

ナノデバイス製造用超精密・微細加工システムの開発
Development of Ultraprecision & Ultrafine
Machining System for Fabricating Nano-Devices

新野 秀憲 (Hidenori SHINNO)
東京工業大学・精密工学研究所・教授



研究の概要 光学素子に代表されるナノデバイスの3次元ナノ加工が可能な完全非接触構造による超精密・微細加工システムの開発を目的としている。そのシステムは、非接触ナノ平面運動テーブル、重力補償機能を具備した非接触鉛直運動テーブル、エアータービン駆動空気軸受主軸、熱的・力学的に安定な本体構造などから構成される。

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／超精密加工、微細加工、ナノ運動、加工システム、工作機械

1. 研究開始当初の背景・動機

近年、最先端科学技術分野で必要となるナノ・マイクロデバイスの創出が要求されている。しかし、関連する多くの研究は、半導体プロセスを用いた2次元加工であり、加工範囲も μm レベルである。今後、高まると予測される難加工材料を対象とした数10mmから数100mmの加工範囲に複雑3次元ナノ形状を創成する超精密・微細加工の要求に対応不可能である。また、在来工作機械の機能や構造の延長線上では、それらの要求に対応不可能である。

2. 研究の目的

加工誤差発生要因の排除と最小化を可能とする新たな構造概念に基づく完全非接触超精密・微細加工システムを実現する。なお、具体的な開発に際してはこれまで研究代表者らが独自に開発を進めてきた超精密加工機、非接触高速ナノ位置決めテーブルシステム、超精密スピンドルシステムの研究成果を更に発展することにより、独自構造の理想的な加工システムを実現しようとするものである。

3. 研究の方法

開発対象とする加工システムの主要構成要素は、計測系以外には市販品を購入せず、次の項目の開発要素を独自開発し、最終年度にそれらを統合し、システムを構築する。
(1)完全非接触XY平面ナノメートル位置決めテーブルシステム (開発要素 P₁)
(2)重力補償機能を具備した鉛直方向ナノ位置決めテーブルシステム (P₂)
(3)エアータービン駆動超精密エアースピンドルシステム (P₃)

(4)供給空気の温度制御による構造体の熱変形抑制システム (P₄)
(5)超精密加工状態認識システム (P₅)
(6)アクティブ制振機能を具備した熱的・力学的安定化構造 (P₆)

4. 研究の主な成果

開発要素 P₁~P₆ から構成される革新的な加工システムを実現した。

(1) 完全非接触XY平面ナノメートル位置決めテーブルシステム(P₁) 図1に示す独自の概念に基づくリニアモータ駆動空気静圧案内のナノ平面運動テーブルを実現した。

(2) 重力補償機能を具備した鉛直方向ナノ位置決めテーブルシステム(P₂) 図2に示す重力補償機能を備えた完全非接触鉛直方向ナノ位置決め機構を実現した。

(3) エアータービン駆動超精密エアースピンドルシステム(P₃) 図3に示すセラミックス構造の空気軸受主軸を実現し、熱変形抑制機能、高速回転機能、nmオーダの回転精度を有することを確認した。

(4) 供給空気の温度制御による構造体の熱変形抑制システム(P₄) 図4に示す構造からの排出空気温度をフィードバックして供給空気の温度制御を行う熱変形抑制方法を開発し、高速回転中の主軸熱変形を抑制可能であることを確認した。

(5) 超精密加工状態認識システム(P₅) センサを用いず、外乱オブザーバを組み込んだ運動制御系により加工状態を認識する方法及び図5のマイクロセンサを工具刃先に搭載し、加工点近傍の熱的・力学的挙動を高感度で監視する方法を提案し、実際のナノ加工により、性能、妥当性を確認した。

