

小型月着陸実証機SLIMの着陸誘導制御技術

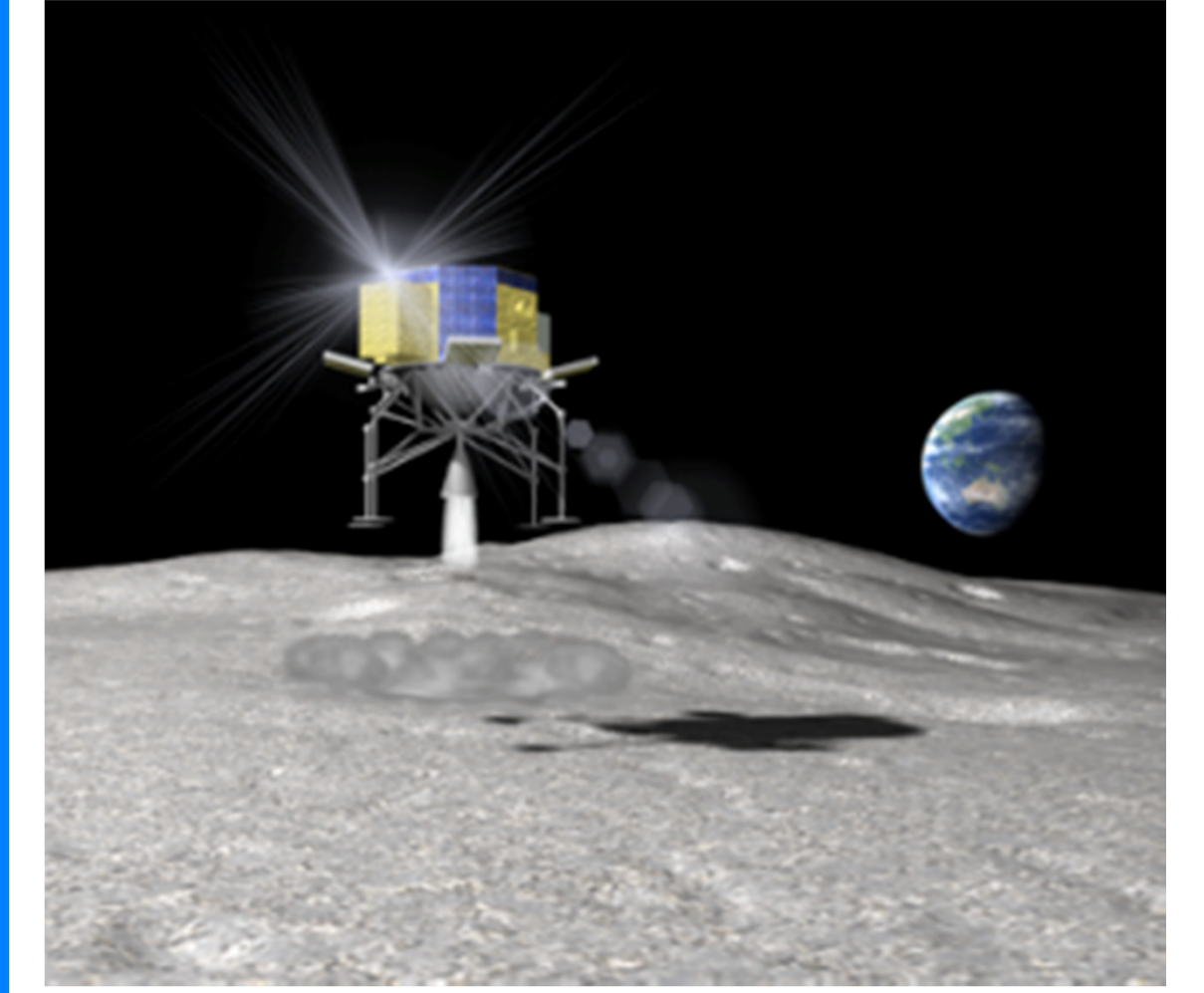


樋口丈浩¹⁾, 上野誠也¹⁾
植田聡史²⁾, 坂井真一郎²⁾, 伊藤琢博²⁾

1) 横浜国立大学, 2) JAXA宇宙科学研究所

SLIM着陸誘導則について

SLIM(Smart Lander for Investigating Moon)は低リソースの探査機によって月表面上にピンポイント着陸することを目的としている。ピンポイント着陸技術は今後の惑星探査や科学観測のために必須となる技術である。動力降下において高精度、自律的かつ限られた燃料で探査機を目標地点に着陸させるために、画像照合航法により更新される自己位置データを用いながら準最適な誘導を行う。本稿ではこれら着陸誘導に関する検証状況について紹介する。



着陸シーケンス

SLIMは600km×15kmの月周回軌道から動力降下を開始する(未定, 現在検証中)。SLIM誘導制御分科会では, SLIMの目的である低リソースによる月面調査, ならびにピンポイント着陸を達成するために着陸を以下のフェーズに分けて行うことを検討している。

動力降下フェーズ

動力降下フェーズでは600km×15kmの月周回軌道から着陸地点上空3.5kmまでの誘導制御を行う。本フェーズでは最適制御に基づく消費燃料を準最適化する軌道を用い, 追従することで省燃料の動力降下を達成する。

軌道計算には現在検討中の多項式誘導則を用いる。多項式誘導則は軌道を多項式で近似し, 繰り返し計算を要する最適計算に比べ非常に短い時間で境界条件を満たした準最適な軌道が得られる特徴がある。

また動力降下の途中に2度コースティングを行い, 搭載したカメラを用いて月面を撮影することで画像照合航法を行い, 取得した探査機の位置を利用し軌道の再計算を行うことで着陸精度の向上を目指す。

