

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5976805号  
(P5976805)

(45) 発行日 平成28年8月24日 (2016. 8. 24)

(24) 登録日 平成28年7月29日 (2016. 7. 29)

(51) Int. Cl. F I  
**B 2 3 F 9/14 (2006. 01)** B 2 3 F 9/14  
**B 2 3 F 9/02 (2006. 01)** B 2 3 F 9/02

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-525100 (P2014-525100)	(73) 特許権者	500094370
(86) (22) 出願日	平成24年8月8日 (2012. 8. 8)		ザ グリーソン ワークス
(65) 公表番号	特表2014-525351 (P2014-525351A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク、ロチェスター、ユニバーシティ アベニュー 1000
(43) 公表日	平成26年9月29日 (2014. 9. 29)	(74) 代理人	110001243
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/049882		特許業務法人 谷・阿部特許事務所
(87) 国際公開番号	W02013/022905	(72) 発明者	ハーマン ジェイ. シュタットフェルト
(87) 国際公開日	平成25年2月14日 (2013. 2. 14)		アメリカ合衆国 14580 ニューヨーク州 ウェブスター メープル ドライブ 910
審査請求日	平成27年7月14日 (2015. 7. 14)		
(31) 優先権主張番号	61/521, 154		
(32) 優先日	平成23年8月8日 (2011. 8. 8)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
		審査官	村上 哲

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 揺動軸の動きのない正面カッタを用いたかさ歯車の製造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

創成プロセスに従ってツール軸を有するツールおよび被加工物軸を有する被加工物を互いに対して移動させることによって直線的な多軸のコンピュータ制御の歯車の創成機械でかさ歯車を製造する方法であって、

前記創成は、理論的な歯車の創成機械のクレードルの回転を含むパラメータによって定められ、前記クレードルは、ラジアル距離  $S$ 、ツール軸の旋回  $j$ 、およびツール軸の傾斜  $i$  についてのセッティングを確立するための回転可能な要素を備え、

補助平面  $P_A$  は、前記ツール軸の旋回  $j$  および前記ツール軸の傾斜  $i$  についての角度のセッティングを確立するための前記回転可能な要素に接続されるように定められ、前記補助平面  $P_A$  は、前記ツール軸をさらに含み、

前記ツール軸周りに前記ツールを回転させ、

前記ツールを前記被加工物に係合させ、

前記被加工物に対して前記ツールを移動させて前記かさ歯車を創成し、前記ツールは、前記クレードルの回転によって説明される経路に沿って移動するものであり、

前記方法は、前記クレードルの回転と共にラジアル距離  $S$  についての前記角度のセッティングを確立するための前記回転可能な要素を回転させることをさらに含み、前記クレードルの回転中、ツール軸の旋回  $j$  およびツール軸の傾斜  $i$  についての角度のセッティングを確立するための前記回転可能な要素は、その回転量がゼロであり、前記補助平面  $P_A$  は、前記クレードルの回転中に一定の角度方向のままであり、

前記方法は、前記直線的な多軸のコンピュータ制御の歯車の創成機械での前記創成中に、前記ツール軸と前記被加工物軸の間の相対的な枢動運動がないことをさらに特徴とする方法。

【請求項 2】

前記かさ歯車は、リングギヤであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記リングギヤは、800mmを超える直径を有することを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記かさ歯車は、ピニオンであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 5】

前記創成プロセスは、正面フライス削りプロセスであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記創成プロセスは、正面ホブ切りプロセスであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記ツールは、切削ツールであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記ツールは、研削ツールであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2011年8月8日に出願した米国特許仮出願第61/521,154号明細書の利益を主張するものであり、その開示全体は、参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本発明は、歯車の製造に関し、詳細には、歯車の創成機械上に動く揺動軸または枢動軸 (live swing or pivot axis) のないかさ歯車を創成する方法に関する。

30

【背景技術】

【0003】

歯車、特にかさ歯車の製造においては、創成プロセス (generating process) および非創成プロセス (non-generating process) の2つのタイプのプロセスが一般に用いられる。

【0004】

創成プロセスは、2つのカテゴリー、すなわち正面フライス削り (face milling) (間歇割出し (intermittent indexing)) および正面ホブ切り (face hobbing) (連続割出し (continuous indexing)) に分けることができる。創成正面フライス削りプロセスでは、回転ツールは、被加工物に所定の深さまで送り込まれる。この深さに到達すると、ツール (tool) および被加工物は、創成転造 (generating roll) として知られている所定の相対的な転造運動で被加工物が理論的な創成歯車と噛み合って回転するかのよう共に回転され、この理論的な創成歯車の歯は、ツールの材料除去面 (stock removing surface) によって表わされる。歯の輪郭形状は、創成転造中のツールおよび被加工物の相対運動によって形成される。

40

【0005】

創成正面ホブ切りプロセスでは、ツールおよび被加工物は時間の関係で回転し、深くにツールが送り込まれて、それによってツールの1回の押し込みで全ての歯溝を形成する。全深さに到達した後、創成転造が開始される。

50

## 【0006】

間歇割出しまたは連続割出しのいずれかの非創成プロセスは、被加工物の歯輪郭形状がツールの輪郭形状から直接形成されるプロセスである。ツールが被加工物に送り込まれ、ツールの輪郭形状が被加工物に伝えられる。創成転造が用いられないが、理論的な「クラウン歯車」の形態の理論的な創成歯車の概念が非創成プロセスに適用できる。クラウン歯車は、歯面が非創成プロセスにおける被加工物の歯面と相補型の理論的な歯車である。したがって、ツールの切削刃は、非創成の被加工物にある歯面を形成するときの理論的なクラウン歯車の歯を表す。

## 【0007】

被加工物と創成歯車との関係は、基本機械セッティング (basic machine setting) として知られている一群のパラメータによって定義することができる。これらの基本セッティングは、創成歯車および被加工物に関するサイズおよび比率を明らかにし、歯車設計についての共通の出発点を与え、したがって多数のモデルの機械間で設計手順を統一する。この基本セッティングは、あらゆる瞬間におけるツールと被加工物との間の相対位置決めを全て記述する。

## 【0008】

歯車を形成するための基本機械セッティングは当業界で知られており、以下のように定義することができる。

1. クレードル軸 (cradle axis) 周りのツールの角度位置を定義するクレードル角 (cradle angle) ( $q$ )

2. クレードル軸とツール軸 (tool axis) の間の距離であるラジアルセッティング (radial setting) ( $S$ )

3. クレードル上の固定基準に対するツール軸の向きを定義する旋回角 ( $j$ )

4. クレードル軸とツール軸の間の角度を定義する傾斜角 ( $i$ )

5. クレードル軸に対するワーク支持体の向きを示す歯底角 ( $Y_m$ )

6. ワーク軸 (work axis) とクレードル軸の見かけの交点から被加工物から一定の距離に位置する点までのワーク軸に沿った距離であるセンタートゥバック (center-to-back) またはヘッドセッティング (head setting) ( $X_p$ )

7. ワーク軸とクレードル軸の間の距離を定めるワークオフセット (work offset) ( $E_m$ )

8. 機械の中心からワーク軸とクレードル軸の見かけの交点までの距離である摺動ベース (sliding base) ( $X_b$ )

9. 被加工物の回転位置 ( $w$ )

10. 正面ホブ切りについてのツールの回転位置 ( $t$ )

11. 創成についてのクレードルの回転と被加工物の回転の間の転造比 (ratio-of-roll) ( $R_a$ )

## 【0009】

従来の歯車を形成する機械では、クレードル角度、被加工物の回転、およびツールの回転は創成中に変化する一方、他のセッティングは一般的に一定のままである。これに対する2つの注目すべき例外は、摺動ベース  $X_b$  の動きを伴う螺旋運動と、ワークオフセット方向 (work offset direction)  $E_m$  上の動きである垂直運動とである。

