

スマートフォンを活用した酸素ボンベ残量モニタの開発

機械電子科 竹居 翼* 松下五樹

Development of a remaining gas monitor for oxygen cylinders employing a smartphone

TAKEI Tasuku and MATSUSHITA Itsuki

Nowadays, the development of safety devices to prevent accidents, which arise from mismanagement of medical oxygen cylinders, is desired at medical sites. Recently, we have developed a manual-input style portable timer to check the amount of remaining gas in cooperation with local companies. This device calculates the remaining available time based on values such as pressure and flow rate that were read with a flow controller and inputted by a user, and gives a warning when the amount of remaining oxygen decreases to a specified amount. The portable timer was commercialized by a company in Shizuoka Prefecture and has been highly evaluated by users in the medical field; however, there are requests for improvements such as measures against incorrect operations and higher usability.

In this paper, we implemented a method using AI and a method using rule-based image processing as automatic reading functions for the analog meter of a flow controller. Comparison of the reading performance of both methods confirmed the superiority of the method using AI. Then, we examined the reading performance of the three types of deep learning recognition models, and evaluated them from a viewpoint of incorporation into smartphones, which have significant limitations on hardware resources. As a result, we chose MobileNet as the recognition model to build into smartphones. In conclusion, we have solved the problems with current products by means of developing a remaining oxygen monitor that runs on smartphones.

Keywords : artificial intelligence, deep learning, analog meter, smartphone

キーワード : AI、深層学習、アナログメータ、スマートフォン

1 はじめに

医療現場では、医療用酸素ボンベの残量未確認に起因する事故を防止する安全装置の開発が望まれている。そこで我々は県内企業と協力し、手入力方式のポータブルガス残量タイマーを開発¹⁾した。これは、使用者が読み取った酸素流量調整器（図1:以下、アナログメータ）の圧力値や流量を直接入力することで使用可能な残り時間を計算し、酸素残量が規定量まで減少した際に報知する機器である。県内企業により製品化され、医療現場から好評を得られた一方で、使用者による誤操作対策やユーザビリティ向上等の改善要望が挙げられている。これら新たな要望を解決するためには、入力インターフェースにアナログメータの自動読み取り機能や、携帯性に優れたスマートフォン向けのアプリケーション（以下、アプリ）化が必要である。

アナログメータの自動読み取り手法には、ルールベースの画像処理による方法（以下、ルールベース手法）と、AI（人工知能）で使われている深層学習を用いた方法（以下、AI読み取り手法）がある。

これまでは、藤田ら²⁾のようにルールベース手法が用いられており、メータ形状や使用環境に応じた特徴量

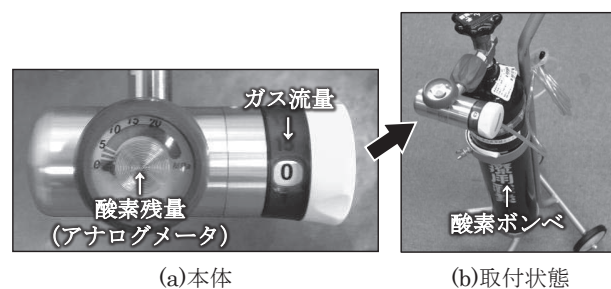


図1 医療用酸素流量調整器

* 現 工業技術研究所 機械電子科

抽出等の判断プロセスのルール設計を必要とする。そのため、ルール設計者の知識や経験等が大きく影響し、汎用性や頑健性を確保したルールの設計が難しいという問題があった。これに対し、AI 読み取り手法はデータから判断プロセスのルールを自動的に求めるため、設計者の知識や経験等に関わらずコンピュータが最適なルールを自動的に設計できる。その反面、設計されたルールを人が理解できる形で表現することが難しいブラックボックス化等の問題があり、判断根拠の説明を求められる用途での活用は慎重に議論されている³⁾。その一方で、医用画像解析への適用等、信頼性が求められる医療分野において、診断支援手段の1つとしてAIの活用が期待されている。そこで、AI読み取り手法による読み取りの優位性を確認するため、AI読み取り手法とルールベース手法を比較し、その性能を評価した。

