

## IoT化が進む製造現場で求められる センシング技術

Sensing Technologies Required for Production Sites with Advancement of IoT

岡本 陽介 OKAMOTO Yosuke 廣瀬 佑介 HIROSE Yusuke

IT（情報技術）の急速な発達により、これまで人では処理しきれなかった大量のデータを収集して解析できるようになった。製造現場でも、様々な設備・製品・人が、インターネットを通じてクラウドシステムやサーバーに接続されるIoT（Internet of Things）技術を適用することで、生産性の向上につなげようという動きが活発化しており、どれだけ多様で意味のあるデータを取得できるかが鍵となっている。

東芝グループは、低コストのセンサーと機械学習などを組み合わせた製品検査技術を開発し、複数の製造拠点に展開している。検査の難易度に見合うコストと汎用性の高いデータ処理手法で、製品の外観検査を行う作業者の負荷軽減や、省人化、不良流出の防止、自動化に掛かる期間の短縮など、様々な効果を上げている。また、検査だけでなく、検査時のセンシングデータをIoT基盤で処理し、製造ラインの監視などに活用する技術開発にも取り組んでいる。

With the rapid progress of information technology (IT) in recent years, large volumes of data can now be effectively collected and analyzed in a manner that was not previously attainable by human effort. At production sites, the movement toward the introduction of Internet of Things (IoT) technologies to connect various facilities, products, and people to cloud systems and servers via the Internet has recently accelerated in order to improve productivity. The quality of the data acquired by these systems is therefore a key to the successful utilization of IoT.

With this as a background, the Toshiba Group is developing sensing technologies for product inspections combining reasonable-cost sensors with machine learning technologies and promoting the expansion of their application to its multiple production sites. By suppressing costs corresponding to the level of difficulty of inspection and adopting versatile approaches to data processing, we have obtained good results including the reduction of burdens on workers, labor saving, prevention of the outflow of defective products, and shortening of development periods for automation. We are also engaged in the development of technologies to monitor production lines by means of sensing data obtained by an IoT platform at the time of product inspections.

### 1. まえがき

あらゆるモノがインターネットを経由して接続されるIoTという概念が目されて以降、製造現場でもIoT化が進み、製造設備にも多くのセンサーが取り付けられ、得られたデータは、ネットワーク経由でサーバーに吸い上げられる機能が標準的となり、膨大なデータが蓄積されるようになった。また、機械学習をはじめとするビッグデータ解析手法が実用化されたことから、蓄積されたデータを活用して生産性の改善につながった事例が数多く報告されている。

一方で、生産性を決定する因子は、製造設備から得られるデータだけではなく、作業者の動きや、負荷、製品の出来栄なども重要因子であり、今後は、これまでセンシングで

きていなかったデータを新たに収集して解析の質を高めていくことが、モノづくり力の差別化の源泉になると考えられる。

東芝グループは、製品検査の技術開発を通じて、製造現場で求められるセンシング技術を高めてきた。検査コストを可能な限り抑えるには、低コストのセンサーをいかに使いこなしてデータ処理の汎用性を高められるかがポイントになる。東芝グループでは、これを“簡易検査”と呼んでおり、検査ツールの形にして国内外の複数の製造拠点に展開している。簡易検査を実現する技術は、製品検査だけでなく、製造設備の監視にも適用できる。また、製品検査向けにセンシングしたデータを解析することで、製造設備や加工プロセスを間接的に監視することも可能である。ここでは、簡易検査技術の概要と、この技術の製造IoTへの適用について述べる。

## 2. 簡易検査技術

製造拠点で検査の自動化を導入し定着させるには、検査員の人件費や検査コストなどに比べて更に低コストの検査装置と、検査の専門家でなくても立ち上げや調整ができる、汎用性の高い検査ソフトウェアが必要となる。

従来の画像検査装置の開発では、まず不良品のサンプルを多く集めて分析し、共通する特徴をうまく数値化して良品から区別できる指標を選定する、という手順が必要であった。通常、良品に比べ、不良品を多く集めることは困難で、指標の選定には画像処理の専門知識が必要となる。そのため、検査装置の立ち上げや設定変更は、検査専門のエンジニアが実施している。

