



音響検査を
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. 画期的な官能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. 音響検査に必要な技術	-----	p8
(1) 信号検出技術(i):音響	-----	p9
(2) 信号検出技術(ii):振動	-----	p11
(3) 防音技術	-----	p12
(4) 防振動技術	-----	p13
(5) 音響信号処理技術(MATLABプログラム)	-----	p14
第4章. 自動判別システムの構築方法	-----	p14
第5章. システム導入の効果とまとめ	-----	p20
=====		
補足1. 人の感覚とMTシステム		
(1) MTシステムの種類	-----	p25
(2) 感覚の数値化	-----	p23
補足2. 最適な処理方法選択について(パラメータ設計)	-----	p24
補足3. MATLAB使用のメリット		
(1) MATLABとは	-----	p25
(2) MATLABと他言語の比較	-----	p26
(3) 生産ラインへの導入及び水平展開方法	-----	p27
(4) MATLABライブラリーについて	-----	p28
(5) 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、

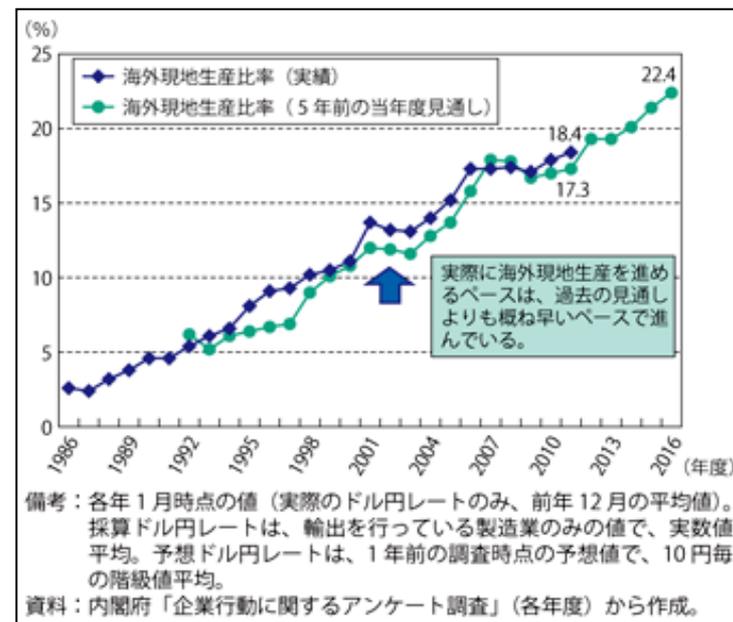
官能評価は日本の強みであるが、属人的になる部分があるがゆえに、生産性の課題、後任への伝承育成が困難など、現代社会が要求するスピードの追従を阻害し、あるいは、経営リスクになる部分もあるという点もあり、新たなチャレンジを断行するための道標を明確にしたいと思われるのではないだろうか。

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(視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚)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。

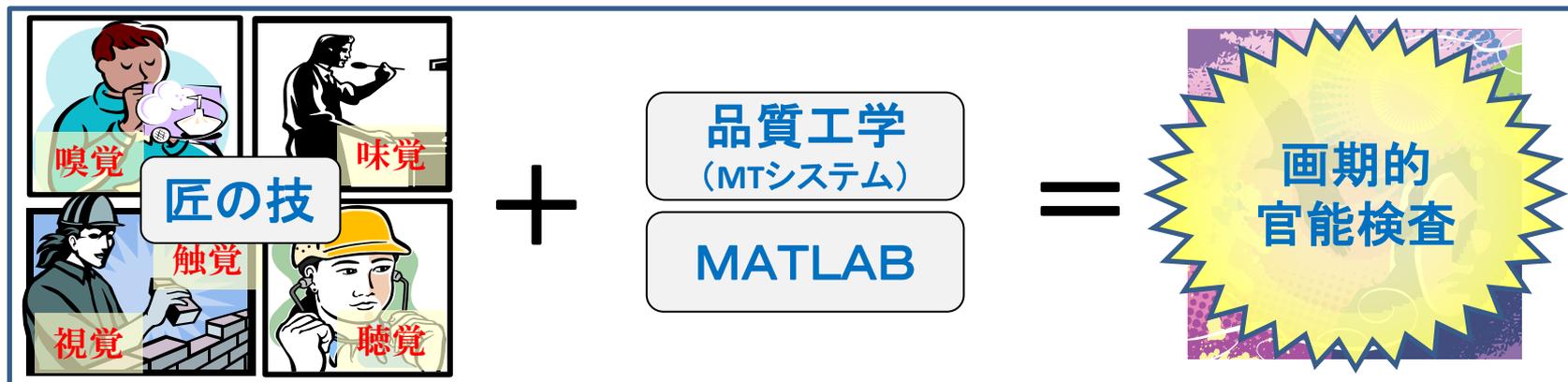
MATLABとは自動検査システムの鍵である定量評価の実現手段としての要件を満たすプログラム言語である。

※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行う画期的な検査が実現できる。例を挙げると、目視検査、音検査、香りや味の数値化、手触りの数値化などである。

この画期的な検査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) 画期的官能検査のイメージ

第2章. 画期的な官能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、画期的な官能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。

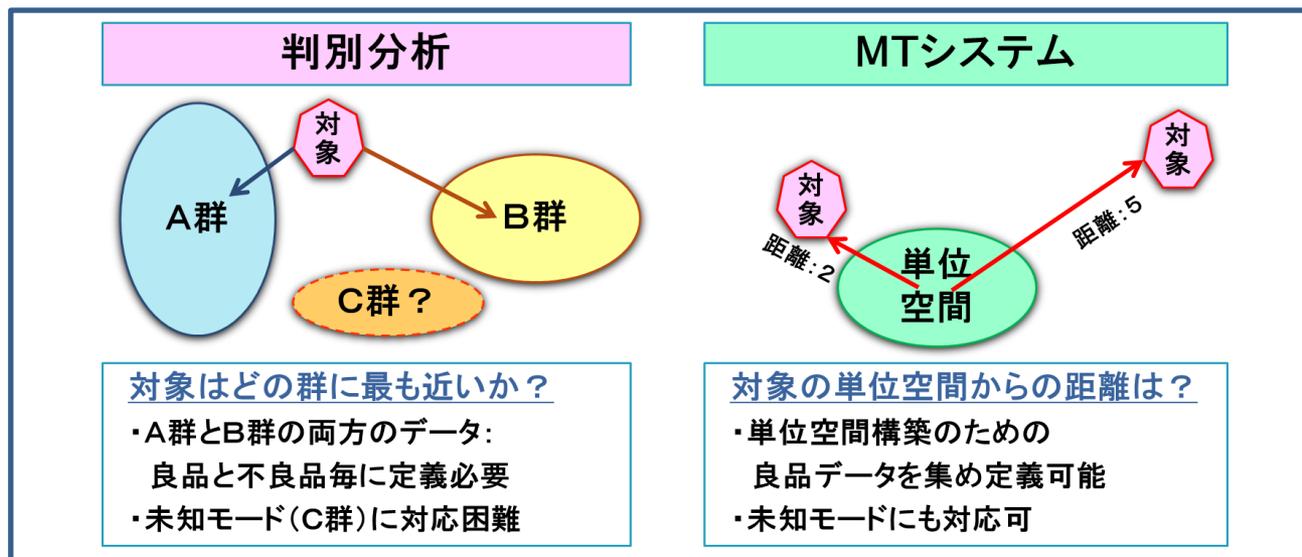
- ・職人の感覚が曖昧さをどのように処理するのか、判断に迷うもの(グレーゾーン)の判断方法
- ・物事を認識したり判断したりする時、複数の事象を統合して決定することが多いが、この場合の判断方法

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1-2」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。

