

〔戦略的基盤技術高度化支援事業（近畿経済産業局）〕

## 18 ナノトルク自動制御を活用した「微細切削加工技術 ノウハウ構築支援システム」開発

安東隆志，阿部 剛，平山明宏

### 1 目 的

医療用精密部品はガラスやセラミックスなどの非金属材料を使用するため、直径 0.1[mm]以下の微小径切削ツールによる切削加工の必要性が高まっている。しかし、微小径切削ツールは回転軸トルクとスラストを適切に管理しなければ折損し、微細切削を実現できない。そこで、本研究では磁気浮上ステージを活用して、直径 0.05[mm]の微小径ドリル加工における回転軸トルクとスラストを計測制御する手法を提案する。平成 20～22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業において、当センターと(有)大阪製作所と共同で取り組んだ研究開発について報告する。

### 2 事業概要

#### 2.1 マイクロドリルに作用するスラストとトルク

磁気浮上は非接触で物体を支持するので摩擦がなく、精密な位置制御が可能である。また、浮上体にわずかなスラストが作用しても、浮上体の位置変化からスラストとトルクを計測することが可能である。

そこで、図 1 に示すように直径 0.1[mm]以下のマイクロドリル加工におけるスラストとトルクを計測する微細切削加工技術ノウハウ構築支援システムの開発に取り組んだ。本手法では、電磁力の非線形性を適応制御により補償線形化し、逐次最小二乗法により磁気浮上系の粘弾性定数をオンライン同定することにより磁気浮上ステージによる微小なトルクとスラストの計測を試みる。

#### 2.2 ドリルに作用するスラストとトルク

図 2 にマイクロドリル加工の写真を掲載する。ドリルには図 3 に示すように水平 2 方向(X 軸と Y 軸)と垂直方向(Z)の合わせて 3 方向のスラスト( $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ )と、X 軸まわりのトルク、Y 軸まわりのトルク、Z 軸まわりのトルクの合わせて 3 トルク( $T_x$ 、 $T_y$ 、 $T_z$ )が作用する。これらの中で、垂直軸まわりのトルク( $T_z$ )と垂直方向のスラスト( $F_z$ )がマイクロドリルの折損に強く影響するものと考え、磁気浮上ステージの活用による回転軸まわりのトルク( $T_z$ )と回転軸方向のスラスト( $F_z$ )の計測について検討した。

#### 2.3 磁気浮上システムの動的パラメータ推定

まず、スラストとトルクの計測精度を向上させるため

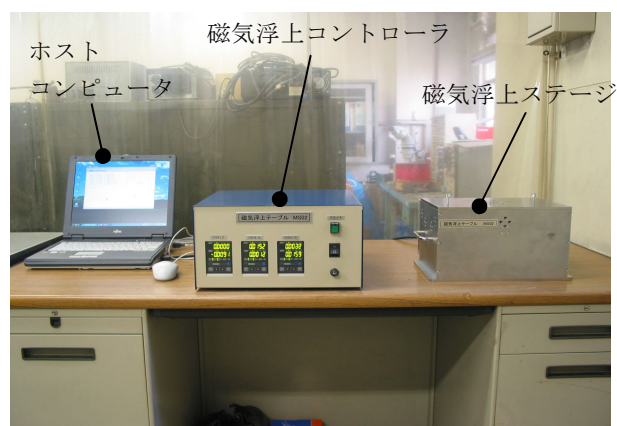


図 1 微細切削加工技術ノウハウ構築支援システム

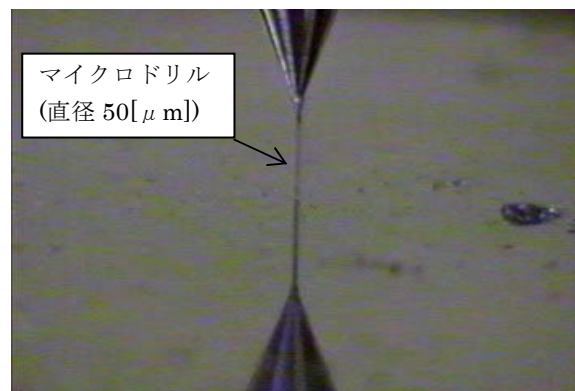


図 2 マイクロドリル加工(直径 0.05[mm])

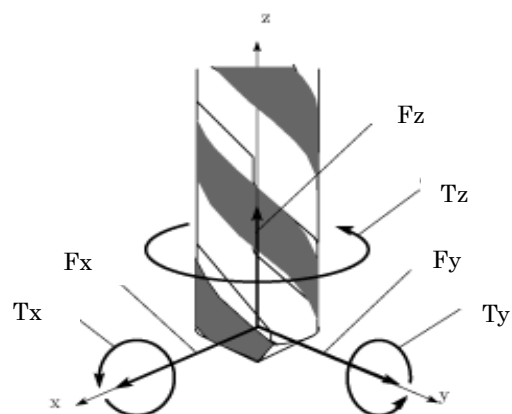


図 3 ドリルに作用するスラストとトルク

表 1 動的パラメータ (m=0.15[kg])

定数\i	1	2	3
$k_i/m$	$2.7 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$	$5.7 \times 10^3$
$c_i/m$	$5.0 \times 10^1$	$4.3 \times 10^1$	$8.1 \times 10^1$

