

品質工学会会員のための

品質工学情報誌

～会員同士が自由に意見を交換し知識を得る場～



2025 年夏号

<参加研究会>

北海道タグチメソッド研究会
関西品質工学会

長野県品質工学会
広島品質工学会

中部品質工学会
香川品質工研究

【ご利用にあたって】

1. **タイトル**をクリックするとその記事が表示 2. 各頁右側上段の目次へをクリックすると目次を表示

目次

1. 「品質工学会会員のための品質工学情報誌 2025 年夏号」巻頭言 P.3～4
香川品質工学会 岩永 禎之（四国職業能力開発大学校）
2. 雅康のショートえっせい（2） P.5
田口流の技術開発とは
関西品質工学会 平野 雅康（元三菱電機（株））
3. リール用ギヤ開発ストーリー ～究極の巻き心地を求めて～ Vol IV P.6～11
～触覚の研究により生まれたギヤシステム～
関西品質工学会 井上 徹夫（(株)シマノ）
4. SN 比再考 (1) (Reconsideration of SN ratio (1)) P.12～16
ーノイズの調合について (About the compounding of noise factors) ー
関西品質工学会 太田 勝之（元(株)シマノ）
5. 単位空間とポアンカレの哲学の一致点 P.17～20
北海道タグチメソッド研究会 手島 昌一（アングルトライ(株)）
6. シミュレーションと品質工学との融合（I） P.21～22
～シミュレーションの課題～
関西品質工学会 原 和彦
7. 品質工学会 昔話（8） P.23～24
～21 世紀の SN 比（標準 SN 比）を議論する～
関西品質工学会 芝野 広志（TM 実践塾）
8. 長野県品質工学会 研究会活動記録 P.25～27
長野県品質工学会 児野 武郎（長野県工業技術総合センター）
9. 品質工学会だより P.28～29
◆関西品質工学会からのお知らせ◆
1. 3 地区合同研究会開催のご報告
2. 原和彦先生偲ぶ会開催のご報告
3. 関西品質工学会 会員募集のご案内

◆講演希望企業募集のご案内◆ P.30
なぜ今、品質工学か ～最適化の成功から技術開発・事業化の成功へ～

◆品質工学情報誌編集担当からのお知らせ◆ P.31

「品質工学研究会会員のための品質工学情報誌 2025 年夏号」 巻頭言

香川品質工学研究会 岩永 禎之 (四国職業能力開発大学校)

私と品質工学との出会いは三十数年前のことである。当時は日本電気株式会社府中事業場に勤務し、金融機関向けメカトロ装置の研究・開発に携わっていた。ATM（現金自動預け払い機）では、紙幣や帳票を扱うが、紙は顧客の取り扱い方や環境で大きく性質がばらつき、それに起因するトラブルが発生し、“紙は神様”という言葉も飛び交っていた。金融機関からは高い品質が求められ、設計品質の向上のため、設計基準書や技術評価でのマージン確認方法の明確化等様々な施策に取り組んだが、モグラ叩きの感は否めず職場は不夜城であった。そんな中、品質工学に出会いロバスト設計に共感した。田口玄一の講習を受講し、独学で勉強を続け、上司らと喧々諤々議論した。また、次世代の金融機関向けのメカトロ装置の開発戦略を取締役に技術プレゼンをする機会があり、品質工学のパラメータ設計を導入したいという提案をした。品質工学の話は面白かったが、他の話は・・・とおしゃっていたという話を後から聞き、褒められたのか、けなされたのかよくわからないと思ったことを覚えている。

しかし、そのおかげで、開発部門に品質工学を実践する体制を作っていただけた。私は紙媒体の繰出し機構に適用し、SN 比を 18db 向上させることができ、信頼性の確保に大いに役立った。

十数年前に四国職業能力開発大学校（以下、四国能開大と記す）で教鞭を執ることになり、それを機会に香川品質工学研究会（以下、研究会と記す）を立ち上げた。これは、地域企業の技術力向上と、若手技術者の育成を目指してのことだった。四国能開大と研究会の品質工学への取り組みでは、特に地域への品質工学の教育と普及に力を入れている。企業向けの品質工学セミナーについては、この 12 年間で、5 コースを 39 回開催し 55 社のべ 656 名に受講していただいた。また、受講後、実際に実務に取り入れる際のアフターフォローも実施している。学生教育については、機械系 4 年生に対してパラメータ設計を教えている。最初に設計演習で設計の仕方により機能のばらつきが変わることを教え、パラメータ設計の方法を学習した後に、実習教材を用いたパラメータ設計の実習を実施している。静特性での実習を行った後に、動特性の実習を行う反復学習により、少しでも理解が進むことを期待している。また、技術の新しい考え方を学び、開発の仕方、実験の方法を習得することは意義のあることであり、本人だけでなく彼らが就職していく企業においても大いに役に立つことを願っている。

研究会の現在の運営については、事務局の皆川和樹、宮武正勝に筆を譲り以下に記載する。

研究会では、品質工学の理解と実践力の向上を目指し、毎月一度の定例会を継続している。活動の柱は「MT システムの活用」「品質工学の学び直し」「企業との共同研究」の三つに集約されており、いずれも現場に根ざした課題の解決と、参加者の学びを深めようとする意欲によって支えられている。これらの取り組みでは、身近なテーマを対象に MT システムなどを用いたデータ解析を実施し、単なる理論にとどまらない実践的な内容に取り組み、初学者に対して品質工学がどのようなものを学べるように工夫している。さらに、企業と連携し、品質工学の手法を用いた開発支援を行っており、実務と学術の接点で確かな実績を重ねている。

また、毎年 10 月には講演会を実施しており、地域の品質工学普及に役立てるよう活動している。

今後も、産学の連携を土台に、実践と学びの両面から品質工学の発展を目指して活動を続けていきたい。また、現場の課題に寄り添い、技術と知識を社会へとつなげるこの活動が、地域の産業と人材育成に貢献し得ると願っている。

雅康のショートえっせい（2）

田口流の技術開発とは

関西品質工学研究会 平野 雅康（元三菱電機（株））

技術開発は製品開発の前に取り組み、製品開発で必要となる技術情報を事前に獲得することが重要である。技術情報は設計根拠の一つとなり、その量と質が製品開発の進捗と出来栄に大きく影響する。そのために技術開発では、下記①、②を重点的に取り組むべきである。

- ①選択した技術手段やシステムの市場環境での性能安定性の確保
- ②各設計パラメータと、お客の求める性能との関係性（傾向）を明確にする

①では、複数ある技術手段やシステムの候補に対して性能の安定性を評価し比較する。安定性はその一つの指標で評価することが望ましく、品質工学では SN 比を用いる。SN 比の値はシステムの性能安定性に比例し、安定性の高いシステムは SN 比の値が大きくなる。

SN 比による評価で重要なことは、システムの性能をばらつかせる要因、変化させる要因を考え、評価に利用することである。その要因を品質工学では誤差因子、もしくはノイズと呼ぶ。主なノイズを下記に列挙する。

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. 気温、湿度などの環境条件 | 2. 長期使用による部品や材料の劣化 |
| 3. 部品寸法や物性値のばらつき | 4. お客の使い方など |

お客が購入した製品は、上記のようなノイズ条件下で使用されるが、技術者はこれらをコントロールすることができない。したがって、製品が様々な市場環境で使用されても安定した性能を発揮するためには、技術開発の段階で選択された技術手段がノイズの影響を受けにくい、ノイズに強いものでなければならない。従って、①では SN 比の値が大きい、性能の安定した技術手段を選択する。

一方、②ではお客が要求する性能と設計パラメータとの関係性を調べる。様々な設計パラメータを変化させて、目標とする性能を実現するためである。品質工学では、設計パラメータを制御因子と呼び、制御因子と性能との関係は感度という指標を用いて調べる。様々な制御因子の値を大きく変化させて感度を調べるのである。この時、品質工学では直交表の活用を推奨している。直交表による実験は、制御因子を一つ一つ調べる一因子実験より遥かに効率的で、しかも実験結果の下流での再現性も評価できる。

技術開発の段階でシステムの安定性を確保し、制御因子と性能との関係を明白にできていれば、製品開発では目標性能に調整（チューニング）するだけで良い。品質工学最大の特徴である 2 段階最適化、2 段階設計の真骨頂だ。田口玄一博士が技術開発の重要性を説き、品質工学を活用すれば製品開発、設計は作業になると述べた真意はここにある。

以上

リール用ギヤ開発ストーリー ～究極の巻き心地を求めて～Vol. IV ～触覚の研究により生まれたギヤシステム～

関西品質工学研究会 井上 徹夫 ((株)シマノ)

株式会社シマノ 釣具事業部 釣具開発設計部 リールデジタル技術開発課
プロフェッショナル ギヤ担当 博士 (工学) 井上 徹夫



6. マイクロモジュールギヤの開発 (2012 年/2014 年)

前報 (品質工学情報誌第 7 号) で報告した HAGANE ギヤの開発後には、かみ合い伝達誤差 (TE : Transmission Error) (TE はリールの巻き心地を決定するギヤのかみ合い振動のことである。詳細は品質工学情報誌 6 号/7 号参照) の最小化を主眼に開発を進めたが、その要求される精度レベルが高すぎてこれ以上は劇的なリール巻き心地 (ギヤフィーリング) の向上は見込めないのではないかと思うようになった。そこで、歯面の精度を向上させるという正攻法ではなく、何か別な方法 (奇策) がないかを検討するため、振動そのものの研究を加速することを考えた。発端は 2007 年の歯車分科会という日本機械学会の会合で、某大学の教授にギヤフィーリングについて相談したところ、「一旦基本に戻って振動の研究をされたらどうですか」というアドバイスをもらったことである。

