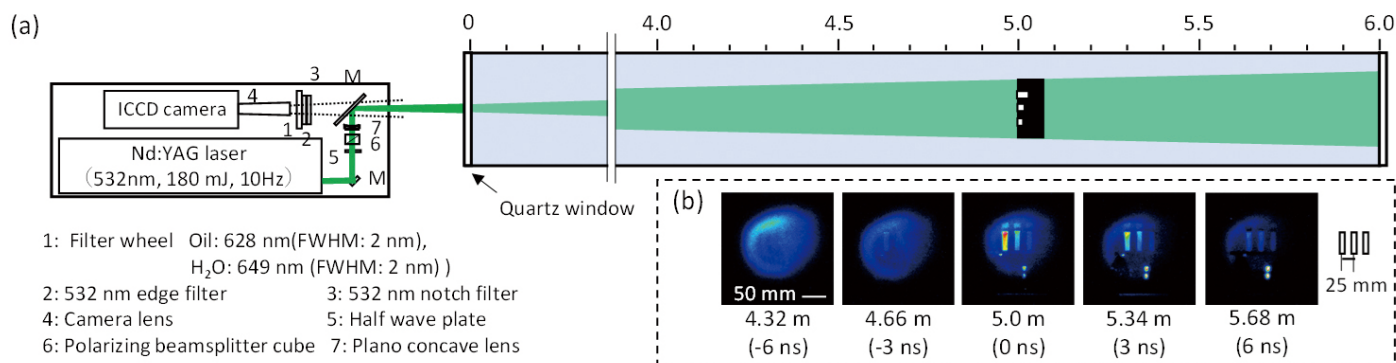




【表紙図】長水槽を用いたフラッシュラマンライダーによる水中油可視化試験の(a)配置図と(b)測定結果例

フラッシュラマンライダーを利用した 水中油の可視化

◆水中でのレーザーモニタリングに向けて

日本の領海・排他的経済水域は国土面積の12倍程度も大きく、海底鉱物・エネルギー資源の採掘、CO₂の大規模削減を目指すCCS(Carbon dioxide Capture and Storage)、海底パイプラインなど、有効な海底利用が期待されている。海底開発では資源探査手法の開発だけでなく、海底インフラのメンテナンスや事故の早期発見、開発に伴う海洋生態系・環境への影響評価が重要とされている。現状の採取・採水測定による海中環境の評価は、頻度や評価可能なエリアに限度があるため、広範囲な領域を短時間でモニタリングが可能な水中ライダーを開発している。

ライダーで水中物質・ガスの3Dイメージを取得する方式には、スキャン方式とフラッシュ方式がある。スキャン方式は、コリメート光の送出方向をガルバノミラーなどによって高速に走査し、そのライダー信号を連続で取得することによって3Dイメージを得るものである。一方、フラッシュ方式ではカメラ撮像のように、

レーザー計測研究チーム 染川智弘

カメラの視野内にレーザーを拡散照射することによって得られる2Dイメージの取得時間を時間的に掃引することで3Dイメージを撮像する。フラッシュ方式は、レーザーの走査が不要であることから、撮像画面内の時刻ずれのないイメージが得られるというメリットはあるが、レーザー光を拡散ビームにするために、単位面積あたりのビーム強度が落ち、微弱なラマン散乱現象などへの応用は少なく、測距などにしか利用されていない。これまでに、SO₂ガスの吸収ラインがある波長217 nm帯のレーザーを利用した共鳴ラマン効果を利用したフラッシュライダー技術を開発し、SO₂ガス漏えいの3Dイメージの撮像に成功している。海中でのパイプラインからの油の漏洩などを想定すると、大気中の微量有害物質検知に比べて濃度は大きいことが想定されるため、通常の自発ラマンを利用したフラッシュラマンライダーによる海中モニタリング手法への適用可能性を検討した。

