

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7567723号
(P7567723)

(45)発行日 令和6年10月16日(2024.10.16)

(24)登録日 令和6年10月7日(2024.10.7)

(51)国際特許分類

F I

B 2 3 F 5/04 (2006.01) B 2 3 F 5/04

B 2 3 F 23/12 (2006.01) B 2 3 F 23/12

G 0 5 B 19/4069(2006.01) G 0 5 B 19/4069

請求項の数 9 (全26頁)

(21)出願番号	特願2021-139738(P2021-139738)	(73)特許権者	000001247
(22)出願日	令和3年8月30日(2021.8.30)		株式会社ジェイテクト
(65)公開番号	特開2023-33825(P2023-33825A)		愛知県刈谷市朝日町一丁目1番地
(43)公開日	令和5年3月13日(2023.3.13)	(74)代理人	110000648
審査請求日	令和6年2月16日(2024.2.16)		弁理士法人あいち国際特許事務所
		(72)発明者	吉永 克仁
			愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 株式
			会社ジェイテクト内
		(72)発明者	齋藤 明
			愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 株式
			会社ジェイテクト内
		審査官	野口 絢子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 歯車研削加工シミュレーション方法および装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータにより、ねじ状砥石を用いて工作物を研削加工して歯車を創成する歯車研削加工のシミュレーションを行う歯車研削加工シミュレーション方法であって、

前記ねじ状砥石の軸方向断面において前記ねじ状砥石の凸刃の断面形状を定義する砥石刃断面点群を生成し、

前記砥石刃断面点群を、前記ねじ状砥石の前記凸刃の延在方向に配置することにより、前記ねじ状砥石の前記凸刃を3次元モデル化した砥石モデルを生成し、

前記工作物の表面上の工作物定義点群、および、前記工作物定義点群のそれぞれの点を一端とし前記工作物の径方向に延びる線分群により定義された工作物モデルを生成し、

前記工作物モデルを基準とする座標系において、時刻 t_n (n は序数)において前記砥石刃断面点群を構成する隣り合う2つの砥石刃断面点 $P_t(i, t_n)$, $P_t(i+1, t_n)$ の区間である砥石定義点区間 $S_e(i, t_n)$ と、時刻 t_n の Δt 後である時刻 t_{n+1} において隣り合う2つの砥石刃断面点 $P_t(i, t_{n+1})$, $P_t(i+1, t_{n+1})$ の区間である砥石定義点区間 $S_e(i, t_{n+1})$ とにより表される砥石定義点区間通過エリアを決定し、

前記工作物モデルを構成する前記工作物定義点群の各工作物定義点が、当該工作物定義点を一端とする線分の方

前記包含チェックにおいて内部に位置すると判定された前記工作物定義点を一端とする

対象線分と前記砥石定義点区間通過エリアを構成する面との交点を算出し、

前記対象線分的一端に位置する前記工作物定義点を前記交点の座標に変更し、

変更された前記工作物定義点群により定義された前記工作物モデルを出力する、歯車研削加工シミュレーション方法。

【請求項 2】

前記砥石定義点区間通過エリアは、前記工作物モデルの周方向角度、軸方向位置および線分長により表される 3 次元極座標系、または、前記工作物モデルの前記周方向角度および前記軸方向位置により表される 2 次元極座標系において決定され、

前記包含チェックは、前記 3 次元極座標系または前記 2 次元極座標系において算出される、請求項 1 に記載の歯車研削加工シミュレーション方法。

10

【請求項 3】

さらに、

前記 3 次元極座標系または前記 2 次元極座標系において、前記工作物定義点群の一部である複数の工作物定義点を含むように前記工作物モデルを複数の工作物分割エリアに分割し、

前記砥石定義点区間通過エリアの決定後に、前記 2 次元極座標系において、前記工作物分割エリア毎に、前記砥石定義点区間通過エリアが干渉するか否かの干渉チェックを行い、

前記包含チェックは、前記干渉チェックにおいて前記砥石定義点区間通過エリアが干渉する前記工作物分割エリアを対象として、前記 2 次元極座標系において算出される、請求項 2 に記載の歯車研削加工シミュレーション方法。

20

【請求項 4】

前記砥石定義点区間通過エリアは、点 $P_t(i, t_n)$ 、点 $P_t(i+1, t_n)$ 、点 $P_t(i, t_{n+1})$ 、点 $P_t(i+1, t_{n+1})$ の 4 点により区画されるエリアであり、

前記砥石定義点区間通過エリアを構成する前記面は、前記 4 点のうち隣り合う点同士を接続する線および前記 4 点の対角の 2 点を接続する線により表される 2 個の三角形平面であり、

前記交点は、前記対象線分と前記 2 個の三角形平面の一方との交点である、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の歯車研削加工シミュレーション方法。

【請求項 5】

30

さらに、前記歯車の軸直交方向断面において前記歯車の目標歯形の断面形状を定義する目標歯形断面点群を生成し、

前記砥石刃断面点群は、前記目標歯形断面点群の各点において、前記歯車の目標歯形における歯面法線ベクトルと前記ねじ状砥石の前記凸刃における砥石刃法線ベクトルとが同軸上に位置するように生成される、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の歯車研削加工シミュレーション方法。

【請求項 6】

前記砥石刃断面点群は、多条ねじを構成する複数の前記凸刃の断面形状を定義する、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の歯車研削加工シミュレーション方法。

【請求項 7】

40

前記砥石モデルは、前記砥石刃断面点群を、前記ねじ状砥石の所定角度毎に、かつ、前記ねじ状砥石のリードから求められる所定軸方向位置毎に配置することにより生成される、請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の歯車研削加工シミュレーション方法。

【請求項 8】

前記砥石モデルにおいて、前記砥石刃断面点群のそれぞれを構成する隣り合う 2 つの前記砥石刃断面点により表される砥石定義点区間毎に、研削量を記憶する、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の歯車研削加工シミュレーション方法。

【請求項 9】

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の歯車研削加工シミュレーション方法を実行する歯車研削加工シミュレーション装置。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、歯車研削加工シミュレーション方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、ねじ状砥石を用いて工作物を研削して歯車の歯面を創成する歯車研削加工方法が記載されている。工作物を回転させ、かつ、ねじ状砥石を回転させた状態で、工作物とねじ状砥石とを相対移動することにより、荒加工により予め歯車の歯形が形成された工作物において歯面を研削加工することができる。なお、歯車研削加工は、一定の取り代を研削する歯面の仕上加工に加えて、歯形方向の修整や歯すじ方向の修整を行うこともできる。

10

【0003】

特許文献2には、ギヤスカイピング加工に関するシミュレーション装置について記載されている。ギヤスカイピング加工は、工作物を回転させ、かつ、スカイピングカッタを回転させた状態で、工作物とスカイピングカッタとを相対移動することにより、工作物に歯形を創成する加工である。ギヤスカイピング加工では、スカイピングカッタのすくい面により、工作物を加工する。そこで、当該シミュレーションでは、スカイピングカッタモデルのすくい面の軌跡と工作物モデルとの干渉点を次々に算出して、工作物モデルの形状を変更している。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2015-123569号公報

【文献】特開2019-111629号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ねじ状砥石を用いた歯車研削加工についてのシミュレーションを行うことが求められている。シミュレーションを行うことができれば、より高精度な歯車を創成することが可能なねじ状砥石の凸刃の形状を設計したり、試し加工を行うことなく最適な研削加工条件を決定したりすることができるようになる。

30

【0006】

ここで、ギヤスカイピング加工についてのシミュレーション技術は既の実現されている。しかし、切削加工であるギヤスカイピング加工と歯車研削加工とでは、加工方法が異なる。例えば、ギヤスカイピング加工においては、スカイピングカッタのすくい面のみが工作物を加工する部位となるのに対して、ねじ状砥石を用いた歯車研削加工においては、ねじ状砥石の凸刃全ての表面が工作物を加工する部位となる。そのため、ギヤスカイピング加工についてのシミュレーション技術を、そのまま歯車研削加工のシミュレーションに適用することができない。

40

【0007】

本発明は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、ねじ状砥石を用いて工作物を研削加工して歯車を創成する歯車研削加工のシミュレーションを行うことが可能な歯車研削加工シミュレーション方法および装置を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様は、

コンピュータにより、ねじ状砥石を用いて工作物を研削加工して歯車を創成する歯車研削加工のシミュレーションを行う歯車研削加工シミュレーション方法であって、

前記ねじ状砥石の軸方向断面において前記ねじ状砥石の凸刃の断面形状を定義する砥石

50

刃断面点群を生成し、

前記砥石刃断面点群を、前記ねじ状砥石の前記凸刃の延在方向に配置することにより、前記ねじ状砥石の前記凸刃を3次元モデル化した砥石モデルを生成し、

前記工作物の表面上の工作物定義点群、および、前記工作物定義点群のそれぞれの点を一端とし前記工作物の径方向に延びる線分群により定義された工作物モデルを生成し、

前記工作物モデルを基準とする座標系において、時刻 t_n (n は序数) において前記砥石刃断面点群を構成する隣り合う2つの砥石刃断面点 $P_t(i, t_n)$, $P_t(i+1, t_n)$ の区間である砥石定義点区間 $S_e(i, t_n)$ と、時刻 t_n の Δt 後である時刻 t_{n+1} において隣り合う2つの砥石刃断面点 $P_t(i, t_{n+1})$, $P_t(i+1, t_{n+1})$ の区間である砥石定義点区間 $S_e(i, t_{n+1})$ とにより表される砥石定義点区間通過エリアを決定し、

10

前記工作物モデルを構成する前記工作物定義点群の各工作物定義点が、当該工作物定義点を一端とする線分の方から見た場合において、前記砥石定義点区間通過エリアの内部に位置するか否かの包含チェックを行い、

