

2018, Feb.

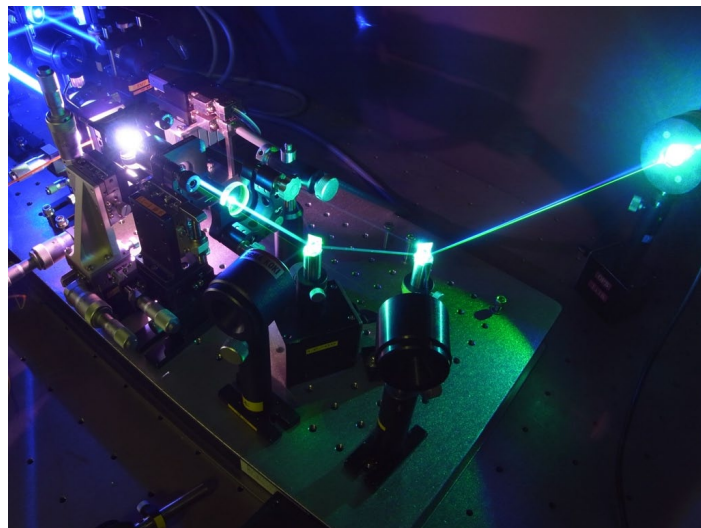
No. 359

CONTENTS

- 革新的小型・高効率UVレーザー光源の開発
- レーザー学会学術講演会第38回年次大会
- 「光技術が拓くインフラ維持管理技術の将来展望」シンポジウム報告
- SPring-8、SACLA、ニュースバル施設見学会を実施
- 主な学会等報告予定

# LASER CROSS

ISSN 0914-9805



【表紙図】Pr添加フッ化物ファイバレーザー発振の様子

## 革新的小型・高効率 UVレーザー光源の開発

平成28年度より、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)プロジェクト「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」が進められている。このプロジェクトは、高品位・高効率なレーザー加工を目指し、加工素材の個々の特性の把握、加工品質の評価技術、加工モデルおよびデータベースの構築、そしてレーザー技術開発を行うものである。当研究所はこのプロジェクトに参画し、株式会社金門光波、千葉工業大学と協力して、高効率・高品質なCW-紫外(UV)レーザー光源の開発を進めている。本稿では、開発内容を紹介するとともに、レーザー総研の担当する高耐久コーティング技術の課題についてまとめる。

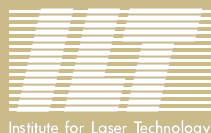
### ●ダイレクト可視光レーザーからUV光へ

UVレーザー光源としては、半導体露光装置に使用されているエキシマレーザーが知られているが、装置

レーザー技術開発室 本越伸二

が大型であり、マルチモードであるため、微細加工用光源には不向きである。ビーム品質を改善したUVレーザー光源として、固体レーザー装置の高調波光が表面マーカーやピアホール加工に使用されている。しかし、多くの固体レーザー媒質の発振波長は近赤外域に存在するため、UVの高調波光を得るためには、非線形光学結晶を用いた最低2回の波長変換が必要となる。この波長変換が全体の効率や安定性を制限する要因になっている。

千葉工業大学藤本靖教授らは、株式会社住田光学ガラスと協力して、青色半導体レーザー(LD)励起フッ化物耐候ファイバの開発を進めてきた。Pr添加フッ化物ファイバは青色領域(波長430~490nm)に励起吸収帯を、可視領域全体に蛍光帯を持つ。特に波長482nm(青)、523nm(緑)、605nm、635nm(赤)、719nmに



公益財団法人レーザー技術総合研究所  
レーザー・クロス

Institute for Laser Technology

次ページへつづく▶



強い蛍光ピークを持ち、単体でRGB光を得ることができるため、ディスプレイ光源としても期待される媒質である。表紙の写真は、青色LD励起によるPr添加ファイバレーザーの発振の様子である。

