

MMRC-J-212

タグチ・メソッド（品質工学）と DFSS

American Supplier Institute Inc.

田口 伸

東京大学大学院経済学研究科

増田 陽介

東京大学ものづくり経営研究センター

稲垣 雄史

立本 博文

糸久 正人

2008 年 6 月



東京大学21世紀COE [モノづくり]
ものづくり経営研究センター

タグチ・メソッド(品質工学)と DFSS

American Supplier Institute, Inc.

田口 伸

東京大学大学院経済学研究科

増田 陽介

東京大学ものづくり経営研究センター

稲垣 雄史

立本 博文

糸久 正人

2008年6月

¹本稿は2007年7月2日(10:00-13:00)にMMRC会議室内において開催された、MMRC品質工学研究会において田口氏が口頭で報告した内容をもとに、東京大学MMRC品質工学研究会が記録し、本文掲載のために報告者の加筆修正を経て整理したものである。文責はMMRC品質工学研究会に、著作権は報告者にある。また、本稿内の図表資料は全て発表に用いられた資料で、著作権はAmerican Supplier Instituteにある。

要旨

タグチメソッドは、歴史的にみると発明者の田口玄一氏による電通研での設計段階での品質保証の研究からはじまり、製品のロバスト化が可能な二段階設計法の創出、品質工学（QE）へと年々進化する形で結実・実用化された。製品の機能をエネルギー変換と見、理想機能の最適化によりロバストネスの評価・最適化が行われ、そこから派生する様々な汎用的手法の開発と幾多の事例を生み出している。アメリカにわたったタグチメソッドも'80年代は火消し時代であったが、DFSS(Design for six sigma)の枠組みの中で、設計開発プロセス「IDDOV (identify define develop optimize verify)」の「O」段階にロバスト設計として組み込むことにより DFSS を効果的なものにした。母集団を想定できない技術開発段階で技術活動の生産性を如何に向上するかが非常に重要となる。とくに設計概念の素性の善し悪しを判断するためには QE によるアセスメント（機能性評価）が有益であり、アセスメントには理想機能の定義とノイズ戦略が重要である。車両開発でみると先行技術開発に QE を適用し第一段階でロバスト BOM の集積を行い第二段階でチューニングによりロバストな製品開発を迅速に開発するという考え方に展開できる。現代自動車は、品質を経営戦略と位置づけ、良品質はコストダウンの鍵とする会長のリーダーシップと、シックスシグマの導入からはじまり QE を中心とした DFSS の強力な導入が効果をあげている。品質工学の普及には親鸞に対する蓮如の役割への期待が大きい。

タグチ・メソッド（品質工学）と DFSS

<目次>

要旨.....	2
第1部 タグチメソッドとは.....	5
第2部 DFSSとタグチメソッド.....	12
第3部 自動車企業におけるDFSSとタグチメソッド 現代自動車の成功.....	16
第4部 おわりに.....	17
第5部 ディスカッション.....	18
第6部 考察.....	22
参考文献.....	23

<図表>

図 1	タグチメソッドの歴史	5
図 2	燃料ポンプのロバスト設計事例	9
図 3	燃料ポンプのロバスト設計事例:ロバストネス最適化の結果	10
図 4	DFSS-IDDOV プロセスのイメージ	13
図 5	二段階最適化による開発期間の短縮	15
図 6	問題の未然防止と Corporate Memory	16

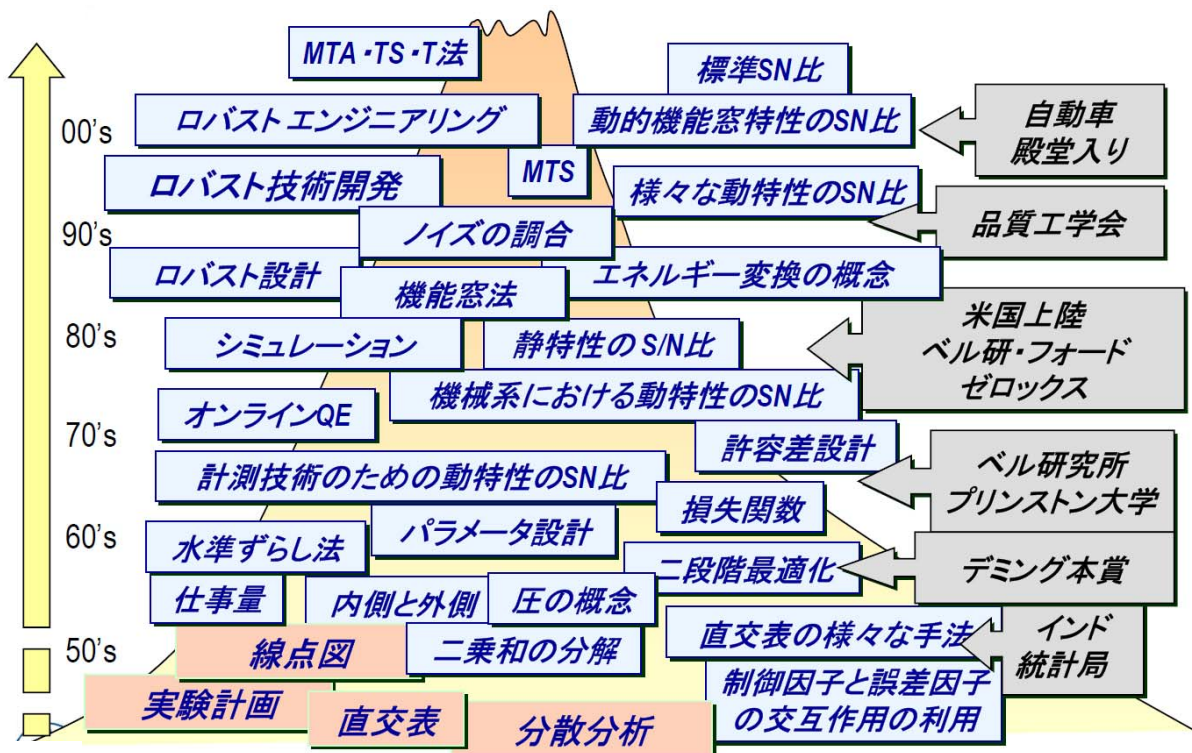
第1部 タグチメソッドとは

品質工学は技術的云々なことを話し始めると小難しい議論になってしまう。一方で経営の面とのリンクが弱かったようにみうけられる。本報告では、経営（Management）と品質（Quality）と技術（Technology）の連携を意識した内容で、品質工学をとりあげたい。

QEは様々な名称がついているが、歴史的に纏めるとおおよそ1940年代からその流れは始まっている。タグチメソッドの生みの親である田口玄一博士は着物の生産で有名な新潟県十日町市のうまれで、桐生高等工業学校で繊維工学を専攻し卒業したが、家業の紡績機械は供出させられ、やむなく昭和17~18年頃に海軍水路部へ入りナビゲーションシステムで推計に用いた最小二乗法に出会い、戦後は厚生省衛生統計課で国民栄養調査などを行い統計学にのめり込んでいった。国会図書館に毎日通ってほとんど独学で統計を習得し、東大の増山基三郎先生に見出され、企業内での統計学適用を支援・検討してきた。

