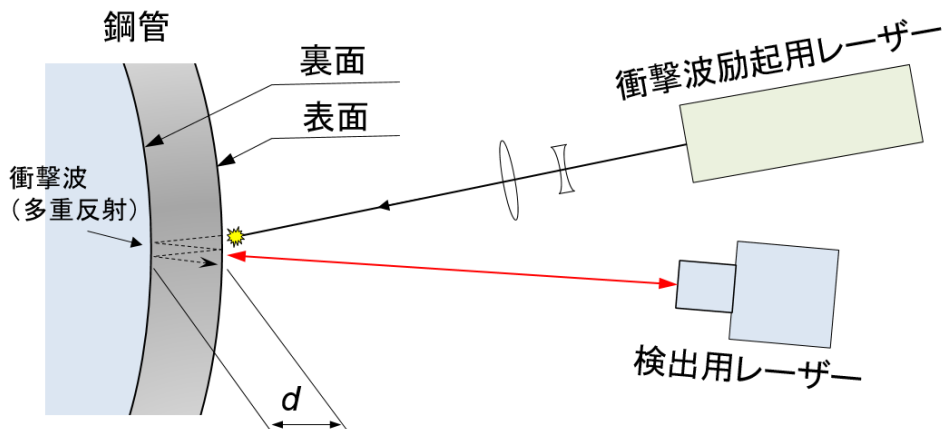


CONTENTS

- レーザーを用いた鋼管肉厚計測手法の開発
- 光・フォトンクス国際会議 報告 (OPIC 2019)
- 主な学会報告予定



【表紙図】レーザーによる鋼管肉厚計測法の原理

レーザーを用いた鋼管肉厚計測手法の開発

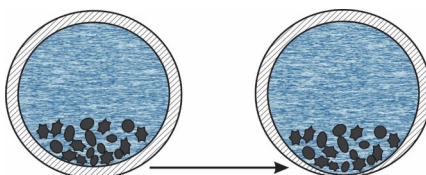
レーザー計測研究チーム 島田義則、オレグ コチャエフ

■はじめに

トンネル工事や建設現場などでは、鋼管を用いて建設発生土などの建設廃棄物を運搬する手法が多く取り入れられているが、その際、鋼管内を廃棄物が移動することにより内部が削られ、鋼管の肉厚が薄くなっていく現象が生じる(図1)。この現象が進行すると鋼管に穴が開き廃棄物が噴出するため、工事を中断せざるを得なくなる。このような事故を防止するためには、事前に鋼管の肉厚を把握しておき、最適な時期に交換するメンテナンス作業を行うことが重要である。鋼管肉厚の計測には現在、主として肉厚計(超音波厚さ計)が用いられているが、計測時にはセンサー部を鋼管表面に接触させる必要があるため、現状では手が届く範囲でしかチェックができない、という課題があった。

当研究所では以前から、レーザー超音波技術を用いて高架橋鋼板の厚さを遠隔計測する手法の開発を行ってきた。これまでに、レーザー超音波の多重反射周波数を計測することで、鋼板の厚さを評価することが可

能であることを明らかとした(Laser Cross No.363、2018 Jun.)。本稿ではこの研究をさらに発展させ、レーザーを用いた鋼管肉厚計測手法を開発することを目的に、鋼管サンプルを用いた計測実験、および鋼管内の滞水の影響などについて検討した結果を報告する。



【図1】(上)鋼管の写真、(下)建設廃棄物による鋼管内部の劣化イメージ

■計測原理

表紙図に鋼管肉厚計測手法の原理図を示す。衝撃波励起用レーザーが鋼管表面に照射されると、鋼管内部に衝撃波が発生する。衝撃波が鋼管裏面と表面を多重反射する時間(周期)を検出用レーザーで計測することにより肉厚を評価する。多重反射する周波数 F (1/周期)は下式で表される。

$$F = V / 2d$$

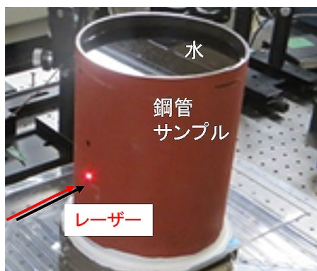
ここで、 V は鋼管内の縦波速度、 d は肉厚である。縦波速度を5.9 km/s、板厚を5 mmとすると、多重反射周波数は $F = 5.9 \text{ (km/s)} / \{2 \times 5 \text{ (mm)}\} = 590 \text{ kHz}$ と求めることができる。鋼管の肉厚が3 mmまで薄くなったとすると、多重反射周波数 $F = 5.9 \text{ (km/s)} / \{2 \times 3.3 \text{ (mm)}\} = 894 \text{ kHz}$ となり、健全時の590 kHzと異なるため、肉厚の変化を判定することが可能となる。

