

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年4月19日(19.04.2018)



(10) 国際公開番号

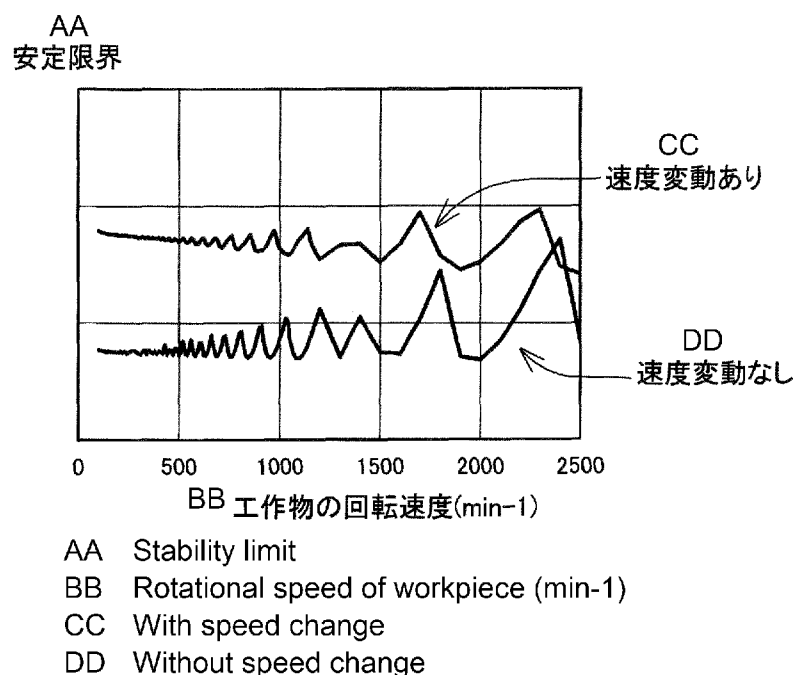
WO 2018/070403 A1

(51) 国際特許分類:
B23F 5/16 (2006.01) B23Q 15/12 (2006.01)
(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/036759
(22) 国際出願日: 2017年10月11日(11.10.2017)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2016-201909 2016年10月13日(13.10.2016) JP
特願 2017-197096 2017年10月10日(10.10.2017) JP
(71) 出願人: 株式会社ジェイテクト (JTEKT CORPORATION) [JP/JP]; 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 神田 大地 (KANDA Daichi); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 橋本 高明 (HASHIMOTO Takaaki); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 佐々木 雄二 (SASAKI Yuji); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 山田 良彦 (YAMADA Yoshihiko); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 大谷 尚 (OTANI Hisashi); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 大崎 嘉太郎 (OSAKI Yoshitaro); 〒5428502 大

(54) Title: GEAR MACHINING APPARATUS AND GEAR MACHINING METHOD

(54) 発明の名称: 歯車加工装置及び歯車加工方法



(57) Abstract: A gear machining apparatus 1 forms a gear in a workpiece W by moving a tooth cutting tool 42 relative to the workpiece W in the direction of the rotational axis of the workpiece W while synchronously rotating the tooth cutting tool 42 and the workpiece W. One of a workpiece rotational-speed control unit 130 and a tool rotational-speed control unit 140 changes the rotational speed of one of the workpiece W and the tooth cutting tool 42, and the other of the workpiece rotational-speed control unit 130 and the tool rotational-speed control unit 140 synchronizes the rotational speed of the other of the workpiece W and the tooth cutting tool 42 with the rotational speed of the one of the workpiece



阪府大阪府中央区南船場 3 丁目 5 番 8 号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 小林 脩, 外 (KOBAYASHI Osamu et al.); 〒4560002 愛知県名古屋市熱田区金山町一丁目 19 番 13 号 川島ビル 2 階 Aichi (JP).

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

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

W and the tooth cutting tool 42.

(57) 要約: 歯車加工装置 1 は、歯切り工具 42 と工作物 W とを同期回転させながら、工作物 W の回転軸線方向に沿って歯切り工具 42 を工作物 W に対して相対移動させることにより、工作物 W に歯車を創成する。工作物回転速度制御部 130 又は工具回転速度制御部 140 の何れか一方は、工作物 W 又は歯切り工具 42 の何れか一方の回転速度を変動させ、工作物回転速度制御部 130 又は工具回転速度制御部 140 の何れか他方は、工作物 W 又は歯切り工具 42 の何れか他方の回転速度を、工作物 W 又は歯切り工具 42 の何れか一方の回転速度に同期させる。

明 細 書

発明の名称： 歯車加工装置及び歯車加工方法

技術分野

[0001] 本発明は、歯車加工装置及び歯車加工方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、工作物と歯切り工具（カッタ）とを同期回転させながら工作物に歯車を創成する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2012-171020号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 歯切り工具によって工作物に歯車を創成する際、歯切り工具の回転速度を上昇させたり、切込量を大きくすると、工作物にびびり振動が発生しやすくなる。そして、そのびびり振動は、工作物に対して歯切り工具の刃先が周期的に接触することにより増幅する。一方、歯切り工具による工作物への切込量を小さくすることによりびびり振動を低減させることができるものの、この場合には、歯車加工に要する時間が長くなり、加工能率が低下する。

[0005] 本発明は、工作物に形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる歯車加工装置及び歯車加工方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の歯車加工装置は、歯切り工具と工作物とを同期回転させながら、前記工作物の回転軸線方向に沿って前記歯切り工具を前記工作物に対して相対移動させることにより、前記工作物に歯車を創成する歯車加工装置である。前記歯車加工装置は、前記工作物の回転速度を制御する工作物回転速度制御部と、前記歯切り工具の回転速度を制御する工具回転速度制御部と、を備

え、前記工作物回転速度制御部又は前記工具回転速度制御部の何れか一方は、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか一方の回転速度を変動させ、前記工作物回転速度制御部又は前記工具回転速度制御部の何れか他方は、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか他方の回転速度を、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか一方の回転速度に同期させる。

[0007] 本発明の歯車加工方法は、歯切り工具を工作物と同期回転させながら、前記工作物の回転軸線方向に沿って前記歯切り工具を前記工作物に対して相対移動させることにより、前記工作物に歯車を創成する歯車加工方法である。前記歯車加工方法は、前記工作物の回転速度を変動させる工作物回転速度設定工程と、前記歯切り工具の回転速度を、前記工作物回転速度設定工程により設定された前記工作物の回転速度の変動に同期させながら変動させる工具回転速度設定工程と、を備える。

[0008] 本発明の歯車加工装置及び歯車加工方法によれば、歯切り工具により工作物に歯車を形成（創成）する際に、歯切り工具が工作物に接触する周期が不規則となる。これにより、歯切り工具及び工作物の回転速度が変動せずに一定である場合と比べて、工作物に発生するびびり振動の増幅が抑制される。その結果、歯車加工装置及び歯車加工方法では、工作物Wに発生するびびり振動の発生を抑制しつつ、工作物に対する歯切り工具の切込量を大きく設定することができる。よって、歯車加工装置及び歯車加工方法では、工作物に形成された加工面の面性状（surface texture, surface integrity）の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の第一実施形態における歯車加工装置の斜視図である。

[図2]回転主軸に固定された歯切り工具を拡大した図である。

[図3]スカイピング加工を行う際の歯切り工具と工作物との動作を示す図である。

[図4]制御装置のブロック図である。

[図5]制御装置により実行される歯車加工処理のフローチャートである。

[図6]歯切り工具及び工作物の回転速度の変動を示すグラフである。

[図7A]工作物の回転速度と安定限界増加率との関係を示すグラフであり、回転速度の変動率又は変動周波数率を異なる値に設定した5パターンの安定限界線図を示す。

[図7B]工作物の回転速度と安定限界増加率との関係を示すグラフであり、回転速度の変動率を一定としつつ、変動周波数率を異なる値に設定した3パターンの安定限界線図を示す。

[図8]工作物の回転速度と安定限界との関係を示すグラフであり、歯切り工具及び工作物の回転速度を変動させた場合と変動させていない場合との比較を示す。

[図9A]第一変形例における歯切り工具及び工作物の回転速度の変動を示すグラフである。

[図9B]第二変形例における歯切り工具及び工作物の回転速度の変動を示すグラフである。

[図9C]第三変形例における歯切り工具及び工作物の回転速度の変動を示すグラフである。

[図9D]第四変形例における歯切り工具及び工作物の回転速度の変動を示すグラフである。

[図9E]第五変形例における歯切り工具及び工作物の回転速度の変動を示すグラフである。

[図10]第二実施形態においてホブ加工を行う際の歯切り工具と工作物との動作を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] <1. 第一実施形態>

以下、本発明に係る歯車加工装置及び歯車加工方法を適用した各実施形態について、図面を参照しながら説明する。まず、図1及び2を参照して、本発明の第一実施形態である歯車加工装置1の概略を説明する。

[0011] (1-1. 歯車加工装置1の概略)

図1に示すように、歯車加工装置1は、相互に直交する3つの直進軸（X軸、Y軸及びZ軸）と2つの回転軸（A軸及びC軸）を駆動軸として有するマシニングセンタである。歯車加工装置1は、ベッド10と、コラム20と、サドル30と、回転主軸40と、テーブル50と、チルトテーブル60と、回転テーブル70と、保持部80と、制御装置100と、を主に備える。

[0012] ベッド10は、床上に配置される。このベッド10の上面には、コラム20及びX軸モータ（図示せず）が設けられ、コラム20は、X軸モータに駆動されることにより、X軸方向（水平方向）へ移動可能に設けられる。さらに、コラム20の側面には、サドル30及びY軸モータ11（図3参照）が設けられ、サドル30は、Y軸モータ11によりY軸方向（鉛直方向）に移動可能に設けられる。回転主軸40は、サドル30内に収容された主軸モータ41（図3参照）により回転可能に設けられる。回転主軸40の先端には、歯切り工具42が固定され、歯切り工具42は、回転主軸40の回転に伴って回転する。

[0013] ここで、図2を参照しながら、歯切り工具42について説明する。図2に示すように、歯切り工具42は、外周面に複数の刃42aを備えたスカイピングカッタであり、各々の刃42aの端面は、すくい角 γ を有するすくい面を構成する。各々の刃42aのすくい面は、歯切り工具42の中心軸線を中心としたテーパ状としてもよく、刃42aごとに異なる方向を向く面状に形成してもよい。

[0014] 図1に戻り、説明を続ける。ベッド10の上面には、テーブル50及びZ軸モータ12（図4参照）が設けられる。テーブル50は、Z軸モータ12によりZ軸方向（水平方向）に移動可能に設けられる。テーブル50の上面には、チルトテーブル60を支持するチルトテーブル支持部61が設けられる。そして、チルトテーブル支持部61には、チルトテーブル60がA軸（水平方向）回りに揺動可能に設けられる。チルトテーブル60の底面には、テーブル用モータ62（図3参照）が設けられ、回転テーブル70は、テーブル用モータ62によりA軸に直交するC軸回りに回転可能に設けられる。

回転テーブル 70 には、工作物 W を保持する保持部 80 が装着される。

[0015] 制御装置 100 は、工作物 W の回転速度 V_1 及び歯切り工具 42 の回転速度 V_2 、及び、工作物 W に対する歯切り工具 42 の回転軸線方向（Z 軸方向）への送り速度 V_4 を制御する。なお、本実施形態では、テーブル 50 が Z 軸方向へ移動可能に構成される場合を例に挙げて説明するが、テーブル 50 の代わりにコラム 20 が Z 軸方向へ移動可能に構成されていてもよい。