## 【0010】

従来のメカニカル機械 (mechanical machine) は、ほとんど全ての機械セッティングが理論的な基本セッティングに対応するので理論的な基本機械の概念に適合する。そのような機械は、図4によって示される。メカニカル機械では、ラジアル (radial)  $S$  についての基本セッティングは、離心角として知られている角度の機械セッティングによって制御される。

## 【0011】

10

20

30

40

50

創成プロセスおよび非創成プロセスは、通常、従来の機械式の歯車の創成機械または直線的な多軸のコンピュータ制御（例えば、CNC）の歯車の創成機械（そのような機械は「フリーフォーム」機械（“free-form” machines）でとしても知られている）で実行される。かさ歯車を生産する従来の機械式の歯車の創成機械は、ワーク支持体機構およびクレードル機構を含む。創成プロセス中、クレードルは、クレードル軸として知られている軸周りの円形経路に沿って円形ツールを保持する。これは、創成転造またはクレードル転造（cradle roll）として知られている。このクレードルは、理論的な創成歯車の本体を表し、クレードル軸は、理論的な創成歯車の軸に対応する。このツールは、創成歯車の1または複数の歯を表す。ワーク支持体は、クレードルに対して被加工物を向け、クレードルの回転に対して特有の比でそれを回転させる。従来より、従来の機械式のクレードルスタイル（cradle style）のかさ歯車の創成機械は、通常、一連の直線スケール（linear scale）および角度スケール（angular scale）（すなわち、セッティング）を装備し、これらは、操作者が様々な構成部品をその適切な位置に正確に位置決めするのを助ける。

10

#### 【0012】

カッタスピンドル（cutter spindle）の傾斜、したがってクレードルの軸に対しての切削ツール軸の傾斜（すなわち、カッタ軸（cutter axis）はクレードル軸に平行でない）を可能にする調整可能機構を備えることは、多くのタイプの従来の機械式のクレードルスタイルのかさ歯車の創成機械において一般的である。「カッタの傾斜」として知られるように、この調整は、通常、切削ツールの圧力角を被加工物の圧力角に適合させるために、および/または理論的な創成歯車の歯面を適切に示すようにツールの切削面を位置決めするために利用される。カッタの傾斜機構のないいくつかのタイプの従来の機械式のクレードルスタイルのかさ歯車の創成機械では、カッタの傾斜の効果は、クレードルと被加工物の間の相対的な転造の関係の変更によって実現することができる。この変更は、「修正された転造（modified roll）」として知られている（固定セッティングについてのみ）。

20

#### 【0013】

米国特許第4,981,402号明細書、第6,669,415号明細書、および第6,712,566号明細書（それらの開示は参照により本明細書に組み込まれる）によって開示される創成機械などの多軸のコンピュータ制御の歯車の創成機械では、複数の機械軸（例えば、5本または6本）に沿ったまたはそれ周りの被加工物に対するツールの移動によって、知られている面削カッタまたは研削砥石を利用する従来の機械プロセスにおいてかさ歯車の創成を行うのと同じ（またはほぼ同じ）ようにワークおよびツールの運動学的関係を含む運動のサイクル（cycle）を行うことができる。

30

#### 【0014】

異なる個数および/または構成の軸を有する多軸のコンピュータ制御の歯車の創成機械のために従来の機械式のクレードルスタイルの歯車の創成機械と同じ入力パラメータ（例えば、機械セッティング）を利用することが当業界において一般的に慣例になっている。言い換えると、従来の機械式のクレードルスタイルのかさ歯車の創成機械の座標系におけるツール軸および被加工物軸の位置は、多軸のコンピュータ制御の歯車の創成機械の代替的な座標系に変換される。そのような変換の例は、上記参照した米国特許第4,981,402号明細書、第6,669,415号明細書、および第6,712,566号明細書の中に見つけることができ、それらの開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

40

#### 【0015】

連続割出しプロセス（正面ホブ切り）で切り込まれるかさ歯車およびハイボイド歯車は、歯幅に沿って概して平行な歯たけ（parallel tooth depth）を有する。創成面またはクレードル面内の基本的な切削構成は、ラジアル距離（radial distance）と一般に呼ばれる量だけ創成歯車の中心（クレードル軸）から離れている位置にカッタヘッドの中心を置く。カッタヘッド軸は、創成歯車またはクレードル軸に平行である。歯車のブランク（blank）は、クレードルおよびカッタの正面に位

50

置ることができ、カッタ刃が歯車の溝を切り込むようになっている。基本的な切削構成の切削エッジ (cutting edge) は、創成歯車の輪郭に似ているために直線である。カッタは回転する間、歯車は、カッタが開始したのと同じ多さのピッチで各カッタの回転中に回転しなければならない (刃群)。歯車の歯の輪郭の形を創成するために、創成歯車は、その軸周りに回転しなければならない一方、歯車は、創成歯車の回転角度に転造の比 (ratio of roll) を乗じた分回転する。この転造の比は、創成歯車の歯の枚数をワーク歯車の歯の枚数で割ったものである。

【0016】

上述の歯車に対して噛み合うピニオンは、同じように切り込まれ、創成される。しかし、歯車が創成歯車の中心の上のカッタヘッドの中心で創成された場合 (右螺旋)、このピニオンは、創成歯車の中心の下のカッタの中心で創成されなければならない (左螺旋)。このやり方で創成されたピニオンおよび歯車は、外転サイクロイドの歯すじ (epicyclic flank line) を有し、オクトイド歯の輪郭 (octoide tooth profile) 上にある。両部材が創成歯車の鏡像で創成されるので、両部材は、完全に対をなして共にロールする。これは、ピニオンおよび歯車が、アクティブなフランク面 (active flank surface) 全体にわたって延びる接触線に沿って互いに接触することを意味する。理論的な環境では、ピニオンおよび歯車は、運動誤差なしでロールし、完全に側面接触する (have a full flank contact)。

【0017】

実際の応用のために生産される歯車は、ギヤボックス、シャフト、歯車本体、および歯の荷重の影響による撓みを許容するために位置決めされた側面接触を必要とする大型歯車の場合特に、輪郭 (すなわち、歯高) 方向のクラウニング (crowning)、および歯幅 (すなわち、歯の縦) 方向のクラウニングが、両部材に当てられる。輪郭方向のクラウニングは、切削刃の直線の切削エッジの輪郭を凹曲面に変更することによって一般に実現される。ピニオンおよび歯車の刃は、それらの各々が輪郭のクラウニングの50%に寄与するように同じ曲率半径を完全に受け入れる。

【0018】

約800mmのリングギヤの直径までの歯車の長さ方向のクラウニングは、カッタヘッドの傾き (すなわち、カッタの傾斜) によって一般に実現される。カッタヘッドの傾きは、歯の中央における元のねじれ角および歯溝の比率が一定のままであるように配置される。端部に向かってより深く切削することにより、端部に向かって歯溝をより広くさせ、それによって歯幅方向のクラウニングを生成する。

