

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	曲率を有する膜面デバイスを貼付した宇宙構造物用薄膜の形状評価
Title(English)	
著者(和文)	松下将典
Author(English)	Masanori Matsushita
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10912号, 授与年月日:2018年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松永 三郎,轟 章,古谷 寛,野田 篤司,中西 洋喜,坂本 啓
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10912号, Conferred date:2018/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械宇宙システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	松下 将典		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	松永 三郎	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor (sub)	野田 篤司	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「曲率を有する膜面デバイスを貼付した宇宙構造物用薄膜の形状評価」と題し、以下の6章から構成される。

第1章「序論」では、宇宙構造物としての膜要素を応用したソーラーセイルに着目し、ソーラー電力セイル IKAROS の軌道上実証実験で確認された大型薄膜構造の予想外の面外変形、面外剛性、太陽輻射圧トルクを取り上げる。それら力学的現象は曲率を有する膜面デバイスが大きく影響したと推測されているものの検討は不十分であることを指摘した上で、研究目的として曲率を有する膜面デバイスによる薄膜の面外変形、面外剛性、太陽輻射圧トルクへの影響を解明し、ソーラーセイルにおける膜面デバイス配置の設計指針の確立に向けた有効な方針を示すことを掲げる。

第2章「地上実験用部分膜モデルを用いた曲率を有する膜面デバイス付き矩形膜の変形特性」では、まず、地上実験用部分膜モデルとして、地上実験が容易にできるよう2辺を固定して、1軸張力で遠心力を模擬し、力のモーメントで膜面デバイスの曲率を模擬したスピン型ソーラーセイル膜の一部分を切り出した矩形膜を示す。次に、静解析および準静的な動解析の2通りの幾何学的非線形有限要素解析を行い、3次元形状測定器を用いて部分膜モデルの供試体の形状測定実験を実施し、解析と実験のシワが生じた薄膜形状が定性的に一致することでモデルの妥当性を示し、張力下での膜面デバイス近傍の膜変形特性を明らかにする。

第3章「地上実験用部分膜モデルを用いた曲率を有する膜面デバイス付き矩形膜の振動特性」では、前章の部分膜モデルを対象として、曲率を有する膜面デバイスが面外方向の固有モードの固有振動数に与える影響を見るため、曲率のない膜面デバイス付き膜や膜面デバイスの付いていない平膜と比較しながら、1軸張力下での面外変形後の固有値解析および真空槽内での振動実験を実施する。その結果、面外方向有効質量比が最大の固有振動数と実験で計測された共振振動数の傾向が一致して解析モデルが妥当なことを確認するとともに、部分膜モデルに関する1軸張力と固有振動数の関係を明らかにする。

第4章「軌道上膜モデルを用いた曲率を有する膜面デバイス付き膜の変形特性」では、第2,3章で用いた解析モデルを拡張して複雑化させた軌道上膜モデルとして、ソーラーセイル膜を構成するペタル膜単体に相当する膜面デバイスの付いた自由境界膜を外力無しで扱い、曲率を有する膜面デバイスによる軌道上膜の変形特性を解明する。そのため、膜形状をソーラーセイルの代表的なものを主として幅広く正三角形、正方形、円形、台形等とし、膜面デバイスの枚数、位置、向きを変化させることで、それらによって生成される薄膜上のシワの生成形状パターンを整理している。また、膜面デバイス単体が貼付された場合の正方形膜の変形を比較して、膜面デバイス

2枚が貼付された膜の変形形状を重ね合わせにより表せる膜面デバイス配置を特定する。

第5章「軌道上膜モデルを複数結合した曲率を有する膜面デバイス付きソーラーセイル膜全体の変形特性」では、前章の軌道上台形ペタル膜モデルを用いて、IKAROS および計画中の次期ソーラー電力セイル OKEANOS 同様に複数のペタル膜をブリッジで結合した構成を持つセイル膜全体に解析モデルを複雑化して、曲率を有する膜面デバイスによる膜変形への影響を解析する。膜面デバイスのサイズ、向き、位置をパラメータとし、太陽輻射圧が外力として作用するときの膜の面外変位および膜に生じる太陽輻射圧トルクの特に膜面法線方向成分を求めることで、全体形状を評価する。以上の解析結果から、曲率を有する膜面デバイスの向きで変化するペタルのたわみ方向によって、膜全体がピラミッド型、逆ピラミッド型、鞍型と呼ぶ特徴的な形状に変化する傾向があり、逆ピラミッド型は太陽輻射圧に対して不安定、ピラミッド型と鞍型はともに面外剛性が高く、太陽輻射圧トルクが小さくなる傾向を見出し、ソーラーセイルにおける膜面デバイス配置の設計指針の確立に向けた有効な方針として、膜面デバイスの位置および太陽輻射圧に対する形状安定性および太陽輻射圧トルク制御の観点から鞍型になる膜面デバイス配置が望ましいことを示す。

第6章「結論」では、本論文の結論および今後の課題を示す。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	機械宇宙システム	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 工学 )
学生氏名 : Student's Name	松下 将典		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	松永 三郎	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	野田 篤司	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

In the solar power sail IKAROS demonstration experiment, the unexpected out-of-plane deformation, out-of-plane rigidity and solar radiation pressure (SRP) torque of the thin membrane were observed. These phenomena are estimated to be caused by the thin-film devices with curvature but are insufficiently examined. The purpose of this thesis is to clarify the effects of the thin-film devices with curvature on the deformation, out-of-plane rigidity and SRP torque of membrane structures for design guidelines for thin-film device placement in solar sails.

First, the method to simulate the curved shape of the thin-film device by the moment of force in a ground experimental model of a part of the solar power sail in geometric non-linear finite element analysis is verified by comparing the simulations with the experiments. It is confirmed that the finite element model can qualitatively simulate the shape by the three-dimensional measurements, and the deformation properties of the membrane near the thin-film device are revealed. Moreover, the eigenvalue analysis of the ground experimental model is compared with the vibration experiment to validate the simulation model and uncover the vibration properties.

Second, using the on-orbit membrane model based on the verified simulation model, the deformation properties of membranes without constraints and external force are examined by changing position, direction, and the number of the thin-film device and two-dimensional shape of the membrane. In addition, using the on-orbit membrane models, the deformation, out-of-plane rigidity and SRP torque properties of a solar sail, which consists of four trapezoidal membranes, such as IKAROS and the next solar power sail OKEANOS are elucidated by changing position, direction and size of the thin-film device. It is found that the entire sail membrane deforms into a characteristic shape called a pyramid shape, an inverted pyramid shape, and a saddle shape depending on the direction of the thin-film devices, and the saddle shape is preferable considering shape stability and SRP torque.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).