

変動送りによるドリル加工時の切りくず分断に関する研究

熱田 俊文

ドリル加工時の切りくずを分断する方法として、変動送りが有効な切削条件について検討を行った。マシニングセンタの主軸をNCプログラム機能で制御し、送り変動の周波数と振幅を変えて穴あけ実験を行い切削力の特性や切りくず形状を評価した。その結果、通常の一一定送りでは切りくずが長く繋がって排出される作業に対し、変動送りで切りくずを分断できる具体的な条件を示したので、その内容を報告する。

1 緒言

切削加工において切りくず処理は重要な課題である。特にドリルによる穴あけ加工では、切りくず処理が不適切であると長く連続した切りくずがドリルに巻き付き、仕上げ面の悪化や切りくず詰まりを生じて不良品発生に直結する。そのため、自動化された切削工程で安定した品質を得るためには、ドリルに巻き付かず適当な長さに分断された切りくずを排出する必要がある。

ドリル加工時の切りくずを分断する方法として、切削と引き戻しを繰り返してドリルを間欠的に送るステップ送りが一般的に行われている¹⁾。一度に所定の穴深さまで切削する一定送り(図1(a))に対してステップ送り(図1(b))では、ドリルが被削材から離れる空転時間があるため、切りくずを確実に分断することができる。反面、加工時間の増加やドリルが切削面にぶつかる衝撃の繰り返しによる切れ刃のチッピングが問題となる。この問題に対して、近年、ドリルの新たな送り方法として、送り速度を周期的に変動させて切削する変動送り(図1(c))が提案されている²⁾。この方法では、切りくずの厚みや流れを変化させることによって常に切削しながら切りくずを分断するため、加工時間の増加や切れ刃に加わる衝撃が抑えられる。ただし、ステップ送りと違って空転時間がないため、必ずしも切りくずが分断できるとは限らず、被削材や切削条件に依存して、切りくずを分断できる場合とできない場合がある³⁾。そのため、県内企業への技術普及を図るためには、変動送りが適用可能な切削条件等を具体的に示すことが重要である。

本研究では、変動送りで切りくずを分断できる具体的な条件を把握するため、鋼材およびアルミ材を被削材としてドリルの切削実験を実施した。マシニングセンタの主軸をNCプログラム機能を利用して変動制御し、機械側のサーボが追従する範囲で送りの変動周波数と振幅を変えて穴あけ加工を行った。実験では、変動送りと一定送りの穴あけ加工について、切削力や切りくず形状等の比較を行い、変動送りで切りくずを分断できる具体例を示した。その内容について報告する。

2 実験方法

2.1 切削試験

図2のように立型マシニングセンタ(三井精機工業製、Vertex550-5X)を用いて、板厚10mmの被削材に対して穴あけ加工を行った。被削材には鋼材SS400とアル

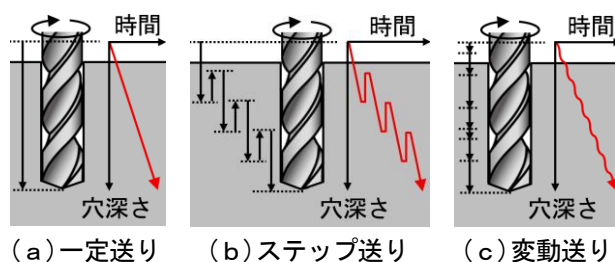


図1 ドリルの送り方法

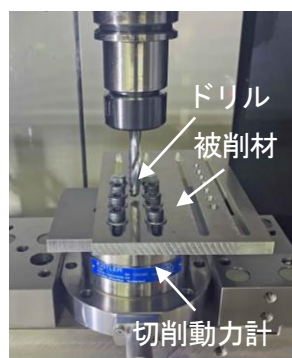


図2 切削試験

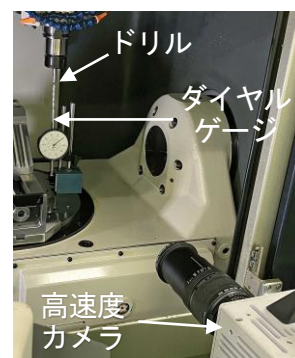


図3 変動送り量の測定

ミ材A7075を取り上げた。ドリルには直径10mmのノンコート超硬2枚刃ツイストドリル(先端角130°、ねじれ角20°)を使用し、エマルジョンタイプの水溶性切削油剤を用いて湿式で加工した。被削材は圧電型切削動力計(キスラー製、9272)に固定し、加工中の切削力としてスラストとトルクを測定した。切削試験では、一定送りと変動送りで穴あけ加工したときの切削力や切りくず形状等を比較し、変動送りで切りくずを分断できる条件について検討した。

2.2 切削条件

2.2.1 一定送り

変動送りとの比較のため、一定送りで通常の穴あけ加工を行った。切削条件は、鋼材SS400、アルミ材A7075ともに主軸回転数1592rpm、送り速度125mm/minとした。この条件におけるドリルの外周速度は50m/min、ドリル1回転あたりの送り量は0.08mm/revである。

2.2.2 変動送り

送り指令値が周期変動するNCプログラムによって主軸を制御し、変動送りの加工を行った。NCプログラムに対する実際の変動送り速度は、機械側のサーボの追従性にも依存するため、図3のとおり、高速度カメ

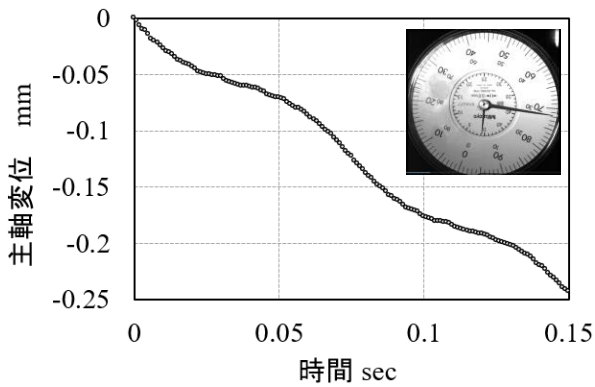


図4 変動送り量の測定例

表1 変動送り条件

条件	主軸回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]	変動周波数 [Hz]	送り比
①	1592	125±12 (113~137)	15.2	1.2
②		125±28 (97~153)	12.8	1.6
③		125±49 (76~174)	9.0	2.3
④		125±62 (63~187)	6.8	3.0

ラ (フォトロン製, FASTCAM SA3) を使用して送り量を実測した. 測定では, 主軸非回転でドリル軸方向にダイヤルゲージを押し込んだときの指針を高速撮影し, 撮影動画から目盛りを μm 単位で読み取って送りの変動量を調べた. 図4は変動送り量の測定例であり, 送り速度が周期的に変動している様子が確認できる.

使用したマシニングセンタで制御可能であった条件 (実測値) として, 表1のとおり, 送りの振幅と変動周波数を設定した. ここで, 各周波数において, 送りの高い値と低い値の比を「送り比」と定義した. 表中で示されるように, 機械側の特性により周波数が高いほど実現できる送り比は小さく, 周波数が低いほど送り比を大きくすることができる. 変動送りでは, 送り速度の変動に応じて切削厚さが変化し, 送りの変動1周期における切削厚さの比は理論的に送り比と一致する. 切削厚さの変動とともに, 切削力や排出される切りくずの厚さと流出方向が周期的に変化を繰り返す.

3 実験結果

3.1 一定送り

板厚 10 mm の鋼材 SS400, アルミ材 A7075 に対して, 一定送りで貫通穴を穿孔したときの切削力を図5に示す. 測定されたスラストおよびトルクの高い値と低い値の比を「スラスト比」, 「トルク比」と定義し, 図中には, 切削力が比較的安定している 3.8~4.2 秒間の各比の値をそれぞれ赤字と青字で示す. また, 図6に切れ刃全体で切削する穴深さ 2.5~9.0 mm 間で採取した定常状態の切りくずを示す.

両図から, 一定送りでも切削力は若干変動しているが, 鋼材 SS400, アルミ材 A7075 ともに切りくずは長く繋がって排出されている. 鋼材 SS400 では円筒らせん

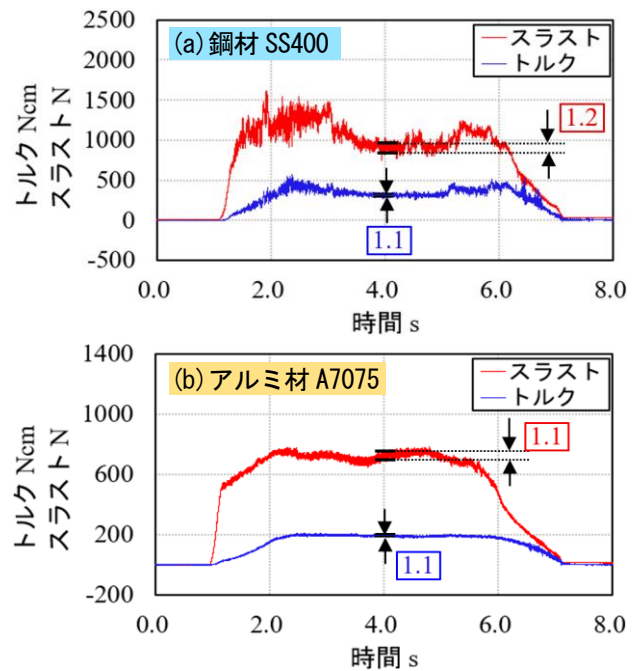


図5 切削力の測定結果 (一定送り)



図6 切りくず (一定送り)

形切りくずと不規則な斜めのらせん形切りくずが混在した形状となっており, ドリルに巻き付きやすい状態である. アルミ材 A7075 については, 円すいらせん形の切りくずが連続した形状で, 切削としては極めて良好であるが, やはりドリルには巻き付きやすい.