【0019】

800mmを超えるリングギヤの直径のかさ歯車セットでは、空間内でカッタヘッドを傾斜させるようにメカニカル機械の設備を実現することは困難になる。製造機械が6軸の数値制御されたフリーフォームの機械の場合、カッタの傾斜は、枢動軸の補間運動に変換される (例えば、上述の米国特許第4,981,402号明細書)。そのような大型歯車の場合には、数トンの重量があり得る機械の構成要素のそのような高精密な補間運動を実現することはやはり難しいことが分かっている。したがって、全ての専用の大型かさ歯車の製造機械は、傾斜したカッタの原理を避ける。結果として、必要な長さのクラウニングが、カッタヘッド軸に対して切削刃の位置の半径をわずかに変更することによって創成される。いくつかの場合では、例えば、ピニオンおよび歯車のカッタの内側刃の半径位置が公称カッタ半径の約1%だけ減少する場合、それは十分である。この内側刃は、歯の中心から刃の内端または外端まで移動して円形ストックオフ状態 (circular stock off condition) を創成する。修正された凸形のピニオンの側面が修正されていない凹形の歯車の側面と噛み合い、修正された特形の歯車の側面が修正されていない凹形のピニオンの側面と噛み合う。この相互作用は、歯車セットの両回転方向に歯幅方向の所望の量のクラウニングを与える。

【0020】

10

20

30

40

50

正面ホブ切りのカッタヘッドの外側刃および内側刃は、半径の修正がもたらされる前には刃の基準点で同じ半径を当初有する。連続割出しの動きによって、一刃群の第1の刃（例えば、外側刃）が歯幅に沿ってある点を通じた後、同じ刃群の第2の刃（例えば、内側刃）が同じ溝内の同じ点を通じるまで角度のある溝幅だけワークを回転させる。長さのクラウニングを創成するために内側刃の半径が減少する場合、生産される溝幅は、とても大きくなる。結果として、正しい溝幅を切り込む2つの方法がある。

(a) 凸形の側面を切り込む第1の構成、および凹形の側面を切り込む第2の構成

(b) 切削機械の2つの異なるスピンドルの接続に接続された2つのインターロック正面カッタ (interlocking face cutter)

【0021】

10

方法(a)は、2つの異なる切削機械の構成、および2つの別個の切削サイクルを必要とする。方法(b)は、複雑な「第1のスピンドル中の第2のスピンドル」の配置を必要とし、そこでは第2のスピンドルは、第1のスピンドルに対する偏心のオフセットを必要とし、第1のスピンドルも、創成歯車面内で正しい角度方向の設備を必要とする。方法(b)は、機械剛性を減少させ、したがって(単一のカッタスピンドル接続(cutter-spindle connection)に比べて)小さい創成転造の速度を必要とする。210mmを超えるカッタヘッド直径を必要とする全ての大きい正面ホブ切りされた歯車は、方法(a)に従って製造される。方法(a)は、従来の仕上げプロセス(completing process)の切削時間のほぼ2倍の切削時間を必要とする。

【0022】

20

したがって、カッタ半径の修正は、大型歯車の場合の仕上げ切削プロセス(completing cutting process)を妨げる。創成プロセス全体の間、カッタヘッドの傾斜は、数値制御された機械において、補間している揺動角(歯底角)の動き(interpolating swing angle (root angle) motion)を活性化する。これは仕上げプロセスを依然として可能にするが、数トンの重量を有する機械の構成要素のほんのわずかな程度の量の補間(結合した)回転は、プロセスの剛性および精度を低下させ、その機械的な実現において費用もとてもかかる。

【0023】

所望の量の長さのクラウニングを創生する仕上げ切削プロセスを実行する正面ホブ切りまたは正面フライス削りの切削方法は、カッタ半径の修正または補間している揺動軸の動きのいずれかを必要とする。約800mmを超えるリングギヤの直径を有するかさ歯車を製造する生産性のある仕上げプロセスについては、カッタ半径の修正は、合理的にはあり得ず、(フリーフォームの機械における補間している揺動(枢動)軸の動きに等しい)カッタヘッドの傾斜は、プロセスの剛性を低下させ、ゆえに生産性および精度を減少させる。本発明は、これらの欠点および他の欠点を克服する解決策を提示する。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0024】

【特許文献1】米国特許第4,981,402号明細書

【特許文献2】米国特許第6,669,415号明細書

【特許文献3】米国特許第6,712,566号明細書

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0025】

本発明は、縦方向の歯溝の側面と歯面のクラウニングの両方の機械加工が、アクティブな枢動軸なしで、歯車の創成中のラジアルの基本セッティングと旋回の基本セッティングの間の従来の関係を修正することによって実現されるかさ歯車を機械加工する方法に関する。

【図面の簡単な説明】

【0026】

50

【図1】結合した完成しているかさ歯車装置 (conjugate completing bevel gearing) についての三角形のベクトル図である。

【図2】一方が凸形の側面を切削するための内側刃を備えると共に、一方が凹形の側面を切削するための外側刃を備える2つの別個のカッタの中心への2つのラジアル距離ベクトルを有する創成歯車の平面図である。

【図3(a)】同一の軸を有する2つのカッタヘッドの断面の側面図である。カッタ半径  $R_{W-I_B}$  および  $R_{W-O_B}$  は、外側刃および内側刃について同一である。また、曲率半径  $\rho_{O_B}$  および  $\rho_{I_B}$  は同一である。

【図3(b)】異なる軸を有する2つのカッタヘッドの断面の側面図である。それらのカッタ半径は、図面の面内に示される。 $R_{W-I_B}$  は、 $R_{W-O_B}$  より  $R$  だけ小さい(刃の基準点が並んでいる)。また、曲率半径は、 $\rho_{O_B} = \rho_{I_B} + R$  だけ異なる。

【図3(c)】は、外側刃および内側刃を有する単一のカッタの断面の側面図である。カッタ半径は、図面の面内に示される。このカッタは、図面の面に垂直な軸周りに傾斜させられる。刃の角度  $\alpha_{I_B}$  および  $\alpha_{O_B}$  は、傾斜していないカッタのものと同じ水平線への基準輪郭を提示するように接続される。カッタ半径  $R_{W-I_B}$  および  $R_{W-O_B}$  は、外側刃および内側刃について同一である。曲率半径  $\rho_{O_B}$  および  $\rho_{I_B}$  は、異なる ( $\rho_{O_B} = \rho_{I_B} + R$ )。

【図4】クレードル、ラジアルセッティングの設備、旋回角の設備、傾斜角の設備、歯底角のセッティングについての揺動角、センタートゥバックの調整、オフセットの調整、摺動ベースのセッティング、ならびに見えないクレードルの回転とワークの回転の間の転造結合の比 (ratio of roll coupling) およびカッタの回転と追加のワークの回転の間の割り出し比の結合 (indexing ratio coupling) を有する従来のかさ歯車創成盤を示す図である。

【図5(a)】一緒に回転するラジアル機構、旋回機構および傾斜機構と共にクレードルを示す図である ( $0^\circ$  の位置)。

【図5(b)】一緒に回転するラジアル機構、旋回機構および傾斜機構と共にクレードルを示す図である ( $30^\circ$  の位置)。

【図5(c)】一緒に回転するラジアル機構、旋回機構および傾斜機構と共にクレードルを示す図である ( $60^\circ$  の位置)。

【図6(a)】ラジアルドラム (radial drum) に強固に接続されるクレードルを示す図である。傾斜部は、旋回部に強固に接続されるが、旋回部は、ラジアルドラムに強固に接続されない。旋回部および傾斜部は不動であるが、クレードルは回転する ( $0^\circ$  の位置)。

【図6(b)】ラジアルドラムに強固に接続されるクレードルを示す図である。傾斜部は、旋回部に強固に接続されるが、旋回部は、ラジアルドラムに強固に接続されない。旋回部および傾斜部は不動であるが、クレードルは回転する ( $30^\circ$  の位置)。

【図6(c)】ラジアルドラムに強固に接続されるクレードルを示す図である。傾斜部は、旋回部に強固に接続されるが、旋回部は、ラジアルドラムに強固に接続されない。旋回部および傾斜部は不動であるが、クレードルは回転する ( $60^\circ$  の位置)。

