

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360104

研究課題名(和文) 惑星探査機着陸時の衝撃応答制御に関する研究

研究課題名(英文) Study on Shock Response Control of Planetary Exploration Spacecraft Landing

研究代表者

原進 (HARA, Susumu)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40329850

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円、(間接経費) 4,440,000円

研究成果の概要(和文)：機械構造物の衝撃による応答を制御するために、運動量交換の原理やエネルギー交換の原理により衝撃の影響をコントロールする機構や制御手法の提案と、次世代惑星探査機の着陸時衝撃応答制御への応用を目指した研究である。本研究から提案された複数の機構や手法により、月や惑星に着陸する際の探査機のリバウンドを抑えたり、転倒の防止を図り、ロバストで高信頼な着陸機構が実現できることをシミュレーションならびに実験により明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to control shock response of mechanical structures, this study proposes mechanisms and control methods by means of the momentum exchange principle and the energy exchange principle and aims for their applications to shock response control of next generation planetary exploration spacecraft. Simulation and experimental investigation shows that the plural mechanisms and methods proposed by this study enable us to reduce rebound motion and prevent tumbling at lunar/planetary landing and realize robust and high reliable landing.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：惑星探査 機械力学・制御 制御工学 航空宇宙工学 衝撃

1. 研究開始当初の背景

(1) 機械構造物を適用するさまざまな分野において衝撃の影響が問題となっていた。ダッシュポットなど粘性減衰により、衝撃の影響を減衰させる方法の他に、本研究の連携研究者の一人である松久らは、運動量交換原理に基づいた過渡特性に優れた衝撃応答制御法を考案し、建築構造物への応用などに関する研究に取り組んでいた。ただし、この制御は基本的にパッシブ要素のみから成る機構で実現されるため、パラメータ変動に対するロバスト性などは十分とはいえなかった。

(2) 探査機を用いた月惑星探査においても探査機着陸時の衝撃応答制御問題は重要である。従来は、ハニカムクラッシュなど塑性変形を利用した衝撃力の吸収が中心であったが、将来の探査活動を考慮すると、着陸場所を限定せずに高度な着陸ができる機構が求められる。すなわち、斜面や段差といった厳しい地形でも探査機が転倒すること無く着陸するための機構が必須であり、かつハニカムクラッシュなどと異なり地上試験した機構を実際のミッションで利用できることが望ましい。

2. 研究の目的

機械構造物における衝撃による応答を制御するために、研究代表者らは連携研究者松久らの先駆的な研究に着想を得て、アクティブ制御を導入した運動量交換型ダンパ (MEID: Momentum Exchange Impact Damper) 機構を提案した。この機構は運動量交換を意味する玉突き原理とアクティブ制御の融合により衝撃の影響を自在にコントロールする機構であり、パラメータ変動に対する一定のロバスト性も確認されている。本研究ではこの機構とその制御手法を発展させることで、実際の問題としてニーズの高い複数衝撃を受ける多自由度の制御問題に適用できるようにする。その応用として、次世代惑星探査機の着陸時衝撃応答制御に活用し、リバウンドや転倒の防止を図り、ロバストで高信頼かつ経済的な着陸機構の実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) 最も基本的な1次元1自由度の衝撃応答制御問題を取り上げ、リバウンドを最小化するためのMEID機構における最適なパッシブ要素のパラメータに関する考察、ならびにパッシブ要素とアクティブ制御を併用するハイブリッド制御機構の提案を行った。

(2) 上記(1)の内容を実験的に検証する目的で、多次元多自由度の実験的検討にまで拡張可能な多脚落下衝撃実験システムの設計と製作を行った。

(3) MEID機構においてダンパ質量を上方に飛ばす方式の運動量交換のみならず、別のダンパ質量を下方に落とす方式の併用が加速度応答の抑制などに効果的であることを明らかに

した。

(4) 振動系を有する対象に衝撃力が入力される際の検討をシミュレーションと実験により実施した。

(5) 運動量交換型と並行して、ポテンシャルエネルギーと運動エネルギーを交換しながら同様の衝撃応答制御を達成できるエネルギー交換型についても考案した。

(6) (3)における上下両方向へ運動量交換を行う手法に関し、一つのダンパ質量のみで上下両方向の運動量交換を実現する手法を確立した。その上で、この手法も含めた運動量交換型ダンパ機構の2次元2脚装置への拡張について検討した。

(7) エネルギー交換型の研究については着陸時の親機子機分離制御に関して、シミュレーションのみならず実験的にもその有効性を確認した。

4. 研究成果

(1) 3.方法の(1)ならびに(2)に対する成果として、MEID機構において剛性の最適化がリバウンド抑制に大きな役割を果たしていることを明らかにし、この知見をもとにアクティブ制御を併用して見かけの剛性を理想的な値に近づける剛性制御手法を導入した。図1のような1次元1自由度のみの運動を考えた基本的な実験装置を製作し、シミュレーションと実験により剛性制御のリバウンド抑制性能や着地面パラメータの変動に対するロバスト性を示した。なお、図1の装置は多次元多自由度の実験的検討にまで拡張可能なシステムとして設計製作されている。