前記包含チェックにおいて内部に位置すると判定された前記工作物定義点を一端とする対象線分と前記砥石定義点区間通過エリアを構成する面との交点を算出し、

前記対象線分の一端に位置する前記工作物定義点を前記交点の座標に変更し、

変更された前記工作物定義点群により定義された前記工作物モデルを出力する、歯車研削加工シミュレーション方法にある。

【0009】

20

また、本発明の他の態様は、前記歯車研削加工シミュレーション方法を実行する歯車研削加工シミュレーション装置にある。

【発明の効果】

【0010】

上記態様によれば、砥石モデルおよび工作物モデルを生成する。砥石モデルは、ねじ状砥石の軸方向断面において、ねじ状砥石の凸刃の断面形状を定義する砥石刃断面点群を、凸刃の延在方向に配置することにより生成される。砥石モデルを構成する複数の砥石刃断面点群により、工作物を研削加工するねじ状砥石の凸刃が表現されている。

【0011】

また、上述したように、ねじ状砥石の凸刃全ての表面が工作物を研削加工する部位となる。そこで、砥石刃断面点群を構成する隣り合う2つの砥石刃断面点の区間である「砥石定義点区間」を用い、所定の時間間隔に、砥石定義点区間が通過する砥石定義点区間通過エリアを決定している。砥石定義点区間通過エリアは、所定の時間間隔において、ねじ状砥石の凸刃の一部分が移動する軌跡に相当する。

30

【0012】

そして、決定された砥石定義点区間通過エリアを構成する面と工作物モデルの線分との交点を算出して、工作物モデルを構成する工作物定義点を交点の座標に変更する。ここで、砥石定義点区間通過エリアを構成する面が工作物モデルの線分と交差する状態とは、ねじ状砥石の凸刃の所定の一部分により工作物が研削加工された状態に相当する。そして、砥石定義点区間通過エリアを構成する面と工作物モデルの線分との交点が、研削加工された後の工作物の表面形状に相当する。つまり、工作物定義点が交点の座標に変更されることで、工作物モデルが研削加工された状態が表現されている。

40

【0013】

そして、全ての砥石定義点区間について上記と同様の処理が実行され、さらに、時間の経過の度に上記と同様の処理が実行されることにより、工作物モデルが逐次変更されていく。従って、上記態様によれば、ねじ状砥石を用いた歯車研削加工シミュレーションを実現することができる。

【0014】

以上のごとく、上記態様によれば、ねじ状砥石を用いて工作物を研削加工して歯車を創成する歯車研削加工のシミュレーションを行うことが可能な歯車研削加工シミュレーショ

50

ン方法および装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】歯車研削加工装置を示す図である。

【図2】歯車加工装置を示す図であって、図1の左側から見た図である。

【図3】歯車研削加工シミュレーション装置の機能ブロック図である。

【図4】歯車研削加工シミュレーション装置を構成する演算処理部による処理、すなわち歯車研削加工シミュレーション方法を示すフローチャートである。

【図5】歯車研削加工シミュレーション装置を構成する演算処理部による処理、すなわち歯車研削加工シミュレーション方法を示すフローチャートである。

【図6】歯車研削加工シミュレーション装置を構成する演算処理部による処理、すなわち歯車研削加工シミュレーション方法を示すフローチャートである。

【図7】工作物である歯車の1つの目標歯形の斜視図である。

【図8】目標歯形断面点群を示す図である。

【図9】砥石刃断面点群を示す図であって、(a)は1条ねじ、(b)は2条ねじ、(c)は3条ねじを示す図である。

【図10】目標歯形とねじ状砥石の凸刃との接触状態を示す斜視図である。

【図11】砥石モデルを生成するための座標系および砥石モデルの分割長を説明する図である。

【図12】(a)は、ねじ状砥石が1条ねじの場合における砥石刃断面点群を示し、(b)は、1条ねじを構成する砥石モデルを示す図である。

【図13】(a)は、ねじ状砥石が2条ねじの場合における砥石刃断面点群を示し、(b)は、2条ねじを構成する砥石モデルを示す図である。

【図14】(a)は、ねじ状砥石が3条ねじの場合における砥石刃断面点群を示し、(b)は、3条ねじを構成する砥石モデルを示す図である。

【図15】工作物モデルを生成するための座標系などを説明する図である。

【図16】工作物モデルを示す図である。

【図17】図16とは異なる座標系にて示した工作物モデル図である。

【図18】3次元極座標系(θ - L_e - Z_w)における工作物モデルを示す図である。

【図19】砥石モデルの3次元直交座標系(X_t - Y_t - Z_t)において、砥石モデルにおける砥石定義点区間 S_e および砥石定義点区間通過エリア A_t を示す図である。

【図20】砥石モデルを工作物の2次元極座標系(θ - Z_w)に変換した状態において、砥石定義点区間通過エリア A_t と、砥石定義点区間通過エリア A_t を含む矩形包含エリア $A_{t'}$ とを示す図である。

【図21】工作物の2次元極座標系(θ - Z_w)における工作物モデル M_w と砥石定義点区間通過エリア A_t および矩形包含エリア $A_{t'}$ とを配置した状態を示す図である。

【図22】2次元極座標系(θ - Z_w)において、工作物モデル M_w を構成する線分群の1つの線分が、砥石定義点区間通過エリア A_t に包含される状態を示す図である。

【図23】2次元極座標系(θ - Z_w)において、工作物モデル M_w を構成する線分群の1つの線分が、砥石定義点区間通過エリア A_t に包含されない状態を示す図である。

【図24】2次元極座標系(θ - L_e)において、工作物モデル M_w を構成する線分と砥石定義点区間通過エリア A_t との交点を示す図である。

【図25】工作物モデル M_w の3次元直交座標系(X_w - Y_w - Z_w)において、工作物モデル M_w を構成する線分と砥石定義点区間通過エリア A_t との交点を示す図である。

【図26】2次元極座標系(θ - L_e)において、工作物モデル M_w を構成する工作物定義点を交点に変更した状態の図である。

【図27】工作物モデル M_w の3次元直交座標系(X_w - Y_w - Z_w)において、工作物モデル M_w を構成する工作物定義点を交点に変更した状態の図である。

【図28】歯車研削加工シミュレーションの途中における工作物モデル M_w の状態と、砥石モデル M_t の一部とを示す図である。

10

20

30

40

50

【図 29】 工作物モデル Mw の最終形状を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

(実施形態 1)

1. 歯車研削加工装置 1

歯車研削加工装置 1 の構成について図 1 および図 2 を参照して説明する。歯車研削加工装置 1 は、ねじ状砥石 T を用いて工作物 W を研削加工して、工作物 W に歯車の歯形を創成する。詳細には、歯車研削加工装置 1 は、ねじ状砥石 T をねじ状砥石 T の中心軸線回りに回転し、工作物 W を工作物 W の中心軸線回りに回転した状態において、ねじ状砥石 T を工作物 W の中心軸方向に相対移動することにより、工作物 W に歯車の歯形を研削する。

10

【0017】

そこで、歯車研削加工装置 1 は、工作物 W とねじ状砥石 T とを直交 3 軸のそれぞれの方向に相対移動可能に構成される。さらに、歯車研削加工装置 1 は、工作物 W を工作物 W の中心軸線回りに回転可能に設け、ねじ状砥石 T をねじ状砥石 T の中心軸線回りに回転可能に設け、工作物 W とねじ状砥石 T との相対姿勢を変更するために工作物 W またはねじ状砥石 T を回転可能に設けられる。

【0018】

歯車研削加工装置 1 は、6 軸加工機、すなわち、直進 3 軸かつ回転 3 軸を有する加工機を適用する。本実施形態においては、歯車研削加工装置 1 は、工作物 W を B 軸回りに回転可能とし、ねじ状砥石 T を A 軸回りかつ C 軸回りに回転可能とし、ねじ状砥石 T を X 軸方向、Y 軸方向および Z 軸方向に移動可能とする。A 軸とは、工作物 W の中心軸線およびねじ状砥石 T の中心軸線に対して直交する方向の軸線である。B 軸は、工作物 W の中心軸線に一致する。C 軸は、ねじ状砥石 T の中心軸線に一致する。

20

【0019】

歯車研削加工装置 1 は、ベッド 2、コラム 3、Y 軸スライド 4、回転部材 5、砥石支持部材 6、ねじ状砥石 T、工作物支持部材 7 を備える。ベッド 2 は、設置面上に設置される。コラム 3 は、ベッド 2 の上面に設けられた X 軸ガイドに案内されて、ベッド 2 に対して X 軸方向(水平方向)に移動可能に設けられる。図示しないが、コラム 3 は、ボールねじ機構またはリニアモータなどにより駆動される。

【0020】

30

Y 軸スライド 4 は、コラム 3 の鉛直方向に延びる側面に設けられた Y 軸ガイドに案内されて、コラム 3 に対して Y 軸方向(上下方向)に移動可能に設けられる。回転部材 5 は、Y 軸スライド 4 に設けられ、水平軸線である A 軸回りに回転可能に設けられる。回転部材 5 は、例えば、360° の範囲で回転可能に設けられる。

【0021】

砥石支持部材 6 は、回転部材 5 に設けられた Z 軸ガイドに案内されて、Z 軸方向に移動可能に設けられる。Z 軸方向は、回転部材 5 が A 軸回りに回転することにより方向が異なる。初期状態としては、Z 軸方向は、水平方向であって、X 軸方向および Y 軸方向に直交する方向である。

【0022】

40

砥石支持部材 6 は、ねじ状砥石 T を C 軸回りに回転可能に支持する。C 軸は、ねじ状砥石 T の中心軸線に一致し、かつ、Z 軸方向に平行な軸線である。ねじ状砥石 T は、径方向外側に突出する螺旋状の凸刃を有する。ねじ状砥石 T は、1 条ねじとしても良いし、多条ねじとしても良い。ねじ状砥石 T は、多条ねじの場合には、複数の螺旋状の凸刃を有することになる。工作物支持部材 7 は、ベッド 2 上に設けられ、工作物 W を B 軸回りに回転可能に支持する。

