

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2022

課題番号：16K06390

研究課題名(和文) 実用的1.8 μ m帯新規光源ならび汎用的in situ光センシング技術確立の研究

研究課題名(英文) Development of new 1800 nm band light sources and their application to near-infrared spectroscopy

研究代表者

山田 誠 (Yamada, Makoto)

大阪公立大学・大学院工学研究科 ・教授

研究者番号：10508401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：1.8 μ m帯で動作する実用的な広帯域光源及び波長可変光源を実現した。実現したSLD光源とTm添加光ファイバ増幅器を組み合わせた新規のハイブリッド光源は、出力帯域幅：333 nm(1578～1911 nm)、出力15dBm以上の特性を有する。波長可変半導体レーザー光源はInGaAsPチップと音響光学波長可変フィルタを用いて実現した。発振波長域は1650～1740 nm、パワーは～3dBmである。さらに、それらの光源を用いた近赤外分光系を構築してエタノール溶液評価、プラスチック材の評価、水中のアンモニア、CO₂濃度評価への適応の可能性を検討し、各々の評価が可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1.8 μ m帯は水の吸収が少なく光窓波長域であり、またC-H結合等に起因する吸収ピークが存在するため、水溶液中に溶解した有機溶剤の評価に適する波長帯である。またその他の物質の評価にも適用可能な波長帯で有ると考えられる。従ってこの波長域における近赤外分光を行うことで、非破壊で且つ高速な各種評価が可能である。本研究では、この波長域で動作する実用的光源を実現すると共に、エタノール溶液評価、プラスチック材の評価、水中のアンモニア、CO₂濃度評価を行う近赤外分光系を構築し、各々が評価可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A practical broadband light source and wavelength tunable light source operating in the 1800 nm band were realized. The realized broadband light source is a new hybrid light source that combines an SLD light source and a Tm doped optical fiber amplifier optical fiber amplifier. The achieved output bandwidth is 333 nm (1578～1911 nm) and the output power is over 15 dBm. A wavelength tunable semiconductor laser source was also realized using InGaAsP chip and an acousto-optic wavelength tunable filter. The lasing wavelength range is 1650-1740 nm, and the power is over 3 dBm. Furthermore, a near-infrared spectroscopic system was constructed using these light sources. Using the system, the applicability to ethanol solution evaluation, plastic material evaluation, ammonia in water, and CO₂ concentration evaluation was examined, and it was clarified that each evaluation is possible.

研究分野：光増幅技術及びレーザー技術分野とそれを用いた計測分野

キーワード：光ファイバ増幅 Tm添加ファイバ 広帯域光源 波長可変半導体レーザー光源 近赤外分光 エタノール溶液評価 プラスチック材評価 水中のアンモニア、CO₂濃度評価

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 1.7~1.8 μm 帯光センシング及び同波長域光源開発の意義

近年、食の安全等を向上するために HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) 方式を取り入れた工程管理が進められている。そのコンセプトは、従来の抜き取り検査をするのではなく製造工程において重要管理点を特定して、同管理点を in situ 測定をすると共に不良製品の出荷を未然に防ぐものである。このため同監視・記録に近赤外分光法を取り入れることが検討され、研究開発が精力的に進められている。

近赤外分光において、図1に示すように 1.7~1.8 μm 帯は水の吸収が少なく光窓波長域であり、また C-H 結合等に起因する吸収ピークが存在するため、水溶液中に溶解した有機溶剤の評価に適する波長帯である。以上のことより、種々の有機物を含む水溶液を高精度で観測するために、同波長域をカバーする高出力な広帯域光源が必要となる。また、広帯域光源を用いた観測後、特定の有機溶剤の吸収波長を観測し、有機溶剤の溶解濃度、種類を評価する実用的な光センシングシステムを構築するために、同波長域で動作する半導体レーザーが必要となる。

