

# 目 次

まえがき

## 第1章 基本機能の分類

1.1 基本機能の着想	9
1.2 基本機能とは	10
1.3 基本機能研究の現状	11
1.4 基本機能の分類	12
1.5 各基本機能の特徴と活用技術領域	12
1.6 その他の基本機能	17

## 第2章 転写機能

2.1 転写機能とは	19
2.2 画像の転写	20
2.3 物体の転写	28
2.4 計測機器への適用	35
2.5 音声の転写	38
2.6 加工技術への適用	41
2.7 フレーム（筐体）の形状安定性評価	49
2.8 紙搬送システムへの適用	50

## 第3章 搬送機能

3.1 搬送機能とは	53
3.2 紙の搬送	54
3.3 液体の搬送	60
3.4 気体の搬送	63

3.5	粉体の搬送	66
3.6	情報・データの搬送	69
3.7	その他の搬送システム	72

## 第4章 通電機能

4.1	通電機能とは	75
4.2	電気回路の形成技術	76
4.3	電気・電子部品の評価	80
4.4	接合技術	84
4.5	材料の評価	90
4.6	金属ベルトの評価	94
4.7	溶接技術	97

## 第5章 加工機能

5.1	加工機能とは	101
5.2	切削，研削加工	102
5.3	放電加工	105
5.4	ドリル加工	108
5.5	切断加工	110
5.6	転造加工	113
5.7	プレス加工	115
5.8	表面処理加工	121
5.9	溶接技術	126
5.10	締結技術	130
5.11	接着技術	132
5.12	粉碎・分級技術	135
5.13	塗装技術	137
5.14	射出成形	139

## 第6章 保形機能

6.1	保形機能とは	143
6.2	ばねの評価	144
6.3	筐体, 構造物の評価	149
6.4	成形品の評価	154
6.5	材料の評価	158
6.6	接合技術の評価	164

## 第7章 機能窓

7.1	機能窓とは	171
7.2	紙搬送システムの評価	172
7.3	接合技術の評価	174
7.4	画像定着システムの評価	178
7.5	蛍光灯の評価	179
7.6	ワイヤボンディングの評価	180
7.7	ガラスレンズの加熱成形の評価	182
7.8	化学反応の評価	183
7.9	粉碎分級システムの評価	186
7.10	画像形成システムの評価	188
7.11	現像剤耐久試験の評価	189
7.12	ステッピングモータのパルス応答性評価	192
7.13	化成皮膜生成技術	193
7.14	切削加工装置の評価	195
7.15	クリーニング技術の評価	198
7.16	摩擦係数の計測技術	200
7.17	紙の重送検知システム	203
7.18	混合攪拌装置の微粒子分散性評価	205
7.19	分流型脱泡装置の評価	207
7.20	複写機内エアフローシステムの評価	209

## 第8章 その他の基本機能

8.1 発光機能 .....	213
8.2 発熱機能 .....	215
8.3 摺動機能 .....	217
8.4 紙搬送システムの摺動機能による評価 .....	219
8.5 発電機能 .....	222

### <付 録>

#### 1. 系統図

1.1 基本機能系統図 .....	227
1.2 転写機能系統図 .....	228
1.3 搬送機能系統図 .....	229
1.4 通電機能系統図 .....	230
1.5 加工機能系統図 .....	231
1.6 保形機能系統図 .....	232
1.7 機能窓系統図 .....	233
1.8 MT システム系統図 .....	234

#### 2. 演習問題 .....

235

索引 .....	243
----------	-----

# 第1章 基本機能の分類

## 1.1 基本機能の着想

品質工学を樹木にたとえると、基本機能は幹である。基本機能という太い幹から、ロバストパラメータ設計、損失関数、MTシステムなどの枝が広がっている。そして、品質工学の根っこには、田口独特のばらつきの概念がある。つまり、基本機能を考え、そのばらつきを評価することは、品質工学の根幹に関わることであり、品質工学を理解する上で、最も重要なポイントといえる。

