ほんまもんの技術者とは？
－真の技術者を育てる－

- 「もぐら叩き（死の谷）」からの脱出
  （問題が起こる前に，問題を潰す）
- 試作レス・試験レスで開発の効率化
  （品質工学とCAEの融合）
- 「品質が欲しければ，品質を測るな」
  （機能性の評価と2段階設計）

“品質クレーム„が頻発している。

ー危機的状態にある日本企業のモノづくりー

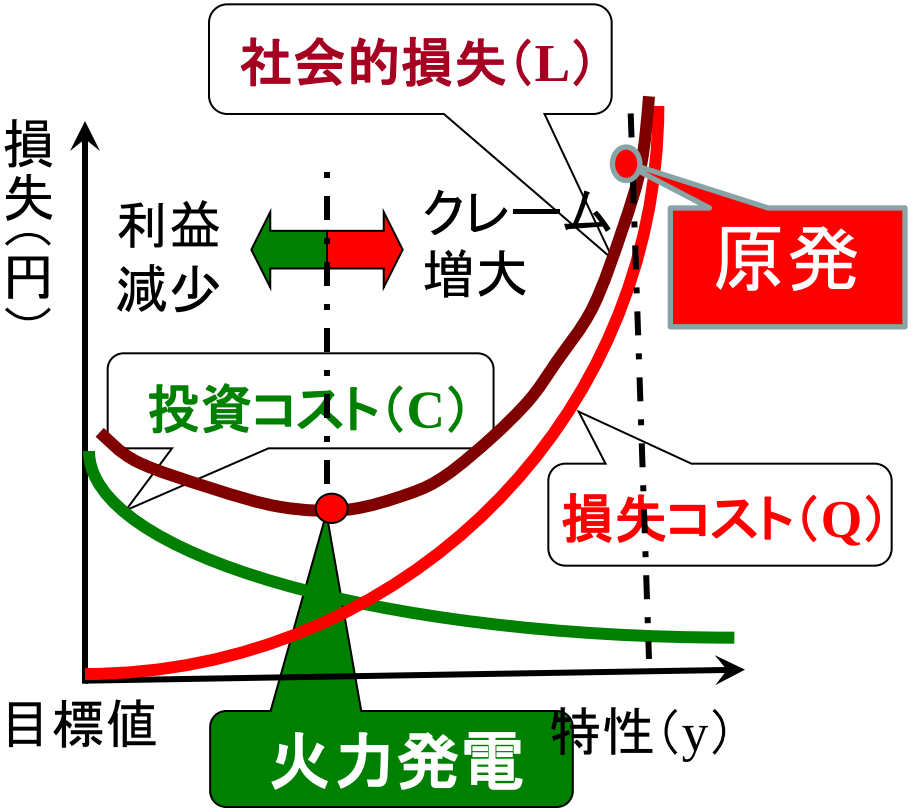
- 自動車、暖房器具、IT関連品など何万台、何十万台に及ぶリコールが発生している。
- JRの脱線事故での無罪判決 “危険認識できず„ “ATS整備義務なし„とは何事か。(2012.01.10)
- **原発 “安全神話„ 崩壊＝当事者が語る事故の深層—NHKスペシャル(2011.11.27)**

・地震や津波のリスクを知りながら、対策さえとらなかった**電力会社**。
・リスクに目を向けようとせず、責任を放棄した**日本政府**。
・国と電力会社が創出した「安全神話」をたれ流し続けた**メディア**。
・**福島原発事故では、責任を取るべき人間がだれひとり責任を取っていない。**

原発の損失は30兆円以上

ー社会的損失（原発＞火力発電）ー

社会的損失（L円）＝投資コスト（C円）＋損失コスト（Q円）



- 原発の投資コスト：福島原発は４基で約１兆６千億円
- 原発の損失コスト：廃炉までの費用は約３０兆円で３０年以上と考えられている。

“品質疑惑„が何故起こるのか。

- 品質疑惑は、従来の品質管理の網の目を潜りぬけてしまう「見えない不良」であり、検査では「見える不良」しか見ていない。
- 市場クレームの94%は設計ミスであり、製造における工程ミスは6%に過ぎないのに、設計技術者は責任を取らない。
- 理論的に科学的に正しい答え（1+2=3）は，市場では正しいとは限らない。
（技術的思考1+2≠3の欠如）

“クレーム„は泥棒より悪い

実例１：福島原発の「投資コスト」は4基で**1兆6千億円**だそうだが、事故後は**30兆円**を超える「損失コスト」で、廃炉までに**30年以上**かかる。

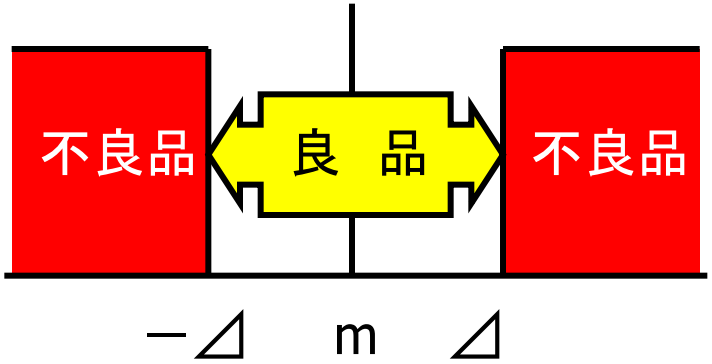
実例２：プリンタの「購入コスト」は**1万8千円**であるが、修理費用は最低で**1万500円／回**かかる。しかも、廃却するまでに幾らかかるか分からない。

