

AIを用いた監視装置の開発

(AI技術を用いたIoT機器の開発)

機械システム科 科 長 田 口 喜 祥
機械システム科 主任研究員 久保田 慎 一

県内企業から機械装置の稼働状況を IoT (Internet of Things) 技術を用いて監視をしたいという相談が増えている。工場内で稼働している IoT 機能が搭載されていない従来型の機械装置を監視するためには、それぞれの機械装置に対応した IoT 機器を開発し取り付ける必要がある。そのため、長崎県工業技術センターでは、IoT 装置開発に関する技術支援を実施している。一方、近年では AI (Artificial Intelligence) を用いた研究が注目されており、製造現場への応用が数多く報告されている [1-3]。

そこで、本研究開発では、IoT 機能が搭載されていない従来型の機械装置を対象として、機械装置本体に改造を加えずに機械装置の稼働状況や故障予兆予測を行うことができる AI を用いた監視装置を開発することを目的とした。AI 演算を高速に実行できるボードコンピュータを用いることで、カメラ画像から AI を用いて情報を認識し監視する装置を開発した。

1. 緒言

近年、製造現場では IoT や AI を用いた取り組みが注目されている。工場の IoT 化で自動化が進めば、生産年齢人口の減少で深刻化する人手不足の緩和など、わが国製造業が抱える課題の解決にも繋がる [1] ことが期待されている。そのため、これまで IoT を製造現場に活用するための研究や報告が多数なされている [2] [3]。

また、長崎県内の企業から、社内で使用している機械装置を監視することができる IoT 機器を開発したいという相談が増えている。これまで、既存の機械装置の稼働状況を監視するために電流や振動を計測し、監視する装置の開発を行ってきた [4]。開発した IoT 装置を用いて技術支援を行う中で、センサでは取得することが難しい情報や装置のエラー情報なども監視したいとの要望が出てきた。その中で、センサを取り付けることは難しいが、対象となる装置の制御装置画面には装置各部の状態やエラー情報などが表示されるものがあり、制御装置の画面情報から必要な情報を抽出できる可能性があるのではないかと考えるに至った。

一方、近年 AI 技術を用いた画像処理の研究開発が数多くなされてきている。例えば、カメラ映像から人物を認識する [5]、画像から特定の部分を高速に切り出す [6] など映像処理に関して AI 技術を用いることで高度な処理が可能となってきている。

そこで、本研究では機械装置の制御装置画面をカメラで画像として収集するとともに、各種センサからの情報と併せて、AI 技術を用いて対象物を監視する監視装置を開発することを目的とする。開発した監視装置は、既存

のセンサからの情報を収集するセンサユニット部、AI 処理を行う監視制御装置部、制御装置の画面を切り替えることを想定して監視装置部からの指令でキーボードの操作を行うエミュレータ部により構成した。開発した監視装置で、センサデータや画像データを収集し、AI の学習を行い、情報を認識し監視することができることを実験により確認した。

2. システム構成

開発した AI を用いた監視装置のシステム構成を図 1 に示す。開発した装置は、機械装置に取り付けて電流、振動、光、音などのデータを収集するセンサユニット部、センサユニット部からのデータをデータベースに記録すると共に、カメラで制御装置の映像を撮影し、必要な情報を AI 技術で認識する監視制御装置部、監視制御装置部からの指令で機械装置のキーボードの操作を行うエミュレータ部から構成されている。また、監視制御装置部には、センサユニット部やカメラで取得した情報を AI 技

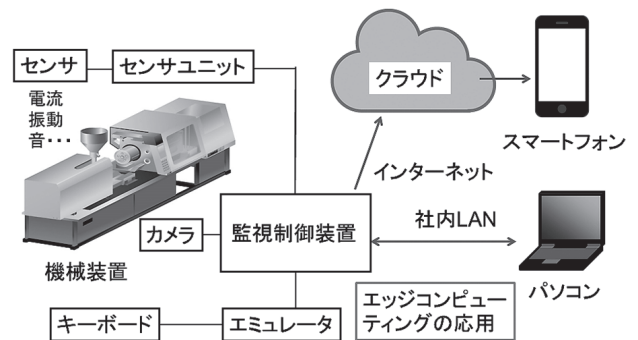


図 1 システム構成

術で解析し、稼働状況や故障予兆検知に関する監視結果を Web 画面で提供する機能を搭載した。

令和元年度に監視装置のハードウェアの検討および試作、令和 2 年度に AI 技術の導入とプログラムの試作、令和 3 年度に AI の学習および装置の改良を実施した。AI を用いた監視装置の概要及び実験の結果について以下に記述する。