表1に本波長域で動作可能な広帯域光源の特徴及び課題を示す。スーパーコンティニウム(SC)光源は非常に高価で、安定性に大きな課題を有していた。ASE (Amplified Spontaneous Emission)光源及び SLD (Super Luminescent Diode)光源は低価格であるため汎用的な光源を実現するのに有利である。また、ASE光源は、特定の波長域での高出力化が可能であり、波長依存性が小さく、低発熱性を有する等の特徴を有する。SLDは出力が小さいという大きな欠点を有するが最も小型で低価格を実現できる光源である。波長可変レーザーは、汎用性に富み、光ファイバ通信の光源開発により低価格が可能になってきているが、本波長域で動作する同光源はない。

以上の観点より、本研究では、小型で低価格である SLD を基本とした新規の実用的広帯域光源の実現を目指す。また、同光源を用いて医療・製薬、生物生産などの光センシング応用の探索を行う。

さらに、実用的・汎用的光センシングシステム構築を目指して、現在市販品のない 1.7~1.8 μm 帯で動作する半導体レーザー及び波長可変レーザーに関しても実現を目指す。

(2) 1.7~1.8 μm 帯光センシング技術の現状と本開発の光センシングシステムの意義

同波長域の一般的な分析方法は、ハロゲンランプ等を光源に用いたフーリエ変換赤外分光計 (FTIR) である。しかし、同分析装置は高額 (一般的には 500 万円以上) 且つ大型であり、工程管理のため製造現場への設置には不向きである。また、in situ 測定には適さない。本研究は、低価格・小型である 1.7~1.8 μm 帯半導体レーザー或いは波長可変レーザー用いて光センシングシステムを構築するため、装置サイズとコスト抑え、実用的な価格で in situ 測定システムを実現できることに優位性が有る。

2. 研究の目的

以下の2項目を目的とする。

(1) 1.7~1.8 μm 帯で動作する実用的(広帯域・高出力・高安定)な広帯域光源と、半導体レーザー及び波長可変レーザーの実現

SLD光源と Tm³⁺添加光ファイバ増幅器光ファイバ増幅器を組み合わせた新規な光源研究開発を行い、実用的な光源を目指す出力光をモニタすることで、出力光の安定性に関して向上を図る。また、in situ 光センシングシステム用の光源として、半導体レーザー及び波長可変レーザーも開発する。

(2) in situ 光センシングシステムの実現

新たに開発した広帯域光源を用いて、本波長帯で光センシングが有用となる応用先を広く探索する。

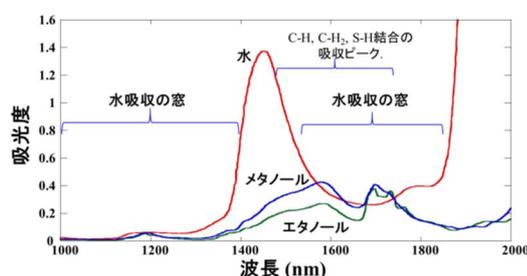


図1 1.7~1.8 μm 帯の水吸収窓

表1 各種広帯域光源の特徴および課題

	特徴	課題
SC光源	・広帯域	・安定性化 ・低価格化 (現在500-600万円)
波長可変LD光源	・単一波長発振光のスキヤーン	・市販品無 (動作波長域: 1.7~1.8μm)
SLD光源	・波長依存性小 ・超小型 ・低価格	・高出力化
ASE光源	・特定の波長域での高出力化可能 ・波長依存性小 ・小型化可能 ・低価格化可能	・高安定化 ・広帯域化

3. 研究の方法

(1) 1.7~1.8 μm 帯光源基盤技術

高安定広帯域光源

SLD 光源と Tm³⁺ 添加光ファイバ増幅器光ファイバ増幅器(TDFA)を直列接続した新規光源の研究として、複数のピーク波長を有する SLD と TDFA の最適化により広帯域化を図る。

