

繰返しレーザーパルスによる任意力積発生と応用

佐宗 章弘, 酒井 武治, 松田 淳, 鈴木 進悟, 荻田 直弥 (名大工)

Impulse characteristics for a polyacetal target repetitively irradiated with pulses from a transversely excited atmospheric CO₂ laser were experimentally investigated. About 10-J laser pulses were repetitively irradiated on the target which was mounted on a torsion-type impulse balance. In the first several laser pulses, the impulse and ablation rate were strongly influenced by the initial conditions of the target surface. After ten cleaning pulses, 100 pulses were irradiated in various burst modes. Successive laser pulses in a burst were irradiated at a repetition frequency of 50 Hz. The momentum coupling coefficient C_m was almost independent of the burst mode. With a fluence of 18.8 J/cm², C_m gradually increased with an increasing total number of pulses. C_m was smaller for a smaller spot diameter. Those impulse characteristics were affected by target surface morphology and fluid dynamics of the ablation plume and the ambient air.

1. はじめに

宇宙空間での運動制御のためにレーザーパルスを利用できると、遠隔制御が可能になり、他の手段に比べて格段に廉価なシステムを構築できる可能性がある。宇宙空間で必要とされる力積は大小様々であり、任意の大きさの力積を発生させるためには最適なエネルギー密度のレーザーパルスを繰返し照射することが必要になる。しかし、繰返しパルスに対する表面状態、温度場、アブレーション状態の変化と力積特性への影響についての研究は世界的に見ても皆無に等しく、これを特に実験的に明らかにすることを目的として実験研究を行った。10⁻²Paの雰囲気圧力のもと、最大時定数27sのインパルススタンドに取り付けられたポリアセタールにTEA (Transversely-Excited Atmospheric)炭酸ガスレーザーパルスを照射することによって発生する力積を、レーザーエネルギー(密度)、繰返し周波数、繰返しバースト数を変化させて測定し、その特性を調べた。

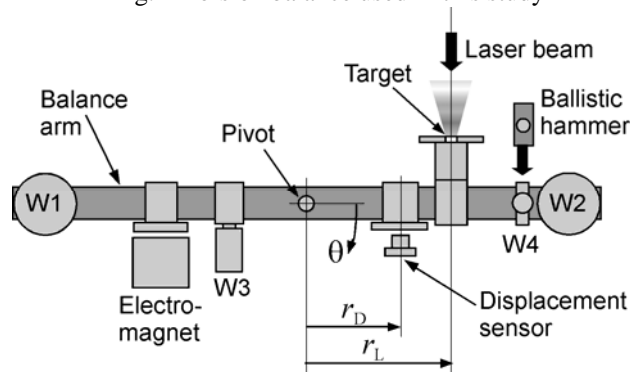
2. 結果

(1) 最長2秒までの作動時間内で発生する力積を99%以上の精度で測定できる長時定数振子を開発した (Fig. 1)。

(2) ポリアセタールをターゲットして TEA 炭酸ガスレーザーパルスを繰返し照射した (50Hz、100回まで) 結果、材料の初期状態に依存して力積が低下するが、いずれの条件においても10回程度照射後はほぼ一定の力積が得られることがわかった。ただし、

レーザーパルスを繰り返すにしたがって力積は僅かに増加することがわかり、これはアブレーション面にクレーターが形成されることによる光学的、流体力学的な効果によるものであることがわかった (Fig. 2、3)。

Fig. 1 Torsion balance used in this study



(3) 力積値は、雰囲気圧力が低いときの方が大きくなり、過去の自由飛行実験の結果と一致した (Fig. 2)。

(4) 上記力積特性は、フルエンス(レーザーエネルギー密度)にも影響を受ける。フルエンスが高過ぎる(30J/cm²) 場合、照射回数を重ねると、クレーターのアスペクト比(深さと直径の比)が1以上になり、却って力積が低下することがわかった。

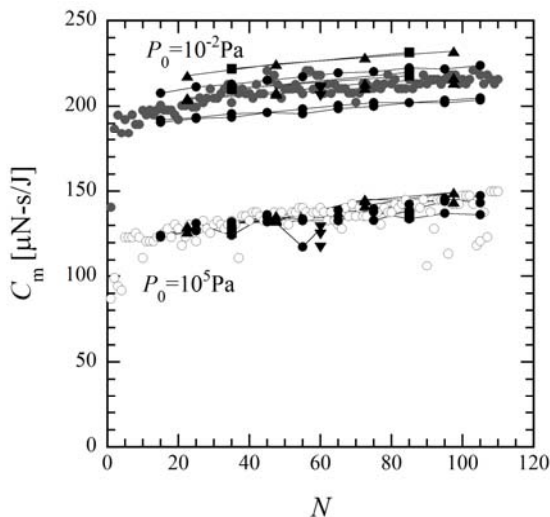


Fig. 2 Impulse performance for appropriate fluence.

