

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6221688号  
(P6221688)

(45) 発行日 平成29年11月1日(2017.11.1)

(24) 登録日 平成29年10月13日(2017.10.13)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>G06F 19/00</b>	<b>(2011.01)</b>	G06F 19/00	110		
<b>G06F 17/50</b>	<b>(2006.01)</b>	G06F 17/50	612H		
		G06F 17/50	680Z		

請求項の数 5 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-245432 (P2013-245432)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成25年11月27日(2013.11.27)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(65) 公開番号	特開2015-103189 (P2015-103189A)	(72) 発明者	清水 香壺 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(43) 公開日	平成27年6月4日(2015.6.4)	審査官	宮地 匡人
審査請求日	平成28年8月4日(2016.8.4)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁性体解析装置、磁性体解析プログラムおよび磁性体解析方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に含まれる複数の要素に配置される磁化ベクトルを用いて、前記期間の間に变化した磁化ベクトルの变化量を算出する算出部と、

前記算出部によって前記期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの变化量を複数の期間で累計する累計部と、

前記時点毎に前記累計部によって複数の期間で累計された磁化ベクトルの变化量の累計値が、予め定められた変化幅を超えるか否かを判定する判定部と、

前記判定部によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを記憶部に記録する記録部と、

を有することを特徴とする磁性体解析装置。

【請求項2】

前記判定部は、前記記録部によって超えた時点の磁化ベクトルが前記記憶部に記録されると、超えた時点以降の磁化ベクトルの变化量の累計値が、新たに前記変化幅を超えるか否かを判定し、

前記記録部は、前記判定部によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルおよび前回超えた時点から今回超えた時点までの期間を対応付けて記憶部に記録する

ことを特徴とする請求項1に記載の磁性体解析装置。

## 【請求項 3】

前記記憶部に記憶された記録毎の磁化ベクトルおよび期間を用いて、記録された順に、それぞれ期間だけスリープさせ、当該期間に対応付けた磁化ベクトルを出力する出力部を有することを特徴とする請求項 2 に記載の磁性体解析装置。

## 【請求項 4】

コンピュータに、磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に含まれる複数の要素に配置される磁化ベクトルを用いて、前記期間の間に变化した磁化ベクトルの変化量を算出し、前記算出する処理によって前記期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を複数の期間で累計し、

10

前記時点毎に前記累計する処理によって複数の期間で累計された磁化ベクトルの変化量の累計値が、予め定められた変化幅を超えるか否かを判定し、

前記判定する処理によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを記憶部に記録する

処理を実行させることを特徴とする磁性体解析プログラム。

## 【請求項 5】

コンピュータが、

磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に含まれる複数の要素に配置される磁化ベクトルを用いて、前記期間の間に变化した磁化ベクトルの変化量を算出し、

前記算出する処理によって前記期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を複数の期間で累計し、

20

前記時点毎に前記累計する処理によって複数の期間で累計された磁化ベクトルの変化量の累計値が、予め定められた変化幅を超えるか否かを判定し、

前記判定する処理によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを記憶部に記録する

各処理を実行することを特徴とする磁性体解析方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、磁性体解析装置などに関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

マイクロメートル ( $\mu\text{m}$ ) 以下の小さい領域の磁性体の磁化構造を数値解析する場合、マイクロマグネティクス解析と呼ばれる解析手法が使用される。マイクロマグネティクス解析は、複数の磁化ベクトルを未知数とする磁化ベクトルの歳差運動方程式 (LLG 方程式) を解いて、磁化ベクトルの時間変化を計算する。この解析手法は時間に依存する過渡計算であり、時間の経過と共に磁化ベクトルが変化する。ここで、磁化ベクトルとは、例えば、マイクロマグネティクス解析において、LLG 方程式の未知数であり、有限要素法や有限差分法で扱うメッシュの個々の要素に定義されるベクトルの値のことをいう。

## 【0003】

40

従来のマイクロマグネティクス解析では、磁化ベクトルを保存する時間間隔の値が設定され計算が開始されると、設定された一定の時間間隔で磁化ベクトルのデータを保存する。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【特許文献 1】特開 2005 - 83764 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 110212 号公報

【特許文献 3】国際公開第 2005 / 057434 号

## 【発明の概要】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、従来のマイクロマグネティックス解析では、一定の時間間隔で磁化ベクトルのデータを保存するので、磁化ベクトルのデータを効率的に保存することができないという問題がある。例えば、磁化ベクトルにおける時間変化の割合が不均一な場合、つまり磁化ベクトルが変化しない時間領域と磁化ベクトルが急激に変化する時間領域とが混在する場合に、磁化ベクトルのデータを効率的に保存することができない。かかる場合の問題について、図8および図9を参照して説明する。

## 【0006】

図8は、磁化ベクトルの変化と保存時間間隔が長い場合の保存のタイミングを示す図である。図8に示すように、一定の時間間隔（保存時間間隔）で磁化ベクトルのデータを保存したとすると、短い時間で磁化ベクトルが大きく変化する過程（変化が急激）の磁化ベクトルのデータを十分な数だけ保存することができない。

10

## 【0007】

図9は、磁化ベクトルの変化と保存時間間隔が短い場合の保存のタイミングを示す図である。図9に示すように、一定の時間間隔（保存時間間隔）で磁化ベクトルのデータを保存したとすると、短い時間で磁化ベクトルが大きく変化する過程（変化が急激）の磁化ベクトルを保存することが可能となる。ところが、保存される磁化ベクトルの大部分は変化しない値であるために、多くの磁化ベクトルのデータを無駄に保存してしまう。

## 【0008】

なお、上記課題は、マイクロマグネティックス解析だけではなく、時間の経過と共に磁化ベクトルが変化する磁性体解析に同様に生じる課題である。

20

## 【0009】

1つの側面では、磁性体解析で扱われる磁化ベクトルの保存効率を向上することができる磁性体解析装置、磁性体解析プログラムおよび磁性体解析方法を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0010】

第1の案では、磁性体解析装置は、磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に配置される磁化ベクトルについて前記期間の間に变化した変化量を算出する算出部と、前記算出部によって前記期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を、前記期間毎に累計する累計部と、前記累計部によって累計された磁化ベクトルの変化量の累計値が、予め定められた変化幅を超えるか否かを判定する判定部と、前記判定部によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを記憶部に記録する記録部と、を有する。

30

## 【発明の効果】

## 【0011】

磁性体解析で扱われる磁化ベクトルの保存効率を向上することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0012】

40

【図1】図1は、実施例に係る磁性体解析装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図2】図2は、単位磁化ベクトルと変化量の総和と保存のタイミングを説明する図である。

