

上杉 伸二氏の技術解説集

『タグチメソッドと海軍』

以下は、氏が会報に寄稿された技術解説
『タグチメソッドと海軍』です。

平成19年11月（事務局）

ページ

タグチメソッドと海軍（1） 1

1. 技術開発の新しい方法論、「タグチメソッド」
2. QC（品質管理）から TM（タグチメソッド）へ——Z旗とZ規格、ゼロ戦とレーダー
3. TMの発展とパラメータ設計の特長
4. SN比は、レーダーだ。
—見えないトラブルを見えるようにする

タグチメソッドと海軍（2） 9

5. 科学と技術の違い—工学(技術)教育の問題
6. 脚気論争の教訓—陸軍軍医総監・森鷗外の大罪
7. 田口の「品質」の定義—技術品質
8. 損失関数—許容差・安全係数

タグチメソッドと海軍（3） 14

9. 直交表L18—本来の目的は下流再現性の検査
10. 理想機能・誤差因子とSN比—加法性
11. TMは交互作用を研究する—失敗と場数
12. 日本海軍の興亡—貴重な遺訓に学ぶ

タグチメソッドと海軍（4） 16

13. レーダー…開発テーマ選択とシステム創造が先ず何よりも最重要である
14. ゼロ戦…競合品の秘密解明の重要性と、研究開発効率化のキィSN比の機密性
15. 戦艦「大和」…戦闘力と技術力、無用の長物
16. マネジメントの失敗
—緒戦～前半戦で、戦術に勝って戦略に負けた。

タグチメソッドと海軍（5） 19

17. オフラインQE—パラメータ設計の事例
18. オンラインQE—考え方のルーツと最近事例
19. ソフト製品のバグ発見法—直交表の応用
20. MTシステム … 海軍航空と骨相学
20. MTシステム … 海軍航空と骨相学
21. 法名「釋縁海」…タグチメソッドと海軍

タグチメソッドと海軍（補） 24

補)日米自動車産業とタグチメソッドについて

1. オフライン品質工学(パラメータ設計) と、オンライン品質工学 の事例
2. MT(マハラノビス・タグチ)システムの事例
3. 米国自動車産業における品質の状況(田口伸)
4. タグチメソッド(TM)の普及と発展の一コマ

タグチメソッドと海軍 (1)

横浜市民ギャラリーにて、「FUJIC」開発（会報 No. 31）の矢野昭先輩（富士写真フイルム・東工大で1年上）の「淡彩画」の前で、山内尚隆常務理事の再勧誘を受け、入会しました。越後の生れ、海兵78期、新潟高校（旧制）卒で、現在、「タグチメソッド」（品質工学）コンサルタントをしており、解説を投稿しますのでご覧下さい。

会員 上杉 伸二

1. 技術開発の新しい方法論、「タグチメソッド」

「タグチメソッド」(Taguchi Methods、TM) は、田口玄一博士（1924 生れ、現 79 才）が提唱する、技術品質を向上（お客の望まないもの、ばらつき・コスト・公害を減少）させるための技術方法論で、1982 年米国で名付けられた。今では、「タグチ」で世界に通用している。日本では「品質工学」(Quality Engineering、QE) と呼ぶ。

もっと端的に言うと、新技術の開発を短期間に成就する新しい方法論で、主要な手法は「パラメータ設計」、米国では「ロバスト・デザイン」と呼ばれ、先進企業の技術者には周知で、日夜、鎬が削られているが、一般には余り知られていない。

今後は大学教育にも、もっと取り入れていくべきと考えているが、今回、海軍の事例とも関連させ、タグチフィロソフィにも触れて、解説する。

2. QC（品質管理）から TM（タグチメソッド）

へ——Z 旗と Z 規格、ゼロ戦とレーダー

「日本海軍は、昭和 16 年（1941）12.8、Z 旗を掲げゼロ戦を先頭に戦い大勝利を収めたが、米国は Z 規格（QC）と、やがてレーダーで迎え撃ち、日本海軍を圧倒した。戦後、初めは米国からいろいろ教えて貰ったが、やがて海軍の遺産技術（戦艦大和、ゼロ戦、光・電子兵器など）と、タグチメソッドにより、米国を工業技術的に凌駕した。」

Z 旗は、ご存知の通り、明治 38 年（1905）5.27 日本海海戦で、東郷平八郎聯合艦隊司令長官が、ロシア・バルチック艦隊を 13:45 水平線の彼方に望見、1 万 2 千 m 先に視認した 13:55 三笠の楼上に掲げた信号「皇国ノ興廢此ノ一戦ニ在リ各員一層奮励努力セヨ」で、このあと 14:05、8 千 m 時点で、敵前「取舵一杯」（左に曲がる）「八点回頭」

（Uターン）、敵弾水柱の中を進撃、丁字戦法で、

14:10、6 千 4 百 m で撃ち方始め、約 30 分で勝敗を決した。現在、横須賀三笠公園で観覧できる。

Z 規格は、ASA（アメリカ規格協会）の Quality Control 関係の戦時規格 Z1.1~3（1941.5~42.4）で、全米の軍需工場に徹底実施された。

終戦直後、GHQ（マッカーサー占領軍総司令部）が、日本の電話が「出んわ」なのは、反米の通信妨害のためのサボタージュでないかと、MP（憲兵）を電話局に急派して調べたところ、設備の品質が悪く故障が多いためと分って、「日本は SQC（統計的品質管理）も知らずに戦争に突入したのか」と呆れ、早速 SQC の導入と、電気通信研究所の設立の二つを勧めたという話は有名だ。

SQC は、Z 規格審議の専門委員会のメンバーであったデミング博士が、1950.7 日本の技術者 230 名に 8 日間コースを講義した（売上金をデミング賞基金とした）のを機に、工業界に広まった。所が実は、米軍は戦時中（1942~3）レーダーシステム故障多発に悩まされ、QC による製造品質の管理だけでは不足で、市場トラブルを無くす設計品質の重要性が認識され、更に 1950.6~53 朝鮮戦争でジェット戦闘機的设计・保全などの実績を経て、米国の RE（信頼性工学）が確立した。

1962年、石川馨博士らによりQCサークル（小集団活動）が導入され、その後、DE（実験計画法、1925年フィッシャー卿の創始）やREも導入して、日本的なTQC（総合的品質管理）に発展、一時期、世界をリードした。しかし、品質管理が、技術の本質よりも労務管理、経営管理に傾斜し、1996年TQM（Management）に呼称変更した。

（日本語の「管理」は、Control、Management、Administrationを広義に含むが、TQMが適訳だとされ）、これを機に再構築を図ると宣言された。

今日では、品質の標準としてISO（国際標準化機構）に権威が集中し、品質の経営手法としては「シックス・シグマ」（サムライのTQMに対するカッポーイのアンチ・テーゼ）が著名となった。

TMは、田口先生が1950年GHQの勸告で設立されたNTT電通研に勤務、REと全く異なる立場で、設計品質の改善を、**直交表**によるDEで積極的に進め、これが進化体系化されたものだ。

フィッシャー流のDEは「偶然的なばらつき（等分散）の下で、平均値に差があるかどうかをF検定する」（現象を解明する科学の立場）に対し、タグチのパラメータ設計は「ばらつきの改善を目的とし、少量での結論を量産・市場に適用可能とする」（機能を設計する技術の立場）を目差した。

田口先生が、増山元三郎先生の依頼を受けて、初めて直交表を使った最適化実験の実践例が、森永薬品「ペニシリンの生産性の向上」（1948）だ。菌の品種や濃度、PH、温度などの生産条件を最適化して、培養液1cc当たりの生産量を増やした。

続いて、森永製菓「キャラメルの硬さの改善」

で、環境温度（ばらつき原因、ノイズ）が変化しても、硬さ（結果、特性）が変化しにくいように、キャラメルの組成（パラメータ）を最適化した。（ノイズに対策しないで、ノイズの影響を無くす）

1957年、NTT「クロスバ交換機用ワイヤーリレー」は、当時のリレーの寿命数百万回を、十億回に延ばすため、二千以上のパラメータを研究、6年で完成した。米国ベル研は、日本より1年前から研究開発を進めていたが、日本の数十倍の予算と5倍の研究員を投入しながら開発に失敗し、結局、ワイヤーリレーは100%日本から購入せざるを得なかった。ハイテク分野で戦後日本が米国に初めて勝った製品がクロスバ交換機である。

なぜ、金、人、モノに勝るベル研が失敗したのか。お客の使用条件、使用環境や使用期間を誤差条件（ノイズ）と考え、それらへの対策を考えたテスト「機能性、ロバスト性の改善研究」を行わなかったからだ、田口先生は断言されている。

1980年、米NBCテレビで「なぜ日本に出来て

我々に出来ないのか」が放送され、日本のQCとデミング博士が米国でも一躍有名になった。実はその年の夏、田口先生が、「ベル研で一番困っている問題を手伝いたい」と申し出て、「LSIフォトリソ工程の改善」に成功、大きな衝撃を与えた。

ウエハ上1.5cm四方の所定の場所に、直径2 μ mの孔を23万個開けたいが、孔サイズがばらついて得率が33%しか取れず困っていた。直交表L18を使って、たった18通りの異なる製造条件（9因子の組合せ）の実験を行い、各2枚のウエハから、中上下左右5コ、計10コの孔径を測った。孔径のばらつきを**SN比**で評価し最適化した結果、ばらつきは半減し、得率が一挙に87%に向上した。

この劇的な改善事例は、3年間機密保持の後に発表され、世界中から1千通超の問合せがあったという。米政府や学会で取り上げられ、AT&T、ゼロックスに続き、フォード、GM、コダック等の大手企業やNASA、国防省にも導入された。84年以降、毎年米国でタグチシンポジウムが開催され、優秀発表者には「タグチ」賞が手渡される。

1987.6.8「ビジネスウィーク」に、米人記者により「はじめからうまくやるには一革命的な品質管理

手法一戦後、デミングとジュランが訪日して日本の素晴らしい品質向上のきっかけを作った。今、「ロバスト・クオリティ」の開発者である田口玄一は、その恩に報いるために、年数回ジェット機に乗って逆に訪米している」と報じられた。

(一時、TMは国際競争に打ち勝つための、技術開発効率化の画期的な方法であるのに、外国に気安く教えてしまうのは如何なものかとの声も聞こえたが、田口先生の天才頭脳による成果を、日本だけに止めず、全人類に役立てることが、まさに日本の国際貢献にもなるというもので、各企業はその共通の土俵の上で競うべきとされた)。

田口先生は、これらの功績により、1986年には東洋人で初めて「ロックウェルメダル」受賞、88年にダ・ヴィンチ、ニュートンらと並ぶ「技術と科学の殿堂入り」、91年米国機械学会「設計技術賞」、94年「オートメーション殿堂入り」、96年に石川馨博士に次ぐ日本人で2人目の米国品質管理学会「シューハート・メダル」受賞、97年、本田宗一郎、豊田英二両氏に次ぎ、日本人で3人目の「米国自動車殿堂入り」を果たし、「アメリカを蘇らせた男」と称えられた。2000年の品質世界会議で「20世紀の品質チャンピオン」賞を贈られた。

海軍の技術遺産が、大型タンカー、新幹線、カメラ・レンズ、ソニー製品ほかの家庭電器などに結実したが、タグチメソッドもその一つだと言えるかもしれない。それは、田口先生の「タグチメソッドわが発想法」(経済界、1999)によると、初めて奉職した海軍水路部で、星を観測して位置を推計する実験時に使った最小2乗法が「誤差の絶対値ではなく、なぜ誤差の2乗なのか」という、20才の時に抱いた疑問が、のちに「**損失関数**」という考えに発展し、「その後の仕事の原点となったといっても過言ではない」とあるからだ。

3. TMの発展とパラメータ設計の特長

田口先生は、1950～1962年NTT電通研、1965～1982年青山学院大学教授、1982～日本規格協会参与で、この間、企業指導・研究会で、技術者が困っていた、現実の問題に対して解答してきた。

50年代は技術者の考えた特性値をそのまま、データ解析に用いたが、60年代には計測分野に**SN比**(シグナル・ノイズ比、信号・雑音比)の応用を開始、70年代には計測以外の製品の理想機能や静特性にもSN比の応用を広げ、80年代には製品開発のパラメータ設計(静的・動的SN比と直交表の利用)等のオフライン品質工学、製造段階に用いるオンライン品質工学(損失関数の利用)を体系化し、90年代には(製品開発の前の)技術開発のための基本機能の考究(エネルギー変換等)、ソフトウェアのデバッグ・テスト法(直交表の利用)、21世紀に入って、シミュレーションでの標準SN比と直交展開の応用、多次元情報のパターン認識による診断予測等のMT(マハラノビス・タグチ)システムの拡充と、発展を続けている。

