

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7074344号  
(P7074344)

(45)発行日 令和4年5月24日(2022.5.24)

(24)登録日 令和4年5月16日(2022.5.16)

(51)国際特許分類		F I	
B 2 9 C	64/386 (2017.01)	B 2 9 C	64/386
B 3 3 Y	50/00 (2015.01)	B 3 3 Y	50/00
B 2 2 F	10/85 (2021.01)	B 2 2 F	10/85
B 2 2 F	12/90 (2021.01)	B 2 2 F	12/90

請求項の数 13 (全24頁)

(21)出願番号	特願2018-544973(P2018-544973)	(73)特許権者	521253262 山崎 淳 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立 大学法人東京大学内
(86)(22)出願日	平成29年10月4日(2017.10.4)	(74)代理人	100122275 弁理士 竹居 信利
(86)国際出願番号	PCT/JP2017/036167	(72)発明者	山崎 淳 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立 大学法人東京大学内
(87)国際公開番号	WO2018/070322	(72)発明者	古宇田 光 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立 大学法人東京大学内
(87)国際公開日	平成30年4月19日(2018.4.19)	(72)発明者	千田 範夫 東京都文京区本郷四丁目1番5号 石渡 ビル301号室 株式会社クロスアビリ
審査請求日	令和2年9月28日(2020.9.28)		最終頁に続く
(31)優先権主張番号	特願2016-199955(P2016-199955)		
(32)優先日	平成28年10月11日(2016.10.11)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
	(出願人による申告)平成27年度、平成28年度、 文部科学省、科学技術試験研究委託事業(事業名「ボス ト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に 関するアプリケーション開発・研究開発」)、産業技術 力強化法第19条の適用を受ける特許出願/平成27年 最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 立体物形成指示装置、立体物の製造方法、及びプログラム

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れる手段と、  
前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体の形状を決定する形状決定手  
段と、  
前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体を配置する位置を決定する位  
置決定手段と、  
前記決定した形状の物体を、前記決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生  
成する手段と、

を含み、

前記位置決定手段は、前記三次元空間の少なくとも一部に対応する三次元の表現空間内に  
複数の領域を設定し、前記受け入れた物理量の分布に係る情報に基づき、前記領域ごとの  
表現体の配置密度を演算して、当該演算された配置密度に応じた数の表現体を配置する位  
置を、対応する領域内に設定する立体物形成指示装置。

## 【請求項2】

請求項1記載の立体物形成指示装置であって、  
前記形状決定手段は、前記物理量の種類に基づいて表現体の形状を決定する立体物形成指  
示装置。

## 【請求項3】

請求項1または2に記載の立体物形成指示装置であって、

前記位置決定手段は、前記三次元空間の少なくとも一部に対応する三次元の表現空間内に前記表現体の位置を決定し、

当該表現空間内であって表現体が配されない三次元の領域の少なくとも一部に、透光性を有する材質を充填する指示を生成する手段をさらに含む立体物形成指示装置。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の立体物形成指示装置であって、

前記立体物形成指示を生成する手段は、多面体の立体物を形成する指示を出力し、当該指示に基づく立体物の形成が、材料を積層して形成する装置によって実行されるときには、当該積層方向が、形成される多面体のいずれの面の法線方向とも異なる方向となるよう、立体物の形成指示を生成する立体物形成指示装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の立体物形成指示装置であって、

前記物理量の分布に係る情報は、原子または分子について演算された電子密度の分布の情報である立体物形成指示装置。

【請求項 6】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の立体物形成指示装置であって、

前記物理量の分布に係る情報は、電気力線または磁力線の分布に関する情報である立体物形成指示装置。

【請求項 7】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の立体物形成指示装置であって、

前記物理量の分布に係る情報は、流体の流速分布に関する情報である立体物形成指示装置。

20

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の立体物形成指示装置であって、

前記三次元空間に配される有体物の形状に係る情報をさらに受け入れる手段と、前記立体物形成指示を生成する手段が、当該受け入れた有体物の形状に係る情報に基づいて、当該形状の有体物を形成する指示をさらに含む立体物形成指示を生成する立体物形成指示装置。

【請求項 9】

三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れる手段と、

前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体の形状を決定する形状決定手段と、

30

前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体を配置する位置を決定する位置決定手段と、

前記決定した形状の物体を、前記決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成する手段と、

を含み、

前記物理量の分布に係る情報は、電気力線または磁力線の分布に関する情報である立体物形成指示装置。

【請求項 10】

三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れる手段と、

前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体の形状を決定する形状決定手段と、

40

前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体を配置する位置を決定する位置決定手段と、

前記決定した形状の物体を、前記決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成する手段と、

を含み、

前記物理量の分布に係る情報は、流体の流速分布に関する情報である立体物形成指示装置。

【請求項 11】

請求項 7 または 10 に記載の立体物形成指示装置であって、

50

前記立体物形成指示を生成する手段が、前記三次元空間内で、前記立体物形成指示に含まれる指示で形成される有体物が互いに重なり合う部分を検出し、当該重なり合う部分では、互いに重なり合う有体物のいずれかが形成されるよう制御する立体物形成指示装置。

【請求項 1 2】

コンピュータを用いて、

三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れる工程と、  
前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体の形状を決定する工程と、  
前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体を配置する位置を決定する工程と、

前記決定した形状の物体を、前記決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成する工程と、

10

を実行させ、

前記表現体を配置する位置を決定する工程においては、前記三次元空間の少なくとも一部に対応する三次元の表現空間内に複数の領域を設定させ、前記受け入れた物理量の分布に係る情報に基づき、前記領域ごとの表現体の配置密度を演算させて、当該演算された配置密度に応じた数の表現体を配置する位置を、対応する領域内に設定させて、  
前記生成した立体物形成指示に基づいて、立体物を形成させる立体物の製造方法。

【請求項 1 3】

コンピュータを、

三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れる手段と、  
前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体の形状を決定する形状決定手段と、

20

前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体を配置する位置を決定する位置決定手段と、

前記決定した形状の物体を、前記決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成する手段と、

として機能させ、

前記位置決定手段として機能させる際には、前記三次元空間の少なくとも一部に対応する三次元の表現空間内に複数の領域を設定させ、前記受け入れた物理量の分布に係る情報に基づき、前記領域ごとの表現体の配置密度を演算させて、当該演算された配置密度に応じた数の表現体を配置する位置を、対応する領域内に設定させるプログラム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、立体物形成指示装置、立体物の製造方法、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、材料を積層して立体物を形成する3Dプリンタが広く普及しはじめている。そこで、このような3Dプリンタを用いて、分子模型等、教育用の立体構造物を形成する例が特許文献1に開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2010-197419号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

この特許文献1に開示された技術では、実体を模式的に表すことはできるものの、電子の存在確率分布や、物理量の密度分布など、物理学的な理解を促進できる視覚表現を形成することができていなかった。

50

## 【 0 0 0 5 】

本発明は上記実情に鑑みて為されたもので、物理学的な理解を促進できる視覚表現を形成できる立体物形成指示装置、立体物の製造方法、及びプログラムを提供することを、その目的の一つとする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 6 】

上記従来例の問題点を解決する本発明の一態様は、立体物形成指示装置であって、三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れる手段と、前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体の形状を決定する形状決定手段と、前記受け入れた情報に基づき、前記物理量を表現する表現体を配置する位置を決定する位置決定手段と、前記決定した形状の物体を、前記決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成する手段と、を含むこととしたものである。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 0 7 】

本発明によると、物理学的な理解を促進できる視覚表現を形成できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 0 8 】

【図 1】本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置の構成例を表すブロック図である。

【図 2】本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置の例を表す機能ブロック図である。

【図 3】本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置が保持する設定情報の例を表す説明図である。

20

【図 4】本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置の動作例を表すフローチャート図である。

【図 5】本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置が生成した指示に基づいて形成した立体物の例を表す説明図である。

【図 6】本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置が生成した指示の内容例を表す説明図である。

【図 7】本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置による座標変換の例を表す説明図である。

## 【発明を実施するための形態】

30

## 【 0 0 0 9 】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。本発明の実施の形態に係る立体物形成指示装置 1 は、図 1 に例示するように、制御部 1 1 と、記憶部 1 2 と、操作部 1 3 と、表示部 1 4 と、入出力部 1 5 とを含んで構成されている。ここで制御部 1 1 は CPU などのプログラム制御デバイスであり、記憶部 1 2 に格納されたプログラムに従って動作する。

## 【 0 0 1 0 】

本実施の形態では、この制御部 1 1 が、三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れ、当該受け入れた情報に基づき、物理量を表現する表現体の形状を決定する。そして制御部 1 1 は、受け入れた情報に基づき、物理量を表現する表現体を配置する位置を決定し、当該決定した形状の物体を、決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成して出力する。この制御部 1 1 の詳しい動作については後に述べる。

40

## 【 0 0 1 1 】

記憶部 1 2 は、ディスクデバイスやメモリデバイス等であり、制御部 1 1 により実行されるプログラムを格納している。このプログラムは、コンピュータ可読かつ非一時的な記録媒体に格納されて提供され、この記憶部 1 2 に格納されたものであってもよい。また、この記憶部 1 2 は、制御部 1 1 のワークメモリとしても動作する。

## 【 0 0 1 2 】

操作部 1 3 は、マウスやキーボード等であり、利用者の指示操作を受け入れて、当該指示操作の内容を表す情報を制御部 1 1 へ出力する。表示部 1 4 は、ディスプレイ等であり、