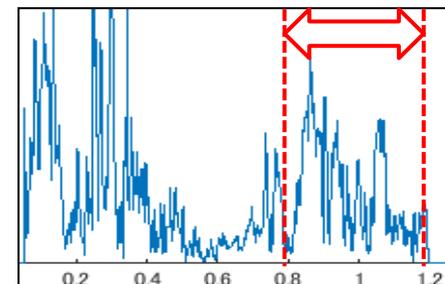
判別分析は統計手法の一つとして一般的に用いられている判別方法で、そのアルゴリズムは、図3に示すように、A群(例えば良品の集まり)に属するか、B群(例えば、傷のある不良品の集まり)に属するかという考えで行う。不良モードが新たに見つければ、C群(例えば、色ムラのある不良品の集まり)を追加するなどの判別式変更が必要になる。また不良モード別に各々のデータが多数必要であり、未知の不良モードには対応できないという課題もある。



(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(スピーカ)の周波数領域Aにおける強度面積。(例:周波数領域A→0.8~1.2kHzなど)
※その際、良否判別を行うための周波数領域の定義を明確にしておく必要がある。



※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。

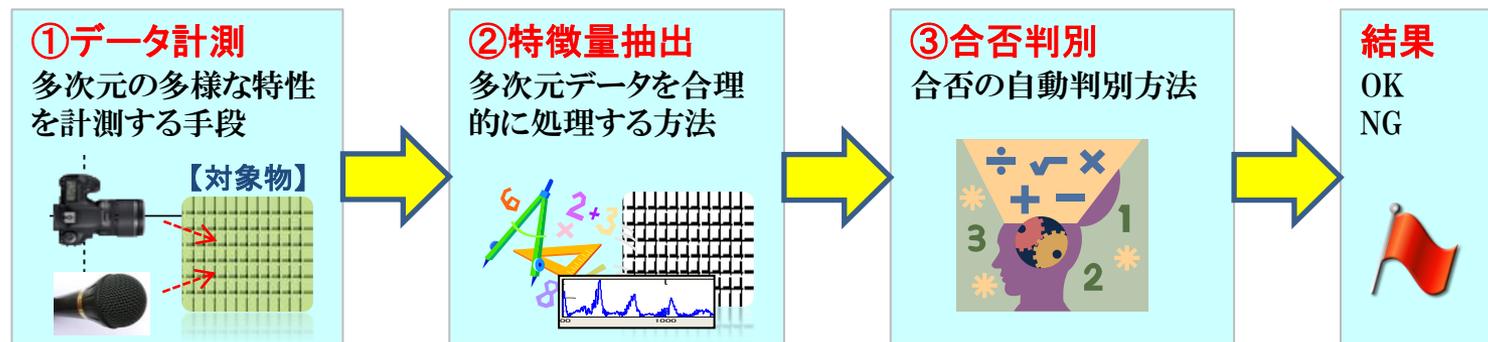
(表1)検査システム構築手順の差異

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

次に画期的な官能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: デジタルカメラやマイク、振動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: 画像処理や音響処理などを用いる)
- 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。
- 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 インターフェース (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官能検査を定量化を実現するシステムの構築が可能となる。

第3章. 音響検査に必要な技術

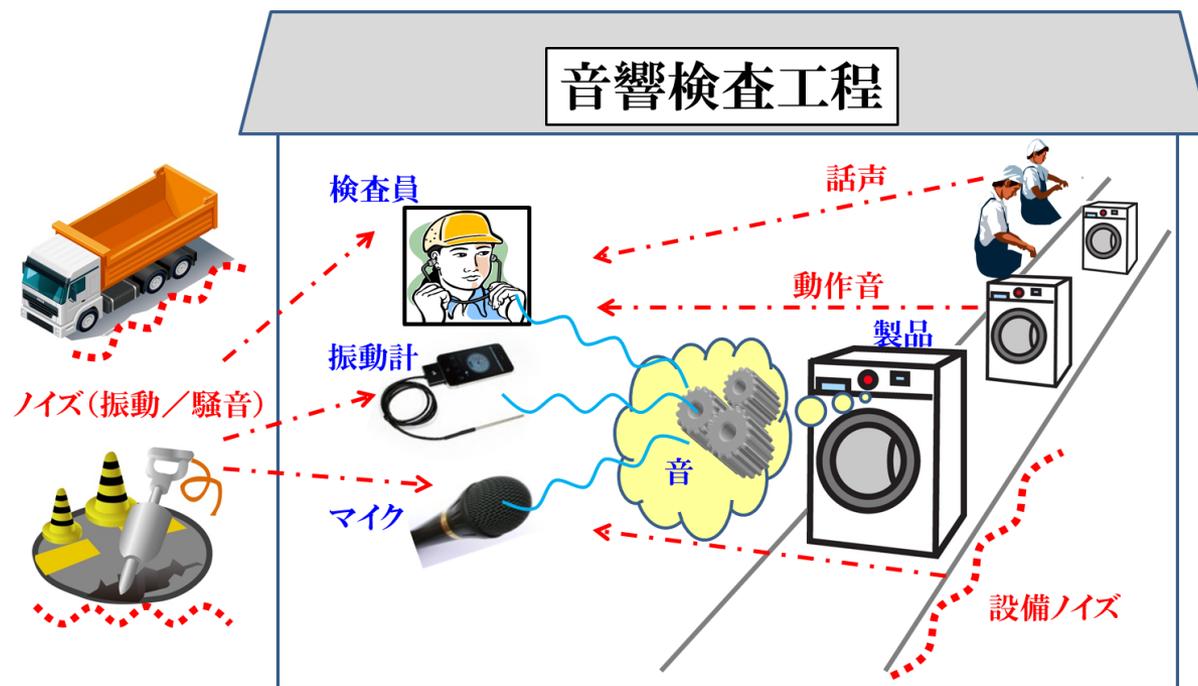
本章では、聴覚を用いた検査(音響検査)において、音響や振動をデータ化し、その特徴を数値化することで、検査結果の可否を自動で判別するシステムの構築方法について述べていく。まずは音響検査に必要な技術について述べる。

音響検査において人の聴覚を利用している一番の理由は、その性能の良さである。人の聴覚器官(センサー)と脳(データ処理)を駆使することにより、下記様な優れた機能を実現している。

- ・無意識にその音の方向や音質を判断できる
- ・聞きたい音だけを取り出せる(音量調整や帯域フィルターを無意識に操る)

このような機能を機械化するためには、下記様な技術が必要になる。

- ・信号検出:目的に応じた信号(音響や振動)を最大限に取り込むことのできる適切なセンサーを選択する
- ・防音防振:目的信号以外の不要なノイズ(振動や騒音など)をできるだけ小さくする
- ・信号処理:検出した信号から目的の信号を取り出すためのデータ処理技術(例:フーリエ変換、帯域フィルター、微分積分等の演算)



