

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号	12608
研究種目	挑戦的萌芽研究
研究期間	2011～2012
課題番号	23656098
研究課題名（和文）	エバネッセント光を用いた超精密切削加工における工具-工作物接触状態の直接的検出
研究課題名（英文）	Direct monitoring of contact condition between tool and workpiece in ultraprecision cutting using evanescent light
研究代表者	吉岡 勇人 (Yoshioka Hayato)
	東京工業大学・精密工学研究所・准教授
	研究者番号：90361758

研究成果の概要（和文）：本研究は従来有効な方法がなかった切削加工における工具-工作物間距離の精密検出に関して，工具刃先付近にエバネッセント光を発生させその変化を検出する手法を提案および検証した．実験の結果，提案する原理によって相対距離の検出が可能であること，種々の工作物材料に対して適用可能であること，実際の加工においても有効であることを確認した．本研究の成果を応用することで，これまで以上の精密加工の実現が期待できる．

研究成果の概要（英文）：This project has newly proposed a novel monitoring method using evanescent light for detecting contact condition between a cutting tool and a workpiece in ultraprecision cutting. The result of basic experimental evaluation confirmed the proposed method can measure relative distance between the tool and the workpiece. From further investigation, the proposed method is applicable to actual machining environment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：精密位置決め・加工計測

1. 研究開始当初の背景

- (1) 近年の情報機器産業および光学機器産業などにおいてこれまで以上の超高精度加工の実現に対する要求が増大しており，関連周辺技術の確立が急務となっている．
- (2) 中でも切削加工における工具-工作物の相対距離を含めた接触状態を検出することは基盤的な技術であるが，両者が導電性材料の場合の限り接触検知に電気的手法が適用できた．しかし絶縁体であるダイヤモンド工具を用いる超精密切削においては有効な方法は皆無であった．

- (3) 一方で，光学分野において，レーザーの全反射面においてマイクロメートルオーダー以下の領域にわずかにしみ出すエバネッセント光が注目され，主に表面顕微鏡などの照明に用いられてきたが，機械工学分野への適用は殆どない．

2. 研究の目的

- (1) 超精密切削加工における工具-工作物接触状態の検出を目的として，ダイヤモンド工具の光透過性およびエバネッセント光の局在性の両者に着目し，工具刃先付近にエバネッセント光を発生させ工作物と干渉させることで両者の相対距

離に応じた信号を得る。

- (2) 提案する検出原理の有効性を確認するため、距離変化に対する出力変化を確認するとともに、種々材料に対する適用範囲などを明らかにする。
- (3) 実際の超精密加工における適用可能性を明らかにする。また加工中の出力についてもその特性を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 図1に示す光学的境界面におけるエバネッセント光の発生に関して、ダイヤモンド工具の屈折率を考慮した理論的検討を行い、エバネッセント光が発生するレーザ入射角、しみ出し量、工具形状などの条件を明らかにする。また得られる出力変化量について考察を行った。

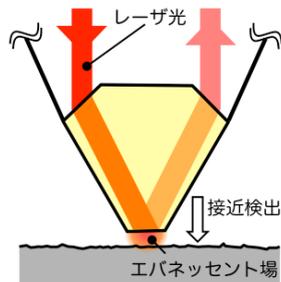


図1 エバネッセント光による検出原理

その結果、物体間距離に応じてエバネッセント光と物体の干渉量が変化することで、距離に応じた光強度変化が得られることを明らかにした。図2はダイヤモンド工具をアルミニウム材料へ接近させた場合の出力変化であり、光強度の減少が数百ナノメートルの範囲で観察され、超精密加工における相対距離検出に有用であることを明らかにした。

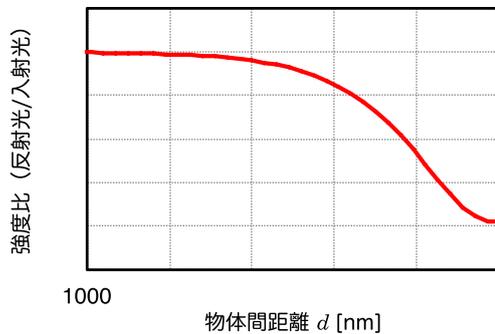


図2 物体間距離に対する出力変化 (解析)

