

マイクロチップレーザー試用プラットフォームの構築

| | |
|----------------|--------|
| 光科 | 鷺坂芳弘 |
| 分子科学研究所 | 川崎泰介* |
| 理化学研究所・分子科学研究所 | 平等拓範 |
| 科学技術振興機構 | 佐野雄二** |

Construction of microchip laser platform for trial

Yoshihiro SAGISAKA, Taisuke KAWASAKI, Takunori TAIRA and Yuji SANO

A high power pulsed microchip laser, which has a pulse duration of sub-nanosecond order, had been developed in the ImPACT program. The oscillator is very compact and is small enough to be mounted on a robot hand. When a new laser is released, certain facilities that promote application developments of the laser are necessary. Therefore, a microchip laser platform for trials was constructed in the Hamamatsu Technical Support Center. It allows anyone to use microchip laser free of charge. An application for metal forming was attempted using the platform. An outline of the platform and the results of metal forming are reported in this paper.

Keywords : microchip laser, platform for trial, laser peen forming, laser induced shock wave

キーワード :マイクロチップレーザー、試用プラットフォーム、レーザーピーンフォーミング、レーザー誘起衝撃波

1 はじめに

高出力のパルスレーザーは、導入時のコストが高いことが、その導入をためらわせる要因となっている。発振器の価格のみでなく、その設置スペースや空調等の環境整備、海外製では保守、修理に手間がかかる点も負担となる。そのため、国産で安価、小型、高出力かつ設置場所を選ばない発振器が望まれている。そこで、これらの要望を満たすべく、ImPACTプログラム「ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現」では、パルスの光の持続時間（パルス幅）がサブナノ秒オーダーで尖頭値がメガワットを超えるジャイアントパルス光を持つ超小型のマイクロチップレーザーを開発した¹⁻³⁾。この発振器は、パルスレーザーの普及を促進するとともに、レーザーの新たな応用展開への起爆剤となることが期待されている。

ImPACTプログラムでは、発振器の製品化を推進すると同時に、その用途開発のための環境整備を目的として、マイクロチップレーザーの試用プラットフォームを構築し、平成30年7月から一般に無料で開放している。本報では、構築したプラットフォームの概要について報

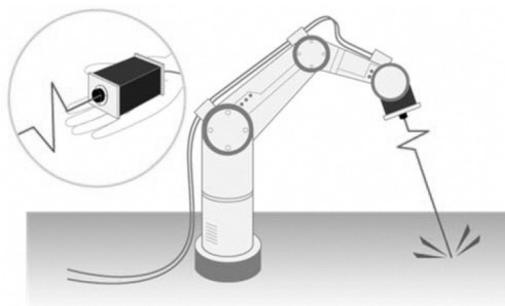
告する。さらに、本レーザーがレーザー誘起衝撃波の発生源として有効なことから、衝撃波を加工力とした塑性加工として板曲げ加工を試みたので、その加工事例について報告する。

2 マイクロチップレーザー試用プラットフォーム

一般にレーザー光の転送方法としては光ファイバーが知られているが、パルスレーザーでは、パルスエネルギーが高くパルス幅が短いほどファイバー転送が困難となり、ミラー転送が採用されるようになる。しかしミラー転送はコンタミや振動の多い製造現場では採用することが難しい。そこで図1のように超小型の発振器自体をロボットハンドなどの先端に取り付け、励起光を光ファイバーで供給し、発振器から射出したパルスレーザーを直接照射させれば、転送の問題は解決され、設置場所の制限も大きく緩和される。このような効果を狙い、分子科学研究所ではマイクロチップレーザーの高機能化・高出力化を行ってきた。マイクロチップレーザーは小さなチップ状のNd : YAG結晶またはセラミックスを発振媒体としており、既存の固体レーザーに比べ

