

「機械と工具」誌 平成28年4月号掲載予定

安定ポケットの理解と実用

応用事例 13

薄肉工作物の仕上げ加工における工具選定

1. はじめに

素材から削り出して、薄肉になった工作物の場合には動特性 FRF が極端に低くなっているため、工具の選択には特別の注意を必要とする。通常の安定ポケットが使用できるアルミ合金の高速ミリングの場合と、鋼材や耐熱合金を加工する切削速度を低く抑制しなければならない場合とで、工具の選定方法は異なる。両者の事例について紹介する。

2. 事例 1 アルミ合金の高速ミリング

なるべく刃数の小さい（できれば一枚刃の）工具を使用するか、状況に合わせて設計された不等ピッチ角の2枚刃エンドミルを使用する。

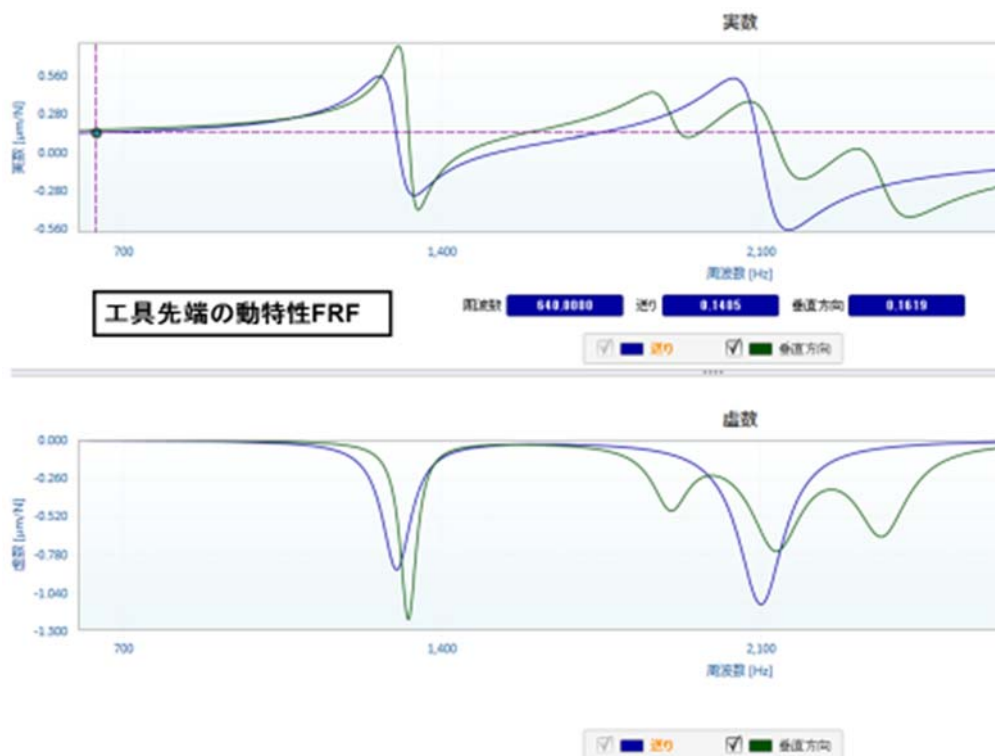


図1 想定する使用工具刃先の動特性 FRF

2.1 想定する工作物、使用工具と加工条件

材質：アルミニウム合金 7050-T7451 140 Bhn

形状：厚さ 4.5mm, 高さ 55mm の立壁

使用工具：D16 ストレートエンドミル

加工条件：半径方向切込み 1mm ダウンカット、送り 0.1mm/刃

工具刃先の動特性 FRF: 図1 参照

立壁上端の動特性 FRF :