事例３：自動車の購入費用は**250万円**でも、最終的には故障修理や税金で**2倍以上**の費用を取られる。

泥棒は盗んだ後で、追い銭を要求することはほとんどないので、**メーカーは泥棒より悪い**ことをしているのである。（田口玄一談）

検査では“クレーム„は減らない
ー「見える品質」から「見えない品質」へー

品質管理の考え方
ー生産者側の立場ー



⊿:出荷規格　m:目標値

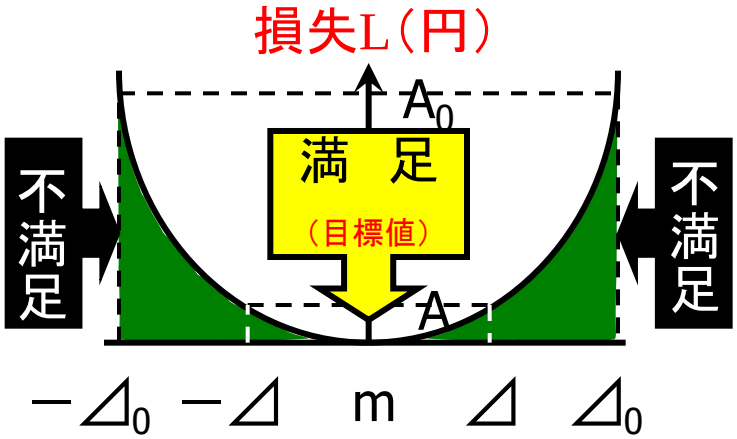
「不良率や故障率」で合否の判定を表す

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
ー消費者側の立場ー



⊿:出荷規格　Δ_0:機能限界

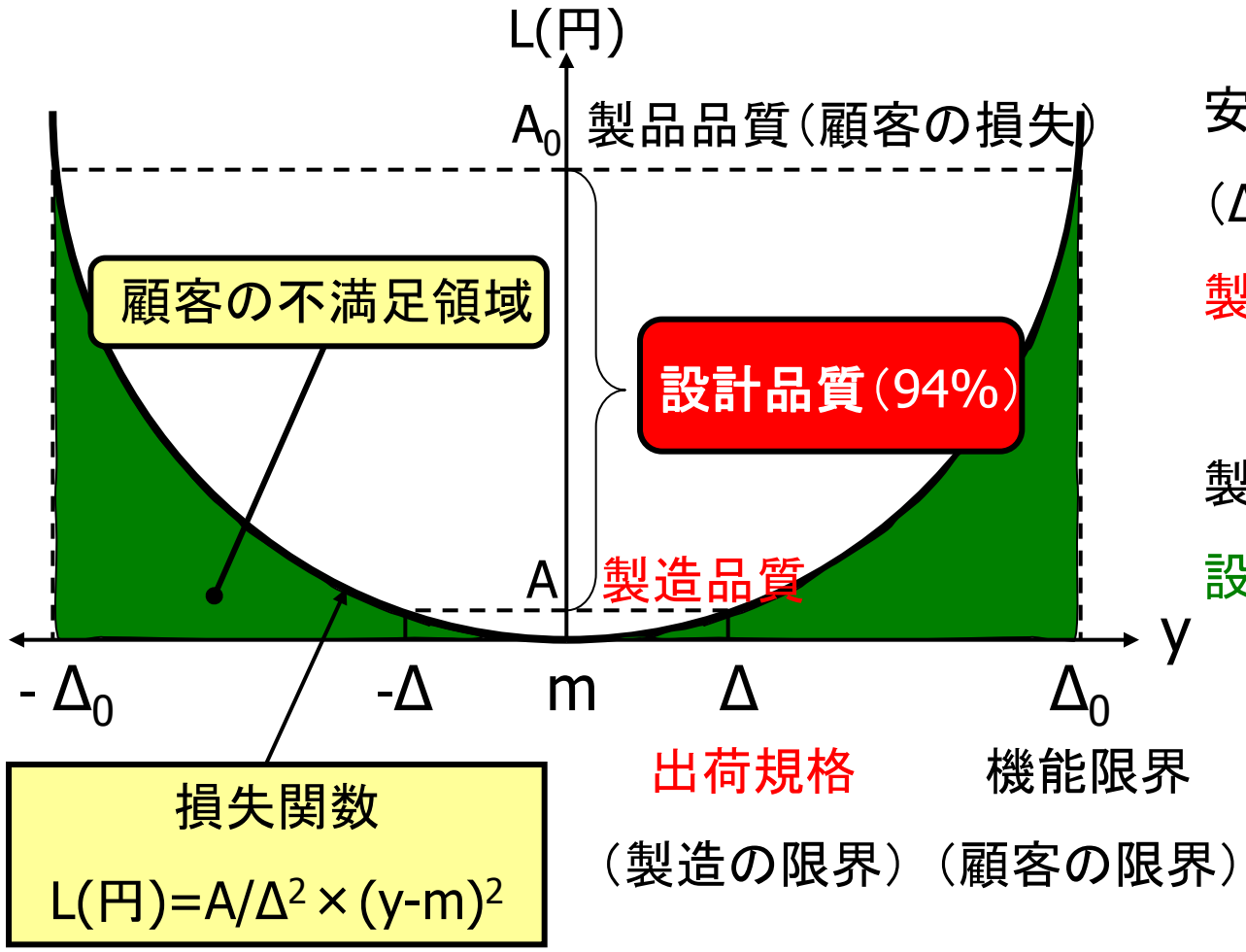
m:目標値　A:生産者損失

A_0:消費者損失　「損失関数」で製品の品質損失を表す

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

$$\eta=m^2/\sigma^2 \text{（SN比）}$$

市場クレームの94%は設計責任



安全率＝Δ_0/Δ＝4の場合

$(\Delta_0/\Delta)^2=A_0/A$であるから

製造品質＝A＝$(1/16)A_0$

＝$0.063A_0$

製品品質＝A_0

設計品質＝

製品品質－製造品質

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

$=0.937A_0$

品質は“不良率”では分からない
ー不良率から損失関数へー

1979.4.17　朝日新聞による抜粋

米国ソニー製TVと日本製ソニーTVの品質を比較したところ米国製の方が市場で故障が多いという結果が発表された。

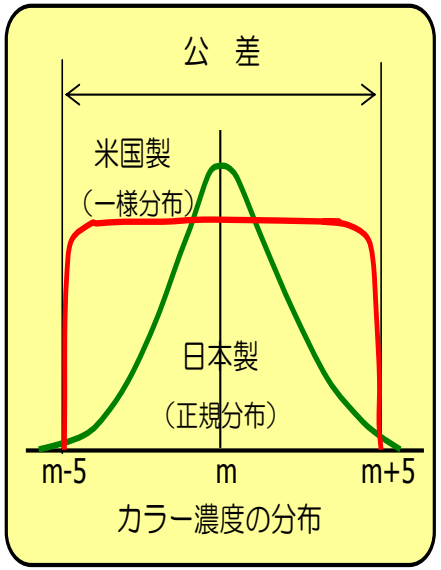
不良率では日本製の方が悪いのに、損失関数では日本製の方が約1/3の損失金額で市場の評価が高いことが分かる。

米国製のTVの標準偏差

一様分布：$\sigma = \frac{2\Delta}{\sqrt{12}}$

日本製のTVの標準偏差

正規分布：$\sigma = \frac{2\Delta}{6}$



製造場所	目標値	標準偏差	損失関数	Cp値	不良率
日本製SONY	m	10/6	66.7円	1.00	0.27%
米国製SONY	m	10/√12	200.0円	0.577	0.00%

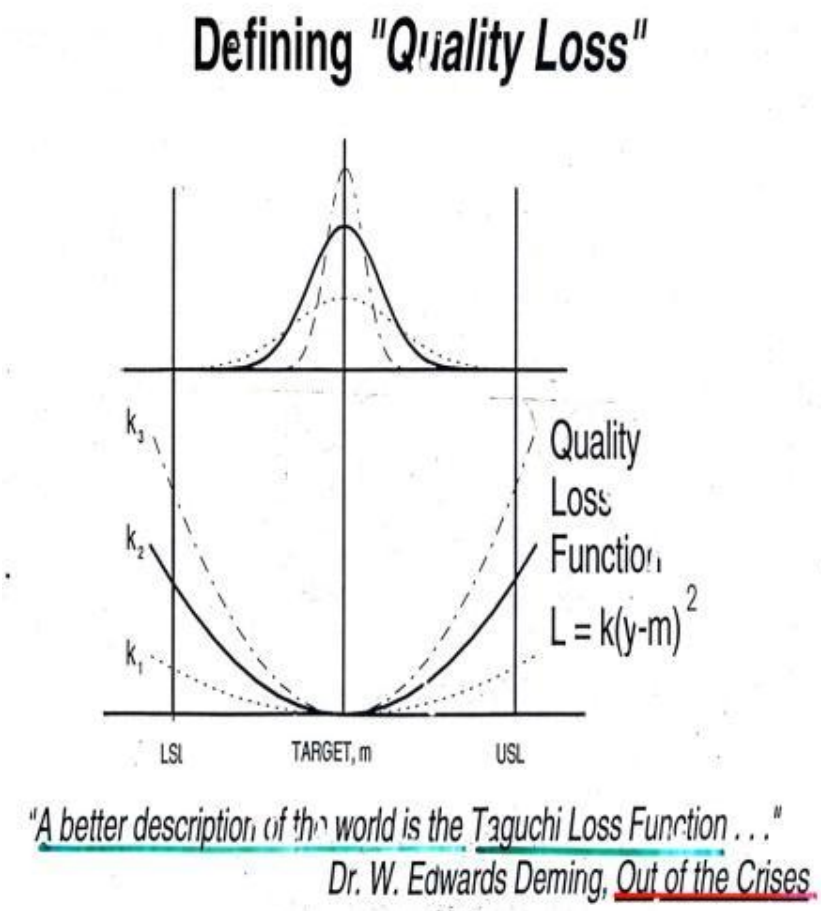
デミング博士の品質の結論

"Some Lessons in Variation" From
Dr. W. Edwards Deming

Comments on an example of measuring dispersion This simple illustration should put to rest forever use of measure of dispersion like Cpk, as it has no meaning in terms of loss… Conformance to specifications, Zero defects, Six Sigma Quality and other nostrums, all miss the point

(so stated by Donald J.Wheeler,1992).

デミング博士の品質の結論（続）



- 品質管理の考え方（Cpk，ZD，6シグマ）はすべて間違いだから永久に廃止すべきです。
- 世界の中でもっと良い方法が 田口の損失関数です。
- デミング博士の1992年の「危機からの脱出」という講演から

“科学的思考”の時代

■　**市場クレーム多発の時代**

1957年　大学工学部で毎秒1万コマの高速度カメラを設計して、島津製作所で試作した。
1957年　松下電工に入社
1960年　■はがき・切手自動発売機（郵政省へ納入）—有効賞1級—
1966年　■小型歯車の研究（0.1モジュール成形歯車）—技術有効賞2級—
1968年　■電磁カウンタの研究（世界最速度100 cpsに成功）—特別有効賞—
1971年　■クオーツ掛時計の開発（世界最薄ムーブメントの開発に成功）－特別有効賞—
1972年　■自動時間スイッチの開発
1979年　■自動定量止水装置（風呂の蛇口に取り付けて自動止水する）—有効賞—
1980年　■リレーの開発（有極型世界最小，低消費電力）—特別有効賞—

私が23年間で開発した商品は、**小型化や高性能**では、世界的には評価できる商品で、**社長表彰**を数回受賞していたが、市場に出てからトラブルが多発した。トラブルが発生するたびに、原因を追求してから「**もぐら叩き**」で再発防止を行っていた。
当時は、**品質管理**の全盛段階で、SQCや実験計画法や信頼性工学を学び、科学的思考で「**機能設計**」を行い、信頼性試験で耐久試験をして、規格に合格しておれば、市場でトラブルが起きないと考えていた。
　松下電工では1980年に「**デミング賞**」を受賞したが、相変わらず市場トラブルが続いた。

「技術の空洞化」を脱出した時代

“技術的思考”の時代

■品質工学の導入《1980年代―悪魔扱いされた時代―》

1982年　■ドットプリンタの開発（低消費電力を狙った小型ヘッドの開発）
ピン折れ問題で苦戦しているときに，田口先生に品質工学の指導を受ける

1983年 ■「デージープリンタのプランジャーのバウンド量低減」に応用して成果を出す（温度変化に弱かった）－コンピュータシミュレーションの活用－

1989年　■マッサージ椅子（もみもみ）や肩タタキ機の開発
S（soft）- H（hard）変換で顧客が満足するシステムの考案
《開発のプロセス》S－H変換と品質工学の融合
①顧客の要求―②目的機能の分析―③計測と解析技術開発―④システムの選択―⑤パラメータ設計―⑥商品開発へ応用展開（編集設計）

“技術的思考”へパラダイムシフト（品質工学の導入）

問題解決型の（**機能設計**）から、技術開発型の（**機能性設計**）にパラダイムシフトすることで、市場トラブルを未然防止する。

機能設計　:システム設計で「**目標値に合わせ込む**」ことを優先する。

機能性設計:機能の「**ロバスト性**」を優先して、目標値に合わせ込む。

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

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」

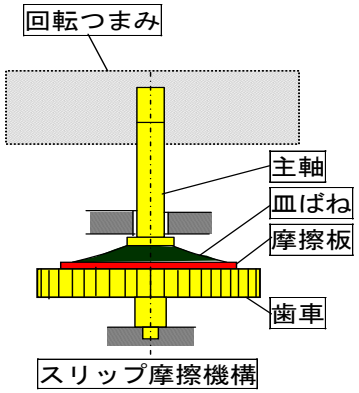
$y = \beta M$ である.

