

平成22年 5月20日現在

研究種目：若手研究(A)
研究期間：2008～2009
課題番号：20686011
研究課題名（和文） 誤差発生要因の最小化による高安定長ストロークサブナノ位置決めシステムの実現
研究課題名（英文） Development of a sub-nano positioning system with long stroke by minimizing error factors of the system
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）：

本研究では、数百ミリメートルに渡る駆動範囲において安定的にサブナノメートル精度の位置決めを実現するため、新たな位置決めテーブルシステム構造について検討を行っている。システムの構造配置、駆動要素、案内要素、計測要素、ならびに制御要素について誤差を排除あるいは抑制する構成とすることで、次世代で要求される性能を実現している。開発した位置決めシステムの性能評価実験を行った結果、実際にサブナノメートルオーダーの位置決めが可能であることを確認している。

研究成果の概要（英文）：

In this study, to realize a sub-nano positioning system with a long stroke the ideal structure of the positioning system was investigated. All components of the positioning system were designed and determined to eliminate their error factors. Actual experimental results confirmed that the newly developed positioning table system has a sub-nano meter positioning resolution in a wide travel range.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2009年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
年度			
年度			
年度			
総計	19,500,000	5,850,000	25,350,000

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：位置決め, 超精密, レーザ干渉計, リニアモータ, サブナノメートル

1. 研究開始当初の背景

近年、光学素子や半導体デバイスの高精度化や低コスト化の要求の増加に伴い、製造および検査システムの重要な構成要素である位置決めテーブルシステムに対し、数

100mm スケールの長ストロークとサブナノメートルオーダーの位置決め分解能が同時に要求されつつある。このような要求は今後さらに増大することが予想され、優れた特性を有する次世代の位置決めテーブルシステム

を実現することが急務となっている。位置決めテーブルシステムの高度化に対しては、制御面からの研究例が多いが、このような長ストローク位置決めおよび超精密位置決めを同時に満たすシステムを既存の要素だけで構築することは困難であり、システムの構造構成要素を再検討し、テーブルの位置決めによる悪影響を及ぼす運動誤差因子や環境因子の排除、あるいは低減が必要不可欠である。

2. 研究の目的

- (1) 長ストローク駆動およびサブナノメートルオーダーの位置決め分解能を同時に満足する超精密位置決めテーブルシステムの実現
- (2) 力学的・熱的観点から各要素に含まれる誤差要因の抽出とそれらを抑制する具体的な機構の提案
- (3) 長ストロークかつ高分解能な変異計測が可能なフィードバック用レーザ干渉計の提案
- (4) 構築したシステムを用いた評価実験によるサブナノメートル位置決めの実現に有効な構造の実証

3. 研究の方法

目標とする位置決めテーブルシステムは、長ストローク駆動、高分解能位置決め、ならびに高安定性を同時に実現するため、システムに内包される全ての要素において、力学的・熱的観点から誤差を排除することが重要となる。本研究ではシステムに含まれる代表的な誤差を抽出し、その影響について詳細に検討することで、図1に示すようなシステム構造概念を策定した。

- (1) 摩擦などの非線形要素を排除するため、駆動テーブルにおいて駆動、案内、計測の全ての要素を非接触構造とする。
- (2) 可動体の重心位置をアクチュエータにより駆動し、同時にアッペの原理を満たすよう変位系を設置する。
- (3) 熱的に安定した構造とするため、低熱膨張材料による対称構造とする。
- (4) 高分解能なフィードバックを実現するため、レーザ干渉計の高度化を行いサブナノメートル以下の測定分解能を実現する。
- (5) 長ストロークかつ高分解能なアクチュエータを実現するため、ボイスコイルモータとボールねじ機構の2つのアクチュエータを組み合わせたハイブリッド駆動機構を実現する。

