

品質工学が目指すものは何か

- 社会的損失の最小化 -

「もぐら叩き」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)

手段は自由，評価は品質工学

- 第12回 品質工学研究発表大会テーマ -

金賞 シミュレーションによる晶析反応システムの設計
(コニカミノルタ(株))

銀賞 MTシステムによる溶接ロボットケーブル負荷診断
システムの開発 (日産自動車(株))

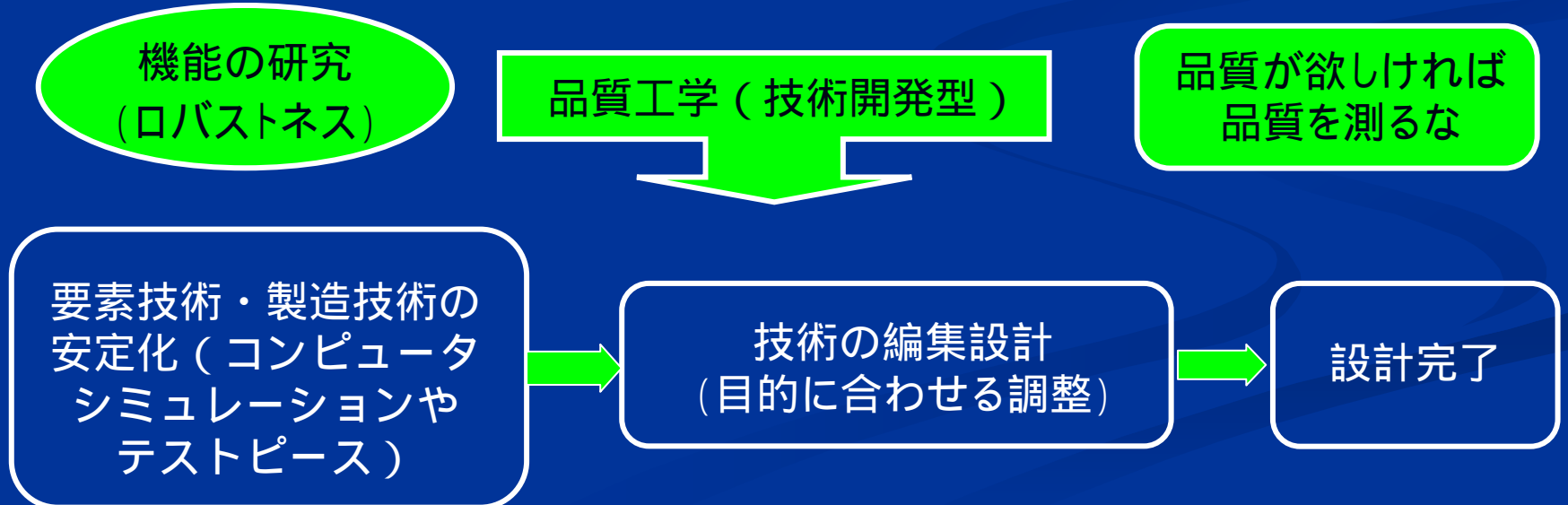
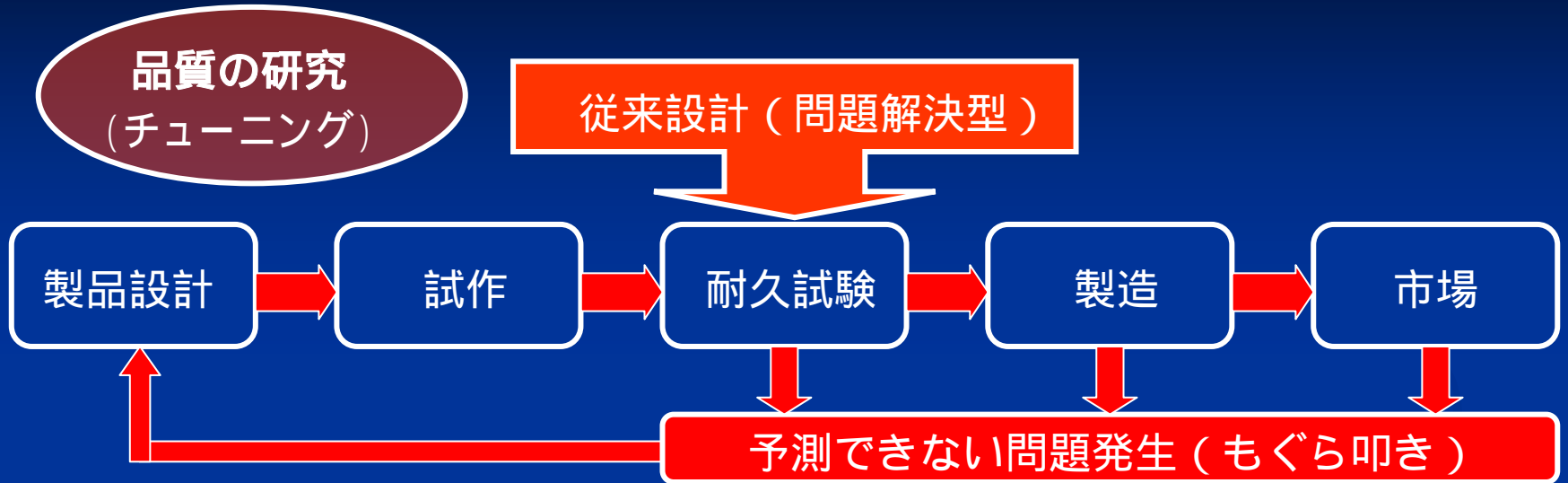
銀賞 シミュレーションによる次世代ステアリング
システムの最適化 (日産自動車(株))

銀賞 MTシステムによる不動産価格の予測

銀賞 世界初ROM・RAM同期記録再生可能な光ディスク
媒体の実現 (株)山形富士通 細川哲夫

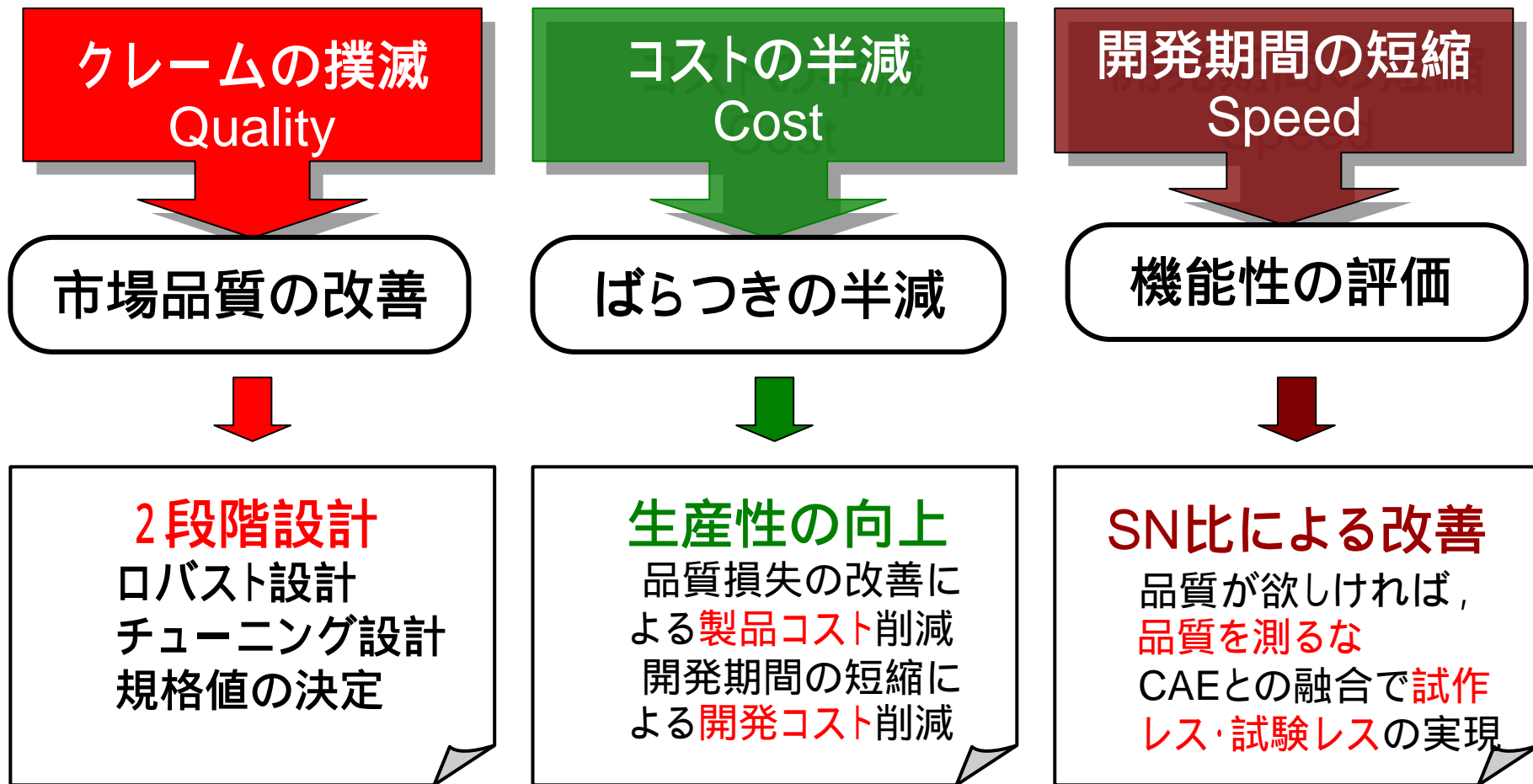
大会実行委員長賞 セイコーエプソンオンライン品質工学
研究会 (セイコーエプソン(株))

「もぐら叩き」からの脱出



品質工学による**経営的効果**

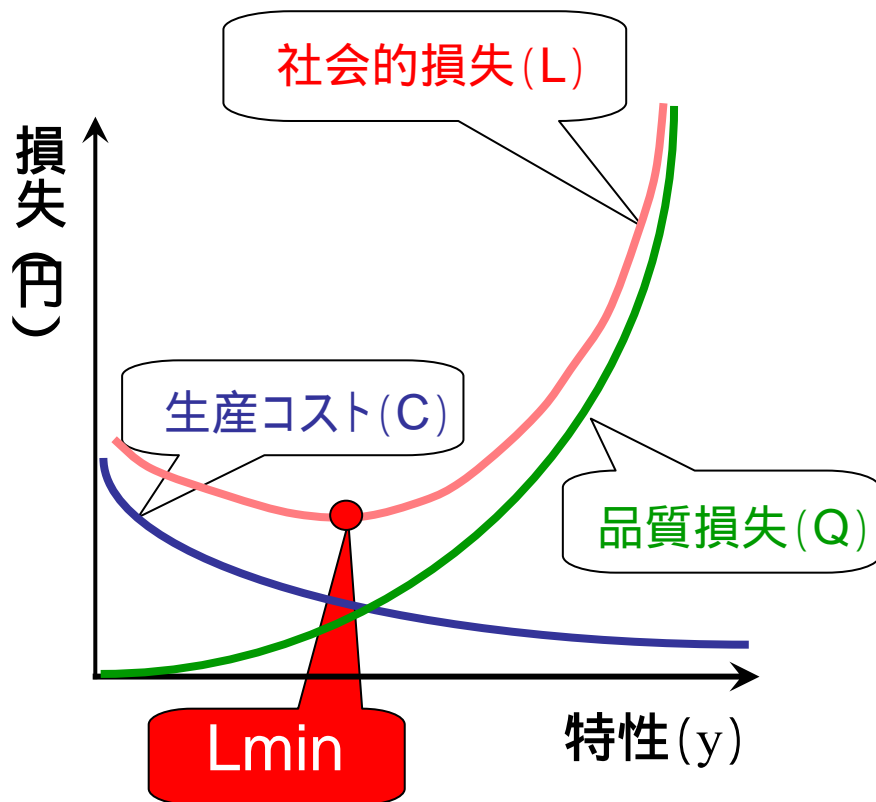
- 技術者の**役割**と**責任** -



社会的な損失の最小化を図る

- 品質工学の本質的な考え方 -

$$\text{社会的損失 (L円)} = \text{生産コスト (C円)} + \text{品質損失 (Q円)}$$

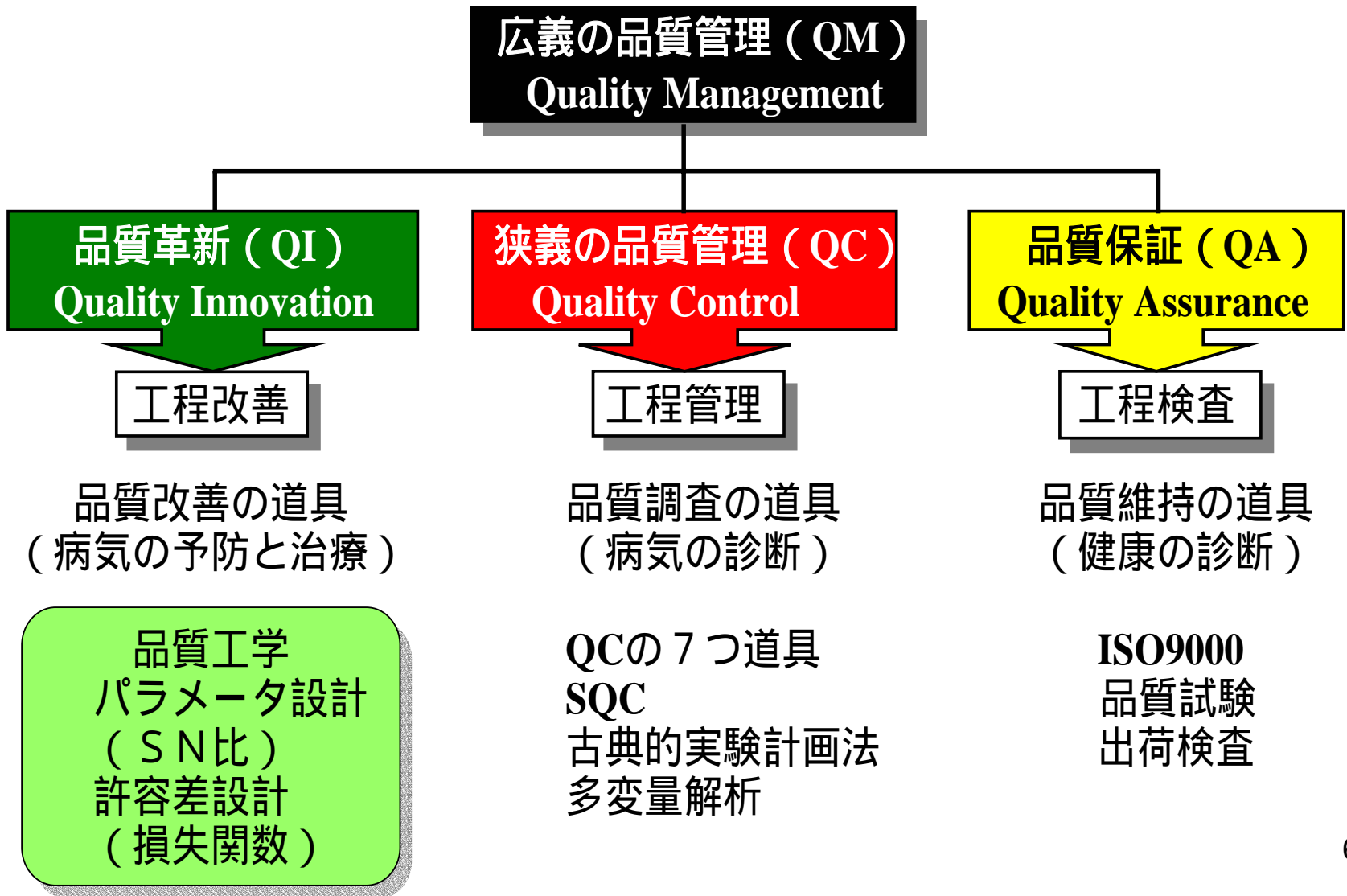


生産活動の本質は市場における生産性(生産コストと品質損失の和)を減らすことである。

・品質損失：機能のばらつき + 使用コスト + 公害などによる消費者側の損失

・生産コスト：変動費や固定費などの生産者側の損失

品質工学の役割



品質工学は評価技術である

- 問題が起こる前に問題を予測 -

- ハ - ドの問題（理想機能を定義）
良品の品質から、クレームを予測する
- ソフトの問題（正常状態を定義）
火災の無い状態から、火災を予測する
地震の無い状態から、地震を予測する
正常な運転状態から、衝突を予測する
人間の健康状態から、病気を予測する
企業の普通状態から、倒産を予測する

