

氏 名（本 籍）	太 田 智 浩（岐阜県）
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学 位 授 与 番 号	乙第 52 号
学 位 授 与 日 付	平成 18 年 3 月 25 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	三次元有限要素法による電磁アクチュエータの動作特性解析法およびその応用に関する研究 (Dynamic Characteristics Analysis Method for Electromagnetic Actuator Using 3-D Finite Element Method and Applications)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 河 瀬 順 洋 (副査) 教 授 田 中 嘉津夫 教 授 岸 田 邦 治 助教授 山 口 忠

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、三次元有限要素法を用いて電磁アクチュエータの動作特性を解析するために、可動部の移動方向と分割図の作成に制限を設けることで可動部の移動に伴う分割図の自動修正を高速化する手法の開発、および本手法を用いて複雑な動作をする電磁アクチュエータの動作特性を明らかにすることを目的としており、本研究で得られた成果を要約すると以下のようなものである。

(1) マクスウェルの電磁方程式より導かれる三次元場の磁界の基礎方程式について、三次元有限要素法を用いてガラーキン法により定式化する方法および四面体辺要素により離散化する手法について明らかにしている。さらに、渦電流などの時間微分項の取り扱い方法、透磁率の非線形性を含む計算にはニュートン・ラプソン法、マクスウェルの応力法による電磁力計算方法についても明らかにしている。

(2) 三次元磁界解析と電気回路方程式、運動方程式および熱伝導方程式との連成方法を示すとともに、座標系として運動座標系を選択してステップバイステップにより電磁アクチュエータの動作特性を計算する手法を明らかにしている。さらに、可動部の運動方向に制限を設けることで、可動部の移動に伴い三次元分割図を短時間で自動修正する方法を明らかにしている。

(3) 可動部が直線運動（可変速）で、かつ移動距離が大きなりニア電磁アクチュエータの動作特性を解析する方法について明らかにしている。提案手法は可動部と固定部の三次元分割図を作成して、可動部を移動させて可動部前方の分割図を切り取り、可動部後方と合成する手法である。本手法を静音フレーム型リニア電磁ソレノイドの動作特性に適用して、動作特性の実測値と計算値の比較からその妥当性を示すとともに、プランジャの形状や材質が渦電流損に与える影響を明らかにしている。

(4) 可動部が自転運動せずに公転運動のみするスクロールアクチュエータの動作特性を解析する手法について明らかにしている。提案手法はあらかじめ  $x$  方向の初期と最終分割図、 $y$  方向の初期と最終分割図の合計 4 つの分割図を作成して、4 つの分割図の座標を補間することで平面運動する三次元分割図を自動修正する手法である。本手法をリラクタンس構造と PM ディスク構造スクロールアクチュエータの動作特性に適用して、静的なトルク特性の実測値と計算値の比較よりその妥当性を示すとともに、2 種類の構造の性能を比較することで特徴を明らかにしている。

(5) 周囲の温度変化により磁気特性が大きく変化する感温磁性材料を用いたアクチュエータの動作特性を解析する手法について明らかにしている。提案手法はあらかじめ感温磁性材料の各温度に対する磁化曲線のデータテーブルを用意しておき、熱伝導解析により求めた感温磁性材料の温度分布に従い、感温磁性材料の各要素の磁化曲線を内挿することで求める手法である。本手法を感温磁性サーモスイッチの動作特性へ適用して、熱伝導特性の実測値と計算値の比較からその妥当性を示すとともに、発熱温度に対する応答時間を明らかにしている。

(6) 回転運動や直線運動する可動部を複数有するアクチュエータの動作特性を解析する手法について明らかにしている。提案手法は直線運動（一定速度）する可動部には移動領域を等間隔に要素分割して、可動部の移動に伴い各要素の材質情報を変更する手法、さらに回転運動する可動部には回転動作に伴い可動部と固定部の分割図を任意の位置で自動的に合成する手法を併用する方法である。本手法を防犯スイッチの動作特性に適用して、検知距離マップの実測値と計算値の比較からその妥当性を示すとともに、複雑な動作原理を明らかにしている。

