

# 小惑星イトカワへ接近航法誘導解析 —タッチダウンダイナミクスシミュレーション—

研究・開発機関 : (独)宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所  
 利用施設 : 宇宙科学研究所ロボティクスシミュレータ  
 計算規模 : ロボットハードシミュレータとDSP3台  
 利用ソフトウェア : ロボティクスシミュレータソフトウェア

## Before

- 小惑星は小さいが故に、太陽系が出来た当時の情報を現在でも保持しており、太陽系の起源と進化の解明に、小惑星サンプルリターンミッションが注目を浴びています。
- 地球からはるか遠くの未知の天体に接近、着陸しサンプルを採取するためには、ロボティクスと自律機能が重要な技術となっています。

## After

- ロボットシミュレータと計算機ソフトウェアを駆使し、宇宙環境下における探査機のダイナミクスと小惑星への接触ダイナミクスを計算しました。
- その結果、小惑星へのタッチダウン時の挙動を模擬することができ、着陸航法誘導制御則の有効性を確認できました。

## ■背景と目的

小惑星探査機「はやぶさ」の使命は、地球を出発し、惑星間を航行、小惑星に到着、そこでサンプルを採取し、地球に持ち帰ることでした。このサンプルリターンミッションを実現するためには、今までにない新しい技術を開発することが必要でした。

「はやぶさ」の大きな課題の1つは、地球からはるか遠くの未知の天体に、安全確実に接近着陸しサンプルを採ることです。そこで、サイズ、重力、自転、表面の地形や状態などが未知の天体に対応するため、ロボット技術が駆使されています。小惑星イトカワにランデブーする際には、電波伝搬遅れが往復約30分にも及ぶため、地球からの遠隔操作は不可能で、自律機能が重要です。一方、自律性を高めるためには、複雑な搭載ソフトウェアやアルゴリズムを必要とし、信頼性の問題や検証にかかるコストも課題でした。そこで、ロボティクスシミュレータを用いて、「はやぶさ」の小惑星イトカワへの接近着陸時における自律航法誘導制御則の検証を行いました。



図1. 「はやぶさ」のタッチダウンのイメージ

## ■利用成果

タッチダウンの挙動は、数値シミュレーションとロボットシミュレータというハードウェアを用いたシミュレーション実験により検証を行いました。接触を伴うダイナミクスでは、数値シミュレーションでは考慮できないパラメータがあり、どうしてもハードウェア実験が必要となるためです。しかしながら、微小重力下での3次元運動を模擬するのは難しく、接触以外の挙動は数学モデルを高速に解くことでシミュレートしました。

探査機は、タッチダウンの際にサンプラホーンを介してインパルス(衝撃荷重)を受けます。小惑星の表面上で探査機が傾きだすと、太陽電池パネルが小惑星に接触して破損するなど、致命的なダメージを生じかねません。そのためタッチダウン時の探査機の動的挙動(ダイナミクス)について、シミュレーション解析および実験的解析により慎重に検討を行いました。

実験検討においては、図2と図3に示すように、サンプラの評価モデルを9自由度のモーションテーブル(ロボットシミュレータ)に取り付けてハイブリッドシミュレーションを行い、さまざまな条件(降下速度、横速度、接地面傾斜、接地面摩擦)に対して、複雑かつ多数のケーススタディ(事例)を計算機シミュレーションで検証し、その結果、航法誘導制御則が有効であると判断でき、実際の接近航法時に非常に役に立ちました。実験の様子を図4に示します。実験の結果、ホーン先端の接触から平均0.2秒以内にタッチダウン検出が可能なことを確認し、航法誘導制御則の有効性を検証しました。

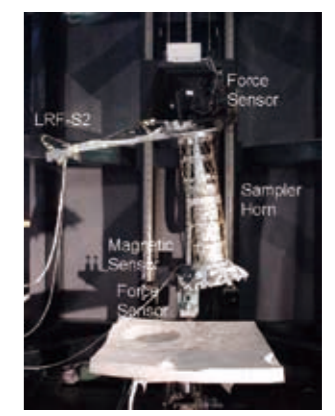
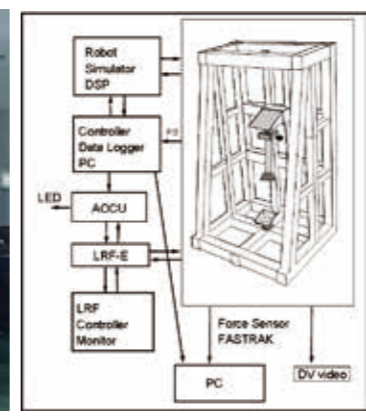


図2. ロボットシミュレータ全体図

図3. サンプラホーンと模擬地形

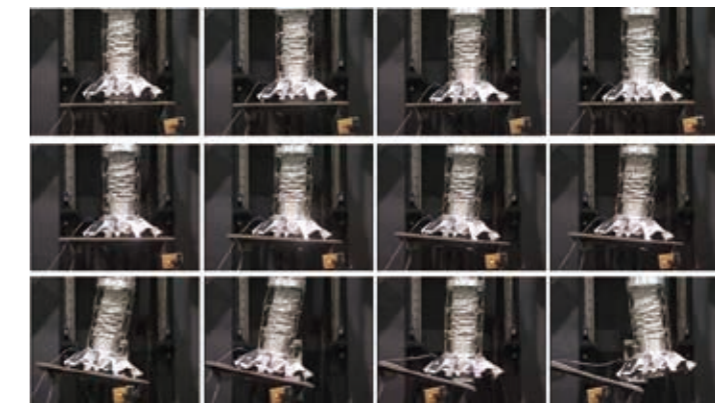


図4. ハイブリッドシミュレータによるサンプラホーンの挙動

■出典：イトカワ接近着陸航法誘導のためのシミュレーション技術、日本シミュレーション学会誌 Vol.31, No.2, pp.17-22