

「機械と工具」誌平成 27 年 12 月号掲載  
**安定ポケットの理解と実用**  
**応用事例 8**

**コーナ R 仕上げ加工のびびり回避**

**1. 概要**

等高線輪郭加工で曲面切削を行う際に、凹（へこ）み面のコーナ R 部はびびりが起こりやすいため、何らかの工夫を行って仕上げ加工することが必要である。

図 1 の左下側に示すように直線輪郭の仕上げ加工では、半径方向切込みをが小さいためびびりは起こり難い。しかし右下側に示すコーナ R に入ると、一瞬の間ではあるが、いわゆるインマージョン角が大きい状態となるためびびりが極めて起こりやすい。

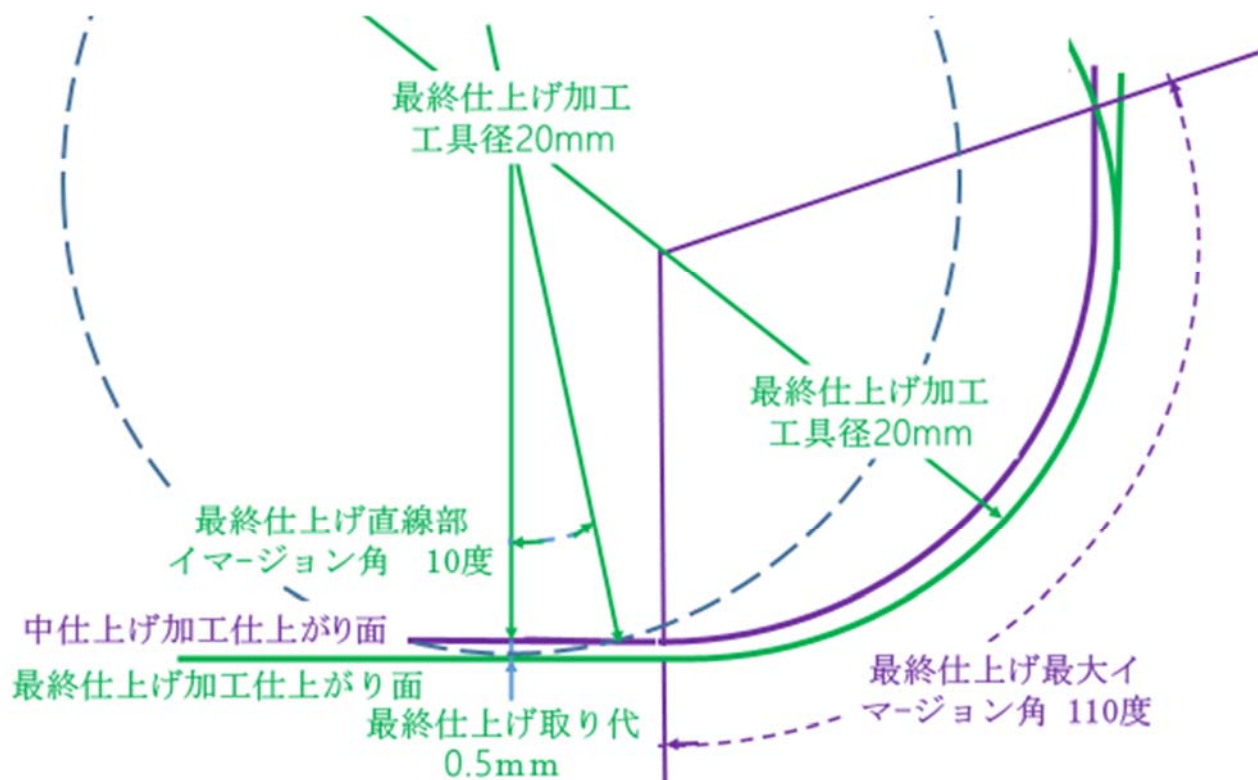


図 1 直線輪郭（左下側）とコーナ R 部（右下側）のインマージョン角の違い

ここに二つの方法を提案するが、二つの方法を同時に行うことも可能である。一つ方法は、通常複数切れ刃（二枚刃あるいはそれ以上）のカッターを用いるところを、仕上げ加工のみは一枚刃のカッターを用いてびびりを起こさずに加工を終了する。

もう一つの方法は、コーナRにおいてはインマージョン角が大きいいためプロセスダンピングの効果による低速安定性を用いることができるので、主軸速度を臨界回転速度以下に保つことによりびびりを防止する。