【0023】

歯車研削加工装置 1 による研削加工は、次のように行われる。工作物 W とねじ状砥石 T とを同期回転させる。詳細には、工作物 W を B 軸回りに回転させ、かつ、ねじ状砥石 T を C 軸回りに回転させ、両者の回転を同期させる。

50

【0024】

続いて、工作物Wとねじ状砥石Tとを交差角を有する研削姿勢とするために、本実施形態においては、回転部材5をA軸回りに所定角度回転させる。続いて、コラム3をX軸方向に移動し、Y軸スライド4をY軸方向に移動し、かつ、砥石支持部材6をZ軸方向に移動することにより、ねじ状砥石Tを研削初期位置に移動する。続いて、Y軸スライド4を移動することにより、ねじ状砥石Tを工作物Wの中心軸線方向に移動し、工作物Wの歯形の研削を行う。

【0025】

2. 歯車研削加工シミュレーション装置10

歯車研削加工シミュレーション装置10について、図3～図29を参照して説明する。歯車研削加工シミュレーション装置10は、コンピュータにより構成され、例えば、演算処理装置、記憶装置、インターフェースなどにより構成される。

10

【0026】

図3に示すように、歯車研削加工シミュレーション装置10は、入力部11、演算処理部12、工作物モデル記憶部13、砥石モデル記憶部14、および、出力部15を備える。入力部11は、シミュレーションに使用する各種情報を入力する。各種情報は、例えば、工作物Wの最終形状すなわち歯車Gの目標歯形情報、工作物Wの素材形状、ねじ状砥石Tの外径、軸方向幅、条数、歯車研削加工装置1の機械構成などを含む。

【0027】

演算処理部12は、入力部11にて入力された情報を用いて、歯車研削加工シミュレーションを実行する。本実施形態における歯車研削加工シミュレーションは、演算処理の容易化のため、工作物Wを固定した状態とみなし、ねじ状砥石Tが、工作物Wに対して移動するものとして行う。つまり、歯車研削加工シミュレーションにおいては、ねじ状砥石Tが、ねじ状砥石Tの中心軸線回りに回転すると共に、工作物Wの周りを工作物Wの中心軸線回りに回転するものとして行う。ただし、歯車研削加工シミュレーションは、工作物Wおよびねじ状砥石Tが実際の歯車研削加工と同様の動作を行うようにすることも可能である。

20

【0028】

工作物モデル記憶部13は、工作物モデルMwを記憶する。詳細には、工作物モデル記憶部13は、初期に生成された工作物モデルMwを記憶し、その後、演算処理部12により実行される歯車研削加工シミュレーションにより変更された工作物モデルMwを逐次更新して記憶する。なお、更新される過程における全ての工作物モデルMwを記憶しても良い。

30

【0029】

砥石モデル記憶部14は、初期に生成された砥石モデルMtを記憶する。本実施形態においては、歯車研削加工シミュレーションにおいて、砥石モデルMtは形状変化しないものとする。従って、砥石モデルMtの形状が更新されることはない。ただし、砥石モデルMtを形状変化させることも可能である。出力部15は、演算処理部12により歯車研削加工シミュレーションを実行することにより生成された情報を出力する。例えば、出力部15は、更新された工作物モデルMwを出力したり、砥石モデルMtを出力したり、砥石モデルMtの微小部位毎の研削量を出力したりする。

40

【0030】

図4～図6のフローチャートを中心に、研削歯車加工シミュレーションについて説明する。研削歯車加工シミュレーションは、図3における演算処理部12により実行されるシミュレーション方法である。

【0031】

まず、図4に示すように、歯車Gの軸直交方向断面(Xw-Yw面)において、歯車Gの目標歯形の断面形状を定義する目標歯形断面点群W_targetを生成する(S1)。歯車Gの目標歯形は、図7に示す。例えば、歯車Gの目標歯形は、インボリュート曲面により形成される。ただし、歯車Gの目標歯形は、インボリュートに限らず、任意の歯面形状を

50

適用することができる。図 7 に示すように、歯車 G の目標歯形において、歯面の任意の点は、歯面法線ベクトル G_a 、歯すじ方向接線ベクトル G_b 、歯丈方向接線ベクトル G_c により表される。そして、図 8 に示すように、目標歯形断面点群 W_tar は、歯車 G の軸直交方向断面 ($X_w - Y_w$ 面) における点群として定義される。

【0032】

続いて、砥石刃断面点群 P_t_g を生成する (S2)。図 9 の (a) に示すように、砥石刃断面点群 P_t_g は、ねじ状砥石 T の軸方向断面において、ねじ状砥石 T の凸刃の断面形状を定義する。1 つの砥石刃断面点群 P_t_g は、複数の砥石刃断面点 P_t により構成されている。図 9 の (a) に示す砥石刃断面点群 P_t_g は、ねじ状砥石 T が 1 条ねじであって、ねじ状砥石 T のリードが L_1 の場合である。そこで、入力部 11 にて入力されたねじ状砥石 T に関する情報に基づいて、砥石刃断面点群 P_t_g が生成される。

10

【0033】

ここで、砥石刃断面点群 P_t_g の各点 P_t は、図 10 に示すように、目標歯形断面点群 W_tar の各点に一致する状態において、歯車 G の目標歯形における歯面法線ベクトル G_a とねじ状砥石 T の凸刃における砥石刃法線ベクトル T_a とが同軸上に位置するように生成される。図 10 においては、歯面法線ベクトル G_a とねじ状砥石 T の砥石刃法線ベクトル T_a とは、逆方向のベクトルとなる。なお、歯面法線ベクトル G_a および砥石刃法線ベクトル T_a は、単位ベクトルであるため、ベクトル長 (ベクトルの大きさ) は同一である。

【0034】

ねじ状砥石 T が 2 条ねじの場合には、図 9 の (b) に示すような砥石刃断面点群 P_t_g が生成される。この時のねじ状砥石 T のリードは、 L_2 となる。ねじ状砥石 T が 3 条ねじの場合には、図 9 の (c) に示すような砥石刃断面点群 P_t_g が生成される。この時のねじ状砥石 T のリードは、 L_3 となる。このように、ねじ状砥石 T の条数に応じて、砥石刃断面点群 P_t_g が生成される。ねじ状砥石 T が多条ねじである場合には、砥石刃断面点群 P_t_g は、多条ねじを構成する複数の凸刃の断面形状を定義する。

20

【0035】

続いて、図 4 に示すように、砥石モデル M_t を生成する (S3)。砥石モデル M_t は、砥石刃断面点群 P_t_g をねじ状砥石 T の凸刃の延在方向に配置することにより、ねじ状砥石 T の凸刃を 3 次元モデル化したものである。

30

【0036】

砥石モデル M_t は、砥石刃断面点群 P_t_g を、ねじ状砥石 T の所定角度毎に、かつ、ねじ状砥石 T のリード $L_1 \sim L_3$ から求められる所定軸方向位置毎に配置することにより生成される。そこで、砥石モデル M_t の座標系は、図 11 に示すように定義する。そして、砥石モデル M_t を、所定軸方向位置毎に、砥石モデル M_t の軸方向に複数に分割する。隣り合う所定軸方向位置の軸方向長さ、すなわち、砥石モデル M_t の軸方向分割長 L_dt は、予め設定しておく。また、砥石モデル M_t の軸方向長さ W_t は、ねじ状砥石 T の軸方向長さに一致する。

【0037】

図 12 は、ねじ状砥石 T が 1 条ねじの場合を示す。図 12 の (a) は、1 条ねじにより構成される砥石刃断面点群 P_t_g を示し、図 12 の (b) は、図 12 の (a) に示す砥石刃断面点群 P_t_g を用いて生成した砥石モデル M_t である。図 13 は、ねじ状砥石 T が 2 条ねじの場合を示す。図 13 の (a) は、2 条ねじにより構成される砥石刃断面点群 P_t_g を示し、図 13 の (b) は、図 13 の (a) に示す砥石刃断面点群 P_t_g を用いて生成した砥石モデル M_t である。図 14 は、ねじ状砥石 T が 3 条ねじの場合を示す。図 14 の (a) は、3 条ねじにより構成される砥石刃断面点群 P_t_g を示し、図 14 の (b) は、図 14 の (a) に示す砥石刃断面点群 P_t_g を用いて生成した砥石モデル M_t である。

40

【0038】

続いて、図 4 に示すように、工作物モデル M_w を生成する (S4)。工作物モデル M_w

50

は、工作物 W の表面上の工作物定義点群 Pw_g 、および、工作物定義点群 Pw_g のそれぞれの点を一端とし工作物 W の径方向に延びる線分群 LS_g により定義される。

【0039】

図15に示すように、工作物モデル Mw は、初期形状として、例えば円筒形状とする。工作物モデル Mw の軸方向長さ Ww は、工作物 W の軸方向長さに一致する。工作物モデル Mw の円筒形状における外径および内径は、研削される径方向範囲に対応する。つまり、工作物モデル Mw を円筒形状として、研削に必要な範囲のみを定義する形状として表している。さらに、図15に示すように、工作物モデル Mw は、工作物 W の中心軸線方向（ Zw 方向）に等間隔に分割する。分割する軸方向長さ Ldw は、任意に設定される。

【0040】

そして、分割面のそれぞれにおいて、円筒形状の外周面上に、周方向に等間隔に工作物定義点 Pw を配置する。ただし、工作物 W に創成される歯形は、周方向に複数存在し、複数の歯形は、同一である。そこで、図16に示すように、工作物モデル Mw は、例えば、1つの歯形を表すことができる角度範囲 $\Delta\theta$ のみを対象として、工作物定義点 Pw を配置する。角度範囲 $\Delta\theta$ は、工作物モデル Mw の座標系において、1つの歯形に対応する開始角度 θ_s から終了角度 θ_e までの範囲とする。

【0041】

なお、工作物定義点 Pw は、歯車研削加工シミュレーションにより、円筒形状の外周面から内周面までの径方向範囲にて変更可能とされる。そして、工作物定義点 Pw は、工作物モデル Mw の外周面上に位置する点であるため、工作物モデル Mw の外周面形状を表す点となる。