3.2 変動送り

鋼材 SS400 に対し, 変動送りで貫通穴を穿孔したときの切削力を図7に示す. 一定送りの図5(a)に比べて, 周波数と送り比に応じて切削力が周期的に変動していることが確認できる. 各変動条件でスラスト比は与えた送り比とほぼ同じ値となっているが, トルク比については, 送り比が2を超える条件(③, ④)でスラスト比よりもかなり大きな値を示している. 切削力の測定結果に対応した切りくずを図8に示す. 送り比の小さい条件(①)では, 図6(a)の一定送りと同じ切りくず形状に違いはないが, 送り比が大きくなるに伴って切りくずが折断され, 送り比が2を超える条件(③, ④)では細かく分断された切りくずが排出されている. このことから, 周波数が高く送り比が小さい条件より, 周波数が低くても送り比が大きい方が切りくずの分断効果は高い. 前述のとおり, 切りくずが分断されている条件(③, ④)では, 与えた送り比よりもトルク比が増大しているが, トルクの増大は切りくずがドリルのねじれ溝や加工穴内壁の拘束を強く受けて流出が妨げられていることを示す. 言い換えると, 送りの変動に

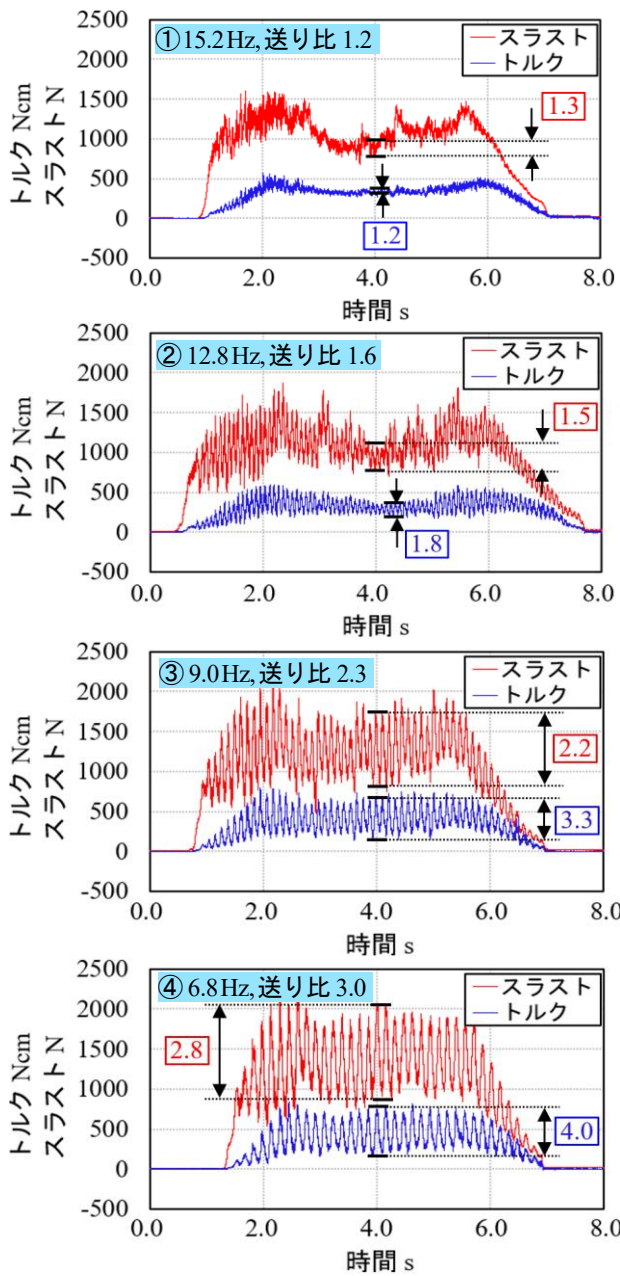


図7 切削力の測定結果（変動送り，鋼材 SS400）

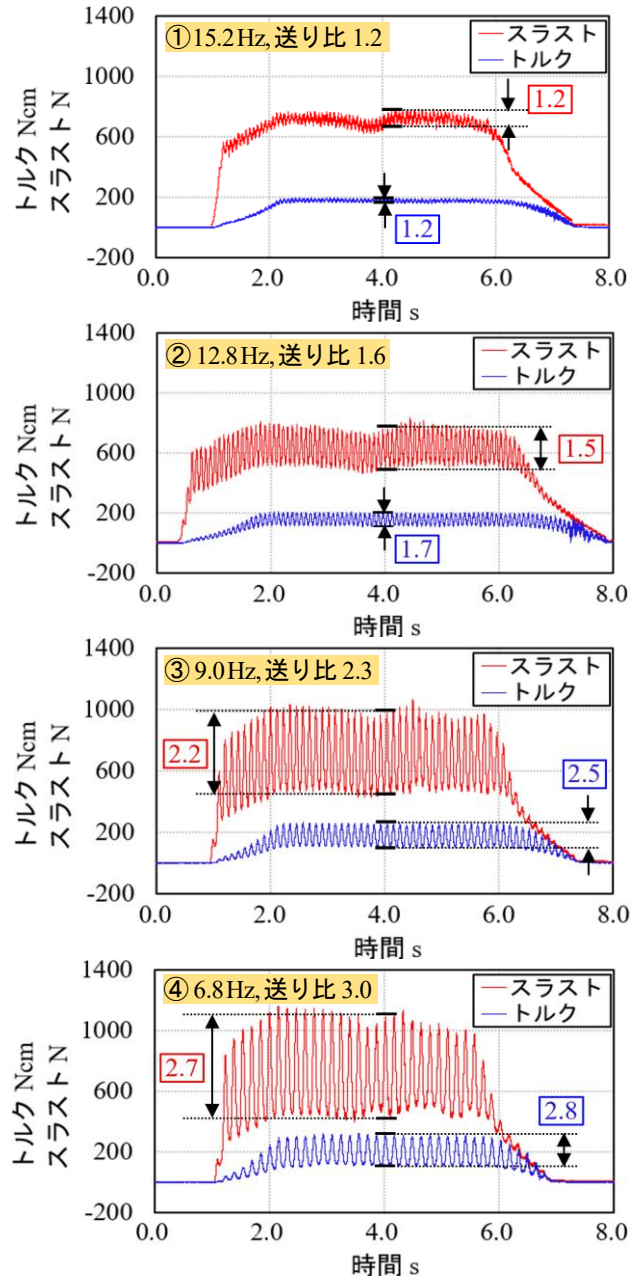


図9 切削力の測定結果（変動送り，アルミ材 A7075）

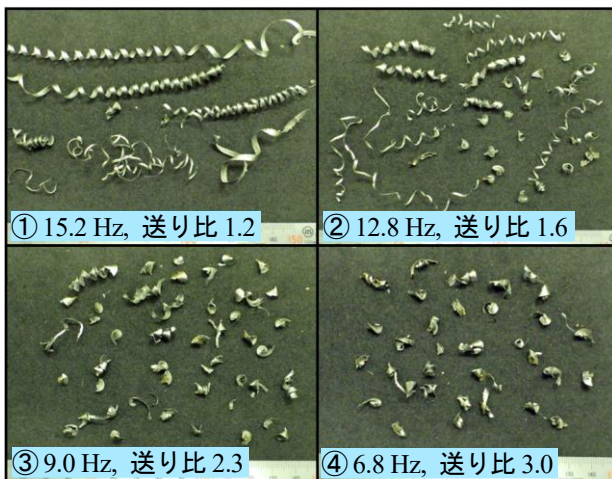


図8 切りくず（変動送り，鋼材 SS400）

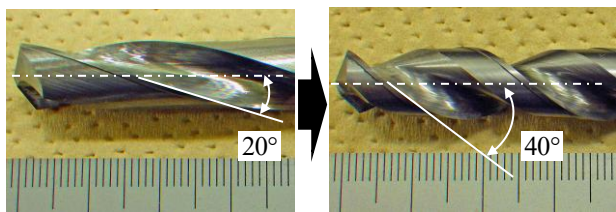


図10 切りくず（変動送り，アルミ材 A7075）

伴って切りくずの厚さや流出方向が周期的に変化することが外力となって働き、切りくずの分断が促進されているものと考えられる。

次に、アルミ材 A7075 を変動送りで切削したときの切削力と切りくずを図 9、図 10 に示す。鋼材 SS400 の場合と同様に、周波数と送り比に対応して切削力は周期的に変動している。しかし、いずれの条件の切りくずも、折断箇所はあるものの、一定送りの図 6 (b) と同様に長く繋がっている。切削中のトルク比は、送り比が 2 を超える条件 (③, ④) でもスラスト比と同程度の値であり、鋼材 SS400 の切削で見られたようなトルクの増大が生じていない。すなわち、切りくず排出において変動送りの影響をあまり受けておらず、一定送りと同様にスムーズに切りくずが排出されている。これらの結果から、切削状態が良好な安定した円すいらせん形の切りくずは分断が生じにくい。

以上の実験で、アルミ材 A7075 については変動送りによる切りくずの分断効果が見られなかった。そこで、ドリル形状の観点から変動送りが有効になる条件についての知見を得るため、図 11 のとおりドリルを変更して切削試験を行った。これまでの結果より、切りくずが分断されるには送りの変動に起因してトルクが大きく変動する必要があることから、ねじれ角の大きな強ねじれドリル (直径 10 mm, ノンコート超硬 2 枚刃, 先端角 140°, ねじれ角 40°) を使用した。ドリルのねじれ角は、外周に近い切れ刃のすくい角に相当するため、一般的にねじれ角が大きいくほど平均トルクは小さくなる⁴⁾。しかし、トルクの変動分という観点からは、ねじれ溝が軸方向から傾斜して切りくず通路の道りが長い強ねじれドリルの方が、切りくず厚さや流出方向の変動の影響を強く受けやすいと考えた。実験結果として、アルミ材 A7075 をねじれ角 40° の強ねじれドリルによって変動送りで切削したときのトルクを図 12 に示す。図中には、比較のため、図 9 の実験結果 (ねじれ角 20° ドリルを使用) のトルクもオフセットして表示し、再掲している。図から、強ねじれドリルでは、設定した送り比に対してトルク比が増大していることが確認できる。トルクの測定結果に対応した切りくずを図 13 に示す。送り比の小さい条件 (①) では、やはり円すいらせん形の切りくずが長く繋がって排出されているが、送り比の増加に伴って切削中のトルク比が 3 以上まで増大した条件 (②, ③, ④) では、細分化はされていないものの、切りくずが概ね分断されている。したがって、被削材や切削条件に対して、変動送りが有効に機能するドリルを選定する必要がある。



(a) ねじれ角 20° (b) ねじれ角 40°

図 11 使用ドリル

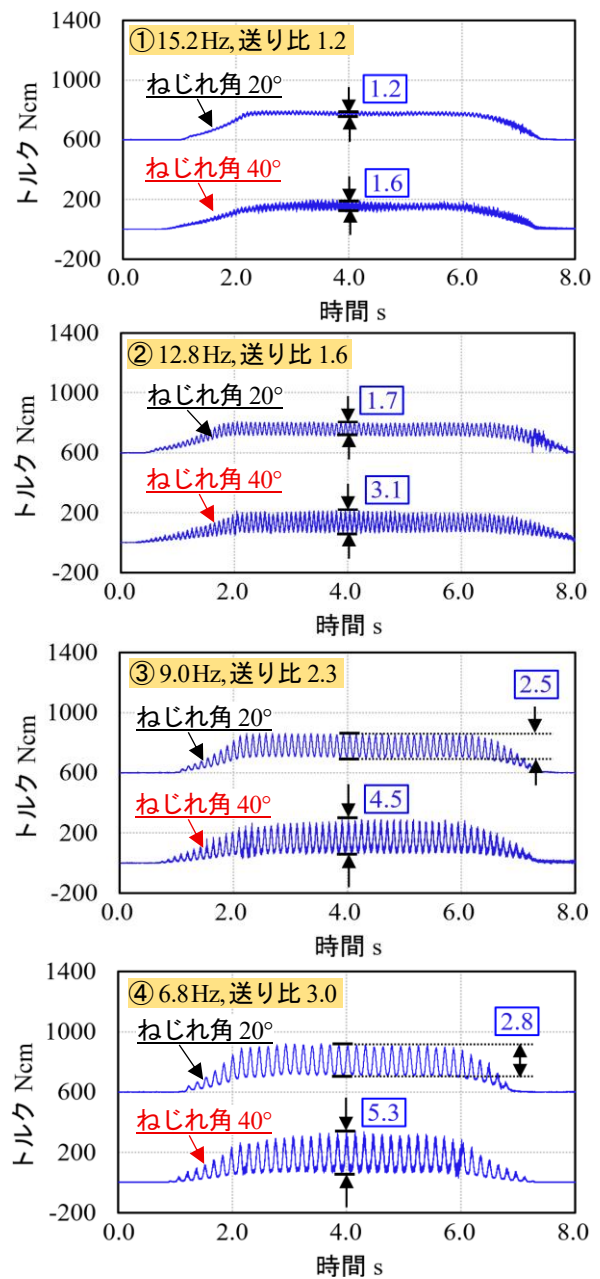


図 12 トルクの測定結果 (変動送り, アルミ材 A7075)

