

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-91187  
(P2014-91187A)

(43) 公開日 平成26年5月19日(2014.5.19)

(51) Int.Cl.

**B23Q 17/09**

(2006.01)

F 1

B 2 3 Q 17/09

F

テーマコード(参考)

3 C O 2 9

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号

特願2012-241825 (P2012-241825)

(22) 出願日

平成24年11月1日 (2012.11.1)

(71) 出願人 000005267

プラザー工業株式会社

愛知県名古屋市瑞穂区苗代町15番1号

(74) 代理人 100104178

弁理士 山本 尚

(74) 代理人 100174344

弁理士 安井 雅俊

(72) 発明者 寺田 弦

愛知県名古屋市瑞穂区苗代町15番1号

プラザー工業株式会社内

(72) 発明者 小島 輝久

愛知県名古屋市瑞穂区苗代町15番1号

プラザー工業株式会社内

最終頁に続く

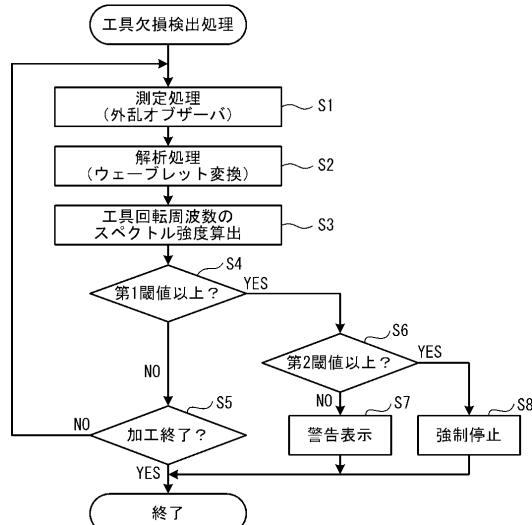
(54) 【発明の名称】工具異常検出装置と工具異常検出方法

## (57) 【要約】

【課題】工具異常を高精度に検出できる工具異常検出装置と工具異常検出方法を提供する。

【解決手段】C P Uは、ワークWの加工中停止しているX軸ボール螺子又はY軸ボール螺子に付与される振動を、外乱オブザーバを用いて測定する(S1)。次いで、外乱オブザーバで推定した外乱力をウェーブレット変換することによって、工具Tの回転数の周波数と同じ成分を検出して解析する(S2)。さらに、解析結果に基づき、工具Tの回転数の周波数と同じスペクトル成分の強度を算出する(S3)。そして、算出したスペクトル強度を第1閾値と第2閾値との比較によって(S4、S6)、欠損の有無を高精度に検出し、且つ欠損レベルを判定できる。

【選択図】図1 0



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ワークと工具の相対移動を行う工作機械に使用する前記工具の異常を検出する工具異常検出装置において、

前記ワークの加工方向と平行で前記ワークの加工中に駆動する加工軸とは異なる方向に位置し、前記ワークの加工中には駆動しない静止軸に付与される振動を測定する測定手段と、

前記測定手段が測定した前記振動中に、前記ワークの加工中における前記工具の回転数の周波数と同じ成分を検出して解析する解析手段と、

前記解析手段の解析結果に基づき、前記工具の異常を検出する異常検出手段と  
を備えたことを特徴とする工具異常検出装置。 10

**【請求項 2】**

前記測定手段は、前記静止軸を駆動するサーボモータの位置情報とトルク情報を含むフィードバック情報に基づき、前記静止軸の外乱トルクを推定して前記振動を測定する外乱オブザーバを備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の工具異常検出装置。

**【請求項 3】**

前記解析手段は、前記外乱オブザーバで推定された前記外乱トルクをウェーブレット変換によって、前記回転数の周波数と同じスペクトル成分を検出して解析することを特徴とする請求項 2 に記載の工具異常検出装置。 20

**【請求項 4】**

前記異常検出手段が前記工具の異常を検出した時に、前記成分の強度に応じて異常処理を行う異常処理手段を備え、

前記異常処理手段は、

前記解析手段が解析した前記スペクトル成分の強度が第一レベルに相当するか、前記第一レベルよりも高い第二レベルに相当するかを判断するレベル判断手段と、

前記第一レベル判断手段によって前記強度が前記第一レベルに相当すると判断した場合、異常を報知する異常報知手段と、

前記第一レベル判断手段によって前記強度が前記第二レベルに相当すると判断した場合、前記工作機械の加工動作を停止する異常停止手段と

を備えたことを特徴とする請求項 1 から 3 の何れかに記載の工具異常検出装置。 30

**【請求項 5】**

ワークと工具の相対移動を行う工作機械に使用する前記工具の異常を検出する工具異常検出装置が行う工具異常検出方法において、

前記ワークの加工方向と平行で前記ワークの加工中に駆動する加工軸とは異なる方向に位置し、前記ワークの加工中には駆動しない静止軸に付与される振動を測定する測定工程と、

前記測定工程で測定した前記振動中に、前記ワークの加工中における前記工具の回転数の周波数と同じ成分を検出して解析する解析工程と、

前記解析工程の解析結果に基づき、前記工具の異常を検出する異常検出工程と  
を備えたことを特徴とする工具異常検出方法。 40

**【請求項 6】**

前記測定工程は、前記静止軸を駆動するサーボモータの位置情報とトルク情報を含むフィードバック情報に基づき、前記静止軸の外乱トルクを推定する外乱オブザーバによって前記振動を測定することを特徴とする請求項 5 に記載の工具異常検出方法。

**【請求項 7】**

前記解析工程は、前記測定工程において、前記外乱オブザーバで推定された前記外乱トルクをウェーブレット変換によって、前記回転数の周波数と同じスペクトル成分を検出して解析することを特徴とする請求項 6 に記載の工具異常検出方法。

**【請求項 8】**

前記異常検出工程において前記工具の異常を検出した時に、前記成分の強度に応じて異  
50

常処理を行う異常処理工程を備え、  
前記異常処理工程は、

前記解析工程において解析した前記スペクトル成分の強度が第一レベルに相当するか、  
前記第一レベルよりも高い第二レベルに相当するかを判断するレベル判断工程と、

前記第一レベル判断工程において前記強度が前記第一レベルに相当すると判断した場合、  
異常を報知する異常報知工程と、

前記第一レベル判断工程において前記強度が前記第二レベルに相当すると判断した場合、  
前記工作機械の加工動作を停止する異常停止工程と  
を備えたことを特徴とする請求項 5 から 7 の何れかに記載の工具異常検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、工具異常検出装置と工具異常検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

加工精度や生産効率を高め、事故を防止するためには、リアルタイムに工具状態を把握する必要がある。特に工作機械やワークの損害を防ぐ為には、工具折損への適切な対策をとらなければならない。そのため、今までに AE センサなどの外部センサを利用した工具折損の検出・予測手法が広く研究されてきた。特に工具欠損は一般的に、工具に過負荷がかかっている場合に発生しやすいため、工具折損の重要な予測指標とされている。

【0003】

しかしながら、外部センサを利用する手法は、高コスト化・故障率増加・機械剛性低下などの問題を招いてしまう。これらの問題に対して、外部センサ設置による加工空間への悪影響を無くす為に、電気子電流の値を測定することで間接的に検出する手法の提案が成されている。しかしこれらの手法は、精度の良い電流値測定が難しく、電気子電流はフィルタ処理などによって高周波の情報が失われているため、規模の小さい欠損を検出するために利用することはできない。