体験から得た“モノ造り哲学” - 品質工学との出会い -

- 科学的思考 (原因追求) のモノ造り (1957年 ~ 1980年) から
- 技術的思考 (目的追求) 重視のモノ造り (1980年から) へ

“もぐら叩き”の時代

- 科学的思考 -

開発苦闘時代

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

30台製作して全国の9つの郵政局に納入

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

研究開発・設計・製造・検査の全てを経験する。:個人技能としては蓄積したが会社としての固有技術としては全く残っていない(伝承性)

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

開発から生産まで3年かかり最後まで信頼性問題(カウント精度と寿命)で苦戦

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

古典的実験計画法で要素部品の最適な寸法を決める

1972年 自動時間スイッチの開発

“養鶏や養菊”に使われて農家に大損害を与えた。原因は接点溶着問題

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

スリップ機構のトルク問題で半年足らずで故障して市場クレームが多発した

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

等価回路のシミュレーションで最適設計を行ったはずであるが,信頼性問題で苦戦

品質工学との出会い

- 技術的思考の到来 -

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、唐津一先生の紹介で田口先生と
出会う

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 肩タタキ機(もみもみ)の開発

1970年に開発されたS(soft)-H(hard)変換で顧客が満足するシステムの考案

- ・人体生理の原理・原則を追求でプロのマッサージの指圧の因果関係をモデル化
- ・プロの指圧師の指先に圧力センサをつけて、マッサージ曲線を描いて品質目標を
定量化(仮説検証型)

指圧する = f (指の動き、押す力、指の硬さ)

《開発のプロセス》 S - H変換と品質工学の融合

顧客の要求 目的機能の分析 計測と解析技術開発 システムの選択
パラメータ設計 商品開発へ応用展開(編集設計)

手段は自由，評価は機能性

- マッサージ機の開発事例 (S - H変換) -

1970年代

顧客の声

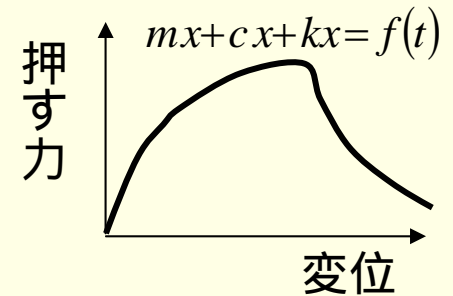
プロのマッサージ師
のような「もみ味」が
欲しい

目的機能の分析

1. もみ機能
2. 伝達機能
3. 駆動機能

計測と解析

(もみ機能)



機能性の改善

1989年

目標値へ調整

製品設計

機能が安定したサブシステムの寄せ集めで「編集設計」

パラメータ設計

入力変位と押す力の評価関数を標準SN比で解析

システムの選択

上記の目標性能を満足する楕円歯車機構を考案する

科学的思考から技術的思考へ

	科学的思考時代 (1957 ~ 1980)		技術的思考時代 (1980 ~ 2003)
	固有技術のみ	管理技術導入	品質工学導入
技術面	理論の世界 性能の追求 製品の良さ()は $\eta = 20 \log \left(\frac{\text{出力}}{\text{入力}} \right)$	「S-H変換」の技術開発 (仮説検証型) ソフトをハードに変換 して「システムの選択」	ハードの理想機能やソフトの正常状態を定義して、不良や異常状態を予測する技術開発や設計
品質面	SQC・実験計画法を習得したが、平均値による「レスポンスの研究」しか行っていない	ばらつきの世界 品質特性の評価 偶然誤差 「製造で品質は作り込め」	ノイズの世界 機能性の評価 必然誤差 「設計で品質を作り込め」
評価	信頼性試験・寿命試験 規格に対する合否の判定 不良率や故障率(MTBF)		「評価」と「試験」は別物 SN比・感度と損失関数

科学者と技術者の違い

- 「**科学者**」とは自然現象を**解明**して一つの**原理**を発見する人である。
(WHY型思考)

- 「**技術者**」とは自然現象を**利用**して、目的機能を満足する無数のシステムの中から、**経済的に最適な答え**を出す人である。
(WHAT型思考)

科学と技術は別物

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

ロケット打ち上げの失敗

H2型ロケットが失敗した原因は「極低温化で設計の限界を超えたキャビテーションと振動による疲労破壊だった」という発表が行われた。(科学的な思考)

品質工学的に説明すれば「使用環境条件であるノイズを考えて設計していなかった」ということで技術的な思考が不足していたということである。

実験計画法と品質工学の違い

- 問題の原因を調べるな -

- 自然科学では、レスポンスの研究が目的である。（原因追求）
- 直交表に制御因子や変動因子を割り付けて、因子間の主効果と交互作用で収率などの性能向上を図る。
- 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。（等分散）

- 小規模実験で大規模生産工程のロバスト設計をする。（目的追求）
- ノイズと制御因子の善玉交互作用は重要で制御因子間の悪玉交互作用は無用である。
- 直交表の外側にお客の使用条件（信号とノイズ）を内側に設計条件を割り付けてSN比の再現性を図る。（不等分散）

技術開発の“マネジメント戦略”

- 技術責任者の役割 -

(1) 開発テーマと担当者の選択

(2) システムの創造(考案)

(3) システムの評価と改善

- パラメータ設計 -

(4) 設計のためのツール

組織の役割と責任

- 商品企画部 (品種の100%責任)
- 開発設計部 (クレームの94%責任)
- 生産技術・製造部 (クレームの6%責任)
- 品質保証部 (クレームの100%責任)
- 品質管理部 (製造ミスの100%責任)

開発・生産プロセスと品質工学

1. 開発設計段階の品質工学

1.1 システム設計

1.2 パラメータ設計

1.3 許容差設計と許容差の決定

2. 製造段階の品質工学(工程管理)

2.1 フィードバック制御

2.2 工程の診断と調節

2.3 検査設計

“顧客が満足する”品質とは？

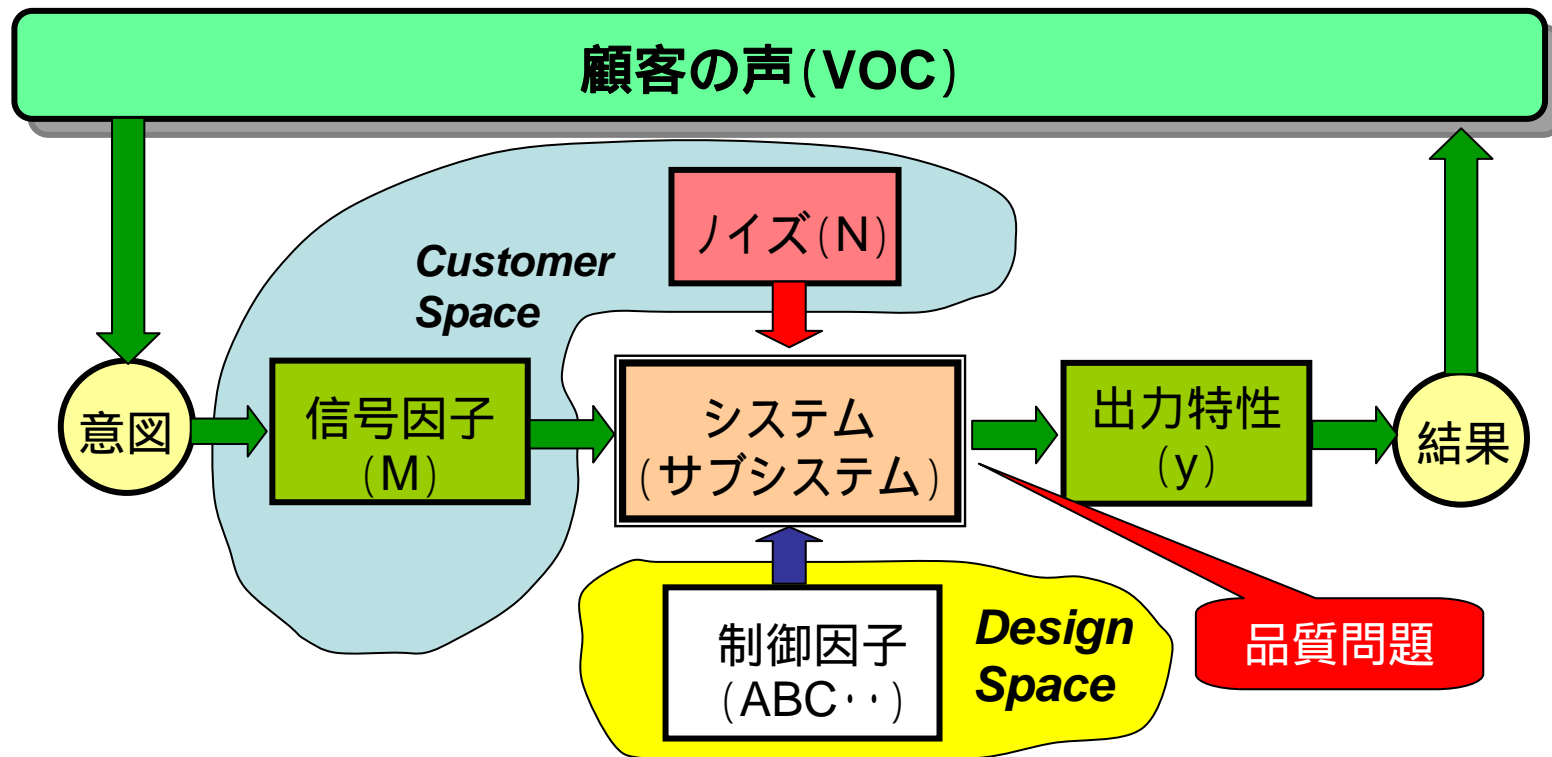
- “**商品品質**”は機能，デザイン，価格，設計寿命などの**価値問題**
- “**技術品質**”は機能のばらつき，使用コスト，公害による**損失問題**

“技術品質”とは何か

■ **技術品質**とは、商品を出荷後社会に与える**損失**である。ただし、機能による損失は除く。

1. **機能のばらつき**による**損失(故障)**
2. **使用コスト**(燃費や消費電力)による**損失**
3. **弊害項目**(騒音や発熱や公害)による**損失**

システムの「機能性」を改善すれば 品質(発熱や騒音や振動)も改善できる

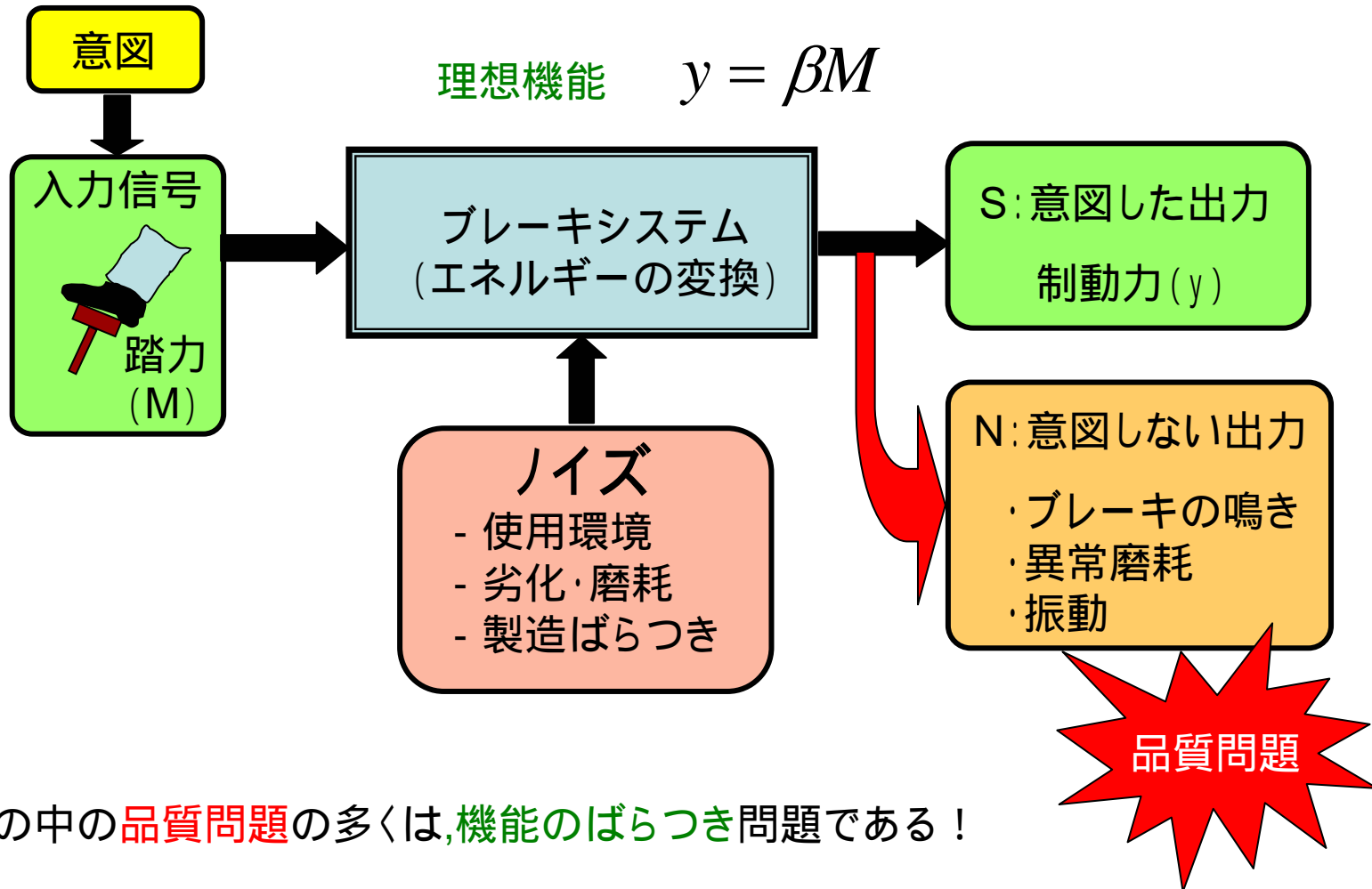


顧客満足度
(SN比)

$$\eta(db) = 10 \log \frac{\beta^2}{\sigma^2} = \frac{\text{顧客が欲しい機能(信号)}}{\text{顧客が望まない機能(ノイズ)}}$$

機能性と品質問題

- ブレーキシステムの例 -



世の中の品質問題の多くは、機能のばらつき問題である！

ノイズとの戦い

- 市場では1個の品質が重要 -

■ 受動的なノイズ

- ・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) $\beta^2 T^2 / 3$
- ・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

