

水ガイドレーザーによるダイヤモンド金型部品の精密加工

富山県立大学 工学部 知能デザイン工学科
准教授 岩井 学
(平成 24 年度一般研究開発助成 AF-2012201)

キーワード：レーザー加工，ダイヤモンド，表面粗さ

1. 研究の目的と背景

ダイヤモンド焼結体(PCD)は硬度、化学的安定性に優れており、切削工具の他、プレス金型部品として摩耗が激しい部位への組み込みや耐摩耗材として用いられている。今後、さらに応用が見込まれる PCD を高能率、高精度に成形および鏡面仕上げする加工法が求められている。PCD の成形には放電加工やレーザー加工が用いられ、表面仕上げにはダイヤモンド砥石による研削、ダイヤモンド砥粒によるラッピング、特殊金属材料などとの熱化学反応法、高調波 YAG レーザ照射法、ピコ秒レーザー照射による蒸発法などが提案されている。しかし、複雑な金型形状を成形し、同時に表面を鏡面仕上げすることが問題となっている。

申請者らは数 10~100 μm の微細ノズルから高圧(10MPa~)で噴射される細い水柱の内部にレーザーを閉じ込めて加工点まで導く水ガイドレーザー(図 1)^{1, 2)} をダイヤモンド類の微細加工に応用する研究³⁾を行ってきた。水ガイドレーザーはノズル先端部からの距離が数 10mm の範囲においてビーム径およびエネルギー密度が変わらないため、複雑形状の成形加工ができること、レーザー照射点近傍を常に高圧水で冷却しているため照射面の熱変質がきわめて少ないため表面凹凸の平滑化にも有効だと思われる(図 2)。水ガイドレーザーに使用されているレーザー波長帯域($\approx 532\text{nm}$)はダイヤモンドの除去に適していると言われおり、金型の耐摩部品に用いられる CVD ダイヤモンド膜やダイヤモンド焼結体(PCD)への応用も期待できる⁴⁾。

本研究では、数 10mm に及び同一のビーム形状やエネルギー密度を持ち、照射面に発生する熱を瞬間的に除去できる特徴を有する水ガイドレーザーを用いて、複雑形状を有するダイヤモンド金型の成形精度および表面粗さを向上させることを目的とした。

2. 実験方法

実験装置および条件を表 1 に示す。CVD ダイヤモンド厚膜の結晶成長面(初期粗さ $Rz=60\mu\text{m}$)および PCD 表面への水ガイドレーザーの照射実験は図 3 のように行った。水ガイドレーザー径 100 μm 、加工点と水ガイドレーザー照射口の間隔 $Cl=20\text{mm}$ 、レーザー出力(実効値) $P_e=30\text{W}$ 、周波数 15kHz、パルスオン時間 100ns とした。走査速度は $F=10\text{m}/\text{min}$ である。