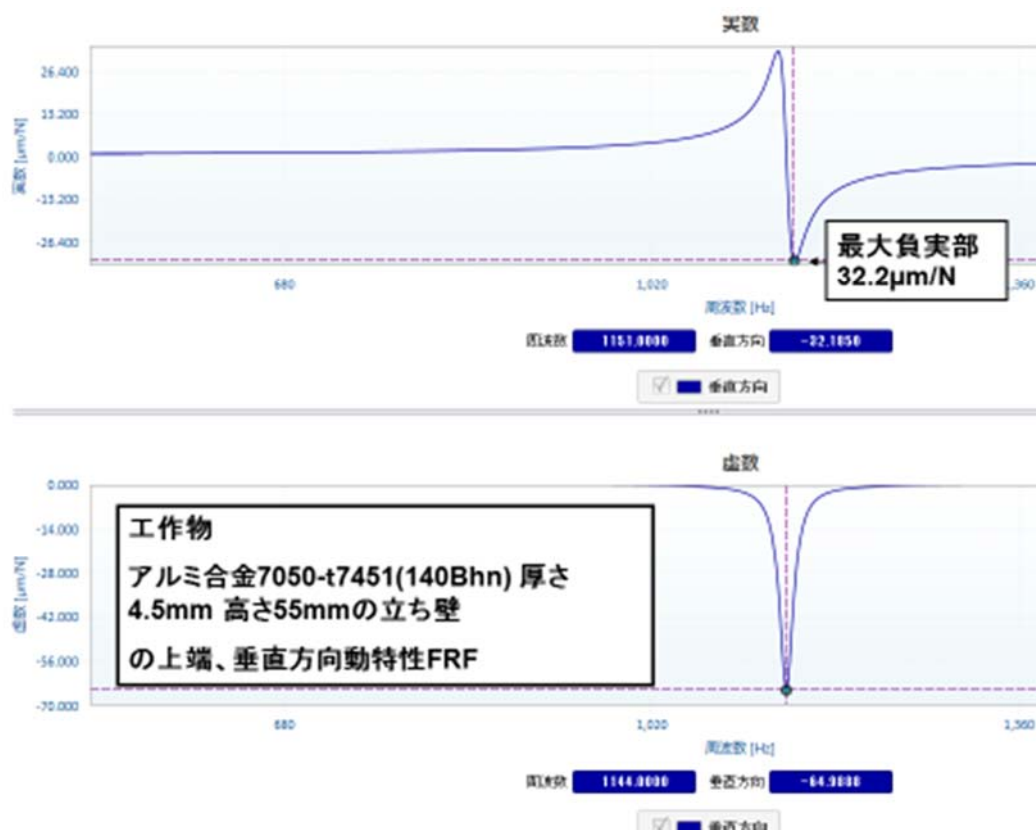


図2 想定する立壁工作物上端の動特性 FRF

立壁工作物上端ではびびりの起こしやすさの指標である最大負実部が $32.2 \mu\text{m/N}$ と大きく、きわめてびびりやすい状況である。

2.2 1枚刃エンドミルの安定限界線図

びびりの発生しやすさは、刃数に比例するから、1枚刃の工具が最もびびりにくいはずである。CutPRO のミリングシミュレーターで求めた計算結果は次のようになる。

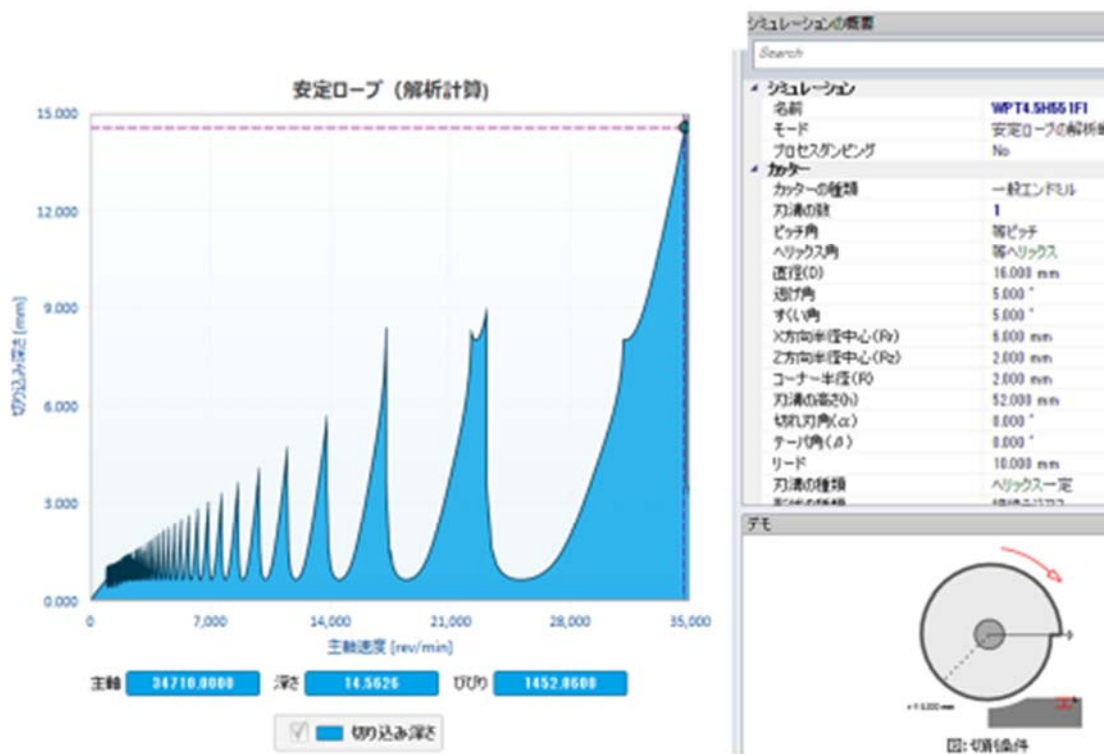


図3 1枚刃エンドミルの安定限界線図

2次安定ポケットである34,710rpmにおいて軸方向切込み14.5mmが可能ではあるが、そこまでの高速が出せるマシニングセンターは現在のところ無い。3次および4次安定ポケットでは、軸方向切込みは9mm弱まで可能である。