田口が基本機能に注目したのは、日米の技術開発の違いにあると考えている。田口執筆の書籍によると、1970年代から80年代の日本は、試作品による品質評価が技術開発の中心的な手法であった。この方法は、開発から量産への移行がスムーズで、市場での品質問題発生も抑えられる点で優れているが、試作品（実物）の作成や品質評価に時間とコストがかかる。また、技術開発の範囲が制限されて自由度がなく、将来を見据えた革新的な技術の開発には不向きである。一方、その頃の米国では、簡単なテストピースや数値解析（シミュレーション技術）による技術開発が主流であった。この方法では、システムの機能や原理が評価の対象となり、技術開発の自由度が増えるとともに、コストや時間を大幅に削減できる。しかし、製品としての品質評価が不十分になることから、量産の段階で技術開発の結果が再現せず、生産工程や市場で品質問題が発生するという弱点があった。

田口は、日米双方の弱点をカバーし、強みを生かす手段として、基本機能の評価と改善を提案するに至ったと考えられる。モノづくりの上流である技術開発の段階で、対象システムの基本機能を、テストピースや数値解析によって効率的に安定化し、目標とする理想的な状態を実現すれば、下流である量産や市

場での品質問題を未然に防止できるはず、と考えたのである。言い換えれば、モノづくり上流での品質作り込みを実現するための手段が、基本機能ということになる。

## 1.2 基本機能とは

基本機能とは、技術やシステムが持つ根本的、本質的な働きや性能のことで、田口は基本機能を考える上で重要な三つの指針を示している。

- ① 対象とするシステムの機能を入力と出力で考える（図 1.1）。
- ② 入力  $M$  と出力  $y$  の関係は、原点を通る一次式  $y = \beta M$  で表現される（図 1.2）。
- ③ 入出力をエネルギーで捉えること。

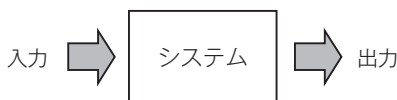


図 1.1 システム図

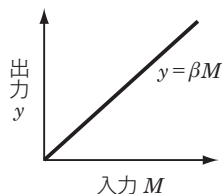


図 1.2 入出力の関係

技術者が創造するシステムは、外部から投入されたエネルギー（入力）を、目的とする特性や品質に変換して出力する装置である。いかなるシステムでも、入力エネルギーがゼロのとき、出力はゼロである。また、投入されたエネルギーは、システム内で様々な形に変換されるが、出力全体をエネルギーとして捉えれば、その量は保存（入力エネルギー＝出力エネルギー）される。したがって入力と出力の関係は図 1.2 に示すような、原点を通る直線（一次式）になり、傾き  $\beta$  は 1 を理想とする、というのが田口の考えである。

しかし、現実的には様々な阻害要因（誤差因子という。）の影響があり、全ての入力エネルギーを目的とする出力に変換するのは難しい。そして、目的とする出力以外の部分に入力エネルギーが変換されると、品質問題発生の原因と

なる。田口はこれを基本機能のばらつきと表現し、技術者は対象システムの基本機能がばらつきなく、安定して機能することを第一優先に取り組むべきと主張したのである。対象とするシステムの基本機能を考え、そのばらつきを最小化することは、多くの品質問題が改善されるだけでなく、製品開発や技術開発の業務そのものが大幅に短縮できる。この理論は技術者だけでなく、技術部署を統括するマネージャや経営層からも支持され、品質工学の中心的な研究テーマであるとともに、大きな魅力の一つとなっている。

### 1.3 基本機能研究の現状

田口から基本機能の考え方が示されて以後、品質工学の研究者は、様々な技術領域で基本機能を検討し、実証実験（主にロバストパラメータ設計）することで、その正しさと有効性を検証してきた。しかし、これまでに発表された研究論文を振り返ってみると、筆者が取り組んできたことも含めて、その大部分は田口が提案した基本機能を、実際の技術テーマに適用した結果の報告であり、基本機能の研究というにはほど遠いものではないかと感じている。つまり、本当の意味での基本機能の研究は、田口が一人で取り組んでいた、ということである。そのことは、田口没後、新規性のある基本機能が提案されていないことから容易に推察できる。

