

高機能性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*

1. 緒言

超磁歪アクチュエータは、従来、微小駆動に用いられている圧電アクチュエータと比べ、発生力、変位量が10倍大きく、レスポンスでは1000倍程度優れている特長を持ち、高機能性デバイスとして注目が高まっている。

しかし、その動作原理からヒステリシス特性があり、超磁歪アクチュエータを微細位置決めに用いる場合、変位量を稼ぐと位置決め精度が低下してしまう。

この問題を解決するために、超磁歪アクチュエータにヒステリシス特性を相殺する制御を適用する方法¹⁾について検討することにした。本報告は、ヒステリシス特性の表現方法²⁾について考察したものである。

2. 実験

材料の磁化特性を表現するプライザツハモデルを適用して、ヒステリシス特性をシミュレーションする。

2.1 超磁歪アクチュエータの原理

超磁歪材料は、Fe, Tb, Dyの合金で、高機能性材料として注目されてる。図1のように、超磁歪材料にコイルを巻き、コイルに電流を流して磁界を変化させると、それともなって材料の形状変化を生じる。

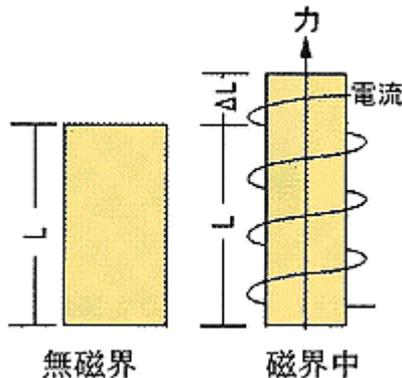


図1 超磁歪アクチュエータの原理

この原理を利用して、大きな発生力と変位量を得るのが超磁歪アクチュエータである。

2.2 ヒステリシス特性

ヒステリシス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ような現象をいう。

超磁歪材料が磁界中で変形しているとき、その内部では図2に示すような現象が起こっている。

超磁歪材料の内部は、磁区と呼ばれる小領域に分かれている。磁区は自発磁化により、図2 Aのようにそれぞれの向きをもっている。これに外部から磁界を加えると、図2 Bのように自発磁化の方向が磁界の方向に回転して磁区の向きが揃う。これを磁化という。磁界を取り除けば、再び図2 Aようになる。このときの磁界の大きさと磁区の向きとの関係を図3に示す。磁区の向きが揃うと

きの磁界の大きさを H_+ 、元に戻るときの磁界の大きさを H_- とすると $H_+ > H_-$ である。また、それぞれの磁区で H_+ と H_- の大きさが違う。これらのことが要因となりヒステリシス特性が生じる。

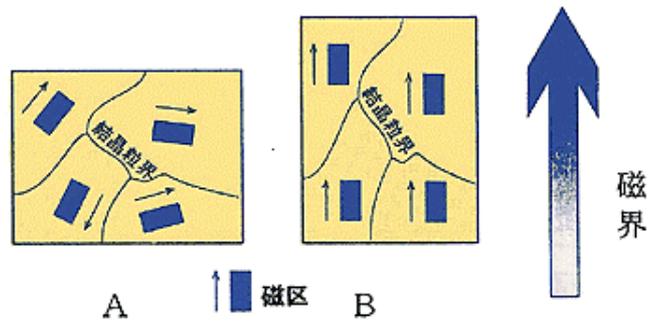


図2 材料の磁化特性

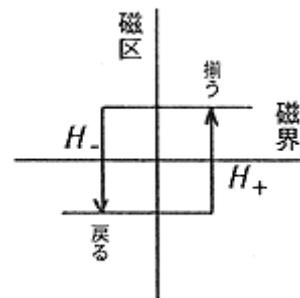


図3 磁界の大きさと磁化の大きさの関係

これを、アクチュエータの動作に置き換えてみる。磁界はコイルに電流を流すことで発生し、磁区の向きが揃う磁化により材料の形状変化が生じる。このことから、コイルに流す電流とアクチュエータの変位量との間にヒステリシス特性があるということになる。変位量は、コイルに流す電流の強さだけでは一義的に決まらず、それまでのアクチュエータの変位の影響を受ける。これが、位置決め精度を低下させる要因である。

2.3 Preisachモデルを適用した磁化特性の表現

磁化状態の変化を示すためにプライザツハモデルを適用した。プライザツハモデルは、1935年にPreisachによって提案されたもので、そのプロセスを簡単に説明すると、次のようになる。