◆フラッシュラマンライダーによる水中油可視化

表紙図に長水槽を用いたフラッシュラマンライダーによる水中油可視化試験の(a)配置図と(b)測定結果例を示す。レーザーには水の透過率が高い波長532 nmのパルスレーザーを用いた。パルスエネルギーは180 mJ、繰り返し周波数は10 Hzである。このレーザーを焦点距離200 mmの凹レンズで拡げ、長さ6 mの長水槽に入射させている。水中伝搬距離5 mの位置に、ラボジャッキを置き、その上にレーザー照射方向から見て左から光路長が20、10、5 mmの油入り石英セルを設置した。散乱光は、波長532 nmのエッジ・ノッチフィルターでレイリー光を除去したのち、油、水のラマン波長であるそれぞれ628、649 nm(半値全幅: 2 nm)の干渉フィルターで測定波長を制限し、ゲート機能付きのICCDカメラ(Princeton社製PI-MAX4)で撮影した。ICCDカメラのゲート幅は5 ns、測定の積算回数は2000回とした。油のラマン撮影画像強度が最大となる時刻を時間原点(0 s)と決め、ICCDカメラの遅延時間を調整した。

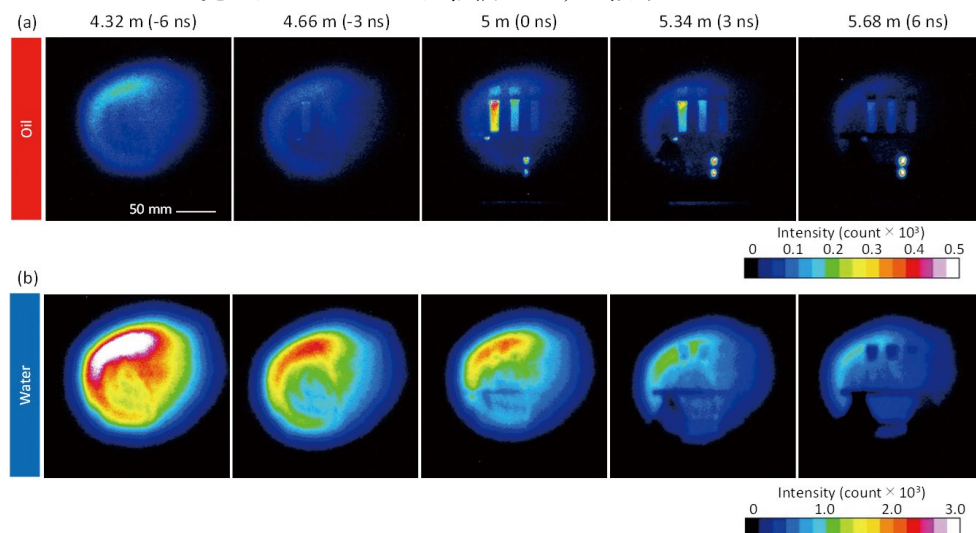
図1は、(a)油、(b)水のラマン波長において、遅延時間を変えて撮影した画像である。(a)の油のラマン画像では、遅延時間0 ns以降で石英セル位置に信号が見られている。遅延時間0 ns以降も信号が観測されているのは、パルス幅が5 nsと測定間隔の3 nsよりも長く、ラマン信号が次の測定時間幅に残っているためだと考えられる。また、油のラマン信号は水のラマン信号の裾にあるために、油がない領域でも水由来の信号が検出されている。一方で、水のラマン信号である(b)からは、油のセル位置での信号は弱く、遅延時間0 ns以降では、ラボジャッキなどで光が遮られるため、影絵のように抜け

が観測されている。また、遅延時間 - 6 nsなどでは、左上にピークを持った不均一な分布が観測されている。これは、水が不均一な濃度分布をしているわけではなく、照射レーザーの強度プロファイルの不均一性を反映している。このため、遅延時間0 ns時などで得られている油のラマンイメージは左上に強い分布が反映され、濃度が均一なはずのセル内でも濃度勾配が見られ、正確な濃度イメージが得られていないことがわかる。そこで、本フラッシュラマンライダーでも、通常のラマン分光法と同じように、濃度が均一とみなせる水を較正信号としたラマン信号強度比の適用を検討した。

