

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560237

研究課題名（和文）刈払機を搭載する自律型刈払ロボットの研究

研究課題名（英文） Development of Autonomous Brush-cutting Robot Operating Brush-cutter

研究代表者

滝田 好宏（TAKITA YOSHIHIRO）

防衛大学校電気情報学群 教授

研究者番号：60546050

研究成果の概要（和文）：本研究では、ホームセンターで安価に購入できる刈払機をロボット車体に搭載することで、比較的長く伸びた草を刈り倒すことができる自律型刈払ロボットを提案して試作を行った。ロボットの移動機構は車体中央で屈曲するアーティキュレート式とし、100kg 搭載可能で 30.3kg の車体重量となった。刈り残しがない軌道計画と誘導および安全な刈払を行うために、自律制御プログラムの開発をつくばチャレンジに参加して行った。今後は、本ロボットの実証実験を行っていく。

研究成果の概要（英文）：This research proposes and develops an autonomous brush-cutting robot which cuts grasses growth relatively long by operating the brush-cutter selling at DIY shop. The robot moving base is constructed with a center articulated body of which payload and weight are 100kg and 30.3kg, respectively. In order to achieve the safety trajectory planning in the cutting area without the scanning space that is left, an autonomous control program is developed through participating in TSUKUBA challenge. For the future the experimental demonstration will be done.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,500,000	0	2,500,000
2011年度	500,000	0	500,000
2012年度	600,000	0	600,000
総計	3,600,000	0	3,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械力学・制御

キーワード：運動制御, 自律移動

1. 研究開始当初の背景

日本の国土は狭く、耕作地を増やし収穫量を上げることが難しい。一方、狭い耕地で人手を減らし、効率よく作物を栽培するため農薬が使われている。近年、草が農薬に抗力を持ち、収穫量の低下が懸念されているが、農家にとって定期的な除草作業が負担となり農薬に頼ることが一般的になっている。このよ

うな状況において、ロボットが人間に代わって草刈作業を行うことによる貢献が期待されている。本研究を発想に至った技術的背景は以下の通りである。

(1) 芝刈に特化した芝刈ロボットは、米国やゴルフ場での需要が見込めることからすでに商品化されている。他方、同様の需要を見込んで、市販の乗用型草刈機を自動化した

例（富士重工業）では、高価な RTK-GPS（リアルタイム キネマティック GPS）を用いて高精度な誘導を可能にしているが、実用化に至っていない。

(2) 研究代表者はこれまで操舵式車両の軌道誘導方式 SSM (Sensor Steering Mechanism) を提案して、センサアームと操舵角の関係を導いて安定速度限界を向上させている。この方法を GPS ロボットカーに適用し、RTK-GPS を用いて高精度の軌道誘導を実現できることを示している。

(3) DGPS (ディファレンシャル GPS) と LRF (レーザ・レンジ・ファインダ) を用いた SSM 誘導制御技術と刈払機を操作する機構を車両ロボットに搭載することで、比較的安価で有効な草刈システムが得られると考えられる。なお、刈払機を操作して自律的に草を刈るロボットはこれまでに開発されていない。

2. 研究の目的

本研究では草刈作業を人間に代わって行う自律ロボットを開発する。農地や住宅街における草刈作業は景観を保持するだけでなく、病虫害繁殖を抑制するためにも重要である。これまで、草刈ロボットの研究開発は行われているが、ほとんどが芝刈に特化したもので、田んぼのあぜ道、背丈の伸びた草を刈るロボットの研究はされていない。そこで、人間が操作して草の種類や場所を問わず草刈作業を効率的に行うことができる刈払機に注目し、これを装着した刈払ロボットを提案する。このロボットが自律して安全に刈払を行う知能的な制御装置を搭載することによって、その有効性を示す。

3. 研究の方法

本研究は大きく三段階に分かれる。ロボット車体の機構の設計製作、制御システムの設計製作、制御アルゴリズムの実装による実験である。車体はアーティキュレート式か後輪操舵式四輪車とし、四輪駆動装置を有する車体を新しく開発する。車体の大きさはシニアカー程度とする。制御システムはスレーブコントローラとホストコントローラで構成する。ホストはノート PC で自律アルゴリズムを実現する。スレーブコントローラは今回開発するマイコンボードで構成し、すべての DC モータを制御するように設計し実装する。自律アルゴリズムの開発はつくばチャレンジに参加することで継続して行い、車体開発後に実装して草刈の野外実験によって、本ロボットの評価を実施する。

