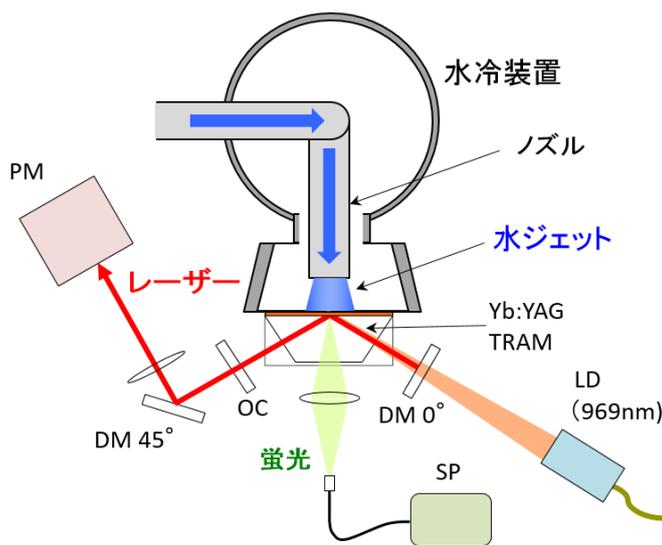


CONTENTS

- 水ジェット冷却法を用いた高出力Yb:YAGレーザーの開発
- SPIE Remote Sensing 2018国際会議報告
- 平成29年度 レーザー技術総合研究所 最優秀研究員表彰 染川智弘 上席研究員

# LASER CROSS

ISSN 0914-9805



【表紙図】水ジェット冷却、レーザー発振試験配置図

## 水ジェット冷却法を用いた高出力Yb:YAGレーザーの開発

レーザー計測研究チーム 谷口誠治

レーザープロセス研究チーム ハイク コスロービアン

レーザープロセス研究チーム 藤田雅之

レーザーエネルギー研究チーム 李 大治

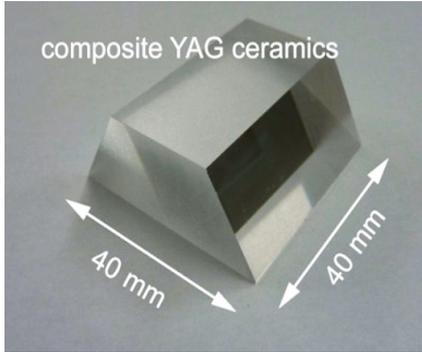
レーザー技術開発室 本越伸二

### ■はじめに

高出力レーザー開発における最重要課題の一つに、レーザー媒質の発熱対策がある。当研究所では、レーザー媒質にYb:YAGセラミック(Yb:YAG TRAM (Total-Reflection Active-Mirror))を用いた常温で動作する高平均出力固体レーザーの開発を進めてお

り、発熱対策として、媒質の発熱自体を抑制できるゼロフォノンライン(ZPL)励起、および冷却性能の向上のため水衝突噴流(ジェット)冷却法を導入している。前回の報告では、主にZPL励起時のレーザー出力特性について検討し、ZPL励起により媒質の発熱が抑制され発振効率が向上することを示した(Laser Cross No