【図7】垂直移動 (Y)、ワークの軸方向移動 (Z)、および水平 (X) 移動について直線摺動を伴うと共に、ワークの回転 (Aスピンドル)、カッタの回転 (Cスピンドル)、および揺動回転 (B軸) を伴うフリーフォームのかさ歯車の製造機械を示す図である。

【図8(a)】図3(a)中のカッタの定義、および図5(a)から図5(c)に記載のクレードル構成 (回転) による歯車セットの分析結果のグラフである。

【図8(b)】図3(b)中のカッタの定義、および図5(a)から図5(c)に記載のクレードル構成 (回転) による歯車セットの分析結果のグラフである。

【図8(c)】図3(c)中のカッタの定義、および図5(a)から図5(c)に記載のクレードル構成 (回転) による歯車セットの分析結果のグラフである。

【図8(d)】図3(c)中のカッタの定義、および図6(a)から図6(c)に記載のクレードル構成 (回転) による歯車セットの分析結果のグラフである。

10

20

30

40

50

【図 8 ( e )】図 3 ( c ) 中のカッタの定義、および図 6 ( a ) から図 6 ( c ) に記載のクレードル構成 ( 回転 )、ならびに ( 図 8 ( d ) のシナリオに対しての ) カッタの回転の追加の補償による歯車セットの分析結果のグラフである。

【図 8 ( f )】図 3 ( c ) 中のカッタの定義、および図 6 ( a ) から図 6 ( c ) に記載のクレードル構成 ( 回転 )、ならびにカッタの回転の追加の補償による歯車セットの分析結果のグラフである。図 8 ( f ) 中のフランク面は、一次の基本セッティングおよび二次の運動で補正されている。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 7 】

本発明の任意の特徴および少なくとも 1 つの構成を詳細に説明する前に、本発明は、その適用において、以下の説明に記載されると共に図面に示される構成要素の構成および配置の詳細に限定されないことを理解されたい。本発明は、他の構成が可能であり、様々なやり方で実施または実行される。また、本明細書中に使用される術語および専門用語は、説明のためのものであり、限定とみなされるべきでないことが理解されよう。

【 0 0 2 8 】

本明細書に用いられる「発明」および「本発明」という用語は、本明細書および添付の特許請求の範囲における主題の全てについて幅広く言及することが意図されている。これらの用語を含む記述は、本明細書中に記載の手段を限定する、または添付の特許請求の範囲のいずれかの意味もしくは範囲を限定するように理解されるべきではない。さらに、本明細書は、本明細書の任意の特定の部分、段落、記述、または図面に特許請求の範囲によって含まれる主題を記述すなわち限定しようとするものではない。本主題は、明細書全体、全ての図面、および添付の特許請求の範囲を参照することによって理解されるはずである。

【 0 0 2 9 】

本発明の文脈では、「かさ」歯車という用語は、かさ歯車として知られているタイプの歯車、「ハイポイド」歯車、アングル歯車、ならびに「クラウン」歯車または「フェース」ギヤとして知られている歯車を含むのに十分な範囲であることが理解されよう。「歯車セット」または「歯車ペア」という用語は、ピニオン部材、通常は駆動部材と、相手歯車部材 ( 例えば、リングギヤ )、通常は被駆動部材とから構成される噛み合わせ部材 ( m a t i n g m e m b e r ) に言及することも理解されたい。

【 0 0 3 0 】

本発明は、歯溝の両側面の仕上げ切削 ( c o m p l e t i n g c u t t i n g ) を可能にし、有効半径を修正することによってピニオンおよび歯車の相互作用時に長さのクラウニングを実現するかさ歯車を切削する方法に向けられている。本発明の方法は、かさ歯車セットのどちらかまたは両方の部材に適用することができる。

【 0 0 3 1 】

図 3 ( c ) 中の原理によるカッタヘッドの傾斜が、従来のかさ歯車創成盤 ( 図 4 ) の中央転造位置 ( c e n t e r r o l l p o s i t i o n ) に適用される場合、その特定の転造位置についてフリーフォームの機械 ( 図 7 ) の構成に変換されるとき、これは、ある X 軸、Y 軸、Z 軸および B 軸の位置になることが理解できる。フリーフォームの機械の X、Y および Z についての全ての軸の値については基本セッティングから正確に変換されるが、B 軸の角度が中央転造位置の値における全ての転造位置において一定のみである場合、転造プロセスは、歯車セットのピニオン部材および / または歯車部材の理論的なフランク面へのととも大きいずれにより受け入れ可能ではなくなる。一次の逆に旋回する運動 ( 以下、逆旋回運動 ) は、クレードルの回転度 ( d e g r e e o f c r a d l e r o t a t i o n ) ごとに傾斜の向きを回転させ、ある程度、元の向きに戻ることが発見されている。

【 0 0 3 2 】

逆旋回運動のそのような配置は、( 基本セッティングが全ての転造位置について転換された後 ) フリーフォームの機械の B 軸の動きをなくし、( 逆旋回運動のない場合に比べて

10

20

30

40

50



)異なるX値、Y値およびZ値にもなる。傾斜および旋回の設備 (tilt and swivel provisions) がカッタスピンドルを保持するので、(連続切削における)カッタの回転は、(それらが逆回転の旋回によって生じると同時に)あらゆる相対的な回転量について補正されなければならない。代わりにワークの回転を補正することも可能である。

#### 【0033】

逆の傾斜運動のない切削の場合、転造位置の中心において、得られるフランク面 (生成平坦 (generating flat)) は、同じ生成平坦となる。少量の傾斜角の場合、転造の中心と転造位置の端 (例えば、外端)、ならびに転造の中心と開始の転造位置 (以下、開始転造位置) (例えば、内端) の間の側面が形成するずれ (flank form deviation) はとても小さく、無視することができる。より大きい量の傾斜の場合、得られる側面のずれは、一次および二次の螺旋運動、一次および二次のラジアル運動 (radial motion)、ならびに一次の修正した転造を用いて補正することができる。

10

#### 【0034】

図1は、歯幅の中心へのベクトル  $R_M$ 、生成歯車軸からカッタの中心へのラジアル距離のベクトル  $E_X$ 、および  $E_X$  ベクトルの先端から  $R_M$  ベクトルの先端へのカッタ径ベクトル (cutter radius vector)  $R_W$  と一緒に生成歯車の軸 (以下、生成歯車軸) を有する生成歯車の平面を示す。これは、カッタ刃が歯の中央面 (mid-face) における点を切削する回転位置において観察されるカッタ刃に関しての中央転造位置における切削のスナップショット (snapshot) を表す。

20

#### 【0035】

図2は、2つの別個のカッタの中心への2つのラジアル距離ベクトル  $E_{X-IB}$  および  $E_{X-OB}$  と一緒に生成歯車の平面を示す。一方のカッタが、 $R_{W-IB}$  によって表わされる凸形の側面の切削のための内側刃を有し、第2のカッタが、 $R_{W-OB}$  によって表わされる凹形の側面を切削するための外側刃を有する。内側の切削エッジの位置が、外側刃の半径より小さい半径へ移動されたので、これらのカッタの中心は、異なる位置 (凸形の側面を切削するための  $IB$ 、および凹形の側面を切削するための  $OB$ ) を有する。2つのカッタ径のベクトルは、歯幅の中心で生成歯車の座標系のZ軸上の同じ点に先端があるように配置されなければならない。これは、(1つのピッチ・歯の厚さ + 任意のあそびである) 正しい溝幅を生産するために必要である。

