

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2013

課題番号：21560093

研究課題名(和文) 耐熱性インテリジェント複合平板における実用的な熱応力制御法の開発

研究課題名(英文) Development of a practical control method of thermal stresses in an intelligent composite plate with heat resistance

研究代表者

芦田 文博 (Ashida, Fumihiro)

島根大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：60149961

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、1つの耐熱性構造材料層の上に、1つのセンサ用圧電セラミックス層と多数のアクチュエータ用圧電セラミックス層が接着された多層複合平板を解析モデルとした。構造材料層に作用した未知の非定常熱負荷に適応して、構造材料層の非定常最大熱応力が許容応力を超えないように自律的に制御されるインテリジェント機能の実用的な発現手段を開発した。さらに、インテリジェント機能が最大限に発現されるように多層複合平板を最適設計する手法を開発し、最適設計されたモデルを示すとともに、最大熱応力の最高抑制率を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A multilayer composite circular plate consisting of a structural layer with heat resistance, a piezoelectric sensor layer, and some piezoelectric actuator layers is taken as an analytical model in this study. We have developed a method which provides an intelligent function for autonomously controlling the transient maximum thermal stress in the structural layer so as not to exceed its allowable stress, adapting to an unknown thermal loading acting on the structural layer. Furthermore, we have developed a method for optimally designing the multilayer composite circular plate so that the performance of the intelligent function is at its maximum. Then, the optimally designed model is presented and the highest suppression ratio of the maximum thermal stress is revealed.

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：連続体力学 インテリジェント構造物 圧電センサ 圧電アクチュエータ 耐熱性構造材料 非定常熱応力制御 安全設計 最適設計

1. 研究開始当初の背景

作用した負荷に適応して構成部材をある望ましい状態に自律的に制御する機能を持つ構造物はインテリジェント構造物と称され、その概念は 1989 年に提唱された。その後、1995 年頃からインテリジェント構造物に関連した研究が注目され、以後、盛んに行われて来ている。この分野の先駆者がインテリジェント構造物の力学的挙動に関連した論文の概説を幾つか公表しているが、ほとんどは変位制御についての研究である。

インテリジェント構造物には作用した負荷を知るためのセンサ機能と構造物のある状態に制御するためのアクチュエータ機能が必要で、この両方の機能を発現できる要素材料として圧電材料が有望視されている。

- 圧電効果：圧電材料が負荷を受けて変形すると材料内に電界が生じる。従って、材料の表面間で電位差を測定すると、作用した負荷を知るセンサ機能が発現できる。
- 逆圧電効果：圧電材料に電界が作用すると材料は変形する。従って、適当な電位差を印加すると、材料をある望ましい状態に制御するアクチュエータ機能が発現できる。

上記のような研究動向を踏まえ、研究代表者は熱的環境下において変位を制御するインテリジェント構造物に関する研究のレビューを公表し、次の事を明らかにした。

- 平板等においてある一点の変位を制御する場合は、振動制御も含め、変位と圧電センサの出力電位差との関係が単純なため、適当な制御則で変位を自律制御できる。
- 平板等において変位分布を制御する場合は、圧電センサの出力電位差が分布するために出力電位差と変位との関係が複雑になり、変位分布の自律制御は困難である。これまで、変位分布を制御するインテリジェント構造物と題する論文は多数公表されているが、そのほとんどはセンサ機能の無い直接制御に過ぎず、インテリジェント構造物の研究とは言い難い。
- 研究代表者らは、圧電センサの出力電位差分布から作用した熱負荷分布を決定し、さらに熱変位分布を制御する圧電アクチュエータの印加電位差分布を決める逆問題の理論的な解析法を開発し、インテリジェント機能の発現手段を確立した。

さて、研究代表者らは変位分布制御を応力制御へ応用し、平成 15～18 年度の科学研究費補助金・基盤研究(C)「応力状態を制御するインテリジェント複合平板の最適設計に関する基礎的研究」(15560074)で、定常熱応力を制御する場合の基礎的な研究を行い、当初の計画通りの成果を得た。そこで、次に実用的化を図るため、過渡的に応答して非定常熱応力を自律制御するインテリジェント機能の発現手段を開発する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、1つの耐熱性構造材料層(構造材料層)の上に、1つのセンサ用圧電セラミックス層(センサ層)と数個の電極が配置された多数のアクチュエータ用圧電セラミックス層(アクチュエータ層)が接着された多層複合平板をインテリジェント構造物のモデルとする。研究目的は、この多層複合平板において、安全性と長寿命化を図るために設定された許容応力に基づき、作用した未知の非定常熱負荷分布に適応して非定常熱応力を自律的に制御するインテリジェント機能の実用的な発現手段を開発する事と、インテリジェント機能が最大限に発現されるように最適設計されたモデルを提示する事である。