半導体レーザー・波長可変レーザー

共同研究を進めている企業の 1.7~1.8 μm 帯半導体増幅 InGaAsP チップを用い単一波長発振レーザーを実現する。

(2) in situ 光センシング技術の確立

開発した広帯域光源、波長可変半導体レーザー光源を用いて、以下の光センシング応用を検討する。

エタノール溶液評価

お酒のアルコール濃度評価は、現在、浮ひょう法が用いられているが、評価に手間と時間がかかり、簡便な評価法の実現が期待されている。

プラスチック材の評価

プラスチック材のリサイクル率を向上させるためには、廃棄プラスチックの種類を簡易かつ迅速に分別する方法が不可欠であり、対象を瞬時かつ非破壊で測定できる近赤外分光の適応を検討した。また、プラスチック材の使用環境における特性劣化の評価への適応も合わせて検討を行った。

水中のアンモニア、CO₂ 濃度評価

アンモニアは生体に有毒であり、特に魚類に対しては呼吸困難や赤血球の減少などの中毒症状を引き起こす可能性を有する。そのため、通年で行われる水中のアンモニアの濃度の監視は魚類の養殖の品質向上において重要である。また、水中の CO₂ 濃度評価は魚類の養殖や地球温暖化の予測に必要である。このため、1.7 μm 帯の近赤外分光によりアンモニア濃度と CO₂ 濃度評価できる可能性を検討した。

4. 研究成果

(1) 1.7~1.9 μm 帯光源基盤技術

高安定広帯域光源

SLD 光源のピーク波長と TDFA を組み合わせた新規ハイブリッド光源（構成は図 2 参照）により、図 3 に示す広帯域光源を実現した。1660 nm 帯 SLD モジュールと Tm 添加ファイバ長が 2m の TDFA を用いることで帯域幅：333 nm(1578~1911 nm) 及び出力 15dBm 以上の広帯域・高出力特性を有する光源が実現した。

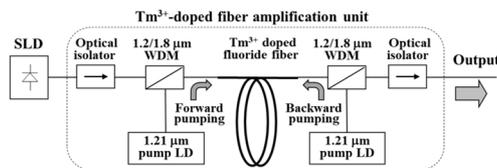


図 2 広帯域光源の構成

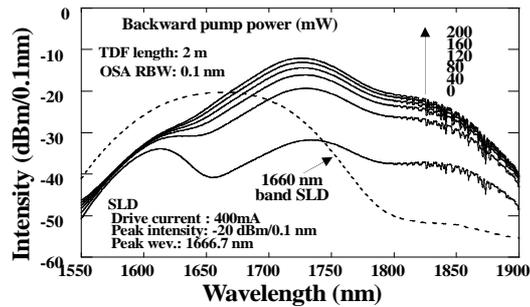


図 3 広帯域光源の出力スペクトル

半導体レーザー・波長可変レーザー

図 4 に示す 1.7~1.9 μm 帯半導体増幅 InGaAsP チップと AOFT(音響光学波長可変フィルタ)等を用いた構成により、波長可変半導体レーザーを実現した。図 5 に発振波長スペクトルを示す。発振波長域は 1650~1740 nm、パワーは~3dBm である。

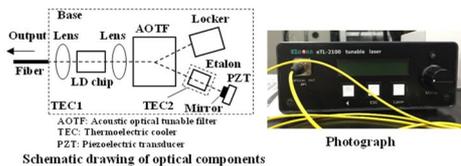


図 4 波長可変半導体レーザーの構成

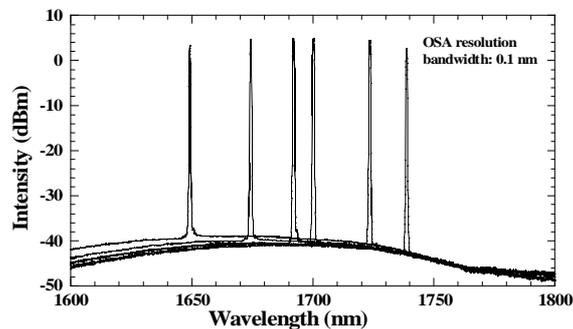


図 5 波長可変半導体レーザーの出力スペクトル

(2) in situ 光センシング技術の確立

開発した広帯域光源、波長可変半導体レーザ光源を用いて以下の光センシング応用の検討を実施した。

エタノール溶液評価

図6に示す広帯域光源(ハイブリッド光源)を用いた評価系で、日本酒に比べてアルコール度数の高い焼酎についての濃度評価を検討した。お酒のアルコール濃度評価は、現在、浮ひょう法が用いられているが、評価に手間と時間がかかり、簡便な評価法の実現が期待されている。

