

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19892

研究課題名（和文）ホッピングロボットを元にした小型締固め機械ランマーの自動化に関する研究

研究課題名（英文）Study on automation of rammer based on a hopping robot

研究代表者

谷島 諒丞（Yajima, Ryosuke）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任助教

研究者番号：10869598

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：土木建設業では、人手不足の解消、労働環境の改善、生産性の向上のために、建設機械のロボット化や自動化が求められている。本研究課題では、ランマーと呼ばれる小型の地面の締固め機械を対象に、制御装置を後付けすることでロボット化することを目指し、研究を行った。1/4サイズの小型模型ランマーを開発し、これに対し、制御装置を付加し実験を行った。上部にリアクションホイールを取り付け、ランマーの動作中に回転させることで、移動方向を変更できることが分かり、ランマーのロボット化の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ランマーは、1本の脚を持ったような構造をしており、50～80 kg程度の本体を振動させ、落下時の衝撃によって締固めを行う。作業者は、これを不安定な地面の上で手で支えながら、目的の方向に移動させる必要があり、重労働であると言え、さらに、ランマーが突然跳ね上がり、作業者の足を叩いてしまうといった事故も起こり得る。本研究の成果は、ランマーのロボット化あるいは遠隔操作化につながり、建設現場の安全性や労働環境を改善する上で意義があると考えている。

研究成果の概要（英文）：In the construction industry, robotization and automation of construction machinery are required to solve labor shortages, improve the working environment, and increase productivity. In this study, we aimed to robotize a rammer, a small ground compaction machine, by retrofitting a control system to it. We developed a 1/4 size model rammer, installed control devices on it, and conducted experiments. It was found that the direction of the rammer's movement could be changed by rotating a reaction wheel attached to the top of the rammer during its operation. The results indicate the possibility of robotization of the rammer.

研究分野：ロボット工学

キーワード：建設ロボット ロボット 建設機械 締固め 制御

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

土木建設業では、少子高齢化に伴う人手不足の解消、労働環境の改善、生産性の向上が課題となっており、これらを解決する方法の一つとして、建設機械のロボット化と施工や検査の自動化が求められている。

土木工事における作業の一つとして、埋戻しがある。埋戻しは、掘削してできた空間を元の地盤レベルまで土を戻して埋める作業であるが、この際、地盤の沈下を防止するため、埋め戻した土を十分に締め固める必要がある。この締め固めを適切に行わないと、例えば、ガス管を埋設した場合には、地盤の沈下に伴って、埋設管が破損し、ガス漏れを起こす事故につながる危険性があるため、地面の締め固めは重要な作業であると言える。

掘削した穴の中のような狭い空間での締め固め作業には、ランマーと呼ばれる手持ちの小型締め固め機械を用いるのが一般的で、狭い建設現場では頻繁に使用されている。この機械は、1本の脚を持ったような構造をしており、エンジンやモータを利用し、50~80 kg 程度の本体を50 mm 前後跳ね上げ、落下時の衝撃によって締め固めを行うため、10 Hz 程度で常に跳躍しているような状態で、大きく振動しており、非常に不安定である。実際の締め固め作業では、この振動する機械を不安定な地面の上で転倒しないように作業者が手で支え、押ししたり引いたりしながら目的の方向に移動させる必要があり、かつ、20~30 cm の層ごとに何度も締め固めを行う必要があるため、機械を使ってはいるものの作業者にとって重労働であると言える。さらに、ランマーが突然跳ね上がり、作業者の足を叩いてしまうといった事故や、誤った使い方をすると、作業者に振動障害を引き起こす危険性もある。また、そもそも、掘削した穴の中に人が入って行う作業は、周囲の土砂が崩れ、作業員が埋まる危険性がある。従って、ランマーをロボット化あるいは遠隔操作化することは、労働環境の改善と生産性向上の観点から、必要不可欠であると言える。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、小型締め固め機械ランマーのロボット化の実現である。本研究では、既存のランマーに制御装置を後付けした構成のロボットランマーを開発し、その制御手法を確立し、実現可能性と実用性を検証する。