に磁気浮上システムの動的パラメータの推定について取り組んだ。動的パラメータとは、浮上ステージを非接触弾性支持するための弾性定数( $k_i$ )、浮上ステージの制御を安定させるための減衰定数( $c_i$ )、浮上ステージの質量(m)と慣性モーメントである。動的パラメータに含まれる弾性定数と減衰定数は、スラストとトルクを正確に推定するためには非常に重要である。当該研究開発では、逐次最小二乗法により磁気浮上システムの動的パラメータ推定について検討した。

まず、磁気浮上システムの動的パラメータを含む運動方程式を構成し、磁気浮上システムの運動方程式と磁気浮上システムの位置信号が同じになるように逐次最小二乗法を適用した。その結果、磁気浮上システムの運動方程式と磁気浮上システムの位置信号が一致した。このときに得られた動的パラメータ( $k_i$ 、 $c_i$ )をステージの質量(m)で除して正規化したものを表1に示す。

#### 2.4 マイクロドリル加工計測実験結果の統計的処理

切削加工現象で生じるスラスト、トルクは激しく変動し、確定的な数値として決定することはできない。しかし、まったく出たら目に変動するわけではなく、ある値の近傍に変動することが観察される。当該研究開発では、磁気浮上ステージによって直径 0.1[mm]以下のマイクロドリル加工計測でようやくこれらの値が計測できるようになってきた。図4に示すように、マイクロドリル加工で計測される切削中のスラストとトルクを採取し、これらを確率変数とし、発生頻度を確率として表現する統計的手法により、マイクロドリル加工によって発生するスラストとトルクが材質や加工条件によってどのように挙動するかを知ることができる。また、図5に示すように、トルク( $T_z$ )とスラスト( $F_z$ )を一対として分布を見ると、鋼、アルミ、石英ガラスでは違いが現れることが分かった。

### 3 結論

当該事業で製作した微細切削加工技術ノウハウ構築支援システムにより、直径0.1[mm]以下の微細ドリルに発生するスラストとトルクの計測を行い、統計処理を行った結果、鋼、アルミ、石英ガラスのマイクロドリル加工ではトルクとスラストの分布に違いが現れることが分かった。以上、当該事業において微細切削加工技術ノウハウ構築支援システムの有効性を確認した。

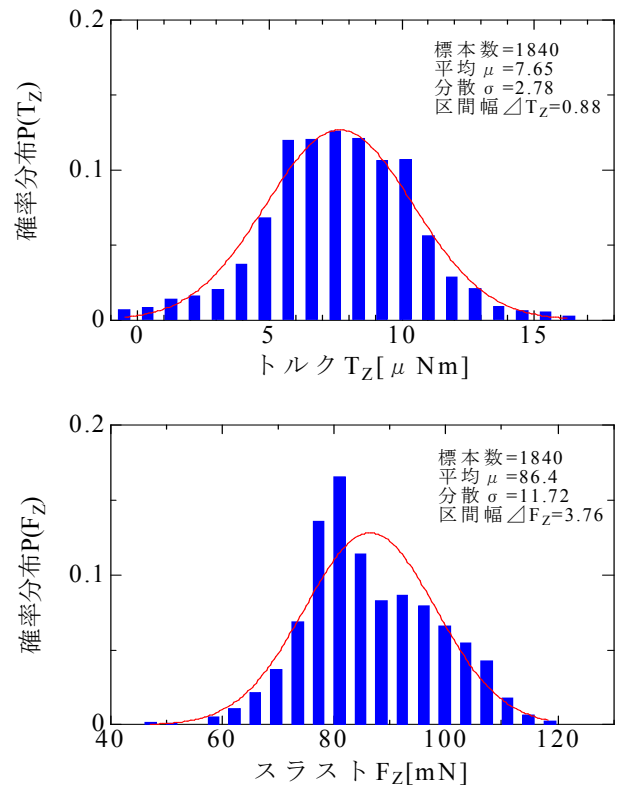


図4 Tz と Fz の統計的処理

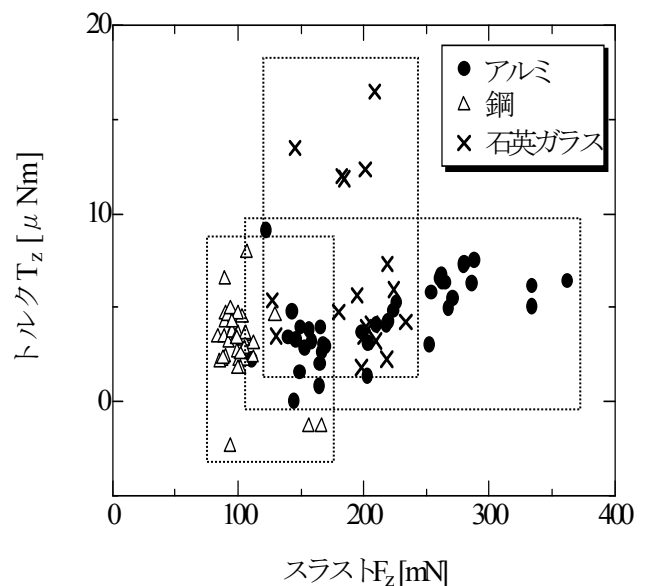


図5 トルクと力の計測分布  
(ドリル径 0.05[mm]、回転数 10,000r. p. m.)

(文責 安東隆志)

(校閲 福地雄介)