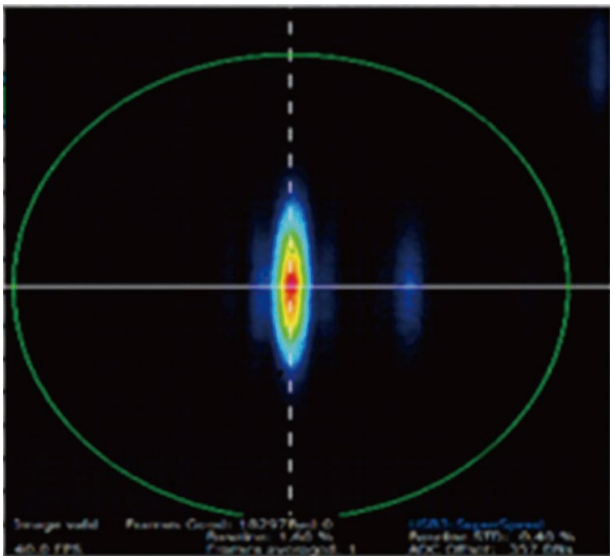
2022, Feb.
No. 398
LASER CROSS
ISSN 0914-9805

CONTENTS

小型・高効率
320 nm CW-UVファイバレーザーの開発
LSSE2021
(Laser Solution for Space and the Earth)
国際会議参加報告
大道博行特別研究員が優秀講演賞を受賞



【表紙図】320nm-UV光の出射ビーム像

小型・高効率 320 nm CW-UV ファイバレーザーの開発

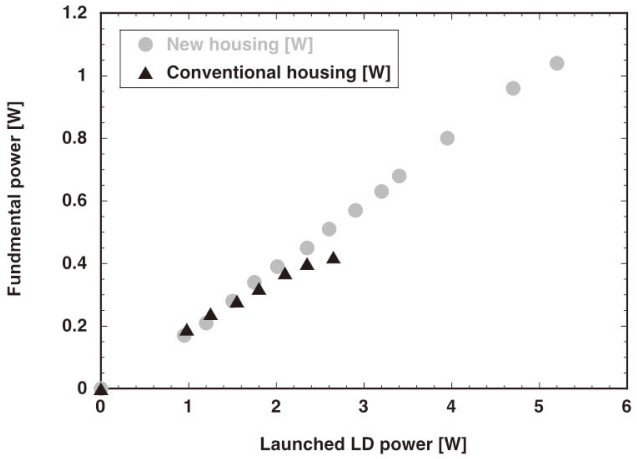
千葉工業大学教授(レーザー総研共同研究員)　藤本　靖

2016年よりスタートしたNEDO「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」プロジェクトが2021年3月で終了した。我々千葉工業大学は、レーザー総研、(株)金門光波とともに小型・高効率320 nm 連続波紫外(CW-UV)ファイバレーザーの開発を進めてきた。これまでの固体レーザーを使った紫外光発生は、非線形結晶を用い、近赤外光の3倍および4倍高調波の発生により得られる。つまり、近赤外光から紫外光を得るためには、少なくとも波長変換を2回必要とする。しかしながら、我々のCW-UVレーザーは青色半導体レーザー(LD)励起可視光ファイバレーザーを用い、たった1回の波長変換で紫外光を得る新しい光源であり、装置構成が簡単になり、精度・安定性が向上するとともに高効率化が期待できる。装置の詳細については、既に本誌No.359、No.384で紹介されているので参照頂きたい。本稿では小型・高効率320 nm CW-UVファイバレーザー装置の技術的ブレークスルーについて紹介するとともに、今後の展開について紹介したい。

●高冷却ハウジングによる高出力化

一般的なファイバレーザーは数mから10 m程度のファイバを用いるため、コイル状に巻く構成を採るが、(株)住田光学ガラスの開発したPr添加耐候性ダブルクラッドフッ化物ファイバは10 cmのファイバ長で励起光の90%以上を効率よく吸収する特性を持つため、10 cm強の直線状態で利用が可能で、コンパクトな装置設計ができる。しかし、短いファイバ長で励起光を吸収することは、その短いファイバに熱が集中することを意味している。この問題を解決するために、ファイバを固定するハウジングの最適設計を行った。ファイバに蓄積された熱はファイバ側面よりハウジングへ伝導冷却し、ハウジングはペルチェ素子により温度制御した。熱伝導係数が高くかつファイバにストレスが生じにくいように、ハウジングとともにファイバ両端のフェルールの材料と形状を最適化した[1]。その結果を