そこで、歯車を製作して評価するのではなく、様々な周波数や振幅を任意に出力して振動を評価できる装置を考案して製作した。これが振動シミュレータと呼ばれる振動発生装置である。図 6-1 に振動シミュレータの概略図を示す。この装置は、振動を出力する Φ 23cm スピーカ、アンプ、電源及びパーソナルコンピュータ (PC) から構成されている。評価は、図 6-1 の右図のように指をスピーカの上に置いた状態で行う。PC は、データセット作成モジュールと、実際にデータを出力するプログラムから構成されている。データは最大 20 個まで入出力可能で、出力したいデータを選択すると、そのデータの振動を 2 秒間スピーカから出力する。この装置により、ハンドル回転速度のばらつきや回転ムラ等を排除した安定した振動の評価が可能となった。

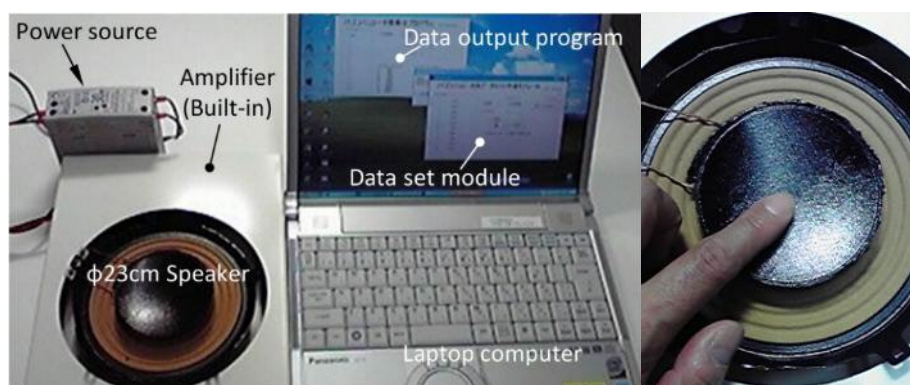
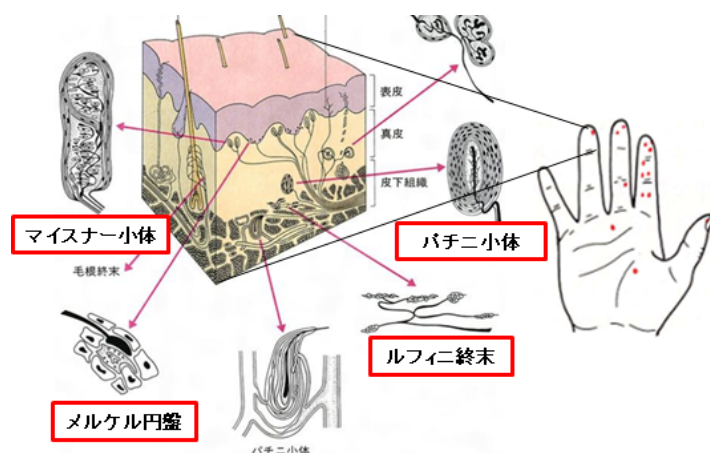


Fig.6-1 振動シミュレータ

この振動シミュレータによる様々な振動実験から、人が指先で感じる振動には周波数依存性があることが確認できた。つまり、同じ振幅の振動でも、周波数によって感じ方が異なるのである。このような指の触覚について研究している研究者のセミナーなどを受講していると、指先には「パチニ小体」「マイスナー小体」「ルフィニ終末」「メルケル円盤」という4つの受容体が入っていて（図 6-2）、それぞれ加速度センサや変位センサなどの役割をしていることが理解できた。そして振動を感じているのが「パチニ小体」であり、どうもこの小体がバイオセンサとしてギヤフィーリングを感じているのではないかと考えるようになった。パチニ小体を調査して振動実験をした文献⁽⁸⁻¹⁾も多く、振動の大きさに対して 200-300Hz の周波数で触覚の感度が最大となることも分かってきた。

この振動シミュレータによる実験を繰り返しているときには、ほとんどリールもギヤも触っていない。ただスピーカに指を当てていて、スピーカから様々な音域の微かな「ピー」とか「プー」などの音が聴こえてくるだけである。たぶん周りの人たちは何をやっているのか意味が分からなかったはずである。この状況に対して仕事をしているようには思えなかった人たちもいたようだが、当時の私の上司は、「井上には好きなことをやらせている。」と話して説得していたようである。感謝の念に堪えない。



<https://momosensei-oryouridaisuki.jimdo.com/>

Fig.6-2 ヒトの皮膚断面と4つの受容体

ギヤ対のかみ合いを測定したTE波形をフーリエ変換すると、周波数ごとに大きさの異なる振幅が確認できる。図 6-3 はリール用ギヤ対の TE を測定してフーリエ変換した結果で、横軸は周波数、縦軸は振幅を示す。グラフの 200Hz 付近の振幅が大きくなっているが、この周波数はかみ合い周波数であり、通常はかみ合い周波数が最大振幅となる。かみ合い周波数とは歯車の歯数の周期のことで、例えば 100 歯の歯車が 1 秒間に 1 回転した時には 100Hz の振動が発生することになる。リール用ギヤの歯数と回転数からかみ合い周波数を算出すると、触覚の感度が最大となる周波数に近いことが分かってきた。つまり、この周波数帯の振動は、小さな振幅でもギヤフィーリングが悪いと感じてしまうのである。これを回避するには、歯数を少なくするか多くすることにより、感度最大の周波数帯を避けられよう。しかし、歯の大きさであるモジュールをそのままに歯数を多くすると、ギヤの外径の増加に伴いリールのサイズが大きくなる。これは、商品の価値を下げる結果となってしまう。そこで、必然的にモジュールを小さくして歯数を多くすることを選択した。

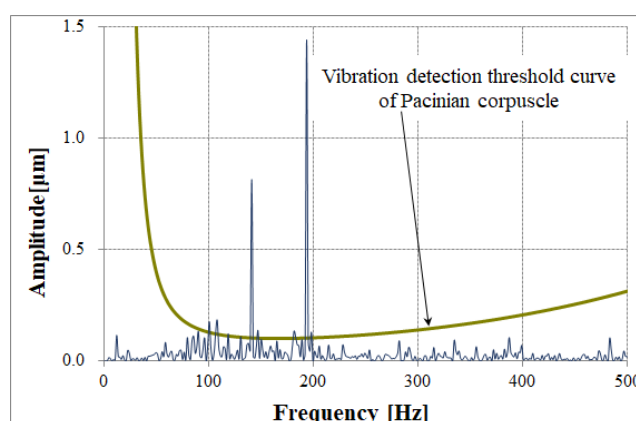


Fig.6-3 ギヤ対 TE 波形のフーリエ変換結果(例)

図 6-4 は、振動シミュレータを使用して、指の触覚により感じる振動振幅と周波数の関係を調査した結果である。グラフの横軸は周波数、縦軸は振幅で、それぞれ対数で表示している。グラフの一番下の曲線は、この線より振幅が小さい場合は振動を感じない振動検出閾値曲線である。これ以外の曲線は、振動の大きさが同じと感じたポイントを結んだ線で、振動等感覚曲線と呼んでいる。このグラフには、振動の大きさが異なる 5 本の振動等感覚曲線を示しているが、それぞれの曲線では感度最大となる周波数が異なっているのが分かる（例えば、上から 1 番目の線は 50Hz、上から 3 番目の線は 100Hz）。この感度最大のポイントを結んだ線を振動特性変化境界線と呼んでいる。この振動実験では、この線を境に周波数が低くなると打楽器のような振動となり、周波数が高いときには弦楽器のような振動となることを掴んでいた。感覚的には弦楽器のような振動の方が心地よさを感じていたので、これもモジュールサイズを小さくなる方に選択した理由の一つである。

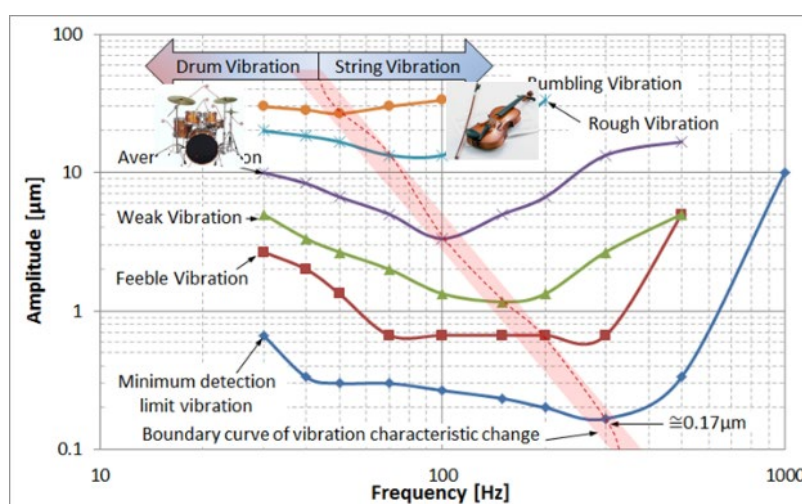


Fig.6-4 指の触覚による振幅と周波数の関係

問題はモジュールサイズが小さくなったことによる強度不足である。ギヤの外径が同じ場合、モジュールを小さくするとギヤ強度が低下し、モジュールを大きくするとギヤフィーリングは向上しない。このトレードオフの関係をブレークスルーする技術がなく手詰まり状態になっていた。これを解決する方法の一つが、同時にいくつの歯がかみ合っているかというかみ合い率を考慮したギヤ設計である。今までの設計では、このかみ合い率をあまり重視していなかったが、かみ合い率が最大となるモジュールと歯数になるようにギヤの諸元を設計することで、モジュールが小さくなくても現行と変わらない強度を実現した。図 6-5 は、ベイトリール用ギヤ対がかみ合った状態を示している。図 6-5 (a) は現行のモジュールサイズのギヤの場合で、同時にかみ合う歯が最大 2 歯になっていることが分かる。図 6-5 (b) は歯数の多い小モジュールギヤがかみ合った状態を示しており、同時にかみ合う歯が最大 4 歯になっていることが分かる。同時にかみ合う歯数が多くなることで一歯に掛かる荷重を分担し、現行ギヤと同じ強度を維持しているのである。



