

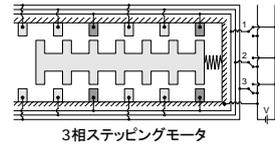
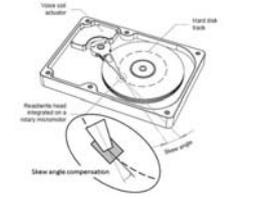
MemsONE™の回路解析機能を用いたステッパマイクロモーターの特性解析と最適化検討

曾根順治 (東京工芸大学)
望月俊輔 (数理システム)
E. Sarajlic, C. Yamahata, 藤田博之 (東京大学)

第3回東京MemsONE技術交流会

1. 背景

- 現在
MEMS用の3相ステッピングモータをHDDスキュー角補正用に検討している
- 東京大学 藤田研究室では、MEMS技術を活用したマイクロ3相ステッピングモータを開発しており、弊研修室は、設計支援を進めている



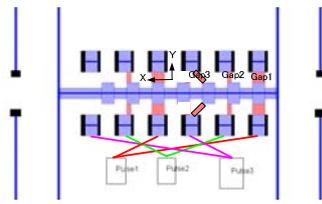
3相ステッピングモータ

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

研究内容

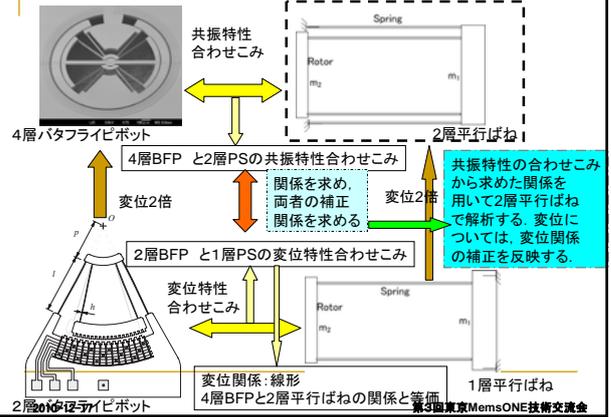
- MemsONE™の回路シミュレータを活用して、3相ステッピングモータの特性を解析する。
- さらに、構造の最適化を推進する。



2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

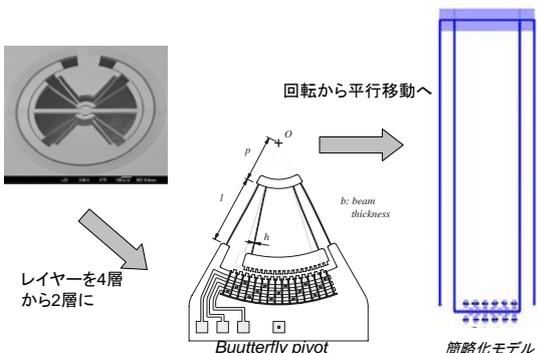
特性の合わせこみ方法



2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

回路解析のための簡略化



2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

▶ MemsONE™ を使用した解析方法の確立

動特性と静特性のばねの変換は異なる

しかし、クリティカルな条件は動特性

動特性を基準に解き、

静特性を満たすには、 $\frac{1}{R}$ 倍の力が必要

最終的には必要な電圧を求める

$$F = \frac{1}{2} V^2 \frac{dC(x)}{dx} \quad \text{より、} \quad \frac{1}{\sqrt{R}} \quad \text{の電圧が必要}$$

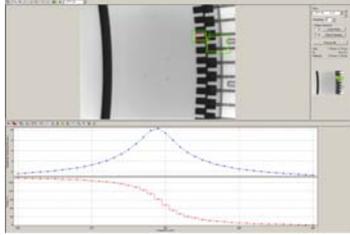
必要な電圧は 1.42倍することが必要

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

▶ MemsONE™ を使用した解析方法の確立

実際のモデルと簡易モデル(2層)の共振周波数
測定: In-plane vibration (U1=0 V DC)



簡易モデルのMemsONE
による共振周波数

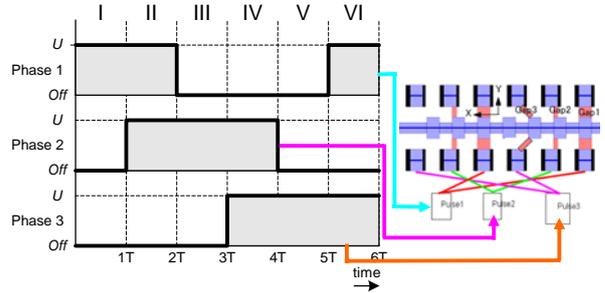
279 Hz の共振点が計測 (Scanning
Vibrometer)

