

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

担当者：村上 龍一

指導教員：長田 茂美 教授

1. まえがき

昨今、携帯電話やスマートフォン、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た方法がある。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、気泡などの画像特徴を抽出する手法が用いられ、高精度な検出を実現するための画像特徴の設計や最適パラメータの調整は人手に委ねられていた。

そこで、本研究では、近年、重要な画像特徴を自動的に抽出できることで注目を集めている深層学習に基づいて、リチウムイオン電池の超音波透過画像から高精度に残量気泡など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

図 1 に、今回開発した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構造を示す。本システムでは、深層学習の一種の畳み込みニューラルネットワーク(CNN, Convolutional Neural Network)^[1]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 OK(正常)、NG(異常)、ME(装置異常)の 3 種類のカテゴリに大分類し、次に、その分類結果に基づいて、2 段目の CNN で 10 種類のカテゴリに詳細分類するという構成を採っている。図 2 に、本システムで使用している CNN の構造を示す。なお、超音波透過画像としては、 128×128 画素に正規化したものを用いている。

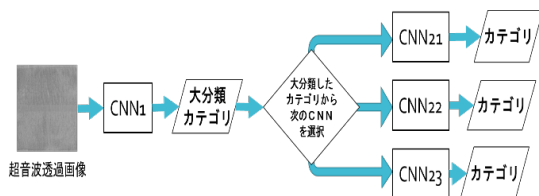


図 1. システムの構造

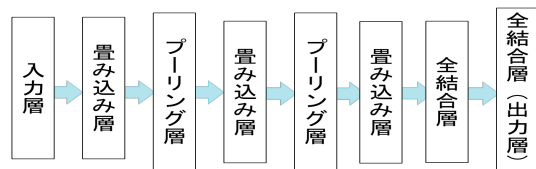
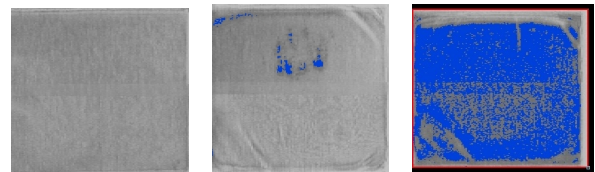


図 2. CNN の構造

3. システム評価

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 128×128 画素に正規化した超音波透過画像 3,993 枚を使用し、OK(正常)が 2 種類、NG(異常)が 3 種類、ME(装置異常)が 5 種類の計 10 種類のカテゴリに分類する評価実験を実施した。図 3 に、評価実験に用いた超音波透過画像の一例を示す。評価実験では、訓練データセットを用いて、1 段目の CNN に超音波透過画像と大分類カテゴリとの関係を、2 段目の 3 つの CNN にはそれぞれ超音波透過画像

と OK、NG、ME の詳細カテゴリとの関係を学習させた後、テストデータセットを用いて、詳細カテゴリへの分類を試みた。



(a) OK 画像 (b) NG 画像 (c) ME 画像

図 3. 超音波透過画像(OK, NG, ME 画像)の一例

表 1 に、訓練データセットとその超音波透過画像の枚数を、表 2 に、テストデータセットに対する分類結果を示す。なお、ME_mode5 の画像については、1 枚しか入手できず、それを訓練データとして使用したため、テストデータとしての評価はできなかったため、評価実験結果からは除外している。

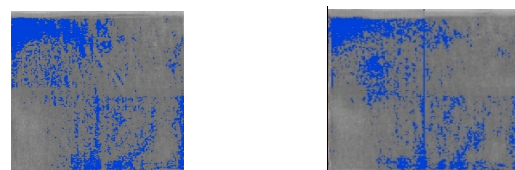
表 1. カテゴリ名と訓練データセットの画像枚数

OK 画像	OK_mode1	43枚	ME 画像	ME_mode1	113枚
	OK_mode2	107枚		ME_mode2	5枚
NG 画像	NG_mode1	8枚		ME_mode3	1枚
	NG_mode2	11枚		ME_mode4	14枚
	NG_mode3	137枚		ME_mode5	1枚

表 2. 評価実験結果

カテゴリ名	正解率	カテゴリ名	正解率
OK_mode1	308 / 429	ME_mode1	803 / 852
OK_mode2	1083 / 1289	ME_mode2	4 / 6
NG_mode1	5 / 7	ME_mode3	1 / 1
NG_mode2	5 / 6	ME_mode4	2 / 9
NG_mode3	774 / 1061		

評価実験結果から、ME_mode4 の分類精度が著しく劣ることがわかる。原因を詳細に分析してみると、その超音波透過画像の多くが ME_mode1 に誤分類されており、図 3 に示すように、両方のカテゴリの画像は極めて類似しているため、ME_mode4 の特徴である縦の直線を正確に捉えるように訓練データセットを収集できれば、これらの分類精度は向上できるものと考えられる。



(a) ME_mode1 画像 (b) ME_mode4 画像

図 3. ME_mode1 と ME_mode4 の超音波透過画像の一例

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 10 種類のカテゴリに分類するシステムを開発し、評価実験により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。最後に、リチウムイオン電池の超音波透過画像データをご提供いただいたヤマハファインテック株式会社殿に感謝いたします。

参考文献

[1] 下田 和, 柳井 啓司, “CNN を用いた弱教師学習による画像領域分割”, 信学技報 PRMU2015-88, pp.149-154, 2015.