

「機械と工具」誌 平成27年11月号掲載

安定ポケットの理解と実用

応用事例 7

不等ピッチ/不等ヘリックスカッターの効果

1. はじめに

プロセスダンピングによる低速安定性は、静的切削力の大きさに依存する性質があるため、荒加工には有効であったが、仕上げ加工では半径方向切込みを小さくして（低インマージョンで）行うため静的切削力が小さく、低速安定性の利用は期待できない。

仕上げ加工を、比較的低い切削速度で行わなければならないチタン合金などでは、もう一つの方法である不等ピッチカッターあるいはそれに不等ヘリックスも併用したカッターを用いると、比較的低い切削速度範囲で安定ポケットが生じる原理を使用することが有効である。

CutPRO システムのミリングシミュレータには、最適不等ピッチ角を求め、不等ピッチ/不等ヘリックスカッターの安定限界を計算する機能があるので、その使用方法を説明し、有効な実用手順を検討したい。

2. 不等ピッチカッターの最適設計

2.1 計算例題に使用する工具刃先のモーダル剛性値

以下の計算例題の工具は直径 16mm、4 枚刃のストレートエンドミルとし、機械主軸に取り付けた状態の刃先動剛性は図 1 に示す値のものを使用する。送り方向、垂直方向とも同じ特性とし、モーダルパラメータは固有振動数 1,000Hz 減衰率 3.0% モーダル剛性 10,000,000N/m ($10\text{N}/\mu\text{m}$)としている。この値は剛性値としてはかなり高く、比較的びびりの起こり難い状況である。

