

ロボット芝刈り機 Miimo の開発

Development of Robotic Lawnmower Miimo

川 上 俊 明*

Toshiaki KAWAKAMI

山 村 誠*

Makoto YAMAMURA

小 林 浩*

Hiroshi KOBAYASHI

丸 山 修 平*

Shuhei MARUYAMA

要 旨

労力と時間をかけずに芝地を綺麗にというニーズに対応すべく、安心して任せられること、簡単に使えること、快適に過ごせることの三つを商品コンセプトに、ロボット芝刈り機 Miimo の開発をおこなった。

お客様に手間をかけさせずに、芝刈り機が自動で作業を継続するため、作業エリアの認識とバッテリーの自動充電を可能とし、障害物があっても回避可能とした。また、綺麗な芝地を保つために、全体をまんべんなく作業する走行パターン、刈り芝を床土上に散布するマルチング方式による芝刈り作業や、轍のできにくい移動パターンを採用することで仕上り性も確保した。そして、自動で作業するため、ユーザ以外が近づいても安心な機能安全の考え方を取り入れたシステムとしている。

ABSTRACT

Development of the robotic lawnmower Miimo was pursued in response to people's need to make their lawn look nice without spending time and effort on it. The product was developed on the three concepts of giving people a sense of security about letting it do the work, making it simple for people to use, and allowing people to spend their time in comfort.

In order to enable the lawnmower to continue its work automatically without imposing a burden of labor on the customer, the unit was given the capability to recognize its work area, to automatically recharge its battery, and to avoid obstacles it might encounter. In order to maintain an attractive-looking lawn, the product assures finish quality by adopting movement patterns that cause the mower to work through the entire area thoroughly, a mowing method with a mulching system that distributes mown grass over seedbed soil, and movement patterns that avoid leaving ruts. Because the product works automatically, a conceptual approach of functional safety was built into the system so that there will be nothing to worry about even if someone other than the user approaches the machine.

1. まえがき

Honda は、1978 年に歩行型芝刈り機 HR21 を商品化した。この HR21 は、使いやすさと信頼性を確立し、Honda 芝刈り機欧米進出の足がかりとなった。

近年の世界的高齢化、環境保護意識の高まりとともに、より簡単な庭のメンテナンスや庭ゴミの削減など、トップランナ企業としての環境適合性を積極的に進めてきた。また、庭木や花のメンテナンスとは違い、芝刈り作業は労働としてとらえられ、余暇を過ごす時間の確保のため、より手間のかからない芝刈り機が求められてきている。

労力と時間をかけずに芝地を綺麗にというニーズに対応すべく、ロボット芝刈り機 Miimo300/Miimo500 (Miimo) を

開発したのでここに紹介する。Miimo の外観を Fig. 1, 基本諸元を Table 1 に示す。



Fig. 1 Robotic lawnmower Miimo

*汎用 R&D センター

Table 1 Basic specifications

Name		Miimo300	Miimo500
Model		HRM300	HRM500
Overall length	mm	645	
Overall width	mm	550	
Overall height	mm	275	
Wheelbase	mm	300	
Mass	kg	11.5	11.8
Wheel diameter	Front wheel	mm	100
	Rear wheel	mm	200
Running speed (Forward)	m·s ⁻¹	0 - 0.55	
Trimming width	mm	220	
Trimming height	mm	20 - 60	
Blade rotating speed	min ⁻¹	2200	
Blade type (number of blades)		Swing-back type (3 blades)	
Motor performance	For driving	W	10.8 x 2
	For mowing	W	25.3
Battery	Type	Li-ion	
	Capacity	22.2V x 1.8Ah	22.2V x 3.6Ah
Transformer output current		A/VA 2.3 / 60	

ロボット芝刈り機の市場動向は、2006年に欧州市場において年間販売台数1万台程度であったが、2012年には年間9万台となり、右肩上がりに急成長している。また、欧州主要芝刈り機メーカーも積極的に市場参入している。欧州のロボット芝刈り機年間販売台数の推移を Fig. 2 に示す。