30

#### 【0036】

図3(a)は、カッタ径に垂直に向いている図を示す。カッタヘッド軸は、生成歯車軸に平行である。この例での刃の切削エッジは直線である。カッタ半径  $R_{W-IB}$  および  $R_{W-OB}$  は、外側刃および内側刃について同一である。凹形の側面のリード方向に生成された曲率半径は、 $r_{IB} = R_{W-IB} / \cos \theta_{IB}$  である。凸形の側面のリード方向に生成された曲率半径は、 $r_{OB} = R_{W-OB} / \cos \theta_{OB}$  である。 $r_{OB}$  および  $r_{IB}$  は等しいので、 $r_{IB}$  および  $r_{OB}$  も等しい。図3(a)中のカッタヘッドが、一部材 (例えば、歯車) の製造に使用される場合、およびこのカッタヘッドの鏡像 (鏡面はX-Zである) が、他の部材 (例えば、ピニオン) の製造に使用される場合、そのペアは、完全に対をなす。

40

#### 【0037】

図3(b)は、カッタ径に垂直に向いている図を示す。カッタヘッド軸は、生成歯車軸に平行である。この例での刃の切削エッジは直線である。内側刃についてのカッタ径  $R_{W-IB}$  は、外側刃の半径  $R_{W-OB}$  より  $R$  だけ小さい。凹形の側面のリード方向に生成された曲率半径は、 $r_{IB} = R_{W-IB} / \cos \theta_{IB}$  である。凸形の側面のリード方向に生成された曲率半径は、 $r_{OB} = R_{W-OB} / \cos \theta_{OB}$  である。 $R_{W-IB}$  は  $R_{W-OB}$  より小さいので、 $r_{IB}$  も  $r_{OB}$  より小さい。内側刃および外側刃は、異なるカッタヘッドに配置される。内側刃のカッタヘッドの軸は、図3(a)におけるように、内側刃が、そして外側刃が、同じ点でX軸に交差するように配置される。図3(b)中のカッ

50

タヘッドが、一部材（例えば、歯車）の製造に使用される場合、およびこのカッタヘッドの鏡像（鏡面はX-Zである）が、他の部材（例えば、ピニオン）の製造に使用される場合、長さのクラウニングを有すると共に正しい溝幅も有する歯車セットが創成される。図3（b）中の構成の欠点は、2つの切削機械の構成（または複雑な機械のダブルのスピンドルの接続部に接続されるインターロックカッタ（interlocking cutter））が必要とされることである。

【0038】

図3（c）は、カッタ径に垂直に向いている図を示す。この例での刃の切削エッジは直線である。半径 $R_{W-IB}$ および $R_{W-OB}$ は、内側刃および外側刃に対して同一である。内側刃および外側刃は、同じカッタヘッドに配置される。カッタヘッドは、図面の面に垂直である軸を中心にして傾斜されている。創成歯車軸に対する刃の角度（図3（c）中の水平軸）は、図3（b）と同一である。これは、（例えば、2°の傾斜の場合）内側刃の角度18°、および外側刃の角度22°を必要とする。凹形の側面のリード方向に創成された曲率半径は、 $r_{IB} = R_{W-IB} / \cos \theta_{IB}$ である。凸形の側面のリード方向に創成された曲率半径は、 $r_{OB} = R_{W-OB} / \cos \theta_{OB}$ である。 $r_{IB}$ は $r_{OB}$ より小さいので、 $r_{IB}$ も $r_{OB}$ より小さい。図3（c）中のカッタヘッドが、一部材（例えば、歯車）の製造に使用される場合、およびこのカッタヘッドの鏡像（鏡面はX-Zである）が、他の部材（例えば、ピニオン）の製造に使用される場合、長さのクラウニングを有すると共に正しい溝幅も有する歯車セットが創成される。図3（c）中の構成の利点は、一部材の凸形の（IB）側面と凹形の（IB）側面の両方を切削するためにたった1つの切削機械の構成が必要とされることである。

【0039】

図4は、クレードル（q）、ラジアルセッティングの設備（S）、旋回角の設備（j）、傾斜角の設備（i）、歯底角のセッティングについての揺動角（ $\theta_m$ ）、センタートゥバックの調整（ $X_p$ ）、オフセットの調整（ $E_m$ ）、摺動ベースのセッティング（ $X_b$ ）を含む知られたセッティングを伴う従来の機械式の（および上述のように理論的な）かさ歯車創成盤を示す。クレードルの回転とワークの回転の間の転造結合の比（ $R_a$ ）、およびカッタの回転と追加のワークの回転の間の転造結合の比（ $R_{ind}$ ）は図示されていない。

【0040】

図5（a）は、以下のように設備を備えたメカニカル機械の図を示す。

- ・創成歯車を回転させる（すなわち、クレードルの回転q）、
- ・カッタの中心を機械クレードルの中心（創成歯車軸）から離して配置する（ラジアル距離のセッティングSを実現するために角度 $\theta_s$ をセッティングするための回転要素）、
- ・カッタヘッド軸を傾かせる（傾斜角のセッティングiを実現するために角度 $\theta_i$ をセッティングするための回転要素）、
- ・創成歯車の平面に垂直な軸周りに傾斜したカッタ軸を回転させる - （旋回角のセッティングjを実現するための角度 $\theta_j$ をセッティングするための回転要素）。

【0041】

従来の（およびしたがって、理論的な）かさ歯車の創成機械に関しては、クレードルqは、角度 $\theta_s$ をセッティングするための回転要素に強固に接続可能であり、角度 $\theta_s$ をセッティングするための回転要素は、角度 $\theta_j$ をセッティングするための回転要素に強固に接続可能であり、角度 $\theta_j$ をセッティングするための回転要素は、角度 $\theta_i$ をセッティングするための回転要素に強固に接続可能である。そのような配置の一例として図5（a）を参照されたい。ワーク歯車およびその関連した機械要素ならびにワーク保持装置は、明確化のために図5（a）に示されていない。したがって、創成中にクレードルqを回転すると、角度 $\theta_s$ 、 $\theta_j$ および $\theta_i$ をセッティングするための回転要素は、上述の強固な接続が与えられたクレードルqと共に回転する。

【0042】

図5（a）中の全てのカッタスピンドルの構成の位置は、それらの現在のセッティング

において矢印が付けられている。図5(a)に示されるクレードルの回転位置は、開始転造位置に設定されている。旋回機構および傾斜機構に接続されると共にツール軸Tを含む補助平面 $P_A$ は、カッタの傾斜角 $i$ およびクレードルの回転位置を示す。

【0043】

図5(b)は、図5(a)に示されるものと同じメカニカル機械を示すが、クレードルは、反時計回りに $30^\circ$ だけ回転している。クレードルの回転に関しては、ラジアル距離、旋回角、および傾斜角を確立するための設備(すなわち、要素)は、やはり反時計回りに $30^\circ$ だけクレードルと共に回転した。クレードルハウジングに付与された矢印は、クレードル上の基準マークに対して $30^\circ$ の角度を示す。旋回機構および傾斜機構に接続されると共にツール軸Tを含む補助平面 $P_A$ は、クレードルの新しい回転位置を示す。メカニカル機械では、傾斜の設備は旋回の設備に強固に固定され、旋回の設備は偏心した設備に強固に固定され、そのようなわけで図5(b)中の運動学的状況は、メカニカル機械に典型的である。

10

【0044】

図5(c)は、図5(a)に示されるものと同じメカニカル機械を示すが、ここではクレードルは、反時計回りに $60^\circ$ だけ回転している。クレードルの回転に関しては、ラジアル距離、旋回角、および傾斜角のための設備が、やはり反時計回りに $60^\circ$ だけクレードルと共に回転した。このとき、クレードルハウジングに付与された矢印は、クレードル上の基準マークに対して $60^\circ$ の角度を示す。旋回機構および傾斜機構に接続されると共にツール軸Tを含む補助平面 $P_A$ は、クレードルの新しい回転位置を示す。メカニカル機械では、傾斜の設備は旋回の設備に強固に固定され、旋回の設備は偏心した設備に強固に固定され、そのようなわけで図5(c)中の運動学的状況は、メカニカル機械に典型的である。