4. 研究成果

(1) 刈払ロボットの概要

① 構造

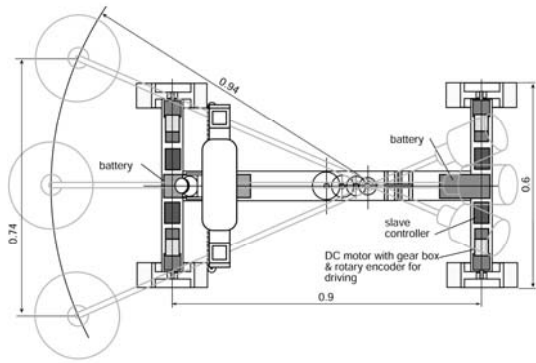
本研究では内輪差がない車体中央で屈曲するアーティキュレート式車両を採用し、走破性に優れた 4 輪駆動とした刈払ロボットの外観を図 1 に示す。図 2 には外形寸法を示す。ここで、刈払機を除く車体の重量は 30.3kg で、車体は 100kg のペイロードに耐えられるように、シニアカーを参考にして設計した。車体の後部体幹一カ所にねじれ軸を設ける簡単な構造で、路面の凹凸にも対応するサスペンションと同様の接地効果を確保した。

前輪の軸後方には門型構造のセンサ台を設けて、下段上面に 2 次元 LRF を両側に一台ずつ設置し 360 度の視界を確保した。4 本の柱に支えられた上段には GPS コンパスを設置して、野外での位置測位と方位情報を取得する。柱の間にはチルト機構を持った LRF を設置して、刃物周辺をスキャンすることにより、3 次的に環境情報を取得し、同時に反射強度を用いることで、草以外の物体認識ができる可能性がある。

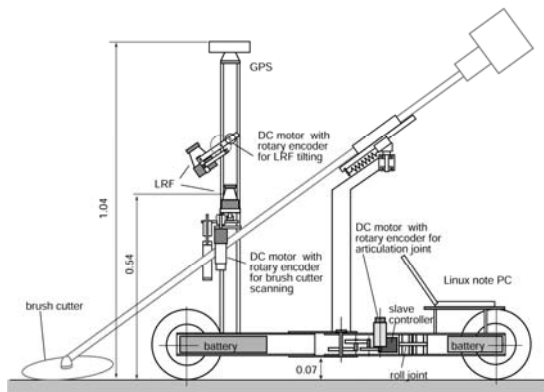
刈払機は車体中央の回転台に 35 度の傾斜で設置されたリニアスライドのスライダに設置し、旋回と上下運動を許容するようにしている。また、刃物左上で草を刈り取るように、回転面を傾けて設置した。なお、上限運動には制御を設けず、コイルばねにより刈払機を支持し、刃物からの反力を受け流す構造とした。センサ台下段の下面にリニアスライドを設置して、スライダの動きを制御することにより刈払機のスキャン動作を行っている。刈払機に接する部分はスキャンする方向



図 1 試作した刈払ロボットの外観



(a) 平面図



(b) 側面図

図2 刈払ロボットの外形寸法

に力を発生するだけで、それ以外の運動を拘束することのない構造としている。

(2) 自律制御システム

① つくばチャレンジによる自律走行技術の取得

刈払ロボットの自律制御機能を付与するには時間を要するために、2010年から2012年の3年間前輪操舵車両をベースにした **Smart Dump** を用いてつくばチャレンジに参加して、人間と共存する公道での実証実験を行ってきた。ここで得られた技術は以下の通りである。

- (i) LRF を用いた 3 次元地図作成
- (ii) LRF の反射強度を用いた地表面認識と地図埋め込み
- (iii) 移動障害物回避
- (iv) 路面段差検出とその回避
- (v) 自己位置推定

本研究では、ここで得られた制御技術を刈払ロボットに転用することができる。なお、つくばチャレンジ2010から2012に参加した結果、すべての年で課題を達成しており、制御技術を進歩させていることが、これらの結

