

品質工学への試み その3

静特性(望大特性)による解析(下)

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

前号において、 L_{18} 直交表に基づいて、実験を行い、それぞれの列に対してSN比を求めた。この実験から、分散分析表を得て、因子の寄与率を確認することができた。

今回は、工程平均を求め、要因効果図を作成する方法について報告する。

6. 工程平均および要因効果図

前報の表4より、第1列に割り付けられた因子Aについて評価する。Aは、2水準の因子であるので、 A_1 および A_2 について求めればよい。 A_1 は第1行から第9行までの実験に含まれている。SN比は加法性をもたせるために、デシベル値で表示してあるので、 A_1 の工程平均は、

$$A_1 = \frac{(-24.1) + (-22.0) + \dots + (-40.4)}{9}$$

$$= -30.33$$

A_2 も同様にして求めることができる。

$$A_2 = -28.66$$

同様にB以下も求めたすべての工程平均を、表6に示す。これをグラフで表したのが、要因効果図である。寄与率の高かったB、C、Eの3因子についての要因効果図を図5に示す。

ここで、要因効果を定量的に求めるためにSN比の分散分析を行うこともあるが、手順の簡略化のために省略している。工程平均の差が大きい因子につ

表6 工程平均

	第1水準	第2水準	第3水準
A	-30.33	-28.66	
B	-22.94	-31.45	-34.09
e1	-28.75	-29.88	-29.86
C	-32.28	-29.31	-26.90
D	-29.17	-28.43	-30.88
E	-26.80	-29.60	-32.08
e2	-30.26	-29.51	-28.71
e3	-30.92	-29.31	-28.25

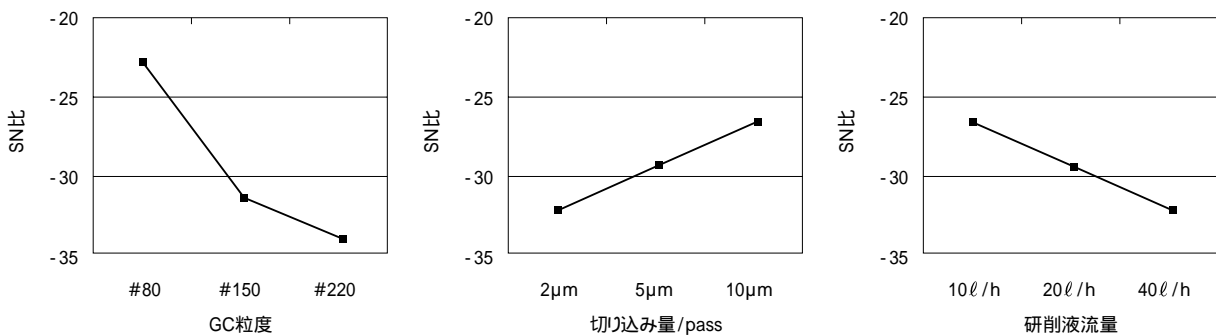


図5 要因効果図

いて効果が大きいとする判断と、分散分析による判断はほぼ一致すると考える。

次に、最適条件と、そのSN比の推定を行う。最適条件は、各水準において平均値の高い水準を選ぶことにより得ることができる。よって最適条件は、

$$\text{最適条件：} A_2 - B_1 - C_3 - D_2 - E_1$$

となる。ただし、下線のない因子は効果の小さいことを意味する。また、現行条件は、

$$\text{現行条件：} A_2 - B_2 - C_2 - D_2 - E_2$$

である。要因の自由度の合計が十分に大きいとき、効果の小さい要因はプールして誤差に含める。その際、誤差にプールした要因は工程平均の推定に用いないが、これらについても最適水準を選ぶということが大切である。コストも考慮したうえで、少しでもSN比の大きいものを選ぶべきである。今回、誤差にプールしたDにおいては、偶然にも現行条件が最適値であったため、D₂と変化はなかった。