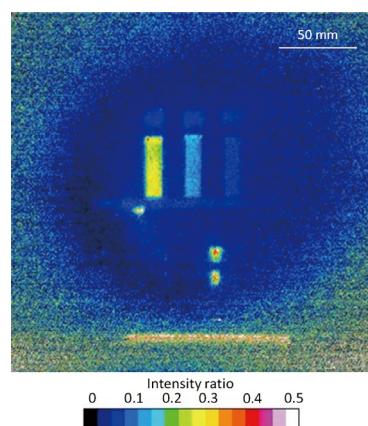
図2に遅延時間0 nsでの油／水のラマン画像の強度比を示す。比を取ることで、各セル位置にて濃度がほぼ均一に表現できていることがわかる。通常のライダー測定に使用されるナノ秒のパルスレーザーでは、レーザーの共振器のアライメントの不調などによってビームが不均一な強度分布になったり、共振器の設計によっては干渉縞が生じることがあるが、較正用の水との強度比を同時に取ることで、これらのイメージの不均一性を補正して、定量評価が可能になる。

フラッシュラマンライダーで得られる撮像画面内の時刻ずれのない広範囲なイメージ測定は、海中の漏洩モニタリングに有効ではないかと考えられる。今後は実際に、海中にある油の識別観測を実施するとともに、複数のラマンイメージの取得が可能な光学系の検討も進める予定である。

謝辞：本研究はJSPS科研費JP22H03756の支援を受けたものである。関係各位に深く感謝の意を表します。



【図1】(a)油、(b)水のラマン波長において、遅延時間を変えて撮影したフラッシュラマンライダー画像



【図2】遅延時間0 nsでの油／水のラマン画像強度比

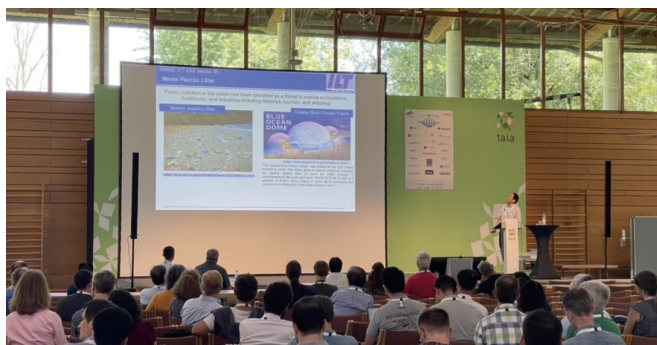
31st International Laser Radar Conference 国際会議報告

レーザー計測研究チーム 染川智弘

◆31st ILRCがドイツ、ランツフートで開催される

第31回レーザーレーダー国際会議(31st International Laser Radar Conference(ILRC))がドイツ、ランツフートにおいて、6月23日から28日の6日間にわたり開催された。ランツフートはミュンヘン空港から北東40 kmにある町で、旧市街はヨーロッパらしい石畳の街であった。会場はランツフートの駅からバスで30分程度離れた国際会議場で、宿泊施設が併設された広大なセンターであった。同時期にヨーロッパのサッカー選手権EURO2024がドイツで開催されていたため、ほとんどのレストランでは店頭に大きなテレビを出して大勢の人が観戦しており、ヨーロッパのサッカー熱の高さを感じた。

ILRCはInternational Coordination-group for Laser Atmospheric Studies (ICLAS)が主催して2年に1度開かれる国際会議で、今回はGerman Aerospace Center (DLR)がホストであった。ICLASは、ヘテロダイン検波を利用するドップラーライダーなどのコヒーレント方式ライダーに特化したCoherent Laser Radar Conference (CLRC)を、ILRCと交互に隔年毎に開催してきたが、コロナの影響で、前回からILRCとCLRCを合同で開催するようになった。ICLAS主催であるので、気象関連のライダーの発表が多くはなるが、微量ガス検知などのセッションもあり、産業応用よりの発表も増えてきている。ILRCでは中日の午後に、学会主催のツアーとバンケットがある。今回はバスでレーゲンスブルクに移動し、強い日差しの中を徒歩で数時間町を散策した後ドナウ川のクルーズバンケットを楽しみ、ライダー関係者との親睦を深めるいい機会だった。



【写真1】発表する筆者

◆「レーザーレーダー」関連の研究者がほとんど集まる

セッションはライダー技術、大気ライダー観測、衛星搭載ライダーに大きく分けられ、今回は海、生存圏、生態系への応用セッションがあり、筆者もそのセッションで発表した(写真1)。風を計測するドップラーライダーの発表は多く、温室効果ガスであるCO₂や水蒸気計測の研究は依然として盛んな印象である。主に参加したILRCから、今後の発展が気になった発表を2件紹介する。

