

機能性を評価する品質工学と不二越の取り組み

Evaluation method of substantial functions by the Quality Engineering
in NACHI-FUJIKOSHI

キーワード

品質工学, MTS 法, パラメータ設計, 2 段階設計, ばらつき, SN 比,
誤差因子, タグチメソッド

品質保証部 TQM
嘉指伸一

■ 摘要

近年、品質工学は研究開発の効率化に有効であることが認められ、積極的に導入する企業が増えている。しかし、品質工学を統計的解析法や実験計画法ととらえている誤解も多い。品質工学は、研究開発の効率化をねらった総合計測と評価技術の考え方とその方法論であり、品質工学で用意された各種手法により商品や技術が市場に出てから起こるトラブルを未然に防ぐことができる。また、商品や技術の機能を経済性で評価することにより、技術の改善効果を金額換算することや社会に与える総損失を下げるために改善効果をコストと品質に配分することもねらっている。不二越でも研究開発部門の体質改善活動の柱として品質工学的な考え方で仕事を進めている。

■ Abstract

In recent years, availability of the Quality Engineering is being widely recognized because of drastic efficiency in Research & Development, therefore, a lot of companies are introducing and applying to not only R&D but also improvement of production.

However, to our regret, the Quality Engineering is still misunderstood as one of statistical analysis methods or experimental planning methods.

The Quality Engineering is a methodology of synthetic measurement and evaluation technics to realize efficient R&D. Various methods provided by the QE could prevent any troubles after the products or technologies are launched into the market. Furthermore, as QE could evaluate functions of products and technologies as economy, improvement effects are clarified in certain amount and is divided to cost and quality in order to decrease the social loss in total. NACHI-FUJIKOSHI proceeds QE to Research & Development division as a key activity to have a strong constitution.

1. はじめに

田口玄一博士によって開発・体系化された『タグチメソッド』は、アメリカで高く評価され、日本に逆輸入された形となって『品質工学』と命名された。1993年に『品質工学フォーラム』が設立され、また、学会会議として認められたのが1997年であるので、『品質工学』という言葉は比較的新しい。世界的には、『タグチメソッド』といった方が知名度はある。しかし、アメリカでは、『タグチメソッド』という

言葉が先行して有名になり、一部ではその本質が必ずしも理解されず誤解もある。

日本においても、研究開発部門に品質工学を導入する企業や研究機関が近年増加している。これらを受けて、この斬新な考え方と技術論の一部をISOの規格として日本から提案する通産省のプロジェクトも編成され、機能性の評価方法として将来、国際的に一般的な考え方になることも予想される。

一方、不二越では、長年にわたりTQCやTPM、JITなどの体質改善活動を進めてきた。特にSQC

表1 機能品質に対する活動と品質工学の分類

部門	ばらつきの種類 対策	外部・環境 (外乱)	内部・劣化 (内乱)	品物間の ばらつき	分類・適用	
					オフライン 品質工学	オンライン 品質工学
技術部門	(1) システム選択 (2) パラメータ設計 (3) 許容差設計	◎ ◎ ○	◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎	オフライン 品質工学	MTS法
	(1) システム選択 (2) パラメータ設計 (3) 許容差設計	× ×	× ×	◎ ◎		
ライン部門	(1) オンライン工程管理 (2) オンライン製品管理	× ×	× ×	◎ ◎	オンライン 品質工学	
	(3) アフターサービス	×	△	△		

◎：対策が可能 ○：可能だができるだけ避ける
△：予防保全としては可能 ×：不可能

(Statistical Quality Control) は、1950年頃から導入され、当時、地域社会は勿論、日本のSQCを先導した輝かしい歴史もある。その後も日本科学技術連盟主催のベーシックコースや実験計画法コース、富山県経営者協会主催の品質管理基礎講座や実験計画法講座などに多くの技術者を派遣し、長年にわたり統計的品質管理の教育を推進してきた(図1)。

1987年頃からは、デザインレビューの大切さや、顧客の要望する商品を開発するための品質機能展開、シーズとニーズを融合するための管理技術を学び、多くの成果を上げるとともに、それまで以上に積極的にSQCを普及展開させてきた。また、当時新しい手法として特に注目されていたパラメータ設計や多変量解析を活用した事例も出始め、対外的にもそのレベルの高さが評価されるようになった。

1993年からは、それまでのパラメータ設計をSQCのSN比解析という見方でなく『品質工学』の中の手法と位置づけし、それらの計算や解析の前の「何を意図して何を計測するか」「どうやって計測し評価するか」を中心とした基本機能の考え方に重点を置く品質工学の本質を理解し、活用するようになってきた。これにより研究開発部門の体質改善活動の柱として技術開発や改善の効率化をねらった『品質工学』を導入・展開するに至っている。

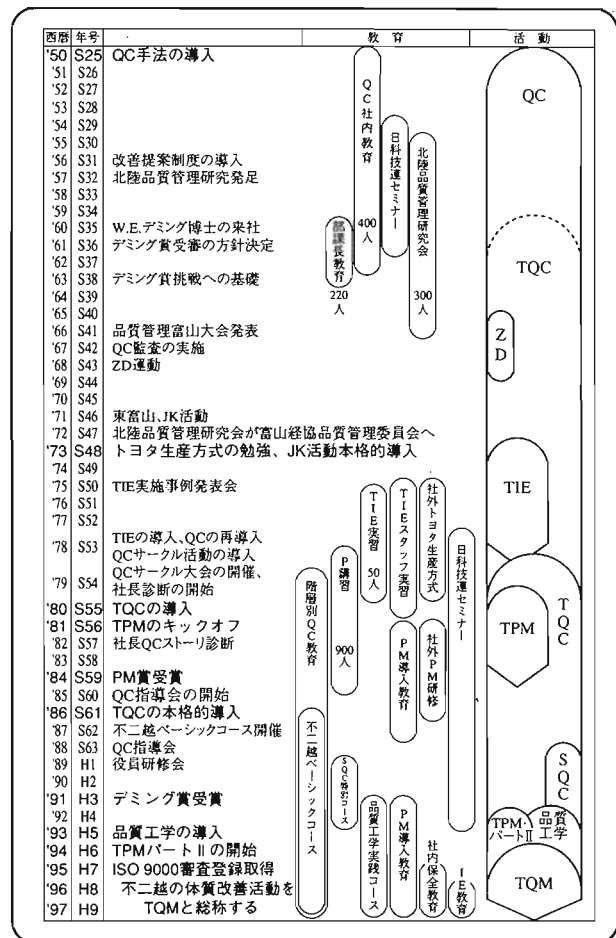


図1 不二越の体質改善のあゆみ

2. 品質工学の全体像

現在、品質工学と呼ばれる範囲は、次の3つに大別できる。

- ①オフライン品質工学
- ②オンライン品質工学
- ③パターン認識 MTS法(マハラノビス・タグチ・システム)

