

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 4月10日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656544

研究課題名（和文）メカノクロミズム金属錯体を用いたスペースデブリ衝突貫通穴の位置表示に関する研究

研究課題名（英文）Air-leakage detection system for space-debris impact using mechanochromism metal complex

研究代表者

榎原 幹十郎 (MAKIHARA KANJURO)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：60392817

研究成果の概要（和文）：デブリ衝突修復の為に空気漏れ穴箇所を知らせる表示システムを実験的に検討した。急激な温度・圧力上昇をトリガーとして発光・蓄光する「メカノクロミズム金属錯体」を宇宙機の与圧壁内側に塗布した。超高速衝突で剥離しない接着剤の選定を行った。選定の結果、衝突周辺物質は一緒に剥がれることなく、ハロー形状に物質がバンパーに残存していることが確認された。メカノクロミズム金属錯体をアルミ板に接着させることが出来ることを実証した。更に、スペクトル分光装置を用いて、衝突前後で Fe 錯体と Eu 錯体のメカノクロミズム金属錯体の発光スペクトルが有意に変化していることを確認した。

研究成果の概要（英文）：The air-leakage detection system for space-debris impact was experimentally investigated. The mechanochromism metal complex that becomes luminescent due to the rapid increase of temperature and pressure was applied to pressurized chambers. We selected the glue that can remain on the aluminum bumper even after the hyper-speed impact. Consequently, the mechanochromism metal complex was shown to survive and remain on the bumper, instead of being peeled, after the impact shock. Furthermore, using a spectral instrument, we confirmed that both Fe complex and Eu complex had a significant alternation in emission spectrum after the hyper-speed impact.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：航空宇宙環境，スペースデブリ

1. 研究開始当初の背景

- (1) 宇宙開発において、宇宙で長期運用されるスペースステーションがスペースデブリと衝突する問題は避けて通れない。スペースデブリと低軌道上の宇宙人工物の衝突では、その相対速度が 7 km/s にもなる。今後さらなる有人宇宙開発、

宇宙商業が盛んになれば、安全性が一番の問題になるだろう。現在の防護対策として、国際宇宙ステーションの実験モジュールには、スタッフィング入りのダブルバンパシールドが設置されている。しかし、NASA と JAXA の示すデブリシールドの貫通限界曲線によると、デブリが

平均衝突速度 7 km/s で衝突した場合、防護できるサイズは直径約 1.3 cm までである。観測技術限界のために、地上から追跡可能なデブリサイズは 10 cm 以上であるため、1–10 cm のサイズのデブリに関しては常に危険である。

- (2) 本研究チームは「あらゆるデブリ衝突に対して、現在のテクノロジーで、空気漏れ穴が生じない設計は不可能である」との確信に至った。そこで、スペースデブリ衝突穴が生じない設計よりも、衝突貫通穴が生じることを前提とする。その前提で、衝突後の穴修復作業に有益な空気漏れ貫通穴情報をスペースクルーに与える方法が現状での喫緊の重要課題であるとの考えに辿り着いた。
- (3) デブリ衝突後には、その衝撃により電源系統がダウンする可能性が高い。よって、暗闇の中でも衝突穴の位置特定ができ、迅速に修復できるよう、衝突穴周りが蓄光効果により発光し続けるシステムの構築は課題解決の一つである。

2. 研究の目的

- (1) 衝突貫通穴を修復する為に、暗闇状況下でも蓄光効果により光り続けるシステム構築の基礎実験を研究目的とする。衝突後の空気漏れ穴を発光表示させる機構として光化学錯体であるメカノクロミズム金属錯体を用いる。近年発見・創設した新規物質であることから応用活用のポテンシャルは高い。メカノクロミズム金属錯体は粉末物質である為、壁塗料に混ぜることができ、宇宙構造にとって重量増にならない利点がある。
- (2) メカノクロミズム金属錯体が温度上昇に伴って発光し、その発光スペクトルの変化を確認することを研究目的とする。

