

テーマ番号	EP070			
プロジェクト テーマ	和文	深層学習による超音波透過画像からの気泡検査システムに関する研究	指導教員	長田 茂美 教授
	英文	Research on the Ultrasonography System Based on Deep Learning		
プロジェクト メンバー	4EP1-32 永山 翔 (Sho Nagayama)			

**Abstract** 現在、リチウムイオン電池の超音波透過画像から残留気泡を検出するには、人手による画像特徴の設計やパラメータ調整が必要であり、精度向上が困難となっている。本稿では、検出精度の向上を目指し、深層学習を用いて重要な画像特徴を自動で抽出できる残留気泡の検出システムを提案する。具体的には、畳み込みニューラルネットワークを2段に配置し、画像を8種類のカテゴリに自動分類するシステムを構築し、評価実験により有用性を確認した。

**Keywords** ultrasonography, ultrasonic transmission image, deep learning, convolutional neural network, feature map.

## 1. まえがき

昨今、普及が著しいスマートフォンやタブレット端末、ノートパソコンなどの内蔵電池として、リチウムイオン電池が使用されている。そのリチウムイオン電池の欠陥検査として、検査対象に超音波を照射し、その透過波の強度を画像として表現した超音波透過画像を用いる方法がある。超音波には異なる媒体の境界で反射するという性質があり、この性質を利用して、超音波透過画像からリチウムイオン電池のパウチ内部の残留気泡を検出する非接触・非破壊検査システムが開発されている。

これまで、リチウムイオン電池の超音波透過画像から残留気泡を検出するには、複数の基本的な画像処理アルゴリズムを組み合わせて気泡の画像特徴を抽出する手法が用いられているが、高精度な検出を実現する画像特徴の設計や最適パラメータの調整はすべて人手に委ねられていた。

本研究では、近年、重要な画像特徴を自動的に抽出することで注目を集めている深層学習を用いて、リチウムイオン電池の超音波透過画像から高精度に残留気泡の欠陥を検出できるシステムの構築を目指す。

## 2. システム概要

### 2.1 本研究の目的

図1は、10種類のカテゴリに分類されるリチウムイオン電池の超音波透過画像の一例である。“OK(正常)”で始まるカテゴリは、正常なリチウムイオン電池の超音波透過画像を、“NG(異常)”で始まるカテゴリは、気泡を含む異常なリチウムイオン電池の超音波透過画像を、また、“ME(装置異常)”で始まるカテゴリは、装置異常による超音波透過画像を示す。“OK”、“NG”、“ME”で始まるカテゴリに属する超音波透過画像の各々は、さらにいくつかの詳細なカテゴリに分類されており、特に、“NG”や“ME”の場合には、その超音波透過画像が生成された原因が容易に究明できるようなカテゴリ名称となっている。

本研究の目的は、リチウムイオン電池の異常検出とその原因究明のために、リチウムイオン電池の超音波透過画像をこれらの詳細カテゴリに精度よく自動分類するシステムを実現することである。

### 2.2 提案システムの概要

図2に、今回提案するリチウムイオン電池の超音波透過画像からの気泡検査システムの概要を示す。本システムでは、深層学習の一種である畳み込みニューラルネットワーク(CNN, Convolutional Neural Network)<sup>[1]</sup>を2段に配置し、リチウムイオン電池の超音波透過画像を、まず、1段目のCNNで特徴が似ている画像同士を大分類クラスに分類し、次に、その分類結果に基づいて、2段目のCNNで各々の

