

目視検査を
画期的に
効率的に
行う方法！

MOST合同会社

コンサルタント
川野 健一

<目次>

第1章. 日本のモノづくりを復活させる画期的な方法とは	-----	p3
第2章. 画期的な目視検査を実現するための要件		
(1) MTシステム～「職人が行う判断」の実現手段	-----	p5
(2) MATLAB～「特徴量数値化」の実現手段	-----	p7
第3章. 自動判別システムの構築方法		
(1) 目視検査が必要とされる例	-----	p8
(2) 自動判別システム導入事例	-----	p9
(3) 定量評価導入の効果	-----	p15
第4章. まとめ～モノづくり革新の効果	-----	p16
=====		
補足1. 人の感覚とMTシステム		
(1) MTシステムの種類	-----	p17
(2) 感覚の数値化	-----	p18
(3) グレーゾーンや多事象での判断	-----	p19
補足2. 目視検査に必要な専門知識		
(1) 目視検査における計測技術	-----	p20
(2) 画像処理に使えるMATLAB関数例	-----	p21
(3) 最適な画像処理選択について	-----	p24
(4) 生産ラインへの導入及び水平展開方法	-----	p25
補足3. MATLAB使用のメリット		
(1) MATLABとは	-----	p26
(2) MATLABと他言語の比較	-----	p27
(3) MATLABライブラリーについて	-----	p28
(4) その他のMATLAB使用例	-----	p29

第1章. 日本のモノづくりを復活させる画期的な方法とは

※第1章を読む上での注意点→「赤文字:従来の考え方」「青文字:新しい考え方」

国内のモノづくりでは採算が合わない、海外の安い人件費を使うことを優先せざるを得ない、という現在の流れを止めない限り、国内のモノづくりは衰退していく一方である。

このような状況に対して、

「感性の製品化・完成度に妥協しない、国内のモノづくりを残し、発展させ、次の世代に伝えたい。」

「職人・匠の技の一つ、官能評価は、日本の高品質なモノづくりの根幹である。我々はこれを伝承し、より発展させていく責務がある。」

という思いが、皆様方の根底に強くあると推察する。

一方、現状を顧みると、

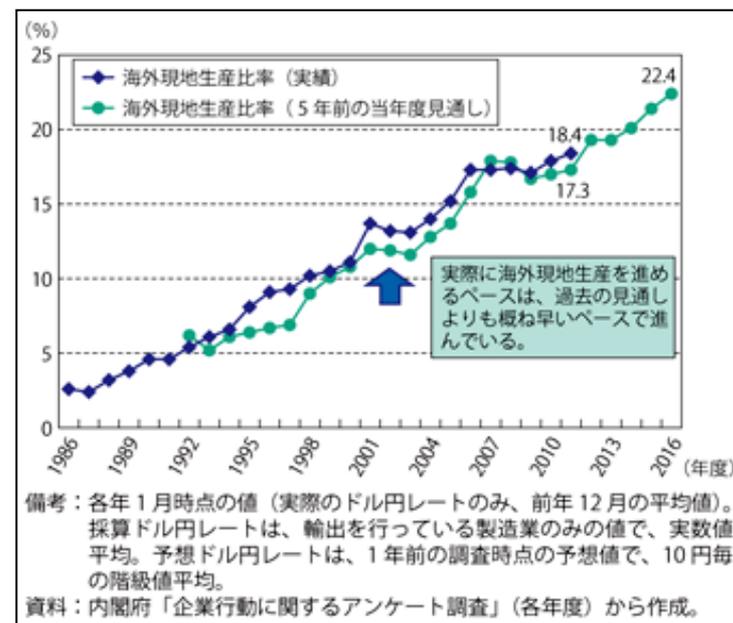
官能評価は日本の強みであるが、属人的になる部分があるがゆえに、生産性の課題、後任への伝承育成が困難など、現代社会が要求するスピードの追従を阻害し、あるいは、経営リスクになる部分もあるという点もあり、新たなチャレンジを断行するための道標を明確にしたいと思われるのではないだろうか。

これに対する我々からの提案は、

既に確立している官能評価の属人的部分を品質工学へと置き換えること、つまり

「簡単にマネができない技能を要する官能評価」を「品質工学を応用した定量評価」に進化させることで、双方の強みを合わせた画期的な評価方法を作り込むこと

である。職人はその卓越した技能により一層の磨きをかけ、同時に品質工学を応用し定量化した汎用技術としての作り込みを行い、その範囲を広げて行く。そしてこれらの相乗効果をスパイラル的に発展させ、国内のモノづくりを残すことに繋げていけるものとする。



(図1) 海外生産比率推移 (経済産業省のWEBより)

職人など熟練者の感覚を数値化することは難しい。しかし熟練者の感覚が何を捉え、それをどのように処理し判断するかを理解できれば、数値への置き換えも実現可能となる。

この課題に対して、我々から提案する一つ目の重要なキーワードは「MTシステム」であり、これを評価方法として適応させることで熟練者の思考に非常に近い判断を可能にする。 ※MTシステムは品質工学の手法の一つ

また官能評価では属人的部分に頼らざるを得ないことから生じる課題も多い。まず検査員により対象の見かたが変化し、評価の再現性が低いこと。判断バラツキやミスが発生する。熟練には時間と経験を要する。また人間の身体能力レベルを超える時間短縮は難しい。更に工程管理項目は追加されることが大半で、確認内容の複雑さは増加していき、検査効率や精度は劣化していくことが実状ではないだろうか。

これらの属人的要素から生じる課題を解決するツールとして、我々が提案するもう一つの重要なキーワードが「MATLAB®」である。MATLABとは自動検査システムの鍵である定量評価の実現手段としての要件を満たすプログラム言語である。

※MATLABは米国MathWorks, Incの登録商標です。

定量評価を実現できれば、判断基準は環境に影響を受けることなく常に一定となり、曖昧な事象にも対応できる。また処理性能及び処理スピードの向上で、人間の持つ身体能力レベルを超える時間短縮が可能となる。更にこの評価方法は他社や海外には判明しようがないブラックボックス技術として、自社内に蓄積されていく。

以上のように熟練者だからこそできると思われていた官能評価を品質工学とMATLABの適応させた定量評価に置き換えることで、圧倒的に高性能かつ低コストかつ短時間で画期的な検査が実現できる。

この画期的な評価方法を実現していくための具体的手段とその効果について、次章より順を追って述べていく。



(図2) 画期的目視検査のイメージ

第2章. 画期的な目視検査を実現するための要件

2-1. MTシステム～「職人が行う判断」の実現手段

本章では、画期的な目視検査システム実現のための要件について述べる。まずは最重要ポイントである「職人の感覚に近い判断をどう実現するか」についてだが、コンピュータに判断させるための課題が2つある。

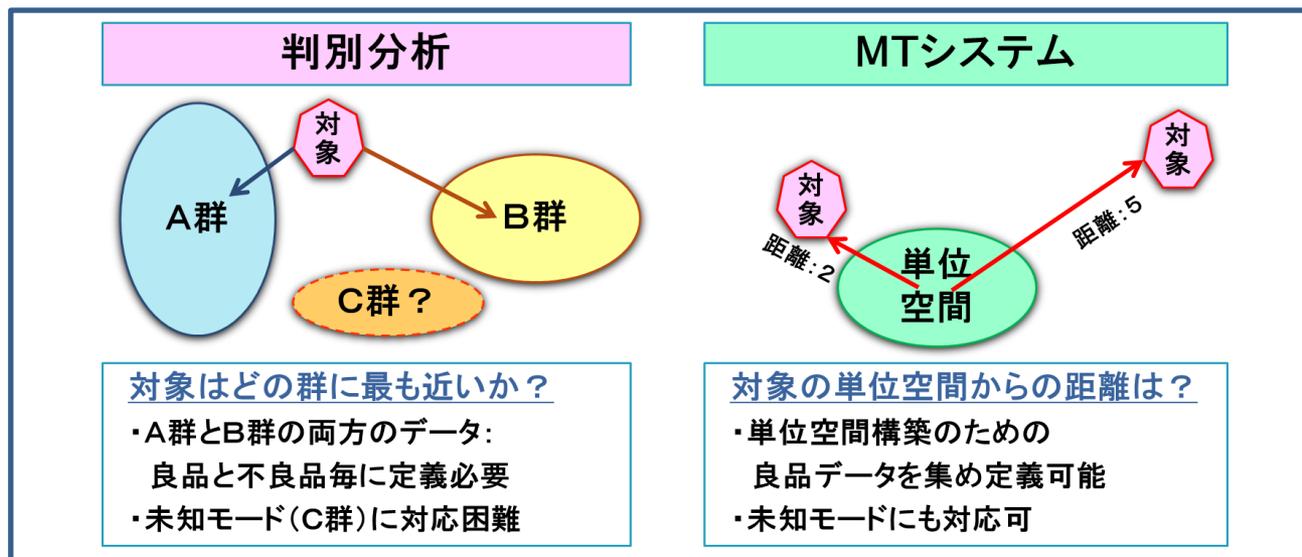
- ・職人の感覚が曖昧さをどのように処理するのか、判断に迷うもの(グレーゾーン)の判断方法
- ・物事を認識したり判断したりする時、複数の事象を統合して決定することが多いが、この場合の判断方法

これらの判断を可能にする方法として「MTシステム」がある。MTシステムはパターン認識や、判定、分類、推定、予測等の技術に用いられる。

このMTシステムの特徴は、複数のデータから一つの統合した目盛を作り、これを判断基準にすることで、グレーゾーンや複数事象での判断が可能になる。(人の感覚と判断の仕方については「補足1」で述べる。)

MTシステムとの比較として判別分析について説明する。

判別分析は統計手法の一つとして一般的に用いられている判別方法で、そのアルゴリズムは、図3に示すように、A群(例えば良品の集まり)に属するか、B群(例えば、傷のある不良品の集まり)に属するかという考えで行う。不良モードが新たに見つければ、C群(例えば、色ムラのある不良品の集まり)を追加するなどの判別式変更が必要になる。また不良モード別に各々のデータが多数必要であり、未知の不良モードには対応できないという課題もある。



(図3) MTシステムと判別分析の違い

一方、MTシステムのアルゴリズムは判別分析と全く異なり、良品の集まりである単位空間から特徴量(※1)を算出し基準を作る方法を取り、その基準から対象までの距離(※2)を求め、その値により良否判別を行う。

※1:特徴量とは、計測値から抽出した特定項目の量を示す。例えば、商品(リンゴ)の外観における赤色の占める面積。その際、良否判別を行うための赤色の定義を明確にしておく必要がある。(色度範囲xx~yy内、輝度zz以上など)



※2:MTシステムで用いる距離の例として、MT法ではマハラビスの距離、RT法ではRT距離などがある。(MTシステムの種類については「補足1-1」で述べる。)

