

# 高圧 CO<sub>2</sub> のレーザー誘起ブレイクダウン分光 (LIBS) :

## ナノ秒、フェムト秒レーザーの比較

### A Comparison of Nanosecond and Femtosecond Laser-induced Breakdown Spectroscopy of High-pressure CO<sub>2</sub>

竹内 智紀<sup>1</sup>, 染川 智弘<sup>2</sup>, 山中 千博<sup>1</sup>

Tomoki Takeuchi<sup>1</sup>, Toshihiro Somekawa<sup>2</sup>, Chihiro Yamanaka<sup>1</sup>

阪大院理<sup>1</sup>, レーザー総研<sup>2</sup>

Osaka Univ.<sup>1</sup>, Inst. for Laser Tech.<sup>2</sup>

#### Abstract

Spectra and time dependence of plasma emissions were studied in high-pressure CO<sub>2</sub> gas irradiated by 100-fs and 10-ns laser pulses. In case of fs-laser, line emissions and the decay time of emissions decreased more rapidly than ns-case when CO<sub>2</sub> pressure increased. As a result, it was found that ns-LIBS was more efficient than fs-LIBS in application to high pressure environments.

#### はじめに

レーザー誘起ブレイクダウン分光法 (LIBS) は、レーザー光を測定対象物に集光することで発生するプラズマの発光スペクトルから測定対象物に含有されている元素の種類および濃度を測定する技術である<sup>[1]</sup>。測定対象物は気体・液体・固体を問わず、リモートかつオンライン測定が可能な手法であるため、海底資源探査等の高圧環境への応用<sup>[2]</sup>が可能であり、研究が進められている。LIBS を効果的に利用するためには、レーザーの強度、パルス幅、波長などのパラメータを最適化することが重要である。そこで、高圧環境下での LIBS の応用を目指して、異なるパルス幅のレーザーを用いて LIBS の圧力依存性を検討した。

#### 実験内容

Fig. 1 に実験配置図を示す。パルス幅 100 fs (800 nm, 26 mJ, 10 Hz) と、10 ns (1064 nm, 34 mJ, 10 Hz) のレーザーを用いて、焦点距離 100 mm のレンズで高圧 CO<sub>2</sub> ガスに照射した。生成したプラズマの発光を焦点距離 100 mm と 60 mm のレンズで集光し、ファイバーで波長分解能 2 nm の分光器まで導いた。フェムト秒パルスの照射時には、受光用レンズの間に 808 nm ノッチフィルターを入れてレーザーの散乱光をカットし

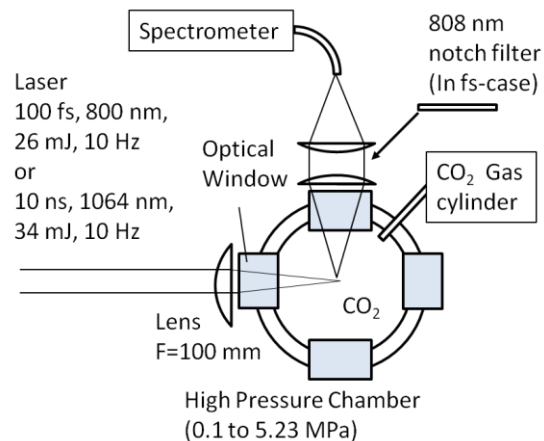


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup

た。スペクトルは 500 回積算信号で評価を行った。

## 実験結果

Fig. 2(a) にフェムト秒レーザーを用いた高圧 CO<sub>2</sub> のブレイクダウン発光スペクトル、(b) にナノ秒レーザーとフェムト秒レーザーでの C I 発光ラインの圧力依存性を示す。高圧になるほど、原子の発光ラインが弱くなっていることがわかる。フェムト秒レーザーでは、ナノ秒レーザーに比べて、発光が弱く、圧力による発光の減少も大きいことがわかった。圧力の増加に従って、発光が指数関数的に減少するとした場合、発光の圧力による減少率は、フェムト秒レーザーではナノ秒レーザーの約 10 倍大きい値となった。この結果から、より高圧な環境での LIBS の応用は、フェムト秒レーザーよりもナノ秒レーザーの方が有効だということがわかった。

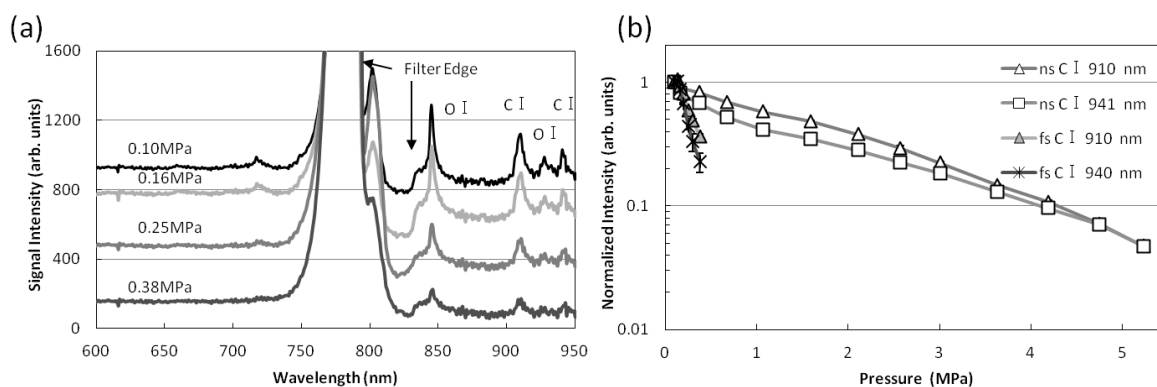


Fig. 2. (a) Spectra of plasma emissions generated by fs-laser pulses in high pressure CO<sub>2</sub> gas. (b) Pressure dependence of carbon line emissions (C I) normalized by the intensity at 0.1 MPa.

## まとめと今後の展開

パルス幅 100 fs と 10 ns のレーザーを用いて、高圧 CO<sub>2</sub> の LIBS の圧力応答を測定した。圧力によるシグナルの減少率はフェムト秒パルスではナノ秒パルスの約 10 倍大きく、高圧環境での LIBS では、ナノ秒パルスの方が有効であることがわかった。高圧環境下でのオンライン元素分析のツールとして、LIBS は有効な手法と考えられ、実際の応用のためには更なる研究が必要である。今後の展開としては、パルス幅の最適化を進めること、また、ターゲットの種類（固体、液体等）によるシグナルの変化を調べることが必要である。

## 参考文献

1. D. A. Cremers and L. J. Radziemski, Hand book of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: John Wiley and Sons (June, 2006).
2. B. Thornton and T. Ura, Appl. Phys. Express **4**, 022702 (2011).