

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15227

研究課題名（和文）蛍光エンコーディングによる超高感度ラマン分光

研究課題名（英文）Super-sensitive Raman spectroscopy by fluorescence encoding

研究代表者

平松 光太郎（Hiramatsu, Kotaro）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・助教

研究者番号：60783561

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：時間領域でのラマン分光計測と蛍光エンコーディング法を融合することにより，Fluorescence-encoded time-domain coherent Raman spectroscopy (FLETCHERS)を開発し，低振動数領域（200-750  $\text{cm}^{-1}$ ）での高感度ラマン分光計測を実現した．FLETCHERSでは，分子振動を超短パルス光で一斉に励起し，その時間発展を別の超短パルス光によって計測される蛍光の強度変化によって計測する．Rhodamine 800を測定対象としてFLETCHERSの原理検証実験を行い，濃度250 nMの溶液での振動スペクトル計測が可能であることを実証した．

研究成果の学術的意義や社会的意義

ラマン分光法は化学分析やバイオイメージングにおける計測モダリティとして広く用いられている．ラマン分光は無標識に分子構造情報を得られる強力な手法である一方で，その感度の低さから応用範囲が限定されている．本研究で開発したFLETCHERSは蛍光分子の振動スペクトルを高感度に検出でき，バイオイメージングの多色化，材料中の欠損の評価，1分子レベルでの環境ゆらぎの検出などへの応用が期待される．

研究成果の概要（英文）：Fluorescence-encoded time-domain coherent Raman spectroscopy (FLETCHERS) was developed by combining time-domain Raman spectroscopy and fluorescence encoding to achieve highly sensitive Raman spectroscopy in the low-frequency region (200-750  $\text{cm}^{-1}$ ). FLETCHERS is a time-domain coherent Raman spectroscopy technique that uses a single ultrashort pulse of light to excite molecular vibrations and measure the temporal evolution of the vibrations by changing the intensity of the fluorescence measured by another ultrashort pulse of light. We have demonstrated that it is possible to measure the vibrational spectrum of Rhodamine 800 in a solution with a concentration of 250 nM.

研究分野：分子分光学

キーワード：蛍光エンコーディング ラマン分光法 振動分光法 蛍光

### 1. 研究開始当初の背景

ラマン分光法は化学分析やバイオイメージングにおける計測モダリティとして広く用いられている。ラマン分光は無標識に分子構造情報を得られる強力な手法である一方で、その感度の低さから応用範囲が限定されている。表面増強ラマン散乱 (Surface-enhanced Raman scattering: SERS) をはじめとする様々な高感度化がこれまでに提案・実証されてきた。しかしながら、SERS では金属ナノ粒子近傍の分子のみを高感度に計測するため、再現性や生体適合性が低いという問題がある。

表面プラズモン共鳴に頼らない振動分光計測の高感度化の方法として、蛍光エンコーディング法が近年注目されている。蛍光エンコーディング法では、振動励起状態の分布を電子励起状態へと遷移させることで蛍光強度の変調として読み出す方法である。それにより、振動分光法の高い化学的特異性を保ちつつ、蛍光分光法と同等の感度を得ることができる。これまで、赤外活性・ラマン活性な振動モードの蛍光エンコーディング計測が報告されているが、測定帯域が  $1500\text{ cm}^{-1}$  以上でかつ狭帯域の計測に限定されている。指紋領域から低振動数領域の振動分光計測を高感度化することができれば、蛍光タンパク質の構造情報の取得や計測する分子と周辺分子との相互作用に伴う振動など新たな分子科学研究を展開することができる。

### 2. 研究の目的

本研究では、時間領域でのラマン分光計測と蛍光エンコーディング法を融合することにより、Fluorescence-encoded time-domain coherent Raman spectroscopy (FLETCHERS)を開発し、低振動数領域 ( $200 - 750\text{ cm}^{-1}$ ) での高感度ラマン分光計測を目的とする。FLETCHERS では、分子振動を超短パルス光で一斉に励起し、その時間発展を別の超短パルス光によって計測される蛍光の強度変化によって計測する。本研究では、Rhodamine 800 を測定対象として FLETCHERS の原理検証実験を行い、nM レベルの溶液での振動スペクトル計測の実証をゴールとする。