また上記の条件は、L₁₈直交表に割り付けた実験において実際に行っていない水準の組み合わせである。したがって、最適条件と現行条件についてSN比の推定を行う。推定には、効果の大きい因子A、B、C、Eの4つの平均値を用いて行う。

$$\begin{aligned} \text{最適} &= (A_2 - \bar{T}) + (B_1 - \bar{T}) + (C_3 - \bar{T}) + \\ &\quad (E_1 - \bar{T}) + \bar{T} \\ &= (-28.66) + (-22.94) + (-26.90) + \\ &\quad (-26.8) - 3 \times \frac{-530.8}{18} \\ &= -16.83 \text{ (db)} \end{aligned}$$

ただし、 \bar{T} は全データの平均値である。また、 \bar{T} の係数は推定に用いた要因の数から1引いた値である。同様にして現行条件について求める。

$$\begin{aligned} \text{現行} &= A_2 + B_2 + C_2 + E_2 - 3 \times \bar{T} \\ &= (-28.66) + (-31.45) + (-29.31) + \end{aligned}$$

$$(-29.6) - 3 \times \frac{-530.8}{18}$$

$$= -30.55 \text{ (db)}$$

よって利得は、次のようになる。

$$\begin{aligned} (\text{最適}) - (\text{現行}) &= (-16.83) - (-30.55) \\ &= 13.72 \text{ (db)} \end{aligned}$$

すなわち、現行条件を最適条件に変えると13.72dbの利得があり、SN比の向上につながる。利得のdb値は最適条件と現行条件とのツルーイング比の改善の効果を表している。推定するツルーイング比は、真数に直すと望大特性の性質より、

$$n \text{ (db)} = -10 \log (1/y_n^2)$$

最適化した条件でのツルーイング比は、

$$\begin{aligned} y_n &= \sqrt{\frac{1}{10^{-10}}} = \sqrt{\frac{1}{10^{\frac{(-16.83)}{10}}}} \\ &= 0.144 \end{aligned}$$

標準条件では、

$$y_n = 0.030$$

となり、約4.8倍の改善が期待できる。

7. 確認実験

利得の推定値の再現性は確認実験によって確かめる。再現性とは、実験の結果が実際の現場で推定通り再現するかという度合のことである。つまり選択した因子の水準で推定したSN比の値が妥当であるか判断する。

品質工学の実験では、この確認実験というチェックの手続きが欠かせない。その手続きを踏む過程をみれば、その実験がうまくいったかどうか第三者にも予想がつく。今回の実験における確認実験の結果を表7に示す。

品質工学において利得が再現したのか否かの判断

表7 確認実験結果

	計算値	実験値	差
現行条件	- 30.55db	- 29.12db	
最適条件	- 16.83db	- 16.46db	
利得	13.72db	12.66db	1.06db

は、一般的に、計算で求めた利得と確認実験で得た利得との差が、デシベル値で±3db程度であれば一致したとみなしている。最適設計と初期設計の差の大きさにもよるが、仮に計算上で求めた利得が20dbの場合には確認実験による利得が±5dbの範囲に入っていれば再現したと考えてよい。つまり、確認実験で得た利得が計算で求めた利得に対して20～30%くらいの差であれば、主効果の加法性が十分あったとしてよいのである。

今回の実験において、推定値と実験値の差が1.06dbとほぼ一致したのでツルージング実験は成功したといえる。すなわち、この実験において利得の再現性が確認できたことになる。

8．結言および感想

立形ロータリドレッサの作業効率について、品質工学を用いての最適化を試みた。技術的な考察はここでは省略するが、品質工学の立場で以下のような結果が得られた。

- (1) 選定した因子において、寄与率の高い因子が3つ存在することが確認できた。
- (2) 最適化した条件での計算上のSN比は - 16.83dbであり、現行の条件から13.72dbの利得が推定できる。確認実験の結果、12.66dbの利得が得られたので、利得が再現できた。
- (3) 超砥粒ホイールの振れを修正する際、当初、約28 μmの振れを1.8 μm以内にするためには200pass程度の切り込みが必要であったが、最適化した現在では50pass程度で1 μm以内の振れに修正でき、効率よく、また精度良くツルージング

