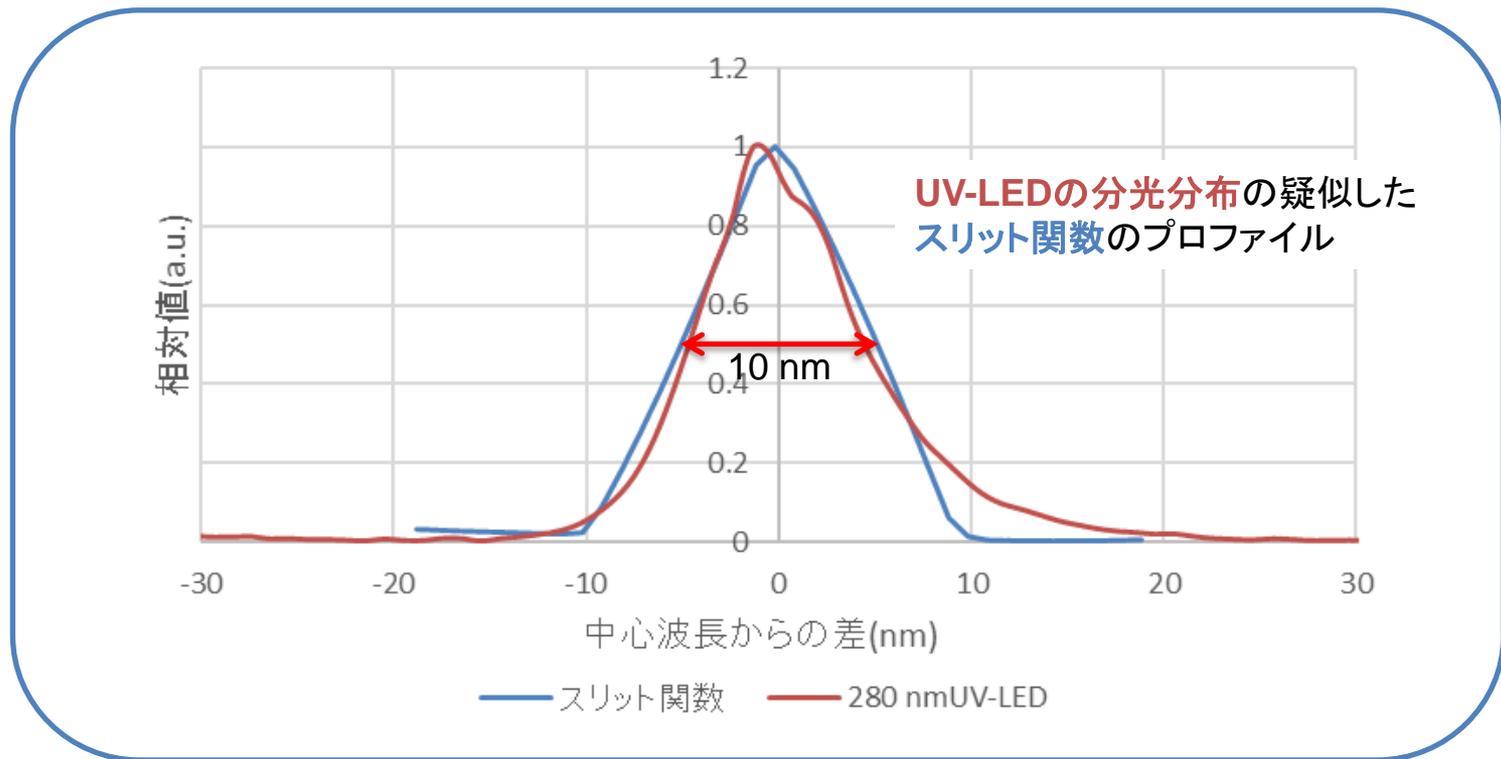
分光計器製 SM-25DD低迷光ハイパーモノライト

- ・キセノンランプ集光光学系
- ・ゼロ分散ダブルモノクロメータ
- ・ホモジナイザによる均一光学系



## 波長可変光源の分光分布

UV-LEDの分光分布とFWHM、中心波長を一致するよう最適化

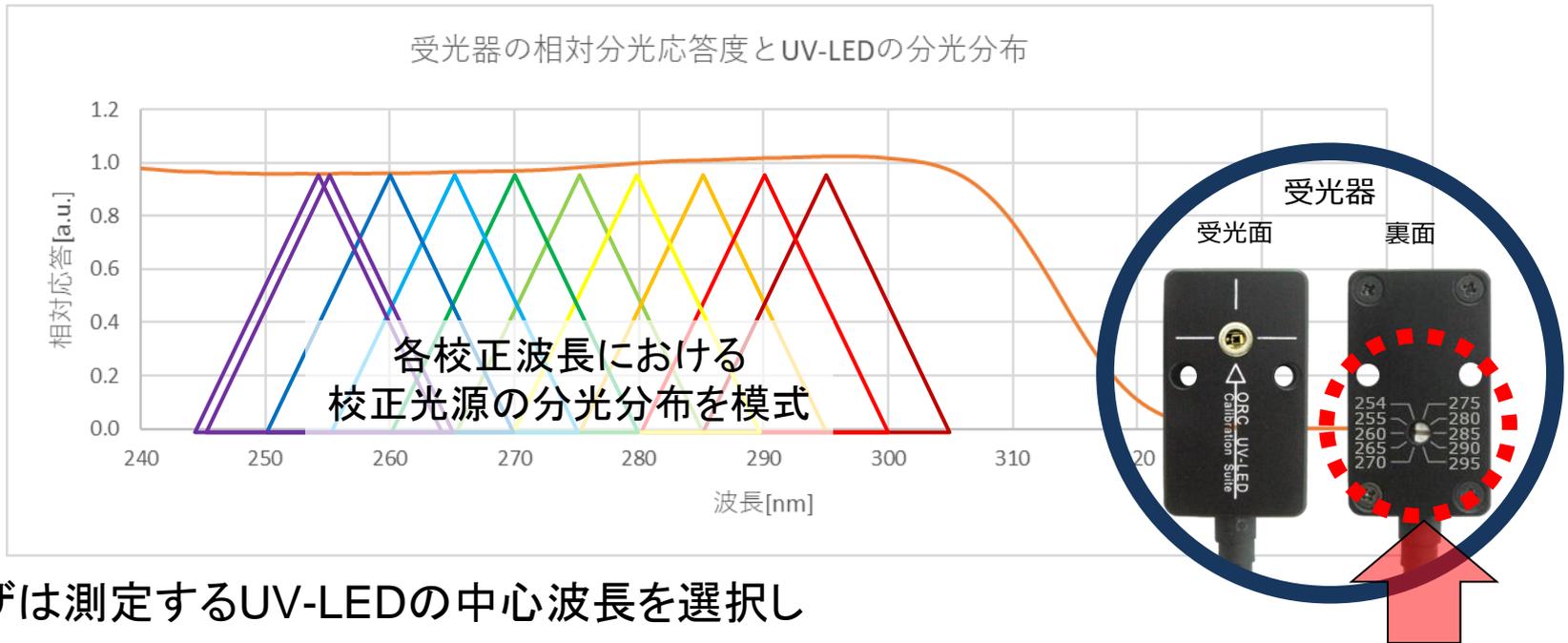


FWHM=10nm 任意の波長に設定可能

スリット関数は高圧水銀ランプ365 nm輝線群、HeNeレーザーを用いて測定

## 波長可変光源の分光分布

254 nm + 255 nm から 295 nmまで5 nmステップで校正