工場における実験からはじまり企業内で統計的手法をどう使うかということについて、日本規格協会や名古屋地区の中部品質管理協会のメンバー会社との研究会などで指導を行い、様々なアイデアを生み出し品質工学の手法にかえていった。タグチメソッドは図1に見るように企業の現場で実際に使いながら改訂され実践的なものに発展している。

図1 タグチメソッドの歴史



品質工学とは何かということを紹介するのに、基本となるロバストネスの考え方を見るため、1948年の森永製菓におけるキャラメルの実例をとりあげる。そもそもキャラメルの硬さは温度によって大きく変化するものである。寒いと硬くなっていて噛みにくく、逆に暑いととけてしまう。味を保証しながら材料設計をかえてやり、温度に対するロバスト性を確保するようにした。すなわち、温度に対して材料条件を探して最適化をしてやることで、どんな気温状況でも口の中でおいしくとけるキャラメルをつくることができたのである。

また1950年、電気通信研究所（ECL）ではベル研究所と競合してクロスバー交換機（当時最先端の電話交換機）の開発を決めていた。この年に田口玄一博士は実験計画法の専門家として同研究所に入所している。同研究所はGHQが東京での諜報活動をしたかったが、日本の通信システムは品質が悪かったという背景から創られ、国家予算の2～3%ほどという大予算を割いたものであった。また驚くべきことはECLは、ベル研が開発中であった最先端のクロスバー交換機の開発にチャレンジしたのである。

ECLは設計のみを行い、製造は民間が実施し、電電公社が買い取ってリースするのがビジネスで、リーシングのため交換機は40年間、電話機は15年間、100%補償をする必要があった。信頼性を確保しないと補償に悩まされることとなり、いかに設計段階で信頼性を確保するかという部分が勝負となり、現在のロバスト・エンジニアリングの考えが生まれたといえる。

ベル研は精密なモデルを追求し、故障や不具合の因果関係を解明する研究に重点を置いたのに対して、ECLではタグチメソッドの基礎的なアイデアを応用し、ロバスト性を徹底的に追求した。結果としてベル研は50倍の予算、5倍の人員を投入したにもかかわらず、クロスバー交換機の開発に失敗し、ECLは開発要求を満たすことに成功している。このことは民間のコントラクターのビジネスに貢献し、戦後の日本経済の成長に貢献した成功事例である。しかし、当時ロバストネスの重要性を認識している人は少なく、田口博士自身もまだまだ整理がついていない時期だった。

1979年にスタンフォード研究所（SRI International:1970年、スタンフォード大学から独立）で講義が行われ、タグチメソッドが本格的にアメリカにわたったのは1980年からのことで、米国ゼロックス社が導入を開始している。1982年フォード社でも導入が始まっている。この背景にはカリフォルニアから日本車から入ってきて、フォードのシェアが下がり始めたということがある。日本では1960年からのデミング氏の指導もあり品質を戦略的に活用する方向に進んできた背景があり、フォード社は米国では無名であったデミング氏をコンサルタン

トに迎えたのである。氏の薦めによりフォード社は日本の企業を訪問し、日本式の品質活動を取り入れていった。

また、田口博士は 1980 年にはベル研究所で講義を行い、当時ベル研が一番困っていた問題に関わりたいたして、256k の IC チップの製造で、フォトリソグラフィによりチップに 15 万個の穴をあける工程の問題に取り組んだ。これは穴径のスペックが $3.00 \pm 0.25 \mu\text{m}$ という難度の高い工程であり、当時ベル研は 33% の収率しか得られなかったという問題であった。不具合の原因は穴が開かない・大きすぎる・小さすぎる・形が悪いなど、数多くあって開発の目処がなかなか立たなかった。フォトリソグラフィの工程と問題について考えると、要はエネルギーを使って穴を開ける工程でありその際の穴径のばらつきが問題になる。機能はエネルギーの変換によって生まれる。これはどんなものであっても根源的にはそうである。穴径のばらつきはエネルギーのばらつきによって生まれる。エネルギーを与えなければ何の機能も生み出さない。ここが品質工学の注目すべき原点である。

エンジニアの問題は、問題を解決しようとすることであり、品質工学の特徴は機能を作り出すエネルギーのばらつきを抑えてやる部分にある。フォトリソ工程で穴をあけることを考えると、ノイズ因子（自分で制御できないもの）と、制御因子（自分で制御できるもの）として分類できる。目標はノイズに対してロバストネスを確保することである。こうして制御因子で実験を組んで、さまざまなノイズ条件で実際の穴径をはかってみることで、ばらつきに強いものをみつけていく。

次に、2 段階最適化（2 段階設計）について、説明する。2 段階最適化とは何かというと、ステップ 1 はエネルギー変換のばらつきだけ最小にする。まずはターゲットの 3 ミクロンを狙ってはいけない。ステップ 1 で平均値が目的値とずれていても気にしない。大きすぎたり小さすぎたりする値を目的値に移動させるのは決して難しくは無い。ばらつきを抑えることが難しいのである。その上で、ステップ 2 として平均値を移動させるのだ。これを行った結果、33% の収率が 87% に収率がアップした。ベル研ではこの成果にびっくりし発表は 1983 年の BSTJ まで待つことになった。しかし、2 段階最適化を理解するのは簡単ではなく、統計屋には理解をなかなかしてもらえないようだし、経営者がこれをどこまで理解すべきか？という議論もあるだろう。筆者自身も分散分析や直交表の理解はして、問題解決には使っていたが、当初はなかなかエネルギーの話を理解するのは難しかった。1986-7 年頃になってようやく理解が進んだ。

結局、エンジニアの仕事は大変である。なぜなら多くの設計概念を創造し選択しなければならない上に、決めなければならない設計定数が数多くあるからである。そのうえ満たさなければならない要求がたくさんあって、たいてい夜遅くまで仕事しないとならない。プロジ

エクト X の世界になってしまう。普通のエンジニアリングの仕事は、ビジョンにもとづき魅力的な商品を設定して概念の創造と選択をおこなう。そして試作・シミュレーションによる実験でスペック・要求を満たしていることをチェックし、まずかったら現状設計の解析・設計変更を行っていくのだが、この方法では駄目であるというのが品質工学の考え方になる。

