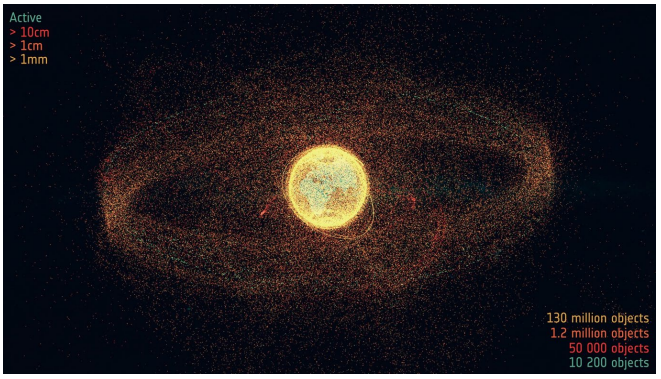
2026
No.427
LASER CROSS
ISSN 0914-9805

CONTENTS

追尾型地上レーザーによる
宇宙デブリの超解像監視技術の開発
OPIC2026参加報告
OPIE' 26に出展
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」
～ILT2026 令和7年度研究成果報告会開催案内～



【表紙図】地球軌道上で稼働中の衛星とサイズ別宇宙デブリの分布図。稼働中衛星：10,200（青）、10cm以上のデブリ：50,000（赤）、1cm以上：120万（オレンジ）、1mm以上：1億3,000万（黄橙）、ただし10cm未満のデブリはESAの統計モデルに基づく。（画像/欧州宇宙機関（ESA））

追尾型地上レーザーによる宇宙デブリの超解像監視技術の開発

レーザープロセス研究チーム　谷口誠治

■高まる宇宙デブリの危険性

近年、宇宙開発の進展は目覚ましく、人工衛星を利用した通信・観測技術が急速に発展し、米国ほか海外では毎日のように衛星が打ち上げられている。その陰で、大きな問題となっているのが宇宙デブリである。宇宙デブリとは、運用を終えた人工衛星やロケットの残骸、破片、部品など、宇宙空間を漂う「ゴミ」である。秒速～7 kmの高速で地球を周回しており、人工衛星などに衝突すると甚大な被害を招く恐れがあり、その対策が国際的な課題となっている。2030年までには58,000機もの商業衛星の打上げが予測されることから、デブリの数も大幅に増大し、今後の宇宙開発の大きな妨げとなることが懸念されている。

■小型デブリの観測には新技術が必要

宇宙デブリの総数は1億を超えると推定されている（表紙図）。そのうち大きさが10 cmを超えるデブリは5万個程度で、その軌道情報はデータベース化されている。宇宙デブリの観測には従来、レーダーや光学望遠鏡が用いられてきたが、大きさが10 cm未満のデブリは検出が極めて困難である。宇宙開発をより安全に進めるには、10 cm未満の小型デブリを観測可能な“新しい技術”を開発し、デブリの分布情報を補完することが重要となる。米国では、2023年に国家情報長官室研究開発部門インテリジェンス高等研究計画活動（IARPA）がプログラムSINTRA（小型宇宙デブリの検出-追跡技術開発プログラム、https://www.iarpa.gov/research-programs/sintra）を立ち上げ、この課題の解決に向け動き始めている。一方日本では、2024年に文科省、経産省、総務省、内閣府、JAXAが母体となり宇宙戦略基金（https://fund.jaxa.jp/）が設立された。衛星・宇宙輸送・探査など、産学連携による宇宙利用に向けたさまざまな技術開発・事業化を促進することが目的であり、小型デブリの検出・追跡技術も開発項目の一つに挙げられている。

■宇宙戦略基金事業に参画

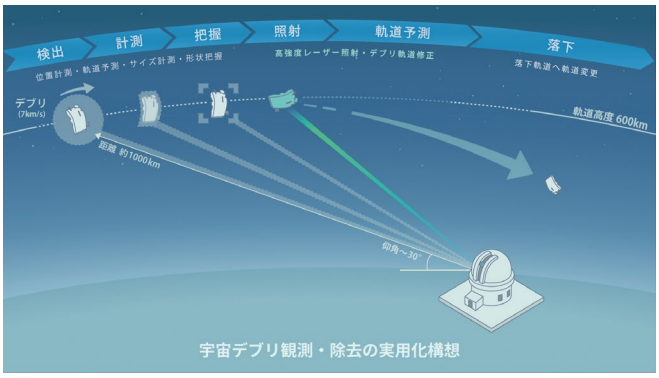
この課題の解決のため、当研究所は現在、株式会社パワーレーザー、大阪大学レーザー科学研究所とともに、宇宙戦略基金「空間自在利用の実現に向けた技術」の下で、「追尾型地上レーザーによる宇宙デブリの超解像監視技術の開発」に参画している。本テーマでは、地上1,000 km以下の低高度地球軌道を飛行する1 cm以上の宇宙デブリを対象とし、①地上から高輝度レーザーを照射し（レーザー照明システム）、②デブリからの反射・散乱光を検出してデブリの位置、形状をリア