検査システムに採用する判断アルゴリズムを、A:判別分析、B:MTシステムとした場合の違いを表1に示す。MTシステムを使用した場合は、不良品サンプルを多数集めなくてもよく、判断基準の設定が容易で、機種変更時の手間が大幅に短縮できるなどのメリットがある。

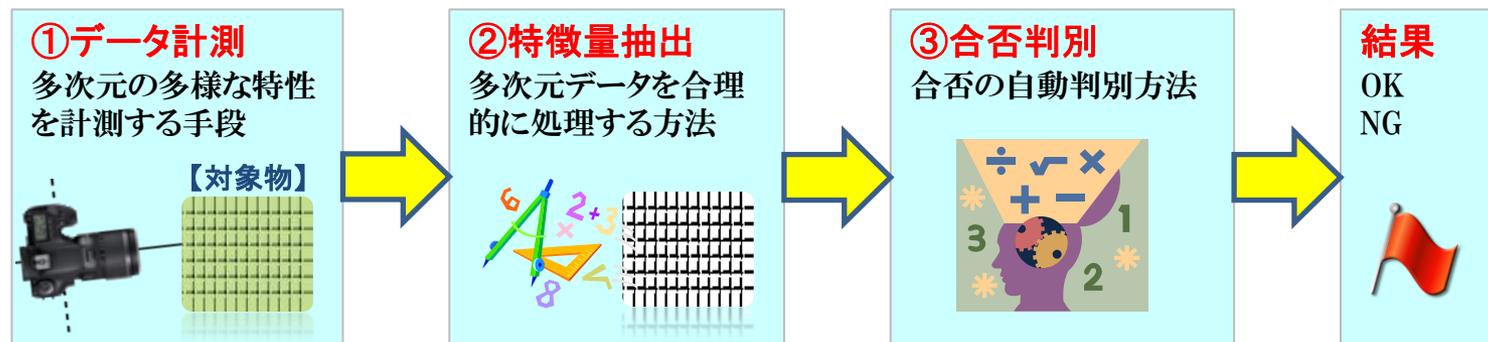
(表1)検査システム構築手順の差異

判断アルゴリズム	A:判別分析の場合	B:MTシステムの場合
手順① サンプル収集	<ul style="list-style-type: none"> 自社評価基準内で不良品をモード別にサンプルを10個程度ずつ集める。 不良全モードの収集は非常に困難。 	<ul style="list-style-type: none"> 自社評価基準内で良品と認定されたサンプルを10個程度集める。(このサンプルを単位空間と呼ぶ) 良品サンプル収集は非常に容易。
手順② 判断基準作成	<ul style="list-style-type: none"> 不良モード別にデータ処理方法などのルールを決め、検査システムに入力する。ルール決め検討のために膨大な時間を要するが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 10個のサンプルのデータを単位空間として検査システムに入力する。単純明解。
手順③ 判断精度調整	<ul style="list-style-type: none"> 不良モード別に判別方法を変えているため、閾値やエリアの分け方などを全て確認する必要があり、膨大な時間を要するが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 不良品サンプル数個を検査システムに流し、判別の閾値(数値)を決める。
手順④ 新製品、機種変更時の対応	<ul style="list-style-type: none"> 機種別に全ての基準が変わるため、サンプルから全てやり直す必要あり。 新たなモード発覚時には、従来品含めた全機種のルール及び判断精度調整が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 機種変更時は単位空間データを変更し、判別の閾値を再検討する。ルールの見直しは不要。

2-2. MATLAB～「特徴量数値化」の実現手段

次に画期的な目視検査システム実現のための三つの重要なプロセスについて下記に示す。

- ① データ計測 : 感覚を電気信号などに変える。(例: デジタルカメラやセンサーなどを用いる)
- ② 特徴量抽出 : 電気信号の情報から特徴量を抽出する。(例: 画像処理や音声処理などを用いる)
- ③ 合否判別 : 特徴量を数値化し、基準に従い判定や認識を行う。(例: MTシステムのアルゴリズムを用いる)



(図4) システム実現のための三つのプロセス

各プロセスの要件について、

- ①に関しては、計測器から出力されるデータには動画や静止画や音声などがあり、その形式も様々である。また他には多次元波形などの特殊な信号もある。これらの多種データをコンピュータに読み込むための知識が必要である。
- ②に関しては、特徴量抽出のためには、複雑かつ高度な処理を要することが大半である。従ってその処理で行われる行列演算、特殊関数などの知識が必要となる。また実現手段としてプログラム言語及びプログラミング方法などの専門知識が必要である。
(※処理方法やプログラムについては「補足2-2」に述べる)
- ③に関しては、まずは現場にてカスタマイズを行うためのプログラム基礎知識が必要となる。また製造で行う作業には、検査の基準設定や新製品情報追加をはじめとするデータ更新があり、工場の各種機器とのデータ受渡しや操作方法、更新のための操作画面: グラフィック ユーザー インターフェイス(GUI)の作成方法など数多くの専門知識が必要である。

また三つのプロセスに共通する要件として「スピード」があり、生産ライン上でのリアルタイム判別を可能にする処理速度が必須となる。これら全ての要件を満たすツールが、数値解析ソフトウェア「MATLAB」である。(MATLABについては「補足3」に述べる。)

以上、本章で述べた品質工学(MTシステム)及びMATLABを活用することで、圧倒的なパフォーマンスを持つ目視検査システムの実現が可能となる。

第3章. 自動判別システムの構築方法

3-1. 目視検査が必要とされる例

本章では、目視検査の自動判別システムの構築方法について述べていくが、まずは目視検査の必要性と検査例について述べる。

商品外観は、メーカーの印象を決める一因でもあり、商品に対する信用を得るための重要な要素である。もし商品にゴミが付いていたり、傷があった場合は、メーカーへの信用は瞬時に失われる。また商品によっては、傷や寸法違いなどが原因となり、性能劣化に直結する場合もある。以上のように、目視検査は製造業にとって重要な工程となっているのである。

目視検査は業界により検査対象や確認項目が表2のように異なる。またその対象が持つ特徴により計測方法が変わる。計測機の種類は、デジタルカメラ、ラインセンサー、X線CTスキャン、超音波やレーザー光線や赤外線の利用など様々であるが、検査する目的に応じて最適な計測方法や計測機を選択することが重要である。計測方法については、後述「補足2-1」に述べる。

(表2) 業界別の目視検査の特徴

業界／検査内容	目視確認項目例		
①微細領域での確認が必要なもの ・電子機器関連 : 傷、汚れ等の商品外観や異物混入確認など ・半導体/部品関連 : 寸法精度、外観異常や欠陥やゴミ確認など ・エネルギー関連 : 膜厚分布や寸法精度の確認など	 表示部の欠陥	 リードの変形	 パネル内異物混入
②検査対象が大きいもの ・自動車関連 : 塗装ムラ、外観、部品性能に影響する傷確認など ・鉄鋼業界関連 : 大面積の鉄板の傷や加工精度の確認など ・建築材料関連 : 鉄管の傷やコンクリート外観、空胞など	 自動車の外観	 鉄板の加工精度	 支柱の傷
③良品許容範囲に幅があるもの ・食品関連 : 形状や色、傷などの外観、梱包物中身の確認など ・衣料、繊維関連 : 模様、解れ、汚れ、ゴミや梱包物中身の確認など	 商品形状、傷み	 衣類の解れ、汚れ	

3-2. 自動判別システム導入事例

本節では、検査工程における一般的な課題をシステム導入により解決する事例を用い、システム構築手順について説明する。

<事例>カーペットメーカーA社のタイルカーペット出荷検査工程の改善

タイルカーペット(組み立て式絨毯)の主な構成要素は繊維素材であり、厳密に言えば一つ一つの形状や色が異なる。検査員が瞬時に不良を検出できる技能を持つには、通常数か月の熟練を要する。また良品には許容範囲があり、その幅を正確に表現することが困難である。特に可否判断に迷うようなグレーゾーンの判別が難しい商品でもある。

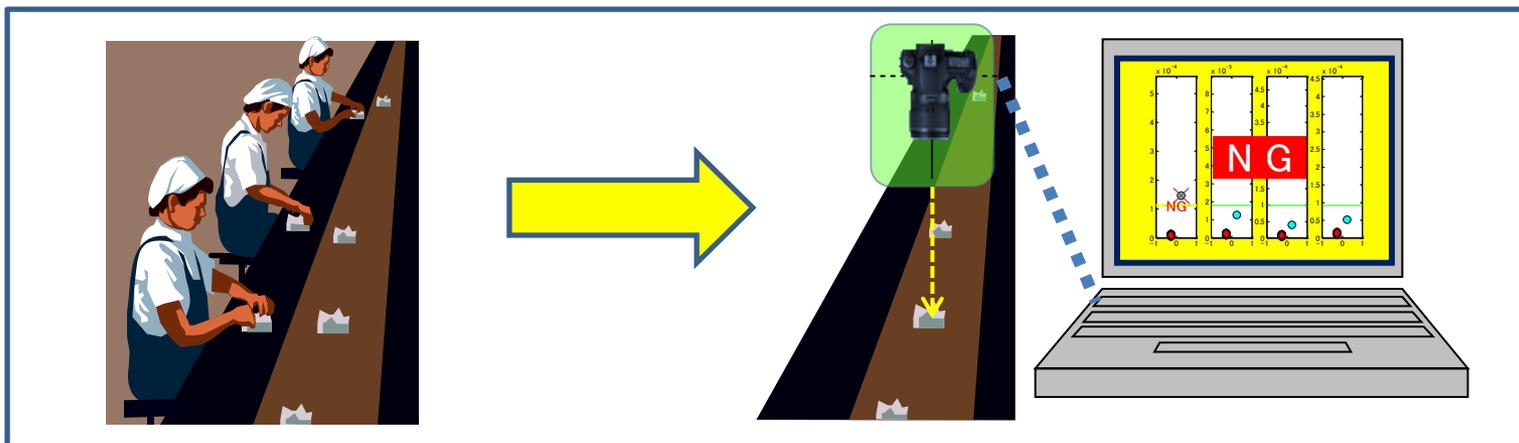
出荷検査工程では、商品外観の最終確認のために、検査員による目視検査(官能評価)を行っている。外観不良のモードには、繊維の解れや剥がれ、部分的な色ムラ、ゴミ混入がある。昨年退職した熟練検査員の補充として数名の派遣社員を雇ったが、不良品を出荷してしまうミスが頻発したため社内でその原因を調査したところ、

- ・作業員により判別バラツキがある
- ・外観確認に要する時間が人により異なる

ということがわかった。また不良品を出荷した日、検査員のひとりが体調を崩していたため、判断ミスをしたことが判明した。このような人の介入により発生するミスを根本から無くすために、カメラを使った自動判別システム導入を検討することになった。