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

■ 能動的なノイズ

テロや贋金やコンピュータウイルスなど

システムの**評価**はSN比で

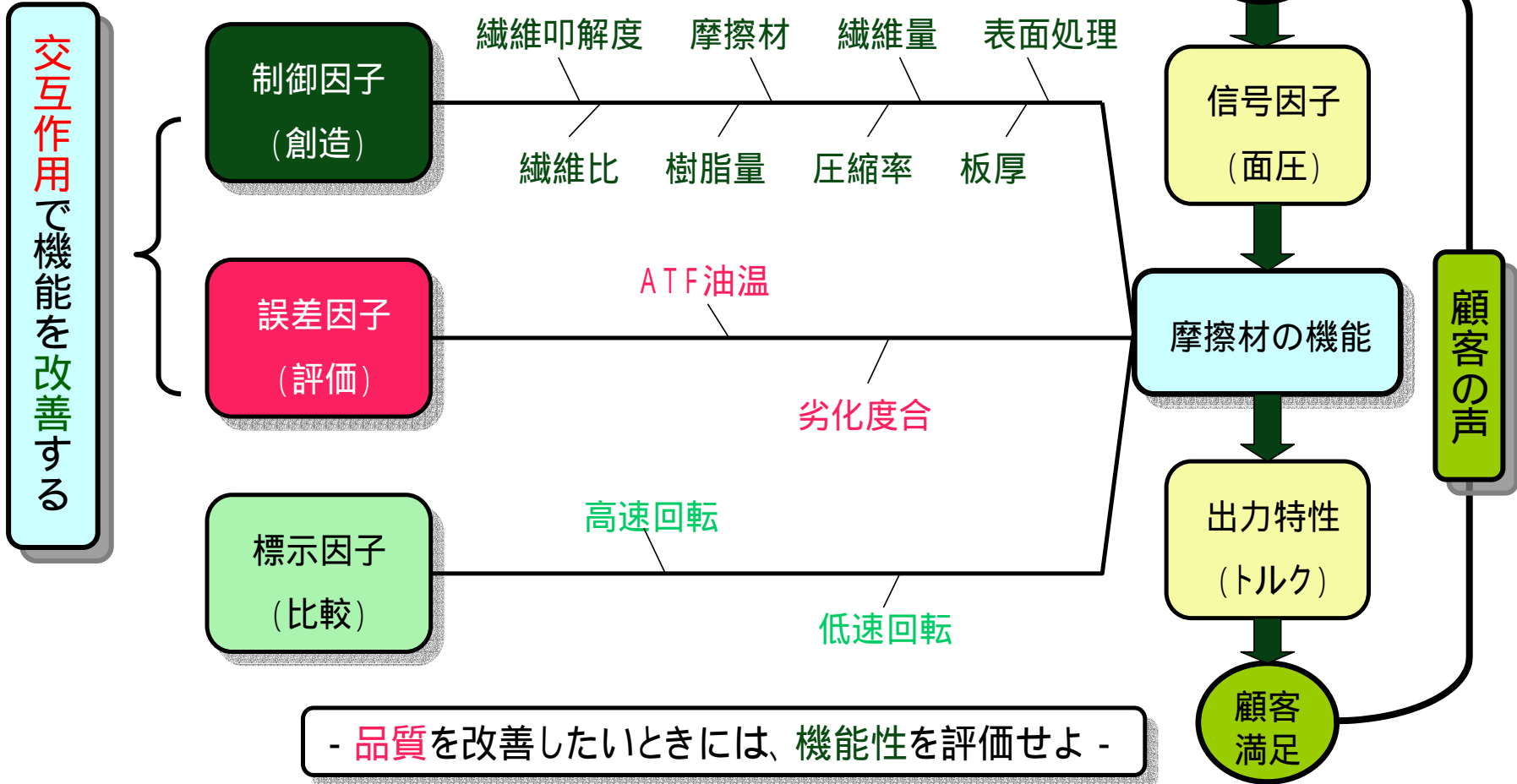
- SN比は**顧客満足度** -

- 顧客が欲しいものは、入力と出力の比例関係の**感度(性能)** $=y/M$ (**理想機能**)で決まる。
- 顧客が欲しくないものは、機能を乱す**ノイズの影響**である。
- システムの**評価**はSN比(両者の比)で行う。
すなわち、**感度の大きさ/ノイズの影響**

$$\left(= \frac{2}{2} \right)$$

- **技術者の能力**はSN比と**感度**で決まる -

機能性の評価と改善

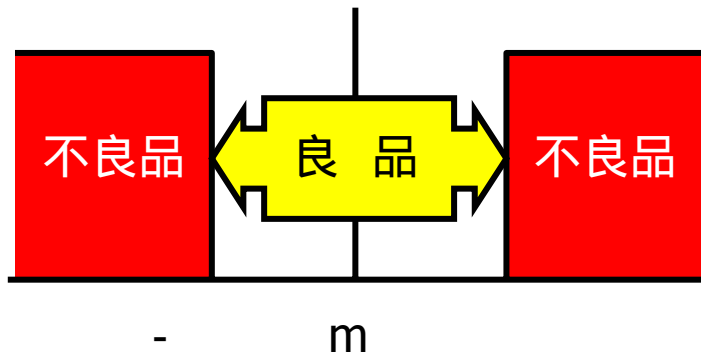


“技術品質”の評価尺度

- 「SN比」と「損失関数」 -

品質管理の考え方

- 生産者の立場 -



:出荷規格 m:目標値

「不良率や故障率」で合否の判定を表す

$$\text{不良率} \quad p = (r/N) \times 100\%$$

$$\text{故障率} \quad = [r/(N - t)] \times 100\%$$

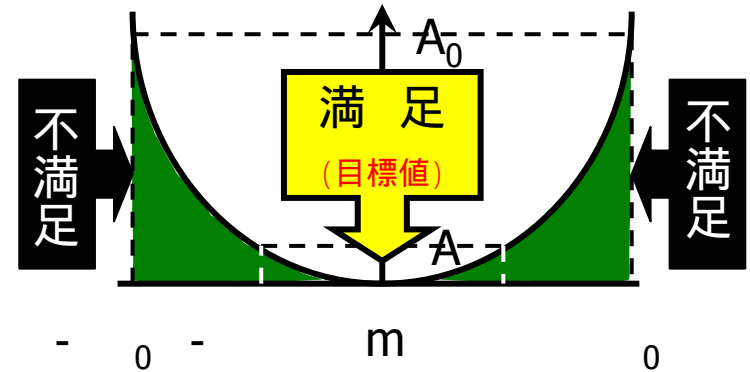


良品には損失はないと判断する

品質工学の考え方

- 消費者の立場 -

損失L(円)



:出荷規格 0:機能限界 m:目標値

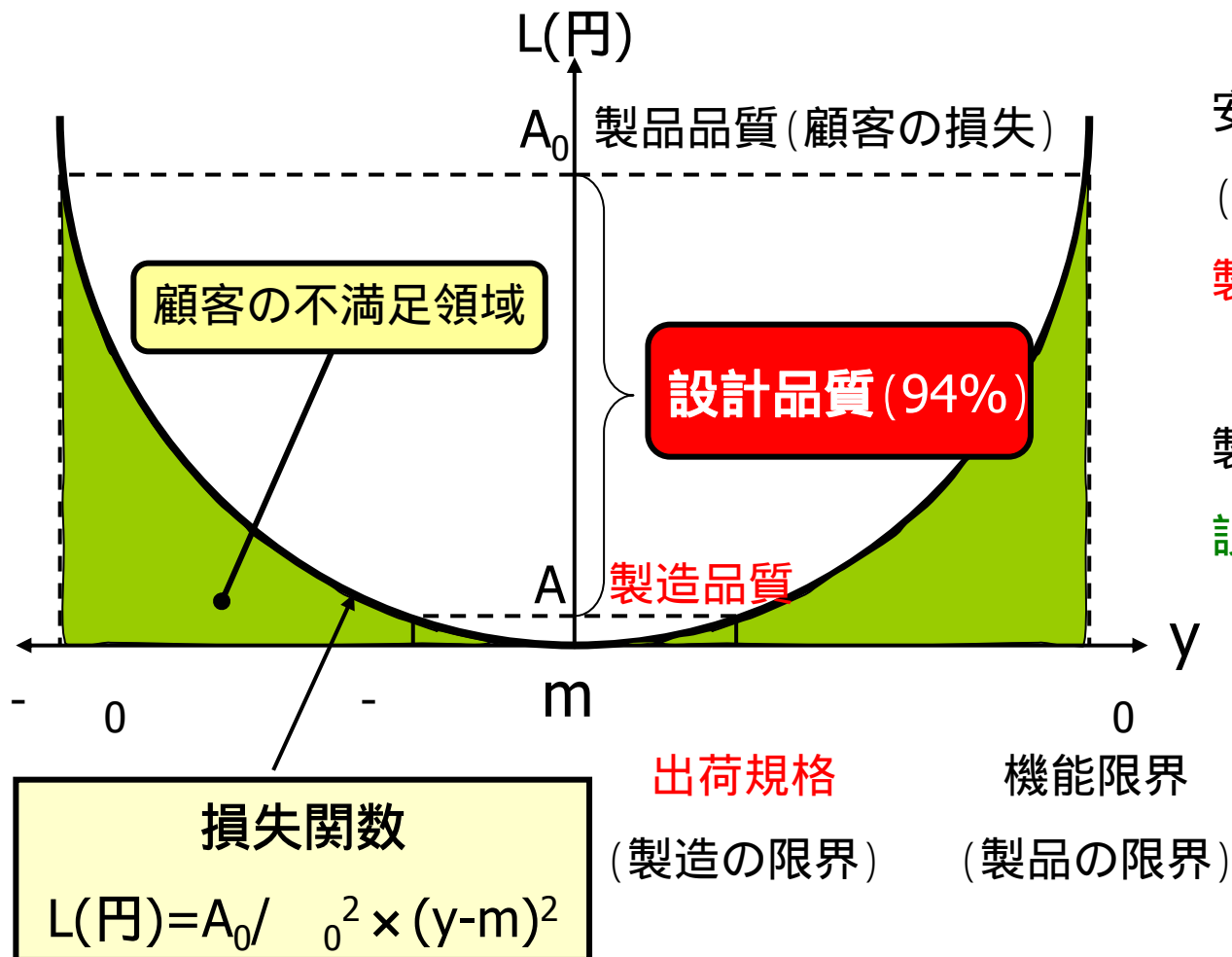
A:生産者損失 A0:消費者損失

「損失関数」で製品の品質損失を表す

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

$$= m^2 / \sigma^2 (\text{SN比})$$

クレームの94%は設計責任



安全率 = $\sigma / \sigma_0 = 4$ の場合

$(\sigma / \sigma_0)^2 = A_0 / A$ であるから

$$\begin{aligned} \text{製造品質} = A &= (1/16)A_0 \\ &= 0.0625A_0 \end{aligned}$$

製品品質 = A_0

設計品質 =

製品品質 - 製造品質

$$\begin{aligned} A_0 - A &= (15/16)A_0 \\ &= 0.9375A_0 \end{aligned}$$

品質は“不良率”では分からない

- 不良率・故障率から損失関数へ -

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。**



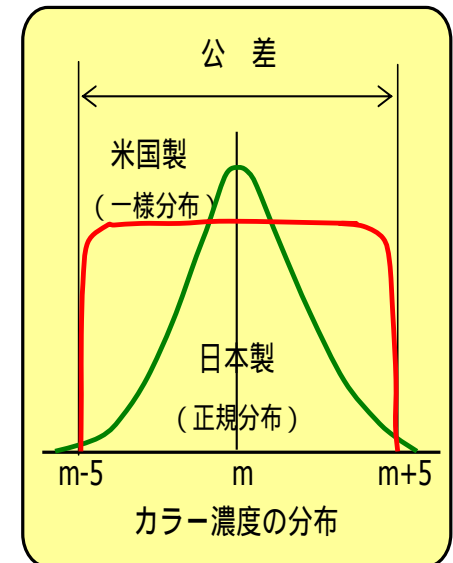
不良率では日本製の方が悪いの
に、**損失関数**では日本製の方が
約1/3の損失金額で市場の評価
が高いことが分かる。

米国製のTVの標準偏差

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

日本製のTVの標準偏差

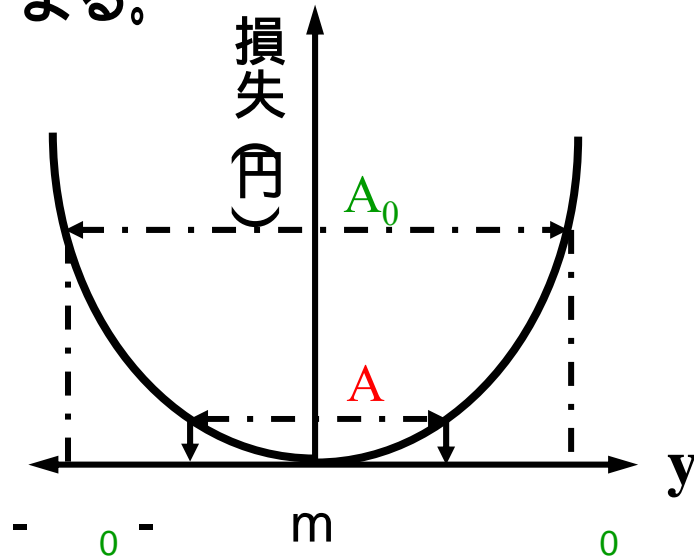
$$\text{正規分布} : \sigma = \frac{2\Delta}{6}$$



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%

“規格”は相手との契約で決まる

- **規格** (生産者の許容差) は **機能限界** (顧客の許容差 Δ_0) から決まる。



$$\text{損失関数 } L = \frac{A_0}{2 \Delta_0^2} y^2 (\text{円})$$

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

- 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
- m : 目標値

JIS Z8403 (規格値の決め方通則)

JIS K7109 (プラスチック寸法許容差の決め方)

プラスチックの寸法許容差の決め方

(JIS K7109)

参考表

No.	機能	基準値 m (mm)	組立者側 が決めた 許容差 (mm)	生産者側 の損失 A (円)	使用者の 段階にお ける許容 限界値 A_0 (mm)	使用者の 段階にお ける平均 損失 A_0 (円)	本規格に よって求 めた許容 差 Δ (mm)
1	外径	3.95	0.040	30	0.11	5 000	0.009
2		5.40	0.020	6	0.04	100	0.018
3		6.00	0.100	300	0.18	10 000	0.028
4		6.00	0.050	10	0.10	1 500	0.008
5		6.11	0.015	30	0.08	5 000	0.006
6		6.30	0.050	55	0.15	10 000	0.011
7		30.00	0.040	5	0.15	1 500	0.009
8		30.00	0.200	500	0.30	2 000	0.150
9		38.50	0.120	400	1.00	15 000	0.163
10		39.15	0.100	600	0.13	2 000	0.071
11		41.30	0.035	250	0.15	6 000	0.031
12		60.00	0.025	30	0.08	5 000	0.006
13		120.00	0.150	25	0.23	20 000	-0.026

安全設計の考え方

安全設計の考え方

事例：1988.1.5東京のあるディスコで、1.6tf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 $L = A_0 A_0^2 / y^2$ 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 $A_0 = 1.6tf$ を越えた時の損失は $A_0 = 1.55 \times 6 = 9.3$ 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		安全設計あり	
			品質損失Q(万円)	合計L(万円)	品質損失Q(万円)	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	

