

別紙1-1

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11596 号
------	---------------

氏名 櫛田 陽平

### 論文題目

運動量交換型衝撃吸収機構による衝撃応答制御と月惑星探査機への応用

(Shock Response Control Using Momentum Exchange Impact Absorption Mechanism and Its Application to Lunar Exploration Spacecraft)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	山田 陽滋
委員	名古屋大学	教授	原 進
委員	名古屋大学	教授	長谷川 泰久
委員	名古屋大学	教授	佐宗 章弘
委員	宇宙航空研究開発機構	教授	橋本 樹明

## 論文審査の結果の要旨

櫛田陽平君提出の論文「運動量交換型衝撃吸収機構による衝撃応答制御と月惑星探査機への応用」では衝撃を受ける構造物の応用事例として月惑星探査機の着陸機構を取り上げ、衝撃を受ける構造物の変位・速度応答を制御するための最適な運動量交換型衝撃吸収機構 (Momentum Exchange Impact Absorption Mechanism: MEIAM) の設計論を展開している。

本論文は6章で構成される。1章は序章であり、上記の研究背景に加え、従来の着陸技術および類似研究との比較により、本研究の優位性を主張している。2章では、最も基本的な衝突問題として、無重力環境下の1次元運動における壁面への衝突問題を取り上げている。壁面への衝突の後、制御対象（以後本体質量と呼ぶ）は壁面から分離し、その後付加質量は本体質量より分離する。この問題に対して付加質量分離時における本体質量の変位および速度を0にするMEIAMの最適設計論を、運動方程式の解の理論解析により議論した。次に質量の壁面への衝突とMEIAMの壁面への衝突を運動量保存則とエネルギー保存則に基づいた解析により比較し、付加質量分離後の本体質量の速度を0にする準最適設計論を理論解析により考察した。その妥当性および壁面の剛性変動に対するロバスト性をシミュレーションにより検証し、1次元運動におけるMEIAMの設計論を導出している。

3章では、その月惑星探査機の着陸脚への応用を議論する。1次元運動に対して検討したMEIAM設計の重力環境下への展開を理論解析およびシミュレーションにより論じている。そして、MEIAMの性能ならびに地面の剛性変動に対するロバスト性の向上を目的として、Passive要素とActive要素を併用したHybrid-MEIAM (HMEIAM) を提案している。HMEIAMのモデルを導出し、その制御系設計として付加質量と本体質量の接続ばねの見かけの剛性を最適値に変化させる剛性制御の適用を提案している。本内容をシミュレーションおよび実験により検証して、2章で導出したMEIAMの設計論が重量の制約などで適用できない場合にもHMEIAMで十分な効果が得られるこことを示している。

4章では、2次元平面内でのMEIAMの動特性に関する基礎的な検討を行い、衝撃による回転運動をMEIAMで制御するための設計論を導出している。2章の議論にならい、まず剛体の壁面への衝突とMEIAMの壁面への衝突を、運動量、角運動量およびエネルギーの各保存則に基づいた解析により比較し、付加質量分離後の本体質量の速度、角速度を0にするMEIAMの準最適設計論を理論解析により考察した。その妥当性および壁面の剛性変動に対するロバスト性をシミュレーションにより検証し、2次元運動におけるMEIAMの設計論を導出している。

5章では、1次元運動の解析において最も優れた衝撃応答制御性能を持つ発展型G-MEIAM (Generalized-MEIAM-Advanced) の、重力環境下の2次元運動への適用について議論している。付加質量の接続ばねが有する粘性減衰係数に着目し、その最適なパラメータ設計方法を理論解析により議論した。その妥当性および着陸面の角度変化に対するロバスト性をシミュレーションにより検証し、提案手法により制御対象の着陸時の転倒が十分抑えられることを示している。

6章では、本研究の結論および今後の課題について述べている。

以上のように本論文は、1次元、2次元運動において衝撃を受ける構造物の変位・速度応答を制御するための最適MEIAM設計論を理論解析により導出し、シミュレーションおよび実験に基づく検証により、提案手法の有効性を明らかにした。本論文で構築したこれらの設計解析手法は、月惑星探査機の着陸問題に対して運動量交換型衝撃吸収機構という選択肢を新たに与え、その技術基盤の構築を達成したもので、学術上、工業上寄与するところが大きい。よって、本論文提出者櫛田陽平君は、博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。