動吸振器を用いたエンドミル加工時の再生ビビリ振動抑制

東京工業大学大学院
理工学研究科
機械物理工学専攻　助教
中野　寛

金型や機械部品などのエンドミル加工中に再生ビビリ振動と呼ばれる振動が発生することがある。再生ビビリ振動が発生すると、仕上げ面精度の悪化、激しい振動による工具の破損や摩耗、工作機械の主軸軸受の損傷などを引き起こす原因となるため、振動を回避または抑制することは、工作機械のさらなる高精度化・高効率化を実現する上で極めて重要である。筆者らは動吸振器と呼ばれる制振装置を製作し、再生ビビリ振動の抑制効果を実験と解析で検証し、抑制効果を最大にするための動吸振器の設計法について検討を行っている。

工作機械の高精度化・高効率化に重要

強制ビビリ振動と自励ビビリ振動

あらゆる機械のマザーマシンである工作機械は日本メーカーが長年世界をリードし、品質や性能の良さで高い評価を受けている。しかし近年、新興国の技術力アップや低価格な工作機械の登場により、各社はより高い付加価値を持った製品開発を進めている。

このような背景の中、エンドミル加工による金型や機械部品加工においても、さらなる高精度化・高効率化を実現する加工技術の開発がより重要となっている。工具径が小さく、突き出し量の大きな長尺エンドミルを使用した深溝加工を行う際や、チタン合金などの難削材を加工する際にビビリ振動の発生が問題となることがあり、加工精度や加工効率アップのボトルネックとなっている。したがって、ビビリ振動の回避または抑制は機械部品や金型などのエンドミル加工における、さらなる高精度化・高効率化を実現する上で極めて重要である。

ビビリ振動は発生メカニズムの違いから強制ビビリ振動と、自励ビビリ振動に分類される。このうち、自励ビビリ振動は振動が急激に成長する不安定現象で、激しい振動によって加工不能になるだけでなく、工作機械の主軸軸受などを損傷させる場合もある。自励ビビリ振動の中で、ほとんどすべての切削プロセスで起こりうるものに再生ビビリ振動がある。再生ビビリ振動は切削中に発生した振動によって振動痕が残された加工面を振動しながら次の切れ刃が加工する際の位相遅れによって、切り取り厚さに変動を生じ、振動が励起され、このプロセスが繰り返されることで発散的に振動が大きくなる現象である。

再生ビビリ振動を発生させずに加工を行う方法として、再生ビビリ振動が発生しにくい切削速度（主軸回転数）を選択して加工を行う対策が知られている。**図1**は再生ビビリ振動の発生限界線図と呼ばれるもので、主軸回転数と工具軸方向の切り込み深さとの関係を表し、細実線で示した曲線より大きな切り込み深さで加工を行うと、再生ビビリ振動が発生することを表している。

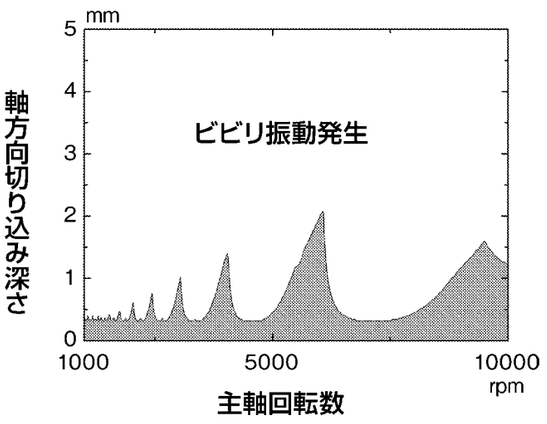
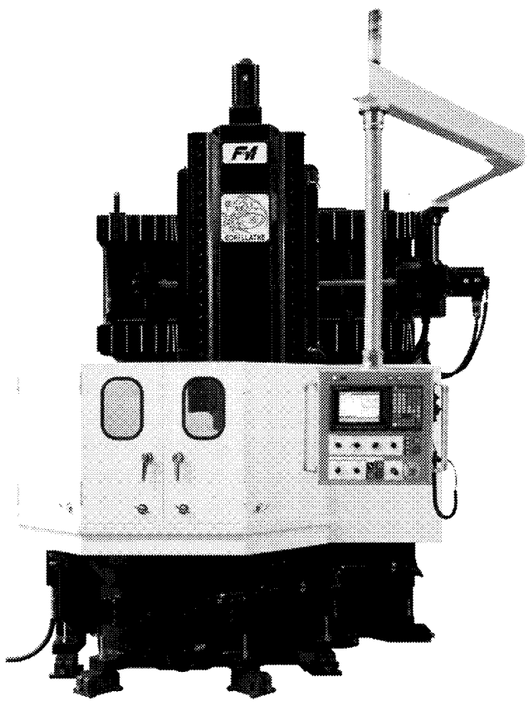
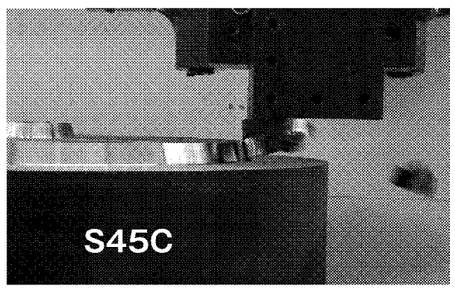
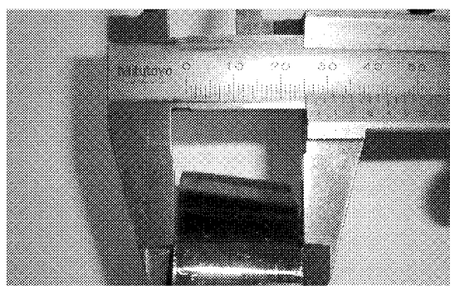