50

制御部 11 から入力される指示を受けて情報を表示する。

【0013】

入出力部 15 は、ネットワークインタフェースや、USB (Universal Serial Bus) インタフェース等を含む。この入出力部 15 は、制御部 11 から入力される指示に従い、情報を外部の装置 (例えば 3D プリンタ等) に出力する。またこの入出力部 15 は、外部のコンピュータ等から情報を受け入れて、当該受け入れた情報を制御部 11 に出力している。本実施の形態の一例では、この入出力部 15 が、外部のコンピュータ (シミュレータ等) から三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れて制御部 11 に出力する。

【0014】

次に制御部 11 の動作について説明する。本実施の形態の一例では、制御部 11 は、機能的には図 2 に例示するように、受入部 21 と、形状決定部 22 と、位置決定部 23 と、指示生成部 24 と、出力部 25 とを含んで構成される。

【0015】

受入部 21 は、三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れる。ここで、物理量の分布に係る情報は、原子または分子について演算された電子密度の分布の情報や、電子場の角運動量 (スピン) の情報、電気力線または磁力線の分布に関する情報、流体の流速分布に関する情報、圧力や歪みの情報、温度、エネルギーなど、 $n$  次元空間における場の量などを、三次元空間上に表現したものである。

【0016】

形状決定部 22 は、受入部 21 が受け入れた情報に基づき、当該情報が分布を表している物理量を表現する表現体の形状を決定する。ここで表現体は、3D プリンタによって形成される、球や円錐などの立体形状を有する物体である。この形状決定部 22 では、当該物理量を表現するための立体形状を決定する。

【0017】

具体的にこの形状決定部 22 は、物理量の種類ごとに、各種類に応じた表現体の形状を関連付けて、図 3 に例示するように予め定めて記憶部 12 に格納しておく。ここで物理量の種類は、スカラー量とベクトル量との別 (方向付きの量であるかないかの別) や、線分としての表現の可否などで表される。図 3 では、スカラー量の場合に表現体の形状を球とし、ベクトル量の場合に表現体の形状を、方向を示すことができる形状 (例えば円錐形) とする例を示している。もっとも本実施の形態はこの限りでなく、ベクトル量であっても表現体の形状を球として、その大きさに応じた半径の球を形成させる指示としてもよい。

【0018】

この図 3 の例の場合、形状決定部 22 は、受入部 21 が受け入れた情報に基づき、当該情報が分布を表している物理量がスカラー量であるかベクトル量であるかを判断し、スカラー量であれば、表現体の形状を「球」と決定する。また形状決定部 22 は、受入部 21 が受け入れた情報が分布を表している物理量がベクトル量であれば、表現体の形状を「円錐形」と決定する。

【0019】

なお、ここでは、物理量の種類をスカラー量とベクトル量とにわけたが、本実施の形態における、表現体の形状を異ならせる物理量の種類は、これに限られない。例えば、水滴の分布を表す物理量について、涙滴 (ティアドロップ) 型とし、気体分布を表す物理量について球体としてもよい。そのほか、どのような物質の分布であるのかに応じて表現体の形状を異ならせてもよい。

【0020】

位置決定部 23 は、受入部 21 が受け入れた情報に基づき、当該情報が分布を表している物理量を表現する表現体を配置する位置を決定する。具体的に、この位置決定部 23 は、受け入れた情報が表す三次元空間の少なくとも一部を表現した表現空間内のどの位置に表現体を配置するかを決定する。ここで表現空間は、三次元的空間であって、受け入れた情報が表す三次元空間を、予め定められた、あるいは利用者が指定した縮尺・縦横比で拡大

10

20

30

40

50

・縮小した空間であり、3Dプリンタ等によって形成される（従って3Dプリンタ等が、形成可能な大きさの）空間である。位置決定部23は、この表現空間内の座標の組として表現体の配置位置を決定する。

【0021】

一例としてこの位置決定部23は、表現空間を予め定めた小空間に分割し、小空間ごとに表現体の配置数を決定する。すなわち位置決定部23は、 $(x_{min}, y_{min}, z_{min})$  から  $(x_{max}, y_{max}, z_{max})$  までの直方体状の表現空間を、 $(x_i, y_j, z_k)$ （ここで  $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, k = 1, 2, \dots$ ）から  $(x_{i+a}, y_{j+a}, z_{k+a})$  の  $a \times a \times a$  の大きさの立方体状の小空間に分割する。なお、以下の説明では、 $(x_i, y_j, z_k)$ （ここで  $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, k = 1, 2, \dots$ ）から  $(x_{i+a}, y_{j+a}, z_{k+a})$  の小空間を、 $B(i, j, k)$  と表記する。

10

【0022】

位置決定部23は、各小空間  $B(i, j, k)$ （ただし  $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, k = 1, 2, \dots$ ）に対応する、受入部21が受け入れた情報が表す三次元空間内の領域を特定し、当該特定した領域内で受入部21が受け入れた情報が表す物理量の値を演算する。ここで統計値は、平均値、最大値、最小値、中央値、分散値などであり、その値を用いるかを利用者が予め指定しておくこととすればよい。本実施の形態のこの例では、この統計値が小空間  $B$  ごとの表現体の配置密度を表す。

【0023】

位置決定部23は、予め利用者から、3Dプリンタが形成できる、形状決定部22により決定された形状の物体の最小サイズ  $L_{min} = (x, y, z)$  と、表現体間におく最小の間隔  $G$  の指定を受け入れておき、当該最小サイズの成分のうち、最も大きい値  $L = \max(x, y, z)$  を演算しておく。ここで  $\max(x, y, z)$  は、 $x, y, z$  の値のうち最も大きい値を表す。

20

【0024】

そして位置決定部23は、小空間の大きさ  $a$  と、ここで演算した最小サイズに関する情報  $L$  と、表現体間におく最小の間隔  $G$  とを用い、一つの小空間内に配置する表現体の最大数  $M$  を、例えば

$$M = a / (L + G)$$

（互いに間隔  $G$  をおいて配置可能な最大数に相当する）として演算する。なお、ここで一辺の長さ  $a$  から間隔  $G$  を差引いて、 $M$  を求めてもよい。すなわち、

30

$$M = (a - G) / (L + G)$$

としてもよい。小空間の各面から少なくとも  $G/2$  だけ、表現体の位置を離すことで、ある小空間に配された表現体と、当該小空間に隣接する小空間に配された表現体との間隔が、間隔  $G$  未満となることを防ぐためである。

【0025】

位置決定部23は、小空間ごとに先に演算した、当該小空間に対応する三次元空間の領域内の物理量の統計値の最大値  $P_{max}$  を参照し、表現比率  $r = M / P_{max}$  を求める。そして位置決定部23は、小空間  $B(i, j, k)$  ごとに、当該小空間  $B(i, j, k)$  に対応する三次元空間の領域内の物理量の統計値  $P$  を、表現比率  $r$  に乗じて、当該小空間  $B(i, j, k)$  内に配置する表現体の数  $R(i, j, k) = r \times P$  を求める。

40

【0026】

また本実施の形態のある例では、ここで求めた表現体の数  $R$  を、さらに利用者の指示により補正してもよい。一例として利用者は、本実施の形態の立体物形成指示装置1によって生成した指示により形成した立体物について、表現体の数が全体として多すぎる（または少なすぎる）と感じた場合に、操作部13を操作して、補正率  $w$  を入力する。この補正率は表現体の数を少なくする場合に1より小さい正の値を入力するものとし、表現体の数を多くする場合に1より大きい値を入力するものとする。

【0027】

位置決定部23は、この補正率  $w$  の入力を受けて、先に演算した表現体の数  $R$  を、 $R \times w$ （

50

$i, j, k) = w \times R(i, j, k)$ と補正する。

【0028】

また、ここでは表現体の数を演算した後、当該演算した表現体の数を補正しているが、これに代えて、またはこれに加えて、最大数Mに補正率wを乗じるなどして、最大数Mを補正し、補正した最大数に基づいて表現体の数を求めることとしてもよい。

【0029】

位置決定部23は、そして各小空間B(i, j, k)内に、互いに重なり合わない状態で、R(i, j, k)個(補正率wで補正された場合R(i, j, k)個)の表現体を配置する。具体的な各表現体の配置位置は小空間B(i, j, k)内にランダムに決められてもよいし、グラフ描画における力学モデルのように、小空間の中心から各表現体の重心までの距離の分散をできるだけ小さくしつつ、表現体が互いに重なりあわない位置を再帰的処理により決定する方法を採用して決定してもよい。さらに別の例では、小空間B(i, j, k)内に、R(i, j, k)個(補正率wで補正された場合R(i, j, k)個)の格子点を配し、当該格子点上に表現体を配してもよい(例えば表現体の重心が格子点上にあるように配する)。ここで格子点の設定は、R(i, j, k)個(補正率wで補正された場合R(i, j, k)個)の立方根を演算し、それに最も近い整数の値Tを得て、当該T×T×T個の等間隔の格子点を、小空間B(i, j, k)内に設定すればよい。

【0030】

ランダムに決める場合も、一様乱数を用いてランダムに決定する例だけでなく、所定の分布に従うランダム関数を用いてもよい。ここで分布は指数関数的分布(逆関数法を用いるときに、 $R = - (1 / ) \log [ 1 - R_d ]$ (ただし は実験的に定め得るパラメータであり、R<sub>d</sub>は一様乱数関数で発生させた乱数値、Rは出力する乱数値を表す)で求められる乱数値)、ガウス分布、ポアソン分布等でよい。このように一様乱数以外の乱数を用いる場合、小空間内での表現体の分布密度が場所によって異なることとなり、状況によっては視認性が向上する。

