

1. はじめに

近年、農業就業者数の減少と高齢者の割合の増加が問題となっており、農作業の負担軽減のための農業機械の導入が求められているが、果樹栽培は稲作と比べ、大型の農作業機を動かす広さがなく、機械化が困難な作業が多いといった問題があり機械化による効率化、軽労化が進んでいないのが現状である。

そこで本研究では、果実収穫作業時に対する農業者への補助技術の提案、開発を行う。先行研究として、木瀬ら [1][2] による、RTK-GPS と FOG を使用した作業ロボットの開発などがあるが、これらのような前進のみの旋回の場合、旋回時に広い場所が必要になり、作物を育てられる畑の面積が小さくなってしまいう可能性がある。本研究では、移動ロボットが1列ずつ走行できる最適な旋回軌道の探索を行うことでこの問題を解決する。移動ロボットの繰り返し走行を活用した軌道を計画した上で、総距離、旋回時の枕地の距離などのパラメータを用いて複数の評価関数を作成し、それらを満たす旋回軌道を探索する。より小回りの利く旋回が可能になると旋回時に必要であった場所を畑の面積に置き換えることができるため、収穫量の増加に繋がると考える。

2. 研究の概要

本研究で使用する後輪操舵前輪駆動型移動ロボットのモデルを Fig. 1 に示す。後輪操舵前輪駆動型は最小旋回半径が決まっており、それより小さい半径での旋回は不可能であるため、移動ロボットの繰り返し走行を利用した旋回方法を計画することでより小回りの利く旋回が実現できる。

本研究は、Fig. 2 のようなロボットが1列ずつ走行できる最適な旋回軌道の探索を行う。繰り返し走行を活用した軌道を計画し、その軌道の総距離と最大枕地距離が最小になるときの旋回軌道を探索する。これにより、小回りの利く旋回が可能になり、旋回時に必要であった場所を畑の面積に置き換えることができるため、収穫量の増加が期待できる。

3. 最適な繰り返し軌道計画

3-1 シミュレーション条件

繰り返し軌道の総距離が最小かつ、最大枕地距離が最小になる実現可能な軌道を探索する。つまり、以下の最適化問題を考える。

式 (1) によって、総距離が最小になる旋回軌道を探索する。式 (2) では、第1繰り返し点の y 座標が

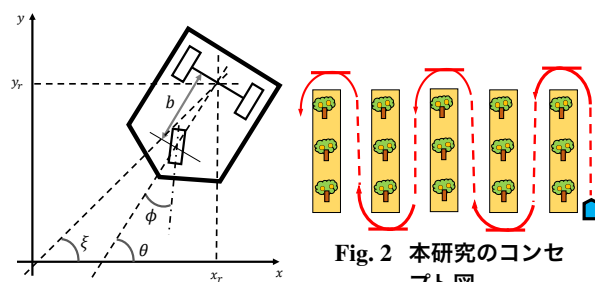


Fig. 1 移動ロボットのモデル

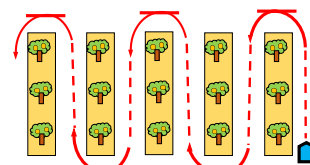


Fig. 2 本研究のコンセプト図

最小になる繰り返し点、式 (3) で第2繰り返し点の y 座標が最小になる繰り返し点を求める。式 (1), (2), (3) を全て満たす繰り返し点を求めることで最適な繰り返し軌道を探索する。

$$\min\{l(x, y) \mid |\phi| < \phi_{max}\} \quad (1)$$

$$\min\{y_1 \mid (x_1, y_1) \in S_1\} \quad (2)$$

$$\min\{y_2 \mid \theta = 0\} \quad (3)$$

$l(x, y)$: 旋回軌道の総距離 ϕ : 操舵角
 (x_1, y_1) : 第1繰り返し点 S_1 : 第1軌道上の点
 y_1 : 第1繰り返し点の y 座標 ϕ_{max} : 最大操舵角
 y_2 : 第2繰り返し点の y 座標 θ : 車両の姿勢

3-2 最適な繰り返し軌道探索

3-2-1 1回繰り返し軌道探索方法

1回繰り返すときの総距離が最小かつ、最大枕地距離が最小になる実現可能な軌道を探索する。最適な1回繰り返し軌道の探索手順は以下の通りである。

- (1) 第1繰り返し点を固定点とする。
- (2) 第2繰り返し点の y 座標の値を変化させる。
- (3) (2) で求めた軌道のうち、最大操舵角が制限範囲外になるものを除外し、総距離順に並べ替えて軌道の総距離が最小になるものを探索する。
- (4) 第1繰り返し点の x 座標の値を減少させる。
- (5) (1) から (4) の手順を繰り返す。

3-2-2 2回繰り返し軌道探索方法

2回繰り返すときの総距離が最小かつ、最大枕地距離が最小になる実現可能な軌道を探索する。最適な2回繰り返し軌道の探索手順は以下の通りである。

- (1) 第2, 第3繰り返し点を固定点とする。
- (2) 第1繰り返し点の x 座標の値を第1軌道に沿って減少させ、第4繰り返し点の x 座標の値を最終軌道に沿って増加させる。
- (3) (2) で求めた軌道のうち、最大操舵角が制限範囲外になるものを除外し、最大枕地距離順に

並べ替えて軌道の最大枕地距離が最小になるものを探索する。

- (4) 第2, 第3繰り返し点を変化させる。
- (5) 変化させた軌道のうち, 最大操舵角が制限範囲外になるものを除外し, 総距離順に並べ替えて軌道の総距離が最小になるものを探索する。
- (6) (1) から (5) の手順を繰り返す。