- (1) インテリジェント機能の発現手段の開発
初めに、センサ層に誘起された非定常電位差分布から構造材料層に作用した未知の非定常熱負荷分布を決定する逆問題を理論的に解析し、非定常熱負荷分布を検知するセンサ機能の発現手段を開発する。

次に、過渡状態で構造材料層の熱応力とアクチュエータ層の応力がそれぞれの許容応力を超えないように、各電極に印加すべき非定常ステップ電位差を理論解析と最適化によって決定し、非定常熱応力を制御するアクチュエータ機能の発現手段を開発する。

このセンサ機能とアクチュエータ機能を組合せ、作用した未知の非定常熱負荷分布に適応して非定常熱応力を自律制御するインテリジェント機能の発現手段を開発する。

- (2) インテリジェント機能の実用的な過渡的応答性の実現手段の開発

インテリジェント機能が実用的な速さで過渡現象に応答できるように、各電極に印加すべき電位差を決める非定常・非線形最適化問題の高速数値解析法を開発する。

- (3) 耐熱性インテリジェント多層複合平板の構造最適設計手法の開発

過渡状態において構造材料層の最大熱応力を制御する機能が最大限に発現されるように、複合平板の構造と各アクチュエータ層の電極配置を最適設計する手法を開発し、インテリジェント多層複合平板の最適設計モデルと最大熱応力の抑制率を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) インテリジェント機能の発現手段の開発

アクチュエータ機能の発現手段の開発

構造材料層と数個の電極が配置されたアクチュエータ層とで構成された二層複合平板において、構造材料層に既知の非定常熱負荷分布と各電極に任意の非定常電位差が作用した場合の順問題を、研究代表者らが提案したポテンシャル関数法を適用して理論解

析する。次に、各アクチュエータ層に許容応力に基づく制約条件を設け、構造材料層の非定常最大熱応力が許容応力を超えたときのみ、各時間ステップで最適化を行って許容応力以下になるように各電極の印加電位差を決定する。さらに、数値シミュレーションを行い、過渡的に応答するアクチュエータ機能が発現できている事を検証し、最大熱応力を最小化するときの抑制率を明らかにする。

センサ機能の発現手段の開発

構造材料層とセンサ層とで構成された二層複合平板において、構造材料層に未知の非定常熱負荷分布が作用し、センサ層に設けた数個の測定点で非定常電位差分布が測定された場合を考える。この非定常逆問題を、研究代表者らが提案した時間変数に関する差分法と空間変数に関するポテンシャル関数法を用いて理論的に解析し、任意の時間ステップにおいて、測定された電位差分布から未知の熱負荷分布を決定する。併せて、数値シミュレーションを行い、過渡的に応答するセンサ機能が発現できている事を検証する。

インテリジェント機能の発現手段の開発

構造材料層にセンサ層とアクチュエータ層が接着された三層複合平板において、構造材料層に未知の非定常熱負荷分布が作用した場合を考える。と の研究で開発されるセンサ機能とアクチュエータ機能を組合せ、センサ層とアクチュエータ層に設けた許容応力に基づく制約条件の下に、作用した未知の非定常熱負荷分布に適応して、構造材料層の非定常最大熱応力が許容応力を超えたときのみ許容応力以下になるように自律的に制御されるインテリジェント機能の発現手段を開発する。併せて、数値シミュレーションを行い、過渡的に応答するインテリジェント機能が発現できている事を検証する。

(2) インテリジェント機能の実用的な過渡的応答性の実現手段の開発

非線形最適化問題の線形化解析法の開発

各電極の印加電位差を決める非線形最適化問題の大域的な最適解を一般的に得る事は困難である。そこで、線形弾性解析の特徴を生かし、複合平板に熱負荷が作用した場合の熱・電気・弾性問題の解に、単位電位差が印加された場合の電気・弾性問題の解を重ね合わせる事によって、非線形最適化問題を線形計画問題に帰着する解析手法を開発する。

印加電位差の予測アルゴリズムの開発

各時間ステップにおいて非定常最適化問題を単純に繰返して解くと長時間を要するために、アクチュエータ機能が過渡現象に追従できない。そこで、ある時間ステップまでに決定された印加電位差の履歴に基づいて、次の時間ステップにおける印加電位差を予