(1) オフライン品質工学

オフライン品質工学とは、研究開発、生産技術開発部門で行われる改善研究であり、品質工学の最も重要な分野であり、不二越としても最も力を入れてきた分野である。

オフライン品質工学の第1段階は、技術や商品をシステムとしてとらえ、そのシステムの入力と出力を明確にする。この段階では、システムの目的を明ら

かにして、目的の技術的手段の入出力関係を明らかにする。その技術的手段の入出力関係を基本機能と呼び、入力を信号因子 (M)、出力を特性値 (y) として $y = \beta M$ を理想機能と考える。

第2段階は、第1段階で取り上げたシステムの市場での使われ方を整理し、 $y = \beta M$ の理想関係からずれる使われ方や環境条件を取り上げるステップであり、この使われ方を誤差因子と呼んでいる。ここまでのステップが取り上げた技術や商品の評価のための整理であり、この信号因子と特性値と誤差因子から SN 比という一つの評価尺度を決める。

第3段階は、改善のために行われるパラメータ設計である。いろいろな設計諸元や加工条件などの制御因子のねらい値をどこにするか決めるために直交表などを使って実験する。この段階では、最初にばらつきを最小化して、次にシステム全体のねらい値に調整するという2段階設計を行う。

(2) オンライン品質工学

オンライン品質工学とは、フィードバック制御やフィードフォワード制御など製造工程の品質管理を経済性にもとづいて最適化する手法であり、近年 JIS 化が進められてきた分野である。この手法により、ワークの計測間隔の経済的決定や特性値が変化した場合の調整限界の最も経済的な値を決めることが出来る。また、計測器の校正間隔や点検間隔、そして校正限界などの管理方法、設備の保全間隔や点検間隔、そして検査設計や工程連結の考え方などを決めることも出来る。製造段階での品質管理や設備管理などを損失関数の活用により最も経済的に決めることができる手法の体系化されたものである。

(3) パターン認識 MTS 法

MTS 法は、情報処理の生産性向上を目的とした方法論であり、品質工学で最も新しい研究分野である。何らかの手段により得られた各種の情報からの特徴を抽出し、パターンを認識する手法であり、その経済的な情報の選択までを行う。

従来、パターンを認識するためには、認識したい異常の集団を中心に特徴を抽出する研究が主流であった。しかし、MTS 法は、正常集団を中心に研究し、正常集団の基準点と単位量を決め、一つの評価特性 (マハラノビスの距離) にする。

また、従来パターンを認識しようとする時は、いくつかの特徴量やあるいは、それらの計算結果であるいくつかの主成分でパターンを認識しようとしてきたが、この方法は、全ての主成分を使って認識しよ

うという方法である。

しかし、パターンを認識できる特徴量を全て抽出して都度マハラノビスの距離を計算することは、決して経済的ではない。そこで、経済性のためにパターン認識に必要な情報と不要な情報を取捨選択し、最も経済的にパターンを認識できる情報に合理化するのが次のステップで用意されている。

この手法は、病気の診断や治癒状態の予測、火災報知器の火事検出、外観検査機による診断、ソフトウェアの能力評価などに適用され、近年盛んに応用研究が始まっている。

3. SQC と固有技術

日本に SQC が導入された当初から、「SQC と固有技術は車の両輪であり、2 つの理解があって初めて大きな成果が得られる」と言われていた。SQC が注目され、盛んに導入された当時は、実験計画法などの管理技術のレベルも低く、ばらつきの概念さえ理解されない一本釣りの技術であったため、この SQC によって多くの成果を上げることができた。その点では、管理技術の果たした役割は大きく、日本の工業に対する貢献も大きかった。

しかし、固有技術や計測技術のレベルが上がるに従い、いろいろな特性値を計測できるようになり、解析の対象データも多岐にわたり、それと同時にコンピュータが手軽に手に入るようになって、SQC の解析レベルは急速に向上した。

統計解析のレベルが上がると「この特性との関係は、」「こちらの特性との関係は、」といろいろな興味がわき、現象の把握と因果関係の明確化に研究の中心が移りやすい。

しかし、現象の因果関係を解明しても、異なる環境や使われ方で、その因果関係がどうなるかわからない。また、いろいろな環境や使用条件での因果関係を調べることは時間がかかり、すべてを調べることは不可能である。現象を解明して説明しても、それを新たな創造や改善に結びつけることはそう簡単ではない。

技術者の目的は、現象の因果関係の解明や市場に出てからの信頼性が大丈夫かを検査することではなく、創造や改善である。創造や改善のためには、いくつかのアイデアを試さなければならない。いくつかのアイデアを試すからこそ、創造や改善の可能性が出てくる。したがって、観察研究よりは、実験研究が

重要となり、多くの設計条件を効率的に行うために多くの因子と水準が割り付けられる直交表 L18 が使われる。

SQC の実験計画法は、採集したデータの偶然ばらつきと取り上げた制御因子の水準の平均値を統計的に検定し、確率にもとづいた結論を出してくれる。したがって、どのような因子を取り上げるかは、技術者に任されており、効果のある因子をどのように考えて実験するかで成果があるか否かが決まる。このことから SQC だけでは、成果が上がらないし、また、固有技術だけでも、必ずしも効果的でないと言われてきた。

しかし、どのようなデータを採り、評価するかという点では、SQC の問題でなく、固有技術のレベルの問題であり、計測されたデータを解析する段階から SQC の責任である。ここが最も重要な点であり、計測したデータ、評価したデータが統計的な解析の対象として良いという前提で解析が進められる。したがって、統計的な解析対象としてふさわしいかどうかは、固有技術の面から検討しなければならず、実験をする技術者に任されていた面も多々あり、その部分が実験内容の成否の分かれ目であった。