できるようになった。

今回の実験結果は、当研究室における10年間の集大成ともいえる結果となった。この装置すなわちシステムを開発してから、過去5年以上も要因および水準を検討していたのだが、なかなかこれらすべての因子について最適化ができなかった。つまり、パラメータの設計がうまくできなかった。しかし、この品質工学を用いた実験によって、1週間程度でほとんど解決してしまったのである。これには、筆者ら自身も驚き、その合理的な手法に改めて感心させられた（ただし、これまでの5～6年間の実験結果がかなり参考になったのではあるが）。このことは、当研究室にとって、大きな躍進ともいえるものであった。

最適条件が確定された今、ツルージングに関する実験で明らかに変化があった。それは、高価なダイヤモンドおよびCBNホイールの消費量が急激に増大したことである。立形ロータリドレッサを用いた他の研究を進めていくにつれて、2～3ヵ月で約2～3枚のペースで超砥粒ホイールを消費するようになった。このことは、ツルージング効率がかなり改善されてきたことを意味する。うれしい悲鳴である。

この立形ロータリドレッサは、実際に市販されているが、ツルージングができない、効率が上がらないなどの問い合わせをいくつか受けてきた。その原因のほとんどが、作業条件によるものであった。今回の実験結果は、ユーザの方々に対して注意すべき点を明確に指示できる裏づけデータとなるため、今回の実験結果の波及効果は大きい。

9．測定法評価研究会にて

測定法評価研究会（MS）という学習会が、毎月1回日本規格協会で行われる。そこでは、品質工学を学習した方々が、事例をもちあってディスカッションし、検討する研究会である。縁がありそこで今回の事例を取り上げていただくことができ、大変貴

重な意見をいただいた。その1部を紹介する。Q：研究会からの質問，A：質問に対する回答，C：研究会からのコメントである。

< 超砥粒ホイールの機能に関する議論 >

Q：超砥粒ホイールに求められる性能とは何か？

A：目的により異なるが，加工対象の寸法精度を確保することや，表面粗さの向上などである。そのためには，前提条件として振れがないことと，砥粒切れ刃の目立てがされていることが必要になる。今回はまず，工作機への超砥粒ホイール取り付け後の“振れ”を取るための最適条件を求めることとした。

Q：振れがあると工作面にどのような影響を及ぼすのか？

A：振れが工作面に影響し，波状の痕をつけてしまう。

< 計測特性についての議論 >

Q：ツルーイング比としたのはなぜか？ また，SN比の値からみて特性値がかなり小さいと判断されるが，測定上の問題はなかったか？

A：過去の諸々の取り組みからツルーイング比が良いと判断している。また，学会等の発表事例でも採用されていることから決定した。測定には，電気マイクロメータを用いたが，微細なレベル（ μm 台）でのばらつきは多少あった。

C：品質工学では，機能を評価するために最適な特性を選ぶことを奨励している。学会等の方法にこだわる必要はない。

Q：比のデータは計量単位が相殺されてしまい，経験上，うまくいかない場合が多い。振れ量を直接測る方法はないのか？

A：「動バランス測定器」を用いれば測ることができる（今回の実験にはそのデータを用いていないが， $1/100\mu\text{m}$ 以下に振れが取れることも確認している）。