社内では、自動判別システムについての専門知識が無いため、品質工学などの科学的手法を専門とし、自動判別システム導入実績を持つコンサルタント会社と共に検討を行い、下記内容でシステムを構築していくことが決まった。

- ① データ計測 :ラインを流れる商品をカメラにて撮影する。
- ② 特徴量抽出 :リアルタイムでその画像データを読み込み、MATLABプログラムで作成した画像処理にて数値化を行う。
- ③ 合否判別 :数値化されたデータを基に、MTシステム(RT法)にて良否判別を行う。



(図5) 目視検査 自動判別システムのイメージ

またシステムを構築するに当たり、下記手順に従い実験を行い、検討を進めた。

＜ステップ1＞：サンプルを集め、導き出したい項目、目的に対して均質な集団(単位空間)を作成する。

＜ステップ2＞：単位空間より特徴量を抽出し、その数値を算出する。

＜ステップ3＞：評価したい対象物(信号空間)の特徴量を抽出し、その数値を算出する。

＜ステップ4＞：単位空間と信号空間の特徴量数値から、それぞれのRT距離を算出、これを評価尺度とし良否判定を行う。

またシステムの完成度確認のために、実際の生産ライン上での実験を下記内容で進めることが決定した。

- ・繊維解れや色ムラなどの大きさにより、RT距離が変化するかを確認し、良品/不良品の判別基準となる閾値を決める。
- ・その閾値にて、生産ライン中の1ラインを使って導入テストを実施し、判別ミスやライン停止などの不具合がないことを確認する。
- ・上記テストで確認した内容をパラメータに反映させ、そのMATLABプログラムを実行ファイル化(※)し、工場内全ての生産ラインへ水平展開を行い、最終的には国内の他工場への展開を逐次行う。

※実行ファイル化=PCアプリ形式として吐き出すことができるファイルに変換すること

＜ステップ1＞：サンプルを集め、導き出したい項目、目的に対して均質な集団(単位空間)を作成する。

RT法は、単位空間(良品サンプルを集めたもの)から定規をつくり、良品以外のものを判断する。

このステップでは、現場の検査員や品質管理部門から数名を選抜し、選抜者全員が「100%良品」と言える商品を5つ集めた。

サンプル数は対象物や判別したい内容により異なるが、この事例では5～10サンプル程度で判別可能と判断した。

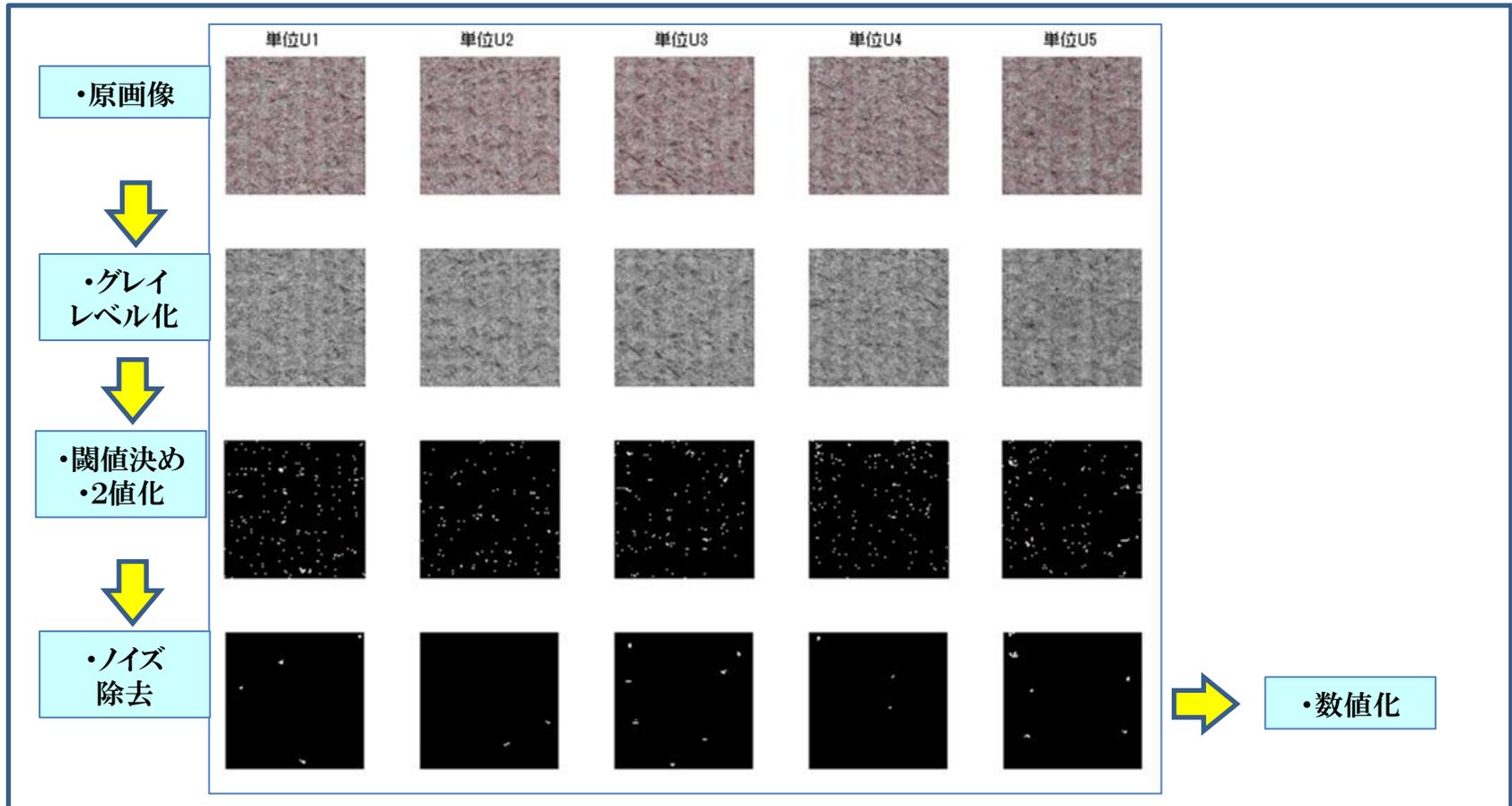


(図6) 単位空間サンプル例

<ステップ2>：単位空間より特徴量を抽出し、その数値を算出する

このステップでは特徴量抽出の処理を行う。画像処理の手順や内容は、対象や目的により異なるので、数多くある処理方法の中から効果のある方法を選択し、処理順序や処理パラメータなどを決定していく必要がある。つまり、適切な処理へとカスタマイズしていく能力が必要となる。このような状況において、MATLABは非常に有力なツールであり、データ形式を選ばず、豊富な関数ライブラリーから適切な方法や関数を選択できる。またこれらのパラメータを自由に変えることができる。

この事例では図7に示した画像処理をMATLABにて行い、ある一定面積(約 1mm^2)毎の輝度の偏りの特徴量を数値化した。(数値化は、「ノイズ除去」後の画像を400エリアに分け、各エリア毎の白(=「値1」)の塊の大きさカウントとした。)



(図7) MATLABによる画像処理及び特徴量抽出例(単位空間)

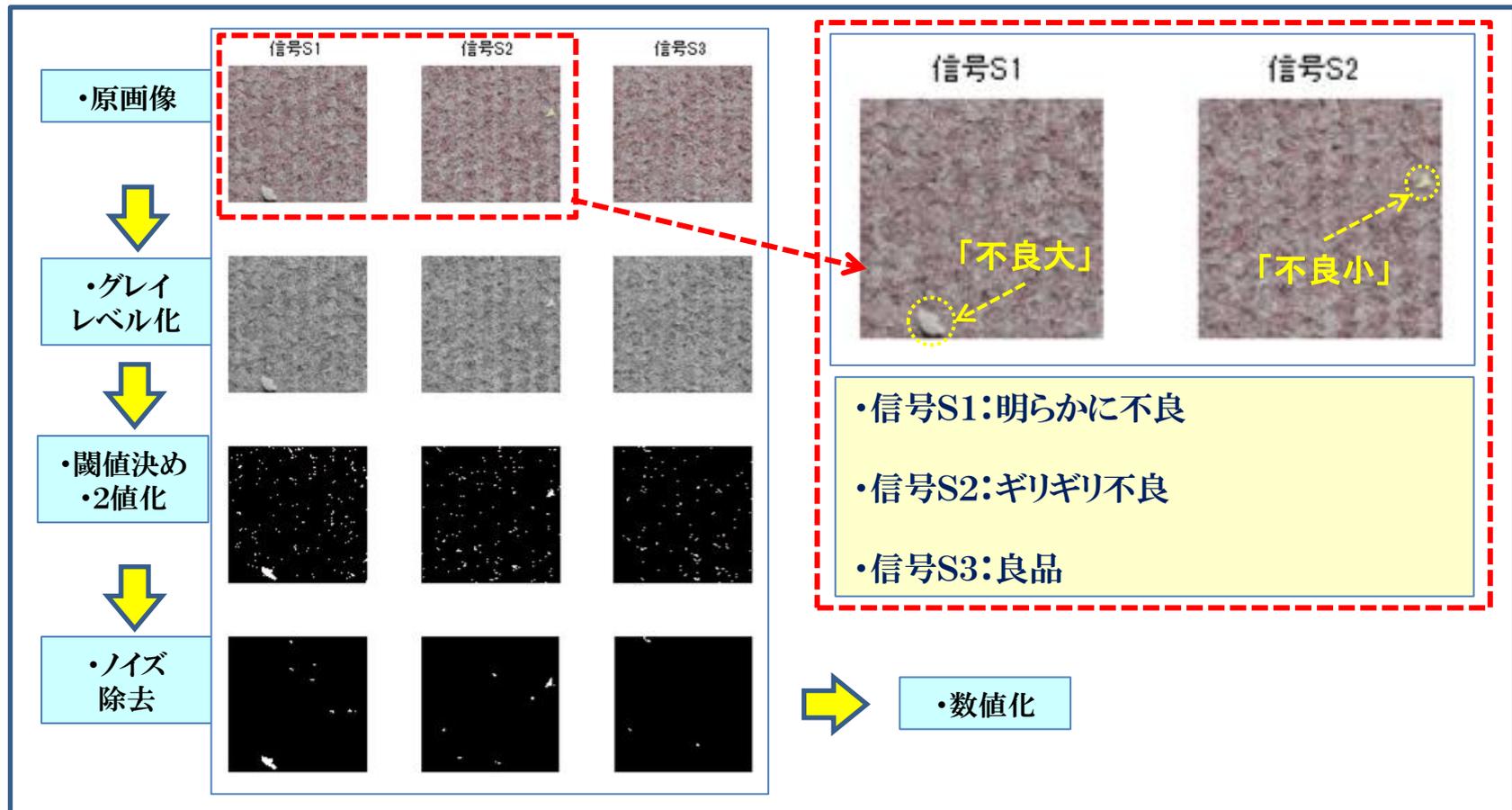
＜ステップ3＞：評価したい対象物（信号空間）の特徴量の数値を算出する

ステップ2の内容とほぼ同様だが、このステップでは、評価したい対象物（信号空間）の特徴量抽出を行う。

このステップで注意すべきことは、意識的に程度の異なる不良サンプルを準備することである。

特に検査員が実際に判断に迷ったり、見逃したりしてしまうような微妙なサンプルいわゆる「グレーゾーン」に属するものを準備し、次ステップで判別可能であるかを確認することが重要となる。

