

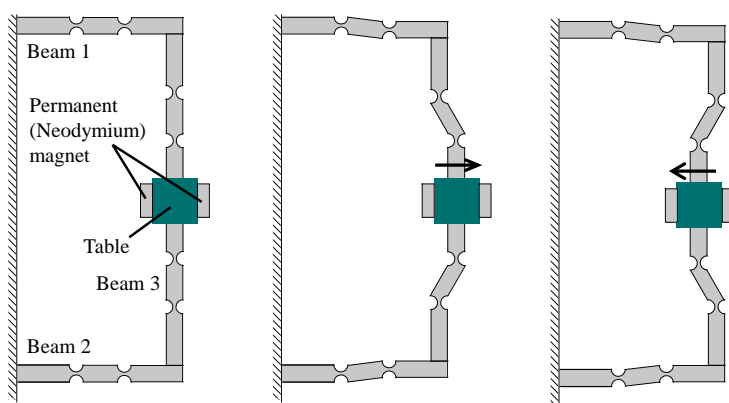
研究内容報告

平成 29 年度磁力制御と自重で高精度位置決めを可能にする磁気浮上式微動テーブルの開発補助事業

3. 1 軸可撓支持微動テーブルの開発と基本性能評価

(1) . 1 軸可撓支持微動テーブル装置の構築

吊り下げ方式の板ばねでテーブルを支持する方式は剛性が低く、構造上、軸間干渉が生じる弱点があった。そこで、可撓機構の構造を見直し、新たな一軸微動テーブルを構築した。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表す。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 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, SUS303 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 (ネオジウム磁石)、上部にはテーブルを設置している。ネオジウム磁石は $\phi 30$ で厚み $t=2, 1\text{mm}$ (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 $t=2+1$ を取付けた。(b)は外側のネオジウ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 $\phi 25$) を対向設置した場合に、異なる極性で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整できる。図のようにヒンジが対称変形するため微動時に軸間干渉は生じない。(c)は内側のネオジウ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。



(a) 初期状態

(b) 外側に電磁力を与えた場合

(c) 内側に電磁力を与えた場合

図 1 微動テーブルの構造と微動の原理

(2) . 磁気吸引力の校正

磁気力検定装置 (1章, 図1) を用いて電磁吸引力の校正を行った. 電磁石は吊り下げ式で使用したタイプを用い, 対向する永久磁石 (ネオジウム磁石) の厚みと磁極間隔を変化させて印加電流に対する吸引力を調べた. 図2はネオジウム磁石厚みおよ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. 電流の最大値は電磁石が相当の発熱を認めたため2Aを最大とし, 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に戻っても吸引力がわずかに残っておりヒステリシスがみられる. これは残留磁気と考えるが, 磁極間隔を十分に離して相互間の吸引力が作用しない状態にした後, 再度校正を行うと再び同様の履歴となるため吸引力を一旦ゼロにすることで残留磁気は消失すると推察する.

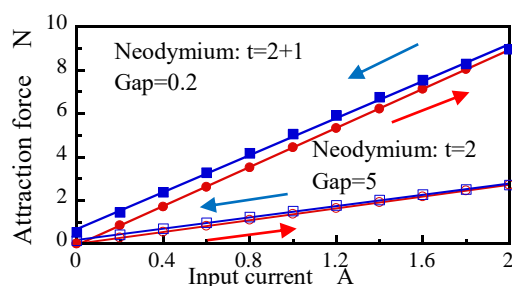


図2 印加電流と吸引力の関係

(3) . 吸引力による微動制御と変位計測

電磁石は両側のネオジウム磁石に対向して設置する. 各々の電磁石はXステージに取付け, 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3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. 両者を関係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4は電磁石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の電磁力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.

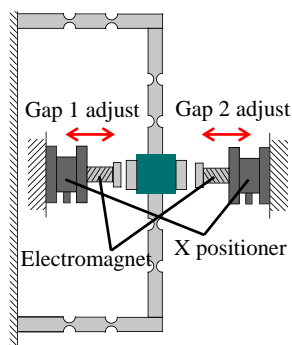


図3 磁極間隔の調整

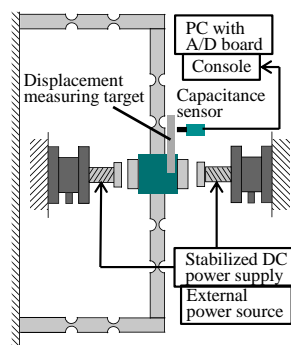


図4 駆動と計測系統

(4) . ばね剛性および印加電流に対する微動変位の見積

3本のはりで構成する微動機構のばね剛性を見積もるために、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5はその結果を示す。変位の大小はヤング率：A2017<C5191<SUS303に倣っている。当結果と図2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6に示すように磁極間隔とネオジム磁石の厚みの組み合わせを2条件に設定した場合の印加電流と微動変位の関係を表すことができる。

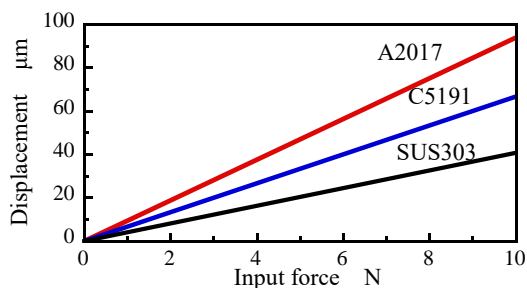


図5 可撓ばね剛性の見積

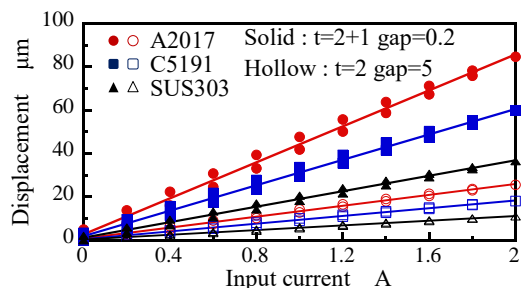


図6 印加電流と変位の関係 (見積)

(5) . テーブル微動の試行評価

可撓機構にC5191を用いてテーブル微動の試行を行った。図7はネオジム磁石を厚み2mm、磁極間隔5mmに設定し、電流を0Aから0.2Aステップで最大2Aまで印加し、再び0Aに戻す往復微動を行った結果を示す。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8は印加電流と図7のステップごとの変位を平均した値との関係を示す。図6の理論値と比較して約24%大きくなった。

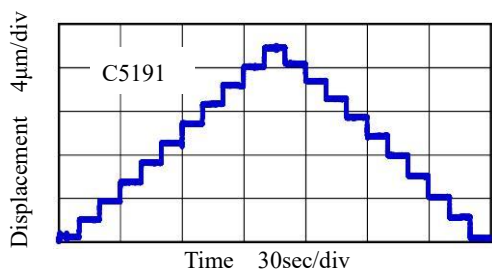


図7 ステップ変位
(ネオジム磁石：t=2, gap=5)

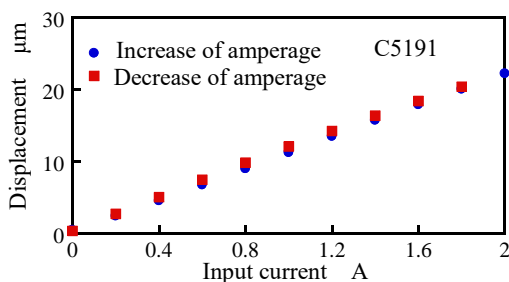


図8 印加電流と変位の関係
(ネオジム磁石：t=2, gap=5)