3. 監視装置のハードウェア構成

AI を用いた監視装置は、IoT 機能が搭載されていない機械装置に取り付けて使用することを目的として開発した。そのため、監視装置自体は安価なマイコンボードを組み合わせて試作した。

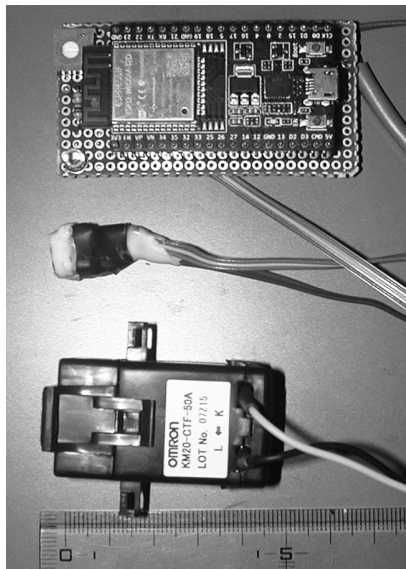


図2 センサユニット部

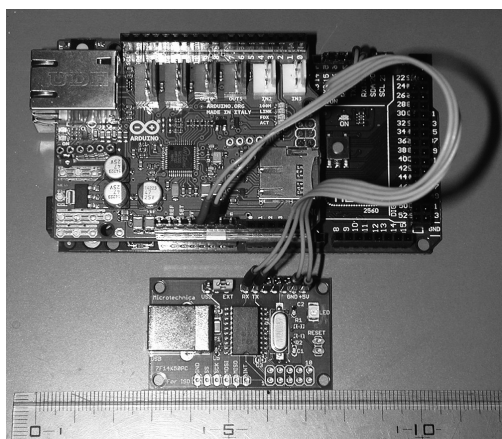


図3 エミュレータ部

試作した監視装置は、センサユニット部、エミュレータ部、監視制御装置部、の3つの要素で構成されている。試作したセンサユニット部の写真を図2に、エミュレータ部の写真を図3に、監視制御装置部の写真を図4に示す。

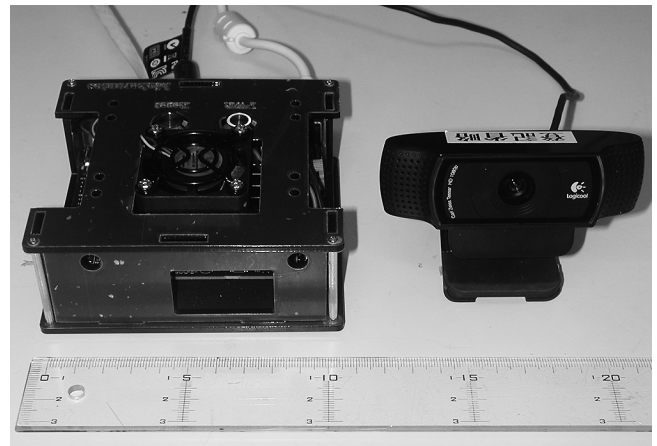


図4 監視制御装置部

センサユニット部は、Espressif Systems 社の Wi-Fi 無線モジュールを内蔵するボードコンピュータ ESP32 を用いて試作した^[4]。図2に示したセンサユニット部には電流、加速度、光を計測するセンサを搭載しており、機械装置の消費電流、稼働時の振動、パトライトなどの光を計測し、監視制御装置部に送信する機能がある。センサユニット部は監視する対象機械により音、温度、圧力など使用するセンサを変えて複数のものを製作した。デジタル出力のセンサは ESP32 が搭載しているデジタルインターフェースで直接接続可能であるが、アナログ出力のセンサはセンサにより出力信号に違いがある。そこで、アナログ出力のセンサを接続する場合は、オペアンプを用いた信号変換回路をセンサごとに試作した。ESP32 マイコンボードを使用したことで Wi-Fi による通信が可能であり、複数台のセンサユニット部を対象となる機械装置ごとに選定することが可能となった。また、センサユニット部単体でも作動する構成とし、工場内の LAN に接続されているデータベースへのデータ書き込みや LINE 等の SNS ソフトを用いて作業者のスマートフォンに異常を通知する機能を搭載した。