(図5) 音響検査工程のイメージ

3-1. 信号検出技術(i):音響

次に音響検査を機械化するための技術について述べていく。まずは音響を数値化する手段の代表であるマイクロフォンの分類及びその特徴について下記に示す。

(表2)マイクロフォンの分類及びその特徴

分類	構造と動作原理	特徴と応用
ムービング・コイル型	電磁誘導を利用したマイクで、コイルはプラスチックフィルムをドーム状に成形した振動板(ダイヤフラム)に固定され、その振動板が音波を受けて振動し、磁界内でコイルが動くことにより音声信号を得る。	機構が単純で電池や電源も不要、丈夫で湿度にも強く、また大音量でも歪みにくい。しかし、コイルを含み振動系の質量が大きいため、高音域には応答しにくく、マイクを握る時に発生する摩擦音や掌の筋肉が発する音などの機械的振動を拾いやすい。この欠点に対処する為にエレメントを防振材で支持するのが一般的
リボン型	薄い金属膜を細長くカットし、折り目をつけたりリボン状の導体を、磁極の間のスリットに配置する。このリボン振動体が磁界中で振動することで、リボンの両端に起電力が生じ、信号を得る。	リボンが折り目を付けてゆるく張られているため、人の息によるノイズや振動に弱い反面、振動系が軽くて動きやすい為、低音域から高音域の音に良く反応し、広い周波数帯域を持つ。音質が柔らかいことから、音声や和楽器、弦楽器などの集音に好んで使われる。
コンデンサ型	互いに平行な2枚の金属板を近接させ、その一方をダイヤフラムに置き換えると、振動に応じて電極間の距離が変わるため、音声信号に比例した静電容量の変化を電圧として信号を得る。	ダイヤフラムは数 μm 程の厚みで非常に軽く、応答が非常に速くクリアな音質に特徴がある。また振動を制御しやすく平坦な周波数特性が得られる。大音量での歪み、温度や湿度の影響で雑音が発生しやすい。主な用途は音響測定や録音、機器組み込み等。
カーボンマイク	板状の2枚の電極の間に炭素の粉を入れた構造になっており、一方を固定電極、もう一方を可動電極にし通電する。音声により可動電極が振動し、接触抵抗の変化により信号を得る。	用途は広く、ダイナミックマイクが発明され普及するまで、レコードの録音や、アナウンサーや音楽の集音用として放送局でも使われていた。ダイナミックマイクが普及しても、有線・無線での会話の伝達用としては十分な音質であり、増幅することなく使用できる
圧電マイク	強誘電体などでできた圧電素子を電極で挟み、圧電効果で電力が得られる。これを利用し、音声により電極を振動させ、電極から音声信号を得る。感度は非常に高いが出力電力は小さい。	古くはクリスタルマイクとも呼ばれたが、近年ではセラミックを利用したものが多く、セラミックマイクとも呼ばれる。主として帯域が限られている状況での通話時に好ましいとされる。特有の周波数特性を生かし無線通信、コンクリートマイク等に使われている。
レーザーマイク	レーザー光を使用して音声振動による光の揺らぎを受光素子で検出して復調する。	従来型のマイクの使用が困難な状況下での使用が想定される。ドップラー効果や、干渉計による物など複数の形式が存在する。

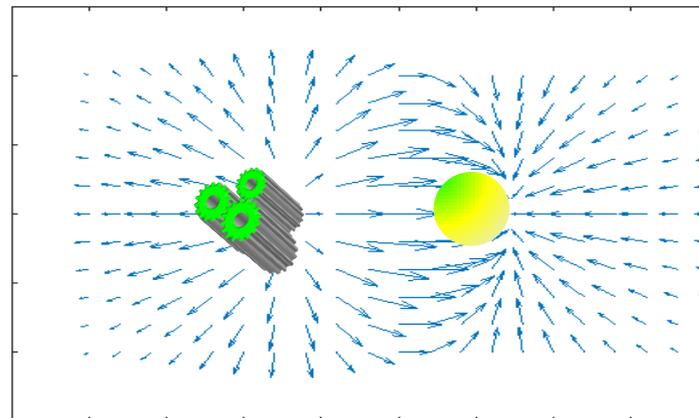
3-1. 信号検出技術(i):音響

音響を数値化するための、その他工夫の例として、音のエネルギーの流れをベクトル量をして信号化する音響インテンシティマイクロホンを利用したり、音響出力が小さい場合に音を集める集音器を利用すること等がある。

音響インテンシティマイクロフォン(wikipediaより)

音響インテンシティとは、単位面積内の伝わる音響パワー(単位面積を単位時間あたりの通過するエネルギーの流れ 単位:W/m²)であり、音響の大きさを、基準値との比の常用対数によって表現した量が音響インテンシティレベル(単位:デシベル (dB))である。

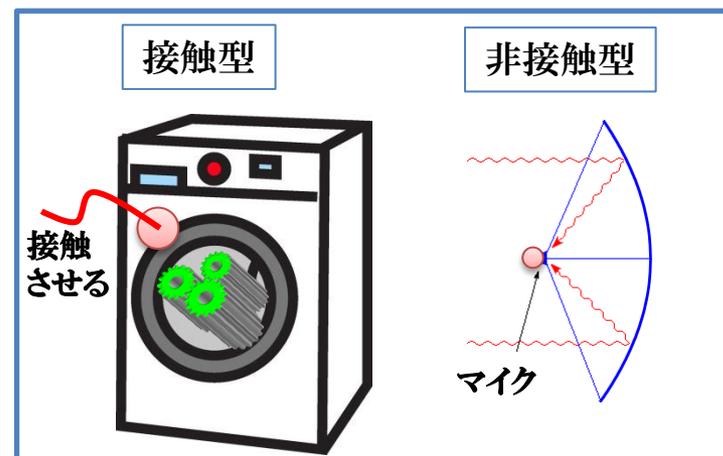
複数のマイクロフォンを組み込むことで、この音のエネルギーの流れを測定し、音の強さとともに流れの方向をベクトル量としてとらえることが可能で、例えば、機器の振動音をデータ化することで騒音の分布などが計測できる。



(図6) 音響インテンシティレベルの可視化イメージ

集音器

- ・接触型集音器 :検査対象が金属やプラスチックの覆い内部にある場合、その覆い外側の面に直接取り付け、内側の音を集音する。
- ・非接触型集音器:音波用の反射鏡で集めた音波を、マイクロフォンで收音し、信号を増幅する。



(図7) 集音器設置イメージ

3-2. 信号検出技術(ii):振動

次に振動を数値化する手段である振動センサーの種類及びその特徴について下記に示す。検査工程において、使用環境や対象の周波数領域に対応したセンサーを選択することが重要となる。

(表3)振動センサーの種類

振動センサー種類	原理と特徴	測定物理量	タイプ
渦電流式	内部のコイルに高周波電流を流し、高周波磁界を発生させ、対象物表面に磁束の通過と垂直方向の渦電流が流れ、コイルのインピーダンスが変化します。渦電流式変位センサは、この変化により、距離を計測する	変位	非接触型
光学的方式	光センサによって電気信号に変換 FBG光ファイバ式では、錘にかかる加速度を光ファイバへの張力とすることで、波長の変化を検出する レーザードップラー式では、ターゲットより返ってくる反射ビームは非測定物の持つ振動速度に応じてドップラシフトを起こすことを利用し、振動速度に応じた電圧信号を出力する	変位 速度	非接触型
静電容量式	梁構造で支えられた微小な可動部でのわずかな位置変化を静電容量の変化として検出し、電気回路によって増幅・計測する	変位	非接触型
圧電素子(ピエゾ抵抗型)	ダイヤフラムの位置変化をピエゾ抵抗素子によって検出し、電気回路によって増幅・計測する。3軸方向での加速度検出が可能	速度 加速度	接触型
電磁式	磁性体である検出歯車の山の部分が電磁ピックアップのポールピースに近づいたり離れたりを繰り返すことにより磁路の状態が変化し、検出コイルを貫通する磁束の変化に伴い、誘導起電力を発生する	速度	接触型

3-3. 防音技術

音源である検査対象からの信号以外の不要なノイズ(振動や騒音など)が存在することで検査精度が落ちるケースも多いため、ノイズをできるだけ軽減させる検討も必要になってくる。以下に代表的な防音手段について述べる。