【0031】

指示生成部24は、形状決定部22により決定された形状の物体を、位置決定部23が決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成する。この立体物形成指示は、本実施の形態においても、立体をポリゴンメッシュで表現するSTL(Standard Triangulated Language)のフォーマットで記述すればよいが、本実施の形態においては、各表現体がそれぞれ孤立して空間に存在する形状となるので、表現体の配されない部分について透明樹脂等、透光性を有する材質を充填する指示を含める。この透光性を有する材質は、表現空間のうち表現体が配されていない領域全体に充填されてもよいし、その一部(例えば各表現体を支持可能な程度に、底面部と、底面部から各表現体の下部までなど)にのみ充填されてもよい。出力部25は、指示生成部24が生成した立体物形成指示を、入出力部15を介して3Dプリンタ等に出力する。

【0032】

[動作例]

本実施の形態の立体物形成指示装置1は、基本的に以上の構成を備えており、次のように動作する。なお、以下では、物理量の分布に係る情報が、原子または分子について演算された電子密度の分布の情報であるとする。

【0033】

立体物形成指示装置1は、原子または分子について演算された三次元空間内の電子密度の分布の情報を受け入れて、出力する指示ファイルを初期化(空のファイルを生成)して、図4に例示する処理を開始する。

【0034】

立体物形成指示装置1は、受け入れた情報に基づき、当該情報が分布を表している物理量を表現する表現体の形状を決定する(S1)。ここで電子密度の分布は、三次元空間中の各位置での電子の存在確率を表しており、スカラー量であるので、立体物形成指示装置1は、表現体の形状を「球」と決定する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 5 】

立体物形成指示装置 1 は、次に、受け入れた情報が表す三次元空間を表現するための領域（表現空間）の形状と大きさを決定する（S 2）。この表現空間の形状は例えば直方体等の六面体とする。また表現空間の大きさは、例えば接続されている 3 D プリントが形成可能な最大の大きさとしておいてもよいし、大きさを利用者が適宜設定してもよい。立体物形成指示装置 1 は、処理 S 2 で決定された大きさの表現空間、例えば  $(x_{min}, y_{min}, z_{min})$  から  $(x_{max}, y_{max}, z_{max})$  までの直方体状の領域を、小空間  $B(i, j, k)$  に分割する（S 3）。ここで小空間  $B(i, j, k)$  は、 $(x_i, y_j, z_k)$ （ここで  $i = 1, 2, \dots, N_x$ 、 $j = 1, 2, \dots, N_y$ 、 $k = 1, 2, \dots, N_z$ ）から  $(x_{i+a}, y_{j+a}, z_{k+a})$  の  $a \times a \times a$  の大きさの立方体状とする。ここで  $x_1 = x_{min}$  であり、 $x_{N_x+a} = x_{max}$  である。また、 $y_1 = y_{min}$ 、 $y_{N_y+a} = y_{max}$  であり、 $z_1 = z_{min}$ 、 $z_{N_z+a} = z_{max}$  である。 $N_x$ 、 $N_y$ 、 $N_z$  はいずれも「2」以上の自然数である。

10

## 【 0 0 3 6 】

立体物形成指示装置 1 は、各小空間  $B(i, j, k)$ （ただし  $i = 1, 2, \dots$ 、 $j = 1, 2, \dots$ 、 $k = 1, 2, \dots$ ）について、小空間  $B$  に対応する、受け入れた情報が表す三次元空間内の領域を特定し（S 4）、当該特定した領域内で、受け入れた情報が表す物理量の統計値を演算して（S 5）、対応する小空間  $B$  における表現体の配置密度の情報とする。ここでは物理量が原子または分子について演算された電子密度の分布の情報であるので、処理 S 4 で特定された領域内の電子密度の値の平均を演算する。立体物形成指示装置 1 は、処理 S 4、S 5 を各小空間  $B$  ごとに繰り返して実行する。

20

## 【 0 0 3 7 】

立体物形成指示装置 1 は、さらに、各小空間  $B(i, j, k)$  について演算された電子密度の値の平均（ここでの配置密度）のうちから、その最大値  $P_{max}$  を検索する（S 6）。立体物形成指示装置 1 は、接続されている 3 D プリントが、処理 S 1 で決定した形状を表現できる最小サイズ  $L_{min} = (x, y, z)$  と、表現体間におく最小の間隔  $G$  と（予め設定されているものとする）、小空間  $B$  の大きさ  $a$  とに基づいて、小空間  $B$  に配置する表現体の最大数  $M$  を求め、立体物形成指示装置 1 は、処理 S 6 にて演算した物理量の統計値の最大値  $P_{max}$  と、この最大数  $M$  とを用いて、表現比率  $r = M / P_{max}$  を演算する（S 7）。そして立体物形成指示装置 1 は、小空間  $B(i, j, k)$  ごとに、当該小空間  $B(i, j, k)$  に対応する三次元空間の領域内での物理量の統計値  $P$  を、表現比率  $r$  に乗じて、当該小空間  $B(i, j, k)$  内に配置する表現体の数  $R(i, j, k) = r \times P$  を求める（S 8）。

30

## 【 0 0 3 8 】

立体物形成指示装置 1 は、小空間  $B(i, j, k)$  内に、互いに重なり合わない状態で、 $R(i, j, k)$  個の表現体を配置する位置を表す座標情報  $S(x_m, y_m, z_m)$  ( $m = 1, 2, \dots, R(i, j, k)$ ) を決定する（S 9）。具体的には、小空間  $B(i, j, k)$  の領域内の  $R(i, j, k)$  個の座標情報  $S(x_m, y_m, z_m)$  ( $m = 1, 2, \dots, R(i, j, k)$ ) を、互いに重なり合わない（ここでは表現体の形状が球であるので、少なくともこの球の半径に上記最小の間隔  $G$  を加算した距離だけ互いに離れている）ランダムな値として定める。

40

## 【 0 0 3 9 】

立体物形成指示装置 1 は、処理 S 1 で決定した形状の物体を、処理 S 9 で決定した各座標情報の位置（ここでは処理 S 1 で決定した形状が「球」であるので、座標情報は当該球の中心を表すものとする）に配置する指示（STL フォーマットの指示）を生成して（S 10）、この生成した指示を、出力する指示ファイルに追記する（S 11）。

## 【 0 0 4 0 】

立体物形成指示装置 1 は、処理 S 8 から S 11 の処理を、各小空間  $B$  について繰り返して実行し、出力する指示ファイルを得る。そして立体物形成指示装置 1 は、得られた指示ファイルに、表現空間中で、物体を配していない領域に透光性を有する材料を充填すべき旨の指示を含め、当該指示ファイルを、接続されている 3 D プリントに出力する（S 12）。

50

）。

【 0 0 4 1 】

この処理により、表現空間の形状の立体物が形成される。また、この立体物では透光性を有する材料で形成された領域を通じて、表現体が、入力された原子または分子について演算された三次元空間内での電子密度の分布の情報に基づいて配されている状況が、表現空間のさまざまな方向（例えば表現空間が六面体であれば、各面の方向）から視認できるようになっている。なお、透光性を有する材料内に表現体を配置した立体物を形成した場合、表面の凹凸を研磨する。これにより、表現体が明瞭に視認できるようになる。

【 0 0 4 2 】

この処理は、スカラー量の物理量を表現する場合に適用でき、ここでの例のほか、流体の流速分布に関する物理量の情報においても適用可能である。ここで流体は、液体（海水や河川の水、血液など）のほか、気体（空気流やガス流）、粉体、素粒子などを含む。

10

【 0 0 4 3 】

[ ベクトル量の場合の例 ]

また、立体物形成指示装置 1 が受け入れた情報がベクトル量の情報である場合、図 4 の処理 S 1 において立体物形成指示装置 1 が決定する形状は、例えば円錐形となる。この例では、処理 S 1 0 において、各表現体の位置を表す座標情報 S を定めるとともに、円錐形の向き（底面から頂点までの向き）を、受け入れた情報に基づいて定める。

【 0 0 4 4 】

この向きの決定は、定めた座標情報 S ごとに、当該座標情報 S が表す位置における、受け入れた情報が表すベクトル量の向きを求めることにより行うことができる。例えば受け入れた物理量に関する情報において、ベクトル量の向きが位置の関数で表されていれば、当該関数の値（ベクトル量）を求めればよい。

20

【 0 0 4 5 】

この例によると、例えば立体物形成指示装置 1 が受け入れた情報が、電気力線または磁力線の分布に関する情報であった場合、表現空間内に設定された小空間ごとに、当該小空間に対応する三次元空間内の領域における電気力線または磁力線の強度の平均に応じた数だけの円錐形の表現体が、各表現体の位置における電気力線または磁力線の方向に頂点を向けた形で配置される。

【 0 0 4 6 】

また、この例では、座標情報は円錐形の底面である円の中心を表すものとしておき、互いに重なり合わない座標情報として、各表現体の円錐形に外接する直方体が互いに距離 G 以上離れている状態となるよう、各座標情報を決定する。

30

【 0 0 4 7 】

[ 密度を用いない例 ]

また、ベクトル量の情報を表す場合、配置密度を用いて表現することに代えて、次のように立体物の形成指示を生成してもよい。

【 0 0 4 8 】

すなわち、本実施の形態の別の例では、制御部 1 1 が、三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報として、電場や磁場など、ベクトル場を表す関数の入力を受け入れる。この関数は、三次元空間内の座標を引数として、当該座標におけるベクトルの大きさと向きとを表すものである。

40

【 0 0 4 9 】

制御部 1 1 は、この情報が表す物理量を表現する表現体の形状を決定する。ここでは、ベクトル（複数の数値の組）を表す情報となっているので、制御部 1 1 は、円錐形等、方向を示すことができる形状を選択するものとする。