## 2. 一枚刃カッターと二枚刃カッターの比較

### 2.1 S45C 材加工の例

#### 2.1.1 例題工具

直径 20mm ストレートエンドミル ヘリカル角 30 度

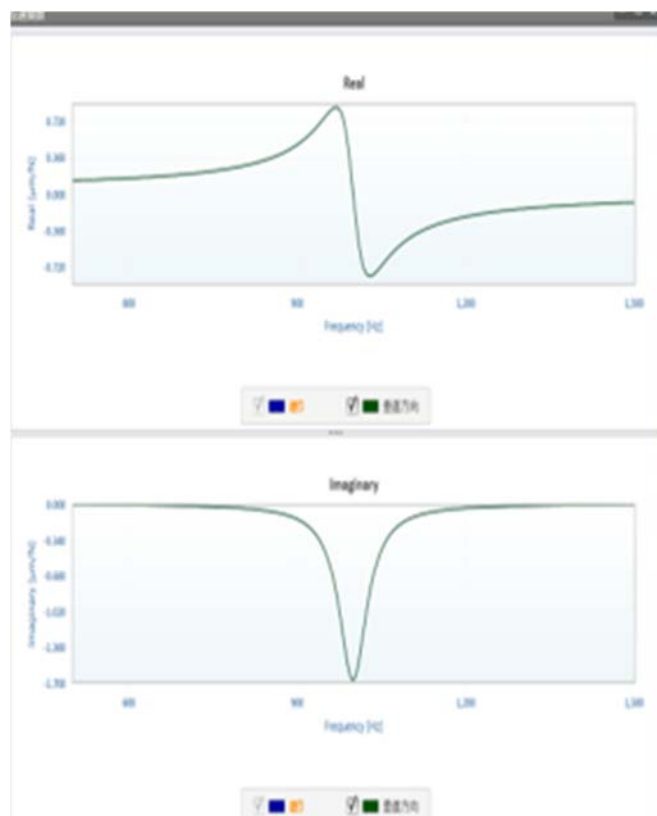


図2 コンプライアンス FRF の想定値  
固有振動数 1,000Hz 減衰比 0.03 モーダル剛性 10,000,000N/m

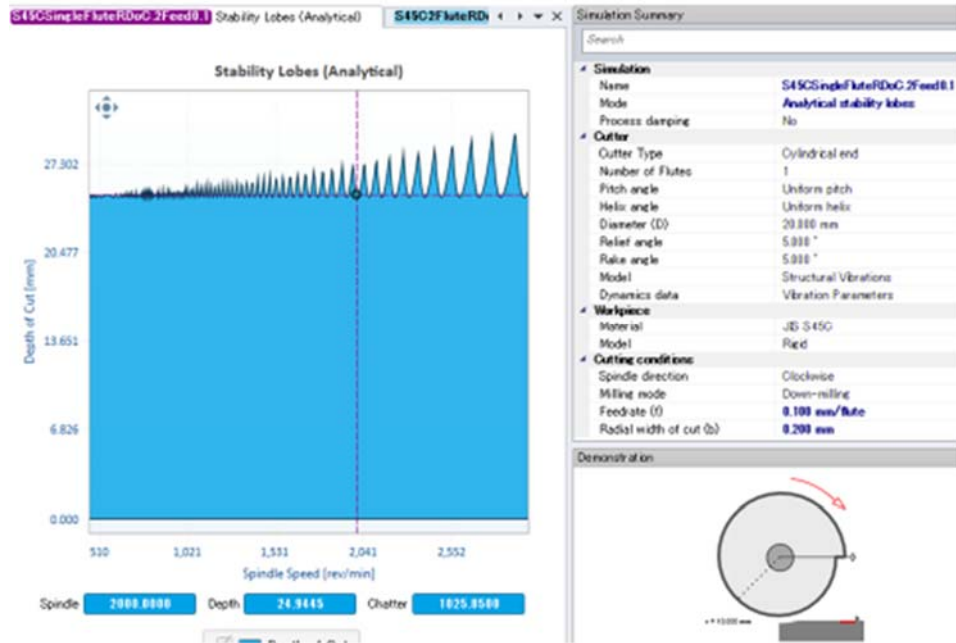


図3 半径方向切込み 0.2mm における安定限界線図の計算結果  
送り 0.1 mm/刃、刃数 1

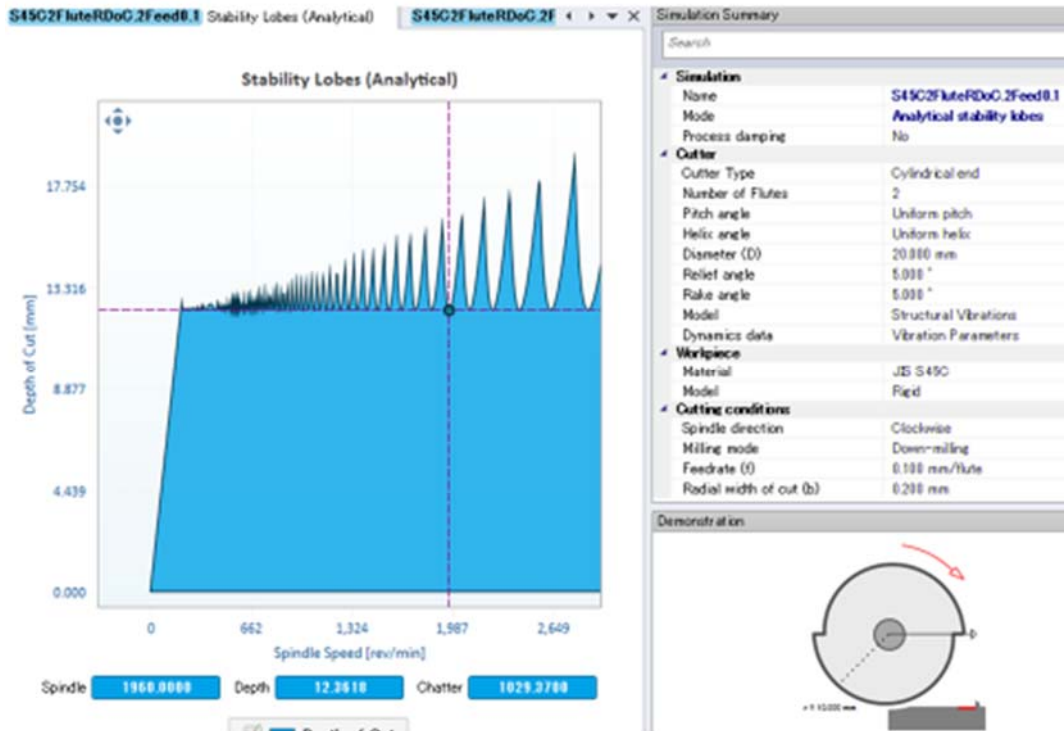


図4 半径方向切込み 0.2mm における安定限界線図の計算結果  
送り 0.1 mm/刃、刃数 2

安定ポケットが多数みられるが、いずれも幅が狭い次数の高い安定ポケットであるので使用できない。しかし無条件安定限界が大きいので、刃数1（図3）と刃数2（図4）を比べると、刃数1のほうが軸方向切込みを2倍取れることが判る。

