

【研究費区分】：国際共同研究支援枠

【研究代表者所属】：システムデザイン学部 航空宇宙システム工学科

【研究代表者氏名】：小島広久

【研究代表者氏名フリガナ】：コジマ ヒロヒサ

【研究代表者職】：教授

【国内研究分担者（所属,氏名,職）】

- ・システムデザイン学部 航空宇宙システム工学科, 佐原宏典, 教授
- ・システムデザイン学部 航空宇宙システム工学科, 鳥阪綾子, 助教

【国外研究分担者（所属,氏名,職）】

- ・RMIT 大学, Trivailo, Pavel M., 教授
- ・Monterey Institute of Technology, Keshtkar, Sajjad, 教授

【研究課題名】：

「テザー・ネットシステムを用いた小型衛星デブリ除去に関する研究」

【研究実績の概要（600～800字程度で記入。図，グラフ等の使用も可。）】

本研究では lumped-parameter 法を使用し、紐やネットなどの柔軟構造物を多数の質点同士の結合として離散化し、質点それぞれに対して運動方程式を解いて系全体の運動を表現した。ネットの素材を弾性体とすると、質点同士の結合は単純なバネ-ダンパー系として表現することができ、解くべき運動方程式の導出が容易となる。本研究で想定した網の展開形状を図1に示す。この網は防犯用ネット（ネットランチャー）を参考に設定した。重力や空気抵抗を無視できる宇宙空間で、デブリ捕獲衛星からデブリに向かって折り畳まれた網を展開するように射出、射出直後からデブリとの接触数秒後までシミュレーションし、様々な条件のもとデブリとの接触位置を変化させ、網の挙動を比較した。変化させたパラメータは、デブリまでの距離、デブリ（球体）の半径、ネットの射出速度、網中心からのデブリ中心位置のオフセット方向とオフセット距離（図2）の5つである。なお、汎用性を高めるため、ネットの辺長さ L_{net} による正規化を行い、変化させるパラメータのうちオフセット方向 θ を除いた4つは、 L_{net} に対する百分率で表したパラメータ：無次元デブリ距離 \bar{R}_{deb} 、無次元射出速度 \bar{V}_{CM} 、無次元デブリ半径 \bar{D}_{deb} 、無次元衝突オフセット距離 \bar{a} を比較用のパラメータとし、全部で157条件のシミュレーションを行った。うち代表的なものを2ケースの網の挙動の様子を図3に示す。また、射出速度 $\bar{V}_{CM} = 60[\%]$ 、オフセット角度 $\theta = 0 [\text{rad}]$ の場合における、捕獲可能な接触許容範囲 \bar{a} についてまとめた結果を表1に示す。網を用いたデブリ捕獲時における接触許容範囲は、デブリが大きくなり距離が近くなると小さくなること、射出速度が速くなるにつれて接触許容範囲が僅かながら小さくなる条件があること、また、ずれ量 $\bar{a}=15 [\%]$ 付近を境に捕獲が成功する条件が厳しくなることが分かった。

以上の成果は、平成31年度日本航空宇宙学会年会および70回IACにて発表予定である。今後は防犯用ネット（ネットランチャー）を用いたデブリモデル捕獲実験を行い、網とデブリモデルの衝突・捕獲