次ページへつづく▶

ルタイム計測し、③AIによる軌道予測を活用してデブリを追跡するという流れで、大きさ10 cm以下の小型デブリのカタログ化をめざしており、将来の事業化までを視野に入れている。当研究所は、レーザー照明システムの効率化をめざし、レーザーを高輝度化するためのコヒーレントビーム結合技術の開発(レーザークロスNo.336(2016)、No.366(2018)他を参照)と、大気ゆらぎ補正のための大口径・高速動作可変形鏡および光学補償システム(レーザークロスNo.408(2023)、No.412(2023)他を参照)の開発を分担することになっている。

■デブリ除去技術への展開

開発をめざす超解像監視技術は、地上からレーザーを照射し、デブリからの散乱光を検出してデブリの位置、サイズ、形状などを把握し、さらには軌道予測までを行うシステムであるが、これを発展させることでデブリ除去技術に応用できる可能性がある。将来的なデブリ観測・除去システムの構想図を図1に示す。レーザー光の強度を増力することによりデブリ表面にアブレーションを発生させて軌道を修正し、大気圏に突入させてデブリを消滅・除去することが可能となる。



【図1】地上レーザーによる宇宙デブリ観測・除去システムの構想図(画像/株式会社パワーレーザー)

REPORT

OPIC2026参加報告

所長　井澤靖和

■OPICと OPIE

OPIC(OPTICS & PHOTONICS International Congress)は、レーザー・光に関連する複数の国際会議が合同で開催できる場として2012年に開設され、今年は15回目の節目を迎えた。当初は、ALPS(Advanced Lasers and Photon Sources)、LDC(Laser Display Conference)、HEDS(High-Energy Density Science)など6つの国際会議でスタートしたが、年々会議数が増加し、今年は 18の国際会議の同時開催となった(図1)。またOPIE(OPTICS & PHOTONICS International Exhibition)が隣接する展示場で同時開催され、OPICのポスターセッションを展示場の一部で開催するなど、当初から国際会議と国際展示会が交流・協力関係を保持してきた。弊所も第1回から展示会場にブースを設け、研究内容の紹介や技術相談などを行ってきた。ここでは、OPICで報告された、高出力レーザーの開発とその応用に関連する話題について紹介する。

■中赤外レーザー開発

近年の流れの一つは　EUVリソグラフィ用の中赤外域レーザーの開発である。EUV方式は、スズ液滴ターゲットに1 μmレーザーと10 μm CO_2レーザーを照射するダブルパルス法LPP(Laser Produced Plasma)による13.5 nm EUV光源の開発とそれを搭載したリソグラフィシステムの商品化が進められ、数年前から産業界への導入が始まった段階にある。さらなる高度化には、CO_2レーザーに代わる高効率固体レーザーが必要とされ、レーザーからEUV光への変換効率向上も併せて期待できる2~5 μm帯の中赤外レーザーが注目されている。~ 0.1 J/~10 ns/100 kHz/10 kW程度のレーザー出力が必要とされる。

開発の主流はHo系のYAGやYLFを増幅媒質とする2 μm帯のレーザーで、中国上海光机所はロッド型、チェコHiLaseや理研はThin disk型で開発を進めている。Ho系は1.9 μm光で励起し、2.1 μm光出力を得るため、量子効率が高い。上海はHo:YLFによるロッド型3段増幅システムで1 kHz/280 Wを達成、4段増幅で10 kHz/>500 Wを計画している。チェコは"PERLA"というThin disk型DPSSL開発プログラムの下で、Yb:YAGにより>0.1 J/1 kWをめざしてきたが、最近Ho系の開発にも注力し始めている。理研では、Kプログラム(経済安全保障重要技術育成プログラム)次世代半導体微細加工プロセス技術の下で、Tmファイバーレーザー励起のHo:YAG Thin diskレーザーを開発中である。現状は50 W励起で12 WのCW出力の段階にあるが、本年中に100 W励起で2 mJ/10 kHzを、29年には3 kW励起で0.1 J/10 kHzを目標に開発を進めるとのことである。