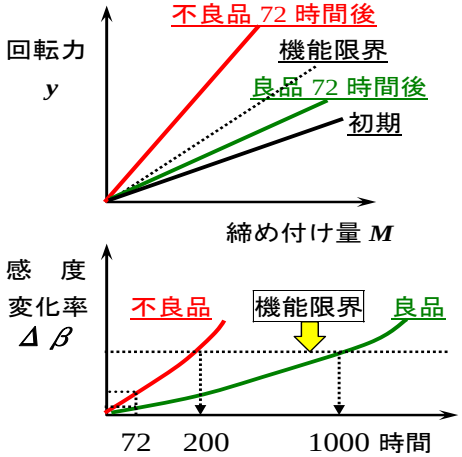
信号因子：締め付け量 M（皿ばねの撓み量 mm）

出力特性：回転力 y（トルク計で測る　kg・cm）

誤差因子：N_1（ 25℃の水で　0 時間）

N_2（100℃温水で 24,48,72 時間放置）



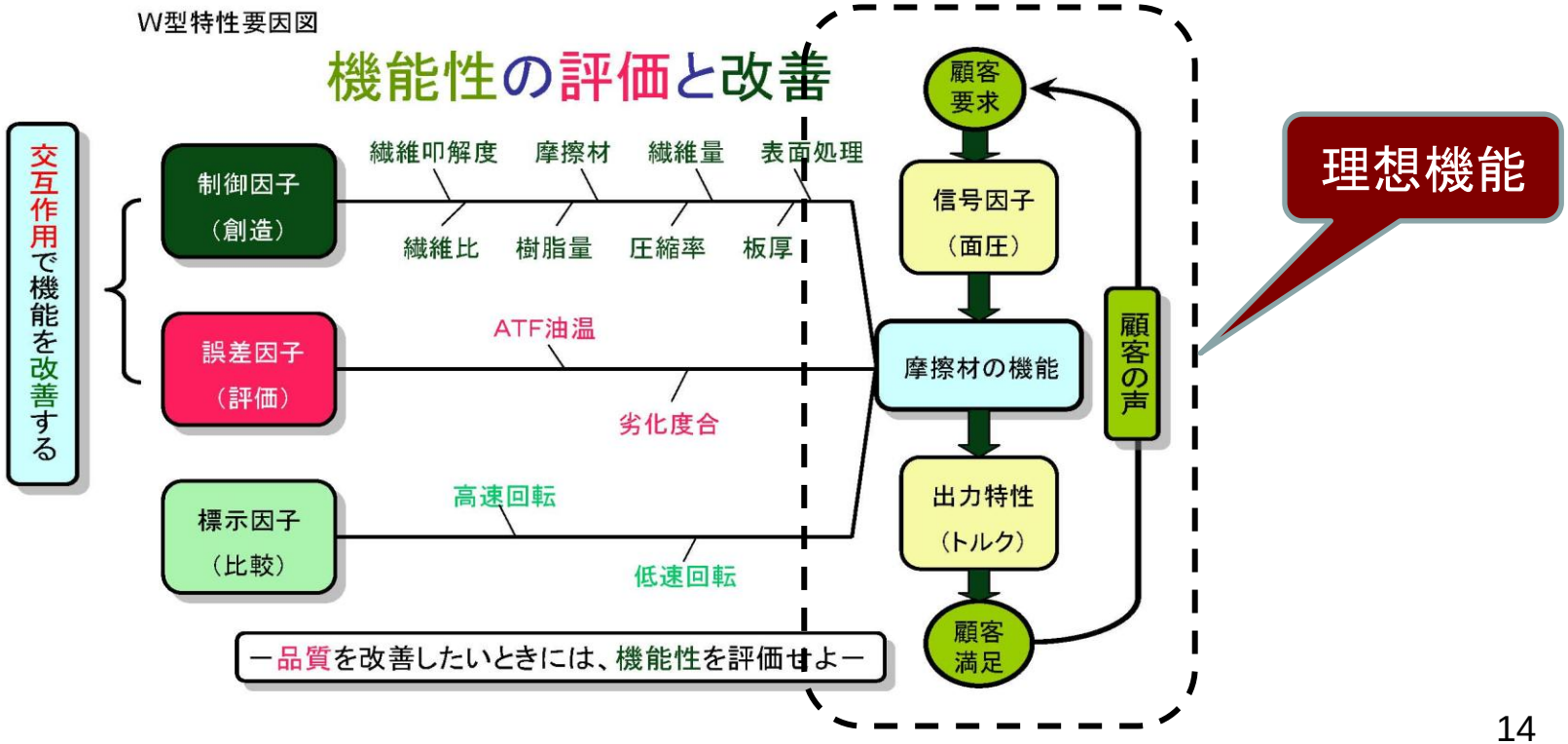


●1億回の寿命試験で出荷したが，市場では半年以内（約200回）で故障してしまった。

●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。

スリップ機構の改善例

パラメータ設計では、下図の「**W型特性要因図**」で、理想機能を乱すノイズを選定して、「**機能性をSN比**」を評価して、「**下流への再現性**」は、内側直交表に制御因子を外側にノイズを割り付けて、両者の交互作用で品質を改善する。標示因子は品質を比較する因子である。
（**制御因子間の交互作用は下流への再現性を妨げる**。）



「技術の空洞化」による品質問題（その2）

デージープリンタの「**システム設計**」で、ソレノイドの**温度上昇**でプランジャーの「**2度打ち**」現象が発生して、「**パラメータ設計**」で、CAEを活用してシステムを複雑にすることで品質を改善できた事例 （**無用の用**）

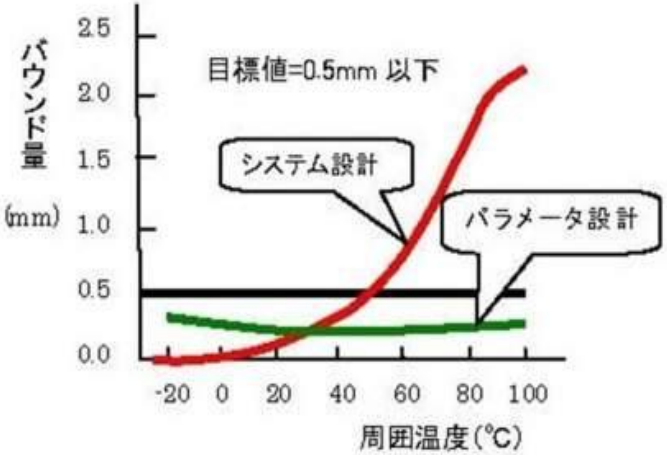


図2．8 ソレノイドの周囲温度とバウンド量の関係

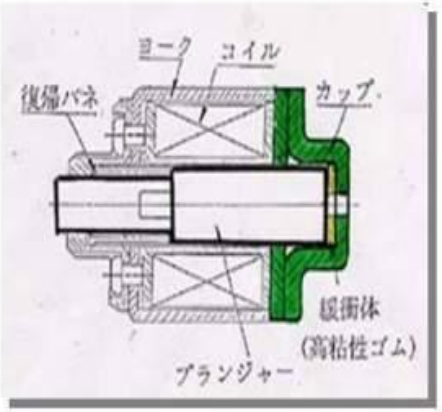


図2．7(a) システム設計

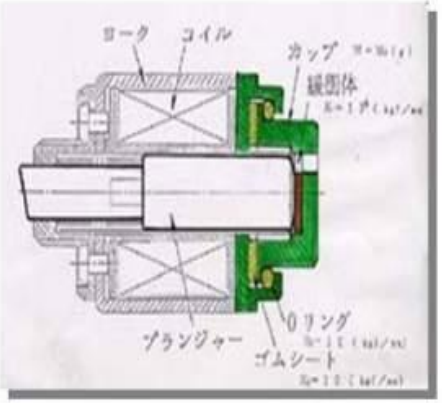


図2．7(b) パラメータ設計

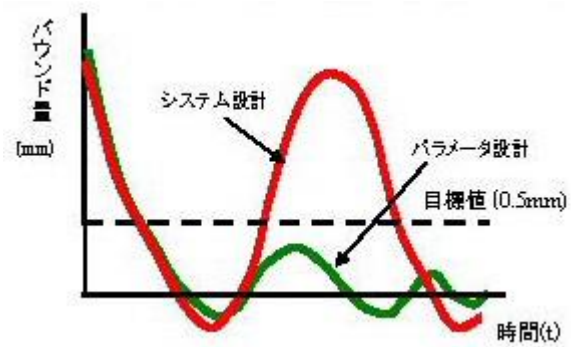


図2．9 プランジャーの過渡特性

温度が変化してもバウンド量が0.5mm 以内になるようにゴムの材質を変更するか、それでも駄目なら、温度が40℃以上にならないようにファンを付ける。しかし、この対策はコストアップになる。

そこで、この問題を解決するために、図5のようなシミュレーションモデルの等価回路を考えて、プランジャーが衝突する前と衝突後の運動方程式をつくり、パラメータ設計を行うことにしました。

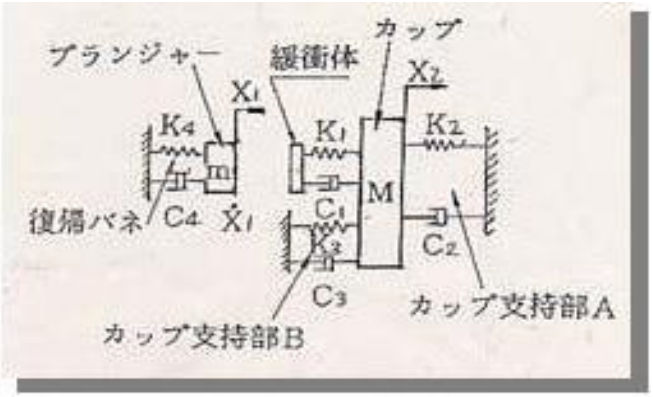


図 5　シミュレーションモデル

① プランジャーと緩衝体が接触中の等価モデル（バウンド量のゼロ望目特性）

$$m\frac{d^2X_1}{dt^2} = -K_1(X_1 - X_2) - C_1\left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt}\right) - K_4X_1 - C_4\frac{dX_1}{dt} + F_{set}$$

$$M\frac{d^2X_2}{dt^2} = K_1(X_1 - X_2) + C_1\left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt}\right) - K_2(X_2 + \Delta X_2) - C_2\frac{dX_2}{dt} - K_3(X_2 - \Delta X_3) - C_3\frac{d^2X_2}{dt}$$

