(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2012-187656
(P2012-187656A)
(43)公開日　平成24年10月4日(2012.10.4)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
B23B 41/02	(2006.01)	B23B 41/02		3C036
B23B 47/18	(2006.01)	B23B 47/18	A	

審査請求 未請求　請求項の数 9　ＯＬ　（全 16 頁）

(21)出願番号　特願2011-52238(P2011-52238)
(22)出願日　平成23年3月9日(2011.3.9)

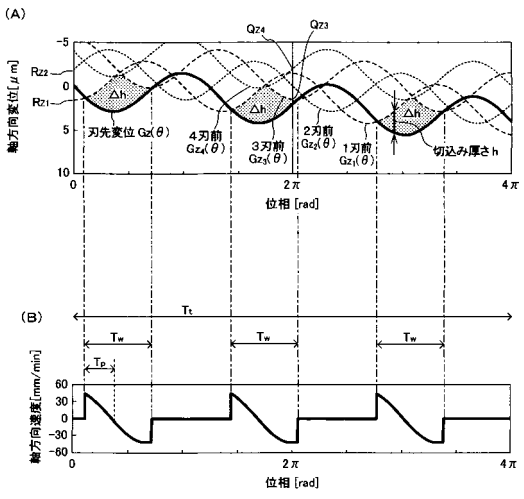
特許法第３０条第１項適用申請有り　刊行物名：２０１０年精密工学会秋季大会　学術講演会　講演論文集　発行日：平成２２年９月１０日

(71)出願人　591267855
埼玉県
埼玉県さいたま市浦和区高砂三丁目１５番１号
(74)代理人　100090413
弁理士　梶原　康稔
(72)発明者　南部　洋平
埼玉県川口市上青木３－１２－１８　埼玉県産業技術総合センター内
(72)発明者　落合　一裕
埼玉県川口市上青木３－１２－１８　埼玉県産業技術総合センター内

Ｆターム(参考)　3C036 AA15　DD02

(54)【発明の名称】切削加工装置，振動条件提示装置及びその方法

(57)【要約】
【課題】アクチュエータによる振動条件を簡便に提示して、微細深穴などの加工を良好に行う。
【解決手段】ドリルを振動させるにあたって、切削時間比率Ｒc及び正速度時間比率Ｒvを定義する。これら切削時間比率Ｒc及び正速度時間比率Ｒvは、振動周波数Ｆvとドリル回転周波数Ｆdとの周波数比Ｆv／Ｆdと、軸方向の振動振幅Ａと１刃当たりの送りｆzとの振幅比Ａ／ｆzで無次元化され、前記切削時間比率Ｒc及び正速度時間比率Ｒvの各値は、周波数比Ｆv／Ｆdと振幅比Ａ／fzとでマッピングされる。これを利用すると、振動波形，工具回転数，工具送り速度などの入力値から加工状態を評価する指標を得ることができ、該指標から切りくずの分断及び刃先の冷却が期待できる振動条件や、切削抵抗の低減が期待できる振動条件を簡単に得ることができる。
【選択図】図２



【特許請求の範囲】
【請求項１】
切削工具とワークとの間に振動を与えてワークの切削加工を行う場合における振動条件を提示する振動条件提示装置であって、
前記切削工具の加工条件及び振動波形から、全駆動時間に対する切削時間の割合を示す切削時間比率，又は、切削時間に対する振動速度が正となる時間の割合を示す正速度時間比率の少なくとも一方を演算する演算手段，
前記演算手段による演算結果を、前記切削工具の振動周波数と回転周波数の周波数比と、前記切削工具の軸方向の振動振幅と送り量との振幅比とにそれぞれ対応した指標として提示する出力手段，
を備えたことを特徴とする振動条件提示装置。
【請求項２】
前記出力手段が、前記提示される指標のうち、前記切削工具の加工条件に相応しい振動条件の範囲を、前記周波数比と前記振幅比を選択して提示することを特徴とする請求項１記載の振動条件提示装置。
【請求項３】
前記加工条件又は前記振動条件の少なくとも一方に限界値があるときに、該限界値に対応する前記切削時間比率又は前記正速度時間比率の少なくとも一方を、前記演算手段で演算するとともに、演算結果を前記指標とともに前記出力手段において提示することを特徴とする請求項１又は２記載の振動条件提示装置。
【請求項４】
請求項２又は３記載の振動条件提示装置によって提示された振動条件で、前記切削工具とワークとの間に振動を与える振動手段を備えたことを特徴とする切削加工装置。
【請求項５】
請求項３記載の振動条件提示装置によって提示された振動条件であって、かつ、前記限界値の範囲内の条件で、前記切削工具とワークとの間に振動を与える振動手段を備えたことを特徴とする切削加工装置。
【請求項６】
前記振動手段によって振動を与えつつ切削加工を行ったときの切削動力を検出するモニター手段，
該モニター手段による検出結果に基づいて、前記切削工具による切削状態の適否を判断し、切削状態が適切となるように、前記出力手段から出力される振動条件を修正するフィードバック手段，
を備えたことを特徴とする請求項４又は５記載の切削加工装置。
【請求項７】
切削工具とワークとの間に振動を与えてワークの切削加工を行う場合における振動条件を提示する振動条件提示方法であって、
前記工具の加工条件及び振動波形から、全駆動時間に対する切削時間の割合を示す切削時間比率，又は、切削時間に対する振動速度が正となる時間の割合を示す正速度時間比率の少なくとも一方を演算するステップ１，
前記ステップ１による演算結果を、前記切削工具の振動周波数と回転周波数の周波数比と、前記切削工具の軸方向の振動振幅と送り量との振幅比とにそれぞれ対応した指標として提示するステップ２，
を備えたことを特徴とする振動条件提示方法。
【請求項８】
前記ステップ２において、前記提示される指標のうち、前記切削工具の加工条件に相応しい振動条件の範囲を、前記周波数比と前記振幅比を選択して提示することを特徴とする請求項７記載の振動条件提示方法。
【請求項９】
前記加工条件又は前記振動条件の少なくとも一方に限界値があるときに、該限界値に対

応する前記切削時間比率又は前記正速度時間比率の少なくとも一方を前記ステップ１で演算するとともに、該演算結果を前記指標とともに前記ステップ２で提示することを特徴とする請求項７又は８記載の振動条件提示方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、切削工具とワークとの間に振動を付加して切削加工を行うとともに、前記振動の条件を提示する切削加工装置，振動条件提示装置及びその方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

ガスタービンで用いられるノズル等においては、例えば、直径Ｄ＝０．２ｍｍ，深さＬ＝４ｍｍ（アスペクト比Ｌ／Ｄ＝２０）のような微細深穴を加工する必要がある。このような高アスペクト比の微細深穴をドリルによって切削加工する際には、切りくずの排出が困難である，発生する熱の逃げ場がない，切削抵抗によりドリルの折損が発生しやすい，ドリル先端の加工点の温度が非常に高くなってドリルの摩耗が進みやすい，といった問題がある。