また、若手研究最終年度である 2022 年度には、FLETCHERS を用いたバイオイメージングへの応用を予定している。2021 年度において、FLETCHERS を用いたイメージング光学系の開発を進めているが、仮に FLETCHERS を用いて 1 分子感度を実現することができれば、1 分子蛍光イメージングに基づく超解像振動分光イメージングや 1 分子振動スペクトルのピーク位置に基づく分子周辺環境の不均一性の研究など、その応用可能性が大きく広がることとなる。そのため、若手研究課題の発展的内容として基盤 B 研究を早期に開始し、1 分子感度の実現とイメージング装置の開発を並行して行うことで、最終的に得られる成果のインパクトを向上させ、その後の生命科学・物質科学分野における応用研究への展開を加速させることが出来ると考え、基盤 B 研究への前年度応募を行った。結果として採択され若手研究としての研究機関は当初の予定から 1 年繰り上げられたため、イメージングの内容に関しては本報告書には掲載しない。

### 3. 研究の方法

本研究では 2 年間の研究期間中に以下の 3 つの研究項目を遂行した。

(a) FLETCHERS 光学系の構築, (b) 蛍光色素溶液を用いた FLETCHERS 分光法の原理検証および性能評価, (c) FLETCHERS 測定に最適なラマンタグの開発

蛍光色素溶液を用いた FLETCHERS 分光法の原理検証を行い、FLETCHERS を生命科学研究ツールとして利用できる道筋をつけることが本研究課題の目標である。具体的には、各研究項目は以下の計画で進める。

#### (a) FLETCHERS 光学系の構築

これまでに開発した TDCRS 分光装置を拡張し、FLETCHERS 光学系を開発する。フェムト秒レーザーからの出力を 2 分割し、ポンプ・プローブ光としてサンプルに照射する。ポンプ-プローブ間の遅延を、レゾナントスキャナを用いた光学系で高速走査 ( $24\text{ kHz}$ ) し、各遅延時間での蛍光強度をフォトンカウンティング法によって定量する。高速走査により、レーザー強度の揺らぎや蛍光色素の退色による誤差の影響を最小限に抑え、高感度な FLETCHERS 検出を目指す。

#### (b) 蛍光色素溶液を用いた FLETCHERS 分光法の原理検証および性能評価

FLETCHERS で検出できる色素として、光源の発振波長である  $750 - 850\text{ nm}$  ( $11764 - 13333\text{ cm}^{-1}$ ) では電子状態が励起されないが、分子振動のエネルギー ( $400 - 1600\text{ cm}^{-1}$ ) が加わることによって電子状態が励起されるような分子が望ましいと想定される。すなわち、 $670 - 750\text{ nm}$  ( $13,333\text{ cm}^{-1} - 14,925\text{ cm}^{-1}$ ) に吸収を有し、蛍光強度が強い分子を原理検証用の試料として用いる。様々な分子の測定・解析を通してどのような電子状態、振動モードにおいて信号が強くなる

かの解析を行い、(c)におけるラマンタグ開発の指針とする。

### (c) FLETCHERS 測定に最適なラマンタグの開発

開発した FLETCHERS では、通常のラマン分光のように生体内分子をそのまま測定することは出来ないため、実際に生命科学研究のツールとして用いるには、FLETCHERS 信号を強く発生するラマンタグ分子の開発が必要となる。(b)で用いた分子に様々な官能基を付加することで分子振動数を変調し、スペクトル形状を変化させる。蛍光計測に比べたときの FLETCHERS の利点は色数の多さであるが、おおよそ帯域 ( $400-1600\text{ cm}^{-1}$  程度) と線幅 ( $10\text{ cm}^{-1}$  程度) の比から 80 色程度の超多色イメージングが可能である。研究機関中に 80 色分のラマンタグを合成するのは困難であるため、まずは 3-5 色程度の分子を合成し、超多色化への道筋を示すことを目的とする。