*) 現 理化学研究所

**) 現 分子科学研究所

図1 ハンドヘルド型マイクロチップレーザーのイメージ³⁾

発振器を大幅に小型化できる。既に手のひらサイズのハンドヘルド型発振器も開発され、その製品化が進められている^{2,3)}。

一方、新開発のレーザーについてはその用途開発が重要であり、ユーザーが気軽にレーザーを試せる実験施設があることが望ましい。そこで浜松工業技術支援センター内に試作発振器を設置し、試用プラットフォームを開設した。設置した発振器（写真1）はハンドヘ

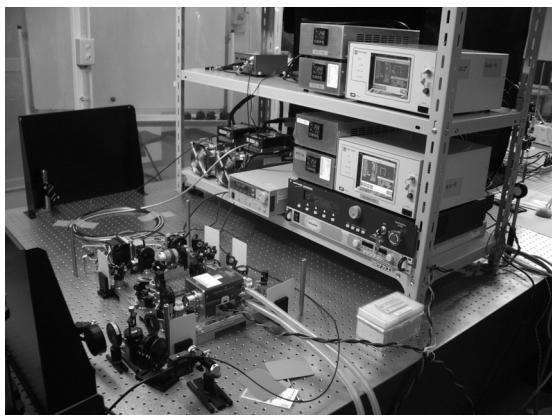


写真1 据置型マイクロチップレーザー発振器（マイクロMOPA）

ルド型より出力に余裕のある増幅器付の据置き型で、マイクロMOPA (Microchip laser based master oscillator and power amplifier) と呼ばれるものである。表1に示す標準仕様とオプションの2種類のレーザー光を発振でき、偏光はいずれも直線偏光である。

表1 マイクロチップレーザー（マイクロMOPA）の仕様

| | 波長 | パルス幅 | 繰返し発振周波数 | パルスエネルギー |
|------|---------|--------|----------|----------|
| 標準仕様 | 1064 nm | 700 ps | 10 Hz | <100 mJ |
| | | | 100 Hz | <2.5 mJ |

プラットフォームは、用途に応じて2箇所の照射場でレーザー光を照射できるようになっている。走査はい

ずれも3軸ステージにて行う。上方から光を当てる形式の縦型照射場（写真2）は水槽を備えており、水中での照射や液体を使った実験に対応できる。側方から光を当てる形式の横型照射場（写真3）は空気中での照射専用だが、光路上にスペースがあるため、途中に光学部品を置いて光を制御するのが容易となっている。