② プランジャーが単独で運動中の等価モデル（プランジャーの過渡応答性）

$$m\frac{d^2X_1}{dt^2} = -K_4X_1 - C_4X_1 + F_{set}$$

$$M\frac{d^2X_2}{dt^2} = -K_2(X_2 + \Delta X_2) - C_2\frac{dX_2}{dt} - K_3(X_2 - \Delta X_3) - C_3\frac{d^2X_2}{dt}$$

パラメータ設計の結果、全損失でシステム設計の1/30に低減することができた。（表2参照）

設計段階	平均値	ばらつき	品質損失（円）	投入コスト（円）	全損失（円）
システム設計	2．230	5．160	10，320	C	10，320＋C
パラメータ設計	0．375	0．154	308	C＋15	323＋C
許容差設計	0．240	0．068	136	C＋15	151＋C

表2　設計段階における全損失（品質とコストの和）の比較

標準SN比による解析

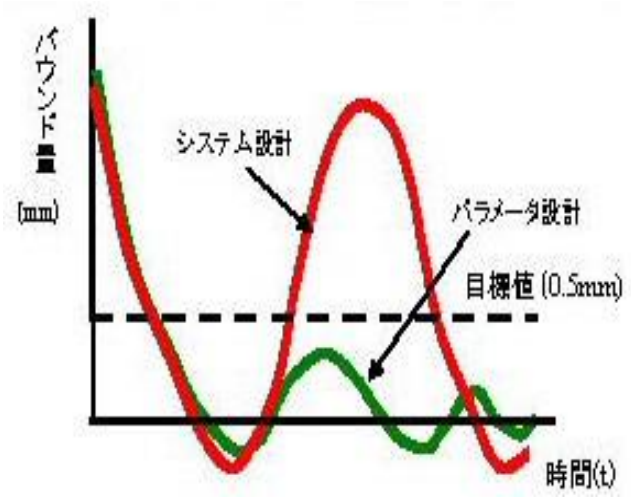
最近の品質工学においては、望小特性のような加法性のない品質特性ではなく、加法性の高い機能性の評価が普通であるが、更に応用範囲が広く「再現性」が高い「標準 SN 比」という概念を用いてパラメータ設計することが当たり前になってきた。

■ このソレノイドでは、プランジャーが単独で飛行中の「機能性」は次のように評価します。
すなわち、入力電流（M）を「信号因子」と考えて、出力変位(y)の過渡特性の機能性を評価すればよいのです。 この場合、時間は「標示因子」です。 理想機能は $y(t)=\beta M(t)$ と考えます。

時間 / ノイズ	T1	T2	T3	T4	T5
N0【M(t)】	y_{101}	y_{102}	y_{103}	y_{104}	y_{105}
N1	y_{111}	y_{112}	y_{113}	y_{114}	y_{115}
N2	y_{121}	y_{122}	y_{123}	y_{124}	y_{125}

N0：出力変位の標準条件でこれを信号として、N1 と N2 で SN 比を求めます。
N1：正側の最悪条件　N2：負側の最悪条件　Ti：過渡応答時間
このような機能性の評価は「２１世紀の品質工学」と呼ばれています。

バウンド量という品質特性ではなく、バウンド量の時間的変化の**過渡特性**を用いて**標準SN比**で解析する方が情報量が多くて、下流での**再現性**が高い。



「技術の空洞化」で起きた品質問題（その3）

CdS素子の機能性の評価（1）

－購入部品の品質評価－

1．CdS素子の目的機能と基本機能

CdS素子は電気回路の開閉を周囲の明るさによって，自動的に制御するために開発されたものである。設計者の要求する品質特性としては，式（1）のようなγ 率（抵抗比の対数／光量比の対数）などが考えられる。

$$\gamma_{10}^{100} = \{\ln(R_{10}/R_{100})\}/\{\ln(L_{100}/L_{10})\} \quad (1)$$

品質の安定性を確保するためには、開発設計段階に於いて、回路素子の基本機能について下記のような評価を行うことが大切である。

CdS素子の目的機能は「光量の変化で抵抗値が変わること」であるから，式(2)のような指数関数が成り立つことが予測される。

$$R = R_0 e^{-\alpha(L-L_0)} \quad (2)$$

そこで、CdS素子の基本機能，「光量によって変化する抵抗の機能である電圧と電流の比例関係（オームの法則）」を式(3)のように考える。

$$I = (1/R)V = \{e^{\alpha(L-L_0)}/R_0\}V \quad (3)$$

ここで、

$I = y, 1/R = \beta, V = M$ とおくと

理想機能は

$$y = \beta M \quad (4)$$

で表わされる。

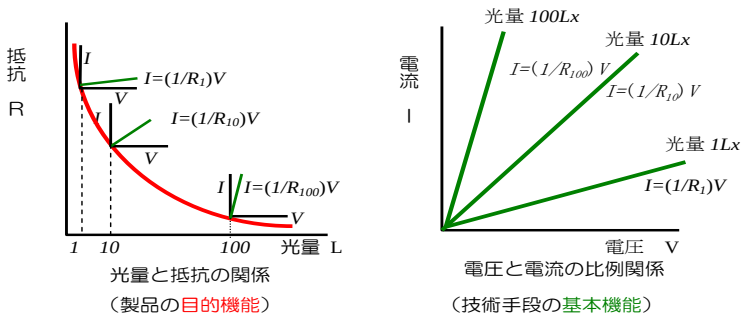


図１　ＣｄＳ素子の機能説明図

- 街路灯の自動点滅器の朝夕の**点滅不良**が発生した。

従来は、購入部品の品質評価は、規格に対する**品質特性**の合否の判断であったため、トラブルを見抜けなかった。

- CdS素子は可変抵抗であるから理想機能を「**オームの法則**」と考えて「**機能性の評価**」に変えることで短期間に高品質・低コストの部品に変更することが可能になった。

CdS素子の機能性の評価(2)

2. 基本機能の評価実験

基本機能の計測特性について、入力信号を電圧、出力特性を電流として、光量や劣化ノイズ別に表1のように計測する。

この実験においては、光量と電流の物理的な関係が分からなかったので、光量は信号因子として扱わず使用条件(標示因子)と考えた。

この実験の調合ノイズは下記のとおりである。

N1:初期状態(常温、常湿)

N2:劣化状態(高温、高湿)

表1のデータは表2に示す品種6の製品について実験したものである。

		M1 (2V)	M2 (8V)	M3 (14V)	線形式
N1(初　期)	A1 (　1lx)	y 11 (　2.5)	y 12 (11.0)	y 13 (　20.0)	L 1=　373.0
	A2 (10lx)	y 21 (20.0)	y 22 (93.0)	y 23 (170.0)	L 2= 3164.0
	A3 (100lx)	y 31 (184.0)	y 32 (820.0)	y 33 (1480.0)	L 3=27648.0
N2(劣化後)	A1 (　1lx)	y 41 (　2.5)	y 42 (10.2)	y 43 (　18.2)	L 4=　341.4
	A2 (10lx)	y 51 (21.0)	y 52 (90.0)	y 53 (164.0)	L 5= 3058.0
	A3 (100lx)	y 61 (178.0)	y 62 (800.0)	y 63 (1400.0)	L 6=26356.0

表 1 電圧と電流の入出力関係

3. 実験データの解析

抵抗の機能の安定性(SN 比)

$$\eta = 10\log\frac{\frac{1}{6r}(S_\beta - V_e)}{V_N} = 10\log\frac{\frac{1}{6\times 264}(2344528-140)}{324} = 6.60db$$

抵抗値の大きさ(感度)

$$S = 10\log\frac{1}{6r}(S_\beta - V_e) = 10\log\frac{1}{6\times 264}(2344528-140) = 31.70db$$

- 光量(標示因子)に関係なく，抵抗値が安定していることが望ましいので，各光量におけるオームの法則(電圧と電流の比例関係)を満足していることを評価すればよい
- ノイズの影響は使用環境条件(温度)や耐久試験の前後を考える

CdS素子の機能性の評価（3）

4．評価の結果と考察

市場における3社の9品種について、上記の評価実験を行い、初期と劣化後の SN 比を求めた結果と総コスト（製品コスト＋品質損失）の比較を表2に示す。

品種	初期値	24 時間後	損失コスト	製品コスト	総コスト
1	10．29	12．08	9．4円	80円	89．4円
2	10．21	11．49	10．6円	100円	110．6円
③	13．12	15．19	4．5円	80円	84．5円
4	8．21	0．51	133．9円	50円	183．9円
5	5．64	4．42	54．1円	40円	94．1円
6	8．12	6．60	32．8円	60円	92．8円
7	7．74	4．62	51．9円	40円	91．9円
8	14．34	13．24	7．1円	90円	97．1円
⑨	−11．70	−9．05	1250．5円	30円	1280．5円

表　2　メーカー別の機能性のSN比評価（db）とコスト比較

損失コストは下記の「損失関数」で求めた値である。比例乗数を150円に設定した。

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_0{}^2} \times \beta_0{}^2 \times \frac{1}{\eta} = 150 \times \frac{1}{\eta}$$

品質とコストの両面から評価すると，品種3の製品が最も良くて，品種9の製品が最も悪い
ことがわかる。実際に購入するときには，品質・コストの両面から判断して決めることになる。

SN比の評価では品種の最大と最小の差が25dbもあり，損失関数で評価すると1200円以上の差があり，製品コストと品質コストのバランスで購入品を決めることが大切である。

○品種3の総コスト　84.5円
×品種9の総コスト　1280.5円
（品種9は市場でのトラブル品）

理論的な答えは市場では正しくない
―「科学」と「技術」は別物―

- 科学の世界では理論的な答えは正しい。
- 科学は自然現象を解明して、ノイズがない世界を考える
- ノイズの影響は除いて考える
- ばらつきより平均値を優先する