- (2) 提案する検出原理の有効性を確認する

ため、工具および工作物を模した基本原理確認用実験装置を構築し、距離変化に

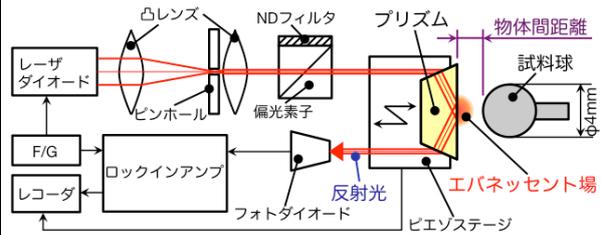


図3 原理確認用実験装置

に対する出力変化を確認するとともに、種々材料に対する適用範囲などの検討を行った。

図3に構築した原理確認用実験装置の構成を示す。工具を模したプリズムに光学系を通してレーザを照射することでエバネッセント光を発生させる。プリズムはピエゾステージ上に固定され、正対した試料球に対して精密に位置決めされ、エバネッセント光を干渉させる。検出はフォトダイオードによって行い、SN比向上のためロックインアンプを用いてレーザの発光周期に同期した成分

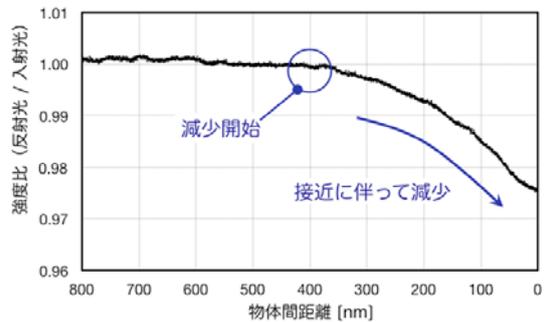


図4 物体間距離に対する出力変化 (実験)

のみを検出する。

実際にダイヤモンドプリズムをステンレス鋼 (SUS440) へ接近させ、その際の出力変化を測定した結果を図4に示す。理論解析と同様に、接近量に応じて出力が減少していることが確認でき、提案する原理を用いて工具-工作物間の相対距離の検出が可能であることを明らかにした。さらに接近対象を、光透過材料であるガラス (BK7)、黒色材料であるセラミックス (Si3N4) に変更し同様の実験を行った結果、図5に示すようにいずれの場合においてもほぼ同様の減少傾向が確認され、光学的条件が異なる材料に対しても提案する手法を適用可能であることを明らかにした。

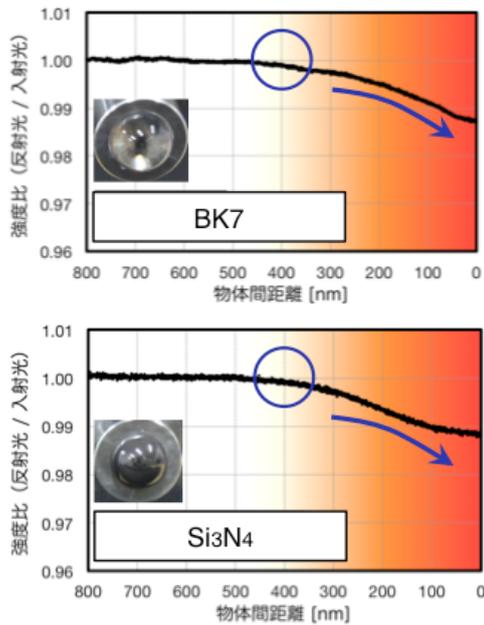


図5 異なる工作物材料に対する変化に対

- (3) 超精密加工機上に光学系および検出系を構築し、実際の加工環境および加工中における検出特性について実験的に検討した。

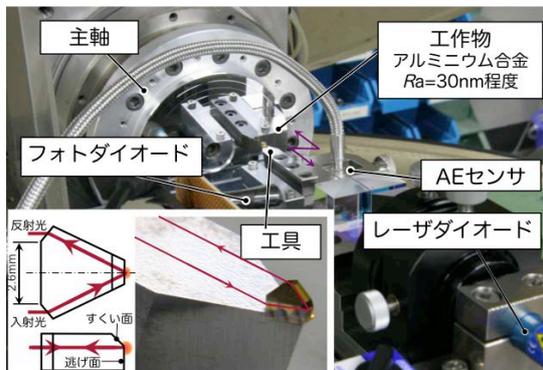


図6 超精密加工機における検証

図6に超精密加工機上に構築した検出系を示す。超精密正面旋盤の空気静圧主軸に工作物としてアルミニウム合金製のディスクを固定した。また工具台側にレーザー光源および検出用フォトダイオードを設置し、ダイヤモンド工具の刃先先端にエバネッセント光が発現するように光学系を構築した。実際の実験においては、工具-工作物の接触検知の比較を目的として工具シャンクにAEセンサを固定し、合わせて測定を行った。

