

LUNAR-A・ペネトレータの全機熱特性測定実験

Measurements of thermal properties of the whole of penetrator

吉田 信介 [1], 田中 智 [1], 山下 靖幸 [2], 宝来 帰一 [1], 水谷 仁 [1], 藤村 彰夫 [1], 早川 雅彦 [1], 平井 研一 [3]

Shinsuke Yoshida [1], Satoshi Tanaka [1], Yasuyuki Yamashita [2], ki'ichi hourai [1], Hitoshi Mizutani [1], Akio Fujimura [1], Masahiko Hayakawa [1], Ken'ichi Hirai [3]

[1] 宇宙研, [2] 宇宙研・次世代探査機研究センター, [3] 日産自動車

[1] ISAS, [2] CAST, ISAS, [3] Nissan Motor Co., Ltd

LUNAR-A計画では、ペネトレータの熱数学モデルを作成し、数値シミュレーションを行って月レゴリスに貫入したペネトレータの温度場を計算して月熱流量計測が実施される。

これまで、月での計測環境に近い約 -20 でペネトレータ各構成物質の熱物性を約10%の精度で計測できるシステムを構築し、熱物性データを取得した。

本研究では、外気の温度変化($20 \sim -20$)に対するペネトレータ温度の応答を見る、ペネトレータ全機熱特性取得試験を行った。およそ数値シミュレーションでの予測通りの結果となり、部分熱物性データを元に作成したペネトレータの熱数学モデルとの大きな矛盾は生じなかった。

熱流量の直接計測は、惑星・衛星内部の熱的状态を推定する上で大きな手がかりとなる。LUNAR-A計画では、ペネトレータ搭載機器により、月震観測と共に月熱流量計測が実施される。月熱流量計測においては、月レゴリスの熱伝導率はペネトレータ熱伝導率の10分の1以下であるので、詳細なペネトレータ全機の熱数学モデルを作成し、高精度の数値シミュレ

ーションを行って月レゴリスに貫入したペネトレータ内外の温度場を計算する必要がある。

そこで、月熱流量計測の精度を高めるため、月レゴリス中での計測環境に近い、約 -20 でペネトレータ各構成物質の熱物性を計測できるシステムを構築し、これまでにペネトレータの熱数学モデルを作成する基礎データ(熱伝導率、比熱)を10%の精度で取得する事に成功してきた。

本研究では、部分熱物性測定試験結果に基づいて作成したペネトレータ熱数学モデルの妥当性を検証するため、ペネトレータ全機熱特性取得試験を行った。本試験では、ジンバル内部のXeガス充填の効果、各ブロック間のハーネスによる熱伝達といった、部分熱物性測定試験では実現できない部分の熱伝達効果も計測できる。今回は貫入試験前のKFM品で行ったが、貫入試験後にも測定を行うことで、貫入の影響で熱物性が大きく変化しないことを確認できる。今後FM品の測定を行い、FM品に対するペネトレータ熱数学モデルの妥当性を検証する予定である。

計測は以下のように行った。全体の温度分布が ± 0.5 に制御可能なヒーター($\phi 500 \times 1500$)を製作し、宇宙研の大型スペースチャンバー内に設置した。シュラウドを液体窒素で冷却し、ヒーター電力を調節することで、 -20 から 20 の温度調節が可能となっている。このヒーター内にペネトレータ($\phi 130 \times 800$)を吊し、外気の温度を 20 から -20 へ一定速度で降下させた時の輻射による熱流出に伴うペネトレータの温度変化を計測した。温度計測には、ヒーター温度制御の為に $\phi 100 \mu\text{m}$ の銅コンスタンタン熱電対50対、ペネトレータ外表面温度計測の為に $\phi 100 \mu\text{m}$ のアルメルクロメル熱電対40対を用いた。また、ペネトレータの輻射率は、表面をカプトンテープで覆うことで制御している。

二次元軸対称の数値シミュレーションを用いると、 20 の定常状態から、1時間当たり 5 の一定速度で -20 へ外気温度を降下させ、 -20 に保った場合、ペネトレータの温度分布が約4つくと予測できた。これは、ペネトレータ構体(CFRP)内に、断熱性の高いジンバルブロックと熱容量の大きい電池ブロックがある事に起因すると思われる。

実験結果(ペネトレータ温度分布、温度降下速度)は、およそ上記の数値シミュレーションでの予測通りであり、今回測定したKFM品に部分熱物性データを元に作成したペネトレータの熱数学モデルを適用させても大きな矛盾は生じなかった。