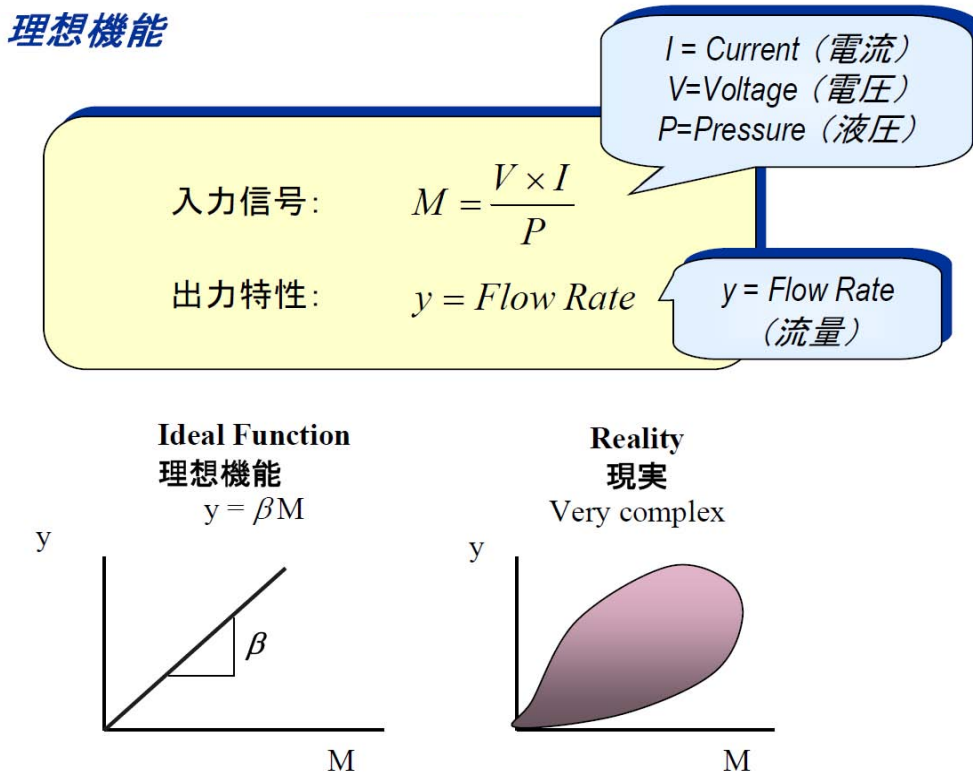
技術の世界は統計学のような学問の世界ではない。いいものを作って相手に勝つか負けるか、儲かるか儲からないかの競走である。開発時にはとにかくポピュレーション（母集団）などは存在しないのである。

そうすると、いかに一石百鳥が出来るか？狙えるのか？が重要になってくる。技術活動の効率・生産性を上げるためにはいかに最小の実験・試験で要求項目の全てを満たせるかという点が勝負の鍵を握るからである。すべての要求項目・不良・不具合を評価するのは能率が悪いことというのは当たり前に分かるだろう。

エネルギーの変換はノイズの影響をうけてばらつきを生じる。そこでノイズを振ってエネルギーを測り、 $S/N = (\text{仕事量}/\text{仕事量のばらつき})$ の値、 S/N を最大にすることで最小の実験・試験で一石百鳥をねらうことができる。

燃料ポンプの事例(1994年 ASI シンポジウムでの発表、ベストスタディー)をとりあげると、燃料ポンプの設計をする際に、以前はあまったガソリンをタンクに戻すことが出来たが、このガソリンは熱をもっていて揮発しやすく公害となるため禁止になった。より効率的なノーリターン燃料配給システムを構築する必要がでてきたのである。燃料ポンプの理想は流量が電流・電圧・液圧に比例することであるが、現実にはばらつきがあつて問題を起こしている。

図2 燃料ポンプのロバスト設計事例

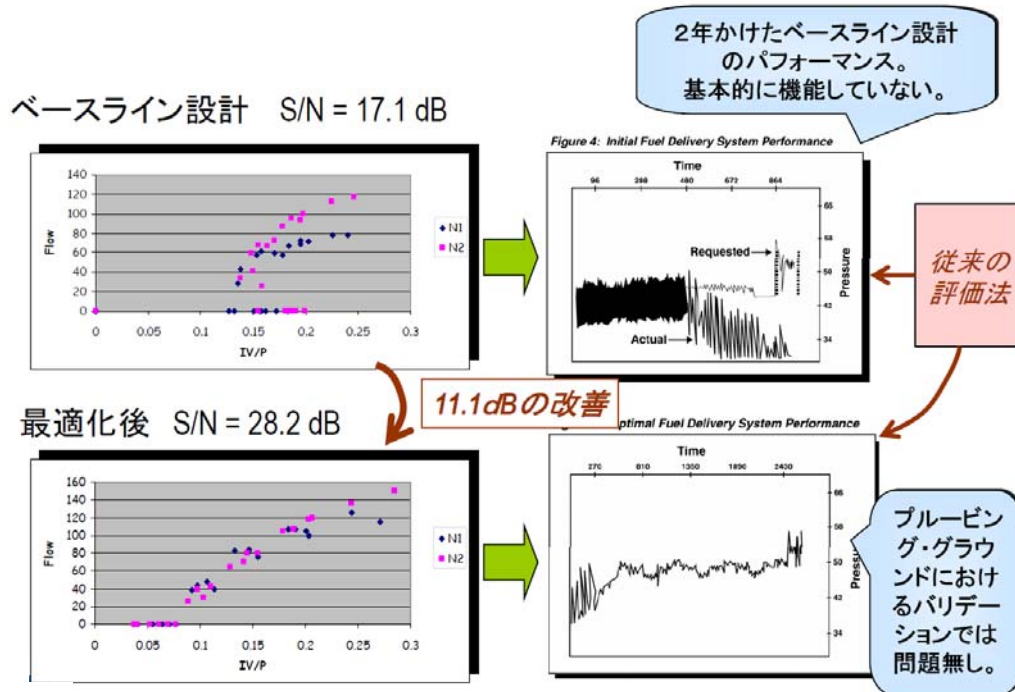


理想機能の定義は簡単にいく場合もあれば難しいこともあり、様々なアイデアが出されているところだ。理想機能を検討する際に出力はそのシステムが生む仕事を考える。よくある仕事量や仕事量に関係したレスポンスがあげられる。

この際に考慮すべきノイズは燃料温度や燃料の種類、タンクの内圧である。燃料ポンプのP-ダイアグラムを考えると、入力と出力とノイズは顧客側のスペースであり、設計者が自由にできるスペースは制御因子である。この制御因子でもってばらつきの小さくなる機能を保証してやるのだ。

この考えから、電圧や液圧をかえて、電流と流量を計測してやる。このときは2つのノイズ条件を設定した。エネルギーが高くなるノイズと低くなるノイズである。この条件で評価をしてやる。車のバリデーション（Validation：検証）は何ヶ月も時間がかかる。しかしこれは単純なノイズの条件だけでアセスメント（Assessment：評価）をやるのが新しい部分なのである。設計時点で重要なのは、いかに短期間でこの設計は良いとか悪いとかを評価することである。エネルギーの変換のばらつきをおさえると色々な悪い条件が減る。

図3 燃料ポンプのロバスト設計事例:ロバストネス最適化の結果



理想機能を考えるとエネルギーで計算するから必ず0点を通る。 $y=0$ は仕事していない。したがって因果関係を考えることは無関係である。制御因子、信号因子、ノイズ因子を直交表に配して、パラメータ設計を行う。パラメータ設計すなわちロバストネス最適化の結果によれば、ロバストネスの最適化を図った燃料ポンプのバリデーションでは問題は無いことが確認された。開発支援依頼を受ける前までになされた開発内容を見ると、従来のやりかたで、ある温度に対する流量の関係などを色々丁寧に調べているが、図3で分かるように2年かけたベースライン設計のパフォーマンスは基本的に機能していなかった。