大分類クラス内の詳細カテゴリに詳細分類するという構成を採っている。但し、10種類の超音波透過画像のカテ

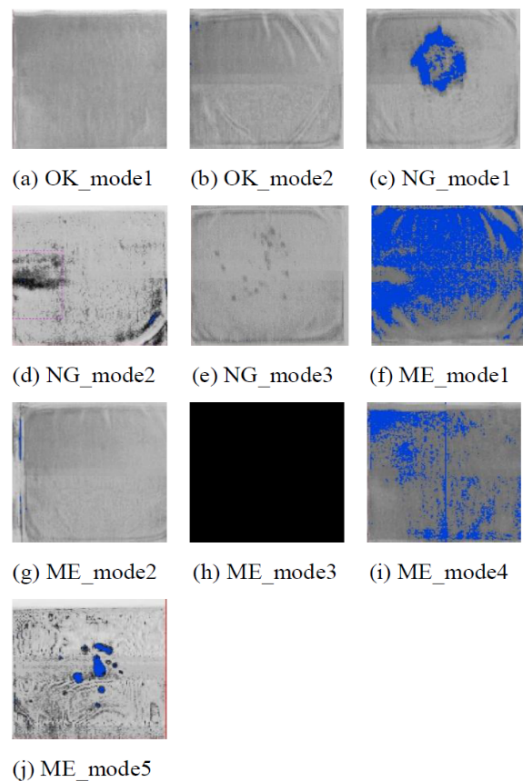


図1 リチウムイオン電池の超音波透過画像 (10種類の超音波透過画像の一例)

Fig. 1 Ultrasonic transmission images of lithium-ion batteries (typical image of each category).

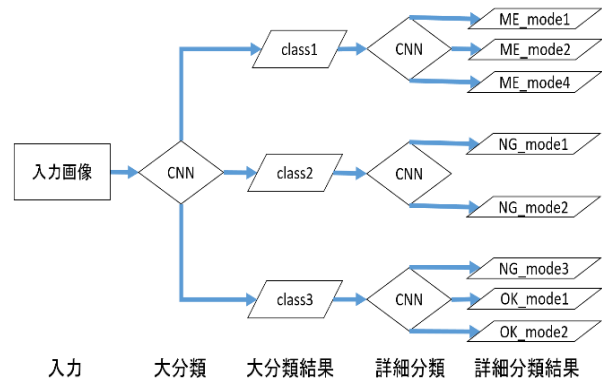


図2 本システムの概要

Fig. 2 Overview of the system.

ゴリのうち、ME\_mode3 と ME\_mode5 の 2 つのカテゴリの出現頻度が極めて低く、ME\_mode3 が 2 枚、ME\_mode5 が 1 枚しか収集できておらず、この 2 つのカテゴリについては、今回の分類対象からは除外した。したがって、本システムの詳細分類のカテゴリは、8 種類となる。図 3 に、本システムで用いる CNN の構造を示す。なお、超音波透過画像は 200×200 画素に正規化したものを使用する。

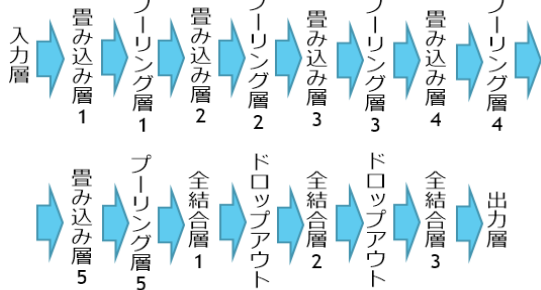


図3 CNN の構造

Fig. 3 The structure of CNN.

### 3. システム評価

#### 3.1 評価実験

本システムの有用性を確認するために、カテゴリが既知である 200×200 画素に正規化した超音波透過画像 242 枚を使用し、“OK” が 2 種類、“NG” が 3 種類、“ME” が 3 種類の計 8 種類のカテゴリに分類する評価実験を実施した。また、2 段階構成の CNN を採用したことの有用性を評価するためにも、一般的に用いられている単一の CNN で詳細分類を行った場合との分類精度の比較評価実験も実施した。表 1 に、評価実験結果を示す。2 段階構成の CNN については、大分類 3 クラスの正答率と詳細分類カテゴリの正答率も示す。この結果から、単一の CNN よりも 2 段階構成の CNN の方が高い正答率を実現できていることがわかる。しかし、双方に共通して、ME\_mode4 のカテゴリに属する超音波透過画像の分類精度が著しく低いということがいえる。この原因として、ME\_mode4 のカテゴリに属する超音波透過画像は、図 1 (i) のように、画像内のどこかに縦の直線が入るといった特徴をもつが、CNN がこの画像特徴を十分に捉えきれていないことが考えられる。

表1 評価実験結果

Table 1 Evaluation experimental results.

