

## 1. まえがき

2024年問題が目前に迫っている。2024年問題とは働き方改革関連法によって、2024年4月1日から「自動車運転業務における時間外労働時間の上限規制」が適用されることで運送・物流業界に生じる諸問題を意味する。現状では約2割弱のトラック運送事業者は2024年以降に適用される時間外労働時間の上限規制に対応できない。2024年問題の影響は運搬・物流業界だけに留まらず、荷主が支払う運賃の上昇にもつながるので早急に解決すべきである[1]。

この2024年問題が注目されることで運送・物流業界には人手不足の問題が深刻であることが浮き彫りになった。運搬・物流業界の相対的な労働時間の長さ・所得額の低さによる就業者数の伸び悩みが起きている。結果として配送者1人当たりの負担が大きくなり、時間外労働時間も長くなる。以上のことから、運搬・物流業界の問題を解決するために労働効率性を向上させることが求められている。

このような背景から本研究では、配送者1人当たりの負担を軽減し、運搬・物流業界の人手不足を解消するために追従ロボットによる運搬支援システムを構築する。先行研究では目標経路を車両に記憶してその経路を走行するという内容の研究[2]があり、限定された場所でしか利用できないことに加えて、目標経路上に障害物がある場合にその障害物を避けて走行することができない問題がある。

したがって本研究では、追従対象のGNSS情報からロボットが走行するべき経路を作成し、そこから後続車両の速度と旋回速度を導出する。また、隊列走行を行うための仮想連結モデルを用いる。以上により、運搬車両が運用できない環境においての高精度な追従を実現する。

## 2. 研究概要

本研究の追従コンセプトをFig.1に示す。まず、ある経路を移動した追従対象のRTK測位によるGNSS情報を取得することで、追従対象の位置情報を把握する。次に、追従対象のGNSS情報の取得を継続しながら、そのGNSS情報を基にして後続車両が走行するための経路を作成する。そして、作成した経路を後続車両が走行するために必要な速度と旋回速度を導出することで追従システムを実現する。以上により、先導車両に対するマスタースレーブ追従システムが実現する。

また、本研究で使用するGNSS情報の受信機をFig.2、後続車両をFig.3に示す。

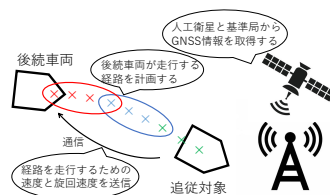


Fig.1 追従コンセプト



Fig.2 GNSS情報の受信機



Fig.3 後続車両

## 3. GNSS情報の受信機

RTK(Real Time Kinematic)測位は正確な位置がわかっている基準局の受信データを使って高精度な測位データを得る手法である。基準局の受信データをインターネット経由で受け取ることで、cm単位の精度の測位データを取得することができる。GPSの単独測位とRTK測位のFixed状態で5分間固定したときの精度を比較した図をFig.4、Fig.5に示す。RTK測位は単独測位に比べて高い精度であることが確認できる。

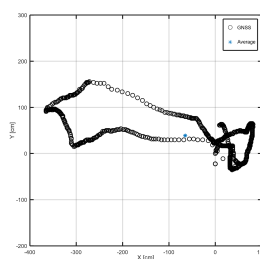


Fig.4 単独測位

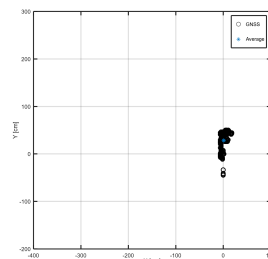


Fig.5 RTK測位

## 4. GNSS情報の取得実験

後続車両が走行する目標経路を作成するためにはGNSS情報を取得し、そこから先導車両の位置を正確に把握する必要がある。Fig.2の機材を持ち、ある経路を歩いた時のGNSS情報を取得する。取得したGNSS情報を基に緯度及び経度をメートルに変換してグラフ化する。Fig.6に示したグラフからGNSS情報を取得することで対象の位置を高精度で把握できることが確認できた。

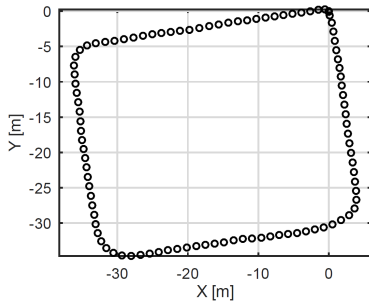


Fig. 6 GNSS情報のグラフ化

## 5. GNSS受信機と後続車両の無線通信

隊列走行を実現するために後続車両は先導車両と通信して速度  $V$  と旋回速度  $\omega$  を取得する必要がある。この車両間の通信を XBee を用いることで無線のシリアル通信を確立した。これにより外部からの通信割り込みの心配がなくなり、時間遅れも少ない安定した通信が可能となった。

