

ロボット芝刈り機の最適走行制御の研究

Study of Optimal Operation Control for Robotic Lawnmower

島 村 秀 明*

Hideaki SHIMAMURA

松 井 勇 樹*

Yuki MATSUI

Sebastian SCHMITT**

要 旨

近年広く普及し始めたロボット芝刈り機は芝地を満遍なく作業することが求められている。その芝地の形状は多種多様であるため、複雑な庭ではロボット芝刈り機が行きにくい場所ができ、全体の作業をするのに時間がかかる場合もある。本研究では、走行制御を変更し芝地全体の作業の完了を早くすることを目的とした。

従来の走行制御は複雑な庭でも全体を作業できるように設定としているため、そうでない庭ではさらに早く作業を完了させる設定が存在する可能性があった。そこで、ロボット芝刈り機が自動的に芝地の特徴を判別し、最適な走行制御の設定に切り替える手法を開発した。本研究の制御を適用することで作業時間を短くできることをシミュレーションと実機テストにて確認した。

ABSTRACT

It is necessary that robotic lawnmowers, the use of which has recently become more widespread, should be able to cover entire lawn areas. As the shapes and areas of lawns are highly diverse, in complex yards there will be areas challenging for robotic lawnmowers, and as such, the completion of work over the entire area may take some time. The research discussed in this paper sought to make it possible to complete work over the entire lawn area more quickly by modifying operation control.

As conventional operation control has been set to enable the mower to complete work in any possible yard, it is very likely that specific settings exist for specific types of yards which allow the work to be completed more quickly in that yard. The research therefore developed a method by which the robotic lawnmower automatically discriminates the characteristics of the lawn area and switches to the optimal operation control setting. Simulations and actual tests verified that the application of the control developed in this research reduces robotic lawnmower work time.

1. まえがき

Hondaは1959年に耕うん機を商品化して以来、芝刈り機、草刈機、運搬車、除雪機等の作業機を商品化している。これらの商品により人々の重労働を軽減させることができた。

近年の世界的高齢化とともに、より少ない労力でより簡単に作業を完了させるというニーズが高くなっている。このような背景から、多くの企業が自動化した芝刈り機を販売している。Hondaは2012年にロボット芝刈り機Miimoの販売を開始した。

これはFig. 1のようにモアとドッキングステーションにより構成される。ユーザは庭を境界ワイヤで囲んで作

業エリアを定義する。モアは境界ワイヤの内側か外側かを判別することができ、作業エリア内の芝を刈りながら走り回る⁽¹⁾。

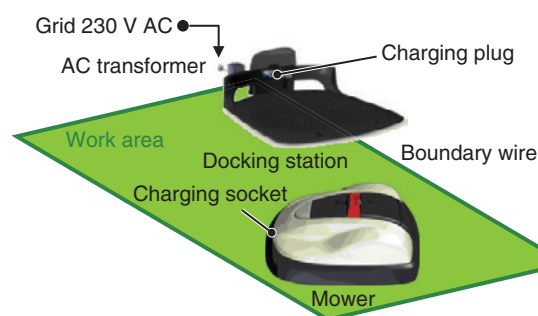


Fig. 1 Miimo configuration

* パワープロダクツ R&D センター

** Honda Research Institute Europe GmbH

モアはユーザが設定したスケジュールに従って作業をおこない、作業中でもバッテリー電力が低下した時には自動でドッキングステーションに戻り充電をおこなう。この作業を繰り返し、芝の長さを維持する。

2. 目的と目標

ユーザはモアの作業スケジュールを芝の長さを維持できるように設定する必要がある。維持するために必要な作業時間に対し短い時間を設定してしまうと、きれいな芝地を保つことができなくなる。この必要な作業時間は広い庭や複雑な庭では長くなる。複雑な庭ではモアが行きにくい場所ができ、全体の作業をするのに時間がかかるためである。このときモアは一度作業したところを何度も走っている。

一度作業したところを何度も走らなくすることで、作業できる面積を増やしたり、作業時間を減らすことができる。これによりユーザは広い庭を維持したり、庭で楽しむ時間を増やすことができる。

