

関西品質工学研究会 創立23年新春講演  
2017年1月14日 原 和彦

# 品質工学の原点回帰

—田口哲学の真髓を探る—

# 新年講演の歴史 (1994年1月15日 関西品質工学会創立)

- 2002年 ほんまもんの技術者とは (10周年記念講演)
- 2003年 今なぜ品質工学か, その意味と重要性について
- 2004年 今なぜ品質工学か (H2Aロボットの打ち上げ失敗から)
- 2005年 日本の現状と品質工学の役割
- 2006年 大会テーマ (モノ・コトの見極めに革命を) にことよせて
- 2007年 雑感 (統計学と品質工学の融合)
- 2008年 原点回帰 (15周年記念)
- 2009年 強い設計力を磨く
- 2010年 戦略的技術者を目指せ
- 2011年 全体最適を目指す技術者であれ
- 2012年 技術者の思考力を強化する
- 2013年 戦略的技術者を目指せ (一戦術的技術者から脱皮一) (20周年記念講演)
- 2014年 誤差のはなし デタラメ (偶然性) の世界からの脱出
- 2015年 何が品質工学の普及を妨げるか
- 2016年 閉じられた世界から開かれた世界へ
- 2017年 品質工学の原点回帰

# モノ・コトの「働き」の追求

## —品質工学の戦略と戦術—

1. モノを作る前に品質を創れ（**先行技術開発**）
2. 品質工学は統計的誤差や分布は考えない（**強制誤差の活用**）
3. 科学的思考では品質は改善できない（**技術的思考**）
4. 市場品質は設計で決まる（**安全率4の場合94%は設計責任**）
5. 品質を改善したければ品質を測るな（**機能性評価**）
6. 基本機能の理想機能は技術者の独創（**アブダクション思考**）
7. 機能性はS/N比で、再現性、加法性は直交表で（**パラメータ設計**）
8. 品質評価は $n = 1$ でよい（**市場品質評価の短縮化**）
9. システムは複雑でなければ改善できない（**無用の用**）
10. 社会的損失の最小化を図れ（**品質改善からコスト改善**）

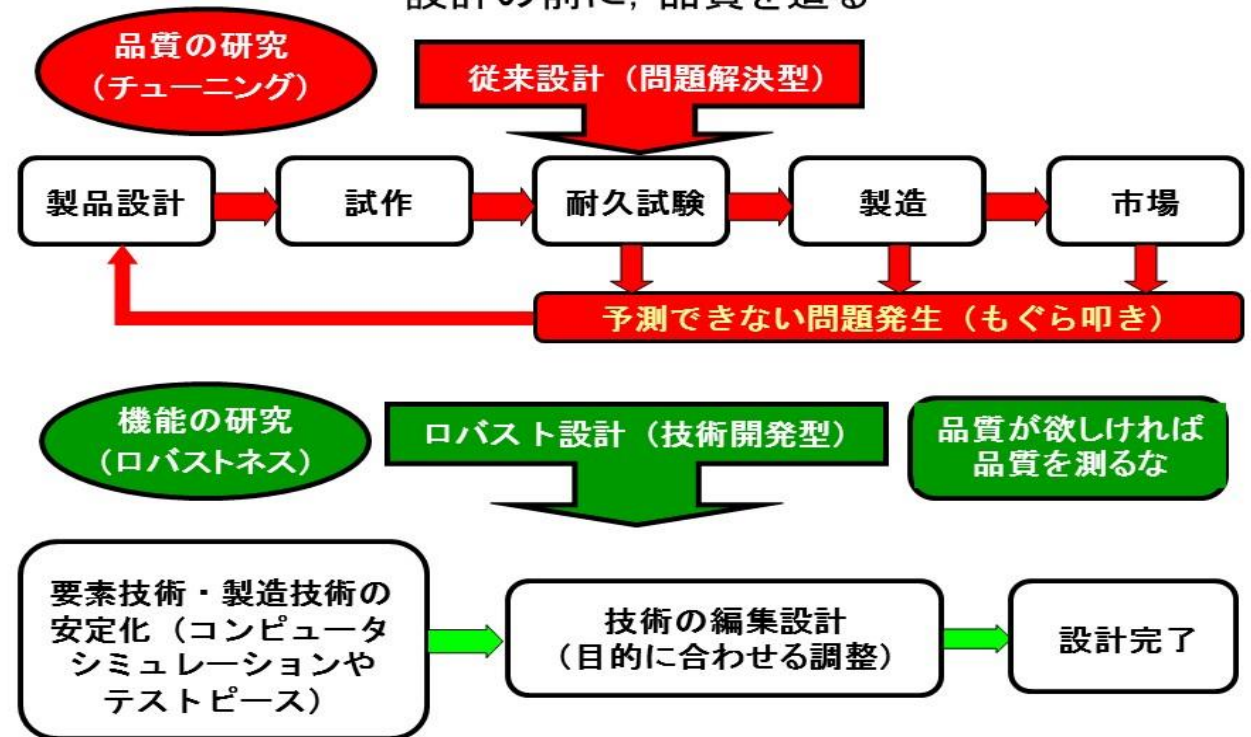
# 1. モノを作る前に品質を創れ

## —モグラたたきからの脱出—

- **従来設計**では、モノ作ってから試験や**検査**のモグラたたきで品質を確認する後手管理であった。
- **品質工学**では、設計の前の技術開発で、要素技術や製造技術の機能性を評価して技術を確立して、設計では技術の編集設計で目標値にチューニングを行い設計を完了する。

### 従来設計とロバスト設計の比較

—設計の前に、品質を造る—



## 2. 品質工学は偶然誤差や分布は考えない

- 工程品質はn個の品物間の「製造ばらつき」を標準条件で**損失関数**を用いて評価する。(オンラインQE)
- 市場品質は使用環境条件や劣化による「製品ばらつき」を**SN比**と**損失関数**を用いて評価する。(オフラインQE)

人生は**ノイズ**との**戦い**である

### ■ 受動的なノイズ(自然のノイズ)

- ・使用環境条件(温度, 湿度, 振動など)  $b^2\sigma_\theta^2$
- ・劣化条件(初期と耐久試験後)  $\beta^2T^2/3$
- ・品物間のばらつき(n個の製造ばらつき)  $\sigma_e^2$

$$\text{製品のばらつき } \sigma_y^2 = \underbrace{\sigma_e^2}_{6\%} + \underbrace{b^2\sigma_\theta^2 + \beta^2T^2/3}_{94\%}$$

### ■ 能動的なノイズ(人工的ノイズ)

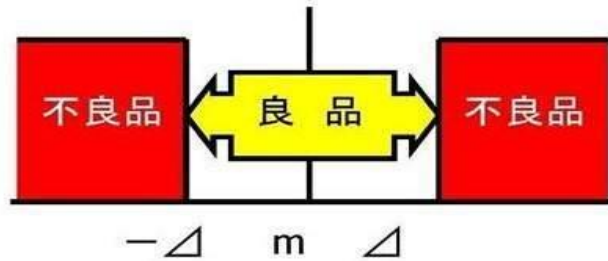
テロや贋金やコンピュータウイルスなど

# 品質管理と品質工学

—不良率から損失関数へ—

- **品質管理**では規格に対する合否の判定を**不良率や故障率やCp値**で評価する。
- **品質工学**では工程品質も市場品質も目標値からのばらつきを**SN比と損失関数**を用いて評価する。

品質管理の考え方  
—生産者の立場—

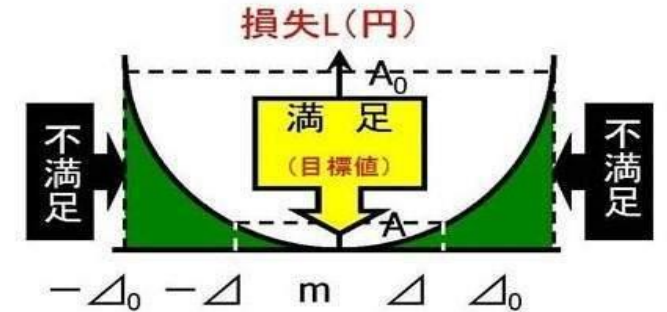


Δ: 出荷規格 m: 目標値  
「不良率や故障率」で合否の判定を表す  
不良率  $p = (r/N) \times 100\%$   
故障率  $\lambda = [r/(N\Delta t)] \times 100\%$



