

# 分光研究

JOURNAL OF THE SPECTROSCOPICAL SOCIETY OF JAPAN

2026

Vol.75 No.1

日本分光学会 75 周年記念座談会「分光学が拓く未来」

高速自発ラマン分光法

微弱光検出器



CODEN:BUKKAT  
ISSN 1884-6785

公益社団法人

日本分光学会

<https://www.bunkou.or.jp/>

この道 35 年！

LaF3 対応開始！！

LaF3 10φ、15φ窓板、LaF3 (Eu) 8φなど

光学結晶の対応力・品揃えでは負けないつもりです！

**NEW!!**

サファイア・石英の管 (Tube)、大型の平板の取り扱いを開始しました！

**Ge 窓板 取り扱っております！**

φ 16 x 1t mm (G16-1)

40 x 20 x 1t mm (G40-20-1)

φ60 x 3t mm AR/DLC コート付 (G60-3AR8-14/DLC) など

円形・角形・コート付 各種在庫ございます！

★FTIR 用 製品各種★



分光光度計用 CaF2 セル

UV ~ IR 域 (130nm ~ 7μm)  
で使用可能です！

▼是非ホームページを  
ご覧ください！



Web : <http://www.pier-optics.com>

その他結晶粒 KCl, CaF2, BaF2, MgF2, LiF も OK です！

・ATRプリズム・集光レンズ・特殊プリズム・半球プリズム・  
半円筒プリズム・直角プリズム CaF2、Ge など

ZnSe・Sapphire・Ge・KRS-5・AMTIR 他

・窓板 KBr・NaCl・CaF2・BaF2・MgF2・LiF・LaF3・  
ZnSe・ZnS・Sapphire 他



CaF2等は自社で製造しております  
(真空炉3基)



ピアーオプティクス株式会社

Optical Crystal for VUV to FIR Pier Optics Co., Ltd.

〒374-0012 群馬県館林市羽附旭町 525-1

Tel : 0276(72)7371 Fax : 0276(72)7372

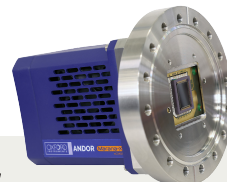
E-mail: [sales@pieroptycs.jp](mailto:sales@pieroptycs.jp)

手軽な価格で高品質な性能を実現！  
非冷却InGaAsアレイ・センサを採用  
波長範囲 800~2100 nm



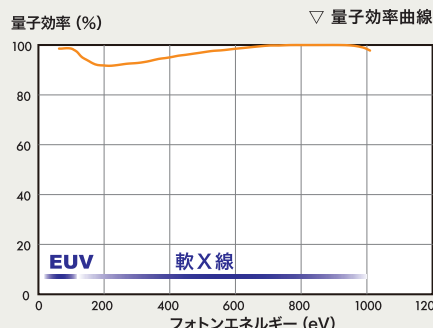
高性能（高スループット・低迷光）  
短納期、2年保証付、  
実験研究用~OEM装置組込用にも最適！

- 波長範囲 800 ~ 2100 nm
- カスタマイズにより分解能を向上（デフォルトのスリット幅は20 μm）
- 3つのモデルから選択可能
  - ・ Siena 1.7（波長範囲 940 ~ 1700 nm, 分解能 (FWHM) 8 nm）
  - ・ Siena 1.9（波長範囲 800 ~ 1900 nm, 分解能 (FWHM) 12 nm）
  - ・ Siena 2.1（波長範囲 900 ~ 2100 nm, 分解能 (FWHM) 13 nm）



軟X線、EUVを100 fpsで直接撮像可能！  
リングラフィ、タイコグラフィ用途などに最適！

- 背面照射型sCMOSセンサー搭載
- VUV、EUV、軟X線検出用
- 高画素：4.2メガピクセル（2048×2048）
- 高感度：最大量子効率99%
- 高速：74 fps（フルフレーム）, 108 fps（1400×1400画素）
- ハイダイナミックレンジ：最大16bit
- 低温冷：-45°C
- 分光計測モード搭載



蛍光分光 ラマン分光 OEM、システム組込

優れたビーム品質、高安定性、  
モジュールタイプ！



- 豊富な波長セレクション（375~1550 nm）
- Wavelengthモデル：狭線幅シングル縦モード発振（0.1 pm~）
- 空間出力モデル、ファイバー出力モデルあり
- 変調制御可能（~1.5 MHz）

年度内、まだ間に合います！ ついにスタート！  
マンスリーレーザーレンタルサービス

まずは短期間で気軽にレンタルして性能を体感！  
その後、ご購入をご検討の場合は、  
レンタル費用を全額ご購入代金に充当いたします。  
波長・出力・出射方式・台数など、研究用途に応じた最適な  
プランを丁寧にご提案します。

