



P-071

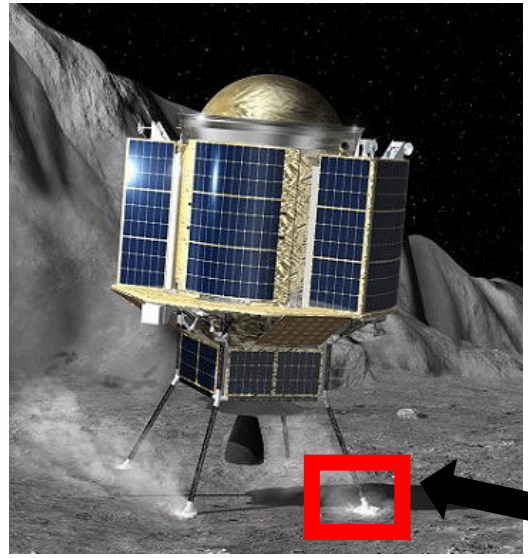
SLIM探査機における着陸衝撃吸収システム Impact energy absorption system for landing of SLIM explorer

首都大学東京 北蘭 幸一, 静岡大学 能見 公博, JAXA 丸 祐介

Koichi Kitazono, Masahiro Nohmi and Yusuke Maru

Introduction

【SLIM(Smart Lander for Investigating Moon)】

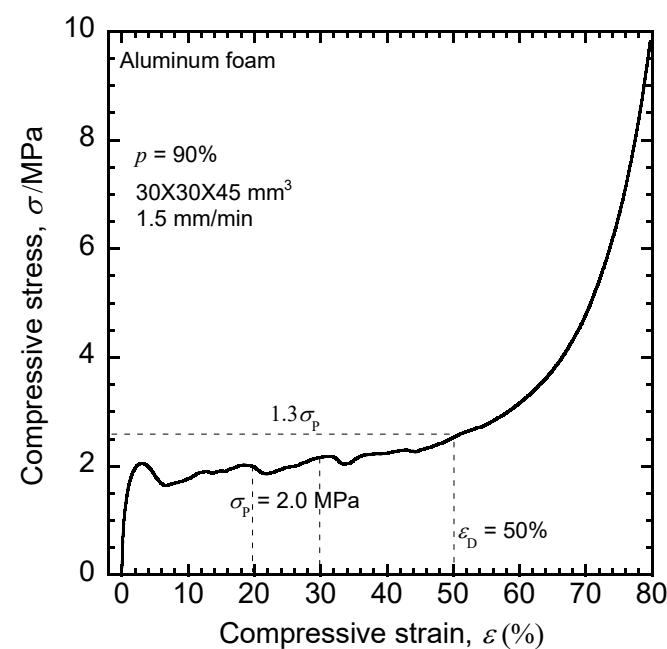


SLIM探査機が月面へ軟着陸する際の衝撃吸収材料として3D積層造形ポーラスアルミニウムを検討した。



半球状ポーラスアルミニウム

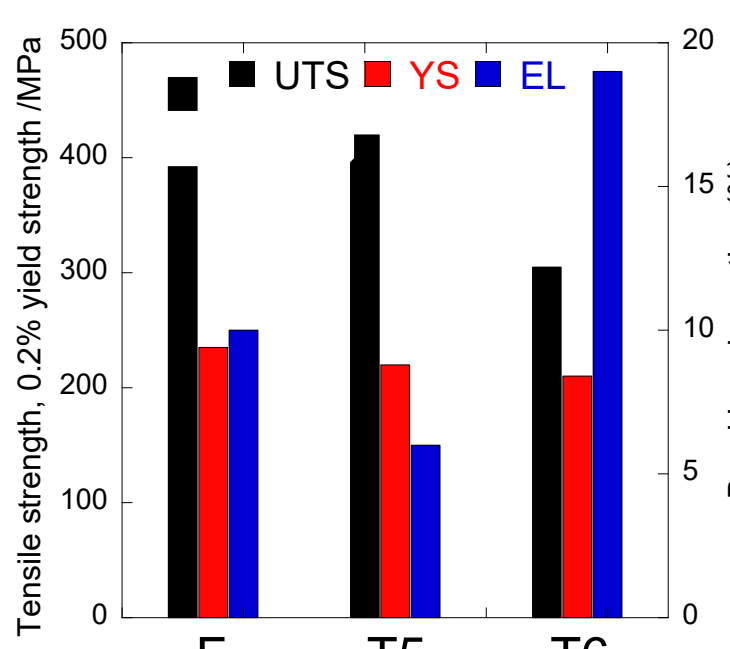
【ポーラスアルミニウムの圧縮特性】



ポーラスアルミニウムは、ほぼ一定の圧縮応力 σ で塑性変形するため、緻密材料に比べて大きなエネルギー W を吸収できる。

$$W = \int_0^{\epsilon_D} \sigma d\epsilon$$

【Al-10Si-0.3Mg合金の機械的特性におよぼす熱処理の影響】



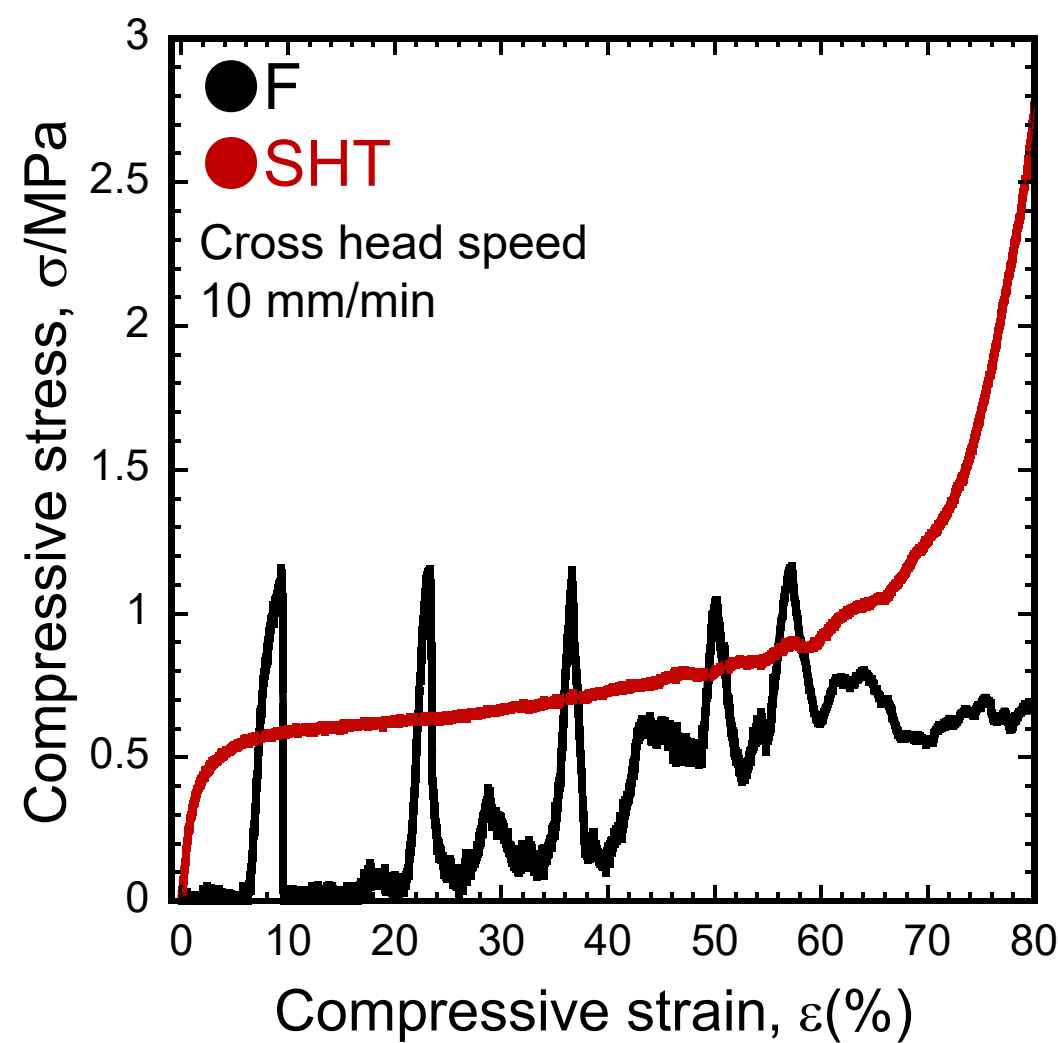
ポーラスアルミニウムの素材であるAl-10Si-0.3Mg合金は、 Mg_2Si 相の析出強化により、機械的特性が大きく変化する¹⁾。したがって、3D積層造形後の熱処理がポーラスアルミニウムの衝撃吸収特性に与える影響を調べる必要がある。