【0042】

上述したように、工作物モデル Mw は、工作物定義点群 Pw_g と線分群 LS_g とにより定義される。つまり、図16に示すように、工作物定義点 Pw のそれぞれを一端とし、工作物モデル Mw の中心軸線を他端とする線分 LS が配置される。従って、図16のハッチングにて示す領域が、工作物モデル Mw を定義する領域となる。

【0043】

ここで、図17には、工作物モデル Mw の座標系を $Xw' - Yw' - Zw$ として、工作物モデル Mw を表したものである。 Yw' が、角度範囲 $\Delta\theta$ の中央に位置し、 Xw' が、 Yw' に直交する方向となる。図17において、白丸は、工作物モデル Mw を円筒形状として定義した内周面に位置する。

【0044】

続いて、図4に示すように、工作物分割エリア $Ad(h)$ を生成する（S5）。工作物分割エリア $Ad(h)$ は、工作物定義点群 Pw_g の一部である複数の工作物定義点 Pw を含むように、工作物モデル Mw を分割したエリアである。図18に示すように、本実施形態においては、工作物分割エリア $Ad(h)$ は、3次元極座標系（ $\theta - Le - Zw$ ）に座標変換された工作物モデル Mw において定義されている。つまり、図18において、横軸を角度 θ として、縦軸を線分 LS の線分長 Le とし、奥行き方向の軸を工作物モデル Mw を分割した Zw 軸とする。図18においては、9個の工作物分割エリア $Ad(1) \sim Ad(9)$ に分割した場合を示す。工作物分割エリア $Ad(h)$ の形状、大きさ、分割数は、任意に設定される。

【0045】

なお、以下において、演算処理の簡易化のために、工作物モデル Mw を3次元極座標系（ $\theta - Le - Zw$ ）に変換して処理を行う。ただし、工作物モデル Mw を3次元直交座標系（ $Xw' - Yw' - Zw$ ）において処理を行うこともできる。工作物分割エリア $Ad(h)$ の設定も、3次元直交座標系（ $Xw' - Yw' - Zw$ ）にて定義することもできる。

【0046】

続いて、時刻カウンタ n （ n は序数）を初期値として0に設定する（S6）。歯車研削加工が行われることで時刻は進んで行く。そこで、歯車研削加工シミュレーションにおける時刻 t_n を表す指標として時刻カウンタ n を用いる。続いて、時刻カウンタ n が最大値

10

20

30

40

50

$n_max - 1$ 、すなわち最大値 n_max より 1 小さい値であるか否かを判定する (S 7)。時刻カウンタ n が最大値 $n_max - 1$ でなければ (S 7: No)、時刻カウンタ n を 1 加算する (S 8)。

【0047】

続いて、工作物分割エリア番号 h (h は序数) を初期値として 0 に設定する (S 9)。図 18 に示すように、工作物モデル Mw は、複数の工作物分割エリア $Ad(h)$ に分割されている。つまり工作物分割エリア番号 h は、工作物分割エリア $Ad(h)$ を表す番号である。続いて、工作物分割エリア番号 h が最大値 h_max であるか否かを判定する (S 10)。工作物分割エリア番号 h が最大値 h_max でなければ (S 10: No)、図 5 に示すように、工作物分割エリア番号 h を 1 加算する (S 11)

【0048】

続いて、砥石刃断面点群番号 m (m は序数) を初期値として 0 に設定する (S 12)。図 12～図 14 に示すように、砥石モデル Mt は、複数の砥石刃断面点群 $Pt_g(m)$ により構成される。砥石刃断面点群番号 m は、砥石モデル Mt における複数の砥石刃断面点群 $Pt_g(m)$ を表す番号である。続いて、砥石刃断面点群番号 m が最大値 m_max であるか否かを判定する (S 13)。砥石刃断面点群番号 m が最大値 m_max でなければ (S 13: No)、砥石刃断面点群番号 m を 1 加算する (S 14)。

【0049】

続いて、砥石刃断面点番号 i (i は序数) を初期値として 0 に設定する (S 15)。図 9 に示すように、1 つの砥石刃断面点群 Pt_g は、複数の砥石刃断面点 $Pt(i)$ により構成される。砥石刃断面点番号 i は、1 つの砥石刃断面点群 Pt_g における砥石刃断面点 $Pt(i)$ を表す番号である。続いて、砥石刃断面点番号 i が最大値 $i_max - 1$ 、すなわち最大値 i_max より 1 小さい値であるか否かを判定する (S 16)。砥石刃断面点番号 i が最大値 $i_max - 1$ でなければ (S 16: No)、砥石刃断面点番号 i を 1 加算する (S 17)。

【0050】

続いて、図 5 に示すように、時刻 t_n における砥石定義点区間 $Se(i, t_n)$ を算出する (S 18)。砥石定義点区間 $Se(i, t_n)$ は、工作物モデル Mw を基準とする座標系において、時刻 t_n において、砥石刃断面点群 $Pt_g(t_n)$ を構成する隣り合う 2 つの砥石刃断面点 $Pt(i, t_n)$ 、 $Pt(i+1, t_n)$ の区間である。砥石刃断面点群 $Pt_g(t_n)$ とは、時刻 t_n における砥石刃断面点群 Pt_g を意味する。砥石刃断面点 $Pt(i, t_n)$ は、時刻 t_n における砥石刃断面点群 Pt_g のうちの i 番目の砥石刃断面点 Pt を意味する。

【0051】

本実施形態においては、砥石定義点区間 $Se(i, t_n)$ は、工作物モデル Mw の 3 次元極座標系 ($\theta - Le - Zw$) にて表す。図 19 には、黒丸にて、複数の砥石刃断面点 $Pt(i, t_n)$ により構成される砥石刃断面点群 $Pt_g(t_n)$ を示す。さらに、図 19 には、例えば、砥石刃断面点番号 i を 3 とした場合における砥石定義点区間 $Se(3, t_n)$ を示す。砥石定義点区間 $Se(3, t_n)$ は、時刻 t_n における隣り合う砥石刃断面点 $Pt(3, t_n)$ 、 $Pt(4, t_n)$ の区間である。

【0052】

さらに、図 5 に示すように、時刻 t_n の Δt 後である時刻 t_{n+1} における砥石定義点区間 $Se(i, t_{n+1})$ を算出する (S 18)。砥石定義点区間 $Se(i, t_{n+1})$ は、工作物モデル Mw を基準とする座標系において、時刻 t_{n+1} において、砥石刃断面点群 $Pt_g(t_{n+1})$ を構成する隣り合う 2 つの砥石刃断面点 $Pt(i, t_{n+1})$ 、 $Pt(i+1, t_{n+1})$ の区間である。砥石刃断面点群 $Pt_g(t_{n+1})$ とは、時刻 t_{n+1} における砥石刃断面点群 Pt_g を意味する。砥石刃断面点 $Pt(i, t_{n+1})$ は、時刻 t_{n+1} における砥石刃断面点群 Pt_g のうちの i 番目の砥石刃断面点 Pt を意味する。

【0053】

本実施形態においては、砥石定義点区間 $Se(i, t_{n+1})$ は、砥石定義点区間 Se (

10

20

30

40

50

i, t_n)と同様に、工作物モデル M_w の3次元極座標系($\theta - L_e - Z_w$)にて表す。
図19には、白丸にて、複数の砥石刃断面点 $P_t(i, t_{n+1})$ により構成される砥石刃断面点群 $P_{t_g}(t_{n+1})$ を示す。さらに、図19には、例えば、砥石刃断面点番号 i を3とした場合における砥石定義点区間 $S_e(3, t_{n+1})$ を示す。砥石定義点区間 $S_e(3, t_{n+1})$ は、時刻 t_{n+1} における隣り合う砥石刃断面点 $P_t(3, t_{n+1})$ 、 $P_t(4, t_{n+1})$ の区間である。

【0054】

続いて、図5に示すように、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を決定する(S19)。時刻 t_n における砥石定義点区間 $S_e(i, t_n)$ と、時刻 t_{n+1} における砥石定義点区間 $S_e(i, t_{n+1})$ とにより表されるエリアである。砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ は、時刻 t_n と時刻 t_{n+1} との間において、砥石定義点区間 $S_e(i)$ が通過するエリアに相当する。図19には、例えば、砥石刃断面点番号 i を3とした場合における砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ を示す。

【0055】

続いて、図5に示すように、工作物分割エリア $A_d(h)$ 毎に、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ との干渉チェックを行う(S20)。本実施形態においては、演算処理の容易化のため、工作物モデル M_w の2次元極座標系($\theta - Z_w$)、すなわち工作物モデル M_w の周方向角度 θ および工作物モデル M_w の軸方向位置 Z_w により表される座標系において、干渉チェックを行う。

【0056】

干渉チェックについて、図20および図21を参照して説明する。説明の容易化のため、適宜、図19にて示した砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ を用いる。まず、図20に示すように、工作物モデル M_w の2次元極座標系($\theta - Z_w$)において、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を含む矩形包含エリア $A_{t'}(i, t_n)$ を生成する。矩形包含エリア $A_{t'}(i, t_n)$ は、演算処理の容易化のために用いる。つまり、矩形包含エリア $A_{t'}(i, t_n)$ を、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ とみなして処理を行う。

【0057】

図20においては、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ を含む矩形包含エリア $A_{t'}(3, t_n)$ を生成する。矩形包含エリア $A_{t'}(3, t_n)$ は、点 $P_{t'}(3, t_n)$ 、点 $P_{t'}(3, t_{n+1})$ 、点 $P_{t'}(4, t_n)$ 、点 $P_{t'}(4, t_{n+1})$ により表される矩形形状である。図20においては、点 $P_{t'}(3, t_n)$ および点 $P_{t'}(4, t_n)$ の θ 座標は、点 $P_t(3, t_n)$ の θ 座標に一致する。図20においては、点 $P_{t'}(3, t_{n+1})$ および点 $P_{t'}(4, t_{n+1})$ の θ 座標は、点 $P_t(4, t_{n+1})$ の θ 座標に一致する。