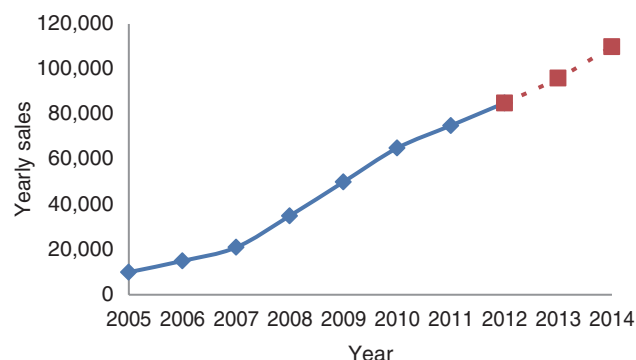


Fig. 2 Prediction of European robotic lawnmower market growth

2. 開発のねらい

Miimoの開発にあたっては、安心して任せられること、簡単に使えること、快適に過ごせることの三つを商品コンセプトに

- (1) 手間をかけずに作業を継続できる確実性
- (2) きれいな芝を保つ仕上り性
- (3) ガーデンパートナーとしての信頼性をねらいとした。

3. Miimo の構成

Miimoは、商用電源を安全特別低電圧 (Safety Extra Low Voltage: SELV) 以下に変換し供給するトランス、充

電用のドッキングステーションと自動で走行し芝を刈るモアで構成される。ドッキングステーションは作業エリアの境界を設定するワイヤへの信号出力機能も備えている。構成を Fig. 3 に示す。

モアのパワートレインは、ブレードと走行用の左右後輪を駆動する三つのモータ、電源となるバッテリー、コントロールする ECU で構成される。また、状態の表示や設定を入力するディスプレイや、安心して使用するためのセンサを備えている。モアの構成図を Fig. 4 に示す。

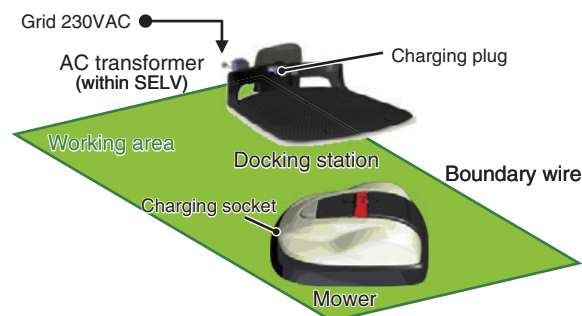


Fig. 3 Miimo configuration

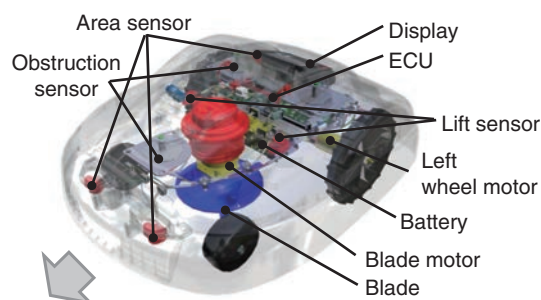


Fig. 4 Mower components

4. 自動作業のための技術

4.1. 作業を継続するための機能

自動で作業をおこなうために、作業エリアの認識、電源の確保、そして障害物があっても作業を継続できる機能が必要になる。

4.1.1. エリア検出

ロボット芝刈り機は、自動で作業をするために芝刈作業するエリアを認識する必要がある。エリアの外に出ていけないことが重要となる。

そこで Miimo に作業をさせたいエリアを電線で囲み、その内側でのみ作業を許可、モアは作業中に境界に到達したら電線を飛び越えることなく引き返す。電線が断線したときや、外側に置かれたときにはモアは停止する。

エリアの内側か認識するために、磁界変化を検出する手法を採用している。具体的には、ステーションからエリア

境界を設定するワイヤに対して Clockwise (CW) 方向にパルス状の電流を流す。このときエリア境界ワイヤの内側では、電流が増加している間は下向きの磁界が増加し、電流が減少している間は下向きの磁界が減少する。逆にエリア境界ワイヤの外側では、磁界の増減がエリア境界ワイヤの内側と逆になる。