4. 品質工学と SQC

一方、田口玄一博士は、従来から仕事の生産性向上を研究されてきた。その中の大きな部分が実験計画法を工学の分野に適用する研究であった。この研究の成果として体系化されたものが品質工学であるが、SQC でいうフィッシャー流実験計画法との大きな違いを上げると、

- ① 社会全体の生産性の向上と効率を目的とした経済性にもとづく汎用技術である。
- ② 何を計測するかを最初に検討する。(基本機能)
- ③ 市場に出たからの使われ方(環境・劣化)によるばらつきを中心に評価する。
- ④ 正規分布を前提としていないので検定や推定は行わない。
- ⑤ 改善研究の効率を徹底して追求する。
- ⑥ 主に混合系直交表(L18)を用いる。
- ⑦ 制御因子同士の交互作用を見ずに、制御因子と外側因子(信号因子、誤差因子)との交互作用を中心に探求する。

などである。

もちろんこの比較は、実験研究としての SQC と品質工学を比較しているが、単回帰、重回帰分析、多変量解析などの観察研究と品質工学とは、その使い方の目的と役割が全く異なるので、ここではその解説を省略する。

5. オフライン品質工学の考え方

ここで品質工学の中心であり、近年、不二越として導入普及に重点を置いてきたオフライン品質工学の内容を簡単に紹介する。

(1) ばらつき(安定性)は時間的・空間的变化
品質工学では、ばらつきを最小化し安定性をはかった上で目標値に調整する。これを2段階設計と呼んでおり、従来のように最初に目標値に入れて、それからばらつきを小さくするステップはとらない。

ここでのばらつきとは、

『環境(温度、湿度などの使用条件)』

『劣化(摩耗、材料の変質、経時変化)』

『個々のばらつき(製造上のばらつき)』

の3つをいう。特に環境と劣化をばらつきと定義し、これらのばらつき要因(誤差因子)に対して製品が安定している設計条件にする。したがって、品質工学でいう『ばらつき』とは、 $n=1$ のばらつきであり、その製品が市場に出たお客様に使われることによる製品の機能のばらつきをいう。そのため、品質工学は『ロバストデザイン』とも呼ばれている。

正規分布などの分布を前提とした SQC のばらつきとは全く異なるため、分布にもとづく検定や推定は行わない。

(2) 安定性の改善は源流部門でのみ可能

製造段階で改善できるばらつき問題は、3つ目のばらつきである『個々のばらつき』だけであり、市場での劣化問題や環境に対するばらつき低減は、製造段階で改善不可能である。『環境』『劣化』に対する対策は、製造段階に入る前の研究開発段階でしか改善できないし、市場での機能のばらつきによるクレームを事前に予防することも源流段階しかできない。したがって、品質工学は、源流段階で行うのが最も効率的であると主張している。そして、源流で行う研究こそ『先行性』『汎用性』『再現性』のあることが必要であり、それを技術開発と呼んでいる。

(3) コンカレント・エンジニアリングを可能にする：2信号による評価

品質工学は、コンカレント・エンジニアリングを可能にする方法論として注目されている。その理由は、品質工学で特に推奨している基本機能という評価方法にある。品質工学では、商品企画がはじまる前にテストピースで安定性の研究を行う。これと同時に生産技術の安定性の開発も並行して行う（図2）。これにより先行性のある研究が可能になる。また、製品の機能性の信号因子と生産技術上の信号因子を取り上げて研究する（図3）。生産技術上の信号因子の水準は、現状の製品に範囲を限定せず将来の製品の方向性を範囲として含むようにしたり、あるいは

は、型式を限定せず広い範囲の型式に適用可能なように汎用性をもたせるように工夫する。

(4) 最安価設計を実現する：2段階設計と生産性の向上

研究開発段階では、目標値をクリアするために高級な材料、劣化しない材質、高価な部品、許容差の小さな部品寸法など、最初の段階から性能を重視した設計を行い、目標とする性能が出た時点でコストを下げるというステップをとることが多い。

一方、品質工学では、最初の段階から目標値（平均値）や性能を意識せず、ばらつきを小さくするためにパラメータ設計を行い、その後目標値に調整する。したがって、最初に安価な材料・部品、許容差を広

