

< 1 > 超高密度フォトン利用実証レーザーシステムの開発

< 1 - 1 > LD を用いた高強度フェムト秒レーザーの開発

サブテーマリーダー：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 岡田 康光

< 1 - 1 - c > 高性能化の研究

小テーマ： 加工のためのレーザー開発

研究従事者：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 王 ゆう、西畑 実

(1) 研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

従来のナノ秒レーザー装置では、金属材料を穴あけ加工した後に穴の周辺に盛り上がりが残るなどの悪い仕上がりとなっている。それを解決するため、Nd:YAG パルスレーザーの基本波(1064 nm)、第2高調波(532 nm)と第3高調波(355 nm)を同時に出力できる多波長・多重パルスレーザー装置を開発した。まず、単波長シングルパルスレーザーの金属薄板の穴あけ加工実験を行うことによって、各種金属材質におけるレーザー加工状況を把握した。更に、新規レーザー加工方法を模索して、各波長の出力の混合比やパルス形状など、材料ごとにレーザー側の最適化を行った。具体的には、レーザー出力の多重パルス時間遅延光路を構築することによって、パルス多重化レーザーでの金属薄板穴あけの加工効果を明らかにした。なお、使用した全てのレーザーの繰り返し率は5 kHzであった。

研究の独自性・新規性

- 1) 単波長多重パルスのレーザーでの金属薄板穴あけ加工実験を行い、第一・第二パルスパワーの比率などの組み合わせを変えて最適な加工条件を見つけた。
- 2) 今まで報道されていない多波長多重パルスレーザーで加工実験とその評価を行った。

研究の目標

フェーズ2：地域結集型共同研究事業の成果をもとに開発した多波長レーザー装置を用い、単波長シングルパルスで金属薄板の穴あけ加工実験を行うことによって、各種金属材質におけるレーザー加工状況を把握する。その後、地域結集型共同研究事業の成果をもとに開発した多波長レーザー装置をベースとし、Nd:YAG レーザーの第2高調波(532 nm)の時間遅延光路を構築する。開発した多波長レーザー装置と時間遅延光路を用い、パルス多重化レーザーで金属薄板の穴あけ加工実験を行うことによって、金属薄板穴あけの加工効果を明らかにする。

(2) 研究の進め方及び進捗状況

フェーズ2：合計10種類の金属材料に単波長シングルパルスNd:YAGレーザーの基本波(1064 nm)で穴あけ加工実験を行った。各種金属材質におけるレーザー加工状況を調べたところ、加工の困難さと表面状況が明らかになった。その後、分岐させたレーザービームを直交偏光合成法で合流させ、Nd:YAGレーザーの第2高調波(532 nm)の時間遅延光路を構築した。最大遅延時間は約69.4 nsであった。ステンレス薄板に多重パルスレーザーで穴あけ加工実験を行った。異なる照射条件でレーザー加工状況を調べたところ、単波長(532 nm)シングルパルスと多波長(1064 nm + 532 nm)ダブルパルスのレーザー加工に比べて、単波長(532 nm)ダブルパルスの加工部表面状態と加工穴形状が良いことが分かった。

(3) 主な成果

- (1) 地域結集型共同研究事業の成果をもとに開発した多波長レーザー装置を用い、シングルパルスで金属薄板の穴あけ加工実験を行った。使用した短パルスNd:YAGレーザー(1064 nm)のパワーは 0.20 ± 0.03 W、パルス幅は30ns、露光時間は0.5s、平均パワー密度は 78.6 ± 11.8 W/mm²、

ピークパワー密度は $0.524 \pm 0.079 \text{ MW/mm}^2$ 、露光エネルギー密度は $39.3 \pm 5.9 \text{ J/mm}^2$ であった。

加工した金属材料は合計10種類である。表1に示すように、10種類金属の中で、加工後の穴サイズが最も小さい材料は真鍮であり、最も大きい材料は表面処理なしの鉄とステンレスであった。また、アルミの表面をアルマイト処理すると加工し易くなり、鉄の表面をめっき処理すると加工困難になった。図1には、加工された金属薄板の外観写真を示している。10種類金属の中で、加工穴の周辺での盛り上がりは最も小さい材料はニッケルめっきの鉄であった。

