

## まえがき

ものづくりの世界では、品質工学に関する様々な啓発書が出版され、講演会などが企画されている。多くの技術者はこれらを利用して自ら学び、品質工学の重要性・有用性を認識している。しかしながら啓発書や講演会だけで業務上の課題に対応することは容易ではなく、さらに解説書やセミナーあるいはコンサルタントなどを利用して、品質工学を学び業務上の課題に取り組むことを余儀なくされている。残念なことに、このような努力は必ずしも実を結ぶとはいえず、品質工学は難しいと挫折していく例は少なくない。なぜこのようなことになっているかを考えてみた。

田口玄一氏はかつて“品質工学は統計ではない”と言い切っていたが、品質工学を学び・理解するために、統計は不要であるとは言っていなかったと思う。田口氏の著作をはじめ、多くの品質工学の解説書などは、統計学・統計的手法（以下、統計という）の知識を前提としているように読める。それにもかかわらず、“品質工学は統計でない”ということをも“品質工学には統計の知識は不要である”と捉えて統計の知識を軽んじてしまっている例が多いのではないだろうか。

一般にカリキュラムの中に品質工学を取り入れている大学は非常に少ないことから、技術者にとって品質工学を学ぶのは、社会に出た後の研修であることが多い。そのため、品質工学の理解を助けるための基盤が必ずしもできているとは限らない状態で勉強し始めることが多いと思われる。その上、品質工学の解説書の多くは、基盤を構成する事柄を明確に示していないものも少なくなく、たとえ示していたとしても既習事項として取り扱っており、むしろ品質工学の理解を困難にしているように見受けられる。

高等学校や大学における教育では、統計に関わる教育はこれまで重視されてはこなかったため、理工系の大学においてさえ統計学がカリキュラムに入っ

いない大学もあり、様々な弊害を生んでいるようだ。このようにしてみると、現在、ものづくりの世界で活躍している多くの若手技術者は、品質工学を学ぶための前提ともいえるべき統計の知識が十分でないと考えられる。つまり、品質工学教育の全体は、学校教育において行われているような学んだ事柄を積み重ねていくシステムになっていないと考えられる。

品質工学の解説書やセミナーでは、様々なレベルの内容が混在しているようである。つまり品質工学を学ぶための標準がないため、技術者自身がどのレベルにいるのか判断がつかない状態であるといえ、品質工学を教える側も同様と考えられる。たとえば、品質工学という大きな建物を建てるための基礎作りがおろそかになっているにもかかわらず、必要とされる建築材料を集め、建築図面をもたないまま建物を建てるようなものである。苦勞して建築材料を集め、必死な建築作業は無駄になるばかりである。品質工学を学ぶために必要な基盤を確固たるものにし、獲得した品質工学の知識を使って業務上の課題を解決できるようになるための対策が必要と考えている。

上記の問題意識から出発した本書の企画は、アイデアから執筆に至るまでには、紆余曲折あって多くの時間をかけてしまった。品質工学の内容の理解と選択に当たってはピタゴラスの齋藤誠さんと多くの議論をすることができたことは非常に有益であった。リコーテクノロジーズ(株)の鈴木勇さんには品質工学学会に掲載された論文を引用することを了解していただいた。同社の森富也さん、武田布千雄さんからは社内教育に使用されていた貴重な資料を提供していただいた。東北品質工学研究会の定例会では、本書の考え方を議論していただいた。日本規格協会グループの伊藤朋弘さん、原井理久子さんには遅々として進まない作業のためご迷惑をおかけしてしまった。多くの方々のご理解とご支援があってここまで来ることができた。ここに皆様のご厚情に深く御礼申し上げます。

2020年6月

小野 元久

## 本書の構成と使い方

品質工学を学ぶ者・指導する者にとって、品質工学の内容をどこまで学ばよいか、どの程度まで身に付けばよいか判断できるようにすることが大切である。そこで品質工学の内容を段階ごとに整理する意味で本書は準備編、入門編及び実践編のⅢ編構成とした。いずれの編も必要最小限の内容を取り上げた。不十分ではあるかもしれないが各編で取り上げた内容が品質工学を学ぶ上での標準と考えた。

入門の段階からやさしくと言いつつ多くの内容を伝えようとすることは消化不良を起こすおそれがあると考え、やさしく伝えることよりも必要最低限の内容を伝えることに重点を置いた結果である。

