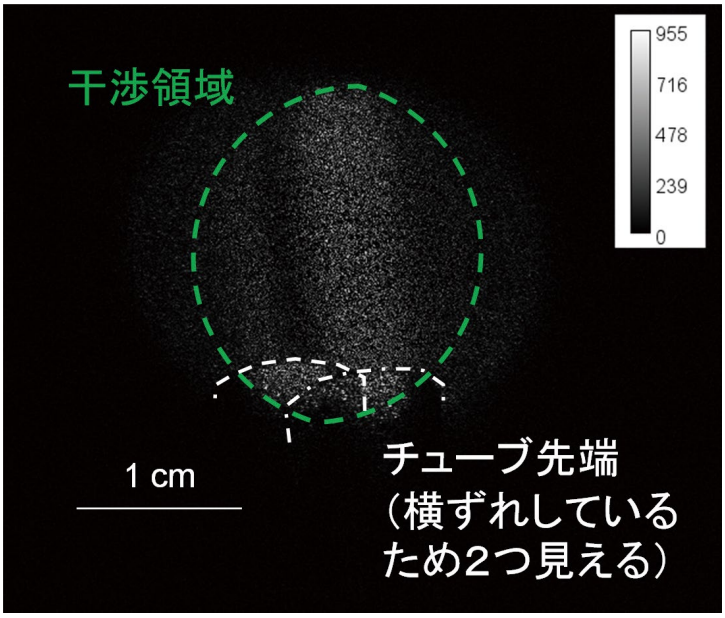
2026
No.428

LASER CROSS

CONTENTS
シアリング干渉計を用いた
漏えいガス可視化技術の開発
32nd International Laser Radar
Conference (ILRC32)報告
レーザー技術の最先端
～レーザー加工からインフラ診断まで～
ILT2026令和7年度研究成果報告会を開催

ISSN 0914-9805



【表紙図】噴出する窒素ガスの可視化画像。チューブ先端から紙面上方に向かって伸びる輝度の高い領域に窒素ガスが存在している。

シアリング干渉計を用いた漏えいガス可視化技術の開発

レーザー計測研究チーム　倉橋慎理

■はじめに

福島第一原子力発電所の原子炉格納容器(PCV)は、水素爆発防止の観点から窒素ガスが微正圧状態で注入されているが、事故による破損箇所から微量ガスが漏えいしている状態にあると想定されている。ただ、どの位置から、どの程度の漏えいがあるかは把握されておらず、漏えい箇所や漏えい量をオンサイトで検知・測定する技術が求められている。窒素が主たる漏えい気体と考えられ、約8割が窒素である大気中で、さらに微量な窒素ガスの漏えいを検知する必要があるため、検知技術には高い感度が求められる。弊所では、数年前からレーザーを用いた漏えいガス可視化技術の開発を進めている。本稿では、シアリング干渉計を用いた窒素ガス可視化試験の結果について報告する。

シアリング干渉計は、被検波面とそれをわずかに横にずらした波面を干渉させ波面情報を得る干渉計である。一般的な干渉計測では必要な参照波面がシアリング干渉計では不要で、コントラスト低下や、参照面の精度による影響を除去できるため、複雑な表面状態の形状測定に用いることが可能であり、共通光路型の干渉計であるため外乱に対し頑強であり安定な計測を実現できるといった特長がある。

■窒素ガス可視化試験

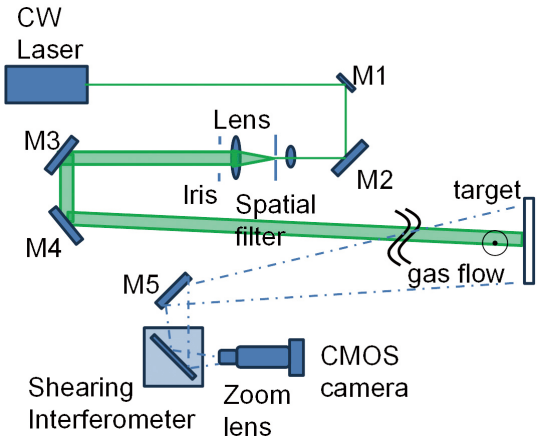
屋外での利用を見据え、装置の簡易化のため市販のシアリング干渉計を組み込んだ可視化光学系を構築し、漏えいガスに見立てたガスボンベから噴霧した窒素ガスを可視化する実験を行った。図1に構築したシステムの光学系を示す。システムはレーザー光を照射し検査面を照明するための照射光学系と、照明された検査面を観測する干渉光学系からなる。