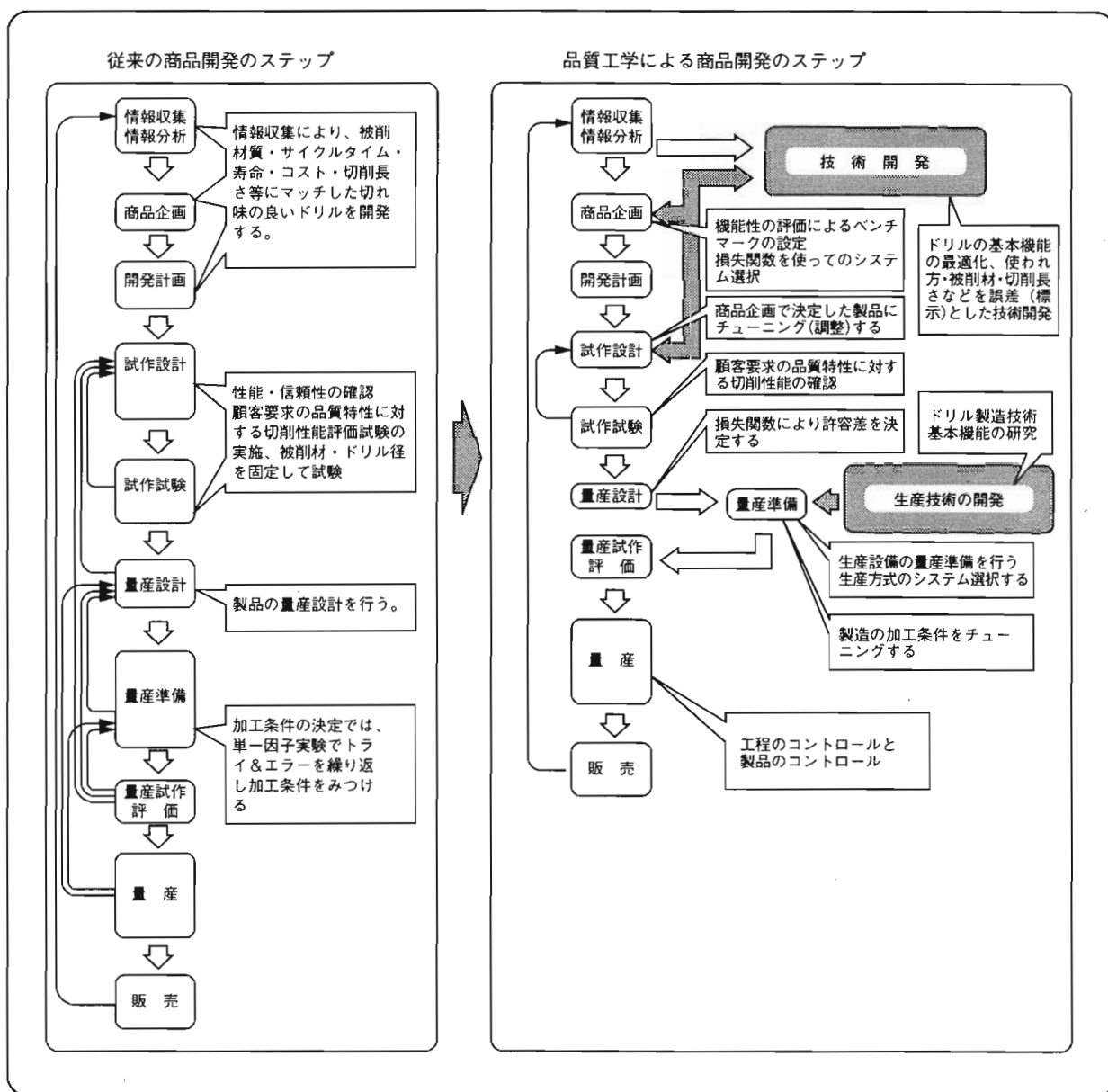


図2 従来の商品開発ステップと品質工学による商品開発ステップの比較（ドリルの例）

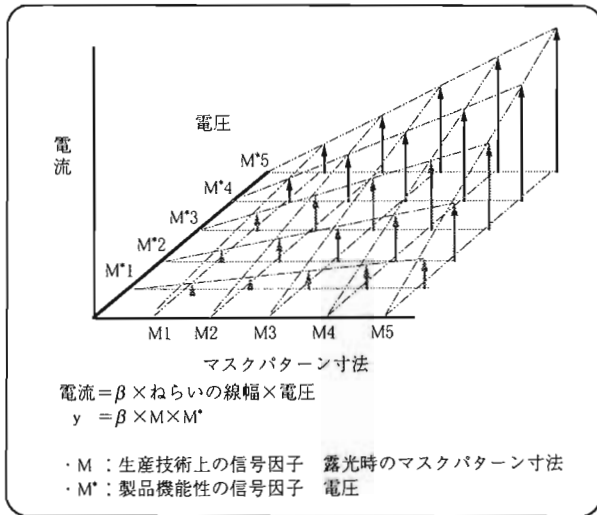


図3 IC回路の基本機能（電圧電流特性）

くとった条件などで設計のねらい値の組み合わせを決める。このパラメータ設計によりばらつきを最小化し、その上で目標値（平均値）や性能が得られなかった時に次のステップに入る。それは、各パラメータごとに目標値（平均値）を上げる効果のある部品の材質を選択したり、あるいは、許容差をもうけたりしてコストを上げて目標を満足させる段階である。したがってパラメータ設計を用いることにより、従来の進め方よりも必ず安価設計になる。

それだけでなく、ばらつきが小さくなっているため、生産速度を上げることが可能となる。一般的に生産速度を上げると、ばらつきが大きくなるため生産速度を落として生産されることが多い。しかし、ばらつきの最小化さえしてあれば、許されるばらつきの範囲まで生産性を上げることが可能となり、トータルコストを下げる事が出来る。

(5) 開発効率を短縮する：評価時間を短縮し創造時間の比率を高める

技術者は、自分のアイデアで新しいものをつくり出すのが仕事であるが、その課題には常に時間とお金などの制約条件がある。そのため与えられた時間をいかにして効率的に使うかが重要となる。技術者は、自分のアイデアを確認するために試作や実験そして評価を繰り返すが、その割合は実験や評価に 80% 近くの時間を割いているといわれている。

新しいものを生み出すには、アイデアが不可欠であり、アイデアがない限り物まねになってしまう。いろいろなアイデアを考えたり、比較することに時間をかければ、何らかのものが生み出されるはずである。にもかかわらず実際には実験や評価に追いつかれて目的を達成せず開発を遅らせることになる。

したがって、品質工学では評価の効率化を提案している。効率化のために評価する項目数を基本機能という一つのものにし、それを SN 比というスカラー量にしている。評価が正しく行われれば、後は、技術者が自分のアイデアをその方法で評価するだけである。どんどんアイデアを出すという技術者が本来やりたいことに時間を割けるようになる。

自分のアイデアが最初から目的を達成するとは限らない。しかし、技術者は誰でも自分のアイデアで成功すると思って実験を行っている。少しでもかすかな望みがあれば、とことんまでこだわってそのシステムで実験を繰り返したくなる。人は誰でも「自分の進んでいる道は間違っている」と自分で判断しない限り元に戻らない。同じように「技術者は、自分のアイデアが駄目だとわからない限り次のアイデアを考えない」と言われている。したがって、実験結果を正当に評価し判断する尺度が必要であり、その評価をどのようにすればよいかの方法論とその手法を品質工学が提供している。あくまで結論が明確でしかも早く出す点で効率的なものであり、開発や実験が成功するかどうかは、品質工学を使うことによる効果とは別の問題である。駄目なものは駄目と判断するため、そのアイデアをあきらめ、新たなアイデアで実験できる。その結果、早く成果が上がる可能性が出る。

したがって、開発期間を短縮するには、アイデアの実現可能性を短期間で判断するための評価の合理化がきわめて重要であるという考え方である。

(6) 評価特性の合理化：『品質を良くしたければ品質を測るな』

研究開発段階での実験を効率的に進めるために、その技術の機能性だけを評価することが品質工学の大きな特徴である。機能性は、より技術手段に近い場合に基本機能と呼び、製品全体の目的を対象とした機能性を目的機能と呼んでいる。

