

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成 24 年度採択分
平成 27 年 3 月 25 日現在

高度機能集積形マザーマシンシステム AIMS の実現とそれによる
工作機械工学の体系化

An Advanced Integrated Mother Machine System (AIMS)
and Formulation of Machine Tool Engineering Based on the
Development Process

課題番号：24226004

新野 秀憲 (SHINNO HIDENORI)

東京工業大学・精密工学研究所・教授



研究の概要

「広域 3 次元加工空間におけるナノメートルスケールの形状創成機能」および「オンマシン複合計測機能」を備えた高度機能集積形マザーマシン AIMS を実現する。さらに、概念設計から製造・性能評価に至る一連の研究開発のプロセスの定式化、体系化により、新たな学術領域として「工作機械工学」を確立する。

研究分野：工作機械、生産、加工、開発、設計

キーワード：Machine tool, Manufacturing, Machining, Development, Design

1. 研究開始当初の背景

高度情報化の進展に伴い、各種製品機能の高度化、複雑化の要求が高まっている。特に、大物難加工材料の 3 次元形状創成の超精密加工ニーズが、増大している。しかし、本研究で対象とする大加工空間における 3 次元ナノ加工およびそれを実現する工作機械については、ほとんど検討されていない。

2. 研究の目的

広域 3 次元ナノ形状創成機能とオンマシン複合計測機能を具備した高度機能集積形マザーマシンシステム (AIMS) を実現すると共に、研究開発プロセスを定式化し、新学術体系「工作機械工学」を確立することを目的とする。新たな概念に基づく AIMS を実現するため、以下の要素研究を遂行する。

- (1) ナノ平面運動制御テーブルシステム P₁
- (2) ナノ鉛直運動制御機能 P₂
- (3) ハイブリッド駆動機構 P₃
- (4) インテリジェントスピンドルシステム P₄
- (5) 熱的・力学的安定化構造 P₅
- (6) オンマシン複合計測機能 P₆
- (7) ハイブリッド加工機能 P₇

3. 研究の方法

研究グループによる超精密加工機 CAPSULE、広域ナノパターンジェネレータ ANGEL、超精密形状測定機 Compact Nano-Profiler の開発で獲得した超精密システムの

構築に必要なコア技術を活用し、最終年度に研究成果の集大成として AIMS を開発する。

4. これまでの成果

代表的な研究成果を以下に集約する。

- (1) ナノ平面運動制御テーブルシステム
ボールねじとボイスコイルモータのハイブリッド駆動による 0.3nm の位置決め分解能を有する位置決めテーブルを開発した。
- (2) ナノ鉛直運動制御機構 nm 位置決め分解能の鉛直方向運動制御のため、磁性流体シールを用いた重力補償機能を組み込んだ 1nm の位置決め分解能を具備する鉛直運動制御機構を実現した。
- (3) ハイブリッド駆動機構 電磁・空気圧アクチュエータによる旋回運動テーブルを開発した。2.4Nm の偏心荷重の負荷状態においても 0.00002° の角度位置決め分解能の駆動が可能であることを確認した。