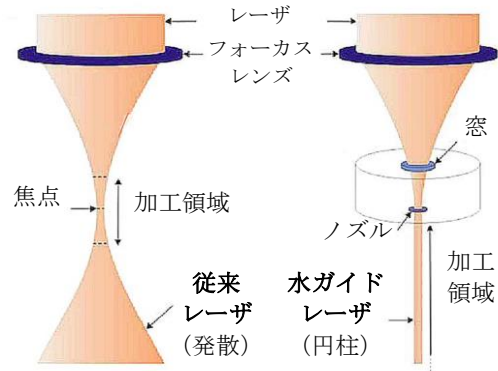


図 1 通常法(左)と水ガイド法(右)によるビーム形状の比較¹⁾

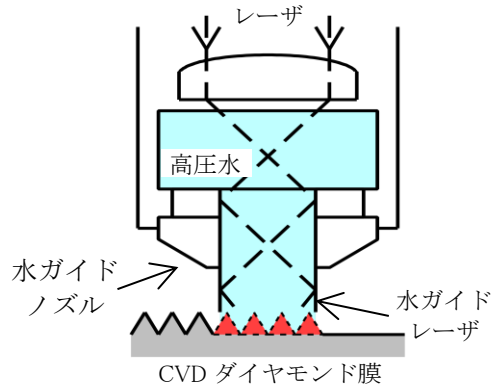


図 2 水ガイドレーザーによるダイヤモンド膜凹凸の推定除去機構³⁾

表 1 実験装置および条件

| | |
|----------|---|
| 加工機 | 水ガイドレーザー機 (Waterbeam Machine, スギノマシン) LD 励起レーザー, $\lambda=532\text{nm}$ (2 倍波) |
| ダイヤモンド試料 | ・ CVD ダイヤモンド厚膜 (5 \times 8 \times 0.5mm) (CVDITE-CDM, 未研磨, エレメントシックス) ・ ダイヤモンド焼結体 (PCD, 5 \times 8 \times 0.5mm) (原料ダイヤ径: 10 μm , 25 μm , エレメントシックス) |
| レーザー条件 | レーザー出力(実効値): $P_e=30\text{W}$ 水ガイドレーザー径: $\phi 100\mu\text{m}$, 周波数: 15kHz パルス幅: オン時間 100ns, オフ時間 66 μs |
| 照射条件 | 照射角: $\theta=0, 70^\circ$, 走査速度: $F=10\text{m}/\text{min}$ 間隔: $Cl=20\text{mm}$, オーバーラップ: 50 μm |