レンタル → 実機評価 → ご購入



総合カタログ2024-2026をお求めのかたはコチラ！

\* 価格帯は、WEBカタログには付属しません。  
配送分のみのお取扱いになります。



T O K Y O 2 3  
FOOTBALL CLUB

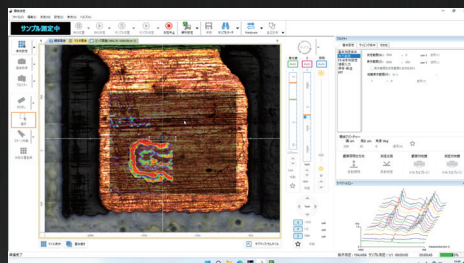
東京インスツルメンツは、東京23FCを応援しています。

# Explore with Confidence

マルチチャンネル赤外顕微鏡 IRT-7X は、圧倒的な観察画質の向上と高速化されたリニアアレイ検出器の高次元デジタル処理により、より高速で高精細な赤外イメージングを実現しました。異物解析や材料研究における“観る・測る・解析する”を次の次元へ導きます。

- 1秒間に最大160スペクトルの測定とスペクトル・色分け図表示を同時に実行

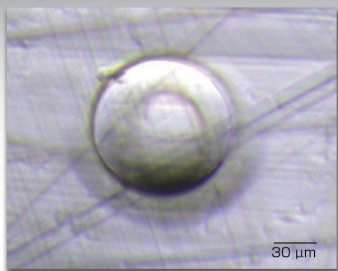
16ch リニアアレイ検出器の各素子にデータ処理回路を備え、測定データを高速に並列処理します。目的成分の分布を測定しながら同時に把握できます。



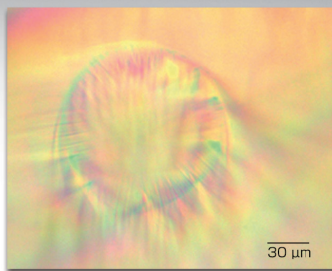
電子基板の電極上の異物測定

- シリコンオイル中のPMMA粒子のATRイメージング

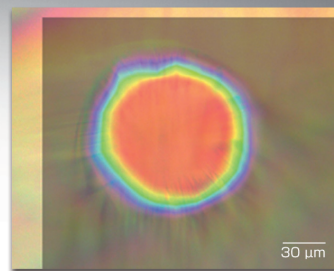
ステージを動かさずに光軸走査する日本分光独自の“スマートマッピング”により、プリズム密着時に試料が観察画像の中央以外に動いても、移動後の部位を測定エリアに指定できます。1回のプリズム接触でケミカルイメージも取得可能です。



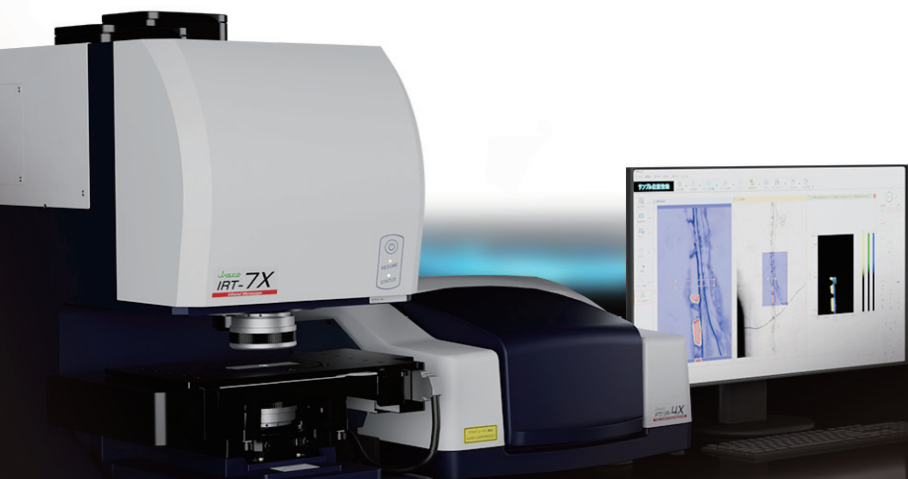
観察画像 (ATR 密着前)



観察画像 (ATR 密着後)

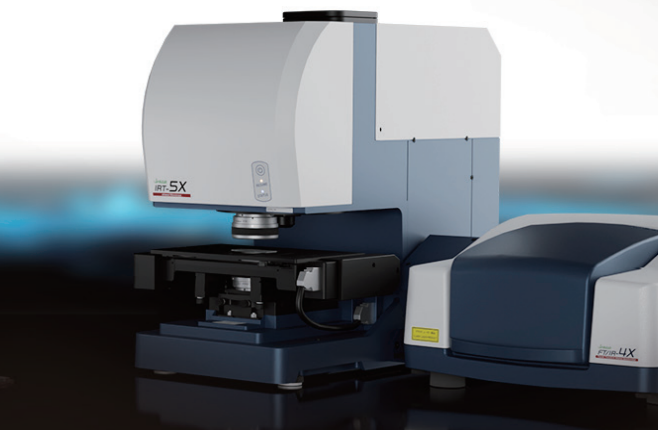


観察画像とケミカルイメージの重ね合わせ  
(1718 cm<sup>-1</sup> のピーク高さ)



