

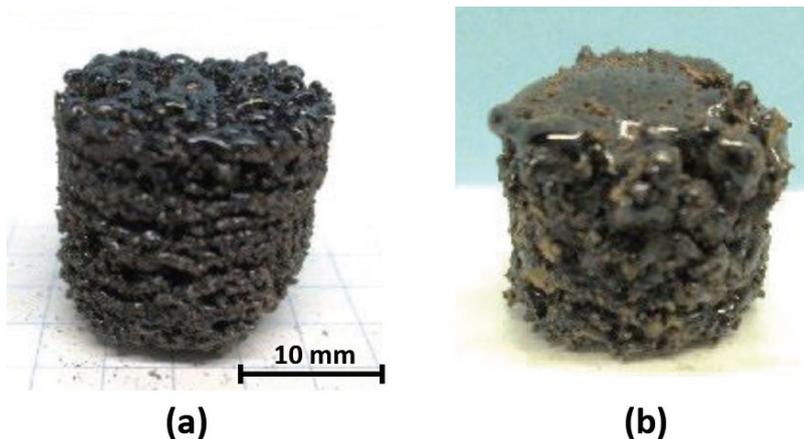
## CONTENTS

- パワーレーザーで月面基地を・・・
- フェムト秒パルスによる反応、その効率
- 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～
- 令和元年度研究成果報告会(ILT2020)

# LASER CROSS

ISSN 0914-9805

【表紙図】月の模擬砂にレーザーを照射して積層した直径2 cm、高さ1.8 cm程度の円柱状固形物。レーザーパワーは (a) 50 W、(b) 190 W



## パワーレーザーで月面基地を・・・

主席研究員 藤田雅之

### ◆惑星基地建設へ向けて

惑星探査や火星移住など宇宙での人類活動に際して、基地建設を含むインフラ整備が必要となる。地球からの物資の運搬は高いコストや輸送能力の限界があるため、大量の建設材料を現地で入手して製造することが求められる。我々は建設材料を月面で調達するために、月の表土をレーザーで焼成・溶融させて積層する方法に着目した研究を進めている。この手法だと、現在実用化されている選択的な加熱による3Dプリンター技術の転用が期待できる。

### ◆月の“模擬”砂を用意

さすがにアポロが持ち帰った本物の月砂を使って実験するわけにはいかないので、試料として玄武岩を粉碎して模擬月土[FJS-1][1]に類似する砂を作製した(大林組提供)。SiO<sub>2</sub>が51.5 %、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が17.6 %、CaOが11.1 %、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が10.9 % を占める化学組成で、50 %粒径D<sub>50</sub>が0.041 mm のものを実験に用いた。全体の99 %が粒径1 mm以下となっている。模擬砂の焼結および溶融温度は、それぞれ1100℃、1200℃と僅かに100℃

の差しかないため、高出力レーザーで瞬時に加熱すると焼結よりも溶融が支配的になると考えられる。

### ◆粉末床溶融結合(Powder Bed Fusion)法で

3Dプリンターの要領で積層する手法として、粉末床溶融結合(PBF)法と指向性エネルギー堆積法(DED: Directed Energy Deposition)法があげられる。後者のDED法ではレーザー光と粉体を射出するノズルを流体力学を考慮して設計しなければいけないので、簡便なPBF法を採用することにした。それでも、粉体を敷き均す(ならず)リコーターは用意しなければならない。市販品を流用するにしても、金属の積層用に開発されたものに対して「えっ、砂を・・・」と言われかねないし、可能性を確認するだけのために大きなお金をかけるのはばかられる。

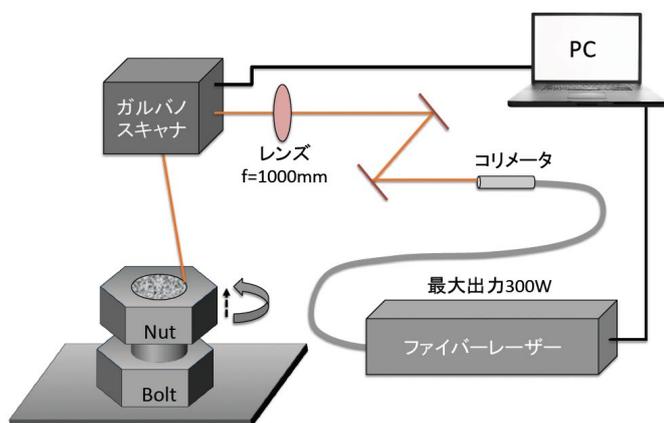
### ◆六角ボルトとナットで簡易リコーター

そこで、模擬砂を敷くためにM30の六角ボルトとナットを組み合わせた治具を用意した。実験配置は図1のようになる。M30ネジのピッチは3.5 mm、ナットの内径は約26 mmであり、ナットを1/6回転させると