[0016] ここで、図 3 に示すように、歯車加工装置 1 は、スカイピング加工により工作物 W に歯車を創成する。具体的に、歯車加工装置 1 は、チルトテーブル 60 を A 軸まわりに揺動させることにより、工作物 W の回転軸線である C 軸を、歯切り工具 42 の回転軸線 O に対して傾斜させる。なお、工作物 W の回転軸線に対する歯切り工具 42 の回転軸線 O の傾斜角度を交差角 δ と称す。そして、歯車加工装置 1 は、工作物 W と歯切り工具 42 とを同期回転させながら、歯切り工具 42 を工作物 W の中心軸線方向へ送る（相対移動させる）ことにより、工作物 W に歯車を創成する。

[0017] また、スカイピング加工において、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 及び工作物 W の回転速度 V_1 は、交差角 δ と切削速度 V_3 に基づいて決定される。そして、切削速度 V_3 及び送り速度 V_4 は、歯車加工に要する加工時間（サイクルタイム）、歯切り工具 42 の諸元、工作物 W の材質、及び、工作物 W に形成する歯車のねじれ角等に基づいて設定される。即ち、切削速度 V_3 及び送り速度 V_4 は、歯車加工を行う際の加工能率及び歯切り工具 42 の工具寿命等を勘案し、最適な速度に設定される。また、スカイピング加工において、切削速度 V_3 及び送り速度 V_4 を速くするほど、加工能率が向上する一方、面性状等の品質が低下する傾向がある。

[0018] この点に関し、歯車加工装置 1 は、最適な切削速度 V_3 及び交差角 δ に基づいて決定される工作物 W の回転速度 V_1 を基準回転速度 N_w とする。そして、歯車加工装置 1 は、基準回転速度 N_w を基準として工作物 W の回転速度 V_1 を変動させながら歯車加工を行う。これに伴い、歯車加工装置 1 は、歯車加工時において、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を変動させ、工作物 W の

回転速度 V_1 と同期させる。

[0019] さらに、歯車加工装置 1 は、最適な切削速度 V_3 及び交差角 δ に基づいて決定される工作物 W の送り速度 V_4 を基準送り速度 F_w とする。そして、歯車加工装置 1 は、基準送り速度 F_w を基準として、工作物 W の回転速度 V_1 と同期するように送り速度 V_4 を変動させる。

[0020] (1-2. 制御装置 100 について)

次に、図 4 を参照して、制御装置 100 について詳細に説明する。制御装置 100 は、基準回転速度設定部 110 と、基準送り速度設定部 120 と、工作物回転速度制御部 130 と、工具回転速度制御部 140 と、送り速度制御部 150 と、増減率設定部 160 と、を備える。

[0021] 基準回転速度設定部 110 は、切削速度 V_3 及び交差角 δ に基づいて決定される基準回転速度 N_w を設定する。基準送り速度設定部 120 は、切削速度 V_3 及び交差角 δ に基づいて決定される基準送り速度 F_w を設定する。

[0022] 工作物回転速度制御部 130 は、テーブル用モータ 62 を駆動制御し、工作物 W の回転速度 V_1 を変動させる。工具回転速度制御部 140 は、主軸モータ 41 を駆動制御し、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を変動させると共に、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を工作物 W の回転速度 V_1 に同期させる。送り速度制御部 150 は、Y 軸モータ 11 及び Z 軸モータ 12 を駆動制御し、送り速度 V_4 と工作物 W の回転速度とが同期するように送り速度 V_4 を変動させつつ、歯切り工具 42 と工作物 W との相対距離を調整する。

[0023] 増減率設定部 160 は、工作物 W の回転速度 V_1 の速度増減率及び周波数増減率を設定する。工作物 W の回転速度 V_1 の速度増減率は、工作物 W のびり振動等の発生を抑制可能な増減率に設定される。そして、工作物 W の回転速度 V_1 の周波数増減率は、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 や、工作物 W の回転速度 V_1 、工作物 W の切削力等に基づいたシミュレーションやハンマリング等による計測により求められる工作物 W の固有振動数に基づいて設定される。

[0024] (1-3. 歯車加工処理)

次に、図5及び図6を参照して、制御装置100により実行される歯車加工処理について説明する。なお、歯車加工処理を実行するにあたり、基準回転速度設定部110には基準回転速度 N_w が、基準送り速度設定部120には基準送り速度 F_w が、それぞれ設定される。また、増減率設定部160には、工作物Wの回転速度 V_1 の速度増減率及び周波数増減率が設定される。

[0025] 図5に示すように、歯車加工処理は、最初に、工作物回転速度制御部130による制御に基づき、工作物Wの回転速度 V_1 を設定する（S1：工作物回転速度設定工程）。具体的に、工作物回転速度制御部130は、図6に太線で示されるように、基準回転速度 N_w と速度増減率及び周波数増減率の値とに基づき、工作物Wの回転速度 V_1 を一定の周期で反復的に増減する。

[0026] なお、工作物Wの回転速度 V_1 の速度上側値及び速度下側値は、基準回転速度 N_w に速度増減率を乗じた値となる。例えば、基準回転速度 N_w を 1000 min^{-1} 、速度増減率を $\pm 15\%$ に設定した場合に、速度上側値は、 1150 min^{-1} となり、速度下側値は、 850 min^{-1} となる。そして、工作物Wの回転速度 V_1 は、各変動周期において、速度上側値以下の回転速度と速度下側値以上の回転速度との間で周期的に変動する。つまり、工作物Wの回転速度 V_1 は、少なくとも 300 min^{-1} の速度変動幅を有し、少なくとも $850\text{ min}^{-1} \sim 1150\text{ min}^{-1}$ の範囲で周期的に増減する。なお、図6に示すグラフの変動振幅は、工作物Wの回転速度 V_1 の速度変動幅に相当する。

[0027] さらに、工作物Wの回転速度 V_1 の変動周波数は、工作物Wの基準回転速度 N_w の値に工作物Wの回転速度 V_1 の周波数増減率の値を乗じた値となる。例えば、基準回転速度 N_w が 1200 min^{-1} （ 20 Hz ）、工作物Wの回転速度 V_1 の周波数増減率が 5% であれば、変動周波数（ Hz ）は、 $20\text{ Hz} \times 5\% = 1\text{ Hz}$ となる。

[0028] S1の処理後、歯車加工処理は、工具回転速度制御部140による制御に基づき、歯切り工具42の回転速度 V_2 を設定する（S2：工具回転速度設定工程）。具体的に、工具回転速度制御部140は、工作物Wに形成する歯

車と歯切り工具42との歯数比と、工作物回転速度制御部130により設定された工作物Wの回転速度V1等とに基づき、歯切り工具42の回転速度V2と工作物Wの回転速度V1とが同期するように、歯切り工具42の回転速度V2を設定する。

[0029] 例えば、基準回転速度 N_w が 1000 min^{-1} 、速度増減率が $\pm 15\%$ であり、工作物Wに形成される歯車と歯切り工具42との歯数比の比が3:1であるとする。この場合、工具回転速度制御部140は、 2550 min^{-1} ～ 3450 min^{-1} の範囲で歯切り工具42の回転速度V2を周期的に変動させる。この場合、工具回転速度制御部140は、歯切り工具42の回転速度V2の変動周波数が1Hzとなるように（工作物Wの回転速度V1の変動周波数と同一となるように）、歯切り工具42の回転速度V2を反復的に増減させる。

[0030] これにより、歯切り工具42の回転速度V2は、工作物Wの回転速度V1と同期しながら周期的に増減する。そして、歯切り工具42は、工作物Wに噛合しながら、工作物Wに連続的な歯車加工を行い、工作物Wに歯面形状を創成する。

[0031] S2の処理後、歯車加工処理は、送り速度制御部150による制御に基づき、送り速度を設定する（S3：送り速度設定工程）。S3の処理において、送り速度制御部150は、基準送り速度 F_w と工作物Wの回転速度V1の変動周波数とに基づき、送り速度V4が工作物Wの回転速度V1の変動周波数と同期するように、送り速度V4を変動させる。これにより、送り速度V4は、一定の周期で反復的に増減する。

[0032] ここで、図7A及び図7Bを参照しながら、工作物Wの回転速度V1の変動と、歯車加工時において工作物Wに発生するびびり振動との関係について説明する。図7A及び図7Bは、所定の速度増減率及び所定の変動周波数率で歯車加工を行う場合における工作物Wの回転速度V1（基準回転速度 N_w ）と歯切り工具42による切込量の増加率（安定限界増加率）との関係を示すグラフである。図7A及び図7Bにおいて、横軸は、工作物Wの回転速度

V 1（基準回転速度 N_w ）を、縦軸は、基準回転速度 N_w を維持したまま回転速度 V 1 を変動させずに歯車加工を行った場合と比較したときの安定限界増加率を、それぞれ示している。また、このグラフに示す安定限界増加率は、工作物 W の回転数、歯切り工具 4 2 の回転数、工作物 W の切削力（抵抗）等に基づくシミュレーションやハンマリング等により算出した工作物 W の固有振動数に基づいて求められる。

[0033] 図 7 A 及び図 7 B に示すグラフは、所定の基準回転速度 N_w で回転する工作物 W に対する切込量（安定限界）が、線図 A ~ H で示す切込量の値よりも小さく設定されていれば、工作物 W にびびり振動を発生させることなく、安定した歯車加工を行うことができることを示す。また、図 7 A 及び図 7 B に示すグラフでは、安定限界増加率が高くなるほど加工能率が向上することを示す。

[0034] 図 7 A に示す線図 A は、基準回転速度 N_w に対する工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率を $\pm 5\%$ 、回転速度の変動周波数率を 20% としたときの安定限界増加率を示す。線図 B は、基準回転速度 N_w に対する工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率を $\pm 10\%$ 、回転速度 V 1 の変動周波数率を 10% としたときの安定限界増加率を示す。線図 C は、基準回転速度 N_w に対する工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率を $\pm 10\%$ 、回転速度 V 1 の変動周波数率を 20% としたときの安定限界増加率を示す。線図 B 及び線図 C は、線図 A と比べて、安定限界増加率が高いことから、工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率が $\pm 10\%$ の場合には、工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率が $\pm 5\%$ である場合と比べて、安定限界増加率が高くなると考えられる。

[0035] 線図 D は、基準回転速度 N_w に対する工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率を $\pm 15\%$ 、回転速度 V 1 の変動周波数率を 10% としたときの安定限界増加率を示す。線図 E は、基準回転速度 N_w に対する工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率を $\pm 15\%$ 、回転速度 V 1 の変動周波数率を 30% としたときの安定限界増加率を示す。線図 D 及び線図 E は、線図 B 及び線図 C と比べて、安定限界増加率が高いことから、工作物 W の回転速度 V 1 の速度増減率

が±15%の場合には、工作物Wの回転速度V1の速度増減率が±10%である場合と比べて、安定限界増加率が高くなると考えられる。

[0036] 図7Bに示す線図Fは、基準回転速度 N_w に対する工作物Wの回転速度V1の速度増減率を±20%、回転速度V1の変動周波数率を1%としたときの安定限界増加率を示す。線図Gは、基準回転速度 N_w に対する工作物Wの回転速度V1の速度増減率を±20%、回転速度V1の変動周波数率を5%としたときの安定限界増加率を示す。線図Hは、基準回転速度 N_w に対する工作物Wの回転速度V1の速度増減率を±20%、回転速度V1の変動周波数率を20%としたときの安定限界増加率を示す。

[0037] 線図G及び線図Hは、線図Fと比べて、安定限界増加率がマイナスとなる工作物Wの回転速度V1の範囲が小さい。これにより、工作物Wの回転速度V1の変動周波数率が5%以上である場合には、工作物Wの回転速度V1の変動周波数率が1%である場合と比べて、びびり振動の発生が抑制されると考えられる。

[0038] 図8は、回転速度V1を変動させずに歯車加工を行う場合の安定限界と、回転速度V1の速度増減率を±15%、且つ、回転速度V1の変動周波数率を5%に設定した場合の安定限界とを比較したグラフである。図8に示すように、例えば、基準回転速度が 1200 min^{-1} であるとき、工作物Wの回転速度V1を変動させた場合には、回転速度V1を変動させない場合と比べて、安定限界増加率を約2倍上昇させることができる。