表1 金属薄板の加工結果

材料名	慣用名	表面処理	厚さ (mm)	穴上げのエネルギー密度閾値(J/mm ²)	焦点位置での穴直径 (μm)	焦点位置での穴深さ (μm) [概算]
アルミ	A 5052	表面処理なし	0.982	24.5	25	11
アルミ	A 5052	アルマイト白	0.990	11.5	24	23
アルミ	A 5052	アルマイト黒	0.986	11.5	35	30
鉄	SPCC	表面処理なし	0.988	11.5	41	11
鉄	SPCC	亜鉛めっき	1.006	13.2	35	20
鉄	SPCC	ユニクロめっき	1.000	26.5	30	25
鉄	SPCC	ニッケルめっき	0.984	38.8	38	16
ステンレス	SUS304	表面処理なし	0.996	13.3	42	11
ステンレス	SUS303	表面処理なし	3.938	11.5	34	12
真鍮	C2801P	表面処理なし	1.012	37.1	22	5

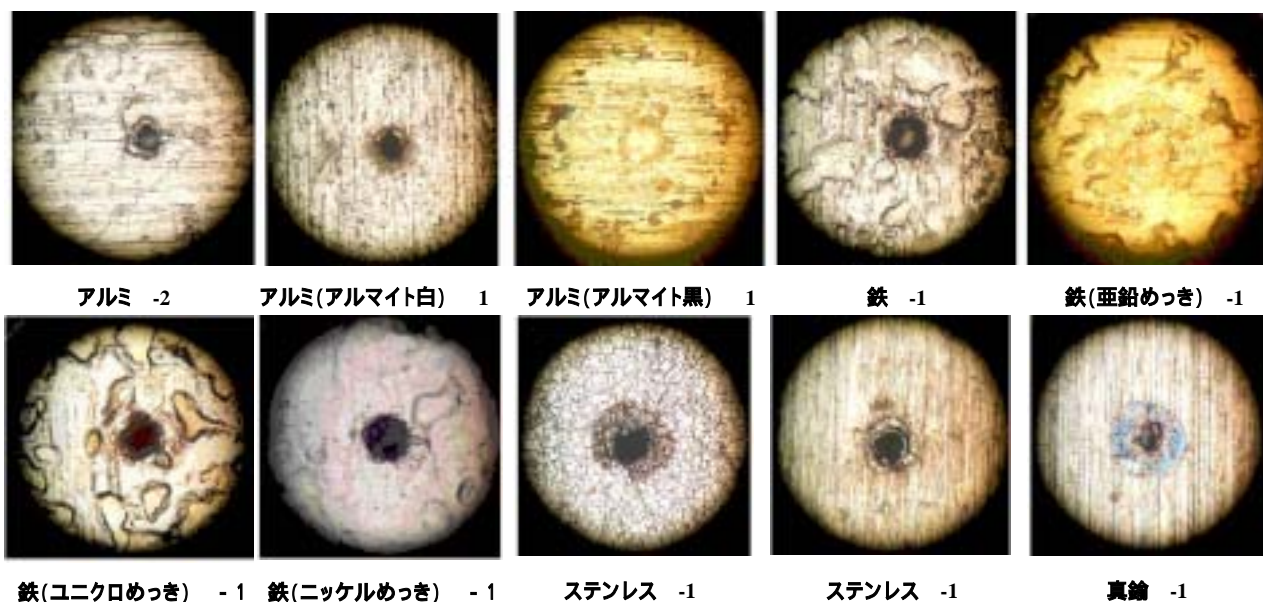


図1 Nd:YAGレーザーで加工した10種類金属薄板の表側写真

(2) 地域結集型共同研究事業の成果をもとに開発した多波長レーザー装置をベースとし、Nd:YAGレーザーの2倍高調波(532 nm)の時間遅延光路を構築した(時間遅延ユニットは図2を

参照)。実現した多重パルスの波形を図3に示している。この単波長多重パルスのレーザーシステムを用いて金属薄板の穴あけ加工実験を行った。使用したレーザーのパワーは2 W から10 Wまで変化でき、加工した金属材料はSUS304、薄板の厚みは 0.3 mmであった。その結果、全パワーが6 Wより高くなると、ダブルパルスにおける加工表面の余分な盛りりはシングルパルスのそれより小さくできた。また、加工レーザーパワーが高くなる際、シングルパルスの場合に穴の表側と裏側の面積比はレーザーパワーと共に大きくなったが、ダブルパルスの場合に穴の表側と裏側の面積比は小さくなった。結論として、シングルパルスのレーザー加工結果と比較して、単波長(532 nm)のパルス多重化レーザーシステムを用いると金属薄板に開ける穴の表面状態を改善できること、加工穴の表側と裏側の面積の比を小さくできることが明らかになった(図4を参照)。

