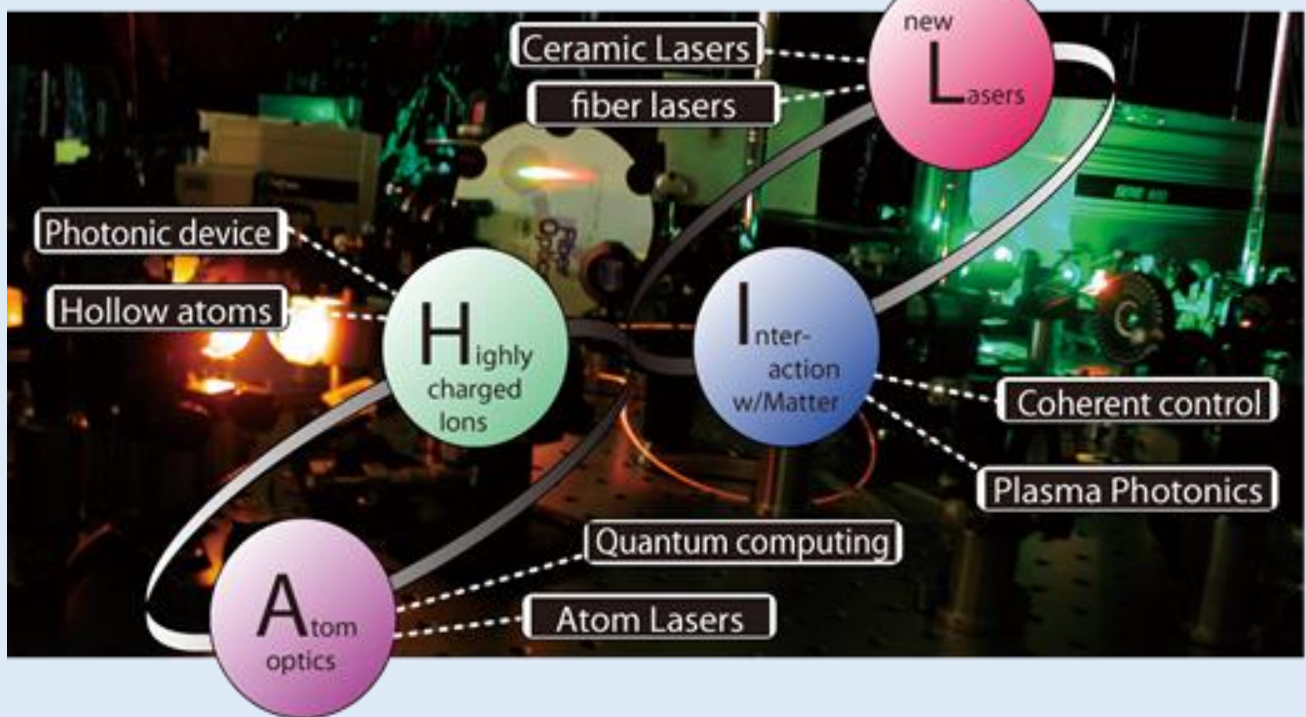


**Institute for Laser Science
University of Electro-Communications
Annual Report 2018-2019**

年次報告書(平成 30 年度、令和元年度)

電気通信大学レーザー新世代研究センター



国立大学法人 電気通信大学
レーザー新世代研究センター

ご挨拶

センター長 中川賢一

レーザー新世代研究センターは、その前身の新型レーザー研究センターが 1980 年に設立されてから今年で 40 年にあたります。当初はレーザー核融合のためのレーザー開発を目的として設立されましたが、この 40 年の間に当センターの役割および研究テーマは時代と共に大きく変遷してきました。現在では、THz から X 線までカバーする広い波長領域の光を扱い、また重力波、天文、量子情報などの基礎科学からレーザー加工や量子技術などの産業や先端技術の分野に応用範囲を広げています。それでも新しいレーザー光源の追求とこれを用いて最先端の科学技術を追求するという研究姿勢はずっと受け継がれてきました。また当初より将来の新しい科学技術の種となる基礎研究にいち早く取り組む姿勢を続けており、数 10 年の年月を経て重力波検出や冷却原子を用いた量子技術などの新しい科学技術を生み出すことに繋がっています。基礎科学だけでなく産業分野へのレーザー技術の応用も重要なテーマで、様々なニーズに対応するレーザー技術にも取り組んできました。最近では医療やバイオ技術の分野においてもレーザー技術が広く応用されており、当センターでもこの分野への積極的な取り組みが期待されています。このような研究が実を結んで新しい科学技術として確立するため、長期的な視点に立った継続的な研究と、新しい研究動向を注視して将来の科学技術の種となる基礎研究にいち早く取り組むという姿勢を今後とも維持していきたいと考えています。今年は、新型コロナウイルスが世界中で感染が拡大し、今までと同様の研究教育活動を維持することが難しくなりましたが、知恵を絞ってこの難局を乗り越えて将来の科学技術を切り拓いていきたいと考えております。今後とも当センターの研究教育活動に皆様のご理解およびご支援をよろしくお願いいたします。

令和 2 年 10 月 21 日

目次

1. センターの概要.....	3
1.1 構成員.....	3
1.2 研究グループの研究概要	4
1.3 教育・人材育成活動.....	5
2 令和 元年度の研究活動報告.....	6
2.1 米田 仁紀 研究室.....	6
2.2 西岡 一 研究室	9
2.3 白川 晃 研究室	11
2.4 武者 満 研究室	13
2.5 戸倉川 正樹 研究室.....	15
2.6 中川 賢一 研究室.....	17
2.7 丹治 はるか研究室.....	19
2.8 森永 実 研究室	21
2.9 岩國 加奈 研究室.....	23
2.10 中村 信行 研究室.....	25
3. 外部発表のリスト (2019年4月～2020年3月の期間に発表されたもの).....	27
3.1 論文発表	27
3.2 国際会議プロシーディングス	28
3.3 解説論文, 紹介記事, 報告書等.....	28
3.4 博士論文, 修士論文, 卒業論文.....	28
3.5 国際会議 発表.....	29
3.6 国内会議 発表.....	31
3.7 講演会、セミナー、研究会	34
3.8 表彰・特許	34
4. 外部発表のリスト (2018年4月～2019年3月).....	35
4.1 論文発表 原著論文(査読有)	35
4.2 国際会議プロシーディングス	36
4.3 解説論文、紹介記事、報告書等.....	36
4.4 博士論文、修士論文、卒業論文.....	36
4.5 国際会議	38
4.6 国内会議 (学会、シンポジウム、ワークショップ、研究会等).....	41
4.7 講演会、セミナー、研究会	45
4.8 表彰	45

1. センターの概要

1.1 構成員

①レーザーグループ

米田 仁紀 教授 副センター長

西岡 一 教授 兼任

白川 晃 教授

武者 満 准教授

戸倉川 正樹 准教授

②原子光学・量子光学グループ

中川 賢一 教授 センター長

丹治 はるか 准教授

森永 実 准教授

岩國 加奈 助教

③多価イオングループ

中村 信行 教授

特任教授

植田 憲一 特任教授

客員教授

柳谷 高公 (神島化学工業(株))

川嶋 利幸 (浜松ホトニクス (株))

1.2 研究グループの研究概要

① レーザーグループ（米田、西岡、武者、白川、戸倉川）

レーザーグループでは、中赤外レーザーからハード X 線レーザーまで、超高周波数安定レーザーから超広帯域超短パルスレーザーまでのレーザー開発を幅広いコヒーレント光科学応用の要求に対して行っている。具体的な研究としては、以下のようなものがある。

- (1) 超狭線幅光源とファイバー光コムを組み合わせた広帯域光周波数基準の実現
- (2) 高熱負荷、高強度レーザーシステムの開発。
 - (a) レーザーセラミック材料を利用した新しい固体レーザー発振器およびその高出力化、(b) コヒーレント加算を用いたファイバーレーザー、レーザーダイオードの高出力化、(c) 高出力レーザー耐力光学素子の開発、(d) マルチコア、フォトニッククリスタルファイバーによる高出力レーザー開発
- (3) 新しい波長域のレーザー開発
 - (a) 高出力・高効率・ $2\mu\text{m}$ 帯超短パルスレーザーシステムの開発、(b) 波長 1.5\AA における共振器型 X 線レーザーの開発、(c) ZBLAN ファイバーの周辺技術および 813 nm ファイバーレーザーの開発
- (4) 新しいレーザーを用いたレーザー加工
 - (a) 高アスペクト比加工、(b) $2\mu\text{m}$ レーザーによるポリマー加工

② 原子光学・量子光学グループ（中川、丹治、森永、岩國）

原子光学とは、レーザー冷却によって得られる極低温原子を物質波として用いて、光と同様に干渉計などの光学系を実現するものである。当グループは、日本で初めて原子のレーザー冷却を実現し、それ以来、原子ホログラフィー、ボーズ凝縮、フェルミ縮退原子、原子干渉計などの様々な原子光学の研究を行ってきた。現在では、冷却原子を用いた様々な応用に取り組み、量子情報処理、量子光学、精密計測への応用を目指している。以下に、現在取り組んでいる主な研究テーマを記す。

- (1) リュードベリ原子を用いた量子シミュレーター
- (2) 原子干渉計を用いた精密計測
- (3) 微弱光による非線形光学
- (4) 共振器中の冷却原子を用いた量子光源
- (5) テーパー状ナノ光ファイバーによる量子光学
- (6) 光コムを用いた精密分子分光

③ 多価イオングループ（中村）

多価イオンとは多くの電子を剥ぎ取られた正のイオンである。当センターでは電子ビームイオントラップと呼ばれる多価イオン源を用いて、以下の観点から多価イオンの研究を推進している。

- (1) 重元素多価イオンの電子状態・相互作用における相対論効果の研究
- (2) 太陽コロナや熱核融合実験炉など高温プラズマの診断・制御に必要なデータの蓄積
- (3) 新たな光源や高精度原子時計の開発に必要なデータの蓄積

1.3 教育・人材育成活動

レーザーセンターでは、研究活動と同時に多くの教育および人材育成活動に取り組んでおり、センターおよび学内の学部生および大学院生を対象とした教育プログラムおよび学外の中学生から社会人までを対象とした教育プログラムを行っている。以下にその主な活動を示す。

(1) OPTICS & PHOTONICS International Exhibition

4/24 横浜国際展示場ホール 午前、午後に分けて光ピンセット、ラマン分光装置の製作、LD 励起固体レーザーの実験実習を 50 人程度の社会人に向けて行った。

(2) 都立調布北高校のレーザー体験教室

6/20 都立調布北高校の 1, 2 年生を対象に、1、光ピンセット、2、ガラスファイバー製作、3、レーザー実験室天文学実験、4、プラズマジェット、5、偏光子製作、6、窒素ガスレーザー、7、ラマン分光、8、電子ホタル、9、赤外血管像撮影の実験を行った。

(3) 本学の Elementary Teaching Laboratory (ETL)

6/24~7/26 大学院教育の一環として、レーザーを中心として大学院生が実験をデザインし学部学生に学ばせるプログラムを実施した。9 つの実験を 8 名の受講生を対象に行った。

(4) 東京大学で行われている大学院科目の中の CORAL

6/25-27 東京大学において、光ピンセット、ラマン分光装置、窒素レーザー発振、LD 励起固体レーザーの実験実習を東大、東工大、慶応大、電通大の大学院学生を対象に行った。参加人数は約 35 人。

(5) 光産業技術振興協会レーザー安全技術者講習

10/11 機械振興会館 において、安全講習の一環として「高出力レーザー特論」の講義を行い、受講生に向けてデモ実験も行った。参加人数は 50 人くらいで、主には企業の技術者であった。

(5) さくらサイエンスプログラム

10/28 レーザー新世代研究センターにおいて、サイエンス計画 (ASEAN+インド) 9 大学選抜学生 15 名と引率教員 3 名に対し、レーザー実験を紹介し日本の大学におけるレーザー研究の様子を紹介した。

(6) 光とレーザーのフェア

11/12~11/14 日本科学技術館において、光とレーザーフェアが開催され、その中でレーザープラズマ加速プログラムを紹介するブースを設置、説明を行った。

(7) 多摩コロキニウム

11/16~17 八王子セミナーハウス において農工大-電通大-東外大の 3 大学共同合宿セミナーに参加

(8) レーザー夏の学校及び企業研修

10/4 (企業研修)、10/5-6 レーザー夏の学校 神奈川県伊勢原市の株式会社アマダの研修センターにて、窒素レーザー製作、ラマン分光装置製作、光ピンセット装置製作、LD 励起固体レーザー発振実験のテーマについて 10/4 はアマダの社員に向け実験実習 (25 名)、10/5-6 はレーザー学会主催のレーザー夏の学校において、全国のレーザー関連の大学生、大学院生 (総数約 50 人) を対象に実習実験を行った。

(9) 成果有体物提供を利用した社会人教育

社会人を対象に、要望のある光学・レーザー実験を行った。実施日 2019/3/20, 12/4, 12/13, 12/20, 2020/1/10 主な実験は、ラマン分光装置製作、光ピンセット、LD 励起固体レーザー、光コヒーレントトモグラフィ。受講生は 3 名

2 令和 元年度の研究活動報告

2.1 米田 仁紀 研究室

1. 概要

ここではハード X 線から遠赤外レーザーまでを使ったレーザー開発、レーザー科学実験、レーザー応用を研究している。研究は、本学レーザーセンター内の実験室だけでなく、SPRING-8, SACLAS X 線自由電子レーザー施設、大阪大学レーザーエネルギー学研究所、JPARC など様々な施設を利用した研究も行っている。また、光学結晶の基礎データ計測として、ロシア結晶光学研究所と共同で、過渡的 Raman 分光による結晶パラメータ測定研究なども、それに則したレーザーシステムを準備し、測定を行ったりしている。さらに、外部からの要請を受けて、超短パルスレーザー加工での高アスペクト化の研究、ハード X 線を用いたレーザー加工部の電子状態の直接観測研究なども行っている。

以下では、これら研究の中で特徴的な成果などについてまとめている。

2. 研究活動報告

2.1 ハードX線コヒーレントフォトンクス研究

X線自由電子レーザー (XFEL) を使った研究は、これまでの $K\alpha$ 線レーザーの単なる励起から、ハードX線レーザーの高コヒーレント化に移行してきている。特に、我々が提案しているBragg結晶と発振波長を共鳴させたレーザーの開発では、高品質な大型結晶を育成し、それをBragg条件に合う角度に切り出し、0.1K程度の温度調整ができた状態でXFEL励起実験が可能なシステムを開発している。これまでに、ハードX線の領域で、角度による共鳴効果の実験的結晶ができ、さらに共振器モードでの発振スペクトルの特徴である縦モードスペクトルの観測に成功している。これらは科研費基盤A「ハードX線フォトンクス」研究として行われ、2020年度からは新しく基盤B「定在波型ハードX線レーザーの高精度制御とその応用」として継続されるようになっている。



図1 Bragg結晶を用いた定在波型ハードX線レーザーの非共鳴(左)と共鳴(右)状態での発振スペクトルの変化

2.2 超高耐力光学素子の開発

高出力レーザーを社会実装しようとした場合、あらゆる構成素子は、その信頼性を増加させる必要がある。特に、パルスレーザーを集光してレーザー加工や表面処理、プラズマ発生などを応用する場合には、ターゲットからのデブリが最終光学系に付着する抜本的な問題があり、これを解決する必要がある。一方、我々は、これまでほとんど視野にはいっていなかったガス媒質中に、紫外レーザーとオゾン分子を利用して大振幅の密度波を励起する手法を確立し、これを利用した回折光学素子の開発を行ってきた。そこで、今回、回折光学素子として平面波・球面波変換が可能な素子を設計し、実際に干渉計内にレンズ系を入れるなどして球面形状の粗密波を励起し、それによる原理実証実験を行った。その結果、回折限界まで集光できる光学素子が完成している。この研究は、JST 未来社会事業のレーザープラズマ加速プロジェクトの中に取り込まれ、成果の一部は、2020 年 1 月に「レーザー光の回折集光方法及び回折集光光学装置」として特許出願した。

実際の装置では、ガスの光学素子部では、媒質が入れ替えになり、また、回折角度分だけ焦点面と上流の固体光学素子の視線方向が完全に交わらないようにすることができ、固体光学素子上のデブリの問題は、完全に解決できる手法となっている。

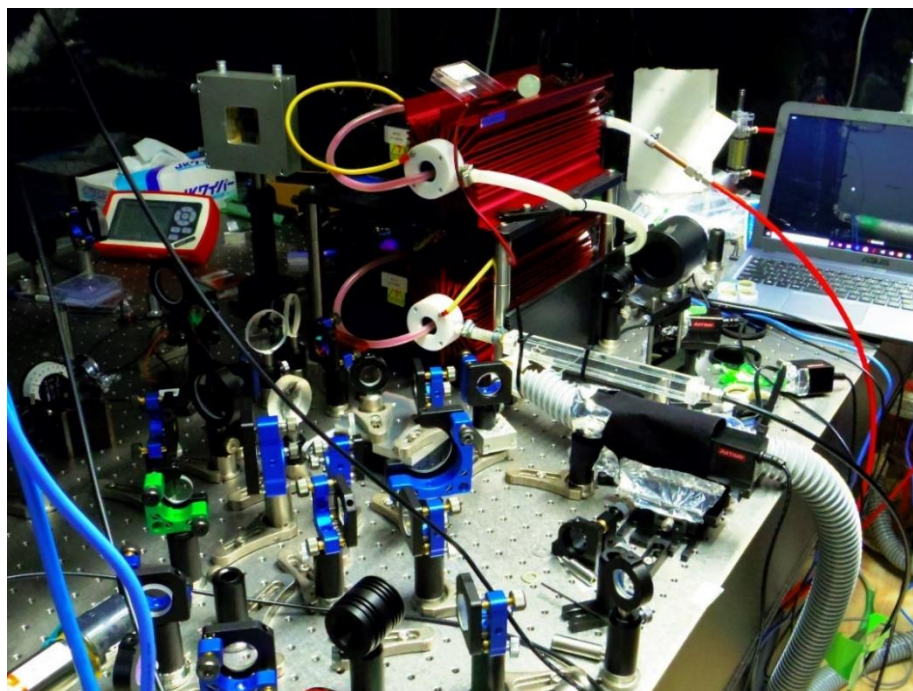


図2 気体回折格子による集光光学素子の開発装置の概要。中央に見えるのがオゾン発生装置であり、その右下にある透明な角パイプ部分にオゾンを含む作動ガスを流し、そこに球面の干渉縞を導入して書きこむことで、集光光学素子を形成している。現在、100mJ 程度のナノ秒パルスをはば 100%の効率で回折・集光させ、空気中でブレイクダウンが起こせる程度となっている。

2.3 レーザー加工部のその場計測システム

レーザー加工は、多くの点で従来までの機械加工に比べ特徴的な性能が言われてきているが、その一方で光子コストが高く、付加価値の高い加工が今後展開先となると思われている。その中で、穴径に対し加工長が長い高アスペクト加工は、他の加工法にはない性能をしめすことができるため、大きな期待が寄

せられている。しかし、その一方で、金属内に深く入った加工部は、あらゆる光学計測がオーバーデンス条件となるために観測が難しく、加工時のin situ 計測が望まれていた。そこで、金属深部での加工点を定点とする新しい加工模擬システムを開発し、金属深部にまでプローブが可能なSPring-8の150keVビームラインでの非弾性散乱実験を行った。下図は、実験の概略図でテープ状のターゲットの側面から加工用レーザーを導入し、それと垂直方向の115keVのハードX線によりコンプトン散乱を起こさせ、上方に設置された半導体型X線検出器で散乱スペクトルを計測している。これらの研究は、文科省QLEAPプロジェクトの一環として行われている。