[0039] なお、歯車加工装置1による歯車加工では、工作物Wの回転速度V1と安定限界との関係に基づき、工作物Wに応じた基準回転速度 N_w を基準回転速度設定部110に設定する。そして、工作物回転速度制御部130は、工作物Wの回転速度V1を反復的に増減させ、工具回転速度制御部140は、歯切り工具42の回転速度V2を工作物Wの回転速度V1に同期させながら増減させる。この場合、歯車加工装置1は、歯切り工具42の基準回転速度 N_w を設定する場合と比べて、歯切り工具42と工作物Wとの歯数比を考慮することが不要である分、基準回転速度 N_w の設定を容易に行うことができる。

。

[0040] このように、工作物回転速度制御部 130 は、工作物Wの回転速度 V_1 を高速で反復的に増減させると共に、工具回転速度制御部 140 は、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を、工作物Wの回転速度 V_1 に同期させる。この場合、歯切り工具 42 の各々の刃 42a（図2参照）が工作物Wを切削する切削力（切削断面積）が不均一となる。その結果、歯車加工時において、工作物Wの回転速度 V_1 及び歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を変動させずに一定とする場合と比べて、歯車加工装置 1 は、工作物Wに発生する再生びびり振動の増幅を抑制できる。よって、歯車加工装置 1 は、工作物Wに対する歯車加工において、工作物Wに発生するびびり振動を抑制しつつ、工作物Wに対する歯切り工具 42 の切込量（安定限界）を大きく設定することができる。従って、歯車加工装置 1 は、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0041] また、工作物回転速度制御部 130 は、各変動周期において、工作物Wの回転速度 V_1 の速度上側値が 10%以上、好ましくは 15%以上に到達し、且つ、工作物Wの回転速度 V_1 の速度下側値が -10%以下、好ましくは -15%以下に到達するように、工作物Wの回転速度 V_1 の速度増減率を設定する。これに加え、工作物回転速度制御部 130 は、工作物Wの回転速度 V_1 の変動周波数率を 5%以上に設定し、各変動周期において、速度上側値以下の回転速度 V_1 と速度下側値以上の回転速度 V_1 との間で、工作物Wの回転速度 V_1 を増減させる。これにより、歯車加工装置 1 は、工作物Wに対する歯車加工において、安定限界を効果的に増加させることができる。

[0042] ここで、歯切り工具 42 の送り速度を一定にした状態で、工作物Wの回転速度 V_1 及び歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を変動させると、工作物Wに形成された加工面にうねり等が発生しやすく、加工面の面性状が低下する。これに対し、送り速度制御部 150 は、1つの工作物Wを加工するサイクルタイムにより設定される基準送り速度 F_w に対し、送り速度 V_4 を増減させる。そして、送り速度制御部 150 は、送り速度 V_4 の増減周期を工作物Wの

回転速度 V_1 の変動周波数に同期させる。

[0043] これにより、歯切り工具 42 により工作物 W に形成される歯面は、送り速度 V_4 を変動させずに工作物 W の回転速度 V_1 及び歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を増減させる場合と比べて、歯面の面性状を向上させることができる。また、歯車加工装置 1 は、スカイピング加工による歯車加工を行う場合において、工作物 W に形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0044] なお、工作物 W を保持する保持部 80 や回転テーブル 70、チルトテーブル 60 は、歯切り工具 42 と比べて保持剛性が低く、びびり振動が発生しやすい。この点に関し、歯車加工装置 1 では、工作物回転速度制御部 130 が工作物 W の回転速度 V_1 を反復的に増減させ、工具回転速度制御部 140 が、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を、工作物 W の回転速度 V_1 に同期させながら増減させる。これにより、歯車加工装置 1 は、歯切り工具 42 を高速回転させつつ、工作物 W に発生するびびり振動の発生を効果的に抑制できる。

[0045] また、工作物 W がはすば歯車である場合、工作物 W の回転速度 V_1 及び歯切り工具 42 の回転速度 V_2 は、工作物 W の歯すじ方向に合わせてずらすことにより歯車を形成（創成）することができる。このとき、工作物 W の回転速度 V_1 の変動範囲（変動周波数や速度変動幅）は、工作物 W であるはすば歯車の歯すじ方向に合わせて調整される。

[0046] （1－4．第一実施形態の変形例）

ここで、第一実施形態の変形例を説明する。上記実施形態において、工作物回転速度制御部 130 が、工作物 W の回転速度 V_1 を反復的に増減させる場合について説明した。これに対し、工作物回転速度制御部 130 は、工作物 W の回転速度 V_1 を直線的に加速又は減速させてもよい。

[0047] 例えば、工作物回転速度制御部 130 は、図 9A に示す第一変形例のように、工作物 W の回転速度 V_1 を一定の加速度で加速させてもよい。同様に、工作物回転速度制御部 130 は、図 9B に示す第二変形例のように、工作物の回転速度 V_1 を一定の減速度で減速させてもよい。

- [0048] これらの場合において、基準回転速度設定部 110 は、歯車加工に要する加工時間（サイクルタイム）、歯切り工具 42 の諸元、工作物 W の材質、及び、工作物 W に形成する歯車のねじれ角等に基づき、最適な切削速度を算出する。そして、基準回転速度設定部 110 は、算出した切削速度から導出される工作物 W の回転速度 V_1 を基準回転速度 N_w に設定する。
- [0049] さらに、工作物回転速度制御部 130 は、工具寿命の観点から許容される切削速度の範囲を算出し、許容される工作物 W の回転速度 V_1 である上限値及び下限値である限界速度上限値及び限界速度下限値を算出する。そして、工作物回転速度制御部 130 は、回転速度 V_1 の限界速度上限値及び限界速度下限値と加工時間とに基づき、歯車加工時の回転速度 V_1 が限界速度上限値及び限界速度下限値を超えないように、回転速度 V_1 の加速度又は減速度、及び、歯車加工の開始時及び終了時における回転速度 V_1 を設定する。
- [0050] この場合においても、歯車加工装置 1 は、歯車加工時において、工作物 W に発生する再生びびり振動の増幅を抑制できる。よって、歯車加工装置 1 は、工作物 W に形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。
- [0051] また、歯車加工装置 1 は、一定の加速度又は減速度で工作物 W の回転速度 V_1 を変動させる。この場合、歯車加工装置 1 は、加速度又は減速度を変えながら工作物 W の回転速度 V_1 を変動させる場合と比べて、工作物 W の回転速度 V_1 と歯切り工具 42 の回転速度 V_2 との同期誤差を抑制することができる。さらに、第一変形例及び第二変形例における歯車加工装置 1 は、歯車加工を開始してから終了するまでの間、工作物 W の回転速度 V_1 を変動させるので、再生びびり振動の増幅を効果的に抑制できる。
- [0052] またこの場合に、歯車加工装置 1 は、工作物 W の回転速度 V_1 を反復的に増減させる場合と比べて、回転速度 V_1 を緩やかに変動させることができる。よって、歯車加工装置 1 は、工作物 W の回転速度 V_1 と、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 及び送り速度 V_4 との同期誤差を抑制できる。その結果、歯車加工装置 1 は、工具回転速度制御部 140 による歯切り工具 42 の回転速

度 V_2 の同期制御、及び、送り速度制御部150による送り速度 V_4 の同期制御を簡素化できる。

[0053] さらに、工作物回転速度制御部130は、図9Cに示す第三変形例のように、工作物Wの回転速度 V_1 を一定の加速度で加速させた後、回転速度 V_1 が限界速度上限値に到達した場合に、回転速度 V_1 を一定にしてもよい。同様に、工作物回転速度制御部130は、図9Dに示す第四変形例のように、工作物Wの回転速度 V_1 を一定の減速度で減速させた後、回転速度 V_1 が限界速度下限値に到達した場合に、回転速度 V_1 を一定にしてもよい。

[0054] これらの場合、歯車加工装置1は、第一変形例及び第二変形例と同様に、一定の加速度又は減速度で工作物Wの回転速度 V_1 を変動させる。よって、歯車加工装置1は、工作物Wの回転速度 V_1 と歯切り工具42の回転速度 V_2 の同期誤差を抑制できる。また、歯車加工装置1は、工作物Wの回転速度 V_1 を反復的に増減させる場合と比べて、回転速度 V_1 を緩やかに変動させることができるので、工作物Wの回転速度 V_1 と、歯切り工具42の回転速度 V_2 及び送り速度 V_4 との同期誤差を抑制できる。よって、歯車加工装置1は、工具回転速度制御部140による歯切り工具42の回転速度 V_2 の同期制御、及び、送り速度制御部150による送り速度 V_4 の同期制御を簡素化できる。

[0055] これに加え、第三変形例及び第四変形例の歯車加工装置1は、回転速度 V_1 が限界速度（限界速度上限値又は限界速度下限値）に到達した場合に、回転速度 V_1 を一定にすることにより、歯切り工具42の工具寿命の低下を抑制できる。またその結果、第三変形例及び第四変形例の歯車加工装置1は、加工時間が長い場合であっても、回転速度 V_1 を最適な加速度又は減速度で変動させることができる。従って、歯車加工装置1は、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0056] また、第三変形例の場合、歯車加工装置1は、回転速度 V_1 が限界速度上限値に到達した場合に、回転速度 V_1 を限界速度上限値に設定した状態で歯車加工を行うので、歯車加工に要する時間の短縮を図ることができる。

[0057] なお、第三変形例及び第四変形例では、工作物回転速度制御部 130 が、歯車加工の開始時から回転速度 V_1 を変動させ、回転速度 V_1 が限界速度に到達した場合に、回転速度 V_1 を一定の速度とする場合について説明したが、これに限られるものではない。即ち、工作物回転速度制御部 130 は、歯車加工の開始時の回転速度 V_1 を一定としつつ、所定時間経過後に回転速度 V_1 の変動を開始してもよい。これにより、例えば、歯車加工を開始してから所定時間経過後に回転速度 V_1 を一定の減速度で減速させる場合に、歯車加工装置 1 は、回転速度 V_1 が低速となる時間が長くなることを回避できるので、歯車加工に要する時間が長くなることを抑制できる。

[0058] また、図 9 E に示す第五変形例のように、工作物回転速度制御部 130 は、回転速度 V_1 が限界速度上限値に到達した場合に、回転速度 V_1 を一定の減速度で減速させ、回転速度 V_1 が限界速度下限値に到達した場合に、回転速度 V_1 を一定の加速度で加速させてもよい。この場合、歯車加工装置 1 は、回転速度 V_1 を反復して増減させる場合であっても、加速度又は減速度を変化させながら工作物 W の回転速度 V_1 を変動させる場合と比べて、工作物 W の回転速度 V_1 と歯切り工具 42 の回転速度 V_2 との同期誤差を抑制することができる。さらにこの場合、歯車加工装置 1 は、加工を開始してから終了するまでの間、工作物 W の回転速度 V_1 を変動させるので、再生びびり振動の増幅を効果的に抑制できる。

[0059] なお、第五変形例における歯車加工装置 1 は、第一実施形態で説明した歯車加工処理（図 6 参照）と比べて、回転速度 V_1 の変動周期をはるかに長くすることにより、回転速度 V_1 を緩やかに変動させることができる。さらにこの場合、歯車加工装置 1 は、回転速度 V_1 の加速から減速、又は、減速から加速への切り替え回数を少なくすることができる。よって、歯車加工装置 1 は、工作物 W の回転速度 V_1 と歯切り工具 42 の回転速度 V_2 との同期誤差を抑制することができる。

[0060] 以上のように、第一変形例から第五変形例の歯車加工装置 1 において、工作物回転速度制御部 130 は、少なくとも一時的に、工作物 W の回転速度 V