測するアルゴリズムを開発する。

次に、 の手法と併用し、非定常最適化問題を高速処理できる数値解析法を開発する。

(3) 耐熱性インテリジェント多層複合平板の構造最適設計手法の開発

(1)と(2)の研究成果に基づき、構造材料層にセンサ層と多数のアクチュエータ層が接着された多層複合平板において、構造材料層に作用した未知の非定常熱負荷分布に適応して、構造材料層の非定常最大熱応力が許容応力を超えたときのみ許容応力以下に自律的に制御されるインテリジェント機能の発現手段を開発する。さらに、非定常最大熱応力を最小化するときの抑制率が最高となるように、センサ層の厚さ、アクチュエータ層の数と厚さ及び電極配置を決める構造最適設計手法を開発する。最後に、数値シミュレーションを行い、設定通りのインテリジェント機能が発現できている事を検証し、最適設計モデルと熱応力の抑制率を明らかにする。

4. 研究成果

(1) インテリジェント機能の発現手段の開発

アクチュエータ機能の発現手段の開発

構造材料層と数個の電極が配置されたアクチュエータ層とで構成された二層複合平板において、構造材料層に非定常熱負荷分布と各電極に非定常電位差が作用した場合の順問題を、研究代表者らが提案したポテンシャル関数法を適用して理論解析し、変位、応力、電位及び電束密度を表す関数を導いた。次に、アクチュエータ層の各応力成分が許容応力を超えないように制約条件を設けて、各時間ステップで最適化を行い、構造材料層の非定常最大熱応力を常に最小化するために各電極に印加すべき非定常電位差を決定した。さらに、数値シミュレーションを行って過渡的に応答するアクチュエータ機能が発現できている事を検証した。

この二層複合平板において、構造材料層に既知の非定常熱負荷分布が作用した場合に、構造材料層の非定常最大熱応力が許容応力を超えたときのみ許容応力以下に制御されるアクチュエータ機能の発現手段を開発した。本題は目的関数が無い最適化問題であり、解く事が困難なため、代替目的関数について検討したところ、最大印加電位差を最小化する最適化問題に変換すると安定な最適解が得られる事が分った。併せて、数値シミュレーションを行い、設定されたアクチュエータ機能が発現できている事を検証した。

センサ機能の発現手段の開発

構造材料層とセンサ層とで構成された二層複合平板において、構造材料層に未知の非定常熱負荷分布が作用した場合に、センサ層で測定された非定常電位差分布から未知の

非定常熱負荷分布を決定する逆問題を，研究代表者らが提案した時間変数に関する差分法と空間変数に関するポテンシャル関数法を併用して理論解析した．併せて，数値シミュレーションを行い，過渡的に応答するセンサ機能が発現できている事を検証した．

インテリジェント機能の発現手段の開発
構造材料層の上にセンサ層とアクチュエータ層が接着された三層複合平板において，構造材料層に未知の非定常熱負荷分布が作用した場合を解析した．初めに，で開発したセンサ機能の発現手段を用い，センサ層で測定された非定常電位差分布から未知の非定常熱負荷分布を決定した．次に，で開発したアクチュエータ機能の発現手段を用い，センサ層とアクチュエータ層の応力を許容応力以下に抑えるように制約条件を設け，構造材料層の非定常最大熱応力が常に最小になるように，アクチュエータ層の各電極に印加する非定常電位差を最適に決定する手法を開発した．併せて，数値シミュレーションを行い，未知の非定常熱負荷分布に適応して非定常熱応力を制御するインテリジェント機能が発現できている事を検証した．

さらに，同じ三層複合平板において，構造材料層に作用した未知の非定常熱負荷分布に適応して，センサ層とアクチュエータ層に設けた許容応力に基づく制約条件の下に，構造材料層の非定常最大熱応力が許容応力を超えたときのみ許容応力以下になるように自律的に制御されるインテリジェント機能の発現手段を開発した．併せて，数値シミュレーションを行い，設定したインテリジェント機能が発現できている事を検証した．

(2) インテリジェント機能の実用的な過渡的応答性の実現手段の開発

非線形最適化問題の線形化解析法の開発
熱負荷が作用した場合の熱・電気・弾性問題の解に，単位電位差が作用した場合の電気・弾性問題の解を重ね合わせる事によって，印加電位差を決める非線形最適化問題を印加電位差の倍率係数を決める線形計画問題に帰着する解析手法を開発した．その結果，最適解が必然的に得られるようになり，多層複合平板の最適設計が可能になった．

