

図 4 きょう体の外観

MobileNetV3-YOLOv3-tiny の構成図を図 3 に示す。これには場で撮影した画像 63 枚に対して mosaic のかさましを行った合計 681 枚のデータセットを作成し、同様に Google Colabory 上で学習を行い、推論は Jetson nano 上で行った。学習パラメータを表 2 に示す。本研究のロボットではこのモデルを使用している。

表 2 MobileNetV3-YOLOv3-tiny 学習パラメータ

パラメータ	値
事前学習	なし
学習係数	0.1
バッチサイズ	64
最適化アルゴリズム	RMSprop
Epoch	500

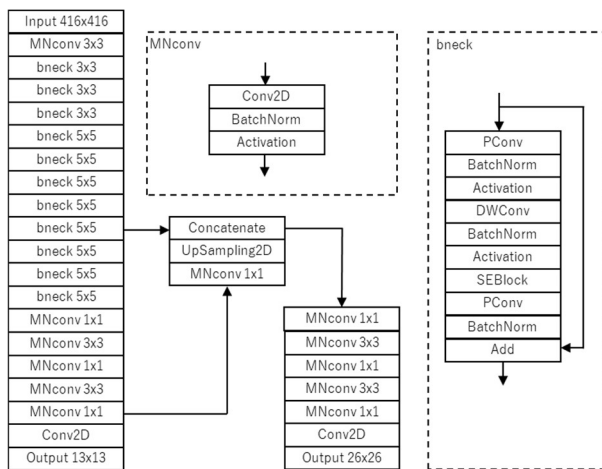


図 3 構成した MobileNetV3-YOLOv3-tiny の構成図

3. ハードウェア構成

3.1 きょう体

きょう体の外観を図 4 に、きょう体作成に使用したキットや材料を表 3 に示す。通常のタイヤでは地面の凹凸に阻まれるなどして走行が困難であるため、タミヤのクローラーキットを実装して多少の凹凸でも移動できるようにした。また、ロボットがどれでだけ前進したかを Jetson nano で計算できるようにシャフトにコードホイールを取り付けフォトインタラプタで読み取れるようにした。コードホイールや補強材は 3DCAD ソフトの Fusion360^[8] で設計し、XYZ プリンティング社の 3D プリンタダヴィンチ mini w+ で印刷した。

3.2 ハードウェア構成図

作成したロボットのハードウェア構成図を図 5 に示す。電源は Jetson と駆動形を分け、駆動部から草刈り用モータとそれ以外の計 3 系統用意した。フォトインタラプタの信号を Jetson に直接入れても入力抵抗の関係で正しく読み取れないため、トランジスタのバッファ回路を入れることで正しく読み取れるようにした。リレーの駆動にもトランジスタのリレー駆動回路を入れることで Jetson からリレーの制御を行えるようにした。

3.3 除草機構

除草機構の設計モデルを図 6 に示す。モータの刃を除草するときのみ回転させるが、刃が下に降りたままだと地面に引っかかってしまっていた。そこで除草するときのみサーボで下におろすようにすることでこれを解決した。このアームと刃は 3DCAD で設計して 3D プリンタで印刷した。

表 3 きょう体作成に使用したキット

使用部品	型式
タミヤユニバーサルプレート	ITEM 70172
タミヤロングユニバーサルアームセット	ITEM 70156
タミヤ連結式クローラー&スプロケットセット	ITEM 70237
タミヤダブルギヤボックス	ITEM 70168

