

# 一刃あたりの切削力によるエンドミルの 評価手法の実用化に向けた基礎研究

五味 伸之<sup>\*</sup>, 圓道 瑛太<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> 埼玉工業大学工学部機械工学科

<sup>\*\*</sup> 福井工業高等専門学校

n\_gomi@sit.ac.jp

## Basic Research for Practical Application of Endmill Evaluation Method Using Cutting Force per Blade

Nobuyuki GOMI<sup>\*</sup> and Eita ENDO<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Saitama Institute of Technology

<sup>\*\*</sup> National Institute of Technology, Fukui College

### Abstract

Evaluation of manufacturing process in milling by direct measurement of cutting force is effective comparing to indirect measurement of electricity. In the previous research, an evaluation method using the cutting force per blade was proposed, and the practicality of the evaluation method was shown to some extent. Therefore, the purpose of this study is to improve the practicality of the evaluation method using the cutting force per blade. This paper proposed a new evaluation method of end-mills by the direct measurement of cutting force. Cutting forces were precisely obtained by a 3-component dynamometer during end milling. Each flute cutting forces was evaluated for two types of end-mills (non wear-out, wear-out) by wave patterns of cutting force. A distinctive difference in the two types of end-mills has been clearly seen. The effectiveness of the proposed evaluation method has been clarified.

**Key Words:** Ideal Cutting Force, Method of Evaluation Method, Milling, S/N Ratio, Taguchi Method

### 1. 緒言

エンドミルは外周面, 端面に切れ刃を持ち, 回転することによって切削加工を行う切削工具の1つであり, 基本的な切削工具であることから現在も様々な種類が開発されている. より精度の高いものを作り出すためには正確な評価が必要とされるが, エンドミルの切削性能や工具

寿命に関する研究は現在も進められている途中であり, 切れ刃欠損を解析的に予測する方法<sup>1)</sup>などが提案されているが, 未だに確立された評価法はなく, 現在においても製造現場では定量的な基準は設けられていない.

それを受けて先行研究では, 一刃あたりの切削力を用いた評価方法が提案され<sup>2)</sup>. その評価

法のある程度の実用性が示された。そこで本研究では、一刃あたりの切削力を用いた評価方法の実用性を高めることを目的とする。

2. 実験方法

マシニングセンタ (NV-4000, DMG 森精機株式会社) を用いて、汎用エンドミル (OSG80026, オーエスジー株式会社) で Fig. 1 に示すように、動力計に取り付けた被削材 (S45C) をダウンカットで切削する。その切削力を Fig. 2 のような電圧波形としてオシロスコープに出力し、電圧波形を新品と摩耗後について比較した。切削条件を Table 1 に示す。

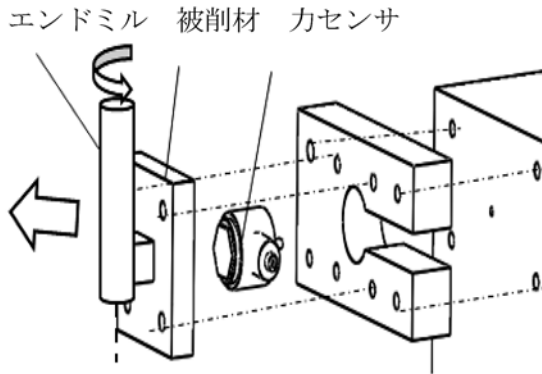


Fig. 1 動力計概略図

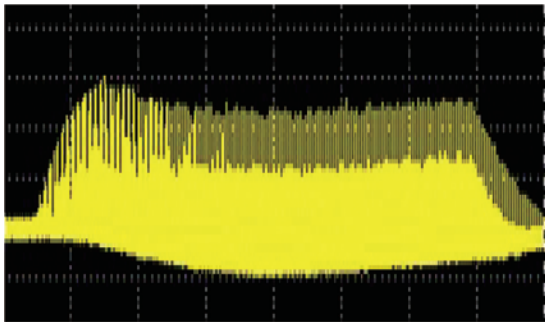


Fig. 2 電圧波形の例

Fig. 2 から読み取れるように、実験値にはノイズが伴う。さらに、ノイズは各実験によって大きさに無視できない程のばらつきが見られたため、実験値の補正を行った。

補正方法は、各切削力波形において、Fig. 3 の波形を時間軸に拡大した図においてマークした箇所のように、解析に使用した波形大と波形小の間で切削力の入力がない範囲から 5,000 個の値を読み取り、それらの平均を補正值とした。これらの値から、解析値を実験値から補正值を差し引いた値として定めた。

