

品質工学への試み その2

静特性(望大特性)による解析(上)

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

品質工学の導入として、ワープロのタイピング技能評価を取り上げ、実際に試験した結果を前報で報告した。

品質工学の効果および重要性を理解していても、品質工学を適用するまでにはかなりの時間を要するが、前回の適用例は身近でわかりやすく、品質工学の導入の目的として、よい課題であると考えている。はじめは何をやっているのかわからなかった学生らが興味を示し、それらの文献に自ら目を通すようになり、品質工学に関する質問も増え、短期間でかなりのディスカッションをするまでに至ったからである。

すなわち、学生の品質工学に対する興味およびモチベーションの向上を図るためには、大変有効な手段であった。今では、この事例を、ゼミの一環として取り上げている。

研究開発において、いろいろな形でこの品質工学を取り入れて解析することは、開発結果や実験結果の客観性を飛躍的に増大させる。

今回は、実験計画法を用いた静特性の解析を試みたので、その実験計画から結果を得るまでの過程および品質工学を用いた効果について述べることにする。

2. 立形ロータリドレッサ

当研究室で開発された立形ロータリドレッサ(写真1)は、超砥粒ホイールのドレッシング装置において、他に類を見ない高精度、高能率で、しかも簡単にドレッシングできるため、さまざまな企業に導入されてきている。大手の研削盤メーカー数社とも、OEM供給がなされており、これからもこのドレッサが広く普及していくことは確実である。

言及すると、研削作業において、超砥粒ホイールを用いるならば、この装置を必須のアイテムとして使用しなければ、本来のホイールの性能を引き出すことは難しいのである。

立形ロータリドレッサは、等速条件のもとでその効果を最大に発揮する(図1)。その際のドレッサの4大効果を述べる。

立軸形の基本的効果

±180°ひねりの効果

クラッシング力最大の効果

接線分力最大の効果

以上、4つの効果とその相乗効果によって効果的な作業が期待できる(図2)。

ところが、機械加工というものは、さまざまなパラメータが複雑にからんでおり、その作業条件の選定を誤ると、たちまち要求する精度が得られないなどの重大な問題が発生する。このドレッサの作業条件においても同様で、立形ロータリドレッサの使用条件の設定を誤ると、全く効果が現れない。場合に