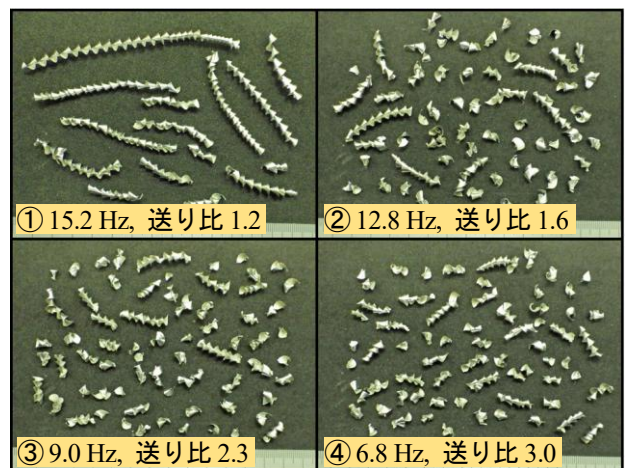


図 13 切りくず

(変動送り, 強ねじれドリル, アルミ材 A7075)

4 結言

本研究では、ドリル加工時の切りくずを分断する方法として、変動送りが適用可能な切削条件等について検討を行った。鋼材とアルミ材に対して、変動送りと通常の一定送りによるドリル切削実験を行い、切削力の特性や切りくず形状を比較・評価した。実験の範囲内で得られた知見は、以下のとおりである。

(1) 送り変動の周波数が高く振幅が小さいより、周波数が低くても振幅が大きい方が切りくずの分断効果は高い。

(2) 切りくずが分断されるには、送りの変動に起因して切削中に大きなトルクの変動が生じる必要がある。

(3) トルクの変動量は、送りの変動条件だけではなく、ドリル形状にも依存する。

謝辞

本研究は、公益財団法人工作機械技術振興財団第46次試験研究助成の援助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) オーエスジー株式会社：ドリル加工テクニカルデータ 24.01 改訂版, https://www.osg.co.jp/media_dl/technical/file/t_24.pdf (閲覧日：2026.2.10).
- 2) 株式会社牧野フライス製作所：GI ブレーカ・穴加工の切りくずトラブル防止, <https://www.makino.co.jp/ja-jp/functions/gibreaker> (閲覧日：2026.2.10).
- 3) Tomoaki Sakamoto, Shoichi Tamura, Takashi Matsumura, Kazumasa Kono, Ryushiro Sakamoto: Analysis of Machining Process with Feed Rate Control in Drilling, Proceedings of ICPE2024, The 20th International Conference on Precision Engineering, pp.23 - 27 (October 2024).
- 4) ツールエンジニア編集部 (編著)：穴加工用工具のすべて, 大河出版, (1991).

びびり振動を抑制する新規旋削工具の検討（第2報）

熱田 俊文

旋削加工のびびり振動を抑制するための工具として、前報で提案した「波面工具」を実際に試作して具現化した。そして、びびり振動抑制効果に関する実験評価の前段階として、まずはびびり振動が起こらない安定した条件下で旋削試験を行い、試作工具が切れ刃の強度上支障なく実切削に供し得ることを確認した。以上の内容について報告する。

1 緒言

製造業において切削は主要な製造工程の一つであり、汎用性・コスト・能率の観点から多くの部品加工に適用されている。その中で旋削は円筒部品の加工に広く用いられているが、剛性の低い工作物では加工中の振動が問題となる。特に、細長い部品や保持剛性が十分得られない部品の旋削では、自励的に振動が増幅する再生びびり振動¹⁾が発生しやすく、仕上げ面の悪化や工具損傷が引き起こされて生産性が著しく低下する。そのため、びびり振動を抑制できる工具の開発は、製造現場の生産性向上を図るための重要な課題である。

この課題に対して前報²⁾では、剛性の低い工作物の旋削でびびり振動を抑制するための工具として、主切れ刃が波形状を有する「波面工具」を提案し、その有効性を解析的に検討した。再生びびり振動は、一回転前に仕上げた加工面が現在の切削に影響する再生効果が原因となって起こる³⁾が、この工具は、主切れ刃に形状付与した波面によって再生効果の周期性を崩すことでびびり振動を抑制しようとするものである。前報では、波面工具による再生びびり振動のモデル化とシミュレーション解析を行ってその有効性を机上で考えたが、本報では実際に工具を試作して具現化した。また、切れ刃の強度上支障のないことを確かめるため、まずは工作物の剛性が十分に高くびびり振動が起こらない安定な条件下で旋削試験を行い、試作工具が実切削に供し得ることを確認した。以上の内容について報告する。

2 波面工具の概要

はじめに波面工具の概要について簡単に説明する。通常の外周旋削工具は、図1(a)に示すように主切れ刃である横切れ刃が直線状になっている。この場合の再生びびり振動を伴う外周旋削の模式図を図2に、そのときの工具横切れ刃に垂直な面内のモデルを図3に示す。両図で示されるように、工作物一回転前後の振動に位相差 Φ があると切削厚 $h(t)$ は変動する⁴⁾が、通常工具では再生効果に変化を与えることができないため、変動する切削力によって振動が自励的に成長する。

これに対して本研究の波面工具は、図1(b)に示すように横切れ刃が振幅 a 、波長 λ の波形状を有している。横切れ刃が波形状を有していると、振動が起こったとき、現在の加工面と一回転前の加工面には図2、図3に示した位相差 Φ だけではなく、工具横切れ刃に沿った方向にも位相差が生じる。図4はこれを説明するた

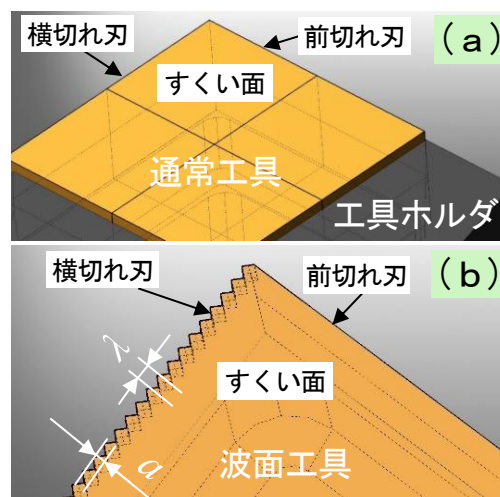


図1 通常工具と波面工具

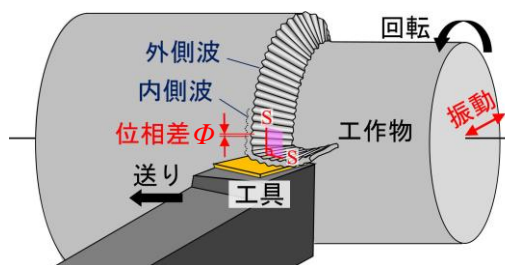


図2 再生びびり振動を伴う旋削の模式図

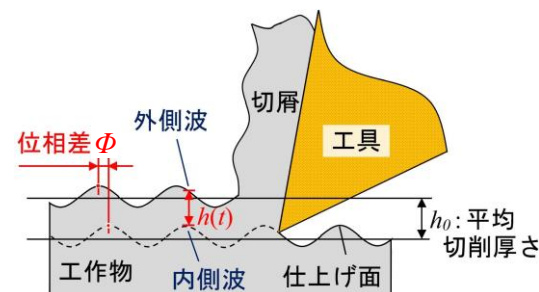
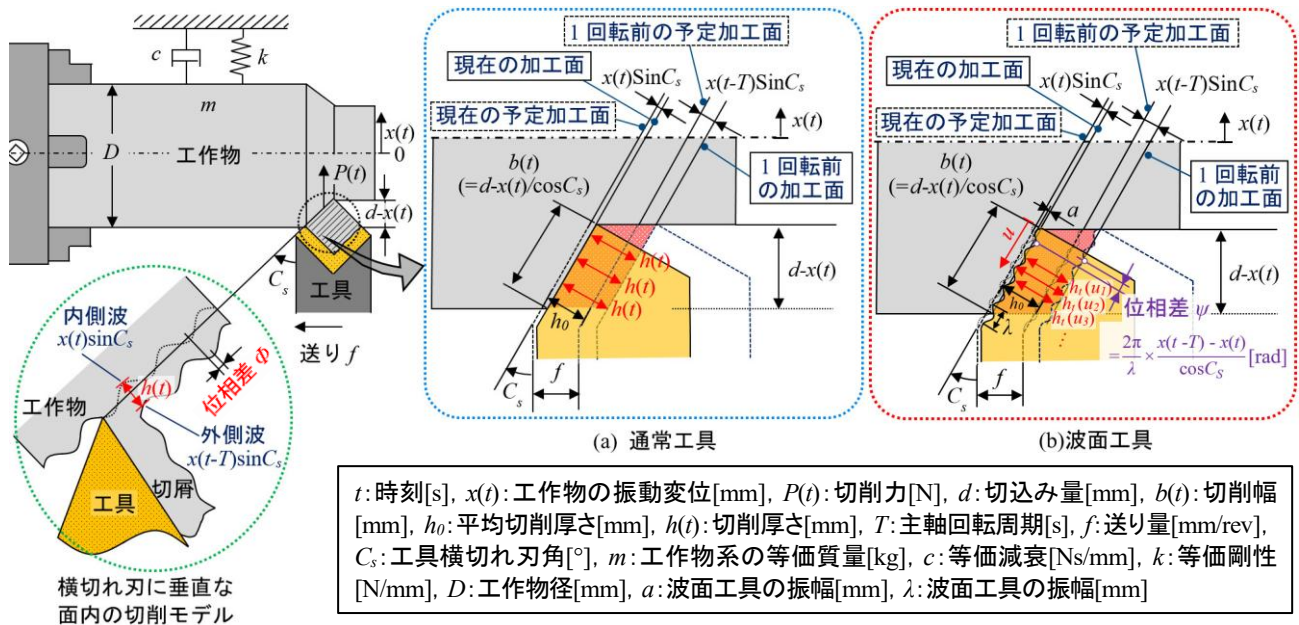