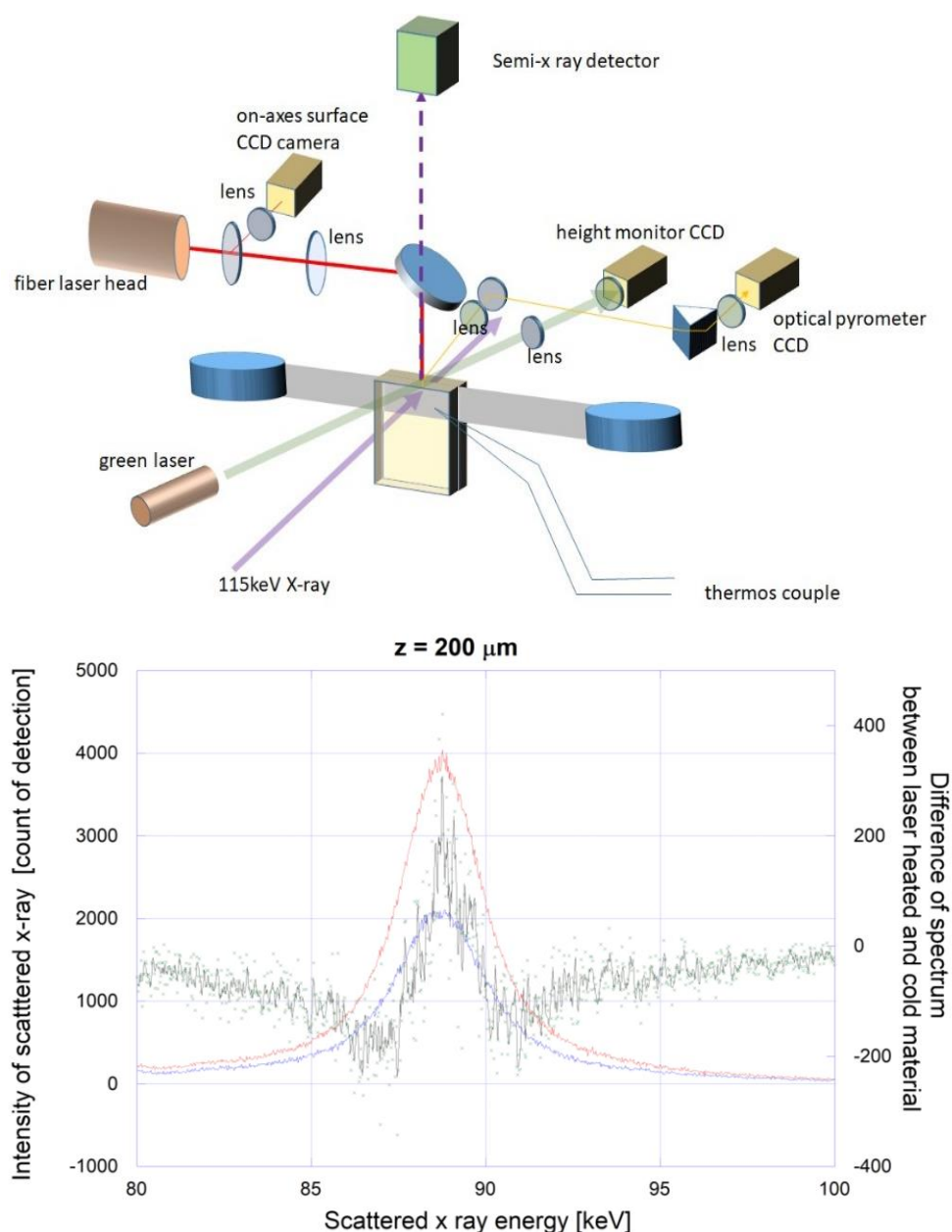


図3 レーザー加工部のコンプトン散乱実験

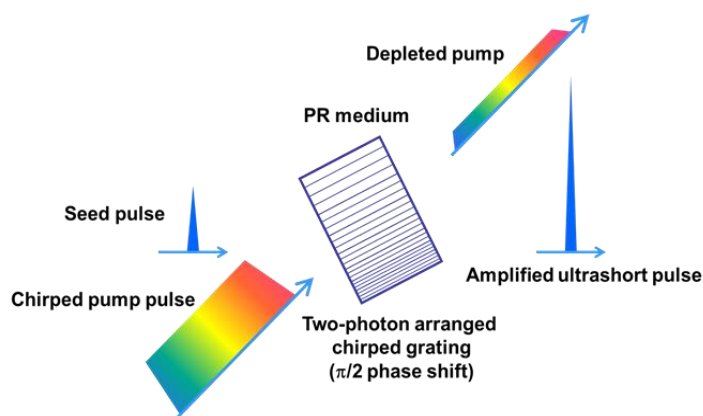
上：概略図、下：得られたコンプトンスペクトル。赤線がレーザー加工部を含むコンプトン散乱を含むスペクトルで青線がレーザー加工前のスペクトル、緑線がその差分となっている。

2.2 西岡 一 研究室

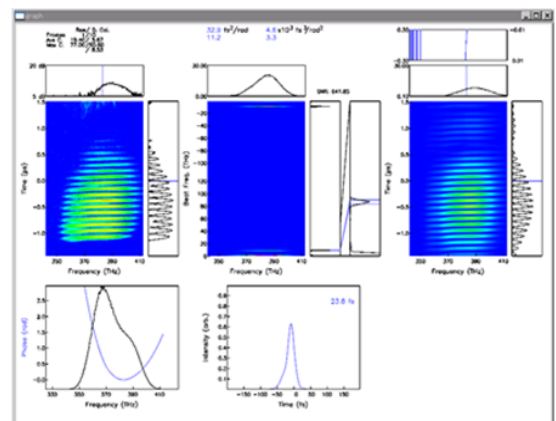
1. 研究・教育の概略

目に見える物質の色、反射の度合いは、その物質による光の吸収や物質中の光の速度を現している。日常見かけるこのような色や艶は、光の強度が弱く「そっと」観測している状態に相当する。光は電磁波であり、光の強度を上げていくと、光の電界によって物質中の電子やイオン等が揺さぶられ、光により物質の性質が変化する。超高強度のレーザーを用いると、原子核と電子が結びついている電場よりも高い光電場を印加でき、瞬時光電場により直接軌道電子を持ち去り、半サイクル後には、そのまま、原子に戻す事もできる。このような物質と光が混ざり合った状態では、物質の振る舞いは瞬時光電場に同期し、励起光に同期した他の波長の光を発生させたり、物質中を伝播する光そのものの速度を変化させたりする。フーリエ関係から、超高速現象は同時に超広帯域現象でもあり、光のキャリア周波数に匹敵する PHz (10^{15} Hz) 帯域幅を持つ光波およびその位相制御を行う技術領域でもある。

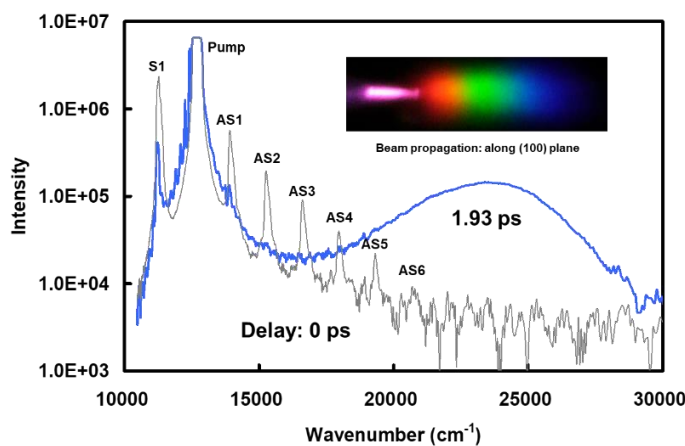
当研究室では、光周波数で数サイクルの電磁界扱っており、①超短パルス光・超高強度光・超広帯域光の発生技術、②光瞬時電場の波形成形・合波技術、③瞬時光電場計測技術、④高強度電場による分子やフォノンの位相同期技術の研究を推進している。



コヒーレントビーム結合によるサイクル光パルスの増幅
Few-cycle pulse amplification by coherent superposition



周波数シアリング干渉による瞬時電場の計測
Integrated spectrum shearing interferometer



単結晶ダイヤモンド中のモード同期光学フォノンによる超広帯域光発生
Ultra-broadband light generation by the differential two-phonon excitation in a single crystal diamond.

2. 2019年度活動報告

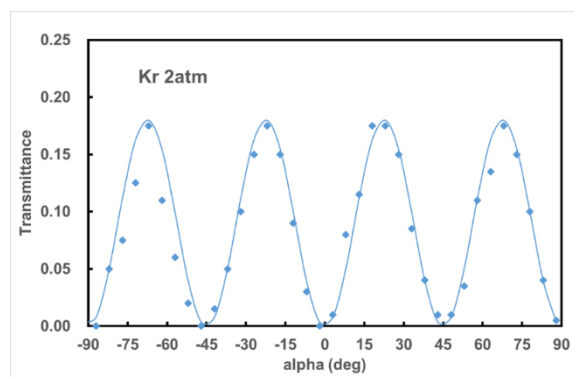
2.1 等方媒質中の単軸非線形偏光回転

超短パルス・高強度レーザー光を媒質に印加すると、光電場の方向に非線形な分極を生じ、電場波形に応じた分極のひずみを生じる。光波は横波であるから、光の瞬時位相に応じて光電場の方向を変えると、光電場変化に応じた屈折率ひずみが生じる。光周波数に相当する超高速で偏光状態を時間・空間的に制御できる。

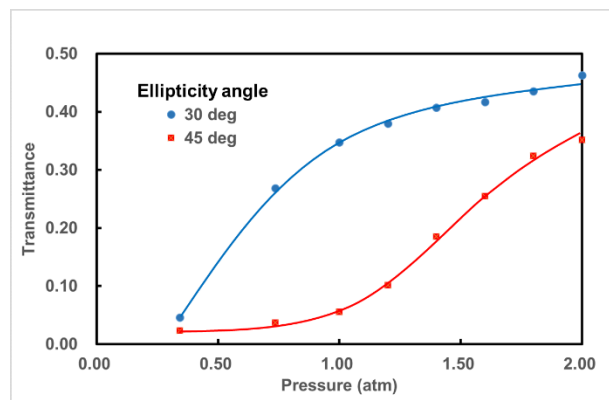
時間領域では、超高速パルス生成、高ダイナミックレンジ・高コントラスト化など、光波形成に利用できる。空間領域では、時間依存の非線形空間フィルターを形成し、回折限界を超えた高強度レーザービームを生成できる。時間周波数として見ると、超高速変調による広帯域化、波長変換等に応用できる。

一方、物理的な観点では、媒質の電子・振動・回転運動による分極の方位依存性を高速に制御する事に相当し、これらが時間・空間的に光位相に同期して生ずるコヒーレント過渡現象として観測される。

単原子分子、2原子分子を中心に気体媒質による高強度ビームの自己偏光回転について励起光の偏光状態依存性について実験的に考察した。数 100 GW レベルの超短パルス光を 40% 近い効率で直接スイッチングできる事を確認した。



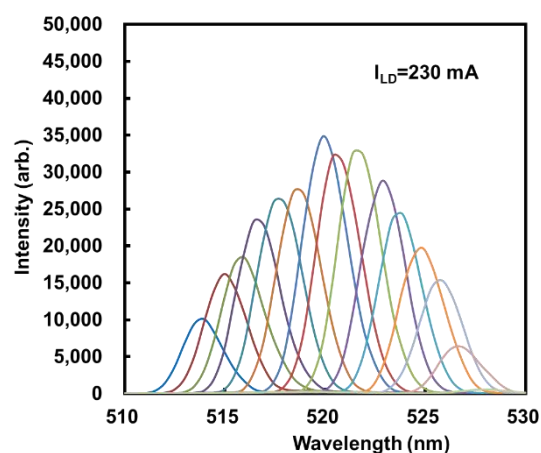
単原子分子気体中における単軸非線形偏光回転
Nonlinear self-polarization-rotation in monoatomic medium.



光ゲート効率の偏向状態依存性
Optical Gate efficiency as a function of polarization state..

2.2 緑色半導体レーザーのコヒーレントビーム結合

GaN 系半導体レーザーの出現によって、青色光やこれを励起源とした白色光は広く実用化されている。一方、緑色領域では活性層の屈折率が下がるため、効率が低下し、発熱が多く高出力化し難い制限がある。本研究では、マルチモード半導体レーザーをコヒーレントに光結合し、縦・横シングルモードの緑色光の発生を行っている。波長選択共振器を介した相互注入同期により、波長可変コヒーレントビーム結合を実現した。



コヒーレント結合した緑色半導体レーザーの波長可変特性
Tunable operation of coherently coupled green laser diodes.

2.3 白川 晃 研究室

1. 研究の概略

当研究室ではレーザーの特に高出力化を見据えた基礎研究開発を行っている。次世代高出力高強度レーザーを目指し、自由な発想で、新手法・高機能化・新材料に取り組んでいる。学生の自主性を重んじ、自由闊達に研究を行っている。

透明セラミック技術により物質場を高度に制御した、新しい広帯域利得・高熱伝導レーザー材料を探索し、それらを用いた半導体励起高効率フェムト秒発振器・増幅器の研究開発を行っている。利得媒質を100 μm 程度にまで薄くした thin-disk レーザー技術を自前で開拓し、高出力化・高エネルギー化に取り組んでいる。光ファイバーも高い排熱特性から高平均出力レーザーに適している。フォトニックバンドギャップやマルチコアなど、特異な導波路構造により電界を高度制御したファイバーを設計、開発し、新しい特性を発現するファイバーレーザーを研究している。

単体では限界のあるレーザーの高出力化のために、レーザーを並列化しそれらの位相を合わせてひとつのビームに結合し出力を加算する研究も重要である。別々のレーザーの複合共振器化や、ひとつのファイバーに複数のコアを設けたマルチコアファイバー(MCF)に取り組んでいる。輝度の加算だけでなく、各レーザーの位相制御により出力ビームの方向・パターンの制御が可能になり、革新的な応用展開が期待される。更にこのレーザー並列化による空間的ビーム結合に加え、超短パルスの高尖塔出力化、高エネルギー化のために、パルスをシリアルに加算する時間的ビーム結合への挑戦を始めている。

2. 2019年度の研究活動報告

2.1 Yb:CaF₂ thin-diskレーザーの開発

これまで高熱伝導材料Yb:Lu₃Al₅O₁₂セラミックおよびYb:Lu₂O₃セラミックを用いたカーレンズモード同期(KLM)発振器の研究開発に取り組んできた。より短い短パルス化を目指し、Yb:CaF₂単結晶およびYb:CaF₂系セラミックレーザーの基礎研究も推進している。Yb:CaF₂は高い熱伝導率と広く滑らかな蛍光スペクトル(図1(a))を併せ持ち大いに注目されているが、thin-diskレーザーの研究は世界に他に1例しかなく、その結果も良好とは言えない。本研究室ではthin-diskによるレーザー発振に取り組んだ。厚さ300 μm の2.88%Yb添加Yb:CaF₂単結晶diskとヒートシンクとの接合を行い、24パス励起モジュールを用いたCWレーザー発振実験で、最大出力87W(励起251W)、スロープ効率37%を得た(図1(b))。

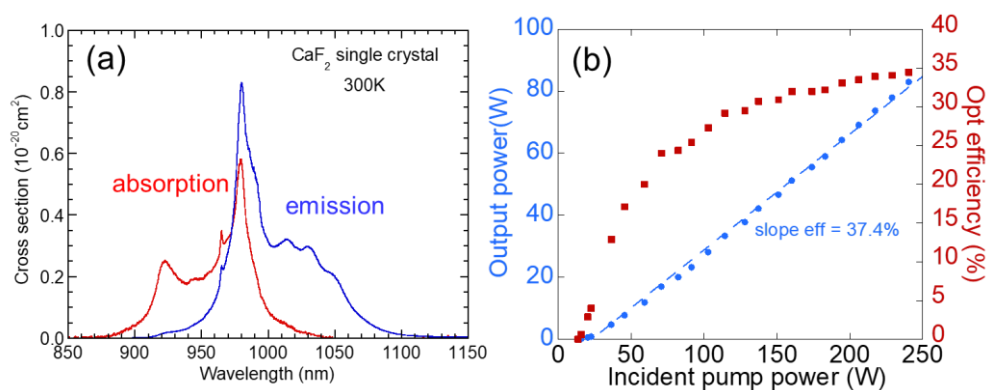


図 1 (a) Yb:CaF₂ 単結晶の誘導・放出断面積。(b) 励起直径 2.9mm, 1%アウトプットカップラー時の入出力特性および光-光変換効率。

サーモカメラによるthin-diskの温度計測は、その測定波長帯(7~13 μ m)でCaF₂が半透明材料のため、慎重に検討した。実効的な方向全放射率の測定法を考案し、0.76の値を得た。一方CaF₂をヒートシンク上に置いた場合には反射の影響から0.9となることが分かった。この結果を温度計測に用い、図1(b)の場合の最高温度は89℃となり、接合に用いているUV硬化接着剤の耐熱温度を超えていないことを確認した。

2.2 位相同期マルチコアファイバーレーザーの研究

MCFレーザーの新しいスーパーモード選択方法として、モード毎に異なる繰り返し周波数を持つことを利用した能動モード同期による時間領域スーパーモード選択法を考案し、実証研究に取り組んでいる。理論モデルから能動モード同期を維持できる許容離調を明らかにし、それを元に音響光学変調器を用いた能動モード同期Yb添加19コアMCFレーザーを構築した。変調周波数を変えると遠視野像・近視野像いずれも形状が変化したが、単一スーパーモードの選択までには至らなかった。しかしマルチモードファイバーレーザーで実証を目指す道筋を得た。

複数の空間モードからなるレーザー光のビーム品質は M^2 やBPP等のパラメータで評価されることが多いが、モードの分布等の詳細は分からない。本研究で考案された干渉計を用いたMCFレーザーのモード解析法を、新しくマルチモードファイバーレーザーにも適用した。偏光の不確定性を解決するために偏光を水平と垂直方向で分離する干渉計を構築した(図2(a))。主要モードに関しては十分な精度で解析できることを明らかにした。更にファイバーの曲げ損失とモードの依存性について有意な結果を得た(図2(b))。これまで困難であったマルチモード光のモード解析の強力な手法となることを明らかにした。

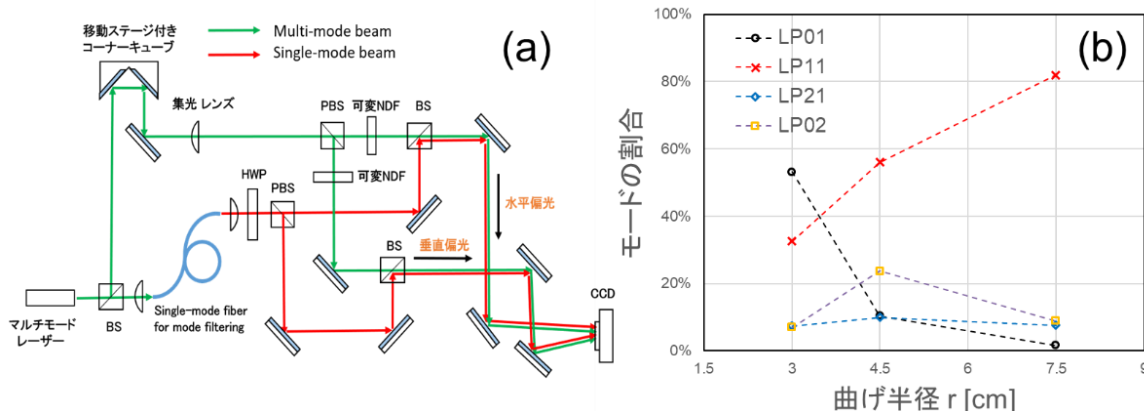


図2(a) 偏光分離干渉計によるマルチモードファイバーレーザーのモード解析の実験系 (b) モード割合のファイバー曲げ半径依存性

2.3 深層強化学習を用いたコヒーレントビーム結合

人工知能(AI)の一手法である深層強化学習を用いた複数ファイバーレーザーのコヒーレントビーム結合に取り組んでいる。1.55 μ m帯フェムト秒モード同期Erファイバー発振器を分岐しそれぞれ増幅し、ビーム結合出力とPZT駆動電圧の応答関係について深層強化学習を行う。図3のように2,3時間の学習を一度行えば、あとはスイッチオンで瞬時に位相同期が可能になる。残留位相雑音はPIDを用いた従来手法と同等であることを示した。

