

品質工学への試み その5

研削加工における評価

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

複雑な因子が絡んでいる研削加工において、その評価をどのように行うかが重要となる。そのためには、まずどのような加工が理想的であるかを議論しなければならない。

品質工学の立場では、基本機能を正確にとらえ、その機能のバラツキを低減させることによって、品質特性も改善するはずだと考える。研削加工という品質特性とは、目的によっても異なるが、工作物表面の平面度および表面粗さなどを指している。前報において、転写性という考え方をを用いて、研削液注水法の評価を行った結果、その効果が明瞭に確認できた。しかしながら、その効果が品質特性にまで現れているか興味のあるところである。

そこで、品質工学の手法を用いて加工物の表面粗さを解析し、従来の表面粗さの評価法と比較してみることにした。これは、品質工学による解析の信頼性を確認する意図も含んでいる。また、研削における切れ味の評価として、比研削エネルギーについても測定し、検討したので報告する。

2. 表面粗さの評価

表面粗さのパラメータは、JISに定義してあるようにいくつも存在するが、一般的に、最大高さ： R_v 、算術平均粗さ： R_a 、十点平均粗さ： R_z が用いられる。そこで、今回の実験では、品質工学による表面粗さの解析に、最大高さ R_v を用い、併せて他の2つ(R_a , R_z)も従来通り測定することによって、

両者の評価方法を比較し、表面粗さにおける品質工学の適用の信頼性を確認した。

通常、表面粗さを考えたとき、粗さのパラメータの値が小さいほうがよいとされるが、研削加工において、単に値が小さいほうがよいとするのは危険である。なぜなら、工具である砥石(超砥粒ホイール)の切れ味は、時間とともに低下することが避けられないからである。切れない状態で加工することは、ただ円盤を工作物にこすりつけるだけにすぎず、理想的な加工とはいえない。しかし、その状態で加工した後の被削材の表面粗さを測定したとき、著しくよい面が得られる可能性がある。すなわち、ある材料を目的の寸法に研削し、その材料の表面粗さが小さい値を示した場合、このことが果たして理想的な加工が行われた結果であるかどうかの判断には、たいへん疑問が残る。

上記の理由から、最大高さ R_v において時間的なバラツキを評価することとした。言及すると、加工が進んでも、常に安定した表面粗さを示すことが理想的な加工であると考えてるのである。この評価を行うことによって、仕上げ寸法までのとりしろがいくつであっても、バラツキのない、一定の加工物表面粗さを得ることが可能な条件を求めることができる。品質工学の考え方を導入した実験計画である。実験は、静特性における望目特性により評価した。

3. 望目特性

電球の機能を考えたとき、その目的は、入力電源に対して目標輝度の光を出すことである。しかし、

入力電源の電圧，温湿度の条件などが基準の値をもっている条件すなわち標準使用条件のもとで目標値をもっていることが，その条件下では理想的である。現実に生ずる電圧の変化などの環境条件の変化に対しても，明るさの変化がないほうが望ましい。すなわち，消費者のさまざまな使用条件のもとで，製品企画時に設定した設計寿命の間，その輝度がいつも目標値に等しいとき，それは理想機能の電球といわれることになる。したがって，このように，ある有限の目標値が望ましいとする特性は，望目特性と呼ばれている。

工作物における研削面の表面粗さに関しても，研削盤に設定する総切り込み深さ指令値に関係なく，常に一定の目標値を示すことが理想であると考えられる。つまり，粗さの絶対値を問題とするのではなく，そのバラツキが問題となるのである。まず，粗さのバラツキを低減させる条件，すなわちSN比の高い条件を見つけることが重要となる。その次に，粗さの絶対値を小さくする，2段階設計が望ましいのである。表面粗さの絶対値は感度に示される。よって，今回の実験における表面粗さの評価は，SN比の高い条件および感度の低い条件を導き出すことが最適な加工条件を選択できることになる。

4. 実験および解析結果

研削液注水法が，研削性能（表面粗さ）に与える影響を調べるために，使用機材および研削条件等は前号で述べた動特性における解析と同様にして実験を行った。動特性における解析の際，総切り込み深さ指令値は信号因子として解析したが，今回は誤差因子として考える。静特性は信号因子を持たない。静特性に分類される望目特性も誤差因子に対するバラツキを評価する手法である。今回は水準の幅を広げるために総切り込み深さ1mmを加えて4水準とした。