TMの中心的手法である「**パラメータ設計**」(ロバスト・デザイン)の方法を以下に説明する。

- 1) 製品開発で困るのは、試作品でOKだったのに、量産・市場でばらつきによってトラブルことで、ばらつき原因(ノイズ)は品物、環境、劣化の3つだが、対策にコストがかかるし、難しい。
- 2) 従来のばらつき対策は、品物ノイズは量試の数を増し、環境劣化ノイズは試作品の信頼性寿命試験で、トラブルが出たら原因を究明し対策する。言わば、後手のもぐら叩きの繰り返しで、時間がかかり、結局、見逃したトラブルが出てしまう。
- 3) TMでは、最初からトラブルが出ないように設計する。(もぐらが顔を出す前に、隠れていても、気配を調べて、出にくい条件を、先手で選ぶ)。

①目標値に合わせる前に、先ず、ばらつき対策する。(従来と逆の2段階設計) 先行して研究できる。
(製品開発の前に技術開発でばらつき対策する)

②ばらつき対策は、(まだトラブルが出てないから、ばらつき原因を究明して対策するのではなく)、ばらつき原因(ノイズ)はそのままにして、ノイズの影響を受けないよう、パラメータ(設計定数、制御因子)の最適値を、実験・計算によって選ぶ。

ノイズ(原因)と特性(結果)の単純な因果関係で無く、ノイズとパラメータの交互作用の利用だ。これで未知原因によるトラブルにも強くなる。

③トラブルが出てないのに、パラメータの水準値の優劣を評価する指標が**SN比**だ。システムの理想機能(入力と出力の関数関係、製品の目的機能より、技術的手段の基本機能)を考え、市場の環境劣化ノイズ(誤差因子)(品物ノイズもカバー)を、わざと与えて、ずれ・ばらつきの少なさ(機能性)を、SN比として計算する。(従来は、関数関係のばらつきを簡単に計算できなかった)。

④少量テストピースの実験や、シミュレーションのSN比の利得が、量産・市場に適用可能かどうか、**直交表**と確認実験でチェックする。(要因効果の加法性(足し算可能)で下流再現性をみる)。

要因効果の加法性があれば、直交表L18を使うと $2^1 \times 3^7 = 4374$ 通りを18回だけで推定でき効率的だ。

4) エネルギー変換を基本機能とした例を一つ。

IHI「切削加工の電力評価による最適化」(1998)

H-IIA ロケットエンジン用、ターボポンプのインペラーは、強度維持のためTi材のインゴットから削り出す。テストピースはTi材の平板とし、誤差因子はその厚さ(厚い、薄い)とした。L18実験で、アイドル回転時と切削時の電力の時間的变化と、切削除去重量を測定。 $\sqrt{\quad}$ をとって0点比例SN比・感度を解析、従来の10倍以上の高速で安定な切削加工条件を見つけることができた。

4. SN比は、レーダーだ。

ー見えないトラブルを見えるようにする。

「日本海軍は、海・空戦とも米軍のレーダーによって敗れたが、戦後日本は、技術開発のための新レーダー**SN比**によって、米国を凌駕した。」

TMでは、「問題が起きてから、解決するのではなく、問題が起きる前に潰せ」(もぐらが顔を出したら叩くのではなく、もぐらが隠れているうちに潰してしまえ)という。隠れているうちに、見つけるのがレーダーであり、TMのSN比だ。(トラブルが出る前に、理想機能からのずれ・ばらつきの大きさを評価して、トラブルを予測し、対策できる)孫子の兵法に「敵を知り己を知れば百戦危うからず」とあるが、フィッシャー流実験計画法と違って、己(内側)だけでなく、敵(外側)を考えて、これをSN比のレーダーで見るのがTMだ。

注) レーダーと日米海空決戦について纏めた。

1) 日米艦隊夜戦の明暗

ガダルカナル島周辺の6大海戦	日	米
昭和17.8.8 第1次ソロモン海戦(夜戦)⑤	0	
(米呼称、サボ島海戦)		
8.24 第2次ソロモン海戦(空母戦)×	×	×
(東ソロモン海戦)		
10.11 サボ島沖海戦(夜戦)1	③	
(エスペランス岬海戦)		
10.26 南太平洋海戦(空母戦)③	2	
(サンタ・クルーズ海戦)		
11.12 第3次ソロモン海戦(夜戦)2	④	

～14 (ガダルカナル海戦)

11.30 タサファロンガ海戦 (夜戦) ④ 1

(数字はスコア、日本3勝2敗1引分)

日本海軍は、夜目の見張員を訓練し、夜戦を得意としたが、昭和17年(1942)8.7米軍のガダルカナル島上陸に対抗、8.8夜、三川艦隊(重巡5ほか)が突っ込み、米豪艦隊重巡4撃沈、1大破した。ところが、10.11夜、ガ島飛行場砲撃の目的で、出撃した五藤艦隊(重巡3ほか)は、敵影を認める前に、初のレーダー射撃の奇襲を受け、敗退した。(重巡1沈没、1大破、五藤司令官戦死)。

(夜目では8km、レーダー2万m以上見える)

サボ島海戦は、米海軍にとって初の、闇夜中の正面からの艦隊決戦で、その最悪の敗戦は真珠湾以上のショックで、生き残った艦長は、査問委員会で厳しく追求され、ピストル自殺した。一方、米海軍は、従来の1.5m波レーダーから、より高性能の9.7～10cm波水上射撃用レーダーに切换え、次の海戦にはT字戦法で待伏せ大勝した。この後、ガ島周辺の夜戦の勝敗は、米レーダーのトラブルの有無によって決まってしまうことになった。

(2日後の戦艦2による飛行場砲撃は成功した)

2) マリアナ沖海戦の悲劇—日米空母決戦は戦略地点の攻防を巡って6回生起。 日 米

昭和17.5.7～8 珊瑚海海戦 ○1/3 1.5/2

(ポートモレスビー) [空母損失]

17.6.5 ミッドウエー海戦 4/4 ○1/3

(ミッドウエー)

17.8.24 第2次ソロモン海戦×1/3 ×0.7/2

(ガダルカナル)

17.10.26 南太平洋海戦 ○0.7/4 1.5/2

(ガダルカナル)

(18.4い号、18.11ろ号作戦：ラバウル航空戦)

19.6.19～20 マリアナ沖海戦 3.6/9 ○0/15

(サイパン、テニアン)

19.10.25 比島沖海戦 4/4 ○1/15

(フィリピン)

マリアナ沖海戦は彼我戦力の圧倒的格差の下、小沢機動部隊はアウトレンジ戦法で、綿密な索敵により先んじて敵を発見、700kmで先制攻撃隊を発進したが、敵はレーダーで300km先に察知、全戦闘機グラマンF6F 470機を艦隊上空にあげ迎え撃った。更に、高性能のVT信管(variable-time、電波で15m内に近接すると炸裂)により防御砲火の命中率が格段に向上、米軍「艦隊防空システム」の前に、我が方6回の攻撃で86%を失い(マリアナの七面鳥狩り)、敵空母への命中弾は無かった。

(損失) 飛行機 搭乗員 空母

日 378/439 445 3(沈没) 3(小破) /9

(内、2(大鳳、翔鶴)潜水艦の雷撃)

米 130/891 76 0/15

(富士技術経営研究所所長・技術士)

富士技術経営研究所・技術士 上杉 伸二

タグチメソッドと海軍 (2)

会員 上杉 伸二

5. 科学と技術の違い—工学(技術)教育の問題

科学と工学の間には非常に大きな差がある。科学は自然の現象、メカニズムを解明し、唯一の真理、因果関係の発見を目差す。ニュートン、アインシュタイン的・WHY型であるのに対し、技術はエジソン、イーストマン的・HOW型で、自然に無いものを人工的に創造、発明する。解は多数あり、最適化され、特許で保護される。

開発研究では、ばらつき原因（ノイズ）と品質特性（結果）の正しい因果関係を解明するより、タグチメソッドを使って、ノイズはそのままで、機能のばらつきを減らし、コストを下げるHOWを早く決め、WHYはその後にするのが得策だ。

技術（工学）は、科学（理学）と違って、「ばらつきとコスト」が必須要件である。量産・市場での製品トラブルはすべて、設計目標値や理想機能からのばらつきによって起こる。（ばらつきが無ければトラブルは起きない。もし、ばらつきが無いのにトラブルが起きるなら、全数トラブルで設計が間違っている。トラブルは一部だけに発生する）

現在の大学教育は、工学部でも工学基礎の科学を教え、データ解析でもすぐ平均をとって、ばらつきを消してしまうことが多い。従来 of 学問では、品質のばらつきについては統計学があるが、機能（入力と出力の関数関係）のばらつきの少なさ（機能性）を簡単に計算するうまい方法がなかった。それが、タグチ（品質工学）の（動的）SN比だ。

ばらつきは2乗の世界で扱う。タグチはデータの分布の仮定は不要（英フィッシャー卿の創始した実験計画法とは異なる）で、直角3角形のピタゴラスの2乗和定理とエネルギーの加法性が基礎なので、複素数を含むあらゆる技術データに適用できる。企業は入社後に改めて、科学と技術の違いや、ばらつきの教育をしているのが現状だが、本来は学生時からその概要を学ぶべきと考える。

私は東工大化学工学科で学んだ（1952年卒）が、内田俊一教授（後、学長）のケミカルエンジニアについての講義は、タグチの考えと共通だった。

「engineerの語源は、ingenious（巧妙な工夫）、genius（天才）で、巧妙な工夫のできる人の意だ」工夫の工が、工学・工業の工（天と地を人が結んで役立つものを創る）（理想と現実のgap fill）だ。

「解き得る問題を解くのが科学者であり、解かぬばならぬ問題を解くのがエンジニアだ」（アインシュタイン）、「化学工学とは、化学工業の術と科学との間隙を渡す橋である」（ハウゲン）

今では、次の図を私の講義で使って話している。



科学と技術の違いをより端的に示すと、科学の研究では、(天) 理論・仮説－(地) 現実とすると、現実が正しくて、それに理論・仮説を合せる、(天) → (地) へ向かう。これと逆に、技術では、(天) 理想－(地) 現実として、理想を目差して、現実を変える(設計を直す)、(地) → (天) へ向かう。

大学での科学の実験は、理論・仮説から導き出した結論が、現実に合わせているかを検証するためだから、できるだけ少なくスマートに行うべきとされるが、これはデカルト流の演繹の実験法だ。しかし、科学発展の初期には、否、現在でも、分っている理論は、まだ、網のようなものでしかなく、大部分の現象は、網の目から零れ落ちており、やはり、ある程度多数の実験結果を観察し整理し法則を見出す、ベーコン流の帰納的実験法が重要だ。特に、新技術のばらつき研究では尚更だ。

6. 脚気論争の教訓－陸軍軍医総監・森鷗外の大罪

「TMで、SN比の利得が大きく出たのに、「何故そうなるのか。理論的に因果関係の説明がつかないと信用できないから、危なくて採用しない」と言う上司がいるとすれば、森鷗外と同じ誤りだ。」

明治16年(1883)練習艦・龍譲が、品川-ニュージーランド-チリ-ハワイ-品川 272日間の遠洋航海(海兵10期)で、乗組員378人中169人が脚気となり、23人が死亡した。海軍軍医総監・高木兼寛(イギリスで医学を学び、のち慈恵医大の創始者)は、脚気に罹るのは兵のみで、士官(毎日洋食)にいないことから、白米中心の食事が原因とみて、これを実証するため、翌'84年、練習艦・筑波を同コースで航海、食事は麦パン、肉魚野菜を十分摂らせた。(世界初の大規模比較臨床実験)。結果、脚気死亡0、罹病者15人は与えられた給食をちゃんと食べていなかったと分った。この実験結果から、海軍は全軍挙げて米麦併用に転換し、脚気発生率は激減し、殆ど皆無になった。

所が、陸軍軍医総監・森林太郎(鷗外)(東大医学部卒、ドイツでコッホの細菌学を学ぶ)を急先鋒として、他の軍医も東大医学部卒が多くドイツ医学こそ世界最高だ(1876炭そ菌、'82結核菌、'83コレラ菌、('90ジフテリア菌)発見)として、細菌原因説に固執し、「先ず、脚気菌を見つけてから、根本的な治療法を考えるべきで、細菌で起きる筈の病気が、食事で防げる訳がない」(原因の追求を二の次とした海軍の対応策は全くナンセンスだ。兵士は白米が楽しみで、麦飯では士気が落ちる)と言って、海軍の食事改善運動を否定し、陸軍の現場からの麦飯導入案も徹底して妨害した。