良品には損失はないと判断する

品質工学の考え方  
—消費者の立場—



Δ: 出荷規格 Δ0: 機能限界  
m: 目標値 A: 生産者損失  
A0: 消費者損失 「損失関数」で製品の品質損失を表す

$$L(\text{円}) = (A_0/\Delta_0^2) \times (1/\eta)$$

$$\eta = m^2/\sigma^2 (\text{SN比})$$

図2.11 不良率から損失関数へ  
(生産者損失から消費者損失へ)



# 3. 科学的思考では品質は改善できない

## 科学と技術は別物

— 科学的見方だけでは技術開発はできない —

### 科学的思考

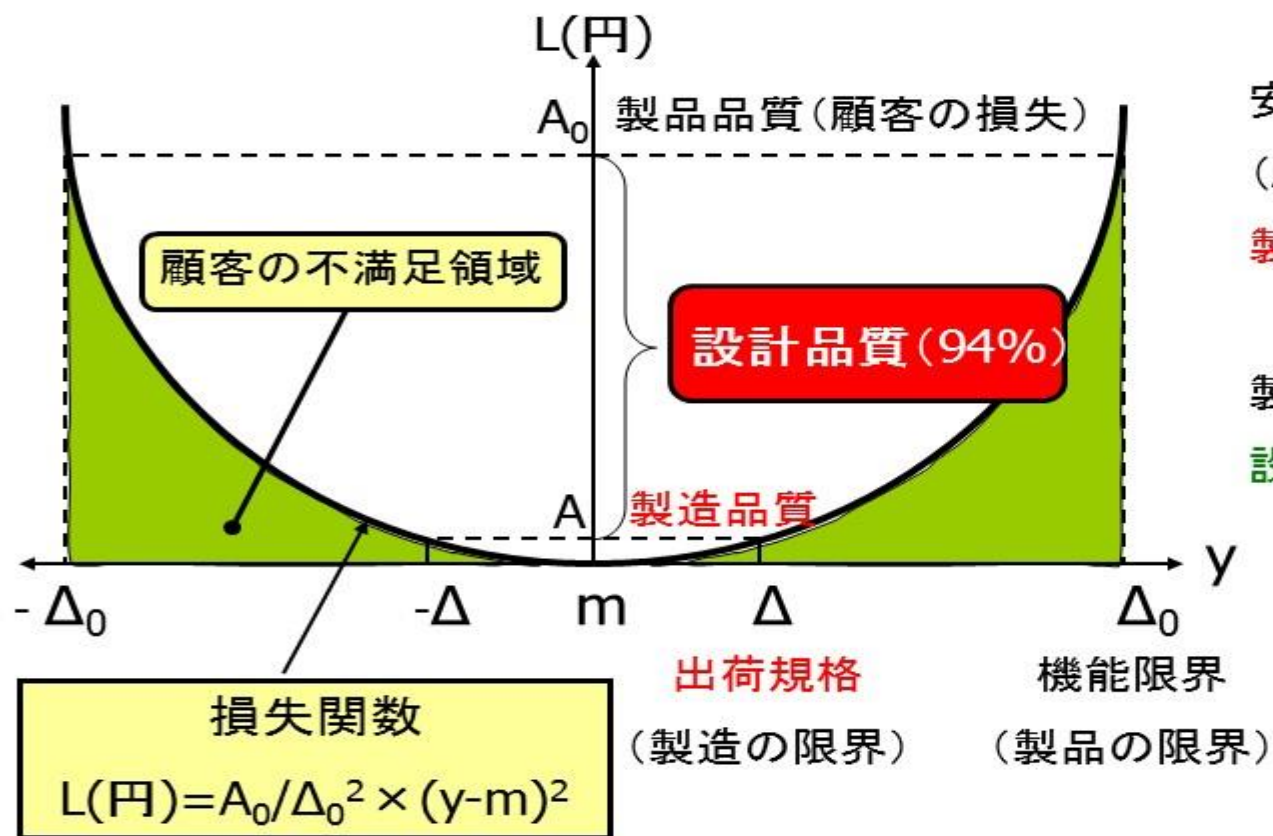
- 「原因」の追求 (WHY)
- 自然現象の「解明」
- 答えは「一つ」 (知識)
- レスポンスの研究
- 「ノイズ」を除去
- 「高精度」の部品でよいものを作る
- 「平均値」優先で目標達成

### 技術的思考

- 「目的」の追求 (WHAT)
- 自然現象の「利用」
- 答えは「沢山」 (知恵)
- レスポンスの最適化
- 「ノイズの影響」を除去
- 「並精度」の部品でよいものを作る
- 「ばらつき」優先で目標達成

# 4. 市場品質は設計で決まる

## クレームの94%は設計責任



安全率 =  $\Delta_0 / \Delta = 4$  の場合

$(\Delta_0 / \Delta)^2 = A_0 / A$  であるから

製造品質 =  $A = (1/16)A_0$

$= 0.625A_0$

製品品質 =  $A_0$

設計品質 =

製品品質 - 製造品質

$A_0 - A = (15/16)A_0$

$= 0.937A_0$



# 5. 品質を改善したければ品質を測るな

品質を改善したいときには、品質を測るな。機能性を評価せよ  
(To get Quality, Don't measure Quality. Measure functionality)

## 品質特性（静特性）

**望目特性**  $y=m$   
抵抗値、ばね定数、寸法、電圧など

**ゼロ望目特性**  $y=\pm 0$   
反り、たわみ、円筒度など

**望小特性**  $y=0$   
騒音、振動、磨耗量、排気ガス量など

**望大特性**  $y=\infty$   
接着強度、引張強度など

**百分率特性**  $p=0\sim 100\%$   
収率、溶出率、不良率、故障率など  
オメガ変換で加法性が向上する。

$$p^* = -10 \log\left(\frac{1}{p} - 1\right)$$

- **品質特性**は結果の特性で**加法性**が低い。ため**相互作用**が大きい。「**管理特性**」である
- **機能特性（動特性）**は**加法性**が高いため下流における**再現性**の**高い「改善特性」**である。  
**理想機能**  $y = \beta M$

# コンデンサの機能性評価

## —品質から機能へ—

電解コンデンサの品質評価の比較

—「品質」を改善したいときは、「機能」を改善せよ—

- コンデンサの機能性評価は静電容量や  $\tan \delta$  や耐電圧などの長時間の品質特性の信頼性試験ではなく、充電特性や放電特性の過渡特性で短時間に評価することが大切である。
- 充電器も全く同じような機能性で評価できる。

### 品質特性の評価

#### 1. 静電容量 (望目特性)

目標値  $y=m$

S N比  $\eta=10\log(m^2/\sigma^2)$

#### 2. 漏れ電流 (望小特性)

目標値  $y=0$

S N比  $\eta=-10\log(\sum y^2)/n$

#### 3. $\tan \delta$ (望小特性)

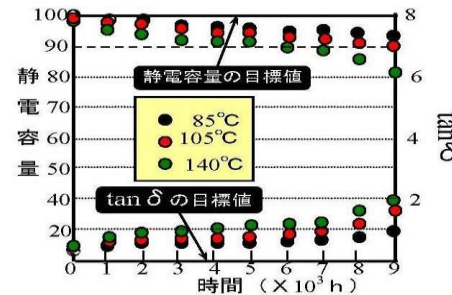
目標値  $y=0$

S N比  $\eta=-10\log(\sum y^2)/n$

#### 4. 耐電圧 (望大特性)

目標値  $y=\infty$

S N比  $\eta=-10\log[\sum(1/y^2)]/n$



### 機能特性の評価

コンデンサの基本機能は「電荷の蓄積・放出の働きが安定化」しておればどんな用途にも使えるはずである。そこで

$v/v_0=1-e^{-T/\tau}$  となるから、対数変換した  $\ln(1-v/v_0)=-T/\tau$  から

$\ln(1-v/v_0)=y, -1/\tau=\beta, T=M$  とおくと、理想機能は  $y=\beta M$  となる。

・機能の安定性 (S N比) は

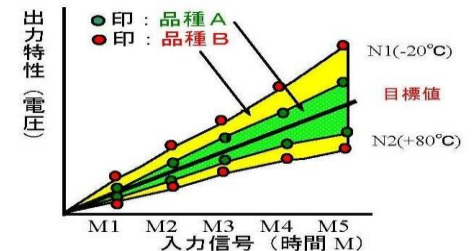
$$\eta(\text{db})=10\log\beta^2/\sigma^2$$