仮に、仕上げ加工を主軸回転数 2,000rpm、半径方向切込み 1 mm、軸方向切込み 30mm、送り 0.2mm/刃で一枚刃カッターで加工する場合をシミュレーションしてみると、次の図5のように、びびりなく加工できることが判る。

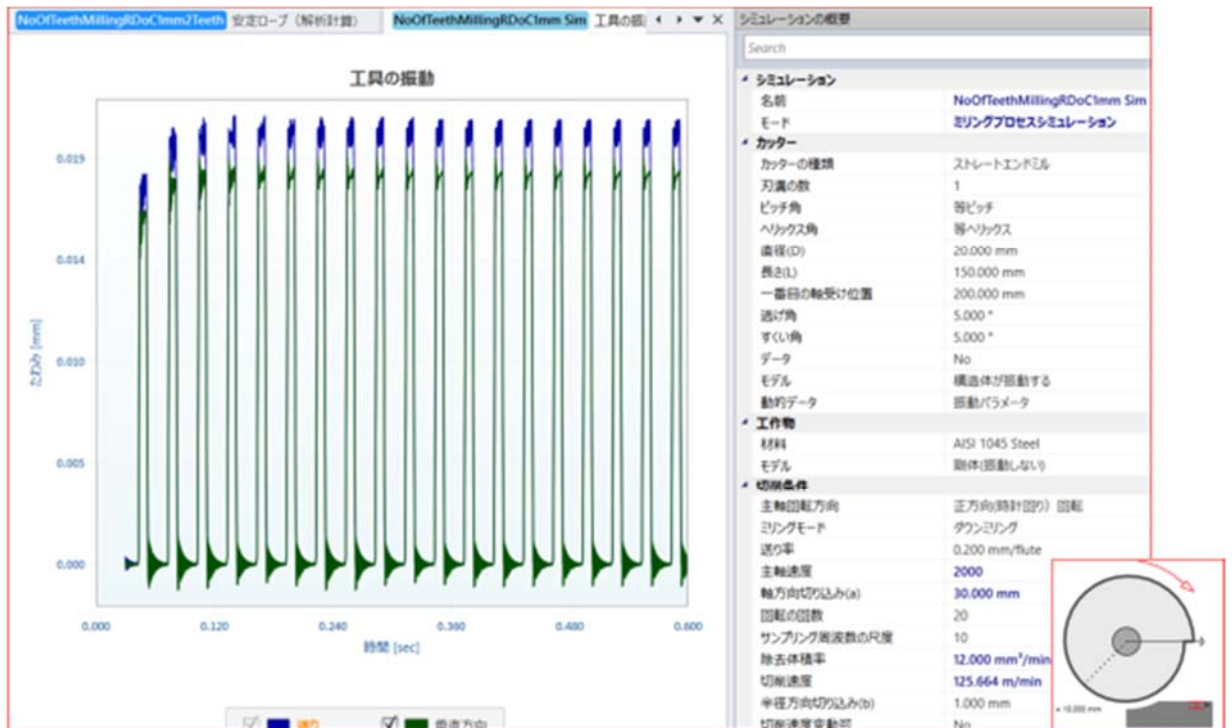


図5 1枚刃カッターのミリングプロセスシミュレーション結果  
主軸回転数 2,000rpm、半径方向切込み 1 mm  
軸方向切込み 30mm、送り 0.2mm/刃

コーナRの加工でびびり易いのは、切れ刃が加工開始してから終了するまでの回転角が大きくなるためであり、この角度はイマージョン角と呼ばれている。

イマージョン角が 120 度まで大きくなる状況は、半径方向切込みが 12 mmまで大きくした状況に該当するので、その状況をシミュレーションしてみると、次の図6のようにびびりを生じずに加工できることが判る。