その結果、陸軍では日清戦争で4千人近くの兵が脚気で死亡したが、これを見ても自説を曲げず、そのまま日露戦争に突入し、陸軍兵の5人に1人(110万人中21万人)が脚気に罹り、2万7800人が死亡した。(旅順攻略戦における203高地(爾靈山)突撃の死者1万5千人の2倍に近い)この後も、全く反省せず、陸軍兵に白米を与え続けた鷗外らの行為は、一種の犯罪だと言える。

(吉村昭「白い航跡」講談社、TV「大いなる航海」)

その後(1911)、ビタミンBという全く新しい栄養素が発見され、脚気との因果関係が解明された。すなわち、既知の細菌学の立場で因果関係が説明できなかったのは当然で、妥当な手順を踏んで得られた実験事実を、既知の理論から説明できない限り認めないと言うのは全く誤った態度だ。先ず対策を打った後に、理論的解明をすればよい。

注)「実験による帰納法が自然科学の方法だ」と主張したのが、イギリスの大法官ベーコン(1620)(雪が鶏肉の腐敗を防げるかの実験中に「実験は成功した」の語を残して死亡。冷凍食品の祖と呼ばれる)であり、種痘を考え出したのも、イギリスの医師ジェンナーで(1798)、天然痘がなぜ発生するかでなく、どうすれば防げるかを、「牛痘に感染した経験のある乳しぼりの女は、天然痘に感染しない」という

事実から工夫し成功した。

ドイツの高校教師オームは、苦勞しながら実験データを整理し 39 才（1826）で、オームの法則（電流 $A = \text{電圧 } V / \text{抵抗 } \Omega$ ）を発見し、長年の夢であった大学教授の地位を期待したが、ベルリン大学哲学部長ヘーゲル教授一派から反対を受けた。

当時、物理学は自然哲学の一部であって、思弁を優先し、実験から導き出した法則などは低俗なもので単なる妄想の結果に過ぎないと批難された。寂しい失意の中に、やっと 54 才でイギリス王立協会から評価され、62 才でミュンヘン大学教授に迎えられたが、67 才（1854）で亡くなった。

注） 早期に原因が究明され、成果を挙げた事例。

昭和 12 年（1937）末、駆逐艦「朝潮」の高速試運転中、振動多く異音あり調べたら、タービン翼の 1 本（幅 20 ヲリ、長さ 10 ヲリ位）の折損が発見された。直ちに、同型「山雲」で再現実験の結果、意外にも全速 40 ノット、第 2 戦速 32 ノットでも発生しないのに、経済速度 22 ノット走行中に、タービン翼の 2 節振動が生じ、他の振動と共鳴して大振動を起こし自壊すると判った。治療は簡単で、翼の長さ、幅か、形を変えるとよい。この「2 節振動の同調」理論によって、造船界のジンクス「長さ 160 ヲリ、幅 16 ヲリの翼を作るな」も解明され、以降、日本の軍艦にタービン翼の折損故障は一切無かった。

7. 田口の「品質」の定義—技術品質

（タグチメソッド(TM)で、「ばらつきとコスト」をどう考えているかを、説明する）

田口の品質の定義は、ユニークで、有名である。

「品質とは、品物が出荷後、社会に与える損失である。ただし、機能そのものによる損失は除く」

初めて、この定義を聞いた人は、耳を疑った。

顧客は商品のもつ価値・効用を買うのであって、損失を買うのではない筈だから。しかしここに田口のフィロソフィがあるのだ。実は、田口は、世間一般の Quality (広義の品質)を 2 つに分け、TMは「技術品質」(狭義の品質)を対象とした。

Customer Quality(商品品質、品種) = 顧客の望んでいるもの = 商品の機能・特性、外観(形状・色・デザインなど) = これが、価値・効用だ。

マーケット・サイズを決め、クレームは無い。

Engineered Quality(技術品質、品質) = 顧客の望まないもの = 機能のばらつき、使用コスト、副作用・公害などの弊害項目 = これが、損失だ。

マーケット・シェアを決め、クレームが有り得る。

商品品質の評価は、企業にとって極めて重要であるが、本質的には顧客一人一人の価値観・嗜好によって決まるので、心理学・社会学・マーケティングの対象であり、工学の対象にはならない。

一方、機能のばらつき・使用コスト・副作用という技術品質の 3 成分の損失は、誰でも無いのが良いに決まっており、顧客に聞く必要なく、客観的であり、工学で扱える。(損失観とは言わない)

しかも、顧客だけでなく、第三者への公害も含めた損失を問題にして、すべて(100%)、自然に無いものを人工的に創造・発明した、技術者の責任だとしている点が、国際的にも評価されている。

すなわち、「品質(製品出荷後の社会損失) = 目標からのばらつきによる損失(損失関数) + 使用コスト + 副作用・公害などの弊害項目による損失」(金額で算出できる)で、一方、製品が出荷前の、企業内の損失は、コストであり、「コスト = 材料費 + 加工費 + 生産上の公害など弊害項目による損失 + 管理費 + 間接費」で、両者の和「コスト + 品質 = 社会生産性」という。

ここで、品物のばらつきによる損失は、目標値からの偏差の2乗に比例する ($L=k\sigma^2$) というのが、田口の損失関数で、これによって、次元が違ふとされていた、出荷前に発生する生産上のコストと、出荷後の品質を、同じ次元の、金額で両者の和を計算できるようになり、この値を小さくすることが、社会生産性の向上であり、TMの目的である。

注) 身近な具体例と海軍の話を示し参考とする。

1) 東海道新幹線は、開設以来人身事故は1回も無く、大量人員の高速輸送の役割を果たしているが、雪が降ると遅れて利用者に損失、騒音で沿線住民に損失を与え、品質としては良くない。(雪対策は上越新幹線で済み、騒音対策も別途かなり進行中)

2) 酒を飲み過ぎて酔っ払い、転んでけがをした。だから飲んでも酔わない酒を造れでは、酒でなくなってしまう。そこで、品質の定義で、機能そのものによる損失は除いた。飲むと酔うが、二日酔いはしない(副作用のない)酒を造るのは有用だ。

3) ネクタイを買って、後でデザインが気に入らないとクレームをつける人はいないが、雨に濡れて色が落ちてしまったなら、当然クレームとなる。

4) ワイシャツは、顧客に対して購入価格に加えて、クリーニング代でかなりの損失を与えているが、形状記憶ワイシャツは、その分コストが増えて価格アップしても、プレス不要なので、顧客の合計損失が少なく、社会生産性が向上したと言える。

5) 田中一郎(兵 67、新潟中学先輩、もと海軍大尉、空母「瑞鳳」乗組み、南太平洋海戦・第3次攻撃隊長で「ホーネット」に 800kg 爆弾命中) の談話より。(当時 26 才、今年 8.14 夕 84 才で死去) 1945.8 終戦時、大分基地参謀で、8.10 敵信傍受により、ポツダム宣言受諾の重大情報が、司令部に届いた。私たち硬派の若手参謀の「徹底抗戦」を制したのは、良識派中年参謀の「国民あつての国家だ。これ以上非戦闘員(国民)を犠牲にする訳にいかない」だった。(副作用による社会損失の大きさの判断。核(原爆)の違法性もこの点にある)

(8.15、1600 過ぎ、宇垣纏五航艦長官(兵 40)の出撃見送り。彗星艦爆 11 機発進、中津留達雄隊長は、最初の特攻隊長関行男大尉と同期(兵 70)だった)

8. 損失関数—許容差・安全係数

望目特性(一定の目標値 m_0 に近いほど望ましい)の損失関数(目標値からのばらつきによる損失)は、解析学の基本定理、 m のまわりのテーラー展開 $L(y) = L(m) + \frac{L'(m)}{1!}(y-m) + \frac{L''(m)}{2!}(y-m)^2 + \dots$ の定数値と 1 次の微分値はゼロとおけるし、3 次の項は考えられず、4 次以上の項を省略して、

$$L = k(y - m_0)^2 \quad [\text{データ } y \text{ が1個の場合}]$$

$$L = k\sigma_0^2 \quad [\text{データ } y \text{ が多数個の場合}]$$

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} = \frac{A}{\Delta^2}, \quad \sigma_0^2 = \frac{1}{n} \sum (y - m_0)^2$$

Δ_0 :機能限界(LD50) A_0 :平均損失(使用段階)

(LD50=50%の製品がトラブルを起こす点)

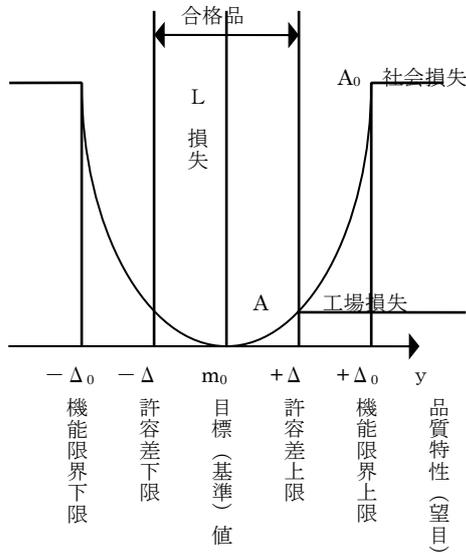
Δ :許容差 A :生産者側の損失(廃棄の時、工場出荷価格。手直しの時、手直し費用)

$$\Delta = \Delta_0 \cdot \sqrt{A/A_0} = \Delta_0 / \phi, \quad \phi = \sqrt{A_0/A}$$

(通常 $\phi = 4$ 、 $A = A_0(100\%) \times 6.25\%$ でしかない)これによって初めて、品質のばらつき σ_0^2 を損失金額 L (円)に換算でき、許容差 Δ ・安全係数 ϕ も経済面から公式化された。過剰品質の見直し(品質とコストのトレード・オフによる)も可能になった。損失関数は、2 次曲線(放物線)であり、合格品も(損失はゼロではなく)

目標から離れるほど損失が大となる。工場損失・工場内の不良率は(品質ではなく) コストである。不合格品の出荷は(工場内なら損失Aで済むのに、より大きな損失を社会に与えるので) 泥棒より害が大きいと言える。

・目標品質からのばらつきによる損失



1) 1979(昭和 54). 4. 17 朝日新聞記事「ニッポン企業・イン・アメリカ」に、米国の消費者の「米国内ではなくて、日本で造ったソニーTVを売ってくれ」の声に対し、米国ソニー・サンジェゴ工場の山田副社長は、「日米同じ許容差で合格品を出荷しており、品質に差は無い筈だ。ただ、日米労働者気質の微妙な差により、許容差内のばらつきが、日本は規格中心を重視し釣鐘型(正規分布)、米国は規格限界を重視し一様分布となっている」とあった。

田口は、日米ソニーTVの合格品のばらつきによる損失を、日本品($\sigma_0 = \Delta/3$)、米国品($\sigma_0 = \Delta/\sqrt{3}$)から計算し、米国品は日本品の3倍の損失であり、明らかに品質差があることを示した。(出荷された、許容差内の合格品同士の、品質競争だ)

2) 1981.10 フォードは、田口の講義を受け、損失関数を購入部品の受入に導入。従来、規格内なら同等とした(だが、部品はぎりぎり合格、組立不良が発生した)のを、規格内でも中心から離れるほど損失大と切換え、組立不良が激減、86年利益でGMを抜き、87年売上利益で過去最高となった。

3) 1988.1.5 東京六本木のディスコ「トウリヤ」で、1.6トンのシャンデリヤが、上昇下降用チェーンが切れてフロアに落下し、踊っていた男女17人が下敷きとなって3人が死亡する大事故があった。

設計者は、チェーンの強度計算に通常 $\phi = 4$ を用いており、設計責任はなく、製造メーカの責任だと主張し、安全係数の妥当性が問題となった。

NHKのTV討論会が開かれ、出席者の企業では、経験上 $\phi = 10 \sim 17$ としているとの見解だった。

田口は、安全係数の公式を用いて $\phi = 55$ が必要だが、それよりも、チェーンが切れても頭上で止まる安全設計をすれば $\phi = 2$ が良いことを示した。

(人命の値段=国民所得×平均余命=2億円、×3人分、チェーン20万円で計算。安全設計のとき修理費用100万円) 1992.2.26 東京地裁判決で設計施工社長は有罪(禁固2年、執行猶予3年)だった。

損失関数は、1986年JIS-K7109「プラスチックの寸法許容差の決め方」、96年JIS-8403「製品の品質特性・規格値の決め方通則」に導入された。(富士技術経営研究所所長・技術士)

タグチメソッドと海軍 (3)