Multichannel Infrared Microscope  
マルチチャンネル赤外顕微鏡

# IRT-7X



Infrared Microscope  
赤外顕微鏡

# IRT-5X

光と技術で未来を見つける

## 日本分光

日本分光株式会社

〒192-8537 東京都八王子市石川町 2967-5  
TEL 042(646)4111 (代)  
FAX 042(646)4120

日本分光の最新情報はこちらから

<https://www.jasco.co.jp>

JASCO

日本分光-IP

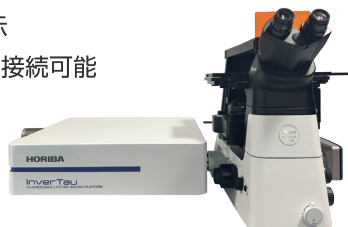


## HORIBAの蛍光分光・ラマン分光関連技術

### 蛍光寿命イメージングプラットフォーム InverTau

#### 共焦点レーザースキャンによる高速蛍光寿命イメージング顕微鏡法

- 蛍光寿命 50 ps まで対応
- 最大 6fps のリアルタイム表示
- 倒立型顕微鏡の C マウントに接続可能
- 光学系の自動設定



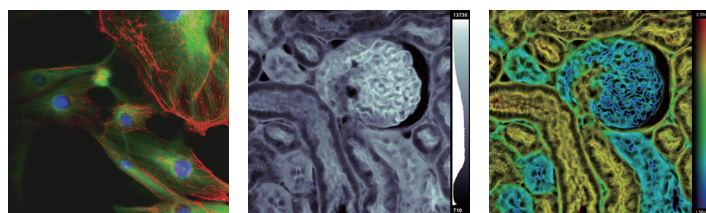
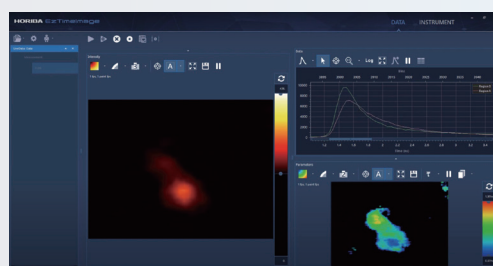
※ FLIM : Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy

#### 高速化オプション

ビデオレートFLIMカメラ  
**FLIMera**



波長範囲	400~900 nm
画素数	192 x 128ピクセル [W x H]
寿命測定範囲	200 ps~20 ns
顕微鏡への接続	Cマウント



ウシ肺動脈内皮 (BPAC) 細胞の蛍光強度 (3色) イメージ

蛍光強度

マウス腎臓

蛍光寿命

#### ▼ InverTau

<https://www.horiba.com/jpn/scientific/products/detail/action/show/Product/invertau-6495/>

#### ▼ FLIMera

<https://www.horiba.com/jpn/scientific/products/detail/action/show/Product/flimera-1989/>

## 顕微分光システム Standard Microscope Spectroscopy Systems

### ラマン

化学組成 & 構造、結晶欠陥/不純物、応力、光化学安定性

### PL寿命

キャリア寿命、結晶欠陥、光励起キャリアダイナミクス

### フォトルミネッセンス

バンドギャップ、結晶欠陥/不純物、結晶性/相組成均一性



SMS-320

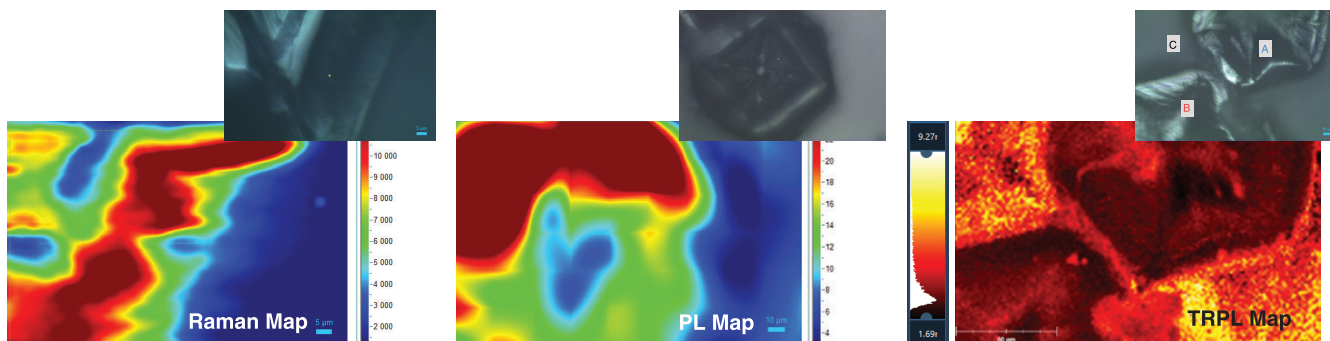
### エレクトロルミネッセンス (EL)