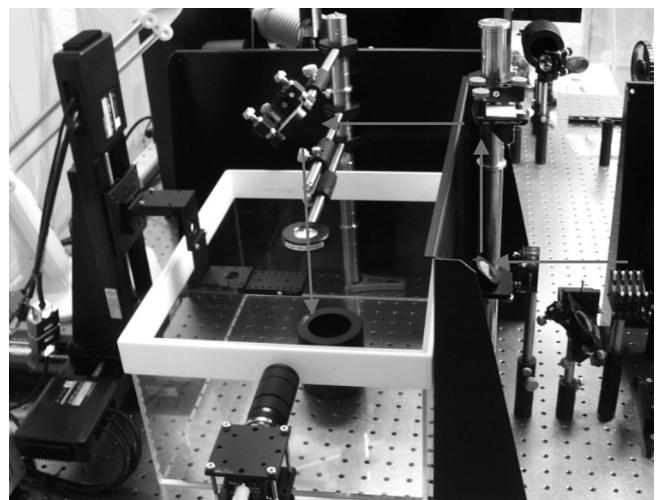


写真2 縦型照射場

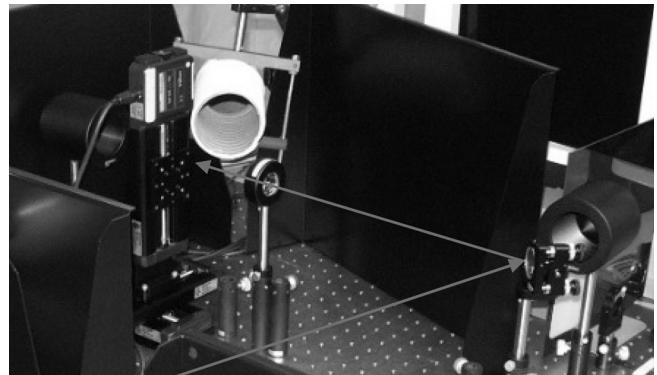


写真3 横型照射場

プラットフォームは誰でも無料で使用することができる。基本的な測定器やオシロスコープも設置してあるため、レーザーを照射しながらの計測などにも対応できる。オペレーターはセンターの職員が務めるため、レーザーの使用経験がなくても問題なく利用できる。照射後の観察には、センターの所有するレーザー顕微鏡とデジタルマイクロスコープを利用することもできる。

3 板曲げ加工への応用

このマイクロチップレーザーは衝撃波や超音波の発生源として有効であり、現在開発が行われている用途にもこれらを応用したものが多い⁴⁾。一方でこの衝撃波

【報告】

は塑性加工の成形力としても有効である。そこでレーザー誘起衝撃波を利用した金属板の曲げ加工を試みた。

3.1 レーザーピーンフォーミング (LPF)

レーザーパルスを金属板表面に集光照射すると照射面は瞬間にイオン化され高圧のプラズマが発生する。プラズマは急激に膨張しようとするが、雰囲気の慣性が抵抗となって膨張が妨げられるため照射面にも圧力がかかり、板内には衝撃波が伝播する（レーザー誘起衝撃波）。雰囲気の慣性が大きいほどプラズマの膨張が抑制されて衝撃波が強力になるため、水中で照射するのが有効とされている。

照射面は衝撃波によって板厚方向に圧縮されるとともに板面方向に伸びるように塑性変形する（図2 (a)）。レーザーを走査してこの変形を蓄積させると板は逐次的に照射面を凸とする方向に湾曲していく（図2 (b)）。この挙動を利用して板材成形法をレーザーピーンフォーミング（Laser Peen Forming、以下LPF）と呼び、本報ではこれを板曲げに応用した。

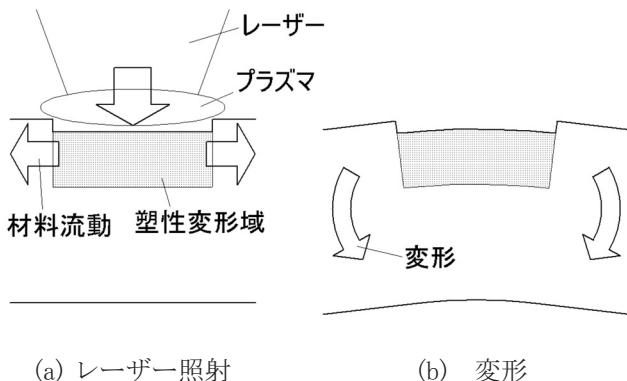


図2 レーザーピーンフォーミングの加工原理

浜松工業技術支援センターでは、以前からフェムト秒レーザーによるLPFを板曲げに用いてきた⁵⁾が、板厚が0.1mm程度の箔材までしか成形できず、実用性が低かった。一方、マイクロチップレーザーは、パルスエネルギーが高く、さらに強力な衝撃波を期待できる。そこでマイクロチップレーザーで、より厚い板材の成形の可否を検証した。

3.2 実験方法

プラットフォームの縦型照射場（写真2）で標準仕様（表1）のレーザーを用いた。試験片は金属板を

10mm×50mmにせん断したものである。図3のように試験片を片持ち固定して水中に設置し、焦点距離100mmのレンズで集光した光を水面を通して板表面に照射した。板表面はデフォーカス量zだけ集光点から光源側にずらした。水面の位置は集光点から35mm上方とした。ステージの走査速度1mm/sにて、自由端側から0.1mmピッチでずらしながら試験片幅方向への線走査を複数回行った。

