

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	柔軟構造を持つ宇宙機の実時間挙動推定手法の研究
Title(English)	Real-time Dynamics Estimation for the Flexible Spacecraft
著者(和文)	本田 瑛彦
Author(English)	Akihiko Honda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10144号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小田 光茂,大熊 政明,鈴木 康一,松永 三郎,坂本 啓,野田 篤司
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10144号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		本田 瑛彦	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	小田 光茂		教授	審査員	坂本 啓	准教授
	審査員	大熊 政明		教授		野田 篤司	連携准教授
		鈴森 康一		教授			
		松永 三郎		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「柔軟構造を持つ宇宙機の実時間挙動推定手法の研究」と題し、以下の全 7 章で構成されている。

第 1 章「緒論」では、今後の宇宙機（衛星、探査機等）の運用に関する課題と対策について概観し本研究の目的を述べている。すなわち、今後の宇宙機は大型化が進む一方で、打ち上げコストの抑制のため軽量化が進むため機体剛性の低下が発生し、振動が生じやすくなるために、通信回線の帯域制限や通信時間遅れが生じる宇宙機の遠隔運用において宇宙機の機体が柔軟で振動が発生している場合、宇宙機の正確な動作状態の把握や、的確なタイミングでの指令実行が難しくなり、これが宇宙機の遠隔運用上の課題であることを指摘し、本論文の目的は、柔軟構造特性を有する宇宙機の遠隔運用におけるその課題に対応するための方策を提案し有効性を示すことであると述べている。

第 2 章「柔軟構造宇宙機の動力学パラメータの実時間推定」では、第 1 章で指摘した柔軟構造を有する宇宙機の遠隔運用における課題を解決するため、宇宙機の内部状態を実時間かつオンラインで推定し、宇宙機運用者に仮想的なテレメトリデータとして提示する実時間動力学推定システム（Real time Operation based Dynamics Estimation system, RODE）の開発とその利用を提案している。RODE は、宇宙機の姿勢制御系の試験で用いられているオンライン動力学シミュレータを基礎とし、宇宙機の内部構造や動力学を実時間処理に適した形に簡略化するモデルチューニング手法、宇宙機からの限られたテレメトリデータを入力データとする逆問題解析によって宇宙機の内部状態を推定し、仮想的なテレメトリデータを追加生成する手法を組み合わせることで実現できると論じている。

第 3 章「薄板連結構造物の振動推定」では、RODE を人工衛星の食入り・食明け時に発生している衛星の振動現象の解明に適用した事例を示している。同現象は Thermal Snap と呼ばれ、太陽電池パドルへの熱入力の急変により発生すると推定されているもののこれまで太陽電池パドルの振動を計測するセンサが搭載され、Thermal Snap 現象が計測されたことはなかった。本論文では、2009 年に打ち上げられた JAXA の温室効果ガス観測技術衛星「GOSAT」の太陽電池パドルについ

て、衛星からの限られた箇所の太陽電池パドル温度テレメトリデータを入力とする RODE を構築し、RODE が生成する SAP 全体の温度分布仮想テレメトリデータを用いた熱構造解析から推定される太陽電池パドル先端の振動挙動と衛星搭載太陽電池パドル展開モニタカメラの画像から推定される太陽電池パドル先端の振動挙動の十分な精度での一致を確認することによって Thermal Snap 現象を同定することが出来たとしている。

第 4 章「長大な宇宙用ロボットアームによる浮遊ターゲットの捕獲時の挙動推定」では宇宙ステーション搭載ロボットアーム（SSRMS）を用いて宇宙ステーション補給機（HTV）を捕獲する際の両者の接触状態および接触後の HTV の挙動推定に RODE を応用した例を示している。すなわち、SSRMS の関節角データから接触力を仮想テレメトリデータとして実時間で推定し、同推定値を基に接触後の HTV の相対位置と速度をオンラインシミュレータで推定して HTV が ISS 等に衝突しないように監視するシステムを試作している。そして、JAXA が開発した HTV オフライン精密シミュレータを用いて検証を行い、本 RODE が実時間で算出した挙動推定値と、HTV オフライン精密シミュレータが予測した HTV の挙動とが十分な精度で一致していることを確認し、本 RODE の有効性を示している。

第 5 章「可変構造型探査ロボットによる柔軟地盤走行時の挙動推定」では、月惑星探査ロボットの走行状態推定に RODE を適用した例を示している。すなわち、月惑星探査ロボットは様々な地形・地質に対応できる走行性能が必要であり、そのためには自身の構造を地形状況に合わせて変化させるのが有効であると考えられており、本研究では、JAXA と東工大が共同で開発している可変構造型探査ロボットの試作機の走行状態を推定するシステムとして RODE の適用を行い、変形機構部の関節角度センサなどからの限られた信号からロボットの走行駆動部のすべり沈下量の分布を仮想テレメトリとして生成し、移動機構の挙動を推定するシステムを構築し、屋外試験場での走行実験において走行不能状態になる前にその事態を察知し回避できたと述べている。

第 6 章「実時間動力学推定システムを利用した宇宙機の制御」では、宇宙ロボットの遠隔運用に用いられているモデル予測制御法（MPC）に RODE を組み込み、RODE-MPC システムとして運用することで、これまで MPC 単独では困難であった通信時間遅れと宇宙ロボットの柔軟特性による影響がある条件下でも遠隔地の宇宙ロボットの遠隔運用を可能としている。

第 7 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括すると共に今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、遠隔地にある柔軟構造を有する宇宙機の動力学的状态を時間遅れ無く推定し、操作者に伝えるシステムが実現可能であることを示し、宇宙機の遠隔運用技術の発展に寄与するものであり、工学上、工業上、貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。