

日本照明工業会 セミナー（第15回）

『測光試験所の品質システムと測定の不確かさ評価』



一般社団法人 日本照明工業会
Japan Lighting Manufacturers Association

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・放射測定におけるCIEでの最近の話題」

講師：菊池 正博 様

(一般社団法人日本照明工業会 第2部会国内小委員会 幹事)

(大塚電子株式会社)

3. 「測光・放射測定分野における不確かさ評価と 産総研での研究トピックス」

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)

ご清聴ありがとうございました

Society 5.0に対応する次世代照明

Lighting 5.0

END



「測光試験所の品質システムと測定の不確かさ評価」セミナー
2025年3月7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

本日の内容

1. JNLA審査における指摘事項の傾向
2. 不適合事項等の事例紹介

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。

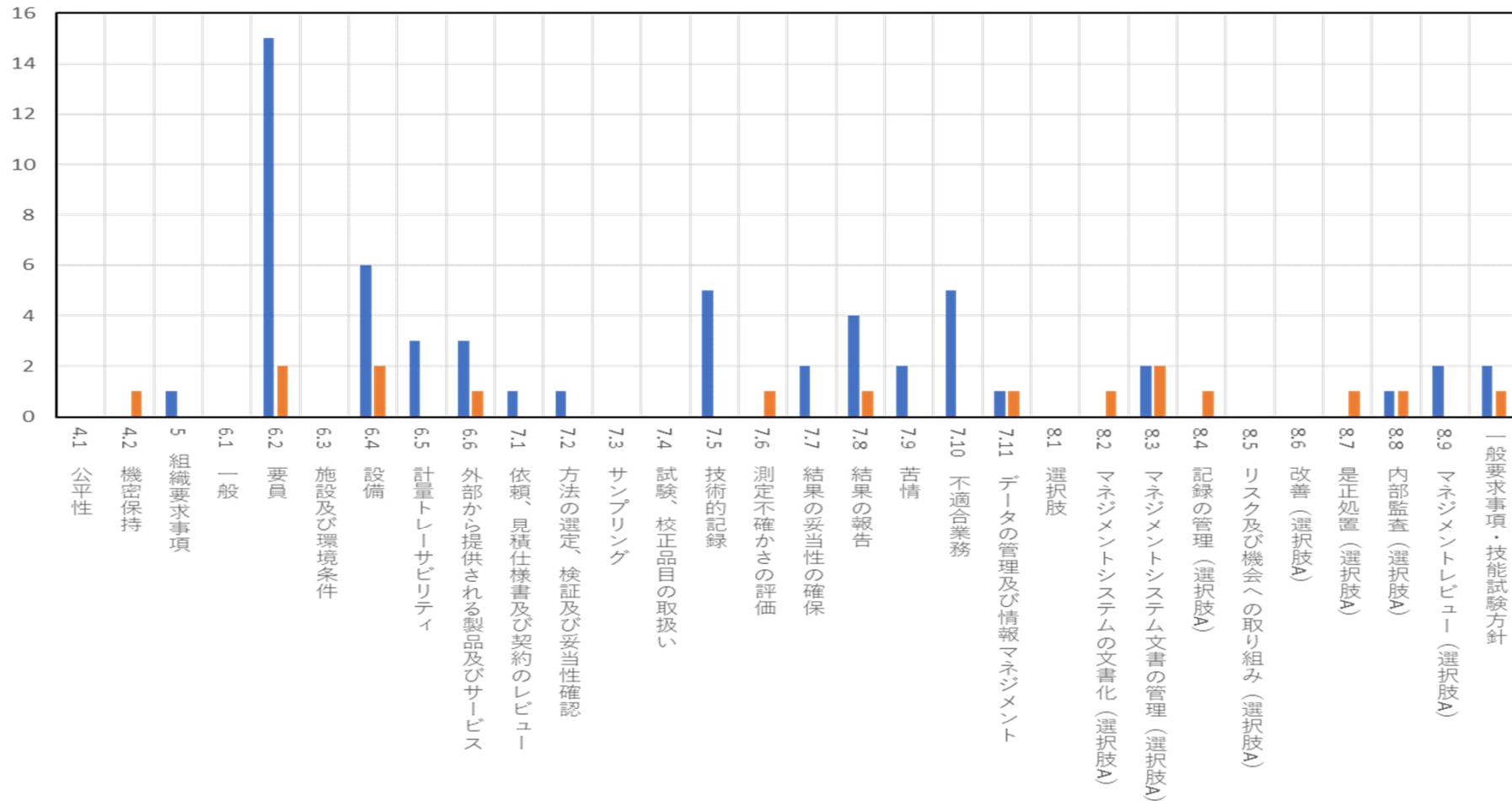
【懸念事項】

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して懸念される根拠（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。

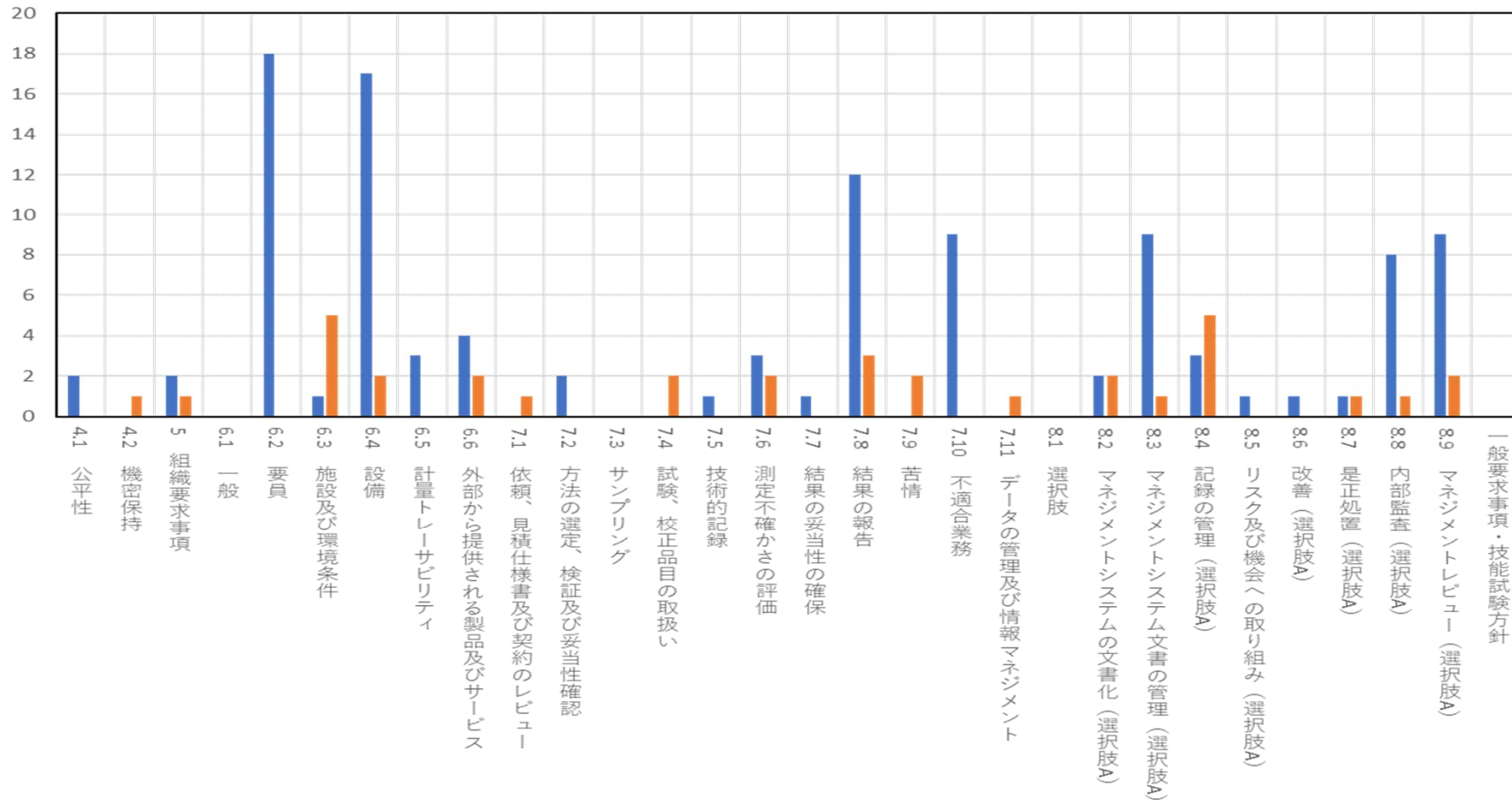
1. JNLA審査における指摘事項の傾向(2024年4月～2025年1月)

不適合 (青) / 懸念 (オレンジ) の傾向



1. JNLA審査における指摘事項の傾向(2023年4月～2024年3月)

不適合 (青) / 懸念 (オレンジ) の傾向



2. 不適合事項等の事例紹介

<4 公平性>

4.1.4 ラボラトリーは、公平性に対するリスクを継続的に特定しなければならない。

- ○○委員会で公平性に関するリスクを特定するとしており、○○委員会にて“公平性のリスク要因及びそのリスクを排除又は最小化”に関する資料の紹介はあったが、公平性に関する具体的なリスクの特定がされていなかった。
- 規定に従い、公平性のリスクを特定した場合には「リスク及び機会への取り組み一覧表」にその内容と排除又は最小化のための処置の方法を記載することとしているが、2021年に○○氏が新規配属された際、公平性のリスクが特定及び処置されたことが、この記録から確認出来なかった。

2. 不適合事項等の事例紹介

<4.2 機密保持>

4.2.4 外部委員会のメンバー、契約人、機関の要員又はラボラトリの代理人として活動する個人は、法律で要求される場合を除き、ラボラトリ活動を遂行する間に得られた、又は作成された全ての情報について機密保持しなければならない。

- ・ 内部監査及び苦情のレビューを行う要員（アドバイザー）とラボラトリの間で機密保持が確実とする取り組みがされていない。（懸念）

2. 不適合事項等の事例紹介

<5 組織構成に関する要求事項>

- 5.2 ラボラトリーは、そのラボラトリーについて総合的な責任をもつラボラトリーマネジメントを特定しなければならない。
- 5.3 ラボラトリーは、この規格に適合するラボラトリー活動の範囲を明確化し、文書化しなければならない。
- 5.5 ラボラトリーは、次の事項を行わなければならない。
 - b) ラボラトリー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。

- JNLA及びASNITEの試験範囲が文書化されているが、認定範囲と一致していない。
- 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、ラボラトリー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。

2. 不適合事項等の事例紹介

<6.2 要員>

6.2.5 ラボラトリーは、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

- ・年間教育訓練計画を策定するにあたり、これまでの教育訓練結果や現在のスキルレベルをもとに、要員毎にスキルマップを作成することになっているが、2022年以降作成されていないため、教育訓練計画が適切に策定されていない懸念がある。
- ・新規の内部監査員について、既認定の内部監査員の立ち会いの下、監査を実施し、問題がなければ認定されることとなっているが、上記の立ち会いを実施する前に9名が認定されていた。

2. 不適合事項等の事例紹介

<6.2 要員>

6.2.5 ラボラトリーは、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

- ・ 内部監査員のうち、外部要員 1 名が権限付与されておらず、また内部監査を実施していた。
- ・ 内部監査員、品質管理者、技術管理者の力量の監視の手順がなく、記録を保持していない。
- ・ 管理要員(品質・技術) の力量の監視について手順が取り決められていない。

2. 不適合事項等の事例紹介

< 6. 3 施設及び環境条件 >

6.3.3 ラボラトリーは該当する仕様書、方法若しくは手順書に従い、又は環境条件が結果の妥当性に影響を及ぼす場合には、**環境条件を監視し**、制御し、記録しなければならない。

- ・コンクリート圧縮強度試験の標準養生水槽は、2箇所以最下部分の温度を温度計により記録しているが、水槽の場所及び高さによって温度が $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ に維持されているか**懸念**される。

2. 不適合事項等の事例紹介

<6.4 設備>

6.4.8 校正が必要な全ての設備又は有効期間が定められた全ての設備は、設備の使用者が校正状態又は有効期間を容易に識別できるように、ラベル付けを行うか、コード化するか、又はその他の方法で識別しなければならない。

- ・ 前回審査以降に新たに導入された外側マイクロメーター及びデジタルノギスについて、校正ラベルが添付されていなかった。
- ・ 定期点検を自身で実施する機器について、校正状態又は有効期間を容易に識別できるような表示がされていない。

2. 不適合事項等の事例紹介

<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。

- a) ソフトウェア及びファームウェアのバージョンを含む、設備の識別
- b) 製造業者の名称、型式の識別及びシリアル番号又はその他の固有の識別
- c) 設備が規定された要求事項に適合することの検証の証拠
- d) 現在の所在場所
- 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
- f) 標準物質の文書、結果、受入基準、関連する日付及び有効期間
- g) 設備の機能に関連する場合は、保守計画及びこれまでに実施された保守
- h) 設備の損傷、機能不良、改造又は修理の詳細

- 設備について、試験結果に影響を与える標準物質、標準品、試薬及び消耗品には規格要求事項6.4.13で規定される事項に関する記録が確認できないものがあった。
- 施設の環境測定又は試験に使用する設備のなかで、計画的保守の対象となっていない設備があり、設備管理リストに登録されておらず必要とする設備の記録を保持していない。

2. 不適合事項等の事例紹介

<6.5 計量トレーサビリティ>

6.5.1 ラボラトリーは、測定結果を適切な計量参照に結びつけるよう、それぞれの校正が測定不確かさに寄与している、文書化された切れ目のない校正の連鎖によって、測定結果の計量トレーサビリティを確立し、維持しなければならない。

