

生活環境基盤・評価に関わる
赤外放射応用研究調査委員会
報告書

生活環境基盤・評価に関わる
赤外放射等の応用と展望

2013年3月

一般社団法人照明学会

生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用研究調査委員会

生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用研究調査委員会 報告書

生活環境基盤・評価に関わる赤外放射等の応用と展望

目次

第1章 まえがき	分担執筆
1.1 はじめに	(橋本) 2
1.2 委員会の運営	(橋本) 4
1.3 本書の構成	(山本) 8
第2章 前委員会までの活動実績に基づいた本研究調査委員会の方向性	
2.1 「照明学会における赤外放射応用に関する研究調査」	(橋本) 12
2.2 照明学会誌特集企画「食品生産・流通における光放射の応用」	(大倉) 18
第3章 講演・話題提供に基づく研究調査報告	
3.1 第1回委員会 「ハイパースペクトルデータによる茶葉の生育状況把握」	(赤松) 25
赤松 幸生 氏 (国際航業株式会社 空間情報技術本部 技術開発部)	
3.2 第3回委員会 「光放射の非侵襲血糖値計測への応用」-ATR 赤外分光計測の適用-	(石澤) 28
石澤 広明 氏 (信州大学 繊維学部 創造工学系 先進繊維工学課程)	
3.3 第4回委員会 「近赤外分光のハードウェアについて」	(大倉) 33
大倉 力 氏 (株式会社相馬光学 技術開発部)	
3.4 第6回委員会 「赤外線領域における絶対反射率測定の検討」	(中島) 40
中島 敏晴 氏 (地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 開発本部開発一部)	
3.5 第7回委員会 「布地の材質判定と混紡率測定」	(高柳) 44
高柳 正夫 氏 (東京農工大学 大学院農学研究院 環境資源物質科学部門)	
3.6 シンポジウム：生活環境基盤・評価に関する赤外放射の応用	(山本) 53
(1) 「イネ光害を軽減する波長選択および発光制御を行った混合LED照明」	
原田 陽子 (鳥取大学)、金子 奈々恵、山本 晴彦、岩谷 潔、園山 芳充 (山口大学)	
(2) 「イネ光害を軽減する白色LED照明の探索」	
金子 奈々恵、山本 晴彦、岩谷 潔 (山口大学)、原田 陽子 (鳥取大学)、 園山 芳充 (山口大学)	
(3) 「中・遠赤外線領域における絶対正反射率測定の検討」	
中島 敏晴、中村 広隆、海老澤 瑞枝 (東京都立産業技術研究センター)	
(4) 「生活基盤のための光ファイバによるバイタルサインセンサシステム」	
石澤 広明、宮内 祐樹、佐藤 慎吾 (信州大学)	
(5) 「近赤外分光法による衣類布地の材質と混紡率の測定」	
白 文明、茂谷 明宏、吉村 季織、高柳 正夫 (東京農工大学)	
(6) 「赤外線サーモグラフィによる住環境評価 -熱画像による住環境評価の考察-」	
太田 二郎 (NECAvio 赤外線テクノロジー)	
(7) 「携帯型近赤外分光計による養殖魚の脂質の非破壊定量」	
藤原 孝之 (三重県工業研究所)、石川 智子、土橋 靖史 (三重県水産研究所)	

- (8) 「近赤外分光によるエコフィードの分析
 ーエコフィード測定を目的とした実用的専用赤外分光装置の開発ー」
 朴 善姫、大倉 力 (相馬光学)、入江 正和 (宮崎大学)、
 甘利 雅弘 (畜産草地研究所)、米持 千里 (科学飼料協会)
- (9) 「味付け麺の赤外線 ー熱風併用乾燥特性の把握ー」
 橋本 篤、橋川 光、坂口 宜謙、末原 憲一郎、亀岡 孝治 (三重大学)
- 3.7 第10回委員会 (橋本) 65
 「太陽UV-B紫外放射の長期計測上の課題」
 竹下 秀 氏 (東海大学総合科学技術研究所)
- 3.8 第11回委員会 (大倉) 72
 「光源の光生物学的安全性とその規格について」
 大倉 力 氏 (相馬光学)

第4章 見学会報告

- 4.1 第4回委員会 (大倉) 137
 日時：平成23年2月4日 (金)
 見学：(株)相馬光学
- 4.2 第5回委員会 (西澤) 139
 日時：平成23年7月22日 (金)
 見学：(社)長野県農村工業研究所
- 4.3 第6回委員会
 日時：平成23年12月16日 (金)
 見学：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター
- 4.4 第7回委員会 (長谷川) 142
 日時：平成24年3月28日 (水) 13:30~17:45
 見学：埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科
- 4.5 第8回委員会 (石澤) 143
 日時：平成24年7月27日 (金) 13:00~17:00
 見学：信州大学繊維学部 植物工場, Fii 棟施設, 溶融紡糸棟
- 4.6 第9回委員会 (山本) 145
 日時：平成24年9月8日 (水) 13:30~16:30
 場所：山口大学・植物工場, 光害実験室
- 4.7 関連学会の後援 (橋本) 146
 2010 年度日本食品工学会秋季見学会・講演会 in 三重
 日時：平成23年12月3日 (金)
 見学：三重県植物工場拠点 (三重県農業研究所内)

第5章 あとがき (山本) 149

第 1 章

まえがき

	分担執筆
1.1 はじめに	(橋本) 2
1.2 委員会の運営	(橋本) 4
1.3 本書の構成	(山本) 8

1.1 はじめに

“光放射”は、紫外放射、可視光、赤外放射が主として挙げられる。これらのうち、可視光は、応用技術・測定技術が最も成熟しており、実用的な技術として普及している。一方、紫外及び赤外放射については、それらの応用技術と測定技術共にまだ十分に確立されているとは言い難く、解明すべき多くの課題を擁している。現在、赤外放射応用技術・関連計測技術に関しては、照明学会をはじめ医学系、農学系、工学系などの多くの学協会が協力・連携し分野横断型の研究を活発に行っている。

このような背景のもと、2005年に総合科学技術会議が発表した「戦略重点科学技術」の第1番目に「近年急速に強まっている社会・国民のニーズ（安全・安心面への不安）に対し、基本計画期間中において集中投資することにより、科学技術からの解決策を明確に示していく必要がある。」と書かれている。さらに、2005年の日本学術会議声明の中で、「基礎から応用にわたる領域横断型の光科学研究への本格的な取り組み」が提言されている。照明学会では、これまで過去3期の赤外放射関連の研究調査委員会において、「生体」、「情報処理」、「環境」および「食物安全」をテーマとする赤外放射技術開発の動向を研究調査してきた。以下にその調査研究の概要を列記する。

1. 赤外放射の情報処理・生体への応用技術に関する研究調査委員会

委員長 谷治環 平成13年～平成16年

2. 赤外放射環境評価に関する研究調査委員会

委員長 谷治環 平成16年～平成19年

3. 食物安全への赤外放射応用研究調査委員会

委員長 石澤広明 平成19年～平成22年

一方、最近の衣食住といった生活基盤を中心とした安全・安心や医療・健康・癒しなどの技術革新は目覚しく、それら生活産業に関わる先端生産技術開発、環境計測及び品質評価などを赤外放射により行い、ICT（Information and Communication technology）を併用したシステム化の試みがなされているが、まだまだ発展途上の技術である。しかし、これらの技術開発の促進は、生活産業全般の赤外放射応用を飛躍的に発展させるものとして注目される。

そこで、照明学会においては「生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用研究調査委員会」（以下、本委員会）を組織し、生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用技術を広範に研究調査することとした。本委員会は平成22年度から平成24年度の3年間の活動を通じ、以下の2点を中心的なテーマとして研究調査を展開した。

1. 生活産業への赤外放射等応用：

衣食住に関わる基盤商品の先端的生産技術開発、生産プロセス計測・制御などへの赤外放射応用に関する研究調査

2. 赤外放射等による生活環境評価：

食味評価や衣食住環境評価、およびそのための非接触味覚センサーなどの研究調査
これらの活動は、照明学会の重点課題の一つの解答を示すことを目的とした。さらに、研究調

査の対象領域は、赤外放射応用”を起点とし、生活環境全般に関わる“領域横断型研究”を具現化するものである。

本報告書は、本委員会で実施された研究調査及び講演を整理し、若干の補筆をしたものである。委員会活動については、次節で述べることとするが、本委員会で実施した研究調査内容を公開することができたことを関係各位に感謝したい。本報告書が将来の赤外放射応用技術・関連計測技術分野の発展・活性化の一助になれば幸いである。

(橋本 篤)

1.2 委員会の運営

本委員会は、橋本篤委員長，石澤広明幹事，大倉力幹事，赤松幸生幹事の構成で発足した。委員会構成は以下のとおりで、委員長 1，幹事 3，委員 12 の計 16 名である。

【委員会構成】（順不同・敬称略）

委員長	橋本 篤	三重大学 大学院生物資源学研究科
幹 事	石澤 広明	信州大学 繊維学部
	大倉 力	(株)相馬光学 技師長
	赤松 幸生	国際航業(株) 技術開発部
委 員	石川 和夫	東京工芸大学 工学部
	中島 敏晴	(地独)東京都立産業技術研究センター 開発本部開発第一部
	太田 二郎	元 NECAvio 赤外線テクノロジー(株)
	木村 嘉孝	木村技術士事務所
	長谷川 有貴	埼玉大学 大学院理工学研究科
	山本 晴彦	山口大学 農学部
	山田 久也	ヤンマーグリーンシステム(株)
	高柳 正夫	東京農工大学 大学院連合農学研究科
	小川 雄一	京都大学 大学院農学研究科
	藤原 孝之	三重県工業研究所
	伊藤 秀和	(独)農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所
	西澤 賢一	(社)長野県農村工業研究所

また、本委員会および併設のシンポジウムなどの活動概要は以下の通りである。

第1回委員会

日時 : 平成22年5月28日(金)

場所 : 国際航業(株)本社会議室

話題提供

1. 「ハイパースペクトルデータによる茶葉の生育状況把握」
赤松 幸生 氏 (国際航業(株) 空間情報技術本部技術開発部)

第2回委員会

日時 : 平成22年7月26日(月)

場所 : コラボ産学官・5階/セミナールーム(東京・船堀)

座談会

1. 照明学会誌特集企画「食品生産・流通における光放射の応用」

第3回委員会

日時 : 平成22年9月8日(水)

場所 : 大阪市立大学 杉本キャンパス

講演会「測光・放射量測定技術と赤外放射応用」

1. 「照明学会における赤外放射応用に関する研究調査」

橋本 篤 (三重大学) ほか

2. 「光放射の非侵襲血糖値計測への応用」-ATR赤外分光計測の適用-

石澤 広明 氏 (信州大学) ほか

第4回委員会

日時 : 平成23年2月4日(金)

場所 : (株)相馬光学(東京都西多摩郡日の出町平井23-6)会議室

見学 : (株)相馬光学

話題提供

1. 「近赤外分光のハードウェアについて」

大倉 力 氏 ((株)相馬光学)

第5回委員会

日時 : 平成23年7月22日(金)

場所 : (社)長野県農村工業研究所(長野県須坂市大字須坂787-1)

見学 : (社)長野県農村工業研究所

話題提供

1. 「長野県における農産物安全安心への取り組み特に残留農薬自主検査の紹介」

中村 昌子 氏 ((社)長野県農村工業研究所 食品安全管理室)

第6回委員会

日時 : 平成23年12月16日(金)

場所 : 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター(東京都江東区青海2-4-10)

見学 : 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

話題提供

1. 「赤外線領域における絶対反射率測定の検討」

中島 敏晴 氏 (東京都立産業技術研究センター 光音技術グループ)

2. 「LEDの測光技術」

岩永敏秀 氏 (東京都立産業技術研究センター 光音技術グループ)

第7回委員会

日時 : 平成24年3月28日(水)

場所 : 埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科1号館2階セミナー室

見学 : 埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科

話題提供

1. 「布地の材質判定と混紡率測定」
高柳 正夫 氏 (東京農工大学 大学院連合農学研究科)
2. 「塗布型有機光電変換素子の新展開」
福田 武司 氏 (埼玉大学 工学部 機能材料工学科)

第8回委員会

日時 : 平成24年7月27日(金)
見学 : 信州大学繊維学部 Fii棟・3階ミーティングルーム

話題提供

1. 「信州大学植物工場について」
野末 雅之 氏 (信州大学繊維学部)
 2. 「信州大学繊維学部概要」
森川 英明 氏 (信州大学繊維学部)
- 見学 : 信州大学繊維学部 Fii棟・3階ミーティングルーム

第9回委員会

日時 : 平成24年9月8日(水)
場所 : 山口大学・吉田キャンパス・共通教育等25番教室
見学 : 山口大学・植物工場, 光害実験室
シンポジウム: 生活環境基盤・評価に関する赤外放射の応用

話題提供

1. 「イネ光害を軽減する波長選択および発光制御を行った混合LED照明」
原田 陽子 (鳥取大学), 金子 奈々恵, 山本 晴彦, 岩谷 潔, 園山 芳充 (山口大学)
2. 「イネ光害を軽減する白色LED照明の探索」
金子 奈々恵, 山本 晴彦, 岩谷 潔 (山口大学), 原田 陽子 (鳥取大学),
園山 芳充 (山口大学)
3. 「中・遠赤外領域における絶対正反射率測定の検討」
中島 敏晴, 中村 広隆, 海老澤 瑞枝 (東京都立産業技術研究センター)
4. 「生活基盤のための光ファイバによるバイタルサインセンサシステム」
石澤 広明, 宮内 祐樹, 佐藤 慎吾 (信州大学)
5. 「近赤外分光法による衣類布地の材質と混紡率の測定」
白 文明, 茂谷 明宏, 吉村 季織, 高柳 正夫 (東京農工大学)
6. 「赤外線サーモグラフィによる住環境評価 -熱画像による住環境評価の考察-」
太田 二郎 (NEC Avio 赤外線テクノロジー)
7. 「携帯型近赤外分光計による養殖魚の脂質の非破壊定量」
藤原 孝之 (三重県工業研究所), 石川 智子, 土橋 靖史 (三重県水産研究所)
8. 「近赤外分光によるエコフィードの分析
-エコフィード測定を目的とした実用的専用赤外分光装置の開発-

朴 善姫, 大倉 力 (相馬化学), 入江 正和 (宮崎大学),
甘利 雅弘 (畜産草地研究所), 米持 千里 (科学飼料協会)

9. 「味付け麺の赤外線 ー熱風併用乾燥特性の把握ー」

橋本 篤, 橋川 光, 坂口 宜謙, 末原 憲一郎, 亀岡 孝治 (三重大学)

第10回委員会

日時 : 平成24年12月7日 (金)

見学 : 照明学会 第1会議室

話題提供

1. 「太陽 UV-B 紫外放射の長期計測上の課題」

竹下 秀 氏 (東海大学総合科学技術研究所)

第11回委員会

日時 : 平成25年3月11日 (月)

見学 : 照明学会 第2会議室

話題提供

1. 「光源の光生物学的安全性とその規格について」

大倉 力 氏 (相馬光学)

後援 (2010 年度日本食品工学会秋季見学会・講演会 in 三重)

日時 : 平成23年12月3日 (金)

見学 : 三重県植物工場拠点 (三重県農業研究所内)

以上のように, 本委員会では合計11回の委員会を開催したのみならず, 関連学会の講演会の後援や全国大会でのシンポジウムなどを開催した。また, 本委員会が中心となり, 照明学会誌に特集号を企画した (照明学会誌95巻4号, 97巻12号 (企画中))。これらは, 本委員会の重要な成果であり, また高いアクティビティを示すものといえる。

本報告書が本委員会の最終的な成果となるものである。委員各位の積極的な研究調査活動にあらためて敬意を表するとともに, 引き続き展開される調査研究委員会の発展を祈念する。

(橋本 篤)

1.3 本書の構成

本書「生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用研究調査委員会 報告書」は、「第1章 まえがき」にはじまり、「第2章 前委員会までの活動実績に基づいた本研究調査委員会の方向性」、「第3章 講演・話題提供に基づく研究調査報告」、「第4章 見学会報告」、「第5章 あとがき」で構成されている。委員各位（敬称略）の分担により本書は執筆されている。以下に、本書の構成内容を記載する。

第1章 まえがき	分担執筆
1.1 はじめに	(橋本)
1.2 委員会の運営	(橋本)
1.3 本書の構成	(山本)
第2章 前委員会までの活動実績に基づいた本研究調査委員会の方向性	
2.1 「照明学会における赤外放射応用に関する研究調査」	(橋本)
2.2 照明学会誌特集企画「食品生産・流通における光放射の応用」	(大倉)
第3章 講演・話題提供に基づく研究調査報告	
3.1 第1回委員会	
「ハイパースペクトルデータによる茶葉の生育状況把握」	(赤松)
赤松 幸生 氏 (国際航業株式会社 空間情報技術本部 技術開発部)	
3.2 第3回委員会	
「光放射の非侵襲血糖値計測への応用」-ATR 赤外分光計測の適用-	(石澤)
石澤 広明 氏 (信州大学 繊維学部 創造工学系 先進繊維工学課程)	
3.3 第4回委員会	
「近赤外分光のハードウェアについて」	(大倉)
大倉 力 氏 (株式会社相馬光学 技術開発部)	
3.4 第6回委員会	
「赤外線領域における絶対反射率測定の検討」	(中島)
中島 敏晴 氏 (地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 開発本部開発一部)	
3.5 第7回委員会	
「布地の材質判定と混紡率測定」	(高柳)
高柳 正夫 氏 (東京農工大学 大学院農学研究院 環境資源物質科学部門)	
3.6 シンポジウム：生活環境基盤・評価に関する赤外放射の応用	(山本)
(1) 「イネ光害を軽減する波長選択および発光制御を行った混合LED照明」	
原田 陽子 (鳥取大学), 金子 奈々恵, 山本 晴彦, 岩谷 潔, 園山 芳充 (山口大学)	
(2) 「イネ光害を軽減する白色LED照明の探索」	
金子 奈々恵, 山本 晴彦, 岩谷 潔, 園山 芳充 (山口大学), 原田 陽子 (鳥取大学)	
(3) 「中・遠赤外領域における絶対正反射率測定の検討」	
中島 敏晴, 中村 広隆, 海老澤 瑞枝 (東京都立産業技術研究センター)	
(4) 「生活基盤のための光ファイバによるバイタルサインセンサシステム」	

- 石澤 広明, 宮内 祐樹, 佐藤 慎吾 (信州大学)
- (5) 「近赤外分光法による衣類布地の材質と混紡率の測定」
白 文明, 茂谷 明宏, 吉村 季織, 高柳 正夫 (東京農工大学)
- (6) 「赤外線サーモグラフィによる住環境評価 –熱画像による住環境評価の考察–」
太田 二郎 (NECAvio 赤外線テクノロジー)
- (7) 「携帯型近赤外分光計による養殖魚の脂質の非破壊定量」
藤原 孝之 (三重県工業研究所), 石川 智子, 土橋 靖史 (三重県水産研究所)
- (8) 「近赤外分光によるエコフィードの分析
–エコフィード測定を目的とした実用的専用赤外分光装置の開発–」
朴 善姫, 大倉 力 (相馬光学), 入江 正和 (宮崎大学), 甘利 雅弘 (畜産草地研究所),
米持 千里 (科学飼料協会)
- (9) 「味付け麺の赤外線 –熱風併用乾燥特性の把握–」
橋本 篤, 橋川 光, 坂口 宜謙, 末原 憲一郎, 亀岡 孝治 (三重大学)

3.9 第10回委員会 (橋本)

「太陽 UV-B 紫外放射の長期計測上の課題」

竹下 秀 氏 (東海大学総合科学技術研究所)

3.10 第11回委員会 (大倉)

「光源の光生物学的安全性とその規格について」

大倉 力 氏 (株式会社相馬光学 技術開発部)

第4章 見学会報告

4.1 第4回委員会 (大倉)

日 時 : 平成23年2月4日 (金)

見学先 : (株) 相馬光学

4.2 第5回委員会 (西澤)

日 時 : 平成23年7月22日 (金)

見学先 : (社) 長野県農村工業研究所

4.3 第6回委員会 (中島)

日 時 : 平成23年12月16日 (金)

見学先 : 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

4.4 第7回委員会 (長谷川)

日 時 : 平成24年3月28日 (水) 13:30~17:45

見学先 : 埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科

4.5 第8回委員会 (石澤)

日 時 : 平成24年7月27日 (金) 13:00~17:00

見学先 : 信州大学繊維学部 植物工場, Fii 棟施設, 溶融紡糸棟

4.6 第9回委員会 (山本)

日 時 : 平成24年9月8日 (水) 13:30~16:30

見学先：山口大学・植物工場，光害実験室

4.7 関連学会の後援

(橋本)

2010 年度日本食品工学会秋季見学会・講演会 in 三重

日 時：平成 23 年 12 月 3 日 (金)

見学先：三重県植物工場拠点 (三重県農業研究所内)

(山本 晴彦)

第2章

前委員会までの活動実績に基づいた 本研究調査委員会の方向性

- | | 分担執筆 |
|----------------------------------|---------|
| 2.1 「照明学会における赤外放射応用に関する研究調査」 | (橋本) 12 |
| 2.2 照明学会誌特集企画「食品生産・流通における光放射の応用」 | (大倉) 18 |

照明学会における 赤外放射応用に関する 研究調査

 三重大学 橋本 篤
 信州大学 石澤 広明
 (株)相馬光学 大倉 力
 国際航業(株) 赤松 幸生

平成22年度(第43回)照明学会全国大会(2010年9月7-8日, 大阪市立大学)

赤外放射応用

“光放射”応用:

- ◆ 可視光の応用技術・測定技術が最も成熟しており、実用的な技術として普及している。
- ◆ 紫外および赤外放射については、それらの応用技術と測定技術ともに多くの課題を擁している。



赤外放射応用技術・関連計測技術に関しては、照明学会をはじめ医学系、農学系、工学系などの多くの学協会が協力・連携し分野横断型の研究を活発に行っている。

「照明学会」における赤外放射応用

第1期: 赤外放射の**情報処理・生体**への応用技術に関する研究調査委員会
(谷治環委員長、平成13~15年度)

第2期: 赤外放射**環境**評価に関する研究調査委員会
(谷治環委員長、平成16~18年度)

第3期: **食物安全**への赤外放射応用研究調査委員会
(石澤広明委員長、平成19~21年度)

第1期: 赤外放射の情報処理・生体への応用技術に関する研究調査委員会(谷治環委員長、平成13~15年度)

「赤外放射の生体・情報処理応用」

第1章 まえがき

第2章 赤外放射の情報処理・生体応用

2.1 生体応用

2.2 環境応用

2.3 植物・生態環境

第3章 赤外放射応用のための技術

3.1 フォトンの物質への作用

3.2 光放射計測

3.3 赤外線ヒータ、放射率

3.4 赤外放射センサ

3.5 医用への応用

第4章 赤外放射利用の将来展望

第5章 あとがき

第2期: 赤外放射環境評価に関する研究調査委員会(谷治環委員長、平成16~18年度)

「赤外放射環境評価」

第1章 まえがき

第2章 赤外放射による環境評価技術

2.1 赤外放射計測

2.2 赤外画像計測

第3章 赤外放射による環境評価の実際

3.1 生物・植物・バイオプロセス

3.2 生体計測

3.3 食品

3.4 地球環境

第4章 赤外放射の環境評価への影響

4.1 赤外放射による地球環境への影響

4.2 赤外放射による生物への影響

4.3 赤外放射による生体への影響

第5章 あとがき

第3期: 食物安全への赤外放射応用研究調査委員会(石澤広明委員長、平成19~21年度)

「食生活の安全・安心への赤外放射等の応用と展望」

第1章 まえがき

第2章 食品への赤外放射応用技術

2.1 赤外放射計測の展開

2.2 赤外画像計測の展開

第3章 赤外放射等による食品生産流通支援技術

3.1 農産物の生産

3.2 食品の流通

第4章 食の安全・安心確保への展望

4.1 食の安心・安全

4.2 赤外放射利用への期待

第5章 あとがき

資料

- ① LC/MS/MSを用いた農業等の検査・分析手法及び事例紹介
- ② 食品における異物検出センシングの現状と将来

第3期
食生活への赤外放射応用研究調査委員会
 (石澤広明委員長、平成19~21年度)

委員会概要

食生活の安全・安心を支援するための赤外放射応用技術を広範に研究調査

1. 農水産物の生育モニター、環境および品質管理への赤外放射応用
2. 食品の品質管理、殺菌処理、異物・不純物検出・除去、非破壊センシング技術



- ◆ 照明学会の重点課題への一つの解答
- ◆ 食品、農業、植物、生物、加熱、生体、計測などを対象とした領域横断型研究

主な活動記録

1. 第50回自動制御連合講演会(2007年11月25日(日))
OS14: 照明学会食生活への赤外放射応用研究調査委員会による「食生活の安全確保のための赤外放射応用」
2. 「食品の安全・安心センシング」講演会(2008年3月24日)
SICE計測部門先端電子計測「食品の安全・安心センシング」講演会に共催
3. 「テラヘルツ分光計測の適用の現状と展望」
小川 委員(2008年5月24日)
4. 「サーモグラフィとホログラフィによる機構デバイスの熱ストレス評価」
谷口 委員(2008年5月24日)
5. 「光センサーと精密農業」
東京農工大 滋澤 栄 教授(2008年8月6日)
6. 「オープンパス赤外分光法による大気計測 ~ 農地での観測」
高柳 委員(2008年8月6日)
7. 「近赤外分光による品質評価センサシステム」
山田 委員(2008年12月2日)
8. 「リモートセンシングの最近の進展」
赤松 幹事(2008年12月2日)
9. 公開研究会「食品生産・流通における赤外放射の応用」(2009年6月19日)
10. 「安全・安心な農産物生産の取り組み」
西澤 委員(2009年11月29日)

主な活動記録

1. 第50回自動制御連合講演会(2007年11月25日(日))
OS14: 照明学会食生活への赤外放射応用研究調査委員会による「食生活の安全確保のための赤外放射応用」
2. 「食品の安全・安心センシング」講演会(2008年3月24日)
SICE計測部門先端電子計測「食品の安全・安心センシング」講演会に共催
3. 「テラヘルツ分光計測の適用の現状と展望」
小川 委員(2008年5月24日)
4. 「サーモグラフィとホログラフィによる機構デバイスの熱ストレス評価」
谷口 委員(2008年5月24日)
5. 「光センサーと精密農業」
東京農工大 滋澤 栄 教授(2008年8月6日)
6. 「オープンパス赤外分光法による大気計測 ~ 農地での観測」
高柳 委員(2008年8月6日)
7. 「近赤外分光による品質評価センサシステム」
山田 委員(2008年12月2日)
8. 「リモートセンシングの最近の進展」
赤松 幹事(2008年12月2日)
9. 公開研究会「食品生産・流通における赤外放射の応用」(2009年6月19日)
10. 「安全・安心な農産物生産の取り組み」
西澤 委員(2009年11月29日)

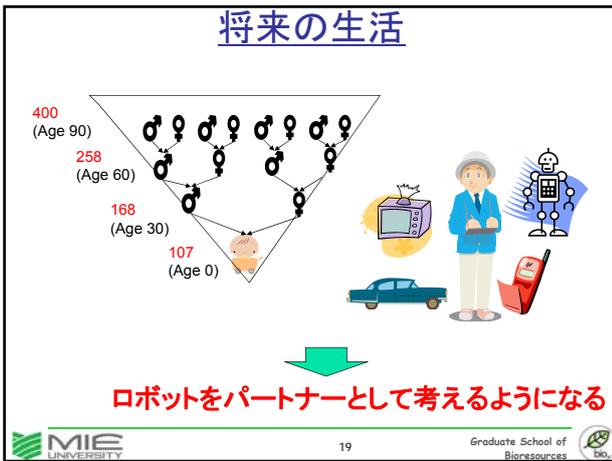
主な活動記録

1. 第50回自動制御連合講演会(2007年11月25日(日))
OS14: 照明学会食生活への赤外放射応用研究調査委員会による「食生活の安全確保のための赤外放射応用」
2. 「食品の安全・安心センシング」講演会(2008年3月24日)
SICE計測部門先端電子計測「食品の安全・安心センシング」講演会に共催
3. 「テラヘルツ分光計測の適用の現状と展望」
小川 委員(2008年5月24日)
4. 「サーモグラフィとホログラフィによる機構デバイスの熱ストレス評価」
谷口 委員(2008年5月24日)
5. 「光センサーと精密農業」
東京農工大 滋澤 栄 教授(2008年8月6日)
6. 「オープンパス赤外分光法による大気計測 ~ 農地での観測」
高柳 委員(2008年8月6日)
7. 「近赤外分光による品質評価センサシステム」
山田 委員(2008年12月2日)
8. 「リモートセンシングの最近の進展」
赤松 幹事(2008年12月2日)
9. **公開研究会「食品生産・流通における赤外放射の応用」(2009年6月19日)**
10. 「安全・安心な農産物生産の取り組み」
西澤 委員(2009年11月29日)

公開研究会

食品生産・流通における赤外放射の応用

1. 「植物の生育環境制御のための生体電位応答の評価」 長谷川 委員、ほか
2. 「オープンパスFTIR分光法による農地および園芸施設内大気の計測」 高柳 委員
3. 「赤外分光情報の特徴抽出による残留農薬および圃場散布管理」 石澤 委員長ほか
4. 「近赤外分光法を用いたウンシュウミカンの葉内水分ポテンシャルの非破壊推定」 山本 委員ほか
5. 「赤外分光法による嗜好飲料の特徴抽出」 橋本 幹事
6. 「トマトに含まれるリコペンの非破壊計測」 伊藤 委員
7. 「食品検査技術へのテラヘルツ波応用」 小川 委員
8. 「イチゴ非破壊品質測定装置の実用化」 山田 委員
9. 「近赤外分光による食肉評価装置」 大倉 幹事
10. 「食の安全・安心の現状と課題」 大阪テリカフーズ 畑 光典 氏

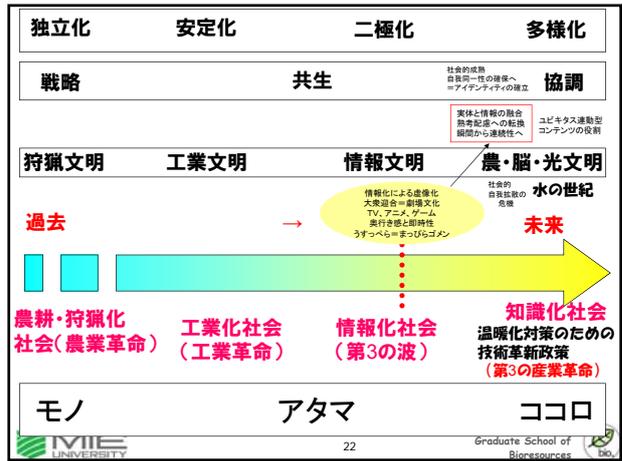
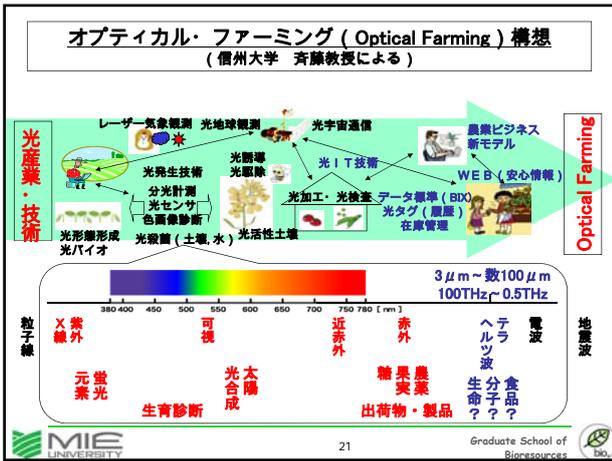


“マイ・ロボット”に何を求めるのか？

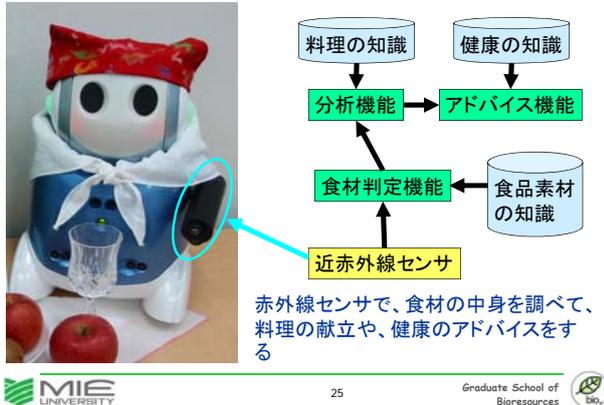
- “マイ・ロボット”はコミュニケーション・パートナー
- “マイ・ロボット”は自分を理解してくれる
- “マイ・ロボット”は **自分と同じようなフィーリングをもっている**。
- “マイ・ロボット”は **自分と同じような様々な感覚を持っている**。

五感	視覚	Human number counting
	聴覚	Constellation recognition
	触覚	Cricket ringing recognition
	味覚	Music recognition
	臭覚	Speech recognition
		Food taste recognition
		Food smell recognition

MIE UNIVERSITY Graduate School of Bioresources



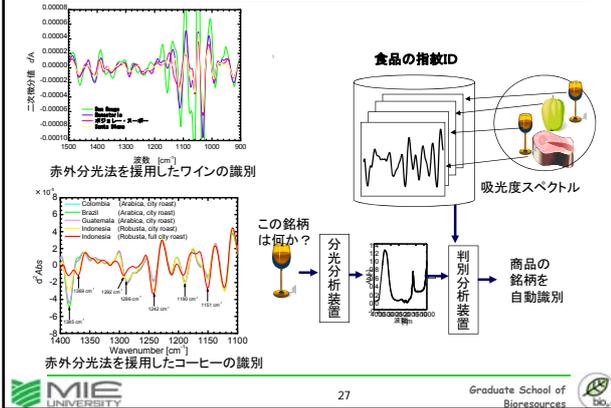
愛・地球博に出展した味見ロボット



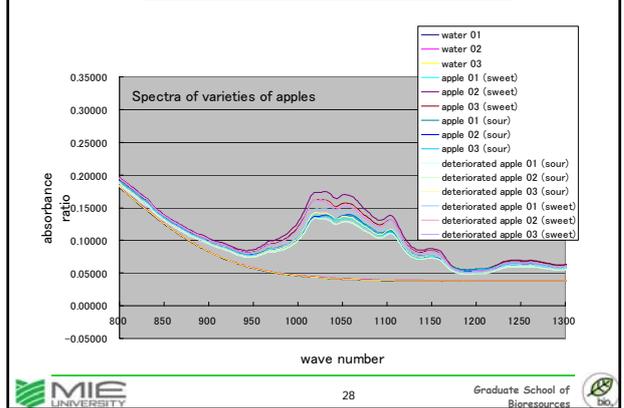
プロトタイプロボット展(愛・地球博)のイメージ



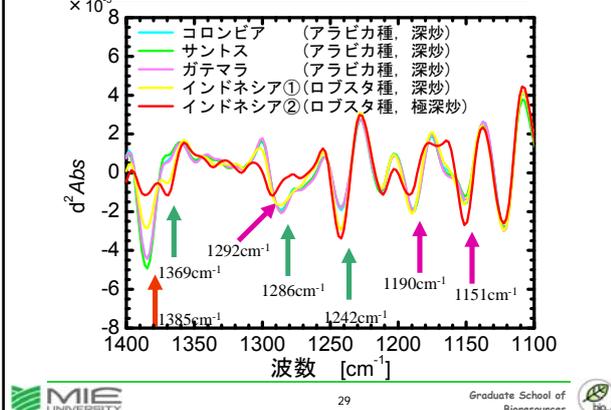
原理: 赤外線分光分析による食品判別



リンゴの赤外スペクトル



品種, 原産地, 焙煎度の影響



ソムリエ・ロボットへの展開



新設委員会の設置

最近の衣食住といった**生活基盤を中心とした安全・安心や医療・健康・癒し**などの生活産業に関わる先端生産技術開発、環境計測及び品質評価などを**赤外放射**により行い、ICTを併用したシステム化の試みがなされているが、まだ発展途上の技術である。



生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用研究調査委員会(平成22~24年度)

新設委員会の目的

- (1)生活産業への赤外放射等応用:
衣食住に関わる基盤商品の先端的生産技術開発、生産プロセス計測・制御などへの赤外放射応用に関する研究調査
- (2)赤外放射等による生活環境評価:
食味評価や衣食住環境評価、およびそのための非接触味覚センサーなどの研究調査



研究調査領域は“赤外放射応用”を起点とし、生活環境全般に関わる“領域横断型研究”を具現化するもの

委員会構成

委員長	橋本 篤	三重大学 大学院生物資源学研究所 資源循環学専攻
幹事	石澤 広明	信州大学繊維学部 創造工学系 先進繊維工学課程
幹事	大倉 力	株式会社 麻相馬光学 技術開発部
幹事	赤松 幸生	国際航業㈱ 空間情報技術本部技術開発部
委員	石川 和夫	東京工芸大学 工学部 メディア画像学科
委員	中島 敏晴	(独)東京都立産業技術研究センター 開発本部開発第一部 光音
委員	太田 二郎	NECAvio赤外線テクノロジー株式会社 マーケティング本部
委員	木村 嘉孝	木村技術事務所
委員	長谷川 有貴	埼玉大学大学院理工学研究科数理電子情報部門
委員	山本 晴彦	山口大学農学部生物資源環境科学科
委員	山田 久也	ヤマダグリーンシステム㈱ 選果施設部 選果開発グループ
委員	高柳 正夫	東京農工大学 大学院農学研究院 環境資源物質科学部門
委員	小川 雄一	京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻
委員	藤原 孝之	三重県科学技術振興センター工業研究部
委員	伊藤 秀和	(独)農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所
委員	西澤 賢一	(社)長野県農村工業研究所

活動計画

1. 生活産業への赤外放射応用等に関する研究調査(平成22年度)
2. 赤外放射等による生活環境評価などの研究調査(平成23年度)
3. 1及び2の追加研究調査及び委員会の総括(平成24年度)

これまでの活動記録

- 第1回委員会(2010年5月28日(金))
「ハイパースペクトルデータによる茶葉の生育状況把握」赤松 幹事
- 第2回委員会(2010年7月26日(月))
照明学会誌特集企画「食品生産・流通における光放射の応用」について
- 第3回委員会(2010年9月8日(水))
平成22年度 照明学会全国大会において開催

今後の活動予定

- 第4回委員会(2010年11頃)
長野県農村工業研究所(長野県須坂市)において、赤外放射のエネルギー利用および評価技術の融合に関する研究調査を予定
- 第5回委員会(2010年12月3日(金))
三重県農業研究所(三重県松阪市)で開催される日本食品工学会2010年度秋季見学会・講演会in三重「三重県植物工場拠点(食農連携からみる植物工場)」(照明学会が協賛)において開催予定

食物安全への赤外放射応用研究調査を終えて

著者：正会員 橋本 篤 Atsushi Hashimoto

出席者：伊藤 秀和, 石澤 広明, 石川 和夫, 大倉 力, 木村 嘉孝, 西澤 賢一, 長谷川 有貴
Hidekazu Ito, Hiroaki Ishizawa, Kazuo Ishikawa, Tsutomu Okura, Yoshitaka Kimura, Kenichi Nishizawa, Yuki Hasegawa

近年の食の安全、安心に対する要求は高く、色々な問題が発生し、複雑化している。照明学会としてこの分野に寄与するため、平成19年に「食物安全への赤外放射応用研究調査委員会」が活動開始した。赤外線とさらに広い波長範囲の光までも含んで、色々な研究・調査が実施された。この3年間の研究期間を終了し、研究活動を振り返り、今後の見通しも含め、委員会メンバーによる座談会を平成22年7月26日に実施した。

1. はじめに

橋本 今日3年間続けてまいりました食物安全への赤外放射応用研究調査委員会を振り返り、今後、この流れを「生活基盤」まで広げることも見据え、光放射を中心に、お話いただければと思います。まずは、自己紹介を兼ね、日頃お感じになっていることをお話いただければと思います。

大倉 大学で光のことを学び、分光器の会社に入社、それ以来分光器一筋に生きてきました。食物と最初にかかわったのは1987年以来で、最初は桃の糖度測定でした。農業で甘さ測定を光学的に測定するのは当時としては初めてのことでしたが、それ以来、食物、農業と関わり、食物と環境保護の近赤外測定を中心に仕事をしています。最近では、堆肥、土壌、食品残渣、飼料などの測定を研究しています。

石川 私は、光計測、画像計測を紫外から近赤外までを対象として研究してきました。物を食べたときの人間の判断、感性を、光を使用して測定できないかと考えてきました。食物を食べた時の、おいしさを画像でどのように表示したら良いかという研究をしています。視覚、聴覚、触覚と違って、おいしさは表示の提示方法がありません。おいしさに対する感性を表示する方法の研究を進めております。

伊藤 私が、野菜茶業試験所に就職したのは20年前、近

赤外分光の研究が盛んな時で、近赤外分光計が導入されたので、それを使用して研究を始めました。最初は、メロンの糖度、そしてイチゴ、小玉スイカ、トマトについて研究をしました。糖度測定では、実用性の高い研究ができましたが、民間では、検量線の作成が難しく、実用化を阻んでいます。最近では、野菜の硝酸イオンなどを研究しています。近赤外から研究を始めましたが、現在は、紫外まで広い波長範囲での研究を進めています。

木村 私は、食品を対象とした遠赤外加熱の仕事を食品会社と研究してきました。遠赤外加熱は乾燥から焙焼まで色々使い道があり、食品の味と品質に密接に関係する面白い加熱手段で、商売にしたかったのですが、あまりうまくいきませんでした。リタイア後は、遠赤外線協会のお手伝いをしており、この委員会で食品加熱の話はあまりないのですが、相互交流ができればと参加しています。

長谷川 私は、植物の生体電位測定を研究しています。植物と光の関係の把握は重要です。植物に照射する光の質は、光合成生育に大きく影響することが生理学的にわかっており、それを電位で評価する研究をしています。今までは、色々なセンサを組み合わせて環境測定や土壌測定などしていましたが、それを植物自身が発生する電位で測定できないかと生体電位測定を研究しています。植物工場はコストがかかるので、センサの数を減らして精度を上げるために生体電位による測定をうまく使うことができないかと考えています。



図1 座談会風景

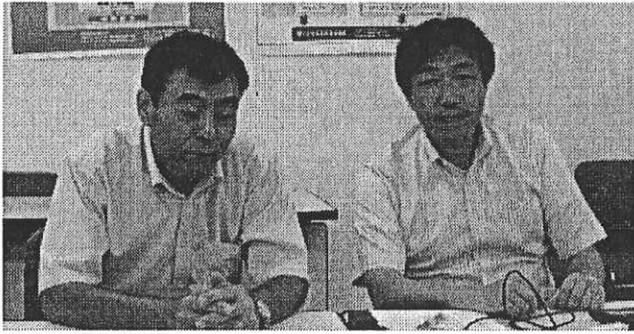


図2 (左)石澤委員長, 司会 橋本幹事

西澤 私は、農業現場で、開発された計測技術を使用する立場です。品質の評価、品種の判別、それから残留農薬の検査、クレームとして異物の内容検査を実施しています。異物は蛍光X線で測定しますが、後は、化学分析、DNA分析です。このような測定において、精度、簡便性、迅速性、コストは重要です。化学分析では、簡便性、迅速性について問題がありますし、劇物も使用します。その規制もあり、職員の健康管理、高価な吸排気設備、廃液処理が必要です。法律に従ってきちんと処理しなければなりません。化学分析は大変ですね。光計測に期待したいのは、その点です。

石澤 私は、ずっと赤外分光中心に研究を進めてきました。農薬のドリフト（飛散）はヘリコプター散布の会社にとって重要な問題です。捕集板を圃場の周りに置き、ヘリコプターを飛ばし、どれくらい飛散するかを調べます。ポジティブリストが0.01ppmで、それを超えると農産物を出荷できなくなりますが、そのような低いレベルを測定できるところに近づいています。野菜、野菜産地の周辺の作物の管理に繋がっていけばと思います。赤外分光以外にも電磁波全体を使用して研究進めたいですね。テラヘルツ波*1もミリ波もとても面白いことがわかります。

大倉 問題は感度ですね。質量分析などと比べると光測定は色々な情報が得られますが、どうしても感度が低いので、安全安心で必要とされる0.01ppmということになると色々な工夫が必要になります。

石澤 そこをなんとかこのような座談会を通じて突破口をあげたいですね。

橋本 私は食品の遠赤外加熱による食品の殺菌、乾燥を研究していました。それを通じて木村委員と出会い、20数年間ご指導いただき「もっと役に立つことをしなさい」とご指導いただいておりますが、実現できず、現在に至っています。遠赤外の加熱、乾燥の評価は困難で、おしい

い、まずいとはいったい何か、その評価に難しさを感じております。食品、生物の光学的物性の見方、評価について、研究の余地があると感じ、分光の世界に入りました。赤外分光で、生体物質、食品関連物質の基礎的な測定、最近では、お酒の味見とか品種判別もしています。その他にX線から赤外、遠赤外、そして、テラヘルツ波*1にも興味をもっております。農業から食品工業、そして赤外分光を中心とした情報の流れを作るということを研究しています。皆さん非常に広汎な領域で食の安全に関わっていらっしゃるようです。食物安全とその波及効果について、お話いただけませんか。

2. 食の安全と光計測

石澤 食品研究をしていると必ず「安全・安心」につきあたります。農薬、O157とか、輸入品とか。今日は土用の丑の日ですから、ウナギの産地偽装の問題も出てきます。これが産業に大きな影響をあたえ、大きな動きになることはあまりないと感じています。

橋本 農薬はとても厳しい値で規制されています。その基準は、人間にとって危険なのかというところでもない場合も多々あり、不必要に厳しい値だと思います。実際、残留農薬で人が死んだというニュースを聞いたことがありません。三重大学でタイ北部の残留農薬のJICAプロジェクトに関わったことがあり、そのレベルと、今の日本では話が全然違います。しかし、この厳しさをクリアしないと日本では商売できません。

西澤 ポジティブリスト制度*2は良い物とは思いませんが、安全な物を作ろうという考えからは、1つの啓発運動と考えられます。農薬の使い方を間違えず、農家が消費者に適切に作物をお届けする、それが消費者にアピールできればと考えます。そのチェックのために残留農薬の測定があるわけで、農家の人が農薬を適切に使用すれば、なんの問題もありません。消費者のいう減農薬、無農薬はまた別の問題ではないでしょうか。

橋本 そういう意味では、伊藤さんのところは農水省です。安全はさておき、安心しない人が随分多いのではないかと思います。いかがでしょう、農水省の立場として。

伊藤 硝酸イオンについては日本ではまだ基準がありませんが、ヨーロッパでは厳しく規制されています。実際に、硝酸イオンの害については、ほとんど報告例を聞いたことがありませんが、しかし…

橋本 安全ということについては、役人と現場レベル技術者の考え方の違いがあるのでしょうか。化学分析は手間とコストがかかります。光測定は、簡単にできるが感度が低い。情報発信のための大量測定は、光による測定が適しています。必要ならば、化学分析、遺伝子分析をすれば良いということですね。

伊藤 光による非破壊計測はスクリーニングと考え、と

*1 テラヘルツ波：周波数1THz（波長300μm）前後の電磁波を指す。光と電波の中間領域であり、これを使用して、物質の研究をすることが期待されている。

*2 ポジティブリスト制度：残留農薬の基準値を設定し、基準値のない物については、一律0.01ppm以下を基準とする制度、平成18年より施行。

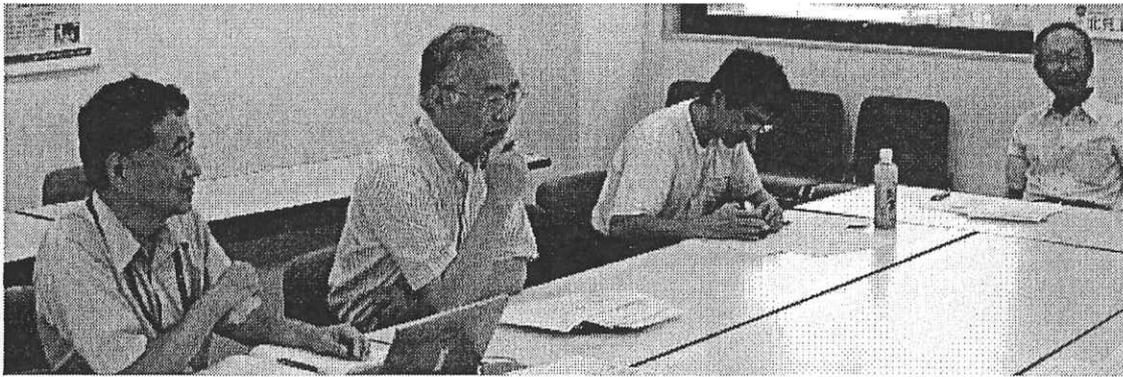


図3 左から大倉幹事、石川委員、伊藤委員、木村委員

りあえず怪しい物を全数測定、その中で値の高い物を化学分析する。光測定の精度、感度の低さを運用でカバーする必要がありますね。

橋本 絶対的な「黒」を止め、絶対的な「白」を通すということでしょうか。

石澤 中国の冷凍餃子が良い例ですね。あのように高い濃度なら、光計測で検出できたはずですが、低濃度測定が必要な時は化学分析をすれば良いと思います。法治国家であるため法に従うべきですが、法があまりにも古いということもあります。農薬の安全基準は、終戦後の野放し状態を規制する考え方が基になっており、安全率を相当かけて基準を作っています。だからみんなが不幸になっているのではないのでしょうか。

3. 計測技術

大倉 今一番使用されている食品評価手法は、近赤外分光ですが、これは感度も、安定度も低い。検量線作りが大変で、測定対象が変わると検量線も変わります。測定対象によっては高い精度で測定できます。このような特徴を良く理解して使用すれば、良い道具です。基本的には、赤外分光のほうがきちんとした測定対象の情報を取り出すことができると感じます。

橋本 私は、赤外分光を中心にして、時々、近赤外分光を使用していますが、この赤外と近赤外のリンクがとれていないように思います。赤外分光は感度が良く、ピークを正確に捉えられるけれど、アプリケーションが弱い。近赤外分光ではアプリケーションが強いので、最近では、近赤外を使用するために、赤外分光をどうみるかという研究をしており、これをクリアしないと、現場レベルで赤外、近赤外を使用するのは難しいと思います。去年の暮れに関西学院大学の尾崎先生のところに近赤外分光について相談に伺いました。

大倉 尾崎先生は近赤外分光を非常に高いレベルで分光学として研究されているので、桃、梨、リンゴの糖度を統計処理で求めるような現場応用とは少し距離がありますね。しかし、赤外と近赤外をつなぐ物として二次元相関法を研究されております。

橋本 私も、赤外と近赤外の二次元相関を研究しています。色々な分光法はありますが、一般論として食物安全とか今回の生活環境基盤での実用という点、やはり、波長の両端で壁があります。利用者にとっては、価格の問題ですね。一番身近な検出器としては、デジカメがあります。赤外でも中赤外となるとハードルが高いです。テラヘルツ波^{*1}ではさらにオーダーが違いますが、短い波長も紫外は良いけど、X線、蛍光X線になると、何百万円、1千万円となります。そこまでいくと、基礎研究と安全安心への実用化では乖離がありますね。

伊藤 テラヘルツ波^{*1}とかマイクロ波も、赤外、近赤外でできないことがあるのならば、伸びていくと思いますが、近赤外から赤外の広い波長範囲を通して測定できる1つの装置はないのでしょうか。

大倉 0.7~20 μmの波長範囲に対応できる分光光学デバイスがありませんので、どうしても2.5 μmを境に装置が変わってしまいます。同時に、分子振動論も2.5 μmを境にして、近赤外と赤外とに分かれます。

橋本 テラヘルツ波^{*1}は面白いのですが、キーアプリはまだありません。空港でのセキュリティへの使用が有名ですが、本当の意味の民生用実用とはいえません。いまだに、キーアプリを探しているところですね。われわれも何か、キーアプリを探すと良いですね。「面白いけど」というところから先に進んでいないのが現状です。

大倉 長谷川委員の生体電位測定は非常に面白い研究だと思います。植物と生体との関係がはっきりしてくると現場で使えるようになりますね。いったいどれくらいの電圧でしょうか。

長谷川 数百ミリボルト程度で、測定はそんなに難しくはありませんが、電位を取り出すための電極には工夫が必要です。電解質の物を取り付けて電圧を取り出すのですが、柔らかい葉だと、痛めてしまい、何を測定しているかわからなくなってしまうので、優しいタッチの電極が必要です。

大倉 現場で生体へのストレス、生体の光応答などが測定できるのでしょうか。

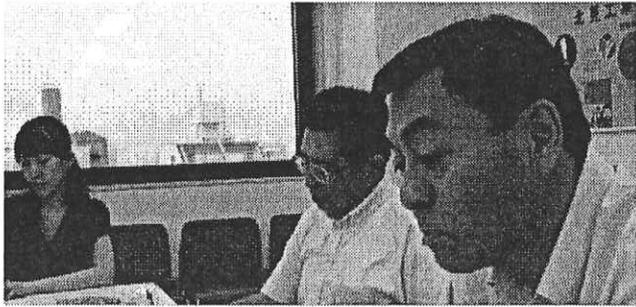


図4 左から長谷川委員, 西澤委員, 石澤委員長

長谷川 はい、光応答については、高い再現性があります。点滅光を照射すると光合成の効率が上がるということが生理学的にわかっています。光合成効率と生体電位との関係なのですが、当てる光を切り替えた瞬間に光合成速度が変わり、生体電位が同期して変わります。点滅が最適周期ですと光合成効率が上がり、生体電位が変化します。また効率が悪い方向に進むと、電位も同様に悪い方向に進みます。植物工場でどういう光をあてたら効率が良いかという情報を電位信号により取り出すことができます。電位信号を数ヘルツの短周期でサンプリングし、その波形をフーリエ変換しますとピークが現れるので、そのピーク周波数の光を照射する効率が上がります。

石澤 共鳴ということですね

長谷川 そうです。非常に弱い光でもその周波数であれば、強い光と同じように植物を育てることができます。

石川 植物の種類により周波数がちがうのでしょうか。

長谷川 ほとんどの植物について同じと考えられ、電位をはかってピークがあれば、それに合わせて照射すれば良いということです。

西澤 植物の呼吸が光合成にかわる光強度レベルは植物によって違います。今栽培されているのは、その光強度レベルの低い物になりますが、それが周波数により変わるということですね。それは貴重な情報ですね。

4. 安全と安心

石澤 食物安全と申しますと、膨大な領域を含んでいます。そして食品産業の川上から川下まで俯瞰しますと、作る側から考える人達と、消費する側つまり、自分の体をペースにして考える人達との目線の間に乖離があり、それを光の情報が仲介できるのかということが重要です。測定のみならず、加工や殺菌にも光が登場するわけで、そのような横方向の技術的な展開も視野に入れなければいけません。西澤委員がおっしゃったように、「安全」というよりも「適切な範囲」という言い方が良いのではないのでしょうか。それを確認する手法として光が役に立ちます。赤外がその中心になりますが、オープンパス赤外分光、近赤外センサ搭載耕耘機などの農工大の研究は、心強い技術です。それから、消費者サイドの視点を光計測がどう満足させるか、ということも重要ですね。

橋本 もう少し消費者サイドからの声、ニーズなどについてお話いただけませんか。

西澤 生産現場で消費者に向けて自主検査をしていますと言えば、いったい、何を検査しているのかということ聞かれることもなく、消費者は安心してしまいます。生産者を啓発し、トレーサビリティによって生産していますという説明で満足していただけます。測定方法が光でも、化学分析でも客観的にデータとして問題ない、というのが「安全」で、「安心」というのは、消費者サイドから見るということで、そのレベル差はかなりの物です。ぴりぴりしているから苦いとか、薬っぽい味がしたとかは、すぐクレームがきます。

伊藤 私のところでもとても解決できそうもないクレームが時々きます。

石澤 安全と安心とはまったく違う概念だということは、光放射専門委員会でご指摘いただきました。安全という話は、はっきりしているのですが、安心感是非常に難しいですね。

西澤 安心というのは、産地と消費者との信頼関係です。信頼関係があればいいのです。疑い出すと徹底的にだめです。中国産がだめというのも信頼の問題で、いくら安全性を証明しても、受け入れられません。

橋本 どこまで求めれば良いのかということもありますね。毎日食べるご飯にどこまでお金を使って、気を使って食べるのか…。そう言いながら、冷蔵庫に何日もほかりっぱなしにした物を食べていることもあります。

5. 光利用の今後

石澤 リモートセンシングは、この委員会での1つの解答でもあります。精度、広域性、面分解能も今後更に進展し、食生活、生活基盤評価への応用が期待されます。衛星を使用した数メートルの距離分解能、波長による情報の分離、航空機、ヘリコプター、バルーン、高い場所からの測定など、リモートセンシングとしては、色々な技術形態が考えられます。それが、基本的な個別の技術の進展、例えば、パソコンの処理速度、画像測定のためのCCDの感度、ピクセルサイズの精細化、光検知器の高感度化など、色々なことが進歩し、それを組み合わせることでさらに高い情報を得ることが可能となるのではないのでしょうか。