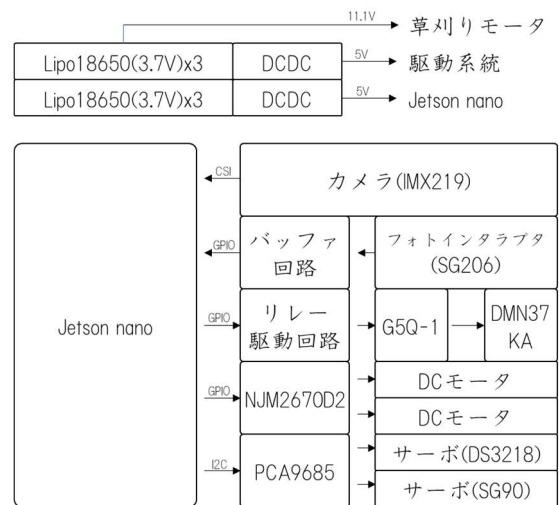


図 5 ハードウェア構成図

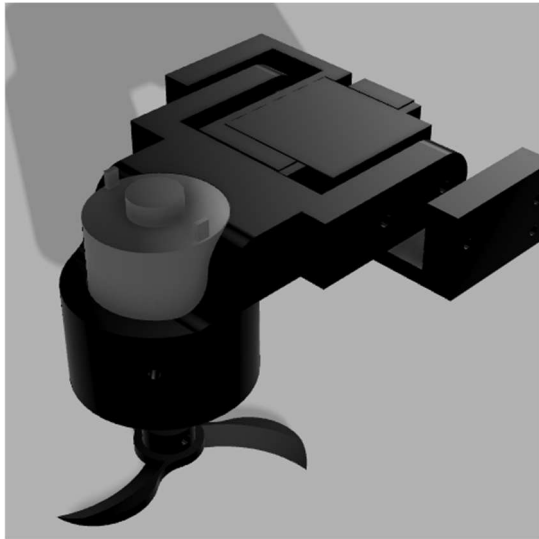


図 6 除草機構の 3D モデル

4. ソフトウェア構成

4.1 ソフトウェア構成図

ソフトウェア実行環境を表 4 に、ソフトウェア構成図を図 7 に示す。カメラを OpenCV で制御し、得た画像を TensorRT で推論する。結果をもとに判断を行い Adafruit_PCA9685 と Jetson.GPIO で機体の操縦を行う。

4.2 プログラム動作フロー

表 4 ソフトウェア 実行環境

ソフトウェア	バージョン
Jet Pack SDK	4.5.1
Ubuntu	18.04
CUDA	10.2
TensorRT	7.1.3
OpenCV	4.1.1
Numpy	1.19.4
Adafruit_PCA9685	1.0.1

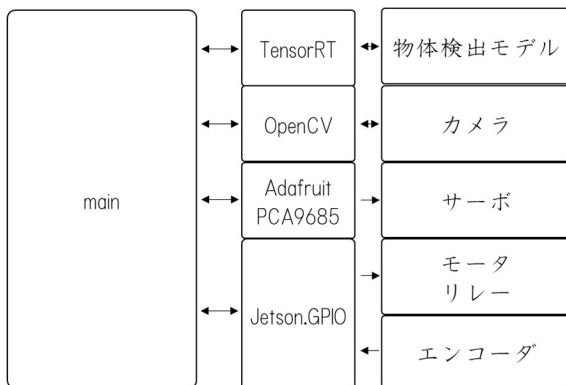


図 7 ソフトウェア構成図

プログラム動作フローのイメージを図 8 に示す。メインプログラムを起動すると物体検出ができる作物の中で一番近い作物(500mm~2000mm)を見つけ出し、目標地点を作物の前後左右に 300mm 離れた 4ヶ所に設定する。次に目標地点に移動し、作物の方向を向き距離感を測る準備を行う。カメラを下に向けゆっくり前進しながら作物との距離を測る。距離感を測った後アームをおろして除草をし、次の目標地点に移動する。今回は作物 1 つだけに対して動くようにしている。距離は物体検出モデルで作物を検出したバウンディングボックスの底面への角度とカメラの高さから三角測量で測っている。

5. 評価

5.1 物体検出モデルの評価

作物を撮影した画像 170 枚のテスト用データセットで物体検出モデルを評価した。その結果を表 5 にしめす。IoU0.5 以上のものを検出できているとし、Jetson nano 上で推論を行った。Jetson nano 上でリアルタイムの検出ができた。MobileNetV3-YOLOv3-tiny では適合率が上がったが、再現率はかなり低いままである。

5.2 室内実験での評価

三角コーンの模型を対象作物とした合計 2280 枚のデータを作成しそれを学習したモデルを使って室内で実験した。その様子を図 8 に示す。10 回試行し、前後左右からの計 40 回のアプローチを対象に、その様子をカメラで撮影し、刃先がどれだけ作物に近づいたかで評価した。32 回のアプローチができ、そのうち刃先と作物の距離とその回数を表 6 示す。このうち作物と刃先の接触はなかった。

5.3 ほ場実験での評価

ほ場にて実験したが、重心が偏っていたため転倒したり

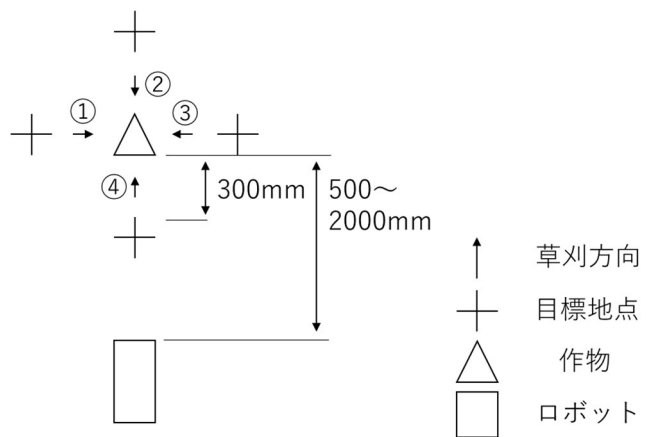


図 8 プログラム動作フローイメージ

表 5 物体検出モデル評価結果

モデル	適合率	再現率	推論時間
YOLOv3-tiny	0.175	0.029	34.35ms
MobileNetv3-YOLOv3-tiny	0.469	0.157	31.21ms

