

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：33803

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：平成22年度～平成24年度

課題番号：22560123

研究課題名（和文） ペルチェモジュールによりモータ冷却する精密位置決め装置の熱変形ドリフト低減

研究課題名（英文） Decrease of Thermal Expansion of Ball Screw Used for Precision Positioning Devices by Peltier Module Cooling

研究代表者

大塚二郎（OTSUKA JIRO）

静岡理工科大学・総合技術研究所・客員教授

研究者番号：30016787

研究成果の概要（和文）：

モータとボールねじからなる精密位置決め装置に存在する数箇所の熱源（主に、ボールねじ部と軸受部）により、位置決め装置のステージの熱変形ドリフト（熱に起因する位置決め誤差）が生じる。そこで本研究では、精密位置決め装置の軸受ハウジング側面2箇所とステージ上面の計3箇所にペルチェモジュール（以下、ペルチェと呼ぶ）を取り付け、ペルチェにかかる電圧を制御しながら冷却を行い、熱変形ドリフトを低減することを目指した。実験の結果、ハウジング部に対しては温度フィードバック制御を、ステージに対しては軸の熱変形量をフィードバック制御することにより、速度250mm/s、加速度1Gまでの条件下で、軸の熱変形量を2 μ m程度まで低減することに成功した。

研究成果の概要（英文）：

In order to decrease the thermal expansion of the precision positioning device, so far, many cooling methods have been suggested and some of them have been already applied to the actual positioning system. In this paper, a new method of employing Peltier modules on the basis of feedback to cool the stage as well as the bearing is proposed. A specially-designed experimental system was established for the verification. As a result of a serial of experiments, it was found that the total thermal expansion of the ball screw was within 2 μ m.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：生産工学、加工学

キーワード：ボールねじ、位置決め、ペルチェ冷却、熱変形

1. 研究開始当初の背景

工作機械のテーブル（ステージ）の移動距離数十mm以上の精密・超精密位置決め装置駆動用として、モータとボールねじの組合せ

によるもの、リニアモータによるものが主流を占める。高速性、精度、クリーン度を要求される所にはリニアモータが多く用いられるようになったが、制御系について高度のテ

クニックが必要である。さらに、ネオジウム、ジスプロシウムレアメタルが入手困難になりつつあり、磁石の高価格化の問題もある。また、電機子の発熱の問題から液冷せざるをえず、価格の面でも気になる所である。

それに対し、モータとボールねじの組合せによる装置は、ボールねじでは 4m/s の高速も可能になる一方、ねじ溝の転造技術向上、ナットの加工法の工夫等により低価格化が進みつつある。ボールねじ駆動の場合は、モータとボールねじナットが主熱源となる。リニアモータ程ではないが、ミクロンレベルの熱変形に対しては問題が顕在化して、以下に述べるような対策がとられている。

- ・ボールねじにプリテンションをかけて引張った状態で設置し、ねじの熱膨張分を吸収する方法があるが、大きな熱膨張量に吸収しえない。

- ・ボールねじを中空とし、温度制御された液を通してねじ軸を冷却する。この方法は、ねじ自身が高価なうえ、液温制御装置に 100 万円前後かかる。

以上の方法に対し、本研究で採用するペルチェモジュールにより、モータを冷却する方法は、モータ軸と直結のボールねじを冷却すると同時に、装置全体も冷却されることになり、機械全体の熱変形が無くなるという利点を持つ。

2. 研究の目的

本研究の目的は、精密位置決め装置を、ペルチェモジュール（ヒートシンク、冷却ファンを結合させる）により冷却することで、モータとボールねじを含んだセミクローズド制御精密位置決め装置全体の温度を室温と同一、またはそれ以下にして、ステージ（テーブル）の熱変形ドリフト（熱に起因する位置決め誤差）を数 μm 以下に低減することである。

なお、ペルチェ冷却には従来方法に比べて、
(1) 液体による汚染がない(エコロジカル)、
(2) 低価格かつ速効的である、(3) 省スペースになる、などの特徴を持つ。

3. 研究の方法

本研究では、「1号機」と「2号機」と呼ばれる2種類の実験装置を製作して研究を行った。以下に、それぞれの実験装置の特徴および実験方法を述べる。

①実験装置「1号機」について

- ・定格出力 AC100W のモータ回転子とボールねじ軸が継がっている一軸の精密位置決め装置（マツタメ社製 KM45）のモータ外筒部分を改造して、ペルチェモジュールをモータの両サイドに取り付けるようにした。この位置決め装置は、セミクローズド制御が適用されている。

- ・ペルチェモジュール、ヒートシンク、冷却ファンを組み合わせて、モータ外筒両サイドに取り付けて、モータの外筒を冷却を可能にした。

- ・ $23 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の恒温室で、精密位置決め装置のステージ（ストローク 300mm、質量 7.3 kg）を加減速度 2G、定速度 $v = 300\text{mm/s}$ の台形波速度で動かし続け、時間 $t = 0, 90, 180$ 分でモータを停止してボールねじ温度を接触式温度計で測った。モータやその他数ヶ所の温度は熱電対で絶えず計測した。

②実験装置「2号機」について

- ・モータ軸（定格出力 200W）とボールねじ（外径 15 mm、リード 10 mm）はカップリングでつながっている。この位置決め装置を「2号機」と名付ける。ステージストロークは 300 mm である。なお、1号機は平成 22 年度に各種基礎実験に使ったもので、モータ軸（出力 100W）とボールねじ（外径 15 mm、リード 10 mm）が直結しているものである。