本研究では、走行制御を変更し芝地全体の作業の完了を早くすることを目的に、単位時間あたりの作業面積を現行と比較し 20% 向上することを目標とした。

3. 走行制御

3.1. 従来の走行制御

モアは直進と旋回を繰り返すことで作業エリア内を作業する。Fig. 2 のように作業エリアの境界に達すると、その場で旋回し、再び直進する。

同じところを何度も走行しないように旋回する角度をランダムにしている。Fig. 3 のように同じ角度で境界ワイヤに達しても、別方向へ直進する。

また、この旋回角度には制限範囲を設けている。この制限範囲は、複雑な庭でも全体を作業できるような設定としており、さまざまな庭において芝地全体の作業を完了することができる。

3.2. 最適走行制御

従来の走行制御は、旋回角度の制限範囲を固定としてい

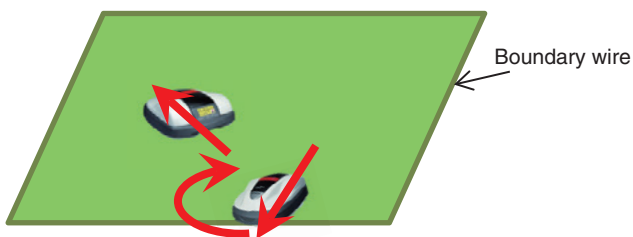


Fig. 2 Running pattern

た。このため個々の庭に対しては、より芝地全体の作業の完了が早い制限範囲が存在する。

よって本研究では、旋回角度の制限範囲を複数持ち、モアが庭形状に合わせた制限範囲を選択することで、作業の完了を早くする手法とし、このために下記 4 項目を実施した。

- (1) さまざまな庭のサンプルを用意する
- (2) 庭を特徴ごとに分類する
- (3) 庭の特徴ごとに旋回角度の制限範囲を決定する
- (4) 作業している庭に合わせて旋回角度の制限範囲を選択する

3.2.1. さまざまな庭のサンプルを用意

どんな庭があるか市場調査をおこなった。調査した庭の抜粋を Fig. 4 に示す。庭には単純な形と複雑な形があり、庭内には、木、家庭菜園用のレンガ、トランポリン等の障害物が点在している。

このように、庭を構成する要素はさまざまであり、組み合わせは無限に存在する。そこで、多くの庭を確認するため、調査した数十件の庭から二十万件の庭を自動生成した。本研究では、最大サイズを縦横 20 m に制限した。

3.2.2. 庭を特徴ごとに分類

庭进行分类するために、直進距離によるヒストグラムを用いた。前述の通りモアは直進と旋回を繰り返し作業する。Fig. 5(a) のように単純な庭では直進距離が長いときが多く、Fig. 5(b) のような複雑な庭では直進距離が短いときが多い。ヒストグラムは、直進して旋回するモアの走行パターンの中で一回一回の直進距離を確認し距離ごとにカウントし求めている。

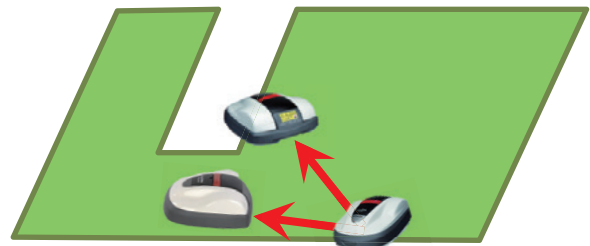


Fig. 3 Randomness of turn angle

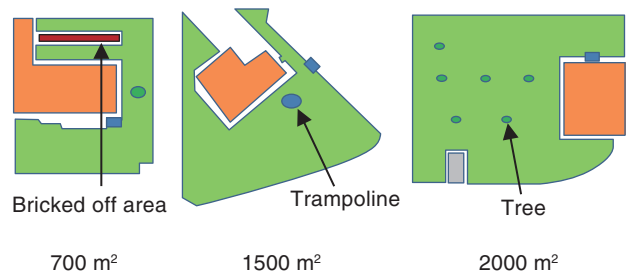


Fig. 4 Actual yard shape

Fig. 4で示した庭形状のヒストグラムをFig. 6に示す。単純な形状では、直進距離が短いときの回数が少なくなっている。

求めたヒストグラムを用いて大量の庭サンプルをクラスタリング手法のK-means++⁽²⁾で分類した。分類した結果をFig. 7に示す。グループの数は、分類後の各グループのヒストグラムが類似しないよう、グループ数を変えながらクラスタリングを繰り返しおこない決定した。それぞれのグループから抜粋したサンプルとヒストグラムをFig. 8に示す。ヒストグラムが類似する庭がまとめられていることがわかる。

