

### Abstract

本研究では、小型着陸探査機の月面ソリ滑走を提案し、着陸およびソリ滑走シミュレーションによる可能性検討を行った。着陸シミュレーションでは、本研究の機体が平地に対して着陸可能であるか検証し、特定の落下姿勢範囲で着陸ができることを確認した。ソリ滑走シミュレーションでは、機体の旋回性と転倒性について着目して解析を行った。ソリ滑走による旋回では、スラスタを噴くことで移動および旋回が可能であることを確認し、さらにスキーの滑走手法であるプルークボーゲンの効果を付加することで旋回性が向上することがわかった。ソリ滑走における転倒性においては、片側のソリが段差を乗り越えることで転倒する条件を作り出し、その条件においてスラスタを制御することで転倒を回避できることを確認した。

### はじめに

宇宙科学研究所では、将来の惑星着陸探査機の打ち上げ高頻度化に向けて小型月着陸実証機SLIMを計画している。このSLIMには、2つの機体案がある。一つは、4つの着陸脚を有する4脚式機体案(図1)。もう一つは、着陸脚にソリを付加したソリ案である(図2)。このソリ案には、スラスタの推力を利用して、着陸後に月面ソリ滑走移動を実施できる可能性があり、実現することができれば小型探査機の探査範囲を拡大することができる。本研究では、この小型月着陸探査機のソリ滑走案について、着陸シミュレーションとソリ滑走シミュレーションによって、その可能性検討を行った。

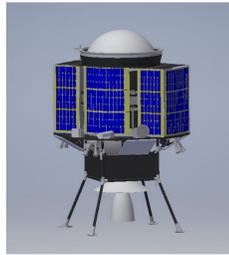


図1 SLIM 4脚式機体案

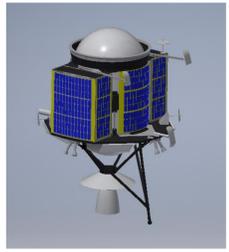


図2 SLIM ソリ機体案

### 機体モデル

本研究の機体モデルは、SLIMのソリ案を参考とし、図3のようにする。

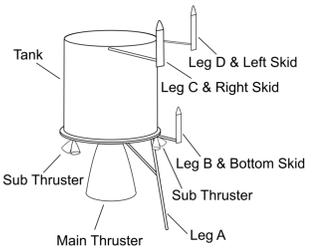


図3 本研究での機体モデル

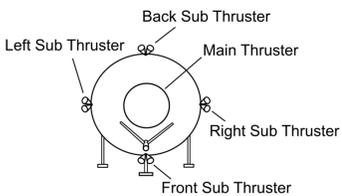


図4 メインスラスタ側から見た時の各スラスタ位置

表1 機体重量とスラスタ推力

	回転角 [deg.]
機体重量	170 [kg]
ソリ長さ	40 [cm]
メインスラスタ推力	500[N]
サブスラスタ推力	50[N]

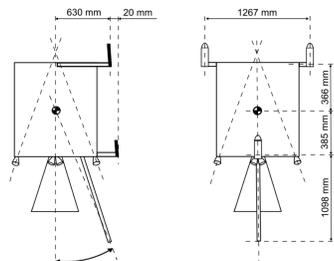


図5 機体モデルの寸法

### 着陸手法とソリ滑走手法

#### 着陸手法

本研究の着陸手法は、図6のようにLeg Aで落下の主衝撃力を吸収し、その後、機体をLeg B, Leg C, Leg D側に傾け、最終的にLeg B, Leg C, Leg Dで機体を支持する手法をとる。

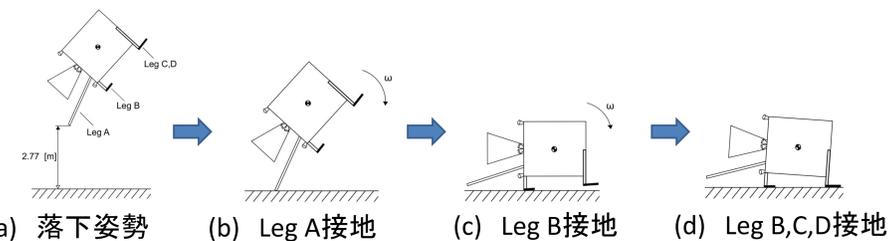


図6 着陸手法

#### ソリ滑走手法

ソリ滑走手法は、機体のスラスタを制御することにより、機体を旋回させる(図7)。

さらに、本研究では、スキーの滑走手法であるプルークボーゲン(ソリをハの字にして滑る方法)の効果をシミュレーションに付加し、ソリ滑走時の旋回性向上を試みる。プルークボーゲンの効果は、横滑り時に地面から受ける反力を大きくすることによって表現した。

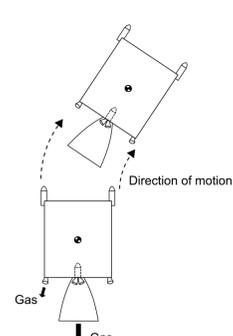


図7 スラスタ制御によるソリ滑走

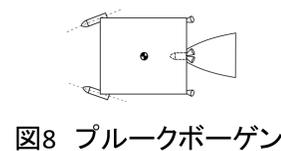


図8 プルークボーゲン

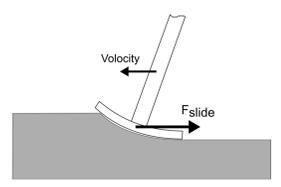


図9 横すべり時にソリに生じる地面からの反力

### 着陸シミュレーション

着陸シミュレーションでは、さまざまな落下姿勢での転倒性をみた。シミュレーション上の地面は平地とする。機体の姿勢はオイラー角にて表現し、 $\psi \rightarrow \phi \rightarrow \theta$ の順に回転させる。表2に落下姿勢の範囲を示す。