安全設計がない場合、チェーン本数は15本が最適解で20倍の安全係数が必要であるが、安全設計がある場合には、2本が最適解で2.6倍の安全係数があればよいことになる。その時の引張強度の規格は $\Delta = \sqrt{200 / 30} \times 1.6 = 4.1tf$ であり、実際の強度は6.4tfであるから、十分な安全設計が行われたことになる。

今回の事例は、安全設計をしなかった「システム設計」の誤りと、安全設計をしていないのに、十分な安全係数をとる「許容差設計」をしていなかった2重の誤りによる事故である。

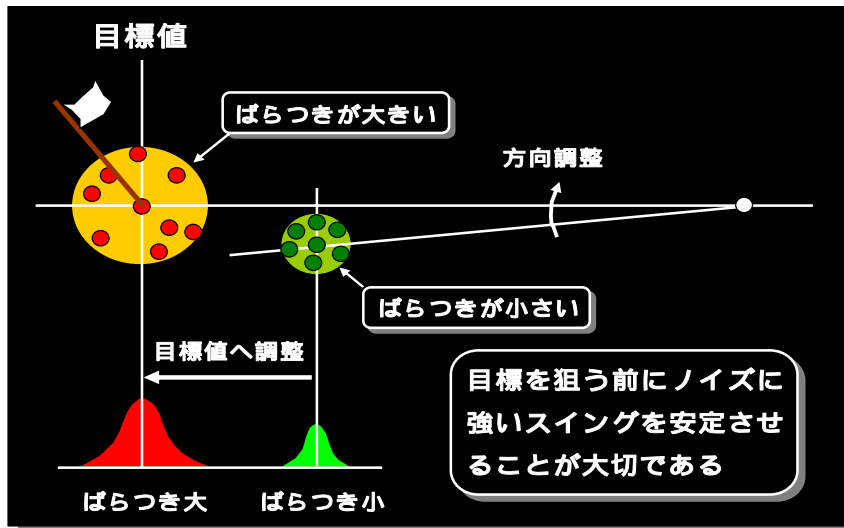
■ **安全設計**とは、信頼性設計に頼るのではなく、事故が起きたときに被害を最小にする設計である。

■ 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。

ゴルフスイングと品質工学

ゴルフが上達するためには

「安定性」と「調整性」

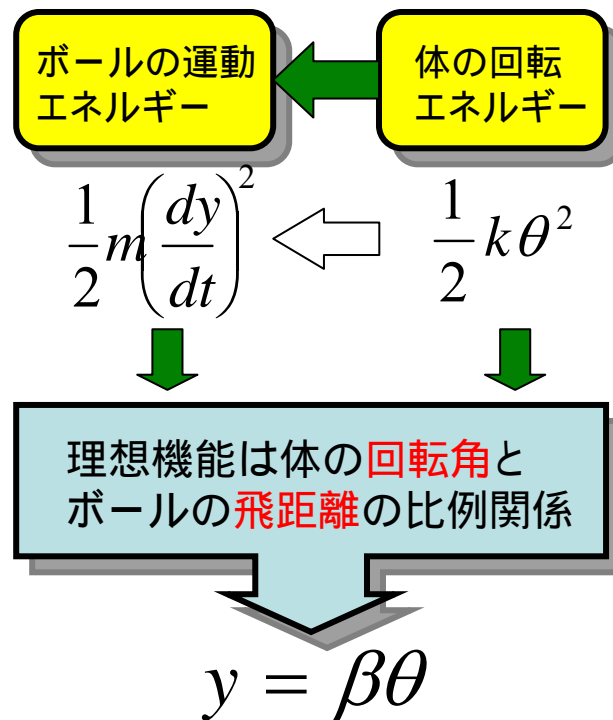
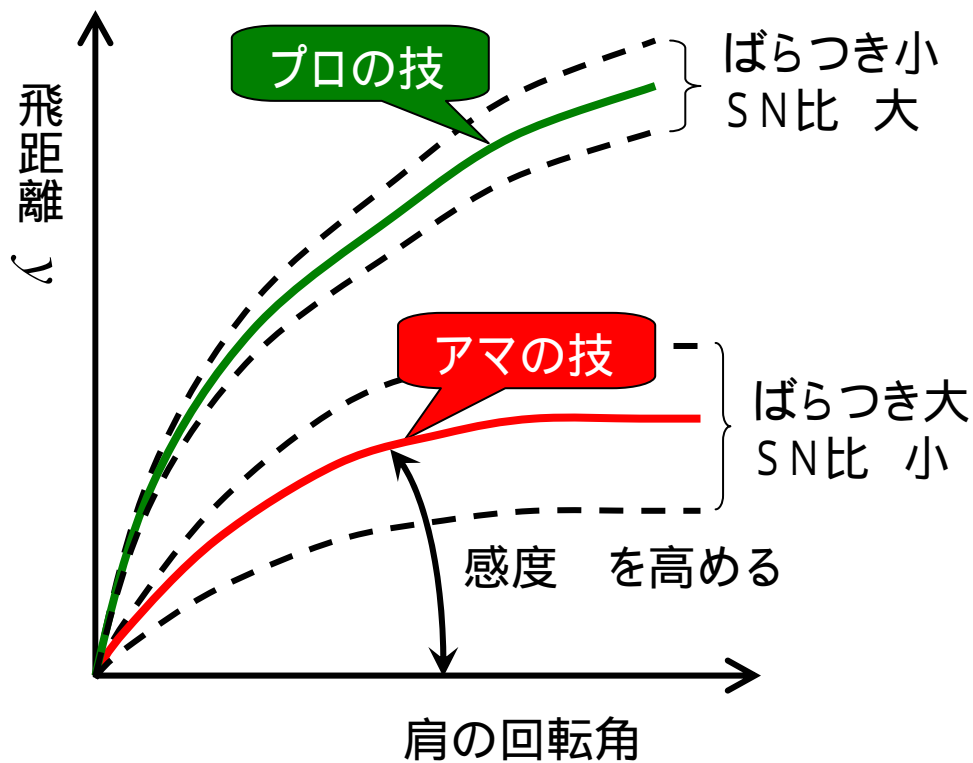


1. 打球が落ちる場所が集中すること—安定性
(技術開発で「テストピース」で機能性を改善)
一本のクラブ(例えば7IかPS)で「ノイズ」に対し
て打球が安定するように「スイングの最適化」を図る
2. 目標の距離と角度を調整する—調整性
(商品設計で「実際の製品」で目標値へ調整)
スイングが安定した後で、クラブの種類やアドレスを
変えて「目標値へのチューニング」を図る

- **ノイズ**はボールを打つ場所や風向やメンタル面や体力など使用環境
- **信号因子**は肩の回転角
- **出力特性**は飛距離
- **標示因子**はクラブの種類(ウッドやアイアン)
- **制御因子**は手足腰など体の部位やスイングの軌道

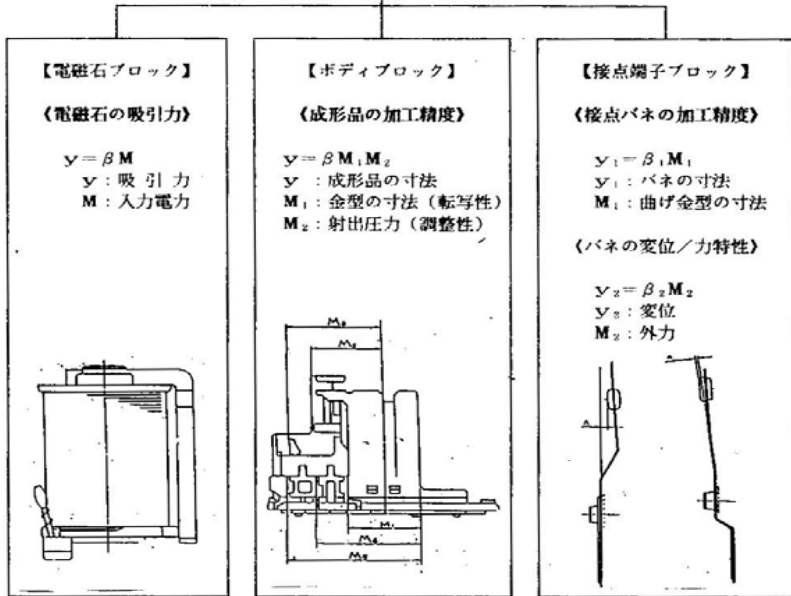
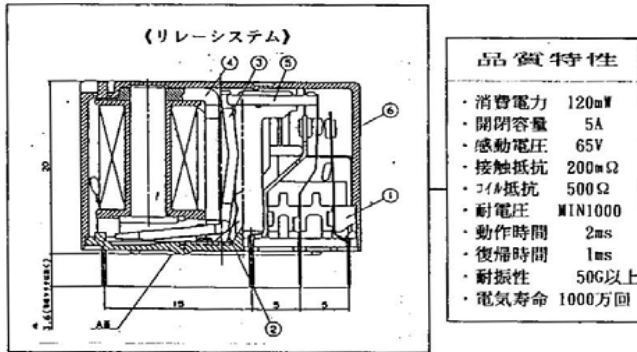
ゴルフスイングの安定性と調整性

- ばらつきを改善してから飛距離を調整する -
(2段階設計)



電磁リレーの要素技術・製造技術開発

“品質”を改善したいときは，“機能”を測れ



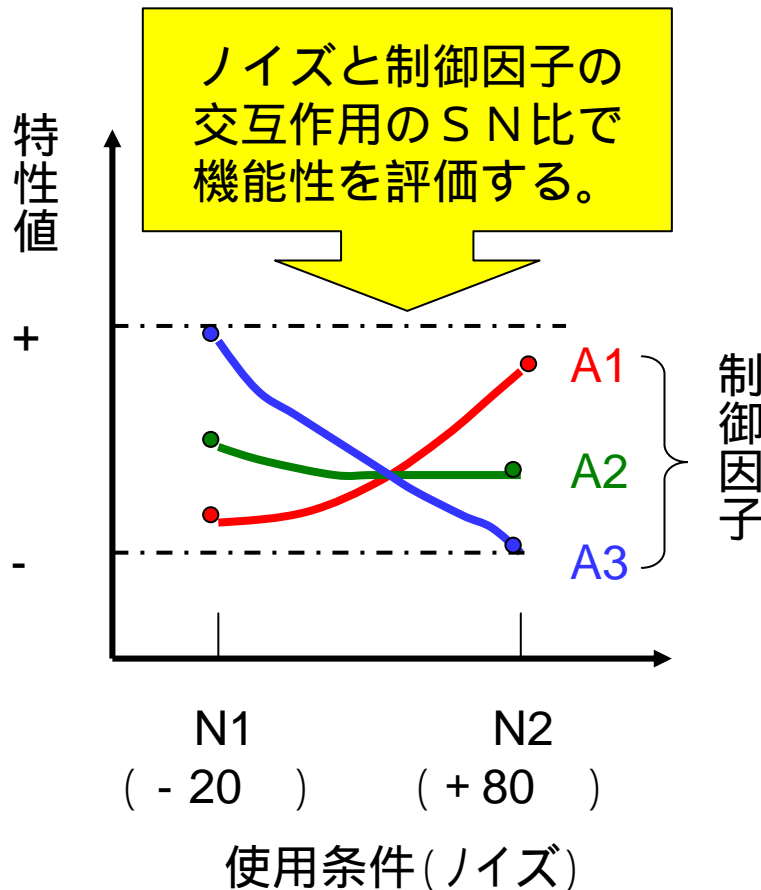
接点の開閉技術の確立
 $y_s = \beta_s M$
y_s: 電圧降下
M: 電流

接点の溶接技術の確立
 $y_s = \beta_s M$
y_s: 溶接強度
M: 溶接長さ

■ サブシステムの機能性の評価と改善 (パラメータ設計)

1. 電磁石機構の機能
2. 接点ばねの機能
3. 成形品の加工機能
4. 接点の開閉機能
5. 接点溶接加工機能

試験 (testing) から 評価 (estimation) へ



- **信頼性試験や寿命試験**では、特定条件で規格 に対する合否の判定を行う。しかし、千差万別の使用条件で試験ができるはずがない。左図では3種類 (A1A2A3) と同じ品質と評価する。
- **機能性評価**では、使用条件であるノイズで機能のばらつきを S N 比で評価してシステムや部品の品質の比較を行う。左図ではA2の部品や製品がノイズに強くて品質が最高であると評価する。

(例) キャラメル的配合成分 (A)

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

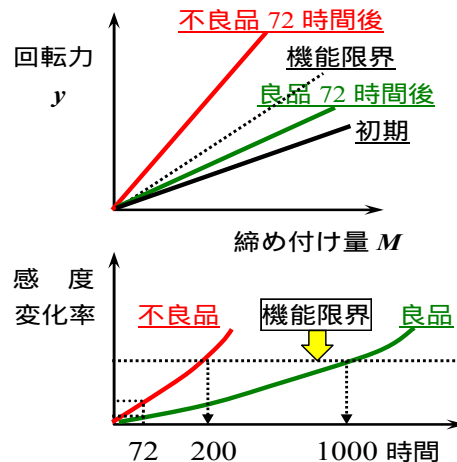
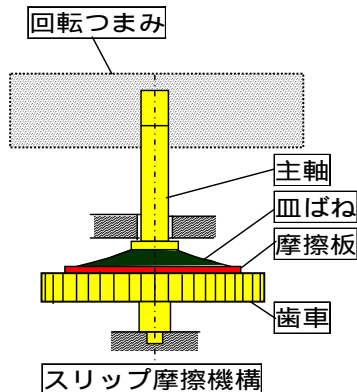
問題を起こしたスリップ機構の「理想機能」を決める
理想機能は、「締め付け量 M と回転力 y との比例関係」
 $y = BM$ である。

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 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**で故障した。(標準条件)

- **最も厳しい124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。

電解コンデンサの品質評価の比較

- 「品質」を改善したいときには、「機能」を改善せよ -

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 (望小特性)

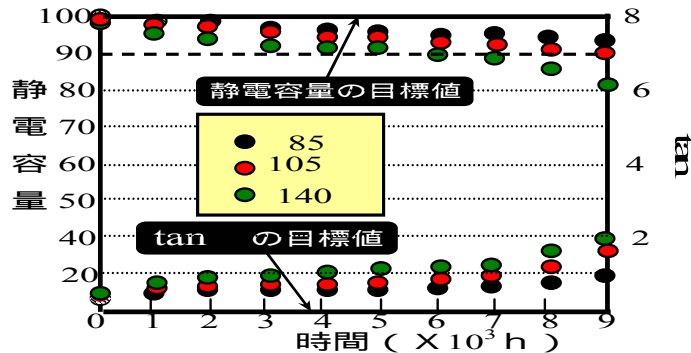
目標値 $y = 0$

S N比 $\eta = -10 \log(\sum y^2) / n$

4. 耐電圧 (望大特性)

目標値 $y =$

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・放出の動きが安定化」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

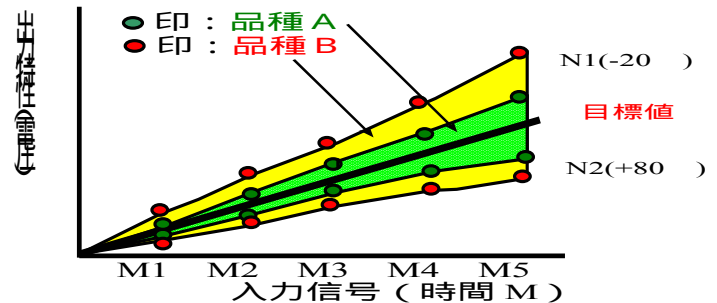
$\eta (db) = 10 \log \beta^2 / \sigma^2$