会員 上杉 伸二

9. 直交表L18—本来の目的は下流再現性の検査

18世紀初頭、スイスの数学者オイラー($e^{i\pi}=-1$ を発見。超越数 $e(=2.71828\dots)$ は彼の頭文字)が不可能だと予測した、「士官36人の問題」(6連隊から6階級の士官、計36人を集めて、6行6列に整列させたとき、どの行どの列にも、すべての連隊とすべての階級の士官がいるように配置できるか?)は、250年以上の論争の後、コンピュータがすべての組合せを計算して、不可能だと証明された。

(6×6)の場合は不可能だが、(3×3)(4×4)(5×5)などは可能であり、オイラーが不可能と予測した半偶数(=奇数×2)の中でも、(10×10)は可能だと証明され、オイラーも間違っていたと分った。

士官9人の直交配列 (3×3)=直交表L9(3³)

	列 1	列 2	列 3
行1	連隊1・大尉	連隊2・中尉	連隊3・少尉
行2	連隊2・少尉	連隊3・大尉	連隊1・中尉
行3	連隊3・中尉	連隊1・少尉	連隊2・大尉

どの行どの列をとっても、常に、同じ組合せ

(1・2・3、大・中・少)が、同じように出ることを「バランスしている=直交している」という。

英フィッシャー卿がこれを初めて実験に用いたが、田口先生はその考えを発展、「直交表」を使い易くして、一般技術者の実験計画の道具とした。

TMで活用される直交表 L18(2¹・3⁷)

列 行	A	B	C	D	E	F	G	H
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

直交表L18は、8列(A~H)あるが、これに制御因子(パラメータ)をわりつける。A(1列)は2水準(1, 2)、B~H(2~8列)は3水準(1, 2, 3)で、本来、この全組合せは2¹・3⁷=4374通りあるが、この中から表にある18通り(18行)だけを実験する。

この直交表による実験の目的は、2つある。

① 実験の効率化 (一部実施法としての考え方)

本来、全組合せ実験をやって最適条件を選びたいのだが、非効率なので、直交表による実験だけをやって、あとは計算で推定し同じ成果を期待する。

(ただし、前提として、わりつけた制御因子が互いに独立に影響し合わない=制御因子同士の交互作用が無い=加法性がある、ときだけに使える)

→これに対し、田口先生は、「制御因子同士の交互作用が無いかあるか分からないから、先ず直交表実験をやるのだ」次の②が本当の目的だと言う。

② 加法性 (下流再現性)の検査

技術開発では、源流・上流のシミュレーション、ピーカースケール・テストピースの実験で、下流のラージスケール・大量生産・市場製品への結果を予測する必要があり、下流再現性が要求される。

実験室での直交表実験から最適条件を求め、初期条件からの SN 比の利得を(要因効果を足し算して)推定し、確認実験をして、その結果と比較することにより、加法性がある=制御因子同士の交互作用が無い(小さい)かどうかを検査(判定)する。

加法性が無ければ、下流再現性は成り立たない。

加法性があれば、制御因子は互いに影響し合わないから、下流再現性も成り立つと期待される。

(加法性の向上には、理想機能と誤差因子が寄与)

従来の科学的研究法は、1 要因ずつ実験する方法(1 因子実験法)で、その条件の下では再現性がある(科学的にはこれで十分だ)が、下流で他の条件が変わった時どうなるかは全く不明で、量産・市場でトラブルの発生事例が多かったのである。

10. 理想機能・誤差因子と SN 比—加法性

1) 新製品・新技術を開発する際、その理想機能

(入力と出力の理想関係)を考えて始めるが、そのとき直接の**目的機能**だけでなく、その目的を達成するための 技術的手段の機能である **基本機能**(技術機能、generic function=科学の基本法則 or エネルギーの入出力関係→多くの場合、ゼロ点比例式 (出力特性) $y = \beta M$ (入力信号)で表せる)を考えて取り上げることを、TMでは奨めている。

2) 従来は、(下流の)ユーザの分る**消費者品質**(例、車の燃費、 NO_x 、騒音、故障率)や、(中流の)技術的な**品質特性**(例、寸法、強度、ばね定数)を目的特性として研究開発したが、加法性がないので、小規模・直交表の実験に適さず、非効率である。

TMでは” **To get Quality, Don' t measure Quality !** “ 品質を改善したければ品質を測るな。(機能性を測れ)と言う。(上流の)設計では、**目的機能性**として、静的(望目、ゼロ望目、望小、望大)・動的(ゼロ点・基準点比例、理想曲線のときは標準)SN 比。(源流の)技術開発では、**技術機能性**として、基本機能の動的 SN 比を用いる。目的機能より基本機能を奨めるのは、加法性が良いからだ。

3) **基本機能の例**を示すと、電気回路ならオームの法則(抵抗やインピーダンスでなく、電流-電圧特性を用いる)。ばねや、材料の強度・保形性ならフックの法則(ばね定数や、ヤング率でなく、変位-荷重特性を用いる)。車のスタート性能はニュートンの法則より加速度一定で、 $dV/dt=b$ より $V=bt$ を得る。しかし、速度Vは加法性無く測定も困難(砂利道など)なので、 $V=dL/dt=bt$ より距離 $L=bt^2/2$ を得るが、入出力は2乗したときエネルギーとしたいので $\sqrt{\quad}$ をとり、更に測定し易さから、時間 $t=\beta\sqrt{L}$, [$\beta=\sqrt{2/b}$] を基本機能とする。

エンジンの基本機能を考えてみる。

エンジンの性能を評価するとき、入力をガソリンの量、出力を機械的仕事量としたのでは駄目だ。

そこにはNO_xを減らすという対策もなければ、シリンダの内面形状とピストンの外面形状を改善するための機械加工性能も考慮してないからだ。

エンジンの基本機能は、次の2つに分解する。

① 化学反応としての機能(ビーカースケール)入力は酸素、出力は3つに分解される。 (理想)

出力 p: 不十分反応物(O₂, CO)の割合 →0

q: 目的生成物(CO₂)の割合 →1

1-(p+q): NO_xなどの副反応物の割合 →0

化学反応の基本機能 (T時間) (β 反応速度係数)

全反応 $\ln 1/p = \beta_1 T$ ($\beta_1 \uparrow$ 大が良い)

副反応 $\ln 1/(p+q) = \beta_2 T$ ($\beta_2 \downarrow$ 小が良い)

② 機械加工としての機能(テストピース)

入力:加工時間T、出力:消費電力y₁、切削量y₂

基本機能 加工精度 $y_1 = \beta_1 T$ $\beta_1 \downarrow$

加工生産性 $y_2 = \beta_2 T$ $\beta_2 \uparrow$

4) ユーザが使う因子で、効果を出したい因子が

信号因子(入力信号)、ユーザ側の因子であるが、

その効果を無くしたい因子が**誤差因子**(ノイズ)で、品物間差より環境、劣化の方が格段に大きい。

誤差因子の水準は、通常、yを小さくする・大きくする両側に調合して、2水準N₁, N₂とする。

(失敗例)南極越冬隊に持ち込む機器のテストは、低温側のみでOKとしたが、「宗谷」が赤道通過で、高温側のトラブルが発生。両側やるべきだった。

5) **SN比は機能性を評価する測度** (理想機能 (or 標準)からのばらつきの少なさ、functionnability、ロバストネス、機能の確実性・的確性) であり、田口先生によって、①→②→③と発展してきた。

① 本来は、通信システムの性能全パワー=信号のパワー+雑音のパワー [=電圧²]

$$SN比: \eta = 10 \log \frac{Signal(信号)}{Noise(雑音)} : (dB)$$

② 計測器の性能 $y = \beta M$ (1960年代~)

$$SN比: \eta = 10 \log \frac{\beta^2(感度)}{\sigma^2(誤差)} : (db)$$

③ 一般技術の性能 (1970年代~)

科学 モデル式 $y = f(\text{関係する全因子})$

技術 理想機能 $y = \beta M$

$y = f_d(M, N)$ M 信号 N ノイズ

d ある制御因子の組合せ条件に固定

$= \beta M + [f_d(M, N) - \beta M]$

$$SN比: \eta = 10 \log \frac{\beta^2(出力の有用部分)}{\sigma^2(出力の有害部分)} (db)$$

11. **TMは交互作用を研究する一失敗と場数**

TMでは中下流の量産・市場で製品の品質トラブルを起こさないように、源上流の技術開発時に機能性を改善する方法として、次の3つを用いる。

- (1) 源流で使える機能性の評価法 **SN 比**(計測特性に対する誤差因子と制御因子の交互作用の利用) (2) 主効果に交互作用(SN 比に対する制御因子同士の)を交絡させた**直交表** (下流再現性の検査)
- (3) **損失関数** (品質とコストのトレードオフ)

注) 主効果とは、1つの因子の水準の効果であり、

交互作用とは、ある因子の水準の効果が、別の因子の水準によって影響される程度を示す。

TM のパラメータ設計で推奨している L18 は、どの 3 水準 2 列の交互作用も他の残りの列に分散されている (交互作用のわりつけは不可能) ので、交互作用のことは全然考えずに、各列に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ればよい。このため TM は交互作用を無視しているのではないかと一部に誤解されたが全く逆で、TMこそ次の 2 つの交互作用を考慮しているのだ。

1) 誤差因子と制御因子の交互作用 (計測特性に対する) → 大きい方が良く、有効なものを選ぶ。

(従来の実験計画ではこの交互作用は考えてない)この計算とグラフ化は面倒なので、SN 比という測度が考え出され、解析の効率が大幅に向上した。

誤差因子(ノイズ)の影響を受けないよう、制御因子(パラメータ)の最適値を選ぶという考え方で、出火の原因(因果関係)を調べるのではなく、火事を起こさないよう、予め火の用心の対策をするのだ。

2) 制御因子同士の交互作用(SN 比に対する) → 無い方が良い。(交互作用が無い=加法性がある)

交互作用があると、実験に取り上げなかった、

スケール因子や他の因子 (実験上は固定条件として扱った)の水準が変化すれば、その影響をうけて効果が変わり、求めた最適条件が違ってしまう。

① 科学的な 1 因子実験は、交互作用は全く不明。

不明確な情報は、情報としての価値がないのだ。薬の副作用を調べるのに、ビーグル犬だけのテストでは危険だという田口先生の指摘で、今は少なくとも 2 種以上の動物でのテストが要求される。

② フィッシャー流実験計画法は、現象を解明する科学の立場で、計測特性と要因の因果関係の実験式を作る or 応答曲面を作り最大化・最小化するのが目的なので、交互作用のわりつけ可能な直交表を用いて、技術的に大きいと予想される制御因子同士の交互作用を取り上げ、それ以外は交互作用が無いと仮定する。(この仮定の証明はできない)

③ TM は、ばらつきの改善が目的で、源流の少量での結論が下流で成り立つために加法性を重視。制御因子同士の交互作用があれば、主効果に交互作用を交絡させた直交表の実験は失敗するので、不良(最適でない条件を最適とする誤り)を指摘できる。即ち、**直交表の実験は失敗したときだけに価値がある**。田口先生のこの発言は当初アメリカの統計学者から「ミステリアス」だと言われたが、不良発見のときだけ検査した価値があるわけだ。

失敗するなら下流でなく、源流・上流で早く失敗して、対策を考えることが早い成功に繋がる。

直交表は、交互作用がある(加法性がない)ことの証明(情報の信頼性のチェック)を、少ない実験数でやれる。(止むを得ず一部実施するのではなく)、全組合せ実験より直交表が優れているのだ。

実際の技術課題に挑戦してゆく時、できるだけ失敗しないよう、田口先生の著作や多くの発表事例を学んで、**自分の「場数」を増やしておくこと**が大事だが、個別のテーマごとに具体的内容が違うので、やはり直交表による検査が必要なのだ。

3) 直交表と確認実験で SN 比の利得の再現性(加法性)が無く、失敗したと分ったら、先ず理想機能や誤差因子・水準について、(時には制御因子同士のすべり水準なども)、考え直さないといけない。

例) 計測特性の加法性の有無についての譬え話。

ビールを飲んだら気分が良くなった。別の時にウィスキーを飲んだら気分が良くなった。では、ビールとウィスキーを一緒に飲んだら気分が足し算したように良くなるかと言うと、逆に、飲み過ぎで気分が悪くなることも起こる。即ち気分という特性値は加法性がない。しかし、血液中のアルコールの量を測定すれば、加法性が成立し、一緒に飲んだら過大になって危ないと予測できる。

