



【表紙図】中央のV字型部分
をレーザー積層造形に
より接合した供試体

月資源を用いた拠点基地建設材料の 製造へ向けて

主席研究員 藤田雅之

◆スターダストプログラム

2019年に米国からアルテミス計画が発表され、有人宇宙飛行計画の実現に対する期待が高まっている。わが国では、2020年度に「宇宙開発利用加速化戦略プログラム」(スターダストプログラム)が内閣府で創設され、関係省庁にて様々な技術開発を促進する施策が実施されている。このスターダストプログラムの一環として「宇宙無人建設革新技術開発推進事業」(国交省および文科省連携)が2021年にスタートした。国交省においては、「月面等での建設活動に資する無人建設革新技術開発推進プロジェクト」が立ち上がり、株式会社大林組(以下、大林組)が提案した「月資源を用いた拠点基地建設材料の製造と施工方法の技術開発」が採択された。

◆月資源を用いた建設材料の製造

当該プロジェクトは2022年度以降も継続しており、大林組を代表機関として、名古屋工業大学(以下、名工大)、レーザー技術総合研究所(以下、レーザー総研)が協力して研究を進めている。レーザーを用いた建設材料の製造をレーザー総研、マイクロ波を用いた建設材

料の製造を名工大、これらの焼成物の物性評価および焼成物以外の月資源を用いた建設材料の製造等を大林組が担当している。この共同研究の特徴としては、月面表土(レゴリス)だけを材料として(結合材や添加物等を加えずに)建材の作製を試みていることである。

◆3Dプリンターで建材作製

月の模擬砂をレーザーで加熱・焼成して建材を模した立体物を作製するにあたり、市販の3Dプリンターを用いて2種類の造形手法(粉末床溶融結合(Powder Bed Fusion : PBF)法と指向性エネルギー堆積(Directed Energy Deposition : DED)法)を試してきた(Laser Cross No.400)。両手法とも一長一短があるが、造形速度や造形物の強度の点ではDED法が優れており、2022年は主にDED法を用いて造形試験を進めた。

◆建材としての強度試験

造形物の建材としての性能を評価するにあたり、これまで、圧縮強度試験を行ってきたが、DED法で作製した供試体では最大90 N/mm²という値が得られている。一般的に用いられるコンクリートの圧縮強度は24～30 N/mm²程度であり、重力が地上の1/6となる月面



で建材として使用するには充分である。そこで、新たに曲げ強度試験を行うこととした。

図1に曲げ強度試験用供試体(8 cm×2 cm×2 cm)の写真を、図2に曲げ強度試験(3点載荷法)の様子を示す。測定の結果、2体平均で曲げ強度として0.88 N/mm²が得られた。

◆要求される強度は・・・

有人月面基地の建材用途として、①離発着場や運搬路の舗装、②居住施設の防護材、を想定し、各部材に求められる性能が大枠で検討されている。①の舗装材としては、圧縮強度32 N/mm²以上、曲げ強度5 N/mm²以上、②の防護材としては、圧縮強度40 N/mm²以上が必要、とのことである。

現状では、レーザー造形物の圧縮強度は平均して概ね50 N/mm²が得られており、①、②共に適合性を満足しているが、舗装材としては曲げ強度が不足している。曲げ強度が小さい理由としては、積層時にガラス化した表面に生じる微少なクラックが破断の起点となっていることが考えられる。造形後の後処理(例えば、アニーリング等)により曲げ強度を向上させることができると考えている。

◆造形の次は接合に挑戦

DED法はレーザークラッディング(肉盛り)やレーザー溶接と同様の原理を利用した造形法である。そこで、造形物同士の接合ができないか、と接合試験を試みることにした。図3に治具に固定された供試体を、DEDヘッドと共に横方向から撮影した写真を示す。機械加工で幅2 cmのV字型の開先加工が施されている。レーザー造形物はガラス化が進んでおり、開先加工時に供試体にダメージが入る恐れがあるため、ここでは電気炉造形物(ガラス化が見られない焼結体)を使用した。

開先部を埋めるように、レーザー照射により溶融した模擬砂を層状に充填した。表紙図に接合された供試体の写真を示す。接合部の盛り上がっている部分を研

磨機で平面加工を施した後に3点載荷法で曲げ強度試験を行い、平均して1.5 N/mm²の曲げ強度が得られた。図4に接合部を下向きに設置して行った曲げ強度試験の様子を示す。破断はレーザー接合部内で発生しており、電気炉造形物とレーザー接合部の界面での破断は見られなかった。接合無しの母材(電気炉造形物)の曲げ強度も調べたが、平均して22 N/mm²程度であり、レーザー積層造形が曲げに弱いことが改めて確認された。