本方法では測定した吸収スペクトルにおいてエタノール特有の1692.9nmと1728.8nmの吸収ピークの差から、図7に示す検量線を導出し、各種の焼酎を評価した。評価結果を表2に示す。焼酎に表示されているアルコール濃度範囲内の焼酎のアルコール濃度評価が実現できた。

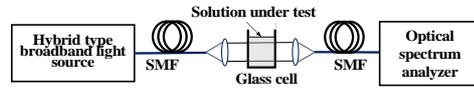


図6 広帯域光源を用いたアルコール濃度評価系

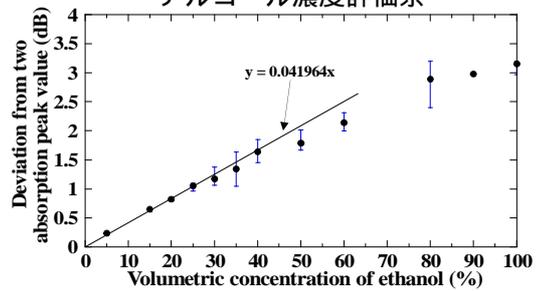


図7 検量線

表2 広帯域光源を用いた評価系による焼酎のアルコール濃度評価結果

Sample	Deviation between two absorption values at 1692.9 and 1729.9 nm (dB)	Concentration estimated from deviation of two absorption values (%)	Labelled concentration value (%)
A	0.426	10.15	9.0-10.9
B	0.537	12.79	11.0-12.9
C	0.787	18.76	17.0-18.9
D	1.017	24.23	24.0-25.9
E	1.018	24.26	24.0-25.9
F	0.853	20.33	19.0-20.9

また、図8に示す波長可変半導体レーザ光源を用いて、2波長分光系を構築し、焼酎のアルコール濃度評価を行った。本方法でも、表3に示すように焼酎に表示されているアルコール濃度範囲内の焼酎のアルコール濃度評価が実現できた。

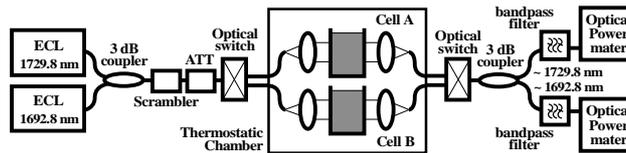


図6 波長可変レーザ光源を用いたアルコール濃度評価系

表3 波長可変レーザ光源を用いた評価系による焼酎のアルコール濃度評価結果

Sample	Deviation between two absorption values at 1692.8 and 1729.8 nm (dB)	Concentration estimated from deviation of two absorption values (%)	Labelled concentration value (%)
A	0.51	12.78	12
B	0.51	12.90	13
C	0.79	19.90	20
D	0.81	20.38	20
E	0.82	20.81	20

プラスチック材の評価

プラスチック材のリサイクル率を向上させるためには、廃棄プラスチックの種類を簡易かつ迅速に分別する方法が不可欠であり、対象を瞬時かつ非破壊で測定できることから近赤外分光が有効である可能性がある。本検討では、図6に示すように、アクリル板(Acrylic)、ポリカーボネート板(PC)、ポリエチレンテレフタレート板(PET)、ポリ塩化ビニル板(PVC)の吸収スペクトルに対して主成分解析を行い、1.7 μm帯の近赤外分光によって分類できることを明らかにした。