また、AI読み取り手法では、読み取りに使う認識モデルの構造によって性能に差が生じる。この差は、ハードウェアリソースに制約の少ないコンピュータでは僅かな差であるが、スマートフォンのようにハードウェアリソースの制約が大きい機器では、大きな差となる。そこで、3種類の認識モデル構造の読み取り性能を調べ、スマートフォンに組み込む認識モデルを選抜した。

この選抜した認識モデルを用いて、AI読み取り手法による自動読み取り機能を実現したスマートフォンアプリを開発し、現行品の課題解決を図った。

2 方法

2.1 データセットの構築

自動読み取り手法に必要なデータセットを、アナログメータの撮影画像を使って構築した。画像の撮影は屋内の蛍光灯照明環境で行い、アナログメータを正面から撮影した。撮影画像よりアナログメータの全体像が写る範囲を切り出し、224 × 224 ピクセルのRGBカラー画像を作成した。作成した画像全てに対し、目視読み取りしたメータ指示値を正解ラベルとして付与した。正解ラベルは、0 から 15MPa までを 1MPa 毎に分割した全 16 種とした。

2.2 読み取り手法の比較

(1) AI 読み取り手法

AIを用いた画像分類によるアナログメータ画像の読み取りを行った。今回は、構築したデータセットの8割(9,600枚)を学習用データ、2割(2,400枚)を評価

用データとして使用した。分類項目は正解ラベルと同じ全 16 種類のメータ指示値とした。画像を分類した結果が正解ラベル± 1MPa の範囲で判定された評価データを集計し、その割合を正解率として読み取り結果を評価した。

画像の分類に使う認識モデルは、50 層の ResNet モデル構造を用いた。認識モデルの学習には、大きさや向き等をランダムに変化させた学習用データを使い、延べ 500 回学習を行った。

(2) ルールベース手法

AI読み取り手法による読み取り性能と比較するため、同一データセットを用いて、ルールベース手法による読み取りを行った。

アナログメータ画像の特徴量として、目視の際に注目していると考えられる①赤目盛、②指示針および③メータ中心の3つの座標値を選択した。これらの座標値は、輝度や色差、Hough 変換等の画像処理を用いて算出した。得られた3つの座標値を使い、赤目盛と指示針の間の角度 θ° を求めた。(図2)

ここでは、この角度 θ° を全ての学習用データの画像で求め、正解ラベルと合わせて指示値を読み取るための数式化を行った。

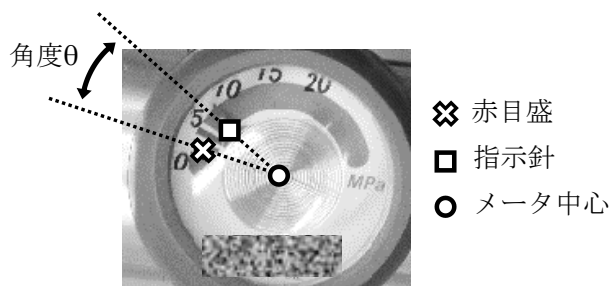


図2 算出した各座標値と角度の例

2.3 スマートフォンアプリの開発

スマートフォンは携帯型端末であり、パソコンよりハードウェアリソースの制約が大きい。そこで、①読み取り性能比較で使用した ResNet、②モバイル向けに設計された MobileNet、③基本的なモデル構造の VGG の3種類の認識モデルについて、スマートフォン上での動作性能を調べた。この結果を参考にアプリ開発に利用する認識モデルを選抜し、アナログメータの自動読み取り機能を備えたスマートフォンアプリを開発した。