3.2.3 2回繰り返し軌道探索結果

第1繰り返し点のx座標を0.4m, 第4繰り返し点のx座標を1.2mに固定した上で, 第2繰り返し点と第3繰り返し点を変化させ, そこから最大操舵角が制限範囲外になる軌道を除外したものを総距離順に並べたものをFig. 3に示す。Fig. 3を見ると, 第2繰り返し点のx座標が-0.45m, y座標が0.5mの時に総距離が最小になっていることが分かる。また, 第3繰り返し点はx座標が2.05m, y座標が0.4mの時に総距離が最小になっていることが分かる。以上の探索によって得られた2回旋回軌道をFig. 4(a), そのときの操舵角の変化の様子をFig. 4(b)に示す。Fig. 4(a)を見ると, 目標地点のxlimitに到達していることがわかる。また, Fig. 4(b)より, 操舵角が連続で変化しており, 最大操舵角が制限範囲内であることが確認できる。よって, この軌道は実現可能であると考える。

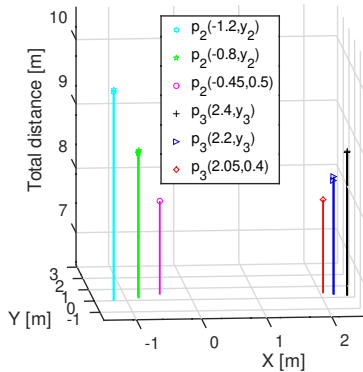


Fig. 3 第2, 第3繰り返し候補点の総距離

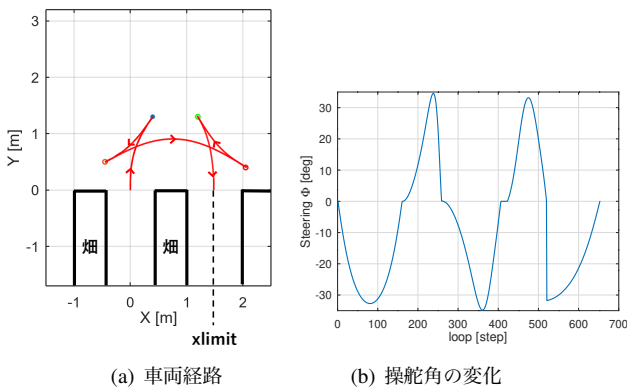


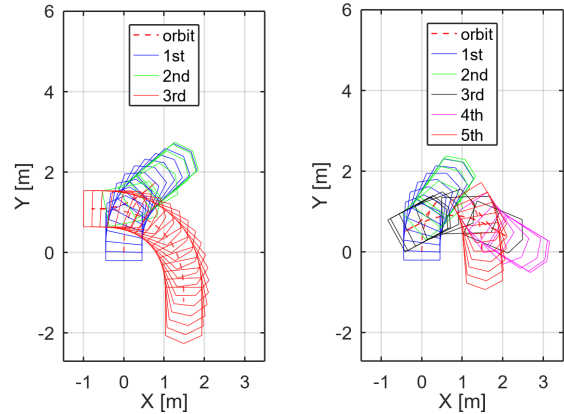
Fig. 4 繰り返し軌道の最大枕地距離と総距離が最小となる結果

Table 1 1回繰り返し軌道と2回繰り返し軌道の違い

繰り返し軌道数	最大枕地距離	総距離
1回	2.78 m	7.60 m
2回	2.35 m	7.95 m

3.2.4 考察

1回繰り返す場合の最適な旋回軌道の車両の変化の様子をFig. 5(a), 2回繰り返す場合の最適な旋回軌道の車両の変化の様子をFig. 5(b)に示す。Fig. 5(a)とFig. 5(b)の最大枕地距離と総距離の違いをTable 1に示す。Table 1より, 2回繰り返し軌道は1回繰り返し軌道に比べて最大枕地距離が約0.43m小さく, 総距離が約0.35m大きくなっていることがわかる。このことから, 繰り返し回数を増やすと, 最大枕地距離は小さくなるが, 総距離が大きくなっていくことが考えられる。つまり, 1回繰り返し軌道から2回繰り返し軌道に変更すると, 耕地面積は, 畑の横幅 $\times (0.43 \times 2) \text{m}^2$ だけ増加することが見込める。



(a) 1回繰り返し軌道

(b) 2回繰り返し軌道

Fig. 5 最適な繰り返し軌道の車両の変化

4. まとめ

本研究では, 農業用作業車の繰り返し走行を活用した旋回軌道の総距離と最大枕地距離が最小になる旋回軌道の探索を行った。これにより, 旋回時の畑の使用面積を縮小することが可能になり, 農作業者の収穫作業の負担軽減と収穫量の増加が期待できる。1回繰り返す場合と2回繰り返す場合で軌道の総距離と最大枕地距離の違いが見られたため, 畑の状況に応じて旋回方法を選択できるように拡張することによって, より利便性が高まることが考えられる。

今後の課題としては, シミュレーションによって得られた旋回軌道を移動ロボットに実装し, 精度の検証を行っていきたい。

参考文献

- [1] 木瀬, 野口, 石井, 他: RTK-GPS と FOG を使用したほ場作業ロボット (第2報), 農業機械学会誌, Vol. 63, No. 5, pp. 80-85, 2001
- [2] 木瀬, 野口, 石井, 他: RTK-GPS と FOG を使用したほ場作業ロボット (第3報), 農業機械学会誌, Vol. 64, No. 2, pp. 102-110, 2002