

# 製造現場での品質工学活用による生産性向上

(施削加工への適用事例)

Productivity Improvement by Quality Engineering

キーワード

生産性, 振動解析, 品質工学, パラメータ設計, 基本機能, 加工エネルギー

品質保証部

戸田 雅規

部品事業部 油圧製造所 生産技術課

市川 和愛

## ■ 摘要

製造部門では、徹底したムダの排除によりコストと品質を同時に達成し、トータルの生産性を向上させることが重要である。本論では、油圧バルブ部品の旋削加工ラインにおける生産性向上を目的に、振動解析評価といった従来からのアプローチに加え、新たに品質工学を活用し、加工エネルギーの入出力評価によるパラメータ設計で加工条件の最適化を図り、刃具寿命や加工効率を改善した。

## ■ Abstract

Simultaneously, cost and quality are achieved by the elimination of completed futility in the fabrication sector, and it is important that the productivity of the total is improved.

In this paper, quality engineering was newly utilized for the purpose of productivity improvement in turning line of the hydraulic pressure valve parts in addition to the approach vibration analysis evaluation, and the optimization of machining condition was attempted by the parameter design by input/output evaluation of the processing energy, and cutting tool life and processing efficiency were improved.

## 1. はじめに

切削・研削加工は被削物より硬い物質で被削物を表面からわずかずつ削り取る加工であると考えれば、その時同じ量を削り取るのに使用するエネルギーが一番少ない条件が最適加工条件であるといえる。そのため加工条件の選定では加工におけるエネルギーの入出力関係を研究することがきわめて重要である。

たとえば切削加工の場合、入力した電力エネルギーは切削以外に音や振動といったエネルギーに変換されるとすれば、効率的な加工を追求するためには切削に使用されるエネルギーそのものを減らす研究と、音や振動そのものを減らす研究の両方が必要となってくる。そのシステムの入出力概念図を図1に示す。

このうち目的の切削に使用されるエネルギーを対

象とした研究では品質工学によるアプローチが有効であり、一方エネルギーロスに関するアプローチでは振動解析が有効である。そこで今回はこの2つの方法を活用し、生産性を向上させた事例を以下に紹介する。

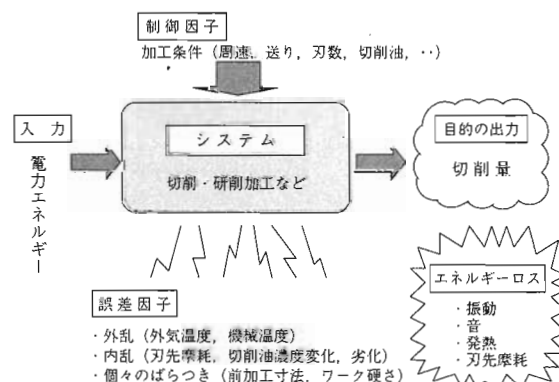


図1 システムの入出力概念図

## 2. 背景

当社の油圧ソレノイドバルブの A 部品は、1 ヶ月必要数 1,5000 個に対し、現状は 11,000 個の能力しかなく、不足分は協力工場に依存している状況であった。内製増量を図る場合、単に加工速度を上げても、寸法などの品質面でのばらつきが大きくなり、工程内不良が増大し、かえって生産性を落とす結果を招いてしまう。これまで生産性を阻害する要因としては外径荒加工チップの寿命が 120 個と短いことがあげられ、油圧部門では振動解析や電力量による評価からの改善やチップ材質等の検討による改善を進めてきたが、大きな効果を上げることはできなかった。そこで今回、部品に要求される機能を損なわず安定した品質を保証する前提で、新たに品質工学を適用してパラメータ設計による加工条件の最適化を図ることにした。