- 技術の世界では理論的な答えは正しくない
- 技術は自然現象を活用して、ノイズに強い世界を考える
- ノイズの影響に強くなることを考える
- 平均値よりばらつきを優先する

“数理統計学”から離れよ

実験計画法

- データに対して考えれる因子と特性値の因果関係を調べる
- 統計的な正規分布で平均値の最適組み合わせの情報を得る
- 因子間の主効果や交互作用で収率などの向上を図る

ロバスト設計

- 理想機能からのズレで機能の安定性をノイズの影響で調べる
- 統計的な分布ではなく必然誤差の最適条件の情報を得る
- 小規模実験の主効果のみで下流への再現性を確認する

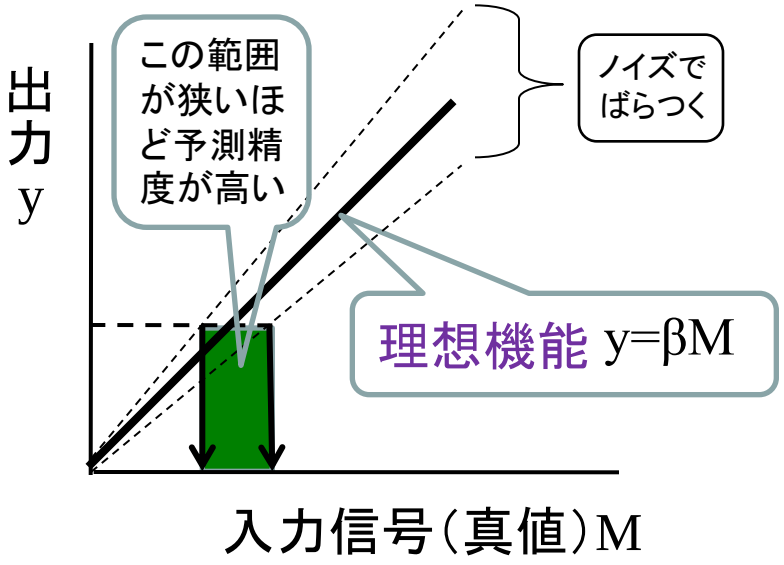
企業の実力は「見えない品質」で決まる

- “商品品質”は機能、デザイン、価格、感性などの見える品質（価値問題）

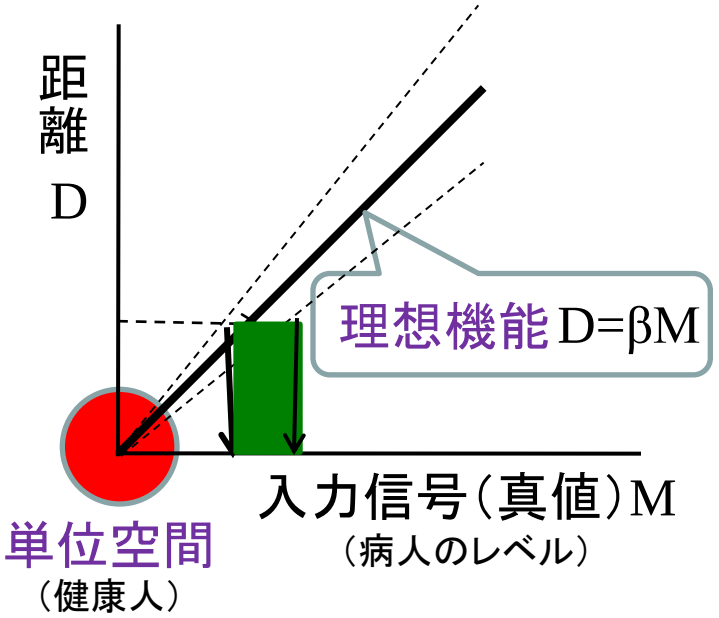
- “技術品質”は機能のばらつき、使用コスト（燃費、消費電力）、公害（騒音、NO_X、CO_2）など使ってみないとわからない見えない品質（損失問題）

“見えない品質„の予測評価
ーモノ(hard)・コト(soft)の機能性評価ー

- 「モノ」の機能性評価



- 「コト」の機能性評価



“理想機能”からどれだけ離れているかを予測する。

“もぐら叩き（死の谷）”からの脱出

- 「問題解決型」から「技術開発型」へ
  従来は製品ごとに設計を行い、問題が起こると「もぐら叩き」で手戻りするやり方が主流であったが、技術を確立してから製品設計をすることが大切である。
- 「一生懸命長い時間働いても、成果が出なかったとき、その人の仕事量はゼロと考えるのである（田口玄一談）」

問題解決型から技術開発型へ

―やり直しをしないものづくり―

従来設計と品質工学の比較

従来設計（問題解決型）

製品の研究

製品企画 → 製品設計 → 試作・信頼性試験 → 性能確認 → 製　造 → 市　場

標準条件で目標値に合わせる精密な因果関係の研究

予測できなかった問題が発生

モグラ叩き（Reverse Engineering）

品質工学（技術開発型）

ﾃｽﾄﾋﾟｰｽの研究
ｺﾝﾋﾟｭｰﾀｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ

技術開発 → 製品企画 → 製品設計･工程設計 → 品質確認 → 製　造

- 技術開発：目的機能を満足する頑健な基盤技術を蓄積する
- 製品企画：蓄積技術を使い機能や設計寿命や価格を決める
- 製品設計･工程設計：蓄積技術を寄せ集めて目標値へ調整する製品の研究を行う（チューニング設計･許容差設計）
- 品質確認：確認試験
- 製　造：目標値へ調整 ﾌｨｰﾄﾞﾊﾞｯｸ制御

「あるべき姿」を考えよ

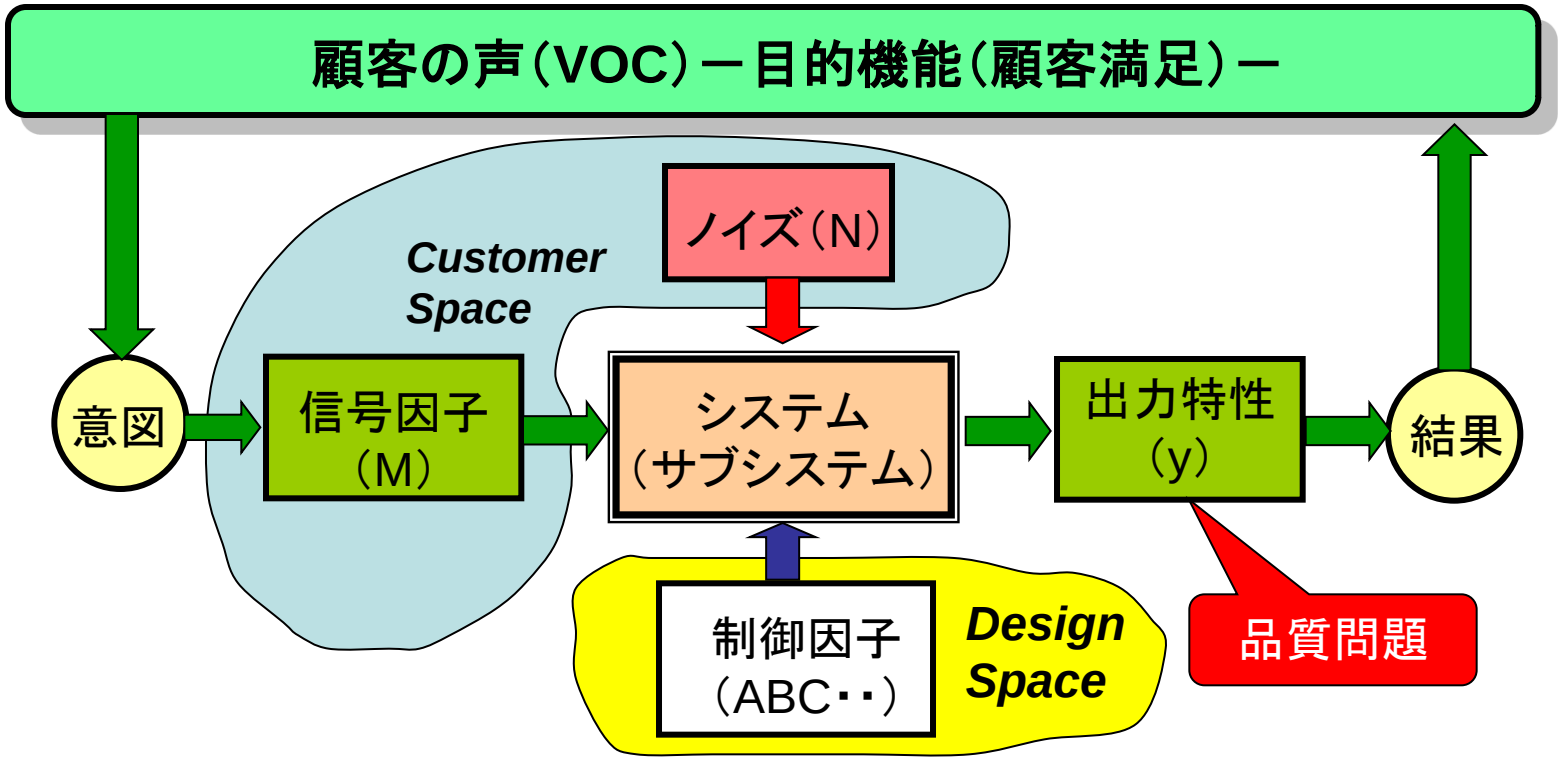
ー「原因追求型」から「目的追求型」へー

- 「何のため」「誰のため」の仕事か

  １．顧客が欲しいものは何か（理想機能）
  ２．顧客が欲しくないものは何か（ノイズ）
  ３．地球環境を考えているか（公害問題）
  ４．その上で企業の「利益」を確保する

