企業の実力は「見えない品質」で決まる
『すべてはお客様のために』
ーモノを作る前に品質を創り込むー

品質工学会名誉会員　原　和彦
E-Mail　bzh02554@nifty.com
URL　http://kaz7227.art.coocan.jp

田口博士の自動車殿堂入り
ーアメリカを蘇らせた男ー

田口玄一博士の紹介

1948年　文部省統計数理研究所、日本電信電話公社電気通信研究所プリンストン大学などの客員教授
1960年　デミング賞本章受賞
1962年　理学博士
1965年　青山学院大学理工学部教授
1982年　日本規格協会参与
1983年　米国ASI Executive Director
1986年　米国ロツクウエル・メダル受賞、米国の技術の殿堂入り
1993年　品質工学会会長に就任
1993年　米国オートメーション殿堂入り
1996年　シユーハート・メダル受賞（アメリカ品質管理学会賞）
1997年　米国自動車殿堂入り
現在、品質工学会名誉会長

“モグラ叩き”からの脱出

ー再発防止から未然防止へー

従来設計と品質工学の比較

フィードバック方式

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）

フロントローディング方式

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

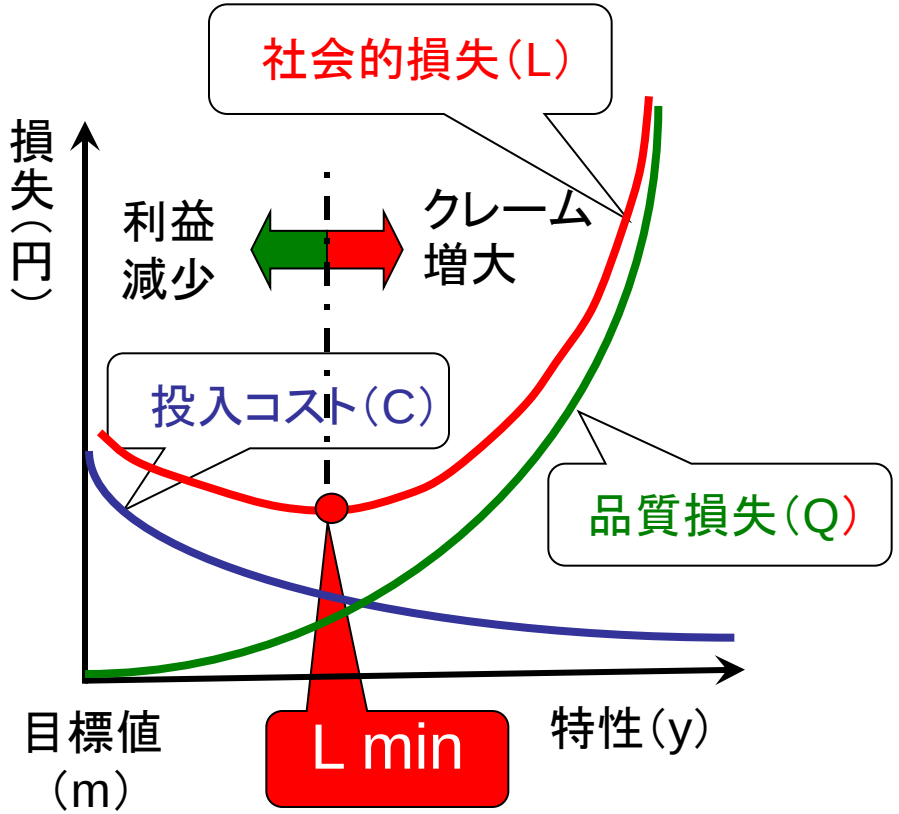
二つの“品質”とは

- 商品品質：機能，デザイン，価格（価値問題）
- 技術品質：市場における機能のバラツキや使用コスト（燃費や消費電力）や公害（NOx, 騒音など）（損失問題）⇒「見えない品質」
  品質工学は技術品質を考える。
- 社会的損失の最小化：生産者の投入コストと消費者の品質損失の総和を最小にすることが企業の役割であり責任である。

社会的損失の最小化

ー見せかけの顧客満足（CS）ではないー

社会的損失（L円）＝投入コスト（C円）＋品質損失（Q円）



$$Q円 = \frac{A_0}{\Delta_0^{\,2}}(y-m)^2$$

生産活動の本質は市場における生産性（投入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目に見えない損失

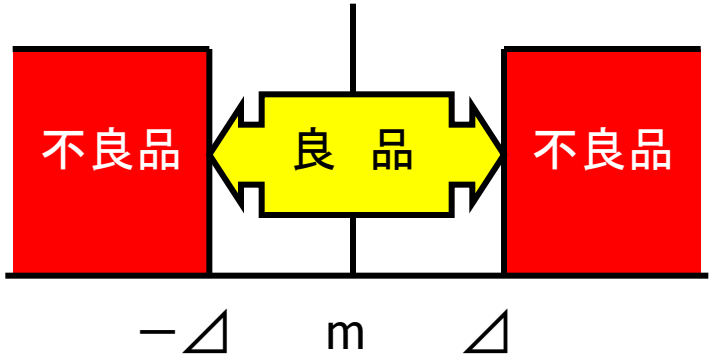
・投入コスト：変動費や固定費などの生産者側の損失

“個人の自由の総和の拡大”

