

## 高分解能アクチュエータ用高剛性変位拡大機構の開発

荻野重人\* 浅海 暁\*\*

### Development of High-Stiffness Type Displacement Magnifying Mechanism for high resolution actuator

OGINO Shigeto\*, ASAUMI Akira\*\*

抄録

圧電素子は高速応答等の優れた点が多くあるが、最大の欠点は変位量が一般的に数十  $\mu\text{m}$ ～百数十  $\mu\text{m}$  と微小なことである。そのためこの素子の用途は限定されてしまっていた。そこで、圧電素子等の高分解能アクチュエータ用の、新機構による高剛性変位拡大装置を開発した。この装置に変位量  $0.1\mu\text{m}$  の圧電アクチュエータを組み込み、最大変位量、剛性、周波数特性等の性能試験を行なった。結果は、最大変位量  $1.963\text{mm}$  (拡大倍率 約 20 倍)、stiffness (剛性)  $0.128\text{N}/\mu\text{m}$ 、周波数応答  $115\text{Hz}$  (ピーク) を確認し、従来にない高剛性・高倍率な変位拡大装置とすることができた。今後は実用化に向けて、さらなる剛性アップをはかる。

キーワード：圧電素子，ピエゾ，変位拡大，アクチュエータ

#### 1 はじめに

圧電素子は、圧電体に加えられた電圧を変位 (力) に変える。この変位は、精密機械類の微細位置決め駆動装置などに利用されている。

圧電素子は、電気・機械変換効率が低い、高速応答、制御性が良い、小型である等の優れた点が多くあるが、最大の欠点は変位量が数十  $\mu\text{m}$  と微小なことである。そのためこの優れた素子の用途は限定されてしまっていた<sup>1)</sup>。

この欠点を克服するために変位拡大機構が考案されている。その構造は、”Flextensional” と呼ばれ、弾性ヒンジを用いたものがほとんどである<sup>2)-8)</sup>。これらの機構は変位拡大と言う意味では目標を達成しているが、最大の欠点は剛性が低いことである。

弾性ヒンジ (金属板を削り薄くした部分) は、可動性を得るためにこの部分の剛性を落とす必要が生じる。その結果、力がうまく伝わらず駆動不良となってしまうので、大きな負荷または高速で駆動する用途には使用することはできなかった。

近年の圧電アクチュエータへの要望は、高速応答性・高分解能・大きな変位量・高剛性が同時に求められており、全てを高い次元でバランスさせる必要がある。例えば、ガラススケールなどの微小間隔のマーキングでは、①移動 (時間は極力短く) ②一定時間保持してこの間にマーキング、と①→②の繰り返し動作となるが、時間に対して変位をステップ状に発生させるのが理想的である。しかし、剛性の低い変位拡大機構だと立ち上がりが遅くなり保持状態になるまで時間がかかってしまい、①→②を繰り返した場合大きな時間差となってあらわれる。

そこで従来の変位拡大機構の欠点であった低剛性

\* 電子技術部

\*\* 株式会社メステック

を克服し、大きな変位量・高剛性を両立する変位拡大機構を開発する。そして、従来不可能であった用途への適用を可能にする。

## 2 実験方法

図1に試作した、変位拡大機構を示す。ピエゾ（圧電）アクチュエータの変位を変位拡大機構を介し、ステージに出力する構造となっている。その時のステージの変位量を、静電容量型変位センサによりモニタリングできるようになっている。

なお、装置全体の剛性アップのために圧縮ばねにより、17.7Nの予圧がかけられている。

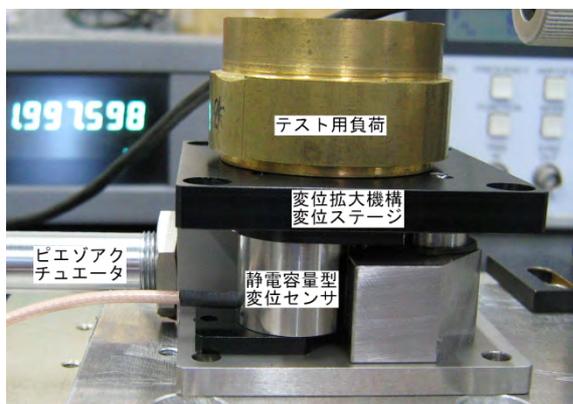


図1 試作した高剛性変位拡大装置

<構成機器>

- ・ 静電容量型変位センサ  
メステック TRA2025-2K-V1
- ・ ピエゾアクチュエータ  
メステック M14×1

### 2.1 最大変位量の測定

図2のように、接触式変位センサを変位ステージに接触させ、ピエゾアクチュエータに-30～+150V（周波数 1Hz）の正弦波電圧をかけ、その時の変位量を測定した。

- ・ 接触式変位計  
HEIDENHAIN MT1281 分解能 50nm
- ・ ファンクションジェネレータ  
NF DF1905
- ・ ピエゾドライバー  
メステック M-2682



図2 接触式変位センサによる変位測定

### 2.2 剛性の測定

図1のように、テスト用負荷（300g、500g）を用い剛性テストを行なった。ピエゾアクチュエータには電圧をかけずにテスト用負荷を変位ステージに置き、その時の変位（沈み込み量）を静電容量型変位センサに接続されたオシロスコープにより読み取った。

