

審査の結果の要旨

氏名 白澤 洋次

修士（工学）白澤洋次提出の論文は、「大型宇宙膜面構造物における、多粒子モデルを用いた運動解析に関する研究」と題されており、本文6章から構成されている。

膜面を用いた宇宙構造物は、その軽量で小さく収納して打ち上げることが可能な特徴から、特に展開型の大型宇宙構造物における利用が構想されている。このような大型膜面の展開方法の一つとして、桁構造を要せず軽量でシステムを構築できることから、スピン運動による遠心力を用いて展開する手法が提案されている。しかしながら、宇宙空間では、重力や空気抵抗の影響を受けず、遠心力が支配的であるがために、その展開運動の模擬は地上実験では困難であり、宇宙空間での飛行実験と、それを補完する数値解析による予測技術の確立が重要な課題となっている。

膜構造の動的な展開過程の解析においては、有限要素法(FEM)モデルでの解析は、膨大な計算負荷を要求し、パラメトリックな解析は困難で実用的とは言えなかった。本論文は、この課題に対して、膜面をバネ・質点系モデルで近似する多粒子モデルを用い、その改良と運動解析手法としての確立、予測手法の限界の検討に取り組んだ。論文では、まず有限要素法(FEM)での結果と比較することによって、提案された多粒子モデルのもつ予測手法としての限界を明らかにしつつ、同モデルが動的な展開運動を大域的によく模擬できることが述べられている。さらに、実際に宇宙空間での膜面展開に成功した小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」を対象として、独自の多粒子モデルを構築・適用し、その結果を宇宙空間で得られた実験データと比較して、さらなる多粒子モデルの改良を行い、それを用いた新たな展開挙動の予測手法の提案を行っている。

第1章は、序論であり、ソーラーセイルを代表とする大型膜面宇宙構造物における技術的課題を概観している。特にその大型膜面の遠心力展開運動を模擬することの困難さについて説明しており、設計段階における数値解析による予測手法の重要性について述べている。さらに、FEMモデルを用いた解析に対して、近似精度は低い計算負荷が低くモデル構築が容易で、パラメトリックな予測解析を多用できる、多粒子モデルによる解析手法を確立することの意義および目的を述べている。

第2章では、本研究で解析対象とする、実証機 IKAROS において採用された膜面構成および準静的な一次展開と動的な二次展開からなる二段階の膜面展開方法について解説し、展開挙動において評価すべき事項を規定している。さらに、この展開方法における膜面挙動の特徴を、簡易な数値解析によって予備的に考察している。論文は、続いて、これをふまえた多粒子法によるモデル構築の方法、および展開挙動のシミュレーション方法を解説し、後続の記述への導入としている。

第3章では、数値計算手法間の結果の比較と評価を行っている。多粒子モデルを用いて行った展開挙動の事前予測の結果を、FEMモデルによって得た結果と比較し、その結果が

ら、展開挙動の予測は、大域的に両者でよく一致することを示し、多粒子モデルによる予測の有効性を示している。論文は、その一方で、FEM モデルを用いた、膜面の減衰係数、圧縮剛性、質量アンバランス、膜面に搭載されているデバイスの曲げ剛性及び折り目剛性の展開挙動への影響を調べる感度解析を実施し、これらのうち膜面の減衰係数、圧縮剛性、質量アンバランスが展開挙動に大きく影響することを述べており、粒子モデルによる事前の解析においても、これらの感度の高いパラメータに対して網羅的な展開挙動の予測解析をすべきであるなど、適用上の留意点の抽出を行うことに成功している。

第 4 章では、飛翔実験結果に基づく膜面挙動の解析と、対応する数値計算結果の比較を行っている。すなわち、実証機 IKAROS によって取得された宇宙空間での膜面展開時の、探査機本体で計測された角速度データについて述べ、多粒子モデルによるシミュレーション結果と比較し、その結果を考察している。論文では、膜面の挙動をよく再現し捉えるとともに、その中で、特に一次展開、二次展開においては、ともに事前予測に比して非常に大きな減衰が働いていることを明らかにし、その挙動を再現するために、多粒子モデルの改良・修正を試みている。この結果、一次展開の振動減衰については膜面の根元における振動角速度に比例する減衰を加えることで再現できることを明らかにしている。

第 5 章では、飛翔で確認された、事前に想定していなかった挙動、および多粒子モデルによっては再現できなかった挙動について、その要因を考察しており、多粒子モデルにより予測できる項目と予測できない項目を識別することに成功している。論文は、その結果に基づき、探査機本体および膜面の運動をあらゆる項目ごとに、改良された多粒子モデルによる展開挙動予測手法を具体的に整理・提案している。

第 6 章は、結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

以上まとめると、本論文では、大型膜面の展開挙動について、多粒子モデルによって予測できる範囲を、FEM モデルによる計算結果および軌道上データを基に考察し、提案された改良型の多粒子モデルによって、低い計算負荷のもとでありながら、大域的に動的な展開運動を模擬また評価できることを報告している。同時に、本論文は、多粒子モデルで数値的に予測できる挙動とそうでない挙動を具体的に掲げることができたことを述べている。これらの成果は、次世代の大型膜面を用いた宇宙構造物における、膜面の展開方法や設計、開発において重要な指針となるものであり、航空宇宙工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。