

# 高機能デバイスに関する研究(まとめ)

小石川 勝男\* 安 英徳\*  
浅野 健治\*

## 1. 緒言

日本の景気低迷や産業の空洞化に伴い、県内の大手企業の活力が低下している。その大手企業に依存する下請け中心の中小企業は、大手からの受注が減少するなど、厳しい状況におかれている。

県では、県北臨海地域活性化法の指定を受け、中小企業がもつ提案力や開発力など既存技術の強化や、大手企業の下請け体質からの脱皮などの体質転換の支援策を積極的に推し進めている。

工業技術センターの支援策として、新機能性材料応用技術の開発がある。平成10年度から12年度にかけて、超磁歪材料を用いた高機能デバイスに関する研究をおこなったので報告する。

## 2. 超磁歪材料

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。超磁歪材料は、外部磁界の変化によって、図1のような形状変化を生じ、変形量はFe(鉄), Ni(ニッケル), Co(コバルト)などの金属に比べ100~1,000倍である。

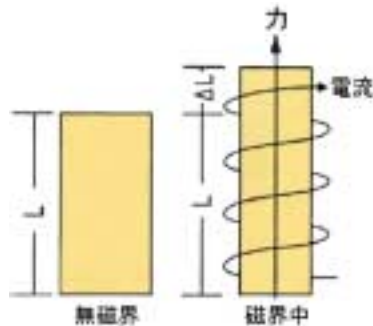


図1 磁界による超磁歪材料の変形

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。図2にその構造の模式図を示す。

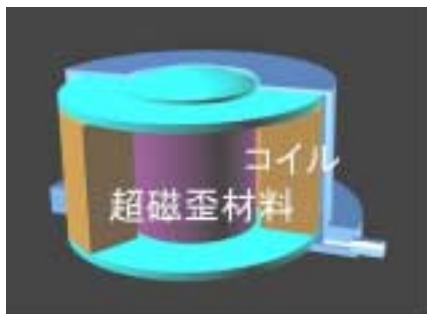


図2 超磁歪アクチュエータ

特長として、微小駆動用素子として用いられている圧電素子(PZT)と比べ、発生力、変位量が10倍、レスポンスで1,000倍程度優れている。

## 3. 高機能デバイスに関する研究

超磁歪材料の応用を目的として、高機能デバイスの研究では次のような事業をおこなった。

### 3.1 創造技術研究開発事業(支援事業 H10年度)

国と県の補助事業で、県北4企業による「精密機器用高性能位置決めテーブルの研究開発」について、県の設備の活用と新機能性材料である超磁歪材料の利用技術を用いて開発支援<sup>1)</sup>を行った。

位置決めテーブルは、半導体製造装置や精密工作機械などハイテク機器などに大きく貢献している重要な機械要素である。その精度は、サブミクロンからナノメートルの領域に移行しており、ますます高度な位置決め精度が要求されている。

本研究開発では、位置決めテーブルに駆動用ボールネジ(粗動)と、その誤差を随時補正する超磁歪アクチュエータ(微動)をハイブリッドで搭載し、重量物を高速・高精度でナノオーダの位置決め精度を得ることができる高性能位置決めテーブルを開発した。開発した位置決めテーブルの外観を図3に示す。



図3 精密機器用高性能位置決めテーブルの外観

本研究開発により、位置決めテーブルの材料、駆動、制御、センサ等の総合技術が得られ、位置決め精度1nm~10nmを達成した。

### 3.2 地域コンソーシアム研究開発事業(再委託業務H10~11年度)

本研究開発は、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」(プロジェクト管理人:(株)ひたちなかテクノセンター)の一環としておこなわれた産学官の共同研究である。地域コンソーシアム研究開発事業では、「超加工機械の中核技術の研究開発」というテーマで、シリコンウエハ用超精密研削加工機械を開発した。この加工機械には、超磁歪アクチュエータが搭載された。開発した加工機械を図4に示す。

この中で、工業技術センターでは、県内企業4社と共に、超磁歪アクチュエータの超精密駆動技術の開発をお

\*材料応用部

こなった。



図4 地域コンソーシアム研究開発事業で開発したシリコンウエハ用超精密研削加工機械

### (1) 超磁歪アクチュエータの発熱対策に関する研究

コイルから発生する熱により超磁歪材料が熱膨張し、位置決め精度を著しく低下させる。そこで、超磁歪アクチュエータに対して空気による冷却をおこなった<sup>2)</sup>。

アクチュエータ冷却実験により、供給する空気量100L/minで超磁歪材料の表面温度上昇が5℃という結果となった。図5に冷却実験の結果を示す。

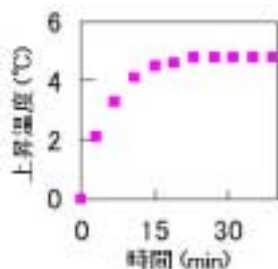


図5 アクチュエータ冷却実験の結果

今回の研究開発に使われる超磁歪アクチュエータに冷却として使う空気量は100L/minで十分な効果が得られることが確認できた。

本研究開発では、温度制御 $\pm 0.2$ ℃、流量400L/minの超磁歪アクチュエータ用恒温装置を開発した。図6(左)に開発した恒温装置を示す。



図6 開発した恒温装置(左)と姿勢制御装置(右)

### (2) 超磁歪アクチュエータの制御に関する研究

超磁歪アクチュエータにはその動作原理から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。

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、プライザツ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)を超磁歪アクチュエータの制御に適用した<sup>3)4)</sup>。