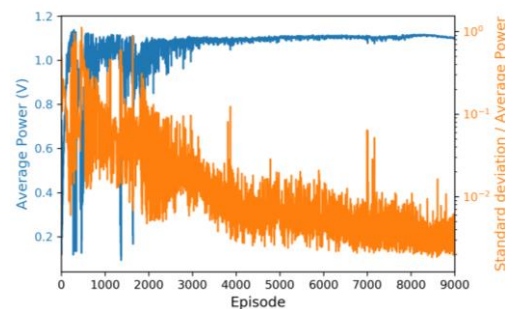


図3 ビーム結合出力(青)と標準偏差(橙)。数千回のエピソード(繰り返し)学習でニューラルネットワークが最適化される。

2.4 武者 満 研究室

1. 研究の概略

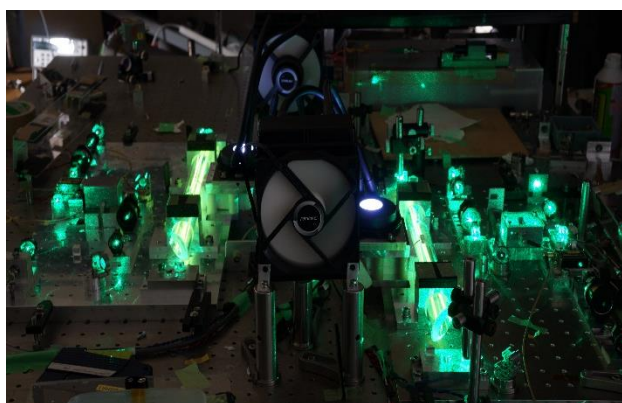
レーザー光は高品質・高強度なビームや安定な周波数や出力に特徴がありますが、武者研究室では極限まで周波数・強度が安定化された光源の開発とその応用を中心に研究開発を進めています。これまでは 10^{-22} の変位感度を必要とする重力波検出器用の光源や光周波数計測・超高精密分光に応用できる光コムの開発、そしてこれらの超高安定化された光を劣化させずに遠方まで伝送する技術の開発を主軸として研究を進めてきました。近年はこれらの技術をさらに展開させて、宇宙重力波検出器の光源等や測位衛星の光周波数基準など宇宙空間で安定動作する光源や、紫外・赤外線域でも使用可能なフッ化物ファイバを用いたファイバ光源開発、そして光コムの中距離安定配信等の研究を行なっています。これらの研究を学生とともに進めることにより、学生に対しては原理に立ち戻り問題解決に取り組む姿勢や自分の武器となる幅広い知識を自律的に身につけさせることを心掛けています

2. 2019年度の研究活動報告

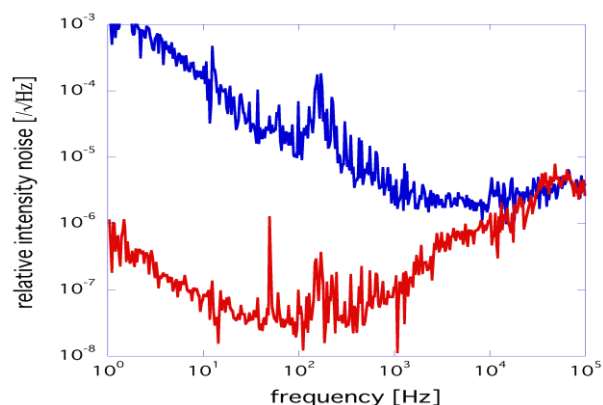
2.1 宇宙重力波検出器

日本で進めている宇宙重力波検出器(DECIGO/B-DECIGO)の光源と衛星トラッキング技術についての開発を行なっています。DECIGO/B-DECIGOでは波長 $500\mu\text{m}$ 帯で $\delta f/f=10^{-15}$ 、 $\delta I/I=10^{-8}$ 台の高い周波数・強度安定度を持ちかつ1~10Wの出力が出せる超高安定・高出力光源が求められています。我々はヨウ素の 515nm 帯の飽和吸収信号を周波数基準として用いたヨウ素安定化Yb: fiber DFBレーザーの開発を進めてきました。昨年度は特に重力波検出感度の直接関係する1Hzでの周波数安定化に注力し、変調周波数域200kHzでの強度安定化やセルの温度やパス数の最適化により周波数安定度は1Hzで10 Hz/Hzに達しました。今後は干渉信号の低減等の改善を行なうことにより目標であるあと半桁の周波数安定度改善を行なう予定です。高出力化に関してはYbファイバ増幅器による2段増幅と非線形結晶(PPLN)を用いた波長変換により、B-DECIGOの要求値(1W)を上回る1.3Wの出力を得ました。増幅時には周波数安定度は保存されますが、強度雑音は悪化します。このため2重ループによる強度安定化を行い、誤差信号評価で 5×10^{-8} の強度安定度を達成しました。今後は 1×10^{-8} の安定度の達成、DECIGOに向けた高出力化(コヒーレント加算)や衛星搭載に向けた小型安定動作向上を進める予定です。

DECIGOに関しては光源開発と同時に衛星補足システムの開発も進めています。DECIGOは3機の衛星



周波数安定化高源

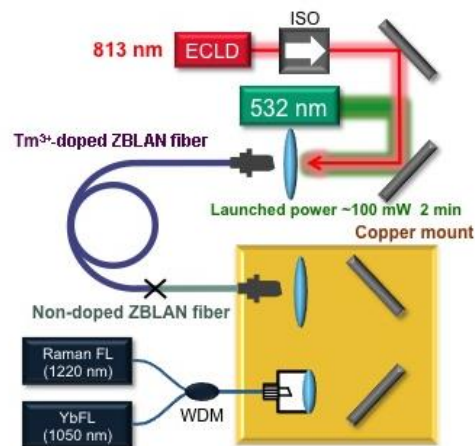


強度雑音スペクトル

で一辺1000kmの正三角形型の光干渉計を構成するため、衛星の相対位置を正確に決める必要があります。我々は音響光偏向器(AOD)と周波数計測を用いた新しい補足システムを考案し、その実証を行なってきました。この技術はDECIGOのみならずX線衛星や地球重力場観測衛星などが必要とする精密編隊飛行に必須な技術であり、現在JAXAと共同で応用の研究を進めています

2.2 800nm フッ化物ファイバ光源

次世代の光周波数基準の最有力候補であるSr(ストロンチウム)光格子時計には、原子捕獲用に波長813nmの高出力高安定なトラップ光源が必要とされます。従来用いられている大型の固体レーザーであるTi:Sapphireにかわり、小型可搬で長期安定動作可能なファイバベースの光源であるTm:ZBLAN ファイバ増幅器の開発を行なっています。今年度は要求値(1W)を上回る2Wに出力が得られましたが、安定動作させるためには希土類添加ファイバ固有の、高出力動作中にファイバが劣化して出力が減少するフォトダークニングを抑制する必要があります。我々は515nmのブリーチング光を同時入射させることと、添加濃度や長さ・構成の最適化によりフォトダークニングを抑圧しながら1日以上安定高出力動作を実現しました。ここで用いているZBLANファイバは紫外・赤外領域でもシリカに比べて損失が少ないため将来の広帯域なファイバ光源に有望な母材ですが、機械的安定性の低さ、特に融点の低さにより融着等が困難で活用の妨げとなっています。我々は側面研磨によりZBLANファイバとシリカファイバを結合させる技術の開発を進めており、この技術が完成すれば通常のシリカファイバ系と親和性の高いフッ化物ファイバ光源が実現されて、その活用の助けになると考えられます。



2.3 次世代衛星搭載周波数基準

現在運用されている準天頂測位衛星にはRbのマイクロ波周波数基準が搭載されてGPSの運用等に使われていますが、将来GPSの精度向上のためにより周波数安定度の高い周波数基準が必要とされています。我々はDECIGO用の開発中のヨウ素安定化光源と光コムを組み合わせることにより、光周波数基準をダウンコンバートさせた、次世代のマイクロ波周波数基準より高い安定度を持つ衛星搭載マイクロ波発生器の開発をJAXAと進めています。今年度は宇宙動作可能な偏波保持9字型モードロックレーザーを用いた光コムを作成し、その安定度等の評価を進めています。

2.4 精密位相同期光源の開発

光通信の需要の増加により光を使ったより高密度な情報伝送が必要とされています。周波数多重で伝送する場合にはチャンネル間の間隔を狭くする必要がありますが、そのためには混線を防ぐために正確なチャンネル間隔の設定が求められます。このため我々は将来の高密度光伝送を見据えて、ITU grid に準拠した周波数間隔25~125GHzのレーザー光源群の開発を企業と共同でおこなっています。EOMを用いた25GHz+ α 間隔の周波数コムを作成し、小型外部共振器型半導体レーザー(ITLA)をこのコムに位相同期することにより4台の等間隔周波数光源を作り、自動制御システムも組込むことにより光通信の基準光源の開発をすすめています。

2.5 戸倉川 正樹 研究室

1. 研究・教育の概略

戸倉川 研究室は次世代の固体レーザー、ファイバーレーザー、超短パルスレーザー、中赤外レーザーなどの開発とその応用を目指しています。現在は特に波長 $2\mu\text{m}$ 帯短パルスレーザーの開発に集中しており、波長 $0.8\sim 1.5\mu\text{m}$ レーザーにはない特徴を利用したレーザー加工などの応用研究を目指しています。

教育方針としては学生の自主性を尊重しつつしっかりと研究を進めて、難しいことも楽しみながら進めていける人材の育成を目指しています。

2. 波長 $2\mu\text{m}$ 帯短パルス光は下記に示される特徴と応用を有しています

- ・OH基の吸収が強いことを利用した医療応用
- ・波長 $1\mu\text{m}$ 帯のYbレーザー光では吸収が弱いため困難な、ポリマー材料の切断・溶接加工
- ・線形吸収が小さいことを利用したシリコン材料のステルス加工
- ・超広帯域光発生や光パラメトリック変換による長波長($4\sim 20\mu\text{m}$)中赤外光発生
- ・それら中赤外光を用いたガス分析や高次高調波発生

3. 波長 $2\mu\text{m}$ 帯短パルス光の発生方法

- ・波長 $0.8\mu\text{m}$ 帯Ti:Al₂O₃レーザーや $1\mu\text{m}$ 帯Ybレーザー基本光とした、光パラメトリック波長変換(図1)
⇒システム全体の複雑さや出力スケール上の制限
- ・TmやHoレーザーによる、シンプルで高効率・高出力な波長 $2\mu\text{m}$ 帯超短パルスレーザー光の直接発生
⇒高出力・高効率動作時のTmやHoレーザーから得られるパルス幅はpsからサブpsレベルに制限

戸倉川研究室では高出力・高効率、かつ超短パルス性に優れたTm添加レーザーの実現を目指して、現在までに多数の中赤外波長 $2\mu\text{m}$ 帯ファイバーレーザーおよび固体レーザー光源を開発し、パルス幅 $100\text{ns} \sim 100\text{fs}$ 、平均出力 $1\text{mW} \sim 10\text{W}$ 、パルスエネルギー $\text{nJ} \sim 100\mu\text{J}$ の性能を実現しています。

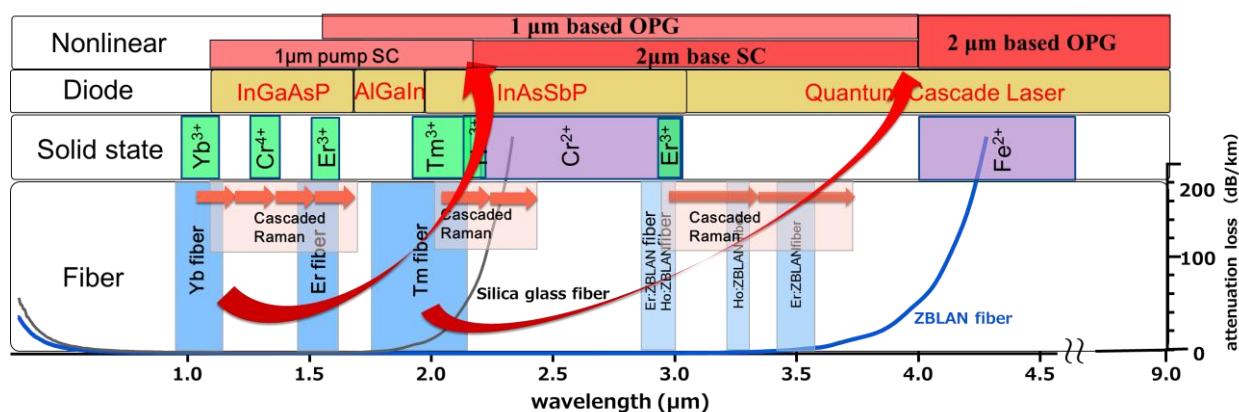


図 1. レーザー波長別発生方法($>1\mu\text{m}$)

4. 2020年上半期までの研究活動報告

4.1 波長2 μm 帯Tm:Re₂O₃超短パルス固体レーザーの開発

新規レーザー利得媒質であるTm添加三二酸化物(Tm:RE₂O₃、RE=Y, Lu, or Sc)を用いた、波長2 μm 帯超短パルスレーザーの開発を行いました。Tm添加三二酸化物は熱機械特性に優れ、さらにTm:YAGなどと比べて広帯域利得を有しています。Erファイバーレーザーを用いたIn-band励起による高い励起ビーム品質を生かし、カーレンズモード同期によりパルス幅約70fsの超短パルスレーザー発振に成功しました。また共振器内での非線形光学効果を利用した超広帯域スペクトル拡張によるサブ40fs、サブ6サイクルパルスの直接発生の可能性を示すことに成功しています。

4.2 1650nm LD 直接励起 Tm:Lu₂O₃レーザーの開発

現在までのファイバーレーザー励起システムではなくより高効率高出力性に利点を持ちうるLD直接励起型のTm:Lu₂O₃レーザーの開発を行った(図2(左))。励起LD光の形状整形を行い、TEM00モードにおいて連続発振出力~300 mWを実現した。

4.3 Cr:ZnSeレーザーの開発

Tmレーザーは高出力性や高効率性には利点があるが、40fs以下となるような超短パルスレーザー動作には非常に大きな壁が存在している。そこで理化学研究所との共同研究として波長~1.9~3.2 μm 帯において超広帯域利得を有するCr:ZnSe利得媒質を用いたレーザーの開発を開始し、連続発振動作に成功した。

4.4 Qスイッチ ナノTmファイバーレーザーの開発

音響光変調器AOMを用いたQスイッチ Tmファイバーレーザーの開発を行った。AOMの0次項ではなく1次回折光をフィードバックに用いることによって、大きな変調効果と縦モードフリーなレーザー動作を可能とした。共振器内での非線形光フィードバック現象を利用することによって数ナノ秒の短パルス発生に成功した。これは従来のQスイッチTmファイバーレーザーに比べて一桁近い短パルス化に相当し、これによって光強度が飛躍的に増加し共振器内での超広帯域光発生が確認された。

4.3 Tm添加正常分散シリカファイバーを用いたストレッチパルスモード同期レーザーの開発

波長2 μm 帯で正常分散を示す、W型屈折率分布による分散制御を行った正常分散Tm添加シリカガラスファイバーを用いて、共振器の分散値を0分散近傍としたストレッチパルスモード同期レーザーの開発を行った。現在自己相関波形は未取得だが平均出力100mW以上のモード同期動作が得られた。

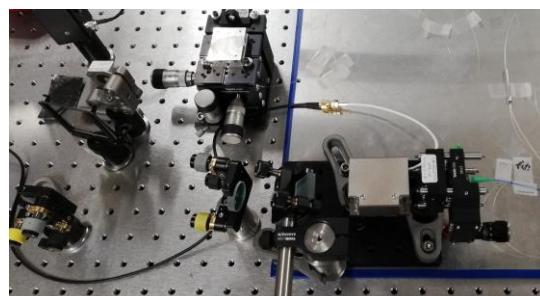


図2. (左) 1650nm LD 直接励起 Tm:Lu₂O₃レーザー。(右) QスイッチTmファイバーレーザー

2.6 中川 賢一 研究室

1. 研究目標

当研究室では、レーザー冷却技術によって得られる $100\mu\text{K}$ 以下の極低温原子を用いた様々な量子技術の研究を行っています。量子技術とは、重ね合わせ状態や量子もつれ状態といった量子力学の特異な性質を用いて従来の古典的な方法の基づく技術の限界を超える新しい技術を実現しようというものです。このような量子技術として、レーザー冷却原子を用いた量子シミュレーターと量子慣性センサーの研究を行っています。

2. 2019年度の研究の概要

2.1 Rydberg原子を用いた量子シミュレーターの開発

量子シミュレーションとは、従来の計算機シミュレーションでは膨大な計算量が必要となり、解析が困難な量子多体系の性質を調べるのに、人工的な量子多体系を用いてその物理的な振る舞いを模擬させて調べようというものです。レーザー光を用いて極低温 Rb 原子を真空中に 1 個ずつ並べて配置し、これをレーザー光でリュードベリ (Rydberg) 状態と呼ばれる主量子数が大きな励起状態に励起することにより、スピン間に相互作用があるイジング型スピン系の量子シミュレーターが実現できます(図 1)。この装置を用いて一次元格子の量子スピン系のシミュレーションを行って、この量子シミュレーターのコヒーレンス時間の評価を行いました(図 2)。その結果、コヒーレンス時間を制限している主な原因が励起レーザーの周波数揺らぎであることが分かりました。このため、リュードベリ状態への励起用レーザーとして新たに波長 420nm と 1013nm の外部共振器型半導体レーザーを開発し、その周波数安定化を行いました。今後、この励起レーザーを用いて長いコヒーレンス時間が実現できれば、多数の原子からなる複雑な量子多体系のシミュレーションが実現可能になると期待されます。