## 6. 隊列走行のための追従システム

### 6.1 目標経路の作成

先導車両の GNSS 情報の座標を 4 つずつ先に読み込み、これを基に (1) 式のように 5 次補間曲線を作成する。この曲線を繋げたものを目標経路とする。

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 \quad (1)$$

(1) 式の 5 次補間曲線を作成する際に第  $(n-1)$  経路の終端と第  $n$  経路の始点の曲率の連続性を保証するために、5 次補間曲線の係数を導出する過程で曲率を用いる。GNSS 座標を二次曲線と見なして場合の曲率を用いて目標経路を作成する。また、5 次補間曲線を作成する過程で逆行列を用いるが、閉曲線のような経路の場合において逆行列が存在しない行列を生成してしまう。その場合、Fig. 7 に示すように 1 つ前に作成した目標経路の終端角度分だけ座標を回転させ、回転した座標系で目標経路を作成してから元の座標系に戻すことで目標経路が破綻することを防いでいる。この方法により、どのような経路であっても対応できる追従システムとすることで本研究の新規性とする。

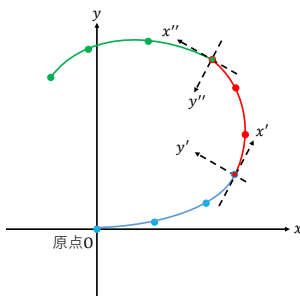


Fig. 7 回転行列を用いて目標経路を作成するイメージ図

## 6.2 仮想連結モデル

仮想連結モデルは、先行車両の後方と後続車両の前方に、長さ  $l_1, l_2$  の仮想の棒を伸ばす。それぞれの仮想の棒が仮想連結点により接続されると仮定することで、隊列走行を実現するモデルである。先導車両と後続車両の相対角度を  $\phi$  とすると、(2) 式の関係式が導出できる。

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & l_1 \sin \phi \\ \frac{1}{l_2} \sin \phi & -\frac{l_1}{l_2} \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \omega_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

よって、先行車両の速度  $V_1$  及び旋回速度  $\omega_1$  を与えることで後続車両の速度  $V_2$  及び旋回速度  $\omega_2$  が導出できる。

## 7. 検証実験

屋内での実験のため、追従対象の位置情報は GNSS 情報の代わりにロータリエンコーダを用いて移動距離を算出している。開曲線を意識した S 字の経路と閉曲線を意識した U 字の経路において実験を行い、目標経路と後続車両が走行経路を示したグラフを Fig. 8, Fig. 9 に示す。それぞれのグラフは目標経路は作成する毎に色を変えていおり、後続車両が走行経路は青線で示している。運搬・物流業界で運用するのに十分な性能だと思われる。

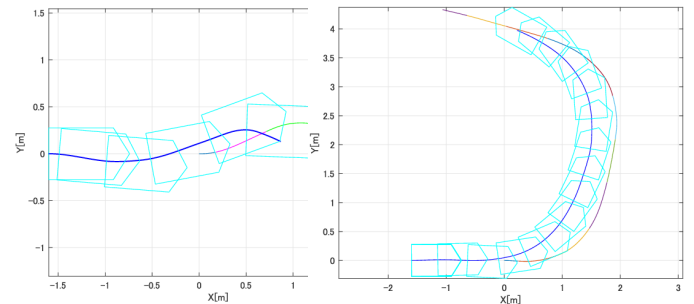


Fig. 8 S字の経路での実験 Fig. 9 U字の経路での実験

## 8. まとめ

本研究は、RTK 測位を利用してどのような経路でも対応できる追従システムの構築を目標として行った。その結果、高精度の運搬支援システムが実現したため、今後の運搬・物流業界に貢献できると思われる。

## 参考文献

- [1] 物流の 2024 年問題とは 労働時間の上限規制やその影響、対応策 <https://ma-succeed.jp/content/knowledge/post-7293> (参照日 2023 年 1 月 29 日)
- [2] 山口, 新井: 複数車両型移動ロボットから構成される隊列の経路追従フィードバック制御法, 日本機械学会論文集, 68-672, 2380/2387 (2002).
- [3] F Takemori, Y Kaneko and R Hayashi : Leading Trajectory Planning for Virtual Connected Transfer Robots Using Multiple Robots, Proceedings of the 18th International Conference of Intelligent Unmanned Systems, 197/202 (2022).