

品質工学を用いた加工工程の最適化

Optimization of Machining Process Using a Quality Engineering Method

今井 力也*
Rikiya IMAI

小澤 仁*
Hitoshi OZAWA

要 旨

生産準備プロセスに品質工学の様々な手法を開発し展開することで、プロセス改善活動を実施してきた。開発、展開した手法は「機能性評価」「最適化」「4M変動評価」「4M変更評価」の4種に大別されるが、今回は「最適化」の事例について報告を行なう。

屈曲部にトナーを搬送するコイルバネは、基本性能にバラツキが大きく、稼動寿命が要求を満足せずに製品への搭載が困難な状況にあった。そこで加工条件の設定に品質工学のパラメータ設計の概念を展開した「最適化」の手法を用いて改善を図ることとした。出力にコイルバネが機能を失うまでの経過時間を取り、望大で解析した。ただしそのままでは実験に多大な期間を要する為、加速条件として屈曲の度合いを調整した。制御因子に加工条件を7因子設定し、3因子のノイズを設定し、直交表実験を行った。実験の結果、最適条件では4db以上の改善効果が期待でき、良好な再現性も認められたため、量産工程に反映した。結果としてバラツキは改善し、稼動寿命も1.4倍となり製品への搭載が可能となった。

ABSTRACT

In order to improve preparation process for production, we have been developed various methods of quality engineering. These methods are classified into four groups, "Functionality assessment", "Optimization", "Evaluation of 4M variation" and "Evaluation of 4M changes". In this paper a case example related to "Optimization" is reported.

Coil spring that carries the toner to bent portion could not be installed in office machines because its life duration is short and varies widely. Therefore, we tried to improve that problem by using optimization method, which is based on parameter design in quality engineering, for deciding process conditions. As a output we set the elapsed time until the coil spring loses its function, and analyzed the data using larger-the-better characteristic. However, because it requires a lot of experimental time, we run accelerated test by adjusting the amount of bending. In that test, we set 7 control factors from processing conditions and 3 noise factors and run the test using orthogonal array in experimental design method. The experimental results show that signal-to-noise ratio has a potential to be improved more than 4db and the repeatability is excellent. Consequently these process conditions were applied to mass production process. It was found that the duration of life was extended by 1.4 times, and its variation was also improved. The coil spring manufactured based on the proposed process become to be installed in the machines.

* 生産事業本部 生産技術センター
Production Technology Center, Production Business Group

1. 背景

1-1 はじめに

生産準備プロセスに品質工学の様々な手法を展開することで、プロセス改善活動を実施してきた。02年度より活動を開始し、対象毎に様々な技術を開発し、現在までに約200事例が積み上がって来ている。

発端は、00年当時多発したメカトロ部品の市場での不具合である。従来の規格値に対するOK/NG判定から、ロバスト性の優劣を基準とした評価手法に変更する必要が生じ、品質工学の導入を行なった。ロバスト性の高い部品を評価／選定し、やはりロバスト性を基準に工程を最適化することにより、市場品質の向上、工程能力の向上の効果を得ている。また、誤差因子を工夫することにより評価期間も短縮している。

以前にRTR29号¹⁾に掲載した「ステッピングモータの機能性評価手法」の事例で、品質工学を用いたメカトロ部品の評価技術についての紹介を行なった。今回は「コイルバネ加工条件の最適化」の事例を通して、品質工学を用いた加工工程設定について紹介する。

1-2 全体像

Fig. 1に製品生産の全プロセスの何処にどんな品質工学の手法を展開したのかを表現する全体像を添付する。

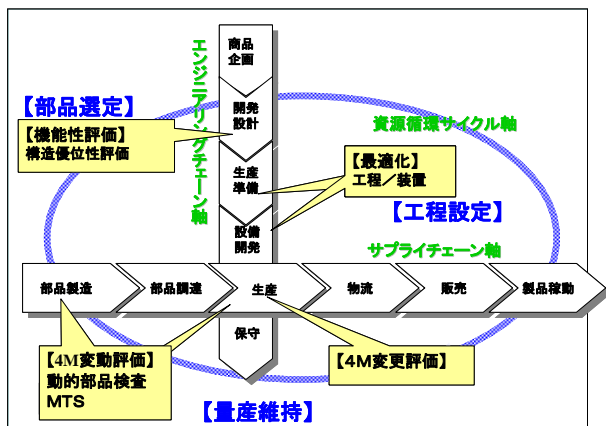


Fig. 1 Quality engineering methods in preparation process.