また、基本機能を考えることは、そのテーマごとの個別問題であり、担当する技術者が自由に発想し、様々な基本機能を提案してきた。そして、それらの正しさは利得の再現性や、改善量の大きさで判断すればよいという、ある意味で結果主義的な風潮があったことも事実である。筆者は、これらの行動や風潮が、基本機能をより深く、広範囲に研究されなかった要因となっているのではないかと考えている。

品質工学が学問としての深みを増していくためには、品質工学の活用による成果（改善量や金額、時間短縮など）を強調するだけでなく、基本機能をはじめとする品質工学そのものの研究が、広範囲により深く進められることが必要

である。

## 1.4 基本機能の分類

さて、本書の主題である基本機能の分類について述べる。これまでに公表された研究論文や実施例（ロバストパラメータ設計、機能性評価など）から、基本機能を抽出し、それらを親和図法的にまとめると、下記①～⑥に紹介する6つの機能に分類することができる。

- ① **転写機能** 原型から複製を作成する。
- ② **搬送機能** 物体を移動する。
- ③ **通電機能** 物体に電流を流す。
- ④ **加工機能** 物体を成形・変形する（切断、研磨、切削、穿孔、成膜など）。
- ⑤ **保形機能** 物体の形状を保つ。
- ⑥ **機能窓** システムが安定に動作する範囲を機能窓として評価。

上記の基本機能は、多くの技術領域で横断的に活用されていることから、品質工学における代表的な基本機能と考えてよい。本書では、これら6つの基本機能を中心に、その特徴や各技術領域における活用のポイントを紹介する。もちろんこの分類は、筆者が独断で行い、命名したものであるから、他の分類方法があっても何ら問題視するものではない。むしろ、分類方法を議論することも、本書の狙いとするところであり、多くの読者の方々からご意見をいただければと考えている。

## 1.5 各基本機能の特徴と活用技術領域

ここでは前節で分類した6つの基本機能について、それぞれの特徴と入出力関係の定義及び活用された主な技術領域を紹介する。ここで紹介する入出力の定義は、多数の技術領域に共通する表現になるため、概念的な入出力関係にならざるを得ない。より具体的な、個々の技術についての入出力の関係は、次



章より順次紹介する。

### (1) 転写機能

転写機能とは、オリジナル（原型）から、コピー（複製）を作ることである。基本機能によるシステム評価が、様々な技術領域を横断して可能であることを、実施例を通して証明した最初の基本機能といえる。入出力の関係を図 1.3 に示す。転写機能が適用された代表的な技術を、①～⑩に紹介する。複写機やカメラ、テレビなどの画像関連から各種の加工装置まで、幅広い技術領域で活用されていることがわかる。

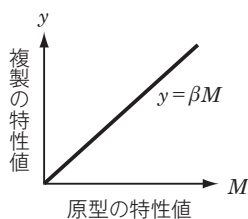


図 1.3 転写機能の入出力関係

- |            |                |
|------------|----------------|
| ① 成形加工技術   | ⑥ 音声（画像）伝送システム |
| ② 穴あけ加工技術  | ⑦ 位置決め技術       |
| ③ 切削加工技術   | ⑧ レーザー変位計      |
| ④ フォトリソ工程  | ⑨ 構造体の評価       |
| ⑤ 画像形成システム | ⑩ 染色技術         |

### (2) 搬送機能

モノを運ぶシステムに要求されるのが搬送機能である。運ぶモノには固体、液体、気体などの物体以外に、情報（データ）などもその対象となる。入出力の関係を図 1.4 に示す。搬送に必要なエネルギーを入力、出力は物体の移動量がその代表である。また、搬送機能を活用して研究された技術としては、①～⑨がある。