ユーザは測定するUV-LEDの中心波長を選択し

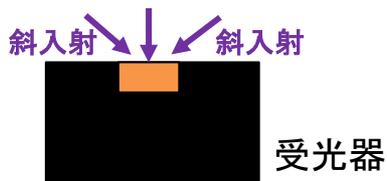
校正結果に基づいた最適感度(校正係数)を呼び出す

校正光源と測定対象光源の分光分布(中心波長)が近似し

フィールドでのスペクトルミスマッチエラーの最小化を実現

## フィールド計測における光の入射特性(斜入射特性)

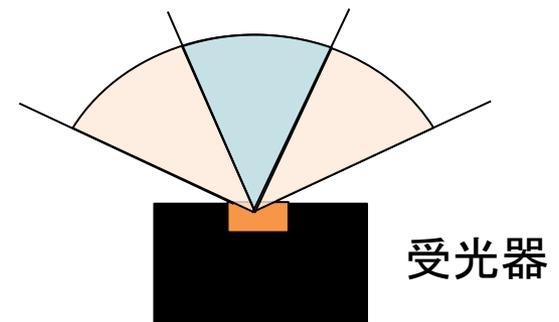
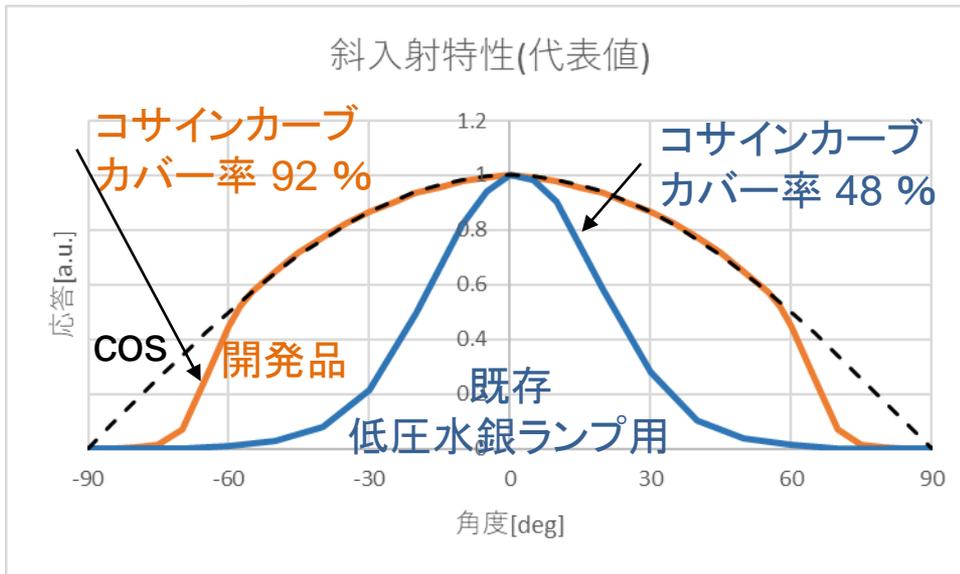
受光面に対して鉛直に入射する光への感度と、斜入射する光への感度の違い



