

補助事業番号 2020M-126

補助事業名 2020年度 フェムト秒レーザーによる3次元微細形状の超精度加工シミュレーション・CAMシステムの開発 補助事業

補助事業者名 慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 青山英樹

1 研究の概要

レーザー加工では、3次元形状の創成ができないため、材料の切断・溶接を目的とした使用となっている。しかし、レーザー加工は加工効率が非常に高いため、3次元の精密形状を創成するツールとしての利用が望まれている。本研究では、レーザーにより3次元ナノメートルオーダーの超精密形状を創成する技術の開発を行う。

ピコ秒よりも長いパルスでのレーザー加工では、加工部位への熱影響・材料変質が大きく問題となっているが、フェムト秒でのパルスレーザーを用いることにより、熱影響・材料変質がない除去加工を実現する。

2 研究の目的と背景

フェムト秒レーザーは、加工部位への熱影響と材料変質がほとんどない加工（アブレーション加工）を実現でき、熱吸収のない透明体（ガラス、ダイヤモンド）や超難削材に対して、ナノメートルオーダーの超精度加工が可能である。しかしレーザー加工は、穴形状・平面的形状などの2次元・2.5次元形状に限定されている。ダイヤモンド微細切削工具の製作などのために、フェムト秒レーザーにより3次元形状を超精度に創成する加工技術の開発が強く求められている。その実現にあたり、フェムト秒レーザーによる超微細形状創成CAMシステムが必須となっている。

以下の(1)、(2)の加工システムの開発を目的とする。加工対象材料は、バインダレス多結晶ダイヤモンドとする。同材料は、単結晶ダイヤモンドやバインダ結合多結晶ダイヤモンドと比較し、機械的性能が極めて高く、今後の活用が強く期待されている。レーザーにより3次元の形状を創成する加工法やシミュレーション・CAMシステムは提案されておらず、本研究が世界初の提案・技術開発である。

- (1) フェムト秒レーザーによる3次元形状加工シミュレーションシステムの開発
- (2) 超精密3次元形状を創成するフェムト秒レーザーCAMシステムの開発

3 研究内容

以下のⅠ～Ⅴを実施した。

Ⅰ. レーザ加工における仮想工具形状の同定のための基礎データ収集

以下の①を実施し、フェムト秒レーザー加工におけるフルエンス（単位面積当たりのエネルギー）とアブレーション率（加工率）の関係の定式化を行った。

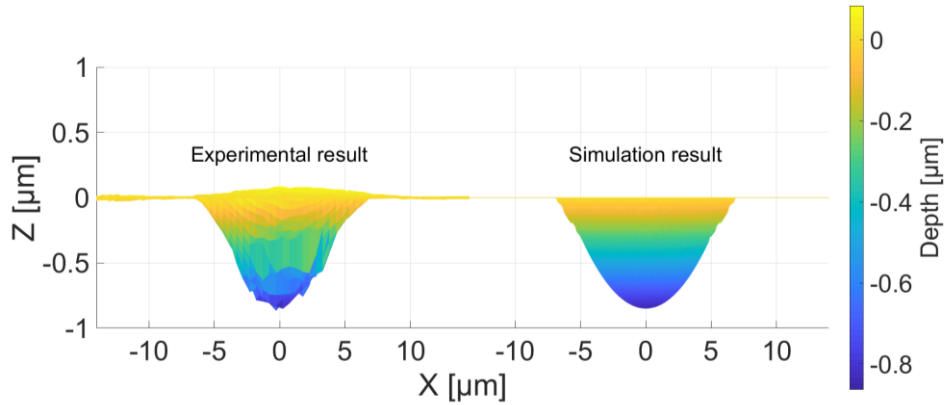
- ①レーザーパルスエネルギー、照射パルス数、繰り返し周波数を変化させて加工し、加工形状を測定して、バインダレスナノ多結晶ダイヤモンドに関するフルエンスとアブレーション率の関

係基礎データを収集した。

②レーザビームの照射角度を変え、同様の基礎データを獲得した。

II. レーザ加工における仮想工具形状の同定

①荒加工用仮想工具形状同定：上記 I の基礎データより、レーザビーム照射スポット内の各点のフルエンスよりアブレーション率(加工深さ)を定式化し、図1に示すように、荒加工用仮想工具形状を同定した。



(a) 実験結果

(b) 仮想工具形状

図1 実験結果と同定された仮想工具形状

②仕上げ加工用仮想工具形状同定：仕上げ加工は、フェムト秒レーザ加工におけるインキュベーション効果を利用した。インキュベーション効果により形成される仕上げ用仮想工具形状を同定した。