誤差因子：総切り込み深さ

$$R_1 = 1, R_2 = 3, R_3 = 5, R_4 = 10 \text{ (mm)}$$

測定箇所：工作物の場所による誤差

$$P_1, P_2, P_3$$

計測特性には，最大高さ R_v を用いる。そこで，

一定の粗さ（目標とする R_v の平均値）からのバラツキを評価するため，望目特性の関係式を用いて解析する。計算式を以下に示す。

$$(db) = 10 \log \frac{1}{r} \frac{(S_m - V_e)}{V_e} \dots\dots\dots(1)$$

ただし，

$$S_m = (\sum y_i^2) / n$$

$$S_e = \sum y_i^2 - S_m$$

$$V_e = \frac{S_e}{n - 1}$$

ここで， n はデータ数である。

併せて平均値の大きさを示す感度 S についても計算する。 S の真数は平均値 m の2乗の推定値になっている。

$$S = 10 \log \frac{1}{r} (S_m - V_e) \dots\dots\dots(2)$$

割り付けた因子と，実験によって得られた表面粗さデータを表1に示す。この表より，式(1)，(2)を用いてSN比 および感度 S を計算した。得られた結果を表2に示す。表2より，SN比を見ると，表面粗さにおける最大高さ R_v は，被削材SiC211に対して，従来ノズルを用いた場合9.57db，開発した新ノズルを用いた場合，13.81dbとなり，新ノズルが約4.2db高い値を得ることができた。Si₃N₄220に対しても同様に，新ノズルが約6.5db高い値を示す。すなわち，この新しいノズルで研削液を注水すると加工時間（総切り込み深さ指令値）に伴う表面粗さのバラツキは改善されることがわかった。また，この改善の効果は，被削材SiCに比べてSi₃N₄220のほうが大きいことがわかった。

また，それぞれの標示因子において感度 S を比較すると，いずれのノズルを用いても炭化ケイ素を研削するほうが最大高さは約5 db小さくなることがわかった。さらに，新ノズルにより粗さ自身の改善も可能であり，3~3.5db，真数で約2倍の改善効果が得られることとなる。

ここで，算術平均粗さ R_a および十点平均粗さ R_z において測定されたデータについて評価する。横軸を総切り込み深さ指令値，縦軸を得られた粗さデータ

表1 被削材の表面粗さ(最大高さ R_y)の比較データ

	A_1 : 新ノズル								A_2 : 通常							
	B_1 : SiC				B_2 : SN				B_1 : SiC				B_2 : SN			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
P_1	1.92	1.36	1.32	1.22	2.44	2.24	3.00	2.40	1.92	1.80	3.28	1.72	3.36	4.28	3.36	2.66
P_2	1.84	1.08	1.52	1.28	2.54	2.72	2.60	2.44	2.00	1.88	3.10	1.64	3.00	4.50	4.12	4.36
P_3	1.92	1.24	1.72	1.26	2.56	2.56	2.32	2.50	2.00	1.44	3.78	2.24	3.28	3.54	3.20	3.28

表2 SN比および感度(望目特性)

B	A	SN比 (db)	感度 α (db)
SiC 211	新ノズル	13.81	3.35
	通常	9.57	6.94
Si ₃ N ₄ 220	新ノズル	22.17	8.05
	通常	15.63	11.06

として示したのが図1である。両者とも、同様な傾向を示しており、粗さの絶対値は、いずれも新ノズルのほうが小さいことがわかる。このことは前述した感度と同じ意味を示している。また、横軸の総切り込み深さ指令値に対する表面粗さのパラツキも、新ノズルが小さいことがわかった。このことが前述したSN比が高いという意味である。

このように、SN比は、バラツキの度合を数値で示すことができるため、非常に有効である。この実験によって、表面粗さに対する品質工学の信頼性を再認識するとともに、その有効性を実感することができた。

5. 加工におけるエネルギーと品質工学の動向

5.1 比研削エネルギーの評価

研削加工における切れ味を評価するために、比研削エネルギーについても、時間的な経過に伴う研削性能の評価因子とした。10mm研削した際に研削盤の主軸の電力値を時間の経過とともにプロットし、その値から比研削エネルギーに換算した結果が図2である。この図より、切り込み量すなわち時間に対する比研削エネルギーの安定性という点から見ても、新ノズルにより研削性能が向上していることがわかる。通常ノズルに関しては不連続音の発生、すなわち超

