

- レーザーを用いたトンネル切羽の浮石検知に関する研究
- レーザーによる元素の分離
- レーザー学会参加報告



【表紙図】山岳トンネル切羽における計測の様子

## レーザーを用いたトンネル切羽の浮石検知に関する研究

レーザー計測研究チーム 倉橋慎理、染川智弘

株式会社大林組 新村亮、鈴木健一郎(現日本大学)、  
谷口信博、奥澤康一、渡辺淳、川北章悟

### はじめに

切羽とよばれる山岳トンネル工事における掘削の最先端では地山が露出しており、浮き石と呼ばれる地山から剥離した岩石の落下等(肌落ち)による労働災害がたびたび発生している。作業員が切羽に近づいて実施する装薬、支保工建込などの作業で災害発生が多い。肌落ち防止対策の一つに、ブレイカー等の建設機械を用いて比較的小さな浮石を予め落とす「浮石落とし」(こそく)がある。浮石の確認作業など、作業員がやむを得ず切羽に近接する場合があります、これによる危険性を低減するための機械化や遠隔化などの技術が防護対策として望まれている。また、切羽が長時間大気に開放されると地山の状態に変化が生じ、肌落ちにつながる恐れがあるため、作業は迅速に行われる必要がある。筆者ら

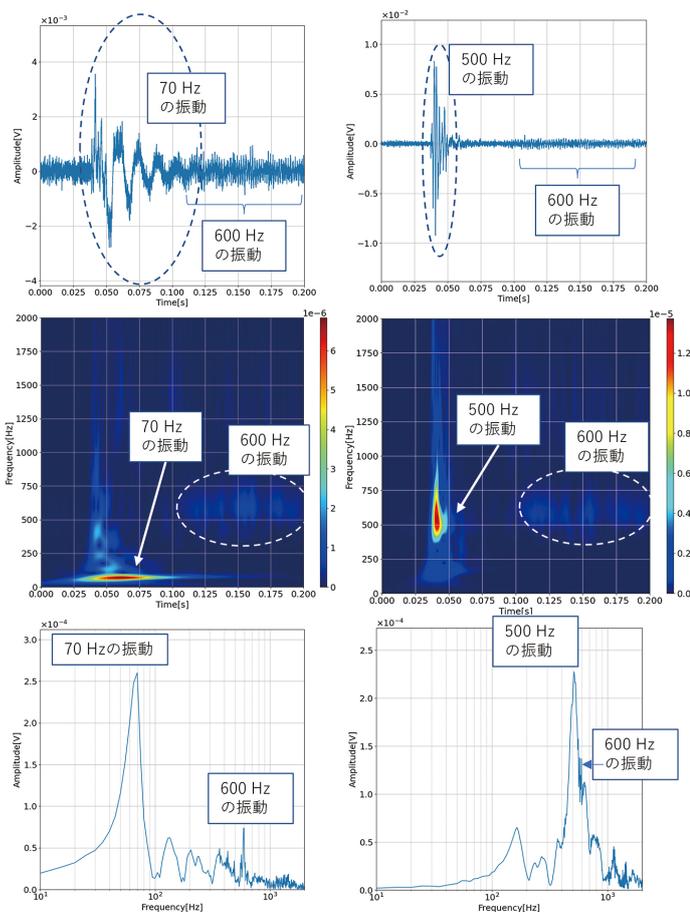
の研究グループは、切羽へ近接せず浮石を確認するための技術の実現を目指し、レーザーによる浮石検知技術の開発を2018年度より継続して実施している(Laser Cross No.402参照)。本稿では、実際の山岳トンネル工事現場の切羽において浮石検知の実証試験の結果について報告する。

### 実証試験

実際の山岳トンネル工事現場の切羽において浮石検知の実証試験を実施した。建設機械バックホウの先端に油圧ブレイカーを装着して地山の岩盤を打撃して弾性波を発生させ、岩盤を伝播してきた弾性波を、レーザー振動計(Polytec社、PSV Qtec)を用いて検出した。計測の様子を表紙図に示す。切羽から約20 m離れた位置に振動計測装置を設置した。レーザー振動計システ

ムにはガルバノミラーが内包されており、計測面の走査が可能である。ブレイカー先端の「のみ」が岩盤を打撃したときに発生した音を、マイクで検出し計測装置のトリガ信号とした。また、各計測点を直接ブレイカーで打撃し、それぞれの計測点の健全性(浮石の有無)を確認した。

