

磁力制御による可撓支持微動テーブルの開発

Developing of flexible support table for fine positioning by magnetic controlled

○学 宅野 元気 (九工大) 正 田丸 雄摩 (九工大) 正 清水 浩貴 (九工大)

Genki TAKUNO, School of Engineering, Kyushu Institute of Technology, 1-1 Sensui Tobata-ku Kitakyushu
Yuuma TAMARU, School of Engineering, Kyushu Institute of Technology
Hiroki SHIMIZU, School of Engineering, Kyushu Institute of Technology

Key words : Flexible Support, Fine Positioning, Magnetic Force Control, Frictionless Support, Elastic hinges

1. 諸言

近年、機械加工品は超小型・超微細化が進展しており、位置決めもそれに適応する性能が要求される。可撓支持による微動装置の代表例としてピエゾ素子を駆動源とする変位拡大機構があるが、変位拡大のために弾性ヒンジ構造が複雑になる。さらに、変位ストロークはピエゾ素子に依存し、特に変位分解能はピエゾ単体よりも粗くなる。そこで本研究ではより高い位置決め性能を目指して磁力を駆動源とする可撓支持微動テーブルを提案する。非接触で駆動源が伝達されるため高精度・高分解能位置決めにおいて有効的であり、磁力制御に頼ることで簡単な弾性ヒンジ構造で長ストロークが得られる。また、2軸駆動においては軸間干渉や微動時の摺動摩擦の排除を容易な機構で実現できる。従前の試作装置で基本的な微動性能を確認した⁽¹⁾。今回、新たに電磁石と永久磁石相互間の吸引力を利用する1軸の可撓支持微動テーブルを検討した。電磁石と永久磁石の相互間隔に対する電磁石印加電流と吸引力の関係を調べた。また弾性ヒンジ構造を設計し、ばね特性を見積もった。これらの結果より微動テーブルの変位特性を評価した。

2. 微動テーブルの構造と微動原理

図1に微動テーブルの構造と微動原理を示す。(a)は微動が生じる前の初期状態を示す。微動機構は円弧切欠きの弾性ヒンジを施した3本のはりで構成される。ビーム1, 2は厚み×長さ=6mm×142mm, ビーム3は6mm×200mm

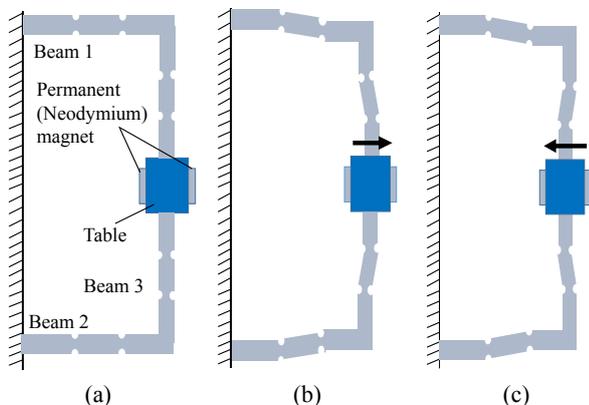


Fig.1 Table positioning and hinges deformation

- (a) Initial condition
- (b) Attraction force occurred by outside electromagnet
- (c) Attraction force occurred by inside electromagnet

で、切欠き部の厚みは1mmである。ビーム1~3の材質はすべて同じであり A2017, C5191, SUS304 の3種類を用いてそれぞれに交換して微動試験を行える。ビーム3の中央内側と外側には永久磁石(ネオジム磁石), 上部にはテーブルを設置している。ネオジム磁石はφ30で厚み $t=2, 1$ mm(磁束密度: 40mT, 79mT)の2種類を用い、 $t=2$ を1枚あるいは吸着力を利用して両者を貼り合せた $t=2+1$ を取り付けた。(b)は外部のネオジム磁石に対して適当な間隔を設けて電磁石(心棒:S45C, 330巻き, 磁極面径φ25)を対向設置した場合に、相互間に作用する吸引力で微動するテーブル変位を模式的に示す。印加電流の加減で吸引力が変化し微動量を調節できる。図のようなヒンジ変形になるため微動時に軸間干渉が生じない。(c)は内側のネオジム磁石に対して吸引力を作用させた場合であり、(b)と逆方向に微動する。