## 4. 研究成果

### (a) FLETCHERS 光学系の構築

FLETCHERS では図 1a に示すスキームで分子振動の計測を行う。広帯域な pump 光を分子に照射することで、ラマン活性な分子振動をコヒーレントに励起する。遅延時間  $\tau_{\text{delay}}$  の後に probe 光を分子に照射し、それによって生じる蛍光の強度を  $\tau_{\text{delay}}$  の関数として計測する。得られたインターフェログラムをフーリエ変換することで振動スペクトルを取得することができる。Pump, probe 光はそれ自身の 1 光子過程では分子の電子励起を誘起しない、かつ、分子振動のエネルギーが加算されたときに電子励起を誘起するようにスペクトルを整形する。図 1b に実際に開発した FLETCHERS 光学系である。フェムト秒レーザー (Coherent, Vitara-T-HP, 中心波長 800 nm, スペクトル半値全幅 100 nm, 繰り返し周波数 80 MHz) からの出力をマイケルソン干渉計へと導入し、pump-probe パルス対を生成する。生成されたパルス対は波長フィルターで上記の条件を満たすようにスペクトル整形し、高 NA の対物レンズを用いてサンプルへと照射する。サンプル前方では青方に発生する散乱光を  $\tau_{\text{delay}}$  の関数として計測することで、Fourier-transform coherent anti-Stokes Raman scattering (FT-CARS) 分光計測を行う。後方では、発生した蛍光信号を光子カウンティングモジュールを用いて測定し、FLETCHERS 計測を行う。蛍光光子は光学遅延走査と同期させた Time-correlated single-photon counting (TCSPC) 法を用いて計数することで、高感度な遅延依存蛍光強度の測定を実現した。

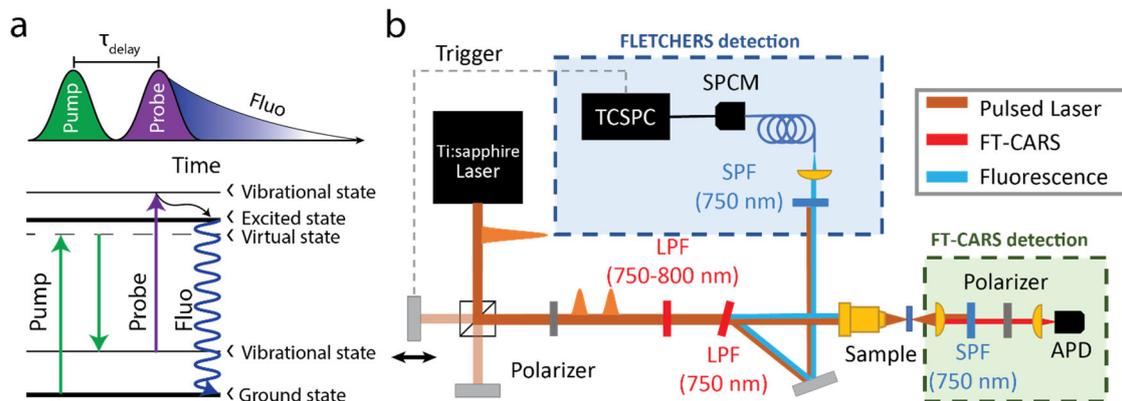


図 1. FLETCHERS のコンセプト。(a) 原理. Pump パルスによってラマン活性な分子振動をコヒーレントに励起する。遅延時間  $\tau_{\text{delay}}$  後に照射される Probe パルスによって生じる蛍光を様々な  $\tau_{\text{delay}}$  について計測することで、分子振動の時間発展を計測する。(b) FLETCHERS 光学系の概略図。フェムト秒レーザーからの出力をマイケルソン干渉計で分割し、パルス対を生成する。生成したパルス対をサンプルへと照射し、各遅延時間で発生する蛍光強度を光子カウンティング法で計数する。

### (b) 蛍光色素溶液を用いた FLETCHERS 分光法の原理検証および性能評価

図 2 に Rhodamine 800 のエタノール溶液 (濃度  $10\text{ }\mu\text{M}$ ) で計測した FLETCHERS インターフェログラム及びスペクトルを示す。図 2a に示すインターフェログラムは  $\tau_{\text{delay}}$  を走査して測定した蛍光強度から、非振動成分をフィッティングによって除去したものである。複数の振動成分が計測されており、分子振動情報の蛍光エンコーディングが時間領域できていることが示されている。蛍光インターフェログラムのフーリエ変換によって得られるスペクトル (図 2b, 赤線) では、229 および  $475\text{ cm}^{-1}$  にピークが観測された。これらは DFT 計算によって得られる振動数とよく一致している。FT-CARS 計測では  $475\text{ cm}^{-1}$  のピークは再現されたが、より低波数の  $229\text{ cm}^{-1}$  のピークは FT-CARS 計測が低振動数領域で感度が低いために再現されなかった。FLETCHERS を用いることで、FT-CARS と比較してより低波数のピークを高感度に計測できることが示された。