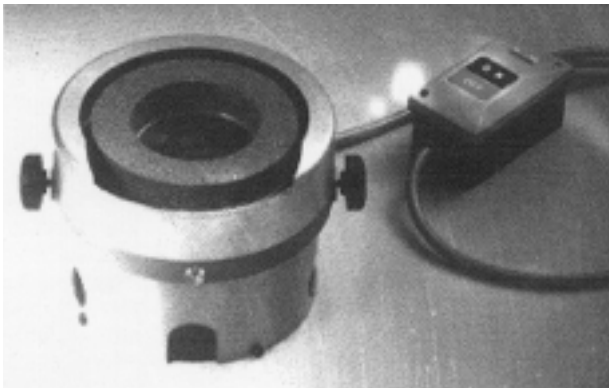


写真1 立形ロータリドレッサ

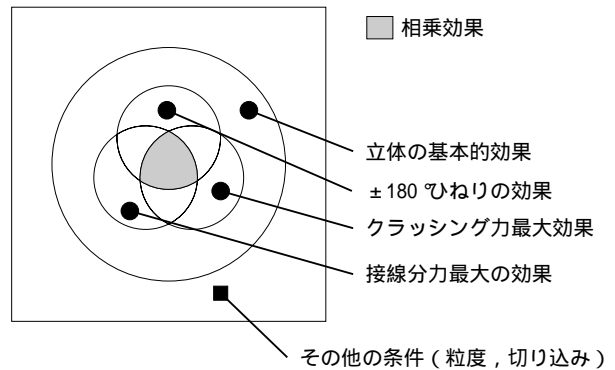


図2 4大効果と相乗効果

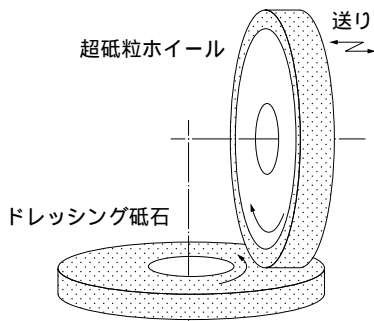
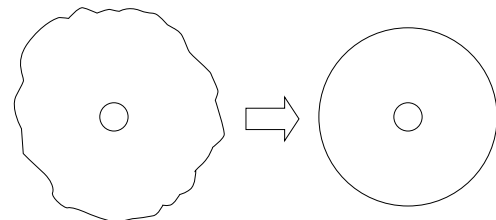


図1 平面研削盤におけるSFドレッシング法



ホイール振れ, 形くずれ

図3 ツルレーイングの原理

よっては、危険な状況に陥る可能性もある。

そのため、品質工学でこのドレッサの作業条件を最適化することが最も合理的であると判断した。

3. 静特性 (望大特性) による解析

3.1 解析法の選定

立形ロータリドレッサは、ドレス砥石の選択によって、ツルレーイング (振れ取り) および、シャープニング (目立て) の両方の効果が期待できる。このツルレーイング・シャープニングは、求める機能が違うため、両者を分けて実験を行う必要がある。本報ではツルレーイング機能 (図3) に対してのみの実験を報告する。

前述の4大効果によって、高精度にツルレーイングができることは確認済みであるので、今回は作業効率について最適化を検討した。作業効率の指標とし

て、ツルレーイング比を用いた。

$$\text{ツルレーイング比} = \frac{\text{ホイール減耗量}}{\text{ドレス砥石減耗量}}$$

つまり、いかなる場合においても、このツルレーイング比の高い条件を選択することが、作業効率の向上へつなぐといえる。

そこで、ツルレーイング比を静特性における望大特性で解析すると式(1)のようになる。 n はSN比, Y_n はツルレーイング比である。

$$n(\text{db}) = -10 \log \left[\frac{1}{Y_n^2} \right] \dots \dots \dots (1)$$

3.2 因子と水準の決定

ツルレーイング比に影響を及ぼすと考えられる因子を列挙すると次のようになる。

初期条件	A: 2水準
GC粒度	B: 3水準

切り込み量 ($\mu\text{m/pass}$) C : 3 水準
 トラバース速度 D : 3 水準
 研削液流量 (l/h) E : 3 水準

上記5つを制御因子として取り上げた。このように制御因子は、技術者自身で選んだり定めたりしなければならない設計定数である。

その他の実験条件を表1に示す。

因子の選択および水準は、過去の実験データと表2に基づく予備実験結果を参考とし、また前後送り速度はマシンの仕様から決定した。表3は実験に採用した制御因子と水準のあらましである。

ホイール減耗量については、超砥粒ホイールの局所的な減耗量のバラツキを考慮して測定するようにした。すなわち、ダイヤモンドホイールの円周上の 0° 、 90° 、 180° および 270° の位置に取り付けた4カ所の高さ基準片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 とホイール表面との段差を、電気マイクロメータで測定する(図4)。そして、それぞれの段差からホイールの減耗量を計算した。

3.3 直交表への割り付け

表3の因子の組み合わせを考える。2水準の因子1つと3水準の因子が4つなので、要因配置法で実験すると、

$$\begin{aligned} \text{実験回数} &= 2^1 \times 3^4 = 2 \times 81 \\ &= 162 \text{ (回)} \end{aligned}$$

の実験が必要となる。因子の数が増えると実験は等比級数的に増大し、かなりの時間を要することになるが、表4に示す L_{18} 直交表に割り付けて実験を行うことによって、実験回数を大幅に減らすことが可能である。 L_{18} 直交表は混合型であるため、第1列に2水準の因子を、第2列以降に3水準の因子を7つ割り付けることが可能である。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{実験回数} &= 2^1 \times 3^7 = 2 \times 2187 \\ &= 4374 \text{ (回)} \end{aligned}$$

