

明 細 書

発明の名称：コア設計装置、コア設計方法、およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、コア設計装置、コア設計方法、およびプログラムに関し、特に、コアを設計するために用いて好適なものである。本願は、2022年3月1日に日本に出願された特願2022-031019号に基づき優先権を主張し、それらの内容を全てここに援用する。

背景技術

[0002] 例えばモータなどのコア（鉄心）を備える機器においては、コアの設計が機器の性能に大きな影響を与える。例えば、IPMSM（Interior Permanent Magnet Synchronous Motor）のロータの形状は複雑化している。このようなロータにおいては、鉄心に埋め込まれる永久磁石の周辺にフラックスバリアを適切に配置することで磁束を制御することができる。したがって、トルク特性の向上、鉄損の低減、および応力の緩和を図ることができる。

[0003] そこで、本発明者らは、特許文献1に記載の発明をした。特許文献1に記載の発明では、コアの設計対象領域であるデザイン領域に対し少なくとも1つの設計対象要素の基本形状を設定する。そして、設計対象要素の基本形状に対して施す写像の最適解を、最適化問題のアルゴリズムを用いて計算する。特許文献1には、設計対象要素の基本形状に対して施す写像が線形写像である場合の他、同相の非線形写像であっても良いことが記載されている。設計対象要素の基本形状に対して施す写像を同相の非線形写像とすれば、線形写像である場合よりも、最適なコアの形状を探索する際の探索範囲を広くすることが可能になる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2021-114099号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1には、設計対象要素の基本形状に対して施す写像を非線形写像とする場合の具体的な手法が開示されていない。設計対象要素の基本形状に対して非線形写像を施すと、設計対象要素の形状が過度に複雑な形状になる虞がある。したがって、実現が容易ではない形状または実質的に不可能な形状が得られる虞がある。一方で、設計対象要素の基本形状に対して非線形写像を施した場合の形状が単純すぎる形状であると、機器の性能が十分に向上するコアの形状を設計することができない虞がある。したがって、実現可能な範囲内で可及的に広範囲の探索範囲の中から、機器の性能を向上させるコアの形状を探索することが望まれる。

[0006] 本発明は、以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、実現可能な範囲内でより広い範囲を探索領域として、機器の性能を向上させるコアの形状を探索することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明のコア設計装置は、コアの形状の設計に関する計算を行うコア設計装置であって、前記コアの設計対象要素の基本形状を取得する基本形状取得部と、前記コアの設計対象要素の形状を前記基本形状から変更することにより、前記コアの形状を決定するコア形状決定部と、を備え、前記コア形状決定部は、前記設計対象要素の形状に対する変形の内容を示す変形パターンを取得する変形パターン取得部と、適用パラメータを取得するパラメータ取得部と、前記変形パターンと、前記適用パラメータと、を用いて、前記設計対象要素の形状を変更する設計対象要素変更部と、前記設計対象要素の形状が変更された前記コアを有する機器を動作させたときの前記機器の特性を示す値を算出する特性値算出部と、前記機器の特性を示す値に基づいて、前記コアの形状を決定する決定部と、を有し、前記適用パラメータは、前記設計対象要素に前記変形パターンを適用する際の前記変形パターンの適用方法を示すパラメータを含み、前記設計対象要素変更部は、前記適用方法に従って前記変形パターンを前記設計対象要素に適用することにより当該設計対象要素

に対して非線形写像を施し、前記変形パターンは、前記設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示し、前記変形パターンの少なくとも 1 つは、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す。

[0008] 本発明のコア設計方法は、コアの形状の設計に関する計算を行うコア設計方法であって、前記コアの設計対象要素の基本形状を取得する基本形状取得工程と、前記コアの設計対象要素の形状を前記基本形状から変更することにより、前記コアの形状を決定するコア形状決定工程と、を備え、前記コア形状決定工程は、前記設計対象要素の形状に対する変形の内容を示す変形パターンを取得する変形パターン取得工程と、適用パラメータを取得するパラメータ取得工程と、前記変形パターンと、前記適用パラメータと、を用いて、前記設計対象要素の形状を変更する設計対象要素変更工程と、前記設計対象要素の形状が変更された前記コアを有する機器を動作させたときの前記機器の特性を示す値を算出する特性値算出工程と、前記機器の特性を示す値に基づいて、前記コアの形状を決定する決定工程と、を有し、前記適用パラメータは、前記設計対象要素に前記変形パターンを適用する際の前記変形パターンの適用方法を示すパラメータを含み、前記設計対象要素変更工程は、前記適用方法に従って前記変形パターンを前記設計対象要素に適用することにより当該設計対象要素に対して非線形写像を施し、前記変形パターンは、前記設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示し、前記変形パターンの少なくとも 1 つは、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す。

[0009] 本発明のプログラムは、前記コア設計装置の各部としてコンピュータを機能させる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図 1 は、コア設計装置の機能的な構成の一例を示す図である。

[図2A]図 2 A は、設計対象要素が設定される前のコアの設計の過程の一例を概念的に示す図である。

[図2B]図 2 B は、基本形状の設計対象要素が設定されたコアの要素の一例を

示す図である。

[図3A]図3 Aは、変形パターンの第1の例を概念的に示す図である。

[図3B]図3 Bは、変形パターンの第2の例を概念的に示す図である。

[図4A]図4 Aは、基本形状の設計対象要素が変形される様子の第1の例を概念的に示す図である。

[図4B]図4 Bは、基本形状の設計対象要素が変形される様子の第2の例を概念的に示す図である。

[図5A]図5 Aは、設計対象要素の形状が変更される際のコアの設計の過程の第1段階の一例を概念的に示す図である。

[図5B]図5 Bは、設計対象要素の形状が変更される際のコアの設計の過程の第2段階の一例を概念的に示す図である。

[図5C]図5 Cは、設計対象要素の形状が変更される際のコアの設計の過程の第3段階の一例を概念的に示す図である。

[図6A]図6 Aは、重なりの第1の例を説明する図である。

[図6B]図6 Bは、重なりの第2の例を説明する図である。

[図6C]図6 Cは、重なりの第3の例を説明する図である。

[図6D]図6 Dは、重なりの第4の例を説明する図である。

[図7]図7は、はみ出しの一例を説明する図である。

[図8A]図8 Aは、コア設計方法の一例を説明するフローチャートである。

[図8B]図8 Bは、図8 Aに続くフローチャートである。

[図9]図9は、コア設計装置のハードウェアの構成の一例を示す図である。

[図10A]図10 Aは、設計前のコアの一例を示す図である。

[図10B]図10 Bは、設計後のコアの比較例を示す図である。

[図10C]図10 Cは、設計後のコアの発明例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照しながら、本発明の一実施形態を説明する。

なお、長さ、位置、大きさ、間隔等、比較対象が同じであることは、厳密に同じである場合の他、発明の主旨を逸脱しない範囲で異なるもの（例えば

、設計時に定められる公差の範囲内で異なるもの)も含むものとする。また、各図において、表記および説明の都合上、必要に応じて構成を簡略化または省略化して示す。また、各図において、 $x-y$ 座標は、各図における向きの関係を示すためのものである。 $x-y$ 座標の原点は、必ずしも各図に示す位置にならない。

[0012] 図1は、コア設計装置100の機能的な構成の一例を示す図である。コア設計装置100のハードウェアは、例えば、プロセッサ、主記憶装置、補助記憶装置、および各種のインターフェースを備える情報処理装置(コンピュータ装置)、または、専用のハードウェアを用いることにより実現される。

[0013] [コア設計装置100]

コア設計装置100は、コアの形状の設計に関する計算を行う。ここで、コアの要素には、例えば、鉄心と、鉄心の内部に配置される有体物(部品や材料)と、鉄心の内部に形成される空間と、鉄心の外周における凹部の空間と、鉄心の内周における凹部の空間と、が含まれる。鉄心の内部に配置される有体物(部品や材料)の一部は、鉄心の表面に露出していても良い。鉄心の領域(電磁鋼板等の磁性材料の領域)に加えて、鉄心の内部に配置される有体物の領域(部品や材料の領域)と、鉄心の内部に形成される空間と、鉄心の外周における凹部の空間と、鉄心の内周における凹部の空間と、のうち、少なくとも1つがコアの要素であれば、これらの全てがコアの要素である必要はない。

[0014] 図1において、コア設計装置100は、設計元情報取得部110と、基本形状取得部120と、コア形状決定部130と、出力部140と、を備える。

<設計元情報取得部110>

設計元情報取得部110は、設計対象のコアの情報を取得する。設計対象のコアの情報は、コア設計装置100がコアの設計に関する計算を行うために事前に準備しておく必要がある情報である。本実施形態では、設計元情報取得部110が、コアの設計対象領域であるデザイン領域の情報と、設計対

象要素以外のコアの要素の情報と、コアの各要素の物性値と、を含む情報を、設計対象のコアの情報として取得する場合を例示する。設計対象要素とは、前述したコアの要素のうち、形状、位置、および大きさなどの属性の設計が必要となる要素である。設計対象要素は、設計者などにより定められる。デザイン領域の情報は、デザイン領域を一意に特定するために必要な情報であり、例えば、デザイン領域の形状、大きさ、および位置を一意に特定することができる情報を含む。同様に設計対象要素以外のコアの要素の情報は、設計対象要素以外のコアの要素の領域を一意に特定するために必要な情報であり、設計対象要素以外のコアの要素の形状、大きさ、および位置を一意に特定することができる情報を含む。

[0015] 図2Aおよび図2Bは、設計対象要素の形状が変更される前のコアの設計の過程の一例を概念的に示す図である。本実施形態では、IPMSMのロータの形状を設計する場合を例示する。また、本実施形態では、IPMSMの中心線に垂直に切った断面の2次元形状を設計する場合を例示する。図2Aおよび図2Bにおいて、IPMSMの中心線に垂直に切った断面は、 $x-y$ 平面になる。

[0016] 本実施形態では、IPMSMのロータのコアが、鉄心と、鉄心内に設置される永久磁石と、鉄心内に形成されるフラックスバリアと、を備える場合を例示する。したがって、本実施形態では、ロータのコアの要素は、鉄心、永久磁石、およびフラックスバリアを含む。図2Aおよび図2Bに示す領域は、IPMSMのロータの断面であって、IPMSMの中心線に垂直に切った断面を4等分した4つの領域の1つである。これら4つの領域は4回対称の関係性を有するものとする。したがって、これら4つの領域のうちの1つの領域の設計をすれば、IPMSMのロータの断面であって、IPMSMの中心線に垂直に切った断面の全体を設計することができる。すなわち、これら4つの領域のうちの1つの領域において、鉄心、永久磁石、およびフラックスバリアを設計する。そして、4つの領域のうちの1つの領域において設計した、鉄心、永久磁石、およびフラックスバリアを、IPMSMの中心線を回

転軸として、 90° 、 180° 、 270° 回転させる。このようにすることにより、IPMSMのロータの断面であって、IPMSMの中心線に垂直に切った断面の全体を設計することができる。なお、フラックスバリアは、空間（空気）であるものとする。ただし、フラックスバリアは、空間ではなくても良い。例えば、フラックスバリアは、非磁性体で構成されても良い。

[0017] 本実施形態では、これらのコアの要素のうち、フラックスバリアが設計対象要素である場合を例示する。ただし、本実施形態では、フラックスバリアに加えて永久磁石が設計対象要素となることを考慮した説明も付記する。このように、IPMSMのロータを設計する場合、例えば、フラックスバリアと永久磁石とのうちの少なくとも一方を、設計対象要素とすることができる。

[0018] 図2Aは、設計対象要素が設定される前のコアの要素の一例を示す図である。

図2Aに示す例では、デザイン領域200は、鉄心の領域210の外縁で囲まれる領域であるものとする。図2Aに示すように、鉄心の領域210の外縁の形状は、中心角が 90° の環状扇形である。本実施形態では、鉄心の領域210の外縁で囲まれる領域の座標が、デザイン領域200の情報に含まれる場合を例示する。設計元情報取得部110は、このようなデザイン領域200の情報を取得して主記憶装置（作業領域）に設定する。また、設計元情報取得部110は、デザイン領域200をその他の領域と識別するための識別情報ID1を取得して、デザイン領域200の各座標に対して設定する。以下の説明では、鉄心の領域210を、必要に応じて鉄心210と称する。

[0019] 図2Aに示す例では、設計対象要素以外のコアの要素は、永久磁石であるものとする。したがって、図2Aに示す例では、設計対象要素以外のコアの要素の領域は、永久磁石の領域220の外縁で囲まれる領域である。図2Aに示すように、永久磁石の領域220の外縁の形状は、長方形である。本実施形態では、設計対象要素以外のコアの要素の領域（永久磁石の領域220