2.3 2枚刃等ピッチカッター

等ピッチで2枚刃カッターの安定限界線図は図4に見るように、1次安定ポケットは33,778rpmにあり軸方向切込み18.6mmまで可能ではあるが、そこまでの高速が出せるマシニングセンターは現在のところ無い。2次安定ポケット(17,385rpm)では、軸方向切込みは7.3mmまで可能である。

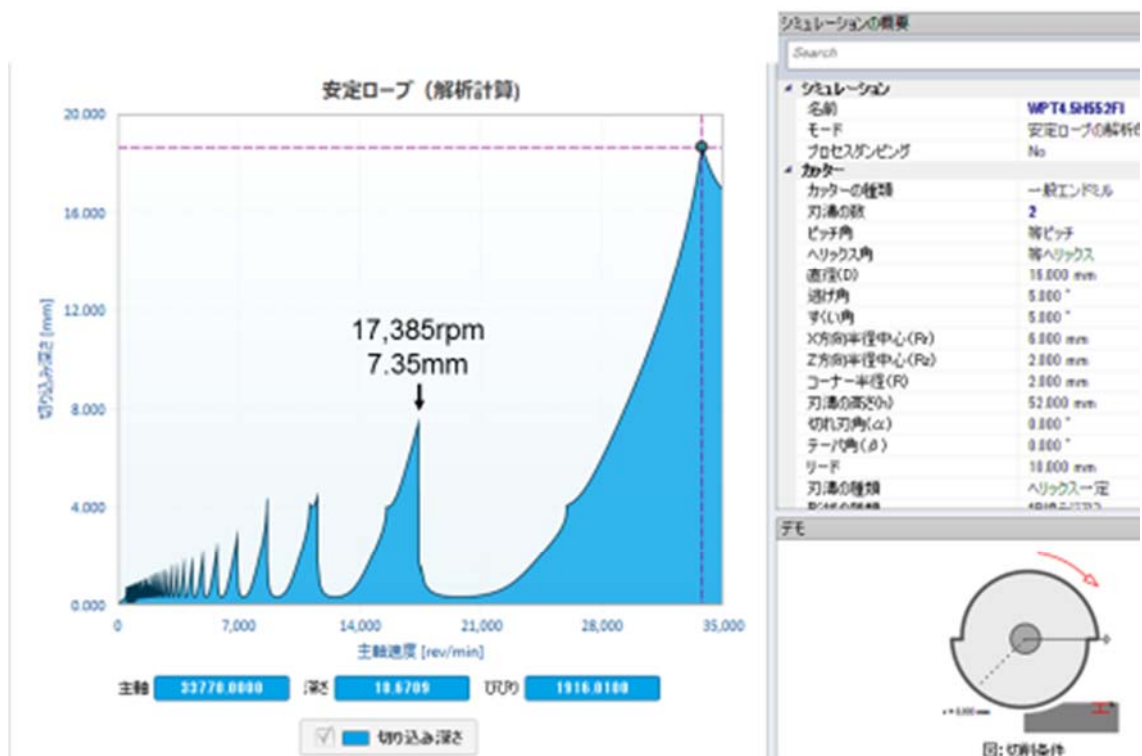


図 4 2 枚刃等ピッチエンドミルの安定限界線図

2.4 2 枚刃不等ピッチカッター

CutPRO ミリングシミュレータには、びびりの原因となる構造の動特性 FRF と、工具回転速度を与えれば、最適不等ピッチの計算機能があるので、次のように求められる。