- ○○試験装置の△△を直接測定する方法に変更していたが、計測トレーサビリティの確立及び不確かさの評価がなされていない状態となっていた。

2. 不適合事項等の事例紹介

<6.5 計量トレーサビリティ>

6.5.2 ラボラトリーは、次のいずれかを通して、測定結果が国際単位系（SI）にトレーサブルであることを確実にしなければならない。

a) 能力のあるラボラトリーから提供される校正。

- ・ 試験結果に影響を与える測定器の校正が、適切な能力を有する校正機関で校正されていない。

2. 不適合事項等の事例紹介

<6. 6 外部から提供される製品及びサービス>

6.6.2 ラボラトリーは、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。
b) 外部提供者の評価、選定、パフォーマンスの監視及び再評価に関する基準を明確にする。

- ・ 外部提供者の再評価に関する基準及び記録がない。
- ・ 校正機関、施設の点検・メンテナンス業者等について外部供給者としての評価、選定に関する記録がなかった。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7. 1 依頼、見積仕様書及び契約のレビュー>

7.1.1 ラボラトリは、依頼、見積仕様書及び契約のレビューに関する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。

d)適切な方法又は手順が選択され、顧客の要求事項を満たすことができる。

- JIS ○ △△の□.□の試験では製造者の指定する試験機を用いて試験を行うことが規定されているが、事前確認をせずにJIS ◇ △△に規定する試験機を用いていた。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7.2 方法の選定、検証及び妥当性確認>

7.2.1.1 ラボラトリーは、全てのラボラトリー活動に関して適切な方法及び手順を用いなければならず、また適切な場合、測定不確かさの評価及びデータ分析のための統計的手法に関するも同様である。

- ・ 立会試験において、JISとおりの試験が実施できていなかった。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7. 5 技術的記録>

7.5.2 ラボラトリは、技術的記録の変更について、以前の版又は観測原本に遡って追跡できることを確実にしなければならない。

変更の日付、変更点の表示及び変更に関与した要員を含め、元のデータ及び変更されたデータ並びにそれらのファイルの両方を保持しなければならない。

- ○○規程の技術的記録に、技術的記録の訂正時に、変更の日付を含める旨が規定されておらず、技術的記録（紙）の変更事例を確認したところ、実際に変更の日付が残されていなかった。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7. 6 測定不確かさの評価>

7.6.1 ラボラトリーは、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ーは、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。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7.7 結果の妥当性の確保>

7.7.3 ラボラトリーは、監視活動で得られたデータを分析し、ラボラトリー活動の管理に使用し、適用可能であれば、改善に使用しなければならない。
監視活動で得られたデータの分析結果が、事前に規定した処置基準を外れることが判明した場合は、不正確な結果が報告されることを防止するため、適切な処置を講じなければならない。

- ○○試験の技能試験に参加したが、zスコアで-2.98の結果であったが、原因究明等適切な処置がなされていなかった。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7. 8 結果の報告>

7.8.2.1 個々の報告書は、少なくとも次の情報を含まなければならない。
ただし、ラボラトリが正当な除外の理由をもち、それによって誤解又は誤用の可能性が最小化される場合はこの限りでない。

c)顧客の施設若しくはラボラトリの 恒久的施設から離れた場所、又は関連する一時施設 若しくは移動施設で実施された場合を含め、**ラボラトリ活動が実施された場所**

m)**結果**。適切な場合、測定単位を伴う

- 試験報告書上で、試験を実施した場所の記載がなかった。
- JIS ○ △△の□□試験では、試験結果を小数点以下2桁で報告することを求めているが、立会試験の試験報告書（模擬）では小数点以下3桁で報告されていた。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7. 8 結果の報告>

7.8.6 ラボラトリーは、仕様又は規格への適合性を表明する場合、採用した判定ルールに付随する、（誤判定による合格及び誤判定による不合格、並びに統計的仮定などの）リスクのレベルを考慮に入れた上で採用した判定ルールを文書化し、それを適用しなければならない。

- 品質マニュアル等には、採用したルールに付随する（誤判定による合格及び誤判定による不合格並びに統計的仮定などの）リスクのレベルを考慮に入れた上で採用した「○○マニュアル」の判定ルールを適用する。」と記載されているが、「○○マニュアル」等には、適合性の表明に係る手順はなく、規定等に基づかない適合性の表明がされる懸念がある。なお、適合性の表明をした実績はない。（懸念）

2. 不適合事項等の事例紹介

<7.8 結果の報告>

7.8.8.1 発行済みの報告書を変更、修正又は再発行する必要がある場合は、いかなる情報の変更も明確に識別し、適切な場合、変更の理由を報告書に含めなければならない。

- 再発行されたJNLA試験証明書の変更箇所が、明確に識別されていなかった。
- 試験報告書が再発行されているが、その試験報告書に変更箇所の識別及び理由が記載されていない。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7.9 苦情>

7.9.2 苦情を受領した時点で、ラボラトリーは、その苦情が自らが責任をもつラボラトリー活動に関係するかどうかを確認し、関係があればその苦情を処理しなければならない。

7.9.6 苦情申立者に伝達される結果は、問題となっている元のラボラトリー活動に関与していなかった者が作成するか、又はレビューし承認しなければならない。

- 試験報告書に対して顧客から不備を指摘され、試験報告書を再発行したが、苦情処理が実施されていない。
- 処理が終了した苦情のうち、問題となっている元のラボラトリー活動に関与していない者が作成、レビュー、承認のいずれも行っていない案件があった。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7. 10 不適合業務>

- 7.10.1 ラボラトリーは、そのラボラトリー活動の何らかの業務の側面、又はその結果が、ラボラトリー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。
- 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。
 - d) 不適合業務の容認の可否を決定する。

- 試験結果に影響を及ぼす可能性のあるリスクレベル設定がされた不適合業務について、以前の結果に関する影響分析及び容認の可否が記録されていなかった。
- 不適合業務の重大性評価にかかる評価基準が定められていない。

2. 不適合事項等の事例紹介

<7. 1 1 > データの管理及び情報マネジメント

- 7.11.3 ラボラトリ情報マネジメントシステムは、次の事項を満たさなければならない。
- c) 提供者若しくはラボラトリの仕様に適合する環境の中で運用されているか、または、電子化されていないシステムの場合は、手書きの記録及び転記の正確さを確保する条件を備える環境の中で運用されている。
 - d) データ及び情報の完全性を確実にする方法で維持されている。

- ・ 「品質マニュアル」において「情報マネジメントシステムでは試験データに関する手書きの記録及び転記はない」としているが、「○○試験」では手書きの記録、転記が行われており、規定と実際に行っていることが整合していない。
- ・ 共有サーバー及びデータベースに保存されている電子ファイルの記録に保護がかけられておらず、各記録に求められる完全性を確保できない恐れがある。

2. 不適合事項等の事例紹介

<8. 2> マネジメントシステムの文書化

8.2.4 この規格の要求事項を満たすことに関する**全ての文書**、プロセス、システム、記録をマネジメントシステムに含めるか、マネジメントシステムから引用するか、又はマネジメントシステムに関連付けなければならない。

- ・ 認定シンボルの管理方針について定める「○○方針」が「文書管理標準」に定めるマネジメントシステム文書体系中に含まれておらず、適切な管理が**懸念**される。

2. 不適合事項等の事例紹介

< 8. 3 > マネジメントシステム文書の管理

8.3.2 ラボラトリーは、次の事項を確実にしなければならない。
b) 文書を定期的に見直し、必要に応じて更新する。

- ・ 文書管理規程の記録一覧表が最新版に管理されていなかった。
- ・ 外部文書（JIS）に関して、規定に基づく定期確認が行われておらず、JIS ○ □□が保存されていなかった。

2. 不適合事項等の事例紹介

< 8. 4 記録の管理 >

8.4.2 ラボラトリーは、記録の識別、保管、保護、バックアップ、アーカイブ、検索、保持期間及び廃棄のために必要な**管理を実施しなければならない**。

- ・ラボラトリーは、記録の識別、保管、保護、バックアップ、検索、保持期間、廃棄等のため必要な管理を実施しなければならないが、これらの手順が十分に定まっておらず、適切な管理を実施できない**おそれがある**。

2. 不適合事項等の事例紹介

< 8. 7 是正処置 >

8.7.1 不適合が発生した場合、ラボラトリーは、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。

2. 不適合事項等の事例紹介

< 8. 8 内部監査 >

8.8.1 ラボラトリーは、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。

- ラボラトリー活動を含めた、ラボラトリー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

8.8.2 ラボラトリーは、次の事項を行わなければならない。

d) 遅滞なく、適切な修正及び是正処置を実施する。

- 内部監査規程に規格の要求事項に適合しているか確認すると規定しているが、実施した内部監査において、ISO/IEC17025の要求事項を網羅した監査が実施されていなかった。
- 内部監査で確認された不適合2件に対して文書改正で対応する是正が〇〇年〇月〇日に記録されていたが、審査時点で文書改正が行われておらず、計画されていないため、内部監査の適切な修正及び是正処置が実施されているか懸念される。

2. 不適合事項等の事例紹介

<8.9 マネジメントレビュー>

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。

- ・ マネジメントレビューからのアウトプットに対する処置をマネジメントシステム見直し記録に残すこととしているが、当該記録様式に定められている処置期限、処置確認日、確認者が記載されていないものが複数存在した。

2. 不適合事項等の事例紹介

<その他 一般要求事項>

- ・登録試験事業者は、JNLA 標章付きの試験証明書の発行において、登録範囲外の試験結果が試験証明書に含まれる場合、登録範囲外の試験結果であることを明確に識別すること。
- ・試験報告書上で、登録範囲外の試験結果を明確に識別していなかった。

2. 不適合事項等の事例紹介

<その他 一般要求事項>

- 認定事業者が認定シンボルを使う場合は、必ずIAJapanが提供した清刷の複製を用いること。
- 認定事業者は、以下の1)～5)の条件を満たす場合に限り、広告物、パンフレット、その他の文書等に、認定シンボルの使用及び／又は認定の地位の表明をしてもよい。ただし、事前にIAJapanに照会し、承認を得なければならない。
 - 1) 認定されている範囲を明確にし、誤解を招く又は正当でないとIAJapanが見なすような表明を行わないこと。
- 事業者のホームページに旧JNL A認定シンボルが掲載され、また、認定範囲外の試験についても認定を受けているように読み取れる記載となっている。また、パンフレット及び名刺に旧JNL A認定シンボルが使用されている。

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>

測光・放射測定におけるCIEでの最近の話題

2025年度測光及び不確かさセミナー

菊池正博

CIE 第2部会国内小委員会 幹事

大塚電子株式会社

新技術開発部

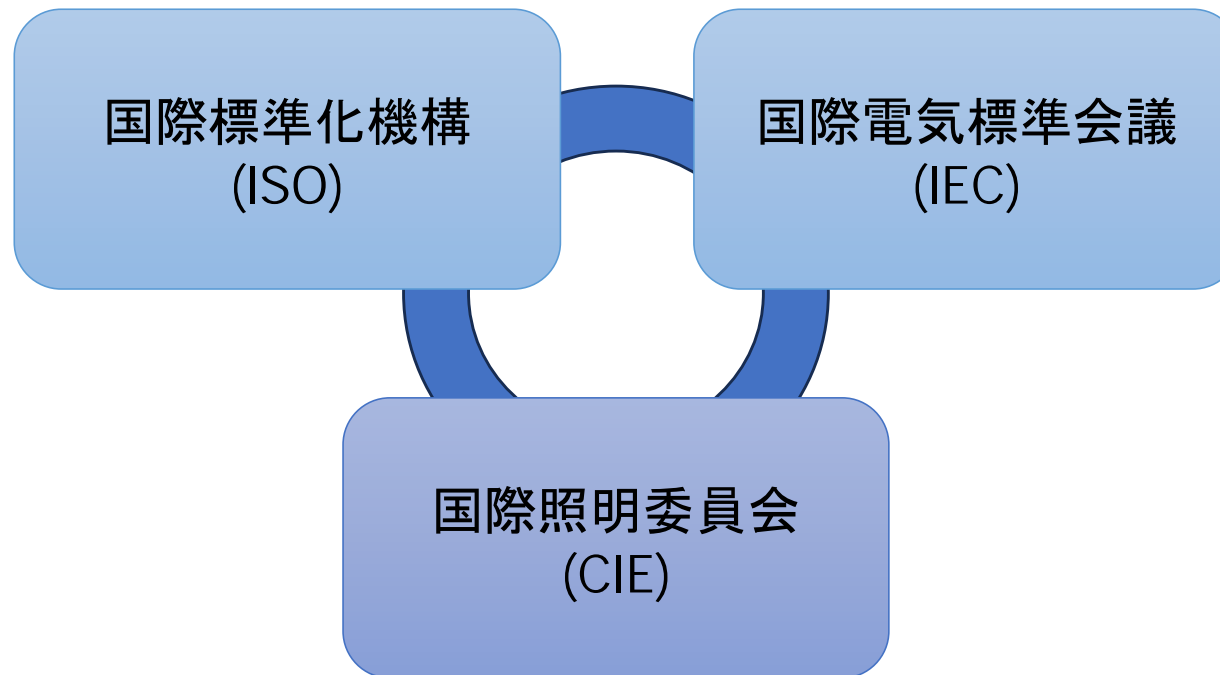
2025/3/7

内容

- 国際照明委員会(CIE)について
- 国際照明委員会(CIE)の部会について
- 第2部会の概要について
- 第2部会関連の最近の出版物
- 活動トピックス①
 - TC2-96 ISO/CIE 19476(照度計および輝度計の性能記述)の改訂
- 活動トピックス②
 - TC2-97 CIE S025(LED照明の試験方法)の改訂
- 活動トピックス③
 - RF-05 測光および測色への、CIE 2006錐体分光感度 の適用