)の外縁で囲まれる領域の座標が、設計対象要素以外のコアの要素の情報である場合を例示する。設計元情報取得部110は、このような永久磁石の領域220の情報を取得してデザイン領域200に対して設定する。また、設計元情報取得部110は、設計対象要素以外のコアの要素の領域をその他の要素(領域)と識別するための識別情報ID2を取得して、設計対象要素以外のコアの要素の領域の各座標に対して設定する。なお、設計対象要素以外のコアの要素が複数種類ある場合、設計元情報取得部110は、設計対象要素以外のコアの要素の種類ごとに異なる識別情報ID2を設定する。以下の説明では、設計対象要素以外のコアの要素の領域を、必要に応じて設計対象要素以外のコアの要素と称し、永久磁石の領域220を、必要に応じて永久磁石220と称する。

[0020] また、設計元情報取得部110は、設計対象要素をその他の要素(領域)と識別するための識別情報ID3を取得する。なお、設計対象要素が複数種類ある場合、設計元情報取得部110は、設計対象要素の種類ごとに異なる識別情報ID3を取得する。前述したように本実施形態では、IPMSMのロータの鉄心内に形成されるフラックスバリアが設計対象要素である場合を例示する。図2Aに示す段階では、鉄心210にフラックスバリアが設定されていない。したがって、図2Aに示す段階では、識別情報ID3は、鉄心210に設定されていない。

[0021] また、設計元情報取得部110は、コアの各要素の物性値を示す情報を取得する。図2Aおよび図2Bに示す例では、コアの各要素の物性値には、鉄心210を構成する電磁鋼板等の磁性体の物性値と、永久磁石220の物性値と、設計対象要素の一例であるフラックスバリア(空気または非磁性体)の物性値と、が含まれる。

[0022] 本実施形態では、設計者が、コア設計装置100のユーザインターフェースを操作することにより、デザイン領域200の情報と、設計対象要素以外のコアの要素の情報と、コアの各要素の物性値を示す情報と、識別情報ID1～ID3と、をコア設計装置100に入力する場合を例示する。この場合

、設計元情報取得部 110 は、例えば、コア設計装置 100 のユーザインターフェースを介してコア設計装置 100 に入力された当該情報を取得する。ただし、設計元情報取得部 110 が当該情報を取得する方法は、このような方法に限定されない。例えば、通信ネットワークでコア設計装置 100 に接続されたコンピュータなどの外部装置が、当該情報をコア設計装置 100 に送信し、設計元情報取得部 110 が、当該情報を通信インターフェースで受信することにより取得しても良い。設計元情報取得部 110 は、コア設計装置 100 が備える記憶装置から、当該情報を取得しても良い。

なお、識別情報 ID1～ID3 については、設計元情報取得部 110 が自動的に生成しても良い。

[0023] <基本形状取得部 120>

基本形状取得部 120 は、設計対象要素の基本形状の情報を取得して、基本形状の設計対象要素をデザイン領域 200 に対して設定する。設計対象要素の基本形状の情報は、設計対象要素の具体的な形状に加えて、大きさおよび初期位置を一意に特定することができる情報を含む。本実施形態では、基本形状の設計対象要素の領域の外縁の各位置の座標が、設計対象要素の基本形状の情報に含まれる場合を例示する。基本形状は、例えば、設計対象要素の形状として想定される形状である。基本形状は、最終的に計算される形状が過剰に複雑になることを抑制するために、円や長方形のような単純形状であるのが好ましい。基本形状の数は任意であり、1つであっても、2つであっても、3つ以上であっても良い。複数の基本形状が設定される場合、各基本形状は同じ形状であっても異なる形状であっても良い。基本形状の位置および大きさは、基本形状がデザイン領域 200 内に位置していれば、限定されない。複数の基本形状が設定される場合、当該複数の基本形状の位置は、相互に離隔した位置となる。

[0024] 前述したように本実施形態では、設計対象要素がフラックスバリアである場合を例示する。IPMSMのロータにおいて、鉄心 210 がフラックスバリアに囲まれること（すなわち、鉄心がフラックスバリアの中で浮くような

こと)は起こらない。したがって、設計対象要素の基本形状は、当該設計対象要素の内部に、当該設計対象要素と異なる種類の要素が含まれないように設定されるのが好ましい。

[0025] 図2Bは、基本形状の設計対象要素が設定されたコアの要素の一例を示す図である。

図2Bでは、設計対象要素の基本形状として2つの基本形状が相互に離隔した位置に設定される場合を例示する。基本形状取得部120は、基本形状の設計対象要素の領域230a、230bの座標を、デザイン領域200に対して設定する。基本形状取得部120は、基本形状の設計対象要素の領域230a、230bの各座標に対して設定されている識別情報ID1を、設計対象要素の領域をその他の領域と識別するための識別情報ID3に変更する。以下の説明では、基本形状の設計対象要素の領域230a、230bを、必要に応じて基本形状の設計対象要素230a、230bと称する。

[0026] 本実施形態では、設計者が、コア設計装置100のユーザインターフェースを操作することにより、基本形状の設計対象要素230a、230bの情報をコア設計装置100に入力する場合を例示する。基本形状取得部120は、例えば、コア設計装置100のユーザインターフェースを介してコア設計装置100に入力された基本形状の設計対象要素230a、230bの情報を取得する。より具体的には例えば、基本形状取得部120は、図2Aに示すコアの要素の画像を含むGUI(Graphical User Interface)をコンピュータディスプレイに表示する。このGUIでは、コアの要素の画像において、デザイン領域200のうち永久磁石220以外の領域を、コア設計装置100のユーザインターフェースの操作により指定することができるものとする。設計者は、このような指定を行うことにより、基本形状の設計対象要素230a、230bの情報を、コア設計装置100に入力する。

[0027] ただし、基本形状取得部120が基本形状の設計対象要素230a、230bの情報を取得する方法は、このような方法に限定されない。例えば、前述した外部装置が、基本形状の設計対象要素230a、230bの情報をコ

ア設計装置 100 に送信し、基本形状取得部 120 が、基本形状の設計対象要素 230 a、230 b の情報を通信インターフェースで受信することにより取得しても良い。基本形状取得部 120 は、コア設計装置 100 が備える記憶装置から、設計対象要素 230 a、230 b の情報を取得しても良い。

[0028] <コア形状決定部 130>

コア形状決定部 130 は、コアの形状を決定する。本実施形態では、コア形状決定部 130 が、設計対象要素 230 a、230 b の形状をその基本形状から変更することにより、デザイン領域 200 における設計対象要素 230 a、230 b の形状、位置、および大きさなどを決定する場合を例示する。また、本実施形態では、コア形状決定部 130 が、変形パターン取得部 131 と、パラメータ取得部 132 と、設計対象要素変更部 133 と、特性値算出部 134 と、決定部 135 と、を有する場合を例示する。

[0029] <<変形パターン取得部 131>>

変形パターン取得部 131 は、設計対象要素の形状に対する変形の内容を示す変形パターンを取得する。変形パターンは、当該設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示す。また、変形パターンは少なくとも 1 種類以上を取得することができ、その少なくとも 1 つは、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す。以下に変形パターンの一例を説明する。

[0030] 発明が解決しようとする課題の欄に記載したように、設計対象要素の基本形状に対して非線形写像を施すと、設計対象要素の形状が過度に複雑な形状になる虞がある。そうすると、変形前後の形状が同相写像（位相同型）の関係にならなくなる虞がある。一方で、設計対象要素の基本形状に対して非線形写像を施した場合の形状が単純すぎる形状であると、コアの形状として機器の性能を向上させる形状を設計することができなくなる虞がある。

[0031] ここで、線形写像とは、加法性と斉一次性を満たす写像である。非線形写像とは、線形写像でない写像である。同相写像とは、2 つの位相空間間の写像が、全単射であり、且つ、連続写像であることと、その逆写像が、連続

写像であることと、を満たす写像である。同相写像が存在する場合、2つの位相空間は同相である。なお、線形写像、非線形写像、および同相写像の概念は、数学分野における一般的な概念と同じである。

[0032] 設計対象要素に対し非線形写像を施す場合には、何某かのパラメータを用いて非線形写像を表現する必要がある。したがって、写像の同相性の保存と、コアとして想定される範囲内での形状に任意性の確保と、の双方を両立させるパラメータを用いることが望まれる。この点について、特許文献1には、具体的なパラメータの開示がない。そこで、本発明者らは、設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示す変形パターンを用意したうえで、機器（本実施形態ではIPMSM）の特性が向上するような当該変形パターンの適用方法を探索することを着想した。このようにすることにより、設計対象要素の基本形状を柔軟に変更することができる。したがって、実現可能な範囲内で特許文献1に記載の技術よりも広い範囲を探索領域として、機器の性能を向上させるコアの形状を探索することができる。また、変形パターンにより設計対象要素の形状を変更することにより、設計対象要素を徐々に変形させることが可能になる。したがって、変形パターンを繰り返し設計対象要素に適用させる（すなわち、変形パターン310a、310bに示される内容で設計対象要素の形状を変更することを繰り返す）ことにより、コアとして想定される範囲内で機器（本実施形態ではIPMSM）の特性が向上する設計対象要素の形状を、広範囲の探索領域の中から探索することができる。

[0033] さらに、本発明者らは、変形パターンにおいて示される変形の内容を、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容とすることにより、写像の同相性の保存と、コアとして想定される範囲内での形状に任意性の確保と、の双方を両立させることを着想した。

変形パターンにおいて示される変形の内容を、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容とすれば、変形パターンにより設計対象要素の形状を変更することにより、変形前後の設計対象要素は同相写像の関係になる。

したがって、このような変形パターンを繰り返し設計対象要素に適用させる（すなわち、変形パターン 310a、310b に示される内容で設計対象要素の形状を変更することを繰り返す）ことにより、変形前後の設計対象要素の同相性を保存しつつ、コアとして想定される範囲内で機器（本実施形態では IPMSM）の特性が向上する設計対象要素の形状を、広範囲の探索領域の中から探索することが可能になる。

[0034] 変形前後の設計対象要素が同相写像の関係にないと、例えば、変形前の設計対象要素に対し、変形後の設計対象要素が、交点を含むように捻れる（例えば、アラビア数字の 8 の字状になる）虞がある。また、変形前後の設計対象要素が同相写像の関係にないと、例えば、変形前の 1 つの設計対象要素が多数の設計対象要素になる虞がある。例えば、設計対象要素がフラックスバリアである場合、多数のフラックスバリアを含むコアが設計される虞がある。一方、例えば、円が多角形に変更されること、多角形の角の数が変更されること、屈曲点が湾曲に変更されること、および湾曲している部分の曲率が変更されること、が実行された場合、変形前後の設計対象要素は同相写像の関係にある。したがって、変形前後の設計対象要素が同相写像の関係になるように設計対象要素が変形されるようにすれば、製造が容易でないまたは実質的に不可能なコアが設計されることと、性能（例えば、機械的性能および磁気的性能）を満足しないコアが設計されることと、を抑制することができるので好ましい。ただし、変形前後の設計対象要素が同相写像でなくても、設計後のコアが、製造可能であり、且つ、性能を満足する場合が生じ得る。例えば、過剰な数でなければフラックスバリアの数が増えることは許容される場合がある。したがって、変形前後の設計対象要素は、必ずしも、同相写像の関係にならなくても良い。

[0035] また、変形パターンとして複数種類の変形パターンがある場合、複数種類の変形パターンの適用順によって変形後の設計対象要素の形状が変わる。したがって、複数種類の変形パターンをその適用順を変えて設計対象要素に適用させる（すなわち、設計対象要素の形状を変更する際に用いる複数種類の

変形パターン 310 a、310 b の順番を変更する) ことにより、コアとして想定される範囲内で機器 (本実施形態では IPMSM) の特性が向上する設計対象要素の形状を、広範囲の探索領域の中から探索することが可能になる。この際、変形パターンにおいて示される変形の内容を、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容とする。したがって、変形前後の設計対象要素の同相性を保存しつつ、コアとして想定される範囲内で機器 (本実施形態では IPMSM) の特性が向上する設計対象要素の形状を、広範囲の探索領域の中から探索することが可能になる。

[0036] そして、変形パターンを繰り返し設計対象要素に適用させることと、複数種類の変形パターンをその適用順を変えて設計対象要素に適用させることと、を組み合わせることにより、機器 (本実施形態では IPMSM) の特性がより向上する設計対象要素の形状を、より広範囲の探索領域の中から探索することができる。この際、変形パターンにおいて示される変形の内容を、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容とする。したがって、変形前後の設計対象要素の同相性を保存しつつ、機器 (本実施形態では IPMSM) の特性がより向上する設計対象要素の形状を、より広範囲の探索領域の中から探索することができる。