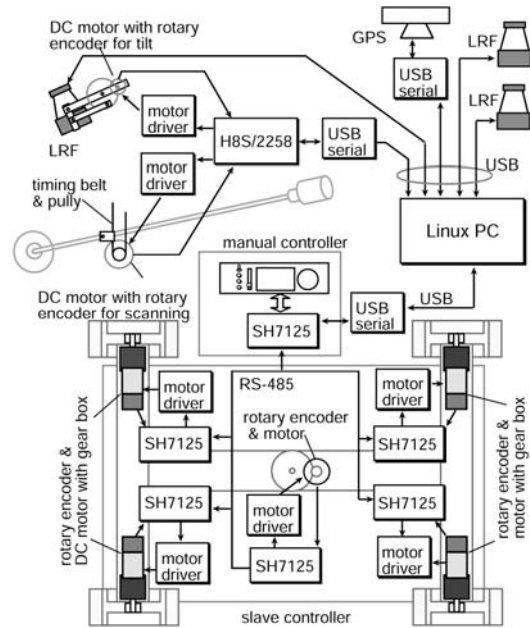


図3 刈払ロボットの制御装置

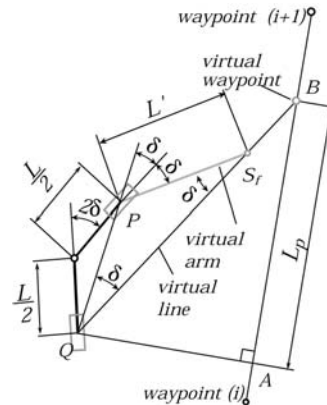


図4 ウェイポイント通過方法

果からも分かる。

② アーティキュレート式車両のウェイポイント通過

アーティキュレート式車両に地図上のウェイポイントを通わせる方法は、研究代表者らが提案した軌道誘導方式 SSM において示すことができる。図4に中央で屈曲するアーティキュレート式車両のウェイポイント通過方法を示す。ここで、車体は2輪モデルで表し、屈曲角は δ 、ホイールベースは L 、 P は前輪、 Q は後輪とし、waypoint (i) は通過すべき点とする。車体の後輪 Q 点の座標と、後部車体の姿勢角が GPS または自己位置推定でわかるとすると、仮想的 waypoint B に到達するための屈曲角 δ は、図4の関係から得られる。このように、草刈動作は自己位置推定の精度に依存することになる。

③ チルト式3次元LRFによる障害物認識

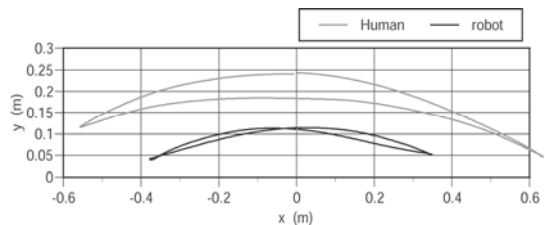
チルト機構を持つ2次元LRFを試作して、

車体前方 0.6m の高さに配置した. チルト角の検出とセンサデータの同期処理によっては 3 次元空間のデータとしてホスト PC 内で構成することができる. 同時に LRF の受光強度を取得して, レーザ光が照射された点の性質を判断することができる.

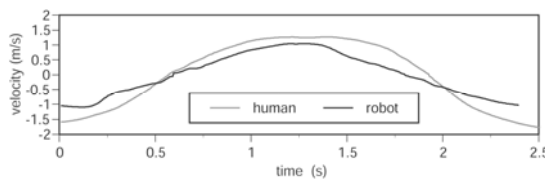
(3) 実験

① 刃物スキャン動作

人間と刈払ロボットのスキャン動作を 3 次元モーションキャプチャ ProReflex (Qualysis 製) で取得して図 5 に示す. 人間の動作は数回のスキャンを繰り返しても約 1.2m 範囲になっており, 速度は滑らかに変化し, ほぼサイン関数の波形の動きとなっている. 刈払ロボットにおいても折り返しで急激な速度変化にならないように, サイン関数を用いて目標値を設定し, 振れ幅 0.74m とした.



(a)軌跡



(b)速度

図 5 人間とロボットの草刈動作の比較



図 6 障害物検出実験状況

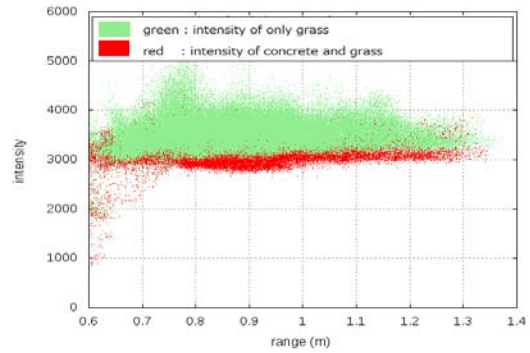
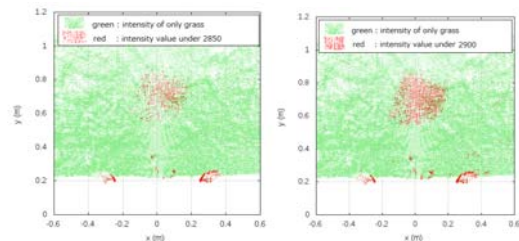