(a) 現行モジュールギヤ(2 歯かみ合い)

(b) 小モジュールギヤ(4 歯かみ合い)

Fig.6-5 モジュールによるかみ合い歯数の違い

実際に歯数の多い小モジュールギヤの試作品を製作して、ギヤフィーリングを確認した。この試作品は信じられないほど滑らかなギヤフィーリングを実現し、ギヤフィーリングの周波数依存性を確認することができた。ギヤはローレットにしか見えず、実際にはかみ合っているにも関わらず、空転していると思ってしまったぐらいである。担当者に、「これってギヤがかみ合っていないんじゃないかな？正しく組立できた？」と言ったのを思い出す。しかし、スプールを軽く抑えてみると抵抗を感じることができ、ギヤがかみ合っていることを確認できた。つまり、歯と歯がかみ合っていることを全く感じないレベルのギヤフィーリングであり、鳥肌が立つぐらい感動したギヤフィーリングである。

しかし、スピニングリール用のギヤでは、ベイトリール用ギヤとは異なり様々な問題が浮上した。スピニングリール用ギヤには直交ギヤであるフェースギヤを使用しており、ホブ切り加工ではなく冷間鍛造成形で加工する。直交ギヤの性質上、歯と歯のかみ合いが離れやすくなり、計算上はギヤ強度を維持できるはずであるが、量産試作品のギヤ強度は出荷可能なレベルには達していなかった。つまり、計算上のかみ合い率と実かみ合い率が異なっており、最適なかみ合い率にはなっていなかったのである。このかみ合い率の最適化は難航を極め、途中どう考えても無理ではないかという気持ちになった。社内の廊下で社長とすれ違ったときに、「井上、このギヤを何とか最上位機種に搭載してくれ！」と念を押され、「何が問題なんや！」との質問に、「金型を何度も製作してサンプルを評価する必要がありますが、今のペースでは上市に間に合いません」と返事をした。この後、社長命令により通常は数か月掛かる金型を 1 週間で製作する確約がなされ、次々に金型を製作して

は翌日に成形して検証するというとんでもない状態が実現した。通常では 3 年は掛かる開発を半年で達成することとなったのである。

このモジュールが小さく歯数の多いギヤをシマノでは“マイクロモジュールギヤ”(図 6-6)と呼んでおり、ベイトリール(2012 年上市)とスピニングリール(2014 年上市)の両方の最上位機種に採用し、現在はほぼ全ての機種に展開している。その滑らかなギヤフィーリングは、金属と金属が接触してかみ合っていることを全く感じさせない、シルクのような巻き心地を実現している。

このマイクロモジュールギヤの実現のポイントは 2 つある。一つ目は、品質工学で言うテストピース実験やシミュレーションである。振動シミュレータによる実験は、テストサンプルを製作することなく、スピーカ上に振動を発生させることで疑似的にギヤフィーリングの良否を判断することができている。また、振動波形データを加工することで、様々な振動をシミュレーションすることも可能となっている。二つ目は、常に正攻法と奇策を考えることである。歯面の精度を極限まで向上させるのが正攻法で、これは常に実現に向かって突き進んでいかなければならない技術開発である。技術のブレークスルーには、この正攻法だけではなく奇策も必要である。孫子は、孫子の兵法の第五編に「正を以て合い、奇を以て勝つ」と説いている。このような正奇のバランスが新しい技術の開発には重要なのである。

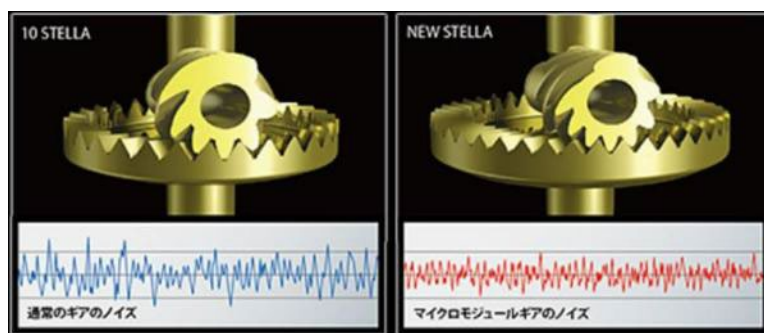


Fig.6-6 スピニングリール用マイクロモジュールギヤ

7. おわりに

4 回にわたり、リール用ギヤの開発ストーリーをお話しした。今思えば 32 年間よく飽きずにギヤ開発を行ってきたとしみじみ思う次第である。これも一つのことを極めたいという気持ちと、その思いを受け取って研究に専念できる環境を与えてくれた会社と当時の上司があつてのもので感謝の念に堪えない。また、ギヤの研究者は世界中に数えきれないほどいるが、フェースギヤの研究者はほとんどいなく、またギヤの振動と触覚の研究をテーマとした研究が全くなかったことが幸いしたともいえる。つまり、偶然にも未開発の技術と分野だったのである。最近では開発してもすぐにチープ化する製品や技術が多いが、リールのような人の感性を刺激する趣味の道具はその要求が絶えることがない。良いものを出しても出しても次を求めるのが人の性(さが)であり、人の要求が尽きない限りギヤ開発は途絶えることがないのである。今後、技術者が開発や研究をすべきなのは、このような人の感性に訴える技術ではないだろうか？今回のお話しが、少しでも皆さんの参考になれば幸いである。

そして最後にこの研究をここまで継続できた理由の一つに、原さん（故・原和彦先生）から送られてきたメールがある。私は会社では理解者も少なくあまり評価はされなかったが、原さんのメールで今までやってきたことは間違っていなかったとしみじみと思うことができた。ここに原さんから頂いたメールを記載しておきます（図 7-1）。このメールは今でも私の宝物です。

「基本機能による創造的開発のテーマ」については称賛を送りたい。

理由は、歯車機構の伝達誤差という品質問題に基本機能の考え方をを使って、固有技術問題を解決された事例で、かねてから関心を持っていたが素晴らしい独創的な開発には感動さえ覚えます。歯車をご存知の方は少ないので申し上げますが、歯車の伝達機構には減速系と増速系がありますが、彼の伝達誤差の研究は後者のモノで、これをインボリュート歯形のフェースギヤで実現されたもので画期的な成果だと考えています。

釣り具のリールに用いられる歯車伝達は増速系で指で回転するときの振動が小さいことが望まれるのです。歯車の伝達誤差は品質問題ですから、望小特性で評価するのが普通ですが、彼は主動歯車の回転数と従動歯車の回転数の比例関係を理想機能と考えて、理想機能の乱れの伝達誤差を考えて、マイクロギアを発明されてその誤差を最小にして、しかも指に感ずる振動を心地よい感触になるような歯形の創造的固有技術の開発を行ったのです。

論文の中に、「測れないものは作れない」「精密に正確に測ることで、見えてくるものがある。これが見えれば全く新しいものを創造できるはずである」という言葉は極めて印象的です。

再現性があるとかないとかを議論しているうちは、本当に品質工学を活用していないのではないのでしょうか。もっと自由に使いこなせばいいと思います。

Fig.7-1 原和彦さんから送られてきたメール

8. 参考文献

- (1)下条誠, 前野隆司, 篠田裕之, 佐藤明人, "触覚認識メカニズムと応用技術 -触覚センサ・触覚ディスプレイ-", *S&T 出版株式会社* (2014), p.9 ; ISBN 978-4-907002-37-4.

Closer to Nature, Closer to People



SHIMANO

SN 比再考 (1)

Reconsideration of SN ratio (1)

ーノイズの調合について (About the compounding of noise factors) ー

関西品質工学研究会 太田 勝之 (元 (株) シマノ)

筆者は、「SN 比は技術者が想定したノイズに対する安定性の指標」と考えるが、SN 比を軽視しているわけではない。その真意を知り使い分けるべきであるが、その SN 比にはまだ多くの改良すべき点がある。今回取り上げる「ノイズの調合の問題」は、静岡品質工学研究会からも論文が出され、文献 1) や品質工学会でも提議されているが、議論が広まっていないのが残念である。

1 ノイズの調合

1.1 複数のノイズの調合

RPD (ロバストパラメータ設計) では外側にノイズを割り付けた実験を行うことを推奨している。

その実験計画は、内側と呼ばれる主に制御因子を割り付けた直交表と、外側と呼ばれる、主にノイズ因子 (時には仕様などの表示因子や信号因子) を割り付けた直積実験とすることが多い。例えば、内側直交表に L18、外側にノイズ因子で 2 水準を選ぶと $18 \times 2 = 36$ の実験データを揃える必要がある。

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

<Fig. 1.1> L18 直交表と 1 因子のノイズの計画

(Fig. 1.1)

さらに、多くの種類のノイズ因子を取り上げ、仮に 2 水準を持つ 4 つのノイズ因子 (K, L, P, Q) を外側に割り付ける場合、全組み合わせでは 16 通りとなってしまうが、L8 直交表を使うことで 8 つの組み合わせに減らすことが出来る。(Fig. 1.2)

それでも必要となるデータ数は $18 \times 8 = 144$ 個と多い。

そこで、「ノイズの調合」という方法が推奨されている。「誤差の調合とは、複数の誤差因子を組み合わせ、形式的にはあたかも一つの因子のようにする方法で、次のような 2 水準を設定することが多い。N1=結果を小さくする誤差因子の組み合わせ条件、負側の最悪条件という。N2=結果を大きくする誤差因子の組み合わせ条件、正側の最悪条件という。」文献 2)

