

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年3月12日(12.03.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/033739 A1

- (51) 国際特許分類:
B01F 3/18 (2006.01) *G06F 19/00* (2011.01)
B01F 7/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/071102
- (22) 国際出願日: 2014年8月8日(08.08.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-182847 2013年9月4日(04.09.2013) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学(TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP). 住友ベークライト株式会社(SUMITOMO BAKELITE CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1400002 東京都品川区東品川2丁目5番8号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 加納 純也(KANO Junya); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 石原 真吾(ISHIHARA Shingo); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片

平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 山本 通典(YAMAMOTO Michinori); 〒1400002 東京都品川区東品川2丁目5番8号 住友ベークライト株式会社内 Tokyo (JP). 中野 尚吾(NAKANO Shogo); 〒1400002 東京都品川区東品川2丁目5番8号 住友ベークライト株式会社内 Tokyo (JP). 松岡 佑樹(MATSUOKA Yuki); 〒1400002 東京都品川区東品川2丁目5番8号 住友ベークライト株式会社内 Tokyo (JP).

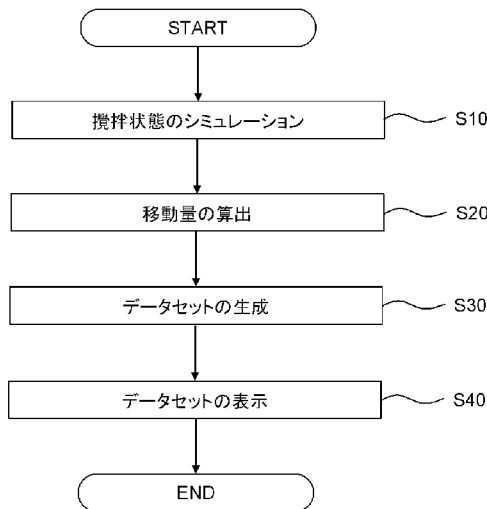
(74) 代理人: 速水 進治(HAYAMI Shinji); 〒1410031 東京都品川区西五反田7丁目9番2号 五反田TGビル9階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,

[続葉有]

(54) Title: EVALUATION METHOD, EVALUATION DEVICE, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 評価方法、評価装置およびプログラム



(57) Abstract: A state in which a plurality of types of particles is stirred within a stirring vessel is simulated (Step S10). Next, the amount of movement of the various particles simulated between a first time and a second time is calculated (Step S20). Next, a prescribed data set is generated (Step S30). The data set includes the various particles and the amount of movement corresponding to those particles in association with each other. Next, the data set is displayed in a statistically processed form (Step S40).

(57) 要約: 複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態がシミュレートされる(ステップS10)。次に、シミュレートされた各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量が算出される(ステップS20)。次に、所定のデータセットが生成される(ステップS30)。データセットは、各粒子と、当該粒子に対応する移動量と、を対応付けて含んでいる。次に、データセットが統計的に処理された形式で表示される(ステップS40)。

FIG. 1:
S10 Simulation of stirring state
S20 Calculation of the amount of movement
S30 Generation of data set
S40 Display of data set

WO 2015/033739 A1



SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロ
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：評価方法、評価装置およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、評価方法、評価装置およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 複数の粒子を攪拌するために攪拌容器が用いられることがある。この場合、攪拌容器の内部での粒子の攪拌状態が評価されることがある。特許文献1には、離散要素法（DEM：Discrete Element Method）に基づいて粒子の攪拌状態がシミュレーションされることが記載されている。特許文献1では、シミュレーションの結果に基づいて、任意の位置での粒子の混合度が算出されている。この混合度は、サンプリングされた粒子の数と、当該サンプリングされた粒子の中の特定の種類の粒子の数と、の比によって定められる。非特許文献1にも、DEMに基づいて粒子の攪拌状態がシミュレーションされることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2000-214134号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Brenda Remy, Johannes G. Khinast, Benjamin J. Glasser, Chem. Eng. Sci., 66 (2011) 1811-1824.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明者らは、攪拌容器で攪拌される粒子の混合状態を判断するための指標を検討した。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明によれば、

複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする工程と、

シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する工程と、

前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、を対応付けて含むデータセットを生成する工程と、

前記データセットを統計的に処理された形式で表示する工程と、を含む評価方法が提供される。

[0007] 本発明によれば、

複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートするシミュレーション部と、

シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する移動量算出部と、

前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、を対応付けて含むデータセットを生成するデータセット生成部と、

前記データセットを統計的に処理された形式で表示する表示部と、を含む評価装置が提供される。

[0008] 本発明によれば、

コンピュータを評価装置として機能させるためのプログラムであって、前記コンピュータに、

複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする機能と、

シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する機能と、

前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、を対応付けて含むデータセットを生成する機能と、

前記データセットを統計的に処理された形式で表示する機能と、を持たせるプログラムが提供される。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、攪拌容器内における粒子の混合状態を判断するための指標が提供される。

図面の簡単な説明

[0010] 上述した目的、およびその他の目的、特徴および利点は、以下に述べる好適な実施の形態、およびそれに付随する以下の図面によってさらに明らかになる。

[0011] [図1]第1の実施形態に係る評価方法を示すフローチャートである。

[図2]図1の評価方法に用いられる評価装置の構成を示すブロック図である。

[図3]二粒子の接触力モデルの概念図である。

[図4]第1の実施形態に係るステップS40で表示されるデータセットの第1例を示す図である。

[図5]第1の実施形態に係るステップS40で表示されるデータセットの第2例を示す図である。

[図6]第1の実施形態に係るステップS40で表示されるデータセットの第3例を示す図である。

[図7]第1の実施形態に係るステップS40で表示されるデータセットの第4例を示す図である。

[図8]射影軌跡を説明するための図である。

[図9](a)は、攪拌容器の一例を示す平面図であり、(b)は、(a)のA-A'における断面図である。

[図10]第3の実施形態に係る評価装置の構成を示すブロック図である。

[図11]図10に示した評価部の構成を示すブロック図である。

[図12]粒子の移動量の分布の類似度及び粒子の移動量の分布の散布度の評価方法の一例を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。尚、すべての図面において、同様な構成要素には同様の符号を付し、適宜説明を省略す

る。

[0013] なお、以下に示す説明において、各装置の各構成要素は、ハードウェア単位の構成ではなく、機能単位のブロックを示している。各装置の各構成要素は、任意のコンピュータのCPU、メモリ、メモリにロードされた本図の構成要素を実現するプログラム、そのプログラムを格納するハードディスクなどの記憶メディア、ネットワーク接続用インタフェースを中心にハードウェアとソフトウェアの任意の組合せによって実現される。そして、その実現方法、装置には様々な変形例がある。

[0014] (第1の実施形態)

図1は、第1の実施形態に係る評価方法を示すフローチャートである。この評価方法は、以下の工程を含んでいる。まず、複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態がシミュレートされる(ステップS10)。次に、シミュレートされた各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量が算出される(ステップS20)。次に、所定のデータセットが生成される(ステップS30)。データセットは、各粒子と、当該粒子に対応する移動量と、を対応付けて含んでいる。次に、データセットが統計的に処理された形式で表示される(ステップS40)。

[0015] ステップS40において統計的に処理された形式で表示されたデータセットは、混合状態情報として取り扱うことができる。すなわち、混合状態情報とは、複数の種類の粒子の混合状態を示す情報をいい、たとえば以下のような情報をいう。

