

# 「月・惑星テラメカニクス」WG 調査研究報告および今後の国際的展開

九州大学大学院 小林泰三、清水建設(株)・技術研究所 青木 滋、  
防衛大学校 渡辺啓二・山川淳也、京都大学大学院 中嶋 洋、  
立命館大学 深川良一・建山和由、東北大学大学院 高橋 弘

## Outlook report on the Terramechanics Working Group for Lunar/planetary Explorations

Taizo Kobayashi<sup>1)</sup>, Shigeru Aoki<sup>2)</sup>, Keiji Watanabe<sup>3)</sup>, Junya Yamakawa<sup>3)</sup>,  
Hiroshi Nakashima<sup>4)</sup>, Ryoichi Fukagawa<sup>5)</sup>, Kazuyoshi Tateyama<sup>5)</sup>, and Hiroshi Takahashi<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> Kyushu University, Faculty of Engineering, <sup>2)</sup> Shimizu Corporation, Institute of Technology,  
<sup>3)</sup> National Defense Academy, Department of Engineering, <sup>4)</sup> Ristumeikan University,  
Department of Science and Engineering, <sup>5)</sup> Kyoto University, Department of Agriculture,  
<sup>6)</sup> Tohoku University, Department of Environmental Studies

Email: t-koba@civil.kyushu-u.ac.jp

**Abstract:** Future lunar/planetary explorations will involve various operations related to regolith-machine interactions (Terramechanics). This working group tackles researches on the “Lunar/Planetary Terramechanics” for unmanned exploration vehicles. The main goals of this work are: 1) to develop a theory and simulator of regolith-wheel systems in low gravity environment through the parabolic flight experiments; and 2) to contribute the theory to designing of space equipments for future Lunar/Mars surface operations.

**Keywords:** lunar exploration, terramechanics, land locomotion, regolith

### 1. WG 発足の経緯

月観測衛星に続く将来の月面探査機には、探査船（ランダ）の着陸、探査ローバーの走行、月面地盤の穿孔・掘削、さらには観測機器の設置や将来の月面基地建設など、月レゴリス・機械系（あるいは構造物系）の相互作用に関連するオペレーションが数多く見込まれることになる。月面は、低重力、高真空、レゴリスの土質力学的特異性、昼夜の極端な温度差などといった点で地上とは異なる環境下に置かれており、これらの影響をどのように予測・評価するのがミッションの成否に大きく関わることになる。世界各国で月や火星をはじめとする月・惑星探査計画が具体化してきている中、テラメカニクス研究会（土と機械の相互作用問題を検討する学際的研究組織、1981年発足）は、2001年に著者らを中心として新たにルナメカニクス検討委員会を設置し、月面における探査ローバーの走行や地盤掘削、着陸衝撃、将来拠点・基地建設など、月レゴリス・機械系（あるいは月レゴリス・構造物系）の力学的諸問題について研究を進めてきた。しかしながら、宇宙環境下（低重力、高真空など）を想定した月・惑星テラメカニクス研究は、当研究グループと欧米における若

干の研究例を除いて殆ど見られず、発展途上にあるのが現状である。最近では、宇宙系研究者においても、土質力学・地盤力学をベースにおくテラメカニクス研究がミッション成功の鍵を握る重要な研究テーマであるとして広く認識されるようになった。本WGは、月・惑星テラメカニクス研究の先駆け研究グループとして、落下塔・航空機を用いた低重力環境下での実験を実施し、同研究の更なる発展と宇宙開発への貢献を図ろうとするものである。

### 2. WGの中・長期的目的

本WGは、当初、月・惑星テラメカニクスの総合的研究拠点形成を目指して、将来の月探査ミッションで想定される様々な地盤系オペレーション（①掘削・採取技術研究、②走行メカニクス研究、③ハンドリングシステム研究（低重力場の粒状体力学、資源選鉱・輸送・貯蔵技術等）、④土質力学的地盤評価技術研究、⑤レゴリス構成則開発研究、⑥真空環境検討、⑦月資源利用検討等）を検討項目に挙げたが、次節に述べる検討会合での議論を経て、テーマの発散を極力防いで着実な成果の創出と具体的な貢献を図るため、当面のテーマを探査ローバーの走

行性評価に関する内容に絞ることとした。本 WG では、以下の項目を次年度以降の中・長期的ゴールとすることに定めた。

- 車両と月面地盤との相互作用に関する力学モデルの構築
- 沈下やすべりを起こしにくい走行系構造の解明
- 十分な走行性を確保するための車両走行制御システム開発
- 国際的研究拠点の形成
- 次期探査計画への技術プロポーザル

