

## LUNAR-A ペネトレータの熱制御と月熱流量計測 ; 新規開発熱制御材の光学特性決定とそれを使用した熱設計

### Thermal Control of the LUNAR-A Penetrator and Lunar Heat Flow Measurement

# 吉田 信介[1], 田中 智[1], 宮崎 ゆか[2], 水谷 仁[1], 藤村 彰夫[1], 大西 晃[1]

# Shinsuke Yoshida[1], Satoshi Tanaka[1], Yuka Miyazaki[2], Hitoshi Mizutani[1], Akio Fujimura[1], Akira Ohnishi[1]

[1] 宇宙研, [2] 東大・理・地球惑星

[1] ISAS, [2] Earth and Planetary Sci. Tokyo Univ

LUNAR-A 計画では 2 機のペネトレータを月面に貫入させ、月震観測と月熱流量計測を実施する。計測実施の為には、地球～月間でペネトレータ温度が搭載機器の機能保持温度範囲にあり、搭載機器が月面貫入時の衝撃に耐えねばならない。機器は月レゴリス温度(-20 )で動作するように設計されているが、常温からの温度降下が大きいとペネトレータ構体(CFRP)と内部を充填するエポキシ樹脂の間に熱応力が発生し月面貫入時の耐衝撃性が減少するため、月面貫入までのペネトレータ許容温度範囲は-5 ~ 45 と規定されている。この規定を満たすべく、ペネトレータ構体表面に実装した熱制御材による passive 制御とヒーターによる active 制御を組み合わせるペネトレータの熱制御が実施される。これまでに熱制御材に UPILEX-R (AI 蒸着ポリイミド)と AI テープを使用した案が提案された。

ペネトレータの熱設計に対して、月熱流量計測を実施する上で望ましい条件も存在する。貫入したペネトレータの温度分布から月レゴリス温度勾配(月熱流量)を推定する際の誤差要因の一つとしてペネトレータの熱モデルの誤差があるが、比熱の誤差に起因する要因を減らすために定常状態に早く近づく -5 で月面貫入する事が望ましい。また、ペネトレータ構体を実装する物による熱コンダクタンスの増加を避ける事が望ましい。例えば 50  $\mu$  m の厚さの AI テープが実装されるとペネトレータ構体の熱コンダクタンスは約 30%増加し、貫入後の実装状態(剥れるか否か)が推定でしか判らないため不確定性となる。これまでのペネトレータ貫入後の熱解析からこの不確定性により約 20%の月熱流量の計測誤差が生じる事が判っている。

そこで、我々は AI テープの代わりに使用するべく UPILEX-R の裏面(AI 蒸着面)に SiO<sub>2</sub> をコーティングした新規熱制御材(SiO<sub>2</sub>-AI-PI と略す)を開発した。AI, SiO<sub>2</sub> の厚さは約 1000 であり、またポリイミドの熱伝導率は AI の 1%未満であるため、テープ実装に起因する誤差は 1%未満である。これまでに熱設計に必要な SiO<sub>2</sub>-AI-PI の光学特性  $s$ (太陽光吸収係数)、 $n$ (垂直輻射率)を計測した。結果は昨年(2002 年)10 月の日本惑星科学会秋季講演会等で報告されている。また紫外線照射試験、陽子線照射試験を実施し、試験前後の光学特性変化の計測値から宇宙環境での劣化を推定した。以上の実測値と構成物質の光学定数(複素屈折率)からモデル計算で求めた  $s$  の角度依存性と  $h$ (半球輻射率)を、SiO<sub>2</sub>-AI-PI の光学特性のデータベースとした。UPILEX-R については、既存の計測の実測値をデータベースとした。この 2 つの熱制御材とヒーターを使用して、貫入時温度がペネトレータ許容温度の下限に近い値となるような熱設計を立案する事が本研究の目的である。

今回の熱設計の計算では、ペネトレータの熱モデルとして 2 次元軸対称の SGMM モデルを使用した。このモデルは、2001 年 4 月に宇宙研の大型スペースチェンバーを使用し、実機仕様モデルに対して実施した熱真空試験結果を反映したモデルである。結果は一昨年(2001 年)6 月の合同大会で報告されている。境界条件は、ペネトレータ後端と LUNAR-A(母船)間の伝導結合条件以外は輻射結合条件である。ペネトレータ表面の光学特性は実装した熱制御材により決まるが、熱入力条件は地球～月面貫入までに大きく分けて 5 つのケースが存在する。打ち上げ～月遷移軌道投入までは太陽光がペネトレータ側面から入射する。月遷移軌道では太陽光がペネトレータ先端から入射する。月周回軌道 1 では の熱入力に加えて月赤外輻射の熱入力が存在する。また日照と日陰の変化が加わる。月周回軌道 2 ではペネトレータを分離するために LUNAR-A 母船が傾くため、太陽光がペネトレータ側面からも入力する。分離～貫入では、母船との伝導結合が無くなる。

以上の 5 ケースについてペネトレータ温度が許容範囲を満たす熱設計案の決定を以下の手順で行った。光学特性( $s$ 、 $h$ )一定のノミナル案について計算を実施する。ペネトレータ構体を約 100 mm 単位に分割し、各部分の光学特性とヒーター加熱量を変化させた時のペネトレータ温度変化を調査する。各部分で任意の光学特性、ヒーター加熱量を設定した時のペネトレータ温度が予測できるシステムを確立する。成立する条件を推定し計算する。熱制御材の光学特性の誤差、母船の姿勢のばらつき等を考慮し、ペネトレータ温度が最高、最低となる条件で計算する。この解析により、要求を満たす熱設計の 0 次案を複数作成した。今後の課題は、3 次元モデルを使用した詳細解析との対比、様々なトレードオフ(ヒーター故障時のダメージ等)を考慮した最適案の決定である。