(i) 複数の種類の粒子がどの程度均一に混合されているか(複数の種類の粒子の混合の均一度)を示す情報

(i i) 混合後、系内で複数の粒子が不均一に分布する場合において、各粒子がどのような状態で分布しているか(各粒子の分布状況)を示す情報

(i i i) 複数の種類の粒子が種類ごとにどのように分布しているか(各種種類の粒子の分布状況)を示す情報

[0016] 本実施形態では、以上の混合状態情報に基づいて、複数の種類の粒子の混

合状態を評価することができる。このようにして、本実施形態では、攪拌容器内における粒子の混合状態を判断するための指標が提供される。

[0017] 次に、本実施形態の評価装置100について、図2を用いて説明する。評価装置100は、図1に示される評価方法を実行する。図2は、評価装置100の構成を示すブロック図である。評価装置100は、入力部102と、シミュレーション部104と、移動量算出部106と、データセット生成部108と、表示部110と、記憶部112と、を含んでいる。入力部102は、評価装置100のユーザの指示を示す信号を、シミュレーション部104、移動量算出部106、データセット生成部108および表示部110に送出する。シミュレーション部104は、粒子の攪拌状態をシミュレートする（ステップS10）。移動量算出部106は、移動量を算出する（ステップS20）。データセット生成部108は、データセットを生成する（ステップS30）。表示部110は、データセットを統計的に処理された形式で表示する（ステップS40）。記憶部112は、シミュレーション部104、移動量算出部106、データセット生成部108および表示部110からの情報を記憶する。評価装置100の詳細は以下のとおりである。

[0018] シミュレーション部104について説明する。シミュレーション部104は、複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする。本実施形態では、シミュレーション部104は、離散要素法（DEM：Discrete Element Method）に基づいて、複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする。他の例においては、シミュレーション部104は、DEMとは異なる方法（例えば、埋め込み境界法）を用いて、複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートしてもよい。

[0019] シミュレーション部104は、DEMにおいて、攪拌容器および粒子をモデル化する。モデル化される攪拌容器の構造および形状は、特定の構造および形状に限られない。モデル化される粒子の形状も、特定の形状に限られない。なお、本実施形態においてモデル化される粒子は、固体粒子である。

[0020] モデル化された粒子について、図3を用いて説明する。図3は、二粒子*i*および*j*の接触力モデルの概念図である。図3(a)は、粒子*i*と粒子*j*との接触点の法線方向の接触力モデルを示している。図3(b)は、粒子*i*と粒子*j*との接触点の接線方向の接触力モデルを示している。本実施形態では、粒子は、球状の形状を有する。DEMにおいて、互いに接触する粒子*i*と粒子*j*との接触点の法線方向にはたらく力は、図3(a)に示されるように、バネ定数 k_n のバネおよび減衰係数 η_n のダッシュポットによりモデル化される。一方、互いに接触する粒子*i*と粒子*j*との接触点の接線方向にはたらく力は、図3(b)に示されるように、バネ定数 k_t のバネ、減衰係数 η_t のダッシュポットおよび動摩擦係数 μ_f の摩擦スライダによりモデル化される。ユーザは、入力部102により、バネ定数 k_n および k_t 、減衰係数 η_n および η_t ならびに動摩擦係数 μ_f として適当な値を、シミュレーション部104に入力してもよい。この場合、シミュレーション部104は、入力されたパラメータに基づいて、粒子をモデル化する。

[0021] DEMでは、各粒子の並進運動の方程式および回転運動の方程式が、図3(a)および図3(b)に示されるモデルに基づいて立てられる。粒子*i*における並進運動の方程式および回転運動の方程式は、それぞれ、以下の式(1)および(2)に示されるようになる。シミュレーション部104は、図3(a)および図3(b)に示されるモデルに基づいて、式(1)および(2)に示される運動方程式を立てる。

[数1]

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = \sum_j (F_{ij}^N + F_{ij}^T) + m_i g \quad (1)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_j (R_i \times F_{ij}^T) + \tau_{rij} \quad (2)$$

ただし、 m_i 、 I_i 、 v_i 、 ω_i 、 R_i は、それぞれ、粒子*i*の質量、慣性モーメント、速度、角速度、半径である。 F_{ij}^N および F_{ij}^T は、それぞれ、粒子*i*

と粒子 j との接触によって生じる、法線方向および接線方向の力である。 g は、重力加速度である。 $\tau_{r,ij}$ は、粒子 i と粒子 j との接触によって生じるトルクである。式 (1) では、シミュレーション部 104 は、重力加速度を考慮して並進運動の方程式を立てている。重力加速度が考慮されない場合、 $m_i g$ の項が式 (1) の右辺から除去されてもよい。式 (1) および (2) と同様の式が、粒子 i 以外の各粒子にも立てられる。本実施形態では、シミュレーション部 104 がこれらの運動方程式を解く。シミュレーション部 104 は、差分法を用いた数値解析により運動方程式を解いてもよい。このようにしてシミュレーション部 104 は、粒子の攪拌状態をシミュレートする（ステップ S10）。

[0022] シミュレーション部 104 は、シミュレーションの結果を記憶部 112 に出力する。記憶部 112 は、シミュレーションの結果を記憶する。当該シミュレーションの結果は、所定時刻における各粒子の座標の情報を示している。シミュレーション部 104 は、シミュレーションが終了した後、シミュレーションが終了した旨を示すシミュレーション終了信号を移動量算出部 106 に送出する。

[0023] 次に、移動量算出部 106 について説明する。移動量算出部 106 は、シミュレーション終了信号をシミュレーション部 104 から受け取る。次に、移動量算出部 106 は、記憶部 112 にアクセスする。そして移動量算出部 106 は、記憶部 112 に記憶されているシミュレーションの結果を読み取る。次に、移動量算出部 106 は、シミュレートされた各粒子の第 1 時刻から第 2 時刻までの間の移動量を算出する（ステップ S20）。本実施形態では、各粒子の移動量は、当該粒子が第 1 時刻から第 2 時刻までの間に攪拌容器の内部で移動した距離である。第 1 時刻および第 2 時刻は、任意の時刻である。第 1 時刻は、例えば、攪拌が開始する時刻であってもよい。第 2 時刻は、例えば、攪拌が終了する時刻であってもよい。

[0024] 本実施形態では、移動量算出部 106 は、各粒子が第 1 時刻から第 2 時刻までの間に攪拌容器の内部で移動した距離を算出する。この場合、移動量算

出部 106 は、式 (1) の解に基づいて、当該距離を算出してもよい。式 (1) によって所定時刻における各粒子の座標が与えられる。移動量算出部 106 は、所定時刻における各粒子の座標をトレースすることで、各粒子が第 1 時刻から第 2 時刻までの間に攪拌容器の内部で移動した距離を算出することができる。

[0025] 移動量算出部 106 は、各粒子の移動距離を記憶部 112 に出力する。記憶部 112 は、各粒子の移動距離を記憶する。移動量算出部 106 は、移動量の算出が終了した後、移動量の算出が終了した旨を示す移動量算出終了信号をデータセット生成部 108 に送出する。

[0026] 次に、データセット生成部 108 について説明する。データセット生成部 108 は、移動量算出終了信号を移動量算出部 106 から受け取る。次に、データセット生成部 108 は、記憶部 112 にアクセスする。そしてデータセット生成部 108 は、記憶部 112 に記憶されている各粒子の移動量を読み取る。次に、データセット生成部 108 は、データセットを生成する（ステップ S30）。データセットは、各粒子と、当該粒子に対応する移動量と、を対応付けて含んでいる。

[0027] データセット生成部 108 は、データセットを記憶部 112 に出力する。記憶部 112 は、データセットを記憶する。データセット生成部 108 は、データセットの生成が終了した後、データセットの生成が終了した旨を示すデータセット終了信号を表示部 110 に送出する。

[0028] 次に、表示部 110 について説明する。表示部 110 は、データセット生成終了信号をデータセット生成部 108 から受け取る。次に、表示部 110 は、記憶部 112 にアクセスする。そして表示部 110 は、記憶部 112 に記憶されているデータセットを読み取る。次に、表示部 110 は、データセットを統計的に処理する。次に、表示部 110 は、データセットを統計的に処理された形式で、評価装置 100 のユーザに対して表示する（ステップ S40）。本実施形態では、表示部 110 は、ディスプレイに当該データセットを表示する。統計的に処理された形式で表示されたデータセットは、上述