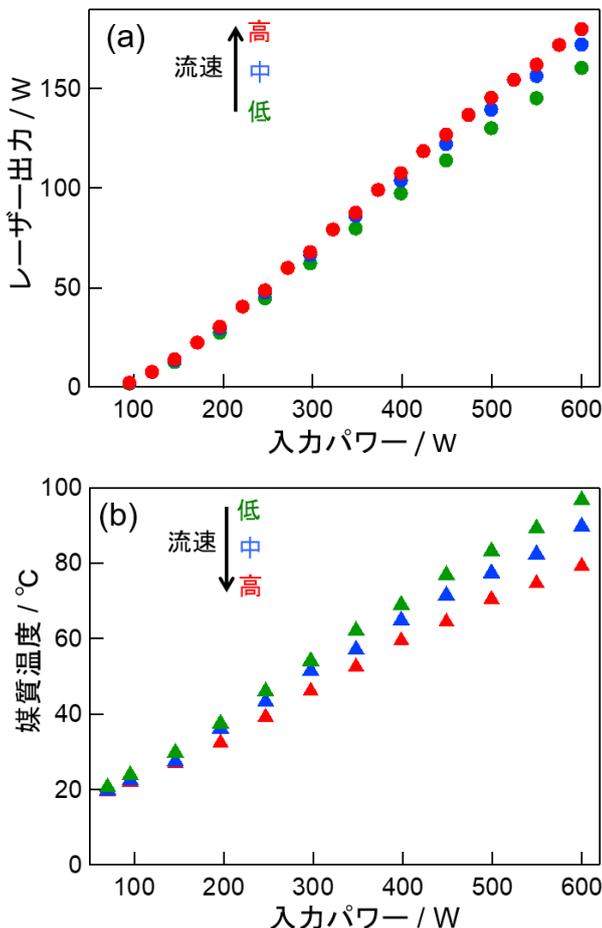
【図1】Yb:YAG TRAM の写真

361, 2018 Apr.).  
本稿では、レーザーの高出力化に向けて新たに水ジェット冷却装置を試作し、この装置を用いてZPL励起によるレーザー発振試験を行った結果について報告

する。水ジェット冷却法には、強制対流効果により高い冷却性能が得られる、水の沸騰により冷却面上に発生する気泡を物理的に除去できるため突沸(膜沸騰)による冷却能力の急激な低下を防止できる、などの利点がある。

### ■水ジェット冷却法を用いた発振試験

表紙図にレーザー発振試験の配置図を示す。試作し



【図2】流速を変化させた条件での(a) レーザー出力、(b) 媒質温度特性

た水冷装置では装置の上部からノズルを挿入し、循環ポンプによりTRAMの背後から水を噴出させて底面を直接冷却する。ゼロフォノンライン(ZPL)の励起には波長969 nm(線幅 <1 nm)、最大600 WのLDを用いた。励起ビーム径は2.3 mmφとした。TRAMの両側にダイクロイックミラー(DM)と出力ミラー(OC、反射率85%)を配置して共振器を構成し、パワーメータ(PM)により発振出力を観測した。レーザー発振時の媒質温度を計測するため、分光器(SP)を用いて媒質の蛍光スペクトルを同時計測し、スペクトル形状の温度変化から励起中心部の媒質温度を算出した。

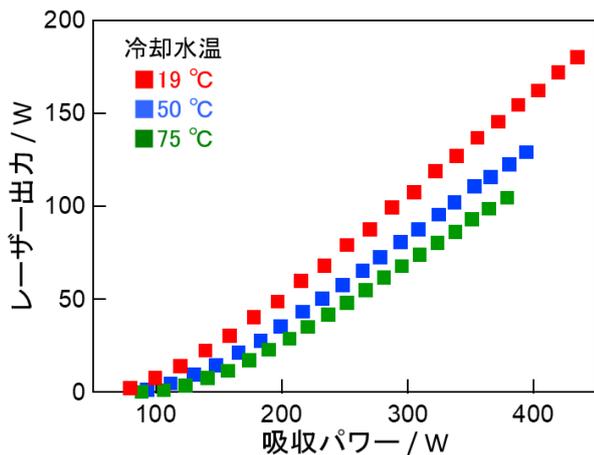
### ■冷却条件による出力特性の変化

水ジェット冷却法における冷却性能は、主に発熱体から冷媒への熱伝導性と、沸騰(核沸騰)に伴う気化熱による除熱の2要素により決定される。これらを明確に分けることはできないが、熱伝導は水ジェットの流速(強制対流による冷却面での冷媒の入れ替わりの速さ)に大きく依存すると予測され、気化熱による除熱は、流速だけでなく冷却水温度(沸騰温度との差)にも依存する可能性がある。これらを検証するため、流速、冷却水温度のそれぞれを変化させてレーザー発振試験を行い、冷却条件の違いによる出力特性変化について検討した。図2 (a)に、流速を変化させた条件での入力パワーに対するレーザー出力特性を示す。高流速時に出力が最も高く600 Wの入力に対し180 Wの出力が得られ、低流速時に比べ10%以上増加した。一方媒質温度(図2 (b))は流速が低くなると増加しており、高速時に最も温度上昇が抑制されている。この結果は、流速の増加により冷却性能が向上することで出力が増加することを示している。図3に、冷却水温度を19℃、50℃、75℃とした条件での出力を示す。冷却水温が増大すると発振しきい値は増加し、スロープ効率は低下している。これらの結果から、水ジェット冷却において高流速、低水温条件がレーザーの高効率化、高出力化に有利に働くことが示された。

