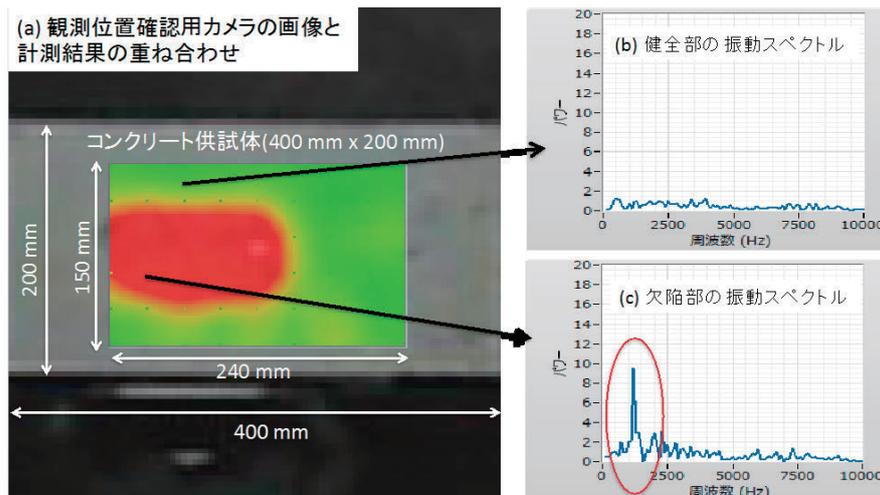


CONTENTS

- レーザーによるトンネル覆工コンクリートの高速診断技術
- ロッド型フォトニック結晶ファイバーのモード不安定性の観測
- 山中千代衛名誉所長逝去
- 主な学会等報告予定

(a) 観測位置確認用カメラの画像と計測結果の重ね合わせ



【表紙図】50Hz駆動レーザー打音検査結果

レーザーによるトンネル覆工コンクリートの高速診断技術

レーザー計測研究チーム 島田義則、倉橋慎理
レーザープロセス研究チーム 北村俊幸

■はじめに

日本国内の道路および鉄道トンネルの総延長は8,000kmにおよび、東京—サンフランシスコ間の距離に匹敵する¹⁾が、その中で高度経済成長期に建設されたものは50年以上を経て老朽化しつつあり、修繕が必要な箇所が増加している。現在トンネルインフラの点検には、主として目視検査や打音検査といった、個々の作業員が持つ技術や経験に基づく直接的な手法が用いられているが、老朽化するトンネルがますます増加していくことを考慮すると、これまで通りの作業員による点検だけでは今後深刻な人手不足を招くことが懸念される。この問題を解決するためには、保守点検の手法の効率化、自動化が重要な鍵となる。

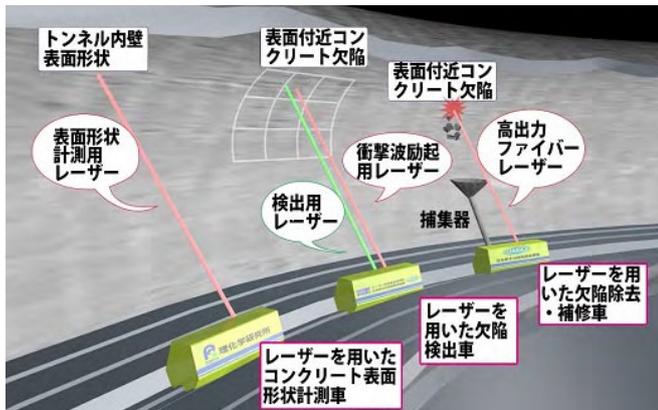
■レーザーによる保守点検作業

平成26年度から進められている内閣府総合科学技術・イノベーション会議「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人: 国立研究開発法人科学技術振興機構(JST))の支援により、当研究所と理化学研究所(理研)、量子科学技術研究開発機構(量研機構)、および日本原子力研究開発機構(原子力機構)の共同研究グループは、レーザー技術を用いて老朽化したインフラ、特にトンネル覆工コンクリートの保守点検作業の効率化、自動化をめざす研究に取り組んでいる。図1にその概要を示す²⁾。レーザーによるコンクリート表面の形状計測(理研)後に、レーザー打音検査で内部欠陥を検出(量研機構と当研究所)し、脆弱部をレーザーで除去(原子力機構)する、という方式である。理研