した混合状態情報として取り扱うことができる。

[0029] 次に、ステップS40の詳細について、図4から図7を用いて説明する。

[0030] 図4は、ステップS40で表示されるデータセットの第1例を示す図である。ステップS40では、図4に示されるように、データセットが統計的に処理されてテーブル形式で表示される。図4のテーブルでは、各粒子と、当該粒子に対応する移動量と、が対応付けられている。さらに図4では、各粒子と、当該粒子に対応する移動量と、を示すセル（例えば、図4の「粒子A2」および「 D_{A2} 」のセル）が、粒子の種類（粒子群）ごとに分類されている。表示部110は、図4に示されるテーブルを評価装置100のユーザに対して表示する。評価装置100のユーザは、図4のテーブルによって、各粒子の移動距離を俯瞰的に把握することができる。このようにして評価装置100のユーザは、図4のテーブルに基づいて、粒子の混合状態を評価する。

[0031] 図5は、ステップS40で表示されるデータセットの第2例を示す図である。ステップS40では、図5に示されるように、データセットが統計的に処理されてテーブル形式で表示される。図5のテーブルでは、各粒子が移動量に基づいて分類されている度数分布表が表示されている。図5の度数分布表は、例えば、移動距離が $d1 [cm]$ から $d2 [cm]$ までの範囲に入る粒子の頻度が $f_{A1} [\%]$ であること（図5の粒子群Aの一行目）を意味している。図5では、粒子の種類（粒子群）ごとに度数分布表が生成されている。他の例では、複数の種類の粒子群ごとに度数分布表が生成されてもよいし、すべての種類の粒子を含む度数分布表が生成されてもよい。表示部110は、図5に示されるテーブルを評価装置100のユーザに対して表示する。評価装置100のユーザは、図5のテーブルによって、各粒子の移動距離を俯瞰的に把握することができる。このようにして評価装置100のユーザは、図5のテーブルに基づいて、粒子の混合状態を評価する。

[0032] 図6は、ステップS40で表示されるデータセットの第3例を示す図である。ステップS40では、図6に示されるように、データセットが統計的に

処理されてグラフィカル形式で表示される。図6のグラフでは、各粒子と、当該粒子に対応する移動量と、が対応付けられている。さらに図6では、各粒子を示すプロット（例えば、図6の粒子A2を示す白四角プロット）が、粒子の種類（粒子群）ごとに分類されている。表示部110は、図6に示されるグラフを評価装置100のユーザに対して表示する。評価装置100のユーザは、図6のグラフによって、各粒子の移動距離を俯瞰的に把握することができる。このようにして評価装置100のユーザは、図6のグラフに基づいて、粒子の混合状態を評価する。

[0033] 図7は、ステップS40で表示されるデータセットの第4例を示す図である。ステップS40では、図7に示されるように、データセットが統計的に処理されてグラフィカル形式で表示される。図7のグラフでは、各粒子が移動量に基づいて分類されているヒストグラムが表示されている。図7では、粒子の種類（粒子群）ごとにヒストグラムが生成されている。他の例では、複数の種類の粒子群ごとにヒストグラムが生成されてもよいし、すべての種類の粒子を含むヒストグラムが生成されてもよい。表示部110は、図7に示されるグラフを評価装置100のユーザに対して表示する。評価装置100のユーザは、図7のグラフによって、各粒子の移動距離を俯瞰的に把握することができる。このようにして評価装置100のユーザは、図7のグラフに基づいて、粒子の混合状態を評価する。

[0034] 本実施形態では、以上のように統計的に処理された形式で表示されたデータセットは、混合状態情報として取り扱うことができる。このようにして、本実施形態では、攪拌容器内における粒子の混合状態を判断するための指標が提供される。

[0035] 以上、本発明の実施形態について説明したが、上記の実施形態に限らず種々の変形が可能である。すなわち、本実施形態では、流体中（例えば、気体雰囲気および液体中）における粒子の混合を取り扱うことができる。たとえば、本実施形態では、気相（例えば、空気）中の粒子の混合を例に挙げて説明したが、混合の場は気相に限らず液相であってもよい。たとえば、溶媒中

の粒子の混合にも適用できる。この場合、溶媒となる液体の物性として、粘性等を考慮してシミュレーションする方法を採用してもよい。

[0036] (第2の実施形態)

第1の実施形態では、粒子の移動量を、3次元空間内の実際の軌跡に沿った移動量としたが、本実施形態では、射影軌跡において当該粒子が移動した距離を移動量とする。具体的には、各粒子が第1時刻から第2時刻までに辿った軌跡を所定の平面または所定の直線に正射影させた軌跡に基づいて移動量を算出する。

[0037] 射影軌跡について、図8を用いて説明する。図8は、射影軌跡を説明するための図である。図8では、 x y z 直交座標系において粒子が第1時刻から第2時刻までに所定の軌跡を辿っている。第1例において、射影軌跡は、 x y 平面に正射影された軌跡である。第2例においては、射影軌跡は、 z 軸に正射影された軌跡である。なお、図8の粒子を示す座標は、座標Mにおいて z の最小値をとる。このようにして、粒子は、 z 軸に正射影された軌跡において、 z が減少する方向に移動した後、 z が増加する方向に移動している。各粒子の移動量が射影軌跡において当該粒子が移動した距離になる場合、移動量算出部106は、シミュレーションの結果に対して、図8に示される座標系を適用する。そして、移動量算出部106は、各粒子が射影軌跡において移動した距離を算出する。

[0038] 図8に示される x y z 座標系の方向は、攪拌容器との関係で決められてもよい。具体例について、図9を用いて説明する。図9(a)は、攪拌容器の一例(攪拌容器200)を示す平面図である。図9(b)は、図9(a)のA-A'における断面図である。

[0039] 攪拌容器200は、羽根202を含んでいる。攪拌容器200では、羽根202は、重力加速度 g と直交する方向に回転している。シミュレーション部104は、攪拌容器200のモデル化において、 x 軸方向、 y 軸方向および z 軸方向を、図9(a)および図9(b)に示されるように規定する。図9(a)および(b)では、 z 軸方向は、羽根202の回転軸方向に沿って

いる。一方、 x 軸および y 軸方向は、羽根202の回転面方向に沿っている。移動量算出部106は、当該座標系において、各粒子が射影軌跡において移動した距離を算出する。

[0040] 本実施形態のデータセット生成部108および表示部110は、第1の実施形態のデータセット生成部108および表示部110と同様に動作する。本実施形態のデータセット生成部108は、第1の実施形態のデータセット生成部108と同様に、データセットを生成する。データセットは、各粒子と、当該粒子に対応する移動量と、を対応付けて含んでいる。本実施形態の表示部110は、第1の実施形態の表示部110と同様に、データセットを統計的に処理することで得られる混合状態情報を、評価装置100のユーザに対して表示する。ただし、本実施形態は、各粒子の移動量が射影軌跡において当該粒子が移動した距離である点について、第1の実施形態と異なる。

[0041] 本実施形態では、 $x y z$ 直交座標系を採用し、射影軌跡を求めたが、これに限らず極座標系を採用し、射影軌跡を求めてもよい

[0042] (第3の実施形態)

図10は、第3の実施形態に係る評価装置100の構成を示すブロック図であり、第1の実施形態の図2に対応する。本実施形態に係る評価装置100は、表示部110に代わって評価部114を有している点を除いて、第1の実施形態に係る評価装置100と同様の構成である。詳細を後述するように、評価部114は、粒子の混合状態を評価するために用いられる。

[0043] 図11は、図10に示した評価部114の構成を示すブロック図である。本図に示すように、評価部114は、類似度評価部116及び散布度評価部118を有している。

[0044] 類似度評価部116及び散布度評価部118は、データセット生成部108又は記憶部112から、上記したデータセットを受け取る。この場合、データセットは、一の種類の粒子の移動量の分布を示す情報及び他の種類の粒子の移動量の分布を示す情報を含んでいる（例えば、図7）。