[0037] 以上のようにして変形パターンを設計対象要素に適用する場合、1 回の変形パターンの適用による設計対象要素の形状の変更量は、小さい方が好ましい。設計対象要素を徐々に変形させることができるので、機器の特性がより向上する設計対象要素の形状を探索することができるからである。以下の説明では、変形パターンにおいて示される変形の内容が、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容である場合を例示して説明する。

[0038] 図 3 A および図 3 B は、変形パターン 310 a、310 b の一例を概念的に示す図である。図 3 A は、変形パターン 310 a の第 1 の例を示す図である。図 3 B は、変形パターン 310 b の第 2 の例を示す図である。図 4 A および図 4 B は、基本形状の設計対象要素 230 a、230 b に変形パターン 310 a、310 b を適用することにより、基本形状の設計対象要素 230

a、230bが変形される様子の一例を概念的に示す図である。具体的に図4Aは、基本形状の設計対象要素230に図3Aに示す変形パターン310aを適用することにより、基本形状の設計対象要素230が、設計対象要素の領域240aのように変形される様子の一例を概念的に示す図である。また、図4Bは、基本形状の設計対象要素230に図3Bに示す変形パターン310bを適用することにより、基本形状の設計対象要素230が、設計対象要素の領域240bのように変形される様子の一例を概念的に示す図である。以下の説明では、設計対象要素の領域240a、240bを、必要に応じて変形パターン310a、310bによる変更後の設計対象要素240a、240b、または単に変更後の設計対象要素240a、240bと称する。

[0039] 図3Aおよび図3Bにおいて、点線で示す格子状の領域が、設計対象要素に適用される変形パターン310a、310bの領域である。以下の説明では、この領域を、必要に応じて変形パターン適用領域320a、320bと称する。点線で示す格子の位置から延びる矢印線は、設計対象要素のうち当該位置と重なる部分を変位させる際の変位の内容を示す変位ベクトルを表す。当該矢印線の長さは変位ベクトルの大きさを表す。また、当該矢印線の向きは変位ベクトルの方向を表す。それぞれの変位ベクトルは同相性を損なわない範囲で、任意の大きさ（長さ）および方向（角度）とすることができる。したがって、設計対象要素の形状変化として、行列演算では表現できない形状変位を表現することができる。よって、設計対象要素の形状変化として、自由度の高い形状変化を表現することができる。各変位ベクトルが示す変位は、設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位である。設計対象要素の基本形状上の相対座標は、基本形状の設計対象要素の外縁の所定の位置（座標）を基準とする座標である。図4Aおよび図4Bに示す例では、設計対象要素の基本形状上の相対座標系における変位は、基本形状の設計対象要素230の外縁の位置のうち、点線で示す格子と一致する位置を基準とする変位である。このように本実施形態では、変形パターン310

a、310bが、設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位ベクトルを示す場合を例示する。ただし、変位パターン310a、310bは、設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示していれば、変位ベクトルそのものを示していなくても良い。例えば、変位ベクトルを特定することが可能な情報（例えば、相対座標系の各軸における変位）を含んでいても良い。

[0040] 図3Aおよび図3Bでは、表記の都合上、点線で示す格子の位置にのみ変位ベクトルを示す。しかしながら、変形パターン適用領域320a、320bの全ての座標において、このような変位ベクトルが設定される。例えば、点線で示す1つの格子の4つの頂点（例えば、図3Aの頂点330a～330dに設定された変位ベクトルを用いた内挿を行うことにより、当該格子の領域の各座標の変位ベクトルを算出しても良い。内挿は、例えば、4つの頂点に設定された変位ベクトルの重み付き平均値を算出することにより行われる。例えば、或る格子内の或る座標の変位ベクトルとして、当該格子の4つの頂点の変位ベクトルの重み付き平均値が算出される。当該重み付き平均値を算出する際に用いられる重み（すなわち、当該格子の4つの頂点の変位ベクトルに対する重み）は、当該頂点から当該座標までの距離が短いほど大きな値を有するようにする。なお、内挿の手法自体は公知の手法で実現することができ、前述した手法に限定されない。

[0041] 以上のように本実施形態では、変形パターン適用領域320a、320bの各座標における変位ベクトルを示す情報が変形パターン310a、310bに含まれる場合を例示する。

図4Aおよび図4Bの左側の図に示すように、本実施形態では、基本形状の設計対象要素230の重心位置0と、変形パターン310a、310bの変形パターン適用領域320a、320bの重心位置0と、が一致するように、基本形状の設計対象要素230に変形パターン適用領域320a、320bを設定することにより、基本形状の設計対象要素230に変形パターン310a、310bが適用される場合を例示する。

- [0042] このようにして変形パターン適用領域 320a、320b を基本形状の設計対象要素 230 に設定した際に、変形パターン適用領域 320a、320b の座標のうち、基本形状の設計対象要素 230 の外縁の座標と一致する座標に設定されている変位ベクトルに従って、当該基本形状の設計対象要素 230 の外縁の座標を変更することにより、当該基本形状の設計対象要素 230 の外縁の座標を変更する。このような基本形状の設計対象要素 230 の外縁の座標の変更を、当該外縁の座標のそれぞれに対して行う。したがって、変形パターン適用領域 320a、320b の大きさは、基本形状の設計対象要素 230 の大きさとして想定される大きさよりも大きいのが好ましい。基本形状の設計対象要素 230 の外縁の全ての座標を変更することができるからである。
- [0043] 図 4A に示す例では、基本形状の設計対象要素 230 に図 3A に示す変形パターン 310a を適用することにより、基本形状の設計対象要素 230 は、変形パターン 310a による変更後の設計対象要素 240a になる。この場合、変形前後の設計対象要素（基本形状の設計対象要素 230 および変形パターン 310a による変形後の設計対象要素 240a）の形状は、同相写像の関係を有すると共に、非線形写像の関係を有する。同様に、図 4B に示すように、基本形状の設計対象要素 230a、230b に図 3B に示す変形パターン 310b を適用することにより、基本形状の設計対象要素 230 は、変形パターン 310b による変更後の設計対象要素 240b になる。この場合、変形前後の設計対象要素（基本形状の設計対象要素 230 および変形パターン 310b による変形後の設計対象要素 240b）の形状は、同相写像の関係を有すると共に、非線形写像の関係を有する。
- [0044] 図 4A に示すように、図 3A に示す変形パターン 310a は、基本形状の設計対象要素の y 軸の正の方向側の領域を、y 軸の正の方向側の座標であるほど、x 軸の正の方向側に大きく変形させることを意図した変形パターンである。このように変形パターン 310a、310b を用いることにより、基本形状の設計対象要素を大きく曲げる非線形写像を 1 回の操作（写像）で実

現することができる。

- [0045] また、図4 Bに示す例では、図3 Bに示す変形パターン3 1 0 bは、基本形状のy軸の正の方向側の領域を、x軸方向の中心側の座標であるほど、y軸の正の方向側に大きく変更させることを意図した変形パターンである。変形パターンは、例えば、図4 Bに示す変形パターン3 1 0 bの変形パターン適用領域3 2 0 bに設定されている変位ベクトルの向きを（y軸の負の方向側（下側）に）反転させた変形パターンでも良い。この場合には、基本形状の設計対象要素2 3 0は、当該基本形状の設計対象要素2 3 0の一部の領域が収縮する（窪む）形状に変更される。

以上のように、変形パターン3 1 0 a、3 1 0 bを用いることにより、設計対象要素の一部の領域を伸張または収縮させる非線形写像を1回の操作（写像）で実現することができる。また、設計対象要素の一部の領域を伸張または収縮させる非線形写像を同相写像とすることができる。

- [0046] なお、図4 Aおよび図4 Bでは、変形の様子を分かりやすくするため、変形パターン3 1 0 a、3 1 0 bによる変形後の設計対象要素2 4 0 a、2 4 0 bを誇張して示す。すなわち、変形パターン3 1 0 a、3 1 0 bによる変形後の設計対象要素2 4 0 a、2 4 0 bを変形パターン3 1 0 a、3 1 0 bに示す変位ベクトルと厳密に一致させていない。

- [0047] 以上のように、変形パターン3 1 0 a、3 1 0 bによる変形の内容（変形パターン3 1 0 a、3 1 0 bに含まれる変形の内容を示す情報）は、設計対象要素（本実施形態ではフラックスバリア2 3 0 a、2 3 0 b）の領域の外縁の一部または全部に対して、図3 Aおよび図3 Bを参照しながら説明したような基本的な変形が行われるように予め定められる。本実施形態では、変形パターン3 1 0 a、3 1 0 bによる変形の内容は、変形パターン適用領域3 2 0 a、3 2 0 bの大きさと、変形パターン適用領域3 2 0 a、3 2 0 bの各座標における変位ベクトルと、により定められる。どのような変形を基本的な変形とするのかは設計対象要素の種類などに応じて予め定められる。

- [0048] なお、図3 Aおよび図3 Bでは、点線で示す格子の頂点として矢印線が示

されていない頂点がある場合を例示する。矢印線が示されていない頂点には変位ベクトルが設定されていないことを示す（言い換えると、当該頂点には、大きさが0（零）の変位ベクトルが設定されている）。このように、変形パターン適用領域320a、320bの全ての座標に変位ベクトルを設定する必要はない。ただし、変形パターン適用領域320a、320bの全ての座標に変位ベクトルを設定しても良い。

[0049] また、図3Aおよび図3Bでは、変形パターン適用領域320a、320bの全ての座標に同じ向きの変位ベクトルが設定される場合を例示する。このことは、同じ方向（図3Aではx軸の正の方向、図3Bではy軸の正の方向）に座標を変更することに対応する。しかしながら、必ずしもこのようにする必要はない。例えば、（1つの）変形パターン適用領域320a、320bに、相互に異なる方向の変位ベクトルが設定されていても良い。ただし、変形パターン310a、310bを用いた1回の変形で、変形前後の設計対象要素の形状が同相写像の関係になるように、変位ベクトルによる変形の内容が定められるようにするのが好ましい。

[0050] 本実施形態では、変形パターン取得部131が、以上のような複数種類の変形パターン310a、310bの情報を取得して記憶する場合を例示する。ただし、変形パターン取得部131が取得する変形パターン310a、310bの情報は一種類であっても良い。変形パターン310a、310bの情報は、変形パターン310a、310bによる変形の内容を一意に特定するために必要な情報である。本実施形態では、変形パターン310a、310bの情報が、変形パターン適用領域320a、320bの各座標における変位ベクトルを示す情報を含む場合を例示する。なお、複数の変形パターン310a、310bにより示される変形の内容の少なくとも一部が異なれば、当該複数の変形パターン310a、310bは、相互に異なる種類の変形パターン310a、310bとなる。本実施形態では、変形パターン適用領域320a、320bの少なくとも1つの座標で変位ベクトルの大きさおよび向きの少なくとも一方が異なっていれば、複数の変形パターン310a、

310bは異なる種類の変形パターン310a、310bとなる。なお、変形パターンは、複数種類でなくてもよい（すなわち、変形パターンは一種類であってもよい）。

[0051] また、変形パターン310a、310bによりどのような変形を基本的な変形として行えば良いのかは、設計対象要素の種類などに応じて異なる。また、例えば、コア設計装置100によりコアの設計を繰り返し行うことにより、変形パターン310a、310bによる基本的な変形として好ましい変形が事後的に判明する場合がある。したがって、変形パターン取得部131は、変形パターン310a、310bを取得した後、新たに変形パターン310a、310bを取得しても良い（すなわち、変形パターン310a、310bは適宜更新されても良い）。

[0052] 本実施形態では、設計者が、コア設計装置100のユーザインターフェースを操作することにより、変形パターン310a、310bの情報を、コア設計装置100に入力する場合を例示する。この場合、変形パターン取得部131は、例えば、コア設計装置100のユーザインターフェースを介してコア設計装置100に入力された変形パターン310a、310bの情報を取得する。ただし、変形パターン取得部131が変形パターン310a、310bの情報を取得する方法は、このような方法に限定されない。例えば、外部装置が、変形パターン310a、310bの情報をコア設計装置100に送信し、変形パターン取得部131が、変形パターン310a、310bの情報を通信インターフェースで受信することにより取得しても良い。

[0053] <<パラメータ取得部132>>

パラメータ取得部132は、適用パラメータを取得する。適用パラメータは、設計対象要素に変形パターン310a、310bを適用する際の変形パターン310a、310bの適用方法を示すパラメータを含む。後述するように本実施形態では、設計対象要素変更部133が、パラメータ取得部132で取得された適用パラメータに含まれる変形パターン310a、310bの適用方法に従って、変形パターン310a、310bを設計対象要素に適

