

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560086

研究課題名（和文） 機能性不均質導電構造物の電磁熱誘起振動と電磁熱衝撃の数理解析

研究課題名（英文） Mathematical Analyses of Magneto-thermo Induced Vibration and Magneto-thermal Shock for Functional Inhomogeneous Conducting Structures

研究代表者

河村 隆介 (KAWAMURA RYUUSUKE)

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：70234135

研究成果の概要（和文）：本研究は、磁場の周期的および衝撃的時間変化により誘起される渦電流損の熱負荷とローレンツ力を同時に受ける不均質導電材料からなる構造物の電磁熱弾性問題の数理解析方法の確立を図った。さらに、数理解析結果に基づく数値計算による定量的評価を行って、電磁熱弾性応力と変形の準静的挙動、電磁熱誘起振動と電磁熱衝撃の動的応答に及ぼす不均質材料物性の効果の解明を試みた。

研究成果の概要（英文）：The present study intends to establish methods of mathematical analyses of magneto-thermo elastic problems for functional inhomogeneous conducting structures which are simultaneously subjected to eddy current loss and Lorentz force induced by cyclic or impulsive change in time of magnetic field. Furthermore, conducting quantitative evaluation through numerical calculations based on the results of the mathematical analyses, elucidation of the effect of inhomogeneous material properties on quasi-static behaviors of magneto-thermo elastic stresses and deformations and dynamic responses of magneto-thermo induced vibration and magneto-thermal shock is attempted.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械材料・材料力学

キーワード：材料力学、数理解析、不均質材料、電磁熱誘起振動、電磁熱衝撃

1. 研究開始当初の背景

(1) 核融合装置やプラズマ対向機器の機能性耐熱構造材料として、不均質材料の応用が期待されている。渦電流損による温度変化とローレンツ力による不均質導電構造物の電磁熱弾性問題の具体的な解析方法および定量的評価は未解明であり、その報告例は見当たらない。

(2) 新しい機能性を発現し得るとして、今後応用分野の拡大が期待されている傾斜機能材料に代表される不均質導電構造物が時間変化する磁場を受ける際の電磁熱弾性挙動は未解明の分野であり、強度設計や材料設計の観点から重要な課題であると考えられる。

2. 研究の目的

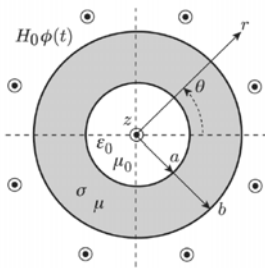
本研究は磁場の周期的および衝撃的時間変化により誘起される渦電流損の熱負荷とローレンツ力を同時に受ける不均質導電材料からなる構造物の電磁熱弾性問題の数理解析方法の確立を図り、数値計算による定量的評価を行って、電磁熱弾性応力と変形の準静的挙動、電磁熱誘起振動と電磁熱衝撃の動的応答に及ぼす不均質材料物性の効果の解明を目指すものである。

3. 研究の方法

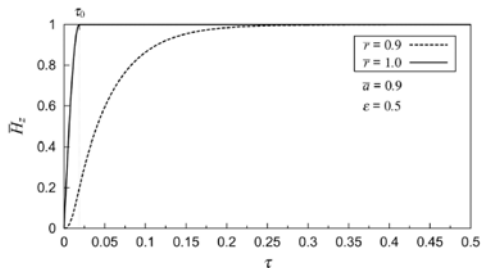
本研究は時間変化する磁場を受ける不均質導電構造物の電磁熱弾性問題の数理解析方法の確立を図り、数値計算による定量的評価を行い、周期的および衝撃的な磁場の時間変化、境界面での熱伝達条件、不均質材料物性および構造要素の幾何学形状が電磁熱弾性応力と変形の準静的挙動、電磁熱誘起振動や電磁熱衝撃の動的応答に及ぼす影響を系統的に検討する。

4. 研究成果

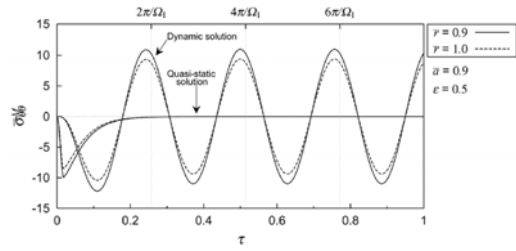
(1) 導電性材料からなる中空円筒の非定常磁場により誘起される電磁熱弾性応力の動的および準静的挙動の数理解析方法を確立した。すなわち、軸対称な電磁場、温度場、弾性場の基礎方程式を定式化し、磁場、渦電流、温度変化、応力と変形の動的および準静的解を任意の関数について解析的に導出した。正弦関数形で平滑化されたランプ関数により定義された磁場が与えられる場合を検討し、応力および変形の電磁熱衝撃挙動を数値計算により定量的に明らかにした。