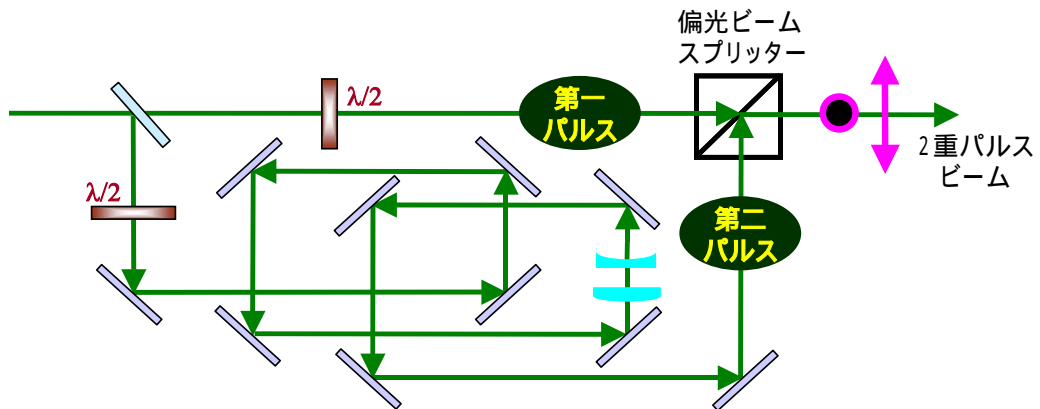


図2 Nd:YAGレーザーの第2高調波の時間遅延ユニット

図3 多重パルスの波形 (532 nm + 532 nm)

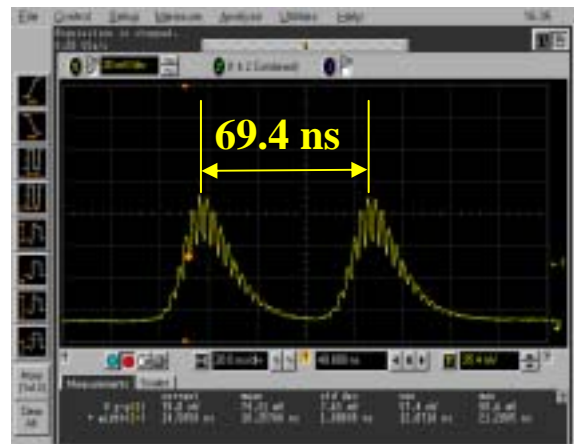
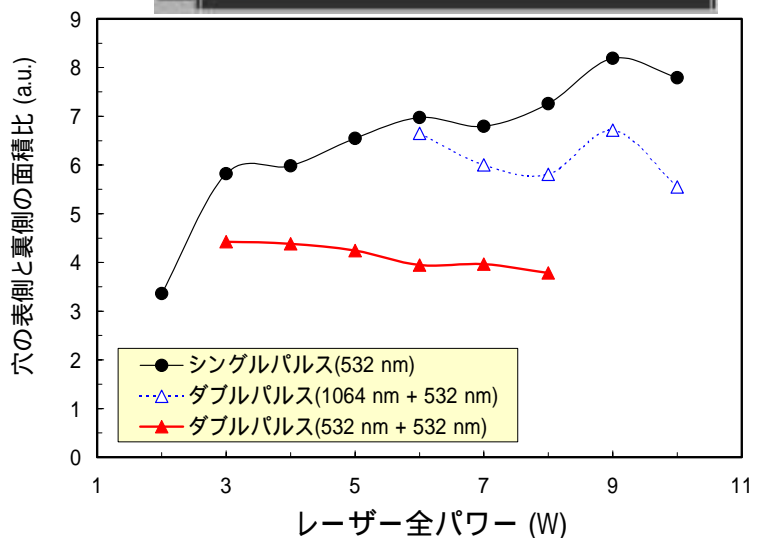


図4 3種類照射方式でレーザー全パワーにおける金属薄板(SUS304)(厚み0.3 mm)に開けた穴表側と裏側の面積比



また、多波長かつ多重パルス化レーザーを用いて穴あけ実験も行った。具体的に、第一パルスのレーザーをパワー5 Wの基本波Nd:YAGレーザー(1064 nm)にして、第二パルスの