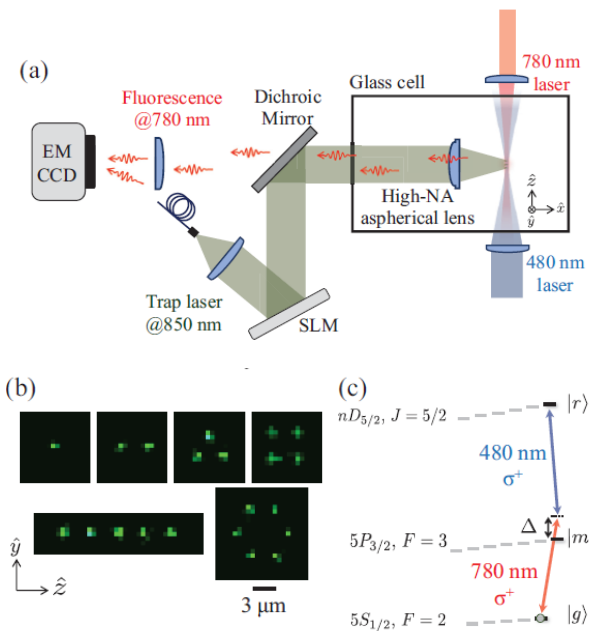


図 1 Rydberg 原子を用いた量子シミュレーター

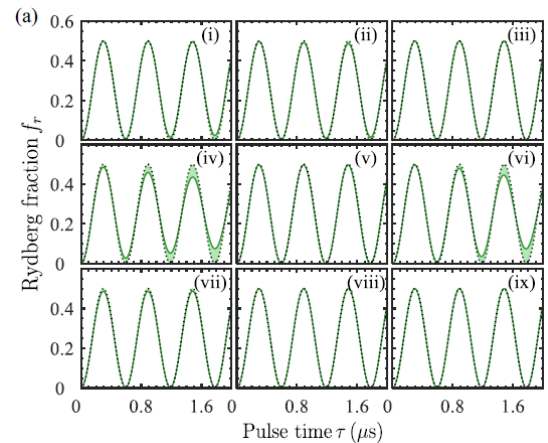


図 2 スピン系の量子シミュレーション

2.2 レーザー冷却原子を用いた量子慣性センサーの開発

レーザー冷却原子を物質波として用いて干渉計を構成すると、原子に働く加速度を高精度に測定することが可能な量子慣性センサーを実現することができます。この技術を用いると従来の光学式よりも高精度な重力加速度計を作ることが可能となり、測地学、地震予知、資源探査への応用が期待されています。当研究室では、2005年にレーザー冷却Rb原子を用いた重力加速度計を実現してその原理検証を行い、それ以来、実用化に向けた要素技術の開発を行ってきましたが、2018年より文科省の光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)に採択され、小型で高性能な量子慣性センサーの研究開発を行っています。このQ-LEAPによる研究は、原子干渉計を用いた実用的な小型可搬な重力加速度計と、慣性航法のための小型可搬な加速度計およびジャイロの開発を行うことを目標としています。2019年度は、可搬型の重力加速度計の開発に取り組み、1560nmの光通信帯レーザーの第二高調波を用いた小型可搬型のRb原子のレーザー冷却用の光源(図3)と、ガラスセルを用いた小型超高真空装置(図4)を開発し、これらの装置を用いて原子干渉計に必要な冷却Rb原子の生成を確認しました。今後は、原子干渉計を実現して実際に重力加速度を測定してその性能評価を行い、小型で高精度な重力加速度計を実現していく予定です。



図3 1560nm 光通信帯レーザーの第二高調波を用いた Rb 原子のレーザー冷却用光源

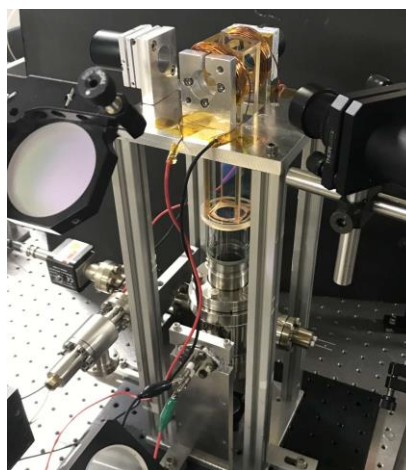


図4 冷却原子生成用の小型超高真空装置

2.7 丹治 はるか研究室

1. 研究の概要

本研究室では、

- 微弱光（数光子）による非線形光学効果の観測
- 光共振器中の低温原子を用いた「量子光源」開発

という二つのアプローチで、光と原子の量子状態制御を基盤とした新たな量子技術の創出を目指した研究に取り組んでいる。

1.1 微弱光による非線形光学効果の観測

次世代の通信技術として期待される量子情報通信においては光子が唯一の実用的な通信媒体であると考えられている。光子により伝達された量子情報を効率的に処理するためには光子同士を直接相互作用させることが望ましいが、このような相互作用は原理的に起こすことができない。一方、物質を介した光子同士の実効的な相互作用を起こすためには非線形光学効果を利用する必要があるが、通常このような効果の観測には高強度の光が必要であり、数個程度の光子しか含まないような微弱光での観測はほぼ不可能である。当研究室では、高フィネス光共振器中における物質と光子との強い相互作用を利用して、数光子程度の微弱光による非線形光学効果の観測および、同効果を利用した全光型単一光子スイッチの実現を目指している。

1.2 光共振器中の低温原子を用いた「量子光源」開発

量子力学の性質を利用した従来技術の限界打破への期待が高まる量子情報処理や量子計測においては、光の量子状態を自在に生成できることが重要である。当研究室では、光共振器を用いて単一原子の励起状態を単一光子に高効率に変換するという手法により、光の任意の量子状態の生成を目指している。気体原子をレーザー光により数十 μK 程度まで冷却し、これを光共振器中に捕捉した上で一部を励起すると、これらの原子が脱励起する際に原子の励起状態に対応した光の量子状態が共振器中に生成される。原子の励起状態の生成方法を工夫することにより、光子数状態や量子もつれ状態を含む様々な光の量子状態を単一の実験系において生成することのできる「量子光源」が実現すると期待される。

2. 2019 年度における進捗状況

2.1 微弱光による非線形光学効果の観測

微弱光による非線形光学効果の観測およびそれを利用した全光型単一光子スイッチを実現するためには、超高真空中の高フィネス光共振器（実験共振器）の共鳴周波数を、原子（ ^{87}Rb ）の共鳴線に対して安定化させる必要がある。それにあたり、実験共振器中に捕捉する ^{87}Rb 原子の内部状態の変化を回避するために、 ^{87}Rb 原子の共鳴線（波長780 nm）から大きく離調した非共鳴光を使用する必要がある。従来は非共鳴光として波長760 nmの光を、大気中の参照共振器を利用して原子の共鳴周波数に対して安定化させ、さらにその光を用いて実験共振器を安定化させる方法を採用していた。この方法では、実験共振器の安定化には、原子の共鳴光に対する参照共振器の安定化、参照共振器に対する原子の非共鳴光の安定化、非共鳴光に対する実験共振器の安定化、の三段階の過程を経る必要があり、安定化に必要な過程が複雑であることにより、実験系全体を安定的に動作させることが困難であった。そこで、2019年度には、参照共振器を用いる代わりに、周波数基準としてカリウム原子を利用し安定化させたレーザーを実

験共振器の安定化に用いる方法を新たに考案し、それに向けた光源の準備を行った。まず、レーザー駆動用の低雑音電流源を構築しその雑音特性を評価した。さらに、波長767 nmの外部共振器型ダイオードレーザーの構築に着手した。

2.2 光共振器中の低温原子を用いた「量子光源」開発

「量子光源」を構築する上では、生成した光の量子状態を高効率で自由空間モードに取り出すことが極めて重要であるため、本研究では、反射率が非対称なミラーを用いたファブリペロー型光共振器を用いる。この光共振器中に原子を冷却・捕捉し、それらの原子のうちの一部が Rydberg 状態に励起された集団励起状態を生成することにより、様々な光の量子状態の発生を目指す。Rydberg 状態への励起には、波長780 nm および 480 nm による二光子遷移を用いる。

2019 年度には、 ^{87}Rb 原子の冷却及び捕捉に向けた実験系の構築を行った。具体的には、(i)超高真空の実現、(ii)四重極磁場発生用コイルおよび電流制御回路の構築、(iii)光源の安定化および光学系の構築を行った上で、磁気光学トラップ (MOT) による原子の冷却及び捕捉を試みた。(i)については、真空チャンバーに光共振器を設置するためのガラスセルを接続し、ベーキングの後、原子のレーザー冷却に十分な真空度である 9.7×10^{-10} Torr を得た。(ii)については、MOT に用いる四重極磁場発生用コイルおよびその電流制御回路を構築した。高効率な単一光子発生のためには、原子の冷却および捕捉に用いる磁気光学トラップ (MOT) の磁場を、単一光子発生の試行時に速やかに消失させる必要があるため、コイルに流れる電流を高速に切断するための回路を構築し、その特性評価を行った。その結果、原子の散逸時間より十分に短い $130 \mu\text{s}$ で磁場を消失させることができた (図 1)。(iii)については、共鳴周波数に対する光源の安定化を完了させ、真空チャンバーの周囲に磁気光学トラップ (MOT) のための光学系を構築した。さらに、Rb 原子をチャンバー中に導入し、その遷移周波数に対して安定化させたレーザー光を入射して原子のトラップを試みた結果、原子からの蛍光が磁場のオン・オフとともに明滅する様子を観測することができた。

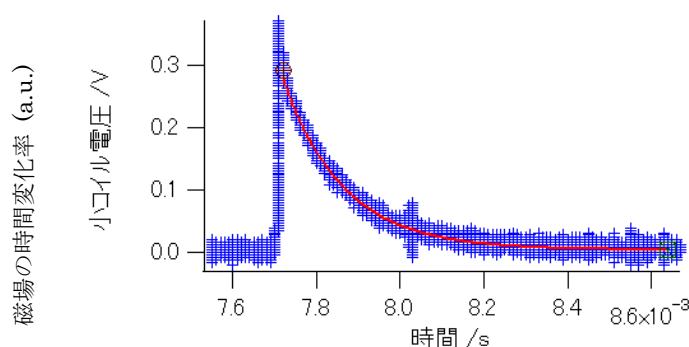


図 1：電流切断時の四重極磁場の時間変化率

2.8 森永 実 研究室

1 研究・教育の概要

本研究室ではレーザー冷却された原子を用いた原子光学系、原子線ホログラフィー、量子反射といった原子光学をバックグラウンドにした量子光学の実験的研究を行っており、特に新たな実験手法の開発に力を入れている。一方、最近では研究分野を広げるべく不透明マスク列による導波路の開発や、非対称振動を用いた表面付着粒子の輸送の実現やアクチュエータの開発など新しい取り組みも行なっている。後者については固体の構造を設計することにより Casimir-Polder 力の制御を行ない（「設計された真空場」）それを冷却・トラップされた原子を用いて実験的にプローブし構造設計にフィードバックすることになげたいと考えている。他に個人的な興味として加速座標系や重い回転物体近傍での引摺り効果による座標系の非自明な回転（Thomas 歳差運動や Lense-Thirring 歳差運動）、電磁場-電子系の量子論（量子電磁気学）に存在すると感じる若干の冗長性の解消なども探求対象としている。また今年度より量子科学センターと連携して水素原子の高分解能分光・レーザー冷却に向けた勉強会を発足させた。

教育面では学生には既存の装置を使うだけでなく新しい装置を考案・開発する能力、大学・大学院ならではの研究を掘り下げる能力などを身につけて社会に出て行って欲しいとは考えているが、学生個人個人に応じて興味を持てること、向いていることを見きわめながら取り組むテーマを考えるよう心がけている。

2. 2019年度の研究活動

主要な取り組みおよび最近進展のあった研究活動の2つについて紹介する。

2.1 単一光子源のためのテーパー状光ファイバーチップの製作

テーパー状に尖らせた単一モード光ファイバーの先端に量子ドット等の単一発光体を取り付け、発生した単一光子を高効率よく伝送路である単一モード光ファイバーの伝搬モードに結合させたものを単一光子源として用いて、単一光子による量子通信の実現を目指している。

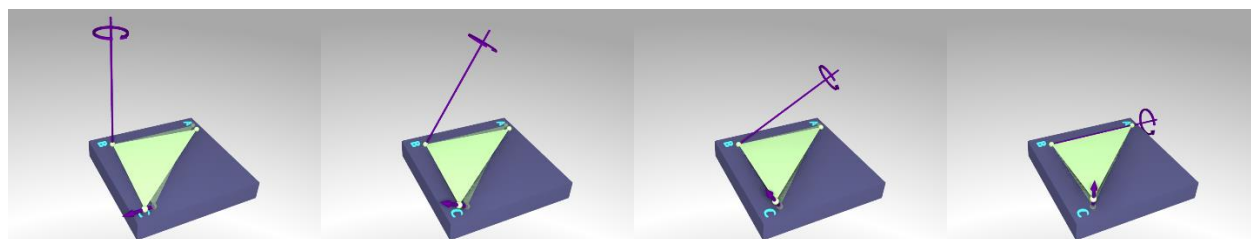
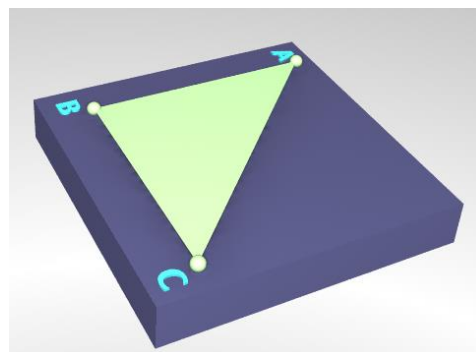
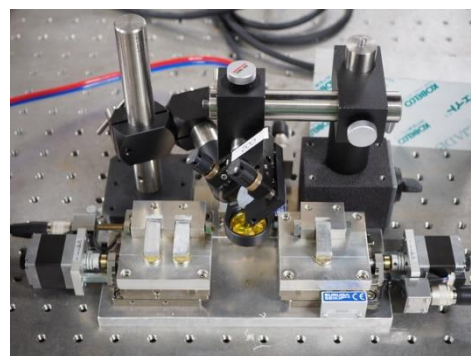
単一モード光ファイバーを伝搬する光はテーパー領域に差し掛かると伝搬モードである最低次モードはファイバー径が細くなるにつれコアが消失する付近でクラッドも含めた多モードにさらされるため一般には最低次モードから高次モードへの遷移が起きる。この遷移を防ぐためにはテーパー角はこの付近で最も小さく抑える必要がある（断熱条件）。光ファイバーを加熱・延伸してテーパー状にする際に一様な温度分布で引き延ばすとより細い部分で伸び率がより高くなる。このため前述の断熱条件が厳しくなる領域で条件を満たそうとすると先端側のより細い部分が「無駄に」長くなり機械的強度を低下させることになる。中間部分が細くなっている通常のテーパー状ナノ光ファイバーでは両端で支えることができるためそれほど大きな問題とならないが、片持ちする必要があるファイバーチップでは回避する必要がある。

加工に用いている自作の加熱・延伸装置は現在加熱に CO₂ レーザーを用いているが当初はマイクロトーチを用いていた経緯から加熱は加工開始時に ON、終了時に OFF にするという単純な制御しかしていなかった。そこで今回加工中の CO₂ レーザーの ON・OFF および出力の変更ができるように改良した。また加工ステージの移動方向とファイバーの軸方向が微妙にずれているのを修正するなど地道な改善も積み重ねている。現在は加熱のあと延伸に移る待ち時間が加工形状にどのように影響してくるか等の加

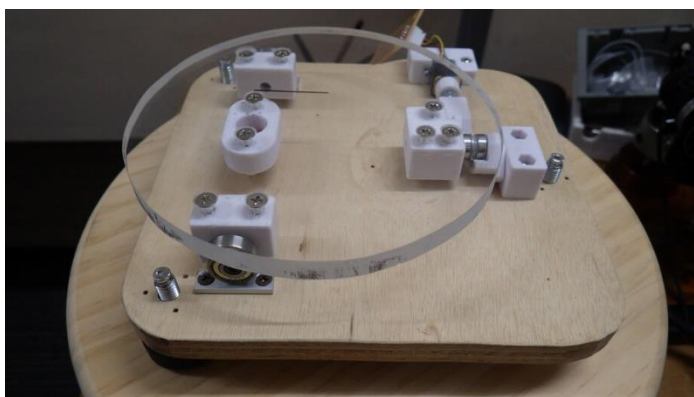
工の基本特性を収集している段階であるが、最適な形状に近い加工ができるパラメータを探っていきたい(右の写真は現在の加工機)。

2.2 キネマチックカップリングの原理を用いた赤道プラットフォームの試作

数年前「キネマチックカップリングの原理に基づく自由に回転軸を設定できるマウント」というものを考案した(キネマチックとは剛体が持つ6つの自由度を明示的に過不足なく指定することにより剛体を保持・固定する方法のことで現代のミラーマウントの多くはこの原理に基づいている)。簡単に原理を説明する。平らな台(下部プラットフォーム)の上に置かれて3つの頂点で支えられている直角三角形ABC(上部プラットフォーム)を考える(右図)。直角の頂点Bの位置は固定、頂点Aは台の上を自由に動かすことができる。頂点Cを下部プラットフォーム上を動かすと上部プラットフォームは下部プラットフォームの法線の周りを回転する(下図左)。一方頂点Cを垂直方向に動かすと「水平」軸ABの周りを回転する(下図右)。下の4つの図は左から頂点Cを動かす方向を「水平」から 30° ずつ垂直まで変化させたときの様子である。



このように頂点Cを動かす方向を変えることにより回転軸の仰角を自由に設定することができる。今回これを発展させて赤道儀のように日周運動を追う板状の台「赤道プラットフォーム」を試作した。天体を観測する機器を上に乗せることを意図したものであるが「台」としてより適するように上部プラットフォームを支える3点は直角三角形ではなく正三角形の頂点に位置するように改良されている。試作にあたって使用した多くの部品は3Dプリンタでプリントした。



上で説明した回転軸の向きはその瞬間のものであり厳密には時間の経過とともに動いてしまうが、緯度の異なる地点に運んで使用するなどの用途があると考えている。

2.9 岩國 加奈 研究室

1. 研究の概略

当研究室は2019年1月に発足した研究室である。精密に制御されたレーザーと分子集団を用いた分光実験を中赤外領域で行い、分子の内部構造を調べることで物理定数の普遍性など物理学の基礎問題の解明を目指す。中赤外領域は分子の指紋吸収線と呼ばれる吸収強度の強い遷移が多く存在し、基礎物理学だけでなく産業応用にも重要な波長域である(図1)。中赤外領域の中でも $5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ の長波長側は、質量の大きな分子の精密分光に適している。しかし、中赤外領域の長波長側では、精密分光に利用できる高性能な光源がほとんどなく、また高感度で高速な受光器がないことから、分光手法に工夫が必要である。そこで本研究室では(1)精密分光に有用な高出力パワーかつ制御性の良い中赤外光源の開発、(2)中赤外領域での高感度分光計の開発を行う。(1)では、近赤外光コムから波長変換によって中赤外光コムを得ることを目指す。(2)では、光共振器などを組み合わせて光コムの特性を利用した高感度分光計の開発を目指す。また測定対象の分子を冷却することで、さらに精密な分光実験を目指す。

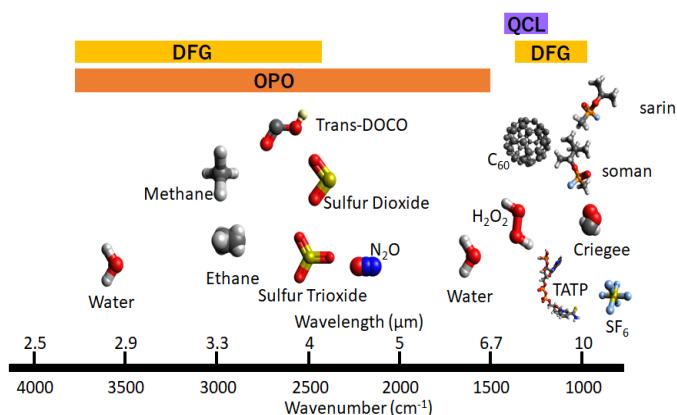


図1. 各波長域に吸収を持つ分子種と光コム光源

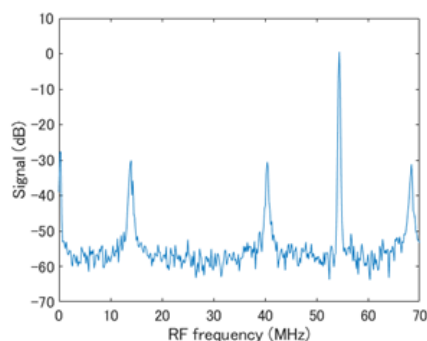
2. 2019年度の研究活動報告

2.1 分光用近赤外光源の開発

中赤外発生の基本波として用いるために、波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ の光コムシステムを開発した(図2(a))。繰り返し周波数は約54 MHzで、オシレーターの出力を複数に分け、制御や分光光源などそれぞれ別の用途に用いる。オシレーターの各出力ポートは、Erファイバーアンプにより70 mW程度にパワー増幅している。出力ポートのうちの一つは増幅後にスペクトル広帯域化し、 $f\text{--}2f$ 干渉計でオフセット周波数を検出した。図2(b)に $f\text{--}2f$ 干渉計の写真と検出したオフセットビート信号を示す。階上の武者研究室にはGPSを介して時間標準にリンクしたRb原子時計が設置されているが、この信号を本研究室まで配線し、開発した光コムの繰り返し周波数とオフセット周波数の安定化の基準信号として用いた。この基準信号に安定化した繰り返し周波数とオフセット周波数のアラン偏差をそれぞれ測定し、位相同期が実現されていることを確認した。これによ