[0045] 類似度評価部116は、一の種類の粒子の移動量の分布と他の種類の粒子

の移動量の分布の類似度を評価する。散布度評価部 118 は、一の種類の粒子の移動量の分布の散布度及び他の種類の粒子の移動量の分布の散布度を評価する。

[0046] 評価部 114 は、上記した類似度に基づいて、一の種類の粒子と他の種類の粒子の混合状態を評価する。さらに、評価部 114 は、上記した散布度を考慮して、上記した混合状態を評価する。具体的には、評価部 114 は、一の種類の粒子の上記した散布度及び他の種類の粒子の上記した散布度のそれぞれが基準値以下である場合、上記した混合状態を評価する。

[0047] 本発明者らが検討したところ、一の種類の粒子と他の種類の粒子の混合の均一性は、上記した類似度及び上記した散布度と以下の関係を有する可能性が高いことが明らかとなった。

[0048] 第 1 に、一の種類の粒子の上記した散布度及び他の種類の粒子の上記した散布度のいずれもが低い場合、上記した類似度と上記した均一性が強い相関関係を有することが明らかとなった。言い換えると、この場合、上記した類似度が高いほど上記した均一性も高くなる傾向がある。

[0049] 本発明者らが検討したところ、上記した相関関係の理由として、一の種類のいずれの粒子も他の種類のいずれの粒子もほぼ同じ距離を移動していることが可能性として挙げた。上記した散布度が低い場合、一の種類の粒子においてはいずれの粒子もほぼ同じ距離を移動している。同様に、他の種類の粒子においてはいずれの粒子もほぼ同じ距離を移動している。さらに上記した類似度が高い場合、一の種類の上記した分布と他の種類の上記した分布の重なり合いが大きい。言い換えると、一の種類の粒子も他の種類の粒子もほぼ同じ距離を移動している。このような場合、上記した均一性が高くなる可能性が高い。

[0050] 第 2 に、一の種類の粒子の上記した散布度及び他の種類の粒子の上記した散布度のいずれか一方又は両方が高い場合、上記した類似度と上記した均一性の相関関係は弱くなることが明らかとなった。言い換えると、この場合、上記した類似度が高くなっても、上記した均一性が高くない場合が多い

。

[0051] 本発明者らが検討したところ、上記した相関関係の理由として、粒子の移動距離のばらつきが上記した均一性に影響を与えていることが可能性として挙げた。上記した類似度が高い場合、一の種類の上記した分布の中心と他の種類の上記した分布の中心がほぼ同じ位置になる。この場合においても一の種類の粒子の上記した散布度が高いとき、一の種類の粒子には、上記した中心から移動量のずれた粒子がある程度の割合で含まれている。そしてこのような粒子が上記した均一性を低くしている可能性が高い。

[0052] 以上によれば、一の種類の粒子の上記した散布度及び他の種類の粒子の上記した散布度のそれぞれが基準値以下である場合に、上記した均一性を上記した類似度に基づいて正確に評価することができるといえる。

[0053] 図12は、粒子の移動量の分布の類似度及び粒子の移動量の分布の散布度の評価方法の一例を説明するための図である。本図(a)は、一の種類の粒子(粒子群A)の移動距離の分布(確率密度)及び他の種類の粒子(粒子群B)の移動距離の分布(確率密度)を示している。本図(b)は、粒子群Aの上記した分布の累積確率及び粒子群Bの上記した分布の累積確率を示している。なお、粒子群Aの上記した累積確率は、粒子群Aの上記した確率密度の積分によって与えられる。同様に、粒子群Bの上記した累積確率は、粒子群Bの上記した確率密度の積分によって与えられる。

[0054] 本図(b)に示すように、粒子群Aの上記した分布と粒子群Bの上記した分布の類似度は、粒子群Aの上記した累積確率と粒子群Bの上記した累積確率を比較することにより、評価することができる。詳細には、粒子群Aの累積確率と粒子群Bの累積確率の差を各移動距離で算出する。そして上記した差の絶対値の最大値(コルモゴロフスミルノフ検定のD値)に基づいて上記した類似度を評価する。この場合、上記した最大値が小さいほど粒子群Aの上記した分布と粒子群Bの上記した分布の類似度が高いといえる。これにより、上記した最大値が所定の基準値以下であるか否かを判断することにより、粒子群Aと粒子群Bの混合状態を評価することができる。

[0055] ただし、粒子群Aの上記した分布と粒子群Bの上記した分布の類似度の評価方法は、上記した例に限定されるものではない。例えば、本図（b）に示す例では、粒子群Aの累積確率と粒子群Bの累積確率の差の平均値を算出してもよい。この場合、上記した平均値が所定の基準値以下であるか否かを判断することにより、粒子群Aと粒子群Bの混合状態を評価することができる。

[0056] 本図（b）に示すように、粒子群Aの分布の散布度は、粒子群Aの上記した累積確率の傾きに基づいて評価することができる。この場合、例えば、累積確率が第1値以上第2値以下である範囲における累積確率の傾きの平均値に基づいて、散布度を評価することができる。なお、第1値及び第2値は、それぞれ、例えば、中央値（50%）未満の値（例えば、25%）及び中央値（50%）より大きい値（例えば、75%）である。他の例として、累積確率が基準確率値である位置における累積確率の傾きに基づいて、散布度を評価することができる。この場合、基準確率値は、例えば、累積確率の傾き（累積確率の一次導関数の値）が最大値をとる位置における累積確率の値であり、又は適当な特定の値（例えば、50%）である。なお、粒子群Bの分布の散布度も、上記と同様にして評価することができる。

[0057] ただし、粒子群Aの上記した分布の散布度及び粒子群Bの上記した分布の散布度の評価方法は、上記した例に限定されるものではない。例えば、本図（a）に示すように、分布の標準偏差に基づいて、散布度を評価してもよい。

[0058] 以上、図面を参照して本発明の実施形態について述べたが、これらは本発明の例示であり、上記以外の様々な構成を採用することもできる。

[0059] 以下、参考形態の例を付記する。

1. 複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする工程と、

シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する工程と、

前記複数の種類のうちの第1種類の粒子の前記移動量の分布と前記複数の種類のうちの第2種類の粒子の前記移動量の分布の類似度を評価する工程と、

前記類似度に基づいて前記第1種類の粒子と前記第2種類の粒子の混合状態を評価する工程と、
を含む評価方法。

2. 1. に記載の評価方法において、

前記類似度を評価する工程では、

前記第1種類の粒子の前記移動量の前記分布の累積確率と前記第2種類の粒子の前記移動量の前記分布の累積確率を比較することにより、前記類似度を評価する評価方法。

3. 1. 又は2. に記載の評価方法において、

前記第1種類の粒子の前記移動量の分布の散布度及び前記第2種類の粒子の前記移動量の分布の散布度を評価する工程をさらに含み、

前記第1種類の粒子の前記散布度及び前記第2種類の粒子の前記散布度のそれぞれが基準値以下である場合に前記第1種類の粒子と前記第2種類の粒子の混合状態を評価する評価方法。

4. 複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートするシミュレーション部と、

シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する移動量算出部と、

前記複数の種類のうちの第1種類の粒子の前記移動量の分布と前記複数の種類のうちの第2種類の粒子の前記移動量の分布の類似度を評価する類似度評価部と、

前記類似度に基づいて前記第1種類の粒子と前記第2種類の粒子の混合状態を評価する評価部と、
を含む評価装置。

5. コンピュータを評価装置として機能させるためのプログラムであって、

前記コンピュータに、

複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする機能と、

シミュレートされた前記各粒子の第 1 時刻から第 2 時刻までの間の移動量を算出する機能と、

前記複数の種類のうちの第 1 種類の粒子の前記移動量の分布と前記複数の種類のうちの第 2 種類の粒子の前記移動量の分布の類似度を評価する機能と、

前記類似度に基づいて前記第 1 種類の粒子と前記第 2 種類の粒子の混合状態を評価する機能と、

を持たせるプログラム。

[0060] この出願は、2013年9月4日出願された日本出願特願2013-182847号を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