- 問題を起こして「原因を追求する」よりも、問題を起こす前に顧客が欲しい機能を追求して，顧客の「満足度（SN比）」を評価する。

“品質が欲しければ、品質を測るな 機能性（ロバスト性）を測れ”



人間の都合（願望）が「目的機能」であり、自然の原理（摂理）との調和をとったのが「基本機能」である。

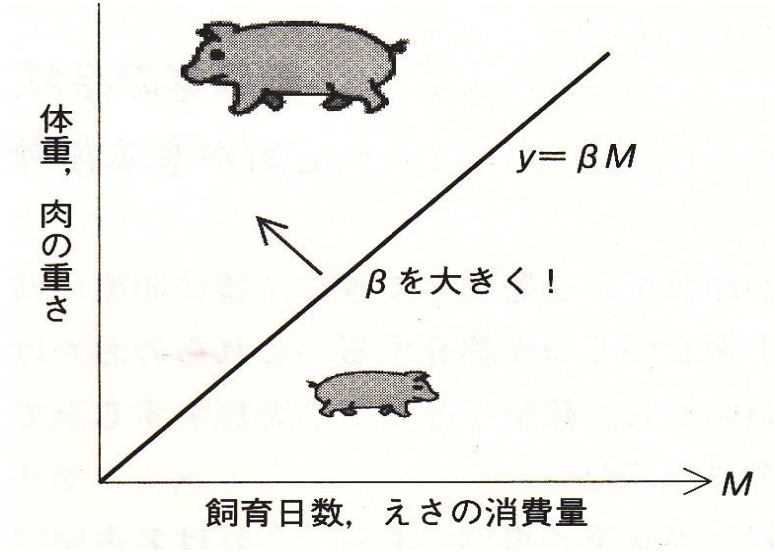
養豚業の品質工学
ー豚の排泄物の処理ー

養豚業者の悩み

- ある養豚業者が排泄物を早急に処理しないと悪臭の発生の原因になり、周辺住民の苦情も多く社会的問題である。
- そこで、排泄物処理を効率的に行っても飼育期間の短縮や餌の量の削減はできず、肉のコストアップは避けられず困っていた。（品質問題）

養豚の基本機能

•豚を安定かつ早く成長させれば、排泄物も減少できて周辺住民の苦情もなくなる。しかも、飼育期間も餌の量も削減でき一石全鳥の効果が期待できる

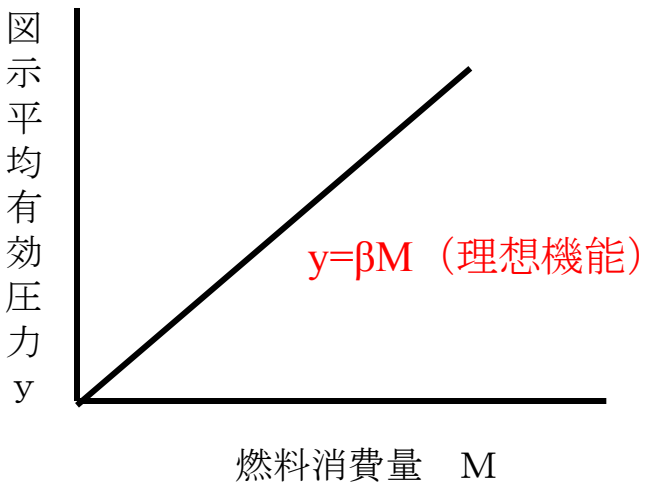


成長量＝摂取量－排泄量

エンジンの機能性の評価（1）
－目的機能の場合－

1.　目的機能（*Objective Function*）で評価する場合

エンジンの機能は，ガソリンの燃焼エネルギーをピストンを利用してクランクシャフトを回転させる機械的トルクに変換することである．



SN比　$\eta = 10\log\dfrac{\beta^2}{\sigma^2}$

感　度　$S = 10\log\beta^2$

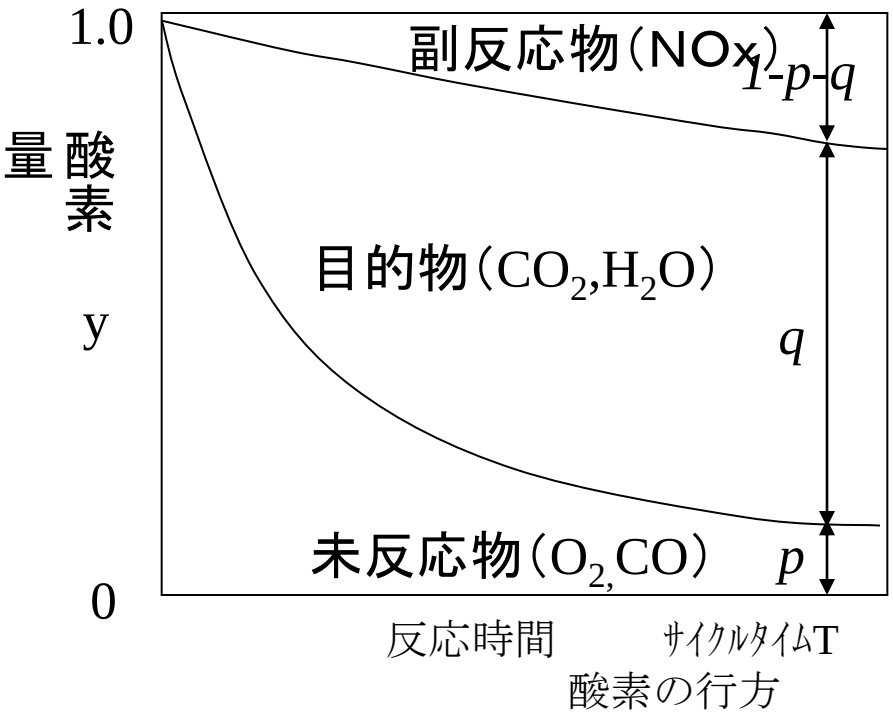
この研究では，騒音や振動を減らしただけではなく，車の燃費を８％減らすことに成功した．
（Ford Motor Company の事例）

この目的機能の研究では，弊害項目のNOxに対する対策が抜けていたのである．
目的機能の研究では「一石全鳥(One stone kills all birds)」というわけにはいかなかったのである．

エンジンの機能性の評価(2)
－基本機能の場合－

2.　基本機能(*Generic Function*)で評価する場合

エンジンの基本機能は「化学反応」である。エンジンに燃料，空気などを入れて，圧縮した上で点火すると爆発が起こり，ピストンを動かすのであるが，これは化学反応を用いているシステムである。



基本機能（理想機能）を次のように定義する。

$$p = e^{-\beta_1 T}$$

$$p + q = e^{-\beta_2 T}$$

反応速度β_1，β_2を求める．

$$\beta_1 = 1/T \ln(1/q)$$

$$\beta_2 = 1/T \ln(1/(p+q))$$

ＳＮ比　$\eta = 10\log\left(\beta_1^{\ 2} / \beta_2^{\ 2}\right)$

感　度　$S = 10\log \beta_1^{\ 2}$

SN比と感度が大きい方が効率がよいと評価される。

評価技術に強くなれ
ーTechnicianからEngineerへー

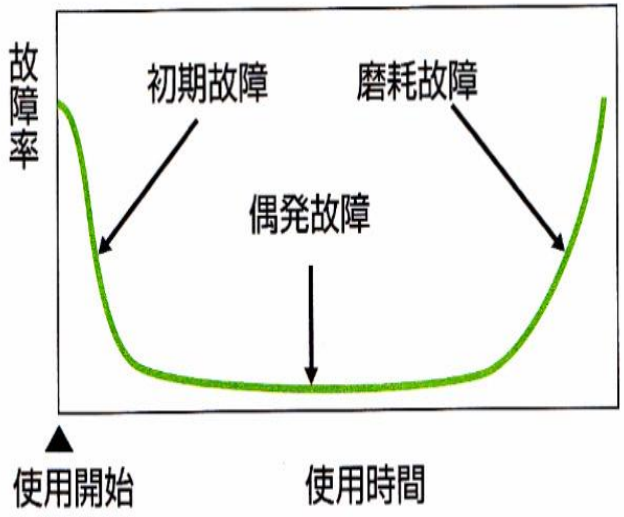
- 「技術者」は「評価技術」を持っていない。
- 従来の評価技術（FTAやFMEAや失敗学）は膨大なデータで「再発防止」を行うが、対策に時間がかかり、「未然防止」にはならない。
- ものづくりの現場では、科学的な精密な情報は必要なく、時間もコストもかけずに「失敗を見抜く方法」が品質工学である。

ノイズに強くなれ

ー信頼性工学との違いー

●従来の信頼性評価では故障率を**初期故障**や**偶然故障**や**劣化故障**の「**バスタブ曲線**」で**多数のデータ**を使って**長時間**で解析しているが、結果の評価であって後の祭りである。

●品質工学では**３つの故障は**ノイズと考えて、設計段階で１個のデータで機能性評価を行う。



信頼性工学は、多数の実績データで信頼性を予測する。
したがってデータの収集が大変（時間とデータ数の壁）。

ノイズとの戦い

ー上手く失敗を見抜く方法ー

■ 受動的な自然的なノイズ

・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）σ_e^2

製品ばらつき σ_y^2

$$\sigma_y^2 = \underbrace{\sigma_e^2}_{6\%} + \underbrace{b\sigma_\theta^2 + \beta^2T^2/3}_{94\%}$$