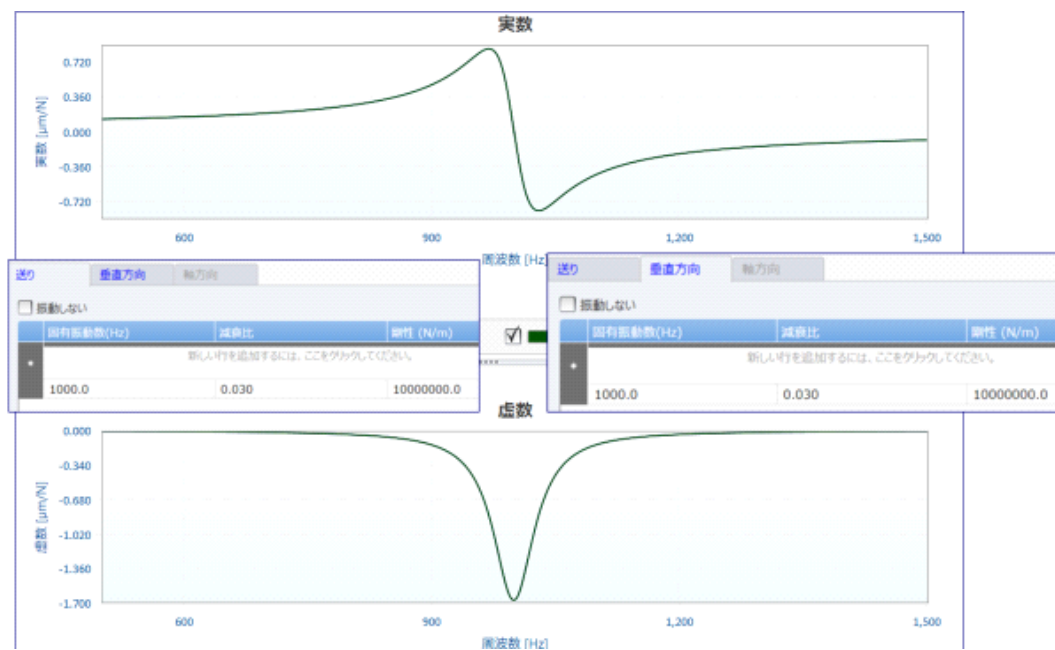


図1 計算例題に用いる直径16mm,4枚刃ストレートエンドミルの刃先動剛性

2.2 等ピッチカッターの場合の安定限界線図

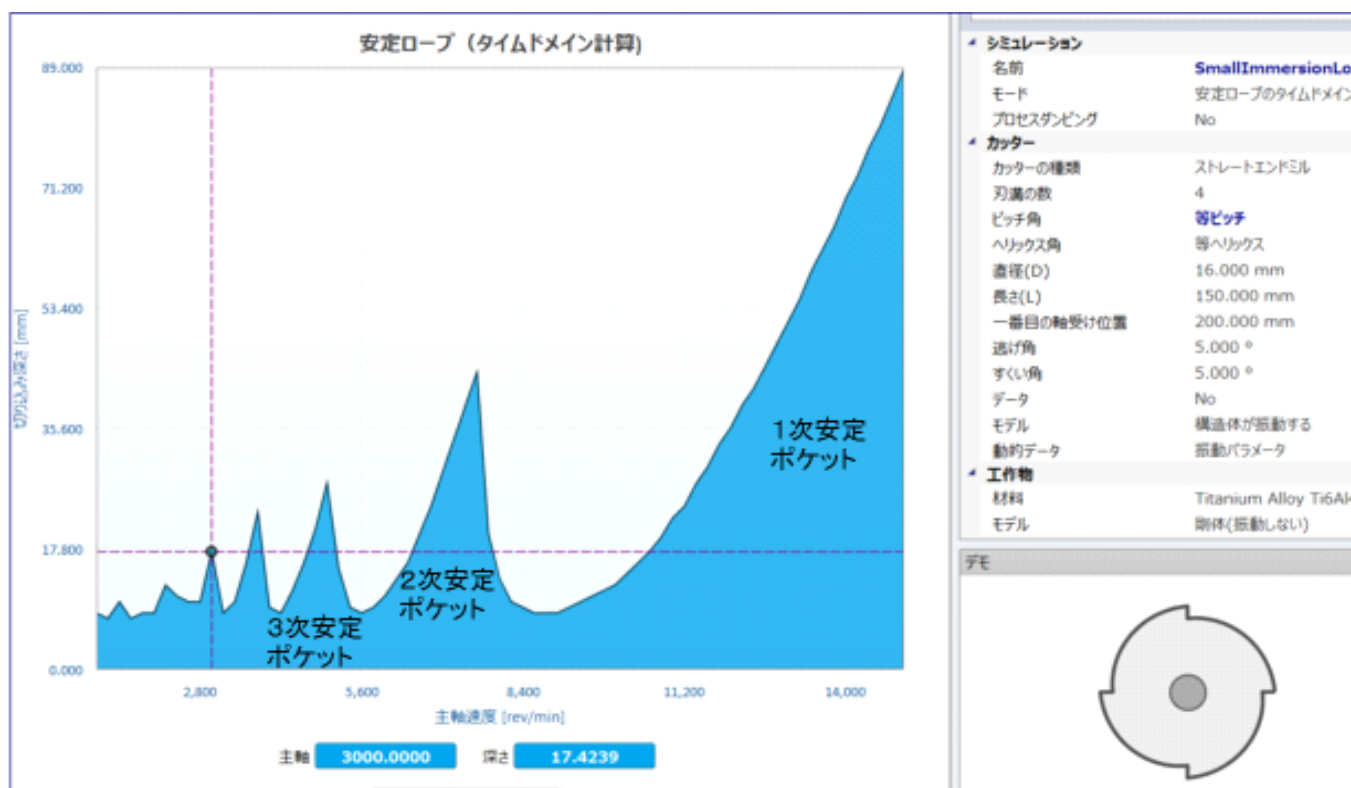


図2 等ピッチカッターの場合の安定限界線図
(半径方向切込み0.5mmダウンカット)

3,000rpm の 5 次安定ポケットの高さは軸方向切込み 17mm,チタン合金の加工に使用したい 1,000rpm 付近では、安定ポケットを使用することはできず、無条件安定限界の軸方向切込み 8mm 以下で加工しなければならない。

2.3 最適不等ピッチ角の計算

CutPRO のミリングシミュレータにこの機能があるので、適応主軸回転数を 3,000rpm として計算してみると図 3 に示すように、33 度と 147 度の組み合わせが候補として考えられる。