すなわち、図 5 に示すように工具回転数を 15,000rpm と与えた場合、111deg /249deg のピッチ角配分が最適と判断される。

そのカッターを用いる場合の安定限界線図は図 6 のようになり、22,500rpm で 12.7mm の軸方向切込みが可能である。

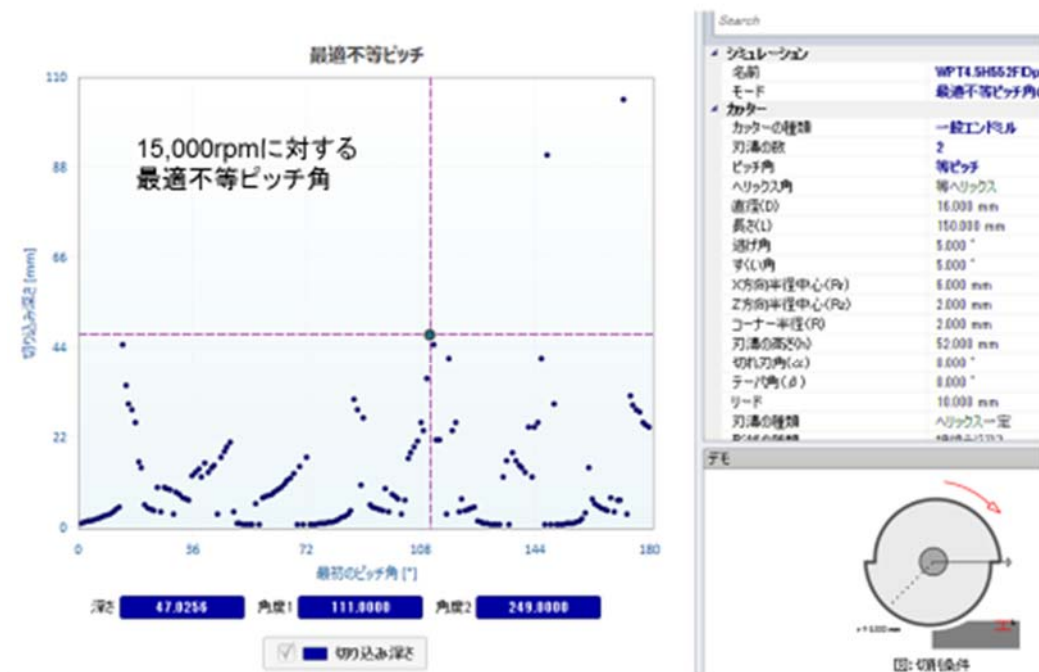


図5 2枚刃不等ピッチカッターの最適ピッチ角計算結果 111deg/249deg

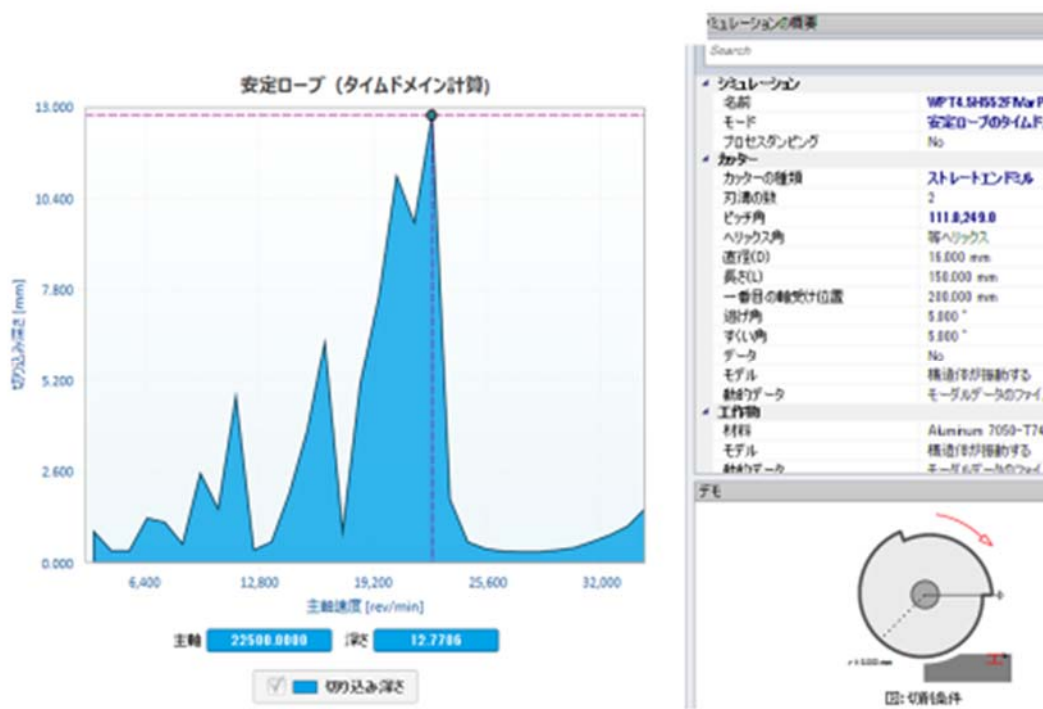


図6 2枚刃不等ピッチ 111deg/249deg カッターの安定限界線図。

2.5 4枚刃以上の不等ピッチカッターと不等ヘリックス角使用の検討