3.2.3. 分類に応じた旋回角度の制限範囲を決定

グループごとに最適な旋回角度の制限範囲を決定した。最適な制限範囲を求めるために、自社開発のパラメータ

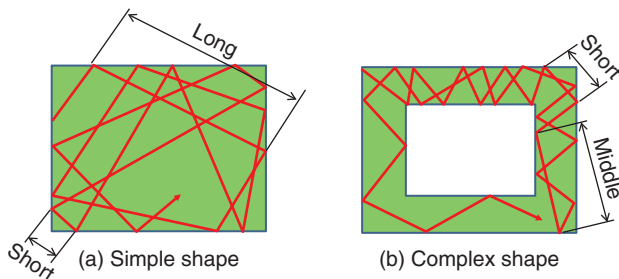


Fig. 5 Uninterrupted distance

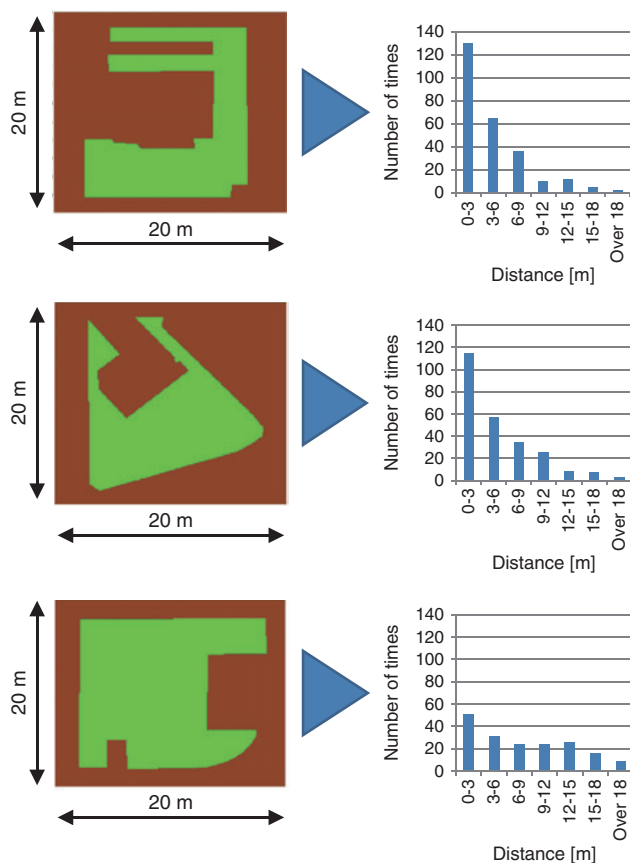


Fig. 6 Histogram for each yard shape

最適化ツールを用いた。従来機で求めた最適化手法は、最適化時に与えた初期値近辺を探索するのに対し、自社開発のツールは広範囲におよんで最適な設定を探索できる。

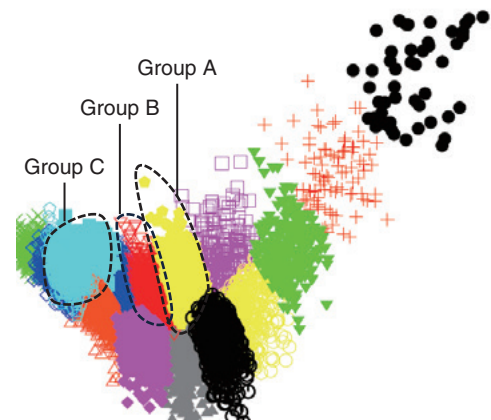


Fig. 7 Clustering

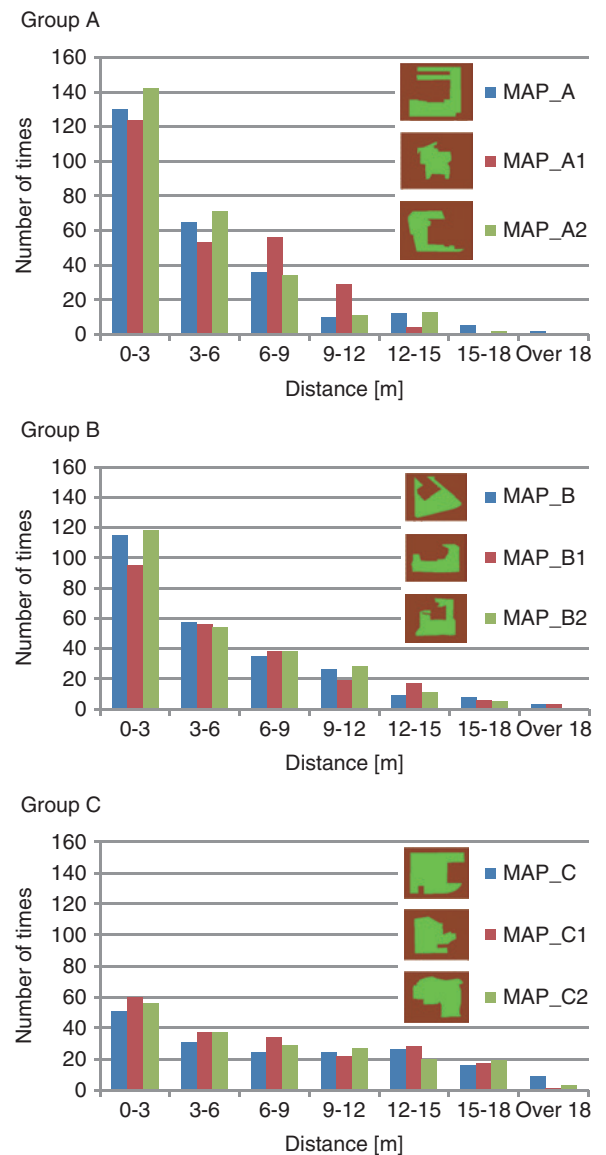


Fig. 8 Results of clustering

最適化は、グループの中から形状違いの庭を複数抽出し、それぞれの結果からグループに最適な制限範囲を決定した。各グループに対して最適化をおこない、それぞれの制限範囲を決定した。

3.2.4. 庭に合わせて巡回角度の制限範囲を選択