用して設計対象要素の形状を変更する場合を例示する。

[0054] 前述したように変形パターン310a、310bを繰り返し設計対象要素に適用させることと、複数種類の変形パターン310a、310bをその適用順を変えて設計対象要素に適用させることと、を組み合わせることにより、設計対象要素の形状を変更する。したがって、変形前後の設計対象要素の同相性を保存しつつ、機器（本実施形態ではIPMSM）の特性がより向上する設計対象要素の形状を、より広範囲の探索領域の中から探索することが可能になる。そこで本実施形態では、変形パターン310a、310bの適用方法が、設計対象要素に適用する変形パターン310a、310bの種類と、変形パターン310a、310bを設計対象要素に繰り返し適用する回数と、設計対象要素に適用する変形パターン310a、310bが複数種類である場合の当該複数種類の変形パターン310a、310bの適用順と、を含む場合を例示する。

[0055] なお、以下の説明では、設計対象要素に適用する変形パターン310a、310bの種類を、必要に応じて変形パターン310a、310bの種類、または単に種類と称する。また、変形パターン310a、310bを設計対象要素に繰り返し適用する回数を、必要に応じて変形パターン310a、310bの適用回数、または単に適用回数と称する。また、設計対象要素に適用する複数種類の変形パターン310a、310bの適用順を、必要に応じて変形パターン310a、310bの適用順、または単に適用順と称する。また、変形パターン310a、310bの適用方法は、変形パターン310a、310bの種類、適用回数、および適用順に限定されない。例えば、変形パターン310a、310bの適用回数および適用順のいずれか一方のみが変形パターン310a、310bの適用方法に含まれていても良い。また、例えば、複数種類の変形パターン310a、310bのそれぞれを1回ずつ適用することを繰り返すことが変形パターン310a、310bの適用方法に含まれていても良い。

[0056] また、本実施形態では、変形パターン310a、310bの種類、適用回

数、および適用順を含む適用パラメータを最適化パラメータとする場合を例示する。また、本実施形態では、コア形状決定部 130 が、当該最適化パラメータの最適解を、最適化問題のアルゴリズムを用いて算出する場合を例示する。より具体的に本実施形態では、最適化問題のアルゴリズムとして、メタヒューリスティクス手法の一つである遺伝的アルゴリズムを用いる場合を例示する。このように本実施形態では、適用パラメータが可変のパラメータであり、変形パターン 310 a、310 b が固定のパラメータである場合を例示する。なお、可変のパラメータとは、コアの形状を決定する過程で、内容が変更され得ることを指す。固定のパラメータとは、コアの形状を決定する過程で、内容が変更されないことを指す。具体的に本実施形態では、最適化パラメータの最適解が探索される過程で、適用パラメータが変更される場合を例示する。一方、本実施形態では、最適化パラメータの最適解が探索される過程で、変形パターン 310 a、310 b が変更されない場合を例示する。

[0057] また、本実施形態では、適用パラメータに加えて、線形写像（アフィン変換）を施すために用いるパラメータも、最適化パラメータに含まれる場合を例示する。以下の説明では、線形写像（アフィン変換）を施すために用いるパラメータを、必要に応じて線形写像のパラメータと称する。このように、変形パターンによる変形に加えて線形写像を設計対象要素に対して施すようにすれば、最適化パラメータ（変形パターン 310 a、310 b の種類、適用回数、および適用順）の最適解の探索の時間を短縮することができる。したがって、線形写像のパラメータが最適化パラメータに含まれる場合、線形写像のパラメータが最適化パラメータに含まれない場合と、で計算時間が同じであれば、前者の場合の方が、後者の場合よりも、より広範囲の探索領域から最適解を探索することができる。

以上のように本実施形態では、変形パターン 310 a、310 b の種類、適用回数、および適用順と、線形写像のパラメータとが、最適化パラメータ（適用パラメータ）に含まれる場合を例示する。また、本実施形態では、コ

ア形状決定部 130 が、遺伝的アルゴリズムを用いて最適化パラメータの最適解を算出する場合を例示する。

[0058] 本実施形態では、パラメータ取得部 132 は、最適化パラメータの候補解を算出する。最適化パラメータの 1 つの候補解には、変形パターン 310 a、310 b の種類、適用回数、および適用順と、線形写像のパラメータと、が含まれる。本実施形態では、パラメータ取得部 132 は、このような最適化パラメータの候補解として複数の候補解を算出する。なお、パラメータ取得部 132 が取得する最適化パラメータの候補解の数は 1 つであっても良い。また、最適化パラメータの候補解の初期値は、例えば、遺伝的アルゴリズムで行われている公知の手法で設定される。最適化パラメータの候補解の初期値は、例えば、乱数を用いてランダムに設定される。また、最適化パラメータに含まれる変形パターン 310 a、310 b の種類は、変形パターン取得部 131 で取得されている変形パターン 310 a、310 bの中から選択される（図 3 A および図 3 B を参照）。また、最適化パラメータに含まれる変形パターン 310 a、310 b の種類の数および適用回数に上限値が設定されても良い。また、2 回目以降の最適化パラメータの候補解の算出の際には、パラメータ取得部 132 は、遺伝的アルゴリズムに従って、既に算出されている最適化パラメータの候補解を更新する。

[0059] ここで、線形写像のパラメータの一例について説明する。

写像が施される前の設計対象要素の領域（例えば、基本形状の設計対象要素 230 a、230 b の外縁の x y 座標を (x, y) とする。そうすると、写像が施された後の設計対象要素の領域の外縁の x y 座標 (x', y') は、以下の (1) 式で表される。

[0060] [数1]

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} \quad \cdots (1)$$

[0061] 写像が線形写像である場合、(1)式の行列の成分 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f は、実数(数値)になる。写像が線形写像である場合、これらの成分 $a \sim f$ を求めることで、写像が求められる。したがって、線形写像のパラメータには、成分 $a \sim f$ の値が含まれる。すなわち、成分 $a \sim f$ の値の組み合わせの1つが、線形写像のパラメータである。なお、線形写像自体は、特許文献1に記載されているようにして実現される。したがって、ここでは、線形写像の詳細な説明を省略する。

[0062] <<設計対象要素変更部133>>

設計対象要素変更部133は、変形パターン310a、310bと、適用パラメータと、を用いて、設計対象要素の形状を変更する。本実施形態では、設計対象要素変更部133は、パラメータ取得部132により取得された適用パラメータに含まれる変形パターン310a、310bの適用方法に従って変形パターン310a、310bを設計対象要素に適用することにより、当該設計対象要素に対して非線形写像を施す。

[0063] 前述したように本実施形態では、変形パターン310a、310bの適用方法と、線形写像のパラメータと、が適用パラメータ(最適化パラメータ)に含まれる場合を例示する。したがって、本実施形態では、設計対象要素変更部133は、変形パターン310a、310bの適用方法に従って変形パターン310a、310bを設計対象要素に適用して設計対象要素の形状を変更することと、設計対象要素に対して線形写像を施すことと、を行う。ここで、設計対象要素に対して線形写像を施してから、設計対象要素の形状を変形パターン310a、310bで示される内容で変更すると、線形写像が施された設計対象要素が変形パターン適用領域320a、320bよりも大きくなる虞がある。そこで、本実施形態では、設計対象要素変更部133が、変形パターン310a、310bの適用方法に従って変形パターン310a、310bを設計対象要素に適用することにより設計対象要素の形状を変更した後に、当該設計対象要素に対して線形写像を施すことにより当該設計対象要素の形状をさらに変更する場合を例示する。ただし、例えば、変形パ

ターン適用領域 320a、320b が十分に大きい場合、設計対象要素変更部 133 は、設計対象要素に対して線形写像を施すことにより設計対象要素の形状を変更した後に、変形パターン 310a、310b の適用方法に従って変形パターン 310a、310b を当該設計対象要素に適用することにより当該設計対象要素の形状をさらに変更しても良い。

[0064] また、前述したように本実施形態では、最適化問題のアルゴリズムとして、メタヒューリスティクス手法の一つである遺伝的アルゴリズムを用いる場合を例示する。そこで、設計対象要素変更部 133 は、パラメータ取得部 132 で算出された複数の最適化パラメータの候補解の中から、1つの設計対象要素に対して1つの最適化パラメータの候補解を選択する。設計対象要素の数が1つである場合、設計対象要素変更部 133 は、パラメータ取得部 132 で算出された複数の最適化パラメータの候補解の中から1つの候補解を選択する。設計対象要素の数が複数である場合、設計対象要素変更部 133 は、パラメータ取得部 132 で算出された複数の最適化パラメータの候補解の中から、設計対象要素の数の最適化パラメータの候補解を選択し、1つの設計対象要素に対して1つの最適化パラメータの候補解を設定する。

[0065] そして、設計対象要素変更部 133 は、以上のようにして選択した最適化パラメータの候補解に含まれる、変形パターン 310a、310b の種類、適用回数、および適用順に従って、変形パターン 310a、310b を設計対象要素に適用することにより、当該設計対象要素の形状を変更する。

[0066] 例えば、変形パターン 310a、310b の種類が、図 3A および図 3B に示す変形パターン 310a、310b を示し、変形パターン 310a、310b の適用回数が、変形パターン 310a については 5 回、変形パターン 310b については 2 回であり、変形パターン 310a、310b の適用順が、変形パターン 310a、310b の順であることを示す情報が最適化パラメータの候補解に含まれているとする。また、このような最適化パラメータの候補解が、図 2B に示す基本形状の設計対象要素 230a に対して設定されているとする。

- [0067] この場合、設計対象要素変更部 1 3 3 は、は、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a に対して、変形パターン 3 1 0 a を 5 回繰り返し適用した後、変形パターン 3 1 0 b を 2 回繰り返し適用することにより、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a の形状を変更する。なお、変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b により設計対象要素の形状を変更する方法は、図 3 A および図 3 B および図 4 A および図 4 B を参照しながら前述した通りである。
- [0068] 図 5 A ～図 5 C は、設計対象要素の形状が変更される際のコアの設計の過程の一例を概念的に示す図である。図 5 A は、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b が設定されたコアの要素の一例を示す図であり、図 3 B と同じである。図 5 B は、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b に変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b を適用することにより、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b が変更後の設計対象要素 2 4 0 a、2 4 0 b に変更されたコアの要素の一例を示す図である。図 5 C は、変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b による変更後の設計対象要素 2 4 0 a、2 4 0 b に対し線形写像を施すことによりさらに形状が変更されたコアの要素の一例を示す図である。
- [0069] 設計対象要素変更部 1 3 3 は、例えば、図 5 A に示す基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b を、図 5 B に示す変更後の設計対象要素 2 4 0 c、2 4 0 d に変更する。
- [0070] 図 5 B に示すように、変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b による変更後の設計対象要素 2 4 0 c、2 4 0 d は、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b に対し、形状のみならず大きさも変更される。なお、変形パターン適用領域 3 2 0 a、3 2 0 b の全ての座標に（大きさが 0 を上回る）変位ベクトルが設定されている場合、変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b による変更後の設計対象要素 2 4 0 c、2 4 0 d の外縁の全ての位置が、変形前の設計対象要素の領域 2 3 0 a、2 3 0 b の位置から変更される。
- [0071] また、説明および表記の都合上、図 5 A に示す基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b と、図 5 B に示す変更後の設計対象要素 2 4 0 c、2 4 0 d との関係は、前述した具体例（基本形状の設計対象要素 2 3 0 a に対して

、変形パターン310aを5回繰り返し適用した後、変形パターン310bを2回繰り返し適用すること）とは対応していない。

[0072] 設計対象要素の数が複数である場合、設計対象要素変更部133は、当該設計対象要素に対して設定した最適化パラメータ（変形パターン310a、310bの種類、適用回数、および適用順）に従って、以上のような設計対象要素の形状の変更を、当該複数の設計対象要素のそれぞれに対して行う。

[0073] そして、設計対象要素変更部133は、変形パターン310a、310bによる変形後の設計対象要素240c、240dの各座標に対して設定されている識別情報がID1である場合、当該識別情報ID1を、設計対象要素の領域をその他の領域と識別するための識別情報ID3に変更する。図5Aに示す基本形状の設計対象要素230a、230bと比較すると、図5Bに示す変更後の設計対象要素240c、240dの一部の領域は、当該変形が施される前は、鉄心210に含まれる。したがって、この領域の各座標に対して設定されている識別情報がID1からID3に変更される。

[0074] また、設計対象要素変更部133は、変形パターン310a、310bによる変形前の設計対象要素の領域（図5A～図5Cに示す例では、基本形状の設計対象要素230a、230b）のうち、変形パターン310a、310bによる変形後の設計対象要素240c、240dと重ならない領域の座標に対して設定されている識別情報をID3からID1に変更する。図5Aおよび図5Bに示す例では、識別情報をID3からID1に変更する領域はない。しかしながら、例えば、図5Aに示す基本形状の設計対象要素230aに、図5Bに示す変形後の設計対象要素240cと重ならない領域がある場合、当該領域の各座標に対して設定されている識別情報がID3からID1に変更される。