1を一定の加速度又は減速度で変動させる。これに伴い、工具回転速度制御部140は、歯切り工具42の回転速度 V_2 を、工作物Wの回転速度 V_1 に同期させながら一定の加速度又は減速度で変動させる。よって、歯車加工装置1は、歯車加工時において、歯切り工具42を高速回転させつつ、工作物Wに発生する再生びびり振動の増幅を抑制できるので、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0061] また、第一変形例から第五変形例の歯車加工装置1は、工作物Wの回転速度 V_1 を一定の加速度又は減速度で変動させることにより、工具回転速度制御部140による歯切り工具42の回転速度 V_2 の同期制御、及び、送り速度制御部150による送り速度 V_4 の同期制御を簡素化できる。その結果、歯車加工装置1は、工作物Wの回転速度 V_1 と、歯切り工具42の回転速度 V_2 及び送り速度 V_4 との同期誤差を抑制することができる。

[0062] さらに、基準回転速度設定部110は、工作物Wの材質及び歯切り工具42の諸元に基づいて基準回転速度 N_w を設定し、工作物回転速度制御部130は、その基準回転速度 N_w を基準として、前記工作物の回転速度を一定の加速度又は減速度で変動させる。これにより、歯車加工装置1は、歯切り工具42の工具寿命の低下を抑制できる。

[0063] また、工作物回転速度制御部130は、工作物Wの回転速度 V_1 を反復的に増減させ、工具回転速度制御部140は、歯切り工具42の回転速度 V_2 を、工作物Wの回転速度 V_1 に同期させながら一定の加速度又は減速度で変動させる。この場合、歯車加工装置1は、歯切り工具42の基準回転速度 N_w を設定する場合と比べて、歯切り工具42と工作物Wとの歯数比を考慮することが不要である分、基準回転速度 N_w の設定を容易に行うことができる。

[0064] <2. 第二実施形態>

次に、図10を参照して、第二実施形態について説明する。第一実施形態において、歯切り工具42がスカイピングカッタであり、歯車加工装置1は、スカイピング加工による歯車加工を行う場合について説明した。これに対

し、第二実施形態では、歯切り工具 242 がホブカッタであり、歯車加工装置 1 が、ホブ加工による歯車加工を行う場合を説明する。なお、上記した第一実施形態と同一の部品には同一の符号を付し、その説明を省略する。

[0065] (2-1. 工作物W及び歯切り工具 242 の動作)

図 10 に示すように、歯切り工具 242 は、ホブカッタである。歯車加工装置 1 は、歯切り工具 242 の回転軸線 O と工作物 W の回転軸線である C 軸とが交差するように、歯切り工具 242 及び工作物 W を配置する。なお、図 10 には、歯切り工具 242 の回転軸線 O と工作物 W の回転軸線である C 軸とが直交するように、歯切り工具 242 及び工作物 W が配置されている。

[0066] そして、歯車加工装置 1 は、歯車加工時において、工作物 W 及び歯切り工具 42 をそれぞれ回転させながら、歯切り工具 42 を工作物 W の中心軸線である Z 軸方向へ送る（相対移動させる）ことにより、工作物 W に歯車を創成する。このとき、歯車加工装置 1 は、歯車加工時において、工作物回転速度制御部 130 による制御に基づいて工作物 W の回転速度 V_1 を変動させ、工具回転速度制御部 140 による制御に基づいて、歯切り工具 242 の回転速度 V_2 を工作物 W の回転速度 V_1 に同期させる。これにより、歯車加工装置 1 は、歯切り工具 42 を高速回転させつつ、工作物 W に発生する再生びびり振動の増幅を抑制できるので、工作物 W に形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0067] <3. その他>

以上、上記実施形態に基づき本発明を説明したが、本発明は上記実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で種々の変形改良が可能であることは容易に推察できるものである。

[0068] 例えば、上記各実施形態において、工作物回転速度制御部 130 は、工作物 W の回転速度 V_1 を一定の周波数で増減させる場合を例に挙げて説明したが、少なくとも工作物 W の回転速度 V_1 を反復的に増減させればよく、必ずしも一定の周波数で増減させなくてもよい。また、工作物回転速度制御部 130 は、工作物 W の回転速度 V_1 の変動周波数を不規則に変えてもよい。さ

らに、上記各実施形態では、各変動周期における工作物Wの回転速度V1の周波数が、変動周波数と一致する場合について説明したが、これに限られるものではなく、各変動周期における工作物Wの回転速度V1が、変動周波数以上の周波数で増減するように設定されていればよい。

[0069] 上記各実施形態では、工作物回転速度制御部130が工作物Wの回転速度V1を反復的に増減させ、工具回転速度制御部140が、歯切り工具42の回転速度V2を、工作物Wの回転速度V1に同期させながら増減させる場合について説明した。しかしながら、これに限られるものではなく、工具回転速度制御部140が歯切り工具42の回転速度V2を反復的に増減させ、工作物回転速度制御部130が、工作物Wの回転速度V1を、歯切り工具42の回転速度V2に同期させながら増減させてもよい。また、工具回転速度制御部140は、歯切り工具42の回転速度V2の変動周波数を不規則に変えてもよい。

[0070] 上記各実施形態では、送り速度制御部150が、送り速度V4が工作物Wの回転速度V1と同期するように送り速度V4を変動させる場合について説明した。しかしながら、送り速度制御部150は、必ずしも送り速度V4を変動させる必要はない。即ち、歯車加工装置1は、少なくとも工作物Wの回転速度V1と歯切り工具42の回転速度V2とが同期するように工作物Wの回転速度V1及び歯切り工具42の回転速度V2を変動させることにより、工作物Wに発生するびびり振動（再生型など）の増幅を抑制できる。また、送り速度制御部150は、送り速度V4を不規則に変動させてもよい。

[0071] なお、歯車加工装置1は、横形マシニングセンタやマシニングセンタであってもよい。そして、歯車加工装置1は、工作物Wの回転軸線又は歯切り工具42の回転軸線の何れかに直交する駆動軸を追加して設けることにより、工作物Wの回転軸線と歯切り工具42の回転軸線との相対角度を調整可能な構成としてもよい。さらに、歯車加工装置1は、加工工程（粗加工工程、仕上げ加工工程等）に合わせて歯切り工具42を交換するための工具交換装置を備えていてもよい。

[0072] <4. 効果>

以上説明したように、本発明における歯車加工装置1は、歯切り工具42, 242と工作物Wとを同期回転させながら、工作物Wの回転軸線方向に沿って歯切り工具42, 242を工作物にW対して相対移動させることにより、工作物Wに歯車を創成する歯車加工装置である。歯車加工装置1は、工作物Wの回転速度V1を制御する工作物回転速度制御部130と、歯切り工具42, 242の回転速度V2を制御する工具回転速度制御部140と、を備える。

[0073] 工作物回転速度制御部130又は工具回転速度制御部140の何れか一方は、工作物Wの回転速度V1又は歯切り工具42, 242の回転速度V2の何れか一方の回転速度を変動させ、工作物回転速度制御部130又は工具回転速度制御部140の何れか他方は、工作物Wの回転速度V1又は歯切り工具42, 242の回転速度V2の何れか他方の回転速度を、工作物Wの回転速度V1又は歯切り工具42, 242の回転速度V2の何れか一方の回転速度に同期させる。

[0074] この歯車加工装置1によれば、歯切り工具42, 242により工作物Wに歯車を形成する際に、歯切り工具42, 242が工作物Wを切削する切削力（切削断面積）が不均一となる。これにより、歯切り工具42, 242及び工作物Wの回転速度V1が変動せずに一定である場合と比べて、工作物Wに発生するびびり振動の増幅が抑制される。その結果、歯車加工装置1は、工作物Wに発生するびびり振動の発生を抑制しつつ、工作物Wに対する歯切り工具42の切込量を大きく設定することができる。よって、歯車加工装置1は、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0075] 上記した歯車加工装置1において、工作物回転速度制御部130及び工具回転速度制御部140の何れか一方は、工作物Wの回転速度V1又は歯切り工具42, 242の回転速度V2の何れか一方の回転速度を反復的に増減させる。この歯車加工装置1は、工作物Wに発生するびびり振動の発生を抑制

できるので、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0076] 上記した歯車加工装置1において、工作物Wの回転速度V1及び歯切り工具42、242の回転速度V2の速度上側値及び速度下側値は、工作物Wの加工の基準となる基準回転速度Nwに予め設定された速度増減率を乗じた値とし、工作物回転速度制御部130及び工具回転速度制御部140の何れか一方は、速度上側値以下の回転速度と速度下側値以上の回転速度との間で、工作物Wの回転速度V1又は歯切り工具42、242の回転速度V2を増減させる。この歯車加工装置1は、工作物Wに発生するびびり振動が効果的に抑制されるので、工作物Wに形成された加工面の面性状を向上させることができる。

[0077] 上記した歯車加工装置1において、工作物Wの回転速度V1及び歯切り工具42、242の回転速度V2を反復的に増減させる変動周波数は、工作物W又は歯切り工具42、242の何れか一方の基準回転速度Nwに基づいて決定され、工作物回転速度制御部130及び工具回転速度制御部140の何れか一方は、工作物Wの回転速度V1又は歯切り工具42、242の回転速度V2を変動周波数以上の周波数で変動させる。この歯車加工装置1は、工作物Wに発生するびびり振動が効果的に抑制されるので、工作物Wに形成された加工面の面性状を向上させることができる。

[0078] 上記した歯車加工装置1において、工作物回転速度制御部130及び工具回転速度制御部140の何れか一方は、工作物Wの回転速度V1又は歯切り工具42、242の回転速度V2を一定の周波数で増減させる。この歯車加工装置1では、工作物回転速度制御部130による工作物Wの回転速度V1の制御又は工具回転速度制御部140による歯切り工具42、242の回転速度V2の制御を簡素化できる。

[0079] 上記した歯車加工装置1において、工作物回転速度制御部130は、工作物Wの回転速度V1を反復的に増減させ、工具回転速度制御部140は、歯切り工具42、242の回転速度V2を、工作物Wの回転速度V1に同期さ

せながら増減させる。この歯車加工装置 1 は、基準回転速度 N_w の設定を容易に行うことができる。

[0080] 上記した歯車加工装置 1 において、工作物回転速度制御部 130 及び工具回転速度制御部 140 の何れか一方は、少なくとも一時的に、工作物 W の回転速度 V_1 又は歯切り工具 42, 242 の回転速度 V_2 の何れか一方の回転速度を一定の加速度又は減速度で変動させる。

[0081] この歯車加工装置 1 は、工作物 W に発生するびびり振動の発生を抑制できるので、工作物 W に形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。さらに、この歯車加工装置 1 は、工作物 W の回転速度 V_1 を一定の加速度又は減速度で変動させることにより、工具回転速度制御部 140 による歯切り工具 42 の回転速度 V_2 の同期制御を簡素化できる。よって、歯車加工装置 1 は、工作物 W の回転速度 V_1 と、歯切り工具 42 の回転速度 V_2 との同期誤差を抑制することができる。

[0082] 上記した歯車加工装置 1 において、工作物回転速度制御部 130 及び工具回転速度制御部 140 の何れか一方は、歯車加工を開始してから終了するまでの間、工作物 W の回転速度 V_1 又は歯切り工具 42, 242 の回転速度 V_2 を一定の加速度又は減速度で変動させる。この歯車加工装置 1 は、加工を開始してから終了するまでの間、工作物 W の回転速度 V_1 又は歯切り工具 42, 242 の回転速度 V_2 を変動させるので、再生びびり振動の増幅を効果的に抑制できる。

[0083] 上記した歯車加工装置 1 において、工作物回転速度制御部 130 及び工具回転速度制御部 140 の何れか一方は、工作物 W の回転速度 V_1 又は歯切り工具 42, 242 の回転速度 V_2 が予め設定された限界速度（限界速度上限値又は限界速度下限値）に到達した場合に、工作物 W の回転速度 V_1 又は歯切り工具 42, 242 の回転速度 V_2 を一定にする。