### 品質工学学習の指針

ものごとを学んでいくときには学ぶべき内容全体がわかる地図のようなものがあれば、ゴールまでの自分の位置を認識できて迷いを払拭できると思う。品質工学を学ぶ上で地図になるものを示すことができればよいと考え、“品質工学学習の指針”と銘打った一覧表を作成した (p.10 参照)。

一覧表には本書の内容と内容を構成する重要なキーワードを規準として記載した。学習の進捗と理解の程度を判定するための資料として使っていただきたい。なお規準とは品質工学（機能的評価、パラメータ設計）を理解するためのよりどころという意味である。

この“学習の指針”は大きな表になっているため文字を小さくレイアウトせざるを得なかった。そこで、本書に掲載したものと同一表を PDF データにて日本規格協会のホームページ (JSA Webdesk) からダウンロードできるようにしたので利用していただきたい。

[https://webdesk.jisa.or.jp/books/W11M0700/?syohin\\_cd=351147](https://webdesk.jisa.or.jp/books/W11M0700/?syohin_cd=351147)

### 準備編

準備編では、統計の内容が品質工学を学ぶ上での基盤形成材料であるとして、必要と思われる内容を取り上げ、身に付けることを目標とした。ただ品質工学に関わる統計学の内容は膨大であることから全てを取り扱うことは入門段階では適切ではないので、SN 比を求めるために必要な 2 乗和の分解に関わる分散分析法だけを取り上げることにした。それでもその内容と分量は決して少なくないことから、ごく一部を独自の判断で取捨選択して準備編の内容とした。これまでは品質工学の内容を理解する上で必要な事項をその都度説明する手法がとられてきているが、本書ではそのような事項はあらかじめ準備編で説明するようにした。このようにすることで、品質工学の重要な内容を理解するときに本筋を見誤らないようになると考えた。

## 入門編

入門編では、品質工学の内容から機能性評価とパラメータ設計を取り上げ、この二つを理解することを目標とした。許容差設計、MTシステム、オンライン品質工学など他にも理解すべき手法があるが思い切って取り扱わないことにした。ここでは機能性評価とパラメータ設計を理解することに重点を置き、必ずしも自力で使えるようになっていなくても構わないと割り切った。

## 実践編

実践編では、機能性評価とパラメータ設計の実験計画の策定と実験の実施並びに実験結果の評価を自力でできることを目標とした。あわせて社内での品質工学のアドバイザーの役割を担えようになればよいとも考えた。このようなレベルに達するには、品質工学に関わる書籍や研究論文などを読みこなせるようになることが必要であるとして、多数の資料を提示した。

## 本書の活用方法

本書は前書である『基礎から学ぶ品質工学』（小野元久編著、日本規格協会）の考え方・内容を踏襲していることから、前書の姉妹編ともいえる。本書では分散分析法から2乗和の分解及びSN比の導出までに出てくる各種の式の証明は省略している。したがって各種の式の証明等を必要とする場合は、前書を適宜参照していただきたい。

本書を使った品質工学の学習・教育に当たっては、教科書を学ぶ・教科書を教えるという立場ではなく、教科書で学ぶ・教科書で教えるという立場を取っていただきたい。なぜならば、教科書とは教育の目的や目標を達成するための一つの素材（教材）であるとされているからである。

本書の各編で取り上げた内容は、品質工学を学ぶ上での標準とした必要最小限のものである。したがって各編の内容を確実に身に付けて実務上の課題に対応できるようになるためには、本書を使って学習・教育を進めながら、各段階に見合った実務上の課題を例題として解いていくことが望ましい。こうしたことがかなわない場合は、例えば本書で取り上げた内容についてより具体的なものになるように同僚などとディスカッションをする、他書の演習問題を解く、研究論文や実施報告書を読み解くなどして学習・教育を発展させて欲しい。

品質工学の学習・教育の目的は、品質工学を使いこなして実務上の課題を解決できるようになることである。本書のような教科書を学ぶ・教育することが目的ではない。この目的達成の学習・教育のための教材として本書を活用していただきたい。