エンジニアはできると信じており、困らないと言ってこない。未然防止の文化を身につけさせねばならない。だが一方、火消しは評価され、火消しのうまいエンジニアは出世する。問題を未然に防止したエンジニアはあまり評価されない。マネジメントはそういうことを理解しなければならないのだ。機能を満たす上で、平均エネルギーである係数 β をいじる方法をたいていの技術者は知っている。だが、まずはSN比をおさえることが肝心。 β がわかっているときはソフト制御などの手もあるのだ。

次に、1993年に取り組んだもので、技術的に利用現場の実情をおさえて理想機能を考えた酸素センサーのロバスト化の事例（1994年ASIシンポジュームの発表）を取り上げる。心肺機の酸素センサーは血液の酸素濃度を測定して状態に応じて酸素を供給するよう指示

をだす機能を持っている。基本的には酸素のケミカルリアクションの結果である色の濃度の変化を測り真値を推定するものである。それだけなら真値を入力として計測値を出力とした理想機能を定義できるが、問題は、医者により体温をを 17℃まで下げて手術することである。このままなら、温度はノイズで温度に対してロバスト設計をすることになる。しかしながら温度はセンサーがサンプリングする酸素の分子数に直接影響する強力なノイズであると同時に、血液温度を心肺機がリアルタイムでモニターしているため温度の影響を補正することもできるのである。そこで温度をノイズではなく、信号と定義することにした。温度の影響をソフトで補正をかけて制御（品質工学はフィードバック・フィードフォワード制御によく用いられる）するのかどうかという判断はエンジニアに委ねられる。さらにこの取り組みの際、温度を信号にしないでノイズにとったときの最適条件も出す必要があると田口博士に指摘され、その最適化を行ってみたが実際に補正をかけた方がよい結果にむすびついた。

このように、ノイズが大きな問題であることは明らかになったと思われるが、ノイズに対する対策は基本的に以下の4つしかない。

- ① 無視する
- ② ノイズそのものを、標準化・ポカヨケ・許容差設計などで制御する。
- ③ ノイズの影響を、フィードバック制御やアダプティブ制御を用いて補正する。
- ④ ノイズの影響をロバストネスの最適化をはかることで最小化する。

従来の品質対策は2番目の対策が多かった。製造工程には2番の対策、製造工程設計には3番の対策がよく見られる。しかし、4番の対策を先にやるべきだ。ロバストな設計概念の創造をせずに2番や3番の対策をやろうとすれば時間もコストもとられてしまうのである。またロバストな設計概念を創造するイノベーションも重要である。IC か、真空管かの選択の例でも分かるとおりで。パラメータ設計は選ばれた設計概念のロバストネスを最適化することである。

パラメータ設計（ロバストネスの最適化）のステップは、

- ① プロジェクト範囲（スコープ）を定義する。
- ② 理想機能と計測手段を定義する。
- ③ 信号因子および誤差因子の戦略を考える（外側）
- ④ 制御因子の範囲と水準を設定する（内側）
- ⑤ 実験の実施とデータ収集
- ⑥ データ解析 最適化と推定
- ⑦ 確認実験
- ⑧ 結果の導入と文書化

という以上の8つで構成されているが、最初の4ステップで勝負が決まるといっても過言ではない。

第2部 DFSS とタグチメソッド

本パラグラフでは DFSS とロバスト・エンジニアリングについて説明する。1980年代にタグチメソッドが品質問題解決の目的で米国企業にも広まりを見せていたのは既に述べたが、ロバストネスの最適化を行い、「問題の未然防止」をする目的で広まったとはとても言えず、QE は火消しに使われることが多かった。この状況は現在でも同じようである。ロバストネスの最適化を目的としてきちんと出来ているのは、田口博士が直接指導した企業や1990年以降に ASI 社の指導を受けた企業くらいで、米国全体を見回すとタグチメソッドの浸透度・理解度には企業レベル、個人レベルの両面で大きな差があるように見受けられる。そのため、導入してもローカルレベルであって、長続きしないといった問題が付きまとっている。1992年から導入を盛んに行ったフォード社も1997年に J. ナッソーが CEO に就任してから殆ど行われていないという現状である。

そのような中で、DFSS (Design For Six Sigma) の活動に品質工学を取り入れることで開発業務全体を見直し、新たにロバスト設計を組み入れようとする企業が増えている。1980年代に日本の TQM が米国で盛んに導入されたが、日本式の TQM は「抽象性」「精神主義性」「企業重視・個人軽視」の特徴から、欧米では上手く根付くことが出来なかった。そして欧米人の考え方に合わない TQM はシックスシグマという考え方に変化して浸透していったのである。

シックスシグマの特徴は、CEO からの徹底したトップダウンや、ツールの教育と、効果の徹底した評価、報償システム、リーダーシップ教育、効果の徹底した金額評価などがあり、行動指針の明記がある分欧米人になじみがよかった。

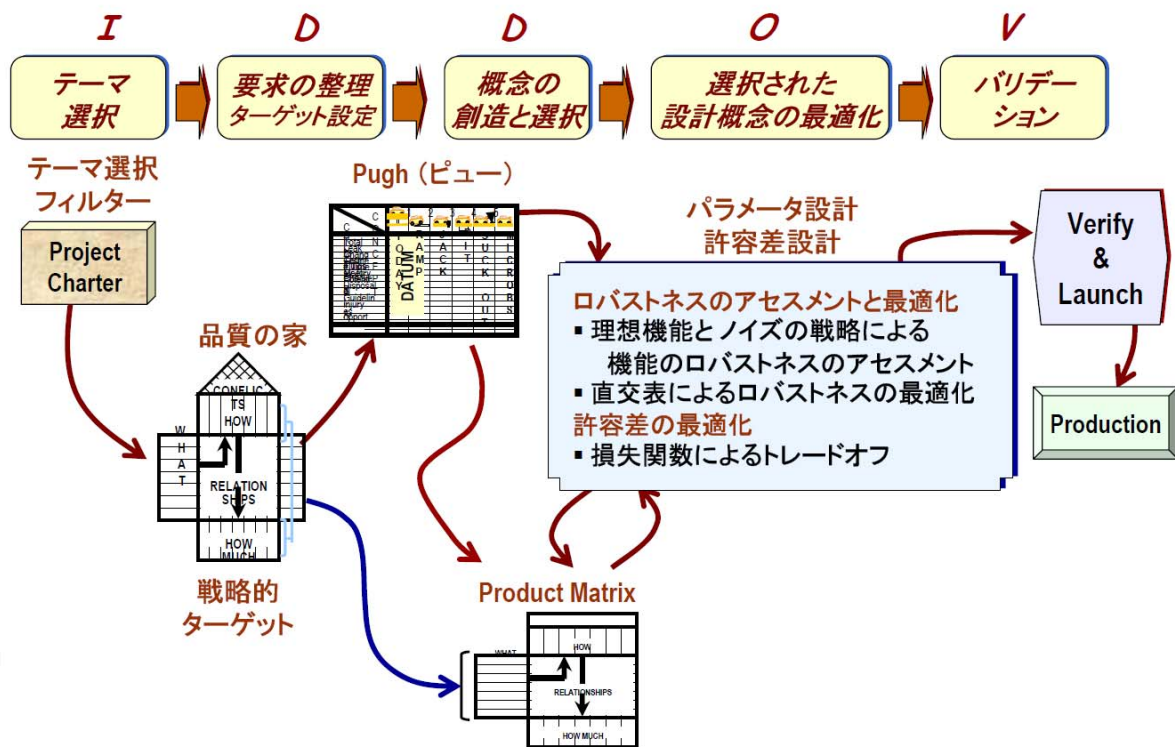
シックスシグマの問題解決・改善活動のプロセスには DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) と呼ばれる、今ある悪さや無駄をプロジェクトに登録して解決するものがある。基本的には火消し・改善活動で日本の QC ストーリーと似ているのであるが、DMAIC の進め方は、プロジェクト選択と登録を行い、現状の把握と要求を整理する。そして現状の解析をして、改善案の整理、実施と確認を行った後に管理の実施をするというプロセスによって成り立っている。DMAIC は間接部門でも効果が出ている。