- ・ オシロスコープ

Tektronix TD2012

### 2.3 周波数特性の測定

図1のテスト用負荷を取り除いた状態で、テストを行なった。ピエゾアクチュエータの振幅が14μmになるように正弦波信号を入力し、スイープをかけた。その時の拡大機構の変位を静電容量型変位センサにより計測し、FFTアナライザにより解析を行なった。

- ・ FFTアナライザ

小野測器 CF-6400

## 3 結果及び考察

### 3.1 最大変位量の測定

結果を図3に示す。入力電圧（X軸）に対する静電容量型変位計による変位量（Y軸）のリサージュ曲線となっている。図3のY軸により読み取ると、最大変位量1.963mmであった。

<予圧バネ負荷時のピエゾアクチュエータ変位量

計算>

※予圧バネ（圧縮）は最終出力端に設置されているので、その力は拡大機構を介して、ピエゾアクチュエータの出力軸にかかっている。

- ・ バネ定数 5.9N/mm
- ・ 拡大後ストローク 1.963mm
- ・ 設定拡大倍率 20倍
- ・ 無負荷ピエゾストローク (-30~+150V)  
130μm

最大ストローク時ピエゾアクチュエータにかかる荷重

$$= \text{バネ定数} \times \text{拡大後ストローク} \times \text{設定拡大倍率}$$

$$= 5.9 \times 1.963 \times 20 = 231.6(\text{N})$$

ピエゾの stiffness 8N/μm より、その逆数は 0.125μm/N となる。

xを力、yをピエゾアクチュエータの変位として

$$x = 231.6$$

$$y = -0.125x + 130$$

の解として得られ、ピエゾ変位 101.05μm (Δ28.95μm) となる。

よって拡大倍率は 1.963(mm)/0.101(mm)=19.4倍 となり、ほぼ想定 (20倍) どおりとなった。



TDS 2012 - 14:18:42 2009/03/12

図3 拡大後変位

### 3.2 剛性の測定

結果を表1に示す。想定 (0.3 N/μm) より低い結果となった。今回の試作機は寸法的な制約あり、剛性面を犠牲にしたことが大きく影響したと考えられる。

表1 負荷による変位量

負荷	変位量	stiffness
300g	24μm	0.122N/μm
500g	38μm	0.128N/μm

### 3.3 周波数特性の測定

結果を図4に示す。80Hz 付近までは f 特性、位相差ともにほぼフラットになっており、実用上の問題はないと考えられる。通常、可動部の質量が大きいと f 特性に悪影響を及ぼす。今回はステージ形状の拡大装置のため、質量の大きい(約 100g)ステージを駆動しての結果なので、良好な結果が得られたといえる。

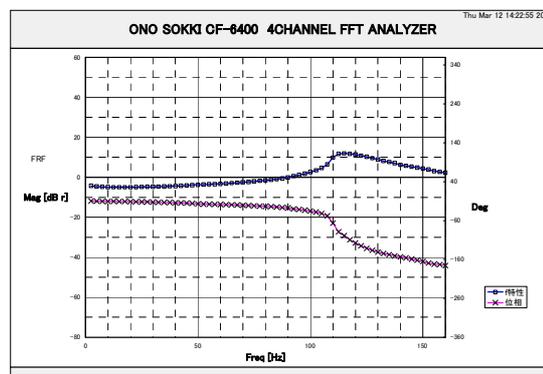


図4 周波数特性

## 4 まとめ

### (1) 拡大倍率 約 20 倍を達成

目標値である約 20 倍の変位拡大が達成できた。通常、これくらい大きな拡大倍率であると剛性がほとんどなく、軽い物しか駆動できなくなってしまうが、本装置は 500g の負荷を載せて実用領域で駆動させることが可能であった。

### (2) 実用化について

本研究は、既に実用化を目指した試作開発となっている。今後の課題としては、stiffness 0.3

N/ $\mu\text{m}$  を達成することがあげられる。剛性をアップすることができれば、必然的に周波数特性の向上をはかることもできる。

(3) 今後の展開

剛性をアップするために、サイズの制約を外した試作2号機を製作し、テストを行なって行く。

参考文献

- 1) 川崎企業紹介, <http://www.kawasaki-net.ne.jp>, 2006.8.21
- 2) 古谷将人,長縄明大: ナノモーションアクチュエータの機構系と制御系の同時最適設計, 機械, **2004**, 5(2004)327
- 3) 精密工学会 超精密位置決め専門委員会: 次世代精密位置決め技術, フジ・テクノシステム, (2000)300
- 4) 先端材料技術協会: ハニカム構造の応用と機能, シーエムシー出版, (2008)215
- 5) Y.Ando, H.Sawada, Y.Okazaki, Y.Ishikawa, T.Kitahara, Y.Tatsue, K.Furuta :Development of Micro Grippers, Proc. of Micro System Technologies ,Sept.1990 Berlin,10(1990)844
- 6) 有限会社メカノトランスフォーマ: 圧電アクチュエータおよび与圧方法, 特開 2008-99399
- 7) DSM・piezo flexure stages, [http://www.dynamic-structures.com/piezo\\_actuators.html](http://www.dynamic-structures.com/piezo_actuators.html), 2006.8.21
- 8) 独立行政法人科学技術振興機構: 変位拡大装置, 特開 2007-166714