エミュレータ部は Arduino MEGA マイコンボードにマイクロテクニカ社のキーボードエミュレーションボード USBKBD-50 を組み合わせて試作した。エミュレータ部を用いることで監視制御装置部からの指令信号によって一連のキーボード操作を実施し、制御装置を操作し、監視対象の画面を表示する。

監視制御装置部は、表1に示したボードコンピュータを用いて3種類の試作を行った。

最初に試作したのは Raspberry Pi4 Model B を用いた監視制御部である。Raspberry Pi 財団が開発した Raspberry Pi4 Model Bは低価格で、Wi-FiやBluetooth5.0

などの無線通信機能があり、IoT 装置の試作では良く使用されるボードコンピュータである。平成 28 年度から平成 30 年度まで実施した経常研究^[4]でも使用しており、Raspbian と呼ばれる Linux を基にした OS で動作させることが可能である。センサユニット部からのデータ収集、データベースの運用、AI を用いた認識が可能である。ただし、今回の開発目的であるカメラ映像から必要なデータを抽出して認識するための AI 処理を行う場合、演算速度が遅いという問題点が確認できた。

次に試作した監視制御部は LattePanda^[7] というマイコンボードを用いたものである。LattePanda は中国上海の LattePanda Team がキックスタータにより開発したボードコンピュータであり、ボード自体に Windows10 がインストールされた状態で販売されている。そのため、Windows10 で開発したソフトウェアがほぼそのまま機能するという特徴がある。また、Arduino Leonardo 相当のボードコンピュータとして使用可能な ATmega32u4 を内蔵しており、アナログ信号やデジタル信号の入出力を Arduino のプログラムで前処理をし、Windows10 のプログラムと連携して解析などを実施できるという特徴がある。このため、後述する Windows10 で動作する SONY の AI 開発用ソフト Neural Network Console^[8] で開発した AI プログラムは LattePanda を使用した監視制御部を用いれば容易に実装することが可能となる。しかし LattePanda も Raspberry Pi4 と同様に基本的に CPU で AI 処理演算を行うことになるため、比較的数据量が少ないセンサ信号を用いて状態や異常を推定する AI 処理を行う場合は十分な性能であったが、データ量が多いカメラ画像の認識処理では演算速度が遅いという問題点が確認できた。

以上の理由により、カメラで機械装置の映像を撮影し、必要な情報を AI 技術で認識する監視制御装置部は GPU (Graphics Processing Unit) を用いて AI 演算を実施できる NVIDIA 社のマイコンボード Jetson nano 4GB^[9] を用いて試作した。

Jetson nano 4GB は NVIDIA 社が提供している AI アプリケーション構築用の SDK (Software Development Kit: ソフトウェア開発キット) である JetPack4.6 を用いることで AI を用いたプログラム開発に必要な OS および関連するライブラリをまとめてインストールすることができる。

今回、監視制御装置部の試作に用いたボードコンピ

ュータの仕様を表 1 に示す。基本的な性能は似通っているため、監視する対象により価格、性能、OS、AI の演算速度などを考慮して使用するボードコンピュータを選定することとしている。

画像入力のために使用したカメラは Logicool 社の Web カメラ C920 である。また、プログラムの開発は Python3.7 を使用し、Web フレームワークとして Flask^[10] を用いた。なお、画像処理には OpenCV、画像の認識は Darknet Neural Network Framework の YOLOv3^[11] という AI ライブラリ、データベースは MySQL を用いた。

センサユニット部と監視制御装置部は Wi-Fi による無線、エミュレータ部は有線で Wi-Fi ルータに接続して使用した。監視制御装置部ではデータ収集、AI による状態監視や異常の推定、監視データを Web 画面で表示するためのプログラムを動作させた。

表 1 監視制御装置部コンピュータの仕様の比較

	Raspberry Pi4 model B	LattePanda	Jetson nano
CPU	Quad-core Cortex-A72 1.5GHz	Quad-core Intel Cherry Trail Z8350 1.8GHz	Quad-core ARM A57 1.43GHz
RAM	4GB	2GB	4GB
接続	Wi-Fi Bluetooth 5.0 Ethernet	Wi-Fi Bluetooth 4.0 Ethernet	Ethernet
GPU	Video Core IV 500MHz	HD Graphics 200-500MHz	128-core Maxwell
USB	USB3.0×2 USB2.0×2	USB3.0×1 USB2.0×2	USB3.0×3