■ 能動的な人工的なノイズ

テロや贋金やコンピュータウイルスなど

ロバスト設計（2段階設計）

「**ロバスト性**」を先行して、「**チューニング**」は後回しに行う

✕ ***m=f(A1,B1)***

○ ***m=f(A2,B2)***

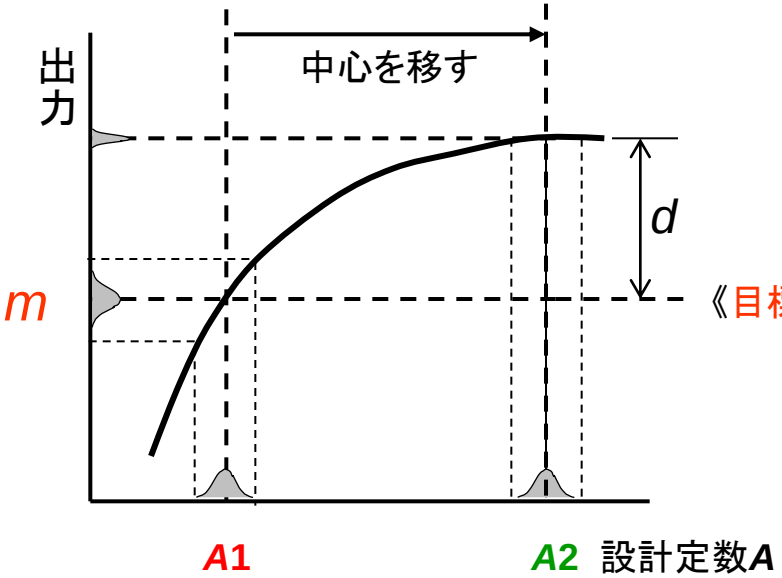


図　1　出力のばらつきを減らす
（ロバストネス設計）

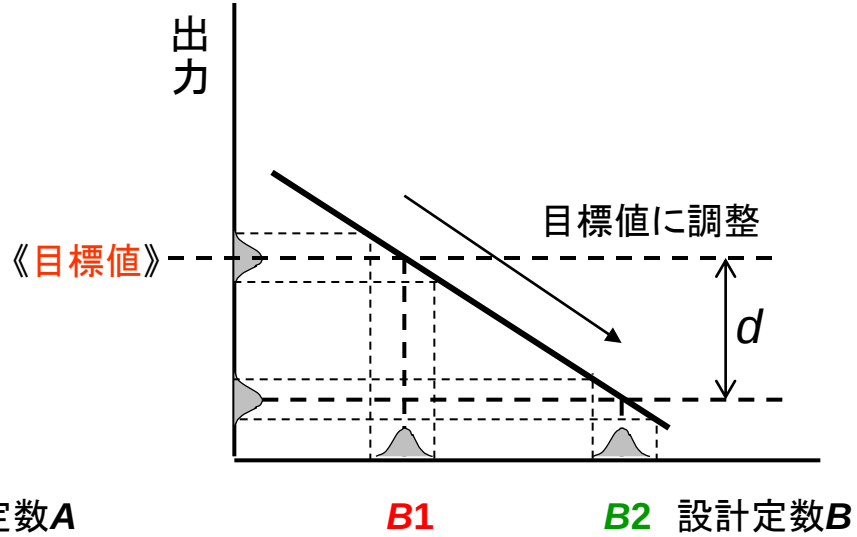


図　2　出力を目標値に合わせる
（チューニング設計）

ロバスト設計の原理（2段階設計法）

カラシニコフ銃に学ぶ

―ロバスト設計の好例―

ベトナム戦争でアメリカ軍が使ったのはM16自動銃ではなく，ロシアのカラシニコフ氏が開発したカラシニコフAK47であったことは有名である。M16の設計者ストナー氏がカラシニコフ氏に会って，「ベトナムでは貴方の勝ちだ」と告げたという話もある。

ストナーM16

M16は命中率や到達距離を重視して使用環境の変動を無視したのに対して，AK47はベトナムの密林やイラクの砂漠などででも使えるように「部品をスカスカ」にして，使用環境の変動に強く，更に命中精度を高める格段に難しい課題に挑戦した銃である。
（**二段階設計**）

カラシニコフAK47

システムの創造に強くなれ

- ロボコン世界大会における日本代表の惨敗は「戦略性のなさ」「正確性やロバスト性の低さ」でタイやベトナムや中国や韓国の後塵を拝している。
- 日本の大学教育の専門化された教育に問題がある。

- 1994年に発表された㈱ニコンが開発した次世代光磁気ディスク（LIMDOW）は，理論で説明できるのは3層ぐらいまでで、それ以上では理論的に説明することが困難であったが、その限界を打ち破って、6層構造にしてパラメータ設計を行い、画期的なシステムを開発したのは、細川哲夫氏ほかたった3人であった。

試作レス･試験レスで開発の効率化（品質工学とCAEの融合）

- 寿命試験や工程検査は「合否の二値的判断」であるからクレームの評価にはならない。CAEを活用して、早急に最適設計を行い、最適条件で1個の試作品を作ればよい。
- CAEでは、直交表の外側に信号とノイズを配置して、内側に制御因子を配置して両者の交互作用でパラメータ設計を行い、SN比と感度を求める。ノイズは制御因子のばらつきで、調合ノイズ（N1N2）を作り、設計計算の合理化を図る。CAEの精度は必要なし。

コストに強くなれ

ー品質は手段であって、コストが目的であるー

- QCDを同時に達成する一石三鳥の開発体制を構築する

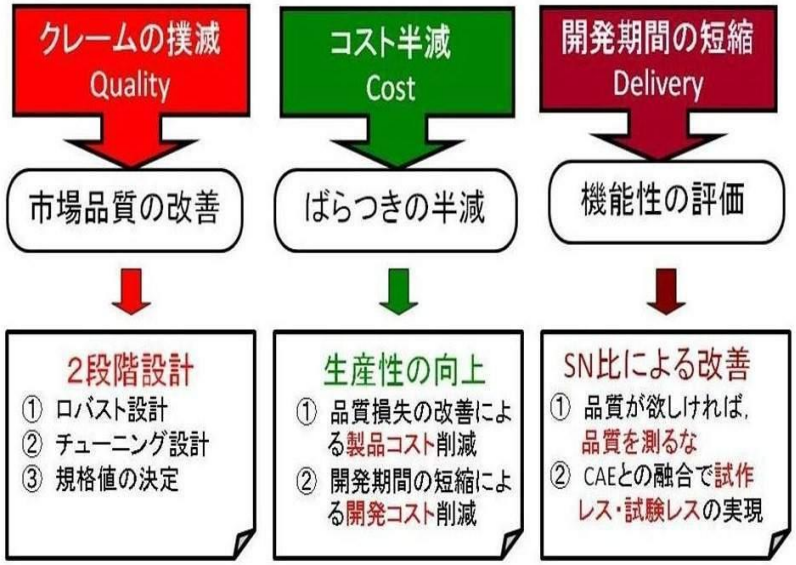


図2．5　一石三鳥の品質工学

パラメータ設計の成果をSN比で改善し、損失関数を用いて社会的会的損失の最小化を図る

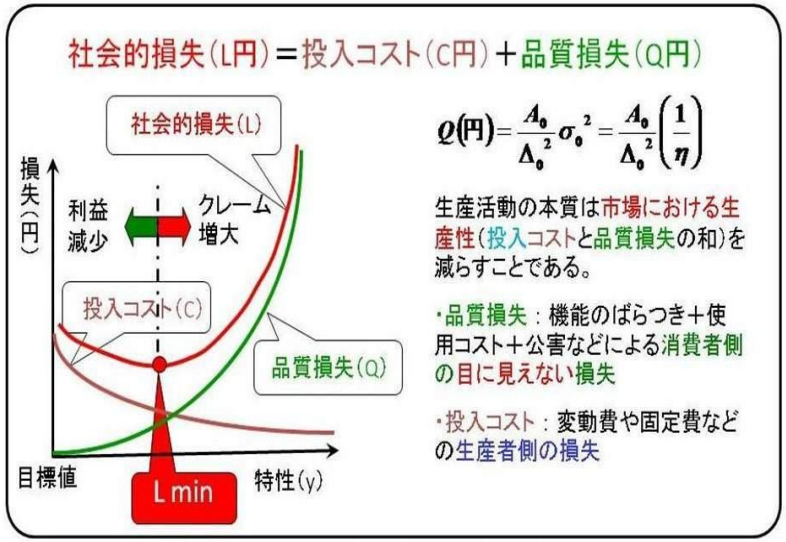
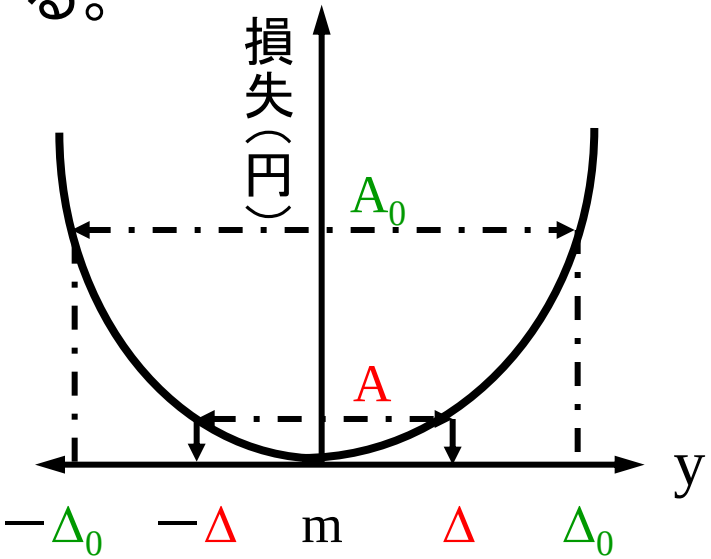