・市場の品質損失は

$$L(\text{円})=\Delta/\Delta^2(1/\eta)$$

品種	S N比(db)	損失関数(円)
A	19.12	1186
B	16.32	2259

品質は品種Aと品種Bの「ばらつき」が1/2で損失差が1073円であるため、価格が1073円以内であれば品種Aを採用すべきである。



## 6. 基本機能は技術者の独創 —アブダクション思考—

- 設計では、最適な解に到達するためには、CAEやCADで計算したり解析したり、分析的なアプローチで求められる。(演繹的手法)
- 技術開発における基本機能の「発想」の思考プロセスは、外部から見たら支離滅裂な試行錯誤的な思考が必要である。(アブダクション思考)
- 田口玄一の機能の定義
  - (1) 基本機能 目的出力を出すのに技術者が考えた手段Mと出力の関係で汎用性を狙った技術開発におけるエネルギーの入出力関係 (アブダクション思考)
  - (2) 理想機能 標準使用条件で (1) や (3) の入出力の理想関係
  - (3) 目的機能 標準使用条件でユーザが使用する目的特性  $y$  に対する入出力関係 (演繹的思考)

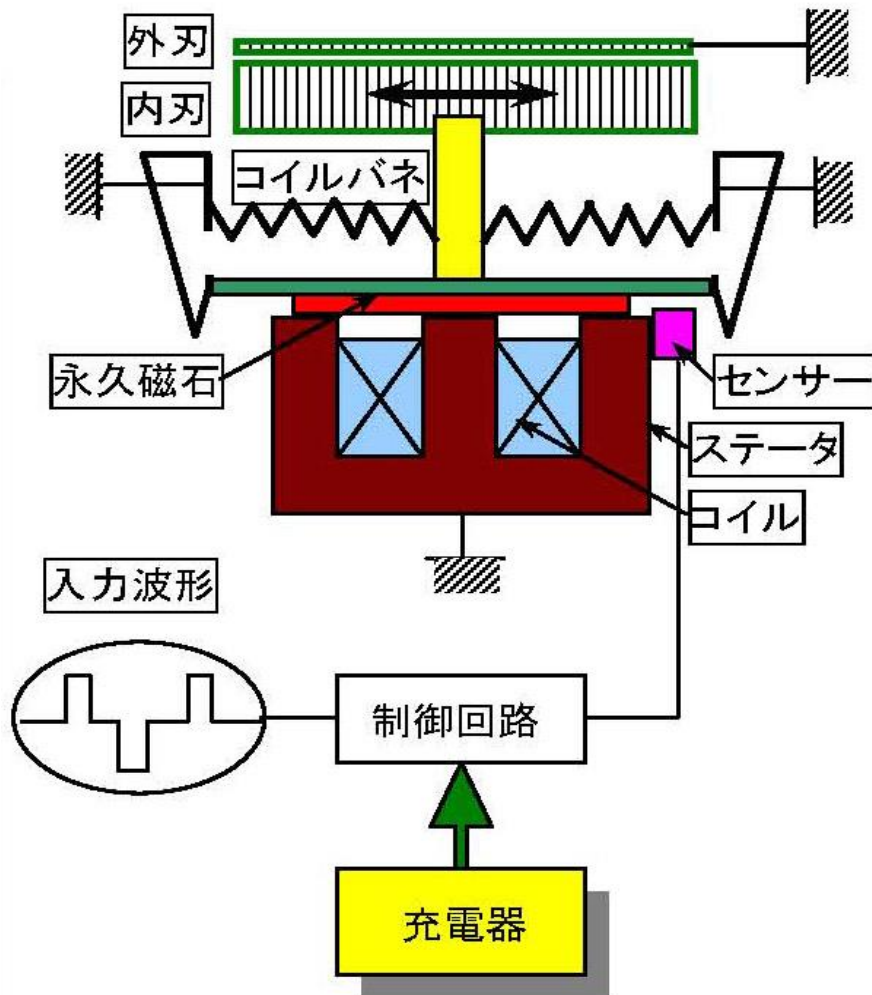
# 機能性評価はメインシステムで 一部分最適から全体最適へ

- 商品はいくつかのサブシステムで構成されているのが普通である。
- サブシステムには、入出力の機能があって、それぞれでロバストな最適設計を行うことは必要である。
- メインシステムの機能性評価は、全体の目的機能の機能性であることが大切で、その場合、サブシステム間の相互作用も考慮してメインシステムのパラメータ設計を行うことが大切である。



# メインシステムの機能性評価は

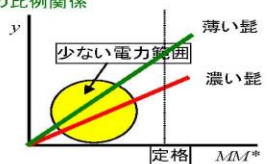
—電気カミソリの機能性評価—



## 電気かみそりの技術開発

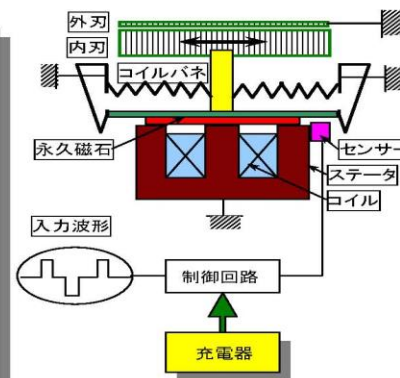
### 「切れ味」の機能性の評価

- 理想機能** : 消費電力(M)切断時間(M\*)と髭の切削量(y)との比例関係  
 $y = \beta M M^*$
- ノイズ** : 濃い髭(N1) 薄い髭(N2)
- 計測特性** : 定格の1/3位の消費電力を含む  
 広い範囲で単位時間内の切削量をノイズを変えて計測する
- 制御因子** : 刃の構造や刃の加工条件



### 共振機構の機能性の評価

- 理想機能** : 外力に関係する電力と振幅との比例関係
- ノイズ** : アクチュエータに加わる負荷
- 計測特性** : 刃の負荷をノイズに  
 にとって、外力に対する振幅の時間的な変化を測る

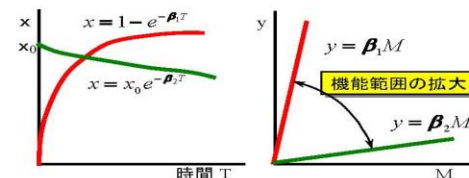


### 有極電磁石の機能性の評価

- 理想機能** : 入力電力(M)と磁気力(y)との比例関係  
 $y = \beta M$
- ノイズ** : 電池電圧の劣化
- 計測特性** : パルス幅を入力としてエアキャップ  
 毎に磁気力を計測する
- 制御因子** : 永久磁石を含む電磁石構造の設計諸元

### 充電器の機能性の評価

- 理想機能** : 「充電機能」は短時間に充電できること  
 指数関数  $x = 1 - e^{-\beta_1 T}$  から  
 $\ln\{1/(1-x)\} = \beta_1 T$  と変形して  
 $y = \beta_1 M$  を理想機能とする
- 「放電機能」は長時間で放電すること  
 指数関数  $x = x_0 e^{-\beta_2 T}$  から  
 $\ln(x_0/x) = \beta_2 T$  と変形して  
 $y = \beta_2 M$  を理想機能とする