実験をする前に、どのような特性値を評価すべきかを定めることが開発者として最も重要であると品質工学は主張しており、それを基本機能と呼んでいる。メーカーはお客様のニーズを把握し、そのニーズにマッチしたものを開発商品化しなければならない。そのため、商品企画が採用され製品が決まれば、お客様から要求された品質特性を評価することになる。しかし、お客様の要求品質は、その製品の弊害項目が多く、それらはロスエネルギーであることが多い。品質工学では、これらのお客様の要求である品質特

性を評価し研究することは能率が悪く、技術開発の効率を求めるのであれば、それらの要求品質特性は、基本機能による最適化後、最後に確認する項目であるとしている。お客様の要求品質特性を評価せず、その商品やサブシステムあるいは、その技術の機能を評価することを薦めている。

自動車のエンジンを例にすれば騒音のない、振動の少ない、CO₂の少ないというようなロスエネルギーを研究しないで、エンジンの本来の目的である入力に対する出力を上げる研究をすべきだとしている(図4)。

したがって、品質工学を別の名で呼ぶとすれば『機能性工学』あるいは、『機能性評価工学』といった方がわかりやすい。そのシステムに対し、何が信号(入力エネルギー・命令・意図)であり、それに対する何が結果であるかを評価しようということであり、考え方としては、非常に理解しやすい。結果だけを評価するのでなく、ねらいや指示に対するその結果を評価しようという考え方である。その考え方が『品質を良くしたければ品質を測るな』という言葉で表現されている。

(7) 加法性のある特性値で評価：『源流の品質』

開発の効率化に評価が最も重要であり、その評価を効率よくするためには、最も少ない1つの評価尺度が最適である。したがって、お客様の要求する多くの品質特性を直接評価せず、基本機能と呼ばれる一つのものだけを評価することを述べた。品質工学では品質を『源流の品質』『上流の品質』『中流の品質』『下流の品質』という4つに分類している。

下流の品質 騒音の少ない、振動が少ないなどのお客様の要求品質であり、製造の最終段階での検査項目にあたる。これは、マネジメントには重要であるが改善を目的とした特性値としては能率が悪く不適切であるとしている。

中流の品質 製造工程で計測されているスペックなどである。この特性値は製造段階のばらつきを評価することが出来ても、市場に出てからのばらつきは評価できない。

上流の品質 設計段階で測定解析される計測値であり、目的機能で計測されることが多い。市場でのロバストネスを向上することができるが、製品を固定することが多いため必ずしも効率がよいとはいえない。

源流の品質 品質工学で推奨している基本機能であり、技術のロバストネスの評価尺度である。商品企画の前にテストピースやコンピュータで評価されることが多い。基本機能では、入力信号 M と計測特性 y との理想関係を考え、その関係をばらつきのない関係にしようとする。

下流の品質は、特性値に加法性が成り立ち難いが、源流にいくほど加法性のある特性値になり、研究が効率となる。加法性とは、たとえばお酒を飲んで気持ちが良くなったという『気持ち良さ』を特性値とすると、Aの酒とBの酒とCの酒をどんどん飲んだらどんどん気持ちが良くなるかと言えば、決してそうではない。このように気持ちの良さの度合いは、加法性のない特性値と言える。この場合は、血液中のアルコール度を計測すれば加法性のある特性値と

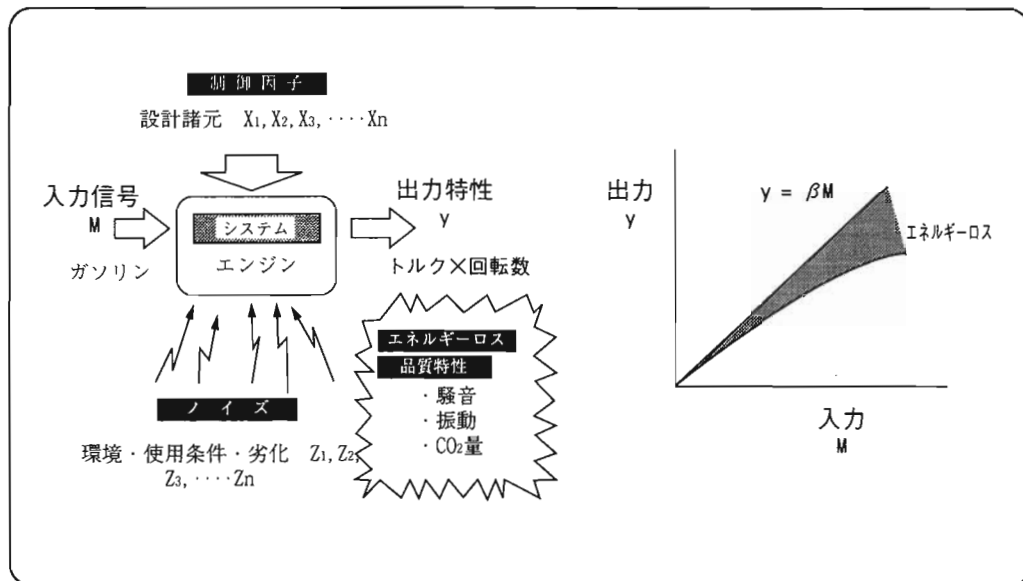


図4 システム概念と基本機能・品質特性

なる。騒音、振動、真円度、円筒度、曲がり、面粗さなども加法性のない特性値と言える。いかにして加法性のある特性値で評価するかが課題であり、そのためにどこまで源流に戻るかである。

品質を良くしたければ下流のお客様の要求品質を測って最適化するのではなく、源流の品質である基本機能を評価せよと薦めている。その基本機能とはどのようなものか事例で紹介する。

6. 事例：電着ドレスギヤの開発

近年、自動車エンジンに対する環境対策や省エネ高効率、低騒音化の要求がますます強くなっている。こうした中で熱処理後の歯車加工における低コスト化、高精度化が研究され、その一つとして、内歯砥石によるハードギヤホーニング加工は、比較的lowコストで量産歯車を高精度に仕上げる事が出来るため、着実に普及してきている。この加工は、砥石と被削材である歯車が内接する形をかみ合いホーニングされる(図5)。砥石は、被加工歯車とはほぼ同一形状の電着ドレスギヤにより一定間隔でドレスされる。ドレスされた砥石が駆動側となり、被加工物が従動回転し、同時に軸方向で往復運動をして歯面全体を仕上げる。