[0084] この歯車加工装置 1 は、加工時間が長い場合であっても、工作物 W の回転速度 V_1 又は歯切り工具 42, 242 の回転速度 V_2 を最適な加速度又は減速度で変動させつつ、工具寿命の低下を抑制できる。従って、歯車加工装置

1 は、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0085] 上記した歯車加工装置 1 において、工作物回転速度制御部 130 及び工具回転速度制御部 140 の何れか一方は、工作物Wの材質及び歯切り工具 42, 242 の諸元に基づいて設定される基準回転速度 N_w を基準として、工作物Wの回転速度 V_1 を一定の加速度又は減速度で変動させ、工具回転速度制御部 140 は、歯切り工具 42, 242 の回転速度 V_2 を、工作物Wの回転速度 V_1 に同期させながら一定の加速度又は減速度で変動させる。この歯車加工装置 1 は、基準回転速度 N_w の設定を容易に行うことができる。

[0086] また、上記した歯車加工装置 1 は、工作物Wに対する歯切り工具 42 の回転軸線方向への送り速度 V_4 を、変動する工作物Wの回転速度 V_1 の周波数に同期させながら変動させる送り速度制御部 150 を備える。この歯車加工装置 1 は、工作物Wの回転速度 V_1 及び歯切り工具 42 の回転速度 V_2 を変動させる一方で送り速度 V_4 を変動させずに一定とする場合と比べて、工作物Wに形成された加工面の面性状を更に向上させることができる。

[0087] また、上記した歯車加工装置 1 において、歯切り工具 42 は、スカイピングカッタであり、歯車加工装置 1 は、工作物Wの回転軸線を歯切り工具 42 の回転軸線に対して傾斜させた状態で、歯切り工具 42 を工作物Wに対して工作物Wの回転軸線方向に沿って相対移動させることにより、工作物Wに歯車のスカイピング加工を行う。この歯車加工装置 1 は、工作物Wに歯車のスカイピング加工を行う場合において、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0088] また、上記した歯車加工装置 1 において、歯切り工具 242 は、ホブカッタであり、歯車加工装置 1 は、工作物Wの回転軸線を歯切り工具 242 の回転軸線に対して傾斜させた状態で、歯切り工具 242 を工作物Wに対して工作物Wの回転軸線方向に沿って相対移動させることにより、工作物Wに歯車のホブ加工を行う。この歯車加工装置 1 は、工作物Wに歯車のホブ加工を行う場合において、工作物Wに形成された加工面の面性状の向上と加工能率の

向上との両立を図ることができる。

[0089] さらに、本発明の歯車加工方法は、歯切り工具 4 2, 2 4 2 を工作物 W と同期回転させながら、工作物 W の回転軸線方向に沿って歯切り工具 4 2, 2 4 2 を工作物 W に対して相対移動させることにより、工作物 W に歯車を創成する歯車加工方法である。歯車加工方法は、工作物 W の回転速度 V_1 を変動させる工作物回転速度設定工程 S 1 と、歯切り工具 4 2, 2 4 2 の回転速度 V_2 を、工作物回転速度設定工程により設定された工作物 W の回転速度 V_1 の変動に同期させながら変動させる工具回転速度設定工程 S 2 と、を備える。

[0090] この歯車加工方法によれば、歯切り工具 4 2, 2 4 2 により工作物 W に歯車を形成する際に、歯切り工具 4 2, 2 4 2 が工作物 W に接触する周期が不規則となる。これにより、歯切り工具 4 2, 2 4 2 及び工作物 W の回転速度が変動せずに一定である場合と比べて、工作物 W に発生する再生びびり振動の増幅が抑制される。その結果、歯車加工方法は、工作物 W に発生するびびり振動の発生を抑制しつつ、工作物 W に対する歯切り工具 4 2, 2 4 2 の切込量を大きく設定することができる。よって、歯車加工方法は、工作物 W に形成された加工面の面性状の向上と加工能率の向上との両立を図ることができる。

[0091] また、上記した歯車加工方法は、工作物 W に対する歯切り工具 4 2, 2 4 2 の回転軸線方向への送り速度 V_4 を、変動する工作物 W の回転速度 V_1 の周波数に同期させながら変動させる送り速度設定工程 S 3 を備える。この歯車加工方法は、工作物 W の回転速度 V_1 及び歯切り工具 4 2, 2 4 2 の回転速度 V_2 を変動させる一方で送り速度 V_4 を変動させずに一定とする場合と比べて、工作物 W に形成された加工面の面性状を向上させることができる。

符号の説明

[0092] 1 : 歯車加工装置、 4 2 : 歯切り工具、 1 3 0 : 工作物回転速度制御部、 1 4 0 : 工具回転速度制御部、 1 5 0 : 送り速度制御部、 N_w : 基準回転速度、 W : 工作物、 S 1 : 工作物回転速度設定工程、 S 2 :

工具回転速度設定工程、 S 3 : 送り速度設定工程

請求の範囲

- [請求項1] 歯切り工具と工作物とを同期回転させながら、前記工作物の回転軸線方向に沿って前記歯切り工具を前記工作物に対して相対移動させることにより、前記工作物に歯車を創成する歯車加工装置であって、
前記歯車加工装置は、
前記工作物の回転速度を制御する工作物回転速度制御部と、
前記歯切り工具の回転速度を制御する工具回転速度制御部と、を備え、
前記工作物回転速度制御部又は前記工具回転速度制御部の何れか一方は、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか一方の回転速度を変動させ、
前記工作物回転速度制御部又は前記工具回転速度制御部の何れか他方は、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか他方の回転速度を、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか一方の回転速度に同期させる、歯車加工装置。
- [請求項2] 前記工作物回転速度制御部及び前記工具回転速度制御部の何れか一方は、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか一方の回転速度を反復的に増減させる、請求項1に記載の歯車加工装置。
- [請求項3] 前記工作物及び前記歯切り工具の何れか一方の回転速度の速度上側値及び速度下側値は、前記工作物の加工の基準となる前記工作物又は前記歯切り工具の基準回転速度に予め設定された速度増減率を乗じた値とし、
前記工作物回転速度制御部及び前記工具回転速度制御部の何れか一方は、前記速度上側値以下の回転速度と前記速度下側値以上の回転速度との間で、前記工作物又は前記歯切り工具の回転速度を反復的に増減させる、請求項2に記載の歯車加工装置。
- [請求項4] 前記工作物及び前記歯切り工具の何れか一方の回転速度を反復的に増減させる変動周波数は、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか一

方の基準回転速度に基づいて決定され、

前記工作物回転速度制御部及び前記工具回転速度制御部の何れか一方は、前記工作物又は前記歯切り工具の回転速度を前記変動周波数以上の周波数で変動させる、請求項 3 に記載の歯車加工装置。

[請求項5] 前記工作物回転速度制御部又は前記工具回転速度制御部の何れか一方は、前記工作物又は前記歯切り工具の回転速度を一定の周波数で増減させる、請求項 2 - 4 の何れか一項に記載の歯車加工装置。

[請求項6] 前記工作物回転速度制御部は、前記工作物の回転速度を反復的に増減させ、

前記工具回転速度制御部は、前記歯切り工具の回転速度を、前記工作物の回転速度に同期させながら反復的に増減させる、請求項 2 - 5 の何れか一項に記載の歯車加工装置。

[請求項7] 前記工作物回転速度制御部及び前記工具回転速度制御部の何れか一方は、少なくとも一時的に、前記工作物又は前記歯切り工具の何れか一方の回転速度を一定の加速度又は減速度で変動させる、請求項 1 に記載の歯車加工装置。

[請求項8] 前記工作物回転速度制御部及び前記工具回転速度制御部の何れか一方は、歯車加工を開始してから終了するまでの間、前記工作物の回転速度又は前記歯切り工具の回転速度を一定の加速度又は減速度で変動させる、請求項 7 に記載の歯車加工装置。

[請求項9] 前記工作物回転速度制御部及び前記工具回転速度制御部の何れか一方は、前記工作物の又は前記歯切り工具の回転速度が予め設定された限界速度に到達した場合に、前記工作物又は前記歯切り工具の回転速度を一定にする、請求項 7 に記載の歯車加工装置。

[請求項10] 前記工作物回転速度制御部は、前記工作物の材質及び前記歯切り工具の諸元に基づいて設定される基準回転速度を基準として、前記工作物の回転速度を一定の加速度又は減速度で変動させ、

前記工具回転速度制御部は、前記歯切り工具の回転速度を、前記工

作物の回転速度に同期させながら一定の加速度又は減速度で変動させる、請求項 7 - 9 の何れか一項に記載の歯車加工装置。

[請求項11] 前記歯車加工装置は、前記工作物に対する前記歯切り工具の回転軸線方向への送り速度を、変動する前記工作物の回転速度に同期させながら変動させる送り速度制御部を備える、請求項 1 - 10 の何れか一項に記載の歯車加工装置。

[請求項12] 前記歯切り工具は、スカイピングカッタであり、
前記歯車加工装置は、前記工作物の回転軸線を前記歯切り工具の回転軸線に対して傾斜させた状態で、前記歯切り工具を前記工作物に対して前記工作物の回転軸線方向に沿って相対移動させることにより、前記工作物に歯車のスカイピング加工を行う、請求項 1 - 11 の何れか一項に記載の歯車加工装置。

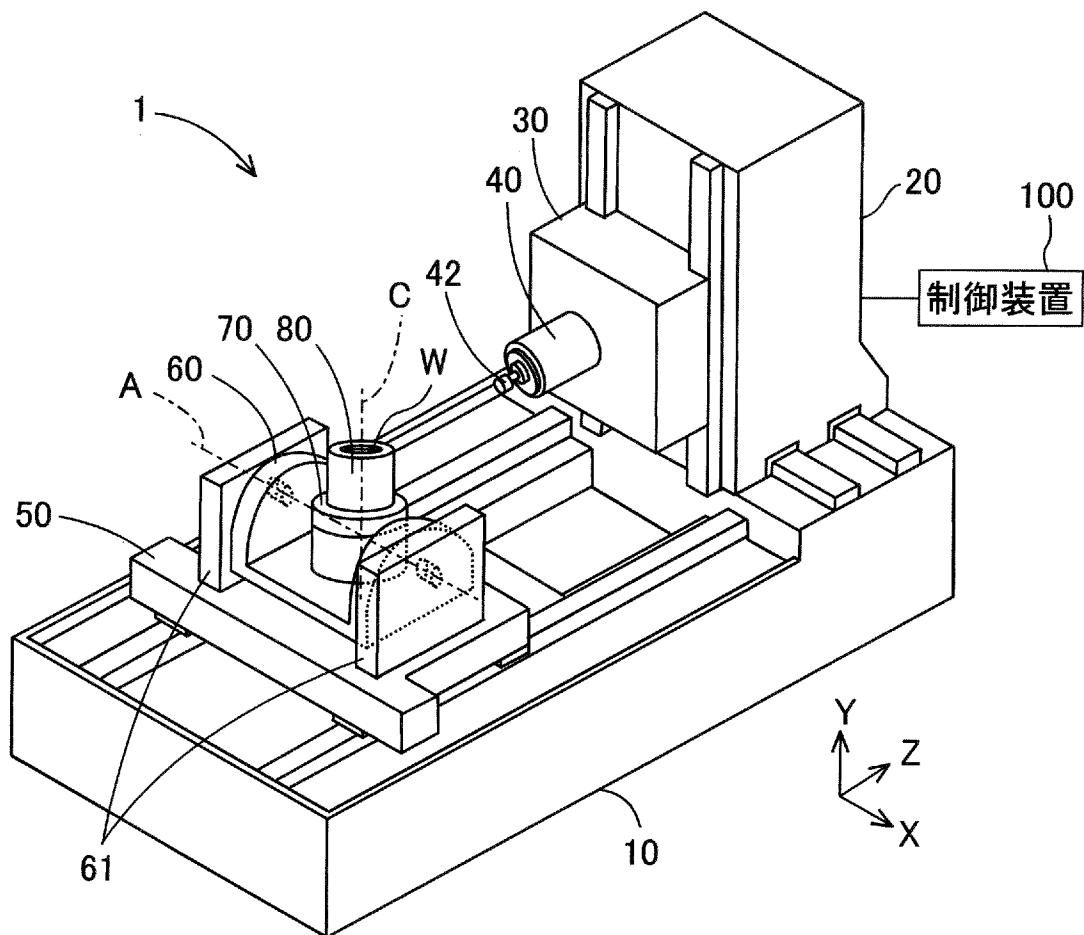
[請求項13] 前記歯切り工具は、ホブカッタであり、
前記歯車加工装置は、前記工作物の回転軸線を前記歯切り工具の回転軸線に対して傾斜させた状態で、前記歯切り工具を前記工作物に対して前記工作物の回転軸線方向に沿って相対移動させることにより、前記工作物に歯車のホブ加工を行う、請求項 1 - 11 の何れか一項に記載の歯車加工装置。