しかし、問題解決の DMAIC を設計開発のプロセスに当てはめようとするのにはいささか無理がある。しかし GE のウェルチはこの失敗をおかし、設計開発のプロジェクトは DFSS

タグチ・メソッド（品質工学）と DFSS

と称しているものは IDDOV(Identify, project-Define, requirements Develop, concept Optimize, design Verify and launch)というプロセスで進められている。IDDOV のプロセスは、テーマ選択にはじまり、要求の整理と目標の設定を行い、設計概念の創作と選択をした後にロバストネスの最適化と許容差の最適化をはかり、最後にバリデーションをし、立ち上げを行うといったものであるが、DFSS はシックスシグマの仕組み（プロジェクト選択や人の役割など）の下で設計開発プロジェクトを IDDOV のプロセスに乗せてやり、設計開発を支援するものである。この IDDOV の”O（最適化）”の部分にロバスト性という目的を組み込むのである。IDDOV プロセスを具体的にみると（図 4）、テーマ選択からはじまり、要求の整理を、

図 4 DFSS-IDDOV プロセスのイメージ



いわゆる品質の家といわれる QFD の第 1 表を使って行う。だが、田口博士は QFD を使うのをいやがってはいた。設計の概念の創造と選択はコミュニケーションツールとして S.ピューーのプロセスを使い、沢山アイデアを出して良いところ取りをし、設計概念を決めていくのである。これはイノベーションのステップと言える。システムが大きい場合はアキシオマトリックス・デザインを応用し、なるべく各機能が独立した設計概念を創造することが効果がある。設計概念の選択ができればロバストのアセスメントと最適化を行う。最後にバリデー

ションを行い立ち上げを行う。テーマ選択のところが特に重要である。

導入推進のモデルとしては、導入推進計画を立案し、リーダーシップ研修をすませ、テーマ候補を抽出していく。企業戦略としてのロバスト・エンジニアリングは経営幹部がロバスト・エンジニアリングを企業戦略の一つとして認識し、適切なリーダーシップを発揮し、社内展開をしていくことが最適である。ロバスト・エンジニアリングの達成には、経営幹部だけでなく、中間管理職をはじめとして、各種部門の担当者が密接に関わってくるが、まずはトップの理解が絶対条件となる。

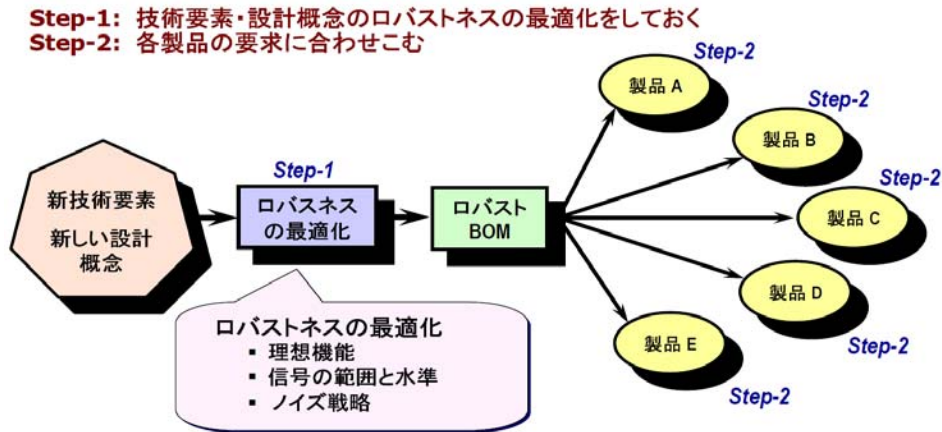
従来の設計は試作やシミュレーションのあとすぐにバリデーションを行っていた。しかしバリデーションには時間がかかるので、設計変更を行っていくと結局は開発期間が長くなってしまう。一方、品質工学の場合は間にアセスメントが入る。アセスメントはバリデーションに比べ、時間はかからずロバストネスを評価し最適化することができる。前の設計より、また競合品よりも評価が高ければ設計者は信頼性に自信を持ち安心することが出来る。企業がどのタイミングで金型屋などに発注するかというのは、余裕・自信によるし、バリデーションする前に GO サインを出すことも可能になる。そして、最適化が行われた状態でのバリデーションなら理想的には 1 回ですみ、開発期間の短縮にもつながる。

開発期間の短縮のために、エネルギー変換に基づいた理想機能の最適化を狙うことで一石二鳥が期待できる。機能のばらつき（シグマ）が大きかったり、効率（ β 値）が悪かったりすると、不具合・不良モード・低性能・故障などの悪い症状が生まれる。しかし、機能のロバストネスの最適化を狙うことで、こういった悪い症状を押さえ込めるので、設計サイクルの短縮と火消し活動の軽減がまず期待できる。一方で、最適化が早く簡単に出来るような計測技術の開発が必要となるため、シミュレーション・テストピース・小型治具をうまく使いこなす方向にも期待ができる。

2 段階最適化による開発期間の短縮は、技術要素・設計概念のロバストネスの最適化を行うステップと、各製品の要求に合わせこんでいくステップの 2 段階にわかれる。この 2 つのステップの間に、図 5 にみるようにロバスト BOM (Bill of materials)、もしくはロバストネスが証明された設計や技術要素の棚を使いロバストな部品表をつくっておいて、足しこんでいく。ロバスト化されていないと、何かをリユースすればコストは下がるが問題が起こる。たとえばリコールがおこればグローバルに回収しないとならないし、標準化をすれば大きな欠陥がでたりする。

企業戦略としてのロバスト・エンジニアリングはバリデーションとアセスメントの違いを認識することにある。トヨタ自動車は DRBFM (Design Review Based on Failure Mode) と