また、プラスチック材の使用環境における特性劣化の評価にも適応を検討した。その結果、低密度ポリエチレン(LDPE)は、80℃水中に浸漬させた場合、吸収ピーク波長の1731nmにおいて、浸漬時間の経過に伴い吸光度が減少することが明らかになった。ポリ塩化ビニル(PVC)も、80℃水中に浸漬させた場合、特定の波長域で吸光度変化が確認された(図7参照)。さらに、ポリエチレンテレフタレート(PET)は、25℃水中に浸漬させた場合、1683nmにおいて浸漬時間の経過に伴う僅かな吸光度の増加が確認された。これらの結果から、1.7 μm帯の近赤外分光がプラスチック材の劣化を評価できる可能性を明らかにした。

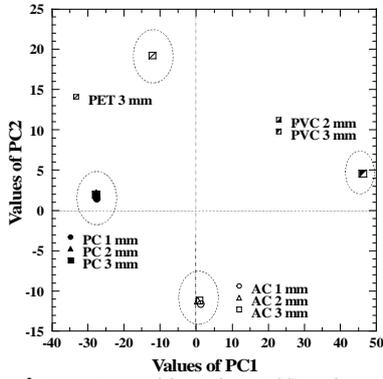


図6 各プラスチック材に対する第1成分対第2成分値

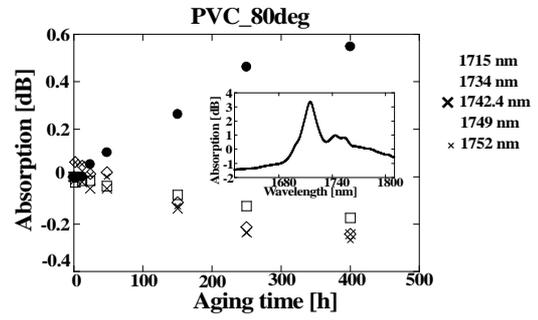


図7 PVC 吸光度変化

水中のアンモニア、CO₂ 濃度評価

アンモニアは生体に有毒であり、特に魚類に対しては呼吸困難や赤血球の減少などの中毒症状を引き起こす可能性を有する。そのため、通年で行われる水中のアンモニアの濃度の監視は魚類の養殖の品質向上において重要である。また、水中の CO₂ 濃度評価は魚類の養殖や地球温暖化の予測に必要である。図8及び図9に、各々、水中におけるアンモニア濃度と CO₂ 濃度の異なる水の吸収スペクトルを示す。これらの結果から、1.7 μm 帯の近赤外分光によりアンモニア濃度と CO₂ 濃度評価できる可能性を明らかにした。