の様子を高速カメラで撮影し、画像解析によって捕獲の成否を決定づけるパラメータのより詳細な解析を行う予定である。

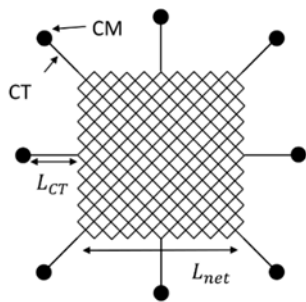


図 1 網の展開形状

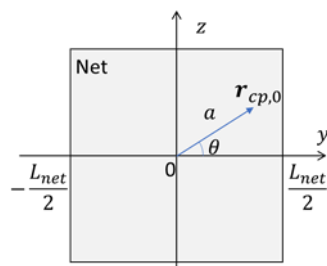


図 2 衝突位置オフセット方向・オフセット距離

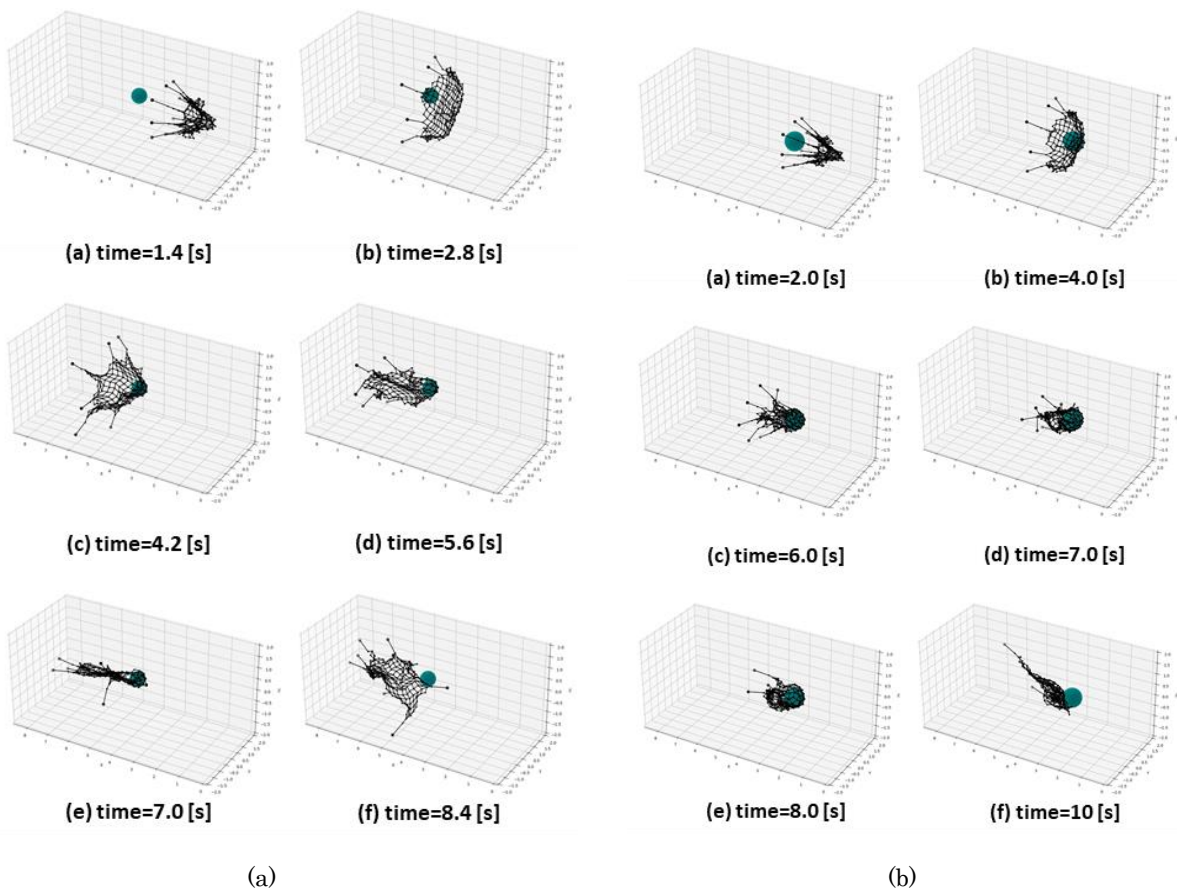


図 3 衝突の様子

(a) $\bar{R}_{deb} = 10$ [%], $\bar{V}_{CM} = 100$ [%], $\bar{D}_{deb} = 100$ [%], $\bar{a} = 15$ [%], $\theta = 0$ [rad]

(b) $\bar{R}_{deb} = 13$ [%], $\bar{V}_{CM} = 60$ [%], $\bar{D}_{deb} = 50$ [%], $\bar{a} = 5$ [%], $\theta = 0$ [rad]

表 1 $\bar{v}_{CM} = 60[\%]$, $\theta = 0 [\text{rad}]$ における捕獲可能な許容オフセット距離範囲 \bar{a}

\bar{D}_{debris} [%]	\bar{R}_{debris} [%]					
	5	8	10	13	16	20
50	15	10	5	0	0	-
100	25	15	15	10	0	-
150	25	25	25	15	10	-