(注) 「充電機能」と「放電機能」の時間軸は異なる。



# 機能設計のやり方 (S<sub>(soft)</sub>-H<sub>(hard)</sub>変換)

## —マッサージ椅子の開発—

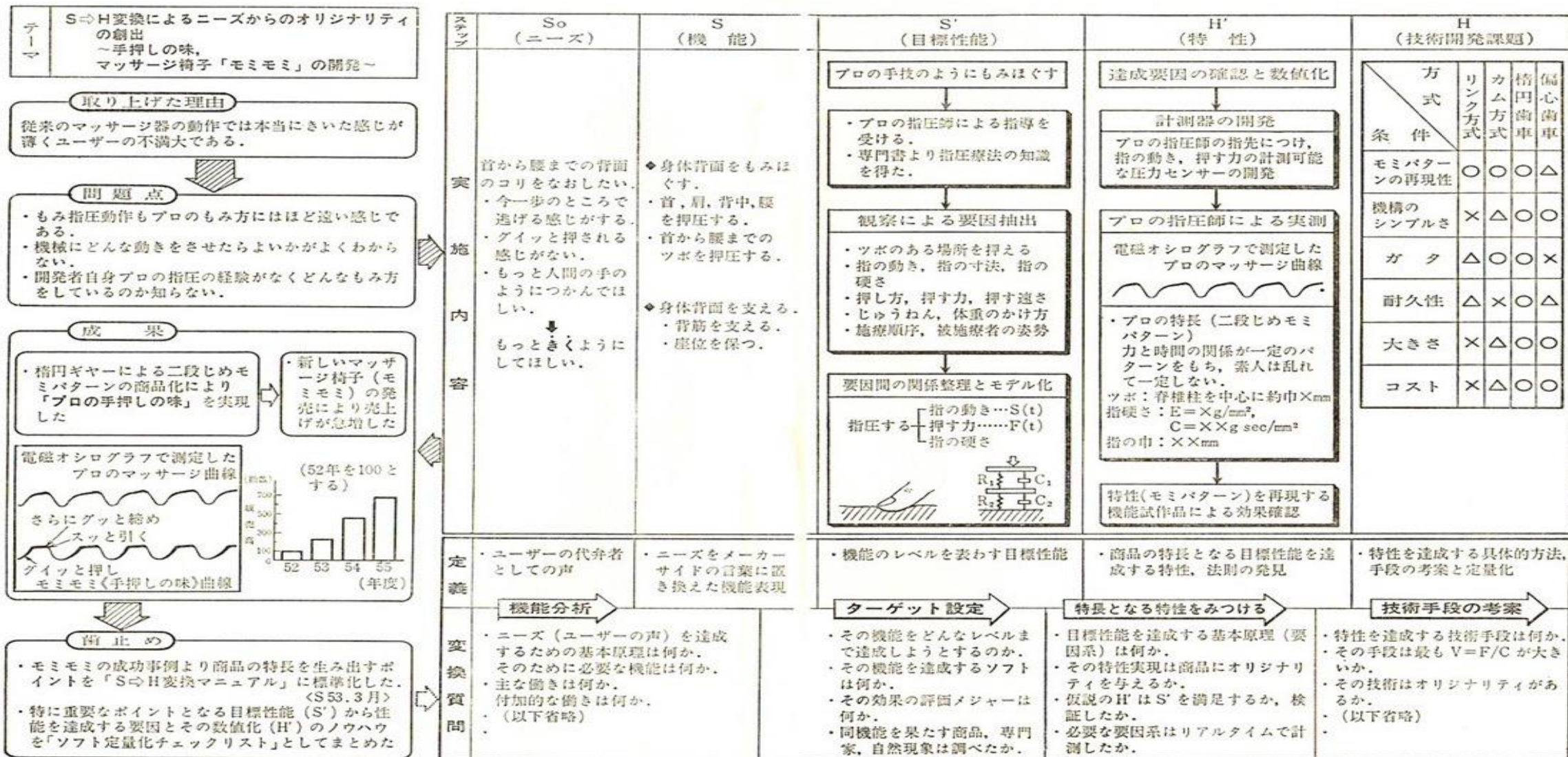
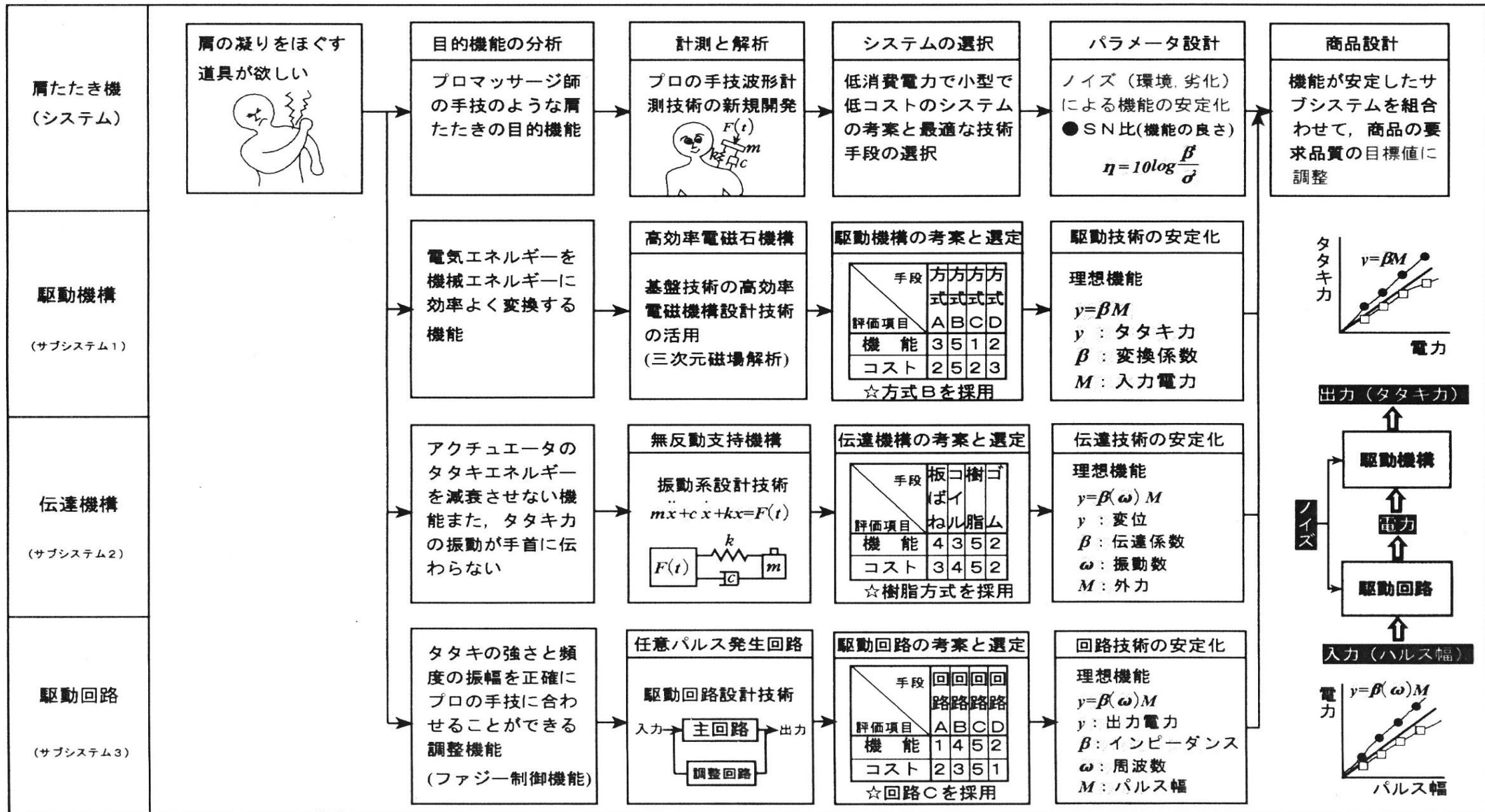