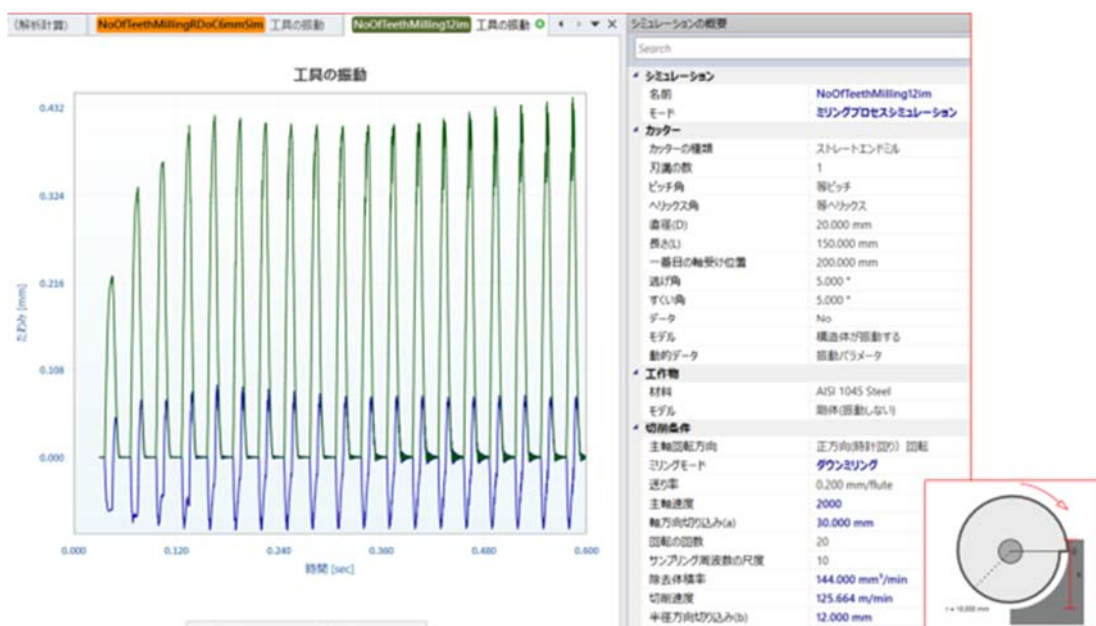


図6 インマージョン角 120 度の場合の 1 枚刃カッターシミュレーション結果  
主軸回転数 2,000 r p m、半径方向切込み 12mm 軸方向切込み 30mm、送り  
0.2mm/刃

しかし次の図 7 は半径方向切込みを 14 mm まで大きくし、イマージョン角を 140 度までとするとびびりを生じることを示している。したがってこの条件ではイマージョン角 120 度まではびびりを起こさずに仕上げ加工できることがる。

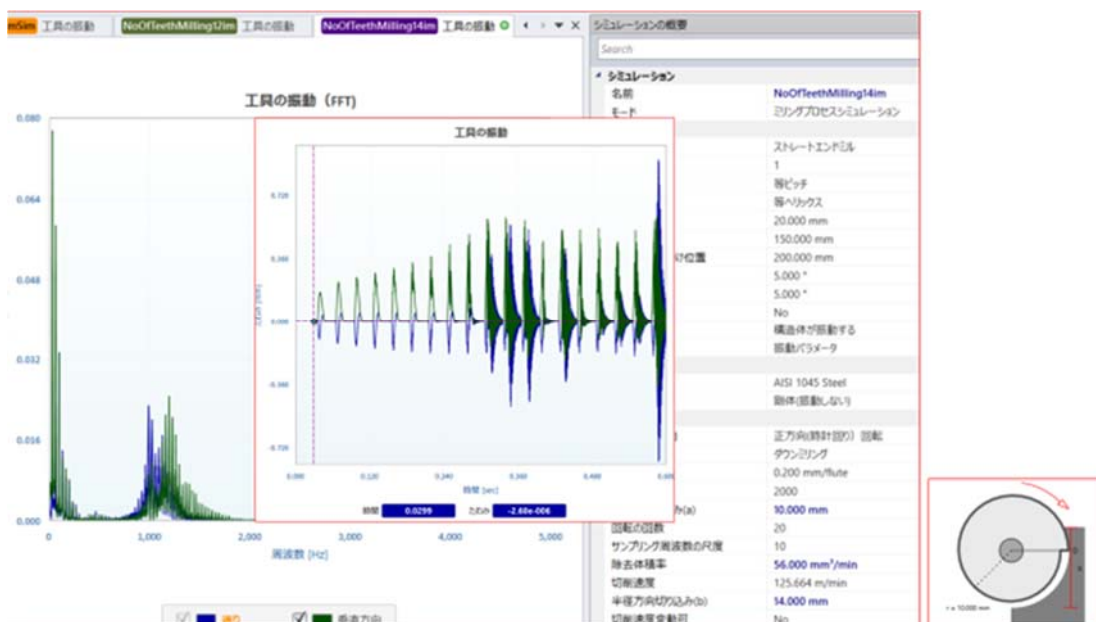


図7 インマージョン角 140 度の場合の 1 枚刃カッターシミュレーション結果  
主軸回転数 2,000 r p m、半径方向切込み 14mm  
軸方向切込み 30 mm、送り 0.2mm/刃