図1に計測された信号波形と、信号処理して得られたスカログラム、振幅スペクトルを示す。左側はブレイ



【図1】(左) 浮石箇所で計測された結果(右) 浮石でなかった箇所で計測された結果(上から時刻歴信号波形、スカログラム、振幅スペクトル)

カー打撃による検査を行い浮石であった箇所の結果を、右側は浮石でなかった箇所の結果を示す。ブレイカー打撃により励起された弾性波がそれぞれの計測箇所に到達すると、浮石であった箇所には低い周波数で減衰する振動(中心周波数約70 Hzの振動)が、浮石でなかった箇所には浮石箇所と比べて高い周波数ですぐに減衰する振動(中心周波数約500 Hzの振動)が励起される様子が見られた。100ミリ秒以降に検出された約600 Hzの振動はいずれの計測箇所においても検出されており、これはブレイカーによる打撃音が計測装置まで到達し、装置の固有振動モードで共振したためと考えられる。トンネル内のような閉鎖された環境では反響音があるため、長時間にわたって検出されたと思われる。各計測箇所において得られた結果と、計測終了後にブレイカーを用いて計測箇所を直接打撃し健全性を検査した結果を比較した。レーザー振動計により計測された振動で、比較的low周波成分のピークを持ち、長時間持続しながら減衰していく振動が検出された箇所では、のちのブレイカーによる検査で、浮きの状態であると判断される傾向が見られた。

■まとめ

実際の山岳トンネル工場の現場において、現場にある建設機械を用いて岩盤を打撃し、その際生じる振動をレーザー振動計で計測することで、遠隔より浮石の検知を行う手法を提案し、実証試験を実施した。

岩盤の岩質やひび割れなどの不連続面の配置、など様々な要素により周波数応答が異なると考えられるため、統一的な指標を示す手法の開発が引き続き求められる。また、並行して浮石の検知を自動で行うためのアルゴリズムの開発、重機オペレーターへの落とすべき浮石の指示方法、など、実用化へ向けた検査システム全体の検討を行っていく必要がある。

レーザーによる元素の分離

■アクチノイドと元素分離

原子力発電所の使用済み核燃料を処理した廃液にはアクチノイド(原子番号89~103)と呼ばれる放射性的の元素群が含まれている。一部は長期的有害性が高いた

レーザー計測研究チーム 松田晶平  
レーザーバイオ化学研究チーム 中島信昭

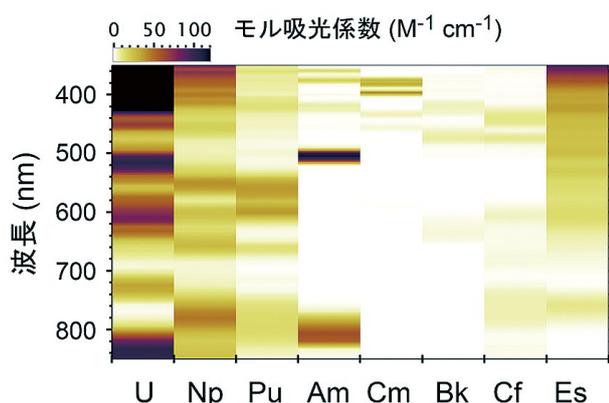
■分離の課題と解決方法

これまでの研究からアメリシウム(Am)とキュリウ

ム(Cm)の分離が最も難しいことが知られている。どちらも水溶液中ではIII価イオンの電子配置が最安定であり、性質や挙動が類似している。そのため、同じ価数のまま分離することは難しい。一方、異なる価数の分離は一般的に易しい。そこで、標的元素の価数を選択的に変化させる方針が見受けられるようになった。例えば、電気化学的手法により、III価Am( $\text{Am}^{\text{III}}$ )を選択的に酸化させる報告が注目されている<sup>[1]</sup>。

