P3-103 ソーラー電力セイル探査機に向けた大型展開膜面構造に関する研究

奥泉信克(JAXA), 森治(JAXA), 澤田弘崇(JAXA), 名取通弘(早大), 古谷寛(東工大), 松永三郎(東工大), 宮崎康行(日大), 坂本啓(東工大)

膜面の折り畳み展開方式に関する研究

■ 展開膜面モジュールの研究

AFT HER

ソーラー電力セイルを含む将来の大型展開膜面構造物の構築法の研究のため、幾何学的 な考察に基づいた膜面の折り畳み展開パターンや展開方式について検討を行っている. 厚みを考慮した六角形膜面モジュールの折り畳み展開方法として、「らせん折り」と「周方向 折り」がある(Fig.1).四角形モジュールの場合も、同様な考え方が適用でき、らせん折り (Fig.2(a))とそれから派生したパターン(Fig.2(b)),および周方向折り(Fig.2(c))が可能である.派 生パターンは、らせん折りモジュールで平面を敷き詰めたパターンから切り出すことができる. 展開のためのインフレータブルチューブを膜面に埋め込んで折り畳むには、らせん折りでは 半径方向はロールアップ、周方向はジグザグ折りとすればよく、周方向折りでは逆となる、

■インフレータブルチューブを用いた展開膜面構造の研究

六角形膜面の外周にインフレータブルチューブ配置した膜面構造モジュールについて、展 開特性の検討を行っている、膜面の折り畳みは、薄膜太陽電池などの厚みに対応するた め「らせん折り」とし,チューブの折り畳みには,通常のZ折り(ジグザグ折り)と,ガスの流入 経路の広い改良Z折り(Fig.3)を適用した.大きさ約1mの実験室モデルの展開実験を実施し た結果、Z折りよりも改良Z折りの方がスムースで一様に展開することを確認した(Fig.4, 5).

- - -

膜面の収納方法に関する研究

■ 膜面の巻き付け折り畳みによる「しわ」の発生の研究

セイル膜面の巻きつけと折り畳みにおいて生じるしわの発生条件を決定するため、しわの発 生メカニズムを実験とFEM解析によって検討している.巻きつけ張力や層厚が大きく,膜厚が 小さいほどしわが生じにくいこと、しわ周辺では折り目方向の圧縮応力が大きいこと、実験と FEM解析におけるしわの発生状況が類似した傾向であることなどを明らかにした.









Fig.13 Result of FEM analysis

膜面の数値シミュレーションに関する研究

多粒子法や有限要素法の検証と改良

IKAROSのセイル膜面の展開挙動の検証は、主に自主開発した有限要素法と多粒子法のプ ログラムに実際のセイル膜面の様々な特性を取り込むことによって実施してきたが、IKAROS のフライト結果や小型膜面の展開実験(下記)などと比較すると,解析の精度や信頼性などに ついて未だ検証や改良の必要がある.例として,膜面の多粒子モデル(Fig.14)に対して折り目 の剛性や接触、バネの座屈強度、減衰等のモデル化やチューニングを行い、らせん折り膜面 モデルやIKAROSの小型膜面モデルの遠心力展開シミュレーションを行った結果、展開中の形 状(Fig.15)や半径(Fig.16), 面内振動(Fig.17)の解析精度が大幅に改善されることを確認した.



Fig.5 Deployment behavior of hexagonal membrane with inflatable booms

■ 展開支持ブームの調査研究

中型ソーラー電力セイル探査機ではイオンエンジンを用いたハイブリッド推進を行うため、 探査機本体は定常航行中にスピンしないことが必要されている. そのため, IKAROSで実証さ れたスピン展開方式だけでなく、伸展ブームを用いたセイル展開方式についても調査研究を 行い、中型ソーラー電力セイルの ϕ 50m級ソーラー電力セイル膜面に対応する展開・支持方 式や伸展ブームに必要な強度剛性などについて検討している.





Fig.7 Elastic memory composite STEM Fig.8 SPINAR (Composite Technology Development) (ISAS, Well,



膜面の遠心力展開ダイナミクスに関する研究

■小型膜面モデルの真空槽内遠心力展開実験による相似則の研究 IKAROSのセイル膜をスケールダウンした1辺455mm, 膜厚7.5µmの小型膜面モデルの2次 展開実験(Fig.18)を真空槽内で実施し、回転数や折り目幅、真空槽内圧を変えて展開挙動を計 測して,小型モデルの実験結果から実機の展開特性を求める相似則を検討している. 膜面の 曲げ剛性と寸法,密度,折り幅および回転数からなる無次元数πを提案し,無次元数と完全展 開可能性との関係を示した(Fig.19) 1.0E-04





(b) Five-point suspension. (c) Separate quadrants.







Fig.6 Sail suspension patterns (G. Greschik and M.M. Mikulas)

Fig.9 Deployable carbonfiber lenticular boom (DLR)

Fig.10 Inflatable boom with carpenter tapes (JPL/NASA)

ソーラー電力セイル探査機用大径スリップリングの研究開発

IKAROSで実証されたスピン展開方式を踏襲して、スピンする膜面上に搭載した薄膜太陽 電池や機器から、スピンしない探査機本体に電力や信号を伝えるためには、セイル膜面と探 査機本体との間に直径2~3mのスリップリングが必要となる。約10年のミッション期間にリン グとブラシが摺動する距離は3~5万km,薄膜太陽電池の発生電力は最大15kwに達する.こ れらの要求に耐えうるスリップリングの開発を目指し、既存のスリップリングの方式や特性を 調査し、大径、長寿命、大電力に適したスリップリングについて検討を始めている



Fig.18 Deployment behavior of a small-scaled membrane

■膜面の動的展開制御の研究

IKAROSのセイル展開では, 膜面全体を動的に展 開すると,実証機のスピンレートが低下して姿勢が [t=20[s] 不安定になるため、複雑な展開機構を用いて準静 的1次展開を行う必要があった.

そこで、セイル膜面を安定的に一気に動的に展開 t = 50 [s]するため、衛星本体の機軸周り角速度をフィード バック入力とし、角速度が目標値を下回った場合に スラスタを噴射してスピンアップする単純な制御則を 提案し、数値シミュレーションによって有効性を評価 t = 80 [s]した.その結果、多粒子法を用いた数値解析におい ては、提案した制御則により、構造パラメータの不 確定性に対してもロバストに一気展開を達成できる ことを確認した(Fig.20).

results and dimensionless parameter



Fig. 20 Successful one-step dynamic deployment behavior

第11回宇宙科学シンポジウム 2011年1月6日(木)