次ページへつづく▶



【図1】基本波レーザーの入出力特性

図1に示す。図は励起LDパワーに対する基本波(波長638 nm)レーザーの出力を示している。従来構造では2 W以上の励起LDパワーで基本波出力が飽和し、0.4 W程度しか得られなかったのに対し、最適化された構造では励起LDパワー 5 W以上でも基本波出力は飽和せず1 Wが得られている。ハウジング最適化によりフッ化物ファイバの放熱効率が向上し、温度上昇による出力飽和が抑制されたことが分かる。更に、フッ化物ファイバへの励起LDの結合効率を改善することにより、最大2.0 W、スロープ効率36.2%の基本波出力を達成した[2]。また開発当初の水冷ハウジングが、空冷構造でも十分となり、より装置の小型化・高効率化が可能になった。

●波長変換結晶による位相共役ミラー

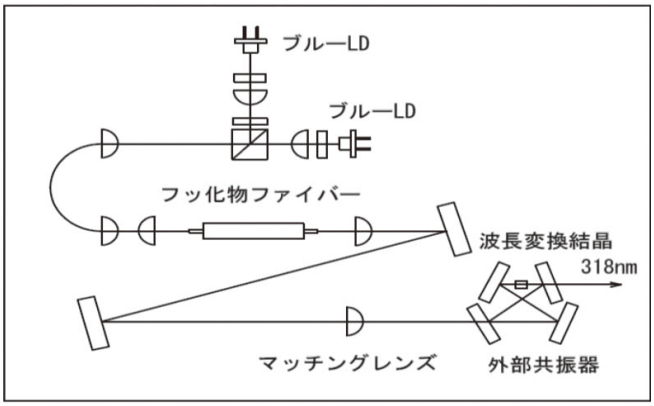
低強度のCW光を高効率に波長変換するために、外部共振器を構成し強度の増加を図った。図2にCW-UVファイバレーザー装置の基本構成を示す。外部共振器は4枚のミラーによりボウタイ型に配置され、共振器内部の共焦点位置にBBO結晶(Type-I: 位相整合角θ_m = 37.65°)が置かれた。マッチングレンズによる焦点位置の調整、ピエゾアクチュエータによる共振器長の調整により、励起LDパワー 4.8 Wに対し、UV(318 nm)出力0.52 Wが得られた。BBO結晶は大きな複屈折を持つため、波長変換後のUV光のビーム品質低下が見られたが、外部共振器および波長変換結晶の最適化を行うことによりビーム品質M^2を1.2以下にすることに成功した(表紙図)。

本開発におけるもう一つのブレークスルーは装置の簡素化にある。図2に示すように、本装置には基本波共振器の出射ミラーを持たない。これは、波長変換結晶が位相共役ミラーとして作用することで、フッ化物ファイバから出射した基本波が自動的にファイバに戻る共振構造を形成するためと理解される。このことは、小さなファイバコアに基本波を戻すアライメントが不要になり、装置の簡素化、高効率化、そして高安定性を可能にした[3]。

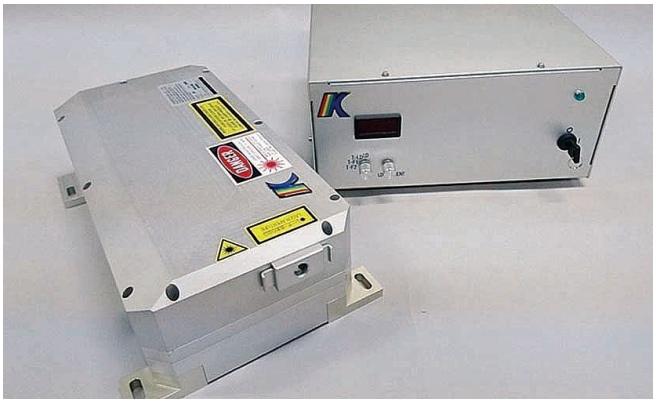
●UV-0.1Wプロトタイプ機と今後の展望

上述の技術的ブレークスルーを元に、図3に示すようなUV出力0.1 Wタイプの試作器を完成し性能評価を行っている。表3にその仕様を示す。また東京大学柏IIキャンパス内に設置し、TACMIコンソーシアム[4]を通してユーザー利用が可能になっている。

今後UV-0.1 Wタイプファイバレーザー装置の製品化を進め、光計測応用、加工用途に2021年度内に販売を開始する。また、0.5 Wタイプの試作機の開発を進め、0.1 W/0.5 Wのシリーズ化を図る。特に0.5 Wタイプについては、既存のUVレーザーにはない出力のため、新しい加工用途向けに提案していく。さらに、多波長発振が可能なPr添加フッ化物ガラスの特徴を活かし、さまざまな波長のCW-UV光源の開発を進める。特に