情報の共有化の時代

「見える品質」から「見えない品質」へ
ー顧客満足（技術の働き）の可視化ー

従来の考え方（試験や検査）
ー生産者の立場ー



⊿:出荷規格　m:目標値

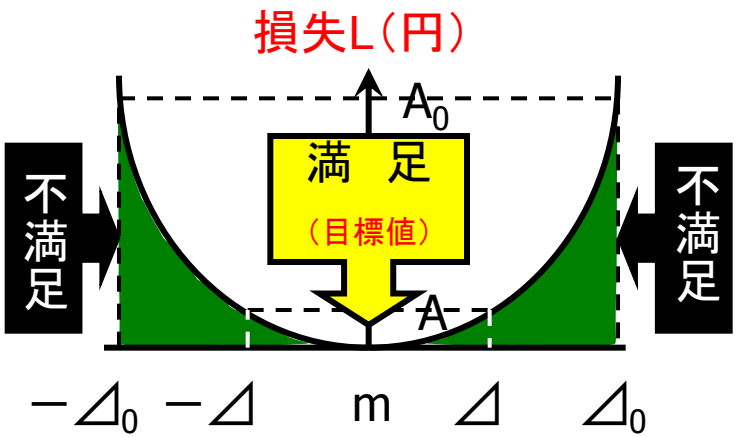
「不良率や故障率」で合否の判定を表す

不良率　$p=(r/N)\times 100\%$

故障率　$\lambda=[r/(N\times t)]\times 100\%$

良品には損失はないと判断する

品質工学の考え方（評価）
ー消費者の立場ー



⊿: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

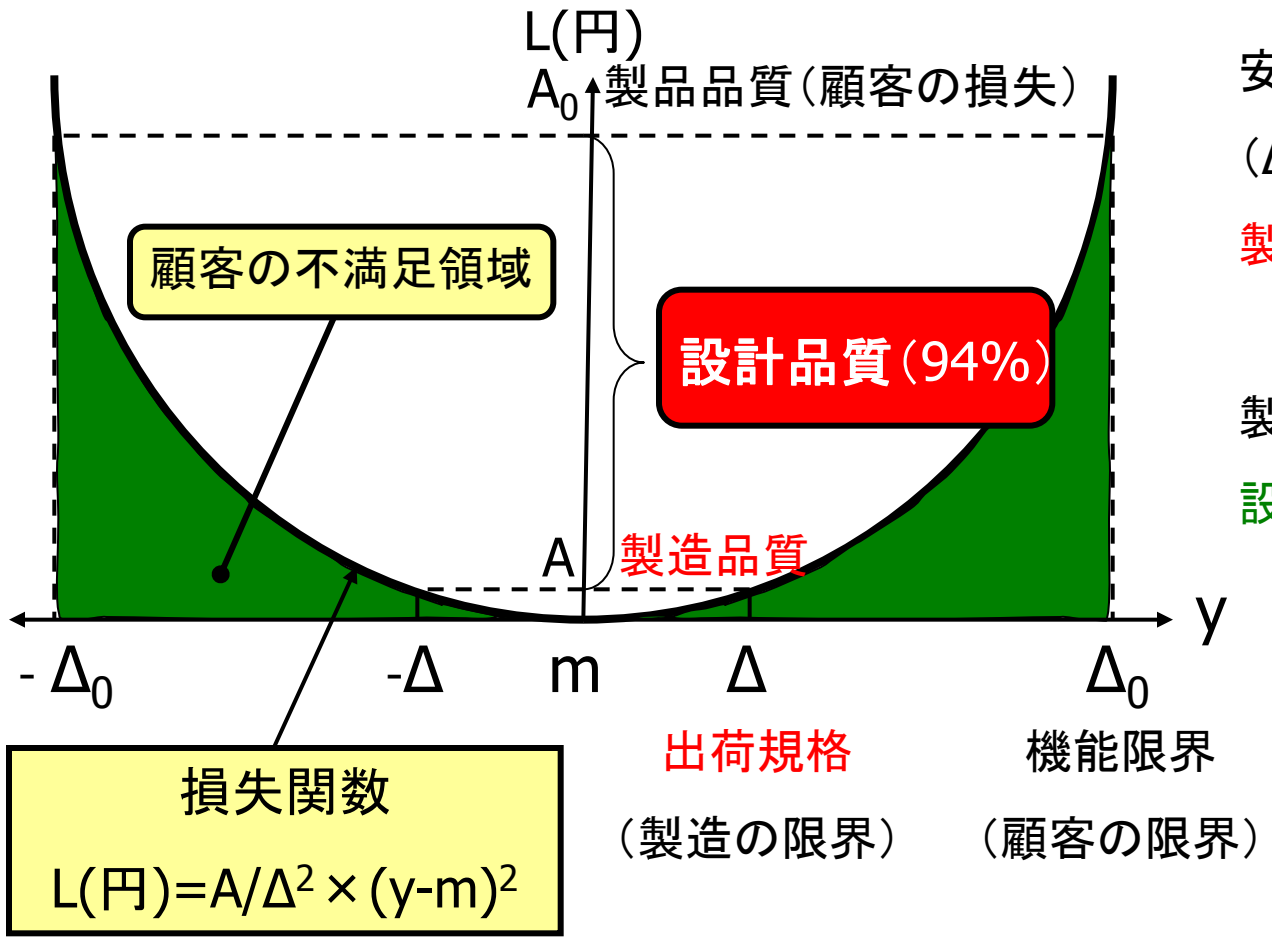
$L(円)=(A_0/\Delta_0^2)\times(1/\eta)$

$\eta=m^2/\sigma^2$（SN比）

市場品質クレームの94%は設計責任

ー製造責任は6%に過ぎないー

製造品質：標準条件　設計品質：使用環境や劣化条件



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＝$A=(1/16)A_0$

$=0.625A_0$

製品品質＝A_0

設計品質＝

製品品質－製造品質

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

$=0.937A_0$

品質工学による経営的効果
－QCDの同時達成－

クレームの撲滅
Quality

市場品質の改善

2段階設計

① ロバスト設計
② チューニング設計
③ 規格値の決定

コスト半減
Cost

ばらつきの半減

生産性の向上

① 品質損失の改善による製品コスト削減
② 開発期間の短縮による開発コスト削減

開発期間の短縮
Delivery

機能性の評価

SN比による改善

① 品質が欲しければ，品質を測るな
② CAEとの融合で試作レス・試験レスの実現

社会的トラブルが多発している

ー危機的状態にある日本企業の商品開発ー

- JRの脱線事故は何故防げなかったのか
- 石油暖房機のガス漏れは何故起きたのか
- 自動車の衝突事故は何故減らないのか
- 家電商品のリコール問題は何故起きたのか
- 建物の耐震設計に問題はないのか
- 万博のジェットコースターやエレベーターの死亡事故は何故起こったのか

品質工学では何ができるか

―問題が起こる前に，問題を予想できる―

- ハードのパラメータ設計（SN比の活用）
  源流の開発段階で市場品質を予測できる。
  （技術の働きでクレームを評価する）
- ソフトのパラメータ設計（MTシステムの活用）
  ・地震を1時間前に予知できる。
  ・車の衝突などの異常の検知ができる。
  ・患者の病気の診断と予測ができる。
  ・企業の利益の予測ができる。
  ・学生や人材の能力評価や人事査定ができる。
  ・不動産の価格予測ができる。
  ・手書き文字や不良品の識別ができる。
- ハードでは理想機能，ソフトでは正常な単位空間を定義することがキーである。