【０００３】

図９(A)には、その様子が示されており、ボール盤のスピンドル９００に取り付けられたドリル９０２によって、被加工材料であるワーク９１０に穴９２０の加工が行われる。ワーク９１０の表面側からは、切削油９０４が供給されている。同図(B)には、ドリル９０２の先端部分が拡大して示されており、ワーク９１０をドリル９０２の先端が押しつぶしながら加工が進行していく。ここで、切りくずは、ドリル９０２の溝に沿って図の上方に押し上げられて排出されるのであるが、穴９２０が深いために、排出に困難が伴う。また、切削油９０４が穴９２０の開口側から供給されるが、穴９２０が深いために、ドリル９０２の刃先の方まで良好に供給されない。また、穴９２０が深いことから、刃先の熱の逃げ場がない。これらの理由から、刃先の温度が上昇するようになるとともに、ドリル９０２先端の切削抵抗が増大して高いスラスト力が発生し、刃先の摩耗の進行，切削速度の低下，更にはドリル折損が生ずる恐れがある。

【０００４】

このような問題点を改善し、刃先の冷却効果を期待できる手法として、下記特許文献１～３に記載されているような加工時に低周波振動を付加する技術がある。図９(C)には、その一例が示されており、スピンドル９５０に取り付けられたドリル９５２によって、ワーク９６０に対する穴あけ加工が行われる。ワーク９６０は、加工機テーブル９６２に設けられたアクチュエータ９６４上に設置されている。アクチュエータ９６４としては、電磁式，ピエゾ式，リニアモータ式などがある。ワーク９６０には、アクチュエータ９６４によって、図の上下方向に低周波振動が印加される。この状態で、ドリル９５２によってワーク９６０の穴あけ加工が行われる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特開２００６－１５９４００号公報

【特許文献２】特開２００４－２６１９２８号公報

【特許文献３】特開平１０－２４９６８４号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

しかしながら、上述した従来の振動加工においては、アクチュエータによる振動条件（振動周波数，振動振幅）に関して、経験に基づいた選択が行われてきた。このため、ドリル径，ドリル回転数や送り速度等などの加工条件が変わる度に、好適な振動条件を検討する必要があった。

【０００７】
本発明は、以上のような点に着目したもので、その目的は、切削工具の加工条件に対応した良好な振動条件を簡便に提示することである。他の目的は、好適な振動条件で切削工具もしくはワークに振動を加えて加工を行うことで、刃先温度，切りくず排出，切削抵抗といった課題を改善することである。更に他の目的は、工具の長寿命化を図ることである。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本発明は、切削工具とワークとの間に振動を与えてワークの切削加工を行う場合における振動条件を提示する振動条件提示装置であって、前記切削工具の加工条件及び振動波形から、全駆動時間に対する切削時間の割合を示す切削時間比率，又は、切削時間に対する振動速度が正となる時間の割合を示す正速度時間比率の少なくとも一方を演算する演算手段，前記演算手段による演算結果を、前記切削工具の振動周波数と回転周波数の周波数比と、前記切削工具の軸方向の振動振幅と送り量との振幅比とにそれぞれ対応した指標として提示する出力手段，を備えたことを特徴とする。
【０００９】
主要な形態の一つは、前記出力手段が、前記提示される指標のうち、前記切削工具の加工条件に相応しい振動条件の範囲を、前記周波数比と前記振幅比を選択して提示することを特徴とする。他の形態の一つは、前記加工条件又は前記振動条件の少なくとも一方に限界値があるときに、該限界値に対応する前記切削時間比率又は前記正速度時間比率の少なくとも一方を、前記演算手段で演算するとともに、演算結果を前記指標とともに前記出力手段において提示することを特徴とする。
【００１０】
本発明の切削加工装置は、前記振動条件提示装置によって提示された振動条件で、前記切削工具とワークとの間に振動を与える振動手段を備えたことを特徴とする。主要な形態の一つは、前記振動条件提示装置によって提示された振動条件であって、かつ、前記限界値の範囲内の条件で、前記切削工具とワークとの間に振動を与える振動手段を備えたことを特徴とする。他の形態の一つは、前記振動手段によって振動を与えつつ切削加工を行ったときの切削動力を検出するモニター手段，該モニター手段による検出結果に基づいて、前記切削工具による切削状態の適否を判断し、切削状態が適切となるように、前記出力手段から出力される振動条件を修正するフィードバック手段，を備えたことを特徴とする。
【００１１】
他の発明は、切削工具とワークとの間に振動を与えてワークの切削加工を行う場合における振動条件を提示する振動条件提示方法であって、前記工具の加工条件及び振動波形から、全駆動時間に対する切削時間の割合を示す切削時間比率，又は、切削時間に対する振動速度が正となる時間の割合を示す正速度時間比率の少なくとも一方を演算するステップ１，前記ステップ１による演算結果を、前記切削工具の振動周波数と回転周波数の周波数比と、前記切削工具の軸方向の振動振幅と送り量との振幅比とにそれぞれ対応した指標として提示するステップ２，を備えたことを特徴とする。
【００１２】
主要な形態の一つは、前記ステップ２において、前記提示される指標のうち、前記切削工具の加工条件に相応しい振動条件の範囲を、前記周波数比と前記振幅比を選択して提示することを特徴とする。他の形態の一つは、前記加工条件又は前記振動条件の少なくとも一方に限界値があるときに、該限界値に対応する前記切削時間比率又は前記正速度時間比率の少なくとも一方を前記ステップ１で演算するとともに、該演算結果を前記指標とともに前記ステップ２で提示することを特徴とする。本発明の前記及び他の目的，特徴，利点は、以下の詳細な説明及び添付図面から明瞭になろう。
【発明の効果】
【００１３】
本発明によれば、加工条件（工具回転数や工具送り速度）及び振動波形に基づいて、加

工状態を評価する指標を計算し、該指標から加工と振動の周波数比及び振幅比を選択することで相応の振動条件（振動周波数や振動振幅）を得ることができるので、刃先温度，切りくず排出，切削抵抗といった課題を改善して、工具の長寿命化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】ドリルによる穴あけ加工時の様子を示す図である。

【図２】本発明の振動条件提示方法の実施例におけるドリル刃先の軸方向変位及び回転速度の変化を示すグラフである。

【図３】切削時間比率を示すマップの一例を示す図である。

【図４】正速度時間比率を示すマップの一例を示す図である。

【図５】周波数比と時間比率との関係，及び刃先摩耗との関係を示すグラフである。

【図６】本発明に関係する実験装置の概略を示す図である。

【図７】周波数比と切りくずとの関係を示す図である。

【図８】本発明の振動条件提示装置及び切削加工装置の実施例を示す図である。

【図９】ドリルによる穴あけ加工及び背景技術を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１５】

以下、本発明を実施するための最良の形態を、実施例に基づいて詳細に説明する。

【実施例１】

【００１６】

最初に、図１～図７を参照しながら本発明にかかる振動条件提示方法について説明する。図１(A)に、ワーク１２を加工しているドリル１０の刃先部分を示す。回転角度をθ，軸方向（図の上下方向）の振動振幅（p-p）をＡ，ドリル１０とワーク１２との相対的な振動の周波数をＦv，ドリル１０の回転周波数をＦd，ドリル１０の１刃当たりの送りをｆz，ドリル１０の刃数をｚとすると、ドリル１０の刃先の軸方向変位Ｐz及び軸方向速度Ｖzは、次の数１式，数２式でそれぞれ表される。