1) 木村貴広, 中本貴之: 粉末冶金, 61, (2014), 531-537

研究目的

ポーラスアルミニウムの圧縮特性におよぼす熱処理の影響を、圧縮試験、時効硬化試験、微細組織観察を通して明らかにする。

Results and Discussion



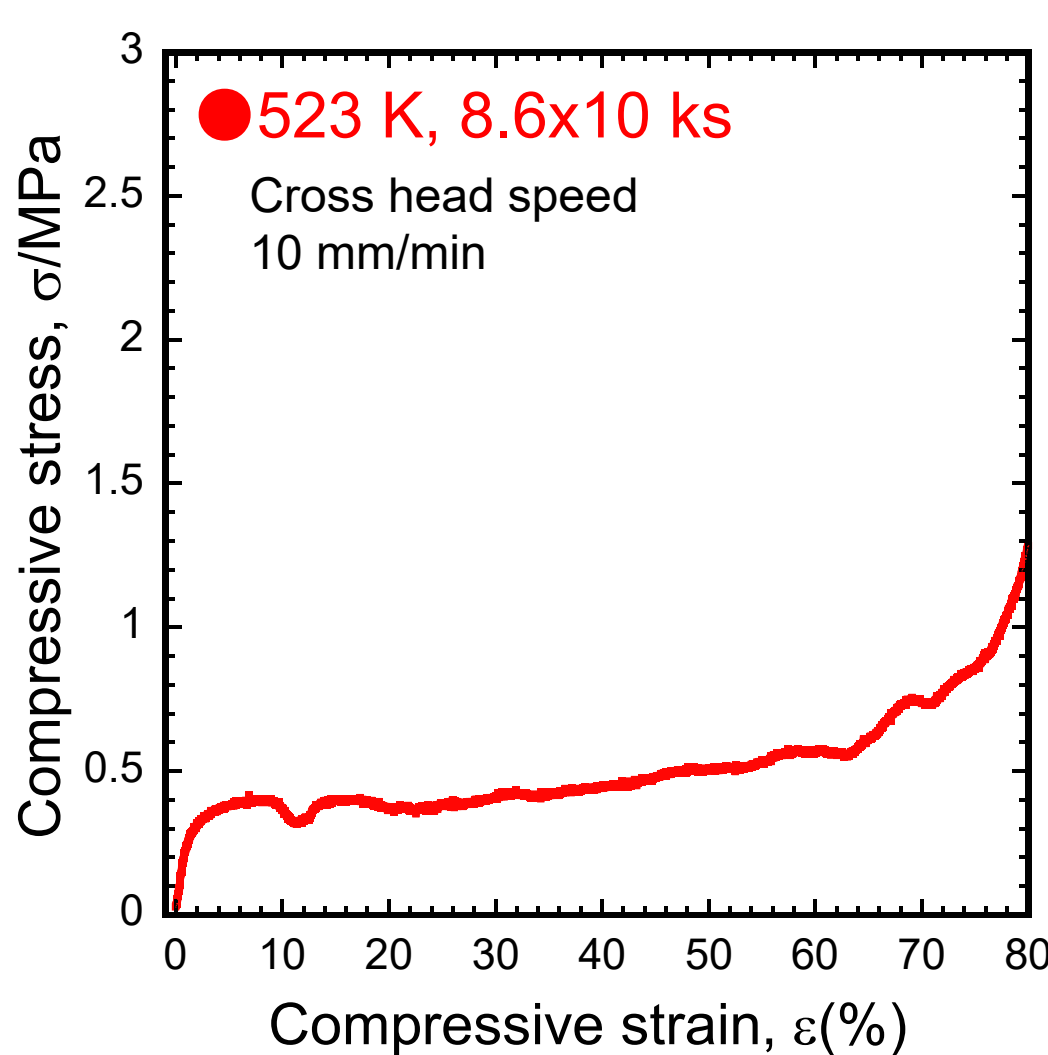
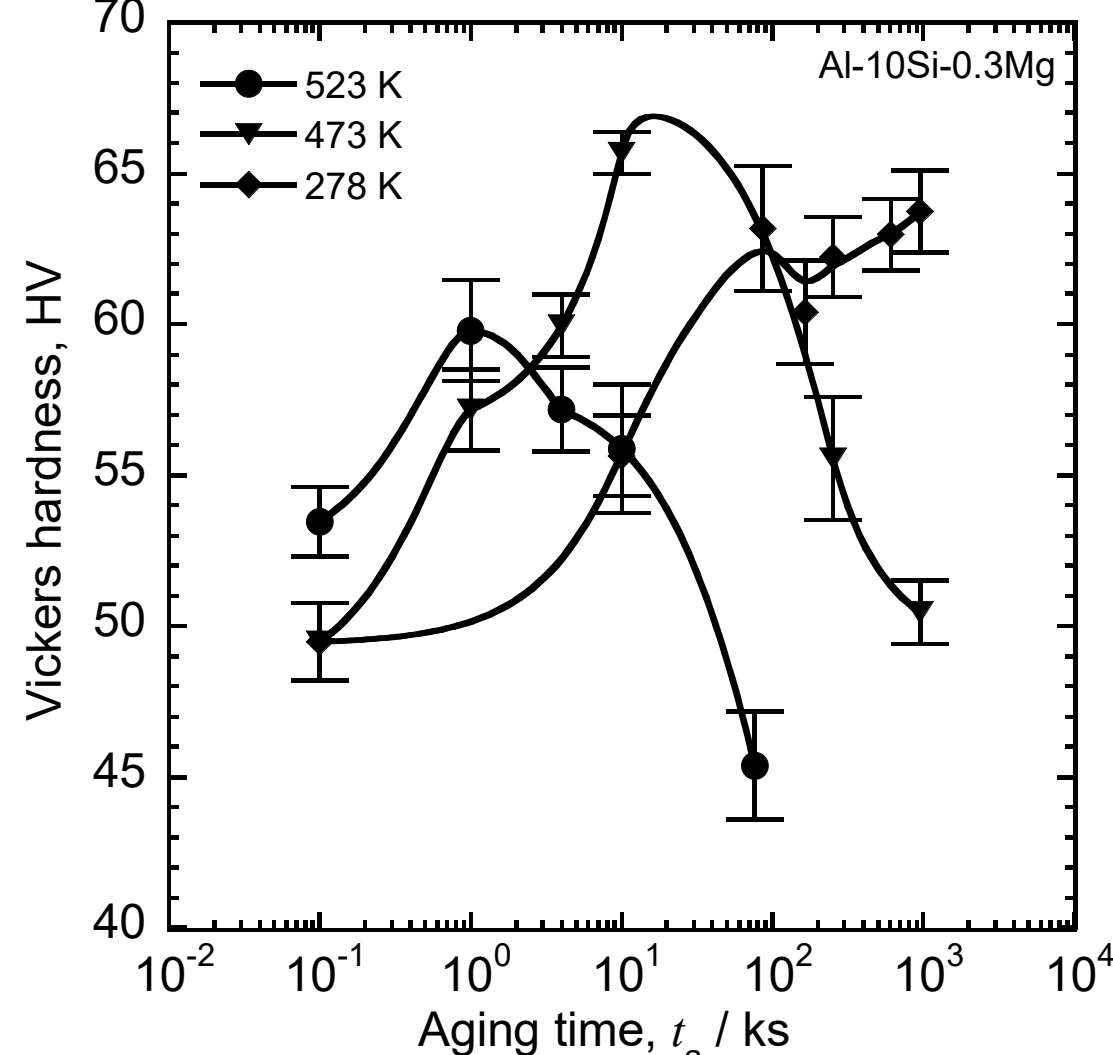
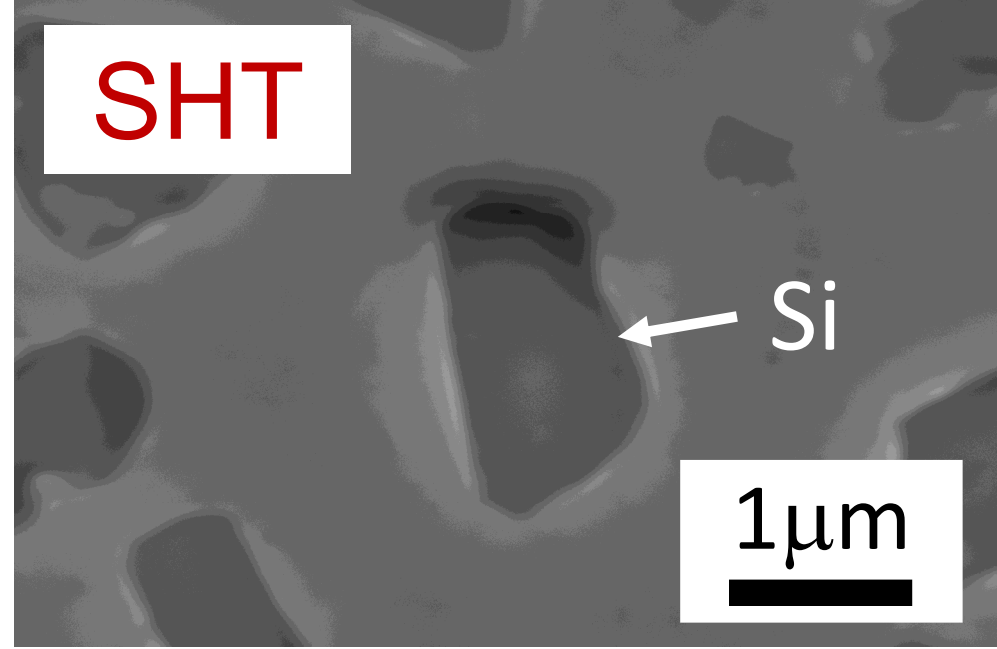
F材(造形まま材): 脆性的に破壊