印加電位差の予測アルゴリズムの開発
アクチュエータ層に印加すべき電位差を履歴情報に基づいて決定する事によって，アクチュエータ機能が過渡現象に追従できるように，最適化問題を高速処理するアルゴリズムを開発した．また，最適化問題を解く過程で，応力制約条件を満たすための繰返しに計算時間の殆どが費やされている事が分った．そこで，不要な制約条件を適宜排除し，かつ有効な制約条件の履歴情報を利用して繰返し計算を効率化する手法を開発した．

次に，の手法と併用し，非定常最適化問題を高速処理できる数値解析法を開発した．

(3) 耐熱性インテリジェント多層複合平板の構造最適設計手法の開発

応力を直接制御する多層複合平板の試行錯誤法による最適設計

1つの構造材料層と多くのアクチュエータ層で構成された多層複合平板において，構造材料層に定常熱負荷分布が作用した場合に，最大熱応力の抑制率が最高となるように，アクチュエータ層の厚さと電極配置を試行錯誤法で最適設計する手法を開発した．尚，設計変数を減らすために，電極は3個に限定し，印加電位差は線形計画法で決定した．導かれた近似最適設計手順は次の通りである．

- アクチュエータが1層の場合について，最大熱応力の抑制率が最高となるように電極配置と層厚を決定する．
- 前項で決定された電極配置と層厚を持つアクチュエータを多層化し，アクチュエータ層の全厚を最大熱応力の抑制率が最高となるように決定する．
- 最外アクチュエータ層の電極配置のみを最適化変数とし，最大熱応力の抑制率が最高となるように決定する．

アクチュエータが1～4層の場合について数値シミュレーションを行ったところ，得られた最大熱応力の抑制率はアクチュエータが4層のときに最高で38.3%になった．

応力を直接制御する二層複合平板の逐次最適化法による最適設計

構造材料層とアクチュエータ層で構成された二層複合平板において，構造材料層に定常熱負荷分布が作用した場合に，印加電位差を線形計画法で，層厚と電極配置を粒子群最適化法で，逐次最適化する手法を開発した．この手法により，で設けた設計変数の制限を取り除く事ができた，併せて，数値シミュレーションを行ったところ，得られた最大熱応力の抑制率は電極が5個のときに最高で25.0%になった．尚，の場合でアクチュエータが1層のときの最高抑制率は24.2%であり，ほぼ同じ結果となった．

応力を直接制御する多層複合平板の逐次最適化法による最適設計

構造材料層に多数のアクチュエータ層が接着された多層複合平板において，構造材料層に定常熱負荷分布が作用した場合に，で開発した逐次最適化法を適用して層厚と電極配置の最適設計を行った．本題は予想以上に難解で安定な最適解を得る事は非常に困難であった．そこで，妥当な最適解を与える優勢な粒子を選別し，粒子が設計空間内に収まるようにアルゴリズムと更新則を改良した．さらに，で開発した近似最適設計手順を応用したところ，安定した最適解が得られるように

なった。併せて、数値シミュレーションを行ったところ、得られた最大熱応力の抑制率はアクチュエータが4層のときに最高で40.8%に達した。尚、アクチュエータが3層の場合の抑制率は40.4%であり、アクチュエータの層数や電極数に対して最高抑制率はほぼ飽和している事が分った。

高機能アクチュエータ層の開発

の二層複合平板ではアクチュエータ層に均質圧電材料を使用した。そこで、より応力制御機能を高めるために、アクチュエータに傾斜機能圧電材料層を用いた場合について解析を行った。で開発した逐次最適化法を応用して、傾斜機能圧電アクチュエータ層の物性値の変化を理想的に設計する手法を開発した。併せて、数値シミュレーションを行ったところ、アクチュエータ層に5個の電極が等幅等間隔に配置された場合、最大熱応力の抑制率は最高で40.7%に達した。の結果と比較すると、最高抑制率は約15.7%も向上した。