安定性 & 耐久性、再結合効率、結晶欠陥、バンドギャップ

### 光電流

光電変換効率、スペクトル応答、電荷移動抵抗

### 反射率・透過率・暗視野散乱



MAPbI<sub>3</sub>のラマン、PL、PL寿命イメージング (各イメージの右上は分析箇所の顕微鏡画像)

#### ▼ ラマン分光

<https://www.horiba.com/jpn/scientific/products/raman-imaging-and-spectrometers/>

#### ▼ 蛍光分光・蛍光寿命

<https://www.horiba.com/jpn/scientific/products/fluorescence-spectrometers/>

# 分 光 研 究

## 第 75 卷 第 1 号

### 目 次

#### 巻 頭 言

多くの人が集まる分光学会に…………… 服部利明 1

#### 特 別 企 画

日本分光学会 75 周年記念座談会「分光が拓く未来」…………… 2

#### 若手のショートレビュー

高速自発ラマン分光法…………… 久保俊貴 14

#### スペクトルギャラリー

雲を構成する水滴一粒のスペクトルを測る－気象モデルの精緻化を目指して－…………… 石坂昌司 25

#### 分光便利帳

キャビティーリングダウン分光法におけるミラー回転角調整の必要性…………… 荒木光典, 須磨航介 29

#### トピックス

テラヘルツおよびラマン分光を用いた澱粉の選択的計測…………… 中島周作 31

#### 講 座

微弱光検出器…………… 里園 浩 36

学会だより…………… 44

本会記事…………… 46

賛助会員名簿…………… 49

---

### 公益社団法人 日本分光学会

東京都千代田区内神田一丁目 11-6

大丸アネックス 201 号室

郵便番号 101-0047

<https://www.bunkou.or.jp/>

# Journal of the Spectroscopical Society of Japan (Bunkô Kenkyû)

Vol. 75 , No. 1 (2026)

## CONTENTS

<b>Essay:</b> .....	1
<b>Special Feature:</b>	
Roundtable Talk Commemorating the 75th Anniversary of the Spectroscopical Society of Japan “Future Perspectives Opened Up by Spectroscopy” .....	2
<b>Short Review for Young Scientists:</b>	
High-Speed Spontaneous Raman Spectroscopy ..... Toshiki KUBO	14
<b>Spectrum Gallery:</b> .....	25
<b>Practical Techniques:</b>	
Necessity of Mirror Rotation Angle Adjustment in Cavity Ringdown Spectroscopy ..... Mitsunori ARAKI, Kohsuke SUMA	29
<b>Topics:</b> .....	31
<b>Lecture:</b>	
Weak Light Detectors..... Hiroshi SATOZONO	36

---

The Spectroscopical Society of Japan

Daimaru Annex 201

11-6, Kanda 1-chome, Chiyoda-ku

Tokyo 101-0047, JAPAN

<https://www.bunkou.or.jp/>

## 巻頭言

## 多くの人が集まる分光学会に

筑波大学数理物質系

服部利明

巻頭の言葉を書くにあたって、初めにここのところの分光学会の動きについてまとめておきたい。いわゆるコロナ禍が2020年初めから2023年5月頃まで続き、学会も大きな影響を受けた。2020年の年次講演会は、通常の5-6月開催の日程より遅れて10月にオンライン開催された。翌年も同時期のオンライン開催であった。2022年は慎重な判断の末、同時期に現地開催となった。2023年も引き続き同時期に現地開催され、2024年に本来の開催時期の6月に現地開催された。2025年の年次講演会が久しぶりに、前年から1年を空けての現地開催となった。学会の運営体制はコロナ禍を経てオンライン会議が定着し、事務局もオンラインと出勤の併用となっている。

学会の会員数は一貫して減少しており、学会の財政に対する懸念が増している。事務局体制の改善に向けて検討を行ったが、現状では大きな変更については結論に至っていない。

学会誌「分光研究」のオンライン化の提案が2023年11月頃に出版社からあり、様々な検討を経て、2026年1号の本号より、オンライン誌として新たなスタートを切ることとなった。紙媒体の雑誌であれば本体を印刷して郵送すればよいのであるが、オンライン版では、様々なオプションを検討し、準備し、措置する必要があることに気づかされた。あらゆる物事がデジタル化、オンライン化される昨今である。このようなことに慣れ、習熟し、積極的に活用していくことの中に、学会の未来があるのではないかと思う。講演会、セミナーの運営や、事務局の体制においても、同様であろう。