### ■レーザーの高出力化に向けて

今回の試験結果に基づき、高出力化のためのスケールリングを行った。図4に、水ジェット冷却下(冷却水温19℃)で発振するTRAMレーザーについて、励起ビーム径をそれぞれ5 mmφ、6 mmφ、7 mmφとした際の吸収パワーと出力予測値の関係を示す。ビーム径が小さい方が光吸収密度は増加するため吸収パワーに対

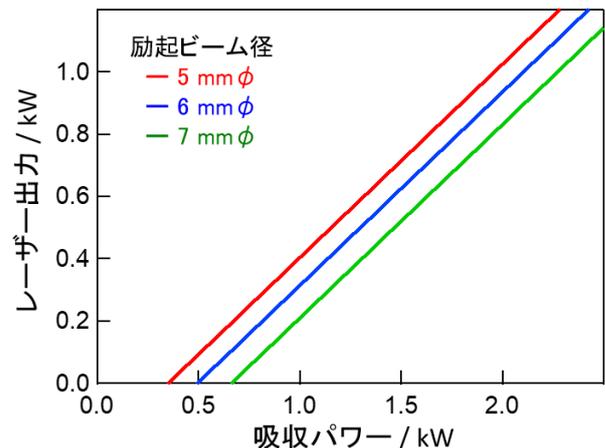
してより高い出力が得られるが、いずれの条件でも2 kW付近の吸収パワーでkWクラスのレーザー出力が得られるものと予測される。現在、実際に水ジェット冷却を用いた高励起条件(> 2kW)でのレーザー発振試験を進めており、kW級出力を得ることを目標に今後とも開発を進めていく予定である。



【図3】冷却水温度を変化させた条件での出力特性

謝辞：

本研究の一部は、安全保障技術研究推進制度(研究課題名「ゼロフォノンライン励起新型高出力Yb:YAGセラミックレーザ」)の支援を受けて実施した。水噴流冷却装置の開発は、三菱重工株式会社との共同研究として行われたものである。ご協力に深く感謝いたします。



【図4】励起ビーム径を拡張した場合の出力予測

REPORT

## SPIE Remote Sensing 2018国際会議報告

### ◆SPIE Remote Sensing 2018開催される

国際会議 SPIE Remote Sensing 2018 がドイツ、ベルリンのエストレル国際会議場で9月10日から13日の4日間にわたり開催された。筆者は10年ほど前、大学院生の時にベルリン自由大学を訪問したことがあり、二度目のベルリン訪問となる。今回利用したテゲル国



【写真1】エストレル国際会議場

レーザープロセス研究チーム 染川智弘

際空港は、前回訪れた際に来年に廃止予定だと聞いていたのだが、新たに建設される予定であったブランデンブルク国際空港の度重なる開港延期で、10年後の今でも現役であった。新空港の開港は2020年になるとのことである。空港から市街地までの移動手段はバスのみであるが、本数が多くまた公共交通機関のチケットが共通で使用できるため非常に利用しやすい。学会会場は市街地から南西にあり、Sバーン(国や公的機関が運行する鉄道)の最寄り駅から徒歩で5分程度であった。

SPIE Remote Sensingは、近年急速な進歩を遂げているリモートセンシング技術について議論する場として欧州で毎年開催されている国際会議である。本会議は、筆者が参加したLidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing(大気リモートセンシングのためのライダー技術と観測)の他、農業やエコシステムへの応用、海洋や海水、大規模水域の観測技術、次世代人工衛星、センサー開発、都市環境計測など、リモート



【写真2】講演時の写真(筆者)