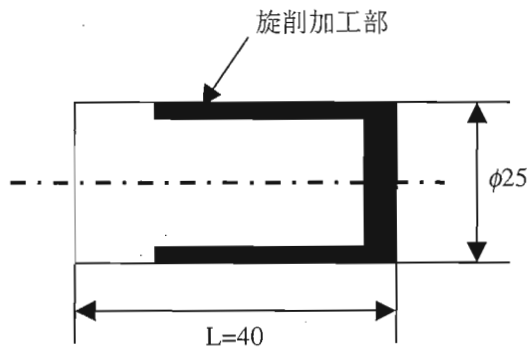


図2 テスト加工形状

## 3. 振動解析による改善

改善には次の2つのステップで進めることにした。

- ① 振動解析；最適な回転数の選定
- ② 品質工学；パラメータ設計

振動解析は、パラメータ設計の L18 実験で使用する制御因子の一つである回転数の水準を選定するために行った。振動の測定には図 2 に示す素材に対し、回転数を 10 水準、切込量を 3 水準変えてバイトホルダーに取り付けた加速度ピックアップで行った。

この測定法を図 3 に、また振動測定結果を図 4 に示す。振動解析の結果、今回は振動値が低く、かつ切込量に対するばらつきが小さく安定した回転条件と考えられる 2,300~2,500r.p.m.付近を次のパラメータ設計で検討する回転数に選んだ。

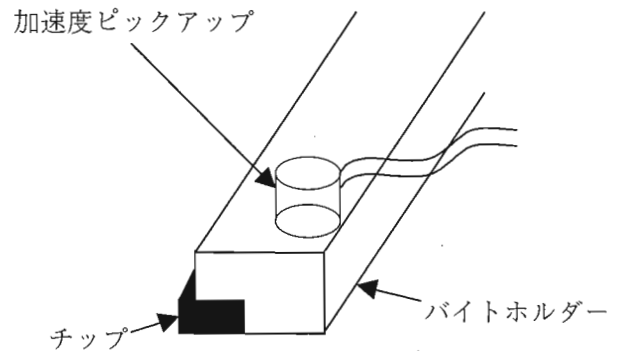


図3 振動値の測定方法

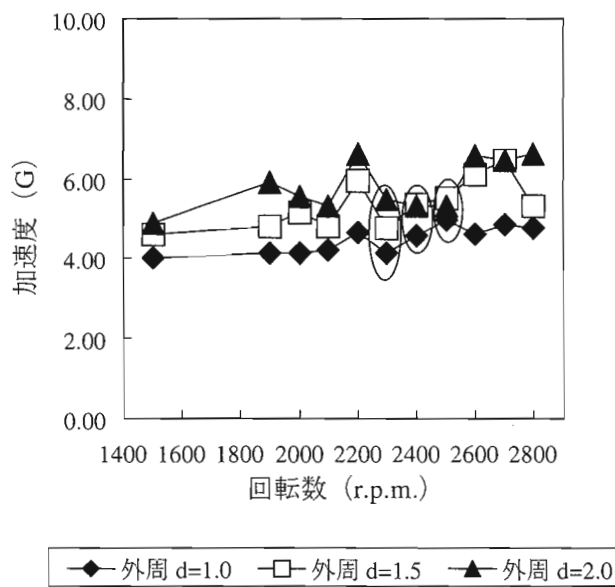


図4 振動測定結果

## 4. 品質工学の活用による改善

旋削加工の“あるべき姿”は設定切り込み量に対して、実切り込み量が変化せず、かつ旋削に消費されるエネルギーが少なく、ばらつきが少ないことが加工性能上、望ましい。また作業能率を考えた場合、同じ旋削除去量をこれまでより短時間で行えば生産性も向上する。そこで今回は単に刃具寿命の延長だけでなく、品質工学を活用してサイクルタイムの短縮も同時に行って、トータルの生産性向上を目的にこれらの改善を行うことにした。

### 4.1 実験方法と計測特性

実験には振動解析に使用したのと同じテストピースを準備し、表 1 に示すような 5 つの制御因子を L18 直交表に割り付け実験を行った。また実験では刃具の劣化と旋盤の主軸スピンドルの回転停止を加工特性の変動要因（誤差）に考え、切込量を一定にして 3 回の切削を行った。計測特性は加工中の電力量と加工量とした。

#### 4.1.1 加工量の測定

加工量は加工前後の寸法計測から、加工体積を計算し、加工量を求めた。

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	中	大	
4	C	切込量	小	中	大	
5	D	回転数	遅い	中間	速い	
6	E	送り	遅い	中間	速い	