より詳細に本手法の検出限界を見積もるために、信号強度のサンプル濃度依存性を調べた。図 3 は Rhodamine 800 溶液から得られる FLETCHERS 信号の濃度依存性であるが、 $250\text{ nM}$  でも信号のゆらぎの標準偏差よりも十分大きい信号強度が得られており、 $250\text{ nM}$  以下の検出限界を有

することが示された。本実験の条件では、250 nM は focal volume 内に 12 分子程度存在する濃度に対応しており、今後、1 桁程度の感度向上を行うことで 1 分子振動分光計測が実現すると期待される。

FLETCHERS は振動分光法のもつ豊富な分子構造情報と、蛍光分光法のもつ非常に高い検出感度を同時に実現できる方法である。特に、本研究では、これまでの蛍光エンコーディング法では実現されていなかった、低振動数領域の分子振動計測を実現した。仮に 1 分子感度で FLETCHERS 計測すれば、振動スペクトル情報を有する超解像スペクトラルイメージングへの応用も視野に入る。今後は、入射光の波長、スペクトル形状や遅延走査メカニズムの最適化によって装置の高感度化を進めるとともに、1 分子イメージングとの融合をすすめて、1 分子振動分光イメージングの実現を目指す。

### (c) FLETCHERS 測定に最適なラマンタグの開発

強い FLETCHERS 信号を発生するラマンタグとして、シアニン色素をベースとして約 650 nm に吸収を有するラマンタグを開発した (図 4)。末端に異なる官能基を導入することで (図 4 の場合は水素とメチル基) 有意に FLETCHERS スペクトルを変化させられ、線形独立なタグとして使用できることが示された。

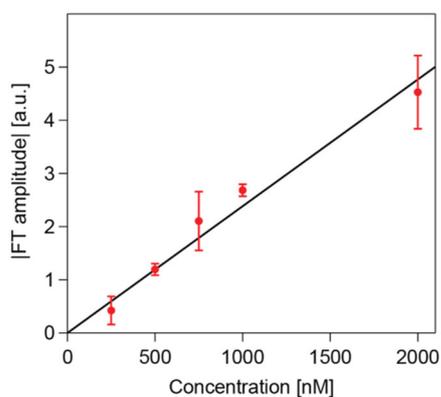


図 3. Rhodamine 800 溶液の FLETCHERS 信号 ( $475\text{ cm}^{-1}$ ) の濃度依存性.

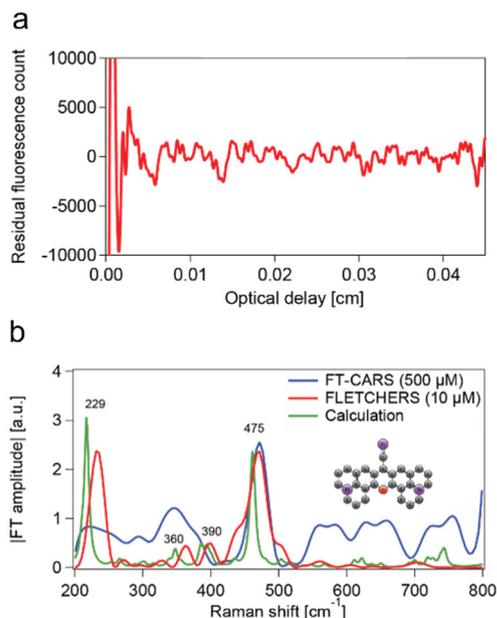


図 2. FLETCHERS の原理検証測定. (a) Rhodamine 800 溶液の 蛍光インターフェログラム. 縦軸が蛍光強度で横軸が pump-probe 遅延( $\tau_{\text{delay}}$ ). (b) 蛍光インターフェログラムのフーリエ変換によって得られる FLETCHERS スペクトル (赤). 比較のために、FT-CARS スペクトル (青) 及び密度汎関数法による計算で得られたスペクトル (緑) を示した.