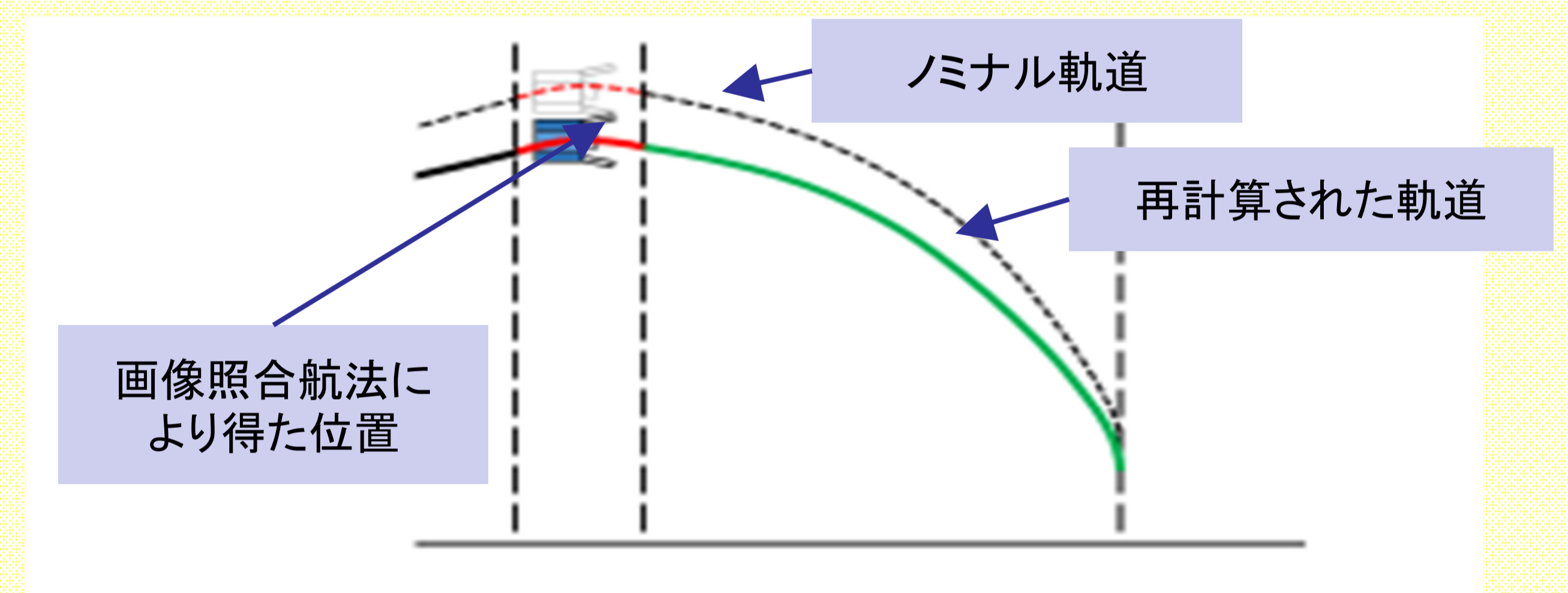
垂直降下フェーズ

垂直降下フェーズでは着陸地点の上空から着陸地点までの誘導制御を行う。本フェーズでは動力降下フェーズ終了時に生じた誤差の修正, ならびに着陸地点周辺の障害物を回避し, 着陸に適した場所までの誘導制御を行う。

多項式誘導則と画像照合航法

SLIMではピンポイント着陸を目的としているため, 月表面に対する高精度な航法系ならびに誘導制御則が必要となる。