・ 市場の品質損失は

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

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。



プラスチックの機能性の評価



一般物性 (代表値)

項目	試験法	単位	ガラスキャスト	連続製板
			アクリライトS	アクリライトL
全光線透過率	JIS K7361-1	%	93	93
ヘーズ	JIS K7136	%	0.5	0.5
屈折率	JIS K7105		1.49	1.49
日射透過率	JIS R3106	%	88	88
引張強さ	JIS K7113	MPa	76	75
引張破断ひずみ	JIS K7113	%	4.5	4.5
曲げ強さ	JIS K7203	MPa	125	120
曲げ弾性率	JIS K7203	MPa	3.2×10^3	3.2×10^3
ロックウェル硬度	JIS K7202	Mスケール	100	100
アイソット衝撃強さ	JIS K7110	kJ/m^2	2.0	2.0
シャルピー衝撃強さ	JIS K7111	kJ/m^2	17	17
比熱容量	JIS K7123	$\text{J/g}\cdot^\circ\text{C}$	1.5	1.5
荷重たわみ温度	JIS K7207(A法)	$^\circ\text{C}$	105	100
線膨張係数	JIS K7197	$^\circ\text{C}^{-1}$	7×10^{-5}	7×10^{-5}
表面抵抗率	JIS K6911	Ω	$>10^{16}$	$>10^{16}$
電荷半減時間	スタチックオネストメーター	sec	∞	∞
テーパー摩耗 ^{*1}	JIS K7204	ヘーズ%	40	40
落砂摩耗	ASTM D673	ヘーズ%	30	30
比重	JIS K7112		1.19	1.19
吸水率	JIS K7209	%	0.3	0.3
燃焼性	JIS K6911		可燃性	可燃性
		UL94	HB	HB

1MPa=10.2kgf/cm²

*1: 500gの荷重で円筒形砥石(CS-10F)を100回転させた後のヘーズ

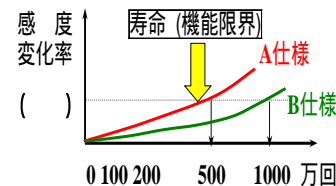
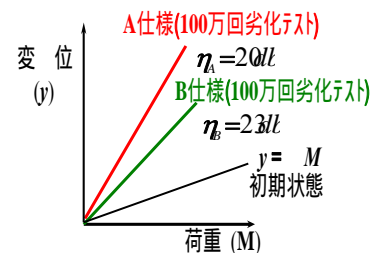
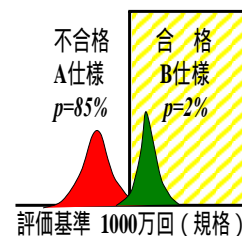
材料の寿命試験 (Testing) と機能性評価 (Estimation)

従来の寿命試験

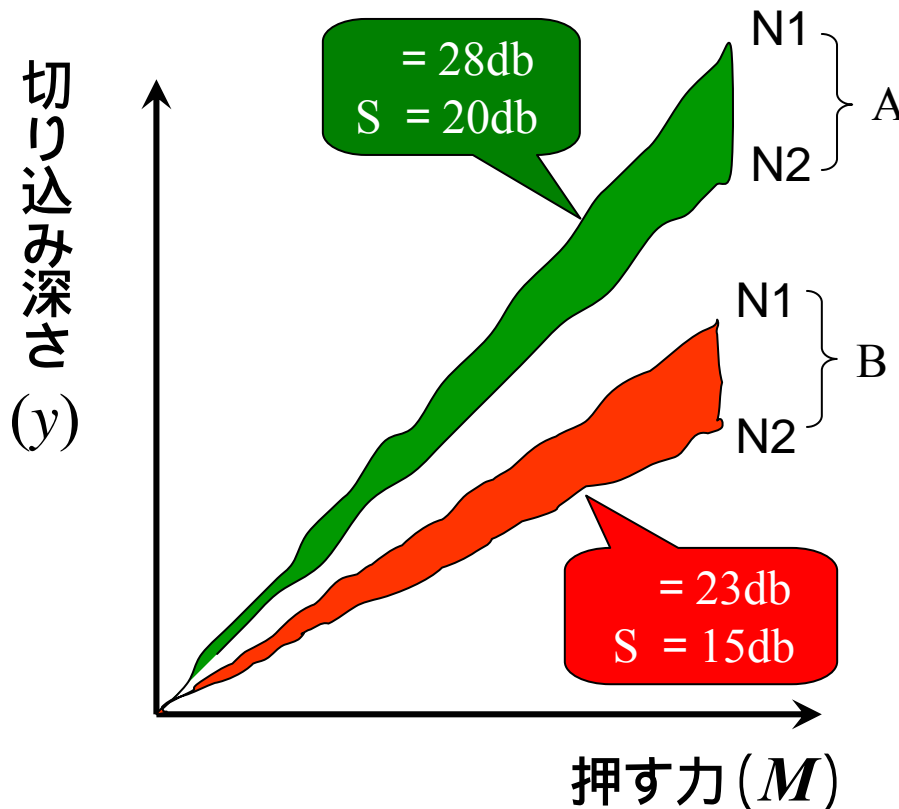
- 「破壊」した状態を見る
- 破壊した回数 -
- 「N個の試料」が必要
- 偶然誤差 -
- 「規格」に対する合否
- 不良率(p%) -
- 「長時間」が必要である

機能性評価と寿命推定

- 正常の「機能」を見る
- フックの法則 -
- 「1個の試料」でよい
- 必然誤差 -
- 「初期値からのずれ」
- S/N比(db) -
- 「短時間」で予測できる



カッターの機能性の評価



理想機能 $y = M$

押す力と(信号因子)と切込
深さ(出力特性)の比例関係

ノイズ

N1:初期(または軟かい材料)

N2:劣化後(または硬い材料)

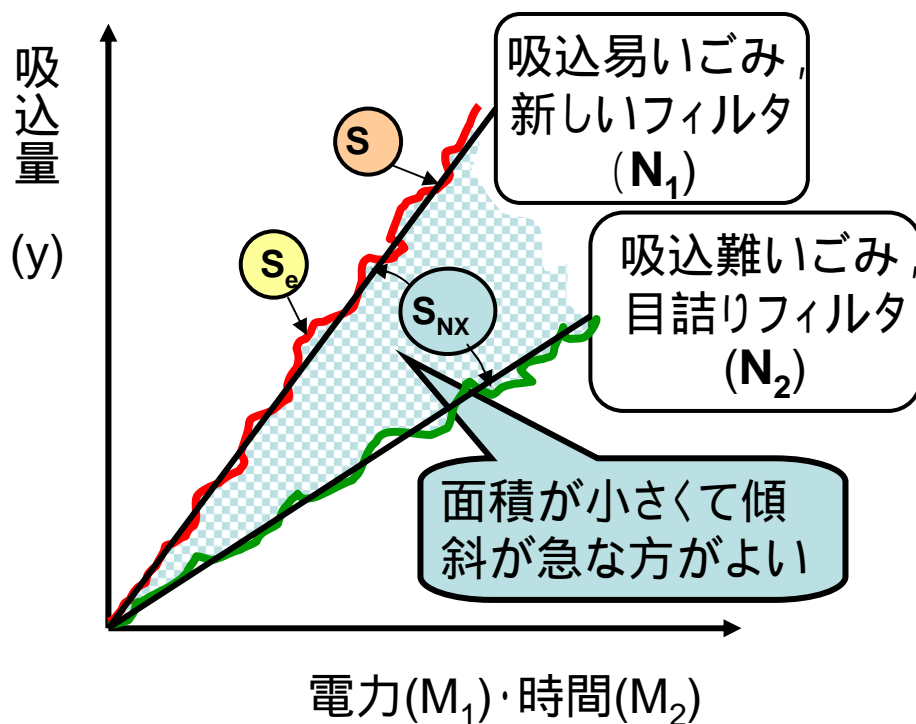
AとBの品質を比較した場合
Aの方が切れ味がよく(感度大)
で寿命も長い(SN比大)

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

$$\text{感度 } S = 10 \log \beta^2$$

掃除機の機能性の評価

掃除機は電力と時間の2信号と塵の吸込量の比例関係で
吸込性能と作業能率の「機能性の評価」を同時にできる



吸込性能の安定性 (SN比)

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

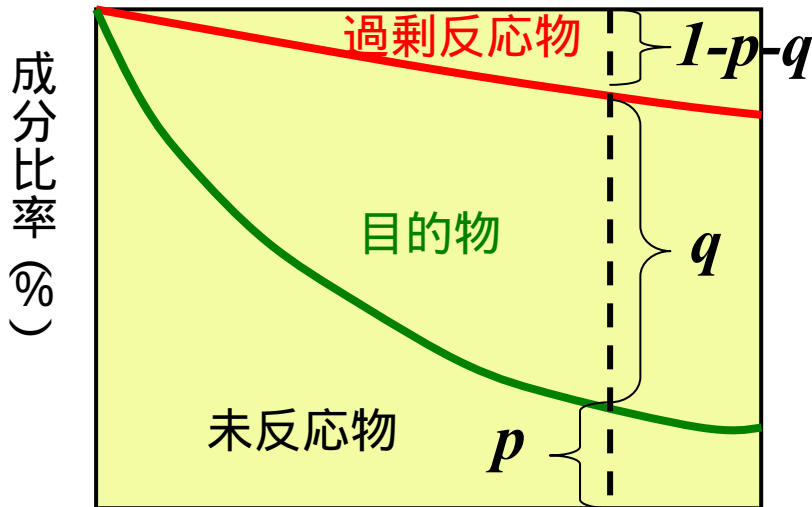
吸込性能 (感度)

$$S(\text{db}) = 10 \log \beta^2$$

理想機能: $y = \beta M_1 M_2$

重合反応の機能性の評価

化学反応は分子の衝突現象なので
反応速度は原料濃度に比例すると
 いう考えに基づき, 反応生物中の未
 反応含有率を p として, 次式を基本
 機能とする。



理想機能 $p = e^{-\beta T}$
 目的物 + 過剰反応物の反応速度

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

対数変換して $\ln(1/p) = \beta_1 T$

過剰反応物の反応速度

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

対数変換して $\ln[1/(p+q)] = \beta_2 T$

SN比は $\eta(db) = 10 \log(\beta_1^2 / \beta_2^2)$

過剰反応物が少なく, 短時間に
目的物ができる重合反応の最適
 化を図る。

CdS素子の機能性の評価(1)

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 **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、

$$I = y, 1/R = \beta, V = M \quad \text{とおくと}$$

理想機能は

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

で表わされる。

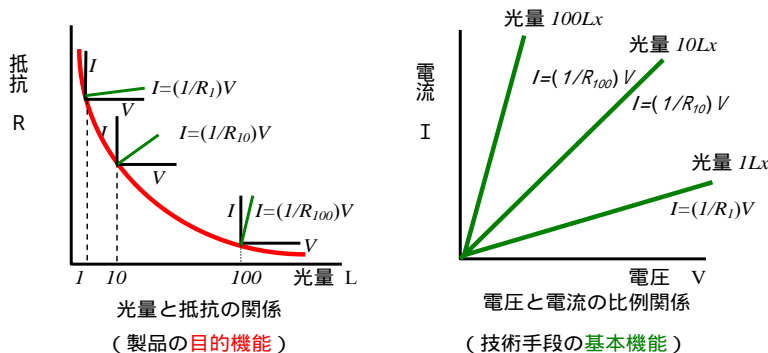


図1 CdS素子の機能説明図

- 購入部品の評価を行うとき、従来は**品質特性**について、規格に対する合否の判断を行ってきたが、**機能性の評価**に変えることで短期間に正しい市場における評価が可能になる。

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ため、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)	y11(2.5)	y12(11.0)	y13(20.0)	L1=373.0
	A2(10lx)	y21(20.0)	y22(93.0)	y23(170.0)	L2=3164.0
	A3(100lx)	y31(184.0)	y32(820.0)	y33(1480.0)	L3=27648.0
N2(劣化後)	A1(1lx)	y41(2.5)	y42(10.2)	y43(18.2)	L4=341.4
	A2(10lx)	y51(21.0)	y52(90.0)	y53(164.0)	L5=3058.0
	A3(100lx)	y61(178.0)	y62(800.0)	y63(1400.0)	L6=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)

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

抵抗値の大きさ(感度)

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

- 評価実験では光量を標示因子、劣化をノイズとして入力電圧と出力電流のデータを求める。

- データ解析では、抵抗の機能性をSN比で、抵抗値を感度で求めて評価する。

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
	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
	-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MaxとMin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。

パラメータ設計 (2段階設計)

目標値 m を達成するには (A1B1) でもできるが、(A2B2) の方が安定性が高く、目標値に合わせられる

× $m=f(A1,B1)$
 $m=f(A2,B2)$

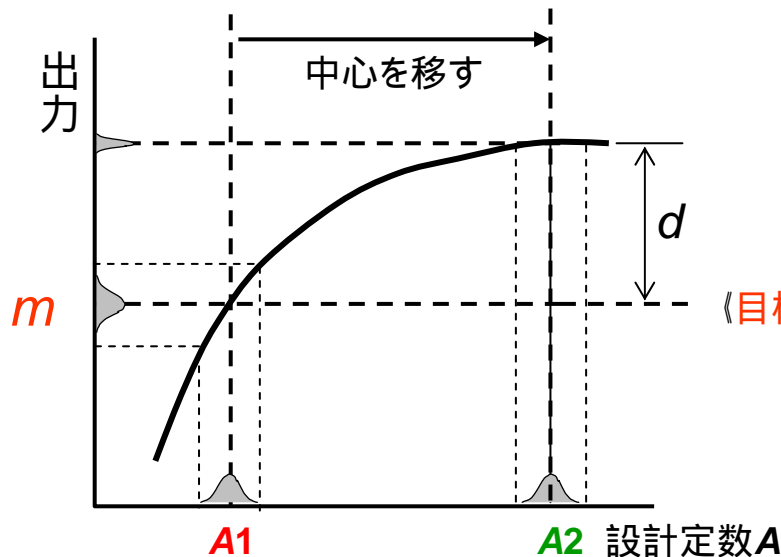


図 1 出力のばらつきを減らす
(ロバストネス設計)

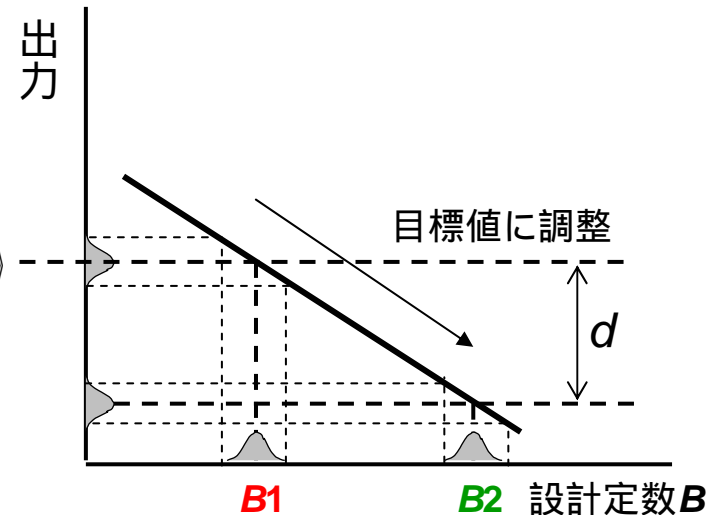


図 2 出力を目標値に合わせる
(チューニング設計)