約0.6 mm厚、直径20 mm強の砂を敷くことができる。図2に積層の手順を示す。これだと、毎回敷き均す層の厚みを再現性良く微調整できるし、均した砂の表面状態を確認することができる。一般的なりコーターは砂を下げて積層していくが、この場合は壁を上げて積層していくことになる。

### ◆立体物を作製

円形にレーザー光を掃引しながら徐々に半径を変えて円盤状の熔融物を形成・積層することで表紙図に示すような直径2 cm、高さ1.8 cm程度の円柱状固形物の作製に成功した。表紙図(a)は、レーザーパワー50 W、層厚0.25 mmで積層していったが、手順がマニュアルということもあり時間がかかってしまった。そこで、レーザーパワーを190 Wに上げて、積層厚1.75 mmで表紙図(b)を作製した。低パワー(50 W)では細かい焼結・熔融体の固まりや層間の空隙が確認できる。また、熱が集中する中心付近に細い柱状の熔融固化部分が存在している。一方、高パワー(190 W)の場合は熔融固化が支配的となりガラス化した滑らかな表面が観察される。



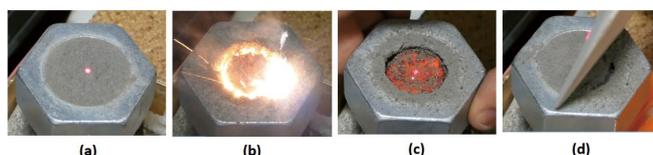
【図1】実験配置図

### ◆強度を調べると

作製した立体物を建設材料として評価するために、圧縮強度試験を行った。円柱形状の試料に上から圧力をかけ、破壊するまでの圧力とひずみ(圧縮率)を測定した。詳細は年報ILT2020で報告しているが、最も高い圧縮強度は14.9 N/mm<sup>2</sup>であった。この強度はJISれんが2種(15 N/mm<sup>2</sup>以上)に匹敵する。地球の1/6程度の重力の月面で使うには充分ではなかろうか。

### ◆大型化を目指して

簡易なPowder Bedを“開発”し、月の模擬砂をレーザーで熔融・焼結し立体物の作製に成功した。今回は取り扱いが容易なファイバーレーザーを用いたが、将来的には宇宙での利用が期待される太陽光励起レーザーとの置換も考えられる。今後は、PDF法だけでなくDED法の可能性も探索し、より大型のサンプルを作成していく予定である。本手法はレーザーを用いた宇宙応用の新分野を切り開くポテンシャルを秘めている。



【図2】積層の手順：(a) 敷きならされた砂に、(b) ガルバノスキャナーを用いてレーザーを掃引照射することで焼結・熔融層を形成し、(c) ナットを回転させて、(d) 固まった層の上に砂を敷く工程を繰り返した。

### 謝辞

本研究は大阪大学工学研究科および大林組との共同研究により実施されたものであり、関係者に感謝の意を表します。

### 参考文献

[1] 田島 孝敏 他, 大林組技術研究所報 No.81 (2017).

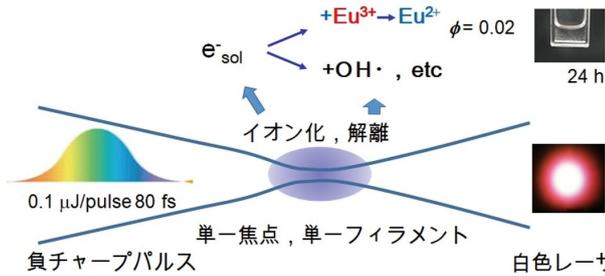
## フェムト秒パルスによる反応、その効率

大阪市大特任教授、レーザーバイオ化学研究チームチームリーダー(兼任) 中島信昭

### ■はじめに

水、アルコール溶媒等にフェムト秒レーザーを集光照射すると、金属イオンが含まれている場合はそれらのナノ微粒子(金、銀など)が、ベンゼンが含まれてい

る場合は炭素微粒子が生成することが報告されている[1]。酸素、水素に加え、ついにはダイヤモンド生成の報告もある。これらの研究はフェムト秒パルス特有の反応として面白いが、効率はどうか？ 低いので