# 目 次

まえがき	3
本書の構成と使い方	5
品質工学学習の指針	10
<b>I. 準備編</b>	…… 17
<b>I.1 品質工学の考え方</b>	…… 19
<b>I.2 品質工学における実験の考え方</b>	…… 24
2.1 無駄のない効果的な実験	…… 24
2.2 実験から得られるデータと平均値並びに誤差	…… 25
2.3 測定機器及び測定対象が誤差発生要因の影響を受けて発生する誤差	…… 29
2.4 測定データのばらつきをものづくりに利用する	…… 30
<b>I.3 分散分析法</b>	…… 33
3.1 品質工学を学ぶに当たっての分散分析法の知識の必要性	…… 33
3.2 分散分析法の導入	…… 34
3.3 多元配置による実験の計画	…… 38
<b>I.4 直交表</b>	…… 56
4.1 直交表とは	…… 56
4.2 直交表の種類	…… 59
4.3 直交表の使い方	…… 61
<b>I.5 システムの出力のばらつきと出力の大きさ</b>	…… 66
5.1 システムの出力のばらつきと出力の大きさの表現方法	…… 66
5.2 誤差を発生させる要因である誤差因子	…… 67
5.3 動特性の SN 比	…… 68
5.4 データのタイプごとに分類した動特性の SN 比	…… 69
練習問題・解答例	…… 86

## II. 入門編 …… 95

<b>II.1 機能性評価</b> ……………	97
1.1 機能性評価とは ……………	97
1.2 機能性評価の考え方 ……………	98
1.3 機能性評価の進め方 ……………	100
1.4 機能性評価の例 ……………	102
1.5 機能評価の実例 ……………	107
<b>II.2 パラメータ設計</b> ……………	112
2.1 パラメータ設計のねらい ……………	112
2.2 パラメータ設計の考え方 ……………	113
2.3 パラメータ設計の進め方 ……………	115
<b>II.3 パラメータ設計の実例</b> ……………	126
<b>練習問題・解答例</b> ……………	135

## III. 実践編 …… 141

<b>III.1 動特性とみなす SN 比</b> ……………	143
1.1 望目特性の SN 比 ……………	143
1.2 基準点比例の SN 比 ……………	147
1.3 システムの機能が非線形の場合の SN 比 ……………	149
1.4 静特性の SN 比 ……………	151
<b>III.2 機能の表現と誤差因子</b> ……………	155
2.1 機能を表現するときの手助け ……………	155
2.2 機能憲法 ……………	157
2.3 誤差因子のいろいろ ……………	160

<b>Ⅲ.3 直交表の詳細</b> .....	166
3.1 直交表の使い道 .....	166
3.2 直交表の特別な使い方 .....	168
<b>Ⅲ.4 パラメータ設計におけるチューニング</b> .....	174
<b>Ⅲ.5 シミュレーションによるパラメータ設計</b> .....	180
<b>練習問題・解答例</b> .....	187
<b>索引</b> .....	199

<b>【コラム I.1】 損失関数</b> .....	21
<b>【コラム I.2】 分散分析法における平方和の分解と品質工学における 2乗和の分解の比較</b> .....	53
<b>【コラム I.3】 直交表の表記の仕方</b> .....	58
<b>【コラム I.4】 SN比の定義と表現方法について</b> .....	83
<b>【コラム I.5】 田口のSN比と変動比型SN比</b> .....	84
<b>【コラムⅢ.1】 評価特性のまとめ</b> .....	153
<b>【コラムⅢ.2】 直交表の分散分析</b> .....	171
<b>【コラムⅢ.3】 教材</b> .....	186

●品質工学学習の指針●

準備編のねらい 品質工学の手法を理解するための基盤形成をねらいとする。分散分析法の基礎的な知識を獲得してSN比に展開する。品質工学の実験計画策定に必須な直交表の存在を知って使用方法を身に付ける。

章	第1章		第2章			
	タイトル	品質工学の考え方	品質工学における実験の考え方			
目標	品質工学の基本的な考え方 を理解し、品質工学を学ぶ ために必要な基盤形成材料 である統計手法が身に付き やすくなるように備える。	実験目的を明確にして実験計画を立て、実験目的に合った実験を行うことの大切さを知る。測定データに含まれる実験誤差の存在を正しく認識し、単に実験データを整理するだけでなく、実験誤差をものづくりに生かす方法を知る。				
節	タイトル	—	第1節	第2節	第3節	第4節
	内容	—	無駄のない効果的な実験	実験から得られるデータと平均値並びに誤差	測定機器及び測定対象が誤差発生要因の影響を受けて発生する誤差	測定データのばらつきをものづくりに利用する
内容	・出荷後に市場でトラブルにならないように事前に手を打つ ・測定データがばらつき要因を排除しない ・測定データをばらつかせる要因の影響が小さくなるように設計段階で手を打つ	実験目的が科学的実験あるいは工学的実験のいずれであるかを正しく認識して無駄のない実験を実施することの大切さを知る。	平均値を求めることの意味の確認、分散及び標準偏差は平均値とデータの偏差から求める。	実験データに含まれる誤差を分類、必然誤差が発生する要因が誤差因子	実験データに含まれる有効な情報と無効な情報の比がSN比であること	
規準	未然防止、ばらつき要因	科学的実験、工学的実験	偏差、分散、標準偏差、誤差	内乱、外乱、実験誤差、繰返し実験、偶然誤差、系統誤差、必然誤差、誤差因子、ノイズ因子、機能を乱す要因	特性値、SN比、有効成分、無効成分	