橋本 介護分野での光計測も今後重要です。床ずれの定量化を皮膚科の先生と研究したことがあります。皮膚科は、がんなどの先進的研究とは異なり、あまり進んでいません。床ずれの定義は特になく、先生が床ずれと言えればそれが床ずれで、サランラップを患部にはり、床ずれと思われる部分をマジックでなぞり、その範囲を床ずれの面積としています。画像処理、色分析でその部分の面積を計るという簡単なことでも随分進歩します。食品の

糖、脂肪は成分量としては多いので、光で簡単に分析し、カルテ情報と組み合わせて、色々な判断ができます。どんな測定もデジタル化され、情報が集積されると、色々な分析、解析が可能となりますが、光計測は、このような情報の集積を可能にすることが強みですね。ところで、光をエネルギーとして物を作る部分に使えないかと考えたのですが…。

木村 遠赤外で食品の乾燥、加工などを研究しましたが、殺菌はやり残した感じがあります。本当にうまく殺菌できるのか、経済的に合うかわかりません。海外の論文を見ていますと、殺菌の研究を随分やっているようです。レディ・トゥ・イート食品^{*3}は、リステリア症の問題のため赤外線殺菌を検討しており、ホットドッグを、転がして遠赤外を照射して殺菌する試みがあります。また、アメリカでは生のアーモンドをよく食べますが、サルモネラ腸炎菌の問題があり、安心して食べられるようにしたいという試みもあります。日本ではあまり研究されていませんが、O157の殺菌にも適用できれば良いと思います。

橋本 これは、最初に私が手がけたテーマに興味があります。日本では、20年前に遠赤外線ブームがありました。赤外線は特別な光という消費者側の妙な思い込みもありました。遠赤外線は殺菌、乾燥に有効ですが、説明するほど、単なる加熱と思われ、見向きもされなくなります。企業、消費者の動きがあると進みやすいのですが、

木村 確かに、遠赤外線はあまり理解されていません。海外の論文でも遠赤外の解釈はかなりいい加減です。遠赤外線は、表面は暖めないが、内部を加熱できます。生で殺菌したい場合に便利です。冷やしながらか殺菌することも可能だし、蒸気との併用もできます。工夫できる面は多々ありますが、なかなかそうなりません。

橋本 気がついていても、そこまで踏み込めないのが現状ではないかと思います。表面を冷やしながらかでも乾燥できるわけです。木村さんが表面とおっしゃいましたが、私達は、表面といっても、電磁波伝搬から考えると、表面と表面直下は違うし、それはなかなか理解されません。毎年、食品機械工業展に展示をしていますが、光をテーマにすると人気なくなります。味を光で計ると言うと学生は見向きもしませんが、味見というと興味を引きます。麺の乾燥というと興味をもたれますが、赤外線乾燥という受け入れられません。

石川 電磁波とか光とかは、今、高校ではほとんど教育されていませんから、教育の問題がありますね。昔は、私どもの学科は光工学科だったのですが、今は、メディア画像学科という名前になっていますし…。

橋本 光工学の方が良いと思いますが…。

石澤 屈折率は複素数表示されるということを教育するのに、大学で3年かかります。それで初めて赤外線加熱とか表皮効果とかが理解できるわけです。だから光はなかなか理解されない。

橋本 先日、名門私立高校に授業にいきまして、「食の環境と光」の話をしたのですが、興味を持った学生は20人中2~3人程度でした。電気の話をしてもなかなか理解してもらえず、本当のところは、マックスウェルの方程式から話さないといけませんし、よけいわかりにくくなります。

石川 教育も含んで光と食物安全、そして生活基盤を考えていかないといけませんね。そして、おいしいとはなんだろうかという感性としての話、それはすべて衣食に関係あります。感性の評価への展開も必要でしょうね。

橋本 どうもありがとうございました。本日は、光放射計測について、食物安全そして生活基盤にいたる広い範囲で、光放射計測の限界から有効性まで貴重なお話を伺うことができました。

今後、この光放射の有用性を私達の力で発信、社会に貢献できますことを祈って本日の座談会を締めくくらせていただきます。本日はどうもありがとうございました。

司会者紹介

橋本 篤

1963年生。三重大学大学院生物資源学研究所にて生体・食品のX線・紫外・可視・赤外・THz分光計測に従事。

出席者紹介（五十音順）

伊藤 秀和

1967年生。㈱農研機構野菜茶業研究所にて、野菜の品質の分析法開発に従事。

石澤 広明

1956年生。信州大学繊維学部にて光応用計測（赤外放射分光、レーザ光計測）の教育研究。

石川 和夫

1947年生。東京工芸大学工学部にて、光計測、画像計測、生体情報計測の教育・研究に従事。

大倉 力

1943年生。㈱相馬光学 技術開発部にて、近赤外分光、太陽電池計測、分光放射計測に従事。

木村 嘉孝

1939年生。昭和電工㈱にて高分子物性研究、セラミック溶融・焼結炉解析、遠赤外炉開発に従事。

西澤 賢一

1956年生。㈱長野県農村工業研究所所長、農産物品種改良、機能性、安全性確保など。専門は食用きのこ。

長谷川 有貴

1975年生。埼玉大学大学院理工学研究科にて、植物生体情報計測、味覚・嗅覚センサの開発に従事。

*3 レディ・トゥ・イート食品：すぐ食べることのできる食品。

第3章

講演・話題提供に基づく研究調査報告

- 3.1 第1回委員会 分担執筆
「ハイパースペクトルデータによる茶葉の生育状況把握」 (赤松) 25
赤松 幸生 氏 (国際航業株式会社 空間情報技術本部 技術開発部)
- 3.2 第3回委員会 (石澤) 28
「光放射の非侵襲血糖値計測への応用」-ATR 赤外分光計測の適用-
石澤 広明 氏 (信州大学 繊維学部 創造工学系 先進繊維工学課程)
- 3.3 第4回委員会 (大倉) 33
「近赤外分光のハードウェアについて」
大倉 力 氏 (株式会社相馬光学 技術開発部)
- 3.4 第6回委員会 (中島) 40
「赤外線領域における絶対反射率測定の検討」
中島 敏晴 氏 (地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 開発本部開発一部)
- 3.5 第7回委員会 (高柳) 44
「布地の材質判定と混紡率測定」
高柳 正夫 氏 (東京農工大学 大学院農学研究院 環境資源物質科学部門)
- 3.6 シンポジウム：生活環境基盤・評価に関する赤外放射の応用 (山本) 53
- (1) 「イネ光害を軽減する波長選択および発光制御を行った混合LED照明」
原田 陽子 (鳥取大学)、金子 奈々恵、山本 晴彦、岩谷 潔、園山 芳充 (山口大学)
 - (2) 「イネ光害を軽減する白色LED照明の探索」
金子 奈々恵、山本 晴彦、岩谷 潔 (山口大学)、原田 陽子 (鳥取大学)、
園山 芳充 (山口大学)
 - (3) 「中・遠赤外領域における絶対正反射率測定の検討」
中島 敏晴、中村 広隆、海老澤 瑞枝 (東京都立産業技術研究センター)
 - (4) 「生活基盤のための光ファイバによるバイタルサインセンサシステム」
石澤 広明、宮内 祐樹、佐藤 慎吾 (信州大学)
 - (5) 「近赤外分光法による衣類布地の材質と混紡率の測定」
白 文明、茂谷 明宏、吉村 季織、高柳 正夫 (東京農工大学)
 - (6) 「赤外線サーモグラフィによる住環境評価 -熱画像による住環境評価の考察-

太田 二郎 (NECAvio 赤外線テクノロジー)

(7) 「携帯型近赤外分光計による養殖魚の脂質の非破壊定量」

藤原 孝之 (三重県工業研究所)、石川 智子、土橋 靖史 (三重県水産研究所)

(8) 「近赤外分光によるエコフィードの分析

ーエコフィード測定を目的とした実用的専用赤外分光装置の開発ー」

朴 善姫、大倉 力 (相馬光学)、入江 正和 (宮崎大学)、

甘利 雅弘 (畜産草地研究所)、米持 千里 (科学飼料協会)

(9) 「味付け麺の赤外線 ー熱風併用乾燥特性の把握ー」

橋本 篤、橋川 光、坂口 宜謙、末原 憲一郎、亀岡 孝治 (三重大学)

3.7 第10回委員会

(橋本) 65

「太陽 UV-B 紫外放射の長期計測上の課題」

竹下 秀 氏 (東海大学総合科学技術研究所)

3.8 第11回委員会

(大倉) 72

「光源の光生物学的安全性とその規格について」

大倉 力 氏 (相馬光学)

ハイパースペクトルデータによる茶葉の生育状況把握

Growth Stage Estimation of Tea Leaves Using Airborne Hyperspectral Data

著者：赤松 幸生, 今井 靖晃, 鎌形 哲稔, 小林 千明, 大石 哲也
Yukio Akamatsu, Yasuteru Imai, Noritoshi Kamagata, Chiaki Kobayashi, Tetsuya Oishi

1. はじめに

経済産業省は2014年度のALOS-3 (Advanced Land Observing Satellite-3打ち上げを目指し、衛星搭載型のハイパースペクトル/マルチスペクトルセンサを開発中である。これを受け、(財)資源・環境観測解析センター(ERSDAC)は、開発中のセンサの実利用促進のための技術開発プログラムを開始している。筆者らは、栽培面積当たりの価格が比較的高く、海外産地への適用可能性がある茶を事業性のある分野と考え、研究を進めている。

茶の効率的な摘採のためには、圃場ごとの生育状況を把握し、摘採期を正確に判断することが重要である。水稲や麦などの作物では分光反射率を用いた生育診断の研究が進んでおり、茶への適用を図るため、筆者らは野外観測用分光放射計(FieldSpec)を用いた茶の摘採期推定に関する検討を行い、2~3日の誤差で摘採期を推定することができた¹⁾。

そこで本研究では、既往研究を発展させ、航空機搭載ハイパースペクトルデータによる広域の茶の生育状況推定と摘採期推定に関する検討を行った。

2. 対象地域と計測データ

本研究では、静岡県農業技術研究所茶業研究センターの試験茶園および周辺圃場(約13.3km²)を対象地域とした。

二番茶生育期の2008年6月13日に航空機搭載ハイパースペクトルセンサ(CASI-3)により68バンドの分光反射率データを取得した。CASI-3データの諸元を表1に示す。取得したCASI-3データは、ALOS-3に搭載予定のセンサ仕様に合わせ、波長分解能10nmになるようリサ

表1 CASI-3データの諸元

項目	諸元
使用センサ	CASI-3
観測日	2008年6月13日
観測時刻	10:00~10:55
飛行高度	2,000 m
観測幅	1,200 m
コース数	2 コース
地上分解能	1.5 m
観測波長域	400~1,050 m
バンド数	68バンド

© METI/ERSDAC

ンプリングを行った。また、航空機観測と同時にFieldSpecを用いて現地調査地点(54カ所)の地上分光反射率計測を実施した。

FieldSpecによる地上分光反射率計測と併行して20cm四方の枠内の新芽を採取し、各サンプルの新芽数量と出開き芽数量を計測して出開き度を求めた。あわせて、摘採期までの日数を求めた。

3. 解析方法

本研究では、新芽の生育状況に対応するCASI-3の波長特性を分析し、広域の生育区分図の作成を試みた。さらに、既往研究¹⁾に倣い、「出開き度推定モデル」と「摘採期推定モデル」を構築し、摘採期推定を試みた。

3.1 生育区分図の作成

現地調査結果から、出開き度10%を閾値として54カ所の調査地点の生育の遅速を区分しCASI-3データの分光反射率と一次微分値との関係を分析した。その結果をもとに、分類処理によって生育区分図を作成した。

3.2 出開き度推定モデル

既往研究¹⁾に倣い、①正規化分光反射指数(Normalized Difference Spectral Index: NDSI)、②変数増減法による重回帰分析、③PLS(Partial Least Square)重回帰分析²⁾の3種の手法によって、出開き度推定モデルを構築した。

3.3 摘採期推定モデル

摘採期までの日数を目的変数、出開き度を説明変数として重回帰分析を行い、摘採期推定式を求めた。

4. 結果および考察

4.1 生育区分図の作成

CASI-3の分光反射率、一次微分値と生育遅速の関係を分析した結果、緑色波長域の515~535nm、レッドエッジ付近の725~755nmの一次微分値において、生育が早い畝と遅い畝の違いが明瞭であった。そこで、525nmと755nmの一次微分値のカラー合成画像を分類処理し、生育区分図を作成した。分類処理は、現地情報が取得できないケースを想定して教師なし分類(Isodata法)によって行った。初期クラス数は30クラスとし、最終的には5クラスに集約した。

結果を図1(b)に示す。作成した生育区分図を概括すると、南北の圃場の生育が早く、中央部の圃場の生育が遅く表現されている。これは、現地の生産者が経験的に

把握している生育遅速の傾向（図1 (a)）と一致することが確かめられた。

4.2 出開き度推定モデル

CASI-3のNDSIを用いた回帰分析，重回帰分析，PLS回帰分析の結果，PLS回帰分析が最も高い決定係数を示した。最終的に採用した回帰式を式(1)に示す。

$$y = -208.5 - 623.7 \times x_{405} - 476.3 \times x_{415} + \dots - 383.5 \times x_{1035} \dots (1)$$

ここでy：出開き度(%)， x_n ：波長n(nm)における反射率(%)であり，68バンド全てを用いた一次式として構成されている。本回帰式の決定係数は0.57であり，FieldSpecを用いた既往研究¹⁾と比べ，全体に決定係数が低い，寄与度が高いバンドはNDSIや重回帰分析で選択されたバンドと似通っており，特徴的な波長帯は共通していると考えられる。

4.3 摘採期推定モデル

回帰分析の結果，出開き度と摘採期までの日数の関係は，式(2)に示す二次関数で近似され，決定係数0.88と高い値を得た。

$$y = 0.0009x^2 + 0.0782x - 9.7362 \dots (2)$$

ここでy：摘採期との差(日)，x：出開き度(%)である。PLS回帰による出開き度推定モデルと摘採期推定モデルを組み合わせ，5群クロスバリデーションによって検証した結果を表2に示す。決定係数は0.55～0.66，誤差日数は2.4～6.0日で，既往研究¹⁾よりやや劣るが，2～6日程度の誤差で推定できることが示唆された。

出開き度推定モデル，摘採期推定モデルをCASI-3データ全体に適用して作成した摘採期推定図を図1 (c)に示す。図1 (b)の生育区分図で示される生育遅速とよく対応していた。

5. まとめ

本研究では，静岡県農業技術研究所茶業研究センター試験茶園および周辺圃場を対象に，航空機搭載ハイパースペクトルデータから広域の茶の生育状況推定と摘採期推定を試みた。その結果，525nmと755nmの一次微分値2バンドを用いて生育段階の定性的な区分が可能であること，PLS回帰による出開き度推定モデルと摘採期推定モデルの組み合わせによって，生育段階の定量的な区分が可能であることが示唆された。

参考文献

- 今井，赤松，小林，大石：茶の摘採管理に対するハイパースペクトルデータの利用可能性，日本リモートセンシング学会第45回学術講演会論文集，pp.171-172 (2008)。
- 岩元，河野，魚住：近赤外分光法入門。幸書房，pp.1-168 (1994)。

表2 構築された推定モデルの検証結果

	モデル構築		モデル検証		
	サンプル数	決定係数	サンプル数	出開き度誤差(%)	摘採期誤差(日)
ケース1	41	0.64	11	30.1	3.67
ケース2	41	0.57	11	23.1	2.42
ケース3	42	0.55	10	25.7	2.89
ケース4	42	0.64	10	25.5	2.86
ケース5	42	0.66	10	44.2	6.03

© METI/ERSDAC

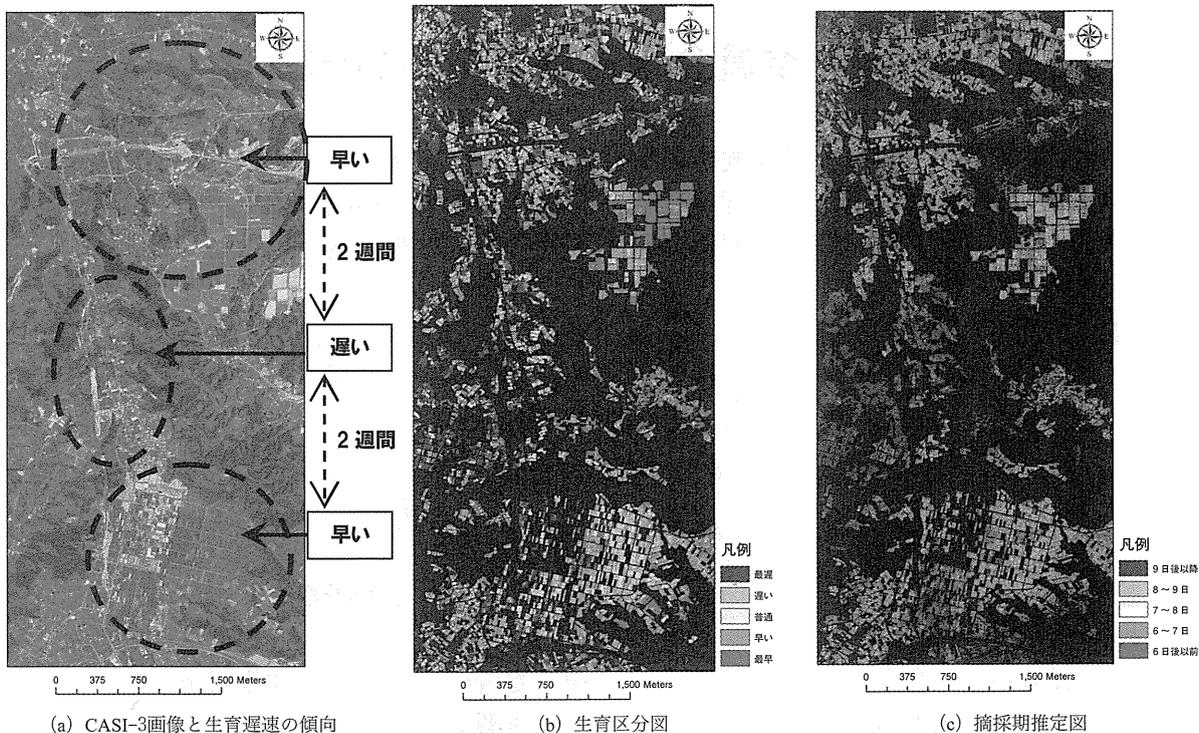


図1 CASI-3による生育区分結果と摘採期推定結果

© METI/ERSDAC

著者紹介



赤松 幸生

1961年生。2000年千葉大学大学院自然科学研究科博士課程卒。2000年博士(工学)。現在、国際航業(株)リモートセンシング事業室にてその実用技術・事業開発に従事。著書『リモートセンシング用語辞典』(共著)など。



今井 靖晃

1975年生。1998年東北大学理学部地圏環境科学科卒。現在、国際航業(株)リモートセンシング事業室にてその実用技術・事業開発に従事。



鎌形 哲稔

1979年生。2008年東京情報大学大学院総合情報学研究科博士課程卒。2008年博士(総合情報学)。現在、国際航業(株)リモートセンシング事業室にてその実用技術・事業開発に従事。

小林 千明

1973年生。2002年東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程卒。日本学術振興会特別研究員を経て、現在、(財)資源・環境観測解析センターにてハイパースペクトルデータの利用技術開発に従事。著書INTECH社『Object Recognition』など。



大石 哲也

1969年生。1994年静岡大学大学院農学研究科修士課程卒。現在、静岡県農林技術研究所茶業研究センターにてチャ栽培の研究に従事。著書『茶大百科』(共著)など。

研究調査委員会報告書頒布のお知らせ

報告書名：新光源発達度研究調査委員会 平成18年度 (JIER-94)
新光源発達度研究調査委員会 平成19年度 (JIER-100)
新光源発達度研究調査委員会 平成20年度 (JIER-102)

本報告書は、LEDならびに有機ELに関する下記のような資料、情報を年度ごとに収集し整理したものです。照明学会ホームページ (<http://www.ieij.or.jp/>) の「出版物一覧」より無償でダウンロードできますので、研究、開発などに是非ご活用下さい。

記

- | | |
|----------------------|------------------|
| (1) 論文・資料・解説・報告など | (2) 単行本・小冊子など |
| (3) 規格・基準・報告書など | (4) 新聞 |
| (5) ホームページ | (6) 委員会・プロジェクトなど |
| (7) 講演会・シンポジウム・展示会など | (8) 新製品・施設例など |

以上

光放射の非侵襲血糖値計測への応用

ATR 赤外分光計測の適用

石澤広明¹, 児山祥平¹, 宮内祐樹¹, 堀口拓朗¹

¹信州大学繊維学部

研究目的

わが国は高度高齢社会を迎えており、高齢化率は2005年で20.1%とされ、2030年に29%、2050年には35%まで拡大する見通しである。また、高齢者の増加に伴い、少子化、医療費の高騰、医療設備の不足が社会問題となっている。このような状況下で、従来の「入院医療」・「外来医療」に次ぐ第3の医療である「在宅医療」が注目されている。第3の医療である在宅医療は、高齢者および身体障害者など自分では通院できない人たちが、その名の通り家庭という生活の場を利用して、医師の指示のもと、その人の生活形態にあわせて受けられる医療である。このような在宅医療へのニーズが高まる中、在宅医療支援システムとして、バイタルサインセンサの開発が必要とされている。バイタルサインセンサは、心拍・呼吸・血圧・体温など人の健康状態を端的に示すことが可能であるため、医師の診断に基礎的な情報を提供する指標として重要なものであり、在宅医療の現場に必要である。本研究では、バイタルサインのひとつである血糖値に着目し、非侵襲型計測システムの開発を目標とし、全反射減衰（ATR, Attenuated Total Reflection）赤外分光計測の適用について、実際の被験者を用いた実験的検討をもとに報告する。

試験方法および解析手法

研究室規模の被験者実験では20才台学生を、一般病院における臨床的被験者実験では一般通院者の協力により、糖負荷や血糖値計測と並行して赤外スペクトル測定を実施した。スペクトル測定は、主としてフーリエ変換型赤外分光光度計（FT-IR）と全反射減衰測定器を用いて、ヒト手指や、耳朶などのスペクトルを測定した。この際、スラブ型ATRプリズム、円形開口ATRプリズム、ファイバーバンドル方式などの適用を比較検討するとともに、スペクトル測定条件を決定した。スペクトルの特徴抽出によって血糖値の検量線を作成し、その妥当性、精度、安定性などについて検討を加えた。

試験結果

本試験の結果の概要は以下のとおりである。

1. 全反射減衰赤外分光計測のヒト血糖値の非侵襲計測への可能性が示された (Fig.1).
2. ヒト手指の皮膚状態を均一化し、スペクトルを規格化する内部標準物質を選択した。
3. 血糖値の検量には、被験者に専用の検量線を利用することが有効である。
4. スペクトル測定や光情報測定の最適条件を求める必要がある。
5. 血糖値以外に、GPT の非侵襲計測の可能性を確認し (Fig.2)。

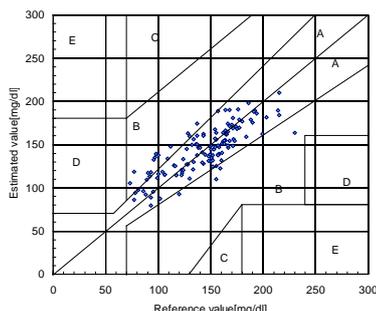


Fig.1 Calibration of Blood Glucose (Ear lid)

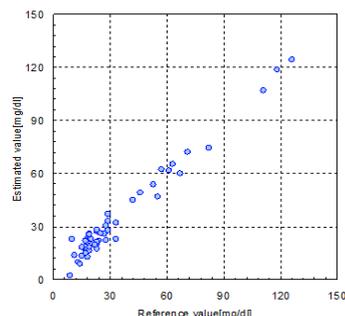


Fig.2 Calibration of GPT

光放射の非侵襲血糖値計測への適用 - ATR赤外分光計測の適用 -

信州大学繊維学部創造工学系
石澤広明, 児山祥平, 宮内祐樹, 堀口拓郎

赤外光による非侵襲血糖値測定技術の開発

赤外光による血糖値測定の研究は1980年代後半から行われており、指の透過スペクトルから血糖値を求める研究が成された。

血液中のグルコース濃度(血糖値)は、正常時は約100mg/dlという微量であるため、光による非侵襲での血糖値測定は、分光分析を用いた**微量分析の手法**が採用されている。近赤外光によるグルコースの吸収スペクトルは、**ブロードで弱いピークがある**のみであり、グルコース濃度の変動による光スペクトルの変化は非常に小さい。血液中には、グルコースのみでなく、たんぱく質、脂肪、尿酸、水分などが存在しており、それらの生体成分濃度の微小変動や温度が変動しても、光スペクトルが変化することがあり、現段階では、再現精度、信頼性、携帯性に優れた非侵襲による血糖値計測装置は実用化に至っていない。現在、微弱散乱光の検出感度向上やグルコース解析技術、シミュレーション解析技術の改良の取組みが進められている。

近赤外光の長波長領域は生体組織の透過性は劣るが、測定信号が大きいという利点を有する。近年、この領域で使用する光源、受光素子の開発が進み、長波長領域での近赤外分光分析法による非侵襲的な血糖値計測の試みが行われている。



非侵襲血糖測定装置の試作機

血糖値計測装置の市場動向

糖尿病患者の数(厚労省「2007年国民健康・栄養調査」)

	1997年	2002年	2007年
糖尿病	690万人	740万人	890万人
糖尿病予備軍	680万人	880万人	1,320万人
合計	1,370万人	1,620万人	2,210万人

・現在、約70万人がインスリン投与を受けている。

自己血糖値計の市場規模

自己血糖値計測装置

本体 1万5千円前後

消耗品(チップ、針など)年間16万円前後

・台数ベースで年約10万台の増加

・世界市場は9,600億円年(2007 Bayer Diagnostics社予測)



世界の糖尿病の人口は2007年の時点で2億4600万人。2025年には3億8000万人に増加予測。



世界の糖尿病人口
2007年 2億4600万人
2025年 3億8000万人

国際糖尿病連合(IDF)「糖尿病アトラス 第3版」

2009年度の検査・診断市場は、707億4,000万円見込み、血糖測定器に関しては、インスリン製剤を使用する患者の自然増により売上を伸ばしている。
また、糖尿病予備軍の簡易チェックの用途として、尿糖試験紙の需要も高まっている。

2つのマーケットカテゴリ

1. 厳密な血糖値管理 血糖値計測計
2. 血糖値の目安把握 尿糖計・尿糖試験紙

赤外光による血糖値測定装置の開発動向

国内

(1) パナソニック等
平成12年-16年のNEDOプロジェクト「光学的血糖値測定システム」を応用した体内埋込み型インスリン注入システムにおいて、近赤外光によって測定した血糖値信号を体内に埋込まれたポンプに経皮で伝達し、最適なインスリンを注入してより厳格な血糖値活用を目指すシステムの開発が行われた。その一環として、近赤外光による血糖値測定システムの開発が進められた。光学的血糖値測定器の精度は20mg/dlである。プロジェクト終了後も「ナニクエック」を中心に集中治療室(ICU)での使用を想定した開発が進められている。

(2) 長崎県工業技術センター
長崎県工業技術センターは、長崎大学医学部等と連携し、レーザーを使った血糖値の非侵襲測定装置の開発を進めている。血管の膨張・収縮に伴う光路長修正を行う手法を開発し、これを利用した非侵襲・非観血の血糖値測定装置を開発し、市販の採血型の簡易血糖値測定器と同程度の精度を達成できる見通しを得ているとしている。使用波長領域は、1μm前後である。

(3) 東和電機工業など
東和電機工業は、弘前大学医学部、福場製作所との共同研究を元に、非侵襲・携帯型血糖値測定装置の共同開発を行った。小型血糖値計の開発を行い、個人レベルで25-30mg/dl程度の誤差までのプロトタイプを開発している。

その他

日立製作所

日立製作所は、体内の代謝反応によって生成する熱エネルギーに着目し、ヘモグロビンの酸素飽和度、血流量などのパラメータを計測することにより、血糖値を算出する非侵襲血糖値測定装置を2004年2月に世界に先駆けて開発した。今回開発した装置は、指先の温度および光の特性を正確に測定、代謝熱エネルギー生成に関する様々な生理学的パラメータの整合性から血糖値を算出する。製品化はされていない。

赤外光による血糖値測定装置の開発動向

海外

(1) Sensys Medical(旧Instrumentation Metrics)(英国)
Sensys Medicalは、近赤外分光技術を用いたグルコースセンサー-Sensys Glucose Tracking System(Sensys GTS™)の開発を行っている。

(2) InLight Solutions(米国)
InLight Solutionsは、New Mexico大学と共同で近赤外分光法と多変量解析を利用したシステムの開発を行っている。

(3) LightTouch Medical, Inc.(米国)
LightTouch Medicalの技術は、指先に光を照射し反射光をラマン分光により解析することにより血糖濃度を測定するものである。1999年より臨床試験をJoslin Diabetes Centerと提携して実施。

(4) NIR Diagnostics Inc.(カナダ)
NIR Diagnosticsは近赤外分光法による血糖モニター-GlucoNIR™の開発を行っている。

(5) LifeTrac Systems, Inc.(米国)
LifeTrac Systemsは近赤外分光技術を用いた血糖モニター-SugarTrac™ Glucose Monitorの開発を行っている。この装置は、特許技術(US 5,910,109)に基づき、Dr. Charles A. Cassler(Professor of Sleep Medicine at Harvard Medical School)の主導でPilot Study Protocolを作成し、Brigham and Women's Hospitalで臨床試験を行う予定になっている。

その他、多くのメーカーが開発に取り組んでいるが、市販化までには至っていない。
また、赤外法によるグルコースとヘモグロビンと相互作用の研究やグリコヘモグロビンの解析研究も行われている。

一方、光学法以外の手法での血糖値計測の取組みも行われている。
Integrity Applications(米国)は、超音波、熱伝導、発光線の3つの因子を解析し、血糖値を算出するタイプである。プロトタイプ *GlucoTrack* を試作し、臨床実験を行っている。



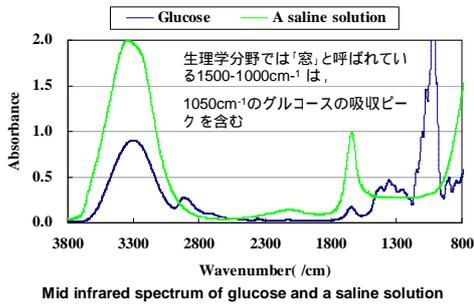
目次

1. 計測原理
2. 近赤外分光分析の利用
3. 中赤外分光分析の利用
4. 現場における計測試験
5. 展望

参考文献(代表的なもの)

- 1) 藤田圭一, 田村一人, 兼子 亘, 石澤広明, 鳥羽栄治: 赤外分光法を用いた非侵襲血糖値測定センサの開発, 電気学会論文誌C, Vol.124-C, No. 9, 759/1765(2004)
- 2) Keiichi Fujita, Kazuto Tamura, Wataru Kaneko, Tomotaka Morikawa, Nguyen Tuong Linh, Hiroaki Ishizawa, Eiji Toba: Noninvasive Measurement of Blood Glucose Based on Optical Sensing and Internal Standard Method, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC2005), 1433/1437 (2005)
- 3) T. Morikawa, F. Saiki, H. Ishizawa, E. Toba, Noninvasive Measurement of Blood Glucose based on Optical Sensing and Internal Standard Method, SICE-ICASE international Joint Conference, 1481/1484(2006)
- 4) 田村一人, 石澤広明, 藤田圭一, 兼子 亘, 森川智隆, 鳥羽栄治, 小林秀雄, 赤外分光法の非侵襲血液成分測定への適用, 電気学会論文誌C, Vol.127, No.5, 686/691(2007)
- 5) Hiroaki Ishizawa, Akinobu Muro, Tomohiro Takano, Kazuya Honda, Hiroyuki Kanai, Non-invasive Blood Glucose Measurement Based on ATR Infrared Spectroscopy, Proceedings of the SICE Annual Conference 2008, Japan, August 20-22, 321/324(2008)

1. 計測原理(中赤外)



Mid infrared spectrum of glucose and a saline solution
 生理食塩水では3300cm⁻¹, 1640cm⁻¹付近にOH基による吸収がみられる。また、グルコースの吸収ピークは1100cm⁻¹(CO伸縮), 1363cm⁻¹(CH変角), 2925cm⁻¹(CH伸縮)である

生理学分野の「窓」におけるグルコース吸収

1. 1363 cm⁻¹: C-H変角振動,
2. 1079 cm⁻¹: エーテルC=O伸縮振動,
3. 1033 cm⁻¹: アルコールC-OH伸縮振動

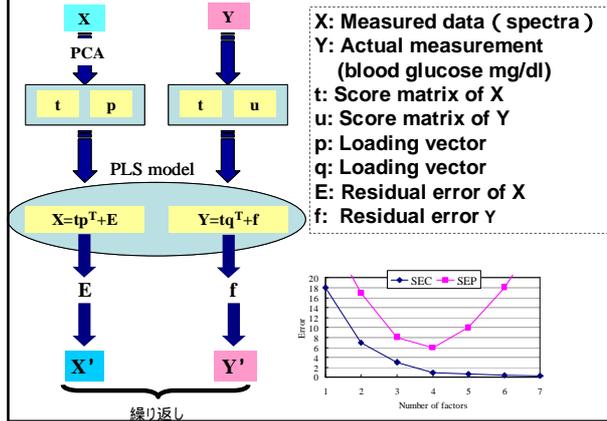
計測原理(検量)

定量解析手法



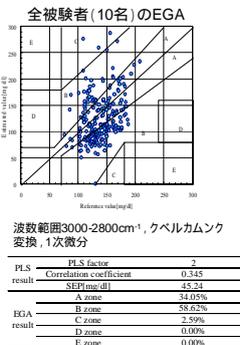
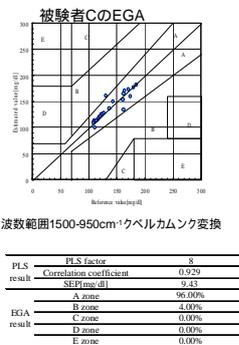
SEC
 (Standard Error of Calibration)
 PLSに用いたスペクトルに対する
 検量線の精度

計測原理(検量)

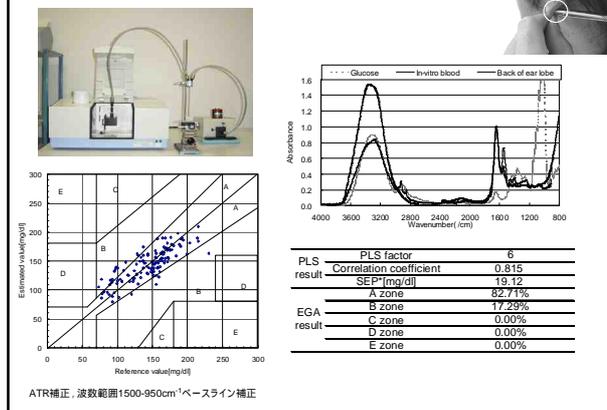


2. 中赤外分光分析の利用(測定部位)

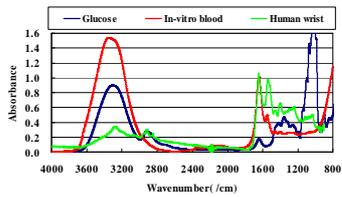
(1)左手親指の付け根部分(拡散反射, 1と同様)



(2)耳垂裏側(光ファイバプローブ全反射減衰法)



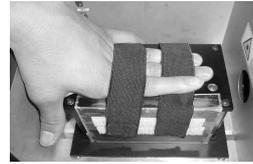
(3) 左手首 (光ファイバプローブ全反射減衰法)



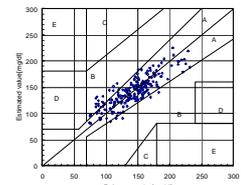
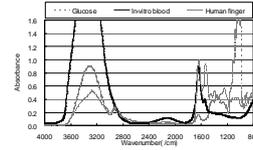
1750-950cm⁻¹付近では、吸収ピークが確認できる。これらの吸収は、グルコース特有の吸収ピークとほぼ一致している。

個人差の影響大きい

(4) 左手中指 (全反射減衰法・スラブ型プリズム)



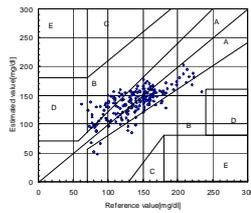
Subject	Number	Average	Max.	Min.	S.D.
10	221	142.8	232	74	33.1



ATR補正, 波数範囲1500-950cm⁻¹ベース
ライン補正

PLS factor	8
PLS Correlation coefficient	0.850
result SEP (mg/dl)	17.41
EGA A zone	88.24%
B zone	11.76%
C zone	0.00%
D zone	0.00%
E zone	0.00%

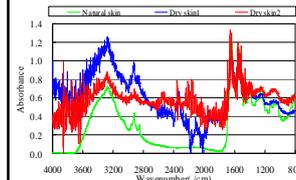
(4) 左手中指 (全反射減衰法・ダイヤモンドプリズム)



PLS factor	8
PLS Correlation coefficient	0.728
result SEP (mg/dl)	23.72
EGA A zone	75.24%
B zone	24.27%
C zone	0.00%
D zone	0.49%
E zone	0.00%

以後、この組合せで試験

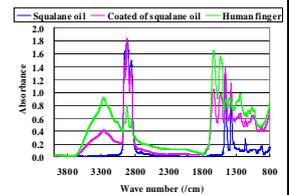
中赤外分光分析の利用 (標準物質の利用)



通常の肌の被験者と肌が乾燥して荒れている被験者の赤外吸収スペクトル (左手中指)



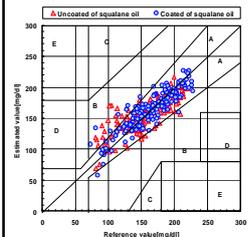
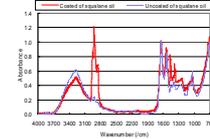
皮膚状態を均質化し、内部標準物質として利用する
資材として、スクワランオイルを選定 (5μl)。
マッチングオイルとしての機能も期待できる。



スクワランオイルを塗布した指およびスクワランオイルを塗布していない指の赤外吸収スペクトル (左手中指)

スクワランオイルの吸収ピークは1377cm⁻¹, 1462cm⁻¹に確認でき、ヒトの指の吸収ピークとは重畳しない。
1100cm⁻¹付近のグルコース特有の吸収ピークとも重畳しない。

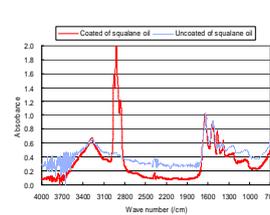
左手中指 (全反射減衰法・ダイヤモンドプリズム)



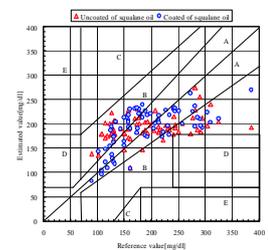
Subject	Number	Average	Max.	Min.	S.D.
8	166	155	221	81	34.3
Squalane oil					
PLS factor	9	x			
PLS Correlation coefficient	0.847	0.785			
result SEP (mg/dl)	18.4	21.2			
EGA A zone	88.3%	84.9%			
B zone	11.7%	15.1%			
C zone	0%	0%			
D zone	0%	0%			
E zone	0%	0%			

ATR補正, 規格化(1377cm⁻¹), 2次微分, 波数範囲 4000-700cm⁻¹

3. 臨床現場における計測試験 (スクワランオイルの効果)



スクワランオイル塗布前後の被験者中指のスペクトル変化



スクワランオイルを塗布前後のEGA

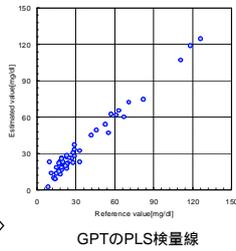
PLS factor	2	x	
PLS Correlation coefficient	0.833	0.937	
result SEP (mg/dl)	49.0	58.0	
EGA A zone	48.6%	41.9%	
B zone	51.4%	55.4%	
C zone	0%	0%	
D zone	0%	2.7%	
E zone	0%	0%	

臨床現場における計測試験 (他成分への適用性)

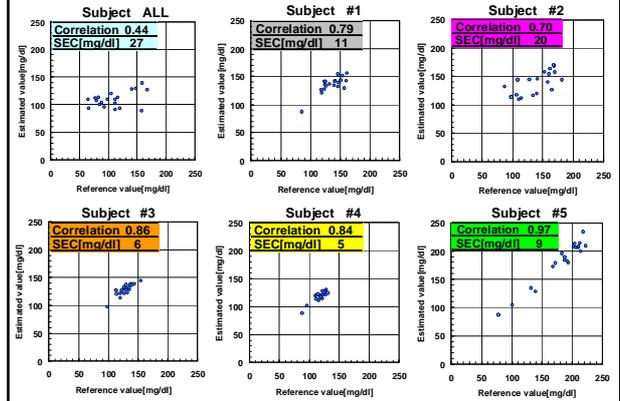
	Number	Max	Min	Average	S.D.
HbA1c (%)	75	10.9	4.7	7.3	1.3
HDL-C (mg/dl)	53	90	27	55	15
LDL-C (mg/dl)	47	199	73	131	28
GOT (IU/l)	52	96	14	28	16
GPT (IU/l)	52	126	9	34	27

HbA1c	Number of factors	2
	Correlation coefficient	0.466
HDL-C	Number of factors	5
	Correlation coefficient	0.719
LDL-C	Number of factors	2
	Correlation coefficient	0.519
GOT	Number of factors	2
	Correlation coefficient	0.662
GPT	Number of factors	11
	Correlation coefficient	0.986

SEP: Standard Error of Prediction

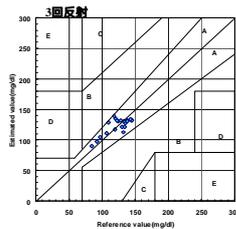


臨床現場における計測試験 (個人検量線・スクランオイル使用)

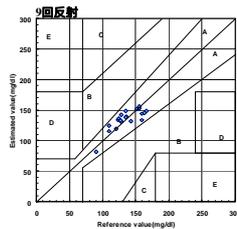


臨床現場における計測試験 (個人検量線・反射回数)

スクランオイルを内部標準物質として使用



PLS factor	2
PLS result	Correlation coefficient 0.77
	SEC(mg/dl) ±11
EGA result	A zone 100.0%
	B zone 0.0%
	C zone 0.0%
	D zone 0.0%
	E zone 0.0%



PLS factor	3
PLS result	Correlation coefficient 0.81
	SEC(mg/dl) ±11
EGA result	A zone 100.0%
	B zone 0.0%
	C zone 0.0%
	D zone 0.0%
	E zone 0.0%

概要 (まとめ)

1. 全反射減衰赤外分光計測のヒト血糖値の非侵襲計測への可能性が示された。
2. ヒト手指の皮膚状態を均一化し、スペクトルを規格化する内部標準物質を選択した。
3. 血糖値の検量には、被験者に専用の検量線を利用することが有効である。
4. スペクトル測定や光情報測定の最適条件を求める必要がある。

本発表の一部は、知的クラスター創成事業(第 期)によって進められています。

(平成21年度～現在にいたる)

測定目的を特定した近赤外分光装置の設計方法 (豚肉脂質測定装置の開発)

Solar Light spectrum diagram showing Ultra Violet (380nm), Visible (380-760nm), Near Infrared (760-2500nm), and Infra Red (2500-25000nm) regions.

(株)相馬光学
技術開発部
大倉 力

食肉と脂肪酸

2/37

- 食肉の食味は、脂肪酸組成値により大きく影響をうける
- 脂肪は各種の脂肪酸により構成されている
- 主要脂肪酸の特徴を以下に示す

Type	C=C	Characteristics	Name
飽和脂肪酸 SFA Saturated Fatty Acid	0	酸化しにくい 固い	パルミチン酸 Palmitic acid C16:0
			ステアリン酸 Stearic acid C18:0
			オレイン酸 Oleic acid C18:1
一価不飽和脂肪酸 MUFA Mono_unsaturated Fatty Acid	1	おいしい/健康に良い 酸化しやすい	パルミトレイン酸 Palmitoleic acid C16:1
多価不飽和脂肪酸 PUFA Poly_unsaturated Fatty Acid	2<	酸化しやすい 軟脂となる	オレイン酸 Oleic acid C18:1
			リノレン酸 Linoleic acid C18:2
			αリノレン酸 α-linolenic acid C18:3

SOMA OPTICS, LTD.

脂肪酸組成値

3/37

豚肉のオレイン酸と飽和脂肪酸の脂肪酸組成値を豚肉について測定し、ヒストグラムを示す。

豚肉の脂肪酸組成値は大きくばらつくため、脂肪酸組成値を測定して、品質を決定することは重要である。

SOMA OPTICS, LTD.

装置の仕様

4/37

Item	Target
測定物	食肉
測定項目	脂肪酸組成値
測定項目	SFA/PUFA Oleic Acid
測定時間	< 5sec.
精度	< 3%

ユーザー要求を左表に示す
ユーザー要求に基づき、装置仕様を決定することが近赤外分光装置開発において重要である
各種検討から得られた装置仕様を下記に示す

Item	Specification
測定方法	近赤外分光反射
波長範囲	700nm~1000nm
波長分解能	~10nm
波長精度	<0.5nm
雑音	<50μABS
直線性	<10%

装置仕様があれば、容易に設計、開発できる

ユーザー要求から、装置仕様を決定する方法を以下に説明する

SOMA OPTICS, LTD.

近赤外分光装置のSN比

5/37

近赤外分光装置は、高いSN比が要求される。
高精度市販近赤外分光装置(Foss社XDS型ニレコ扱い)は高いSN比を有し、一般的光光度計に比較し、100倍高い値である。

XDS NIR Spectroscopy	
Wavelength(nm)	Noise (μABS)
400-500	100
500-1000	15
1000-1200	25
1200-2100	12
2100-2400	17

General Spectrophotometer	
Wavelength (nm)	Noise (μABS)
900-2500	1000

測定対象により必要とされるSN比は異なる
近赤外分光装置を開発する場合、装置に必要なSN比、その他の必要な要求性能を事前に求めておくことが必要である

0.003%=12μABS
0.23%=1000μABS (@100% OABS)

SOMA OPTICS, LTD.

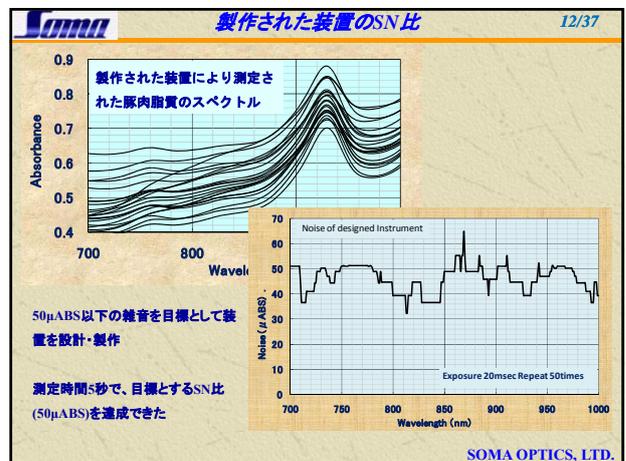
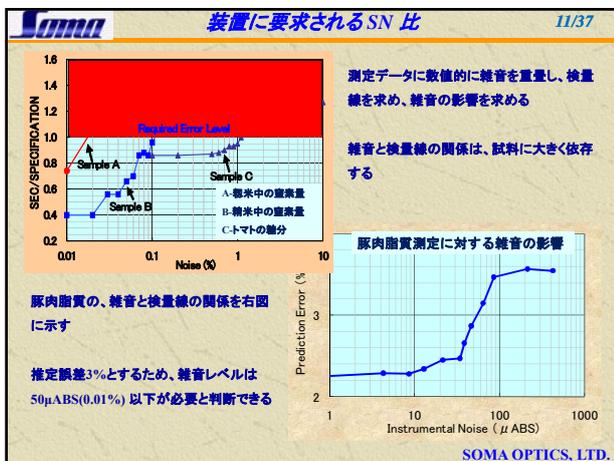
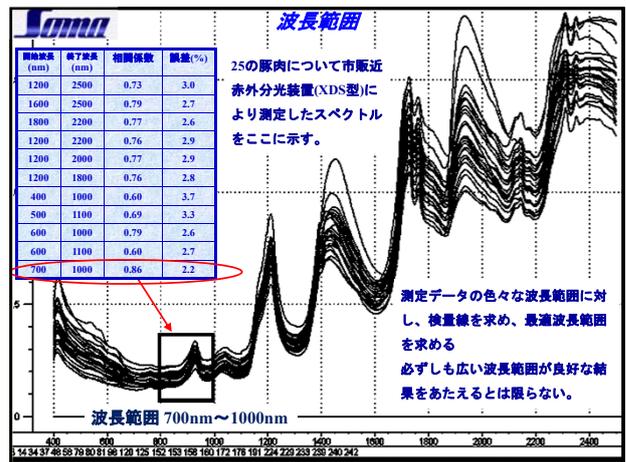
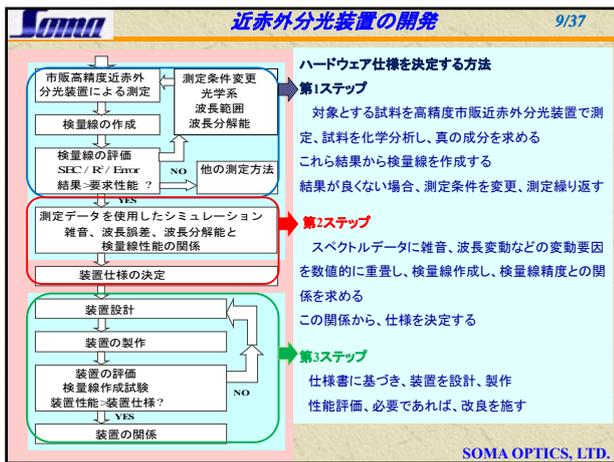
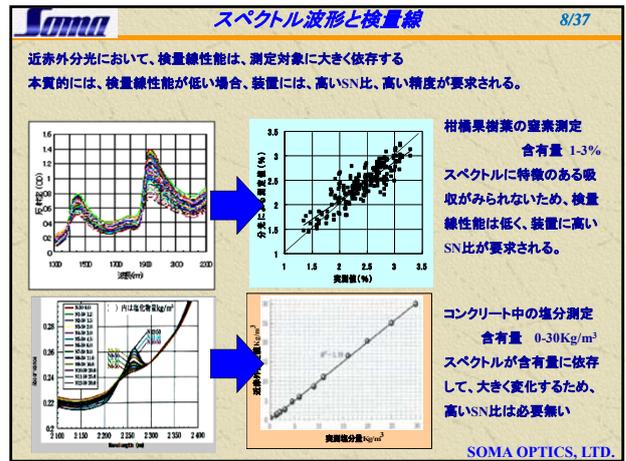
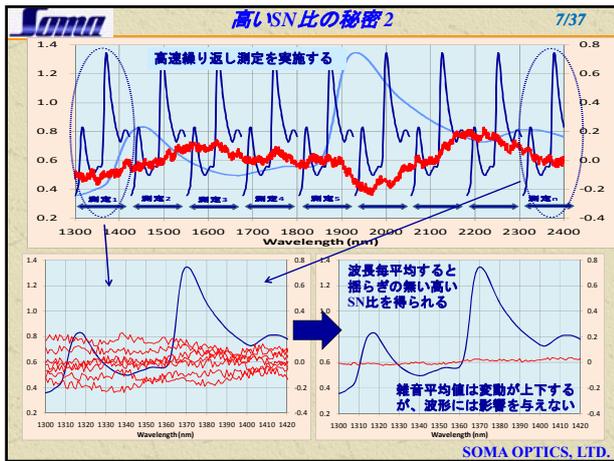
高いSN比の秘密1

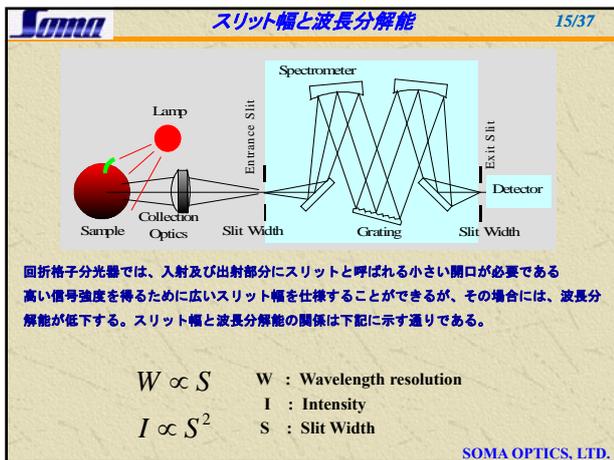
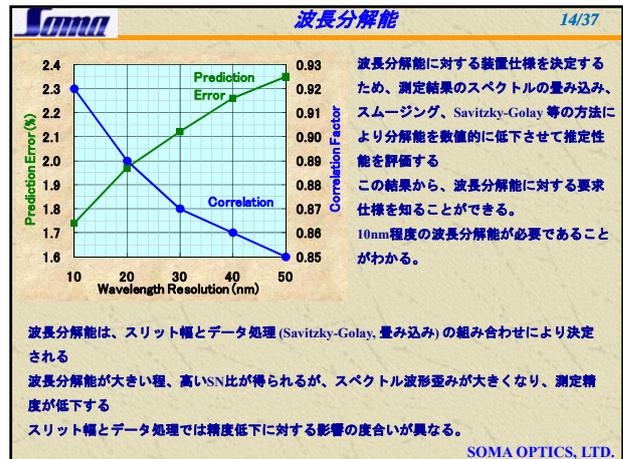
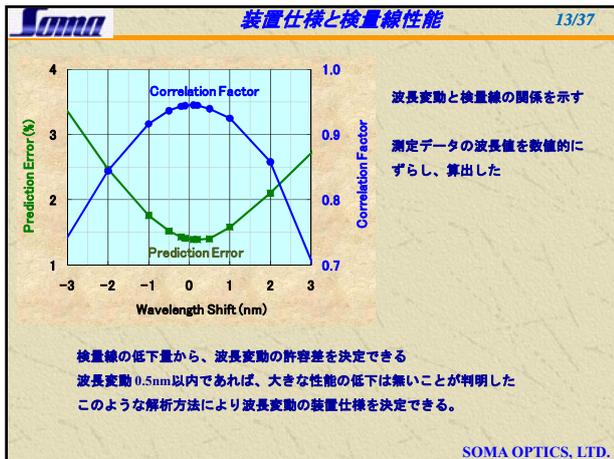
6/37

分光測定は雑音によりスペクトル波形が妨害される
雑音は、低周波数ほど大きな振幅となる
測定されたスペクトルを特定の波長範囲で平滑化することにより、SN比を向上させることができる

ここでは、波形に影響をあたえない範囲の±12nmで平滑化すると、雑音は低減するが、波長全体にわたる大きな変動(低周波数の変動)は、この平滑化では除去することが困難である
分光光度計はこのような方法で測定されている

SOMA OPTICS, LTD.





データ処理と波長分解能 16/37

スムージング処理によりノイズを除去しきれいなスペクトルを得ることができる。このスムージング計算は下記の式により実施される。

$$A_c(\lambda) = \int_{-D}^{+D} A(\lambda - a) \cdot \Delta(a) \cdot da$$

$A_c(\lambda)$ 計算されたスペクトル
 $A(a)$ スリット関数
 $\Delta(a)$ 測定されたスペクトル

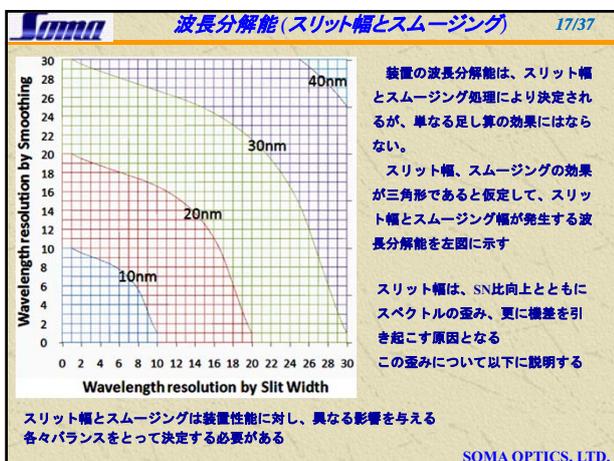
これ以外にもSavitzky-Golay等、色々なスムージング処理が存在する

$$A_n = \sum_{m=-i}^{+i} B_m \times C_{n+m}$$

A_n 計算されたスペクトル
 B_m 係数
 C_n 測定されたスペクトル

データスムージングにより、SN比は、計算されるデータ数の平方根に比例して向上する
使用されるデータ数が大きいほどSN比は向上するが波長分解能は低下する

SOMA OPTICS, LTD.