## 論文審査結果の要旨

本論文では、三次元有限要素法を用いて電磁アクチュエータの動作特性を解析するために、可動部の移動方向と分割図の作成に制限を設けることで可動部の移動に伴う分割図の自動修正を高速化する手法の開発、および本手法を用いて複雑な動作をする電磁アクチュエータの動作特性を明らかにすることを目的としており、本研究で得られた成果を要約すると以下のである。

(1) マクスウェルの電磁方程式より導かれる三次元場の磁界の基礎方程式について、三次元有限要素法を用いてガラーキン法により定式化する方法および四面体辺要素により離散化する手法について明らかにしている。さらに、渦電流などの時間微分項の取り扱い方法、透磁率の非線形性を含む計算にはニュートン・ラプソン法、マクスウェルの応力法による電磁力計算方法についても明らかにしている。

(2) 三次元磁界解析と電気回路方程式、運動方程式および熱伝導方程式との連成方法を示すとともに、座標系として運動座標系を選択してステップバイステップにより電磁アクチュエータの動作特性を計算する手法を明らかにしている。さらに、可動部の運動方向に制限を設けることで、可動部の移動に伴い三次元分割図を短時間で自動修正する方法を明らかにしている。

(3) 可動部が直線運動(可変速)で、かつ移動距離が大きなりニア電磁アクチュエータの動作特性を解析する方法について明らかにしている。提案手法は可動部と固定部の三次元分割図を作成して、可動部を移動させて可動部前方の分割図を切り取り、可動部後方と合成する手法である。本手法を静音フレーム型リニア電磁ソレノイドの動作特性に適用して、動作特性の実測値と計算値の比較からその妥当性を示すとともに、プランジャの形状や材質が渦電流損に与える影響を明らかにしている。

(4) 可動部が自転運動せずに公転運動のみするスクロールアクチュエータの動作特性を解析する手法について明らかにしている。提案手法はあらかじめ  $x$  方向の初期と最終分割図、 $y$  方向の初期と最終分割図の合計 4 つの分割図を作成して、4 つの分割図の座標を補間することで平面運動する三次元分割図を自動修正する手法である。本手法をリラクタンス構造と PM ディスク構造スクロールアクチュエータの動作特性に適用して、静的なトルク特性の実測値と計算値の比較よりその妥当性を示すとともに、2 種類の構造の性能を比較することで特徴を明らかにしている。

(5) 周囲の温度変化により磁気特性が大きく変化する感温磁性材料を用いたアクチュエータの動作特性を解析する手法について明らかにしている。提案手法はあらかじめ感温磁性材料の各温度に対する磁化曲線のデータテーブルを用意しておき、熱伝導解析により求めた感温磁性材料の温度分布に従い、感温磁性材料の各要素の磁化曲線を内挿することで求める手法である。本手法を感温磁性サーモスイッチの動作特性へ適用して、熱伝導特性の実測値と計算値の比較からその妥当性を示すとともに、発熱温度に対する応答時間を明らかにしている。

(6) 回転運動や直線運動する可動部を複数有するアクチュエータの動作特性を解析する手法について明らかにしている。提案手法は直線運動(一定速度)する可動部には移動領域を等間隔に要素分割して、可動部の移動に伴い各要素の材質情報を変更する手法、さらに回転運動する可動部には回転動作に伴い可動部と固定部の分割図を任意の位置で自動的に合成する手法を併用する方法である。本手法を防犯スイッチの動作特性に適用して、検知距離マップの実測値と計算値の比較からその妥当性を示すとともに、複雑な動作原理を明らかにしている。

以上、本論文は三次元有限要素法を用いた電磁アクチュエータの動作特性解析のための高速自動分割図合成法と、提案手法を用いて複雑な動作特性を明確にし、その有用性を示したものであり、学術上、實際上寄与することが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学術論文として価値あるものと認める。

## 最終試験結果の要旨

公聴会後に、学位論文に関する口頭質問を行い、これを最終試験に代え、合格と判定した。