以上の結果から、一枚刃と二枚刃ではびびり易さが大きく異なり、一枚刃のカッターが極めてびびりにくくイマージョン角 120 度くらいまではびびらないことが判る。

## 2.2 アルミ材 7050-T7451 材加工の例

### 2.2.1 例題工具

直径 20mm ストレートエンドミル ヘリカル角 30 度

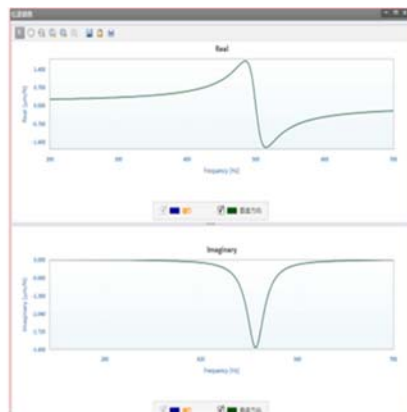


図8 コンプライアンス FRF の想定値  
固有振動数 500Hz 減衰比 0.03 モーダル剛性 5,000,000N/m

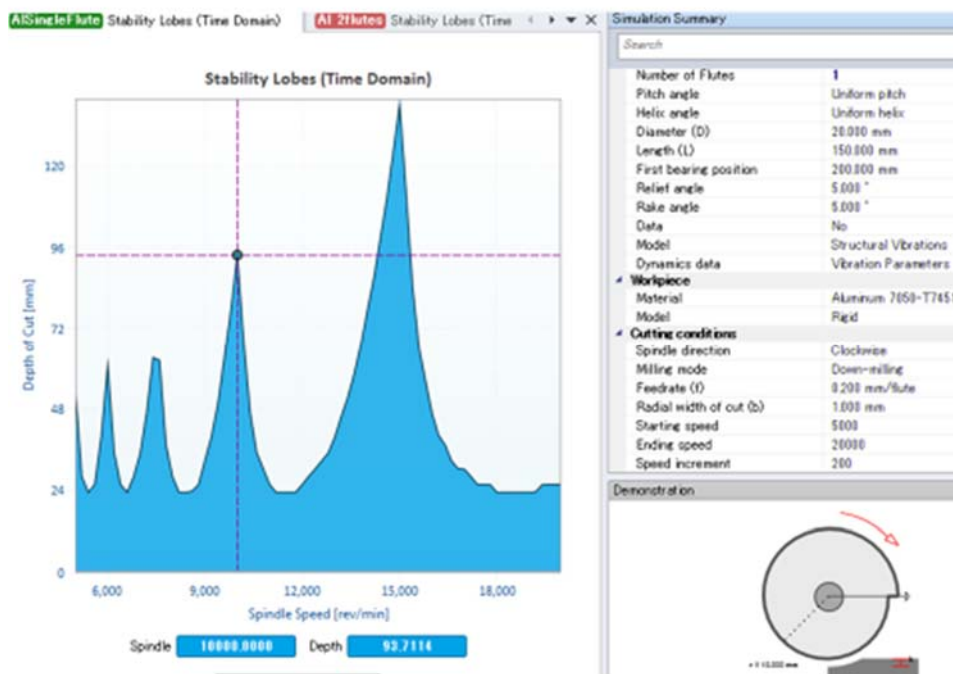


図9 半径方向切込み 0.2mm における安定限界線図の計算結果  
送り 0.1 mm/刃、刃数 1

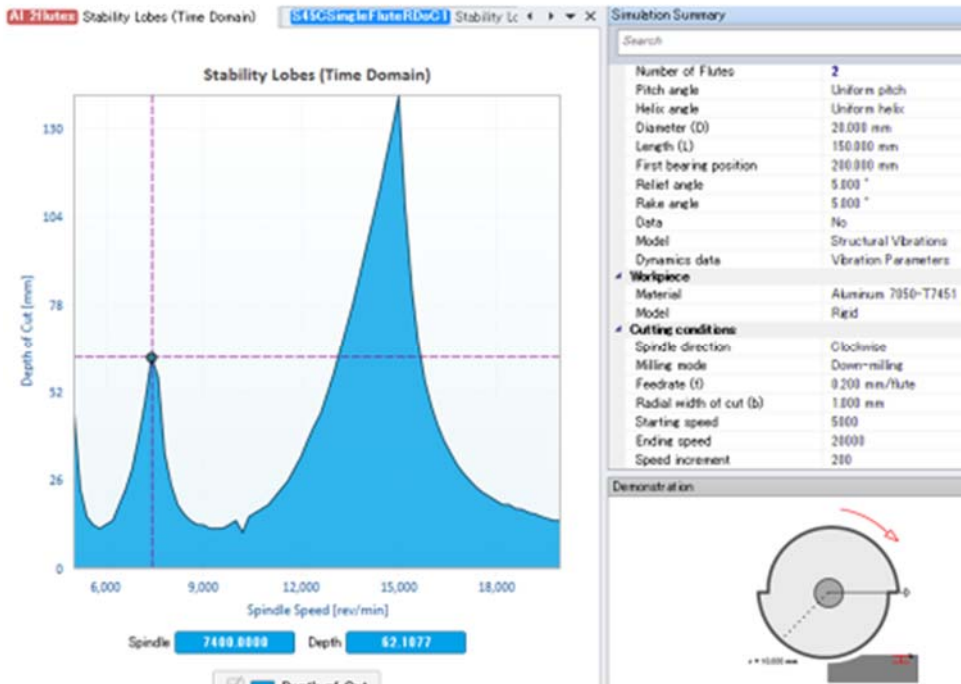


図 10 半径方向切込み 0.2mm における安定限界線図の計算結果  
送り 0.1 mm/刃、刃数 2

上の刃数二つを比較するといずれも顕著な安定ポケットが示されており、使用機械の主軸回転数が 10,000rpm に制限されているとすれば、上の図 9（刃数 1）では 3 次の安定ポケット 10,000rpm を使用すれば軸方向切込み 90mm まで使用できそうである。

下の図 10（刃数 2）では 2 次安定ポケット 7,400rpm により軸方向切込み 60mm まで使用できそうである。

仮に、仕上げ加工を主軸回転数 10,000rpm、半径方向切込み 1 mm、軸方向切込み 30mm、送り 0.2mm/刃で一枚刃カッターで加工する場合をシミュレーションしてみると、次の図 11 のように、びびりなく加工できることが判る。