①吸音

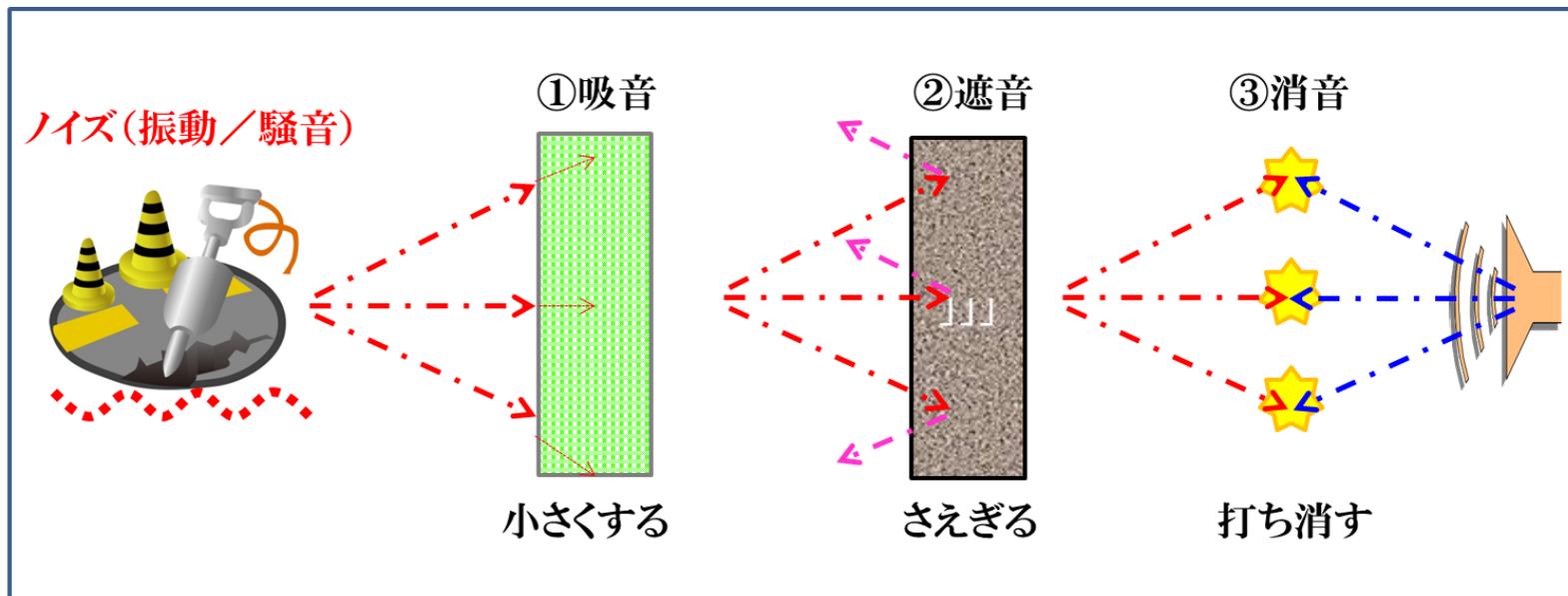
吸音とは、音を反射しないようにする技術であり、主にグラスウール・ロックウールなどの吸音材を使用する。音をその中を通すことで、材質が揺れ摩擦熱が起きることを利用し、音のエネルギーを熱エネルギーに変換する。

②遮音

遮音とは、音を通しにくい物質でさえぎる技術である。遮音壁は一般的にコンクリートや鉛、石膏などで作られており、遮音壁の質量を増やすことで遮音効果を上げることができる。

③消音

消音スピーカーなどを用いる。騒音源の音を拾い、それと逆相になるような音を作りスピーカーから出力し、空間で打ち消し合わせ、騒音レベルを下げるができる。類似技術として、ヘッドフォンや携帯音楽プレーヤーに内蔵されるノイズキャンセラーがある。



(図8)防音イメージ

3-4. 防振動技術

・振動も音の場合と同様に、計測したい信号以外の影響を小さくする工夫が必要となる。すなわち振動絶縁の検討が必要となる。外乱による振動には、計測対象となる機械自体から発生する振動、近くに設置している機械からの振動、基礎/地盤の振動などがある。振動絶縁の手段の例を機に述べる。

①防振ゴム→振動・衝撃の伝達防止または緩衝の目的で使用される加硫ゴム製品

- ・形状、寸法の適切な選択により、X,Y,Z3方向の防振が可能
- ・金属ばねに対し1,000倍以上の内部摩擦特性を持つ
- ・共振応答や衝撃による振動早期停止などに有効
- ・量産により比較的安価
- ・耐温性：-55～70℃程度
- ・耐油性：油に浸漬すると膨潤して軟化する→(耐油性ゴム：NBR, ウレタンゴムなど)
- ・固有振動数：10Hz近辺

②空気ばね→空気の圧縮弾性を利用

- ・自動車、鉄道車両、半導体生産設備の微振動対策など利用
- ・空気の流路に絞りや絞りを設けることで減衰付加
- ・固有振動数：1～5Hz

③コイルばね→バネ鋼と呼ばれる鋼材をコイル状に形成したもの

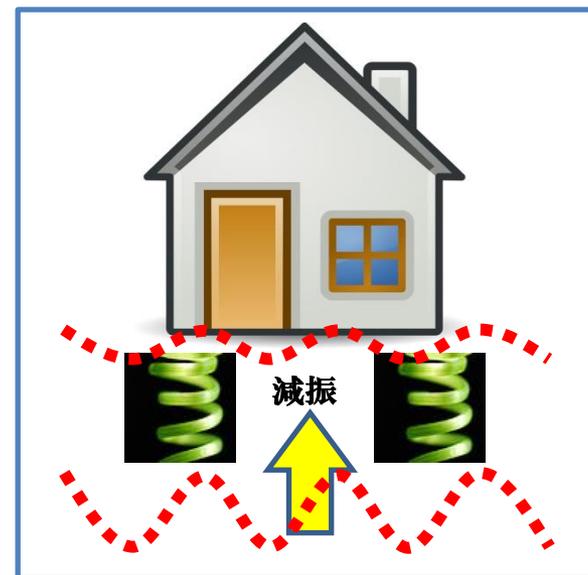
- ・減衰はないので、ダンパを並列使用するが多い
- ・線形性が良い、安価で構造が簡単、常用温度が広い
- ・耐久性が良く、劣化が少ない
- ・固有振動数：数Hz以上

④重ね板ばね→長さの異なる板ばねを重ねたもの

- ・古くから鉄道車両やトラックの懸架ばねとして使用
- ・板の間で摩擦が生じ、摩擦減衰特性を持つ

⑤動吸振器→振動している物体に、付加的な振動系を取り付け、相互作用させることによって振動を抑える

- ・広い周波数範囲で効果があり、自由振動も抑制される
- ・減衰は最適値が存在する

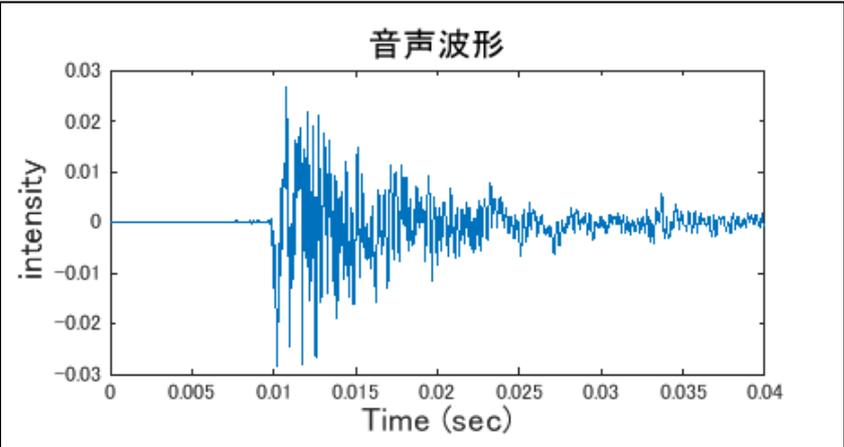
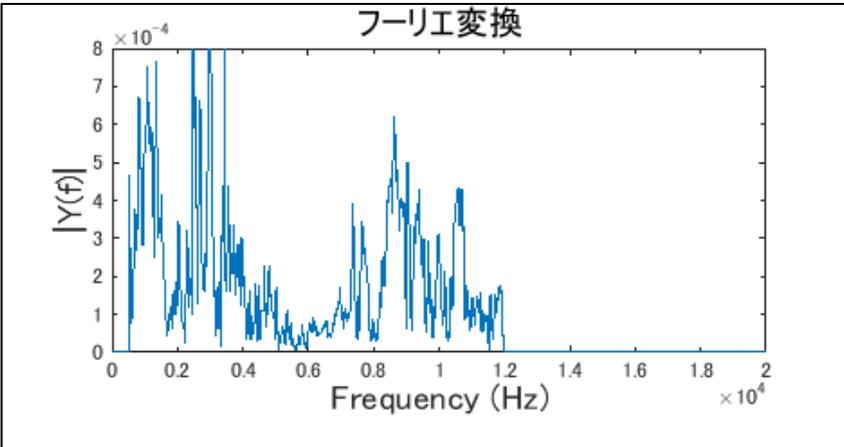


(図9) 防振動イメージ

3-5. 音響信号処理技術(MATLABプログラム)