超磁歪材料は、非常に多くの磁区から成っていると仮定する。個々の磁区は、その向きが磁界の方向に揃うのに必要な磁力 H_+ と元に戻るときの磁力 H_- を持つとすると、磁界 $H = H_+$ のとき磁区の向きは磁界の向きに揃い、 $H = H_-$ のときに元に戻るヒステリシス特性を示す。ある磁力 H_+ と磁力 H_- の組を持つ磁区の数のカウントしたものを磁化特性の分布関数とし、それをプライザツハ図表に表現する。これから磁界の変化により向きを変えた磁区の数を読み出し、材料の磁化を算出する。

*材料応用部

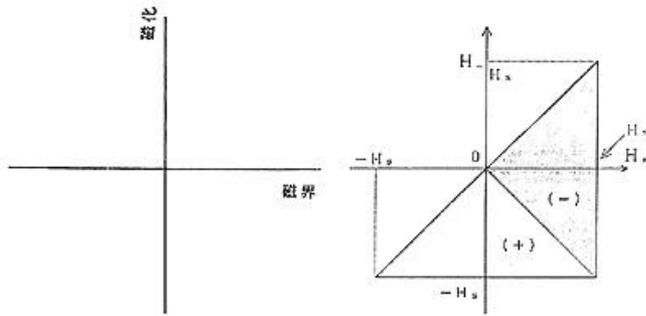


図4 消磁状態

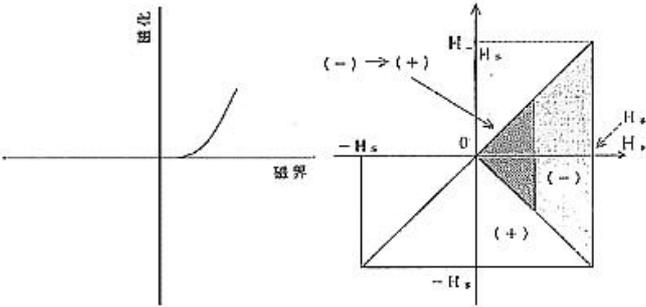


図5 初期磁化曲線

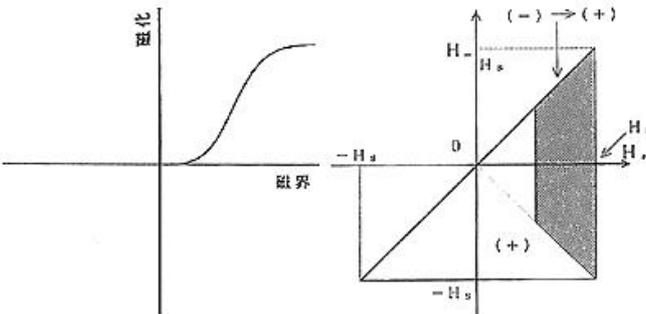


図6 飽和磁界までの初期磁化曲線

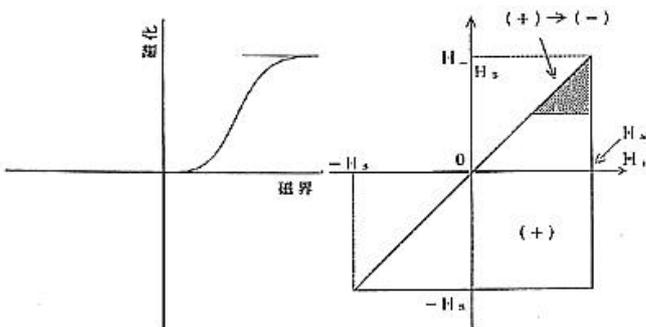


図7 下降曲線

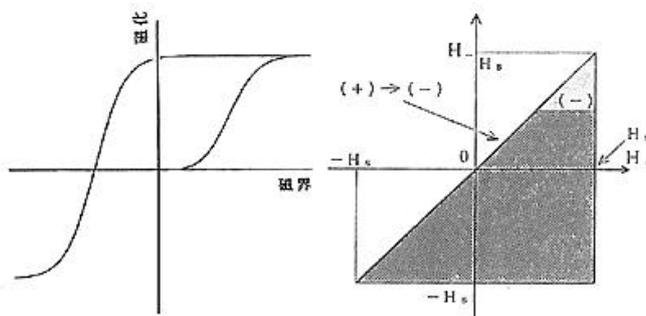


図8 飽和磁界までの下降曲線

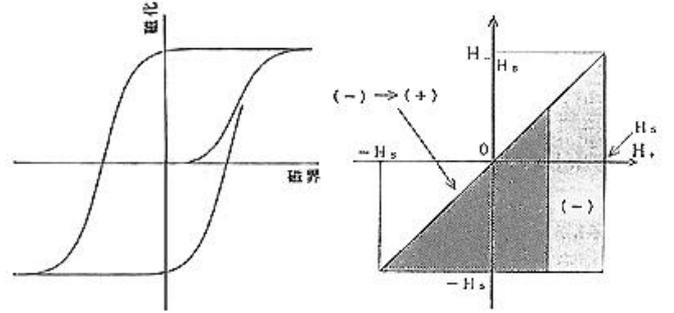


図9 上昇曲線

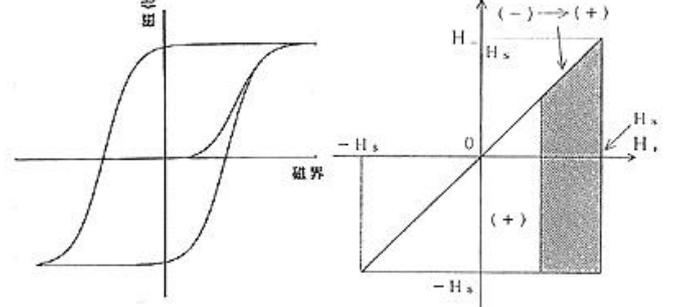


図10 飽和磁界までの上昇曲線

図4～図10は、一連の磁化の過程を模式的に示したものである。図の左側は磁化曲線、右側はプライザッハ図表である。プライザッハ図表の+は磁区の向きが揃っている状態、-は揃っていない状態、黒のメッシュは磁区が回転した部分を示している。

2.4 シミュレーション

プライザッハモデルのプロセスを基に、磁化の変化を数値的にシミュレートするプログラムを作成した。

磁区の磁化分布行列Aと磁化状態行列Sを定義する。Aはある磁化(H_+ , H_-)のペアを持つ磁区の数を表し、Sは磁区の向きを表すものとする。定義されたA, Sに対応する磁界の大きさをH, 磁化をMとして、S, H, Mを現在の状態とする。

変化させた後の磁界の大きさ H' を与え、次の法則に従って磁化の変化を算出する。

1. $H = H'$ の場合:

- ・変化なしで「現在の状態」をそのまま維持する。