■鋼管サンプルを用いた肉厚計測実験

肉厚7.1、5.0、3.7 mmの3種の鋼管サンプルを用いて肉厚計測実験を行った。衝撃波励起用レーザーと検出用レーザーは、鋼管表面上で数cm離れた位置に照射した。表1に実験結果を示す。鋼管肉厚 7.1 mm での多重反射周波数は420 kHzであった。音速を5.9 km/sと仮定した場合、肉厚の計測値は7.0 mmとなり、実際の値とほぼ一致している。肉厚が異なる他のサンプルにおいても同様に試験を行い、いずれも計測値と実際の値はよい一致を示すことがわかった。

■滞水条件下での計測

鋼管による建設廃棄物の運搬手法では通常、廃棄物を水流で押し流す方式が用いられている。このため鋼管内は常時滞水した状態にあると考えられることから、実際により近い条件として滞水条件下での肉厚計測を行い、非滞水時(空气中)と結果を比較した。図2に実験時の写真を示す。鋼管内に水を満たし、水流による圧力はかかっていない



【図2】肉厚計測試験(滞水時)の様子

条件で計測を行った。計測結果(振幅スペクトル)を比較すると、滞水時(図3(a))には周波数ピークの振幅が非滞水時(図3(b))の約1/2に低下するものの、振幅スペクトルの形状はほぼ同一であり、多重反射周波数も

【表1】鋼管サンプルの肉厚とレーザー計測値の比較

肉厚 (mm)	多重反射周波数 (計測値) (kHz)	肉厚 (計測値) ^a (mm)
7.1	420	7.0
5.0	610	4.8
3.7	800	3.7

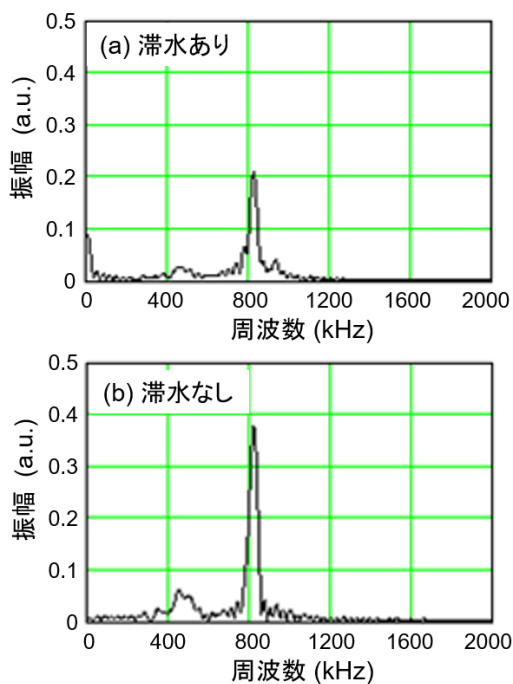
^a音速を5.9 km/sと仮定して計算

一致することから、滞水時の鋼管に対してもこの手法は有効であるといえる。

■まとめと今後

本研究では、レーザー超音波技術を建設廃棄物の運搬に用いる鋼管の遠隔肉厚検査に応用するため、肉厚が異なる鋼管サンプルのレーザー計測を行い、計測値が実際の肉厚と一致することを明らかとした。また実際により近い条件として滞水時の鋼管についても計測を行い、高い精度での計測が可能であることがわかった。しかしながら本手法を実用化するためには、衝撃波励起用レーザー照射時に起こる鋼管表面の塗装剥離など、課題も残されている。現在課題の解決に向け照射条件の制御や計測手法の改良などに着手しており、実用化を目指して今後も開発を進める予定である。