この微小な磁界変化を増幅、フィルタリングすることでエリア内外の認識を可能としている。受信回路を Fig. 5、増幅後の波形を Fig. 6 に示す。

4.1.2. Li-ion バッテリー

Miimo は、芝刈り作業中の電源をバッテリーとしている。ユーザが設定したスケジュールにしたがって作業をおこなうが、作業中でもバッテリー容量が低下した時には、自動で充電をおこなうようにしている。

重量と寿命の観点から Li-ion バッテリーを採用している。単セルにおける Li-ion バッテリーと NiMH バッテリーの充放電サイクル試験による容量変化を Fig. 7 に示す。

回路の簡略化のために各セルの電圧バランス制御はおこなっていない。満充電にしないよう充電を制限することでセルバランスが崩れることを防止している。これは劣化防止の効果もある。さらに、劣化を防止するために、容量の多い状態で待機しないよう使用容量の 60% 充電状態で一

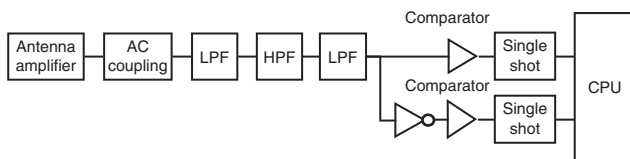


Fig. 5 Area signal receiving circuit

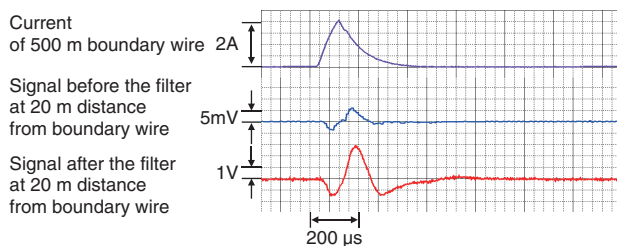


Fig. 6 Current of boundary wire and received signal

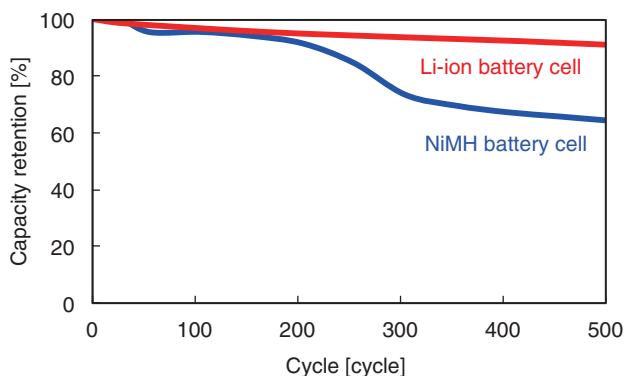


Fig. 7 Cell battery cycle performance

度充電を停止させ、作業開始前に使用容量の 100% に充電している。

また、バッテリーパック内に Battery Management System (BMS) を内蔵しており、バッテリーパックの過電流、セルごとに過電圧、低電圧の監視をしている。低電圧によるバッテリー解放をした時にはプリチャージをおこなう機能も備えている。

バッテリーパックの充放電サイクル試験による容量変化を Fig. 8 に示す。セルバランス制御なしで 2 年間の使用に相当する 1500 サイクル経過後に 70% 以上の容量を満足することが確認できた。

4.1.3. 障害物回避

障害物に衝突したときには、進行方向への走行を停止し、その後回避をして自動作業を継続する。また、持ち上げられた場合はブレードを停止し、そして回避動作をおこなわない、グラウンドレベルに戻ったら自動運転を再開する。

4.2. きれいな芝を保つための機能

きれいな芝を保つためには、まんべんなく全体を作業することが必要となる。またきれいな仕上りのために、継続した作業に適した刈取り方式の採用や、踏みあとに対する配慮も必要である。

4.2.1. 直進制御

作業時の走行は、まっすぐ進み、エリア境界に達すると旋回し、また境界までまっすぐ進む。この動作を繰り返す。作業エリア全体をまんべんなく走行する必要がある。Miimo は滑りやすい濡れ芝の傾斜地でも作業をおこなうため、このような路面でもまっすぐ進めないと、傾斜地の上部へ登れず、全体を効率よく作業することができない。

そこでまっすぐ進むために直進制御をおこなっている。直進制御は、角速度を検出、積算しスリップしてもねらった方向がずれたことを感知、曲がった量に対してファジー制御をすることで直進を達成している。

