

報告番号	甲 第 11596 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

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

氏 名 櫛田 陽平

論 文 内 容 の 要 旨

建造物の床衝撃に代表される構造物の衝撃応答の制御は重要な工学的課題であり、衝撃に伴う構造物の加速度応答や伝達力の低減を目的として運動量交換型衝撃吸収ダンパ (Momentum Exchange Impact Damper: MEID) が提案されてきた。本研究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る。粘性減衰を示すダッシュポットとの混用を避ける目的から、MEID を運動量交換型衝撃吸収機構 (Momentum Exchange Impact Absorption Mechanism: MEIAM) と呼称し、その月惑星探査機の着陸問題への適用を議論する。

月面に着陸する探査機は、探査の目的に応じて、極地方、赤道域、高緯度、月の裏側など、さまざまな所へ降りなければならない。しかしながら着陸地点は平坦とは限らず、傾斜や段差、岩などの障害の存在も考えられる。すなわち、今後はより高度な科学探査要求から、今まで避けられてきた傾斜地や岩石の多い不整地へも安全かつ確実に着陸する必要がある。したがって、不安定な着陸の際も探査機の転倒を防ぎ、降りたいところに降りられる技術の開発は最重要課題である。このような課題に対する MEIAM の設計論はこれまで試行錯誤的なパラメータ設計にて議論されており、その理論解析は十分行われていない。本研究では、月惑星探査機の着陸問題を例に、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 設計論を展開し、その月惑星探査機への応用を議論する。

本論文は 6 章で構成される。1 章は序章である。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議論している。そして、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章の議論にならない、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、本論文では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、月惑星探査機の着陸問題を例に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。今後の課題として、2次元運動において MEIAM により本体質量の変位、速度、角速度を 0 にする最適設計論の理論解析、JAXA との共同研究による実ミッションへの応用および月惑星探査機以外の制御対象に対する本研究で得られた知見のスピノフがあげられる。