

品質工学への試み その4

動特性における解析

職業能力開発大学校 工学研究科
生産機械工学科

二ノ宮進一
東江 真一

1. はじめに

前号までにおいて、静特性（望大特性）によって立形ロータリドレッサの作業効率の最適化を試み、実際に利得を得ることができるまでの過程について報告した。

この事例は、筆者らにとって、初めて品質工学を適用した例であるが、効果的な実験ができたことで、品質工学に対する興味がさらに深くなった。品質工学の導入において、事例を作り出すことが品質工学を理解する一番の近道であると考え。ところが、“とにかく使ってみよう”という気持ちで適用した企業の中で、はじめの事例作成に失敗してしまい“わけがわからない”と断念してしまうケースが多くみられる。これは、専門的な知識と品質工学の知識のどちらかが欠如しているために生じた問題である。

また、品質工学に対する学習不足から、「何でも解決できるのでは？」と過信した適用になりがちになってしまうからではないだろうか。品質工学は実験計画にかなり依存しているため、実験を計画するための議論の段階でその実験の善し悪しが決定される可能性がある。筆者らも品質工学を適用した実験で、いくつかの失敗をしてきた。しかし、失敗の結果も立派な実験結果である。事実を正確に見つめて次に生かすことができれば、その実験は意義あるものとなるため、品質工学を深く学習する必要があると考える。

2. 動特性の解析

品質工学において、ばらつきを評価することができる特徴から、動的特性（以下「動特性」という）の解析が行われる。動特性の評価は比例関係などの基本機能を掲げ、選択した信号因子の水準において、その理想とする機能のばらつきをSN比によって導き出すことができる。

世の中の技術開発の多くはこの動特性によって支配されている。動特性は能動的動特性と受動的動特性があり、前者はダイナミックな特性、すなわち加工のように意志を働かせる積極的動特性を意味し、その信号因子は、出力に対する要求を満たすようにするためのものである。

後者は、計測分野における動特性を示し、目的特性そのものである。つまり、信号因子の水準の選定が難しいものに対して、目的特性に比例関係があり、かつ、任意の条件が設定しやすいパッシブな因子を信号因子とする動特性のことである。

この両者において、品質工学でのSN比を求める計算は同じであるため、特に意識して区別する必要はないが、計測特性を議論するうえで重要となる場合もある。

SN比の計算については、信号因子の真値のわかる場合、信号因子の水準の間隔の値あるいは間隔の比がわかる場合、信号因子の水準の比がわかる場合、および信号因子の真値が曖昧な場合と大きく分けて4つに分類されるので、目的に合わせて

計算式を選択する必要がある。

本号では、能動的動特性における、信号因子の真値のわかる場合について、ゼロ点比例式¹⁾を用いた実験の結果について述べることにする。

3. 事例への適用

研削加工について考える。研削とは回転する工具（砥石）を工作物に押し付けて加工する方法である。研削には湿式と乾式とがあり、研削液をかけるか否かは、目的や工作物の種類などによって選択される。通常、湿式で研削する場合、研削盤に附属で取り付けてあるノズルを用いる（図1）。しかし、このノズルでは、砥石の回転に伴って連れ回る空気流によって研削液がはじかれ、研削点に研削液がかかりづらいため、乾式研削しているのと変わらない場合が多い。

前号の実験では、立形ロータリドレッサの作業条件の最適化について、研削液の寄与率がかなり大きかったことを報告した。研削作業においても同様に研削液の管理の問題は研削性能にかなりの影響を及ぼすにもかかわらず、研削盤メーカーから販売されている機械の仕様からみても、研削液注水方式はあまり取り上げられていないのが現状である。

そこで、図2に示すように、常に研削液が研削点に到達することが可能な新しいノズルを開発した。このノズルは研削盤へ簡単に取り付けことができ、しかも安価である。その性能を評価するために、従来ノズルと新ノズルとの比較実験を行った。熱影響を受けやすいレジンボンドダイヤモンドホイールを用いて、それぞれのノズルが研削性能に与える影響を調べた。

4. 比較実験

4.1 基本機能および実験結果

研削加工における基本機能は、図3のように縦軸を実研削量 y 、横軸に総切り込み深さ指令値 M とすると、 $M=0$ のとき、出力 y がゼロであることは明らかのため、転写性²⁾の考え方をを用いることができ