III. 加工シミュレーションシステムの開発

図2に示すように、加工プログラムに従って、上記 II より得られた加工工具形状を操作し、創成される形状を生成するシステムを開発した。

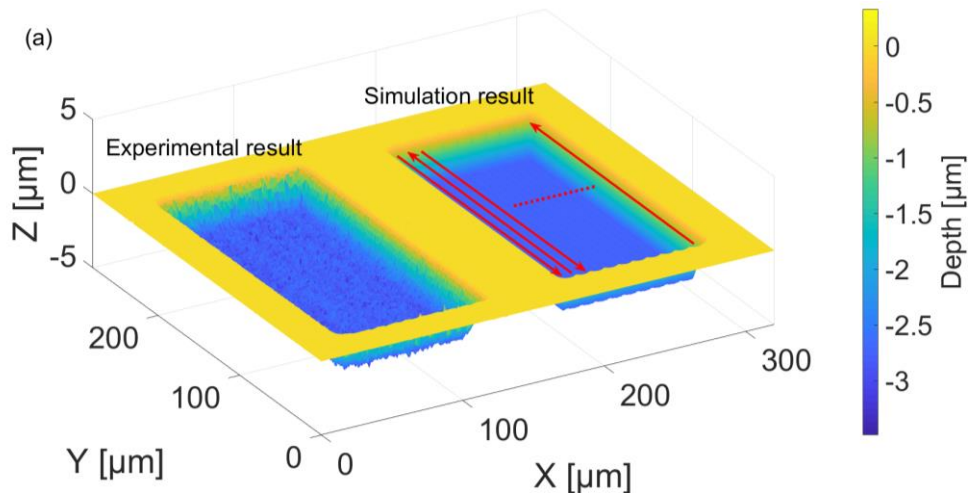


図2 実験結果とシミュレーション結果

IV. 加工工程決定システムの開発

次の手順により、レーザにより要求形状を創成する加工工程決定システムを開発した。

- ①素材形状CADデータに対する要求形状CADデータの差分を除去形状として導出した。
- ②除去形状を上記Ⅱで同定されている仮想工具形状の集合和として構築した。
- ③仮想工具形状集合和の各仮想工具位置への照射順を最適化した。

V. フェムト秒レーザ加工CAMシステムの開発

- ①加工工程決定システムにより導出されたレーザ照射位置で指定の条件でレーザ照射するよ
うに加工プログラムを生成するCAMシステムを開発した。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

フェムト秒レーザは、加工部位への熱影響と材料変質がほとんどない加工（アブレーション加工）を実現でき、熱吸収のない透明体（ガラス、ダイヤモンド）や超難削材に対して、ナノメートルオーダーの超精度加工が可能である。しかしレーザ加工は、穴形状・平面的形状などの2次元・2.5次元形状に限定されている。本研究の成果は、ダイヤモンド微細切削工具の製作などのために、フェムト秒レーザにより3次元形状を超精度に創成する加工を実現できる。また、本研究で開発したCAMシステムは、フェムト秒レーザにより3次元形状の生成を容易に実現する。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究（事業）の補助事業者は、生産技術・生産システムに関する技術開発を40年間行ってきており、特にコンピュータ支援の生産システムであるCAMシステムの開発を専門分野としている。本研究（事業）は、近年、注目されているフェムト秒レーザによる3次元形状を形成するためのCAMシステムを開発するもので、本研究（事業）の補助事業者が行ってきた研究の延長として位置づけられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

<論文>

- 1) Shunsuke Nabetani, Hideki Aoyama, Masahiro Ueda, Yoshinori Ogawa, Yutaka Kobayashi, Kazuo Yamazaki, “Development of a simulation method for three-dimensional shape generation by femtosecond laser ablation on binderless nano-polycrystalline diamond”, Precision Engineering, Vol. 67 (2021), pp. 262–268.

<国際会議発表>

- 1) Hiroyuki KAWAKAMI, Shunsuke NABETANI, Masahiro UEDA, Hideki AOYAMA, Kazuo YAMAZAKI, “Precise Simulation of Femtosecond Laser Processing Based on Identification of Ablation Parameters by On-Machine Measurement”, Proceedings of International Conference on Precision Engineering (ICPE2020), (Kobe, 2020–11), 2 pages.

7 補助事業に係る成果物

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科
(ケイオウギジユクダイガク リコウガクブ システムデザインコウガクカ)

住 所: 〒223-8522
神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

担 当 者: 教授 青山英樹(アオヤマヒデキ)

担 当 部 署: 教授 青山英樹(アオヤマヒデキ)

E - m a i l: haoyama@sd.keio.ac.jp

U R L: <http://ddm.sd.keio.ac.jp/>