◆月環境下での製造システムの検討 その1

上記のような3Dプリンターを用いた造形実験および強度試験に加えて、将来的に求められるであろう月環境下での製造システムの検討も進めている。

現状ではX-Y-Zステージを使って積層造形を行っているが、この方法だとステージのストローク(可動範囲)で造形物の大きさが制限され、レーザーの出射方向も上から下へと固定されてしまう。そこで、ロボットアームの先端にDED積層造形用ヘッドを装着し、アームを動かしながら供試体の作製を試みた。実験は神奈川県産業技術総合研究所のレーザー肉盛り溶接用の装置をお借りして行ったが、市販3Dプリンター装置と同等の積層造形が確認できている。

◆月環境下での製造システムの検討 その2

DED法を用いた3Dプリンターでは、粉体をArガスで搬送してレーザーの集光点付近に噴射している。一方、月面では真空且つ重力が地上の1/6となるため、このような環境下での粉体搬送技術を検討することが重要となる。地上で低重力環境を模擬した実験を行うことは容易ではないので、シミュレーションを用いた検討を進めている。



本研究は国交省の宇宙無人建設革新技術開発事業の一環として行いました。実験の遂行にあたりご協力いただいた、滋賀県工業技術総合センターの斧氏、柳澤氏、片岡氏、神奈川県産業技術総合研究所の薩田氏、森氏、中村氏、福山氏に感謝の意を表します。



【図1(左から)】曲げ強度試験用供試体の写真 【図2】曲げ強度試験の様子 【図3】治具に固定された接合用供試体とDEDヘッド 【図4】接合部を下向きに設置して行った曲げ強度試験の様子

OPIC2023 国際会議報告

レーザープロセス研究チーム コスロービアン ハイク

■OPIC2023/OPIE2023

2023年4月18～21日横浜で開催されたOPIC(OPTICS & PHOTONICS International Congress)2023に出席した。OPIC2023については、前号(Laser Cross No.409)にも、報告があるので参照されたい。

筆者は、ALPS2023(Advanced Lasers and Photon Sources)で、誘導ブリルアン散乱(Stimulated Brillouin Scattering : SBS)を利用したチタンサファイアレーザーのパルス圧縮特性についてポスター発表を行うとともに、XOPT、OWPT、LSSE、HEDSなどの会議にも出席した。ALPS2023には15の国から180を超える報告が集った。OPICと併催されたOPIE2023(Optics and Photonics International Exhibition)も盛会であった。ここではALPSから、3つの報告について紹介する。

■NIF (National Ignition Facility) の レーザー核融合点火実験

米国ローレンス・リバモア国立研究所のA. Kritcher博士からレーザー核融合点火実験結果が報告された。192本のレーザービームを直径～2 mmのDTカプセルに照射し、核融合利得1.5を達成した。投入したレーザーエネルギー 2.05 MJに対し発生した核融合エネルギーは 3.15 MJで、燃料の燃焼率は～4 %であった。レーザーパルスエネルギーを3 MJにまで増強すれば、利得10が得られるとのことである。将来のクリーンエネルギー源開発にとって、大きな第1歩になったと言える。

■非線形効果低減のための革新的光ファイバー素材

米国Clemson大学のJ. Ballato博士は、光ファイバー増幅器やレーザーシステムにおけるガラス組成と線形および非線形光学特性との相関関係について概説した。ファイバーレーザーの高出力化に伴い、誘導ラマン散乱やSBS、横モード不安定性などの非線形効果が起こりやすくなる。これらを抑制するために、大モード面積(Large Mode Area : LMA)ファイバーが開発されてきた一方で、研究グループはファイバーのガラス組成そのものに着目した。ガラス組成を変えることで非線形現象の利得を制御することが可能であり、この