										K	L	P	Q						
										1	1	1	1	2	2	2	2		
										1	1	2	2	1	1	2	2		
										1	2	1	2	1	2	1	2		
										1	2	2	1	2	1	1	2		
										NI	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2										
3	1	1	3	3	3	3	3	3	3										
4	1	2	1	1	2	2	3	3	4										
5	1	2	2	2	3	3	1	1	5										
6	1	2	3	3	1	1	2	2	6										
7	1	3	1	2	1	3	2	3	7										
8	1	3	2	3	2	1	3	1	8										
9	1	3	3	1	3	2	1	2	9										
10	2								10										
11	2								11										
12	2								12										
13	2	2	1	2	3	1	3	2	13										
14	2	2	2	3	1	2	1	3	14										
15	2	2	3	1	2	3	2	1	15										
16	2	3	1	3	2	3	1	2	16										
17	2	3	2	1	3	1	2	3	17										
18	2	3	3	2	1	2	3	1	18										

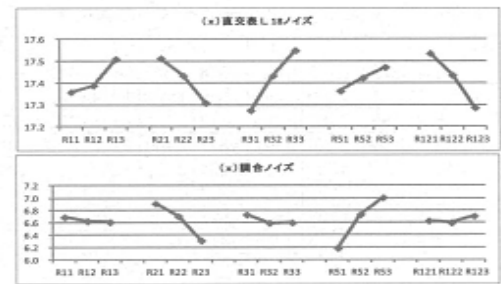
<Fig. 1.2> L18 直交表と 4 因子のノイズ因子 L8 の計画

1.2 ノイズの調合の問題の提議

森, 貞松, 富島, 松浦らによる静岡 QE 研究会の「調合ノイズと直交表ノイズの挙動比較と最適条件の差異」文献 2) では, 温度調節器のシミュレーション事例を元に, 直交表ノイズと調合ノイズでの結果の違いを指摘している. Fig. 2.1 文献 1) より

ここで, 調合ノイズと直交表ノイズは利得だけでなく傾向も異なる可能性があることを示している.

筆者も疑問に感じていた時期に, この検証はとても刺激となった. しかし, 内側 L18 × 外側 L18 でしかも交互作用を含んだシミュレーションモデルでの検証のため, その現象がモデルの持つ交互作用や L18 による交絡のためなのか混在しており, この問題の発生頻度も曖昧となっている.



<Fig.2.1 x(オン) : 直交表ノイズと調合ノイズの要因効果

1.3 ノイズ調合の問題：交互作用無しモデル L18 での検証

L18 に 8 因子 (A-H) を割り付け<Fig. 3. 1>, 交互作用が無い主効果のみの加法モデルをシミュレーションで設定した. 設定したモデルは水準が利得を示すとし, 特性値 Y は各因子の効果の合計である.

特性値 Y=因子 A の効果(EA)+ 因子 B の効果(EB)+...+因子 H の効果(EH) <Fig. 3. 2>
調合ノイズとして全因子に±10%のノイズを想定. <Fig. 3. 3>

SN 比はエネルギー比型 $\eta = 10 \log (S_m / S_e)$ を用いた. (従来型 SN 比とエネルギー比型の違いについては別の機会に触れるが, 基本的には同条件の相対評価では全く変わらない. 先の静岡 QE 研究会の検証では従来型で行い問題の発生を確認している)

①	制御因子			
	Factor name	1	2	3
1	A	1	2	
2	B	1	2	3
3	C	1	2	3
4	D	1	2	3
5	E	1	2	3
6	F	1	2	3
7	G	1	2	3
8	H	1	2	3

<Fig. 3.1>制御因子と水準

	A	B	C	D	E	F	G	H		Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	14
3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	20
4	1	2	1	1	2	2	3	3	4	15
5	1	2	2	2	3	3	1	1	5	15
6	1	2	3	3	1	1	2	2	6	15
7	1	3	1	2	1	3	2	3	7	16
8	1	3	2	3	2	1	3	1	8	16
9	1	3	3	1	3	2	1	2	9	16
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10	15
11	2	1	2	1	1	3	3	2	11	15
12	2	1	3	2	2	1	1	3	12	15
13	2	2	1	2	3	1	3	2	13	16
14	2	2	2	3	1	2	1	3	14	16
15	2	2	3	1	2	3	2	1	15	16
16	2	3	1	3	2	3	1	2	16	17
17	2	3	2	1	3	1	2	3	17	17
18	2	3	3	2	1	2	3	1	18	17

<Fig. 3.2>L18 直交表と特性値 Y

交互作用は無いので正側、負側での最悪条件は担保されている。

要因効果図にて SN 比はどの因子も利得が無く、SN 比の改善はできないことを示す。〈Fig. 3.4〉

このことは RPD の真意 (1) でも示した。

次に、直交表ノイズを与えた計算を行う。

内側 L18 に対し、ノイズは 2 水準なので L12 に 8 因子を $\pm 10\%$ の水準でノイズを割り付けて計算を行った。〈Fig. 3.5〉

その結果の要因効果図を〈Fig. 3.6〉に示す。

SN 比に利得が現れ、調合ノイズと直交表ノイズでは要因効果図に違いが現れた。

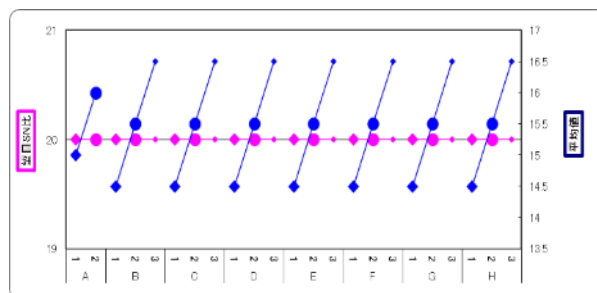
さらに、外側ノイズに直交表ではなく総当たり計画 256 通り (2^8) を配置して計算を行い、要因効果図を作成した。〈Fig. 3.7〉

その結果、直交表ノイズと総当たり計画ノイズとは全く同じ要因効果図が得られ、直交表実験は総当たり実験に匹敵すると言える。

ただ、この結果からは、調合ノイズと直交表ノイズの結果は、(どちらかが正しいということではなく)、異なるということ。

	A	B	C	D	E	F	G	H		N1	N2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7.2	8.8
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	12.6	15.4
3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	18	22
4	1	2	1	1	2	2	3	3	4	13.5	16.5
5	1	2	2	2	3	3	1	1	5	13.5	16.5
6	1	2	3	3	1	1	2	2	6	13.5	16.5
7	1	3	1	2	1	3	2	3	7	14.4	17.6
8	1	3	2	3	2	1	3	1	8	14.4	17.6
9	1	3	3	1	3	2	1	2	9	14.4	17.6
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10	13.5	16.5
11	2	1	2	1	1	3	3	2	11	13.5	16.5
12	2	1	3	2	2	1	1	3	12	13.5	16.5
13	2	2	1	2	3	1	3	2	13	14.4	17.6
14	2	2	2	3	1	2	1	3	14	14.4	17.6
15	2	2	3	1	2	3	2	1	15	14.4	17.6
16	2	3	1	3	2	3	1	2	16	15.3	18.7
17	2	3	2	1	3	1	2	3	17	15.3	18.7
18	2	3	3	2	1	2	3	1	18	15.3	18.7

