

---

# インドネシア技術評価応用庁 BPPT (インドネシア) 研修報告書

## 金属切削加工中に発生するびびり振動に関する研究

工学研究科 機械システム工学専攻 摩尼 京亮

### 1. はじめに

2017年8月21日から同年9月20日までの間、インドネシア技術評価応用庁 BPPT において研究活動を行った。以下に報告を行う。

### 2. 共同研究課題の決定

機械加工システム研究室において切削加工中に発生するびびり振動に関する研究を BPPT からの留学生と共同研究を行なっている。BPPT の DELPHI 研究室では森精機製 NT4300DCG (七軸複合加工機) を所有しており、この工作機械を用いて加振実験と切削実験を行い、BPPT 職員の方との共同実験を行なった。

### 3. 共同研究スケジュール

8月21日 出国  
8月22日 研究開始  
9月19日 帰国

### 4. 共同研究先の概要

派遣先: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
所在地: インドネシア 南タンゲラン  
指導教員: Dr. MAHFUDZ ALHUDA

### 5. 共同研究の内容

#### 5.1 概要

複雑な三次元の切削加工において、加工中に工具・被削材間でびびり振動が発生すると、加工面上でびびり痕が残り、仕上げ面が悪くなる。びびり振動によって起こる加工能率や加工面精度の低下の影響を小さくするためには発生するびびり振動の詳細な解析が必要である。私の研究では切削中に発生するびびり振動について、HHT 解析を行って解析を行い、その解析方法の有用性を示すことを目的とする。

#### 5.2 実験方法と結果

まず工具主軸側のハンマリングテストに使用した実験装置は、切削実験で使用する工具と同じ形状・同じ材料の金属棒を用意しその先端に加速度変換器を取り付け、棒の先端付近でインパルスハンマーを用いて XYZ 軸方向にそれぞれ加振を行った。インパルスハンマーのデータと三軸の加速度変換器のデータはオシロスコープを用いて取得した(図1)。このデータを用いて Stability lobe diagram(図2)を作成し、切削加工中に発生する不安定振動の発生予測を行った。縦軸に切り込み深さ、横軸に工具回転数を示しており、青色の葉状線が安定限界線で、びびり振動が発生しやすい不安定領域と安定領域の境界線を示す。この結果から切削条件は工具回転数を 3750rpm、切り込み深さ  $a$  を 0.33mm の不安定領域で切削を行うことにした。切削実験の装置に関しては、チャックに円筒型の被削材を設置して、その先端に三軸の加速度変換器を取り付け、チャックの回転角を固定し、径 6mm のボールエンドミルを用いて被削材側面の切削を行った(図3)。円筒型の被削材の径方向の切り込み深さ  $a$  を一定にして切削を行った。三軸の加速度変換器によって得られたデータはオシロスコープを用いて取得を行った。