機能のばらつきは何で測るか

ーシステム全体で総合判断をせよー

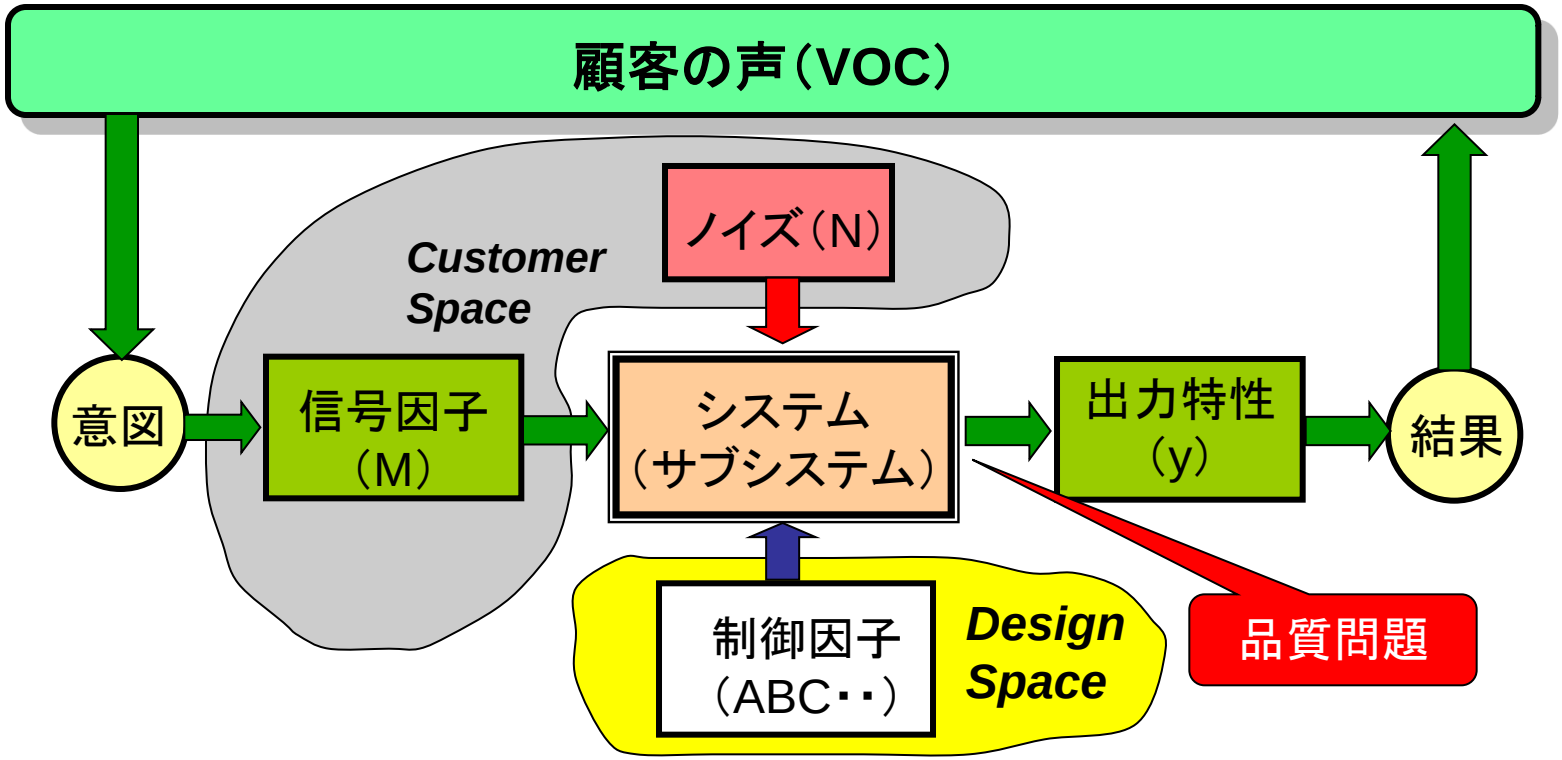
- 商品の故障や寿命は，顧客が望まない品質であるが，品質工学では「品質を改善したいときは，品質を測るな。機能を測れ」と言って
- 源流の技術開発や設計段階で，機能性（機能の安定性）を評価・改善する。
- 寿命試験や信頼性試験の代わりに機能性をSN比で表わして，SN比の大小でシステム（材料や部品や商品）の評価を行う。

To get Quality, Don’t measure Quality.

（騒音，温度などの品質は加法性がない）

機能性評価とロバスト（頑健）設計

－顧客の満足度をSN比で改善する－



顧客満足度（SN比）

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

仕事量は成果で評価せよ

- 物理学で仕事量を力と時間の積F×t＝仕事量で定義している。（自然世界）
- 人間社会では，一生懸命，長い時間働いたけれど，その成果がゼロだったときその人の仕事量はゼロと考える。仕事量はアウトプット（出力）で測るべきで，上式のインプット（入力）で測ってはならない。
- それが全出力（ST)の中で無駄な仕事（Se)を止めて，有効な仕事量（Sβ）で評価せよ。