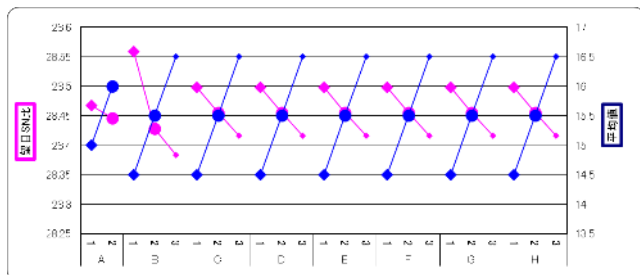
<Fig. 3.3>各因子に水準の $\pm 10\%$ の調合ノイズ



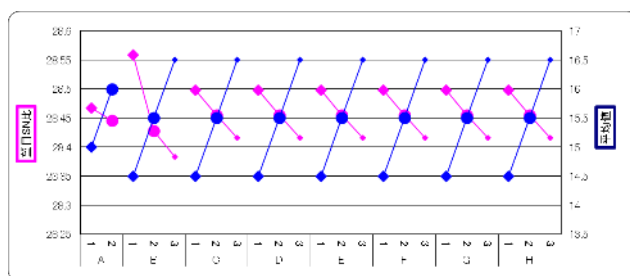
<Fig. 3.4> $\pm 10\%$ の調合ノイズの要因効果図

	A	B	C	D	E	F	G	H		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7.2	8	8	7.8	8	8.2	8.4	8.2	8.2	8	8	8
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	12.6	14	13.8	13.6	14	14.2	14.6	14.4	14.6	14.2	14	14
3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	18	20	19.6	19.4	20	20.2	20.8	20.6	21	20.4	20	20
4	1	2	1	1	2	2	3	3	4	13.5	15.1	14.9	14.5	14.5	15.3	15.7	15.3	15.5	15.1	15.1	15.5
5	1	2	2	2	3	3	1	1	5	13.5	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.9	15.5	15.3	15.3	15.1	14.9
6	1	2	3	3	1	1	2	2	6	13.5	15.1	15.1	14.7	15.1	15.3	15.5	15.7	15.7	14.9	14.5	14.9
7	1	3	1	2	1	3	2	3	7	14.4	15.8	16.2	15.4	15.8	16.2	16.8	16.6	16.2	16.2	15.8	16.6
8	1	3	2	3	2	1	3	1	8	14.4	15.8	16	15.8	15.8	16.8	16.4	16.8	16.6	15.8	15.8	16
9	1	3	3	1	3	2	1	2	9	14.4	15.8	15.8	16.2	15.8	16.2	17.2	16.4	16.4	16	15.8	16
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10	13.5	14.7	14.9	14.5	15.1	15.7	15.5	15.3	15.5	15.3	14.7	14.7
11	2	1	2	1	1	3	3	2	11	13.5	15.3	14.7	14.3	15.1	15.1	15.7	15.5	15.3	14.9	15.3	15.3
12	2	1	3	2	2	1	1	3	12	13.5	15.3	15.1	14.7	15.1	15.1	15.9	15.1	15.7	15.1	14.7	14.7
13	2	2	1	2	3	1	3	2	13	14.4	16	16	15.6	15.6	16.8	16.6	16.2	16.6	16	16.2	16
14	2	2	2	3	1	2	1	3	14	14.4	16	16.4	15.4	16.2	16.2	16.8	16.4	16.4	16.2	15.6	16
15	2	2	3	1	2	3	2	1	15	14.4	16	15.6	15.8	16.2	16.2	17	16.6	16.2	15.8	16.2	16
16	2	3	1	3	2	3	1	2	16	15.3	16.5	17.3	16.5	17.1	17.5	17.9	17.5	17.1	17.3	16.9	17.1
17	2	3	2	1	3	1	2	3	17	15.3	17.1	17.1	16.9	16.5	17.5	18.1	17.1	17.5	16.9	16.9	17.1
18	2	3	3	2	1	2	3	1	18	15.3	17.1	16.9	16.7	17.1	17.5	17.7	17.9	17.3	16.5	16.9	17.1

<Fig. 3.5>各因子に水準の $\pm 10\%$ の L12 直交表ノイズ



<Fig. 3.6> $\pm 10\%$ の直交表ノイズの要因効果図



<Fig. 3.7> $\pm 10\%$ の 256 通りノイズの要因効果図

1.4 ノイズ調合の問題：交互作用無しモデル L4 での検証

内側 L18 での特異的な現象の可能性もあり，内側 L4 に 3 因子（A-C）を割り付けて検証した．〈Fig. 4.1〉

①	制御因子		
	Factor name	1	2
1	A	1	2
2	B	1	2
3	C	1	2

〈Fig. 4.1〉制御因子と水準

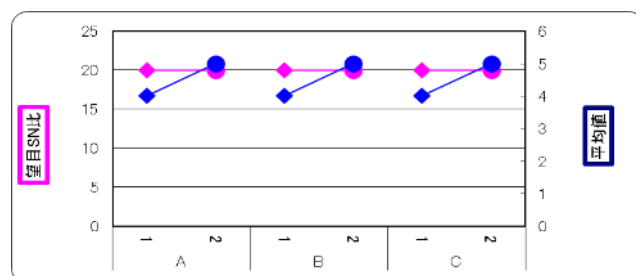
前節 1.3 と同様に，主効果のみの水準が利得を示す加法モデルを設定した．特性値 Y は各因子の水準の合計となる．

特性値 Y = 因子 A の効果 (EA) + 因子 B の効果 (EB) + 因子 C の効果 (EC)

このモデルに全因子に ±10% の調合したノイズを加えた結果 〈Fig. 4.2〉とその要因効果図を示す．〈Fig. 4.3〉

	A	B	C		1	2
1	1	1	1	1	2.7	3.3
2	1	2	2	2	4.5	5.5
3	2	1	2	3	4.5	5.5
4	2	2	1	4	4.5	5.5

〈Fig. 4.2〉因子 A-C に ±10% の調合ノイズ

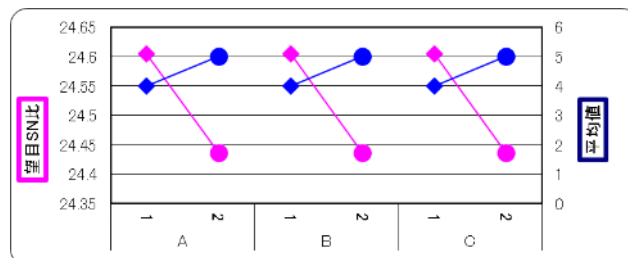


〈Fig. 4.3〉±10% の調合ノイズでの要因効果図

次に外側に 3 因子なのでやはり L4 で ±10% ののノイズを割り付け 4 水準のノイズを作成．その結果 〈Fig. 4.4〉と要因効果図 〈Fig. 4.5〉を示す．

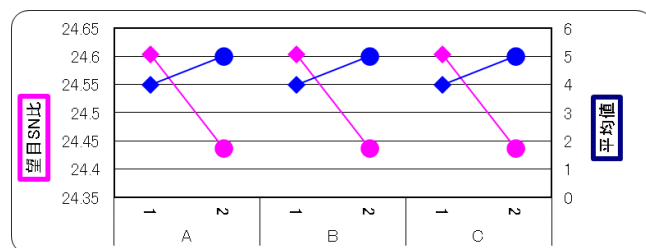
	A	B	C		N1	N2	N3	N4
1	1	1	1	1	2.7	3.1	3.1	3.1
2	1	2	2	2	4.5	5.3	5.1	5.1
3	2	1	2	3	4.5	5.1	5.3	5.1
4	2	2	1	4	4.5	5.1	5.1	5.3

〈Fig. 4.4〉L4 直交表ノイズでの結果



〈Fig. 4.5〉L4 直交表ノイズでの要因効果図

さらに 3 因子のノイズを総当たりの 8 通りで配置して計算した結果も示す．〈Fig. 4.6〉
 このように，常に「直交表ノイズ」と「総当たりノイズ」の結果は一致するが，「調合ノイズ」と「直交表ノイズ」とは一致しない結果となった．
 これ以外にも，条件を変えて比較を行ったがほとんどの場合に一致しない結果となった．



〈Fig. 4.6〉総当たりノイズでの要因効果図

1.5 ノイズ調合の問題の原因考察

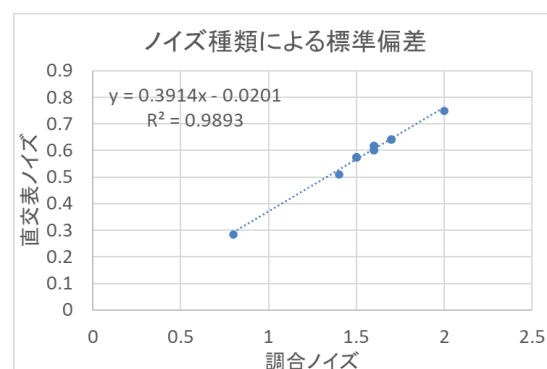
今回は交互作用が無いモデルでしかも因子の効果が同じという、一般的で一致しやすいと思われる条件を設定したが、調合ノイズと直交表ノイズは一致しなかった。別に条件を変えての検証も行ったが、両ノイズで結果が一致することの方が稀であった。

その傾き 0.39 から、直交表ノイズでの標準偏差は調合ノイズのそれよりかなり小さい。2 種の標準偏差の相関は高いが直線からずれている条件も見られる。この差が 2 種の要因効果図の違いを生んでいる。

一見、高い直線性から調合でも構わないと思えそうだが、実際には要因効果図への影響は無視できないようである。調合ノイズは実験効率からも有用な技術ではあるが、さらに研究をして問題点や対策を洗い出すべきだと考える。

今回の検証で、直交表ノイズは総当たりノイズと同じ結果が得られるので、実験効率から直交表ノイズは有用である。直交表ノイズが正しく、調合ノイズは誤りというわけではなく、代替できるとすることが誤りと言える。

SN 比は、技術が想定したノイズ因子とその水準巾の設定に対する評価であり、ノイズの調合方法でも結果は変わることは心得て選択すべきである。しかし、その選択のための情報や基準が今はない。



<Fig. 5.1> 2 種のノイズでの標準

参考文献

- 1) 森 輝雄, 貞松 伊鶴, 富島 明, 松浦 俊: 「調合ノイズと直交表ノイズの挙動比較と最適条件の差異」 (品質 vol. 48, No. 1, 2018)
- 2) 田口 玄一・横山 巽子: ベーシックオフライン品質工学 (日本規格協会, 2007) , p. 64

単位空間とポアンカレの哲学の一致点

北海道タグチメソッド研究会 代表 手島 昌一（アングルトライ（株））

1. はじめに

田口玄一が品質工学誌の論説で、「マハラノビス空間（単位空間）はポアンカレの云う計測できない無限小の空間そのものと考えている」と述べたことがある¹⁾。今から 30 年近く前のことであるが、その記述が筆者の頭から離れず意味を考えてきた。数理に詳しい方などと議論してきたが、現時点で整理した内容を本情報誌上に書き記すことにしたい。

なお、ポアンカレ自身は無限小を定義したわけではないので、少し回りくどいが本文では田口が記載した通り、“ポアンカレの云う無限小”と表現する。

2. ポアンカレについて

ポアンカレとは今から百数十年前の数学者、理論物理学者、科学哲学者であり、「ポアンカレ予想」を残したことで有名である。この予想は NHK などでも何度か取り上げられたので、名前をご存じの方も多いただろう。「宇宙にロープを投げたとき、どこにも引っかからずに回収できたなら、宇宙は円いと言える」という壮大な例えでも説明され、この予想を証明するために多くの数学者を悩ませた。

田口は多くの数学理論に接してきたと述べていたので、ポアンカレの数理に関してもその哲学を含めて考察したものと考えられる。



ポアンカレ

3. ポアンカレの哲学と単位空間

3.1 ポアンカレの云う無限小

田口の論説で説明されているポアンカレの云う無限小とは、「無限小の原因から大きな変化がおこることであり、たとえば先端の尖った箸を垂直に立て、どちらの方向にころぶかという事象を考えたとき、目に見えない傾きや、計測できないほどの空気の動き（風や空気分子の運動）で倒れる方向が決まる」ということである。そして、「その微小な原因が分かって計測できれば倒れる方向が分かることになる」と記している。



