

第7回品質工学研究発表大会で 銀賞を受賞して

「ON時とOFF時のエネルギー評価による
旋削加工技術の開発と生産性向上」

The silver prize is received in the seventh Quality Engineering research
presentation convention

キーワード

OFF and ON modes turning process, measurement of consumed energy,
productivity, Toguchi Methods, Quality Engineering, S/N ratio

部品事業部 油圧製造所 生産技術課

市川 和愛

この度、1999年6月10日(木)・11日(金)の2日間に渡り、東京大手町のJAホールで開催された品質工学会主催の第7回品質工学研究発表大会で精密測定技術振興財団品質工学賞発表賞銀賞を受賞しました。

この大会は、毎年6月に開催されており、今大会は、「経営革新の決め手ー不況克服は品質工学でー」というテーマのもと、会場一杯の660名の参加者で熱気あふれる大会となっていました。

発表形式は、壇上発表(発表15分+質疑5分)とポスター発表(午前中ポスター会場にて説明)+ミニシンポジウム(午後から技術内容毎に討論)の二通りで、発表件数は、全部で56件でした。私の発表は、後者のポスター発表+ミニシンポジウムの方で行い、自分の研究に対して、たくさんの方々の意見が聞け大変勉強になりました。

発表以外にも、「経営革新の決め手を探るー複写機・プリンタ業界における品質工学競争ー」と題して、キャノン(株)、コニカ(株)、セイコーエプソン(株)、富士ゼロックス(株)、ミノルタ(株)、(株)リコーによる現在までの品質工学の取り組み状況、今後は、どうあるべきかなどのパネル討論会もあり、大変おもしろい大会となっていました。

最後に発表の中から発表賞が選ばれるわけですが、発表賞金賞は、ミノルタ(株)の「4種類のテストピースと基本機能を用いた新定着システムの開発」、同様の銀賞は、日産自動車(株)の「オートマチック

トランスミッション用摩擦材の開発」とクラリオン(株)の「制御システムの最適化」でした。その中の一員として銀賞を受賞できたことは、大変光栄なことと思っております。

今回の発表は、副題にもありますように旋削加工時におけるON時(加工時)とOFF時(無加工時)のエネルギーを評価することで旋削加工の生産性を改善した事例です。品質工学における機械加工の分野では、加工というプロセスをエネルギーで評価することは大変重要なことで、エネルギーと仕事量で評価した事例がいくつか報告されていますが、ON時とOFF時のエネルギーを評価するという事例は今までになく、そう言う点が評価されて今回の受賞につながったと思います。

また、本論文は2000年度のASI(American Supplier Institute)賞を受賞、今年秋(10月30日から11月1日)に米国で開催されるASIシンポジウムで発表を予定している。

今回の発表を経験したことにより技術者として大変大事なことを学んだと思います。今後も今回の受賞を糧に頑張りたいと思います。

最後に本テーマを進めるにあたり、ご指導頂きました(財)日本規格協会 田口先生、矢野先生、横山先生に深く感謝いたします。また、日本規格協会品質工学研究グループ(QRG)、富山品質工学研究会の皆様にもこの場を借りて深く感謝いたします。

ON 時と OFF 時のエネルギー評価による 旋削加工技術の開発と生産性向上

Development and Productivity Improvement of Turning Process
Using Energy Evaluation under ON/OFF Condition

株式会社 不二越

市川 和愛 (会員番号 11154)

藤士 盛嗣

嘉指 伸一 (会員番号 10060)

住田 典夫

1. 背景

当社は、工具、軸受、油圧機器、工作機、産業用ロボット等の製造メーカーである。その中で油圧機器を製造している油圧部門は、丸棒から多種の形状を加工出来ることや加工寸法の管理の利便性などから、小物部品加工で NC 旋盤を多数使用している。

今回は、製品のデザイン変更に伴い、既存の設備（複数の NC 旋盤）を使用して新規に生産を開始した、小物部品の旋削加工工程が改善の対象である。この部品の材質は、いままで加工したことがなく、加工技術のノウハウもない状態であった。

