1. はじめに

　CIR-KIT は、九州工業大学の学部生を中心とした自律移動ロボット開発チームであり、屋内外の移動を行う案内ロボット・福祉ロボットの開発に取り組んでいる。このようなロボットには、案内、荷物や搭乗者の運搬、周辺環境の認識などの機能が必要とされる。本稿で報告する KIT-C5 は、自律移動ロボットの機能として最も基本的な「地図およびセンサ情報に基づく自律移動と障害物回避機能」に焦点を当てて開発されたロボットである。本年度のつくばチャレンジでは、課題コースの完走を目標とした。人物探索および横断歩道の自律横断には取り組んでいない。

2. ロボットの構成

　本節では、KIT-C5 のハードウェア・ソフトウェアの構成について説明する。Fig,1 にその外観を示す。

2.1 ハードウェア

2.1.1 機構・駆動

　KIT-C5 は、「T-frog プロジェクト」によって開発された「i-Cart mini」をベースに、独自のハードウェア設計を施されている。*また、本年度は運用コストを軽減するために、分解して持ち運びが可能となるような設計に挑戦した。*本年度は新たに 3D LiDAR を導入し、それによりセンサの位置等の大幅なハードウェア機構の変更が伴った。

2.1.2 センサ

　実際につくばチャレンジ2018で使用したセンサは、ロボットの最頂部に搭載した 3D LiDAR と、モータ(VLP-16)に搭載されているロータリーエンコーダである。

2.2 ソフトウェア

2.2.1 yp-spur

　yp-spur は、T-flog プロジェクトによって開発された移動ロボットの走行制御のためのソフトウェアである。制御基板 TF-2MD-3R3 と連携することで、簡易な制御コマンドでロボットを制御することが可能である。また、制御基板で計算されたホイールオドメトリを取得することができる

2.2.2 ROS

　ロボットのシステム統合にはROSを用いている。ROS とは分散処理方式のフレームワークで、ソフトウェアの再利用性を意識したものである。これにより、オープンソースのパッケージや、チーム内で開発したソフトウェアを再利用することができる。その他、センサ情報の可視化やデータロギングなど、デバッグのためのツールも数多く提供されており、自律移動ロボットとしての機能を比較的短い時間で実現することができる。KIT-C5 また、 Yp-Spur との連携のために「ypspur\_ros\_bridge」が提供されている。このパッケージを利用することで、ROS の速度指令コマンドとホイールオドメトリ情報を Yp-Spur と送受信することが可能となる。

2.2.3 走行手法

　自律走行には、ROS の Navigation Stack を利用した。準備として、実験走行での走行データから環境地図を作成し、地図上に Waypoint を設定した。実際の自律走行では、Waypoint を順に辿るようにして自律走行を行った。

　自己位置推定には amcl パッケージを用いた。amclでは 地図情報と 3D LiDAR 、ホイールオドメトリをもとに自己位置推定を行っている。なお、 amcl で利用できる測域データは二次元のものであるので、3D LiDAR からの三次元データを二次元データに変換して利用した。一見、3DLiDAR の無駄遣いをしているようにも感じられるが、三次元データを縦に圧縮して統合しているので、その分多くの特徴量を取得することができていることがわかっており、自己位置推定の精度が少なからず向上していると考えられる。

　経路探索・障害物回避は move\_base パッケージを用いた。自律走行の要となる部分であったので、九州工業大学の敷地内で繰り返し走行実験を行い、パラメータ調整をした。前年度を比較して、3D LiDAR を利用したことでセンサの死角が大幅に減少し、障害物回避では特にその効果を得ることができた

　Waypoint については、amcl の自己位置推定の結果を一定距離ごとに保存するパッケージを独自で開発し、これを用いた。

3. 本年度の取り組み

3.1 三次元測域センサの導入

　　課題コースの変更により、二次元の測域情報で自己位置推定をするのが難しくなることが考えられた。そこで 3D LiDAR を用いて三次元の環境地図を作成し、それを用いて自己位置推定をするのが解決策として挙げられた。

　本年度は Velodyne LiDAR 社製 の 3D LiDAR 「VLP-16」 を購入し、ロボットの最頂部に設置することとした。VLP-16 の視野が 方位角は 0 [deg] ~ 360 [deg]、仰俯角は -15 [deg] ~ +15 [deg] であるため、障害物を認識することに関しては、これ一台で十分となり、障害物回避の精度が向上した上に、調整やデバックが簡易となった。