12. 日本海軍の興亡－貴重な遺訓に学ぶ

1956年、富士フィルムは第6回デミング賞実施賞を受けたが、審査委員として田口先生も来社され、以降今日までご指導を頂いている。同年に、伊藤正徳「連合艦隊の最後」、「大海軍を想う」、6年後「連合艦隊の栄光」の3部作が出版され、太平洋戦争で「410隻が沈み、2万6千機が墜ち、40万9千人が斃れた」、日本海軍の栄光と悲惨の歴史に、尊敬の念と愛惜の情を抱き続けて来た。

TMでは、実験は技術情報獲得の手段であり、実験の成功失敗の何れからも貴重な情報が得られるが、特に、「直交表の実験は**失敗**したときだけに価値がある」、また、「多くの技術課題に対して自分の**場数**を増やすことが大事である」と言う。

今回、日本海軍の貴重な歴史的事例を取り上げている理由であり、海軍について私の「場数」を増やし深めたのは、読書のほか、以下の方々からの体験談の「刷り込み」に多く負っている。

竹村元伸(兵78、205分隊)のち海上自衛隊海将補(潜水艦乗組、艦長、潜水艦隊司令)。

松代格三(機52(兵71相当)、海軍大尉2部附監事)もと戦艦「伊勢」機関分隊士・比島沖海戦。

後藤寛(兵73、富士フィルム先輩、のち富士ゼロックス)もと海軍中尉、「伊勢」主砲発令所長・呉軍港防衛戦(音戸沖戦闘、昭和20.7.24・28)。

田中一郎(兵67、新潟中学先輩)もと海軍大尉、

空母「瑞鳳」艦攻分隊長－(2)で紹介済み。

注) 日本海軍は、明治元年(1868)発足、5等国レベルから、日清・日露の戦役に勝利して、40年足らずで、世界列強海軍に伍する急成長をとげた。しかし、その後、国際情勢の波に翻弄され、太平洋戦争に突入、3年8カ月全力で戦い敗れ、昭和20年(1945)77年の歴史の幕を閉じた。

注) 日本海軍の歴史77年の因縁話(小池猪一著)

海軍生みの親、勝海舟は明治6～11年、初代海軍卿に任じられ、77才で没した。海軍大将に親任された提督は、初代海軍大臣西郷従道、初めての海兵卒は5人目の山本権兵衛(兵2)、最後は井上成美(兵37)で、計77名だった。鈴木貫太郎首相(兵14)が終戦処理をした歳は、77才だった。

海軍兵学校の最遅入校生徒は、昭和20年4.10の、77期だった。(我々78期(予科)は1週間早い)

私は、昭和20年4.3海軍兵学校に入校(針尾→防府)、78期生徒として5カ月間訓育を受けた。(開戦時の山本五十六聯合艦隊司令長官(兵32)が、長岡中学の先輩で、私が2年の春、昭和18.4.18戦死され、長岡市での国葬を長興寺への沿道に整列して見送った。その夏、新潟中学に転校した)

海軍兵学校は明治2年創立され、明治6年イギリス海軍・ダグラス少佐以下34名を教育団として招聘、徹底した英国式教育を始めた。「士官である前に、まず紳士であれ」「5分前精神」など。

注) 貴重な遺訓に学ぶ

1) 明治27年(1894)9.17、日清戦争・黄海海戦で、聯合艦隊(伊東祐亮長官)は、北洋艦隊(丁汝昌長官)に大勝。「松島」艦上、三浦虎次郎3等水兵、

「まだ沈まずや、「定遠」は」戦闘不能となったと聞き、笑みを浮かべ息絶えた。「この言葉は短きも、皇国を思う国民の心に永く記されん」の名歌あり。

2) 明治 43 年(1910)4.15 第 6 潜水艇(国産初)が、岩国新湊沖で沈没、艇長・佐久間勉大尉(兵 29)以下 14 名全員所定の配置のまま殉職。ガソリンが充満し、刻々迫る苦悶の呼吸の中で書き残した、佐久間艇長のメモ(江田島教育参考館に展示)は、英訳、イギリス海軍潜水艦乗員の教本になった。

「我等ハ同時ニ勇敢デナケレバナラナイ。然ラザレバ我ガ潜水艇ノ進歩ハ望ミ得ナイ。進歩、進歩……我レ等ノ死ハ無益デアッテハナラナイ」

3) 昭和 20 年(1945)4.7、太平洋戦争・戦艦「大和」の最後(吉田満、手記、昭和 27 年(1952)出版)。学徒士官「何の故の死か」、臼淵磐大尉(兵 71)の答「進歩のない者は決して勝たない。日本は真の進歩を忘れていた。敗れて目覚める。それ以外にどうして日本が救われるか。俺達はその先導になるのだ。さきがけて散る、まさに本望じゃないか」なお、手記中、「伝聞として、「初霜」救助艇の艇指揮と下士官が、船縁に轟く腕を日本刀で切り捨てた」は、当事者の松井一彦中尉(兵 73)ほか関係者の証言で、全くの虚構だと判明している。

(富士技術経営研究所所長・技術士)

—技術解説—

タグチメソッドと海軍 (4)

会員 上杉 伸二

13. レーダー…開発テーマ選択とシステム創造が先ず何よりも最重要である

田口の技術開発の戦略は(1)開発テーマの選択、(2)システムの創造、(3)パラメータ設計のための評価(SN比による機能性評価と直交表による下流再現性のチェック)と続くが、日本海軍のレーダー開発の遅れは(1)(2)の不備にあったようだ。

(以下、中川靖造「海軍技術研究所」(日経)による)

海軍のレーダー開発の中心人物、伊藤庸二(大正 13 年(1924).4、東大電気卒、海軍技術中尉、のち終戦時、海軍造兵大佐)は、昭和 2 年(1927)ドイツのバルクハウゼン教授に、2 年半留学し、無線用真空管を研究、帰国後、海軍技術研究所で電波の発信受信に使うマグネトロンを研究した。

ただ、昭和 9~12 年頃「電探無しで戦争突入は無謀の極み」の意見に対し、海軍首脳のは考えは、「電波兵器は、闇夜の提灯で、逆に自分の存在が敵に察知される」と、あまり積極的でなかった。

バルクハウゼン教授は、昭和 13 年、来日視察、「日本は非常に良い国だが惜しむらくは科学的レベルは 2 流の域を出ていない。日本の大学は中等実業学校のような。大学で何を勉強するか定まっています学生・教授の自由は無いに等しい。またメーカーはどこも同じで特徴が見られない」と述べた。

昭和 14 年(1939)海軍技研と日本無線と協同で波長 10cm 連続出力 500w のマグネトロンを発明。これを使って、「暗中測距装置」(水雷戦隊夜襲用、距離数 km)の開発研究に着手した。(予算 2 万円)翌年 11 月には一応実験的に成功したが、海軍は、マイクロ波技術は即戦力に結びつかないと理由で開発を中止させた。(戦後、ロンドン科学博物館に全く同じ方式の波長 9cm 出力 5kw マグネトロンが展示され、「1940.4 英バーミンガム大学で発明、米に渡され、のち、マイクロ波レーダーが完成、今次大戦を勝利に導いた」と説明されていた)

昭和 16 年(1941)5.24~27 アイスランド西の、大西洋で、ドイツ戦艦ビスマルクとイギリス艦隊の史上初のレーダー射撃戦が行われ、英艦隊にも大被害が出たが、結局ビスマルクは撃沈された。また、イギリスは対空見張りレーダーで、ドイツ爆撃機の進入路に、スピットファイヤー戦闘機を配し迎撃。独爆撃機の被害が急増、ヒトラーは、ロケット誘導弾 V1V2 の完成を急がせたという。

これらの情報を受け、海軍は、昭和 16.8.12 電波探信儀開発 大臣訓令を出した(予算 1100 万円)。これによるレーダー開発初期の結果を整理すると、1 号 1 型(陸上用対空見張り電探)波長 4.2m。千葉県勝浦灯台付近に据付(後、改造、ここより戦争末期の B29 接近情報をラジオ放送した)。

2 号 1 型(艦船用対空見張り電探)波長 1.5m。昭和 17.5 ミッドウエー出撃の「伊勢」に搭載。103 号試作機(艦船用水上見張り電探)マイクロ波。同「日向」に保守 2 名つけて搭載。作戦中止後、天候不良の中に威力を発揮、無事撤収

できた。しかし、2号1型の量産で、103号は見送られた。

イギリス空軍は、ドイツ本土の空襲で被害が急増した昭和17.2、セーナ川河口近くのドイツ軍基地に特殊部隊を落下傘降下させ、高射砲連動ウルツブルグレーダー(波長2.5m)を奪取し解明した。

昭和17.5末、最新鋭「伊30号」潜水艦(遠藤艦長以下120名)をドイツに派遣、「ウルツブルグレーダー」現物ほか、新技術の資料・図面を受け取ったが、17.10シンガポール港で、英海軍敷設の機雷に触れ沈没、乗員13名とレーダーを失った。

(17.8北仏ロリアン軍港に到着、ドイツ海軍の大歓迎を受けたが、ディーゼル機関からの雑音が大きくソナーで直ぐ分ると指摘され、改造を依頼、2週間、防振ゴムや特殊スプリングによる防音工事で、水中雑音は嘘のように消え、感嘆すると同時に、日本潜水艦の前途に不安を覚えたという)。

英国のレーダーのノウハウは、逐次米国に伝えられ、MITエレクトロニクス研究所を中心として、マイクロ波水上射撃用レーダーの開発に繋がった。

昭和17末、イギリスは、航空機搭載用パノラマ式マイクロ波レーダーを開発、ドイツ本土の夜間爆撃や夜間海上のUボート攻撃に威力を発揮した。

昭和17.10.11サボ島沖海戦で、日本海軍当局にも、マイクロ波水上射撃用レーダーの重要性が再認識され、17末、2号2型の試作品ができたが、以降の海戦には活用の場は無かった。

昭和19.5.29アッツ島玉砕。7.29濃霧の中のキスカ島守備隊員撤収に、2号2型が役立った。

田口先生によれば、1948年NTT電通研は、国家予算の2.2%を使い、米国組織専門家により、ベル研と同じ組織で設立されたが、そこには設計部は無く、「電気通信の将来進むべき方向を予測しそのとき必要な機器や材料を研究テーマとして提案する」任務を持つ200人もの「方式実用化部」があり、承認を得て、提案者がプロジェクトリーダーとなって、開発を推進したと言う。

14. ゼロ戦・競合品の秘密解明の重要性と、研究開発効率化のキィSN比の機密性

ゼロ戦とは、米国での呼び名「ゼロ・ファイター」の略称で、日本海軍の正式名は、「零式艦上戦闘機」(れいせん)(皇紀2600年=昭和15年)だ。

昭和15年(1940)9.13重慶上空で、零戦13機は中国戦闘機(ソ連製イ15、イ16)27機と空中戦、全機撃墜して初陣を飾った。米英との前半戦で、米陸軍カーチスP-40、ロッキードP-38、米海軍グラマンF4F、(独メッサーシュミットに勝った)英スピットファイヤー各戦闘機を圧倒した。

昭和17.6.4アリュシャン作戦ダッチハーバー空襲後、アクタン島の湿地帯に不時着転覆した零戦21型(古賀一飛曹戦死)を、米軍が発見、修理してテスト飛行し、その性能の秘密を解明、17年夏、対ゼロ戦戦闘の映画を作り、「3つのNever(禁止項目)―絶対にゼロ戦と格闘するな、時速480km/h以下では同じ方向に飛ぶな、低速上昇中を追うな」を指示、2機単位での「一撃離脱戦法」や、「サッチ・ウィーブ戦法」で対抗した。その後、零戦は、18.9登場の2000馬力(従来の2倍)エンジン装備したグラマンF6Fに圧倒された。

競合他社の新製品をいち早く入手し、ベンチマークとして機能や機能性を自社品と比較検討してその利点欠点を明らかにし、そこに盛り込まれている新技術の秘密を探り出し特許の網を潜り抜けて必要な対抗策をとることは、業界の常識であり、そういう意味では、新製品は発売と共に、機能・構造・材料などすべての秘密は公開したものと覚悟して、その先の技術の準備が重要となっている。

ところが、その新製品・その基になる新技術を開発するとき、どういうSN比を使ったかは公開しない限り、その秘密は洩れない。それが開発の期間を短縮し、市場トラブルの未然防止に役立ち、自社の優位性の保持に寄与しているのだ。

注) 日本海軍の飛行機が初めて飛んだのは大正元年(1912).11横浜沖観艦式に2機(仏ファルマン、米カーチス)だったが、以降二十数年で、米英と覇を争うまで大躍進した。実は、その基礎は大正10年(1921)英センビル大佐ほか30名による1年半の実地訓練で、小学生から高校卒に成長できた。