【学会発表（発表題目，発表大会名，年月を記入）】

- Keshtkar, N., Keshtkar, S., Moreno, J. A., Poznyak, A.S., Kojima, H.: LMI-Based Sliding Mode Control of an Underactuated Control Moment Gyroscope System, Second IFAC Conference on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems, Guadalajara, Mexico, June 20-22(2018).
- Trivailo, P. M., Kojima, H.: Augmented Control of Inversion of the Spinning Spacecraft, using Inertial Morphing, 69th IAC, Bremen, Oct.1-5 (2018).
- Taniguchi, C., Kojima, H., Trivailo, P. M.: Arm/CMG Cooperative Control of Space Robot Satellite, 69th IAC, Bremen, Oct.1-5 (2018).
- Kojima, H., Trivailo, P. M.: Evaluation of Transition Performance to Jupiter Orbit Using Electrodynamic Tether System, 27th International Symposium on Space Flight Dynamics (ISSFD), Melbourne, Feb. 24-26 (2019).
- Trivailo, P. M., Kojima, H.: Enhancement of the Spacecraft Attitude Dynamics Capabilities via Combination of the Inertial Morphing and Reaction Wheels, 18th Australian International Aerospace Congress (AIAC18), Melbourne, Feb. 24-26 (2019).
- 小島広久, 石川尚平: モデル予測制御を用いたテザースリングショットにおける振動安定化, 第 62 回宇宙科学技術連合講演会, 久留米, 2018 年 10 月 24-26 日.
- 遠藤優太, 小島広久: 宇宙デブリ捕獲用テザーネットのデブリ捕獲のための接触許容範囲に関する研究, 日本航空宇宙学会 第 50 期年会講演会, 東京, 2019 年 4 月 19 日 (発表予定).
- Kojima, H., Trivailo, P. M.: Model Predictive Tether-deployment for Precise Release of Tethered Reentry Body, 6th International Conference on Tethers in Space (TiS 2019), Madrid, Spain, Jun. 12-14 (2019) (発表予定).
- Endo, Y., Kojima, H., Trivailo, P. M.: Study on Contact Point Tolerance of Tethered Net for Capturing Space Debris, 70th IAC, Washington D.C., USA, October 21-25 (2019) (発表予定).

【論文発表又は著書発行（発表題目，著者，発表誌又は出版社，年月を記入）】

- 小島広久, Trivailo, P. M.: 宇宙テザーシステムの制御, 計測と制御, Vol.57, No.4, pp.229-234, 2018. (解説: 特集 航空宇宙の制御技術) .
- Kojima, H., Trivailo, P. M., Watanabe, T., and Fujii, H.A.: Numerical Simulation of Tape Tether Deployment from a Storage Container, Transactions of JSASS, Aerospace Technology Japan, Vol.16,

No.7, pp.604-612(2018).

【科学研究費補助金への応募状況, 採択状況】

- ・科研費基盤研究(C) 「内部特異点フリーなシザース・ペア・ダブルジンバル CMG の開発と駆動制御法の研究」 小島(代表) 応募中

【国等の提案公募型研究費, 企業からの受託研究費・共同研究費の獲得状況】

- ・カシオ科学振興財団 「CMG 搭載型宇宙ロボットにおけるアーム動作と CMG 駆動の協調制御に関する研究」 小島 (代表) 2018 年度 継続 (2017-2018 年度総額 1,000 千円)
- ・NSK メカトロ技術高度化財団 「シザース・ペア・ダブルジンバル・コントロールモーメントジャイロの研究開発」 小島 (代表) 採択 2019-2020 年度 2,000 千円
- ・一般財団法人笹村工学奨励会 「捕獲網を用いた宇宙デブリ捕獲における捕獲成功条件解明のための実験的研究」 小島 (代表) 1,000 千円, 応募中

【受賞等】

- ・IEEE, Senior Member, 2018 年 10 月 小島広久

【その他社会貢献】

【公的審議会・委員会等の公的貢献, 生涯学習支援・普及啓発, 国際貢献・国際交流等】

- ・Monterey Institute of Technology から学部生 6 名を短期研修生として 1 ヶ月受け入れた
- ・ISTS 出版委員長, 出版委員会幹事, d-session 委員 (小島)
- ・Monterey Institute of Technology との部局間協定の提案(小島:窓口教員)

【研究成果による特許等の工業所有権の出願・取得状況】

(工業所有権の名称,発明者,権利者,工業所有権の種類・番号,出願年月日,取得年月日)

- ・なし

【研究分担額】

(研究代表者・分担者名,所属,金額 (円))

- ・小島広久, システムデザイン学部航空宇宙システム工学科, 930,000 円
- ・佐原宏典, システムデザイン学部航空宇宙システム工学科, 70,000 円