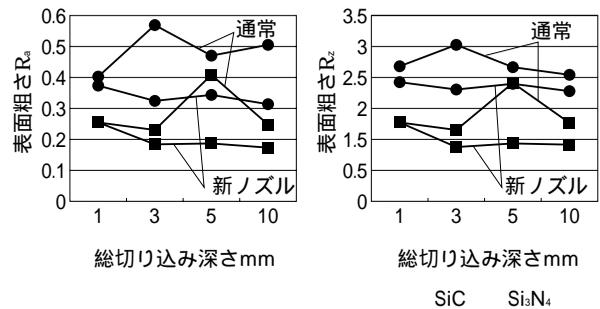


図1 総切り込み深さと表面粗さ(R_a, R_z)の関係

砥粒ホイールの劣化を境にして安定せず、大きくばらついてしまう結果が得られた。

上記の結果より、今回は記さなかったが、比研削エネルギーをSN比で評価しても、新ノズルのほうが高い値を示した。すなわち、セラミックにおける研削加工において、時間に伴う切れ味の安定性の改善が、新しい研削液注水法によって可能であることが立証された。

5.2 加工におけるエネルギー

加工に関する評価において、最近の品質工学の考え方としては、エネルギーの入出力に着目した解析が多く行われるようになった。現在、さまざまな企業において、その評価の可能性が研究されている。エネルギーの入出力問題を利用した適用事例は、以前からかなりの実績が上げられている。代表的な例として、自動車のブレーキに対する適用事例が挙げられる。

ブレーキの役割は、走行している自動車を減速させたりあるいは停止させるために、自動車が走行時にもっている運動エネルギーを摩擦材によって熱エネルギーに変換し、自動車の運動エネルギーを減少させることである。それと同時に、蓄積した熱エネルギーを大気中に放熱して、ブレーキとしてのエネルギー変換

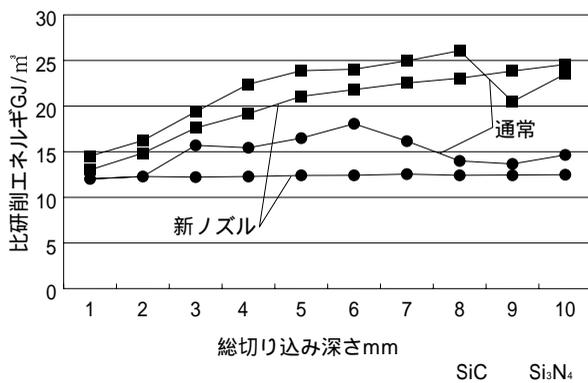


図2 総切り込み深さと比研削エネルギーの関係

機能を維持しておかなければならない。このようにシステムに要求される役割のことを、目的特性と呼んでいる。

このブレーキシステムの評価において、実際の開発現場では、これまで制動距離という指標でブレーキの性能が表されてきた。そして、ブレーキの鳴きや振動、あるいはブレーキパッドの耐久性という、いわゆる品質工学でいう品質特性（目的機能に対応させて目的特性ともいう）を測定することにより、評価され、改善されてきたのである。ところが、効きのよいブレーキはよく鳴くとか、効きのよいパッドは摩耗が早いなどの矛盾が生じてくる。開発者は仕方なくその性能の妥協点を選択して、開発を進めてきたわけである。当然、妥協しているわけであるから、ブレーキそのものの性能は最適な機能を備えているわけではない。また、このような評価を続けているわけでも、これまで数多くの実験をされてきているわけであるから、これ以上の改善は難しいように思える。

すなわち、品質特性を評価の対象としていては、これまでの最適条件からの脱皮（さらなる改善）は不可能であると考えられる。そこで、エネルギーの入出力に焦点を絞ることにより、これを改善すれば、結果的に品質特性も向上するはずだという考えを品質工学が提案しているのである。実際にこの事例については適用され、成果が得られている。詳細については、他の文献に委ねることとし、ここでは省略する。