【図2】CW-UVファイバレーザー装置の構成図



【図3】0.1 WタイプUVファイバレーザー装置

【表1】UV-0.1 Wタイプ製品化仕様

項　目	仕　様	備　考
発振波長	318 nm	
定格出力	0.1 W	
ビーム品質M^2	<1.2	
横モード	TEM_{00}	
偏光比	＞100 : 1	
出力安定度	<5.0 (RMS%/8h)	@25℃
レーザークラス	クラス3B	
冷却方式	空冷	
サイズ	223×360×106 mm^3	レーザーヘッド

520 nmを基本波に選択することで、波長変換1回で260 nmに変換する深紫外連続波のレーザー装置は今後の大きなターゲットとなるだろう。このようなUVファイバレーザー装置を国内外の市場に出していくことで、日本国産の技術が世界に発信されていくと期待される。

謝辞

本研究はNEDO「高輝度・効率次世代レーザー技術開発」プロジェクトの委託を受けて行われた。また、このプロジェクトのフッ化物ファイバ開発を共に進めていただいた(株)住田光学ガラスの山嵜様、石井様、渡部様に深く感謝を申し上げます。

参考文献

1) 特開2021-22654「ファイバーレーザー装置」
2) 藤本靖他、レーザー研究、47 (2019) 213.
3) 特開2021-12980「レーザー装置およびレーザー発振方法」
4) 高効率レーザープロセッシング推進コンソーシアム（http://www.utripl.u-tokyo.ac.jp/tacmi/）

REPORT

LSSE2021 (Laser Solution for Space and the Earth) 国際会議参加報告

特別研究員　大道博行

標記国際会議はOPIC国際会議の中の一つであり、宇宙と地球の課題解決に向けたレーザー技術に関する国際会議である。会議の中身はインフラ、宇宙、宇宙デブリ除去など宇宙分野、植物工場など農業分野、環境、原子力など多様である。また技術の中身もリモートセンシング、ハイパワーレーザー利用、照明、分光、加工などさまざまである。現在焦眉の課題である持続可能社会への転換に向けたレーザーを用いたソルーションを指向するユニークな会議である。初日午後に始まったセッションでは、コロナウイルスの感染に関する発表が理研の村上氏からあった。ウイルスは会話の中で飛散する飛沫に含まれ、感染源になっていることが知られているが、この飛沫の速度とサイズをレーザー技術で同時測定しようとするものである。この他、理研林崎氏から種々のコロナウイルス測定法の紹介、Kaltech Corpの染井氏から光触媒をウイルスに対するフィルターとして用いた装置の紹介があった。この他、各種紫外線をロボットに搭載してウイルス除去を試みた例などが紹介された。

2日目には、理研から高出力レーザーの大気中伝搬を扱った理論、および水蒸気中のレーザー伝搬の実験研究の報告があった。後者は理研、三菱重工、レーザー総研によるプロジェクトの一環として実施されている。午後のセッションでは同じプロジェクトの中の三菱重工業より、後方散乱光の測定による大気中の乱気流の測定法および野外実証実験の報告があった。乱気流によるレーザー光波面の乱れの測定を基に高出力レーザー光の伝搬補償を図る計画である。また、スペースデブリの除去に関する報告など、宇宙や地球の課題にレーザー技術を用いて取り組んでいる発表が続いた。

3日目にはレーザー打音やレーザーを用いた音波計測等の応用に関する研究発表が、原子力機構や京都大からあった。午後はシンガポールやオランダからレーザーの農業分野への応用に関する報告があった。

会議最終日には昨年不慮の事故で亡くなったレーザー総研主任研究員の島田義則氏の追悼セッションが開催された。島田氏が切り開いたレーザー打音検査に関連した講演が6件、関連したハイパワーレーザー利用の講演が1件だった。プログラムの一部を図1に示す。

セッションを始めるにあたって座長のQSTの長谷川氏より、島田氏はレーザーの野外利用のパイオニアであるとの紹介があった。図2にその時のビューグラフを示す。

JR西日本より、新幹線トンネルの打音検査をレーザー打音法に置き換える目的で行ったプロジェクトの報告があった。2008年の2号機から、防音、トンネル中の通路に測定装置を4両編成に組み上げた2019年の7

号機までの進捗が失敗とその克服の過程として詳細に報告された。島田氏はこの中で主導的な役割を果たした一人であると紹介された。次にレーザー総研の倉橋研究員が島田氏と共同で行った各種レーザー打音関連技術の開発状況を報告した。理研の加瀬氏は島田氏とともに行った国のプロジェクト(SIP)での思い出を中心に話をした。島田氏の課題に誠実に向かい合い、広く協力しあうという姿勢が感じられるお話だった。