【0004】

一方、外乱オブザーバは、サーボ情報からシステムに影響を与える高周波の外乱力を精度よく推定できる。即ち、主軸回転に必要とされるモータのトルクから外乱負荷トルクを推定し、さらに工具の送りに必要とされる Z 軸のモータのトルクから外乱負荷トルクを推定して、これら推定外乱負荷トルクから工具の破損を検出することが行われている。特許文献 1 が開示する工具破損検出方式は、主軸及び被加工物と工具との相対的な移動を行う軸における外乱負荷トルクを監視することに加え、被加工物と工具との相対的な移動を行わない軸における外乱負荷トルクをも併せて監視し、これらによる推定外乱負荷トルクから工具の破損を判断し、工具破損検出時には機械を停止させる。この方式は、加工時に移動しない軸（例えば Z 軸のみ切り込む時の X Y 軸）の外乱トルクが工具欠損時には正常時と比べて大きくなることを利用している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開平 8 - 174383 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献 1 が開示する工具破損検出方式は、単純に外乱トルクを監視するだけである。それ故、その外乱トルクが本当に工具破損によるものか判断できず、単に加工の異常を検出するに過ぎないという問題点があった。

【0007】

本発明の目的は、工具異常を高精度に検出できる工具異常検出装置と工具異常検出方法

10

20

30

40

50

を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の請求項1に工具異常検出装置は、ワークと工具の相対移動を行う工作機械に使用する前記工具の異常を検出する工具異常検出装置において、前記ワークの加工方向と平行で前記ワークの加工中に駆動する加工軸とは異なる方向に位置し、前記ワークの加工中には駆動しない静止軸に付与される振動を測定する測定手段と、前記測定手段が測定した前記振動中に、前記ワークの加工中における前記工具の回転数の周波数と同じ成分を検出して解析する解析手段と、前記解析手段の解析結果に基づき、前記工具の異常を検出する異常検出手段とを備える。工具が摩耗すると、工具の先端部分に工具欠損が起きる。加工時に移動しない静止軸に付与される振動は、欠損により生じた振動によるものである。この振動は工具の回転周波数と等しくなる。静止軸の振動から工具の回転周波数に相当する成分を取り出すことで、他の要因による振動の影響を除いた工具欠損による振動のみを取り出すことができる。これにより本実施形態は、単に振動を観測する方式に比べて高い精度での工具欠損の検出が可能になる。

10

【0009】

請求項2に係る発明の工具異常検出装置は、請求項1に記載の発明の構成に加え、前記測定手段は、前記静止軸を駆動するサーボモータの位置情報とトルク情報を含むフィードバック情報に基づき、前記静止軸の外乱トルクを推定して前記振動を測定する外乱オブザーバを備える。本発明は、測定手段に外乱オブザーバを利用することで、静止軸にかかる外乱トルクを高精度に推定できる。

20

【0010】

請求項3に係る発明の工具異常検出装置は、請求項2に記載の発明の構成に加え、前記解析手段は、前記外乱オブザーバで推定された前記外乱トルクをウェーブレット変換によって、前記回転数の周波数と同じスペクトル成分を検出して解析することを特徴とする。本発明は、外乱オブザーバで推定された外乱トルクをウェーブレット変換することで、回転数の周波数と同じ周波数の解析を高精度に行うことができる。

20

【0011】

請求項4に係る発明の工具異常検出装置は、請求項1から3に記載の発明の構成に加え、前記異常検出手段が前記工具の異常を検出した時に、前記成分の強度に応じて異常処理を行う異常処理手段を備え、前記異常処理手段は、前記解析手段が解析した前記スペクトル成分の強度が第一レベルに相当するか、前記第一レベルよりも高い第二レベルに相当するかを判断するレベル判断手段と、前記第一レベル判断手段によって前記強度が前記第一レベルに相当すると判断した場合、異常を報知する異常報知手段と、前記第一レベル判断手段によって前記強度が前記第二レベルに相当すると判断した場合、前記工作機械の加工動作を停止する異常停止手段とを備える。工具の欠損量に応じてスペクトル成分の強度は変化する。工具の欠損量が多ければ多いほど、スペクトル成分の強度は強く出る。本発明は、スペクトル成分の強度に応じて、作業者に異常を報知し又は強制的に停止できるので、工具の欠損レベルに応じて適切な対応を取ることができる。

30

【0012】

請求項5に係る発明の工具異常検出方法は、ワークと工具の相対移動を行う工作機械に使用する前記工具の異常を検出する工具異常検出装置が行う工具異常検出方法において、前記ワークの加工方向と平行で前記ワークの加工中に駆動する加工軸とは異なる方向に位置し、前記ワークの加工中には駆動しない静止軸に付与される振動を測定する測定工程と、前記測定工程で測定した前記振動中に、前記ワークの加工中における前記工具の回転数の周波数と同じ成分を検出して解析する解析工程と、前記解析工程の解析結果に基づき、前記工具の異常を検出する異常検出工程とを備える。故に、工具異常検出装置は工具異常検出方法を行うことによって、請求項1に記載の効果を得ることができる。

40

【0013】

請求項6に係る発明の工具異常検出方法は、請求項5に記載の発明の構成に加え、前記

50

測定工程では、前記静止軸を駆動するサーボモータの位置情報をトルク情報を含むフィードバック情報に基づき、前記静止軸の外乱トルクを推定する外乱オブザーバによって前記振動を測定することを特徴とする。故に、工具異常検出装置は工具異常検出方法を行うことによって、請求項2に記載の効果を得ることができる。

#### 【0014】

請求項7に係る発明の工具異常検出方法は、請求項6に記載の発明の構成に加え、前記解析工程では、前記測定工程において、前記外乱オブザーバで推定された前記外乱トルクをウェーブレット変換によって、前記回転数の周波数と同じスペクトル成分を検出して解析することを特徴とする。故に、工具異常検出装置は工具異常検出方法を行うことによって、請求項3に記載の効果を得ることができる。

10

#### 【0015】

請求項8に係る発明の工具異常検出方法は、請求項5から7の何れかに記載の発明の構成に加え、前記異常検出工程において前記工具の異常を検出した時に、前記成分の強度に応じて異常処理を行う異常処理工程を備え、前記異常処理工程は、前記解析工程において解析した前記スペクトル成分の強度が第一レベルに相当するか、前記第一レベルよりも高い第二レベルに相当するかを判断するレベル判断工程と、前記第一レベル判断工程において前記強度が前記第一レベルに相当すると判断した場合、異常を報知する異常報知工程と、前記第二レベル判断工程において前記強度が前記第二レベルに相当すると判断した場合、前記工作機械の加工動作を停止する異常停止工程とを備える。故に、工具異常検出装置は工具異常検出方法を行うことによって、請求項4に記載の効果を得ることができる。

20

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0016】

【図1】工作機械50の斜視図である。

【図2】XYステージ機構60の構造を示す斜視図である。

【図3】数値制御装置1と工作機械50の電気的構成を示すブロック図である。

【図4】外乱オブザーバのブロック図である。

【図5】工作機械50を用いたドリル加工試験の様子を示す写真である。

【図6】無欠損工具T1の先端部の写真である。

【図7】欠損工具T2の先端部の写真である。

【図8】連続ウェーブレット変換による解析結果を示す図である。

30

【図9】スペクトル強度と欠損面積の関係を示すグラフである。

【図10】工具欠損検出処理のフローチャートである。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0017】

以下、本発明の一実施形態について図面を参照して説明する。

#### 【0018】

図1を参照し、工作機械50の構造について説明する。工作機械50は、ベース52、機械本体53、XYステージ機構60、工具交換装置80等を備える。ベース52は鉄製の略直方体状の土台である。機械本体53はベース52上部後方に設けられ、後述するXステージ61上面に保持されたワークW(図1では省略、図5参照)を切削する。XYステージ機構60はベース52上部中央に設けられ、Xステージ61をX軸方向とY軸方向に駆動する。工具交換装置80は機械本体53上部に設けられ、機械本体53の後述する主軸57(図5参照)に装着された工具Tを交換する。

