

輪読「田口玄一論説集」

第3巻 第5編

新製品、新技術、新システムの開発設計

第1章 目的機能と基本機能(1)

—能動的機能の場合

1.1 目的と手段

あらゆる技術には、なんらかの目的がある。
目的を達成するシステム(コンセプト)を発明し、
設計を行うのが技術である。

目的には2つの面がある。

① 商品としての機能 = 品種	② 機能性
消費者品質、商品品質	技術品質
機能と外観	機能のばらつき、使用コスト、公害など
消費者が望んでいるもの	消費者の望まないもの = 社会損失
商品企画に関係する(技術は必要ない) ※評価にはMTシステムが有用	機能そのものではなく、機能のばらつきを 機能性と呼ぶ

技術品質 = 機能性(機能のばらつき)

たとえば、車のエンジンの場合

消費者の感じる品質項目

- ・騒音が大きい
- ・振動が大きい
- ・故障が多い
- ・排気ガスに有害成分がある
- ・燃費が高い



エンジンの機能が悪いいため

- ・現在のエンジンの効率
⇒25%
- ・75%の燃焼ロスが、
騒音、振動、公害の原因
燃費4倍
高温になり、寿命短い

技術品質は、すべてエンジン機能の機能性
(理想機能からのばらつき)が悪いために起こる。

エンジンの機能を3倍(燃料のエネルギー効率を3倍)に
出来れば、公害も1/3、エンジンも小型化、燃費も1/3。

機能/機能性(??)、 効率/ばらつき(??)

機能性の改善で品質問題を解くことを、米国では

One stone kills all birds(一石全鳥) と呼ぶ。

品質工学(タグチメソッドのパラダイム)の役割

あらゆる品質問題は、機能性というただ一つの特性で評価できる。

機能性であらゆる品質問題を評価するときは、
目的機能と基本機能の差を知ることが大切！

1.2 エンジンの目的機能

エンジンの機能は、ガソリンの燃焼エネルギーを、機械的トルクに変換すること。

目的機能を用いたエンジンの機能性改善の事例
(フォードの研究文献)

理想機能の定義: $y = \beta M$

信号M: 燃料消費量、出力y: IMEP (図示平均有効圧力)

IMEP(indicated mean effective pressure): 1サイクルあたりの仕事量を機関の行程容積で割った値を圧力の単位で示したもの。エンジンの回転速度や大きさに関係しない性能であるため、排気量や回転数の異なるエンジンの性能を比較することができる。

この研究では、騒音、振動を減らし、燃費を8%低減＝大きな成果
但し、NOxに対する対策が欠けている。

⇒ 目的機能で研究したため

エンジンの基本機能は、化学反応である。

反応の基本機能を議論するとき、品質工学では、反応の中心的役割をする物質に注目する。 = 酸素

入力物: 酸素O₂ ⇒ 目的物: CO₂
不十分反応物: O₂、CO
副反応物: NO_x

化学者は、目的物CO₂の収率を測るが、
それでは、最適条件を求める研究は全くダメ

たとえば、収率80%の時、

20%が未反応物のみ: 反応速度を上げる対策が有用 = 温度上げる

20%が副反応物質: 副反応の反応速度を下げる = 温度下げる

同じ収率80%でも、温度の最適条件が異なる → 相互作用の発生

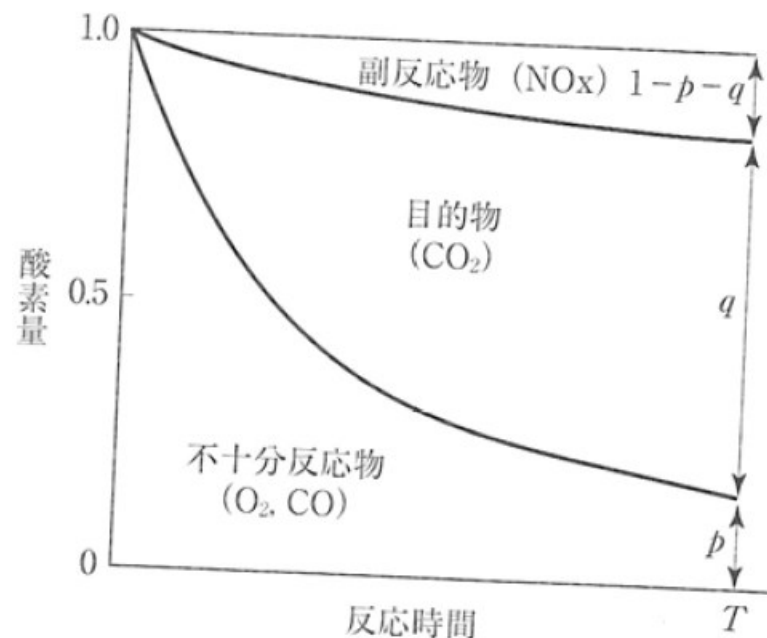
相互作用があるときは、特性値がまずい(品質特性を使っている)
⇒ まだ基本特性ではなく、機能性評価としては完全でない