【図3】図3は、結果データの一例を示す図である。

【図4】図4は、実施例に係る磁化ベクトル保存処理のフローチャートを示す図である。

【図5】図5は、実施例に係る結果出力処理のフローチャートを示す図である。

【図6A】図6Aは、磁化ベクトル（Y軸成分）の磁化変化の遷移の一例を示す図（1）である。

【図6B】図6Bは、磁化ベクトル（Y軸成分）の磁化変化の遷移の一例を示す図（2）である。

50

【図 7】図 7 は、磁性体解析プログラムを実行するコンピュータの一例を示す図である。

【図 8】図 8 は、磁化ベクトルの変化と保存のタイミングを示す図（保存時間間隔が長い場合）である。

【図 9】図 9 は、磁化ベクトルの変化と保存のタイミングを示す図（保存時間間隔が短い場合）である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に、本願の開示する磁性体解析装置、磁性体解析プログラムおよび磁性体解析方法の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施例では、マイクロマグネティックス解析に適用した場合を示す。しかし、本実施例によりこの発明が限定されるものではなく、磁性体解析に広く適用可能である。

10

【実施例】

【0014】

図 1 は、実施例に係る磁性体解析装置の構成を示す機能ブロック図である。図 1 に示すように、磁性体解析装置 1 は、入力部 10 と、表示部 20 と、記憶部 30 と、制御部 40 とを有する。

【0015】

磁性体解析装置 1 は、磁性体解析の際、時間の経過と共に変化する磁化ベクトルのデータを、磁化ベクトルの変化量に応じて保存する。すなわち、磁性体解析装置 1 は、磁化ベクトルの変化が緩い場合、磁化ベクトルのデータを保存する時間間隔を変化量に応じて大きくし、磁化ベクトルの変化が急激な場合、磁化ベクトルのデータを保存する時間間隔を変化量に応じて小さくする。そして、磁性体解析装置 1 は、保存された磁化ベクトルのデータを、データが保存された時間間隔（保存時間間隔）に基づいて可視化する。ここで、磁化ベクトルとは、マイクロマグネティックス解析において、例えば、有限要素法や有限差分法で扱うメッシュの個々の要素に定義されるベクトルの値のことをいう。なお、実施例で扱う時間とは、磁性体解析のシミュレーション対象となる物理現象の空間における時間である。

20

【0016】

入力部 10 は、解析を行うユーザが各種の情報や指示を磁性体解析装置 1 に入力するための入力装置である。例えば、入力部 10 は、キーボード、マウス、タッチパネルに対応する。表示部 20 は、各種の情報を表示する表示装置である。例えば、表示部 20 は、ディスプレイ、タッチパネルに対応する。

30

【0017】

記憶部 30 は、例えば、RAM (Random Access Memory)、フラッシュメモリ (Flash Memory) などの半導体メモリ素子、または、ハードディスク、光ディスクなどの記憶装置である。記憶部 30 は、メッシュデータ 31 と、計算条件データ 32 と、結果データ 33 とを記憶する。メッシュデータ 31 は、解析対象となる磁性体の領域を有限要素法や有限差分法により有限個に分割された複数の要素からなるデータである。要素とは、解析対象となる領域を分割した最小単位の領域であり、複数の節点によって構成される。また、計算条件データ 32 は、磁性体解析の計算条件に関するデータである。計算条件データ 32 には、例えば、有限要素法や有限差分法で扱うメッシュの個々の要素の数や、後述する変化量幅の値が含まれる。なお、結果データ 33 のデータの書式は、後述するものとする。

40

【0018】

制御部 40 は、例えば、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) や FPGA (Field Programmable Gate Array) などの集積回路の電子回路に対応する。また、制御部 40 は、CPU (Central Processing Unit) や MPU (Micro Processing Unit) などの電子回路に対応する。そして、制御部 40 は、各種の処理手順を規定したプログラムや制御データを格納するための内部メモリを有し、これらによって種々の処理を実行する。例えば、制御部 40 は、磁性体解析処理を実行する。磁性体解析処理は、

50

記憶部 30 からメッシュデータ 31 および計算条件データ 32 を読み込んで計算を開始する。そして、磁性体解析処理は、過渡計算の過程で、メッシュデータ 31 の各要素に磁化ベクトルを配置し、配置した磁化ベクトルを場のデータとして記憶部 30 に保存する。

【0019】

制御部 40 は、変化量算出部 41 と、変化量累計部 42 と、変化量判定部 43 と、保存部 44 と、結果出力部 45 とを有する。

【0020】

変化量算出部 41 は、磁性体解析の際に、解析開始から解析終了までの所定の期間を経た時点毎に、解析対象に配置される磁化ベクトルについて当該期間の間に变化した変化量を算出する。ここでいう所定の期間とは、磁性体解析で扱われる時間における時間刻み幅を意味する。例えば、変化量算出部 41 は、時間刻み幅分経た直後の時刻で、単位磁化ベクトルの変化量を算出する。ここで、単位磁化ベクトルとは、磁化ベクトルを飽和磁束密度で割った値のことをいう。すなわち、単位磁化ベクトルは、磁化ベクトルの大きさを 1 に規格化したベクトルである。

10

【0021】

一例として、変化量算出部 41 は、式(1)を用いて、時刻  $i$  の単位磁化ベクトルの変化量  $dm_{sum}^i$  を算出する。

【数1】

$$dm_{sum}^i = \frac{\sum_{j=1}^N |dm_j^i|}{N} \quad \dots \text{式(1)}$$

20

【0022】

式(1)で示される  $dm_{sum}^i$  は、時刻  $i$  においてメッシュデータ 31 の全ての要素(または節点など)に配置される単位磁化ベクトルの変化量の絶対値の平均値である。変化量  $dm_j^i$  は、 $j$  番目の要素(または節点など)における単位磁化ベクトルの物理量が時刻  $i-1$  と時刻  $i$  との間に変化する量である。変化量  $dm_j^i$  は、ベクトルを対象とするため、式(2)のように、変化したベクトルの絶対値で表される。

【数2】

$$|dm_j^i| = |\vec{m}_j^i - \vec{m}_j^{i-1}| = \sqrt{(\vec{m}_j^i - \vec{m}_j^{i-1})^2} \quad \dots \text{式(2)}$$

30

なお、磁化ベクトルを 1 の大きさに規格化した単位磁化ベクトルを用いることで、変化量を百分率で定義することができる。

【0023】

式(2)は、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  成分で表現すると、式(3)のように表される。

【数3】

$$\sqrt{(\vec{m}_j^i - \vec{m}_j^{i-1})^2} = \sqrt{(m_{j,x}^i - m_{j,x}^{i-1})^2 + (m_{j,y}^i - m_{j,y}^{i-1})^2 + (m_{j,z}^i - m_{j,z}^{i-1})^2} \quad \dots \text{式(3)}$$

40

【0024】

変化量累計部 42 は、所定の期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を、所定の期間毎に累計する。例えば、変化量累計部 42 は、変化量算出部 41 によって時間刻み分経た直後の時刻で算出された単位磁化ベクトルの変化量を、これまで算出された単位磁化ベクトルの変化量の総和に加算する。一例として、変化量累計部 42 は、式(4)を用いて、時刻  $T$  までの単位磁化ベクトルの変化量の総和を算出する。