“ノイズ”との戦い

ーテロもウイルスもノイズであるー

- 設計ばらつき（1個の必然誤差）

  ー市場クレームの94%の責任ー

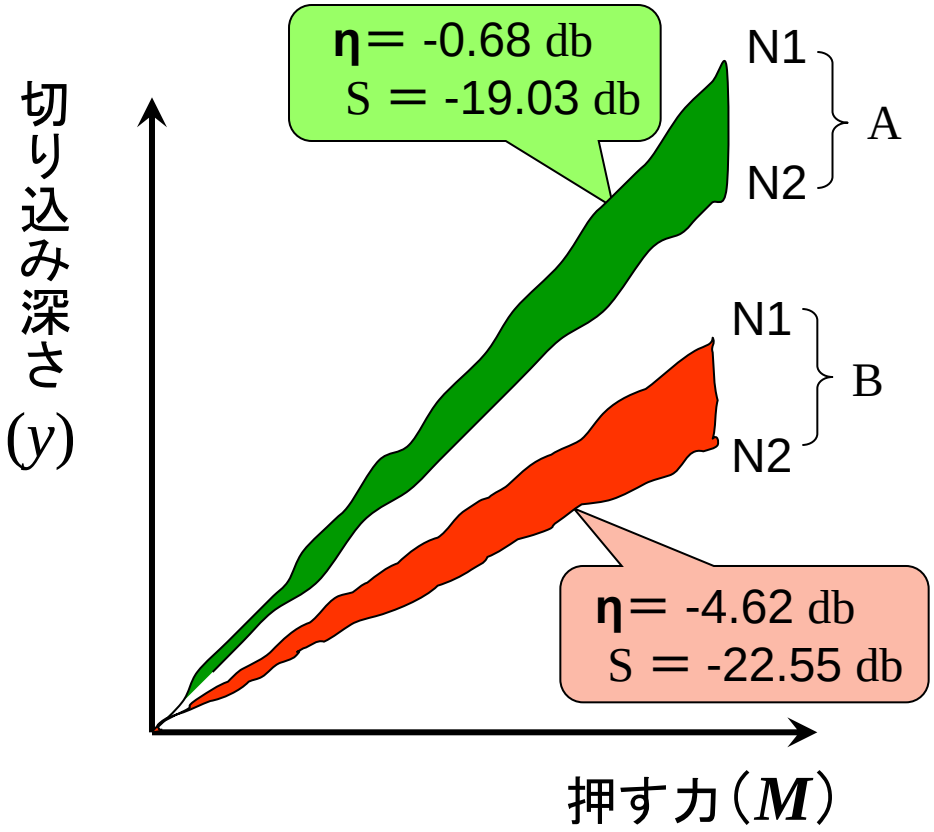
- 製造ばらつき（n個の偶然誤差）

  ー市場クレームの　6%の責任ー

市場の品質は設計ばらつき（使用環境条件や劣化の市場ノイズの影響）で製造ばらつき（偶然誤差）はほとんど影響しない。

カッター（刃物）の機能性の評価

ー評価には技術手段は関係ないー



●理想機能　$y = \beta M$

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）

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

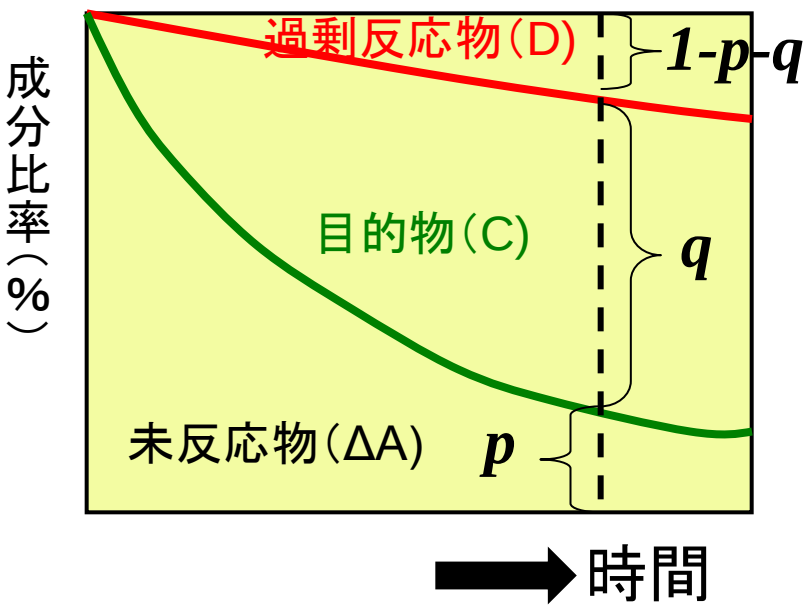
感　度　$S = 10\log\beta^2$

Aの方が寿命は2.5倍以上長く，切れ味は2.2倍以上よい

重合反応の機能性の評価

A（原料）＋B（触媒）⇒C（目的物）＋D（副生成物）

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

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

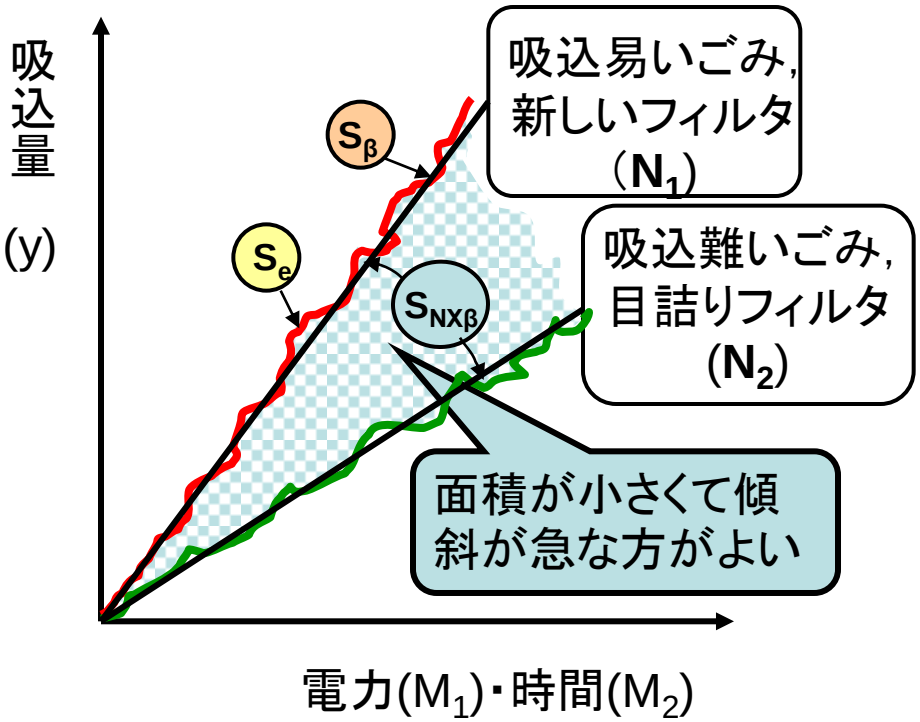
対数変換して $$\ln[1/(p+q)] = \beta_2 T$$

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

過剰反応物が少なくて，短時間に目的物ができる重合反応の最適化を図る。

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）

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

吸込性能（感度）

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

理想機能： $y = \beta M_1 M_2$

“死の谷”を越える2段階設計
—設計で品質を創り込む方法—

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て，目標値に合わせられる

✕ m=f(A1,B1)
○ m=f(A2,B2)