3. 吸引力の校正

ネオジム磁石と電磁石の磁極間隔に対する印加電流と吸引力の関係は理論的に予測し難い。そこで図2に示す吸引力を校正する装置を製作した。門型のフレーム中央にZ軸ステージを取り付け、電磁石の鉛直位置を設定する。吸引力はネオジム磁石を接着したデッドウェイトを載せる電子天秤で計測する。計測への磁気の影響がないように天秤と磁極間は十分に離している。

図3はネオジム磁石厚さ及び磁極間隔をそれぞれ①2+1mm, 0.2mmと②2mm, 5mmの2条件に設定した場合の印加電流に対する吸引力を示す。電流は2Aを電磁石が相当の発熱を認めたため最大とし、0~2Aで増減させた。両条件とも電流に対して吸引力は比例している。また電流が0Aに

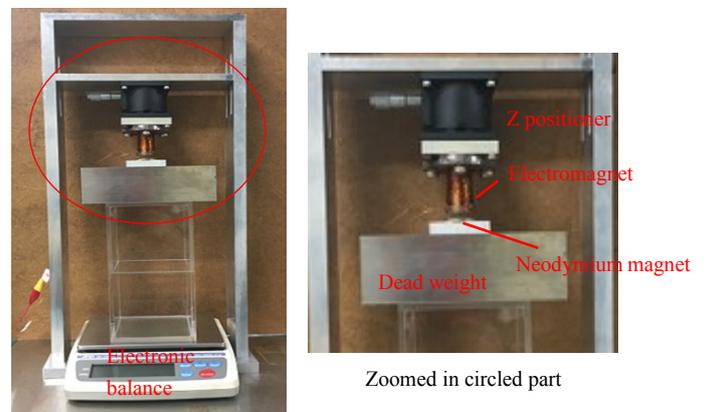


Fig.2 Apparatus for magnetic attraction force calibration

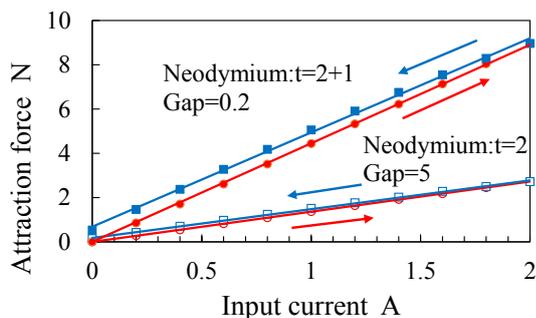


Fig.3 Relationship between input current and attraction force

戻っても吸引力がわずかに残っておりヒステリシスが見られる。これは残留磁気と考えるが校正を繰り返し行っても2Aでの吸引力は変わらず同様の結果となるため再び電流を印加すると残留磁気は消失すると推測する。

4. 吸引力による微動制御と変位計測

電磁石は両者のネオジウム磁石に対抗して設置する。各々の電磁石はX軸ステージに取り付け、磁極間隔を調整できる。つまり、内側と外側で個別に間隔を設定することで性能の等しい双方の電磁石に同じ電流を印加しても異なる吸引力を生じさせることができる。この特徴を用いると例えば、図4に示すように間隔1<間隔2を設定することで外側でのストロークは小さいが高分解能の位置決め、内側ではその逆の特性が生じる。両者を連結させることで長ストロークと高分解能位置決めを容易に両立できる。

図5は電磁石の駆動と変位計測を示す。電流は直流安定化電源で印加し、外部電圧で各々の電磁石を個別に調整できる。変位は静電容量変位計で計測し、PCでデータ取得する。

5. ばね特性および印加電流に対する微動変位

3本のはりで構成する微動機構のばね剛性を見積もった。CATIAを用いて吸引力が作用する位置での力と変位の関係を解析した。図6はその結果を示す。変位の大小はヤング率： $A2017 < C5191 < SUS304$ に倣っている。当結果と図3より印加電流に対するテーブル微動変位を見積もることが可能であり、図7はネオジウムの厚みと磁極間隔を2条件に設定した場合の見積結果を示す。図8はC5191のはりを用いて同設定条件で0Aから0.2Aステップで最大2Aまで印加し、再び0Aに戻す往復運動を行った結果である。電流変化に追従して階段状に微動変位が得られている。図9は印加電流と図8のステップごとの変化を平均した値との関係を示す。図7の理論値と比較して約24%大きくなった。