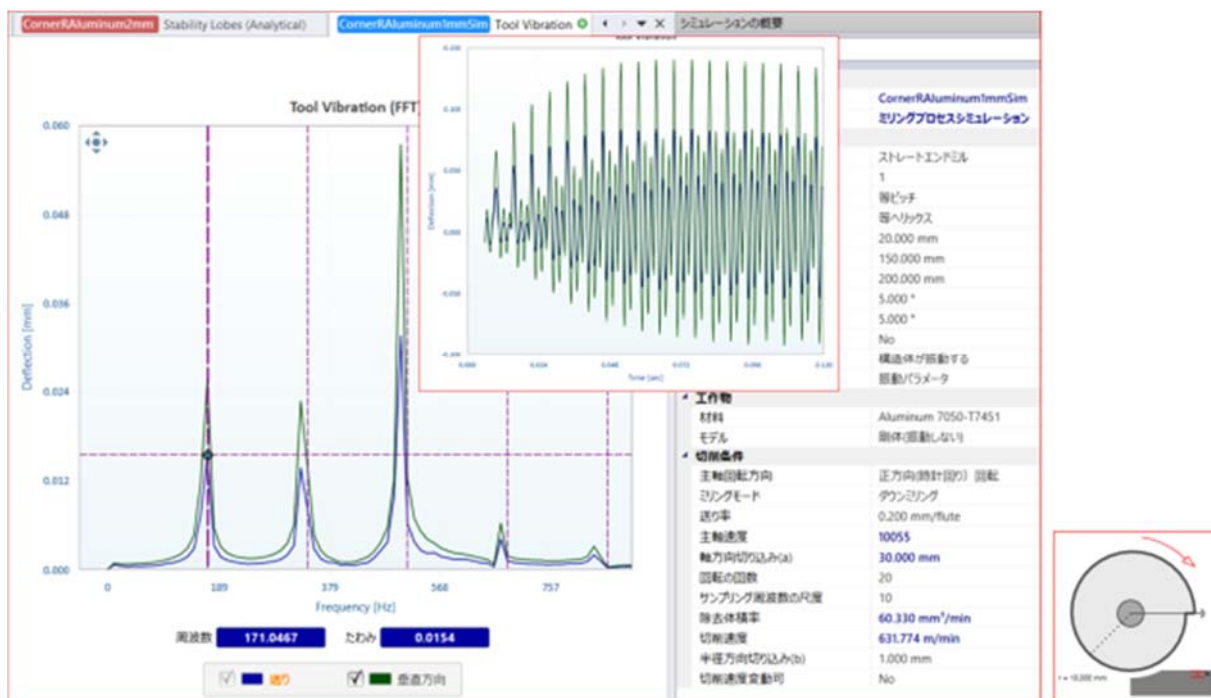


図 1 1 1 枚刃カッター主軸回転数 10,000rpm、半径方向切込み 1 mm  
軸方向切込み 30 mm、送り 0.2mm/刃

イメージン角がどれくらいまでびびらずにコーナ加工ができるか調べるために、半径方向切込みを 8 mm まで大きくしてみる。

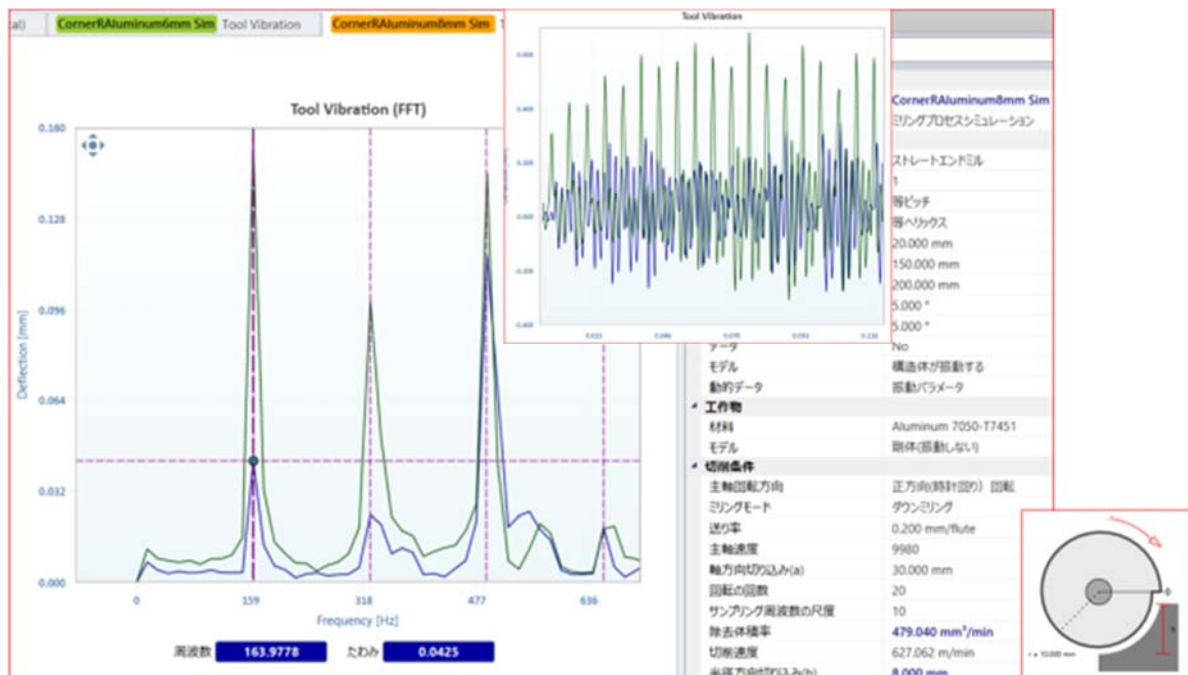


図 1 2 1 枚刃カッター半径方向切込み 8mm (イメージン角 84 度)



