

高性能デバイスに関する研究

—超磁歪アクチュエータの制御に関する研究—

浅野 健治*

小石川 勝男*

安 英徳*

1. 緒 言

超磁歪材料はTb（テリビウム）、Dy（ディスプロシウム）、Fe（鉄）から成る強磁性体である。超磁歪アクチュエータは、外部磁界に対する超磁歪材料の形状変化を変位として取り出すデバイスである。その動作原理から超磁歪アクチュエータにはヒステリシス特性があり、超精密位置決めを用いる場合、位置決め精度の低下が問題となる。

そこで、ヒステリシス特性で位置決め精度が低下するのを抑え、超精密位置決めを実現するために、プライザッハモデルに基づくヒステリシス特性の補償方法¹⁾（モデル予測）を超磁歪アクチュエータの制御に適用したので報告する。

2. 方 法

2.1 ヒステリシス特性

ヒステリシス特性は履歴現象ともいい、ある物の状態が現在それが置かれている条件だけで決まらず、過去にその物が経てきた状態の履歴によって左右される現象のことをいう。

図1は、超磁歪アクチュエータにおける指令値と位置の関係を模式的に示したものである。ヒステリシス特性がない（線形）場合、指令値と位置の関係は1対1なので超精密位置決め制御はしやすい。しかし、ヒステリシス特性がある（非線形）場合、指令値と位置の関係は一意に決まらないので、超精密位置決め制御は難しい。

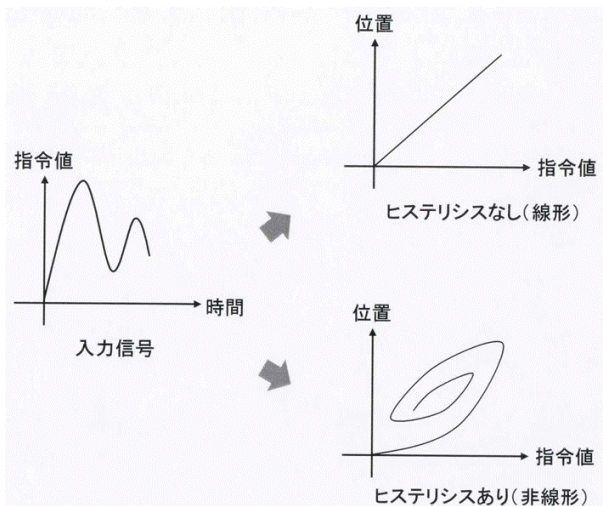


図1 指令値と位置の関係

2.2 モデル予測

ヒステリシス特性を補償するために、本研究では次のような方法を検討した。

図2に示すように、予め位置変化に対する指令値を割り出すデータベースinvHをもっていれば、ヒステリシス特性による位置のずれを考慮した指令値を超磁歪アクチュ

エータに入力できるので、超精密位置決めが可能と考えられる。

このような制御をおこなうには、制御系に組み込むためのブロック（制御プログラム）を構築する必要がある。

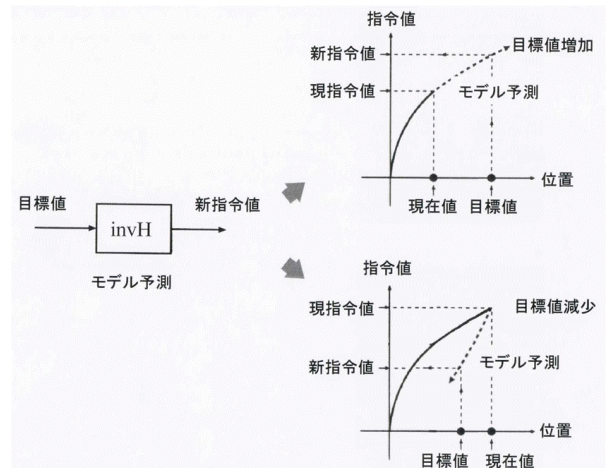


図2 モデル予測の原理

2.3 プライザッハモデル

制御系に組み込むブロックを構築するために、本研究ではプライザッハモデルを適用した。

プライザッハモデルは、1935年にPreisachによって提案された磁性材料の磁化特性を示すモデルである。

図3に示すように、超磁歪アクチュエータに様々な駆動電流を流し、そのときの変位量を計測し指令値（電流）と位置（変位）のデータを取る。このデータと、プライザッハモデルの計算アルゴリズムを用いて、指令値の変化に対する位置変化を示すヒステリシスブロックHと、位置変化に対する指令値の変化を示す逆ヒステリシスブロックinvHを構築する。