請求の範囲

- [請求項1] 複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする工程と、
- シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する工程と、
- 前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、を対応付けて含むデータセットを生成する工程と、
- 前記データセットを統計的に処理された形式で表示する工程と、を含む評価方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の評価方法であって、
- 前記データセットを統計的に処理された形式で表示する前記工程では、前記データセットが統計的に処理されてグラフィカル形式で表示される評価方法。
- [請求項3] 請求項2に記載の評価方法であって、
- 前記データセットを統計的に処理された形式で表示する前記工程では、前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、が対応付けられたグラフが表示される評価方法。
- [請求項4] 請求項3に記載の評価方法であって、
- 前記グラフでは、前記各粒子を示すプロットが前記粒子の種類ごとに分類されている評価方法。
- [請求項5] 請求項2に記載の評価方法であって、
- 前記データセットを統計的に処理された形式で表示する前記工程では、前記各粒子が前記移動量に基づいて分類されているヒストグラムが表示される評価方法。
- [請求項6] 請求項1に記載の評価方法であって、
- 前記データセットを統計的に処理された形式で表示する前記工程では、前記データセットが統計的に処理されてテーブル形式で表示される評価方法。

- [請求項7] 請求項6に記載の評価方法であって、
前記データセットを統計的に処理された形式で表示する前記工程では、前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、が対応付けられたテーブルが表示される評価方法。
- [請求項8] 請求項7に記載の評価方法であって、
前記テーブルでは、前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、を示すセルが前記粒子の種類ごとに分類されている評価方法。
- [請求項9] 請求項6に記載の評価方法であって、
前記データセットを統計的に処理された形式で表示する前記工程では、前記各粒子が前記移動量に基づいて分類されている度数分布表が表示される評価方法。
- [請求項10] 請求項1から9までのいずれか一項に記載の評価方法であって、
前記各粒子の移動量は、当該粒子が前記第1時刻から前記第2時刻までの間に前記攪拌容器の内部で移動した距離である評価方法。
- [請求項11] 請求項1から9までのいずれか一項に記載の評価方法であって、
前記各粒子の移動量は、当該粒子が前記第1時刻から前記第2時刻までに辿った軌跡が所定の平面または所定の直線に正射影された射影軌跡において当該粒子が移動した距離である評価方法。
- [請求項12] 複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートするシミュレーション部と、
シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する移動量算出部と、
前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、を対応付けて含むデータセットを生成するデータセット生成部と、
前記データセットを統計的に処理された形式で表示する表示部と、を含む評価装置。
- [請求項13] コンピュータを評価装置として機能させるためのプログラムであって、

前記コンピュータに、

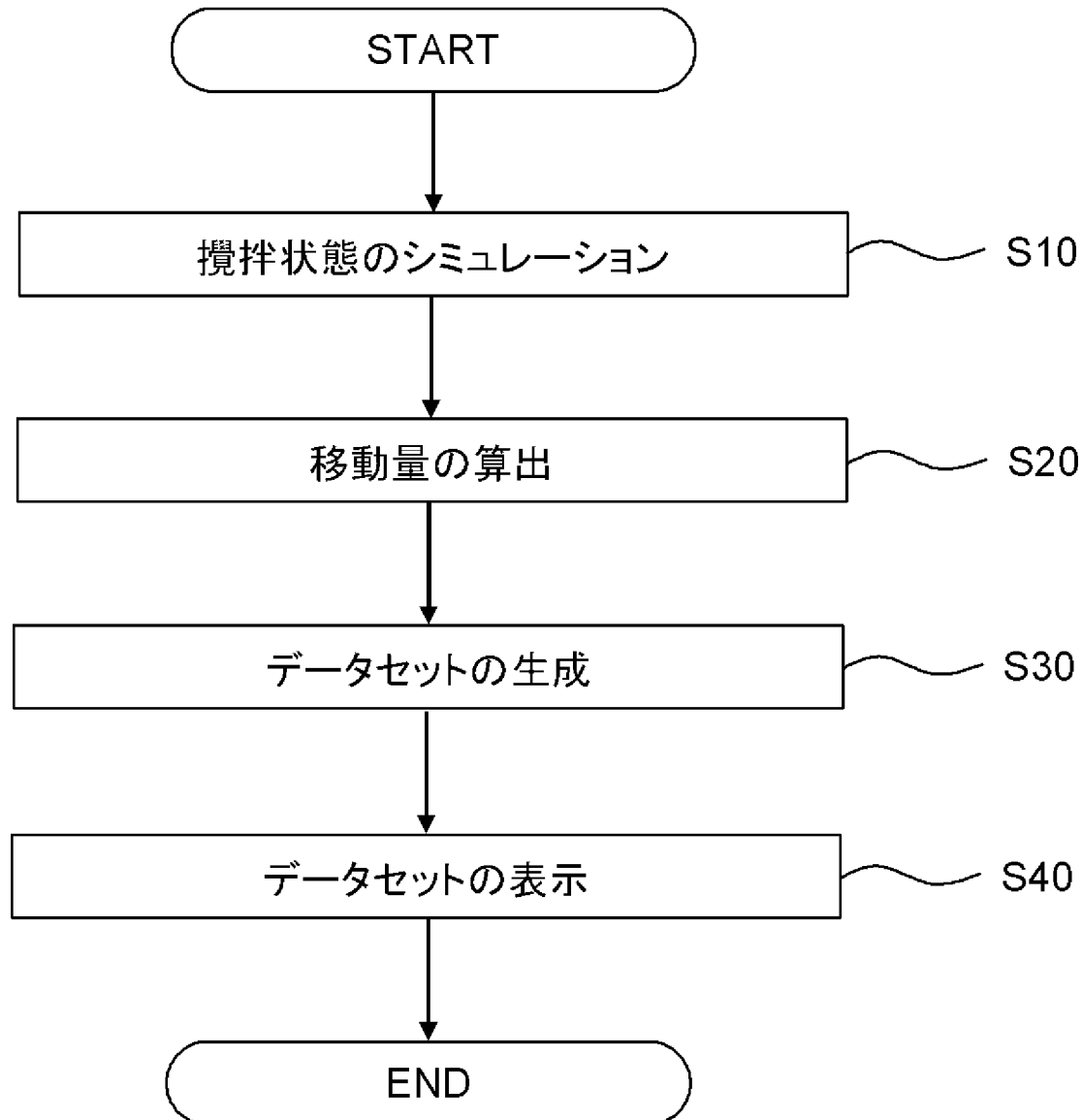
複数の種類の粒子が攪拌容器の内部で攪拌される状態をシミュレートする機能と、

シミュレートされた前記各粒子の第1時刻から第2時刻までの間の移動量を算出する機能と、

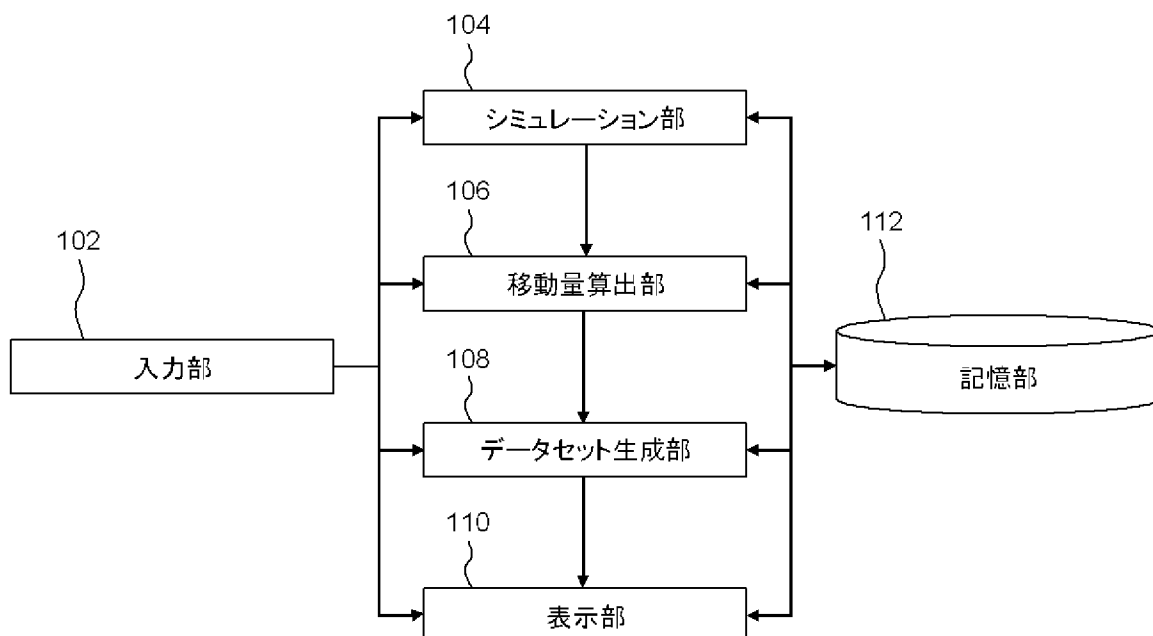
前記各粒子と、当該粒子に対応する前記移動量と、を対応付けて含むデータセットを生成する機能と、