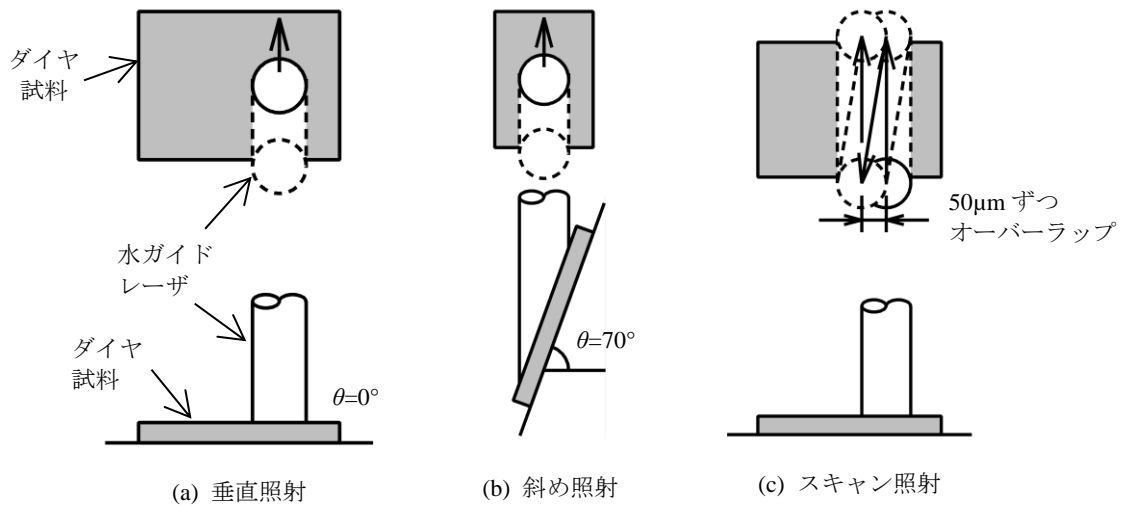


図3 水ガイドレーザー照射模式図

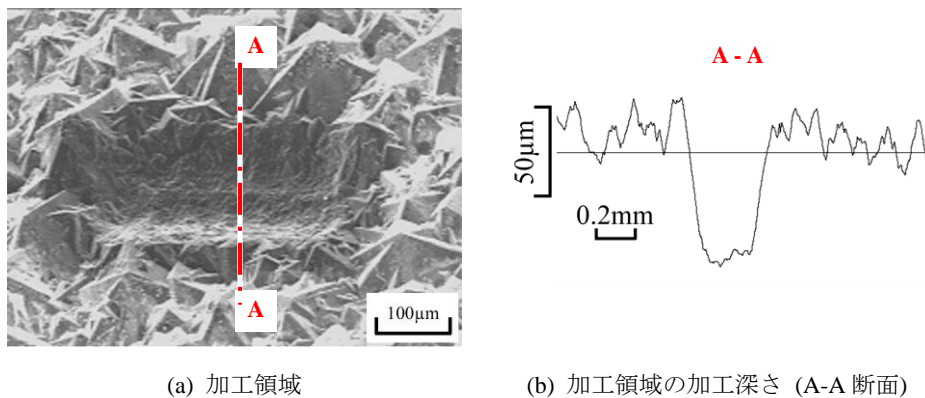


図4 YAG レーザによる加工表面

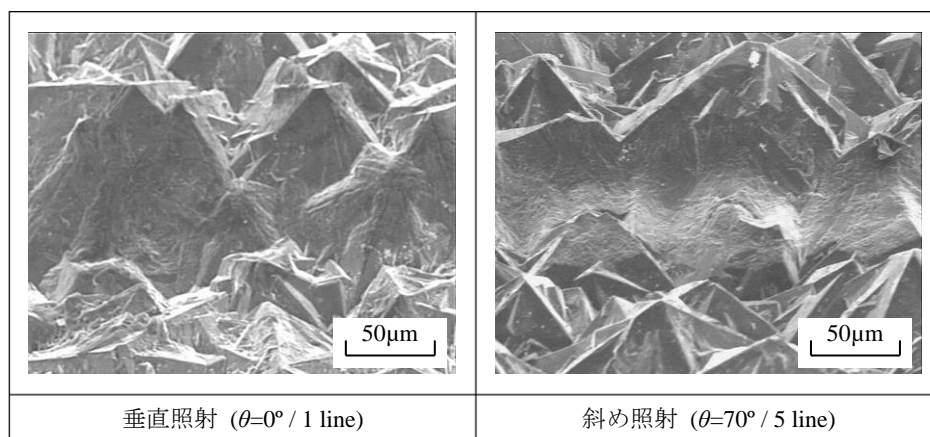


図5 CVD ダイヤモンド厚膜結晶面へのレーザー照射角度と加工性能の関係 ($P_e=30V$)

3. 各種ダイヤモンド試料への照射結果

3.1 CVD ダイヤモンド厚膜の表面加工

(1) 既存 YAG レーザによる加工性能

比較のため既存 YAG レーザ機 (ML-2350AF, ミヤチテクノス) にて照射を行った。スポット径

$\phi 0.2\text{mm}$ に対し $50\mu\text{m}$ ずつオーバーラップさせながら 4 ピッチ分スキャン照射した(図4)。大気中で、かつレーザー条件($P_e=1\text{kW}$, $t_e=1\text{ms}$)が異なるが、CVD ダイヤモンド表面に加工跡が深く入り、周囲が黒く焦っていた。

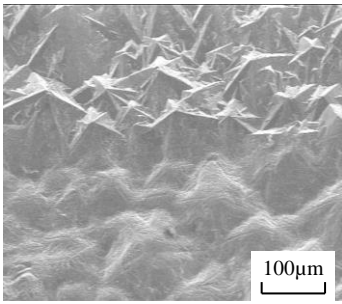
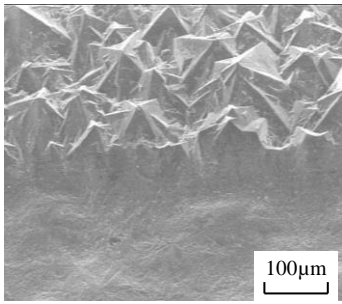
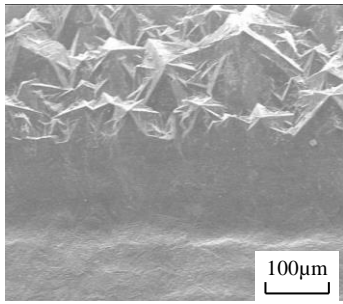
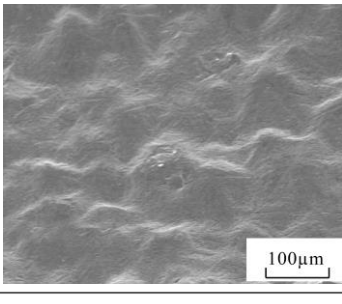
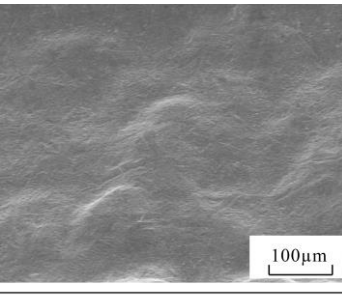
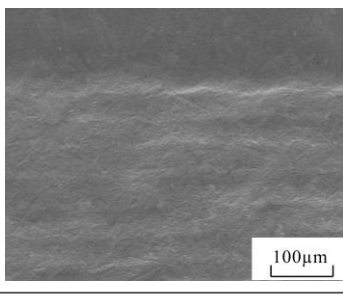
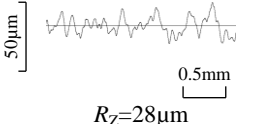
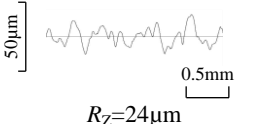
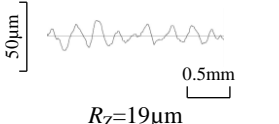
| | スキャン照射 2回 | スキャン照射 5回 | スキャン照射 10回 |
|---------|--|--|--|
| 未加工部の境界 |  |  |  |
| 加工領域 |  |  |  |
| 粗さ曲線 |  |  |  |