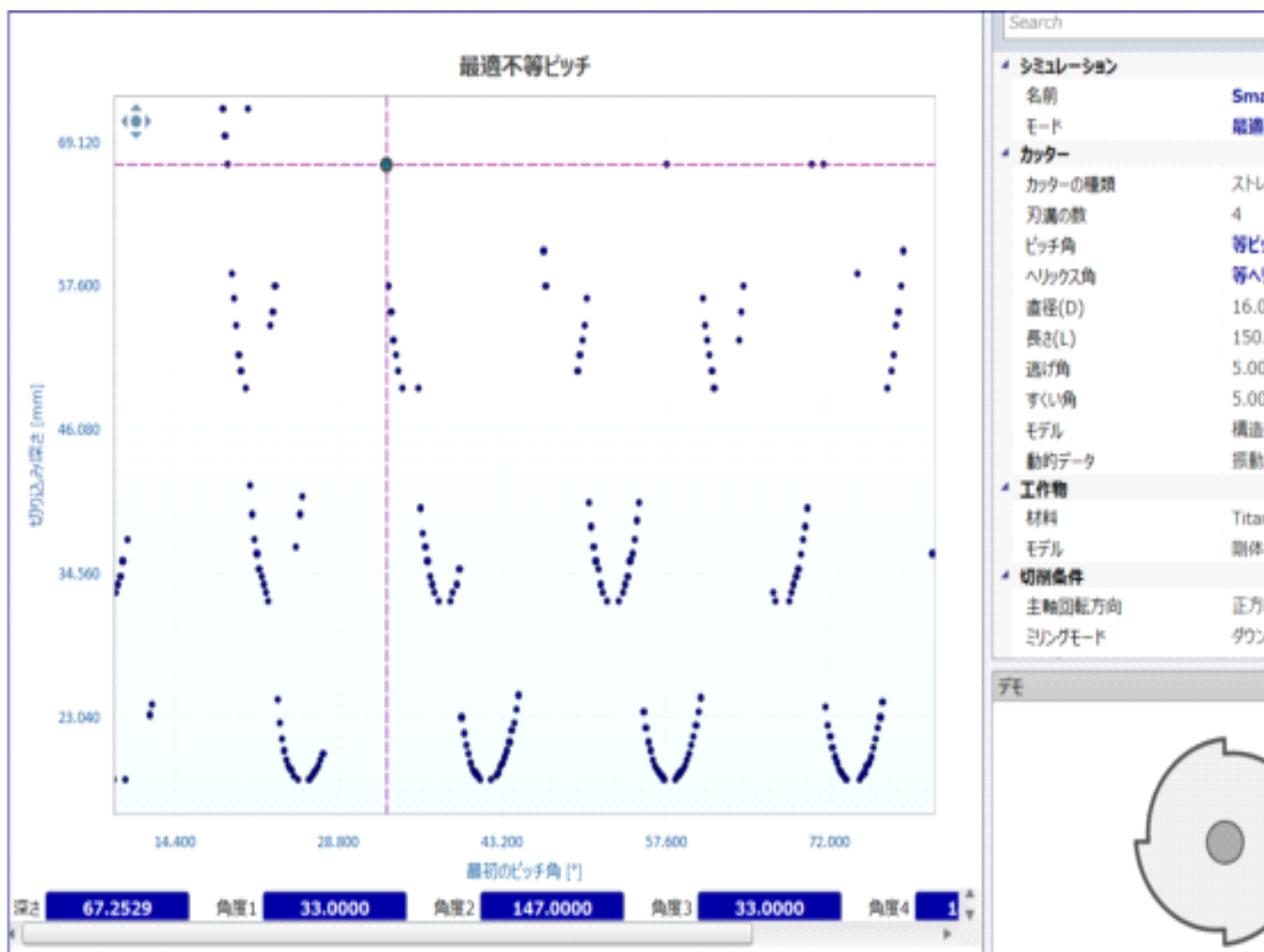


図 3 当該工具の最適不等ピッチ角の計算結果、
(半径方向切込み 0.5mm ダウンカット)

2.4 最適不等ピッチ角工具の安定限界線図



図4 4枚刃のピッチ間隔を33度,147度,33度,147度とした等ヘリックス角(30度)工具の安定限界線図,(半径方向切込み0.5mm ダウンカット)

最適角度の結果を用いて、4枚刃のピッチ間隔を33度,147度,33度,147度の不等間隔とし、ヘリックス角は各刃とも30度とした工具の安定限界線図は図4に見るように、3,000rpmで軸方向切込み18.6mmのピークが見られるが、安定ポケットの幅が狭いので軸方向切込み9mm程度が実用限度と考えられる。チタン合金の加工に使用したい1,000rpm付近では、不等ピッチの効果で、軸方向切込み20mmの安定ポケットがあり、等ピッチ工具の無条件安定切込みが8mmであったのに比べると軸方向切込みの増大効果が明確に認められる。

2.5 最適不等ピッチ角工具に30度/33度の不等ヘリックス角を付与した工具の安定限界線図

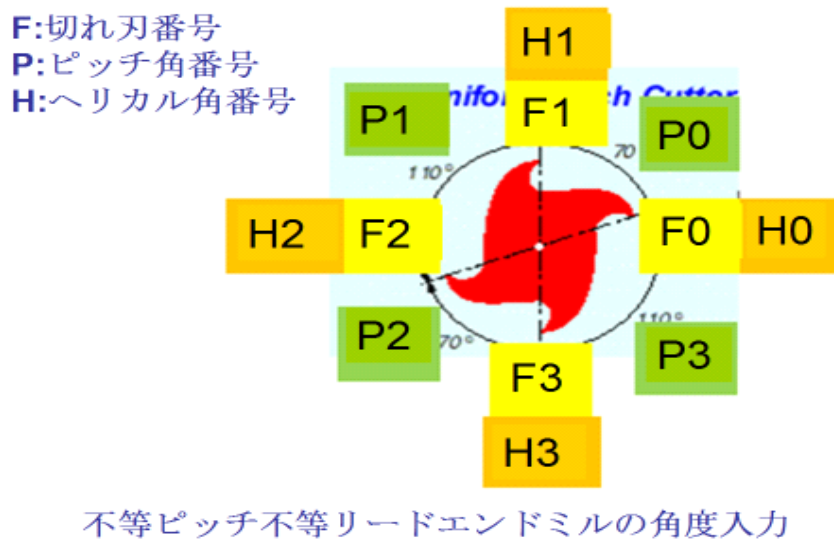


図5 不等ピッチ角工具に不等ヘリックス角を付与した工具のピッチ角とヘリックス角の配置

33度/147度の最適不等ピッチ角工具に30度/33度の不等ヘリックス角を付与した工具の安定限界線図は図6に見るように3,000rpmを含む安定ポケットの幅が広がってはいるが、安定ポケットの高さは軸方向切込み4.6mmであって、不等ヘリックス角度の付与によって、かえってびびり易くなっている。