【数１】

$$Pz(\theta)=\frac{A}{2}\sin\left(\frac{F_v}{2_d}\theta\right)+\frac{f_z\cdot z}{2\pi}\theta$$

【数２】

$$Vz(\theta)=\pi F_v A\cos\left(\frac{F_v}{2_d}\theta\right)+f_z\cdot z\cdot F_d$$

【００１７】

更に、ｋ刃前のドリル刃先の軸方向変位Ｐzkは、次の数３式で表される。ｋ刃前とは、前記数１式で示される軸方向変位Ｐｚが例えば刃数ｚを有するドリルの第ｎ回転目における軸方向変位であるとすると、第ｎ－ｋ／ｚ回転目における軸方向変位が前記Ｐzkである。

【数３】

$$Pz_k(\theta)=\frac{A}{2}\sin\left(\frac{F_v}{F_d}\left(\theta-\frac{2\pi k}{z}\right)\right)+\frac{f_z\cdot z}{2\pi}\left(\theta-\frac{2\pi k}{z}\right)$$

【００１８】

図２(A)には、前記軸方向変位Ｐz，Ｐzkの一例が示されている。この例は、工具回転数２０００/min（工具回転周波数Ｆd＝２０００／６０＝３３．３Hz），１刃当たりの送りｆz＝１μm，振動周波数Ｆv＝４９．１Hz，振動振幅Ａ＝５μm，刃数ｚ＝２，とし、かつ、振動波形を正弦波としたときの例である。同図の横軸はドリル１０の位相ないし回転角度θ[rad]，縦軸は軸方向変位Ｐzないし Ｐzk[μm]を表す。なお、縦軸は、下側がプラス，上側がマイナスとなっている。図２(A)には、２回転分（４π）が示されている。仮

に、軸方向の振動がないとすると、単に、回転とともに軸方向変位Ｐz，Ｐzkが増大する右肩下がりのグラフとなる。しかし、軸方向の振動があるために、振動しつつ右肩が下がるグラフとなる。４刃前のグラフＧz4の１回転後（２π）の変位Ｑz4は、（４－刃数２＝）２刃前のグラフＧz2の始点Ｒz2に一致する。３刃前のグラフＧz3の１回転後（２π）の変位Ｑz3は、（３－刃数２＝）１刃前のグラフＧz1の始点Ｒz1に一致する。以下、同様である。ドリル１０の刃先は、１刃前の刃先が通過した面からワーク１２に進入し、３刃前の刃先が通過した面から離脱する。

【００１９】

ここで、ドリル１０の刃先の軸方向の切込み厚さｈは、次の数４式で表される。切込み厚さｈ＞０のときは、ドリル１０の刃先が前回よりも深くなり、ドリル１０の刃先とワーク１２が接触して切削が行われる。しかし、ｈ≦０のときは、ワーク１２の切削は行われず、ドリル１０の刃先の冷却が進むとともに、切りくずの分断が行われると考えられる。

【数４】

$$h=\begin{cases} Pz(\theta)-\max\left[Pz_1(\theta), Pz_2(\theta), \cdots Pz_m(\theta)\right] & \left(Pz(\theta)>\max\left[Pz_1(\theta), Pz_2(\theta), \cdots Pz_m(\theta)\right]\right) \\ 0 & \left(Pz(\theta)\leq\max\left[Pz_1(\theta), Pz_2(\theta), \cdots Pz_m(\theta)\right]\right) \end{cases}$$

【００２０】

図２(A)で説明すると、今回の軸方向変位Ｐzによって切削される厚さｈは、同図にハッチングで示すように、前回の軸方向変位Ｐzkとの差分領域Δｈとなる。

【００２１】

図２(B)には、切込み厚さｈ＞０のときの軸方向速度Ｖzの一例が示されている。同図の横軸は前記図２(A)と同様であり、縦軸が軸方向速度Ｖz[mm/min]となっている。同図(A)，(B)を対比すると明らかなように、刃先が正の速度で進入して負の速度で離脱し、軸方向速度Ｖzがプラスからマイナスに変動する期間Ｔwで切削が行われる。

【００２２】

ここで、全駆動時間に対する切込み厚さｈ＞０となる時間の比率（図２(B)における全駆動時間Ｔｔに対する切削時間Ｔwの割合＝Ｔw／Ｔt）を切削時間比率Ｒcとする。切削時間比率がＲc＝１とのときは、Ｔw＝Ｔtとなり、全時間において切削が行われる連続切削となる。切削時間比率Ｒcが小さくなるに従って、ドリル１０の刃先がワーク１２から離れて切削が行われない時間が長くなり、刃先の冷却が期待できるようになる。

【００２３】

また、切削時間Ｔwに対する振動速度（軸方向速度－工具送り速度）が正となる時間の比率（図２(B)における切削時間Ｔwに対する正時間Ｔpの割合＝Ｔp／Ｔw）を、正速度時間比率Ｒvとする。図１(B)には、ドリル１０の刃先のすくい角Φrと逃げ角Φcの関係が示されている。ドリル１０の刃先速度が正のときは刃先のすくい角Φrが大きくなり、逆に刃先速度が負のときは刃先のすくい角Φrが小さくなる。このような点からすると、正速度時間比率Ｒvが大きいほど、すくい角Φrが大きい状態での加工時間が長くなるため、切削抵抗の低減が期待できる。

【００２４】

以上のような切削時間比率Ｒc及び正速度時間比率Ｒvは、振動周波数Ｆvとドリル回転周波数Ｆdとの周波数比Ｆv／Ｆdと、軸方向の振動振幅Ａと１刃当たりの送りｆzとの振幅比Ａ／fzで無次元化可能である。そこで、前記切削時間比率Ｒc及び正速度時間比率Ｒvの各値を、周波数比Ｆv／Ｆdと振幅比Ａ／fzとでマッピングして示すと、図３，図４に各々示すようになる。これらの図中、横軸は周波数比Ｆv／Ｆd，縦軸は振幅比Ａ／fzである。

【００２５】

まず、図３の切削時間比率Ｒcに着目すると、上述したように、切削時間比率Ｒcが小さくなるに従って、ドリル１０の刃先がワーク１２から離れて切削が行われない時間が長くなり、刃先の冷却が期待できる。このような条件の領域は、図３の比較的色が薄い領域が該当するので、その領域内に切削時間比率Ｒcの値が入るように、ドリル１０を振動させるとよいことになる。