章	第4章			第5章		
	タイトル	直交表			システムの出力のばらつきと出力の大きさ	
目標	総当たり実験になる多元配置から一部実施実験になる直交表に展開する直交表とは何か、直交表の種類、直交表の使い方を学ぶ、直交表はパラメータ設計を進める上で非常に重要なツールであることを認識する。	開発設計段階、各生産工程におけるシステムの理想的な姿や目標値と実際の値の差すなわちばらつきを大きさを表す特性値としてSN比を定義する。SN比を使う場合、誤差因子の適切な使用がSN比の有効性に				
節	タイトル	第1節	第2節	第3節	第1節	第2節
	内容	直交表とは	直交表の種類	直交表の使い方	システムの出力のばらつきと出力の大きさの表現方法	誤差を発生させる要因である誤差因子
内容	直交表の成り立ち	・2水準系直交表 ・3水準系直交表 ・混合系直交表	・要因を直交表に割り付ける。 ・要因効果を求める。	システムの出力のばらつきはSN比で表すこと、出力の大きさは感度で表すこと。	ものづくりの分野では避けられない誤差因子がある。品質工学では誤差因子を排除せず利用する立場をとる。	
規準	直交、直交表	2水準系直交表、3水準系直交表、混合系直交表	制御因子、要因効果	変動比型SN比、感度	誤差因子の分類	



第3章		
分散分析法		
SN比を計算するためには、全データを2乗和の分解によって有効成分と無効成分に分ける必要がある。分散分析法の基礎知識を身に付けて2乗和の分解の方法と得られた結果の読み方に習熟する。		
第1節	第2節	第3節
品質工学を学ぶに当たっての分散分析法の知識の必要性	分散分析法の導入	多元配置による実験の計画
品質工学を学ぶに当たっての分散分析法の知識の必要性	2乗和の分解によって全変動が平均変動と誤差変動に分解できること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一元配置実験</li> <li>・二元配置実験</li> <li>・多元配置実験</li> </ul>
要因、水準、分散分析法、SN比	全変動、平均変動、誤差変動、2乗和の分解、有効成分、無効成分	交絡、計測特性、要因、因子、制御因子、水準、実験の繰返し、測定の繰返し、一元配置、一元配置実験、二元配置、二元配置実験、実験条件、要因効果図、交互作用、主効果、多元配置、総当たり実験

## 【注意】

表中の“規準”とは、品質工学（機能性評価、パラメータ設計）を理解するためのよりどころである。

セミナーや講義等で本書を使用する場合、“規準”としたキーワードを理解しているかどうかテスト等でチェックして欲しい。

本書を自己研鑽等で個人で使用する場合は、“規準”を理解しているかどうかは、自己診断に委ねる。

テストや自己診断の実施に当たっては、それぞれが“規準”を作って評価することを勧める。“規準”とは、例えば70点～80点はC、81点～90点はB、91点～100点はAのようにして評価するときの閾値と考えればよい。

大きな影響を与える。SN比の計算に当たっては、2乗和の分解を使用する。SN比と誤差因子を正しく理解する。
--

第3節	第4節
動特性のSN比	データのタイプごとに分類した動特性のSN比
入力と出力の関数関係で表現されるシステムの出力のばらつきを表す動特性のSN比を知る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・データがランダムにばらつく場合</li> <li>・誤差因子が1要因で2水準の場合</li> <li>・誤差因子が1要因で多水準の場合</li> <li>・誤差因子が2要因で2水準の場合</li> </ul>
システム、機能、基本機能、動特性、動特性のSN比、ゼロ点比例のSN比、信号因子	変動比型SN比、感度、傾き