探査機は動力降下フェーズの途中でコースティング(推力ゼロの航行)を2回行い, 姿勢変更によってカメラを月面に向け, 位置の推定を行うことによって着陸精度の向上を目指す。

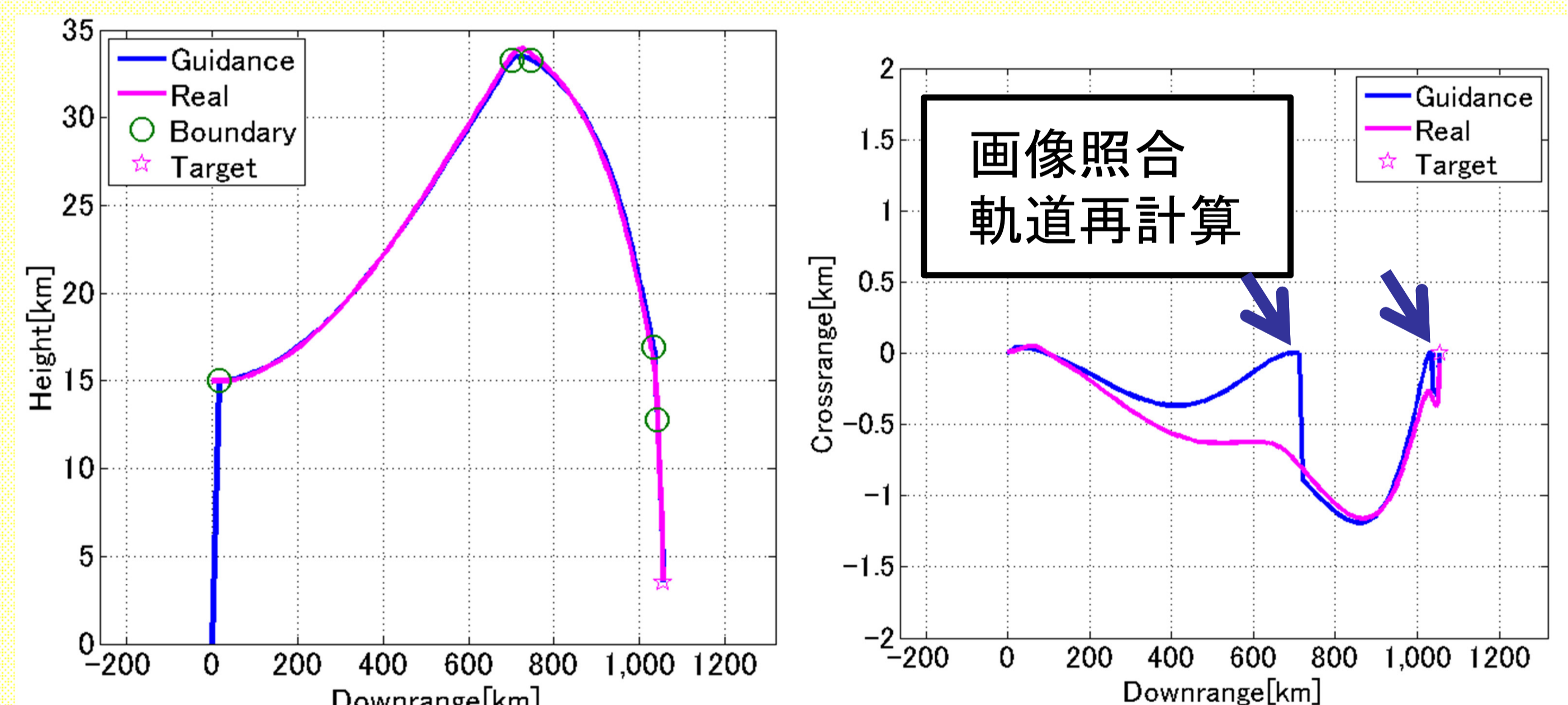
画像照合航法によって位置誤差が判明した場合には軌道を再計算する必要がある。このとき, 提案している多項式誘導則を用いることによって, 燃料を最小とするような最適軌道に近い準最適軌道を少ない計算量で得ることができる。