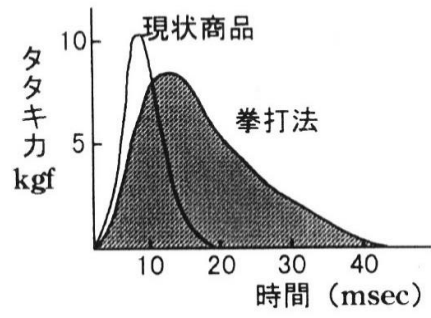
図 8.5 マッサージ椅子「モミモミ」の開発プロセス

# 肩たたき機の技術開発と商品設計

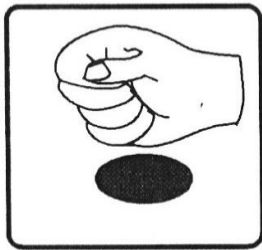
【ユーザーニーズ】 ⇒ 【ニーズの機能表現】 ⇒ 【技術開発課題】 ⇒ 【技術手段の選択】 ⇒ 【基本機能の安定化】 ⇒ 【目標値へ調整】



# プロのマッサージ師の手技波形の計測



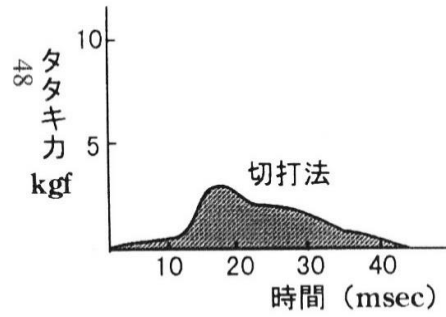
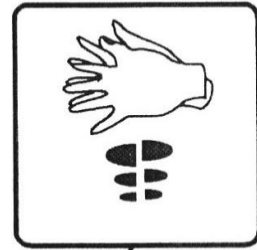
拳打法 (こぶしたたき)



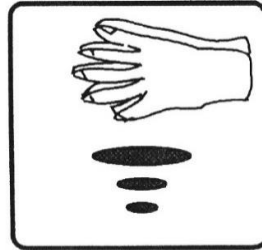
切打法 (両手交互)



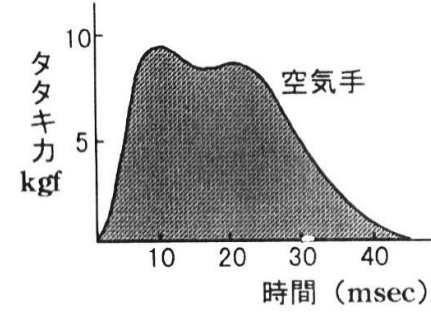
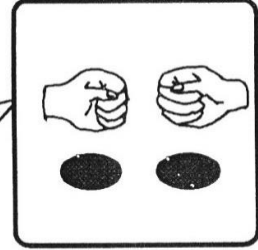
切打法 (両手併せ交互)



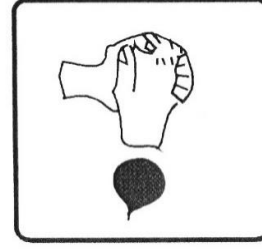
切打法 (はり扇たたき)



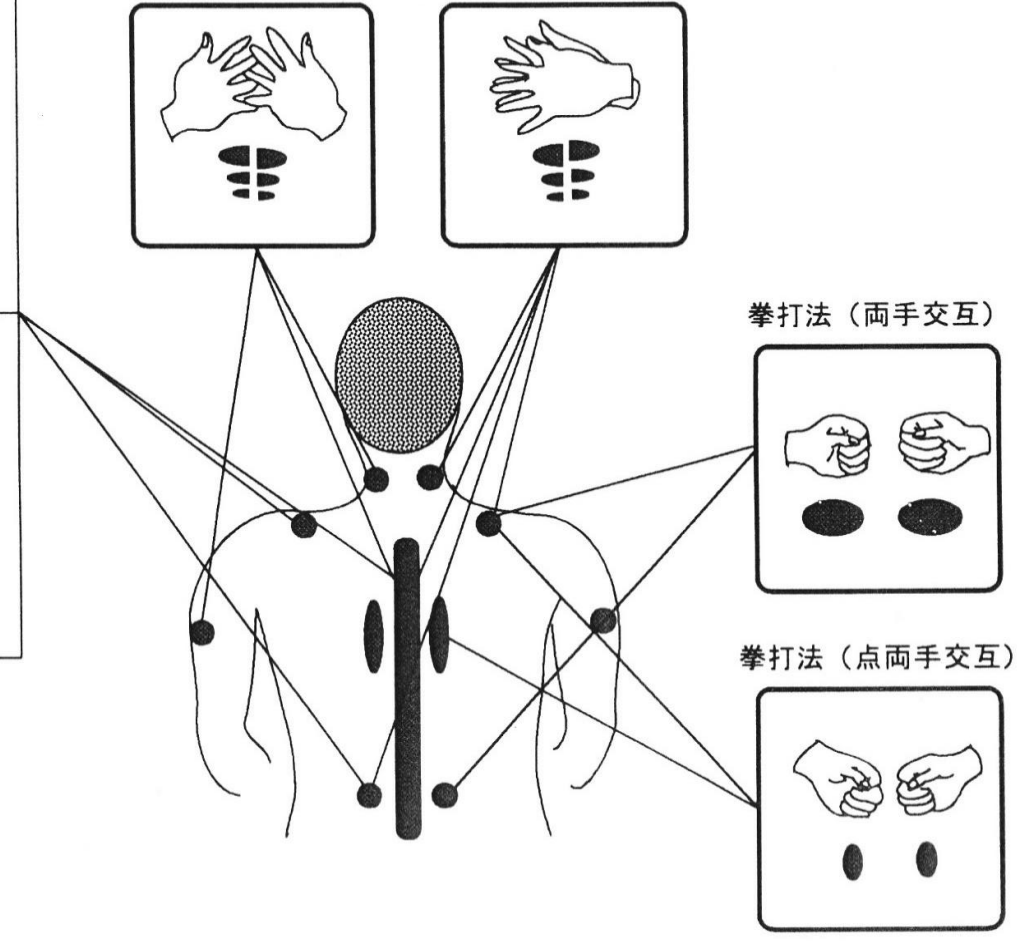
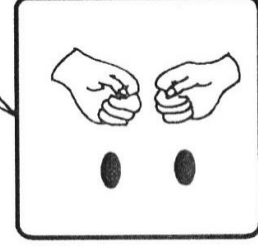
拳打法 (両手交互)



空気手 (ダンパーたたき)



拳打法 (点両手交互)





タタキバイブレータ技術手段評価表 2 -ハンマーソレノイド構造の比較-

狙いの機能

電気エネルギーを  
機械エネルギーに  
効率よく変換する

要 図	無極型 (磁気回路中に永久磁石なし)			有極型 (磁気回路中に永久磁石あり)	
	平面磁極型 (現状品)	誘い込み磁極型	貫通磁極型	有極型 (1)	有極型 (2)
特 徴	<p>《現状品》 タントンEV277に搭載 中であるが出力が弱い。</p> <p>●企画目標達成のため 約7倍の機械出力を高 める必要がある。</p>	<p>鉄心ストロークが大の 時も磁気抵抗を減少し 効率を向上できる。</p> <p>●誘い込み磁極と 磁性リングの採用</p>	<p>鉄心ストロークを任意 に設定可能である。</p> <p>●固定鉄心を除去して 鉄心貫通型にする。</p>	<p>コイル磁路の磁気抵抗 は変えず磁束量を増す。</p> <p>●鉄心と継鉄間に永久 磁石のバイアス磁界 を作る。</p>	<p>外形寸法を変えずに磁 束量を増す。</p> <p>●鉄心間に永久磁石の バイアス磁界を作り 固定鉄心を除去する</p>
コ ス ト	100	100	90	120	110
機 能 特 性 ( 吸 引 力 )	<p>基本機能 <math>\beta=3.0</math></p> <p>吸引力 <math>F</math></p> <p><math>F = \beta\sqrt{W}</math></p> <p>電力 <math>\sqrt{W}</math></p>	<p><math>\beta=8.5</math></p> <p>吸引力 <math>F</math></p> <p><math>F = \beta\sqrt{W}</math></p> <p>電力 <math>\sqrt{W}</math></p>	<p><math>\beta=2.5</math></p> <p>吸引力 <math>F</math></p> <p><math>F = \beta\sqrt{W}</math></p> <p>電力 <math>\sqrt{W}</math></p>	<p><math>\beta=7.5</math></p> <p>吸引力 <math>F</math></p> <p><math>F = \beta\sqrt{W}</math></p> <p>電力 <math>\sqrt{W}</math></p>	<p><math>\beta=5.5</math></p> <p>吸引力 <math>F</math></p> <p><math>F = \beta\sqrt{W}</math></p> <p>電力 <math>\sqrt{W}</math></p>
評 価	△	◎	×	△	×