現在CWのUVレーザー光源に広く利用されているのはHe-Cdレーザー(波長325nm)であるが、ガス管の大きさや寿命など気体レーザー特有の課題もあり、光源のさらなる小型化・長寿命化が求められている。これらの課題を解決するため、上述のPr添加ファイバレーザーを利用する。波長635nmの発振を波長変換することにより、波長318nmのCW-UVレーザー光が得られる。数nmの違いであることから、従来のHe-Cdレーザーを利用した装置の光学部品をそのまま使用することができるため、容易に置き換えが可能である。全固体化になるため、小型・高効率・長寿命が可能になり、また1回の波長変換によりUV光が得られるため、高安定な光源として期待される。

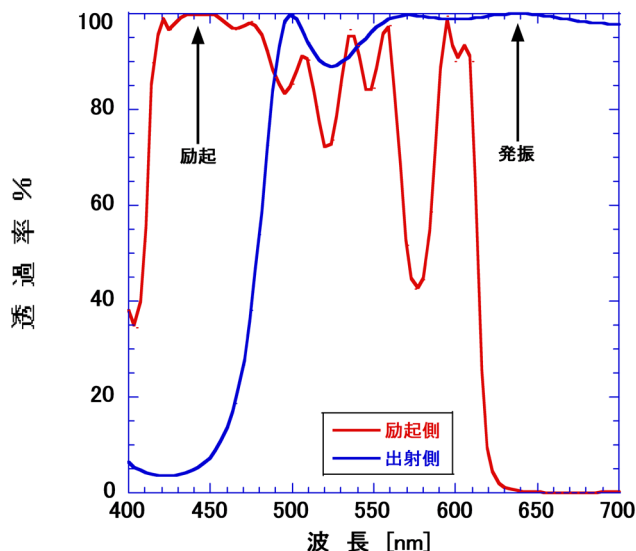
### ●高輝度UV光用コーティングの課題

UV光出力2Wを目標に現在開発が進められている。高出力化への課題として、

- (1) 高出力用フッ化物ファイバの開発
- (2) 励起LD光の高密度集光光学系の開発
- (3) 高効率外部共振器の開発
- (4) 高耐力・低損失コーティングの開発

が挙げられる。レーザー総研は、(4)を担当し、フッ化物ファイバ端面へのコートおよび外部共振器用コートの高性能化を進めている。

ファイバ端面のコートは、励起波長445nmと発振波



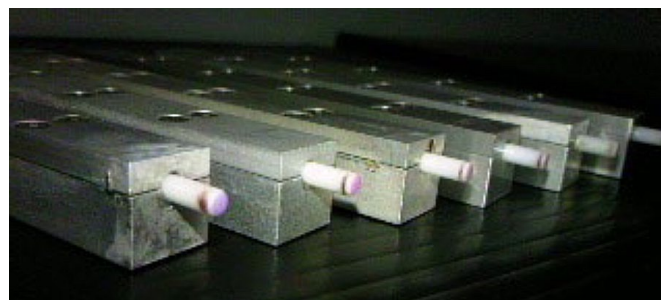
【図1】ファイバ端面コートの基本設計の透過率

長635nmに対して、反射率、透過率が要求される。基本的なデザインは、従来のLD励起Nd:YAGレーザー発振器やYb:ファイバレーザー発振器などと同じである。大きく異なる点は、励起波長が445nmで、コート材料の吸収係数が大きくなることである。加えて、2WのUV光出力を得るためには、数十Wの励起光を高密度に入射しなければならない。一般的な誘電体多層膜コートであれば、これまでのCWレーザー光によって損傷することはなかったが、上記条件では、わずかな吸収などでも十分に破壊に至る。そのため、高出力パルスレーザーと同様に高耐力コート材料、コート条件を導き、設計、製作を進めている。現在、開発を進めているファイバ両端面へのコートの透過率特性を図1に示す。さらに、ファイバの素材がフッ化物であるため、ガラスなどと線膨張係数が異なる。ファイバへ励起レーザー光を入射すると、コア部を中心に急激に温度上昇が起こる。ファイバとコートの膨張係数の違いにより、コートの割れ、剥離が発生することが危惧される。今後、励起パワーの増大に伴い、改良を施す予定である。

高効率にUV光へ波長変換をするためには、外部共振器において基本波を十分に閉じ込める必要がある。そのため、コーティングには、変換するUV光に対する耐性を持ちながら、低吸収・低散乱の高反射ミラーが要求される。そのために必要なコート材料の選定、コーティング条件の最適化を行い、高輝度UV光の発生を達成する。