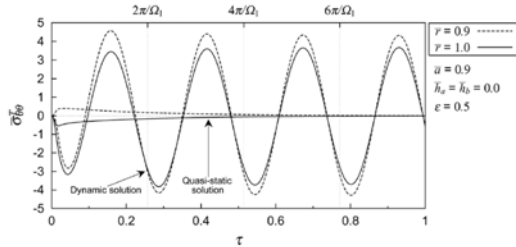
中空円筒の解析条件と座標系



磁場 H_z の時間発展

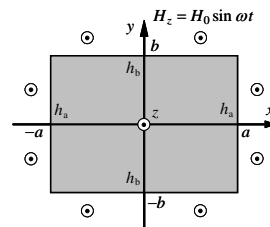


電磁応力成分 σ_{00}^M の時間発展

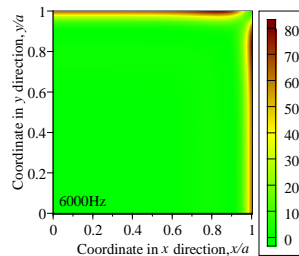
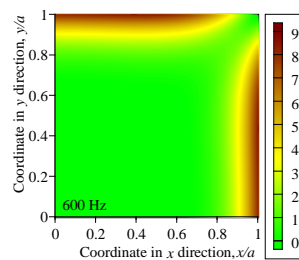


熱応力成分 σ_{00}^T の時間発展

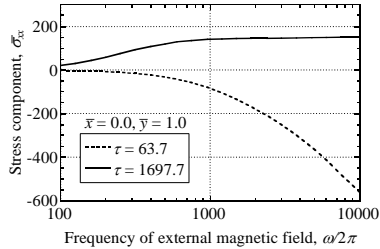
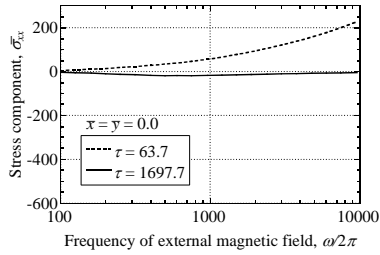
(2) 導電性材料からなる長方形柱の外部磁場の正弦的時間変動により誘起される電磁熱弾性問題の数理解析方法を確立した。すなわち、長方形柱内に誘起される渦電流、渦電流損により生じる二次元非定常温度変化、さらに、平面状態にある無限長長方形柱の応力の解析解を導出した。外部磁場の正弦的時間変動の周波数の増加に伴う長方形柱の渦電流損、温度変化および応力に及ぼす表皮効果の影響を定量的に明らかにした。



長方形柱の解析条件と座標系

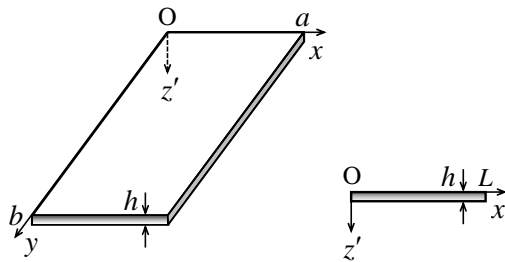


磁場の周波数による渦電流損分布の違い

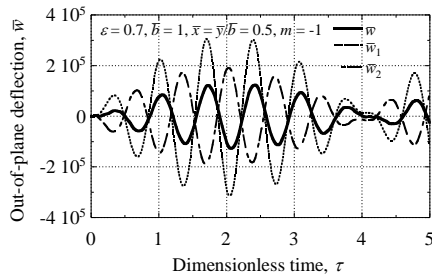


外部磁場の周波数による応力 σ_{xx} の変化

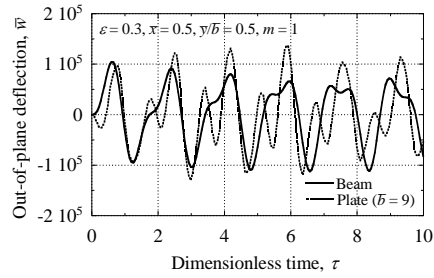
(3) 傾斜機能不均質材料からなる長方形板およびはりの外力と温度変化の周期的負荷による曲げ振動問題の数理解析方法を確立した。長方形板のアスペクト比と負荷周波数が、周期的外力による曲げ振動と周期的加熱による曲げ振動との相互干渉に及ぼす効果について検討した。準静的挙動に対する動的挙動の応答拡大率を調査した。また、長方形板の曲げ振動の非定常応答とはりの非定常応答を比較し、長方形板とはりの間の面外たわみおよび応力の応答拡大率の違いを明らかにした。