20

【0045】

図6(a)は、図5(a)に示されるのと同じ設備を備えたメカニカル機械の図を示す。図6(a)中の全てのカッタスピンドルの構成の位置は、それらの現在のセッティングにおいて矢印が付けられている。図6(a)に示されるクレードルの回転位置は、開始転造位置に設定されている。旋回機構および傾斜機構に接続されると共にツール軸Tを含む補助平面 $P_A$ は、カッタの傾斜角およびクレードルの回転位置を示す。図6(a)は、図5(a)と同一であるが、ここでは種々の実証についての出発位置である。

30

【0046】

図6(b)は、図6(a)に示されるのと同じメカニカル機械を示すが、クレードルは、反時計回りに $30^\circ$ だけ回転している。ラジアル距離 $S$ のための設備は、クレードル $q$ と強固に接続され、したがってやはり $30^\circ$ だけクレードルと共に回転する。しかし本発明によれば、旋回 $j$ の設備(傾斜の向き)は、ラジアル距離の構成の設備にもはや強固に接続されていないが、クレードルの回転の各増分と同時にクレードル $q$ の回転に等しい量だけ(すなわち、図6(b)中の $30^\circ$ だけ)(時計回りに)後方に(強固に接続された傾斜の向き $i$ と共に)有効に回転する。結果として、このとき、クレードルハウジングに付与された矢印は、クレードル上の基準マークに対して $30^\circ$ の角度を含み、図5(b)に比べて、旋回セッティングの設備に接続された矢印は、クレードルおよびラジアル設備上の基準マークに対して $-30^\circ$ の角度を含む。言い換えると、旋回の設備および傾斜の設備の正味の回転結果はゼロである。旋回機構および傾斜機構に接続されると共にツール軸Tを含む補助平面 $P_A$ は、(同じ絶対量だけ)クレードルと旋回の間での反対の回転の結果として、空間内で回転せず、図6(a)中のような同じ向きを有する。

40

【0047】

図6(c)は、図6(a)に示されるものと同じメカニカル機械を示すが、クレードルは、反時計回りに $60^\circ$ だけ回転している。ラジアル距離 $S$ のための設備は、クレードル $q$ と強固に接続され、したがってやはり $60^\circ$ だけクレードルと共に回転する。しかし、本発明によれば、旋回 $j$ の設備(傾斜の向き)は、ラジアル距離の構成の設備にもはや強固に接続されていないが、(クレードルの回転の各増分と同時にクレードル $q$ の回転に等

50

しい量だけ（すなわち、図6(c)中の60°だけ）（時計回りに）後方に強固に接続された傾斜の向き*i*と共に）有効に回転する。結果として、このとき、クレードルハウジングに付与された矢印は、クレードル上の基準マークに対して60°の角度を含み、図6(b)に比べて、旋回セッティングの設備に接続された矢印は、クレードルおよびラジアル設備上の基準マークに対して-60°の角度を含む。言い換えると、旋回の設備および傾斜の設備の正味の回転結果はゼロである。旋回機構および傾斜機構に接続されると共にツール軸Tを含む補助平面P<sub>A</sub>は、（同じ絶対量だけ）クレードルと旋回の間反対の回転の結果として、空間内で回転せず、図6(a)中のような同じ向きを有する。

#### 【0048】

図7は、垂直移動(Y)、ワークの軸方向移動(Z)、および水平(X)移動について直線摺動を伴うと共に、ワークの回転(Aスピンドル)、カッタの回転(Cスピンドル)および揺動(枢動)回転(B軸)を伴うフリーフォームのかさ歯車の製造機械を示す。図7に示されるようなフリーフォームの機械を用いてツールとワークの間の全ての相対運動を正確に複製するために、座標変換は、図4に示されるようなクレードルスタイルのかさ歯車の切削（または研削）機械の幾何学的セッティングおよび運動学的セッティングの変換を可能にする（前述の米国特許第4,981,402号明細書、第6,669,415号明細書、および第6,712,566号明細書を参照）。

#### 【0049】

従来のメカニカル機械から図7に示されるようなフリーフォームの機械へ（図5(a)から図5(c)に示されるように）空間内でクレードルと共に回転する傾斜したカッタスピンドルの変換においては、ワークとツール軸の間の向きの角度変更は、創成転造プロセス中に行われる。これは、図7のフリーフォームの機械のツール軸と被加工物軸の間のB軸の揺動(枢動)の角度は、被加工物の製造の最中、創成転造プロセスの間に常に変化することを意味する。

#### 【0050】

しかし、従来のメカニカル機械から図7に示されるようなフリーフォームの機械へ（図6(a)から図6(c)に示されるように）クレードルの回転から独立して空間内に静止しているカッタスピンドルの傾斜の変換においては、ワークとツール軸の間の向きの角度変更は、創成転造プロセス中に行われない。これは、図7のフリーフォームの機械のツール軸と被加工物軸の間のB軸の揺動(枢動)の角度が、被加工物の製造の最中、創成転造プロセスの間に変化しないことも意味する。

#### 【0051】

図6(a)から図6(c)における運動の変換の結果は、図5(a)から図5(c)の運動の変換とは対照的に、全ての転造位置について一定のB軸の角度になるだけでなく、異なる値のX、YおよびZを提供もする。

#### 【0052】

図8(a)は、図3(a)中のカッタ装置を用いて製造された歯車セットの緩和された計算した歯の接触パターンを示す。切削のシミュレーションのプロセスは、図5(a)から図5(c)に示されるように傾斜の向きの状態に基づいている。分析結果は、使用される歯車の製造機械（例えば、図4または図7）のタイプから独立している。この分析結果は、（図3(a)中のカッタ装置による）長さのクラウニングを示さない。図8(a)に見られる輪郭クラウニングは、大型かさ歯車の製造に典型的には使用される湾曲した刃の使用の結果である。長さのクラウニングを欠いているので、図8(a)中の分析に使用される歯車セットは、実際の使用には適していない。

#### 【0053】

図8(b)は、図3(b)中のカッタ装置を用いて製造された歯車セットの緩和された計算した歯の接触パターンを示す。切削のシミュレーションのプロセスは、図5(a)から図5(c)に示されるように傾斜の向きの状態に基づいている。分析結果は、図4または図7の製造機械が使用される場合、そのことから独立している。分析結果は、（湾曲した刃の切削エッジによる）輪郭クラウニング、および100μmの範囲内の長さのクラウ

10

20

30

40

50

ニングを示す。長さおよび輪郭クラウニングは、かさ歯車セットの実用に必要とされる。図3(b)による異なるカッタ半径を有する創成プロセスの欠点は、2つの切削機械の構成(または複雑な機械のダブルのスピンドルの接続部に接続されるインターロックカッタ)が必要とされることである。

【0054】

図8(c)は、図3(c)中のカッタ装置を用いて製造された歯車セットの緩和された計算した歯の接触パターンを示す。切削のシミュレーションのプロセスは、図5(a)から図5(c)に示されるように傾斜の向きに基づいている。分析結果は、図4または図7の製造機械が使用される場合、そのことから独立している。分析結果は、(湾曲した刃の切削エッジによる)輪郭クラウニング、および100 $\mu\text{m}$ の範囲内の長さのクラウニングを示す。長さおよび輪郭クラウニングは、かさ歯車セットの実用に必要とされる。この構成の利点は、仕上げプロセスにおいて1つのカッタヘッドで内側および外側の側面を切削するために部材ごとにたった1つの切削機械の構成が使用されることである。図7に示されるような最近のフリーフォームの機械を用いた大型歯車の製造に特に関連しているこの構成の欠点は、B軸が、創成プロセス中に一定の角度変化を必要とすることである。