レーザーをパワー1 W から 5 W まで変化する 2 倍高調波の Nd:YAG レーザー (532 nm) にした。結論として、単波長 (532 nm) シングルパルスと単波長 (532 nm) ダブルパルスのレーザー加工結果と比較すると、多波長かつ多重パルス化レーザーシステムを用いて金属薄板に開ける穴の表面状態の方が悪くなることが明らかになった (図 5 の写真を参照)。

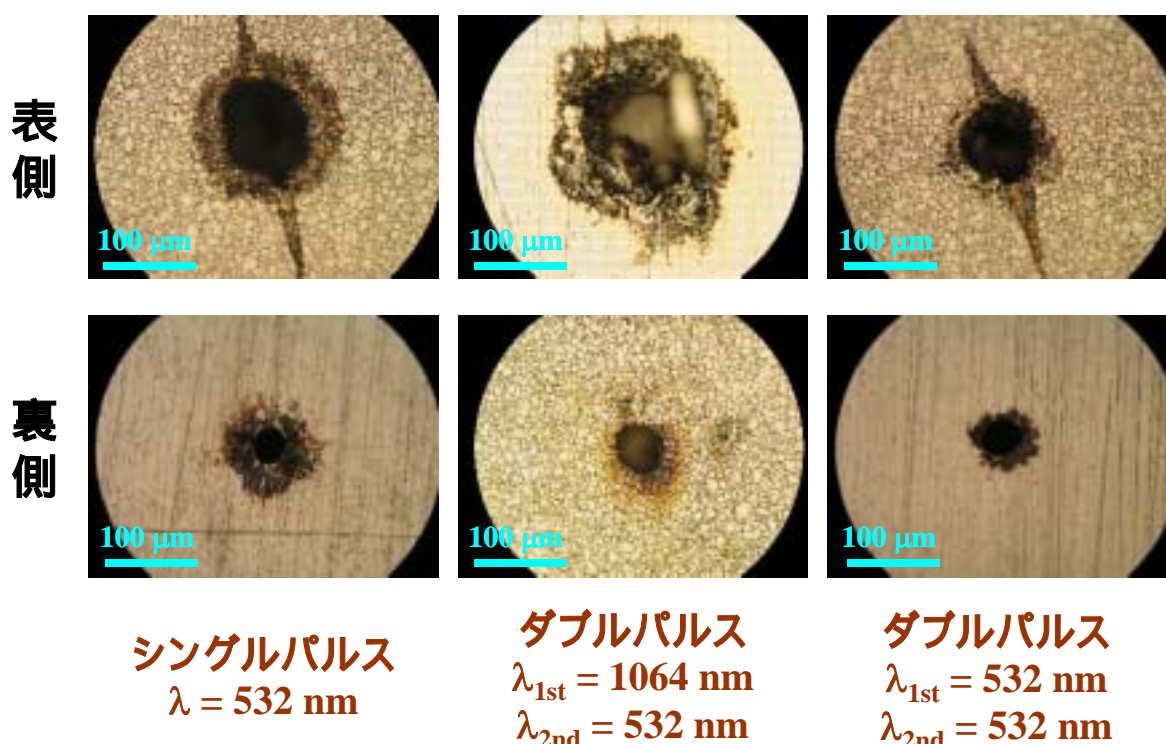


図 5 SUS304 薄板に開けた穴の顕微鏡写真 (全パワー: 8 W)

特許件数 : 1

(4) 研究成果に関する評価

国内外における水準との対比

日本国内では同様な実験報告はまだ見られず、アメリカ GA 社により発表された多重パルス Nd:YAG レーザーでの加工実験に比べると、この研究は以下の 2 点の新規性がある。

- 1) 単波長多重パルス化のレーザーでの金属薄板穴あけ加工実験において、第一・第二パルスパワーの比率などの組み合わせを変えて最適な加工条件を見つけた。
- 2) 今まで報道されていない多波長多重パルスレーザーで加工実験とその評価を行った。

実用化に向けた波及効果

パルス多重化したダブルパルスレーザーでの穴加工技術は、ディーゼルエンジンの燃料噴射ノズルの穴あけ加工などの分野へ応用できる見込みがある。もし、より高精細な噴射孔により燃料の小粒子化が進むと、燃焼効率の向上および排気ガスのクリーン化が予測される。

(5) 残された課題と対応方針について

残された課題: レーザーアブレーション特性による加工穴の形状(深さ方向)はテーパ状なので、円柱状に近似する穴をあけることが産業的に求められている。

対応方針: 異なるパルス間隔、パワー密度と照射条件で加工を行うことによって、円柱状に近似する穴をあけられる最適な条件を探す。