国際照明委員会(CIE)について

- 国際標準化に関する組織



国際照明委員会(CIE)について

- 国際照明委員会(CIE)とは
 - 光と照明、色と視覚、光生物学と画像技術の科学と芸術に関連するすべての問題に関して、議論を行い、国際標準化を行う非営利団体



CIEのWebページより <https://cie.co.at/>

国際照明委員会(CIE)について

- 活動目的
 - 国際および国内規格の原則、手順に関するガイダンスを提供
 - 学術研究や技術的な知見を共有するためのフォーラムを提供
 - 定期的に国際会議やワークショップを開催し、最新の研究成果や業界のトレンドについて議論
 - 規格や出版物の作成と発行
 - 技術文書やガイドライン、報告書を発行
 - 他の国際機関との連絡と技術的相互作用を維持すること
 - 技術委員会の活動
 - CIE内には複数の技術委員会があり、それぞれのテーマについて、深く研究し、議論を重ねる

国際照明委員会(CIE)について

- 光と照明の対象分野について
 - 視覚、測光、測色などの基本的なテーマ
 - 紫外線、スペクトルの可視領域およびIR領域上の自然および人工放射線
 - 環境および美的効果を含む屋内外の光のすべての使用をカバーするアプリケーション
 - 光と放射線の生成および制御のための手段
- 1999年以降、すべての種類のアナログおよびデジタル画像デバイス、記憶媒体、画像メディア
- 画像メディアを使用した画像の通信、処理、再生の光学的、視覚的、計測的内容も含まれている

国際照明委員会(CIE)の部会について

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



第2部会 光と放射の物理測定 概要

- **Terms of Reference**

- 紫外・可視および赤外放射、一般的な放射、材料や照明器具の光学的特性などの評価のための標準的な手法について調査すると共に、これらの評価に必要とされる物理検出器およびその他の機器についての光学特性や性能について調査する。

- 現在活動中のTCの数: 26

- 主な出版物

- ISO/CIE 23539:2023 Photometry – The CIE system of physical photometry
- CIE 127:2007 LEDの測定
- CIE S 025 / E:2015LEDランプ、LED照明器具、LEDモジュールの試験方法
- CIE 121-1996 照明器具の測光およびゴニオフォトメトリー
- CIE 084-1989光束の測定
- CIE 063-1984 光源の分光放射測定

第2部会関連の最近の出版物

原案作成した主な規格類

- 光-CIE物理測光システム

ISO 23539:2023(E) Photometry - the CIE system of physical photometry

- 照度計および輝度計の性能記述

ISO/CIE 19476:2014 Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters

- LEDランプ, モジュールおよび照明器具の試験方法

CIE S 025/E:2015 Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules

CIE S 025-SP1/E:2019 Test Method for OLED Luminaires and OLED Light Sources

CIE技術報告書(Technical Report :TR)

- CIE 251:2023 LED Reference Spectrum for Photometer Calibration
- CIE 250:2022 Spectroradiometric measurement of optical radiation sources

活動トピックス①

TC2-96 ISO/CIE 19476 (照度計および輝度計の性能記述)の改訂

- 活動目標
 - 2019年に実施されたSystematic Reviewの結果を考慮した改訂
 - 電球自体が国内外において、入手困難になっており、そのなかで照度計、輝度計の電球を主体とした評価を見直す
- 検討内容
 - $V(\lambda)$ からの外れ f_1' の見直しが必要かどうかについて
 - 受光器の校正用光源としてCIE L41の追加を検討
 - 紫外応答、赤外応答指標の導出方法
 - 応答非直線性、変調光特性の評価方法
 - 追加項目の要否について
- 現在の文書審議状況
 - WD審議中

受光器の校正用光源としてCIE L41の追加

校正用光源として、従来はA光源から計算

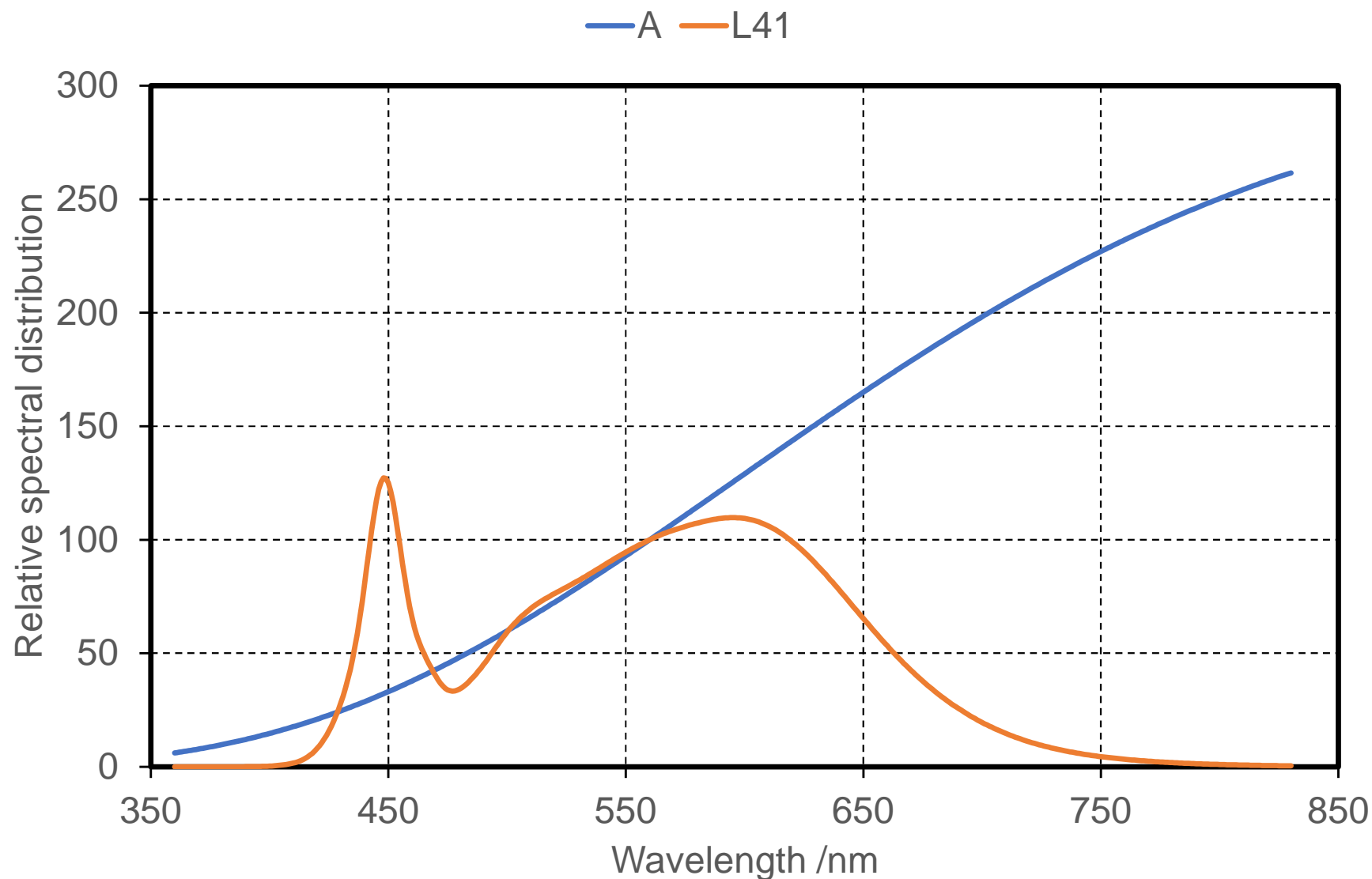


今後はCIE L41のようなLED光源も考えられる

CIE L41光源とは

- 相関色温度4103 K
- 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

CIE標準イルミネラントAとCIE参照スペクトルL41



CIE L41光源基準となると

以下のことが考えられる

- f_1' を見直さないといけないのではないか
- 受光器基準とするなら中間光源としてCIE L41をつかうことになる
- 受光器側の分光応答度をつかって色補正係数を算出しないといけない
- A光源に対する平均的なずれを表す指標をLED基準にしているのか
- CIE L41を忠実に再現できるLEDがあるのかどうか

活動トピックス②

TC2-97 CIE S025(LED照明の試験方法)の改訂

- 活動目標
 - CIE S025:2015および追補(CIE S025-SP1:2019)の改訂
- 検討内容
 - 測定の不確かさに関する付属書の改訂(不確かさ例、モンテカルロ法に基づく評価の追加など)
 - 電気パラメータの測定方法に関する見直し
 - 配光測定に関する要求事項の見直し
 - Near field ゴニオメータと一般的な配光測定装置の同等性の検証
 - CIE S025:2015とCIE S025-SP1:2019の統合
- 現在の文書審議状況
 - WD審議中

主な内容

- 測定の不確かさに関する付属書の改訂
 - 不確かさのTRがいくつか出ているため追加する
- 対象はLED,OLED,照明全般となる
- 配光測定に関する要求事項の見直し
 - 測定対象物の点灯姿勢は実際に使用する姿勢になっている
 - 点灯姿勢がかわっても、不確かさに含めてもいいのではないか
 - 測定方法もTypeA~Cどの方法でもいいのではないか
- Near field ゴニオメータと一般的な配光測定装置の同等性の検証
 - 配光プロファイルの同等性および全光束値の同等性
 - ニアフィールドに関しては、TCが別にあり、その結果を盛り込む可能性がある

活動トピックス③

RF-05 測光および測色への、 CIE 2006錐体分光感度 の適用

- 目的
 - 現行の測光・測色の体系を、錐体分光感度に基づく分光視感効率および等色関数で置換える、または追加することに対する議論
- 検討内容
 - 分光視感効率関数を置き換える可能性について
 - 従来からの体系からの変更に伴う様々な影響

メートル条約に基づく国際単位

7つの基本単位

長さ: メートル(m)

質量: キログラム(kg)

時間: 秒(s)

電流: アンペア(A)

温度: ケルビン(K)

物質質量: モル(mol)

光度: カンデラ(cd)

測光・放射測定諮問委員会(CCPR)

1948年に光度の単位:カンデラ(cd)制定のための一連の研究をまとめたり、測光・放射測定に係るSI単位の現示方法など、CCPRとCIEで合同文書を発行しているものもある

メートル条約における組織について

メートル条約における機関の組織

国際度量衡総会(CGPM)

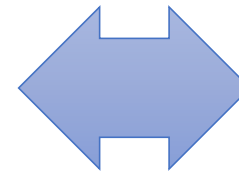
メートル条約組織の最高機関
4年ごとに開催される

国際度量衡委員会(CIPM)

決定事項に関する代執行機関
異なる国から18名で構成されている

測光・放射測定諮問委員会(CCPR)

国際度量衡委員会の下部組織の1つ
光度の単位:カンデラ(cd)制定や、国際比較などを通じて、光度・光束・分布温度等の測光量の国際同等性の確保を行ってきた



国際照明委員会(CIE)

関連する国際機関の1つとして存在する

分光視感効率関数を置き換える可能性について

分光視感効率関数 $V(\lambda)$ および等色関数



・今まで約100年運用されてきた

CIE2006錐体分光感度(CIE170-1, CIE170-2)に基づく関数 $V_F(\lambda)$

- ・ CIE170-1 視覚的な色の知覚を年齢や視角の関数としてモデル化
- ・ CIE170-2 異なる条件下での色の一致をより正確に行うための方法

・メリット

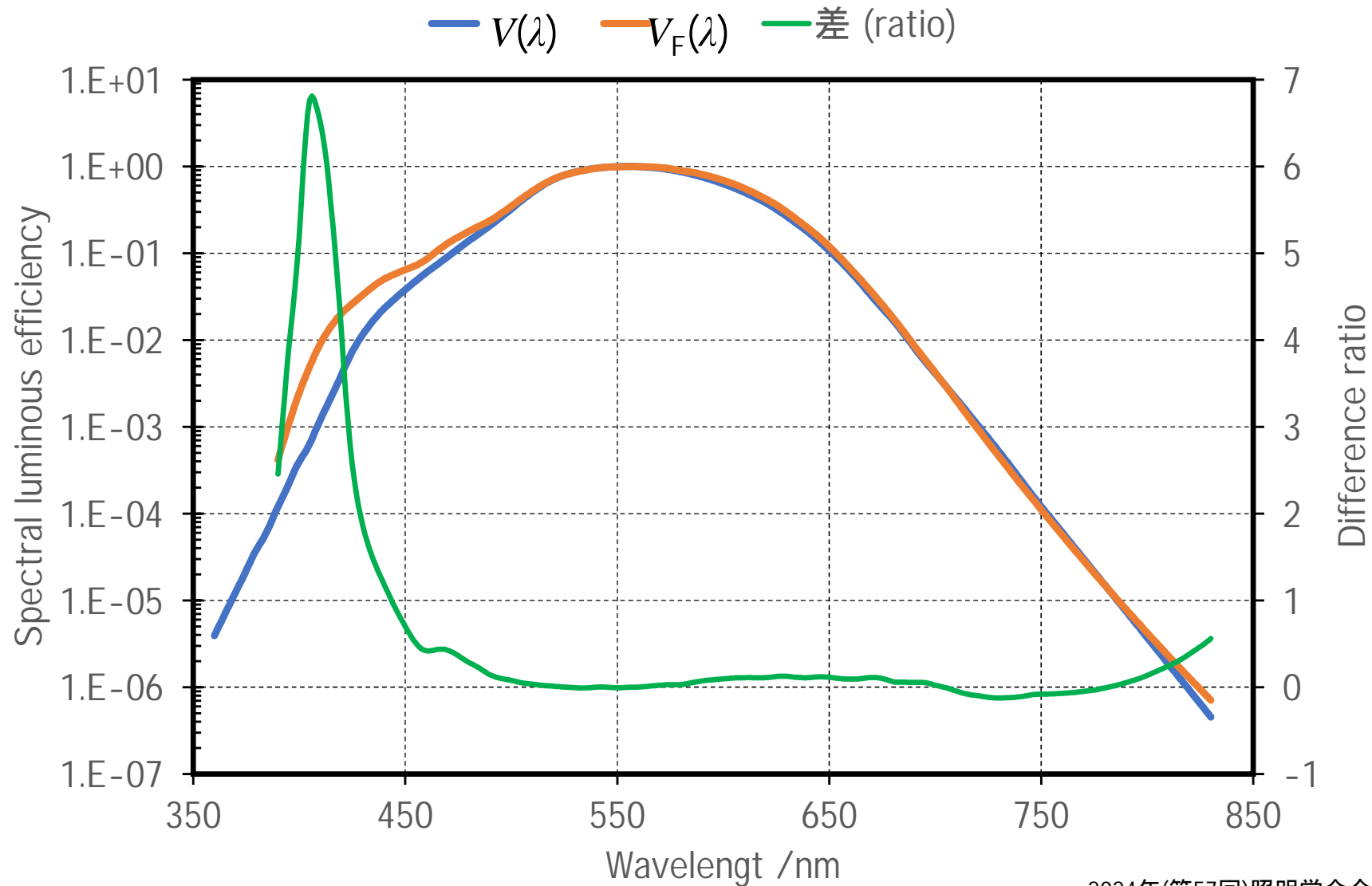
- ・生理学に基づき、錐体の分光感度を考慮した色の表現を可能
- ・個別の視覚特性を反映することができるため、より正確な評価が可能