- 装置特性の測定スペクトルへの影響 (機差)** 18/37
- 装置特性により発生するスペクトルの歪み**
異なる装置により測定されるスペクトル波形は、装置光学特性によりそれぞれ異なる波形となる。
 - スペクトル歪みの影響**
スペクトル歪みのために機差が発生し、各々の装置毎の検量線または基準試料による補正が必要となる。このために、装置の応用を困難にしている。
 - スペクトル歪みの解析**
この機差の原因となるスペクトル歪みは、装置の分光応答特性と波長分解能に起因するものであり、関係について解析した。
- SOMA OPTICS, LTD.

近赤外スペクトルの算出 19/37

$$\text{Reflectance} = \frac{\text{Sample Signal}}{\text{Reference Signal}} \times [\text{Reflectance of Reference}]$$

$$A_m(\lambda) = \frac{i_s(\lambda)}{i_r(\lambda)} \cdot T(\lambda)$$

試料と基準を測定、信号強度の比から、反射、透過スペクトルを得ることができる。
この測定と比較が、有限の光学的波長分解能の分光装置により実施されることによりスペクトルの歪みが発生する。

SOMA OPTICS, LTD.

スペクトル波形の誤差 20/37

下記の計算式より反射率が求められる

$$A_m(\lambda) = \frac{i_s(\lambda)}{i_r(\lambda)} \cdot T(\lambda)$$

$A_m(\lambda)$ 測定された試料スペクトル
 $i_s(\lambda)$ 試料信号強度
 $i_r(\lambda)$ 基準板信号強度
 $T(\lambda)$ 基準板反射率
 $\Delta(\lambda)$ 波長分解能

一定の波長分解能の装置で測定、算出された試料スペクトルは、本来のスペクトルをその波長分解能範囲で積分したものとなるが期待される

$$A_m(\lambda) = \frac{i_s(\lambda)}{i_r(\lambda)} \cdot T(\lambda) = \int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da$$

この式から、スペクトル波形はハードウェアの影響を受けないように見えるが、実際には、こうならず、求められたスペクトル波形は、装置ハードウェアに依存する

SOMA OPTICS, LTD.

反射率の計算 21/37

下記に示す反射率算出の計算式は、装置の波長分解能が0nmという究極に高い場合の時のみ正しい値となる

$$A(\lambda) = \frac{i_s(\lambda)}{i_r(\lambda)} \cdot T(\lambda)$$

$A(\lambda)$ 試料本来のスペクトル
 $i_s(\lambda)$ 試料信号強度
 $i_r(\lambda)$ 基準板信号強度
 $T(\lambda)$ 基準板の反射率
 $\Delta(\lambda)$ 装置の波長分解能

測定は通常有限の波長分解能 $\Delta(\lambda)$ により実施される
試料および基準板の信号強度は波長分解能を決めるスリット関数 $\Delta(\lambda)$ との畳み込み関数となる
これを考慮すると上式は、下記のように書き直すことができる。

$$A_m(\lambda) = \frac{\int_{-D}^{+D} i_s(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da}{\int_{-D}^{+D} i_r(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da} \cdot \int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da$$

SOMA OPTICS, LTD.

有限の波長分解能による測定 22/37

反射率100%試料を測定した信号強度を装置関数 $f_r(\lambda)$ とする
装置関数 $f_r(\lambda)$ は、下記装置光学部品の特性により決定される
・光源・回折格子・検知器・光学素子

$A(\lambda)$ 試料反射率
 $i_s(\lambda)$ 試料信号強度
 $i_r(\lambda)$ 基準板信号
 $T(\lambda)$ 基準板の反射率
 $A(\lambda)$ スリット関数
 $f_r(\lambda)$ 装置関数
 $A_m(\lambda)$ 測定スペクトル

試料と基準板の信号強度 $i_s(\lambda)$ $i_r(\lambda)$ は装置関数 $f_r(\lambda)$ とその反射率から下記のように示される

$$i_s(\lambda) = A(\lambda) \cdot f_r(\lambda)$$

$$i_r(\lambda) = T(\lambda) \cdot f_r(\lambda)$$

この関係を前頁式に代入し、下記の式が得られる

式中に、装置関数 $f_r(\lambda)$ が含まれており、測定結果は装置の特性の影響を受けた値となることがわかる

$$A_m(\lambda) = \frac{\int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot f_r(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da}{\int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot f_r(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da} \cdot \int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da$$

SOMA OPTICS, LTD.

波長分解能により発生するスペクトルの歪み 23/37

装置関数 $f_r(\lambda)$ が、分解能波長幅の範囲で常数と考えられる場合、波長分解能が高い場合にはこうなる場合が多い

$$f_r(\lambda) = K$$

上式を前頁の式に代入し、下記式が得られる

$$A_m(\lambda) = \frac{\int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot K \cdot \Delta(a) \cdot da}{\int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot K \cdot \Delta(a) \cdot da} \cdot \int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da$$

前記式を整理すると下記式となる
下記式に装置関数は含まれておらず、真のスペクトルとスリット関数の畳み込みとなる

$$A_m(\lambda) = \int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da$$

装置関数が常数と考えられる場合、測定結果は装置関数に依存しない、スペクトルとなる

SOMA OPTICS, LTD.

波長分解能による歪みの評価 24/37

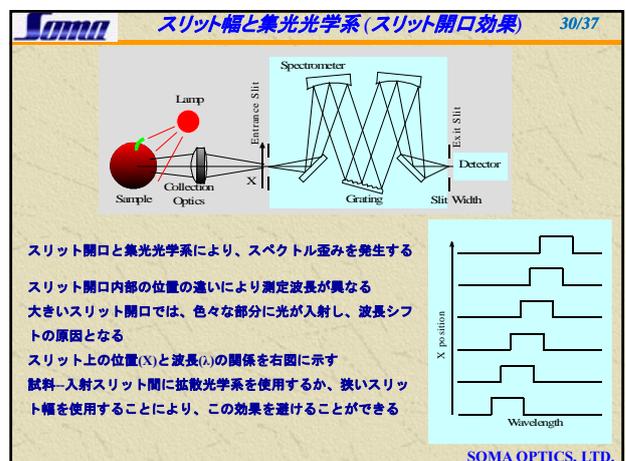
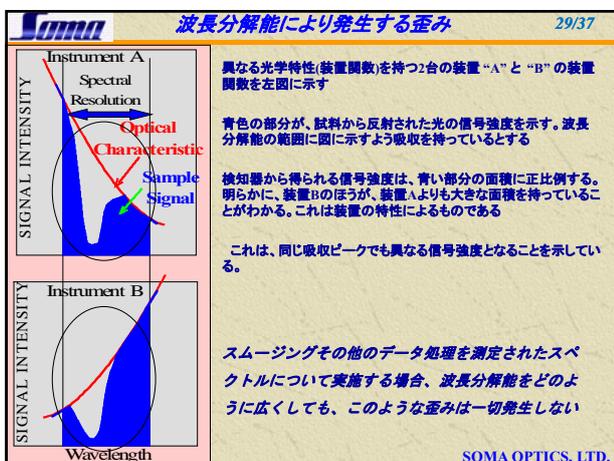
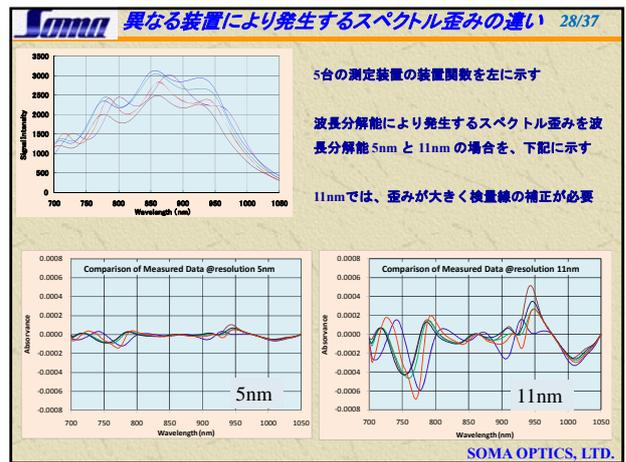
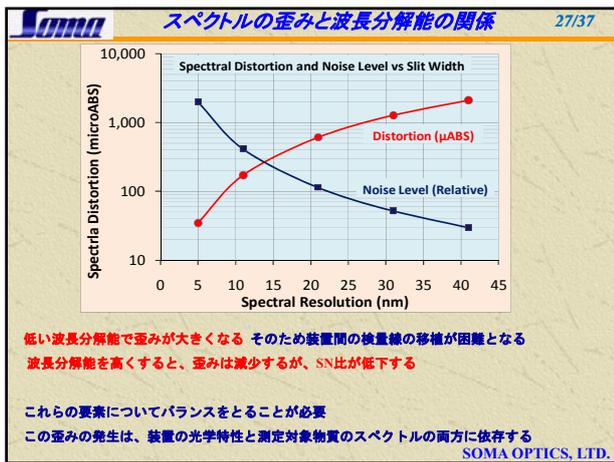
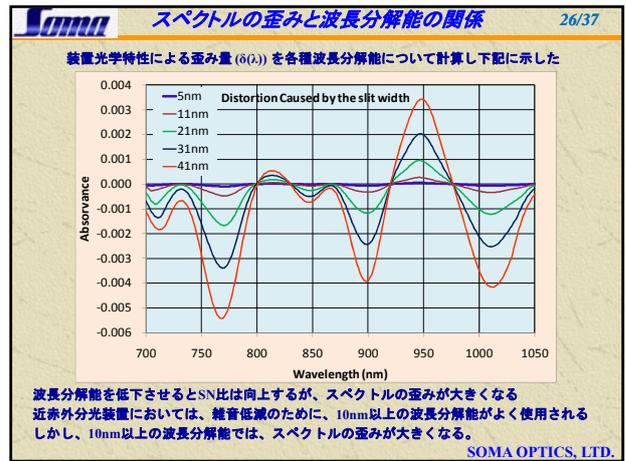
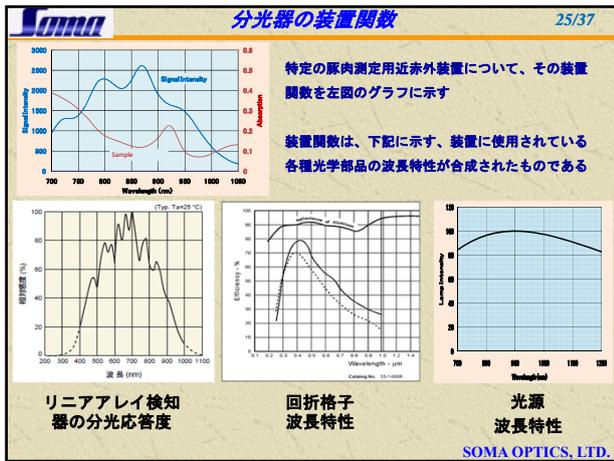
波長分解能が大きくその分解能範囲内で装置関数が一定とは考えられない場合、測定されたスペクトル $A_m(\lambda)$ は、装置関数である $f_r(\lambda)$ の関数となり、装置の影響を受けた波形となる

$$A_m(\lambda) = \frac{\int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot f_r(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da}{\int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot f_r(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da} \cdot \int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da \neq \int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da$$

歪みを示す関数 $\delta(\lambda)$ を下記のように定義できる
この関数は装置関数から算出可能であり、装置による歪み量を示す

$$\delta(\lambda) = \log \left[\frac{\int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot f_r(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da}{\int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot f_r(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da} \cdot \int_{-D}^{+D} T(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da \div \int_{-D}^{+D} A(\lambda-a) \cdot \Delta(a) \cdot da \right]$$

SOMA OPTICS, LTD.



SOMA スリット幅と入射光学系(スリットの開口効果) 31/37

試料表面で反射した光がそのまま、スリット上に結像した場合には、測定位置により波長シフトが発生するため、高い統計性能が得られない

このような場合、試料表面からの光を一度、オプティカルファイバーによりスリット上に集光することにより、統計性能を高くすることができる

SOMA OPTICS, LTD.

SOMA 測定装置の仕様 32/37

先に示したシミュレーションにより装置のハードウェア仕様を左図のように決定された

Item	Specification
Wavelength	700~1000nm
Method	Interchange
Wavelength Resolution	~10nm
Slit Width / Smoothing	5nm / 5nm
Wavelength Stability	<0.5nm
Noise	50 μ ABS
Linearity	<10%

得られたハードウェア仕様により装置は、設計製作された

この仕様を満たすことで、必要な性能を持つ近赤外分光装置を実現することができる

SOMA OPTICS, LTD.

SOMA 設計試作された測定装置1 33/37

Optics in Probe

SOMA OPTICS, LTD.

SOMA 設計試作された測定装置2 34/37

測定部分を小型にした現場対応の装置を製作した。すべての光学系と電気系が測定部に組み込まれ小型な装置となっている

Outer Shape of the Instrument

SOMA OPTICS, LTD.

SOMA Measuring Meat Fat of Carcass 35/37

牛枝肉は、切断面が非常に狭く隙間からプローブを入れて測定しなければならない。

豚枝肉は、中心から左右に開かれているために、プローブを正面から当てる形となり、ガンタイプの装置が便利である

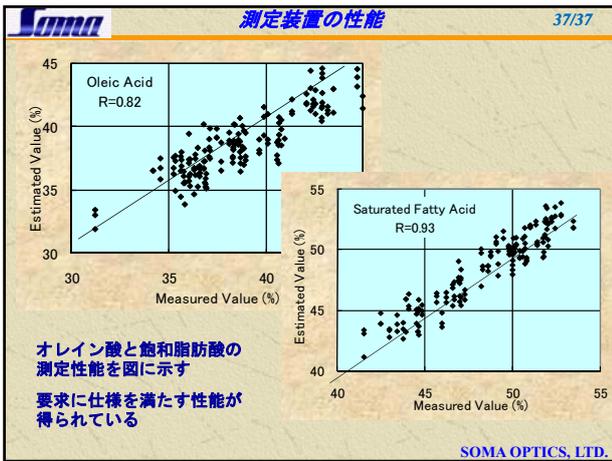
SOMA OPTICS, LTD.

SOMA 測定性能 36/37

Measuring Item	Sample		Prediction	
	Ave %	Distribution%	Corr.	SEP %
SFA	48.20	3.52	0.93	1.22
MUFA	40.46	3.20	0.77	1.98
PUFA	11.34	3.20	0.88	1.44
Oleic Acid	38.64	3.04	0.82	1.65

検査線性能を表に示す
要求仕様である誤差3%以下が実現されている

SOMA OPTICS, LTD.



測定目的を特定し、近赤外分光装置の設計方法

近赤外分光では、何でも測定できる
しかし、測定結果からなにも得られない場合もある
近赤外は、簡単で便利な測定方法である
しかし、装置開発には、大変な努力が必要である
近赤外分光は、ほんのわずかな信号の変化から
あらゆる技術を駆使して、より多くの情報を
引き出す測定方法である

(株)相馬光学
技術開発部
大倉 力

赤外線領域における絶対反射率測定の検討



都産技研・本部全景

地方独立行政法人
東京都立産業技術研究センター
開発本部開発第一部
光子技術グループ
中島 敏晴

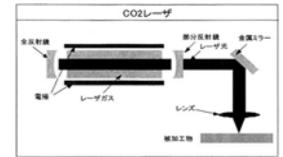
赤外線分光反射率測定の精度向上への要求



表面温度分布などを観測するサーモグラフィの校正に使用する平面黒体炉 (低反射材)



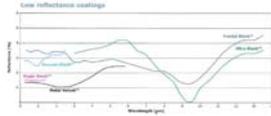
暖房機器などの放射パワー測定に使用する赤外線センサ (サーモパイル)



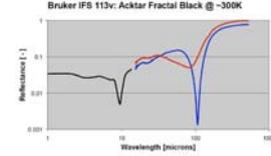
CO₂レーザ加工機に使用する反射板 (高反射材)

高反射材や低反射材などの特性評価にあたって、再現性が良く高精度な反射率測定が求められている

低反射材(高吸収材)の反射率データ

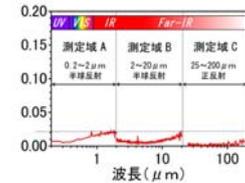


Acter Ltd.(イスラエル)開発の真空蒸着技術で形成した光吸収膜の反射率特性



NASAで実施した反射率データ (いずれも、Tech-On! 2010/08/18より抜粋)

◎標準黒体炉や熱型赤外線センサ受光面などへ利用



単層カーボンナノチューブ垂直配向構造体の分光反射率 (産総研 ナノチューブ応用研究センター スーパーブローズCNTチーム HPより抜粋)

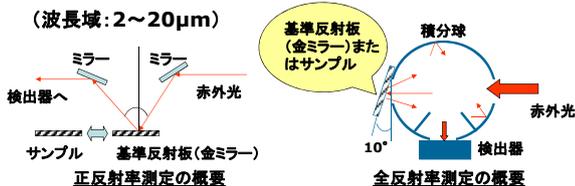
反射標準の現況

	可視-近赤外	赤外
拡散反射	NMIJ:360-830nm 810-1600nm	NRC:2.5-15μm
正反射	NPL:200-2500nm NIST:250-2500nm (NISTは拡散+正反射)	NPL:2.5-56μm (供給停止) NIST:供給中?

NPL:英国物理学研究所 NIST:米国立標準技術研究所
NRC:カナダ国家研究会議 NMIJ:産総研計量標準管理センター

都産技研での赤外線分光反射率測定方法

(波長域:2~20μm)



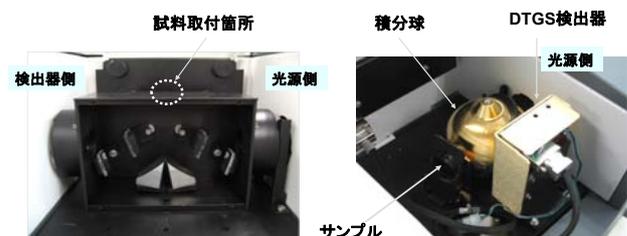
測定の再現性:±1~2%

◎評価方法

基準反射板(市販金ミラー)の反射率を100%としたときのサンプルの相対反射率 → 基準としての位置付けが不明確

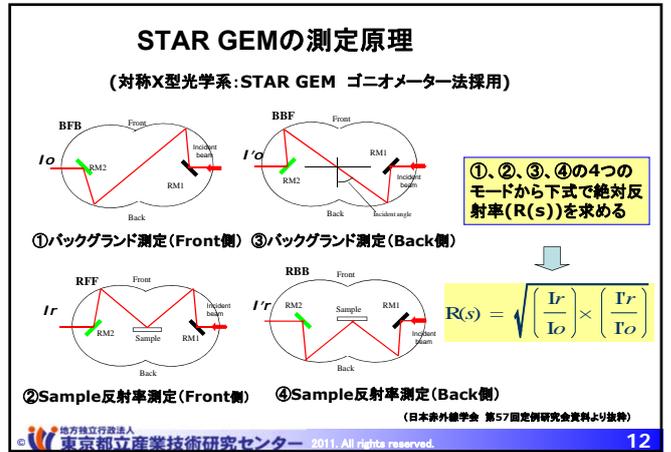
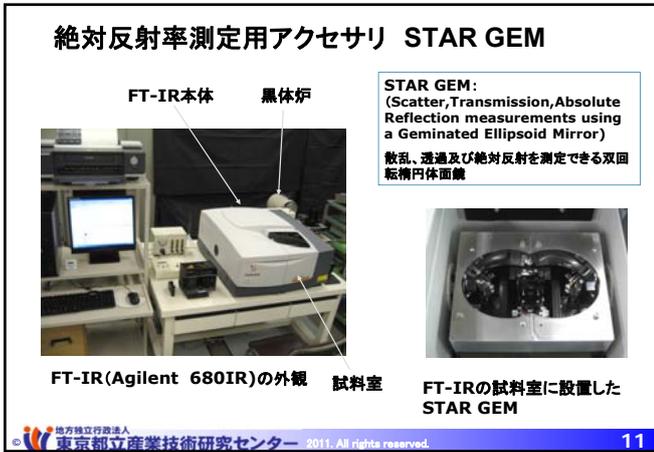
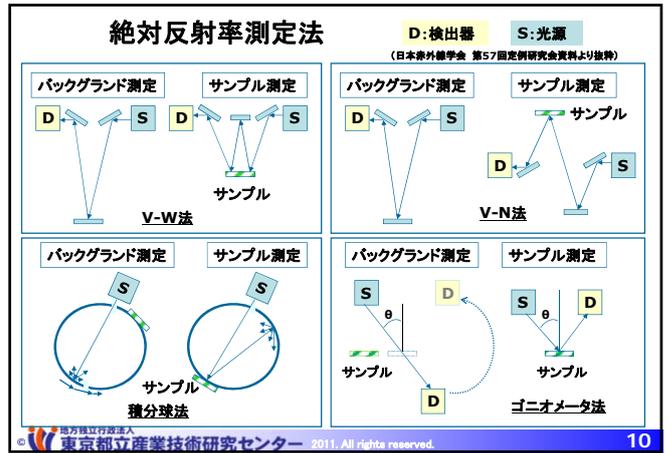
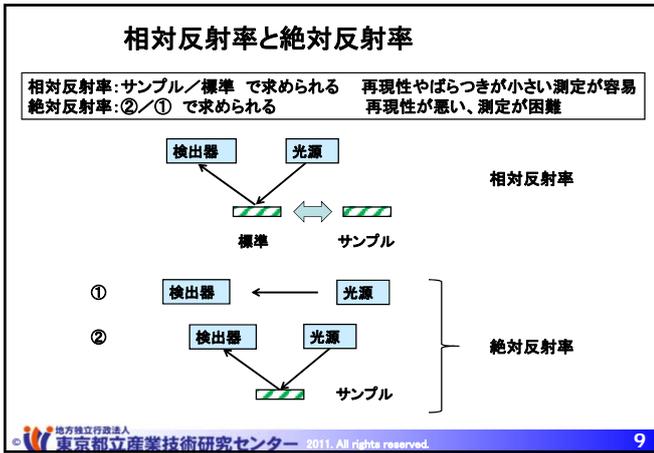
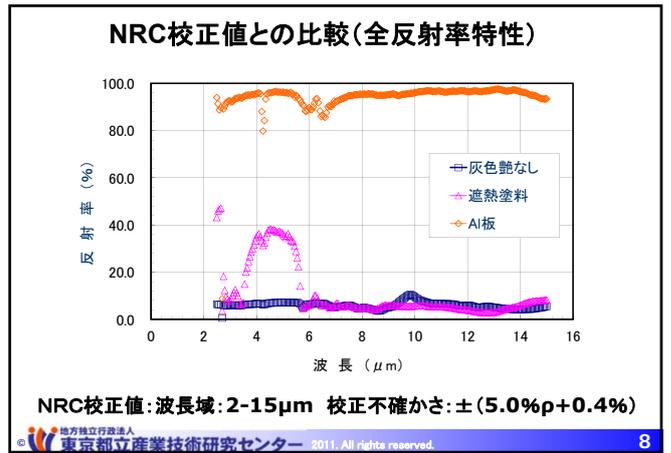
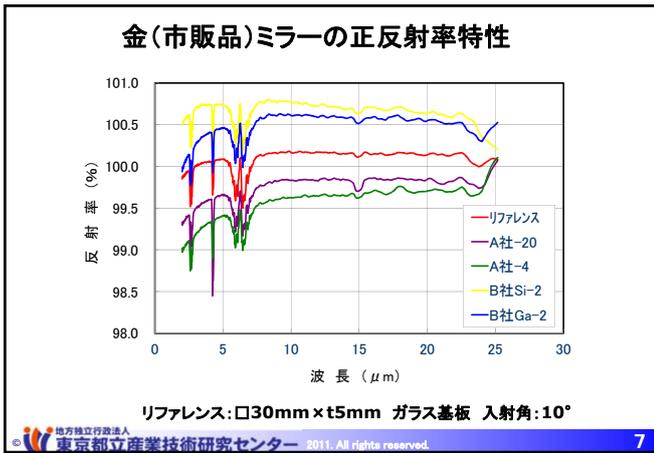
分光反射率測定用アクセサリ

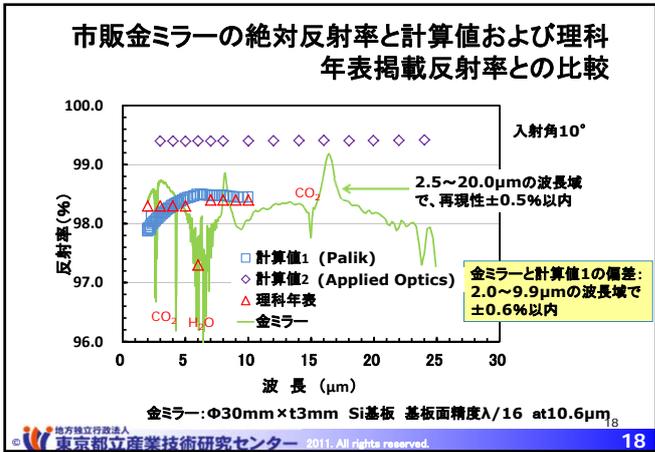
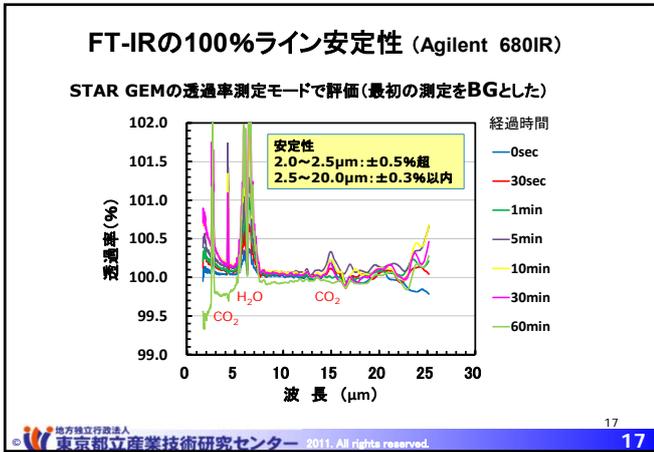
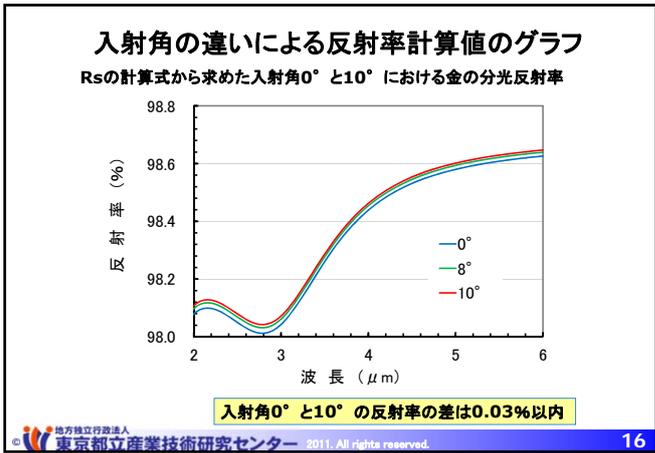
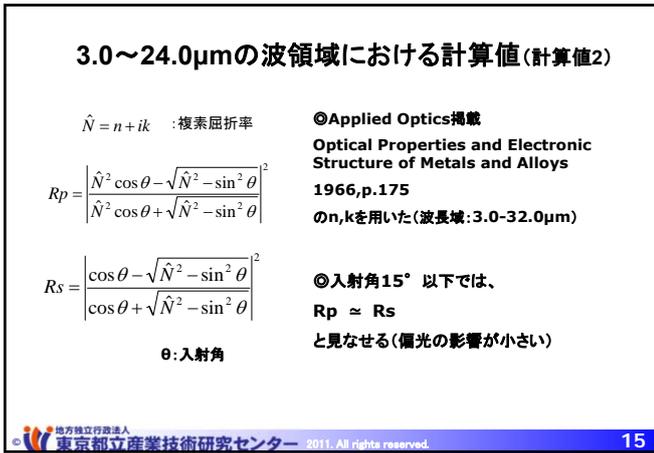
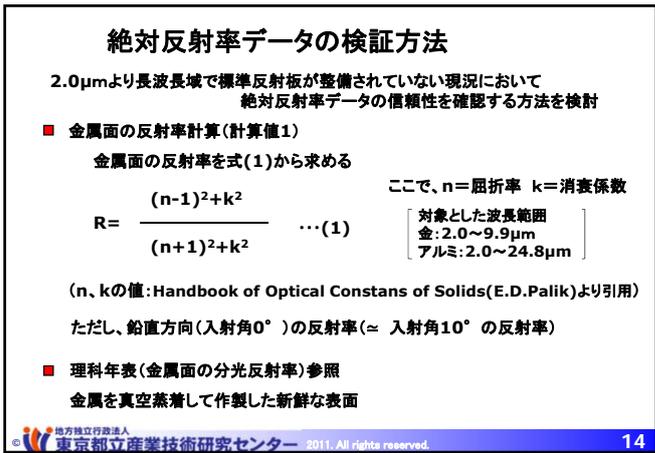
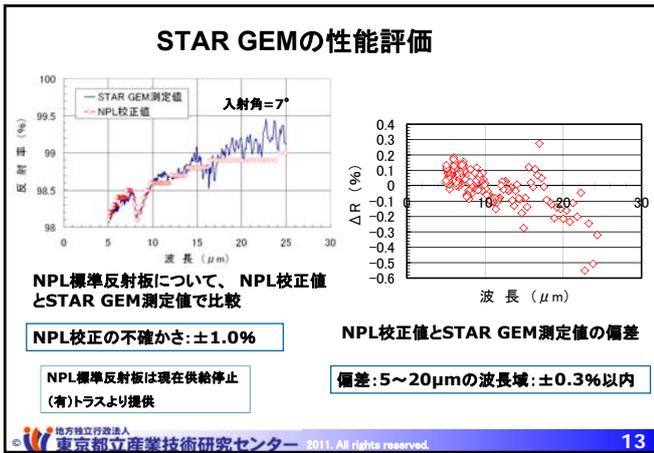
(FTIRの試料室に設置して使用)



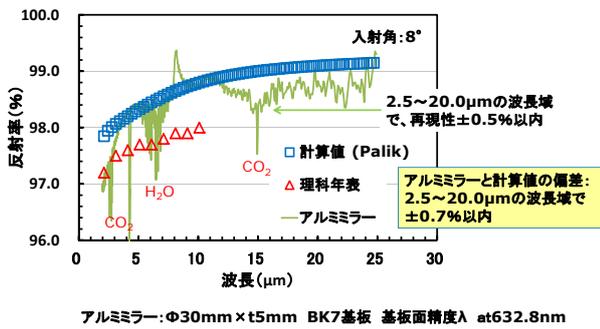
正反射率測定用アクセサリ (入射角10° 固定)

全反射率測定用アクセサリ 金コーティング積分球と検出器



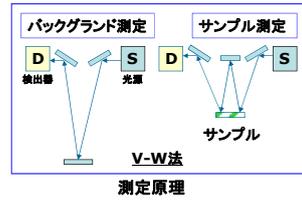


市販アルミミラーの絶対反射率と計算値および理科年表掲載反射率との比較



アルミミラー: Φ30mm×t5mm BK7基板 基板面精度λ at632.8nm

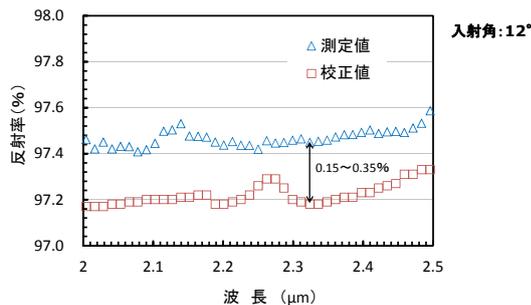
V-W法光学アクセサリの概要



アクセサリ外観入射角: 12° 固定

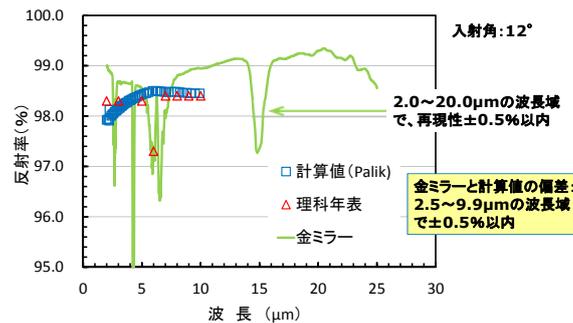
- 可視～近赤外領域でのFT-IRによる測定で利用されている
- 入射角度は12°と45°のみ → 可変角度測定ができない
- サンプル測定時はサンプル面の二箇所所で反射させる → 大きい試料が必要
- 絶対反射率Rの二乗を測定 → Rを求めるために開平する必要
- 再現性が良くない(現時点で±1.0%以上) → 測定毎に光軸調整が必要

V-W法アクセサリで測定したNPL標準反射板の絶対反射率とNPL校正値



NPL標準反射板: アルミ 波長域: 2.0~2.5μm 校正不確かさ: ±1.0%

V-W法による金ミラーの絶対反射率



まとめと今後の展開

- STAR GEMおよびV-W法アクセサリを用いて、2.5~20.0μmの波長範囲で、再現性が±0.5%以内の絶対反射率測定が可能
- 2.0~2.5μmの波長域における安定性や再現性の低下要因
→ FT-IR内部光源(セラミック)の出力電圧変動やDTGS検出器の感度むらと推定
- 絶対反射率データの検証方法の見直し(信頼性向上)
→ 文献によって波長範囲や屈折率、消光係数が異なり、比較結果にばらつきが出る
→ 特定波長のみで100%近くの反射率を持つ多層膜反射板を評価する方法を検討

3.5 第7回委員会「布地の材質判定と混紡率測定」

3.5.1 序

布地の材質判別と混紡布地の混紡率の測定を、近赤外放射を用いて行う手法を開発した。布地の材質には多種あって、種類により性質が異なる。適材が適所に用いられているかを確認することが、適宜必要となる。また希少で高価な繊維で作られた布地については、含有率が正しく表記されているのか、偽装が行われていないかなどの確認が必要となる。そのために、生産・流通から使用後の廃棄や再利用までの様々な段階での非破壊分析が必要となる（本節末尾に添付の図2）。

布地の材質判別と混紡布地の混紡率測定については、JISにより分析法が指定されている。しかしJISに指定されている分析法はすべてが破壊分析である上に、試薬、高度な分析技術、多大の分析時間のすべてを要するので、現場での分析に応用することは困難である。そこで、近赤外分光法を用いてJISに指定された分析法に比べて遜色無い精度での分析ができないかを検討した（図3-5）。

ここでは、三つの実験・解析についてそれぞれを簡単に紹介する。第一の実験では、従来の中赤外領域での分光法にならって、観測されたスペクトル中のキーバンドを用いて11種の布地の材質判別と綿-ポリエステル混紡布地の混紡率測定を試みた。第二の実験では、ケモメトリックスの主成分スコアプロットを用いた8種の布地材質の判別、重回帰法と主成分スコアプロットによる混紡布地の成分判定、PLS回帰法による綿-ポリエステル混紡布地の混紡率測定を試みた。第三の実験では、羊毛を中心とした混紡布地の混紡率測定をPLS回帰法により試みた。以下それぞれを簡単に紹介する。

3.5.2 キーバンドを用いる分析法(実験1)

11種の布地（綿、麻、リネン、キュプラ、レーヨン、羊毛、絹、ポリプロピレン、ポリエステル、アセテート、アクリル）の近赤外拡散反射スペクトルをAOTF（Acousto-Optic Tunable Filter）型の分光光度計で測定した（図6,7）。観測されたスペクトルと分子構造を関係づけながら、例えばOH基やNH基による幅広いバンドが観測されているかどうか、芳香族性のCH基のバンドが見られるかどうかなどを順次判別することにより、材質の判別が可能であることを示した（図8-18）。しかしこの方法では、主成分が共通の綿、麻、リネン、キュプラ、レーヨンの区別（以上いずれも主成分はセルロース）、および羊毛と絹の区別（いずれもタンパク質系繊維）はできなかった。それぞれスペクトルが類似しており、目視により区別できるほどの差異が無いためである。

綿-ポリエステル混紡布地の混紡率については、綿に特徴的なバンド（OH基によるバンド）とポリエステルに特徴的なバンド（芳香族CH基によるバンド）の二波長の吸収強度を用いておよその混紡率を予測する方法を見出した（図19,20）。しかしこの方法は予測混紡率が最大10%程度の誤差を持つので、実用には適さない。

3.5.3 ケモメトリックスの応用(実験2)

8種の布地（綿、麻、レーヨン、羊毛、絹、ポリエステル、ナイロン、アクリル）の近赤外吸収スペクトルを、紫外可視近赤外分光光度計（JASCO, V-570）により拡散反射法で測定した（図21,,22）。各種類の布地の試料10点ずつ、合計80点のスペクトル（1230-2370 nm）について主成分分析（PCA）

を行った。“第一主成分”対“第二主成分”のスコアプロットを行ったところ、このプロットによって5成分は確実に判別可能であることがわかった(図 23)。しかしこのプロットではセルロース系の綿、麻、レーヨンについては十分に分離ができず、判別ができなかった。そこで、この3種の布地の判別に有効な波長領域を探したところ、1230-1370 nm が適当であることが見出された。この波長領域を用いこの3種30点のスペクトルのみに対してPCAを行った結果、“第一主成分”対“第二主成分”のスコアプロットによりこの3種が明確に判別できることがわかった(図 24)。以上により、8種の布地についてはいくつかのPCAスコアプロットを組み合わせることによりその成分を判別できることがわかった。

次に、混紡布地の成分を判別する方法を検討した。混紡布地試料について観測されたスペクトルを8種の純成分布地のスペクトルで再現することにより、候補となる成分を求めた。すなわち、観測されたスペクトルを最も良く再現するスペクトルを示す布地を第一成分、それに加えることにより再現精度を最も向上させるスペクトルを示す布地を第二成分とする。同様にして第三成分までを求めた(図 25-28)。この方法では、成分数を増やせば増やすほど再現精度は上がってしまう。真に含まれる成分を確認するために、主成分スコアプロットを援用した。混紡布地(例えば綿とポリエステル)の混紡布地のスコアプロットが成分の純布地(例えば純綿および純ポリエステル)のスコアプロットの間の領域にくることを用いると、スペクトル再現により求められた成分の候補が本当にその試料に含まれているのかどうかを判断することができることがわかった(図 29)。

最後に、綿とポリエステル混紡について、PLS回帰を用いて混紡率の予測を試みた。観測したスペクトルの全領域を用いてモデルを作成してもそれなりの精度での予測は可能であるが、moving window PLSを用いて予測に有効な波長領域を選択してモデルを作成することにより予測精度が向上し、JISが要求する精度以上での予測ができることが明らかとなった(図 30-32)。

3.5.4 羊毛を中心とした混紡布地の混紡率測定(実験3)

羊毛-ポリエステル、羊毛-アクリル、羊毛-ナイロンの混紡布地それぞれについて、PLS回帰法を用いた混紡率予測を試みた。ここでは、スペクトルはBrukerのFT-NIR分光光度計(MPA)を用いて拡散反射法により測定した。また、モデル作成に有効な波長領域は、moving window PLSにより候補となる領域を求め、バリデーションにより決定した(図 33,34)。その結果、羊毛-ポリエステルと羊毛-アクリルについては良好な結果を得ることができた(図 35,36)。しかし羊毛-ナイロンについては、現在までに得られたモデルでは予測精度がまだ十分でない。これはナイロンに特有の事情によるものと考えられる。これらの事情を勘案しつつ予測精度の向上を目指すことが必要である(図 37,38)。

3.5.5 まとめ

近赤外分光法とケモメトリックス(PCAおよびPCAスコアプロット、重回帰法によるスペクトルの再現、PLS回帰およびmoving window PLSによる有効な波長領域の検討)により、布地材質の判別や混紡布地の成分判別、混紡率測定が可能となることが明らかとなった。混紡率の予測については、成分の組み合わせによっては精度がまだ不十分で、今後の改善を要する。しかし全般的には実用可能なレベルでの測定(予測)が可能であることが明らかとなった。

布地の材質判定と混紡率測定

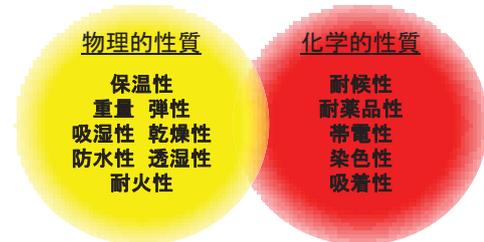
東京農工大学大学院連合農学研究科
高柳正夫

共同研究者

吉村季織・白 文明・茂谷明宏(H21修了)・
石井大介(H18卒業)・新田光善(H16卒業)

1

構成繊維種とその混用率は
繊維製品(主に衣類)の諸性能に大きく関与



用途に合わせた多種多様な製品が存在する
⇒それらの組成を把握する必要がある
(生産管理, 流通管理, 維持管理, 廃棄管理)²

日本工業規格(JIS)試験

繊維鑑別試験

顕微鏡観察
赤外分光法(KBr法)

混用率測定試験

溶解法
解じよ法

- ①全て破壊試験
- ②迅速性に欠ける
- ③大量の
有機溶媒、酸/塩基を使用

X JIS試験法は汎用性に乏しい
(迅速で非破壊な試験法の必要性)

生産・流通分野

品質管理
高級衣類の検品

リサイクル分野

リユース製品評価
繊維ケミカルリサイクル

3

JISに規定されている繊維鑑別法

- a) 燃焼試験
- b) 繊維中の塩素の有無の試験
- c) 繊維中の窒素の有無の試験
- d) 顕微鏡試験
- e) よう素一よう化カリウム溶液による着色試験
- f) キサントプロテイン反応
- g) 各種試薬に対する溶解性試験
- h) 赤外吸収スペクトルの測定
 - 1) A法(臭化カリウム錠剤法)
 - 2) B法(フィルム法)

4

JISに規定されている繊維鑑別法

- ・ いずれも破壊測定法
- ・ 手間も暇もかなりかかる
- ・ 精度に問題がありそうな手法もある

高精度非破壊分析法の確立が必要

↓
近赤外分光法の応用

5

実験 1

- ・ **分光計**: AOTF型の近赤外分光光度計
(オプト技研; OptScan) 拡散反射測定
- ・ **11種類の繊維(布地)**:
綿, ラミー, リネン, キュプラ, レーヨン,
ウール, 絹, ポリプロピレン,
ポリエステル, アセテート, アクリル
- ・ **10種類の綿-ポリエステル混紡**:
綿混用率
100, 80, 65, 55, 40, 35, 30, 15, 5, 0 %⁶

セルロース系

綿
ラミー(苧麻)
リネン(亜麻)
キュプラ(コットンリントからの再生繊維)
レーヨン(パルプからの再生繊維)

O[C@@H]1[C@@H](O)[C@H](O)[C@@H](CO)O1

絹
16種のアミノ酸単位 (主成分: グリシン, アラニン)

NC(=O)C(R)C(=O)N

羊毛
18種のアミノ酸単位 (主成分: セリン, グルタミン酸, グリシン, システイン)

NC(=O)C(R)C(=O)N

アセテート

CC(=O)OC1=CC=C(C=C1)OC(=O)C

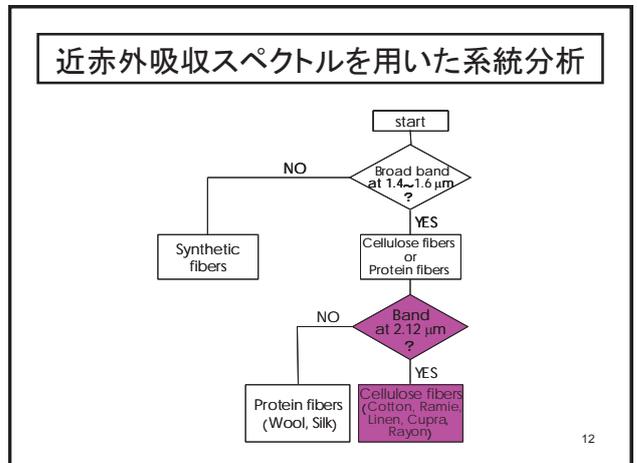
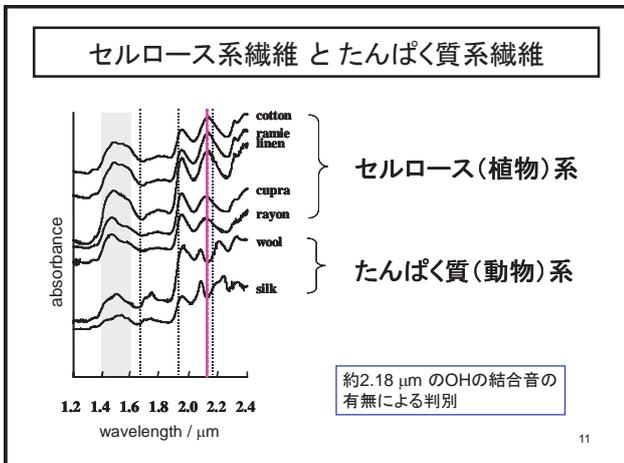
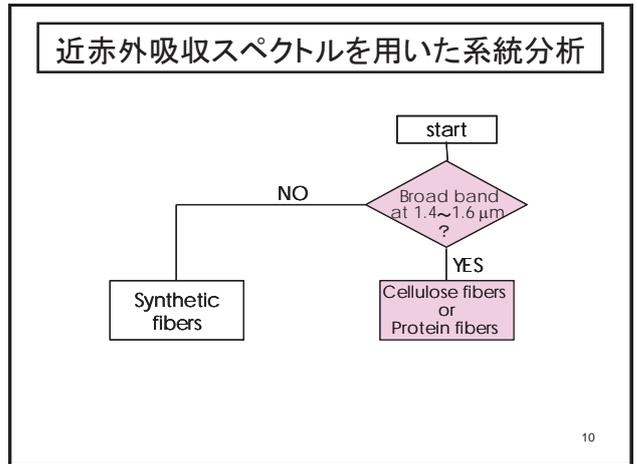
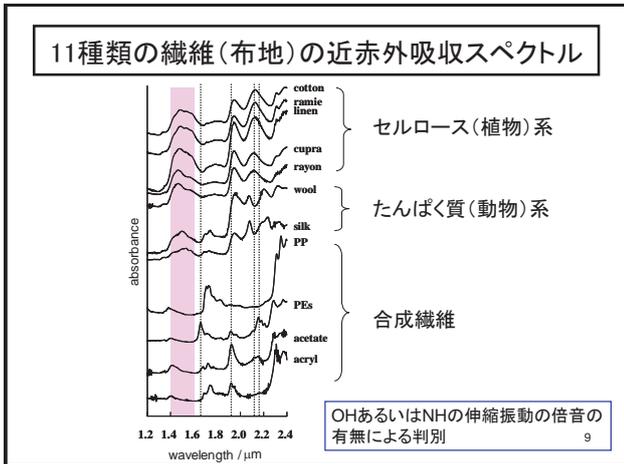
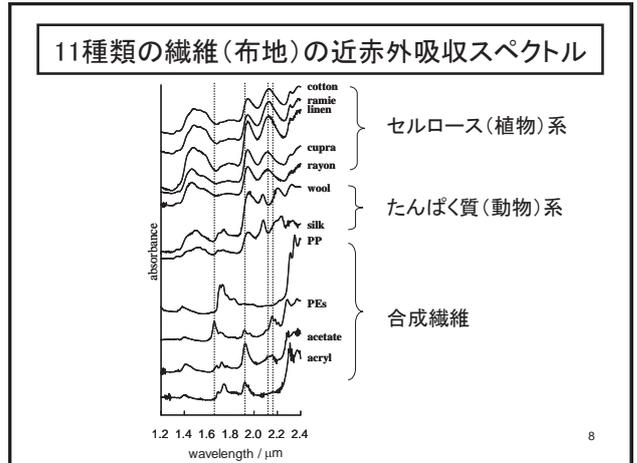
ポリプロピレン

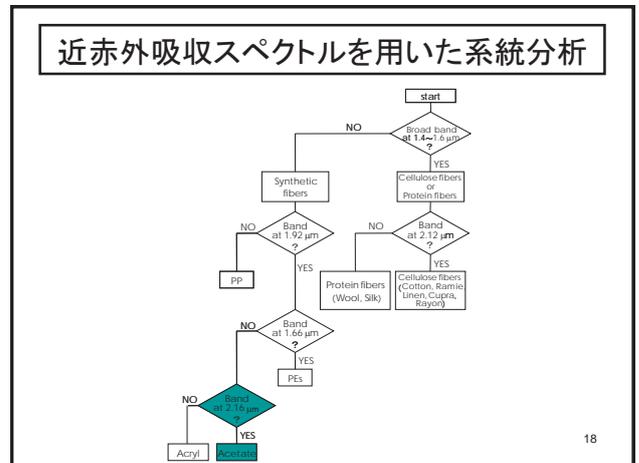
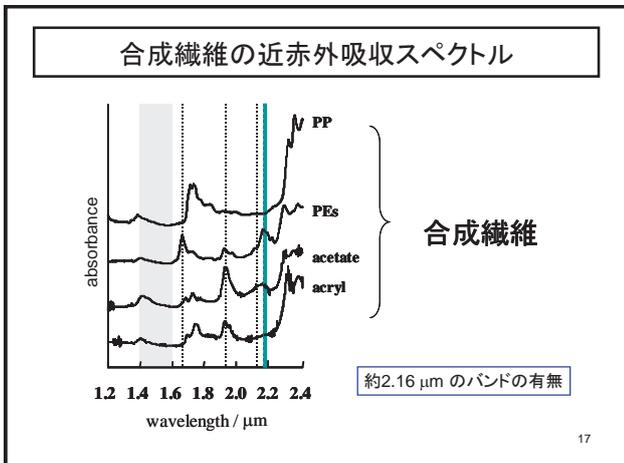
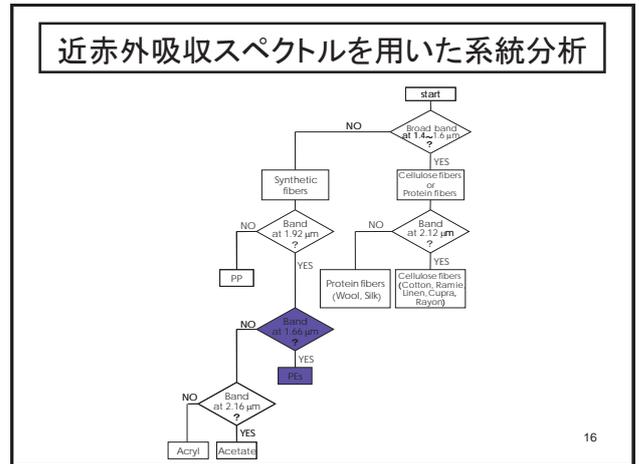
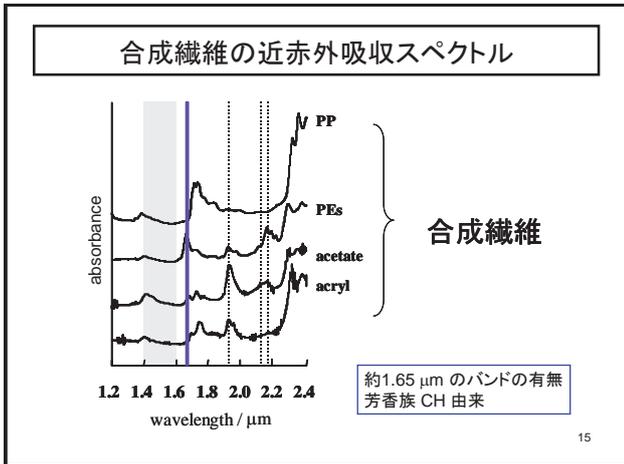
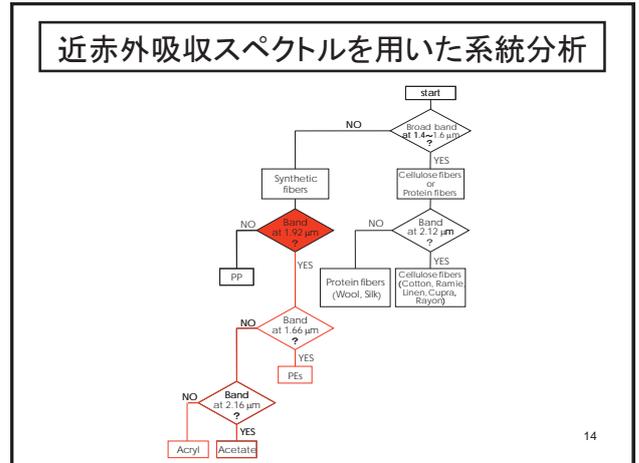
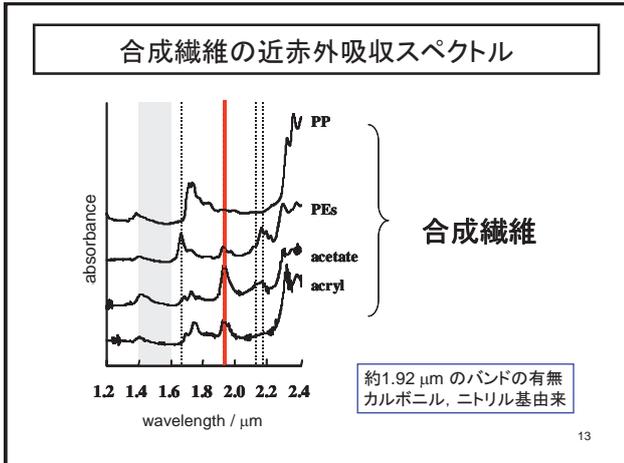
CC1=CC=CC=C1C(=O)OCC1

アクリル(ポリアクリロニトリル)

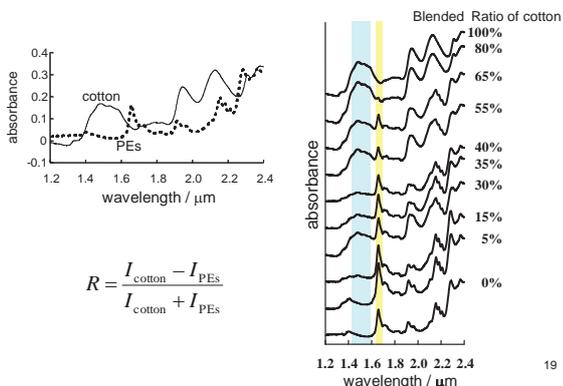
CC1=CC=CC=C1C(=O)N

ポリエステル(PET)

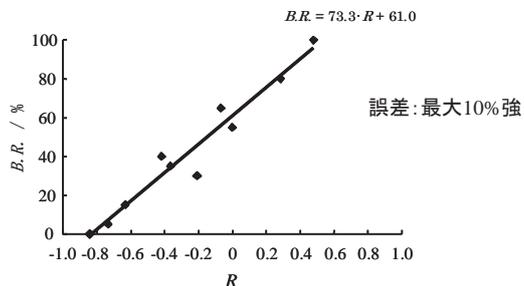
CC1=CC=C(C=C1)C(=O)OCC1




綿-ポリエステル混紡の近赤外吸収スペクトル



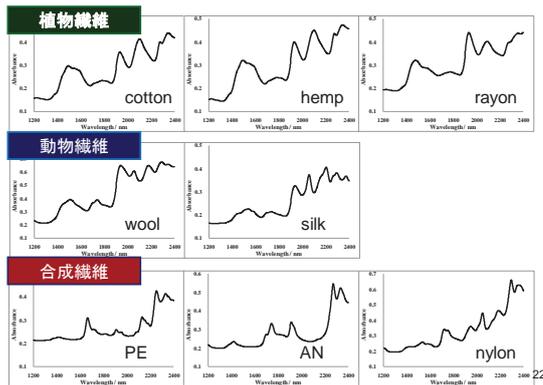
綿-ポリエステルの混用率決定



実験 2

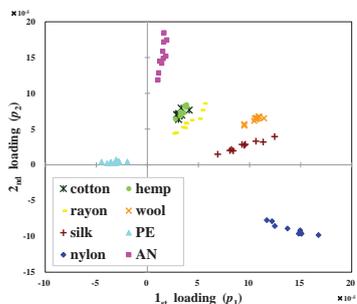
- ▶ 試料 汎用繊維8種の1-3種混紡繊維布地
 - ・植物繊維 綿 麻 レーヨン
 - ・タンパク質繊維 羊毛 絹
 - ・合成繊維 ポリエステル(PE) ナイロン アクリル(AN)
 - ▶ 近赤外スペクトル測定 紫外可視近赤外分光光度計(JASCO V-570)
 - ・拡散反射測定
 - ・測定波長領域 1200-2400 nm (8333-4166 cm^{-1})
 - ・Savitzky-Golay法によるスペクトルの平滑化と2次微分処理
 - ▶ JIS試験
 - ・繊維鑑別: 顕微鏡観察
 - ・混用率測定: 溶解法
- 21

繊維のスペクトル



主成分分析(PCA)

