

(様式2)

## 学位論文の概要及び要旨

氏 名 柳瀬 恵一 印

題 目 衝撃応答スペクトラムの調整および事前予測を可能とする宇宙機搭載機器用  
衝撃試験法の開発

学位論文の概要及び要旨：

ロケットの各部分離、宇宙機の太陽電池パドル、アンテナ等の展開では分離デバイス本体が発生する衝撃や、保持部構造体のひずみエネルギーが瞬時に解放されることによる大きな衝撃が発生する。そのため、宇宙機搭載機器は衝撃耐性をシステム組込前に確認する必要がある。搭載機器単体の衝撃試験は、試験コスト削減等ため機械的インパクト式試験法などの実環境を代替的な手法で模擬する方法が用いられるが、これらの手法では、衝撃源および衝撃を伝搬させる構造のいずれもが実際の宇宙機とは異なり、衝撃応答を試験条件に合わせる事が困難である。そのため、現状はオーバーテストを甘んじて受け入れている状況であり、オーバーテストを見越した内蔵部品に対する過大な試験の実施や、経験的判断による事前検証のスキップ（上位アセンブリでの一発勝負）に繋がり、過剰設計や手戻りの温床となり、潜在的なコスト増を招いている。そこで、衝撃試験品質の向上によって宇宙機開発コストの削減と信頼性向上に資するべく、衝撃試験法の研究・開発に取り組むこととした。

本論文の第1章では、研究の背景として宇宙機搭載機器が受ける衝撃環境と、衝撃試験における現状の課題、既存の各種試験方法と過去の研究について紹介した。現状広く用いられている試験法において、衝撃応答スペクトラムの「予測」と「調整」のどちらもが不完全であり、宇宙機試験の中では比較的lowコストで行われる「手間をかけたくない」試験である衝撃試験では、高コストな試験器を新規に導入することにはハードルがある。以上から、本研究では、既存の試験装置に安価で汎用的に適用可能な衝撃応答スペクトラムの調整手法と、試験現場で適用可能な簡易予測手法の検討を行うことを目的とした。

第2章では、衝撃応答スペクトラムの調整コンセプトを提案した。この手法は、既存の衝撃試験機と被試験体の間に振動特性が変更可能な「調整構造」を挿入する方法である。既存の試験機に対して後付けで安価に導入が可能である。本研究では、宇宙機搭載機器衝撃試験で一般的な機械的インパクト式衝撃試験法である落錘式衝撃試験法に適用すべく検討を行った。単純なバネマスモデルによる計算および簡易構造モデルによる試験の結果、提案手法によって衝撃応答を十分に調整できることが示された。

第3章では、部分構造合成法のうち実験と解析結果とのどちらの結果も取り込むことが容易な伝達関数合成法を用いた衝撃応答スペクトラムの予測手法を検討し、2分系および3分系のモデルについて

て定式化した。

第4章では、計算課程における注意点として合成計算に用いる成分を検討した。伝達関数合成法では並進3成分、回転3成分の6成分を合成することで正確な応答を見積もることが出来るが、実用上、各分系の6成分の応答を取得することは煩雑であり、実施困難な場合が多い。そこで、構造数学モデルを用いた計算によって、衝撃試験機のような複雑構造では、衝撃印可方向の成分のみを抽出して合成することで十分な予測精度が得られる見通しを示した。

第5章では、4章までの結果を用いて、入力応答が低レベルで比較的簡単な構造において実験的にSRSの予測と調整が可能か検証をおこなった。衝撃試験機を単純化した構造体について、調整構造相当の構造体の板厚を変えることによって衝撃応答スペクトラムを調整可能であり、かつ予測も行えることが示された。

第6章では、一般的な機械的インパクト式衝撃試験機に汎用的に搭載可能な調整機構を提案した。本調整機構は平板2枚でスペーサを挟む構造であり、スペーサの位置と材質によって振動特性を変化させることが出来る。スペーサの位置の組合せは非常に多くあるが、振動特性を大きく変化させるパターンはある程度絞られる。本研究においては、5パターンに固定することとした。

第7章では、JAXA筑波宇宙センターの落錘式衝撃試験機を用いて、実際の宇宙機コンポーネント構造モデルを対象に、開発試験時の衝撃試験条件を満足できる衝撃応答スペクトラムの予測と調整が可能であるか、数値解析モデルと実際の試験で有効性を検証した。調整構造のスペーサパターンを適切に選び、衝撃印可力を調整することで、オーバーテストを回避する衝撃応答スペクトラムの調整が可能であり、また、事前に試験を行うことなく予測が可能なが示された。

以上より、提案する衝撃応答スペクトラムの事前予測と調整を可能とする衝撃試験法は、宇宙機衝撃試験で一般的な試験公差内での予測と調整への有効性が示された。本手法によって、宇宙機搭載機器衝撃試験の試験品質の向上が図られる。さらに、宇宙機開発のコスト低下、信頼性向上に貢献するものである。

以上