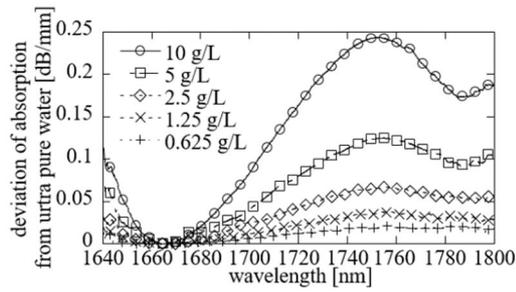


図8 アンモニア濃度による吸収スペクトルの変化

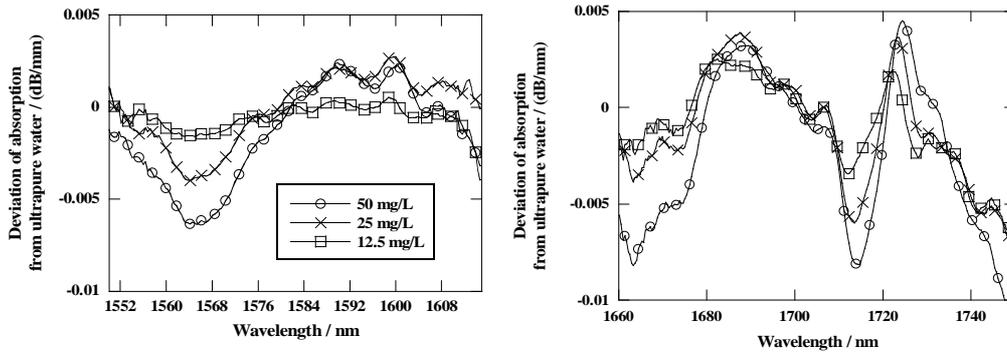


図9 CO₂ 濃度による吸収スペクトルの変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 Ota Kazuya, Ono Jun, Mori Hiroshi, Ono Hiroataka, Koyama Osanori, Ikeda Kanami, Yamada Makoto	4. 巻 60
2. 論文標題 1.8 μm band broadband hybrid light source employing a combination of a super luminescent diode and thulium-doped fiber amplifier	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 9419 ~ 9419
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 小野純, 中山貴司, 花藤文希, 杜暁恩, 小山長規, 遠藤達郎, 森浩, 山田誠	4. 巻 J102-C, 7
2. 論文標題 長波長スーパーluminescentダイオードモジュールの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 C	6. 最初と最後の頁 225-232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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28件（うち招待講演 1件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 西田賢生, 小山長規, 池田佳奈美, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯近赤外分光によるプラスチック材の水中劣化特性評価
3. 学会等名 令和4年度電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田遼, 西村涼平, 小野浩孝, 小山長規, 池田佳奈美, 山田誠
2. 発表標題 Tm添加石英系ファイバを用いた1.8 μm 帯広帯域光源
3. 学会等名 令和4年度電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野遼介, 生田浩平, 西田賢生, 小山長規, 池田佳奈美, 山田誠
2. 発表標題 1.5 μm および1.7 μm 帯近赤外線分光による水中のアンモニア濃度測定
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第27回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 生田浩平, 佐野遼介, 西田賢生, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.5 ~ 1.8 μm 帯近赤外線分光による炭酸水中のCO ₂ 濃度評価
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第27回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 誠、小野 浩孝、池田 佳奈美、小山長規
2. 発表標題 Tm添加ファイバを用いた1.7 μm 帯ファイバレーザ、増幅器、広帯域光源
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第43回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下晴也, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯広帯域光源を用いたプラスチック材評価2
3. 学会等名 令和3年度電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村涼平, 森田遼, 小野浩孝, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 Tm添加ファイバ増幅器の励起波長依存性
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会 第26回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西田賢生, 山下晴也, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯近赤外分光によるプラスチック材の劣化特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会 第26回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下晴也, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯広帯域光源を用いたプラスチック材評価
3. 学会等名 令和2年度電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山内崇史, 小野浩孝, 小山長規, 池田佳奈美, 山田誠
2. 発表標題 1.2 μm 帯励起・1.7 μm 帯波長可変Tm-Tb添加ファイバレーザ
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会 光ファイバ応用技術研究会 (OFT)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中基貴, 田野佑典, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 PLS分析を用いたワイン中のアルコール及び不純物濃度評価に関する研究
3. 学会等名 令和元年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田野佑典, 田中基貴, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯広帯域光源を用いたワイン中のエタノール濃度評価
3. 学会等名 第35回近赤外フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Tano, M. Tanaka, Y. Honda, A. Maeda, X. Du, F. Hanafuji, O. Koyama, K. Ota, T. Endo, M. Yamada
2. 発表標題 Evaluation of High Alcohol Concentration using a 1.7 μm Band Near-Infrared Spectroscopy System using Multi-Mode Optical Fibers
3. 学会等名 The 23th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内崇史, 横井亮太, 前田晃博, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.2 μm 帯励起・1.7 μm 帯Tm ³⁺ -Tb ³⁺ 添加ファイバ増幅器のシミュレーションに関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第24回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井亮太, 山内崇史, 前田晃博, 池田佳奈美, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯Tm3+-Tb3+添加ファイバレーザの理論的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第24回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Ono, M. C. Hsu, Y. Honda, A. Maeda, F. Hanafuji, X. Du, H. Mori and T. Nakayama, O. Koyama, T. Endo and M. Yamada
