

## 将来月惑星探査着陸実験用 LIBS の開発検討

### Development of LIBS for future lunar and planetary exploration at PERC/Chitech, the University of Tokyo, and RISE/NAOJ

# 並木 則行 [1]; 杉田 精司 [2]; 佐々木 晶 [3]; 松井 孝典 [4]; 千秋 博紀 [5]; 小林 正規 [6]; 野田 寛大 [7]; 田澤 誠一 [3]; 荒井 朋子 [8]; 和田 浩二 [6]; 大野 宗祐 [6]; 石橋 高 [9]

# Noriyuki Namiki[1]; Seiji Sugita[2]; Sho Sasaki[3]; Takafumi Matsui[4]; Hiroki Senshu[5]; Masanori Kobayashi[6]; Hiroto Noda[7]; Seiichi Tazawa[3]; Tomoko Arai[8]; Koji Wada[6]; Sohsuke Ohno[6]; Ko Ishibashi[9]

[1] 九大・理・地惑; [2] 東大・新領域・複雑理工; [3] 国立天文台 RISE; [4] 東大・院・新領域; [5] 千葉工大・PERC; [6] 千葉工大惑星探査研; [7] 国立天文台 RISE; [8] 東大; [9] 東大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sciences, Kyushu Univ.; [2] Dept. of Complexity Sci. & Eng., Univ. of Tokyo; [3] RISE, NAOJ; [4] Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo; [5] PERC/Chitech; [6] PERC/Chitech; [7] RISE, NAOJ; [8] Univ. of Tokyo; [9] Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo

Laser-induced breakdown spectrometer (LIBS) は高強度のレーザー光により標的物質の表面に絶縁破壊を起こし、その結果生じるレーザープリューム中で発光する原子・イオンの発光輝線の波長計測を行う元素分析器である。LIBS には (a) 計測時間が短い, (b) 放射性同位元素の搭載が不要, (c) 空間分解能が高い, (d) 遠隔での計測が可能, (e) 多種多様な元素の計測が可能, (f) 高い貫通力を保持, といった長所を備えており, 小型・軽量化された LIBS は今後の月・惑星探査への応用が期待されている。実際に NASA では Mars Science Laboratory に LIBS を搭載する予定である。我が国においても, 火星着陸実験の検討が昨年からは始まり, LIBS を使った (1) 元素組成計測による岩石種の推定, (2) 有機物の有無の計測, (3) 希土類元素の計測, (4) アルゴンと K の同時計測による年代測定, などが提案されている。LIBS は固体・液体ともに計測可能であり, 火星のみならず, 将来の月, 惑星, 小惑星探査に欠くことのできない搭載機器になると考えられる。こうした LIBS の有用性に着目して, 東京大学大学院において LIBS の実用化の最大の難関である「マトリックス効果の補正」に関する基礎実験が行なわれてきた。そして PLSR (Partial Least Square Regression) 法による分析で数%以下の相対精度で天然サンプルを分析可能であるという結果をすでに得ている (Kamata *et al.*, 2008)。

LIBS の装置は、大きく分けて Nd:YAG などのパルスレーザーとレーザープリュームの発光を観測する分光計の 2 つのユニットからなる。計測は、まずパルスレーザーを元素分析を行う標的物質の表面に集光し、高強度のレーザー光により絶縁破壊を起こす。その結果生じるレーザープリュームは、1<sup>2</sup> 万度もの高温になるため、大抵の物質は原子化ないしイオン化し、さらにそれらの原子やイオンの多くが励起状態に置かれる。励起状態にある原子・イオンは自発的に基底状態に向かって遷移するが、その際に輝線発光をする。この輝線の波長は、レーザープリューム中で発光する原子・イオンの種によって厳密に決まっているため、発光輝線の波長の計測から、標的物質にどのような元素が含まれているかが推定できる。さらに、レーザープリュームの条件が同一であれば、そこに含まれる元素の濃度に比例して輝線発光強度は高まるので、輝線の発光強度を計測することによってレーザープリューム中の元素濃度を逆算することも可能である。2009 年度からは千葉工業大学に惑星探査研究センターが設立され、8 名の常勤研究員による研究体制がスタートする。東大新領域と千葉工大惑星探査研究センターの協力により、LIBS 実機開発を行う。

LIBS の主要な開発項目は以下に上げる 7 点である。

1. レーザーの効率的な保温方法の開発 (熱設計の向上。理想的には耐寒性を持つポッケルセルが使えるのが望ましい)。
2. 高分波長解能分光器の開発。
3. 焦点調節機能付きの集光光学系の開発
  - (ア) 測距
  - (イ) 計測対象の画像取得用カメラ
4. 集光レンズの方向を制御するジンバル機構の開発。
5. 部分最小自乗法のさらなる改良
6. 測定距離の測定精度に与える影響評価
7. 必要機器スペックの絞り込み実験

上記の課題の内、1. が LIBS 開発への最も高いハードルであろうと予想される。そこで、東大新領域・千葉工大惑星探査研究センターと国立天文台 RISE グループとの共同開発研究が提案されている。国立天文台 RISE グループは SELENE 計画レーザ高度計 (LALT) ミッションでレーザ発振器開発の実績があり、実際に月食時のポッケルセル低温下対策を実施した。この経験は LIBS 開発のみならず、今後の惑星探査搭載レーザ機器開発にとって貴重な財産である。

千葉工業大学惑星研究センターでは火星環境模擬 10 m チャンバーをはじめとして、LIBS 開発に必要なレーザ光学部品、計測機器の導入を進めている。同時に惑星内部構造論、惑星進化論の立場からの理論的研究や月惑星表層での物質科学的検討も行う。三研究機関の共同により惑星探査の新たな研究拠点作りを目指している。