#### 4.1.2 電力量の測定

旋削加工中の消費電力量の測定には旋盤の主軸スピンドルモータの負荷電力量を電力計で測定することにしたが、予備実験の結果、無負荷時（空転時）の電力変動が非常に大きく、このままでは加工中の電力量の測定データに大きな影響を与えることがわかった。その一例を図 5 に示す。②、⑤、⑧は加工中の電力量、また①、③、④、⑥、⑦、⑨は無負荷時（空転時）の電力量を示している。このうち③と④、⑥と⑦で同じ無負荷時でも電力量に差があるのは機械の立ち上げ時からの環境変化や、この間ではしばらくスピンドルの回転を止め、再スタートさせたりすることによって、機械自体の状態が経時的に変化するためである。そこで従来のように加工時の電力量から無負荷時の電力量を差し引かず 0 からの加工中の電力量を計算することにした。この結果からも無負荷時でも機械側で電力が変動し、回転数が違えばその影響も変化し、加工中ならびに無負荷時ともに電力量がばらつくと推測されるので今回は加工時に加え、無負荷時の電力評価も行うことにした。

#### 4.1.3 評価方法

品質工学では製品や技術の働き（機能）をお客の使用条件（誤差）に対する安定性（SN 比）で評価するが、今回は、以下の二つの基本機能でエネルギーの入出力関係の評価した（図 6）。またエネルギーの次元は二乗であるので評価次元を同じにするために基本機能の両軸はその平方根を取って評価している。

- (1) 作業能率…刃具劣化や機械停止を誤差に加工数毎の積算時間を信号とした積算消費電力の評価。

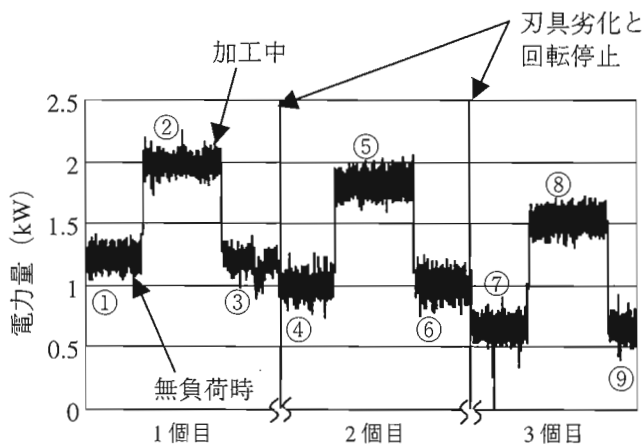
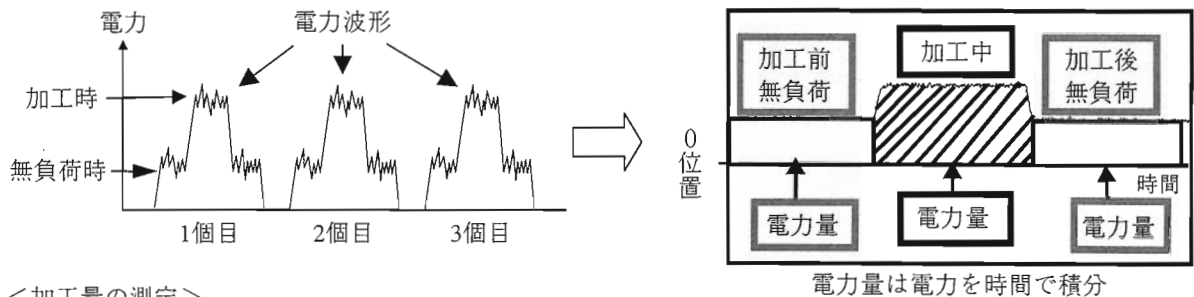
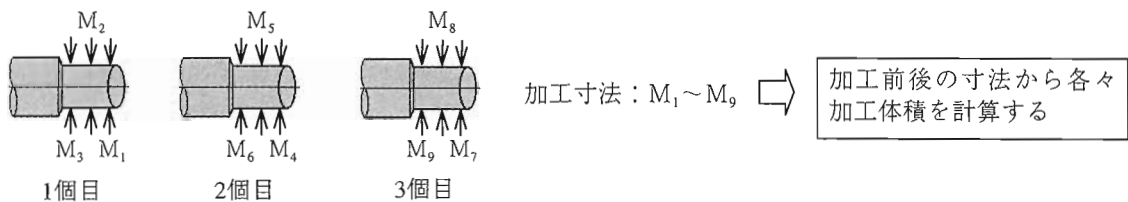