## 【数 4】

$$m_{\text{sum}} = 100 \times \sum_{i=1}^T dm_{\text{sum}}^i = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N |dm_j^i|}{N} \quad \dots \text{式(4)}$$

なお、磁化ベクトルを 1 の大きさに規格化した単位磁化ベクトルを用いることで、変化量の総和を百分率で定義することができ、式(4)に示す 100 を掛けることで変化量の総和をパーセント(%)で定義することができる。

## 【0025】

変化量判定部 43 は、磁化ベクトルの変化量の累計値が、変化量幅を超えるか否かを判定する。変化量幅は、保存のタイミングを決めるために用いられる。なお、変化量幅は、予めユーザによって定められる。例えば、変化量判定部 43 は、変化量累計部 42 によって各時刻における単位磁化ベクトルの変化量が累計された結果得られた総和が、変化量幅を超えるか否かを判定する。そして、変化量判定部 43 は、変化量幅を超えると判定した場合、超えた時刻の磁化ベクトルを保存すべく、保存部 44 に移行する。

10

## 【0026】

また、変化量判定部 43 は、後述する保存部 44 によって超えた時刻の磁化ベクトルが保存されると、超えた時刻以降の磁化ベクトルの変化量の累計値が、新たに変化量幅を超えるか否かを判定する。そして、変化量判定部 43 は、変化量幅を超えると判定した場合、超えた時刻の磁化ベクトルを保存すべく、保存部 44 に移行する。なお、変化量判定部 43 は、変化量幅を超えないと判定した場合、次の時刻の磁化ベクトルの変化量を算出すべく、変化量算出部 41 に移行する。

20

## 【0027】

保存部 44 は、磁化ベクトルの変化量の累計値が変化量幅を超えた場合に、超えた時刻の磁化ベクトルを結果データ 33 に保存する。例えば、保存部 44 は、変化量判定部 43 によって変化量幅を超えたと判定された場合に、超えた時刻の単位磁化ベクトルおよび前回超えた時刻から今回超えた時刻までの期間を対応付けて結果データ 33 に保存する。この期間のことを「保存時間間隔」というものとする。

## 【0028】

## [単位磁化ベクトルを保存するタイミング]

ここで、単位磁化ベクトルを保存するタイミングについて、図 2 を参照して説明する。図 2 は、単位磁化ベクトルと変化量の総和と保存のタイミングを説明する図である。図 2 に示す折れ線グラフは、X 軸を時間、Y 軸を単位磁化ベクトルの平均値  $\langle m \rangle$  および単位磁化ベクトルの変化量の総和  $\langle m_{\text{sum}} \rangle$  として表している。実線の曲線は、時間に対応する単位磁化ベクトルの平均値  $\langle m \rangle$  を表している。破線の曲線は、時間に対応して刻々と変化する単位磁化ベクトルの変化量の総和  $\langle m_{\text{sum}} \rangle$  を表している。

30

## 【0029】

単位磁化ベクトルの変化量の総和  $\langle m_{\text{sum}} \rangle$  は、式(4)で表される。単位磁化ベクトルの平均値  $\langle m \rangle$  は、時刻  $i$  において全ての要素(または節点など)  $j$  に配置される単位磁化ベクトルの平均値を、式(5)で表される。

40

## 【数 5】

$$\langle m \rangle^i = \sum_{j=1}^N m_j^i \quad \dots \text{式(5)}$$

## 【0030】

また、変化量の総和の軸に対して一定の間隔で水平の補助線がある。この水平の補助線の間隔が、変化量幅となる。

## 【0031】

50

このような状況の下、変化量判定部 4 3 は、変化量累計部 4 2 によって各時刻における単位磁化ベクトルの変化量が累計された結果得られた総和が、変化量幅を超えるか否かを判定する。そして、保存部 4 4 は、変化量判定部 4 3 によって変化量幅を超えたと判定された場合に、超えた時刻の単位磁化ベクトルおよび前回超えた時刻から今回超えた時刻までの期間（保存時間間隔）を対応付けて結果データ 3 3 に保存する。

#### 【 0 0 3 2 】

一例として、変化量判定部 4 3 は、時刻  $t_1$  における単位磁化ベクトルの変化量の総和が、変化量幅を超えると判定する（ $> m$  で表示）。したがって、保存部 4 4 は、超えた時刻  $t_1$  における単位磁化ベクトルおよび計算開始 0 から今回超えた時刻  $t_1$  までの保存時間間隔  $t_1$  を対応付けて結果データ 3 3 に保存する。別の一例として、変化量判定部 4 3 は、時刻  $t_2$  における単位磁化ベクトルの変化量の総和が、変化量幅を超えると判定する（ $> m$  で表示）。したがって、保存部 4 4 は、超えた時刻  $t_2$  における単位磁化ベクトルおよび前回超えた時刻  $t_1$  から今回超えた時刻  $t_2$  までの保存時間間隔（ $t_2 - t_1$ ）を対応付けて結果データ 3 3 に保存する。

10

#### 【 0 0 3 3 】

すなわち、変化量幅を示す水平の補助線と、変化量の総和の曲線とが交わる点を通るように垂直の補助線が生成される。生成された垂直の補助線の時間（例えば、 $t_1$ 、 $t_2$ ）が、単位磁化ベクトルを保存する時刻となる。この時刻の垂直の補助線と、単位磁化ベクトルの平均値の曲線との交点（ $< m >$  で表示）が、保存する時刻の単位磁化ベクトルの平均値  $< m >$  となる。

20

#### 【 0 0 3 4 】

これにより、保存部 4 4 は、磁化ベクトルが大きく変化しない時間領域（例えば、 $0 \sim t_1$ 、 $t_3 \sim$ ）では、磁化ベクトルの値に変化が小さいので磁化ベクトルのデータを無駄に保存することを防止できる。一方、保存部 4 4 は、磁化ベクトルが大きく変化する時間領域（例えば  $t_1 \sim t_3$ ）では、磁化ベクトルのデータを十分な数だけ保存することができる。すなわち、保存部 4 4 は、磁化ベクトルの変化量に応じて磁化ベクトルのデータを保存することが可能となる。

#### 【 0 0 3 5 】

##### [ 計算データの一例 ]

ここで、保存部 4 4 によって保存される結果データ 3 3 の一例を、図 3 を参照して説明する。図 3 は、結果データ 3 3 の一例を示す図である。図 3 上図には、解析対象となる磁性体のメッシュデータ 3 1 が表されている。メッシュデータ 3 1 は、解析対象となる磁性体の領域を 15 個に分割された複数の要素からなる。各要素の中心には、磁化ベクトルが配置される。このモデルを用いた過渡計算の結果データ 3 3 には、保存タイミングの時刻毎に 15 要素分の磁化ベクトルおよび保存時間間隔の情報が保存される。