前記データセットを統計的に処理された形式で表示する機能と、
を持たせるプログラム。

[図1]

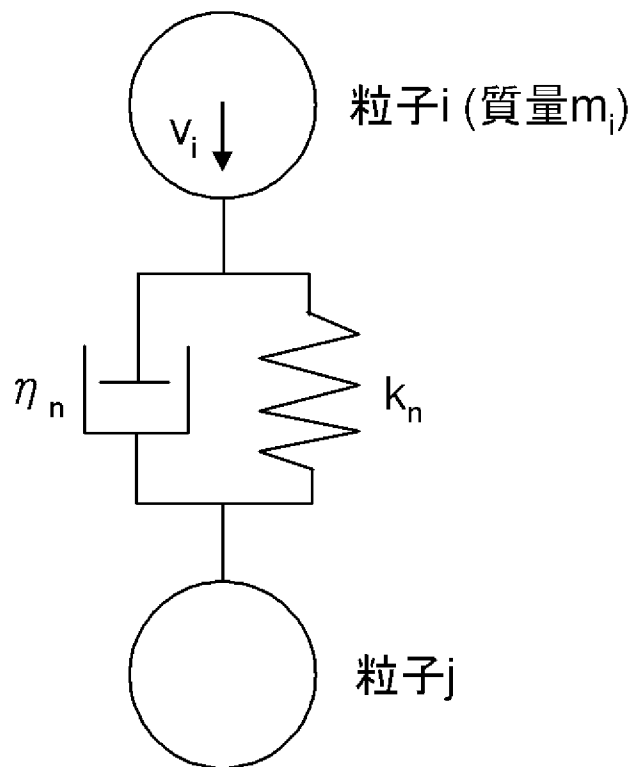


[図2]

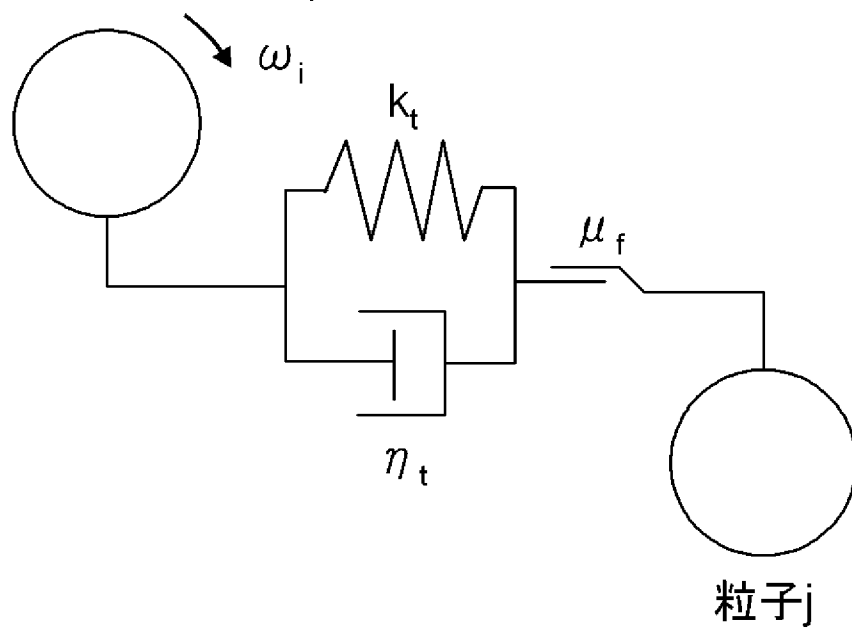


[図3]

(a)



(b)

粒子 i (慣性モーメント I_i)

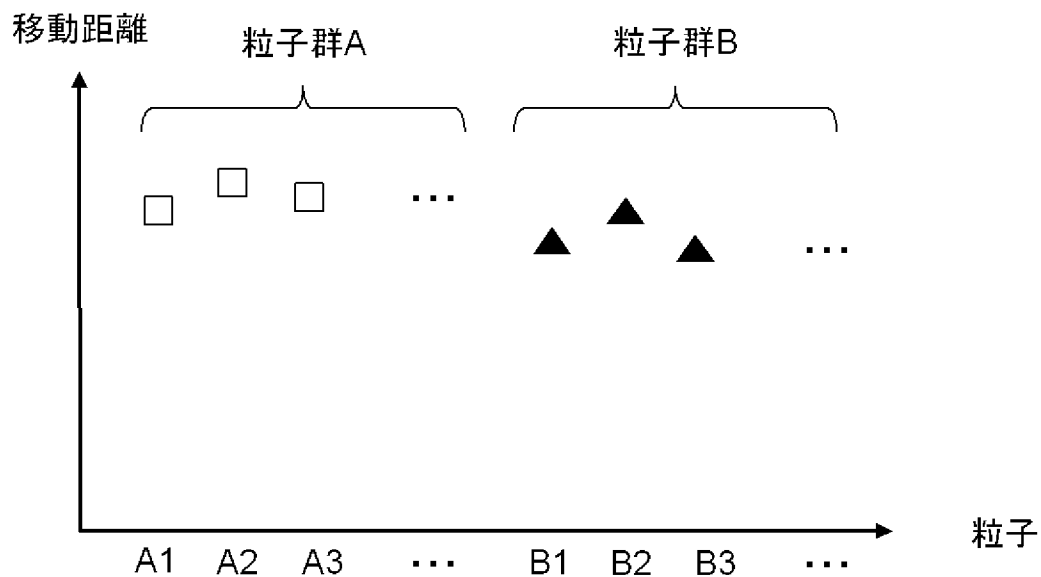
[図4]

粒子群	粒子	移動距離 [cm]
粒子群A	粒子A1	D_{A1}
	粒子A2	D_{A2}
	粒子A3	D_{A3}
	...	...
粒子群B	粒子B1	D_{B1}
	粒子B2	D_{B2}
	粒子B3	D_{B3}
	...	...
...	...	...

