

I-012

ガス管内探査ロボットの視覚機能と深層学習を用いた曲管部の湾曲方向検出に関する研究 Research on Detection of Bending Drection of Bend Pipe Using Visual Function of a Gas Pipe Inspection Robot and Deep Learning

宮岡 寛太[†] 大谷 淳[†] 徐 榮[†] 高西 淳夫[†] 石井 裕之[†]
Kanta Miyaoka[†] Jun Ohya[†] Rong Xu[†] Atsuo Takanishi[†] Hiroyuki Ishii[†]

1. はじめに

近年、インフラの老朽化が問題になっており、ガス管もその一つである。ガス管の多くには鋼鉄管が使用されているが、鋼鉄管の腐食や耐用年数の問題から交換が求められている。ガス管は本支管と、本支管と家庭を結ぶ灯外内管で構成されており、経済産業省の調べ[1]によると、交換の必要なガス管は、本管で 2170[km]、灯外内管では 2.8 万本も存在している。これらの原因として、交換工事の効率の悪さが挙げられる。現在、ガス管の交換工事は、地中に埋設されたガス管を掘り起し、腐食部分を特定する方法を採っており、ガス管が破損していると思われる区間を全て掘り起こす必要があるため非常に非効率である。そこで、より効率的に腐食、破損部分を発見するために、筆者らはガス管内探査ロボット Water-4[2]を開発した。

Water-4 は家庭用のガスメータから挿入され、ガス管の本支管へ進入、先端に搭載された単眼カメラで撮影した画像から腐食部分、交換の必要な部分を発見する事を目的としている。Water-4 は防爆の観点から空圧制御を採用している。また、ガスメータから挿入することを前提としているため、機体には 1 台の単眼カメラと、機体の頭部の側面にガス管壁面との距離が測定可能な距離センサが搭載されているだけである。移動には、機体の前後に取り付けられたバルーン、前後のバルーンを結ぶ伸縮可能なホースを使用する。バルーンを膨張させて機体をガス管内で固定し、ホースを伸縮させるというサイクルを繰り返す事で尺取り虫の様に移動する。操縦者がロボットの先端に搭載したカメラから得た画像をもとに、マニュアルで操作を行う。

しかし、マニュアル操作では家庭用ガスメータと本支管を結ぶ八曲がりと呼ばれる曲管の密集した部分の操作の難易度が非常に高い。曲管部を抜ける操作は、Water-4 の移動の性質上、事前に曲管部の湾曲方向に機体の頭部を湾曲方向に向けた状態でホースを伸張させなければならない。この時、操縦者は機体が曲管部に差し掛かる前に、画像から曲管部の湾曲方向を把握する必要がある。しかし、ガス管内の画像は暗く、特徴も少ないため熟練者であっても事前に曲管部の湾曲方向を把握する事は困難である。

そこで、本稿では Water-4 の操縦者がスムーズに曲管部を抜ける操作ができるようなガイドとして、単眼カメラから得た画像を用いた深層学習による曲管部の湾曲方向の推定に関して検討する。

2. 提案手法

本稿では、ガス管内探査ロボットが撮影した画像を入力として、深層学習を用いた曲管部の湾曲方向を推定する手法を提案する。画像中における曲管部の湾曲方向を図 1 のように定義し、各画像の湾曲方向を学習ラベルとして、学

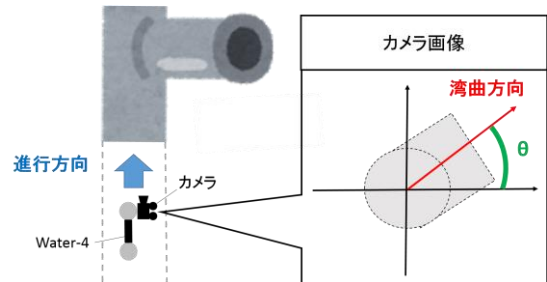


図 1 湾曲方向の定義

習を行う。この時、角度の誤差に関しては、真の湾曲方向と推定結果のなす角の大きさとする。また、学習を行う際に、湾曲方向を正規化したものを学習ラベルとしたものと、湾曲方向を $\sin$ 値と $\cos$ 値の 2 値ラベルとしたものの比較、検討を行った。

2.1 湾曲方向の正規化ラベルを用いた深層学習

家庭用ガスメータに用いられる内径約 28[mm]の鋼管 (25A 管) と曲管を組み合わせた実験装置を用いて学習用画像を用意する。湾曲方向は 0[deg] から 30[deg] 間隔で 330[deg] まで変化させ、それぞれの角度においてカメラと曲管までの距離を 0[mm] から 100[mm] まで、照明を 3 段階で変化させたものを撮影し学習画像とする。学習ラベルは、湾曲方向を 360 で割り、正規化したものとした。学習に用いたモデルを図 2 に示す。推定結果に関しては、出力を 360 倍する事で、角度[deg]に換算する。



図 2 正規化ラベルのネットワーク構造

2.2 2 値ラベルを用いた深層学習

2.1 と同様の条件で、学習ラベルのみ変更を加える。学習ラベルを $\sin$ 値と $\cos$ 値に変更し学習を行う。また、ラベルを 2 値に変更したことに伴い学習モデルも図 3 のように変更した。このモデルでは、出力である $\sin$ 値と $\cos$ 値のそれぞれに対して角度を算出し、それぞれ 2 つずつ算出され