【 0 0 5 0 】

制御部 1 1 は、受け入れた情報に基づき、広く知られた流線の描画方法を用いて、表現空間に対応する三次元空間内での仮想的な流線を得る。そして制御部 1 1 は、得られた流線に沿って複数の部分に区分した有向線分を生成する。ここで受け入れた情報に基づいて、

50

流線に沿った複数の有向線分が直接生成できるのであれば、当該方法（例えばウルフラムリサーチ社のマセマティカ（登録商標）におけるStreamPlot関数と同じ方法）によってもよい。

【0051】

制御部11は、当該生成した各有向線分について、当該有向線分の大きさで、当該有向線分の向きに沿って底面の中心から頂点に向けた円錐形を配置する立体物の形成指示を生成して、出力する指示ファイルに含めて3Dプリンタに出力する。

【0052】

なお、この例においても制御部11は、物体を配していない領域には透光性を有する材料を充填すべき旨の指示を指示ファイルに含める。このような処理によると、流線に沿って円錐形状が配列された立体物が形成されることとなる。

【0053】

[他の有体物の情報を含める例]

また本実施の形態において、立体物形成指示装置1は、物理量に関する情報に係る三次元空間に配される、物理量を表すものとは異なる有体物（背景物と呼ぶ）の形状に係る情報をさらに受け入れ、当該受け入れた背景物の形状に係る情報に基づいて、当該背景物の形状を形成する指示をさらに含む立体物形成指示を生成することとしてもよい。

【0054】

具体的に、立体物形成指示装置1が三次元空間における、物理量の分布に係る情報として、ある地域における大気中の水蒸気量の分布を表す情報を受け入れる場合、併せて当該物理量を表すものとは異なる有体物として、例えば当該地域の、上記三次元空間内での地形を表す情報を、背景物の形状情報として受け入れる。

【0055】

そして立体物形成指示装置1は、上記三次元空間内での上記地形に対応する表現空間内の領域に、当該受け入れた形状情報で表される背景物を形成する指示を生成し、また、上記物理量の分布を表す表現体の形状と座標位置とを決定して、当該表現体を表現空間内に形成する指示を生成する。そしてこれら生成した背景物の形成指示と、表現体の形成指示とを含む指示ファイルを生成して、3Dプリンタに出力する。

【0056】

なお、この例においても制御部11は、表現体も背景物も配していない領域には透光性を有する材料を充填すべき旨の指示を指示ファイルに含めておく。

【0057】

また、この例において制御部11は、背景物が三次元空間内で占める領域と表現体の配置領域とが少なくとも一部重なりあう場合する場合は、当該表現体を削除するか、または重なり合う配置部分だけ、表現体の一部を削除する（三次元モデルの処理で言えば、表現体の三次元モデルから背景物の三次元モデルの差をとって、表現体の三次元モデルを補正する、いわゆるブーリアン演算を行う）。

【0058】

この例によると、地形に応じて大気中の水蒸気量の分布がどのように変化するかが可視化される。

【0059】

[色を変更する例]

なお、ここまでの説明では、制御部11が、三次元空間における、予め定められた物理量の分布に係る情報を受け入れ、当該受け入れた情報に基づき、物理量を表現する表現体の形状を決定することとしていたが、制御部11は、さらに表現体の色を決定してもよい。

【0060】

例えば制御部11は、物理量の大きさによって表現体の色を異ならせてもよい。この場合、制御部11は、指示生成部24の動作として、用いられる色ごとに、形状決定部22により決定された形状の物体を、位置決定部23が決定した位置に形成する指示を含む立体物形成指示を生成する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 1 】

この色ごとの立体物形成指示は、この例においても、それぞれ S T L のフォーマットで記述し、また、表現体の配されない部分について透明樹脂等、透光性を有する材質を充填する指示を含める。

## 【 0 0 6 2 】

出力部 2 5 は、指示生成部 2 4 としての動作で生成された、各色の表現体に係る立体物形成指示を、入出力部 1 5 を介して 3 D プリンタ等に出力する。

## 【 0 0 6 3 】

さらに制御部 1 1 は複数種類の物理量をそれぞれ表す複数種類の表現体の形成指示を生成してもよい。この場合に、互いに異なる種類の物理量に対応する表現体を、それぞれ互いに異なる色で着色する指示を生成することとしてもよい。

10

## 【 0 0 6 4 】

## [ 空洞形成 ]

ここで、制御部 1 1 が色ごとの立体物形成指示において、表現体の配されない部分に、透明樹脂等、透光性を有する材質を充填する指示を含める際には、制御部 1 1 は、ある色（注目色と呼ぶ）についての立体物形成指示において、注目色以外の色の表現体が配置される領域（三次元的な領域）を、透光性を有する材質を充填しない空洞（何も形成しない空間）とする。このように、ある色の材質に係る指示において、当該色以外の色の材質が充填される三次元空間の領域については、当該領域内を空洞とする指示に設定することで、後に当該指示に従って 3 D プリンタを制御したとき、一定の領域内に 2 以上の材質が余分に積層（当該領域の体積以上の体）積の材質が積層）されるなどして結果物に不具合が生じることがなくなる。

20

## 【 0 0 6 5 】

## [ 小空間の別の例 ]

なお、ここまでの説明では、表現空間を分割した小空間は、 $(x_{min}, y_{min}, z_{min})$  から  $(x_{max}, y_{max}, z_{max})$  までの直方体状のものとしていたが、本実施の形態はこれに限られない。本実施の形態の一例では、表現空間を、極座標系  $(r, \theta, \phi)$  で動径方向（ $r$  方向）に  $r$  の単位、偏角  $\theta$  の方向に  $r \cdot \sin \theta$  の単位、偏角  $\phi$  の方向に  $r \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi$  の単位で分割した小空間が用いられてもよい。また、表現空間を、円柱座標系  $(r, \theta, z)$  で、動径方向（ $r$  方向）に  $r$  の単位、偏角  $\theta$  の方向に  $r \cdot \sin \theta$  の単位、高さ方向（ $z$  軸方向）に  $z$  の単位で分割した小空間を用いてもよい。

30

## 【 0 0 6 6 】

さらに、本実施の形態においては、どのような形状の小空間を用いるかを利用者が任意に設定できるようにしておいても構わない。

## 【 0 0 6 7 】

このように  $x, y, z$  直交座標系以外の座標系による小空間が用いられる場合は、各小空間の大きさ  $a$  は、各小空間  $B(i, j, k)$  に外接し、各辺が  $x, y, z$  軸のいずれかに一致するよう配置された各六面体の辺の長さのうち、最小の辺の長さを  $a(i, j, k)$  とし、この  $a(i, j, k)$ （ただし  $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, k = 1, 2, \dots$ ）のうち最小のものを  $a$  とする。

40

## 【 0 0 6 8 】

なお、小空間が直方体以外の  $(x, y, z$  直交座標系以外の座標系で規定された) 形状であっても、配置される表現体は  $x, y, z$  直交座標系で表現された形状であるので、生成される指示ファイルは、 $x, y, z$  直交座標系で表現された指示を含むものとなる。

## 【 0 0 6 9 】

## [ 表現体の配置の別の例 ]

また、表現体の配置方法として、ここまでの説明では、表現空間を小空間に分割し、各小空間内での物理量の統計値に基づいて表現体の当該小空間内での配置個数を定めることとしていたが、本実施の形態はこれに限られない。

## 【 0 0 7 0 】

50

本実施の形態のある例では、制御部 11 は、小空間ごとの物理量の統計値を演算した後、各小空間の統計値を  $N_b$  個のピン（値の範囲） $b_1, b_2, \dots, b_{N_b}$  に分類する。そして制御部 11 は、各小空間についての物理量の統計値がどのピンに属しているかにより、小空間をラベリングする。具体的には小空間  $B(i, j, k)$  ごとに、当該小空間  $B(i, j, k)$  に係る物理量の統計値がピン  $b_q$  ( $q = 1, 2, \dots, N_b$  のいずれか) に属している場合は、当該小空間  $B(i, j, k)$  を特定する情報とピン  $b_q$  を特定する情報とを関連付けて記憶部 12 に記録する。

【0071】

制御部 11 は、小空間の大きさ  $a$ 、決定された形状の物体の最小サイズ  $L_{min} = (x, y, z)$ 、表現体間におく最小の間隔  $G$  を用い、当該最小サイズの成分のうち、最も大きい値  $L = \max(x, y, z)$  を演算して、小空間の大きさ  $a$  と、ここで演算した最小サイズに関する情報  $L$  と、表現体間におく最小の間隔  $G$  とを用い、小空間に配置する表現体の最大数  $M$  を、例えば、

$$M = a / (L + G)$$

として求める。

【0072】

そして制御部 11 は、先に記録した情報を参照しつつ、ピン  $b_q$  ( $q = 1, 2, \dots, N_b$ ) ごとに、当該ピン  $b_q$  に係る統計値の範囲の情報（例えば当該範囲の中央値） $P_{mid\_q}$  ( $q = 1, 2, \dots, N_b$ ) を求める。また、各ピン  $b_q$  に係る統計値の範囲の情報  $P_{mid\_q}$  の最大値  $P_{max}$  を得ておく。制御部 11 は、また表現比率  $r = M / P_{max}$  を求めておく。