$\omega : 308\text{Hz}$

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

回路解析方法



2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

3相の電圧入力方法

■ ネットリストを活用

```
* DC 1[V]
.SUBCKT Pulse2 1
VIN 1 0 PWL(0 0 0.199NS 0 0.2NS 5 0.8NS 1 0.801NS 0 1.2NS 0)
.ENDS Pulse2
```

x1 n74 Pulse2

```
* DC 1[V]
.SUBCKT Pulse1 1
VIN 1 0 PWL(0 5 0.4NS 5 0.401NS 0 0.99NS 0 1NS 5 1.2NS 5)
.ENDS Pulse1
```

x0 n80 Pulse1

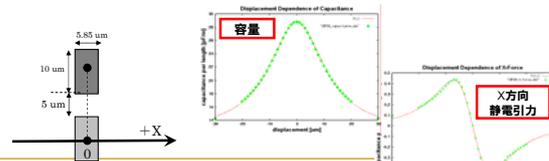
2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

Gapモデルの改善

X方向静電引力の重なり距離依存性を考慮したGapモデルの追加

- 容量の変位依存性を混合 Gauss-Lorentz 関数で表現
- 容量式の係数は入力ファイルにて指定
(係数は別途、2次元静電場解析によって決定)
- 解析エンジンでは、指定された容量式から静電引力を計算



2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

▶ 粘性の検討

(1) ギャップ部の粘性



$$\tau = \mu \frac{U}{h}$$

μ : 動粘度 2e-5 PaS
 U : 相対速度 0.012m/s
 h : ギャップの距離 1.25x10⁻⁶m

$$= 2 \times 10^{-9} \text{N} \text{ (64組がある)}$$

(2) 平板の空気抵抗



$$\tau = \frac{1}{6} C_d \rho h U_{\max}^2 l$$

CD=2
 U_{\max} =0.012m/s
L: 4X10⁻⁴m
H: 3.7x10⁻⁹m

$$= 7 \times 10^{-12} \text{N} \text{ (8組がある)}$$

ギャップ部の粘度に比較すると影響は非常に少ない

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

▶ 粘性の検討

(3) バタフライピボットのスプリングバック力(SBF)

$$K_{\theta,3} = \frac{2EI}{l} \left(1 + \frac{3p}{l} + \frac{3p^2}{l^2} \right)$$

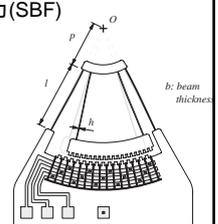
$$\text{SBF} = K_{\theta,3} * \theta / 4l$$