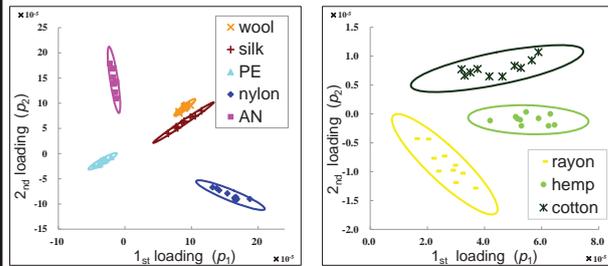
単一繊維試料各10点で構築したPCAモデル (1230-2370 nm)



全繊維種を含めたPCAモデルではデータ構造が大きく繊維間のスペクトル差異が小さい植物繊維で重複

主成分分析(PCA)

▶ 動物・合成繊維 (1230-2370 nm) ▶ 植物繊維 (1230-1370 nm)



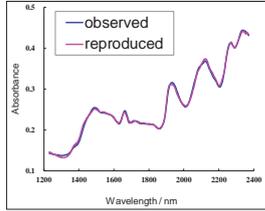
楕円: 二次元正規分布に基づく99.7%信頼区域

混紡繊維での成分繊維種の絞り込み

重回帰 fitting

試料実測スペクトルの疑似的な再現スペクトルを構築

- ▶ 基準スペクトル
単一繊維スペクトル8種
- ▶ 3次関数
ベースライン変動の補正



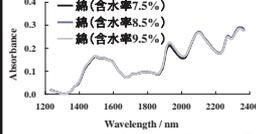
＜再現性の評価＞ 2スペクトル間の相関係数

25

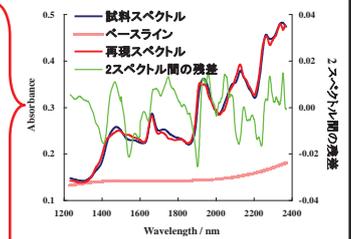
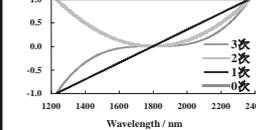
① 繊維鑑別法⇒重回帰分析による試料スペクトルの再現

(繊維 + 吸着水)スペクトル + ベースライン → 試料スペクトル

・(繊維 + 吸着水)スペクトル
⇒8繊維種のデータを用意



・0-3次曲線(ベースライン補正用)



○再現性の評価
各波長点の残差の
二乗和Kを求める

26

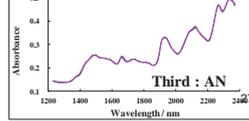
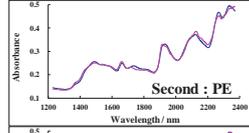
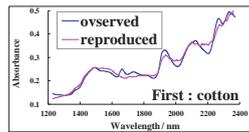
重回帰 fitting の一例

▶ 綿-PE-AN混紡試料
(60 / 25 / 15 % , w/w)

相関係数値

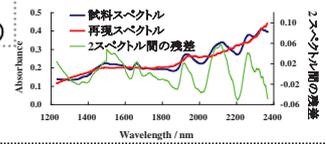
	First	Second	Third
cotton	0.99685	—	—
hemp	0.99646	0.99772	0.99912
rayon	0.99613	0.99756	0.99924
wool	0.99545	0.99782	0.99964
silk	0.99543	0.99771	0.99968
PE	0.99513	0.99862	—
AN	0.99565	0.99788	0.99996
nylon	0.99499	0.99702	0.99979

試料の繊維数に関わらず
3種まで繊維種を選択

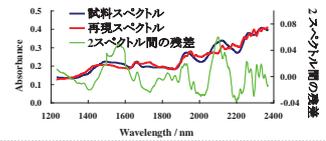


○繊維鑑別結果 一例(2種混紡繊維布地)

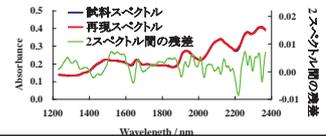
・全く一致しない場合
K = 0.661



・不完全一致
(一種のみ一致)
K = 0.524



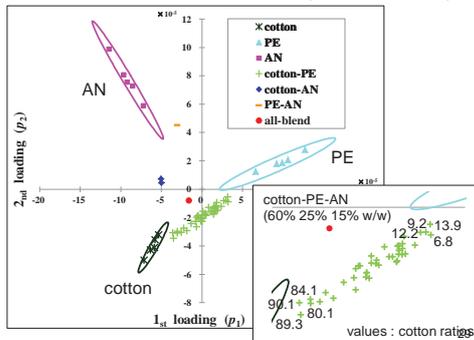
・完全一致
K = 0.009



28

混紡布地の繊維鑑別—主成分分析(PCA)

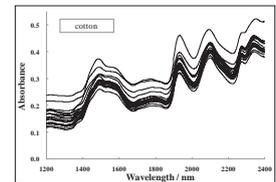
綿, PE, AN 1-3 種混紡試料の繊維鑑別 (1230-2370 nm)



混用率測定

拡散反射測定による整音

- ▶ スペクトル情報
ノイズの増加
顕著なベースライン変動
試料表面の物理的性質
- ▶ 濃度情報
観測濃度が試料ごとに変動

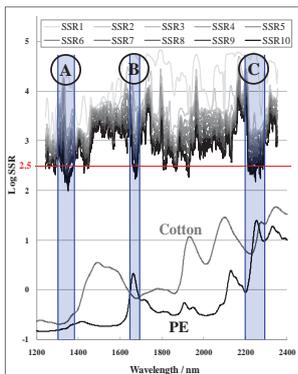


▶ 混用率測定

- ① PLS 重回帰分析
両変数の誤差を独立にモデル化した上で
両者の相関を最大にする
- ② 検量波長選択 : Moving window PLS

30

検量波長の選択結果(綿-PE混紡試料)



- (A) 1315-1392 nm
CH₂結合音
- (B) 1644-1698 nm
芳香性C-H第一倍音
- (C) 2204-2279 nm
CH結合音

綿に特有のピークは選択されず
(1400-1600 nm)

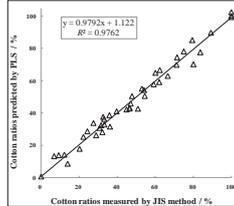
セルロースOH基の
分子内・分子間水素結合

31

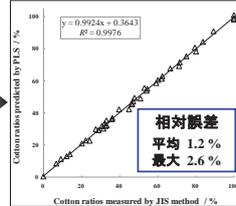
混用率測定結果(綿-PE混紡試料)

	Full region	A	B	C	A+C	A+B+C
Wavelength region (nm)	1230-2370	1315-1392	1644-1698	2204-2279	1315-1392 2204-2279	1315-1392 1644-1698 2204-2279
Model dimensionality	8	4	3	3	5	5
RMSEEC	4.95	3.53	3.38	3.22	2.09	1.34
RMSEF	5.42	4.45	4.39	4.12	2.45	1.51

全波長領域 (1230 - 2370 nm)



A + B + C



32

実験 3

羊毛(ウール)を含む混紡の混紡率測定

試料

羊毛とポリエステル二種混紡布地(W-P) 37点
羊毛とアクリルの二種混紡布地(W-A) 23点

近赤外スペクトルの測定

FT-NIR分光計: Bruker MPA
モード: 拡散反射法, 波長域: 800-2500 nm
分解能: 16 cm⁻¹, 積算回数: 32

33

繊維種の判別

重回帰 fitting法

混用率の測定

JIS規格 L1030-2 溶解法(2.5%水酸化ナトリウム法)

検量線の作成と評価(PLS)

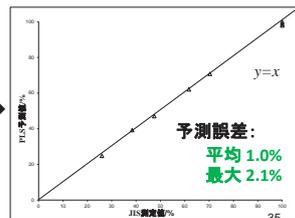
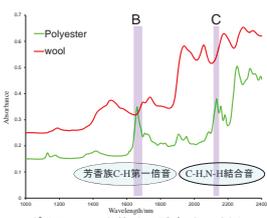
W-P: 27点で検量線を作成し、残りの10点で評価
W-A: 全サンプル数で検量線を作成し、クロスバリデーションで評価

34

羊毛-ポリエステル混紡の結果

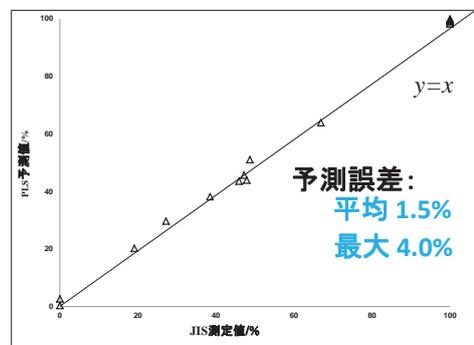
MWPLS法により選択された各波長領域における検量精度
A: 1153-1200 nm, B: 1635-1697 nm, C: 2132-2173 nm, D: 2182-2224 nm

spectral region(nm)	full region	A+B+C+D	A+C+D	A+B+C	B	B+C
Model dimensionality	8	8	9	10	5	5
RMSEF	2.24	1.71	2.13	1.52	3.93	1.20
R ²	0.9967	0.9981	0.9971	0.9985	0.9899	0.9991



35

羊毛-アクリル混紡の結果

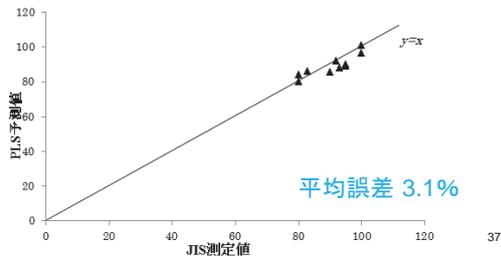


クロスバリデーションの結果

36

羊毛-ナイロン混紡の結果

spectral region	full region	A+B+C+D	A+B+D	C+D	A	B
Model dimensionality	4	4	4	3	3	4
RMSECV	4.26	4.52	4.58	4.89	4.56	3.69
R ²	0.80096	0.77266	0.7655	0.7256	0.7669	0.8512



羊毛-ナイロン混紡で結果が良くない理由

1. 試料数が少ない
2. ナイロンには多種が存在する.
3. 羊毛もナイロンもポリアミドで分子構造が類似

38

VI-1 イネ光害を軽減する波長選択および

発光制御を行った混合LED照明

原田陽子¹・山本晴彦²・岩谷潔²・金子奈々恵³・園山芳充²

(1鳥取大学大学院・2山口大学・3山口大学大学院)

1. はじめに

近年、屋外照明と農作物の間に「光害（ひかりがい）」の問題が発生している．特にイネでは、本来短日条件下で開花するのに対し、照明の照射波長域が、光受容体のフィトクロム B の吸収波長域（約 540～690 nm）と重なることで、暗期が阻害され開花遅延・阻害が生じる．そこで、選択的な波長域の照射が比較的容易な LED を光源とし、夜間に照射された光源の波長域に伴う影響を、イネ開花誘導遺伝子 *Hd3a* の発現から推定した．また合わせて、一定の連続した暗期が開花誘導の条件となることから、LED の発光制御（パルス発光周波数・デューティ比）による連続的な暗期中断の照射が、開花へおよびす影響も調査した．さらに、上記の結果から光害軽減が予測された混合 LED 照明を、水田圃場に防犯灯として設置し、出穂期および収量への影響を調査した．

2. 材料および方法

供試作物は、イネ品種「コシヒカリ」を用いた．*Hd3a*発現と出穂期の関係を調査し、そこから導き出された指標（*Hd3a*発現 0.85以下：夜間が暗黒のイネの開花期を基準とした時の出穂遅延3日以上、1.10以上：出穂促進3日以上）をもとに、夜間照射したLED光源の波長域および発光制御の違いが出穂におよぼす影響を推定した．LED光源は、近紫外色（λ p403 nm）、青色（λ p465 nm）、緑色（λ p523 nm）、黄緑色（λ p576 nm）、黄色LED（λ p598 nm）、赤色（λ p652 nm）を用い、パルス発光周波数（50～2700 Hz）およびデューティ比（10～100%）を設定した．さらに、特に出穂遅延への影響が低いと推定された光源・発光制御を組み合わせ合わせた混合LED照明を作製し、*Hd3a*発現への影響、そして水田圃場での栽培における出穂期および収量への影響を調査した．

3. 結果および考察

青および緑色LED光源は出穂遅延への影響が小さく（図1）、黄緑色LED光源は出穂遅延の発生が予測されたが、パルス発光周波数700 Hz、デューティ比70%で制御した場合には、発現が 1.02 ± 0.03 （n=9）となり出穂遅延への影響が認められなかった．また、青色（700 Hz, 60%）、緑色（50 Hz, 60%）、黄緑色（700 Hz, 70%）の3光源を用いた混合LED照明を夜間照射した場合の*Hd3a*の発現は、 0.88 ± 0.05 （n=6）であった．この照明を水田圃場に設置した場合の出穂遅延日数は、一般的な防犯灯の照度である水平面照度5 lxで照射を受けた場合であっても約2日であり（図2）、収量への影響もなかった．以上のことから、照射波長域の選択および発光制御を行った混合LED照明は、イネへの夜間照射による光害の軽減に有効であると示唆した．

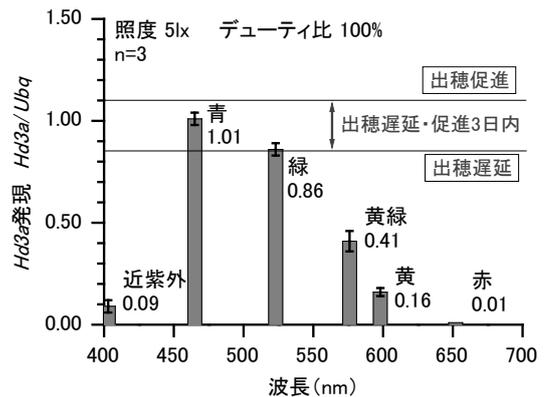


図 1 対照区の出穂を 1.00 とした場合の各 LED 照射下の *Hd3a* 発現

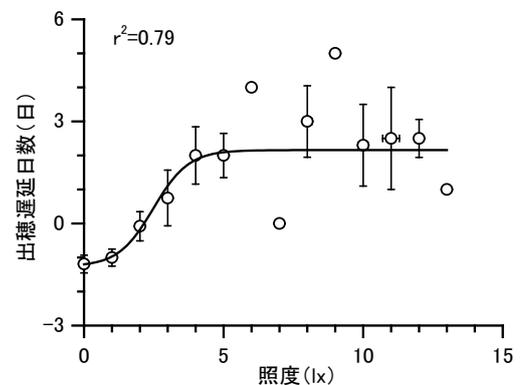


図 2 水田圃場において混合 LED 照明を照射した場合の出穂遅延日数

Mixed LED illumination with Different Wavelengths and Luminescence to reduce light pollution in rice

Yoko Harada · Haruhiko Yamamoto · Kiyoshi Iwaya · Nanae Kaneko · Yoshimitsu Sonoyama

VI-2 イネ光害を軽減する白色 LED 照明の探索

金子奈々恵¹・山本晴彦²・岩谷潔²・原田陽子³・園山芳充²
 (1 山口大学大学院・2 山口大学・3 鳥取大学大学院)

1. はじめに

近年、農地に隣接した道路に屋外照明が設置され、イネへ「光害（ひかりがい）」を発生させることが報告されている。イネは、屋外照明の点灯による人工的な長日条件により、出穂が遅延して収量が低下する。これまで、水銀灯、白熱電球、及び電球型蛍光白色ランプ等を屋外照明として使用し、イネ光害への影響に関して調査が行われてきた。東日本大震災以降、白色 LED 照明は、節電目的で屋外照明として使用するケースが増加しているが、イネ光害への影響を調査した例は少ない。そこで、本研究では、屋外照明として白色 LED 照明を使用した場合を想定し、人工気象器内で暗期にイネへ白色 LED 照明を照射した際の出穂（開花）へ及ぼす影響を調査し、イネ光害を軽減可能な白色 LED 照明の探索を行った。また、上記の結果から光害軽減が認められた照明を水田圃場に設置し、出穂期及び収量への影響を調査した。

2. 材料および方法

イネ品種「コシヒカリ」を供試体とし、人工気象器内で栽培した。LED 照明の光源は、市販品 3 種（照明 1～3）と特注品 2 種（照明 4, 5）を使用した。出芽後 35 日の暗期に、イネの株上の平均水平面照度が 5 lx, 10 lx, 15 lx となるよう LED 照明を設置して照射した。翌日、イネの葉身を採取し、開花誘導遺伝子 *Hd3a* (Heading date 3a) の発現を定量して、指標 (*Hd3a* 発現 0.85 以下：夜間が暗黒のイネの出穂期を基準とした時の出穂遅延 3 日以上, 1.10 以上：出穂促進 3 日以上) をもとにイネの出穂に及ぼす影響を評価した。この評価に基づいて、光害軽減が認められた照明については、人工気象器内で、山口県山口市の日長・気温条件を再現し、出穂期の調査を行った。また、同照明を水田圃場に設置し、イネ品種「ヒノヒカリ」を供試体として、夜間照射した際の出穂期及び収量への影響を調査した。水田実験では、比較対照とするため従来の照明である蛍光水銀灯と市販の LED 照明も使用した。市販の LED 照明（最大照度：22 lx）は 2007 年、蛍光水銀灯（最大照度：22 lx）は 2009 年、光害軽減が認められた LED 照明（最大照度：17 lx）は 2011 年に水田実験を行った。

3. 結果および考察

各 LED 照明の暗期照射が *Hd3a* 発現に及ぼす影響を図 1 に示した。照明 4 を照射した場合、*Hd3a* 発現が 5 lx 照射で 0.95 ± 0.02 , 10 lx 照射で 0.94 ± 0.07 であり、光害軽減が示唆された。その他の条件では、*Hd3a* 発現が 0.85 より低く、出穂遅延が 3 日以上となることが推定され、光害発生が示唆された。光害軽減が認められた照明 4 について、10 lx 照射で出穂期を調査したところ、暗期を暗黒にした対照区と比較して、出穂遅延が約 2 日となった。また、コシヒカリで光害軽減が認められた照明 4 をヒノヒカリに照射した際の影響を調査したところ、5 lx 照射で出穂遅延が約 3 日となった。一方、市販の LED 照明の出穂遅延は約 5 日、蛍光水銀灯では約 6 日となった。収量調査では、照明 4 を照射した場合、照度と収量との間に相関関係はなく、7 lx 照射までは対照区の収量と有意差がなかった。8 lx 以上では平均して対照区の収量の $89 \pm 18\%$ であった。市販の LED 照明と蛍光水銀灯では、照度と収量との間に負の相関関係があり、特に蛍光水銀灯において照度の増加に伴い収量が著しく減少した。

以上のことから、特注の白色 LED 照明（照明 4）をイネへ照射した場合、出穂遅延が抑えられ、収量低下への影響が認められず、屋外照明として使用した際、イネ光害を軽減可能であることが示唆された。

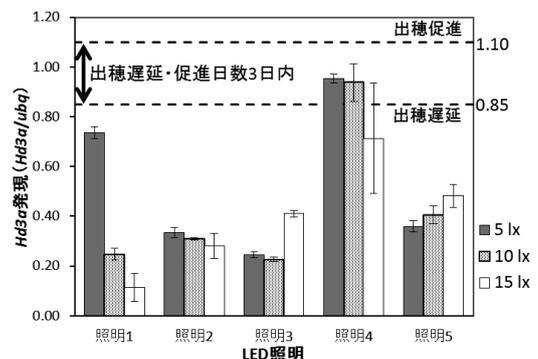


図 1 各 LED 照明の暗期照射が *Hd3a* 発現に及ぼす影響 (n=6)

A search of White LED Illuminations which Reduce Light Pollution in Rice

Nanae Kaneko · Haruhiko Yamamoto · Kiyoshi Iwaya · Yoko Harada · Yoshimitsu Sonoyama

VI-3 中・遠赤外領域における絶対正反射率測定の見直し

中島 敏晴 中村 広隆 海老澤 瑞枝
(東京都立産業技術研究センター)

1. はじめに

都産技研では、赤外分光反射率測定の見直し試験として、2~20 μm の波長域において正反射率と全反射率測定の見直しの方法で対応している。見直し品は光学機器に組み込まれるミラーをはじめとして、家電製品に使われる反射板や住宅用反射フィルムなどがある。測定では、リファレンスに市販品の金ミラーを使用し、この金ミラーの反射率を 100% としたときの、サンプルの相対反射率で評価している。

しかし、正確な反射率測定においては、標準反射板の整備が不可欠であるが、2 μm より長波長域での標準反射板が国内では整備されていない。そこで、見直し試験で使用する値付けされた標準反射板の整備を進めるために、市販品の金ミラーの絶対正反射率の見直しを行った。その結果について報告する。

2. 実験内容

絶対反射率測定用アクセサリ（以下、STAR GEM）を、都産技研所有の FT-IR と組み合わせて、市販の金ミラーやアルミミラーについて見直しを行った。

測定データの信頼性を検証する方法として、理科学年表掲載の金属の反射率データおよび文献掲載の金やアルミなど金属材料の屈折率 n や消衰係数 k を計算式に代入して算出した反射率と比較した。いずれも入射角 0 度における反射率のため、(1) 式を用いて入射角 10 度における反射率との見直しを行った。

なお、この測定では入射角が小さく、 s 偏光反射率 \approx p 偏光反射率と見なせるので、ここでは s 偏光反射率を見直し対象とした。

$$R_s = \left| \frac{\cos \theta - \sqrt{\hat{N}^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\hat{N}^2 - \sin^2 \theta}} \right|^2 \quad \dots (1)$$

(R_s : s 偏光反射率 θ : 入射角 N : 複素屈折率 ($n+ik$))

3. 結果と考察

(1) 式で求めた、入射角 0 度と 10 度の反射率の見直し結果から、偏差は 0.03% 以下と小さく、入射角の違いによる反射率への影響は、実用上無視できる。

市販金ミラーの STAR GEM による特性評価の結果、再現性は約 2~20 μm の波長域で $\pm 0.5\%$ 以内であった。また、理科学年表掲載値（波長域 2~10 μm）との差は $\pm 0.5\%$ 以内、計算値（波長域 2~9.9 μm）との差は $\pm 0.6\%$ 以内であった。これらの結果から、STAR GEM が絶対反射率測定に対して十分実用的であることがわかった。今後は、さらに測定データの信頼性の向上を図り、値付けした標準反射板の整備を進めていく予定である。

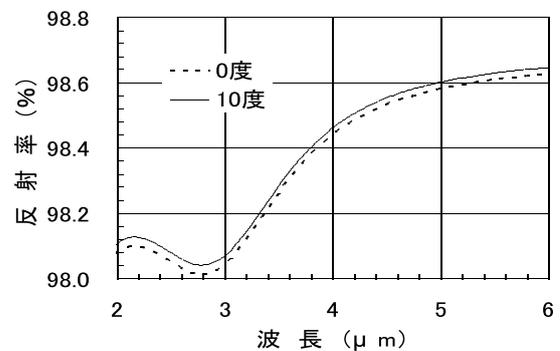


図 1 入射角 0 度と 10 度の反射率比較

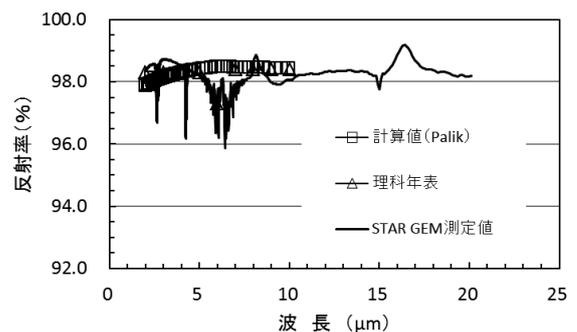


図 2 市販金ミラーの絶対反射率

VI-4 生活基盤のための光ファイバによるバイタルサインセンサシステム

Vital Sign Sensor System Based on the FBG Sensor

石澤 広明 宮内 祐樹 佐藤 慎吾
 (信州大学繊維学部) (信州大学大学院総合工学系研究科) (信州大学大学院工学系研究科)

1. はじめに

わが国では高度高齢社会^[1]が到来しており、65 歳以上の人口は総人口の 23.1%を占めているため、医療費高騰や医療設備の不足が社会問題化している。そのため、高齢者が日常において各自健康状態を把握し、体に異変が生じた場合には医師の適切な処置を仰ぐことの可能な在宅医療システムとして、バイタルサインセンサの開発が不可欠となっている^[2]。本報告では、FBG (Fiber Bragg Grating) センサにより、脈を歪みとして捉えることにより、脈派と関連のある波形を観測することができ、この波形から脈拍数、呼吸数を算出し、バイタルサイン計測に関する検討を行った。

2. 原理とシステム構成

FBG の歪計測原理^[3]を Fig. 1 に示す。広帯域の波長をもつ光をファイバ内センサ部分に入射させると、式(a)を満たす波長のみが反射され、それ以外の光は透過する。ここで、センサ部分に力が加わり内部で歪みが生じた場合、グレーティング周期が変化し、波長変化量を求める事でその歪みが測定できる。Fig. 2 に本測定装置のシステム図を示す。光源には ASE 光源、光検出器にはフォトダイオードを用いた。

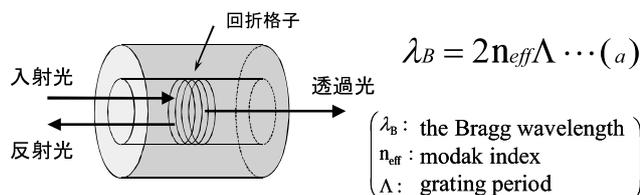


Fig. 1 Principle of FBG

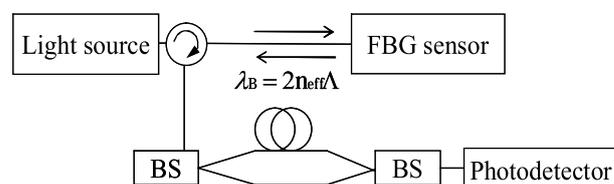


Fig. 2 Measuring system

3. 実験方法

周波数 100Hz に設定された FBG センサを右手首に装着し、左腕は自動血圧計により脈拍数を測定する。この測定は左右同時に 12 秒間、各 50 回行い、被験者は健康な男子大学生(20 代)2 名を用いた。測定した波形からピークを検出し、その平均周期から周波数を求め、その値から脈拍数を算出した。呼吸数測定では、呼吸性洞性不整脈の周期変動を算出することで呼吸情報を取得した。また、呼気の温度変化を呼吸数計測器(温度センサ、医療用フェイスマスク、温度データロガーを用い試作)により測定し、温度変化の一周期を一呼吸とした。本測定値を呼吸数の参照値とした。測定条件は、測定時間 60 秒、各 10 回、被験者は 20 代男性 1 名とした。

4. 実験結果

被験者実験における脈波測定例を Fig. 3 に示す。脈派^{[4],[5]}に類似した生体情報を持つ波形を取得することができた。この波形から算出した脈拍数と参照脈拍値との対応関係を Fig. 4 に示す。FBG センサによる脈拍算出値と参照脈拍数との間に、高度に有意な相関を認めた。この結果は、被験者間では相違しなかった。以上から、FBG センサによる計測波形が脈波と高い相関があるといえ、本手法の妥当性を示した。

呼吸数測定時における FBG センサの信号変化を Fig. 5 に示す。また、呼気時と吸気時での周期の違いから、周期の変動求め、この周期と参照値として用いた呼吸による温度変化の結果を Fig. 6 に示す。この結果、各ピークの周期と呼吸による温度変化は同期しており、呼吸数と本測定値によるピーク周期の変化には相関があることが判明した。

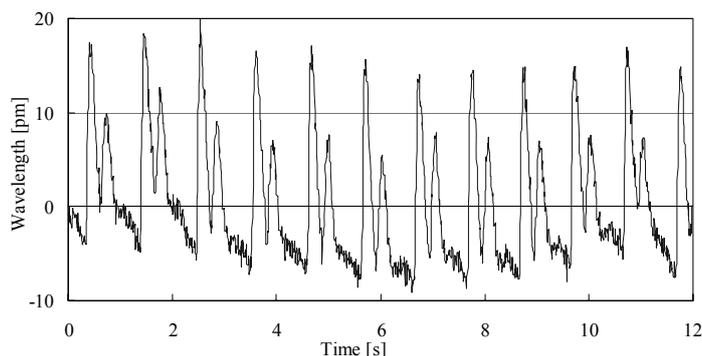


Fig. 3 Distortion of living body

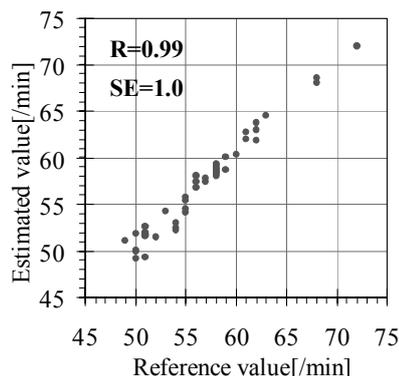


Fig. 4 Correlation of reference and estimated Value

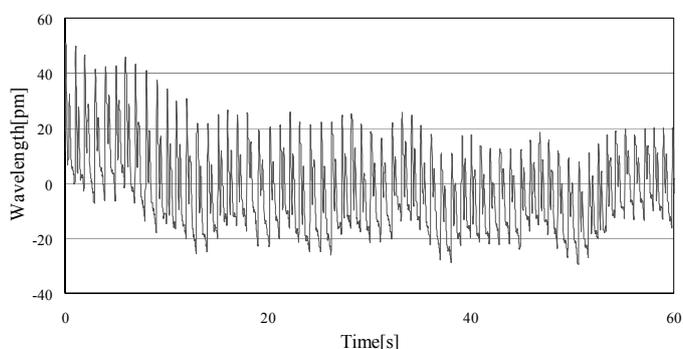


Fig. 5 Measured fluctuation of FBG sensor signal

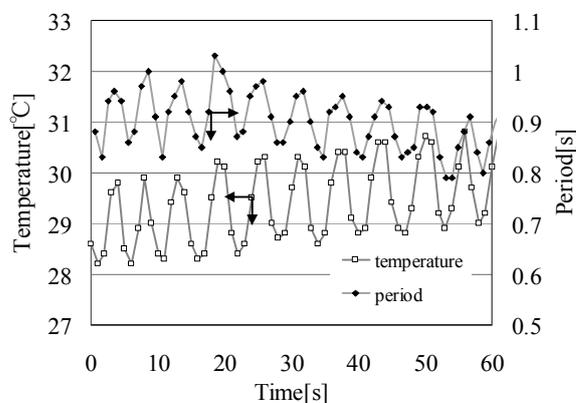


Fig. 6 Relation between respiration and period

5. まとめ

FBG センサを用いて、生体情報を持つ波形を観測することができた。さらに、波形を解析することにより算出した脈拍数は、参照値と高度に有意な相関となった。また呼吸数は、各ピークの周期と呼吸による温度変化が同期しており、呼吸数と本測定値によるピーク周期の変化には相関があることを示した。以上のことから、FBG センサを用いることで、簡易に複数のバイタルサインを同時に測定できる可能性を示した。さらに、FBG センサの測定点を複数設置することにより、脈波伝播速度の計測へ展開できることを確認しており、ヒトの血圧値の同時計測にも可能性を開くものと期待できる^[6]。

本研究は、平成 22～23 年度 信州大学繊維学部戦略的プロジェクト研究（オプトロニックナノファイバグループ）の支援により実施された。

参考文献

- [1] 蒲田 ケイコ：“新版看護学全書 30 老年看護学”，メヂカルフレンド社，pp.10-18, pp.63-71 (1997)
- [2] 渡辺 嘉二郎：“睡眠中の心拍，呼吸，イビキ，体動及び咳の無侵襲計画”，計測自動制御学会論文集，Vol.35, No.8, pp.1012-1019(1999)
- [3] たとえば，森田 和章 他：“センシング用 FBG”，pp.18-22(2004)
- [4] 大谷 卓造：“小生理学”，金原出版株式会社，pp.58-59(1948)
- [5] 椎名 晋一 他：“臨床生理学”，医歯薬出版，pp.123-156(1987)
- [6] 川村 真輝：“FBG センサによるバイタルサイン測定”，日本生体医工学会甲信越支部長野地区シンポジウム講演論文集，pp.5-6(2011)

VI-5 近赤外分光法による衣類布地の材質と混紡率の測定

白 文明 茂谷 明宏 吉村 季織 高柳 正夫
 (東京農工大学 大学院連合農学研究科)

【諸言】

衣類布地を構成する繊維の種類とその混用率は、製品の性能を決める重要な指標である。そのために、繊維鑑別や混用率測定は生産管理や流通市場で広く行われている。近年、衣類の多くが輸入品であることや、高級衣類に対する材質偽装が多発していることなどから、迅速で簡便な繊維鑑別や混用率測定の必要性が一段と高まっている。ところが日本工業規格 (JIS) に定められた試験法は、すべてが布地をほぐしたり燃やしたり試薬に溶かしたりする破壊試験で、しかも迅速性に欠けるので、現場での汎用性に乏しい。そこで我々は、近赤外分光法とケモメトリクスを用い、JIS 法に代わる有効な衣類試験法を検討した。

【実験】

8種類の汎用繊維〔綿、麻、レーヨン、羊毛、絹、ナイロン、ポリエステル(PE)、アクリル(AN)]からなる布地を試料として用いた。次の分析を近赤外分光法により行う方法を検討した。①単一成分からなる布地の材質判別、②2種あるいは3種の繊維からなる混紡布地の成分判別、③4つの混紡布地(綿-ポリエステル、羊毛-アクリル、羊毛-ポリエステル、羊毛-ナイロン)の混用率測定。

標準分析法には、JIS L-1030 に指定の方法を用いた。構成繊維の種類は、試料の繊維断面を顕微鏡観察することにより鑑別し。混用率は、酸あるいは塩基によりそれぞれ綿あるいは羊毛を溶解させ、残さの合成繊維のみを秤量することにより求めた。

試料の近赤外吸収スペクトルを、紫外可視近赤外分光光度計 (JASCO、V-570) あるいは FT-NIR 分光光度計 (Buruker、MPA) を用いて、拡散反射法により測定した。測定された近赤外吸収スペクトルは、Savitzky-Golay 法による平滑化と 2 次微分処理を施した。

解析には、MATLAB (Mathworks Inc.) あるいは Excel 上で自作した解析プログラムを用いた。

単一繊維からなる布地の判別は、主成分スコアプロットにより行うことができた。スペクトルが類似している綿、麻、レーヨンの判別には、これらの繊維のスペクトルの違いが特徴的に表れている波長領域を取り出して主成分解析を行いスコアプロットすることにより行った。

繊維鑑別は重回帰 fitting により行った。混紡繊維布地中の繊維同士は互いに相互作用しないと仮定すると、混紡繊維布地のスペクトルを単一繊維スペクトルの線形結合で表わせる。予め各単一繊維スペクトルを基準スペクトルとして用意し、重回帰により基準スペクトルから実測の試料スペクトルを擬似的に再現した。そして、測定スペクトルと再現スペクトル間の相関係数を最大にする繊維種の組み合わせを求めることで、繊維鑑別を試みた。

混用率測定には PLS 回帰分析を用いた。PLS 回帰分析では、検量モデルの作成に際して検量のための有効な情報を含んでいるスペクトル領域のみを選択して回帰を行うことで検量精度を向上させることができる。ここでは、波長選択の手法として Moving window PLS (MWPLS) を用いた。MWPLS は、全スペクトル領域上を移動するスペクトル窓をおき、各窓位置で PLS 成分数を変えながら検量試料に対して PLS モデルを構築する。各 PLS 成分数で表現しきれない残差を合計二乗残差(SSR)として計算し、窓位置の数としてグラフ化する。これにより、少ない PLS モデル次元数で望ましい誤差レベルに達するスペクトル領域を視覚的に見出すことができる。

【結果と考察】図 1 に 8 種の単一繊維からなる布地の 1230-2370 nm の近赤外吸収スペクトルを主成分分析し、横軸に第一主成分 (PC1)、縦軸に第二主成分 (PC2) をとってスコアプロットした結果を示した。それぞれの繊維の試料 10 点ずつを用いて行った実験の結果である。綿、麻、レーヨンのプ

Analyses of clothing by near-infrared spectroscopy: components and blended ratios
 Wenming Bai, Akihiro Shigetani, Norio Yoshimura, and Masao Takayanagi

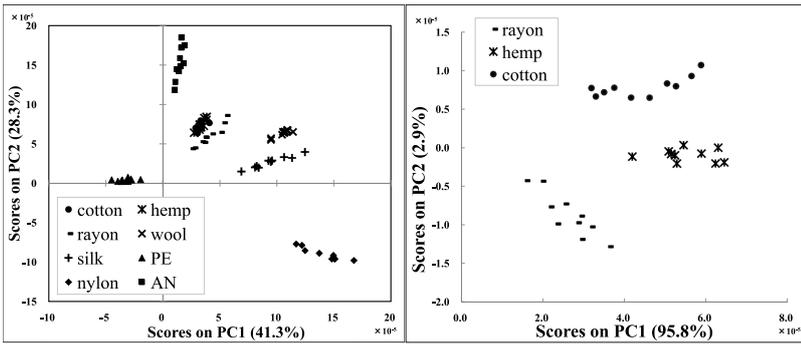


図 1 8種の繊維の布地の主成分スコアプロット (1230-2370 nm のデータを用いた解析)

図 2 綿、麻、レーヨンの布地の主成分スコアプロット (1230-1380 nm のデータを用いた解析)

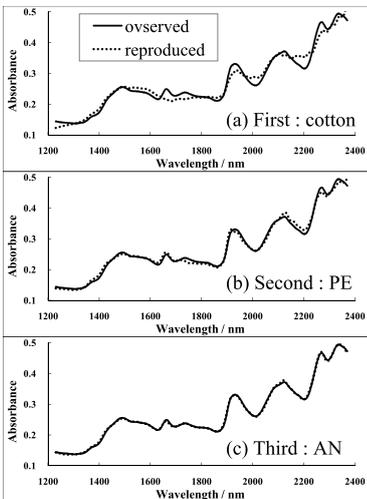


図 3 観測された混紡布地の成分の重回帰による予測の例

表 1 重回帰による再現の相関係数値

	first	second	third
cotton	0.99712	—	—
hemp	0.99702	0.99858	0.99958
rayon	0.99610	0.99853	0.99968
wool	0.99592	0.99865	0.99989
silk	0.99570	0.99855	0.99985
polyester	0.99560	0.99918	—
acrylonitrile	0.99412	0.99799	0.99996
nylon	0.99403	0.99823	0.99989

図 3(a)と表 1 の first の欄)。しかしその再現性はまだ十分ではない。そこで、綿と残り 7 種の繊維のうちの一つを組み合わせることで再現度を試みる。すると PE を第二の成分としたときに最も良く再現される (図 3(b)と表 1 の second の欄)。同様にして第三の成分を求めることができる。この方法では成分数を増やせば必ず再現性が改善されるので、混紡布地の成分数を正確に求めることができない。ここでは詳細には述べないが、試料の混紡布地のスペクトルを主成分分析して図 1 のようなスコアプロットのグラフ上にプロットすることにより、試料の構成成分を知ることが可能である。すなわち、例えば試料が綿-PE 混紡であれば、そのプロットは綿のプロットと PE のプロットの間にプロットされる。スコアプロットの結果と重回帰の結果を総合的にみることにより、成分数と成分の種類を正確に知ることが可能となる。

現在の我々の分析法では、混紡布地の構成成分と混紡率を同時に求めることはできない。混紡率の予測は、試料の構成成分が明らかになってから行うことができる。スペクトルの全領域を用いた PLS でもそれなりの精度での混紡率の予測が可能であるが、MWPLS により検量に有効な波長領域を求めて、その領域のみを用いて PLS を行うとより高い精度での予測が可能となる。図 4 に綿-PE についての MWPLS の結果を例として示した。PLS による予測の残差が小さな 3 つの領域 (点線の四角で囲った部分) が見いだされた。この 3 つの領域のスペクトルのみを用いて PLS を行った混紡率予測の結果 (バリデーションの結果) を図 5 に示した。従来法での分析結果 (横軸) とスペクトルから予測した混紡率 (縦軸) の相関は良好である。

以上のように、近赤外分光法が布地の材質判別と混紡率予測を非破壊迅速に行うことができる手法であることが示された。

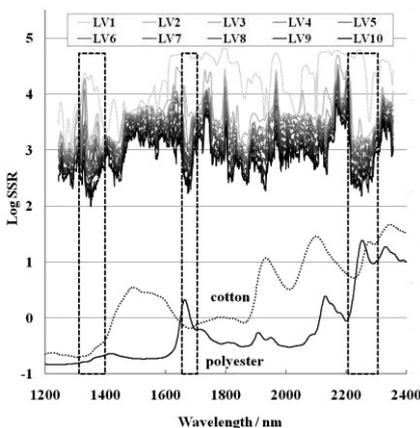


図 4 MWPLS の例 (綿-PE)

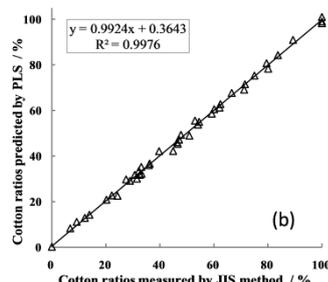


図 5 綿-PE の混紡率の予測

VI-6 赤外線サーモグラフィによる住環境評価 —熱画像による住環境評価の考察—

太田 二期 (NEC Avio 赤外線テクノロジー株式会社)

1. はじめに

近年、二酸化炭素排出抑制等の地球環境問題に対する意識の高まりと共に、「省エネ・エコ・ヒートアイランド」などのキーワードが話題となる事が多くなった。赤外線サーモグラフィは、物体から放射される赤外線エネルギーを捉え、2次元温度分布として映像化できる事からこれらの熱環境評価のツールとして注目を集めている。本稿では、住環境に於ける遮熱効果としてヒートブリッジを熱画像評価した事例を示す。

2. 住環境評価ツールとしての赤外線サーモグラフィ

赤外線サーモグラフィは、マイクロマシン技術の進歩により、高精細なセンサの供給が可能となり小型化・高感度化・低価格化が加速し現在では、幅広い分野での広がりを見せている。現在は、センササイズ・感度など多少の性能の違いはあるものの感度は、おおよそ 0.1℃以下の感度を有する機器が一般的となり住宅環境評価を行う上では低価格製品でも十分な性能を有するようになった。図 1 に庇部分の外断熱されていない事からヒートブリッジにより内部に熱が伝わっているようすを示す。

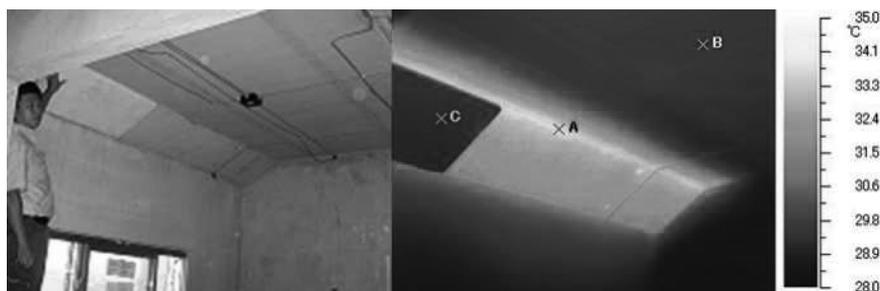


図 1. 庇がある部屋の可視画像と赤外画像

図 1 の熱画像では外断熱されている部分は熱が遮断されているが、外断熱できない庇の部分はヒートブリッジにより熱放射が大きい事がわかる。

3. 熱放射による住環境の評価

上記熱画像から、断熱されていない庇からの熱漏れのエネルギー量をステファンボルツマンの法則を使い調べてみる。庇部の温度は、 $T_a=307\text{K}$ (34℃)。断熱されている部分は $T_b=301\text{K}$ (28℃) として漏れにて生じる放射熱量を式 1 にて示す。

$$W = \sigma T_a^4 - \sigma T_b^4 \quad (\text{ボルツマン定数 } \sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \quad \text{----- 式 1}$$

この時の熱漏れは、 $W=38.2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ となり四季を通じて熱もれの積算を電力料金 (20 円/1 KWH) に換算してみると、おおよそ 7000 円/m²/年 となる。

4. おわりに

近年、電力に関する関心が高くなり、クリーンなエネルギーの生産として太陽光発電が注目を集めている。また、電力使用量を減らす観点では省エネなどで電気製品・住環境の改善などがテーマになることが多い。公共の建物では、省エネ対策としてビル壁面緑化事例を良くみかけるようになった。特に大規模なビルなどでの緑化は、植物で覆う面積も大きく省エネ効果が大きいと予想される。省エネ技術の向上によりクリーンな街づくりが行われる事を期待している。

VI-7 携帯型近赤外分光計による養殖魚の脂質の非破壊定量

藤原孝之 石川智子 土橋靖史
 (三重県工業研究所) (三重県水産研究所)

近赤外分光法は、試料の成分を非破壊で簡易に定量できる手法として、農林水産物、工業製品、医学等、様々な分野で測定法の研究および普及が進んできた。近年では、携帯型分光計の開発が進み、日本では果実類の糖度を測定する機器が数社より市販されている。水産物についても、果実用に開発された携帯型機器をもとに、鮮魚の魚肉中の脂質濃度を測定する装置が開発された。三重県においては各種養殖魚への応用が期待され、中にはウマヅラハギのように肝臓の脂質が重視されるものもあり、魚肉より測定が困難であることが予想される。そこで、分光特性が異なる複数の携帯型近赤外分光計について、ウマヅラハギ肝臓およびマダイ背肉の脂質を非破壊測定する場合の適性を比較した。

【材料と方法】三重県水産研究所で養殖されたウマヅラハギおよびマダイを供試した。用いた機器は図 1 注釈に示した 3 種類である。これら機器の発光部を魚体の表皮に当ててスペクトルを測定した。ウマヅラハギについては取り出した肝臓についても測定を行った。肝臓および背肉の脂質はジエチルエーテルを用いたソックスレー抽出法により定量した。

【結果と考察】ウマヅラハギの近赤外スペクトルを図 1 に示す。二次微分処理を行っているため、成分由来の吸収ピークは下方に現れている。全機器ともに、肝臓のスペクトルは脂質に由来する明確な吸収を示した。ウマヅラハギの肝臓は魚体の左側に偏在しており、機器 1 および 2 については、魚体左側面のスペクトルがより明瞭な脂質のピークを示し、肝臓の成分を反映したものと考えられた。機器 3 については、表皮からの測定では脂質の明瞭なピークは認められなかった。これは、機器による波長特性 (短波長の方が透過性が高い) の違いに由来するものと推察された。マダイの背肉のスペクトルについては、各機器のスペクトルに脂質の吸収が認められた。現在、両魚種とも脂質の定量精度を検討中である。

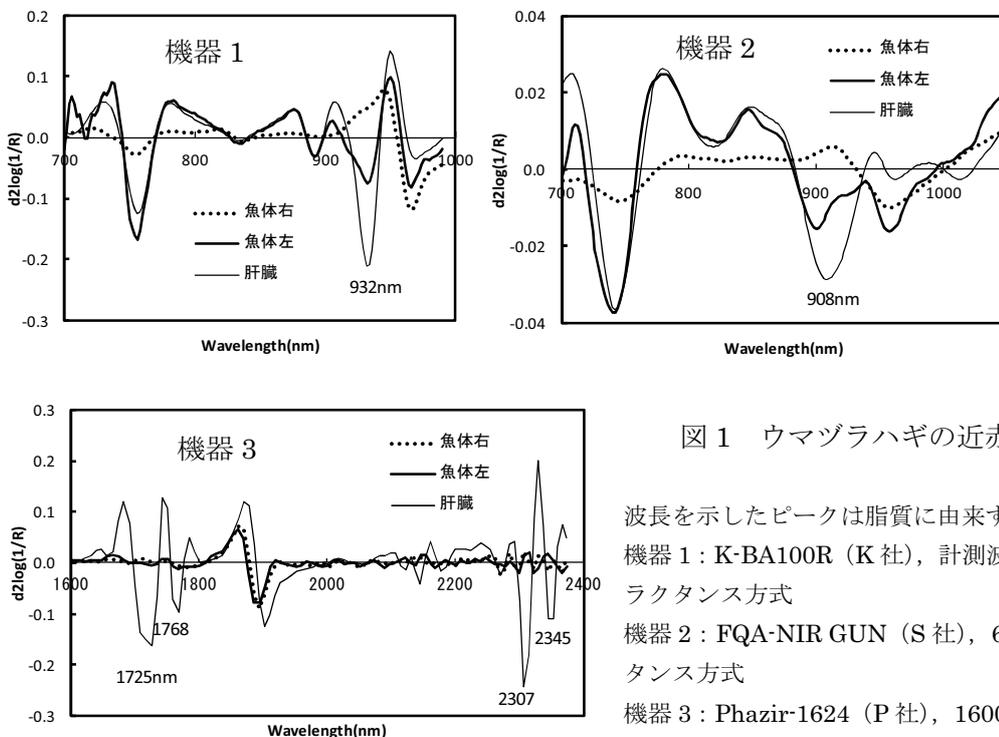


図 1 ウマヅラハギの近赤外スペクトル

波長を示したピークは脂質に由来すると考えられる。
 機器 1 : K-BA100R (K 社), 計測波長 600-1000nm, インタラクタンス方式
 機器 2 : FQA-NIR GUN (S 社), 600-1100nm, インタラクタンス方式
 機器 3 : Phazir-1624 (P 社), 1600-2400nm, 拡散反射方式

Nondestructive determination of lipid in cultured fish using portable near-infrared spectrophotometers

Takayuki Fujiwara, Tomoko Ishikawa, Yasushi Tsuchihashi

VI-8 近赤外分光によるエコフィードの分析

エコフィード測定を目的とした実用的専用赤外分光装置の開発

朴 善姫 大倉 力 入江 正和 米持 千里 甘利 雅拓
 (株式会社 相馬光学) (宮崎大学) (日本科学飼料協会) (畜産草地研究所)

1. 緒言

毎年増大する余剰食品や調理残さ等の処理方法として、環境負荷の少ない、循環型社会を目指し、食品リサイクル法に基づいた飼料化(エコフィード)が期待されている。畜産経営においては、生産コスト低減の手段としてもエコフィードの利用の関心が高まり、利用は進展しているが、成分量の変動が時折、問題となっている。成分量の化学分析は、手間と費用がかかるため、エコフィード製造者においては出荷製品毎までは分析されていない。

エコフィードの栄養成分として水分(Mois)、粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)、可溶無窒素物(NFE)粗繊維(CFib)、粗灰分(CAsh)が必要である。平成 18~21 年の 4 年間に収集した 200 点のサンプルの分析結果を表 1 に示す。粗蛋白と粗脂肪の含量の分布を図 1 および図 2 に示す。

表 1 エコフィードの栄養成分

	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	可溶無窒素物
	Mois	CP	EE	CFib	CAsh	NFE
平均値	9.1	17.5	8.2	5.2	5.9	54.0
分散	4.1	8.0	5.7	6.3	8.1	16.6
最大値	29.2	60.3	36.0	44.1	89.8	86.5
最小値	0.7	2.5	0.2	0.0	0.8	0.0

単位 %

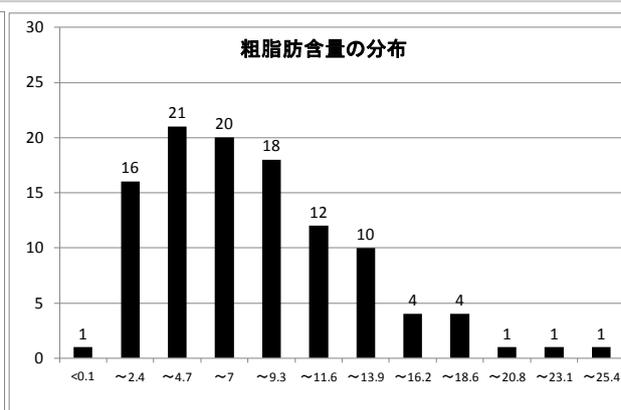
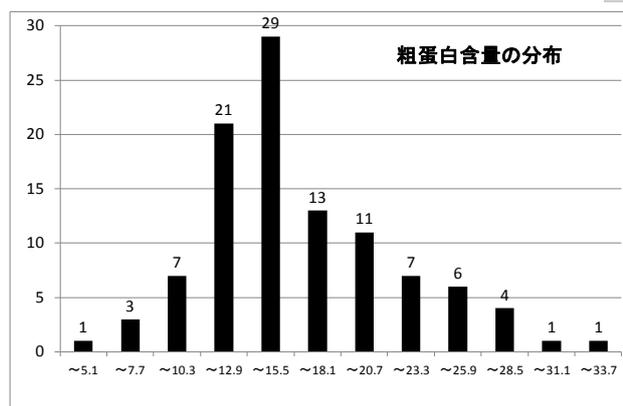


図 1 エコフィードの粗蛋白および粗脂肪の量

近赤外分光法を利用すれば、生産現場で簡便にエコフィードの成分を測定できると考えられる。我々は、エコフィードの近赤外特性を調査し、装置に必要な仕様を決し、近赤外分光によるエコフィード栄養分析装置を開発した。以下に開発手法と装置について説明する。

2. 方法・手段

近赤外分光装置を開発するには、装置の仕様(波長範囲、SN 比等)を決定する必要がある。目標とする成分推定性能から、仕様を決定する。成分分析したエコフィードサンプルを高性能の市販近赤外分光装置により測定し、そのスペクトルから成分値を推定する検量線を作成する。色々な波長範囲に対して、検量線を作成し、良好な結果を与える波長範囲を、装置仕様とする。表 2 に示すように、波長範囲 1200~2500nm が最も良好な結果をあたえる。

表 2 波長範囲と推定性能

波長範囲 (nm)		相関係数	粗蛋白
開始	終了		推定誤差
700	1100	0.44	3.51
900	1600	0.70	2.74
1300	1600	0.71	2.80
1200	2500	0.87	1.91

測定したスペクトルに、雑音を重畳すると、推定誤差の値は、大きくなる．色々な雑音量についての計算結果を図 2 に示す．この性能の劣化から装置に必要な SN 比を予測することができる．

図 2 から、装置の SN 比は 1000 μ ABS 以下であれば、推定性能の劣化は認められないことがわかる．これから、装置に必要な SN 比は 1000 μ ABS として設計し、所定の性能を実現できることがわかる．このような事前検討から、表 3 に示す装置仕様を決定した．この仕様に基づいて図 3 に示す近赤外分光装置を開発した．

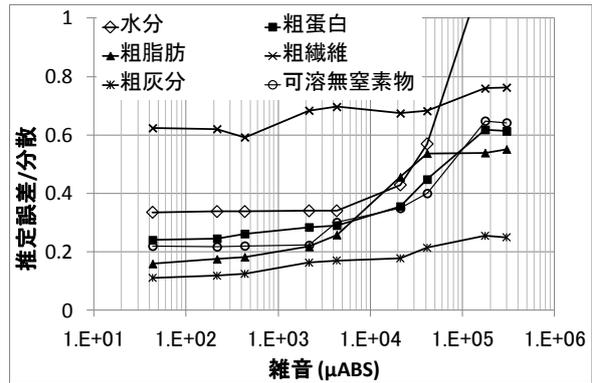


図 2 装置 SN 比と推定誤差

表 3 近赤外分光装置の仕様

No	項目	仕様
1	測定項目	拡散反射率
2	波長範囲	1200~2500nm
3	波長分解能	20nm
4	SN比	1000 μ ABS 0.2% 以下



図 3 開発した近赤外分光装置

3. 結果

表 3 の仕様に基づき開発された装置により、エコフィードのスペクトルを測定し、成分を推定した結果を表 4 に示す．相関係数はいずれも、0.95 以上と、高い推定性能を示している．

粗蛋白質と粗脂肪の散布図を図 4 に示す．これらの結果は、開発した装置は十分現場で実用できることを示している．

表 4 開発した装置による測定性能

エコフィード成分	測定結果	
	R	誤差 %
水分	0.957	1.44
粗蛋白質	0.969	2.32
粗脂肪	0.982	1.26
可溶無窒素物	0.981	4.14
粗繊維	0.984	1.25
粗灰分	0.966	1.43

4. 結論

事前に市販の高性能近赤外分光装置により測定したスペクトルから、装置に必要な仕様を決定し、それに基づき、装置を開発した．開発した装置は、目的通りの性能をもったものとなった．

今後も、測定を繰り返し、性能の高い検量線への更新を行うことで、より多様なエコフィードに対応が可能となる．

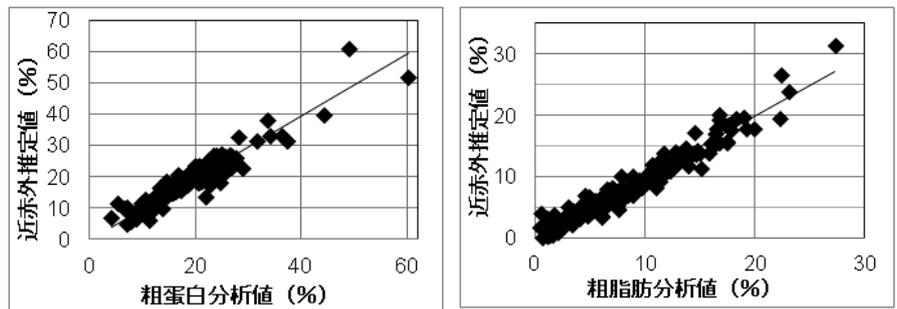


図 4 開発した近赤外分光により推定した粗蛋白質と粗脂肪の値

5. 謝辞

本装置の開発は、配合飼料供給安定機構からの開発委託により実施されたものである．ご協力頂きました配合飼料供給安定機構殿および、開発プロジェクトのメンバーの方々に感謝致します．

Measurement of contents of Ecofeed by NIR Spectroscopy

Shanji Piao, Tsutomu Okura, Masakazu Irie, Chisato Yonemochi, Masahiro Amari

VI-9 味付け麺の赤外線-熱風併用乾燥特性の把握

橋本 篤 橋川 光 坂口 宜謙 末原 憲一郎 亀岡 孝治
(三重大学)

1. 背景および目的

味付け即席麺のノンフライ乾燥は近年の健康志向から注目され、熱風乾燥、マイクロ波乾燥、過熱水蒸気乾燥、赤外線乾燥などの乾燥法の組み合わせが検討されている。種々の乾燥を組み合わせるには、タレを塗布した麺を対象としたそれぞれの乾燥特性の定量的な把握が必要となる。そこで本研究では、熱伝達に優れている赤外線加熱と、水分除去に優れている熱風を組み合わせた赤外線-熱風併用乾燥に着目した。また、味付け即席麺の赤外線乾燥特性を放射伝熱の側面から検討し、その知見に基づいた赤外線-熱風併用乾燥特性の把握を目的とした。具体的には、乾燥特性に及ぼす照射エネルギー波長分布や熱風風速などの影響について実験的に検討した。

2. 実験試料および方法

実験試料には、麺試料およびタレモデルを用いた。麺試料は、小麦粉と1%食塩水を重量比10:3の割合で混捏して、麺線を調製した。その後蒸熟し、タレモデルに浸漬したものをを用いた。また、タレモデルは、実際のタレの成分比率を考慮し、醤油、塩、砂糖およびグルタミン酸ナトリウムを用いて調製した。

乾燥には既存の赤外線乾燥装置¹⁾に熱風機を取り付けた装置を用いた。赤外線照射エネルギー量は 3.73 kW/m^2 とし、熱風温度は 378.15 K に調節し、風速を $1.1\sim 2.0 \text{ m/s}$ に変化させて実験を行った。

3. 実験結果

遠赤外線乾燥特性と近赤外線乾燥特性を比較したところ、照射エネルギー量が同じであるならば、遠赤外線乾燥の照射場合の方が近赤外線乾燥の場合よりも乾燥速度は速く、乾燥試料温度が高くなることがわかった。また、これらの結果は、麺試料表面のタレモデルによる赤外線エネルギーの吸量に起因するものと考えられた。

つぎに、遠赤外線放射体を用い、赤外線-熱風併用乾燥特性の把握を試みた。図1に示したように、赤外線-熱風併用乾燥の場合、赤外線乾燥や熱風乾燥に比べて、温度上昇や乾燥速度は速くなり、乾燥時間が短縮された。図2は、3種類の異なる乾燥法における乾燥特性曲線の比較を示したグラフである。規格化含水率がおよそ $0.6\sim 0.3$ に変化する期間において、赤外線-熱風併用乾燥と赤外線乾燥では乾燥速度はあまり下がらなかったが、熱風乾燥では乾燥速度の顕著な低下が認められた。また、熱風の風速を速めると麺帯温度を下げることができたため、風速を調節することで焦げを防げる可能性が示唆された。

以上より、赤外線乾燥に熱風を併用することにより、赤外線乾燥の特徴を生かし、短時間で麺表面を焦がさずに乾燥できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Hashimoto, A., *et al.*: IDS 2010 Proceedings, pp.1515-1521 (2010)

Combined Infrared and Convective Drying Characteristics of Seasoned Instant Noodles

Atsushi Hashimoto, Hikaru Hashikawa, Takaaki Sakaguchi, Ken-ichiro Suehara, Takaharu Kameoka

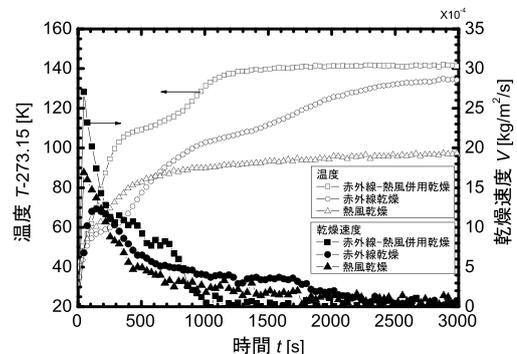


図1 異なる乾燥法での麺試料の温度、乾燥速度の経時変化

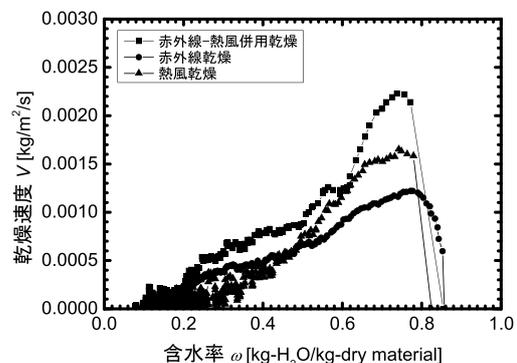


図2 異なる乾燥法における乾燥特性曲線

太陽 UV-B 紫外放射の長期計測上の課題

東海大学 総合科学技術研究所 竹下 秀

1. はじめに

南極上空に春季に大規模な成層圏オゾン破壊の発生が明らかになった 1980 年代後半、東海大学総合科学技術研究所（以後、本研究所と略）は、世界で初めての全天候型太陽UV-B（波長 280 – 315 nm）紫外放射計を開発した（図 1）¹⁾。そして、開発した太陽UV-B紫外放射計を組み込んだ太陽放射観測システム（SORMOS）を 1990 年 10 月より神奈川県平塚市の東海大学湘南校舎（北緯 35 度 21 分、東経 139 度 16 分、以後湘南校舎と略）において本格稼働し、24 時間連続観測を開始した²⁾。湘南校舎における太陽放射観測は 2012 年 10 月に観測開始 22 年目を迎えた。さらに、1996 年 6 月に東海大学宇宙情報センター（熊本、北緯 32 度 50 分、東経 130 度 52 分）、1998 年 7 月に東海大学沖縄地域研究センター網取施設（西表島、北緯 24 度 20 分、東経 123 度 41 分）、2000 年 9 月に（独）通信総合研究所（現情報通信研究機構）稚内超高層大気観測施設（北緯 41 度 48 分、東経 145 度 21 分）に観測点を拡大し、連続観測を継続実施している（図 2）³⁾。本研究は、成層圏オゾン変動にリンクした地球上の光放射環境（特に太陽UV-B放射環境）の解析・評価を目的としており、これまでに、太陽UV-B放射の様々な特徴を明らかにするとともに⁴⁾⁵⁾⁶⁾、1990 年代における太陽UV-B放射の長期的な増加傾向を明らかにしてきた⁷⁾⁸⁾。本報では、この太陽UV-B紫外放射の長期計測上の課題について論じる。

成層圏オゾン変動にリンクした
地球上の光放射環境
（特に太陽UV-B放射環境）の
解析・評価
（1990年）

UV-B: Ultraviolet-B
（波長280 nm – 315 nm）
UV-A: Ultraviolet-A
（波長315 nm – 400 nm）



*竹下秀, 坂田俊文, 佐々木政子他: 太陽紫外UVB放射計の開発と諸特性の評価, 照明学会誌, 78 (10), 537 - 544 (1994).