【0058】

図20においては、点 $P_{t'}(3, t_n)$ および点 $P_{t'}(3, t_{n+1})$ の Z_w 座標は、点 $P_t(3, t_{n+1})$ の Z_w 座標に一致する。図20においては、点 $P_{t'}(4, t_n)$ および点 $P_{t'}(4, t_{n+1})$ の Z_w 座標は、点 $P_t(4, t_n)$ の Z_w 座標に一致する。ただし、点の対応関係は、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ の形状によって異なる。

【0059】

そして、図21に示すように、工作物モデル M_w の2次元極座標系($\theta - Z_w$)において、工作物モデル M_w と、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ を包含する矩形包含エリア $A_{t'}(3, t_n)$ とを配置する。このとき、現在処理の対象である工作物分割エリア $A_d(h)$ に、現在処理の対象である砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を包含する矩形包含エリア $A_{t'}(i, t_n)$ が干渉するか否かをチェックする。

【0060】

例えば、図21においては、工作物分割エリア $A_d(5)$ と、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ を包含する矩形包含エリア $A_{t'}(3, t_n)$ とが干渉している。「干渉し

10

20

30

40

50

ている」とは、工作物分割エリア $A_d(5)$ に、矩形包含エリア $A_{t'}(3, t_n)$ の少なくとも一部が含まれていることを意味する。一方、他の工作物分割エリア $A_d(1) \sim A_d(4)$ 、 $A_d(6) \sim A_d(9)$ は、矩形包含エリア $A_{t'}(3, t_n)$ に干渉していない。図5におけるS20における最初の処理では、現在処理の対象である工作物分割エリア $A_d(1)$ に、現在処理の対象である矩形包含エリア $A_{t'}(1, t_n)$ との干渉チェックを行う。

【0061】

上記において、干渉チェックは、演算処理の容易化のため、現在処理の対象である工作物分割エリア $A_d(h)$ と、現在処理の対象である矩形包含エリア $A_{t'}(i, t_n)$ との干渉チェックとした。この他に、干渉チェックは、現在処理の対象である工作物分割エリア $A_d(h)$ に、現在処理の対象である砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ との干渉チェックとしても良い。

10

【0062】

続いて、図6に示すように、干渉チェックの結果、干渉がない場合には(S21: No)、S17に戻り処理を繰り返す。例えば、工作物分割エリア $A_d(1)$ に矩形包含エリア $A_{t'}(1, t_n)$ が干渉しない場合には、次に、工作物分割エリア $A_d(1)$ と矩形包含エリア $A_{t'}(2, t_n)$ との干渉チェックを行う。

【0063】

一方、図6のS21において、干渉チェックの結果、干渉がある場合には(S21: Yes)、工作物分割エリア $A_d(h)$ 内の工作物定義点番号 q の初期値として0に設定する(S22)。図21に示すように、1つの工作物分割エリア $A_d(h)$ は、複数の工作物定義点 $P_w(q)$ により構成される。工作物定義点番号 q は、1つの工作物分割エリア $A_d(h)$ における工作物定義点 $P_w(q)$ を表す番号である。

20

【0064】

図21においては、1つの工作物分割エリア $A_d(h)$ は、16個の工作物定義点 $P_w(1) \sim P_w(16)$ により構成される。ただし、工作物定義点 $P_w(q)$ が工作物分割エリア $A_d(h)$ の境界に位置する場合には、複数の工作物分割エリア $A_d(h)$ で共通するため、1つの工作物分割エリア $A_d(h)$ のみを構成するものとしても良い。

【0065】

続いて、工作物定義点番号 q が最大値 q_{max} であるか否かを判定する(S23)。工作物定義点番号 q が最大値 q_{max} でなければ(S23: No)、工作物定義点番号 q を1加算する(S24)。

30

【0066】

続いて、図6に示すように、工作物モデル M_w を構成する各工作物定義点 P_w が、当該工作物定義点 P_w を一端とする線分 LS の延在方向から見た場合において、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ の内部に位置するか否かの包含チェックを行う(S25)。

【0067】

包含チェックについて、図22および図23を参照して説明する。図22は、工作物モデル M_w を構成する工作物定義点 $P_w(6)$ が、当該工作物定義点 $P_w(6)$ を一端とする線分 $LS(6)$ の延在方向から見た場合において、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ の内部に位置する状態を示す。この状態を、包含された状態とする。図23は、工作物モデル M_w を構成する工作物定義点 $P_w(7)$ が、当該工作物定義点 $P_w(7)$ を一端とする線分 $LS(7)$ の延在方向から見た場合において、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ の内部に位置しない状態、すなわち包含されていない状態を示す。

40

【0068】

包含チェックは、図22および図23に示すように、工作物モデル M_w の2次元極座標系 $(\theta - Z_w)$ において行うと容易に演算処理を行うことができる。図22および図23に示すように、2次元極座標系 $(\theta - Z_w)$ において、工作物定義点 $P_w(6)$ 、 $P_w(7)$ が、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ の内部に位置するか否かをチェックすれば良い。

50

【0069】

例えば、2次元極座標系 ($\theta - Z_w$) において、工作物定義点 $P_w(q)$ と、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を構成する点 $P_t(i, t_n)$ 、点 $P_t(i, t_{n+1})$ 、点 $P_t(i+1, t_n)$ 、点 $P_t(i+1, t_{n+1})$ のそれぞれとを結ぶベクトル v_1, v_2, v_3, v_4 を算出する。

【0070】

そして、工作物定義点 $P_w(q)$ を中心とした一方の周方向に隣り合う2つのベクトルの外積を算出する。当該隣り合う2つのベクトルの外積とは、例えば、 $v_1 \times v_2$ 、 $v_2 \times v_3$ 、 $v_3 \times v_4$ 、 $v_4 \times v_1$ である。4つの外積の符号が全て同じであれば、工作物定義点 $P_w(q)$ が、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ の内部に位置すると判定される。一方、4つの外積の中に異なる符号のものがある場合には、工作物定義点 $P_w(q)$ が、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ の内部に位置しないと判定される。

【0071】

図22に示すように、工作物定義点 $P_w(6)$ の場合、工作物定義点 $P_w(6)$ を中心とした一方の周方向に隣り合う2つのベクトルの外積の符号が全て同じになるため、工作物定義点 $P_w(6)$ は、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ の内部に位置すると判定される。一方、図23に示すように、工作物定義点 $P_w(7)$ の場合、工作物定義点 $P_w(7)$ を中心とした一方の周方向に隣り合う2つのベクトルの外積の符号に異なる符号があるため、工作物定義点 $P_w(7)$ は、砥石定義点区間通過エリア $A_t(3, t_n)$ の内部に位置しないと判定される。

【0072】

続いて、図6に示すように、包含チェックの結果、工作物定義点 $P_w(q)$ が砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ の内部に位置しないと判定された場合には (S26: No)、S23に戻り処理を繰り返す。例えば、工作物分割エリア $A_d(5)$ を構成する工作物定義点 $P_w(1)$ が砥石定義点区間通過エリア $A_t(1, t_1)$ の内部に位置しない場合には、次に、工作物分割エリア $A_d(5)$ を構成する工作物定義点 $P_w(2)$ が砥石定義点区間通過エリア $A_t(1, t_1)$ の内部に位置するか否かの包含チェックを行う。

【0073】

一方、図6のS26において、包含チェックの結果、工作物定義点 $P_w(q)$ が砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ の内部に位置すると判定された場合には (S26: Yes)、交点 P_x を算出する (S27)。交点 P_x は、包含チェックにおいて砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ の内部に位置すると判定された工作物定義点 $P_w(q)$ を一端とする対象線分 $LS(q)$ と、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ との交点である。

【0074】

交点 P_x の算出について、図24および図25を参照して説明する。砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ は、点 $P_t(i, t_n)$ 、点 $P_t(i, t_{n+1})$ 、点 $P_t(i+1, t_n)$ 、点 $P_t(i+1, t_{n+1})$ により構成される。構成する4つの点が同一平面上に存在する場合には、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ は、1つの平面により表すことができる。しかし、構成する4つの点が同一平面上に存在しなければ、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を1つの平面により表すことができない。

【0075】

そこで、図24に示すように、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を構成する面は、構成する4点のうち隣り合う点同士を接続する線、および、構成する4点の対角の2点を接続する線により表される2個の三角形平面とする。図24においては、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を構成する面は、点 $P_t(3, t_n)$ 、点 $P_t(3, t_{n+1})$ 、点 $P_t(4, t_n)$ を頂点とする三角形平面と、点 $P_t(4, t_n)$ 、点 $P_t(4, t_{n+1})$ 、点 $P_t(3, t_n)$ を頂点とする三角形平面とにより表す。

【0076】

そして、図24に示す2次元極座標系 ($\theta - L_e$) において、対象線分 $LS(6)$ と2

10

20

30

40

50

個の三角形平面の一方との交点を算出する。対象線分 $LS(6)$ と砥石定義点区間通過エリア $At(3, t_n)$ との交点 P_x は、対象線分 $LS(6)$ と2個の三角形平面の一方との交点である。3次元直交座標系 ($X_w' - Y_w' - Z_w$) においては、図25に示すようになる。なお、3次元直交座標系 ($X_w' - Y_w' - Z_w$) において、交点 P_x を算出しても良い。ただし、2次元極座標系 ($\theta - Le$) における演算処理の方が容易である。

【0077】

続いて、図6に示すように、工作物定義点 $P_w(q)$ を交点 P_x に変更した場合において、線分 $LS(q)$ の線分長が、元の線分長よりも短くなったか否かを判定する (S28)。線分長が短くなった場合には (S28: Yes)、工作物定義点 $P_w(q)$ を交点 P_x の座標に変更し、さらに、対象線分 $LS(q)$ の線分長を変更する (S29)。変更後は、S23に戻り処理を繰り返す。工作物定義点 $P_w(6)$ および対象線分 $LS(6)$ を変更した場合、図26および図27に示すようになる。

