

<p>< 1 - 2 > 超高密度フォトン反応制御技術の開発 サブテーマ名： 応用のための計測・制御技術の開発 小テーマ名： フェムト秒レーザー加工における飛散物の振る舞いの研究（フェーズ）</p>
<p>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 青島 紳一郎 研究従事者： 静岡大学工学部機械工学科教授 齋藤 隆之 研究従事者 光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 青島紳一郎、大石 真吾</p>
<p>研究の概要、新規性及び目標</p> <p>研究の概要 本研究は平成17年度のみ実施した。フェムト秒レーザー照射時の被加工物からの飛散物の振る舞いを計測して解析する方法について検討し、方針の決定と必要機材の選定と手配を実施した。導入した高速ビデオカメラを用いて撮影して、解析により飛散物の粒径、速度などを明らかにでき、実用化するに十分な成果を得ることができた。 本テーマは、静岡大学工学部機械工学科の齋藤隆之教授との共同研究で実施した。</p> <p>研究の独自性・新規性 これまでのフェムト秒レーザー加工の研究では、加工後の被加工物の観測に注力されていた。フェムト秒パルス照射時の飛散物の振る舞いを鮮明に可視化撮影して、飛散物の振る舞いを詳細に調べた例はなかった。共同研究先である静岡大学の高度な計測技術と、本事業での高いフェムト秒パルス利用技術を融合して独自性の高い研究を実施し、新規な現象を発見できた。</p> <p>研究の目標 フェムト秒レーザー照射時の被加工物からの飛散物を可視化して、その振る舞いを計測して解析する。これまでの研究では、加工後の被加工物の様子を主に研究してきたが、アシストガスの有無による飛散物の振る舞いの変化を知ることによって、良好な加工結果をもたらす手法を創出できると期待される。</p>
<p>研究の進め方及び進捗状況</p> <p>本事業での他の研究テーマの成果によって、フェムト秒レーザー加工ではアシストガスの有無によって加工結果が大きく異なることが明らかになってきた。そこで、フェムト秒レーザー照射時の被加工物からの飛散物を可視化して、その振る舞いを計測して解析した。導入した高速ビデオカメラを用いて撮影して、解析により飛散物の粒径、速度などを明らかにでき、実用化するに十分な成果を得ることができた。この過程で、フェムト秒パルスによる金属加工において、飛散物が加工点に集まるといって新規で特異な現象を発見し、これが静電気に起因していることを明らかにした。よって、本テーマの目標達成度は 150 % である。</p>
<p>主な成果</p> <p>具体的な成果内容： フェムト秒レーザー金属加工時の飛散物の振る舞いを可視化計測した。 加工時の様子を観測し、現象を的確に捉えて定量化するには、場の計測すなわち可視化が重要である。可視化には高速性と高解像度の両方が要求されるため、Phantom V9.0 (Vision Research社製)を導入した。この高速ビデオカメラを用いて、飛散物の可視化計測を行った。金属サンプルの表面に表面と並行にシート状のcwグリーンレーザー光を照射し、フェムト秒レーザー(50 fs, 440 μJ, 810 nm, 1 kHz)を20 μm に集光して照射する。飛散した飛散物の散乱光を高速ビデオカメラで撮影し、鮮明に可視化計測した。 可視化計測結果を解析し、飛散物の振る舞いの全容を明らかにした。 可視化計測結果を解析し、飛散物の振る舞いを明らかにした。ステンレス(SUS-304)の加工について述べる。フェムト秒レーザー照射開始時間を $t = 0$ とした。すると、何も起こらない状態があり(Phase 1)、25 ms後に煙状の細かい飛散物が発生し(Phase 2)、180 ms後には大きな粒径のものが放射状に飛散した(Phase 3)。この中には、花火のように発光しているものも存在する。この後、大きな粒径のものが飛散し続けるが、3.3 s を境に飛散物が加工点に向かって集まっていく現象が観測され、発生するものと戻っていくものが混在する(Phase 4)。6.0 s後にはすべての飛散物が加工点に向かって放射状に集まっていく(Phase 5)ということが明らかになった。 飛散物の粒径、速度などを明らかにした。 $t = t_2$で発生する飛散物の粒径は20 μm程度、phase 3および5における飛散物の速度は最大で40 mm/s程度であることが明らかになった。また、飛散物の速度は距離の二乗に反比例することが分かった。 飛散物が加工点に集まるといって新規で特異な現象を発見した。 前記 で述べたように、研究の過程で、フェムト秒レーザーを固定点に照射し続けた場合、前記Phase 5で飛散物が加工点に向かって放射状に集まっていくという新規で特異な現象を発見し</p>