零戦の操縦性能は、ロバスト設計だった。堀越二郎技師の、昇降舵の操縦索を伸び縮みさせる「剛性低下方式」の発明により、自動的に低速時は舵の利く角度が大きく、高速時には小さくなるので、パイロットは離着艦時も空戦時も同様に操縦桿を動かせば良く、操縦が楽になった。戦後、米で「ゼロ戦のエース」と呼ばれた、

坂井三郎もと海軍中尉は、「空中戦に勝つ極意は、敵よりも早く敵機を発見し(晴天では2万m先の敵機を見つける、そのための訓練を毎日する)、敵の気づかぬうちに、攻撃に有利な位置につき、敵が気づく前に落とす。格闘戦はしない」と言う。(TMのトラブルが起こる前に潰すと同じ考え)

零戦の特長は、空戦性能が優れていること以上に、航続力が抜群で、機体518リットル+初の増槽(330リットル)の採用により、他の一流機の約5倍だった(12.5hr・3100km)。緒戦に台湾からフィリピン(800km)へ攻撃できたが、しかし、連日のラバウルからガダルカナル(1000km)は遠かった。

15. 戦艦「大和」…戦闘力と技術力、無用の長物

戦艦「大和」は、艦隊決戦主義を具現した最後、最強、最大の軍艦だった。

	長門	大和	ミズーリ
竣工	1919. 11	1941. 12	1944. 6
主砲	16 吋×8 門 (40 発)	18 吋×9 門 (46 発)	16 吋×9 門 (40 発)
(×発射速度)		(×2 発/分)	
排水量	4 万 3 千ト	7 万 2 千ト	5 万 6 千ト
長×幅	225m×32.5m	256m×39m	270m×33m
最大戦速	26.7 ノット	27 ノット	33 ノット

戦艦の戦闘力=砲サイズ(火薬力)・砲数

×発射回数/分×命中率(測定と修正)

(東郷元帥「百発百中の砲一門は、百発一中の砲百門に優る。訓練に制限なし」は、一寸言い過ぎ)

これに対して、田口先生によれば、企業の技術力=技術者数×アイデア数/人×評価力(SN比)

研究開発で最も時間がかかるのは、アイデアが本当に有効かどうかを評価するための試作と信頼性試験である。TMは、この時間を短縮し、究極はシミュレーションで試作・試験レスを目差す。

戦艦「大和・武蔵」が参加する「制空権下の艦隊決戦」とは、先ず戦闘機を飛ばして空中戦で戦場上空を制圧する。そこで観測機をあげ、水平線の彼方にある敵主力部隊の運動を旗艦に報告、距離と敵進路を確認して砲撃、弾着を報告する。敵が艦橋観測できる距離まで接近したら、我方は煙幕を展開して隠し、遙か上空を観測機が舞い、砲撃を続ける。優勢な敵艦隊が日中正面攻撃してくるという前提で、それを迎え撃つための戦法だったが、実際はこんな好都合な海戦は起きなかった。

武力とは戈(ほこ)を止める力で、訓練するけど使わない。「大和、武蔵は作っても戦争は極力回避する」(米内光政海相(兵29))と考えていたのだ。

注) 日本の造艦技術の基礎は、明治35年(1902)日英同盟に付属した、山本-フィッシャー協定により、海軍造船士官(東大造船科卒)を、3年1人、英グリニッチ海軍大学校で3カ年の学習と海軍工廠の実習を指導して貰ったことが大きい。

私は昭和27(1952)年、富士写真フィルム(株)入社、足柄本社技術部に配属となった。ちょうど、日本の高度成長期の始まりで、先ず不燃性フィルムの工場建設に一部参画したが、本格的には次の黒白映画用フィルムの工場建設で、フィルムに感光用乳剤を塗布後の乾燥設備の設計を担当、上司が大筋を決めたあとの殆どすべてを実施した。

乾燥設備の理想機能は、乾燥速度の基本原理解、(蒸発水分量)=(乾燥係数)×(風の乾湿球温度差)

(→まさにゼロ点比例式 $y = \beta M$ であった)

で、これを拠り所として、風速の関数である乾燥係数 β を実績と文献を参考に推定しながら、風のフローや乾燥設備諸元の設計と、独自に考案した図式シミュレーションを繰り返して、温湿度条件の最適化を図り、図面に具体化した。

現場据付を完了、試運転を実施して、設計予測通りの結果が得られ、製造試作のフィルムをそのまま製品として出荷することができ面目を施した。

昭和30(1955)年初頭本稼働した、この第三フィルム(F3)工場は、全長230m幅30mの巨大さと最新鋭オートメーションの故に、当時のマスコミにより「戦艦大和」のニックネームで呼称された。

私はその後も、日本の高度成長期に対応して、カラーへの転換・増産など、在工場24年間に8大プラントの設計建設から稼働、品質管理、増改を参画担当し、数十倍の生産性向上に寄与した。

私が担当した最後の建設は、昭和50(1975)年稼働のF7工場、初めてコダックを抜いた「フジカラー-FII 400の製造技術」に対し、第10回日本化学協会・技術賞記念杯を頂いた。乾燥設備は、富士フィルムで独自に開発した、コンパクトな、つまき型無接触搬送方式を採用した。

戦艦「大和」は、戦後「万里の長城」と並べて、無用の長物と揶揄された。富士フィルムにとってF3は戦後初のフィルム工場として、創業以来蓄積してきた技術に当時採り入れられる限りの新設備を施し、映画用とXレイ用フィルムの大増産に貢献したが、その後の技術進歩により、その長大きさに内心気が引けてきたのを、20年後、コンパクト効率的なF7で答えることができたのである。

16. マネジメントの失敗

一結戦～前半戦で、戦術に勝って戦略に負けた。

田口先生は、技術経営に勝ち抜くための戦略の重要性を指摘されているが、太平洋戦争における日本海軍の、マネ

ジメントの失敗、戦略の不徹底を取り上げて、今の我々への教訓とする。

1) 勝算なき開戦と開戦通告の失敗

① 最大の敗因は、そもそも「勝算なき開戦」であり、加藤友三郎元帥(兵7)の「不戦海軍論」という大戦略が、永野軍令部総長(兵28)「2年以後は判らぬ」、山本司令長官(兵32)「1年か1年半が精々だ」となり、及川海相(兵31)が、海軍の無気力のため戦わずして屈服したとの汚名を恐れ、「ノー」という勇気・責任を欠いた。しかも開戦に踏み切った政治家達に、戦争終結の目算が無かった。

注) 大正10年(1921)ワシントン会議で日英同盟失効、11年軍縮条約で主力艦対米6割に制限され、代わりに、大巡の性能向上、飛行機、潜水艦による漸減作戦を進めた。所が、昭和5年(1930)ロンドン会議で、補助艦(大巡、軽巡、駆逐、潜水)の制限案を巡って、妥協派(海軍省)と強硬派(軍令部)の抗争となり、統帥干犯問題が起き、条約は批准されたが、妥協派の提督らが予備役となり、強硬派が主流となって、開戦への道を進んだ。

② 更に開戦時の大失敗は、「開戦通告書」を真珠湾攻撃開始30分前に予告する方針が、外務省駐米大使館員の怠慢により、野村(兵26)・栗栖両大使がハル国務長官に手渡したのは、攻撃開始55分後となって、ルーズベルト大統領に「スニーク・アタック」の口実を与え、「リメンバー・パールハーバー」(覚えてがれ、必ず仕返しするからな)の報復スローガンが、全米に一気に広まった。(米国は暗号を解読し、開戦通告を事前に承知していた)

—「品質・コスト・納期」を一口で「QCD」というが、その重要な順番は、逆のD・C・Qの順であることを、肝に銘じて忘れてはいけない。

2) 戦艦から空母への発想の転換が不徹底

昭和16.12.8・10ハワイ・マレー沖海戦は、世界の海軍史に、戦艦から空母への革命を起したが、日本海軍自身、その発想の転換が不徹底だった。

① 真珠湾では、確かに戦艦5沈没、3大破、1中破により、当面の南方作戦への懸念を払拭でき、大勝利だったが、今後の決戦の主力となる空母群を、あくまで索敵し攻撃すべきだった。また、戦艦群を引き揚げ修理するハワイ工廠や燃料タンクの2次攻撃もすべきだった。(結局、廃棄は2隻のみ)。

② 昭和17.6.5ミッドウエー海戦では、空母部隊を前面、主力(戦艦)部隊を後方と誤配置。真珠湾で撃ち漏らした米空母を撃滅する目的が不徹底。暗号の解読漏洩、索敵の手抜きなど、慢心が最大要因で完敗した。山本長官の後任、古賀峰一長官(兵34)は、東郷式の艦隊決戦主義で、18.8.18 Z作戦要領を発令したが、艦隊決戦は生起せず、(19.3.31殉職された)のち「明治の頭で、昭和を戦った」(18ノットで行動する艦隊の速度が基準で、200ノットの飛行機を飛ばす、航空戦の速度から完全に立ち遅れていた)と評された。

—現在の経営環境もスピードの時代で、従来のやり方では開発・生産の高速化に追従できない。TMにより、SN比をメジャーとする技術開発、機能性評価が提案されているのに、その発想の転換が、我々に本当に出来ているか、問われる。

3) 艦隊撃滅を目的とし、輸送船団を軽視

① (前述の通り)昭和17.8.8(ガ島に米軍上陸の翌日)夜、三川艦隊は、ガ島泊地へ突っ込む途中、サゴ島南方で、米豪の護衛艦隊と遭遇、撃滅する大戦果を挙げたが、本来の目的である輸送船団(約40隻)を攻撃せずに引き返したのは、米戦史で、「日本は戦略的な失敗に繋がる戦術的勝利、米は戦略的僥倖に繋がる戦術的失敗」と評された。

② 昭和19.10.25レイテ沖海戦で、栗田艦隊が、あと1時間半の距離に迫った、レイテ湾の輸送船団に向かわず、米空母艦隊との決戦を求めて反転したのも、(後、謎の反転と呼ばれたが)艦隊撃滅を優先する価値観を脱却できなかったためだ。

—我々も、生産技術で、品質の改善(実は手段)を目的とし、(本来の目的である)生産性をアップし、品質の改善をコストダウンに還元することを、忘れていないか、問われる。

(富士技術経営研究所所長・技術士)

—技術解説—

タグチメソッドと海軍 (5)

会員 上杉 伸二

17. オフラインQE—パラメータ設計の事例

タグチメソッド(TM)の考え方を具体化した品質工学QEは、ハード・ソフトの両方に関連して、

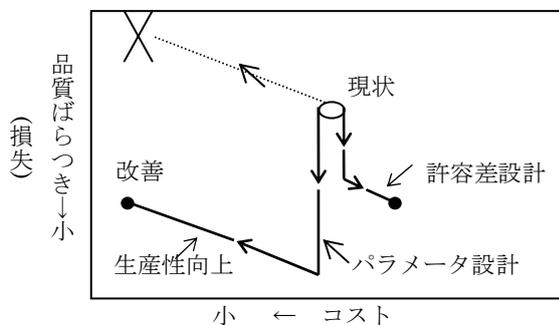
①オフラインQE②オンラインQE③ソフト製品のバグ発見法④MTシステムの4分野に分かれる。

オフラインQEは、技術・製品の研究開発設計段階に適用するもので、パラメータ設計がその中心である。歴史的な、興味ある事例のいくつかを紹介する。(1, 2, 4, 6, 9 は(1)で紹介済み)

- 1) 森永薬品「ペニシリンの生産性の向上」(1948)
- 2) 森永製菓「キャラメル hardness の改善」(1949)
- 3) INAX「タイルの寸法の焼成実験」(1953)

トンネル釜で焼成するときの台車上の場所による温度差が原因で寸法がばらつくのだが、設備を改善して温度差を小さくするのではなく、温度差があってもその影響を受け難いように、タイルの組成を変える直交表実験をした。L27条件で7枚ずつ作成し台車上の7カ所で焼成、寸法ばらつきを最小化する最適組成を求めた結果、規格外寸法(2級品)の発生率を0にすることに成功した。

ところが、販売量の2割近くを占める住宅公団は価格の安い2級品を要望したので、INAXはトンネル釜で焼成する時の生産速度を上げて、2級品が2割近くできるようにした。(品質ばらつきの改善を、生産性の向上、コストダウンに還元した)。



通常はコストを下げると品質ばらつきは増加する。パラメータ設計はコストを上げずにばらつきを減らし、品質改善と生産性向上を可能にする。

- 4) NTT「クロスバ交換機用ワイヤーリレー」(1957)
- 5) いすゞ自動車「トラックの操縦性評価」(1972)