10

【0078】

線分 $LS(q)$ の線分長が、元の線分長よりも短くなっていない場合には (S28: No)、工作物定義点 $P_w(q)$ および対象線分 $LS(q)$ の線分長を変更することなく、S23に戻り処理を繰り返す。

【0079】

例えば、工作物分割エリア $Ad(5)$ を構成する工作物定義点 $P_w(6)$ が砥石定義点区間通過エリア $At(3, t_1)$ の内部に位置する場合に、工作物定義点 $P_w(6)$ および対象線分 $LS(6)$ を変更した後は、次に、工作物分割エリア $Ad(5)$ を構成する工作物定義点 $P_w(7)$ が砥石定義点区間通過エリア $At(3, t_1)$ の内部に位置するか否かの包含チェックを行う。

20

【0080】

図6のS24～S29を繰り返して実行した場合に、図6のS23において、工作物定義点番号 q が最大値 q_max になると (S23: Yes)、図5のS16に戻り処理を繰り返す。つまり、現在処理の対象である砥石刃断面点番号 i が最大値 $i_max - 1$ に達したか否かを判定し (S16)、まだ達していなければ (S16: No)、砥石刃断面点番号 i を1加算して (S17)、S18以降の処理を行う。

【0081】

S16において、現在処理の対象である砥石刃断面点番号 i が最大値 $i_max - 1$ に達した場合 (S16: Yes)、S13に戻り処理を繰り返す。つまり、現在処理の対象である砥石刃断面点群番号 m が最大値 m_max に達したか否かを判定し (S13)、まだ達していなければ (S13: No)、砥石刃断面点群番号 m を1加算して (S14)、S15以降の処理を行う。

30

【0082】

S13において、現在処理の対象である砥石刃断面点群番号 m が最大値 m_max に達した場合 (S13: Yes)、図4に示すように、S10に戻り処理を繰り返す。つまり、現在処理の対象である工作物分割エリア番号 h が最大値 h_max に達したか否かを判定し (S10)、まだ達していなければ (S10: No)、工作物分割エリア番号 h を1加算して (S11)、S12以降の処理を行う。

40

【0083】

S10において、現在処理の対象である工作物分割エリア番号 h が最大値 h_max に達した場合 (S10: Yes)、S7に戻り処理を繰り返す。つまり、現在処理の対象である時刻カウンタ n が最大値 n_max に達したか否かを判定し (S7)、まだ達していなければ (S7: No)、時刻カウンタ n を1加算して (S8)、S9以降の処理を行う。

【0084】

S7において、現在処理の対象である時刻カウンタ n が最大値 n_max に達した場合 (S7: Yes)、変更された工作物定義点群 P_w_g により定義された工作物モデル M_w を出力し (S30)、シミュレーションの処理を終了する。なお、S30では、工作物モデル M_w の出力に加えて、砥石モデル M_t を出力しても良い。さらに、砥石モデル M_t

50

の砥石刃断面点群 P_{t_g} のそれぞれにおける砥石定義点区間 $S_e(i)$ 毎の研削量を出
力しても良い。

【0085】

例えば、図28には、3次元極座標系 ($\theta - L_e - Z_w$) において、歯車研削加工シミュレーションの途中における工作物モデル M_w の状態と、砥石モデル M_t の一部とを示す図である。図29には、3次元直交座標系 ($X_w' - Y_w' - Z_w$) において、工作物モデル M_w の最終形状を示す図である。

【0086】

3. 効果

上記実施形態によれば、ねじ状砥石 T の軸方向断面においてねじ状砥石 T の凸刃の断面形状を定義する砥石刃断面点群 P_{t_g} を生成し、砥石刃断面点群 P_{t_g} を、ねじ状砥石 T の凸刃の延在方向に配置することにより、ねじ状砥石 T の凸刃を3次元モデル化した砥石モデル M_t を生成する。

【0087】

さらに、工作物 W の表面上の工作物定義点群 P_{w_g} 、および、工作物定義点群 P_{w_g} のそれぞれの点を一端とし工作物 W の径方向に延びる線分群 L_{S_g} により定義された工作物モデル M_w を生成する。工作物モデル M_w を基準とする座標系において、時刻 t_n (n は序数) において砥石刃断面点群 P_{t_g} を構成する隣り合う2つの砥石刃断面点 $P_{t(i, t_n)}$ 、 $P_{t(i+1, t_n)}$ の区間である砥石定義点区間 $S_e(i, t_n)$ と、時刻 t_n の Δt 後である時刻 t_{n+1} において隣り合う2つの砥石刃断面点 $P_{t(i, t_{n+1})}$ 、 $P_{t(i+1, t_{n+1})}$ の区間である砥石定義点区間 $S_e(i, t_{n+1})$ とにより表される砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ を決定する。

【0088】

工作物モデル M_w を構成する工作物定義点群 P_{w_g} の各工作物定義点 $P_w(q)$ が、当該工作物定義点 $P_w(q)$ を一端とする線分 $L_S(q)$ の方向から見た場合において、砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ の内部に位置するか否かの包含チェックを行う。包含チェックにおいて砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ の内部に位置すると判定された工作物定義点 $P_w(q)$ を一端とする対象線分 $L_S(q)$ と砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ を構成する面との交点 P_x を算出する。対象線分 $L_S(q)$ の一端に位置する工作物定義点 $P_w(q)$ を交点 P_x の座標に変更し、変更された工作物定義点群 P_{w_g} により定義された工作物モデル M_w を出力する。

【0089】

本実施形態によれば、砥石モデル M_t および工作物モデル M_w を生成する。砥石モデル M_t は、ねじ状砥石 T の軸方向断面において、ねじ状砥石 T の凸刃の断面形状を定義する砥石刃断面点群 P_{t_g} を、凸刃の延在方向に配置することにより生成される。砥石モデル M_t を構成する複数の砥石刃断面点群 P_{t_g} により、工作物 W を研削加工するねじ状砥石 T の凸刃が表現されている。

【0090】

また、ねじ状砥石 T の凸刃全ての表面が工作物 W を研削加工する部位となる。そこで、砥石刃断面点群 P_{t_g} を構成する隣り合う2つの砥石刃断面点 $P_{t(i)}$ 、 $P_{t(i+1)}$ の区間である「砥石定義点区間 $S_e(i)$ 」を用い、所定の時間間隔 Δt に、砥石定義点区間 $S_e(i)$ が通過する砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ を決定している。砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ は、所定の時間間隔 Δt において、ねじ状砥石 T の凸刃の一部分が移動する軌跡に相当する。

【0091】

そして、決定された砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ を構成する面と工作物モデル M_w の線分 $L_S(q)$ との交点 P_x を算出して、工作物モデル M_w を構成する工作物定義点 $P_w(q)$ を交点 P_x の座標に変更する。ここで、砥石定義点区間通過エリア $A_{t(i, t_n)}$ を構成する面が工作物モデル M_w の線分 $L_S(q)$ と交差する状態とは、ねじ状砥石 T の凸刃の所定の一部分により工作物 W が研削加工された状態に相当する。そ

10

20

30

40

50

して、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を構成する面と工作物モデル M_w の線分 $LS(q)$ との交点 P_x が、研削加工された後の工作物 W の表面形状に相当する。つまり、工作物定義点 $P_w(q)$ が交点 P_x の座標に変更されることで、工作物モデル M_w が研削加工された状態が表現されている。

【0092】

そして、全ての砥石定義点区間 $Se(i)$ について上記と同様の処理が実行され、さらに、時間の経過の度に上記と同様の処理が実行されることにより、工作物モデル M_w が逐次変更されていく。従って、上記態様によれば、ねじ状砥石 T を用いた歯車研削加工シミュレーションを実現することができる。

【0093】

また、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ は、3次元極座標系 ($\theta - Le - Zw$) または2次元極座標系 ($\theta - Zw$) において決定され、包含チェックは、3次元極座標系 $\theta - Le - Zw$ または2次元極座標系 ($\theta - Zw$) において算出される。このように、極座標系を用いることにより、演算処理が容易となる。

【0094】

さらに、3次元極座標系 ($\theta - Le - Zw$) または2次元極座標系 ($\theta - Zw$) において、工作物定義点群 P_w_g の一部である複数の工作物定義点 P_w を含むように工作物モデル M_w を複数の工作物分割エリア $Ad(h)$ に分割する。そして、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ の決定後に、2次元極座標系 ($\theta - Zw$) において、工作物分割エリア $Ad(h)$ 毎に、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ が干渉するか否かの干渉チェックを行う。包含チェックは、干渉チェックにおいて砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ が干渉する工作物分割エリア $Ad(h)$ を対象として、2次元極座標系 ($\theta - Zw$) において算出される。このように、極座標系を用いることにより、演算処理が容易となる。

【0095】

また、砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ は、点 $P_t(i, t_n)$ 、点 $P_t(i+1, t_n)$ 、点 $P_t(i, t_{n+1})$ 、点 $P_t(i+1, t_{n+1})$ の4点により区画されるエリアである。砥石定義点区間通過エリア $A_t(i, t_n)$ を構成する面は、4点のうち隣り合う点同士を接続する線および4点の対角の2点を接続する線により表される2個の三角形平面としている。そして、交点 P_x は、対象線分 LS と2個の三角形平面の一方との交点である。4点により構成される面は、1つの平面で表すことができない場合がある。このような場合であっても、上記のように2個の三角形平面により表すことにより、確実に、交点 P_x を算出することができる。

【0096】

また、歯車 G の軸直交方向断面において歯車 G の目標歯形の断面形状を定義する目標歯形断面点群 W_tar を生成し、砥石刃断面点群 P_t_g は、目標歯形断面点群 W_tar の各点において、歯車 G の目標歯形における歯面法線ベクトル G_a とねじ状砥石 T の凸刃における砥石刃法線ベクトル T_a とが同軸上に位置するように生成されている。このように定義されることで、確実に、歯車研削加工のシミュレーションを実現できる。