Fraunhofer ILTのMichael Strotkampらから「Novel emitter for a compact general-purpose Doppler lidar based on diode-pumped Alexandrite」というタイトルで風を計測するドップラーライダーの報告があった。このグループからは複数の発表があったが、LDポンプのAlexandrite Laserを開発していた。ヨーロッパではUVレーザーを利用した衛星搭載ドップラーライダーであるAEOLUSの運用が順調であることから、UV領域に波長変換が可能な近赤外領域(700~800 nm)での波長可変なレーザーとしてAlexandriteが再び脚光を浴びている。パルス幅は1000 nsと長く、3.6 mJ(750 Hz)、4.6 mJ(500 Hz)、M²~1.1、線幅~3 MHzであった。5方向でドップラー観測を実施することで風を可視化している。

また、French National Centre for Scientific ResearchのFabien Gibertらから「 $\delta^{13}\text{C}$ carbon isotopic composition of CO₂ in the atmosphere by Lidar」というタイトルで発表があった。Cの同位体比計測は放射性炭素年代測定に使われる有名な手法であるが、大気中のCO₂でも同位体比が $\delta^{13}\text{C}$ 換算で、海洋域で-8 ‰、都市域で-10 ‰、火山噴煙で-5 ‰と異なるようで、この指標を使った新しい炭素循環の解明に向けた提案があった。¹²CO₂では2050.97 nm、¹³CO₂では2052.42 nmと吸収波長が異なり、CO₂の吸収がない2051.24 nmとの3波長でのライダー観測を実施し、それらの信号比から放射性炭素の分布情報が得られるとのことであった。

次回は2年後の2026年に開催予定であるが、ILRCとCLRCが同時開催なのも含め、開催地は決まっていない。

レーザー総研オープンセミナー 「レーザー加工からインフラ診断まで」 ～ILT2024 令和5年度研究成果報告会開催案内(横浜)～

令和5年度の研究成果報告会 ILT2024は、「インターオプト2024-光とレーザーの科学技術フェア」の併催イベントとして開催いたします。本報告会では、レーザー加工からインフラ診断まで、多岐にわたる研究テーマについて、昨年度の研究成果をわかりやすく報告します。ポスター発表では、研究員との直接対話により技術的なご相談にも対応いたします。ぜひご参加ください。

◆プログラム

13:00～13:15	ご挨拶 レーザー技術総合研究所概要	所長 井澤 靖和
13:15～13:40	月面で3Dプリンティング！そこに求められるものは	主席研究員 藤田 雅之
13:40～14:05	波面制御でレーザー加工を効率化！高速動作・高光耐性可変形鏡の応用技術	主任研究員 谷口 誠治
14:05～14:30	遠隔光計測を高感度化！SBSによるナノ秒レーザーパルス圧縮法	副主任研究員 ハイク コスロービアン
14:30～14:45	休憩	
14:45～15:10	レーザーで海洋プラスチックごみ対策を！ラマンライダーによるプラスチックの遠隔識別手法の開発	主任研究員 染川 智弘
15:10～15:35	見えないを視る！光学的手法による気体可視化技術の開発	研究員 倉橋 慎理
15:35～16:00	青色レーザーでも光学素子が課題に！光学素子の耐光性試験	主任研究員 本越 伸二
16:00～	閉会	常務理事 梅林 徹
16:05～16:40	ポスター発表	

※なお、プログラム順は変更する可能性がありますので、ご了承下さい。

◆開催概要

<日 時>	2024年10月29日(火)13:00～16:40
<場 所>	パシフィコ横浜 アネックスホールF202 神奈川県横浜市西区みなとみらい1-1-1 アクセス：みなとみらい駅から徒歩5分 https://www.pacifico.co.jp/visitor/access
<受講料>	無料
<申し込み方法>	下記サイトよりお申し込みください。 https://www.opt-seminar.jp/ilt2024y
<申し込み締め切り>	定員(50名)になり次第、締め切らせていただきます。
<お問い合わせ>	公益財団法人レーザー技術総合研究所 (E-mail: seika@ilt.or.jp)