お客様の要求は、目的とした歯形精度(歯すじ方向誤差、歯形誤差など)であり、そのために、ホーニング加工条件、ドレス条件、ドレスギヤの精度、設備の剛性など各種の実験を繰り返して成果を上げていた。

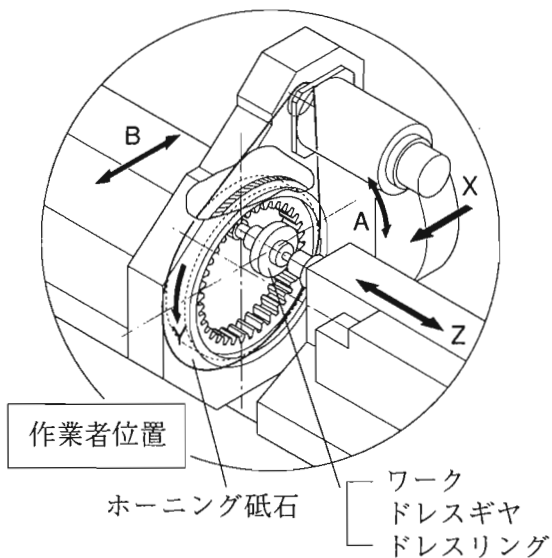


図5 ハードギヤホーニング加工の構成

(1) 下流の品質

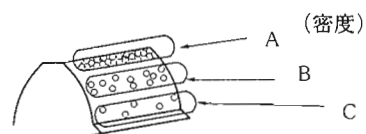
この場合の下流の品質は、お客様の要求である歯形精度である。加工する度にそれらの精度をいくつもの歯について計測するのは、時間もお金もかかる。それだけでなく、これらの精度は、加法性のない特性値であるため再現性が乏しい。また、最適化を図ろうとしても各要求品質によって最適条件がトレードオフになることも多い。

製品を加工せずに、その前の電着ドレスギヤの精度にまで戻れば、下流の品質は、電着ドレスギヤそのものの精度になる。歯先と歯元でダイヤモンドの密度や埋め込み率を計測したり、あるいは、ドレスギヤの表面の面粗さを計測したりすることになる(図6)。

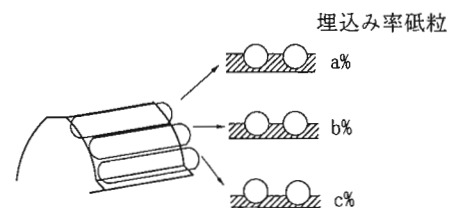
(2) 源流の品質

この加工の目的機能は、ドレスギヤの形状が砥石に転写され、転写された砥石の形状がワークに転写されることである。このことは、ドレスギヤの形状とホーニングされた歯車が同じような形状にできれば、加工システムとして正当な機能を発揮していることになる。したがって、この加工システムの目的機能は、ドレスギヤの形状というインプットに対する製品の形状というアウトプットであると考えられる。決して「結果であるお客様の要求された歯車の形状との誤差」を評価してはいけないことを教えている。

①歯先に対して歯元のダイヤモンド砥粒の密度が低い。



②歯元のダイヤモンド砥粒の埋込み率が低い。



③面粗度が粗い

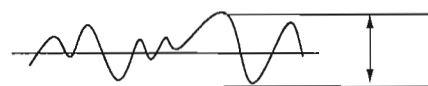


図6 ドレスギヤの下流・中流の品質

したがって、このシステムで最も重要な点は、いかなる形状であろうと安定した形状になることを評価しなければならない。安定さえすれば、後は、ドレスギヤの形状を変えることによって、お客様の目的とする形状に調整することが可能と考える。

ここでは、加工のシステム全体を取り上げず、ドレスギヤ自体を目的の形状に加工するためのシステムに分割して開発することとした。すなわち、目的とする形状に均一にダイヤモンドを接合する技術を開発することとした。

(3) 基本機能と誤差因子

目的機能は、歯車形状の台金にダイヤモンドを均一に接合させることであり、その目的のために、接着剤で接合させる方法や各種メッキなど、いくつもの

技術的手段がある。基本機能は、目的機能を達成するための技術的手段の機能性を評価する。この場合、メッキというシステムによる接合を選択したので、入力したエネルギーに対し、結果としての析出量が得られればよい。ただ、その時に最も析出量が多くなる所と最も析出量が少なくなる所の差を評価し、その差が少なくなり、しかも入力エネルギーに比例することを理想とした。どのような関係を理想とするかは、現在のレベルや現象がどうなっているかとは、全く別の問題である。技術者は『何を理想とするか』を自分で決めることが最も重要であり、それに近づけるのが改善であり仕事である。品質工学では、この理想機能に効率的に近づける方法を提案している(図7)。

(4) テストピースによる研究

基本機能の評価であるので歯車を使う必要はなく、メッキ厚さを評価するテストピースで十分である。ばらつきを評価できればいいのでメッキが厚くなりやすい部分とメッキがつきにくい部分があり、しかも計測しやすいテストピースを工夫すればよいことになる。この場合も使用したテストピースは、図8に示すものである。

(5) L18 直交表による改善

改善のためには、いくつものアイデアを取り入れた実験を多くしなければならない。しかし、時間とお金に限られているため、いくつかのアイデアに絞って実験しなければならない。そのために用意されているのが直交表である。(表2) 取り上げた設計条件(制御因子)とその水準のそれぞれの組み合わせを全て実験するのではなく、その内の一部の組み合わせを実験し、それぞれの設計条件の水準における効果を見ようとする。

そんな大きな実験をしなくてもそれぞれの制御因子が出力の大きさにどれだけ効くか、平均値がどのような傾向になるかは、おおよそ予想することはできると優秀な技術者は言う。しかし、制御因子同士の交互作用があるかもしれないと言う。品質工学で評