2012/12/07 光放射応用分科会「生活環境基盤・評価に関わる赤外放射の応用」委員会



図 1 開発した全天候型太陽 UV-B 紫外放射照度計

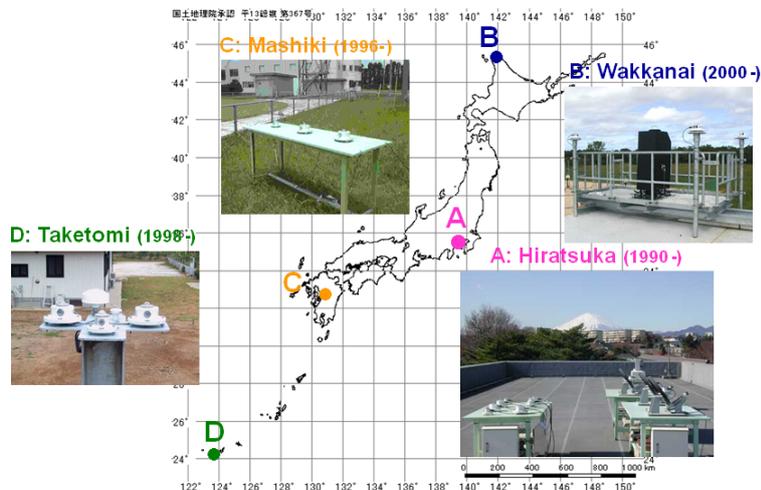


Fig. 1 Photograph of each station of the solar radiation monitoring network of Tokai University and its location.

2012/12/07 光放射応用分科会「生活環境基盤・評価に関わる赤外放射の応用」委員会



図2 東海大学光環境計測ネットワーク

2. 本研究所の太陽放射観測システム

本研究所での使用放射観測機器は、太陽 UV-B 紫外放射照度計 (MS-210W/212W、英弘精機)、太陽 UV-A 紫外線計 (波長 315 nm から 400 nm、MS-210A/212A、英弘精機)、全天日射計 (波長 300 nm から 3000 nm、MS-801、英弘精機) である。これらの計測器からの信号はデータロガー (Solac3, Cadac21L, Cadac3, 全て江藤電気) を使用して 20 秒もしくは 10 秒に 1 回瞬時値として記録している。なお、西表島での観測開始当初は、一般電話回線でデータを回収するシステムを導入していた。しかし、回線が不安定なこともあり、結果的には現地出張時にデータを回収していた。2002 年 3 月に現在の東海大学沖縄地域研究センター浦内施設 (西表島、北緯 24 度 25 分、東経 123 度 47 分) に観測装置を移設し、インターネット回線と接続した。このため、現在では全観測点はインターネットにより接続されており、観測データは 30 分から 1 時間の時間間隔で湘南校舎に設置されたサーバーに転送され、ホームページ上で公開されている。

3. 太陽放射長期観測の課題

3. 1 観測装置の校正値の維持管理

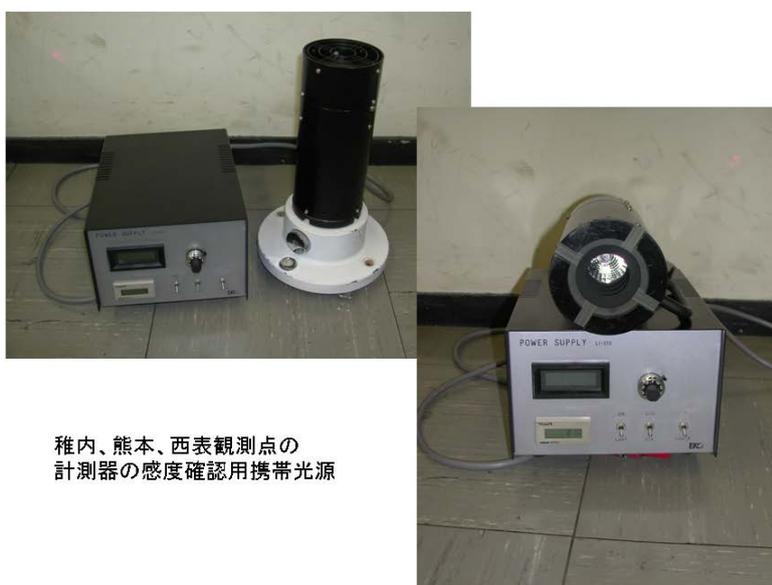
太陽放射の連続多点観測で最も重要なのは、使用する観測装置の校正値の維持管理である。本研究所では、太陽 UV-B 放射計、太陽 UV-A 放射計、全天日射計を使用しているが、これらの観測装置の校正値の維持管理方法を次に示す。

全観測器の校正は、基本的に製造会社校正による。全天日射計は国際気象機関 (WMO) がスケールを維持する WRR (World Radiation Reference) に基づいた校正がなされている。

太陽UV-A放射計及び太陽UV-B放射計の一次準器は分光器である。校正する計測器の準器計測器（二次準器）は太陽光のもとで、一次準器との比較測定により校正されている。校正する計測器は、この二次準器との太陽光のもとで校正されている。なお、太陽UV-B放射計は、この計測器による観測開始直前に気象研究所が所有するブリューワーオゾン 分光光度計との比較測定により二次準器計測器の校正値が決定されている。その後、1997年8月にメーカーの保有する一次準器（分光器）、二次準器及び本研究所で所有する計測器を湘南校舎に集めて比較測定を実施し、校正値を修正した⁹⁾。

長期多点計測で最大の課題となるのは校正値の維持管理である。湘南校舎で稼働している日射計を除く全計測器は、購入時の製造会社校正後、分光放射照度標準電球（JPD100V-500WCS）による感度確認実験を年1回程度実施し、感度変化を評価している。また、製造会社校正は随時実施しており、製造会社校正後の計測器との比較測定によって感度変化を評価している。なお、全天日射計については、感度の経時変化が非常に小さいことから、随時製造会社校正のみ実施し、感度変化を評価している。

サテライト観測点で稼働している計測器は、分光放射照度標準電球による感度確認実験は不可能である。このため、観測当初は年1回程度の頻度で湘南校舎において感度を確認した計測器をサテライト観測点に持ち込んで太陽光の下で比較測定し、持ち込んだ計測器を仲介器としてサテライト観測点で稼働している計測器の感度を評価した。しかし、この方法では比較観測時の天候に左右され、感度を確認できない事態が生じた。そこで、携帯型光源（図3）をサテライト観測点に持ち込み、この光源による出力値の変動を評価する方法に2002年から変更した。

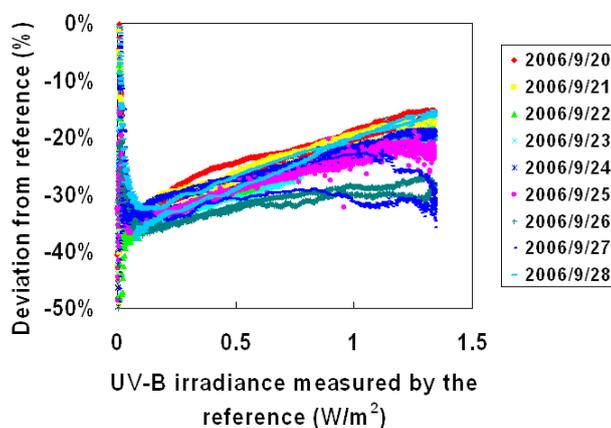


稚内、熊本、西表観測点の計測器の感度確認用携帯光源

図3 稚内、熊本、西表観測点の計測器の感度確認用携帯光源

しかし、太陽UV-B放射計は、同時期に屋外校正してもその時の天候に大きく左右され、製造会社校正の更なる精度向上が必要であることが明らかになった(図4)。そこで、これまで実施してきた屋外比較測定に代わる新しい校正法として屋内校正に着目し、その技術開発を開始した¹⁰⁾。これは、分光放射照度標準電球による校正値に、スペクトル補正係数を組み合わせるものである¹¹⁾¹²⁾。技術をほぼ確立した2009年に、太陽UV-B放射計の校正は全面的に屋内校正に切り替えた。サテライト観測点に展開する太陽UV-B放射計は、これと同時に携帯型光源による感度確認を止め、湘南校舎で屋内校正した同型の計測器と年1回交換する形に変更した。

屋外比較測定例



2012/12/07 光放射応用分科会「生活環境基盤・評価に関わる赤外放射の応用」委員会



図4 屋外比較測定結果の天候依存性

この屋内校正の標準として使用する分光放射照度標準電球は、随時、国家スケールが変更されている。各国の標準機関が保持する分光放射照度標準値は、10年程度の間隔で国際度量衡委員会(CIPM、Comité International des Poids et Mesures)傘下の国際度量衡局(BIPM、Bureau International des Poids et Mesures)による国際比較(Key Comparison)によって国際的なスケールの整合性が評価され、その結果を受けて必要に応じて各国の国家スケールは修正されている。直近では2000年から2003年にかけて国際比較(CCPR K1-a)が行われ、我が国からは独立行政法人産業技術総合研究所計量標準総合センター(NMIJ)が新しいスケールでこの国際比較に参加し、我が国の国家スケールの国際的な同等性は確認されている¹³⁾。また、新しいスケールは2012年4月から提供されている¹⁴⁾。しかし、残念ながら旧スケールからの変更量は提供されていない。これは今回のスケール変更量が不確かさの範囲内であったことによる。しかし、計測器の感度校正で重要なのは不確かさではなく国家スケールである。今回の国家スケール変更量の開示を今後求めていきたい。

3. 2 観測装置の保守管理

観測装置に要求される装置寿命や保守期間は、通常の場合は、集中的に観測する数年でよい。しかし、長期観測の場合はその装置寿命が長く、保守期間が長いことが要求される。本学で開発して長期観測に使用している太陽 UV-B 放射計には様々な部品が使用されており、主幹部品は太陽 UV-B 紫外放射を可視放射に変換するための蛍光体である。この蛍光体は光化学的に安定で、開発当時は入手性が極めて優れた製品を採用していた。しかし、近年はその入手性が低下している。さらに電子部品も製品の切り替えが進んでおり、保守部品の確保が課題となっている。

さらに、汎用的な観測装置であるデータロガーも変更している。データロガーは、製品ごとに制御コード及びデータ記録形式が異なる。このため、データロガーごとに制御ソフトウェア及びデータ処理プログラムが必要であり、その開発にも時間を要している。

3. 3 観測データの保管管理

観測開始当初（1990 年）は、コンピュータの性能が現在ほど優れておらず MS-DOS で動作するコンピュータを使用してデータロガーを制御していた。観測データはその当時の主力記録メディアである 5 インチフロッピーディスクに記録していた。5 インチフロッピーディスクの記録容量は 1.2 MB（NEC 形式）のため、2 週間に 1 度フロッピーディスクを交換する必要があった。また、万が一のために、常にデータバックアップを作成していた。その後、3.5 インチ、ハードディスクへと記録メディアを切り替えた。また、バックアップメディアは 3.5 インチ光磁気ディスクへ変更した。しかし、コンピュータの進化とともにこれまで使用してきた記録メディアはハードウェア上の理由で利用できなくなっている。例えば、フロッピーディスクは最新のコンピュータではサポートは終了し、外付けドライブの製造・販売は一部を除き終了している。3.5 インチ光磁気ディスクも同様である。このため、常に最新のコンピュータ周辺機器のサポート状況を確認し、長期保管性が優れ、かつ、長期的なサポートが見込まれる記録メディアへの切り替えを図る必要がある。

さらに、観測データの見直しの際に最も問題となるのは、観測装置の保守記録である。観測装置の保守などのために観測が停止している時間帯は年数回必ずあり、その観測停止時間帯のデータ処理は解析結果に影響する。このため、保守記録を常に記録している。また、特異な天候条件も年数回出現するため、この特異な天候も記録している。この記録も解析処理の際に重要な資料となっている。

4. 太陽放射の多点長期観測の今後の展開

成層圏オゾン破壊は全地球規模の環境問題であるが、その研究は 2000 年代に入り下火になり、代わりに地球温暖化問題が注目を集めている。両者は、全く独立した環境問題と捉えられているが、実際には関係がある。成層圏オゾン破壊物質としては、特定フロン（クロロフルオロカーボン）が知られている。成層圏オゾン保護のために特定フロンはその製造と販売が世界的に禁止され、代替フロン（ハイドロクロロフルオロカーボン）へ切り替

えられている。この代替フロンは実は地球温暖化物質のであり、しかも一般的によく知られている二酸化炭素よりもその温室効果特性が極めて高いことが明らかになっている。さらに、最近の市場調査では、今後、民生分野での排出量が増加することが予測されている。すなわち、成層圏オゾン破壊を守るために切り替えた代替フロンによって、地球温暖化が促進される恐れがある。

両環境問題の起源は太陽から地球大気上層に届いている太陽放射である共通点をもつ。すなわち、太陽活動が低下し、この太陽放射が減少した場合、成層圏オゾン生成消滅活動が低下してオゾン量が減少し、地上に到達する太陽 UV-B 放射量が増加する恐れがある。また、地球温暖化の観点からは、地球大気に入射するエネルギー量が低下するため地球温暖化のスピードが抑制される可能性もある。すなわち、地上に届くエネルギー量の測定は、両地球規模の環境問題にとって共通の重要な研究課題である。

近年、人工衛星によるオゾン全量測定などが定常観測化され、さらにシミュレーション技術は進化した。これにより地上に到達する太陽放射量などはシミュレーションが可能と考えられてきたため、地上観測の予算削減が進んでいる。本学も例外ではなく、保守経費の確保も難しくなりつつある。しかし、シミュレーションはあくまでシミュレーションであり、実際の結果を説明する一つ的手段にすぎない。成層圏オゾンが、破壊以前の状態に戻るのは今世紀半ばと推定されている。このため、太陽放射観測の長期観測は今後も極めて重要であり、これを継続し、長期的な変動傾向を解析評価するとともに、継続の重要性をアピールしていきたい。

参考文献

- 1) 竹下秀, 坂田俊文, 佐々木政子他:
太陽紫外UVB放射計の開発と諸特性の評価, 照明学会誌, **78** (10), 537-544 (1994).
- 2) Sasaki, M., S. Takeshita, M. Sugiura, Y. Miyake, Y. Furusawa and T. Sakata:
Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B irradiance at 35° N latitude in Japan, J. Geomag. Geoelectr., **45**, 473-485 (1993).
- 3) Takeshita, S. and Masako Sasaki: Solar radiation monitoring network of Tokai University, Japan, Proc. SPIE, **5156**, 303 – 310 (2003).
- 4) 竹下秀, 須藤紀子, 坂田俊文, 佐々木政子: 太陽放射UV-B, UV-Aおよび日射の変動解析, 東海大学紀要工学部, **33** (2), 91-100 (1993).
- 5) 遠藤恵子, 松江浩二, 竹下秀, 坂田俊文, 佐々木政子: 屋外の各種環境における太陽紫外UV-BとUV-A放射量の測定と評価, 照明学会誌, **82**(11), 877 – 884 (1998).
- 6) Sasaki, M., Y. Fujita and S. Takeshita: Mapping Solar UV-A Irradiance according to Seasonal and Regional Differences in Japan, Photomed. Photobiol., **26**, 67 – 68 (2004).

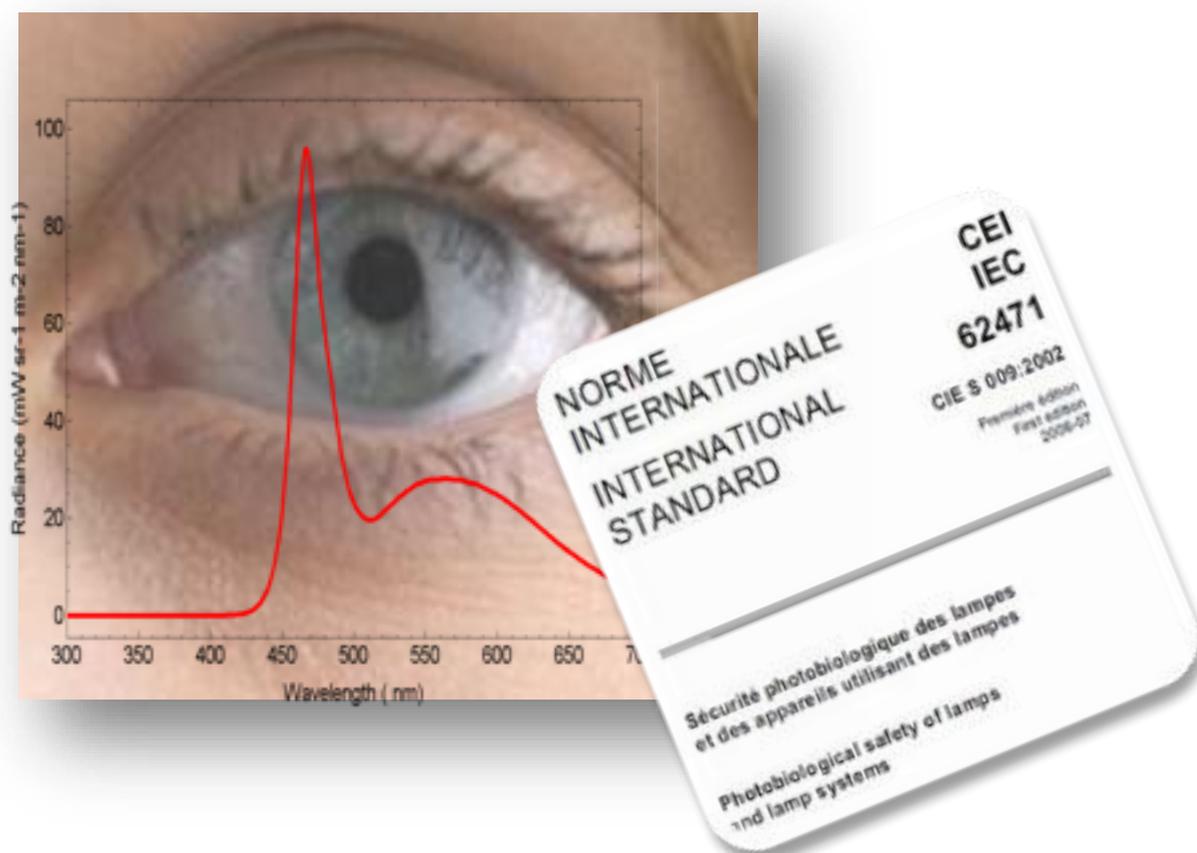
- 7) Sasaki, M., S. Takeshita, M. Sugiura and T. Sakata: An increase in the global solar ultraviolet-B irradiance at 35°N in Japan since 1990, *J. Geomag. Geoelectr.*, **46**, 827-834 (1994).
- 8) Sasaki, M., S. Takeshita et al.: Increasing trend of biologically active solar ultraviolet-B irradiance in mid-latitude Japan in the 1990s, *Optical Engineering*, **41**(12), 3062 – 3069 (2002).
- 9) Takeshita, S., Y. Miyake, M. Ichihashi and M. Sasaki: Intercomparison of UV-B radiometer, *Proc. SPIE*, **4482**, 436 – 444 (2002).
- 10) 竹下秀, 佐々木政子: 太陽紫外 UV-B 計測器の感度定数・分光感度評価装置の試作, 平成 19 年度 (第 40 回) 照明学会全国大会予稿集, 133 (2007).
- 11) 竹下秀: 太陽 UV-B 放射照度計の屋内校正法の検討ー色補正係数の有効性と課題ー, 平成 21 年度 (第 42 回) 照明学会全国大会予稿集, (2009) .
- 12) 竹下秀, 津田憲次, 町田敏暢: 太陽 UV-B 放射照度計の屋内校正法の検討 IIー長期計測におけるスペクトル補正係数の有効性と課題ー, 平成 23 年度 (第 44 回) 照明学会全国大会予稿集, p. 274 (2011) .
- 13) Emma R. Woolliams, Nigel P. Fox, Maurice G. Cox, Peter M. Harris and Neil J. Harrison, Final report on CCPR K1-a: Spectral irradiance from 250 nm to 2500 nm, *Metrologia* **43**, 2006.
- 14) 独立行政法人産業技術総合研究所計量標準総合センター, 不確かさ改善による信頼性の高い 分光放射照度値の供給について, http://www.nmij.jp/news/2012/20120420/News_housha_120420.pdf



光源と光源システムの 光生物学的安全性

(IEC62471/IEC62471-2/JISC7550)

(Version d-2)



平成25年3月16日

担当 (株) 相馬光学
技師長 大倉 力

内容

1. 概要.....	6
1.1 歴史的背景.....	6
1.2 略称の説明.....	6
1.3 光生物学的安全に関する規格.....	8
2. 光による傷害.....	9
2.1 光による傷害.....	9
2.2 光による傷害.....	10
3. 眼球の特性.....	11
3.1 眼の構造.....	11
3.2 瞳孔の直径.....	11
3.3 水晶体の透過率.....	12
3.4 眼球の動きと視野角.....	13
4. 光生物学的安全性の測定と計算方法.....	15
4.1 リスク評価項目と計算方法.....	15
4.2 作用関数.....	16
4.3 露光限界 (Exposure Limit EL) ICNIRP.....	19
4.4 傷害とリスク (連続光源).....	21
4.5 傷害とリスクグループ (パルス光源).....	23
4.6 補足説明.....	23
4.7 JISC7550によるリスクとリスクグループ.....	25
5. 測定.....	27
5.1 照度と輝度.....	27
5.2 ランプのカテゴリ.....	27
5.3 分光測定装置の構成.....	28
5.4 分光放射照度測定.....	29
5.5 分光放射輝度測定.....	31
5.6 光源サイズの測定方法.....	34
5.7 分光測定装置 (IEC62471).....	36
5.8 分光測定装置 (JIS C 7550).....	37
6. 規格の適用(IEC62471-2).....	38
6.1 傷害距離.....	38
6.2 リスクの表示.....	39
7. 測定装置 (IDR300-PSL).....	41
7.1 装置設置環境.....	43
7.2 測定プロシージャ.....	44
7.3 分光測定部.....	45
7.4 入射光学系.....	48
7.5 標準光源.....	49
7.6 プロファイラ.....	52
7.7 測定時の組み合わせ.....	53
7.8 光生物学的安全性のレポート.....	54
7.9 設置に際して.....	57

図 1	各種光源のスペクトル.....	9
図 2	眼球の構造.....	11
図 3	瞳孔とその直径.....	11
図 4	水晶体の分光透過率.....	12
図 5	水晶体透過率の加齢による変化.....	12
図 6	時間と視野角の変化.....	13
図 7	露光時間と視野角の関係.....	13
図 8	光源の大きさと視野角の関係.....	14
図 9	光源の視角と視野角の関係.....	14
図 10	紫外放射傷害作用関数 $S_{UV}(\lambda)$	16
図 11	網膜傷害に関する作用関数 $B(\lambda)$ 、 $R(\lambda)$	16
図 12	放射照度露光限界と露光時間の関係.....	20
図 13	放射輝度露光限界と露光時間の関係.....	20
図 14	各傷害のリスク区分.....	22
図 15	分光放射照度と分光放射輝度.....	27
図 16	分光放射照度計と分光放射輝度計の構成.....	28
図 17	分光放射照度測定光学系.....	29
図 18	分光放射輝度測定光学系.....	31
図 19	分光放射輝度の代替測定方法.....	31
図 20	照度測定から輝度値の推定.....	32
図 21	傷害距離.....	38
図 22	複数の傷害発生する場合の警告表示 (例).....	40
図 23	IDR300-PSL 外観.....	41
図 24	装置の設置場所と環境条件.....	43
図 25	測定プロシージャ.....	44
図 26	分光測定装置と検知器の構成.....	45
図 27	IDR300-PSL 分光装置の構成と分光器外観.....	46
図 28	IDR300-PSL 分光器光学配置.....	47
図 29	D7型透過型拡散板.....	48
図 30	TEL型分光放射輝度入射光学系.....	48
図 31	紫外分光放射照度標準光源.....	49
図 32	重水素ランプ電源.....	49
図 33	分光放射照度標準電球.....	50
図 34	ハロゲンランプ電源.....	50
図 35	分光放射輝度標準電球.....	51
図 36	分光放射照度輝度標準電源.....	51
図 37	プロファイラ概観図.....	52
図 38	プロファイラにより測定された光源.....	52
図 39	プロファイラによる測定画面.....	52
図 40	IDR300-PSL 各ユニット組み合わせ.....	53
図 41	光生物学的安全性報告書.....	56

表 1	光生物学的安全性の歴史的背景.....	6
表 2	光の人体への傷害.....	9
表 3	IEC62471でのリスク判定項目.....	10
表 4	露光時間と視野の広がりとの関係.....	13
表 5	光生物学的安全性の測定方法と計算方法.....	15
表 6	紫外放射傷害作用関数 $Suv(\lambda)$ の表.....	17
表 7	網膜傷害に関する作用関数の数値表.....	18
表 8	各リスク項目の露光限界.....	19
表 9	リスクグループの判定方法.....	21
表 10	青色光による網膜障害と小型光源の青色光による網膜障害.....	23
表 11	リスクおよびリスクグループと放射限界の関係.....	25
表 12	露光許容時間 t_{max} によるリスクおよびリスクグループの関係.....	26
表 13	連続発光ランプの分光放射輝度測定の測定視野条件.....	32
表 14	JIS C 7550 表JA.1ー特定部位を光源の大きさと見なす一般照明用光源及びその形状.....	35
表 15	推奨波長分解能.....	36
表 16	波長誤差があたえる影響についての例.....	36
表 17	推奨波長精度.....	36
表 18	リスク表示方法.....	39
表 19	リスクに関する情報.....	40
表 20	IDR300-PSL ユーザリスト(H24/05/15).....	41
表 21	構成ユニットと消費電力.....	44
表 22	分光放射輝度測定ユニット仕様.....	48
表 23	重水素電源仕様.....	49
表 24	分光放射照度標準電球 仕様.....	50
表 25	プロファイラ仕様.....	52

序

人類、そしてすべての生物は光の影響のもとに進化をとげてきた。人類の科学の発達により人工の光源が開発され、その成果を享受してきた。しかし、この光源の進化に伴い、生体が被害を受ける現実も増加し、近年、詳細に研究されるようになった。

光源の生体に及ぼす影響を評価して、安全性を確かめてから使用するという流れが、2000年初頭より始まった。そのトリガーとなる解説書が CIE の発行した S009E であり、この文書の技術内容を基本として、IEC62471 が作られた。IEC62471 の内容をほぼ同等に取り込んで、日本電球工業会が組織する光源測定委員会において技術仕様書 TS0038C および JIS規格 JIS C 7550 (H23/12/20 発効) の規格が作られた。

光生物学的安全性における測定は、視覚を基本とした色の計測とは異なる部分が多く、光の影響の評価方法としてその技術を基本から理解することは、重要である。

欧州では、2012年に向けエジソン（白熱）電球が段階的に廃止されていくのを受け、LED製品の開発が急ピッチで進められている。日本においても経済産業省は非効率性や省エネなどを理由に2012年までに白熱電球の生産を中止するように生産企業へ要請を出し、企業側も東芝ライテックが2010年、三菱オスラムが2012年を目処に代替のきかない白熱電球を除き、生産を中止すると発表しており、屋内ではテーブル照明、壁掛け照明、天井照明及び組込照明、屋外では庭園照明、街路照明及び道路照明等、照明へのLEDの使用は急速に普及してきた。白熱電球、ハロゲン電球又は管型電球といった従来の照明からの転換は明らかに現在の流れであり、結果としてLED製品に対する試験の必要性も一気に増している。ある公的機関においては、年間5000件のLED照明に関する依頼測定が発生する程、測定の必要性は高くなっている。

CENELECの要求により、EU加盟国は2007年4月1日までに光源の生物学的安全性に関する規格を各々の国内法に組み込むことを要求されている。IEC 62471は照明を含む、光源及び光源システムの光生物学的安全性評価のためのガイドラインであり、具体的には、すべて電気により発生する非干渉性の広帯域の（200 nm～3000 nmの波長範囲）光学放射源から生じる光生物学的危険の評価と制御の為に、暴露限度、計測技術基準、分類体系を規定している。

JQAでは既に、IEC62471に基づく試験と認証を開始、TUV Japanも装置を購入した。JETは検討を開始している。今後、EU 圏に光源を輸出するためには、CEマーク取得のために EN62471規格による認証が必須となる。このような測定は、エネルギースターに基づく省エネルギー運動に関連する流れの中でも必要となっている。



1. 概要

1.1 歴史的背景

表 1 光生物学的安全性の歴史的背景

1970年	ACGIH基準に基づいた、JIS Z 8812 (有害紫外放射の測定方法) が制定された
1982年	WHOが光生物学的安全性について報告
1993年	IEC60825の初版が発行 (レーザ光の安全性規格である)
1996年	IEC60825変更されLEDも含んだ形となった ANSI/IESNA RP27.1 ランプとランプシステムの光生物学的安全性についての文書発行
2000年	IEC-CIE ジョイント会議が開催され、光生物学的安全性の規格化について討議された
2002年	CIEがANSI/IESNA RP27.1を採用し、光生物学的安全性についての規格 CIE S009 が発行された。この規格にはリスクの評価において多くの課題を含んでいた。TC34ではジョイント規格として採択されなかった
2002年	CIE S009を受け、日本では、「光源の測定分科会」が電球工業会により組織され (委員長埼玉大学中川教授(当時))、2003年にCIE S009を参考にした、JIS-TS C 0038が制定された
2006年	IEC TC76においてCIE S 009 に基づいて IEC62471(安全性の測定方法)が制定された
2009年	IEC TC76において IEC62471-2 (安全性規格の運用方法) が制定された
2010年	光源委員会において IEC62471の問題を解決し、JIS C 7550を制定し、経済産業省に回付した
2011年	JIS-TS C 0038 は期限切れとなり、変わって、JIS C 7550が12月20日に正式に発行された

1.2 略称の説明

ACGIH

米国労働安全衛生官会議(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)
米国産業衛生専門家会議などと訳されるが通常ACGIHのまま使われている。米国の産業衛生の専門家の組織。化学物質等の職業的許容濃度の勧告値や化学物質の発がん性の分類を公表しているが、その値は世界的に重要視されている。

WHO

世界保健機関 (World Health Organization) は、人間の健康を基本的人権の一つと捉え、その達成を目的として設立された国際連合の専門機関 (国連機関) である。略称は英語: WHO 1948年設立。本部はスイス・ジュネーヴ。設立日である4月7日は、世界保健デーになっている。

ANSI

ANSI (アンシー) は、米国規格協会・米国標準協会 (American National Standards Institute) の略で、アメリカ合衆国の工業的な分野の標準化組織であり公の合意形成のために、さまざまな規格開発を行う。EIA (米国の電子工業会) , TIA (米国の電気通信工業会) 等の規格作成団体による仕様を承認し、ANSI規格とする。日本の日本工業規格 (JIS)、日本工業標準調査会 (JISC)のような存在。

IEC

国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission、IEC) は、電気工学、電子工学、および関連した技術を扱う国際的な標準化団体。その標準の一部は国際標準化機構(ISO)と共同で開発されている

CIE

国際照明委員会 (Commission internationale de l'éclairage、略称: CIE) は、光、照明、色、色空間などを規定する国際標準化団体。本部はオーストリアのウィーン。1931年にCIEは、現在でも色空間を表すために使用される CIE標準表色系を開発した。CIE標準表色系であるXYZ表色系 (Yxy表色系) は表色系の基礎となっている。CIE日本支部である日本照明委員会は、JCIEと呼ばれている。

JELMA

社団法人日本電球工業会 (JELMA) は、LED照明機器、電球・放電ランプ及び放電 ランプ用安定器・電子トランスなどの製造・販売を行う事業者及び団体を会員として構成する社団法人。LED照明機器等の

光源類に関する規格・基準の作成や統計調査等を行っている。

光源測定委員会

日本電球工業会（JELMA）により組織された光源測定に関する諸事項について、情報交換、規格立案を実施するための委員会。2002年にS009規格に対する日本側の対応を決めるために「IEC/SC34A/光源の測定分科会」が組織された。15名ほどの専門家により構成されている。委員長は、埼玉大学中川名誉教授。後に「光源測定委員会」と変わり、パナソニック 鈴木健一氏が委員長をつとめている。光生物学的安全性以外に、LED評価、光源測定に関する各種のJIS規格の制定をしている。筆者も創立時よりメンバーとなり規格立案を行っている。

CENELEC

「欧州電気標準化委員会」の略称。ヨーロッパ圏の電気分野の標準化を行っている組織の名称で、1973年に設立された。ヨーロッパにおける電気・電子技術分野の統一規格である欧州規格（EN）の制定を担当している。「CENELEC」は「欧州電気標準化委員会」を意味するフランス語（Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique）の略称で、英語では「European Committee for Electrotechnical Standardization」。

VDE

VDE試験所は1893年にドイツ電気技術者連合が中心となって設立された。電気製品の安全性試験と承認業務を行っている。VDEは、西独法律上、認定を強制されてはいないが感電、火災などの事故が発生した時の罰則が厳しく、実質的には強制と同じである。33000人以上の会員をもち、パートナーによるグローバルなネットワーク、規格標準化組織、試験ラボ、かつ技術センターを持ち合わせた世界的に最も知られている技術協会の一つ。製品試験、製品認証、国際規格（IEC、CENELEC）及び電気工学、電子工学、情報技術、マイクロエレクトロニクス、ナノテクノロジー、医療工学の分野の専門知識に特化している。

JET

JET（一般財団法人 電気安全環境研究所）は、1963年 電気用品取締法（現在の電気用品安全法）に基づく指定試験機関として設立された。製造・輸入事業者、販売事業者、使用者のために、日本の電気製品・電気設備に関係する安全の確保・向上をめざし、電気製品等についての各種試験・検査・認証業務の推進及び海外機関との連携強化を推進している。太陽電池の認証試験を実施しJETマークを発行している。

JQA

日本品質保証機構（略称 JQA Japan Quality Assurance Organization）は 1957年設立され、公正な第三者機関として、マネジメントシステム・製品・環境等に関する認証・試験・検査等を実施している。ISO 9001やISO 14001の認証、電気・電子製品の試験・認証、計測器の校正・計量器の検定等を行っており、既に、IEC62471に基づく光源の認証を実施している。

1.3 光生物学的安全に関する規格

S 009

LEDの光源としての進展は著しく、色々な場面に使用されるようになったが、その光生物学的安全性を如何に評価するかが、大きな課題となっていた。当初 LED はレーザと同じ扱いとして、IEC60825により測定されていたが、満足な結果は得られなかった。これらを解決するものとして、ICNIRPの露光限界に基づき、CIEにより S 009 が作成され2002年に発行された。S009では 200nmから3000nm の波長範囲にわたり、ランプとランプシステムの光生物学的安全性を評価する方法を示し、そのランプ、ランプシステムの許容露光限界を示している。この規格に示す内容が以降のすべての同様の規格の基本となっている。

IEC62471:2006

S009を基礎にして、IEC62471:2006 が制定されLEDを含む各種光源の光生物学的安全性の特性・評価方法が記述され、評価のための測定を可能とした。同時に、レーザのための安全規格であるIEC60825からLED測定の規格は削除された。その後、IEC62471による測定をどのように運用、適用するかを示すIEC62471-2が制定された。

EN62471:2008

ヨーロッパの CENELECで、低電圧指令として IEC62471 を基本としてEN62471が採択された。そして光生物学的安全としてCEマーク認証のための規格としても採用された。EN62471-2008 で採用された許容露光量は、IEC62471-2006 のそれと異なるが、EUのAORDとは同じ値である。現在のところ、これらの違いは、現在の ICNIRP のガイドラインの発行時の値の違いによるものである。

Artificial Optical Radiation Directive (AORD)

ヨーロッパでは労働環境における安全と健康の改善対策として、1989年にこの規則が採択された。そのなかには振動、雑音、電磁波、人工光源などが規制の対象となった。光源についての規則は、2010年に施行された。この規則では、作業環境において労働者が、コヒーレントおよびノンコヒーレント光源により皮膚、目に光に発生する損傷を予防するものである。この規則に太陽光は含まれておらず、EN62471 と EN60825 を参照している。

TS 0038C

光源測定委員会は、光生物学的安全性を検討するため、2002年電球工業会により組織され、照明製造、照明測定の専門家により構成され、分光放射照度測定については、高い知見を有している委員会である。光源測定委員会の最初の議題は、S 009 規格の検討であり、検討過程において、測定上の多くの困難さ、問題を見だし、それを解決する形で、この委員会により TS-C0038 を2003年に制定発行したが、2011年5月に失効した。

JIS C 7550

TS C 0038の発行から失効の間の EU での IEC62471規格の浸透、定着化を受ける形で、光源測定委員会において再度、問題点を可能な限り解決し、JIS C 7550を制定、平成23年12月20日に発効された。規格検討段階で問題と考えられたのは、輝度測定の困難性である。輝度標準、測定光学系において解決しなければならないことは多い。照度測定により輝度を推定する方法を、IEC62471よりも更に明快に説明することにより、問題を改善するとともに、IEC62471における冗長な説明を排除し、測定方法を簡潔・明快に示した。測定波長範囲についてIEC62471では、3000nmを上限としているが、実際には、この波長領域には、公的機関による分光放射照度光源の値付けが存在しない。そのため、上限を2500nmと変更して規格化した。

2. 光による傷害

2.1 光による傷害

生体が光により照射され吸収されると熱の発生、化学的变化により、生体組織が影響を受け、最悪の場合損傷を受ける。自然界においては、日焼け、雪目等がよく知られているが、光源または光源システムからの光によっても、このような傷害が発生する可能性がある。光による人体への傷害を表2に示す。

照明を必要とする労働環境において、このようなことが発生しないよう、また、照明以外の用途の光源(プロジェクター、レーザポインタ、日焼けマシン、おもちゃ等)についても、このようなことを事前に評価するため、測定により、傷害発生の危険度を事前に評価することが望まれている。

表 2 光の人体への傷害

CIEによる波長区分	目	皮膚	
UV-C 100nm~280nm	光角膜炎	紅斑(日焼け)、皮膚の老化加速、色素増強	
UV-B 280nm~315nm			
UV-A 315nm~400nm	光化学性白内障	直接色素沈着 光過敏反応	皮膚焼損
可視 380nm~780nm	光化学性および熱的網膜障害		
IR-A 780nm~1400nm	白内障、網膜焼損		
IR-B 1400nm~3000nm	房水フレア、白内障、角膜焼損		
IR-C 3000nm~1mm	角膜焼損		

人工的につくられた照明光源、発光光源は、科学の進歩と共に多様化しているが、図1に各種光源のスペクトルを示す。

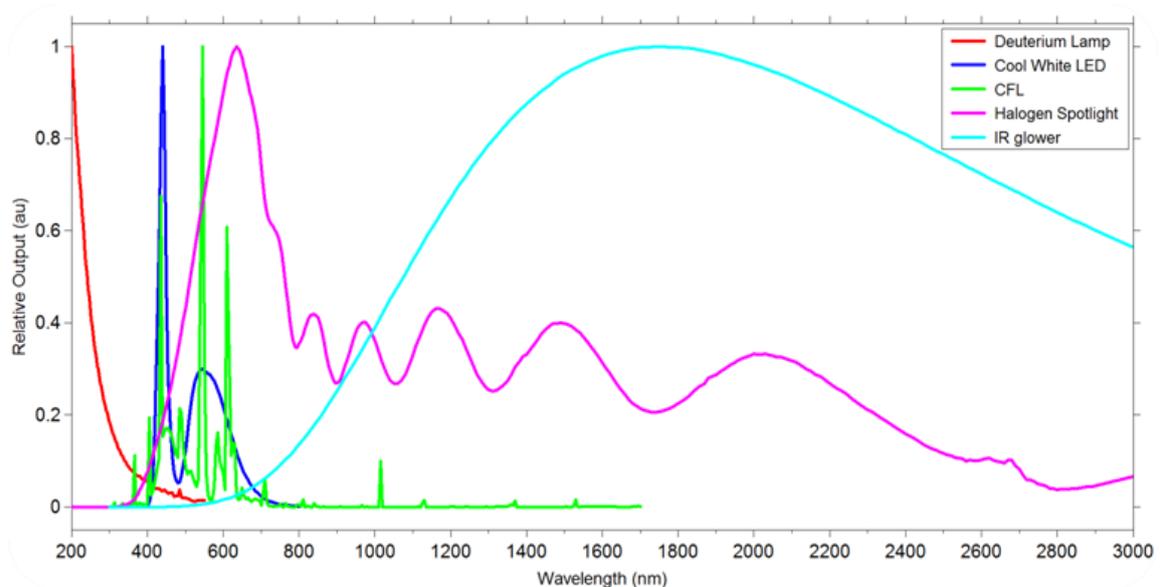


図 1 各種光源のスペクトル

2.2 光による傷害

人体に対する光傷害は、光強度と露光時間を乗じた露光量により発現する。IEC62471、JISC7550では、下記に示す項目の露光限界時間（何秒間照射してもよいか）の値により、リスクグループの区分を行う。リスク判定には、目、網膜に対する傷害項目が使用される。露光限界時間は、0.01msec以上8時間以内の範囲となっている。輝度が10000cd/m²以下の光源は通常、傷害を発生することはない。

表 3 IEC62471でのリスク判定項目

リスク	記号	波長範囲		備考
1 目及び皮膚に対する紫外放射傷害	E_S	200～400	照度	光角膜炎、日焼け
2 目に対する近紫外放射傷害	E_{UVA}	315～400	照度	白内障
3 青色光による網膜傷害	L_B	300～700	輝度	光源視角(Siurce Subtending Angle)0.011rad以上で L_B を、0.011rad以下で E_B をリスクグループ区分項目として使用する
小形光源の青色光による網膜障害	E_B	300～700	照度	
4 網膜の熱傷害	L_R	380～1400	輝度	
5 網膜の低可視光熱傷害	L_{IR}	780～1400	輝度	可視光が 10cd/m ² 以下の光源の場合、リスクグループ区分に使用する
6 目の赤外放射傷害	E_{IR}	780～3000 (JIS C7550 780 ～2500)	照度	
7 皮膚の熱傷害	E_H	380～3000 (JISC7550 780～2500)	照度	リスクグループ区分には使用しない

3. 眼球の特性

3.1 眼の構造

毛様体 毛様体にある毛様体筋と、チン小帯が連携し、水晶体厚みを調整している。

角膜 黒目の部分、外側から角膜上皮層、ボーマン膜、角膜実質層、デスメ膜、角膜内皮層

虹彩 眼の茶色部分で、瞳孔が光量調整する

前房・後房 眼圧調整する毛様体で作られ、房水で、満たされている。

チン小帯 (毛様小帯) 毛様体と水晶体をつなぐ繊維状細胞。

水晶体 網膜上にピントを合わせる。

硝子体 眼球構造を維持する無色透明の物質

強膜 眼球外側を覆う膜で、”白目”の部分。

網膜 形と色を感じる「錐体細胞」と、光を感じる「杆体細胞」により画像を検出。

脈絡膜 網膜外側にあり、網膜に養分を補給し、瞳孔から以外の光を遮光する。

黄斑 (中心窩) 眼底の中心部分を黄斑と呼ぶ、最も物がよく見える部分

視神経乳頭 脳への視神経が始まる部分。入口部分は網膜細胞がなく「盲点」と呼ばれる。

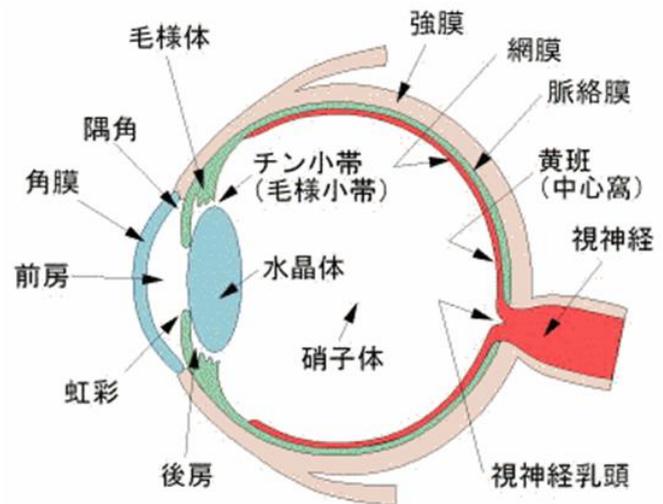


図 2 眼球の構造

3.2 瞳孔の直径

眼に入射し、網膜で吸収される光量 (380 ~ 1400 nm) は、瞳孔の面積に比例する。瞳孔の直径は暗い光源 ($< 0.01 \text{ cd/m}^2$) を見る場合の 7 mm から 明るい光源 (10000 cd/m^2 程度) の場合の 2 mm まで変化する (図3)。

分光放射照度の測定においては、この瞳孔径の大きさを考慮し、測定装置の入射口径は、7mm~50mm程度とする。

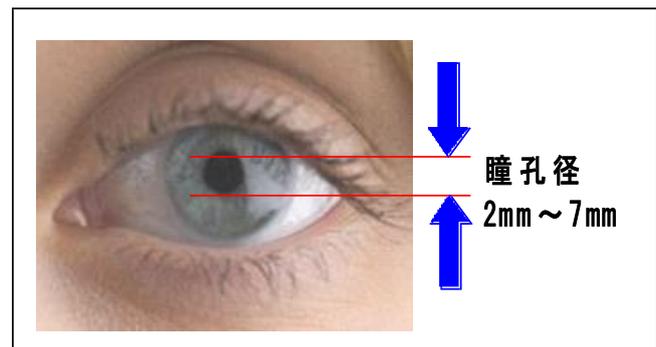


図 3 瞳孔とその直径

3.3 水晶体の透過率

眼の水晶体の透過率は、図4 に示す通りで、網膜に到達することのできる光の主要な波長成分は、380nm から1400nmである。

380nmから1400nmまでの光は、網膜に到達し、熱傷害を発生する可能性がある。 300～700nmの波長成分は網膜上に結像するが、300nm以下の紫外の光は網膜に到達することができない。

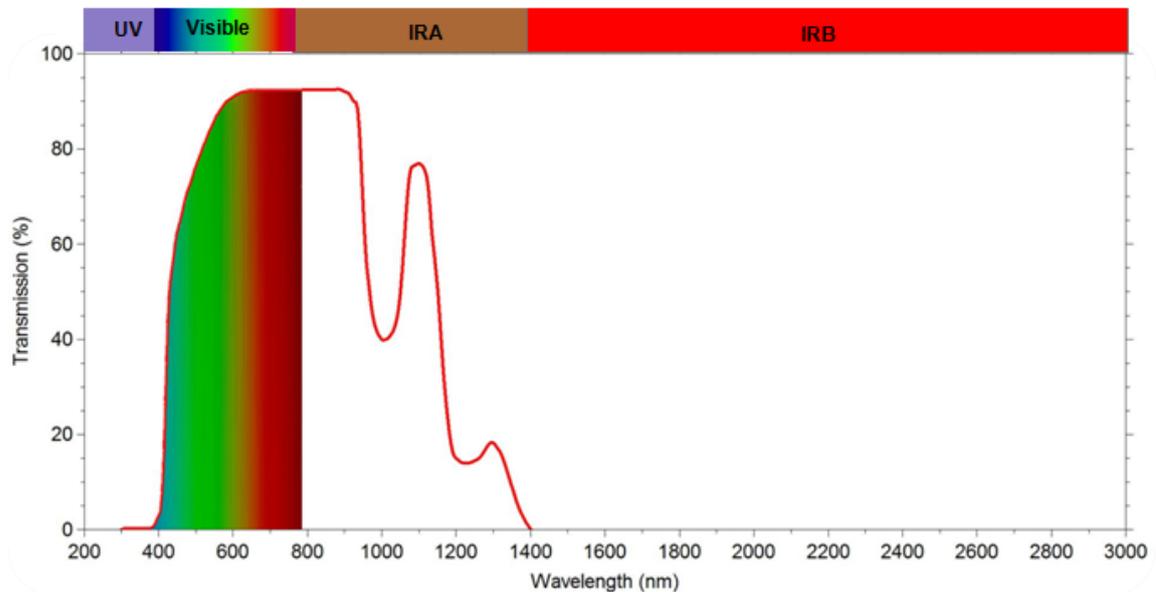


図 4 水晶体の分光透過率

水晶体の分光透過率は、加齢により、図5のように劣化する。これは、光の被曝量によっても加速されると考えられている。

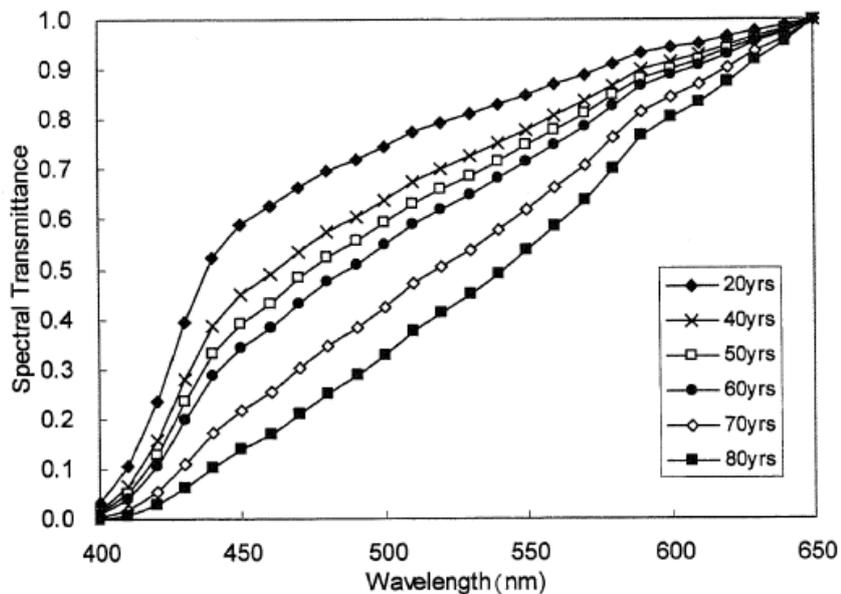


図 5 水晶体透過率の加齢による変化

3.4 眼球の動きと視野角

眼球について説明する場合、視野はラジアン(rad) またはミリラジアン(mrad) という角度の単位で表現される。mrad という角度の単位は理解しにくい が、1メートル先の1ミリ、または1キロメートル先の1メートルが1mrad (0.001rad) となる。視力1.0とは、5m先の1.5mm (1分 3mrad) を判別出来る能力である。