た。この現象は、常識では考えられない予期しない現象である。

飛散物が加工点に集まる現象が静電気に起因していることを明らかにした。

飛散物が加工点に集まる現象において、飛散物の振る舞いは重力の影響にもかかわらず他の力に依存しており、それが電氣的、磁氣的なものが起源であるということが強く示唆される。

そこで、電界下における飛散物の可視化計測を行った。±24 ~ 650 Vの電圧を印加して、電極への飛散物の付着過程をリアルタイム微分カメラにより可視化撮影した。加工開始から 200 msあたりから電極への飛散物の付着が観測され、飛散物の付着量、付着過程は印加電圧により変化し、飛散物の運動が電界の影響を強く受けることがわかった。以上から、飛散物が加工点に集まる現象が静電気に起因していることが明らかになった。

実用化に重要な知見を得た。

シート状のレーザー光を金属サンプルに直角に照射して、シートの長手方向に対して直交する方向から観測する実験も行った。実験において、フェムト秒パルスの繰り返し周波数も変化させた。実験結果から、飛散物はミリ秒以上サンプル付近に漂っており、フェムト秒パルスの繰り返し周波数を上げた場合、この飛散物によってフェムト秒パルスが影響を受け、集光点に到達するフェムト秒パルスの強度が減少することなどを明らかにでき、実用化に重要な知見を得た。

以上より、フェムト秒レーザー金属加工における飛散物の振る舞いについて、実用化するに十分な成果を得ることができた。電氣的制御によって飛散物の振る舞いを制御し、良好な加工結果が得られる可能性がある。

特許件数： 0件

論文数： 11件

口頭発表件数： 24件

研究成果に関する評価

1 国内外における水準との対比

フェムト秒レーザー加工において、飛散物の振る舞いを詳細に調べようという独特の発想で、高度な計測技術と、高いフェムト秒パルス利用技術を融合して独自性の高い研究を実施した。飛散物の振る舞いの全容を明らかにするとともに、新規な現象を発見してその起源を掴んだ。さらに、実用上重要な知見も得た。このように、高い技術レベルで独自の研究を実施し、新規な現象の発見や重要な知見の取得を短期間で実現した。よって、国内外において、高い水準でフェーズを推進して完了することができた。

2 実用化に向けた波及効果

フェムト秒レーザー金属加工における飛散物の振る舞いについて、実用化するに十分な成果を得ることができた。この過程で、飛散物が加工点に集まるという新規で特異な現象を発見し、これが静電気に起因していることを明らかにした。電氣的制御によって飛散物の振る舞いを制御し、良好な加工結果をもたらす手法を創出できると期待される。

残された課題と対応方針について

今後は、静岡大学において科学研究費補助金等を利用しつつこの研究を継続し、フェムト秒レーザー加工の産業応用に有効利用することを行う。

	J S T負担分 (千円)							地域負担分 (千円)							合計	
	H12	H13	H14	H15	H16	H17	小計	H12	H13	H14	H15	H16	H17	小計		
人件費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
設備費	0	0	0	0	0	9,300	9,300	0	0	0	0	0	0	0	0	9,300
その他研究費 (消耗品費、材料費等)	0	0	0	0	0	1,899	1,899	0	0	0	0	0	770	770	2,669	
旅費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
小計	0	0	0	0	0	11,199	11,199	0	0	0	0	0	770	770	11,969	

代表的な設備名と仕様 [既存 (事業開始前) の設備含む]

J S T負担による設備：高密度フォトン発生計測装置、ハイスピードカメラ

地域負担による設備：PIV装置