本来、設備で新規の部品を加工する場合、その設備の能力の限界まで引き出し、最良の条件で加工することが、極めて重要となる。品質（ばらつき）を変化させないで生産性を上げることが、コストダウンにとっても製造現場に対しても良い結果を生むことになる。そのために最良の加工条件を事前に見つけておくことが、生産技術としての本来の姿である。

しかし、様々な理由から、実際に生産に入った段階で、初めて問題に直面することが数多くある。これらの問題には、品質工学を適用すべき課題が多いと考えられるが、いままでは、加工寸法や面粗さなどの品質特性そのものを評価して固有技術で改善する方法がほとんどであった。

そこで、今回は以下の目的から品質工学を適用し、改善していくこととした。

① 同じ材質の旋削加工が多数にわたるため、短期間に効率よく汎用性のある生産技術の開発を行う。

- ② オンライン品質工学も含めた品質工学の製造現場への適用を促進し、より一層のコストダウンを図る。
- ③ エネルギー評価による切削加工の機能性の評価方法を確立する。

2. 旋削加工の基本機能の検討

旋削加工は、図 1 に示すように、ワークに回転力を与え、工具を一定の速度で回転方向に直角に送ることによって切削を行う加工である。

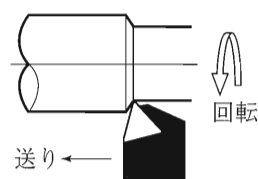


図 1 切削加工の方法

旋削加工を行う NC 旋盤は、回転、送り、位置を数値制御化したもので、送り速度を一定にするように制御されている。そのため、回転系の制御は加工負荷の影響を大きく受けていると考えられる。そこで、エネルギーである主軸の消費電力量と仕事量である旋削量の関係を評価することで、旋削加工の改善を行うことを考え、図 2 に示す基本機能とした。

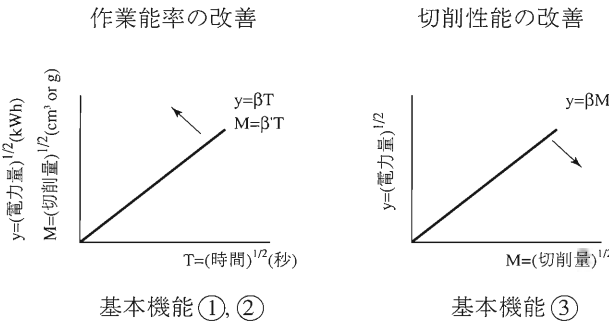


図2 旋削加工の基本機能

3. 実験方法と計測特性

1) 実験方法

実験は、外径 $\phi 25 \times$ 長さ L40 の丸棒をテストピースとして加工を行い、1 個目、2 個目、3 個目の電力量と切削量を測定する。テスト加工の形状を図3に示す。



図3 テスト加工形状

2) ON（加工）時と OFF（無負荷）時の電力量の測定

電力量は、主軸モータの負荷電力量としてインバータ 2 次側の電流と電圧をピックアップして測定した。なお、ON（加工）時の電力量は、ゼロからの電力量そのものを計算した。また、OFF（無負荷）時の電力量は、単位時間分だけ、加工前後で測定する。

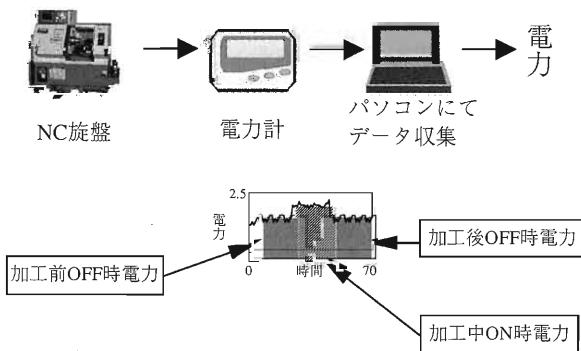


図4 電力量の計測方法

3) 切削量の測定

切削量は、加工前と加工後の重量を測定すべきと考えられるが、今回、テストピースが黒皮ということもあり、テスト加工前に一度、他の刃具で黒皮を落とす外径加工を行うため、加工前後の重量を測定すると実験効率が落ちる。そこで、加工前後の寸法を測定し、加工体積を求め加工量とした。

