

# AI活用の裾野を広げるための現場対応型検査技術の開発 多様な現場での異常検知を実現するための検知器構成方法および 情報収集方法の検討

大坪 立サミュエル\*  
Otsubo Ritsusamuel\*

**要旨** 製造業の現場において、工業製品の外観検査や異常検知の自動化が求められている。ここで、「異常検知の為の情報の収集と情報の統合」と「得た情報を基に異常検知の実行」の2段階からなる自動化された異常検知器を構成することを考える。これを実現するためには、判断基準の多さ、想定外の発生、状況によって異なる許容誤差に起因する異常検知ルールの複雑さと観測で得た情報に試験対象に関する情報が一部欠落する、または、ノイズが混入することの2つの要因に対応する必要がある。これらに対応する手法を構築するための検討を行った。

## 1 はじめに

製造業の現場では、工業製品の外観検査や異常検知タスクは精神的・肉体的負荷の大きさ[1]や高齢化による熟練技術者の減少[2]などの要因から自動化が求められている。以上の課題に対処するため、熟練技術者の持つ技能をAIが学習、自動化することが考えられる。

外観検査や異常検知の自動化を実現するのに際して、次の3つの課題への対応が必要となる。1つ目は、多品種少量生産への対応である。多品種少量生産の現場では各品種に対する学習用のデータの数が少なくなり[3]、出来上がった異常検知器は十分な性能を持たないことがある。2つ目は、異常検知タスクのルール化の困難さへの対応である。判断基準が複雑な場合[4]や顧客の要求品質や使用先の製品等の状況の違いによる許容誤差の違い[5]がルールベース手法適用の難しさの原因となっている。3つ目は、現場由来の外乱、観測ノイズへの対応である。ノイズの発生などによる撮影状況が乱れ[6]、背景雑音の発生等が発生しても[7]、これらの影響に対しても頑強な異常検知器の構築が求められる。

本報告では、まず、2節で、上で述べた課題へのアプローチについて説明する。3節では提示されたアプローチが異常検知器の構成方法と異常検知のための情報の収集方法に関する2つの研究課題から成り立つことを記す。4節と5節では、3節で述べた課題を概説する。最後に、6節にまとめを記す。

## 2 問題に対するアプローチ

本研究では、構成される異常検知器として、次に記す2つのステップからなる動作をするものを考える。これらは工業製品の検品の際、対象を動かし様々な視点から得た情報を統合し判断している事や梨農園での実のカウントに対するカルマンフィルタの応用の事例[8]において見られる。

Step 1 異常検知の為の情報の収集と情報の統合

Step 2 Step 1で得た情報を基に異常検知の実行

各ステップは以下の事柄を満たすことが望ましい。

### Step 1について

1. 判定失敗確率について所望の性能を満たす。
2. 効率の良い情報収集方法である。
3. 情報収集時において試験対象への負荷が小さい。
4. 検知時の外乱、ノイズの影響が小さい。

### Step 2について

1. 小、中データでも所望の異常検知器を学習できる。
2. 学習時の外乱、ノイズの影響が小さい。

## 3 解決すべき研究課題

本研究で目指す異常検知と対応する課題について述べる(図1参照)。試験対象を特徴づけるパラメータを $a$ とする。 $a$ が決まれば、試験対象が一意に定まるとする。異常検知の際に生じる曖昧さの要因として、(i)判断基準の多さ等に起因するルールの複雑さと(ii)観測情報 $a$ に混ざる外乱やノイズを考える。異常検知器の構成の際に要因(i)へ、異常検知器構成後の判定のための情報収集の際に要因(ii)へ対処する。前者に関する課題を(1)「異常検知器の構成方法」と、要因(ii)に関する課題を(2)「異常検知のための情報の収集方法」と表記する。