溶体化材: 高い吸収エネルギー



溶体化処理により、ケイ素粒子の粗大化(右図)と Mg_2Si 相の固溶により、脆性的な圧縮挙動から、典型的なポーラス材料の塑性変形挙動に変化した。しかし、溶体化処理のままでは、時効硬化する可能性がある。

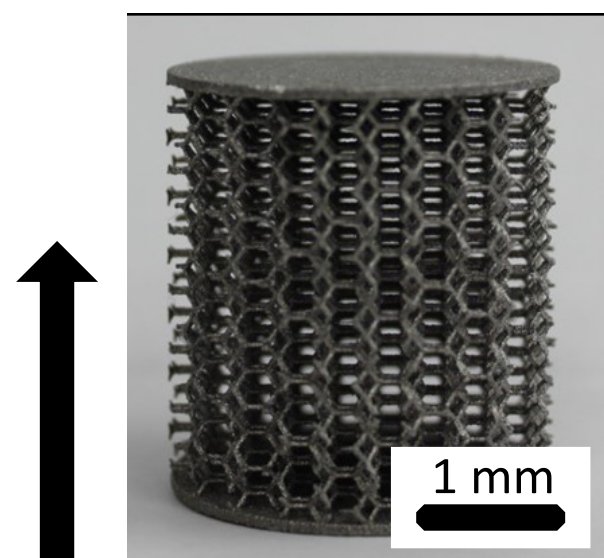


溶体化材に523 K、8.6x10⁴ ksの過時効処理を行うことにより、組織を安定化させ、溶体化材と同等の圧縮挙動を得ることができた。

Experimental Procedure

Chemical composition of Al-10Si-0.3Mg alloy (mass%)