フィールドでは斜入射の寄与が大

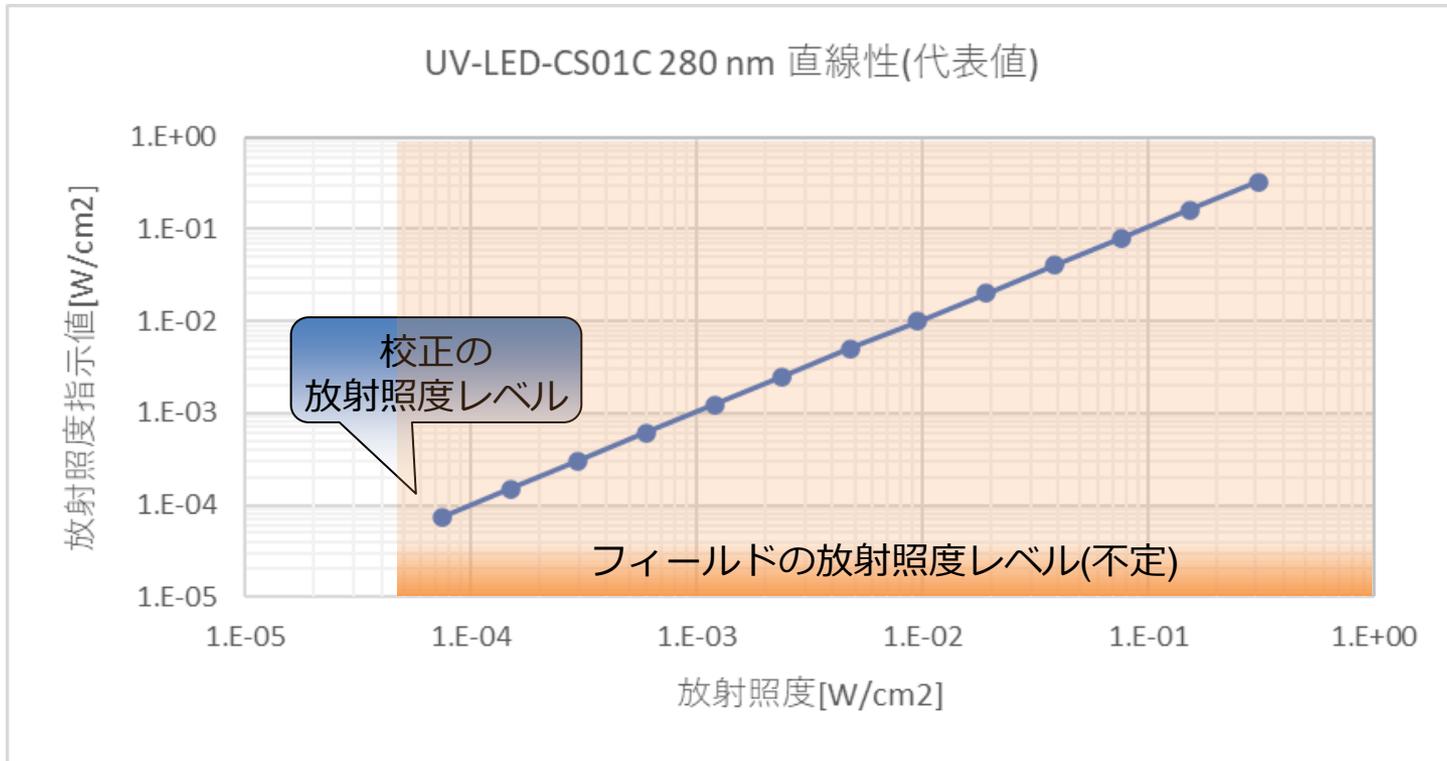


<http://www.quark-tec.com/principle/>