分光研究の本号では、学会75周年記念座談会の記事が掲載されているはずである。2025年6月年次講演会初日のプログラム終了後に、会場の一部屋で座談会を行った。その内容を書き起こしたものである。是非お読みいただきたい。必ずしも大切なテーマがすべてそこで語られたわけでもないが、座談会に参加した方々の分光学と分光学会に対する熱い思いが読者に伝われば幸いである。

さて、分光学会のこれからについてである。コアに「分光学」という学問を持っていることが分光学会の強みであり、これからもそうであることであろうと思う。しかし同時に、分光の利用・適用範囲がますます広がる中、分光学会が十分にそれらの分野の人々の集約点となり得ていないことが悩ましいところである。分光学の広がりや分光学会に自然に取り込む仕組みを、学会運営、年次講演会運営に作れないものかと思う。分光学会での分光学者との議論は楽しい。それを多くの人たちと共有したい。

# 特別企画

## 日本分光学会 75 周年記念座談会 「分光学が拓く未来」

2025 年 6 月 18 日，於 東京大学 駒場Ⅱ キャンパス

### 出席者

芦原 聡	東京大学生産技術研究所
江川麻里子	資生堂みらい開発研究所
奥野 将成	東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻
加納 英明	慶應義塾大学理工学部生命情報学科
佐藤 春実	神戸大学大学院人間発達環境学研究科人間環境学専攻
長谷川 健	京都大学化学研究所
藤田 克昌	大阪大学大学院工学研究科物理学系専攻
服部 利明 (司会)	筑波大学数理物質系

### 1. はじめに

**服部** 皆さま，本日はお集まりいただきましてありがとうございます。ございます。

日本分光学会は，来年，創立 75 周年を迎えます。日本分光学会の前身である分光学研究会が 1951 年に創立されたことをもって始まりとしております。その 2 年後の 1953 年に日本分光学会が創立されました。また，最近の動きといたしましては，2013 年に公益社団法人として認められました。

本日は創立 75 周年を記念いたしまして，「分光学が拓く未来」と題して座談会を行わせていただきます。本日の内容は，来年の『分光研究』の 75 巻 1 号に掲載させていただくことを予定しております。

本日のような企画は，創立 50 周年の折に座談会<sup>1)</sup>が催されて以来となります。本日の会では，学会の過去を振り返るということではなく，未来を見据え，分光学の未来はどのようなのか，どうしたいのか，また，分光学会の未来はどのようなのかといったことについてお話しいただければと思っております。

私は進行役を務めます。私はなるべくしゃべらずに，お集まりいただいた皆さまにお話を頂きたいと思っておりますので，よろしくお願いいたします。

初めに，お集まりの皆さまに，自己紹介を兼ねて，ご自身の研究分野とこれまでの分光学会との関わりについて，ごく短くお話を頂ければと存じます。それではよろしくお願いいたします。

### 2. 自己紹介

**藤田** 大阪大学の藤田克昌と申します。よろしくお願いいたします。私はラマン分光を中心に，顕微鏡光学と組み合わせる新しい顕微観察技術の開発に取り組んでいます。分光学と顕微鏡は少し分野が異なりますが，その融合領域での研究を進めており，特にバイオ分野への応用に力を入れています。

分光学会に入ったきっかけは…実は企画委員に指名されたことでした (笑)。当時の河田企画委員長にお声がけいただき，企画委員として夏期セミナーの担当をしたのが最初です。その後，編集委員会で常務委員を務め，理事を経て，現在は出版担当として活動しています。改めてよろしくお願いいたします。

**奥野** 東京大学の奥野です。私はたぶんこの中で一番若く，41 歳です。何をやっているかというところ，レーザー分光，主に非線形分光を使った振動分光学に従事しています。溶液や界面といった凝縮系を対象として，分子の構造やダイナミクスを明らかにしようと研究を行っているところです。

分光学会に最初に参加したのは，東工大で 4 年生のときの年次講演会があって，そのときにたしか濱口先生が学会賞を受賞されて，それを聴講したのがたぶん最初でした。今年は年次講演会を共同開催ということなので，何とかなるといいなと考えています。以上です。よろしくお願いいたします。

**長谷川** 京都大学化学研究所の長谷川健といいます。専門分野は薄膜の主に赤外分光です。興味のある対象は，結晶学では分からない非晶の構造解析をする，集合構造を解析

## 高速自発ラマン分光法

久保俊貴<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>大阪大学大学院医学系研究科 大阪府吹田市山田丘 2-2 (〒565-0871)

<sup>b</sup>大阪大学大学院工学研究科 大阪府吹田市山田丘 2-1 (〒565-0871)

(2025年12月14日受領, 2026年1月10日受理)

High-Speed Spontaneous Raman Spectroscopy

Toshiki KUBO<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Department of Dermatology, The University of Osaka, 2-2, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

<sup>b</sup>Department of Applied Physics, The University of Osaka, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

(Received December 14, 2025; Accepted January 10, 2026)