生産準備に必要な品質工学の手法は「機能性評価」「最適化」「4M変動評価」「4M変更評価」の4種類に大別される。もちろんこれだけで生産準備活動を全て賄える訳ではないが、品質工学の手法を展開して効果を刈り取れるプロセス上のポイントはここであると考えている。

これら4種類の手法は、基本的には制御因子の設定のバリエーションによって区別される。Table 1に「手法の目的」と「制御因子の設定」を手法毎に一覧で表現した表を添付する。

Table 1 Various of quality engineering method.

分類	詳細分類	手法の目的	制御因子の設定
機能性評価	構造優位性	最もロバスト性の高い購入部品を提案する。	機種搭載選定中の部品構造を設定する。
最適化	工程	各工程、作業の管理ウェイトを最適化する。	検査、調整等で管理している工程/作業を設定する。
	装置	加工装置の加工条件を最適化する。	設定、調整等で制御している装置条件を設定する。
4M変動評価	動的部品検査	管理し切れない4M変動を検出する。	納入部品に対してロット毎の抜き取りサンプルを設定する。
	MTS	多変量を一つの値で表して管理する。	複数の工程内計測値、感覚的判断を設定する。
4M変更評価	—	量産後の4M変更の採用可否を判断する。	4M変更前後の部品を設定する。

1-3 今回の事例の位置づけ

今回紹介する事例「コイルバネ加工条件の最適化」は装置の最適化の手法であり、最も安定して加工出来る装置設定条件を品質工学の手法を用いて導き出す、言わば工程のパラメータ設計である。Fig. 1の製品生産プロセスのエンジニアチェーン軸の中の「生産準備」「設備開発」の工程設定のステージでこの手法を展開している。今回の事例の場合、問題の発生が発端となっているが、基本的には工程設定活動である。

特に外部の部品メーカーの加工工程の条件設定については、過去のノウハウにより設定される場合があり、詳細をリコーでも把握し切れていない。そのような場合、不具合が発生しても原因の完全特定が出来ず、問題解決が困難になる。そのような事例に対して、品質工学を用いて加工条件の最適化を行い、機能性向上と基本性能の底上げを図り、問題解決に繋げる事を行っている。

2. 事例:コイルバネ加工条件の最適化

2-1 事例の背景

弊社において製造している複写機・プリンターには、様々な部品が組み込まれている。これらの部品は、弊社社内工程で加工する場合もあるが、かなりの割合で外部の部品メーカーにより加工され納品される。今回対象としているバネ部品の場合は後者であり、加工工程は基本的には外部部品メーカーによる設定となるが、不具合等が発生した際には共同して問題解決活動を実施し対策している。

今回、コイルバネの加工条件に対する改善活動を実施したのは、新規コイルバネの基本性能にバラツキが生じて、開発中の新製品への搭載が困難になった為である。当初、この問題に対しては問題解決手法により原因の追究を実施してきたが、原因については完全に特定するまでには至らなかった。そこで品質工学の手法を用いて加工条件の最適化を行い、機能性の向上と基本性能の底上げを図ることで、問題の解決を図った。

2-2 コイルバネとは

電子写真方式の複写機・プリンターに搭載される購入部品で、Fig. 2の様に約90°に屈曲した経路にトナーを搬送する目的機能を持つ。

構造については、SUSの平板をコイル状に加工している。このコイル構造により、屈曲させた状態で連続して回転させることが出来る。

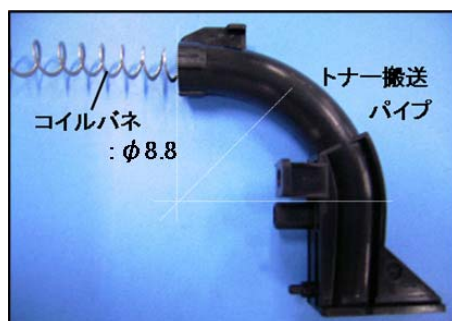


Fig. 2 Coil spring.

製造方法については、コイル成形機(Fig. 3)にSUSの平板を送り、成形ローラで一定の荷重をかける事でピッチと径の調整を行って、コイル形状にしている。

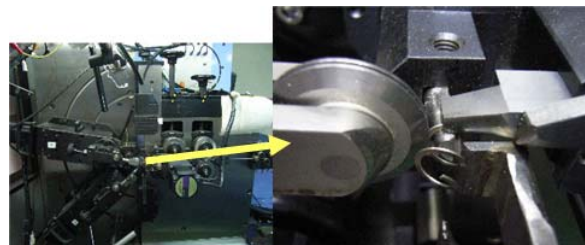


Fig. 3 Machine tool for the coil spring.

