

【はじめに】

SLIM (Smart Lander for Investigating Moon)は、月面の任意の場所へピンポイント着陸することを目的とした工学プロジェクトである。着陸の際、探査機が転倒しないこと、発生する衝撃加速度を搭載電子機器の許容加速度以下に抑えることが、SLIM-WG着陸脚分科会に与えられた課題である。

本研究では、SLIM探査機用衝撃吸収材料として、自動車の衝撃吸収部材としても注目されている発泡アルミニウム(図1)を提案しその最適な形状を検討する。発泡アルミニウムは、気孔率90%、平均気孔径4mmの等方的な超軽量セル構造材料である。圧縮力が付加されると、ほぼ一定の圧縮応力(プラトー応力)で塑性変形する。発泡アルミニウムによる衝撃吸収機構を解明するため、着陸脚単体の落下試験とSLIM探査機の1/1スケールモデルによる実機モデル落下試験を実施した。

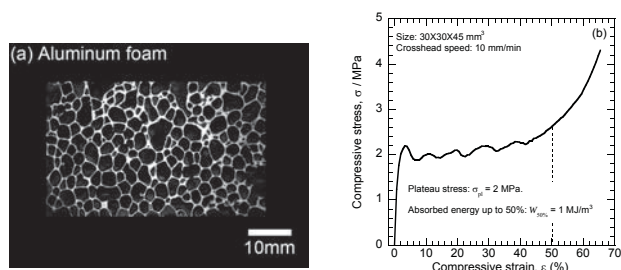


図1 発泡アルミニウムの(a)断面写真および(b)圧縮応力-ひずみ曲線。50%ひずみまでのプラトー応力2MPa、吸収エネルギー1MJ/m³。

【発泡アルミニウム製着陸脚の落下試験】

着陸脚モデル落下試験機(図3)を自作し、月面を模擬した豊浦標準砂への落下試験を行った。傾斜15degの砂地に落下させた結果、発泡アルミニウムの塑性変形により、衝撃加速度は条件(147m/s²以下)をほぼ満たした。

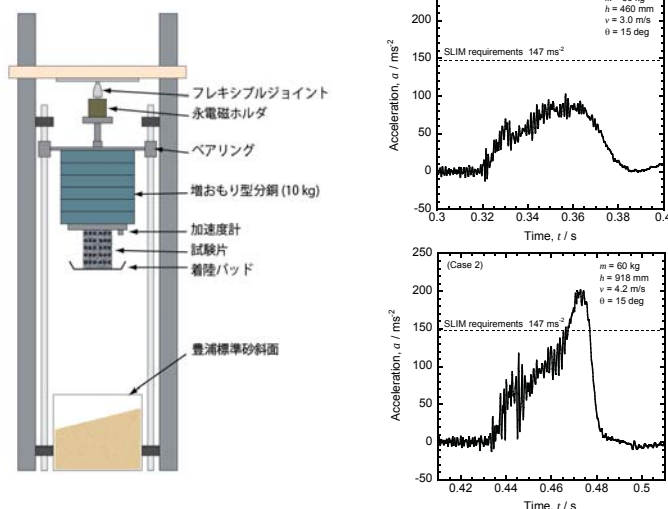


図3 自作の自由落下試験機の模式図(左)と落下高さ460mm、918mmからの落下試験で発生した衝撃加速度の時間履歴(右)。

【120kgの1/1実機モデルによる落下試験】

2012年12月25日、宇宙科学研究所風洞実験棟にて、砂地への実機モデル落下試験を2回実施した。実機モデルは転倒しなかった(図4)が、着地の際、大きな衝撃加速度を検出し、着陸脚が砂に埋まってしまった(図5)。着陸パッドを改良し、2014年1月に再度落下試験を予定している。



図4 実機モデル落下試験の全景。

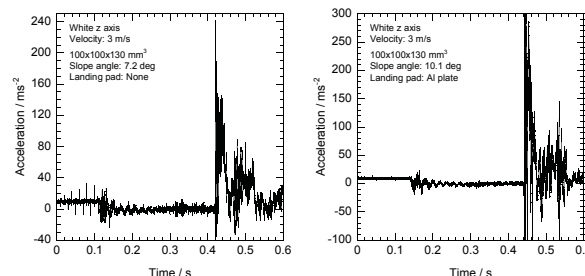


図5 傾斜7.2degの砂地への2本脚落下試験(左)、傾斜10.1degの砂地への1本脚落下試験(右)における衝撃加速度。

【おわりに】

SLIM探査機の衝撃吸収機構として、着陸脚先端に穿孔を施したブロック状の発泡アルミニウムを用いる機構を提案した。着陸脚および実機モデルの落下試験により、発泡アルミニウムの塑性変形により、SLIM探査機は落下時の衝撃を吸収できることが確認された。

【着陸脚用発泡アルミニウムの設計】

表1 SLIM探査機の着陸条件

Dry mass / kg	120
Landing speed / ms ⁻¹	3.0
Total impact energy / J	540
Acceleration tolerance / ms ⁻²	147
Slope angle / deg	Max 15

Case 1: 2本脚着陸



着陸脚1本あたりの衝撃力：
120/2 X 147 = 8,820 N 以下

着陸脚1本あたりの吸収エネルギー：
540/2 = 270 J 以上

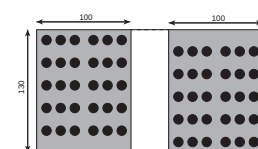
Case 2: 1本脚着陸



着陸脚1本あたりの衝撃力：
120/1 x 147 = 17,640 N 以下

着陸脚1本あたりの吸収エネルギー：
540/1 = 540 J 以上

発泡アルミニウムの形状



断面形状：□100 mm
高さ：130 mm
穿孔：側面からφ10mmの穴を6本ずつ

図2 着陸脚用発泡アルミニウムの模式図