図3 横切れ刃に垂直な面内のモデル（図2のS-S面）

めのモデル図であり、工作物のx軸方向の剛性が柔軟であるとして、通常工具と波面工具における動的切削過程を示している。図の緑枠内に示すように、位相差 Φ があることで再生効果によって切削厚 $h(t)$ は変動する。このとき横切れ刃に沿った方向について考えると、青枠内に示す通常工具では、切削幅 $b(t)$ の全域に渡っ



て切削厚さは一様に $h(t)$ となる。一方、赤枠内に示すように波面工具では、現切れ刃と前加工面に転写された波面との間で図中の u 方向にも位相差 Ψ が生じる。このため、時刻 t での切削厚さは、通常工具とは異なり横切れ刃に沿って連続的に変化する。さらに工作物一回転前後の振動変位は動的に変わるため、位相差 Ψ も動的に変化する。この位相差 Ψ による切削厚さの変動分によって、再生効果の周期性を崩すことができれば、再生びり振動の成長を抑制し得ると考えられる。

以上が本研究で検討している工具の概要であり、次章では工具の試作方法について説明する。

3 工具試作

市販のノンコート超硬スローアウェイチップ（SNMG 120404型ネガチップ、以下、「通常工具」と記す）の横逃げ面に対して、形彫り放電加工によって波面形状を創生することで工具を試作した。波面形状を有する形彫り放電加工用の電極（素材：銅タングステン）は、マシニングセンタを使用して微細エンドミルで切削加工によって作製した。図5は作製した電極の外観であり、この電極を図6の要領で通常工具の横逃げ面に近づけて放電させることで、工具に電極形状を転写した。

波面形状についての前報の解析によると、振幅 a が大きいほどびり振動抑制効果は高い。しかし、波長 λ に対して振幅 a が過度に大きいと、切れ刃強度が低下して切削時に欠損しやすくなる。また、一般的に工具の切れ刃稜線には、軟質材料を切削する場合を除いて、切れ刃強度を高めるためにホーニングやランドが施されている⁵⁾。本研究で使用した通常工具にも、図7に示すように幅0.23 mmのランドが設けられている。ランドが消失するまで横逃げ面を彫り込むと、切れ刃がシャープエッジとなって欠けやすさが増す。

以上のことを考慮し、本研究では、通常工具のランドが残る範囲内の現実的な値として、振幅 a が0.1 mmの波面工具を試作した。図8に試作工具の外観を示す。波面形状の波長 λ は、0.4 mmと0.2 mmの2種類とした。

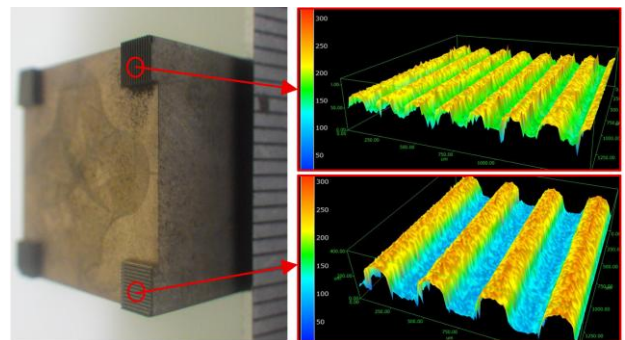


図5 形彫り放電加工用の電極

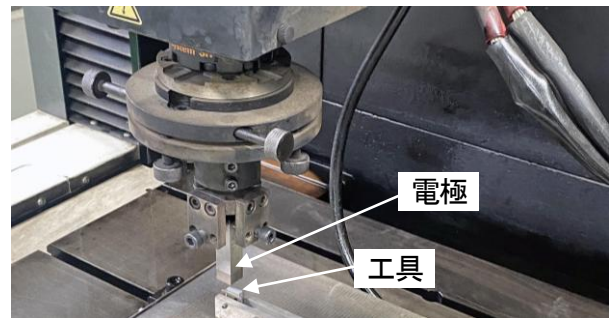


図6 形彫り放電加工による工具の作製

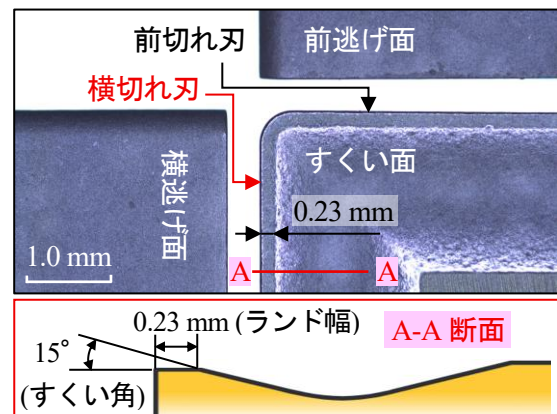
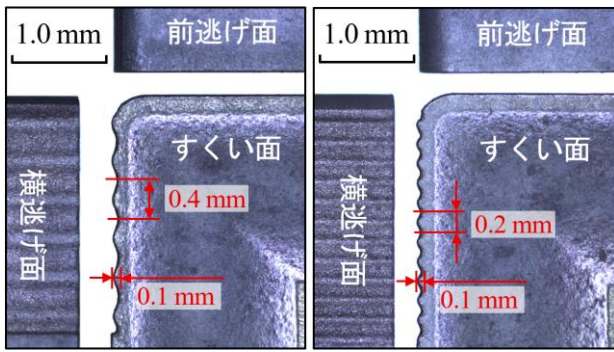


図7 通常工具の外観と横切れ刃の断面形状



(a) $a0.1 \text{ mm}, \lambda 0.4 \text{ mm}$ (b) $a0.1 \text{ mm}, \lambda 0.2 \text{ mm}$
 図8 試作波面工具

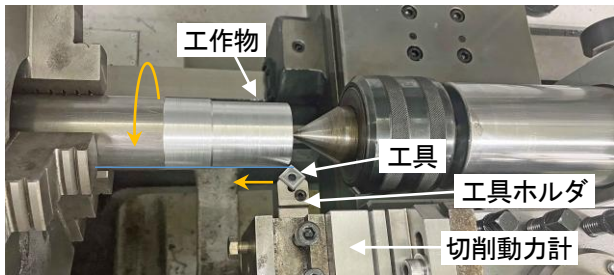


図9 旋削試験方法

4 旋削試験

びびり振動抑制効果に関する実験評価の前段階として、まずは工作物の剛性が十分高くびびり振動が起らない安定した条件下で旋削試験を行い、試作工具が実切削に耐え得るかどうかを検証した。

旋削試験には普通旋盤を使用し、図9に示すようにチャックに炭素鋼S45Cの丸棒 (HBW229, 直径45 mm) を突出し長さ130 mmで取り付け、他端をセンタ支持して外周旋削を行った。工具は横逃げ角 6° / 前逃げ角 6° / 横切れ刃角 45° の工具ホルダ (PSDNN2020K12型) に装着し、工具ホルダは切削力を測定できるように切削動力計に固定した。切削条件は、比較的高負荷な条件として切削速度120 m/min, 半径切込み1.5 mm, 送り0.1 mm/revに設定した。なお、横切れ刃角 45° で半径切込み1.5 mmを与える場合の切削幅は2.1 mmであり、刃先から2.1 mmの範囲の横切れ刃で切削することになる。

試験結果として、通常工具と波面工具の切削力を測定した結果を図10に示す。切れ刃形状やランド幅の違いにより、それぞれの工具で主分力・背分力・送り分力の大きさや比は若干異なるが、波面工具でも異常な切削力を生じることなく安定に切削できていることが確認できる。測定結果から3分力の合力の平均を算出すると、通常工具: 544 N, 波面工具 ($\lambda 0.4 \text{ mm}$): 559 N, 波面工具 ($\lambda 0.2 \text{ mm}$): 567 Nであり、通常工具よりも波面工具の方が3~5%程度高い値を示した。これは、直線形状に対して波形状の横切れ刃では、切削幅が同じでも工作物との実質の接触長さが増加するためと考えられる。したがって、工作物に負荷される荷重自体は波面工具の方が若干高くなる。

図11は、送り方向に累計で300 mm切削した後の波面工具の状態である。いずれの工具も切れ刃の欠けや顕著な摩耗は発生しておらず、切れ刃強度の観点から実切削に十分耐え得ると判断できる。

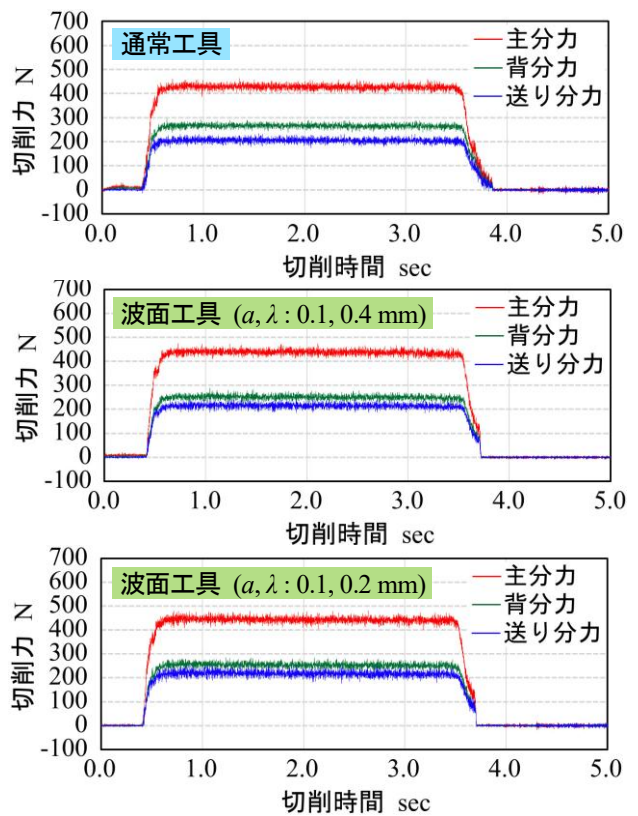
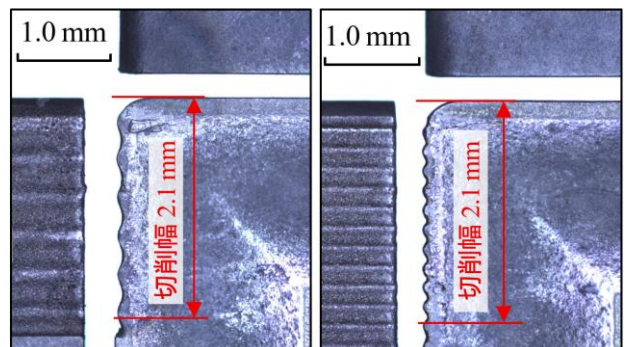


図10 切削力の測定結果



(a) $a0.1 \text{ mm}, \lambda 0.4 \text{ mm}$ (b) $a0.1 \text{ mm}, \lambda 0.2 \text{ mm}$