近年開発されたばかりなので、超高速変形に対する詳細な特性は分かっていない。例えば、超高速衝突で生じる過激な温度や圧力の上昇が、メカノクロミズム金属錯体の光化学に与える詳細影響は未知である。

- (3) 更に、塗布塗料物質の最適な塗布量や塗布方法の基礎検討も研究目的の一つとする。メカノクロミズム金属錯体が剥落・飛散しにくいように強固に保持する塗料物質を選定する。

3. 研究の方法

超高速衝突実験には、「JAXA/ISAS のスペースプラズマ実験施設にある新型二段式軽ガス銃」と「東北大学・流体科学研究所にある一段式火薬銃」の二つの施設を用いた。

実験手順としては、最適化したメカノクロミズム金属錯体と塗布塗料物質を混ぜ合わせ最適厚さでアルミ標的板の二枚目に塗る。計測装置を設置した後、実際に超高速衝突実験を行った。本研究では、衝突貫通穴周辺に塗料物質が残っていることを設計目標とし、衝突中心そのものの裏面の塗料物質の剥落・飛散は許容する方針を取った。

衝突直後に防護壁に塗ったメカノクロミズム金属錯体の一部は飛散する。高速度カメラを用いてその飛散様子を捉えた。捉えた飛散状況と飛散後のアルミ板状況を見ながらフィードバックし、飛散しにくい塗布剤の塗布量・塗布方法を検討した。

4. 研究成果



図1 超高速衝突実験装置

(1) メカノクロミズム金属錯体と塗布剤を混合し、宇宙ステーションの Whipple bumper を模擬した二枚組アルミ板の、二枚目内側に塗る。2 段式軽ガス銃を用いて、スペースデブリ衝突を模擬した超高速衝突実験（図 1）を行い、貫通穴の周りが長い間発光するか検証した。図 2 に示す二枚目バンパーに小さな穴やスポーリングが生じる程度の衝突構成を事前の見積り通りの実験が行われた。

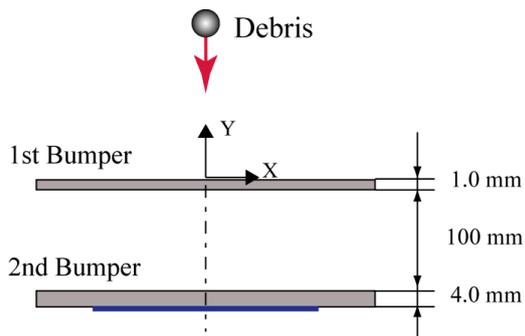


図 2 超高速衝突実験の構成図

<超高速衝突実験の構成>

- ① プロジェクトイル：ナイロン製
 - ② プロジェクトイル：球体と円筒の形状
 - ③ 飛翔速度：2km/s と 7 km/s
- 多様な化学物質や接着剤を試すために、数多くのショット回数を必要とした。

(2) 超高速衝突で剥離しない塗布剤の選定を進めた。超高速衝突実験に於いて、剥離の少ない最適な塗布剤を決定できた。この知見は粉末のメカノクロミズム金属錯体をバンパーに保持する為に、非常に有益な情報である。衝突箇所近傍では急激な衝撃波生成により剥がれたが、周辺物質は一緒に剥がれることなく、物質がバンパーに残存していることが確認された。当初の予定通りにメカノクロミズム金属錯体をアルミ板に塗布させることが出来ることを実証した。

