

4104 汎用マルチフィジックス解析ソフトウェア CFD-ACE+の機能

Advanced Multi-Physics Software, CFD-ACE+

宮川 哲, (株) ウェーブフロント

Akira Miyakawa, Wave Front Co., Ltd., Queen's Tower B12, 2-3-3 Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama City, 220-6112

Key Words: Multi-Physics, MEMS, Micromirror

MEMS デバイスの製品設計・開発が急速に進む中で、汎用の数値解析ツールを製品設計に積極的に利用しようとするニーズは急速に増えている。汎用マルチフィジックス解析ソフトウェア CFD-ACE+には、MEMS デバイスの数値解析に必要な、流動・伝熱・構造・電場・磁場解析とこれらの連成解析機能が組み込まれており、デバイス設計の更なる効率化、期間短縮とコスト削減が期待できる。本稿では、MEMS デバイスの数値解析に関連する CFD-ACE+の機能とその適用事例を紹介する。

1. はじめに

CFD-ACE+は、研究開発コンサルタントの CFD Research Corporation⁽¹⁾ (本社：米国) によって開発された有限体積法に基づく汎用マルチフィジックス解析ソフトウェアであり、ESI Group⁽²⁾ (本社：フランス) が汎用化と周辺機能の開発を行っている。流動・伝熱・構造の連成解析のみならず、MEMS (Micro-Electro-Mechanical System), Bio-MEMS, プラズマ, CVD, 燃料電池の数値解析など、電場・磁場、熱化学反応、電気化学反応、生化学反応を伴う先端分野にも多く適用されている。本稿では、CFD-ACE+の連成解析の機能の内、特に MEMS デバイスの解析に関連する機能とその適用事例を解説する。

2. CFD-ACE+のマルチフィジックス解析

個々の場の解析に必要なモジュール群は、共通のプラットフォーム上で GUI により統一的に管理される。マルチフィジックス解析を実行する際に、関連するモジュールを同時に起動し、時間領域の整合した共通のループ内で各保存則を逐次処理し、境界条件の予測値を修正する。事象の時定数に応じて、1-way-coupling の選択や連成のタイミング (coupling frequency) をユーザが指定できる。

MEMS デバイスの解析に関連する主なモジュールとその機能を以下に列挙する。

● 応力解析モジュール

線形応力解析、大変形解析、接触解析、及び伝熱解析モジュールとの連成による熱応力解析が可能である。Shell 要素を使用する場合、有限の板厚に相当する流体排除厚を考慮できるため、薄板構造と流体との連成解析に際して brick 要素を用いる必要はない。

● 静電場解析モジュール

静電ポテンシャルに関する Poisson 方程式を解く。周期励振に対する周波数応答、またはパルス印加などの時刻歴応答解析を行う。大規模な BEM (Boundary Element Method) に対しては多重極を用いた Fast Solver も設置されている。

● 電磁場解析モジュール

Maxwell 方程式を解く。適用対象は、アンテナから誘起される電磁場、電磁波の伝播・回折・散乱、磁場の経時変化に伴う電場、渦電流、Lorentz 力、及び誘導加熱などである。

3. MEMS デバイスの事例

3-1 静電力-弾性変形の連成解析

MEMS デバイスの一つであるマイクロミラー・デバイスの計算例を紹介する。ここでマイクロミラーは、ミラーの対角軸を中心にその回転角を電気機械的に制御することにより、入射する光を正確な角度で反射させる光スイッチとしての特性を持ち、既に実用化されているデバイスである。