この事例では図8のように、明らかに不良である「信号S1」、ボーダーライン上にありギリギリ不良と判断した「信号S2」及び良品「信号S3」の3種類を準備した。



(図8) MATLABによる画像処理及び特徴量抽出例(信号空間)

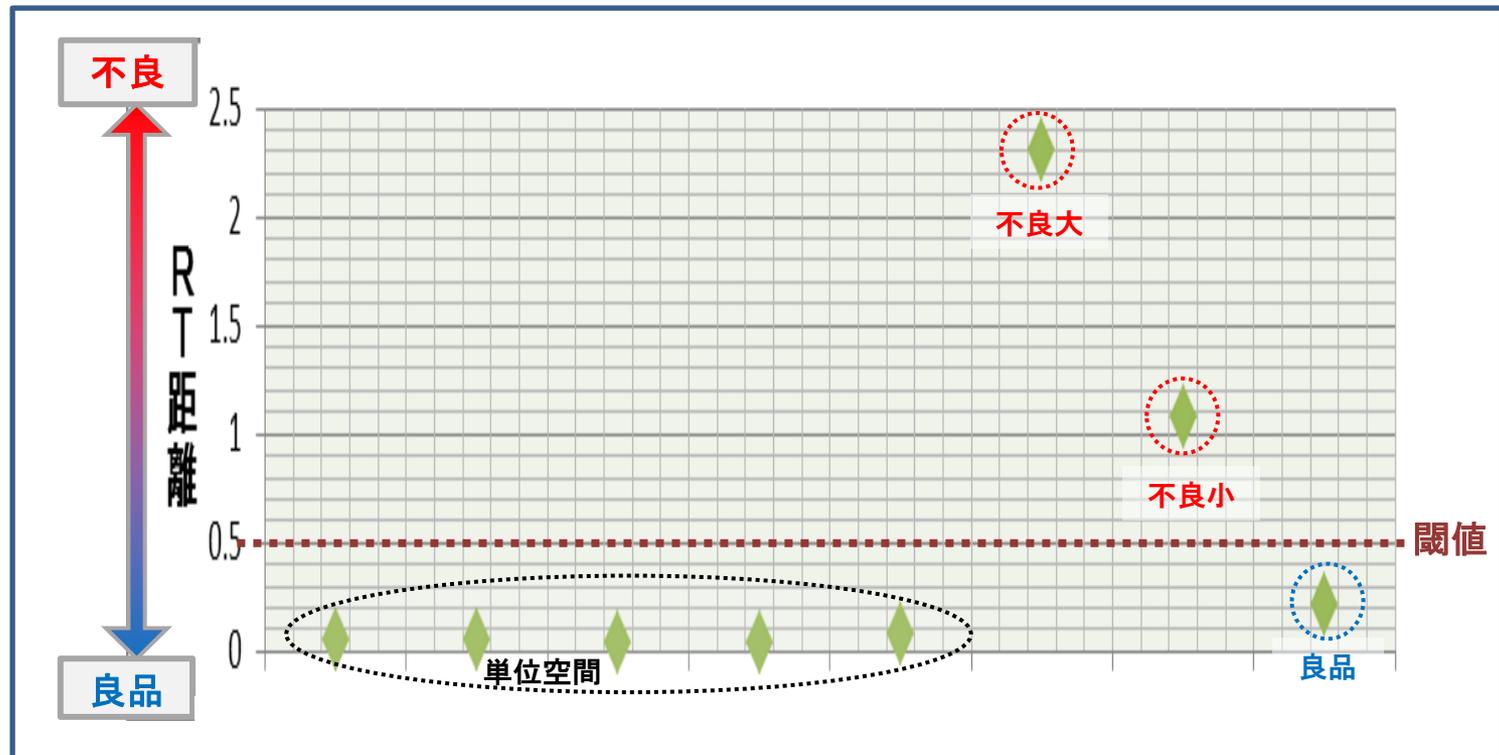
<ステップ4> :特徴量数値からそれぞれのRT距離を算出し、良否判定を行う。

このステップで重要なことは、不良の悪さ加減に応じた判別結果になっているかどうか、つまり「RT距離≒官能評価結果」となっているかを確認することである。RT距離と官能評価が合致しない場合は、データの取り方や特徴量抽出方法もしくは数値化方法を見直し、再チューニングを行う必要がある。

この事例では、信号空間として準備した3サンプルのRT距離が不良の悪さ加減に比例した値を示していると判断した。(図9)

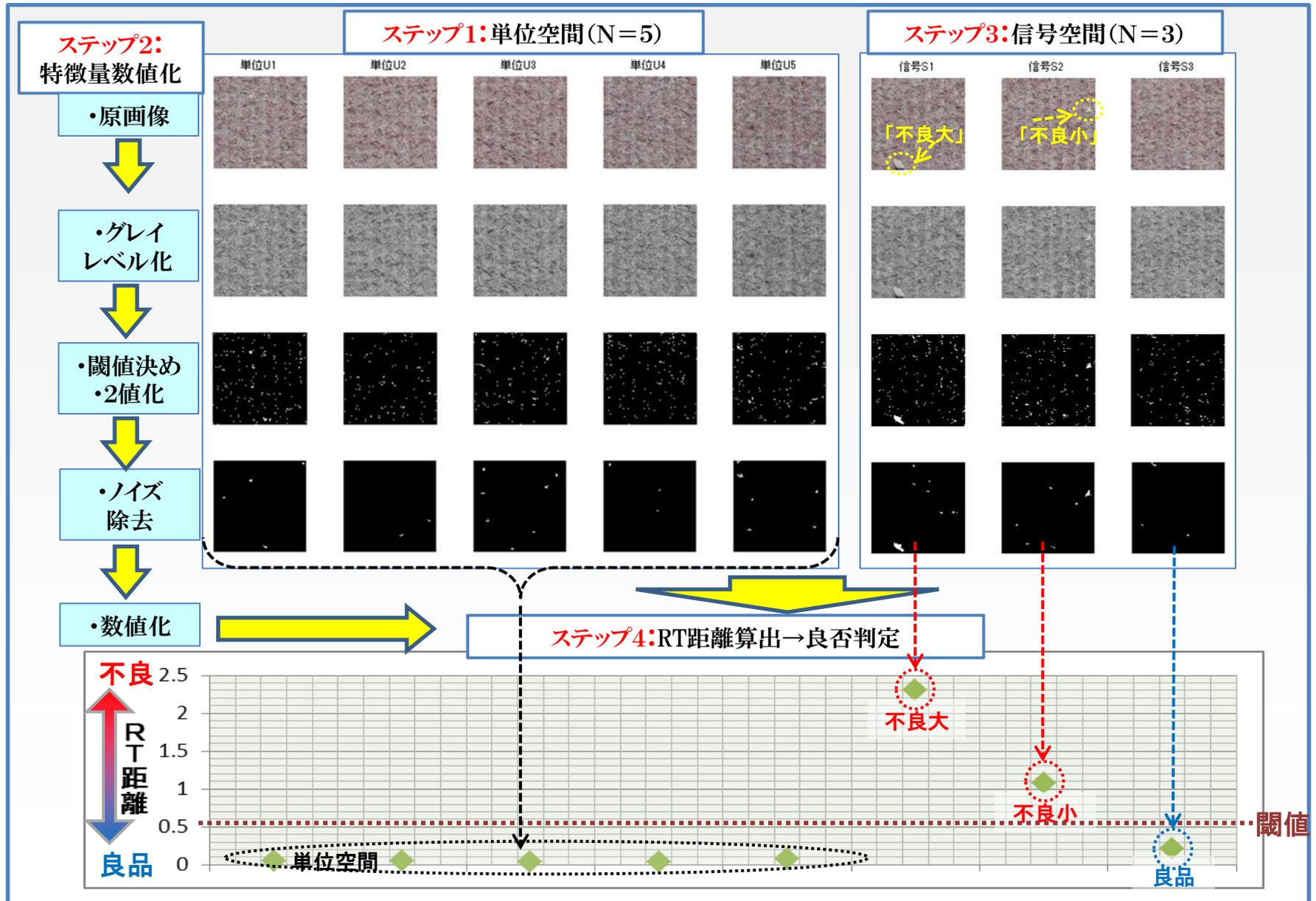
- ・「信号S1」→RT距離:2.3 (明らかに不良)
- ・「信号S2」→RT距離:1.1 (ギリギリ不良)
- ・「信号S3」→RT距離:0.3 (良品)

最終的にはシステム完成度確認のため、生産ライン上で実験を行い、①ある程度のサンプル数に対し「RT距離≒官能評価結果」となることを確認し、②製造部門及び品質管理部門と協議を行い、③良否判定の閾値を決める必要がある。(※事例では閾値を「0.5」に設定)尚、その後のアクションとなる工場内への水平展開の具体的方法については、後述「補足2-4」に述べる。



(図9) RT法による良否判定結果例

※まとめ：自動判別システム構築手順の全体像確認(ステップ1~4)



(図10) RT法での異物自動判別システム例

3-4. 定量評価導入の効果

本章で述べてきたように、官能評価を定量評価に置き換えるためには、品質工学やMATLABなどの新しい考え方や方法を取り入れるというブレークスルーが必要となり、新しいシステムを導入するためには、具体的効果をわかりやすく示すことがポイントとなる。自動判別システム導入の前後(改善前と改善後)の効果について表3に整理する。