その後、熱処理炉に投入し、低温焼き鈍しを行なうことで、コイルバネの製品となる。

2-3 発生した問題

新製品の耐久試験にて、要求寿命より前にコイルバネの破断が高率で生じて、異常音が発生した。破断面をSEMで観察(Fig. 4)した所、特有の縞状の模様が確認されたことから、繰り返し応力による疲労破壊と特定された。外径寸法、金属組織、硬度等の特性値について計測を行い、寿命前に破断したコイルバネと破断しなかったコイルバネを対比させたが明確な差異は特定できず、また製造工程を調査しても、異常な4M変動を見つけ出せなかった。

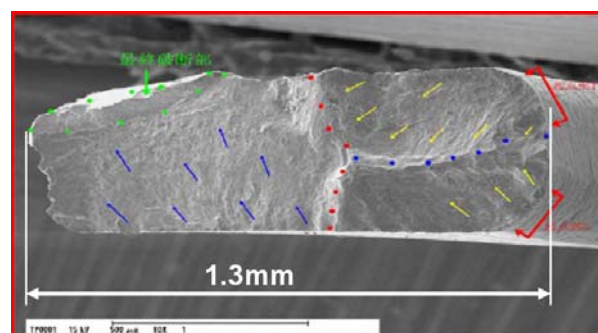


Fig. 4 SEM image of fracture surface.

2-4 評価技術

2-4-1 評価の考え方

加工装置条件を最適化する場合は、加工装置の消費電力や刃の振動変位等、直接計測できるデータを出力に設定する事例が多い。ただ今回の加工装置の様に、加工に要するエネルギーに対して装置自体の余裕が大きい場合、評価に必要な感度が得られない。そこで評価対象の装置で加工したサンプルを評価することで良いサンプルを加工できる最適な条件を導き出す、間接的な出力を取る手法がある。

今回はその考え方で、条件を振って加工したコイルバネサンプルを評価することで、加工装置を評価することにした。

2-4-2 基本機能と出力の設定

コイルバネの基本機能を「回転し続ける」と設定した。つまり「どのような誤差因子が印加されようとも、安定して回転し続ける。」のが良いコイルバネと考えた。すなわち、いかに長く駆動を伝達し続けられるかで、コイルバネの良し悪し、つまり加工条件の優劣を判断しようと考えた。

この「回転し続ける」の基本機能を評価する為に、回転し続ける時間（コイルバネが破断するまでの総回転数）を計測するのだが、それだと実験に多大な期間を要する。そこでFig. 5に表すように、通常の使い方における屈曲状態よりも更に過酷な屈曲を行い、加速条件とした。つまり加工条件による優劣を保ったまま、早く破断させてしまおうと考えた。

なお、解析手段としては出力である総回転数の望大の解析を行なう事とした。SN比の計算は、以下の数式を用いた。

$$\eta = -10 \cdot \text{Log} V_T$$

$$V_T = (1/y_1^2 + \dots + 1/y_k^2) / k$$

ここで、 η をSN比、 y はデータ、 k はデータ数である。

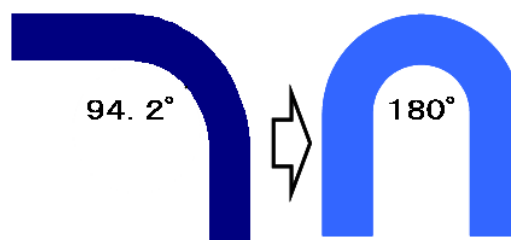


Fig. 5 Accelerated condition.

2-4-3 因子の設定

制御因子と誤差因子を設定した。

今回の目的は加工装置条件の最適化（パラメータ設計）であるので、制御因子にはコイルバネの加工工程、具体的にはコイル成型機と熱処理炉の条件を設定した。Table 2に示す因子と水準を設定し、実験時にはL18直交表に割り付けた。

誤差因子はコイルバネ加工工程における管理不能な項目を抽出した。Table 3に示す因子と水準を設定し、実験時にはL4直交表に割り付けた。

Table 2 Control factors.