図1　ビビリ振動発生限界線図

再生ビビリ振動の発生限界線図は主軸回転数に対して極大値と極小値を持つローブ形状となるため、加工効率の良い極大値における回転数で加工することが望まれる。したがって、この再生ビビリ振動の発生限界線図を正確に予測することが重要となる。これまで、再生ビビリ振動の発生限界線図を予測するための多くの解析法が提案されている。しかし、発生限界線図の予測精度は主振動系の機械動特性や切削特性の測定精度に依存する。また、再生ビビリ振動の発生限界線図は図1に示すように高速回転領域では極大値となる切り込み深さが大きくなるが、低速回転領域では極大値と極小値の差が小さくなり、回転数を変更しても再生ビビリ振動の回避はあまり期待できない。

（次ページに続く）

FUJITA MANUFACTURING
超高剛性NC立旋盤
テーブル径1,250mm、オプションで1,600mmも対応可能です。
GORILLATHE（GL-125）



上面強力切削加工
切り込み1inch（25,4㎜）・送り0.6／rev

株式会社 藤田製作所
http://www.fujitam.co.jp/
港工場（本社工場）　〒793-0046 愛媛県西条市港１番地の２　TEL(0897)56-5373　FAX(0897)56-9240
ひうち工場　〒793-0003 愛媛県西条市ひうち西ひうち3番10　TEL(0897)56-4677　FAX(0897)56-4680
プラント工場　〒793-0046 愛媛県西条市港２番地の７　TEL(0897)53-8181　FAX(0897)53-8177

切削点の位置はΦが20度から70度まで10度間隔の6カ所を用いて**表**（前ページ掲載）の切削条件で加工し、3軸方向の力を3分力切削動力計を用いて測定した。**図5**に示すように合力の工具軸に直角方向の力が工具をたわませる力と仮定し考察する。

図6に切削点の位置が切削力に及ぼす影響を示す。時間波形は切削点Φが40度の例であり、切削3分力の値は時間波形の各ピーク値の平均値で表している。3分力のx軸とz軸方向の切削力は、切削点の位置の変化に伴い若干増加しているが、y軸分方向は逆に減少している。これは切削速度の影響と思われる。工具軸に直角方向の力は切り込み量が大きいほど切削力も大きくなっており、また切削点の位置の影響も若干認められるが、切り込み量が30㎛の場合はあまり認められない。3次元座標測定機で加工誤差を測定した結果、切削力のグラフと同様の傾向を示していることを確認した。以上の結果から、高硬度材などの切削加工において切削点の位置に応じた工具のたわみ量を予測し、工具経路に誤差量の補正を行うことで加工精度の向上が期待できる。

