

MTシステムの自動加工への適用に関する研究

— 第2報 旋削の過負荷検出への適用 —

銚路高専 ○二色 祐徳、荒井 誠

要旨

第1報ではフライス型小型工作機械の異常検出についてMTシステムの適用可能性について報告を行った。本報告ではMTシステムを用いた旋盤加工に対するセンサーの最適位置決定と過負荷検出について報告する。

1. 目的

近年、MTシステムと呼ばれるパターン情報処理理論が分類・予測・診断など様々な分野で用いられてきている。これにより、人間が判断すべき事象をコンピュータによって判断できるようになってきている。一方、生産加工分野では自動化省力化が急速に広がっており、故障や不具合防止のために加工状態の把握が必要となってきている。

そこで、本研究はMTシステムによる自動加工監視の実現化を目的としており、第1報では、フライス型小型工作機械の異常診断についての適用可能性を検証した⁽¹⁾。本報告では直交表からセンサーの最適位置を決定することと、MTシステムの手法を用いた旋盤加工に対する過負荷検出を目的とした。

2. MTシステム

MTシステムとはマハラノビス・タグチ・システムの略称であり、「タグチメソッド」で有名な田口玄一氏がインドの数学者マハラノビスの考案したマハラノビス距離と呼ばれる尺度を使うことを提唱したパターン情報処理理論である。「パターン情報処理とは計測尺度をつくることである」という考えに基づいており、基準となる均質な集団から個々の対象への距離を求めることができる。

2-1. MT法の手順

MT法の手順を以下に示す。

- ①基準となる空間を決めて単位空間とする。
- ②計測のための計測項目を決め特徴量を抽出する。
- ③単位空間の対象に対して項目ごとの平均値、標準偏差、相関行列の逆行列を求める。
- ④マハラノビス距離 D^2 は次式で与えられる。

$$D^2 = \frac{1}{k} \sum_{ij} a_{ij} \left(\frac{x_i - m_i}{\sigma_i} \right) \left(\frac{x_j - m_j}{\sigma_j} \right) \quad (1)$$

k: 項目数 m: 平均値 σ : 標準偏差
 a_{ij} : 相関行列の逆行列

- ⑤単位空間に属さない対象についての項目をk個集めて式(1)で単位空間と対象のパターン差 D^2 を求める。
- ⑥計測法の精度であるSN比を求める。
- ⑦項目ごとの取捨選択を直交表で行う。
- ⑧最適条件に対する確認計算を行い、計測の精度を求める。

3. 旋盤加工へのMT法の適用

一般に旋削加工の加工状態は振動を計測することで把握できる。さらに、MT法の適用によって加工状態を高い精度で把握できるので、MT法を適用して旋盤加工の過負荷検出が可能かどうかを検証する。

具体的には、汎用旋盤 (TAKISAWA製TSL-550) で材料を切削し、その切削中の機械の振動による加速度をMT法における特徴量とした。そして、空運転の振動から単位空間を作成し、切削量を信号として与えたときのマハラノビス距離を求めた。計算処理には行列計算用に開発されたMATLABを使用した。

3-1. 特徴量の抽出

特徴量の抽出には、振動による加速度の波形を利用した。Fig.1は、特徴量となる波形データの一部である。この波形に複数の標本線を引き、標本線と波形が交差する回数 (Fig.1の丸) と、標本線より上側に波形がある箇所の長さ (Fig.1の太線) を特徴量とした。これらは、振動数や振幅の情報と同時に、波形パターンとしての情報を併せ持つことになる。

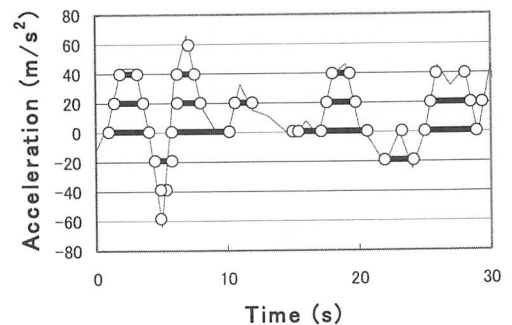


Fig.1 Standard wave pattern

3-2. 信号因子と制御因子

送り速度と切り込み量による切削量を信号因子とし、仕上げ切削を水準1、荒削りを水準2、重切削を水準3にした。Table.1に信号因子の切削条件を示す。

加速度センサーの種類と取り付け位置、解析方法を制御因子とし、 L_{12} 直交表に割り付けた。用いる加速度センサーはa($\pm 3G$)とb($\pm 5G$)の2種類とし、センサーの取り付け位置は主軸台上 (A)、刃物送り台 (B)、主軸台横 (C)の3箇所とした。解析方法の制御因子は特徴量抽出のための標本線の数と、サンプリングタイムとした。制御因子についてまとめたものをTable.2に示す。