・デメリット

- ・従来の測定値との不連続性
- ・測定器の要求仕様(製品仕様)の変更

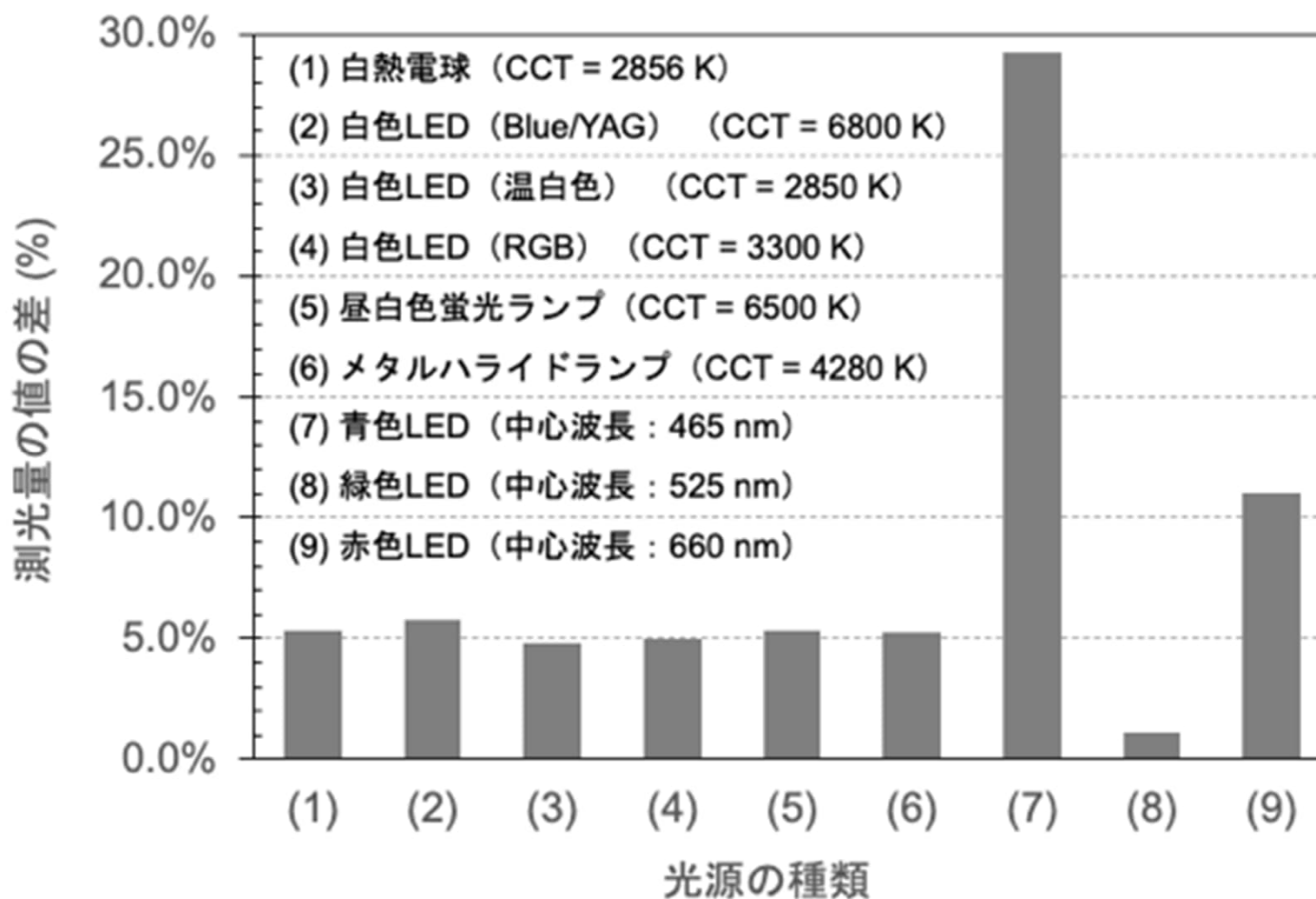
従来の測定値との不連続性

従来の分光視感効率関数 $V(\lambda)$ と錐体分光感度に基づく関数 $V_F(\lambda)$ の比較



2024年(第57回)照明学会全国大会資料より

置き換えに伴う測光量の値の差



- ・全体的に5%程度差が出ている
- ・単色のLED、特に青色に関しては非常に影響が大きい

測定器の要求仕様(製品仕様)の変更

主に照度計への影響が考えられる

- 分光視感効率関数が置き換わるため、標準比視感度からの外れを示す相対分光応答度特性(f_1')の値に差が生じてしまう
- 使用している視感度フィルターの仕様を変更しないといけない可能性がある
- 現在、精密級、AA級、A級と性能によりクラス分けがあるが、クラス分けに影響する可能性がある

CIEとしての活動状況

- 2023年7月：設立
- 2023年9月：CIE2023大会（スロベニア）でワークショップ開催
- 2024年6月：測光放射測定諮問委員会（CCPR）との合同ワークショップ（ $V(\lambda)$ 100周年）を開催
 - 錐体分光感度の基本に基づく光度測定
 - 将来の方向性
 - 日本からは分光視感効率関数の置き換えに伴う、測光量および測光機器の性能評価について発表

まとめ

- 国際照明委員会(CIE)について
- 第2部会の概要と最近の出版物
- 活動トピックス①
 - TC2-96 ISO/CIE 19476(照度計および輝度計の性能記述)の改訂
 - CIE L41の追加について
- 活動トピックス②
 - TC2-97 CIE S025(LED照明の試験方法)の改訂
- 活動トピックス③
 - RF-05 測光および測色への、CIE 2006錐体分光感度 の適用
 - 分光視感効率関数を置き換える可能性について