(表3) 官能評価と定量評価の比較

項目	(改善前:官能評価)	(改善後:定量評価)
①判断ミス	<ul style="list-style-type: none"> 人を介在することで起こる確認ミス、判断ミス、操作ミス、検査モレがある。 良品を不良と判別(またはその逆)することがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 閾値を用いた精度の高い良否判別ができる。 判断ミスが激減する。
②判断基準	<ul style="list-style-type: none"> 検査員が変わると基準も変わる。 日や季節、時間帯、体調などにも影響されやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 人に依存しないため、基準は常に一定に保たれる。
③工程管理方法	<ul style="list-style-type: none"> 限度見本が必要になり、工程管理基準の設定も複雑になる。 監督者を含め、常時人の介入が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンス時など以外は、ほぼ人の介入がなくなる。
④コスト	<ul style="list-style-type: none"> 検査を無くさない限り、人件費が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 初期設備投資と改良費のみとなる。
⑤検査スキル	<ul style="list-style-type: none"> 検査項目や習熟度により、個人の能力や作業能率が大きく変わる。 時間短縮、正確さはある水準までは向上する。 人が変われば都度再教育が必要になる。 	<ul style="list-style-type: none"> 人に依存しないため、能力は常に一定に保たれる。 コンピュータの処理能力向上や新たなアルゴリズム開発により、高速度かつ高機能な判断処理が可能で刷新による性能UPが可能。
⑥システム導入の その他メリット	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発段階で評価方法や判断基準の検討ができ、その内容のままで生産ラインへの早期応用も可能。 工程での品質データ蓄積により、品質バラツキ把握及び製品間の比較が可能。また開発への情報フィードバックによる早期改善が可能。 データ計測手段、基準決定方法、更新ルール、改善プロセスなど、他社には解読できないノウハウ(ブラックボックス評価技術)が蓄積される。 システム導入の達成感や会社への貢献が実感でき、従業員満足が向上する。個人及び組織の独自能力が向上し、その好循環の繰り返しを通じて社内が活性化する。 	

第4章. まとめ～モノづくり革新の効果

品質工学とMATLABの強みを合せて使うことで、「職人」と呼ばれる人が磨き上げてきた官能評価を定量評価に置き換えることができ、職人が単なる作業員になるのではなく、後任の伝承育成を含め、更に高次元の取り組みに挑戦することも可能になる。今回述べた目視検査以外でも、例えば聴覚や手触りなど職人の感覚が必要なモノづくり現場において、同様の取り組みが進めば、国内生産のメリットを十分活かすことができ、国内生産の発展、継続が可能になると考える。

官能評価の定量化をはじめとした革新的取り組みを幾度も繰り返し行うことで手に入れることのできるもう一つの大きな効果がある。それは官能評価と定量評価をスパイラル式に手を携えながら磨き上げることで、より人間らしい活動へと専念できるようになることである。そして、モノづくりに携わる全ての技術者や生産者が自らの技術に誇りと使命感を持ち、素晴らしい仕事に従事している喜び、社会に貢献している喜びを実感できることである。

このような体験をした人が、まわりの仲間と共に喜びを分かち合いたいと思ひ、具体的な行動を起こすことこそが、日本のモノづくり復活を加速させる一番の原動力になるものと考えてやまない。

次の段階として、日本全体に取り組みを行う多数の企業が現れ、お互いに協力し合うクラスター組織となり、モノづくりの考え方や技術力や適応範囲を拡大、進化させていくことが重要になると考える。そして我々は、品質工学の応用に基づくモノづくり革新こそが、日本のモノづくりのあるべき姿になると信じ、その先駆者たりたいと切に願ひ、日々邁進している。

最後に、このような取り組みを自組織内だけで一からチャレンジし、社内展開することは大変困難であると推測する。是非、MOSTにそのためのお役立ちをさせていただきたい。



補足1. 人の感覚とMTシステム

補足1-1. MTシステムの種類

MTシステムは、田口玄一博士より提案された、品質工学の手法の一つで、この手法自体も改善を繰り返し①～④のように進化を続けてきた。(①MT法→②MTA法→③TS法→④T法(1)(2)(3))そして現在は下記2の方法を応用することが多い。

- T法(1):両側T法 →単位空間を中位に取り、正負の符号を付けて解析する場合に適応できる手法。
- T法(3):RT法 →単位空間が複数ある場合にも適応でき、画像認識など、汎用技術として役立つ手法。

RT (Recognition Taguchi) 法は、未知のデータが単位空間に属するか認識するための手法であり、文字認識、個人認識、画像認識などに応用されている。またMTシステムの他の手法と比べ、データ量が多かつ処理スピードを求められる場合に威力を発揮する。

RT法の理論及び計算式については、参考文献(*)を参照した。下記図にRT法のMATLABプログラムの一部を示す。

※「入門 MTシステム」立林和夫 編著、日科技連

<pre> %% 単位空間データ、信号空間データ読み込み load('u_out_data.mat'); load('s_out_data.mat'); %% 計算1 基準空間データ for k=1:j xb(k)=mean(u_out_data(:,k)); end r=sum(xb.^2); L=xb*(u_out_data)'; B=(L./r)'; %感度(β) St=(sum((u_out_data)'.^2))'; Sb=(L.^2)'/r; Se=St-Sb; Ve=Se/(j-1); SN=1./Ve; %SN比(η) ~~~~~中略~~~~~ </pre>	<pre> %RT距離(単位空間) Du=(1/2*(V22*((Y1-Y1m).^2)-V12*((Y1-Y1m).*(Y2- Y2m))-V21*((Y2-Y2m).*(Y1-Y1m))+V11* ((Y2- Y2m).^2))).^0.5; %% 計算2 サンプル空間データ %r=sum(xb.^2) %基準空間と同じ値を使う L=xb*(s_out_data)'; B=(L./r)'; %感度(β) St=(sum((s_out_data)'.^2))'; Sb=(L.^2)'/r; ~~~~~中略~~~~~ %RT距離(単位空間) Ds=(1/2*(V22*((Y1-Y1m).^2)-V12*((Y1-Y1m).*(Y2- Y2m))-V21*((Y2-Y2m).*(Y1-Y1m)) +V11* ((Y2- Y2m).^2))).^0.5; ~~~~~後略~~~~~ </pre>
--	---

(図11) RT法のMATLABプログラム(一部)

補足1-2. 感覚の数値化

人の感覚をどのように数値化するかについて述べる。まずは人の意識について理解するために視覚を例に考えてみる。

前に歩いている人の服にほこりが付いていると気づいたときに、叩くなどしてそのほこりをとろうとするが、この時、人はどうやって「ほこり」を認識したかについて考えてみる。

- ①服に何か違和感がある
- ②その原因は何かと服を詳しく観察する、例えば、
 - ・明暗や色の違和感 →服の色が違う箇所がある。
 - ・パターンの違和感 →素材が違う箇所がある。
 - ・形状の違和感 →出っ張っている箇所がある。
- ③ その特徴から「ほこり」と認識する

上記①～③を技術的な表現に言い換えると、

- ①通常と異なる状況をセンサーが感知する。
- ②センサーからの出力情報をメモリーに取り込む。
- ③情報から特徴量を抽出し、「ほこり」を認識する。

ここで重要なことは、辺りを漠然と見ているのではなく、意識して対象物を確認し、通常との違いを認識し、違いを特徴化できているかどうかということである。

MTシステムのアルゴリズムは、まさにこの例のように、通常との違いを認識する方式を取っている。また当然ではあるが、人が意識していない時や集中していない時、ほこりが見えないほど小さい時、色がかかなり似ている時には、ほこりを認識できない。このことは人でもコンピュータでも同じである。

また視覚以外の感覚についても上記と同じことが言える。例えば、聴覚であれば「耳につく音」、嗅覚であれば「いつもと違う匂い」、触覚であれば「手触りが悪い」、味覚であれば「味が薄い」のような場合も何か違和感を察知し、脳が判断した結果である。

以上より、感覚センサーを持ち、対象物及びその特徴量を抽出、数値化し、その数値を判断に使うアルゴリズムを持つコンピュータがあれば、人を介さない自動判別システムを作ることが可能となる。



(図12)ほこり認識のイメージ

補足1-3. グレーゾーンや多事象での判断

リンゴを買う時、同じ値段で買うのであれば、おいしそうなモノを選びたい。選ぶ時、おいしいリンゴの特徴を頭に思い浮かべ、目の前のモノの特徴と比べ、合っているかを確認してみるが、最終判断に迷ってしまう。そしてこれだと思い選んだリンゴを食べてみるとあまりおいしくなかったというようなことも案外多いのではないだろうか。



(図13)おいしいリンゴを選ぶのは難しい

このように、何かを瞬時に選ぶ必要があるとき、判断に迷ってしまうような対象の特徴が微妙な場合(グレーゾーン)や、判断に使う情報が多項目(多事象)ある場合において、正しく判断をすることは難しく、ある程度の情報や経験(熟練)が必要になることが多い。

工場ラインでの目視検査も同様で、瞬時に多くの情報を読み取り、良否判断する必要がある。ある商品検査の確認項目の例と挙げると、

- ①ゴミが黒の場合は、0.1mm以下で2か所以下であること
- ②ゴミが黒以外の場合は、0.2mm以下で4か所以下であること
- ③シミの場合は、不良 その他……

というように複数項目に対する管理基準が設定されていることが多い。また新たな問題が発生する度に、限度見本の更新をはじめとした新たなルールが追加される。瞬時に正しく判断するためには、複数のルール全てを頭に入れておく必要がある。このようなことが繰り返し行われる度に判断ミスが多くなる可能性が高くなる。このような課題に対しても、MTシステムのアルゴリズムは威力を発揮する。

田口博士がMTシステムを着想したきっかけにもなったトルストイの小説の一説がある。「幸福な家庭はどれも似たものだが、不幸な家庭はいずれもそれぞれに不幸なものである」(中村 訳:『アンナ・カレーニナ 上』(改版) P5 岩波文庫 1989年)

この文はまさにMTシステムの特徴を言い当てている。幸福な家庭の集まりを単位空間とすると、単位空間から離れている家庭を不幸だと判断するということである。

MTシステムを使えば、グレーゾーンや多事象からの判断が必要な場合でもシンプルな判定基準を設けることができる。

補足2. 目視検査に必要な専門知識

補足2-1. 目視検査における計測技術

第2章-2節で述べたが、目視検査は業界により検査対象や確認項目が異なり、その特徴に応じた最適な計測方法が変わる。従って計測を行う際、まず目視する対象は何であるかを明確にする必要がある。次にその対象を画像化するための条件を整理したうえで最適な機器を選択もしくは作り出すことが重要である。目視検査で信号を取り込むためのデジタル機器やセンサーの例、及びその原理、特徴、注意点について表4に整理する。計測技術は進化のスピードが速く、その動向をウォッチしておくことが重要である。

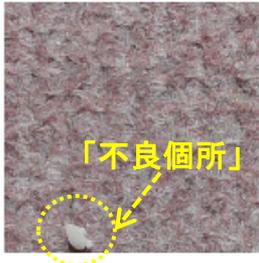
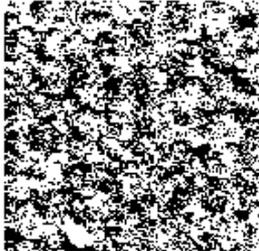
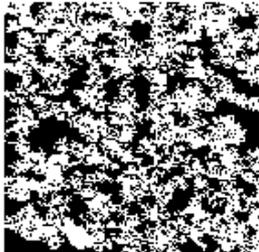
(表4) 目視検査で信号を取り込む機器及び方法