図6 CVDダイヤモンド厚膜結晶面の平滑加工

このことから、ダイヤモンド結晶凸部の平滑化には適さないと思われる。

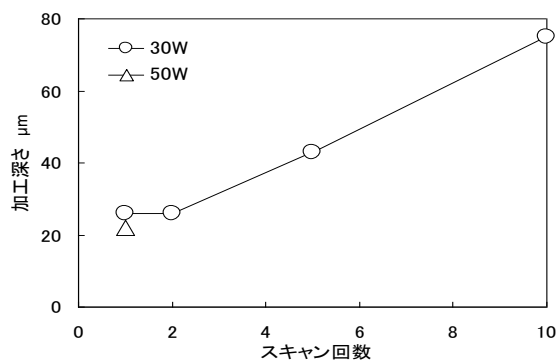
(2) 照射角と加工性能の関係

レーザ出力 $P_e=30W$ で水ガイドレーザを垂直方向 ($\theta=0^\circ$) および斜め方向 ($\theta=70^\circ$) から照射し、 $F=10m/min$ で走査した結果を図5に示す。垂直照射 ($\theta=0^\circ$) では1パスの走査でダイヤモンド結晶凸部が除去されていた。斜め照射 ($\theta=70^\circ$) では加工能率の低いため5パス走査した結果、広い溝幅でダイヤモンド結晶凸部が除去されていた。

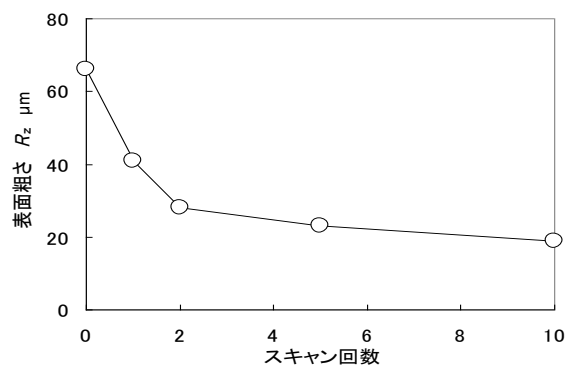
(3) スキャン照射回数と加工性能

図3(c)のようにレーザ径 $\phi 100\mu m$ に対し $50\mu m$ ずつオーバーラップさせながら10パス走査するスキャン照射の施行回数と加工性能の関係を調べた

(図6)。スキャン照射回数が増えると加工深さは増大し、スキャン照射10回後では $70\mu m$ の深さに達した(図7(a))。表面粗さは初期面粗さ $R_z=60\mu m$ に対し、スキャン照射10回後ではSEM観察結果からもダイヤモンド結晶凸部が滑らかになっているのが分かり、 $R_z=19\mu m$ に改善された(図7(b))。



(a) 加工深さ



(b) 表面粗さ

図7 スキャン照射における加工深さと表面粗さの変化

3. 2 PCD の表面加工

放電加工により表面を荒らしたPCDに対し、水ガイドレーザをスキャン照射した結果を図8に示す。初期表面粗さ $Rz=25\mu\text{m}$ に対しスキャン照射を10回行うと、原料ダイヤモンド粒径 $10\mu\text{m}$ のPCDでは $Rz=4.6\mu\text{m}$ 、粗粒ダイヤモンド $25\mu\text{m}$ のPCDでは $Rz=11\mu\text{m}$ にそれぞれ改善された。