操舵機能について、ハンドルの操舵角を信号因子M、旋回半径の逆数を特性y、理想機能 $y = \beta M$ 、路面の濡れ、タイヤ磨耗度、積荷の量などを誤差因子、車の速度を標示因子として、0点比例SN比で評価した。(テストドライバーの主観に代わる)

- 6) ベル研「LSI フォトリソ工程の改善」(1980)
- 7) 養猪科学研究所「糞尿公害、餌の改善」(1993)

台湾では当時、人口1200万人に対し豚800万頭飼っていたが、糞尿が人の10倍出るので公害問題となってきた。これをTMを用いて解決しようとした時、糞尿が少ない方が良いとして望小特性とするのは駄目(餌を0とすれば容易に糞尿0とできる)で、理想機能は、食べた餌の量に対する体重増加量が基準点比例する(誤差因子は雄雌1頭ずつ)とし、L18で8種の餌の配合を36頭の子豚を使って、3カ月ごと8種の餌の最適配合条件を決めて糞尿を数分の1に減らした。(それまでフィッシャー流実験計画法で、誤差因子無しのため、1条件30頭使い、実験は遅々として進まなかった)

- 8) 三宝化学工業「もやしの育成最適化」(1994)

もやし栽培の成長期にL18を実施。従来7日要した育成日数を4日に短縮、生産性を大幅に向上したので、担当者が課長に2階級特進したという。

- 9) IHI「切削加工の電力評価による最適化」(1998)
- 10) マツダ「鋳造用鋳型設計の最適化」(2002)

新型ロータリーエンジン” RENESYS” のサイドハウジングの鋳型設計で、曲面形状を止め、四角柱を組み合わせた、メッシュの粗い(実物モデルの 1/3)簡易モデルを用い、L18×L12 のシミュレーション計算し、実体で 2.5 倍まで精度が向上した。

1993 第 1 回以降毎年、品質工学研究発表大会で、プリンター、自動車ほか多数の各社より発表あり、最近は、シミュレーションの事例が増えている。

18. オンライン QE—考え方のルーツと最近事例

オンライン QE は、製造から市場への段階で、管理コストと品質損失の合計である総損失を最小にする、経済性に基づくシステム設計法を提供する。

富士写真フイルムは、1956 年デミング賞実施賞を受賞し、足柄工場は、1964 年初頃まで、各工程で 3σ (シグマ)管理図が活用され、再発防止処置をとってきた結果、安定化してきた。すると、管理限界線の再計算を指示され、より狭い幅となって点が限界外に出ると、再発防止処置を取ったかと責められる。原因不明で再発防止処置は取り難いが、調節すればすぐ解決できるのに、調節はいけないのか。管理限界外でも規格には充分合格なのに、どこまで再発防止処置をやらないといけないのか。QC はやればやるだけ自分で自分の首を絞めるものかとの疑問が、現場から起きてきた。

1964 年 7 月、工場内で、田口先生の「管理と調節と検査」の講演があり、「何れも対象を目標値にするために、予め完全に環境を調えるのではなく、結果の目標値からのずれを評価し手直しを加える、ウィナーのサイバネティクス (舵をとるもの) のやり方だ。シューハートの 3σ 管理図は、オンラインとオフラインの両方を含み、マネジメントの立場で使うもので、経済性の観点が欠けている。オンラインの現場では、調節こそが本来の仕事であり、自信を持ってやってよい」と喝破され、疑問は解消した。その後、連続性不良に対する工程調節、抜取選別検査などの理論も発表され、オンライン QE の先駆となったと田口玄一著「タグチメソッドわが発想法」にも記載されている。

さらに、当時会社トップや工場幹部らが問題としたのは、ZD (ゼロデフェクト) を、1962 米マーチン社、1965 日本電気が導入し、一部マスコミも、ばらつきを許容する QC は駄目で、あくまで不良 0 をめざす ZD の方が良いかと言いだした。

シューハートの理想の統計的管理状態とは点がランダムに確率分布に従ってばらついている状態をいうが、営業出身の小林社長は「製造の理想はあくまで規格中心線上に点が揃って並ぶことで、ランダムに物を造って貰っては困る」と指摘した。

通常 SQC では、点はばらつくのが自然現象で、中心線上に並ぶ現象は起こり得ないとして、議論が噛み合わず困ったが、現実でなく理想をいうので、田口理論で、社長の見解が正しいとして決着した。点が規格中心にあるとき損失 0 であり、目標値からのばらつきが大きいほど損失が大きいという損失関数の概念の嚆矢であり、目標値からの偏差の 2 乗則として、1967 年発表された。

オンライン QE は、この損失関数の考えを全面的に取り入れ、製品や工程をチェックする回数と、その値を超えたら工程を調整する限界幅とによる管理コストと、製品のばらつきによる品質損失を計算する。管理を緩めれば品質損失が増え、管理を厳しくすれば品質損失が減る、両者のバランスする最適条件を求める計算式が用意されている。

最適点は工程によって異なるが、当初多くは、その工程に要求される製品の良不良の規格幅の約 1/3 の幅に調整限界が決まった。従ってチェック間隔で限界を出ても調整するから、製品不良は発生せず、改めての製品検査は不要となった。勿論、QC との違いを現場に理解して貰うことと、前提として、チェックと調整の生産技術が確立していなければならず、オフライン QE が重要である。

2002. 3. 22 日刊工業新聞「救えるか日本のモノづくりマツダの挑戦、量産開始エンジンラインの自動計

測チェックポイント 65 カ所」が報じられた。

(2001～2003 研究発表大会で 3 年連続表彰された)

2004. 6. 11 品質工学第 12 回研究発表大会では、セイコーエプソンより半導体工程と眼鏡レンズ研磨工程にオンライン QE の適用成果が発表され、ここ 1～2 年の間に全社展開を成し遂げたという。

19. ソフト製品のバグ発見法—直交表の応用

直交表 L18 や L36 (複数をランダム対応させる) を利用して、バグを見つけるためのテスト法と解析法で、1999 年、田口先生が新幹線の自動販売機のシステムを使って発表されてから、各社に普及し始めた。手探りチェック法に比べ、短期間で、発見率の向上、修正工数減のメリットが大きい。

オムロン、セイコーエプソン、ミノルタ、富士電機、富士ゼロックスなどより、事例発表あり。

20. MT システム … 海軍航空と骨相学

MT (マハラノビス・タグチ) システムとは、多次元の計測値を総合して 1 つのものさしで評価する汎用技術で、インドの統計学者マハラノビス (1893～1972) が考案した「マハラノビスの距離」を、田口先生がマハラノビス空間 (単位空間 (ゼロ点) と単位量 1 を決める) 外に広げて適用したもの。

インドは考古学の宝庫で、いろんな動物の骨が発掘されるが、マハラノビスは、その骨がどの動物の骨か判別するのに、既に何の骨か判明している集団の計測値で多次元空間を作り、そこからの距離が近ければ、その動物の骨だと判定した。

具体的には、対象に多項目の計測値 (多次元情報) があるとき、個別の値を別々にみるのではなく、それらの相互の相関を考えて、パターンとして認識する。赤ん坊は母親の顔、犬も飼い主の顔や声に分るのに、コンピュータが苦手とするパターン認識を、この技術で解決できる可能性があり、今や、21 世紀の重要技術として脚光を浴びている。

1970 年代に医療分野で研究され、1980 後半に成果が出始め、1990 後半多くの分野で適用例が開花した。保健・医療分野 (健康診断、肝硬変診断、糖尿病発症予測、入浴剤・足浴効果、ボケ防止) から、産業分野 (外観検査、官能検査、故障診断、工程管理、人間能力・企業経営予測)、セキュリティ分野 (火災報知、衝突防止、地震予知、テロ対策) など、人間の豊かさへの貢献の可能性が広がっている。

具体例 1) 東京通信病院「肝機能の特殊健康診断」(1987) 血液検査データの、現行の項目別健康診断法と、MT 法を比較すると、異常人の検出力は同じだが、要精密検診の判定人数は、1/3 となり、精検結果は全員異常なしで無駄が省けると分った。

2) プローブ「オートマチック車用クラッチディスクの外観検査」(1997) 外径 180, 幅 15, 厚 1mm の鋼板の表面に摩擦材 (溝パターンを印刷) を接着、はみ出し、はがれ、位置ずれ、偏芯の欠陥の目視検査を自動化した。ディスク 1 回転、36 コのライン CCD カメラで撮影、輝度の波形データをリアルタイムでパソコンに入力、特性を 50 項目求め、マハラノビスの距離を計算し判定する。(1.5 秒/枚)

3) 富士写真フイルム「海外ラボの処理液診断システム」(1998) 写真品質が ok なラボの処理機種や処理量、液組成分析値 (38 項目) で単位空間を設定、対象ラボのデータより、マハラノビスの距離を計算し異常判定を行い、その原因抽出にも役立つ。

4) あいち県民の森健康科学総合センター「糖尿病発症予測」(2001) 翌年の血糖値予測には血液検査データが重要だが、数年先の予測には生活習慣 (食事、飲酒、運動) 問診の方が重要で、生活習慣改善の予測効果を明示して指導してゆく計画だ。

注) 海軍航空と骨相学

田中一郎先輩 (兵 67) の話、「昭和 15. 11、35 期飛行学生として入隊時、海軍囑託の人相見「水野某」氏から、65 名全員、観相の適性検査を受けたのにはびっくりしたが、詫間 (猪口) 力平 (兵 52) 元海軍大佐

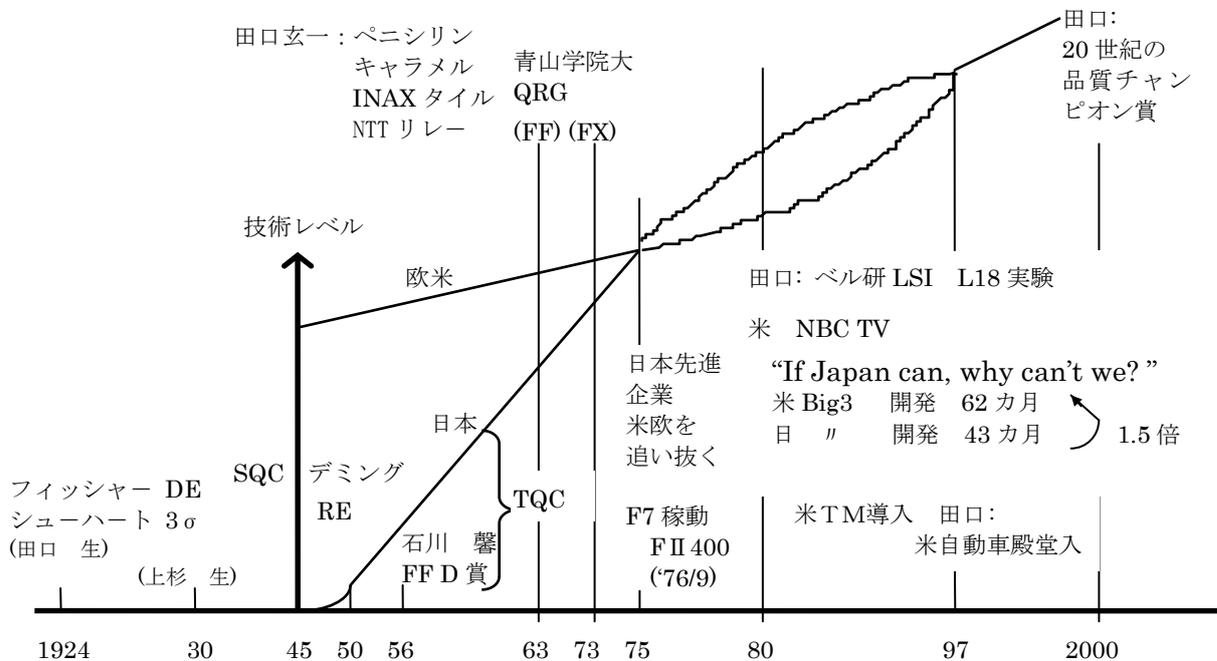
(航空参謀)の文献で、以下が分った。」

昭和 11 年以降、海軍は、大西瀧治郎大佐(兵 40)の知人、水野義人氏を航空本部の嘱託として、飛行学生、練習生の採用時に、形態性格学を応用する適性検査法を併用した。その経緯は次の通り。

霞ヶ浦航空隊 120 名の操縦者としての適性を、1 人あたり 5~6 秒じっと観るだけで、甲乙丙の 3 段階に分けた。これを名簿による各人の技倆と突合せてみると、適中率は 83%を示した。