40

#### 【0019】

工作機械50は操作パネル(図示略)を備える。操作パネルは入力装置17と表示装置18(図3参照)を備える。作業者は入力装置17により、加工プログラム、工具の種類、工具情報、各種パラメータ等を入力することができる。作業者が入力装置17を操作することにより、表示装置18には各種入力画面又は操作画面等が表示される。

#### 【0020】

図1を参照し、機械本体53の構成について説明する。機械本体53は、コラム55、

50

主軸ヘッド 5 6、主軸 5 7（図 5 参照）、制御箱 5 8 等を備える。コラム 5 5 は柱状であり、ベース 5 2 上部後方に立設されている。主軸ヘッド 5 6 はコラム 5 5 前面に沿って Z 軸方向（上下方向）に移動可能である。主軸 5 7 は主軸ヘッド 5 6 内部に回転可能に支持されている。主軸 5 7 には工具 T が装着され、主軸モータ 3 2（図 3 参照）の駆動により高速回転する。制御箱 5 8 は数値制御装置 1 を格納する。数値制御装置 1 は工作機械 5 0 の動作を制御し且つ工具 T の欠損を検出可能である。

#### 【0021】

主軸ヘッド 5 6 は、コラム 5 5 前面に設けた Z 軸移動機構（図示略）によって Z 軸方向に移動する。Z 軸移動機構は一对の Z 軸リニアガイドと Z 軸ボール螺子（図示略）と Z 軸モータ 3 1（図 3 参照）を備える。Z 軸リニアガイドは Z 軸方向に延出し且つ主軸ヘッド 5 6 を Z 軸方向に案内する。Z 軸ボール螺子は一对の Z 軸リニアガイドの間に配置する。主軸ヘッド 5 6 は背面にナット（図示略）を備える。ナットは Z 軸ボール螺子に螺合する。Z 軸モータ 3 1 は Z 軸ボール螺子を正逆方向に回転する。よって、主軸ヘッド 5 6 はナットと共に Z 軸方向に移動する。主軸ヘッド 5 6 は上部に主軸モータ 3 2 を備える。主軸モータ 3 2 は主軸 5 7 を回転駆動する。Z 軸モータ 3 1 及び主軸モータ 3 2 はサーボモータである。

#### 【0022】

工具交換装置 8 0 は工具マガジン 8 1 を備える。工具マガジン 8 1 は円盤状である。工具マガジン 8 1 はマガジンモータ 3 5（図 3 参照）の駆動により軸周りに旋回する。工具マガジン 8 1 は外周上に 21 個のポット P を周方向に備える。作業者はポット P に工具 T を着脱する。工具交換装置 8 0 は工具マガジン 8 1 を旋回し、次に交換する工具 T を装着するポット P を工具交換位置に割り出す。工具交換装置 8 0 は主軸 5 7 に装着された工具 T を外し、工具交換位置にあるポット P に装着した工具 T を主軸 5 7（図 5 参照）に装着する。

#### 【0023】

図 1、図 2 を参照し、X Y ステージ機構 6 0 の構造について説明する。X Y ステージ機構 6 0 は X 軸・Y 軸ボール螺子駆動系の機構である。X Y ステージ機構 6 0 は、X ステージ 6 1、Y ステージ 6 2、X 軸モータ 3 3、Y 軸モータ 3 4 等を備える。X ステージ 6 1 は上面にワーク W（図 5 参照）を保持する作業台である。Y ステージ 6 2 は上面に X ステージ 6 1 を X 軸方向（左右方向）に移動可能に支持し、且つベース 5 2 上面中央において Y 軸方向（前後方向）に移動可能である。

#### 【0024】

図 2 に示すように、ベース 5 2 は上面中央に一对の Y 軸リニアガイド 6 3 と Y 軸ボール螺子 6 4 と Y 軸モータ 3 4 を備える。Y 軸リニアガイド 6 3 は Y 軸方向に延出し、且つ Y ステージ 6 2 を Y 軸方向に案内する。Y 軸ボール螺子 6 4 は一对の Y 軸リニアガイド 6 3 の間に配置する。Y ステージ 6 2 は下面にナット（図示略）を備える。ナットは Y 軸ボール螺子 6 4 に螺合する。Y 軸モータ 3 4 は Y 軸ボール螺子 6 4 を正逆方向に回転する。よって、Y ステージ 6 2 はナットと共に Y 軸方向に移動する。

#### 【0025】

Y ステージ 6 2 は上面に一对の X 軸リニアガイド 6 5 と X 軸ボール螺子 6 6 と X 軸モータ 3 3 を備える。X 軸リニアガイド 6 5 は X 軸方向に延出し、且つ X ステージ 6 1 を X 軸方向に案内する。X 軸ボール螺子 6 6 は一对の X 軸リニアガイド 6 5 の間に配置する。X ステージ 6 1 は下面にナット（図示略）を備える。ナットは X 軸ボール螺子 6 6 に螺合する。X 軸モータ 3 3 は X 軸ボール螺子 6 6 を正逆方向に回転する。よって、X ステージ 6 1 はナットと共に X 軸方向に移動する。従って、X ステージ 6 1 は Y ステージ 6 2 を介して Y 軸方向にも移動する。即ち X ステージ 6 1 は X 軸方向と Y 軸方向に移動可能となる。X 軸モータ 3 3 及び Y 軸モータ 3 4 はサーボモータである。

#### 【0026】

X 軸リニアガイド 6 5 と X 軸ボール螺子 6 6 は、X ステージ 6 1 の左右両側において露出する部分において、図 1 に示すように、カバー 6 7、6 8 によって覆われている。カバ

10

20

30

40

50

- 6 7 , 6 8 は X ステージ 6 1 の X 軸方向への移動に伴い伸縮する。Y 軸リニアガイド 6 3 と Y 軸ボール螺子 6 4 は、Y ステージ 6 2 の前側において露出する部分において、カバー 6 9 によって覆われ、後ろ側において露出する部分において、Y 軸後ろカバー（図示略）によって覆われている。カバー 6 9 は Y ステージ 6 2 の Y 軸方向への移動に伴い伸縮する。これにより、工作機械 5 0 は、加工領域から飛散する切粉及びクーラント液の飛沫等が各軸の駆動機構上に落下するのを防止できる。

#### 【0027】

図 3 を参照し、数値制御装置 1 の電気的構成について説明する。数値制御装置 1 は、CPU 1 1 、 ROM 1 2 、 RAM 1 3 、不揮発性記憶装置 1 4 、入出力部 1 5 、駆動回路 2 1 ~ 2 5 等を備える。CPU 1 1 は数値制御装置 1 を統括制御する。ROM 1 2 はメインプログラムの他、後述する工具欠損検出プログラム等の各種プログラムを記憶する。RAM 1 3 は各種処理実行中の各種データを一時的に記憶する。不揮発性記憶装置 1 4 は作業者が入力装置 1 7 で入力して登録した複数の NC プログラム等を記憶する。NC プログラムは各種制御指令を含む複数のブロックで構成され、工作機械 5 0 の軸移動、工具交換等を含む各種動作をブロック単位で指令するものである。

#### 【0028】

工作機械 5 0 は、上述した Z 軸モータ 3 1 、主軸モータ 3 2 、 X 軸モータ 3 3 、 Y 軸モータ 3 4 、マガジンモータ 3 5 等を備える。各種モータ 3 1 ~ 3 5 には、エンコーダ 4 1 ~ 4 5 が各々設けられている。エンコーダ 4 1 ~ 4 5 は、各種モータ 3 1 ~ 3 5 の位置を検出し、フィードバック信号を数値制御装置 1 に出力する。