## 7. 機能性はSN比で再現性は直交表で

- SN比は、モノや情報システムの機能性を入出力の信号対ノイズの大きさ SN比 で評価する。  
エネルギー型SN比では  $\eta = S_{\beta} / S_N$  で表される。
- 直交表は、パラメータ設計で、システムの設計の良否を検査して、確認実験では、市場における制御因子の下流での再現性をチェックする。



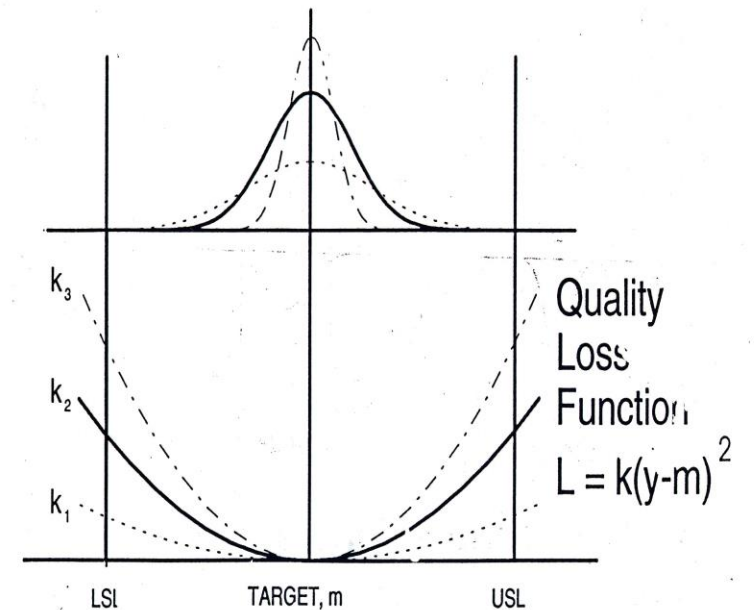
# SN比と損失関数の定義

- 田口玄一は「**仕事量は出力で評価すべきであって、入力で測ってはならない**」と言われてデータの総エネルギーSTを有効エネルギー  $S_\beta$  と有害エネルギーSNに分けて、 $S_\beta$  に対するSNの割合で「**SN比**」を定義した。

全出力エネルギーは  $S_T = S_\beta + S_N$  で表し  
エネルギー型SN比は  $\eta = S_\beta / S_N$  で表す。  
損失関数は  $L(\text{円}) = A_0 / \Delta_{0\beta}^2 \times \beta_0^2 (1/\eta)$  で表す。

- デミング博士は晩年「**危機からの脱出**」という講演で、品質損失は、田口の損失関数が世界ではベターであると述べられている。

## Defining "Quality Loss"



"A better description of the world is the Taguchi Loss Function . . ."  
Dr. W. Edwards Deming, Out of the Crises

## 8. 品質評価は $n=1$ でよい

—市場品質評価の短縮化—

- 品質管理では、製造で $n$ 個の品質を評価するが、顧客は1個の製品しか購入しないし、トラブルが起こるのは1個の製品であるから、**不良品の分布など関係ない**。  
機能性評価やパラメータ設計では $n=1$ で**強制誤差のノイズに対する安定性**を評価すればよい。
- 病気を診断する場合でも、一人一人の症状が問題で、病人の分布は関係ない。(MTシステムによる診断)
- **評価**は短時間で行うことが大切で、長時間の**試験**は意味がないのである。(AssessmentとTestingの違い)

# 寿命試験から機能性の評価へ

## —スリップ機構の品質問題と機能性の評価—

### スリップ機構の品質問題と機能性の評価

自動止水栓を開発したとき、**1億回**の寿命試験で、止水機能を確認して、出荷しましたが、市場では**半年足らず（約200回）**で故障してしまいました。

品質工学では下記のような評価を行います

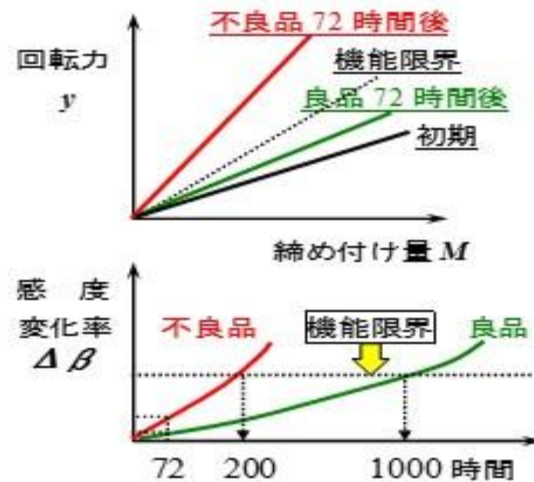
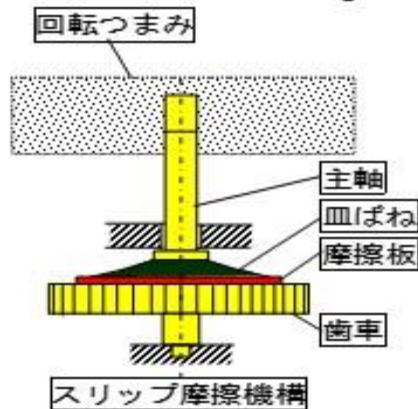
問題を起こしたスリップ機構の「理想機能」を決める  
理想機能は、「締め付け量  $M$  と回転力  $y$  との比例関係」  
 $y = BM$  である。

信号因子：締め付け量  $M$  (皿ばねの撓み量 mm)

出力特性：回転力  $y$  (トルク計で測る kg·cm)

誤差因子： $N_1$  (25°Cの水で 0 時間)

$N_2$  (100°C温水で 24,48,72 時間放置)

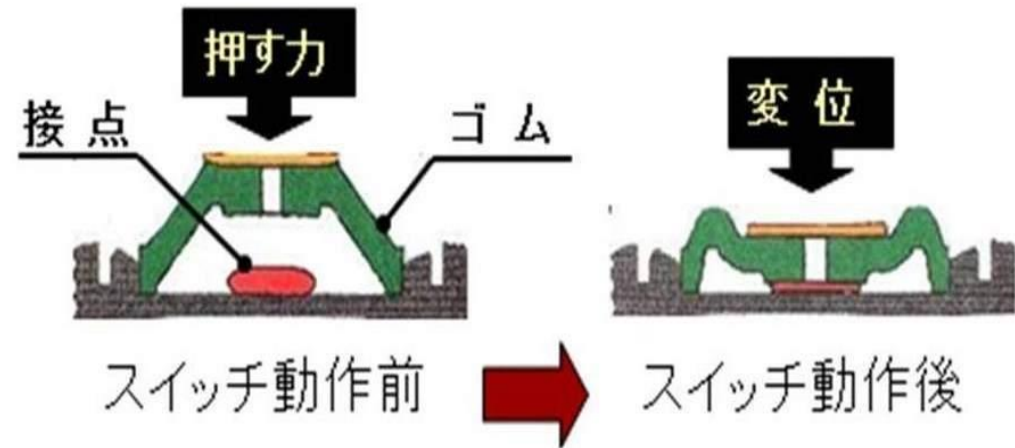


● **1億回の寿命試験**で出荷したが、市場では**半年以内（約200回）**で故障してしまった。

● **最も厳しい24時間以内の温水試験の機能性の評価**に切り替えたロバスト設計で問題を解決した。



# さらばねの機能性評価 —標準SN比の活用—



反転ばねでスイッチの“クリック感”を実現した構造

図3.6 21世紀のパラメータ設計(標準SN比)  
(スイッチ機構の構造図)