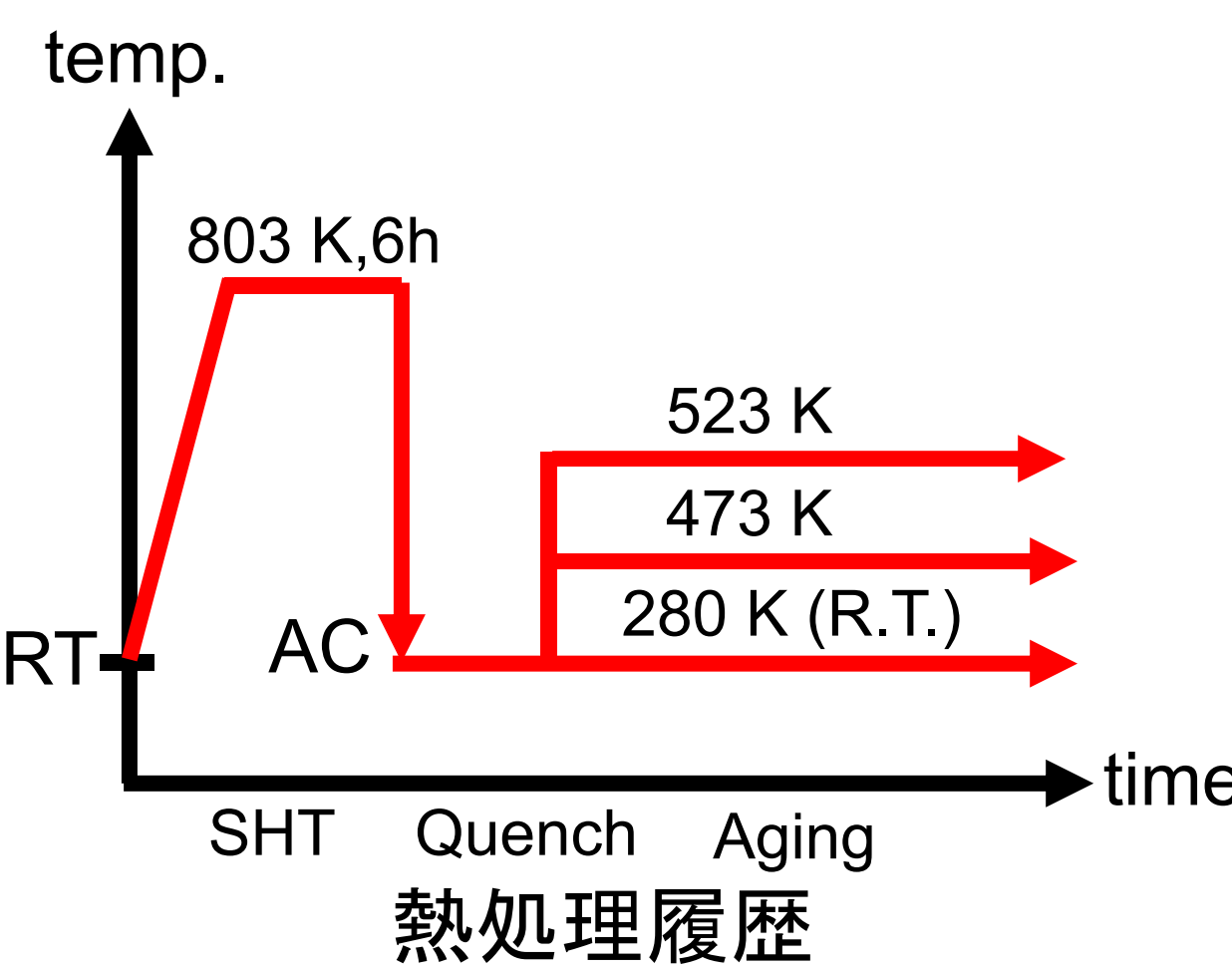
Si	Mg	Fe	Mn	Ti	Zn	Cu	Pb	Sn	Ni	Al
9.0-11.0	0.2-0.45	≤0.55	≤0.45	≤0.15	≤0.10	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	Bal.



積層方向

- 直径: 30 mm
- 高さ: 30 mm(上下1 mm板部有)
- 公称気孔率: 93%
- セル形状: 切頂八面体

- ・コイワイ製オープンセル型ポーラスアルミニウム
- ・粉末からレーザ積層造形法により作製



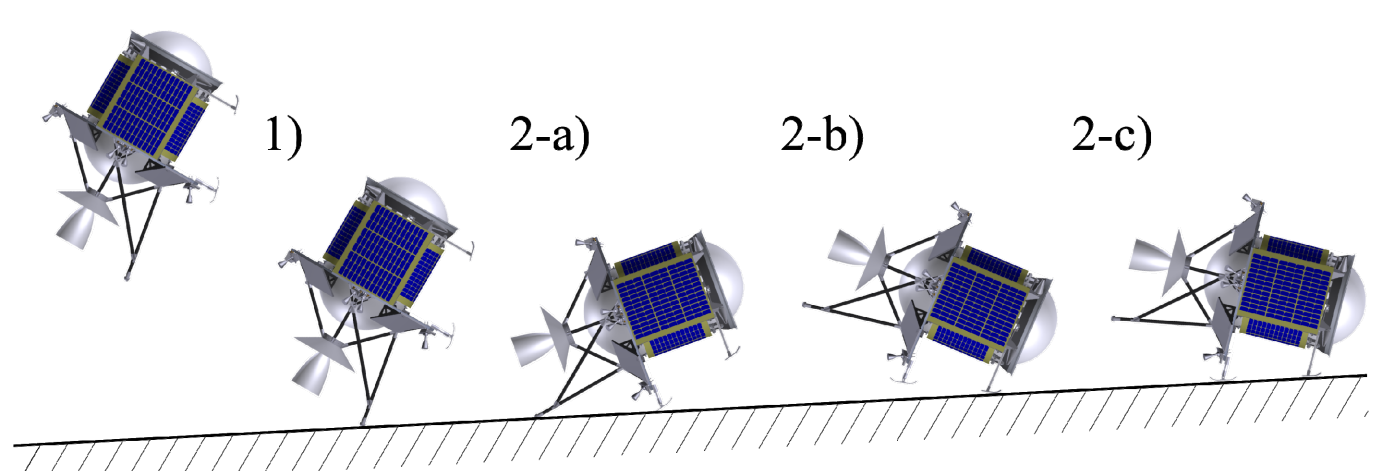
衝撃吸収を考慮した着陸挙動ダイナミクスシミュレーション

SLIMのように、小型ロケットでの打上げを前提としてフェアリング包絡域が設定される場合には、重心が高く、かつ、着陸脚を上げることに制約が生じる傾向がある。そのようなランダーの着陸方式として、「二段階着陸方式」が提案されている。