音響信号処理の代表的な例をMATLABプログラムにて作成した。データの読み込みや関数処理など、ほぼ一行の記述で表現できる。

(表4) MATLABでの音響信号例

MATLABプログラム	グラフ化
<pre>[y, Fs] = audioread(name);%オーディオ ファイルの読み取り y1=y(:,1); %1チャンネル化(左側チャンネルのデータを有効化) %yは音響データ(通常デフォルトでは左右の2チャンネルを持つ) %オーディオファイル内のデータをエンコードするために %使用されるサンプルレート (Fs) を Hz 単位で返す 注:「%」のある行は、コメント文を表す。</pre>	<p>左側チャンネルの音響:「y1」をグラフ化→plot(t,y1)</p> 
<pre>%% フーリエ変換 L=length(y1); %y1のデータ長算出 t=0:1/Fs:(L-1)/Fs; %時間軸のメモリ作成:tは0~(L-1)/Fs ※1/Fsがデータ間隔 NFFT = 2^nextpow2(L); % nextpow2:指定値以上の最小の 2 のべき乗数 Y = fft(y1,NFFT)/L;%離散フーリエ変換 f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2); %線形に等間隔なベクトルの作成 P=2*abs(Y(1:NFFT/2)); %エネルギー換算</pre>	<p>フーリエ変換後の強度データ:「P」をグラフ化→plot(f,P)</p> 

第4章. 自動判別システムの構築方法

本章では、検査工程での課題を自動判別システムの導入により解決した事例を用い、システム構築の手順について述べる。

<事例> 缶製品メーカーA社の缶製品の打音出荷検査工程の改善

缶製品の出荷検査にて、内容物の違いや組立ミスがないか確認を行っている。

確認方法として熟練検査員の聴覚に頼った「打音検査」を採用している。この方法には、短時間で確認でき、製品を分解する必要がない等のメリットがある。一方でデメリットとして、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ことがある。良品にはバラツキがあり、その違いをうまく数値化する手段が見つからず、現状では機械化が非常に困難である。

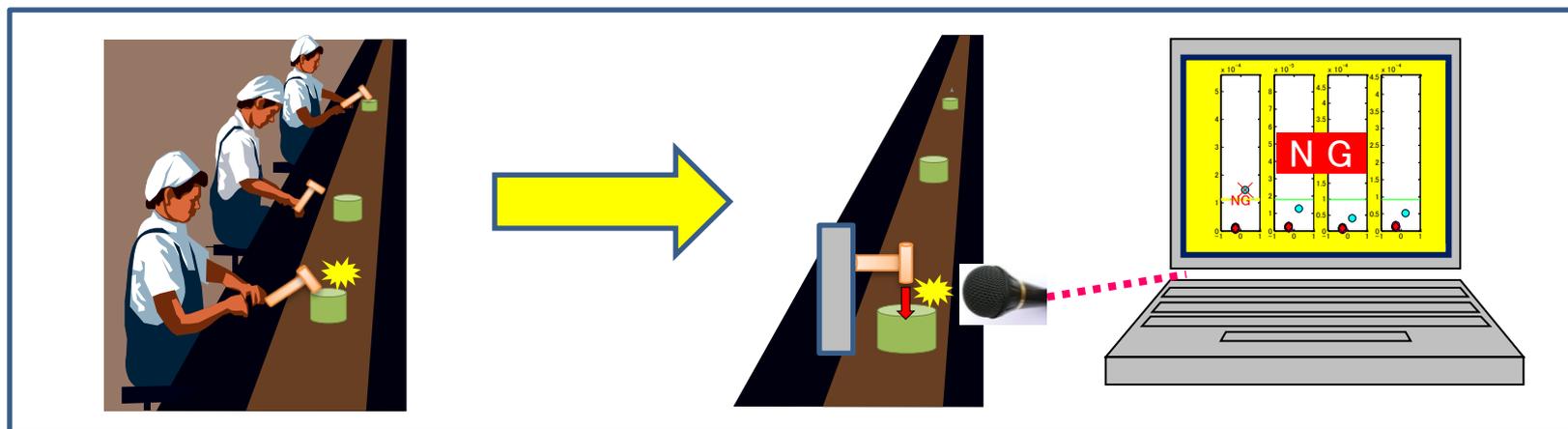
現在直面している課題として、熟練検査員の退職後に不良品の出荷が頻発していることがある。

熟練検査員の補充として数名の派遣社員を雇い、検査スキルの教育は十分行っているが、

- ・作業員により判別基準がことなり、そのバラツキを吸収できない
- ・気候などの環境変化や体調により判断が変わる
- ・外観確認に時間要し、タクトタイムを厳しくすると判断ミスをするケースがある

等が原因となり、不良品出荷が発生する。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、音響処理による自動判別システムを導入できないか検討することになった。社内では自動判別システムを開発する上での専門知識が無いため、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 : ラインを流れる製品の打音を録音する
- ② 特徴量抽出 : リアルタイムでその音響データを読み込み、MATLABプログラムで作成したデータ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、品質工学のMTシステム(RT法)にて良否判別を行う。



(図10) 打音検査 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、音響データを取得し、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。

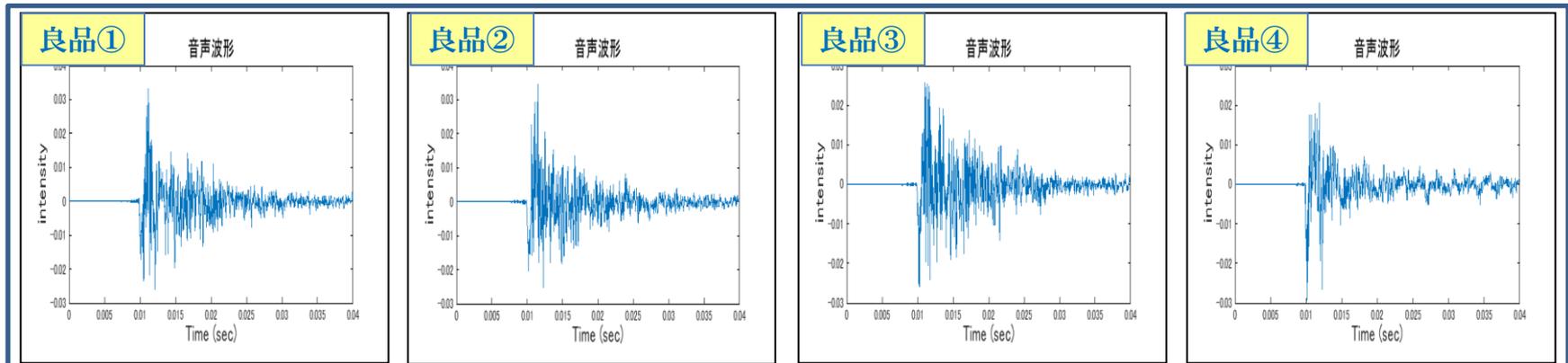
- ・良品と不良品の間で、RT距離がどのくらい変化するかを確認し、良品/不良品の判別基準となる閾値を決める。
- ・その閾値にて、生産ライン中の1ラインを使って導入テストを実施し、判別ミスやライン停止などの不具合がないことを確認する。
- ・上記テストで確認した内容をパラメータに反映させ、そのMATLABプログラムを実行ファイル化(※)し、工場内全ての生産ラインへ水平展開を行い、最終的には国内の他工場への展開を逐次行う。