CutPRO ミリングシミュレータにより種々の組み合わせについて解析検討したが、図6に示す2枚刃不等ピッチ角カッターが最も大きい軸方向切込みが可能である。

3. 事例 2 マルテンサイト系ステンレス鋼

3.1 想定する工作物、使用工具と加工条件

材質：マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS420 280Bhn

形状：厚さ 4.5mm, 高さ 55mm の立壁

使用工具：D16 ストレートエンドミル

加工条件：半径方向切込み 0.5mm ダウンカット、送り 0.1mm/刃

工具刃先の動特性 FRF: 先に示した図1と同じ

立壁上端の動特性 FRF: 先にアルミ合金について想定した特性値の 10 分の 1

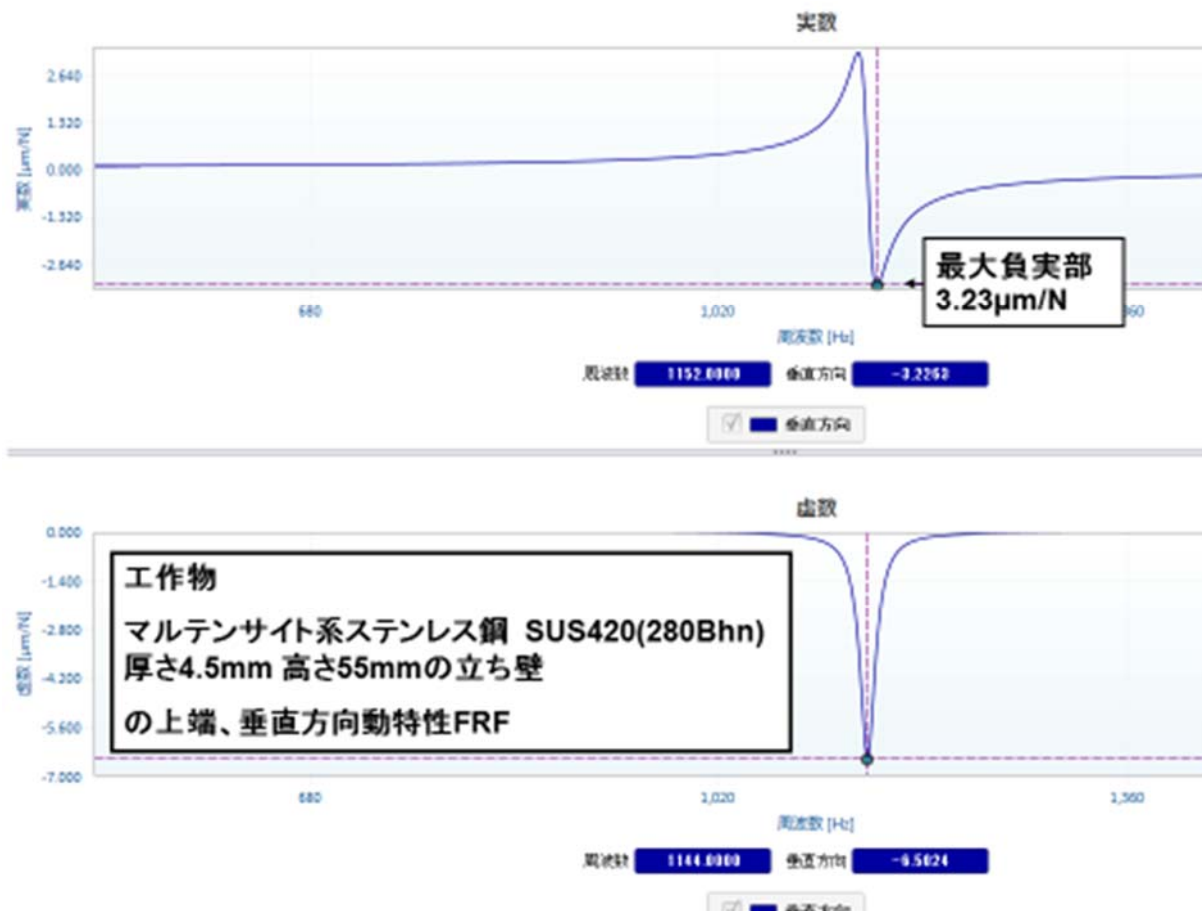