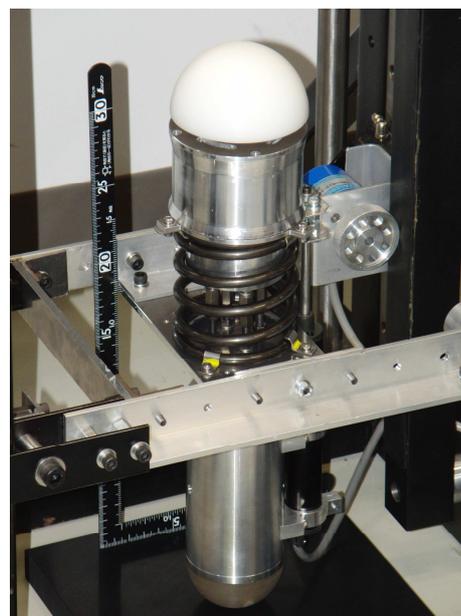


図1 MEID機構実験システム

(2) 3.方法の(3)に対する成果として、上下方向に運動量交換が可能なG-MEID (Generalized-MEID) 機構を導入し、その有

効性をシミュレーションにより示した。

(3) 3.方法の(4)に対する成果として、2台の自走台車から成る水平移動型の実験システムを設計製作し、シミュレーションと実験による検討を行った。

(4) 3.方法の(5)に対する成果として、エネルギー交換の原理を具体化した、親機子機分離着陸機構 (BESM: Base Extension Separation landing Mechanism) を提案した。

(5) 3.方法の(6)に対する成果として、一つのダンパ質量のみで上下両方向の運動量交換を実現できる G-MEID-A (G-MEID-Advanced) 機構を考案した。これは上下両方向で運動量交換の望ましいタイミングが異なる点に着目したことで導かれた手法であり、本手法により探査機への搭載質量の削減が可能になる。さらに、本機構の2次元2脚装置モデルへの拡張を図るとともに、その有効性をシミュレーションにより確認した。このシミュレーションを通じ、2次元問題における衝撃応答制御の原理が明らかにされた。これまで1次元での問題においてはリバウンド抑制性能を中心に考察してきたが、2次元での問題を検討することによって、本研究が提案する制御方式が探査機の転倒防止に有効であることを明らかにした。

(6) 3.方法の(7)に対する成果として、図2のような BESM 実験システムを作成し、衝撃応答制御性能のみならず、子機の飛行軌跡制御も有効に機能することを実験的に明らかにした。さらに、BESM についても2次元2脚装置モデルへの拡張を検討し、シミュレーションにより段差着陸時の転倒防止性能が確認された。



図2 BESM 実験システム

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Yohei KUSHIDA, Susumu HARA, Masatsugu OTSUKI, Yoji YAMADA, Tatsuaki HASHIMOTO and Takashi KUBOTA, Robust Landing Gear System Based on a Hybrid Momentum Exchange Impact Damper, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 査読有, Vol. 36, No. 3, 2013, pp. 776-789
DOI: 10.2514/1.58373
- ② Yohei KUSHIDA, Susumu HARA, Masatsugu OTSUKI and Yoji YAMADA, Shock Response Control Using MEIDs –Consideration of a Single-Axis Falling-Type Problem–, Transactions of the JSASS, Aerospace Technology Japan, 査読有, Vol. 10, No. ists28, 2013, pp. Pd_67-Pd_75
DOI: 10.2322/tastj.10.Pd_67
- ③ 原 進, 渡辺 翼, 榎田陽平, 大槻真嗣, 山田陽滋, 松久 寛, 山田啓介, 橋本樹明, 久保田孝, 運動量交換原理に基づいた惑星探査機の着陸応答制御の研究 日本機械学会論文集C編, 査読有, Vol. 78, No. 792, 2012, pp. 2781-2796
DOI: 10.1299/kikaic.78.2781

[学会発表] (計13件)