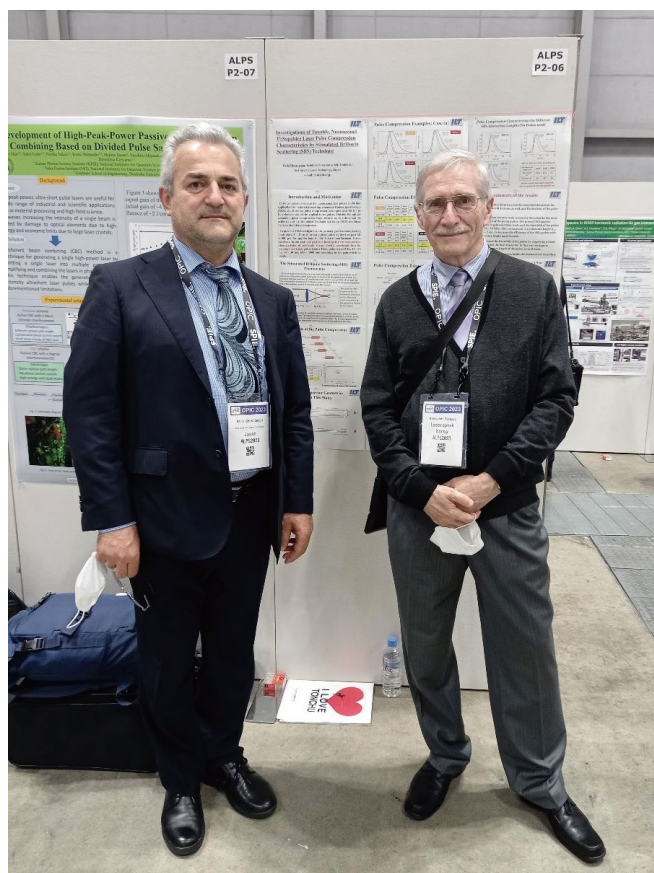
手法がLMAファイバーと相補的な役割を期待できることを示した。

■高出力レーザー開発

浜松ホトニクス(T. Morita博士)から、250 J / 10 Hzの低温、Yb:YAGセラミックスレーザー開発の進捗状況が報告された。これまで253 J / 0.2 Hzを実証してきたが、低温ヘリウムガス冷却システムの最適化を進めており、中間段階として100 J / 10 Hzを達成し、最終目標への見通しが得られたとのことであった。

■まとめ

久しぶりの対面形式の会議であり、多くの研究者と直接議論や情報交換することができた。将来の研究に役立つ情報も多く得られ、大変有意義な国際会議であった。写真はポスター会場での一コマである。



【写真】ポスター発表会場にて(左：筆者、右：A.Tarasov博士(Laseroptek社))

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」 ～ILT2023 令和4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

令和5年7月20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「レーザー加工からインフラ診断まで」～ILT2023令和4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2023」との同時開催となりました。セミナーでは、ロボットアームの先端に搭載した3Dプリンタヘッドとレーザーを用いて月面模擬砂を3次元造形し建材へと適用する技術、光学素子のレーザー損傷評価試験の自動化に向けたプラズマ発光計測による評価技術の開発、高出力レーザーの大気中長距離伝送を可能にする可変形鏡の開発、可変形鏡性能の定量評価技術開発、山岳トンネル工事現場において浮石を検知する技術の開発、水中に漏えいた油を遠隔から二次元イメージとしてモニターできるフラッシュラマンライダーの開発など、レーザー応用に関するさまざまな技術の基礎と現状について解説し、当研究所の最新の研究成果を報告いたしました。また研究員がポスター発表を行い、活発な意見交換をいたしました。11月にパシフィコ横浜で開催される「光とレーザーの科学技術フェア2023」において、本セミナーの同時開催を予定しています。ご興味のある方は是非ご参加ください。

■「泰山賞」贈呈式

第14回泰山賞の贈呈式を行い賞状と記念品を贈呈いたしました。



【写真2】泰山賞贈呈式(左から井澤靖和所長、田中和夫教授、藤田雅之主席研究員)



【写真1】ILTオープンセミナーの様子

【レーザー進歩賞】

田中和夫 大阪大学名誉教授

「高強度レーザー科学における国際協力の推進」

■特別講演「超高強度レーザーが拓く新しい世界」

泰山賞を受賞された田中和夫教授より「超高強度レーザーが拓く新しい世界」と題して講演いただきました。田中教授は、欧州連合の事業としてルーマニアに建造された極限レーザー核物理研究所(Extreme Light Infrastructure-Nuclear Physics: ELI-NP)の所長を6年間勤められた後、現在も研究顧問として国際研究の発展にご尽力されています。ELI-NPはピーク出力10 PWの世界最強レーザーで、粒子加速、光核反応などの新しい物理の開拓とその応用に関して世界各国のユーザーとの共同研究を開始しようとしています。研究の現状が報告され、また、わが国との協力によりELI-NPに隣接して設置が計画されている、大型で高性能の光学素子開発を目指す光学センターについても紹介されました。

■「光・レーザー関西2023」に出展

7月19、20日にマイドームおおさかにて光・レーザー、画像計測関連機器が一堂に介する技術展示会「光・レーザー関西2023」(主催:株式会社オプトロニクス社)が開催されました。弊所は、オープンセミナーを開催し、併せて展示会にも出展しました。展示ブースでは技術紹介ビデオを上映し、パネル展示や技術相談も行いました。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。