[請求項14] 歯切り工具を工作物と同期回転させながら、前記工作物の回転軸線方向に沿って前記歯切り工具を前記工作物に対して相対移動させることにより、前記工作物に歯車を創成する歯車加工方法であって、
前記歯車加工方法は、
前記工作物の回転速度を変動させる工作物回転速度設定工程と、
前記歯切り工具の回転速度を、前記工作物回転速度設定工程により設定された前記工作物の回転速度の変動に同期させながら変動させる工具回転速度設定工程と、
を備える、歯車加工方法。

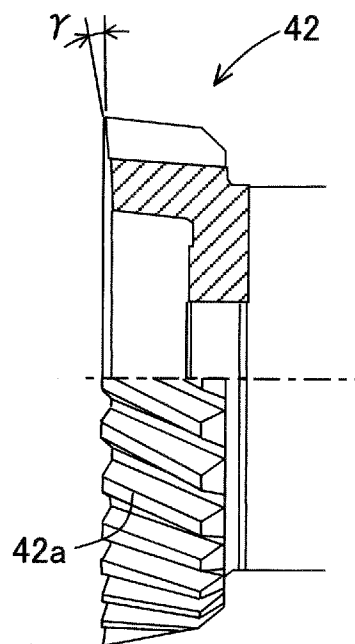
[請求項15] 前記歯車加工方法は、

前記工作物に対する前記歯切り工具の回転軸線方向への送り速度を、変動する前記工作物の回転速度の周波数に同期させながら変動させる送り速度設定工程を備える、請求項 1 4 に記載の歯車加工方法。

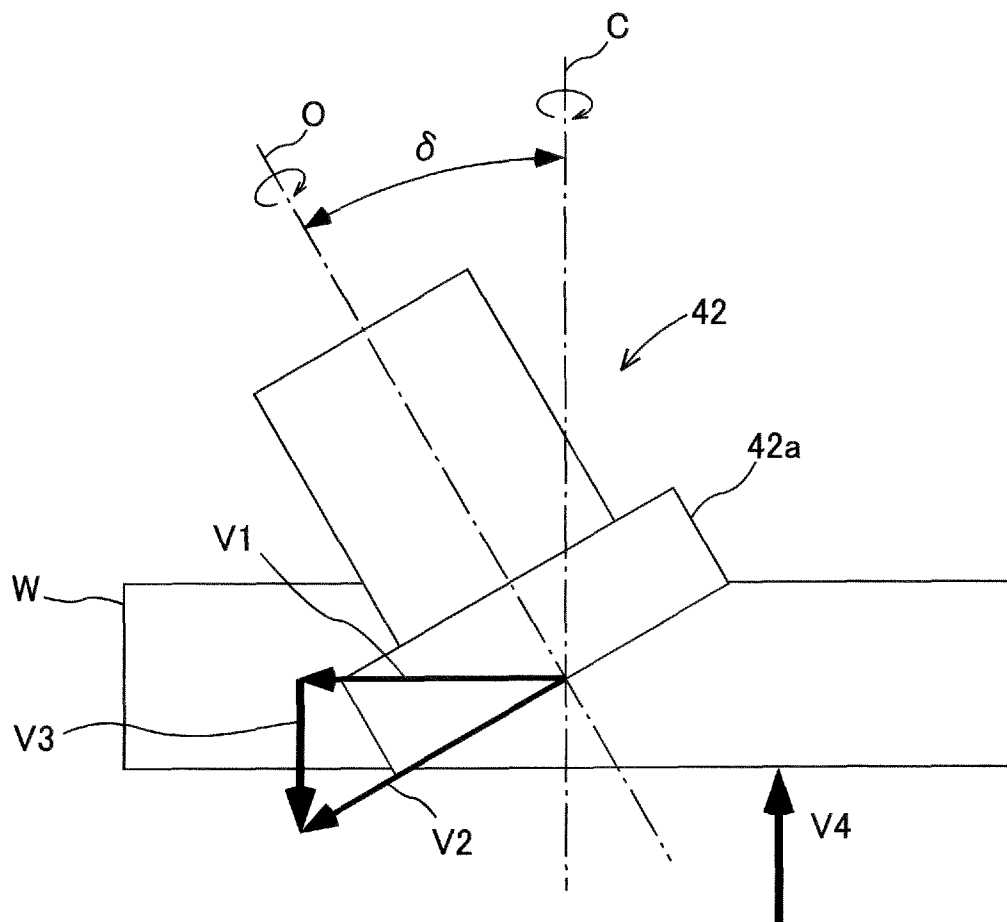
[図1]



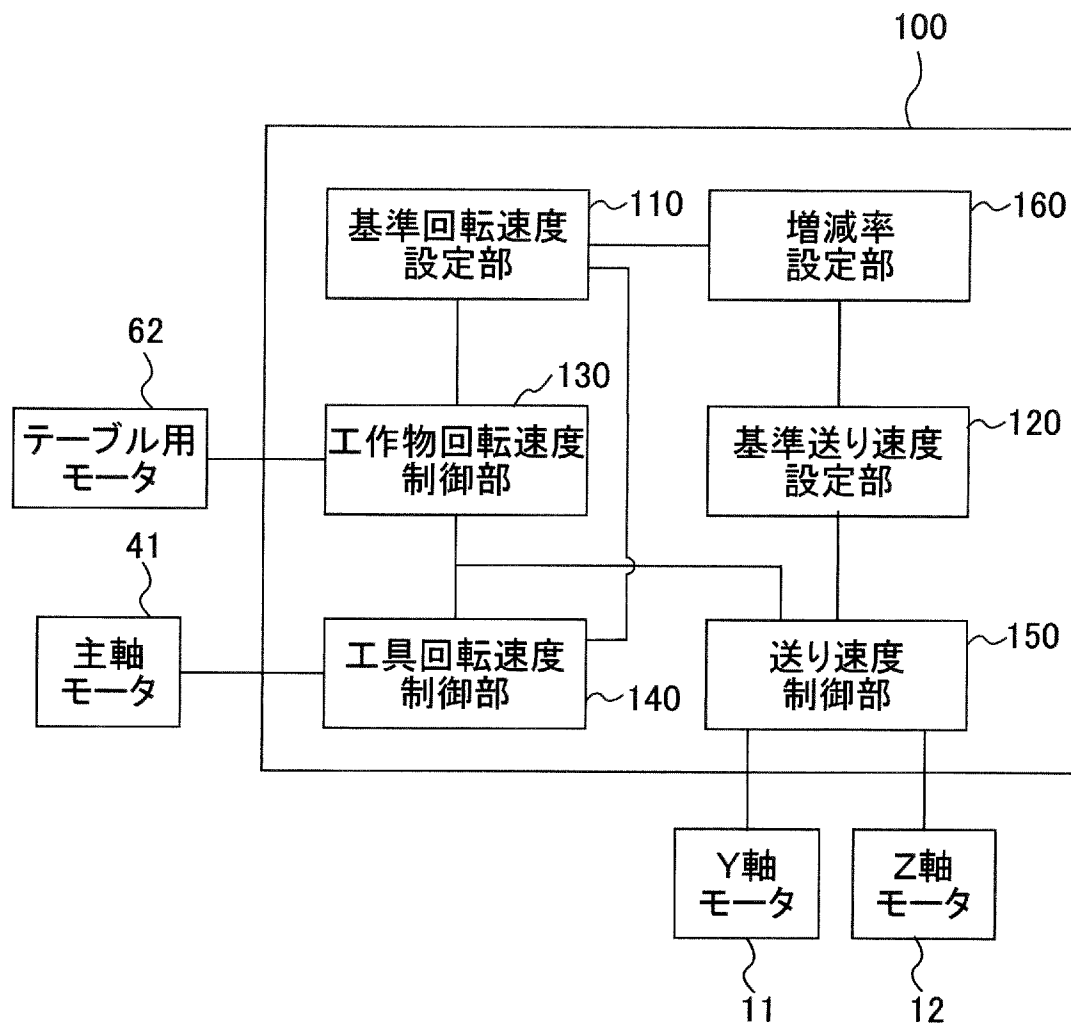
[図2]



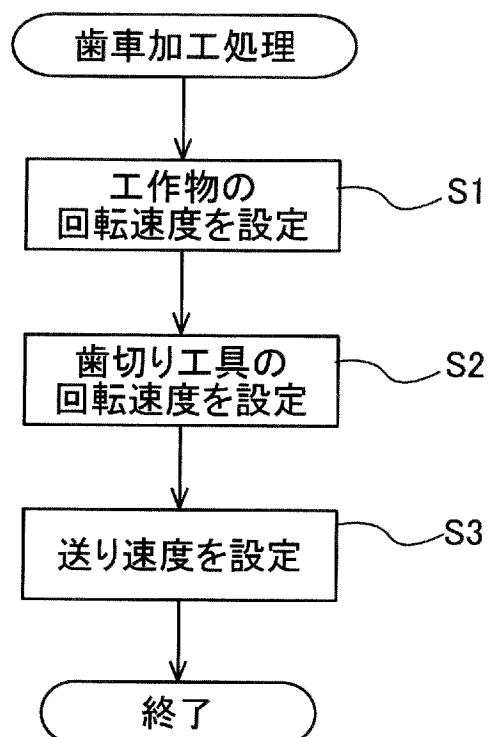
[図3]



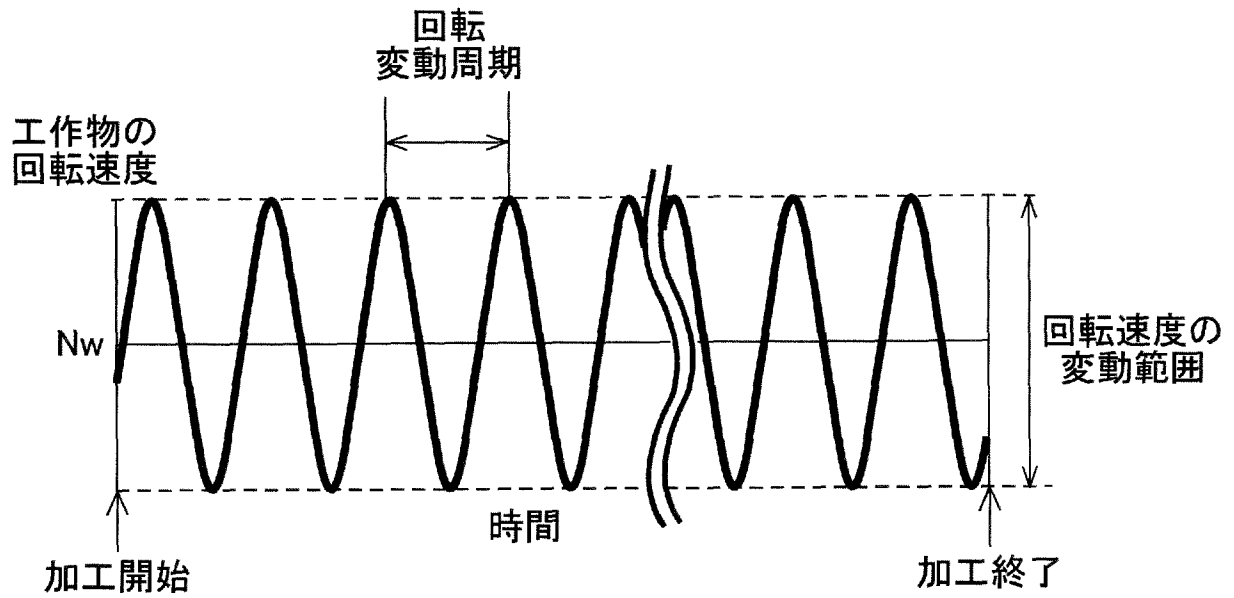
[図4]