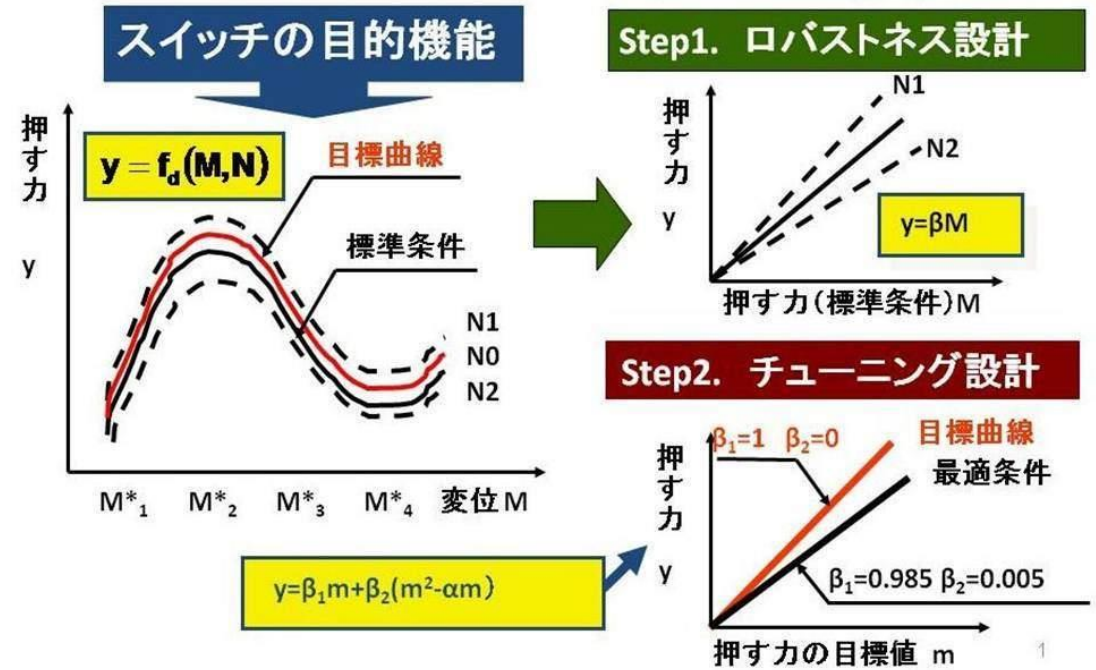


図3.7 21世紀のパラメータ設計(標準SN比)  
(スイッチの目的機能と2段階設計)

エクセディ社のさらばね評価の事例から

# 9. システムは複雑でなければ改善できない —無用の用—

- 発振回路は $r$ ,  $L$ ,  $C$ の3個のみの単純な回路では**ロバスト設計**はうまくできない。
- セラミック発振回路では、**たくさんの制御因子**を使っているので品質改善が可能になる。
- 老子の哲学である**無用の用**が大切である。(無駄の活用)