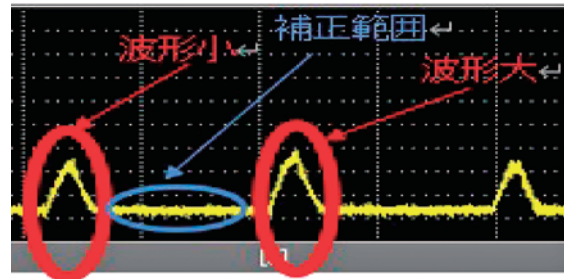


Fig. 3 電圧波形拡大図

そして、出力される電圧データに対して 1[μs] ごとに一刃分 (5,000 データ) 取得し、新品と摩耗後について基準 1 つの MT 法による解析を行った。基準 1 つの MT 法の式を式 (1) に示す。この式は基準のデータが 1 つの場合の対象との類似性を表し、基準としたデータに類似しているものほど値が大きくなる。

$$\left. \begin{matrix} \beta = \frac{L}{r} \\ \eta = \frac{r}{V_N} \end{matrix} \right\} \eta_1 = \frac{r\beta^2}{V_N} \quad (1)$$

式中の  $\beta$  は感度、 $L$  は線形式、 $r$  は有効除数、 $\eta$  は SN 比、 $V_N$  は誤差分散、 $\eta_1$  はマハラノビスの距離である。

Table 1 切削条件

切削速度	[m/min]	80
回転数	[rpm]	1,592
送り速度	[mm/min]	200
切り込み (幅/深さ)	[mm]	0.5/5.0

### 3. 品質工学概要

品質工学とは、技術開発・製品設計・工程設計・工程管理における品質とコストの改善を行う技術的対策の体系で、開発設計や工程設計の技術開発に関する機能性の評価と改善をおもに扱うオフライン品質工学、生産工程の調整問題を扱うオンライン品質工学に大別することができる。

品質工学の考え方は以下のようにまとめられる。

- (1) 技術は開発段階での研究が重要である。
- (2) 品質工学の立場から考えると、数多くの技術の中から共通な基本機能が見出せる。
- (3) 品質を改善するのではなく、技術の働きをエネルギー変換の観点から考える。
- (4) 技術の働きを求める計測技術が必要である。
- (5) 技術の評価方法を確立することが必要である。
- (6) 技術の評価尺度として SN 比を用いる。
- (7) 偶然的なばらつきではなく、意図的な誤差条件の影響を小さくすることにより、予期しない誤差条件に対しての影響も小さくする。
- (8) 品質を向上させるとは社会的損失を減らすことである。
- (9) 不良率を、品質を評価する尺度として使用しない。
- (10) 許容差内の製品にも損失は生じている。
- (11) 損失は製品設計値のずれの 2 乗に比例する。

この中で、技術開発における品質工学を適用する目的とは、市場で起きるトラブルをいかに予測し、技術開発研究段階で品質を効率的に向上させるかにある。そのための方法として品質工学では 2 段階設計を行っている。2 段階というのは、

- ① 誤差因子を考慮した実験条件で、エネルギー変換を基本とした入出力関係におけるばらつきを減少させる。
- ② ばらつきの減少した条件を基本として、

目標値に調整する。

という手順のプロセスを示す。品質を合理的に改善するには、評価が複雑になりやすい品質特性の良否を調べるのではなく、いかに消費者要求以前の機能の安定性を改善するかが重要で、品質特性はあくまでも結果でしかない。

システムの機能はエネルギー変換で考え、システムの入力と出力の関係を理想に近づけるために機能性の評価を行う。ほぼ全てのシステムの機能は、理想関係が入力信号を  $M$ 、出力特性を  $y$  とすると  $y = \beta M$  となるので、その理想関係からのばらつきの評価を行うことができる。実験では、広範囲の製品に使える技術を開発するために、できるだけ広い範囲の信号を選択し、また、入力関係を理想機能から乱す変数（ノイズ）を取り上げ、このデータから機能性の評価尺度である、SN 比と感度を求める。

本研究では、解析には MT システムを用いた。MT システムとは多変量解析に品質工学の理論を融合させた手法群の総称で、診断、予測、パターン認識、検査における判別など、幅広い用途をもっている。

### 4. 実験結果及び考察

複数用意した汎用エンドミルについて、新品の状態と、ステンレス鋼 (SUS304) をダウンカットで切削して摩耗させた状態を比較した。摩耗に関して、切り込み幅 0.5[mm]、切り込み深さ 5.0[mm] で固定して、0.3[m] 切削した場合を case 1、0.6[m] 切削した場合を case 2 とし、それぞれの一刃あたりの電圧波形を Fig. 4、