4.2.2. 走行パターン

広い芝地をきれいに保つためには、まんべんなく全体を刈ることが重要となる。歩行芝刈り機で人が作業するように順番に刈っていくと無駄はない。しかし、作業エリアの

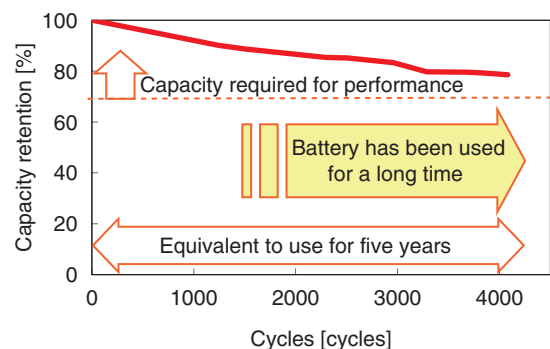


Fig. 8 Battery pack cycle performance

形状によっては、規則正しい走行パターンでは決まったところを繰り返し走ってしまうケースがある。そこで一塊のエリアを刈るのに適した往復作業のパターンに加え、広い複雑な形状もまんべんなく刈っていくランダム性をもったパターンも採用することにした。

小さな角度の旋回はエリア境界沿いに行きやすく、大きな角度の旋回はエリア中心に行きやすい特徴がある。ランダム性を持った旋回パターンの決定に当たり、小さな旋回角度と大きな旋回角度の範囲をパラメータとし、さまざまな形状のエリアで効率的に走行する値をシミュレーションで求めることにした。モデルは、走行パターン、車体モデル、エリアモデルで構成し、走行面積と走行のムラを出力、この出力結果に対して、パラメータ最適化ツールにて最適値を求めた。シミュレーションの概念図を Fig. 9、確認をおこなったエリアモデルを Fig. 10 に示す。

さまざまな庭形状に対応する3パターンを設定した。

- (1) 広いエリアで効果を発揮する、シミュレーションにて最適化されたランダムパターン
- (2) 指定したゾーンを集中して作業する、往復作業のディレクショナルパターン
- (3) バランスよく作業ができるランダムとディレクショナルをあわせたミックスパターン

走行パターンの概念図を Fig. 11 に示す。

モーションキャプチャによる走行塗りつぶし結果を Fig. 12 に示す。いずれのモードにおいてもシミュレーション通りの結果が得られた。一回しか刈っていないところは黄色、二回以上は赤で示される。

4.2.3. マルチング作業

刈り芝を微細化し、芝草の根元の床土上に散布するマルチングにより、刈り芝は速やかに分解され、肥料として役立てることができる。

刈取り部にファン構造を採用し、刈り芝を均等に分散さ

せることでマルチング性を向上している。刈取り部の構造を Fig. 13 に示す。

ファンによる効果について、Computer Aided Engineering(CAE)による流れ場解析の結果を Fig. 14、

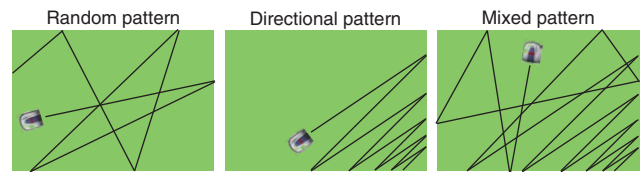


Fig. 11 Movement pattern

Mowing time [min]	5	10	15	20	25	30
Random pattern						
Mowing area [%]	51	73	84	91	95	97
Directional pattern						
Mowing area [%]	47	74	87	94	97	98
Mixed pattern						
Mowing area [%]	49	72	84	91	95	98