次ページへつづく▶

はトンネル覆工コンクリート表面のひび割れや凹凸等の検査のために「遠隔的散乱光検出・干渉計測・分光計測」の3つの方法を融合して、幅0.15 mmのひび割れおよび0.1 mmの凹凸の検出が可能な高空間分解3次元計測技術を開発した。原子力機構はレーザーを用いてコンクリートの脆弱部を溶断(切断)して除去するレーザーコンクリート切断技術の原理実証と高速・省力化のためのデータベースの構築を行った。

レーザー打音技術については、当研究所はこれまで、西日本旅客鉄道株式会社との研究により原理実証および現場での検証試験を通じてその有用性を証明しており、この技術をベースとして、量研機構と当研究所の共同開発ではレーザー打音法の高速化に必要な技術開発を実施してきた。昨年度は、繰り返し周波数25 Hzでの欠陥検出に成功した³⁾。今年度は50 Hzまでの高速化をめざして、打音用レーザーおよびガルバノミラー駆動系の高速動作化と欠陥検出アルゴリズムの改良を行った。



【図1】レーザーを使った遠隔・非接触の保守・点検のイメージ図

■高速レーザー打音検査

レーザー打音法の実用化には、高速化とあわせて、環境条件の異なる現場での安定性が重要である。今年度は、レーザー装置ならびに計測光学系に気温や湿度変動に対する対策を施し、その効果を確認するため、屋外において模擬欠陥を50Hzの高速で検出する実験を実施した。トンネルを模擬した大型テント内に装置を持ち込み、6 m離れた位置に供試体を設置した。

横400 mm、縦200 mmの供試体表面を30 mm間隔で、横方向9点、縦方向6点、合計54点の位置にレーザーパルスを一掃スキャンして照射した。得られた結果を表紙図に示す。同図(a)は検査領域と欠陥の状況を色分けして表示したもので、緑色は健全部、赤色は内部空洞のある欠陥部であることを示している。欠陥部では同図(c)に示すように1 kHz付近に大きな振動が観測されるが、健全部ではほとんど振動が観測されない。

繰り返し50 Hzでレーザーを照射しているため、コンクリート表面の照射に必要な時間は約1秒、検査データの取り込み、欠陥かどうかの判別と結果の表示に1～2秒、合計2～3秒で240 mm×150 mmの領域の健全性を評価することができた。今後はトンネルでの実験を予定している。

参考文献：

- 1) 国土交通省 道路統計年報2015および同省 鉄道統計年報[平成25年度]
- 2) レーザークロス No.325、2015年 4月号
- 3) レーザークロス No.337、2016年 4月号

ロッド型フォトリック結晶ファイバーのモード不安定性の観測

■はじめに

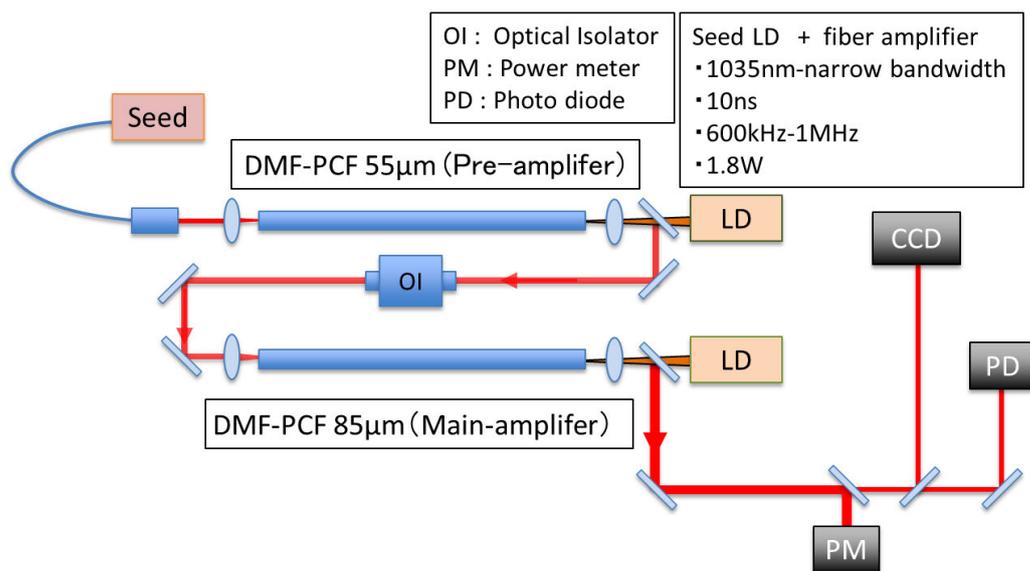
近年、ファイバーレーザー技術の進歩により、平均出力が100kW級のCWファイバーレーザーや、100W超のパルスファイバーレーザーが出現している。一方で、ファイバーレーザーの高出力化に伴う新たな問題とし