箸はどちらに倒れるか？

3.2 ポアンカレーの云う無限小とは

さらに論説では次のように記している。

「どこまで小さい量を計測できるかは計測分野では感量と呼んでいる。しかし、感量はただ一つの計測特性で生まれた言葉で、単位空間のように多次元の世界では使われたことはなかった。多次元の計測値の中には予測や診断に無関係な項目もあり得る。... (中略) ...それが有用であるかないかを判断するのが単位空間である」

そしてもう一つの例として、田口は癌診断を挙げている。癌の出発点がただ一個の細胞の癌化であるとして、その時点で癌の診断を可能とする空間があるなら、それは無限小の空間であり、単位空間ということである。つまり、ポアンカレーの云う無限小とは微小な現象であっても必ず原因があり、そこに関与する複数の計測項目で単位空間を構成するなら、精度のよい予測や診断ができる、ということである。

田口が兼高達貳博士と携わった健康診断の研究²⁾についても、まずは医師が健康と太鼓判を押した人々を集めた。そして専門的見地から、考えうる計測項目を決めた。受診者がどれかの項目あるいは複数の項目のバランスの崩れで健康人と異なるなら、異常や原因を検知することができるとの考えである。兼高博士は田口に「如何にしたら治療効果を数量化できるか」と相談した際、「まず健康人のデータを集めてください」と言われ、大変戸惑ったそうである。病人を評価したいのに健康人とは、と思ったからである。

3.3 考察

完璧に正常な状態を準備したとすると、当然だがそこには異常は微塵も存在しない。つまり、「異常という世界から見ると正常な状態とは無限小の空間」である。異常には必ず原因があるが、もし異常になりかけたなら計測値をうまく処理することで無限小の空間からの逸脱を検知し、原因の特定も可能である。うまく処理する情報処理空間が単位空間である。

我々は望小特性を知っているが、その理想値は「限りなくゼロ」である。実際には完全なゼロは得られないとしても、限りなくゼロを追求し続ける。そして、そのためには制御因子の設定が重要であることも知っている。単位空間の定義、そして計測値選択の重要性と相似しているといえる。

4. 無限小の例

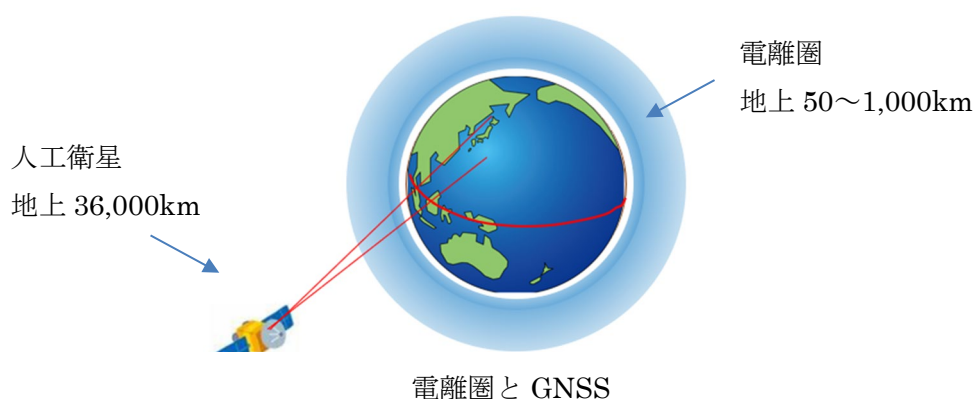
4.1 設備診断

癌診断や健康診断の例えとまったく同様に，設備に全く異常がない状態がポアンカレの云う無限小である．その状態から異常に変化する場合，最初の癌細胞を発見するのと同様に考えることができる．設備の温度や流量，圧力など考えられる複数の計測値をとり，正常稼働時の計測値から単位空間を作成することになる．

4.2 地震予測

地震予測は人類がまだ解決できていない重要課題の一つである．特に日本は複数のプレートがせめぎ合う位置に存在し，予測の重要性は永遠に続くテーマである．田口は阪神淡路大震災の直後に，論説「地震予測と品質工学」を学会誌上で発表した³⁾．そこでも，「地震のない期間を単位空間とする」との考えを示した．

ただ，問題は何を計測したらよいかは現時点では未解明ということである．筆者らは2019年の品質工学会大会で地震予測に関する研究成果を発表したが⁴⁾，そこで用いた計測値は電子基準点の日々の動き，すなわち基準点の位置情報である．日本に1300箇所設置された電子基準点の動きは，GPS（GNSS）との交信により毎日ミリメートル単位で計測されている．その動きが地中奥深くの歪の推定に利用できるとの仮説で解析をした．しかし，あまりにも隔靴搔痒の計測値であり，地震学者の賛同を十分得るには至っていない．筆者らは現在，日本規格協会 QRG 研究会の場で，地球を取り巻く電離圏の擾乱現象が利用できないか，検討を進めている．概念図を以下に示すが，大地震の数十分前には電離圏の乱れ（擾乱）が発生することが，いくつかの研究論文に示されている．



地震予測の研究を進めていると，どのような予測も以下が揃っている必要があると感じている．

- ①を説明する計測値が必要なだけ揃っていること
- ②値から適切な特徴を抽出すること
- ③特徴量を情報処理するための，適切なパターン認識技術を利用すること

地震予測に関しては，①の解明がまったく不十分であるが，先に述べたように日本にとっての永遠の課題であり，例えば南海トラフの海底に計測器を多数設置するなどの努力が払われている．

5. まとめ

MT システム発想の原点は、ロシアの文豪トルストイのアンナ・カレーニナの一節「幸福な家庭は一様に幸福だが、不幸な家庭はそれぞれに不幸である」にあると田口自身が語っている。幸福な家庭が単位空間に該当するが、単位空間はまたポアンカレの云う無限小と同一という考えに至ったということになる。文豪と大数学者の考えが単位空間という概念で繋がっているということである。

現在は生成 AI など、深層学習系の AI がものづくり分野でも多く使われているが、そこにどのような哲学があるのかは筆者には分からない。力づくあるいは物量（膨大な数の半導体や電力）によって、強引に人間の能力を凌駕しようとしている印象もある。本文の始めの方で示した割り箸と人物の絵は ChatGPT に描いてもらったので、生成 AI は便利なツールではある。有効に使えればそれでよいのかもしれないが、ブラックボックスである AI に過度に依存するなら、企業や技術者は大切なことを忘れることにならないかと気になっている。

参考文献

- 1) 田口玄一：マハラノビスの距離による天気予報の設計(2)，品質工学，Vol.4, No.1, pp.2-6 (1996)
- 2) 兼高達貳：「マハラノビス距離の応用例（特殊健康診断の事例）」、『標準化と品質管理』，Vol.40, No.10, pp.57-64, 日本規格協会 (1987)
- 3) 田口玄一：地震予測と品質工学，品質工学，Vol.3, No.3, pp.2-6 (1995)
- 4) 手島ら QRG WG4：電子基準点情報を利用した巨大地震予測に関する研究（MT 法），第 27 回品質工学研究発表大会予稿集，発表番号 05, pp.22-27 (2019)

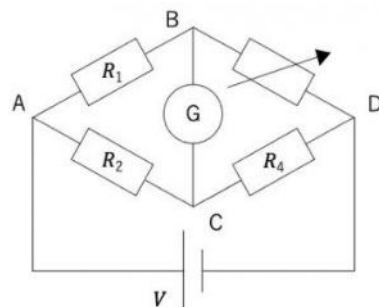
以上

シミュレーションと品質工学との融合（I） ～シミュレーションの課題～

関西品質工学研究会 原 和彦

<原和彦氏は昨年逝去されました。生前のご遺志により本稿を掲載いたします>

品質工学における技術開発の中心にあるのがパラメータ設計である。1970年代、田口玄一博士によるパラメータ設計の論説は、ホイストンブリッジのシミュレーションから始まった。しかし、1980年代に多く技術開発に適用される過程で、個別の技術の働き、すなわち基本機能と呼ばれるものに関心が集まり、2000年に21世紀の品質工学という主張が出るまで、シミュレーションは片隅に追いやられていたといつてよい。しかし、標準SN比の提案と共に、シミュレーションによる技術の最適化は、現在の品質工学の花形となりつつある。つまり、試作レスといわれる新しい設計の世界である。その課題を検討したい。



シミュレーションは何でも解決できるという人がいるが、実際にはどんなもので、いかなる課題を持っているか。シミュレーションは、元来は実在するものの模倣実験や模倣装置のことであるが、最近ではコンピュータを活用して実際の装置と同じ働きをする、飛行機のコックピットなどの装置も登場している。また、自動車の衝突実験や砲弾の命中実験など、実物実験では高価な代償を支払う実験などではシミュレーションは効果を発揮している。

このような場合のシミュレーションの応用は、実在するものの現象解明や予想に使われる場合が殆どである。しかし、品質工学におけるコンピュータシミュレーションの活用は現象解明に使うことが主な目的ではない。すなわち、技術開発や設計段階で市場の使用環境条件や劣化などのノイズに強い最適な設計条件を求めることが目的である。勿論、目標値がある場合には、その後で目標値に合わせる機能設計に使うことも可能である。

シミュレーションの特徴は、「実際に測れない物」や「実際に作れない物」の実験ができる。市販されているシミュレーターは、応力、熱量、風速、電磁場など何でも解析できる。つまり、実測できないのに結果が見られるのである。電子写真でもマグネットローラの磁場や帯電器の電場解析は現物での実測は困難なのに、シミュレーションでは容易に解析結果から改善方向を見出すことが可能である。つまり、シミュレーションは何でも解決できるというのは正しいと考えている。