30

#### 【 0 0 3 6 】

図 3 下図には、結果データ 3 3 の一例が示される。結果データ 3 3 には、ステップ  $d_1$  と、保存時間間隔  $d_2$  と、要素番号  $d_3$  と、磁化ベクトル  $d_4$  とが含まれる。ステップ  $d_1$  は、保存タイミングの時刻毎に保存された情報の識別番号であり、昇順に付与される。保存時間間隔  $d_2$  は、変化量幅を前回超えた時刻から今回超えた時刻までの期間を示す。要素番号  $d_3$  は、要素の番号を示す。要素番号  $d_3$  の各番号は、式 (1) ~ 式 (5) のインデックス  $j$  の各値に対応する。磁化ベクトル  $d_4$  は、要素番号  $d_3$  が示す番号に対応する磁化ベクトルの値を示す。例えば、磁化ベクトル  $d_4$  は、 $x$  成分の値、 $y$  成分の値、 $z$  成分の値で示される。

40

#### 【 0 0 3 7 】

一例として、ステップ (Step)  $d_1$  が「1」である場合、保存時間間隔 (Span T)  $d_2$  として「0.01201」を記憶している。そして、要素番号  $d_3$  が「1」である場合、磁化ベクトル  $d_4$  について、 $x$  成分として「000000e+000」、 $y$  成分として「000000e+000」、 $z$  成分として「000000e+000」を記憶している。要素番号  $d_3$  が「15」である場合、磁化ベクトル  $d_4$  について、 $x$  成分として

50

「968024e - 001」、y成分として「1.832916e - 002」、z成分として「7.777536e - 002」を記憶している。

【0038】

図1に戻って、結果出力部45は、記憶部30に保存された結果データ33を用いて、磁化ベクトルを出力する。例えば、結果出力部45は、記憶部30に保存された順に、結果データ33の保存時間間隔だけスリーブさせ、保存時間間隔に対応付けた磁化ベクトルを出力する。具体的には、結果出力部45は、磁化ベクトルを連続的に描画するフレームとフレームとの間に、保存時間間隔の係数倍の時間だけスリーブさせる。そして、結果出力部45は、メッシュデータ31に含まれる該当するメッシュ上に磁化ベクトルを配置して出力する。これにより、結果出力部45は、磁化ベクトルの実際の物理的挙動に合うように、可視化することができる。

10

【0039】

【磁化ベクトル保存処理のフローチャート】

次に、図4を参照して、磁化ベクトル保存処理のフローチャートを説明する。図4は、実施例に係る磁化ベクトル保存処理のフローチャートを示す図である。

【0040】

まず、制御部40は、解析要求があったか否かを判定する(ステップS10)。解析要求がなかったと判定した場合(ステップS10; No)、制御部40は、解析要求があるまで、判定処理を繰り返す。

【0041】

一方、制御部40は、解析要求があったと判定した場合(ステップS10; Yes)、制御部40は、変化量幅d、磁化ベクトルが配置される要素の数Nおよび時間ステップの最大数Tを設定する(ステップS11)。例えば、制御部40は、入力部10から入力された、変化量幅、磁化ベクトルが配置される要素の数および時間ステップの最大数をそれぞれの変数に設定する。

20

【0042】

続いて、制御部40は、解析に用いられる各変数を初期化する(ステップS12)。例えば、制御部40は、磁化ベクトルの変化量の総和の設定に用いられる変数 $m_{sum}$ を0に設定する。制御部40は、ステップの設定に用いられるStepを0に設定する。ここでいうステップとは、保存タイミングの時刻毎に設定される識別番号であり、結果データ33のステップd1に対応する。また、制御部40は、解析内での時間の管理に用いられるTimeに0を設定する。制御部40は、前回超えた時刻の設定に用いられるTimeOldに0を設定する。制御部40は、時間ステップの設定に用いられるiに1を設定する。この時間ステップiは、保存時刻に対応するインデックスとなる。制御部40は、時間ステップiが0である場合の全要素jの磁化ベクトルの値 $m_j^0$ に0を設定する。

30

【0043】

この後、変化量判定部43は、磁化ベクトルの変化量の総和の設定に用いられる変数 $m_{sum}$ が、ステップの設定に用いられるStepと変化量幅dを乗じて得た値以上であるか否かを判定する(ステップS13)。すなわち、変化量判定部43は、磁化ベクトルの変化量が累計された結果得られた総和が、変化量幅を超えるか否かを判定する。なお、変数 $m_{sum}$ 、すなわち、磁化ベクトルの変化量が累計された結果得られた総和は、変化量累計部42によって算出される。

40

【0044】

変数 $m_{sum}$ が、Stepと変化量幅dを乗じて得た値未満であると判定した場合(ステップS13; No)、変化量判定部43は、時間を進めるべく、ステップS16に移行する。

【0045】

一方、変数 $m_{sum}$ が、Stepと変化量幅dを乗じて得た値以上であると判定した場合(ステップS13; Yes)、保存部44は、今回超えた時刻Timeから前回超えた時刻TimeOldを引いた値を保存時間間隔としてSpanTに設定する。そして、保

50



存部 4 4 は、前回超えた時刻  $T i m e O l d$  に今回超えた時刻  $T i m e$  を設定する（ステップ S 1 4）。

【 0 0 4 6 】

そして、保存部 4 4 は、今回超えた時刻の磁化ベクトルと保存時間間隔  $S p a n T$  を結果データ 3 3 に保存する。加えて、保存部 4 4 は、 $S t e p$  に設定された値を結果データ 3 3 に保存する。そして、保存部 4 4 は、 $S t e p$  に 1 を加算する（ステップ S 1 5）。そして、保存部 4 4 は、時間を進めるべく、ステップ S 1 6 に移行する。

【 0 0 4 7 】

ステップ S 1 6 では、変化量算出部 4 1 が、時間管理に用いられる変数  $T i m e$  に時間刻み幅  $d T i m e$  を加算する（ステップ S 1 6）。

10

【 0 0 4 8 】

続いて、変化量算出部 4 1 は、時間ステップ  $i$  の磁化ベクトルの変化量  $d m_{s u m}$  を初期化すべく 0 に設定する。また、変化量算出部 4 1 は、要素  $j$  を 1 に設定する（ステップ S 1 7）。そして、変化量算出部 4 1 は、時間ステップ  $i$  の磁化ベクトルの変化量  $d m_{s u m}$  を、以下のように算出する。すなわち、変化量算出部 4 1 は、今回の時間ステップ  $i$  と前回の時間ステップ  $i - 1$  との要素  $j$  における磁化ベクトルの変化量の絶対値の平均値を  $d m_{s u m}$  に加算する。そして、変化量算出部 4 1 は、要素  $j$  を 1 だけ加算する（ステップ S 1 8）。