【0073】

次に制御部 11 は、各ピン  $b_q$  ごとに、当該ピン  $b_q$  を特定する情報に関連付けて記録されている情報で特定される小空間  $B(i, j, k)$  内に配置する表現体の数  $R(i, j, k)$  を、

$$R(i, j, k) = r \times P_{mid\_q}$$

として求める。

【0074】

そして制御部 11 は、小空間  $B(i, j, k)$  ごとに、当該小空間  $B(i, j, k)$  内に、互いに重なり合わない状態で、 $R(i, j, k)$  個の表現体を配置する位置を表す座標情報  $S(x_m, y_m, z_m)$  ( $m = 1, 2, \dots, R(i, j, k)$ ) を決定し、先に決定した形状の物体を、ここで決定した各座標情報の位置に配置する指示（STLフォーマットの指示）を生成して、この生成した指示を、出力する指示ファイルに追記していく。

【0075】

この例によると、表現体の数がピンごとに共通化されるため、実質的に等値とみなせる範囲（ピンの範囲）内にある小空間内では表現体の数が同数となり、見やすさが向上する場合がある。

【0076】

[等値曲面の形成指示]

また本実施の形態のある態様では、表現体を配する代わりに、あるいは表現体を配するとともに、入力された、三次元空間において定められた物理量の分布に係る情報に基づいて、物理量が等値となる位置の面を形成してもよい。この面の形成は、例えば次のようにして行う。

【0077】

すなわち、立体物形成指示装置 1 は、利用者から等値曲面に関するパラメータの情報として、どの値の面を形成するかを特定する指示を受け入れる。この指示は例えば、「最大値となっている面を形成する」旨の指示や、「最小値となっている面を形成する」旨の指示、あるいは「平均値となっている面を形成する」旨の指示など、所定の統計値近傍の面を形成する指示であってもよいし、値の指定を受けて、当該値近傍（当該指定された値との差の絶対値が予め指定されたしきい値を下回る値）の面を形成する指示であってもよい。

【0078】

10

20

30

40

50

立体物形成指示装置 1 は、入力された情報が表す三次元空間を表現するための領域（表現空間）の大きさを決定し、さらに小空間  $B(i, j, k)$  に分割する。この処理は既に述べた例と同様であるので繰り返しての説明を省略する。

【0079】

立体物形成指示装置 1 は、各小空間  $B(i, j, k)$ （ただし  $i = 1, 2, \dots$ 、 $j = 1, 2, \dots$ 、 $k = 1, 2, \dots$ ）について、当該小空間  $B(i, j, k)$  に対応する、受け入れた情報が表す三次元空間内の領域を特定し、当該特定した領域内で、受け入れた情報が表す物理量の統計値（なお物理量がベクトル量であれば、その大きさ等の統計値を用いればよい）を演算する。

【0080】

立体物形成指示装置 1 はさらに、指定された、形成すべき面を特定する情報を参照して、小空間  $B(i, j, k)$  のうち、小空間  $B(i, j, k)$  について演算した統計値が、当該情報で特定される値または当該値から所定の範囲（当該値との差の絶対値が予め指定されたしきい値を下回る範囲）にある小空間  $B(i, j, k)$  を特定する。

【0081】

立体物形成指示装置 1 は、特定した小空間  $B(i, j, k)$  の中心点の座標を用いて、ドロネー三角形分割など広く知られた三角形分割の方法により、立体の面を三角メッシュで表現した情報を生成する。

【0082】

そして立体物形成指示装置 1 は、当該生成した情報に含まれる三角形の各面を形成する指示を生成して、生成した指示を、出力する指示ファイルに追記する。

【0083】

本実施の形態のこの例によって生成された指示ファイルに基づいて 3D プリンタに立体物を形成させれば、指示された値の等値面が形成されて見えることとなるので、物理量が等値となっている面の空間的な分布が理解しやすくなる。

【0084】

さらに別の例では、小空間  $B(i, j, k)$  のうち、小空間  $B(i, j, k)$  について演算した統計値が、利用者から指定された、形成すべき面を特定する情報で特定される値または当該値から所定の範囲（当該値との差の絶対値が予め指定されたしきい値を下回る範囲）にある小空間  $B(i, j, k)$  を特定した後、立体の面を形成する指示を生成する代わりに、当該小空間  $B(i, j, k)$  を対象小空間として、この対象小空間についてのみ、図 4 の処理 S 4 以下の処理を実行し、対象小空間内にのみ表現体を形成する指示を含んだ指示ファイルを生成してもよい。

【0085】

[ 指示ファイルの分割 ]

また、本実施の形態では、制御部 11 は、生成した指示ファイルを 2 以上の別の指示ファイル（分割指示ファイルと呼ぶ）へ分割して、各分割指示ファイルごとに 3D プリンタに出力して分割指示ファイルごとの立体物を形成させてもよい。具体的に制御部 11 は、生成した指示ファイルを、利用者から指示された面で切断して 2 つの分割指示ファイルを生成する。ここで面の指示は、例えば  $z =$  の面で切断する指示等が考えられる。

【0086】

これによると、例えば、ある原子の s 軌道にある電子の存在確率分布を表す指示ファイルについて、当該原子の原子核の中心を通る面で切断して、2 つの分割指示ファイルを生成し、各分割指示ファイルに対応する 2 つの立体物を得ると、これら 2 つの立体物を、上記切断した面に対応する面同士を合わせて重ねるように配置すると、当該原子の s 軌道にある電子の存在確率分布の全体が観察でき、またこの立体物をそれぞれにわけて、上記切断した面に対応する面から見るようにすると、原子核の中心まわりに、電子の存在確率分布がどのように広がっているかを観察することも可能となる。

【0087】

[ 背景物の部分的形成 ]

10

20

30

40

50

また本実施の形態では、背景物を形成する範囲の指定を利用者から受け入れて、背景物のうち、当該形成範囲に含まれる部分のみを形成する指示を指示ファイルに含めることとしてもよい。

【 0 0 8 8 】

[ UV 焼 け 対 策 の 後 処 理 ]

また本実施の形態にて生成された指示ファイルに基づいて 3 D プリント等で形成させた立体物については、当該 3 D プリントでの形成過程で、紫外光を照射する工程が含まれる場合は、いわゆる紫外焼け ( UV 焼 け ) を軽減する処置を施してもよい。この処置の内容は広く知られた方法がいくつかあるが、どのような方法を採用しても構わない。

【 0 0 8 9 】

[ 積 層 方 向 の 考 慮 ]

また、本実施の形態の立体物形成指示装置 1 が生成した指示ファイルの出力先である 3 D プリントでは、入力された指示ファイルに基づいて、材料を所定軸方向 ( 例えば指示ファイルにおいて用いられている直交座標系の z 軸方向 ) に法線を有する薄い面内に形成し、当該薄い面を逐次的に法線方向に積層していくことで立体物を形成するのが一般的である。

【 0 0 9 0 】

そこで、立体物形成指示装置 1 は、表現空間が多面体であるとき、3 D プリントが当該多面体のいずれかの面を底面として、この底面に平行に複数の層を積層して立体物を形成するように座標系を設定して、指示ファイルを生成することができる。

【 0 0 9 1 】

しかしながら、このような座標系の指示ファイルにより立体物が形成される場合、積層方向にある面から形成された立体物を見ると、積層された透光性を有する材料の面 ( 以下積層面と呼ぶ ) と、それに隣接する積層面との間で若干の分散が生じることがあって、透光性を有する材料を通じて見た表現体が霞んで見える場合がある。

【 0 0 9 2 】

そこで本実施の形態の一例では、多面体の立体物を形成する指示を出力し、当該指示の出力先が当該指示に基づく立体物の形成が、材料を積層して形成する装置 ( 例えば 3 D プリント ) によって実行されるときには、その積層方向が、表現空間のいずれの面の法線とも異なる方向となるように制御してもよい。すなわち本実施の形態のある例では、積層方向が、形成される多面体のいずれの面の法線方向とも異なる方向となるよう、立体物の形成指示を生成する。

【 0 0 9 3 】

具体的に、本実施の形態のある例では、出力先の 3 D プリントが、表現空間の z 軸方向を法線方向とする面内に材料を配しつつ、当該面を積層していくものとする、本実施の形態の立体物形成指示装置 1 は、まずは通常通り、3 D プリントが当該多面体のいずれかの面を底面として、この底面に平行に複数の層を積層して立体物を形成するように座標系を設定して、指示ファイルを生成する。

【 0 0 9 4 】

そして立体物形成指示装置 1 は、図 7 に例示するように、当該生成した指示ファイルにおける x , y , z 直交座標系の原点 ( 0 , 0 , 0 ) から ( 1 , 1 , 1 ) の方向 ( 対角線方向 ) が、3 D プリントにおける積層方向 ( 積層面の法線方向、すなわち 3 D プリントにおける z 軸 ) となるよう、指示ファイルに含まれる座標の情報を回転して変換する。図 7 では、回転後の元の座標系の各軸を ( x , y , z ) として表している。これにより、回転前に ( p , q , r ) の位置を表す指示は、回転後には、( p , q , r ) に移動した状態とされ、3 D プリントに対して、回転後の z 軸方向に材料を積層して、立体物を形成する指示ファイルとなる。このような回転変換の方法は、回転行列を用いる方法など、広く知られているのでここでの詳しい説明を省略する。

【 0 0 9 5 】

なお、ここで回転角は、図 7 に例示したものに限られず、物体を配していない領域に充填される透光性を有する材質に応じて異ならせてもよい。すなわち、空気中からこの透光性

10

20

30

40

50

を有する材質に光が進入するときの屈折率と、積層された透光性を有する材質の、隣接する層間での屈折率を考慮して、形成する立体物（例えば六面体）に進入する光が、当該立体物の内部に配された有体物に、できるだけ少ない数の透光性を有する材質の層を通過して到達するよう、回転角を選択してもよい。また、このような回転角は例えば実験的に定めてもよい。