モアは作業している庭のヒストグラムと、各グループのヒストグラムを比較してどのグループに属しているか判断する。作業している庭のヒストグラムは作業しながら直進距離を計測し求める。求めたヒストグラムとグループ毎のヒストグラムで、直進距離ごとに回数の差を出し、それぞれ2乗したものを積算して、その積算値が一番小さいグループがモアの作業している庭に最も近いグループとなる。

Fig. 9の庭から求めたヒストグラムは、Fig. 8のグループCのヒストグラムに最も近い。

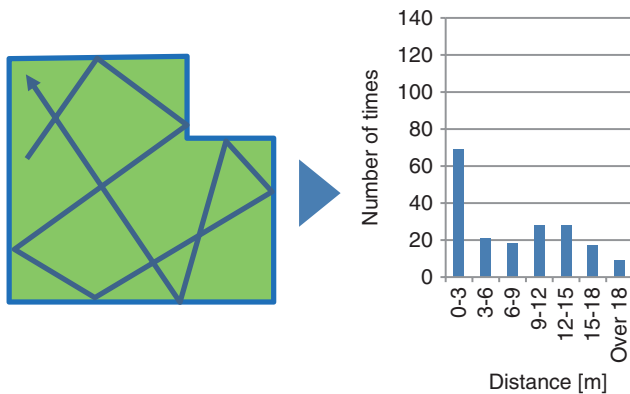


Fig. 9 Area shape and histogram

4. 検証結果

4.1. シミュレーションによる検証

各庭のグループから代表的な庭を選定してシミュレーション検証をおこなった。芝地全体の作業が完了するまでの時間から単位時間当たりの作業面積を求めた。従来の走行制御との比較をFig. 10に示す。Yard IDは複雑な形状のグループから順に番号を振っている。

従来の走行制御に比べ、すべての庭形状で単位時間当たりの作業面積が向上しており、平均で20%の改善となった。

4.2. 実機による検証

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13のように200 m²に統一した特徴の異なる庭形状で検証した。本テストにおいてはシミュレーション検証と同じく、芝地全体の作業が完了するまでの時間を計測し、単位時間当たりの作業面積を評価対象とした。従来の走行制御との比較をTable 1に示す。