#### 【0029】

駆動回路 2 1 は Z 軸モータ 3 1 とエンコーダ 4 1 に接続する。駆動回路 2 2 は主軸モータ 3 2 とエンコーダ 4 2 に接続する。駆動回路 2 3 は X 軸モータ 3 3 とエンコーダ 4 3 に接続する。駆動回路 2 4 は Y 軸モータ 3 4 とエンコーダ 4 4 に接続する。駆動回路 2 5 はマガジンモータ 3 5 とエンコーダ 4 5 に接続する。駆動回路 2 1 ~ 2 5 は CPU 1 1 から指令信号を受け、対応する各モータ 3 1 ~ 3 5 に駆動電流を夫々出力する。駆動回路 2 1 ~ 2 5 はエンコーダ 4 1 ~ 4 5 からフィードバック信号を受け、位置と速度のフィードバック制御を行う。入出力部 1 5 は入力装置 1 7 と表示装置 1 8 に夫々接続する。

#### 【0030】

使用者は複数の NC プログラムの中から一の NC プログラムを入力装置 1 7 で選択可能である。CPU 1 1 は選択した NC プログラムを表示装置 1 8 に表示する。CPU 1 1 は表示装置 1 8 に表示した NC プログラムに基づき、工作機械 5 0 の動作を制御する。

#### 【0031】

次に、工具欠損検出理論について説明する。工具 T の軸方向を Z 軸としたとき、Z 軸は加工軸であり、X 軸と Y 軸は静止軸である。静止軸とは、工作機械 5 0 がワーク W を加工中に駆動しない軸である。工具 T の一例はドリルである。ドリルは基本的に二枚刃の軸対称型である。それ故、通常のドリル加工において、切削力は静止軸である X 軸方向及び Y 軸方向に働くことなく、加工軸である Z 軸方向に働く。しかし工具 T に欠損が生じた場合、ドリル形状の対称性が失われるため、Z 軸方向のみではなく、X 軸方向及び Y 方向にも切削力が働く。この X 軸方向及び Y 軸方向に働く切削力は主軸 5 7 の回転に従って変化する。そこで、本実施形態は、XY ステージ機構 6 0 に外乱オブザーバを適用し、さらに外乱オブザーバで推定した外乱力を周波数解析することで、工具欠損を高精度に検出できる。

#### 【0032】

次に、外乱オブザーバ理論について説明する。工作機械 5 0 に設けられた XY ステージ機構 6 0 にかかる外乱力は外乱オブザーバによって推定できる。例えば、外乱力を考慮した X ステージ 6 1 の单軸ボール螺子系の運動方程式は式（1）のように与えられる。

#### 【数1】

$$M_x \ddot{x} = K_t I_a - F_l$$

… (1)

10

20

30

40

50

※式上、加速度を  $\ddot{x}$  と記載するが、明細書中の表記の便宜上、  
「 $x''$ 」と記載して説明する。

$M_x$  [ kg ] はワーク W を含めた X ステージ 6 1 の駆動部分の全質量、  $x''$  [ m / s<sup>2</sup> ] は駆動部分の加速度、  $K_t$  [ N / A ] は推力定数、  $I_a$  [ A ] は電機子電流、  $F_1$  [ N ] は外部負荷（この場合、切削力と摩擦力）である。なお、 X ステージ 6 1 の駆動部分の全質量とは、 X ステージ 6 1 のみの質量を指す。外部負荷とパラメータ変動による負荷の合力を外乱力と定義すると、外乱力 ( $F_{dis}$ ) は式 (2) のように与えられる。

#### 【数 2】

$$\begin{aligned} F_{dis} &= F_l + \Delta M_x \ddot{x} - \Delta K_t I_a \\ &= F_l + (M_x - M_{xn}) \ddot{x} + (K_{tn} - K_t) I_a \end{aligned}$$

… (2)

式 (1) を式 (2) に代入すると外乱力は式 (3) のように与えられる。尚、電流参照値  $I_a^{ref}$  から電機子電流までの遅れはほとんどないとする。

#### 【数 3】

$$\begin{aligned} F_{dis} &= K_{tn} I_a^{ref} - M_{xn} \ddot{x} \\ &\dots (3) \end{aligned}$$

加工によるワーク W の質量変動とトルク定数の変動が小さいとすると、外乱力は外部負荷に相当する。よって、切削力が主である外部負荷が、電流参照値  $I_a^{ref}$  と加速度  $x''$  から算出できることを意味する。

#### 【0033】

実際の数値制御装置 1 内では微分処理によって高周波のノイズが拡大されてしまうため、外乱力を推定する際に一次のローパスフィルタを適用する。よって単軸ボール螺子系の X ステージ 6 1 に対して外乱オブザーバを適用した場合のブロック線図は、図 4 のような構成となる。外乱オブザーバは、電流参照値  $I_a^{ref}$  をトルク情報として X 軸モータ 3 3 から取得し、X 軸モータ 3 3 に接続するエンコーダ 4 3 (図 3 参照) からフィードバック速度  $\dot{x}$  を取得する。フィードバック速度  $\dot{x}$  は X 軸モータ 3 3 の角速度であり位置情報である。

#### 【0034】

このとき、推定外乱力  $F_{dis}$  は式 (4) のように求めることができる。s はラプラス演算子である。

#### 【数 4】

$$\hat{F}_{dis} = \frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} (K_{tn} I_a^{ref} - M_{xn} \ddot{x})$$

… (4)

$g_{dis}$  [ rad / s ] は外乱オブザーバのカットオフ周波数、  $M_{xn}$  [ kg ] は駆動部分質量の公称値、  $K_{tn}$  [ N / A ] は推力定数の公称値である。前記各公称値と該公称値と対応する工作機械 5 0 の実際の値が等しければ、式 (2) の関係より、外乱力は外部負荷となるので、式 (5) のように変換できる。

#### 【数 5】

$$\hat{F}_l = \frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} (K_{tn} I_a^{ref} - M_{xn} \ddot{x})$$

… (5)

10

20

30

40

50

以上の説明により、外乱力はサーボ制御機構の内部信号情報のみから算出できることがわかる。内部信号情報とは、上述したトルク情報と位置情報を含む情報である。本実施形態では、推定外乱力に対して連続ウェーブレット変換による解析を行い、欠損が生じたドリルの加工を行う際に発生する特定の振動を検出する。

#### 【0035】

次に、連続ウェーブレット変換について説明する。連続ウェーブレット変換はフーリエ変換と異なり、時間領域と周波数領域の解析を同時に精度良く行うことができる解析手法である。解析する周波数範囲を限定すれば、短時間で演算が可能であるため、リアルタイムの周波数解析に優れた手法である。連続ウェーブレット変換は、式(6)のように解析対象の信号とウェーブレットの畳み込み積分によって定義される。

10

#### 【数6】

$$W_f(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt$$

… (6)

$f(t)$  は解析対象の信号、 $\psi_{a,b}(t)$  はウェーブレット関数、 $a$  と  $b$  はウェーブレットのスケーリングを変換するパラメータである。このとき、 $a$  と  $b$  の関数となる  $W_f(a,b)$  が、 $f(t)$  のウェーブレット変換となる。また、 $\psi_{a,b}(t)$  は関数  $\psi_a(t)$  の共役な複素数である。式(7)は、マザーウェーブレット関数  $\psi(t)$  をパラメータ  $a, b$  によってスケール変換することで得られるウェーブレット関数  $\psi_{a,b}(t)$  を示している。

20

#### 【数7】

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

… (7)

本実施形態では、マザーウェーブレット関数として、ガボールマザーウェーブレットを利用する。ガボールマザーウェーブレットは、パラメータ  $\sigma$  を大きくすることで時間分解能を低くする代わりに周波数分解能を高めることができる特性を持ち、式(8)のように表される。