図5 二段階最適化による開発期間の短縮



いう優れたバリデーションのやり方をとっている。これは、全ての要求を満たしているか？さらに問題はないか？まだ商品価値をあげられないか？を徹底するものである。

だが時間のかかるバリデーションの回数は1回が望ましく、設計概念の選択や最適化には機能のロバストネスのアセスメントが必要になってくる。そうすると、アセスメントのためにどうやってノイズをふるかが重要になる。アセスメントのためのノイズ戦略の事例としてはリコーが、同社の紙送り機構の信頼性テストは紙2枚を送るだけといったものがあげられる。

コスト低減の機会という側面からロバスト性をみることもできる。デザイン・ビルト・テスト・フィックス（DBTF）というサイクルでエンジニアがスペック要求をみたそうと活動すると、エンジニアはDBTFサイクルで要求を満たすことができたなら開発成功したとしてこれ以上改善は必要ないと言ってやめてしまう。その結果コスト削減の機会を失ってしまう。一方、ロバストネスの最適化を目標として狙えば、性能として要求を満たしていればロバストネスの上昇した分のdb（SN比）をコスト削減に回すことが可能となる。

ゆえにエンジニアの責任者はスペックを満たすことを要求するのではなく最適化を目標に仕事をさせねばならない。さもないと鼻歌交じりでコストダウンできるはずなのにエンジニアは率先してやろうとはしない。マネジメントがやらせる必要があるのだ。

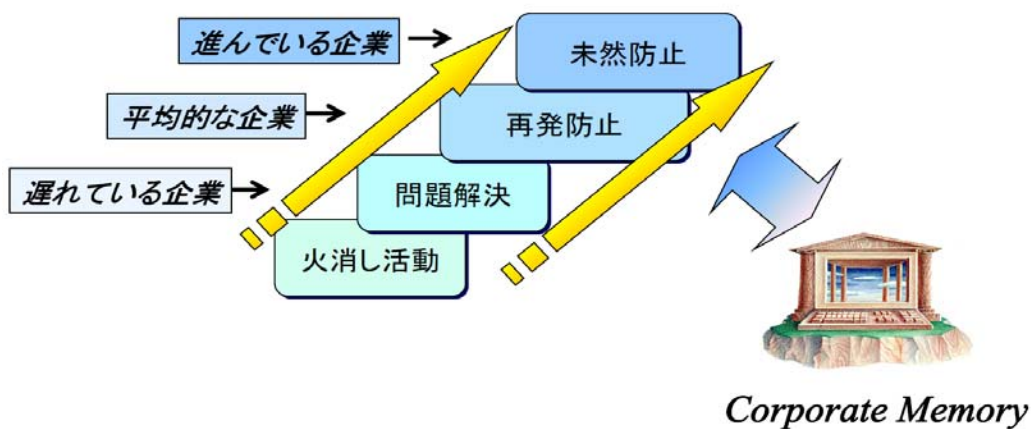
創出した設計についてエネルギー変換を利用して、機能のロバストネスの最適化を行ってもバリデーションの段階で要求をみたさないケースがうまれることがある。これはその設計概念では素性が悪く、いくらやっても無駄ということを示唆している。早い段階でこの設計コンセプトが失敗するということを発見できることが重要で、アセスメントを行うと素性の

悪い設計概念を早期発見できる。

これまでの火消し活動から、問題解決、再発防止、さらにはあるべきすがたとしての未然防止への発展は企業戦略としてとらえるべきものである。

したがって素性の悪い設計コンセプトで火消しと問題解決にあけくれるより、図6に示すように問題の未然防止への取り組みがなされれば、有益なコーポレートメモリーが蓄積されてゆくことになる。

図6 問題の未然防止と Corporate Memory



第3部 自動車企業における DFSS とタグチメツド 現代自動車の成功

最近の Forbs Magazine の Global Top 2000 をみると現代・起亜自動車は 213 位に位置し、その躍進はめざましいものがある。しかし、その現代・起亜も 90 年代の初頭、カナダに工場を作り北米のマーケットに進出したが、大失敗におわった。これは VOC (Voice of Customer) を理解していなかったことと、モノづくりの実力がなかったことに起因している。ところがカリスマ的経営者、鄭夢九会長がリーダーシップをとり、'99 年に品質経営にのりだしシックスシグマをとりいれた。品質を良くすればコストがさがるとして、会長主導で週一回の品質対策会議を開始し、トヨタ生産方式なども入れ、現場での品質保証活動をも重視した。特に、開発部門のトップであった K 氏がウルサン工場に移り、徹底した品質改善活動にリーダーシップを発揮して展開した。ウルサン工場では成果がではじめ、JD パワーの初期品質評価 (IQS) があがった。また、フルタイムでの火消しや出荷後発生の問題解決活動を重視してかなりの人材を配している。この解決活動から得た知見が次の設計に反映していった。

2000 年には、グローバルトップ 5 入りをめざして GT5 を掲げて動き出し、DFSS を R&D センターに展開する方針を固め、コンサルティング会社 2 社を使ったがうまく行かず、2001

タグチ・メソッド（品質工学）と DFSS

年には開発部門のK氏が R&D センターに戻り、ASI を使って DFSS を R&D センターに展開し始めた。驚いたことにK氏は DFSS 研修の最初の 3 クラスに 20 人ずつ 60 人の部長クラスを送り込み全員にブラック・ベルト（BB）をとらせた。

導入初期、部長クラス 60 人は自分の DFSS テーマを持ち、5 日×4 の研修をうけテーマを遂行し、本気になって取り組んだ。60 テーマのうち 40 テーマが新型ソナタに反映されたという。参加の 60 人の大半は当初ネガティブな反応だったが、後には研修を通じ自身の実力を理解し、身にしみたといていた。2002 年終わりまでには 60 人の全員が BB を認証された。無論、BB の資格がないと出世できないという仕組みになっていたが、2006 年にはその資格を認証されたものは 230 名に昇っている。その上、2005 年には ASI が厳しいエキスパート養成研修と試験に合格した 13 名をマスターブラックベルト(MBB)資格者に承認した。いまは 24 名になっている。この MBB らが、BB やグリーンベルト（GB）の研修を行い、サプライヤーに対する教育も行っている。GB は、研修 10 日間で、その内容はタグチメソッドの 10 日間コースと同等のもので、2007 年末までには全技術者の 60%、2,330 人が GB の資格をえるといっている。現代・起亜はトップダウンのアメリカ的で金と力をかけて一気にやるというスタイルをとっており、今後の活躍には力を感じている。

現代・起亜の品質向上の成功要因をまとめると

- 1) 会長の徹底した品質重視の方針
- 2) コストや時間より品質を優先
- 3) 会長主催の月一回の品質会議
- 4) 品質問題が起きたら何よりも優先して解決
- 5) 会長自身や他のトップによる現地・現物主義
- 6) 会長の R&D センター訪問
- 7) 未然防止を目的とした R&D センターにおける CAE と DFSS の展開
- 8) PDCA サイクルによる全社的展開
- 9) グローバルマネジメント
- 10) 世界中から専門家や優秀な技術者をむかえ教を請う、

といえるが、さらに成功を支えているのは、トップの強い執念とそれを徹底して企業体質にする、という活動である。

第 4 部 おわりに

品質工学の歴史からひもとき、ロバストアセスメントの重要性をのべ、アメリカでの品質工学の現状と DFSS との関連、DFSS での QE の役割の重要なことをのべてきた。自動車企業