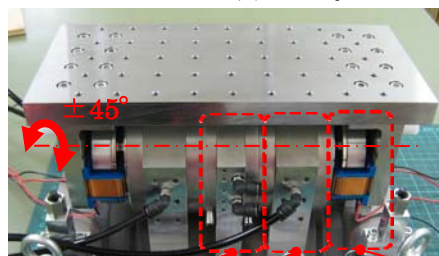


図 1 ハイブリッド駆動旋回台

(4) インテリジェントスピンドルシステム
 回転中の工具先端を超磁歪素子アクチュエータにより nm スケールで微小駆動可能な高速回転主軸を実現した。

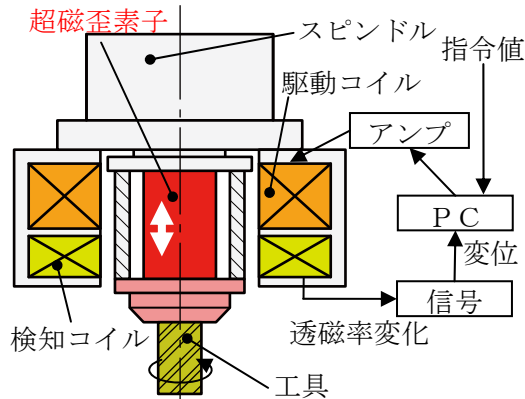


図2 磁歪素子応用回転主軸

(5) 熱的・力学的安定化構造 空気静圧軸受支持、エアタービン駆動による熱変形抑制高速回転主軸を実現した。

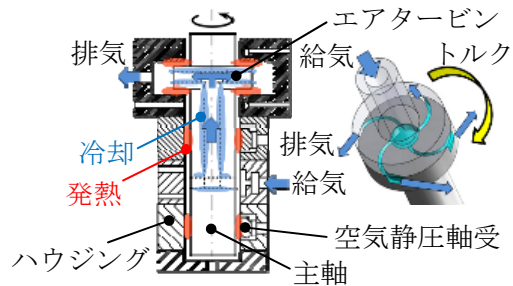


図3 熱変形抑制スピンドル系

(6) オンマシン複合計測機能 超精密加工における工具・工作物間の位置制御のため、工具刃先近傍のエバネッセント場を利用した 10nm 分解能の接触検知を実現した。

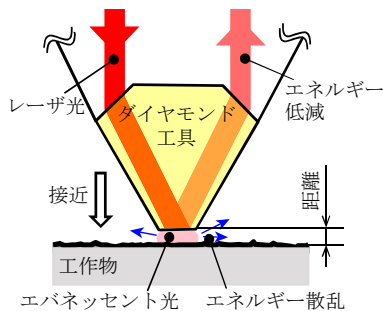


図4 エバネッセント光応用接触検知

(7) ハイブリッド加工機能 エネルギービームとのハイブリッド加工を実現するため、ファイバーレーザの組み込みを計画した。

(8) 工作機械工学の体系化 AIMS とその構成要素の研究開発プロセスを分析、定式化し、工作機械工学の体系化を行った。

5. 今後の計画

ハイブリッド加工機能を具備した AIMS の全体システムを構築すると共に、その総合的な性能評価を行い、開発したシステムの妥当性、有用性を確認することを

計画している。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)
 6. 1 発表論文

(1) Hayato Yoshioka, Hidenori Shinno, Hiroshi Sawano, A newly developed rotary-linear motion platform with a giant magnetostrictive actuator, *CIRP(The International Academy for Production Engineering) Annals - Manufacturing Technology*, Vol.62, No.1, pp.371-374, 2013.

(2) Hidenori Shinno, Hayato Yoshioka, Hiroshi Sawano, A framework for systematizing machine tool engineering, *International Journal of Automation Technology*, Vol.7, No.6, pp.760-768, 2013.

(3) Hayato Yoshioka, Hidenori Shinno, Hiroshi Sawano, Ryoichi Tanigawa, Monitoring of distance between diamond tool edge and workpiece surface in ultraprecision cutting using evanescent light, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol.63, No.1, pp.341-344, 2014.

(4) Yuuki Tamura, Hiroshi Sawano, Hayato Yoshioka, Hidenori Shinno, A thermally stable aerostatic spindle system equipped with self-cooling function, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol.8, No.6, pp.1-10, 2014.

(5) Takumi Tsumura, Hayato Yoshioka, Hidenori Shinno, Hiroshi Sawano, Magnetically preloaded aerostatic guideway for high speed nanometer positioning, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol.8, No.6, pp.1-11, 2014.

6. 2 受賞

(1) Hayato Yoshioka, Motochika Shimizu, Hiroshi Sawano, Hidenori Shinno, Proceedings of the 15th International Machine Tool Engineers' Conference, "Excellent Poster Award", 2012年11月3日.

(2) 澤野 宏, 後閑 利通, 吉岡 勇人, 新野 秀憲, 精密工学会沼田記念論文賞, 2013年3月14日.

(3) 新野 秀憲, 日本機械学会生産加工・工作機械部門研究業績賞, 2014年2月21日.

ホームページ等

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