単位時間当たりの作業面積は平均で27%向上した。

Table 1 Work area per hour for conventional control and optimal control

Yard shape	Before [m ² /h]	After [m ² /h]	Increased value [%]
Yard shape 1	98.9	122.6	24%
Yard shape 2	84.3	108.6	29%
Yard shape 3	91.8	117.7	28%

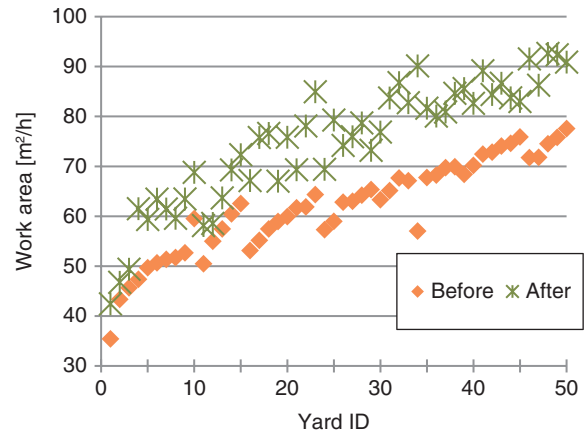


Fig. 10 Simulation analysis results

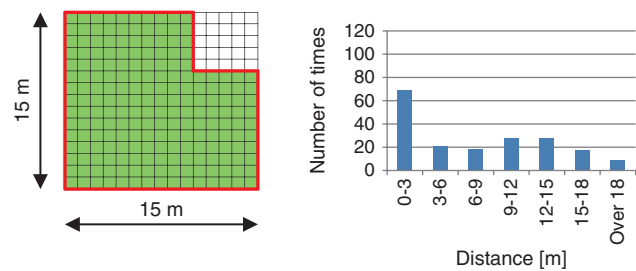


Fig. 11 Test result for yard shape 1

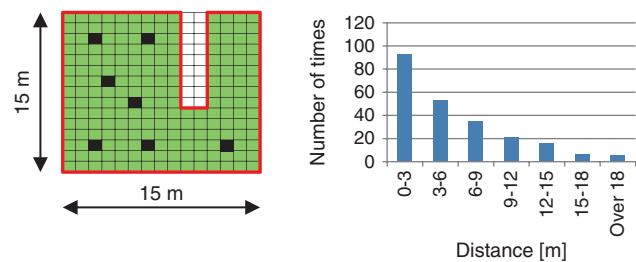


Fig. 12 Test result for yard shape 2

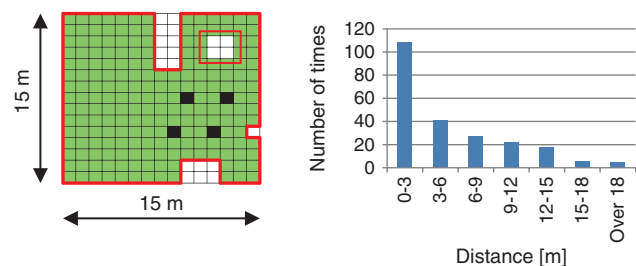


Fig. 13 Test result for yard shape 3

5. まとめ

ロボット芝刈り機の最適走行制御の研究により次の成果を得た.

- (1) ヒストグラムとクラスタリング技術により複雑度に合わせてさまざまな庭を分類することが可能となった.
- (2) ロボット芝刈り機の走行制御の旋回角度を, 分類したグループごとに最適化できた.
- (3) ロボット芝刈り機が作業をしながら, 庭の複雑度を判断し最適な旋回角度を選択することが可能となった.
- (4) ロボット芝刈り機の単位時間あたりの作業面積を平均で 27% 向上することができた.

参考文献

- (1) 川上俊明, 小林浩, 山村誠, 丸山修平: ロボット芝刈り機 Miimo の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 2, p. 52-57
- (2) Arthur, D., Vassilvitskii, S.: k-means++ the advantages of careful seeding, Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms, Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, PA, USA, p. 1027-1035, (2007)

■ 著 者 ■



島村 秀明



松井 勇樹



Sebastian SCHMITT