【００２６】
一方、図４の正速度時間比率Ｒｖに着目すると、上述したように、正速度時間比率Ｒｖが大きいほど、すくい角Φｒが大きい状態での加工時間が長くなるため、切削抵抗の低減が期待できる。このような条件の領域は、図４の比較的色が薄い領域が該当するので、その領域内に正速度時間比率Ｒｖの値が入るように、ドリル１０の加工条件や振動条件を設定すればよいことになる。
【００２７】
周波数比Ｆｖ／Ｆｄに対する切削時間比率Ｒｃ及び正速度時間比率Ｒｖの変化の一例を示すと、図５に示すようになる。同図中、横軸は周波数比Ｆｖ／Ｆｄであり、縦軸は時間比率である。図５は、軸方向の振動振幅Ａ＝１０μｍ，１刃当たりの送りｆｚ＝１μｍ，振幅比Ａ／ｆｚ＝１０としたときのグラフである。周波数比Ｆｖ／Ｆｄが「０」（振動無し）と「２」近傍では切削時間比率Ｒｃが増大し、連続切削となって切りくずが連続するのに対し、それ以外の周波数比では切りくずが分断されると予想される。一方、正速度時間比率Ｒｖは、周波数比Ｆｖ／Ｆｄ＝１．６～１．９で小さくなり、それ以外では大きくなる。特に、周波数比Ｆｖ／Ｆｄ＝０．１～０．５及び２．１～２．５で大きくなる。
【００２８】
ここで、本発明に関連して行った実験例について説明する。図６には、実験装置の概略が示されている。工作機械として、高速加工機（東芝機械株式会社製の「ASV400」）を使用し、加工機テーブル２０上に切削動力計（日本キスラー株式会社製の「9254」）２２を介して設けられたピエゾアクチュエータ（株式会社メステック製の「PSt150」）２４によってワーク１２に振動を印加する。波形発生装置３０から出力された振動波形に基づいてドライバ３２がピエゾアクチュエータ２４を駆動する。そして、切削動力計２２の計測結果をデータレコーダ３４で記録する。スピンドル１４に取り付けられているドリル１０としては、超硬ノンコートドリルを使用した。そして、表１の加工条件で、微細深穴加工を行い、刃先磨耗及び切りくず形状について検討した。
【表１】

被削材		SUS304
穴の直径	mm	0.2
穴の深さ	mm	4(通り穴)
工具回転数	min^{-1}	2000
1刃当り送り	μm/刃	1.0
ステップ量	mm	0.1
振動振幅	μm	10
切削油		水溶性切削油

【００２９】
刃先磨耗の程度は、前記図５に示すとおりであり、切削時間比率Ｒｃとほぼ同様の傾向を示し、切削時間比率Ｒｃを小さくすることで、刃先磨耗も抑制できることが分かる。また、同じ切削時間比率Ｒｃである周波数比Ｆｖ／Ｆｄ＝１．７と２．３における刃先磨耗の程度を対比すると、正速度時間比率Ｒｖが大きい周波数比Ｆｖ／Ｆｄ＝２．３のほうが刃先磨耗は少ない。これは、前記すくい角Φｒが大きい条件で切削加工を行ったほうが切削抵抗が低減され、刃先温度上昇が抑制されたためであると考えられる。
【００３０】
図７には、前記周波数比Ｆｖ／Ｆｄ＝０，０．６７，・・・における切りくずの様子が示されており、同図(A)～(J)は、図５の刃先摩耗の測定点にそれぞれ対応する。切削時間比率Ｒｃ＝１となる周波数比の図７(A)，(F)では、切りくずが連続している。しかし、それ以外の切削時間比率Ｒｃでは、切りくずが分断されている。また、切削時間比率Ｒｃが小さいほど、切りくずの形状は小さくなっている。

【００３１】
以上のように、本実施例によれば、ドリル１０を振動させるにあたって、切削時間比率Rc及び正速度時間比率Rvを定義し、切削時間比率Rcを小さく、かつ、正速度時間比率Rvを大きくするアクチュエータの振動条件を提示することができ、これによって、刃先の冷却が可能となるとともに、切削抵抗や刃先磨耗の低減を図ることができる。また、周波数比や振幅比という無次元化した値を用いることで、工具径や工具回転数に依存しない評価を行うことができ、評価の簡略化を図ることができる。更に、ワークの加工条件が変更されても、アクチュエータによる振動条件を簡便に提示することができ、微細深穴の加工を良好に行うことができる。

【実施例２】

【００３２】
次に、図８を参照しながら、本発明の振動条件提示装置及び切削加工装置の実施例について説明する。図８において、振動条件提示装置１００は、演算部１１０，表示部１２０，入力部１３０，メモリ部１４０を備えている。メモリ部１４０には、上述した切削時間比率Rc及び正速度時間比率Rvを演算するための演算プログラム１４２，該演算に必要な演算データ１４４が格納されており、入力されたデータ（後述）は入力データ１４６として格納されるようになっている。

【００３３】
一方、振動加工装置２００は、上述したドリル１０，ワーク１２，スピンドル１４，加工機テーブル２０，切削動力計２２，ピエゾアクチュエータ２４を備えている。更に、振動加工装置２００は、上述したピエゾアクチュエータ２４の駆動制御を行うための制御器２０２を備えており、振動条件提示装置１００によって提示された振動条件が制御器２０２に対して出力されるようになっている。なお、切削動力計２２は、必要に応じて設けられるもので、詳細は後述する。

【００３４】
次に、本実施例の全体動作を説明する。振動条件提示装置１００には、ドリル１０の回転数や送り速度などの加工条件や、ワーク１２の振動波形が外部より入力される。前記加工条件は、例えば、作業者が入力部１３０を使用して入力してもよいし、振動加工装置２００側から供給するようにしてもよい。振動波形が数式で表される場合は、数式で入力してもよい。また、振動波形データを、予め演算データ１４４としてメモリ部１４０に記憶させておいてもよい。入力されたデータは、入力データ１４６としてメモリ部１４０に格納される。

【００３５】
演算部１１０は、演算データ１４４もしくは入力データ１４６を参照し、演算プログラム１４２を実行する。そして、上述した演算を行い、切削時間比率Rc及び正速度時間比率Rvを得る。演算結果（図３，図４に示したマップ）は、加工状態を評価する指標として表示部１２０に表示されるとともに、それら指標から周波数比及び振幅比を指定して好適な振動条件が選択される。選択された振動条件は、振動加工装置２００の制御器２０２に入力される。制御器２０２は、入力された振動条件（振動振幅及び振動周波数）に基づいて、ピエゾアクチュエータ２４を駆動する。これにより、切削時間比率Rcを小さく、かつ、正速度時間比率Rvを大きくするように、ピエゾアクチュエータ２４が振動し、ワーク１２に対する切削加工が行われる。

【００３６】
具体的には、次のような形態がある。
(1)切削時間比率Rcもしくは正速度時間比率Rvの評価指標（図３，図４に示したマップ）のいずれか一方、もしくは両方を、表示部１２０に表示し、作業者が振動条件を選択して、振動加工装置２００に設定する。