図7 想定する工作物立壁上部の動特性 FRF

3.2 1枚刃エンドミルの安定限界線図

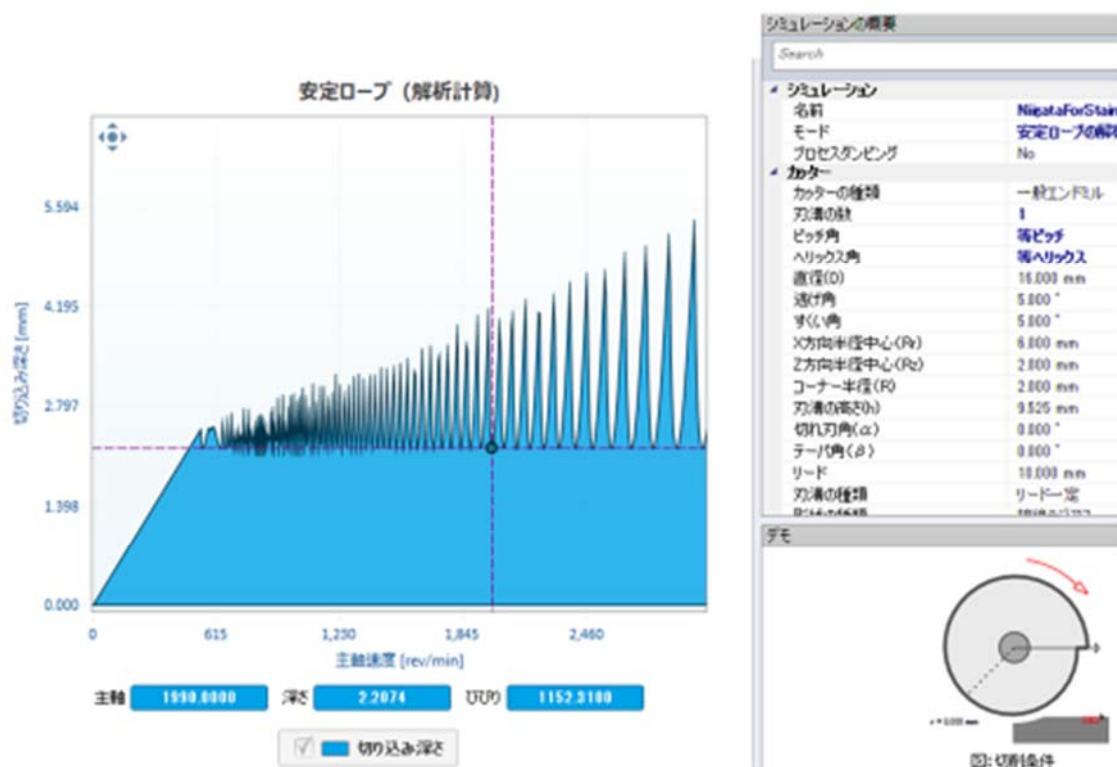


図8 1枚刃エンドミルの安定限界線図

使用できる工具回転数では安定ポケットは次数が高過ぎて有効に使うことができない。無条件安定限界切込みは2.2mmである。

3.3 2枚刃等ピッチカッター

刃数が2になると、図9に見るように無条件安定限界切込みは1枚刃エンドミルの半分1.1mmになる。

3.4 2枚刃不等ピッチカッター

CutPRO ミリングシミュレータの最適不等ピッチの計算機能により、図10に示すように工具回転数を1,500rpmと与えた場合、80deg/280degのピッチ角配分が最適と判断される。