のみならず、各企業の品質工学をベースとした製品機能のロバストネスの最適化は必須となっている。「問題の未然防止」が市場に製品を提供に対する企業の有るべき姿であり、ロバスト・エンジニアリングを企業戦略（技略）として位置づけ、社内展開することが大切になる。そのためにもトップの理解は極めて重要な条件であり、それを背景に適切なトップダウンとボトムアップのバランスをとった活動が欠かせないものといえる。

第5部 ディスカッション

・アメリカの自動車企業の動き

- Q) クライスラーはダイムラーと提携していたときは、DFSS をやっていないのか？
- A) ほとんどやっていなかった。QFD は 80-90 年代にはやっていた。しかし、当たり外れが多く、やっていない。本当にはじめたのは一昨年からはじまったが、おかしくなってから始めたといってよい。GM は 2003 年から始めた。キャタピラー社はしっかりしている。売り上げを 20 ビリオンから 30 ビリオンにしたいとして、会長が 2000 年から DFSS を始めた。今は、40 ビリオンになった。キャタピラー社は DFSS をはじめるとき、会長が事業部長を集めて、ドラをたたきおれはやると強く宣言していた。
- C) 自動車にかぎると、日本はこつことやっていた。アメリカ人は頭がよいから、90 年代はじめ、フォードが伸びていた。さすがと思って見ていたが、あっという間に、がたがたになった。90 年代後半は、IT に振り回され、マネーゲームに走ってしまった。90 年代には MIT などが QFD などをドン・クロージング主唱でやっていたのでどんどん入ると思っていたが入って行かなかった。インターネット・バブルに乗って訳の分からない方向に行ってしまった。しかし、アメリカはそこから脱出し始めた。大変よいことだ。
- C) クライスラーの場合、まじめにやっているのもおり、立て直す人もいたが、皆やめた。ダイムラーと一緒になったら、書類がふえた。どうもクライスラーの体質と違うと言い、翌週、クライスラーの宝という人もやめた。10 年ごとにおかしくなる。また復活するだろう。基本的にはよい会社だ。2001 年ころ一番良かった。10 年間、ダイムラーにいろいろな企業が引っかき回された。やることなすこと全部間違えたのは、ダイムラー。しかし本体は平気だ。これはブランドが強固だからだろう。
- A) 経営をもっと知りたい。
- Q) 品質工学を導入したとき、工場の製造部門で、ものづくりの弱いところに入りやすいとか、問題が見えてきてとか、強くなるといった関係はあるか？
- A) 製造技術でもどんどん使ってきた。やると自分の実力がわかってくる。しかしまだ機能を測っていない。不良率ばかりをみている。

・コスト低減の機会を失うこと

- C) 技術者には「最適化」を求めよと言うのは、技術的には可能だが、技術者の一人一人のメンタリティが一番難しい。技術的に鼻歌交じりでできることでもやらない。ホンダの例でエンジンを 9000 回転 x 200 時間でテストするのを標準条件にしていた。しかし 8000 回転 x 100 時間に低減するとコストが半分近くなるのにやれなかった。ホンダ基準を一切変えない。そこで現場と R&D と大げんかになったが、結局は社長と副社長が決断して実現した。

・先行開発とロバスト BOM について

- C) 日本はチーフエンジニアがビジョンを持ち戦略目標値を作り始めたと言うが、変わってきた。車が複雑になり、開発のリードタイムが短くなっている。今までは先行開発自体も車両開発期間のなかで収まっていたが、間に合わなくなってきた。車の先行技術の事前配膳が必要という感じになっている。今や、先行開発に入ってゆき、チーフエンジニアがワイドレシーバーになり、振り向いたらボールを受け取りゴールに飛び込むような状態だ。

料理の哲人のように、先行開発で下ごしらえをしてもらい、しかも捕まえやすく調整し易いものになっていることが重要になっている。

- Q) ロバスト BOM 化されたものはスケーリングも可能か？
- A) スケーリングも可能となる。β で制御が可能だ。例えば、欧州マーケット、インドマーケット用にスケーリングが可能となる。
- C) 部品寸法の共通化をやりすぎだ。しかし品質工学のこの考えは知識の使い回しを行っている。この方向に行く会社もある。ボルボはこの方向だ。フォードはパソコンの方向に行っている。何かを再利用するのを間違えると危ない。リコールは共通化のやりすぎがそれに繋がっている。三菱のハブなどは本当にそういった例だ。
- Q) 2 ステップ目でいろいろ調整するのに、β を選ぶのか？
- A) ブレーキの場合は、ロバストで最適化しているので β の調整でバリデーションが可能となる。
- C) トヨタは設計標準の見直しをやっていた。それまで何十年も忙しくて、ボルト 3 本でとめるとして標準化され、そのままにしていた。超円高の時に見直し、設計標準の中に相当織り込まれたのだろう。設計はこうするべきという知識をそこに入れたのだろう。例えば、このパラメータは設備が変わるが、これは動かしても良いとか言うように。

・現代・起亜自動車について

- C) 現代・起亜自動車会社の会長が偉かったのは、97年のウォン安差益で、内部の利益の半分以上出ていたときがあるが、そのお金を使って品質を上げていったことだ。たとえば検査費用をかけ、コンサルタントにお金をつけ、部品の二次メーカの指導までやり、サプライヤーが駄目なモノを3回出せばそのメーカを追放にした。その先頭に会長が立ち、これを5-6年やった。あぶく銭の為替差益を彼らしいやり方で正しく使ったといえる。トヨタ流とは異なっており、彼らのカルチャーには合わない。アメリカ流で、トップダウンで上からやれと行って実施し、金はかけ、他方検査も二重、三重にやり良い物をだした。
- Q) ノイズには市場の環境と生産の環境も入れるのか？また、現代・起亜の火消しを必要とする問題とはなにか？
- A) 市場の環境も生産の環境も勘定にいれている。問題は、環境問題・製造問題・時間経過による劣化の3つのノイズである。この場合、品質工学的にみると、二つか三つのノイズにエネルギー変換がロバストになれば他の機能についても同じくロバストになると考える。例えば、温度は抵抗値を変える、だから抵抗値に対してロバストになれば、温度に対しても抵抗値がロバストになる。しかし製造のノイズを採ると面倒である、例えばブレーキのアライメントの善し悪しなど判断が難しいので、ノイズの戦略への勘所をどうするかが問題になる。
- C) 設計情報はエネルギーに転写されているので、設計情報を良くしたければ設計情報を見てはいけないということになる。
- A) ノイズもエネルギーの高い条件と低い条件を用いて全て抑えこみたい。そうなるノイズ戦略をとることが難しい。
- Q) 現代・起亜の部長さんクラスのブラックベルト取得はわかったが、実際に遂行する部隊はどのように動いているか？
- A) プロジェクトの責任をとるのは部長。部長によっては自分自身で実行してしまう人もいる。ただ、課長レベルも動いている。いずれにせよ部長が理解していなかったらリードできない、このレベルで教育を一生懸命やるのはアメリカや日本ではみられない。一方、現場の人間はもっとこの取り組みを続けたいといっている。