空間フィルタを通過したレーザー光(波長532 nm、線幅<5 MHz、連続発振、出力20 mW)を、ビーム径25 mmのコリメート光とし3 m先に設置したスクリーン(白色ポリスチレン製)へ照射した。ミラー、シアリング干渉計(光路長差16.2 mm)、ズームレンズを介して拡大した検査面をCMOSカメラのセンサー面に結像させた。

次ページへつづく▶

このとき検査面の画像はシアリング干渉計によって横ずれした干渉画像としてセンサー面で検出される。構築した装置を用いてスクリーンの手前約5 cmの位置に噴霧した窒素ガスを可視化する試験を実施した。窒素ガスはガスボンベからレギュレータにより2気圧に調整された後、流量計によって任意の流量でチューブ先端から連続的に噴出する。

窒素ガスを流した場合の干渉画像と流さない場合の干渉画像を記録し、それぞれの干渉画像の差分値(それぞれの画像における各画素の輝度の差の絶対値)を計算した。得られた差分画像を表紙図に示す。図中に示す干渉領域内において窒素ガスによる干渉光強度の変化が見られるようになった。横ずれして2つ見えるチューブ先端それぞれから紙面上方に向かって伸びる輝度の高い領域が見られた。差分画像の輝度は二枚の画像の差の絶対値で表されるため、輝度の高い領域は正負問わず干渉光強度の変化量の大きい領域であり、この領域に窒素ガスが存在する可能性は高い。窒素ガスを流した場合と流さない場合の干渉画像を撮影し、それらの差分値を計算し画像を生成することで、噴出する窒素ガスを可視化できることを示した。



【図1】窒素ガス可視化システムの光学配置

■おわりに

照明した対象をシアリング干渉計越しに観測する簡便な構成で、窒素ガスのような目に見えない気体が噴出する様子を可視化することができた。流出量などを定量的に評価できるような計測手法を引き続き開発していきたい。

謝辞

本研究の一部は、日本原子力研究開発機構「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」によって実施された、課題解決型廃炉研究プログラム「PCV気相漏えい位置及び漏えい量推定のための遠隔光計測技術の研究開発」(JPJA23P23813496)の助成を受けた。研究の遂行にあたり、議論、助言いただいた、日本原子力研究開発機構松田晶平氏、千葉大学椎名達雄准教授、石井萌氏、千葉大学環境リモートセンシング研究センター久世宏明名誉教授に感謝いたします。

REPORT

32nd International Laser Radar Conference (ILRC32)報告

レーザー計測研究チーム　染川智弘、磯谷舟佑

◆大気ライダーを主とした国際会議、広島で開催

国際会議(32nd International Laser Radar Conference (ILRC32))が広島国際会議場で2026年7月5～10日の6日間にわたり開催された。ILRCは大気ライダーを主とした国際会議で、風などの計測が可能なコヒーレントライダーに特化したCLRC(Coherent Laser Radar Conference)と、交互に隔年開催されてきたが、コロナの影響で、2年前には共同開催で実施された。今回は元の形に戻ってILRC単独開催となり、組織委員会委員長を九州大学の岡本先生が務め、筆者も現地実行委員として運営に参加した。15の企業、機構から展示・スポンサーとして支援いただいた。

ILRCでは、シングルセッションの口頭発表と夕方に軽食を取りながらポスター発表が行われる。今回から、ポスター発表者にも1分間のフラッシュトークが与えられたが、ポスター発表前に60人近くの連続トークを聞くのは少々厳しく、ポスターの終了時刻も遅くなったため、評判は良くなかった。

本会議の前日には初学者向けにライダー技術のチュートリアルセミナーが開催される。チュートリアルの講師が来日できず、急遽、日本人講師を代役に立てるというハプニングがあったが、参加者は100人を超え、大盛況であった。また、学会会期中はちょうど北中米W杯の開催時期と重なったこともあり、会議でもフットサル大会を開催し、研究者らが交流を深めた。

