

自己評価報告書

平成 23 年 3 月 31 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360059

研究課題名（和文） 高速マルチスケール動的解析法の開発とパワーMEMS設計への応用・検証

研究課題名（英文） Development of Fast Multiscale Dynamic Simulation Method and Its Application and Verification in Power MEMS Design

研究代表者

高野 直樹 (TAKANO NAOKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：10206782

研究分野：計算力学、MEMS、生体力学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：動的解析、モデル縮約法、マルチスケール解析、高速化、MEMS

1. 研究計画の概要

微小な MEMS のさらに細かな微小機械要素の設計や寸法の決定には、マルチスケールの立場で動的シミュレーションを行う必要があるが、膨大な計算コストを有する。この高速化の実現により新規 MEMS の設計・開発を加速することを目指す。具体的な研究項目を以下に示す。

(1) モデル縮約法を用いた高速動的解析法

Arnoldi 法に基づくモデル縮約法を用い、マルチスケール問題に加え、荷重条件の不確かさを考慮した高速動的解析法を確立する。従来の陽解法と比較した精度検証、高速性能の計測を行う。

(2) マルチスケール動的解析法

重合メッシュ法とモデル縮約法の併用解法の研究、不確かさを考慮した確率的マルチスケール法の研究を行う。

(3) MEMS プロセスシミュレーション

動的問題の一つとしてウェットエッチングプロセスシミュレーションを取り上げる。MEMS 設計の鍵となる犠牲層エッチングのシミュレーションは、MEMS 微細構造設計に有用である。特に、エッチングパラメータの自動動的法の開発に注力する。

(4) パワーMEMS への適用

熱流体-構造連成問題のマルチスケール動的解析モデリング法の研究を行い、マイクロガスタービンエンジン燃焼器への適用を行う。これに基づく燃焼器の設計・試作・要素試験を実施する。

2. 研究の進捗状況

これまでに得られた成果は以下にまとめられる。

(1) モデル縮約法を用いた高速動的解析法

きわだった成果として、荷重条件の不確かさを考慮した BSOAR (block second order Arnoldi)法による高精度・高速動的解析に成功した。荷重方向と立ち上がり時間に不確かさを加えた例題において、従来の陽解法と比較し、精度の検証とともに、25 倍以上の高速化に成功した。モンテカルロシミュレーションへの応用可能性を検討した結果、従来の陽解法では到底不可能であった解析も、複数の PC を用いれば実用的に実施可能であることがわかった。

(2) マルチスケール動的解析法

重合メッシュ法とモデル縮約法の併用解析を行い、従来法と同等の精度を確保しつつ、モデリングを容易にすることに成功した。また、重合メッシュ法により得られたマイクロ応力に基づく強度予測の検証を行った。2 台の高速カメラと画像解析により得たひずみ値との比較による精度検証をふまえ、非線形挙動開始点の予測が精度よく行えた。

(3) MEMS プロセスシミュレーション

ウェットエッチングパラメータの自動同定法を新規開発し、応答曲面の予測法、収束を得るための反復法に工夫を施し、市販 CFD コードのオプションモジュールとして実用化した。HF50%溶液と SiO₂ の例題において有効性を実証した。

(4) パワーMEMS への適用

燃焼器の 1000 個超の保炎板を詳細に考慮した流体解析から熱応力解析までの一連の熱流体-構造連成解析を階層的なモデリングにより実用的に行うことができた。解析結果に基づき冷却流路の細かな設計などが可能となり、MEMS ガスタービンエンジン燃焼器の設計・試作を行った。要素試験においては 1300K の燃焼を確認したほか、燃焼効

率の計測を行うことができた。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

動的解析において、荷重条件の不確かさを考慮できた点、ウェットエッチングプロセスシミュレーションの実用化に成功した点、重合メッシュ法によるマイクロ応力基準の強度予測における検証に成功した点で、当初の計画以上に進展したといえる。

4. 今後の研究の推進方策

最終年度となる次年度は以下の項目を進める。

(1) モデル縮約法を用いた高速動的解析法

荷重条件の不確かさを考慮したBSOAR法による高速動的解析を、モンテカルロシミュレーションに応用し、設計に直接的に有用な手法として完成させる。

(2) マルチスケール動的解析法

重合メッシュ法と均質化法のそれぞれに対し、不確かさを考慮した確率的マルチスケール法へと発展させる。荷重条件の不確かさにとどまらず、設計通りに加工できなかった場合のMEMS特有の形状・寸法の不確かさについても研究を進める。手法が確立できたら、これまでに研究代表者が均質化法と重合メッシュ法を組み込んできた市販コードへの導入も検討する。

(3) MEMSプロセスシミュレーション

研究項目は完了したため、開発したソフトウェアの評価ならびに成果発信を行う。既に2011年5月開催の日本計算工学会第16回計算工学講演会に投稿済みである。また、研究成果を日本機械学会英文誌に投稿すべく執筆中である。

(4) パワーMEMSへの適用

微小燃焼器の要素試験とその理論的解釈、シミュレーションとの比較を行い、ノウハウを含めた設計手順を纏める。

(5) 成果発信のためのWEB作成

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 高野直樹, 深澤健, 西籾和明, Structural Strength Prediction for Porous Titanium Based on Micro-stress Concentration by Micro-CT Image-based Multiscale Simulation, International Journal of Mechanical Sciences, 52, pp. 229-235, (2010), 査読有.
- ② 山東篤, 高野直樹, 浅井光輝, 鳥山寿之, 城戸詳治, Jan Korvink, Reduction of Finite Element Mesh and Model Order for

Fast Dynamic Analysis of Global/Local Problem, JSME Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 3-3, pp. 572-583, (2009), 査読有.

[学会発表] (計6件)

- ① 鈴木翔, 高野直樹, 鳥山寿之, Model Order Reduction for Practical Multi-physics and Multi-scale Analysis of MEMS Gas Turbine Engine, 電気学会第27回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 島根, 2010年10月14日
- ② 佐藤健一, 高野直樹, 鳥山寿之, 犠牲層ウェットエッチングにおける物理パラメータのキャリブレーション, 日本機械学会2010年度年次大会, 名古屋, 2010年9月7日
- ③ 山東篤, 名手裕喜, デローニー四面体分割を用いた三次元重合メッシュ法における連成項の数値積分, 日本計算工学会第15回計算工学講演会, 博多, 2010年5月26日
- ④ 深澤健, 高野直樹, 西籾和明, 川崎雄介, 重合メッシュ法によるポーラスチタン部材のマイクロ応力基準強度予測, 日本機械学会M&M2009材料力学カンファレンス, 北海道, 2009年7月24日
- ⑤ 高野直樹, 西籾和明, 川崎雄介, 重合メッシュ法によるポーラスチタン部材のマイクロ応力基準強度予測, 日本計算工学会第14回計算工学講演会, 東京, 2009年5月14日
- ⑥ 城戸詳治, 山田雄貴, 古谷明, 鳥山寿之, 高野直樹, 金哲晃, MEMSターボ機械用燃焼器の流体・構造解析, 日本機械学会M&M2008材料力学カンファレンス, 志賀, 2008年9月17日

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]