(a) 光コムシステム



(b) $f\text{--}2f$ 干渉計と観測したオフセット

図2 近赤外光コム光源

り、光コム各モードに絶対周波数が与えられ、12桁程度の相対安定度で周波数計測が可能となった。

2.2 周波数計測システムと分光システムの開発

〔周波数計測システム〕絶対周波数が値づけられた光コムを用いると、原理的には任意の連続発振（CW）レーザーの周波数の絶対周波数計測が可能だが、コムモード番号を決める際に周波数が既知の安定化レーザーがあると実用上都合が良い。そこで、本研究室では1.5 μm 帯の周波数標準として国際度量衡委

員会で定められているアセチレン安定化レーザーを稼働させた。アセチレンが数mTorr封入されたガラスセルを光共振器の中に置くことで、実効的な共振器長を長くするとともに共振器の腹での光電場が増強され、飽和吸収分光するのに十分なパワーが得られる。アセチレンの吸収線に光共振器を安定化し、その光共振器に波長1.5 μm の外部共振器型半導体レーザー（ECLD）を安定化した。図3は制御のエラー信号として用いた吸収線の微分信号を示す。「2.1 分光用近赤外光源の開発」で述べた光コムシステムを用いれば、アセチレンの絶対周波数計測が可能となる。



図3 アセチレン吸収線の微分信号

〔分光システム〕中赤外領域での分子分光実験に先立って、近赤外領域での分光実験システムを構築している。波長1.5 μm のECLDを前述の光コムに安定化し、光コムの繰り返し周波数を、Rb原子時計への安定化を保持しながら掃引することで、ECLDの周波数を掃引する。これにより観測されるスペクトルの横軸は絶対周波数が値づけられることになる。この研究に向けて、ECLDの周波数制御回路の製作や測定対象であるN₂O分子をセルに封入するための真空システムを構築した。また、周波数掃引やスペクトル検出をFPGAやLabviewを用いて自動化した。1.5 μm 帯のN₂O分子の吸収は非常に弱いため、光との相互作用長を十分に長くする必要がある。そのため実効吸収長が15 mあるマルチパスセルを用意し、真空引きするなどして分光実験への準備を進めている。

3. 今後の展望

次年度は、開発した分光システムでN₂O分子の分光を行うとともに、光コム光源のさらなる高性能化と中赤外光コム発生を中心に行う。

2.10 中村 信行 研究室

1. 研究の概略

当研究室では、電子をごく少数しか持たないような重元素イオンを生成可能な高エネルギー電子ビームイオントラップ（通称 Tokyo-EBIT）と、比較的価数の低いイオンを生成可能な小型電子ビームイオントラップ（通称 CoBIT）の2台の装置を主幹機器として、多価イオンの研究を行っている。多価イオンとは太陽コロナや熱核融合実験プラズマのような高温プラズマの主役であり、多価イオンに関する知見がそのようなプラズマの診断や制御に重要となる。そのため、核融合科学研究所や国立天文台との共同研究により、必要とされる多価イオンのデータ収集を行っている。また、微細構造定数の変動を敏感に検知する多価イオン原子時計の開発を目指し、理化学研究所他との共同研究により、時計構築のために有用なイオンや遷移の探索・同定を行っている。

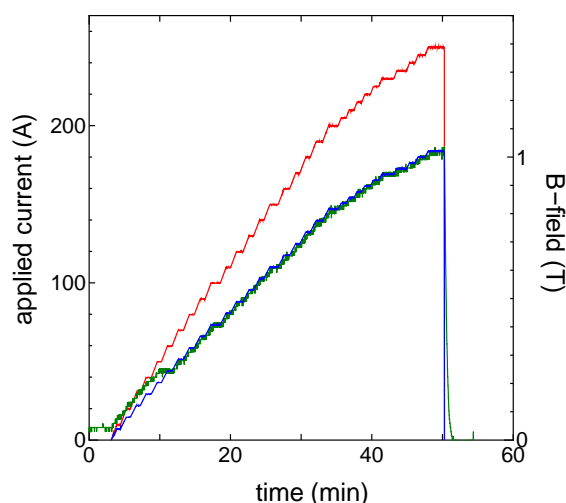
2. 2019年度の研究活動報告（2019年4月～2020年3月）

2.1 硬X線偏光度測定

多価イオンの放射における偏光度や角度分布を調べることは、プラズマにおける非等方性診断において重要であるばかりでなく、原子衝突物理の基本的な問題としても興味深く重要な課題である。特に、Li様重元素多価イオンが2電子性再結合を経て放出する硬X線の偏光度には、ブライト相互作用と呼ばれる相対論効果および量子電磁力学効果の影響が支配的に現れる。その精密測定を目的として、昨年度からKavli IPMUおよびJAXA宇宙科学研究所との共同研究を開始した。昨年度は、天体からの軟ガンマ線の偏光観測を目的としてJAXA宇宙科学研究所を中心に開発されたコンプトンカメラを電子ビームイオントラップに設置し、実行可能性調査実験を行ったが、今年度はその結果を考慮した上で、実験方法に改良を加えた上で本実験を行った。その結果、ブライト相互作用におけるゼロ周波数近似を世界で初めて検証するために必要な統計精度を得ることに成功した。さらに系統的不確かさを検討するため、検出器応答の詳細なシミュレーションなどを行った。

2.2 新たな無冷媒型EBITの開発に向けた高温超伝導コイルの製作

研究室では電子をごく少数しか持たないような重元素イオンを生成可能なTokyo-EBIT（電子ビームエネルギー10-200 keV）と、比較的価数の低いイオンを生成可能なCoBIT（同0.1-1 keV）の2台のEBITを所有しているが、その中間的な仕様を満たすEBITの開発を目的として、高温超伝導コイルの設計・製作を行っている。液体ヘリウムなどの冷媒を不要としながら3T程度の磁場を発生させるため、高温超伝導材を用いたコイルを冷凍機で20 K程度まで冷却し、250Aの電流を通電する仕様とした。昨年度までに、22 Kまで冷却することで205 Aの電流を通電することに成功した。今年度は、目的とする20Kの温度を到達させた上でより大電流に耐えうる仕様とするため、電流導入の大幅な改良を行った。まず、室温の電流導入からの配線の一部が放



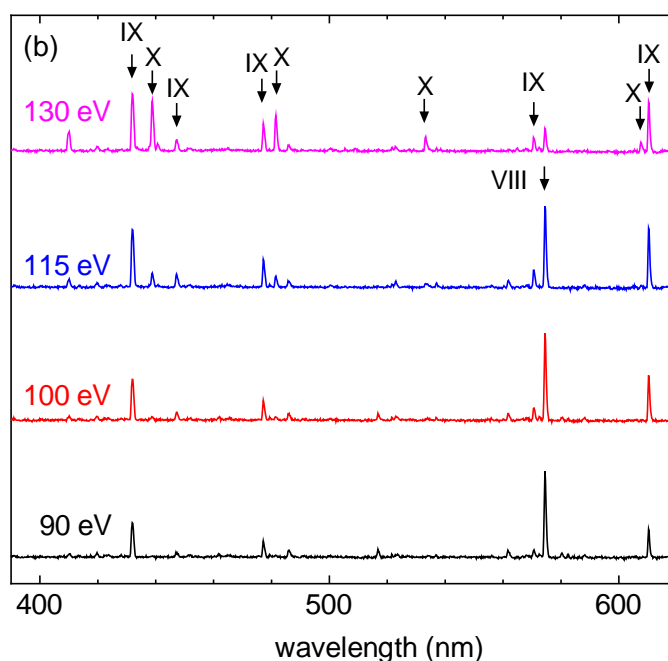
射シールドの中を通過していたため、それを放射シールドの外側に配置した。次に、放射シールドにある中継端子からコイル本体までの配線の高温超伝導線の本数をこれまでの1本から2本並列仕様にするすることで1本あたりの電流値を減らす一方、熱流入を低減するため配線の長さは4倍とした。その結果、目標の20Kを超える10Kの冷却温度を達成し、通電電流も目標の250Aを達成した。図はその結果であり、赤線が電流値（左軸）を示す。

2.3 遷移確率の測定を目的としたレーザー誘起ブレイクダウン分光分析

中性子星合体において重元素が合成されていることが近年の研究で明らかになってきている。その確証を得るためには、合体により放出される電磁波観測を行い、そのスペクトルや発光強度の経時変化を、放射輸送モデル計算と比較する必要がある。放射輸送計算では様々な重元素の束縛－束縛遷移データが必要となるが、現存しない遷移確率データを実験で得たり、現存する理論データを実験で検証したりすることを目的として、レーザー誘起ブレイクダウン分光分析装置の立ち上げを前年度までに行った。今年度は遷移確率を測定するために必要不可欠である二つの条件、局所熱平衡状態の成立と自己吸収の抑制を確認するため、標的試料の純度依存性の測定を行った。また、発光効率の向上のため、雰囲気気体の種類や圧力に対する依存性を調べ、遷移確率測定に必要な条件を最適化した。

2.4 多価イオンの発光線の観測・同定

熱核融合実験プラズマに必要なタングステン発光線、多価イオン原子時計開発や中性子星合体の放射輸送モデル計算に必要なランタノイド多価イオン発光線の観測を行った。タングステンについては、これまでの観測したデータのうち未同定のままとなっている遷移線の同定を目的として、衝突輻射モデルを構築しスペクトル計算を行った。その結果、建設中の実験炉ITERのエッジプラズマ診断に有用と思われる比較的価数の低い W^{8+} 、 W^{9+} イオンの可視域発光線同定に成功した（図は今回同定した可視域発光線の実験スペクトル, Mita et al., Atoms 5, 13, 2017）。これらの発光線は核融合プラズマ診断のみならず、多価イオンの長寿命遷移を用いた新しい原子時計開発にも有用である。ランタノイド多価イオンについては、中性子星合体の放射輸送モデルに関連するエルビウムについて、新たな可視域遷移の探索を行った。また、長寿命の励起状態を介した電離過程など、電子ビームイオントラップ内における素過程を発光線の電子ビームエネルギー依存性から調べた。



3. 外部発表のリスト (2019年4月～2020年3月の期間に発表されたもの)

3.1 論文発表 原著論文(査読有)

- (1) Yurina Michine and Hitoki Yoneda, “Ultra high damage threshold optics for high power lasers,” COMMUNICATIONS PHYSICS 3, Article number: 24 (2020).
- (2) Eiji Kajikawa, Tomohiro Ishii, Takashi Kubo, Yu-ichi Takeuchi, Kazuhiko Ogawa, Mitsuru Musha, Dual-wavelength-pumped Tm³⁺-doped ZBLAN fiber MOPA at 813 nm, Optics Letters vol.44 pp.2875-2878 (2019)
- (3) H. Tunnermann and A. Shirakawa, “Deep reinforcement learning for coherent beam combining applications,” Optics Express vol. 27, no.17, 24223-24230 (2019).
- (4) S. Li, Y. Yin, Q. Ouyang, Y. Chen, E. Lewis, G. Farrell, M. Tokurakawa, S. W. Harun and P. Wang “Dissipative soliton generation in Er-doped fibre laser using SnS₂ as saturable absorber,” Applied Physics Express 12, 102008- (2019).
- (5) H. Zhao, S. Jia, X. Wang, R. Wang, X. Lu, Y. Fan, M. Tokurakawa, G. Brambilla, S. Wang, P. Wang “Investigation of Dy³⁺/Tm³⁺ co-doped ZrF₄-BaF₂-YF₃-AlF₃ fluoride glass for efficient 2.9 μm mid-infrared laser applications,” Journal of Alloys and Compounds 815, 152754- (2019).
- (6) H. Y. Zhao, A. Z. Li, Y. T. Yi, M. Tokurakawa, G. Brambilla, S. J. Jia, S. B. Wang, and P. F. Wang “A Tm³⁺-doped ZrF₄-BaF₂-YF₃-AlF₃ glass microsphere laser in the 2.0 μm wavelength region,” Journal of Luminescence 212, 207-211 (2019).
- (7) Shi Li, Yu Yin, Qiuyun Ouyang, Guicang Ran, Yujin Chen, Elfed Lewis, Gerald Farrell, Masaki Tokurakawa, Sulaiman Wadi Harun, and Pengfei Wang “Nanosecond passively Q-switched fibre laser using a NiS₂ based saturable absorber,” Optics Express 27, 19843-19851 (2019).
- (8) Masaki Tokurakawa, Hiromu Sagara, and Henrik Tünnermann, “All-normal-dispersion nonlinear polarization rotation mode-locked Tm:ZBLAN fiber laser” Optics Express 27, 19530-19535 (2019).
- (9) Shi Li, Yu Yin, Guicang Ran, Qiuyun Ouyang, Yujin Chen, Masaki Tokurakawa, Elfed Lewis, Sulaiman Wadi Harun, and Pengfei Wang, “Dual-wavelength mode-locked erbium-doped fiber laser based on tin disulfide thin film as saturable absorber,” Journal of Applied Physics 125, 243104- (2019).
- (10) Akiko Nishiyama, Yoshiaki Nakajima, Ken’ichi Nakagawa, Atsushi Onae, Hiroyuki Sasada, and Kaoru Minoshima, Optical–optical double-resonance dual-comb spectroscopy with pump-intensity modulation, Optics Express, 27, 37003 (2019).
- (11) N. Kimura, R. Kodama, K. Suzuki, S. Oishi, M. Wada, K. Okada, N. Ohmae, H. Katori, and N. Nakamura, Direct determination of the energy of the first excited fine-structure level in Ba⁶⁺, Phys. Rev. A, 100, 052508 (2019).
- (12) Hiroyuki A. Sakaue, Daiji Kato, Izumi Murakami, Hayato Ohashi, and Nobuyuki Nakamura, Observation of electric octupole emission lines strongly enhanced by the anomalous behaviour of a cascading contribution, Phys. Rev. A, 100, 052515 (2019).

3.2 国際会議プロシーディングス

- (1) Shunichi Murata, Marianna S. Safronova, Ulyana I. Safronova, Nobuyuki Nakamura, Visible spectra of heavy ions with an open 4f shell, X-ray Spectrometry (Proceeding of HCI2018), 49, 200-203 (2019).
- (2) Toshihiro Tamai, Hiroyuki A. Sakaue, Yoshiro Terazaki, Nagato Yanagi, Nobuyuki Nakamura, Development of a high-temperature superconducting magnet for use in a cryogen-free electron beam ion trap, X-ray Spectrometry (Proceeding of HCI2018), 49, 308-312 (2019).
- (3) Masashi Monobe, Hiroyuki A. Sakaue, Daiji Kato, Izumi Murakami, Hirohisa Hara, Tetsuya Watanabe, Nobuyuki Nakamura, Resonant electron impact excitation of highly charged Fe ions studied with a compact electron beam ion trap, X-ray Spectrometry (Proceeding of HCI2018), 49, 511-514 (2020).
- (4) Eiji Kajikawa, Tomohiro Ishii, Kazuhiko Ogawa, Mitsuru Musha, A stable watt-class Tm³⁺-doped ZBLAN fiber MOPA with photobleaching, Proceedings of Advanced Solid State Laser (2019).

3.3 解説論文, 紹介記事, 報告書等

- (1) 佐々田博之, 岩國加奈, “光コムを用いた高性能分光計測法—デュアルコム分光計はFTIRを駆逐するか—”, 光学, vol. 48, No. 11, p. 457-461 (2019)
- (2) 戸倉川正樹, “波長 2 μm 帯ナノ秒、フェムト秒短パルス Tm レーザー光源の開発,” 天田財団「FORM TECH REVIEW 2019」29, 105-110 (2020).

3.4 博士論文, 修士論文, 卒業論文

- (1) 博士論文「紫外光励起オゾン混合ガス回折光学素子の研究」道根百合奈、2020年3月
- (2) 博士論文「Sr 光格子時計用 813 nm Tm³⁺添加 ZBLAN ファイバ MOPA」梶川詠司、2020年3月
- (3) 修士論文「側面研磨フッ化物ファイバカプラの開発」、石井知広、2020年3月
- (4) 修士論文「ヨウ素安定化光源の短期周波数安定度向上とデジタル制御」大塚俊介、2020年3月
- (5) 修士論文「Yb 添加 Ba(Zr,Mg,Ta)O₃ セラミックの特性評価とレーザー発振の検討」、池田真由、2020年3月
- (6) 修士論文「マルチコアおよびマルチモードファイバーレーザーの横モード解析」、梯太郎、2020年3月
- (7) 修士論文「モード同期 Yb:CaF₂ レーザーの研究」、小林祐樹、2020年3月
- (8) 修士論文「マルチコアファイバーレーザーの能動モード同期によるスーパーモード選択の検討」、成富未夢人、2020年3月
- (9) 修士論文「Tm³⁺:RE₂O₃(RE=Sc,Lu)を用いたカーレンズモード同期レーザーの開発」鈴木 杏奈、2020年3月
- (10) 修士論文「波長可変 Q スイッチ Tm ファイバーレーザーの開発」原田有生、2020年3月
- (11) 修士論文「Rydberg 励起用周波数安定化波長 420nm 半導体レーザーの開発」、高瀬直美、2020年3月
- (12) 修士論文「二電子性再結合 X 線の偏光度測定」、大石晋平、2020年3月
- (13) 修士論文「準安定状態を介した多価イオンの電離・発光過程の観測」、児玉龍之介、2020年3月
- (14) 修士論文「電子ビームイオントラップを用いた重元素多価イオンの可視領域発光線の観測」、市東佑介、2020年3月

- (15) 修士論文「高効率な単一光子発生に向けた高密度原子集団の作製」、高橋 圭太、2020年3月
- (16) 修士論文「極低温多価イオン源用小型超伝導コイルの開発」、鈴木健人、2020年3月
- (17) 修士論文「高速磁場とレーザー生成プラズマとの相互作用の研究」、浅井 晴貴、2020年3月
- (18) 修士論文「超短パルス非回折ビームを用いた高アスペクト加工の研究、」飯田 浩祐、2020年3月
- (19) 修士論文「誘電体多層膜の多重照射効果の研究」、三村 幸祐、2020年3月
- (20) 修士論文「X線自由電子レーザー励起X線レーザーの発振制御の研究」、宮崎 涼、2020年3月
- (21) 卒業論文「813 nm ファイバ増幅器励起用 Yb ファイバレーザーの開発」、遠藤駿、2020年3月
- (22) 卒業論文「音響光学偏向子を用いた絶対長測定システムの開発」長谷川丈紘、2020年3月
- (23) 卒業論文「 ^{87}Rb 原子のリュードベリ励起用 780 nm レーザーの構築」、荒木 陸、2020年3月
- (24) 卒業論文「高フィネス光共振器の安定化に向けた高安定レーザーの作製」、志村 一樹、2020年3月
- (25) 卒業論文「分割パルスファイバ増幅およびチャープパルス増幅による高エネルギー超短パルスの発生」、杉本洸太、2020年3月
- (26) 卒業論文「Yb 添加 CaF_2 を用いたフェムト秒カーレンズモード同期レーザーの開発」、中村 聡、2020年3月
- (27) 卒業論文「繰り返し周波数 325MHz の光周波数コムを用いた周波数計測システムの構築」、酒井直人、2020年3月
- (28) 卒業論文「波長 1650 nm LD 励起 Tm 固体レーザーの開発」 菊地音、2020年3月
- (29) 卒業論文「Arduino と python を用いたフリンジ分解自己相関計の開発」 矢津田匠海、2020年3月
- (30) 卒業論文「外部変調器を用いた広帯域可変周波数安定化レーザー」、山崎 智樹、2020年3月
- (31) 卒業論文「原子干渉計に用いる冷却原子源の温度評価」、吉田 佑策、2020年3月
- (32) 卒業論文「新型電子ビームイオントラップ用無絶縁超伝導コイルの評価」、河野泰隆、2020年3月
- (33) 卒業論文「Sn様及びIn様タングステン多価イオンにおける発光線の波長決定」、PIPATPAKORN PATIVATE、2020年3月
- (34) 卒業論文「レーザー誘起ブレイクダウン分光分析装置の条件の最適化」、岩田昌幸、2020年3月