[0075] 次に、設計対象要素変更部133は、設計対象要素に対して設定した最適化パラメータの候補解に含まれる線形写像のパラメータに基づいて、当該設計対象要素から算出された変形パターン310a、310bによる変更後の設計対象要素240c、240dに対して線形写像を施す。

- [0076] 前述したように線形写像のパラメータには、(1)式に示す成分 $a \sim f$ の値が含まれる。設計対象要素変更部133は、最適化パラメータの候補解に含まれる、線形写像のパラメータ(成分 $a \sim f$ の値)を(1)式に与える。
- [0077] そして、設計対象要素変更部133は、変形パターン310a、310bによる変形後の設計対象要素240c、240dの外縁の座標(x, y)を(1)式に与えることにより、線形写像が施された後の設計対象要素の領域の外縁の座標(x', y')を算出することを、当該変形後の設計対象要素240c、240dの外縁の全ての座標(x, y)について行う。
- [0078] 設計対象要素の数が複数である場合、設計対象要素変更部133は、当該設計対象要素に対して設定された最適化パラメータに含まれる線形写像のパラメータ(成分 $a \sim f$ の値)を(1)式に与えることにより当該設計対象要素の形状を変更することを、当該複数の設計対象要素のそれぞれについて行う。
- [0079] 設計対象要素変更部133は、例えば、図5Bに示す変形後の設計対象要素240c、240dを、図5Cに示す設計対象要素の領域250a、250bに変更する。以下の説明では、この設計対象要素の領域250a、250bを、必要に応じて線形写像後の設計対象要素250a、250bと称する。
- [0080] 図5Cに示すように、線形写像後の設計対象要素250a、250bは、変形パターン310a、310bによる変更後の設計対象要素240c、240dに対し、形状のみならず大きさも変更される。なお、成分 e または f の値として0(零)以外の値が設定されている場合、線形写像後の設計対象要素250a、250bの外縁の全ての位置が、変形パターン310a、310bによる変更後の設計対象要素240c、240dから変更される。
- [0081] 設計対象要素の数が複数である場合、設計対象要素変更部133は、当該設計対象要素に対して設定した最適化パラメータに含まれる線形写像のパラメータ(成分 $a \sim f$ の値)を(1)式に与えることにより、以上のような線形写像を、当該複数の設計対象要素のそれぞれに対して施す。

- [0082] そして、設計対象要素変更部 133 は、線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b の各座標に対して設定されている識別情報が ID1 である場合、当該識別情報 ID1 を、設計対象要素の領域をその他の領域と識別するための識別情報 ID3 に変更する。図 5 B に示す変形パターン 310 a、310 b による変更後の設計対象要素 240 c、240 d と比較すると、図 5 C に示す線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b の一部の領域は、当該変形が施される前は、鉄心 210 に含まれる。したがって、この領域の各座標に対して設定されている識別情報が ID1 から ID3 に変更される。
- [0083] また、設計対象要素変更部 133 は、変形パターン 310 a、310 b による変形後の設計対象要素 240 c、240 d のうち、線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b と重ならない領域の座標に対して設定されている識別情報を ID3 から ID1 に変更する。図 5 B および図 5 C に示す例では、識別情報を ID3 から ID1 に変更する領域はない。しかしながら、例えば、図 5 B に示す変形パターン 310 a、310 b による変形後の設計対象要素 240 c に、図 5 C に示す線形写像後の設計対象要素 250 a と重ならない領域がある場合、当該領域の各座標に対して設定されている識別情報が ID3 から ID1 に変更される。
- [0084] 次に、設計対象要素変更部 133 は、以上のようにして算出した線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b に、重なり・はみ出しが生じている設計対象要素がある場合、当該設計対象要素における重なり・はみ出しが解消されるように、設計対象要素を再変更する。ここで、重なり・はみ出しとは、重なりと、はみ出しと、のうち少なくとも何れか一方を指す。重なりとは、設計対象要素の少なくとも一部の領域が、所定のコアの要素と重なることをいう。所定のコアの要素には、設計対象要素が含まれる。また、所定のコアの要素には、設計対象要素以外の要素（本実施形態の例では永久磁石 220）が含まれていても良い。重なりを解消するのは、例えば、重なりを解消しないと、重なりが生じている部分に複数の識別情報が設定されるので、当該部分の識別情報が一意に定まらないためである。はみ出しとは、設計対象

要素の一部の領域がデザイン領域 200（鉄心 210）からはみ出すことをいう。はみ出しを解消するのは、例えば、設計対象要素の設計の範囲であるデザイン領域 200 よりも外側に設計対象要素の一部の領域が存在した状態になることを防止するためである。また、例えば、図 2 A および図 2 B に示すように IPMSM の中心線に垂直に切った断面を 4 等分した 4 つの領域の 1 つの領域をデザイン領域 200 とする場合、当該はみ出しが生じている部分をそのままにすると、最終的に決定される設計対象要素が当該 1 つの領域（デザイン領域 200）以外の領域にまで及ぶことになる。はみ出しを解消するのは、このためでもある。なお、前述したように本実施形態では、変形パターン 310 a、310 b による変更後の設計対象要素 240 a、240 b を線形写像することにより、当該変更後の設計対象要素 240 a、240 b の形状を、線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b にさらに変更する場合を例示する。したがって、本実施形態では、設計対象要素変更部 133 が、線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b に、重なり・はみ出しが生じている設計対象要素があるか否かを判定する場合を例示する。しかしながら、例えば、設計対象要素に対し線形写像を施さない場合、設計対象要素変更部 133 は、変形パターン 310 a、310 b による変更後の設計対象要素 240 c、240 d に、重なり・はみ出しが生じている設計対象要素があるか否かを判定する。

[0085] 図 6 A～図 6 D は、重なりの一例を説明する図である。

図 6 A は、同一種類の設計対象要素同士の重なりの一例を概念的に示す図である。

図 6 A の左図に示すように、同一種類の線形写像後の設計対象要素 250 c、250 d の一部の領域が相互に重なる場合、設計対象要素変更部 133 は、図 6 A の右図に示すように、線形写像後の設計対象要素 250 c、250 d の外縁で囲まれる 1 つの領域を 1 つの線形写像後の設計対象要素 250 e にする。この場合、線形写像後の設計対象要素 250 c、250 d は 1 つの設計対象要素に変更される。

[0086] 図6Bは、異なる種類の設計対象要素同士の重なりの一例を概念的に示す図である。

図6Bの左図に示すように、相互に異なる種類の線形写像後の設計対象要素250f、250gの一部の領域が相互に重なる場合、設計対象要素変更部133は、図6Bの右図に示すように、相互に重なる領域を、優先順位が最も高い線形写像後の設計対象要素250fにする。また、設計対象要素変更部133は、図6Bの右図に示すように、優先順位が低い線形写像後の設計対象要素250gから当該相互に重なる領域を除いた領域を、新たな線形写像後の設計対象要素250hにする。設計対象要素変更部133は、当該相互に重なる領域の各座標に対して、優先順位が最も高い線形写像後の設計対象要素250fをその他の要素（領域）と識別するための識別情報ID3のみを設定し、その他の識別情報ID3を消去する。

[0087] 例えば、フラックスバリアに加えて永久磁石も設計対象要素とする場合には、フラックスバリアと永久磁石とを別々の識別情報ID3とする。永久磁石の優先順位をフラックスバリアの優先順位よりも高くする場合、図6Bに示す例では、フラックスバリアの領域が線形写像後の設計対象要素250hとなり、永久磁石の領域が線形写像後の設計対象要素250fになる。したがって、線形写像後の設計対象要素250g、250fが相互に重なる領域の座標に対しては、永久磁石をその他の要素（領域）と識別するための識別情報ID3が設定され、フラックスバリアをその他の要素（領域）と識別するための識別情報ID3は消去される。なお、優先順位は、コアの設計指針や、設計対象要素の属性等により予め設定される。

[0088] 図6Cは、線形写像後の設計対象要素と、設計対象要素以外の所定のコアの要素との重なり第1の例を概念的に示す図である。設計対象要素以外の所定のコアの要素は、形状を変更しない要素であり、予め設定される。ここでは、鉄心の形状は変更可能であるが、永久磁石の形状は変更されないものとする。

図6Cに示すように、線形写像後の設計対象要素250iの一部の領域が

、設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）の一部の領域と、設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）を跨がずに重なる場合、設計対象要素変更部 1 3 3 は、図 6 C の右図に示すように、線形写像後の設計対象要素 2 5 0 i から、設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）と重なる領域を除いた領域を、新たな線形写像後の設計対象要素 2 5 0 j とする。また、設計対象要素変更部 1 3 3 は、当該設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）と重なる領域の各座標に対して設定した当該設計対象要素をその他の要素（領域）と識別するための識別情報 I D 3 を消去する。

[0089] 図 6 D は、線形写像後の設計対象要素と、設計対象要素以外の所定のコアの要素との重なり第 2 の例を概念的に示す図である。

図 6 D に示すように、線形写像後の設計対象要素 2 5 0 k の一部の領域が、設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）の一部の領域と、設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）を跨がって重なる場合、設計対象要素変更部 1 3 3 は、図 6 D の右図に示すように、線形写像後の設計対象要素 2 5 0 k の領域から、設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）と重なる領域を除いた複数の領域を、新たな線形写像後の設計対象要素 2 5 0 m、2 5 0 l とする。また、設計対象要素変更部 1 3 3 は、当該設計対象要素以外の所定のコアの要素（永久磁石 2 2 0）と重なる領域の各座標に対して設定した当該設計対象要素をその他の要素（領域）と識別するための識別情報 I D 3 を消去する。

[0090] なお、設計対象要素の数が増えることを抑制するため、設計対象要素変更部 1 3 3 は、新たな線形写像後の設計対象要素 2 5 0 m、2 5 0 l のうちの 1 つのみを選択しても良い。例えば、設計対象要素変更部 1 3 3 は、新たな線形写像後の設計対象要素 2 5 0 m、2 5 0 l のうち最も大きい線形写像後の設計対象要素 2 5 0 l を選択し、その他の線形写像後の設計対象要素 2 5 0 m を消去しても良い。

[0091] 図 7 は、はみ出しの一例を説明する図である。

図7の左図に示すように、線形写像後の設計対象要素250nの一部の領域が、デザイン領域200（鉄心210）からはみ出す場合、設計対象要素変更部133は、線形写像後の設計対象要素250nから、デザイン領域200からはみ出している領域を除いた領域を、新たな線形写像後の設計対象要素250oとする。

[0092] 線形写像後の設計対象要素の1つについて、図6A～図6Dに示すような重なりと、図7に示すようなはみ出しとが同時に生じる場合、例えば、設計対象要素変更部133は、図6A～図6Dを参照しながら説明したようにして当該線形写像後の設計対象要素を変更し、当該変更した後の設計対象要素の領域のうち、デザイン領域200からはみ出している領域を、図7を参照しながら説明したようにして除けば良い。

[0093] 本実施形態では、設計対象要素変更部133は、以上のようにして、デザイン領域200（コア）に含まれる基本形状の設計対象要素230a、230bの全てを、それぞれ線形写像後の設計対象要素250a、250bに変更することを、パラメータ取得部132により算出された最適化パラメータの複数の候補解のそれぞれについて個別に実行する。これにより、線形写像後の設計対象要素250a、250bが異なるコアとして、最適化パラメータの候補解の数のコアが得られる。

[0094] <<特性値算出部134>>

特性値算出部134は、設計対象要素変更部133により設計対象要素の形状が変更されたコアを有する機器を動作させたときの当該機器の特性を示す値を算出する。本実施形態では、特性値算出部134が、設計対象要素変更部133により算出された線形写像後の設計対象要素250a、250bをフラックスバリアとして備えるコアを有する機器を動作させたときの当該機器の特性を示す値を、数値解析を行うことにより算出する場合を例示する。

[0095] 機器の特性としては、例えば、ロータの平均トルク、コアの鉄損、IPMSMの効率等が挙げられる。このように機器の特性は、機器を構成する部品

の特性を含む概念である。そこで、本実施形態では、特性値算出部 134 が、設計対象領域が変更されたコアを励磁したときにコアに生じる磁束密度ベクトル B を、有限要素法による数値解析を行うことにより算出し、算出した結果に基づいて、ロータの平均トルクを機器の特性として算出する場合を例示する。

[0096] 特性値算出部 134 は、励磁条件を含む電磁場解析条件に従って、マックスウェルの方程式に基づき、有限要素法を用いて、各微小領域（メッシュ）における磁束密度ベクトル B と渦電流ベクトル J_e を算出する。なお、各微小領域における磁束密度ベクトル B と渦電流ベクトル J_e を算出することができれば、有限要素法以外の方法（差分法等）を用いて電磁場解析を行っても良い。