◆「レーザーレーダー」関連の研究者が多数集まる

セッションは衛星搭載ライダー、ライダー技術、大気ライダー観測に大きく分けられる。衛星搭載ライダーでは、JAXAとESAが共同で2024年に打ち上げた「雲エアロゾル放射ミッション(EarthCARE)」のデータが多く報告された。EarthCAREは、気候変動予測において大きな不確定要素である雲とエアロゾルの相互

作用およびその放射的効果を解明し、地球温暖化予測の精度向上を目指している。EarthCAREは高スペクトル分解ライダー(High Spectral Resolution Lidar: HSRL)を搭載しており、波長355 nmの狭線幅のレーザー光源を利用して、エアロゾルや雲によるミー散乱と大気分子によるレイリー散乱を分離して求める装置であり、雲やエアロゾルの後方散乱係数と消散係数を独立に求めることが可能になる。HSRLでは、大気分子のレイリー散乱のドップラーシフトから風速を測定することも可能である。2018年にESAが打ち上げた地球上の風の動きを観測する衛星「Aeolus」に採用されており、2023年までの結果の評価や、後継機の準備についての講演もあった。

◆安価なSchempflugライダーの開発

ライダー技術のセッションでも、上記のHSRL技術に関する多くの講演があったが、ここでは、Lund Univ.のM. BrydegaardによるKeynote講演「Emerging Hyperspectral Lidar for Ecology」を紹介したい。通常の近距離ライダーでは、高価で高速な信号処理システムが必要であるが、彼らはCWレーザーとCMOSカメラのみから構成される比較的安価なScheimpflug(シャインプルーフ)ライダーを開発し、昆虫の分類などに利用している。シャインプルーフはレンズ部を傾け、斜めにピントを合わせることができる光学の原理である。レーザー光の送出光学軸を斜めから見て、光学軸の像をアレイ型の検出器に結像することで、アレイ軸上に距離情報を記録させるライダーである。測定距離範囲や距離分解能は、光学配置で決まるが、4 Wの808 nmや980 nmの半導体レーザーで距離100 m程度までの観測は可能とのことである。また、スーパーコンティニューム光源などを利用した分光計測なども実施していた。

◆ライダー観測例から氷の構造を調べる研究

大気ライダーのセッションでは、雲、エアロゾルの観測だけでなく、高高度な中間圏や熱圏でのライダー観測例などが報告された。また、ライダー観測結果から雲の生成過程なども議論される。ここでは、徳島大学の佐藤氏による、赤外分光法と反射高速電子回折法を組み合わせて、中間圏の温度・水蒸気分圧環境下で生成される氷の構造を調べる研究について紹介する。

極中間圏雲とは、地上約85 kmの中間圏界面付近にできる雲である。極域の中間圏は、夏になると温度が100 K付近まで下がり、極中間圏雲が多く発生する。極中間圏雲の形成には、中間圏の気温や水蒸気量が重要である。地球大気のCO_2濃度が上昇することで中間圏ではCO_2の放射冷却によって寒冷化が起きると考えられており、またCH_4濃度が上昇することでCH_4とOHの反応からH_2Oが生成し、中間圏では水蒸気量が上昇すると考えられている。このことから、対流圏においては温室効果ガスとしてはたらくCO_2やCH_4の濃度上昇は、ともに極中間圏雲の形成を促すと考えられている。このように極中間圏雲の生成は中間圏の寒冷化や水蒸気量と密接に関連しており、温室効果ガス濃度変動に対する早期指標となり得る可能性があるが、その形成メカニズムや実態については不明な点が多い。開発された装置は、120 K、10^{-6} Paという低温・低圧の極中間圏を模した環境で水蒸気をAl基板に曝露することで基板の表面に不均質核生成の氷を作製し、作製した氷の膜厚を赤外分光法によってナノスケールの精度で制御し定量可能にする装置である。作製した氷の薄膜について、反射高速電子回折法を用いて構造解析を行ったところ、薄膜の厚さに依存して「アモルファス氷→立方晶氷→六方晶氷」と現れる氷の構造が変化することが判明した。極中間圏雲は、中間圏に存在する微粒子の表面で水蒸気が不均質核生成を起こして生成すると考えられている。3種類の氷はそれぞれ異なる物性や形状を持つため、極中間圏雲の形成条件やメカニズムに影響を与えると考えられる。今回行った実験をより幅広い条件で進めることで、極中間圏雲の氷の構造および形成メカニズムについてより詳細な理解が得られるとのことである。また、結晶多形を有する物質が晶出する際、熱力学的に安定性の低い状態が先に生成し、その後段階的に熱力学的に安定な状態に成長するという「オストワルドの段階則」が、不均質核生成によってできた氷についても成り立つことが初めて実験的に示されたものであるとのことで、固体物理学の観点からも興味深いと考えられる。