【0096】

この例に係る本実施の形態の立体物形成指示装置1は、指示ファイルに含まれる、表現体を配置する位置を表す座標情報 $S(x_m, y_m, z_m)$  ( $m = 1, 2, \dots, R(i, j, k)$ )のそれぞれに対して、利用者から入力された、あるいは、所定の方法で定められた回転角度だけ回転した座標系での値に変換し、指示ファイルの内容を更新して出力する。

10

【0097】

この更新後の指示ファイルに基づいて3Dプリンタが立体物を形成すると、その積層方向（積層面の法線方向）が、上記回転角に応じた方向となり、例えば上記対角線方向を積層面の法線として、この積層面内に材料を配する工程を繰り返して材料を積層して立体物が形成される。

【0098】

このため、形成された立体物のどの面からも、若干の分散が生じ得る面をまたぐことなく（あるいは比較的少数の面をまたいで）、透光性を有する材質に封じられた表現体を視認可能な状態となる。

【0099】

[重なり除去の処理]

またここまでの説明で、立体物形成指示装置1は表現体同士が重なり合わないよう表現体の位置を設定していたが、本実施の形態の立体物形成指示装置1は、表現体同士が重なり合うことを許容してもよい。

20

【0100】

この場合、形成する色が互いに異なる表現体同士（あるいは表現体と背景物）等、色が互いに異なる複数の物体が重なりあう場所では、その重なりあった部分（交差部分）の色が未定義となる。

【0101】

そこで、本実施の形態の立体物形成指示装置1は、次のように処理を行ってもよい。具体的に立体物形成指示装置1は、既に述べた方法で指示ファイルを生成した後、次の処理を行う。すなわち、指示ファイルに含まれる、ポリゴンで表現された物体（以下、ポリゴン立体と呼ぶ）のうち、未選択のものを一つ選択し、当該選択したポリゴン立体とは異なる未選択のポリゴン立体の各々との組み合わせについて、一对のポリゴン立体が交差部分（同一の空間的領域を占める部分）を有するか否かを判断する。そして、交差部分を有すると判断したときには、選択したポリゴン立体を、交差部分と、それ以外の部分（2以上であり得る）とに分割する。

30

【0102】

立体物形成指示装置1は、分割して得たポリゴン立体のそれぞれについて、交差部分であるか否かを判定し、交差部分であると判定した部分については、重なり合っているポリゴン立体のうち、一方のポリゴン立体の交差部分を残して、他方のポリゴン立体の交差部分を除去する。ここでは例えば分割した、選択しているポリゴン立体の交差部分を除去する。

40

【0103】

これにより選択しているポリゴン立体の交差部分が除去され、重なり合っている他方のポリゴン立体が、交差部分に配された状態となる。

【0104】

なお、ポリゴン立体の分割は、ポリゴン立体間のブーリアン演算を用いた広く知られた方法で行ってもよいし、重なり合っているポリゴン立体の面（ポリゴン）同士が交差する線分を求め、当該線分と、元のポリゴンの辺とで構成される新たなポリゴン立体を形成することで、分割を行ってもよい。

50

## 【 0 1 0 5 】

また、あるポリゴン立体 P を分割して得られた各部が他のポリゴン立体（ポリゴン立体 P 以外のポリゴン立体）の内部にあるか否か、つまり交差部分であるか否かについては、長島忍「多面体の内外判定の新しい方法」、図学研究 第 37 号、昭和 60 年 9 月、p.15-19 ([https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsjgs1967/19/2/19\\_2\\_15/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsjgs1967/19/2/19_2_15/_pdf)) に記載の方法（便宜的に面積法と呼ぶ）、またはより簡素な交差数判定の方法 ([http://www.nttpc.co.jp/technology/number\\_algorithm.html](http://www.nttpc.co.jp/technology/number_algorithm.html)) を採用できる。

## 【 0 1 0 6 】

このとき、通常は比較的簡素な交差数判定の方法を採用し、交差数判定で用いる水平線（走査線）がいずれかのポリゴン立体の頂点を通過する場合、あるいはいずれかのポリゴン立体の面または辺に平行となってしまう、交差数判定によっては正確な判定ができない状況にあると判断されるときには、面積法を用いることとしてもよい。

10

## 【 0 1 0 7 】

これにより STL のフォーマットで記述されている複数の色の物体に対応するポリゴン立体が重なりあっている範囲を検出し、いずれかの色の材料を配した状態に設定できる。

## 【 0 1 0 8 】

また、形成する色が同じ表現体同士（あるいは表現体と背景物）等、同一の色（材質）で形成されるべき物体に対応する複数のポリゴン立体が重なりあう場所では、当該互いに重なり合う複数のポリゴン立体を、その和集合の形状のポリゴン立体に置き換えることとしてもよい。

20

## 【 0 1 0 9 】

この場合も、立体物形成指示装置 1 は、ポリゴン立体を順次選択し、他の未選択のポリゴン立体と交差部分を有するか否かを調べ、交差部分を有する場合に、選択しているポリゴン立体を、交差部分と、それ以外の部分とに分割し、交差部分について重なり合っているポリゴン立体のうち、一方のポリゴン立体の交差部分を残して、他方のポリゴン立体の交差部分を除去する。ここでは分割した、選択しているポリゴン立体の交差部分を除去する。これにより一対のポリゴン立体の和集合に相当するポリゴン立体が得られる。

## 【 0 1 1 0 】

## [ ボクセルを用いる例 ]

また、ここまでの説明において指示ファイルに含まれる指示は、STL のフォーマットで記述するものとしたが、本実施の形態はこれに限られず、ボクセルとして記述されてもよい。

30

## 【 0 1 1 1 】

## [ 実施形態の効果 ]

本実施の形態によると、物理量を立体物として視覚化でき、物理学的な理解を促進できる視覚表現を形成できる。

## 【 実施例 】

## 【 0 1 1 2 】

## [ ヘリウム原子の s 軌道 ]

次に、一例として、ヘリウム原子の s 軌道における電子の存在確率の空間的分布を視覚化する例について説明する。この例では、s 軌道の電子の存在確率を表す表現体と、ヘリウムの原子核を表す背景物とを形成するための指示を生成することとする。

40

## 【 0 1 1 3 】

ヘリウム原子における電子の s 軌道の動径分布は理論的に求めることができ、当該動径分布が原子核の中心からの距離に対応する電子の存在確率を表す。

## 【 0 1 1 4 】

ここで立体物形成指示装置 1 に対して、ヘリウム原子における電子の s 軌道電子の存在確率を表す情報（存在確率の数式）を入力すると、電子の存在確率の分布が、スカラー量であるので、立体物形成指示装置 1 は、表現体の形状を「球」と決定する。

## 【 0 1 1 5 】

50

立体物形成指示装置 1 は、次に、表現空間の大きさを、指示の出力先となる 3D プリンタが形成可能な最大の大きさとしておく。

【0116】

ヘリウム原子の s 軌道における電子の存在確率は、原子核の中心を中心とした球対称であるため、立体物形成指示装置 1 は、原子核の中心を中心とした立方体状の表現空間を設定する。そしてこの表現空間を複数の小空間  $B(i, j, k)$  に分割する。ここでは表現空間の中心（原子核の中心に対応する）を原点 ( $r = 0$ ) とした極座標系 ( $r, \theta, \phi$ ) を用いて小空間  $B(i, j, k)$  を規定するものとする。

【0117】

立体物形成指示装置 1 は、各小空間  $B(i, j, k)$  に対応する、受け入れた情報が表す三次元空間内の領域を特定し、当該特定した領域内で、受け入れた情報が表す物理量の統計値を演算する。そしてこの統計値に基づき、当該統計値に比例した量として各小空間  $B(i, j, k)$  における表現体の個数  $R(i, j, k)$  を決定する。この例では、 $r$  が同じ値となる（つまり原点から等距離にある）複数の小空間  $B(i, j, k)$  での物理量の統計値が同じ値となる（つまり等値面となる）ので、原点から等距離にある小空間  $B(i, j, k)$  では、同じ  $R(i, j, k)$  個の表現体が配されることとなる。

10

【0118】

立体物形成指示装置 1 は、小空間  $B(i, j, k)$  内に、互いに重なり合わない状態で、 $R(i, j, k)$  個の表現体を配置する位置を表す座標情報  $S(x_m, y_m, z_m)$  ( $m = 1, 2, \dots, R(i, j, k)$ ) を決定する。

20

【0119】

ここでは表現体の形状を「球」と決定したので、各小空間  $B(i, j, k)$  内に、それぞれ  $R(i, j, k)$  個の球をランダムに配置する指示 (STL フォーマットの指示) を生成して、この生成した指示を指示ファイルに出力する。

【0120】

さらに立体物形成指示装置 1 は、得られた指示ファイルに、原子核を表す背景物データを含める。本実施の形態の例では、表現空間の中心を中心とし、表現体よりも大きい半径を有する球状の物体を形成する指示を含める。このとき、当該背景物に重なりあう位置にある表現体の形成指示は削除する。

【0121】

さらに立体物形成指示装置 1 は、物体を配していない領域には透光性を有する材料を充填するべき旨の指示を含める。この指示は、表現空間全体を表す立方体形状を、透光性を有する材料で充填する指示データから、先に決定した各小空間  $B(i, j, k)$  にそれぞれ  $R(i, j, k)$  個ずつ配した表現体の形状と、表現空間の中心に配した背景物の形状とをくりぬいた形状を形成する指示とする。このような指示は、いわゆる 3D モデリングにおけるブーリアン演算と同様の処理により行うことができ、広く知られているので、ここでの詳しい説明は省略する。