レーザープロセス研究チーム 北村俊幸

て、モード不安定性 (Mode-Instability, MI) によるビーム品質の劣化が報告されている¹⁾。

モード不安定性が生じる主要因の一つに、ファイバー内に蓄積された熱による屈折率変化に起因する、基本伝播モード(Fundamental Mode)から高次伝

播モード(High Order Mode, HOM)へのエネルギー移譲現象が挙げられる。その結果として、ファイバー中の伝播モードが基本モードから高次モードへ周期的に、もしくはランダムに変化することがわかっている。空間モードの不安定性は最小スポット径の増大やポインティングの不安定性にも直結し、レーザー加工等への応用に際しては、加工品質の悪化等の問題が発生



【図1】モード不安定性観測実験構成図

する要因となる。また以前報告した、高平均出力・高輝度ナノ秒パルスレーザーを光源に用いたコヒーレントビーム結合(Coherent Beam Combining, CBC)実験²⁾では、結合前のレーザー増幅器の平均出力の限界を決める一因ともなっていた。そこで、増幅用ファイバーへの励起パワーを変化させて意図的にMIをひきおこし、MI発生閾値付近におけるレーザー出力のモード変化を詳細に観測した。

■CCDによるモード不安定性の観測

図1に実験の概要を示す。シード光には、狭線幅半導体レーザー発振器から出力されたパルス幅10 ns、繰り返し600 kHzのレーザーを2段のYb³⁺ドープファイバー

増幅器で増幅したものを(図中Seed)、2段(前置増幅器および主増幅器)のYb³⁺をコアにドープしたロッド型フォトニック結晶ファイバーに入射した(図中DMF-PCF)。励起光源には波長975 nmのファイバーカップル半導体レーザーを用いた(図中LD)。図2に励起パワーに対する増幅器パワーを示す。主増幅器への励起パワーが356Wまでは基本モードでの出力が得られるが、それ以上励起パワーを上げるとMIが生じ、出力も低下する。またシードの繰り返し周波数を700 kHz、800 kHzと増加させると、出力低下(MI)が起こる励起パワーもそれぞれ375W、405Wへと増加したことから、MI閾値はシード光のピークパワーとの相関

CONDOLENCE

山中千代衛名誉所長逝去



当財団の創業者、山中千代衛名誉所長には平成29年2月15日逝去されました。享年93歳でした。ご冥福をお祈りいたします。

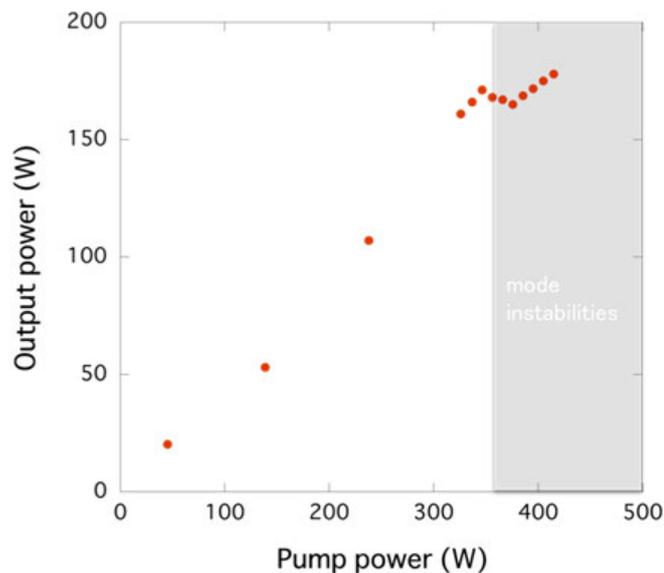
山中名誉所長は大阪大学にレーザー核融合研究センター(現レーザーエネルギー学研究センター)を設立され、大出力レーザーの開発とレーザー核融合の研究を強力に推進されました。大学ご退官後は、レーザー技術の開発と応用研究を通じた学界と産業界の連携強化を旗印に、昭和62年10月当財団を創立され、初代所長を務められました。