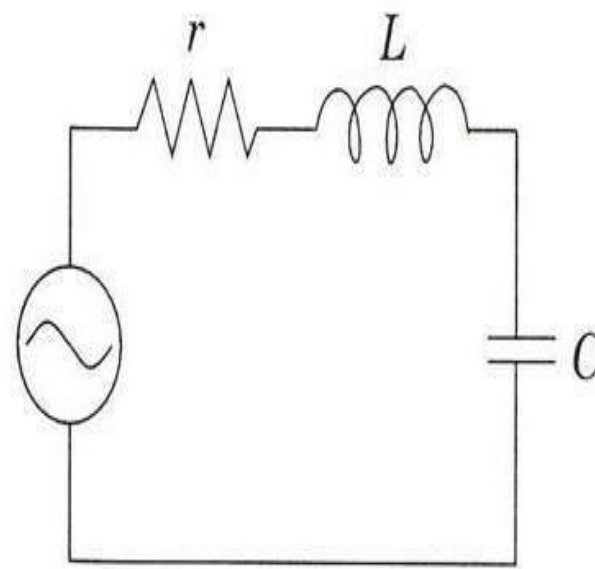


図2. 6(a) LC発振回路

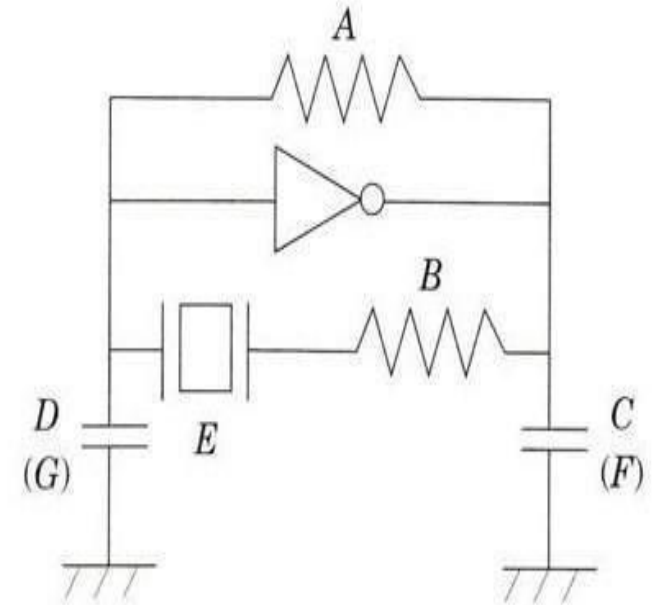


図2. 6(b) セラミック発振回路

図2. 6 システムは複雑でなければ改善できない



# 「無用の用」の活用事例

## —ソレノイドのバウンド量の改善—

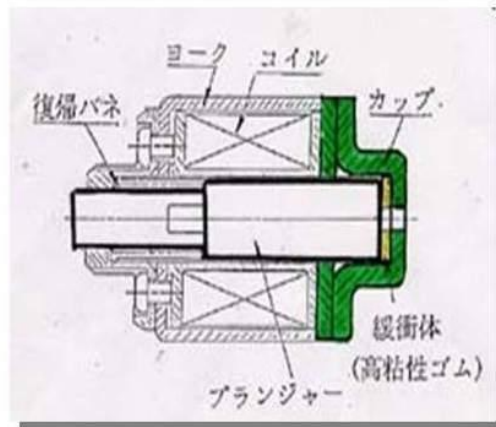


図2. 7(a) システム設計

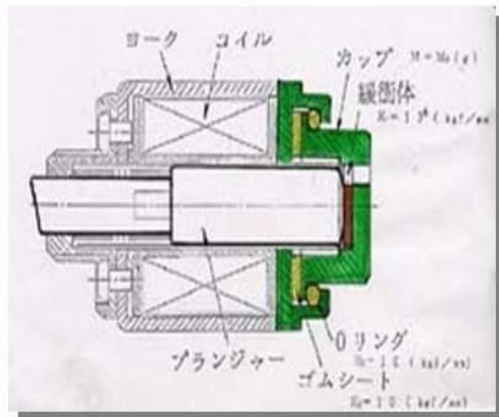


図2. 7(b) パラメータ設計

左図は機能設計で、右図は機能性設計で部品を1個追加してバウンド量の品質を改善した。

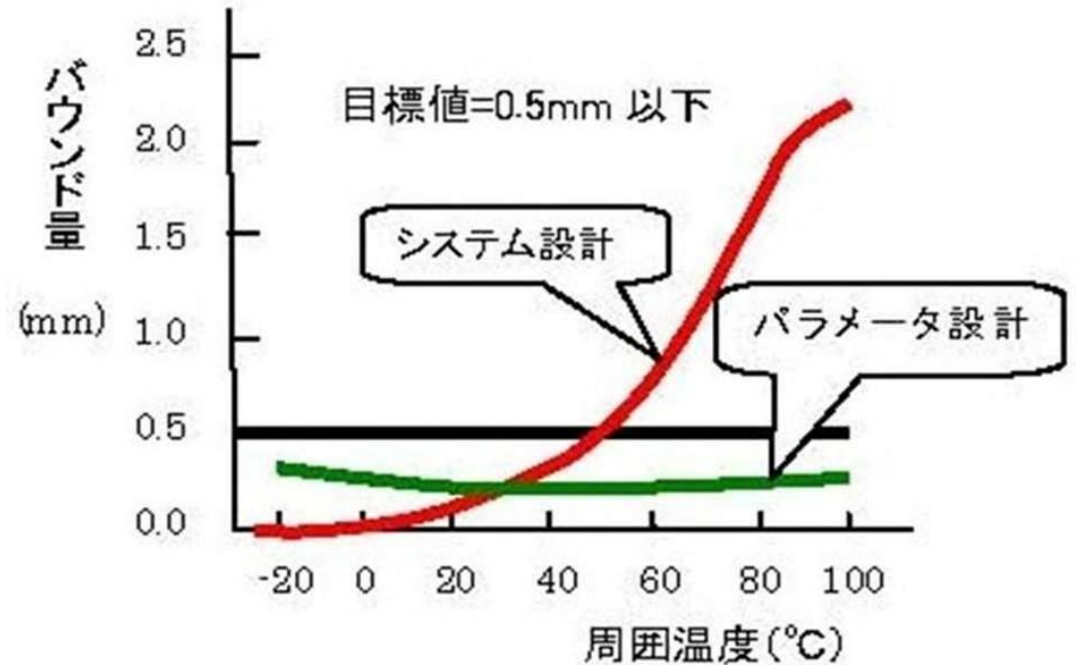


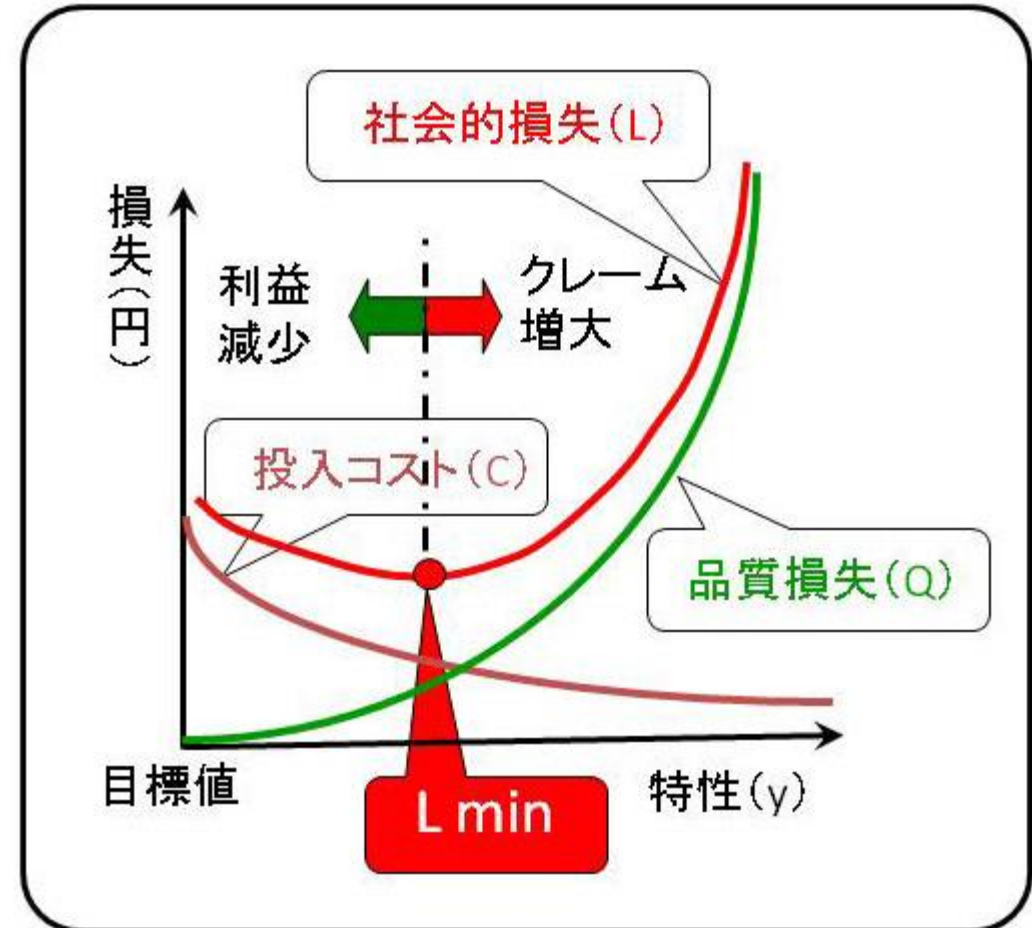
図2. 8 ソレノイドの周囲温度とバウンド量の関係

# 10. 社会的損失の最小化を図れ

## —パラメータ設計＋許容差設計—

企業経営では、コスト改善が目的で、品質改善は手段に過ぎない。**パラメータ設計**の後で**許容差設計**を行い**社会的損失の最小化**を図ることが大切である。

社会的損失(L)は損失関数を使って投入コスト(C)と品質損失(Q)の総和で表す。



# 品質改善の成果を損失関数で評価

## 損失関数の考え方—再考—

### 1. 品質特性（望目特性）の場合

#### 1.1 目標値からのばらつきを考えた損失関数

理想機能を  $y = m$  で表すと損失関数は

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (y - m_0)^2 = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \{(\bar{y} - m_0)^2 + \sigma_e^2\}$$

第一項は目標値からの平均値の偏りで、第二項は平均値のばらつきを表し、目標値に調整される前の損失を表す。

$n$  個の製品の損失関数を評価するときには

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \sum_{i=1}^n (y_i - m_0)^2 / n$$

#### 1.2 目標値に調整後に SN 比を用いた損失関数

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} m_0^2 (\sigma_e^2 / m^2) \quad \text{許容差を } \alpha \text{ とすると}$$

エネルギー型 SN 比（望目特性）SN 比  $\eta = S_N / S_m$  の真数を用いると

$\Delta_0 = \alpha m_0$  であるから

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} m_0^2 \left( \frac{S_N}{S_m} \right) = \frac{A_0}{(\alpha m_0)^2} m_0^2 \left( \frac{S_N}{S_m} \right) = \frac{A_0}{\alpha^2} \left( \frac{S_N}{S_m} \right)$$

### 2. 動特性の場合

#### 2.1 目標値からのばらつきを考えた損失関数

理想機能を  $y = \beta M$  で表すと損失関数は

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_{0\beta}^2} (\beta - \beta_0)^2$$

$n$  個の製品の損失関数を評価するときには

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_{0\beta}^2} \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_0)^2 / n$$

#### 2.2 目標値に調整後に SN 比を用いた損失関数

従来型の SN 比を用いると

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_{0\beta}^2} \beta_0^2 (\sigma_e^2 / \beta^2)$$

エネルギー型 SN 比（動特性） $\eta = S_N / S_\beta$  の真数を用いて、量産の製品間の損失比較を行う。

$$\begin{aligned} L(\text{円}) &= \frac{A_0}{\Delta_{0\beta}^2} \beta_0^2 (S_N / S_\beta) = \frac{A_0}{(\alpha \beta_0)^2} \beta_0^2 (S_N / S_\beta) \\ &= \frac{A_0}{\alpha^2} (S_N / S_\beta) \end{aligned}$$