眼の物理的な限界のため、点放射光源であっても、静止した眼の網膜上に形成される最小の像は 1.7mrad 程度で、これを α_{\min} と定義する。これは、1m先の1.7mmに相当する角度である。

しかし、正常な眼球は、対象物に焦点を合わせると数 Hz の速さで、わずかで不規則な運動をする。このすばやい運動によって、点光源の像は網膜上で円形に広がり、10秒から100秒の時間の範囲では、この運動により像の面積は見込み角で約 11mrad と

なる。更に、10000 秒以上の時間では、眼球の動きにより視野は100mradまで広がり、網膜上での放射パワーは更に広い面積に分布し、眼球の注視能力は低下する。この中間の時間においては、表4 に示す視野広がりとなる。最大の視野広がりである100mradの角度を α_{\max} と定義する。最大の視野角 α_{\max} (100mrad) と最小の視野角 α_{\min} (1.7mrad) 間の実効的視野角を α_{eff} とする。光源の輝度はそのまま測定するのではなく、輝度値を実行的な網膜状の視野の広がり範囲に平均化して測定することが必要であり、これは、小さな光源は、その輝度値を低く見積もることとなる。光源の露光時間と、眼球の視野の関係を表4と図7に示す。

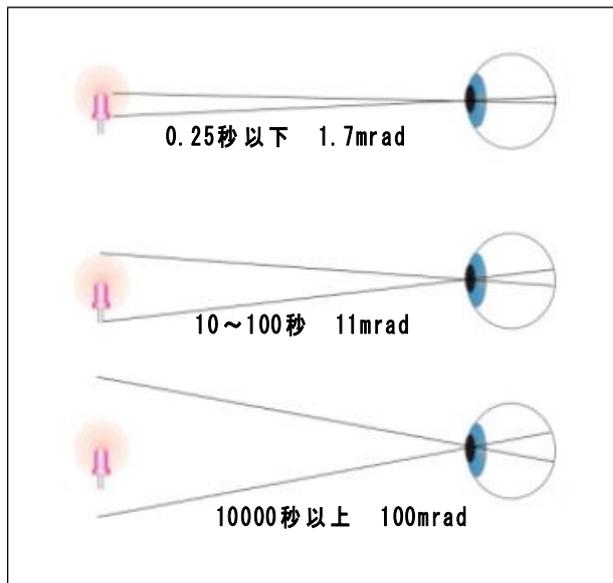


図 6 時間と視野角の変化

表 4 露光時間と視野の広がり関係

露光時間(秒)	視野の広がり(mrad)
<0.25	1.7
0.25 - 10	$11(t/10)^{1/2}$
10 - 100	11
100 - 10000	$1.1t^{1/2}$
>10000	100

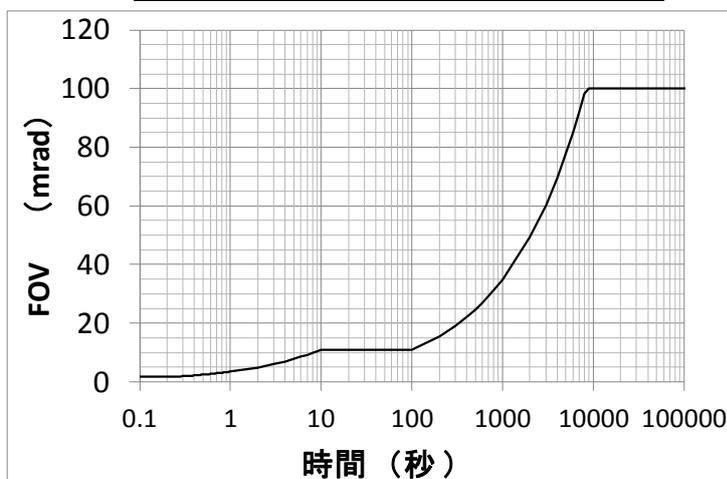


図 7 露光時間と視野角の関係

小さな光源は網膜上に図8(左)のように結像する。0.25秒以内の短時間では、眼球の移動はほとんど無く、光源像は網膜上で移動せず、結像した微小面積の範囲内だけに光エネルギーが集中する。しかし、10秒から100秒程度の範囲の露光時間に対しては、眼球が動くため、光源像が11mradの範囲の中を移動し、結果として11mrad面積内で平均することになる(図8(右))。測定には、これらのことを考慮に入れる必要がある。従って、輝度測定の場合、光源像の大きさに関係無く、視野角を露光時間にあわせて合わせて決定する。視角と視野角の関係を 図9 に示す。

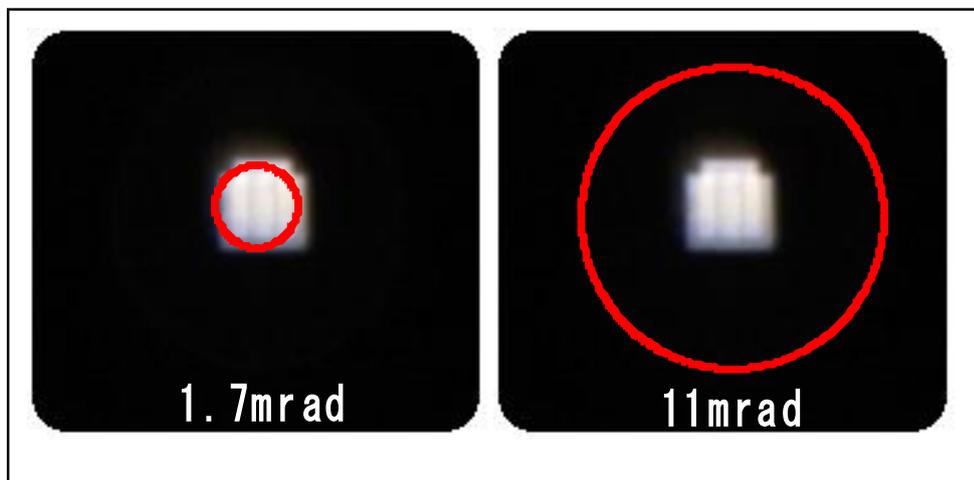


図 8 光源の大きさと視野角の関係

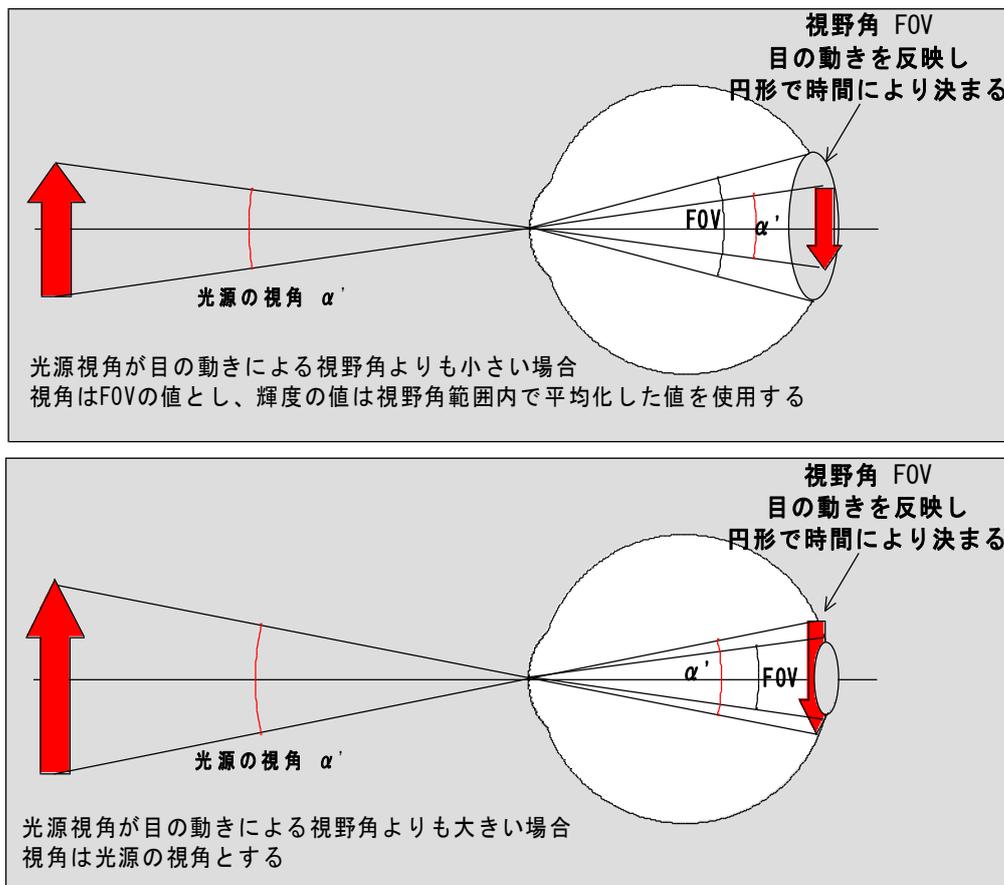


図 9 光源の視角と視野角の関係

4. 光生物学的安全性の測定と計算方法

4.1 リスク評価項目と計算方法

光生物学的安全性の規格 IEC62471 EN62471 JIS C 7550 は、光の人体への傷害の測定評価方法を示す規格であり、次に示すような評価項目に従いランプの安全性を評価している。

これらの規格においては、表5 に示すような傷害を扱っているが、それらの値は、表5 に示されるように、分光放射照度、分光放射輝度の測定結果に波長毎の重み付け積分から求める。

表 5 光生物学的安全性の測定方法と計算方法

リスク	測定項目 分光放射照度 $E(\lambda)$ 分光放射輝度 $L(\lambda)$ 視角 α	作用 関数	リスク 記号	リスクの値 実効放射照度	単位
目及び皮膚に対する紫外放射傷害	分光放射照度 $E(\lambda)$ 200~400nm	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	$E_S = \sum_{\lambda=200}^{400} E(\lambda) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2}$
目に対する近紫外放射傷害	分光放射照度 $E(\lambda)$ 315~400nm	/	E_{UVA}	$E_{UVA} = \sum_{\lambda=315}^{400} E(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2}$
青色光による網膜傷害	分光放射輝度 $L(\lambda)$ 300~700nm	$B(\lambda)$	L_B	$L_B = \sum_{\lambda=300}^{700} L(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
小形光源 ^{a)} の青色光による網膜障害	分光放射照度 $E(\lambda)$ 300~700nm	$B(\lambda)$	E_B	$E_B = \sum_{\lambda=300}^{700} E(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2}$
網膜の熱傷害	分光放射輝度 $L(\lambda)$ 視角 α 380~1400nm	$R(\lambda)$	L_R	$L_R = \sum_{\lambda=380}^{1400} L(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
網膜の低可視光熱傷害	分光放射輝度 $L(\lambda)$ 視角 α 780~1400nm	$R(\lambda)$	L_{IR}	$L_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{1400} L(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
目の赤外放射傷害	分光放射照度 $E(\lambda)$ 780~ 3000(JISC 2500)nm	/	E_{IR}	$E_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{3000(2500)} E(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2}$
皮膚の熱傷害	分光放射照度 $E(\lambda)$ 380~ 3000(JISC 2500)nm	/	E_H	$E_H = \sum_{\lambda=380}^{3000(2500)} E(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$W \cdot m^{-2}$
<p>注^{a)} 小型光源とは 5.2 で規定した測定距離における視角が 0.011 rad (11mrad) 未満の光源とする。 注 視角 α は光源の大きさや測定距離による決まる角度 5.6 参照 注 目の赤外放射傷害、皮膚熱傷害の計算式中の (2500) は、JIS C 7550 の場合</p>					

4.2 作用関数

表5に示す計算において、3種類の作用関数が示されている。

紫外放射傷害作用関数	$S_{UV}(\lambda)$	目及び皮膚に対する紫外放射傷害 E_S
青色光傷害作用関数	$B(\lambda)$	青色光による網膜傷害 L_B または小形光源の青色光による網膜障害 E_B
網膜の熱傷害作用関数	$R(\lambda)$	網膜の熱傷害 L_R または網膜の低可視光熱傷害 L_{IR}

この3つの波長に対する変化を 図10 図11 に示す。これは、各々の傷害がどの波長でどの程度発生するかを示す関数であり、この値を測定した分光放射照度、分光放射輝度測定値の各波長値に掛けた後に積分して、傷害の度合いを評価できる。この作用関数の特徴は、縦軸が対数表示となっており、特定波長で急激な値の変化がある。そのため分光装置の測定結果には、高い性能（波長精度、波長分解能等）が要求される。

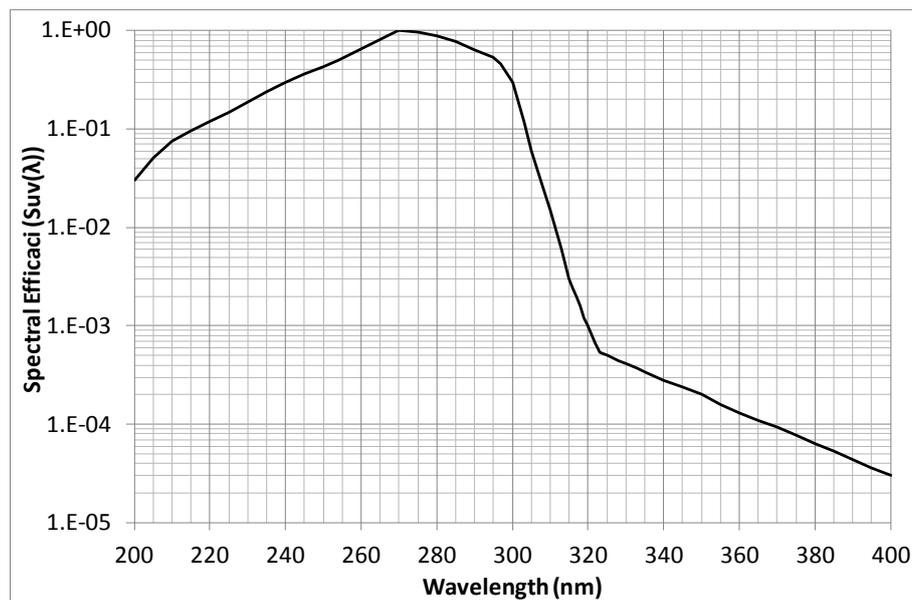


図 10 紫外放射傷害作用関数 $S_{UV}(\lambda)$

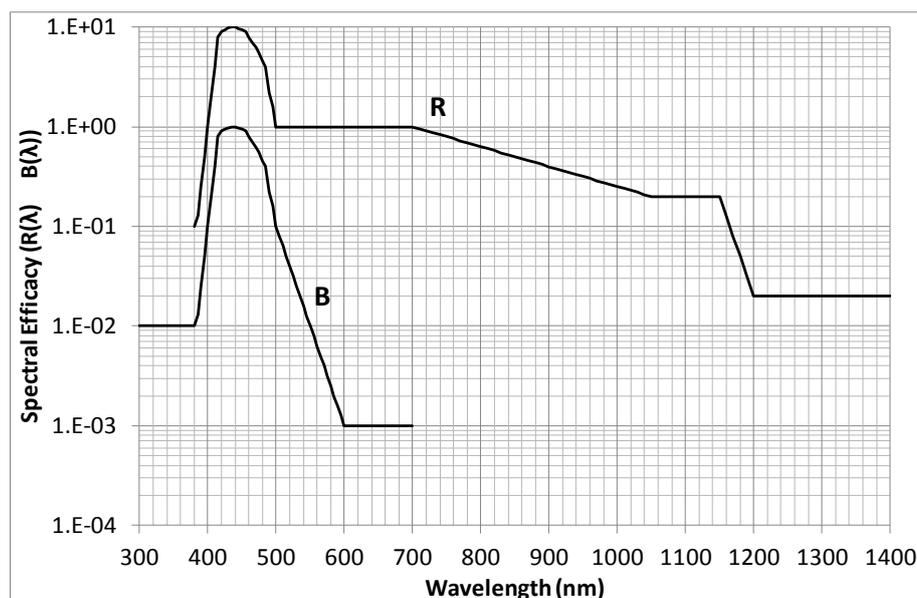


図 11 網膜傷害に関する作用関数 $B(\lambda)$ 、 $R(\lambda)$

作用関数の値を表6及び表7に示す。これをスペクトルの各波長の値に乗じて計算するが、計算は、

a) 400nm以下では1nm間隔

b) 400nm以上では5nm間隔

で実施することがIEC62471に示されている。作用関数の波長間隔はこれと異なっており、表6および表7に無い波長において作用関数の値を使用しなければならないが、この場合、値は対数補間により求める。

対数補間とは、作用関数を対数に変換し、その値で補間を実施し、結果の値を再度逆変換して求める方式をいう。

表 6 紫外放射傷害作用関数 $S_{UV}(\lambda)$ の表

波長 λ (nm)	$S_{UV}(\lambda)$	波長 λ (nm)	$S_{UV}(\lambda)$
200	0.030	313 ^{a)}	0.006
205	0.051	315	0.003
210	0.075	316	0.002 4
215	0.095	317	0.002 0
220	0.120	318	0.001 6
225	0.150	319	0.001 2
230	0.190	320	0.001 0
235	0.240	322	0.000 67
240	0.300	323	0.000 54
245	0.360	325	0.000 50
250	0.430	328	0.000 44
254 ^{a)}	0.500	330	0.000 41
255	0.520	333	0.000 37
260	0.650	335	0.000 34
265	0.810	340	0.000 28
270	1.000	345	0.000 24
275	0.960	350	0.000 20
280 ^{a)}	0.880	355	0.000 16
285	0.770	360	0.000 13
290	0.640	365 ^{a)}	0.000 11
295	0.540	370	0.000 093
297	0.460	375	0.000 077
300	0.300	380	0.000 064
303 ^{a)}	0.120	385	0.000 053
305	0.060	390	0.000 044
308	0.026	395	0.000 036
310	0.015	400	0.000 030
注 ^{a)} 水銀のスペクトル線の波長			

表 7 網膜傷害に関する作用関数の数値表

波長 λ (nm) \leftrightarrow	青色光傷害作用関数 $B(\lambda)$ \leftrightarrow	網膜の熱傷害作用関数 $R(\lambda)$ \leftrightarrow
300 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
305 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
310 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
315 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
320 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
325 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
330 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
335 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
340 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
345 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
350 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
355 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
360 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
365 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
370 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
375 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	- \leftrightarrow
380 \leftrightarrow	0.01 \leftrightarrow	0.1 \leftrightarrow
385 \leftrightarrow	0.013 \leftrightarrow	0.13 \leftrightarrow
390 \leftrightarrow	0.025 \leftrightarrow	0.25 \leftrightarrow
395 \leftrightarrow	0.05 \leftrightarrow	0.5 \leftrightarrow
400 \leftrightarrow	0.10 \leftrightarrow	1.0 \leftrightarrow
405 \leftrightarrow	0.20 \leftrightarrow	2.0 \leftrightarrow
410 \leftrightarrow	0.40 \leftrightarrow	4.0 \leftrightarrow
415 \leftrightarrow	0.80 \leftrightarrow	8.0 \leftrightarrow
420 \leftrightarrow	0.90 \leftrightarrow	9.0 \leftrightarrow
425 \leftrightarrow	0.95 \leftrightarrow	9.5 \leftrightarrow
430 \leftrightarrow	0.98 \leftrightarrow	9.8 \leftrightarrow
435 \leftrightarrow	1.00 \leftrightarrow	10.0 \leftrightarrow
440 \leftrightarrow	1.00 \leftrightarrow	10.0 \leftrightarrow
445 \leftrightarrow	0.97 \leftrightarrow	9.7 \leftrightarrow
450 \leftrightarrow	0.94 \leftrightarrow	9.4 \leftrightarrow
455 \leftrightarrow	0.90 \leftrightarrow	9.0 \leftrightarrow
460 \leftrightarrow	0.80 \leftrightarrow	8.0 \leftrightarrow
465 \leftrightarrow	0.70 \leftrightarrow	7.0 \leftrightarrow
470 \leftrightarrow	0.62 \leftrightarrow	6.2 \leftrightarrow
475 \leftrightarrow	0.55 \leftrightarrow	5.5 \leftrightarrow
480 \leftrightarrow	0.45 \leftrightarrow	4.5 \leftrightarrow
485 \leftrightarrow	0.40 \leftrightarrow	4.0 \leftrightarrow
490 \leftrightarrow	0.22 \leftrightarrow	2.2 \leftrightarrow
495 \leftrightarrow	0.16 \leftrightarrow	1.6 \leftrightarrow
500 - 600 \leftrightarrow	$10^{[(450-\lambda)/50]}$ \leftrightarrow	1.0 \leftrightarrow
600 - 700 \leftrightarrow	0.001 \leftrightarrow	1.0 \leftrightarrow
700 - 1 050 \leftrightarrow	- \leftrightarrow	$10^{[(700-\lambda)/500]}$ \leftrightarrow
1 050 - 1 150 \leftrightarrow	- \leftrightarrow	0.2 \leftrightarrow
1 150 - 1 200 \leftrightarrow	- \leftrightarrow	$0.2 \cdot 10^{0.02(1150-\lambda)}$ \leftrightarrow
1 200 - 1 400 \leftrightarrow	- \leftrightarrow	0.02 \leftrightarrow

4.3 露光限界 (Exposure Limit EL) ICNIRP

ランプ及びランプシステムは、人間に対し、限度を超えた光量を露光すべきではない。この限度値を露光限界値と呼んでいるが、この値は、ICNIRP（国際放射線防護学会）ガイドラインより引用されている。

露光限界値は、一般の人々のほとんどが、繰り返し露光されても健康に影響がない条件から決められたものであるが、光過敏症のような人に対してこの値は適用できない。この露光限界値は、露光継続時間が0.01 ms 以上 8 時間以内における連続発光の光源に対して適用する。この値は安全と安全でないレベル間を明確に定義するものではなくひとつのガイドラインをあたえるものである。

1974年、国際放射線防護学会（IRPA）は、非電離放射線（NIR）防護の問題を調査するグループを作った。1977年にパリで開かれたIRPA会議で、このグループは国際非電離放射線委員会（INIRC）となった。IRPA/INIRCは、世界保健機関（WHO）と協力し、NIRに関する多くの保健基準文書を作成した。

これらの文書は、NIRの物理特性、計測方法と計測機器、発生源、NIR利用技術、生物学的影響の文献調査、NIRの曝露の健康リスクに関するものである。これら保健基準は、その後の曝露限度値とその運用方法の科学的根拠となった。第8回 IRPA 国際会議（モントリオール 1992年5月18～22日）で、IRPA/INIRCの後継として、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）が設立された。この委員会は、様々なNIRに関連する生物影響を調査し、NIR曝露限度の国際指針を作成した。静電界・静磁界ならびに超低周波（ELF）電界および磁界の曝露による生物的影響についても調査した（1984, 1987）。その刊行物UNEP/WHO/IRPA（1993）やAllen他（1991）の多くの刊行物が、本ガイドラインの科学的根拠となった。

IEC62471では表8に示す露光限界を呈示している。

表 8 各リスク項目の露光限界

リスク	記号	露光限界	
目及び皮膚に対する紫外放射傷害	E_S	$E_S * t \leq 30$	
目に対する近紫外放射傷害	E_{UVA}	$E_{UVA} * t \leq 10^4$ (t<1000sec)	$E_{UVA} \leq 10$ (1000sec<t)
青色光による網膜傷害	L_B	$L_B * t \leq 10^6$ (t<10000sec)	$L_B \leq 100$ (10000sec<t)
小形光源の青色光による網膜障害	E_B	$E_B * t \leq 100$ (t<100sec)	$E_B \leq 1$ (100sec<t)
網膜の熱傷害	L_R	$L_R \leq \frac{50000}{\alpha * t^{0.25}}$	(10 μ sec<t<10sec)
網膜の低可視光熱傷害	L_{IR}	$L_{IR} \leq \frac{6000}{\alpha}$	(10sec<t)
目の赤外放射傷害	E_{IR}	$E_{IR} \leq 18000 * t^{-0.75}$ (t<1000sec)	$E_{IR} \leq 100$ (1000sec<t)
皮膚の熱傷害	E_H	$E_H * t \leq 20000 * t^{0.25}$ (t<10sec)	

表中の α は、視角であり、光源大きさ α' と目の視野角 α_{min} 、 α_{max} 、 α_{eff} から決定される(5.6参照)。

この表8に示す関係をもとに、限界となる分光放射照度・輝度と時間の関係をグラフに示したのが、図12および図13である。リスクの時間が決定されれば、照度または輝度の限界値が決定され、この値をもとにリスクを判定する。輝度については、リスクの時間に基づき、視野角を決定して測定しなければならない。つまり、輝度値は測定値自身が時間に依存することとなるので、輝度値から露光時間を決定することは難しい。

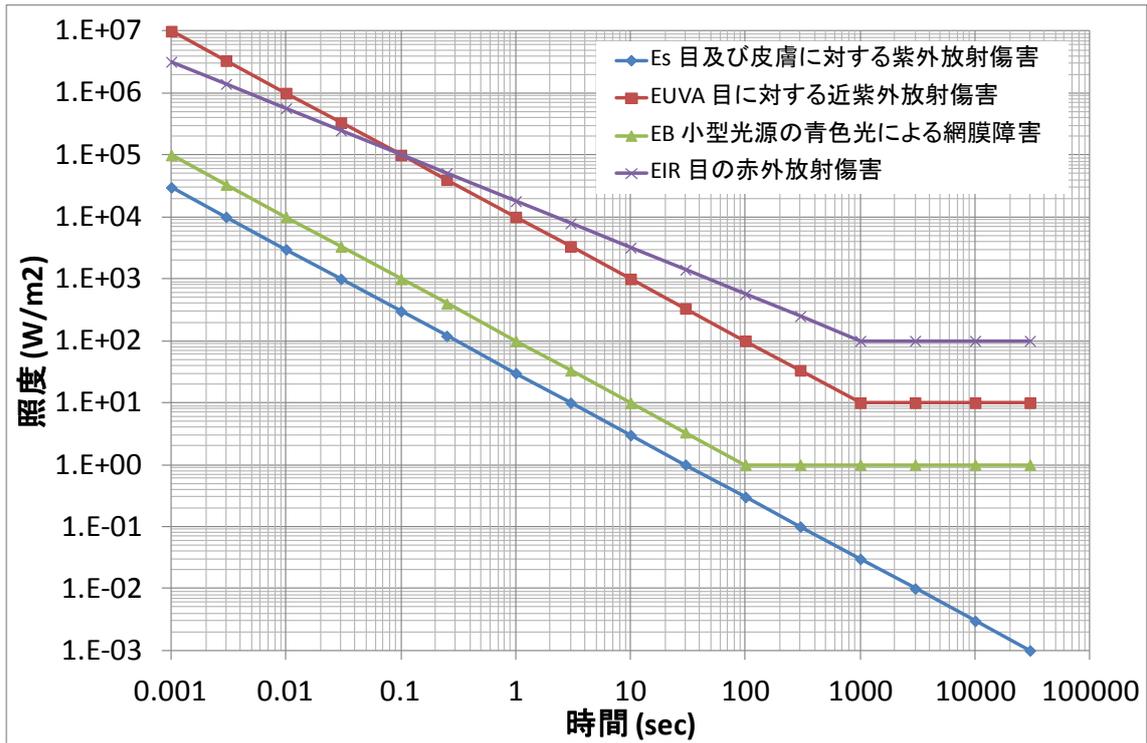


図 12 放射照度露光限界と露光時間の関係

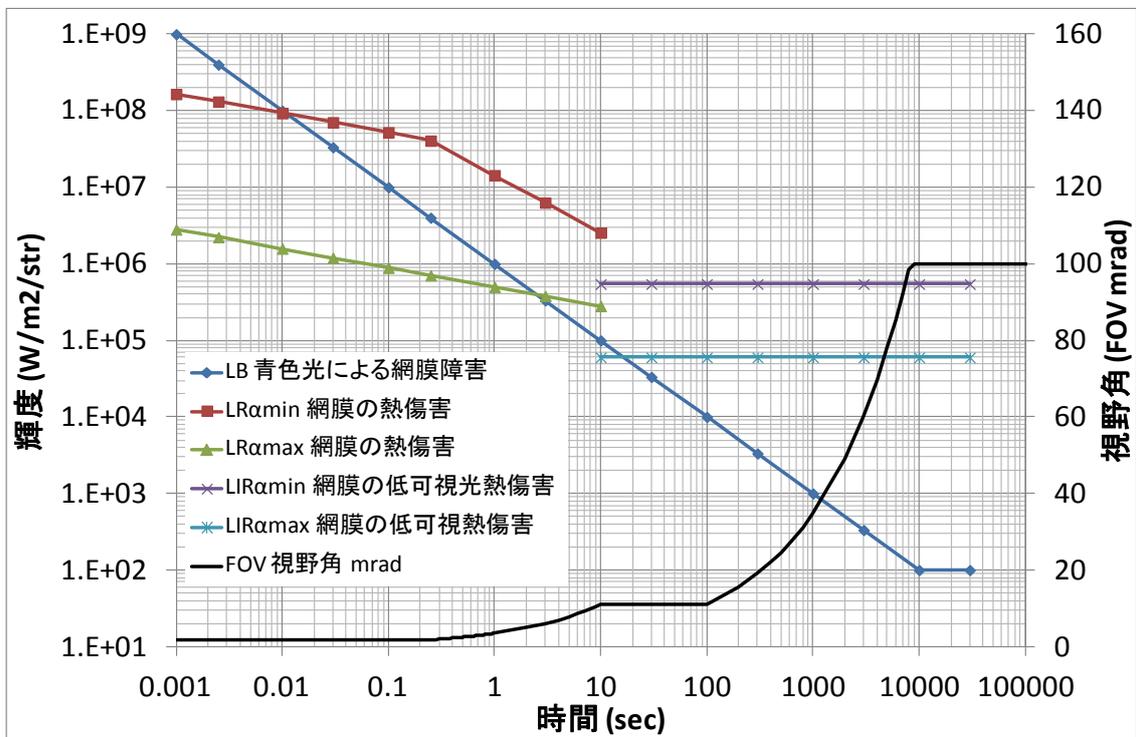


図 13 放射輝度露光限界と露光時間の関係

4.4 傷害とリスク（連続光源）

連続発光光源については、実効放射照度・輝度の値と露光限界から、以下に示すリスクグループを決定することができる。光源の危険度のグループは下記の4段階である。

- a) **免除グループ** **Exempt** 何らの光生物学的傷害も起こさない
- b) **リスクグループ 1（低危険度）RG1** 通常の行動への制約が必要になるような傷害を引き起こさない
- c) **リスクグループ 2（中危険度）RG2** 嫌悪感及び熱的な不快感を伴う傷害を引き起こさない
- d) **リスクグループ 3（高危険度）RG3** 一時的又は短時間の露光によっても傷害を引き起こすもの

IEC62471 においては、この各リスクグループのレベルを 6 種の傷害リスクの露光限界時間（秒）の組合せで判定する（表 9）。判定は、EXEMPT→RG1→RG2→RG3 の順序で実施する。

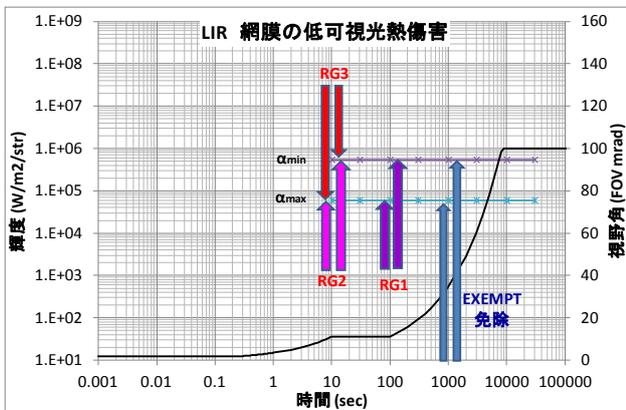
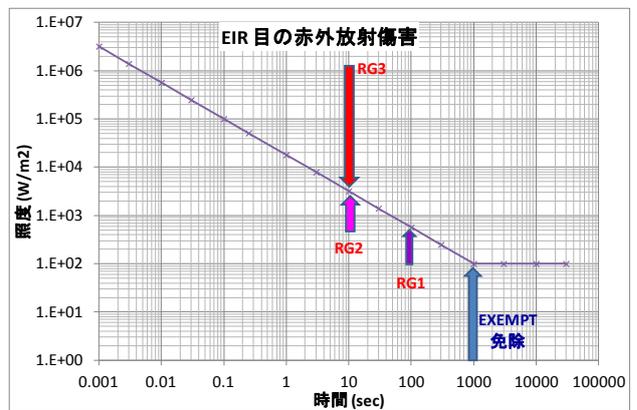
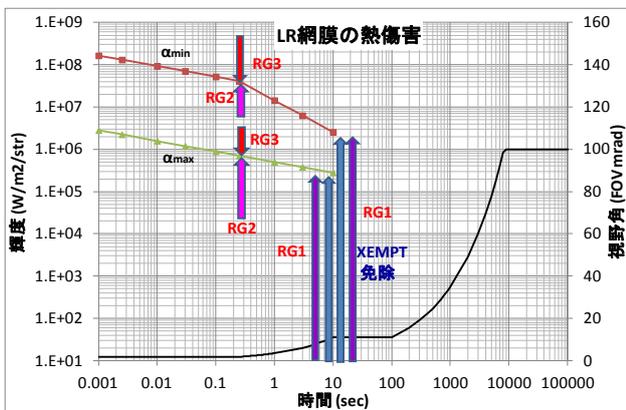
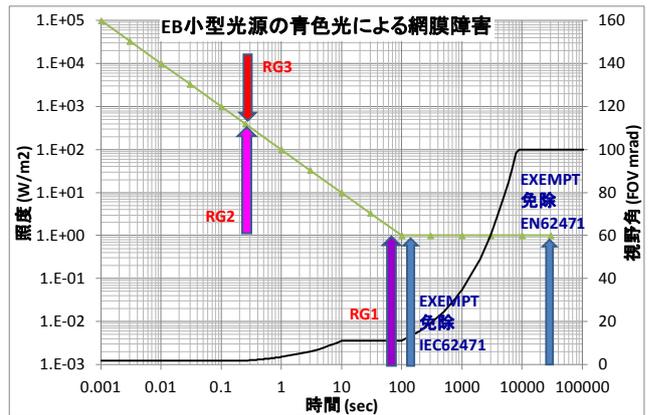
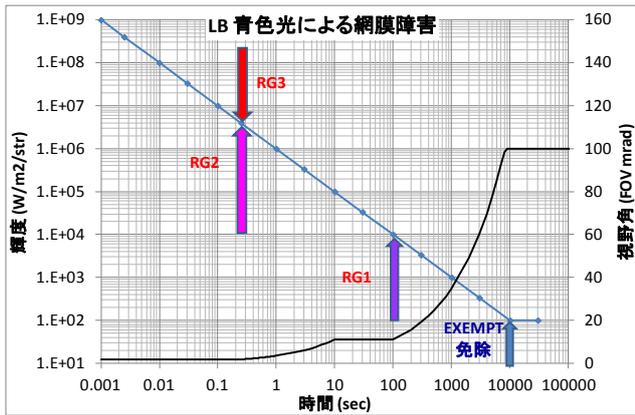
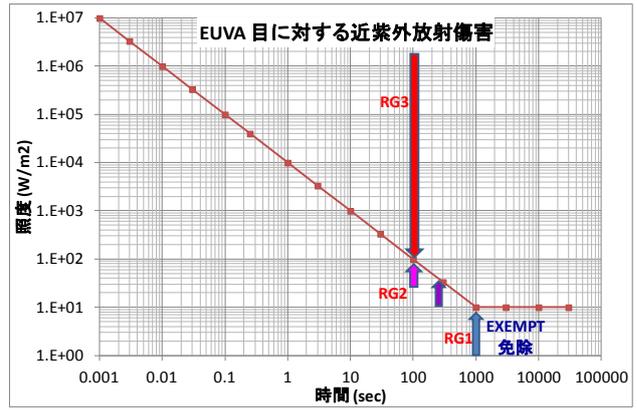
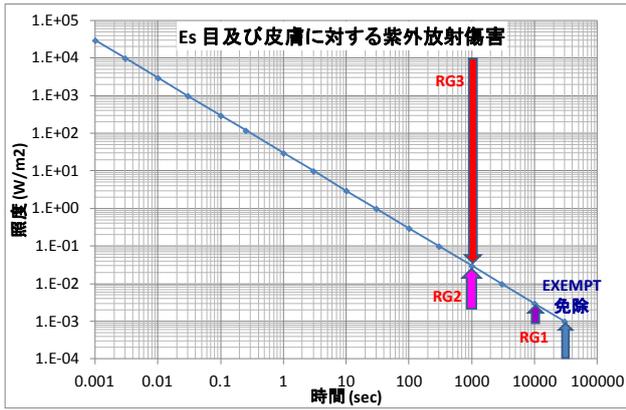
青色光による網膜傷害については、光源の大きさが 0.011rad より大きいかどうかにより、L_B または E_B のいずれかを選んで使用する。

輝度が 10cd/m² 以下の熱光源の場合に限り、L_{IR} も含んだ判定を実施する。

表 9 リスクグループの判定方法

リスク判定項目			EXEMPT 判定	RG1 判定	RG2 判定	RG 判定 3
1	目および皮膚に対する紫外放射傷害	Es	30000 秒以内	10000 秒以内	1000 秒以内	1000 秒以内
2	目に対する近紫外放射傷害	EUVA	1000 秒以内	300 秒以内	100 秒以内	100 秒以内
3	青色光による網膜障害	L _B	10000 秒以内	100 秒以内	0.25 秒以内	0.25 秒以内
	小型光源の青色光による網膜障害	E _B	100 秒以内	100 秒以内	0.25 秒以内	0.25 秒以内
4	網膜の熱傷害	L _{IR}	10 秒以内	10 秒以内	0.25 秒以内	0.25 秒以内
5	目の赤外放射傷害	E _{IR}	1000 秒以内	100 秒以内	10 秒以内	10 秒以内
6	網膜の低可視熱傷害	L _{IR}	1000 秒以内	100 秒以内	10 秒以内	10 秒以内
判定方法			上記全範囲で傷害が発生しなければ Exempt	上記全範囲で傷害が発生しなければ RG1	上記全範囲で傷害が発生しなければ RG2	上記全範囲で傷害があれば RG3
判定順序			障害発生時は RG1 判定へ 1	障害発生時は RG2 判定へ 2	障害発生時は RG3 判定へ 3	RG2 で障害ある場合は RG3 4

これらのリスク区分は、当該光源システムからの光が、露光限界に達するまでの照射時間により評価される。図 14 に各リスク項目について照射時間とリスクの関係を示す。



EB小型光源による青色光傷害は、IEC62471とEN62471で判定方法が異なる。EN62471では免除グループの判定は、30000秒まで延長されている。

図 14 各傷害のリスク区分

4.5 傷害とリスクグループ (パルス光源)

単一パルス点灯ランプは、単一パルス (パルス幅0.25秒以内) に対する測定値、連続パルス点灯ランプについては、時間平均値を用いて評価及び分類する。リスクグループは、生物学的傷害の度合いに応じて、次のように分類する。パルス測定は 0.25秒以内の測定となるため、視野角1.7mradでの平均値とする。

判定方法は下記の通りである。

- ・単一パルス光源で1パルス範囲での積分値が露光限界を超える光源は、リスクグループ3とする
- ・単一パルス光源で1パルス範囲での積分値が露光限界以下の光源は、免除グループとする
- ・連続パルス点灯で1パルス積算値が露光限界以下の時、時間平均値を表8、表9により評価する

4.6 補足説明

規格だけから理解しにくい内容について、以下に補足説明する。

・小型光源の青色光による網膜障害 (E_B)

青色光による網膜障害 (L_B) と小型光源の青色光による網膜障害 (E_B) (表10) は、生物側からみると、まったく同じものを評価している。小型光源とは11mradよりも小さな視角の光源の場合である。光源が小さい(11mrad以下の角度)、場合は、目の視野角よりも小さくなり、瞳に入る光はすべて測定対象の11mradの範囲に入ってしまうことから、この傷害 (E_B) は、簡易的に照度からも計算評価できる。この項目は、輝度測定 of 困難を避け、測定者の便宜のために導入されたものである。小型光源の場合は、この方法により測定することが可能で、主として青色LED が対象となる。

表 10 青色光による網膜障害と小型光源の青色光による網膜障害

リスク	記号	露光限界	
青色光による網膜傷害	L _B	L _B * t ≤ 10 ⁶ (t < 10000sec)	L _B ≤ 100 (10000sec < t)
小形光源の青色光による網膜障害	E _B	E _B * t ≤ 100 (t < 100sec)	E _B ≤ 1 (100sec < t)

10 < t < 100 では、α_{eff} は 11msec となる。

$$E_B = L_B \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L_B \cdot \frac{3.14 \cdot 0.011^2}{4} = 0.0000949 \cdot L_B \cong 0.0001 \cdot L_B$$

$$L_B = 10^4 \cdot E_B$$

$$(t < 10000\text{sec})$$

$$L_B * t \leq 10^6$$

$$E_B * t \leq 100$$

小型光源の場合は、100秒以上で一定値となっており、L_Bの場合に限界強度が一定となる時間の1/100である。その理由は、100秒以上では、光源像が照射する網膜上の面積の直径は時間の平方根に比例して増加し、面積は、時間に正比例し、網膜上の実効的照度は、低下するため、100秒から100000秒の間では、限界値は一定となるためである。

EN62471とIEC62471では免除グループの判定が下記のとおり異なり、免除グループの判定が厳しくなっている。

表 11 IEC62471とEN62471の青色光による網膜障害リスクグループ区分

	EXEMPT	RG1	RG2	RG3
IEC62471	100秒以上	100秒以上	0.25秒以上	0.25秒以下
EN62471	30000秒以上	100秒以上	0.25秒以上	0.25秒以下

・網膜の低可視光熱傷害 (L_{IR})

網膜の低可視光熱傷害 (L_{IR}) は、可視波長の光が少なく (10cdm^{-2} 以下)、主として赤外光を放射している光源が及ぼす傷害である。可視波長による明るさが 10cdm^{-2} 以下の光源に対して適用されるリスク項目である。

このような光源は可視光が少なく暗く見えるため、瞳孔が開き、多くの赤外光が網膜に到達可能性がある。このリスクは 7mm の瞳孔径に対して算出されており、網膜の熱障害(L_R)よりも厳しい評価方法となる。この項目はnon-GLS (一般照明用以外) 光源の測定であり、GLS (一般照明用) 光源は網膜の熱傷害 (L_R) により評価される。

IEC62471では、この傷害に対する測定は、視野 0.011rad で実施することになっているが、EN62471では、判定する時間に従って 11mrad~100mradの範囲で測定することになっている。

・目の赤外放射傷害 (E_{IR}) および皮膚の熱障害 (E_H)

目の赤外放射傷害 (E_{IR}) および皮膚の熱障害 (E_H) は、IEC62471では、3000nmの長波長までの測定を指示している。しかし、この波長領域においては、分光放射照度標準電球が供給されないこと、測定装置の応答が低くなること等から、測定に困難が多い。また、2500nmから3000nmの波長領域の光による影響が少ないことは、光源測定委員会においても数値的に把握できたので、JISC7550 においては、波長領域を2500nmまでとした。

・皮膚の熱障害 (E_H)

皮膚の熱障害 (E_H) は、IEC62471においてリスクグループの区分が示されていないため、JISC7550では、本文では取り扱わず、付属書JCで参考として説明されている。

$$E_H = \sum_{380}^{2500} E(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad t_{\max} = \left(\frac{2 \times 10^4}{E_H} \right)^{\frac{4}{3}}$$

これは、皮膚の色などに大きな違いがある上に、温度湿度等の環境によってもその効果は大きく影響を受けるため、リスク限界を決定するのが困難であるためである。

4.7 JISC7550によるリスクとリスクグループ

IEC62471とまったく同じ内容であるが、JISC7550では、わかりやすく数値をまとめ簡単に判定できるようにした。リスクグループ区分は特定の露光時間で、露光放射量が許容値以下であるかにより決定する。決められた露光時間に対して放射量からリスクグループを決定できるが、ランプの放射量に対する、露光許容時間を求めてリスクグループを決定することもできる。JISC7550では、IEC62471の記述内容をわかりやすくするため、リスクと露光許容時間と放射限界の関係として、表12および表13の形で示した。

表 12 リスクおよびリスクグループと放射限界の関係

リスク	記号	単位	リスクグループ			
			免除グループ Exempt	リスクグループ1 (低危険度) RG1	リスクグループ2 (中危険度) RG2	リスクグループ3 (高危険度) RG3
目及び皮膚に対する紫外放射傷害	E_S	$W \cdot m^2$	10^3 未満	10^3 以上 3×10^3 未満	3×10^3 以上 3×10^2 未満	3×10^2 以上
目に対する近紫外放射傷害	E_{UVA}	$W \cdot m^2$	10 未満	10以上 33未満	33 以上 10^2 未満	10^2 以上
青色光による網膜傷害	L_B	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	10^2 未満	10^2 以上 10^4 未満	10^4 以上 4×10^6 未満	4×10^6 以上
小形光源の青色光による網膜傷害	E_B	$W \cdot m^2$	1 未満		1以上 4×10^2 未満	4×10^2 以上
網膜の熱傷害 ^{a) b)}	L_R	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	$\frac{2.8 \times 10^4}{\alpha}$ 未満		$\frac{2.8 \times 10^4}{\alpha}$ 以上 $\frac{7.1 \times 10^4}{\alpha}$ 未満	$\frac{7.1 \times 10^4}{\alpha}$ 以上
網膜の低可視光熱傷害 ^{a) b)}	L_{IR}	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	$\frac{6 \times 10^3}{\alpha}$ 未満			$\frac{6 \times 10^3}{\alpha}$ 以上
目の赤外放射傷害	E_{IR}	$W \cdot m^2$	10^2 未満	10^2 以上 5.7×10^2 未満	5.7×10^2 以上 3.2×10^3 未満	3.2×10^3 以上
<p>注^{a)} 網膜の熱傷害又は網膜の低可視光熱傷害のいずれかを適用する。網膜の低可視光熱傷害は、一般照明用ランプには適用されない。</p> <p>b) αは視角 5.6参照。</p>						

表 13 露光許容時間 t_{\max} によるリスクおよびリスクグループの関係

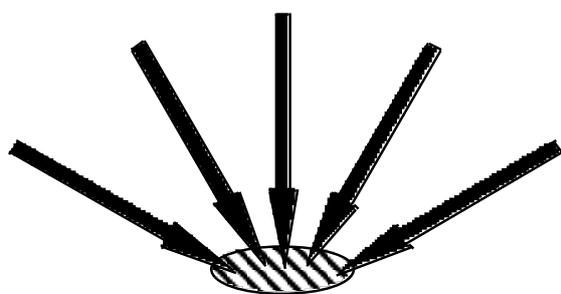
単位 s

リスク		リスクグループ			
		免除グループ EXEMPT	リスクグループ1 (低危険度) RG1	リスクグループ2 (中危険度) RG2	リスクグループ 3 (高危険度) RG3
		露光許容時間 t_{\max}			
目及び皮膚に対する紫外放射傷害	E_S	3×10^4 超え	10^4 を超え 3×10^4 以下	10^3 を超え 10^4 以下	10^3 以下
目に対する近紫外放射傷害	E_{UVA}	10^3 を超え	3×10^2 を超え 10^3 以下	10^2 を超え 3×10^2 以下	10^2 以下
青色光による網膜傷害	L_B	10^4 を超え	10^2 を超え 10^4 以下	0.25 を超え 10^2 以下	0.25 以下
小形光源の青色光による網膜傷害	E_B	10^2 を超え		0.25 を超え 10^2 以下	0.25 以下
網膜の熱傷害 ^{a)}	L_R	10 を超え		0.25 を超え 10 以下	0.25 以下
網膜の低可視光熱傷害 ^{a)}	L_{IR}	10^3 を超え ^{b)}	10^2 を超え 10^3 以下 ^{b)}	10 を超え 10^2 以下 ^{b)}	10 以下
目の赤外放射傷害	E_{IR}	10^3 を超え	10^2 を超え 10^3 以下	10 を超え 10^2 以下	10 以下
<p>注^{a)} 網膜の熱傷害又は網膜の低可視光熱傷害は、いずれか一方が適用される。網膜の低可視光熱傷害は、一般照明用ランプには適用されない。</p> <p>注^{b)} IEC 62471では網膜の低可視光熱傷害に対する露光許容時間を規定しているが、L_{IR} の測定結果との相関はない。</p>					

5. 測定

5.1 照度と輝度

分光放射計の測定対象とするのは、分光放射照度または、分光放射輝度である。各々の定義は下記に示す通りである。分光放射照度は、光源などにより照射されている部分がうける光の量である。分光放射輝度は、光源が発する、単位面積、単位立体角あたりの光量である。

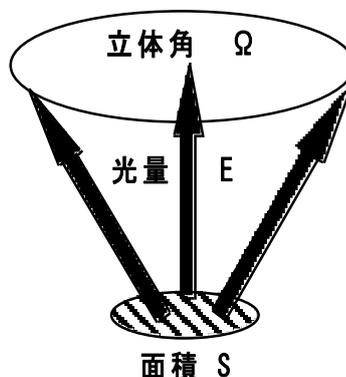


面積 S 光量

分光放射照度

$$\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm} = E/S$$

単位面積を通過する全光量 (1nmあたり)



面積 S

分光放射輝度

$$\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}/\text{str} = E/(S \times \Omega)$$

観測方向に垂直な単位面積、

単位立体角を通過する光量 (1nmあたり)

図 15 分光放射照度と分光放射輝度

5.2 ランプのカテゴリー

ランプは下記二つのカテゴリーに分類され、測定距離が決定される。

一般照明用ランプ (GLS-General Lighting Service)

一般照明用の連続光またはパルス発光するランプ。500lxの明るさの距離から測定する。大きなランプの場合500lxの距離が10mを超える場合もありうる。JISC7550では、500lx相当での測定値に換算する方法を示し、近すぎたり、遠すぎたりする測定を回避できていることになっている。

一般照明用以外のランプ (nonGLS)

一般照明用以外の連続またはパルス発光するランプ。距離200mmで測定する

5.3 分光測定装置の構成

分光放射照度計と分光放射輝度計の基本構成を図16に示す。それぞれ、公的機関により校正された分光放射照度標準電球、または分光放射輝度標準電球との比較により測定を実施するが、その入射光学系は、分光放射照度の場合は、コサイン特性を有したものが必要である。分光放射輝度計においては、測定対象を分光器に結像する結像光学系を使用する。

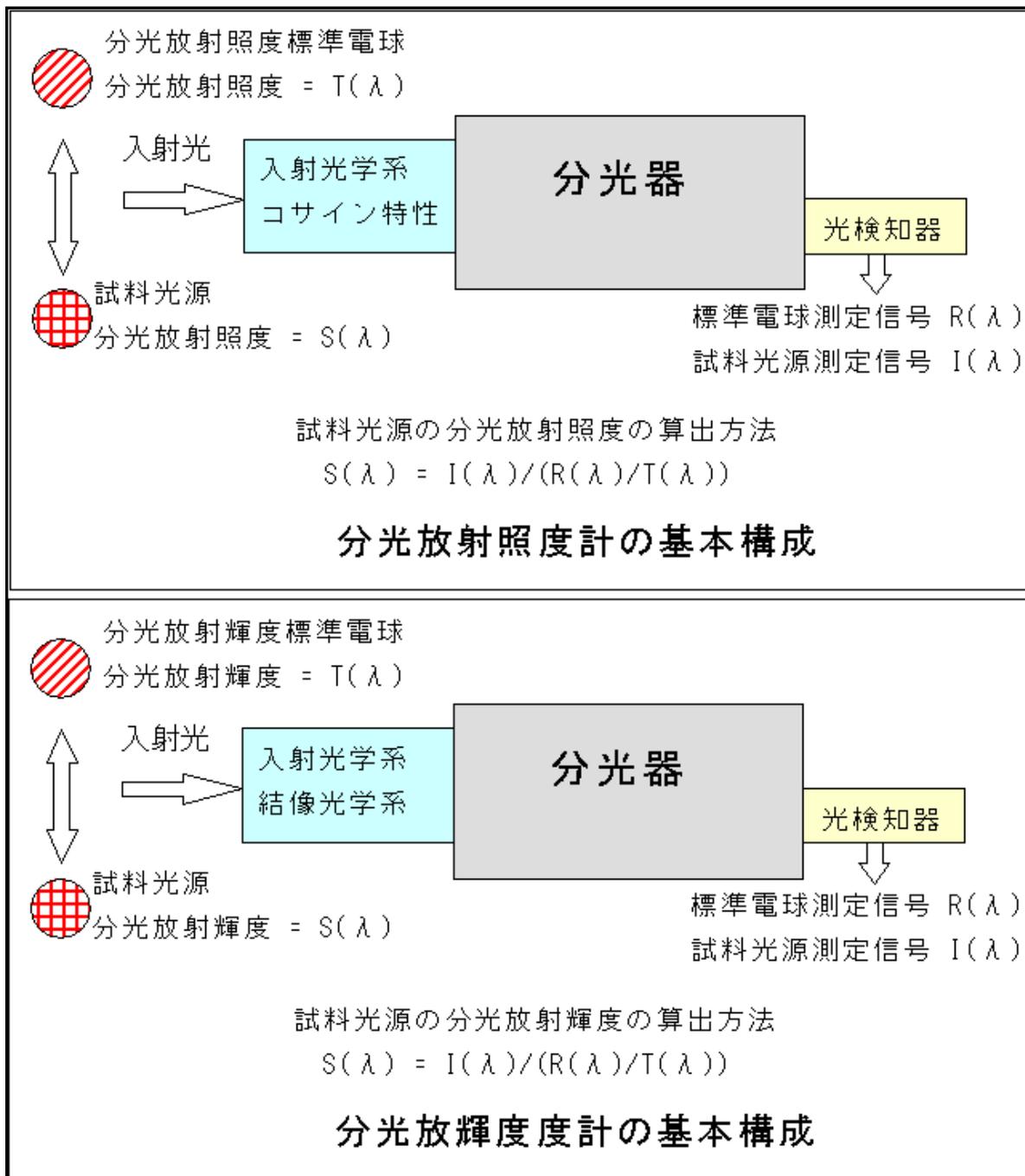


図 16 分光放射照度計と分光放射輝度計の構成

5.4 分光放射照度測定

① IEC62471 による分光放射照度測定

- ・受光面に垂直な方向、コサイン特性を有する入射光学系
- ・入射光学系の口径は、7mm 以上 50mm 以下
均一照度の場合、25mm 程度、不均一照度の場合 7mm 程度が良い
- ・必要であれば、測定視野を制限する開口を使用する。
- ・測定視野は、最大を 80° (1.4 ラジアン) とする。

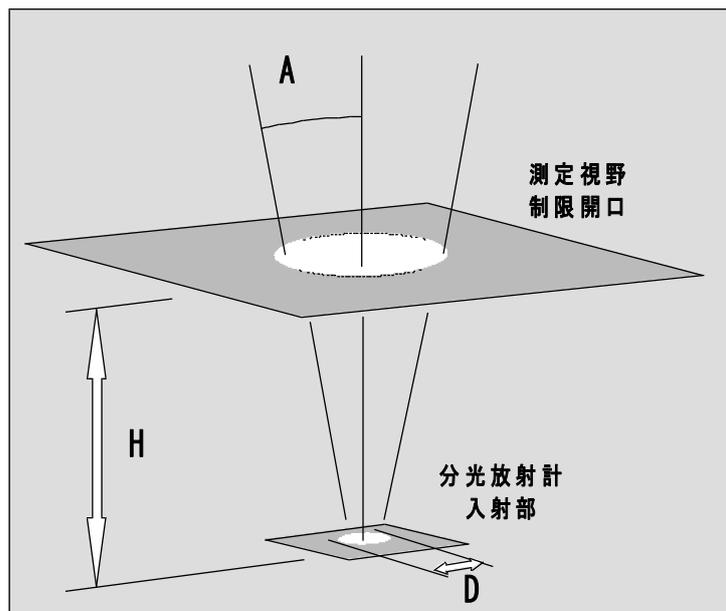


図 17 分光放射照度測定光学系

② JISC7550 による分光放射照度測定

JISC7550 においては、分光放射照度の測定条件を IEC62471 に比較し、正確に下記のように記している。

- 測定は、最大の読みを与える条件（測定方向又は測定部位）で行う。
- 分光放射照度測定の受光範囲は、入射径 7 mm 以上 50 mm 以下とする。
- 測定視野は、1.4 rad 以内（測定方向に対して $\pm 40^\circ$ の範囲）とする。
- 測定装置は、標準光源などによってトレーサビリティを確保する。