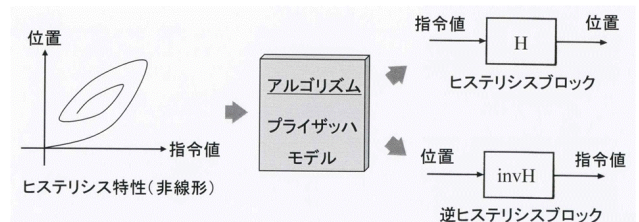


図3 プライザッハモデルによる制御ブロックの構築

3. 実 験

3.1 制御シミュレーション

図4に示すように、プラントPをヒステリシス特性Hと線形な機械的特性Poの積と見なし、sin波を入力してヒステリシス特性のシミュレーションをおこなった。

さらに、逆ヒステリシスブロックinvHをプラントPの前に置き、モデル予測によるヒステリシス特性の補償が

可能であるかシミュレーションをおこなった。

ただし、ヒステリシス特性 H 、機械的特性 P_o は任意に与えたものである。

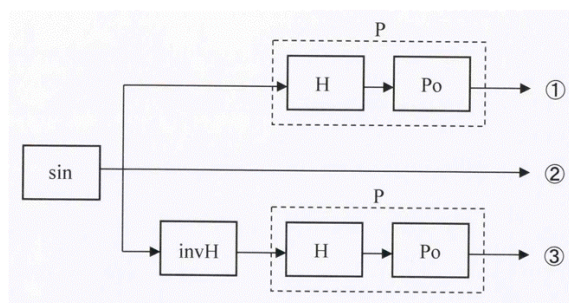


図4 シミュレーション

3.2 アクチュエータを用いた制御実験

実際の超磁歪アクチュエータを用い、制御実験をおこなった。実験は、図5に示すようなシステムを用いた。

システムは、パソコン、ソフトウェア、CPUボード、電流センサ、テーブル、超磁歪アクチュエータ、静電容量変位センサ、超磁歪アクチュエータ駆動用電源で構成されている。

実験は、超磁歪アクチュエータにsin波を入力し、ヒステリシス補償なし(図4①相当)とヒステリシス補償あり(図4③相当)についておこなった。

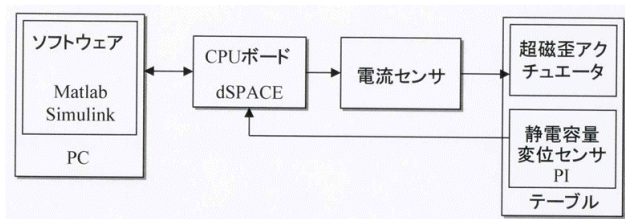


図5 実験システム

4. 結果と考察

4.1 制御シミュレーションの結果

制御シミュレーションの結果を図6に示す。図6左は図4①のシミュレーション結果である。横軸は指令値、縦軸は位置を示している。プライザッハモデルによりヒステリシス特性が示されることがわかる。

図6右は、モデル予測によるヒステリシス特性の補償シミュレーションの実験結果である。②は指令値のsin波、③はモデル予測によるヒステリシス補償後の波形、④は2つの波形の誤差(②-③)である。④の波形に誤差が出ていないことから、ヒステリシス特性の補償が可能であることがわかる。

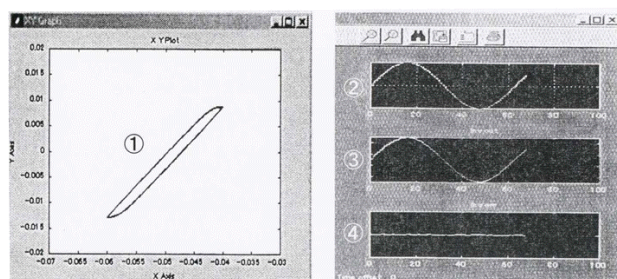


図6 シミュレーション結果

4.2 アクチュエータを用いた制御実験

図7は、実際に超磁歪アクチュエータを用いた制御実験の結果である。

ヒステリシス補償前(図4①相当)はヒステリシスが現れているが、補償後(図4③相当)では、ヒステリシスが消去されている。プライザッハモデルに基づくヒステリシスの補償方法(モデル予測)が有効に機能しているのがわかる。

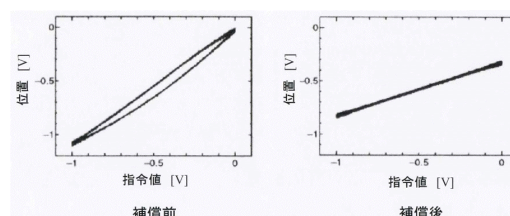


図7 ヒステリシス特性の補償実験

5. 結 言

ヒステリシス特性により位置決め精度が低下するのを抑え、超精密位置決めを実現するために、プライザッハモデルに基づくヒステリシス特性の補償方法(モデル予測)を検討し、制御実験をおこなった。

実験の結果、プライザッハモデルに基づくヒステリシスの補償方法(モデル予測)が有効に機能しているのが確認された。

本研究はNEDOの「ベンチャー企業育成型地域コンソーシアム研究開発事業」の支援でおこなわれた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、さまざまなアドバイスをいただきました茨城大学工学部機械工学科近藤良助教授に感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 近藤良, 有田大樹, 中野博民, 江田弘, 浅野健治 : 超磁歪アクチュエータのヒステリシス補償法; 第7回電気学会東京支部茨城支所研究発表会予稿集, pp.99-100, 1999