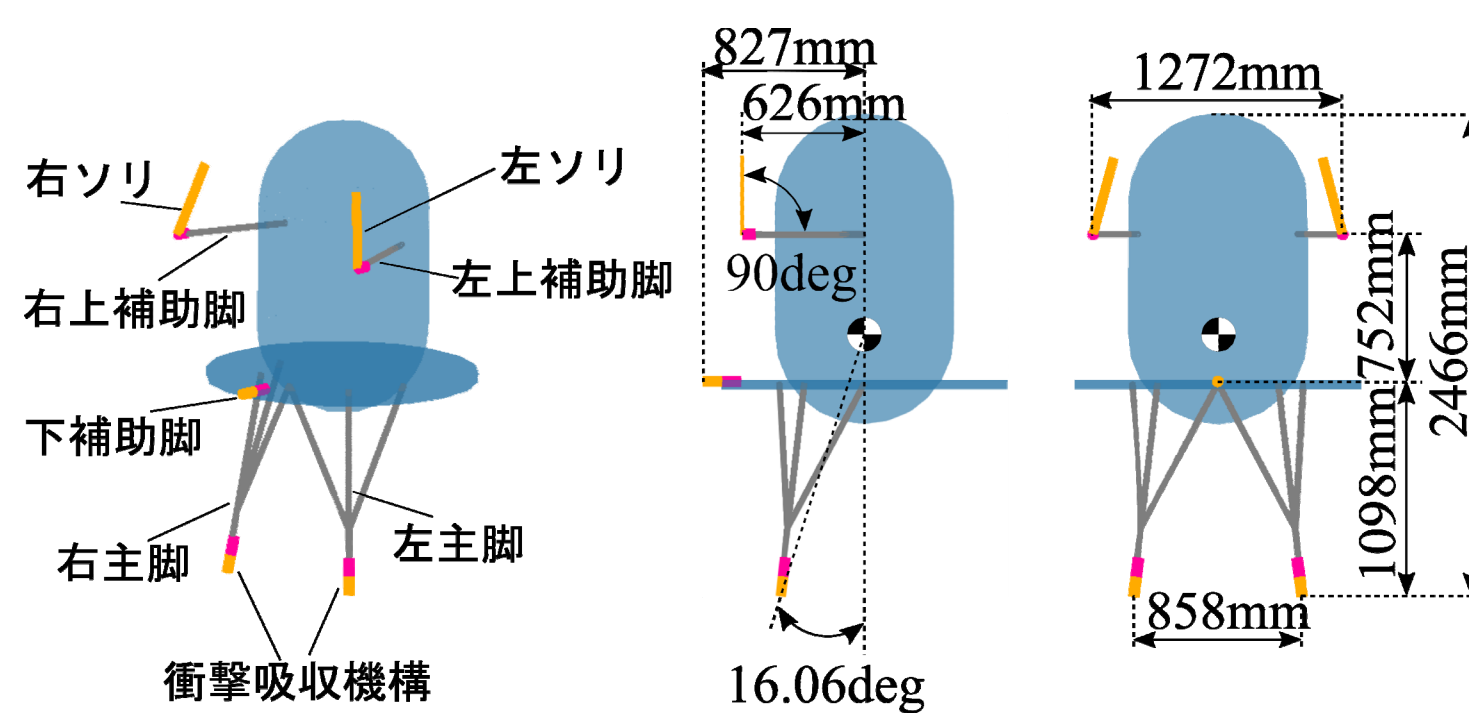
- 1) まず、機体が傾いた状態で自由落下を始め、主脚が月面に接地する。
- 2-a) 機体が回転しながら、機体中央のデッキ部の着陸脚(下補助脚)が接地する。
- 2-b) 更に機体が回転し、機体上部の着陸脚2本(上補助脚)が接地する。
- 2-c) 最終的に上補助脚2本と下補助脚1本の計3本で機体を支える。