### ●今後の展開

現在コーティングを行っているファイバの外観を図2に示す。さらなる高効率、高出力化を進めるために、コーティング設計の修正、最適化を進める。また、Pr添加ファイバレーザーは、638 nm以外の波長も発振が可能である。これらの波長を用いて、より短波長のUV光発生を検討を行う予定である。



【図2】Pr添加ファイバの外観

## レーザー学会学術講演会第38回年次大会

### 「光技術が拓くインフラ維持管理技術の将来展望」シンポジウム報告

レーザー計測研究チーム 倉橋慎理

#### ◆レーザー学会学術講演会が京都で開催

2018年1月24～26日、京都市勧業館みやこめっせにて、レーザー学会学術講演会第38回年次大会(主催：一般社団法人レーザー学会、共催：京都大学化学研究所)が開催された。レーザー学会はその名が示す通り、「レーザー」に特化した日本で唯一かつ世界的にもユニークな学会である。毎年開催されている学術講演会年次大会では、レーザー物理・化学、高強度・高エネルギーレーザー応用、レーザー計測など9部門に分かれた一般講演のほか、一般にも公開される特別講演、主に産業応用を睨んで展開されている最新の光技術について議論するシンポジウムが設置されている。本稿では、当研究所島田義則主任研究員が主査、筆者が幹事を務めるレーザー学会専門委員会「国土強靱化に資するレーザー利用調査専門委員会」の企画により学会期間中に開催されたシンポジウム「光技術が拓くインフラ維持管理技術の将来展望」について報告する。

#### ◆3D計測・認識技術のインフラ建設・維持管理への応用

大阪大学の矢吹信喜教授より、建設業界における情報化の現状とレーザーが果たす役割に関する講演があった。近年、レーザースキャナーが道路、橋梁、トンネルなどの社会インフラの3次元計測に加速度的に利用されるようになりつつあるが、その背景には建設分野の生産性が他の産業と比較して低いという現状がある。国土交通省では、2008年から情報化施工の推進を開始、2012年からはCIM(Construction Information Modeling)の試行を開始し、2015年にはi-Constructionを宣言するなど、生産性の向上に取り組んでおり、建設業界も呼応して対応しつつある。レーザースキャナーで得られた点群データは単なる点の集合であることから、3次元CADにおいてソリッドやサーフェスモデルとして、さらには、桁、橋脚、街路灯のようなオブジェクトとして扱うことができないという課題があった。これに対し、CG分野で3次元形状として認識する研究が進められており、また、最近のAIにおける機械学習技術の格段の進歩によって、画像や点群デー

タからオブジェクトを認識する研究も実施されている。

#### ◆レーザーによる3D計測検査

理化学研究所の村上武晴氏より、インフラ維持管理における点検業務へのレーザー技術の適用事例についての講演があった。ライダー(Light Detection and Ranging)による3D計測を行い、インフラ構造物表面に生じたひび割れの幅や深さ方向の計測を行った。干渉によりレーザー光の対象までの往復時間を測定する周波数帰還型(FSF)レーザーを利用したトンネル計測専用機を準備し、独自の光学系による高空間分解能3D計測を実現、ひび割れ形状の遠隔直接検出を行った。ターゲット上のビーム径を数百 $\mu\text{m}$ 以下に絞ることで、近接目視検査の基準下限である幅200 $\mu\text{m}$ のひび割れを5m離れた位置から凹凸形状として検出し、段差部分の距離精度も平均操作なしに標準偏差100 $\mu\text{m}$ の精度を達成した。

#### ◆レーザーを用いたコンクリート内部検査技術

量子科学技術研究開発機構の錦野将元氏より、レーザーを用いたコンクリート構造物内部検査技術についての講演があった。当研究所との共同研究であり、技術の内容や装置の詳細については既報に譲る(Laser Cross No. 358 2018 Jan. 他)。講演では、模擬トンネル内で行われた実証試験の詳細が報告された。

