

強く集光したベクトルビームによるレーザーアブレーション

Laser Ablation by Tightly Focused Vector Beams

東北大多元研 °小澤 祐市, 津留 志音, 上杉 祐貴, 佐藤 俊一

IMRAM Tohoku Univ., °Yuichi Kozawa, Yukine Tsuru, Yuuki Uesugi, Shunichi Sato

E-mail: y.kozawa@tohoku.ac.jp

ビーム断面において軸対称な偏光分布を持つ径偏光（ラジアル偏光）ビームや方位偏光（アジマス偏光）ビームは、円筒ベクトルを偏光成分の基底として持つベクトルビームとも呼ばれる。特に、放射状の偏光分布を持つ径偏光ビームは、高い開口数（NA）の対物レンズで強く集光すると、焦点中央（光軸上）には軸方向に振動する軸方向電場が顕著に発生し、この径偏光ビームの軸方向電場は通常の光ビームに比べて微小な集光スポットを形成することが知られている[1]。

我々は、このような微小集光スポット特性をレーザー微細加工に応用できれば、加工分解能や加工精度の向上につながると考え、ベクトルビームを用いたレーザー微細加工に関する研究を現在進めている。一方で、焦点での軸方向電場がレーザー加工にどのように寄与するかは必ずしも自明ではない。例えば、空気中（誘電率 ~ 1 ）から加工材料（ $|\text{誘電率}| > 1$ ）の界面に径偏光ビームを垂直に集光した場合には、界面では電束密度の法線成分が連続となる境界条件のために、ほとんど材料において材料中での軸方向電場の強さは誘電率（の絶対値）の比に応じて減衰するはずである。一般的に、レーザー加工においては材料中での光吸収が起点となって加工プロセスが進むと考えられる。このことから、空気中から例えば金属のような誘電率の絶対値が大きな材料の界面に対して径偏光ビームを強く集光した場合には、前記の境界条件によって材料中では軸方向電場が著しく減衰し、軸方向電場による直接的な加工への寄与は期待できないことを意味している。

以上の点を明らかにするために、径偏光のフェムト秒パルスレーザー光を用いたシングルショットでのアブレーション加工を試みた。その結果、特に反射率の高い銅やアルミニウムにおいては、高 NA 条件下においては径偏光ビーム焦点での軸方向電場の分布を反映したスポット状の加工痕が得られることがわかった[2]。現状では詳細なメカニズムについては明らかになっていない点も多いが、反射率が特に高い金属表面上では軸方向電場による強い定在波が形成され、このような強い軸方向電場が光軸上でのアブレーション現象を促進する二次的な効果の存在を考えている。さらに、径偏光ビーム焦点での軸方向電場に加えて、横方向電場による円偏光成分を同軸・同時照射するダブルパルス光学系を用いた加工実験を行ったところ、材料界面上での軸方向電場による強い定在波がアブレーション加工を促進した可能性を示唆する結果も得られている[3]。

講演では、このような強く集光したベクトルビームの集光特性が、アブレーション加工にどのような寄与をもたらすかについて、我々の実験結果を中心に報告し、レーザー微細加工への応用可能性について議論したい。

参考文献

- [1] Y. Kozawa and S. Sato, Prog. Opt. **66**, 35-90 (2021).
- [2] Y. Kozawa, M. Sato, Y. Uesugi, S. Sato, Opt. Lett., **45**, 6234-6237 (2020).
- [3] 大野 他, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 23a-E304-11 (2022).