【0097】

また、砥石刃断面点群 P_t_g は、1条ねじを構成する1つの凸刃の断面形状を定義しても良い。また、砥石刃断面点群 P_t_g は、多条ねじを構成する複数の凸刃の断面形状を定義しても良い。従って、任意の条数のねじ状砥石 T をシミュレーションの対象とすることができる。

【0098】

また、砥石モデル M_t は、砥石刃断面点群 P_t_g を、ねじ状砥石 T の所定角度毎に、かつ、ねじ状砥石 T のリードから求められる所定軸方向位置毎に配置することにより生成される。これにより、砥石モデル M_t を確実に生成することができる。

【0099】

また、砥石モデル M_t において、砥石刃断面点群 P_t_g のそれぞれを構成する隣り合

10

20

30

40

50

う 2 つの砥石刃断面点 P_t により表される砥石定義点区間 $S_e(i)$ 毎に、研削量を記憶するようにしても良い。この場合、ねじ状砥石 T のどの部位でどの程度の研削加工を行ったかを把握できる。砥石定義点区間 $S_e(i)$ 毎の研削量を把握することにより、砥石定義点区間 $S_e(i)$ 毎に摩耗量を推定することができる。

【符号の説明】

【 0 1 0 0 】

- W 工作物
- M_w 工作物モデル
- P_w 工作物定義点
- P_{w_g} 工作物定義点群
- L_S 対象線分
- T ねじ状砥石
- M_t 砥石モデル
- P_t 砥石刃断面点
- P_{t_g} 砥石刃断面点群
- S_e 砥石定義点区間
- A_t : 砥石定義点区間通過エリア
- P_x 交点

10

20

30

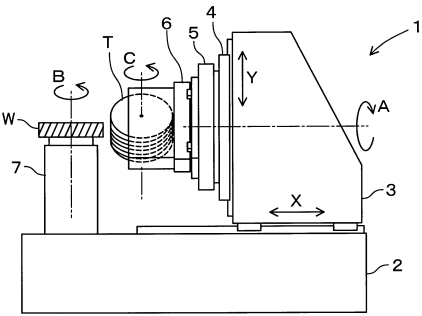
40

50

【図面】

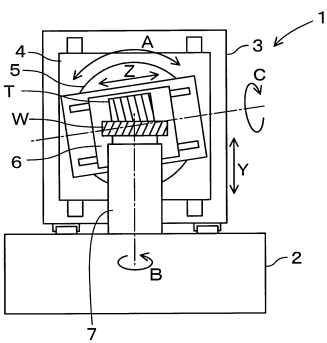
【図 1】

(図 1)



【図 2】

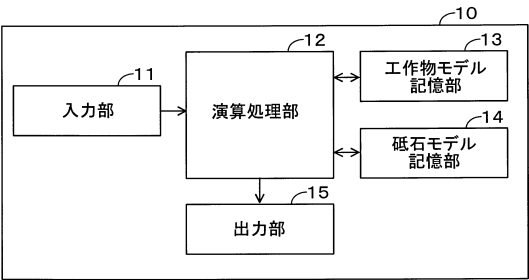
(図 2)



10

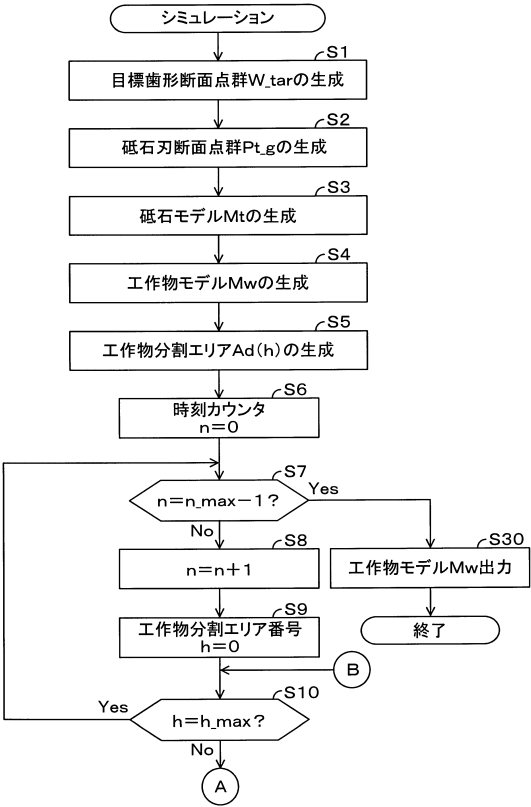
【図 3】

(図 3)



【図 4】

(図 4)



20

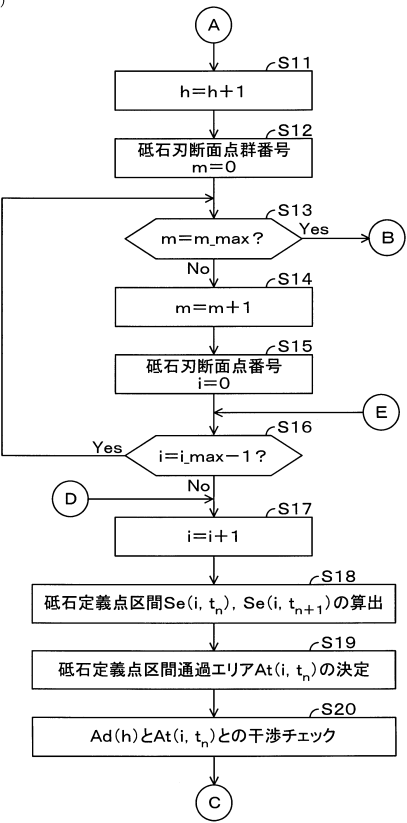
30

40

50

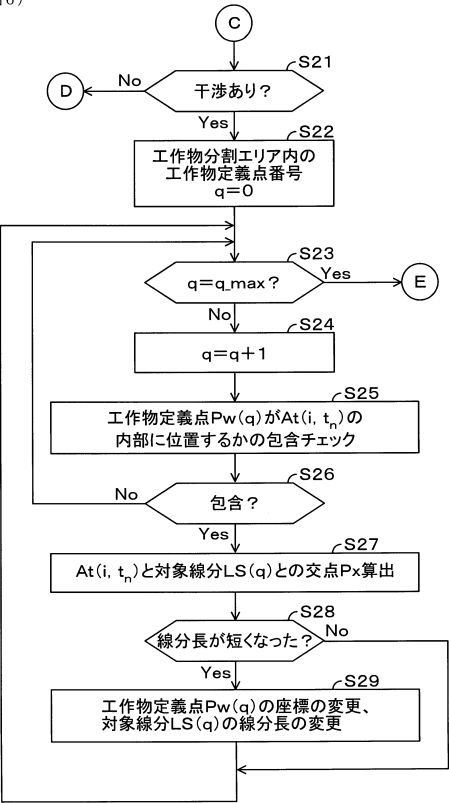
【図 5】

(図 5)



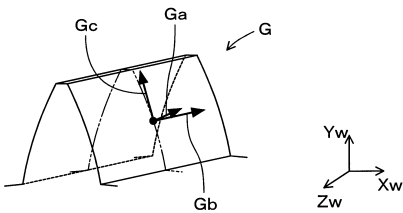
【図 6】

(図 6)



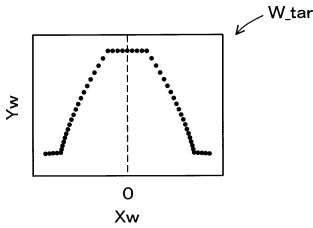
【図 7】

(図 7)



【図 8】

(図 8)



10

20

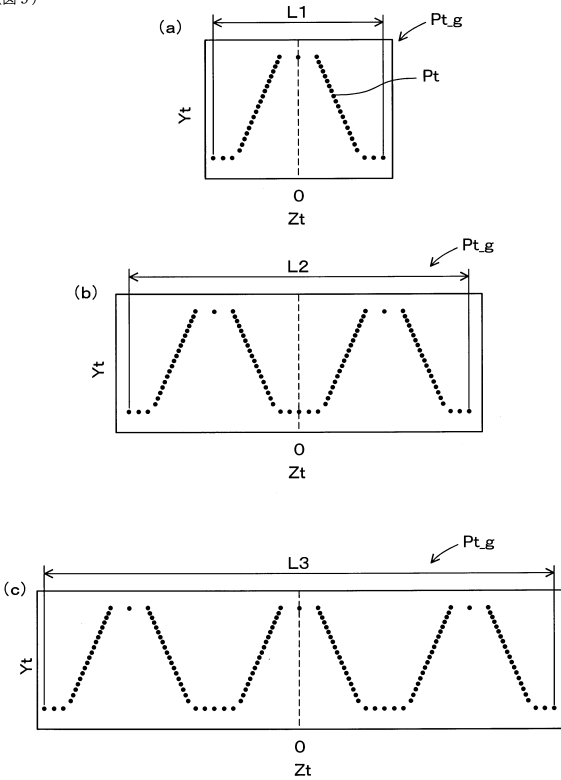
30

40

50

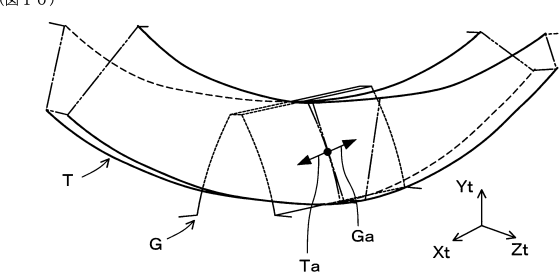
【図 9】

(図 9)



【図 10】

(図 10)