午後は(公財)若狭湾エネルギー研センターの山田氏より福島第一で高温にさらされたコンクリート診断への適用を目指したレーザー超音波診断技術の開発状況の報告があった。研究の立ち上げにあたって島田氏の指導・助力をいただいている。次に筆者から福島第一廃炉に関する国プロの課題として行っている高出力レーザー照射材料から発生、飛散する微粒子の特性評価に関する報告を行った。近大の三上氏は体内インプラントのネジの締め具合の検査法を目指したレーザー打音検査法の報告を行った。レーザー打音技術の広い適用性を示した報告である。次に量研関西の長谷川氏より、SIPをベースに産業展開を図る新しい動きの紹介があった。トラックに装置を搭載して現場適用を目指している。以上のように島田氏が主導して開発してきたレーザー打音に関連する技術はインフラの点検等、持続可能社会に向けた技術として発展しつつある。

最後のセッションでは近大の岡本氏からボルトの締め具合のテストにレーザー打音方式を用いる研究、東大の藤井氏から電力機器の絶縁耐性評価にレーザー誘起ブレークダウン分光を用いる研究の紹介があった。

以上のように会議の中で宇宙、地球の課題に注目してレーザー技術の適用を図りつつ、そしてそれに留まらず新しいレーザー技術を生み出してゆくというたいへん貴重な情報を提供していただいた。最後にLSSEの戎崎代表から、新しい課題を取り込みつつ来年も開催するとのまとめの話があった。戎崎氏、藤井氏、西村氏、長谷川氏、和田氏等、会議開催をオーガナイズされた関係者に深く感謝する次第である。次回のLSSEは2022年4月18～22日、リモート、現地開催(横浜パシフィコ)のハイブリッド方式で開催される予定である。

OPIC OPTICS & PHOTONICS International Congress 20

LSSE2021 | Oral Presentation

Mourning session for Dr. Shimada (ILT), who made a great contribution to the field of laser remote sensing 1

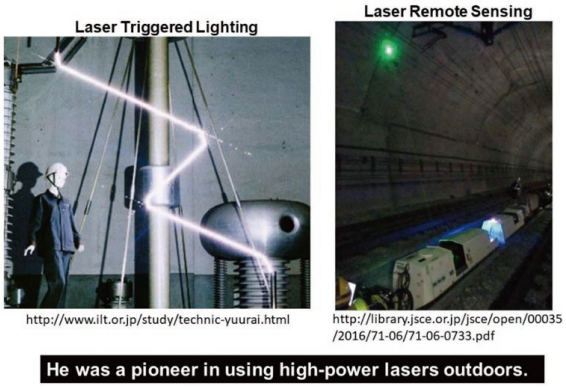
Thu. Apr 22, 2021 10:00 AM - 11:30 AM LSSE (Online)

[LSSE-8-01 (Invited)] Development of non-destructive inspection method for concrete elements in tunnel linings using laser remote sensin
○Yoshiaki Oka[1] (1.West Japan Railway Company)
10:00 AM - 10:30 AM

[LSSE-8-02 (Invited)] Development and Application of Laser-Based Inspection Technique for Concrete Structure
○Shinri Kurahashi[1], Oleg Kotyaev[1], Yoshinori Shimada[1] (1.Institute for Laser Technology)
10:30 AM - 11:00 AM

[LSSE-8-03 (Invited)] In memory of research and development of Laser directive noncontact diagnosis for maintaining degraded infrastructure (SIP) project with Dr. Shimada
○Kiwamu Kase[1] (1.RIKEN)
11:00 AM - 11:30 AM

【図1】LSSE島田氏追悼セッションのプログラムの一部



【図2】島田氏の功績を紹介するビューグラフ

NEWS

大道博行特別研究員が優秀講演賞を受賞

2021年3月17日、WEB開催された原子力学会春の年会において、当研究所大道博行特別研究員が原子力学会バックエンド部会優秀講演賞を受賞されました。バックエンド部会とは、その技術発展がますます重要視される原子力の廃棄物処理･処分や廃炉技術など、いわゆるバックエンド領域に関連したさまざまな分野の専門研究の発展に貢献することを目的に設立された組織です。大道先生は、日本原子力研究開発機構にて同機構レーザー共同研究所所長を務められたのち現在当研究所にてご活躍されています。対象となったのは昨年秋の大会でのご講演で、廃炉に伴うレーザー加工時の微粒子発生、飛散に関する研究報告です(概要については本誌 No.383,2020 Feb.をご参照下さい)。栄えある受賞を心よりお祝いいたしますとともに、今後もより一層のご活躍をお祈りいたします。

表彰状

優秀講演賞

大道 博行 殿

貴殿は日本原子力学会 2020 年秋の大会において優秀な口頭発表を行った研究者と認定されました
その栄誉をたたえこれを表彰します

令和3年3月17日

一般社団法人 日本原子力学会バックエンド部会
部会長 杉山 大輔

発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所 編集者代表／谷口誠治 〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル4F TEL(06)6443-6311 FAX(06)6443-6313
掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表･谷口誠治(E-mail:taniguchi@ilt.or.jp)までお願いいたします。