注記 計量法に基づく校正事業者登録制度 [Japan Calibration Service System (JCSS 制度)] の要件を満たした校正機関（登録事業者）において校正を受けることなどによって、国家標準とのトレーサビリティが確保されていることが望ましい。

- 一般照明用光源の測定距離は、照度 500 lx を与える距離とする。一般照明用光源以外の測定距離は、200 mm とする。測定距離の起点の指定がない光源の場合、測定装置から近い方の光源端面を距離の起点とする。

測定視野についての c) では、小型光源の青色光による網膜傷害測定の場合は、光源により 11mrad の角度範囲を測定するが、これは、光源側寸法が小さくなっているため、装置側では、1.4rad のままでよい。

また、JIS C 7550 では、皮膚の熱障害の場合を含んでいないため、1.4rad の評価しか無いが、この測定を実施する場合には全立体角、つまり、 2π sr ($\pm 90^\circ$) の角度範囲で測定する。

JIS C7550 においては、下記計算により 500lx 相当の分光放射照度を換算して算出する方法を示している。これを実施することにより長い光学ベンチを使用しなくとも、測定が可能となる。

- f) 相対分光分布が既知の一般照明用光源 (GLS) の場合、分光放射照度は、次式によって仮想的に求めた 500lx となる時の分光放射照度値を用いてもよい。

$$E(\lambda) = \frac{500E'(\lambda)}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E'(\lambda)V(\lambda)d\lambda}$$

ここに、
 $E(\lambda)$: 照度 500lx を与える分光放射照度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$)
 $V(\lambda)$: 標準分光視感効率
 $E'(\lambda)$: 相対分光放射照度
 λ_1 : 可視波長域の下限 (360 nm)
 λ_2 : 可視波長域の上限 (830 nm)

- g) 可視放射をもつ相対分光分布が既知の光源の場合、分光放射照度は、照度 $E_{v,0}$ (lx) を測定して、次式によって求めた値を用いてもよい (nonGLS の場合)。

$$E(\lambda) = \frac{E_{v,0}E'(\lambda)}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E'(\lambda)V(\lambda)d\lambda}$$

ここに、
 $E(\lambda)$: 照度 $E_{v,0}$ を与える分光放射照度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$)
 $E_{v,0}$: 照度 (lx)
 $V(\lambda)$: 標準分光視感効率
 $E'(\lambda)$: 相対分光放射照度
 λ_1 : 可視波長域の下限 (360 nm)
 λ_2 : 可視波長域の上限 (830 nm)

- h) 相対分光分布が既知の光源の場合、分光放射照度は、放射照度 $E_{e,0}$ を測定して、次式によって求めた値を用いてもよい。 (nonGLS の場合)

$$E(\lambda) = \frac{E_{e,0}E'(\lambda)}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E'(\lambda)d\lambda}$$

ここに、
 $E(\lambda)$: 放射照度 $E_{e,0}$ を与える分光放射照度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$)
 $E_{e,0}$: 放射照度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 $E'(\lambda)$: 相対分光放射照度
 λ_1 : 対象波長域の下限 (nm)
 λ_2 : 対象波長域の上限 (nm)

5.5 分光放射輝度測定

①IEC62471による分光放射輝度測定

図18のように、光源を入射部に結像して測定する。

- ・光源像を入射部に結像する
- ・入射視野角 FOV α_{eff} の円形開口($d = \alpha_{eff} \times H$)を結像部分に配置
- ・円形入射瞳開口(D 7~50mm)を配置

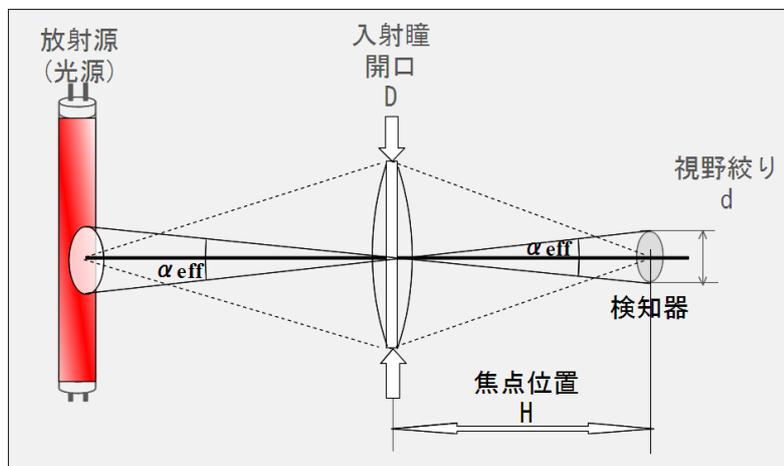


図 18 分光放射輝度測定光学系

図19のような測定方法により測定してもよい。このとき輝度は、下記の式により算出される。

$$L(\lambda) = E(\lambda) \frac{4r^2}{\pi F^2}$$

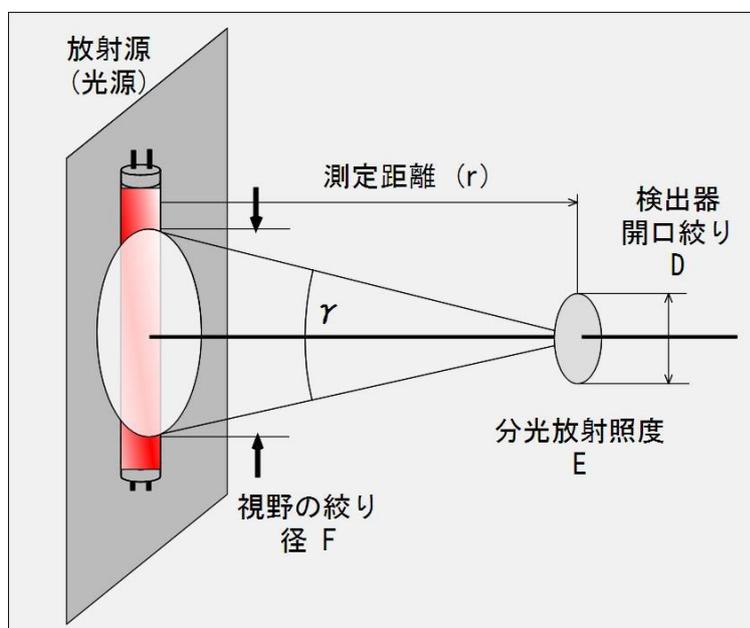


図 19 分光放射輝度の代替測定方法

②JISC7550 による分光放射輝度測定

分光放射輝度の測定は、JIS C 7550 において下記のように示されている。

- 測定は、最大の読みを与える条件（測定方向又は測定部位）で行う。
- 連続発光ランプにおける分光放射輝度の測定視野は、表14による。パルス発光ランプの測定視野は、全て0.0017 radとする。

表 14 連続発光ランプの分光放射輝度測定の測定視野条件

リスク	測定視野 単位 rad		
	免除グループ	リスクグループ1 (低危険度)	リスクグループ2 (中危険度)
青色光による網膜傷害	0.1	0.011	0.0017
網膜の熱傷害	0.011	0.011	0.0017
網膜の低可視光熱傷害	0.011	0.011	0.011

- 一般照明用光源の測定距離は、照度 500 lx を与える距離とする。一般照明用光源以外の測定距離は、200 mm とする。測定距離の起点の指定がない光源の場合、測定装置から近い方の光源の端面を距離の起点とする。
- 分光放射輝度は、b) に規定する測定視野で測定した分光放射照度から、次式によって求めた値を用いてもよい。

$$L(\lambda) = E(\lambda) \frac{4r^2}{\pi F^2}$$

ここに、
 $L(\lambda)$: 分光放射輝度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$)
 $E(\lambda)$: 分光放射照度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)
 r : 測定距離 (m)
 F : 測定視野開口絞りの径 (m)

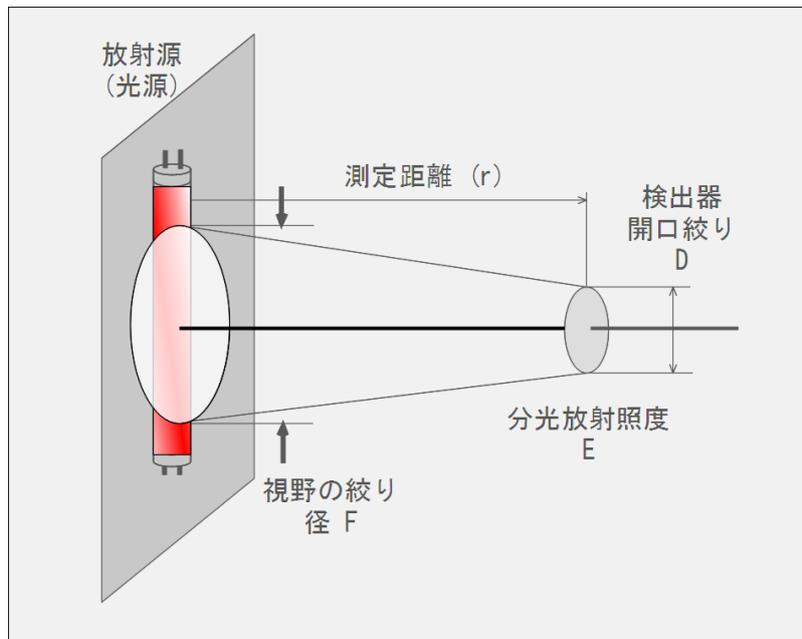


図 20 照度測定から輝度値の推定

- e) 可視放射をもつ相対分光分布が既知の光源の場合、分光放射輝度は、**b)**に規定する測定視野の輝度 $L_{v,0}$ を測定して、次式により求めたものを用いてもよい。

$$L(\lambda) = \frac{L_{v,0} E'(\lambda)}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E'(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

ここに、
 $L(\lambda)$: 輝度 $L_{v,0}$ を与える分光放射輝度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$)
 $L_{v,0}$: 輝度 ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)
 $V(\lambda)$: 標準分光視感効率
 $E'(\lambda)$: 相対分光放射照度
 λ_1 : 可視波長域の下限 (360 nm)
 λ_2 : 可視波長域の上限 (830 nm)

- f) 光源の形状を**表 15 (JIS C 7550 表 JA.1—特定部位を光源の大きさと見なす一般照明用光源及びその形状)** で規定する一般照明用光源の場合、分光放射輝度は、次式によって求めた値を用いてもよい。測定距離は、1 m 以上又は光源の最大寸法の 2.5 倍以上の距離のうち、大きい方とする。

$$L(\lambda) = E(\lambda) \frac{r^2}{S}$$

ここに、
 $L(\lambda)$: 分光放射輝度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$)
 $E(\lambda)$: 分光放射照度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)
 r : 測定距離 (m)
 S : 光源の面積 (m^2)

上記 e) f) 項は、JIS C 7550に追加された項目で、輝度測定と測定距離による困難さを避けて、照度測定から輝度を推定するための方策である。

5.6 光源サイズの測定方法

網膜の熱傷害、網膜の低可視光熱傷害を算出の計算式には、視角が含まれており、それを測定、または推定しなければならない。視角を求めるためには、光源発光部分のサイズを測定しなければならないが、これは、写真またはCCDカメラにより可視光にて実施してよい。但し、赤外放射の評価の場合には、可視光と赤外光が同じ部分から放射されていることを事前に確認しておく必要がある。

50%の強度となる部分で測定、光源の最大幅と最小幅の平均値をその光源の視角とし、その値が α_{\max} (0.1rad) 以上の時は、 α_{\max} 、 α_{\min} (0.0017rad) 以下の場合には、 α_{\min} とする

JIS C 7550では、視角の算出方法はIEC62471と同じであるが、下記 a) b) c) のように、光源の視角を α' として、数式により明快に記述している。b) に示す方法はJIS C 7550に特有の方法である。

a) 視角 α は、光源を見込む角（見かけ上の視角） α' によって、求める。

$$\alpha = 0.0017 \quad (\alpha' < 0.0017 \quad \text{光源大きさが } 1.7\text{mrad 以下の場合})$$

$$\alpha = \alpha' \quad (0.0017 \leq \alpha' \leq 0.1 \quad \text{光源大きさが } 1.7 \sim 100\text{mrad の場合})$$

$$\alpha = 0.1 \quad (0.1 < \alpha' \text{ の場合 }) \quad \text{光源大きさが } 100\text{mrad 以上の場合})$$

$$\alpha' = \frac{D}{r}$$

ここに、
 α : 視角 (rad)
 α' : 光源を見込む角（見かけ上の視角）(rad)
 D : 光源の大きさ (m)
 r : 光源までの距離 (m)

b) 光源の大きさの測定方法は、次頁に示す**附属書 JA**による。

c) 光源の縦及び横の寸法が異なる場合には、光源の大きさ D は、縦及び横の平均値とする。

JIS C 7550 の 「附属書JA 光源の大きさの測定方法」 の内容は、下記に示すとおり

JA.1 輝度分布から求める方法

- a) 光源の輝度又は放射輝度が最大値の 50 %になる点を連ねた輪郭を光源の形状とする。
- b) a)で求めた形状の寸法を計測する。
- c) 輝度又は放射輝度の測定において、写真、画像装置などを用いる場合、輝度又は放射輝度に対する画素の応答度が、均質なものを使用する。
- d) 輝度又は放射輝度の測定視野は、直径が **6.6 c)**に示す光源の大きさの 1/10 以下とする。

JA.2 光源の特定部位の寸法による方法

光源の特定部位の寸法を光源の大きさとして用いる一般照明用光源を、表 15(JIS 表 JA.1)に規定する。

表 15 JIS C 7550 表JA.1—特定部位を光源の大きさで見なす一般照明用光源及びその形状

光源の種類	適用規格	光源の大きさを定める形状
蛍光ランプ	JIS C 7601 蛍光ランプ (一般照明用), JIS C 7651 (一般照明用電球形蛍光ランプ) など	○測定方向からみて見込まれる発光管の形状。 ○拡散グローブで覆う場合は、測定方向から見込まれる拡散グローブの形状。
電球形LEDランプ	製品規格は検討中。	○測定方向からみて見込まれる発光部の部位 (輪郭) の形状。 ○拡散グローブで覆う場合は、測定方向から見込まれる拡散グローブの形状。
電球及びハロゲン電球	JIS C 7501 (一般照明用電球), JIS C 7523 (家庭用小形電球), JIS C 7525 (反射形投光電球), JIS C 7527 (ハロゲン電球 [自動車用を除く] -性能規定), JIS C 7530 (ボール電球) など	○測定方向からみて見込まれるフィラメントの部位 (輪郭) の形状。 ○外管バルブに拡散膜を施した場合は、測定方向から見込まれる拡散膜の形状。 ○反射鏡を付帯した場合は、測定方向から見込まれる反射鏡の形状。
HIDランプ	JIS C 7604 (高圧水銀ランプ-性能規定), JIS C 7610 (低圧ナトリウムランプ), JIS C 7621 (高圧ナトリウムランプ-性能規定), JIS C 7623(メタルハライドランプ-性能規定)など	○測定方向からみて見込まれる発光管の部位の形状。 ○外管バルブに蛍光膜を施した場合は、測定方向から見込まれる蛍光膜の形状。 ○反射鏡を付帯した場合は、測定方向から見込まれる反射鏡の形状。

5.7 分光測定装置 (IEC62471)

分光放射照度測定、分光放射輝度の測定を波長範囲200nm～3000nmにおいて実施することにより、すべての項目を評価することができる。その測定のための分光装置について、IEC62471にその推奨値が下記のように記載されている。

測定波長間隔と波長分解能

測定波長間隔は、波長分解能と同じ値とする。この測定波長間隔により正確な測定と積分評価が可能となる。波長分解能により、作用関数を乗じ積分した結果の値に誤差が生じる。表16 は、作用関数を乗じた値の誤差を2%以内にするために必要な波長分解能の推奨値である。

表 16 推奨波長分解能

波長域 (nm)	帯域幅 (FWHM)
200 ≤ λ ≤ 400	≤ 4 nm
400 ≤ λ ≤ 600	≤ 8 nm
600 ≤ λ ≤ 1400	≤ 20 nm
1400 ≤ λ	規定なし

波長精度

分光測定装置の波長精度により誤差が発生する。特に、紫外放射傷害の重み付け関数 $S_{UV}(\lambda)$ は、300 nm から 303 nm で 250% の大きな変化がある。

表17 は、測定間隔が 0.1 nm だけずれたときに重み付けした結果の値の変化を示した例である。この例は波長分解能 2 nm、測定波長間隔は 1 nm と仮定して計算したものである。0.1 nm の波長変化により、2.6%変化する。変動を2.6%以下とするためには、波長変動を0.1nm以下とする必要がある。

表 17 波長誤差が及ぼす影響についての例

nm	$S(\lambda)$	305 nm		305.1 nm		合計の比率
		測定	重み付け	測定	重み付け	
304	0.08485	0.25000	0.02121	0.22500	0.01909	
305	0.06000	0.50000	0.03000	0.47500	0.02850	
306	0.04540	0.25000	0.01135	0.27500	0.01249	
307	0.03436	0.00000	0.00000	0.02500	0.00086	
合計		1.0000		1.0000		=> 100%
合計			0.06256		0.06094	=> 97.4%

必要な波長精度は、分光分布の範囲や使用する作用関数の波形に依存する。推奨波長精度の値を表18 に示す。

表 18 推奨波長精度

波長範囲 (nm)	波長精度
200 ≤ λ ≤ 300	0.2 nm
300 ≤ λ ≤ 325	0.1 nm
325 ≤ λ ≤ 600	0.2 nm
600 ≤ λ ≤ 1400	2 nm

迷光

紫外波長領域においては、光源のエネルギー分布、検知器感度、分光光学系透過率により信号強度の変化が大きく、 10^4 のオーダーで変化する。1% の正確さを得るためには、測定帯域外からの放射の除去の割合は 10^6 のオーダーが必要になり、ダブルモノクロメータを使用することが必要となる。

5.8 分光測定装置 (JIS C 7550)

JIS C 7550 に記されている、分光放射照度測定及び分光放射輝度測定に用いる分光測定装置の条件は下記の通りである。

- a) 分光測定装置は、**JIS Z 8724** の **4.2.3** ^{注1} (分光測光器) による。
- b) スリット波長幅及び測定波長間隔は、**JIS Z 8724** の **4.2.5** (分光分布測定の実施条件) による^{注2}。
- c) パルス駆動などによって光源の発光波形が周期的に変化する場合には、分光測定装置における光電出力の積分時間は、発光周期の整数倍か、又は発光周期に比べて十分長い時間として、分光測定装置出力の再現性を確保する。
- d) 分光測定装置の斜入射光特性は、 $\pm 40^\circ$ の範囲 (測定視野 1.4 rad の範囲) において一般形 AA 級照度計と同等の性能をもつものとする。

注1

JIS Z 8724 色の測定方法 -- 光源色 の4.2.3 分光測光器 の項には以下のことが記されている。

(1) 波長目盛の精度 0.5nm以内

(2) 応答の直線性及び繰り返し性

強度比 2:1 の光に対しては

直線性の外れは0.5%以下、10回の繰り返しに対し、標準偏差の2倍(2σ)が0.2%以下

強度比 10:1の光に対しては

直線性の外れは1%以下、10回の繰り返しに対し、標準偏差の2倍(2σ)が0.5%以下

(3) 迷光

タンゲステン電球(CCT3200K以下)を測定し450nmにて500nmのシャープカットフィルタを挿入し、450nm 500nm 600nmにおいて1%以内のこと

(4) ポリクロメータ光学系

リニアアレイの各ピクセル受光面の幅は、ピクセル間隔の4/5以上

(5) コリメータ光学系

焦点距離(mm)×回折格子溝本数(本/mm) $>3 \times 10^4$

注2

JIS Z 8724 色の測定方法 -- 光源色 の4.2.5 分光分布測定の実施条件 の (3) 波長間隔には以下のことが記されている。

(a) モノクロメータの場合、分光分布を測定する波長間隔は、スリット波長幅と等しいか、またはその整数分の1に設定する。

(b) ポリクロメータの場合、アレイ状の受光素子の各素子の重心波長の間隔を波長間隔とみなし、スリット波長幅とひとしいか、または、その整数分の1に設定する。

JIS Z 8724は、可視波長の分光測定についての規定であるため、紫外から赤外まで含む生物学的安全性測定の条件に合致しない部分がある。

JIS Z 8724により、分光器条件が設定されているが、ポリクロメータは、実際には紫外波長領域では、迷光が多く使用することが出来ないため、波長走査型分光器の部分のみを参考にするべきである。

波長分解能と測定波長間隔を整合させることが重要である点は、**IEC 62471**にも記載があり、十分注意することが必要である。

6. 規格の適用(IEC62471-2)

6.1 傷害距離

IEC62471-2 においては、傷害距離という概念が導入されており、光源からの距離と実効放射照度との関係を測定することが示されている。この場合は、光源または光源システムによっては、更に長い距離の光学ベンチを必要とすることになる。

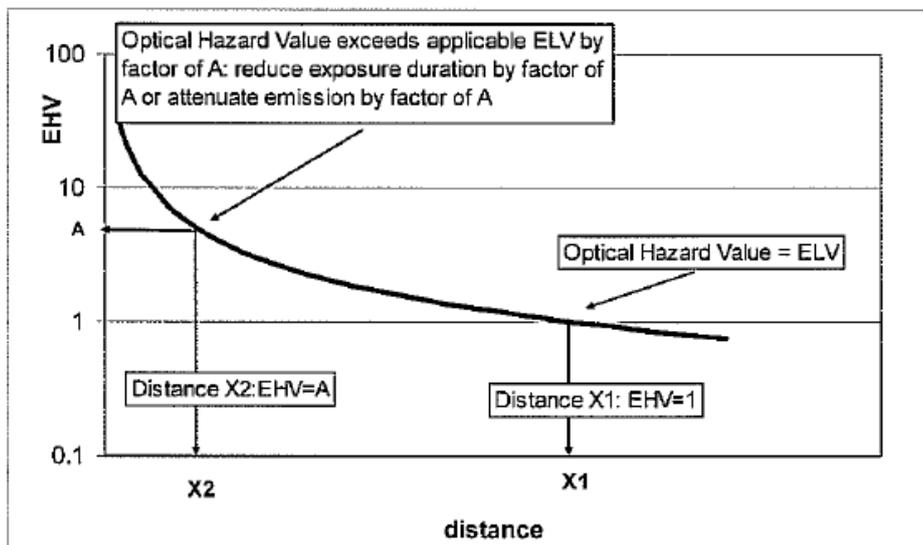


図 21 傷害距離

6.2 リスクの表示

リスクレベルに応じて、製品には、下記の表19に示す内容のラベリングを施す。製品に直接ラベリングできない場合は、包装に、または、取扱説明書に明示すること。下記表19中空欄となっている場合は、ラベリングする必要は無い。

表 19 リスク表示方法

傷害種別	免除	リスク1	リスク2	リスク3
UV傷害 200～400nm		NOTICE UV emitted from this product	CAUTION UV emitted from this product	WARNING UV emitted from this product
		Minimize exposure to eyes or skin. Use appropriate shielding.	Eye or skin irritation may result from exposure. Use appropriate shielding.	Avoid eye and skin exposure to unshielded products,
網膜青色光障害 300～400nm			CAUTION Possibly hazardous optical radiation emitted from this product	WARNING Possibly hazardous optical radiation emitted from this product
			Do not stare at operating lamp. May be harmful to the eyes.	Do not look at operating lamp. Eye injury may result.
網膜青色光・熱傷害 400-780nm			CAUTION Possibly hazardous optical radiation emitted from this product	WARNING Possibly hazardous optical radiation emitted from this product
			Do not stare at operating lamp. May be harmful to the eyes.	Do not look at operating lamp. Eye injury may result.
角膜・水晶体赤外傷害 780～3000nm		NOTICE IR emitted from this product	CAUTION IR emitted from this product	WARNING IR emitted from this product
		Use appropriate shielding or eye protection.	Avoid eye exposure. Use appropriate shielding or eye protection.	Avoid eye exposure. Use appropriate shielding or eye protection.
網膜熱・低可視熱 780～1400nm		WARNING IR emitted from this product	WARNING UV emitted from this product	WARNING IR emitted from this product
		Do not stare at operating lamp.	Do not stare at operating lamp.	Do not stare at operating lamp.

いずれかのリスクグループである場合は、下記に示す情報を提示しなければならない。

表 20 リスクに関する情報

A	リスクがあることを明示し、観測者依存リスクは、製品の組み込み方法、使用方法に依存する
B	傷害のあるリスクを提示すること
C	リスク項目の傷害量と傷害距離をグラフにより提示すること
D	他の項目についての傷害距離
E	アセンブリー、取り付け、保守、安全な使用方法に、また、傷害をさけるための注意事項について十分な説明を提示すること
F	誤動作、異常、傷害などについて十分説明、警告し安全な取り扱い方法を説明すること
G	表19に基づくラベリング
H	どのような注意をしなければならないかについての情報

複数のリスクを持つ場合は、下記のようにすべての項目とその内容について記載する。

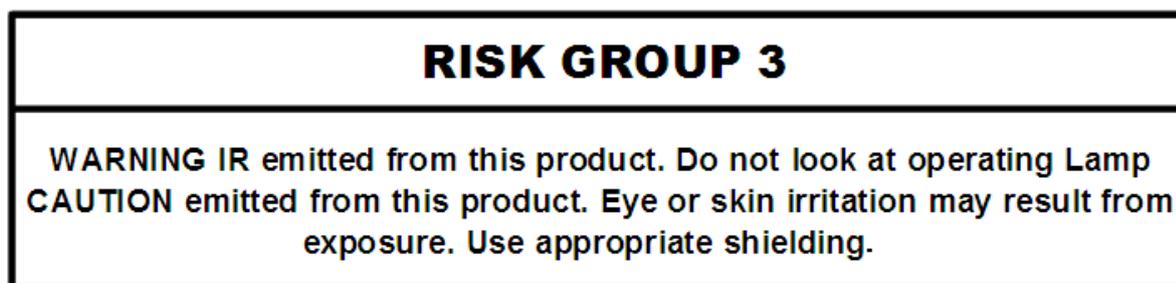


図 22 複数の傷害発生する場合の警告表示 (例)

7. 測定装置 (IDR300-PSL)

ベンサムインスツルメンツ社より光生物学的安全性測定装置 (IDR300-PSL) が販売されている。この装置は、IEC62471、EN62471準拠の測定が可能で、この分野では、最も多くの台数を販売している。(株)相馬光学が国内総代理店として営業を進めている。国内で認証、計測援助を行っている各種公的機関、民間企業、光源製造メーカーに販売できる。既に、50社程度に納入されている。納入先リストを表21に示す。

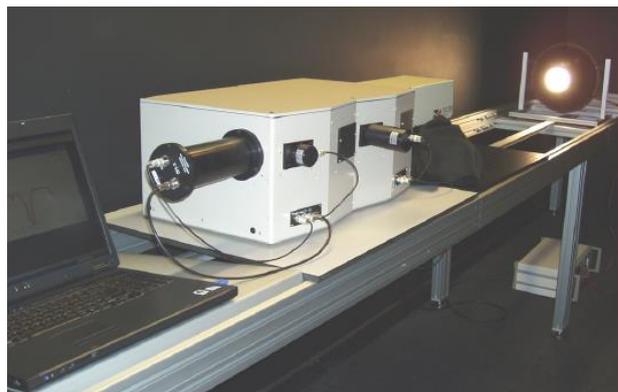


図 23 IDR300-PSL 外観

表 21 IDR300-PSL ユーザリスト(H24/05/15)

Bentham IDR300-PSL Users



7.1 装置設置環境

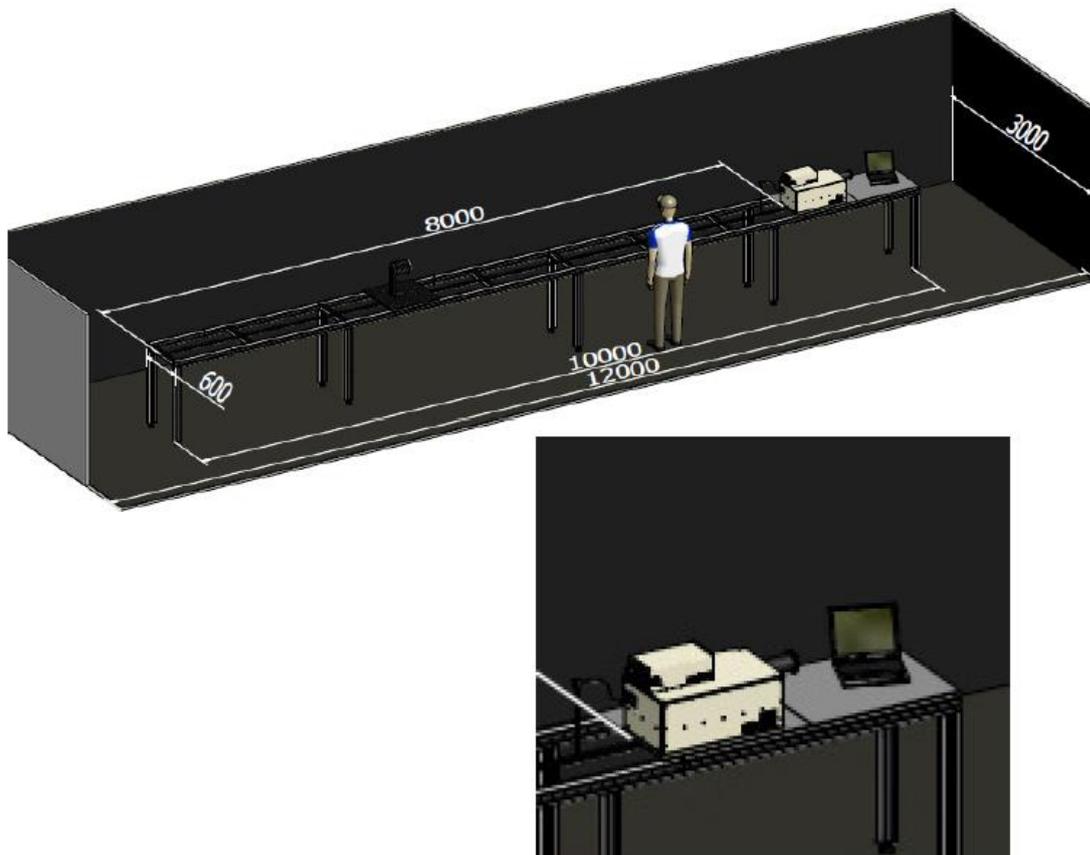


図 24 装置の設置場所と環境条件

GLS(照明用広原)の場合は、500lxとなる距離での測定が必要です。500lxを実現するために、光源によっては長い測定距離を必要とする場合がある。nonGLS(非照明用光源)の場合には、200mmの距離での測定となるので、長い測定距離を準備する必要は無い。

測定装置は、下記の設置条件を満たす場所に設置する。

- ・室内温度調整 20℃または25℃±2℃
- ・光学ベンチは、室内中央に配置し、壁の反射避けるため、壁から遠い位置に配置
- ・壁、床、天井は、反射率を低くし、黒色塗装 (測定全波長にて低い反射率の素材)
- ・3箇所コンセント AC100V

本体装置に下記は含まれていませんのでユーザ側で準備の必要がある。

- ・分光器とコンピュータを搭載する2×1mの机
- ・光源、光源システムを搭載する光学ベンチ
- ・光学ベンチ上の位置調整、サンプルの高さ、角度の 調整機構
- ・各種ランプホルダー
- ・輝度測定のための積分球ユニット SRS12 用キャリア
- ・輝度測定ヘッド、照度測定ヘッド用ホルダとキャリア(高さ、角度調整)

光学ベンチは、長いほど色々な強度の光源が測定できるが、JIS C 7550では仮想500lxの測定を許しているので、長いベンチは必要ではない。しかし、IEC62471-2 の傷害距離を求めるためには、できるだけ長い光学ベンチ(8m程度)を準備する必要がある。

電源

表 22 構成ユニットと消費電力

No	名称	型式	電力消費量	電源	備考
1	分光器	IDR300-4		110V	
2	分光測定制御器			110V	
3	分光放射照度標準電源(重水素)	705		110V	
4	分光放射照度標準輝度電源	605	250W	110V	
5	望遠鏡(輝度測定ユニット)	TEL-309		110V	
6	プロファイラ	PSL-Profiler		From USB	
7	デスクトップコンピュータ		300W	110V 3A	
8	インクジェットプリンタ		50W	110V 0.5A	

7.2 測定プロシージャ

図25に示すプロシージャで測定することにより、光源の光生物学的安全性の評価を行うことができる。

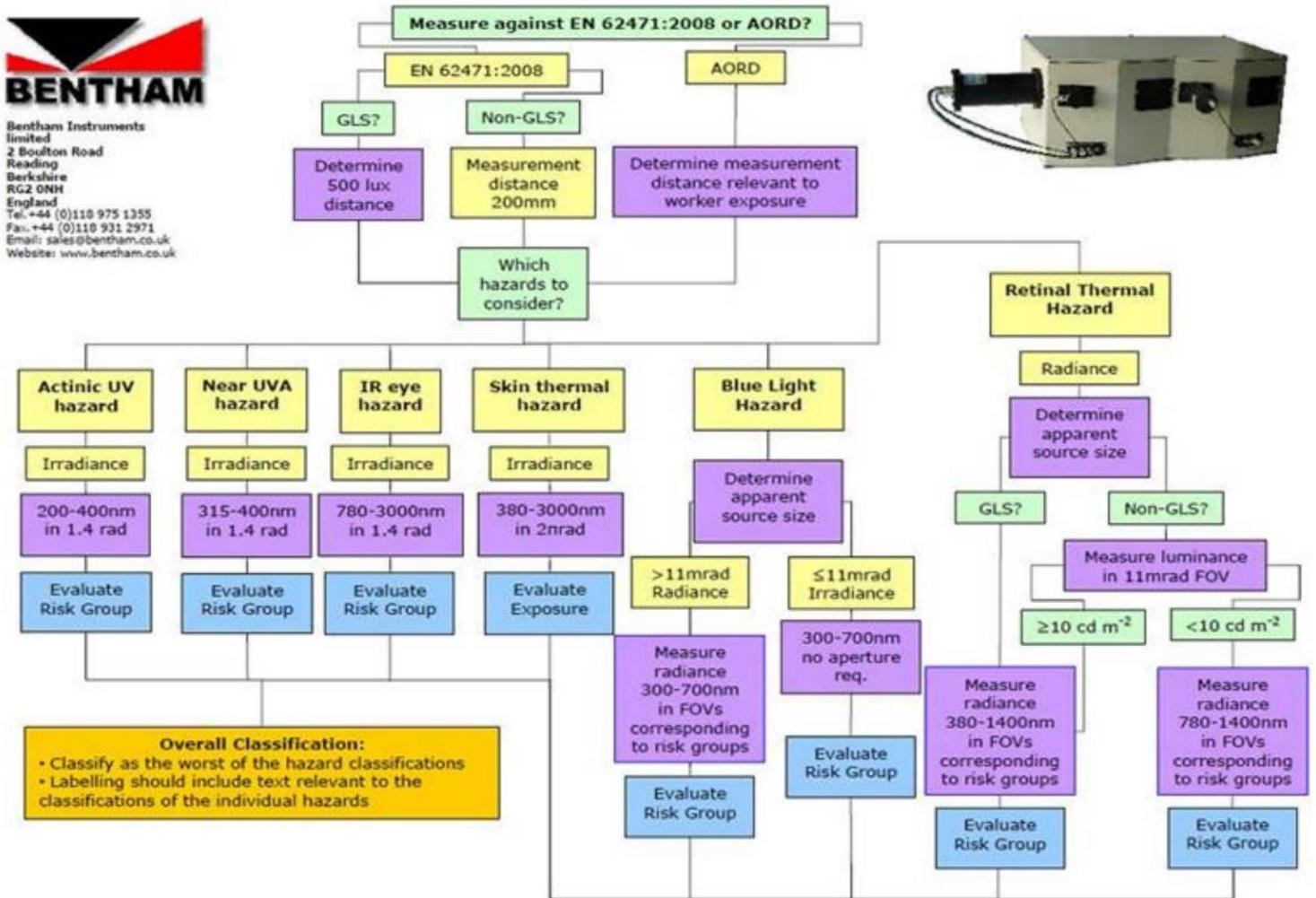


図 25 測定プロシージャ

7.3 分光測定部

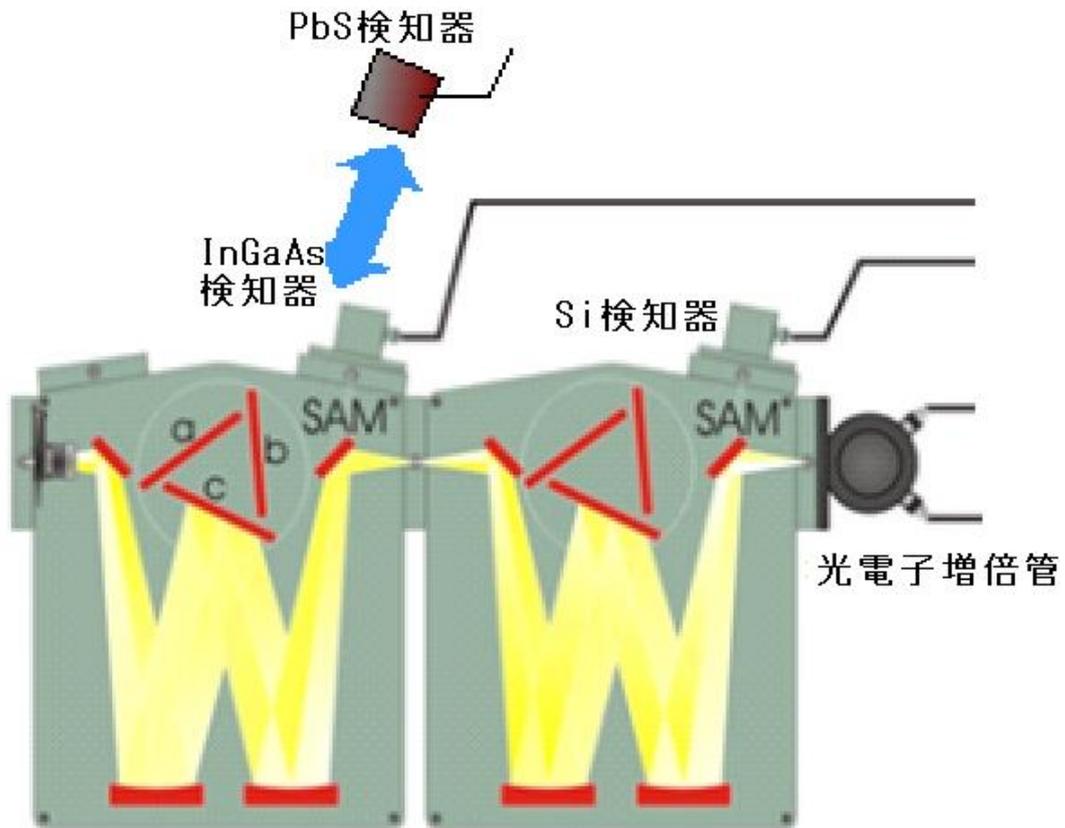


図 26 分光測定装置と検知器の構成

分光器	ツェルニーター型	焦点距離	300mm	ダブル/シングル自動切り替え
波長範囲	200nm～3000nm			
波長分解能	0.3nm (1200本/mm)	0.6nm(600本/mm)		
スリット	コンピュータ自動制御			
回折格子	2400本/mm	1200本/mm	600本/mm	
検知器	光電子増倍管	シリコンホトダイオード	InGaAsダイオード	PbS
測定方式	直流測定			

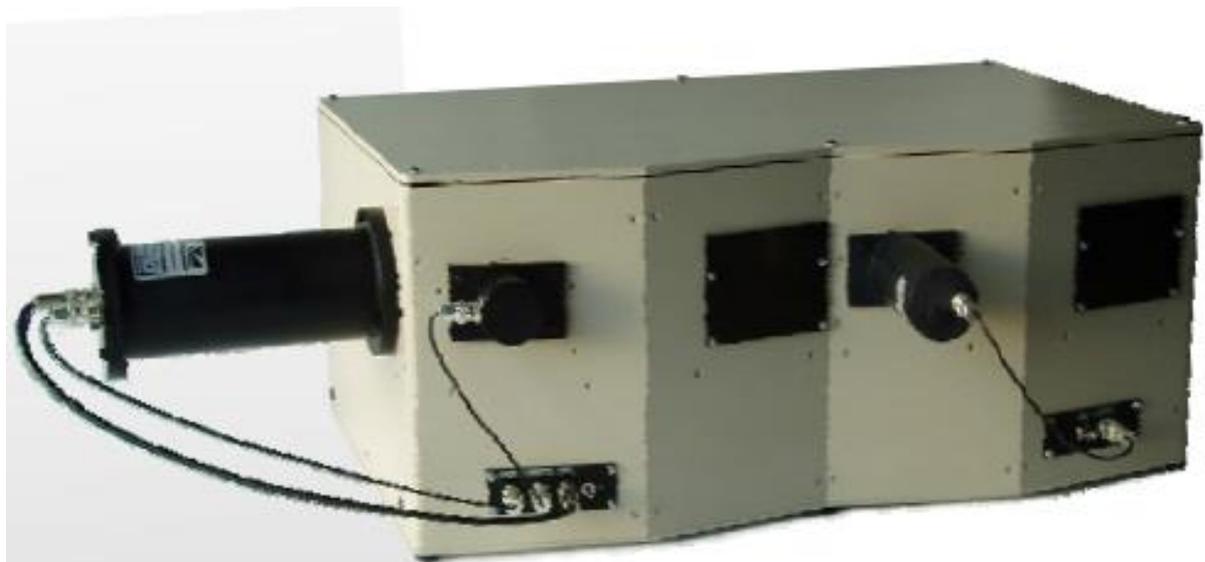
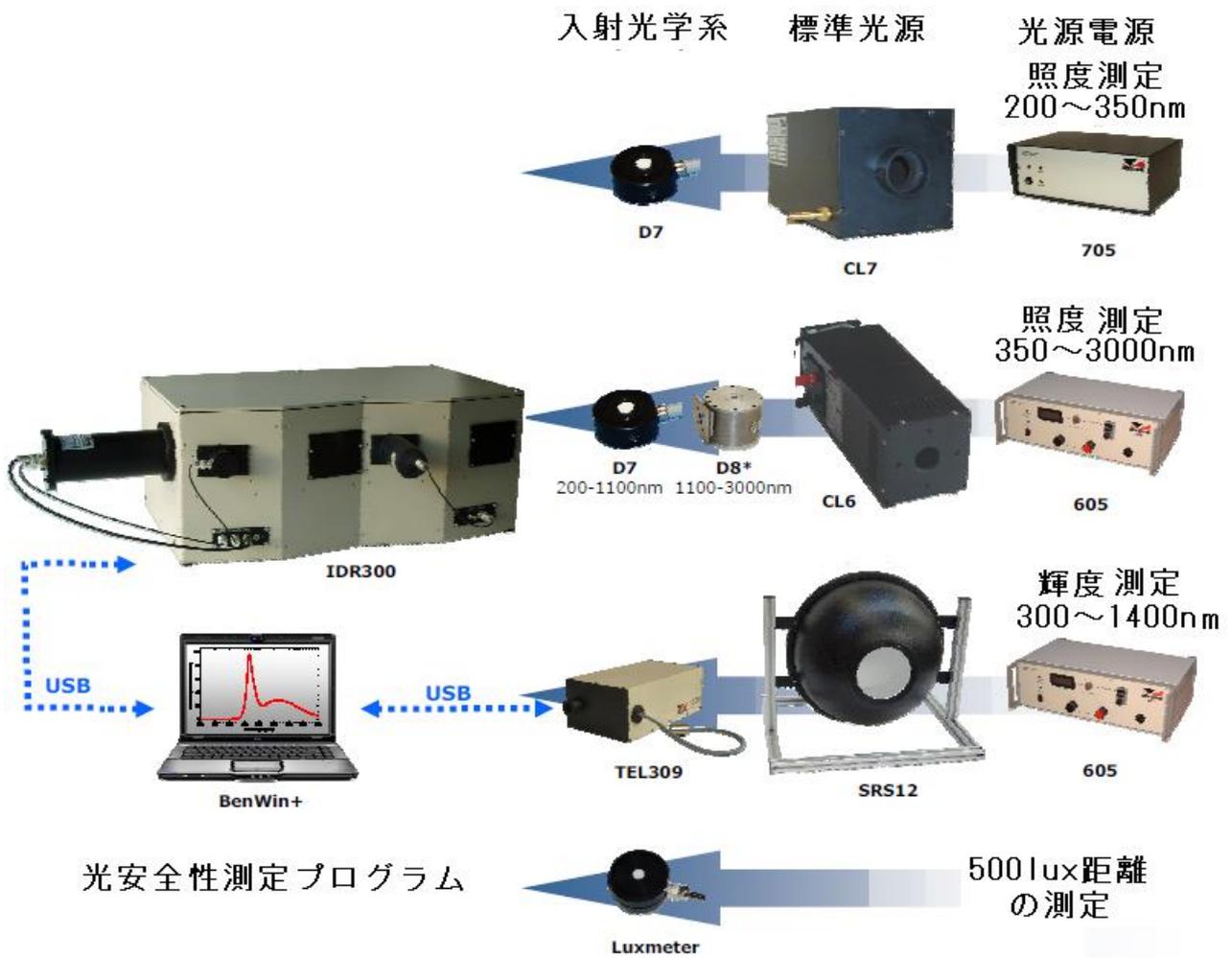
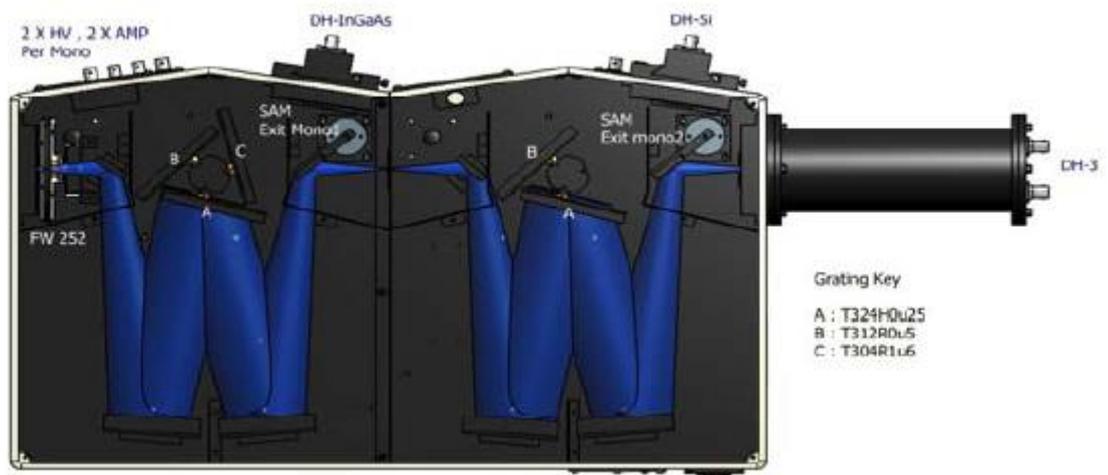
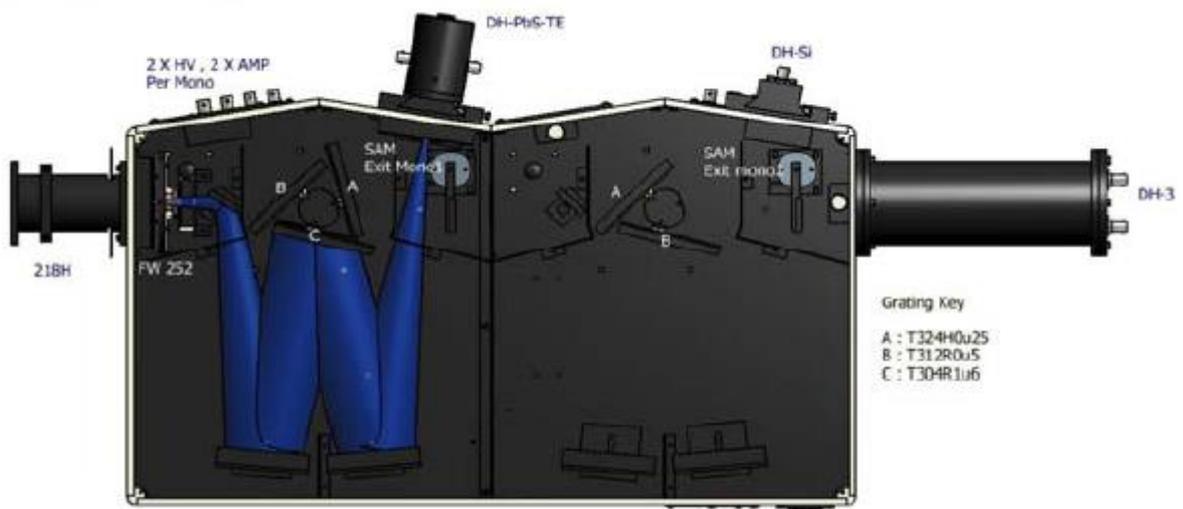


図 27 IDR300-PSL 分光装置の構成と分光器外観



200nm~1700nm測定時 光学配置



1700nm~3000nm測定時 光学配置

図 28 IDR300-PSL 分光器光学配置

7.4 入射光学系

a. 透過型拡散板 (分光放射照度測定用)

D7型透過型拡散板を使用する。200nm～1100nm の波長範囲でコサイン特性誤差 $f_2 < 1\%$ と高い性能を有している。

入射口径は 10mm である。



図 29 D7型透過型拡散板

b. テレスコープ TEL-309

(分光放射輝度測定用)

分光放射輝度を測定する場合は、この光学系を使用して、測定対象の画像を入射口径上に結像する。



図 30 TEL型分光放射輝度入射光学系

表 23 分光放射輝度測定ユニット仕様

集光レンズ	合成石英
波長範囲	200～1800nm
サンプル距離	100～200mm
視野角	1.7 および 11mrad
ビューワー	CCDカメラ
インターフェイス	USB

7.5 標準光源

分光放射照度標準(200nm~400nm)

紫外分光放射照度標準電球 CL7

重水素光源を使用し、200nm~400nmの範囲でNPLトレイサブルな値付けとなっている。値付けは、ベンサム社により実施されている。

ランプ 30W 重水素ランプ

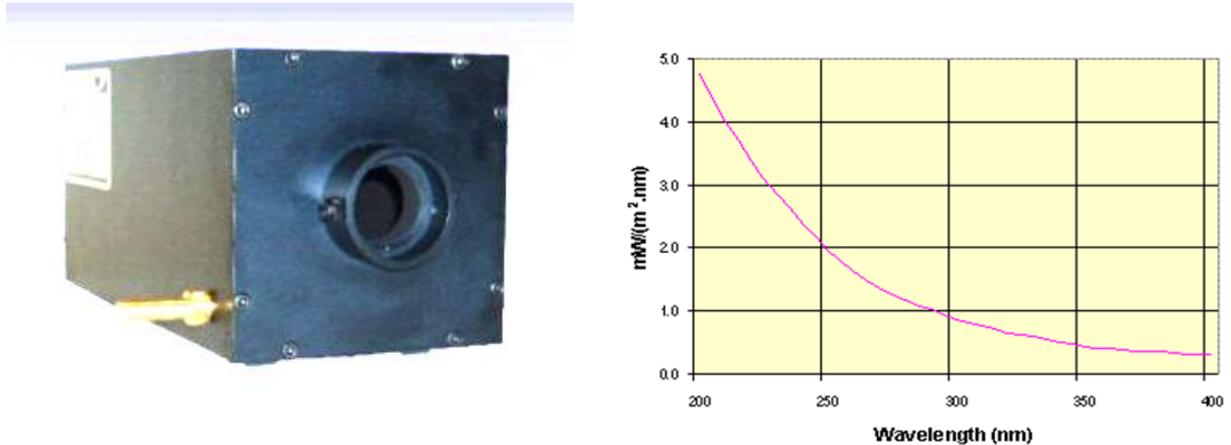


図 31 紫外分光放射照度標準光源

重水素電源 705



図 32 重水素ランプ電源

表 24 重水素電源仕様

陽極電流	230mA ~ 310mA (出荷時は300mA)
ヒータ電流(ウォームアップ時)	0.9A (0-65s)
ヒータ電流(動作時)	0.8A (65~90s) 0.6A (>90s)
トリガー電圧	誘導による発生 700V
電流安定度	0.02%以下
長期安定度	300mA、点灯後30分において0.2%以下

分光放射照度標準(200nm～3000nm)

分光放射照度標準電球

CL-6型

ハロゲンランプを使用し、測定値は、ペンサム社により値付けされており、NPLトレーサブルである



図 34 ハロゲンランプ電源



図 33 分光放射照度標準電球

表 25 分光放射照度標準電球 仕様

波長範囲	200nm ～ 3000nm
校正値 波長間隔	5nm
ピーク値	14 μ W/cm ² /nm
相関色温度	3360K

分光放射輝度標準(300nm~1400nm)

SRS12

直径300mmで内面は硫酸バリウム塗布されており、100Wのハロゲンランプが組みこまれている。100mmの口径の範囲度均一度の高い、輝度標準となる。出力は約35kcd/m²である。相関色温度は、3276K、分光放射輝度値は、ベンサム社により値付けされており、NPLトレイサブルな値となっている。標準的値付けのむ波長範囲は、380nm~800nmであり、別途オプションにて 300nm~1400nmの値付けも可能である。



図 35 分光放射輝度標準電球



図 36 分光放射照度輝度標準電源

7.6 プロファイラ

CCDカメラとフィルタにより構成されており、CCDカメラ画像をコンピュータ画面上で観測しながら、光源の寸法を測定することができる。



図 37 プロファイラ概観図



図 38 プロファイラにより測定された光源

表 26 プロファイラ仕様

カメラ	CMOS CCDカメラ 2048×1536ピクセル
レンズ	紫外 合成石英
レンズ調整	手動 (レンズ位置USB読み取り)
測定距離	200mm ~ 無限大
波長範囲	350nm~1100nm
視野角	1.7mrad ~ 100mrad

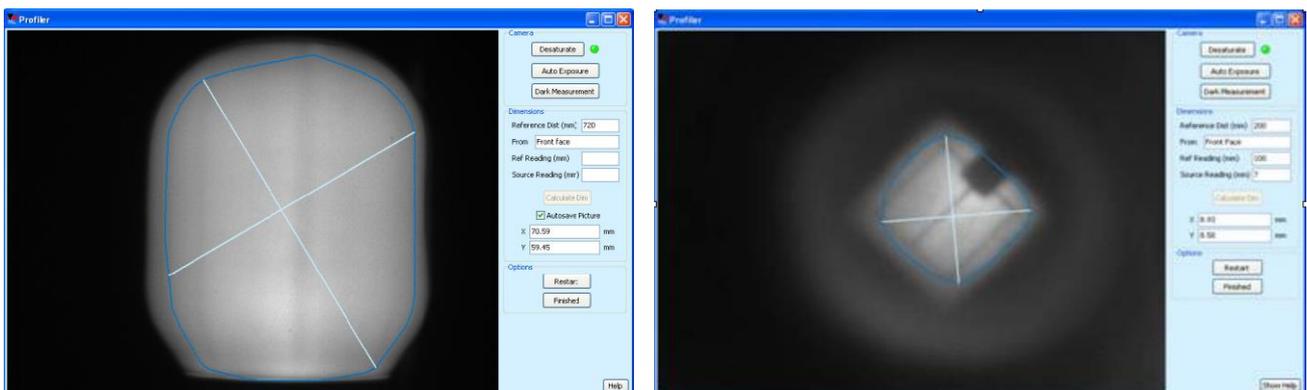


図 39 プロファイラによる測定画面

7.7 測定時の組み合わせ

IDR-300PSLにおいては、下記のような組み合わせにより、各種測定が可能となる。

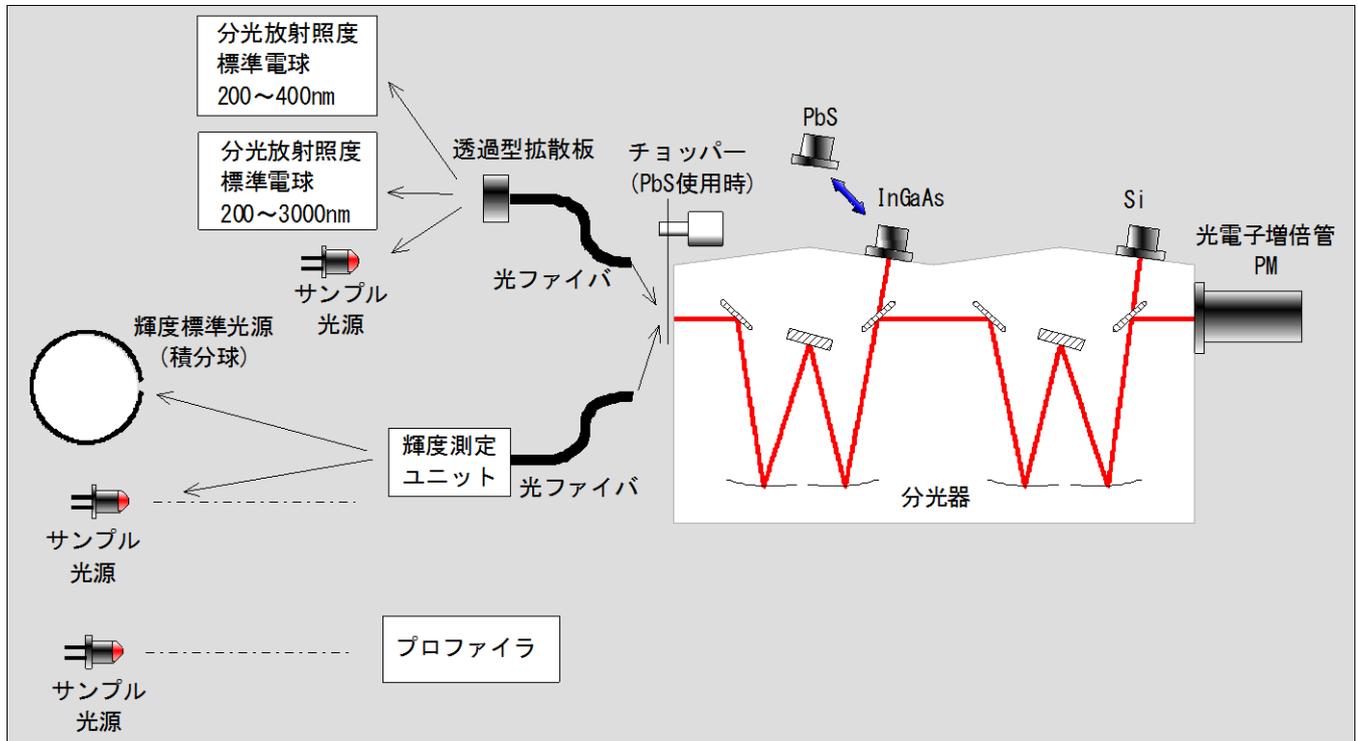


図 40 IDR300-PSL 各ユニット組み合わせ

7.8 光生物学的安全性のレポート

IDR300-PSLにより測定されたデータは、下記のようにレポートとして出力される。

TEST REPORT IEC62471 Photobiological Safety Assessment



1. Product Details

Product Self Ballasted LED Lamp
 Serial Number n/a
 Applicable Standard IEC62471
 GLS/ non-GLS assessment: GLS

2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL 200-3000nm
 Operating Conditions 220V AC
 Measurement Distance 500 Lux Distance 620 mm
 Reference Point Front
 Apparent Source Location At Reference Point
 Source Dimensions 50.01 x 43.46 mm
 Average angular subtense 75.3 mrad

3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited
 Address: 2, Boulton Road,
 Reading, Berkshire
 RG2 0NH
 United Kingdom

4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited
 Address: 2, Boulton Road,
 Reading, Berkshire
 RG2 0NH
 United Kingdom

5. Resulting IEC62471 Classification and Labelling

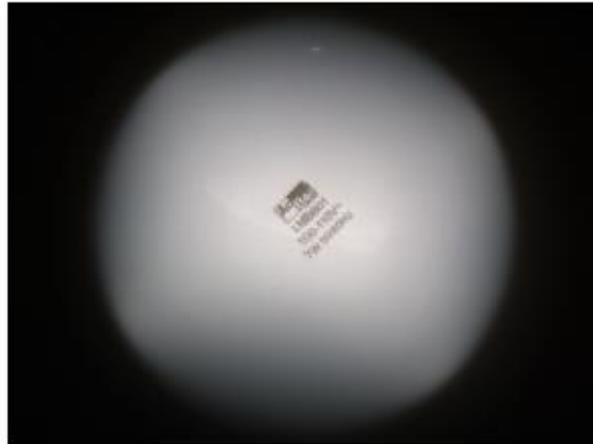
Hazard	Risk Group
Actinic UV	Exempt
Near UV	Exempt
Blue Light	Group 1
Retinal Thermal	Exempt

Risk Group 1
Product tested against IEC62471

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
10-08-2011	Anon	Anon

6. Source Profile

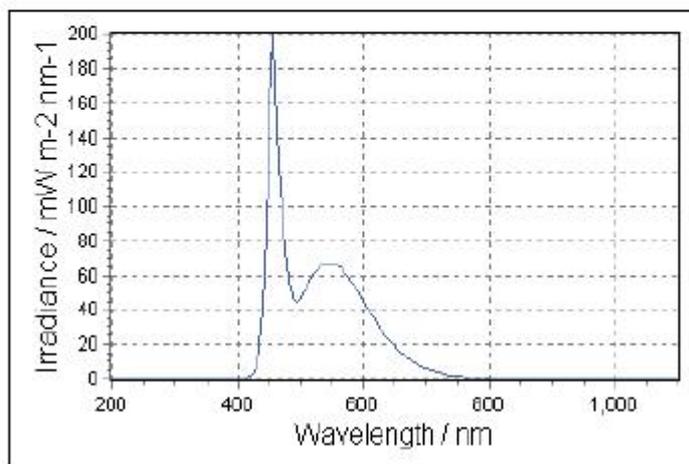
The source emission profile was measured using the Bentham PSL profiler, the resulting source size is calculated from 50% emission points.