図3．8　コストに強い技術者とは
（社会損失の最小化を考える）

規格（許容差）の決め方

ー“規格”は相手との契約で決まるー

■ 規格（生産者の許容差Δ）は機能限界（顧客の許容差Δ_0）から決まる。



$$\Delta = \sqrt{\frac{A}{A_0}}\Delta_0 = \frac{\Delta_0}{\Phi}$$

Δ：生産者の許容差

A ：部品費や廃棄費・手直費

Δ_0：機能限界（LD50）

A_0：機能限界を超えたときの顧客の損失

Φ：安全率$\left(\sqrt{A_0/A}\right)$

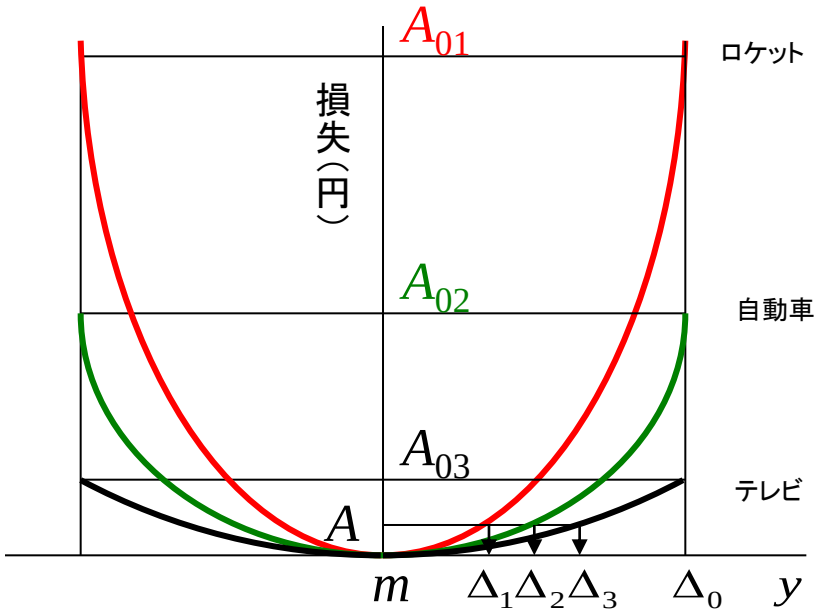
m ：目標値

$$\text{損失関数} L = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\int_0^T L_i(t,y)dt = \frac{A_0}{\Delta_0^{\,2}}(y-m)^2$$

JISZ8403（規格値の決め方通則）
JISK7109（プラスチック寸法許容差の決め方）

「規格の決め方」補足説明

コストが安いほど、損失が大きいほど規格は厳しい



$$\Delta = \sqrt{A/A_0}\,\Delta_0 \text{（出荷規格）}$$

で求まるから、生産者コスト（A）の場合、規格Δは

$\Delta_1 \langle \Delta_2 \langle \Delta_3$ となり、市場損失が大きいほど規格は厳しくする必要がある。（JISZ8403）

A :部品費　A_0:顧客損失

損失関数は目標値からの距離を経済的にあらわした品質尺度である。機能性の評価SN比の逆数であり、工程能力指数Cp値の逆数でもある。

市場における損失を実際に求める場合は（1）式で消費者N人についてT年間使ってもらって求めればよいが不可能な話であるから、設計段階ではテーラー展開をして（2）式で市場品質を予測する。

$$L(y) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\int_0^T L_i(t,y)\,dt \qquad (1)$$

$$L(y) = k(y-m)^2 \qquad (2)$$

$$(y-m)^2 = \Delta_0{}^2 \qquad L(y) = A_0$$

と置くと

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0{}^2}(y-m)^2 \Rightarrow \frac{A_0}{\Delta_0{}^2}\left(\frac{1}{n}\right)$$

品質工学の安全設計

安全設計の考え方

事例：1988.1.5東京のあるディスコで，*1.6 tf*の重量の照明器具が落ちて*3*名の青年が死亡，数人が怪我をした。装置は*6*本のワイヤーで吊り下げられ，自由に伸びるようになっていた。事故は上下に動かすチェーンが切れて落下したのである。

チェーンの引張強さは*3.2tf/*本で，価格は*15*万円であり，*2*本のチェーンを用いていた。安全設計をした場合としない場合の品質評価をしてみる。

望大特性であるので，損失関数は $L = A_0 \Delta_0^2 / y^2$ を適用する。

ステップ	安全設計なし	安全設計あり
1.パラメータを求める	人命の損失を*1.55*億円とし，照明装置の下にいる人数を*6*人とすれば，機能限界Δ_0 =*1.6tf*を越えた時の損失は A_0=*1.55*×*6*=*9.3*億円となる。	安全設計として，ワイヤーの長さを短くして，チェーンが切れても装置が人間の頭上で止まるようにする。この場合のA_0=200万円の修理費用で済む。
2.品質水準を求める。	$L = 93000 \times 1.6^2 / y^2$ （万円）	$L = 200 \times 1.6^2 / y^2$ （万円）

3.損失とﾁｪｰﾝ価格の合計が，最小になる本数が最適設計(2本が最適解)

ﾁｪｰﾝ本数	価格 C(万円)	安全設計なし 品質損失 Q(万円)	安全設計なし 合計 L(万円)	安全設計あり 品質損失 Q(万円)	安全設計あり 合計 L(万円)
1	15	23250	23265	50.0	65.0
2	**30**	**5812**	**5842**	**12.5**	**42.5**
3	45	2583	2628	5.6	50.6
6	90	646	736	1.4	91.4
9	135	287	422	0.6	135.6
15	226	103	328	0.2	225.2
16	240	91	331	0.2	240.2
17	255	80	335	0.2	255.2

- 安全設計とは，信頼性設計に頼るのではなく，事故が起きたときに被害を最小にする設計である。
- 人命は1.5億円と考えて，家は0.5億円と考えて安全装置の設計を行う。

ほんまもんの技術者とは？

1. 技術者は「何のため」「誰のため」に仕事をするか。
   （社会的損失の最小化と顧客満足）

2. 技術者の「主体性」のチェックを何によって行うのか。
   「SN比」による利得の再現性であり、この改善は目的でなく、社会的損失と考えて、コストダウンにどれだけ寄与したかで評価する。

3. 知識見識を超えて、「胆識」をもって周りの技術者や上司を巻き込んで「自主性」で職場の「統一と団結」に努める。
   （管理者のマネジメント）

設計の空洞化を防ぐ先行技術開発の要点

①要素技術の蓄積と活用
（技術開発が商品企画より先行しているか）

（１）「新技術」は技術開発で従来技術になっているか
（未経験な技術は「技術の限界」を明確にさせる）

（２）将来の「品種」を考えた技術開発をやっているか
（「先行性，汎用性，再現性」が技術の３条件）

（３）「製造の技術開発」を商品設計前に行っているか
（商品の設計技術と製造技術の「並行開発」を実施）

（４）電子部品などの「購入品の評価」ができているか
（部品や材料の「機能の安定性」の評価を事前に実施）

（５）技術開発で「開発期間の短縮」を図っているか
（商品開発は従来技術の「編集設計」で実施）

②評価技術のあるべき姿
（「良品」のレベルを評価しているか）

（１）「目的機能」や「基本機能」を決めているか
（商品や技術の「理想機能」を最初に決める）

（２）「何を測るか」が明確になっているか
（機能を満足する技術的な「計測特性」を選ぶ）

（３）「必然誤差」で機能品質を評価しているか
（使用環境劣化の「ノイズ」で誤差を潰すこと）

（４）機能性の評価を「ＳＮ比」で行っているか
（「多次元情報」を「１個の解析特性」に集約する）

（５）「品質を改善するときには，品質を測るな」
（管理や検査は品質特性で，改善は機能特性で行う）

③品質目標と規格の設定
（品質の「あるべき姿」が明確にされているか）

（１）消費者の満足する「品質目標」を決めたか
（生産者側の都合で決めてはならない）

（２）「品質目標設定書」が充実しているか
（「ＱＦＤ」による有効な機能分析を活用する）

（３）「ベンチマーク」の調査はできているか
（機能，性能，品質，価格など他社の実力を知る）

（４）「規格」は「機能限界」から決めているか
（規格は「工程能力」などで決めてはならない）

（５）部品規格は商品規格から「個別」に決めているか
（商品特性に対する部品特性の影響度から決める）

⑥新商品開発管理
（「開発プロセス」が源流管理型になっているか）

（１）「モノ」を造る前に「品質」を造っているか
（「問題解決型」から「技術開発型」へ移行せよ）

（２）「開発ステップの品質」が明確になっているか
（源流，上流，中流，下流の品質目標を決める）

源流品質＝技術開発用，上流品質＝商品開発用
中流品質＝製造管理用，下流品質＝マネジメント用

（３）「技術開発」が「商品開発」に先行しているか
① 先行性＝商品企画に先行している
② 汎用性＝沢山の品種に適用できる
③ 再現性＝市場においても再現する

⑤製造技術で品質改善
（加工性の向上で品質改善を行っているか）

（１）加工機械の「加工精度」が分かっているか
（実物を加工して「ＳＮ比誤差」を求める）

（２）「形状誤差（反りや円筒度）」は測れない
（加工機械の機能性を評価した「ＳＮ比」で求める）

（３）半田付けなどは「汎用技術」になっているか
（半田付け品質は「電圧－電流特性」で評価する）

（４）図面やスペックは製造技術で保証されているか
（製造できない図面やスペックは絵に描いた餅である）

（５）「工程条件の最適化」で部品の精度は決まる
（製造工程の「パラメータ設計」を行う）

④商品設計の短縮化
（設計で「品質とコスト」が達成されているか）

（１）機能を満足する「システム選択」ができたか
（独創的なシステムやサブシステムを考案する）

（２）「技術の編集設計」を行っているか
（蓄積された技術を寄せ集めて商品設計を行う）

（３）「パラメータ設計」を省略できないか
（「目標値への調整」だけで設計できること）

（４）「許容差設計」でコスト改善を図ったか
（品質とコストのトレードオフでコスト改善を行う）

（５）「図面やスペック」の設計根拠は明確か
（技術開発の「ノウハウ」を設計根拠にする）