2. 発表標題 Newly developed 1.7 μm band external cavity laser and its application to evaluation of ethanol concentration in distilled spirits
3. 学会等名 The 22th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前田晃博, 本田悠真, 小野純, 遠藤達郎, 杜曉恩, 花藤文希, Mao-Chieh Hsu, 森浩, 中山貴司, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 新規1.7 μm 帯波長可変光源を用いた日本酒のアルコール濃度評価
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会 光ファイバ応用技術研究会 (OFT)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杜曉恩, 太田和哉, 山田直, 花藤文希, 小野純, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯広帯域光源ユニットの開発
3. 学会等名 平成29年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本田悠真, 前田晃博, 小野純, 遠藤達郎, 杜曉恩, 花藤文希, Mao-Chieh Hsu, 森浩, 中山貴司, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 新規1.7 μm 帯波長可変光源を用いた日本酒のアルコール濃度評価性
3. 学会等名 第33回近赤外フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中基貴, 田野佑典, 本田悠真, 前田晃博, 杜曉恩, 花藤文希, 小山長規, 遠藤達郎, 山田誠
2. 発表標題 近赤外分光を用いたアルコール濃度評価における不純物の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第23回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田野佑典, 田中基貴, 本田悠真, 前田晃博, 杜曉恩, 花藤文希, 小山長規, 遠藤達郎, 山田誠
2. 発表標題 マルチモード光ファイバを用いた近赤外分光系による高濃度アルコール飲料の度数評価
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第23回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 F. Hanafuji, K. Senda, X. Du, S. Tujita, K. Ota, J. Ono, O. Koyama, H. Ono, T. Endo and M. Yamada
2. 発表標題 Evaluation of alcohol concentration in sake using 1.7 μm band Tm ³⁺ -Tb ³⁺ -doped tunable fiber ring laser
3. 学会等名 The 21th OptoElectronics and Communications Conference (OECC)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. Ota, X. Du, S. Tujita, K. Senda, F. Hanafuji, J. Ono, K. Mise, Y. Shimose, H. Mori, O. Koyama, H. Ono, T. Endo and M. Yamada
2. 発表標題 1.6 ~ 1.8 μm band hybrid broadband light source consisting of cascaded SLD and TDFA
3. 学会等名 The 21th OptoElectronics and Communications Conference (OECC)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Tujita, F. Hanafuji, X. Du, T. Endo, O. Koyama, J. Ono, H. Ono and M. Yamada
2. 発表標題 Alcohol content evaluation of alcoholic beverage by using 1.8 μm band broadband light source
3. 学会等名 5th Asian NIR Symposium
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 杜曉恩, 花藤文希, 辻田翔, 遠藤達郎, 小野純, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯広帯域光源を用いた焼酎のアルコール濃度評価
3. 学会等名 平成28年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 花藤文希, 杜曉恩, 遠藤達郎, 小野純, 千田孝祐, 辻田翔, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯Tm3+-Tb3+添加ファイバレーザの最適化設計に関する研究
3. 学会等名 平成28年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 前田晃博, 本田悠真, 小野純, 辻田翔, 杜曉恩, 花藤文希, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 1.7 μm 帯増幅用Tm3+-Tb3+添加光ファイバの利得評価
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第22回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本田悠真, 前田晃博, 遠藤達郎, 小野純, 辻田翔, 杜曉恩, 花藤文希, 小山長規, 山田誠
2. 発表標題 新規1.7 μm 帯波長可変光源を用いた焼酎のアルコール濃度評価
3. 学会等名 電子情報通信学会関西支部学生会第22回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Masataka Nakazawa, Masatoshi Suzuki, Yoshinari Awaji, Toshio Morioka, Makoto Yamada, et al.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 518
3. 書名 Space-Division Multiplexing in Optical Communication Systems	

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------