

P2-130 スピン型ソーラー電力セイルの燃料フリー姿勢制御のための可変反射率デバイスの開発と最適制御則の研究

菅野 剛(東海大), 船瀬 龍(東大)

本研究の概要

IKAROSで実証した太陽光圧を用いたスピン型ソーラーセイルの燃料フリー姿勢制御手法を、実際の長期・長距離のミッションに適用可能なものとするため、以下の研究を実施した。

1. セイルの変形を考慮した姿勢制御トルクモデルの構築

- 任意の形状変形に対応した姿勢制御トルクモデルを導出し、任意の形状変形や切り替え位相時の発生姿勢制御ベクトルについて可視化した
- 発生姿勢制御ベクトルについて可視化した結果から、RCDを用いて、任意の3軸姿勢制御トルクを発生することを確認した

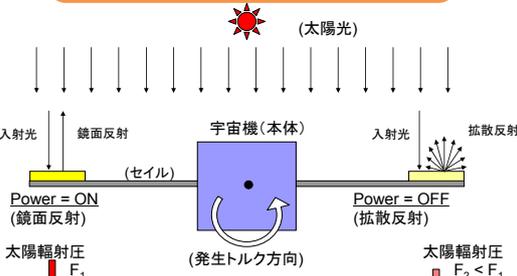
2. IKAROSのフライトデータを用いたセイル変形量の算出

- IKAROSのフライトデータを用いて、セイルの変形量(たわみ角やねじれ角)について算出した
- セイルの変形により発生姿勢制御ベクトルが影響するため、RCDの最適制御則を検討する上で重要となるセイル変形量の算出方法について確立した

3. 実ミッションを目指したRCDの長寿命化

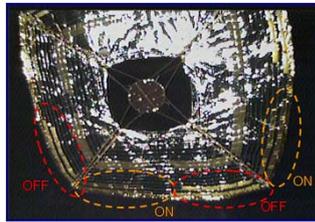
- IKAROSミッションでは、ミッション期間の半年分の宇宙環境耐性までは確認していたが、将来の実用ミッションに向けて、長期・長距離の航行に耐えられるRCDの開発が必要
- RCDの液晶材料のみに紫外線を照射させて、液晶材料単体の紫外線耐性について評価した

RCDを用いた太陽光圧による燃料フリー姿勢制御システム

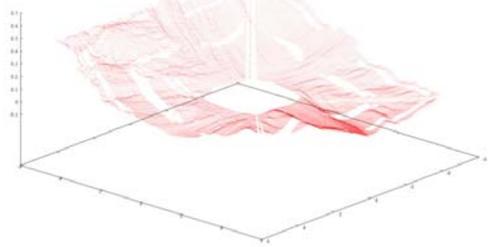


電氣的に光圧のアンバランス作り出す
 → 燃料を使用せず姿勢制御トルクを発生
微小トルクを連続的に発生
 → 膜面の振動を励起しない制御が可能

本研究の動機 (IKAROSのフライト結果から)



IKAROSの分離カメラによって撮影された画像を解析した結果、**ソーラーセイルの軌道上でのRCDの動作を確認**

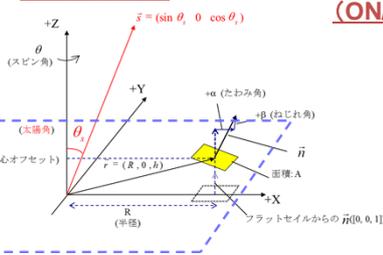


IKAROSの分離カメラによって撮影された画像を解析した結果、**ソーラーセイルの形状は大きく変形しうること、変形が姿勢制御トルクに与える影響が無視できないことが分かった**