これらの課題に対し、東芝グループが開発してきた簡易検査では、データ処理とセンシングの両面から対策している。

まず、データ処理に関しては、不良品を十分に収集できない課題に対し、良品だけを教師データとして、あらかじめ良品群の特徴を統計的に学習しておくことにした。これを良品学習型の検査アルゴリズムと呼んでいる。良品学習型アルゴリズムを実現する方法は幾つか考えられるが、そのうちの二つを以下に述べる。

(1) 統計的しきい値設定法    あらかじめ複数の良品を撮像した画像を収集し、何らかの画像特徴量の統計値（平均値、最大値、最小値、分散値など）を算出しておく。検査する際には、検査画像から抽出された特徴量を、算出した統計値と比較して良否判定する。良品の特徴量が正規分布となる条件下であれば、検出しきい値を、例えば標準偏差  $\sigma$  の定数倍に設定することができる（図1）。

(2) オートエンコーダーの活用    オートエンコーダーとは、次元圧縮を目的としたニューラルネットワークである

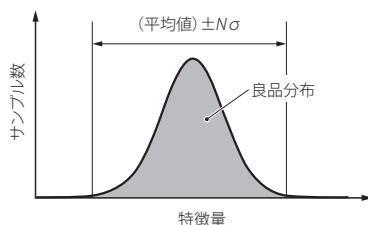


図1. 良品分布に基づくしきい値の設定

画像特徴量の統計値（平均値、最大値、最小値、分散値など）を算出し、統計的に良否判定のしきい値を設定する。

Thresholding based on quality distribution

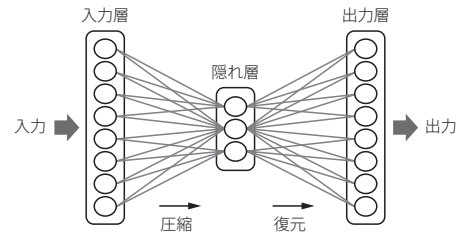


図2. オートエンコーダーの原理

入力と同じ出力が得られるように、入力層と出力層よりも低次の隠れ層を用いて良否判定を行う。

Principle of autoencoder

(図2)。入力層と出力層よりも次元の小さい隠れ層を有するニューラルネットワークを用意し、入力と出力が同じデータになるように学習することで、学習データに共通する特徴を獲得できる。この性質を生かし、複数の良品を撮像した画像だけを学習すれば、良品だけを通過させるフィルターが得られる。例えば、検査画像を入力したときに、出力画像との差分の大きさから良否判定することなどが可能である（図3）。

次に、センシングについて述べる。センシングでは、検出したい欠陥に見合ったセンサーの選定が必要になるとともに、周囲の環境に起因する様々な外乱を分離・低減する施策も重要である。製品に貼付されたラベルを撮像した例を、図4に示す。製品の位置や検査工程の照明など、検査する環境を管理できるかどうかで、画像のばらつきは大きく変わ

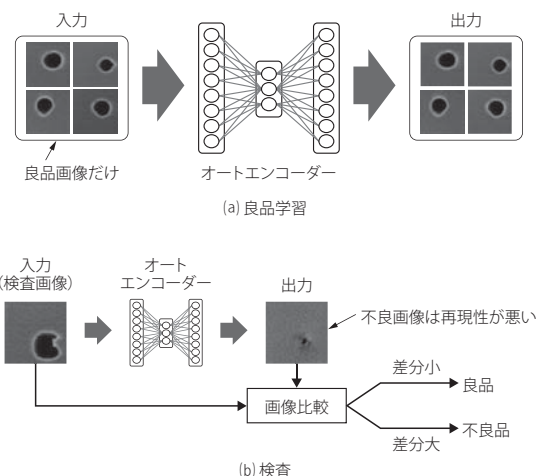


図3. オートエンコーダーを活用した画像検査

良品画像の学習だけで生成したオートエンコーダーを用いることで、良品と不良品を判定する。

Image inspection utilizing autoencoder

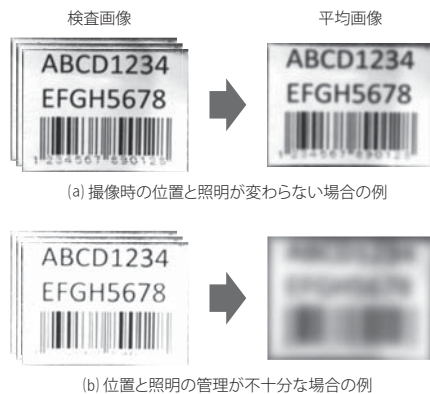


図4. センシング手法の適正化

検査する環境の管理などでセンシングデータの品質を高め、クラス間の分離度を向上する。

Optimization of sensing method

る。管理が不十分なままでは高い精度の検査が望めないことは明らかで、撮像系を工夫してばらつきを抑制するか、撮像後の信号処理で補正するか、何らかの対策を講じることになる。製造現場では、このような外乱に対する施策が非常に重要で、施策ごとのコストや工数など、実現の可否を見積もる手法を確立しておく必要がある。