[0097] 磁束密度ベクトル B と渦電流ベクトル J_e を算出するための基礎方程式は、一般に、以下の（２）式～（５）式で与えられる。

[0098] [数2]

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) + \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \sigma \nabla \phi = \vec{J}_0 \quad \dots (2)$$

$$\nabla \cdot \left(\sigma \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \nabla \phi \right) \right) = 0 \quad \dots (3)$$

$$\vec{J}_e = -\sigma \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \nabla \phi \right) \quad \dots (4)$$

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad \dots (5)$$

[0099] （２）式～（５）式において、 μ は、透磁率 [H/m] である。 A は、ベクトルポテンシャル [$T \cdot m$] である。 σ は、導電率 [S/m] である。 J_0 は、励磁電流密度 [A/m^2] である。 ϕ は、スカラーポテンシャル [V] である。

（２）式および（３）式を連立して解いて、ベクトルポテンシャル A とス

カラーポテンシャル ϕ とが算出された後、(4)式、(5)式から、磁束密度ベクトル B と渦電流ベクトル J とが算出される。

[0100] 有限要素法により電磁場の解析を行う手法は、一般的な手法である。したがって、ここでは、その詳細な説明を省略する。

特性値算出部134は、各微小領域における磁束密度ベクトル B に基づいて、各微小領域におけるトルクを算出し、算出したトルクに基づいて、平均トルクを算出する。ここでは、トルク F は、例えば、以下の(6)式によりマックスウェル応力であるものとして算出される。

[0101] [数3]

$$F = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} = \int \mu_0 \begin{bmatrix} \left(B_x^2 - \frac{1}{2} B^2 \right) n_x - (B_x B_y) n_y \\ (B_x B_y) n_x - \left(B_y^2 - \frac{1}{2} B^2 \right) n_y \end{bmatrix} d\Gamma \quad \dots (6)$$

[0102] (6)式において、 n_x 、 n_y は、それぞれ、 x 軸、 y 軸方向の単位ベクトルである。 μ_0 は、真空の透磁率である。 $\int d\Gamma$ は、電磁力を求める物体を囲む閉曲線に沿った線積分であることを示す。また、 B は、磁束密度ベクトルの大きさである。 B_x 、 B_y は、それぞれ、磁束密度ベクトルの x 軸成分、 y 軸成分である。

[0103] 前述したように本実施形態では、設計対象要素変更部133により、線形写像後の設計対象要素250a、250bが異なるコアとして、最適化パラメータの候補解の数のコアが得られる。したがって、本実施形態では、特性値算出部134は、当該最適化パラメータの候補解の数のコアのそれぞれについて、ロータの平均トルクを機器の特性の一例として算出する。

[0104] <<決定部135>>

決定部135は、特性値算出部134により算出された機器の特性を示す値に基づいて、コアの形状を決定する。

[0105] 例えば、決定部 135 は、特性値算出部 134 により算出された機器の特性を示す値が所定の条件を満たす場合、当該所定の条件を満たす値のうち、特性が最も良いことを示す値を示すコアが備える設計対象要素（本実施形態では線形写像後の設計対象要素 250a、250b）を算出する際に用いた最適化パラメータの候補解を最適解として決定する。機器の特性が、ロータの平均トルクである場合、所定の条件は、例えば、ロータの平均トルクの値が、所定値以上であるという条件である。所定値は、例えば、設計対象の IPMSM で要求される値に基づいて定められる。

[0106] 前述したように本実施形態では、コア形状決定部 130 が、遺伝的アルゴリズムを用いて最適化パラメータの最適解を算出する場合を例示する。したがって、特性値算出部 134 により算出された機器の特性を示す値の中に、所定の条件を満たす値がない場合、パラメータ取得部 132 は、遺伝的アルゴリズムに従って、既に算出されている最適化パラメータの候補解を更新する。そして、更新後の最適化パラメータの候補解を用いて、前述した設計対象要素変更部 133、特性値算出部 134、および決定部 135 における処理が再び行われる。

[0107] また、以上のパラメータ取得部 132、設計対象要素変更部 133、特性値算出部 134、および決定部 135 における繰り返し処理の回数が所定値を上回っても、特性値算出部 134 により算出された機器の特性を示す値の中に、所定の条件を満たす値がない場合がある。この場合、決定部 135 は、例えば、特性値算出部 134 により算出された機器の特性を示す値のうち、特性が最も良いことを示す値（本実施形態ではロータの平均トルクの最大値）を示すコアが備える設計対象要素を算出する際に用いた最適化パラメータの候補解を最適解として決定する。所定値としては、遺伝的アルゴリズムにおいて一般的に用いられる値が採用される。

[0108] <出力部 140>

出力部 140 は、決定部 135 により決定された最適化パラメータの候補解に関する情報を出力する。出力部 140 は、例えば、決定部 135 により

決定された最適化パラメータの最適解に従って基本形状の設計対象要素 230 を変更することにより算出された設計対象要素（本実施形態では線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b）の位置、形状、および大きさを一意に特定する情報を出力する。例えば、図 5 C に示す線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b が、最適化パラメータの最適解に従って基本形状の設計対象要素 230 を変更することにより算出された設計対象要素であるとする。この場合、出力部 140 は、図 5 C に示す、鉄心 210、永久磁石 220、および線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b を表す画像を表示しても良い。出力の形態として、例えば、コンピュータディスプレイへの表示、コア設計装置 100 の内部または外部の記憶媒体への記憶、および外部装置への送信のうちの少なくとも 1 つが採用される。設計対象要素の位置は、設計対象要素の位置を一意に特定する情報であれば良く、例えば、設計対象要素の重心位置であっても良い。また、設計対象要素の輪郭を示す座標群を、設計対象要素の位置、形状、および大きさを一意に特定する情報としても良い。

[0109] 出力部 140 により出力された情報に基づいてコアの製造が行われる。コア設計装置 100 で最適化パラメータの最適解が算出された後の設計は、設計者によって行われても良い。コア設計装置 100 で最適化パラメータの最適解が算出された後の設計の一部は、コア設計装置 100 で行われても良い。コアの設計図面が作製されることでコアの設計は終了する。設計図面におけるコアの設計対象要素は、最適化パラメータの最適解と同じでも良い。また、設計図面におけるコアの設計対象要素は、最適化パラメータの最適解と厳密に同じでなくても良い。例えば、最適化パラメータの最適解に示される設計対象要素の形状の一部または全部は簡略化されても良い。すなわち、最適化パラメータの最適解に基づいて、設計対象要素の最終的な位置、形状、および大きさが定められれば良い。設計図面に従ってコアは製造される。製造されたコアの設計対象要素は、最適化パラメータの最適解に基づいたものとなる。例えば、製造されたコアの設計対象要素の数は、最適化パラメータ

の最適解に示される設計対象要素の数と同じになる。また、例えば、製造されたコアの設計対象要素は、最適化パラメータの最適解に示される設計対象要素の重心位置を含む領域にある。また、製造されたコアの設計対象要素の形状は、最適化パラメータの最適解に示される設計対象要素の形状と同じである。ただし、製造されたコアの設計対象要素は、最適化パラメータの最適解と厳密に同じでなくても良い。例えば、例えば、製造されたコアの設計対象要素の形状は、最適化パラメータの最適解に示される設計対象要素の形状の一部または全部を簡略化した形状であっても良い。この場合、コアの中心線に垂直に切った断面において、コアの中心線と、設計対象要素の重心位置と、を相互に結ぶ直線が延びる方向が、製造されたコアの設計対象要素と、最適化パラメータの最適解に示される設計対象要素と、で同じであっても良い。また、製造されたコアの設計対象要素の縦横比は、最適化パラメータの最適解に示される設計対象要素の縦横比と同じであっても良い。すなわち、最適化パラメータの最適解に基づいてコア（設計対象要素）が製造されれば良い。設計対象要素の位置、形状、および大きさが設計図面で定められていれば、コアの製造自体は、例えば、公知の技術を用いて行われる。

[0110] [フローチャート]

次に、図8Aおよび図8Bのフローチャートを参照しながら、コア設計方法の一例を説明する。以下、前述したコア設計装置100がコア設計方法を実行する場合を例に、コア設計方法を説明する。

[0111] まず、ステップS801において、設計元情報取得部110は、設計対象のコアの情報を取得する。本実施形態では、設計元情報取得部110は、コアの設計対象領域であるデザイン領域200の情報と、設計対象要素以外のコアの要素（永久磁石220）の情報と、コアの各要素の物性値と、を取得する。そして、設計元情報取得部110は、デザイン領域200を主記憶装置（作業領域）に設定し、設計対象要素以外のコアの要素（永久磁石220）をデザイン領域200に設定する。また、設計元情報取得部110は、デザイン領域200の各座標に対して識別情報ID1を設定し、設計対象要素

以外のコアの要素（永久磁石 2 2 0）の領域の各座標に対して識別情報 I D 2 を設定する。

[0112] 次に、ステップ S 8 0 2 において、基本形状取得部 1 2 0 は、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b の情報を取得してデザイン領域 2 0 0 に設定する。そして、基本形状取得部 1 2 0 は、基本形状の設計対象要素 2 3 0 a、2 3 0 b の各座標に対して設定されている識別情報 I D 1 を識別情報 I D 3 に変更する。

[0113] 次に、ステップ S 8 0 3 において、変形パターン取得部 1 3 1 は、変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b の情報を取得する。本実施形態では、変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b の情報には、変形パターン適用領域 3 2 0 a、3 2 0 b の各座標における変位ベクトルを示す情報が含まれる場合を例示する。また、ここでは、変形パターン取得部 1 3 1 が、複数種類の変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b の情報を取得する場合を例示する。

[0114] 次に、ステップ S 8 0 4 において、パラメータ取得部 1 3 2 は、最適化パラメータ（適用パラメータ）の候補解を算出する。本実施形態では、最適化パラメータの 1 つの候補解には、変形パターン 3 1 0 a、3 1 0 b の種類、適用回数、および適用順と、線形写像のパラメータと、が含まれる場合を例示する。また、本実施形態では、1 回目のステップ S 8 0 4 の処理において、パラメータ取得部 1 3 2 が、最適化パラメータの候補解の初期値として複数の候補解の初期値を、遺伝的アルゴリズムで行われている公知の手法で算出する場合を例示する。また、本実施形態では、2 回目以降のステップ S 8 0 4 の処理において、パラメータ取得部 1 3 2 が、遺伝的アルゴリズムに従って、既に算出されている最適化パラメータの候補解を更新する場合を例示する。

[0115] 次に、ステップ S 8 0 5 において、設計対象要素変更部 1 3 3 は、ステップ S 8 0 4 で算出された複数の最適化パラメータの候補解の中から、1 つの設計対象要素に対して 1 つの最適化パラメータの候補解を選択する。

[0116] 次に、ステップ S 8 0 6 において、設計対象要素変更部 1 3 3 は、ステッ

プS805で選択した最適化パラメータの候補解に含まれる適用パラメータのうち、変形パターン310a、310bの種類、適用回数、および適用順に従って、変形パターン310a、310bを設計対象要素に適用することにより、当該設計対象要素の形状を変更する。設計対象要素変更部133は、このようにして設計対象要素の形状を変更することにより、変形パターン310による変形後の設計対象要素240を算出する（図4および図5（b）を参照）。

[0117] 次に、ステップS807において、設計対象要素変更部133は、設計対象要素に対して設定した最適化パラメータの候補解に含まれる適用パラメータのうち、線形写像のパラメータに基づいて、変形パターン310a、310bによる変形後の設計対象要素240c、240dに対して線形写像を施すことにより、線形写像後の設計対象要素250a、250bを算出する（図5Cを参照）。

[0118] 次に、ステップS808において、設計対象要素変更部133は、線形写像後の設計対象要素250a、250bに、重なり・はみ出しが生じている設計対象要素があるか否かを判定する。この判定の結果、重なり・はみ出しが生じている線形写像後の設計対象要素250a、250bが1つもない場合（ステップS808でNOの場合）、ステップS808の処理が省略され、後述する図8BのステップS810の処理が行われる。一方、重なり・はみ出しが生じている線形写像後の設計対象要素250a、250bが1つでもある場合（ステップS808でYESの場合）、ステップS809の処理が行われる。

[0119] ステップS809において、設計対象要素変更部133は、重なり・はみ出しが生じている線形写像後の設計対象要素250a、250bにおける重なり・はみ出しが解消されるように、線形写像後の設計対象要素250a、250bを再変更する（図6A～図6Dおよび図7を参照）。

[0120] 次に、ステップS810において、特性値算出部134は、ステップS807、S809で算出された線形写像後の設計対象要素250a、250b

をフラックスバリアとして備えるコアを有する機器を動作させたときの当該機器の特性を示す値を算出する。本実施形態では、特性値算出部 134 は、ロータの平均トルクを機器の特性として算出する。