Spontaneous Raman spectroscopy provides rich chemical information without exogenous labels. However, the small scattering cross-section yields intrinsically weak signal, which limits measurement throughput and hinders practical applications in research and industry. This review focuses on biomedical applications of spontaneous Raman spectroscopy and introduces two approaches developed by the author to improve throughput. The first is a programmable-illumination Raman microscope combined with reinforcement learning, which adaptively selects measurement positions to detect abnormal regions while ensuring allowance error rate in discrimination. Using polymer-bead phantoms composed of two polymer species that mimic cancerous and non-cancerous regions in tissue, this approach improved the throughput of discrimination analysis by approximately 6–21 times for abnormality-present samples and 1.2–1.3 times for abnormality-absent samples, compared with conventional raster-scanning confocal Raman imaging. The second is a spontaneous Raman flow cytometer using time-delay-integration, achieving broadband single-cell spectral measurements at throughputs of 78 and 32 events/s for polystyrene micro beads and biological cells, respectively.

**Keywords:** Spontaneous Raman spectroscopy, Throughput, Discrimination analysis, Flow cytometry

### 1. はじめに

自発ラマン分光法は振動分光法の一つであり、試料の化学組成を低侵襲的に評価可能な分析手法である。試料に光を照射し、生じるラマン散乱光のスペクトルを計測する。

取得したスペクトルには、試料に含まれる分子振動モードに対応した情報が含まれる。得られたラマンスペクトルと、生物学や材料科学などの知見を併せて考えることで、試料中の分子の種類や組成を推定・評価することができる。

ラマン分光法の大きな利点は、ラベルフリーな計測ながら、豊富な化学的情報を取得できる点である。一般に、生体試料の測定では、蛍光プローブに分子特異性を持たせ、その蛍光を検出することで、興味のある分子の有無や空間分布を分析する。さらに、周囲環境に依存して、吸収もしくは発光の効率やピーク波長が変化する蛍光プローブを用いることで、プローブを発現させた生体分子周囲の化学情報を

取得することもできる。一方、ラマン分光ではこのようなラベルを必要とせず、試料本来の状態を大きく乱さずに分析できる。こうした特徴から、ラマン分光法は、材料評価や生体試料の解析まで、幅広く応用が期待されている<sup>1-5)</sup>。

一方で、自発ラマン分光法には、信号が極めて弱く、測定に時間を要するという欠点がある。自発ラマン散乱の散乱断面積のオーダーは典型的に $\sim 10^{-30}$  cm<sup>2</sup>程度であり、蛍光分子の吸収散乱断面積の $\sim 10^{-16}$  cm<sup>2</sup>と比較してかなり小さい。このためラマン散乱光の効率は低く、得られる信号は微弱である。原理的には、露光量の増加により信号を増大できる。考えられる手段は励起光強度もしくは露光時間の増加であるが、前者はレーザー自体の出力や試料の光損傷に対する耐性に制約があるため、現実的には露光時間を長くせざるを得ず、結果として測定時間が長くなってしまふ。自発ラマン分光は一般に「遅い」測定法と認識されている。

# 「分光法シリーズ」の割引購入のお知らせ

分光学会員特典として、税込み価格の15%引き、送料無料でご購入いただけます（部数制限はありません）。

分光学は、電磁波と物質の相互作用を理解して物質の性質や構造を解明するための学術として発展し、それを利用した分光計測技術も、精密性、感度、速度などの面で飛躍的に発展し続けています。この技術は、社会の安全性や健康を向上させるための分析技術や先端装置の基盤として、産業分野から生命科学、医療、さらに宇宙研究に至るまでの幅広い領域で応用が拡大しています。

本「分光法シリーズ」は、当学会の監修の下、分光学の最先端を追求する専門家たちが執筆しました。分光法そのものを専門とする研究者はもちろん、それを基盤技術としても利用する各学術分野の専門家や企業の研究開発者にも有益な情報を提供することを目的としています。

大学院修士課程以上の研究者や産業界の先進的な専門職にとっては、「分光法シリーズ」は必携の一冊となるでしょう。このシリーズを通じて、分光学の最新の進展とその潜在的な応用分野を深く理解し、研究や開発の新たな方向性を見出すことにも繋がると期待しています。

- 分光法シリーズ1 ラマン分光法 濱口宏夫／岩田耕一・編著 A5, 213頁 4,620円（税込）
- 分光法シリーズ2 近赤外分光法 尾崎幸洋・編著 A5, 286頁 4,950円（税込）
- 分光法シリーズ3 NMR 分光法 阿久津秀雄他・編著 A5, 350頁 5,280円（税込）
- 分光法シリーズ4 赤外分光法 古川行夫・編著 A5, 306頁 5,280円（税込）
- 分光法シリーズ5 X線分光法 辻 幸一／村松康司・編著 A5, 364頁 6,050円（税込）
- 分光法シリーズ6 X線光電子分光法 高桑雄二・編著 A5, 367頁 6,050円（税込）
- 分光法シリーズ7 材料研究のための分光法 一村信吾他・編著 A5, 288頁 5,500円（税込）
- 分光法シリーズ8 紫外可視・蛍光分光法 築山光一／星野翔麻・編著 A5, 336頁 5,940円（税込）
- 分光法シリーズ9 医薬品開発のための分光法 津本浩平他・編著 A5, 288頁 5,500円（税込）