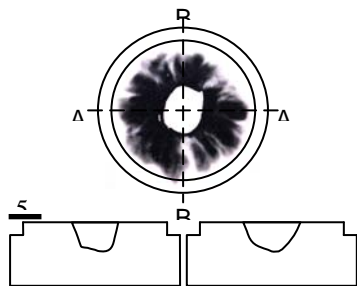


Fig. 3 Crater after 110 shots with appropriate fluence.

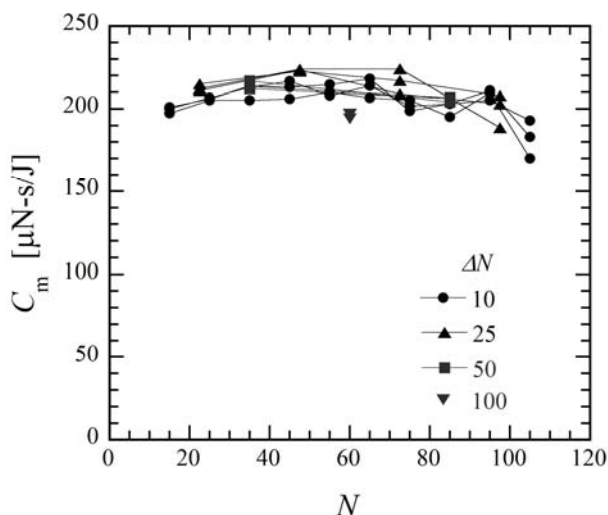


Fig. 4 Impulse performance for excessively-high fluence.

(5) ポリアセタール、アルミに対して、TEA 炭酸ガスレーザーパルスあるいは Nd:YAG レーザーパルスを照射したときに発生する圧力の時間履歴を、速度干渉計 (VISAR) を用いることにより計測することがで

きた。

(6) レーザーアブレーション駆動管内加速装置によって、繰返しレーザーパルスでのプロジェクトイル打上げ実験に成功した。特に、加速管内でアブレーションガスを閉じ込めることによって、運動量結合係数が3倍程度にまで高められることが示された。

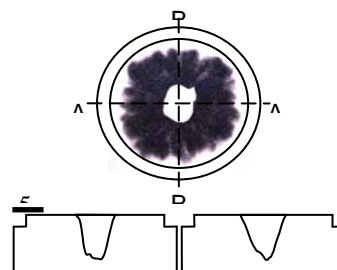


Fig. 5 Crater after 110 shots with excessively-high fluence.

(7) アルミ-Nd:YAG レーザーパルスによる力積発生の数値シミュレーションに成功し、雰囲気空の影響などが明らかになった。

3. 今後の課題

・より広範な条件での作動特性の解明→特にアルミに対する $1\mu\text{m}$ 程度の波長のレーザーパルス繰返し照射の力積特性を解明することが重要な課題となっている。また、宇宙空間で使用可能な高出力高繰返しパルスレーザーの開発 (レーザー開発機関との協力)、宇宙空間への可搬性の向上 (粉体の繰返しレーザーパルスアブレーション特性の解明) などを重要な課題と位置付けている。

参考文献

1. Koji Suzuki, Keisuke Sawada Ryota Takaya, Akihiro Sasoh "Ablative Impulse Characteristics of Polyacetal with Repetitive CO₂ Laser Pulses," Journal of Propulsion and Power, submitted
2. Kohei Anju, Keisuke Sawada, Akihiro Sasoh, Koichi Mori, Eugene Zaretsky, "Time-Resolved Measurements of Impulse Generation in Pulsed Laser-Ablative Propulsion," Journal of Propulsion and Power, accepted for publication
3. Sasoh, A., Suzuki, S., Shimono, M. and Sawada, K., "Moderate-Acceleration Launch Using Repetitive-Pulse Laser Ablation In Tube," Journal of Propulsion and Power, accepted for publication.