### 3. 研究の方法

本研究では、実機をモデルにした小型の模型ランマーを開発し、主にこれを用いて実験的に研究を進めた。この小型模型ランマーに対し、制御装置等を搭載し、実際に動作させて、その移動性能等を検証した。

### 4. 研究成果

#### (1) 小型模型ランマーの開発

研究に用いる小型模型ランマーを実機のランマーをモデルに製作した。図1に製作した小型模型ランマーのCADモデルと実物の写真を示す。本研究では、三笠産業株式会社製電動ランマーMTX-M55をモデルとし、寸法や質量、ストローク等については、仕様からできる限り合わせこみを行って、約1/4スケールで製作した(実機:1000 x 350 x 692 mm, 55 kg, 模型:262 x 92 x 180 mm, 0.83 kg)。DCモータで歯車を介してクランクを動作させピストンを往復運動させており、回転数

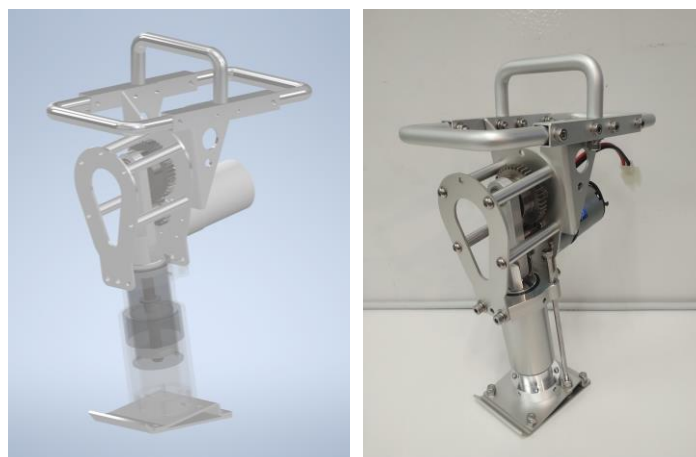


図1 開発した小型模型ランマー (左:CAD, 右:実物)

や衝撃数は概ね仕様に合わせている。また、電源は、実機が有線で供給しているのと同様に、バッテリー等は搭載せず、有線で外部からDC24Vを供給するようにした。なお、慣性モーメントやばね定数等の公開されていないパラメータや外からは分からない内部構造については、合わせこみを行っていない。

## (2) リアクションホイールを用いたランマーの移動方向の制御

本研究では、リアクションホイールがランマーの移動方向の制御に有効ではないかと考え、これを上述の小型模型ランマーに実装し、実験を行って検証した。図2にリアクションホイールを用いた制御装置を搭載した小型模型ランマーの写真を示す。小型模型ランマーの上部にアルミ板と鋼板でできたリアクションホイールを回転軸が静止状態の時に鉛直になるように取り付けた。リアクションホイールの回転にはスマートモータを用いており、PCからの指令で任意に回転できるようになっている。なお、スマートモータの電源・通信回路は、外部に置き、有線で接続している。また、方向制御とは別に転倒しないように姿勢を制御または安定化させる必要があるが、ここでは補助脚を取り付け、転倒を防止し、移動方向の制御のみに焦点を当てた。

このリアクションホイールを用いた制御装置を搭載した小型模型ランマーを用いて実験を行った。図3に実験環境を示す。平坦な地面の上で小型模型ランマーを動作させ、動作中にリアクションホイールを一定角度回転させ、この際の小型模型ランマーの位置姿勢をモーションキャプチャで記録し、移動方向を変更できるかを確認した。実験では、リアクションホイールの回転を正転、逆転、回転なしの3条件とした。また、ランマー本体のピストンのモータの回転方向についても影響を比較した。