- ・次の H' の入力を待つ。

2. $H < H'$ ($H > H'$)の場合:

- ・磁化状態行列Sに照会し、磁界変化に対応した磁化状態の変化を抽出する。
- ・磁化分布行列Aに照会し、状態変化に該当する磁区の磁化Mを割り出す。
- ・割り出した磁化Mを現在の磁化Mに加えて(差し引いて)新しい磁化 M' とする。
- ・磁界 H' に対応した磁化状態行列を S' とする。
- ・新しい状態 S' , H' , M' を新たな「現在の状態」S, H, Mとする。
- ・次の H' の入力を待つ。

磁化分布Aは任意に与え、消磁状態を初期条件とした。そこに、 H' を連続的に与え磁界の変化に対する磁化の変化をシミュレーションした。

3. 結果と考察

図11はシミュレーションの結果である。横軸は磁界、縦軸は磁化を表している。磁界と磁化のヒステリシス特性のメジャー・ループ、およびマイナー・ループともに、うまく表現されている。

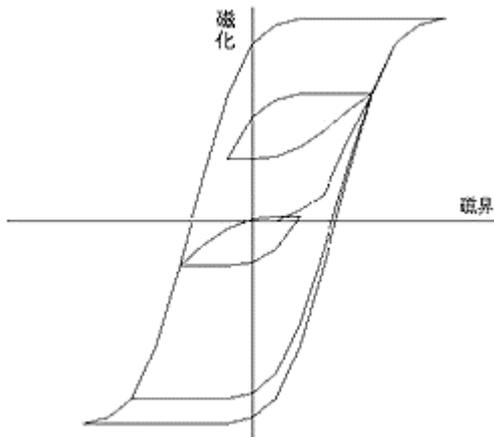


図11 シミュレーション結果

これを超磁歪アクチュエータの動作に置き換えて、コイルに流す電流と変位のヒステリシスカーブと読み直すことができる。コイルに同じ電流を流しても、変位の変化は、それまでの変位の履歴の影響を受けて様々であることがわかる。

4. まとめ

超磁歪アクチュエータにヒステリシス特性を相殺する制御を適用する方法について検討し、ヒステリシス特性の表現方法について考察した。

プライザハモデルを適用した磁化特性モデルを用いてシミュレーションし、ヒステリシス特性を表現することができた。また、シミュレーションに必要な計算アルゴリズムを構築することができた。

今後は、実際のアクチュエータを用いてヒステリシスを同定し磁化分布を作成する。それを制御用のブロックとして、制御シミュレーションをおこなう予定である。

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) 長谷川忠夫, 真島澄子, 佐々木隆行: 逆モデルを用いた形状記憶合金ヒステリシス特性の制御; システム制御情報学会誌, Vol.9, No.7, pp.322-328, 1996
- 2) 藤川範行: ヒステリシスループのデジタルシミュレーション; 茨城大学工学部電気工学科平成5年度卒業研究論文