画像検査の場合、検出したい欠陥の形状・色・サイズなどの特徴、要求される検査時間などに応じて、使用するカメラや、レンズ、照明方法に対する複数の候補が考えられる(図5)。その上で、実際の検査工程の照明や、振動、製

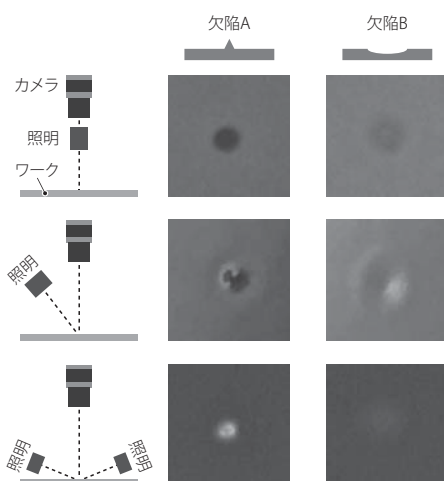


図5. 検査光学系と得られる欠陥画像の違い

照明方法を変えるだけでも、検出したい欠陥の形状・色・サイズなどの特徴は大きく変化する。

Differences in images of defects obtained by various optical systems

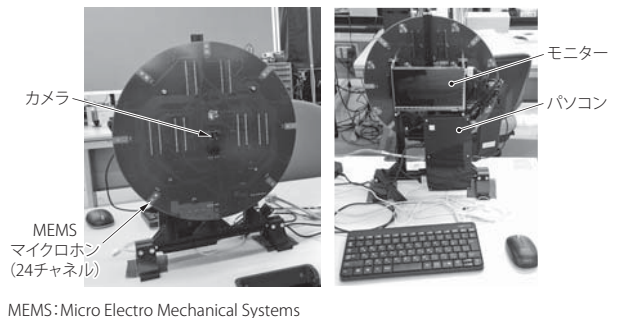


図6. 複数のマイクロホンを用いたサウンドレーダー

外乱音対策として、同心円状に合計24チャンネルのマイクロホンを搭載した集音ツールで、音源の位置に合わせて音を収集する。

Sound radar equipped with multiple microphones

品の搬送方法などを考慮して、ロバスト性の高いセンシング方法を設計することになる。

同様に、異常音検査でも、検査対象の動作音と検出したい異常音の特徴から、センサーと信号処理方法を選定する。製造現場では、検査対象以外にも設備の動作音や、作業者の会話、搬送音、館内放送など外乱音は多岐にわたるため、対策が一層難しい。外乱音対策としては、防音箱や防音室を製作してその中で集音する、複数のマイクロホンを用いて音源の位置に合わせて音を収集する(図6)、などが挙げられる。

### 3. 簡易検査の適用事例

#### 3.1 画像異常の検出

半導体の製造工程では、ウエハーごとにパターン配線の寸法を計測している。寸法計測にはナノオーダーの精度が要求されるため、計測装置自体の管理も重要となっている。

そこで、オートエンコーダーを活用して計測画像の異常を自動で検知する仕組みを開発した。事前に、正常な計測画像だけを教示してモデルを構築しておくことで、取得された画像が正常状態からどの程度乖離(かいり)しているかを算出できる。

#### 3.2 異常音の検出

製品の動作音を、作業員の聴感に頼って検査している場合、どうしても品質のばらつきが生じてしまう。また、検査環境の変化や正常品ごとの個体差などに起因する動作音のばらつきも存在する。

そこで、統計的しきい値による動作音管理ツールを開発した(図7)。外乱音の影響を抑制するために、二つのマイクロホンで動作音を収集し、事前に複数の正常品の動作音から周波数分布を算出しておく。これにより、異常な周波数成