< 制御因子に関する議論 >

Q：総切り込み量はどのように決定したのか？

A：過去の経験から， $50\mu\text{m}$ 以上の振れ量はあまりないということから決定した。

< まとめ >

Q：振れ取りを動特性として考えた場合，基本機能は何か？ また信号は何になるのか？

A：この場合の基本的な機能は，希望の量を均一に削り取ることではないか。その場合の信号が何になるのかを検討する必要がある。

C：今回の実験は，静特性のSN比による評価で，再現性も良い結果となっている。しかし，静特性は動特性の一部と考えるべきで，範囲を広げた場合の汎用性に欠ける。できれば動特性での評価につなげたらどうか。

また，ツルーイング比を計測特性として評価することが超砥粒ホイールの本来の性能の評価につながるのか，再検討が望まれるのではないか。

Q：転写性の事例が多く発表されているが，本事例の適用はどうか？

A：転写性は，各部の静特性（望目特性）を一本の直線に乗せて動特性として評価するものだが，ツルーイング比を転写性で評価することが適当かどうかは検討を要する。いずれにしてもツルーイング比が，目的とする超砥粒ホイールの本来の性能を評価するうえで，ふさわしい計測特性かどうか再検討してみる必要がある。

以上のような討論を，約2時間程度にわたってしていただいた。そこでかなり参考になる意見を得ることができた。品質工学は，大変内容の濃い手法があるので，それを最前線で利用している方々の意見を聞くことは大変意義のあることである。筆者らもまだまだ未熟である。このような場に出席させていただいた計量研究所の小池晶義先生に深く感謝申し上げる。

10. 品質工学

毎年、全国各地で何度か開催される品質工学入門コースに出席した際、田口玄一先生の講演を2日間にわたって聴くことができた。品質工学の考え方など、短期間ではあったが充実した内容であった。正直、そのときの筆者の感想は“難しい学問である”というものでしかなかったが、実際に品質工学を導入し、事例に適用していくことで少しずつ理解することができる。以下に述べることは、特に品質工学を導入する際のキーワードとなるものであると考えるので参考にさせていただきたい。

10.1 品質工学の手法

品質工学の手法は汎用技術と呼ばれ、次の3種である。

(1) SN比

機能のばらつきに対する評価測度

(2) 直交表

システムパラメータや設計定数の出力への効果の再現性の評価方法。SN比の場合は利得、誤差因子の場合は品質特性への影響の再現性のチェックに用いられる。

(3) 損失関数

品質特性のばらつきによる損失を経済的に評価する方法。生産コストと品質による損失の和を最小にするのが目的である。

10.2 技術開発の手順

品質工学では、技術開発でも製品や工程の設計でも、その活動内容を次の3段階に分ける。

(a) システム選択

目的機能を持つシステムまたはコンセプトを選ぶ。できれば世の中にないシステムやコンセプトを選んでそれを開発するとそれは特許で保護される。特許は真理ではなく手段であり、他にも方法

があるから特許が許されるのである。

(b) パラメータ設計

システムの設計定数(パラメータ)の水準を決めるときの機能の確実度すなわち機能性を改善するように決める行為で、品質工学では、機能性を動的SN比や静的SN比で評価する。

(c) 許容差設計

選ばれたシステムパラメータの水準の前後に許容差を経済的に決める行為で、品質工学では品質特性のばらつきによる損失を経済的に評価し、コストのバランスも取る方法を提供している。

以上が、田口先生が提唱する品質工学を用いるうえでの基本となる概要である(品質工学概論:品質工学入門コーステキストより引用)。これらを十分にふまえたうえでこの品質工学を適用することが望ましい。

今回の実験では、10.1の(1)と(2)および10.2の(a)と(b)を念頭に置き、実験を行った。大学の研究室というレベルでは製造・販売という工程はないので、損失関数に関してはあまり適用した事例はない。また、システム選択の前の技術開発、現象解明には専門的な知識が必要となってくる。専門的な知識と品質工学の知識の両方を身につけることによって、さらに進んだ研究開発を行うことができると考える。これからも品質工学という合理的な手法は、多く取り入れていきたいと思う。

今回は、動特性による解析の適用事例を述べたい。

(以下、次号へ続く)