

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：フィールド評価試験・安全・シミュレーション

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 29 年度

研究開発課題名：機械と土壌の相互力学における

マクロ・マイクロモデルを実装した掘削シミュレータの開発

研究開発機関名：慶應義塾大学

研究開発責任者

石上 玄也

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究課題では、建設ロボットを対象プラットフォームとし、マクロ・マイクロモデルに基づいた土壌掘削モデルの構築を行うことを目的としている。また、同掘削モデルおよび走行システムの接触モデルをロボットシミュレータに実装することによって、土壌掘削変形を考慮した高精度なロボットシミュレータを提供することを目指している。本グループにおける当該年度（平成 29 年度）の開発目標および計画について、下記にまとめる。

<課題 A 群>

課題 A6：単腕ロボットによる掘削力学・環境データの取得，ロボットの位置および姿勢の計測

課題 A7/A8：土壌掘削モデルのフルスケールでの妥当性検証，ロボット挙動と実機挙動との比較

<課題 B 群>

課題 B4：土壌掘削前後の土砂の 3 次元的地形を考慮したシミュレーションの実現

<課題 C 群>

課題 C3~C5：クローラの走行モデルのシミュレータ模擬，ロボット全体の挙動を含めたシミュレーションの実施，実機の動的挙動データを取得する計測システムの開発。

<課題 D 群>

課題 D1/D2：土壌パラメータの不確定性の実験的評価およびシミュレーション精度への影響確認。

<課題 E 群>

課題 E1：建設ロボットシミュレータへの接触モデルの統合（あるいはパッケージ化を行い），建設ロボットを対象としたシミュレータ開発への寄与。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

研究開発計画書と照合すると、課題 A 群は平成 30 年度に先送りとなっているが、課題 B～E については概ね順調な進捗であるといえる。進捗状況を下記にまとめる。

課題 A 群：当初予定としていた実機実験については、研究協力機関との調整に時間を要したため、平成 30 年度に実施することとしている（A6-A8 未達成）。

課題 B 群：当該年度第 3 四半期までに、土壌掘削過程におけるバケット各部に加わる力を測定可能なツールの開発、および土砂変形の LiDAR による測定に取り組み、3 次元地形変形を加味した掘削モデルを構築した（B4 達成）。また前年度未達成であったシミュレータへの土壌掘削モデルの実装についても平成 29 年度において着手済みである（B3 達成）。

課題 C 群：第 1 四半期～第 2 四半期にかけて、クローラ部分のスケールモデルを開発し、同モデルに基づいた不整地走行時の動的挙動データ獲得ツールを開発している（C3/C4 達成）。実機実験については上述のとおり平成 30 年度に実施することとしている（C5 未達成）。

課題 D 群：掘削時の土壌の盛り上がり現象における不確定性に注目し、この現象を課題 B4 において構築したモデルに基づき実験的検証をおこなっている（D1/D2 達成）。計算コストへの影響度合いについては、一部未達成である。

課題 E：第 2 四半期～第 3 四半期において、本プログラムにおいて開発されている複腕建設ロボットの動力学シミュレータを構築し、同ロボットの作業検証を実施した。また、接触モデルのライブラリを本プログラム内の他研究機関と共有している (E1 達成)。

2-2 成果

課題 B においては、前年度構築した改良型 RFT (Resistive Force Theory) の妥当性検証を深めるため、小型力センサを実装したバケット (図 1) を開発するとともに、掘削実験装置 (平成 27 年度開発済み) の外部に取り付けた LiDAR により掘削時の土壌変形計測を可能とする実験系を構築した。センサ実装バケットの力学情報および土壌変形データを同期させることによって、土壌掘削現象をより正確に把握可能となった (図 2)。さらに課題 D の成果として、土壌の盛り上がり形状の不確定性を議論することによって、掘削力を高精度にて推定する力学モデルの構築を達成している (図 3)。以上の成果は国内の招待講演において概説するとともに、平成 30 年度での国際学会において発表予定である。

課題 E のシミュレータによる作業検証の一例を図 4 に示す。慶應大グループにおいて開発しているロボット用シミュレータ上に複腕建設ロボットの動力学モデルを構成し、同ロボット斜面登坂時のアームによる支持あるいは掘削の動的挙動検証などを達成している。

2-3 新たな課題など

上述のとおり、課題 A 群について若干の進捗の遅れがあるものの、平成 30 年度第 3 四半期において、実機実験のスケジュールを組んでおり、当該研究課題全体としてのサクセスレベルの達成は可能であると考えている。

3. アウトリーチ活動報告

特になし。

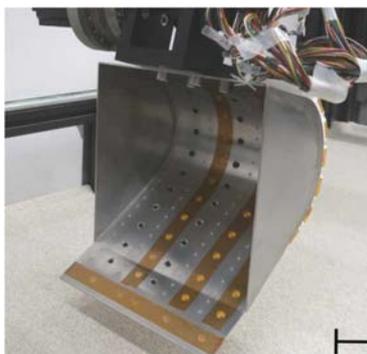


図 1：センサ実装バケット

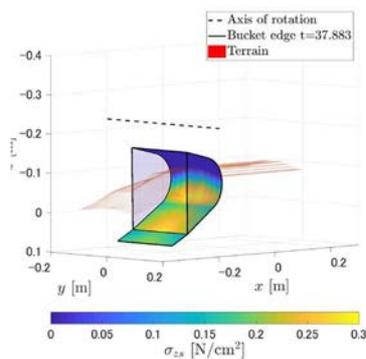


図 2：地形変形を加味した掘削モデル

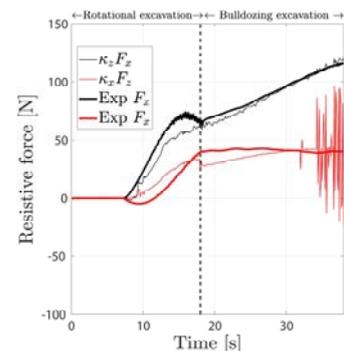


図 3：掘削力の数値計算と実験結果

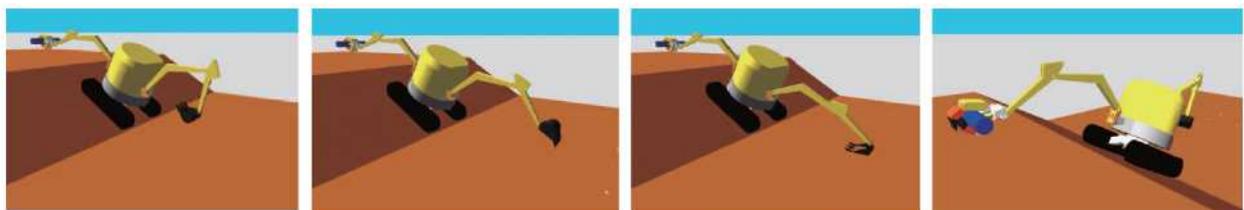


図 4：複腕建設ロボットの作業検証シミュレーション一例 (斜面での本体保持をしつつ、斜面下側の土砂を掘削している)