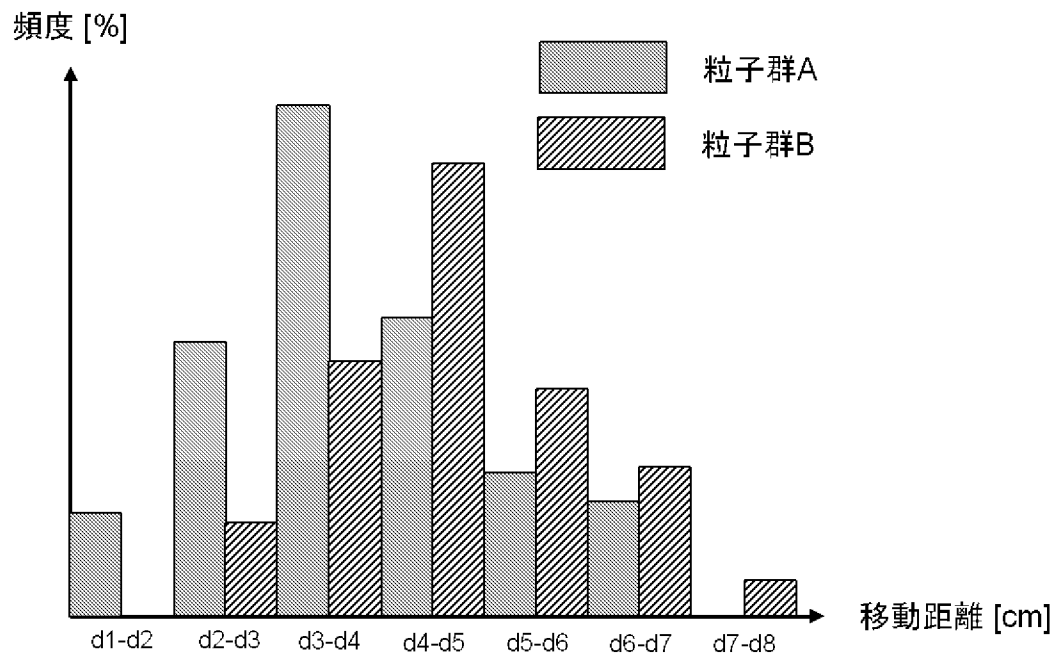
[図5]

粒子群	移動距離区間 [cm]	頻度 [%]
粒子群A	d1-d2	f_{A1}
	d2-d3	f_{A2}
	d3-d4	f_{A3}
	...	...
粒子群B	d1-d2	f_{B1}
	d2-d3	f_{B2}
	d3-d4	f_{B3}
	...	...
...	...	...

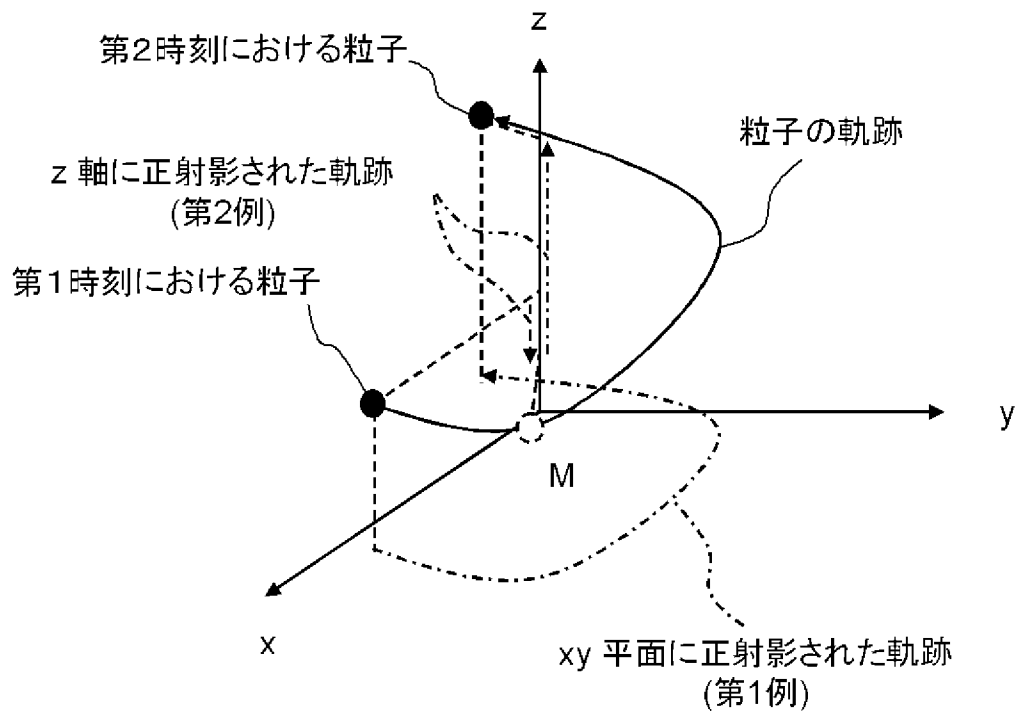
[図6]



[図7]

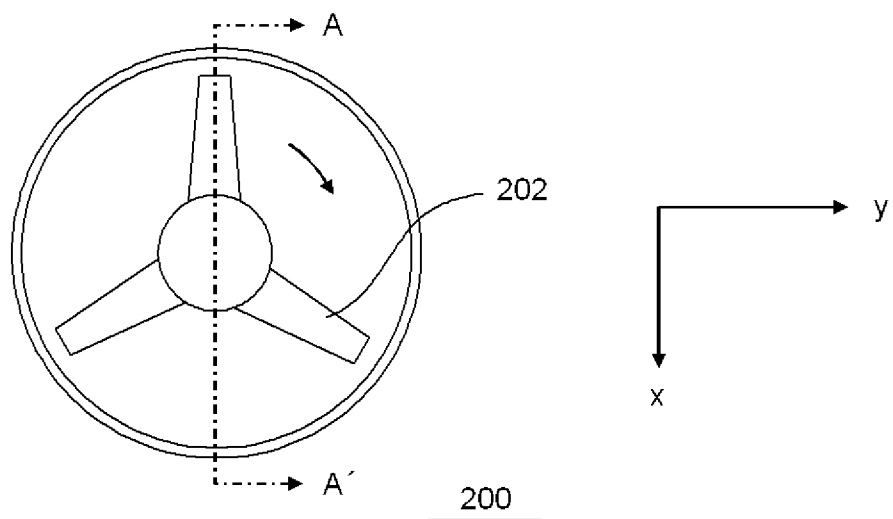


[図8]

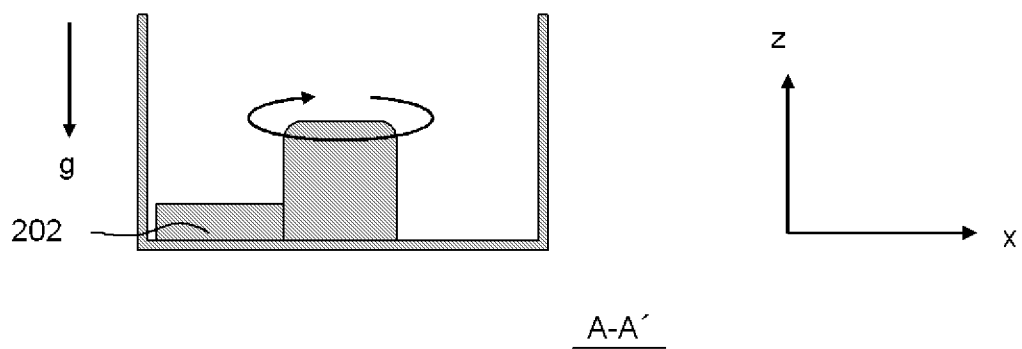


[図9]

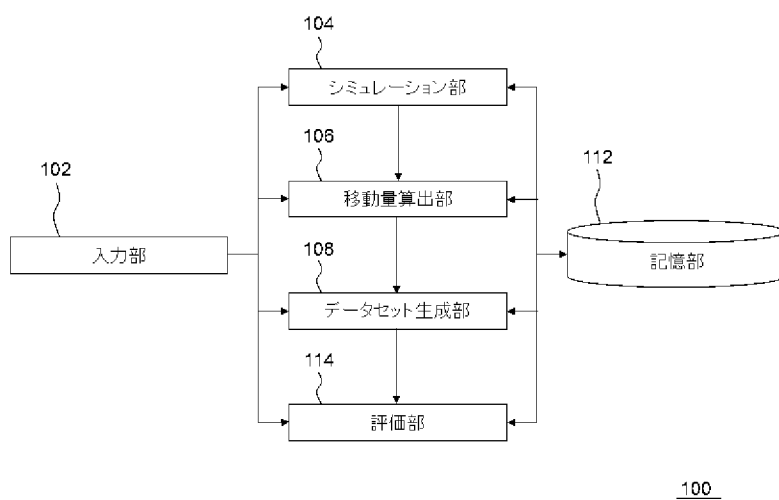
(a)