- ・2号機の主な発熱源は、モータ、ボールねじナット、ボールねじのモータ側サポート玉軸受（アンギュラコンタクト DF2 個）であるが、位置決め装置のボールねじ熱膨張に影響を及ぼすのは、ボールねじのモータ側サポート玉軸受が一番大きく、次にボールねじナットであることが判明したので、ペルチェモジュールによりそれらの個所を冷却することにした。

- ・サポート部材料（A5052）と玉軸受の間は約 $20\mu\text{m}$ のクリアランスがあり、サポート部をペルチェモジュールで冷却しても、ねじ軸はあまり冷却されない。そのため、サポート部に玉軸受を約 $10\mu\text{m}$ のしまりばめで組み込み、サポート部を 2 か所で冷却する方式を採用した。

4. 研究成果

モータとボールねじからなる精密位置決め装置に存在する数箇所の熱源（主に、ボールねじ部と軸受部）により、位置決め装置のステージの熱変形ドリフト（熱に起因する位置決め誤差）が生じる。そこで本研究では、精密位置決め装置の軸受ハウジング側面 2 箇所とステージ上面の計 3 箇所にペルチェモジュール（以下、ペルチェと呼ぶ）を取り付け、ペルチェにかかる電圧を制御しながら冷却を行い、熱変形ドリフトを低減することを目指した。

実験装置（2号機）に用いた位置決め装置は THK 株式会社製 KR45 であり、ステージのストローク 300mm、 $V_{\text{max}} = 300\text{mm/s}$ 、モータの定格出力 200W である。モータ軸と 2 枚板式カップリングで繋がれているボールねじは、外径 15mm、リード 10mm、SCM445、高周波焼入れ後に研削仕上げしてある。ボールねじの軸

端の変位量を非接触変位センサで測定すると、ねじ軸の熱膨張量を測定でき、これをペルチェで補償できるようにした。ペルチェ冷却の効果を高めるため、ボールねじのスラスト荷重を受けるアンギュラコンタクト玉軸受の支持台とモータ軸を繋ぐハウジング部分は熱伝導率の高い無酸素銅製とした。ボールねじナットを含むステージは SCM420 製であり、4 条の LM ガイドによって支持されている。この実験装置を用いて、ステージの往復運動をさせながら、ハウジング部に対しては温度フィードバック制御を、ステージに対しては軸の熱膨張量をフィードバック制御することにより、速度 250mm/s、加速度 1G までの条件下で、軸の熱膨張量を $2\mu\text{m}$ 程度まで低減することに成功した。また、ハウジング温度については、温度フィードバックを行うことにより $20.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内に安定させることができた。

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 8 件)

1. N. Zhu, S. Koshimizu, et.al.: Peltier Cooling System Design for Narrow Space, Proceedings of 21st International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-21), November 2nd-5th, 2010-Kaohsiung City, Taiwan, (2010) (CD-ROM のみ), 2010 年 11 月 4 日

2. 大塚二郎, 十朱寧, 越水重臣 ほか 4 名: ペルチェモジュールによりモータ冷却する精密位置決め装置の熱変形ドリフトの低減, 2011 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p. 481-482, 2011 年 3 月 16 日

3. 種石健一, 大塚二郎, 十朱寧, 越水重臣 ほか 4 名: ペルチェモジュールによる精密位置決め装置の冷却効果における数値シミュレーションと実験的検証, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2011 講演論文集, No. 11-36, p. 85-86., 2011 年 10 月 29 日

4. 種石健一, 大塚二郎, 十朱寧, 越水重臣 ほか 4 名: ペルチェモジュールによりモータ冷却する精密位置決め装置の熱変形ドリフトの低減-ボールねじの温度上昇低減-, 2011 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2011 年 9 月 20 日

5. N. Zhu, S. Koshiizu, J. Otsuka et.al.: Cooling Precision Positioning Device by Peltier Effect, Proceedings of ISHTEC2012, pp. 139-141, 4th International Symposium on Heat Transfer and Energy Conservation

(ISHTEC2012) (第 4 回伝熱とエネルギー国際シンポジウム), 2012 年 1 月 6-9 日中国・広州

6. 種石健一, 大塚二郎, 十朱寧, 越水重臣 ほか 4 名: ペルチェモジュールによりフィードバック冷却する精密位置決め装置の精度向上-ボールねじの熱膨張低減-, 2012 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2012 年 9 月 14 日

7. 大塚二郎, 十朱寧, 越水重臣 ほか 2 名: ペルチェモジュールによりフィードバック冷却する精密位置決め装置の精度向上, 第 15 回国際工作機械技術者会議論文集, pp12-13 (15th IMEC), ポスター展示, 2012 年 11 月 1 日-6 日

8. K. Taneishi, N. Zhu, S. Koshiizu, J. Otsuka et.al, Decrease of Thermal Expansion of Ball Screw Used for Precision Positioning Devices by Peltier Module Cooling Based on Feedback Method, Proc. of The 5th International Conference on Positioning Technology 2012 (ICPT2012), (2012), 2012 年 11 月 15 日

[図書] (計 1 件)

大塚二郎: 超精密位置決め技術, 養賢堂 (2010)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 精密位置決めテーブル
発明者: 大塚二郎, ほか 6 名
権利者: THK 株式会社
種類: 特許
番号: 2011-201974
出願年月日: 2011 年 9 月 15 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚二郎 (OTSUKA JIRO)
静岡理工科大学・総合技術研究所
客員教授
研究者番号：30016787

(2) 研究分担者

十朱寧 (TOAKE YASUSI)
静岡理工科大学・理工学部・教授
研究者番号：60288404

越水重臣 (KOSHIMIZU SHIGEOMI)
産業技術大学院大学・創造技術専攻
准教授
研究者番号：20267868