---

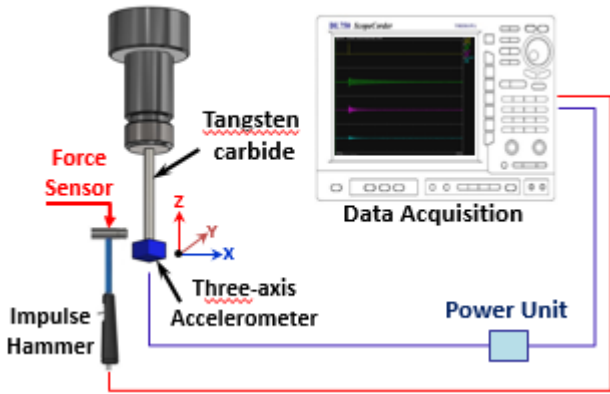


図1 ハンマリングテスト概略図

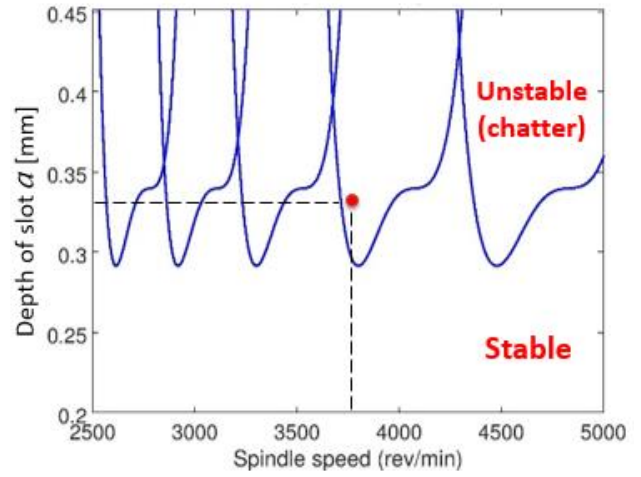


図2 SLD 解析結果

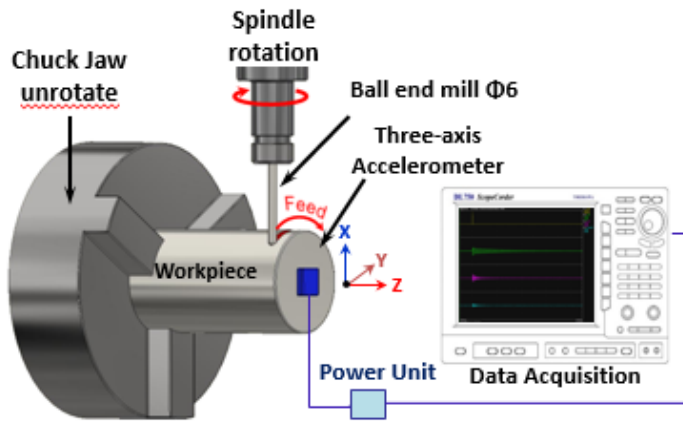


図3 切削実験概略図

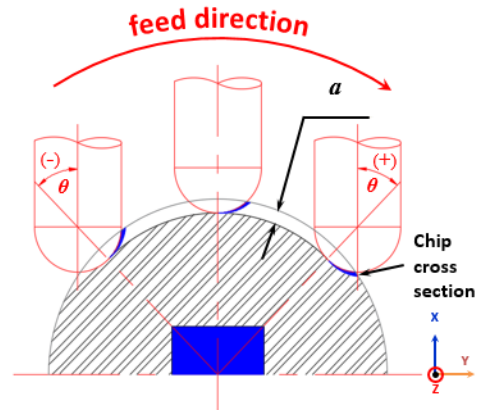


図4 工具の傾斜角

工具の傾斜角を  $\theta$  とおき(図4), 今回は+25度から+28度での切削実験で得られた振動データを用いて HHT 解析を行う. 図5に示しているのが工具傾斜角が25度から28度での切削実験のデータで縦軸が加速度の大きさ, 横軸が工具の傾斜角を示す. 図6に図5のデータを用いて HHT 解析を行った結果を示す. 縦軸が周波数, 横軸が工具の傾斜角, 色がカラーバーを用いて振幅の大きさの二乗値であるパワーを色で示している. これらのグラフから26度を過ぎたあたりで支配的な周波数モードと振幅の大きさが変化していることが分かる.