の実験を18回に絞り込み、分散分析の手法に基づい

表1 実験条件

平面研削盤	SE-52
超砥粒ホイール	SDC140N85B
総切り込み量	0.5mm
スパークアウト	2 往復
等速条件設定速度	8.88m/s

表2 予備実験の一例

制御因子	実験水準値					
	G C 粒度	# 46	×	# 80		# 150
切り込み量	10		15		20	×
研削液量	0		5		10	
送り速度	マシンの下限 / 上限の把握					

実験状態 : 良好 : やや難 × : 難

表3 制御因子および水準

制御因子 / 水準	第1水準	第2水準	第3水準
初期条件 A	A_1	A_2	
G C 粒度 B	B_1 (粗)	B_2 (中)	B_3 (微)
切り込み量 C ($\mu\text{m/pass}$)	C_1 (小)	C_2 (中)	C_3 (大)
トラバース速度 D (mm/rev. of SW)	D_1 (遅)	D_2 (中)	D_3 (速)
研削液流量 E (l/h)	E_1 (少)	E_2 (中)	E_3 (多)

現行条件 $A_2 - B_2 - C_2 - D_2 - E_2$

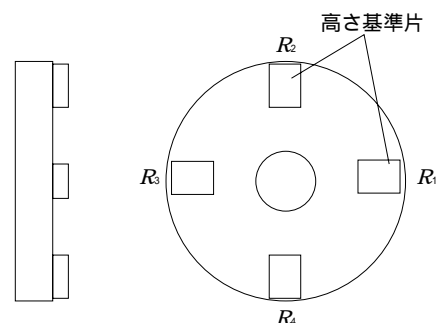


図4 測定箇所

で解析するのである。品質工学では、確認実験を行い、データの信頼性を評価するので、SN比の大きい因子の水準が選択できれば、後は実験の再現性だけを確認できればよいことになる。因子を割り付けていない列は実験間誤差として考え e_1, e_2, e_3 とした。

表4 L₁₈直交表と割り付け

	初期条件	GC粒度	切り込み量	トラバース	研削液流量	e_1	e_2	e_3	ツルーイング比				SN比	
									R ₁	R ₂	R ₃	R ₄		
1	A	B	C	D	E									- 24.1
2	B	A	C	D	E									- 22.0
3	C	A	B	D	E									- 22.7
4	D	B	A	C	E									- 31.9
5	E	C	B	A	D									- 39.2
6		C	D	E	A									- 27.4
7		D	E	A	B									- 35.3
8		E	A	B	C									- 29.9
9			A	B	C	D							省略	- 40.4
10			B	A	C	D							省略	- 22.5
11			C	D	E	A							省略	- 27.4
12			D	E	A	B							省略	- 18.9
13			E	A	B	C							省略	- 26.8
14				A	B	C	D						省略	- 27.2
15				B	A	C	D						省略	- 36.2
16				C	D	E	A						省略	- 31.7
17				D	E	A	B						省略	- 33.6
18				E	A	B	C						省略	- 33.6

4 . SN比解析

4.1 SN比解析

L₁₈直交表の1行目の実験について、SN比に変換する方法を述べる。4カ所の測定箇所からツルーイング比に換算したデータを表5に示す。

表5 実験1のデータ(ツルーイング比)

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
実験1	0.064	0.065	0.058	0.062

この4つのデータから静特性である望大特性によってSN比を求めると、式(1)から次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \mu(\text{db}) &= -10 \log \left\{ \frac{1}{\frac{(0.064)^2 + \dots + (0.062)^2}{4}} \right\} \\
 &= -10 \log \left(\frac{1}{0.00388} \right) \\
 &= -24.1(\text{db})
 \end{aligned}$$