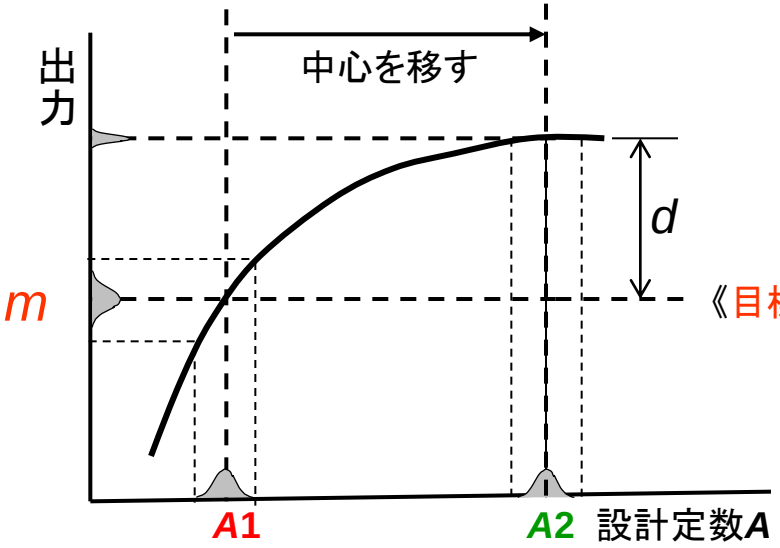


図　1　出力のばらつきを減らす
（ロバストネスの研究）

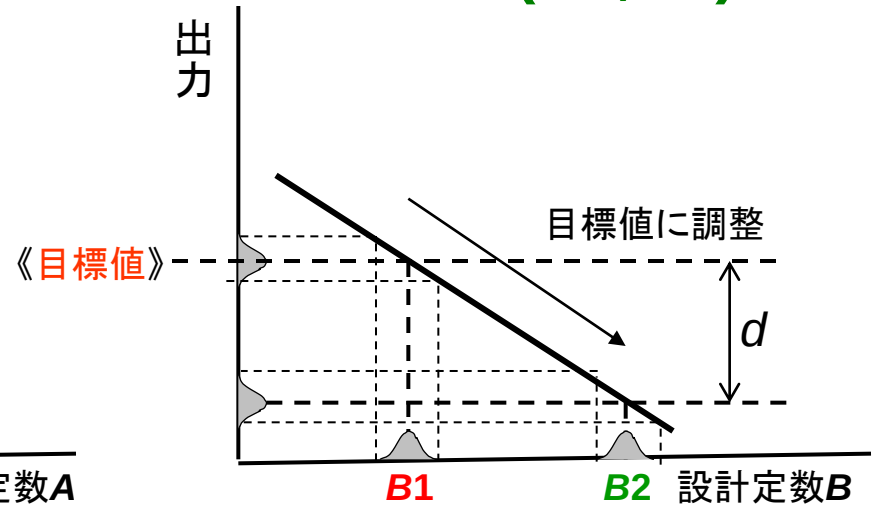


図　2　出力を目標値に合わせる
（チューニングの研究）

ロバスト設計の原理（2段階設計法）

INAXのタイル実験に学ぶ

- INAXで1950年代のタイル実験はトンネル窯の場所間による寸法のばらつきを均一にするために，製造工程（原料配合，成形，仮焼，上薬，焼成）のテストプラントで温度ノイズに強い直交実験を行い，大規模プラントで再現性を実現したことで，市場で安定したタイルを生産した。
- 高級品だけでなく，低価格の普及品も造り分けることができた。

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。

カラシニコフAK47

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。

ストナーM16

「安全設計」と規格値の決め方

- 安全設計とは「信頼性に頼るのでなく，事故が起きたときに被害が最小になる設計である」（社会的損失の最小化）
- 製品の品質特性「規格値の決め方通則」がJISZ8403で決まっているが，実際に使われている企業が少ないのはなぜか？
- 規格は相手との約束事であって，市場の品質とは関係ないことが徹底しているか？

安全設計の考え方

ー商品の寿命は永久ではないー

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)

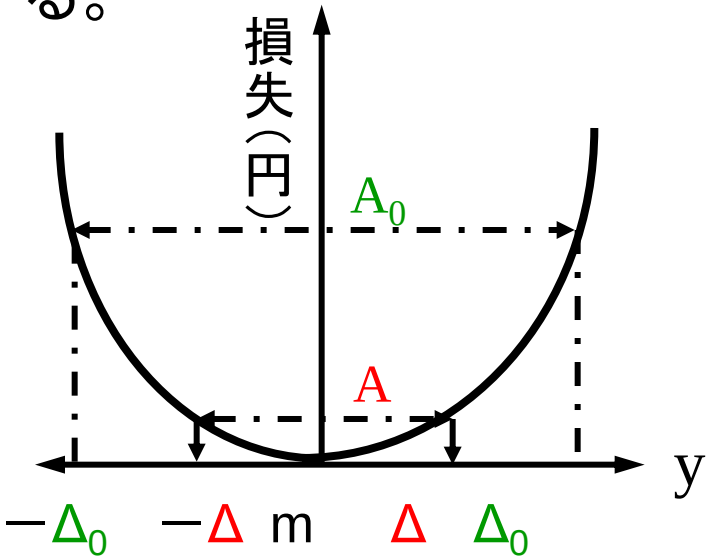
ﾁｪｰﾝ本数	価格 C(万円)	安全設計なし 品質損失 Q(万円)	安全設計なし 合計 L(万円)	安全設計あり 品質損失 Q(万円)	安全設計あり 合計 L(万円)
1	15	23250	23265	50.0	65.0
2	**30**	**5812**	**5842**	**12.5**	**42.5**
3	45	2583	2628	5.6	50.6
6	90	646	736	1.4	91.4
9	135	287	422	0.6	135.6
15	226	103	328	0.2	225.2
16	240	91	331	0.2	240.2
17	255	80	335	0.2	255.2