3.2 三次元地図の作成

blam (Berkeley Localization And Mapping) パッケージを用いて三次元の環境地図作成に成功した。このパッケージは、IMUやホイールオドメトリを用いず、三次元点群データのみで地図を作成するため、導入が非常に容易であった。より精度の高いといわれている Google Cartographer の使用も検討したが、膨大な数のパラメータが存在し、それらを調整するには時間が足りないと判断し、導入には至らなかった。

3.2 自己位置推定および自律走行

　三次元環境地図を用いた自己位置推定のために、mcl\_3dl を利用した。こちらも、測域データと環境地図が三次元点群になったことを除けば、インターフェース・機能ともに それまで使用していた amcl パッケージと同様であったため、導入が容易であった。屋内の比較的狭い空間で実験したときは、安定した自律走行を実現することができた。

しかし、Navigation スタックは、二次元の環境地図をベースとして経路計算をするため、二次元地図と三次元地図の両方が必要となる。そこで、二つの地図にズレが存在すると自己位置推定の結果と経路計画に整合性が取れなくなる問題が生じた。特に、屋内の広い空間だと、三次元地図の歪みが顕著になり、長距離の自律走行が不可能となるので、つくばチャレンジでは三次元地図を用いない自律走行で挑戦することにした。

4. つくばチャレンジ2018の結果と考察

4.1 実験走行

　実験走行では、環境地図などを作成するためのデータ収集が第一の目標であった。しかし、本走行２日前の実験走行では雨天での実験となった。当時は外装部分が未完成で、雨対策がなされていなかったために、走行開始までにかなりの時間を消費してしまった。そのため、その日は数回のデータ収集で実験終了となった。

　本走行前日・当日の実験走行では、前日の走行で作成した環境地図、Waypoint を用いた自律走行の実験を主とした。走行距離は全くと言って良いほど不安定で、良い時では１００ｍ強を走行したが、悪いときは５ｍ程度でコースアウトすることがあった。Rviz 上で表示されている経路計画 (Path) からかなり外れた経路を走行していたことから、モータ等の足回りの不調が原因として考えられた。また車輪の半径が小さいために、石畳の隙間や点字ブロックなどの段差の影響を大きく受けた。車輪の空転に起因するホイールオドメトリの破綻が発生し、それによる自己位置推定の破綻が頻発していた。また、止まっている障害物を回避する動作の精度は十分と確認できていたが、前を走るロボットに追従するような形になったときにセンサの死角に障害物が侵入することがあり、それによりロボットの目前のコストマップをクリアリングできずにスタックすることがあった。これは使用している 3D LiDAR の視野が -15°~+15°の仰俯角であるため、高さ 60cm の高さに設置した場合、手前約 1m の地面などは死角となってしまうことによる。これらの不具合を1日、2日で解決するのは極めて困難であったため、我々が出来た対策は、走行速度を落として、段差による振動を抑えたくらいであった。

　その他、本走行での人為的なミスを予防するために、起動方法を簡略化するなどの対策を行った。

4.2 本走行

　本走行の記録は、スタート地点から 90m 地点でのリタイアとなった。同時スタートしたロボットに追従する形になり、それに接近したことで、センサの死角に障害物が侵入、それによりスタックした。本来ならそこから復帰動作に入り、走行を再開するのであったが、その途中でモータが動作しなくなってしまった。症状が実験走行の時と同じものであるので、原因も実験走行時と同じことが考えられる。

5. 開発状況などについて

　当団体は学部生で構成されているが、大学の授業等の都合により、結果的にはハードウェアは学部4年生1人、ソフトウェアは学部3年生1人での開発となった。

6. 今後の課題

6.1 ハードウェア

　設計そのものはロボット重心等を考えて安定するものになっており、外装の取り付けやメンテナンスしやすいものが出来ている。

　モータなどの足回りの部品を買い替えるなどして、走行の安定性を向上させることに取り組みたい。また車輪を大きいものに変更し、段差の対策をする必要があると考えられる。

　さらに、ロボットの前方・低い位置に測域センサを追加することで、 障害物が 3D LiDAR の死角に侵入した際にも、クリアリングが可能となると期待される。

6.2 ソフトウェア

　本年度のつくばチャレンジには間に合わなかった、三次元地図を用いた自律走行システムの確立を第一目標とする。

7. おわりに

　我々の開発成果は、以下の GitHub 上に公開している。

<https://github.com/CIR-KIT/fifth_robot_pkg>

8. 謝辞

　つくばチャレンジ実行委員会やつくば市の方々には、このような貴重な実験の機会を与えてくださったことを、この場を借りてお礼申し上げます。

9. 参考文献