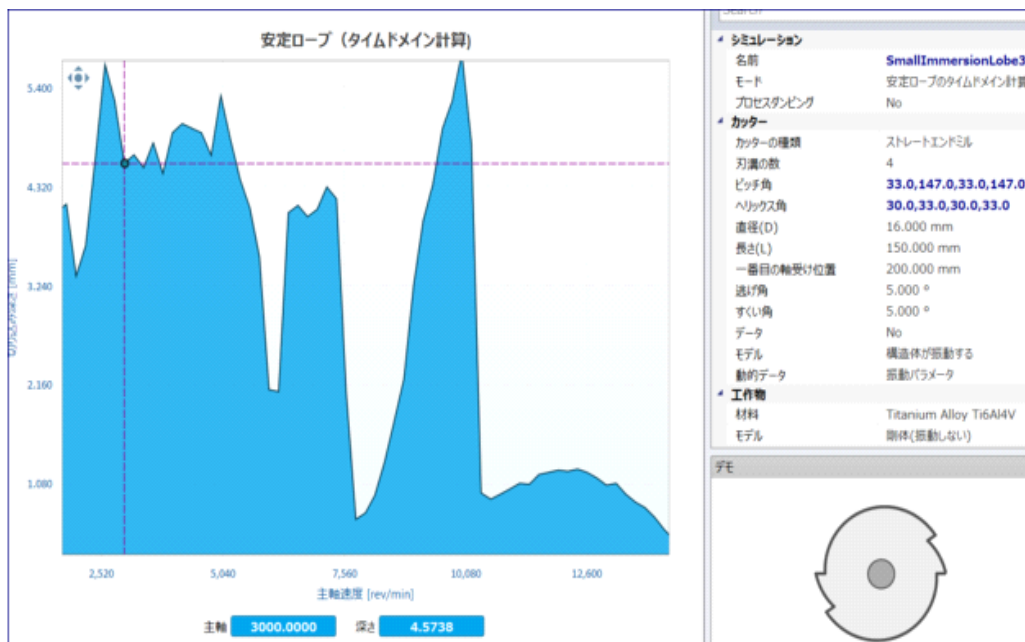


図6 最適不等ピッチ角工具に30度/33度の不等ヘリックス角を付与した工具の安定限界線図(半径方向切込み0.5mm ダウンカット)

2.6 不等ヘリックス角度差の増大

上記の 30 度/33 度の不等ヘリックス角度を、30 度/40 度、30 度/41 度、30 度/42 度、30 度/43 度、30 度/45 度と角度差を増加させた時の安定限界線図を図 7-1 から 7-5 に比較して並べてみる。