・エネルギー変換、ノイズ戦略、オンライン品質工学、MT法、さらに用語について

- Q) 位置の転写性はエネルギーとはいえないのでは？

タグチ・メソッド（品質工学）と DFSS

- A) 機械加工で転写性を考える場合は削るのをエネルギーとして扱える。
ダイキャストの充填時間を最適化する場合がある。充填時間はパワーの逆数で、逆数をとる必要がある。時間ではなく速度をとることになるので、間違えやすい。パワーやエネルギーに対する見極めも重要。
- C) エネルギー転写の原点はゼロ点比例である。
- A) そうなのです。
- C) 固有技術の基本が分かっていないと使えない。当初品質工学は SQC と同じかとおもい、固有技術と独立に評価できるかとおもった。しかし品質工学という言葉はわかりにくい。
- A) もともとの機能評価工学とするほうが分かる。アセスメントの工学である。
- C) 機能性は普通につかう機能の機能性とはちがう。評価工学でよいのではないか。
- A) アセスメントは機能性評価である。しかし、機能性と同じくわかりにくい言葉として、ロバストネスがある。良い日本語がないか？鈍感性？ いずれにせよ、ロバストネスのアセスメントといえばよいのだが。
- C) 鈍感性では β が、寝ているようにみえる。
- Q) 損失関数とかオンライン品質工学の導入状況は如何ですか？
- A) オンライン品質工学のほうはまだ導入していない。損失関数の考え方には共感を覚えてくれるがなかなか会計の連中は動かない。韓国も、オンライン品質工学までは行っていない、哲学のみである。
- Q) アメリカの MT 法はどの程度普及しているか？
- A) これはかなり人気があって使われている。半導体のプロセスのモニターなどに。しかし、本当によいものは 1/3 程度だ。イメージとしてはアンドンのような感じで受け取っている。

・その他

- Q) ゼロックスが早期（80年代の初め）に導入している、それはなぜか？
- A) '79年頃富士ゼロックスをベンチマークしてゼロックスのものと比べて、設計でコストは 60%、品質もよく、なぜだということになった。富士ゼロックスが TQC や QE をやっていたからだということになりゼロックスは導入した。しかし、結局定着せず、大型の複写機以外は富士ゼロックスに開発を委託している。
- Q) ノイズについての質問だが、デジタル物たとえばソフトとかロジックの解に対するノイズへの対処法はあるのか？
- A) バグチェックは富士ゼロックスさんが HAYST という手法を開発し大規模組み込みソフ

トのデバッグを行っている。また、ソフトの最適化としては、レーダで敵を発見する時間を最適化して短縮した事例が ITT から発表されている。

Q) アメリカの大学での QE 教育は？

A) MIT、ミズリー大、カルテックなどあるが、教えている人が本当にわかっているかどうか問題かもしれない。四年制大学でも、二年制のコミュニティーカレッジでもは L9 や L8 の直行表を教えているところは意外と多い。ただ、日米ともに品質工学を教えているとはいえない状況。受ける側にとっての必要な知識は基礎的な物理と数学だけあればいい。統計学として教えたり、分散分析から教えたりすると本筋から外れていくだろう。

C) 品質工学はすっと入ってゆくとすごい相乗効果がでるとおもわれる。浄土真宗の親鸞という人は天才だったがこの人の話は分からなかったらしい。親鸞は有名だったがしばらくは密教にとどまっていた。しかし、蓮如が分かり易いものにして、広がり、一向一揆につながるまで行った。蓮如の役割をして分かり易く広げると、すごいことになる。すごいとは分かってきたが、良く効くという漢方薬みたいで中身がわからない。エネルギーであるということで腑に落ちた。我々なりの言葉で翻訳して、どれくらい他の言葉と融合するかを見たい。これまではそれをするとしかられる雰囲気があった。例えば、アクシオマティックデザインとはこういう形ですねと表現できるように、隣接領域としてシックスシグマと連携するようにするとすごいというのを、他となじんでもっとすごいんだと言いたい。

第6部 考察

簡単ではあるが、本報告とディスカッションから得られた考察をここに記す。

第一に、ここでは品質工学の全体像をまとめ、理解することの持つ意味が明らかにされた。品質工学自体は田口玄一博士という極めて優れた知により、多くの事例を通じて形式知化されてきた。特に現場の課題と向き合い、解をあたえ、生産性を上げることを通じて創出された暗黙知は現場の技術者らとの密接なコミュニケーションと深い考察により、さらに改良され、汎用性を深め、その都度形式知化されてきたことを再確認できた。特に今回は設計・開発の側面で田口博士の考案となる「機能はエネルギー変換」のコンセプトを中心に整理がなされ、アセスメントの価値が明確にされた。さらに製品設計情報の転写もエネルギーの視点で見ることができることを示唆し、今後の融合・展開が期待できる。

第二に、海外、特にアメリカでのタグチメソッド活用・展開活動をみると、シックスシグマや DFSS と品質工学との融合により経営での価値の増加を明確にし、経営側の評価を容易にしている。これは、技術としての品質工学のみならず、現在のビジネス・経営において理

解し得るもの、効果を与えるものとしての品質工学の扱い方の指針となる。

第三に、品質経営を主導するマネジメントと品質工学の未然防止の概念と方法論への理解が進むことにより、組織能力と競争力のパフォーマンスに大きな影響をあたえる可能性が十分うかがえる。とくに、現代・起亜自動車あるいはアルプス電気の事例（谷本ら [2007]）からみるとそれを予感させる。

第四に、ビジネスでの価値を明確にしてゆくために、ロバストネスを評価尺度とした、開発・製造システムの QCD を通じての効果を明らかにするモデルの確立が必要である。日本での品質工学を主体としたロバスト・エンジニアリングは開発から製造まで多岐にわたっているが、アメリカではオンライン品質工学はまだその役割を果たしていない。しかし、経営からみると開発のフロントローディングのみならず、開発から製造にいたる一貫したシステムとしても理解し、構築をしたい。今後、この面への展開（稲垣 [2008]）と理解が鍵となる。

第五に、システム設計においてアンカップリング、デカップリングの分解・分析を行うアクシオマティックデザインのコンセプトを取り込んだ品質工学、あるいはロバスト BOM の実践的体系化を織り込んだ品質工学など、殊に大規模システムにたいする一層の検討が重要となる。

最後に、今回、田口伸氏の講演の機会をえて、氏が田口玄一博士のご令息として身近に接すると同時にご自身がアメリカで品質工学の普及をするだけでなく DFSS などとの融合に尽力し、田口博士の創意を実用・昇華させる役割を直接担うのみならず、そこに親鸞に対する蓮如の役割を見て取ることができ、今後への大きな期待を抱かせた。

参考文献

- 谷本勲ら (2007) アルプス電気の技術革新活動——品質概念改革による「次世代ものづくり革新にむけて」, 東京大学 COE ものづくり経営研究センターディスカッションペーパー, No.147.
- 稲垣雄史(2008) アーキテクチャからみたロバストシステムのポジショニング戦略の検討, QES2008, No.85.