7. Irradiance Results

Measurement distance: 620 mm
Spectral Range: 200 - 1100 nm

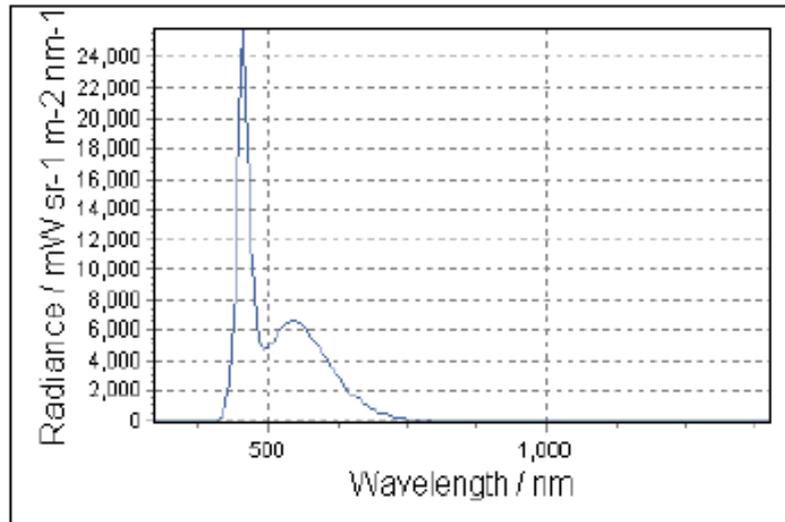
Hazard	Measured value	Resulting risk group	Risk group limit value	Time to exposure limit (s)
Actinic UV ($mW m^{-2}$)	2.38E-01	Exempt	1	> 30000
Near UVA ($W m^{-2}$)	1.57E-04	Exempt	10	> 30000
Blue Light Small Source ($W m^{-2}$)	n/a	n/a	n/a	n/a
IR Eye ($W m^{-2}$)	n/a	n/a	n/a	n/a
Thermal Skin ($W m^{-2}$)	n/a	n/a	n/a	n/a



8. Radiance Results

Measurement distance: 620 mm
 Spectral Range 300 - 1400 nm
 Luminance in 11 mrad 410545.2 cd m⁻²

Hazard	Measured value (W sr ⁻¹ m ⁻²)	Risk group limit value (W sr ⁻¹ m ⁻²)	Risk group tested	Pass/Fail
Blue light hazard 100mrad FOV	5.75E+02	100	Exempt	Fail
Blue light hazard 11mrad FOV	6.41E+02	1E+04	Group 1	Pass
Blue light hazard 1.7mrad FOV	n/a	n/a	Group 2	n/a
Retinal Thermal 11mrad FOV	7.1E+03	5.62E+05	Exempt	Pass
Retinal Thermal 1.7mrad FOV	n/a	n/a	Group 2	n/a
Retinal Thermal Weak Visual 35mrad FOV	n/a	n/a	Exempt	n/a
Retinal Thermal Weak Visual 11mrad FOV	n/a	n/a	Group 1	n/a

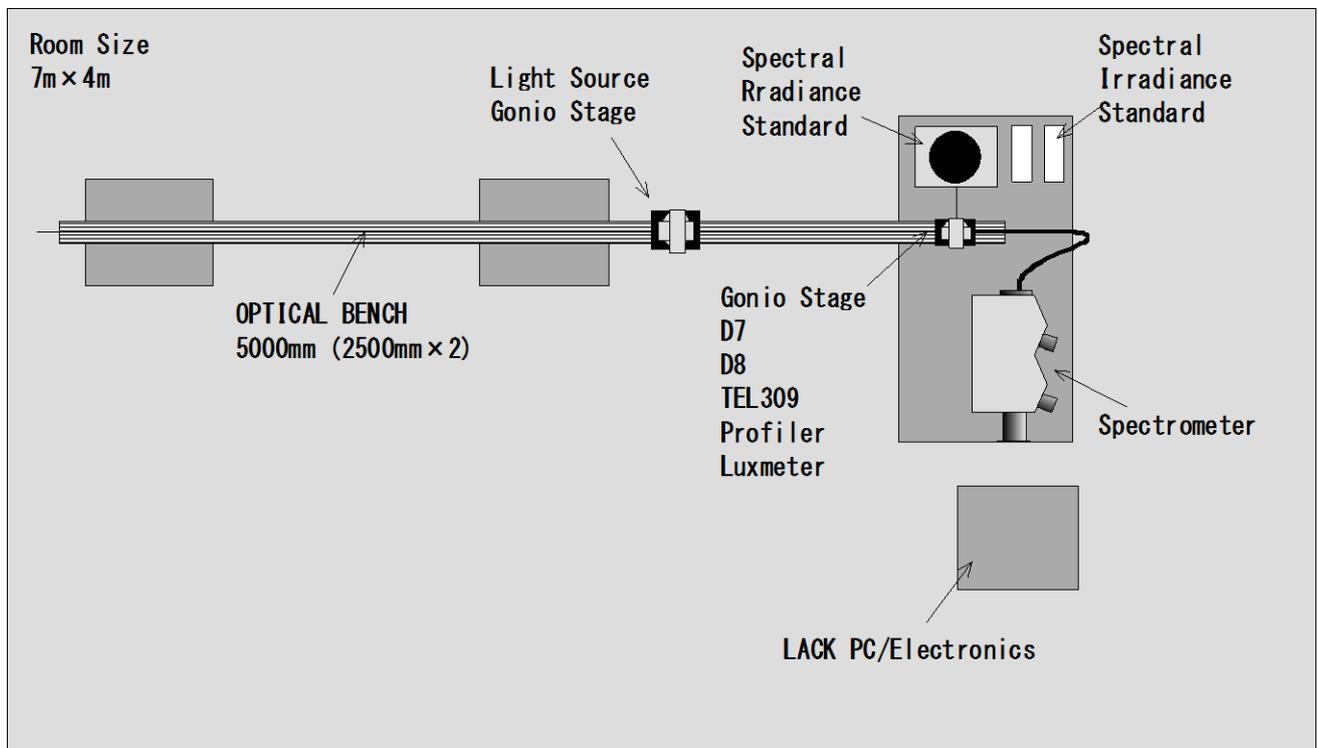


Page 3 of 3

图 41 光生物学的安全性報告書

7.9 設置に際して

光生物学的安全性試験室設備（例）



- 光学ベンチ

計測ゴニオステージと光源ゴニオステージを搭載移動固定する光学ベンチとその固定台
型式 OBA2500LH
形状 長さ5000mm

- 光学台

分光器、標準光源を搭載、光学ベンチを固定、標準光源電源を搭載

- ラック

EIAJ規格 高さ1750mm 奥行630mm 幅570mm
コンピュータ、計測制御電機系、ノイズカットトランスを搭載

- データ処理等

パソコン、プリンタ、ノイズカットトランス

- 設置作業

光学ベンチ、光学台を床コンクリートに対して固定
各ユニットの配置、接続、AC電源配線

- 注意

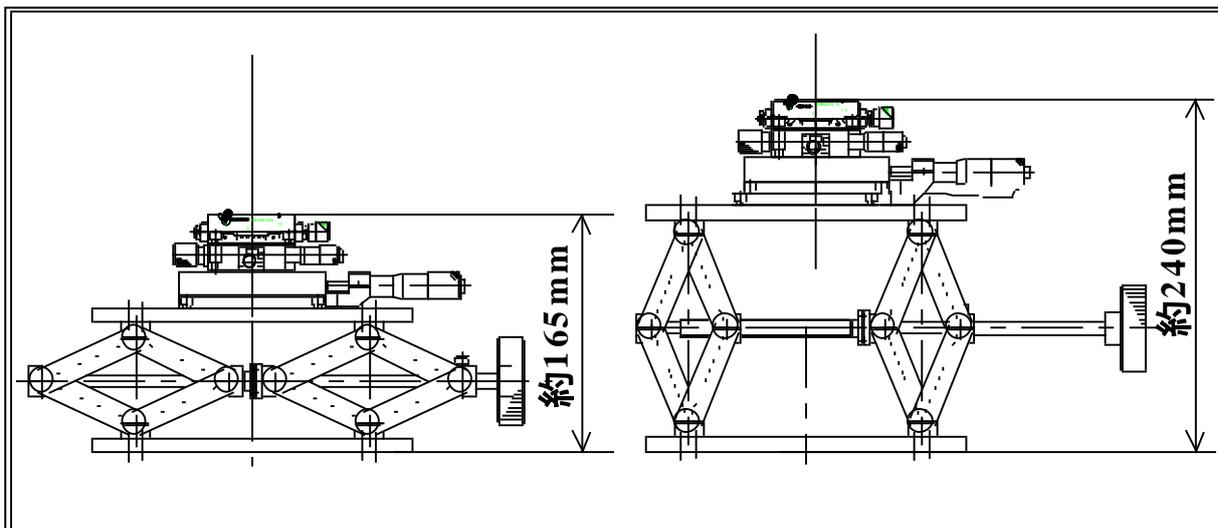
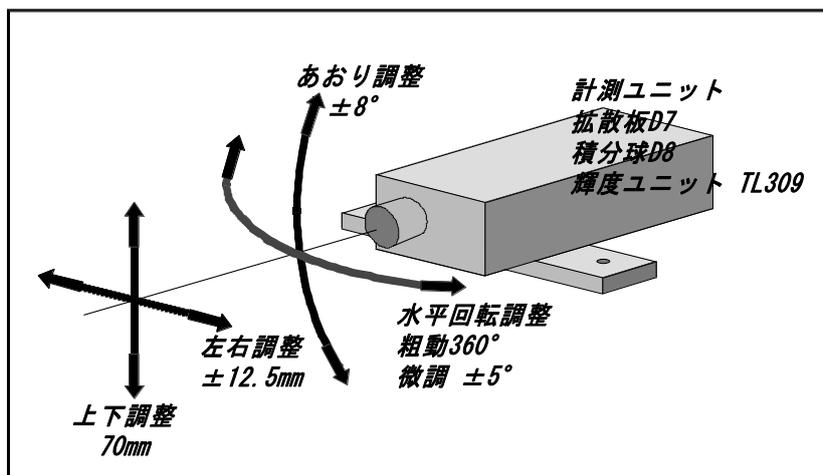
被測定サンプル点灯用の電源は含んでおりません

光生物学的安全性測定装置用各種ホルダ（例）

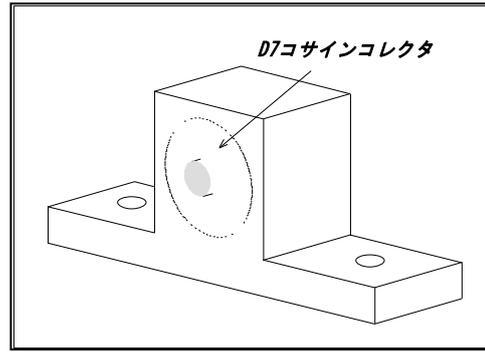
光生物学的安全性測定装置 IDR300SL を運用するにあたり必要となる、計測ユニット、各種光源のホルダの例を以下に示す。

2.1 計測ユニットゴニオステージ

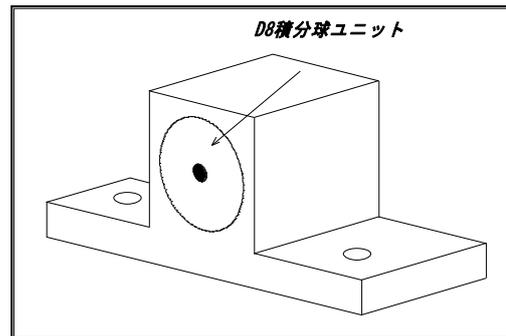
- 精密ラボジャッキ LAJ16223 (¥65,000.-) ステージ面積 160×220mm 移動量 70mm
- X 移動台 TAM-1001C (¥33,000.-) ステージ面積 100□mm 移動量±12.5mm
- 水平面内回転台 KSP-606M (¥28,000.-) φ60mm 粗動 360° 微動 ±5°
- あおり角度調整 GOHT-60A105 (¥80,000.-) ステージ面積 60□mm 回転中心 105mm 角度±8°
- 接続用プレート
- ホルダ固定プレート
- キャリア



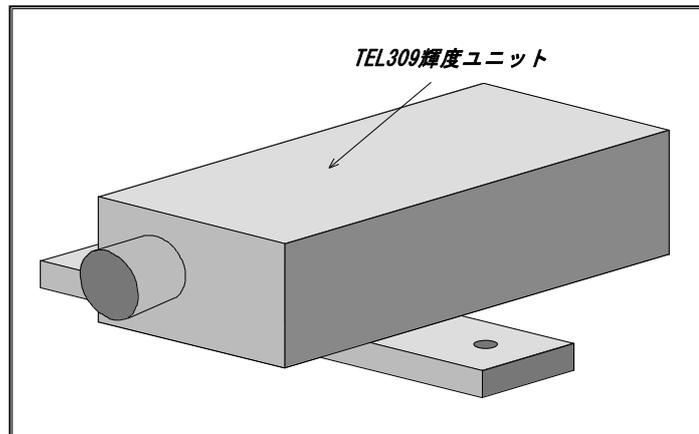
2.2 D7 拡散板ホルダ



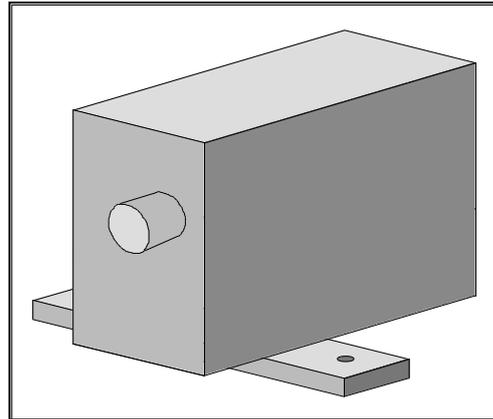
2.3 D8 積分球ホルダ



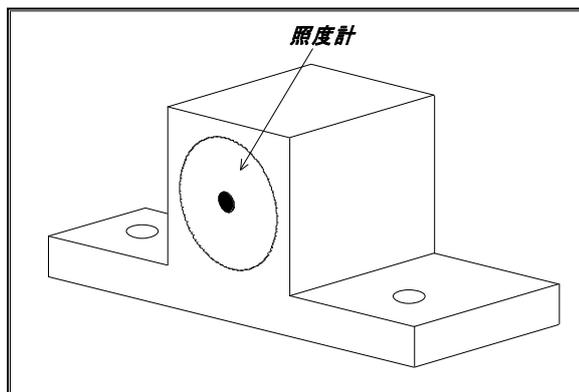
2.4 TEL309 輝度ユニット固定ベース



2.5 プロファイラユニット固定ベース

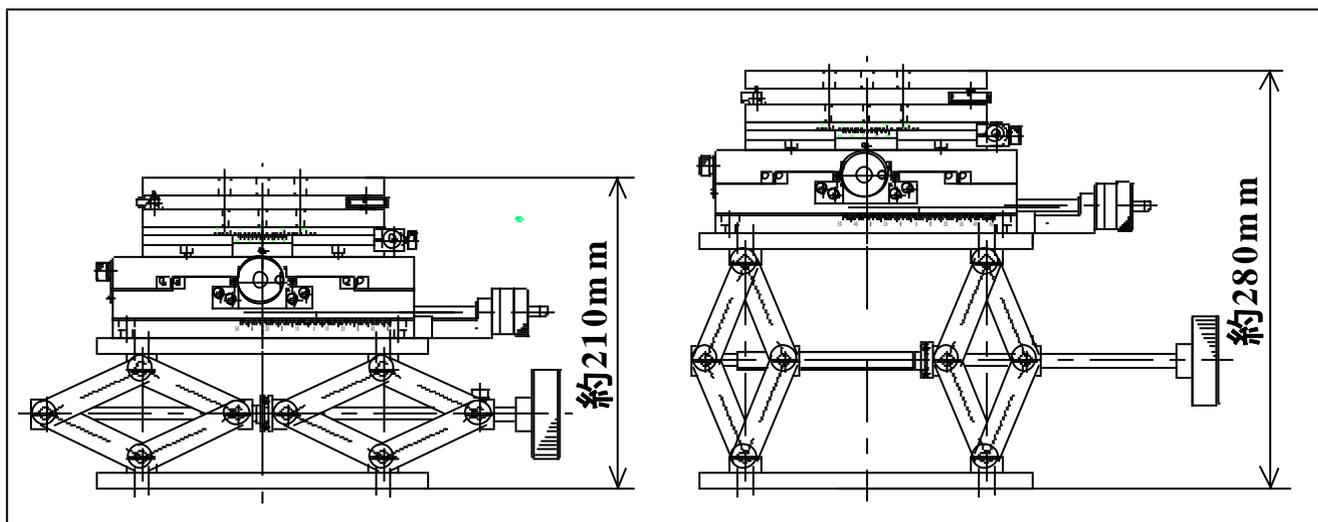
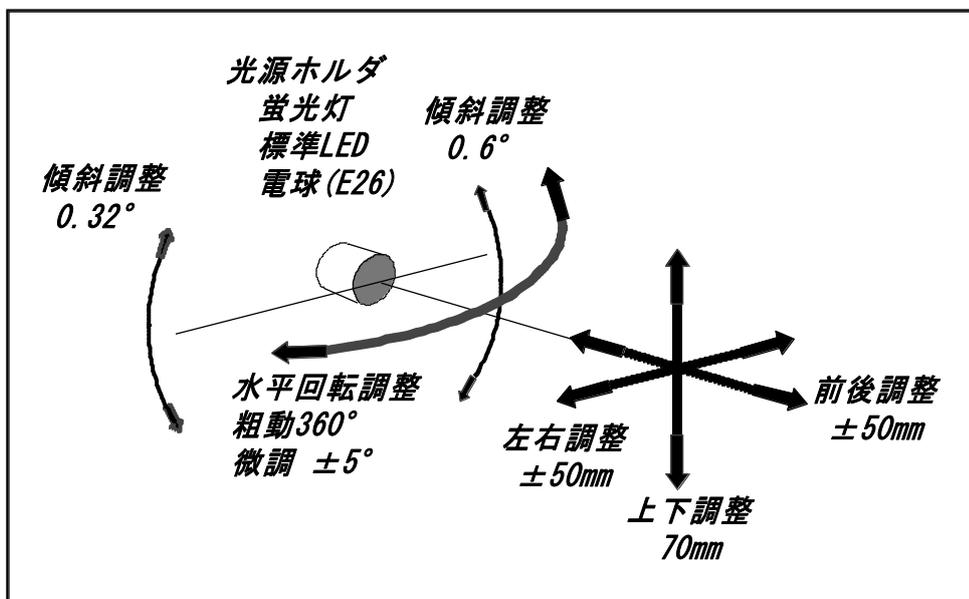


2.6 照度計固定ベース

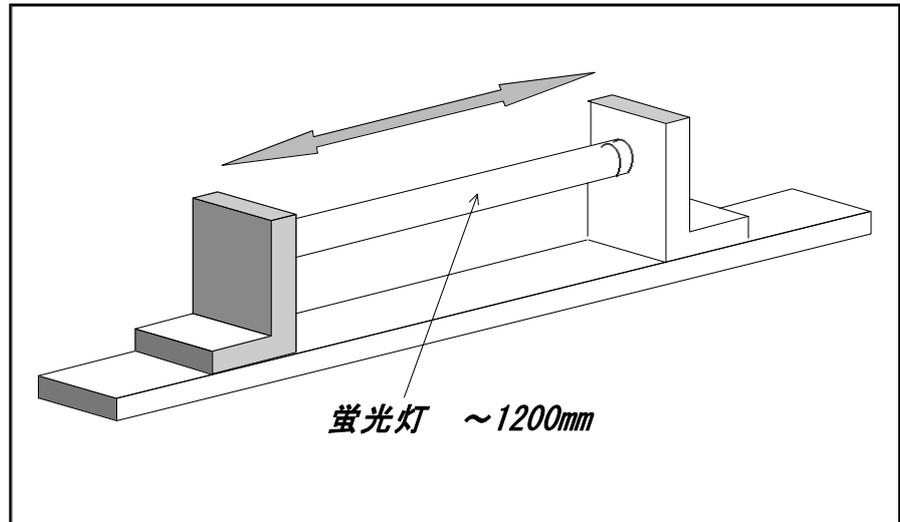


2.7 光源ゴニオステージ

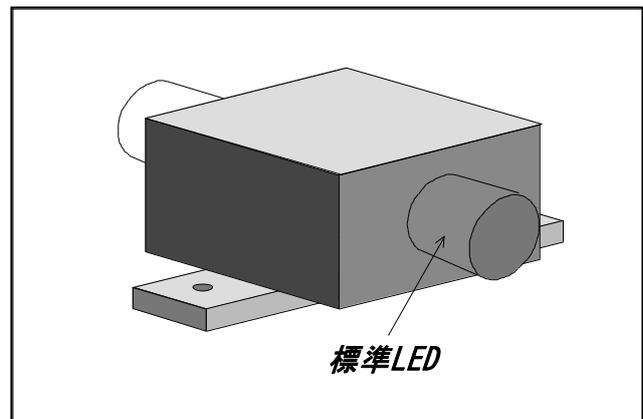
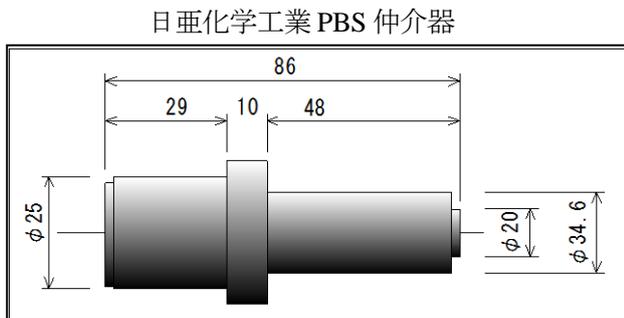
精密ラボジャッキ	LAJ16223 (¥65,000.-)	ステージ面積	160×220mm	移動量	70mm
XY 移動台	TAMC-20202 (¥250,000.-)	ステージ面積	200□mm	移動量	±50mm
水平面内回転台	KSPB-1606FPH (¥81,000.-)	φ160mm	粗動 360°	微動	±5°
傾斜調整	AIS-1016B (¥50,000.-)	ステージ面積	100×160mm	角度	0.32×0.6°
接続用プレート					
ホルダ固定プレート					
キャリ					
ア					



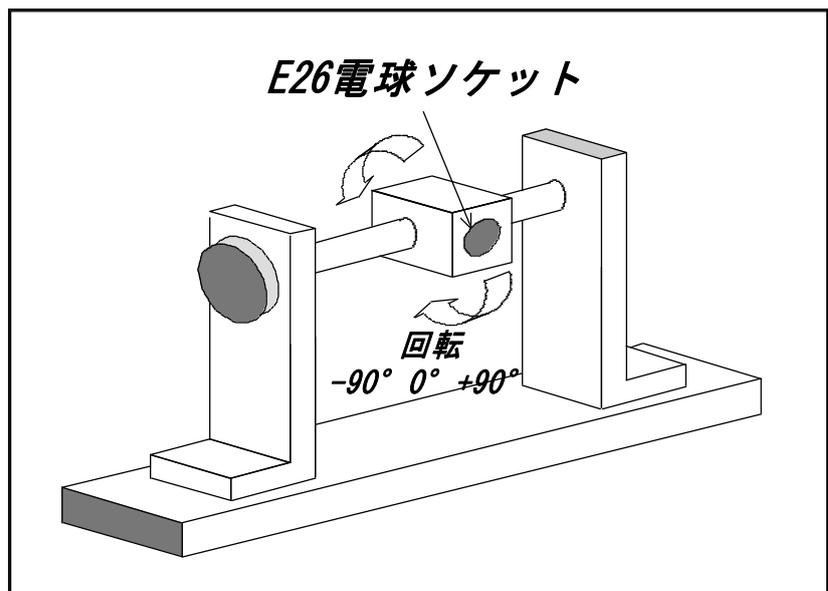
2.8 蛍光灯ホルダ



2.9 標準LEDホルダ

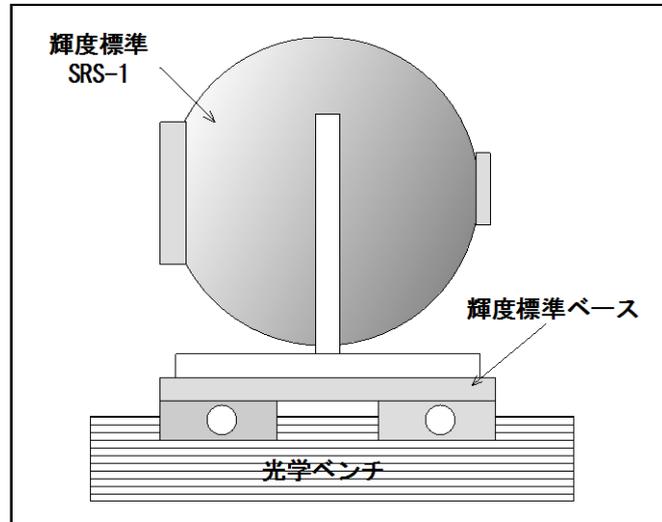


2.10 E26 電球ホルダ



2.11 輝度標準積分球

通常 200mm 距離にて校正を行うためデスクの上に配置固定するが、特殊ケースとしてそれ以外の距離で測定する必要がある場合には、このホルダにより光学ベンチ上に直接固定する。



生物学的安全性測定装置構成（例）

No	品名	型式	概略	数
1	分光器	IDR300-4	シングル・ダブル切り替え、4自動スリット フィルタホイール、4電流アンプ、ホトマル・PbSバイ アス電源、波長モータドライブ	1
2	回折格子	T324H0U25	ホログラフィック 2400本 / 250nm	2
3	回折格子	T312R0U5	ルールド 1200本 / 500nm	2
4	回折格子	T304R1U6	ルールド 400本 / 1600nm	1
5	フィルタ	OS400	次数カットフィルタ	1
6	フィルタ	OS700	次数カットフィルタ	1
7	フィルタ	OS1250	次数カットフィルタ	1
8	光電子増倍管	DH-3	ヘッドオン、S20特性	1
9	シリコンホトダイオード	DH-Si	受光面積 1cm ²	1
10	InGaAs	DH-InGaAs(3)	受光サイズ 3mm	1
11	計測ソフトウェア	BenWin+	ハードウェア制御	1
12	光安全性算出ソフトウェア	PSLWizard	IEC62471,EN62471,JISC7550 算出	1
13	拡散板	D7H-CAL	F2<1% 200-1100nm	1
14	光ファイバ	FOP-UV-1	UV 長さ 1m 受光面 φ4mm / 13×1mm	1
15	輝度計	TEL309D-CAM	結像光学系、ソフトウェア制御、カメラ組み込み	1
16	レンズ	TL1(Q)	輝度計用石英レンズ	1
17	標準電球	CL6-H	250-2500nm 150W 分光放射照度標準電球	2
18	光源電源	605	上記ランプ用定電流電源 250W	1
19	重水素ランプ	CL7-H	200-400nm 分光放射照度標準重水素ランプ	2
20	重水素ランプ電源	705	同上用定電流電源	1
21	輝度標準	SRS12	積分球とハロゲンランプによる分光放射輝度標準	2
22	PbS検知器	DH-PbS-Te	電子冷却赤外PbS検知器	1
23	フィルタ	OS2000	次数カットフィルタ	1
24	積分球	D8-QC/FOP	入射光学系用積分球	1
25	電気系筐体	417	制御電気系ラック(電源・表示付き)	1
26	電流アンプ	477	電流増幅器	1
27	ロックインアンプ	485	ロックインアンプ及びインターフェイス回路	1
28	チョッパユニット	218M	チョッパと制御回路	1
29	温度制御器	CPS1M	ホトマル温度制御	1
30	リレイ光学系	CMP-RELAY	チョッパ組み込み用リレイ光学系	1
31	照度計	DH400-VL	高近似(f1<3%)、DINA級照度計	1
32	プロファイラ	????	光源形状観測し、立体角測定	

第4章

見学会報告

- | | 分担執筆 |
|--|-----------|
| 4.1 第4回委員会
日時 : 平成23年2月4日(金)
見学 : (株)相馬光学 | (大倉) 137 |
| 4.2 第5回委員会
日時 : 平成23年7月22日(金)
見学 : (社)長野県農村工業研究所 | (西澤) 139 |
| 4.3 第6回委員会
日時 : 平成23年12月16日(金)
見学 : 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター | |
| 4.4 第7回委員会
日時 : 平成24年3月28日(水) 13:30~17:45
見学 : 埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科 | (長谷川) 142 |
| 4.5 第8回委員会
日時 : 平成24年7月27日(金) 13:00~17:00
見学 : 信州大学繊維学部 植物工場, Fii 棟施設, 溶融紡糸棟 | (石澤) 143 |
| 4.6 第9回委員会
日時 : 平成24年9月8日(水) 13:30~16:30
場所 : 山口大学・植物工場, 光害実験室 | (山本) 145 |
| 4.7 関連学会の後援
2010年度日本食品工学会秋季見学会・講演会 in 三重)
日時 : 平成23年12月3日(金)
見学 : 三重県植物工場拠点 (三重県農業研究所内) | (橋本) 146 |

4.1 第4回委員会

日時：平成23年2月4日（金）14:00～

見学場所：（株）相馬光学（東京都西多摩郡日の出町平井 23-6）

見学時間：15:15～16:45



工場見学

(1) 太陽電池計測システム 正住 氏

相馬光学にて製作・販売している各種太陽電池測定装置を見学した。

下記3種類の装置を見学

電気出力測定装置

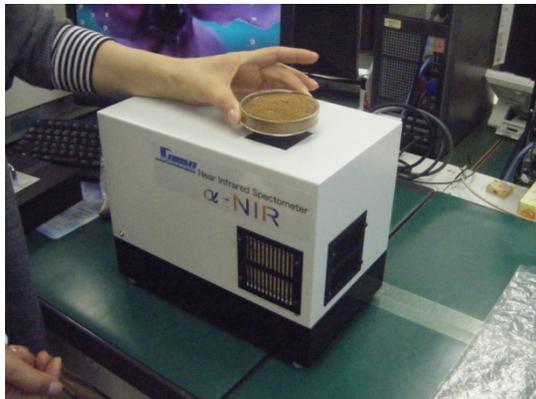
分光感度測定装置

分光放射計



(2) 近赤外分光装置 朴 氏

相馬光学にて製作している各種近赤外分光装置および、設計調製現場を見学した。



(3) 液体クロマトグラフィー 原島 氏

液体クロマトグラフィーおよび光検出器ユニットの組立調製現場を見学した。



4.2 第5回委員会

日時：平成23年7月22日（金）14:00～17:00

場所：（社）長野県農村工業研究所

出席者：橋本委員長，大倉幹事，石川委員，伊藤委員，山本委員，石澤委員，長谷川委員，中島委員，西澤委員

4.2.1 （社）長野県農村工業研究所の概要

（社）長野県農村工業研究所は長野県の農畜産物の付加価値増大を実現し、新しい時代の長野県農業の発展を目指す「80年代長野県農協長期構想」の重要な施策として、長野県農協の総意により昭和56年4月に設立された。以来、設立趣旨に基づいた農産物の加工技術・製品開発をはじめ、農家・組合員のニーズに迅速に対応した花きやきのこの新品種育成や農産物の機能性研究、さらには安全安心を支援する残留農薬分析業務など広範な分野での研究開発に取り組み、長野県農業の生産振興に貢献している。

4.2.2 話題提供 残留農薬自主検査の長野県JAグループでの取り組み

(1)はじめに

食品への有害物質混入や残留農薬の検出など後を絶たない状況の中、消費者の不信感は増大しており、より安全・安心な国産農産物を求める消費者・実需者の要望は益々高まっている。国産農産物については、健康危害を及ぼすような残留農薬事故の発生はないものの、ポジティブリスト制度施行後、依然として残留農薬基準違反事例は発生している。また、生産者による農薬の適正使用はもとより、ドリフト防止・異物混入や重金属など多面的な安全確保に向けた取り組みの必要性も高まっている。消費者に信頼される農産物の生産供給に向け、更なる安全安心生産体制の確立強化を進めなければならない。事例としてJA長野県グループが進める「長野県農産物の安全安心」に係わる重点対策は以下とおりである。

- (i) 農薬適正使用・適正保管の徹底
- (ii) 防除記録の完全記帳と出荷前チェックの完全実施
- (iii) 農薬飛散防止対策の徹底
- (iv) 残留農薬自主検査の強化
- (v) 長野県版GAPの計画的導入実施
- (vi) 事故発生時の対応の強化
- (vii) 青果物トレース構築に向けた検討と整備

これら重点対策の内、（社）長野県農村工業研究所はJA長野県営農センターが進める「残留農薬自主検査」体制と連携しながら分析業務を担い、県産農産物安全性への支援を行っている。

(2)長野県における残留農薬自主検査の現状

長野県系統農産物の安全安心確保対策の一環として、防除記録の点検と併せ、残留農薬の自主検査を実施することにより、生産者の農薬適正使用の推進と「長野県農産物の安全安心」を確立することを目的としている。

(i) 多成分一斉分析への対応

ポジティブリスト制度の導入により、検査対象農薬数が大幅に拡大されるとともに、

迅速な検査結果が要求されることとなり、多成分の農薬を迅速に分析できる一斉分析法への対応が必要となった。従来は告示された個別分析法により、1993年の74農薬には36試験法が、2002年の229農薬に対しては121試験法が必要となっている。これらの

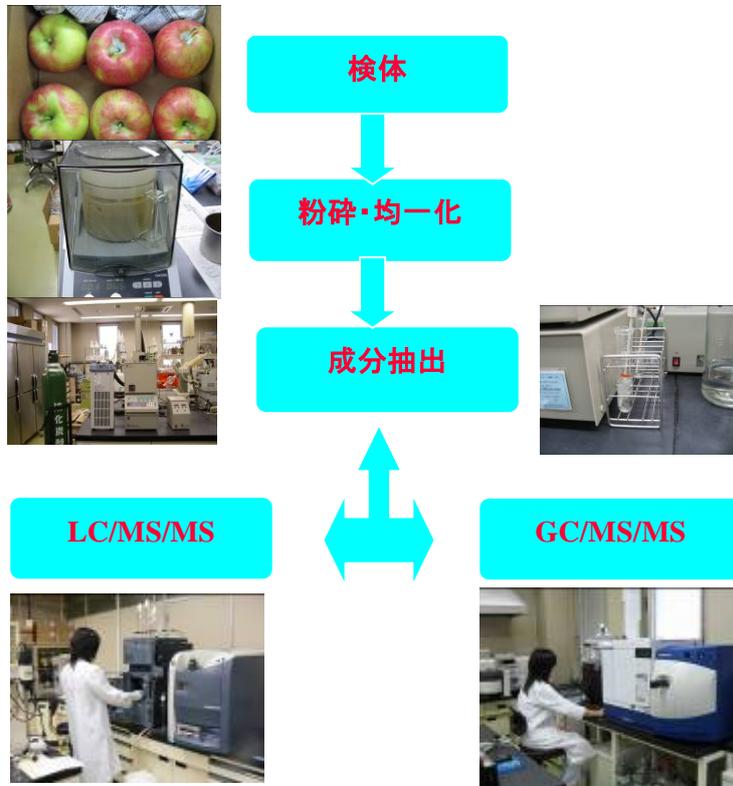


図 4.2.2-1 残留農薬分析フロー図（化学分析）

告示試験法では食品の安全対策のために、多種類の検体の検査を行い、多数の残留農薬の効率的な監視を行うこと（リスク管理）は不可能である。そこで、告示分析法に代わる方法として、迅速簡易な多成分一斉分析法が開発されてきた。

当研究所においても、ガスクロマトグラフ／トリプル四重極質量分析装置（GC/MS/MS）や高速液体クロマトグラフ／タンデム四重極型質量分析装置（LC/MS/MS）という機器を使った多成分一斉分析法を採用している（図 4.2.2-1）。農薬成分の選択は県産農産物が検査対象であることから県内の生産者が通常使用する農薬の情報をもとに GC/MS/MS で 113 成分、LC/MS/MS で 66 成分、合計 179 成分の農薬成分を対象として分析を行っている。

(ii) 運用

分析する検体は県産果実・野菜・特用作物などを対象として J A が月間計画に基づき品目、生産者を選定し、出荷前の検体を採取して当研究所へ持ち込みを行う。自主検査とはいえ出荷前検査報告を原則としているので当研究所は持ち込み日から 3 日以内に分析結果を JA 長野県営農センターへ報告する。県営農センターは、残留基準・当該農薬の登録内容と照らし合わせ、問題がないか検証し、分析値に異常が認められた場合、県営農センターは当該 J A に連絡するとともに J A 及び関係部署と対応策を協議することになっている。平成 24 年度の実績では年間約 1 7 0 0 検体の計画分析に対応した。

4.3 第6回委員会

日時：平成23年12月16日（金）13:50～17:45

見学場所：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

見学時間：15:15～16:45

1. センターの事業概要説明
2. 音響試験関連：光音技術グループ 半無響室
3. 化学計測関連：高度分析セクター 走査型電子顕微鏡
4. 高電圧試験関連：電子半導体技術 G 高電圧実験室 雷インパルス電圧試験機
5. 照明試験関連：光音技術グループ 照明実験室 球形光束計、配光装置
6. 赤外線試験関連：光音技術グループ 赤外線実験室 FT-IR および黒体炉



半無響室（機械装置の騒音を測定する音響試験室）



走査型電子顕微鏡



雷インパルス電圧試験機（1600kV、自然界の雷を模擬）



FT-IR および黒体炉



球形光束計（LED ランプなど各種光源の全光束測定）



配光装置（光源の配光を測定）

4.4 第7回委員会

日時：平成24年3月28日（水）13:30～17:45

見学場所：埼玉大学 理工学研究科 鎌田・福田研究室，谷治・内田・長谷川研究室

1. 研究紹介

(1) 高柳 正夫 先生（東京農工大学・）

「布地の材質判定と混紡率測定」

(2) 福田 武司 先生（埼玉大学・助教）

「塗布型有機光電変換素子の新展開」

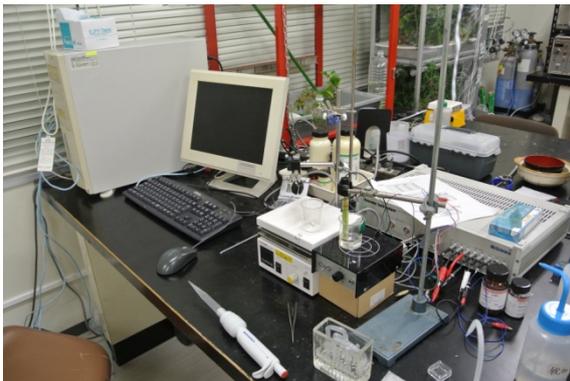
2. 研究室見学

(1) 鎌田・福田研究室（埼玉大学 工学部 機能材料工学科）

塗布型有機光電変換素子等の作製技術の基盤となる真空装置などの見学

(2) 谷治・内田・長谷川研究室（埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科）

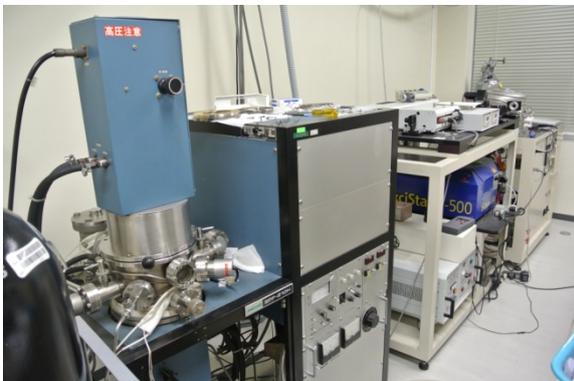
バイオセンサ，味覚センサ等の感応膜作製に用いる製膜装置類とクリーンルーム設備，および植物生体電位測定システムなどの見学



味覚センサシステム



植物生体電位測定システムの見学



感応膜製膜用真空装置



4.5 第8回委員会

日時：平成24年7月27日（金）13:00～17:00

見学：信州大学繊維学部 植物工場, Fii 棟施設, 溶融紡糸棟

出席者：橋本委員長、石澤幹事、赤松幹事、大倉幹事、木村委員、太田委員、高柳委員、長谷川委員、中島委員、山本委員、西澤委員

1. 副学部長・阿 康次 教授 よりご挨拶

ご挨拶と、大学についての説明を頂いた後、以下の話題提供があり、見学した。

2. 植物工場の概要説明（野末 雅之教授）

(1) 植物工場の現状

2009年にその定義が決められ、太陽光利用型と人工光型の二種類があり、長野県内にも多くの植物工場がある。

(2) 日本での植物向上の進展

①第一次ブーム 1970年代

②第二次ブーム 1990年代 補助金による大規模工場

③第三次ブーム 2010年 全国50箇所 農商工連携補助金による 人工光型が増えている

(3) 植物工場の特徴と利点と課題

①利点・特徴

- ・高付加価値（安全安心、高品質） / 周年栽培
- ・場所を選ばない農業生産システム / 高い生産性・省資化・軽労化

②課題として以下の点が挙げられる。

- ・植物工場の課題
- ・設置コスト、ランニングコスト、経済的可能栽培品目の限定（露地栽培とは異なる品種の開発）
販路の確保

(4) 信州大学先進植物工場教育センター（SU-PLAF）について（見学）

①2011年6月にオープン 概要は下記のとおり（SU-PLAF資料より抜粋）。



図 4.5-1 SU-PLAF 外観

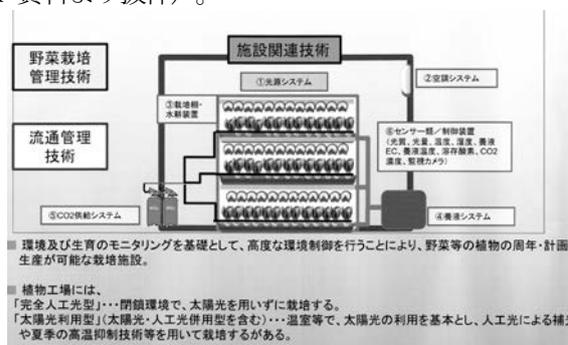


図 4.5-2 コンテナ植物工場の技術基盤

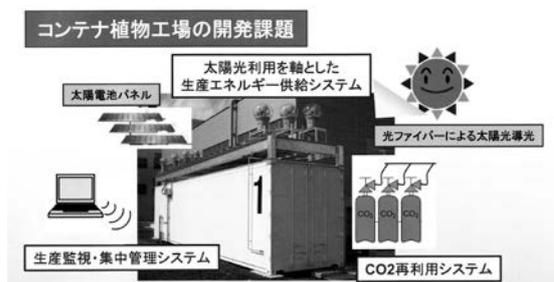


図 4.5-3 コンテナ植物工場の開発課題



恒温恒湿室(1階)

水耕栽培装置

図 4.5-4 共同利用施設・機器

②SU-PLAF 見学時の説明の要点

- ・光合成 400nm～700nm (PAR Photosynthetically active radiation)
一定強度以上の光は、光合成速度に寄与しない
- ・光形態形成 300nm～800nm の波長範囲の光が有効
- ・太陽光 400～700nm の PAR 以外は、過熱作用、栽培環境の高温化、地球温暖化を引き起こす不安定な光強度 気象、季節 / 日長変化による成長期の制御が困難
- ・LED 波長選択が可能で調光により効率を向上できる

4. 繊維学部概要説明（森川 英明教授）およびFii 棟施設、熔融紡糸棟見学

(1) 繊維学部の歴史

明示 41 年 官立上田蚕糸専門学校 が設立された。長野県は養蚕製糸の地で、上田では、蚕の卵生産地であった。時代と共にシルク、レーヨン、合成繊維と変遷したが、繊維の研究は継続された。

(2) 教育研究

高分子鎖、ナノチューブ、繊維、ファイバ、繊維による建材等、広範囲にとらえファイバ工学として研究、教育を推進している

特に” Fiber Innovation Incubator; Fii” を設立しファイバー工学の世界的拠点として展開している。

Fii 施設では、オープンイノベーション創出の基盤となる以下の技術を企業・大学等と協働プロジェクトとして推進している。

- ・ 材料技術の製造・評価技術の確立
- ・ 高次加工技術の確率に向けた産学官連携
- ・ 高度加工技術の集積と他分野への応用展開
- ・ 商品化技術・戦略的ビジネス展開
- ・ 企業提案を基にした技術開発



図 4.5-5 Fii 棟の共同利用施設

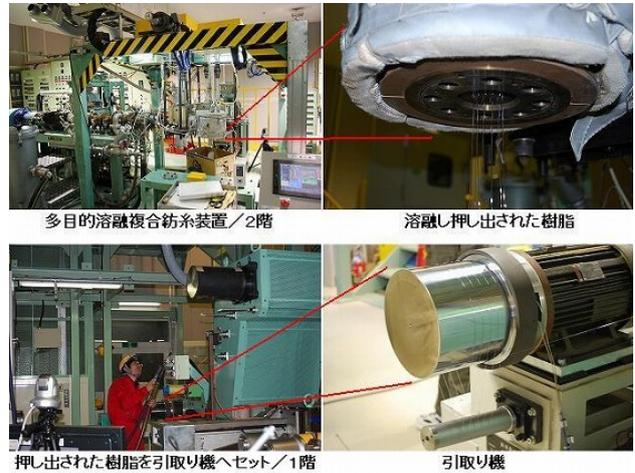


図 4.5-6 熔融紡糸設備

以上

4.6 第9回委員会

日時：平成24年9月8日（土）9：00～10：30

見学場所：山口大学農学部 植物工場、光害実験室

見学時間：9：00～10：00

1. 植物工場実証施設

本施設は、「栽培試験技術」、「光・環境制御技術」、「生体情報処理」にかかわる技術：「植物工場用LED照明」および「ICT環境制御」技術を対象に、研究シーズと民間企業の電気・電子技術との連携イノベーションを図り、栽培性能実証・評価、商品差別化の付加価値性（ユーザー訴求：コスト、付加価値、労働性、安全性）の総合評価が可能な基盤の役割を果たすことを目的として整備されました。



植物工場実証施設（概観）



植物工場実証施設（栽培室）

2. 光害実験室

夏至から冬至までの日長時間が短くなる季節に花芽が形成される短日性農作物は、治安確保のために設置されている街路灯・防犯灯の照明によって、開花遅延や出穂阻害、収穫量低下など影響を受けています。

このため、農地に隣接する地域では、農業生産者からのクレームにより、生活安全確保に必要な照明さえ設置が見送られるケースがある。そこで本研究開発では、夜間に長時間照明をしても花芽形成を阻害しないように、LEDの発光条件を最適化した照明装置を開発し、実用化することを目的に光害実験室が整備されました。

山口大学発ベンチャー 光害対策プロジェクト

保有機器一覧 —当プロジェクト実験・測定に関わる「主な装置」—



《人工気象器19台》
対象植物の環境制御を行います（気温・日長・照度・相対湿度）。



《デジタル照度計(各種)》
多点式で複数箇所の照度を、同時に測定できます。



《分光放射計》
光の波長別放射照度を測定します（300nm～1700nm）。



《自動破砕装置》
密閉容器内にて物理的衝撃を与え、破砕します。



《自動核酸抽出精製装置》
専用キットを使用し、高純度な核酸を抽出・精製します。



《自動PCRセットアップ装置》
自動分注（ピペット操作）により迅速正確なサンプル調製を行います。



《リアルタイムPCR検出装置》
PCRでの増幅過程を測定し、遺伝子発現量を定量します。



《超微量分光光度計》
希釈不要・短時間で核酸の濃度・純度を測定します。

YAMAGUCHI UNIVERSITY Anti-Light Pollution Project

4.7 関連学会の協賛

協賛行事：日本食品工学会 2010 年度秋季見学会・講演会 in 三重

開催日時：平成 22 年 12 月 3 日（金） 13:00～17:00

開催場所：三重県農業研究所

参加人数：約 30 人

日本食品工学会 2010 年度秋季見学会・講演会 in 三重

2010 年 12 月 3 日(金)
三重県農業研究所
三重県松阪市嬉野川北町 530

主 催：日本食品工学会

共 催：化学工学バイオ部会食糧・食品生産専門分科会

協 賛：日本食品科学工学会, 農業情報学会, 日本農業機械学会, 照明学会,
日本食品機械工業会, ALFAE(アジア・太平洋食・農・環境情報拠点),
計測自動制御学会計測部門アンビエント・センシングヒュージョン調査研究会,
三重大学食と農業を科学するリサーチセンター,
三重県メディカルバレー研究会センシング実用化研究会

協 力：ユビキタス環境制御システム研究会

後 援：三重県

内 容： 1. 講演会

「食品及び農産廃棄物からバイオエタノール生産の研究」
久松 真 氏（三重大学大学院生物資源学研究科）



写真 1. 講演する久松氏

「中小企業からみた産学連携の意義」 南川 勤 氏（ミナミ産業）



写真 2. 講演する南川氏

2. 三重県植物工場拠点 見学



写真 3. 植物工場拠点の説明をする近藤氏



写真 4. 植物工場拠点の見学風景 1



写真 5. 植物工場拠点の見学風景 2



写真 6. 植物工場拠点のシステムを説明する林氏

3. その他

第5章

あとがき

照明学会では、これまで平成16年から過去4期の赤外放射関連の研究調査委員会において、「生体」、「情報処理」、「環境」、「食物安全」、「生活環境」をテーマとする赤外放射技術開発の動向を研究調査しており、本書「生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用研究調査委員会 報告書」は4期目の成果を取りまとめたものである。

長期的にみれば、人間環境を含む生物環境を中心とした都市・緑地・農地・植生などの環境変動は著しく、それらの生物環境のモニタリングと評価を赤外放射等の光応用技術により行い、ICTを駆使したシステム化の試みが進められている。これらの技術開発の促進は、生物環境のモニタリングと評価を飛躍的に発展させるものとして注目されている。

このような社会的背景を踏まえて、平成25年4月からは、新たに「生物環境評価に関わる赤外放射応用 研究調査委員会」を発足させ、委員会活動を開始する予定である。本研究調査委員会では、以下の項目を研究調査の目的としている。

- (1) 生物環境の広域モニタリングと評価に関わる光応用：都市・農生態系等の広域モニタリング・評価技術開発、生物環境の広域モニタリングと評価への赤外放射等の光応用に関する研究調査
- (2) 微小生物環境のモニタリングと評価に関わる光応用：細胞や個体レベルのモニタリング・評価技術開発、微小生物環境のモニタリングと評価への赤外放射等の光応用に関する研究調査

これらを研究調査することは、照明学会の重点課題に一つの回答を与えるものと考えられる。また、研究調査領域は“光放射応用”を起点とし、生物環境全般に関わる“領域横断型研究”を具現化するものと言える。生物環境のモニタリングと評価への光応用により、都市・農生態系等の広域レベルから細胞や個体レベルまでの技術開発の現状が纏められ、赤外放射等の光関連分野の先進的センサー開発への貢献も期待される。

本研究調査委員会では、(1) 公開研究会の開催、(2) 照明学会全国大会シンポジウムへの参加、(3) 委員会報告書等による研究調査内容の公開などを活動の中心とし、平成28年3月までの3ヶ年にわたり、①生物環境のモニタリングと評価に関する研究調査（平成25年度）、②モニタリングと評価の高度化に関する研究調査（平成26年度）、③ 1及び2の追加研究調査及び報告書作成（平成27年度）と段階的な研究調査の実施を予定している。

ここに、「生活環境基盤・評価に関わる赤外放射応用研究調査委員会」の研究調査活動に改めて敬意を表するとともに、新たに展開される研究調査委員会の発展に向けて、新しい委員会の委員長として新年度を向える所存である。

(山本 晴彦)