着陸挙動を評価するため、汎用動力学解析ソフトウェアADAMS (MSC Software Corporation) を用いて、三次元シミュレーションを行った。

本計算では、衝撃吸収機構は、接地時に一定の緩衝力を発生させるモデルとして組み込んでいる。

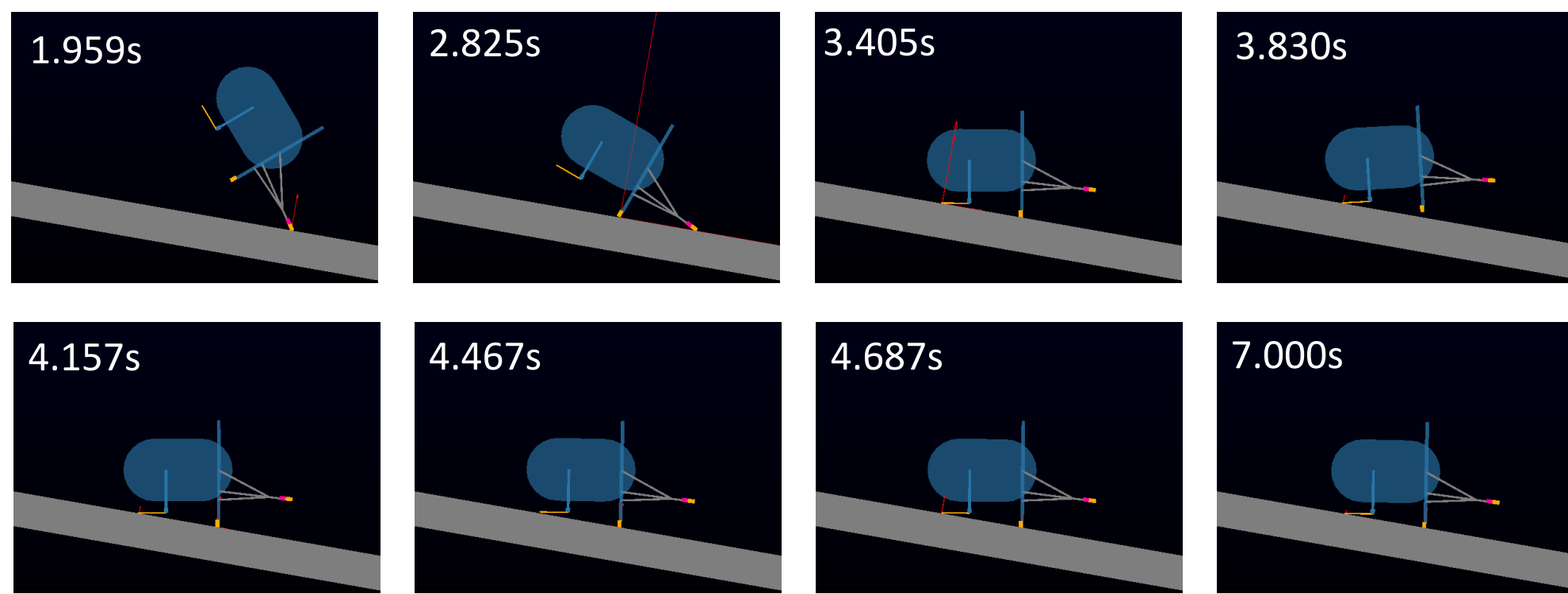


SLIMで検討中の「二段階着陸方式」

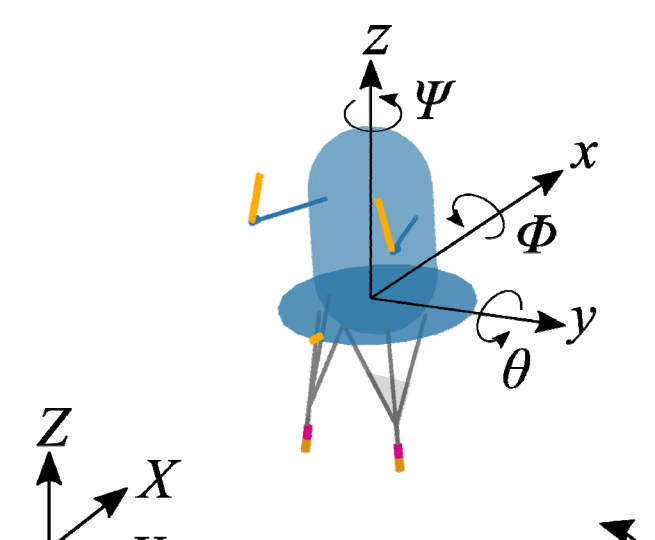


シミュレーションモデル

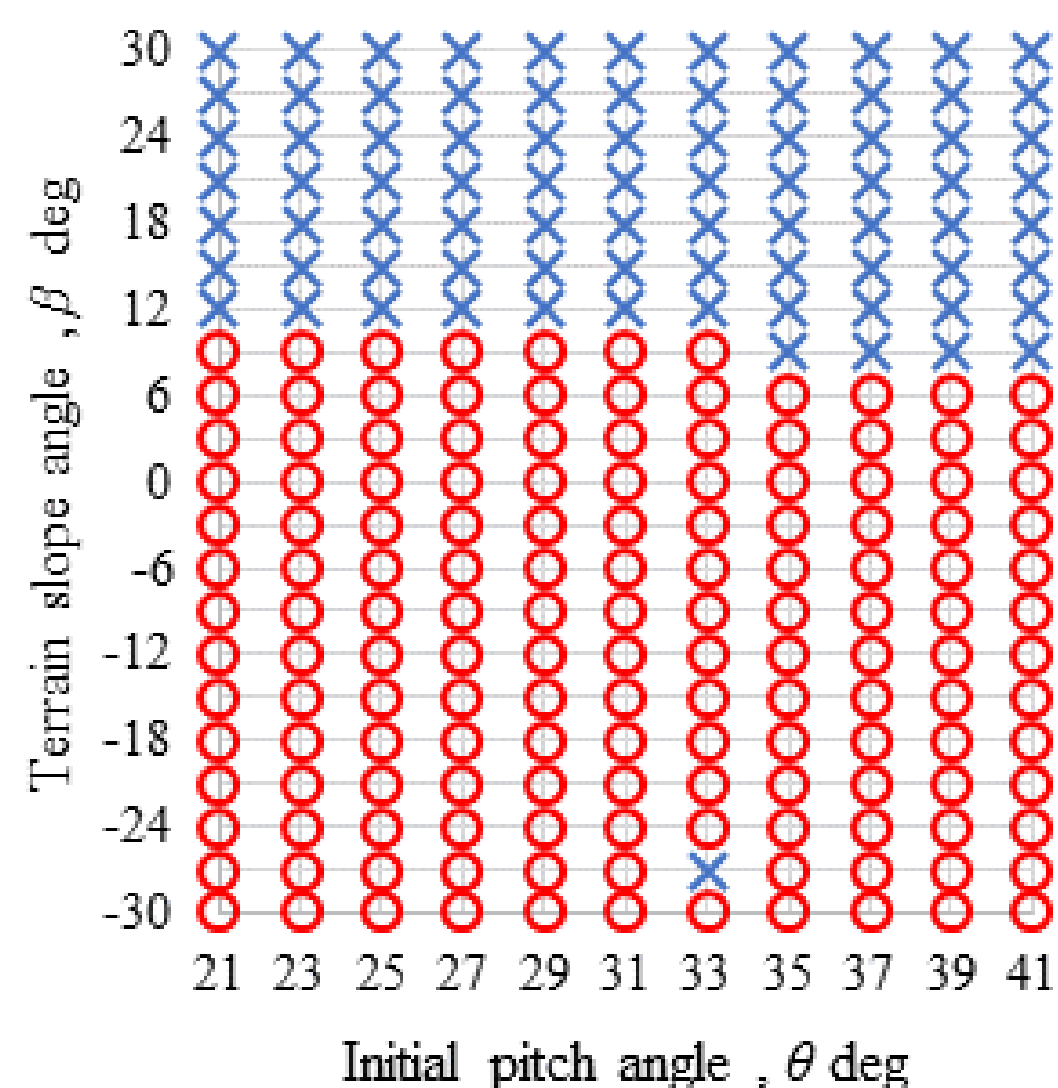
着陸挙動の解析結果の例を下に示す。月面斜度および着陸機の姿勢、並進速度といったパラメータの、耐転倒性に対する影響を評価している。