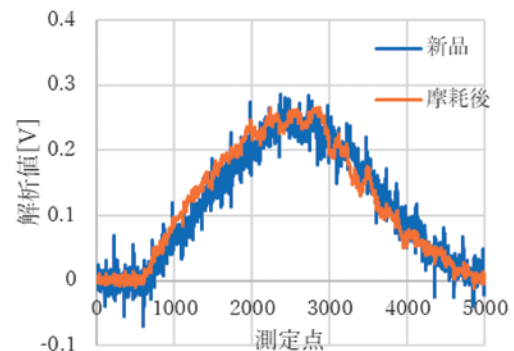


Fig. 4 case 1 の電圧波形

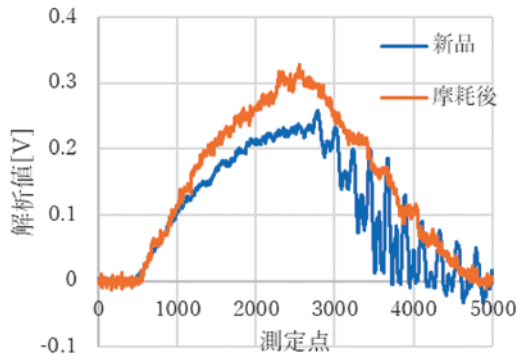


Fig. 5 case 2 の電圧波形

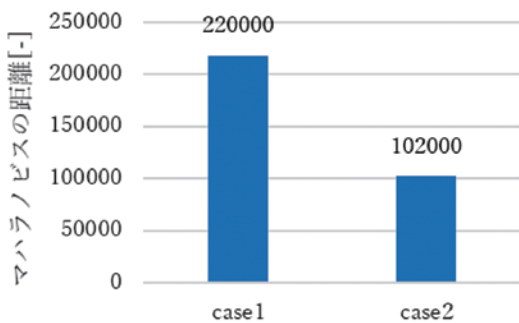


Fig. 6 基準1つのMT法による解析結果

Fig. 5 に示す。また、基準1つのMT法による解析について、case 1 と case 2 の解析結果を Fig. 6 に示す。

Fig. 4 と Fig. 5 の比較より、case 1 では摩耗の前後で電圧波形がほとんど同じ形をしているが、摩耗過程での切削距離が長い case 2 では摩耗後の電圧波形が新品の時と比べて大きく変化している。一般的に、切削加工においては工具が摩耗しているほど切削力が大きくなるため、実験結果は実際の傾向と一致すると言える。従って、新品の状態でのエンドミルの切削力を記録していれば、一刃あたりの切削力を用いて、エンドミルが摩耗しているかどうかの判別が可能であると言える。

また、Fig. 6 を見ると、case 1 の方が解析結果が大きくなっていることがわかる。マハラノビスの距離は値が類似しているほど大きくなる、つまり case 1 の方が切削力に変化がない。こ

のことから case 1 ではエンドミルがほとんど摩耗していないと考えられる。こちらも実際の傾向と一致しているため基準1つのMT法による解析はエンドミルが摩耗しているかどうかの判別を、具体的な数字によって判断できると言える。

### 5. 実験結果及び考察

本研究は、切削工具であるエンドミルについて、実用化に向けた一刃あたりの切削力による評価方法の検討を目的として行った。

実験の方法として、切削動力計に取り付けた被削材を、マシニングセンタを使って切削を行い、その時に生じる切削力をオシロスコープによって電圧波形として出力、そしてその値を読み取り、基準1つのMT法によって解析を行った。

電圧波形の比較から一刃あたりの切削力を用いれば視覚的にエンドミルが摩耗しているかの判断ができることがわかった。また、基準1つのMT法による解析では、新品の状態の切削力を記録しておけば、エンドミルが摩耗しているか数値によって判断できることがわかった。これらの結果から一刃あたりの切削力を用いたエンドミルの評価法にはある程度の実用性があることが確認できる。

今後の課題としては、切削動力計に生じるノイズを取り除き、より正確に切削力を解析、比較することや、各摩耗段階でのMT法による解析結果を増やし、その傾向を掴むことで、エンドミルがどれだけ摩耗しているかの基準を設けることなどが挙げられる。

### 参考文献

- 1) 白井英治他：断続切削における切れ刃欠損の解析的予測に関する研究，精密機械，1984年50巻5号 p.866-874
- 2) 中西惇平：切削力によるエンドミル評価手法の提案，2018年度福井工業高等専門学校卒業研究報告書