データ取り込み手段	原理・特徴	注意点・備考
デジタルカメラ	<ul style="list-style-type: none"> 画像や映像をCCDやC-MOSなどの撮像素子を用いて取り込み、電気信号に変換し、デジタルデータ化する。 汎用PCとのデータ通信も容易で、目的に応じた画像処理、解析をPCを使うことで高速に行うことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 計測対象物によりパラメータ選択等のノウハウが必要。 ①レンズ種類:可視/赤外、望遠率 ②撮影条件:フォーカス位置、ズーム率、F値、感度 シャッタースピード、被写界深度、距離角度 ③照明方法:位置、光強度、スポット径、反射拡散 ④カメラ/PC:センサーサイズ、転送速度、カラー/モノクロ
ラインセンサー	<ul style="list-style-type: none"> ライン撮像素子が横一列に並んでおり、シートやロール方式の生産部材を一方向から撮影し検査する工程等に使用される。 	<ul style="list-style-type: none"> スキャンスピードが速く、対象物の特徴から照明条件が厳しい。広視野かつ均一でちらつきの少ない高出力な照射が必要となる。
超音波 (直接接触法、水没法)	<ul style="list-style-type: none"> 被検体に対し、機械的に移動する超音波探触子で超音波を走査し受信信号を画像としてデータ化する。 	<ul style="list-style-type: none"> 接触媒質が必要。→水、油など(消耗品) 超音波探触子の取り換えが必要(約1回/年)
マイクロフォーカスX線CT	<ul style="list-style-type: none"> X線透過により撮影試料内部のCT画像(断層画像)を得る。 	<ul style="list-style-type: none"> 透過距離は物質により異なる。→例:鉄50mm
テラヘルツ波 (THz 波)	<ul style="list-style-type: none"> 電波のように物質を透過する性質を持っており、吸収スペクトルを分析する。 	<ul style="list-style-type: none"> 光波のようにレンズやミラーで屈折や反射する。 波分光計測にて水などの物質の非破壊検出も可能。
レーザ光線の利用	<ul style="list-style-type: none"> 光センサの検出信号の強度を濃淡表示。 	<ul style="list-style-type: none"> 反射光の強度で健全な部分とそれ以外を検出可能。
赤外線の利用	<ul style="list-style-type: none"> 温度差を赤外線映像装置を用いて測定。 	<ul style="list-style-type: none"> 欠陥・損傷部、空洞等の内部欠陥を検出可能。
半導体ウエハ基板の ナノ欠陥検査	<ul style="list-style-type: none"> エバネッセント光をプローブを用いて伝播光に変換し、間接的に観測。 	<ul style="list-style-type: none"> 分布変化より表面層微小欠陥の検出・評価が可能。

補足2-2. 画像処理に使えるMATLAB関数例

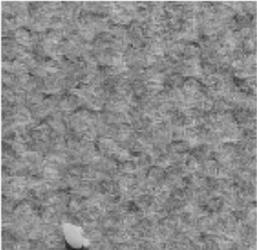
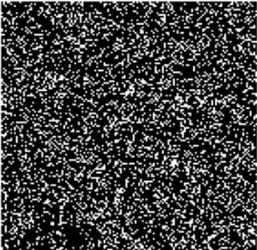
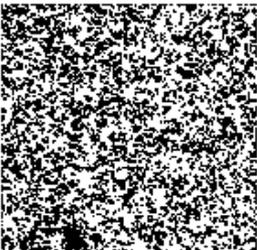
特徴量抽出のための具体的な処理方法について説明する。3章の事例で用いた、カーペット不良品の写真を用い、その処理方法例をMATLABプログラムと合わせ紹介する。(下記は「MATLAB」及び「Image Processing Toolbox」関数を使用)

(表5) MATLABでの画像処理例①

出力画像	MATLABプログラム	処理内容説明・補足
I:原画像 	<pre>%画像データの読み込み I = imread('ファイル名');</pre> <p>注:「%」のある行は、コメント文を表す。プログラムではない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 関数「imread」:撮影された画像をMATLABに読み込む。 多種画像フォーマットに対応。(例:BMP、JPEG、GIFなど) 他にも、下記データ等の読み込みが可能。 <ul style="list-style-type: none"> 関数「mmreader」:動画データの読み込み 関数「wavread」 :音声データの読み込み 関数「mmreader」:マイクから録音
B:2値化 	<pre>%イメージをグレイレベルに変換 A = rgb2gray(I);</pre> <pre>%黒と白の分散を最小にする 閾値を算出し、2値化する threshold = graythresh(A); B = im2bw(A,threshold);</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 関数「im2bw」:グレースケール画像をバイナリ(2値化)画像に変換。グレースケール化された画像を閾値を決め、閾値以上のピクセルの輝度を値「1」(白色)で置き換え、他のすべてのピクセルを値「0」(黒色)で置き換える。 2値化は、特殊な画像処理を行うための前処理として頻繁に使用される。
C:ノイズ削除 	<pre>%500ピクセルより少ない 連結成分を削除 C = bwareaopen(B,500);</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 関数「bwareaopen」:2値化処理された画像に対し、決められたルールに従い、その2値の塊を削除する。通常フィルターを使った方法とは根本的に異なる。 この関数のように、他のコンピュータ言語であれば数十行を要するような処理、例えば、連結要素や各成分の面積計算やオブジェクトの削除などの特殊関数もMATLABでは一行で表現できることが多い。

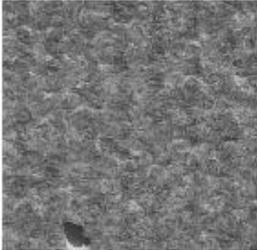
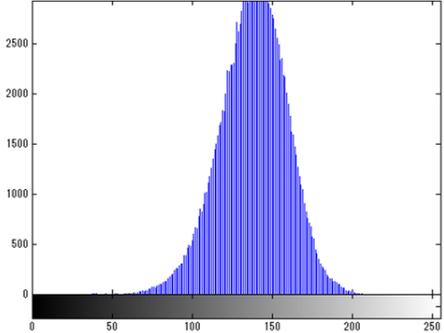
「MATLAB」本体が持つ関数のみで、入出力インターフェースを含めた基本的な処理プログラムの作成ができるが、困難な目視検査を実現するためには、「Image Processing Toolbox」内にある、画像処理専用の特殊関数の使用が非常に有効になる場合が多い。

(表6) MATLABでの画像処理例②

出力画像	MATLABプログラム	処理内容説明・補足
<p>A:グレイレベル化</p> 	<p>%イメージをグレイレベルに変換 A = rgb2gray(I);</p>	<ul style="list-style-type: none"> 関数「rgb2gray」: 撮影カラーイメージRGBをグレースケール強度イメージに変換。輝度を保持したまま色相情報と彩度情報を削除する。 RGBに比べ、データ数が1/3になり、処理効率を上げることができる。
<p>D:エッジ強調</p> 	<p>%エッジ強調 (この場合はcanny関数) D = edge(A,'canny');</p>	<ul style="list-style-type: none"> 関数「edge」: エッジが検出された場所のピクセルの輝度を「1」、それ以外の場所を「0」に変換。 エッジ抽出のアルゴリズムは、用途に合わせて下記から選択できる。 <ul style="list-style-type: none"> ①ソーベル法、②プレウィット法、③ロバーツ法、④ガウス ラプラシアン法、⑤ゼロクロス法、⑥キャニー法(左図処理にて使用)
<p>E:ギャップ処理</p> 	<p>%ピクセル間の隙間を2ドットの間で塗り潰す se = strel('disk',2); E = imclose(D,se);</p>	<ul style="list-style-type: none"> 関数「imclose」: 2値化画像の後処理として用いられ、構造化要素を使用して、イメージ内の隙間を塗りつぶし、外周を滑らかにして結合する。 その他にも、「Image Processing Toolbox」には、下記のような特殊処理ができる関数が数多く準備されている。 <ul style="list-style-type: none"> 「imfill」: 境界に囲まれた領域を埋める 「imopen」: 構造化要素を使い小さなオブジェクトを除去する。

目的に合った特徴量を抽出するためには、複数画像処理を合わせる必要がある場合が多い。選択肢、順序、組合せは非常に多くあるが、表7はそこごく一例である。(下記は「MATLAB」及び「Image Processing Toolbox」関数を使用)

(表7) MATLABでの画像処理例③

出力画像	MATLABプログラム	処理内容説明・補足
<p>F:白黒反転</p> 	<pre>%グレイレベル白黒反転 F=255-A;</pre>	<ul style="list-style-type: none"> この処理は演算のみで、実現。関数は未使用。 関数「imhist」を使用し、画像階調分布をヒストグラムにて視覚化でき、閾値を決める参考となる。 
<p>G:輝度調整</p> 	<pre>%輝度レベルが75以上のピクセルの輝度を0に置換 G=F; G(find(G>75))=0;</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 関数「find」を使うことで、画像内全ピクセルの中で、目的に合う値を持つピクセルの位置情報を抽出でき、そのピクセルのみに、任意の数式を適応させることができる。 関数「find」を使用することで、カスタマイズに対応すべく、用途に合ったデータ前処理が簡単に実現できる。
<p>H:複合処理</p> 	<pre>%2値化の最適閾値を決め、 %60ピクセルより少ない連結成分を削除 threshold2 = graythresh(G); H=im2bw(G,threshold2); H=bwareaopen(H,60)</pre>	<ul style="list-style-type: none"> 複合処理(この場合は2値化とノイズ除去)にて、対象物の抽出を実現している。 行列演算が得意なMATLABと使うことで、例えば、SSIM (Structural SIMilarity index: 構造的類似性指標) のような、正規化相関を用いた類似度計算や統計を使った処理も容易に実現できる。