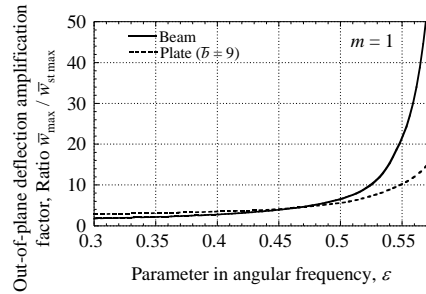
傾斜機能長方形板・はり



傾斜機能長方形板の外力によるたわみ w_1 と温度変化によるたわみ w_2 の相互干渉



長方形板とはりの動的たわみの時間発展



長方形板とはりのたわみの応答拡大率の周波数による変化

(4) 傾斜機能不均質材料からなる長方形板の電磁熱弾性誘起振動問題の数理解析方法を確立した。傾斜機能長方形板は板厚方向に関して熱的および力学的に不均質な材料特性を持つ場合を想定した。具体的に、長方形板の材料特性が板厚座標のべき乗の形で与えられる場合を想定した。長方形板の上表面が外部磁場の正弦的時間変動を受ける場合を想定し、長方形板に誘起される渦電流の解析解を導出した。長方形板のたわみおよび熱応力を全周単純支持の力学的境界条件の下で導出した。

(5) 導電性材料からなるはりの電磁熱弾性問題の数理解析方法を確立した。はりの上面が外部磁場の正弦的時間変動を受ける場合を想定し、はりに誘起される渦電流の解析解を導出し、渦電流損により生じる非定常温度変化を導出した。そして、はりのたわみおよび熱応力を単純支持条件の下で導出した。数値計算により、外部磁場の周波数がはりの電磁熱弾性挙動に及ぼす効果を定量的に明らかにした。

(6) 不均質導電性材料からなるはりの電磁熱弾性問題の数理解析方法の確立を目指した。はりの材料特性が高さ方向の座標変数の任意のべき乗の形の不均質性を持つ場合を

想定した。この不均質導電はりの境界面に平行な方向に正弦的に時間変動する外部磁場が印加された場合を想定し、磁界の強さ、渦電流、温度変化およびローレンツ力と渦電流損により生じるたわみおよび応力の解析解を導出した。

5. 主な発表論文等

(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4件)

- ① R. Kawamura, K. Ikeda, H. Kinoshita: Mathematical Analysis of a Magneto-Thermally Induced Vibration of a Functionally Graded Rectangular Plate Subjected to Sinusoidal Change in Time of Magnetic Field, Proceedings of ACMFMS 2012, Mechanics of Functional Materials and Structures, 査読有, 1, 2012, pp.119-122
ISBN 978-81-8487-248-4
- ② R. Kawamura, H. Fujita, Y. Ootao, Y. Tanigawa, K. Ikeda, H. Kinoshita: Mathematical Analysis of Flexural Vibrations of Inhomogeneous Rectangular Plates and Beams Subjected to Cyclic Loadings of Temperature Change and External Force, Acta Mechanica, 査読有, Vol.214, Issue 1-2, 2010, pp. 133-144
DOI:10.1007/s00707-010-0311-z
- ③ R. Kawamura, K. Sano, Y. Ootao, Y. Tanigawa, K. Ikeda, H. Kinoshita: Magneto-Thermo-Elastic Problem of a Conducting Rectangular Cylinder Subjected to Sinusoidal Change in Time of Magnetic Field, Acta Mechanica, 査読有, Vol.214, Issue 1-2, 2010, pp. 145-158
DOI:10.1007/s00707-010-0316-7
- ④ M. Higuchi, R. Kawamura, Y. Tanigawa, T. Adachi: Magneto-Thermo-Elastic Stresses Induced by a Transient Magnetic Field in a Conducting Hollow Circular Cylinder, Journal of Thermal Stresses, 査読有, Vol. 33, No. 8, 2010, pp. 775-798
DOI:10.1080/01495739.2010.482354

[学会発表] (計4件)

- ① R. Kawamura, K. Ikeda, H. Kinoshita: Mathematical Analysis of a

Magneto-Thermally Induced Vibration of a Functionally Graded Rectangular Plate Subjected to Sinusoidal Change in Time of Magnetic Field, Third Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures, December 7, 2012, Indian Institute of Technology Delhi, India

- ② 河村隆介, 池田清彦, 木之下広幸: 磁場の正弦的時間変化を受ける不均質導電はりの電磁熱弾性問題の数理解析, 日本機械学会第24回計算力学講演会 (CMD2011), 2011年10月9日, 岡山大学 (津島キャンパス)
- ③ 河村隆介, 池田清彦, 木之下広幸: 磁場の正弦的時間変化を受ける導電はりの電磁熱弾性問題の数理解析, 日本機械学会 M&M2011 材料力学カンファレンス, 2011年7月17日, 九州工業大学 (戸畑キャンパス)
- ④ R. Kawamura, K. Ikeda, H. Kinoshita: Mathematical Analysis of a Magneto-Thermo-Elastic Problem of a Homogeneous Conducting Beam Subjected to Sinusoidal Change in Time of Magnetic Field, Joint-Symposium on Mechanics of Advanced Materials & Structures, August 12, 2010, Harbin Institute of Technology, Harbin, China

[その他]

ホームページ等

宮崎大学研究者総覧 URL:

<https://srhumdb.miyazaki-u.ac.jp/webopen/search?method=view&id=100000343>

宮崎大学工学部機械設計システム工学科

URL: <http://www.miyazaki-u.ac.jp/mech/>

6. 研究組織

研究代表者

河村 隆介 (KAWAMURA RYUUSUKE)

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号: 70234135