小型芝刈りロボット群における混合移動戦略の評価

公立はこだて未来大学院　○佐藤　智則、公立はこだて未来大学院　鈴木　恵二

要　旨

本研究では小型芝刈りロボット群における屋外環境下での芝刈り作業において、提案する最近目標地戦略とパストレース戦略の混合移動戦略が作業効率や耐故障性に対して、どの程度有効であるのかの評価を行った。また、実機実験を行いパストレース戦略を含めた混合移動戦略にて作業が完了できることを示した。

1. 序　論

本研究では複数台の小型芝刈りロボットを使用した芝刈りマルチロボットシステムの作業戦略の検討を行う．

協調動作をさせるロボットとして，鈴木らの研究[1]で開発された小型芝刈りロボット Robomower を使用する．Robomower は人間に対する安全性を考慮し小型かつ低出力の芝刈り用ロボットで，芝刈り機としての基本機能以外に GPS，通信システムで構成されている．この小型芝刈りロボットが芝刈りタスクを行う上での問題点として，スタックする，パストレース性能が低いことが鈴木らの研究[1]によって示されている．また，屋外で常に移動しながらの無線通信であるため、通信が不安定であることや、広範囲の芝刈りタスクを行う場合，バッテリーの不足といった問題が発生する．そのため，通信に頼らないロバストな作業戦略の検討が必要となり、バッテリーの問題を解決する為に、自立的に充電ステーションまで戻り充電を行う必要がある．これらの問題点を考慮し，芝刈りロボット群と充電ステーションからなるシステムにおいて，ロバストで作業効率の良い作業戦略の検討とその評価を行う．

参考文献[2]で、パストレース戦略と最近目標地戦略の混合戦略が通信成功率に対してロバストであることを示した。しかし、ここでのパストレースのパスは手動で設定したものの為、作業領域が変わるたびに手動で設定しなおす必要がある。本研究ではそのパスを GA による自動生成を用いた場合に作業実施可能性と作業効率について実験を行い検証を行った。

2. 小型芝刈りロボット

2.1 ロボット構成

図 **1** に Robomower 本体の概観を示す．Robomower は Friendly Robotics 社の Robomower RL500 をベースに作られており，動作部は左右の差動型駆動輪と前部のキャスターによる 3 輪で構成されている．また，芝刈りブレード用のモータを 3 個所持している．センサは差動 GPS による位置同定を基本として，地磁気方位センサ，超音波センサ，境界線センサ，接触センサ，接地センサによる外部環境情報の取得，また，2 軸加速度センサ，角速度センサ，モータエンコーダによる内部情報の取得が可能である．外部との通信として RS232C を使用したシリアル通信が可能であり，これによって本体上部の制御用コンピュータと通信を行うことが可能である．制御用コンピュータは無線 LAN カードによる Ad-hoc 通信，OpenSOAP API を用いた SOAP 通信によって芝刈りロボット間またはロボットと充電ステーション間の情報共有が可能である．

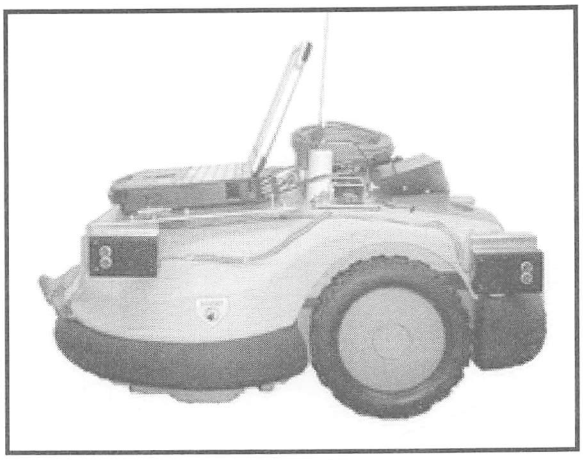

Fig. 1 Robomower

2.2 作業戦略

作業領域をグリッド分割し，各領域は状態として作業しなくても良い領域，未作業の領域，既に作業した領域の 3 つのいづれかを保持するものとする．

行動戦略として，障害物及びロボット間同士の衝突回避行動をベースとし，衝突の恐れがない場合には以下の行動戦略を遂行する方式を提案する．

- グリッド分割された作業領域中で芝刈りロボットから最も近い未作業の領域を目標地点としていく最近目標地戦略
- GA で構築したパスに従って芝刈りを行った後、作業できなかった領域に対して最近目標地戦略を用いる混合戦略

GA で生成されるパスには作業可能マス数が多いことが第一に求められる。また、同じ作業可能マス数でもパスの合計距離やパス中の合計回転角度が少ないパスのほうが良いパスであると考えられることから、評価関数は