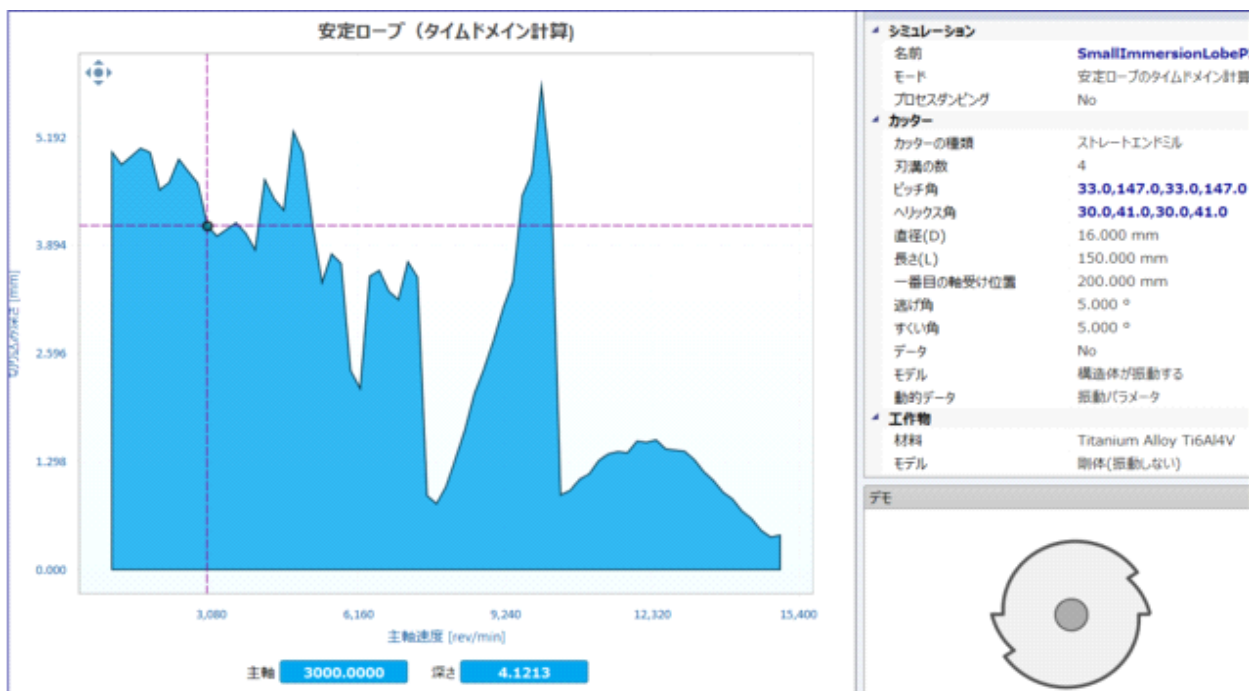


図 7-1 30 度/40 度

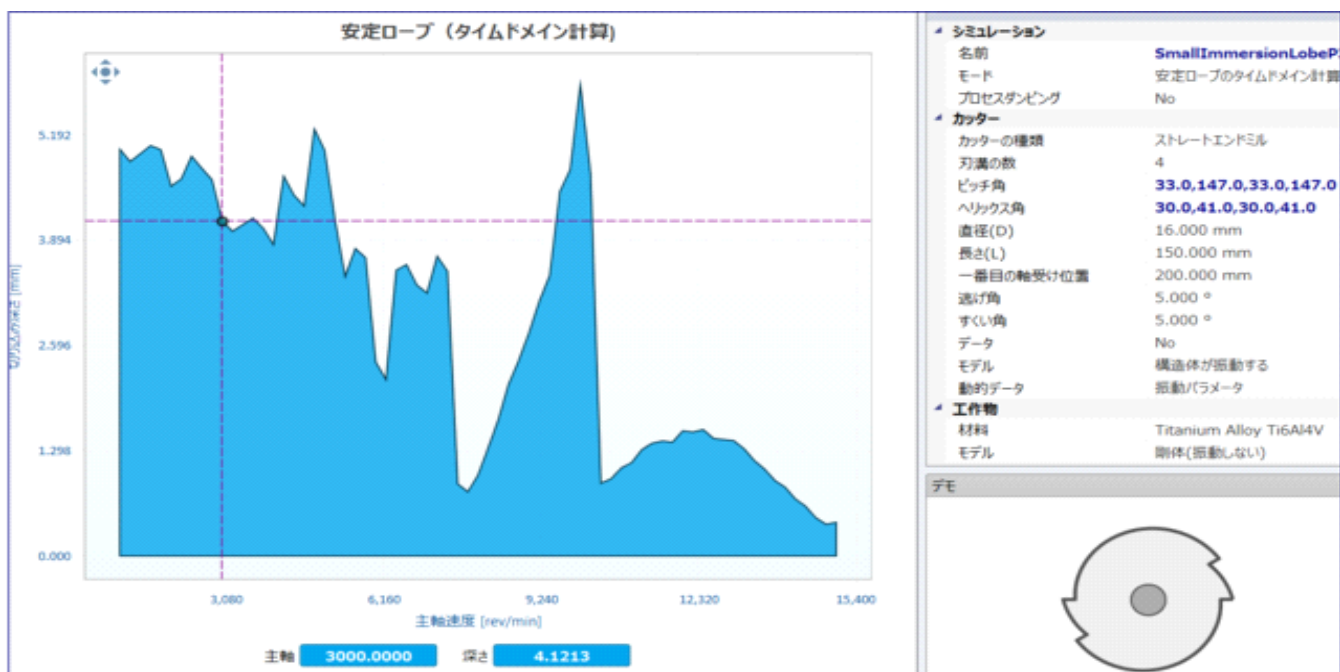


図 7-2 30 度/41 度

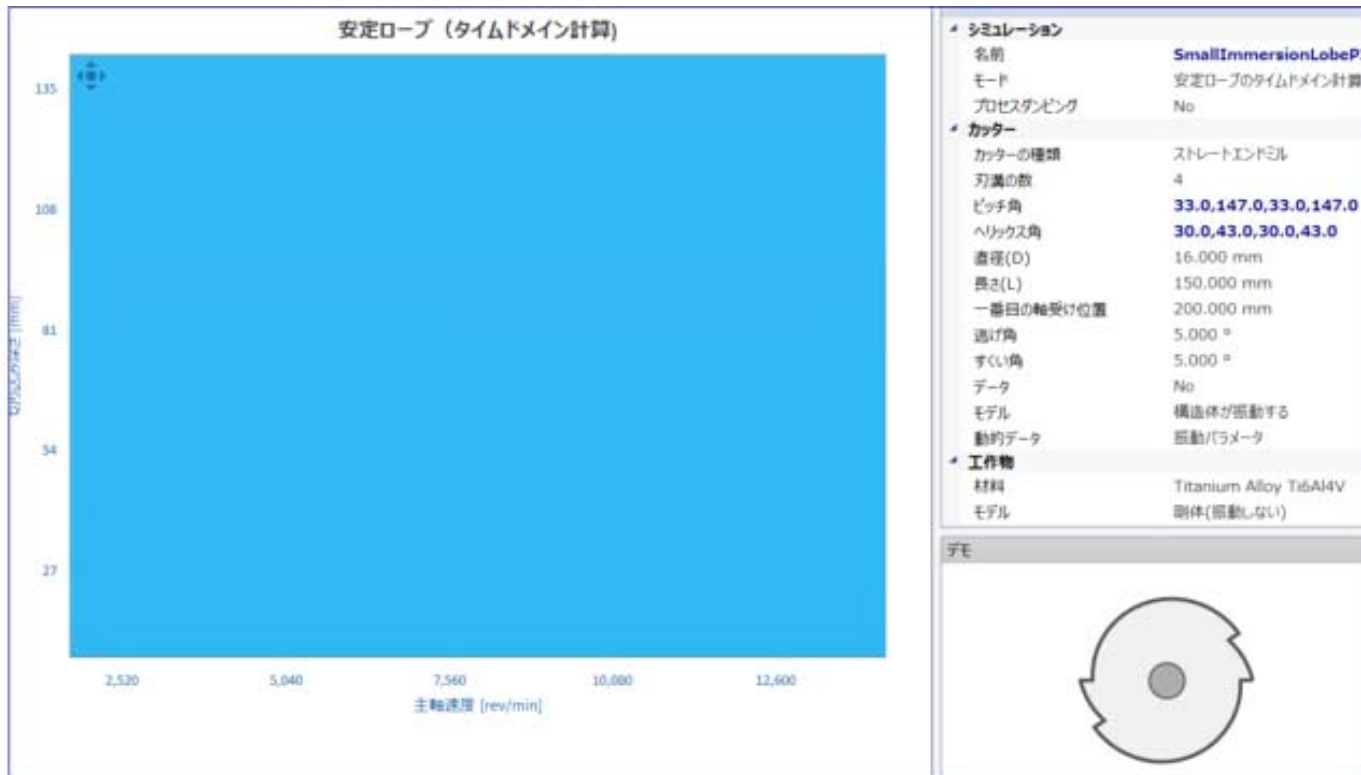


図 7-3 30度/42度

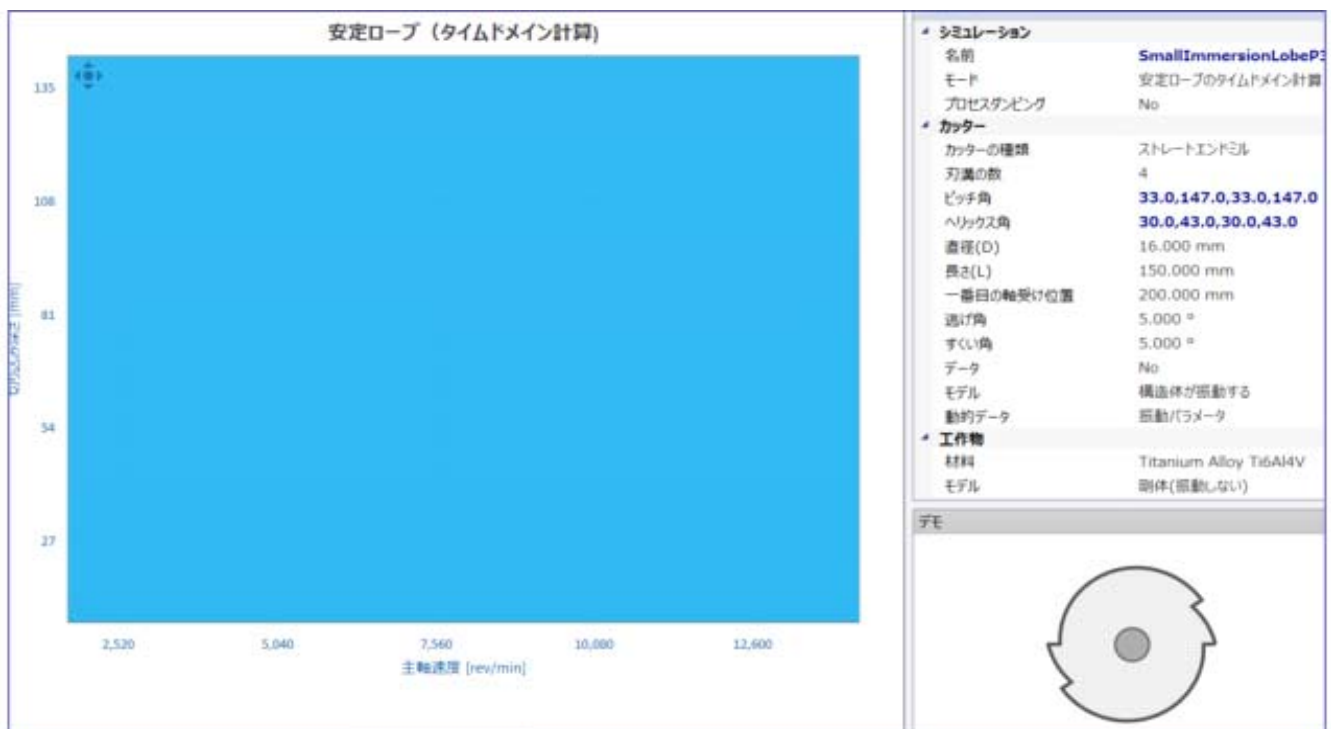


図 7-4 30度/43度



図 7-5 30度/45度

図 6 の 30 度/33 度から図 7-2 の 30 度/41 度までは、さしたる変化はないが、次の図 7-3 の 30 度/42 度では突如として安定限界が高くなり、軸方向切込みの計算が可能であった範囲 150mm を越える値となる。

つまり不等ヘリックス角度の効果は、30 度/42 度になると突然発現し、それ以後の図 7-4 30 度/43 度、図 7-5 30 度/45 度 においても、それ以上の変化は見られない。

この結果から、不等ヘリックス角度の効果は角度差がある程度に達すると突然発現し、角度差がそれ以上になっても効果に増減のないことが了解される。

また不等ヘリックス角度の効果が発現する場合には、そのびびり抑制効果は広い速度に亘って絶大である。

この実験例では、不等ヘリックス角度の効果が発現する境界の 30 度/42 度より少し大きい 30 度/45 度 (図 7-5) が実用上適当な不等ピッチ角であろうと考え