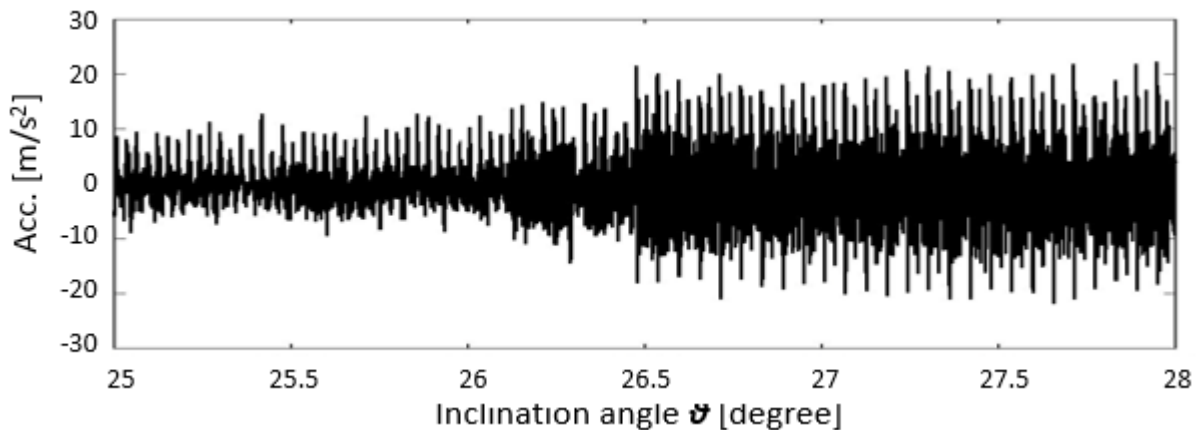


図5 工具傾斜角+25度から+27度の加速度データ

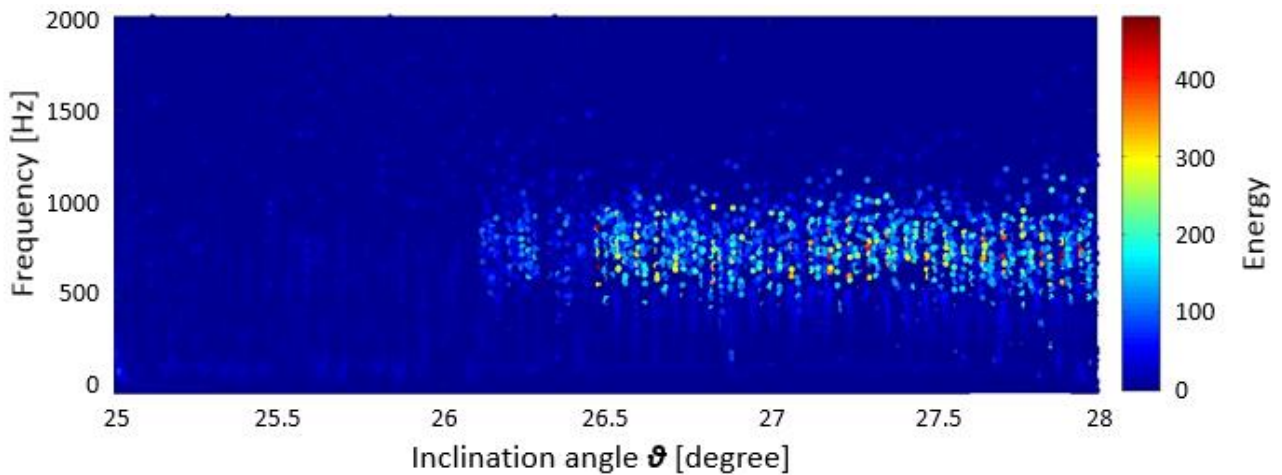


図6 HHT 解析結果

まず周波数に関して、工具傾斜角 25.5 度と 27 度の二つの角度での FFT 解析結果(図7, 図8)を見ると、25.5 度では工具通過周波数 125Hz とその高調波で振動しており、不安定振動周波数 800Hz も確認できる。27 度の結果をみると 25 度と同様に工具通過周波数とその高調波が見られ、800Hz 付近に見られた不安定振動周波数の影響が 25 度と比べて大きくなっていることが分かる。