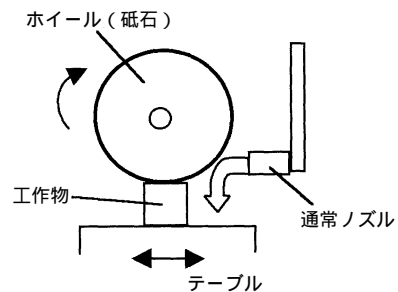


図1 通常ノズルにおける研削液の注水状態

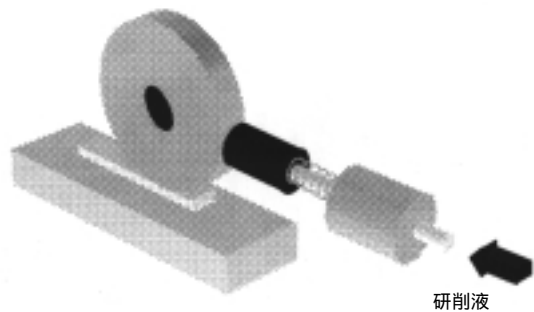


図2 開発した研削液ノズルの模式図

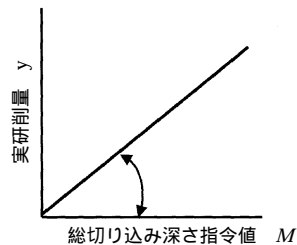


図3 総切り込み深さ指令値と実研削量の関係

るので、次の式が成立する。

$$y = M \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 k は比例定数を表す。このような関係を、ゼロ点比例という。すなわち、総切り込み深さ指令値に対して常に安定した研削を行うことが望ましい。実験条件を表1に示す。今回の実験では、信号因子の水準を3, 5, 10mmと3水準にとり、制御因子に2つのノズルを選択した。被削材の種類は標示因子³⁾として考える。誤差因子には、ホイールの局所的な減耗量のばらつきを考慮して $R_1 \sim R_3$ の3カ所を測定した。実験に採用した因子と水準を以下に示す。

(1) 制御因子 研削液注水ノズルA

表1 研削実験条件

平面研削盤	52DX
超砥粒ホイール	SDC400N75B
被削材	SiC211, Si ₃ N ₄ 220
ホイール回転数	50rps
切り込み深さ	5μm/pass
ドレッサ	立形ロータリドレッサ (SFドレッシング法)

A₁: 新しいノズル, A₂: 通常ノズル

(2) 標示因子 被削材B

B₁: SiC 211, B₂: Si₃N₄ 220

(3) 信号因子 総切り込み深さM

M₁ = 3, M₂ = 5, M₃ = 10 (mm)

(4) 誤差因子

場所による寸法のばらつき R₁ ~ R₃

取り上げた因子と水準のすべての組み合わせについてもれなく実験するために、要因配置法によって実験した。要因配置法を用いるとすべての因子および水準に対して実験を行うことができるが、必ずしも実験法として常に最良というわけではない。この方法の最大の欠点は、因子と水準の数が増すにつれて実験回数が等比級数的に増加し(因子の数を10とすると、水準の数をすべて2としても、処理は210 = 1024種、2回繰り返せば実験回数は2048回となる)、それに伴って誤差の管理が著しく困難となることである。今回の実験では、総実験回数が12回と少ないため要因配置法で割り付けることにした。

4.2 実験結果およびSN比解析

表2に因子の割り付けと得られた測定データを示

表2 因子の割り付けと被削材の寸法データ

	A ₁ : 新ノズル						A ₂ : 通常ノズル					
	B ₁ : SiC			B ₂ : Si ₃ N ₄			B ₁ : SiC			B ₂ : Si ₃ N ₄		
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃
R ₁	2.986	4.982	9.939	2.987	4.985	9.983	2.983	4.993	9.999	2.992	5.005	9.988
R ₂	2.985	4.981	9.940	2.986	4.985	9.984	2.983	4.992	9.999	2.992	5.006	9.988
R ₃	2.985	4.981	9.939	2.987	4.985	9.984	2.983	4.992	9.999	2.992	5.006	9.988
計	8.956	14.944	29.818	8.960	14.955	29.951	8.949	14.977	29.997	8.976	15.017	29.964