図11 切削後の波面工具の摩耗状態

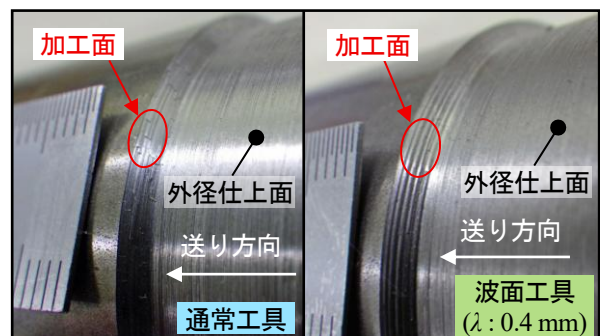


図12 加工面の様子

本章の終わりに、通常工具と波面工具の加工面を比較した写真を図12に示す。波面工具の加工面には工具横切れ刃の波形状が転写されている様子が確認できる。このように加工面に転写される波面の作用によって、2章で述べたようなびびり振動抑制効果の発現を期待

するものであるが、その効果については、今後、剛性の低い工作物に対する旋削実験を行って詳しく検証する予定である。

5 結言

旋削加工のびびり振動を抑制するための工具として、前報で提案した波面工具を試作し、切削試験で切れ刃の強度上支障なく実切削に供し得ることを確認した。今後は、旋盤のチャックから長く突き出した丸棒工作物などを対象として、波面工具のびびり振動抑制効果についての実験評価を進める。

謝辞

本研究は、公益財団法人大澤科学技術振興財団 2025 年度研究助成の援助を受けて行った。ここに記して謝

意を表す。また、工具の製作に御協力いただいた株式会社中村技研の皆様にも謝意を表す。

参考文献

- 1) 星鐵太郎：機械加工の振動解析，工業調査会，(1990)。
- 2) 熱田俊文：びびり振動を抑制する新規旋削工具の検討，香川県産業技術センター研究報告，No. 25, pp. 12-16 (2024)。
- 3) 鈴木教和：切削加工におけるびびり振動（前編），精密工学会誌，76, 3, pp. 280-284 (2010)。
- 4) 社本英二：切削加工におけるびびり振動の発生機構と抑制，電気製鋼，82, 2, pp. 143-155 (2011)。
- 5) 三菱マテリアル株式会社：旋削工具・ミーリング工具・穴あけ工具 2025-2026 年版カタログ。

ものづくりデジタル化推進事業

ー溶接パス間温度におけるデジタルツイン適用事例の検討ー

吉村 祥一, 山下 雅弘

「ものづくりデジタル化推進事業」における取り組みの一環として、県内企業への技術情報の提供を目的に、近年注目されつつあるデジタルツインの生産工程での適用事例について検討を行った。本報では、溶接パス間温度を対象に、温度シミュレーションと実際の溶接における温度計測の比較を行い、効率的な溶接作業への活用を試みた内容について報告する。

1 緒言

香川県産業技術センター・生産技術課では、令和5年度から「ものづくりデジタル化推進事業」を開始し、県内企業のものづくりおよび人材育成のデジタル化を促進するために、(1)講習会による関連技術情報の提供、(2)溶接技量訓練装置を活用した溶接人材育成、(3)3D加工・計測・CAD/CAMなどのデジタルデータを活用した試作支援・事例検証、(4)生産工程におけるデジタルツイン適用事例の検討などの取り組みを進めている。これらの取り組みの中で、本報では、(4)のデジタルツインに対する取り組みについて報告を行う。

近年、ものづくりのデジタル化が推進されている中、デジタルツインというワードを目にする機会が増えている。デジタルツインとは、実在する機械の情報と解析モデル情報を組み合わせて、精度の高い将来予測などに活用する技術¹⁾であり、デジタルツインの活用はそのままDXの推進にも繋がると期待されている。一方で、生産現場においては、「デジタルツインがどのようなイメージできない」「何から始めたらよいかかわからない」といった声も聞かれる。そこで本取り組みでは、県内企業への技術情報の提供を目的に、デジタルツインの生産現場での適用事例について検討した。本報では、重要な基盤技術の一つである溶接を対象に、効率的な作業工程を組むため、デジタルツインによって溶接パス間温度を予測した内容を報告する。

2 溶接パス間温度におけるデジタルツインと活用

2.1 取り組みの背景及び目的

阪神・淡路大震災以来、建築鉄骨品質の信頼性に対する要求が高まった。特に、溶接においては入熱量が過大になると、じん性が低下することが指摘され、じん性破壊を防止することを目的として、溶接部の機械的性質に大きな影響を与える入熱とパス間温度に対する規制が、日本建築学会 1996 年度版鉄骨工事技術指針・工場製作編 (JASS・6) に盛り込まれた。また、2000 年の改正建築基準法の告示・公布に伴う新工場認定制度「鉄骨製作工場グレード別性能評価基準一覧」へも JIS Z 3312:1999 解説が引用され、現在、鉄骨製作工場では入熱・パス間温度管理が必須の要求項目となっている。しかし、現状は温度チョークや非接触式放射温度計での

確認が主流であり、経験的な待ち時間後にこれらを使った確認を行い、温度が下がっていれば作業を再開し、下がっていなければ、また別の作業を行い、あらためて計測することになる。これは溶接工程、作業時間等の増加を伴い、コストが上昇する結果となり、県内企業でもその対策に苦慮しているのが現状である。

一方、溶接の解析技術の進歩は目覚ましく、溶接ひずみや伝熱解析などのシミュレーションソフトウェアが市販されている。しかし、高額であるため、これらを利用しているのはごく一部の大手企業となっている。一方、比較的安価な Excel を使用した温度シミュレーションソフトも存在する。ひずみなどの予測はできなくとも、溶接作業において、次の溶接パスまでの待ち時間が予測できれば、その間、他の溶接作業やスパッタ除去などの作業に振分け、効率的な溶接作業が可能となる。

以上のような背景のもと、本報では、代表的な厚板の T 継手溶接を対象とし、実際の溶接作業における温度計測とそのシミュレーションとの比較を行った。

2.2 溶接パス間温度の実測データ取得

供試母材として溶接構造用圧延鋼材 SM490 (板厚 19 mm) を、また溶接用ワイヤとして軟鋼用ソリッドワイヤ YM-50 (YGW11, ワイヤ径 1.2 mm) を用いた。溶接は、溶接ロボット (松下電器産業株式会社製, VR-006) を用いて炭酸ガスアーク溶接で下向き姿勢で行った。溶接継手の形状を図 1 に示す。すみ肉溶接で、溶接長は 200 mm とし、ルート間隔は 7 mm とし、全体を定盤 (760×400×16 mm) の上に固定して溶接を行った。本来は溶接部から 10 mm 離れた位置で温度計測を行うことが一般的であるが、溶接中も継続して温度計測を行うため、スパッタ等で断線する可能性が高く、これを避けるため、15 mm 離れた図に示す位置に熱電対 (K 種) を取り付けた。

溶接条件は、初層のみ溶け落ち防止のため、溶接電流 300 A、溶接電圧 30 V、溶接速度 700 mm/min とし、2 層目以降は、溶接電流 450 A、溶接電圧 42 V、溶接速度 350 mm/min、溶接入熱 32 kJ/cm とした。パス間温度は 350°C とした。積層方法は 1 層 1 パスとし、6 層で行った。溶接において、スラグ除去等のため、連続溶接の場合においても、パスごとに約 1~2 分間停止、溶接方向は一方向とした。溶接の終始端は一般的なセラミックスタブを設置した。

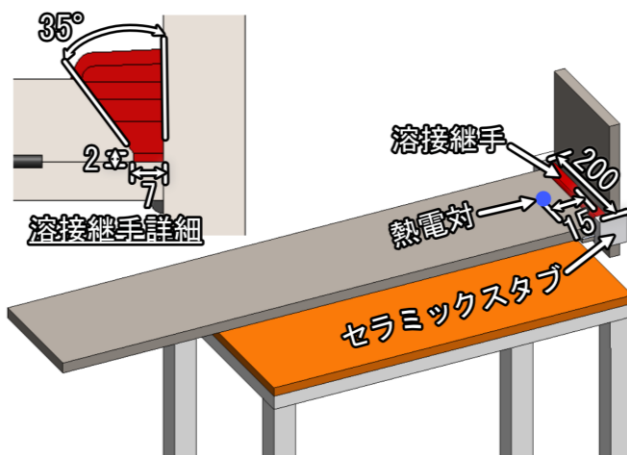


図1 継手形状

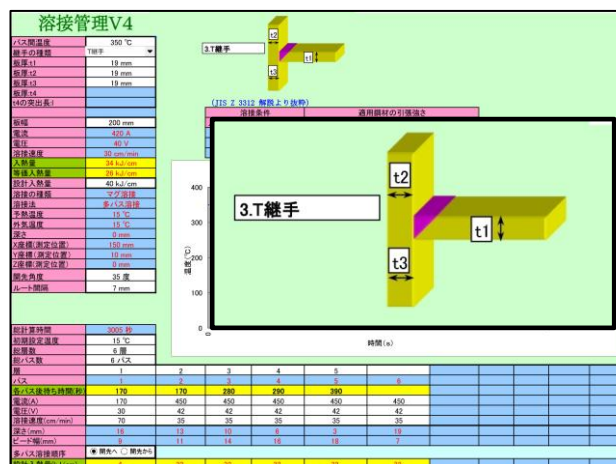


図2 設定画面

2. 3 温度シミュレーション

今回、シミュレーションに使用したソフトは、パス間温度シミュレーションソフト Pass Cal（宮岡建築構造事務所製）である。本ソフトは、突合せ継手、T継手、十字継手に対応しており、今回はその中の T 継手を利用した。図2に設定画面を示す。実際に溶接を行ったときの溶接条件、パス間時間を入力して使用した。ただし、温度の計測位置は、溶接線中心位置から 10 mm 離れた位置で固定であり、実際の溶接の計測位置とは異なることとなった。また、取付けの定盤などの影響は考慮されない。

この条件で、シミュレーションを実行したところ、実際の温度に比べて、到達温度が最高で 900°C を超えるような値を示した。これは測定位置が、シミュレーションより熱源に 5 mm 近いことと、シミュレーションの仮定において、熱のほとんどは溶接材料である板方向にのみ逃げていく前提であり、実際の固定している定盤への熱伝達が考慮されていないためと考えられる。そのため、定盤の厚さ分、立て板下側の板厚を厚く仮定（板厚 35 mm、図2の t3）し、同程度の熱容量になるようにした条件でシミュレーションを行った。

2. 4 温度計測とシミュレーションの比較

図3に実測値とシミュレーションそれぞれの時間と温度を示す。実測値では、5パス目、6パス目に鋭いピークがあるが、これはスパッタが熱電対に飛んできたことによるものと考えられる。これ以外では実測値とほぼ同等の温度履歴を得ることが出来た。