図 5 電力量の測定例

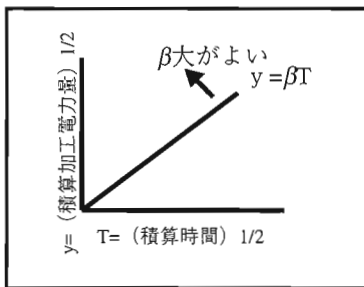
## <電力量の測定>



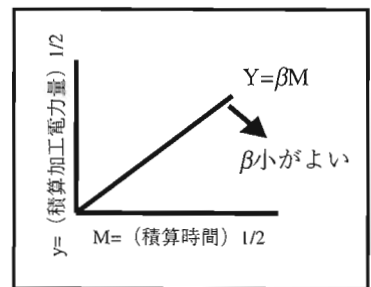
## <加工量の測定>



### 1) 作業能率の基本機能



### 2) 切削性能の基本機能



これらの測定データ  
を使って、  
2つの基本機能で評価

図6 計測方法と考えた基本機能

感度 $\beta$ は単位時間当たりの電力消費量で大きい方が良く考える。ただし、無負荷の電力評価では加工前後を誤差に考えて望み特性のSN比で評価することにした。

(2) 切削性能・・・仕事量である積算加工量を信号とした積算消費電力量の評価。感度は加工に消費された電力量で小さいほど良く考える。

## 4.2 要因効果図と最適条件の推定

実験後のSN比と感度の各要因の水準による効果を図7に示す。図中○印は最適条件，☆印は現行に近い比較条件を示す。各要因効果図から作業能率と切削性能のSN比と感度での各要因の水準効果の傾向は共通することが多いことがわかる。無負荷時の傾向は必ずしも他の傾向とは一致しなかった。しかし、BのノーズR、Cの切込量、Eの送りなどの制御因子は旋削加工理論と同じ傾向となっていることや、Dの回転数も振動解析で一番安定している回転数であったことから、作業能率と切削性能での傾向を重視し、最終的に最適条件の水準の組み合わせをA1B2C3D2E3に決めた。次にこの条件を実際の

表2 SN比と感度の利得の推定と確認実験結果

項目	SN比		感度			
	推定値	確認値	推定値	確認値		
作業能率	最適条件	A1B2C3D2E3	30.6	30.2	2.3	2.2
	現行条件	A1B1C2D*E2	3.4	4.7	1.4	0.7
	改善利得	最適-現行	27.2	25.5	0.9	1.5
切削性能	最適条件	A1B2C3D2E3	2.1	6.6	-25.6	-25.7
	現行条件	A1B1C2D*E2	-16.1	-3.4	-23.2	-24.3
	改善利得	最適-現行	18.2	26.8	-1.7	-1.4

※現行条件の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。

加工に反映させるためその効果を確認することにした。

## 4.3 利得の推定と確認実験

パラメータ設計ではばらつきを抑えてから、平均値を目標に合わせ込む二段階設計を行うため、確認試験ではまず、条件同士でのSN比の差(利得)が推定値と一致(再現)してくることが重要となる。

最適条件と現行条件での確認実験を行った結果を表2に示す。確認実験の結果、切削性能のSN比の利得に再現性がなかったが、予備試験の結果からも無負荷時の機械自体の電力ばらつきが大きく影響し