1.3 エンジンの基本機能

エンジンの基本機能は、化学反応であるが、反応結果を2つの率で表す。

不十分反応の収率を p 、目的物の収率を q とすると、副反応物は $(1-p-q)$ である。

エンジンの設計や運転条件を直交表L18に割り付け、各条件での、初期と定常状態の排気ガスを成分分析し、 p 、 q を求める。



→ エンジンのサイクルタイム

p、qを求めたら、基本機能を以下のように考える。

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

β_1 が大きくなる=反応速度大=エンジンの出力が上がる

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

β_2 がゼロに近くなる= $p+q$ が1に近くなる=副反応がほとんど起こらない

式の両辺の逆数を取り、対数変換すると、

$$\ln \frac{1}{p} = \beta_1 T$$

$$\ln \frac{1}{p + q} = \beta_2 T$$

両辺をT(サイクルタイム)で割り、反応速度 β_1 、 β_2 を求める。

$$\beta_1 = \frac{1}{T} \ln \frac{1}{p}$$

β_1 は大きいほどよく、 β_2 は小さいほど良い

$$\beta_2 = \frac{1}{T} \ln \frac{1}{p + q}$$

エンジンの基本機能である化学反応のSN比 η は、

$$\eta = 10 \log \frac{\beta_1^2}{\beta_2^2}$$

β_1 : 反応速度

β_2 : 副反応の反応速度

機械エネルギーの大きさを上げるための感度 S は、

$$S = 10 \log \beta_1^2$$

反応が早いほど、出力が出る

実際には、始動時 N_1 と10分間エンジンを動かして温度が上がった時の安定時 N_2 を誤差因子として、データを取る

表 1.1 エンジンの基本機能のデータ
(サイクルタイムは6000 rpmとする)

	N_1	N_2
p	0.215 3	0.096 4
q	0.782 0	0.885 7
$p+q$	0.997 3	0.982 1

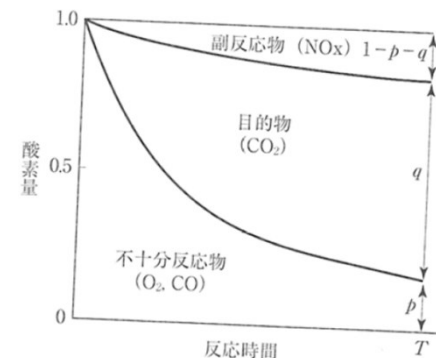


図 1.1 酸素の行方

回転数 6000rpm

サイクルタイム $T=0.01\text{sec}=10\text{msec}$

測定した p 、 q から、
単位時間当たり(ここでは1ミリ秒)の反応速度 β_1 、 β_2 を求める。

N_1 の場合

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0.2153} \\ &= 0.153572\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_2 &= \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0.9973} \\ &= 0.0002704\end{aligned}$$

N_2 の場合

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0.0964} \\ &= 0.233925\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_2 &= \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0.9821} \\ &= 0.0018062\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \frac{1}{T} \ln \frac{1}{p} \\ \beta_2 &= \frac{1}{T} \ln \frac{1}{p+q}\end{aligned}$$

不十分反応の反応速度 β_1 は、望大特性のSN比 η_1
副反応の反応速度 β_2 は、望小特性のSN比 η_2 を求める。

$$\eta_1 = -10 \log \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0.153\ 572} + \frac{1}{0.233\ 925} \right)$$
$$= -14.819\ 8$$

$$\eta_2 = -10 \log \frac{1}{2} (0.000\ 270\ 4 + 0.001\ 806\ 2)$$
$$= 57.778\ 7$$

総合したSN比 η は、

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = -14.819\ 8 + 57.778\ 7$$
$$= 42.958\ 9$$