	因子名	水準1	水準2	水準3
A	コイル成型機設定条件	方向1	方向2	
B	コイル成型機設定条件	設定1	設定2	設定3
C	コイル成型機調整条件	場所1	場所2	場所3
D	材料セット条件	短	中	長
E	コイル成型機調整条件	角度a	角度b	角度c
F	熱処理炉設定条件	設定1	設定2	設定3
G	熱処理炉設定条件	比率a	比率b	比率c
H	ダミー	—	—	—

Table 3 Noise factors.

	因子名	水準1	水準2
1	コイル成型機関連	1号機	2号機
2	人間作業関連	目盛1	目盛2
3	熱処理炉関連	位置a	位置b

2-4-4 機能システム図

以上の検討結果より、以下の機能システム図(Fig.6)を設定し、実験を組むこととした。

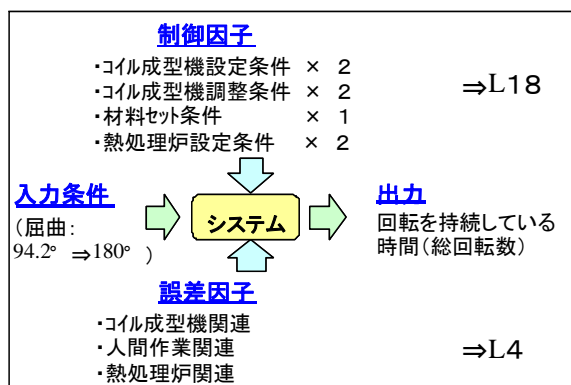


Fig. 6 Functional system diagram.

2-4-5 評価装置

機能性評価の場合は、誤差因子を繰り返し精度良く印加する性能を最優先に評価装置を製作した。しかし、加工条件の最適化（工程のパラメータ設計）の場合、誤差因子はサンプルを製作する過程で印加するため、この評価装置には誤差因子の印加機能は必要としない。今回の上記Fig. 6の機能システム図に基づく評価実験を行う為には、むしろ加速条件に特徴が在る為、既存のコイルバネ評価機に180° 屈曲の機能を追加したFig. 7のような装置を準備し、コイルバネ加工条件の最適化実験を行った。



Fig. 7 Evaluation equipment of the coil spring.

2-5 結果

2-5-1 生データグラフ

参考として実験の生データをグラフ化したものをFig. 8に示す。縦軸は破断に到るまでの総回転数、各線は制御因子の18の直交条件に対応している。このグラフを見ると制御因子と誤差因子の影響により、適切にデータをバラつかせることが出来たと考えている。

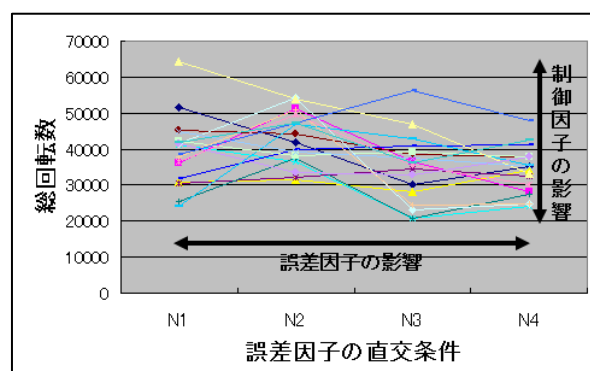


Fig. 8 Experimental results of duration.

2-5-2 解析結果

結果の要因効果図をFig. 9に表す。

コイルバネが加速条件下で破断するまでの総回転数が大きければ大きいほど良いという機能システムであるので、前に述べたように解析は望大で行なった。

なお、最適条件は要因効果図からSN比の高い水準を機械的に選択した訳ではない。部品メーカーの技術者と協議の上、作業性等を考慮した条件設定にしたため、Fig. 9に示したような最適条件となった。

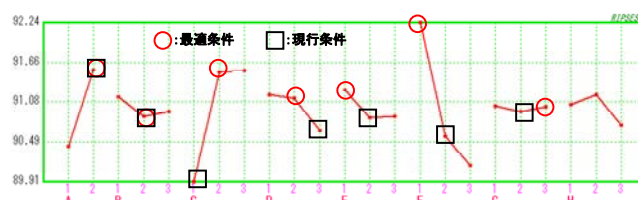


Fig. 9 Factorial effect diagram.

2-5-3 確認実験結果

最適条件と現行条件で確認実験を実施した。計算上の予想の利得差4.6dbに対して、確認実験での利得差が4.1dbとなり、再現率は89.1%が得られた(Table 4)。これは過去の事例と比べても、高い再現性が得られたものとする。

Table 4 Result of the confirmation experiment.