- 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。

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

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

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）

プラスチック成型加工の転写性によるパラメータ設計

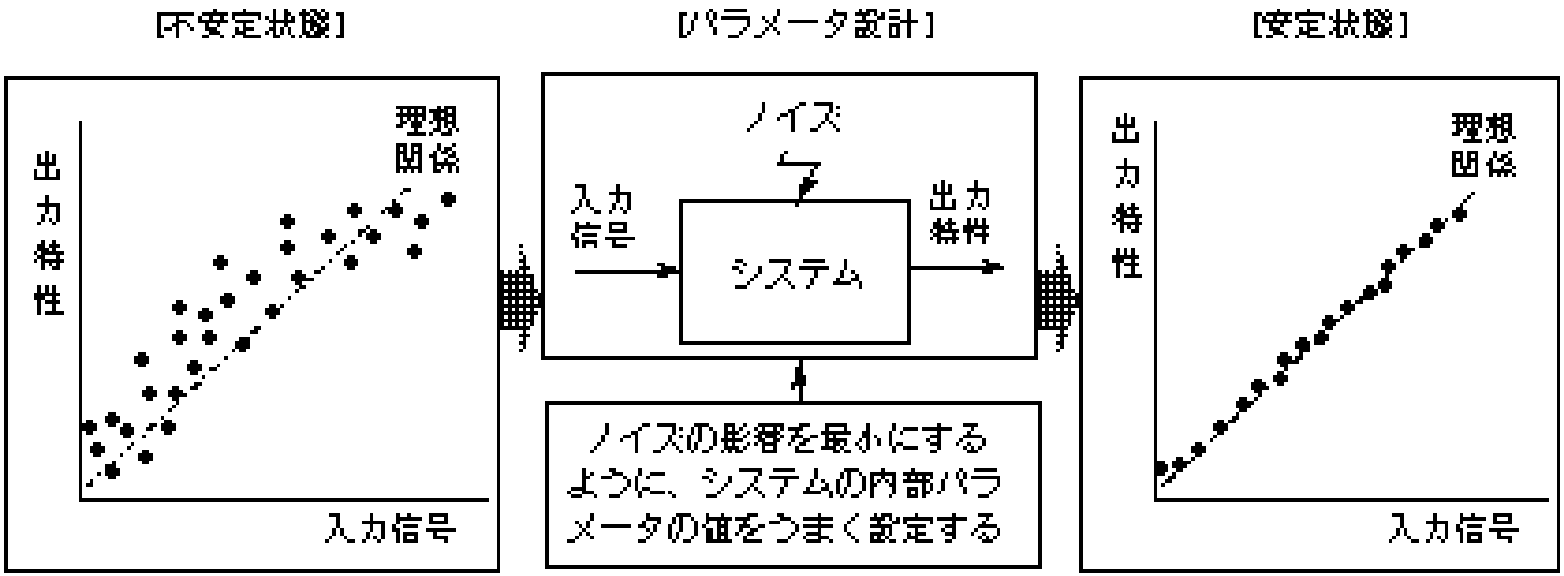


図5. パラメータ設計の概念

成形加工の技術開発では、金型と成形品の転写性で寸法の安定化を図る成形加工条件の最適化を行う。

成形加工のパラメータ設計（２段階設計）

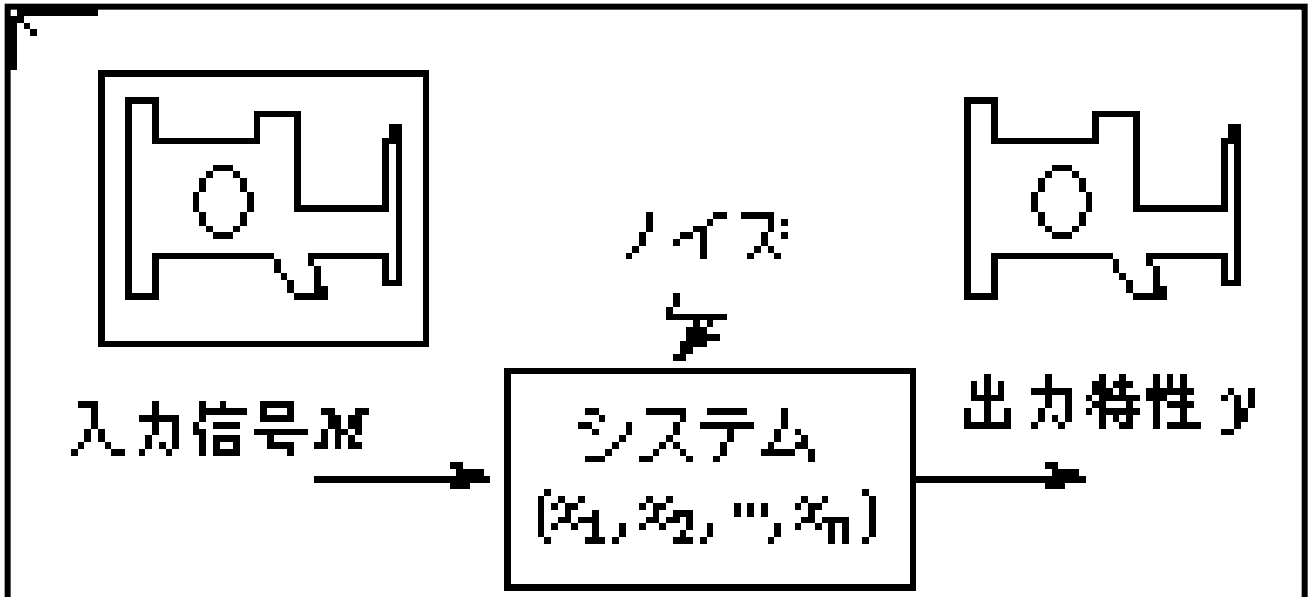


図 2. プラスチック射出成形の入出力

テストピースは単純で計測しやすい形状で金型を製作する

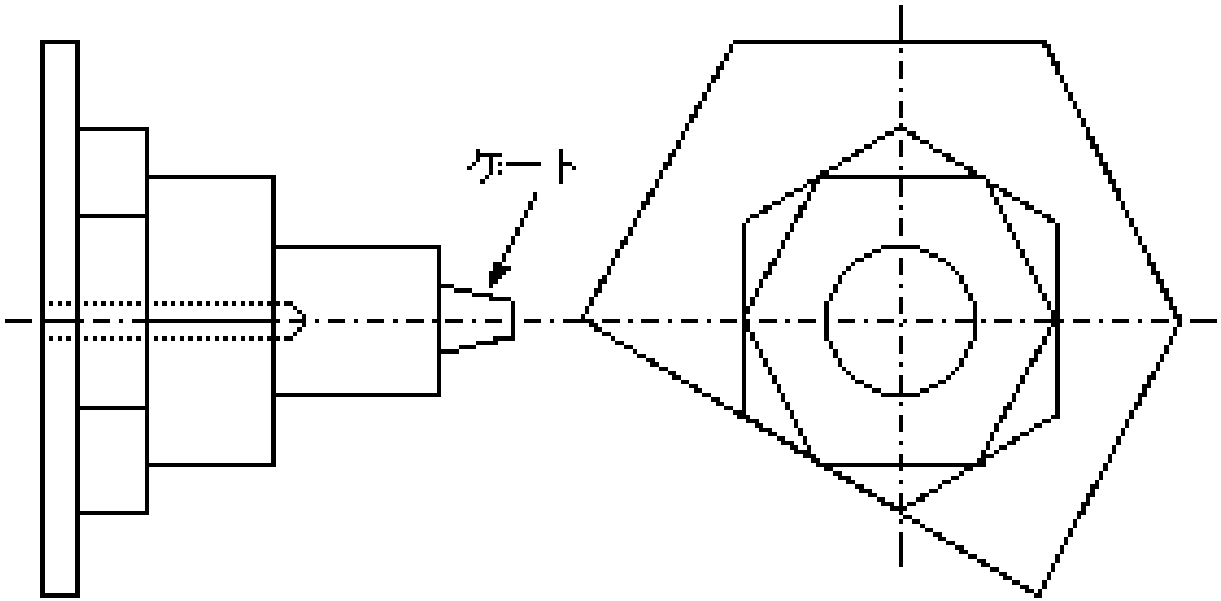


図4. 日産自動車の射出成形テストピース

金型寸法と成形品寸法の転写性が理想機能である
転写性がよければヒケや歪みがなくなり収縮率が一定な成形加工が期待できる。

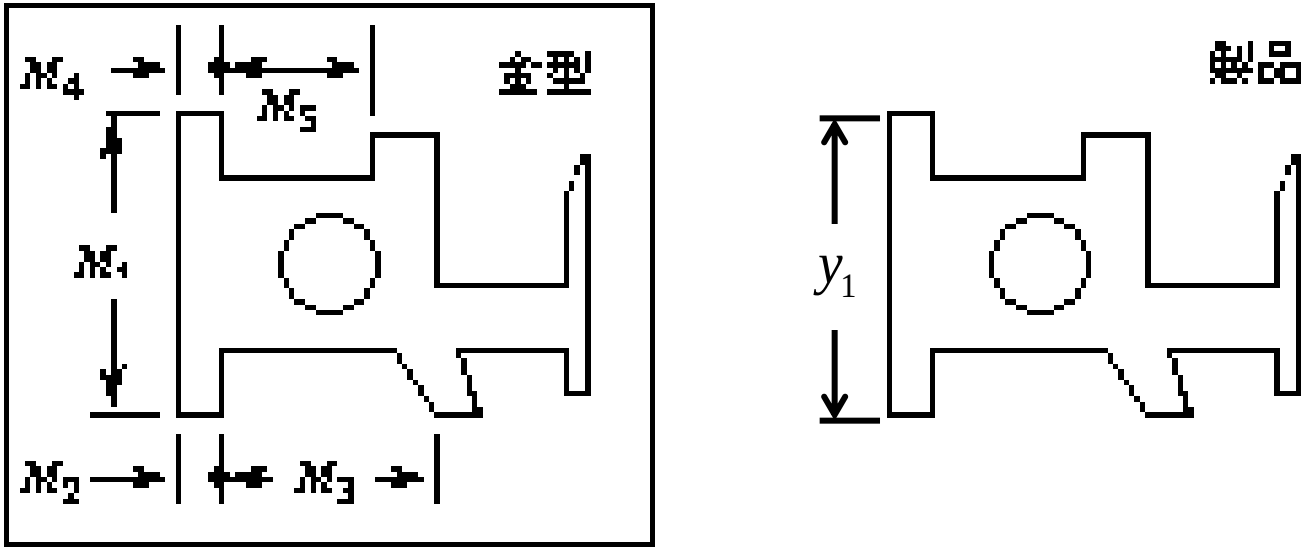


図1. プラスチックの射出成形

理想機能 $y_i = \beta M_i$　　計測特性 $y_i = \beta M_i + e$

y_i = 製品寸法　　M_i = 金型寸法　　e = 誤差

成形加工の最適条件を求めるためには、制御因子と誤差因子（ノイズ）を下表のように設定する。制御因子は設計者が品質改善のために任意に決めるものであるが、ノイズは成形条件を乱す外乱や内乱を意識的に選択する。

表 4.1　CFRP の射出成形条件の因子と水準

因子		水準	1	2	3
制御因子	A	シリンダ温度 (°C)	*低	高	—
	B	金型温度 (°C)	低	*中	高
	C	ノズル温度 (°C)	低	*中	高
	D	射出速度 (%)	5	*8	15
	E	保圧切替位置 (mm)	5	*10	15
	F	保持圧力 (%)	70	*85	99
	G	保持時間 (sec)	15	*30	45
	H	冷却時間 (sec)	40	*110	180