加工に関しても品質工学の主張は、同様の考え方である。すなわち、切削加工を考えたとき、切削に

要するエネルギーは、切り込みおよび送りなどの条件が一定の場合、常に安定しているほうがよく、また絶対値が小さいほうがよい。余分なエネルギーの消費が、結果として品質特性に悪影響を及ぼすと考えられる。そのため、加工に消費するエネルギーが安定していて小さくなる条件を探求することによって、加工の最適化ができるのである。しかし、エネルギーの消費が少なくても、加工できない（削れない）場合には、意味がない。よって、効率も評価の対象となってくる。まとめると、加工現象に対し、消費するエネルギーを用いて評価をする場合、常に安定したできるだけ少ないエネルギーによって、多くの仕事をやる条件を探ることが重要となる。

加工現象は、パラメータが多く、評価項目も多いため、なかなか理想どおりにいかないものである。さまざまな適用事例を通して、このエネルギーによる評価の可能性が研究されている。

6. おわりに

品質工学を研究開発に導入するにあたり、これまでの経験と考え方、すなわち思い込みの実験から離れて、総合的に実験を計画することが必要である。すなわち、考え方の大幅な変換が要求されるのである。品質工学では、このことをパラダイム（新しい考え方の枠組み）の変換と呼んでいる。品質工学の方法を理解するには、まず、自分で試みる以外にないと思う。試みるということは、自分の陣地を捨てるということにもつながるわけで、それをしたくないというのが人情である。品質工学が爆発的に普及しないのは、こうした堂々めぐりが原因なのではないだろうか。

品質工学が日本で導入されるようになってから、それほど日が経過していないためか、まだまだこの手法を理解していない、あるいは存在すら知らない企業（＝技術者）も多い。笑い話になっているが、日本のある技術者がアメリカへ出張した際、地元の技術者に「タグチメソッドを教えてください」と言われて答えられず、品質工学を知らなかった日本人と驚かれたことがあるようである。それだけアメリカでは実績が上げられ、普及している学問である。

先日、その創始者である田口玄一先生は、米国の自動車殿堂入りを果たされた。日本人で1989年に殿堂入りされたホンダ技研工業創始者の本田宗一郎氏、1994年に殿堂入りされたトヨタ自動車の豊田英一名誉会長について3人目の快挙だそうである。

これまで、当研究室によって行われた品質工学の適用事例を紹介しながら、品質工学の有効性および

即効性を述べてきたつもりである。品質工学を導入することによって、数々の問題を解決することが可能である。事例への適用は技術者個人の考えで、如何様にも広がるのである。職業能力開発に携わる多くの方々が、この品質工学を理解し、大企業に限らず、中小企業に対しても、大きな貢献をしていただけることを期待している。(以下、最終回へと続く)

平成10年度 「技能と技術」誌 編集委員会を開催

平成10年8月6日(木)13時30分より能開大の第4会議室において標記委員会が開催されました。委員会には森編集委員長(研修研究センター所長)、編集委員をはじめ編集部、オブザーバとして雇用促進事業団職業能力開発指導部担当専門役、発行元の雇用問題研究会の編集担当者にも参加いただき、活発な意見の交換が行われました。

委員会では、発行状況、編集業務、編集委員会の活動と経過、記事内容(特集)、その他について議論しました。

来年の特集については、1号は10月29~30日に開催される“第6回職業能力開発研究発表講演会”とし、2号は“職業訓練教材コンクール”とすることを決定しました。3号以降については、11月より開催する各ブロック編集委員会を経て決定することとしました。読者の皆様からも来年の特集についてご意見、ご要望等がありましたら編集部までご連絡ください。

なお、本年度の編集委員は、以下の16名が担当い



たしますので、投稿についてのお問い合わせ等がありましたらお近くの編集委員までお問い合わせください。

- 澤山 力(ポリテクカレッジ北海道)
- 伊藤 正昭(ポリテクカレッジ宮城)
- 細矢 正廣(山形県立産業技術短期大学校)
- 内貴 達夫(埼玉県立川口高等技術専門校)
- 増田 耕治((株)東芝人事教育部)
- 渡利 升秋(神奈川県立秦野高等職業技術校)
- 谷口 雄治(能開大長期課程部)
- 中井 修(能開大研修研究センター)
- 鍛冶 耕介(ポリテクセンター石川)
- 福岡 秀雄(ポリテクセンター中部)
- 山本 敏明(ポリテクセンター奈良)
- 平川 政利(国立吉備高原職業リハビリテーションセンター)
- 武市 淳(ポリテクセンター岡山)
- 坂本 好兄(ポリテクカレッジ高知)
- 久保 賢(長崎県立長崎高等技術専門校)
- 荒木 春己(大分雇用促進センター)