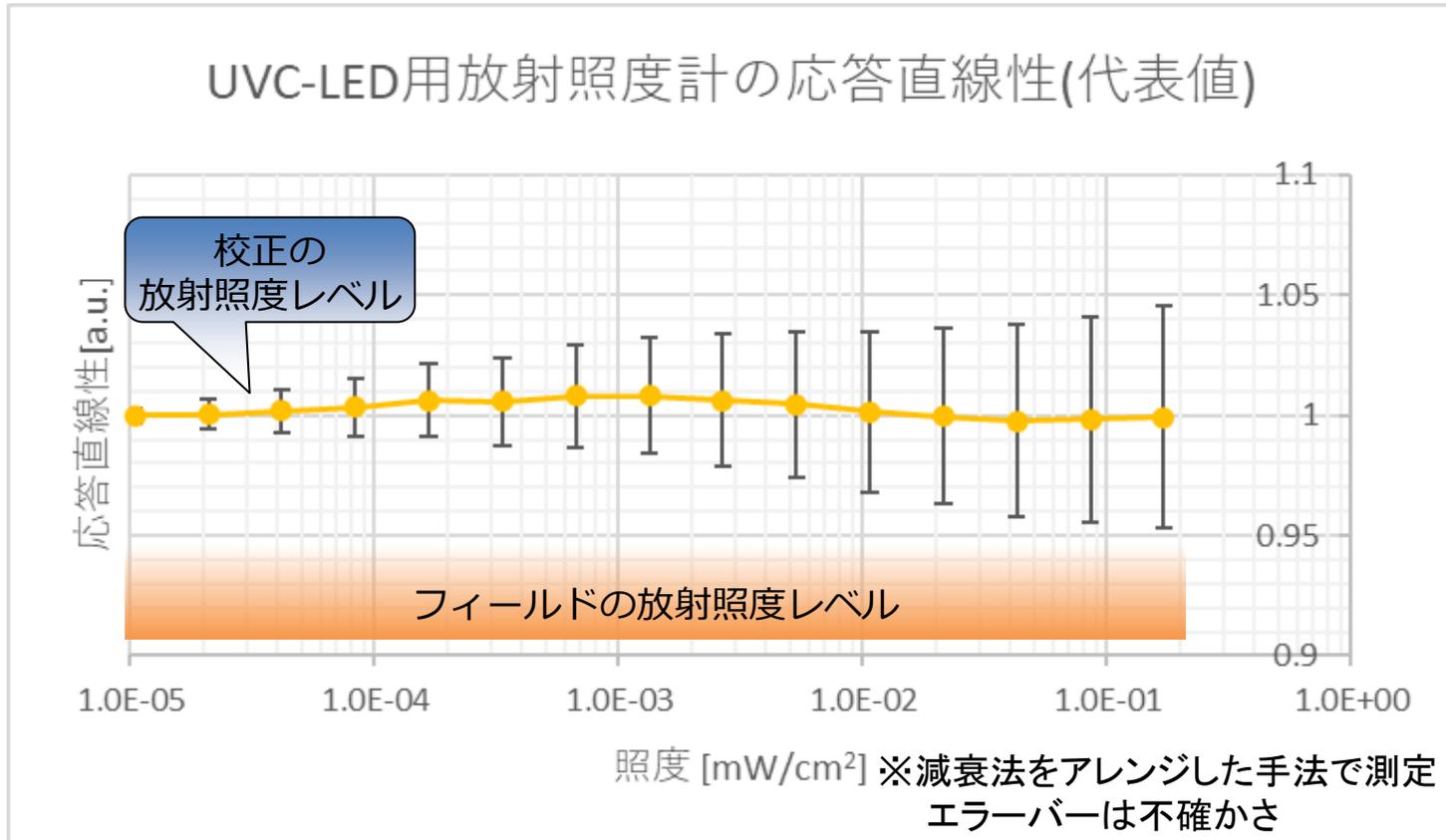
斜入射特性は寄与が大きい60°以内でコサインカーブに従い92%の取得率を実現  
 既存の水銀ランプ用紫外放射照度計に比べて大幅に改善 **高精度化**

