

論文の内容の要旨

論文題目 **Tube Stochastic Differential Dynamic Programming
and Application to Robust-Optimal Spacecraft
Trajectory Design**

(確率微分動的計画法とロバスト最適な宇宙機軌道設計への応用)

氏 名 尾 崎 直 哉

低推力軌道最適化問題は、宇宙ミッション設計における重要課題の一つである。従来は決定論的な力学システムを仮定して軌道設計した上で、実飛行環境におけるモデルの不確定性を吸収するために、経験則に基づくマージンを導入することで、ロバスト性を高めた軌道を設計してきた。例えば、運転率(duty cycle)や弾道飛行期間(forced coast period)の制約を課すことで、不確定性に対するロバストな軌道設計がなされてきた。このような従来手法は、パラメータの調整に専門知識と時間を要するだけでなく、必要十分なロバスト性を有することを定量的に議論することが難しい。一方、ロボティクス等の制御の分野では、ロバスト最適制御を扱うための系統的手法が提案されている。その一つがチューブ・ロバスト・モデル予測制御(Tube Robust Model Predictive Control, TRMPC)である。TRMPCは、不確定性によって外乱を受けて到達しうる閉領域を規定し、その閉領域内の全ての状態量を目標地点に制御するロバスト制御手法である。しかし、TRMPCは制約条件つき線形二次レギュレータ(Linear Quadratic Regulator, LQR)問題を対象としており、非線形な低推力軌道設計問題にそのまま適用することはできない。

本論文は、宇宙機の軌道設計のための制約条件つき・非線形確率最適制御問題の解法の確立を目指している。確率過程を Unscented 変換(Unscented Transform)で逐次的にガウス過程と近似し、閉ループ制御則をシグマ・ポイント上の制御ベクトルの補関数として表現した結果、確率最適制御問題を決定論的な最適制御問題へ帰着させることに成功している。帰着された最適制御問題は、近年軌道設計分野で注目を集めている微分動的計画法(Differential Dynamic Programming, DDP)を利用することで効率的に解くことができ、低推力軌道設計で従来経験的に導入されてきたような運転率・弾道飛行期間に加えて、推力方向、加速開始時刻の変更といったマージンが自動的に最適な配分で導出されることを数値シミュレーションによって実証している。そして、提案手法が必要十分なロバスト性を有した最適軌道(すなわち、ロバスト最適軌道)を実現していることを、モンテカルロ法によって示している。