以上の構造概念に基づき、実際に設計および

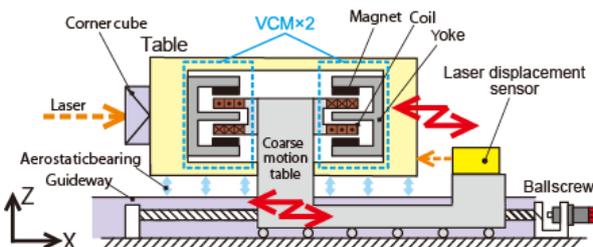


図1 サブナノ位置決めシステム構造概念

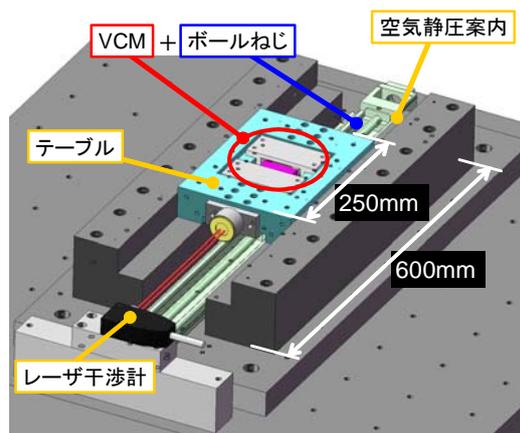


図2 サブナノ位置決めシステムの構造

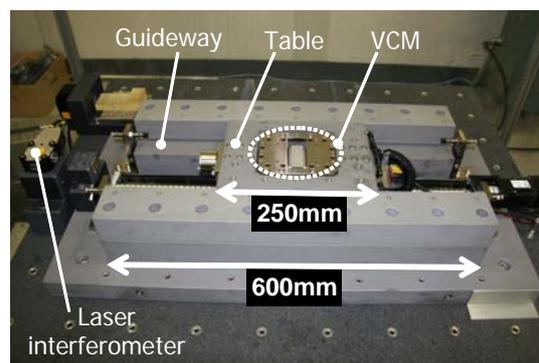


図3 開発したサブナノ位置決めシステム

構築した位置決めテーブルシステムを図2および図3に示す。可動テーブルは磁気吸引力で予圧された空気静圧案内により高剛性かつ非接触で支持され、対称構造のテーブル中心位置へハイブリッド駆動機構を配置することで重心駆動を実現している。主要構造部材は軽量・低熱膨張を特徴とするセラミックス製とし、対称構造とすることで熱変形に対する安定性を実現している。またレーザ干渉計のビーム光路を変更し、さらに演算回路を追加することで0.0097nmの高分解能変位計測を実現している。

制御系にはFPGAを用いた高応答な位置決め制御システムを採用することにより、位置決め要求に対し十分な特性を持つ計測・制御

系を実現している。

図4に実際に構築した位置決めシステムの微小位置決め特性を示す。1nm および 0.3nm のステップワイズ駆動において、それぞれ明確な段差状の応答が確認でき、開発したシステムがサブナノメートルオーダの位置決め分解能を有していることが確認できる。開発したテーブルは完全非接触構造の採用により摩擦やスティックスリップの影響を受けない構造であるため、微小領域の駆動においても精密な運動制御が可能である。

図5にボイスコイルモータの駆動範囲を大きく超える 150mm の長ストローク駆動時の特性を示す。駆動速度は 100mm/s である。本機構ではハイブリッド駆動機構を採用しているが、図のようにボールねじによる粗動機構はテーブルに対してミリメートルオーダで誤差が生じるものの、テーブルはボイスコイルモータで最終的に駆動されるため、加減速を含む駆動中を通じて、目標値追従誤差が ±10nm 以内に抑制されている。

4. 研究成果

- (1) 長ストローク駆動とサブナノメートル位置決めを両立する位置決めシステムを実現するため、システム内誤差についてその排除を検討することで、新たな構造概念を提示した。
- (2) 変位測定系に関して、レーザ干渉計の光路変更および演算回路の組み込みにより、0.0097nm の超高分解能変位測定を実現した。
- (3) ボイスコイルモータとボールねじ機構から構成されるハイブリッド駆動機構の採用により、長ストロークかつ精密な駆動を実現した。
- (4) 実際の駆動特性評価実験により、開発したシステムが数百ミリメートルの駆動範囲において、サブナノメートル位置決め分解能を有することを確認し、提案するシステムの有効性を確認した。