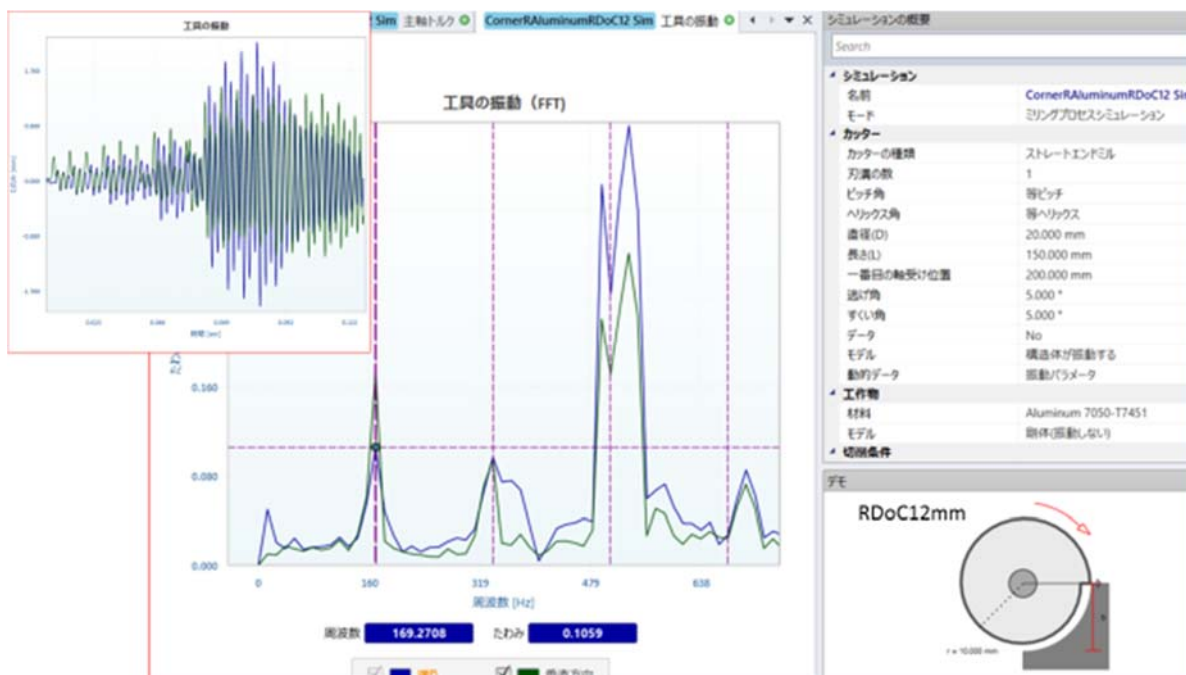


図 13 1 枚刃カッター半径方向切込み 12mm（イマージョン角 94 度びびり発生）

半径方向切込み 8 mm まで（イマージョン角 84 度）はびびりなく、12 mm（イマージョン角 94 度）に達すると初めてびびりを生じる。イマージョン角が 90 度くらいまでの状況では、コーナ R の仕上げ加工に使用できることが判る。以上の結果から、一枚刃と二枚刃ではびびり易さが大きく異なり、一枚刃のカッターが極めてびびりにくく、イマージョン角 90 度くらいまではびびらないことが判る。