米国リバモア研ではTm:YLFレーザーの開発を進めている。Tm:YLFは780 nm帯のLDで励起し、2 μm帯で発振するレーザーであるが、780 nm光子1個で2個のTmイオンをレーザー上準位に励起(2 for 1の励起過程)できるため量子効率2が可能であること、蛍光スペクトル幅が広く中赤外域での波長可変レーザーや超短パルス超高強度レーザーとして期待されること、蛍

光寿命が15 msと長いため高繰り返し動作の場合CW励起が利用できること、などの特長があり、長パルスでの100 Jや1.5 J/300 fs/>1 TWなどの成果を得てきた。EUV用には、低温(175 K)のガス冷却方式スラブ型増幅器システムを用い、1 J/100 kHz/100 kWを目標に開発を進めている。

上記のKプログラムの下では、理研グループとは別に、核融合研を中心とするグループで3～4 μm帯レーザーの検討も進められており、Er,Cr:YSSG(2.8 μm)やFe:ZnSe(4 μm)レーザーの開発状況が報告された。Er,Cr:YSSGではFL励起ではあるが175 mJ/20 ns/1 Hzの出力が得られており、これを用いたスズプラズマ実験でEUVへの変換効率7.6%を達成したとのことであった。この値はCO_2レーザーの場合の変換効率3～4%の2倍程度大きく、2 μm帯でのレーザー開発を含めて今後の展開が期待される。

■高エネルギーレーザー

レーザー核融合などで必要となる高エネルギーレーザーに関しては、チェコHiLase、浜松ホトニクス、阪大から開発の状況が報告された。チェコの“Bivoj”は、米国リバモア研で開発されてきた低温Heガス冷却方式のマルチスラブ型増幅器にYb:YAGを導入したもので、本来100 J/10 Hz動作が可能なレーザーであるが、大型ファラデー素子や補償光学系の導入により150 J/10 ns/10 Hzまでの性能向上と動作の安定化が図られ、粒子加速、X線・γ線発生、中性子発生などの科学研究、ピーニングなどの産業応用開発に利用されている。浜松ホトニクスで開発中の低温ガス冷却方式のマルチディスク型Yb:YAGシステム“HALIANS”では200 J/10 Hzを達成した。出力150 J程度あたりから最終増幅段のマルチパス増幅光学系のミラーなどに損傷の発生が観測され、200 J動作時には損傷発生箇所が急速に増大したとのことである。可変形鏡による波面補正でビーム品質の向上を図るとともに、1 kJ/10 Hzに向けて励起用LD barの高出力化、増幅器の大口径化などの検討を開始している。阪大レーザー研では、低温冷却アクティブミラー型増幅システム“SENJU”の開発を進めている。12.6 J/100 Hzに成功したが、アクティブミラーの大型化(60 mmϕ → 120 x 120 mm)と増幅段数の増大(4段 → 10段)により100 J/100 Hzをめざして開発が進行中である。モジュール増幅器で、冷却、増幅、波面などの基礎特性データを取得し、設計通りの性能が確認されている。

■半導体レーザー

Plenary sessionで京大よりフォトニック結晶レーザー(PCSEL, Photonic Crystal Surface-Emitting Laser)の現状と展望が報告された。PCSELはフォトニック結晶を利用した面発光方式の半導体レーザーで、円形開口から基本モードで高品質ビームを取り出せるという特長がある。高次モードを抑制できる2重格子構造の考案により大面積化と高出力化が一挙に進展した。これまで直径3 mmの口径からCW50 W、1 GW/cm^{2}srの出力を得ているが、直径1 cmで500 Wのパルス動作に成功、直径3 cmでkW、10 GW/cm^{2}srをめざすとのことである。高出力化に伴い、宇宙をはじめとする種々の分野への応用も検討されている。

Ex-Fusionらのグループでは、ムーンショット型研究開発事業の下で、半導体レーザーによるレーザー核融合炉の構築を提案し、その可能性を探っている。これまで構想されてきたレーザー核融合炉では、レーザー効率10%で核融合利得100を前提としてきたが、効率50%の半導体レーザーなら必要な核融合利得は20ですみ、炉を小型化できるとのことである。このための半導体レーザーに関して名城大より開発計画が報告された。GaNのVCSEL(面発光半導体レーザー)での高出力化、高効率化に向けて、10 ns程度のパルス動作によるピーク出力の増大と1000 x 1000の2次元アレイ化を検討中で、10 J/10 ns/10 Hzを目標に開発を進めるとのことである。