【 0 0 4 9 】

そして、変化量算出部 4 1 は、要素  $j$  が要素の最大数である  $N$  以下であるか否かを判定する（ステップ S 1 9）。要素  $j$  が要素の最大数である  $N$  以下であると判定した場合（ステップ S 1 9 ;  $Y e s$ ）、変化量算出部 4 1 は、次の要素  $j$  の変化量を算出すべく、ステップ S 1 8 に移行する。

20

【 0 0 5 0 】

一方、要素  $j$  が要素の最大数である  $N$  より大きいと判定した場合（ステップ S 1 9 ;  $N o$ ）、変化量累計部 4 2 は、時間ステップ  $i$  の磁化ベクトルの変化量  $d m_{s u m}$  を磁化ベクトルの変化量の総和  $m_{s u m}$  に加算する。そして、変化量累計部 4 2 は、時間ステップ  $i$  を 1 だけ加算する（ステップ S 2 0）。すなわち、変化量累計部 4 2 は、変化量算出部 4 1 によって算出された磁化ベクトルの変化量を、これまで算出された磁化ベクトルの変化量の総和に加算する。

30

【 0 0 5 1 】

そして、変化量累計部 4 2 は、時間ステップ  $i$  が時間ステップの最大数  $T$  以下であるか否かを判定する（ステップ S 2 1）。時間ステップ  $i$  が時間ステップの最大数  $T$  以下であると判定した場合（ステップ S 2 1 ;  $Y e s$ ）、変化量累計部 4 2 は、変化量を判定すべく、ステップ S 1 3 に移行する。

【 0 0 5 2 】

一方、時間ステップ  $i$  が時間ステップの最大数  $T$  未満であると判定した場合（ステップ S 2 1 ;  $N o$ ）、制御部 4 0 は、磁化ベクトル保存処理を終了する。

【 0 0 5 3 】

[ 結果出力処理のフローチャート ]

40

次に、図 5 を参照して、結果出力処理のフローチャートを説明する。図 5 は、実施例に係る結果出力処理のフローチャートを示す図である。

【 0 0 5 4 】

まず、制御部 4 0 は、結果出力要求があったか否かを判定する（ステップ S 3 0）。結果出力要求がなかったと判定した場合（ステップ S 3 0 ;  $N o$ ）、制御部 4 0 は、結果出力要求があるまで、判定処理を繰り返す。

【 0 0 5 5 】

一方、結果出力部 4 5 は、結果出力要求があったと判定した場合（ステップ S 3 0 ;  $Y e s$ ）、結果として出力するフレームのフレーム数  $S t e p A l l$  およびフレーム間でスリープさせるために用いられるスリープ係数  $S$  を設定する（ステップ S 3 1）。例えば、

50

結果出力部 4 5 は、入力部 1 0 から入力された、出力するフレーム数およびスリーブ係数をそれぞれの変数に設定する。出力するフレーム数として、結果データ 3 3 に設定されたステップ d 1 の最大数を超えない数が入力部 1 0 から入力される。

【 0 0 5 6 】

続いて、結果出力部 4 5 は、結果出力に用いられる変数を初期化する（ステップ S 3 2）。例えば、結果出力部 4 5 は、出力するフレーム番号として用いられる変数 S t e p に 1 を設定する。

【 0 0 5 7 】

そして、結果出力部 4 5 は、結果データ 3 3 を読み出して、フレーム番号として示される S t e p の磁化ベクトルを可視化する。ここでいう S t e p は、結果データ 3 3 のステップ d 1 に対応する。そして、結果出力部 4 5 は、結果データ 3 3 のステップ d 1 で表される値のうち S t e p と一致する値の結果について、保存時間間隔 d 2 で表される時間 S p a n T だけ、S l e e p 関数を用いて停止させる（ステップ S 3 3）。

10

【 0 0 5 8 】

そして、結果出力部 4 5 は、結果データ 3 3 のステップ d 1 で表される値のうち S t e p と一致する値の結果について、要素番号 d 3 分の磁化ベクトル d 4 を表示部 2 0 に表示する（ステップ S 3 4）。なお、結果出力部 4 5 は、X 軸成分、Y 軸成分および Z 軸成分のいずれか 1 つの成分の磁化ベクトルを表示しても良い。また、結果出力部 4 5 は、X 軸成分、Y 軸成分および Z 軸成分のいずれの 2 つの成分の磁化ベクトルを表示しても良いし、全成分の磁化ベクトルを纏めて表示しても良い。

20

【 0 0 5 9 】

そして、結果出力部 4 5 は、フレーム番号として用いられる変数 S t e p に 1 を加算する（ステップ S 3 5）。そして、結果出力部 4 5 は、変数 S t e p がフレーム数を示す S t e p A l l 以下であるか否かを判定する（ステップ S 3 6）。変数 S t e p がフレーム数を示す S t e p A l l 以下であると判定した場合（ステップ S 3 6 ; Y e s）、結果出力部 4 5 は、次のフレームを出力すべく、ステップ S 3 3 に移行する。

【 0 0 6 0 】

一方、変数 S t e p がフレーム数を示す S t e p A l l より大きいと判定した場合（ステップ S 3 6 ; N o）、結果出力部 4 5 は、結果出力処理を終了する。

【 0 0 6 1 】

[ 結果出力の一例 ]

次に、結果出力部 4 5 による結果出力の一例を、図 6 A および図 6 B に示す。図 6 A および図 6 B は、磁化ベクトル（Y 軸成分）の磁化変化の遷移の一例を示す図である。なお、結果データ 3 3 には、複数要素の磁化ベクトルが時間ステップ（ここでは、15 個）分設定されているとする。

30

【 0 0 6 2 】

図 6 A および図 6 B に示すように、結果出力部 4 5 は、結果データ 3 3 に設定された S t e p 1 の結果を用いて、磁化ベクトル d 4 の Y 成分の磁化ベクトルを出力している。Y 成分の磁化ベクトル d 4 は、要素番号 d 3 に設定される全ての番号の要素について出力される。ここでは、結果出力部 4 5 は、S t e p 1 の結果を用いて、保存時間間隔 d 2 の係数倍の時間だけスリーブさせる。そして、結果出力部 4 5 は、Y 成分の磁化ベクトルを、各要素の中心に配置して出力している。

40

【 0 0 6 3 】

次に、結果出力部 4 5 は、結果データ 3 3 に設定された S t e p 2 の結果を用いて、磁化ベクトル d 4 の Y 成分の磁化ベクトルを出力している。Y 成分の磁化ベクトル d 4 は、要素番号 d 3 に設定されている全番号の要素について出力される。ここでは、結果出力部 4 5 は、S t e p 2 の結果を用いて、保存時間間隔 d 2 の係数倍の時間だけスリーブさせる。そして、結果出力部 4 5 は、Y 成分の磁化ベクトルを、各要素の中心に配置して出力している。