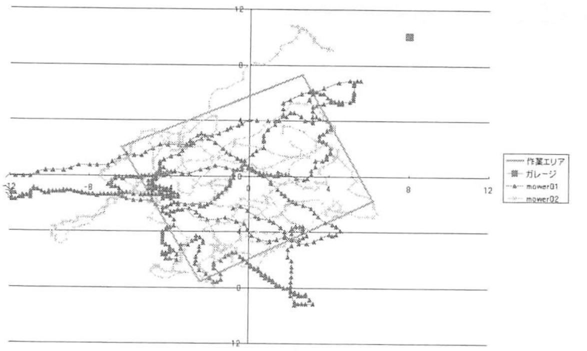

Fig. 2 Mixture Strategy Robomowers locus util finish work

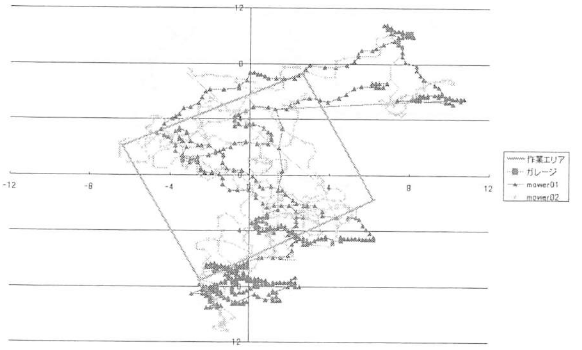

Fig. 3 Nearest Target Strategy Robomowers locus util finish work

式1とした。

$$V = 作業可能マス数 + 1/パスの合計距離 + 10/パス中の合計回転角度 \quad (1)$$

ただし，バッテリー容量が充電ステーションからの距離に比例した閾値より少ない場合，充電を行うために充電ステーションを目標地点として移動する帰還戦略をとる．

また，通信戦略としてSOAP通信による情報共有を行い，芝刈りロボットの座標情報，芝刈りロボットの目標座標情報，作業領域情報を共有する戦略を用いることとした．行動戦略としてパストレース戦略，最近目標地戦略，帰還戦略，充電中，停止中の5種類の情報を保持するものとした．

モータの制御はPID制御を用いて行動戦略で指定された目標地点へ近づくように左右のモータ値を設定するものとした．

3. 実機実験

実機上で提案する戦略が実施可能か検証するために2台の芝刈りロボットによる実験を行った．

作業領域を芝草の生えている多数の凹凸のある場所にて1辺10mの四角形領域を対象とし，作業領域から6m離れた場所にチャージステーションを設置した。ロボットの初期位置は作業領域とチャージステーションの間とした．四角形領域を1m毎にグリッド分割し，初期位置からスタートした芝刈りロボットはそれぞれの戦略を用いて作業を行う。GAによるパス生成は作業開始時に計算を行いパスを生成するものとした。

Table 1 Experimental Result

	混合戦略（パストレース＋最近目標地）		最近目標地戦略のみ	
作業時間/走行時間	0.28	0.34	0.21	0.30
スタック率	0.47	0.18	0.71	0.19
作業時間/走行時間(パストレース時間)	0.27	0.48	0.31	0.39
パストレース完了秒数(sec)	774			
作業割合(774秒経過時)	0.375		0.35	
作業完了時間（sec）	2710		2806	

最近目標地戦略と、GAで生成したパスに沿ってパストレース戦略を実行した後，最近目標地戦略を用いて作業を行う混合戦略において、実施可能性の検証を行った。

2台の芝刈りロボットの行動軌跡を図**2**、図**3**にそれぞれ混合戦略と最近目標地戦略の作業完了までの芝刈りロボットの行動軌跡を示す。また、各戦略での実験結果を表**1**に示す。

混合戦略でのパストレース完了までの時間は774秒であった。パストレース完了時の作業の進行割合は0.375であり、最近目標地戦略で774秒経過時の作業進行割合は0.35であった。また、作業完了までの時間は混合戦略、最近目標値戦略それぞれ2710秒、2806秒であり、若干の作業効率向上が見られた。

このことから提案戦略により複数台による芝刈りタスクの遂行が可能であることが確認されたとともに、若干ではあるが混合戦略によって作業効率が改善した。

4. 結　　論

複数台の小型芝刈りロボットRobomowerを使用した芝刈りマルチロボットシステムの作業戦略として，GAによって自動生成されたパスを用いたパストレース戦略と最近目標地戦略，SOAP通信による情報共有を用いた作業戦略について検討を行った。実機実験から複数台の小型芝刈りロボットによる芝刈りシステムにおいて，GAパストレース戦略と最近目標地戦略による混合戦略，SOAP通信による情報共有を用いた作業戦略の有効性を示した．

参 考 文 献

1) 鈴木恵二　三上貞芳　秋田純一　大沢英一,「小型芝刈りロボット群の開発とタスク遂行方式の検討」(公立はこだて未来大学，No.03-04 ROBOMEC'03，2003）
2) 佐藤智則　鈴木恵二,「SOAP通信による小型芝刈りロボット群の制御」(公立はこだて未来大学，No.05-4 ROBOMEC'05，2005）
3) Keiji Suzuki, Sadayoshi Mikami, Ei-ichi Osawa,「Development of co-operative small mowing robots with charging station」(Future University - Hakodate,The 4th International Conference on Advanced Mechatronics: ICAM04)
4) SOAP Specifications http://www.w3.org/TR/soap/
5) OpenSOAP Project http://opensoap.jp/
6) Webサービス利用に向けたOpenSOAP技術基礎演習教材（公立はこだて未来大学）
7) Lawrence Davis, Yukinori Kakazu et. al. (translate), 遺伝アルゴリズムハンドブック (1994 ISBN: 4627822901)