

ロングノーズ式マシニングセンタの加工性能評価方法

森本和邦*, 増井孝実*, 増田峰知**, 松山恭男***

A Study of Method of Evaluation about Machining Ability of Machining Center

Kazukuni MORIMOTO, Takami MASUI, Takanori MASUDA
and Yasuo MATSUYAMA

Reducing the volume of machining center has been demanded in automotive production line. The type of Long-nosed column traverse machining center can save space but get low rigidity due to long-nosed spindle. In this research, we propose the Method of evaluation about machining ability from geometric accuracy and surface roughness. As the result, the machining center of long-nosed spindle shows same machining ability as a one of short-nosed spindle in the experimental condition.

Key words: Machining Center, Surface Roughness, High Rigidity, Long-nosed Spindle

1. はじめに

自動車部品製造ラインに使われるマシニングセンタの専用機は、高稼働率・高能率といった経済性要求のため、切粉・クーラント液のトラブルが許されず、機械剛性も高いことが求められる。また設置面積を抑えるために省スペース性が求められている。

そこで、省スペース性に優れたロングノーズコラムトラバース方式（以下、ロングノーズ機とする）を基本構造とした横形マシニングセンタの開発を行った。本報では、開発したマシニングセンタの加工性能評価に取り組んだ。

マシニングセンタの加工性能の評価は、開発した装置がコンパクト機であり、振動特性が変わるため、装置の振動による表面仕上げ精度への影響を評価する必要がある。しかし、日本工業規格（JIS）には、マシニングセンタの表面仕上げ精度は規定されていないため、加工仕上げ性能の評価を JIS B 6336-7 工作精度²⁾を参考

* ものづくり研究課
** 電子機械研究課
*** 株式会社紀和マシナリー

にしたフライス加工を行い、加工物の幾何公差に加え、表面粗さにより評価したので、以下に報告する。

2. 横形マシニングセンタの構造

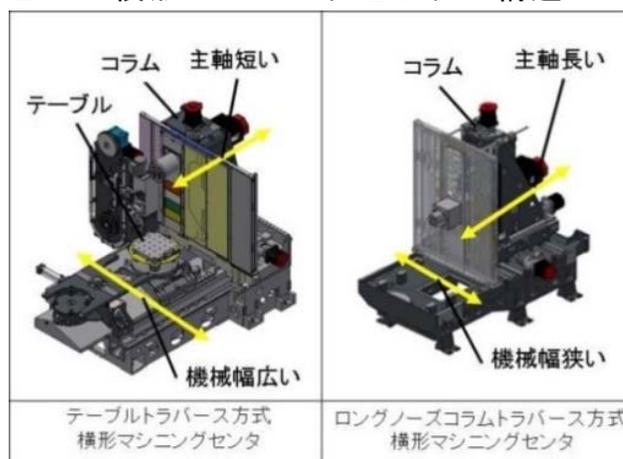


図 1 横形マシニングセンタの構造

図 1 に本研究で使用した横形マシニングセンタの構造を示す。横形とは主軸が地面に対して水平方向に取り付けられた形式である。ロングノーズ機は、主軸がコラムと一体化して前後に



図 2 実験装置

表 1 使用工具及び切削条件

加工種類	使用工具	切削速度 [m/min]	送り量 [mm/rev] ※[mm/tooth]	その他
ドリル	サンドビック製 コロドリル φ15.5	40	0.25	depth 35mm
フェイスミル	タンガロイ製 DoFEED φ50	40	0.7※	width 40mm
ボーリング	大昭和精機製 EWNボーリングヘッド φ16	90	0.04	Ae 0.2mm
ミーリング	サンドビック製 コロミルフルーフHD φ25	60	0.05※	Ap, Ae 3mm

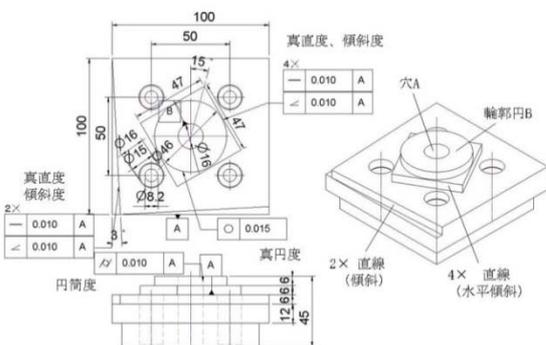


図 3 加工物形状.