校正の結果をフィールド計測に拡張するためには応答の直線性が重要

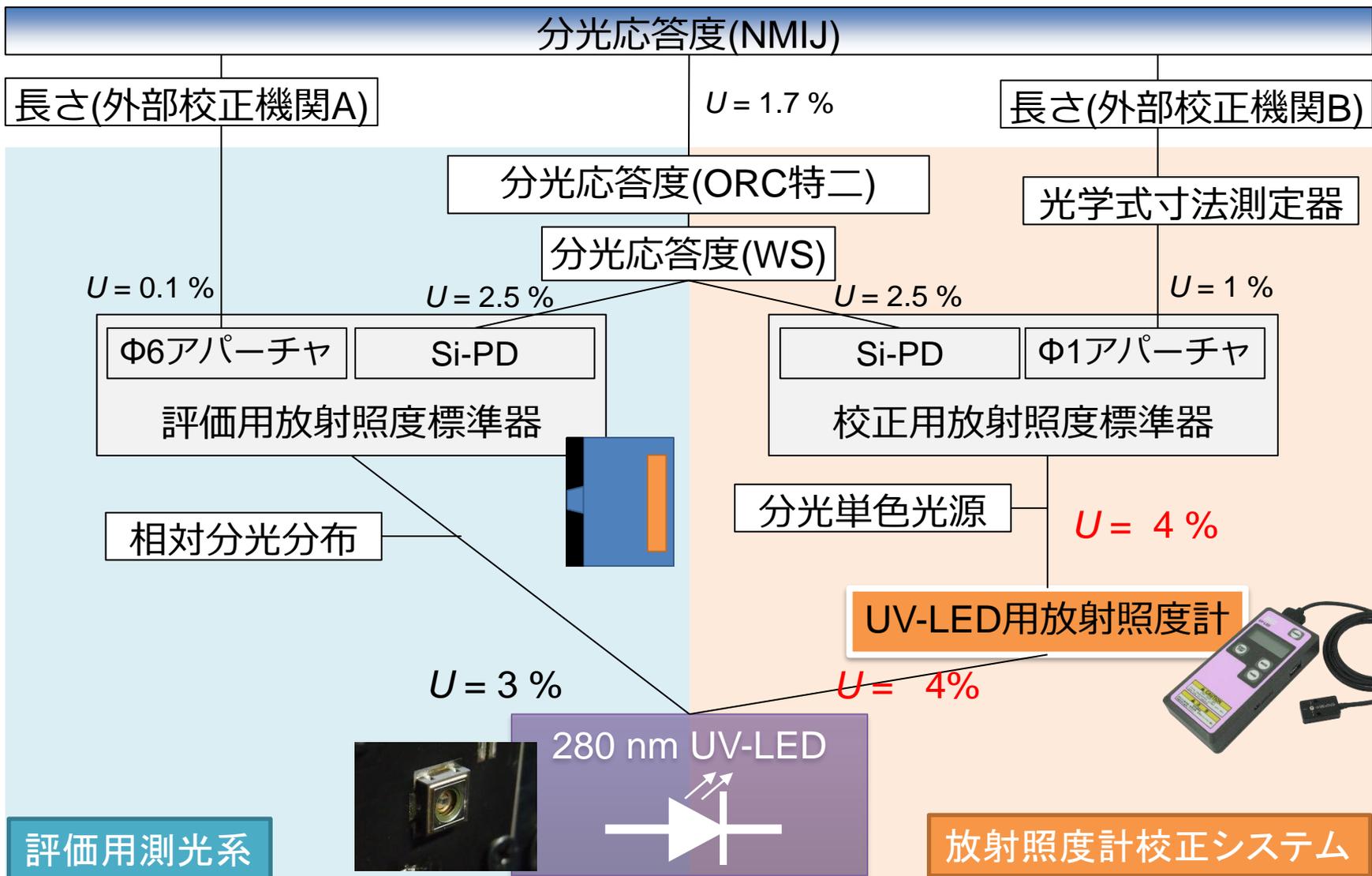


※減衰法をアレンジした手法で測定

校正光源は放射照度レベルは低、フィールドでの測定対象光源は一般に高  
 応答の直線性評価方法を開発し、測定上限(200 mW/cm<sup>2</sup>)まで直線性を維持している  
 ことを確認した



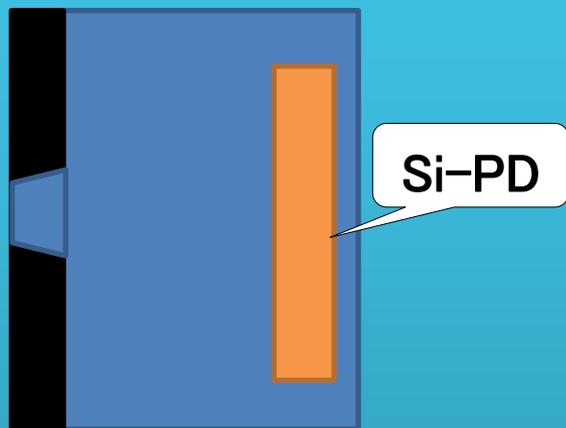
放射照度への応答は校正の放射照度レベルから100 mW/cm<sup>2</sup>まで直線性を維持している。