してうまく走らせることができなかつた。また、物体検出器が作物を検出できず動かすことができなかつた。

5.4 コスト

除草ロボットにかかった部品類の金額を表 7 に示す。この除草ロボットは 4 万円程度で作成でき、他の自律型除草ロボットと比べて安価な除草ロボットといえる。

5.5 総評

Jetson nano 上でリアルタイム性の高い物体検出器ができたが、再現率が低かつた。室内実験では作物と刃の接触はなかつたが、成功率が低い結果となつた。コストは他の自律型除草ロボットと比べて安価で構成できた。

6. おわりに

自律型除草ロボットに搭載できるリアルタイム性の高い物体検出モデルを作成できた。しかし、作成したデータセットがロボットの視線を考慮したものでは無かつたので再現率が低い結果となつた。さらに撮影した画像は作物が中心いっぱい映るように撮影していたため、中心以外は検出が不得意なモデルになってしまった。mosaic でかさましをするととても小さい作物にもアノテーションしたものになってしまい、val 損失が下がらない結果となつてしまった。これを踏まえてデータセットを改善して再度挑戦したい。他の物体検出モデルも検討し、リアルタイム性を保持しつつ精度の良い物体検出モデルを採用していきたい。

ほ場での走行実験では重心が偏っていたことから転倒していたので足回りの改善が必要である。

今回は Jetson nano の 4GB を使用していたが、Jetson nano 2GB を使うことでより安価なロボットにできるので検証していきたい。

参考文献

- [1] Product-Farmdroid : <https://farmdroid.dk/en/product/> , 参照日 : 2022/6/24
- [2] VoTT(VisualObjectTaggingTool),<https://github.com/microsoft/VoTT> 参照日 : 2022/6/24
- [3] Joseph Redmon “YOLOv3:An Incremental Improvement” Computer Vision and Pattern Recognition , arXiv:1804.02767 , 2018
- [4] zzh8829 “yolov3-tf2” <https://github.com/zzh8829/yolov3-tf2> 参照日 : 2022/6/24
- [5] tensorflow-onnx : <https://github.com/onnx/tensorflow-onnx> 参照日 : 2022/6/24
- [6] TensorRT : <https://developer.nvidia.com/tensorrt> 参照日 : 2022/6/24
- [7] Google AI,Google Brain “Searching for MobileNetV3”, Computer Vision and Pattern Recognition , arXiv:1950.02244 , 2019
- [8] AutoDesk Fusion360 : <https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/overview> 参照日 : 2022/6/24

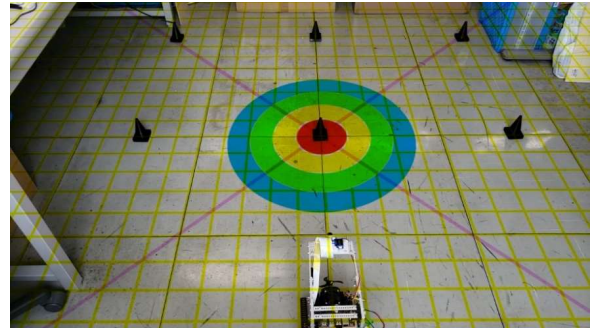


図 8 室内実験風景

表 6 草刈方向と刃先距離の回数

距離	①	②	③	④
0~10cm	0	2	1	2
10~20cm	7	0	0	1
20~30cm	1	2	0	0
30cm~	1	2	1	3

表 7 使用部品の金額

部品名	型式	購入先	個数	単価	値段
Jetson nano 4GB	Jetson nano B01	秋月電子	1	13800	13800
SD カード	LMEX1L032GG4	秋月電子	1	880	880
カメラ用サーボ	SG90	秋月電子	1	440	440
アーム用サーボ	DS3218	Amazon	1	1788	1788
PWM キット	PCA9685	秋月電子	1	950	950
トランジスタ	2SC1815GR	秋月電子			
モータドライバ	NJM2670D2	秋月電子	1	300	300
リレー	G5Q	モノタロウ	1	209	209
フォトインタラプタ	SG206	秋月電子	1	100	100
カメラ	SainSmart IMX219	Amazon	1	3699	3699
バッテリー	18650	千石電商	6	500	3000
電池ボックス	BHC-18650-1A	秋月電子	6	60	360
DCDC キット	6-W12N-C	秋月電子	2	1280	2560
履帯セット	ITEM70237	タミヤオンライン	2	1100	2200
ユニバーサルプレート	ITEM70172	タミヤオンライン	3	726	2178
ユニバーサルアーム	ITEM70156	タミヤオンライン	3	396	1188
ギアボックス	ITEM70168	タミヤオンライン	1	924	924
フィラメント	RFPETXJP00C	XYZESHOP	1	4048	4048
合計					38624