SN比の最適条件を求めた上で、SN比にほとんど効かない制御因子で感度を改善する。

感度Sは、 η_1 の実効値 β (β_1 の調和平均)で評価する。

$$\frac{1}{\beta^2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0.153\ 572} + \frac{1}{0.233\ 925} \right)$$

を解いて

$$\beta = 0.181\ 6$$

したがって、反応は平均して次式に従って起こる。

$$p = e^{-0.181\ 6T}$$

基本機能は、目的機能を持たせるための手段としての機能である。

化学反応の最適条件 \Rightarrow 燃烧エネルギーから機械トルクへの変換システムとして最適条件

と言って良い？

1.4 機能性の基本機能

個別技術の改善作業や設計作業は、永続性のない短期的な活動であり、何回も繰り返されるのだから
改善作業、設計作業の中のパラメータ設計、許容差設計は
合理化や自動化を行うべき対象である。

実験が必要な場合は、すべてを機械化できないが、理論式がある場合は、コンピュータシミュレーションで自動化できる。

理論式に含まれる設計定数(パラメータ)を目的機能に近づくよう、最適水準組合せを探求する。
理論式と初期条件のみを担当者が決め、あとはコンピュータに任せたいが、問題は評価関数である。

今までは、目的機能(理想機能)になるように、設計パラメータの組合せを逐次近似する方法を用いていた。

この方法では、市場での機能性の改善はできない。



品質工学では、コンピュータシミュレーションのパラメータを中心値のまわりに微少変化させ、その効果をノイズの効果と考えると、ノイズの効果を小さくする機能性の評価を行う。

こうすれば、使用条件の差、劣化に伴うパラメータの値の変化製造のばらつきを考えた水準を詳細に求めなくても良い。

品質工学では、コンピュータシミュレーションでも、SN比によって機能性を改善し、そのあとで標準条件で目的機能に合わせる2段階設計を主張している。

第2章 目的機能と基本機能(2)

—受動的機能の場合

2.1 判断は目的機能で基本機能ではない

判断：健康人と不健康人を区別する。

仮説が正しいかどうか。

被告が犯人かどうか。

→ 統計的方法など、判断の正確さを上げる方法が研究されてきた。

技術の世界では...

判断は、基本機能ではなく、目的機能であり、用いるべきでないと言われる。

目的を達成するための手段が技術であり、手段としての機能の良さを評価することが、基本機能の機能性である。

たとえば、硬さに対する検査を考える。

硬さの規格を満たすかどうかの判定の誤りは、検査の誤りであるが、そのような誤りを直接研究するのはまずい。

硬さを計測する精度がよくなれば、どんな規格に対しても判定の誤りは少なくなるから。

目的機能：検査の誤りではなく、基本機能：計測の精度を研究すべし。

技術分野に対する統計的方法の最も大きな誤算は、第一種の過誤 α と第二種の過誤 β を重要な目的特性として研究してきたこと。

技術の発展の70%は、計測技術の発展であり、判定の誤りは計測技術が悪いため。

計測は、科学や技術研究に重要であるだけでなく、取引にも重要で、ISOの規格として国際標準化されてきた。

硬さの専門家は、硬さを計測しても硬さの改善が出来ないから、硬さの計測法を重要視していない。

硬さを改善する技術は、固有技術でありそこにしか役に立たない。限定された条件での目的達成の手段や数年おきに設計される製品の設計は、専門技術であって開発研究全体には有用な戦略ではない。

(それに対し)計測は、限定された分野にしか役立たないが、硬さの改善研究には永久に役立つものである。だからこそ、国際標準として標準化される。(それゆえ、計測法の研究が有用な戦略である。)

計測そのものは手段であるが、その計測法が良いものかどうかには、計測精度の評価が重要である。SN比は、計量研究所では計測法の計測と言われたことがある。

硬さの規格に対する判定誤りは、計測法の精度がよくなれば少なくなる。

判定の誤りを直接求めて評価するのは、能率の悪い方法であり、そこに第1種の過誤、第2種の過誤を考えているならそれは誤りである。

判定の規格値近くの真値をもつもののみが、計測誤差で判定の誤りが起こるので、真値の値によって判定の誤りの程度は変わる。

したがって、第1種の過誤、第2種の過誤は、真値の関数で真値の分布が明白でない限り、一定の値にはなりえない。

真値としてしきい値を持っているものは、判定の誤りが50%、50%であり、その損失は同じになっているはずである。

したがって、二つの母集団の区別をするという判別関数は、検査や判定の場合誤っていることになる。

判断を正しくするためには、その背後にある計測機能の精度を上げること。

計測とは、連続量を測ることであり、連続量としての計測精度を改善することが大切。

それを、基本機能による設計研究という。

2.2 多次元空間の場合、総合計測のSN比

健康診断の場合

健康診断は、全被験者に健康度(不健康度)というものさしをつくり、健康度に計量値としての尺度を与えること。

正しく精度のよい健康度の計測法が出来れば、あるしきい値を決め、
それ以下の人は十分健康、何もなくて良い
その値を超えた人は、精密診断を受けなさい
と正しく判断できる。