パラメータ設計の原理 (2段階設計法)

パラメータ設計における実験計画

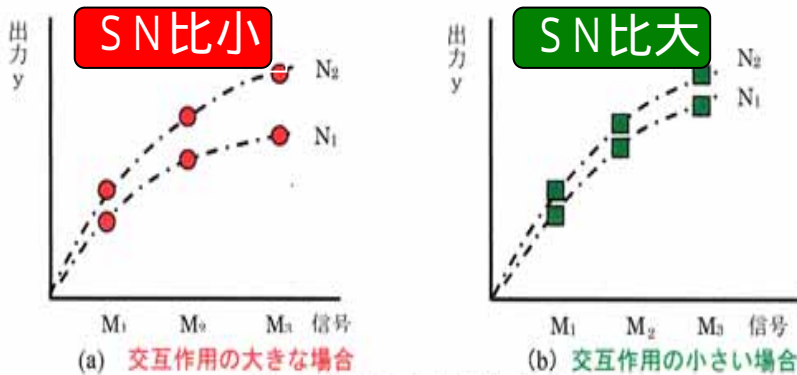


図1. 信号因子による出力の変化

列 行	A	B	C	D	E	F	G	H	M1		M2		M3		SN比	感度
									N1	N2	N1	N2	N1	N2	η db	S db
1	1	1	1	1	1	1	1	1	y_{11}	y_{12}	y_{21}	y_{22}	y_{31}	y_{32}	η_1	S_1
2	1	1	2	2	2	2	2	2							η_2	S_2
3	1	1	3	3	3	3	3	3							η_3	S_3
4	1	2	1	1	2	2	3	3							η_4	S_4
5	1	2	2	2	3	3	1	1							η_5	S_5
6	1	2	3	3	1	1	2	2							η_6	S_6
7	1	3	1	1	3	3	1	1							η_7	S_7
8	1	3	2	2	1	1	2	2							η_8	S_8
9	1	3	3	1	3	2	1	2							η_9	S_9
10	2	1	1	3	3	2	2	1							η_{10}	S_{10}
11	2	1	2	1	1	3	3	2							η_{11}	S_{11}
12	2	1	3	2	2	1	1	3							η_{12}	S_{12}
13	2	2	1	2	3	1	3	2							η_{13}	S_{13}
14	2	2	2	3	1	2	1	3							η_{14}	S_{14}
15	2	2	3	1	2	3	2	1							η_{15}	S_{15}
16	2	3	1	3	2	3	1	2							η_{16}	S_{16}
17	2	3	2	1	3	1	2	3							η_{17}	S_{17}
18	2	3	3	2	1	2	3	1							η_{18}	S_{18}



表1. 内側のL18直交表に割り付けた制御因子と外側の信号因子とノイズの交互作用実験で評価データを求める

- 混合系直交表を用いて内側に**制御因子**(設計条件)を割り付ける
- 外側に**信号因子とノイズ**(使用条件)を割り付ける
- 内側と外側の**交互作用実験**で評価尺度**SN比**と**感度**を求める

スリップ機構のパラメータ設計

- オートマチックトランスミッション用摩擦材の開発 -

第7回品質工学研究発表大会：日産自動車(株)，(株)ダイナックスの共同発表

事例内容

1. テーマ：オートマチックトランスミッション用摩擦材の開発

—第7回品質工学研究発表大会：日産自動車(株)，(株)ダイナックスの共同発表事例

オートマチックトランスミッション（以下、A/T）は、エンジンからの動力を自動的に変速比を変化させて駆動輪へ伝える装置である。A/T内部には構成要素として多くのクラッチ機構が存在し、様々な湿式摩擦材が用いられている。この事例は、今後想定される新規A/Tを念頭に置き、より機能性の高い摩擦材の開発を行ったものである。開発初期から品質工学を適用したことで、競合他社品より25%も低コストでかつ品質特性に優れた摩擦材を、従来の半分の期間で開発できた。

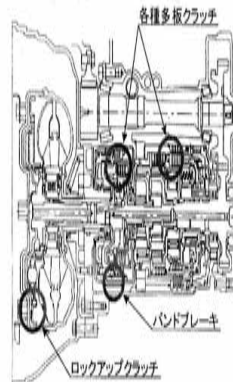


図1 A/Tの構造（断面図）

2. 機能の明確化/3. 計測特性の決定

A/T内部には多くの摩擦材が使用されており、その形状や必要な摩擦力がそれぞれ異なっている。しかし、摩擦材として求められる機能はいずれも共通で、クラッチの係合、解放をスムーズに行なうことである。そこで、摩擦材の理想状態は、加えた荷重に対して比例的に回転トルクが発生することと考えた。この関係が成立すれば、必要な摩擦力を荷重を調整するだけで安定して得ることができる。本事例では、図2に示す実験装置を用いて、摩擦材に加えた荷重（面圧）に対して発生した回転トルクの関係を図3に示すゼロ点比例式で評価した。

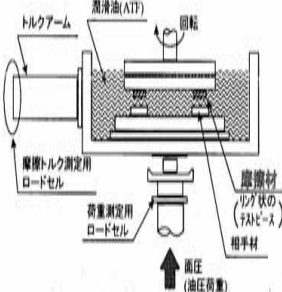


図2 実験装置の概略図

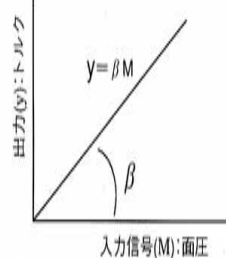


図3 基本機能

4. 因子の選定/5. 因子の割り付け/6. データ取得/7. SN比、感度の算出

表1 信号因子

因子	水準1	水準2	水準3
M：面圧[MPa]	低	中	高

表2 誤差因子

因子	水準1	水準2	水準3
N：ATF油温	低温	高温	
N'：劣化度合	初期	なじみ後	劣化後

表3 制御因子

因子	水準1	水準2	水準3
A：繊維可解度	小	大	—
B：摩擦材調整材	小	中	大
C：繊維構成量	小	中	大
D：繊維比	小	中	大
E：樹脂量	小	中	大
F：圧縮率	小	中	大
G：板厚	小	中	大
H：表面処理	なし	処理1	処理2

実験No	制御因子								SN比 [db]	感度 [db]
	A	B	C	D	E	F	G	H		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	24.14	9.91
2	1	1	2	2	2	2	2	2	23.25	9.78
3	1	1	3	3	3	3	3	3	22.87	9.89
4	1	2	1	1	2	2	3	3	23.75	10.23
5	1	2	2	2	3	3	1	1	22.15	9.53
6	1	2	3	3	1	1	2	2	18.69	9.54
7	1	3	1	2	1	3	2	3	22.79	10.53
8	1	3	2	2	1	3	1	1	18.93	9.78
9	1	3	3	1	2	1	2	2	20.12	9.96
10	2	1	1	3	3	2	2	1	24.11	9.47
11	2	1	2	1	1	3	3	2	24.42	10.25
12	2	1	3	2	2	1	1	3	24.40	10.57
13	2	2	1	2	3	1	3	2	24.19	10.20
14	2	2	2	3	1	2	1	3	22.60	10.84
15	2	2	3	1	2	3	2	1	26.32	9.99
16	2	3	1	3	2	3	1	2	24.93	9.97
17	2	3	2	1	3	1	2	3	25.71	10.22
18	2	3	3	2	1	2	3	1	24.47	10.14

表4 因子の割り付けとデータ取得

誤差因子	信号因子M			
	低	中	高	
N	初期	Y11	Y12	Y13
N'	なじみ後	Y21	Y22	Y23
	劣化後	Y31	Y32	Y33
高温	初期	Y11'	Y12'	Y13'
	なじみ後	Y21'	Y22'	Y23'
	劣化後	Y31'	Y32'	Y33'

実験No.1条件(A1,B1,C1,D1,E1,F1,G1,H1)のデータ

SN比 24.14[db]
感度 9.91[db]

取得データから、実験No.ごとにSN比、感度を算出する。

8. 要因効果図の作成/9. 最適条件の決定/10. 確認実験

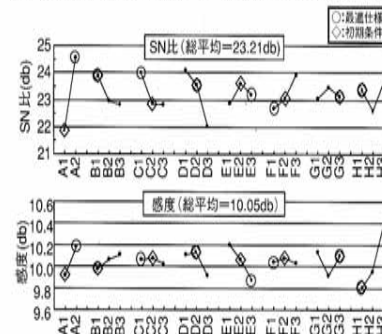


図4 要因効果図

最適条件：A2,B1,C1,D2,E3,F1,G3,H1
初期条件：A1,B1,C2,D2,E2,F2,G3,H1

表5 利得再現性の確認

	SN比 [db]		感度 [db]	
	推定値	確認値	推定値	確認値
最適条件①	25.8	25.2	9.8	10.5
初期条件②	22.7	20.8	9.8	9.8
利得(①-②)	3.1	4.4	0.0	0.7

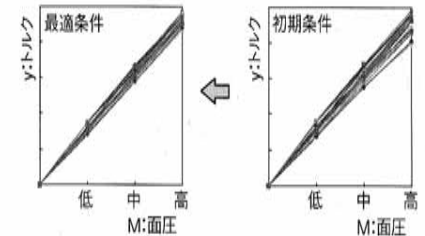


図5 確認実験結果：面圧—トルクの関係

目的機能から基本機能へ(1)

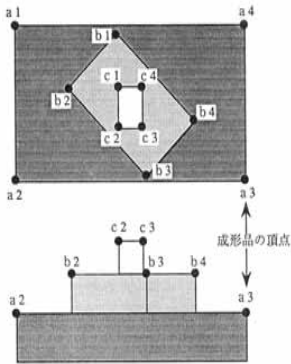
- 目的機能の技術開発 -

1993年 品質工学Vol.1, No.1

切削性による難削材の切削技術開発

Quality Engineering Forum 27

制御軸方向に左右されない切削技術を追いたいことと、立体形状の相似関係を追求したいことから、図1のような形状を設定した。



(1) 測定点 a1~a4, b1~b4, c1~c4

(2) 信号因子の定義

信号因子	M1	M2	...	M12	...	M66
直線距離	a1-a2	a1-a3	...	a2-a3	...	c3-c4

図1 成形品形状と測定ポイント

表1 難削材の切削加工における因子と水準

因子	水準	水準		
		1	2	3
A 切削方向		up	down	—
B 切削速度 (m/min)		速	標準	遅
C 送り速度 (m/min)		速	標準	遅
D 工具材質		軟	標準	硬
E 工具剛性		低	標準	高
F ねじれ角 (deg)		小	標準	大
G すくい角 (deg)		小	標準	大
H 切込量 (mm)		小	標準	大
誤差因子	N	軟	硬	—

表1に選定した制御因子と誤差因子について、それぞれの因子と水準を示した。

3. 直交表へのわりつけとデータ解析

取り上げた各々の因子について、表2のように直交表 L_{18} を用いて制御因子をわりつけ、外側に信号因子と誤差因子をわりつけて実験No. 1からNo. 18まで実験を行ない、表3のようなデータを得た。こうして求められたデータを用いて、以下の手順に従って各々データ解析を行なった。

表2 難削材の切削加工の制御因子のわりつけと解析結果

因子 No.	制御因子 (単位: db)								SN比 η	感度 S
	A	B	C	D	E	F	G	H		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	31.41	-0.0022
2	1	1	2	2	2	2	2	2	39.70	0.0058
3	1	1	3	3	3	3	3	3	39.68	0.0028
4	1	2	1	2	2	3	3	3	9.25	0.0730
5	1	2	2	2	3	3	1	1	44.56	-0.0001
6	1	2	3	3	1	1	2	2	42.02	0.0020
7	1	3	1	2	1	3	2	3	33.75	0.0057
8	1	3	2	3	2	1	3	1	44.59	0.0003
9	1	3	3	1	2	2	2	1	19.18	0.0114
10	2	1	1	3	3	2	2	1	42.80	0.0011
11	2	1	2	1	1	3	3	2	30.55	0.0145
12	2	1	3	2	2	1	1	3	26.41	0.0166
13	2	2	2	1	3	1	3	2	25.86	0.0148
14	2	2	3	1	2	3	1	3	35.24	0.0056
15	2	2	3	1	2	3	2	1	42.52	0.0022
16	2	3	1	3	2	3	1	2	41.01	-0.0009
17	2	3	2	1	3	1	2	3	2.63	0.1801
18	2	3	3	2	1	2	3	1	39.30	0.0025

表3 難削材の切削加工成形品の距離のデータ (実験No.1, 単位: mm)

信号因子	M1	M2	...	M66
誤差因子	a1-a2	a1-a3	...	c3-c4
	71.000	84.599	...	11.000
N1	70.992	84.607	...	10.958
N2	70.991	84.607	...	10.955
計	141.983	169.214	...	21.913

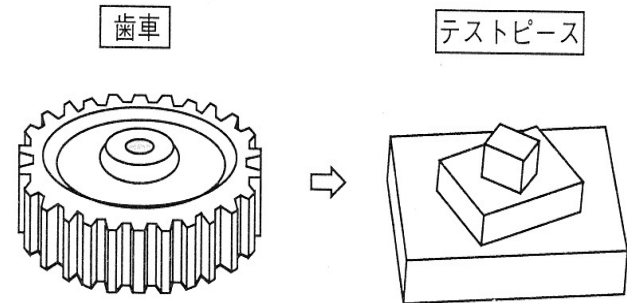
全二乗和

$$S_T = 70.992^2 + 84.607^2 + \dots + 10.955^2$$

66個の信号因子でスカラーではなく、ベクトルで1056次元の多次元データで機能性の評価をした。

実物(歯車)ではなく、テストピースで評価した。

切削油を使用せず加工した。



製品開発

技術開発

目的機能から基本機能へ(2)

- 基本機能の技術開発 -

2000年 品質工学 Vol.8, No.1 電力を利用した切削加工条件の最適化

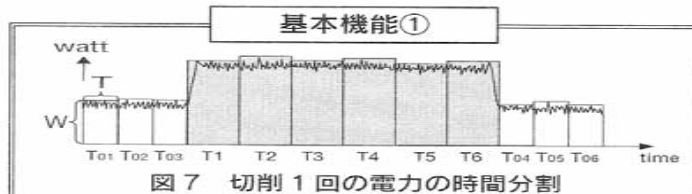


図7 切削1回の電力の時間分割

表2 切削1回の測定データ (W)

空運転時	Time (秒)	To1	To2	To3	To4	To5	To6
P ₀₁	N ₁ w min	940	950	940	920	920	930
	N ₂ w max	970	970	980	960	960	960
切削時	Time (秒)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
P ₁	N ₁ w min	1020	1030	1020	1020	1020	1020
	N ₂ w max	1070	1080	1070	1060	1060	1060

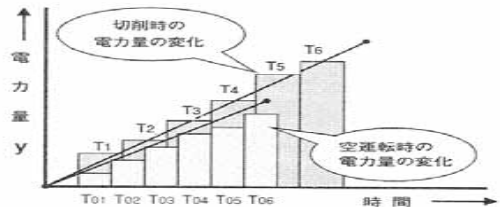


図8 空運転時と負荷時の電力の時間変化

表3 時間—電力量のデータ

	Time (秒)	To1	To2	To3	To4	To5	To6
空運転時	N ₁ y min	12220	24570	36790	48750	60710	72800
	N ₂ y max	12610	25220	37960	50440	62920	75400
空運転時	N ₁ y min	11960	24050	36140	48100	60060	71890
	N ₂ y max	12480	24830	37180	49400	61750	73970
空運転時	N ₁ y min	12090	24180	36270	47840	59670	71370
	N ₂ y max	12480	25090	37570	49660	61880	73970
	Time (秒)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
切削時	N ₁ y min	22185	44588	66773	88958	111143	133328
	N ₂ y max	23273	46763	70035	93090	116145	139200
切削時	N ₁ y min	22185	44153	65903	87653	109620	131370
	N ₂ y max	23055	45893	68513	91133	113753	136373
切削時	N ₁ y min	22185	44153	65903	87653	109185	130718
	N ₂ y max	23055	46110	68948	91568	114188	137025