Fig. 12 Grass cutting in each pattern

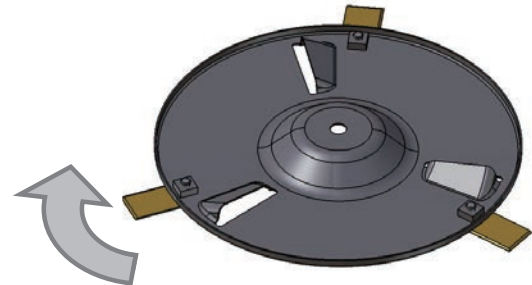


Fig. 13 Mowing part structure

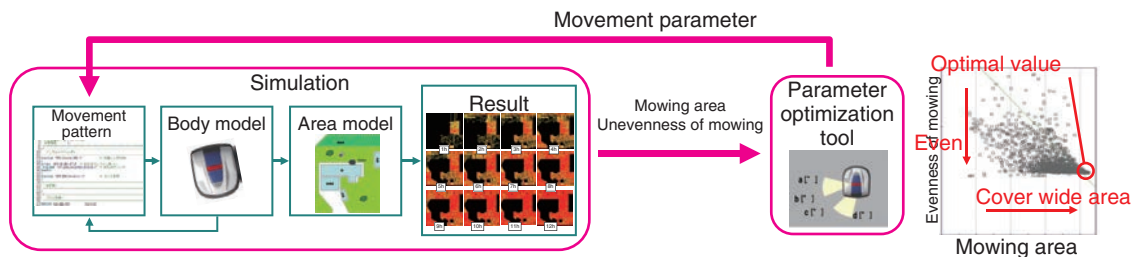


Fig. 9 Movement pattern simulation

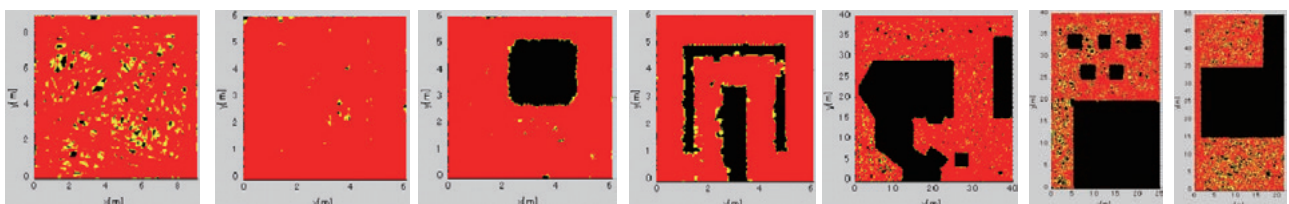


Fig. 10 Area model

分散性を Fig. 15 に示す。分散性が確保されていることを確認できた。

4.2.4. 帰還走行

Miimo の芝刈り作業の流れは、

- (1) 設定した作業開始時間になるとステーションから離脱し、指定したエリアへ移動
- (2) 指定したエリアで作業開始
- (3) バッテリー容量が少なくなったら作業停止しステーションへ帰還
- (4) ステーションにて 100% まで充電
- (5) 充電が終了すると再度指定したエリアへ移動
- (6) 指定したエリアで作業再開
- (7) 設定した作業終了時間になるとステーションへ帰還となり、ステーションから指定したエリアへの移動やステーションへ帰還するための移動がある。ステーションへの移動でたいせつなことは、自動作業を継続するために確実に帰還することである。このため帰還するための電力を十分に残して帰還を開始する設定としている。

これらの移動は、エリア境界ワイヤに沿っておこなっているが、移動中は芝刈り作業をおこなっていないため、短いほど効率が良い。また、同じところを何度も走行すると轍ができてしまう。このため移動距離を減らすために、指定エリアに移動した方向と逆向きで帰還する設定としている。このときの概念図を Fig. 16 に示す。これは、Anticlockwise (ACW) 方向に 40 m 移動してから作業開始する設定の場合には、ステーションに戻るときも作業開始したエリアにいる可能性が高いため、CW 方向でステーションに帰還したほ