現在は、個々の計測値について、例えば血圧については正常範囲を決め、
それ以下は低血圧、それ以上は高血圧、この範囲は正常としている。
しきい値は、どちらに判断されても損得が等しいように決められている。

二つの誤りによる損失は、

第1種の損失:しきい値の人を正常と判断して精密検査をしなかったために、
病状が悪化して治療などの経費の増加に伴う損失

第2種の損失:しきい値の人を異常と判断して、精密検査をするときの経費

今までの方法は、個々の計測項目ごとにしきい値を決める方法



全受診者に健康度という一つのものさしを作るには、
項目間の相互関係を考えたものさしが重要

ものさしには、ゼロ点(基準点)と単位量が必要であるが、
多次元空間では、ゼロ点(完全な健康状態)は医学的に不明で
あり、まして、不健康度の単位量を決めることはもっと困難である。

MTシステムのMT法では、できるだけ完全な健康状態の人を
数百人集めて、マハラノビス空間を作り、マハラノビス空間から
ゼロ点と単位量を導入した。

マハラノビス空間の平均は、すべての項目で平均の値をもつとき
= ゼロ点

ゼロ点からどれだけ離れているかが、マハラノビス空間のMD
(マハラノビスの距離) = 単位量

兼高博士の事例：肝疾患の健康診断にMT法を応用

17個の項目について、以下の2つの単位空間を作った。

- ・一般の正常人の空間
- ・体育学部の正常人の空間

体育学部の学生でつくったマハラノビス空間を用いたとき、一般の正常人は体育学部の学生と異なる大きな値をもつ。

単位空間としてどちらが良いかは、肝疾患患者に対するマハラノビスの距離を求めたとき、それが医学上の病状の重さとよく合っているかどうかで判断される。

病状の程度とよく合うことは、品質工学のSN比による評価で調べる。

項目数を k として、二次の統計量までを用いたマハラノビスの距離 D は、

$$D = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{ij=1}^k a_{ij} \left(\frac{x_i - m_i}{\sigma_i} \right) \left(\frac{x_j - m_j}{\sigma_j} \right)} \quad (2.1)$$

$$m_i = \text{単位空間の } i \text{ 番目の項目の平均} \quad (2.2)$$

$$\sigma_i = \text{単位空間の } i \text{ 番目の項目の標準偏差} \quad (2.3)$$

$$a_{ij} = \text{単位空間の相関行列の逆行列の } ij \text{ 成分} \quad (2.4)$$

2.3 SN比による評価

どちらの単位空間が良いかをSN比で評価する

項目の選択、単位空間の選択は、計測システムの設計上は制御因子である。単位空間の選択も、単位空間に属さない病人に対する距離が、医者判断とよく合うかどうかで評価する。

単位空間のSN比評価

単位空間を2水準A1、A2とする。

A1＝一般の健康人

A2＝体育学部の学生の健康人

L人の肝疾患患者に対して、A1、A2の各単位空間からの距離を求める。

A_1 の場合 D_1, D_2, \dots, D_l

A_2 の場合 D_1', D_2', \dots, D_l'

L人の患者に対して、医師の判断した重病度M1、M2、...、MLが分かる場合は、それを真値として、二つのSN比を求めて比較する。

SN比は比例式のSN比を求める。

A1の場合

$$S_T = D_1^2 + D_2^2 + \cdots + D_l^2 \quad (2.5)$$

$$S_\beta = \frac{(M_1 D_1 + M_2 D_2 + \cdots + M_l D_l)^2}{r} \quad (2.6)$$

$$r = M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_l^2 \quad (2.7)$$

$$S_e = S_T - S_\beta \quad (2.8)$$

$$V_e = \frac{1}{l-1} \times S_e \quad (2.9)$$

$$\eta = 10 \log \frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_e} \quad (2.10)$$

A2の場合も同様

$D_1 \rightarrow D_1'$ 、 $D_2 \rightarrow D_2'$ 、...、 $D_L \rightarrow D_L'$ として求める。