4. AI 技術の導入

開発を行っている装置は、IoT 機能が搭載されていない生産設備や工作機械に安価な導入費用で取り付けることを目標としている。そのため、監視制御部で使用するボードコンピュータに合わせて AI 技術の導入検討を行った。

開発当初は、IoT 装置の開発で多く使用されていた Raspberry Pi を用いて scikit-Learn^[12] などの機械学習用ライブラリを用いた試作を行い、その後 SONY の Neural Network Console で学習した AI を用いるため

に LattePanda を使用した。最終的には、GPU で演算が可能のため AI を用いて認識や推定を高速で行える Jetson nano 4GB を用いて TV カメラの AI 処理を行うこととした。

なお、Jetson nano 4GB は搭載されている GPU を用いて、ハードウェアで AI 演算を行えるが、高速な GPU ボードを搭載したパソコンと比較すると演算処理の能力が劣る。そのため、AI による推定や予測を行う場合は問題ないことが多いが、AI の学習処理自体を行う場合は学習に多大な時間がかかる。そこで、別途パソコン用部品を用いて製作した学習用装置を用意し、AI の学習処理は学習用装置で実施し、学習結果を試作した監視制御部で使用することとした。製作した学習用装置の仕様を表 2 に示す。

表 2 学習用装置の仕様

OS	Windows10 Home Ubuntu20.04.3LTS
CPU	Intel(R) Core i7-10700F
メモリー	64GB
GPU	NVIDIA(R) GeForce RTX 2080
ストレージ	SSD 2TB

AI の学習は、SONY の Neural Network Console や Darknet Neural Network Framework を使用した。

学習装置の OS は、Neural Network Console を使用する場合は Windows10、Darknet Neural Network Framework を使用する場合は Ubuntu を使用する必要がある。そこで、Windows10 Home と Ubuntu20.04.3LTS を起動する際に選択して起動できるデュアルブート構成として学習用装置を製作した。

この学習用装置を用いてセンサユニットやカメラで収集したデータで AI の学習を行い、学習結果のみを監視制御装置部で使用した。同じデータセットを用いた場合、学習用装置と今回監視制御部で使用したボードコンピュータの中で最も学習速度が速かった Jetson nano 4GB とを学習速度で比較したところ、学習用装置が Jetson nano 4GB の約 15 倍高速に学習演算を実施できることを確認した。

次に TV カメラで撮影した映像から対象物を認識するプログラム開発を行った。独自のプログラムを開発する前にこれまでに公開されている学習済みの AI を活用する取り組みを行った。



図 5 物体認識結果

まず、TV カメラからのデータ処理を行うことを想定して、動画像から物体認識を行う YOLOv3 ライブラリの導入を試みた。学習用装置で YOLOv3 ライブラリを用いた物体認識プログラムを動作させた結果を図 5 に示す。YOLOv3 の学習済みのモデルを用いることで動画像から物体を認識し切り出すことが可能であることを確認した。しかし、YOLOv3 では様々な物体を認識する機能が搭載されているため、演算処理が多く、そのまま組み込み型マイコンで作動させることは難しいことが判明した。

そこで、YOLOv3 の軽量版である YOLOv3-tiny の学習済モデルを基に、TV カメラで撮影した数字のみを認識するよう独自データセットを用いて学習を行うこととした。YOLOv3-tiny を独自データで学習を行うためには、TV カメラ画像データと対象物の認識番号および対象物の位置座標を記載したデータセットが必要となる。通常このようなデータセットを作成するためにはデータセットを作成するアプリケーションソフトを用いて、人がマウスにより対象物のラベル付けおよび位置座標を入力する。参考として YOLOv3 用のデータセットを作成可能なアプリケーションソフトの一つである Label Image^[13]を用いてのデータセット作成時の画面を図 6 に示す。ここでは、撮影した映像に含まれる数字部分の位置座標と 0 から 9 までの数字を分類し、画像と共にデータセットとして保存している。

この作業は人が数字を判断し、マウスを用いて数字の領域を指定する必要がある。AI を学習するためには数千枚以上の画像と認識対象物の ID および位置座標を記録したデータセットが必要となる。