画像照合後の軌道再計算

数値計算例

以下に, 多項式誘導則と画像照合航法を用いた例を示す。軌道ではダウンレンジが700km近辺及び1000km近辺でそれぞれ50秒のコースティングを行っている。その際, そこまで蓄積されてきた航法誤差を解消し, 次の目標点までの軌道を再計算, 軌道追従を行っている。



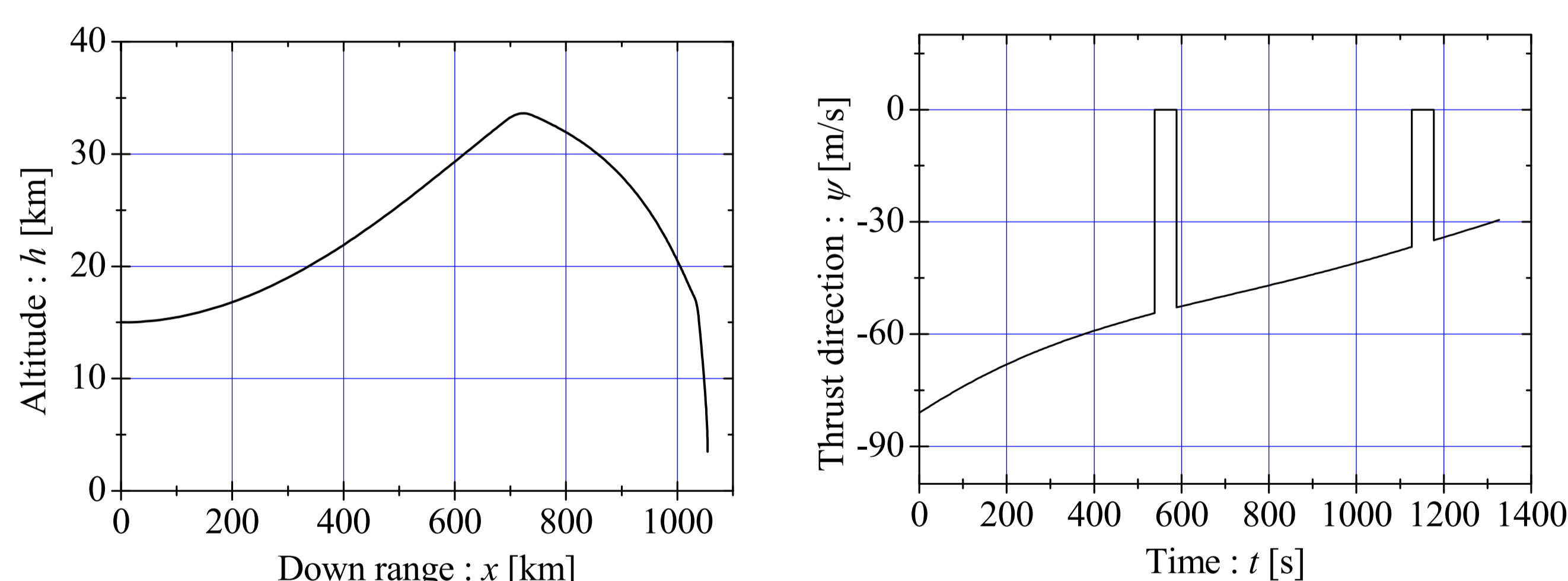
垂直面内の軌道

水平面内の軌道

画像航法を用いた例