30

【0122】

利用者は得られた指示ファイルを、3D プリンタに出力する。これにより、球状に分布した電子の存在密度を表す立体物が形成される。図 5 は、上記の実施例により得られた形成指示に基づいて、3D プリンタを用いて形成したヘリウム原子の s 軌道における電子の存在確率の空間的分布を視覚化した例を示す。

40

【0123】

[分子軌道法]

分子軌道法によって得られた近似的な解であってもヘリウム原子の例と同様に、立体物形成指示装置 1 に対して、所望の分子（例えばエチレン分子）内の電子の存在確率を分子軌道法 (MO) によって演算した情報（各電子の存在確率の数式）を入力する。この例でも電子の存在確率の分布はスカラー量であるので、立体物形成指示装置 1 は、表現体の形状を「球」と決定する。なお、ここでは一例としてエチレン分子の中心として、 $C = C$  結合の中点を表現空間の原点 ( $0, 0, 0$ ) とし、電子の存在確率が演算されているものとす

50

る（そうでない場合は平行移動の演算により、そのように設定しておく）。

【0124】

立体物形成指示装置1は、次に、表現空間の大きさを、指示の出力先となる3Dプリンタが形成可能な最大の大きさとしておく。

【0125】

分子軌道における電子の存在確率は、一般に球対称ではないので、利用者の指示により立体物形成指示装置1は、直方体状の表現空間を設定し、この表現空間を複数の小空間B( $i, j, k$ )に分割する。ここでは表現空間の中心（原子核の中心に対応する）を原点( $r = 0$ )とし、直交座標系( $x, y, z$ )を用いて小空間B( $i, j, k$ )を規定するものとする。

【0126】

立体物形成指示装置1は、各小空間B( $i, j, k$ )に対応する、受け入れた情報が表す三次元空間内の領域を特定し、当該特定した領域内で、受け入れた情報が表す物理量の統計値を演算する。そしてこの統計値に基づき、当該統計値に比例した量として各小空間B( $i, j, k$ )における表現体の個数 $R(i, j, k)$ を決定する。

【0127】

立体物形成指示装置1は、小空間B( $i, j, k$ )内に、互いに重なり合わない状態で、 $R(i, j, k)$ 個の表現体を配置する位置を表す座標情報 $S(x_m, y_m, z_m)$ ( $m = 1, 2, \dots, R(i, j, k)$ )を決定する。

【0128】

ここでは表現体の形状を「球」と決定したので、各小空間B( $i, j, k$ )内に、それぞれ $R(i, j, k)$ 個の球をランダムに配置する指示(STLフォーマットの指示)を生成して、この生成した指示を指示ファイルに出力する。

【0129】

さらに立体物形成指示装置1は、得られた指示ファイルに、分子の骨格（分子を構成する各原子の原子核、または原子核と原子核間を結ぶ線分（いわゆるボールスティックモデルによる分子像））を表す背景物データを含める。本実施の形態の例では、分子を構成する各原子の中心に、表現体よりも大きい半径を有する球状の物体を形成する指示を含める。このとき、当該背景物に重なりあう位置にある表現体の形成指示は削除する。

【0130】

さらに立体物形成指示装置1は、物体を配していない領域には透光性を有する材料を充填すべき旨の指示を含める。この指示は、表現空間全体を表す立方体形状を、透光性を有する材料で充填する指示データから、先に決定した各小空間B( $i, j, k$ )にそれぞれ $R(i, j, k)$ 個ずつ配した表現体の形状と、背景物の形状とをくりぬいた形状を形成する指示とする。

【0131】

利用者は得られた指示ファイルを、3Dプリンタに出力する。これにより、分子の存在密度を表す立体物が形成される。

【0132】

なおこのとき立体物形成指示装置1は、表現空間を通る任意の面で分断した複数の分割指示ファイルを生成してもよい。一例としてエチレン分子の場合、 $C = C$ 結合の線を含む面（例えばZ軸方向の中心を通り、Z軸を法線とする面に設定すればよい）で切断して2つの分割指示ファイルとしてもよい。

【0133】

利用者は得られた分割指示ファイルを、3Dプリンタに出力して、2つの電子の存在密度を表す立体物を形成させる。そして得られた2つの立体物を、上記切断の面に対応する面を合わせるように重ねて配置すると、エチレン分子等の分子における電子の存在確率分布が観察できる。また、各立体物を、上記切断の面に対応する面から観察すれば、 $C = C$ 結合の線の周りにどのように電子の存在確率が分布するのかを観察可能となる。

【0134】

10

20

30

40

50

図 6 ( a ) , ( b ) は、フラーレン分子の電子密度分布を表す情報に基づいて表現体を形成する指示を生成し、背景物として各原子の原子核位置に球体を配し、共有結合している原子同士を円柱で結んだ、いわゆるボールスティックモデルを形成する指示を含めた指示ファイルが表す情報の例を示す。

【 0 1 3 5 】

図 6 ( a ) , ( b ) のいずれにおいても、背景物であるボールスティックモデルは、表現空間の下側半分的位置までに限っている。これにより、原子核と電子密度の分布状態と、電子密度の分布自体とがいずれも見やすく形成される。

【 0 1 3 6 】

また図 6 ( a ) ではすべての表現体を形成する指示を含めた例を表し、図 6 ( b ) は、利用者が指定した値における等値面に含まれる小空間内の表現体のみを形成する指示を含めた例を表す。なお、図 6 では x y 面が黒色で下方に示されているが、この面は表現空間の底部を表すもので、形成されるものではない。

【 0 1 3 7 】

[ 地形による風 ]

次に、山岳地帯に発生する風向、風速の情報を立体像として示す例について説明する。この例では、予めある地域での立体的な風向、風速の情報を得ておく。この情報は広く知られた気象観測の方法を用いて得るか、あるいは、気象の数値予報により得ることができるので、ここでの詳しい説明を省略する。

【 0 1 3 8 】

また、当該地域の地形について、国土地理院が提供する 3 D 地図用のデータを用いて得ておき、背景物のデータとする。

【 0 1 3 9 】

立体物形成指示装置 1 に対して、x , y , z 座標系の各位置での風向、風速の情報を入力すると、風向、風速の情報は、ベクトル量であるので、立体物形成指示装置 1 は、表現体の形状を「円錐形」と決定する。

【 0 1 4 0 】

立体物形成指示装置 1 は、次に、表現空間の大きさを、指示の出力先となる 3 D プリンタが形成可能な最大の大きさとしておく。

【 0 1 4 1 】

立体物形成指示装置 1 は、立方体状の表現空間を設定し、表現空間を複数の小空間 B ( i , j , k ) に分割する。ここでは x , y , z 直交座標系を用いて小空間 B ( i , j , k ) を規定するものとする。

【 0 1 4 2 】

立体物形成指示装置 1 は、各小空間 B ( i , j , k ) に対応する、受け入れた情報が表す三次元空間内の領域を特定し、当該特定した領域内で、受け入れた情報が表す物理量の統計値を演算する。具体的には小空間 B ( i , j , k ) に対応する、受け入れた情報が表す三次元空間内の領域内での風向、風速の情報の平均を得る。この平均は風向、風速を表すベクトル量の各成分の平均を演算することで得られる。

【 0 1 4 3 】

立体物形成指示装置 1 は、この統計値に基づき、当該統計値に比例した量として各小空間 B ( i , j , k ) における表現体である円錐の向き（底面の円の中心から頂点に向かう方向）、及び長さ（底面から頂点までの長さ）を決定する。ここでの例では、円錐の向きを風向の方向とし、長さを風速に比例した長さに決定すればよい。

【 0 1 4 4 】

立体物形成指示装置 1 は、小空間 B ( i , j , k ) ごとに、上記の方法で定めた向きに、定めた長さの円錐を、当該小空間 B ( i , j , k ) の中心に配置する指示（STLフォーマットの指示）を生成して、この生成した指示を指示ファイルに出力する。

【 0 1 4 5 】

さらに立体物形成指示装置 1 は、得られた指示ファイルに、地形を表す背景物データを含

10

20

30

40

50

める。本実施の形態の例では、地形の  $x, y, z$  座標が、風向、風速の情報の  $x, y, z$  座標に一致するように、背景物データを平行移動、回転、拡大縮小する。この処理は広く知られているので、ここでの詳しい説明を省略する。またこのとき、当該背景物に重なりあう位置にある表現体の形成指示を削除する。

【0146】

さらに立体物形成指示装置1は、物体を配していない領域には透光性を有する材料を充填すべき旨の指示を含める。この指示は、表現空間全体を表す立方体形状を、透光性を有する材料で充填する指示データから、先に決定した各小空間  $B(i, j, k)$  にそれぞれ配した表現体の形状と、背景物の形状とをくりぬいた形状を形成する指示とする。このような指示は、いわゆる3Dモデリングにおけるブリアン演算と同様の処理により行うことができ、広く知られているので、ここでの詳しい説明は省略する。

10

【0147】

利用者は得られた指示ファイルを、3Dプリンタに出力する。これによりある地形を有する場所での風向、風速を表す立体物が形成される。

【0148】

[震源モデル]

さらに、震源モデルの例について説明する。この例では、予めある地域(緯度経度の範囲)内で所定期間に発生した地震ごとの、少なくとも震源の位置情報(緯度、経度、及び深さ)を得ておく。さらに、当該地震ごとの最大震度、あるいは地震の規模を表すマグニチュードの値を併せて得ておいてもよい。

20

【0149】

また、この地域の地形について、国土地理院が提供する3D地図用のデータを用いて得ておき、背景物のデータとしてもよいし、地表面を表す平面のデータを背景物のデータとしてもよい。あるいは、背景物のデータがなくてもよい。

