

報告番号	甲 第 13245 号
------	-------------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 バニシングプロセスを伴うワイパー旋削時  
特有の再生びびり振動に関する研究  
(Unique Regenerative Chatter in  
Wiper-Turning Operation with  
Burnishing Process)

氏 名 廣瀬 光典

## 論 文 内 容 の 要 旨

部品製作の現場において利益を増大させるには生産性向上が重要となっている。生産性を表現する指標の一つとして稼働率がある。この稼働率には部品製作のラインが止まらずに流れている時間が重要となるが、この時間は加工時間と非加工時間に分解できる。非加工時間にはワーク着脱時間、部品搬送時間などが含まれる。生産性向上を目指し、非加工時間の短縮のためには高速搬送装置の使用やワーク着脱時間の短縮などが行われている。一方、加工時間の短縮のためには、切込み量を増やしてパスを減らして送り速度や切削速度といった加工条件を上げることが一般的である。しかしながら、加工条件を上げるとは製品品質が関係するため容易には変えられない。切削速度を増す場合、工具寿命は急激に悪化するが、送り速度を増す場合、切削速度を増す場合に比べて工具寿命への悪影響は小さいが、面粗度が劣化することが問題である。この問題を解決する一手段としてワイパーインサートが用いられている。ワイパーインサートでは小さな半径を有するノーズ部切れ刃と、それに続いて大きな半径を有するワイパー部切れ刃の形状のものがある。主にノーズ部では切削を行い、ワイパー部では仕上げ面の粗度を向上する。このワイパーインサートを用いた旋削加工においては、びびり振動がたびたび発生することがある。ワイパーインサートでは、ノーズ部の半径を小さくすることで一回転前の振動が現在の切削断面積を変動する再生効果を抑制するため、切削領域だけを考えれば従来のノーズ部のみのインサートと同程度の安定性を有すると考えられる。しかしながら、ワイパーインサートを用いた旋削加工の予備実験では従来の理論に基づいて安定の条件で

加工してもびびり振動が発生することが分かった。このびびり振動の発生メカニズムや特徴はこれまでに明らかになっていない。このメカニズムを解明することで、その回避や抑制法の開発などに発展すれば学術的な寄与のみならず、ワイパーインサートの更なる普及による大幅な生産性向上が期待される。そこで本論文では、ワイパー部で粗度を向上することを目的としたワイパーインサートによる高能率加工時のびびり振動についてその発生メカニズムの解明と安定限界の予測を実現することを目的とし、解析モデルを構築し安定限界の予測を行い、構築したモデルの妥当性を実加工で検証した。また、構築したモデルを応用することで理論面粗度とびびり振動安定性の両方を考慮したワイパーインサートのワイパー部切れ刃形状の設計が可能となることを示した。

第1章は「緒言」として、研究の背景、関連する先行研究、産業界のニーズ、本論文の目的について述べた。

第2章では初めに「切削プロセスのみの旋削における従来の再生びびり振動の解析」として従来の再生びびり振動の解析モデルの構築方法について示した。ここで、再生びびり振動の解析に関連するプロセス、変数、およびメカニズムについて理解を深めた。次に「バニシングプロセスを伴うワイパー旋削時特有の再生びびり振動の予測と解析」として解析モデルを構築し、びびり振動の特徴を分析した。まず、ワイパー部が直線である単純なワイパーインサートによるプロセスの定義を行った。切削領域で起こる従来のびびり振動に加えて、複数回転前の再生振動が含まれるバニシング領域を考慮したびびり振動モデルを構築した。プロセスの安定性を評価する指標としてゲインマージンを用いた解析手法を開発した。安定性解析結果から、臨界状態についてベクトル線図による説明と物理的な意味を示した。今回のワイパーインサートではバニシング領域幅は切削幅に比べて約7倍、比バニシング抵抗は比切削抵抗に比べて約28倍あるため、バニシングプロセスを伴う再生びびりは同じ条件で加工した従来の再生びびり振動の安定性に比べて約1/200倍となることを示した。さらに、このびびり振動は1回転では成長しきらずに複数回転経つまで臨界状態にならないため、1回転前の振動のみが影響する切削プロセスのみの再生びびりに比べてびびりに至る時間が長いという特徴を持つことを示した。解析では工具傾き角、送り、主軸回転速度、および切込みを変数とし安定性を評価した。工具傾き角を $0 \sim 0.8 \text{ deg}$ で変数としてワイパー部のバニシング領域幅を変える解析では、工具傾き角の増加でバニシング領域幅は約1/28倍となり、ゲインマージンは不安定から無限大、すなわちびびり振動安定性が無限大になることを示した。バニシング領域幅はびびり振動安定性に大きく影響することが分かった。送りを $0.1 \sim 1.2 \text{ mm/rev}$ で変数として送り速度の影響について調べる解析では、送りの増加によって再生数は大きく減少するが、バニシング領域幅は2割程度しか減少しないため、びびり振動安定性は1.3倍程度しか増加しないことを示した。また、びびり振動安定性は、再生数には関係なくバニシング領域幅が支配的であることが分かった。主軸回転速度を $500 \sim 40000 \text{ min}^{-1}$ で変数として主軸回転速度の影響について調べる解析では、高回転域で安定性ロープが見られ、びびり周波数も同様に変化することが分かった。これ