3 結言

デジタルツインの適用事例として、実際の溶接と安

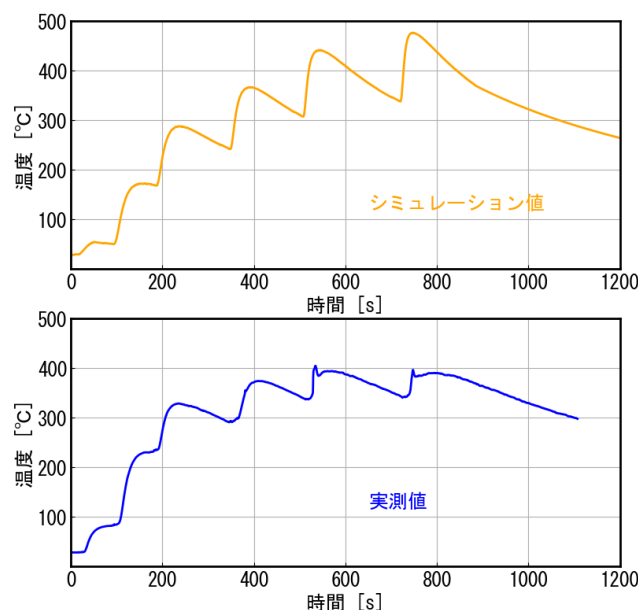


図3 温度履歴

価な温度シミュレーションでの溶接パス間温度について、比較検討を行った。その結果、設定条件に制限はあるものの、変更可能な条件を工夫することで、概算の時間が見積もれることが示唆された。

参考文献

- 1) サイバネットシステム: デジタルツインとは? 5つのメリットを徹底解説, <https://www.cybernet.co.jp/iot/column/digital-twin>(閲覧日: 2026. 3. 2)。

切削加工音による工具摩耗の推定（第2報）

—安価な測定器類を用いた測定手法の検討—

吉村 祥一

切削加工中の音をマイクで測定して工具摩耗状態をリアルタイムで把握する方法として、前報では、加工音の高調波成分に着目した検討を行い、周辺雑音の影響を受けにくい高周波数帯域で工具寿命を評価し得ることを示した。本報では、このような音情報を利用した工具寿命の評価手法を県内企業に展開するため、より現場適用しやすい安価な測定器類を用いた加工音の測定手法について検討した。

1 緒言

切削加工中の音をリアルタイムで監視し、工具の寿命判定に用いる研究は従来から行われており、工具摩耗の増加に伴い、加工系の固有振動数周辺（以下、「基本波」）の音圧が上昇することが示されている¹⁾。しかし音はマイクを用いて簡単に測定できる反面、人の会話や周辺機器の動作音などの雑音も同時に測定されることから、雑音との分離や雑音の影響を受けない評価手法が必要となる。一方、音や振動を測定すると、基本波の整数倍の周波数成分をもつ高調波が現れることがある。旋削加工においても切削抵抗の非線形性由来して高調波が発生することが知られている²⁾。高調波は必然的に高い周波数帯域で現れることから、音圧は下がるものの低周波帯域の雑音と分離がしやすくなる。

以上のような背景のもと、本研究では、加工音の高調波成分による工具摩耗状態の把握や寿命判定についての検討を進めている。前報³⁾では、旋削加工時の加工音と工具摩耗の関係について調査し、工具摩耗が進行するに伴って、基本波だけではなくその高調波の音圧も判別可能なレベルで上昇すること、15 kHz以上の高周波数帯域で現れる副次の高調波でも工具寿命を判定し得ることなどを確認した。実際の現場環境での検証など今後検討すべき課題は多いものの、このような音情報を利用した寿命判定は、マイクによる非接触測定が可能であり、既存の工作機械にも測定システムを構築しやすいため、県内企業にも導入しやすい方法であると考えている。

一方、前報の実験時に発生した問題として、加工中に飛散する高温の切り屑がマイクやケーブルを損傷させる危険があった。音は音源からの距離が遠くなるほど音圧が減衰するため、加工音の測定は切削部に極力近い位置で行うことが望ましい。しかしマイクを工具に近づけると切り屑が機器装置類を損傷させる危険性が増すため、高価な計測用機器を用いた長時間の加工音の測定には金銭的リスクを伴う。そのため、県内企業に広く加工音の利用を促進していく上では、より安価な測定器類を用いた測定手法を具体的に示すことが重要である。

そこで本報では、高価な計測用機器ではなく安価な市販の測定器類のみを用いた測定手法を構築し、高調波を含む加工音の測定評価が可能かどうかを検証した。

2 測定方法の構築

2.1 計測用構成

音を測定評価するためには一般的に、マイク、アンプ、A/D変換器、演算システムが必要であり、前報ではすべて計測器メーカー製のもの（以下、「計測用構成」）を使用した。その構成と使用機器類の一覧を図1および表1に示す。マイクは高精度の自由音場測定用に設計された周波数帯域6.3 Hz～20 kHzの高感度マイク（感度：-26 dB re 1V/Pa）であり、演算システムはFFT解析や時間周波数解析、オクターブ解析などの様々なデータ処理機能を備えた専用ソフトウェアである。あらかじめマイクやプリアンプからの電圧信号を音圧レベル値に換算するための校正がなされているため、切削中の音圧の変化も直接評価することができる。ただし価格については、マイクとプリアンプが数十万円、A/D変換器と専用ソフトウェアが数百万円と高額であり、加工現場で導入することは容易ではない。そのため、県内企業に対して広く加工音の利用促進を図る上では、より安価な機器装置類を用いた方法を提示する必要がある。そこで本報では、ネット通販でも購入可能な機器類と無料利用ができるPythonを用いた安価な構成（以下、「汎用構成」）で加工音を測定評価する方法について検討した。



図1 計測用構成

表1 計測用構成の使用機器類

装置名	メーカー名	型番
マイク	Bruel & kjaer	4189-A-021
アンプ		
A/D変換器	Hottinger	Type 3160-A-042
演算システム	Bruel & kjaer	PULSE LabShop

2.2 汎用構成

本報で構築した構成を図2に、使用機器類の一覧を

表2に示す。マイクには数万円程度の市販音楽用マイクの中から、前節の計測用マイクと同じく20 kHzまで測定できるものを選定した。ただし、感度は-49 dB re 1V/Paであり、計測用マイクの1/14程度である。アンプにはマイク付属のパワーモジュールを使用し、マイクの感度不足を補うため、アンプからの電圧信号をオーディオミキサーのゲインを調整してさらに増幅した。A/D変換器についても数万円程度の市販品を使用した。なお、オーディオミキサーにもA/D変換を行う機能は搭載されているが、将来的にマイク以外のセンサを用いた測定もできるように装置を分けた。計測用構成とは異なり、これらの構成では出力される電圧信号を音圧に変換するための校正がなされておらず、音圧を直接評価することはできない。しかし、工具摩耗に伴う加工音の変化が判別できれば良いので、電圧値の変化を評価できれば十分と考えた。

演算システムについては、無料利用ができるPythonを用いて自作した。具体的には、WEB上で無償提供されているA/D変換を行うためのサンプルプログラムにFFT演算機能を追加し、グラフ表示までをパソコンで実行できるようにした。さらに、FFT演算した結果を時間軸方向に並べることでスペクトログラムを表示させる機能も実装し、計測用構成の専用ソフトウェアに近い機能を持たせた。

以下では、計測用構成と汎用構成の周波数特性などを比較し、構築した安価な構成によって加工音の測定評価が可能かどうかを検証した。



マイク+パワー オードィオ A/D変換器 演算システム
モジュール ミキサー

図2 汎用構成

表2 汎用構成の使用機器類

装置名	メーカー名	型番
マイク	(株)オーディオ テクニカ	ATM350U
アンプ		AT-8543(マイク付属) AT-UMX3
A/D変換器	(株)コンテック	AI-1608GY-USB
演算システム	Pythonで自作	

3 検証実験

3.1 ホワイトノイズ下の周波数特性

構築した汎用構成のうち、マイクについては、あらかじめメーカーから開示されているテクニカルデータ⁴⁾により、20 kHz弱までの高周波数帯域までほぼフラットな周波数特性を示すことがわかっている。しかし、その他の構成の周波数特性は不明であり、またオーディオミキサーなどの音楽用の機器装置類は使用目的に合わせて周波数特性が調整されていることもあるため、構成全体としての特性を把握しておく必要がある。

そこで、無響環境下でスピーカーから発生させたホワイトノイズ（低音域から高音域までの幅広い周波数の音がほぼ同じ強度で均等に含まれている雑音）を測定し、構成全体としての周波数特性を調べた。ただし、スピーカーから完全にフラットな特性を持つホワイトノイズを出力することは困難であるため、ここでは計測用構成との比較によって汎用構成の周波数特性を評価した。図3にそれぞれのFFT解析結果を示す。

前述したように、計測用構成の応答は音圧であり、汎用構成の応答は電圧である。それぞれの構成で単位は異なるが、応答波形を比較しやすいように、ここでは汎用構成におけるオーディオミキサーのゲインを調整して両者の数値の桁数を合わせた。

両図を比較すると、汎用構成においても計測用構成と同様の応答波形が得られており、構成全体として、20 kHzまでの高周波数帯域までほぼフラットな周波数特性を持っていることが確認できる。したがって、加工音の測定時においても、特定の周波数帯域の音が減衰して測定されることはなく、高周波数帯域で現れる高調波成分についても十分評価し得ると考えられる。

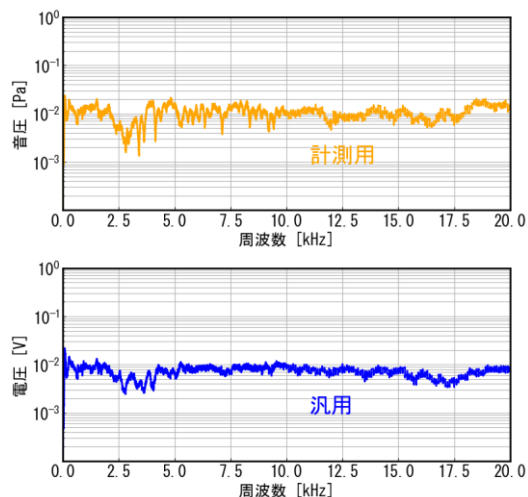


図3 各構成の周波数特性(ホワイトノイズ)

3.2 加工音の測定評価

図4の模式図に示す方法で、NC旋盤((株)滝澤鉄工所, TAC510L10)を用いて外径旋削した時の加工音を測定した。工具にはスローアウェイ式超硬工具を16 mm×16 mmのホルダに装着して使用した。工具の突出し長さは、刃先から刃物台の工具固定ボルトまでを45 mmにした。この工具系については、あらかじめハンマリング試験で固有振動数を調べた結果、切削時に基本波の現れる周波数が5 kHz近傍であることがわかっている。

マイクは計測用構成、汎用構成ともに工具刃先から80 mm離れた位置に設置した。加工音の測定条件はサンプリング周波数が51.2 kHzで、サンプリング点数が16384 (= 2¹⁴) 回である。測定データを66.7%ずつオーバーラップしながらハンギング窓をかけてFFT解析し、平均化処理を行った。なお、汎用構成では加工音の測定時に音割れが発生したため、オーディオミキサーのゲインを3.1節の実験時よりも少し下げた。

図5に切削中の加工音をそれぞれの構成で同時に測

定し、FFT解析した結果を示す。両図ともに、5.5 kHz 近傍に基本波が現れており、11 kHz, 16.5 kHzにその高調波が現れている。このことから、汎用構成でも高周波数帯域の高調波成分を含めた加工音の測定評価が