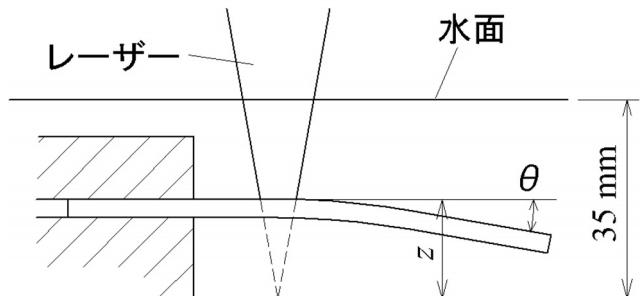
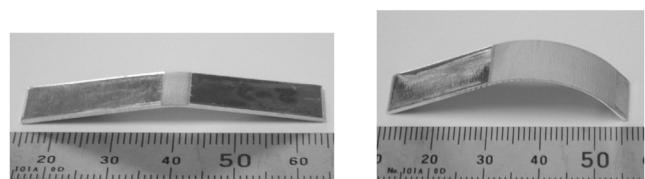


図3 実験方法概略

3.3 実験結果

LPFではビームを集光した方が、フルエンス（単位面積当たりのパルスエネルギー）が増大するため、変形量が大きくなる傾向がある⁵⁾。しかし水中では集光しすぎると光が水に吸収されてしまうため、逆に変形量が落ちることが判明した。最も変形効率が良いのはz=6mmのときであった。そこでz=6mm、パルスエネルギー30mJで曲げ加工した事例を写真4、5に示す。



(a) 走査回数41回 (b) 走査回数241回
写真4 純アルミニウムの曲げ加工例（板厚1 mm）

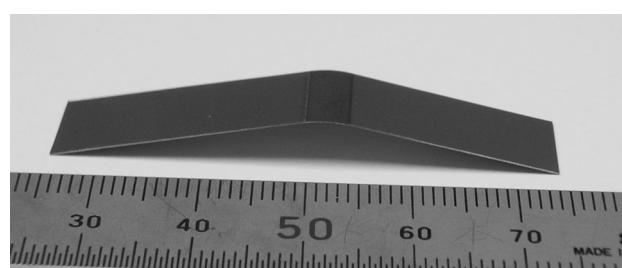


写真5 純チタンの曲げ加工例（板厚0.2 mm）

写真4は板厚1 mmの純アルミニウム（A1100）に表記の回数レーザーを走査した例である。写真5は板厚0.2mmのJIS 1種純チタンを加工した例である。いずれも照射面を凸とする一方向曲げができるおり、LPFでこれらの板材の成形が可能なことが確認できた。ある程度実用的な板厚の金属板に適用できる可能性が示されたといえる。

4 まとめ

ImPACTプログラムにて開発されたマイクロチップレーザーの試用プラットフォームについて報告した。平成30年度中にはパルスエネルギー>2.5mJのハンドヘルド型試作機も設置される予定であり、2台体制により幅広い実験に対応できるようになる。

また、本プラットフォームを用いて板曲げ加工を行い、実用的な板厚を成形できる可能性が示された。本法は金型を用いない逐次成形法の一つで、将来需要が見込まれる多品種少量生産に対応できる加工法である。今後は本法の適用範囲の見極めを行っていく。

謝辞

本研究は総合科学技術・イノベーション会議が主導

する革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）の一環として実施したものです。

参考文献

- 1) Sakai H. et al. : > 1 MW peak power single-mode high brightness passively Q-switched Nd³⁺ : YAG microchip laser. Optics Express, 16 (24), 19891–19899 (2008) .
- 2) Yahia V. et al. : High brightness energetic pulses delivered by compact microchip-MOPA system. Optics Express, 26 (7), 8609–8618 (2018) .
- 3) 平等拓範：100MWに迫る手のひらサイズのマイクロチップレーザーの開発. OPTRONICS, 436, 156–161 (2018) .
- 4) 佐野雄二 他：ImPACTプログラムにおけるマイクロチップレーザ製品化と適用技術開発. 第90回レーザ加工学会講演論文集, p.139–143, 東京 (2018) .
- 5) 鷺坂芳弘：超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板のダイレス曲げ. ぶらすとす, 1 (3), 180–184 (2018) .