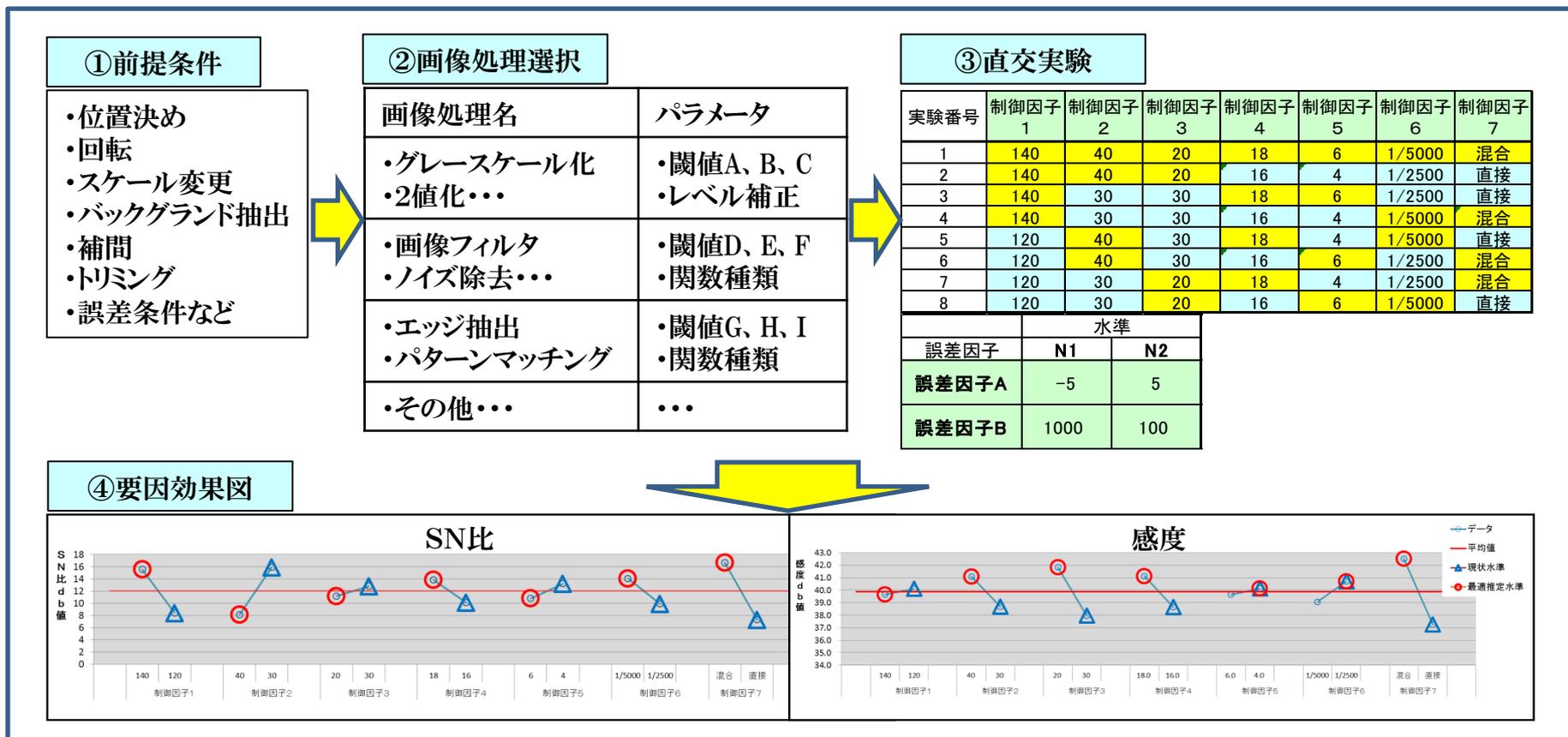
補足2-3. 最適な画像処理選択について

目的に適した画像処理を選択し、処理内パラメータの最適値を決めるためには試行錯誤を繰り返す必要がある。そのため膨大な時間を費やしてしまうことが多い。

この課題を解決するべく効率よく処理内容を決める方法として、品質工学の一つであるパラメータ設計の考え方を強く薦める。その手順イメージを図14に示す。

この考えに従い、誤差条件(N1/N2)を含めたシステムの入出力の転写性とロバスト性を評価することで、システムの完成度を確認することができる。更に直交実験を行うことで、処理毎のパラメータの動きを要因効果図にて確認し、結果として最小実験回数でパラメータの最適値を導き出すことができ、後戻りのない設計が可能になる。

※詳細は、MOSTの本:「品質を良くしたらコストは下がる」(ダウンロード無料 <http://www7b.biglobe.ne.jp/~most/>)を参照のこと。



(図14) パラメータ設計を使った処理方法及び最適パラメータ値の選択例

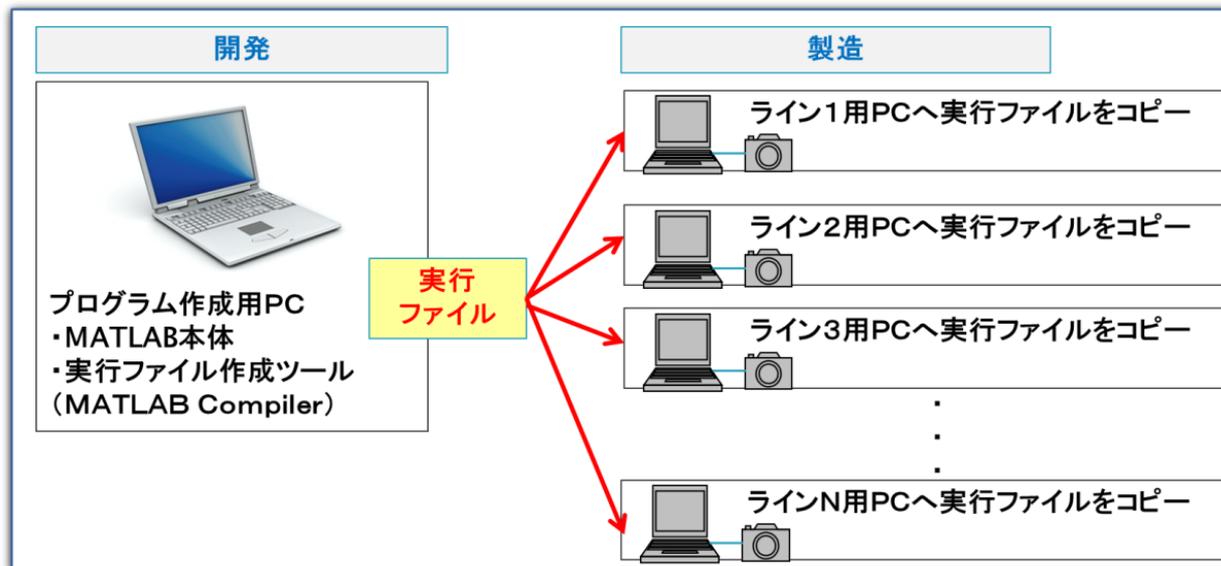
補足2-4. 生産ラインへの導入及び水平展開方法

システムを製造ラインに適応したり、水平展開するためには、MATLABで作成したプログラムを実行ファイル化(PCアプリ形式として吐き出すことができるファイルに変換すること)で容易に実現できる。実行ファイルは、「MATLAB Compiler」というオプションがあれば、一行のコマンド入力のみで簡単に作成できる。また変換に要する時間も数分程度である。

実行ファイルは、MATLAB Compiler Runtime (MCR) と呼ばれるライタイムエンジンを使用して作成される。MCR は、MATLAB Compiler をインストールしたPC内にあり、これを使いたいPCへインストールすることで、基本的にはどのPC(※)でも実行ファイルが使用可能となる。(※前提としてOSのバージョンなどの基本構成が同じであること)従って制限なく、複数のPCアプリケーションを共有することが可能となる。

またMATLABは外部機器との接続インターフェースにも対応しており、生産ライン運用時に生産状況や操作に使われる表示画面を介したコミュニケーション方法:GUI(グラフィカル ユーザー インターフェース)の作成も可能であり、これらの機能を全て含めたプログラムを実行ファイル化も可能である。

尚、MCRはアプリケーションと共に無償で配布することが可能で、MATLAB Compiler が1ライセンスあれば、生産ラインへのアプリ導入が可能で、水平展開を素早く実現できる。例えば図15に示すように、開発評価用にMATLABで作成した解析用プログラムをそのまま実行ファイル化し、工場の全ての生産ラインにインストールすることで、全く同じ解析を行うことが可能になる。



(図15) 工場生産ラインへの水平展開イメージ

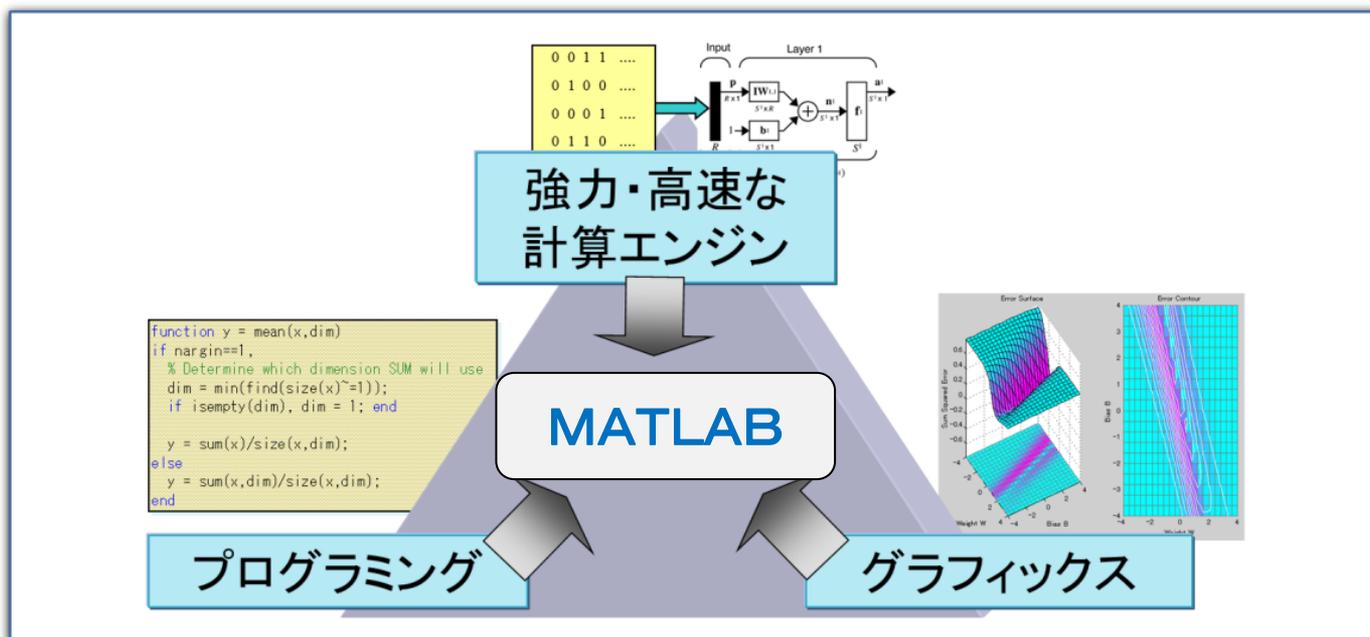
補足3. MATLABを使うメリットについて

補足3-1. MATLABとは

MATLABは、MATrix LABoratoryを略したものであり、MathWorks社(米国:1984年~)が開発している数値解析ソフトウェアであり、その中で使うプログラミング言語の名称でもある。その特徴を一言でいうと「取扱い容易で、万能な入出力I/Fと豊富な関数ライブラリーを有する汎用シミュレーター」である。100万人以上のエンジニアや科学者が、アイデアの共有や専門分野を超えた共同プロジェクトの技術計算のための共通言語として使用している。