#### 【数8】

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} e^{-i\omega t}$$

… (8)

30

本実施形態では、周波数成分のスペクトル強度を  $W_f(a,b)$  によって表し、工具欠損によって発生する振動の影響を調べる為に利用する。 $\omega$  は角速度を示す。

#### 【0036】

次に、ドリル穴空け加工実験について説明する。本実施形態の実用性を調べるために、コーナー部分に欠損を起こした工具複数本と無欠損の工具を用意し、アルミ合金 A2017 に対するドリル加工試験を行った。本実験では、直径 6 mm のドリルである工具 T で、工作機械 50 による加工を行った。その他の加工条件や機械特性については、以下の表 1、表 2 の通りである。X 軸・Y 軸ボール螺子駆動系に外乱オブザーバを適用し、推定した外乱力を連続ウェーブレット変換によってスペクトル強度を算出することで欠損検出を試みた。図 5 はその加工試験の様子である。

40

【表1】

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| 主軸回転数 | 9000min <sup>-1</sup> |
| 送り速度  | 1800mm/min            |
| 加工穴深さ | 20mm                  |

【表2】

|               |                  |
|---------------|------------------|
| ロータリーエンコーダ分解能 | 20bit pulses/rev |
| ボール螺子ピッチ      | 16mm/rev         |
| サンプリング時間      | 0.125ms          |
| Xステージ質量       | 109.0kg          |
| Yステージ質量       | 240.0kg          |

## 【0037】

次に、ドリル穴あけ加工実験結果について説明する。図6は本実験で利用した無欠損工具T1の一例、図7は欠損工具T2の一例である。なお、図7に示す欠損工具T2の欠損面積は1.947mm<sup>2</sup>であった。図8は無欠損工具T1と欠損工具T2によって加工した際の夫々のY軸推定外乱力を連続ウェーブレット変換した結果である。なお、X軸推定外乱力を連続ウェーブレット変換した結果については省略する。図8の上のスペクトル図に示すように、無欠損工具T1による試験の解析結果には、解析周波数範囲内に特徴的な変化は観測できなかった。これに対し、図8の下のスペクトル図に示すように、欠損工具T2による加工中には、主軸回転数9000min<sup>-1</sup>と等しい周波数である150Hz近傍においてスペクトルの拡大を観測できた。

## 【0038】

次に、提案手法の汎用性を確認するために、無欠損工具と9本の欠損工具によって表1の条件でドリル加工実験を行った。9本の欠損工具の欠損面積については表3にまとめた。なお、表3において両刃とも欠損しているドリルについては両方の欠損面積を示した。

【表3】

| 欠損面積 [mm <sup>2</sup> ] |              |
|-------------------------|--------------|
| 無欠損工具                   | 0.000        |
| 欠損工具サンプル1               | 0.526        |
| 欠損工具サンプル2               | 1.046        |
| 欠損工具サンプル3               | 1.362, 1.281 |
| 欠損工具サンプル4               | 1.386, 1.018 |
| 欠損工具サンプル5               | 1.947        |
| 欠損工具サンプル6               | 3.002        |
| 欠損工具サンプル7               | 3.157        |
| 欠損工具サンプル8               | 5.199        |
| 欠損工具サンプル9               | 5.752, 2.013 |

## 【0039】

定量的に振動を評価するために、図8のように150Hzのスペクトル強度を加工時間帯の0.3秒間を評価区間とし、その区間ににおけるスペクトル強度の平均値をX軸・Y軸夫々で求め、それらの相乗平均値を評価基準として利用した。加工時間帯とは、ドリルにて穴加工をしている間のことを示す。各ドリルに関して20穴ずつの加工を行い、その挙動を比較するために、図9に欠損面積とスペクトル強度の相乗平均の関係をまとめた。図9に示した結果からわかる通り、全ての欠損工具が無欠損工具と比べ大きな振動を引き

10

20

30

40

50

起こしている。また、欠損面積の大きい工具ほど大きなスペクトル強度を示すという傾向を確認できる。実験の結果から  $1 \text{ mm}^2$  以上の欠損面積を持つ欠損工具ならば、欠損を検出するために十分なスペクトル強度を示すことがわかった。この結果から、提案手法が外部センサを用いることなく工具欠損の検出を行えるということを実験的に証明できた。

#### 【0040】

そして、本実施形態では、工具欠損のレベルを判定する為に、図9に示す  $150 \text{ Hz}$  のスペクトル強度について、第1閾値と第2閾値が夫々設定されている。例えば、第1閾値は  $1000$ 、第2閾値は  $2000$  に設定される。工具の欠損レベルについて、 $1000$ 未満は正常レベル、 $1000$ 以上  $2000$ 未満は警告レベル、 $2000$ 以上は異常レベルである。正常レベルは工具Tの欠損は少なく、加工を正常に継続できるレベルである。警告レベルは工具Tに生じた欠損が進んで、交換するのが好ましいレベルである。異常レベルは工具Tの欠損が著しく、加工を強制的に停止させるレベルである。数値制御装置1は、工作機械50の加工中に測定及び解析された  $150 \text{ Hz}$  のスペクトル強度がどのレベルにあるかを判定し、その判定されたレベルに応じた対応を速やかに行うことができる。

10

#### 【0041】

次に、図10を参照し、CPU11が実行する工具欠損検出処理について説明する。工具欠損検出処理は上記理論を利用したものである。作業者は、主軸57に装着された工具Tについて欠損の有無及びレベルを判定する為に、入力装置17の操作によって、工具欠損検出モードをオンする。作業者はワークWを加工する為に、入力装置17の操作によって、加工プログラムを選択して、加工開始の指示を入力する。CPU11は選択された加工プログラムに基づき、ワークWの加工を開始すると共に、ROM12に記憶された工具欠損検出プログラムを読み込み、本処理を実行する。

20

#### 【0042】

先ず、CPU11は測定処理を実行する(S1)。図4に示すように、測定処理は外乱オブザーバを用いる。外乱オブザーバは、Y軸モータ34から取得したトルク情報と、エンコーダ44から取得した位置情報に基づき、Y軸ボール螺子64の駆動系にかかる外乱力を推定する。

20

#### 【0043】

次いで、CPU11は解析処理を実行する(S2)。解析処理では、上述のように、外乱オブザーバで算出された推定外乱力のウェーブレット変換を行う。これによって、Y軸ボール螺子64に付与された振動中に、ワークWの加工中における工具Tの回転数の周波数(本実施形態では  $150 \text{ Hz}$ )と同じ成分を検出して解析する。主軸回転数が毎分  $9000$ 回転であるので、 $150 \text{ Hz}$ であるが、主軸の回転数が変われば周波数は変化する。

30

#### 【0044】

次いで、CPU11は、解析処理の結果に基づき、工具回転周波数のスペクトル強度を算出し(S3)、算出したスペクトル強度が第1閾値以上か否か判断する(S4)。本実施形態の工具回転周波数は  $150 \text{ Hz}$  である。第1閾値未満であった場合(S4: NO)、工具Tの欠損レベルは正常レベルである。それ故、CPU11は、ワークWの加工が終了したか否か判断する(S5)。加工終了の場合(S5: YES)、本処理を終了する。加工がまだ終了していない場合(S5: NO)、S1に戻って処理を繰り返す。