10

【0055】

図8(d)は、図3(c)中のカッタ装置を用いて製造された歯車セットの緩和された計算した歯の接触パターンを示す。切削のシミュレーションのプロセスは、図6(a)から図6(c)に示されるように傾斜の向きに基づいている。分析結果は、図4または図7の製造機械が使用されていようとなかろうと独立している。しかし、傾斜の設備がクレードルに強固に固定されず、空間内で不動となるので、メカニカル機械(図4)からフリーフォームの機械(図7)への基本セッティングの変換は、創成プロセス全体を通じて一定のB軸の角度になる。図8(d)中の分析結果は、数千マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )の緩和した量を示す。図8(d)による歯車セットは、実際の使用には適していない。

20

【0056】

図8(e)は、図3(c)中のカッタ装置を用いて製造された歯車セットの緩和された計算した歯の接触パターンを示す。切削のシミュレーションのプロセスは、図6(a)から図6(c)に示されるように傾斜の向きに基づいている。図8(d)中の歯車セットの創成とは対照的に、図8(e)中で分析された歯車セットの創成は、追加のカッタの回転を含む。この回転は、強固でなく接続された傾斜および旋回の設備により失われ、それは、創成転造中に非回転の傾斜の設備を補償する。カッタの回転が、作動され、カッタスピンドルを保持する傾斜および旋回の設備に対して定められる。例えば、図6(a)から図6(b)へ、創成歯車(クレードル)は30°回転する。カッタの回転は、例えば、一定のRPMに追加の30°のクレードルの回転を加えた(または差し引いた)ものからなるべきである。回転の補償は、カッタとワークの間の正確な割り出しの比を考慮すればワーク歯車を用いて実行することもできる。この回転の補償は、連続割出し切削プロセス(正面ホブ切り)に必要なだけである。

30

【0057】

図8(e)の分析結果は、(湾曲した刃の切削エッジによる)輪郭クラウニング、および100 $\mu\text{m}$ の範囲内の長さのクラウニングを示す。長さおよび輪郭クラウニングは、かさ歯車セットの実用に必要とされる。この構成の第1の利点は、仕上げプロセスにおいて1つのカッタヘッドで内側および外側の側面を切削するためにたった1つの切削機械の構成が部材ごとに使用されることである。図7に示されるような最近のフリーフォームの機械を用いた大型歯車の製造に特に関連しているこの構成の別の利点は、B軸が一定の値で固定できることである。これによって剛性および精度のかなりの向上がもたらされる。

40

【0058】

図8(f)は、図8(e)に示された同じ歯車セット(図3(c)のカッタ装置、および図6(a)から図6(c)に示されるような傾斜の向きの状態)の緩和された計算した接触パターンを示す。図8(e)中の場合の差は、(例えば、米国特許第5,580,2

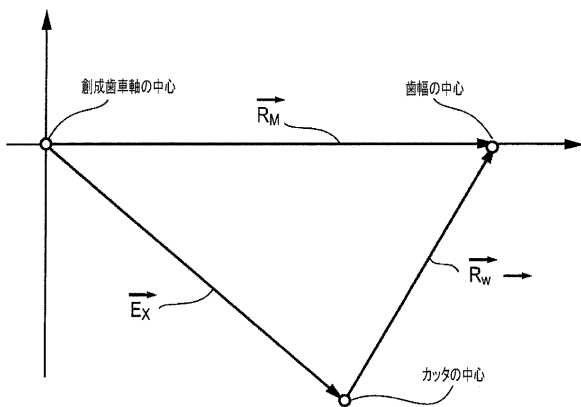
50

98号明細書（その開示は参照により本明細書に組み込まれる）に開示されたタイプの側面の形態の補正などの）幾何学的および運動学的な側面の形態の補正である。適用した補正は、ピニオンおよび歯車の創成プロセス中にB軸の角度移動のない図8（a）に示されるような元の緩和された歯の接触に近い。この近似は、図8（a）に比較して、極端な緩和のコーナーでほんのとても小さい差になる。

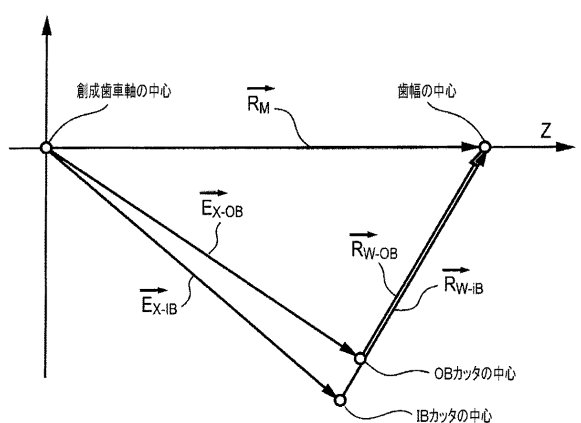
【0059】

本発明は、好ましい実施形態を参照して説明されてきたが、本発明はその特定のものに限定されないと理解されたい。本発明は、添付の特許請求の範囲の精神および範囲から逸脱することなく、主題と関連している当業者に明らかな修正形態を含むことが意図されている。