3.5 国際会議 発表

- (1) Hitoki Yoneda, Progress of inner-shell ionized hard x-ray laser pumped by intense XFEL pulses, 3rd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, Hefei, China, 2019.11. 6, (plenary)
- (2) Yurina Michine and Hitoki Yoneda , Over 1kJ/cm² Damage Threshold Diffracted Optics for High Energy Laser System、The 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA 2019), Osaka, Japan, 2019.9.23
- (3) Hitoki Yoneda, Yurina Michine, Yuichi Inubushi, Hikaru Kitamura , 1s-4p Hard X-Ray Lasers of Cu atoms with Strong injection Seeding、The 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA 2019), Osaka, Japan, 2019.9.23
- (4) Hitoki Yoneda, Dynamics of gain properties of Bragg hard x-ray laser pumped by intense XFEL, 10th STAR meeting, Xin Liang Hotel, Chengdu, China 2019.6.1 (invited)
- (5) Hitoki Yoneda, Emission wavelength control in hard x-ray lasers with Bragg crystal target、10th Int. Workshop on WDM, Lubeck, Germany, 2019.5.8

- (6) Yurina Michine and Hitoki Yoneda, Development of ultra-low loss and high efficient cavity switch with UV writing ozone mixed gas switch, The 8th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS'19) 2019.4.23 Yokohama, Japan
- (7) A. Shirakawa and S. Kitajima, "Novel Material Ceramics for High-Power Femtosecond Lasers," 2019 International Advanced Laser Application Summit Forum (ALAT 2019), Shenzhen, China, May 9, 2019. (invited talk)
- (8) A. Shirakawa and S. Kitajima, "Femtosecond Ceramic Thin-Disk Lasers," 8th Applied Optics and Photonics China (AOPC) 2019, Beijing, China, July 9, 2019. (invited talk)
- (9) A. Shirakawa, M. Ikeda, and S. Kitajima, "Yb³⁺-doped Ba(Zr,Mg,Ta)O₃ ceramic and Yb³⁺-doped CaF₂-LaF₃ ceramic," 15th Laser Ceramics Symposium (LCS 2019), paper Sun-I-3, Zakopane, Poland, Sep. 15, 2019. (invited talk)
- (10) H. Tünnermann and A. Shirakawa, "AI Controlled Coherent Beam Combining," Advanced Solid-State Lasers (ASSL) 2019, paper ATh2A.1, Vienna, Austria, Oct. 3, 2019. (invited talk)
- (11) H. Tünnermann and A. Shirakawa, "Coherent Beam Combining with Deep Reinforcement Learning," Advanced Fiber Laser Conference (AFL) 2019, paper B-3-2, Tianxin, China, Nov. 24, 2019. (invited talk)
- (12) S. Kitajima, A. Shirakawa, H. Yagi, and T. Yanagitani, "Kerr-Lens Mode-Locked Yb:LuAG Ceramic Thin-Disk Laser," 8th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS '19), paper ALPS-1-04, Yokohama, Apr. 22, 2019.
- (13) H. Tünnermann and A. Shirakawa, "Neural Network Controlled Coherent Beam Combining," 8th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS '19), paper ALPS-19-05, Yokohama, Apr. 25, 2019.
- (14) H. Tünnermann and A. Shirakawa, "AI Controlled Tiled Aperture Coherent Beam Combining," CLEO-Europe/EQEC 2019, paper CJ-14.3, Munich, Germany, June 27, 2019.
- (15) Henrik Tünnermann and Akira Shirakawa, "Reinforcement learning for tiled aperture beam combining," Photonics West 2020, Paper 11260-11, San Francisco, USA, Feb. 3, 2020.
- (16) Kana Iwakuni, Thinh Q. Bui, Justin Niedermeyer, Takeshi Sukegawa, Jun Ye, "Direct Frequency Comb Spectroscopy with an Immersion Grating", CLEO-Europe-EQEC-2019, June 26, 2019
- (17) A. Suzuki, C. Krankel, M. Tokurakawa, "High Quality-Factor Kerr-lens Mode-locked Tm:Sc₂O₃ Laser with anomalous spectral broadening," CLEO Europe, CA6.1 Munich Germany, June (2019)
- (18) Hiromu Sagara and Masaki Tokurakawa, "All-normal-dispersion mode-locked Tm:ZBLAN fiber laser," CLEO Europe, CJ1.3 Munich Germany, June (2019)
- (19) K. Nakagawa, H. Ishikawa, S. Haneishi, and T. Kishimoto, Development of a Transportable Atomic Gravimeter for the Field Applications, The 2nd International Forum on Quantum Metrology and Sensing, 18 Dec. 2019 (poster).
- (20) NAKAMURA Nobuyuki, Measurement of High-Multipole Forbidden Transitions in Highly-Charged Ions Produced with EBITs, 20th International Conference on Atomic Processes in Plasmas (APiP2019), USA, Apr. 9, 2019 (invited).

- (21) NAKAMURA Nobuyuki, Visible Spectroscopy of Multiply Charged Ions with A Compact Electron Beam Ion Trap, 13th International Colloquium on Atomic Spectra and Oscillator Strengths for Astrophysical and Laboratory Plasmas (ASOS2019), China, June 24, 2019 (invited).
- (22) NAKAMURA Nobuyuki, Tungsten spectra observed with an electron beam ion trap, Atomic and molecular data for plasma applications, Satellite Workshop of XXXIV ICPIG & ICRP-10, Japan, July 14, 2019 (invited).
- (23) Susanta Das, Hayato Ohashi, and Nobuyuki Nakamura, Interactions of Slow Highly Charged Bi^{q+} Ions with HOPG Surface, 23rd International Workshop on Inelastic Ion-Surface Collisions (IISC-23), Japan, Nov. 20, 2019.
- (24) Eiji Kajikawa, Tomohiro Ishii, Kazuhiko Ogawa, Mitsuru Musha, A stable watt-class Tm³⁺-doped ZBLAN fiber MOPA with photobleaching, Advanced Solid State Laser (ASSL 2019), Vienna, Austria 30, Sep, 2019
- (25) Eiji Kajikawa, Tomohiro Ishii, Takashi Kubo, Kazuhiko Ogawa, Mitsuru Musha High slope efficiency and high power 813 nm Tm³⁺:ZBLAN fiber MOPA for the lattice laser of Sr optical lattice clock: CLEO Europe 2019, Munich, Germany 27, June, 2019
- (26) Mitsuru Musha, Japanese space gravitational wave detector DECIGO/B-DECIGO, Gravitational Wave Advanced Detector Workshop (GWADW2019) Elba, Italy, 21 May 2020 (invited)

3.6 国内会議 発表（学会，シンポジウム，ワークショップ，研究会等）

- (1) 校條健太、本村健治、西岡一、「マルチモード高出力緑色半導体レーザーのモード制御とビーム結合」レーザー学会東京支部研究会資料, P-2 (2020).
- (2) 白川晃：「高出力ファイバーレーザーの基礎と最新動向」，レーザーEXPO 2019 レーザー特別セミナー，パシフィコ横浜，2019 年 4 月 24 日。（招待講演）
- (3) Henrik Tünnermann and Akira Shirakawa：「OAM Beam via Deep Reinforcement Learning based Coherent Beam Combination」JSAP-OSA Joint Symposia 2019, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-E214-2, 北海道大学，2019 年 9 月 20 日．
- (4) 川村朋稔、白川晃：「可飽和吸収体によるマルチコアファイバーレーザーの位相同期に向けたモード同期ファイバーレーザーの研究」，第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 21a-E203-4, 北海道大学，2019 年 9 月 21 日．
- (5) 文全営、梯太郎，白川晃：「Yb 添加マルチコアファイバー増幅の研究」レーザー学会第 538 回研究会「ファイバーレーザー技術」，P7，名古屋大学，2019 年 11 月 15 日．
- (6) 梯太郎，白川晃：「マルチモードレーザーの横モード解析」レーザー学会第 538 回研究会「ファイバーレーザー技術」，P8，名古屋大学，2019 年 11 月 15 日．
- (7) 成富未夢人、白川晃：「マルチコアファイバーにおける時間領域スーパーモード選択の検討」，レーザー学会第 538 回研究会「ファイバーレーザー技術」，P9，名古屋大学，2019 年 11 月 15 日．
- (8) 川村朋稔、白川晃：「可飽和吸収体によるマルチコアファイバーレーザーの位相同期に向けたモード同期ファイバーレーザーの研究」，レーザー学会第 538 回研究会「ファイバーレーザー技術」，P10，

名古屋大学, 2019 年 11 月 15 日.

- (9) 小林祐樹、北島将太郎、白川晃：「Yb:CaF₂ 単結晶 Thin-disk レーザーの開発」, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会, B01-20p-III-05, 仙台, 2020 年 1 月 20 日.
- (10) 鈴木優哉、小林祐樹、白川晃：「半透明 thin-disk 利得媒質に向けた熱輻射温度モニタリング」, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会, B01-20p-III-06, 仙台, 2020 年 1 月 20 日.
- (11) 池田真由、白川晃：「Yb 添加 BZMT セラミックの光学特性とレーザー発振の検討」, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会, B04-21a-III-03, 仙台, 2020 年 1 月 21 日.
- (12) 川村朋稔、白川晃：「可飽和吸収体によるマルチコアファイバーレーザーの位相同期に向けたモード同期ファイバーレーザー」, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会, B06-21p-III-06, 仙台, 2020 年 1 月 21 日.
- (13) 梯太郎、白川晃：「マルチモードレーザーの横モード解析の研究」, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会, B09-22p-III-01, 仙台, 2020 年 1 月 22 日.
- (14) 成富未夢人、白川晃：「マルチコアファイバーレーザーの能動モード同期によるスーパーモード選択の検討」, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会, B09-22p-III-02, 仙台, 2020 年 1 月 22 日.
- (15) 岩國加奈, “中赤外光コムを用いた分子分光”, 日本光学会年次学術講演会 (OPJ)
赤外・テラヘルツ域の光波シンセシスの新潮流、大阪大学コンベンションセンター, Dec. 4 2019
- (16) 戸倉川 正樹、原田 有生、「AOM を用いた Q スイッチ Tm ファイバーレーザー」 第 67 回応用物理学会春季学術講演会 12p-B508 -12 2020/03/12
- (17) 鈴木 杏奈、戸倉川 正樹 「カーレンズモード同期 Tm³⁺:Lu₂O₃ セラミックレーザーの開発」 第 67 回応用物理学会春季学術講演会 12p-B508-11 2020/03/12
- (18) 鈴木杏奈、Christian Keankel, 戸倉川 正樹 「共振内スペクトル広帯域化を伴うモード同期 Tm:Sc₂O₃ laser レーザー」 2019 年第 80 回応用物理学会 秋季学術講演会 19p-E205-2 北海道 2019/09/19
- (19) 高瀬直美、奥野央志、中川賢一：「Rb 原子の Rydberg 状態励起用波長 420nm 干渉フィルタ安定型半導体レーザーの開発 II」, 日本物理学会 2019 年秋季大会、2019 年 9 月 10 日.
- (20) 石川悠, 羽石暁, 山崎智樹, 吉田佑策, 中川賢一：「可搬型原子重力加速度計の開発 I」, 日本物理学会 第 75 回年次大会、2020 年 3 月 16 日(オンライン).
- (21) 羽石暁, 石川悠, 山崎智樹, 吉田佑策, 中川賢一：「可搬型原子重力加速度計の開発 II」, 日本物理学会 第 75 回年次大会、2020 年 3 月 16 日(オンライン).
- (22) 高瀬直美, 奥野央志, 中川賢一：「Rb 原子の Rydberg 状態励起用波長 420 nm 干渉フィルタ安定型半導体レーザーの開発 3」, 日本物理学会第 75 回年次大会、2020 年 3 月 19 日(オンライン).
- (23) 沼舘直樹, 大石晋平, 都築豊, 渡辺伸, 内田悠介, 米田浩基, 小高裕和, 高橋忠幸, 櫻井誠, 渡邊裕文, 中村信行, Bi 多価イオンの L 殻放射性再結合 X 線に対する偏光度測定, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 5 日
- (24) 直井祐樹, 横田大地, 田中雅臣, 和南城伸也, 関口雄一郎, Gediminas Gaigalas, 坂上裕之, 加藤太治, 村上泉, 田沼肇, 中村信行, レーザー誘起ブレイクダウン分光分析装置を用いたエルビウムの可視域発光の観測, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 5 日
- (25) 児玉龍之介, 木村直樹, 鈴木健人, 物部将士, 沼舘直樹, 東俊行, 中村信行, バリウムおよびヨウ素

- 多価イオンの可視／極端紫外領域の発光観測, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 5 日
- (26) 鈴木健人, 木村直樹, 児玉龍之介, 和田道治, 岡田邦宏, 中村信行, 大前宣昭, 香取秀俊, 極低温多価イオン源用小型超伝導コイルの開発, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 5 日
- (27) 市東佑介, 中村信行, 電子ビームイオントラップを用いたエルビウムイオンの可視領域発光線の観測, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 5 日
- (28) 木村直樹, 児玉龍之介, 鈴木健人, 沼館直樹, 東俊行, 中村信行, Pd 様イオンの長寿命準安定状態を介した電離過程の観測とその応用, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 6 日
- (29) Priti, Daiji Kato, Izumi Murakami, Hiroyuki A. Sakaue, Nobuyuki Nakamura, Modeling of spectra from multiply charged tungsten ions observed with CoBIT, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 6 日
- (30) 大石晋平, 沼館直樹, 都築豊, 渡辺伸, 内田悠介, 米田浩基, 小高裕和, 高橋忠幸, 櫻井誠, 渡邊裕文, 中村信行, Li 様 Bi イオンへの二電子性再結合 X 線の偏光度測定, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 6 日
- (31) 都築豊, 渡辺伸, 大石晋平, 沼館直樹, 櫻井誠, 渡邊裕文, 中村信行, 内田悠介, 米田浩基, 小高裕和, 高橋 忠幸, Si/CdTe コンプトンカメラの原子物理実験における偏光測定への応用, 原子衝突学会第 44 回年会, 2019 年 9 月 6 日
- (32) 木村直樹, 児玉龍之介, 鈴木健人, 大石晋平, 和田道治, 岡田邦宏, 大前宣昭, 香取秀俊, 中村信行, 電子ビームイオントラップ中へのバッファースガス導入と多価イオン可視光遷移波長測定への応用, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 2019 年 9 月 12 日
- (33) 木村直樹, 沼館直樹, 物部将士, 児玉龍之介, 鈴木健人, 和田道治, 岡田邦宏, 東俊行, 中村信行, バリウム多価イオン電離過程の特異なエネルギー依存性, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 2019 年 9 月 12 日
- (34) 都築豊, 渡辺伸, 大石晋平, 沼館直樹, 櫻井誠, 渡邊裕文, 中村信行, 内田悠介, 米田浩基, 小高裕和, 高橋忠幸, 二電子性再結合 X 線の偏光度測定 I, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 2019 年 9 月 12 日
- (35) 大石晋平, 沼館直樹, 都築豊, 渡辺伸, 内田悠介, 米田浩基, 小高裕和, 高橋忠幸, 櫻井誠, 渡邊裕文, 中村信行, 二電子性再結合 X 線の偏光度測定 II, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 2019 年 9 月 12 日
- (36) 児玉龍之介, 木村直樹, 鈴木健人, 物部 将士, 沼館直樹, 東俊行, 中村信行, Cd 様-Rh 様多価イオンの可視/極端紫外領域の発光観測, 2019 年合同素過程研究会, 2019 年 12 月 25 日
- (37) Priti, Daiji Kato, Izumi Murakami, Hiroyuki A. Sakaue, Nobuyuki Nakamura, Analysis of Visible Transitions in WIX and WX observed with an Electron Beam Ion Trap, 2019 年合同素過程研究会, 2019 年 12 月 25 日
- (38) 沼館直樹, 大石晋平, 都築豊, 渡辺伸, 内田悠介, 米田浩基, 小高裕和, 高橋忠幸, 櫻井誠, 渡邊裕文, 中村信行, 放射性再結合 X 線の偏光度測定, 日本物理学会第 75 回年次大会, 2020 年 3 月 16 日
- (39) Priti, Daiji Kato, Izumi Murakami, Hiroyuki A. Sakaue, Nobuyuki Nakamura, Observation and Identification of Visible Transitions in Tungsten Ions, 日本物理学会第 75 回年次大会, 2020 年 3 月 16 日
- (40) Haruka Tanji-Suzuki, “Towards on-demand single-photon generation with an atomic ensemble in a cavity,” 応用物理学会量子情報グループ研究会, 国立情報学研究所, 2019 年 10 月 8 日.
- (41) 大塚俊介、濱口太一、中森真輝、赤見恵、末正有、武者満, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (108) : B-DECIGO 用高安定高出力光源の開発, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 2019 年 9 月 20 日
- (42) 梶川詠司、石井知広、小川和彦、武者満, 高出力 810nm 帯 Tm³⁺:ZBLAN カスケードファイバーMOPA の安

定動作, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 2019 年 9 月 21 日

(43) 石井知広、梶川詠司、武者満、小川和彦、側面研磨による ZBLAN ファイバカプラの開発、第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 2019 年 9 月 21 日

(44) 大塚俊介、末正有、中森真輝、濱口太一、武者満、宇宙重力波検出器 DECIGO/B-DECIGO に向けた高出力・高安定光源の開発 第 63 回宇宙科学技術連合講演会 2019 年 11 月 6 日

(45) 石井知広、梶川詠司、武者満、小川和彦、側面研磨 ZBLAN ファイバを用いたファイバ光学素子の開発、レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会 2020 年 1 月 20 日

(46) 梶川詠司、石井知広、武者満、小川和彦、高出力 810nm 帯ファイバ増幅器における信号光フォトブリチング、レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会 2020 年 1 月 22 日

(47) 濱口太一、大塚俊介、末正有、, 長谷川丈紘、中森真輝、赤見恵、武者満、スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(113): 安定化光源と衛星捕捉システム、日本物理学会第 75 回年次大会 2019 年 3 月 16 日

3.7 講演会、セミナー、研究会

レーザー新世代研究センター 客員教授講演会

(1) 川嶋利幸 (浜松ホトニクス)、「大出力 LD 励起セラミックスレーザーの開発と産業応用展開」、2019 年 12 月 4 日

3.8 表彰・特許

(1) 梯太郎、レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会論文発表奨励賞 (「マルチコアファイバーレーザーの横モード解析」) 2019 年 1 月 12 日.