そのカッターを用いる場合の安定限界線図は図11のようになり、2,200rpmで7.1mmの軸方向切込みが可能である。

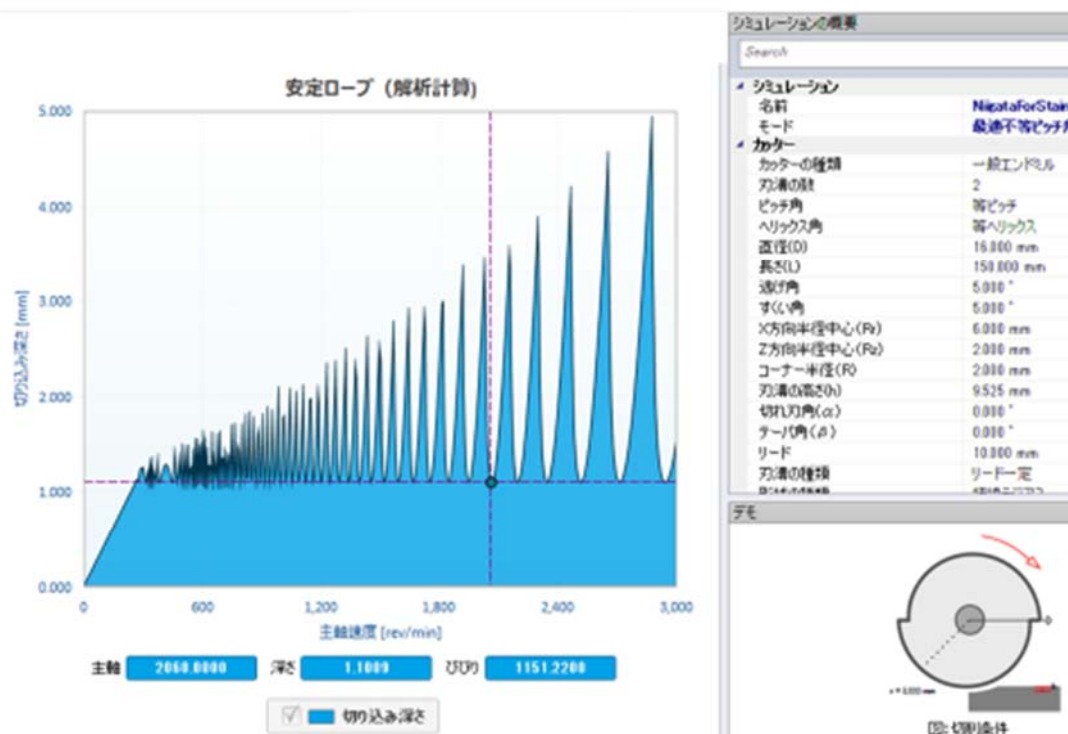


図9 2枚刃等ピッチエンドミルの安定限界線図

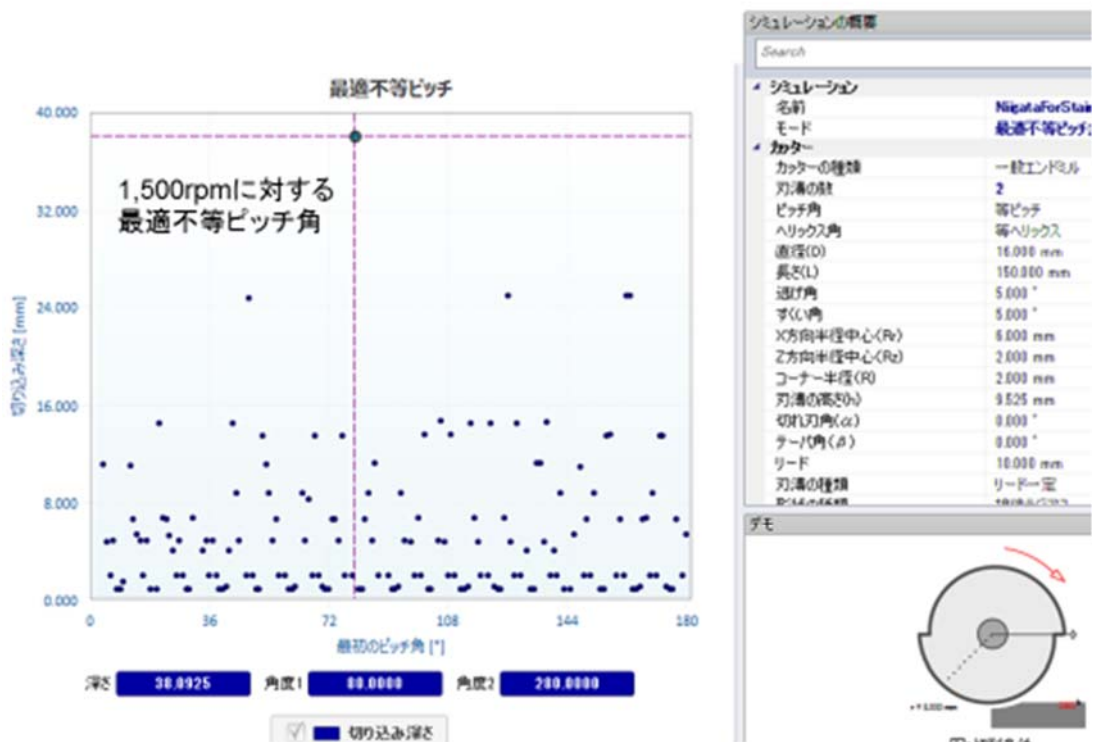


図10 2枚刃不等ピッチカッターの最適ピッチ角計算結果 80deg /280deg

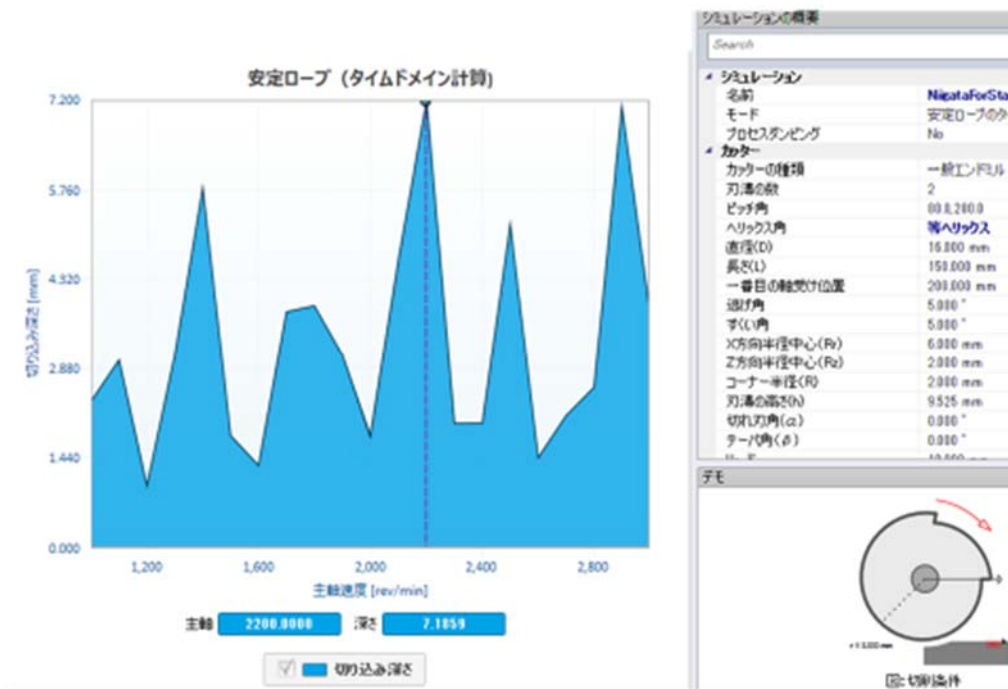


図 11 2 枚刃不等ピッチ 80deg/280deg カッターの安定限界線図。

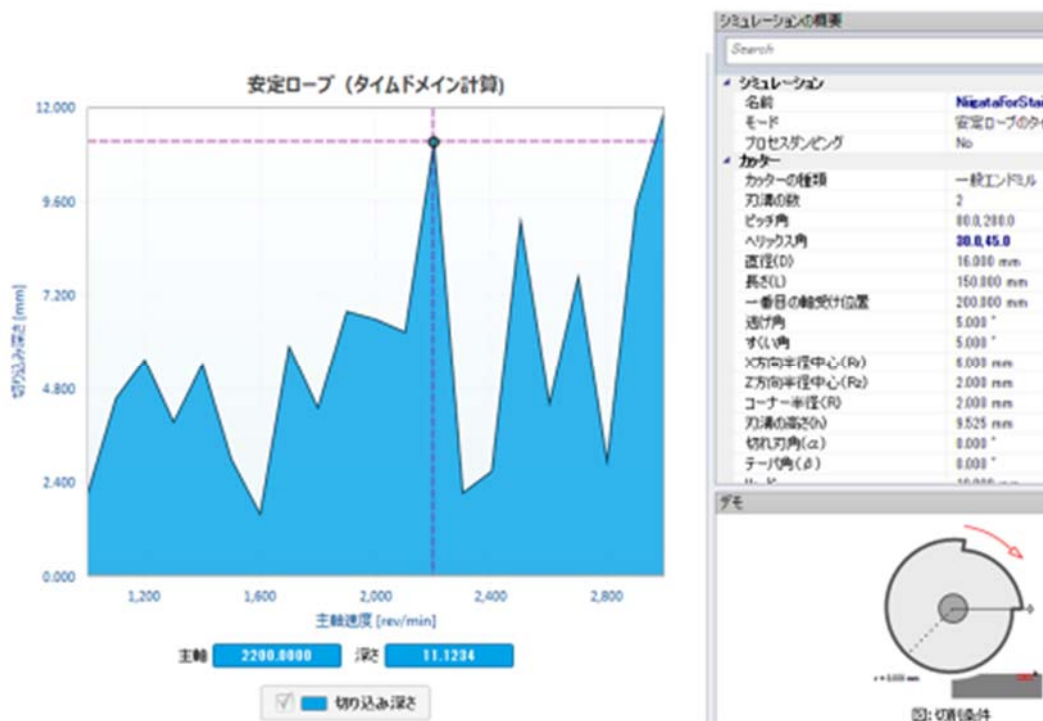


図 12 2 枚刃不等ピッチ 80deg/280deg · 不等ヘリックス 30deg/45deg カッターの安定限界線図。

3.5 2枚刃不等ピッチ・不等ヘリックスカッターの安定限界線図

図 12 に示すように 2,200rpm において軸方向切込み 11.1mm が可能だが、この値は前節の不等ピッチのみのカッターの 7.1mm より大きい。また二つの不等ヘリックス角の差をさらに大きくとっても、軸方向切込みはほとんど大きくなることが確認されている。

4. 結論