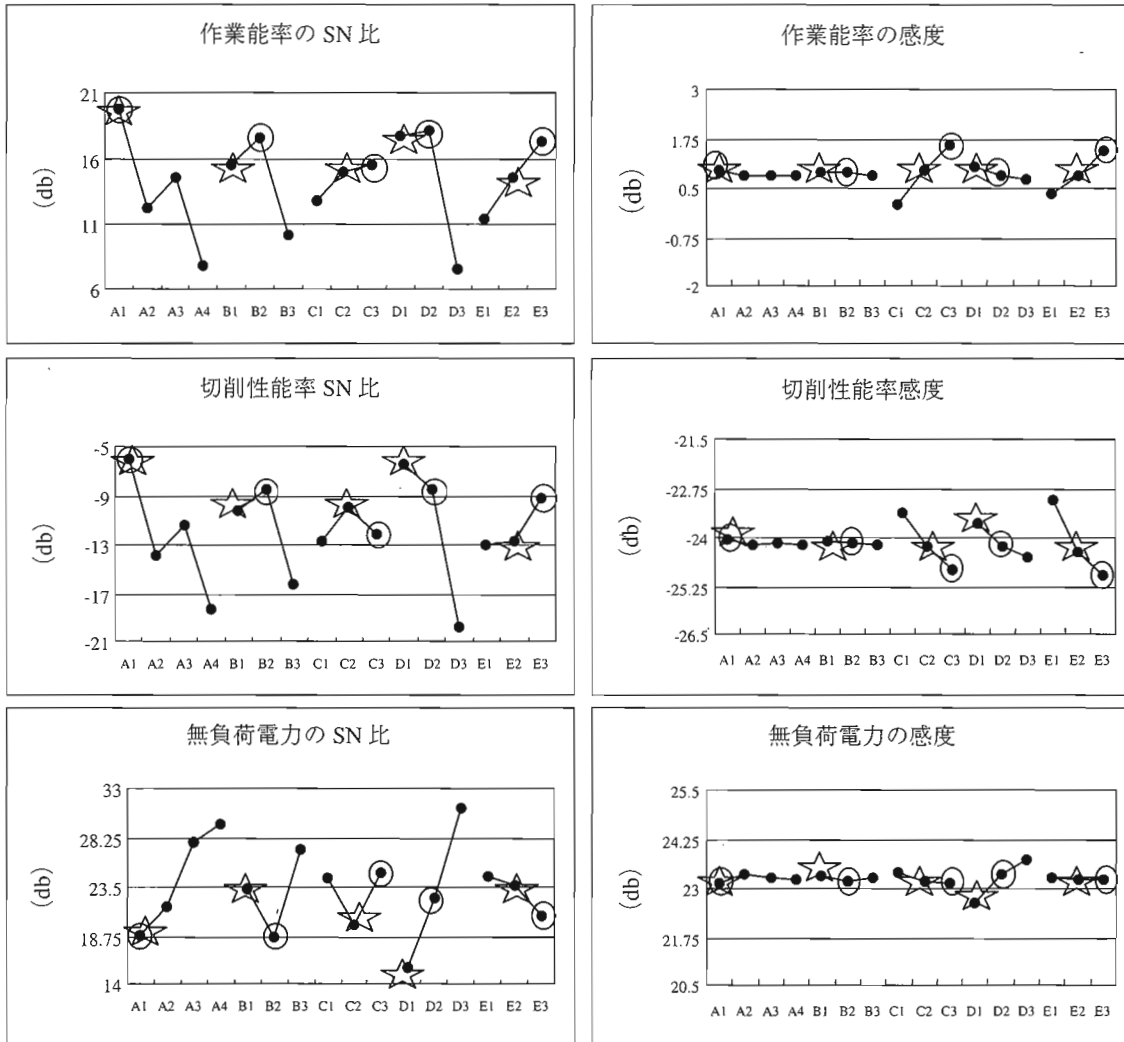


図7 SN比と各要因の水準効果

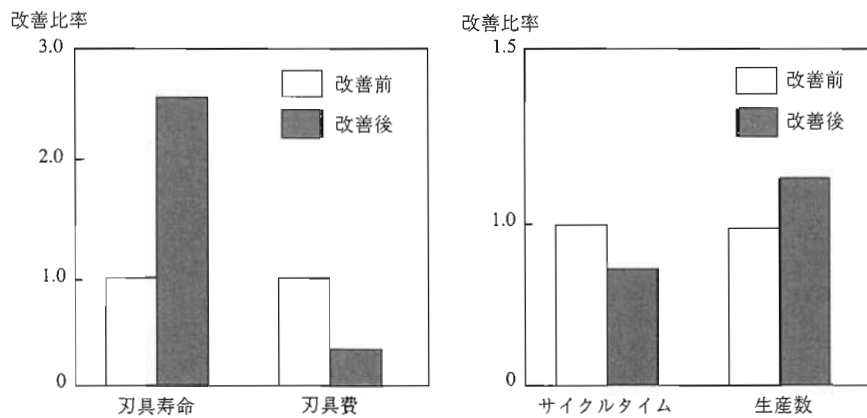


図8 改善効果

たとえられる。一方、他のSN比と感度の利得の再現性はよい結果となった。

#### 4.4 効果の確認

実際の加工での改善効果としては部品の寸法精度などは要求品質を満たし、品質を損なうことなく、

刀具寿命も現状120個に対して300個と約2.5倍向上した。また、サイクルタイムでは10%短縮され、同時間内の加工数を増やし、その分内製が可能となり、外部依存を縮減することができた。

それらの改善効果は、図8に示すようにライン全体の生産性を大きく向上することができた。

## 5. まとめ

従来から刃具寿命の延長や最適加工条件の選定には固有技術的側面から、振動解析や電力量による評価を主体に行ってきた。しかし、今回新たに品質工学的な評価を適用することにより、次の観点での改善ができ大幅な生産性の向上につなげることが出来た。

- ① 従来からの単なる電力量の比較ではなく、作業能率や切削性能をエネルギーの入出力関係で評価し、SN比で最適条件を評価したこと。
- ② 基本機能での感度の改善利得が約 1.5~2db と小さかったが、傾きである感度 $\beta$ をエネルギーの次元に戻し評価したこと。感度を二乗すると実際には約 2~2.5 倍の効果となり、これが刃具寿命に反映されたこと。

併せてこの事例を通して次のことが今後の改善に対する着眼点と課題として明らかとなった。

- ① 加工エネルギーの入出力関係が安定している条件は、加工寸法や面粗さなどの加工品の品質特性も安定しており、刃具寿命を延ばす最適条件の選定には電力評価が有効である。
- ② 機械の無負荷時電力の変動は、スピンドル主軸の熱変位、入力電源の電力供給の安定性やスピンドル回転部の回転の安定性などが複合された結果として表れる。無負荷時の電力評価の結果が最適加工条件と一致せず、作業能率のSN比の利得が再現しなかったことから設備の状態監視には、この無負荷時電力の変動を評価することがその良否を示す一つの判断材料となる。