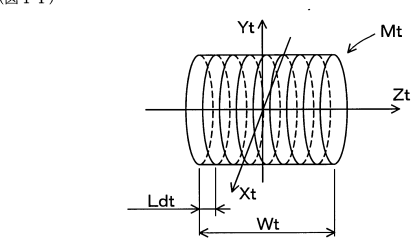


10

20

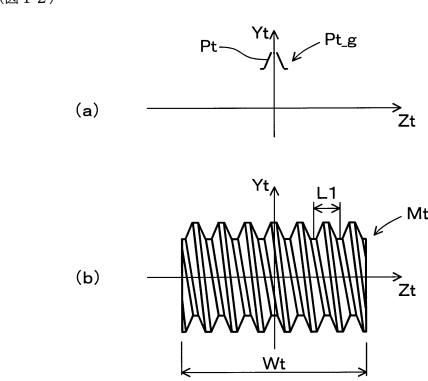
【図 11】

(図 11)



【図 12】

(図 12)



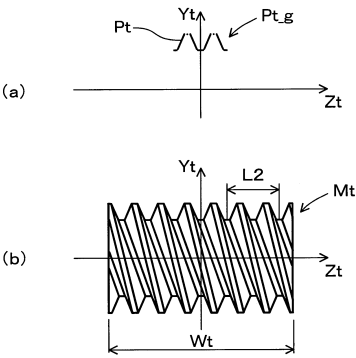
30

40

50

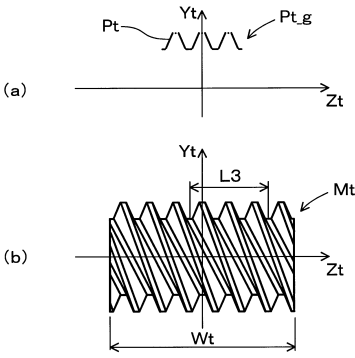
【図 1 3】

(図 1 3)



【図 1 4】

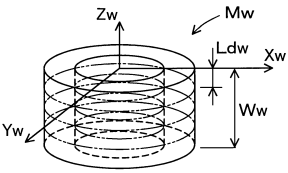
(図 1 4)



10

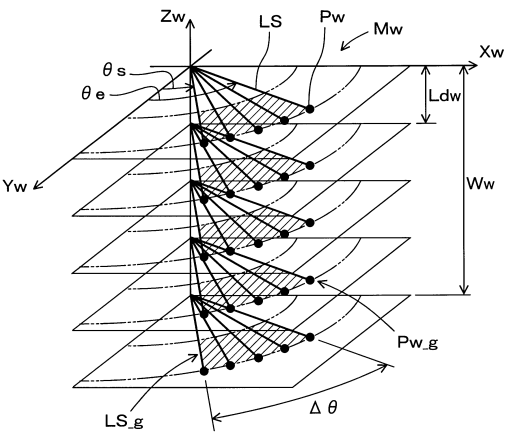
【図 1 5】

(図 1 5)



【図 1 6】

(図 1 6)



20

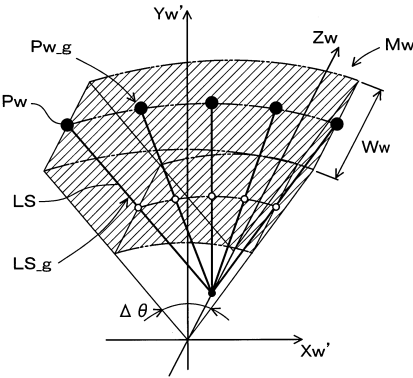
30

40

50

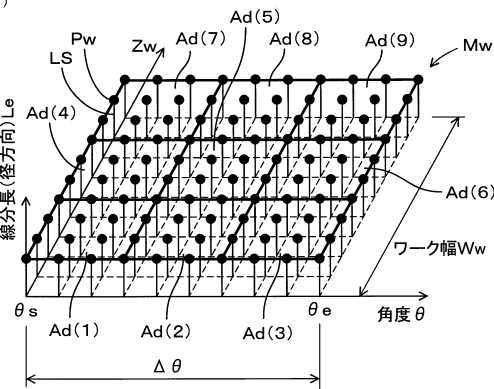
【図 1 7】

(図 1 7)



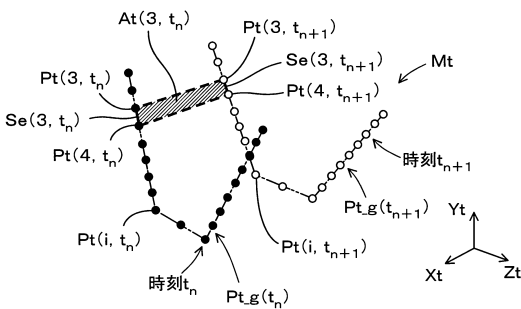
【図 1 8】

(図 1 8)



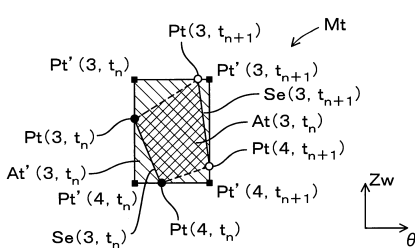
【図 1 9】

(図 1 9)



【図 2 0】

(図 2 0)



10

20

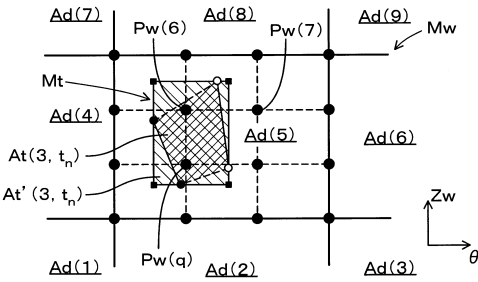
30

40

50

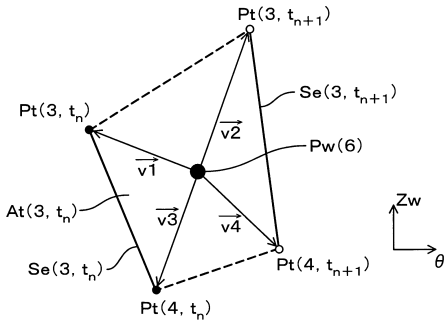
【図 2 1】

(図 2 1)



【図 2 2】

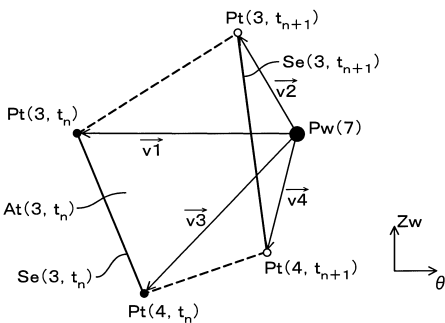
(図 2 2)



10

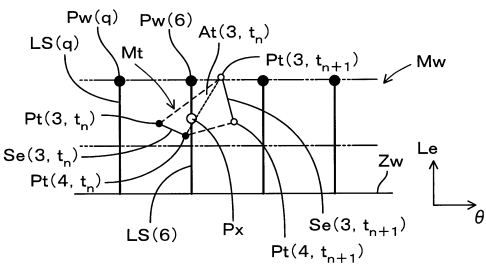
【図 2 3】

(図 2 3)



【図 2 4】

(図 2 4)



20

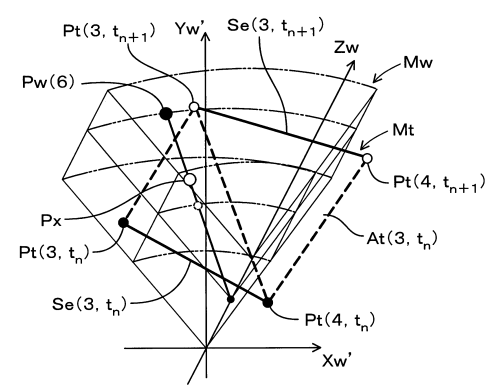
30

40

50

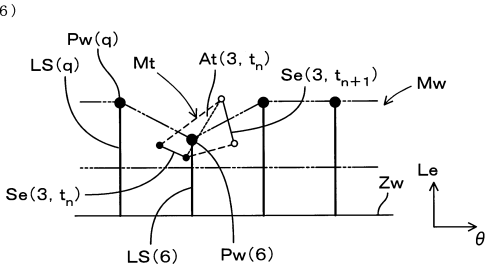
【図 2 5】

(図 2 5)



【図 2 6】

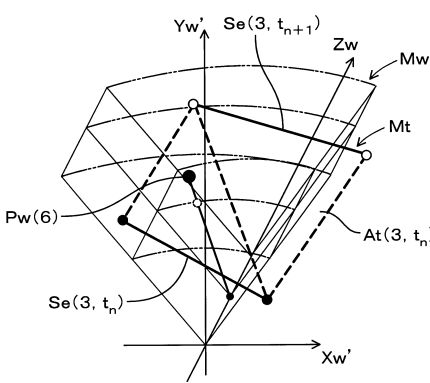
(図 2 6)



10

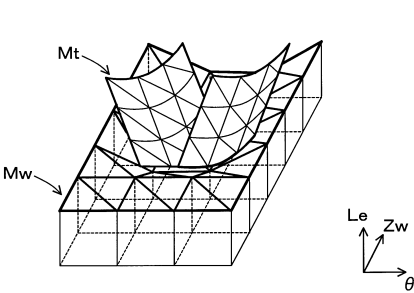
【図 2 7】

(図 2 7)



【図 2 8】

(図 2 8)



20

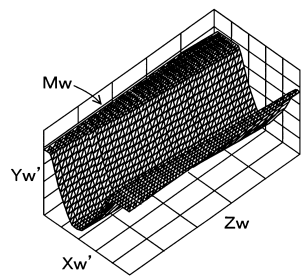
30

40

50

【図 29】

(図 29)



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2014-237185 (JP, A)
特開 2018-153907 (JP, A)
特開 2016-126776 (JP, A)
特開 2016-083745 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B23F 1/00-23/12
G05B 19/18-19/416
G05B 19/42-19/48