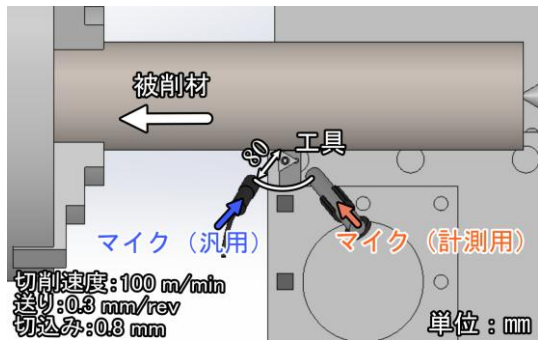


図4 実験模式図

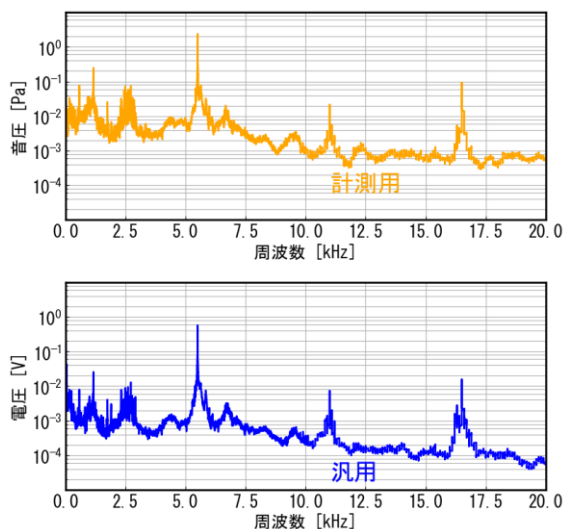


図5 旋削加工音の周波数特性

可能であることが確認できた。

終わりに、汎用構成における切削中のパソコンのモニター画面を図6に示す。グラフは上から順に、時刻歴波形、FFT解析した周波数スペクトル、時間・周波数成分の両方を表すスペクトログラムであり、切削中にはこれらの解析と表示がリアルタイムで実行される。このように計測用構成に近い機能を無料で実現した。

4 結言

切削加工における工具寿命の判定等を目的とした加工音の利用について、より現場適用しやすい安価な機器装置類のみを用いた測定手法を構築した。検証実験の結果、構築した安価な構成でも高価な計測用構成と同様に、高調波成分を含む加工音の測定評価が可能であることが確認された。今後はこの安価な測定手法を用いて、製造現場における加工音の利用促進に向けた研究開発に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 一宮亮一, 知久一佳, 相地誠: 切削加工における騒音の解析 (第1報) —単一刃工具による金属切削時の音圧レベル—, 精密機械 49 巻 3 号, pp. 95-100 (1983).
- 2) 松原十三生, 中村義雄: バイト振動防止方法—工具摩耗によるバイト振動の研究 (第3報) —, 精密機械 44 巻, 3 号 pp. 75-80 (1978).
- 3) 吉村祥一: 切削加工音による工具摩耗の推定, 香川県産業技術センター研究報告, No. 25, pp. 17-18 (2025).
- 4) オーディオテクニカ: コンデンサーマイクロホン ATM350U のテクニカルデータ, <https://www.audio-technica.co.jp/product/ATM350U> (閲覧日: 2026年3月19日).

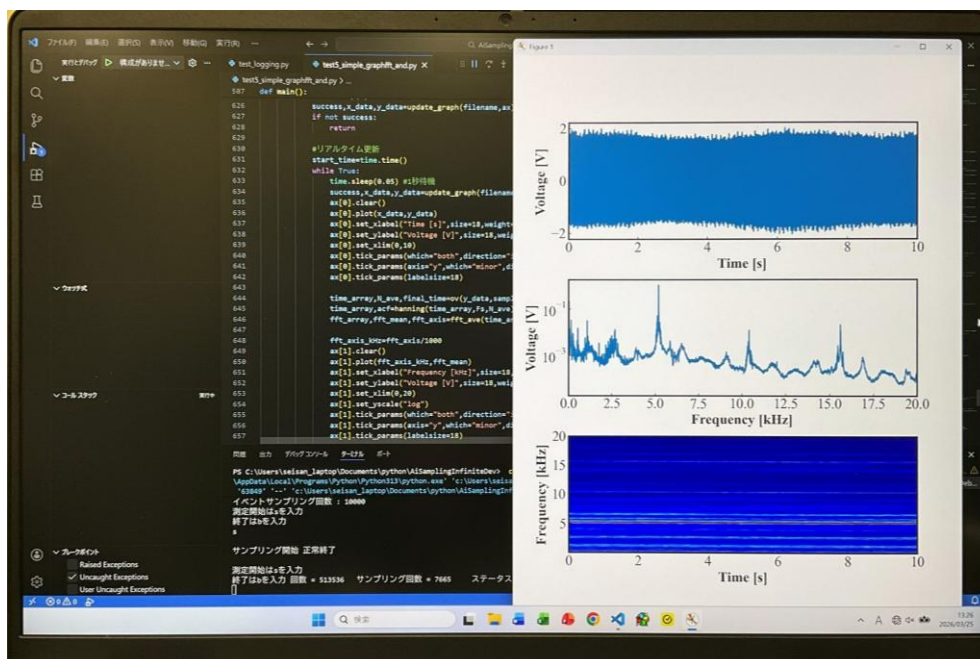


図6 汎用構成における切削中のパソコンモニター画面

マシニングセンタにおける工芸的な加工プログラムの検討

宇高 英二

木製表札の加工に工芸的な手加工感を取り入れることを目指し、X軸、Y軸、Z軸の各方向に数値を変化させる要素を組み込んだ、工芸的な加工プログラムの作成を検討した。

システム変数の#5021と#5022や、各演算子、関数を組み入れて作成した加工プログラムのシミュレーション結果において、初期に作成した基礎的なプログラムに比べ、最終のプログラムではかなりの手加工感を得ることができた。

1 緒言

マシニングセンタは、金属やプラスチックの切削加工に用いられる加工機で、数値制御により同じ寸法の製品を大量に連続して生産することに適している。一方、木製の工芸品のように手加工で生産される製品は、設計段階の基準寸法はあるが、加工を行う人の道具の使い方や、製品の見た目を考慮して行う修正等で、製品ごとの寸法や模様などが微妙に異なり、それが手加工の味として好まれる場合もある。

マシニングセンタの加工において、木製工芸品のような微妙な差異を製品に与える場合、①すべての製品を異なるプログラムで作製する。②荒加工はマシニングセンタで行い、仕上げを手加工で行う。③加工に差異が生じるプログラムで製品を作製する。等が考えられる。

①は膨大な数のプログラム作成が必要で現実的ではなく、②は木製品製造業では実施されている。③は既往の報告¹⁾があり、Z軸方向の切り込み深さをマシニングセンタの稼働時間を取り出すシステム変数「#3001」を利用して変化させ、木製表札の加工において不規則な加工を実現している。この不規則な加工も、手加工感を生み、工芸的な味として受け入れられている。

本報では、マシニングセンタでの木製表札の加工において、手加工感、すなわち、不規則な加工を行うことと、製品ごとに微妙な差異を与えることを目指し、Z軸方向に加え、X軸、Y軸方向にも数値を変化させる要素を組み込んだ、工芸的な加工プログラムの作成を検討した。

2 木製表札の加工プログラムの作成

木製表札は、幅180mm×高さ90mm×厚さ30mmのワーク表面を彫刻刀で加飾した後に、「香川県」の3文字を彫り込む加工を想定した。彫刻刀での加飾は、丸刀で斜めに切込んで斜めに抜ける直線的な模様とする。また、マシニングセンタで確認する手間や時間を省略するため、加工プログラムの検討はシミュレーション

で行った。

2.1 文字の加工プログラム

文字部分の加工プログラムは、「AR_CAD」(株式会社SHF, Ver. 3.0.0)と、「NCVC」(眞柄賢一氏, Ver. 4.15)を用いて作成した。

AR_CADで機械の加工原点と文字の各レイヤーを作成してDXF形式のファイルで保存した後、そのDXFファイルを再度読み込んで文字の輪郭線を表示させる。輪郭線の内側に工具(φ1mmのエンドミル)での切削を考慮した複数の加工線を追加した後、再度DXFファイルとして保存する。これをNCVCで開き、NCデータ生成を実行して、文字の加工プログラムを作成した。

2.2 加飾部分の加工プログラム

加飾部分の加工プログラムは、「G-Navi」(アイコクアルファ株式会社, Ver. 2.8)によるシミュレーションで検討した。

加工に変化を与えるためには、プログラム内に乱数を生成して加工に反映させる部分が必要である。既往の報告¹⁾で用いられた#3001は、使用するG-Naviのバージョンでは対応できないため、XYZの各座標軸の現在位置を取り出すシステム変数「#5021～#5023」のうち、#5021(X座標)と#5022(Y座標)を用いて乱数の生成を行った。

3 シミュレーションによる加工プログラムの検討

まず、加飾部分において基礎となる加工プログラムを作成した。加工原点(X0Y0)から①X軸方向に加工20mmと未加工10mmを、合計で180mmになるまで繰り返し、180mmを超えると②Y軸方向に10mm進んだ座標(X0Y10)に移動し、③①と②をY軸方向に合計90mmになるまで繰り返す加工である。これに、工具には直径6mmのボールエンドミル、Z軸方向の切込深さ2mm(ワーク面は0mm、工具はワーク面から1mm上部を移動する)などの条件を加味し、シミュレーション用の加工プログラムとした。作成した加工プログラムの中から加飾に係る部分を抜粋した「加工プログラム

1」を以下に、そのシミュレーション結果を図1に示す。

<加工プログラム1>

```
#1=0
#2=0
WHILE[#2 LE 90]D01
  (#2≤90の場合END1までを繰り返す)
WHILE[#1 LE 180]D02
  (#1≤180の場合END2までを繰り返す)
G00X[#1]Y[#2] (加工開始位置)
G01Z-2.F100
  #1=[#1+20] (X軸方向の加工量)
G01X[#1]F200
G00Z1.
  #1=[#1+10] (X軸方向の未加工の移動量)
END2
  #1=0 (Yが移動した時のX座標)
  #2=[#2+10] (移動後のY座標)
END1
```

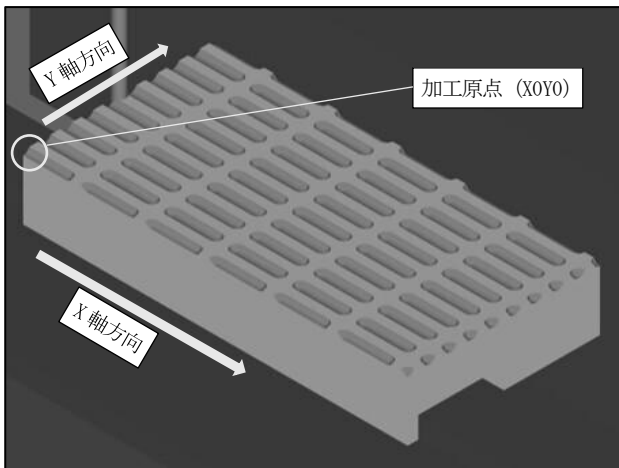


図1 加工プログラム1のシミュレーション結果

加工原点(左短辺手前)から、X軸のプラス方向(右短辺)に向かい、加工長さ20mm、未加工の移動10mmが繰り返され、それがY軸のプラス方向に繰り返されていることがわかる。