- ① Zhenyu GAN, Tsubasa WATANABE and Susumu HARA, Application of Momentum-Exchange-Impact-Damper to a Horizontal Collision Problem, The 2014 IEEE International Conference on Industrial Technology (IEEE-ICIT 2014), 2014年2月27日, Haeundae Grand Hotel (韓国釜山広域市)
- ② 原 進・石川 凌・大槻真嗣・渡辺翼・佐伯直亮, 親機子機分離機構を備えた月惑星探査機着陸機構の2次元シミュレーション, 第14回宇宙科学シンポジウム, 2014年1月9日~2014年1月10日, 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所 (神奈川県)
- ③ 榎田陽平, MEID機構を用いた衝撃応答制御 –複数脚着陸システムによる検討–, 第56回自動制御連合講演会, 2013年11月16日, 新潟大学 (新潟県)
- ④ 渡辺 翼・原 進・大槻真嗣, 2次元解析と複数MEIDを用いた惑星探査機の着陸応答制御, 第57回宇宙科学技術連合講演会, 2013年10月9日, 米子ビッグシップ (鳥取県)
- ⑤ Tsubasa WATANABE, Susumu HARA and Masatsugu OTSUKI, Application of Plural Momentum Exchange Impact Dampers to Landing Gear Systems, The 64th International Astronautical Congress (IAC 2013), 2013年9月24日, China National Convention Center (中国北京市)

- ⑥ Naoaki SAEKI, Susumu HARA, Masatsugu OTSUKI, Tsubasa WATANABE and Yoji YAMADA, Base-Extension Separation Mechanism for Planetary Exploration Spacecraft Landing, The 29th International Symposium on Space Technology and Science (29th ISTS), 2013年6月4日, 名古屋国際会議場 (愛知県)
- ⑦ Naoaki SAEKI, Gear-Part-Flying Mechanism for Planetary Exploration Spacecraft Landing, The 22nd IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2013), 2013年5月30日, Sunworld Dynasty Hotel Taipei (台湾台北市)
- ⑧ 渡辺 翼, 原 進, 大槻真嗣, 惑星探査機着陸機構—発展型GMEIDの提案, 第13回宇宙科学シンポジウム, 2013年1月8日~2013年1月9日, 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所 (神奈川県)
- ⑨ 渡辺 翼・原 進・大槻真嗣・山田陽滋・橋本樹明・久保田孝, 運動量交換原理に基づいた惑星探査機の着陸応答制御の研究, 第56回宇宙科学技術連合講演会, 2012年11月22日, 別府国際コンベンションセンター (大分県)
- ⑩ Yohei KUSHIDA, Susumu HARA, Masatsugu OTSUKI, Yoji YAMADA, Tatsuaki HASHIMOTO and Takashi KUBOTA, Fundamental Study of Momentum-Exchange-Impact-Damper-Based Robust Landing Gear, The 2012 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference (GNC 2012), 2012年8月13日, Hyatt Regency Minneapolis (米国ミネソタ州)
- ⑪ 原 進, 渡辺 翼, 榎田陽平, 大槻真嗣, 山田陽滋, 松久 寛, 山田啓介, 橋本樹明, 久保田孝, 運動量交換原理に基づいた惑星探査機の着陸応答制御の研究, 第12回宇宙科学シンポジウム, 2012年1月5日~2012年1月6日, 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所 (神奈川県)
- ⑫ 榎田陽平, 原 進, 大槻真嗣, 山田陽滋, 橋本樹明, 久保田孝, ハイブリッド型MEID機構を用いた衝撃応答制御, 日本機械学会第12回「運動と振動の制御」シンポジウム, 2011年6月29日, メルパルク長野 (長野県)
- ⑬ Yohei KUSHIDA, Susumu HARA, Yoji YAMADA and Masatsugu OTSUKI, Shock Response Control Using MEIDs—Consideration of a Single-Axis Falling Type Problem—, The 28th International Symposium on Space Technology and Science (28th ISTS), 2011年6月10日, 沖縄コンベンションセンター (沖縄県)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計2件)

名称: 衝撃緩和及び跳ね返り低減システム、及び方法
 発明者: 大槻真嗣・原 進・佐伯直亮
 権利者: 独立行政法人宇宙航空研究開発機構
 種類: 特許
 番号: 特許願 2014-072822 号
 出願年月日: 2014年3月31日
 国内外の別: 国内
 (特許願 2013-076122 号の改良発明出願)

名称: 衝撃緩和及び跳ね返り低減システム、及び方法
 発明者: 大槻真嗣・原 進・佐伯直亮
 権利者: 独立行政法人宇宙航空研究開発機構
 種類: 特許
 番号: 特許願 2013-076122 号
 出願年月日: 2013年4月1日
 国内外の別: 国内

〔その他〕
 ホームページ等
<http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/research/>
 (名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻 安全知能学研究グループ 研究のページ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 進 (HARA, Susumu)
 名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号: 40329850

(2) 研究分担者

大槻 真嗣 (OTSUKI, Masatsugu)
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教
 研究者番号: 50348827

山田 陽滋 (YAMADA, Yoji)
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 90166744

(3) 連携研究者

久保田 孝 (KUBOTA, Takashi)
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授
 研究者番号: 90211888

橋本 樹明 (HASHIMOTO, Tatsuaki)
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授
 研究者番号: 70228419

松久 寛 (MATSUHIRA, Hiroshi)
 京都大学・大学院工学研究科・名誉教授
 研究者番号: 00109034