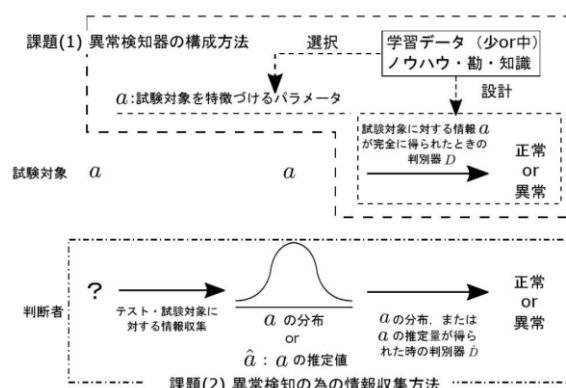


図1 異常検知の流れと研究課題との関連

## 4 異常検知器の構成方法

### 4.1 異常検知器構成の方針

異常検知器構成の際には、試験対象となる工業製品はおおよそその対称性や不変性を持つことが多い。例えば、ボルトなどは図2のように対称性、不変性を持っている。傷や歪みが生じると、正常品が持つべき対称性、不変性が破れる。対象がある種の対称性、不変性を持ち、破れ具合を評価し、異常判定を行うことを考える。

### 4.2 今年度までの進捗

昨年度は、図3のような対称性、不変性をもつ対象に対する異常検知問題を設定し、初歩的な検討を行った[9]。まず、試験対象を与える確率分布を構成することでタスクの持つ曖昧さや複雑さを考慮し、統計的仮説検定問題の手法を選択し用いることで許容範囲を選び、判断することの有用性が示唆された。今年度は文献[9]の数値例を一般化した。試験対象を多様体上の関数を値として持つ確率変数として、試験対象が持つ性質(対称性等)を強く表れるほど確率を高くする(図4参照)。図4では対称性を強く持つほど高い確率にしている。そのうえで、多様体の領域



図2 工業製品の対称性、不変性

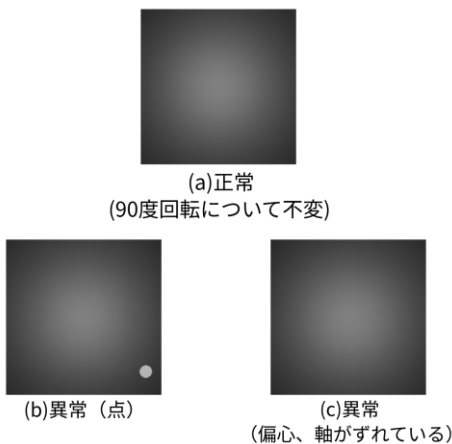


図3 図3 (a)正常 (b)点異常 (c)偏心異常

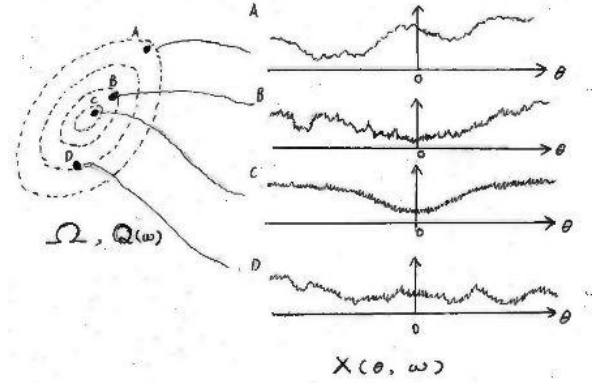


図4 試験対象を表す確率変数を設定し、その領域に対象が含まれるか否かを判定することで正常か異常かを決定する。以上を実現するために確率過程とその統計解析に関する調査を行っている。

## 5 異常検知のための情報の収集方法

### 5.1 課題の定式化

異常判定のための情報収集では、試験対象に対する負荷が少ない方が望ましい。判定に必要な情報収集の際にかかるコストを最小化する問題を考える。これを以下のような確率的最短経路問題(SSP)として扱う。状態集合を $X$ 、観測集合を $Y$ 、擾乱集合を $W$ 、雑音集合を $V$ とする。行動集合を $U$ と表記し、試験対象への操作と正常、異常の判定からなる集合とする。これらの集合の元は対応するアルファベットの小文字で表記し、下添字は離散時刻を表す。状態方程式を