図 7 検出距離と受光強度



(a)閾値 2850 の場合 (b)閾値 2900 の場合

図 8 閾値で分離したときの測定点の分布

② チルト式 3 次元 LRF による障害物認識

刈払ロボットを図 6 のような草地に置き, 障害物として一辺 0.3m 厚さ 0.06m のコンクリートブロックをロボットの 0.6m 前に置き, 検出することを試みた.

図 7 には LRF の検出距離と反射強度の関係をコンクリートなしの場合 (緑の点または灰色) とコンクリートありの場合 (赤の点または黒) について示した. 反射強度が 3000 付近に分離できる可能性がある値があり, 閾値に 2850 と 2900 を選んで色分けして平面に投影してみると, 図 8 のようになる. このように, LRF からの距離と受光強度を用いることにより, 草の表面に現れるコンクリート片は認識できる可能性があることを示した.

(4) 結論と今後の課題

刈払ロボットを提案し, アーティキュレート式操舵方式の車体, 刈払操作機構, 自律制御のためのセンサシステムを構築した. 刈払動作範囲をロボットのトレッドより広い範囲をスキャンできることを確認した. 草から見えているコンクリート片は LRF の受光強度を用いることにより検出できる可能性を示した.

今後は Smart Dump の制御プログラムを移植して, 自律走行による刈払実験を行い, 本ロボットの有効性を示す必要がある.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① 伊達 央, 滝田 好宏, 自律移動ロボット Smart Dump による実世界環境走行実験—歩行者環境における人の群れ行動による影響と対策—, 日本ロボット学会誌, 査読有, 30 巻, 2012, 305—313
- ② Yoshihiro Takita, Hisashi Date, Shinya Ohkawa, High-speed driving of Lateral Guided Robotic Vehicle with a Rear Wheel Steer Mechanism Controlled by SSM, IAENG Engineering Letters, 査読有, 20 巻, 2012, 20—27, http://www.engineeringletters.com/issues_v20/issue_1/index.html
- ③ 伊達 央, 滝田 好宏, 空圧駆動超冗長アクチュエータによるマニピュレーション, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 77 巻, 2011, 4425—4433
- ④ 滝田 好宏, ブイクワン・ズン, 伊達 央, 任意の屈曲位置を持つアーティキュレート式車両の軌道誘導 SSM の設計, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 77 巻, 2011, 3278—3289
- ⑤ 滝田 好宏, 伊達 央, Smart Dump 3 で実現した自律機能, 計測と制御, 査読有, 46 巻, 2010, 636—639
- ⑥ 滝田 好宏, 笠井 健司, 伊達 央, アーティキュレート式車両のための軌道誘導方式 SSM の提案, 日本機械学会論文集 (C 編), 査読有, 76 巻, 2010, 1130—1138

[学会発表] (計 18 件)

- ① 滝田 好宏, 山岡 香苗, 伊達 央, アーティキュレート車両を用いた自律刈払ロボットのの実証実験, 日本機械学会関東支部第 19 期総会講演会, 平成 25 年 3 月 15 日～16 日, 首都大学東京 南大沢キャンパス
- ② 菊池 惇, 伊達 央, 滝田 好宏, 大川 真弥, Smart Dump 6 とその機能, つくばチャレンジ 2012 シンポジウム, 平成 25 年 1 月 5 日, 筑波大学 大学会館特別会議室・総合交流会館
- ③ 伊達 央, 大川 真弥, 滝田 好宏, 菊池 惇, 三次元地図作成による自律移動ロボットの高精度自己位置推定, 日本機械学会第 21 回交通・物流部門大会, 平成 24 年 12 月 5 日～7 日, 東京大学生産技術研究所
- ④ Yoshihiro Takita, Shinya Ohkawa, and Hisashi Date, High Stability Lateral Guided Method for Articulated Vehicle Based on Sensor Steering Mechanism, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2012, Vol. I (WCECS 2012), 平成 24 年 10 月 24 日～26 日, San Francisco, USA