カテゴリ名	単一 CNN 正答率(%)	2 段階 CNN 正答率(%)
OK_mdoe1	91.6	93.2
OK_mode2	78.4	88.8
NG_mode1	90.0	100.0
NG_mode2	100.0	100.0
NG_mode3	78.8	81.6
ME_mode1	99.1	96.9
ME_mode2	80.0	100.0
ME_mode4	7.5	12.5
大分類		99.4
詳細分類(class1)		88.7
詳細分類(class2)		100.0
詳細分類(class3)		87.7
カテゴリ平均	78.1	84.1

#### 3.2 特徴マップの分析

ME\_mode4 の超音波透過画像の分類精度に関する仮説を検証するために、本システムで用いた詳細分類(class1)

用 CNN の畳み込み層からの出力を特徴マップとして表示し、ME\_mode4 の画像に存在する縦線の特徴がどの段階で消失しているかの確認を行った。図 4 に、ME\_mode4 の画像から畳み込み層 4 の出力からの特徴マップの例を示す。この段階の特徴マップからは、縦線と思われる画像特徴が消失していることがわかる。

図 5 に、ME\_mode4 の画像が最も多く誤分類された ME\_mode1 の画像からの CNN の畳み込み層 4 の出力からの特徴マップを示す。

図 4 および図 5 から ME\_mode4 の縦線の特徴が消失した特徴マップと ME\_mode1 の特徴マップが酷似しており、ME\_mode4 の画像が ME\_mode1 のカテゴリに誤分類されることが確認できた。

図 6 に、図 4 及び図 5 の特徴マップを生成した超音波透過画像を示す。図 6 から、ME\_mode4 の画像の中央にある縦線を除けば、ME\_mode1 の画像に酷似していることがわかる。



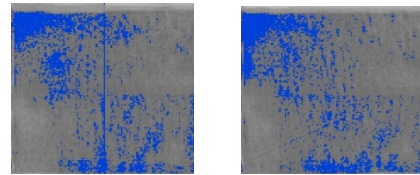
図4 特徴マップ(ME\_mode4, 畳み込み層 4)の例

Fig. 4 Examples of feature maps (ME\_mode4, convolution4).



図5 特徴マップ(ME\_mode1, 畳み込み層 4)の例

Fig. 5 Examples of feature maps (ME\_mode1, convolution4).



ME\_mode4 ME\_mode1

図6 類似した特徴マップを生成する超音波透過画像

Fig. 6 Examples of ultrasonic transmission images producing similar feature maps.

今後の課題として、超音波透過画像のデータセットを拡充し、分類精度が著しく劣る ME\_mode4 の超音波透過画像から縦線の特徴を捉える手法の検討を始め、システム全体のさらなる精度向上を図っていくことが挙げられる。

#### 4. むすび

本研究では、深層学習を用いて、リチウムイオン電池の超音波透過画像を 8 種類のカテゴリに自動的に分類するシステムを開発し、評価実験によってその有用性を確認した。今後も、引き続き、評価・改良を継続し、実用的なシステムへと精度向上を図っていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 岡谷貴之, 深層学習, 講談社, 2015.
- [2] 斎藤康毅, ゼロから作る Deep Learning, オライリージャパン, 2016.

#### 本プロジェクトに関する業績

- 1) 永山翔, 川崎邦将, 松井康浩, 長田茂美, “深層学習を用いた超音波透過画像からの気泡検査システムに関する研究,” VIEW2017, IS2-A8, 2017.