UV-LEDを比較測定することで「放射照度計校正システム」の妥当性を確認

## 評価に用いた受光器

### 評価用放射照度標準器



精密アパーチャ

Si-PD

分光応答度、アパーチャ開口面積は校正済  
この受光器で光源の放射照度を値付け

放射照度導出式

$$P = \frac{I_{pd} \cdot \int P_{led\_re}(\lambda) d\lambda}{A \cdot \int P_{led\_re}(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda}$$

$P$ : 放射照度

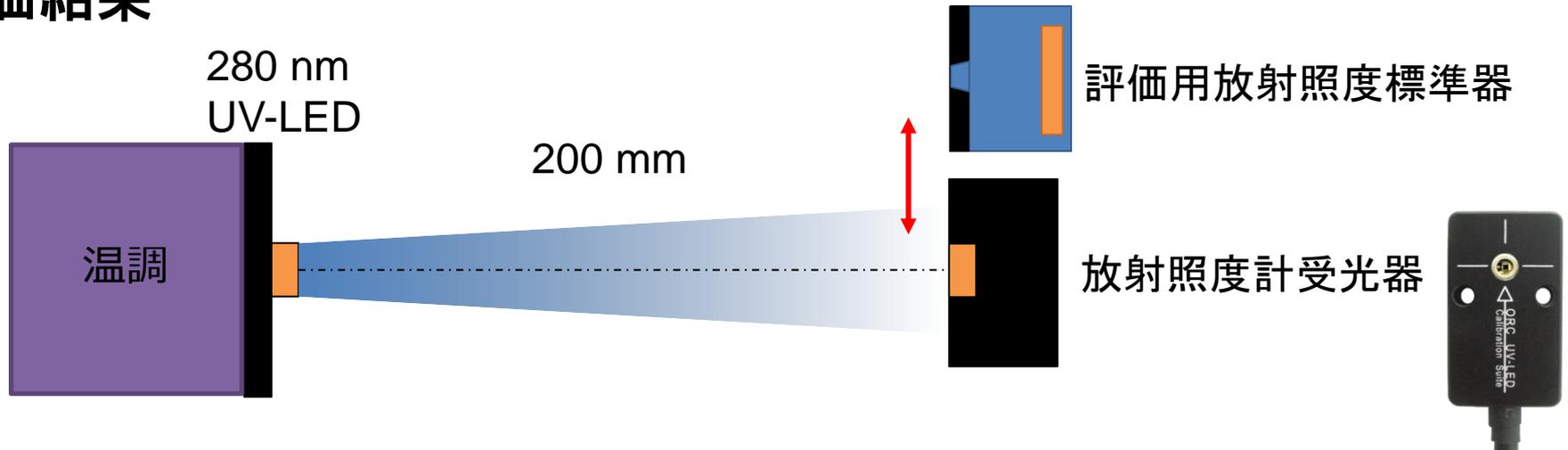
$A$ : アパーチャ開口面積

$I_{pd}$ : PD電流

$P_{led\_re}$ : LED分光分布

$S(\lambda)$ : PD分光応答度

## 評価結果



測定距離	評価用放射照度標準器 測定値	放射照度計 測定値	差
200 mm	41.3 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	41.4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0.2 %