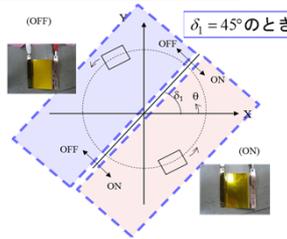
変形を考慮した姿勢制御トルクモデルの必要性が明らかになった

任意の形状変形に対応した姿勢制御トルクモデル

座標系の定義

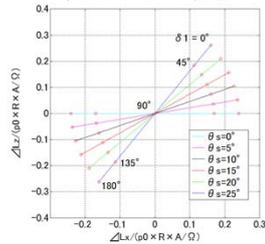
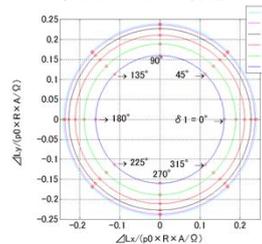


RCDのスイッチング制御則 (ON/OFF切り替えタイミング)

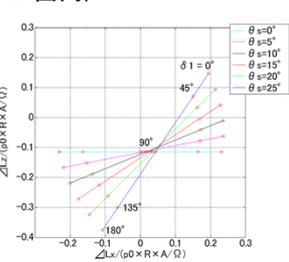


任意の切り替え位相δ₁に対する発生姿勢制御ベクトルのモデル

- セイルに変形がない場合 (X-Y 面内)
- セイルに変形がない場合 (X-Z 面内)



- セイルにねじれ(+β)がある場合 (X-Z 面内)



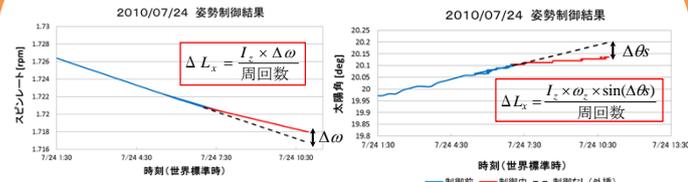
姿勢制御の可制御性の検討

適切なδ₁を選択することによりXY面内で望みのトルクを出せるが、±Z方向のトルクも同時に発生してしまう

ねじれ角βを有するRCDを設置し、スイッチング制御位相δ₁=0度とδ₁=180度で制御を行えば、±Z方向のみのトルクも出力可能

任意の3軸姿勢制御トルク発生可能

IKAROSのフライトデータよりセイルの変形量の算出



$$\frac{\Delta L_x}{\left(\frac{P_0 RA}{\Omega}\right)} = \frac{1}{2} \left[(4AC_s + 2B_f \Delta C_d) \cos \delta_1 + \beta \pi \beta (3AC_s + B_f \Delta C_d) \right. \\ \left. + (4AC_s + 4B_f \Delta C_d) \cos \delta_1 - (8AC_s + 4B_f \Delta C_d) (\alpha \cos \delta_1 - \beta \sin \delta_1) h \right. \\ \left. + (\alpha^2 + \beta^2) [10AC_s + 4B_f \Delta C_d] \cos \delta_1 \right]$$

$$\frac{\Delta L_y}{\left(\frac{P_0 RA}{\Omega}\right)} = \frac{1}{2} \left[-(4AC_s + 2B_f \Delta C_d) \delta^2 \sin \delta_1 + \pi (2AC_s h + \alpha (3AC_s + B_f \Delta C_d)) \delta \right. \\ \left. + (4AC_s + 4B_f \Delta C_d) \sin \delta_1 - (8AC_s + 4B_f \Delta C_d) (\alpha \sin \delta_1 + \beta \cos \delta_1) h \right. \\ \left. - (\alpha^2 + \beta^2) [10AC_s + 4B_f \Delta C_d] \sin \delta_1 \right]$$

$$\frac{\Delta L_z}{\left(\frac{P_0 RA}{\Omega}\right)} = 2AC_s \beta \cos \delta_1 - \pi \beta (2AC_s + B_f \Delta C_d)$$

例えば、2010年6月24日のフライトデータより

$$\alpha = -8.57[\text{deg}]$$

$$\beta = 3.39[\text{deg}]$$

例えば、2010年7月13日のフライトデータより

$$\alpha = -14.11[\text{deg}]$$

$$\beta = 4.19[\text{deg}]$$

実探査ミッションを目指したRCDの長寿命化

液晶材料単体の紫外線耐性評価

RCDの液晶のみといった素材レベルでの紫外線耐性について評価し、**UV防護層なしで液晶材料単独での環境耐性を評価した**