最大熱応力の抑制率を高めるための研究は今後も継続し、傾斜機能圧電アクチュエータの多層化や電極の最適設計を行う予定である。

インテリジェント複合平板の最適設計

1つの構造材料層の上に1つのセンサ層と多数のアクチュエータ層が接着されたインテリジェント多層複合平板において、の手法を適用して最適設計した。設計変数はセンサ層の厚さ、アクチュエータ層の数と厚さ、及び電極配置で、構造材料層に作用した未知の非定常熱負荷分布に適応して、構造材料層の非定常最大熱応力を常に最小化する機能が最大限に発現されるように決定した。その結果、非定常最大熱応力の抑制率は、時刻によって異なるものの、アクチュエータが3層で、各層に電極が5個配置された場合に最高となり、全時刻の平均が23.8%になった。この場合も最高抑制率はほぼ飽和する事が分った。

この最適設計されたインテリジェント多層複合平板において、構造材料層に作用した未知の非定常熱負荷分布に適応して、構造材料層の非定常最大熱応力が許容応力を超えたときのみ許容応力以下になるように自律的に制御される問題を解析した。併せて、数値シミュレーションを行い、設定したインテリジェント機能が発現できている事を検証した。

尚、本研究で得られた成果を取り纏めて論文を作成し、学術雑誌に投稿する予定である。

ところで、応力を直接制御した場合に比べ、インテリジェント複合平板の場合は非定常最大熱応力の抑制率が大幅に低くなった。この原因はセンサ層の影響であると考えられ、インテリジェント複合平板の構造上、最大熱応力の抑制率の低下は不可避となる。そこで、今後もこの研究を続け、アクチュエータ層に

の傾斜機能圧電材料層を利用し、非定常最大熱応力の抑制率の向上を図る予定である。

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)

A. El Sawaf, F. Ashida, S. Sakata, Optimum Structure Design of a Multilayer Piezo-composite Disk for Control of Thermal Stress, Journal of Thermal Stresses, Vol. 35, No. 9, 2012, pp. 805-819.

DOI: 10.1080/01495739.2012.689233

A. El Sawaf, F. Ashida, S. Sakata, Hybrid Constrained Optimization for Design of a Piezoelectric Composite Disk Controlling Thermal Stress, Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vo. 60, 2012, pp. 145-154. https://www.jstage.jst.go.jp/article/nctam/60/0/60_145/_article.

F. Ashida, S. Sakata, Y. Sugimoto, Control of Transient Thermal Stress in a Piezo-composite Disk, International Journal of Theoretical and Applied Multiscale Mechanics, Vol.2, No.1, 2012, pp. 19-37.

<http://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=41171>.

A. El Sawaf, F. Ashida, S. Sakata, Optimum Design of Electrode Arrangements in a Multilayer Piezo-composite Disk for Control of Thermal Stress, Journal of Computational Science and Technology, Vol. 4, No. 2, 2010, pp. 77-88.

DOI: 10.1299/jcst.4.77

[学会発表](計23件)

関口大志, 芦田文博, 森本卓也, 熱応力を制御する傾斜機能性圧電複合円板の材料組成と電極の設計, 日本機械学会中国四国支部第52期総会・講演会, 2014年3月7日, 鳥取大学.

岩橋大貴, 芦田文博, 森本卓也, 非定常熱負荷が作用するスマート多層複合円板における非定常最大熱応力の制御, 日本機械学会中国四国支部第52期総会・講演会, 2014年3月7日, 鳥取大学.

F. Ashida, T. Morimoto, Control of Thermal Stress in a Piezoelectric-based Composite Disk, China-Japan Joint-Symposium on Mechanics of Advanced Materials and Structures, November 8-10, 2013, Zhejiang University, Hangzhou, P. R. China.

芦田文博, 坂田誠一郎, 森本卓也, 山田剛志, 非定常熱応力を制御するスマート多層複合円板の解析, 日本機械学会 M&M 2013 材料力学カンファレンス, 2013年10月12日~14日, 岐阜大学.

F. Ashida, S. Sakata, T. Morimoto, T. Yamada, Control of Transient Thermal Stress in a Smart Piezo-composite Disk, The 10th International Congress on Thermal Stresses, May 31 - June 4, 2013, Nanjing University of

Astronautics and Aeronautics, Nanjing, P. R. China

岩橋大貴, 芦田文博, 森本卓也, 坂田誠一郎, 熱応力を制御するスマート複合円板における電極配置の最適設計, 日本機械学会中国四国支部第 51 期総会・講演会, 2013 年 3 月 8 日, 高知工科大学.

亀井一樹, 芦田文博, 坂田誠一郎, 森本卓也, 傾斜機能性圧電複合円板における圧電層の材料特性が熱応力に及ぼす影響, 日本機械学会中国四国支部第 51 期総会・講演会, 2013 年 3 月 8 日, 高知工科大学.