図5　工具軸に直角方向の力

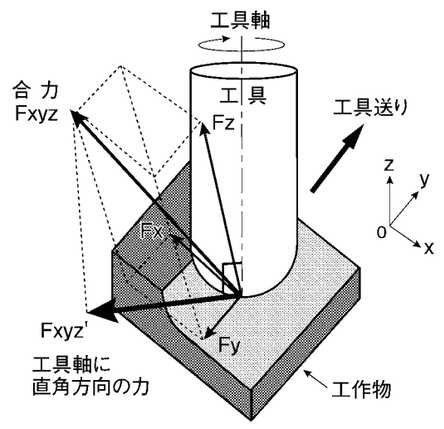
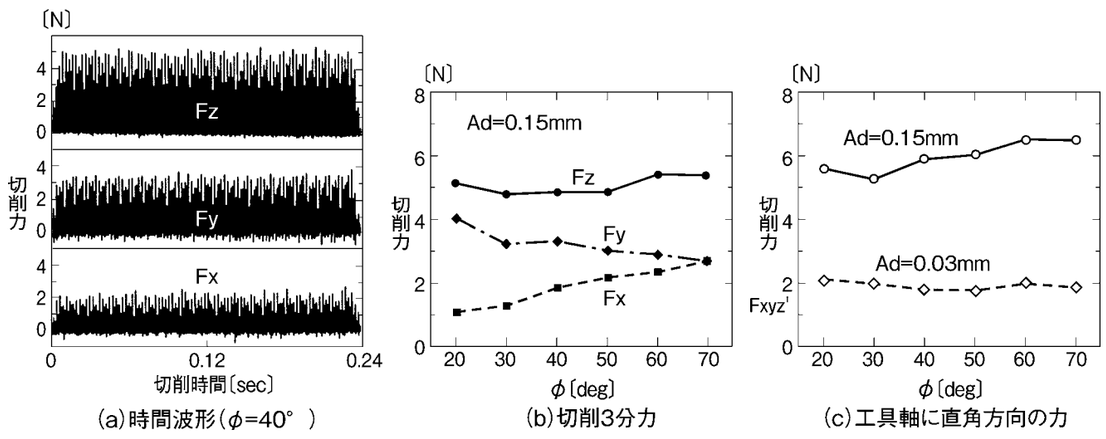
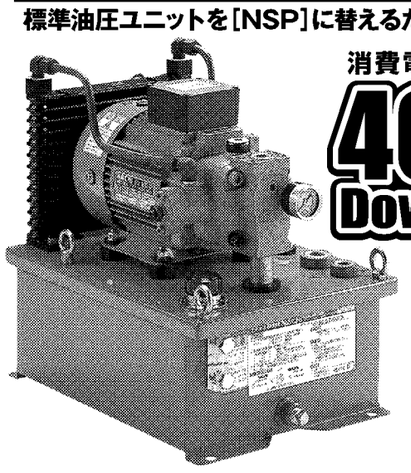
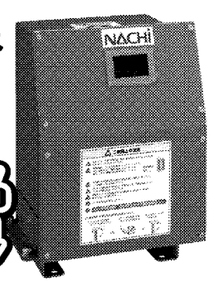
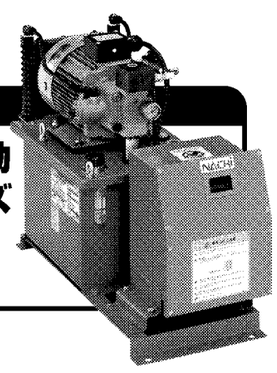


図6　切削点の位置と切削力の関係



(a)時間波形（ϕ=40°）　(b)切削3分力　(c)工具軸に直角方向の力

Ingenious Dynamics
イゲタロイ
SUMITOMO CARBIDE - CBN - DIAMOND
鋳鉄旋削用コーティング材種
エースコートAC410K/AC420K New
耐摩耗性・耐チッピングに優れた
スーパーFFコートを採用!!
鋳鉄の一般～強断続切削まで
幅広い領域をカバー
抜群の信頼性
断続切削の AC420K New
■AC410K/AC420Kの適用領域
AC410K 連続～弱断続切削には
連続・弱断続切削で安定長寿命を実現
AC420K New 黒皮加工・断続切削には
黒皮切削・断続切削で抜群の信頼性と安定長寿命を実現
切削速度 (m/min)
300
200
100
軽・連続
連続・一部断続
断続・強断続
切削状態
住友電気工業株式会社
ハードメタル事業部　〒664-0016 兵庫県伊丹市昆陽北１-１-１ TEL(072)772-4531 FAX(072)772-4595
グローバルマーケティング部　〒664-0016 兵庫県伊丹市昆陽北１-１-１ TEL(072)772-4535 FAX(072)771-0088
製造元：住友電工ハードメタル株式会社
TOKYO　NAGOYA　OSAKA
直需営業部　東京営業グループ ☎(03)6722-3523　名古屋営業グループ ☎(052)963-2841 ☎(0566)74-7091【安城】　大阪営業グループ ☎(06)6221-3600
流通販売部　東京市販グループ ☎(03)6722-3525　名古屋市販グループ ☎(052)963-2880　大阪市販グループ ☎(06)6221-3700
技術サービス フリーダイヤル 0120-159110 いい工具 110番
9:00～12:00、13:00～17:00（土・日・祝日を除く）
>> 切削工具の最新情報を発信中 << http://www.sumitool.com

NACHI
最大約60%の省エネ※
（※当社従来機比）
まずは NSPシリーズ
標準油圧ユニットを［NSP］に替えるだけで
消費電力 40% Down↓

さらにプラスで もっと省エネ
インバータ BOXキット
または
インバータ 制御キット
消費電力 60% Down↓

もっと手軽に設置だけ
消費電力 インバータ駆動 NSPシリーズ
60% Down↓

株式会社 不二越　www.nachi-fujikoshi.co.jp