ご清聴ありがとうございました

測光・放射測定分野における不確かさ評価と 産総研での研究トピックス

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

本日の講演内容

Part.1 測光・放射測定分野における不確かさ評価

- 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

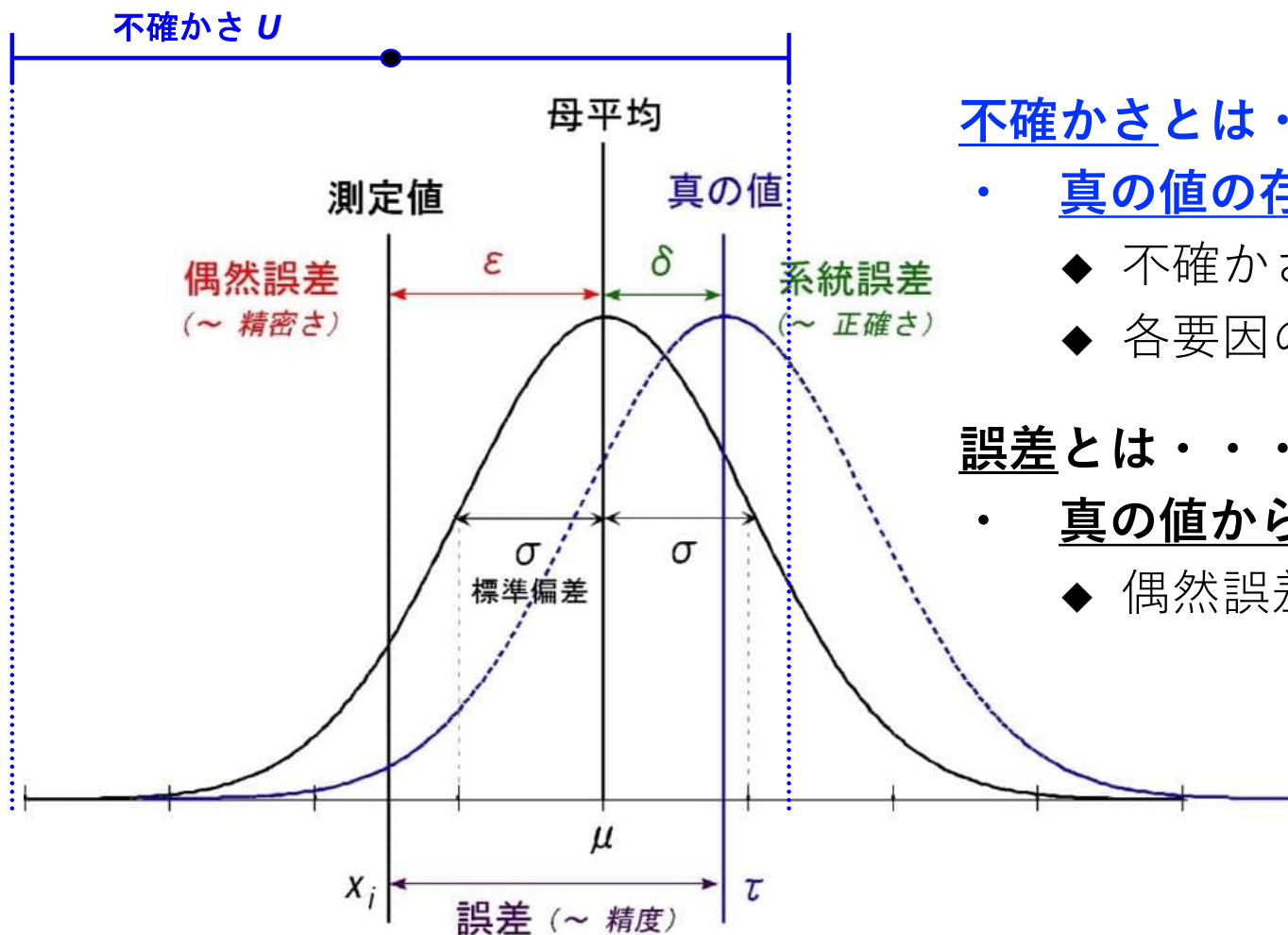
Part.2 産総研における測光・放射測定に関する研究トピックスの紹介

Part.1

測光・放射測定分野における不確かさ評価

① 不確かさ評価に関する基本事項

不確かさと誤差



不確かさとは・・・

- 真の値の存在する範囲を示す推定量
 - ◆ 不確かさ要因の確率分布
 - ◆ 各要因の確率分布の合成

誤差とは・・・

- 真の値からの外れ
 - ◆ 偶然誤差 + 系統誤差

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

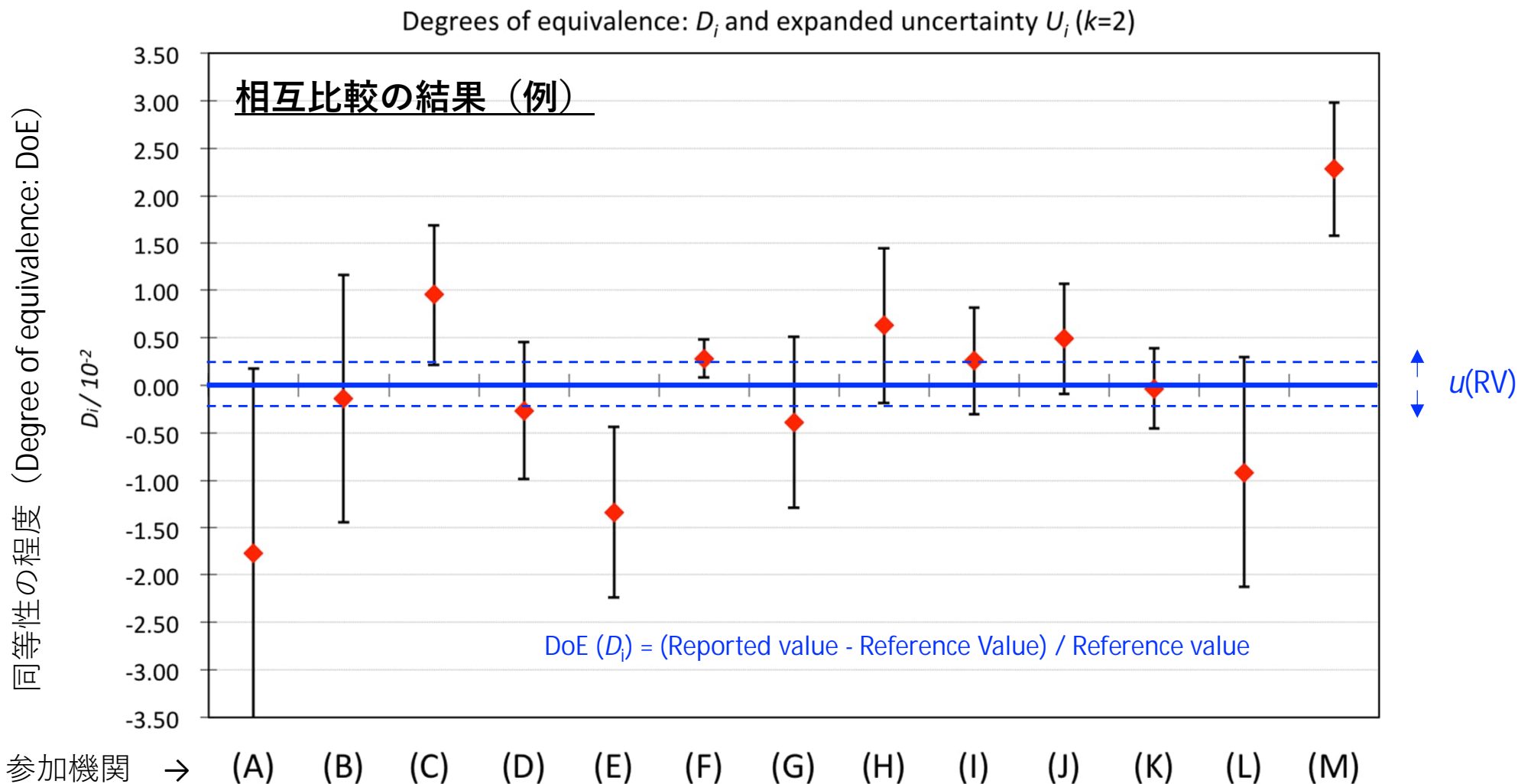
● 国際規格や取り決め等で評価を求められているため

- 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

相互比較における不確かさの利用



Reference Value (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

不確かさの推定の基本手順

1. 測定・校正手順の記述

2. 不確かさ要因の列挙

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）

8. 不確かさバジェット表の作成

※ 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。

不確かさバジェット表の作成

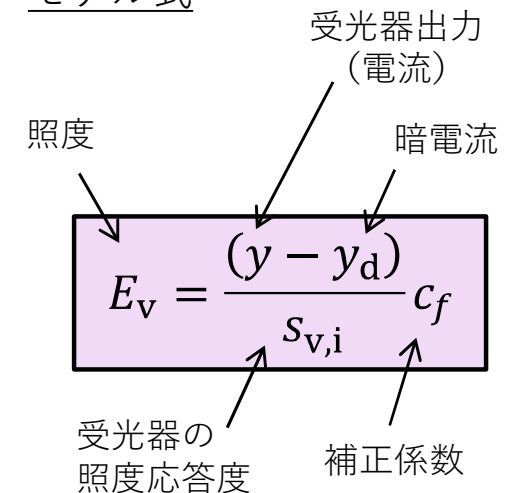
不確かさバジェット

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	Type	Sensitivity Coefficient c_i	Unc. Contribution $u_i(y)$
y	Photometer signal	1.819×10^{-6}	2.42×10^{-10}	A	A	9.88×10^7	0.024
y_d	Photometer dark signal	-5.0×10^{-10}	6.10×10^{-12}	A	A	-9.88×10^7	-0.001
$s_{v,i}$	Illuminance responsivity	1.0118×10^{-8}	1.88×10^{-11}	A/lx	B	-1.78×10^{10}	-0.334
c_f	Correction factor	1.000	7.90×10^{-4}		B	179.8	0.142
E_v	NIST illuminance unit	179.83		lx			0.364
Relative expanded uncertainty for NIST illuminance unit ($k = 2$)							0.41 %

モデル式



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 (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO/IEC Guide 98-3:2008)
 - 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

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, \dots, x_N) との間の関数関係 (f) を表したものの。

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$$

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（合成標準不確かさ） $u_c(y)$ 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（標準不確かさ） $u(x_i)$ 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）

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

標準不確かさ

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

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

モデル式を構築するためのモジュール(例)

ランプ電流の測定 (シャント抵抗の端子電圧の測定)

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{オームの法則}$$

不確かさの伝搬式

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

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

モデル式を構築するためのモジュール(例)

ランプ電流の測定 (シャント抵抗の端子電圧の測定)

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

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

$$R = R_0 \left[1 + \gamma_R \cdot \Delta t_R + \alpha_R \left\{ \Delta T_{a,R} + \Delta T_{h,R} \cdot \left(1 - e^{-\left(t_R / \tau_R \right)} \right) \right\} \right]$$

抵抗の校正値 (points to R_0)
温度係数 (points to α_R)
駆動時間 (points to t_R)
経年変化 (変化率) (points to γ_R)
校正後の経過期間 (points to Δt_R)
周囲温度の変化 (points to $\Delta T_{a,R}$)
自己加熱による温度変化 (points to $\Delta T_{h,R}$)
時定数 (points to τ_R)

Part.1

測光・放射測定分野における不確かさ評価

② 測光・放射測定での不確かさ評価例

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、以下のリストをご参照ください

https://jlma.or.jp/labo/sikenjo/pdf/jlma_sikenjo_futasikasa_bunken.pdf

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

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
 - 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
- **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

CIE S025/E:2015 Annex D (抜粋)

表 D.1 - 不確かさのバジレットの例

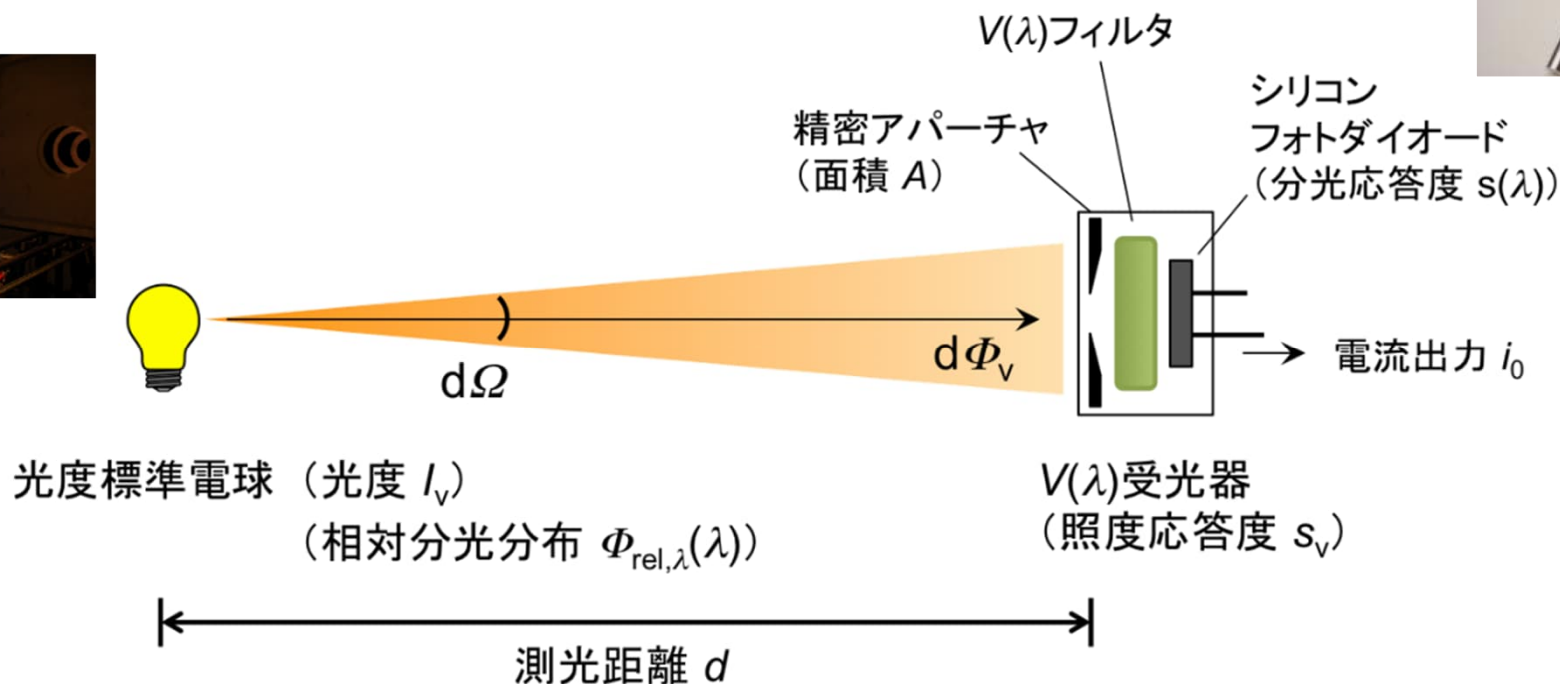
[球形光束計測 ($V(\lambda)$ 受光器+積分球) によるLEDランプの全光束測定の場合]
 ※ 反射率95%、内径1.5 m積分球での例 【CIE S025 Annex Dから抜粋】

参照標準の校正值
 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

Name of the quantity X_i	Relative contribution to the output standard uncertainty $u_{rel,i}(y)$			
	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 %			
Spectral mismatch of sphere-photometer system ($f'_1 = 3\%$)	1,7 %		3,5 %	
Linearity	0,3 %			
Self-absorption correction (residual uncertainty) ^e	0,3 %			
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 %			
Stability of the sphere system (between calibrations)	0,3 %			
Near-field absorption	0,3 %			
Reproducibility of test lamp (including stabilization condition)	0,3 %			
Stability of standard lamps	0,2 %			
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 %

測光・放射測定でのモデル式（例1）

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



$$s_v = d^2 \frac{i_0}{I_v}$$



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・・・

測光・放射測定でのモデル式（例1）

光度標準電球の光度値と逆二乗則から
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）

$$s_v = (d + \Delta d_l + \Delta d_p)^2 \cdot \frac{y_0}{G \cdot (1 + c_T \cdot \Delta T) \cdot \cos^n \varepsilon} \cdot \frac{1}{I_v \cdot (1 + c_\theta \cdot \theta) \cdot (1 + c_\phi \cdot \phi) \cdot \left(1 + m \cdot \frac{\Delta V}{V}\right) \cdot k_1 \cdot k_2} \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$$

受光器に起因する要素
 G : アンプゲイン
 c_T : 温度依存性
 ΔT : 温度変化
 余弦則からの外れ

電球に起因する要素

配光

アライメント

電圧特性

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）

測光・放射測定でのモデル式（例2）

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

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

$L_{e,B}(\lambda, T, \varepsilon_\lambda)$: 黒体の分光放射輝度

λ : 波長

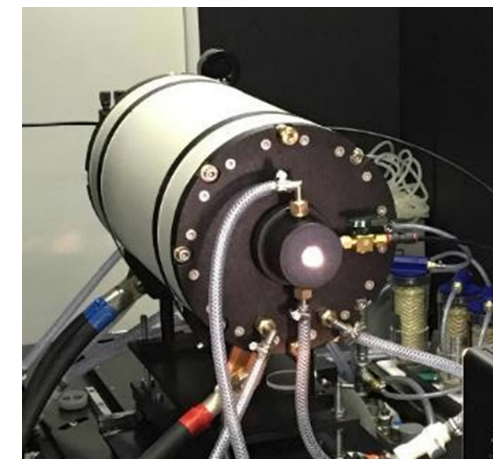
T : 熱力学温度

c : 光の速さ

h : プランク定数

k : ボルツマン定数

ε_λ : 黒体の放射率



3500 K

3000 K

2000 K

測光・放射測定でのモデル式（例2）

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

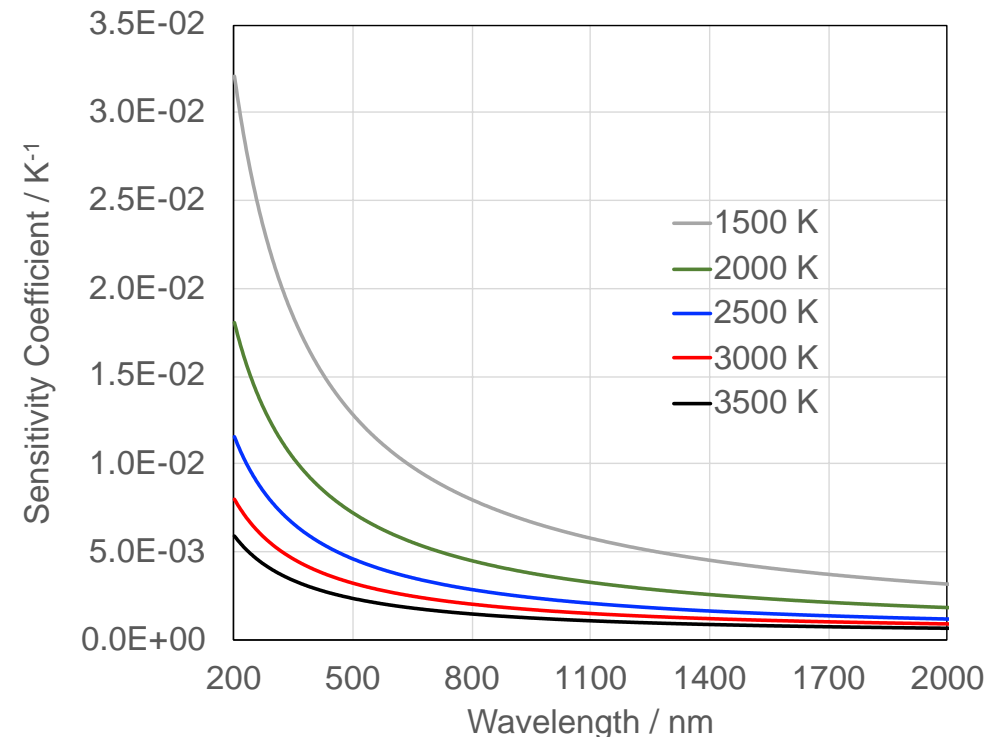
$$u^2(L_{e,B}(\lambda, T, \epsilon_\lambda)) = \left(\frac{\partial(L_{e,B}(\lambda, T, \epsilon_\lambda))}{\partial T}\right)^2 u^2(T) + \left(\frac{\partial(L_{e,B}(\lambda, T, \epsilon_\lambda))}{\partial \lambda}\right)^2 u^2(\lambda) + \left(\frac{\partial(L_{e,B}(\lambda, T, \epsilon_\lambda))}{\partial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