本研究は株式会社大林組の委託により行われた。関係者各位に謝意を表します。



【図3】(a)滞水時、(b)非滞水(空气中)時の肉厚計測結果(振幅スペクトル)

光・フォトニクス国際会議 報告 (OPIC 2019)

レーザープロセス研究チーム ハイク コスロービアン

■OPIC2019が横浜で開催

2019年4月21日～26日、パシフィコ横浜で開催された光・フォトニクス国際会議(OPTICS & PHOTONICS International Congress, OPIC 2019)に参加し、研究発表を行った。OPICは、光技術に関する国内最大の国際会議として2012年から同会場で毎年開催されており、今年で第8回を数える。今回は、HEDES(高エネルギー密度科学)、LSSE(宇宙と地球のためのレーザー)、XOPT(X線光学要素技術と応用)、ICNN(ナノフォトニクスとナノオプトロニクス)などのほか、新たにOWPT(光無線給電および光ファイバ給電)が加わり、あわせて14の国際専門会議とプレナリー & ジョイントセッションが開催され、国内外から1100人以上の研究者が集結した。プレナリーセッションでは、2018年のノーベル物理学賞がレーザー物理から選出された(アーサー・アシュキン博士(米)、ドナ・ストリックランド博士(加)、ジェラルド・ムル博士(仏))ことを受け、受賞者への祝辞ならびに業績を紹介する講演が設けられた。尾松孝茂教授(千葉大)からアシュキン博士の業績である光ピンセット、C. Barty教授(カリフォルニア大)からはストリックランド、ムル両博士の業績であるチャープパルス増幅(CPA)技術が紹介された。また講演では、これらの発明が現在の学界や産業界に与えた多大な貢献にも触れ、受賞者に大きな賛辞が送られた。

筆者は主にALPS'19(第8回先進レーザーと光源技術に関する国際会議)に参加し、水ジェット冷却を用いたkW出力CW Yb:YAGレーザー開発の成果、およびレーザー媒質の温度計測と制御手法について報告した(Laser Cross No.373, 2019 Apr.他)。今回のALPSでは招待講演を含め15か国から130以上の研究報告があった。以下に、高ピーク強度および高平均出力レーザー開発に関する最新研究についてまとめる。

■SESAMモード同期薄ディスクレーザー

チューリッヒ工科大(スイス)のU. Keller教授から、

高出力薄ディスク(Thin Disk)レーザーに関する報告があった。報告では、Yb: YAG薄型ディスクレーザーのモード同期にSESAM(Semiconductor Saturable Absorber Mirror、半導体可飽和吸収ミラー)を用いることで、パルス幅940 fs、パルスエネルギー 40 μ J、350 Wの高平均出力が得られたとのことであった。光光効率は29%であった。彼らは、高ピーク出力時に空気の非線形効果によりSPM(自己位相変調)が生じ、正方向の位相シフトが誘起されることを見いだすとともに、SHG(第二高調波発生)結晶を共振器内に挿入し、位相不整合条件となるよう角度調整を行うことで負方向の位相シフトが引き起こされ、その効果を補償できることを示した。

■高出力高次モードMOPA

国防科技大(中)のK. Han博士らは、モノリシック(一体型)30/600 LMA-YDF(Large Mode Area Ytterbium-doped Double clad Fiber、ファイバー長18 m)増幅器を基本とする高次モードMOPA(主発振器出力増幅器、波長1080 nm)の開発を行った。励起には波長976 nmの光源を用い、前方励起型のシステムを用いていた。シード光、出力光のモードはそれぞれLP₀₁、LP₁₁で、高次モードの利用によりファイバーの非線形



【写真1】OPIC 2019会場(パシフィコ横浜)