[†] 早稲田大学創造理工学部総合機械工学科

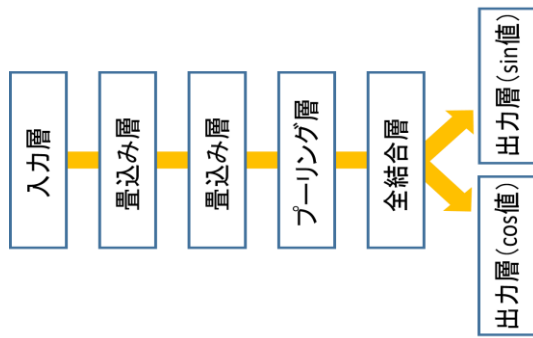


図3 2値ラベルのネットワーク構造

る角度のうち、共通する角度を平均したものを推定結果とする。

3. 実験と結果

学習を終えたそれぞれのモデルを用いて、以下の表1のような条件で撮影した画像に対して、湾曲方向の推定を行った。それぞれの結果を図4と図5に示す。

表1 画像の撮影条件

	湾曲角度[deg]	曲管部までの距離[mm]	明るさ
範囲	0~360(30間隔)	0~100	暗・中・明

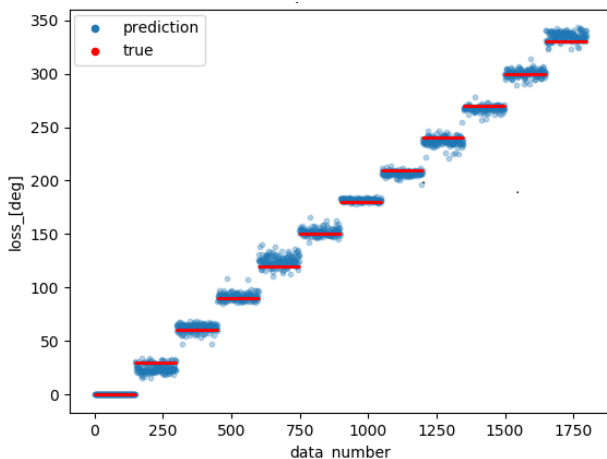


図4 正規化ラベルの推定結果

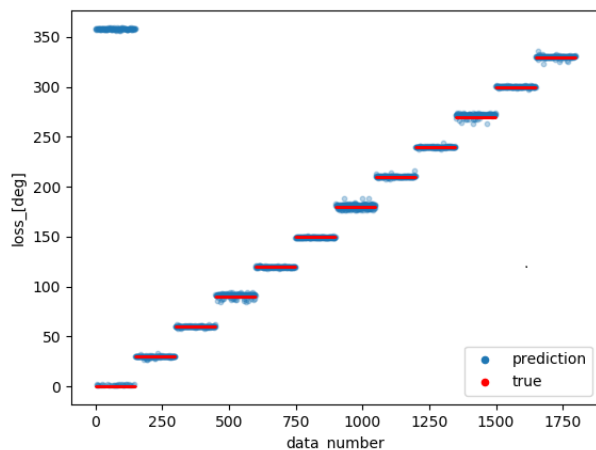


図5 2値ラベルの推定結果

図4, 5において、青のプロットが推定結果、赤い線が真の湾曲方向である。図4, 5を比較すると、2値ラベルで学習を行ったモデルの方が推定結果のばらつきが少ない。また、図5では、0[deg]の入力画像に対しての出力が360[deg]付近の値になっているが、これはラベルがsin値, cos値になった事で0[deg]と360[deg]が連続的に変化する様になったためである。実際に、画像上では0[deg]と360[deg]は同じ方向になるため、誤差としては小さいものになる。

次に、図6にそれぞれのモデルで推定した角度の平均誤差を比較しグラフにしたものを示す。また、それぞれのモデルの全体平均誤差を表2に示す。

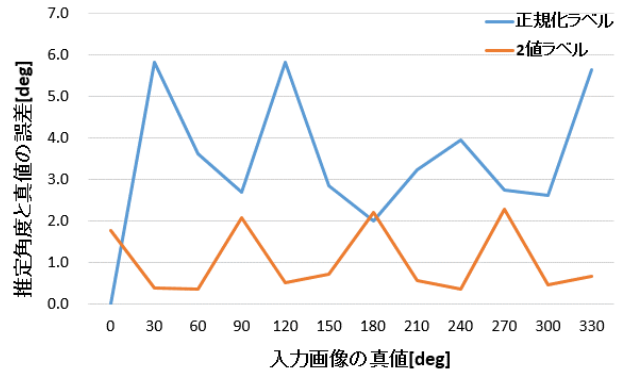


図6 各モデルの角度毎の平均誤差の比較

表2 各モデルの全体平均誤差

	正規化ラベル	2値ラベル
全体平均誤差[deg]	3.411	1.024

2つのモデルを比較すると、平均誤差はほとんどの角度において2値ラベルで学習を行ったモデルの方が小さかった。また、全体平均誤差も表2の様に2値ラベルで学習を行ったモデルの方が小さいため、2値ラベル学習を行ったモデルは、正規化ラベルで学習を行ったモデルよりも、安定的で正確な湾曲方向の角度推定が行えるといえる。

4. まとめと今後の課題

本稿では、ガスパ管内探査ロボットの操縦支援の一環として、2つの深層学習モデルを用いてガスパ管曲管部の湾曲方向の推定・比較を行った。その結果、2値ラベルを用いた学習モデルの方が安定で正確な湾曲方向の推定が可能という知見を得た。本提案手法は、八曲がりを構成している3種類の曲管の内、1種類にしか対応できていない。そのため、今後は残りの2種類の曲管に対する拡張が必要である。

参考文献

- [1] 平成28年度経年管対策の実施状況について（最終閲覧日:2019年6月18日）
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/gas_anzen/pdf/017_01_03.pdf
- [2] 真藤幸暉他, "高速で湾曲部通過が可能な空気圧駆動型管内移動ロボットの設計・作製", 第36回日本ロボット学会学術講演会, 3F1-07(2018)