解析対象としたマイクロミラーはヒンジに接続され、ヒンジの両端はヒンジ・サポート・ポストに接続している (Fig. 1)。バイアス電圧を印加した状態で、一方のアドレス電極を接地し、他方のアドレス電極に電圧を印加すると、ミラーとアドレス電極間に静電力が発生し、静電トルクが作用してミラーが回転する。ヒンジは薄く比較的柔軟であり、ミラーの回転に伴ってヒンジに復元力が生じ、静電トルクとヒンジの復元力が釣り合う状態においてミラーの回転角が決定する。アドレス電極に印加する電圧を増加させるとミラーの回転角が増加し、最終的にはランディング・パッドにミラーが接触・着地する (Fig. 2)。ヒンジ厚といった3次元の寸法・形状や、印加する電圧を調整することで、ミラーの回転角を正確に制御することが可能となる。

本モデルに対し、ミラーとランディング・パッドの接触を考慮した静電力-弾性変形の連成解析を行った。なお、静電場の解析には BEM を用いた。

ヒンジ厚の異なる2つの形状に対し、アドレス電極間の電位差を変化させた場合における、ミラーの回転角の結果を Fig. 3 に示す。電位差の同じ条件を比べると、ヒンジ厚 675nm より 735nm の方がヒンジの復元力は大きく、ミラーの回転角は相対的に小さくなる点が確認できる。

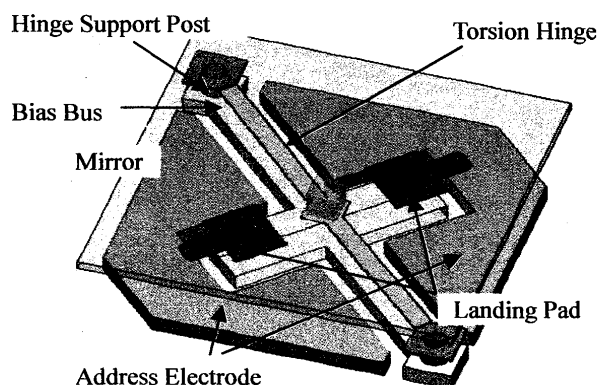


Fig. 1 Major components of a micromirror model

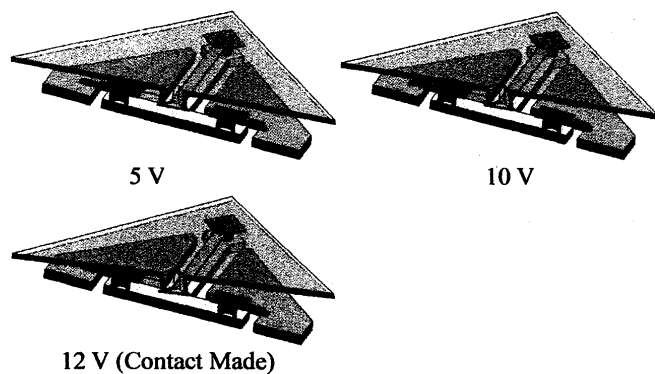


Fig. 2 Bending of micromirror at different voltage differentials

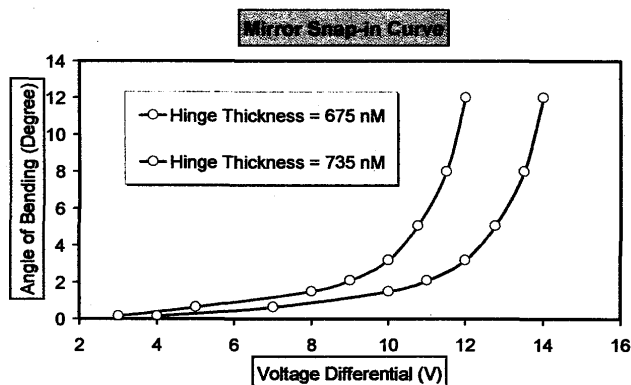


Fig. 3 Voltage differentials vs. Mirror bending angle

3-2 静電力-弾性変形-流れ場の連成解析

解析対象としたマイクロミラーを Fig. 4 に示す。ミラーはトーシヨンバーに接続し、トーシヨンバーはシリコン基板に接続している。シリコン基板は接地されており、各アドレス電極に異なる電位差を与えると、静電力によりミラーが回転する。