【００３７】
(2)切削時間比率Rcもしくは正速度時間比率Rvの評価指標を表示部１２０に表示するのみならず、相応しい振動条件の範囲も選択して具体的に提示する。例えば、切削時間比

率Ｒｃが０．７以下であり、かつ、正速度時間比率Ｒｖが０．５以上の範囲を表示部１２０に表示し、この範囲で作業者が振動条件を選択するといった具合である。また、一般的には、アクチュエータの能力にもよるが、振動周波数や振動振幅は小さいほうがよいので、それに相応しい振動条件を選択する。あるいは、アクチュエータにおいて、振動周波数もしくは振動振幅の一方が変更できないときは、他方の値のみを考慮して振動条件を選択する。また、好ましい振動条件が複数あるときは、それらを全て表示するか、あるいは、順位を付けて表示するといった具合である。

【００３８】

(3)切削時間比率Ｒｃもしくは正速度時間比率Ｒｖの評価指標を表示部１２０に表示するのみならず、相応しい振動条件も選択して具体的に提示し、かつ、振動加工装置２００の制御器２０２に供給してピエゾアクチュエータ２４の振動を制御する。

【００３９】

(4)前記(3)に加えて、ドリル回転数等の加工条件に変更があったときは、振動加工装置２００から加工条件変更のフィードバックを受け、新たな加工条件に相応しい振動条件を演算し、振動加工装置２００の制御器２０２に供給する。

【００４０】

(5)切削動力計２２によって切削状態をモニターし、その結果を、条件提示装置１００にフィードバックする。そして、モニター結果に基づいて、切削状態の適否を判断し、切削状態が適切となるように、振動条件を修正して振動加工装置２００の制御器２０２に出力する。

【００４１】

(6)振動加工装置２００のスピンドル１４の回転速度の上下限値，加工機テーブル２０の移動速度の上限値，ピエゾアクチュエータ２４の振動周波数の上限値及び振幅の上限値などの限界値を入力し、当該限界値に対応する範囲を、前記切削時間比率Ｒｃもしくは正速度時間比率Ｒｖの評価指標の表示に指定して示す。あるいは、前記限界値の範囲内で振動条件を選択して、振動加工装置２００に設定する。前記限界値に対応する範囲は、例えば図８の表示部１２０中に表示されている実線ＬＡ，ＬＢのようになる。なお、前記限界値を、演算データ１４４としてメモリ部１４０に予め保存しておいてもよい。

【００４２】

(7)上述したように、切削時間比率Ｒｃは小さいほうがよく、正速度時間比率Ｒｖは大きいほうがよい。具体的な比率の値は、ワークの材質や振動波形によって変わるが、例えば、０．９＞Ｒｃ，０．５＜Ｒｖ，好ましくは、０．６＞Ｒｃ，０．６＜Ｒｖの範囲がより好適である。

【００４３】

以上のように、本実施例によれば、振動波形，工具回転数，工具送り速度などの条件を入力すると、加工状態を評価する指標が演算・提示されるので、これから刃先の冷却，切りくずの排出性能，切削抵抗の改善を図ることができる振動条件を簡単に知ることができる。

【００４４】

なお、本発明は、上述した実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加えることができる。

(1)前記実施例では、本発明をドリルによる深穴加工に適用した場合を示したが、各種の切削工具に対しても同様に適用可能である。

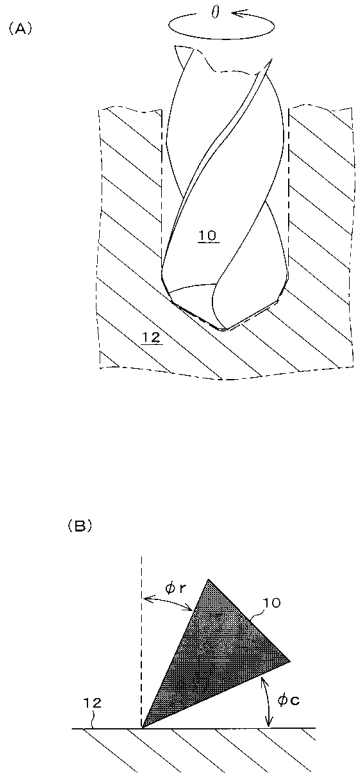
(2)前記実施例では、ワーク側を振動させたが、工具側を振動させてもよい。振動装置としては、前記実施例や前記特許文献に記載されたもののほか、各種のものが知られており、いずれを用いてもよい。

(3)前記実施例では、全駆動時間に対する切削時間の割合を示す切削時間比率と、切削時間に対する振動速度が正となる時間の割合を示す正速度時間比率とを求めたが、いずれか一方のみとすることを妨げるものではない。

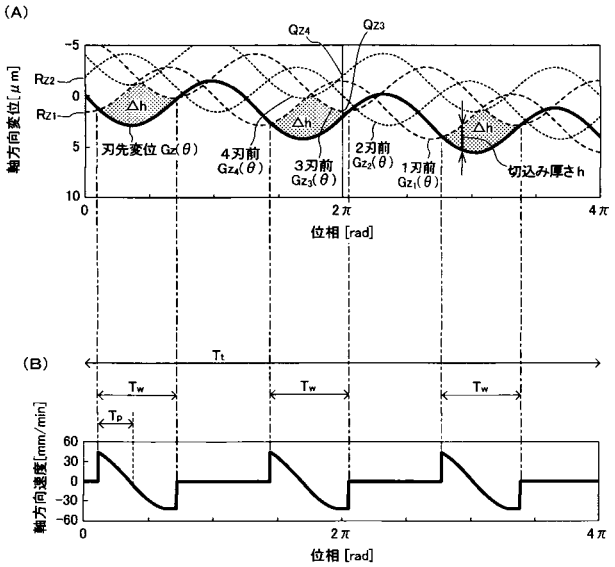
(4)前記実施例では、振動波形を正弦波としたが、他の波形でもよい。また、振動波形デ

ータを、１周期分の点群データやフーリエ級数として与えることも可能である。
【産業上の利用可能性】
【００４５】
本発明によれば、加工条件（工具回転数や工具送り速度）及び振動波形に基づいて、加工状態を評価する指標を計算し、該指標から加工と振動の周波数比及び振幅比を選択することで相応の振動条件（振動周波数や振動振幅）を得ることができるので、刃先温度，切りくず排出，切削抵抗といった課題を改善して、工具の長寿命化を図ることができ、各種の切削加工に適用できる。
【符号の説明】
【００４６】
１０：ドリル
１２：ワーク
１４：スピンドル
２０：加工機テーブル
２２：切削動力計
２４：ピエゾアクチュエータ
３０：波形発生装置
３２：ドライバ
３４：データレコーダ
１００：振動条件提示装置
１１０：演算部
１２０：表示部
１３０：入力部
１４０：メモリ部
１４２：演算プログラム
１４４：演算データ
１４６：入力データ
２００：振動加工装置
２０２：制御器
９００：スピンドル
９０２：ドリル
９０４：切削油
９１０：ワーク
９２０：穴
９５０：スピンドル
９５２：ドリル
９６０：ワーク
９６２：加工機テーブル
９６４：アクチュエータ
Φｃ：逃げ角
Φｒ：すくい角
θ：回転角度