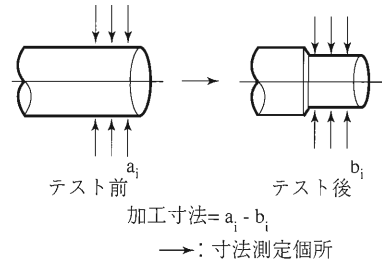


図5 切削量の測定

4. 誤差因子の選定

今回の実験では、当初、刃具の劣化が大きな誤差になりえると考え、外側には誤差を割り付けず、直線の非線形効果を利用して結論を早く出すことを考え、1 個目と 2 個目、2 個目と 3 個目に劣化を加速させる加工を行い、それを誤差とした。

しかし、劣化を十分な誤差として認識していたが、切削における刃先の劣化は、必ずしも十分な誤差になり得ないことが、実験後にわかった。

5. 実験の割り付け

制御因子は、表1に示す5つを取り上げ、L18 直交表に割り付け実験を行った。

表1 制御因子と水準

No	制御因子		水準 1	水準 2	水準 3	水準 4
1	A	チップ材質	A1	A2	A3	A4
2			3	B	ノーズR	小
4	C	切込量	小	中	大	網掛け部は、現状条件
5	D	回転数	遅い	中間	速い	
6	E	送り	遅い	中間	速い	

なお、A のチップ材質は、多水準法とダミー法を用い 4 水準を取って 1, 2 列に割り付け、合計 18 回の実験を行った。

6. OFF 時の電力の取扱

実験・解析を進めた段階で M/C の OFF（無負荷）時の電力のばらつきが非常に大きく、実験に大きな影響を与えていることがわかった。そこで、実験では、OFF 時の電力がある程度安定するまで待ってからテスト加工を行うこととした。OFF 時の電力の連続データを図 6 に示す。

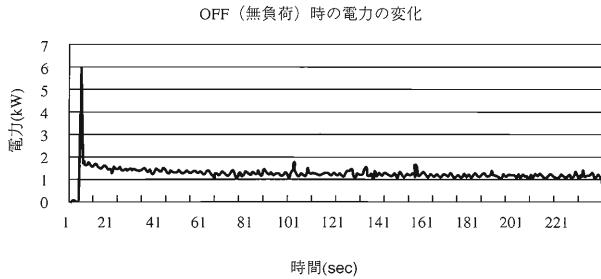


図 6 OFF 時電力の連続データ

しかし、主轴の熱変位の影響、入力電源の安定性等の影響で 1 個目、2 個目、3 個目の間に OFF 時の電力がばらつき、そのために ON 時の電力もばらつくことがわかった。

電力のばらつきを実験 No.1 の連続データで図 7 に示す。

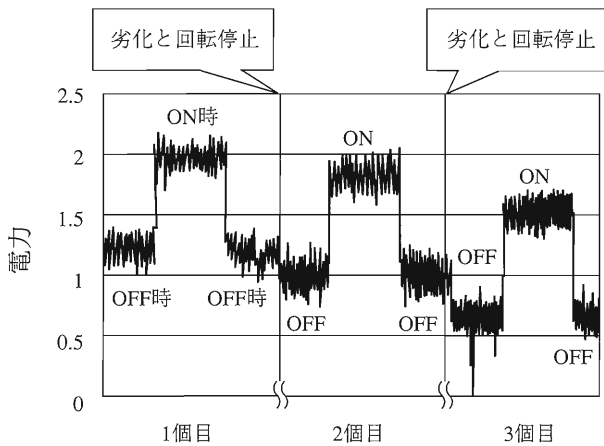


図 7 実験No.1 の連続データ

以上のことから、OFF 時の電力には機械側の種々の問題が影響していると考えられる。また、エネルギー評価においては、OFF 時の電力評価により機械自体の性能の良し悪しも ON 時と同時に評価しなければならないと考えられる。