※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。

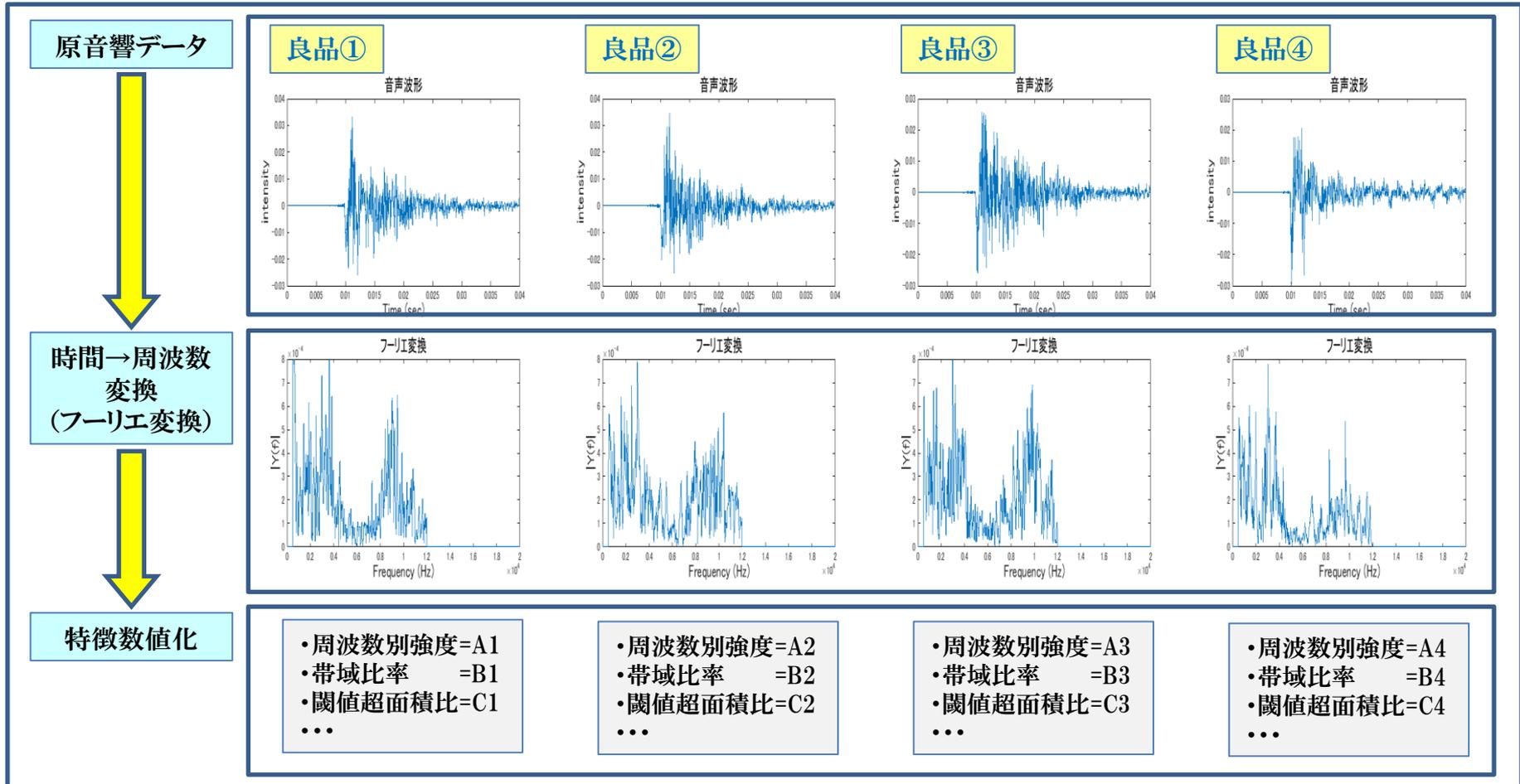
サンプル数は対象物や判別したい内容により異なるが、この事例では4～10サンプル程度で判別可能と判断した。



(図11) 単位空間に使用する音響データ例

<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。音響データ処理の手順や内容は、対象や目的により異なるので、適切な前処理を行った後、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、目的に応じてプログラムを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。



(図12) MATLABによる音響データ処理及び特徴量抽出例(単位空間)