【0150】

立体物形成指示装置1に対して、上記震源の位置情報を、 $x$ (例えば緯度)、 $y$ (例えば経度)、 $z$ (深さ)の座標系の各位置として入力する。このとき、地震の位置を表す点ごとの情報は、例えば点の情報であるとして、立体物形成指示装置1は、表現体の形状を、「球」(または点の情報であれば、正四面体としてもよい)と決定する。

【0151】

立体物形成指示装置1は、次に、表現空間の大きさを、指示の出力先となる3Dプリンタが形成可能な最大の大きさとしておく。

30

【0152】

立体物形成指示装置1は、立方体状の表現空間を設定し、表現空間を複数の小空間  $B(i, j, k)$  に分割する。ここでは  $x, y, z$  直交座標系を用いて小空間  $B(i, j, k)$  を規定するものとする。

【0153】

立体物形成指示装置1は、各小空間  $B(i, j, k)$  に対応する、受け入れた情報が表す三次元空間内の位置を特定し、当該特定した領域内で、受け入れた情報によって当該小空間に含まれる地震の回数(累算値)を演算する。

40

【0154】

立体物形成指示装置1は、この累算値に基づき、当該累算値に比例した量として各小空間  $B(i, j, k)$  を中心とする、表現体である球体の大きさを決定する。ここでの例では、累算値が大きいほど半径の大きい球と決定すればよい。

【0155】

立体物形成指示装置1は、小空間  $B(i, j, k)$  ごとに、上記の方法で定めた大きさの球を、当該小空間  $B(i, j, k)$  がその中心となるように配置する指示(STLフォーマットの指示)を生成して、この生成した指示を指示ファイルに出力する。

【0156】

さらに立体物形成指示装置1は、背景物データがあれば、ここで得られた指示ファイルに

50

、当該背景物データを含める。本実施の形態のある例では、地形の  $x$  ,  $y$  ,  $z$  座標が、震源の情報の  $x$  ,  $y$  ,  $z$  座標に一致するよう、背景物データを平行移動、回転、拡大縮小する。この処理は広く知られているので、ここでの詳しい説明を省略する。またこのとき、当該背景物に重なりあう位置にある表現体の形成指示を削除する。

【 0 1 5 7 】

さらに立体物形成指示装置 1 は、物体を配していない領域には透光性を有する材料を充填すべき旨の指示を含める。この指示は、表現空間全体を表す立方体形状を、透光性を有する材料で充填する指示データから、先に決定した各小空間  $B(i, j, k)$  にそれぞれ配した表現体の形状と、背景物の形状とをくりぬいた形状を形成する指示とする。このような指示は、いわゆる 3D モデリングにおけるブーリアン演算と同様の処理により行うことができ、広く知られているので、ここでの詳しい説明は省略する。

10

【 0 1 5 8 】

利用者は得られた指示ファイルを、3D プリンタに出力する。これによりある地域での震源の立体的位置を表す立体物が形成される。

【 0 1 5 9 】

また、地震ごとのマグニチュードの値を併せて入力する場合は、球の半径をマグニチュードに基づいて定めてもよい。この場合、小空間  $B(i, j, k)$  内で複数の震源がある場合は、そのうちの最大のマグニチュードに基づいて球の半径を定めてもよいし、その平均に基づいて球の半径を定めてもよい。

20

【 0 1 6 0 】

さらにこの例の立体物形成指示装置 1 は、地震ごとの発震機構解の入力を受けて、地震ごとの主張力軸と主圧力軸とを示してもよい。この場合、物理量は面を表す量となるので、立体物形成指示装置 1 は、表現体の形状を、(震源の位置で交差する) 2 つの「平面」と決定することとなる。

【 0 1 6 1 】

[ 他の例 ]

さらにここまでに列挙した例は、一例にすぎず、ほかにも銀河系等の星の分布、ビックバン時の真空中のエネルギーの揺らぎ、ダークマターの分布、土星の輪など宇宙空間中のダストの分布等であってもよいし、背景像についても太陽系の惑星や彗星などの天体を表すものであってもよい。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 6 2 】

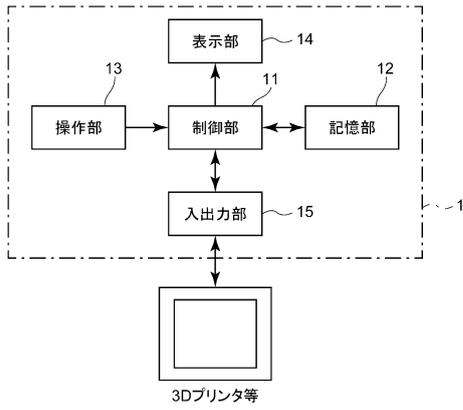
1 立体物形成指示装置、 1 1 制御部、 1 2 記憶部、 1 3 操作部、 1 4 表示部、 1 5 入出力部、 2 1 受入部、 2 2 形状決定部、 2 3 位置決定部、 2 4 指示生成部、 2 5 出力部。

40

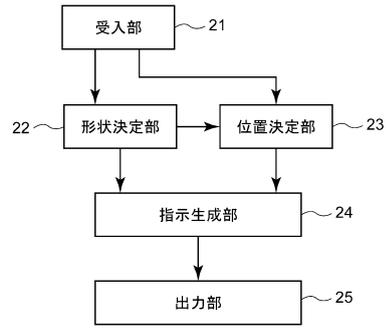
50

【図面】

【図 1】



【図 2】

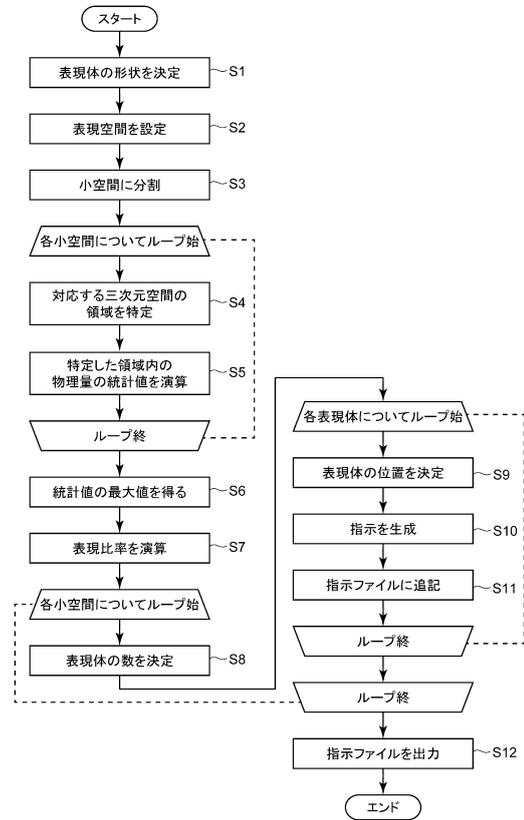


10

【図 3】

物理量の種類	表現体の形状
スカラー量	球
ベクトル量	円錐形

【図 4】

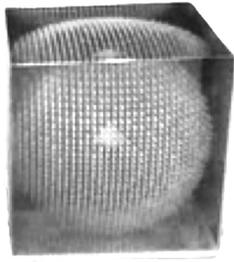


20

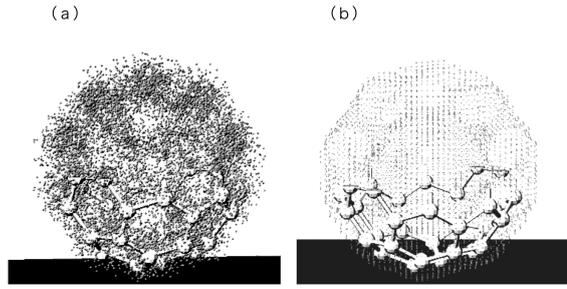
30

40

【 5 】

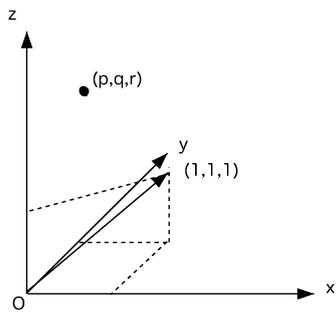


【 6 】

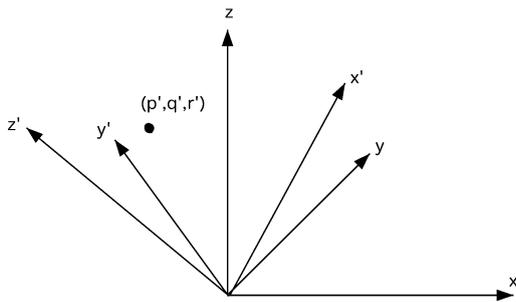


10

【 7 】



20



30

40

50

## フロントページの続き

度、平成28年度、文部科学省、科学技術試験研究委託事業（事業名「元素戦略磁性材料研究拠点」）、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

ティ内

(72)発明者 長代 新治

東京都文京区本郷四丁目1番5号 石渡ビル301号室 株式会社クロスアビリティ内

(72)発明者 古賀 良太

東京都文京区本郷四丁目1番5号 石渡ビル301号室 株式会社クロスアビリティ内

(72)発明者 古川 祐貴

東京都文京区本郷四丁目1番5号 石渡ビル301号室 株式会社クロスアビリティ内

審査官 清水 研吾

(56)参考文献 特開2012-133796(JP,A)

特表2015-507092(JP,A)

特開平03-246772(JP,A)

特開平07-230480(JP,A)

特開2003-131558(JP,A)

特開2010-197419(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B29C 64/00 - 64/40