評価用放射照度標準器と放射照度計の指示値は1 %以内で一致

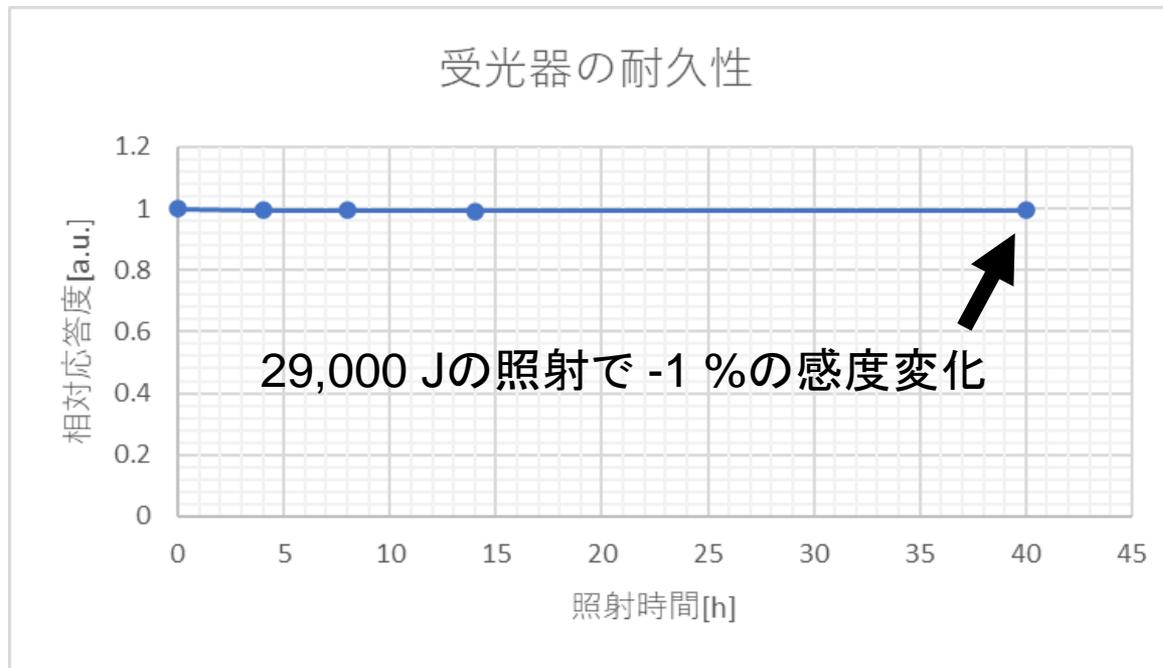
## 測定条件の違いと放射照度計の特性

	校正	計測 (多くのケース)	放射照度計の特性
① <u>スペクトルミス マッチ誤差</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>校正光源の分光分布 UV-LEDの模擬光源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>任意の分光分布 UV-LED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分光応答度 矩形型分布 良</li> </ul>
② <u>フィールド計測 における光の入 射特性</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定距離大 (ファーフィールド)</li> <li>水平光鉛直入射</li> <li>放射照度分布良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定距離小 (ニアフィールド)</li> <li>斜入射光多</li> <li>放射照度分布悪</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜入射特性 良</li> <li>受光面積</li> <li>受光面感度均一性</li> </ul>
③ <u>応答の直線性 (放射照度レベル)</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低レベル (<math>\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim \text{数mW}/\text{cm}^2</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低レベル～高レベル (<math>\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim \text{数W}/\text{cm}^2</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>応答直線性 良</li> </ul>

放射照度計の特性が理想特性と近いため、測定条件の違い顕在化しにくい  
 →フィールドでの高精度な測定が可能

## UV照射での耐久性

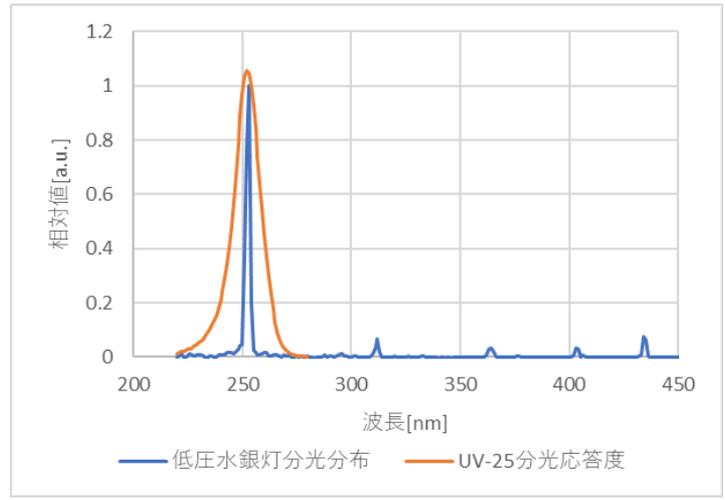
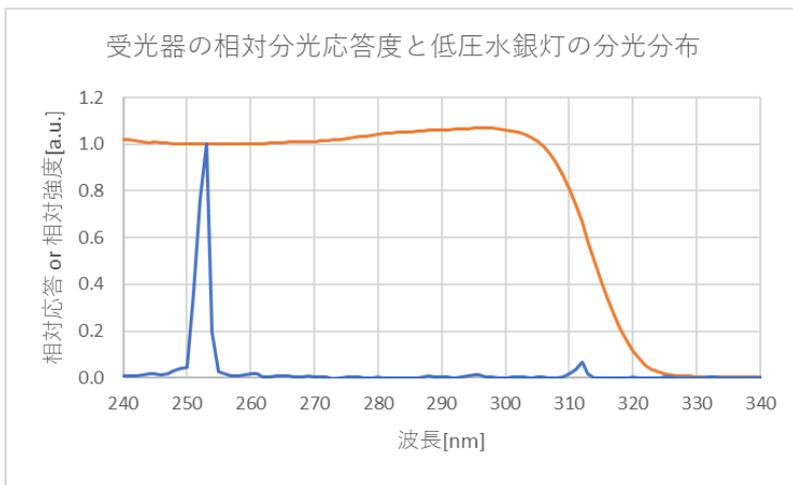
280 nm 200 mW/cm<sup>2</sup>で照射を行い、受光器の応答度の変化を調べた