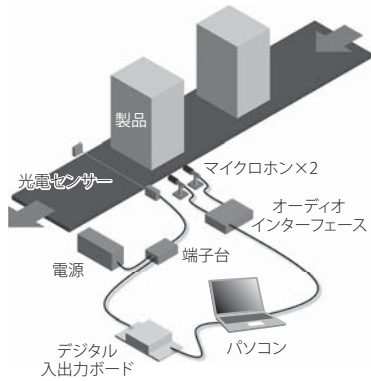


図7. 異常音検査ツールの構成

コンベヤー上を流れてくる製品で、動作音の異常を検出できる。

Configuration of sound inspection tool

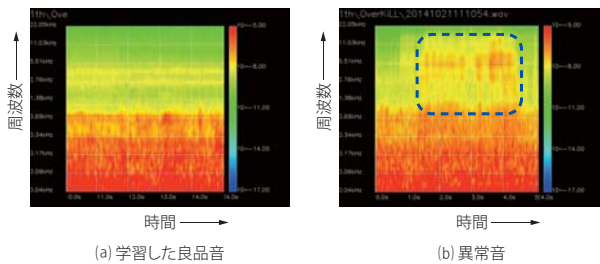


図8. 異常音検査の様子

事前に良品の動作音の周波数分布を算出しておくことで、異常時には良品には見られない特徴が確認できる。

Detection of abnormal noise by sound inspection

音を発している製品を自動的に検出できる(図8)。

#### 4. 製造 IoT への展開

簡易検査は、製品の外観や音を正常と異常の二つのクラスに分離することを目的としているが、異常モードごとに細かく分類することで、より多くの情報を得ることができる。また、製品検査だけでなく、製造装置の監視に適用して製造ラインの高度な管理も実現できる。製造装置の監視には、複数の項目が考えられるが、ここでは駆動音の異常検知を取り上げる。製造装置の駆動音を収集する際、製品検査と同様に外乱音の影響をいかに低減するかが課題となる。また、一般的に製造装置には複数の駆動音源が存在するため、音源ごとに異常の検出と異常モードの特定を行う必要がある。このような異常音発生源の可視化を、図9に示すような構成で実現し、製造装置の管理の高度化に取り組んでいる(図10)。

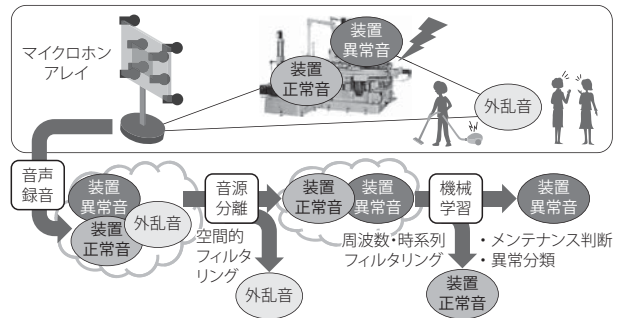


図9. 装置異常音モニターの概要

装置から発生する駆動音だけを抽出し、異常監視を行う。

Outline of sound monitoring system for equipment

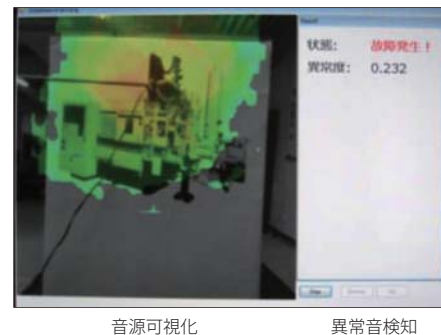


図10. 異常音発生源の可視化

異常音が発生した際は、音源の発生位置を可視化して表示できる。

Visualization of noise source

#### 5. あとがき

東芝グループは、低コストのセンサーと機械学習などを組み合わせた製品検査技術を開発し、複数の製造拠点への展開を進めている。今回は、外観検査と異常音検査の自動化に向けたセンシングとデータ処理について述べた。これらの技術は、製品検査だけでなく、製造装置の異常監視への展開も可能であり、今後は、製造IoTへの活用も進めていく。



岡本 陽介 OKAMOTO Yosuke  
東芝メモリ(株)  
メモリ技術研究所  
メモリ生産技術開発部  
Toshiba Memory Corp.



廣瀬 佑介 HIROSE Yusuke  
研究開発本部  
生産技術センター  
光技術研究部  
Optical Technology Research Dept.