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

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

熱力学温度 T 、波長 λ の関数



測光・放射測定でのモデル式（例2）

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

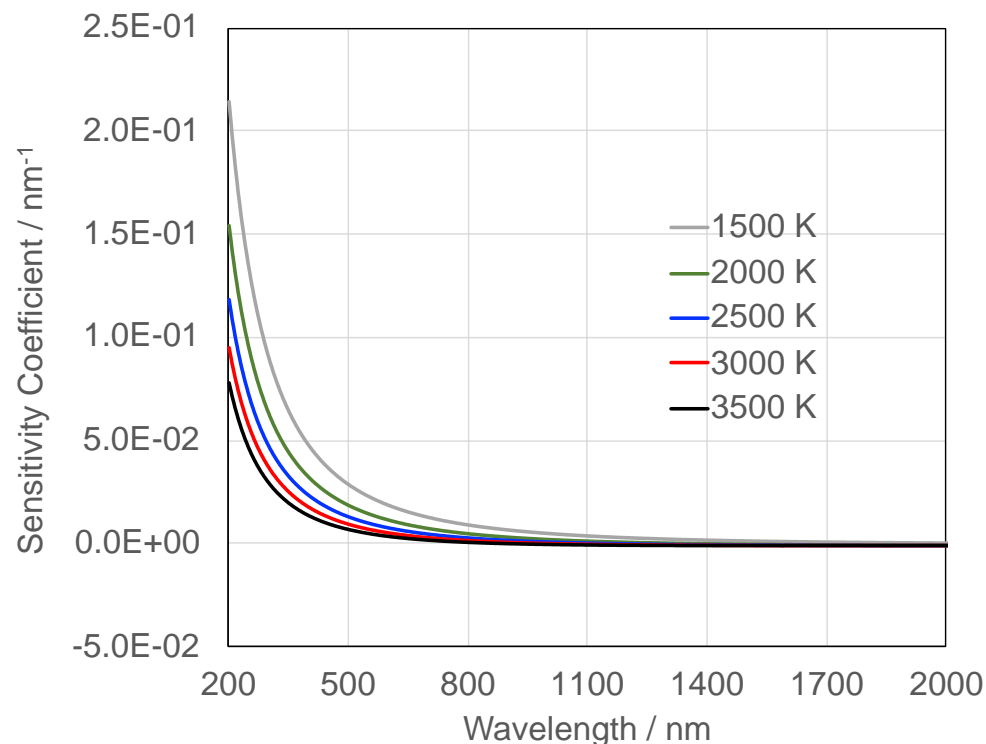
各不確かさ要因の寄与

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

② 波長 λ に起因する不確かさ $u(\lambda)$ に付随する感度係数

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

熱力学温度 T 、波長 λ の関数



測光・放射測定でのモデル式（例2）

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

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

③ 放射率 ε_λ に起因する不確かさ $u(\varepsilon_\lambda)$ に付随する感度係数：constant

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

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

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

試験光源の分光分布

標準光源の校正值
(分光分布)

分光放射計による
標準光源の分光測定値

Λ : 分光放射計の波長表示

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

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

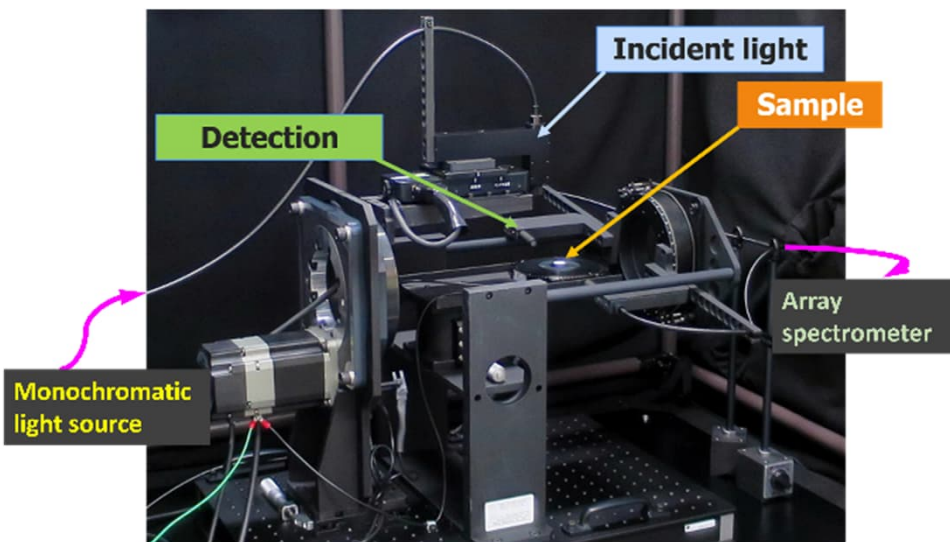
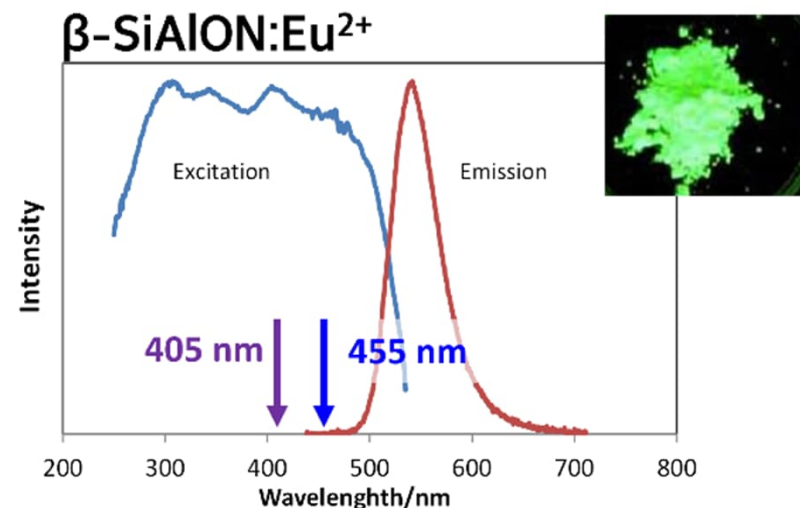
感度係数：分光測定値（スペクトル）の波長の1次微分に依存

Part.2

産総研における測光・放射測定に関する研究トピックスの紹介

白色LED用セラミックス蛍光体の光学特性評価 方法の国際標準化 (ISO 23946:2020)

- 粉体蛍光体の内部量子効率、外部量子効率、吸収率を配光蛍光分光測定装置を用いて絶対測定する方法を開発 (NIMS, 大塚電子 (株), JFCAと共同)
- 蛍光成分の均等拡散性を活かして高精度に外部量子効率を決定



Luminescent radiance factor β_L

$$\beta_L(\lambda_{ex}, \theta_i, \theta_r) = \frac{\text{蛍光体試料の蛍光光子数}}{\text{標準白色板の散乱光子数}} \times \beta_W(\lambda_{ex}, \theta_i, \theta_r)$$

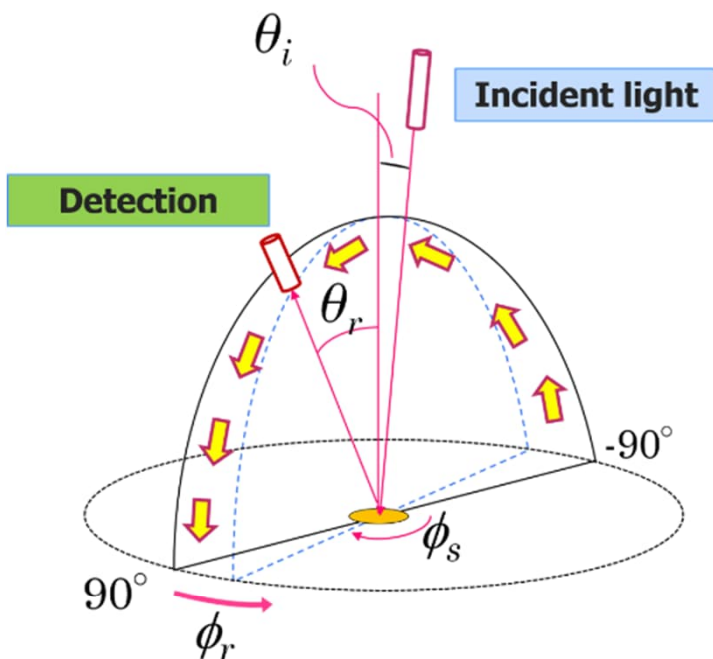
標準白色板の放射輝度率

外部量子効率

$$\eta_{ext}(\lambda_{ex}, \theta_i) = \frac{90^\circ / \Delta\theta_r}{\sum_{m=0} \beta_L(\lambda_{ex}, \theta_i, m \cdot \Delta\theta_r) Z(m \cdot \Delta\theta_r)}$$

球帯係数

白色LED用セラミックス蛍光体の光学特性評価 方法の国際標準化 (ISO 23946:2020)



- 散乱成分の配光分布は粒子性状に強く依存
- 面外配光測定方法を規定、球帯内の平均放射輝度率を求めることにより、鏡面性または再帰性の散乱成分の影響を受けずに内部量子効率、吸収率の決定が可能

Reflected radiance factor β_R

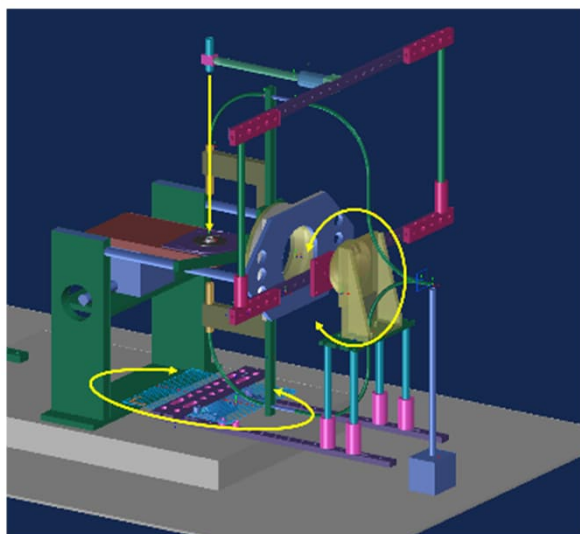
$$\beta_R(\lambda_{\text{ex}}, \theta_i, \theta_r) = \frac{\text{蛍光体試料の散乱光子数}}{\text{標準白色板の散乱光子数}} \times \beta_W(\lambda_{\text{ex}}, \theta_i, \theta_r)$$

標準白色板の放射輝度率

内部量子効率

$$\eta_{\text{int}}(\lambda_{\text{ex}}, \theta_i) = \frac{\sum_{m=0}^{90^\circ/\Delta\theta_r} \overline{\beta_L}(\lambda_{\text{ex}}, \theta_i, m \cdot \Delta\theta_r) Z(m \cdot \Delta\theta_r)}{\sum_{m=0}^{90^\circ/\Delta\theta_r} (1 - \overline{\beta_R}(\lambda_{\text{ex}}, \theta_i, m \cdot \Delta\theta_r)) Z(m \cdot \Delta\theta_r)}$$

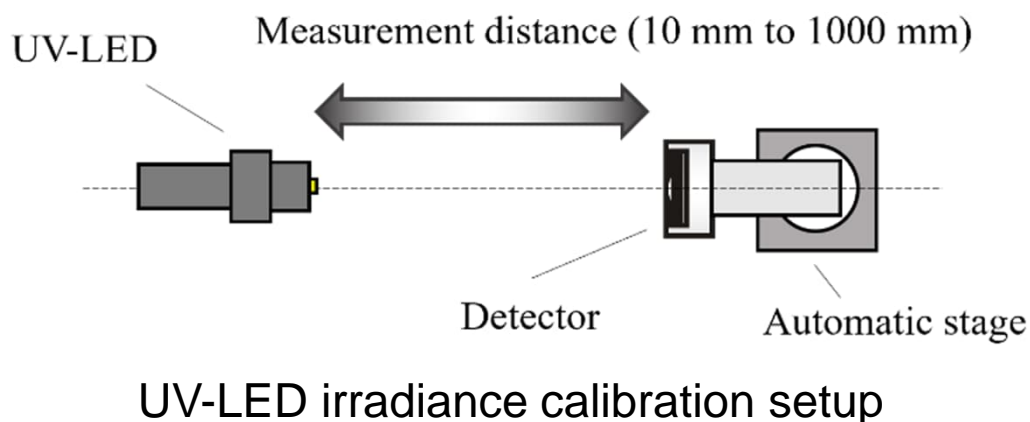
球帯係数



近距離でのUV-LEDの UV-A放射照度測定不確かさの改善

K Kinoshita, et al., NEWRAD 2023

- 紫外線硬化や非破壊検査などUV-LEDを利用する場面において、高放射照度を得るため照射対象までの距離が10 mm程度の近距離になることがある
- 近距離測定で不確かさを低減するためUV-LED放射照度測定システムを改良
 - 黒化処理アパーチャ導入による相互反射成分の抑制
 - 位置決め方式変更による距離測定の不確かさ低減