7. 評価方法の再検討

先に述べた様に今回の実験には十分な誤差因子がないこと、OFF 時の電力のばらつきが大きいことなどから、実験の課題が明らかになった。しかし、この実験のデータを無駄にしないために評価方法を再検討することとした。

実際には最初に検討した基本機能に基づいて、動特性で計算を行ったが、SN 比の利得の再現性は得られなかった。その計算結果は省略する。

今回は、以下のように評価することとした。

- ① エネルギーである電力値の最大値 (max)・最小値 (min) を ON 時と OFF 時でそれぞれとり、ON 時と OFF 時を別々に望目特性で評価する。
- ② 仕事である加工寸法を望目特性で評価する。

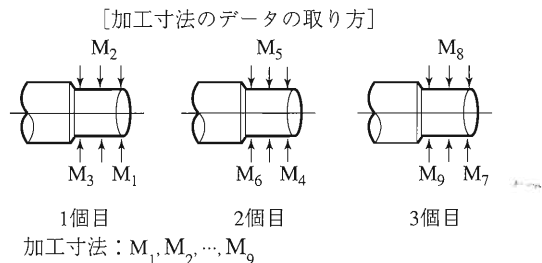
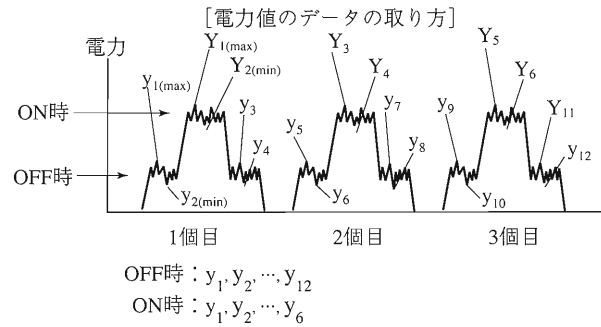