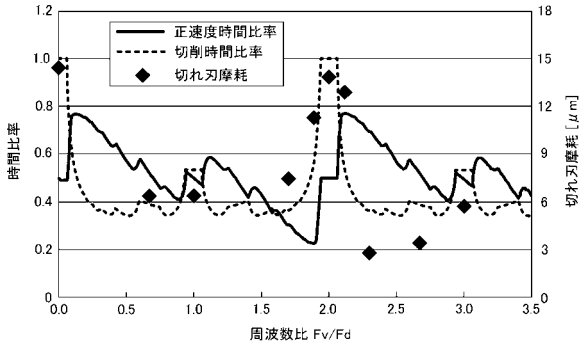
【図１】


(A)
θ
10
12
(B)
φr
10
12
φc

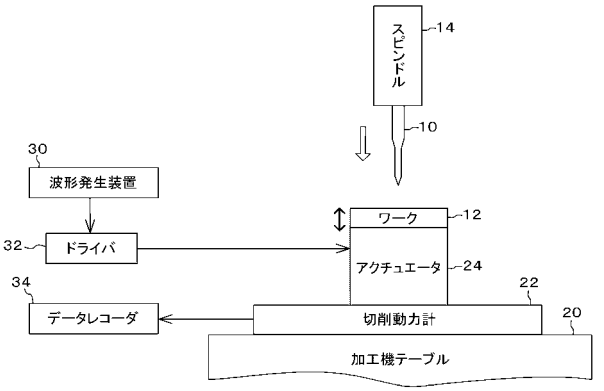
【図２】


(A)
Qz4
Qz3
軸方向変位[μm]
Rz2
Rz1
−5
0
5
10
Δh
刃先変位 Gz(θ)
4刃前 Gz4(θ)
3刃前 Gz3(θ)
2刃前 Gz2(θ)
1刃前 Gz1(θ)
切込み厚さh
0
2π
4π
位相 [rad]
(B)
Tt
Tw
Tp
軸方向速度[mm/min]
60
30
0
−30
−60
0
2π
4π
位相 [rad]

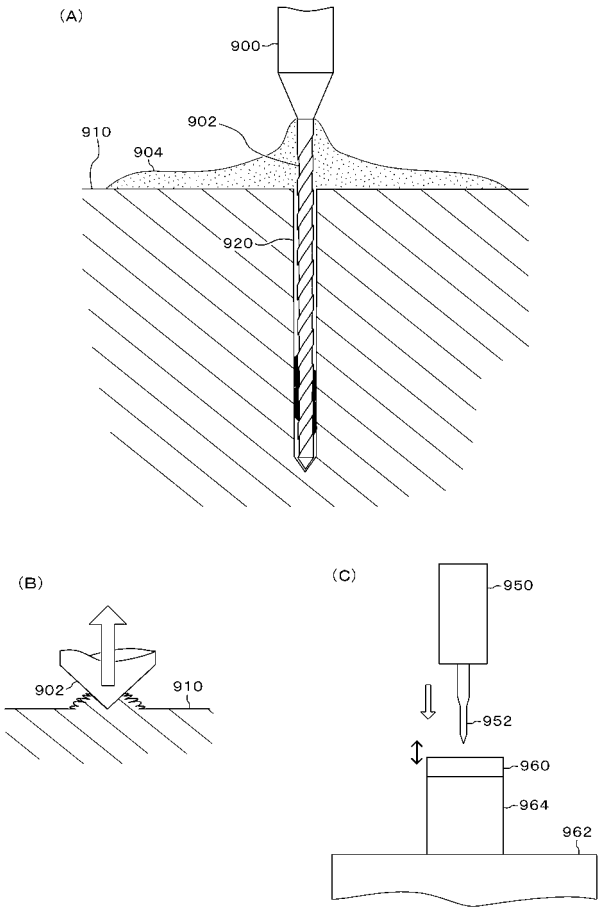
【図５】


正速度時間比率
切削時間比率
切れ刃摩耗
時間比率
切れ刃摩耗 [μm]
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
18
15
12
9
6
3
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
周波数比 Fv/Fd

