

Title	音質評価指標による産業機器の異常音検知に関する研究
Author(s)	大田, 恭士
Citation	
Issue Date	2023-12
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/18821">http://hdl.handle.net/10119/18821</a>
Rights	
Description	Supervisor: 鷗木 祐史, 先端科学技術研究科, 博士

氏名	大田 恭士		
学位の種類	博士 (情報科学)		
学位記番号	博情第 518 号		
学位授与年月日	令和 5 年 12 月 22 日		
論文題目	音質評価指標による産業機器の異常音検知に関する研究		
論文審査委員	鶴木 祐史	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	長谷川 忍	同	教授
	吉高 淳夫	同	准教授
	岡田 将吾	同	准教授
	高田 正幸	九州大学	准教授
	井本 桂右	同志社大学	准教授

## 論文の内容の要旨

This research aims to realize human-centric technology that can provide safety and security through intelligence that is easily understood and harmonized with users. Then this paper proposes an anomalous sound detection (ASD) method that uses a combination of timbral feature-based metrics and short-term features, which is tailored to industrial machine faults to identify whether the sound emitted from a target machine is anomalous.

Daily maintenance of industrial machines is essential to ensure safe operation for efficient production and business management. Inspectors use their knowledge to detect anomalous situations by using their senses, especially hearing. They have excellent skills in discriminating differences in sounds using their “noticeable difference in hearing”. Due to a labor shortage, anomalous sound detection (ASD) is expected to support inspectors in identifying whether the sound emitted from a target machine is anomalous as automation and a remote solution.

Recent technical trends of ASD indicate advances in machine learning for discrimination, however acoustical features to capture characteristics of the anomaly of sound remain primitive measurements such as log-mel energies. This causes difficulties for users to understand the logic and to harmonize with ASD as a trustable technology in their fields.

We propose a timbre-feature-based ASD (TF-ASD) method that involves five sound quality metrics (SQMs), two short-term acoustic features, and a support vector machine (SVM) for classification. We develop two types of short-term features to estimate the change in the fluctuation of sound waves and pitch in terms of harmonics to improve the time resolution of the timbral analysis. This combination of SQMs and two dedicated short-term acoustical features is based on an investigation of timbral association with industrial machine malfunction from the viewpoint of “noticeable difference in hearing” that is the human ability to discriminate differences in sounds.

We evaluated the TF-ASD performance of our method in terms of SVM classification using the MIMII (Malfunctioning Industrial Machine Investigation and Inspection) dataset. The results indicate that the proposed method has excellent classification performance with an accuracy of 0.984 and an F-measure of 0.920 on average for emitted sounds of 16 machine types and models. This demonstrated that the combination of SQMs and our short-term features, which is derived from the “noticeable difference in hearing” is effective for ASD.

Furthermore, the timbre-based feature, which is a combination of SQMs and two short-term acoustical features, is verified on the classification capability for the abnormal sound of industrial machines using an anomalous score which

estimates the rareness of probability of occurrence against the normal sound distribution. ROC-AUC (AUC) is used to measure the differentiation of the anomalous score of the abnormal sound from that of the normal sound, the further separated the anomalous scores each other, the closer the AUC value to 1.0. The result of an AUC of 0.856 shows the excellent discrimination ability of the timbre-based feature from the probability statistics.

In this paper, we derived a set of SQMs about an anomaly of the sounds emitted from industrial machines in terms of human noticeable differences in hearing and developed a timbre-based feature which is a combination of the SQMs and two original short-term acoustical features. With the timbre-based feature, human-centric ASD, which may be understandable and cooperative with users, is configured and demonstrates excellent classification performance.

Furthermore, by mutual analysis of the timbre-based feature value with human anomalous detection results, implicit knowledge of inspection for industrial machines can be digitized and be transferable assets in various industrial fields.

**Keywords:** anomalous sound detection, timbral feature, sound quality metrics, industrial machine faults, support vector machine.

## 論文審査の結果の要旨

ものづくりの現場では日々の設備点検が安定稼働の維持に必須であり、その中でも点検員の聴感検査が即時性に優れて有効である。しかし、点検保守業界が人材不足を背景に監視遠隔化、ノウハウ伝承、人材コスト適性化などの問題を抱えている。そのため産業機器の動作音を対象とした異常音検知の需要が日々高まっている。現在主流となっている機械学習（AI アプローチ）からの異常音検知手法は、優れた検知性能を示すものの、どのような音響特徴がどのように理解されて異常を検知しているか、そのメカニズムは理解され難く、現場での適用や運用が難しい技術となっている。

本研究では、利用者が理解しやすく協働しやすい人間中心的な異常音検知の実現を目標に、産業機器の動作音を対象として人が異常音を聞き分ける観点と音色との関連性を明らかにすることを目的とした。ここでは、①人の異常音聞き分け観点と機器の異常要因を音色関連特徴量にて定量的に対応づけられるのか、②機器の動作音の変化と関連づけた音色関連特徴量で優れた異常音検知を実現できるのか、の2点が議論された。特に、異常音の聞こえに対応した音響特徴量表現の検討（産業機器の機構特性からの落とし込み）、実機動作音による音響特徴量仕様と妥当性の検証、機械学習手法による異常音検知システム化と性能検証、検証結果の統合考察と結論づけが行われた。

本研究の学術的な成果は、音質評価指標を介して産業機器動作で発生する異常音と音色との関連性を明らかにした点にある。また、本研究の独創性は、機器の機構上の異常要因を調査し、音色の観点から、発生する異常音に対する聴知覚上の差異を言語（オノマトペ）で表現することで音質評価指標と対応づけたことにある。近年の異常音検知は音響特徴量を初歩的なものに留め、機械学習手法の創意工夫により著しい発展を遂げている。これに対し、本研究では、人が音の差異として捉える音色の観点で音響特徴量を考案したことで、音色関連特徴量を基に機械学習手法の適用により優れた異常音検知性能を具現化したことが、本研究の新規で有効な点である。本成果は、点検保守の現場にて点検員と協調、協働しながら成長していく人間中心的な異常音検知技術となり得るだけでなく、点検員（人）の主観評価値との対応づけにより暗黙知であった検査知見の数値化（≒顕在知化）や機器製品の快音化などに幅広く発展できるポテンシャルを有している。

以上、本論文は、聴知覚上の差異から音色の指標（音質評価指標）と関連づけた異常音検知手法

を実現した。本技術は、聴知覚メカニズムの解明の一助になり、応用範囲が広く、学術的に貢献するところも大きい。よって博士（情報科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。