(ミーリング, ドリル, ボーリング)

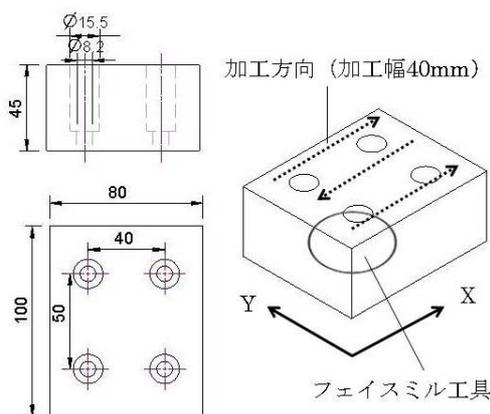


図 4 加工物形状 (フェイスミル)

移動する機構で、機械幅を抑えることができ、省スペース性に優れている。また切粉・クーラント液が、駆動部に侵入しにくいカバーシール性にも優れている。しかし、ロングノーズ機は、主軸が長く、機械剛性が低下する恐れがある。ロングノーズ機の加工仕上げ精度を評価するため、比較対象としてマシニングセンタに多く採用されているテーブルトラバース方式（以下、テーブルトラバース機）を使用した。テーブルトラバース機は加工テーブルが移動する機構であり、機械幅が大きくなるが、機械剛性を高くできるという特徴がある。

3. ロングノーズ機の評価方法

ロングノーズ機の加工仕上げ精度が低下する要因としては、加工時の主軸のたわみやコラムの傾き³⁾が挙げられる。これは主軸先端に取り付けた工具にかかる切削抵抗（切削力）によって発生する。それらを検証するために、装置に X, Y, Z 軸方向の負荷を組み合わせ加工を行い、加工精度を調べる。又、ロングノーズ機は、テーブルト

ラバース機に比べ本体がコンパクトであり、振動の影響が変わるため、表面仕上げ精度を検証する必要がある。

本研究では、幾何公差は、JIS B 6336-7 工作精度に準じ、X, Y, Z 軸方向の負荷を組み合わせ加工を行った。また加工面の表面粗さを測定し、表面仕上げ精度を検証した。

4. 実験方法

4. 1 実験装置

実験装置を図 2 に示す。装置には工具摩耗の影響や工具にかかる負荷を見るために切削動力計（株）レプトリノ製 MFS200XS502US）を取り付け、各加工における切削抵抗を測定した。切削抵抗は 1.2 kHz でサンプリングを行い、ローパスフィルタによってノイズを取り除いた後の最大値を使用した。

また振動はコラム上部に加速度センサを取り付け加工時にコラムに発生する Y 軸方向の加速度を測定した。Y 軸方向の振動に着目したのは、装置の構造上コラムが Y 軸方向に傾きやすいためであ



図5 加工物写真。
 (上:全体写真, 下:ミーリング加工物拡大写真)
 (左:テーブルトラバース機, 右:ロングノーズ機)

る。

4. 2 加工方法

加工方法は、ドリル加工、ボーリング加工、フェイスミル加工、ミーリング加工の4種類とした。ドリル・ボーリング加工では、Z軸方向の負荷を、フェイスミル加工では、X,Z軸の2軸方向の負荷を、ミーリング加工では、水平傾斜形状、切込みを変化させた水平傾斜形状、円形状の3種類の加工を行った。これは、X,Z軸の2軸方向、X,Y,Z軸の3軸方向の負荷及び負荷を変化させた時に主軸にかかる力を想定するためである。ドリル・ボーリング・ミーリング加工では、図3に示す形状を加工形状とし、ミーリングではダウンカットによる加工を行い、フェイスミル加工では、図4に示すように加工幅40mmで3回に分けて加工を行った。