[0121] 次に、ステップ S 811 において、決定部 135 は、ステップ S 804 で算出された最適化パラメータの候補解を全て選択したか否かを判定する。設計対象要素の数が 1 つである場合、ステップ S 811 において、決定部 135 は、ステップ S 804 で算出された最適化パラメータの候補解を全て選択したか否かを判定する。設計対象要素の数が複数である場合、ステップ S 811 において、決定部 135 は、例えば、ステップ S 804 で算出された複数の最適化パラメータの候補解の中から、設計対象要素の数の候補解の組み合わせとしてとり得る全ての組み合わせが選択されたか否かを判定する。

[0122] この判定の結果、ステップ S 804 で算出された最適化パラメータの候補解を全て選択していない場合（ステップ S 811 で N O の場合）、ステップ S 805 の処理が再び行われる。そして、ステップ S 805 において、未選択の候補解が選択される。そして、ステップ S 805 ～ S 809 において、未選択の候補解に基づいて線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b が算出される。そして、ステップ S 810 において、線形写像後の設計対象要素 250 a、250 b をフラックスバリアとして備えるコアを有する機器を動作させたときの当該機器の特性を示す値が算出される。

[0123] 以上のようにしてステップ S 811 において、ステップ S 804 で算出された最適化パラメータの候補解が全て選択されたと判定されると（ステップ S 811 で Y E S の場合）、ステップ S 812 の処理が行われる。ステップ S 812 において、決定部 135 は、ステップ S 810 で算出した機器の特性を示す値の中に所定の条件を満たす値があるか否かを判定する。本実施形態では、ロータの平均トルクの値が所定値以上であるという条件が、所定の条件である場合を例示する。

[0124] この判定の結果、ステップ S 810 で算出した機器の特性を示す値の中に所定の条件を満たす値がある場合（ステップ S 812 で Y E S の場合）、ス

ステップS 8 1 3の処理が行われる。ステップS 8 1 3において、決定部1 3 5は、所定の条件を満たす機器の特性を示す値のうち、特性が最も良いことを示す値を示すコアが備える線形写像後の設計対象要素2 5 0 a、2 5 0 bを算出する際に用いた最適化パラメータの候補解を最適解として決定する。本実施形態では、決定部1 3 5は、ロータの平均トルクの値が最大値を示すコアが備える線形写像後の設計対象要素2 5 0 a、2 5 0 bを算出する際に用いた最適化パラメータの候補解を最適解として決定する。そして、後述するステップS 8 1 6の処理が実行される。

[0125] ステップS 8 1 2の判定の結果、ステップS 8 1 0で算出した機器の特性を示す値の中に所定の条件を満たす値がない場合（ステップS 8 1 2でN Oの場合）、ステップS 8 1 4の処理が行われる。ステップS 8 1 4において、決定部1 3 5は、ステップS 8 0 4～S 8 1 2の繰り返し処理の回数が所定値を上回ったか否かを判定する。所定値には、例えば、遺伝的アルゴリズムにおいて一般的に用いられる値が用いられる。この判定の結果、繰り返し回数が所定値を上回っていない場合には（ステップS 8 1 4でN Oの場合）、ステップS 8 0 4の処理が再び行われる。このようにして行われるステップS 8 0 4の処理は、2回目以降のステップS 8 0 4の処理となる。前述したように、2回目以降のステップS 8 0 4においては、パラメータ取得部1 3 2は、遺伝的アルゴリズムに従って、既に算出している最適化パラメータの候補解を更新する。このようにして更新された最適化パラメータの候補解を用いて前述したステップS 8 0 5～S 8 1 2の処理が再び行われる。

[0126] ステップS 8 1 4の判定の結果、ステップS 8 0 4～S 8 1 2の繰り返し処理の回数が所定値を上回った場合（ステップS 8 1 4でY E Sの場合）、ステップS 8 1 5の処理が行われる。ステップS 8 1 5において、決定部1 3 5は、直前のステップS 8 0 4～S 8 1 2の繰り返し処理で算出された機器の特性の値のうち、特性が最も良いことを示す値を示すコアが備える線形写像後の設計対象要素2 5 0 a、2 5 0 bを算出する際に用いた最適化パラメータの候補解を最適解として決定する。そして、ステップS 8 1 6の処理

が行われる。

[0127] ステップS 8 1 6において、出力部1 4 0は、ステップS 8 1 3またはS 8 1 5で決定された最適化パラメータの候補解に関する情報を出力する。ステップS 8 1 6の処理が終了すると、図8 Aおよび図8 Bのフローチャートによる処理が終了する。

[0128] [コア設計装置1 0 0のハードウェア]

次に、コア設計装置1 0 0のハードウェアの一例について説明する。図9において、コア設計装置1 0 0は、CPU 9 0 1、主記憶装置9 0 2、補助記憶装置9 0 3、通信回路9 0 4、信号処理回路9 0 5、画像処理回路9 0 6、I / F回路9 0 7、ユーザインターフェース9 0 8、ディスプレイ9 0 9、およびバス9 1 0を有する。

[0129] CPU 9 0 1は、コア設計装置1 0 0の全体を統括制御する。CPU 9 0 1は、主記憶装置9 0 2をワークエリアとして用いて、補助記憶装置9 0 3に記憶されているプログラムを実行する。主記憶装置9 0 2は、データを一時的に格納する。補助記憶装置9 0 3は、CPU 9 0 1によって実行されるプログラムの他、各種のデータを記憶する。

[0130] 通信回路9 0 4は、コア設計装置1 0 0の外部との通信を行うための回路である。通信回路9 0 4は、コア設計装置1 0 0の外部と無線通信を行っても有線通信を行っても良い。

[0131] 信号処理回路9 0 5は、通信回路9 0 4で受信された信号や、CPU 9 0 1による制御に従って入力した信号に対し、各種の信号処理を行う。

画像処理回路9 0 6は、CPU 9 0 1による制御に従って入力した信号に対し、各種の画像処理を行う。この画像処理が行われた信号は、例えば、ディスプレイ9 0 9に出力される。

ユーザインターフェース9 0 8は、オペレータOPがコア設計装置1 0 0に対して指示を行う部分である。ユーザインターフェース9 0 8は、例えば、ボタン、スイッチ、およびダイヤル等を有する。また、ユーザインターフェース9 0 8は、ディスプレイ9 0 9を用いたグラフィカルユーザインター

フェースを有していても良い。

[0132] ディスプレイ 909 は、画像処理回路 906 から出力された信号に基づく画像を表示する。I/F 回路 907 は、I/F 回路 907 に接続される装置との間でデータのやり取りを行う。図 9 では、I/F 回路 907 に接続される装置として、ユーザインターフェース 908 およびディスプレイ 909 を示す。しかしながら、I/F 回路 907 に接続される装置は、これらに限定されない。例えば、可搬型の記憶媒体が I/F 回路 907 に接続されても良い。また、ユーザインターフェース 908 の少なくとも一部およびディスプレイ 909 は、コア設計装置 100 の外部にあっても良い。

[0133] なお、CPU 901、主記憶装置 902、補助記憶装置 903、信号処理回路 905、画像処理回路 906、および I/F 回路 907 は、バス 910 に接続される。これらの構成要素間の通信は、バス 910 を介して行われる。また、励磁波形決定装置 100 のハードウェアは、前述したコア設計決定装置 100 の機能を実現することができれば、図 9 に示すハードウェアに限定されない。例えば、CPU 901 に代えてまたは加えて GPU がプロセッサとして用いられても良い。

[0134] [計算例]

次に、計算例を説明する。図 10A～図 10C は、設計前のコアと、設計後のコアを示す図である。

図 10A はコアの元形状を示す。本計算例では、図 10A に示すコアに対してフラックスバリアを追加することを、特許文献 1 に記載の手法および本実施形態で説明した手法により行った。

[0135] このように本計算例における計算対象要素は、フラックスバリアである。図 6A～図 6D において、フラックスバリアの領域は、円形状以外の白の領域である。鉄心の領域と永久磁石の領域は、相互に濃度が異なるグレーの領域である（永久磁石の領域は、長方形である）。なお、図 10A～図 10C に示す 6 個の円形状の白の領域は、設計対象要素以外の所定のコアの要素（形状を変更しない要素）である。

[0136] 本計算例では、図10Aにおいて鉄心の領域の外縁で囲まれている領域（図10Aにおいて中心角が 180° の環状扇形の領域）をデザイン領域とした。そして、デザイン領域内の領域であって、永久磁石よりも外周側の領域に、設計対象要素であるフラックスバリアの基本形状として8個の円形状の領域を設定した。なお、図10A～図10Cには、フラックスバリアの基本形状は図示されていない。すなわち、前述したように図10A～図10Cに示す6個の円形状の白の領域は、設計対象要素以外の所定のコアの要素（形状を変更しない要素）であり、フラックスバリアの基本形状とは異なるものである。

[0137] また、本計算例では、機器の特性として、実効値が25A、進角が 20° の励磁電流でコアを励磁したときの平均トルクを用いた。平均トルクが最大となる設計対象要素の形状を遺伝的アルゴリズムにより探索した。図10Bは、比較例を示す。図10Bの比較例は、特許文献1に記載されているように基本形状の設計対象要素に対して線形写像のみを施した結果を示す。図10Cは、発明例を示す。図10Cの発明例は、本実施形態で説明したように、変形パターン310a、310bによる変更と、変形パターン310a、310bによる変形後の設計対象要素に対する線形写像と、を行った結果を示す。発明例では、基本形状の円の直径に対し4倍の長さを一辺の長さとする正方形の領域を、変形パターン適用領域320a、320bとして有する変形パターン310a、310bを用いた。

[0138] 図10Aに示すコアを用いた場合のロータの平均トルクを100とした場合に、図10Bに示す比較例のコアを用いた場合のロータの平均トルクは109.4であった（本計算例で説明する平均トルクの値は無次元化された値である）。これに対し、図10Cに示す発明例のコアを用いた場合のロータの平均トルクは、111.4であった。このように、本実施形態の手法（発明例）の方が特許文献1に記載の手法（比較例）よりも、ロータの平均トルクを向上させることができることが分かる。図10Bに示す比較例におけるフラックスバリアの先端の領域1010a、1010bと、図10Cに示す

発明例におけるフラックスバリアの先端の領域 1010c、1010d と、を比べると、発明例の方が比較例に比べて先端の領域が細くなる形状のフラックスバリアが形成されていることが分かる。このことが、本実施形態の手法（発明例）の方が特許文献 1 に記載の手法（比較例）よりも、ロータの平均トルクを向上させることの一因であると考えられる。また、図 10C に示すように、本実施形態の手法（発明例）では、設計対象要素（フラックスバリア）の基本形状に非線形写像を施しても、最適解として得られるフラックスバリアはある程度固まって分布しており、フラックスバリアが極端に複雑な形状になることを回避できた。

[0139] [まとめ]

以上のように本実施形態では、コア設計装置 100 は、基本形状の設計対象要素 230 と、変形パターン 310a、310b と、適用パラメータと、を取得する。変形パターン 310a、310b は、設計対象要素の形状に対する変形の内容を示し、且つ、当該設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示す。また、少なくとも 1 つの変形パターン 310a、310b は、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す。適用パラメータは、設計対象要素 230a、230b に変形パターン 310a、310b を適用する際の変形パターン 310a、310b の適用方法を示すパラメータを含む。コア設計装置 100 は、適用パラメータに含まれる変形パターン 310a、310b の適用方法に従って変形パターン 310a、310b を設計対象要素に適用することにより設計対象要素 230 に対して非線形写像を施して設計対象要素 230a、230b の形状を変更する。そして、コア設計装置 100 は、設計対象要素 230a、230b の形状が変更されたコアを有する機器を動作させたときの当該機器の特性を示す値を算出し、算出した値に基づいて、コアの形状を決定する。したがって、実現可能な範囲内でより広い範囲を探索領域として、機器の性能を向上させるコアの形状を探索することができる。

[0140] また、本実施形態では、全ての変形パターン 310a、310b が、変更

前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す。したがって、変形前後の設計対象要素の同相性を確実に保存することができる。

[0141] また、本実施形態では、変形パターンの適用方法は、設計対象要素に変形パターン310a、310bを適用する回数を含む。また、変形パターン310a、310bの適用方法は、設計対象要素に適用する複数種類の変形パターン310a、310bの適用順を含む。したがって、変形前後の設計対象要素の同相性を保存しつつ、機器の特性が向上する設計対象要素の形状を、広範囲の探索領域の中から探索することができる。

[0142] また、本実施形態では、適用パラメータは、設計対象要素に対して線形写像を施すために用いるパラメータである線形写像のパラメータをさらに含む。コア設計装置100は、変形パターン310a、310bの適用方法に従って変形パターン310a、310bを設計対象要素に適用して設計対象要素の形状を変更することと、設計対象要素に対して線形写像を施すことと、を行う。したがって、（計算時間が同じであれば）より広範囲の探索領域から、機器の性能を向上させるコアの形状を探索することができる。