### 3. 本年度の活動報告

本 WG では、今年度、「宇宙環境利用調査研究」の枠組において、コアメンバー（本報の連名著者）による会合の開催と E メールによる全体討議を主たる活動内容とした。会合の開催記録は、以下の通りである。

- 【第1回】平成 20 年 9 月 22 日（夕張市・ホテルマウントレースイ）：WG キックオフミーティング（テラメカニクス研究会発表会と同時開催）、参加者：15 名
- 【第2回】平成 20 年 10 月 18 日（京都市・ホテル法華クラブ京都）：WG コアメンバー会合、参加者：7 名
- 【第3回】平成 20 年 11 月 17 日（東京都・清水建設(株)技術研究所）：WG コアメンバー会合、参加者：6 名
- 【第4回】平成 20 年 12 月 19 日（相模原市・JAXA 相模原キャンパス）：WG コアメンバー会合、参加者：6 名

### 4. 次年度以降の至近的展開

上記の会合を通じて、本 WG の今後の展開方針が議論された。その結果、当面 2 年間は以下のコンセプトを主軸に研究活動を推進していくこととした。

#### • 車輪の設計に資する学術構築

低重力下における車両の走行性を評価するモデルを構築するとともに、スリップや沈下に強い走行系構造を解明する。登坂や旋回性能は極めて重要な検討項目であるが、当面は、旋回性能については研究の対象から外し、低重力環境下の直進走行性評価（登坂を含む）を主眼においた実験的研究（平成 21 年度：準備研究、平成 22 年度：航空機実験を申請予定）を実施する（参考図：Fig. 1）。

#### • 走行系シミュレータの開発

整合性の高いシミュレータを開発することは、走行系の詳細設計を行う上で極めて有為なツールになるばかりでなく、走行予測のためのリアルタイム制御技術にも役立つものとなる。また、実際の探査オペレーション時には、観測された走行状態からシミュレータを介して地盤特性の逆解析に

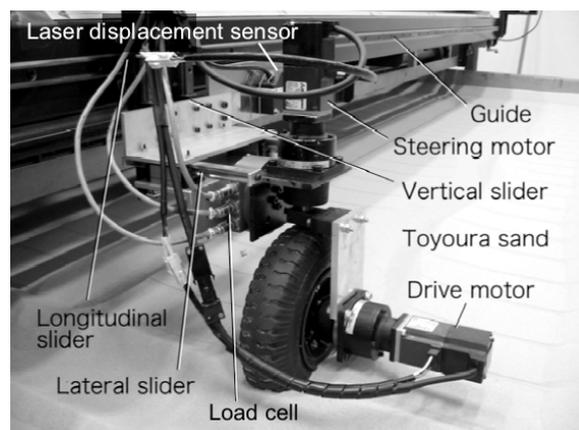


Fig. 1 Model testbed for mobility performance

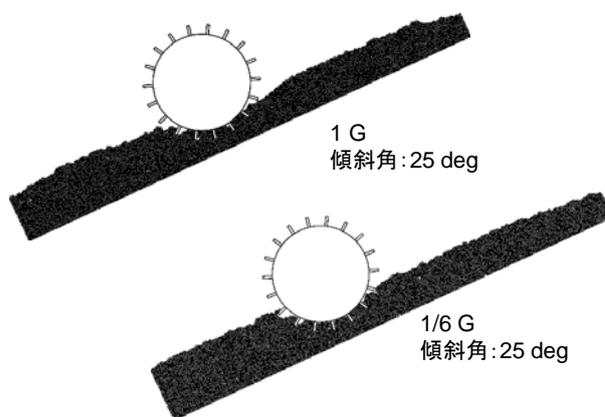


Fig. 2 DEM simulations for soil-wheel interaction

も応用することができるようになる。ここでは、実用性に重点を置きながら、FEM や DEM、SPH 等の最新の数値計算技術を導入して走行系シミュレータの開発を行う（参考図：Fig. 2）。

#### • 国際的実験プラットフォームの提供と国際連携拠点の形成

現在の走行系テラメカニクス研究は、各国で単独で行われることが多く、また、その方法や条件が個別に違っているため、情報を交換・共有しながらの相乗的発展につながりにくい状況にある。また、各国の研究者は、当該国の宇宙計画の政策的な動きによって研究のモチベーションが大きく左右されることとなり、継続的な研究を安心して推進するための基盤や機会に恵まれないケースも少なくない。そこで、本 WG では、各国の車輪を共通の走行装置で実験を行い、そのデータや成果等を共用できる国際的共有実験プラットフォームを構築し、月・惑星テラメカニクスの世界的拠点形成を目指したいと考えている。具体的には、次年度以降に申請を予定している地上実験（準備研究）および航空機実験での走行試験の共通利用を世界の研究者に提案し、国際的な連携のもと効率的な学術および技術向上を図る。