4. 3 被削材

被削材は、装置剛性が必要な比強度の高いチタン合金 (Ti-6Al-4V, JIS60種⁴⁾) を選定した。被削材の大きさは、穴加工、ボーリング加工、ミーリング加工で(w)100×(l)100×(t)45mm、フェイスミル加工で(w)100×(l)80×(t)45mmのものを用いた。被削材は切削動力計に取り付けるため、座ぐり穴を4か所にあけ六角ボルトで固定し



図6 幾何公差

た。

4. 4 工具及び実験条件

使用工具および実験条件を表1に示す。使用工具は、チタン合金加工用の工具を選定し、実験条件は、工具の推奨切削条件を参考に実験条件を選定した。実験は、各実験装置において加工前に被削材の水平をダイヤルゲージで測定し、主軸との垂直と水平を確認した。切削工具、切削条件は、両装置で同じ条件で加工を行った。

4. 5 加工精度測定

加工精度は、幾何公差および表面粗さにより評価した。幾何公差は加工による主軸たわみやコラムの傾きを調べる目的で図3に示す円筒度、真円度、真直度、傾斜度、平面度を測定した。表面粗さは、振動の発生を調べる目的で最大高さ粗さRzを測定した。幾何公差はCNC三次元測定機(株)東京精密製 ZYZAX PA800A-V、表面粗さは、表面粗さ・輪郭複合測定機(株)東京精密製 SURFCOM 2000SD2)により測定した。

5. 結果および考察

5. 1 加工結果

加工物(図5)にはテーブルトラバース機ではミーリング加工部分にはバリが出ていたが、ロングノーズ機ではバリの発生は無かった。これは工具摩耗により刃先の鋭利さが失われたためと推測される。

5. 2 幾何公差

幾何公差の結果を図6に示す。図3に示す穴Aの円筒度の測定値は、ロングノーズ機で公10μm以内、円Bの真円度の測定値は、両装置において公差15μm以内、四角形の直線(水平傾斜)と傾斜をつけた直線(傾斜)の真直度及び傾斜度の測

表 2 各フライス加工における切削抵抗および加速度

測定種類	ロングノーズ機						テーブルトラバース機						
	フェイス ミル	(水平傾斜) エンドミル	(傾斜) エンドミル	(円) エンドミル	ドリル	ボーリング	フェイス ミル	(水平傾斜) エンドミル	(傾斜) エンドミル	(円) エンドミル	ドリル	ボーリング	
切	Fx[N]	1261	312	725	470	125	22.4	1512	497	870	450	96.8	25.1
削	Fy[N]	514	307	455	200	78	21.7	576	496	500	150	92.9	28.6
抵	Fz[N]	1086	80	175	-150	3098	18.7	1320	60.7	243	-100	2994	7.3
抗													
Y 軸方向加速度	[m/s ²]	0.12	0.03	0.03	0.03	0.07	0.04	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01

定値は、両装置で公差 10 μm から外れ、平面度は両装置ともに 40~50 μm であった。ロングノーズ機とテーブルトラバース機による幾何公差の比較では、ロングノーズ機は、テーブルトラバース機と同等以上であった。

X, Z 軸や X, Y, Z 軸に負荷をかけた真直度や傾斜度が公差から外れた要因は、加工部分が連続加工における最後の加工工程で、工具摩耗が影響したものと考えられる。加工終了後に工具を調べたところ、欠け（以下、チッピング）が発生しており、チッピングの最大幅はロングノーズ機で 209 μm、テーブルトラバース機で 284 μm であった。