られる。

2.7 半径方向切込みが大きい場合の不等ヘリックス角の効果

以上は半径方向切込みが 0.5mm と小さい場合に、不等ピッチ/ヘリックス角工

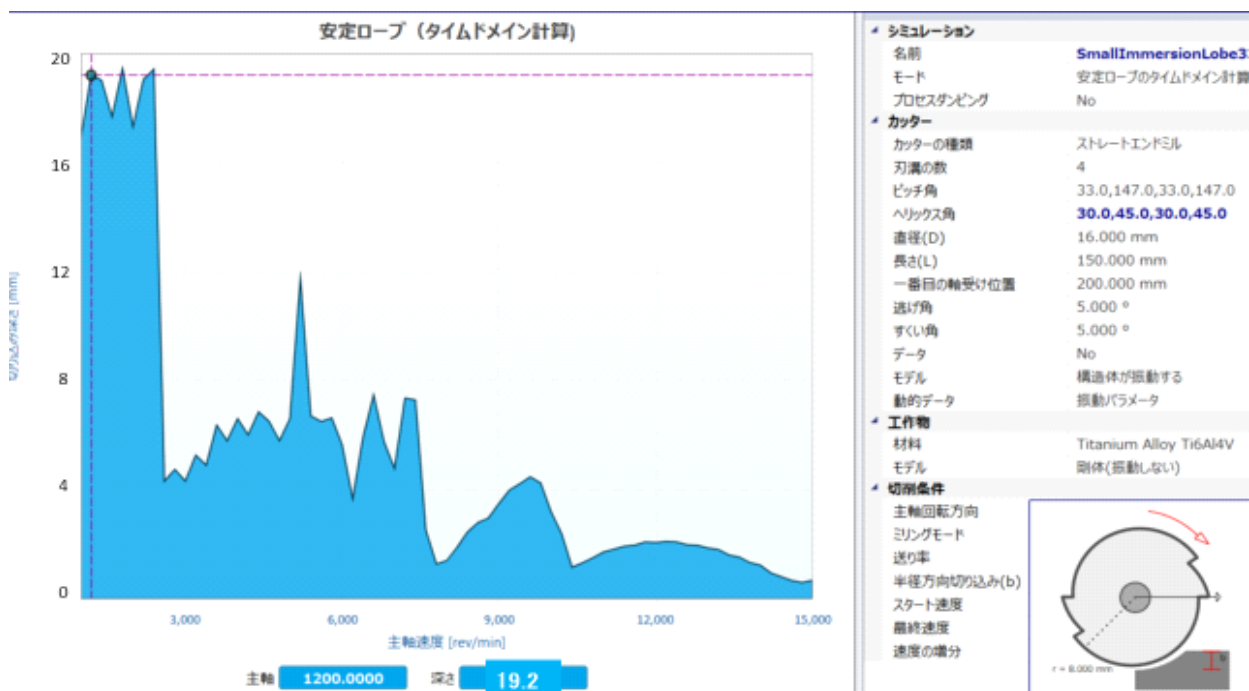


図 8-1 半径方向切込み 2mm ダウンカット

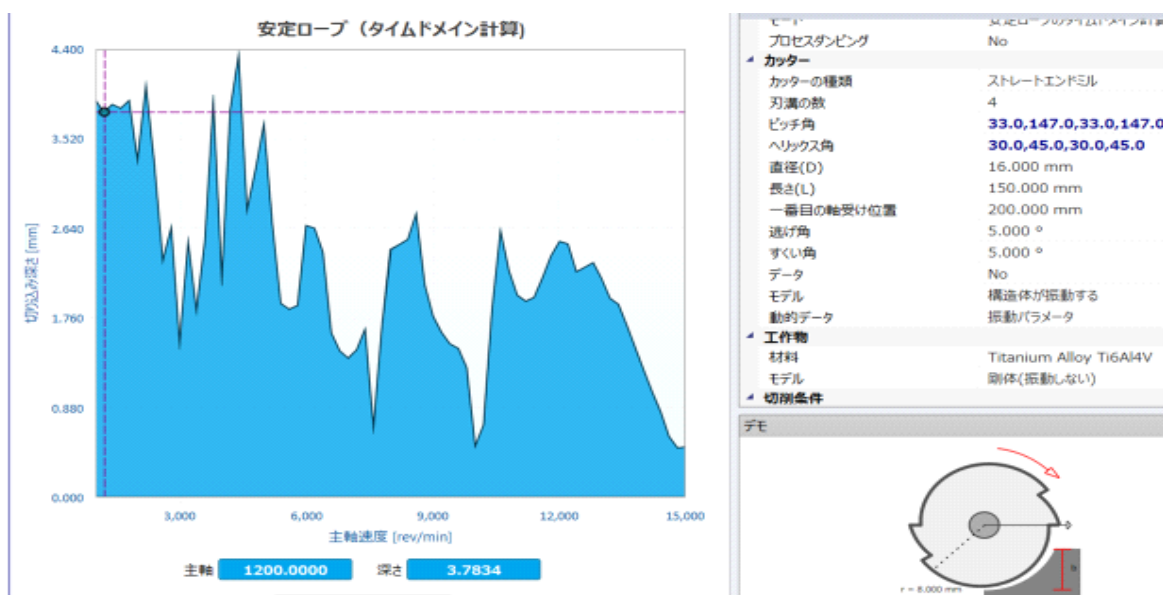


図 8-2 半径方向切込み 5mm ダウンカット

具が極めて有効であることを示した結果であるが、半径方向切込みを 2mm, 5mm と大きくした場合にはその効果がどのようになるかを計算した結果が図 8-1 および 図 8-2 である。半径方向切込みが大きくなると、不等ピッチ/ヘリカル角工具のびびり抑制効果が失われることが示されている。

3. 結論

CutPRO ミリングシミュレータのタイムドメイン安定限界計算機能を使用して、不等ピッチ/ヘリカル角工具が仕上げ加工においてびびりを抑制する効果を解析した結果、次の事が明らかとなった。

3.1 不等ピッチ角工具

不等ピッチ角の最適値を計算する機能により求めた不等ピッチ角工具は、チタン合金の加工に使用したい 1.000rpm 付近では、不等ピッチの効果で等ピッチ工具に比べると軸方向切込みの増大効果が明確に認められる。

3.2 不等ヘリックス角の付与

不等ヘリックス角の角度差が小さい場合にはさしたる変化はないが、角度差をある値まで大きくすると突如として安定限界が高くなる。

つまりその大きさの角度差を付与するとびびり抑制効果が、突然発現し、それ以上角度差を大きくしても、さらに上回る変化は見られない。

この結果から、不等ヘリックス角度の効果は角度差がある程度大きくすると突如発現し、角度差がそれ以上になっても効果に増減のないことが了解される。

また不等ヘリックス角度の効果が発現する場合には、そのびびり抑制効果は広い速度範囲で極めて大きい。

この実験計算例では、不等ヘリックス角度の効果が発現する境界の 30 度/42 度より少し大きい 30 度/45 度（図 7-5）が実用上適当な不等ピッチ角であろうと考えられる。

3.3 半径方向切込みが大きい場合

以上のように不等ピッチ/ヘリカル角工具の卓越したびびり抑制効果は、半径方向切込みが小さい場合にのみ発現し、半径方向切込みが大きい場合には消滅する。したがって、仕上げ加工にのみ有効であり荒加工には適していない。

以上