シミュレーションの当初は、マックスウェルの運動方程式を用いた等価回路でシステムの入出力の解析を行っていたが、有限要素法の発達により 2 次元だけでなく 3 次元のマトリックス解析やテンソル解析も可能になった。従来は機械や電気回路の良さを、 $20\log(\text{出力/入力})$ の感度解析で行っていたが、品質工学における機能性の評価では、ノイズに対する SN 比評価が重要で、感度解析は目標値に合わせる機能設計の時しか使わない。

すなわち、パラメータ設計を行う時には、内側の直交表（L18 や L36）に制御因子を割り付けて、外側の直交表には、制御因子のばらつきと信号因子を割り付けて、内外直交表との交互作用実験を計算で行うことになる。

しかし、シミュレーションにも問題がないわけではない。SN 比の改善に限定使用するなら問題はないが、間違っただけで目標値合わせ（チューニング）にシミュレーションを用いた場合には精度の面で問題がある。したがって、従来、技術者が設計と思いこんでいる機能設計ではシミュレーションは余りメリットがなく、『機能性設計をする場合において、開発スピードや開発コストの面で有利になる』ということを如何に技術者に理解させるかが一番大きな課題である。

さらに、品質工学の立場でシミュレーションについて考えておかなければならない課題がある。品質工学では、ばらつきを最小にしてから、目標値への調整は後で行うべきだと主張する。ばらつきを最小にすることは、その製品が出荷されてから使用環境条件の影響や劣化に対して強いということである。このようなばらつきの最小化を行った時、その結果は目標としている状態と大きく離れるのではないかという心配をする人が多い。ここは調整で何とかするというのが品質工学の主張であるが、果たしてシミュレーションが不完全でもそのようなことが可能か、というのが多くの人の疑いである。品質工学では、「品質を改善したければ品質を測るな」とか「問題が起きていないときに、問題を起こさないようにしろ」とか普通の人が聞けば首をかしげるような主張をして、実際に活用した人たちはそれを実証してきた。今回のシミュレーションも同じことになると思うがそのような過程を楽しむのが品質工学を活用している人たちで、始めて参加する人たちはためらうところである。

以上

品質工学研究会 昔話（８） ～ ２１世紀の SN 比（標準 SN 比）を議論する～

関西品質工学研究会 芝野 広志（TM 実践塾）

CAE によるパラメータ設計の提案と時を同じくして、新しい SN 比の考え方が示された。関西品質工学研究会では、２００１年６月１日の研究会で田口博士より紹介されている。現在では標準 SN 比と呼ばれているが、当時は２１世紀型の SN 比と称していた。というのも、標準 SN 比と名付けられた計算式がすでに存在していたからである。それはデジタルシステムの品質評価に用いられる SN 比であり、機能として 0, 1 あるいはオン、オフのデータで表現される場合のロバスト性を評価するときに用いる。誤り率を標準化したデータで計算することから名づけられたものと考えられるが、ここでは詳細な説明は割愛する。現在ではデジタルシステムの SN 比と呼ばれており、興味のある方は各種の文献を参照されたい。

さて、２１世紀型 SN 比（以下、標準 SN 比）の計算では、下記の形式でデータをとることが推奨されている。

	M1	M2	...	Mk
N0	y 1	y 2	...	y k
N1	y 11	y 12	...	y 1 k
N2	y 21	y 22	...	y 2 k

M1～Mk は信号因子の値で、N1, N2 は誤差条件、N0 は誤差因子のない状態（標準条件）での実験を示している。y 1～y 2 k はデータの値である。N0 として N1, N2 の実験データを平均した数値を利用することも提案されている。

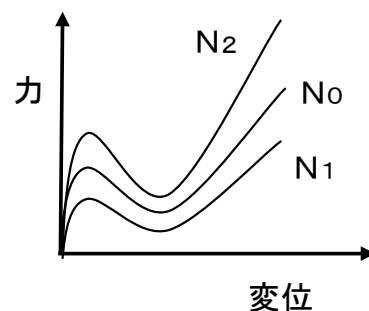
標準 SN 比の計算は、N0 のデータ（y 1～y k）を信号の値として利用し、あとは動特性（0 点比例式）の SN 比を計算する手順と同じでよい。つまり、標準条件に対する誤差因子の影響でロバスト性を評価するのである。

こうすることで、右図のような基本機能が直線ではないシステムでも、問題なく SN 比の計算が可能となる。ただ、直交表による実験では実験ごとに N0 の値（信号の大きさ）が変化し、0 点比例式の SN 比はその影響を受けてしまう。しかし、当初は 0 点比例式そのままだが提案されていたため、関西研究会ではその問題点について議論し、分母を信号の大きさに基準化することを田口博士に提案した。研究会で提案した計算式を下記に紹介する。

$$\eta = 10 \text{Log} (S \beta - V_e) / V_n$$

0 点比例式との違いは、分子に $1/2r$ がないことである。

これは分母を信号の大きさ $2r$ で割り算（基準化）したことによる。



この式を 2001 年 9 月 7 日の研究会で田口博士に提案したのだが、その時はあえなく却下、否定された。ある程度の確信をもって提案しただけに、かなりショックではあったが、それでもなぜ却下されたのか、研究会での検討は継続した。しかし、我々が提案した式の問題点や却下された理由を発見するには至らず、改善策も得られないまま、翌年 2002 年 11 月 1 日の研究会で、田口博士から計算式の変更と関西研究会で提案した式で良いとの見解が示されたのである。この時の驚きと安堵感は今でも鮮明に覚えている。我々の提案に真摯に向き合ってくれた田口博士には感謝しかない。ただ、それからしばらくして田口博士は新たな計算式を公表した。その式を下記に紹介する。

$$\eta = 10 \log 2r / Vn$$

我々が提案した式の分子が、 $(S\beta - Ve)$ から $2r$ に変更されている。標準条件でのデータを信号にして 0 点比例式の SN 比を計算すると、ほとんどの実験は分子（感度）が 1 になるので、ロバスト性の評価には分母 Vn を信号の大きさ $2r$ で基準化した値を利用すればよい、ということだ。これはこれで理解できたのだが、関西研究会の計算式でも問題ないのに,,,,, というのが正直な気持ちであった。やはり、天才田口がそのままで終わるはずがないのである。

そして、このようなやり取りがあって数年後、関西研究会から新しい SN 比、エネルギー比型 SN 比の研究結果を公表している。残念なことに、その時田口博士は病のために一切の活動を休止されており、ご自身から意見を聞くことはできなかったが、その影響は大きく、議論を呼ぶとともに多くの研究者から賛同を得た。私の勝手な想像であるが、ここに紹介した標準 SN に対する田口博士とのやり取りが土台となり、この研究成果に繋がったのではないかと考えている。

会員の知恵を出し合って新しいことに挑戦する、それが研究会活動の醍醐味である。

以上



長野県品質工学会 研究会活動記録

長野県品質工学会 ^{ちごの}児野 ^{たけお}武郎（長野県工業技術総合センター）

2025 年 2 月 1 日(土)，4 県品質工学合同研究会をオンライン(主催は北陸)にて開催した。

合同研究会とは，品質工学フォーラム埼玉(埼玉)，北陸品質工学会(富山，石川，福井)，山梨県品質工学会(山梨)，長野県品質工学会(長野)の合計 4 地区の地方研究会が，年 1 回各研究会持ち回りで開催しているイベントである。今回の合同研究会の内容については，北陸品質工学会から詳しい内容の報告があると思うが，「各県の近況報告」や「事例発表」など非常に充実した内容であった。なお，2026 年は埼玉での開催を予定している。

2025 年 2 月 14 日(金)，第 15 回品質工学実践交流大会をテクノプラザおかや(長野県岡谷市)で開催した。(参加者：30 名)

内容は以下の通りである。

1) あいさつ 長野県品質工学会 会長 ^{つじのぞみ}辻 希望

2) 品質工学の実践事例 (3 件)

「パラメータ設計を用いた固定子ハウジング 焼結軸受の圧入条件最適化」

(シナノケンシ (株) ^{つじのぞみ}辻 希望)

「射出成形機における可塑化装置のパラメータ設計」(日精樹脂工業 (株) ^{あらいはいた}新井 啓太)

「T 法を用いた我が家の電気使用量の推定」((有) 増田技術事務所 ^{ますだきつや}増田 雪也)

3) 特別講演会「MT システムによるリアルタイム診断事例紹介とヤマハ発動機における品質工学の取組み」(ヤマハ発動機株式会社 ^{くまがいはいち}熊谷 賢一)

MT 法による触媒劣化診断と失火診断の事例，ヤマハ発動機での品質工学の取組み状況についても紹介していただいた。

2025 年 3 月 14 日(金)に 2024 年度の第 11 回研究会を長野県工業技術総合センター精密・電子・航空技術部門(長野県岡谷市)およびオンライン(Webex)にて同時開催した。(参加者：12 名)

以下の 3 つの事例発表についてディスカッションした。

【事例発表】

1. 「MT 法による自動ノイズ検査の解析 part2」 (シナノケンシ (株) ^{つじのぞみ}辻 希望)

1 月の研究会からの続編として，進捗報告した。

FFT 変換からの重心法や下草(ホワイトノイズ)を測定項目として解析するが，OK と NG をうまく判別できず。

今後は単位空間の見直しを行う方向で進めて見ることにする。

2. 「ヤマハの MT 法を活用した各種診断について」 ((有) 増田技術事務所 増田雪也)

2025 年 2 月 14 日 (金) の品質工学実践交流大会にて特別講演会「MT システムによるリアルタイム診断事例紹介とヤマハ発動機における品質工学の取組み」のテーマについて、特徴項目の設定や波形の解析方法などを議論した。とても良い事例なので、いろんな特徴項目を使った解析が行えると興味深いと感じた。

3. 「L9 直交表への条件割り付けについて」 (日精樹脂工業 (株) 新井啓太)