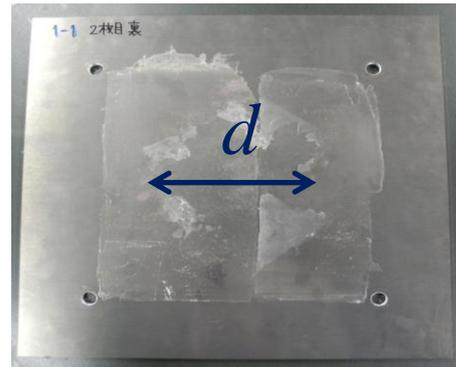
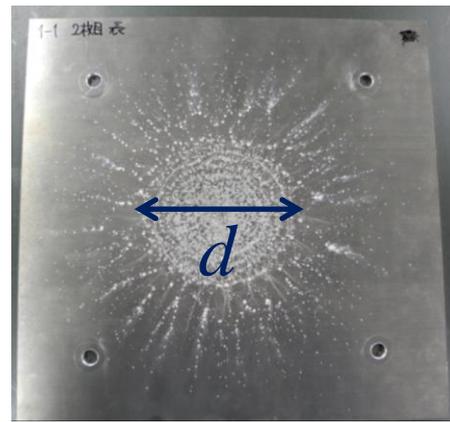
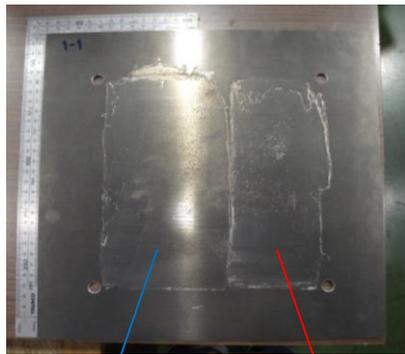


図 3 表面の衝突痕の領域

図 4 裏面の金属錯体の剥落領域

(3) 図 3 と図 4 は、同一バンパーの表裏である。両図から見えるように、バンパー表面の衝突痕の領域と、裏面の金属錯体の剥落領域はほぼ一致していることが複数回の超高速実験で確認された。

(4) 図 5 で示したバンパーを用いて、Fe 錯体と Eu 錯体の両方の金属錯体の発光・発色実験も行った。分光装置を用いて、衝突前後で Fe 錯体と Eu 錯体のメカノクロミズム金属錯体の発光スペクトルが有意に変化していることを確認した（投稿論文等で公表する予定であるため、ここに掲載しない）。超高速衝突による金属錯体の発光スペクトルの変化は、今回得られた研究の大きな研究結果の一つである。



Fe 錯体

Eu 錯体

図5 バンパーに塗った金属錯体

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)

[学会発表] (計4件)

1. 根元翔, 高橋諒, 榎原幹十郎, 「大型宇宙構造物のスペードブリ衝突損傷に関する研究」, 日本機械学会東北支部第48期総会講演会, 2013年3月15日, 宮城
2. 根元翔, 榎原幹十郎, 長谷川美貴, 高橋諒, 櫻井翔也, 佐藤沙紀, 土屋垣内絢子, 長谷川直, 「光化学物質のデブリ衝撃に対する接着検討と斜めデブリシールド」, 平成24年度スペースプラズマ研究会, 2013年2月26日, 神奈川
3. 高橋諒, 根元翔, 榎原幹十郎, 「電磁誘導制御型テザーとデブリ衝突に関する研究」, 第55回自動制御連合講演会, 2012年11月17日, 京都
4. 榎原幹十郎, 長谷川美貴, 高橋勇雄, 下瀬滋, 高橋諒, 根元翔, 櫻井翔也, 土屋垣内絢子, 佐藤沙紀, 「メカノクロミズム金属錯体を用いたスペースデブリ衝突貫通穴の位置表示に関する研究」, 平成23年度プラズマ研究会, 2012年2月26日, 神奈川

6. 研究組織

(1)研究代表者

榎原 幹十郎 (MAKIHARA KANJURO)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：60392817

(2)研究分担者

長谷川 美貴 (HASEGAWA MIKI)

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号：70306497

下瀬 滋 (SHIMOSE SHIGERU)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙

科学研究本部・主任開発員

研究者番号：80443282