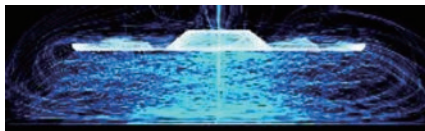


Fig. 14 Grass diffusion simulation



Fig. 15 Dispersibility by fan

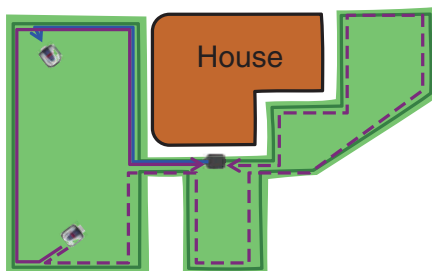


Fig. 16 Concept of return

Table 2 Stop functions

Functions	Description
Manual stop switch detection	Blade motor and wheel motor are stopped by pushing a stop switch
Lift detection	Lift sensor detects when user lifts up mower, and then it stops blade motor and wheel motor.
Tilt detection	When tilt sensor observes limit angle of inclination, blade motor and wheel motor are stopped.
Rollover detection	Rollover sensor monitors mower. Rollover sensor detects the rollover of mower, and then it stops blade motor and wheel motor.
Detection of area interior	Area sensor detects pulse from boundary wire and constantly monitors the status of inside/outside the area. Area sensor stops blade motor and wheel motor when pulse is not detected due to disconnection or short circuit of boundary wire.
Obstruction detection	Wheel motor stops at time of collision. After mower collides with person or obstruction, obstruction sensor maneuvers the mower to avoid them.

うが移動距離を短くできる場合が多いためである。

また、いつも同じところを走らないようにするために、移動のたびに少しずつ通るルートを変えて走行する機能を持っている。さらに、指定エリアに移動する設定をしていないときには CW, ACW 方向を交互にステーションに帰還している。

4.3. 安心して使うための機能

ロボット芝刈り機は、作業者がいなくても自動で作業をおこなう。労働をかける必要がないが、ユーザ以外が不意に近づいてしまうことも考慮する必要がある。

4.3.1. 機能安全

Miimo では、Table 2 に示す停止機能は冗長設計をおこなっている。この機能を構成する部品が故障していても停止可能であり、また故障していることを検出できるようにしている。スイッチやセンサの入力は二重系としてあり、片方の検出でも停止するようにしてあり、それぞれを比較することで故障の検出をしている。モータ停止部も二重系としてあり、片方が働けば停止でき、それぞれ動作状態をフィードバックすることで故障の検出をしている。

安心して使用できるように、芝を刈る回転している作業部には触れられないようにした。また、全方位の衝突に対して検出可能であり、全周囲のどこを持ち上げても検出可能な構成としている。これは、作業部を持つフレームに対して、カバーが前後左右、上方向に自由に可動できるようにマウントすることで達成している。衝突検出機構を Fig. 17, 持ち上げ検出機構を Fig. 18 に示す。

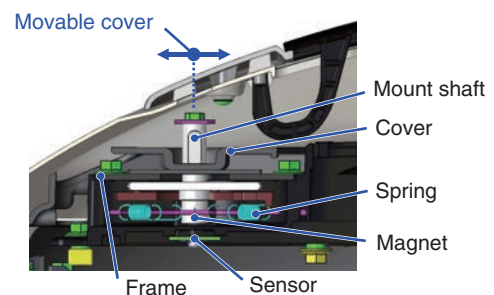


Fig. 17 Structure of collision detector

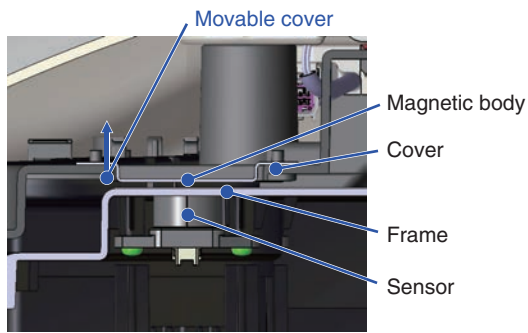


Fig. 18 Structure of lift detector

5. まとめ

本ロボット芝刈り機の開発により次の成果を得た。

- (1) エリア検出により、決められた作業エリアから飛び出すことなく作業を継続、バッテリーの容量低下が少なく長期間作業可能、また、エリア内に障害物があっても回避動作をおこない作業を継続する確実性を確保できた。
- (2) 直進制御と走行パターンにより作業エリア全体をまんべんなく作業し、マルチング方式による芝刈り作業と轍を作りにくい移動により、きれいな芝地を保つことが可能となった。
- (3) 機能安全の考えを取り入れ、また、全方位に対する衝突や全周囲の持ち上げを検出可能とし、安心して使える作業機となった。

■ 著 者 ■



川上 俊明



小林 浩



山村 誠



丸山 修平