次回は2年後に開催される予定であるが開催地は未定である。



【写真】全体写真(国際会議HPより)

レーザー技術の最先端 ～レーザー加工からインフラ診断まで～
「ILT2026」令和7年度 研究成果報告会を開催

■ILTオープンセミナーを大阪で開催

2026年7月15日、マイドームおおさか(大阪市中央区)にて、レーザー総研オープンセミナー「レーザー技術の最先端～レーザー加工からインフラ診断まで～」ILT2026令和7年度研究成果報告会を開催いたしました。昨年と同様、光・レーザー関西2026との同時開催となりました。セミナーでは、レーザー加熱3Dプリンターを用いた月面での基地建設資材作製に関する研究、スペースデブリ観測のための大口径可変形鏡の開発、レーザー高出力化のためのコヒーレントビーム結合技術、漏えいガス検知に向けたレーザー光による気体可視化技術の開発や、海洋生態系利用による脱炭素評価のための海中CO_2濃度の測定手法など、レーザー応用に関するさまざまな技術に関して当研究所の最新の研究成果を報告いたしました。

また、会場後方でポスター展示を併催し、セミナーご出席の皆様方と活発な意見交換を行うことができました。

関東地区の成果報告会は、本年11月パシフィコ横浜で開催いたします。「Photonics Innovation 2026」との同時開催を予定しています。

ぜひご参加いただければと思います。

■「泰山賞」贈呈式

同成果報告会において、第17回泰山賞の贈呈式を行いました。2026年は次の方が受賞され、当研究所の井澤所長より賞状と記念品を贈呈いたしました。

【レーザー進歩賞】

大阪大学産業科学研究所　細貝知直氏

受賞題目 :「レーザープラズマ電子加速に関する研究と短波長光の発生」



【写真2】泰山賞贈呈式
(左から井澤靖和所長、細貝知直先生、藤田雅之副所長)

■「泰山賞」特別講演

レーザー航跡場加速によるXUV自由電子レーザーの実証
～高品質電子ビームの安定生成と新しい応用展開～

泰山賞を受賞された細貝先生より標記の題目でご講演をいただきました。細貝先生らは、レーザー航跡場加速(Laser Wakefield Acceleration: LWFA)による高性能電子ビーム発生技術の研究に長年取り組んでこられ、LWFAで得られた高品質電子ビームを用いて短波長自由電子レーザー(XUV-FEL)発振に成功されました。

LWFAは、超音速で噴出するガスジェット標的に高強度レーザーを照射してプラズマを生成し、その中に形成される強力な電場を用いて電子を加速する新しい加速器技術です。レーザーの強大な電磁場がプラズマ中の電子を押しのけることで波状の構造が形成され、この波は船が水面を進むときに後方に生じる航跡に例えられます(レーザー航跡場)。波に乗った電子は急激に加速され、このときの加速電場は従来加速器の1000倍以上(数cmでGeVオーダー)になるため、LWFAは加速器を飛躍的に小型化できる技術として期待されています。

ガスジェットの安定化技術、レーザーの集光性能向上、プラズマへの電子注入手法の開発などを通して、電子ビームの単色性や安定性を高度に高められ、XUV(波長 27～50 nm)領域におけるFEL 発振に成功されました。また、開発した電子ビームの創薬分野への応用研究も展開中で、医工連携による研究の現状や今後の展望などについても紹介されました。

■「光・レーザー関西2026」に出展

「光・レーザー関西2026」(主催：株式会社オプトロニクス社)が7月15、16日の両日にマイドームおおさかにて開催され、弊所は併催イベントとしてオープンセミナーの開催と技術紹介の展示を行いました。展示ブースでは技術紹介ビデオの上映のほか、パネル展示や本誌のバックナンバーやパンフレットの配布、技術相談を行いました。当日は多くの方にご来訪いただき、貴重なご意見をいただきました。



【写真1】ILTオープンセミナーの様子

発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所　編集者代表／倉橋慎理 〒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・倉橋慎理(E-mail:kurahashi-shinri@ilt.or.jp)までお願いいたします。