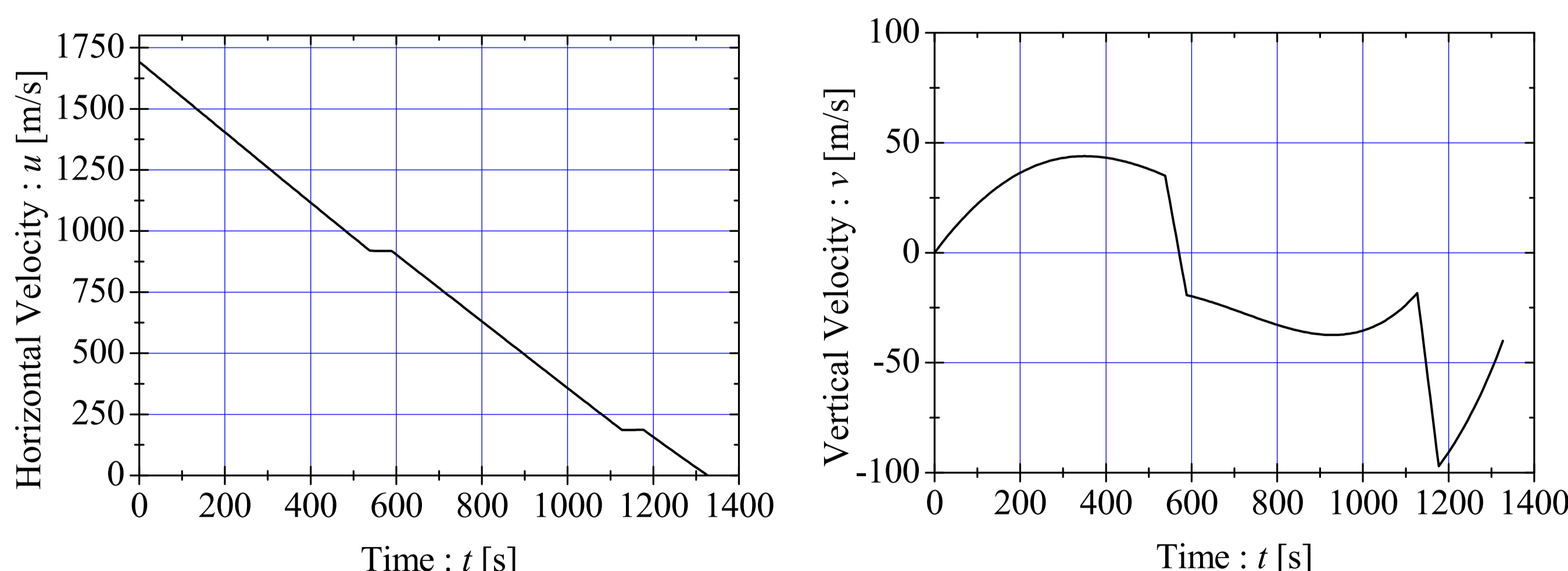
その他の検証

現在, 横国大では月・惑星探査を対象とした動力降下終端におけるLOS誘導を用いた確実な誘導方法, 垂直降下フェーズの機体誘導制御, 飛行型テストベッドの誘導制御手法の開発, 次世代重力天体へ向けた誘導制御手法の検討なども行っている。



a)軌道

b)推力方向(入力)



c)ダウンレンジ方向速度

d)高度方向速度

最適なノミナルパスの例
(2回コースティング)