4. おわりに

水ガイドレーザによるダイヤモンド金型部品の精密加工を実現するため、CVDダイヤモンド膜およびPCDの加工性能を調べた。

- (1) CVDダイヤモンド膜の結晶成長面に垂直照射した結果、結晶成長面凸部が除去され表面を平滑化できることが分かった。また、CVDダイヤモンド膜に対し、斜め方向から照射すれば一度に広い面積を平滑にできた。
- (2) PCD表面も原料ダイヤモンド粒径に寄らず平滑化できた。

今後、PCD金型に適用するため、加工量を制御し、表面粗さを良くするための加工条件の最適化を実験的、かつ理論的に行う必要がある。また、摩耗評価を行う予定である。

謝 辞

本研究を行うに当たり、貴財団より助成していただきましたことに対して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) SYNOVA JAPAN(株)：製品カタログ「水ジェット誘導レーザー」。
- 2) (株)スギノマシン：製品カタログ「ウォータービームマシン」。

- 3) 岩井，二ノ宮，鈴木他：ウォータービーム（水ガイドレーザ）による超砥粒砥石の精密成形の試み，電気加工学会全国大会(2010)講演論文集（2010）41。
- 4) 安永，鈴木他：Nd:YAG レーザ第5高調波照射によるCVDダイヤモンド膜の表面性状改善，2007年度精密工学会春季大会講演論文集（2007）767。

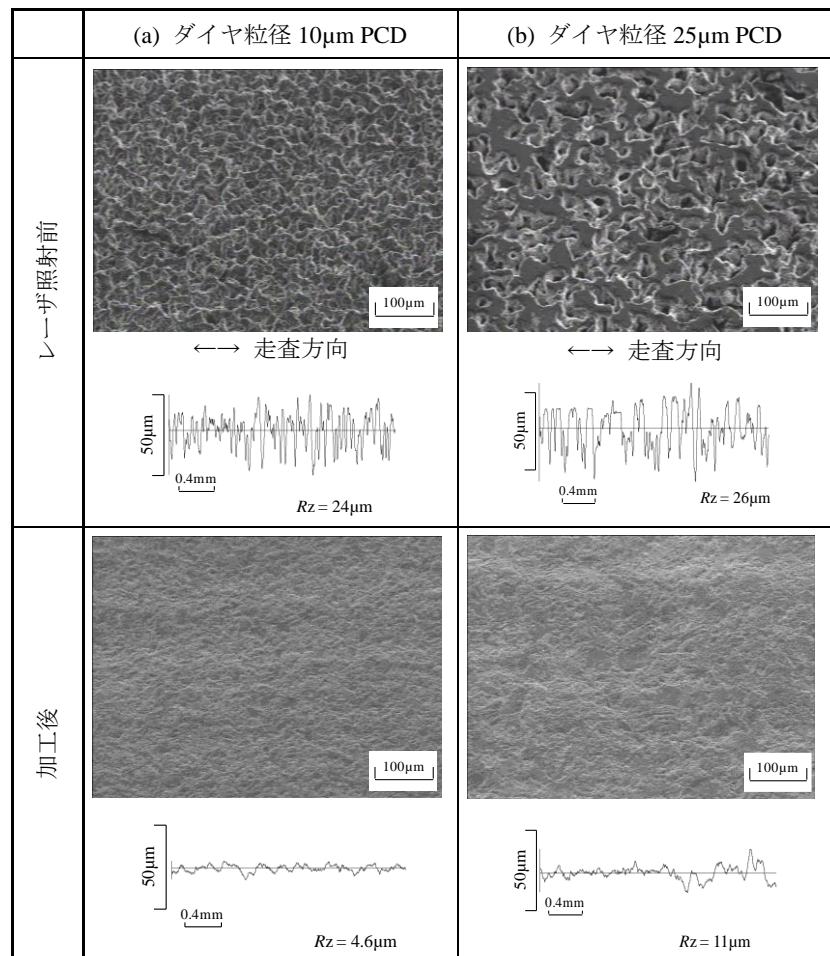


図8 PCD へのスキャン照射(10回)後の表面性状