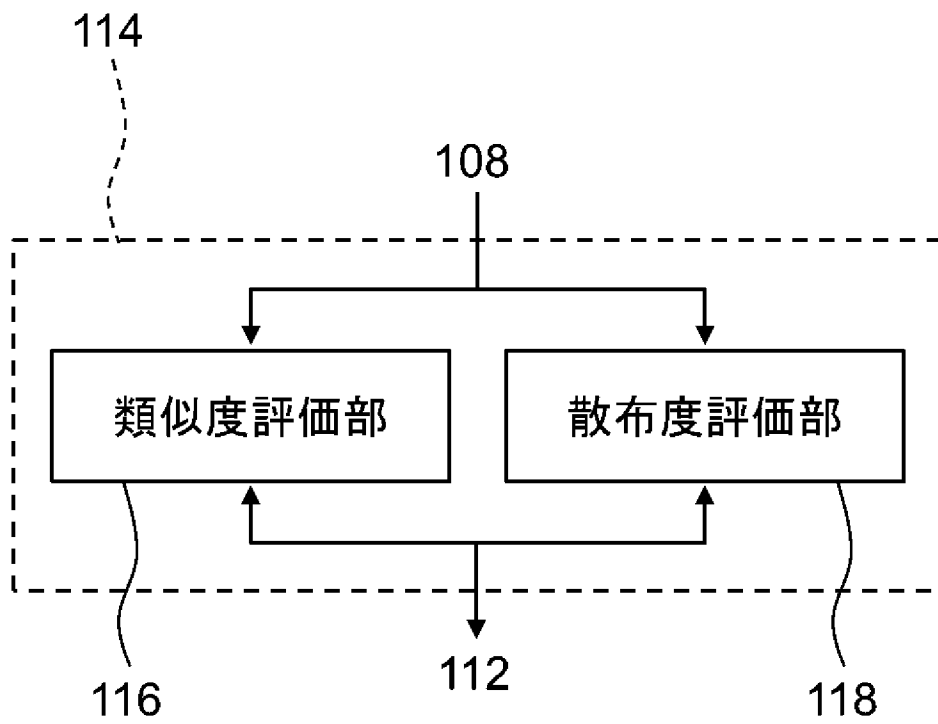
(b)



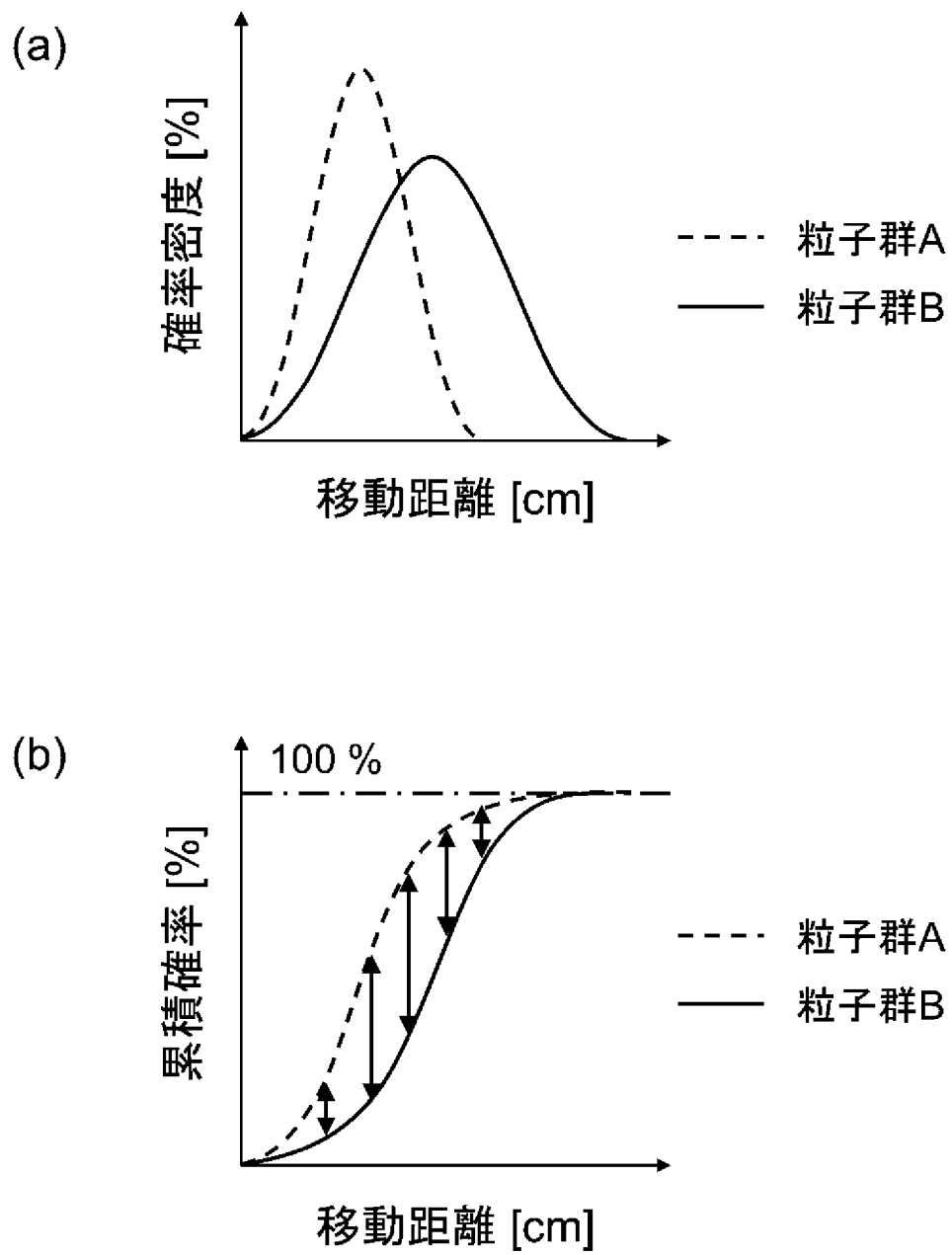
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/071102

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01F3/18(2006.01)i, B01F7/00(2006.01)i, G06F19/00(2011.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B01F3/18, B01F7/00, G06F19/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-214134 A (Sharp Corp.), 04 August 2000 (04.08.2000), paragraphs [0069] to [0078], [0139], [0189] to [0193]; fig. 12 to 15 (Family: none)	1-13
Y	JP 2013-29790 A (Ricoh Co., Ltd.), 07 February 2013 (07.02.2013), paragraphs [0018], [0026]; fig. 1 (Family: none)	1-13
Y	JP 2009-119433 A (Sumitomo Chemical Co., Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0034] to [0035]; fig. 10 to 13 (Family: none)	11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 October, 2014 (16.10.14)

Date of mailing of the international search report
28 October, 2014 (28.10.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/071102

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-17380 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 25 January 2007 (25.01.2007), paragraph [0074] (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B01F3/18(2006.01)i, B01F7/00(2006.01)i, G06F19/00(2011.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B01F3/18, B01F7/00, G06F19/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2014年
日本国実用新案登録公報	1996-2014年
日本国登録実用新案公報	1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2000-214134 A（シャープ株式会社）2000.08.04, 段落【0069】 - 【0078】, 【0139】, 【0189】 - 【0193】, 図 12-15（ファミリーなし）	1-13
Y	JP 2013-29790 A（株式会社リコー）2013.02.07, 段落【0018】, 【0026】, 図 1（ファミリーなし）	1-13
Y	JP 2009-119433 A（住友化学株式会社）2009.06.04, 段落【0034】 - 【0035】, 図 10-13（ファミリーなし）	11

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16.10.2014

国際調査報告の発送日

28.10.2014

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

▲高▼藤 啓

電話番号 03-3581-1101 内線 3377

3M

4473

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2007-17380 A (富士ゼロックス株式会社) 2007. 01. 25, 段落 【0074】 (ファミリーなし)	1-13