主軸で工作物を回転させながら、工具を接近させた場合の出力変化を図7に示

す。図から明らかなように、提案する原理を用いた出力は接触の直前から減少傾向が確認でき、実際に接触する前にある程度検知が可能であることが確認できる。一方、従来から用いられてきたAEセンサによる検出の場合、実際に接触し切削が行われるまで信号を検出することは不可能であり、提案する手法の優位性が確認できる。

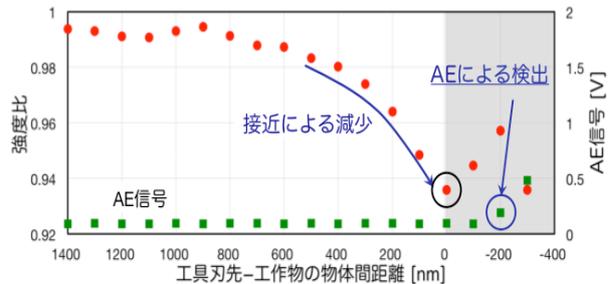


図7 実際の加工環境における出力

さらに切削加工中に得られる出力について評価を行った。切込み量を変化させた場合の出力を図8に示す。図に示すように切削前（接触前）と比較して、切削開始後にはいずれの切込み量においても出力の現象が確認できる。また切込み量が大きくなるほどその減少量も大きくなっており、ある程度相関関係があることが予想できる。さらに切りくずの排出状態が変化した際に、出力が大きく減少していることが確認できる。これは刃先付近に滞留した切りくずがエバネッセント光と干渉することによってエネルギー拡散が発生し、出力が低下したと考えられる。

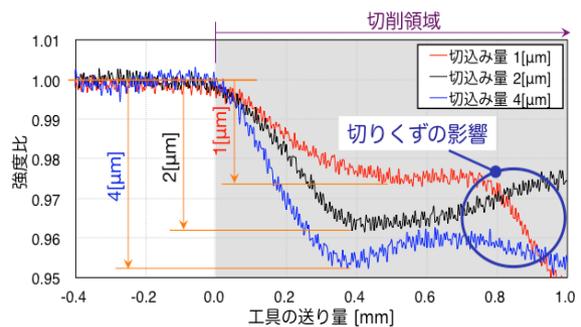


図8 加工中の出力例（切込み量変化）

4. 研究成果

- (1) 単結晶ダイヤモンドを用いた超精密切削加工において切削条件を精密制御するために、局在性を有するエバネッセント場の性質を利用することが有効であ

ることを示し、多様な工作物材料に適用可能な工具刃先-工作物接触状態の直接的検出方法を提案した。

- (2) エバネッセント場と金属材料との空間的干渉現象である表面プラズモン共鳴の理論解析により、提案手法を用いて工具刃先-工作物接触状態を高感度に検出可能であることを示した。
- (3) 実際に構築した検出システムを用いて、金属材料、光透過性材料、ならびに絶縁体材料とプリズムとの物体間距離のナノメートルオーダーの変化に応じて、エバネッセント場の状態が変化することを確認した。これにより、提案手法が多様な工作物材料に適用可能である高感度な検出方法であることを明らかにした。
- (4) 超精密切削加工における工具刃先-工作物の初期接触の検出に提案手法を適用することにより、高速回転中の工作物と工具刃先の接近に伴うエバネッセント場の状態変化を確認した。これにより、提案手法を用いることで初期接触前の工具刃先と工作物との相対距離およびこれらの初期接触を高感度に検出可能であることを明らかにした。
- (5) 超精密切削加工における工具刃先-工作物の接触面積の検出に提案手法を適用することにより、回転中の工作物と工具刃先の接触面積の増加に伴うエバネッセント場の状態変化を確認した。これにより、提案手法を用いることで工具刃先

と工作物の接触面積の変化が高感度に検出可能であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① 谷川 涼一, 吉岡 勇人, 澤野 宏, 新野 秀憲, エバネッセント光を用いた工具 - 工作物間距離の直接的計測, 第9回日本機械学会 生産加工・工作機械部門講演会, 2012年10月27日~28日, 秋田県立大学
- ② 吉岡 勇人, 井手 隼人, 澤野 宏, 新野 秀憲, 光学的手法を用いた工具 - 工作物接触状態検知に関する研究, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2012年9月14日~16日, 九州工業大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉岡 勇人 (Yoshioka Hayato)

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号：90361758

(2) 研究分担者

なし