$\theta = 0.2618 \text{rad} (15^\circ)$
 $l = 4 \times 10^{-4} \text{m}$

$$= 2.29 \times 10^{-9} \text{N}$$

$$= 1.43 \times 10^{-9} \text{N} \text{ (1/16モデル)}$$

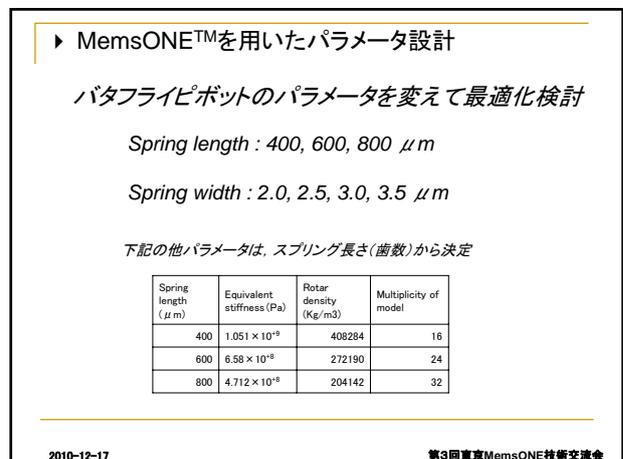
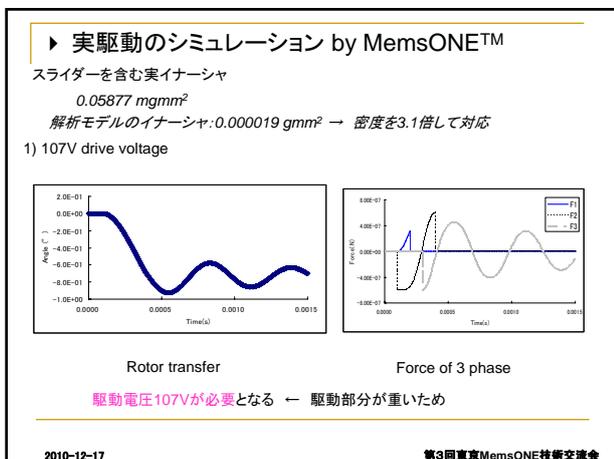
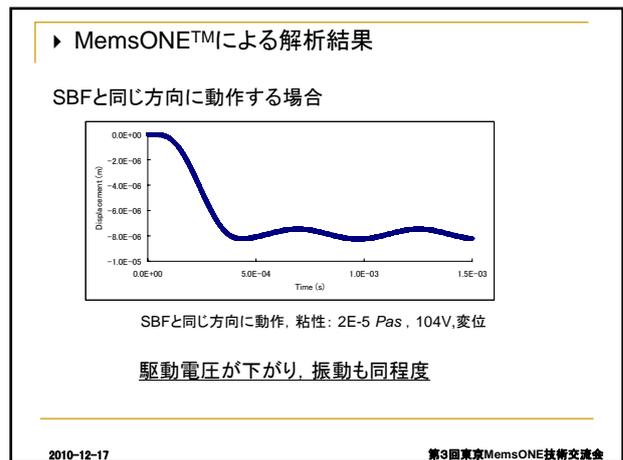
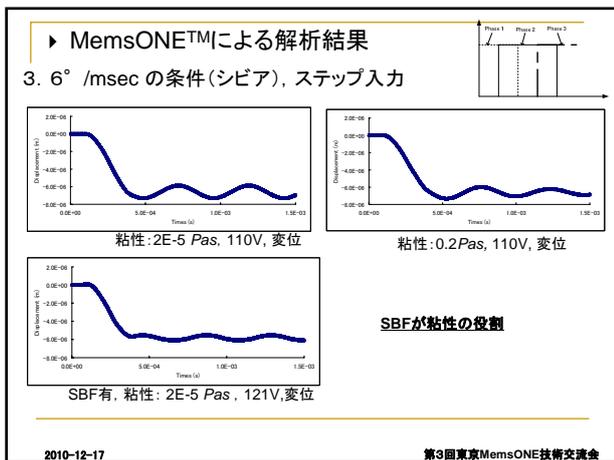
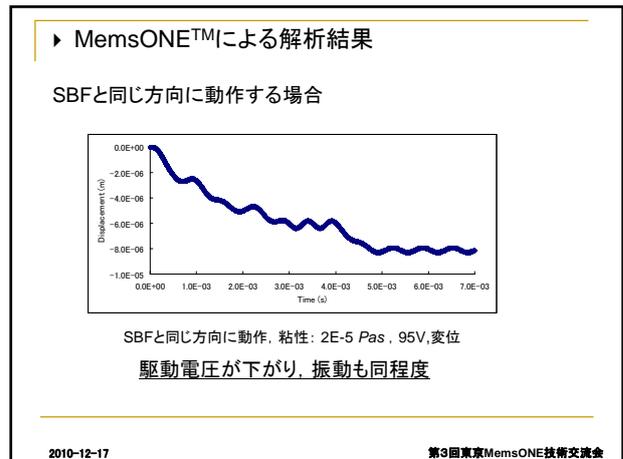
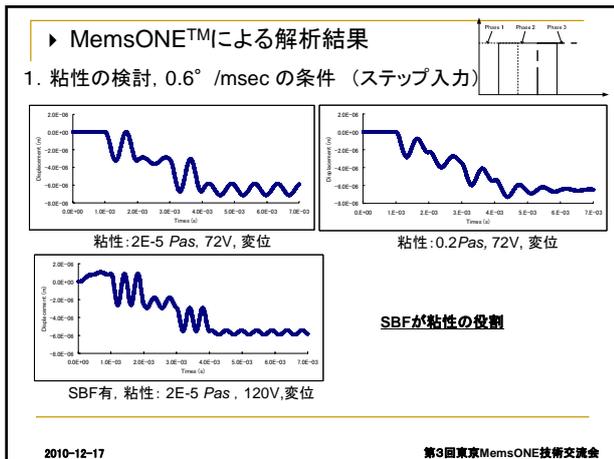
40Vの4個のロータとステータ
の静電力: 8.37x10⁻⁷N



スプリングバック力が大きく影響する

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会



▶ 各モデルの駆動電圧 by MemsONE™

Spring length(μm)	Spring width(μm)	Resonance frequency (Hz)	No spring back force		Spring back force (15°)	
			Step drive-Drive voltage (V)	Step drive-Drive voltage (V)	Step drive-Drive voltage (V)	Spring back force (N)
400	2	258	104	128	4.26 × 10 ⁻⁷	
	2.5	360	107	135	8.31 × 10 ⁻⁷	
	3	474	107	142	1.43 × 10 ⁻⁶	
	3.5	598	107	152	2.28 × 10 ⁻⁶	
600	2	136	92	99	1.01 × 10 ⁻⁷	
	2.5	190	92	107	1.97 × 10 ⁻⁷	
	3	249	107	114	3.40 × 10 ⁻⁷	
800	3.5	314	107	114	5.40 × 10 ⁻⁷	
	2	86	74	78	3.77 × 10 ⁻⁸	
	2.5	120	74	78	7.36 × 10 ⁻⁸	
	3	159	78	78	1.27 × 10 ⁻⁷	
	3.5	200	78	78	2.02 × 10 ⁻⁷	