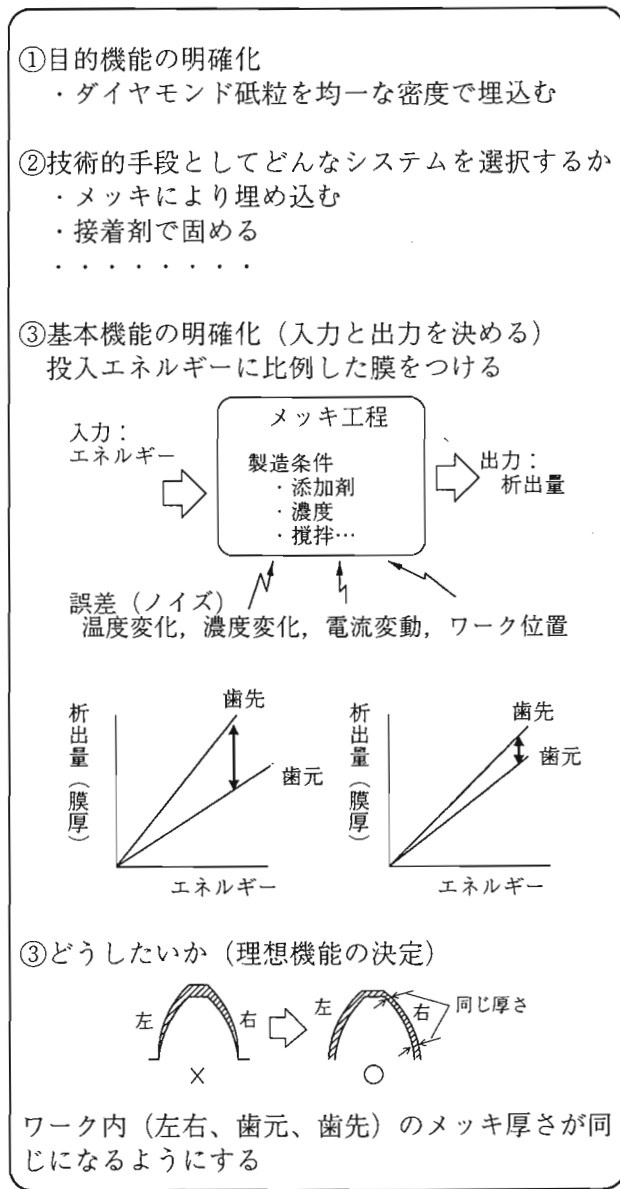


図7 基本機能を考えるステップ

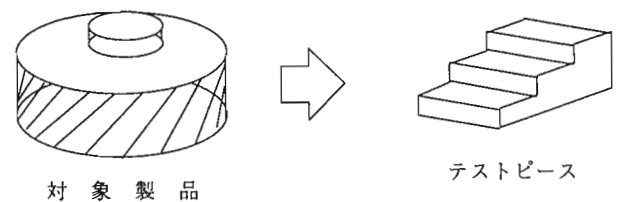


図8 テストピースによる機能性の改善

価しているのは、誤差因子や信号因子と制御因子との交互作用であり、制御因子同士の交互作用より何十倍も複雑な要因効果である。したがって、従来の固有技術では、ばらつき（安定性）を予想することは不可能である。この点が最も重要であり、そのために加法性のある特性値を解析対象にすることを検討する。それがSN比であり、SN比の計算の元データであるエネルギーや仕事量としての基本機能である。

(6) 利得の再現性

品質工学では、直交表L18により求めた推定利得（最適条件と最悪条件とのばらつきの比）が確認実験で同様の利得になるかを確認する。確認実験による利得の再現性を最も重視し、これにより実験全体が成功であったか否かを判断する。直交表L18により求めた各制御因子の水準効果が実際に下流に行ってか

らも変わらないかを確認していることになる。直交表の実験は、制御因子の全組み合わせの内の一部の組み合わせだけによって各制御因子の効果を見ようとしている。テストピースを使い実験室で行った制御因子の効果が量産時や市場に出てからも再現することを確認したい。ここでの再現性とはSN比の絶対値の再現性ではなく、取り上げたそれぞれの制御因子の水準間のSN比の差である。SN比の差とは、ばらつきの比であり、このばらつきの利得だけは、再現性があるという考え方である。利得が再現しなければ、市場に出てからもその要因効果が逆転したりしてトラブルを起こすことになる。今回の場合もテストピースによる実験の最適と現状との推定利得は7.6dbが推定でき、確認実験で6dbの利得を得られた。一方、実際の歯車による確認実験でも7.7dbを得ることができた。これは、今回のテストピースでの実験の効果が量産後や市場でも再現することの確認となった（図9）。

(7) 2段階設計

従来の進め方は、お客様の要求歯形に合わせるように電着ドレスギヤの台金歯形を調整する。そして、その上でばらつきをなくすことに努力する。ばらつきが問題にならなければ良いが、ばらつきを小さくしたい場合、この方法は、ばらつき原因を見つけてのモグラ叩きの改善になり問題が泥沼化することが多い。原因が分かったとしても、その対策は製造工程の条件管理や許容差の狭小化、あるいは設計許容差の狭小化となり必ずコストアップになる（図10）。一方、品質工学では、最初にばらつきを最小化する。この場合もメッキ析出量をばらつきにくい条件にし

表2 L18 混合系直交表

	A B C D E F G H								M1		M2		M3	
	1	2	3	4	5	6	7	8	N1	N2	N1	N2	N1	N2
1	1	1	1	1	1	1	1	1						
2	1	1	2	2	2	2	2	2						
3	1	1	3	3	3	3	3	3						
4	1	2	1	1	2	2	3	3						
5	1	2	2	2	3	3	1	1						
6	1	2	3	3	1	1	2	2						
7	1	3	1	2	1	3	2	3						
8	1	3	2	3	2	1	3	1						
9	1	3	3	1	3	2	1	2						
10	2	1	1	3	3	2	2	1						
11	2	1	2	1	1	3	3	2						
12	2	1	3	2	2	1	1	3						
13	2	2	1	2	3	1	3	2						
14	2	2	2	3	1	2	1	3						
15	2	2	3	1	2	3	2	1						
16	2	3	1	3	2	3	1	2						
17	2	3	2	1	3	1	2	3						
18	2	3	3	2	1	2	3	1						