らは従来の再生びびり振動と似た傾向である。それに引き換え、現在の振動と過去の振動の位相差は360 degに近く、その変化の幅は小さいことを示した。一方、従来の再生びびり振動は270 degに近く、その変化の幅は大きいことを示した。このことから、バニシングプロセスを伴うびびり振動では多重再生によってびびり周波数が敏感に影響するため、安定性ローブは従来の再生びびり振動に比べて急峻となることが分かった。切込みを0.05~0.5 mmで変数として切込みの影響について調べる解析では、切込みの増加で切削幅は増加するが、バニシング領域幅の方が切削幅より大きく、かつバニシング領域幅は変化しないため安定性は僅かしか変化しないことを示した。

第3章では「バニシングプロセスを伴うワイパー旋削時特有の再生びびり振動の加工検証」として、解析モデルの妥当性を実験的に検証した。まず、安定性解析に必要なパラメータである比バニシング抵抗、比切削抵抗、機械ループコンプライアンスとモーダルパラメータ、および弾性回復量の同定を行った。加工検証では工具傾き角を変えた加工と送り速度を変えた加工を行い、びびり振動の有無を確認した。一方で、同定したパラメータを用いて前章で構築したモデルにより安定性解析を行い、加工の結果と比較して良く一致する結果を得た。また、被削材の加工面の最大面粗さと理論面粗度も概ね一致する結果を得た。以上より、バニシングプロセスによる多重再生を考慮したモデルは定性的にも定量的にも有効であることが確認できた。また、予測したびびり振動の発生メカニズム、安定性、および特徴も同様に正しいことが確認できた。

第4章では「ワイパーインサートのワイパー部切れ刃形状設計例」として、具体的な3種類の形状について第3章までで構築した安定性解析モデルを用いて安定性、および理論面粗度について解析を行った。ワイパー部が直線切れ刃の形状でその長さが異なる2つの形状と、ワイパー部がノーズ半径に続き大きなワイパー半径を持つ形状について送り速度に対する安定性と理論面粗度の変化について示した。これらの解析結果から設計段階で様々なワイパー部切れ刃形状のびびり振動安定性を予測できることを示した。

第5章では「結論」として、本論文の成果をまとめた。

本論文ではバニシングプロセスを伴うワイパー旋削時特有の再生びびり振動についてメカニズムを分析し、安定性解析モデルを構築した。構築したモデルの妥当性を実加工の検証で確認した。加工条件を変数として安定性解析を行い、びびり振動の特徴を明らかにしたことでより理解を深めることができた。ワイパーインサートの目的である高能率加工を実現するためには、面粗度だけではなくびびり振動にも注意してワイパー形状を設計しなければならない。これまで、ワイパー形状とびびり振動の関係は明らかになっていないため、インサートの設計は試行錯誤が必要であった。本論文の成果によってインサートの設計段階でびびり振動の予測が可能となった。また、びびり振動が起らない条件のもとで加工条件を最適化するということも可能となった。