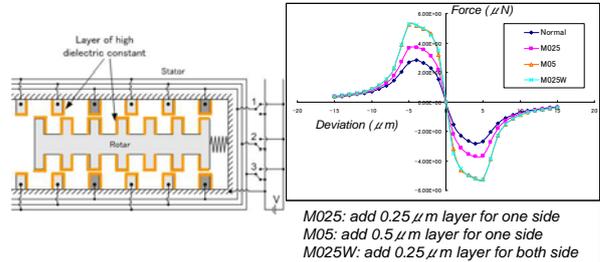
→ 駆動電圧をさらに低下させることが要望される

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

▶ 低電圧駆動のための改良方法

(1) 検討方法：高誘電率層を設ける



M025: add 0.25 μm layer for one side
M05: add 0.5 μm layer for one side
M025W: add 0.25 μm layer for both side

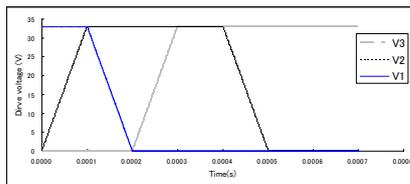
両側に0.25 μmの高誘電率層を設ける → 膜形成だけで、高い駆動力が得られる(チャージアップの解消必要)

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

▶ 改良方法

ドライブ方法もランプ形状を用いる:



- ・ 動作開始時の保持力を減らす
- ・ 電圧の上下をスムーズにする(ダイナミクスを考慮)

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

▶ パラメータサーチ by MemsONE™ 改良案

Spring length(μm)	Spring width(μm)	Resonance frequency (Hz)	No spring back force		Spring back force (15°)		Spring back force (N)
			Step drive-Drive voltage (V)	New ramp drive-Drive voltage (V)	Step drive-Drive voltage (V)	New ramp drive-Drive voltage (V)	
400	2	258	74	71	75	71	4.26 × 10 ⁻⁷
	2.5	360	74	71	92	82	8.31 × 10 ⁻⁷
	3	474	75	71	99	92	1.43 × 10 ⁻⁶
	3.5	598	75	71	109	107	2.28 × 10 ⁻⁶
600	2	136	71	57	78	57	1.01 × 10 ⁻⁷
	2.5	190	71	64	78	64	1.97 × 10 ⁻⁷
	3	249	78	71	82	78	3.40 × 10 ⁻⁷
800	3.5	314	85	78	89	85	5.40 × 10 ⁻⁷
	2	86	54	50	64	47	3.77 × 10 ⁻⁸
	2.5	120	54	50	68	47	7.36 × 10 ⁻⁸
	3	159	54	50	71	47	1.27 × 10 ⁻⁷
	3.5	200	54	50	71	50	2.02 × 10 ⁻⁷

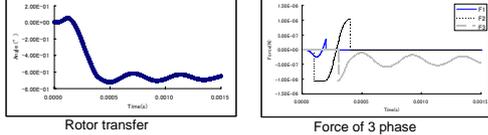
SBFはオーバーシュートを減少、駆動電圧がno SBFの場合より低下
50V以下の駆動が可能となる

2010-12-17

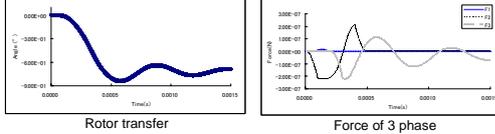
第3回東京MemsONE技術交流会

▶ 駆動シミュレーション by MemsONE™ 改良案

(1) Spring length:400, width:3.0, Step input pattern: 142V (Spring back force)



(2) Spring length:800, width:3.0, Ramp input pattern: 47V (SBF, BaTiO3 lay.)



800 μm spring, BaTiO3 lay. Ramp drive pattern:
改良案は、低電圧駆動に有効である。

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会

まとめ

- 回路解析を行うために、解析モデルを簡略した。
- 静的特性と動的特性を変換する等価モデルを検討して、動特性を保ちながら、駆動電圧を求める関係を検討した。
- MemsONE™のリリース版、回路解析機能を用いて、3相ステップモータを解析できた。
- スプリングバック力は、ダンピングの効果も持つ。
- 電極構造を改善して、駆動電圧を低くすることができることを検討した。

2010-12-17

第3回東京MemsONE技術交流会