## 2. 申込方法

- (1) 会員各位から学会事務局（office@bunkou.or.jp）宛に下記の必要事項を記載の上、ご注文ください。
- (2) 学会から本シリーズの出版社（株講談社サイエンティフィック）に注文内容を連絡します。
- (3) 出版社から、出版社送料負担にて、会員に書籍を発送いたします。

### 必要事項

書籍名、希望冊数、住所（発送先住所）、氏名、電話番号、会員番号

## 3. 入金方法

請求書を学会事務局より郵送いたします。払込手数料は申込者の負担とさせていただきます。

## 新講座「先端検出器による分光学の新しい展開」を始めるにあたって

### 分光研究編集委員会

分光計測において検出器は、分光器や光源と並ぶ必須機器の1つであり、測定感度、時間分解能、波長分解能のほか、測定可能な対象や応用範囲そのものを規定してきました。写真乾板に始まる検出技術の発展は、分光学の歴史と密接に結びつき、光電子増倍管や半導体検出器の登場は、定量性と安定性を大きく向上させ、シンチレーション検出器は分光計測帯域を飛躍的に拡張させました。さらに、CCDやCMOS技術を用いたアレイ検出器の普及は、写真乾板では困難であった高い定量性と再現性を実現するとともに、空間並列および多波長チャンネルの同時検出を可能にし、分光計測の多次元化と高効率化を大きく推進してきました。近年では、超低雑音化・高速化・大規模集積化といった性能向上に加え、時間分解検出、単一光子検出、空間並列検出などの技術が急速に進展し、従来は原理的あるいは実用的に困難と考えられていた分光測定限界を押し広げつつあります。これらの先端検出器は、分光計測の高感度化・高速化を実現するだけでなく、新しい測定概念や解析手法を生み出し、分光学の応用領域を大きく拡張しています。

このような近年の検出器の著しい発展と、先端検出器により分析の限界を超えようとする試みとを分光学コミュニティのなかで共有するため、小誌では「講座：先端検出器による分光学の新しい展開」と題した連載（全6回）を企画しました。各回のテーマには分光学の立場から興味深いものを選定し、各テーマの執筆は先端検出器の開発、研究、応用の第一線においてご活躍されている方々にお願いしました。予定している6つの記事のタイトルとそれぞれの主執筆者は以下の通りです。

- |     |                                 |                          |
|-----|---------------------------------|--------------------------|
| 第1回 | 微弱光検出器                          | 里園 浩（浜松ホトニクス株式会社）        |
| 第2回 | 最新CMOS イメージセンサの構造と機能（仮題）        | 香川景一郎（静岡大学）              |
| 第3回 | ハイパースペクトルカメラの基礎と応用（仮題）          | 石川 篤（パナソニックホールディングス株式会社） |
| 第4回 | 高解像度イメージングの基礎と応用（仮題）            | 市村垂生（大阪大学）               |
| 第5回 | 天体観測用検出器の基礎（仮題）                 | 小山貴裕，坂井南美（理化学研究所）        |
| 第6回 | 精密波長可変レーザーを活用した単一分子分光の基礎と応用（仮題） | 今田 裕（光州科学技術院，大韓民国）       |

なお本講座は、学生を含む初学者や専門外の読者の“入門書”を提供することを目的としています。本講座が読者方々の研究および勉強の一助になりましたら編集委員会一同幸いです。

## 微弱光検出器

里園 浩

浜松ホトニクス株式会社 静岡県浜松市浜名区平口 5000 (〒434-8601)

(2025年12月21日受領, 2026年1月21日受理)

Weak Light Detectors

Hiroshi SATOZONO

Hamamatsu Photonics K. K., 5000, Hirakuchi, Hamakita-ku, Hamamatsu, Shizuoka 434-8601, Japan

(Received December 21, 2025; Accepted January 21, 2026)

Research on photodetectors for detecting weak light has been conducted for many years, and various products are commercially available. In recent years, their importance has grown further alongside advances in new fields such as quantum technology. This paper explains the characteristics of single-point weak light detectors from the perspective of SNR, which characterizes weak light detectors. Then provides an overview of representative weak light detectors.