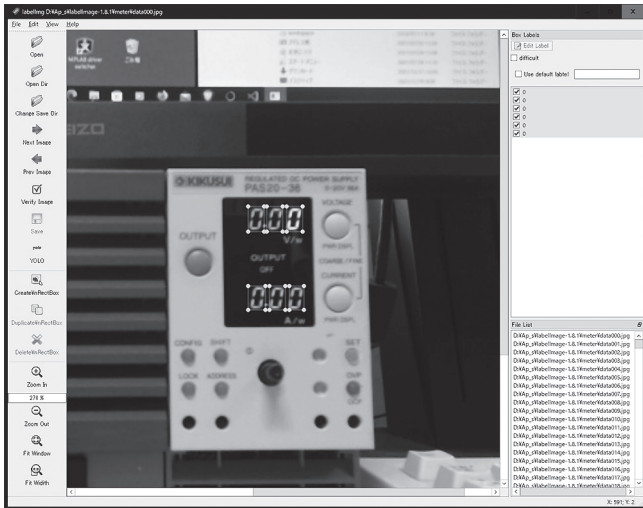


図6 学習用データセットの作成

このデータセット作成には多大な時間と労力を要するため、AI技術を用いるための障害となっている。そこで、本研究ではデータセット作成労力を削減するために学習データ収集時はカメラの撮影位置を変更せずに、対象物の位置座標を固定して学習用データを収集し、固定された領域の画像座標を基にデータセットを自動作成するプログラムを作成した。このような手法により画素数416×416の画像2000枚についてデータセットを収集し、1800枚のデータを学習用、200枚を評価用として分類しYOLOv3-tinyの学習を行った。学習用装置を用いて実施した学習曲線を図7に示す。なお、学習用装置を用いてこの学習にかかった時間は約20時間であった。

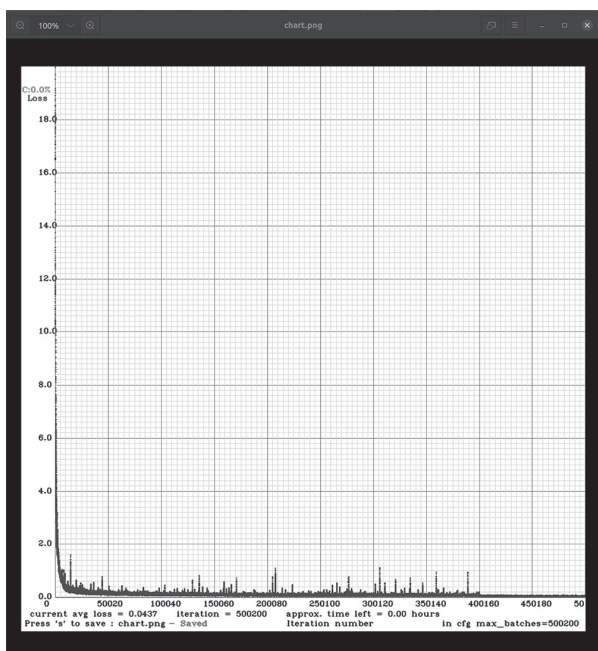


図7 学習曲線

5. AI技術を用いた監視実験

学習を完了したYOLOv3-tinyをJetson nano 4GBを用いて試作した監視制御装置部で動作するようプログラムを修正し、映像に含まれている数字の認識実験を実施した。認識実験時の表示画面を図8に示す。

実験の結果、正面からの映像であれば上下、左右、距離が学習時の位置と変わっていても98%以上の精度で数字を認識できることを確認した。なお、このとき認識速度は1秒間に約15フレームであった。なお、認識プログラムはPython3.7で作成した。AI処理ライブラリYOLOv3-tinyを使用することで、TVカメラで撮影した映像から数字を認識できることを確認できたので、計器に表示されている数字を認識し監視を行うAI監視プログラムを作成した。作成したAI監視プログラムの動作中の画面を図9に示す。



図8 AIを用いた認識実験

このプログラムは監視制御装置部に取り付けられているTVカメラで対象物を撮影し、撮影された映像から数字部分をAIで抽出、認識処理を行い、数字の変動をリアルタイムで監視することができる。また、認識した数字データを1秒ごとにグラフとして表示すると共に、認識した数字が既定の範囲を超えた場合は画面表示などで警告を発生する機能を有する。

今回、電源装置を対象として電圧および電流を監視する実験を行った。監視実験の結果、測定対象物とTVカメラの間に障害物が入った場合は一時的に数字を認識できないことがあったが、それ以外は1秒間に約15フレームで処理を行えることを確認した。なお、TVカメラと測定対象物の間に障害物がない場合は98%以上の認識精度で数字の変動を監視できることを確認した。