今後は同様の問題を有する他のラインに対しても今回の知見を活かして改善を進めていく予定である。

## 6. おわりに

本事例で問題となった機械の空転時のばらつき評価については、その後さらに解析を進めた結果、機械自体のばらつきに左右されない評価方法を見出すことに成功した。その具体的な内容については今回触れなかったが、次の機会に紹介したい。これまで当社における品質工学の適用は開発・設計部門が多かったが、この事例を契機に生産現場における生産性向上に適用範囲を拡大していく所存である。この事例が同種の課題を持つ需要家の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 田口玄一 日暴規格協会 品質工学講座 第1巻 (1988)  
「開発・設計段階の品質工学」
- 2) 田口玄一 日暴規格協会 品質工学講座 第2巻 (1989)  
「製造段階の品質工学」
- 3) 第6回品質工学研究発表大会論文集 (1998) p.179
- 4) 品質工学会誌 第7巻 第1号 (1999) p.50  
「加工エネルギー評価によるドリル研削加工の技術開発と生産性向上に関する研究」戸田雅規, 嘉指伸一, 高木万佳, 松岡信一, 藤田満壽美, 小野元久
- 5) 砥粒加工学会誌第43巻第5号 (1999) p.202  
「加工エネルギー評価による研削加工の技術開発と生産性向上に関する研究」戸田雅規
- 6) 品質工学会誌 第8巻 第1号 (2000) p.38  
「OFF 時と ON 時のエネルギーを用いた旋削加工の機能の評価に関する研究」市川和愛, 嘉指伸一, 藤士盛嗣, 住田典夫
- 7) プラントエンジニア 第31巻第8号 (1999) p.10  
「エネルギー評価による最適加工条件の決定 (SN 比評価による刃具寿命の延長)」戸田雅規, 市川和愛



戸田 雅規

1987年 入社  
技術開発部で電着、射出成形、コーティングなどの技術開発に従事し、97年より現職。



市川 和愛

1988年 入社  
油圧部門で生産技術に従事し、現在に至る