予め、超磁歪アクチュエータのヒステリシス特性を実測値からモデル化する。位置決め指令値に対するヒステリシスによる誤差をモデルから算出し、その分を考慮した位置決め指令値を超磁歪アクチュエータに入力する。

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とヒステリシス補償ありについておこなった。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。

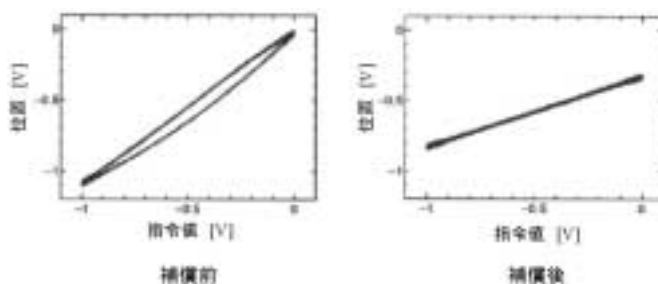


図7 ヒステリシス特性の補償実験

ヒステリシス補償前はヒステリシスが現れているが、補償後では、ヒステリシスが消去されている。プライザツ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。

本研究開発では、約700kgの重量のワーク軸の姿勢を、駆動範囲 $\pm 10$ μm、駆動精度10nmで制御する姿勢制御装置を開発した。図6(右)に開発した姿勢制御装置を示す。

### 3.3 超磁歪アクチュエータによる石材の欠陥検査に関する試験(H12年度)

超磁歪アクチュエータの新たな利用として、超音波デバイス(超音波発振器、超音波センサ)として応用する。

超音波デバイスとして、超音波発振器と超音波センサを設計・製作した。デバイスの適用例として、石材の欠陥検査が可能であるか実験した。

実験には、図8に示すように波形生成装置、電源、超音波発振用超磁歪アクチュエータ、超音波センサ用超磁歪アクチュエータ、波形計測装置を用いた。発振用超磁歪アクチュエータで石材サンプルに超音波パルスを入力し、透過法により石材サンプル内部を透過した超音波パルス、反射法により石材サンプル底面で反射した超音波パルスをセンサ用超磁歪アクチュエータで検出する。パルスの入力と検出の時間差が、石材サンプル内部の伝搬時間となる。

超音波パルスの発振周波数は35kHzとした。測定は精度を確保するため、パルス間隔は4msで50回サンプリングした。

実験に使用する石材サンプルは、300mm×300mm×100mmである。石材と超音波デバイスとの接触媒質には、

石材加工現場での使用を考慮して水を用いた。



図8 実験システム

まず、石材サンプル内部の超音波パルスの伝搬速度、すなわち音速を計測した。実験条件はA：厚さ100mm、透過法と条件B：厚さ300mm、透過法である。実験条件を図9 A, Bに示す。このとき、超音波パルスの伝搬時間は、条件Aは20  $\mu$ s、条件Bは59  $\mu$ sであった。実験結果を表1に示す。

表1 透過法による実験

実験条件	石材サンプル厚さ	パルス伝搬時間
A	100mm	20 $\mu$ s
B	300mm	59 $\mu$ s

石材サンプル内部の超音波パルスの音速は、石材サンプルの厚さ（伝搬距離も同じ）をパルス伝搬時間で割ったものである。実験結果より、約5,000  $m s^{-1}$ と算出された。

次に、反射法による石材サンプル底面からの反射パルスを検出する。実験条件はC：厚さ100mm、反射法、発振器とセンサの距離80mmである。実験条件を図9 Cに示す。このとき、超音波パルスの伝搬時間は43  $\mu$ sであった。

ここで、超音波パルスの伝搬距離は音速  $\times$  伝搬時間であるから215mmと算出される。実際の伝搬距離を幾何学的に算出すると、215mmとなり一致する。よって、反射法により、石材サンプル底面からの反射パルスが正しく検出されていることが確認できた。

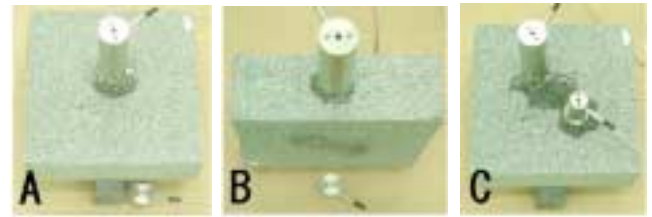


図9 実験条件

これらの実験により、超磁歪アクチュエータを超音波デバイスとして応用できることが確認できた。透過法により透過パルス、反射法により底面反射パルスを検出することができた。石材サンプル内部の音速を得ることができた。

#### 4. 総括

新機能性材料である超磁歪材料を用いた高機能性デバイスに関する研究をおこなった。これを通じて県内企業と共に、半導体製造装置や精密工作機械などハイテク機器に重要な要素である超精密位置決め制御技術を開発することができた。今後は、技術指導などを通じて普及をはかっていく。

#### [参考文献]

- 1) 小石川勝男, 安英徳, 浅野健治: 高機能性デバイスに関する研究 - 精密機器用高性能位置決めテーブルの研究開発支援 - ; 茨城県工業技術センター研究報告第27号, 91-92, 1999
- 2) 安英徳, 小石川勝男, 浅野健治: 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発熱対策に関する研究 - ; 茨城県工業技術センター研究報告第28号, 5-6, 2000
- 3) 浅野健治, 小石川勝男, 安英徳: 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 - ; 茨城県工業技術センター研究報告第28号, 7-8, 2000
- 4) 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, 99-100, 1999