誤差因子	N	成形ショット数	2 ショット	5 ショット	—

注 *印は初期条件を示す.

内側直交表L18に制御因子を割りつけ、外側に信号因子とノイズを割りつけて、パラメータ設計を行い、SN比（機能の安定性）と感度（収縮率）を求める

表2. 制御因子の直交表へのわりつけ

直交表	制御因子のわりつけ								入出力関係の耐ノイズ性評価条件							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	M_1		M_2		M_3		SN比	傾き
	1	2	3	4	5	6	7	8	負側	正側	負	正	負	正		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	$y_{1.1}$	$y_{1.2}$	.		.		η_1	γ_1
2	1	1	2	2	2	2	2	2	.		.		.		η_2	γ_2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	.		.		.		η_3	γ_3
4	1	2	1	1	2	2	3	3	.		.		.		η_4	γ_4
5	1	2	2	2	3	3	1	1	.		.		.		η_5	γ_5
6	1	2	3	3	1	1	2	2	.		.		.		η_6	γ_6
7	1	3	1	2	1	3	3	3	.		.		.		η_7	γ_7
8	1	3	2	3	2	1	1	1	.		.		.		η_8	γ_8
9	1	3	3	1	3	2	2	2	.		.		.		η_9	γ_9
10	2	1	1	3	3	2	1	1	.	データ			.		η_{10}	γ_{10}
11	2	1	2	1	1	3	2	2	.				.		η_{11}	γ_{11}
12	2	1	3	2	2	1	3	3	.		.		.		η_{12}	γ_{12}
13	2	2	1	2	3	1	2	2	.		.		.		η_{13}	γ_{13}
14	2	2	2	3	1	2	3	3	.		.		.		η_{14}	γ_{14}
15	2	2	3	1	2	3	1	1	.		.		.		η_{15}	γ_{15}
16	2	3	1	3	2	3	2	2	.		.		.		η_{16}	γ_{16}
17	2	3	2	1	3	1	3	3	.		.		.		η_{17}	γ_{17}
18	2	3	3	2	1	2	1	1	$y_{18.1}$	$y_{18.2}$	.		.		η_{18}	γ_{18}