測定上限の200 mW/cm<sup>2</sup>の照射を行った結果  
 およそ1%の感度変化であり、十分にフィールドでの測定に耐えうる

## 低圧水銀ランプ254 nm輝線を高精度に測定可能

※分光応答度の範囲内に253.7 nm輝線以外の発光少、分光応答度が平坦



### 低圧水銀ランプ測定結果

弊社製低圧水銀ランプ 測定距離 1m

水銀ランプ用紫外放射照度計	72.3 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
UV-LED用紫外放射照度計	71.0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

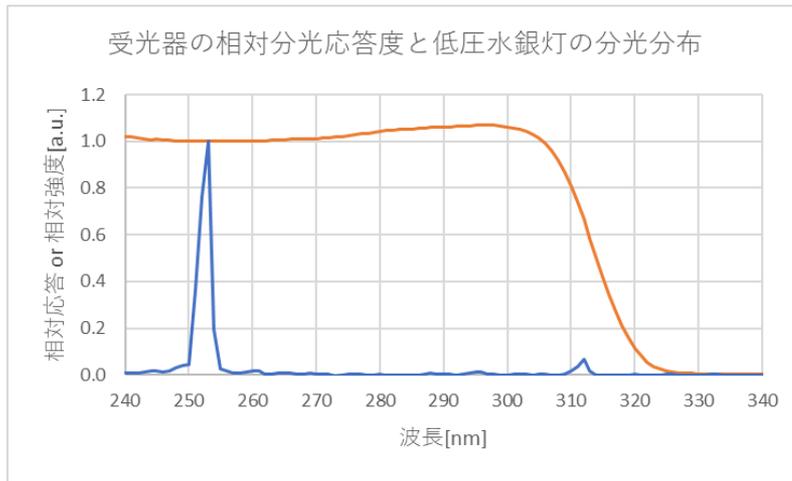
1.5 %以内の差

## 低圧水銀ランプ253.7 nm輝線を高精度に測定可能

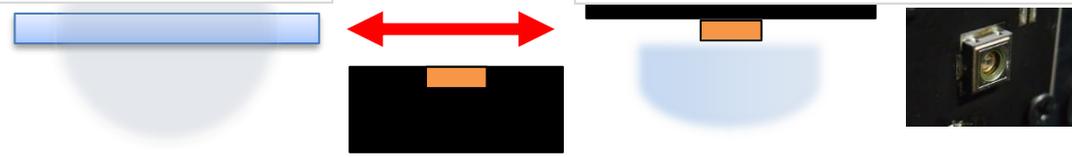
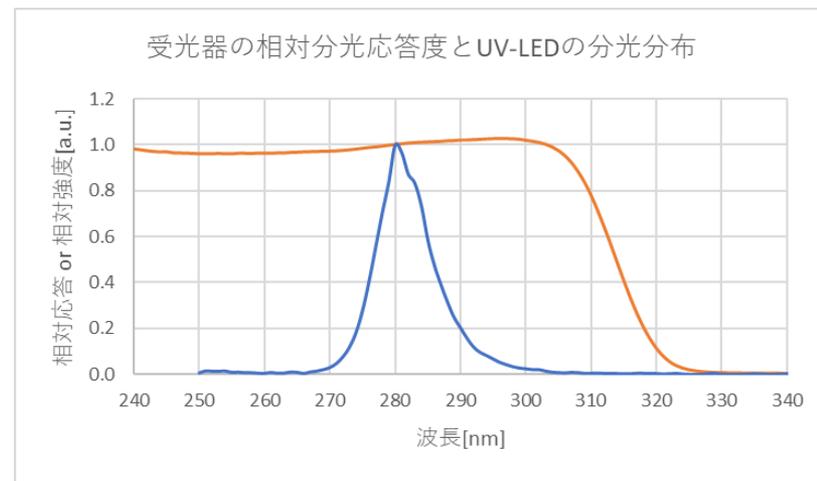
※分光応答度の範囲内に253.7 nm輝線以外の発光少、分光応答度が平坦

放射照度計では比較が難しい低圧水銀ランプとUV-LEDの放射照度比較が可能

同一の受光器を用いて測定できることで、影響の大きい測定側の幾何条件を固定できる



VS



高精度な低圧水銀ランプとUVC-LEDの高精度な比較測定が可能

- ①フィールドでのUVC-LED放射照度測定に最適な紫外放射照度計の開発に成功した
  - ・スペクトルミスマッチ誤差の低減
  - ・フィールド計測における光の入射特性の影響の軽減
  - ・直線性の確保
  - ・校正方法の最適化
- ②低圧水銀ランプ253.7 nm輝線の測定を高精度に行うことができた  
測定器の変更なく低圧水銀ランプとUVC-LEDの比較測定を高精度に行うことが可能
- ③紫外放射照度計のフィールドでの高精度な測定には・・・
  - ・測定器メーカーによる測定器の性能改善、使用方法の注意喚起
  - ・校正機関による校正方法の提供
  - ・ユーザの使用方法の理解