【図1】集光されたフェムト秒パルスによる反応、 $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ 反応の模式図

はないか?と、思われてきた。そこで本研究では、これらの反応の最初のステップの効率を実験的に求めてみた[2]。

### ■フェムト秒フィラメントでの反応のあらまし

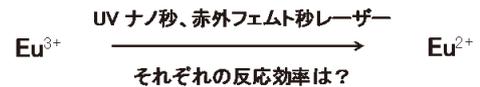
反応の様子を図1で説明した。レーザー光を集光すれば、媒体の絶縁破壊(バルクのブレイクダウン)に至ることがあり、パルスごとにピカッと光る。化学的には活性な状態だから、そこで化学反応が起きる。フェムト秒パルスの場合には絶縁破壊には至らないが、事実上プラズマのような状態となり、化学反応が起きる[2]。このときの見かけの特徴が白色レーザー(White laser またはSupercontinuum)の発生である(図1右下)。白色レーザーが見られるとき、反応が起きていると判断できる。このとき、レーザー光は自己収束し、フィラメントを形成するといわれている。ピカピカと焦点が光るのはバルクのブレイクダウンを示し、入力

レーザー光が高すぎるためである。

実験では白色レーザーが見える条件にしている(0.14  $\mu\text{J}/\text{pulse}$ 、10 cm 集光レンズ)。溶媒(エタノール)には $\text{Eu}^{3+}$ が含まれ、反応は溶媒のイオン化とそれに続く還元( $\rightarrow \text{Eu}^{2+}$ )反応で説明できる。

### ■反応とその効率

ナノまたはフェムト秒パルスの照射で $\text{Eu}^{3+}$ は $\text{Eu}^{2+}$ に変換できる。異なるパルスで同じ反応を調べ、効率を比較した。



UVナノ秒パルス(308 nm)では1光子反応、赤外フェムト秒パルスでは(800 nm)溶媒による数光子吸収、それに起因する反応である。反応の様子を吸収スペクトルの変化で図2、3に示した。

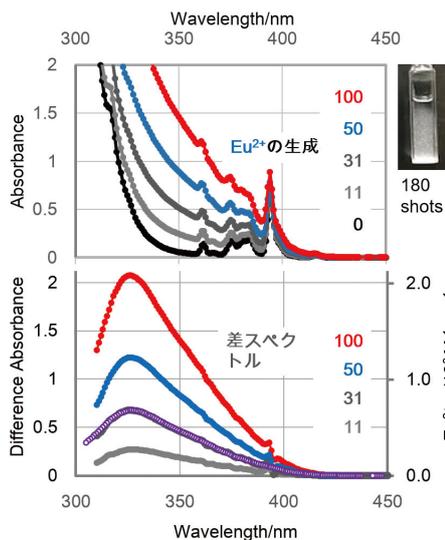
【表1】UVナノ秒、赤外フェムト秒パルスによる反応効率

反応	$\phi$ (Q.Y)	Y [ $\mu\text{mol}/\text{J}$ ]	励起レーザー	図
$\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$	0.70	1.8	308 nm, 20 ns, 63 mJ, 1 Hz	図2
	0.021	0.14	800 nm, 80 fs, 0.14 $\mu\text{J}$ , 5 kHz	図3

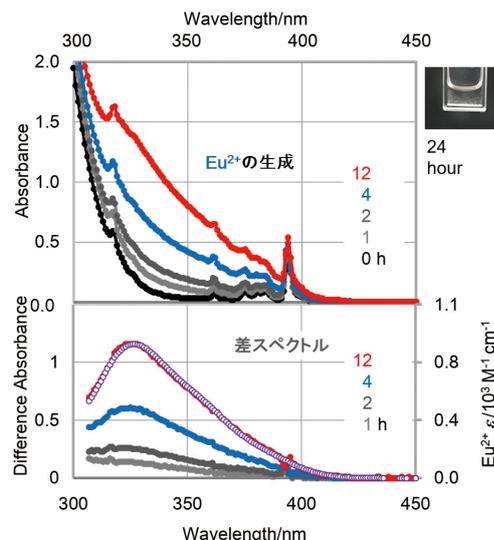
効率を表1にまとめた。 $\phi$ は1光子あたりの効率(光化学での量子効率)、Yは一種のエネルギー効率である。後者、Yで比べると、フェムト秒の効率はUV光の場合の1/10のオーダーのようだ。

### 参考文献

- [1]フェムト秒レーザーによる液相化学反応およびナノ材料創成、岡本拓也、中島信昭、八ッ橋知幸、レーザー研究 45(2017)278-282.
- [2]An electron-capture efficiency in femtosecond filamentation, N. Nakashima, T. Yatsushashi, K. Sakota, I. Iwakura, S. Hashimoto, K. Yokoyama, S. Matsuda, *Chem. Phys. Lett.*, 752(2020) 137570.