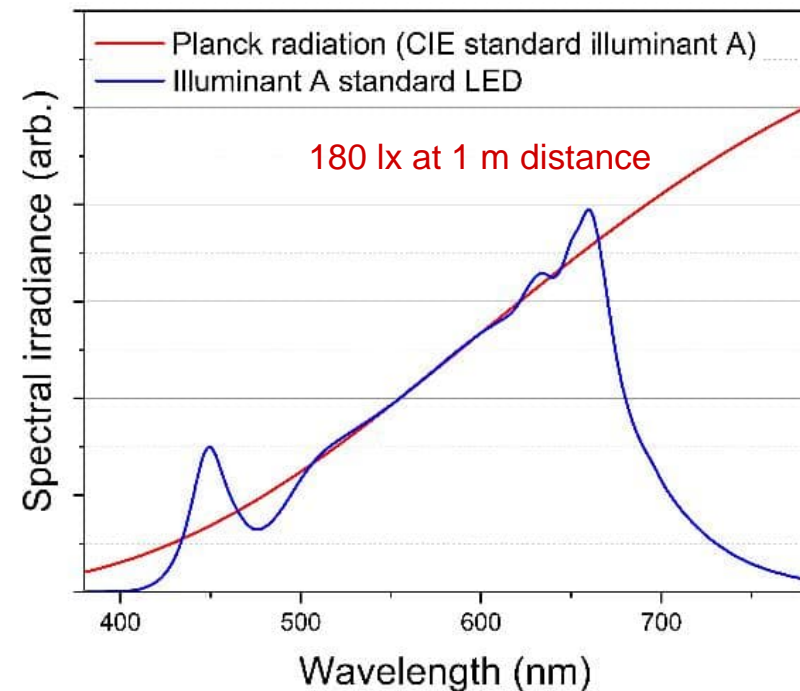
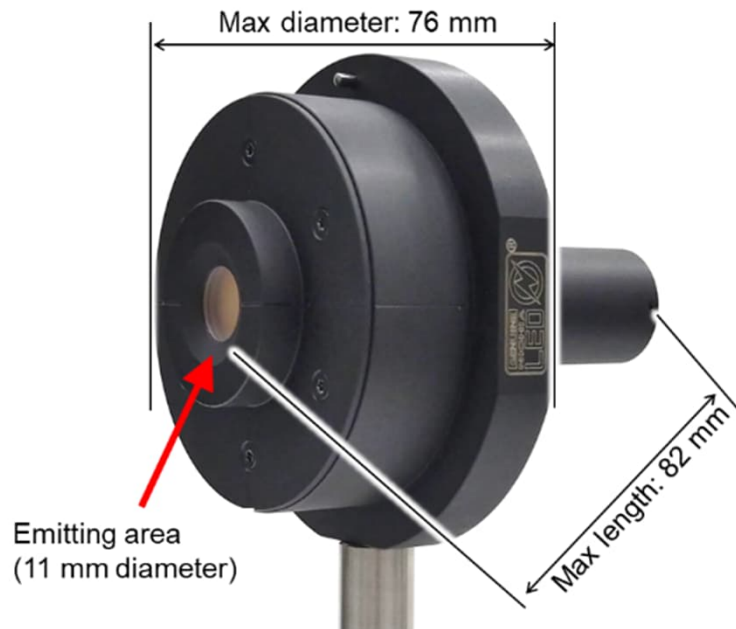
不確かさ要因	改良前	改良後
距離設定	2.5 %	0.19 %
相互反射の影響	2.4 %	0.28 %
その他	1.1 %	1.0 %
Total	3.6 %	1.06 %
Expanded ($k = 2$)	7.2 %	2.1 %

距離10 mmにおける
UV-LED放射照度測定不確かさ

CIE標準イルミナントAを再現するLEDベースの標準光源 (1)

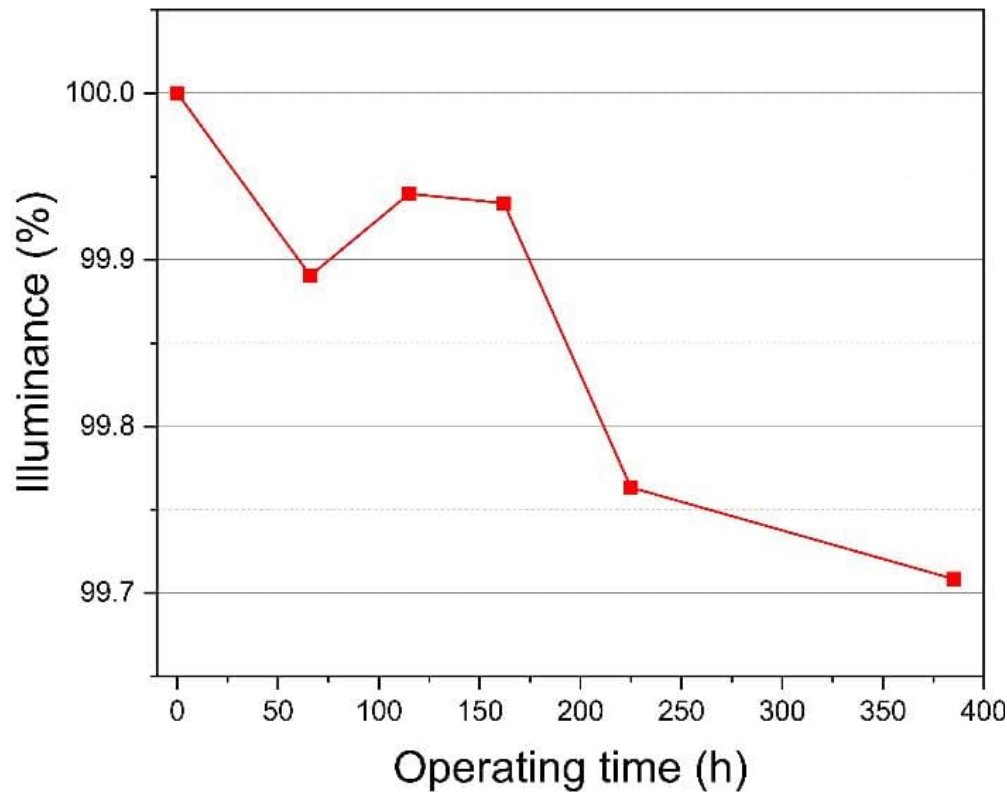
K Godo, et. al, Measurement, **239** (2025) 115479.

- 白熱電球である従来の光度標準電球の代替として、日亜化学工業（株）と共同でイルミナントA標準LED光源を開発
- CIE標準イルミナントAスペクトルを再現するために最適化した専用LEDパッケージを採用
- CIE 251:2023 Spectral distribution mismatch index 2.5 %

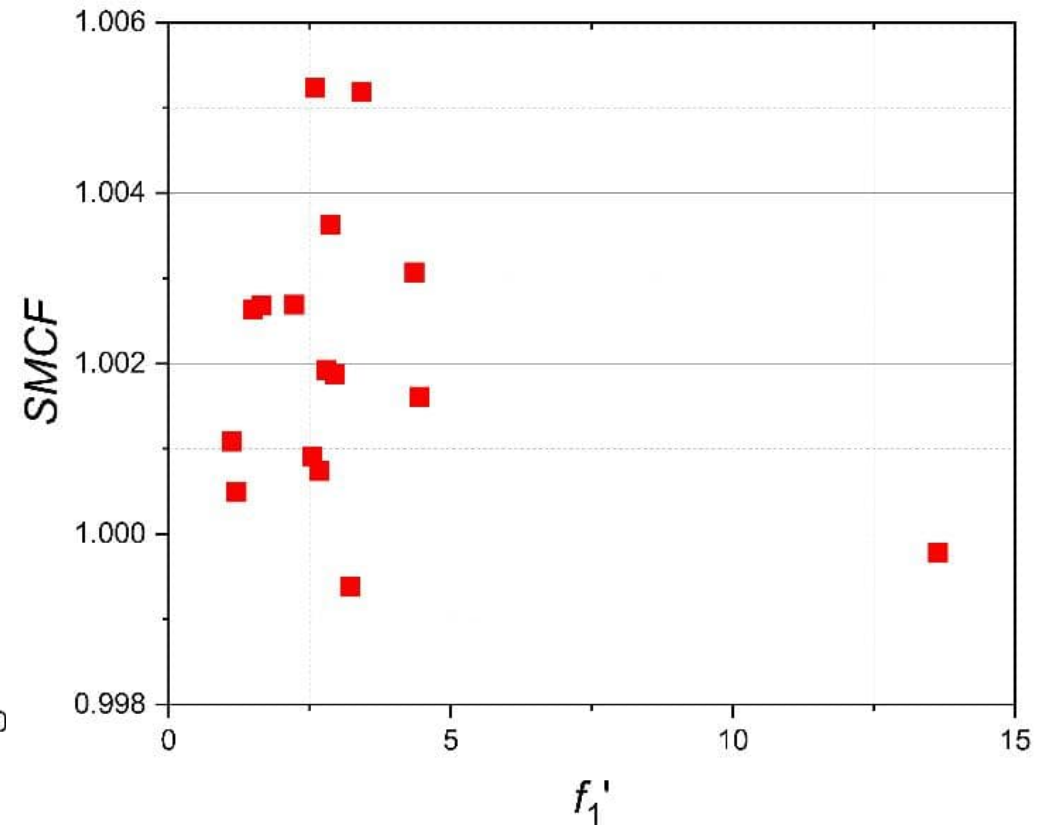


CIE標準イルミナントAを再現するLEDベースの標準光源 (2)

■ 100時間点灯による出力低下
0.2% - 0.1%



■ 市販の照度計16台の色補正
係数は最大でも0.5%程度



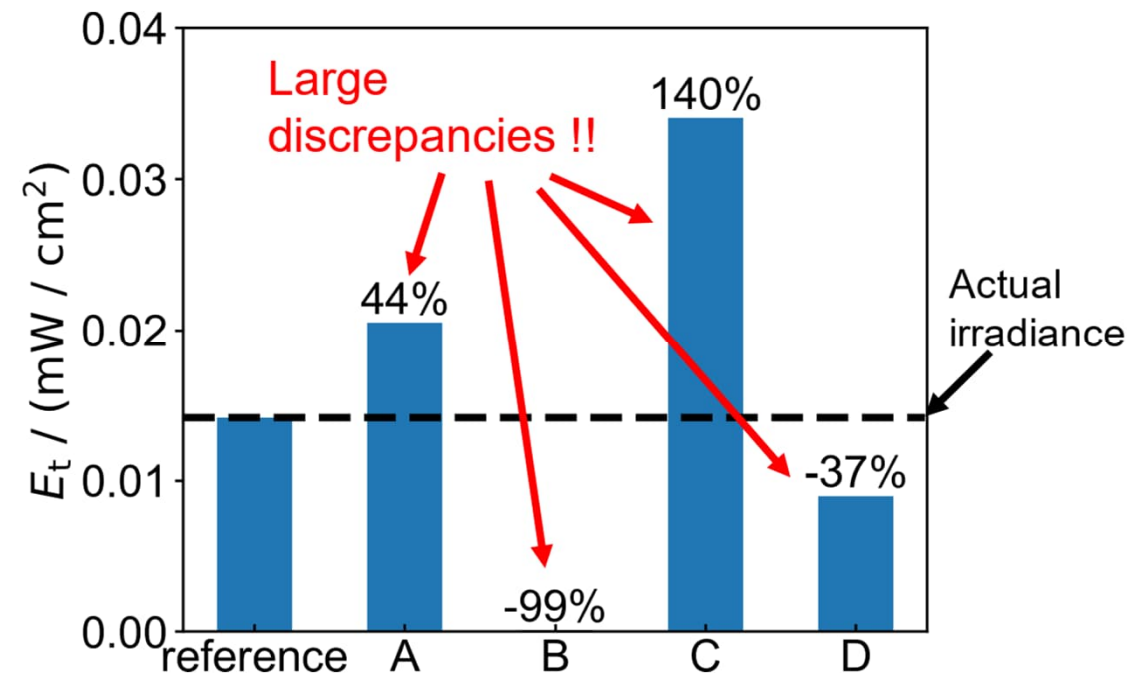
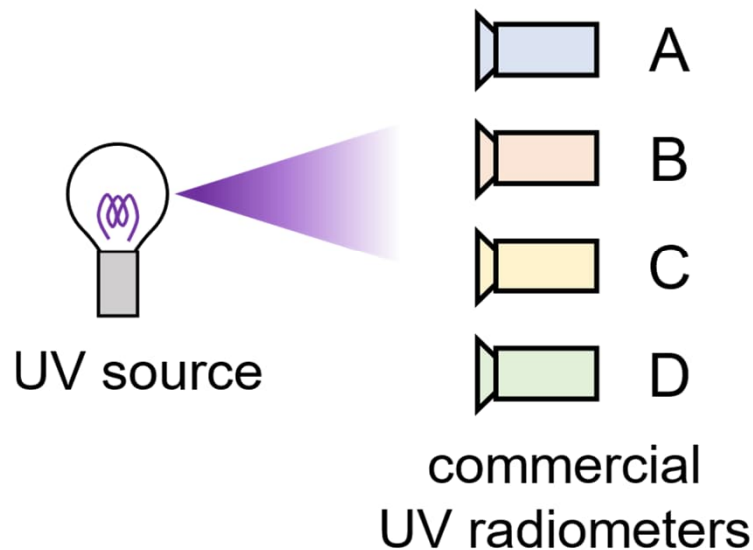
産総研プレスリリース