現象や発熱(破損)を緩和させ、3.6 kWの高出力を得ることに成功した。光-光変換効率は88%(入力4.1 kW)とのことである。

■ELI-beam linesの開発状況

欧州における研究インフラの拠点の一つとなるべく建設されているELI beamlines(チェコ)のP. Bakule博士から、XUVおよびX線発生源を励起するための超高強度ドライバレーザー(ALLEGRAレーザーシステム)の開発、および試運転の状況についての報告があった。システムは合計で7段のOPCPA(光パラメトリックチャープパルス増幅)ステージを持ち、繰り返し周波数1 kHzでの出力は100 mJに達するよう設計されている。現在5段目までのOPCPAの動作が検証されており、繰り返し周波数1 kHz、パルス幅 20 fs以下の条件で20 mJの出力が実証された。レーザーシステムの励起にはピコ秒パルスが用いられている。これにより830 nmを中心とするチャープ信号の圧縮をチャープミラーのみで行うことができる。またピコ秒パルスを用いる利点には、時間コントラストが本質的に非常に高いことから、高光強度(～100 GW/cm²)を得るために各増幅ステージで用いるOPCPA結晶(BBO、LBO)の厚さを1.5～2.0 mmまで薄くできることが挙げられる。このため高出力化にともなう熱影響もほとんど受けることがない。出力パルスの時間幅(～15 fs)は、音響光学分散フィルターとストレッチャーにより制御される。残り2段のOPCPAステージの起動後、システムは100 mJのフルデザイン出力に到達し、今後2年以内には新たなX線発生源を駆動するための試運転が行われる予定、とのことである。

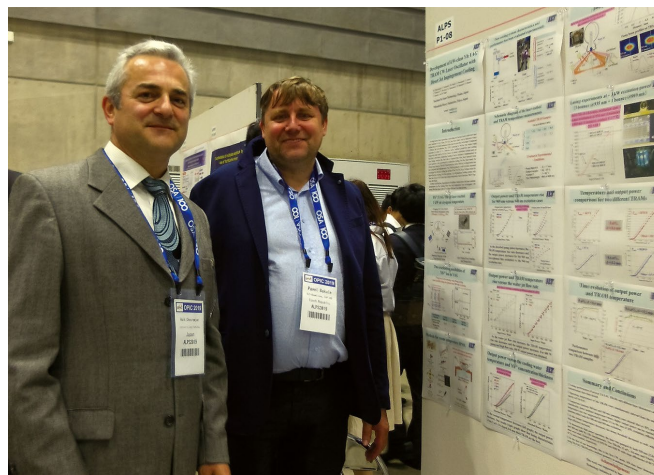
■ダイヤモンドラマンレーザー

マッコーリー大(豪)のR. P. Mildren博士から、ダイヤモンドラマンレーザー開発状況と今後の方向性に関する報告があった。ダイヤモンドのレーザー発振は誘導ラマン散乱を介して起こり、その高出力、狭い線幅

および広い波長範囲は新しいレーザー応用への可能性を開く。一般にラマンレーザーは、励起パルスレーザーの波長シフトを行うための非線形変換技術(ラマンシフター)と認識されてきた。一方、ダイヤモンドは大きなラマンシフト幅(40 THz)や純粋な一次ラマンスペクトル、非常に高い熱特性(2 kW/mKの熱伝導率)など特異な物性を持つことから、広い波長範囲での出力が可能なレーザー装置への応用が検討されてきた。現在までにその出力は、非線形効果や熱効果に影響されない高効率、および高ビーム品質(M²=1.2)で750 Wに達している。また(ラマンビーム結合による)複数の励起ビーム、またはマルチモードの励起ビームを用いた発振および増幅実験により、低コヒーレンス光の入力に対しても大幅に輝度が向上することが実証された。これらの結果は、ダイヤモンドラマンレーザーが今後、輝度(高平均出力、高品質)および波長範囲の面で利点を持つ高出力レーザー技術として一般化する可能性が高いことを示している。

■次回開催予定

今回のOPICは2020年4月20日～24日、同会場での開催が予定されている。



【写真】研究発表時の写真(左)筆者、(右)P. Bakule博士(ELI beamlines(チェコ))

主な学会報告予定

- 9月9日(月)～12日(木) SPIE Security+Defence 2019(ストラスブール)
染川 智弘「Evaluation of Tunable deep UV Lasers for remote identification of hazardous substances」
- 9月11日(水)～13日(金) 原子力学会2019年秋の大会(富山大学)
大道 博行「レーザー加工により発生する微粒子の解析と核種同定手法の開発 - 高速度カメラを用いた微粒子発生過程の観察 -」
- 9月18日(水)～21日(日) 第80回応用物理学会秋季学術講演会(北海道大学)
染川 智弘「深紫外波長可変光源を利用したSO₂の共鳴ラマン測定」