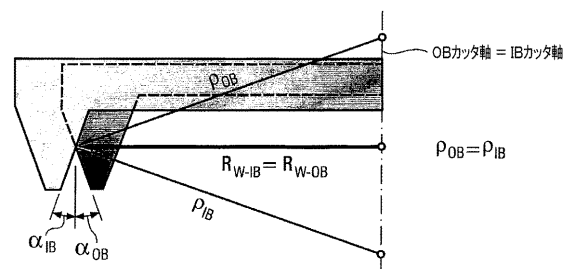
【図1】



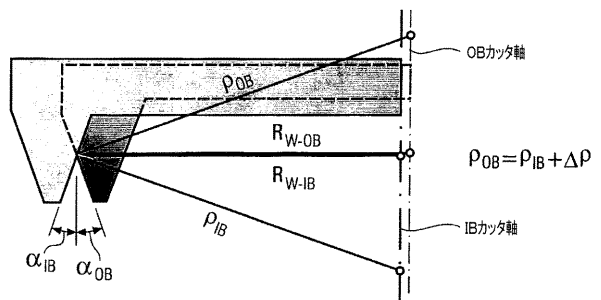
【図2】



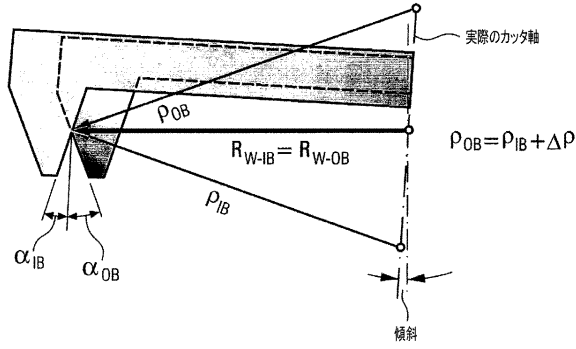
【図3(a)】



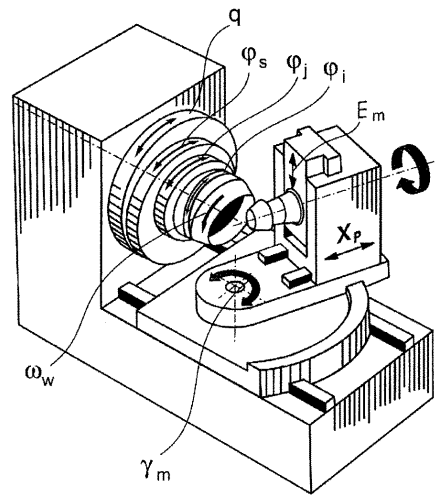
【図3(b)】



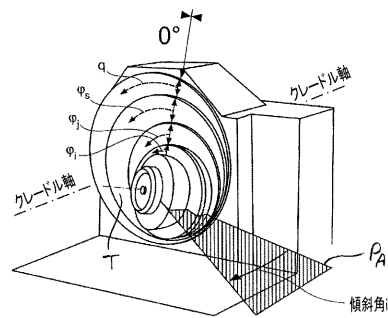
【図3(c)】



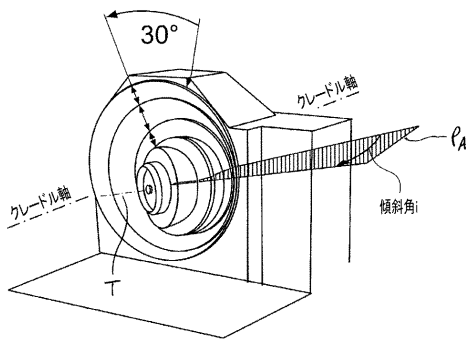
【図4】



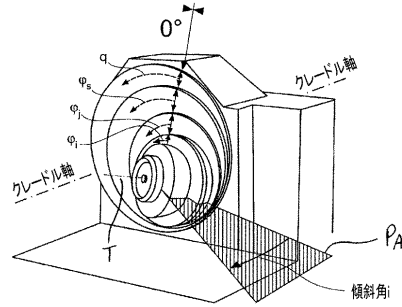
【図5(a)】



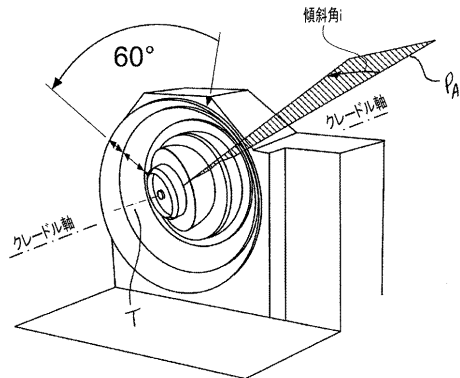
【図5(b)】



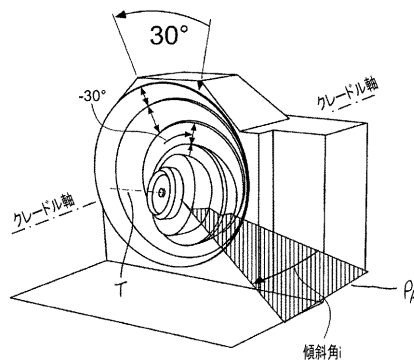
【図6(a)】



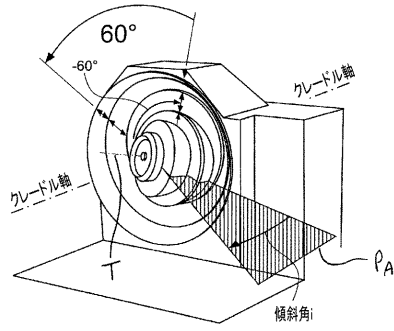
【図5(c)】



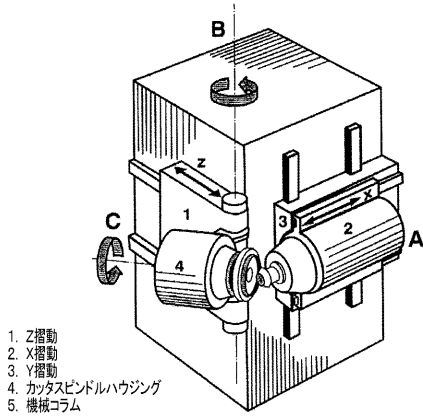
【図6(b)】



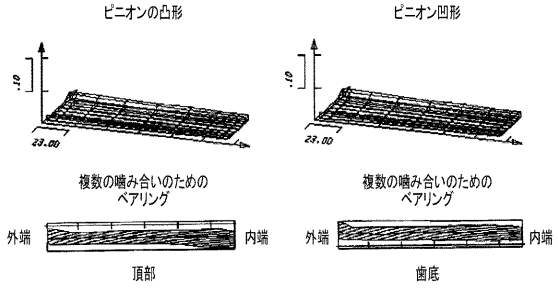
【図6(c)】



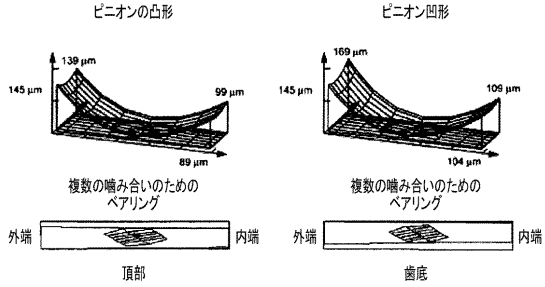
【図7】



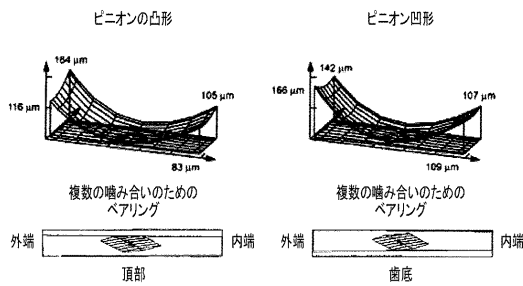
【図8(a)】



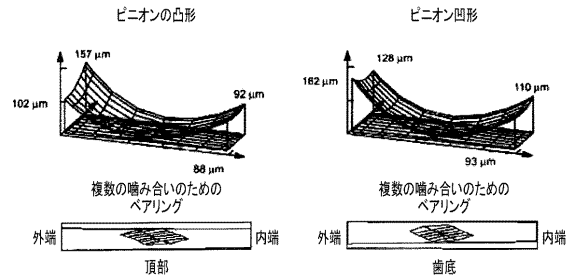
【図8(b)】



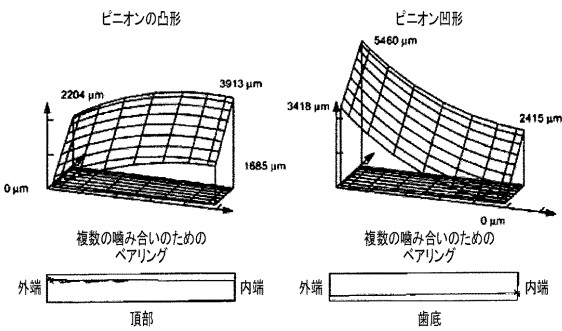
【図8(c)】



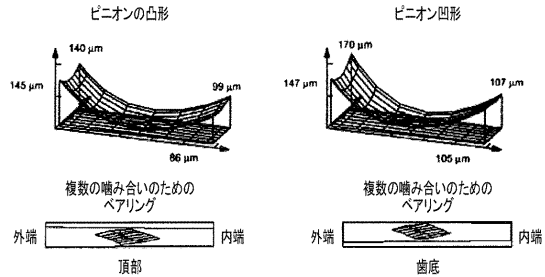
【図8(e)】



【図8(d)】



【図8(f)】





---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-185760(JP,A)  
特公平07-085843(JP,B2)  
米国特許第04981402(US,A)  
特開2004-181621(JP,A)  
米国特許出願公開第2004/0105731(US,A1)  
特許第3437847(JP,B2)  
特開昭59-093223(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23F 9/02 - 9/14  
B23F 5/20 - 5/24  
WPI