【 0 0 6 4 】

50

このように、結果出力部 45 は、結果データ 33 に設定されたステップ d1 の値が小さい順に、15 個の時間ステップ分の磁化ベクトルを出力している。これにより、結果出力部 45 は、磁化ベクトルの実際の物理的挙動の変化速度に比例して、磁化ベクトルを可視化することができる。

【0065】

[実施例の効果]

上記実施例によれば、磁性体解析装置 1 は、磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に配置される磁化ベクトルについて前記期間の間に变化した変化量を算出する。そして、磁性体解析装置 1 は、期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を、前記期間毎に累計する。そして、磁性体解析装置 1 は、累計された磁化ベクトルの変化量の累計が、予め定められた変化量幅を超えるか否かを判定する。そして、磁性体解析装置 1 は、変化量幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを結果データ 33 として記憶部 30 に記録する。かかる構成によれば、磁性体解析装置 1 は、磁化ベクトルの変化量に応じて磁化ベクトルを保存するので、磁化ベクトルの保存効率を向上することができる。すなわち、磁性体解析装置 1 は、磁化ベクトルの変化が大きく変化しない期間では、磁化ベクトルを無駄に保存することを防止できる。一方、磁性体解析装置 1 は、磁化ベクトルが大きく変化する期間では、短期間で磁化ベクトルを保存できるので、刻々と変化する磁化ベクトルを保存することが可能となる。

10

【0066】

また、磁性体解析装置 1 は、超えた時点の磁化ベクトルが記憶部 30 に記録されると、超えた時点以降の磁化ベクトルの変化量の累計が、新たに変化幅を超えるか否かを判定する。そして、磁性体解析装置 1 は、変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルおよび前回超えた時点から今回超えた時点までの期間を対応付けて記憶部 30 に記録する。かかる構成によれば、磁性体解析装置 1 は、磁化ベクトルの変化量に応じて、刻々と変化する磁化ベクトルを保存できる。

20

【0067】

また、磁性体解析装置 1 は、記憶部 30 に記憶された記録毎の磁化ベクトルおよび期間を用いて、記録された順に、それぞれ期間だけスリーブさせ、当該期間に対応付けた磁化ベクトルを出力する。かかる構成によれば、磁性体解析装置 1 は、記録された順に、それぞれ期間だけスリーブさせることで、実際の物理現象の磁場の変化を可視化することができる。

30

【0068】

また、磁性体解析装置 1 は、所定の期間を経た時点毎に、解析対象が分割される各要素に配置される磁化ベクトルの各変化量を用いて、磁化ベクトルの変化量として磁化ベクトルの変化量の絶対値の平均値を算出する。かかる構成によれば、各時点毎に、解析対象が分割される各要素の磁化ベクトルを用いて解析対象における磁化ベクトルの変化量を算出するので、要素の数を増やす程、精度の良い磁化ベクトルの変化量を算出することが可能となる。

【0069】

[その他]

なお、上記実施例では、磁性体解析装置 1 は、記憶部 30 からメッシュデータ 31 および計算条件データ 32 を読み込んで計算を開始し、過渡計算の過程で磁化ベクトルの結果データ 33 を記憶部 30 に保存すると説明した。しかしながら、磁性体解析装置 1 は、磁性体解析装置 1 と接続された記憶装置からメッシュデータ 31 および計算条件データ 32 を取得して計算を開始し、過渡計算の過程で磁化ベクトルの結果データ 33 を記憶部 30 に保存するようにしても良い。また、磁性体解析装置 1 は、ネットワークを介してメッシュデータ 31 および計算条件データ 32 を受信して計算を開始し、過渡計算の過程で磁化ベクトルの結果データ 33 を記憶部 30 に保存するようにしても良い。

40

【0070】

また、図示した磁性体解析装置 1 の各構成要素は、必ずしも物理的に図示の如く構成さ

50

れていることを要しない。すなわち、磁性体解析装置 1 の分散・統合の具体的態様は図示のものに限られず、その全部または一部を、各種の負荷や使用状況などに応じて、任意の単位で機能的または物理的に分散・統合して構成することができる。例えば、変化量算出部 4 1 と変化量累計部 4 2 とを 1 つの部として統合しても良い。また、記憶部 3 0 を磁性体解析装置 1 の外部装置としてネットワーク経由で接続するようにしても良い。

【 0 0 7 1 】

また、上記実施例で説明した各種の処理は、予め用意されたプログラムをパーソナルコンピュータやワークステーションなどのコンピュータで実行することによって実現することができる。そこで、以下では、図 1 に示した磁性体解析装置 1 と同様の機能を実現する磁性体解析プログラムを実行するコンピュータの一例を説明する。図 7 は、磁性体解析プログラムを実行するコンピュータの一例を示す図である。

10

【 0 0 7 2 】

図 7 に示すように、コンピュータ 2 0 0 は、各種演算処理を実行する CPU 2 0 3 と、ユーザからのデータの受け付ける入力装置 2 1 5 と、表示装置 2 0 9 を制御する表示制御部 2 0 7 とを有する。また、コンピュータ 2 0 0 は、記憶媒体からプログラムなどを読取るドライブ装置 2 1 3 と、ネットワークを介して他のコンピュータとの間でデータの授受を行う通信制御部 2 1 7 とを有する。また、コンピュータ 2 0 0 は、各種情報を一時記憶するメモリ 2 0 1 と、HDD 2 0 5 を有する。そして、メモリ 2 0 1、CPU 2 0 3、HDD 2 0 5、表示制御部 2 0 7、ドライブ装置 2 1 3、入力装置 2 1 5、通信制御部 2 1 7 は、バス 2 1 9 で接続されている。

20

【 0 0 7 3 】

ドライブ装置 2 1 3 は、例えばリムーバブルディスク 2 1 1 用の装置である。HDD 2 0 5 は、磁性体解析プログラム 2 0 5 a および磁性体解析関連情報 2 0 5 b を記憶する。

【 0 0 7 4 】

CPU 2 0 3 は、磁性体解析プログラム 2 0 5 a を読み出して、メモリ 2 0 1 に展開し、プロセスとして実行する。かかるプロセスは、磁性体解析装置 1 の各機能部に対応する。磁性体解析関連情報 2 0 5 b は、メッシュデータ 3 1、計算条件データ 3 2 および結果データ 3 3 に対応する。そして、例えばリムーバブルディスク 2 1 1 が、磁性体解析プログラム 2 0 5 a などの各情報を記憶する。

【 0 0 7 5 】

なお、磁性体解析プログラム 2 0 5 a については、必ずしも最初から HDD 2 0 5 に記憶させておかなくても良い。例えば、コンピュータ 2 0 0 に挿入されるフレキシブルディスク (FD)、CD-ROM、DVD ディスク、光磁気ディスク、IC カードなどの「可搬用の物理媒体」に当該プログラムを記憶させておく。そして、コンピュータ 2 0 0 がこれらから磁性体解析プログラム 2 0 5 a を読み出して実行するようにしても良い。