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t, w_t; a)$$

$$p(dw_t | u_t, w_t, a)$$

とし、観測方程式を

$$y_t = h(x_t, u_{t-1}, v_t; a)$$

$$s(dv_t | x_t, u_{t-1}, a), t = 1, 2, 3, \dots$$

$$y_0 = h_0(x_0, v_0; a)$$

$$s_0(dv_0 | x_0, a)$$

とする。各時刻 $t$ で発生するコストは現時刻 $t$ での状態、行動、擾乱のみに依存し、 $g(x_t, u_t, w_t)$ と表記する。制御則 $\pi$ を

$$\pi = (\mu_0, \mu_1, \dots)$$

$$\mu_t(du_t | y_0, u_0, \dots, y_{t-1}, u_{t-1}, y_t)$$

と表記する。本問題では判定失敗確率を $\epsilon$ に抑えるような情報収集と判定方法の中から、コストを小さくするようなものを導出することを目的とする。

### 5.2 行き止まりを考慮したSSPへの変換

以上で定式化した問題を、判定成功を終端状態(ゴール)、判定失敗を行き止まりとみなすことで、行き止まりを考慮したSSPに帰着される。昨年度は観測から現在の状態を一意に決められる理想的な条件の場合、行き止まりを考慮したSSPを扱い、ゲーム理論とベイズ推定を組み合わせ

ることで解が得られることを導いた[10]。今年度は観測からは現在の状態に関する情報の一部しか得られない場合について検討を行った[11]。行き止まりを考慮しない場合と異なり、現在の行動を選択する際には現在の状態の他に初期状態の推定も用いることが示された。

## 6 おわりに

まず、上で述べた課題にうまく対応する異常検知器を作成する際のアプローチについて説明した。次に、提示されたアプローチが2つの研究課題、異常検知器の構成方法と異常検知のための情報の収集方法、によって構成されていることを記し、それぞれの概要を説明した。

## 参考文献

1. 中井 淳一、浅野 憲治: 正常多様性を考慮した外観検査自動化のための異常検知手法、2021 年度人工知能学会全国大会論文集(2021)
2. 中嶋 良介: 高度な技能を要する外観検査作業における作業改善・作業設計・自動化の研究と課題に関する一考察、2022 年度精密工学会学術講演会講演論文集(2022)
3. 小石 泰毅: 機械学習における不採用訓練事例の有効 活用手法に関する研究、九州工業大学博士学位論文 (2019)
4. 田中 拓哉、笠原 亮介: 画像を用いた自動外観検査技術、日本画像学会誌、vol. 55-3、pp. 348–354 (2016)
5. 志田 敬介、中嶋 良介、康 秀徳: 目視検査における 検査時間が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究、バイオメカニズム学会誌、vol. 37-2、pp. 134–138(2013)
6. 岩田 健司、松本 知浩、青山 慶子、梶川 敬介、五島 康二、杉本 喜一: 高ノイズ・低コントラスト・少数サンプル下における X 線溶接画像検査の高精度欠陥検出アルゴリズムの開発、精密工学会誌、vol. 87-12、pp. 1003–1007(2021)
7. 島村 徹也: 音情報に基づく設備診断・故障検知に関する最新技術—事例解説、システム/制御/情報、vol. 65-4、pp. 132–137(2021)
8. K. Itakura, Y. Narita, S. Noaki, and F. Hosoi: Automatic pear and apple detection by videos using deep learning and a Kalman filter, OSA Continuum, Vol. 4-5, pp. 1688–1695(2021)
9. 大坪 立サミュエル: 不変量を考慮した異常検知についての検討、2023年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会シンポジウム講演論文集 (2024)
10. R. Otsubo: Stochastic Shortest Path Problem on Borel Space Considering Dead-ends and Undesired Terminal States, Proceedings of the ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Applications, vol. 2024, pp. 10–19 (2024)
11. 大坪 立サミュエル: 望まない終端状態を考慮した部分観測確率的最短経路問題、第67回自動制御連合講演会 (2024)