九大からもレーザー核融合への応用をめざすVCSELアレイの構想が報告された。新たなバンド構造モデルに基づいたLong cavity、T-curved mirrorなどの新規共振器構造やアレイ間の位相制御などが提案され、高強度をめざして検討が進められている。高ピークパワーレーザー、高エネルギーレーザーとしての半導体レーザーのレベルは、現状で固体レーザーとは比べるべくもないが、新しい構想のもとで新しい方式の検討や試験が進行中であり、将来動向を注視していく必要がある。

【図1】OPIC2026

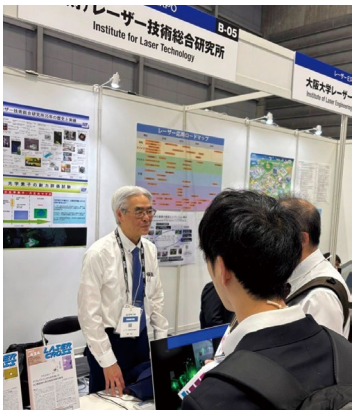
TOPICS

OPIE’26に出展

2026年4月22～24日にパシフィコ横浜にて開催された、OPTICS & PHOTONICS International Exhibition(OPIE)に出展しました。従来からの「レーザーEXPO」「レンズ設計・製造展」「ポジショニングEXPO」

「宇宙・天文光学EXPO」「光源・光学素子EXPO」「光と画像のセンサ＆イメージングEXPO」「光通信・要素技術＆応用EXPO」に加え、新設の「量子イノベーションフェア」の8展で構成され、光関連の専門展示会としては国内最大級の規模を誇ります。来場者数は16,000名超、出展数528社・団体／684小間で近年増加傾向が見られ、特に海外からの出展が増えていると実際に会場を回ってみて感じました。

弊所はレーザー学会、大阪大学レーザー科学研究所と共同のブースで出展しました。技術紹介ビデオの上映のほか、パネル展示、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、参会者の皆様と活発な意見交換を行うことができました。次回 は2027年4月21～23日、弊所も引き続き出展を予定しています。ぜひお立ち寄りください。



展示ブース

NEWS

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」
～ILT2026 令和7年度研究成果報告会開催案内～

令和7年度の研究成果報告会 ILT2026を下記により開催します。泰山賞贈呈式や受賞者による特別講演もございますので、ぜひご参加ください。

<日　時>　2026年7月15日（水）10:00～17:00
<場　所>　マイドームおおさか　8F第3会議室
大阪市中央区本町橋2番5号（Osaka Metro 堺筋本町駅から徒歩6分）

◆プログラム

10:00～10:15　ご挨拶　レーザー技術総合研究所概要　所長　井澤 靖和
10:15～10:40　月面探査に向けて！基地建設資材はどうする　副所長　藤田 雅之
10:40～11:05　宇宙ゴミをマッピング！高速動作・大口径可変形鏡の開発　主任研究員　谷口 誠治
11:05～11:30　高出力レーザー開発の切り札！コヒーレントビーム結合　副主任研究員　ハイク コスロービアン
11:30～13:00　休憩
13:00～13:20　【泰山賞贈呈式】「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」
大阪大学産業科学研究所 量子ビーム物理研究分野 教授　細貝 知直 氏
13:20～14:20　【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」
大阪大学産業科学研究所 量子ビーム物理研究分野 教授　細貝 知直 氏
14:20～14:35　休憩
14:35～15:00　離れた場所からガス漏れを見つけよう！光学的手法を用いた漏えい気体可視化技術の開発
研究員　倉橋 慎理
15:00～15:25　レーザーで海中のCO_2濃度がわかる！ラマンライダーによる海洋炭酸系の測定
研究員　磯谷 舟佑
15:25～15:50　有毒ガスの漏洩を検知！ガスのある場所が点滅する新しい可視化手法　主任研究員　染川 智弘
15:50～16:00　閉会　常務理事　梅林 徹
16:00～17:00　ポスター発表

◆開催概要

<受　講　料>　無料
<申し込み方法>　光･レーザー関西「ILT2026開催案内」よりお申し込み下さい。https://www.opt-seminar.jp/ilt2026/
<申し込み締切>　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）

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。