30

【 0 0 7 6 】

以上の実施例に係る実施形態に関し、さらに以下の付記を開示する。

【 0 0 7 7 】

(付記 1) 磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に配置される磁化ベクトルについて前記期間の間に変化した変化量を算出する算出部と、

40

前記算出部によって前記期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を、前記期間毎に累計する累計部と、

前記累計部によって累計された磁化ベクトルの変化量の累計値が、予め定められた変化幅を超えるか否かを判定する判定部と、

前記判定部によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを記憶部に記録する記録部と、

を有することを特徴とする磁性体解析装置。

【 0 0 7 8 】

(付記 2) 前記判定部は、前記記録部によって超えた時点の磁化ベクトルが前記記憶部に記録されると、超えた時点以降の磁化ベクトルの変化量の累計値が、新たに前記変化幅を

50

超えるか否かを判定し、

前記記録部は、前記判定部によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルおよび前回超えた時点から今回超えた時点までの期間を対応付けて記憶部に記録する

ことを特徴とする付記 1 に記載の磁性体解析装置。

【 0 0 7 9 】

(付記 3) 前記記憶部に記憶された記録毎の磁化ベクトルおよび期間を用いて、記録された順に、それぞれ期間だけスリーブさせ、当該期間に対応付けた磁化ベクトルを出力する出力部

を有することを特徴とする付記 2 に記載の磁性体解析装置。

10

【 0 0 8 0 】

(付記 4) 前記算出部は、所定の期間を経た時点毎に、解析対象が分割される各要素に配置される磁化ベクトルの各変化量を用いて、磁化ベクトルの変化量として磁化ベクトルの変化量の絶対値の平均値を算出する

ことを特徴とする付記 1 に記載の磁性体解析装置。

【 0 0 8 1 】

(付記 5) コンピュータに、磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に配置される磁化ベクトルについて前記期間の間に变化した変化量を算出し、