(2) 道根百合奈 日本学術振興会育志賞 2020 年

(3) 特許出願: 名称: レーザー光の回折集光方法及び回折集光光学素子装置、出願番号 (出願日): 2019-237955 (2019/12/27)

4. 外部発表のリスト (2018 年 4 月～2019 年 3 月)

4.1 論文発表 原著論文(査読有)

- (1) A A Kaminskii, O Lux, H J Eichler, H Rhee, J Hanuza, M Ptak, J Dong and H Yoneda, Observation of $\chi(3)$ -nonlinear optical effects in stimulated Raman scattering (SRS)-active CsLa(WO₄)₂ crystals: high-order Stokes and anti-Stokes generation and self-Raman CsLa(WO₄)₂:Nd³⁺ laser converter, *Laser Physics* 28, 085804 (2018).
- (2) Daniela A. Georgieva, Todor. S. Petrov, Hitoki Yoneda, Rakish Shikne, Nikolay N. Nedyalkov, and Lubomir M. Kovachev, Avalanche parametric conversion and white spectrum generation from infrared femtosecond pulses in glasses, *Optics Express*, 26-13, 17649-17661 (2018).
- (3) Alexander A. Kaminskii, Ladislav Bohatý, Eugen Libowitzky, Hanjo Rhee, Oliver Lux, Hans J. Eichler, Reiner Kleinschrodt, Hitoki Yoneda, Akira Shirakawa, Petra Becker, Spodumene, α -LiAlSi₂O₆ – A new natural SRS-active crystal with three $\chi(3)$ -promoting vibrational modes, *Optical Materials* 78, 235-246 (2018).
- (4) S. Kitajima, A. Shirakawa, H. Yagi, T. Yanagitani, "Sub-100 fs pulse generation from a Kerr-lens mode-locked Yb:Lu₂O₃ ceramic thin-disk laser," *Optics Letters* 43, 5451-5454 (2018).
- (5) M. Tokurakawa, H. Sagara, and H. Tünnermann, "All-normal-dispersion nonlinear polarization rotation mode-locked Tm:ZBLAN fiber laser," *Optics Express*. 27, 19530-19535 (2019).
- (6) S. Li, Y. Yin, G. Ran, Q. Ouyang, Y. Chen, M. Tokurakawa, E. Lewis, S. W. Harun, and P. Wang, "Dual-wavelength mode-locked erbium-doped fiber laser based on tin disulfide thin film as saturable absorber," *Journal of Applied Physics* 125, 243104 (2019).
- (7) S. Li, Y. Yin, Q. Ouyang, G. Ran, Y. Chen, E. Lewis, G. Farrell, M. Tokurakawa, S. W. Harun, and P. Wang, "Nanosecond passively Q-switched fibre laser using a NiS₂ based saturable absorber," *Optics Express* 27, 19843-19851 (2019).
- (8) H.Y.Zhao, A.Z.Li, Y.T.Yi, M.Tokurakawa, G.Brambilla, S.J.Jia, S.B.Wang, and P.F.Wang, "A Tm³⁺-doped ZrF₄-BaF₂-YF₃-AlF₃ glass microsphere laser in the 2.0 μ m wavelength region," *Journal of Luminescence* 212, 207-211 (2019).
- (9) Jameesh Keloth, Kali P Nayak, Jie Wang, Makoto Morinaga, Kohzo Hakuta, Coherent interaction of orthogonal polarization modes in a photonic crystal nanofiber cavity, *Optics express* 27, 1453-1466 (2019).
- (10) K. Iwakuni, T. Q. Bui, J. F. Niedermeyer, T. Sukegawa, J. Ye, Comb-resolved spectroscopy with immersion grating in long-wave infrared, *Optics Express* 27, 1911 (2019).
- (11) Xiaobin Ding, Jiaoxia Yanga, Linfan Zhu, Fumihiro Koike, Izumi Murakami, Daiji Kato, Hiroyuki A. Sakaue, Nobuyuki Nakamura, Chenzhong Dong, Collisional radiative model for the M1 transition spectrum of the highly-charged W⁵⁴⁺ ions, *Physics Letters A* 382, 2321-2325 (2018).
- (12) Naoki KIMURA, Ryunosuke KODAMA, Kento SUZUKI, Shimpei OISHI, Michiharu WADA, Kunihiro OKADA, Noriaki OHMAE, Hidetoshi KATORI and Nobuyuki NAKAMURA, Direct Wavelength Measurement of the Visible M1 Transition in Ba⁷⁺ with a Novel Calibration Method, *Plasma and Fusion Research* 14, 1201021 (2019).

4.2 国際会議プロシーディングス

- (1) Mitsuru Musha, Kei Akami, Aru Suemasa, Novel satellite positioning system using Acousto-Optic Deflector, Proceedings of ICSO 2018, 1120 (2018).
- (2) Aru Suemasa, Shunsuke Ohtsuka, Ayumi Shimo-oku, Masaki Nakamori, Mitsuru Musha, Developments of highly frequency and intensity stabilized laser for space gravitational wave detector DECIGO/Pre-DECIGO, Proceedings of ICSO2018, 1140 (2018).

4.3 解説論文、紹介記事、報告書等

- (1) 白川晃、ファイバレーザの高出力化のためのコヒーレントビーム結合、レーザー協会誌 vol.43, no.1, 10-15 (2018).
- (2) 中川賢一、田村光、リュードベリ原子を用いた量子シミュレーション、パリティ 33 巻、37-39 (2018).
- (3) 中川賢一、量子技術のための単一冷却原子・イオンの操作、光学 47 巻、246-282(2018).
- (4) 森永実、3D プリンタで作る 2 次元電動ステージ、分光研究 67, 200-201 (2018).

4.4 博士論文、修士論文、卒業論文

- (1) 修士論文「白色干渉計による衝撃波面の観測」、近藤茂、2019年3月
- (2) 卒業論文「キャビティリングダウンを用いたCO2吸収スペクトルの高精度測定」、山崎晃平、2019年3月
- (3) 卒業論文「高出力レーザを用いた高温金属の研究」、神山美里、2019年3月
- (4) 卒業論文「CWレーザ加工による金属状態の研究」、山本拓磨、2019年3月
- (5) 博士論文「High Power Ultrafast Thin-Disk Lasers Based on Yb-doped Ceramics」、北島将太郎、2018 年 3 月
- (6) 修士論文「分割パルスファイバ増幅器を用いた高エネルギー超短パルスの発生」、徐睿(Xu Rui or Ei Jo)、2018 年 3 月
- (7) 卒業論文「キラル結合コアファイバによる高出力レーザの研究」、大森慎也、2018 年 3 月
- (8) 卒業論文「可飽和吸収体によるマルチコアファイバレーザの位相同期に向けたモード同期ファイバレーザの研究」、川村朋稔、2018 年 3 月
- (9) 卒業論文「フィゾー干渉計を用いた屈折率の温度係数測定法の改良と評価」、鈴木優哉、2018 年 3 月
- (10) 博士論文「Highly stable laser for space gravitational wave detector DECIGO」末正有 2018 年3月
- (11) 修士論文「音響光学偏向子を用いた人工衛星位置決定システム」、赤見恵、2018年3月
- (12) 修士論文「波長515nm光源の高安定高出力化」中森真輝、2018年3月
- (13) 修士論文「人工衛星搭載に向けた高安定光周波数コムの開発」松阪佳奈、2018年3月
- (14) 卒業論文「EOM 光コムによる複数レーザ間の位相同期」、伊藤航平、2018 年 3 月
- (15) 卒業論文「光コムのための figure-8 レーザの繰り返し周波数制御」齋藤瞭太、2018 年 3 月
- (16) 卒業論文「FM分光法による飽和吸収信号の S N 比向上」濱口太一、2018 年 3 月
- (17) 修士論文「ZBLAN ファイバを用いた波長 2 μ m 帯全正常分散モード同期ファイバレーザの開発」、相楽 啓、2018 年 3 月

- (18) 卒業論文「W 型屈折率分布 Tm ファイバーを用いたモード同期レーザーの開発」、佐藤 匠、2018 年 3 月
- (19) 博士論文 ” Collisional properties of Fermi gases with p-wave interaction”、Muhammad Waseem、2018 年 9 月
- (20) 卒業論文「1560nm 半導体レーザーの第二高調波を用いた Rb 原子レーザー冷却用光源」、鈴木皓詞、2018 年 3 月
- (21) 卒業論文「原子冷却用レーザーの周波数安定化」、石川悠、2018 年 3 月
- (22) 卒業論文「Rb 原子の変調移行分光を用いた 420nm 半導体レーザーの周波数安定化」、奥野央志、2018 年 3 月
- (23) 卒業論文「原子干渉計のための磁気光学トラップの開発」、羽石暁、2018 年 3 月
- (24) 修士論文「単一光子発生に向けた⁸⁷Rb原子のRydberg励起」、櫻井 明彦、2019年3月。
- (25) 修士論文「単一光子発生に向けた光共振器と冷却原子の結合系の構築」、松山 佳生、2019年3月。
- (26) 修士論文「少数光子非線形効果の観測に向けた光共振器安定化用光源の開発」、山岸 直樹、2019 年3月。
- (27) 卒業論文「磁気光学トラップ補正磁場用コイルおよび制御系の開発」、高山 泰征、2019 年 3 月。
- (28) 卒業論文「少数光子非線形光学効果の観測に向けた原子トラップ用レーザーの開発と特性評価」、田中 貴大、2019 年 3 月。
- (29) 卒業論文「⁸⁷Rb のリユードベリ状態の観測に向けたレーザー光の周波数安定化と周波数掃引」、茂木 康伸、2019 年 3 月。
- (30) 修士論文「テーパードファイバーによる光ピンセットの研究」、竹村 武士、2019 年 3 月
- (31) 修士論文「FPGA を用いた相関計測装置の開発」、福田 冬傑、2019 年 3 月
- (32) 修士論文「stick-slip 運動を用いた電動ステージの開発」、廣瀬 和真、2019 年 3 月
- (33) 卒業論文「ファイバチップによるトラップに向けた光ピンセットの基礎特性の評価」、伊藤 雅 浩、2019 年 3 月
- (34) 卒業論文「FPGA を用いた光計測装置の開発」、坂内 栄一、2019 年 3 月
- (35) 修士論文「クリプトンイオンの磁気双極子遷移の観測」、近藤丈洋、2019 年 3 月
- (36) 修士論文「タングステン多価イオンの発光過程の研究」、寺西若葉、2019 年 3 月
- (37) 修士論文「電子ビームイオントラップの電子エネルギー制御による多価イオンの励起・電離過程の研究」、物部将士、2019 年 3 月
- (38) 修士論文「レーザー誘起ブレイクダウン分光分析装置の立ち上げと評価」、横田大地、2019 年 3 月
- (39) 卒業論文「レーザー誘起ブレイクダウン分光分析装置用試料ホルダの製作」、直井祐樹、2019 年 3 月
- (40) 卒業論文「無絶縁高温超伝導コイルの評価」、山西颯馬、2019 年 3 月

4.5 国際会議

- (1) H. Yoneda, Ultra-intense XFEL and X-ray quantum optics, US-Japan workshop on high energy density sciences, Washington DC, USA, 24 Jan. 2019 (Invited)
- (2) H. Yoneda, Laser driven neutron source, The 8-th Asian Summer School and Symposium on Laser-Plasma Acceleration and Radiation, Nara, Japan, 26 Nov. 2018 (Invited)
- (3) H. Yoneda, Bragg diffraction type hard x-ray laser pumped with intense XFEL pulses, 2018 Radiative properties and hot dense matter, RPHDM Workshop, Hamburg, Germany, 24 Oct. 2018 (Invited)
- (4) H. Yoneda, Progress of research on inner-shell ionized hard x-ray laser pumped with intense XFEL pulses, 5th UFDIM (Ultrafast Dynamic Imaging of Matter) conference, Crete, Greece, 2018.9.30 (Invited)
- (5) H. Yoneda, New type of hard x-ray lasers pumped by X-FEL, European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS 2018), Ljubljana, Slovenia, 2018.6.25 (Plenary talk)
- (6) H. Yoneda, Lasing and Nonlinear Phenomena in X-ray Region with the X-ray laser SACLA, Asia Pacific Laser Symposium, XI'AN, China, 2018.5.28 (Plenary talk)
- (7) H. Yoneda, Cavity controlled hard x-ray lasers, The 9th Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (STAR9), Nasu-Shiobara, Utunomiya, Japan, 2018.5.25 (Invited)
- (8) Y. Michine and H. Yoneda, High quality and high damage threshold optics with ozone mixed gas grating, The 7th Advanced Lasers and Photon Sources 2018(ALPS2018), Yokohama, Japan, 2018.4.26
- (9) K. Iida, Y. Michine, H. Yoneda, High aspect ratio nanometer size channel machining with phase corrected femtosecond Bessel beams, The 7th Advanced Lasers and Photon Sources 2018(ALPS2018), Yokohama, Japan, 2018.4.26
- (10) Y. Michine and H. Yoneda, 1s-4p hard x-ray lasers of Cu atoms with strong injection seeding, 2018 Radiative properties and hot dense matter, RPHDM Workshop, Hamburg, Germany, 23 Oct. 2018
- (11) Y. Michine, Stable and high damage threshold gas grating for ultra-high power laser system, CIAiS International Symposium 2019, Tokyo, Japan, 1 March 2019
- (12) S. Kitajima, A. Shirakawa, H. Yagi, T. Yanagitani, and H. Ishizawa, "High Power Ultrashort Pulse Laser Based On Yb-doped Ceramic Materials," 2018 Glass and Optical Materials Division (GOMD) Meeting, paper GOMD-S3-089-2018, San Antonio, Texas, USA, May 22, 2018. (invited talk)
- (13) A. Shirakawa, "Yb³⁺-doped ceramics for high power ultrafast thin-disk lasers," Wordshorp on high power lasers at Jiangsu Normal University, Xuzhou, China, Feb.20, 2019
- (14) Xu Rui (Ei Jo), H. Tünnermann, and Akira Shirakawa, "Combining efficiency in divided pulse amplification," Wordshorp on high power lasers at Jiangsu Normal University, Xuzhou, China, Feb.20, 2019.
- (15) H. Tünnermann and Akira Shirakawa, "Reinforcement learning for phase control in coherent beam combining," Wordshorp on high power lasers at Jiangsu Normal University, Xuzhou, China, Feb.20, 2019.
- (16) Henrik Tünnermann and Akira Shirakawa, "Reinforcement learning for coherent beam combination," Photonics West 2019, Paper 10897-47, San Francisco, USA, Feb. 6, 2019.
- (17) M. Ikeda, S. Kitajima, and A. Shirakawa, "Study of Yb³⁺-doped Ba(Zr,Mg,Ta)O₃ ceramic laser," 14th Laser Ceramics Symposium (LCS 2018), paper M, Okazaki, Japan, Nov. 29, 2018.

- (18) Y. Kobayashi, S. Kitajima, K. Yamakado, A. Shirakawa, M. Harada, and H. Ishizawa, "Mode-locked Yb CaF₂-LaF₃ ceramic laser using single-walled carbon nanotube saturable absorber," 14th Laser Ceramics Symposium (LCS 2018), paper L, Okazaki, Japan, Nov. 29, 2018.
- (19) S. Kitajima, A. Shirakawa, H. Yagi, and T. Yanagitani, "Kerr-lens mode-locked thin-disk lasers of Lu-based oxide ceramic gain media," 14th Laser Ceramics Symposium (LCS 2018), paper K, Okazaki, Japan, Nov. 29, 2018.
- (20) S. Kitajima, A. Shirakawa, H. Yagi, and T. Yanagitani, "Sub-100 fs Kerr-Lens Mode-Locked Thin-Disk Lasers Based on Ceramic Gain Media," Advanced Solid-State Lasers (ASSL) 2018, paper Ath3A.2, Boston, USA, Nov. 8, 2018.
- (21) H. Tünnermann and A. Shirakawa, "End-to-end reinforcement learning for coherent beam combination," 8th EPS-QEOD Europhoton Conference, paper TuP.11, Barcelona, Spain, Sep. 4, 2018.
- (22) H. Tünnermann and A. Shirakawa, "Reinforcement Learning for Coherent Beam Combining," CLEO-PR 2018, paper W1A.2, Hong Kong, Aug. 1, 2018.
- (23) S. Kitajima, A. Shirakawa, H. Yagi, and T. Yanagitani, "Kerr-Lens Mode-Locked Yb:Lu₂O₃ Ceramic Thin-Disk Laser," CLEO 2018, paper SF2N.5, San Jose, California, USA, May 18, 2018.
- (24) H. Tünnermann and A. Shirakawa, "Probabilistic Phase Control for Coherent Beam Combining," CLEO 2018, paper JTh2A.138, San Jose, California, USA, May 17, 2018.
- (25) S. Kitajima, A. Shirakawa, H. Yagi, and T. Yanagitani, "177 fs pulses from Kerr-lens mode-locked Yb:Lu₂O₃ ceramic thin-disk laser," 7th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS '18), paper ALPSp-11, Yokohama, Apr. 26, 2018.
- (26) A. Shirakawa, Y. Kurosu, and H. Tünnermann, "Mode analysis in phase-locked multicore fiber laser by interference method," Photonics Europe 2018, paper 10683-129, Strasbourg, France, Apr. 23, 2018.
- (27) Mitsuru Musha, Kei Akami, Aru Suemasa, Novel satellite positioning system using Acousto-Optic Deflector, International Conference on Space Optics 2018 (ICSO2018), Chania, Greece 12, Oct, 2018
- (28) Aru Suemasa, Shunsuke Ohtsuka, Ayumi Shimo-oku, Masaki Nakamori, Mitsuru Musha stable and high power 515-nm lasers for the space gravitational wave detector: DECIGO, International Conference on Space Optics 2018 (ICSO2018), Chania, Greece 9, Oct, 2018
- (29) Eiji Kajikawa, Takashi Kubo, Tomohiro Ishii, Yu-ichi Takeuchi, Mitsuru Musha, High efficient dual-wavelength-pumped (1050+1220nm) Tm³⁺-doped ZBLAN fiber MOPA at 813 nm, Europhoton 2018, Barcelona, Spain, 7, Sep, 2018
- (30) Mitsuru Musha, Optical frequency comb applications for large missions, Ultrafast Light 2018, Moscow, Russia, 2, Oct 2018 (Invited)
- (31) Mitsuru Musha, Aru Suemasa, Ayumi Shimo-oku, Shunsuke Ohtsuka, Ultra-high stable light source for DECIGO, 15th Marcel Grossmann Meeting, Rome, Italy, 1 July 2018 (Invited)
- (32) Mitsuru Musha, High power and highly-stable light source for DECIGO/B-DECIGO, RESCEU Workshop 'Space Gravitational-Wave Detection' Tokyo, Japan, 28 March 2019
- (33) Mitsuru Musha, Optical technologies for space gravitational wave detector, 5th MIPT-UEC-LPI International Workshop on Atomic, Molecular, Optical Physic, Moscow, Russia 1 Oct 2018

- (34) Eiji Kajikawa, Mitsuru Musha, Fiber-based trapping laser for Sr optical lattice clock, 5th MIPT-UEC-LPI International Workshop on Atomic, Molecular, Optical Physic, 1 Oct 2018
- (35) A. Suzuki, M. Tokurakawa, and C. Kränkel, “High Quality-Factor Kerr-lens Mode-locked Tm:Sc₂O₃ Laser with anomalous spectral broadening,” CLEO Europe, Munich, Germany, 24 June, (2019)
- (36) H. Sagara and M. Tokurakawa, “All-normal-dispersion mode-locked Tm:ZBLAN fiber laser” CLEO Europe, Munich, Germany, 24 June, (2019)
- (37) A. Suzuki, C. Krankel, M. Tokurakawa, “High Quality-Factor Kerr-lens Mode-locked Tm:Sc₂O₃ Laser with anomalous spectral broadening,” ALPS2019, Yokohama Japan, (2019)
- (38) T. Sato, Y. Chen, and R. Sidharthan, S. Yoo, and M. Tokurakawa, “Nonlinear polarization rotation dispersion managed soliton mode-locked laser using normal dispersion Tm silica fiber,” ALPS2019, Yokohama Japan, (2019)
- (39) H. Sagara, A. Suzuki, M. Tokurakawa, “Two micron All-normal-dispersion NPR mode-locked Tm:ZBLAN fiber laser,” ASSL2018, Boston USA, (2018)
- (40) Hikaru Tamura, Tomotake Yamakoshi, and Ken’ichi Nakagawa, “Towards quantum simulations of many-body systems using 2D arrays of cold Rydberg atoms”, The EMN(Energy Material and Nanotechnology) meeting on Quantum Technology 2018, Dubrovnik, Croatia, 7 May (2018). (invited talk)
- (41) Ken’ichi Nakagawa, Hikaru Tamura, Tomotake Yamakoshi, “Quantum simulation of many-body systems with cold Rydberg atoms”, The 8th International Symposium on Cold Atom Physics, Wuhan, China, 11 June, (2018). (invited talk)
- (42) Ken’ichi Nakagawa, Hikaru Tamura, Tomotake Yamakoshi, “Programmable quantum simulators based on cold Rydberg atoms”, the 13 th Japan-US Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy, Kanazawa, Japan, 25 Sept. (2018). (Invited talk)
- (43) Ken’ichi Nakagawa, Hikaru Tamura, Tomotake Yamakoshi, “Quantum simulation of many-body systems with cold Rydberg atoms”, 2nd Asia-Pacific Workshop on Trapped Quantum System, Daejeon, South Korea, 22 Feb. (2019). (invited talk)
- (44) Jameesh Keloth, Kali Prasanna Nayak, Jie Wang, Makoto Morinaga, Kohzo Hakuta, Two-mode interference in a photonic crystal nanofiber cavity, European Optical Society Biennial Meeting (EOSAM), Delft, Netherland, Oct. 9 (2018).
- (45) Ha Long City, Vietnam, Makoto Morinaga, J. Keloth, K.M. Shafi, R.R. Yalla, K.P. Nayak, J. Wang and Kohzo Hakuta, CAVITY QUANTUM OPTICS BASED ON OPTICAL NANOFIBERS, The 10th International Conference on Photonics & Applications (ICPA-10), Nov. 12 (2018). (invited talk)
- (46) NAKAMURA Nobuyuki, Visible spectra of multiply charged heavy ions obtained with a compact electron beam ion trap, The 7th China- Japan-Korea Joint Seminar on Atomic and Molecular Processes in Plasma (AMPP2018) (2018).
- (47) N. Kimura, R. Kodama, K. Suzuki, S. Ohishi, M. Wada, K. Okada, N. Ohamae, H. Katori, and N. Nakamura, Visible Spectroscopy of Highly Charged Barium Ions in a Compact Electron Beam Ion Trap with a Buffer Gas Calibration Method, 19th International Conference Physics of Highly Charged Ions (HCI2018) (2018).