#### ◆レーザー励起屈曲弾性波を利用した薄板構造の損傷画像

京都大学の林高弘准教授より、レーザーで誘起した弾性波を用いた非接触材料評価についての講演があった。従来のパルスエコー法によって2次元平面内の損傷画像(Cスキャン画像)を得るためには、弾性波の送受信レーザー共に走査しながら計測する必要があった。検出の可否は受信側レーザーによるところが大きく、計測箇所形状や表面粗さに左右される。そこで准教授らのグループは、弾性波励振用のレーザーのみを走査し検出用のレーザーはある点に固定して計測するレーザー弾性波源走査法(Scanning Laser Source technique)を応用し、薄板状材料内の損傷や異物を画

像化する技術を開発した。薄板に励起されたガイド波の振動エネルギーの変化によって損傷等の有無を決定する手法で、講演では薄板に掘られた幅2mmのノッチ状の溝、異物として付着させた磁石、パイプの減肉などを二次元画像化した例が紹介された。

#### ◆原子力におけるレーザー蒸発と

##### レーザー微細加工の適用

原子力機構の西村昭彦氏より、原子力機構における原子力施設の保守保全や廃止措置に対するレーザー技術を用いた取り組みについての講演があった。福島第

1原発の廃止措置の一環として、パルスレーザー照射によるレーザー蒸発を中心として遠隔技術の開発を進め、将来取り出される燃料デブリ等の高線量サンプルの分析や劣化が進むペDESTAL等のコンクリート構造多に強度分析を実施する。また、LIBSによる分析、超音波による熱劣化コンクリートの診断、同位体比測定技術等を整備中である。高温配管の保守保全技術として、ピコ秒パルスレーザー加工による耐熱FBGセンサーの開発とステンレス配管表面への実装技術の開発を進めている。

TOPICS

## SPring-8、SACLA、ニュースバル施設見学会を実施

去る1月12日、当財団の賛助会員様を対象に、施設見学会を実施いたしました(共催：IFEフォーラム・レーザー核融合技術振興会)。今回は産業界、学界から計21名にご参加いただき、理化学研究所の大型放射光施設「SPring-8」とX線自由電子レーザー(XFEL)「SACLA」、隣接する兵庫県立大学高度産業科学技術研究所の「ニュースバル放射光施設」を見学しました。SPring-8では実際に広大な蓄積リング部に入り、装置の説明をしていただきました。SACLAでは数100メートルにおよぶ加速管、光源棟のアンジュレータ、さらに実験エリアの装置群を、直線のビーム加速伝搬路に沿って歩きながら見学しました。SPring-8が円形リングであるのに対しSACLAは直線加速器であり、どこまでも一直線の形状なのが印象的でした。最後に訪問したニュースバル放射光施設でも加速器トンネル内を歩いて見学させていただきました。

今回は理研、高輝度光科学研究センター、および兵庫県立大高度産業科学技術研の全面的なご協力をいただき、装置群の運転休止中のタイミングで見学を受け入れていただいたことにより、普段の運転中には入ることのできない加速器トンネル内の実験装置や加速管を長時間にわたり間近に見学できるという貴重な機会を得ることができました。ご対応いただいたこれら関係機関の方々には深く感謝いたします。

当財団ではこれからもこのような施設見学会を企画いたしますので、その際にはぜひご参加いただければと思います。



【写真】SACLA見学時の様子

### 主な学会報告

- 3月9日(金) 第43回リモートセンシングシンポジウム (首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス)  
染川 智弘「レーザー誘起ブレイクダウン分光法を用いた大気中エアロゾルのリモート成分分析手法に向けて」
- 3月14日(水)～16日(金) 平成30年電気学会全国大会 (九州大学 伊都キャンパス)  
倉橋 慎理「レーザーによるコンクリート構造物内部欠陥検査手法の高速化と屋外検査装置の開発」
- 3月17日(土)～20日(火) 第65回応用物理学会春季学術講演会 (早稲田大学 西早稲田キャンパス)  
染川 智弘「海上ラマンライダーの開発」  
ハイク コスローピアン 「アキシコンレトロリフレクター共振器のレーザー特性」  
谷口 誠治「ゼロフォノンライン励起Yb:YAG TRAMレーザーの出力特性」