



超精密加工による高品位表面の創成に関する研究

中尾 陽一* 林 晃生** Sangkee Min***

Study on Generation of Advanced Surfaces by means of Ultra-Precision Machining Processes

Yohichi NAKAO* Akio HAYASHI** Sangkee MIN***

1. プロジェクト研究の概要

超精密切削ならびに研削加工は、従来から各種光学部品に代表される先端システム用の部品加工に用いられている。この種の加工には、高性能切削あるいは研削工具に加え、超精密工作機械が必須であり、当該分野の研究開発が進められている。従前より、平面、球面、非球面といった比較的単純な形状で構成される加工面が創成されてきている。他方、最近では、微細かつ精密な三次元形状の創成が期待されつつあり、医療分野、さらには航空宇宙分野等への応用が期待されている。

一方、微細かつ精密な三次元形状のさらなる加工技術の向上には、以下に示す研究が必要不可欠になっている。

- (1) 超精密工作機械の高精度化のための高度機械要素技術の研究開発
- (2) 超精密加工技術の開発

本プロジェクト研究では、これらの研究を推進し、高品位な微細かつ精密な三次元形状創成を目的とするものである。

2. 本プロジェクト研究の実施状況

2.1 超精密工作機械の高精度化のための高度機械要素技術の研究開発

超精密工作機械のナノオーダーレベルの高精度な運動創成には、静圧案内のさらなる高精度・高機能化が必要になっている。本プロジェクト研究では、機械要素技術と制御技術に関する研究を行い、高精度案内装置の開発を行う。本研究プロジェクトが対象とする超精密加工分野では、形状精度が数十 nm、加工面粗さは数 nm 程度と極めて高度な加工精度が要求されている。

超精密工作機械の主要な構成要素は、回転要素であるスピンドルと直動運動要素である直動テーブルである。いずれに対しても、高い運動精度と支持剛性が必要不可欠である。さらに、超精密工作機械の温度変化に対しても工作機械構造の高い安定性、すなわち高い熱剛性が必要になっている。

研究代表者は、高い加工精度実現に向けて、従前より、高精度スピンドルと直動テーブルの開発を行っている。本プロジェクトの開始後、図 1 に示す水静圧軸受が組み込まれた高剛性スピンドルを開発^①した。このスピンドルの特徴の一つは、水静圧軸受に変位制御機能を組み込むことが可能であり、これまでに行った予備実験によって、サブミクロンオーダーの分解能で変位制御が可能になることに加え、目標変位を零に設定することによって、軸受剛性の無限大化が図れることも確認している^②。

さらに、これまでの研究で開発したウォータードライブステージに対しては、テーブル姿勢の制御手法について

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**特別助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

***客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

研究を行い、基礎実験によってその有効性を示している。図 2 は実験結果^③の一例であり、外部荷重によってテーブル姿勢が変化しても、提案する制御手法によって、姿勢変化の抑制が実現されている。今後、制御系の改良を図りながら、実加工時に適用する予定である。

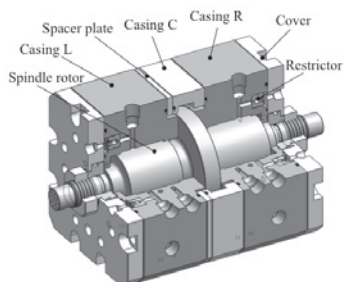


図 1 開発した水静圧高剛性スピンドル

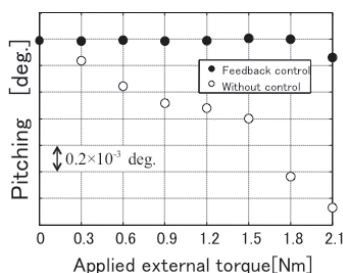


図 2 ウォータドライブステージの姿勢制御性能

2.2 超精密加工技術の開発

マイクロオブティックス、マイクロエレクトロニクス、医療分野、航空宇宙分野に代表される、先進科学技術分野においては、従来では使用される機会がなかった、新材料に対する超精密加工が要求される状況にある。多くの場合、これらの材料は、従来からの加工技術の適用が困難な難削材料であり、新たな加工技術や加工戦略が必要になっている。そこで、本プロジェクト研究では、代表的なサファイヤなどに代表される材料の加工技術開発を行っている。

超精密加工や微細切削加工分野においては、単結晶ダイヤモンドバイトに代表される高性能切削工具によって加工が行われる。この場合、加工時における加工現象の理解は、加工条件の選定、ひいては加工戦略を立案するために必要不可欠である。一方、サファイヤに代表される材料は、難削材料であるため、従来、実用的な加工方法が確立されていない。しかも、本研究プロジェクトが研究対象とする超精密加工あるいは微細加工においては、

切り込み量が微小であるため、十分な切削現象の理解がなされていない。

本プロジェクト研究においては、新たに加工現象の観察装置を開発し、これまでに単結晶ダイヤモンドバイトで被材料を切削する際の切り屑の排出現象の可視化が行えるようになっている^④。開発した本装置を利用して、単結晶ダイヤモンドバイトによる延性材料に対する微細加工の検討を行っている。具体的には、微細切削における切削比の測定手法を考案し、実際に測定実験を行うとともに、提案手法による測定結果が従来手法による測定結果とよく一致し、本手法によれば、従来手法のように切り屑厚さを測定することなく、切削比を測定可能になることを明らかにしている。

3. 今後の展望

本研究プロジェクトは、開始 1 年目であり、現在はまだ本格的な研究に着手する準備段階にある。今後、次世代超精密工作機械への応用に適した高性能スピンドルと直動テーブルシステムを開発した上、従来では困難であったサファイア、シリコンウエーハ、ガラスに代表される難削材に対する超精密加工技術の確立を目指して研究を進める予定である。これによって、マイクロオブティックス、マイクロエレクトロニクス、医療分野、さらには航空宇宙分野における技術進展に貢献したいと考えている。

参考文献

- (1) Kohei Nagasaka, Akio Hayashi and Yohichi Nakao, 'Design of spindle supported by water hydrostatic bearings', Proceedings of 30th ASPE Annual Meeting (to be presented).
- (2) 山田康雅, 栗原健太, 山田晃平, 林晃生, 鈴木健児, 中尾陽一, "対向式水静圧スラスト軸受の変位制御系の検討", 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集, S1310103.
- (3) Satoshi Shibata, Yusuke Torii, Akio Hayashi, Kenji Suzuki and Yohichi Nakao, "Trial study on attitude control of water driven stage, Proceedings of the 8th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (to be presented).
- (4) 坂田脩, 熊田汰一, 林晃生, 中尾陽一, "ハイスピードカメラによるダイヤモンド旋削加工の可視化", 日本機械学会 第 54 回学生員卒業研究発表講演会前刷集.