センシング技術に関する10のセッションから構成される。期間中は25カ国以上から400名あまりの研究者が参加し、約600件の講演があった。

本会議では、口頭発表資料は事前にWebからアップロードするようになっていたが、Macユーザーの資料は不具合が発生することが多くPDFでの発表を推奨されていた。また、講演で使用されるマイクは録音されているようで、座長を務めた際、質疑応答もなるべくマイクを通してしてほしいと依頼された。これらの方式は日本の学会ではなかなか見られないものである。

#### ◆リモートセンシングに関する 幅広い分野の研究者が集まる

初日に行われた基調講演はAI(人工知能)の応用に関するものであり、この分野においてもAI技術への関心

が高まっていることが伺える内容であった。ライダー技術のセッションでは、大気中の温室効果ガスなどの分布情報を得るため、赤外吸収計測を利用した研究報告が多く見られた。フランスのONERA(国立航空宇宙研究所)からは、海上での石油プラントのメタンガスリーク検出に向けた研究(All-fibered coherent-Differential Absorption Lidar at 1.645 $\mu$ m for simultaneous methane and wind speed measurements)が報告された。彼らは温度依存性が小さい波長1.645 $\mu$ mの吸収帯を利用してメタンを測定する手法を用いている。この手法を遠隔計測に応用するためには、光強度を上げるため増幅を行う必要があるが、この波長領域では最適なレーザー結晶がないことから、彼らはファイバーを用いたラマン増幅により12 $\mu$ J(20kHz)のレーザー光を得ているとのことであった。光伝搬のセッションでは、240 mの大気伝搬試験や、メンブレン膜を用いた可変形鏡の開発などが報告された。

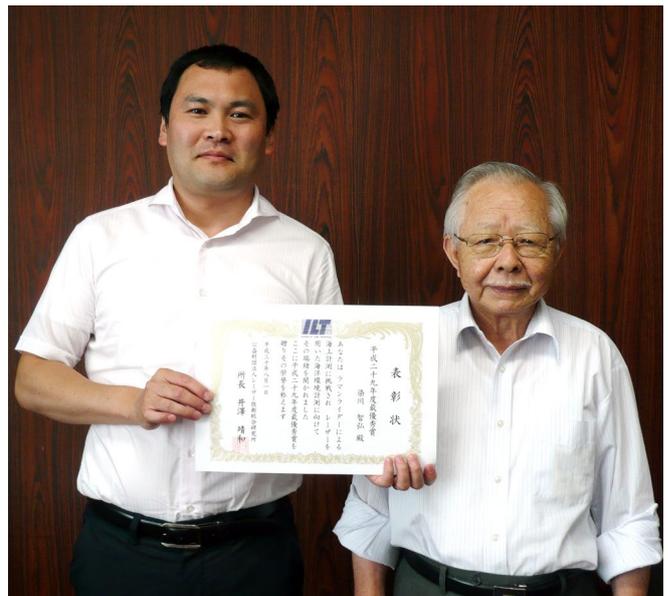
#### ◆次回開催予定

今回は来年の9月9日~12日、フランスのストラスブールでの開催が予定されている。

TOPICS

## 平成29年度 レーザー技術総合研究所 最優秀研究員表彰 染川智弘 上席研究員

当研究所では、前年度に最も優秀な研究成果を収めた研究員を所内で選定し、表彰を行っています。平成29年度は、海上ラマンライダーシステムの開発研究を行った、レーザープロセス研究チーム染川智弘上席研究員が最優秀研究員に選定され、表彰式を行いました。同研究員は、海底開発による海洋生態系・環境への影響を効率良く行うことを目標に、海中での短時間・広範囲なモニタリングを可能とする海中ガスラマンライダー技術の開発を進めています。昨年度には、海中溶存ガス(二酸化炭素など)観測のため、可搬型のラマンライダーシステムを構築するとともに、実際に海上での試験を実施し、海中のライダー信号およびラマン信号の観測に成功しました(Laser Cross No. 362, 2018 May を参照)。その業績が評価され、今回の表彰となりました。今後も同研究員の活躍にご注目いただきたく思います。



【写真】表彰式にて(左)染川上席研究員、(右)井澤靖和所長