図 8 データの取り方

8. 要因効果図と最適条件の推定

SN 比と感度の各要因の水準効果を図 9~14 に示す。なお、要因効果図中の○印は最適条件を☆は比較条件を示す。

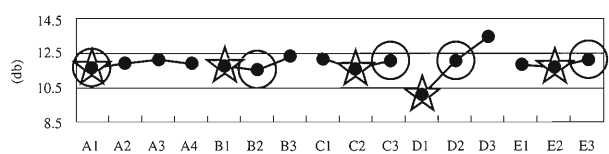


図 9 OFF 時の SN 比

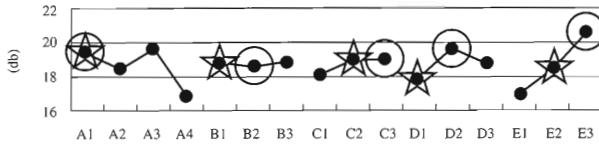


図 10 ON 時の SN 比

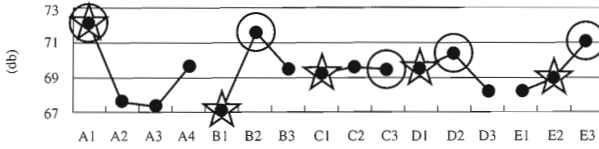


図 11 加工寸法の SN 比

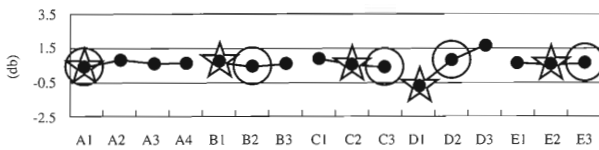


図 12 OFF 時の感度

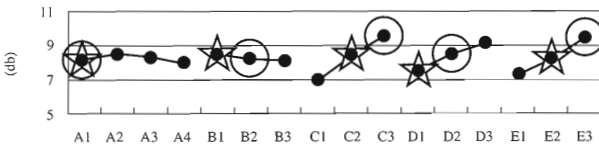


図 13 ON 時の感度

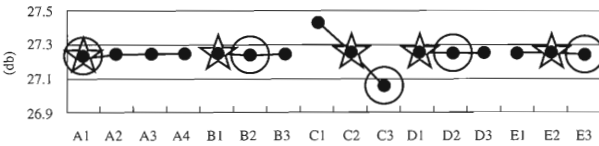


図 14 加工寸法の感度

各要因効果図から、ON 時の電力の SN 比は、品質特性である加工寸法の SN 比と共通するものが多いことがわかる。また、SN 比はスムーズに切れているかどうかの加工の安定性を、感度は効率のよい仕事かどうかを表していると考え、各評価における各要因の水準効果の傾向から、最終的に最適条件と比較条件を以下のように決めた。

最適条件：A1B2C3D2E3

比較条件：A1B1C2D1E2

9. 利得の推定と確認実験

最適条件と比較条件および現状条件 (A1B1C2D*E2) で確認実験を行った結果を表 2 に示す。

表 2 SN 比と感度の利得の推定と確認実験の結果

項目		SN 比		感度		
		推定値	確認実験	推定値	確認実験	
OFF 時	最適条件	A1B2C3D2E3	11.95	12.58	0.28	0.61
	比較条件	A1B1C2D1E2	9.19	11.28	-1.05	0.48
	現状条件	A1B1C2D*E2	5.87	6.09	-4.26	-4.19
	利得	最一比	2.76	1.30	1.34	0.14
	改善利得	最一現	6.09	6.49	4.54	4.81
ON 時	最適条件	A1B2C3D2E3	22.38	21.36	10.62	10.74
	比較条件	A1B1C2D1E2	18.73	18.15	7.39	7.81
	現状条件	A1B1C2D*E2	12.63	12.52	4.65	4.21
	利得	最一比	3.64	3.21	3.23	2.93
	改善利得	最一現	9.74	8.83	5.97	6.53
加工寸法	最適条件	A1B2C3D2E3	77.05	79.84	27.04	27.05
	比較条件	A1B1C2D1E2	69.68	70.83	27.24	27.24
	現状条件	A1B1C2D*E2	70.37	74.51	27.24	27.24
	利得	最一比	7.37	9.02	-0.20	-0.19
	改善利得	最一現	6.68	5.34	-0.20	-0.19

※ 現状条件の D の水準については今回の実験での水準にないので*とした。

最適、比較条件での生データを図 15 に示す。

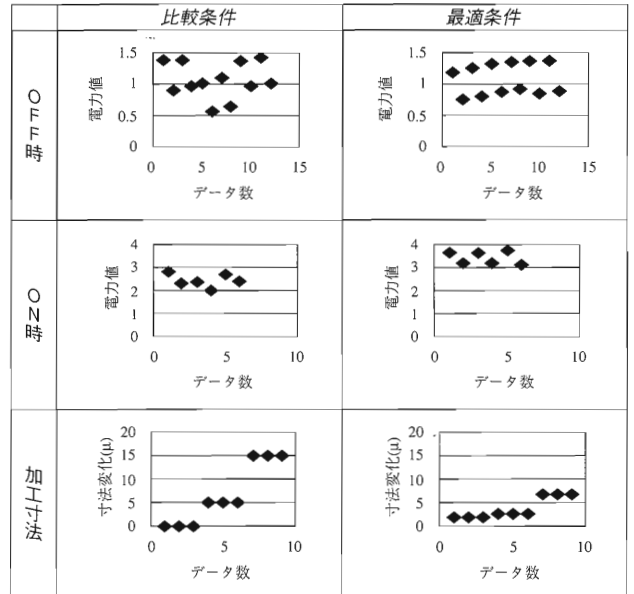


図 15 確認実験の生データ

10. 効果の確認

確認実験の結果から、今回考えた評価方法による SN 比と感度の利得の再現性は良い結果となった。得られた最適条件を実際の生産設備に展開した結果、表 3 に示す大きな改善効果が得られた。