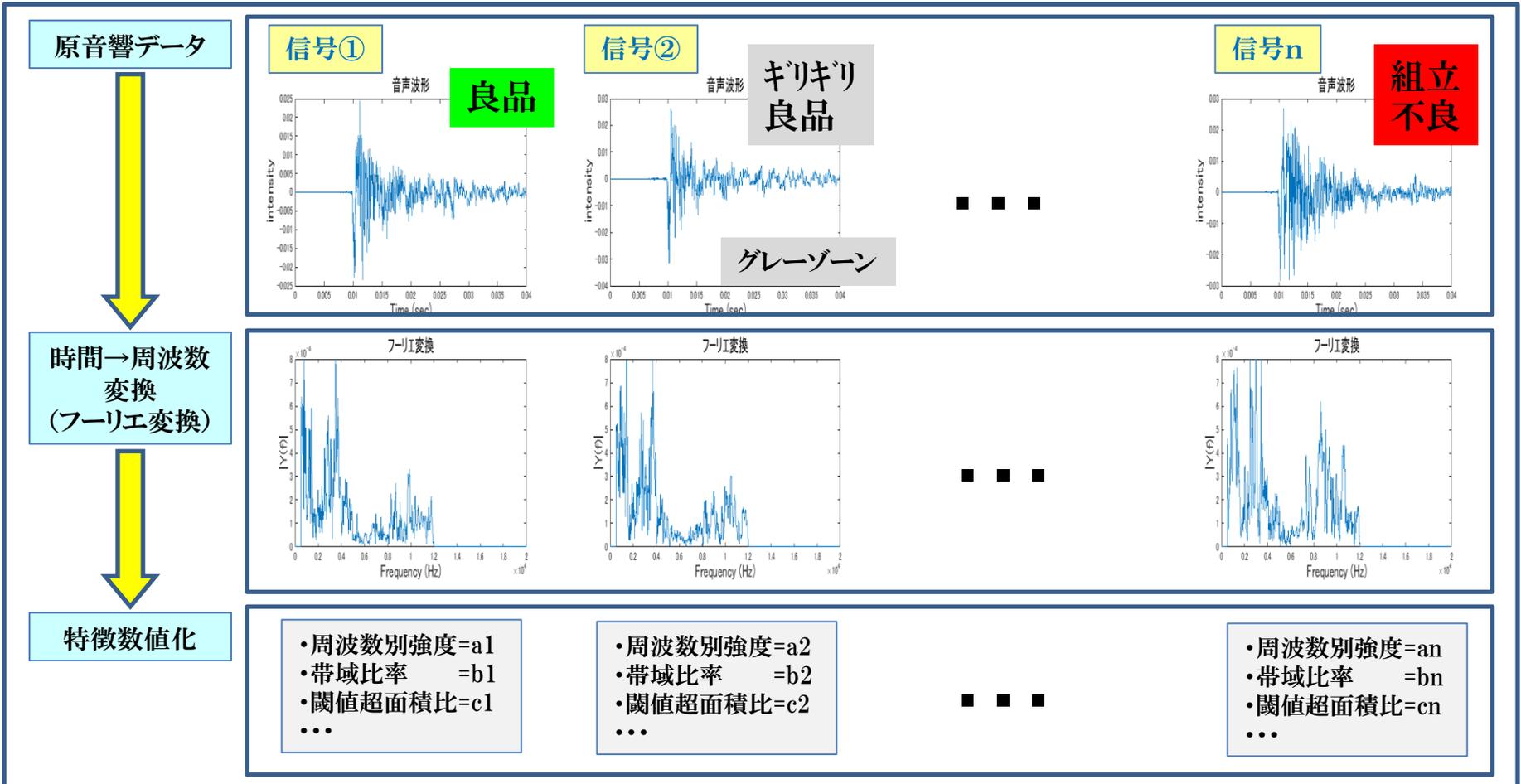
<ステップ3>:評価したい対象物(信号空間)の特徴量の数値を算出する

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。

信号サンプル例を図に示す。→明らかに良品である「信号①」、ギリギリ良品と判断した「信号②」及び組立不良「信号n」



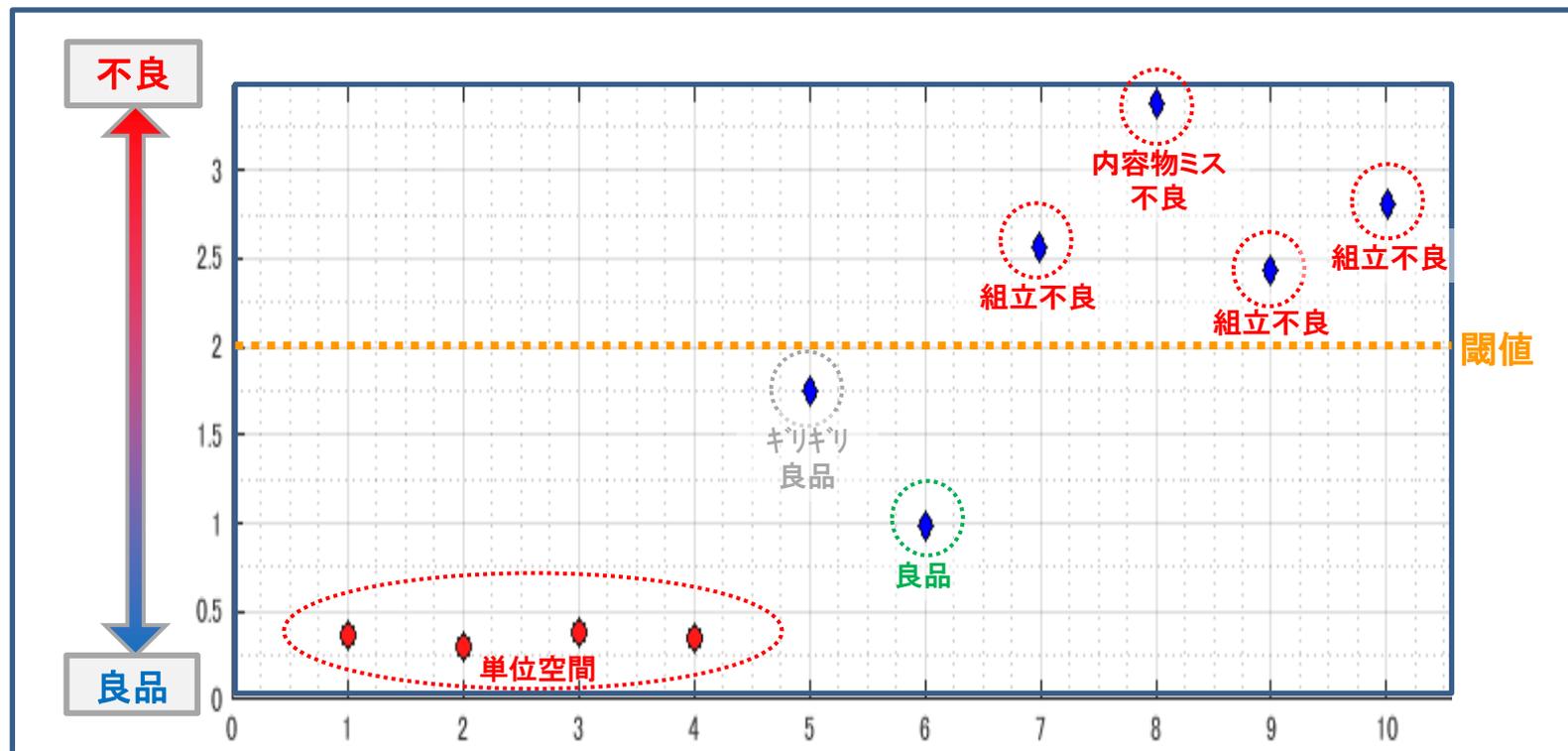
(図13) MATLABによる音響データ処理及び特徴量抽出例(信号空間)

<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。

この事例では下記図に示すように、信号空間として準備したサンプルから算出した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。

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「2」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3-3」に述べる。



(図14) RT法による良否判定結果例

第5章. システム導入の効果とまとめ

前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)の効果について表に整理する。

(表5) 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。 	

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15) 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。



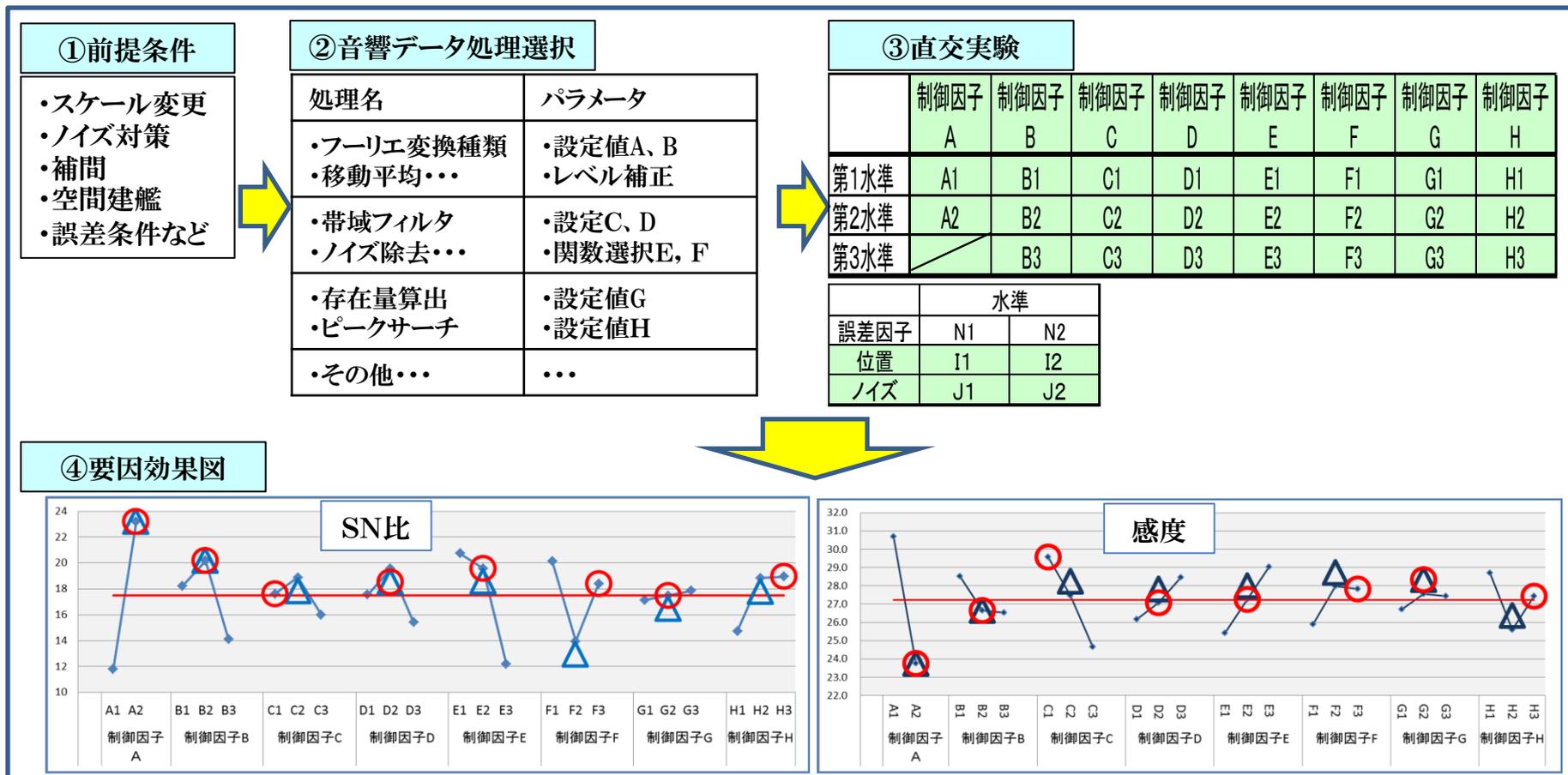
(図16)ほこり認識のイメージ

補足2. 最適な処理方法選択について(パラメータ設計)

目的に適した処理を選択し、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り、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18) 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