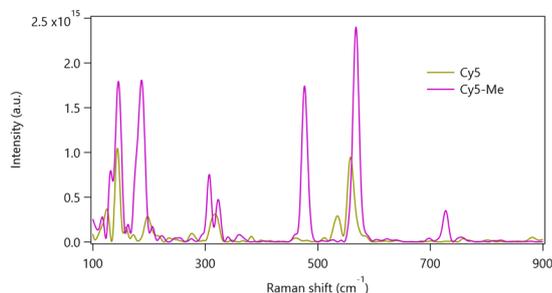


図 4. 新規開発した FLETCHERS 用タグの FLETCHERS スペクトル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lindley Matthew, Gala de Pablo Julia, Peterson Walker, Isozaki Akihiro, Hiramatsu Kotaro, Goda Keisuke	4. 巻 2022
2. 論文標題 High Throughput Raman Activated Cell Sorting in the Fingerprint Region	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Materials Technologies	6. 最初と最後の頁 2101567 ~ 2101567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/admt.202101567	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Peterson Walker, de Pablo Julia Gala, Lindley Matthew, Hiramatsu Kotaro, Goda Keisuke	4. 巻 4
2. 論文標題 Ultrafast impulsive Raman spectroscopy across the terahertz-fingerprint region	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Photonics	6. 最初と最後の頁 16003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.AP.4.1.016003	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lindley Matthew, Gala de Pablo Julia, Kinegawa Ryo, Hiramatsu Kotaro, Goda Keisuke	4. 巻 46
2. 論文標題 Highly sensitive Fourier-transform coherent anti-Stokes Raman scattering spectroscopy via genetic algorithm pulse shaping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 4320 ~ 4320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.434054	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 McCann Phillip C., Hiramatsu Kotaro, Goda Keisuke	4. 巻 12
2. 論文標題 Highly Sensitive Low-Frequency Time-Domain Raman Spectroscopy via Fluorescence Encoding	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 7859 ~ 7865
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c01741	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gala de Pablo Julia, Lindley Matthew, Hiramatsu Kotaro, Goda Keisuke	4. 巻 54
2. 論文標題 High-Throughput Raman Flow Cytometry and Beyond	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 2132 ~ 2143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.1c00001	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gala de Pablo Julia, Lindley Matthew, Hiramatsu Kotaro, Goda Keisuke	4. 巻 54
2. 論文標題 High-Throughput Raman Flow Cytometry and Beyond	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 2132 ~ 2143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.1c00001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kameyama Risako, Takizawa Shigekazu, Hiramatsu Kotaro, Goda Keisuke	4. 巻 8
2. 論文標題 Dual-Comb Coherent Raman Spectroscopy with near 100% Duty Cycle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 975 ~ 981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.0c01656	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Jorgen Walker Peterson, Matt Lindley, Julia Gala de Pablo, Kotaro Hiramatsu, Keisuke Goda
2. 発表標題 THz-fingerprint coherent Raman spectroscopy at over 20,000 spectra/sec
3. 学会等名 High-Speed Biomedical Imaging and Spectroscopy VII, SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tinghui Xiao, Zhengyi Luo, Kotaro Hiramatsu, Akihiro Isozaki, Tamitake Itoh, Zhenzhou Cheng, Masahiro Nomura, Satoshi Iwamoto, Keisuke Goda
2. 発表標題 Chiral-field-enhanced Raman optical activity by a silicon nanodisk array
3. 学会等名 Biomedical Vibrational Spectroscopy 2022: Advances in Research and Industry, SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tinghui Xiao, Nan Chen, Zhengyi Luo, Yasutaka Kitahama, Kotaro Hiramatsu, Naoki Kishimoto, Tamitake Itoh, Zhenzhou Cheng, Keisuke Goda
2. 発表標題 Porous carbon nanowires for plasmon-free SERS