	予想の利得	確認実験の結果
現行条件	89.4db	87.9db
最適条件	94.0db	92.0db
利得差	4.6db	4.1db
再現率	89.10%	

2-5-4 工程への反映結果

確認実験の結果、高い再現性が確認できたので、得られた最適条件を実際のコイルバネ加工工程に反映した。最適化後の製造サンプル80個について、加速条件下の試験を行い、同数の最適化前条件での製造サンプルのデータとの対比確認(Fig. 10)を行なった。

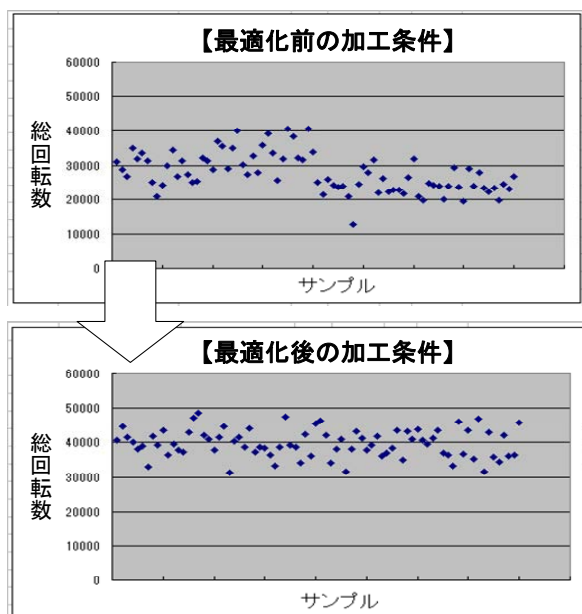


Fig. 10 Effect of the optimized condition in mass production.

結果は寿命性能が1.4倍(平均値が、27890→39700)に向上し、バラツキも75%(σ が、5540→3970)に低減することが出来た。これにより目標の寿命性能が達成でき、新製品への搭載が可能となった。結果、生産計画に遅れは生じずに、大きな機会損失の発生を回避することが出来た。以降、現在までコイルバネは問題なく量産を続けている。

2-6 更なる改善に向けての検討

要因効果図の因子Fのグラフの形(Fig. 11)から、更なる改善の可能性があると考えられた。そこで、他の因子を最適条件で固定して、因子Fの水準を広げる1因子実験を実施した。結果、水準を限界まで広げると、さらに1.3倍の寿命性能の改善効果が得られる事が判った。

因子Fは熱処理炉の熱量設定の因子であり、これは現状の調整幅が不足している事を表している。

ただし、そこまでの寿命性能は必要としない事と、そこまで極端な条件設定を設定することには不安を覚えた事により、因子Fのこの水準については量産工程には反映していない。

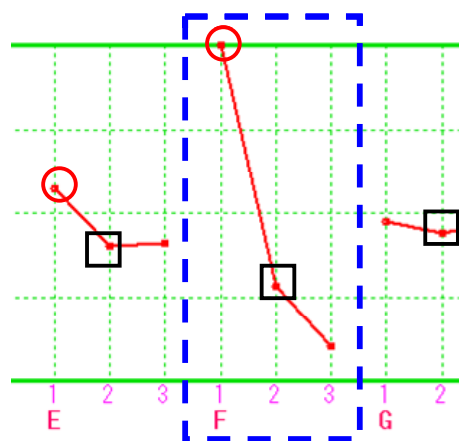


Fig. 11 Part of the factorial effect diagram.

2-7 考察

今回の活動の結果より、コイルバネ加工条件の最適化（工程のパラメータ設計）の品質工学手法について、確立できたと考える。これは高度な技能者が経験に基づいて設定していた従来のやり方に対して、より汎用的であり、より安定な加工条件を設定できる手法であると考えている。

この品質工学のパラメータ設計の考え方を生産工程の条件設定に展開する手法は、02年度より実施している。ただ対象が実際の量産加工工程になる為、サンプル製作時に加工条件を因子の組合せに応じて様々に変更することが難しく、また外部メーカーの工程が対象になる場合が多く、なかなか事例が積み上がらなかった。しかし生産準備活動において工程設定はきわめて重要なパートを占めるので、今後もこの手法による事例を積み上げて完成度を高めて行く。

参考文献

- 1) 今井力也ほか：ステッピングモータの機能性評価手法, *RICOH TECHNICAL REPORT*, 29, pp.74-78 (2003).
- 2) 田口玄一, 吉沢正考：開発・設計段階の品質工学, 日本規格協会(1988).