3 結果と考察

3.1 データセットの構築

アナログメータの撮影画像を12,000枚作成し、それら全てに対して、メータの指示値を読み取った正解ラベルを付与し、データセットを構築した。

3.2 読み取り手法の比較

(1) AI 読み取り手法

図3はAIを用いて指示値を読み取った結果である。この図より、全ての正解ラベルの正解率が高く、平均で約99%であった。よって、最適な画像特徴量の選択等のルールを人が定めることなく、高い正解率を得られることが分かった。

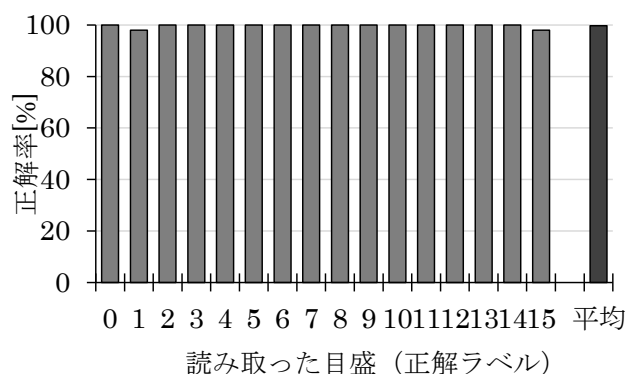


図3 深層学習による指示値の読み取り結果
0~15までの各正解ラベルの正解率とそれらの平均値

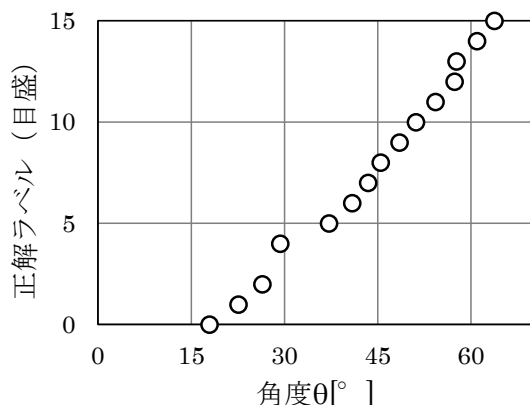


図4 角度θと正解ラベルの関係

(2) ルールベース手法

学習用データに対して、赤目盛と指示針、メータ中心の3つの座標値を算出し、正解ラベル毎に角度の平均を求めた結果を図4に示す。この図より、画像処理して得られた指示針の角度θ°を変数として、1~2次関数で近似できると考えられる。ここでは、角度θ°を変数とした2次関数として、次の式で近似した。

$$\text{計器指示値} = 0.0024 \times \theta^2 + 0.125 \times \theta - 3.0$$

この式より、全ての評価データの指示値を求めた結果を図5に示す。読み取りの正解率は平均で75%であった。特に、赤目盛と指示針が重複する4MPa以下は正解率が低く、今回選択した画像処理のルールは不十分だったと考えられる。正解率を向上させるためには、より最適なルールの設計が必要であると考えられる。

3.3 スマートフォンアプリの開発

3種類の認識モデルのスマートフォン上における性能の違いを図6に示す。この図より、全てのモデルで95%以上の正解率を実現でき、VGGやResNetでは100%近い正解率を得られることが分かった。しかし、VGGやResNetは、読み取り時間が数秒から10秒程度掛かり、認識モデルのファイルサイズも大きいことがわかった。このため、ハードウェアリソースに制約のある