病状の程度が不明の場合は、望大特性のSN比を用いる。
(病人をできるだけ大きな距離に判断する手法をよしとする)

$$\eta = -10 \log \frac{1}{l} \left(\frac{1}{D_1^2} + \frac{1}{D_2^2} + \dots + \frac{1}{D_l^2} \right) \quad (2.11)$$

求めたSN比から、A1、A2のどちらの単位空間がより良いかを選択する。

望大特性のSN比は、病状の判定が必要ないので便利に利用されているが、距離の妥当性(特に軽症の患者に対する)が不明である。計測法の精度のためには、次節2.4の動特性のSN比を用いる。

2.4 動特性のSN比による評価

A1、A2(単位空間)のほかに、k項目についても以下の2水準としてSN比を求める。

第1水準 その項目を用いる

第2水準 その項目を用いない

これら(k+1)個の2水準の制御因子を直交表に割り付け、各実験条件でSN比を求める。

SN比の求め方

たとえば、肝硬変の患者11人が、以下の3組に分かれているとする。

軽症 3人、中症 6人、重症 2人

11人に対するマハラノビスの距離を、D1,D2,D3(軽症)、D4,D5,...,D9(中症)、D10,D11(重症)としたとき、

各クラスに対するマハラノビスの距離の平均値を求め、信号値とする。

$$\bar{D}_1 = \sqrt{\frac{1}{3} (D_1^2 + D_2^2 + D_3^2)} \quad (2.12)$$

$$\bar{D}_3 = \sqrt{\frac{1}{2} (D_{10}^2 + D_{11}^2)} \quad (2.14)$$

$$\bar{D}_2 = \sqrt{\frac{1}{6} (D_4^2 + D_5^2 + \dots + D_9^2)} \quad (2.13)$$

公式にしたがい、動特性のSN比を計算する。

$$S_T = D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_{11}^2 \quad (2.15)$$

$$S_\beta =$$

$$\frac{[\bar{D}_1(D_1+D_2+D_3)+\bar{D}_2(D_4+D_5+\dots+D_9)+\bar{D}_3(D_{10}+D_{11})]^2}{r}$$

$$(2.16)$$

$$= \frac{[3(\bar{D}_1)^2 + 6(\bar{D}_2)^2 + 2(\bar{D}_3)^2]^2}{3(\bar{D}_1)^2 + 6(\bar{D}_2)^2 + 2(\bar{D}_3)^2}$$

$$= 3(\bar{D}_1)^2 + 6(\bar{D}_2)^2 + 2(\bar{D}_3)^2$$

$$= \frac{(\bar{D}_1+\bar{D}_2+\bar{D}_3)^2}{3} + \frac{(\bar{D}_4+\bar{D}_5+\dots+\bar{D}_9)^2}{6} + \frac{(\bar{D}_{10}+\bar{D}_{11})^2}{2}$$

$$(2.17)$$

$$V_e = (S_T - S_\beta) \times \frac{1}{8} \quad (2.18)$$

SN比 η を次式で求める。

$$\eta = 10 \log \frac{1}{V_e}$$

$$= -10 \log V_e$$

$$(2.19)$$

←その理由は、 S_β を(2.16)で求めると
動的SN比の分子は、

$$\frac{1}{r} (S_\beta - V_e) = 1 - \frac{V_e}{r} \doteq 1 \quad (2.20)$$

グレード別の患者に対して動的SN比を求めたことになる。

グレードのない疾患については、望大特性のSN比を求める。(2.3)

グレードのある患者群に対するSN比、グレードのない患者群に対するSN比を別々に解析し、疾患群ごとの重要項目の選択や単位群の選択をしても良いが、それは病気の種類を決める診断問題である。

全部のSN比の和を作り、最適システムの設計を行った後の方法としても良い。しかし、研究としては両方をやることを勧める。

別の簡便法は、次の方法である。

- ① 全L人に対して望大特性のSN比で評価する。
- ② グレード別の患者群のある疾患については、別々に式(2.19)でSN比を求める。

この方法は、前述の方法に比較してわかりやすいので多くの研究者はこの方法を使うと思われる。

大切なことは、①の望大特性のSN比はあくまでも便宜的なもので、②の動的SN比が大切である。

SN比のほかに、軽度、中度、重度などの平均値 \bar{D}_1 、 \bar{D}_2 、 \bar{D}_3 は医学上妥当かどうかが見られるからである。