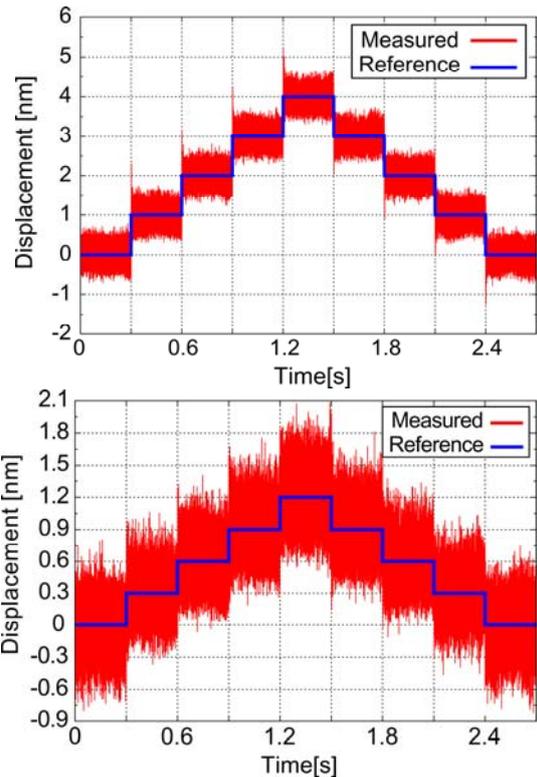


図4 微小位置決め特性の評価

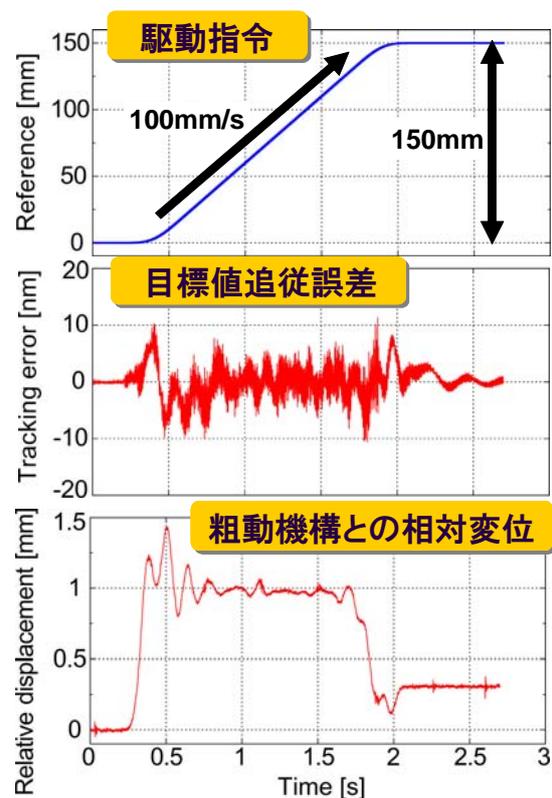


図5 長ストローク位置決め特性の評価

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 3 件)

①Takahashi, M., Yoshioka, H. and Shinno, H., A Newly Developed Long-Stroke Vertical Nano-Motion Platform with Gravity Compensator, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.2, No.3, (2008), pp. 356-365, 査読有

②吉岡勇人, 完全非接触 XY 平面位置決めテーブルを用いた微細加工, 日本機械学会誌, Vol. 111, No. 1071, (2008), p. 129, 査読有

③吉岡勇人, 新野秀憲, 超精密加工機「ANGEL」の特徴と今後の展開, 型技術, v24, n4, (2009), pp. 103-106, 査読なし

[学会発表] (計 3 件)

①Yugo KURISAKI, Hiroshi SAWANO, Hayato YOSHIOKA, Hidenori Shinno, A Newly Developed X-Y Planar Nano-Motion Table System with Large Travel Ranges, The 5th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, Osaka, Japan, Dec. 2-4, Vol.1, (2009), pp.183-186.

②Takahashi, M., Yoshioka, H., Shinno, H., Ultraprecision Machining System for Fabricating Nano-Devices, (poster session), Proceedings of the 9th International Conference of the **euspen**, San Sebastian, Spain, June 2nd – 5th, Volume I, (2009), pp. 228-231.

③Yoshioka, H., Takahashi, M. and Shinno, H., Vertical nano-positioning system for precision machine, Proceedings of the 10th Anniversary International Conference of the **euspen**, Zurich, Switzerland, May 18 - 22, Volume I, (2008), pp. 372-375.

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

(3) 連携研究者

なし