[図5]

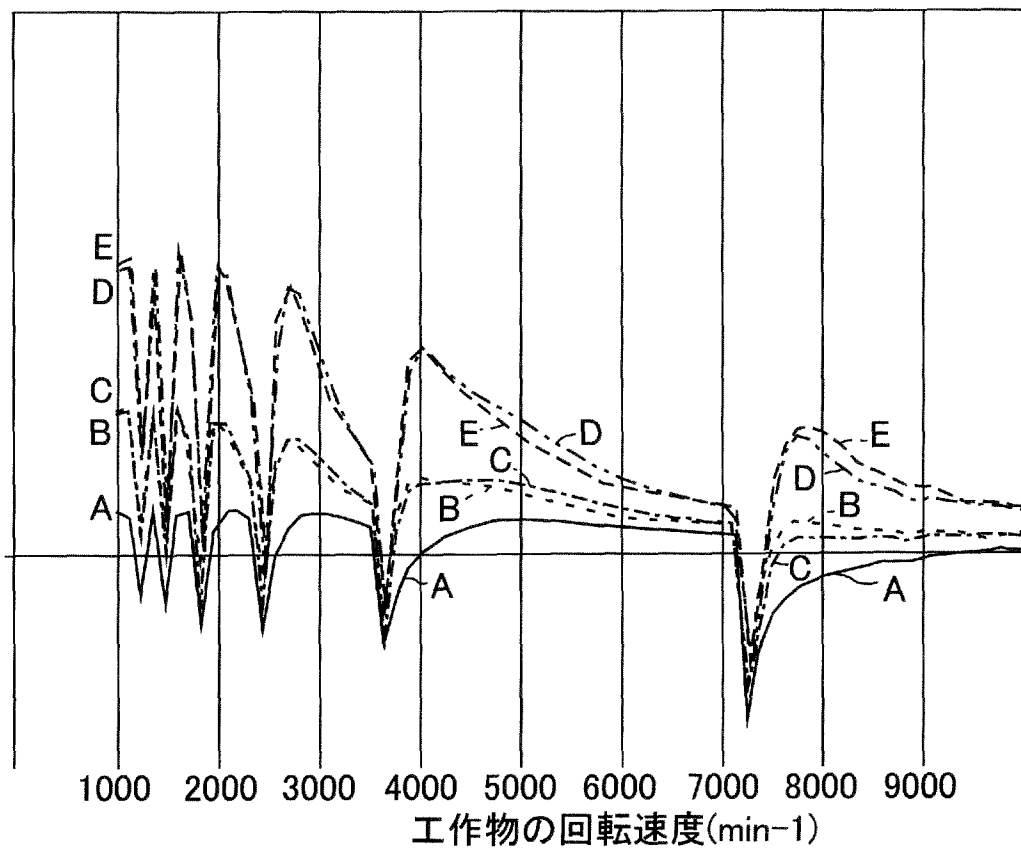


[図6]



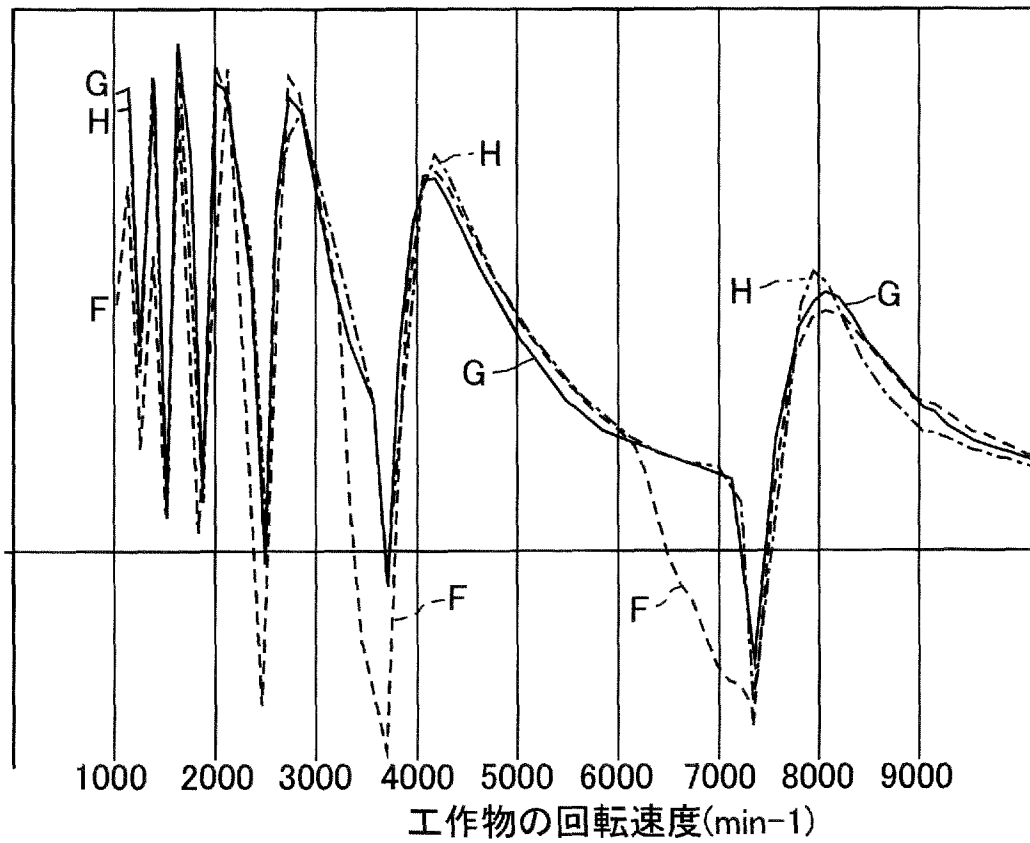
[図7A]

安定限界増加率(%)



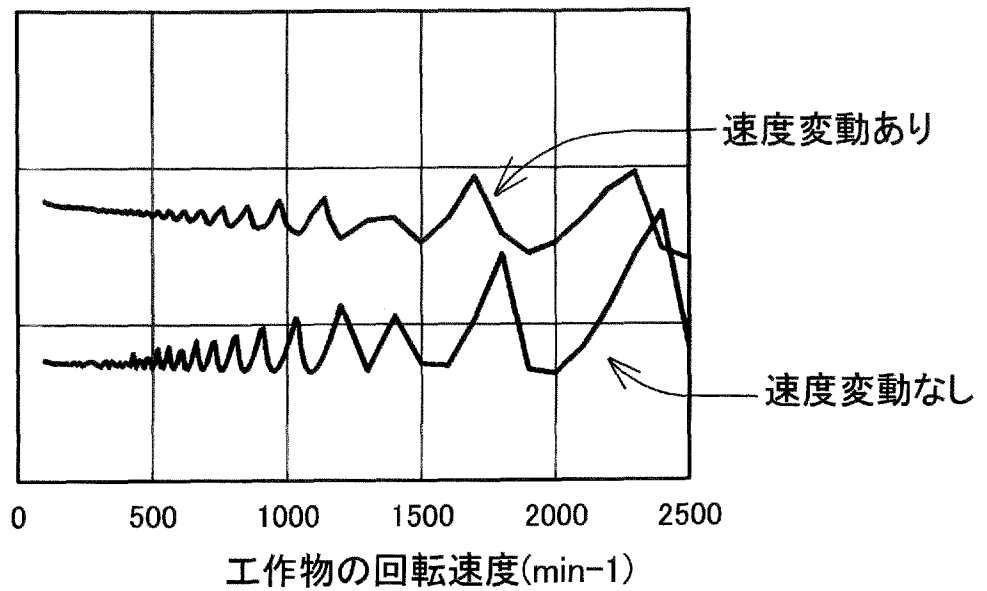
[図7B]

安定限界増加率(%)

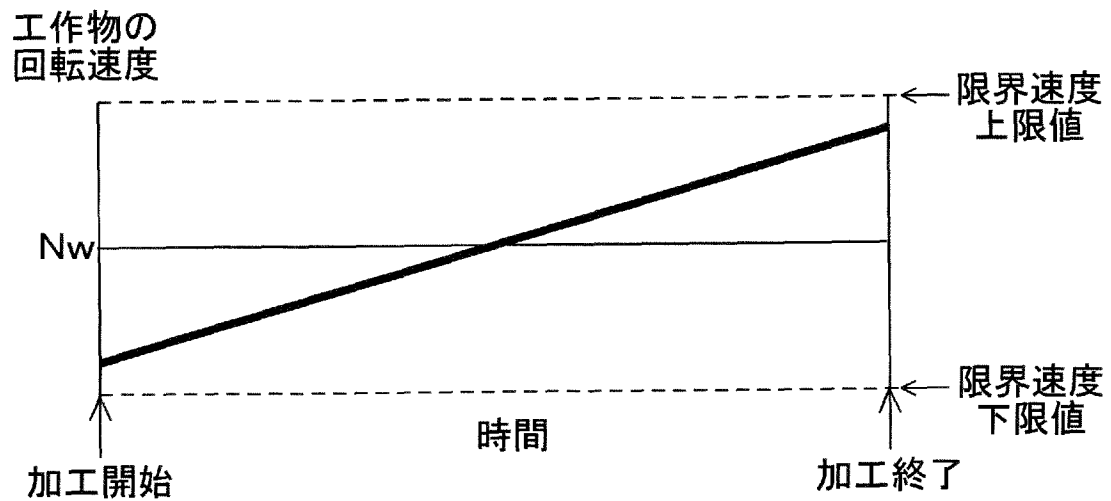


[図8]