**Keywords:** Photomultiplier Tube (PMT), Avalanche Photodiode (APD), Single Photon Avalanche Diode (SPAD), Silicon Photomultiplier (SiPM), Superconducting Single Photon Detector (SSPD), Single Photon Counting

## 1. はじめに

微弱な光を検出したいという要求は古くから存在し、それを実現する微弱光検出器は、これまで多くの研究がなされ、様々な製品が市販されるようになった。現在では基本的な計測技術の一つとなっているが、近年、量子技術などの新しい分野の進展に伴って、その重要性はさらに高まっている。

本稿では最も基本的なシングルポイントの微弱光検出器について説明したい。最初にSignal Noise Ratio (SNR)の観点から、光電子増倍管 (Photomultiplier Tube : PMT)、アバランシェフォトダイオード (Avalanche Photodiode : APD)、シリコンフォトマルチプライヤ (Silicon Photomultiplier : SiPM) と言った代表的な微弱光検出器について、その違いを説明する。次に、それぞれの光検出器の最近の状況について、市販の入手可能な製品を中心に解説する。最後に、超伝導状態を利用して非常に高い光検出性能を実現した、超伝導転移端センサ (Transition Edge Sensor : TES) や超伝導ナノワイヤ単一光子検出器 (Superconducting Single Photon Detector : SSPD) について簡単に紹介する。

なお、本稿ではSingle Photonを単一光子と表記し、時間当たりのパルスカウント数を表す単位としてcps (counts per second) を用いる。

## 2. 光検出器のSNR

光検出器のSNRを考えるために、光電変換部、増倍部、信号読み出し部の3つの要素からなる、簡略化されたモデルを図1に示す。

このモデルにおいて信号として得られる光電子は、入射光子数を $P$ 、光電変換の量子効率を $Q$ 、増倍率を $M$ とすると、それぞれの積である $MQP$ となる。

光電子のノイズは、増倍前の光電子のショットノイズ $\sqrt{QP}$ に増倍率を乗じた $M\sqrt{QP}$ で表すことができる。同様に、暗電流に由来する電子 (ダークカウント) $D$ に対する雑音は $M\sqrt{D}$ となる。一方、電子増倍には揺らぎが存在するため、増倍後のノイズは増加する。この増倍揺らぎによるノイズの増加率を過剰雑音係数 $F$ と呼び、ノイズの分散の増加率で定義される。したがって最終的な光電子および暗電流の雑音はそれぞれ $M\sqrt{F}\sqrt{QP}$ 、 $M\sqrt{F}\sqrt{D}$ となる。過剰雑音係数は最終増倍率には寄らず、増倍段数に依存し、段数が多いほど増加する。具体的には、増倍機構の無いPD、TES、SSPDでは1、単段増倍のSiPMで1.1~1.2程度、多段増倍のPMTでは1.2~1.4程度、APDは動作電圧に依存するが概ね1.5~4程度となる。SPADのような単一光子検出器もしくはフォトンカウンティング計測においては、単一光子が一

## 賛 助 会 員 名 簿

(株)アイ・アール・システム	(株)ダイナリサーチラボ
(株)IHI	竹田理化工業(株)
旭化成(株)基盤技術研究所	(株)ティー・イー・エム
artience (株)	(株)デジタルデータマネジメント
(株)アドバンテスト	デルフトハイテック(株)
(株)エス・ティ・ジャパン	テレデザイン・ジャパン(株)
MSH システムズ(株)	(株)東京インスツルメンツ
(株)エルエイシステムズ	(株)トプコン
大原薬品工業(株)	(株)東レリサーチセンター
オーシャンフォトニクス(株)	中野電子工業(株)
(株)オプトサイエンス	(株)ナノシード
(株)オプトライン	(株)日本サーマル・コンサルティング
(株)オプトロニクス社	日本電子(株)
オリンパス(株)	(株)日本レーザー
カンタム・ウシカタ(株)	日本分光(株)
倉敷紡績(株)技術研究所	パーキンエルマー(台)
クロマテクノロジージャパン(台)	パナソニックホールディングス(株)
ケイエルブイ(株)	浜松ホトニクス(株)
ケイ・ジェイ(株)	ピアアプティックス(株)
京セラSOC (株)	(株)日立ハイテック
コニカミノルタ(株)センシング事業本部	フォトテクニカ(株)
コヒレント・ジャパン(株)	(株)フォトンデザイン
サーモフィッシャーサイエンティフィック(株)	富士フイルム(株)
JFE スチール(株)	(株)ブリヂストン
JFE テクノリサーチ(株)	ブルカー・ジャパン(株)
(株)システムズエンジニアリング	(株)分光科学研究所
(株)島津製作所	分光計器(株)
信越化学工業(株)	(株)堀場製作所
真空光学(株)	(株)三井化学分析センター
(株)スペクトラ・コープ	メトロームジャパン(株)
スペクトラ・フィジックス(株)	(株)ユニソク
西進商事(株)	(株)リガク
(株)相馬光学	レニショー(株)
ソーラボジャパン(株)	(株)ロンビック 樹脂検査分析センター

2025年 11月 25日現在の本学会賛助会員は上記のとおりです。本学会の事業に対しご賛助いただき厚く御礼申し上げます。(五十音順)