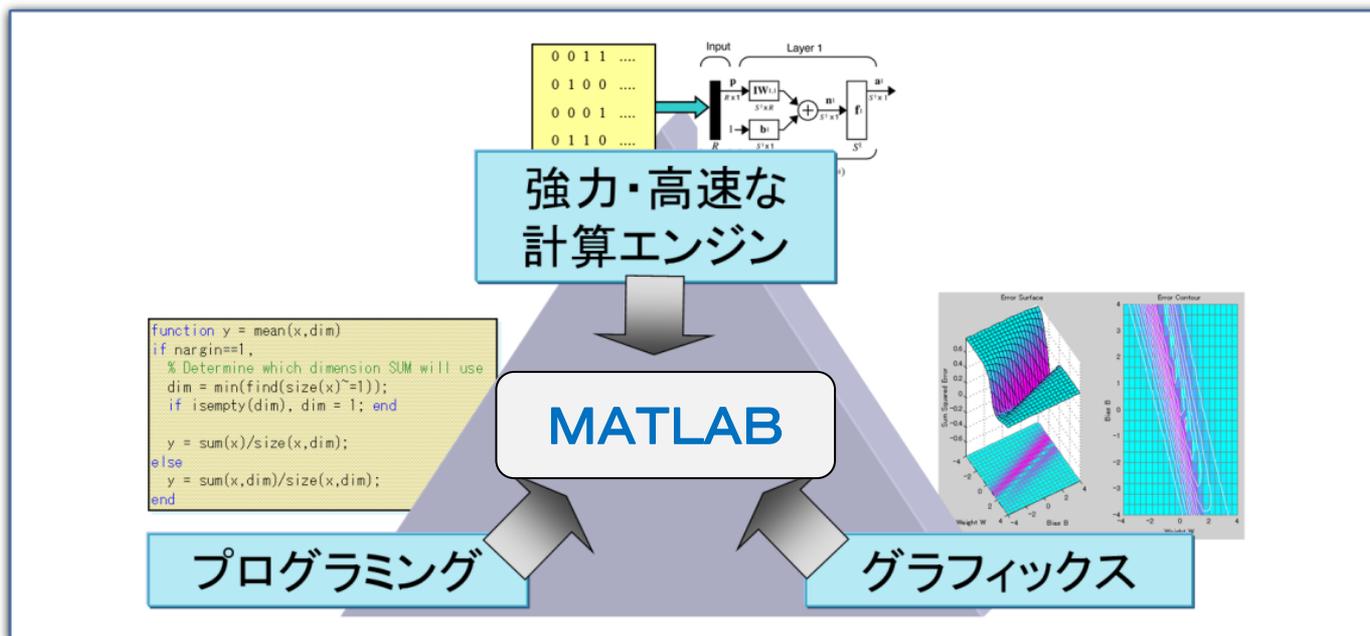
補足3. MATLABを使うメリットについて

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/>)



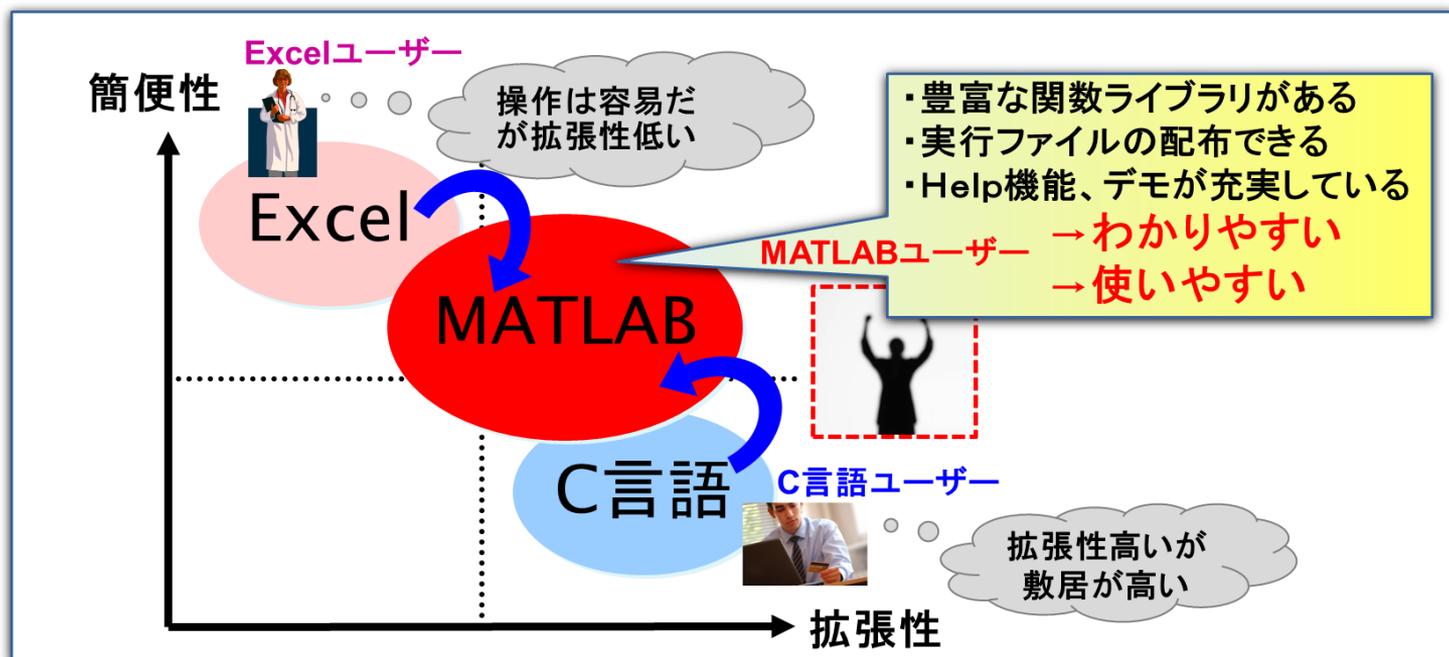
(図19) MATLABイメージ

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、音響、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20) MATLAB/Excel/C言語の比較

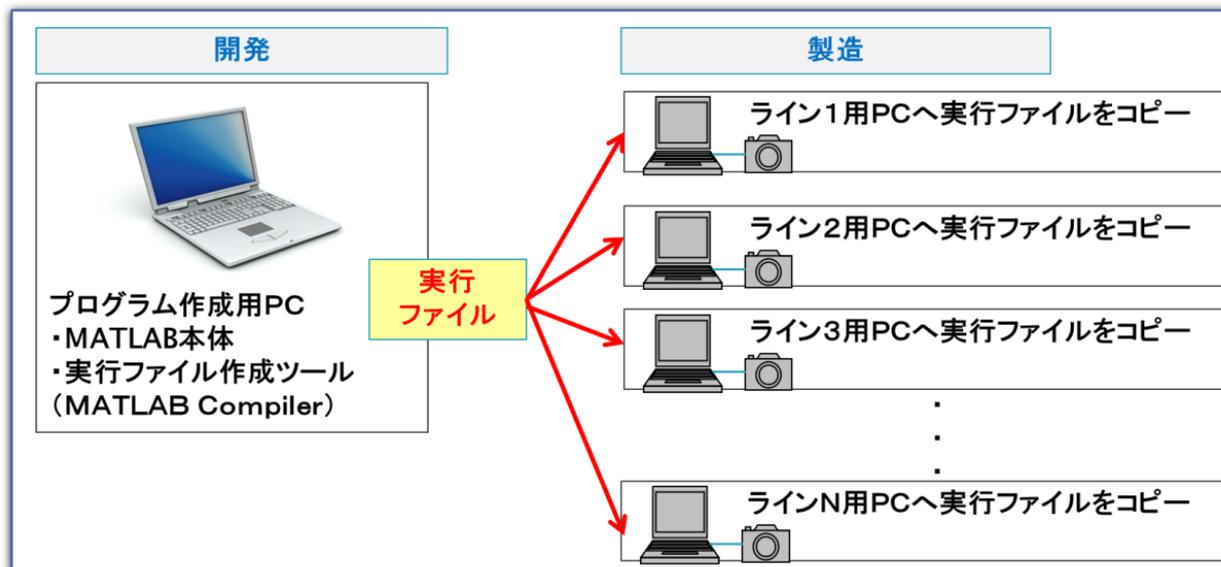
補足3-3. 生産ラインへの導入及び水平展開方法

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21) 工場生産ラインへの水平展開イメージ

補足3-4. 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6) MATLABの主なライブラリー一覧(2015.4.1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3-5. 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