またMATLABは、多次元行列計算、ベクトル演算、グラフ化や3次元表示などの豊富なライブラリーを持った、インタプリタ形式の高性能なテクニカルコンピューティング言語、環境としての機能を持つ。MATLAB本体のみの標準で数多くのライブラリーを有しているが、それ以上のデータ解析や統計、アプリケーション展開などが必要な場合には、Toolboxと呼ばれる拡張パッケージ(ライブラリー)をインストールすることで、MATLABの機能拡張を図ることができる。

また、従来のプログラミング言語(C言語やFORTRAN など)では、数日間、数週間、数ヶ月間要する作業を、数秒間または数時間で達成できる大変優れた言語である。(※「Wikipedia」及び MathWorks社のHPより引用 <http://www.mathworks.co.jp/>)



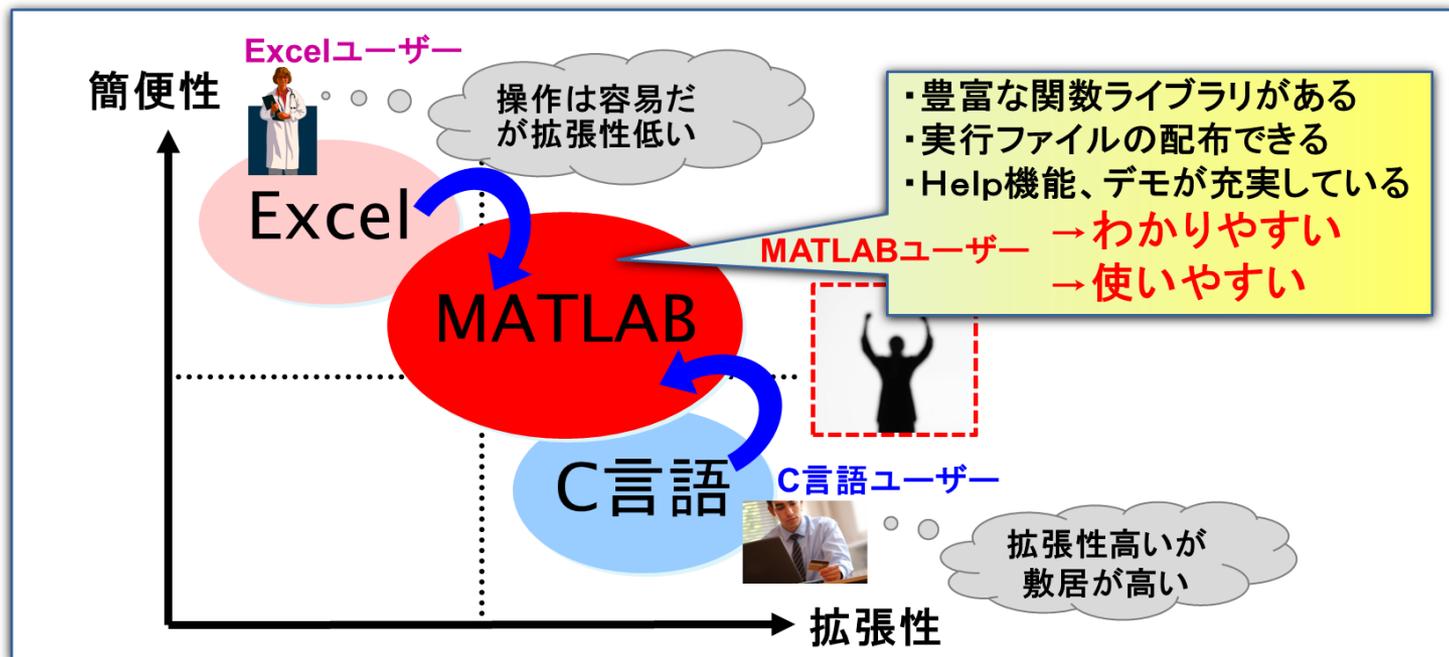
(図16) MATLABイメージ

補足3-2. MATLABと他言語の比較

MATLABが他のツールやプログラム言語(ExcelやC言語)に比べ、検討したい設計や解析にすばやく着手できる理由に下記特徴が挙げられる。

- ①スピード感 : 強力・高速な計算エンジンを持ち、ライブラリーも豊富。処理時間も速い。
- ②表現しやすさ: 高度な解析演算も直感的に記述でき、行列演算を直接記述できる。ほとんどの配列演算が一行でかける。
- ③扱いやすさ : インタープリターなので、コード入力後即実行できる。変数に型宣言が不要で次元制限なし、複素数変数可。
Help機能やデモが非常に充実しており、参考書がなくても、十分に使いこなすことができる。

またMATLABは、万能なインターフェース(画像、音声、アナログ、テキストなど多種のデータに対応)を持ち、取扱いが容易である。これらの特徴を生かすことで、他の言語では実現が困難だったり、時間を要するような課題にも対応でき、また研究開発や生産技術、製造工程までのフェーズや分野の違いを苦しめず定量評価システムを構築を効率よく進めることができる。



(図17) MATLAB/Excel/C言語の比較

補足3-3. MATLABライブラリーについて

MATLABライブラリー内には特徴量抽出の手段となる特殊処理可能な関数他、多分野において即応用できる特殊関数が数多くある。またHELP機能として、関数の使用方法、高速化に対応する記述方法をエディター上で確認できたり、具体的な課題に用いたプログラム例などのデモ及びヒント集が数多くあり、ユーザーがきめ細かいフォローを受けながらスムーズに設計できるよう工夫されている。

(表8) MATLABの主なライブラリー一覧(2013.4.1現在) (MathWorks社のHPより引用→ <http://www.mathworks.co.jp/>)

カテゴリー	ライブラリー (Toolbox) 名	ライブラリー概要
数学、統計、最適化	<ul style="list-style-type: none"> • Symbolic Math Toolbox • Partial Differential Equation Toolbox • Statistics Toolbox • Curve Fitting Toolbox • Neural Network Toolbox 	<ul style="list-style-type: none"> • 記号、数学計算の実行 • 有限要素法、偏微分方程式の解法 • 統計的モデリングと解析の実行 • 回帰分析、補間、平滑化、データ近似 • ニューラルネットワークアルゴリズム設計
制御システム設計、解析	<ul style="list-style-type: none"> • Control System Toolbox • System Identification Toolbox • Fuzzy Logic Toolbox • Aerospace Toolbox 	<ul style="list-style-type: none"> • 制御システムの設計と解析 • 線形/非線形動的システム モデルの作成 • ファジーロジック設計 • 航空宇宙参照標準、環境モデル、空力係数設計
信号処理、通信	<ul style="list-style-type: none"> • Signal Processing Toolbox • DSP System Toolbox • Communications System Toolbox • Wavelet Toolbox 	<ul style="list-style-type: none"> • 信号処理、解析およびアルゴリズム開発の実行 • 信号処理システムの設計およびシミュレーション • 通信システムの物理層の設計とシミュレーション • ウェブレット技術での信号や画像解析、合成
画像処理	<ul style="list-style-type: none"> • Image Processing Toolbox • Computer Vision System Toolbox • Image Acquisition Toolbox • Mapping Toolbox 	<ul style="list-style-type: none"> • 画像処理、解析およびアルゴリズム開発の実行 • 映像処理システムの設計およびシミュレーション • 業界標準のハードウェアから画像やビデオを取得 • 地理情報を分析し、視覚化する
実験、計測	<ul style="list-style-type: none"> • Data Acquisition Toolbox • Instrument Control Toolbox • Vehicle Network Toolbox 	<ul style="list-style-type: none"> • データ収集カード、デバイス、モジュールに接続 • 通信接続および計測機器とのデータ集録 • 車載ネットワークやアクセス用のECUとの通信
アプリケーション開発 コード開発	<ul style="list-style-type: none"> • MATLAB Compiler • MATLAB Coder • HDL Coder 	<ul style="list-style-type: none"> • MATLABコードから実行ファイルを生成 • MATLAB コードから C と C++ コードの生成 • LSI設計のVerilogおよびVHDLコードを生成

補足3-4. その他のMATLAB使用例

研究開発や生産現場において、MATLABを使うことで格段に業務効率がよくなる例が数多くある。その一部を紹介する。
(MathWorks社のホームページより引用→ <http://www.mathworks.co.jp/>)

①数学モデリング

数学モデルは、複雑なシステムの挙動を理解し、正確なシミュレーションを行う上で不可欠なものであり、データと科学原理に基づいた数学モデルの開発に必要なすべてのツールが用意されている。

例として、カーブフィッティング、統計、最適化、ODE 解法、PDE 解法、微積分など基礎的な数学ツールなど。

②アルゴリズム開発

C、C++、Fortran といった伝統的なプログラミング言語よりもはるかに短時間でアルゴリズム開発が可能になる。

アイデアをアルゴリズムに変換するために必要なツールが以下のように提供されている。

- 数学、工学、科学で基本となる多くの関数
- 信号処理、画像処理、制御設計、金融工学、情報生命科学といった特定用途向けアルゴリズム
- アルゴリズムの編集、デバッグ、最適化のための開発ツールなど

完成したアルゴリズムは、デスクトップ アプリケーションおよび Web 配布用に独立したアプリケーションやソフトウェアコンポーネントに変換することができ、システムのシミュレーションまたは、組み込みシステムにアルゴリズムを組み込むことも可能。

③データ収集

データ収集ボードや、実験、計測機器、デバイス、イメージングなどの各種ハードウェアのデータにアクセスできる。

また、ODBC/JDBC 準拠データベースやサーバーのデータにも直接アクセス可能で、ライブによる可視化と解析を行い、外部ソースのデータを必要とする繰り返し作業の自動化を行うことが可能。

④ハードウェアおよび計測器との接続

データ収集ハードウェア、イメージング ハードウェア、計測器、またはCANバスの制御とデータの収集が行え、収集したデータの可視化と解析はワークスペース内で実行することが可能。

以上、本章に述べたように、MATLABを使用することにより、高機能、高品質、低コスト、開発時間短縮などにおいて、非常に大きなメリットを生み出すことができる。

<著者略歴>

1996年：九州工業大学大学院 情報工学研究科卒業
同年 九州松下電器 入社

鹿児島松下電子にて
大型フルカラーLEDディスプレイシステムの開発及び営業を担当

2002年：九州松下電器
開発プロセス革新本部及び経営品質推進本部にて
品質工学を主とし、QFDやTRIZ等の科学的手法の全社展開を推進

2008年：パナソニックコミュニケーションズ(2003年より社名変更)
技術統括グループにて
MATLABを主とし、試作レス開発の全社展開を推進

2011年：パナソニックシステムネットワークス(同年社名変更)
技術統括グループにて
開発プロセス全社標準化主査、品質管理社内講師を担当

2012年：パナソニックシステムネットワークス 退社

2013年：MOSTにて
科学的手法推進のコンサルタントとなり現在に至る