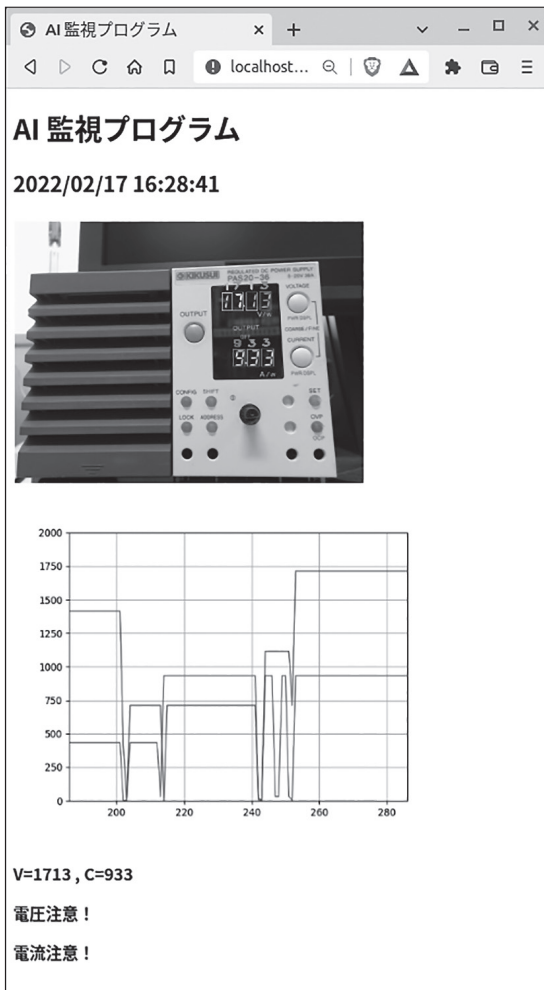


図9 AI 監視プログラム

6. 結言

IoT 機能が搭載されていない機械装置からデータを収集し、機械装置の稼働状況や故障予兆の監視を行うために AI を用いた監視装置を開発した。監視用のハードウェア部およびセンサデータや画像データを収集するプログラムを作成し、各種センサからのデータ収集、カメラ映像の画像処理、キーボードのエミュレートが可能である監視制御装置部ハードウェアを製作した。また、製作した監視制御装置部ハードウェアに、AI 技術を応用して画像から数字を認識する機能を有するプログラムを搭載することで、TV カメラで撮影した映像から数字を認識できることを確認した。製作したハードウェアとプログラムで構成された AI を用いた監視装置の性能を評価するための実験を行ったところ 1 秒間に約 15 フレームの処理速度で数字の変動を TV カメラ画像から 98% 以上の精度で監視できることを確認した。さらに、開発した AI を用いた監視

装置を用いることで、監視中の対象物の画像を LAN に接続されているパソコンやスマートフォンからブラウザソフトを用いて確認することができた。

今後は、開発した AI を用いた監視装置や、開発の中で取得した IoT および AI に関する技術を用いて、県内製造業の IoT 導入や DX 化の支援を行っていく。

参考文献

- [1] 成瀬：AI 活用が期待される工場の IoT 化、日本総研経済 Research Focus No. 2019-032, pp.1-7, 2019-11.
- [2] 地主、知崎、川上：IoT 活用による工場生産活動最適化、FUJITSU. 67, 2. pp.77-83, 2016.3.
- [3] 小川、永井：IoT 等の進展が与える情報システムへの影響に関する研究、産業経済研究所紀要、第 27 号、pp.27-88, 2017.7.
- [4] 田口：無線ネットワークを用いた振動監視装置の開発、長崎県工業技術センター研究報告、No48, pp.5-10, 2019.
- [5] 飯塚、金子：深層学習を用いた複数カメラでの人物再識別、DEIM Forum 2019 pp.9-139, 2019.3.
- [6] Qiang Wang, Li Zhang, Luca Bertinetto, Weiming Hu, Philip H.S. Torr : Fast Online Object Tracking and Segmentation: A Unifying Approach, The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.1328-1338, 2019.
- [7] <https://www.lattepanda.com>, Accessed 2018.
- [8] <https://dl.sony.com/ja/>, Accessed 2020.
- [9] <https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/>, Accessed 2020.
- [10] <https://palletsprojects.com/p/flask/>, Accessed 2019.
- [11] <https://pjreddie.com/darknet/yol>, Accessed 2020.
- [12] <https://scikit-learn.org/stable/>, Accessed 2018.
- [13] <https://github.com/tzutalin/labelImg>, Accessed 2020.