ロングノーズ機の主軸たわみや曲がり、工具摩耗の影響のため、幾何公差からは有意な結果を得られなかった。

5. 3 表面粗さ

図 7 に加工面の最大高さ粗さ Rz を示す。フェイスミル加工では、表面粗さが、テーブルトラバース機で理論面粗さより 3 倍、ロングノーズ機で 1.6 倍程大きかった。この要因は、表 2 のフェイスミル加工の切削抵抗が、テーブルトラバース機がロングノーズ機比で 15 %~20 %程大きかったためである。Y 軸方向加速度は、ロングノーズ機で大きく、テーブルトラバース機で小さく出ているが、機械構造の違いにより、振動しやすい方向が異なるためであり、テーブルトラバース機の X 軸方向の加速度は 0.2 m/s² であった。フェイスミル加工以外のミーリング加工では、ロングノーズ

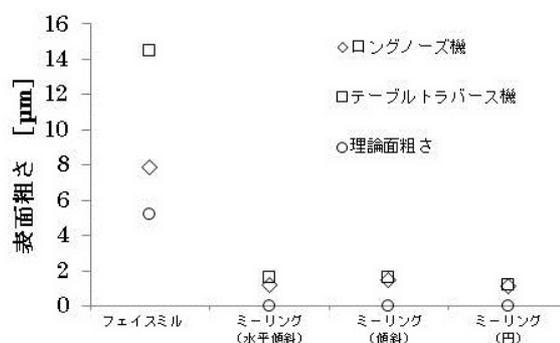


図 7 表面粗さ

機はテーブルトラバース機とともに理論面粗さと同程度であった。これは、Y 軸方向加速度（表 2）が小さく、振動の発生が少なかったためである。

今回の実験において、表面粗さが理論面粗さから大きく外れる場合に、振動が大きくなることが確認できた。表面粗さの測定で振動の発生の有無を判断できることが示唆された。

5. 4 評価方法の検討

今回の実験では、幾何公差で、加工物の形状精度を測定し、加えて加工物面の凹凸を測定したことで、振動の発生の評価ができた。また、振動は、加工条件が適切でない場合にも発生するため、表面粗さを測定することで、より正確な評価に繋がると考えられる。

6. 結論

開発したロングノーズ機を評価するために、JIS B 6336-7 工作精度で規定されているマシニングセンタの加工性能評価方法に加え、表面仕上

げ精度を検証するために表面粗さを測定し、装置の加工仕上げ精度を評価した。本研究の結果、以下の結論が得られた。

1. 幾何公差と表面粗さからは、実験した条件において、開発したロングノーズ機はテーブルトラバース機と同等の加工精度で加工できることが分かった。
2. 表面粗さが、理論面粗さより大きな値を示す時に、振動が大きくなる傾向が確認できた。表面粗さの測定から、振動の発生が確認できる可能性が示唆された。

謝辞

本研究は平成 27 年度戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン事業）「量産加工ラインに対応した「省スペース・トラブルレス・高剛性」な横形マシニングセンタの開発」の一部として行われました。ここに記して関係者の皆様に感謝申し上げます。

ます。

参考文献

- 1) 赤井孝之：“量産部品加工のための新工作機械”。日本工業出版，機械と工具 10 月号，p18-23 (2015)
- 2) 日本工業規格 JIS B 6336-7：“第 7 部：工作精度”。(一財)日本規格協会(2000)
- 3) 社団法人 日本機械工業連合会ほか：“工作機械 設計マニュアル 工作機械の設計学（基礎編）”。社団法人日本機械工業連合会，社団法人日本工作機械工業会日本工業規格，p40-44 (2010)
- 4) JIS H 4650：“チタン及びチタン合金 一棒”。(一財)日本規格協会 (2012)
- 5) 新井実：“機械技術者のための切削加工の基礎”。桜企画出版，p25 (2008)