素材から削り出して、薄肉になった工作物の場合には動特性 FRF が極端に低くなっているため、工具の選択には特別の注意を必要とする。通常安定ポケットが使用できるアルミ合金の高速ミリングの場合と、鋼材や耐熱合金を加工する切削速度を低く抑制しなければならない場合とで、工具の選定方法は異なり、それぞれ次のような結論をえた。

4.1 低次の安定ポケットが使用できるアルミ合金の高速ミリングの場合

びびりの発生しやすさは、刃数に比例するから、1枚刃の工具が最もびびりにくいはずである。しかし1次安定ポケットの工具回転速度が使用可能な主軸回転数を越える場合には、半分の速度の2次安定ポケットを使用せざるを得ず、その場合には2枚刃等ピッチカッターとほぼ同じ軸方向切込みに低下する。2枚刃カッターを使用する場合には、最適不等ピッチ角の計算機能により求められる不等ピッチ角をつける方が加工能力の高いカッターとなる。

4.2 鋼材や耐熱合金を加工する切削速度を低く抑制しなければならない場合

鋼材や耐熱合金を加工する切削速度を低く抑制しなければならない場合には使用できる工具回転数では安定ポケットは次数が高過ぎて有効に使うことができない。従って2枚刃とし、不等ピッチ角カッターとすることが必要であり、さらにそれに不等ヘリックス角を付与すると軸方向切込みを大きくとることができる。不等ヘリックス角の二つの角度間の差はある程度以上に大きくとらないと効果が見られない。30deg/45deg の組み合わせを使えば十分な効果が得られる。角度差をそれ以上に大きくとってもあまり効果は上がらない。

以上