Table.1 Signal factor

Cutting condition \ level	M1	M2	M3
depth of cut (mm)	0.1	0.5	1.0
feed speed (mm/rev)	0.1	0.39	0.39

Table.2 Control factor

No.	Control factor \ level		1	2
	Position	Sensor		
1	A	a	○	×
2	B	a	○	×
3	C	a	○	×
4	A	b	○	×
5	B	b	○	×
6	C	b	○	×
7	Number of specimen line		5	10
8	Sampling time (sec)		0.75	1.5

4. 実験

4-1. 実験方法

切削材料にSS400を使用し、超硬チップバイトを用いて回転数1030rpmで切削を行った。加速度センサー2種類、3箇所の測定位置と、4つの切削条件と、各々2回ずつ実験を行った。その結果、2×3×4×2=48セットのデータを収集した。Fig. 2に、実験に用いた旋盤とセンサー取り付け位置を示す。

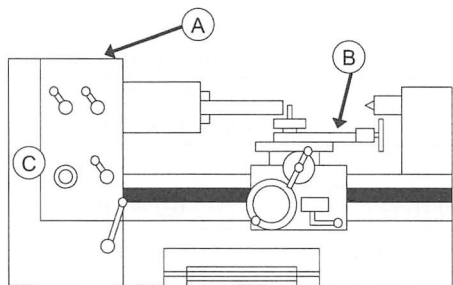


Fig.2 Experimental device

4-2. 実験結果

作成した単位空間より、式(1)を用いて、対象となる切削量のマハラノビス距離を求めた。計算量を少なくするためにセンサーのX、Y、Z軸方向ごとのマハラノビス距離を求めたものをさらに再計算するマルチMT法を用いた。各制御因子をL12直交表に割り付け、実験条件ごとのSN比を式(2)で求めた。SN比による要因効果図をFig.3に示す。

M: 切り込み深さ×送り速度 l: 信号の数

$$\text{全2乗和} \quad S_T = D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_l^2$$

$$\text{有効除数} \quad r = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_l^2$$

$$\text{比例項の変動} \quad S_\beta = (M_1 D_1 + \dots + M_l D_l)^2 / r$$

$$\text{誤差変動} \quad S_e = S_T - S_\beta$$

$$\text{誤差分散} \quad V_e = S_e / (l - 1)$$

$$\text{SN比(db)} \quad \eta = 10 \log \frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_e} \quad (2)$$

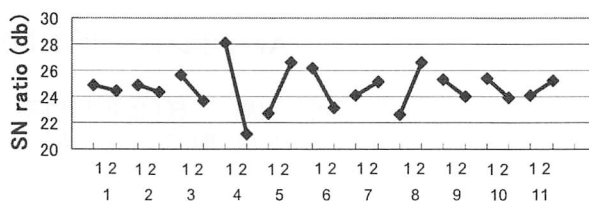


Fig.3 Response graph for the SN ratio

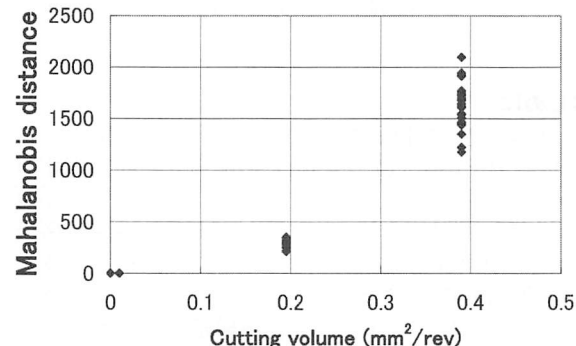


Fig.4 Mahalanobis distance

Fig.3からセンサーa,bと解析方法について最適条件を推定した。その結果から、センサーについては項目3、4を水準1、解析方法は項目7、8を水準2という条件が最もSN比が上がる組み合わせであることが分かる。最適条件でのSN比は28.35dbとなった。

最適条件でのマハラノビス距離のグラフをFig. 4に示す。この結果から、要因効果図を用いてSN比が向上する2つのセンサーの取り付け位置を決定することができた。また、切削量が増えるに従いマハラノビス距離が大きくなっているため過負荷の検出が可能といえる。

5. まとめ

旋盤加工の過負荷検出に対してMT法の適用可能性を検証した。その結果から

- (1) 加速度センサーによる振動を計測することで、マハラノビス距離を求められることを示した。
- (2) 直交表を用いてセンサーの最適位置を決定できることを示した。
- (3) 高負荷状態では大きいマハラノビス距離が得られることを示した。

となり、本研究で提案するMT法による旋削の過負荷検出に適用可能であることが分かった。

参考文献

- (1) 二色, 荒井, 宮澤, MTシステムの自動加工への適用に関する研究, 2005年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, (2005), p81-82
- (2) 手島, 畦本, マルチMT方による設備診断, 第12回品質工学研究発表大会, (2004), p348-351
- (3) 田口玄一, 品質工学応用講座MTシステムにおける技術開発, 日本規格協会, 2002