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240821/pr20240821.html

市販UV-C放射照度計による放射照度測定 におけるスペクトルミスマッチの影響

Y. Iwasa, et al., Photochem. Photobiol. **99**, 1240–1247 (2023).

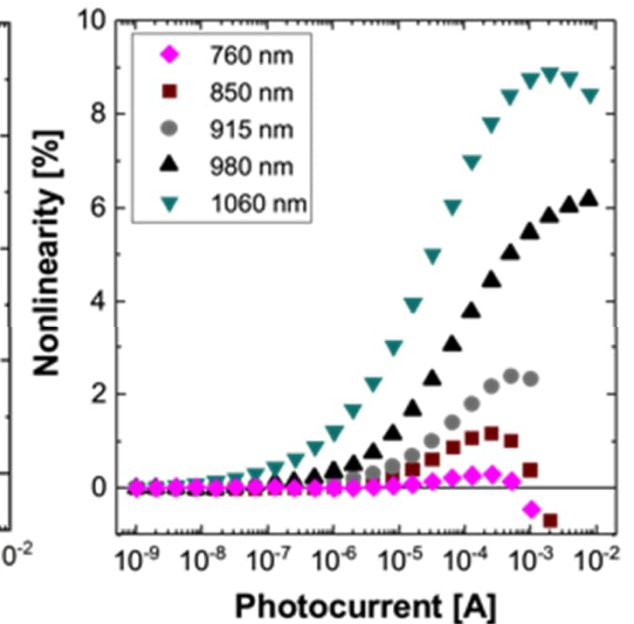
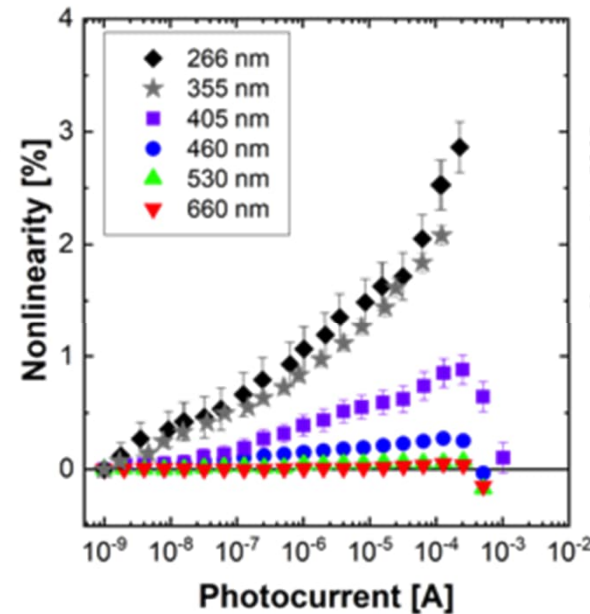
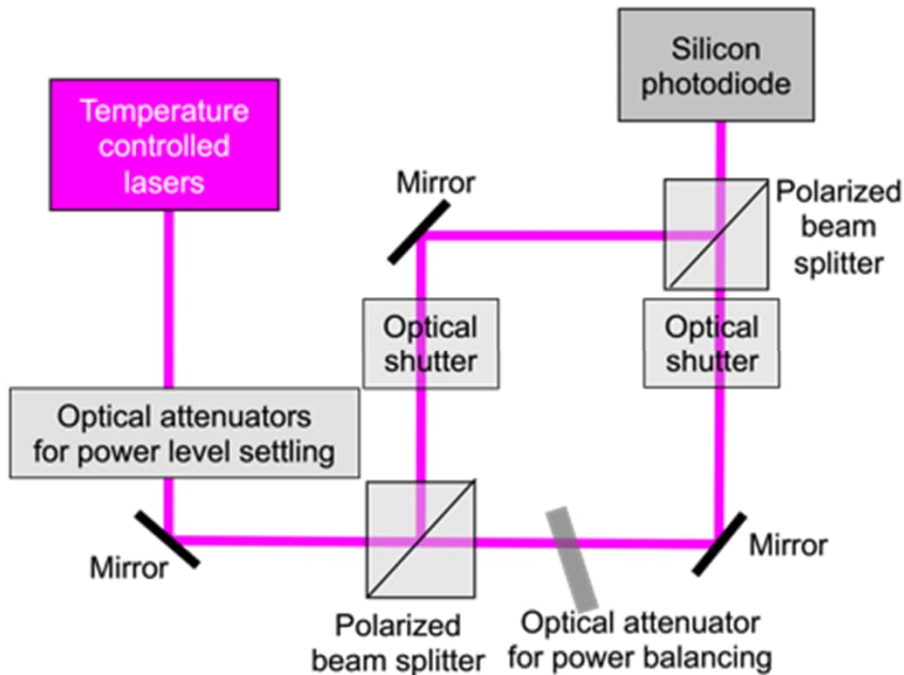
- 市販UV-C放射照度計を用いて各種UV光源の放射照度を測定
- 分光放射照度標準に基づく光源の放射照度参照値と比較
- 2倍を超える測定値を示すケースも



広ダイナミックレンジ光パワー測定による シリコンフォトダイオードの応答非直線性評価

Review paper : M. Tanabe, Meas. Sci. Technol. **35**, 022001 (2024).

- UV からNIRにおける光検出器応答非直線性精密評価システムを開発
- 6桁を超える広ダイナミックレンジでのSi-PDの非直線性評価を実施

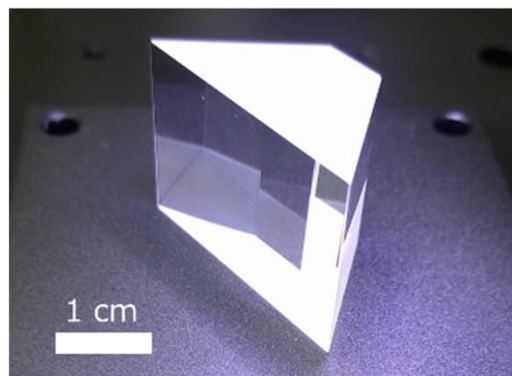
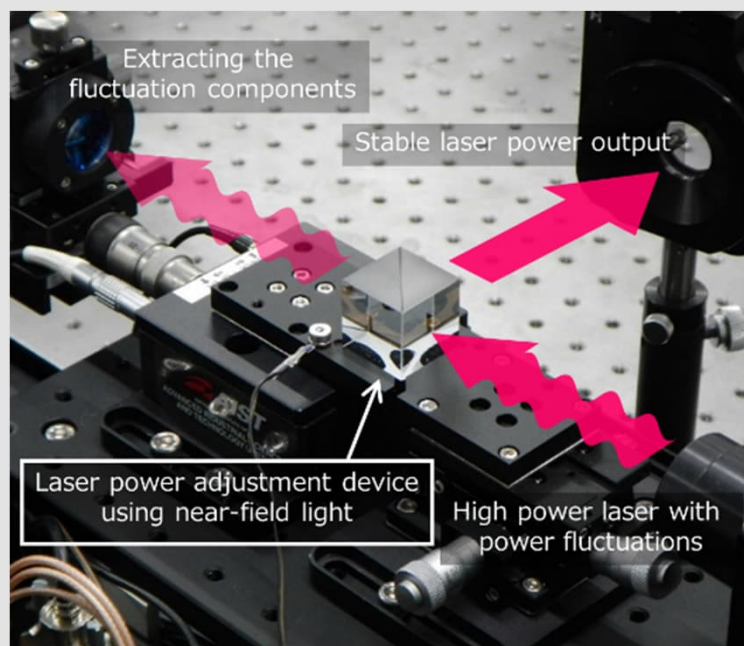


近接場光を用いたレーザパワー安定化・ ビームサンプリング技術

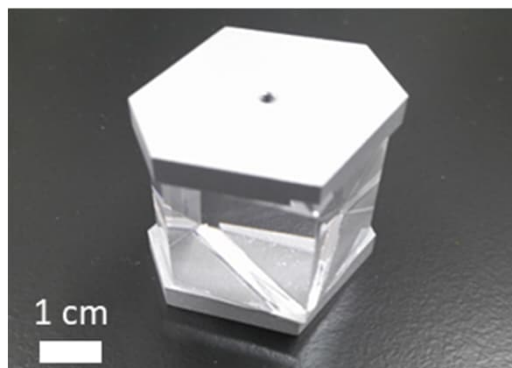
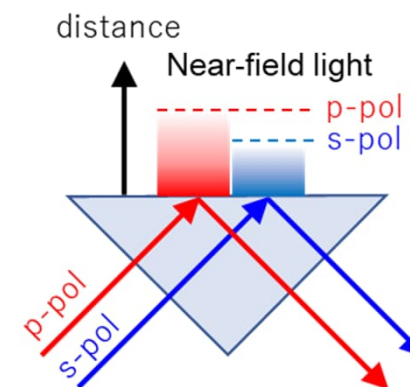
- これまでに開発した近接場光を用いた高性能レーザビーム制御技術を高度化
- プリズム対の形状を最適化、偏光非依存、かつ高減衰量、高レーザ耐力のビームサンプリング素子を開発

Previous work

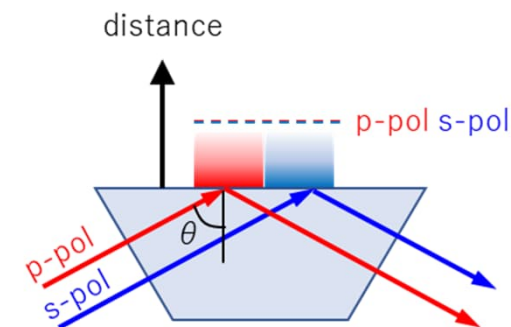
Laser power stabilization system based on near-field coupling (2017)



θ optimized prism



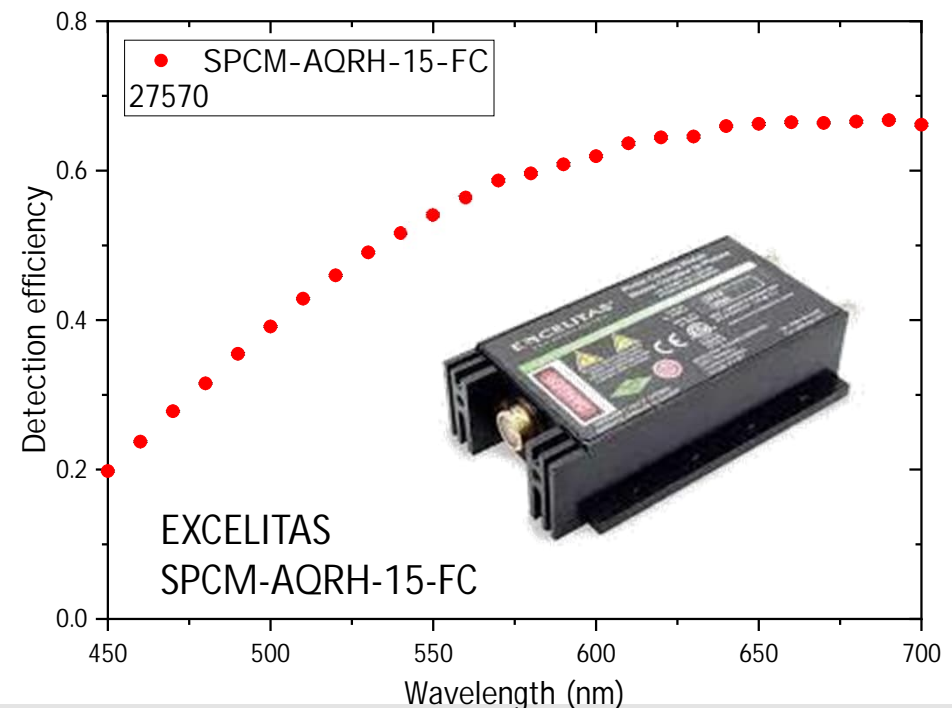
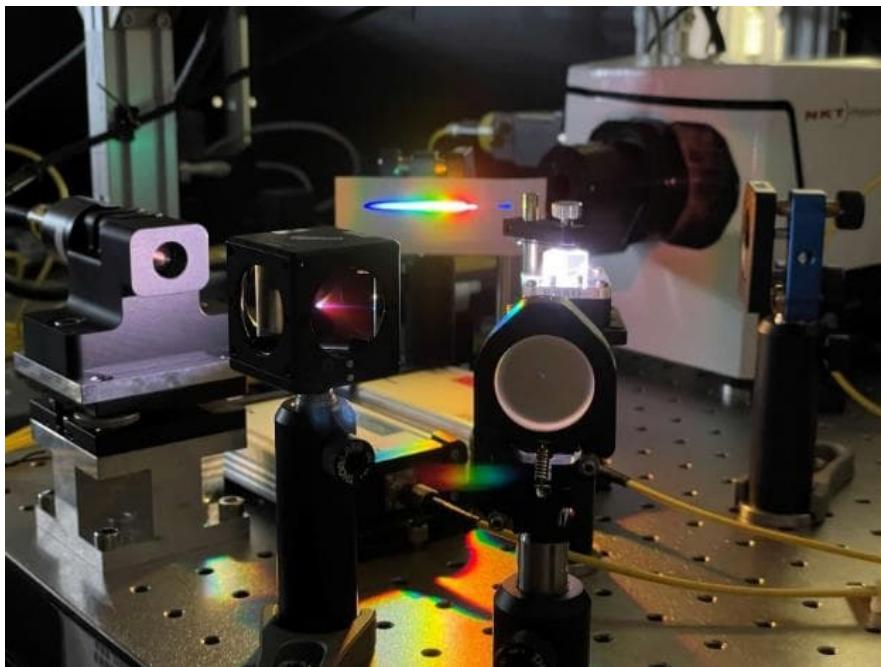
Polarization independent beam sampling optics



This work was supported by the JSPS KAKENHI JP24K17290.

単一光子検出器の検出効率校正装置の開発

- 単一光子検出器（光電子増倍管、アバランシェフォトダイオード、超伝導検出器）の検出効率を校正可能な装置を開発
- スーパーコンティニューウム光源の利用により450 nmから1000 nmの広い波長範囲での校正が可能
- 校正不確かさ 2% ($k = 2$)
- 海外計量研究機関との国際比較を実施中



ご清聴ありがとうございました
Thank you for your attention

計量標準総合センター 物理計測標準研究部門
<https://unit.aist.go.jp/ripm/>