F. Ashida, S. Sakata, H. Suzuki, Material Design of a Functionally Graded Piezoelectric Composite Disk for Control of Thermal Stress, The 3rd Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures, December 5-8, 2012, Indian Institute of Technology Delhi, Delhi, India.

山田剛志, 芦田文博, 坂田誠一郎, スマート多層複合円板における非定常熱応力の制御, 日本機械学会 M&M2012 材料力学カンファレンス, 2012 年 9 月 21 日~24 日, 愛媛大学城北キャンパス.

亀井一樹, 芦田文博, 坂田誠一郎, 結晶族 6mm の圧電材料の材料特性が熱応力に及ぼす影響, 日本機械学会 M&M2012 材料力学カンファレンス, 2012 年 9 月 21 日~24 日, 愛媛大学城北キャンパス.

A. El Sawaf, F. Ashida, S. Sakata, Optimum Structure Design of a Multilayer Piezo-composite Disk for Control of Thermal Stress, The 23rd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, August 19-24, 2012, China National Convention Center, Beijing, P. R. China.

鈴木光, 芦田文博, 坂田誠一郎, 熱応力を制御する傾斜機能性圧電複合円板の材料設計, 日本機械学会中国四国支部第 50 期総会・講演会, 2012 年 3 月 8 日, 広島大学工学部.

山田剛志, 芦田文博, 坂田誠一郎, 任意の熱負荷を受けるスマート複合円板の非定常熱応力の制御, 日本機械学会中国四国支部第 50 期総会・講演会, 2012 年 3 月 8 日, 広島大学工学部.

A. El Sawaf, F. Ashida, S. Sakata, Efficient Optimum Design of a Piezoelectric Composite Disk for Thermal Stress Control, The 9th International Congress of Thermal Stresses, June 5-9, 2011, Budapest University of Technology, Budapest, Hungary.

A. El Sawaf, F. Ashida, S. Sakata, Hybrid Constrained optimization for Design of a Piezoelectric Composite Disk Controlling Thermal Stress, 第 60 回理論応用力学講演会, 2011 年 3 月 8~10 日, 東京工業大学.

A. El Sawaf, F. Ashida, S. Sakata, Efficient Optimum Design of Electrode Arrangements

in a Multilayer Piezo-Composite Disk for Control of Thermal Stress, The 2nd Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures, October 22-25, 2010, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, P. R. China.

M. Tomozawa, S. Sakata, F. Ashida, Design of Electrodes in a Two-layered Piezoelectric Composite Disk for Control of Thermal Stress, The 2nd Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures, October 22-25, 2010, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, P. R. China.

鈴木光, 芦田文博, 坂田誠一郎, 熱応力を制御するための多層圧電複合円板の材料設計, 日本機械学会 2010 年度年次大会, 2010 年 9 月 5 日~8 日, 名古屋工業大学.

F. Ashida, S. Sakata, Y. Sugimoto, Control of Transient Thermal Stress in a Piezo-composite Disk, The 12th International Congress on Mesomechanics, June 21-25, 2010, National Taiwan University of Science and Technology.

友澤雅典, 坂田誠一郎, 芦田文博, 二層圧電複合円板における熱応力制御のための電極の最適化, 日本機械学会中国四国支部第 48 期総会・講演会, 2010 年 3 月 6 日, 広島工業大学.

⑲ A. ElSawaf, F. Ashida, S. Sakata, Optimum Design of Electrode Arrangements in a Piezo-Composite Disk for Control of Thermal Stress, 日本機械学会第 22 回計算力学講演会, 2009 年 10 月 10 日~12 日, 金沢大学.

⑳ 杉本陽平, 芦田文博, 坂田誠一郎, 二層圧電複合円板における非定常熱応力の効率的制御, 日本機械学会第 22 回計算力学講演会, 2009 年 10 月 10 日~12 日, 金沢大学.

㉑ A. ElSawaf, F. Ashida, S. Sakata, Optimum Design of a Piezo-composite Disk for Control of Thermal Stress, The 8th International Congress on Thermal Stresses, June 1-4, 2009, Illini Union, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芦田 文博 (Fumihiko Ashida)
島根大学・総合理工学研究科・教授
研究者番号: 60149961

(2) 研究分担者(平成 21 年度~平成 23 年度)

坂田 誠一郎 (Sei-ichiro Sakata)
島根大学・総合理工学研究科・准教授
研究者番号: 80325042