40

#### 【0045】

また、工具回転周波数のスペクトル強度が第1閾値以上であった場合(S4: YES)、続いて、第2閾値以上か否か判断する(S6)。第2閾値未満であった場合(S6: NO)、工具Tの欠損レベルは警告レベルである。それ故、CPU11は、作業者に工具Tの交換を促す為に、表示装置18に警告を表示する(S7)。警告は、例えば「工具が欠損している可能性があります。工具の交換を行って下さい。」等のメッセージである。CPU11は警告を表示した状態で、本処理を終了する。作業者は表示装置18に表示された警告を確認することによって、工作機械50の加工動作を停止し、工具Tを新しい工具Tに交換する。これにより、作業者は、工具Tに欠損が生じた場合に、迅速且つ適切な対応を取ることができる。

50

## 【0046】

また、工具回転周波数のスペクトル強度が第2閾値以上であった場合（S6：YES）、工具Tの欠損レベルは異常レベルである。この場合、工具Tの欠損が著しく、ワークWの加工精度を大きく低下させ、製品の品質低下を招く可能性がある。そこで、CPU11は、工作機械50の加工動作を強制的に停止し（S8）、本処理を終了する。これにより、欠損の著しい工具Tを用いた加工が継続されてしまうのを防止できる。このように、本実施形態では、工具Tの欠損の有無のみならず、欠損の程度を高制度に判定し、その判定した欠損レベルに応じた対応ができるので、ワークWの加工を良好に行うことができる。

## 【0047】

以上説明において、図3に示す数値制御装置1が本発明の工具欠損検出装置に相当する。図10のフローにおいて、S1の処理を実行するCPU11が本発明の測定手段に相当する。S2の処理を実行するCPU11が本発明の解析手段に相当する。S3、S4の処理を実行するCPU11が本発明の異常検出手段に相当する。S6の処理を実行するCPU11が本発明のレベル判断手段に相当する。S7の処理を実行するCPU11が本発明の異常報知手段に相当する。S8の処理を実行するCPU11が本発明の異常停止手段に相当する。

10

## 【0048】

以上説明したように、本実施形態の数値制御装置1は、工作機械50の加工動作を制御することに加え、工具Tの欠損を高精度に検出できる。数値制御装置1のCPU11は、ワークWの加工中停止しているX軸ボール螺子66又はY軸ボール螺子64の駆動系に付与される振動を測定する。次いで、CPU11は、測定した振動中に、ワークWの加工中における工具Tの回転数の周波数と同じ成分を検出して解析する。そして、CPU11は、工具Tの回転数の周波数と同じ成分が有るか否かを判断し、有る場合はどのレベルであるかを判定し、工具Tに生じる異常を検出する。工具Tが摩耗すると、工具Tの先端部分に工具欠損が起きる。加工時に駆動しない静止軸であるX軸方向とY軸方向に付与される振動は、欠損により生じた振動によるものである。この振動は工具の回転周波数と等しくなる。静止軸の振動から工具の回転周波数に相当する成分を取り出すことで、他の要因による振動の影響を除いた工具欠損による振動のみを取り出すことができる。これにより本実施形態は、単に振動を観測する方式に比べて高い精度で工具欠損を検出できる。

20

## 【0049】

本実施形態ではさらに、静止軸に付与される振動を、外乱オブザーバを用いて推定する。外乱オブザーバは、例えば、Y軸ボール螺子64を駆動するY軸モータ34の位置情報とトルク情報を含むフィードバック情報を基づき、Y軸方向の外乱トルクを推定して振動を測定する。これにより、Y軸方向にかかる高周波の外乱トルクを高精度に推定できる。

30

## 【0050】

本実施形態ではさらに、外乱オブザーバで推定された外乱トルクをウェーブレット変換によって、回転数の周波数と同じスペクトル成分を検出して解析する。これにより、回転数の周波数と同じ周波数の解析を高精度に行うことができる。

## 【0051】

本実施形態ではさらに、回転数の周波数と同じスペクトル成分の強度が警告レベルであるか異常レベルであるかを判断する。警告レベルであった場合、表示装置18に警告を表示する。異常レベルであった場合、工作機械50の加工動作を強制的に停止する。これにより、作業者は工具の欠損レベルに応じて適切な対応を取ることができる。

40

## 【0052】

なお本発明は上記実施の形態に限定されず、様々な変形が可能である。例えば、上記実施形態は、工具回転周波数のスペクトル強度が警告レベルであった場合、作業者に工具Tの交換を促す為に、表示装置18に警告を表示するが、アラーム等の音声による報知を併せて又は単独で行うようにしてもよい。

## 【0053】

また上記実施形態の工作機械50は、三軸の縦型工作機械であるが、横型の工作機械で

50

あってもよい。なお、何れの種類であっても、工具 T の軸方向を Z 軸とすればよい。また三軸ではなく、それ以上の多軸であってもよい。

【 0 0 5 4 】

また上記実施形態では、ドリルによる穴空け加工時において、Y 軸ボール螺子 6 4 と X 軸ボール螺子 6 6 の各外乱力を推定して、両者の推定外乱力中の工具回転周波数のスペクトル強度を相乗平均して測定したが、Y 軸ボール螺子または X 軸ボール螺子のどちらかの外乱力のみを用いて測定してもよい。

【 0 0 5 5 】

また上記実施形態の他に、例えば、外乱オブザーバを用いない場合や、ウェーブレット変換ではなく FFT を用いる方法、フィルタにより必要な周波数の信号を抽出するなどの構成でもよい。

10

【 0 0 5 6 】

また上記実施形態は、工作機械 5 0 の動作を制御する数値制御装置 1 を、本発明の工具欠損検出装置の一例として説明したが、工具欠損を検出する専用機であってもよい。

【 0 0 5 7 】

また上記実施形態では、工具 T の一例としてドリルを説明したが、それ以外の工具の種類でもよく、例えば、側面加工に用いるエンドミル等であってもよい。

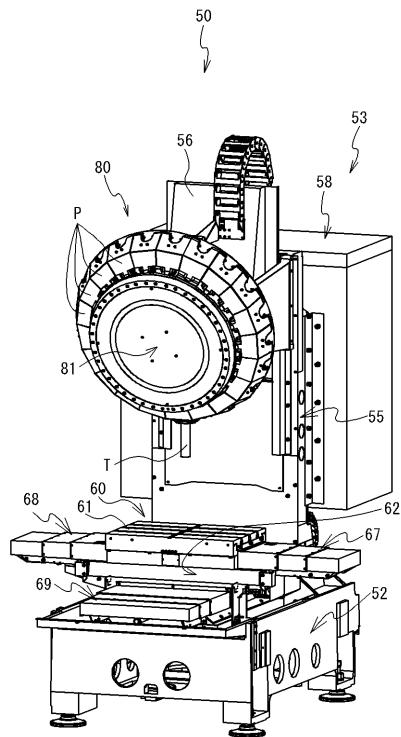
【 符号の説明 】

【 0 0 5 8 】

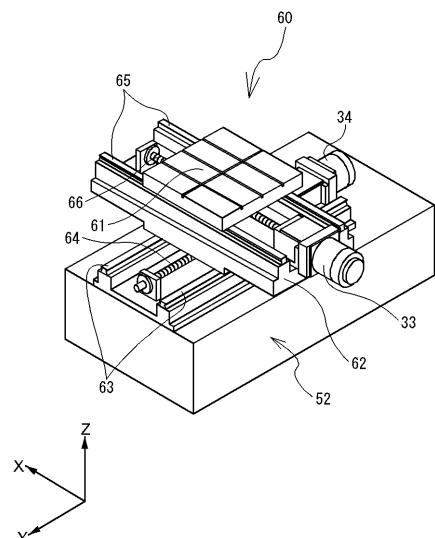
|     |        |
|-----|--------|
| 1   | 数値制御装置 |
| 1 1 | C P U  |
| 3 3 | X 軸モータ |
| 3 4 | Y 軸モータ |
| 5 0 | 工作機械   |
| T   | 工具     |
| W   | ワーク    |