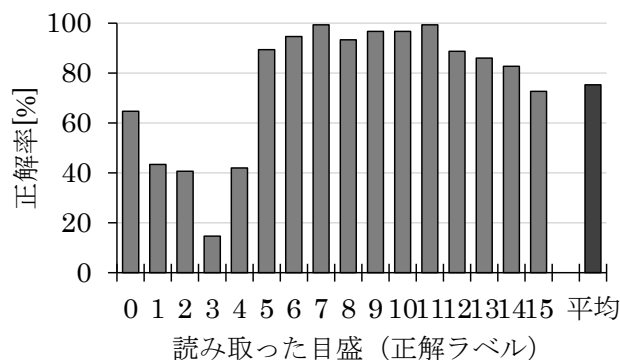


図5 ルールベース画像処理による指示値の読み取り結果
0~15までの各正解ラベルの正解率とそれらの平均値

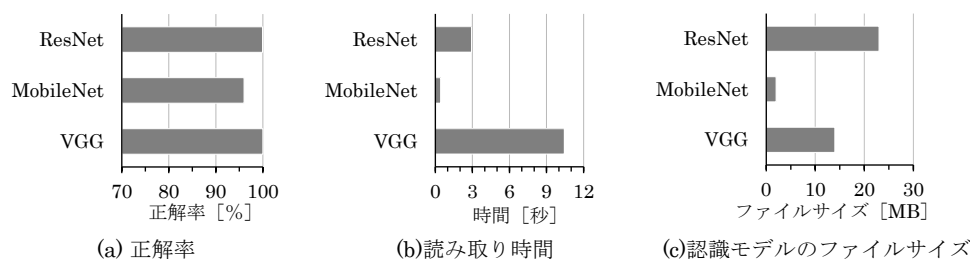


図6 3種類の認識モデルのスマートフォン上における性能の違い

スマートフォン等での利用には向いていないと考えられる。一方、MobileNet は1秒未満で読み取りでき、認識モデルファイルも数 MB と小さいため、スマートフォンでの利用に適していると考えられる。よって、スマートフォンアプリの開発には、MobileNet の認識モデルを選抜した。

開発したアプリの利用イメージとその画面を図7に示す。試作段階のため、必要機能を1画面にまとめた画面構成とした。入力インターフェースの自動化による操作性向上や、事故防止のための報知機能を備えたアプリを開発した。

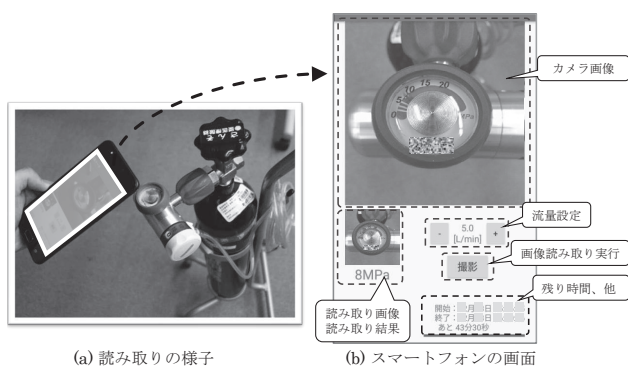


図7 開発したスマートフォンアプリ

このアプリは、次の①から④の順に動作する。①スマートフォンに搭載されたカメラを使って画像を取得する。②認識モデルを使って取得した画像から指示値を読み取り、酸素残量を推定する。③酸素の推定残量と流量設定値より、残量切れまでの残り時間を計算する。④報知条件に基づき、残量警告を発する。

このアプリについて、医療関係者に意見を聞いたところ、目視確認の負担軽減が期待できるので助かる等の好評を得ることができた。

4 まとめ

今回、アナログメータの指示値を自動読み取りする機能を実現するために、AI 読み取り手法とルールベース手法を比較した。その結果、AI 読み取り手法がルールベース手法より平均で約 30%高い正解率で読み取れることを確認した。この機能をスマートフォンに組み込むため、3種類の認識モデルからスマートフォンでの利用に適した認識モデルを選抜した。選抜したモデルを用いて、現行品に対する要望を解決したアプリを開発した。

謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力いただいたファルマバレーセンター関係者および医療関係者の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 本多：医療用酸素ボンベの警報機能付き残量モニタの開発．静岡県工業技術研究所研究報告，第5号，91-95 (2012)．
- 2) 藤田 他：画像処理によるアナログメータ自動読み取り．電気学会論文誌，C.129(5)，901-908(2009)．
- 3) 中井：AIを活用した医療機器のレギュレーション．レギュラトリーサイエンス学会誌，9(1)，17-24(2019)．