### ■レーザーアシスト元素分離のコンセプト

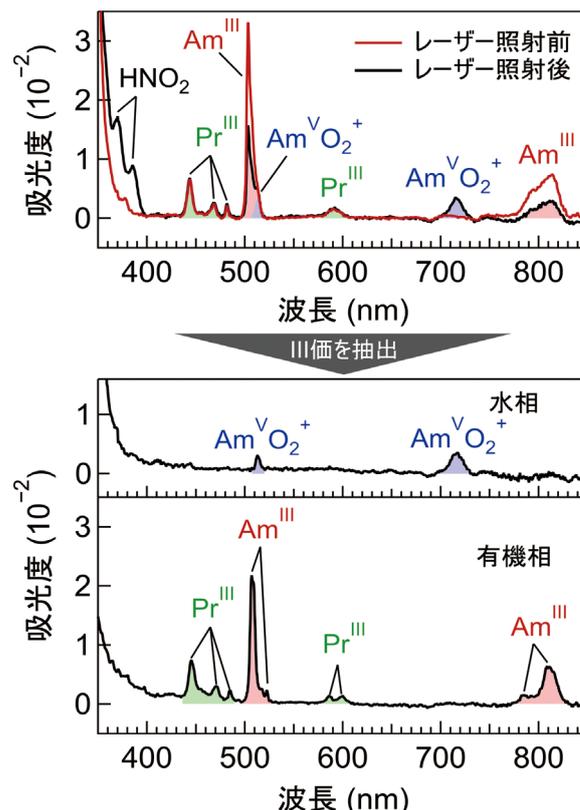
我々は光を用いて選択的に元素を酸化還元する方法を研究した。光が汚染されることはないため、二次廃棄物を究極的に削減できることが利点である。図1にアクチノイドから8元素を抜粋し、III価イオンの水溶液における吸収スペクトルを示した。AmとCmを比較すると、503 nmではAmが吸収を持つのに対しCmは透明である。そのため、この光吸収の差を利用することができれば、AmとCmの分離さえも原理的に可能である。このコンセプトを初めて実証したので紹介する<sup>[2]</sup>。



【図1】アクチノイド(一部)の吸収スペクトル

### ■アメリカシウムのレーザーアシスト元素分離

Cmの代替元素としてプラセオジウム(Pr)を用い、混合溶液からAmを分離する試験を行った。図2(上)にこの溶液の吸収スペクトルを(赤線)で示す。 $\text{Am}^{\text{III}}$ と $\text{Pr}^{\text{III}}$ の吸収が確認できる。この試料へ制御したレーザーパルスを集光照射した。照射後のスペクトル(黒線)も図2(上)に示す。照射前後を比較すると、 $\text{Am}^{\text{III}}$ は減少し、V価アメリカシウム( $\text{Am}^{\text{V}}\text{O}_2^+$ )と亜硝酸( $\text{HNO}_2$ )が生成された。一方、 $\text{Pr}^{\text{III}}$ は変化がなかった。これにより、 $\text{Am}^{\text{III}}$ に選択的な光酸化の誘起に成功したことがわかる。続いて、照射後試料からIII価イオンを溶媒抽出した。その結果が図2(下)である。レーザーにより「選別」した $\text{Am}^{\text{V}}\text{O}_2^+$ (青)は水相へ、 $\text{Pr}^{\text{III}}$ (緑)と残った $\text{Am}^{\text{III}}$ (赤)は有機相へ分離できたことがわかる。



【図2】(上)  $\text{Am}^{\text{III}}$ と $\text{Pr}^{\text{III}}$ を溶解した硝酸水溶液へのレーザー集光照射(503 nm, 5 ns, 30 mJ, 10 Hz, 15 h)による変化(上)。 $\text{Pr}^{\text{III}}$ (緑)は変化せず、 $\text{Am}^{\text{III}}$ (赤)は減少、 $\text{Am}^{\text{V}}\text{O}_2^+$ (青)が現れた。(下) 照射後に溶媒抽出した水相と有機相の吸収スペクトル

### ■メカニズム

観測された $\text{Am}^{\text{III}}$ から $\text{Am}^{\text{V}}\text{O}_2^+$ への光酸化のメカニズムを明らかにするための実験と量子化学計算を行った。その結果、アメリカシウム硝酸錯体( $\text{Am}^{\text{III}}-\text{NO}_3^-$ 錯体)において共鳴多光子過程による電荷移動が誘起されたことがわかった。

### ■まとめ

溶液中でのレーザーによるアクチノイドの元素分離を初めて実証した。現在この方法によるAm/Cm分離に取り組んでいる。今後は高効率な励起スキームの探索と大規模化に向けた工学的な改良を進めたい。

### 謝辞

本研究はJSPS科研費 JP20K19999と福島復興研究活動に関する日本原子力研究開発機構(JAEA)の予算による助成を受けました。放射性同位元素を扱う実験は、JAEAの管理区域で行いました。関係各位に深く謝意を表します。

### 参考文献

- [1]C. J. Dares et al., *Science* **350**, 652–655 (2015).
- [2]S. Matsuda et al., *Sci. Adv.* **8**, eabn1991 (2022).