- ⑤ 大日向 拓実, 滝田 好宏, RX CPU を用いた自律型 Quadrotor ヘリコプタのホバリング, 日本機械学会 D&D2012, 平成 24 年 9 月 18 日～21 日, 慶応義塾大学日吉キャンパス
- ⑥ 大川 真弥, 滝田 好宏, 伊達 央, プロファイルセンサを用いた 4 ロータ型 UAV のホバリングに関する研究, 日本機械学会 D&D2012, 平成 24 年 9 月 18 日～21 日, 慶応義塾大学日吉キャンパス
- ⑦ 大川 真弥, 滝田 好宏, 伊達 央, 菊池 惇, 揺動式三次元レーザスキャナと HDL-32E を搭載した自律移動ロボット Smart Dump による制御特性の比較, 第 30 回日本ロボット学会講演会, 平成 24 年 9 月 17 日～19 日, 札幌コンベンションセンター
- ⑧ 滝田 好宏, 山岡 香苗, 伊達 央, 刈払ロボットの開発(第 3 報: 刈払機操作機構と自律制御システム), 第 30 回日本ロボット学会講演会, 平成 24 年 9 月 17 日～19 日, 札幌コンベンションセンター
- ⑨ 伊達 央, 滝田 好宏, 大川 真弥, 自律歩行ロボットの歩行者の流れに合わせたナビゲーション, 第 30 回日本ロボット学会講演会, 2012 年 9 月 17 日～19 日, 札幌コンベンションセンター
- ⑩ 大川 真弥, 伊達 央, 滝田 好宏, 揺動式三次元レーザスキャナによる正規化輝度を活用した三次元地図生成と自己位置推定, 第 17 回ロボティクスシンポジウム, 2012 年 3 月 14 日～15 日, 萩本陣 (山口県萩市)
- ⑪ 滝田 好宏, 伊達 央, 大川 真弥, フローリアン・カクゾロフスキ, SmartDump5 による課題達成, つくばチャレンジ 2011 シンポジウム, 2012 年 1 月 7 日, 芝浦工業大学
- ⑫ 伊達 央, 大川 真弥, 滝田 好宏, 市街地の自律走行における輝度情報付 3 次元スキャンデータの活用, 第 11 回計測自動制御学会 SI2011, 2011 年 12 月 23 日～25 日, 京都大学吉田キャンパス
- ⑬ 滝田 好宏, 伊達 央, ブイクワン・ズン, アーティキュレート式車両を用いた刈払ロボット軌道誘導, 日本機械学会 TRANSLOG 2011, 2011 年 12 月 7 日～9 日, 川崎市産業振興会館
- ⑭ Yoshihiro Takita, Hisashi Date, Shinya Ohkawa, Dynamical Characteristics of a Lateral Guided Robotic Vehicle with a Rear Wheel Steering Mechanism Controlled by SSM, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2011, Vol. I (WCECS 2011), 2011 年 10 月 19 日～21 日, San Francisco, USA
- ⑮ 滝田 好宏, ブイクワン・ズン, 伊達 央, 刈払ロボットの開発(第 2 報: アーティキュレート式ロボット車両の制御システム), 第 29 回日本ロボット学会講演会, 2011 年 9 月 7 日～9 日, 芝浦工業大学

- ⑯ 滝田 好宏, ブイクワン・スン, 伊達 央, 前輪および後輪基準 SSM 軌道誘導方式によるロボット車両の走行特性, 日本機械学会 D&D2011, 2011 年 9 月 5 日～9 日, 高知工科大学
- ⑰ 伊達 央, 滝田 好宏, 自律移動ロボット Smart Dump 4 による環境認識と自己位置推定, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2010 年 12 月 23 日～25 日, 東北大学
- ⑱ 滝田 好宏, 伊達 央, 伊佐 信晃, 刈払ロボットの開発 (第 1 報: アーティキュレート式車両と SSM 誘導方式), 第 28 回日本ロボット学会講演会, 2010 年 9 月 22 日～24 日, 名古屋工業大学

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

○ 受賞 (計 3 件)

- ① つくばチャレンジ 2012 つくば市長賞, 平成 24 年 11 月
- ② つくばチャレンジ 2011 つくば市長賞, 平成 23 年 11 月
- ③ つくばチャレンジ 2010 つくば市長賞, 平成 22 年 11 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝田 好宏 (TAKITA YOSHIHIRO)
防衛大学校電気情報学群・教授
研究者番号: 60546050

(2) 研究分担者

伊達 央 (DATE HISASHI)
防衛大学校電気情報学群・助教
研究者番号: 50531985