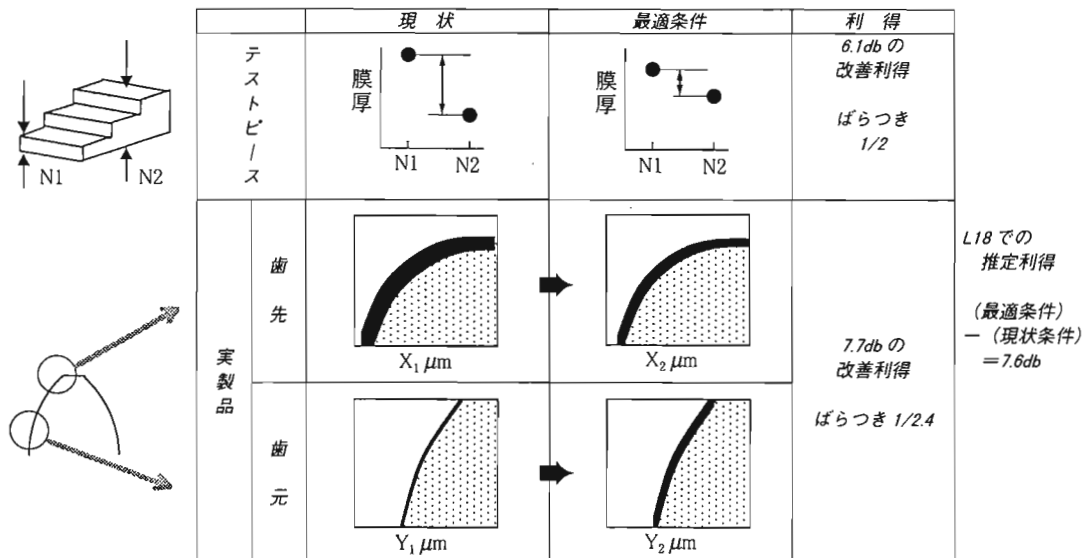
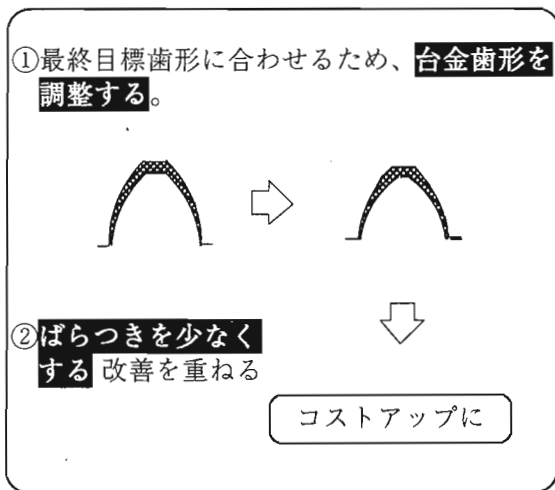
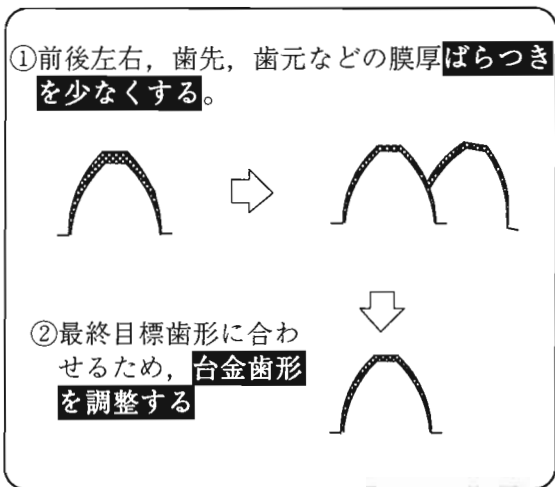


図9 利得の再現性の確認



従来の2段階設計



品質工学の2段階設計

図10 従来の2段階設計との比較

てから、台金歯形を目標歯形に調整する。この2段階設計を行うことにより、きわめて安定した条件に最適化がはかれ、維持管理しやすくコストのかからない工程管理を実現し、品質向上とコストダウンを達成した。

(8) その他の事例（自動はんだ工程の最適化）

電子・電気部品の高機能化・小型化にともない使用されるプリント基板の高密度化がますます進む傾向にある。そのため将来流れるであろうプリント基板に対してロバストな自動はんだ工程の最適化が必要であった。従来、プリント基板のはんだ付け工程で



嘉指伸一

1982年入社。
1985年TOC推進室にて、SOC、IE、TPMを担当。
1992年より品質工学の推進を担当し、現在に至る。

は、未はんだやブリッジなどの品質特性や欠点数を評価したり、あるいは、これらの品質特性を数値変換して、その不良が少なくなる条件に最適化を図るのが一般的な方法であった。また、未はんだやブリッジの両方の不良が起きないように機能窓を広げる望大特性・望小特性などのSN比で最適化をしてきた。

この事例は、製品を特定しての最適化実験を行うのではなく、将来の高密度化・狭ピッチ化に対してもロバストな条件で、しかも多品種のプリント基板にも無調整で製造する条件に最適化することを目的として研究した。

はんだの基本機能としては、電圧電流特性を評価した。信号として機能上の信号因子である電圧と生産技術上の信号である接合部の断面積をとり、出力として電流を計測した。同じプリント基板内でも、はんだに必要なエネルギーの大きい個所と少しのエネルギーで十分な個所があり、基板内の場所が大きな誤差因子になる。その他にも市場に出てからの客先での使われ方を誤差因子として取り上げ調査した。制御因子として製造条件を8つ取り上げ、L18直交表に割り付けて実験を行った。その結果、現状に対し5dbの利得が得られ、1/3のばらつきにすることができ、市場トラブルなどの社会的損失も大きな利得を得ることができた。また、実際の製品を使わず、テストピースを使うことにより実験コストも大幅に節減することができた。

9. おわりに

不二越としても品質工学を導入して5年が経過した段階であり、現状までの活動は、技術者の実践教育が主であった。しかし、各部門に品質工学推進の核となるスペシャリストが育ち、所轄内の研究会が開催される部門もできてきた。その結果、品質工学を活用することによる効果が出始め、いくつかのダントツ商品も生まれてきている。

品質工学が目指す本当の意味での技術開発はこれからであるが、この活動を続けていくことが必ずや成果につながると確信している。長年にわたり不二越の品質工学をご指導いただいている日本規格協会の矢野宏博士に、この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 田口玄一、品質工学講座1、開発・設計段階の品質工学、日本規格協会