落下姿勢の違いによる着陸成功および転倒の領域を図11に示す。

図12は、落下姿勢 $\theta=30$ [deg.],  $\phi=0$ [deg.],  $\psi=0$ [deg.]における機体姿勢角 $\theta$ , 機体角速度, およびトルクを時間応答である。

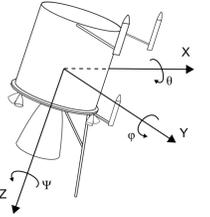


図10 機体の姿勢表現

表2 落下姿勢の範囲

	回転角 [deg.]
X軸回転角 $\theta$	20 ~ 90
Y軸回転角 $\phi$	0
Z軸回転角 $\psi$	-50 ~ 50

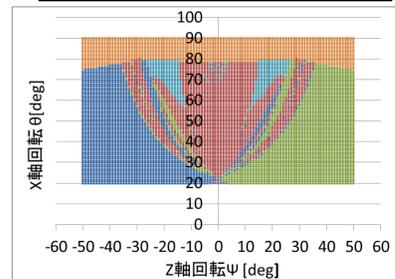


図11 落下姿勢による着陸分布

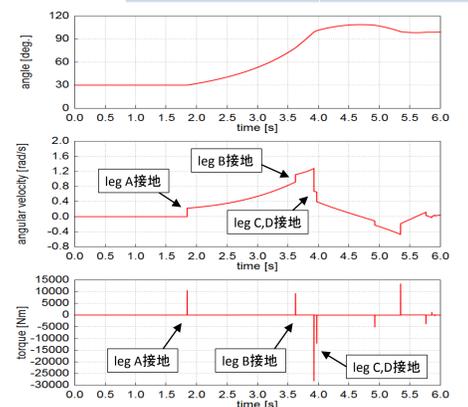


図12 着陸運動時の機体姿勢と角速度およびトルク

### ソリ滑走シミュレーション

ソリ滑走シミュレーションでは、機体の旋回性向上と転倒抑止についての検討を行った。

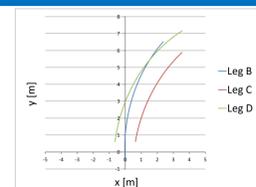


図13 通常のソリ取り付け

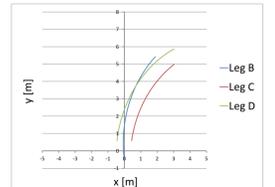


図14 プルークボーゲン

図13と図14は、ソリ滑走時のLeg B, Leg C, Leg Dの軌跡を表している。図13がソリ取り付け角が通常の状態であり、図14がプルークボーゲンの効果を入れたものである。この結果から、プルークボーゲンの効果を入れることで機体の旋回性が向上していることがわかる。

ソリ滑走時の転倒性については、図16のようにソリの片側が段差を乗り越えることでソリが転倒する条件を作り出した。

図17は、この転倒する条件に対して、機体のサブスラスタを制御することで機体の転倒を抑止したものである。

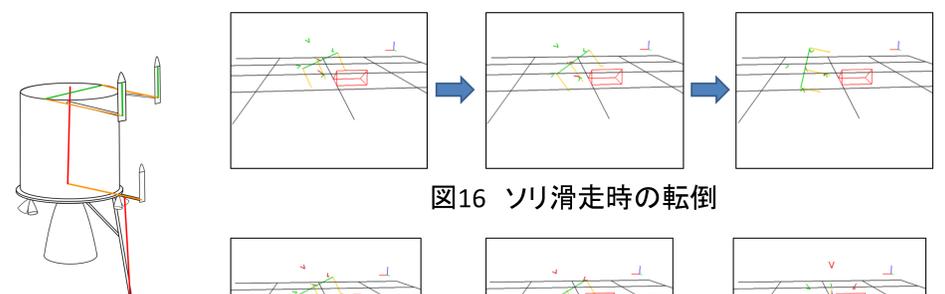


図16 ソリ滑走時の転倒

図15 シミュレーション上の機体モデル

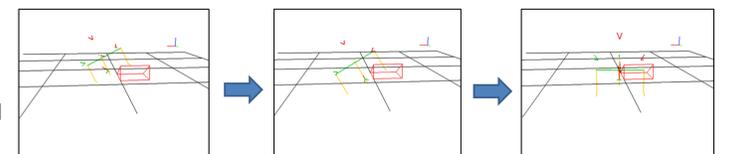


図17 スラスタ制御によるソリ滑走時の転倒抑止

### まとめ

本研究では、SLIMを参考にした機体で、ソリ滑走シミュレーションを行った。着陸シミュレーションでは、着陸ができる落下姿勢の領域を示した。ソリ滑走シミュレーションでは、プルークボーゲンが旋回性向上に効果があることを確認した。さらに、ソリ滑走時の転倒性については、サブスラスタを制御することで機体の転倒を回避できることを確認した。

今後は、着陸時の横転領域を減らすこと、ソリ滑走に関しては、目標地点に誘導する制御を入れることなどを検討していく。