前記算出する処理によって前記期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を、前記期間毎に累計し、

20

前記累計する処理によって累計された磁化ベクトルの変化量の累計値が、予め定められた変化幅を超えるか否かを判定し、

前記判定する処理によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを記憶部に記録する

処理を実行させることを特徴とする磁性体解析プログラム。

【 0 0 8 2 】

(付記 6) コンピュータが、磁性体解析の際に、所定の期間を経た時点毎に、解析対象に配置される磁化ベクトルについて前記期間の間に变化した変化量を算出し、

30

前記算出する処理によって前記期間毎に算出されたそれぞれの磁化ベクトルの変化量を、前記期間毎に累計し、

前記累計する処理によって累計された磁化ベクトルの変化量の累計値が、予め定められた変化幅を超えるか否かを判定し、

前記判定する処理によって前記変化幅を超えたと判定された場合に、超えた時点の磁化ベクトルを記憶部に記録する

各処理を実行することを特徴とする磁性体解析方法。

【符号の説明】

【 0 0 8 3 】

1 磁性体解析装置

40

1 0 入力部

2 0 表示部

3 0 記憶部

3 1 メッシュデータ

3 2 計算条件データ

3 3 結果データ

4 0 制御部

4 1 変化量算出部

4 2 変化量累計部

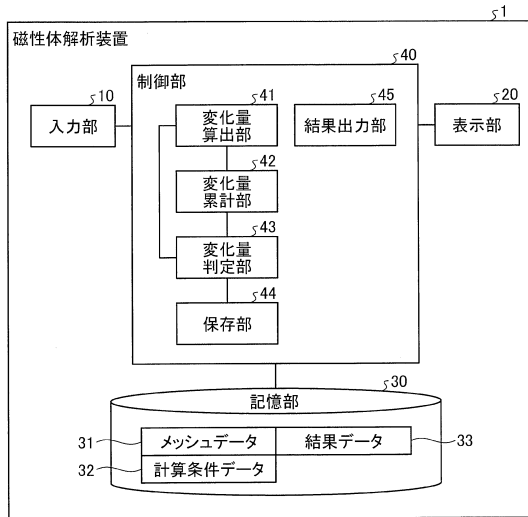
4 3 変化量判定部

50

- 4 4 保存部
- 4 5 結果出力部

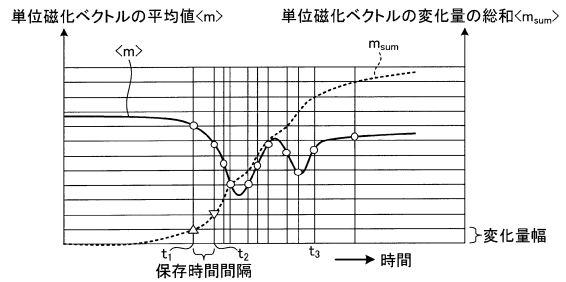
【図 1】

実施例に係る磁性体解析装置の構成を示す機能ブロック図



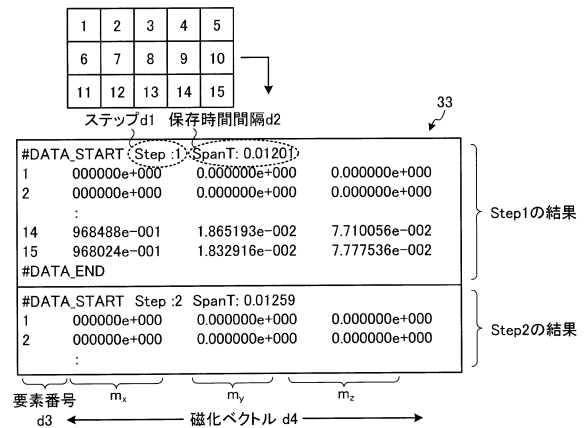
【図 2】

単位磁化ベクトルと変化量の総和と保存のタイミングを説明する図



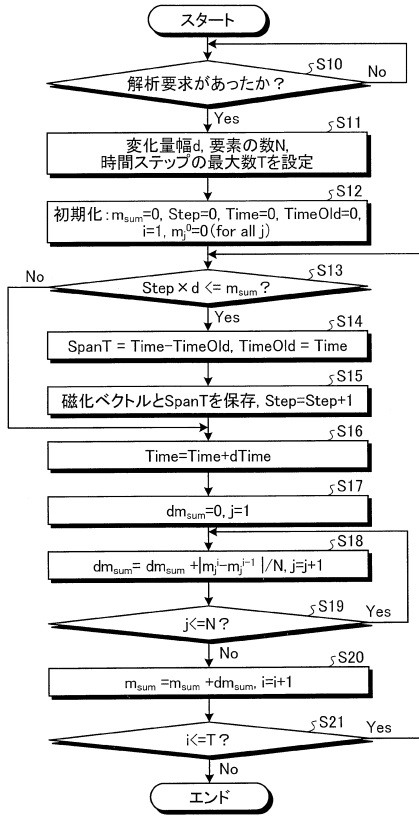
【図 3】

結果データの一例を示す図



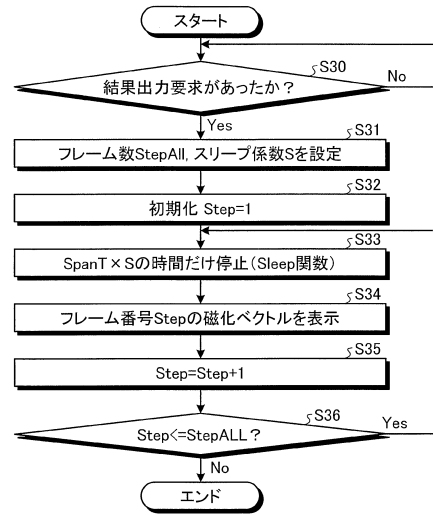
【 図 4 】

実施例に係る磁化ベクトル保存処理のフローチャートを示す図

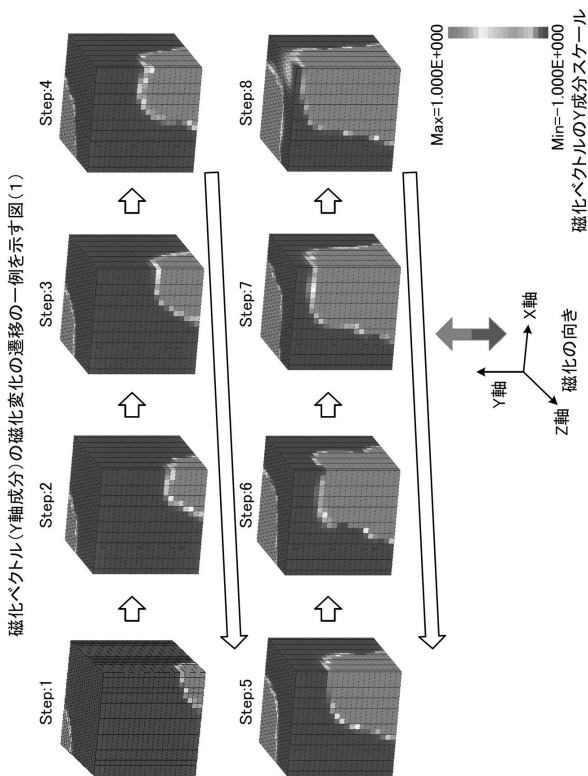


【 図 5 】

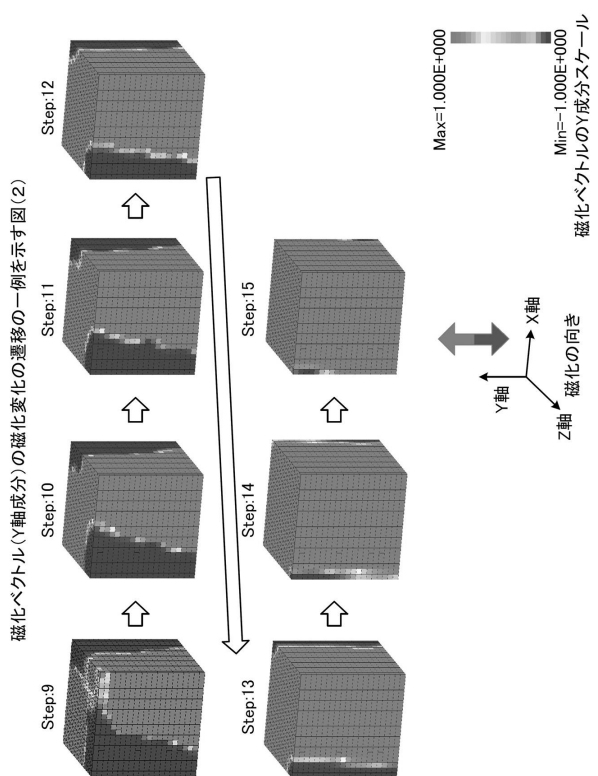
実施例に係る結果出力処理のフローチャートを示す図



【 図 6 A 】

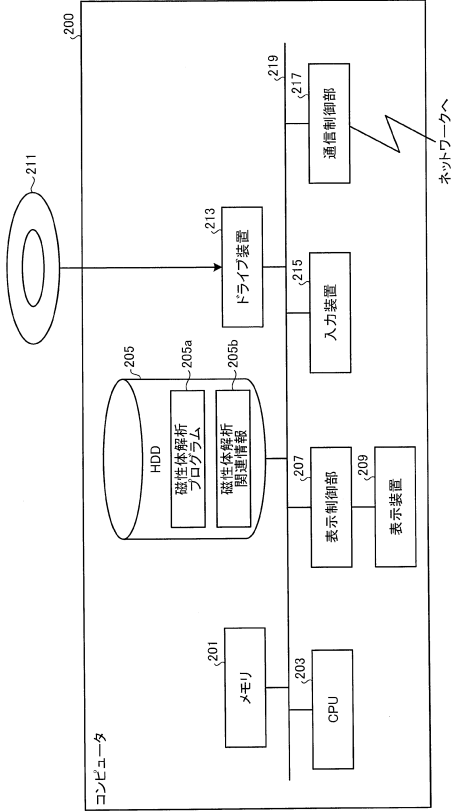


【 図 6 B 】



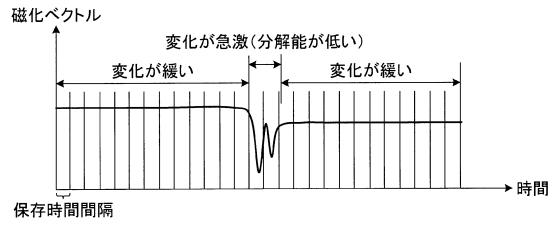
【図7】

磁性体解析プログラムを実行するコンピュータの一例を示す図



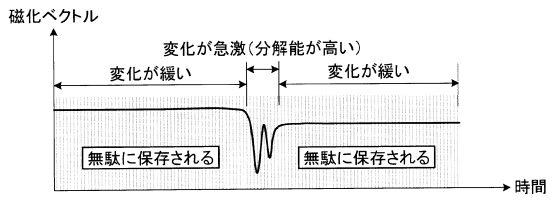
【図8】

磁化ベクトルの変化と保存のタイミングを示す図(保存時間間隔が長い場合)



【図9】

磁化ベクトルの変化と保存のタイミングを示す図(保存時間間隔が短い場合)





---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2009/031200(WO, A1)

特開平09-101276(JP, A)

特開2010-128830(JP, A)

FIDLER. J, Micromagnetic modeling and magnetization processes, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2004年, Vol.272-276, pp.641-646

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06F 19/00

G06F 17/50

JSTPlus(JDreamIII)