産学連携による研究開発が活発化している現在、名誉所長は30年前からすでに今日の状態を見通されておられたようです。当財団では、産学連携時代の先駆けとして、今後もその推進に努めて参る所存です。

があることがわかった。

撮像速度3000フレーム/秒の高速CCDカメラを用い、増幅出力のビームプロファイルを観測することによりMIの挙動を検討した。励起パワーが低い場合には基本モードでの出力が見られるが、MI閾値付近まで励起を上げると高次モードへの変化が起こり、またモードの安定性を維持できなくなる。図3に示すように、出力のモードは1フレームごとに大きく変化し、分裂と結合を繰り返しながら周期的に回転するような挙動を示すことが明らかとなった。回転の周期は約300 Hz(～9フレーム)であった。また、励起パワーを徐々に上げていくとその周期もそれに対応して遅くなり、励起400Wで約250Hz(～12フレーム)まで低下した。この結果は、モード変化の周期が励起パワーに依存することを示している。

これらの周期的なモード変化は、破壊限界や誘導ラマン散乱等従来考えられているファイバーの出力限界よりも低い出力で観測されていることから、MIがビーム品質低下の要因の一つとなることが確かめられた。一方MIの発生要因については、MIとシード光の周波数および励起パワーとの相関について一部検討を



【図2】励起パワーに対する増幅出力

行ったものの、現状では明確ではない。今後はシード光のファイバーへの入射角度(結合方向)やポインティング、光学系の物理的な振動などの要素も考慮しつつ、より詳細な実験や、シミュレーションによる増幅光のモード解析等を行うことでMIの要因について具体的に明らかにしていく。

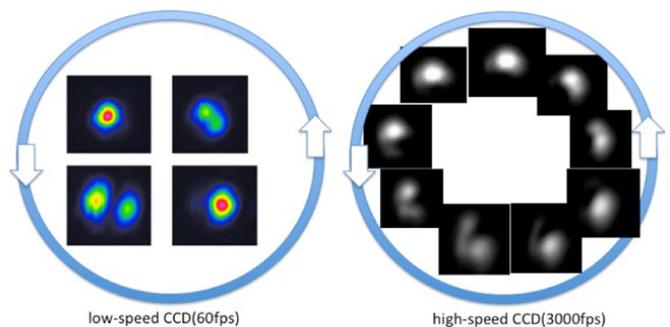
■まとめ

高速CCDカメラを用いてファイバーレーザーの高出力化に伴い発生するモード不安定性(MI)の観測を行い、MIによるビーム品質の低下を確認するとともに、そのモード変化が周期性を持つことを明らかとした。レーザー加工等、単純な出力パワーだけでなく、ビーム品質が重要となる応用や、コヒーレントビームビーム結合によるレーザーの高出力化においてもMIの発生は重大な問題である。今後は実験やシミュレーションを通じてこのMIの要因を明らかにし、不安定性の低減等が行えるよう研究を続けていく。

謝辞：本研究の実施にあたり、大阪大学レーザーエネルギー学研究中心コヒーレンス制御グループの多大な協力を得た。また本研究の一部は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援の下行われた。ご協力頂いた方々に深く感謝致します。

参考文献：

- 1) C. Jauregui, J. Limpert, and A. Tünnermann: Nature. Photonics. 7 (2013) 861
- 2) レーザークロス No.336、2016年 3月号



【図3】CCDカメラにより観測した増幅光のビームプロファイルの変化(左)撮影速度60フレーム/秒、(右)3000フレーム/秒

主な学会等報告予定

4月18日(火)～21日(金) The 6th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS'17)(パシフィコ横浜)
ハイク コスロービアン 「Quantitative analysis of CW-regime, multi-pass amplifier output characteristics including optical losses」
本越 伸二 「Laser-induced damage in silica glasses with double pulses irradiation」