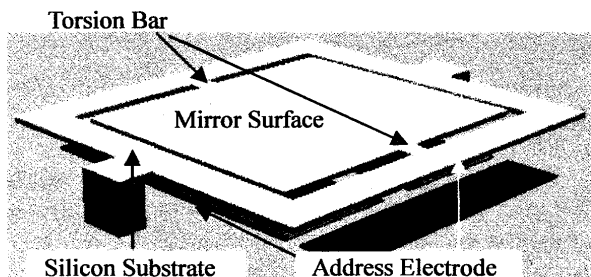


Fig. 4 Major components of a torsional micromirror model

本モデルに対し、エアダンピングを考慮した静電力-弾性変形-流れ場の非定常連成解析を行った。マイクロミラーでは、ミラーの回転に伴い電極間距離が $10\mu\text{s}$ のオーダーで瞬時に接近するため、1-way-coupling では安定した収束計算は容易ではない。安定な時間進行のためには、ミラーの回転とトーシヨンバーの変形に同期して、静電場、圧力などの状態量をコンシステントに算出する必要がある。

アドレス電極に電位差を与えてから $40\mu\text{s}$ 後における、ミラーの変位量と流れ場の流速ベクトル分布 (瞬時値) を Fig. 5 に示す。トーシヨンバーにより、ミラーのみが効率的に回転していることが確認できる。

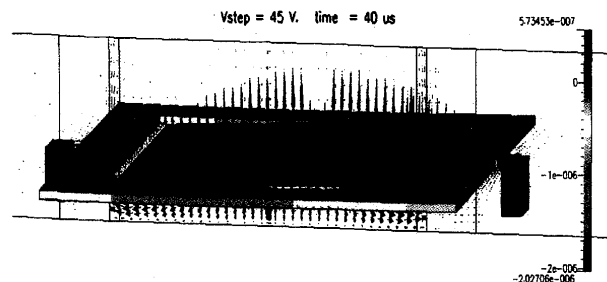


Fig. 5 Displacement and velocity vector distribution

雰囲気圧力 0.01atm と 1atm の 2 条件における、ミラーの変位量の過渡変化を Fig. 6 に示す。雰囲気圧力の増加に伴い、ミラーの振動が減衰振動から過減衰の状態になることが確認できる。

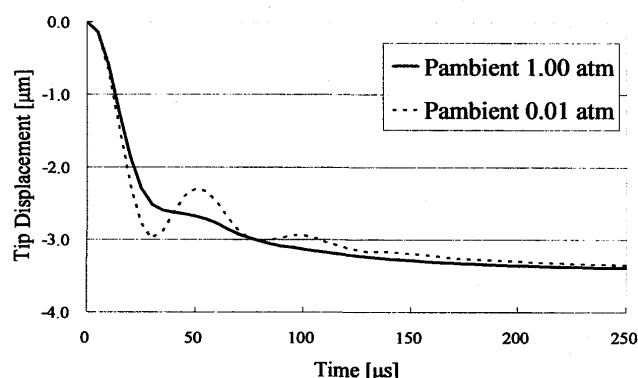


Fig. 6 Time vs. Tip displacement

4. おわりに

CFD-ACE+に組み込まれているモジュール群の内、特に MEMS デバイスの解析に関連する、応力、静電場、電磁場解析モジュールを紹介した。またマイクロミラー・デバイスを対象とした、静電力-弾性変形-流れ場の連成解析の計算結果を示し、連成解析の有用性を示した。MEMS デバイスに関連する CFD-ACE+の広範な適用例については、文献 (3) を参照されたい。

参考文献

- (1) <http://www.cfdrc.com/>
- (2) <http://www.esi-group.com/>
- (3) Giridharan, M.G et al, Journal of Modeling and Simulation of Microsystems, Vol. 2 No. 1, P43-50 (2001)