表 4.2　CFRP の射出成形の制御因子のわりつけと解析結果

単位　db

No. ＼ 因子	A	B	C	D	E	F	G	H	SN 比 η	感度 $S(\beta)$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	16.70	−0.056 9
2	1	1	2	2	2	2	2	2	16.96	−0.055 7
3	1	1	3	3	3	3	3	3	17.23	−0.053 1
4	1	2	1	1	2	2	3	3	17.00	−0.055 0
5	1	2	2	2	3	3	1	1	16.46	−0.057 5
6	1	2	3	3	1	1	2	2	15.83	−0.059 2
7	1	3	1	2	1	3	2	3	16.04	−0.056 1
8	1	3	2	3	2	1	3	1	13.97	−0.063 9
9	1	3	3	1	3	2	1	2	14.46	−0.068 6
10	2	1	1	3	3	2	2	1	17.48	−0.048 9
11	2	1	2	1	1	3	3	2	18.17	−0.045 4
12	2	1	3	2	2	1	1	3	17.01	−0.054 1
13	2	2	1	2	3	1	3	2	16.86	−0.049 8
14	2	2	2	3	1	2	1	3	14.91	−0.061 2
15	2	2	3	1	2	3	2	1	17.87	−0.040 6
16	2	3	1	3	2	3	1	2	12.67	−0.078 2
17	2	3	2	1	3	1	2	3	16.24	−0.049 2
18	2	3	3	2	1	2	3	1	16.90	−0.044 9

要因効果図の作成と最適条件の決定

成形条件の最適化の決定では
要因効果図の各因子のSN比の
最大水準A2B1C3D1E1F3G2H1を採用
して成形加工の最適条件を下式で求める。

$$\eta\ (\text{最適}) = B_1 + D_1 + G_2 + H_1 - 3T$$
$$= 17.26 + 16.74 + 16.35 - 3 \times 16.26$$
$$= 18.52(db)$$

初期条件A1B2C2D2E2F2G2H2についてSN比を推定すると

$$\eta\ (\text{初期}) = 2D_2 + E_2 + G_2 + H_2 - 3T$$
$$= 16.70 + 15.91 + 16.74 + 15.82 - 3 \times 16.26$$
$$= 16.39(db)$$

両者を比較すると2dbの利得が得られた。
最適条件の感度を推定すると

$$S\ (\text{最適}) = A_2 + B_1 + D_1 + G_2 + H_1 - 4T$$
$$= -0.0392(db)$$

感度の定義

$$S(\beta) = 10 \log \beta^2$$

$$\beta = \sqrt{10^{0.1 \times (-0.0392)}} = 0.995$$

収縮率は0.995と推定される。

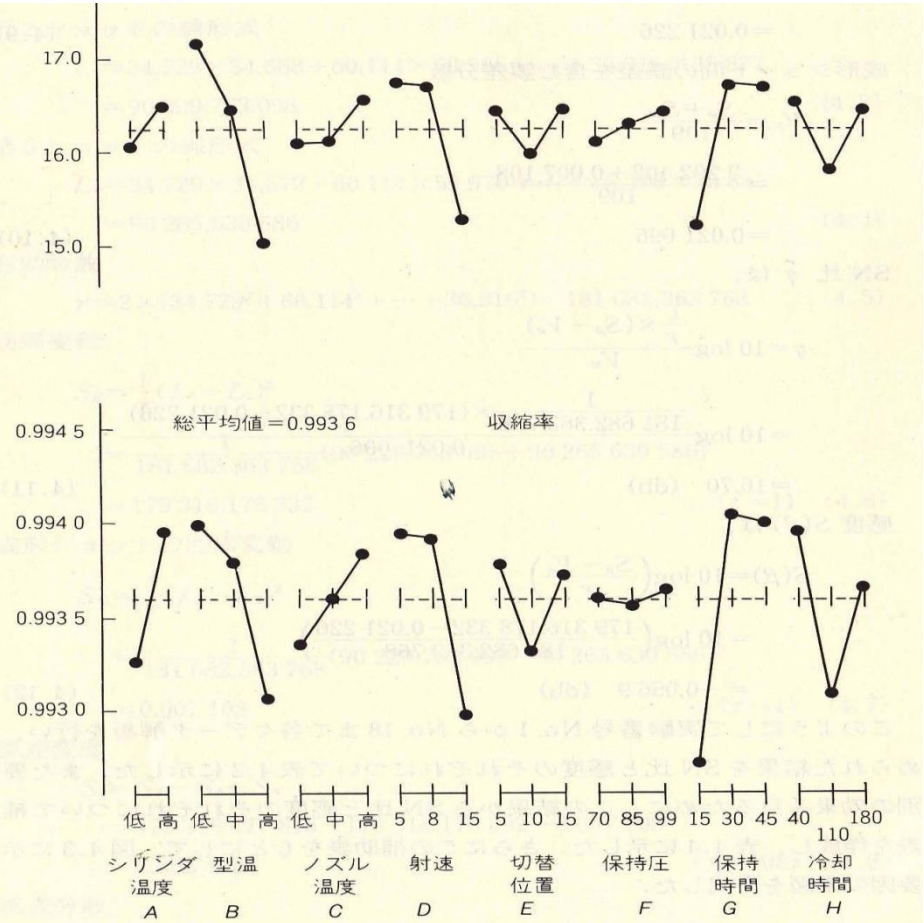


図4.3 CFRP の射出成形の転写性の SN 比と収縮率の要因効果図