す。データの数は、制御因子と標示因子の水準がそれぞれ2種類、信号因子と誤差因子の水準がそれぞれ3種類であるため、

$$\text{実験データ} = 2^2 \times 3^2 = 4 \times 9 = 36 \text{ (個)}$$

である。

ここで、ゼロ点比例式のSN比の計算方法について述べる。まずA₁における被削材B₁についてSN比を求める。

全変動

$$S_T = 2.986^2 + 4.982^2 + \dots + 9.939^2 \\ = 397.5391 \quad (f=9; \text{自由度})$$

有効除数

$$r = 3 \times (3^2 + 5^2 + 10^2) = 402$$

信号因子の1次効果

$$S = \frac{1}{402} \times (3 \times 8.956 + 5 \times 14.944 + 10 \times 29.818) \\ = (26.868 + 74.72 + 298.18) / 402 \\ = 397.5388 \quad (f=1)$$

誤差変動

$$S_e = S_T - S = 0.00032828 \quad (f=8)$$

誤差分散

$$V_e = 0.00034142 / 8 = 0.00004104$$

これらの結果を表3の分散分析表にまとめる。よって求めるSN比は、

$$= \frac{1}{402} (S - V_e) \\ = \frac{1}{10}$$

$$= \frac{1}{40 \times (397.5388 - 0.00004104)} \\ = 24098.694$$

デシベル値で表すと、次のようになる。

$$(db) = 10 \log (24098.694) \\ = 43.82 (db)$$

同様な手続きによって A_2 を求め、さらに被削材が B_2 の場合についてもSN比を算出した結果が表4である。表4より、標示因子ごとに要因効果図を求めた結果を図4に示す。新しく開発したノズルを用いたほうが、SiC211の研削についてのSN比は約3.9db、 Si_3N_4 220の研削についてのSN比では約2.0db高い結果が得られた。つまり、新しいノズルを使用すると、切り込み指令値に対して実研削量の寸法のばらつきが、いずれの被削材においても少なくなることがわかる。真数で表した場合、新しいノズルを使って研削作業を行うと、分散で、SiC211の場合約2.5倍、被削材 Si_3N_4 220の場合約1.6倍改善できたことになる。

5. おわりに

品質工学を用いて、開発した新しいノズルと通常ノズルを比較した結果、新しいノズルを用いると切り込み深さ指令値に対する実研削量のばらつき、すなわちSN比は高くなる結果を得た。

ところが、研削加工は非常に多くのパラメータが複雑にからんでいるために、今回の実験に採用した機能が果たして本当に効果的であるのかの疑問が残る。換言すれば、この基本機能の直線性を改善することによって、他の品質特性が向上したのかという疑問である。研削性能として、今回の基本機能は研削比（被削材体積減耗量 / 超砥粒ホイール体積減耗量）のばらつきの低減については反映される。しかし、切れ味について考えたとき、この実験からは評価しがたい。一般に、切れ味そのものを直接測定することはできないので、研削時にかかる抵抗、すな

表3 A_1 の分散分析表

Source	f	S	V
	1	397.5388	397.5388
e	8	0.00032828	0.00004104
T	9	397.5391	

表4 SN比

被削材 SiC211	新ノズル	43.82 (db)
	通常ノズル	39.94 (db)
被削材 Si_3N_4 220	新ノズル	44.86 (db)
	通常ノズル	42.90 (db)

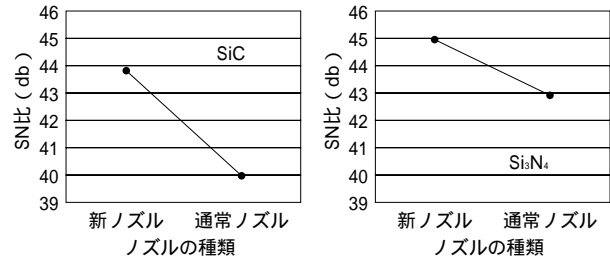


図4 標示因子ごとの要因効果図

わち研削に要するエネルギーを測定して切れ味を判定することができる。また、表面粗さも研削性能を評価するためには重要な因子となるため、今回の実験において、上記についても測定した。