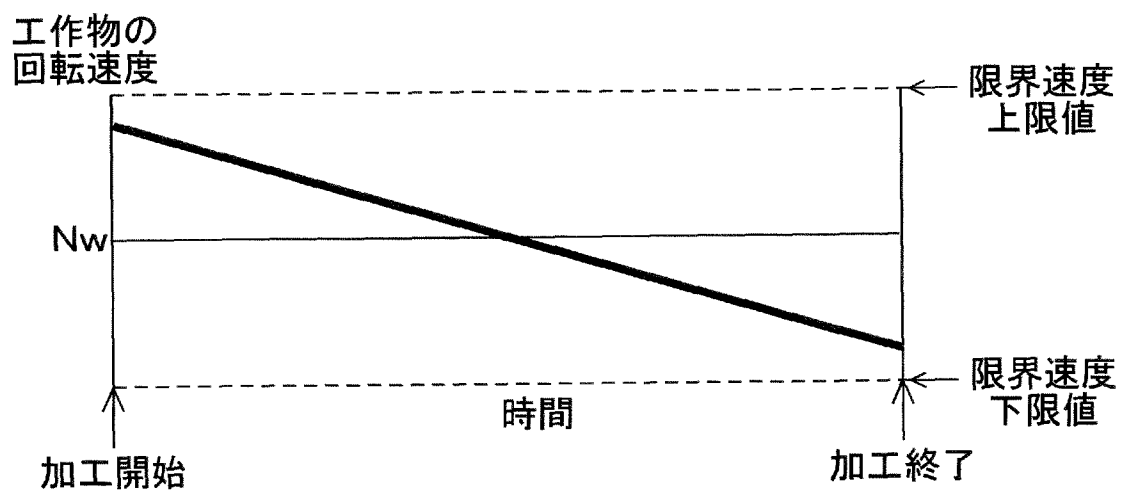
安定限界



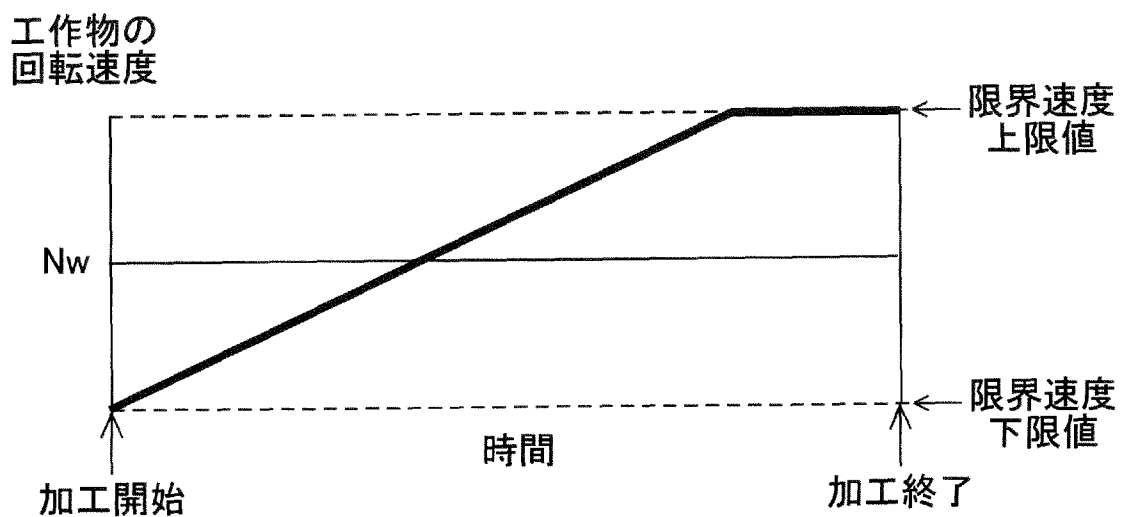
[図9A]



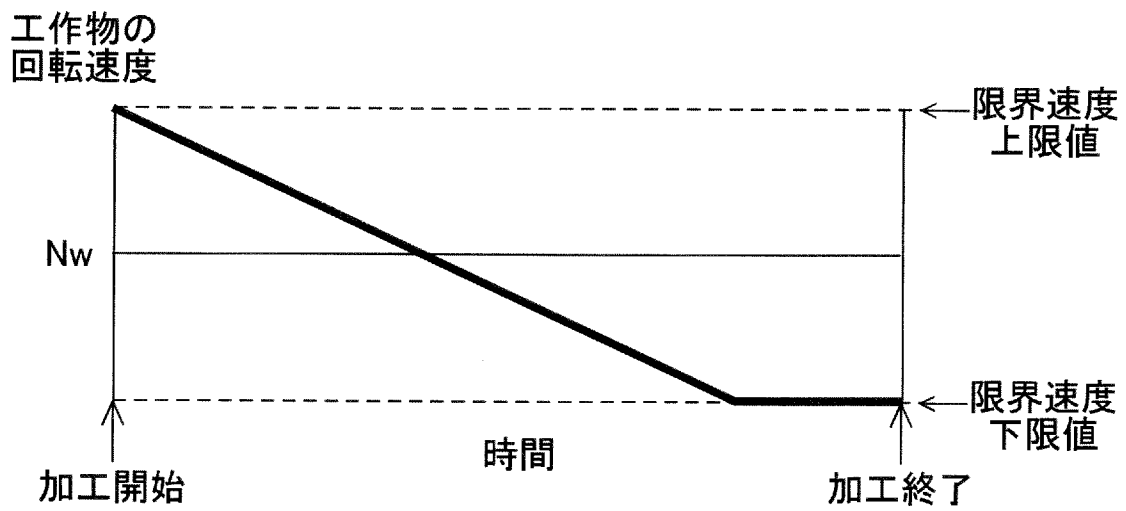
[図9B]



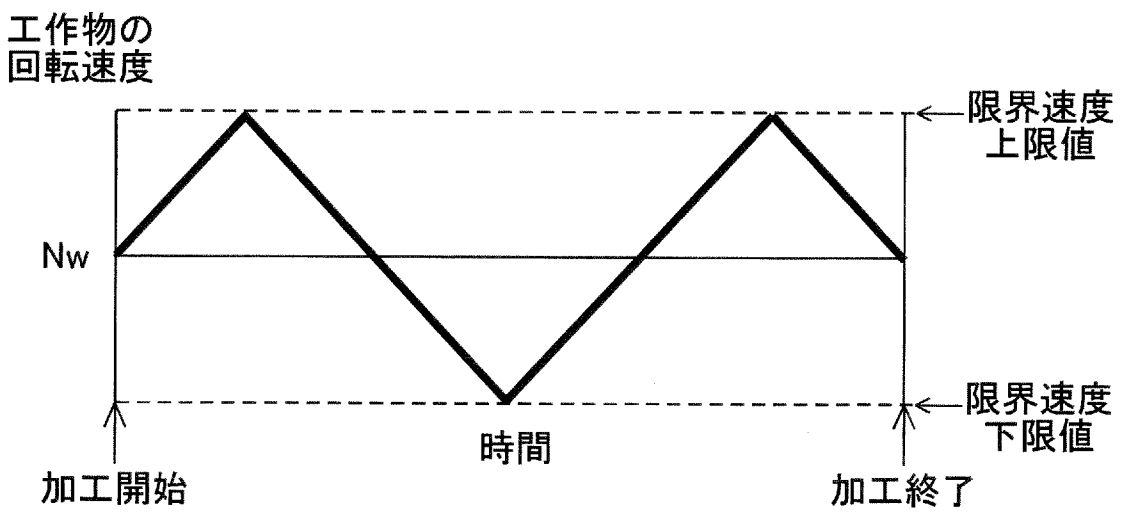
[図9C]



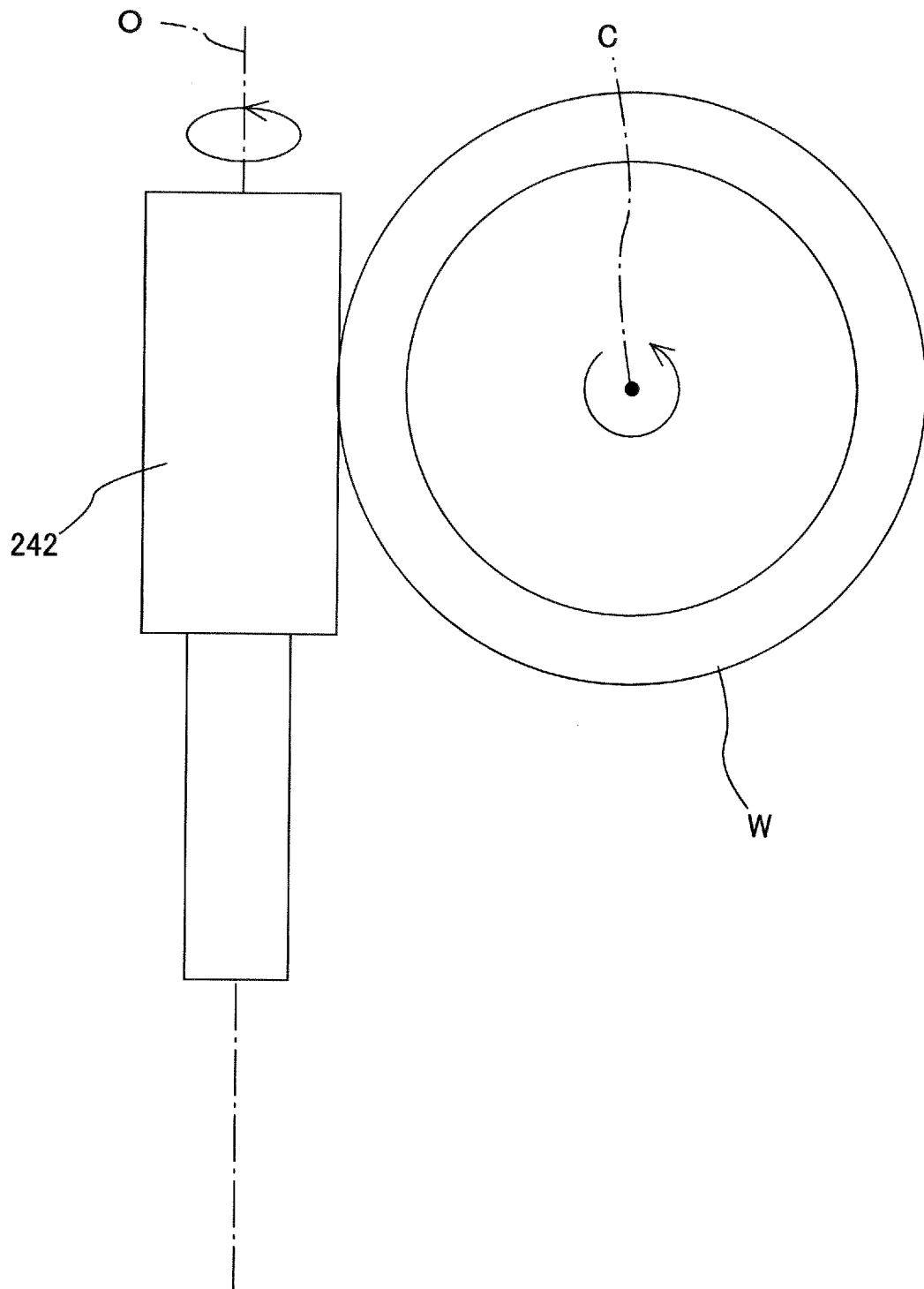
[図9D]



[図9E]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/036759

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B23F5/16 (2006.01) i, B23Q15/12 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. B23F1/00-23/12, B23Q15/12

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2017
Registered utility model specifications of Japan	1996-2017
Published registered utility model specifications of Japan	1994-2017

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

WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-96061 A (YASKAWA ELECTRIC CORP.) 14 April 2005, paragraphs [0004], [0013], [0026]-[0030], fig. 3, 8 (Family: none)	1-15
A	JP 2004-142032 A (KANZAKI KOKYUKOKI MFG. CO., LTD.) 20 May 2004, paragraphs [0026]-[0030], fig. 5 (Family: none)	1-15
A	JP 4-35810 A (FANUC CORPORATION) 06 February 1992, entire text, all drawings (Family: none)	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☐ See patent family annex.
---	---

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 21 November 2017 (21.11.2017)	Date of mailing of the international search report 05 December 2017 (05.12.2017)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B23F5/16(2006.01)i, B23Q15/12(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B23F1/00-23/12, B23Q15/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2005-96061 A（株式会社安川電機）2005.04.14, 段落 0004, 0013, 0026-0030, 図 3, 8（ファミリーなし）	1-15
A	JP 2004-142032 A（株式会社 神崎高級工機製作所）2004.05.20, 段落 0026-0030, 図 5（ファミリーなし）	1-15
A	JP 4-35810 A（フアナツク株式会社）1992.02.06, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-15

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

21.11.2017

国際調査報告の発送日

05.12.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

宮部 菜苗

3 C

5 5 6 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3324