【図2】UVナノ秒パルス(308 nm)励起による $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ 。紫外部の吸収がレーザーパルス0-100ショット(63 mJ/パルス)で持ち上がり、差スペクトルは $\text{Eu}^{2+}$ のスペクトルを示す。180ショット後には $\text{Eu}^{2+}$ 塩の粉の析出が見られた(右上写真)。



【図3】赤外フェムト秒パルス(800 nm)励起による $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ 。24時間照射後、粉の析出に達し、ブレイクダウンが起こり始め、試料は曇った。なお、図2、3の差スペクトルで白抜き(○)は別途測定した $\text{Eu}^{2+}$ のスペクトル。

## 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～

## 令和元年度研究成果報告会 (ILT2020)

本年のILT2020研究成果報告会は、新型コロナウイルス感染防止対策の実施の下、この秋に開催される「光とレーザーの科学技術フェア2020」の併催イベントとして開催いたします。

日 時： 令和2年11月11日(水) 13:30-16:30

場 所： 東京都立産業貿易センター 浜松町館(東京都港区海岸1-7-1)

<https://www.sanbo.metro.tokyo.lg.jp/hamamatsucho/access/>

## 【プログラム】

13:30～ 開会挨拶 所長 井澤 靖和

13:35～ レーザー総研の研究概要 所長 井澤 靖和

14:10～ 惑星探査基地建設へ向けて！  
レーザー加工ができること

主席研究員 藤田 雅之

惑星探査基地建設の材料を地球から運搬することは非現実的であり、建材の現地調達が求められる。月面を覆う細かな砂をレーザーで熔融焼結させ、建設材料として用いることが提案されている。本講演では、月面模擬砂にCWファイバーレーザーを照射して立体物を作製し建設材料としての可能性を評価した結果を報告する。

14:35～ 高耐力・長寿命の光学素子開発のために！  
繰返しパルス照射によるレーザー損傷の評価

主任研究員 本越 伸二

光学素子のレーザー損傷しきい値は、繰返しパルスの周波数やパルス数の増加に従い低下する。この原因を明らかにして、光学素子の設計、製作に活かすことにより、高耐力化および長寿命化が可能になる。本講演では、石英ガラスのレーザー損傷や透過率劣化を評価、比較することにより、繰返しパルス照射によりレーザー損傷しきい値が低下する要因について検討した結果を報告する。

15:00～ 休憩

15:15～ 波面補償でレーザー伝送を効率化！  
高速動作・高光耐性  
デフォーダブルミラーの開発

副主任研究員 谷口 誠治

高出力レーザーの野外長距離伝送に適用可能な高速動作可変形鏡(デフォーダブルミラー)の開発を進めている。駆動素子など波面補償の高速化に必要な要素技術について検討した結果を報告する。

15:40～ レーザーで海中インフラのモニタリング！  
水中油の遠隔計測技術の開発

上席研究員 染川 智弘

石油や天然ガスを輸送するパイプラインは海底にも敷設されており、海中での事故を早期発見する水中モニタリング手法の開発を実施している。ラマン散乱を利用した水中にある油を遠隔から測定する手法について報告する。

16:05～ 遠隔・高速検査を目指して！  
レーザーを用いたインフラ構造物検査技術

研究員 倉橋 慎理

レーザーによるコンクリート欠陥検査技術の実用化を目指してトンネル内での欠陥検査実証実験を行っている。これまでの成果をまとめて報告するとともに、レーザーを用いた鋼板の肉厚計測技術等についても紹介する。

16:30～ 閉会

## 【開催概要】

<受講料> 無料

<講演資料> ご希望に応じて3,000円(税込)。ただし賛助会員、理事・監事・評議員の企業等の皆様は無料になります。下記サイトにてご確認いただけます。

賛助会員

<http://www.ilt.or.jp/sanjiyo2/introduction.html>

理事・監事・評議員

<http://www.ilt.or.jp/gaiyou/yakuin.html>

<申込方法> こちらのサイトからお願いいたします。

<https://www.opt-seminar.jp/ilt2020/index.php>

<申込締切> 定員(70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](mailto:seika@ilt.or.jp)