基本機能は技術の本質であるエネルギーの変換の機能性の評価である。

空運転の電力の安定性が大切である。

品質(切削精度)と作業性(加工時間)を同時に評価することが大切である。
一石全鳥の開発がもぐら叩きからの脱出

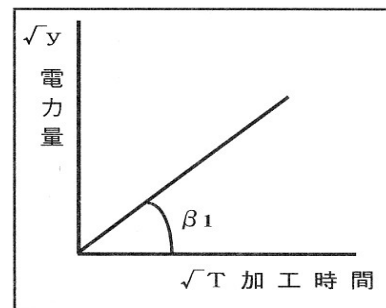


図1 基本機能①

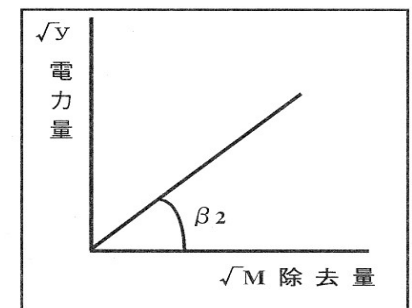


図2 基本機能②

作業能率の改善

品質の改善

試作レス設計は可能か

- 計算機シミュレーションと品質工学の融合 -

- シミュレーションの特徴
- 試作レスの発想
- 21世紀のパラメータ設計

シミュレーションの特徴

- 特徴は、「**実際に作れない物**」や「**実際に測れない現象**」の評価ができる。
- 殆どの「**物理的な現象**(応力、熱量、風速、電磁場など)」の**現象説明**や**評価**ができる。
- **問題点**はすべてのパラメータを選ぶことはできないので、**機能設計**では試作品で**目標値**にあわせ込むことになる。

試作レスの発想

- 「試作レス設計」とは、**計算機シミュレーション**で**パラメータ設計**を行うことである。
- **ロバスト設計**は「**ノイズと制御因子の交互作用**」で求めるため、制御因子の傾向が分かればよいのであるから、**計算精度**はそれほど重要ではない。
(**有限要素法のメッシュは評価したい部分だけ細かく切ればよい**)

パラメータ設計の極意

—システムは複雑でなければ改善できない—

1. 信頼性試験でトラブル発生

デイジープリンターを開発したとき、電磁石のプランジャーが内部から発生する発熱で「2度打ち」を起こす現象が発生した。原因は、プランジャーが衝突するゴムの緩衝体が温度上昇で硬化するという現象が起きたのである。バウンド量の規格が0.5mm以内に対して最大2.5mmまで上昇した。

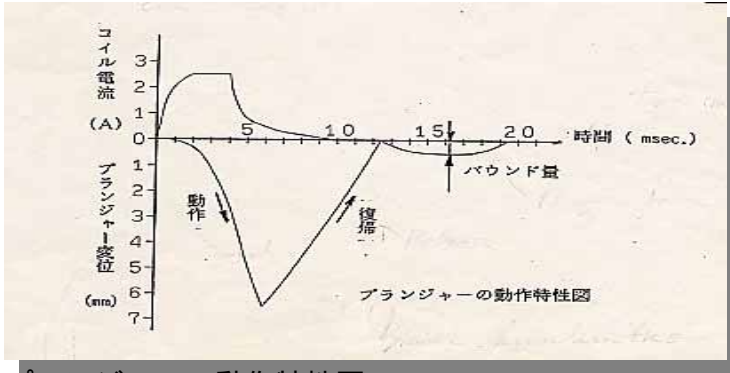


図1 プランジャーの動作特性図

電磁石のコイルに加わる入力電流によって、プランジャーは動作と復帰を繰り返しますが、復帰したときに緩衝体に衝突して跳ね返るためバウンド量が発生します。バウンド量を0.5mm以内に抑えることが今回の技術課題です。

2. 品質工学の機能性の評価と改善（パラメータ設計）

たくさんのシステムから「複雑なシステム」を創造することで、バウンド量を最小にすることができた事例です。

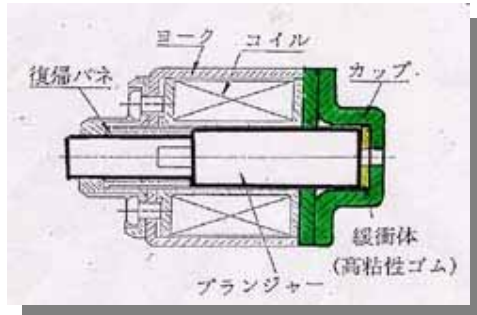


図2 従来品の構造図

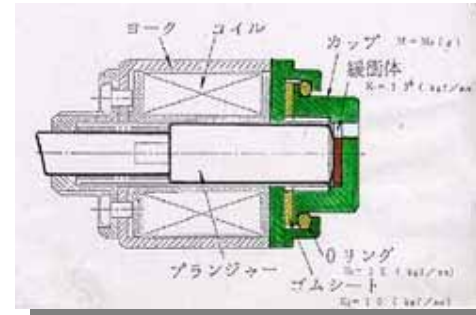


図3 パラメータ設計後の構造図

パラメータ設計では、システムが複雑でなければ、大きな改善はできない。その理由は、制御因子（部品）が沢山あるとノイズと制御因子との交互作用で温度などのノイズの影響に強い制御因子の水準が見つかるのである。つまり、温度が変化してもバウンド量が変わらない設計ができる。

このデイジープリンタに用いる電磁ソレノイドの最初のシステム設計では、図 1 のような単純な構造であったため、使っていると図 4 の赤線で示すように、電磁石自体の温度上昇でプランジャーの 2 度打ち現象が発生して、バウンド量が許容差の 0.5mm を遙かに越えて 2.5mm に達した。

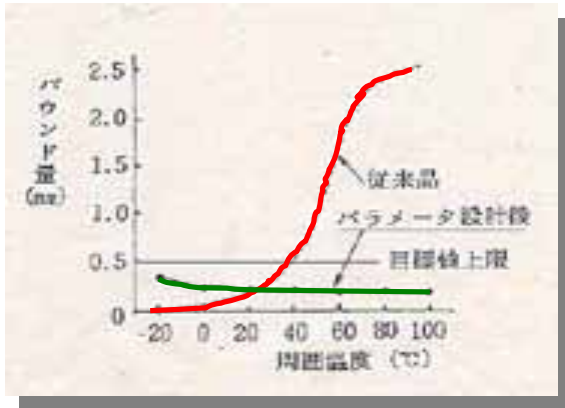


図 4 周囲温度とバウンド量の関係

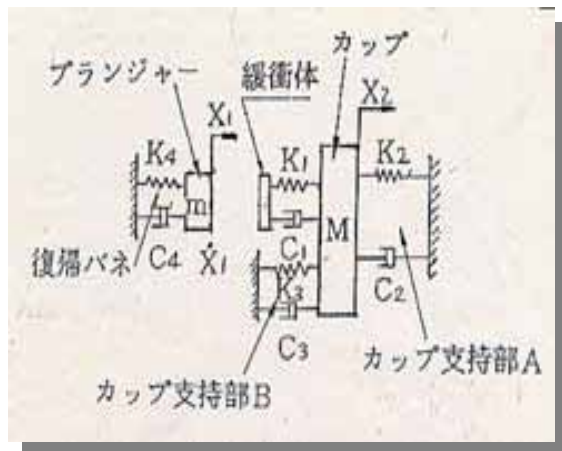


図 5 シミュレーションモデル

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マックスウェル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。

- M：カップの慣性質量
- K_1 ：緩衝体の等価ばね定数
- C_1 ：緩衝体の等価粘性係数
- K_2 ：カップ支持部 A の等価ばね定数
- C_2 ：カップ支持部 A の等価粘性係数
- K_3 ：カップ支持部 B の等価ばね定数
- C_3 ：カップ支持部 B の等価粘性係数
- m：プランジャーの慣性質量
- K_4 ：復帰ばねの等価ばね定数
- C_4 ：復帰ばねの等価粘性係数
- X_i ： K_2 ， K_3 の圧縮量

プランジャーが緩衝体に衝突する前後の運動方程式を使って「バウンド量」を「ゼロ望目特性」として解析する。

ゼロ望目特性の SN 比

$$\eta(db) = -10 \log V_e$$

$$= -10 \log \left(\frac{1}{n-1} \right) \sum (X_i - \bar{X}_i)^2$$

3. プランジャーの動作解析(マクスウェルの運動方程式から)

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)

$$m \frac{d^2 X_1}{dt^2} = -K_1(X_1 - X_2) - C_1 \left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt} \right) - K_4 X_1 - C_4 \frac{dX_1}{dt} + F_{set}$$
$$M \frac{d^2 X_2}{dt^2} = K_1(X_1 - X_2) + C_1 \left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt} \right) - K_2(X_2 + \Delta X_2) - C_2 \frac{dX_2}{dt} - K_3(X_2 - \Delta X_3) - C_3 \frac{d^2 X_2}{dt}$$

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)

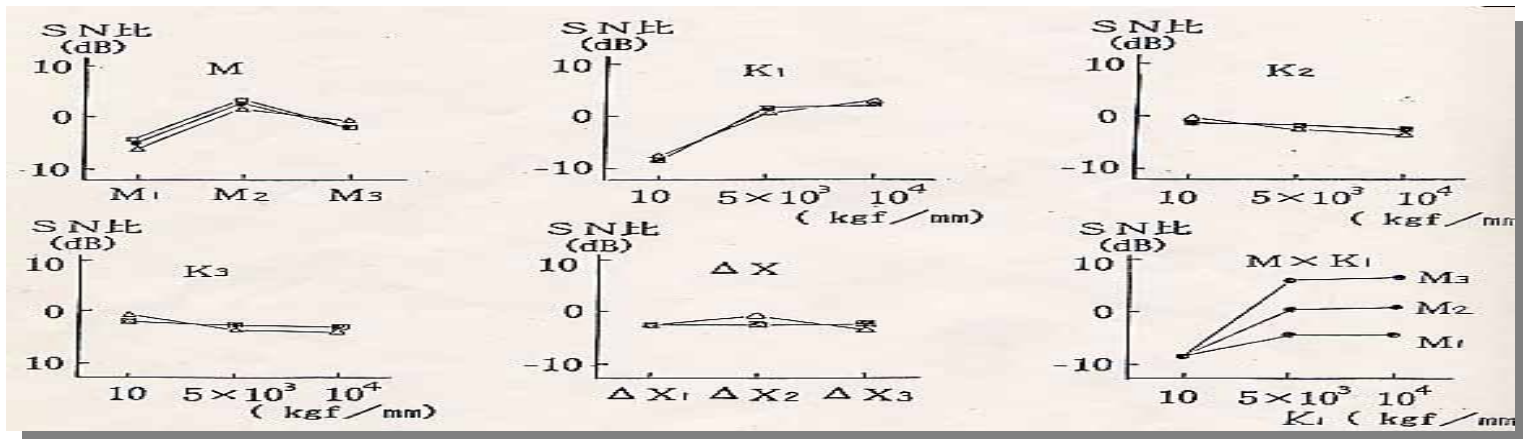
$$m \frac{d^2 X_1}{dt^2} = -K_4 X_1 - C_4 X_1 + F_{set}$$
$$M \frac{d^2 X_2}{dt^2} = -K_2(X_2 + \Delta X_2) - C_2 \frac{dX_2}{dt} - K_3(X_2 - \Delta X_3) - C_3 \frac{d^2 X_2}{dt}$$

4. 制御因子と誤差因子の水準の設定

内側直交表に**制御因子**を，外側に**誤差因子**を配置して交互作用実験を行う。

制御因子	水準		
	1	2	3
M : カップ質量 (g)	M 1	M 2	M 3
K1 : 緩衝体ばね定数(kgf/mm)	1 0	5 000	10 000
K2 : カップ支持 A ばね定数(kgf/mm)	1 0	5 000	10 000
K3 : カップ支持 B ばね定数(kgf/mm)	1 0	5 000	10 000
X : K2,K3 の圧縮量 (mm)	X 1	X 2	X 3
誤差因子	水準		
	1	2	3
M : カップ質量 (g)	- 10 %	0	+ 10 %
K1 : 緩衝体ばね定数(kgf/mm)	- 20 %	0	+ 20 %
K2 : カップ支持 A ばね定数(kgf/mm)	- 20 %	0	+ 20 %
K3 : カップ支持 B ばね定数(kgf/mm)	- 20 %	0	+ 20 %
X : K2,K3 の圧縮量 (mm)	- 40 %	0	+ 40 %

5. 要因効果図の作成



6. 品質改善による経営的效果

コンピュータシミュレーションの場合、制御因子の水準は自由に選択できるから、ばね定数は非常に大きな範囲に設定した。誤差因子の水準幅も大きく設定することで、新しいシステムの創造が行われ、市場における品質も大幅に改善できて、経営的效果に寄与することが出来た。

設計段階	平均値	ばらつき	品質損失 (円)	製品コスト (円)	全損失(円)
初期設計	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 3. 設計の各段階における生産性(品質とコスト)の改善

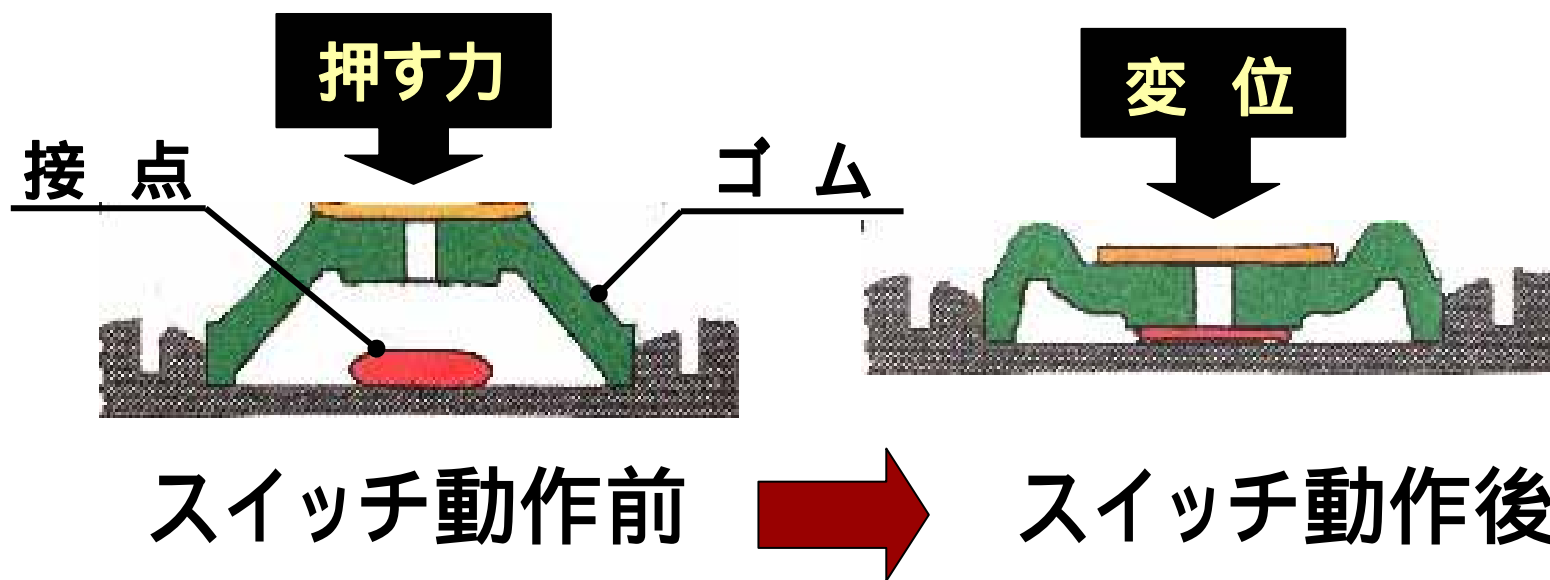
品質損失は市場における損失で、下式の「損失関数」を用います。

$$L(\text{円}) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \times \sigma^2 = \frac{4500}{1.5^2} \times \sigma^2$$