- (48) H. A. Sakaue, D. Kato, I. Murakami, H. Ohashi and N. Nakamura, Observation of electric octupole (E3) transitions in the EUV spectra of tungsten ions, 19th International Conference Physics of Highly Charged Ions (HCI2018) (2018).
- (49) Shunichi Murata, Takayuki Nakajima, Marianna S. Safronova, Ulyana I. Safronova, and Nobuyuki Nakamura, Visible spectra of heavy ions with an open 4f shell, 19th International Conference Physics of Highly Charged Ions (HCI2018) (2018).
- (50) Takumi Ohna, Naoki Numadate, Yohei Yamada, Masaomi Tanaka, Shinya Wanajo, Yuichiro Sekiguchi, Daiji Kato, Izumi Murakami, Hiroyuki A. Sakaue, Nobuyuki Nakamura, and Hajime Tanuma, Charge Exchange Spectroscopy for Multiply Charged Ions of Heavy Elements in the Extreme Ultra-Violet Region, 19th International Conference Physics of Highly Charged Ions (HCI2018) (2018).
- (51) Masashi Monobe, Takashi Tsuda, Hiroyuki A. Sakaue, Daiji Kato, Izumi Murakami, Hirohisa Hara, Tetsuya Watanabe, and Nobuyuki Nakamura, Resonant electron impact excitation of highly charged Fe ions studied with a compact electron beam ion trap, 19th International Conference Physics of Highly Charged Ions (HCI2018) (2018).
- (52) Toshihiro Tamai, Hiroyuki A Sakaue, Yoshiro Terazaki, Nagato Yanagi and Nobuyuki Nakamura, Development of a high temperature superconducting magnet for use in a cryogen-free electron beam ion trap, 19th International Conference Physics of Highly Charged Ions (HCI2018) (2018).
- (53) Naoki Kimura, Ryuunosuke Kodama, Kenta Suzuki, Shimpei Oishi, Michiharu Wada, Kunihiro Okada, Noriaki Ohmae, Hidetoshi Katori, Nobuyuki Nakamura, Applications of buffer gas in a compact EBIT for reliable spectroscopic calibration, 13th International Symposium on Electron Beam Ion Sources and Traps (EBIST2018) (2018). (invited)
- (54) Daiji Kato, Shota Era, Hiroyuki A. Sakaue, Izumi Murakami, Motoshi Goto, Tetsutaro Oishi, Chihiro Suzuki, Nobuyuki Nakamura, and Shigeru Morita, Modeling for emission line spectra of tungsten highly charged ions and its applications to tungsten measurements for fusion plasmas, 13th International Symposium on Electron Beam Ion Sources and Traps (EBIST2018) (2018). (invited)
- (55) H. A. Sakaue, D. Kato, I. Murakami, H. Ohashi and N. Nakamura, Observation of 4f-5s Electric Octupole (E3) Transition in the EUV Spectrum of Ag-like Tungsten, 13th International Symposium on Electron Beam Ion Sources and Traps (EBIST2018) (2018). (invited)
- (56) Nobuyuki Nakamura, Collisional and radiative processes of highly charged iron ions studied with an electron beam ion trap, 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2018) (2018). (invited)

4.6 国内会議（学会、シンポジウム、ワークショップ、研究会等）

- (1) 米田仁紀、共振器型ハードX線レーザーの実現、レーザー学会学術講演会第39回年次大会、東京、高輪、2019.1.14（招待講演）
- (2) 米田仁紀、レーザー加工における warm dense matter 物理、平成30年度 研究会「原子分子過程研究と受動・能動分光計測の高度化のシナジー効果によるプラズマ科学の展開」土岐、岐阜、2018.12.19（招待講演）
- (3) 道根百合奈, 米田仁紀, R.M. More, 紫外励起オゾン回折格子の空間屈折率変調構造生成過程について,

日本物理学会 2018 年秋季大会、京都、京都、2018.9.9

- (4) 米田仁紀, 道根百合奈, 近藤茂, 飯田浩祐, 宮崎涼, 犬伏雄一, 矢橋牧名, 共振器型ハード X 線レーザーの研究, 日本物理学会 2018 年秋季大会、京都、京都、2018.9.9
- (5) 道根百合奈, 米田仁紀, 高耐力オゾン回折格子を用いたレーザーシステムの開発, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 東京、高輪、2019.1.14
- (6) 米田仁紀, 道根百合奈, 飯田浩祐, 犬伏雄一, 矢橋牧名, ブラッグ回折定在波型ハード X 線レーザーの動作機構について、日本物理学会第 74 回年次大会、伊都、福岡、2019.3.14
- (7) 道根百合奈, 米田仁紀, 北村光, $4p^21s$ 型ハード X 線レーザーの発振特性の研究、2019.3.17
- (8) 白川晃:「高出力ファイバーレーザーの基礎と最新動向」, レーザー学会東京支部セミナー (第 29 回「若手技術者と学生のためのレーザー応用セミナー」第 20 回「先進レーザー応用技術セミナー」), 電気通信大学, 2018 年 11 月 30 日。(招待講演)
- (9) 鈴木優哉、北島将太郎、白川晃:「フィゾー干渉計を用いた屈折率の温度係数測定法の改良と評価」, 第 19 回レーザー学会東京支部研究会, 東海大学高輪キャンパス, 2019 年 3 月 8 日.
- (10) 川村 朋稔、白川晃:「可飽和吸収体によるマルチコアファイバーレーザーの位相同期に向けたモード同期ファイバーレーザーの研究」, 第 19 回レーザー学会東京支部研究会, 東海大学高輪キャンパス, 2019 年 3 月 8 日.
- (11) Ei Jo(Rui Xu), Henrik Tunnermann, Akira Shirakawa:「Nonlinear Effects and Combining Efficiency in Divided Pulse Amplification」, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 14aVII-8, 東海大学高輪キャンパス, 2019 年 1 月 14 日
- (12) 小林祐樹, 北島将太郎, 山角謙太郎, 白川晃, 原田昌樹, 石沢均:「単層カーボンナノチューブを用いた Yb:CaF₂-LaF₃ セラミックモード同期レーザーの開発」, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 14aVII-4, 東海大学高輪キャンパス, 2019 年 1 月 14 日.
- (13) 池田真由, 北島将太郎, 白川晃:「Yb 添加 Ba(Zr,Mg,Ta)O₃ セラミックレーザーの研究」, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 14aVII-3, 東海大学高輪キャンパス, 2019 年 1 月 14 日.
- (14) 成富未夢人, 白川晃:「能動モード同期によるマルチコアファイバーのスーパーモード選択」, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 12pVIII-6, 東海大学高輪キャンパス, 2019 年 1 月 12 日.
- (15) 梯太郎, Henrik Tünnermann, 白川晃:「マルチコアファイバーレーザーの横モード解析」, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 12pVIII-5, 東海大学高輪キャンパス, 2019 年 1 月 12 日.
- (16) Ei Jo, Koji Iwata, Henrik Tünnermann, and Akira Shirakawa:「Nonlinearities in Divided Pulse Amplification」 レーザー学会第 525 回研究会「ファイバーレーザー技術」, P9, 名古屋大学, 2018 年 11 月 16 日.
- (17) 梯太郎, 白川晃:「マルチコアファイバーレーザーの横モード解析」 レーザー学会第 525 回研究会「ファイバーレーザー技術」, P8, 名古屋大学, 2018 年 11 月 16 日.
- (18) 成富未夢人、白川晃:「音響光学変調器を用いたマルチコアファイバーのスーパーモード選択」 レーザー学会第 525 回研究会「ファイバーレーザー技術」, P7, 名古屋大学, 2018 年 11 月 16 日.
- (19) Henrik Tünnermann and Akira Shirakawa:「Artificial Intelligence for coherent beam combining」 レーザー学会第 525 回研究会「ファイバーレーザー技術」, 名古屋大学, 2018 年 11 月 16 日.

- (20) Henrik Tünnemann and Akira Shirakawa : 「Coherent Beam Combination via deep reinforcement learning」 JSAP-OSA Joint Symposia 2018, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 21a-221B-6, 名古屋, 2018 年 9 月 21 日.
- (21) 北島将太朗, 白川晃, 八木秀喜, 柳谷高公 : 「Kerr レンズモード同期 Yb:LuAG セラミック薄ディスクレーザー」, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-431B-17, 名古屋, 2018 年 9 月 19 日.
- (22) 白川晃 : 「位相同期マルチコアファイバーレーザーの最近の展開」, レーザー学会 「ファイバーレーザー技術」専門委員会, 休暇村支笏湖, 2018 年 7 月 27 日.
- (23) 中森真輝, 武者満, 高出力安定化光源と衛星位置決定システムの開発, 17th DECIGO Workshop 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2018 年 11 月 2 日
- (24) 末正有, 大塚俊介, 中森真輝, 赤見恵, 武者満, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(104): 安定化光源と光学システム, 日本物理学会第 74 回年次大会, 2019 年 3 月 16 日
- (25) 梶川詠司, 石井知広, 久保貴司, 武者満, 小川和彦, 高出力安定動作可能な Tm³⁺:ZBLAN ファイバ MOPA, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 2019 年 3 月 10 日
- (26) 石井知広, 梶川詠司, 久保貴志, 武者満, 小川和彦, Tm³⁺:ZBLAN ファイバを用いた 813nm 光源の高出力安定動作, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 2019 年 1 月 12 日
- (27) 大塚俊介, 末正有, 赤見恵, 中森真輝, 下奥あゆ美, 武者満, 宇宙重力波検出器 DECIGO/B-DECIGO のための光源と光学技術の開発, 第 62 回宇宙科学技術連合講演会, 2018 年 10 月 24 日
- (28) 石井知広, 梶川詠司, 久保貴志, 武者満, 小川和彦, 813nm Tm³⁺:ZBLAN ファイバ MOPA の高効率・高出力化, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018 年 9 月 19 日
- (29) 赤見恵, 末正有, 武者満, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(96) : 音響光学偏向子を用いた衛星位置決定システムの開発, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018 年 9 月 16 日
- (30) 中森真輝, 末正有, 下奥あゆ美, 大塚俊介, 中川賢一, 武者満, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(95) : 高出力・安定光源, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018 年 9 月 16 日
- (31) 相楽 啓, 戸倉川 正樹, 「1611nm ファイバーレーザー励起カーレンズモード同期 Tm:Sc₂O₃ レーザーの開発」 2019 年第 66 回応用物理学会 春季学術講演会, 東京工業大学, 2019 年 3 月
- (32) 鈴木杏奈, Christian Keankel, 戸倉川 正樹, 「分散補償鏡を用いたカーレンズモード同期 Tm:Sc₂O₃ レーザーの開発」2019 年第 66 回応用物理学会 春季学術講演会, 東京工業大学, 2019 年 3 月
- (33) 佐藤 匠, Yuhao Chen, and R. Sidharthan, Seongwoo Yoo, 戸倉川 正樹, 「W 型屈折率分布分散制御 Tm シリカファイバーを用いた モード同期レーザーの開発」 第 19 回レーザー学会東京支部研究会/電気学会 光・量子デバイス技術研究会 2019 年 3 月
- (34) 鈴木杏奈, Christian Keankel, 戸倉川 正樹, 「High Quality factor Tm:Sc₂O₃ カーレンズモード同期レーザーの開発」 第 19 回レーザー学会東京支部研究会/電気学会 光・量子デバイス技術研究会 2019 年 3 月
- (35) Hiromu Sagara, Anna Suzuki, Masaki Tokurakawa, 「全正常分散 Tm:ZBLAN モード同期ファイバーレーザー」 レーザー学会第 39 回年次大会 東海大学 品川キャンパス 2019 年 1 月
- (36) 中川賢一, 田村光, 山越智健, 「冷却リユードベリ原子を用いた量子多体系シミュレータ」, 物性研究所短期研究会「量子情報・物性の新潮流」, 東大物性研, 2018 年 8 月
- (37) 高瀬直美, 岸本哲夫, 中川賢一, Rb 原子の Rydberg 状態励起用波長 420nm 干渉フィルター安定型半

導体レーザーの開発、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年 3 月

- (38) 中川 賢一、リュードベリ原子を用いた量子シミュレーションの最前線、日本物理学会第 74 回年次大会 シンポジウム、2019 年 3 月
- (39) 星野徳子、丹治はるか、事象関連電位を用いた言語産出研究のための発話アーチファクト除去システムの開発 ～ 第二言語での単語産出の事例を用いて ～ 、電子情報通信学会思考と言語研究会、2019 年 3 月 19 日
- (40) 松山佳生、櫻井明彦、高橋圭太、茂木康伸、丹治はるか、単一光子発生に向けた低ロス非対称光共振器の構築、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年 3 月 17 日
- (41) 山寄直樹、高山泰征、田中貴大、丹治はるか、少数光子非線形効果の観測に向けた光共振器安定化用光源の開発、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年 3 月 16 日
- (42) 櫻井明彦、松山佳生、高橋圭太、茂木康伸、丹治はるか、電磁場誘起透明化を用いた室温ガスセル中での ^{87}Rb 原子の高リュードベリ準位の観測、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年 3 月 16 日。
- (43) K. Iwakuni, T. Q. Bui, J. F. Niedermeyer, T. Sukegawa, J. Ye, 高速広帯域分光に向けた分散素子を用いた光コム分光計、第 19 回分子分光研究会、2019 年 3 月 26 日
- (44) 児玉龍之介、物部将士、坂上裕之、加藤太治、村上泉、原弘久、渡邊鉄哉、中村信行、鉄多価イオン電子衝突における共鳴励起過程の観測 III、日本物理学会 2018 年秋季大会 (2018)
- (45) 大石晋平、市東佑介、都築豊、米田浩基、小高裕和、櫻井誠、渡邊裕文、渡辺伸、高橋忠幸、中村信行、二電子性再結合 X 線の偏光度測定 II. 偏光度の導出、原子衝突学会第 43 回年会 (2018)
- (46) 市東佑介、大石晋平、都築豊、米田浩基、小高裕和、櫻井誠、渡邊裕文、渡辺伸、高橋忠幸、中村信行、二電子性再結合 X 線の偏光度測定 I. 実験、原子衝突学会第 43 回年会 (2018)
- (47) 木村直樹、児玉龍之介、鈴木健人、大石晋平、和田道治、岡田邦宏、大前宣昭、香取秀俊、中村信行、バリウム多価イオン可視光遷移波長の直接測定、原子衝突学会第 43 回年会 (2018)
- (48) 坂上裕之、加藤太治、村上泉、大橋隼人、中村信行、4f-5s 電気八重極子遷移(E3)の観測とその強い Z 依存性、原子衝突学会第 43 回年会 (2018)
- (49) 近藤丈洋、田中雅臣、和南城伸也、関口雄一郎、Gediminas Gaigalas、坂上裕之、加藤太治、村上泉、田沼肇、中村信行、電子ビームイオントラップによるクリプトンイオンの磁気双極子遷移の観測、「原子分子過程研究と受動・能動分光計測の高度化のシナジー効果によるプラズマ科学の展開」「原子分子データ応用フォーラムセミナー」合同研究会 (2018)
- (50) 近藤丈洋、田中雅臣、和南城伸也、関口雄一郎、Gediminas Gaigalas、坂上裕之、加藤太治、村上泉、田沼肇、中村信行、クリプトンイオンの磁気双極子遷移の観測、日本物理学会第 74 回年次大会 (2019)
- (51) 加藤太治、坂上裕之、村上泉、大橋隼人、中村信行、銀様多価イオンの電気八重極遷移発光線強度の原子番号依存性、日本物理学会第 74 回年次大会 (2019)
- (52) 坂上裕之、加藤太治、村上泉、大橋隼人、中村信行、EBIT を用いた銀様多価イオンからの電子八重極子遷移の観測、日本物理学会第 74 回年次大会 (2019)
- (53) 山田陽平、阿久津卓土、沼舘直樹、田沼肇、中村信行、関口雄一郎、和南城伸也、坂上裕之、加藤太治、村上泉、田中雅臣、Gediminas Gaigalas、中性子星合体による重元素合成の基礎研究としての多価イオン電荷交換分光 II、日本物理学会第 74 回年次大会 (2019)

(54) 中村信行, 太陽大気プラズマ診断への実験室からの貢献, 日本物理学会第 74 回年次大会 (2019)

4.7 講演会、セミナー、研究会

コヒーレント光科学セミナー

- (1) Renate Landig (米国ハーバード大学博士研究員)、“Time crystals in strongly interacting dipolar spin systems lattice”、2018 年 4 月 23 日
- (2) 岩國加奈、「光コムを用いた中赤外分子分光 in Boulder」、2019 年 2 月 15 日

レーザー新世代研究センター 客員教授講演会

- (1) 川嶋利幸 (浜松ホトニクス)、「次世代パワーレーザーと産業応用」、2018 年 12 月 19 日

その他のセミナー

- (1) 武者 満、サイエンスカフェ「重力波検出が拓く科学」、2018 年 7 月 14 日

4.8 表彰

- (1) 北島将太郎、Outstanding Oral Runner-up Presentation Award, “Sub-100 fs Kerr-Lens Mode-Locked Thin-Disk Lasers Based on Ceramic Gain Media,” Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2018, 2018年11月
- (2) 北島将太郎、The Best Student Poster Paper Award, “177 fs pulses from Kerr-lens mode-locked Yb:Lu₂O₃ ceramic thin-disk laser,” 7th Advanced Lasers and Photonics Sources (ALPS'18), 2018年4月

電気通信大学 レーザー新世代研究センター 年次報告書(平成 30 年度, 令和元年度)
2020 年 10 月 発行
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
TEL: 042-443-5711 FAX: 042-485-8960
<http://www.ils.uec.ac.jp/jindex.html>