20

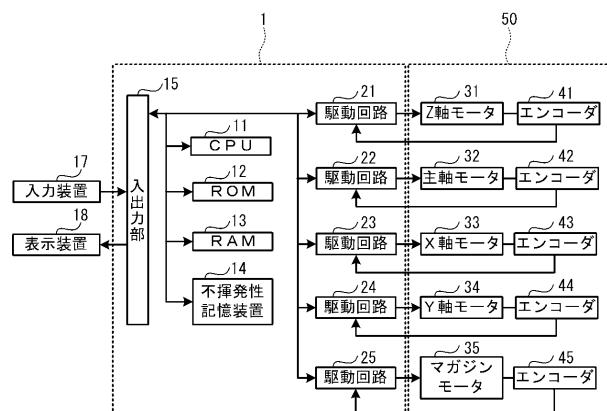
【図1】



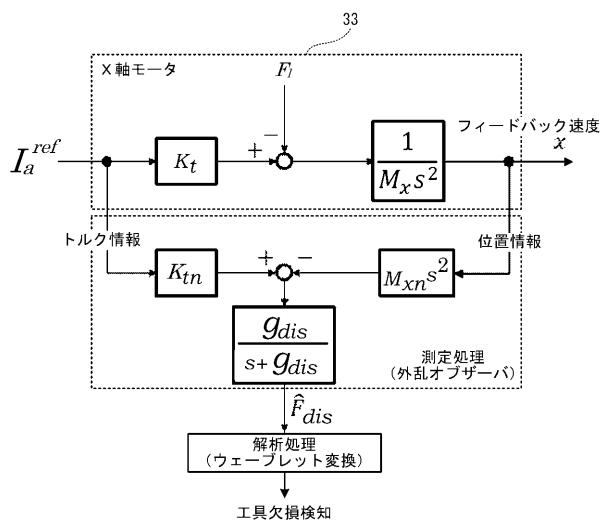
【図2】



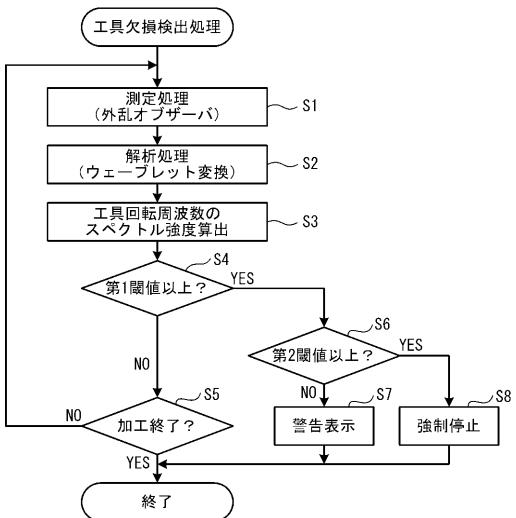
【図3】



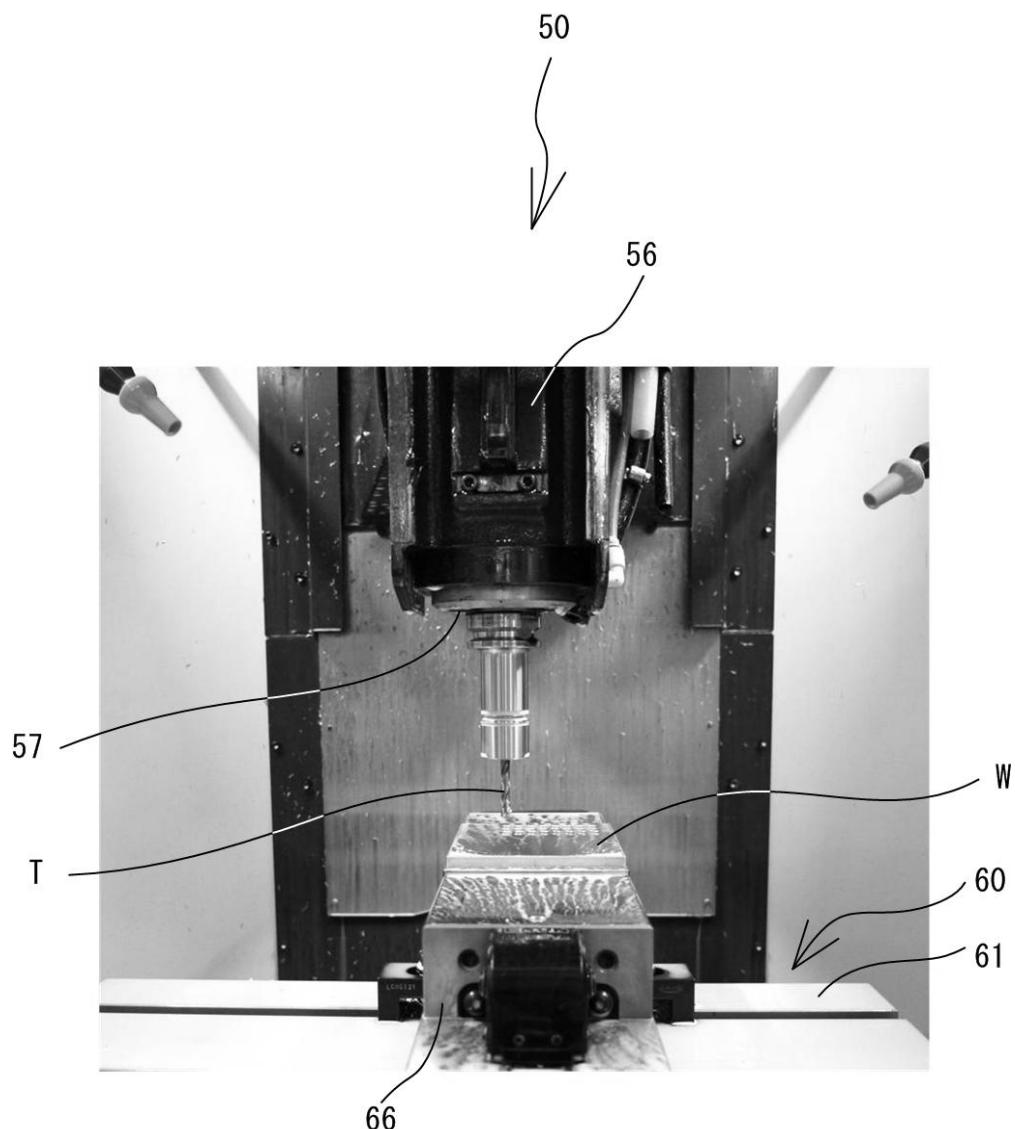
【図4】



【図10】



【図5】



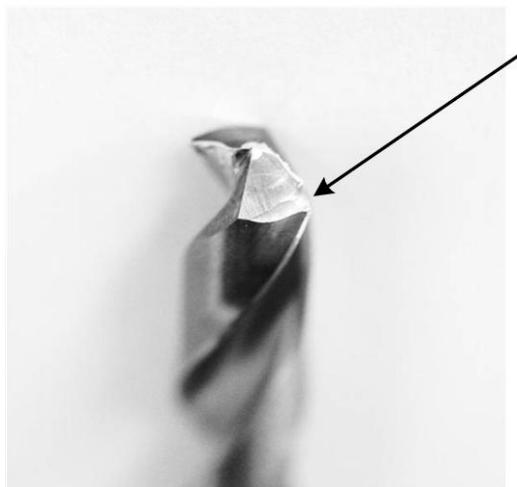
【図6】

T1

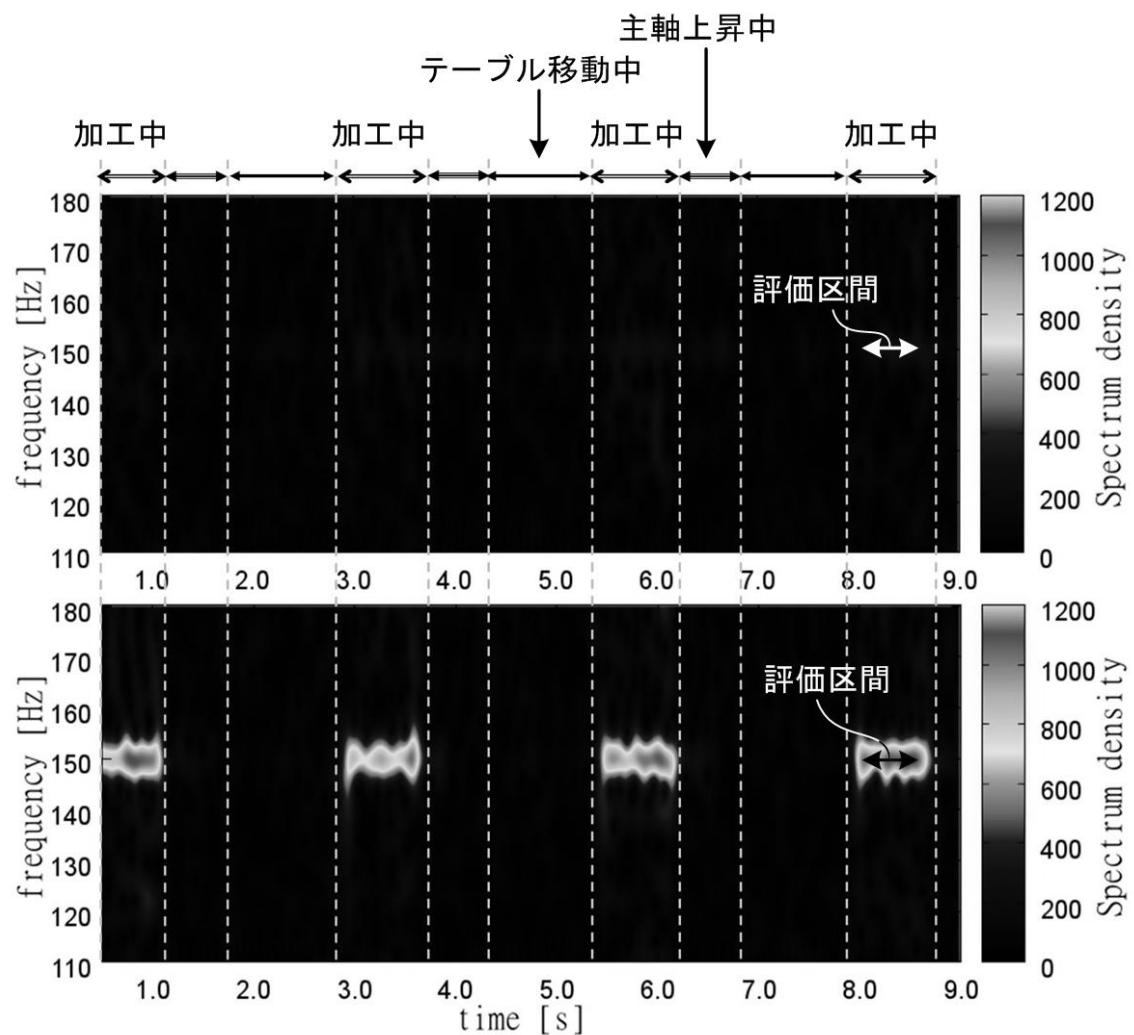


【図7】

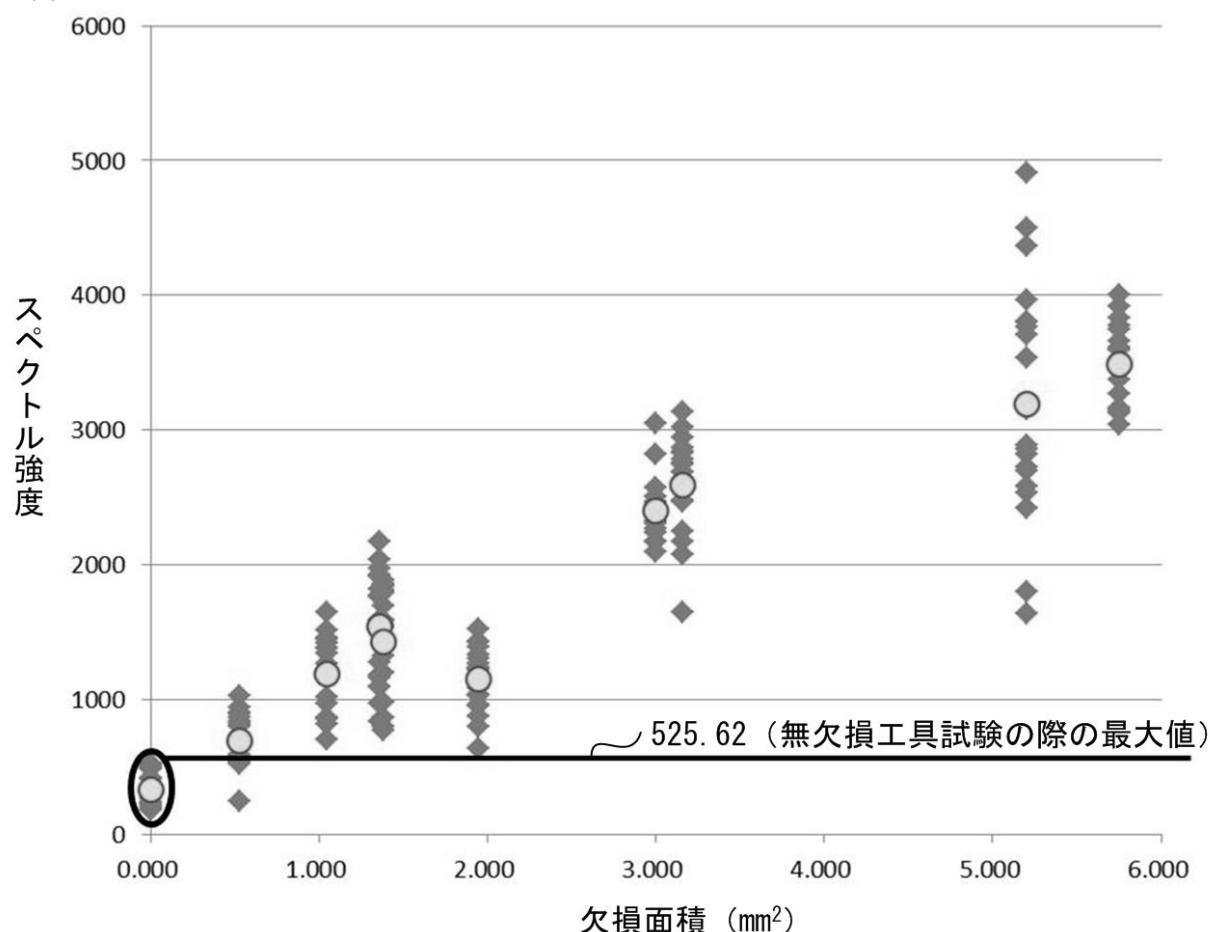
T2



【図 8】



【図 9】



---

フロントページの続き

(72)発明者 野村 裕昭  
愛知県名古屋市瑞穂区苗代町 15番1号 ブラザー工業株式会社内

(72)発明者 青山 藤詞郎  
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内

(72)発明者 柿沼 康弘  
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内

(72)発明者 小池 紗綾  
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内

(72)発明者 大西 公平  
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内

F ターム(参考) 3C029 DD06 DD14