(6) アクティブ制振機能を具備した熱的・

力学的安定化構造(P6) 開発した各要素を組み込み、図 6 に示す熱的・力学的に安定な加工システム本体構造を実現し、熱的・

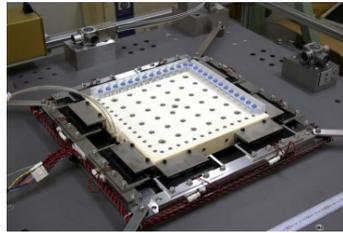


図 1 完全非接触 XY ナノ位置決めテーブル

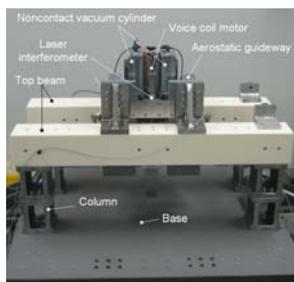


図 2 鉛直方向ナノ位置決めテーブル

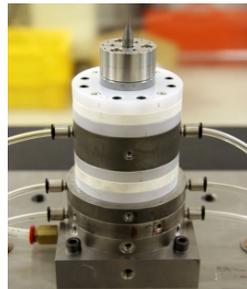


図 3 エアタービン駆動超精密エアースピンドル

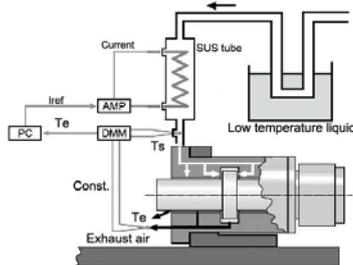


図 4 供給空気温度制御による熱変形抑制

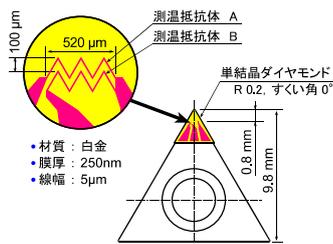


図 5 加工状態認識用マイクロセンサ

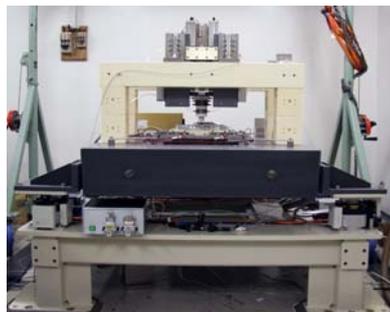


図 6 超精密・微細加工システム

力学的特性、並びに実際のナノ加工によりその性能を確認した。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

国内、海外の超精密加工の研究は、市販されるシステムを用いた利用技術研究が主体であり、新構造概念に基づく超精密加工システムを実現しようとする挑戦的研究開発はほとんど行われていない。本研究の成果は、独自の構造概念に基づく理想的な加工システムの構造を特徴としており、先駆的な研究として位置づけられる。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- (1) **H.Shinno**, H.Yoshioka, K.Taniguchi: A Newly Developed Linear Motor- Driven Aerostatic X-Y Planar Motion Table System for Nano-Machining, Annals of the CIRP(The International Academy for Production Engineering), Vol.56, No.1, (To be Published), (2007).
- (2) **新野秀憲**・吉岡勇人: 超精密・微細加工を実現するためのフルードパワーシステム、日本フルードパワーシステム学会論文集、Vol.38, No.2, pp.68-72, (2007).
- (3) H.Yoshioka, H.Hashizume, **H.Shinno** : Minimizing Thermal Deformation of Aerostatic Spindle System by Temperature Control of Supply Air, JSME International journal, Series C, Vol.49, No.2, pp.606-611, (2006).
- (4) **H.Shinno**, H.Yoshioka, S.Marpaung : A Structured Method for Analyzing Product Specification in Product Planning for Machine Tools, Journal of Engineering Design, Vol.17, No.4, pp.347-356, (2006).
- (5) H.Yoshioka, M.Okubo, H.Hashizume, **H.Shinno** : A Developed Ultraprecision Air Spindle System for Nano-Machining, Proceedings of the ASPE 2005, Vol.37, pp.126-129, (2005).
- (6) **H.Shinno**, H.Hashizume, H.Yoshioka, T.Shinshi, K.Sato: X-Y-θ Nano-Positioning Table System for a Mother Machine, Annals of the CIRP, Vol.53, No.1, pp.337-340, (2004).
- (7) H.Yoshioka, H.Hashizume, **H.Shinno** : In-Process Microsensor for Ultra -Precision Machining, IEE Proceedings, Science, Measurement and Technology, Vol.151, No.2, pp.121-125, (2004).
- (8) **H.Shinno**, H.Hashizume, H.Yoshioka : Sensor-Less Monitoring of Cutting Force during Ultraprecision Machining, Annals of the CIRP, Vol.52, No.1, pp.303-306, (2003).

ホームページ等

<http://www.upm.pi.titech.ac.jp/>