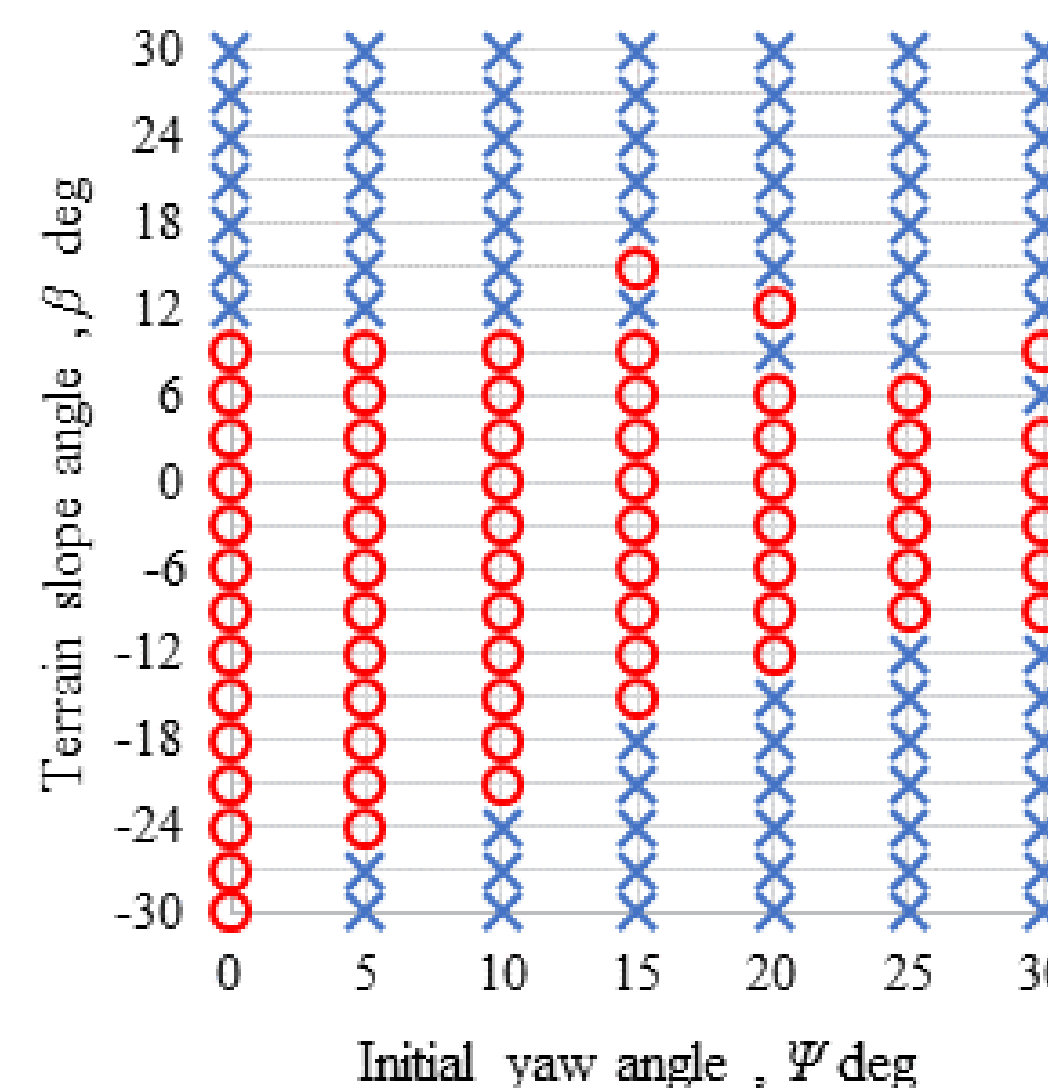
着陸挙動解析結果の例 ($\beta = -10\text{deg}$, $\theta = 30\text{deg}$)



座標系の定義



斜度とピッチ姿勢角の影響



斜度とヨー姿勢角の影響

着陸成否に対するパラメータの影響評価結果の例

提案する「二段階着陸方式」は、最終姿勢から前転する可能性、または横転する可能性があるが、シミュレーション結果から従来の四脚式に比べ格段に耐転倒性を向上できることが確認された。とくに前転に関しては着地初期姿勢を制御することでほぼ解決が可能であり、横転に関しても四脚式に対して最悪の場合でも同レベルの耐転倒性能を持つことが確認できた。

Conclusions

- 3D積層造形ポーラスアルミニウムのエネルギー吸収挙動におよぼす熱処理の影響を調べた。造形ままでは脆性的に圧縮破壊し、吸収エネルギーが低かった。造形後、溶体化および過時効処理を行うことにより、組織の安定化と吸収エネルギーの上昇を両立させることができた。
- 衝撃吸収機構のモデルを組み込んだ着陸挙動のダイナミクスシミュレーションを行っている。斜度や着陸機の姿勢、並進速度といったパラメータの、着陸挙動に対する影響を評価している。
- 今後、実機搭載の衝撃吸収機構の設計を確定させ、そのモデルをダイナミクスシミュレーションに反映する。さらに、サブスケール、フルスケールの着陸機模型(衝撃吸収機構つき)を落下させる実験を行って、設計検証を進める。