# レーザー学会参加報告

## ■レーザー学会50周年記念講演会

2024年1月16日(火)レーザー学会50周年記念特別講演会が開催された。主催者代表として久間和生会長から、1973年のレーザー懇談会に始まるレーザー学会の歴史の紹介と新たな分野としてレーザーの農業・食品分野への応用などの紹介があった。

## ■読み上げ機能がイノベーションの契機に

続いて今回の大会の会場にもなっている日本科学未来館・館長の浅川智恵子氏より「科学技術とともに実現するインクルーシブな未来社会にむけて」と題する講演があった。浅川氏は14歳で失明されたとのことで、障がい者目線での技術開発を日本IBMで行われている。その中に視覚障がい者向けのWEB情報の読み上げ機能や誘導を目的とした「ライダー組み込み型AI スーツケースの開発」がある。このような技術は障がい者用として開発したものだが、例えば読み上げ機能はレシピを聞きながら料理するといった波及効果を及ぼしており、イノベーションの契機となっている<sup>[1]</sup>。

## ■重力波望遠鏡による深宇宙の観測

東京大学・梶田隆章氏より「深宇宙を探るレーザー～レーザー干渉計型重力波望遠鏡で探る宇宙～」と題する講演があった。アンシュタインが提唱した重力波の観測により、X線、光、電波の望遠鏡で見える宇宙のさらに先である深宇宙を観測しようとするものであり、巨大かつ超高精度なレーザー干渉計開発に関する講演であった。この重力波望遠鏡は米国、欧州、日本、インド、オーストラリアで稼働、建設中、計画認可の段階にある。これらプロジェクトは相互に競い合うというより、地球から見てあらゆる方向にまんべんなく感度を有するために必要であり、相協力し合う関係だとの説明があった。ただ今回の地震により干渉計に不具合が生じ、その復旧に時間がかかるとの話もあった。困難を乗り越えて、重力波観測に参加してもらいたい。

## ■面発光レーザー、応用拡大への期待

東京工業大学の伊賀健一氏より「世界を繋ぐ・観る：面発光レーザーが変える」と題する講演があった。1962年に東工大・末松研でレーザー研究を開始され、1977年にレーザー発振器の向きを横から縦にする面発光レーザーの着想を得られた<sup>[2]</sup>。発表当初の10年間はあまり話題にならなかったとのことだったが、1989年頃から海外で面発光レーザーのプロジェクトが始まり、大きく注目されることになった。LSIと同様の方法でレーザーを作ることができ、低消費電力、2次元のアレー化、波長可変などの特長により、情報分野、医療分

## レーザーエネルギー研究チーム 大道博行

野等での送受信、センシング等での利用が大きく発展している。今後一層のハイパワー化が進むことを期待したい。

## ■深紫外線レーザーの発振を目指す

名古屋大学の天野浩氏より「窒化物系レーザーダイオードの研究開発と社会実装への道のり」と題する講演があった。1981年に名大・赤崎研で研究を開始され、研究費のない中、いろいろなものを手作りし、民間から部品の提供を受けたりしての研究立ち上げだった。一方で、こんなものではまともなデータなど得られない、やめておけとさんざん言われたとの話もあった。転機になったのはパイオニアとの共同研究によりブルーレイ用ZnCdSeレーザーが開発されたことである。この技術は車のヘッドランプや銅の加工をターゲットにしたブルーレーザーなどに波及していった。現在は波長220nmの深紫外線レーザーの発振を目指しているとのことだった。格子欠陥の克服を中心に、いろいろ苦労されたことをユーモアを交えて披露され、話に引き込まれていく講演であった。

## ■1万年が3分20秒に、現状はまだ1合目

最後に東大院工物理工学専攻の武田俊太郎氏より「光量子コンピューターが拓く未来」と題する講演があった。最近、スーパーコンピューターで1万年かかる計算が量子コンピューターでは3分20秒で計算できるというセンセーショナルな発表があり、話題になっている。講演ではこのような話題先行の話を原理的なことを含めて柔らかく解説しつつ、現状では有用な計算がこのようなスピードでできるものではないとの説明があった。講演では室温、大気中動作、高クロック動作、光量子通信との接続性で特長のある光方式の紹介と、光回路での実証試験の様子の紹介があった。まとめとして目指す山頂に対し、現状は一合目であり、息の長い研究であること、そのため山頂に至る途上で実用的なアプリケーションを設定することの重要性が説かれた。なお武田氏のホームページで様々な動画等を見ることが出来る。

## ■ひたむきな研究が伝わる講演会

各講演者それぞれに、ひた向きに研究に取り組み続けてこられたことが伝わってくる、素晴らしい講演会だった。

## 参考文献

- [1] 浅川智恵子(2023).『見えないから、気づく』.ハヤカワ新書.  
[2] Soda, Iga et al.; Jpn. J. Appl. Phys., 18, 1979 (2329)