実験結果の例を図4と5に示す。図4は、各実験で得られた移動軌跡と方向を上面から見た二次元で示している。図5は、リアクションホイールの回転速度とランマーの移動方向の時間変化を示している。実験の結果、リアクションホイールの回転によって、その回転方向に応じて移動方向が変わり、移動軌跡が変化したことが分かる。また、リアクションホイールを回転させない場合でも、直進せずに移動方向が左右にずれることがあり、検証の結果、ランマーのピストンを動作させているモータの回転方向が影響していることが分かった。従って、ランマーの移動方向を制御するには、これを補正する必要がある。なお、ピストンのモータを正転させた場合と逆転させた場合で、移動軌跡の逸れ方が異なるが、これは地面の傾き、ランマーの衝撃板や補助脚の歪みが影響していると考えられる。また、図5より、リアクションホイールの回転方向により、ランマーの最終的な方向には差ができていくことが分かるが、リアクションホイールを回転させた瞬間を見ると、いったん逆方向に向いてから、方向が変わっていることが分かる。これは、リアクションホイールを一定角度回転させるだけの動作をしているためであり、リアクションホイールの回転を工夫することで、よりスムーズな移動方向の変更が可能になる可能性がある。

以上より、既存のランマーに制御装置を後付けすることによるランマーのロボット化について、一定の可能性を示すことができた。

## (3) 今後の展望

直近では、研究成果の発表を行うとともに、リアクションホイールの制御についてブラッシュアップを行う必要があると考えている。また、本研究では、転倒防止に補助脚を利用したが、これには占有面積が広がってしまう、衝撃板以外も地面に接触してしまう等の問題があるため、姿



図2 リアクションホイールを搭載した小型模型ランマー（左：全体図、右：上部拡大図）

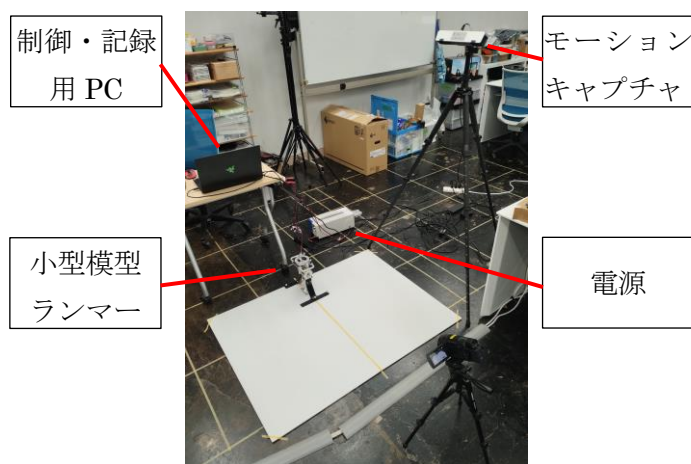


図3 実験環境

勢の制御方法については、さらなる研究が必要である。さらに、実現場は不整地であるため、そういった環境でも動作可能かを確認し、十分な締固め性能が得られるかを確認する必要がある。本研究では、進捗や新たに見つかった課題の検討で実機を扱うことはできなかったが、これらを進めることで、実用的なロボットランマーの実現に近づくと考えられる。