表 3 改善効果

項目	現状条件	最適条件	効果
サイクルタイム (秒/個)	200	180	10%短縮
生産数 (個/月)	約 11,000	約 12,100	10%up
内製増量金額 (円/月)	0	231,000	231,000
刃具寿命 (個/1 コーナー)	120	300	2.5 倍
刃具費 (円/月)	23,400	9,360	14,040
交換・調整コスト (円/月)	180,000	72,000	108,000
合計効果金額 (円/月)			353,040

その他に、従来からの固有技術での改善方法と比較すると以下の点に効果があった。

- ① L_{18} で旋削加工の機能性に戻りテストピースで各パラメータの効果を効率よく、汎用性のある評価を行った結果、半年から1年かかる開発期間を1.5ヶ月と大幅に短縮し、実験回数や費用も縮減できたこと。
- ② 設備の限界を知るためにパラメータの水準を大きく取って実験した結果、大幅な改善につながったこと。

11. まとめと考察

エネルギーである ON 時、OFF 時の電力値と、仕事である加工寸法を評価して、効率よく生産技術の開発を行った結果、生産性を大きく改善することができ、当初の目的を達成することができた。

特に今回の研究では、以下のことがポイントと考える。

- 1) 実験の評価方法について
 - ① 電力量ではなく電力値で最大値 (max) ・最小値 (min) を誤差に望み特性の SN 比で評価したこと。
 - ② OFF 時の電力にばらつきがあり、問題があることを見出したこと。
- 2) 実験結果について
 - ① ON 時の電力で安定している条件は、品質特性でも安定しており、最適条件の選定に電力値評価の有効性を示した。
 - ② また、オンラインでの状態監視として、電力値の SN 比評価の可能性もあると思われる。
 - ③ 当初、OFF 時の電力値の SN 比の良いものが、ON 時の電力値の SN 比の良いものと一致すると思っていたが、必ずしも一致していない。
 - ④ ③については、今回の実験に機械側の制御因子がなかったためと考えられる。これは、今回は同様の数台の機械に展開できる汎用性はあったが、それ以上の汎用性はなかったことを表し、今後は、その意味でもシステムの広い範囲での評価が必要と考えられる。

12. 今後の予想効果

OFF 時の電力を評価することで機械の性能評価が可能だとすると、今後の予想効果を、今回の実験データをもとに計算してみる。

- ・機械の価格： $A_0=10,000,000$ 円
 - ・OFF 時の電力の機能限界： $\Delta 0=1.058$
(今回の実験の max, min の幅の最悪値)
 - ・比例定数： $k=A_0/\Delta_0^2=10,000,000/(1.058)^2$
 - ① 同一機械での加工条件の違いによる効果
 - $L_{現}=k \times (0.698)^2 \div 4,352,500$ 円/台
 - $L_{最}=k \times (0.619)^2 \div 3,423,000$ 円/台
 - 効果： $L_{現}-L_{最}=929,500$ 円/台
 - ② 他の同等の機械との比較効果
 - $L_0=k \times (1.058)^2=10,000,000$ 円/台
 - 効果： $L_0-L_{最}=6,577,000$ 円/台
- 以上の効果が予想される。

謝辞

最後に本テーマを進めるにあたり、ご指導頂きました(財)日本規格協会 田口先生、矢野先生、横山先生に深く感謝いたします。また、日本規格協会品質工学研究グループ (QRG)、富山品質工学研究会の皆様にもこの場を借りて深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 田口玄一 日本規格協会 品質工学講座 第1巻 (1988)
- 2) 田口玄一 日本規格協会 標準化と品質管理～機能性の評価～
「機械切削の機能性」 Vol.51 No.4 P.75～82
「ON 時 OFF 時がある場合 (1)」 Vol.51 No.12 P.74～81