ここに A_0 (円) は機能限界 $\sigma_0=1.5\text{mm}$ を越えたときの損失金額(4500 円)

21世紀のパラメータ設計

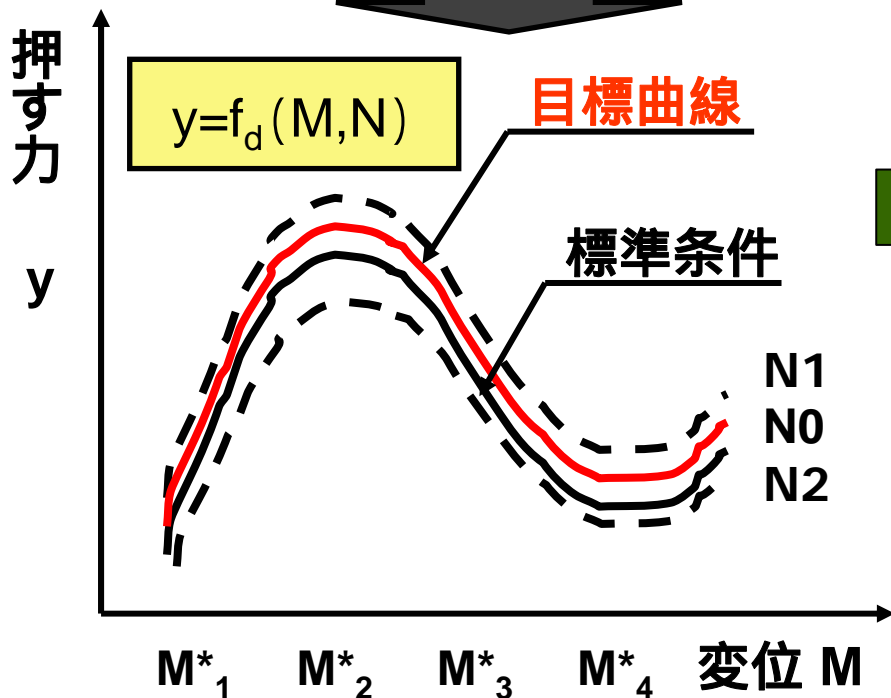
- スイッチ機構の開発事例 -



反転ばねでスイッチの“クリック感”を実現した構造

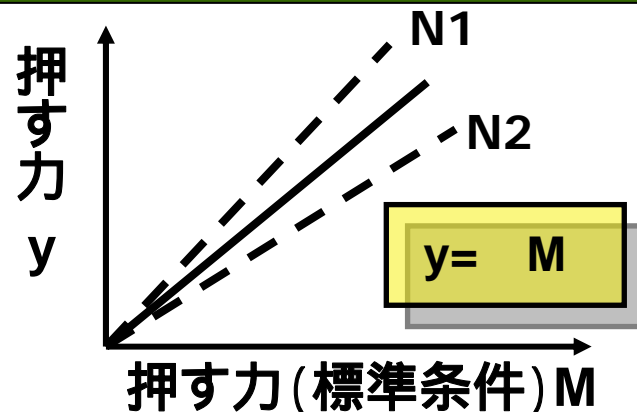
計算機シミュレーション のパラメータ設計

スイッチの目的機能

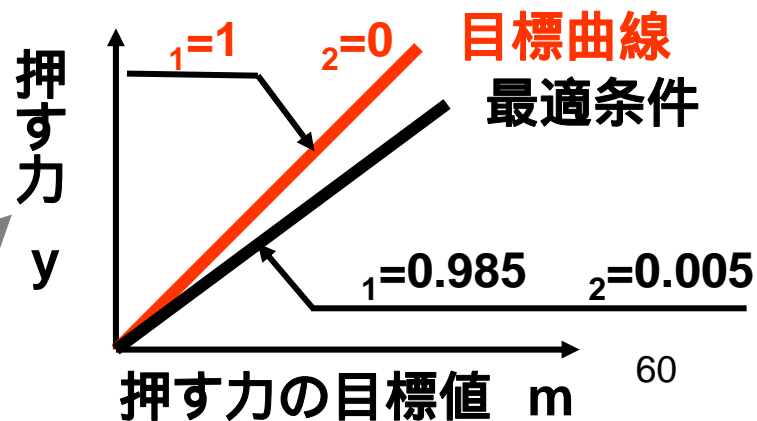


$$y = \alpha_1 m + \alpha_2 (m^2 - m)$$

Step1. ロバストネス設計



Step2. チューニング設計



CAEを用いた鋳造用鋳型設計の最適化(1)

SPECIAL REPORT

特別レポート

理想の設計がここにある 品質工学とCAEの最強タッグ

市場に送り出す製品の性能や品質をすべて高レベルに保つのは難しい。加工誤差や使用される条件などのばらつきの影響を受けるからだ。品質工学は、このばらつきによる影響を受けにくい設計を低コストで実現する手法。ばらつきを抑えるのではなく、ばらつきに強くすることで高性能を維持できる。品質工学では様々な設計パラメータを広い範囲で比較する。その過程では、CAEによる検討が大きな効果を発揮する。品質工学とCAEを組み合わせることで、理想の設計が実現できる。

世界最高の性能、世界初の機能を
実現しても、それが限定された条件
でしか実現できなければ製品としての
魅力は半減する。また、どんなに
安い製品でも買ってすぐに壊れてし
まっては、顧客にとってはまさに
「安物買いの銭失い」だ。

良い製品とは何か、機能・性能が
優れている、価格が安いことは確か
に顧客の購入理由として大きい。し
かし、必要な機能・性能を安定して
出せることも非常に重要である。ロ
バスト性を高めることは、適切な加
工精度によるコストダウンやウレ
ーム材塗布の削減にもつながる。

ロバスト設計を実現する方法の一
つが、品質工学。品質工学の適用に
よってどのような効果が得られるか、
具体的な事例をベースに見てみる。

新ロータリーの性能実現を支えた
マップが2003年春に発売した4ド

アススポーツカー「RX-8」には、新開
発のロータリーエンジン「RENE
SIS」が搭載されている。RENE
SIS



車1—「RX-8」に搭載されている最新ロー
タリーエンジン「RENE-SIS」。最大の特徴は、
排気ポートの位置を外周面（ペリフェラル）か
ら側面（サイド）へ移したことで、これにより、
吸排気タイミングのオーバーラップを無くすこ
とが可能になったが、吸排気ポートの位置精度
を高める必要があった。

の最大の特徴は、排気ポートの位置
を外周面（ペリフェラル）から側面
（サイド）へ移したことで（図1）。こ
れにより、吸排気タイミングのオー
バーラップ（吸気ポートと排気ポー
トが同時に開通する瞬間）が無くな
り高出力、低燃費を実現した。

ただし、実際にオーバーラップを
無くすためには吸排気ポートに高い
位置精度が求められる。吸排気ポー
トの位置は、オーバーラップが
発生しないぎりぎりの
位置に設計し
てあるためだ。

排気終了のタイミングを
早める、または吸気開始のタ
イミングを遅らせる方向にポートの
位置をずらせば位置精度の悪さによ
るオーバーラップの可能性は低くな

- ロータリーエンジンの排気ポートの位置を外周面から側面に移して、品質工学とCAEを活用して吸排気ポートの位置精度を高めて、吸排気のタイミングのオーバーラップをなくすことに成功した。

CAEを用いた鋳造用鋳型設計の最適化(2)

簡素化モデルの活用

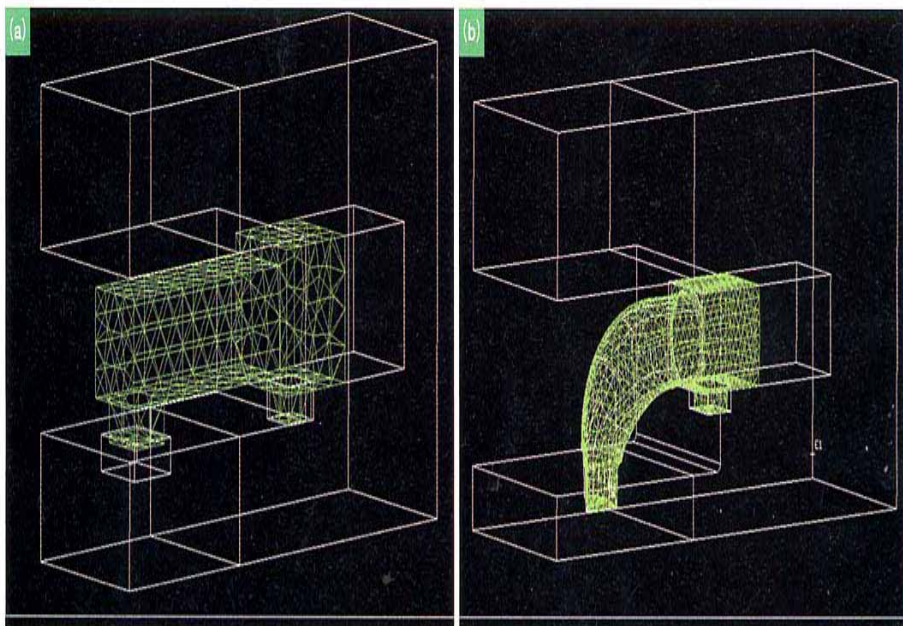


図8—約4万要素の簡易化したメッシュ (a) と約10万要素の詳細なメッシュ (b)。必要最小限の形に簡略化することで、解析の計算時間を短縮。200回以上の繰り返し計算を限られた期間内で完了することができた。



簡素化モデル(4万メッシュ)



詳細モデル(10万メッシュ)

- 最適化支援ツールを用いて10万要素の詳細モデルを4万要素の簡易モデルでパラメータ設計を行い、開発期間を大幅に短縮した。

CAEを用いた鋳造用鋳型設計の最適化(3)

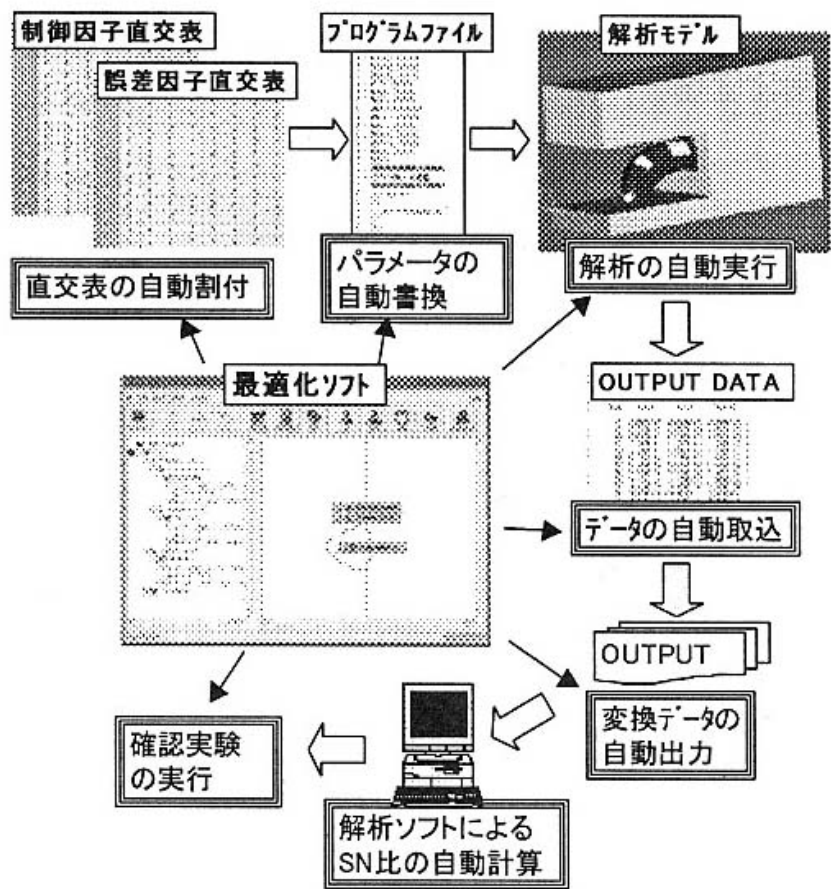


図2 自動解析システムのフロー図

- 位置寸法78箇所を**信号因子**として、制御因子を直交表に割り付けて、パラメータのすべてのばらつきを**ノイズ**として外側に割り付けて、**制御因子**との交互作用で**位置精度のSN比**を求めてパラメータの最適水準を決めた。

CAEを用いた鋳造用鋳型設計の最適化(4)

開発期間の短縮

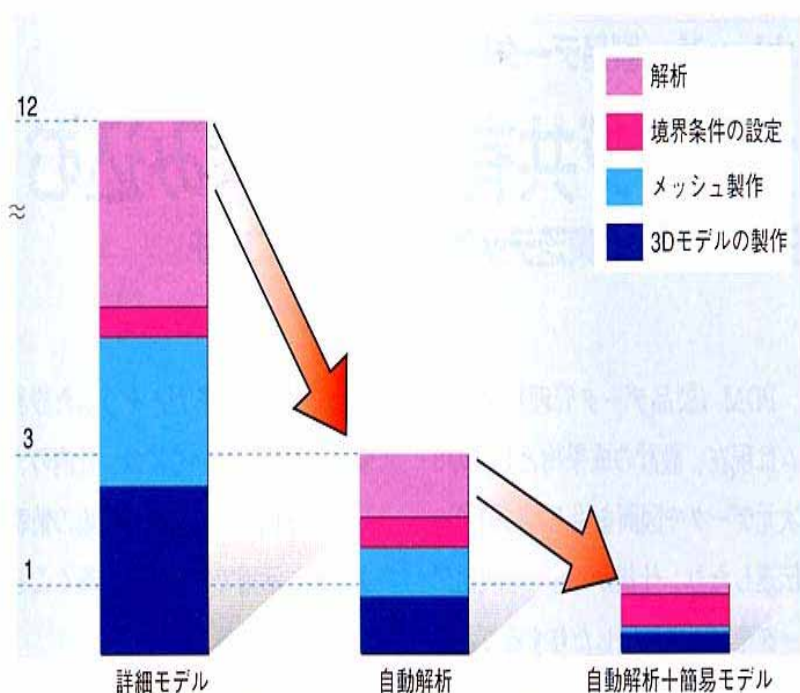


図9—マツダの解析時間の比較。自動解析によって40分の1、簡易モデルによってさらに10分の1に解析時間を短縮している。

- 解析プロセスの自動化で解析時間は詳細モデルの40分の1に、更に解析モデルの簡素化で10分の1に大幅に短縮された。