6. 結言

電磁石と永久磁石相互間の吸引力を利用する1軸の可撓支持微動テーブルを検討し、吸引力の校正とばね特性や印加電流に対する微動変位の見積を行った。また、C5191のはりを用いてステップ微動試験を行ったところ印加電流に応じて階段状変位が得られることを確認し、ステップごとの平均変位は理論変位と比較して約24%大きくなった。

文献

1) 椎葉徳高ほか第48回九州学生会講演論文集(2017), pp. 345

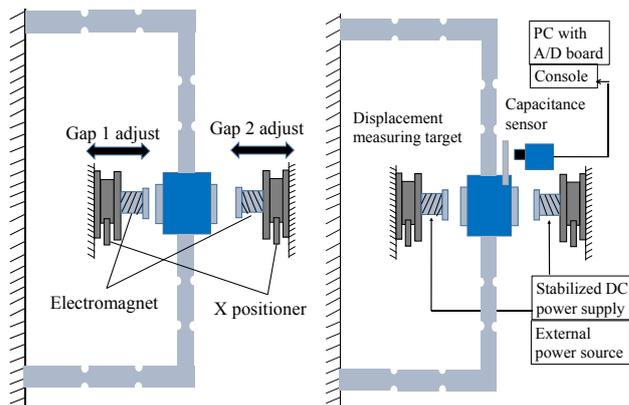


Fig.4 Adjustable gap

Fig.5 Drive and measuring

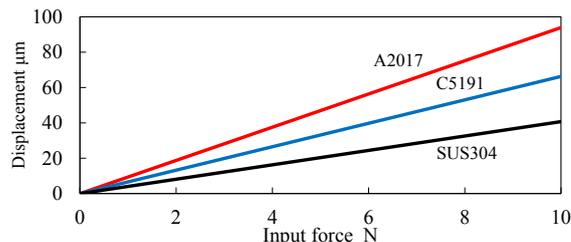


Fig.6 Theoretical of flexible support stiffness

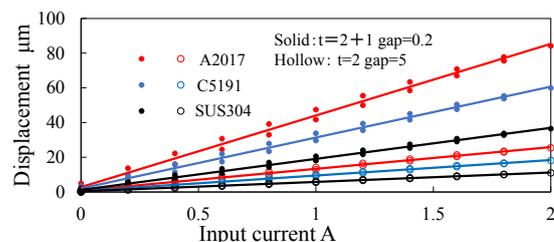


Fig.7 Theoretical relationship between input current and displacement

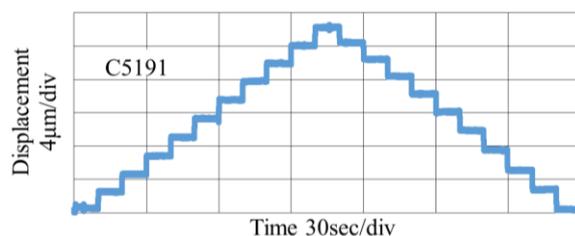


Fig.8 Step positioning (Neodymium:t=2 gap=5)

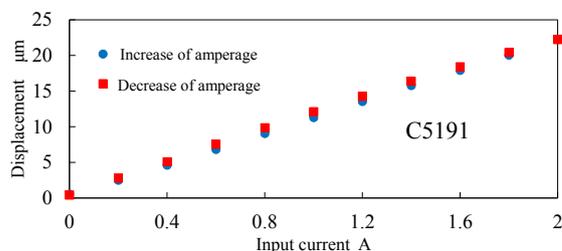


Fig.9 Relationship between input current and displacement (Neodymium:t=2, gap=5)

謝辞

本研究は公益財団法人 JKA 補助事業(競輪)の支援を受けて実施したものである。ここに記して謝意を示す。