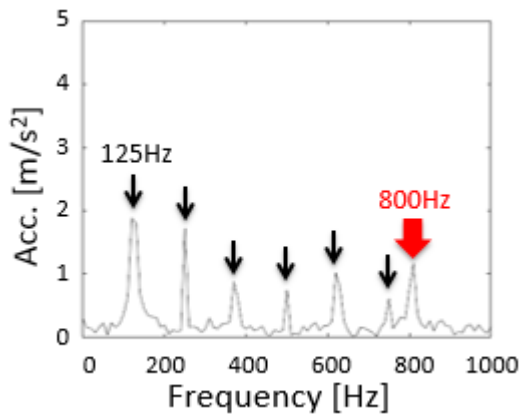


図7 25.5度でのFFT解析

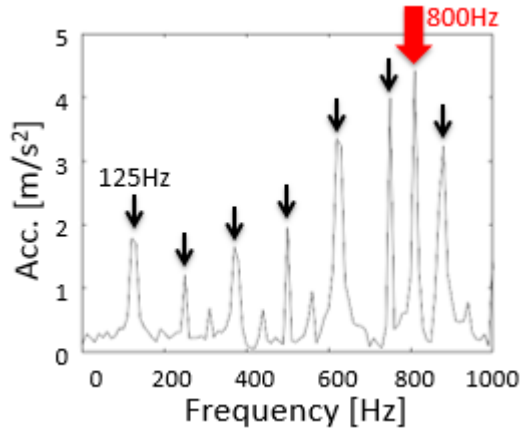


図8 27度でのFFT解析

この変化の考えられる要因として、図9に示すように工具傾斜角 26.12 度で工具の先端が被削材表面に達し、26.12 度を過ぎると先端は被削材に接しなくなることが分かる。上の HHT 解析結果では、右側の 26.12 度付近より工具の傾斜角が小さい角度、工具先端が被削材に接している時の振幅の大きさに比べて、左側の大きい角度、工具先端が被削材に接していない時の振幅の大きさの方が大きくなっていることが分かり、工具先端と被削材の接触点における減衰効果が考えられる。また被削材に対する工具傾斜角が変化するにつれて工具における切削力の方向とその大きさの変化が、びびり振動に影響をしていることも考えられる。

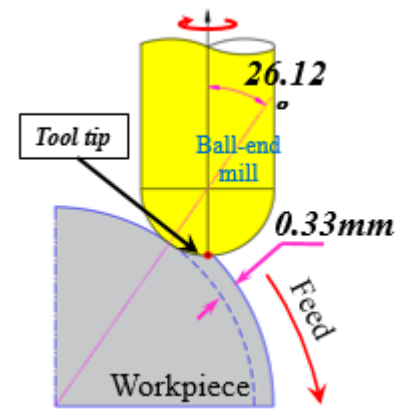


図9 概略図

このように HHT 解析を用いることで時間周波数解析を得ることで、時間変化する周波数・振幅の大きさをみることができ、これらの変化を考察することで、びびり振動解析の方法としての有用性を示すことができる。今後の予定としては、HHT 解析の結果より情報量の計算を用いて特徴抽出を行い、びびり振動発生の定量的な評価を行う。また被削材の表面荒さの測定を行い、解析結果と表面荒さとの関係の評価も行う。引き続き実験データの考察も行って行く予定である。

---

## 6. まとめ

4週間という短い期間ではあったが、BPPTでの滞在で派遣先の研究室の方々と関係を深めることができた。実験の際には他の研究室の職員の方も実験や研究発表に来ていただいたり、多くの職員の方と協力しながら研究活動を行うことができた。研究施設内では英語でのコミュニケーションがとることができ、インドネシアでの日々の生活も含めて大変貴重な体験であった。BPPTでの実験から得られたデータを用いて引き続き研究を行っていく予定である。

## 7. 謝辞

今回のインドネシアでの共同研究ではお世話になった Dr. MAHFUDZ ALHUDA, 研究室の職員の皆様、また実験装置の提供など、共同実験に協力していただいた他研究室の方々に大変感謝をしております。またインドネシアでの生活を支えていただいた Amin さんにも大変感謝をしております。このような貴重な機会を与えてくださった学生支援グループの国際事業担当の皆様、共同研究のサポートをしていただいた山田啓司教授、実行委員会の諸先生方に感謝しております。

---