次に、この加工プログラム1に#5021と#5022を組み込み、X軸方向の加工量と未加工の移動量、及びY軸方向の移動量を変化させることを検討した。

変化させる手順は、#5021と#5022の積の余弦の絶対値(#3=ABS[COS[#5021*#5022]])から、小数点以下4桁目(#4=FIX[[#3*1000-FIX[#3*1000]]*10])、または3桁目(#4=FIX[[#3*100-FIX[#3*100]]*10])を一桁の値として取り出し、各移動量に加える。なお、「FIX」は小数点以下を切り捨てる演算子である。

例えば、#3=0.12345...の小数点以下4桁目を取り出す場合、下記のように計算されて4が取り出される。

```
#4=FIX[[123.45... - 123]*10]
=FIX[[0.45...]*10]
=FIX[4.5...]
=4
```

この加工プログラム1から次の加工プログラムを作る過程で生じた問題点と、その解決策を下記に示す。

問題点と解決策①

#5021や#5022の値を単独でそのまま用いると、加工が進むと変化量が大きくなり過ぎる。また、変化量が繰り返し回数に比例して大きくなる、同じX座標、同じY座標から始まる場合に加工量や移動量が一定になる等、規則性が生じた。

変化量を一定にしないため、変数を#5021と#5022の2つとし、その積を用いた。また、その余弦から1桁の値を取り出すことで、過大な変化量を回避し、変化量の調整を容易にした。

問題点と解決策②

余弦の4桁目から取り出した値が0の場合、ループが生じてシミュレーションが進まない問題が発生したことから、3桁目からの取り出しと、0を取り出してもループさせない構成に変更した。

こうして作成した加飾部分の「加工プログラム2」を下記に、そのシミュレーション結果を図2に示す。

<加工プログラム2>

```
#1=0
#2=0
WHILE[#2 LE 90]D01
WHILE[#1 LE 180]D02
G00X[#1]Y[#2]
G01Z-2.F100
IF[#5022 EQ 0]GOTO1 (#5022=0ならN1に飛ぶ)
  #3=ABS[COS[#5021*#5022]]
  (#3は、COS[#5021*#5022]の絶対値)
IF[#3 NE 0]GOTO2 (もし#3が0でないならN2に飛ぶ)
N1
  #3=ABS[COS[#5021]] (#3はCOS[#5021]の絶対値)
N2
  #4=FIX[[#3*1000-FIX[#3*1000]]*10]
IF[#4 NE 0]GOTO3 (もし#4が0でないならN3に飛ぶ)
  #4=FIX[[#3*100-FIX[#3*100]]*10]
IF[#4 NE 0]GOTO3 (もし#4が0でないならN3に飛ぶ)
  #4=#3*10
N3
  #1=[#1+20+#4] (X軸方向の加工量)
G01X[#1]F200
G00Z1.
```

```

#1=[#1+10+#4] (X軸方向の未加工の移動量)
END2
#1=#4 (Yが移動した時のX座標)
#5=ABS[COS[#5022*#5021]]
(#5は、COS[#5021*#5022]の絶対値)
#6=FIX[[#5*1000-FIX[#5*1000]]*10]
#2=[#2+10+#6] (移動後のY座標)
END1

```

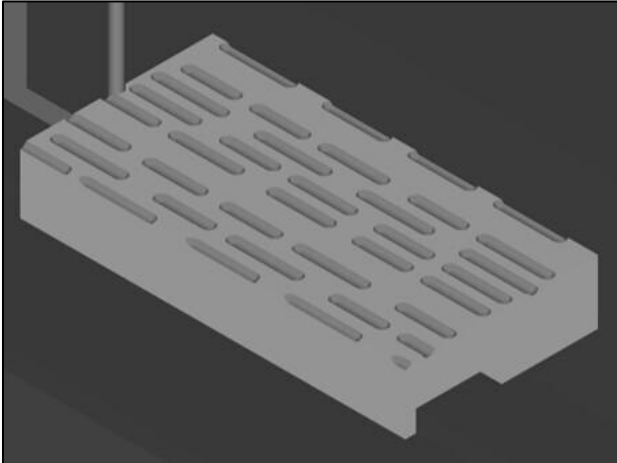


図2 加工プログラム2のシミュレーション結果

図2のとおり、X軸方向の加工量や未加工の移動量、Y軸方向への移動量に不規則さが生じることが確認できた。この加工プログラム2から、さらにZ軸の切込量にもシステム変数で変化を与え、彫刻刀での加工を想定した「加工プログラム3」を作成した。

作成の過程で生じた問題点と解決策を以下に示す。

問題点と解決策①

加工開始をX0Y0とした場合、各Y座標での最初の加工において、ワークに未加工部分が発生した。

「#1=-80」とX0よりも前から加工が始まるようにし、ワークのX0の位置で加工されるようにした。また、移動後の新しいY座標でのXの加工開始座標に、最初の#1に入れた値(加工プログラム3では「-80」)を反映するように#8を含む内容を追加した。

問題点と解決策②

新しく移動するYの移動量を短くするために「#2=[#2+10+#6]」を「#2=[#2+#6]」に変更したところ、#6=0の時にループが生じてシミュレーションが進まなくなった。

X軸方向での繰り返しの変化量で使う#4と同様に、余弦の3桁目からの取り出しと、0を取り出してもループが起らない構成を追加した。

問題点と解決策③

同じYの値でX軸のプラス方向に加工する際、Zの切込量が一番深い部分から抜ける加工と、次の一番深いZに向かって切込む加工の間に、未加工部分が

生じた。

抜ける加工後の未加工の移動量を、X軸方向のプラスではなくマイナス方向にする内容を組み込み、未加工部分が生じないようにした。

下記に加工プログラム3を、そのシミュレーション結果を図3に示す。

<加工プログラム3>

```

#1=-80
#2=0
#8=#1
WHILE[#2 LE 90]D01
WHILE[#1 LE 180]D02
G00X[#1]Y[#2]
IF[#5022 EQ 0]GOTO1
#3=ABS[COS[#5021*#5022]]
IF[#3 NE 0]GOTO2
N1
#3=ABS[COS[#5021]]
N2
#4=FIX[[#3*1000-FIX[#3*1000]]*10]
IF[#4 NE 0]GOTO3
#4=FIX[[#3*100-FIX[#3*100]]*10]
IF[#4 NE 0]GOTO3
#4=[#3*10]
N3
#1=[#1+40+#4*3]
IF[#1 GE 180]GOTO4
G01X[#1]Z[-2+#4*0.1]F200
#7=[#1+40+#4*2]
G01X[#7]Z[1]F200
#1=[#1+#4*0.1]
N4
END2
#1=#8+#4*0.1
(次の新しいYにおけるXの加工開始座標)
#5=ABS[COS[#5022*#5021]]
IF[#5 NE 0]GOTO2
N1
#5=ABS[COS[#5022]]
N2
#6=FIX[[#5*1000-FIX[#5*1000]]*10]
IF[#6 NE 0]GOTO3
#6=FIX[[#5*100-FIX[#5*100]]*10]
IF[#6 NE 0]GOTO3
#6=FIX[#5*10]
N3
#2=[#2+#6*0.1] (次の新しいYの座標)
END1

```

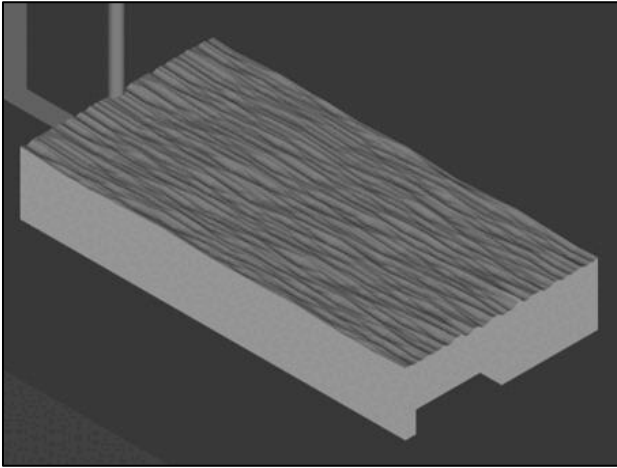


図3 加工プログラム3のシミュレーション結果

図2に比べると、かなり不規則な加工結果となり、手加工感が得られたと思われる。また、一番最初の「#1=-80」の値を-40や-20に変更すれば、加工後の見た目が異なることを確認した。

加工プログラム3に、文字の加工プログラムを組み合わせたシミュレーションの結果を図4に示す。

4 結言

本報では、木製表札の加工に工芸的な手加工感を取り入れることを目指し、X軸、Y軸、Z軸の各方向に数値を変化させる要素を組み込んだ、工芸的な加工プログラムの作成を検討した。

作成した加工プログラムのシミュレーション結果において、初期のプログラムに比べ、最終プログラムではかなり不規則な加工結果になり、手加工感を得ることができた。

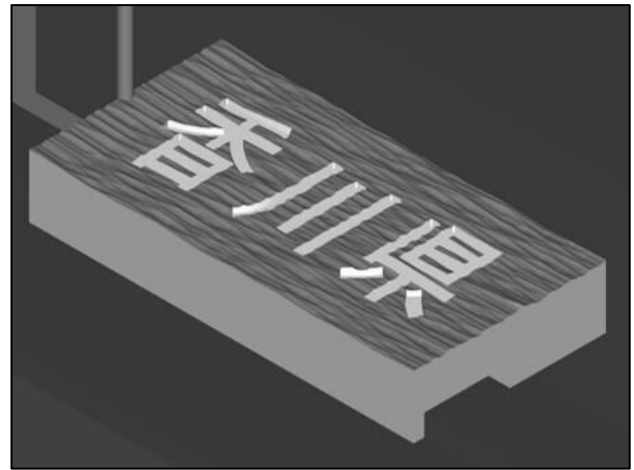


図4 文字加工を含むシミュレーション結果

現時点での加工プログラムには、省略できる部分やより適切な関数を適用できる部分もあると思われるが、今後はマシニングセンタなどの実際の加工機で木製表札を加工する検討を進めたいと考えている。また、最初の「#1=-80」の部分に変数を組み合わせ、加工するワークごとに異なる加工結果が得られる加工プログラムや、文字を彫り込むのではなく、浮き上がらせる加工プログラムが可能であるかについても検討したい。

最後に、本研究を行うにあたり助言をいただいた、マシニングセンタによる金属加工を担当している熱田主席研究員と吉村主任技師に謝意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺寛厚：MC機による不規則な加工プログラムの作成，技能と技術，4 (203)，pp. 13-18 (2000)。
- 2) 一見大輔：入門 NCプログラミング，オーム社 (2011)。