### 3. プロセスダンピングによる低速安定性の利用

#### 3.1 加工例題の概要

工作物材質：S50C 鋼 使用工具：1 枚刃 超硬ソリッドエンドミル D10mm

#### 3.2 工具先端動特性 FRF 測定結果と臨界切削回転速度

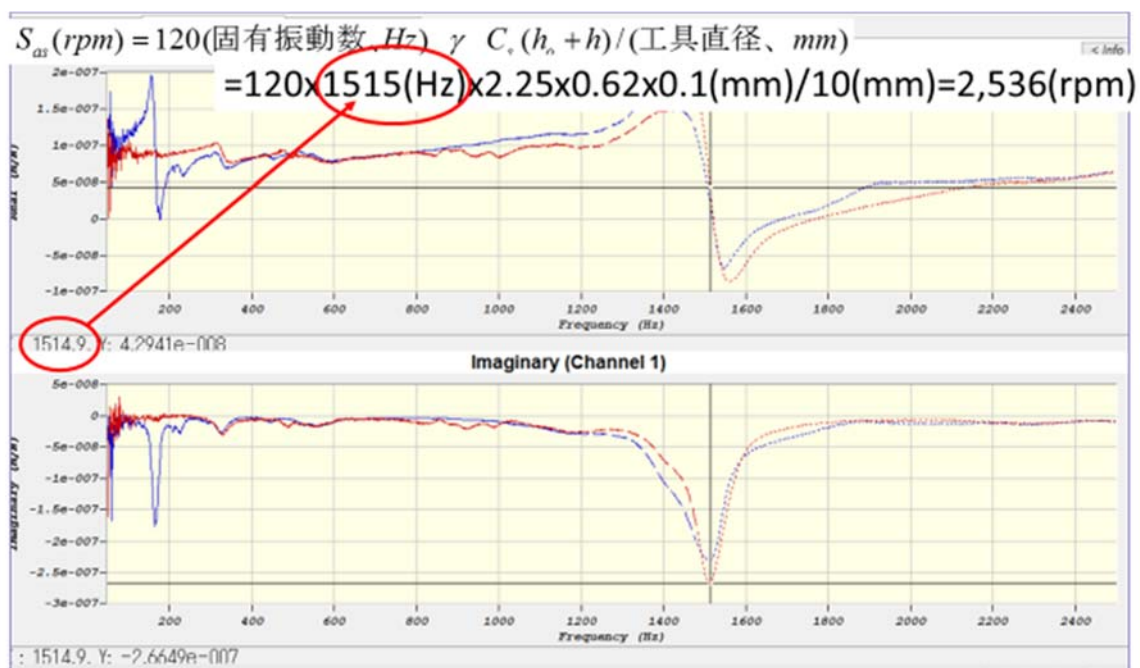


図 1 4 工具先端動特性 FRF 測定結果と臨界切削回転速度  
1 枚刃 超硬ソリッドエンドミル D10mm  
インマージョン角 90 度 ( $C_s=0.62$ )

臨界切削回転速度は 2,536rpm と計算されたので、2,500rpm(切削速度  $V=78.5\text{m/min}$ ) とすれば、コーナ R においても低速安定性が効いてびびらないはずである。

### 3.3 直線輪郭部における安定限界線図

直線輪郭部分も当然同じ 1 枚刃のカッターで、同じ切削条件でびびりなく加工できることが必要である。

CutPRO により解析すると図 15 に示すように無条件安定限界切込み 60mm までにはびびらずに加工できるみとうしである。

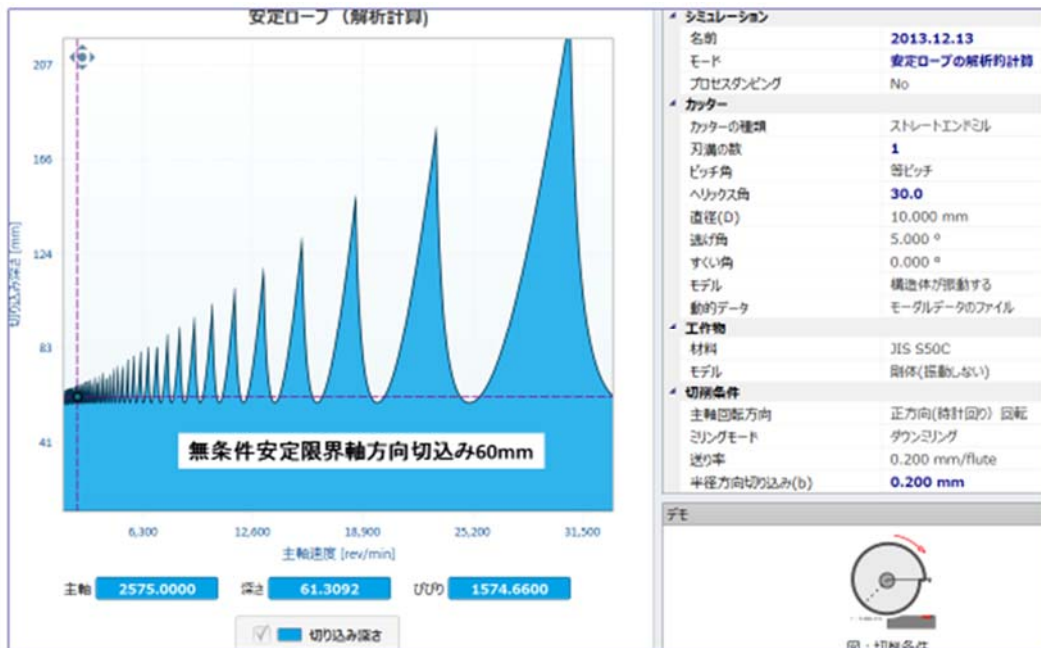


図 15 1 枚刃カッターによる直線輪郭部加工時の安定限界線図

#### 4. 結論

いわゆるインマージョン角が大きい状態となるためびびりが極めて起こりやすいコーナRの仕上げ加工のびびりを防ぐために、二つの方法を提案した。

一つ方法は、通常複数切れ刃（二枚刃あるいはそれ以上）のカッターを用いるところを、仕上げ加工のみは一枚刃のカッターを用いてびびりを起こさずに加工を終了する。

もう一つの方法は、コーナRにおいてはインマージョン角が大きいためプロセスダンピングの効果による低速安定性を用いることができるので、主軸速度を臨界切削回転速度以下に保つことによりびびりを防止する。

一つ目の一枚刃カッターを用いる方法はを用いれば、鋼材、アルミ合金のいずれの加工であってもびびりを防いで加工することができる。

二つ目の低速安定性を用いるため、コーナR部に対応する臨界切削回転速度を求めて、それ以下の回転数で加工する方法は、一枚刃のカッターを使用すれば、鋼材の仕上げ加工に有効である。アルミ合金の場合には、使用すべき臨界切削回転速度が低すぎるので実用できない。

以上