同様にして、以下の行の実験についてのSN比を計算する。その結果を表4の右側の列に示す。

次に、データ全体を要因効果に対応する分散と、誤差分散に分ける。すなわち、表5-1に示す分散分析を行う。

ここで f : 自由度, S : 平方和, V : 分散を表して

表5-1 分散分析表

Source	f	S	V
A	1	12.56	12.56
B	2	407.89	203.94
e_1	2	5.03	2.52
C	2	87.06	43.53
D	2	19.03	9.51
E	2	83.89	41.95
e_2	2	7.20	3.60
e_3	2	21.69	10.85
e	2	6.62	3.31
T	17	650.98	

いる。

e_1 は e よりも小さいので誤差にプールすると、表5-2のようになる。ここで F_0 ：分散比， ρ ：寄与率を表す。

表 5-2 分散分析表

Source	f	S	V	F_0	ρ
<i>A</i>	1	12.56	12.56	4.31	1.48
<i>B</i>	2	407.89	203.94	70.00	61.76
<i>C</i>	2	87.06	43.53	14.94	12.48
<i>D</i>	2	19.03	9.51	3.27	2.03
<i>E</i>	2	83.89	41.95	14.40	11.99
e_2	2	7.20	3.60	1.24	0.21
e_3	2	21.69	10.85	3.72	2.44
e	4	11.65	2.91		7.61
<i>T</i>	17	650.98			100

e_2 、 e_3 も実験間誤差であるので、プーリングを行うべきである。*D*のトラバース速度については、分散が誤差よりも小さいので、これも実験間誤差と見なしてプールしてしまう。すると表5-3のようになる。このように、 L_4 直行表のような規模の小さい場合は論外であるが、十分な規模の直交表が使われているときは、すべての列に制御因子が割り付けてある場合であっても、その中で小さい分散の要因をひとまとめにして、実験間誤差に代用（プール）することが行われる。

表 5-3 分散分析表

Source	f	S	V	F_0	ρ
<i>A</i>	1	12.56	12.56	2.11	1.01
<i>B</i>	2	407.89	203.94	34.23	60.83
<i>C</i>	2	87.06	43.53	7.31	11.54
<i>E</i>	2	83.89	41.95	7.04	11.06
e	10	59.58	5.96	-	15.56
<i>T</i>	17	650.98			100

*B*のGC粒度の寄与率が、60.8%と非常に大きく、一番大きな影響を及ぼすことがわかる。次に、*C*の1pass当たりの切り込み量、*E*の研削液流量の値が大きかった。*A*に関しては誤差と比較しても非常に小さいために、さほど影響は感じられなかった。*D*

に関しては誤差より小さいので、ツルーイング比、すなわち作業効率にはほとんど寄与していないことがわかった。つまり、ツルーイング比に関しての改善の効果は*B*に期待できるわけである。

結局、使用上に注意を払う必要があるのが*B*を筆頭に*C*と*E*の合わせて3因子ということになる。筆者の実験開始前の予想では、GC粒度の寄与率がかなりのウエイトを占めていると考えていたが、*C*と*E*の影響がこれほど大きいとは考えていなかった。また、因子の影響の度合を寄与率という形で明らかにできたのは大きな収穫であった。

ここからが、品質工学の本領を発揮するところである。すなわち、この立形ロータリドレッサの作業効率を向上させるための因子の水準を決定することが可能なのである、つまり、SN比の高い水準（バラツキなくツルーイング比を向上させることが可能な水準）を選択することが、最適な作業条件を見いだすことになる。ただし、確認実験による実験の再現性が保証されることが必要である。

5. おわりに

日本の技術者は、因子や定数の大きさを定めるのにお手本に頼るという傾向があるといわれる。先行する他国の文献とか他国の製品など、過去に明らかにされているデータから定数の大きさを決定している、責任転嫁になると思える。すべてを否定することはできないが、品質工学では、それをもう一度自分自身の力で考え直して評価することができる。自分の知識と経験を生かし、初期のシステム選択の段階でシステムを選択したときの知識の範囲で考えてみるのが肝要である。

次報では、行程平均を求め、最適水準の選択をし、SN比の推定および確認実験を行った手順および結果について述べることにする。

(以下、次号に続く)