[0143] また、本実施形態では、コア設計装置100は、適用パラメータを最適化パラメータとして、最適化パラメータの最適解を、最適化問題のアルゴリズムを用いて算出する。したがって、例えば、設計者が試行錯誤的に適用パラメータを決定することが不要となるので、設計者の負担を軽減することができる。

[0144] また、本実施形態では、コア設計装置100は、メタヒューリスティクス手法により、最適化パラメータの最適解を決定する。したがって、最適解が局所解として計算されることを抑制することができると共に、コアの形状として斬新な形状が得られ易くなる。

[0145] [変形例]

<第1変形例>

本実施形態では、デザイン領域200が、鉄心210の外縁で囲まれる領域である場合を例示した。このようにすると、図10Cに示すように、フラ

ックスバリアが鉄心の外周部に達する虞がある。ロータにおいてフラックスバリアが鉄心の外周部に達すると、ロータの回転によりロータが受ける遠心力によりロータが壊れる虞がある。そこで、鉄心 210 の端部およびその近傍の領域を除く領域を、デザイン領域としても良い。このようにすれば、複雑な計算を行うことなく、機器の仕様を満たさないコアが設計されることを抑制することができる。

[0146] また、このようにしてデザイン領域を設定することに代えてまたは加えて、以下のようにしても良い。すなわち、コア形状決定部 130 は、電磁場解析と応力解析とを連成した順問題を解くことにより、各微小領域における磁束密度ベクトルおよび応力ベクトルを計算することにより、ロータの回転に伴いロータが受ける遠心力によりコアに生じる応力を解析する。そして、コア形状決定部 130 は、磁束密度ベクトルに基づく機器の特性と、応力ベクトルに基づく機器の特性との双方に基づいて、最適化パラメータの最適解を探索する。

[0147] 例えば、コア形状決定部 130 は、コアの各微小領域（メッシュ）に応力条件に応じて印加される応力ベクトルを、有限要素法を用いて計算する。有限要素法により応力の解析を行う手法は、一般的な手法である。なお、各微小領域（メッシュ）における応力ベクトルを数値解析により算出することができれば、応力ベクトルを算出する方法として、有限要素法以外の方法（差分法等）を用いても良い。

[0148] 本実施形態で説明した電磁場解析（各微小領域における磁束密度ベクトル B と渦電流ベクトル J の計算）に用いる微小領域と、応力解析で用いた微小領域とが異なる場合、コア形状決定部 130 は、例えば、応力解析で用いた各微小領域の応力ベクトルに対して補間処理を行うことにより、電磁場解析で用いる微小領域における応力ベクトルを算出する。

[0149] 電磁場解析（各微小領域における磁束密度ベクトル B と渦電流ベクトル J の計算）においては、 $B-H$ 曲線として、応力に応じた $B-H$ 曲線が用いられる。電磁場解析で用いる微小領域における応力ベクトルに対応する $B-H$ 曲線を

用いて電磁場解析が行われる。

[0150] 例えば、電磁場解析の結果に基づいて定まる機器の特性の値を V_1 とする。また、電磁場解析の結果に基づいて定まる機器の特性に対する重み係数を W_1 (> 0) とする。また、応力解析の結果に基づいて定まる機器の特性の値 V_2 とする。また、応力解析の結果に基づいて定まる機器の特性に対する重み係数を W_2 (> 0) とする。この場合、コア形状決定部130、 $W_1 \times V_1 + W_2 \times V_2$ の値が最大または最小になるような写像を探索する。なお、電磁場解析の結果から定まる機器の特性の値が大きいほど特性が良いことを示し、応力解析の結果から定まる機器の特性に対する重み係数の値が小さいほど特性が良いことを示す場合、コア形状決定部130（決定部135）は、例えば、 $-W_1 \times V_1 + W_2 \times V_2$ が最小になるような最適化パラメータを探索すれば良い。

[0151] なお、電磁場解析と応力解析とを連成した順問題は、例えば、特許文献1に記載されている公知の手法で実現することができる。したがってで、ここでは、その詳細な説明を省略する。また、コアの設計の際に考慮する機器の特性等によっては、電磁場解析を行わずに、応力解析のみを行っても良い。

[0152] <第2変形例>

本実施形態では、最適化問題のアルゴリズムとして、遺伝的アルゴリズムを用いる場合を例示した。しかしながら、最適化問題のアルゴリズムは、遺伝的アルゴリズムに限定されない。遺伝的アルゴリズム以外のメタヒューリスティクス手法を用いても良い。メタヒューリスティクス手法を用いれば、最適解が局所解として計算されることを抑制することができると共に、斬新な形状が得られ易くなるので好ましい。しかしながら、勾配法等のメタヒューリスティクス手法以外の最適化問題のアルゴリズムを用いても良い。また、適用パラメータを最適化パラメータとして最適化問題を解けば、機器の特性を示す値としてより良い値を示すコアを設計することができるので好ましい。しかしながら、必ずしも適用パラメータを最適化パラメータとして最適化問題を解く必要はない。例えば、設計者が試行錯誤的に適用パラメータを

異ならせて、機器の特性を示す値が所定の条件（例えば、機器の特性を示す値が所定値よりも良い値であること）を満たす適用パラメータを探索しても良い。

[0153] <第3変形例>

本実施形態では、IPMSMのロータの形状を設計する場合を例示した。しかしながら、設計対象のコアは、IPMSMのロータのコアに限定されない。例えば、かご型誘導モータのロータのコアを設計対象のコアとしても良い。この場合、コアを構成する鉄心に埋め込まれる導体バーを設計対象要素としても良い。また、ステータのコアを設計対象のコアとしても良い。この場合、例えば、ステータのコアを構成する鉄心のティースの先端面（ロータのコアと対向する面）に形成される凹部の空間を設計対象要素としても良い。その他、モータ以外の回転電機である発電機のロータのコアやステータのコアを設計対象のコアとしても良いし、また、変圧器のコアを設計対象のコアとしても良い。

[0154] <第4変形例>

本実施形態では、全ての変形パターン310a、310bが、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す場合を例示した。このようにすれば、変形前後の設計対象要素の同相性を保存することができる。したがって、例えば、設計対象要素の形状を変更するたびに、変更前後の形状を同相写像の関係にすることができる。よって、設計対象要素の形状の変更を可及的に実現可能な範囲内で行うことができるので好ましい。しかしながら、変形パターン310a、310bの少なくとも1つが、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示していれば、変形パターン310a、310bの中に、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示さない変形パターンが含まれていても良い。このようにする場合、例えば、以下のようにしても良い。まず、コア設計装置100は、設計対象要素の基本形状と、最終的に得られた設計対象要素の形状とが、同相写像の関係になっているか否かを判定する。そして、コア設計装置100は、設計対象要素の

基本形状と、最終的に得られた設計対象要素の形状とが、同相写像の関係になっていない場合、変形パターン310a、310bの適用方法（例えば、変形パターン310a、310bの内容、数、および適用順の少なくとも1つ）を変更して、設計対象要素の形状の最適解の探索を再度行う。また、コア設計装置100は、最終的に得られた設計対象要素の形状の情報を表示装置に表示し、設計者に提示しても良い。このようにする場合、設計者は、最終的に得られた設計対象要素の形状が実現可能な形状でない場合、設計対象要素の形状の最適解の再度の探索をコア設計装置100に指示しても良い。なお、設計者は、変形前後の設計対象要素が、同相写像の関係にならない場合であっても、最終的に得られた設計対象要素の形状が実現可能な形状である場合には、当該形状を採用しても良い。このように、変形前後の設計対象要素は、同相性を保存していなくても良い。また、例えば、実現可能な形状でない部分が機器の特性に対する影響が低い部分であることが明らかである場合には、設計者自身が、最終的に得られた設計対象要素の形状を変更しても良い。

[0155] <その他の変形例>

なお、以上説明した本発明の実施形態で説明したコア設計装置およびコア設計方法は、コンピュータがプログラムを実行することによって実現することができる。また、前記プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体および前記プログラム等のコンピュータプログラムプロダクトも本発明の実施形態として適用することができる。なお、コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、非一時的な記録媒体を表す。記録媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROM等を用いることができる。

また、以上説明した本発明の実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその技

術思想、またはその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

産業上の利用可能性

[0156] 本発明は、例えば、コア（鉄心）を備える機器を設計することに利用することができる。

請求の範囲

[請求項1]

コアの形状の設計に関する計算を行うコア設計装置であって、
前記コアの設計対象要素の基本形状を取得する基本形状取得部と、
前記コアの設計対象要素の形状を前記基本形状から変更することにより、前記コアの形状を決定するコア形状決定部と、
を備え、
前記コア形状決定部は、
前記設計対象要素の形状に対する変形の内容を示す変形パターンを取得する変形パターン取得部と、
適用パラメータを取得するパラメータ取得部と、
前記変形パターンと、前記適用パラメータと、を用いて、前記設計対象要素の形状を変更する設計対象要素変更部と、
前記設計対象要素の形状が変更された前記コアを有する機器を動作させたときの前記機器の特性を示す値を算出する特性値算出部と、
前記機器の特性を示す値に基づいて、前記コアの形状を決定する決定部と、
を有し、
前記適用パラメータは、前記設計対象要素に前記変形パターンを適用する際の前記変形パターンの適用方法を示すパラメータを含み、
前記設計対象要素変更部は、前記適用方法に従って前記変形パターンを前記設計対象要素に適用することにより当該設計対象要素に対して非線形写像を施し、
前記変形パターンは、前記設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示し、
前記変形パターンの少なくとも1つは、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す、コア設計装置。

[請求項2]

前記変形パターンの全ては、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す、請求項1に記載のコア設計装置。

- [請求項3] 前記変形パターンの適用方法は、前記設計対象要素に前記変形パターンを適用する回数と、前記設計対象要素に適用する複数種類の前記変形パターンの適用順と、のうちの少なくとも一方を含む、請求項1または2に記載のコア設計装置。
- [請求項4] 前記適用パラメータは、前記設計対象要素に対して線形写像を施すために用いるパラメータである線形写像のパラメータをさらに含み、
前記設計対象要素変更部は、さらに、前記設計対象要素に対して線形写像を施す、請求項1～3のいずれか1項に記載のコア設計装置。
- [請求項5] 前記コア形状決定部は、前記適用パラメータを最適化パラメータとして、前記最適化パラメータの最適解を、最適化問題のアルゴリズムを用いて算出する、請求項1～4のいずれか1項に記載のコア設計装置。
- [請求項6] 前記最適化問題のアルゴリズムは、メタヒューリスティクス手法のアルゴリズムであり、
前記パラメータ取得部は、前記最適化パラメータの候補解を算出し、
前記コア形状決定部は、前記機器の特性を示す値が所定の条件を満たす場合の前記最適化パラメータの候補解を、前記最適化パラメータの最適解として決定する、請求項5に記載のコア設計装置。
- [請求項7] 前記設計対象要素は、回転電機のロータにおけるフラックスバリアおよび永久磁石の少なくとも一方を含む、請求項1～6のいずれか1項に記載のコア設計装置。
- [請求項8] コアの形状の設計に関する計算を行うコア設計方法であって、
前記コアの設計対象要素の基本形状を取得する基本形状取得工程と、
前記コアの設計対象要素の形状を前記基本形状から変更することにより、前記コアの形状を決定するコア形状決定工程と、
を備え、

前記コア形状決定工程は、
前記設計対象要素の形状に対する変形の内容を示す変形パターンを取得する変形パターン取得工程と、
適用パラメータを取得するパラメータ取得工程と、
前記変形パターンと、前記適用パラメータと、を用いて、前記設計対象要素の形状を変更する設計対象要素変更工程と、
前記設計対象要素の形状が変更された前記コアを有する機器を動作させたときの前記機器の特性を示す値を算出する特性値算出工程と、
前記機器の特性を示す値に基づいて、前記コアの形状を決定する決定工程と、
を有し、
前記適用パラメータは、前記設計対象要素に前記変形パターンを適用する際の前記変形パターンの適用方法を示すパラメータを含み、
前記設計対象要素変更工程は、前記適用方法に従って前記変形パターンを前記設計対象要素に適用することにより当該設計対象要素に対して非線形写像を施し、
前記変形パターンは、前記設計対象要素の基本形状上の相対座標系における位置毎の変位を示し、
前記変形パターンの少なくとも1つは、変更前後の形状が同相写像の関係になる変形の内容を示す、コア設計方法。

[請求項9] 請求項1～7のいずれか1項に記載のコア設計装置の各部としてコンピュータを機能させるためのプログラム。