大西大佐が、人事局や軍務局に出かけて交渉したが、「いやしくも海軍ともあろうものが、人相で□」と相手にされないのので、山本航空本部長に話した所、航空本部の関係者 20 余名を集め、この中から誰が飛行将校か指摘するよう求めた。水野氏は、その中の 3 名を指したが、この 3 名は優れた戦闘機操縦将校であったので、一同思わず顔を見合わせ、水野氏嘱託採用は即座に決まった。

防衛研修所に、膨大な資料「操縦員適性検査に対する相学的研究」海軍航空本部「人秘」が残っているが、これによれば、相学成績・相学各部と卒業成績並びに航空事故・機種別との関係等が一見して分る。相学各部とは、①前頭部、②後頭部、③眼瞼、④鼻骨、⑤拇指根、⑥掌紋、⑦拇指頭であり、それぞれに分類と評価が記されていて興味深い。—今ならMTシステムが適用されるだろう。



21. 法名「釋縁海」…タグチメソッドと海軍

タグチメソッドと海軍について解説してきたが、時代の流れの中で、縁あって海軍と田口先生に出会ったことが、私にとって大変幸運だった、まさに自力ではなくて他力のお陰だと感謝している。

私は昨年、2003. 9. 21、長野の明行寺で、「歎異抄」の「釋親鸞」聖人を宗祖とする、真宗大谷派(東本願寺)より、法名「釋縁海」を頂いた。その仏教的な意味は、「釋」…お釋迦様の佛弟子、「縁」(縁起)…仏教の中心思想、「すべては互いに関係し支え合っている」(縁起の法)、「海」…親鸞聖人の著作に多数あり、念佛の心を表す。この2字の造語で、「南無阿弥陀佛の心に生きる人」(住職の説明)であるが、私は同時に、「縁」…タグチメソッド、「海」…海軍 と解釈して有難く戴いている。

タグチメソッドのパラメータ設計(ユーザーの使用環境条件が変わっても、トラブルが起きにくい設計)の基本は、「ノイズとトラブルとの因果を無くす「縁」を工夫して創る」ことだからだ。

仏教では「因縁」と言うが、「因」は科学の基本である因果関係、「縁」はタグチメソッドの基本であるノイズとパラメータの交互作用だ。

科学の基本である因果関係の研究は、開発時のまだトラブルが起きてない時は困難だ。トラブルの原

因となりそうな条件の変化(ノイズという)があってもその影響を受けないよう、いち早くロバスト(頑健)な設計を安く実施しておけばよい訳で、田口先生はそのための評価の新レーダーSN比と、直交表による実験解析法を考案、提唱された。

分かり易く例えると、「地震で建物が壊れる」とき、地震の原因や結果の状況を調べるのは科学の立場で、地震(ノイズ)があっても、建物が壊れ(トラブルが起き)ないように(ノイズとトラブルとの因果関係を無くす)、経済的な建築設計法という「縁」を工夫して創るのが技術の立場だ。そのための効率的な(評価)方法がタグチメソッドなのだ。

上図は、タグチメソッドの発展と、戦後の日米の工業技術発展の状況を模式的に示したもので、私が台湾・韓国や国内での企業や新潟大学などのTM講義の序論として、掲げて説明する図表だ。我々の努力で、日本は1975年には米欧を凌ぐ復興を遂げ、戦没者の遺志に或る程度報いたと自賛したが、1997年(田口先生米自動車殿堂入り)には迫り着かれ、熾烈な競走になっているのが現状だ。

法名は本人の過去・現在を表すのではなく、未来の生き方を示すという。私も立派な法名にふさわしく一層精進して、タグチメソッドを若い人達に引き継ぎ、ますます発展させ、社会生産性の向上に寄与するよう念願している今日此の頃である。

(富士技術経営研究所所長・技術士)

—技術解説—

タグチメソッドと海軍 (補)

会員 上杉 伸二

補)日米自動車産業とタグチメソッドについて

連載「タグチメソッドと海軍」は前号(5)で一段落したが、11.24(水)ハートの会第30回セミナーで会員遠藤卓郎氏(元日産自動車副社長)の「最近の自動車工業」についてのご講演があり、そこで促されたので、TMとの関連を補足ご紹介する。

ご存知の方も多いと思うが、毎年6月、東京ビッグサイトの「自動車部品生産システム展」に、「品質工学特別セミナー」が併催されている。

- ・2003.6.20(金) 品質工学を、使って儲ける —自動車産業における品質工学の展開。
- ・2004.6.25(金) 今、品質工学で何ができるか？

—品質工学は経営を救う。(ただし、品質工学を導入し普及し活用した企業の経営のみを救う。)

また、2004.11.8(月)日産自テクニカルセンターで、品質工学会第14回企業交流会「自動車産業における技術開発・製品開発の課題を探る—QCDの更なるレベルアップのための品質工学の適用」が開かれ、日産自の取組みと事例紹介も行われた。

1. オフライン品質工学(パラメータ設計) と、オンライン品質工学 の事例

1)トラックの操縦性評価(いすゞ自動車、1974)

内容は前号(5)17-5で紹介したが、30年前田口先生から「スキーか自動車でダイナミックな特性をSN比で評価したい。スキーはヤマハに頼んだが辞退された。ぜひ自動車の操縦性の評価をいすゞでやってみないか」というお話を受けて実施。この担当者がその後、社長、会長を経て、現特別理事の稲生武氏で、現第5代品質工学会長である。

(学会は1993年350名から現在2280名に発展)スキーも自動車も曲がる機能は同じに評価できるというのがTMの考え方で、30年後同社渡辺泰行氏がスキーの操作性を実験して共通性を、2004年第12回

研究発表大会(参加 1079 名)で発表した。

2) 田口玄一監修「新製品開発における信頼性設計事例集」(1984) 日本電装やトヨタ系各社ほかの事例 27 件中実験 4 : 1 シミュレーションだった。

例えば、トヨタ車体は、燃費向上軽量化のため車ボデー構造部材のねじり剛性、変形への影響度を直交表 L32 のシミュレーションで解析した。田口先生は TM の製品開発への適用はこの本で卒業し、この後は、技術開発に重点を移すと宣言された。

3) 日産自、上野憲造「技術再構築－自動車現場からの報告」(1993、日本規格協会) 1989 年信頼性技術センター主管となり TM を導入、技術開発の考え方を具体事例で示した分かり易い縦書きの本で、田口玄一「タグチメソッドわが発想法」(1999、経済界)の次に、できれば一読をお奨めしたい。

4) 1993 年以降毎年 6 月の品質工学会研究発表大会で、自動車関連メーカーより多数の事例発表あり。

- ・オートドアロック受信感度(富士通テン、1993)
- ・鋳巣のないアルミ合金鋳造技術(マツダ、1994)
- ・ドア開口部のプレス成形性向上(マツダ、1995)
- ・パワー MOS 裏面電極特性向上(日産自、1995)
- ・鋳造用生型砂の再利用製造技術(マツダ、1997)
- ・インタークーラー気流音と冷却(日産自、1997)
- ・車ボデー電着塗装の塗料と工法(日産自、1997)
- ・リアウィンド・ガラスアンテナ(日産自、1998)
- ・AT トランスミッション用摩擦材(日産自、1999)
- ・小型 DC モーター(日産自・自動車電機、2000)
- ・ドアウエザーストリップス材料(西川ゴム、2000)
- ・気化器スタータ系諸元寸法設計(スズキ、2000)
- ・高強度クランク軸用材料成分(いすゞ自、2001)
- ・2 点支持ドアガラス昇降システム(日産自、2001)
- ・テーラードブランク溶接工法 (日産自、2002)
- ・電着塗装前処理工程の超短縮化(日産自、2002)
- ・銅合金内溝キー高速ドライ切削(東海理化、2002)
- ・パワーウィンド機能性(三菱ふそう、2004)など。

5) コンピュータシミュレーションによる実施例

- ・キャブのアイドル振動(日産ディーゼル、1997)
- ・ピストンリップ部寸法放熱設計(マツダ、1999)
- ・鋳造用鋳型設計(マツダ、2002) 前号(5)17-10)
- ・次世代ステアリングシステム(日産自、2004)
- ・衝突安全コンポーネント(いすゞ、2004)など。

6) オンライン品質工学(マツダ、2000~2002)

エンジン部品ライン、前号(5)18 で紹介した。

2. MT (マハラノビス・タグチ) システムの事例

1) 研究発表大会での自動車関連事例のテーマ

- ・AT クラッチデスクの外観検査(プローブ、1997)
- ・衝突防止用センシングシステム(日産自、1998)

- ・レース車両の異常検出システム(日産自、2002)
- ・エンジン運転異音検査の自動化(マツダ、2003)
- ・溶接ロボットケーブル負荷診断(日産自、2004)

2) 運転事故、テロ対策への応用

ハートの会セミナーで、遠藤講師より「化石燃料(ガソリン)は一瞬の天の恵み」今世紀中に使い果たす恐れあり、燃料電池・水素自動車の開発が急務とのお話があったが、もう一つ、田口先生は「米国で年間3万人、日本で8千人も交通事故で亡くなっている。注意を喚起するだけでは駄目で、居眠りしていても、暴力団がぶつけようとしても事故にならないようにするのが技術、事故を予測して防ぐことが大事だ。これにMTシステムが役立つ」と言う。2001.9.11 ニューヨークテロの後、米国で直ちに対策技術委員会が発足、田口先生も参加を要請され、MTシステムが検討されている。

3) 長谷川良子「マハラノビス・タグチ(MT)システムのはなし」(2004、日科技連)が最近出版された。文と絵・図・表を半々に書いて、健康診断を例に、MT法を解説し、応用例も紹介されている。私も原稿をチェックし助言したが、前号(5)20で解説したMTシステムが、分り難かった向きには、かなり分り易いと思うので一読をお奨めする。

3. 米国自動車産業における品質の状況(田口伸)

1) 2004年 JD Power の3カ月初期品質をみると、トヨタに次いで2位に、ホンダと並んで現代自動車が大躍進した。(2001年には37ブランド中35位だった)。12年前あまりの品質の悪さで米国マーケットから撤退した現代自動車は、1999年会長主導によりシックス・シグマを導入、会長自身による半日の品質診断会議を月2回実施、技術部門の権限を上げ、3年前からTMを導入している。

2) フォードは1992~96年TMを導入展開し事例も数百件出て純利益でもGMを追い越したが、トップ交替で方針変更、ファイヤーストーン・タイヤの問題も出て、初期・経時品質の評価も落ちた。再度トップ交替し Back To Basic(基本に戻ろう)を打ち出しているが、苦戦は暫く続くと思われる。

GM(ジェネラル・モーターズ)は1997年から Red X という火消し活動のテクニックを導入し、3年半で1900億円の保証コストの低減に成功、初期品質評価は良くなっている。今年の評価でも、高級車部門でキャデラックは、BMWほかを抑えレクサスに次いで2位だ。しかし、最近の保証コストは横ばいで、これは下に落ちているリンゴと、低い枝のリンゴは取り尽し、慢性不良や新技術・新車の立ち上げの問題が残っているのだろう。

その改革のため元トヨタの吉村達彦氏を2年契約で迎えた。著書「トヨタ式未然防止手法GD³」(2002、日科技連)にGood Design(TMのロバスト設計の考えを取入れた)、Good Discussion、Good Design Reviewの3つの手法を提案されている。

2003年著名な自動車ジャーナリストのミシェル・メイナード著 The End of Detroit 鬼澤忍訳「トヨタがGMを越える日ーなぜアメリカ自動車産業は没落したのか」(2004、早川書房)は2010年を予測したものだが、GM北米エンジニアリングのトップ、ジム・クイーン氏は「GMのゴールはトヨタに勝つことだ。我々はだいぶ進歩してきたが、まだ満足はしていない。」と言っている。

4. タグチメソッド(TM)の普及と発展の一コマ

前号(5)21の図表に、1980年NBC TV放送と、MIT教授の「日米自動車開発期間の1.5倍差」を示したが、これを契機にフォードは「日本企業の品質の師」デミング博士を迎え入れ、その助言で日本企業訪問団を送りTQMとTMを導入、GM・クライスラーもこれに続いた。しかし、実態はTMを、起きたトラブルを直す「火消し」の道具としてしか使わず、タグチは1988年頃から「未然防止」を強調、フォードは1992年からやり直した。

1994年エンジンの目的機能 y (平均有効圧力) $=\beta M$ (燃料流量)による動的SN比を用いたパラメータ設計で、燃費8%減、騒音や振動も減らしたが、しかし、NO_xに対する対策が欠けていて「一石全鳥」というわけにはいかなかった。これに対する田口先生の指導内容が、前々々号(3)10・3)①に示した化学反応の基本機能なのである。

(富士技術経営研究所所長・技術士)