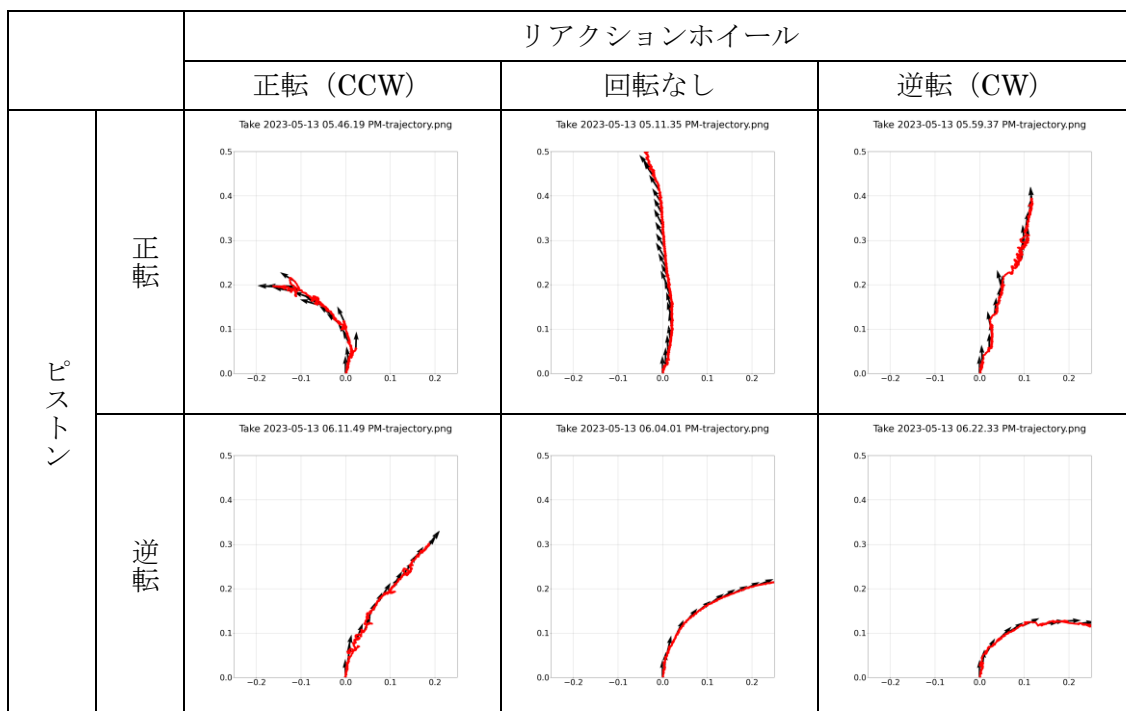


図4 各実験条件における小型模型ランマーの移動軌跡と方向  
(赤の実線：ランマーの移動軌跡，黒の矢印：各位置におけるランマーの方向)

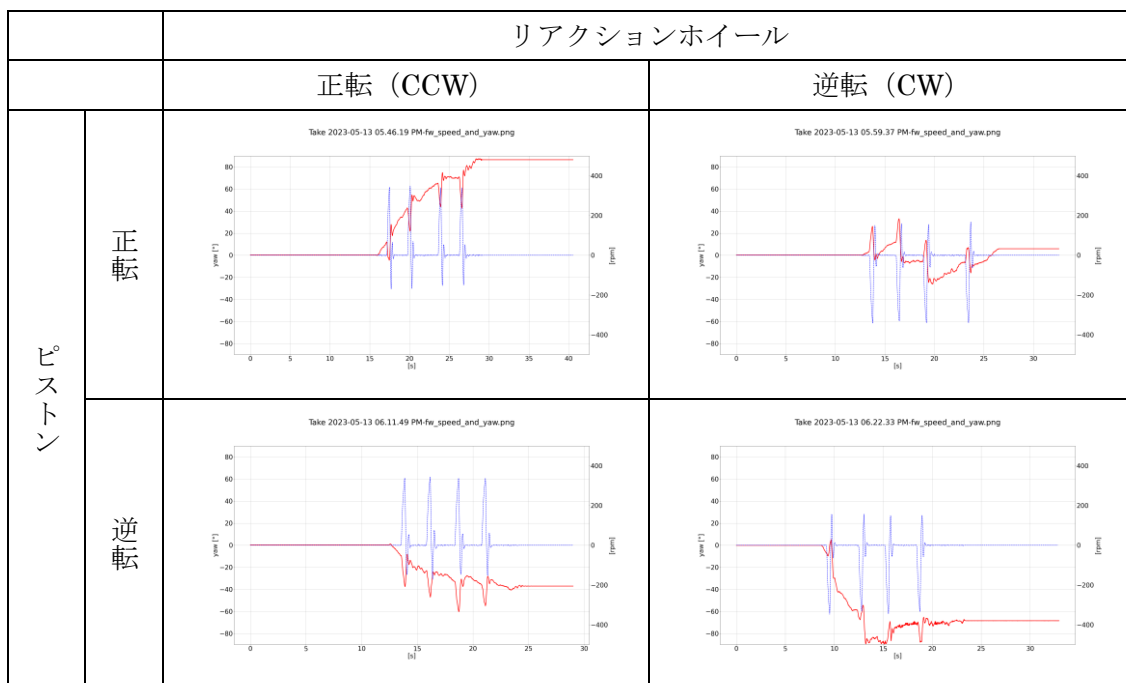


図5 各実験条件におけるリアクションホイールの回転速度とランマーの移動方向の時間変化 (赤の実線：ランマーの移動方向，青の破線：リアクションホイールの回転速度)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------