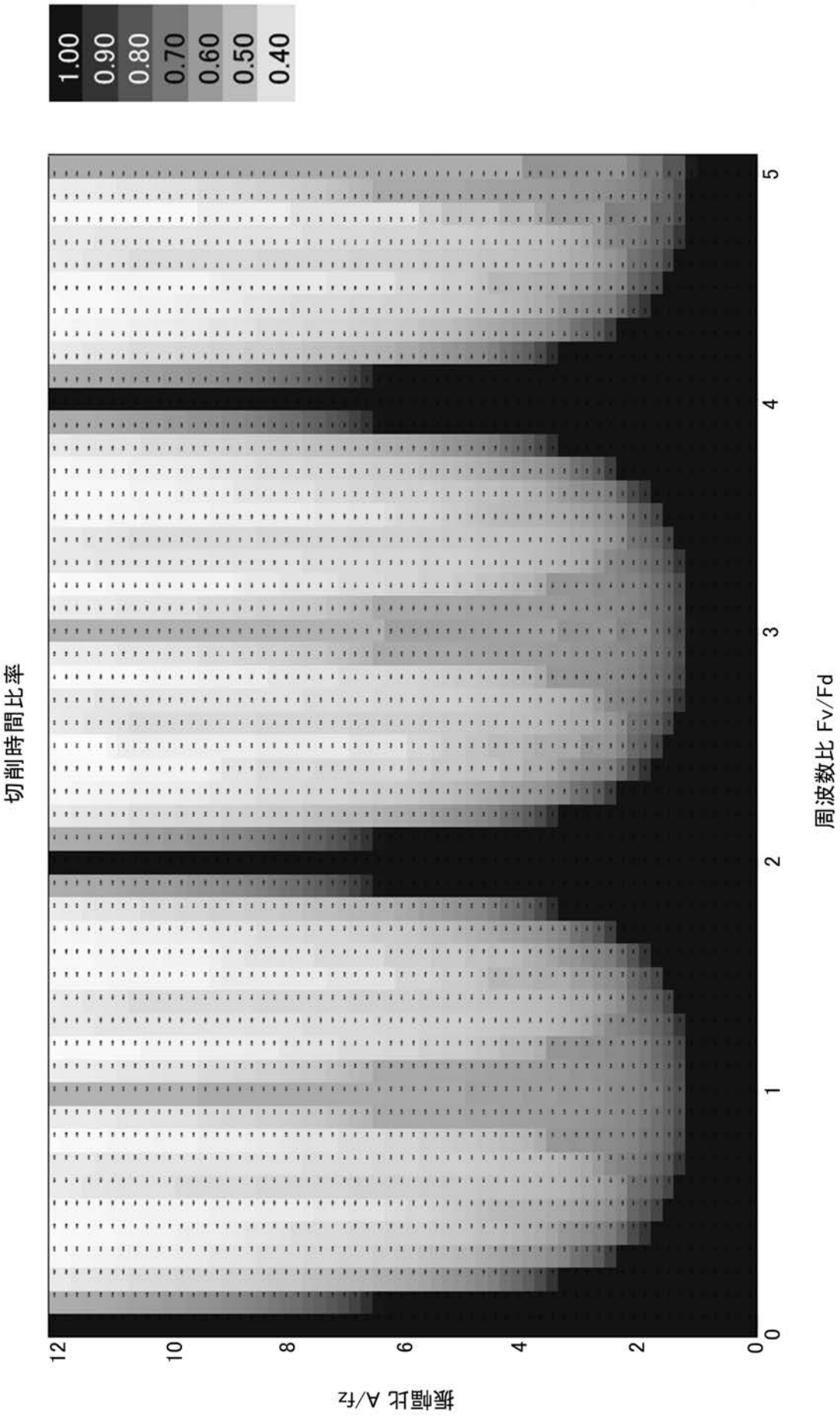
【図６】


スピンドル
14
10
30
波形発生装置
ワーク
12
32
ドライバ
アクチュエータ
24
34
22
データレコーダ
切削動力計
20
加工機テーブル

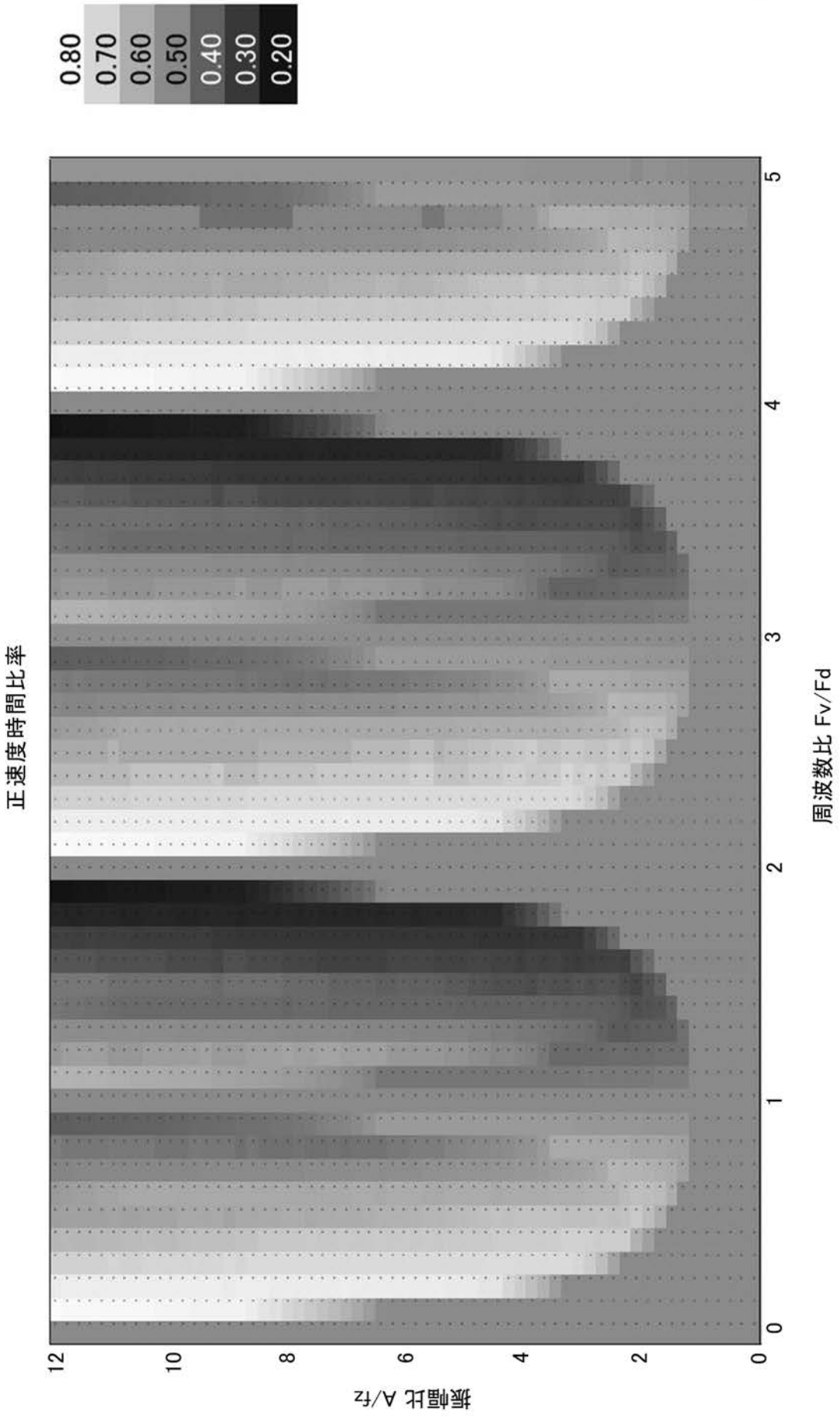
【図９】



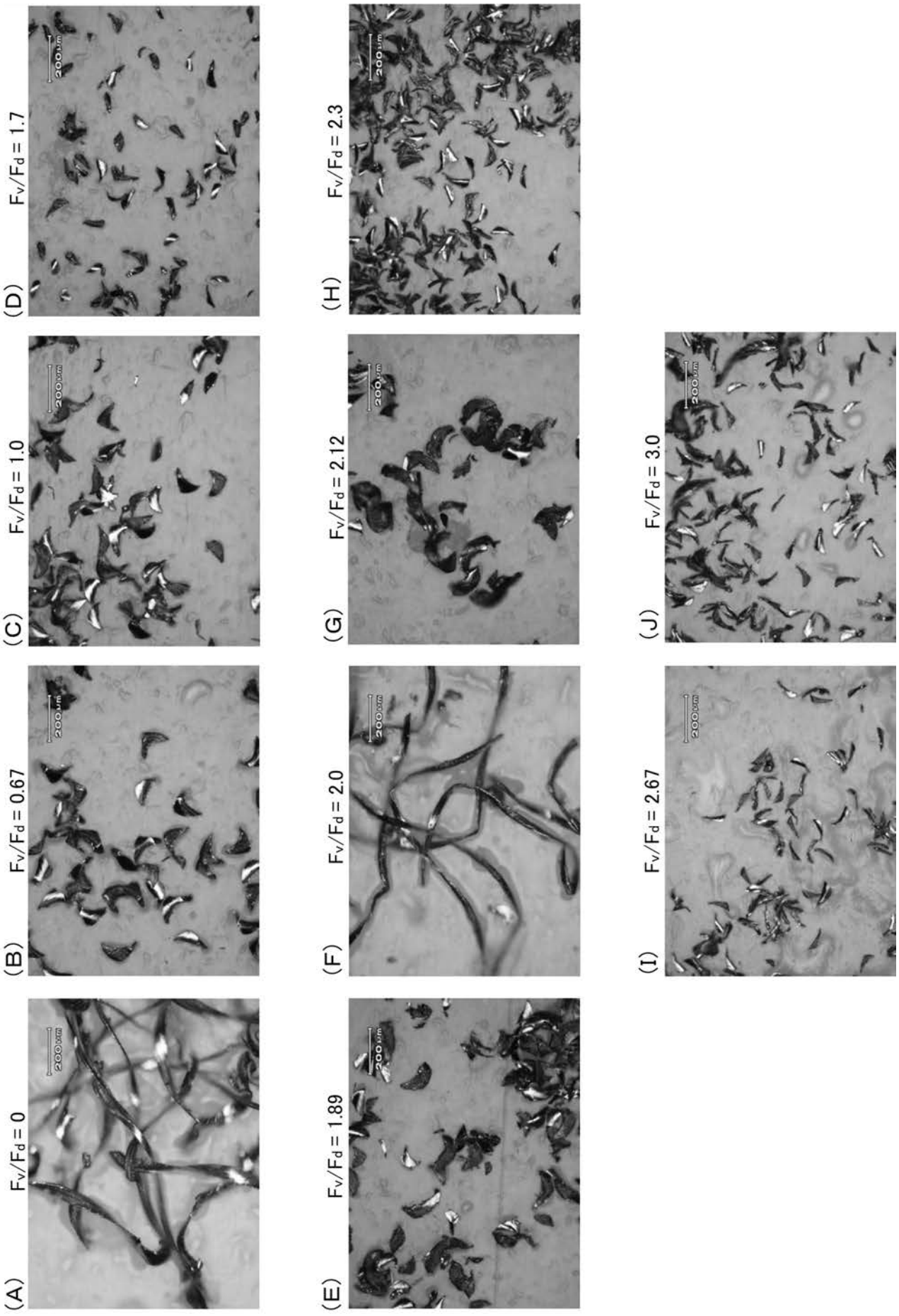
【図３】


1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
切削時間比率
振幅比 A/fz
周波数比 Fv/Fd
0
2
4
6
8
10
12
0
1
2
3
4
5

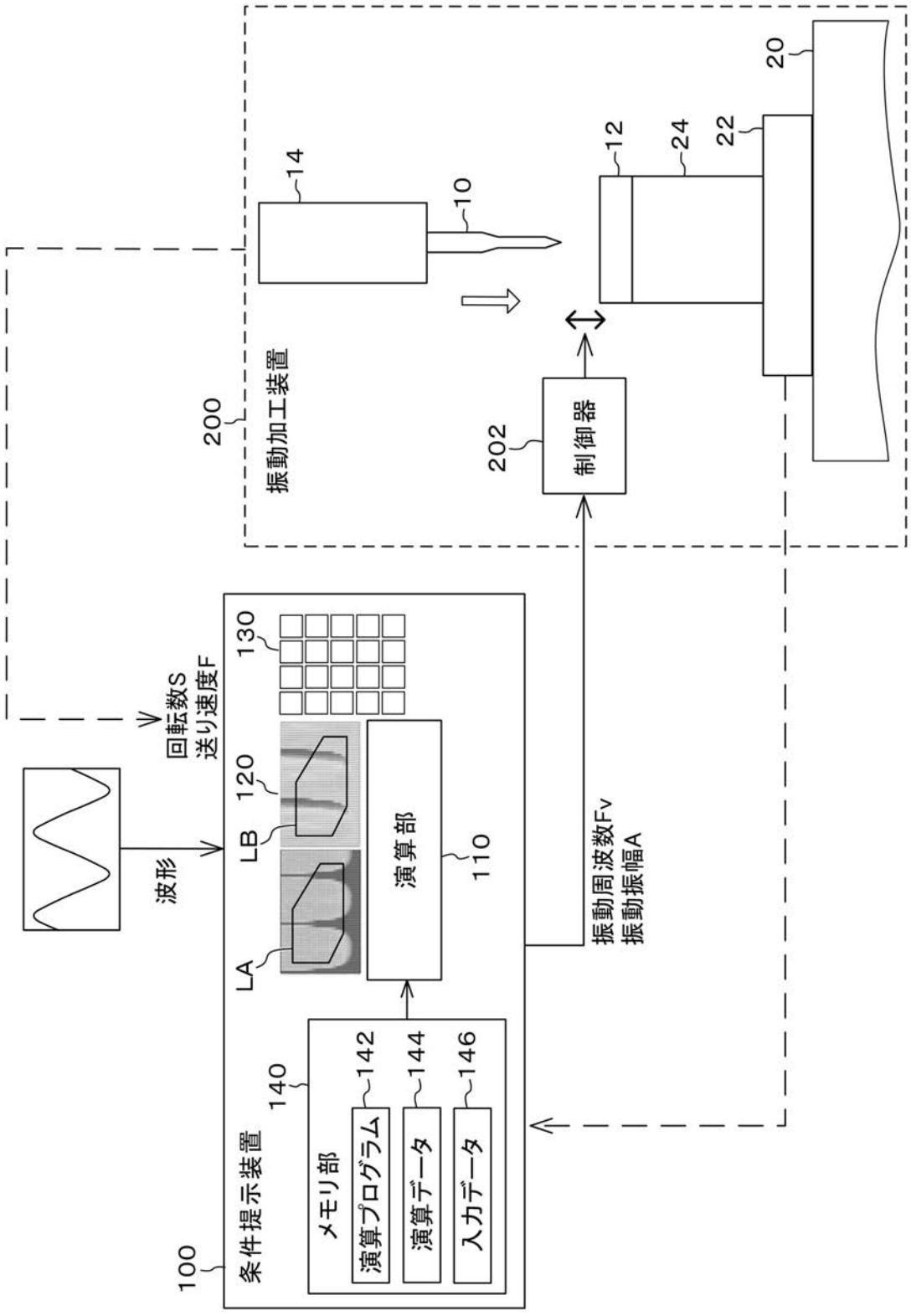
【図４】


0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
正速度時間比率
振幅比 A/fz
周波数比 Fv/Fd
0
2
4
6
8
10
12
0
1
2
3
4
5

【図７】


(A)
Fv/Fd = 0
(B)
Fv/Fd = 0.67
(C)
Fv/Fd = 1.0
(D)
Fv/Fd = 1.7
(E)
Fv/Fd = 1.89
(F)
Fv/Fd = 2.0
(G)
Fv/Fd = 2.12
(H)
Fv/Fd = 2.3
(I)
Fv/Fd = 2.67
(J)
Fv/Fd = 3.0
200 μm

【図８】


100
条件提示装置
140
メモリ部
142
演算プログラム
144
演算データ
146
入力データ
LA
LB
120
130
波形
回転数S
送り速度F
演算部
110
振動周波数Fv
振動振幅A
200
振動加工装置
202
制御器
14
10
12
24
22
20