交互作用を気にして 1 列, 2 列への配置を 1 列, 3 列に入れ替えることが良いのか相談した。

結局はそれ以外の列に交互作用が出てしまうので気にしても意味は無い。

交互作用が出ないように制御因子、水準、誤差因子を工夫する事が大事。

また、交互作用があるかを調べる予備実験をしても、結局実験数が増えてしまうので直交表で試験するのが良い。等のアドバイスをいただいた。

((有) 増田技術事務所 増田雪也 記)

2025 年 4 月 11 日 (金) に 2024 年度の臨時研究会を長野県工業技術総合センター精密・電子・航空技術部門 (長野県岡谷市) およびオンライン (Webex) にて同時開催した。(参加者: 9 名)

以下の 3 つの事例発表についてディスカッションした。

【事例発表】

1. 「生成 MT 法の考え方と活用」 (顧問 岩下幸廣)

MT 法による生成データの作成方法を検討した。生成データは、Excel のソルバーを活用することで容易に計算できる。目標を $D=1$ などとすると現実的目標状態を計算できるが、初期値を現状とした場合は現状と目標の差が明確になる。具体的な活用は、「適正人事配置と個別の教育項目の明確化」「現実的な品質改善項目、程度の明確化」「健康管理と現実的改善項目の明確化」等が考えられる。

2. 「D 値最適化計画について」 (南信空撮 中西 徹)

SNS で見かけた、D 値最適化計画に興味をもち ChatGPT にて調べた結果、少ない実験回数で、多くの情報を得るために、最適に条件を組合せる方法で、直交表実験では適用が出来ない因子数や水準数に対応できる事がわかった。

そこで、D 値最適化条件を組合せるために ChatGPT にて Python コードを生成し Google Colab にて試してみた。その結果、要因効果図の精度は直交表には劣るものの、大きな主効果のある因子を見つけるための実験としては有効と感じた。また、T 法と組み合わせる事で解析が容易になると感じた。

3. 「MT 法による自動ノイズ検査の解析 part3」(シナノケンシ (株) 辻 希望)

1 月, 3 月に続いての続報.

単位空間を見直し(ピュアにすることで), OK と NG の判別が出来るかトライ. ピュアにすることで OK, NG の判別は出来たが, 単位空間から除外した OK を信号データとして, 判別すると約 7 割が NG 判定される結果となった.

また, 同じ単位空間にて, 標本線法でトライ. 単位空間を 1 コずつ信号データへ移していくと, 約 7 割が NG 判定される結果となり, 今のところ, 次の打ち手は思い浮かばないが, 諦めずトライしていく.

2025 年 5 月 9 日(金)に 2025 年度の総会および第 1 回研究会を長野県工業技術総合センター精密・電子・航空技術部門(長野県岡谷市)およびオンライン(Webex)にて同時開催した. (参加者: 10 名)

以下の 2 つの事例発表についてディスカッションした.

【総会】

令和 6 年度の事業報告および令和 7 年度の事業計画が承認された. 本年度の会員数: 16 (正会員: 10, 特別会員: 3, 顧問: 3) である. 開催日程は全 11 回を予定している. 活動内容は, 「事例発表 (会員の持ち回り)」, 「合同研究会」および「講演会」である.

【事例発表】

1. 「紙コプター 落下速度の安定条件 最適化」(シナノケンシ (株) 辻 希望)

RQES2024S 発表番号 25 に基づき, 新入社員教育の一環として「紙コプターの落下速度を安定させる条件」を L8 直交表を活用して求めた結果を報告した.

ノイズについては, 発表資料と同じく繰り返し回数(5 回)としたが, 「もう 1 度直交表実験を行った場合, 同じ要因効果図が得られるのか」「ノイズを別の視点から設定した方が良かったのではないか」というご指摘があり, また, 「差分で SN 比を求めてみてはどうか」「対数変換を試してみてもどうか」など, 様々なアドバイスを頂いた.

2. 「システム考察の検討～時間的变化(過渡現象)の機能の検討～」(顧問 岩下 幸廣)

時間変化する現象について, フロー図による入出力モデルやフィードバックモデル等を使って全体をシステムとして考察し, Step to Step で計算できる. 更に, 実測値と比較することによって, 現象のメカニズム解析や予測をする事ができることを事例によって検討した. 以上の検討から, 過渡的現象について適切な機能性評価が可能になる.

((有) 増田技術事務所 増田雪也 記)

～品質工学会だより～

◆関西品質工学会からのお知らせ◆

1. 3地区合同研究会開催（日刊工業新聞社大阪支部 10階会議室+リモート併催）のご報告

5月9日（金）にて3地区（広島，中部，関西）合同研究会を開催しました。

参加者は会場 34 名，リモート 10 名の計 44 名の参加であった。テーマ討論として各研究会代表者が発表を行い，活発な討論が行われた。研究会終了後には，毎回恒例の懇親会を実施し，各地区研究会会員間の交流を図った。

2. 原和彦先生を偲ぶ会を開催のご報告

昨年 8 月に亡くなられた原和彦先生（関西品質工学会名誉顧問）を偲ぶ会を，5 月 24 日（土）にホテルアゴーラ大阪守口 3 階天平の間で開催しました。

参加者は 34 名で，開会の挨拶から献杯，スピーチ，ビデオメッセージなどとともに，故人のご趣味であった水彩画や在りし日の写真上映など行い，原先生の功績をたどりつつ，楽しく賑やかに故人を偲ぶことができました。参加されたすべての方々に感謝致します。



3. 関西品質工学会 会員募集のご案内

会員区分と年会費および会員特典・補助などサービスの一覧表

会員区分	年会費	参加資格・特典・補助など
正会員	¥30,000	・本人のみの参加 ・各種イベントへの参加費補助，図書配布などのサービス有り
法人会員	¥50,000	・登録法人内で名義人又は，名義人の代理人＋同行者1名の2名まで参加が可 ・各種イベントへの参加費補助，図書配布などのサービス有り
シニア会員	¥2,000	・60歳以上の方で本人のみの参加 ・各種イベントへの参加費補助，図書配布などのサービス有り
学生会員	¥1,000	・大学など教育機関に在籍する学生（但し，研修生は除く）で本人のみの参加 ・各種イベントへの参加費補助，図書配布などの会員サービス無し
■サービスについて■ ・同研究会イベント補助：新年会，関西地区品質工学シンポジウム，合宿研究会の参加費&宿泊費など ・参加費補助対象：品質工学会開催のイベント，研究会認定のセミナーやイベントへの参加費 ・過去の補助対象：品質工学研究発表大会，技術戦略研究発表大会，企業交流会，品質工学フォーラム，品質工学入門セミナーへの参加費など ・無料配布図書：品質工学研究発表大会論文集，品質工学関連図書（新刊）の同研究会会員への配布など ■支払方法&期間■ 支払方法：正会員・法人会員・シニア会員の会費は1年分（1月～12月）一括払い 若しくは半期毎（1月～6月及び7月～12月）分割払いのどちらかを選択可能 ■申込方法■ ・同研究会ホームページ（https://kqerg.jimdofree.com）内の，＜入会案内＞にて申込方法をご確認いただけます。		

◆講演希望企業募集のご案内◆

なぜ今、品質工学か

～ 最適化の成功から技術開発・事業化の成功へ ～

講演者自身の経験を骨格に、今の時代だからこそ品質工学が有効であり、今後も有効性が高まることをお伝えします。失敗例から成功例まで、他では聞くことのできない内容となっております。

技術者の皆様、マネジャーの皆様、そして品質工学に馴染みのない方々にも共感いただける講演内容となっております。是非、この機会に開催検討をされては如何でしょうか？



1) 講演者：QE COMPASS 代表 細川 哲夫氏（元株式会社リコー）

2) 講演内容：（質疑含め1時間30分）

1. 技術者としての原点 ・新規技術による新規事業の立ち上げ ・配属直後に出荷停止を経験 ・市場品質は技術開発段階で決まる ・当時の心境 2. 過去、日本のものづくり企業が経験した失敗 ・現場で見た半導体事業の凋落 ・目指す理想とあるべきマネジメントの方向性 ・品質工学を推進した多くの企業で起きたこと ・品質工学は手段 3. 機能で考える、そして仕組みへ ・このやり方では事業化は絶対に無理 ・ノイズ因子の概念に“これだ”と直感	・自己流の限界にぶつかる ・矢野先生からの質問に頭が真っ白に ・機能の考え方でシステムをトータルに把握できる ・そのシステムで市場に出せますか？ ・システム考案の PDCA サイクルを構築 ・量産立ち上げでの2つの危機を突破 ・事業化の成功 ・最新の品質工学 4. 皆様への期待 ・機能の考え方は技術分野以外でも有効 ・品質工学は鬼に金棒の金棒 ・Q & A
---	---

3) 講演費用：

講演を希望される企業ご担当様は下記までご連絡ください。
講演費用について御見積書をご提示させていただきます。

4) お申込みおよびお問合せ：

有限会社アイテックインターナショナル 担当：江平 敏治
TEL：052-917-0711 E-Mail：toshiharu.ehira@iteq.co.jp

◆品質工学情報誌編集担当からのお知らせ◆

この情報誌を読者の皆様にとって、より有効なものとするために、投稿記事に対する質問や意見を掲載してはどうかと考えました。情報誌を読んでの感想、掲載された活動や事例に対する読者からの意見、質問、アドバイスは、研究会の活動を活性化させるとともに、研究者のレベルアップに繋がると思います。皆様からのご意見やご質問など下記編集担当までお寄せください。

なお、ご投稿者への誹謗・中傷は受付せず、ご質問の内容により編集担当の判断にてご回答および掲載を控えさせていただく場合もございますこと予めご了承ください。

【編集担当】

芝野 広志：tm-shibano@tmjissen.com 江平 敏治：toshiharu.ehira@iteq.co.jp