つまり、前述した基本機能の評価にあわせて、比研削エネルギーと表面粗さの3項目をもって、ノズルを評価した。品質工学では基本機能を正確にとらえることによって、その品質特性も改善していくはずであるという基本理念をもつ。その意味からすると、今回報告した実験だけでよいはずであるが、複雑な現象の集合体である研削加工に適用した例はあまり多くなく、また筆者らの品質工学に対する経験が浅いため、研削加工分野における品質工学の導入の可能性を評価する意図も含んで実験したのである。そのため、表面粗さについて望目特性で解析し、品質工学における解析の信頼性を確認した。また、切れ味も評価するために、セラミック研削時の比研削エネルギーについてもあわせて測定した。

解析方法の選択および実験結果については次号で述べることにする。

(以下、次号へ続く)

参考

- 1) ゼロ点比例式：信号因子すなわち入力を M として、 $M=0$ のとき、出力 y がゼロであることが明らかで（理論的にまたはゼロ点校正をしてあるので）、 y が M の比例式、 $y = M$ が理想である場合に用いる関数関係式。
- 2) 転写性：プレス加工や射出成型の例にみられるように、精度の高い製品を効率よく製造していくために、金型寸法と製品寸法間の比例関係を追求することによって、基本となる生産技術を開発するための方法論である。さらに、もう一つの重要な意味として、円や球のように測定できない形状の製品を、どのようにして測定すればよいのかを解こうという目的がある。すなわち、具体的には、測定できないものはどうやっても測定できないことから、測定すること自体をあきらめて、発想を転換させ

て全く別の考え方を導入するのである。機械加工を例にとると、最初に入・出力間の比例関係を追求し、機械加工技術を開発する。その後、開発に用いた工作機械と、開発した加工技術を適用して当該寸法の円や球を製作すれば、こよなく真円や真球に近い製品が得られるはずだという考え方である。

- 3) 標示因子：制御因子と同様にその水準には技術的意味があるが、水準の選択が無意味な因子をいう。使用条件、品種、サイズの違いなどがこれに当たる。本来、SN比がよいというのは、使用条件などの影響を受けにくいということも含まれるので、その意味では、誤差因子としたほうがよい場合も多い。しかし、一例をあげると、自動車の操縦性を議論するとき、低速操縦性と高速操縦性とは、内乱、外乱の影響の受け方が明らかに異なり、対象とする（旋回半径などの）特性値自体が大幅に違う。低速でも高速でも操縦性に差がないのがよいに違いないが、技術的に差が明らかでない場合は、低速、高速という条件でSN比がどの程度違うかを把握しておくことも大切である。このような扱いをする因子を標示因子という。高速ではSN比がよくないから運転しないでくださいとはいえないから制御因子ではない。

広報普及室より
職業能力開発報文誌第10巻第1号(通巻19号)発行!

雇用促進事業団職員による研修、研究の成果を収録公表し、教育訓練に関する有用な知見等の交流活用を図る刊行物である職業能力開発報文誌第10巻第1号(通巻19号)を3月に発行しました。以下に掲載された論文表題を紹介します。なお、詳しくは広報普及室(tel 0427-63-9047)までお問い合わせください。



第10巻第1号(通巻19号)		*代表者氏名
<報文>		
VDT作業における高齢者と若年者の疲労度に関する研究	ポリテクカレッジ北九州	原 勝己
建築CADの利用実態に関する比較研究	ポリテクカレッジ新潟	和田 浩一*
企業と職業能力開発施設の連携による設計技術教育システムの提案	ポリテクカレッジ京都	長島喜一郎*
建築産業を軸とした地域類型	ポリテクカレッジ滋賀	平野 直樹
もの作り教育を前提とした卒業製作の実践課題6事例	ポリテクカレッジ青森	佐々木 進
ウッドセラミックスの電気的特性とその応用	ポリテクカレッジ青森	柴田 清孝*
<研究ノート>		
経常収支の多期間推移シミュレーションの分析	ポリテクカレッジ群馬	山口 憲二
イメージプロセッサを利用したTL測定システムの作製	ポリテクカレッジ青森	小関 英明*
<実践報告・資料>		
アコースティック エミッションの応用	ポリテクカレッジ高知	亀山 寛司
高速切削における切削負荷の変動	ポリテクカレッジ高知	亀山 寛司