3. 学会等名 Biomedical Vibrational Spectroscopy 2022: Advances in Research and Industry, SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kotaro Hiramatsu
2. 発表標題 High-speed Fourier-transform spectroscopy by non-mechanical cavity modulation
3. 学会等名 Smart Photonic and Optoelectronic Integrated Circuits 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kotaro Hiramatsu, Keisuke Goda
2. 発表標題 Raman image-activated cell sorting and beyond
3. 学会等名 Advanced Chemical Microscopy for Life Science and Translational Medicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kotaro Hiramatsu
2. 発表標題 Raman flow cytometry on a chip
3. 学会等名 High-Speed Biomedical Imaging and Spectroscopy VII, SPIE Photonics West (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平松 光太郎
2. 発表標題 蛍光エンコーディングによる超高感度ラマン分光計測
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平松 光太郎
2. 発表標題 高スループットラマンフローサイトメーターによる多細胞分析
3. 学会等名 レーザー顕微鏡研究会第46回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ピーターソン ウォーカー, ガラデパブロー, ジュリア, リンドリー マット, 平松 光太郎, 合田 圭介
2. 発表標題 プローブ光の位相遅延と周波数シフトの同期検出による低波数領域と指紋領域の超高速インパルス・ラマン分光法
3. 学会等名 2021年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Phillip McCann, Kotaro Hiramatsu, Keisuke Goda
2. 発表標題 Fluorescence-Encoded Time-Domain Coherent Raman Spectroscopy
3. 学会等名 2021年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 滝沢繁和, 平松 光太郎, 合田圭介
2. 発表標題 圧縮フーリエ分光イメージング: シミュレーションによる検討
3. 学会等名 2021年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平松 光太郎, 陳南, 肖廷輝, Zhenyi Luo, 北濱康孝, 岸本直樹, 伊藤民武, 程振洲, 合田圭介, 合田圭介
2. 発表標題 プラスモンフリーSERSのための多孔質カーボンナノワイヤー
3. 学会等名 2021年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平松 光太郎, 肖廷, Zhenyi Luo, 磯崎瑛宏, 伊藤民武, 程振洲, 野村政宏, 岩本敏, 合田圭介
2. 発表標題 シリコンナノディスクアレイを用いたキラル場増強ラマン光学活性
3. 学会等名 2021年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Hiramatsu, Keisuke Goda
2. 発表標題 Raman spectroscopy and imaging of single cells in flow
3. 学会等名 SciX2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下川 涼, ガラ デ パブロ ジュリア, 王 弋, 平松 光太郎, 合田 圭介
2. 発表標題 四波混合・第二次高調波イメージングフローサイトメトリー
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Risako Kameyama, Sigekazu Takizawa, Kotaro Hiramatsu, Keisuke Goda
2. 発表標題 Fast, sensitive dual-comb CARS spectroscopy with a quasi-dual-comb laser
3. 学会等名 High-Speed Biomedical Imaging and Spectroscopy VI, Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Phillip Charles McCann, Kotaro Hiramatsu, Keisuke Goda
2. 発表標題 Fluorescence-encoded time-domain coherent Raman spectroscopy through single-photon counting
3. 学会等名 Single Molecule Spectroscopy and Superresolution Imaging XIV, Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亀山 理紗, 滝沢 繁和, 平松 光太郎, 合田 圭介
2. 発表標題 擬デュアルコム光源による高速コヒーレントラマン分光法
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jorgen Walker Peterson, Matt Lindley, Julia Gala de Pablo, Kotaro Hiramatsu, Keisuke Goda
2. 発表標題 High-speed low-frequency vibrational spectroscopy using a Sagnac interferometer
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中尾 龍二, 平松 光太郎, 橋爪里奈, 那須 雄介, Robert E. Campbell, 合田 圭介
2. 発表標題 ラベルフリー代謝工学に向けたラマンフローサイトメーターの開発
3. 学会等名 量子生命科学会 第二回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 亀山 理紗子, 平松 光太郎, 合田 圭介
2. 発表標題 繰り返し周波数変調による高速コヒーレントラマン分光法
3. 学会等名 分子科学会オンライン討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 SYSTEMS AND METHODS FOR COLOR-SCALABLE FLOW CYTOMETRY WITH RAMAN TAGS	発明者 Kotaro Hiramatsu, et al.	権利者 BaySpec, Inc.
産業財産権の種類、番号 特許、1.米国特願17/724462	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------