

審査の結果の要旨

氏名 鵜沢 潔

近年、ヴィークルの軽量化や製造コスト削減を目指し、複合材料の主要構造部材への適用が進められている。しかし、これらの多くは防衛分野や航空機など、豊富な開発費を有する一部の量産機に限られており、さらに多くのヴィークルに複合材料が利用されるためには、安くて信頼性の有る複合材料構造を出来るだけ短期間で容易に設計・開発できる事が重要である。

本論文では複合材料の特長を生かした「サンドイッチパネルによる一体モノコック構造」に、より設計解析負担が少なく・且つ信頼性確保の可能性が大きいことを見出し、その構造を短期・低コストに実現する大型一体成型技術を開発した。本技術は大きなブレイクスルーによるものではなく、小さな工夫と既存技術の積み重ねであるとも言える。しかし、設計・解析から材料選択、試作・試験、製造に至る総ての開発プロセスに対して総合的な最適化を図ることは、分野毎の技術のみでは達成できない、複合材料利用技術におけるコンカレントエンジニアリングの最たるものである。特に、製造技術の観点から強度信頼性向上とコスト低下を達成する構造設計・開発技術を論じている点は従来にないアプローチであり、独自の技術である。

第1章では、金属材料を主とした構造設計の歴史の中でCFRPなど先端複合材料はまだその出現から半世紀を経たに過ぎず、そのため、従来の研究は材料特性の向上や厳密な解析と設計を目標とした適用研究が主であり、それが膨大で高コストな開発・試作プロセスに反映されてきたこと、を述べている。

第2章では、現状のヴィークル構造について、各構造様式がどのように利用されているか俯瞰的に分析し、部材・部品点数が少なく最もスマートで軽量化の可能性も高いモノコック構造は、金属材料を用いる限り、大型ヴィークルへの適用に限界があることを明らかにしている。

3章では、先ず複合材料の特徴を材料物性から最新の製造プロセスまで整理し、次にその複合材料によるヴィークル構造を幅広く詳細に整理することで、現状の複合材料による構造化の問題を分析し、解決策について考察している。すなわち、一体モノコック構造とサンドイッチパネルを組み合わせる事で省フレーム・少数部品化を図り、その単純でスムーズな形状・少ない構造要素の効果により、設計工数が少なく解析精度も上がる、そして評価試験数も省略できるという開発プロセスである。そして、このプロセスでは大型・短期・低コスト成形技術が重要な役割を持つことを述べている。

続く4章、5章では、本論文で提案する設計・開発技術の実証として、大型ヴィークルに、CFRPサンドイッチモノコック構造を適用し、短期・低コストに開発を行ったアメリカズカ

ップ級ヨット（AC艇）と宇宙往還技術試験機（HOPE-X）の開発プロセスを詳細にレビューしている。

複合材料構造の一体成形はその大型化に伴って、成形設備や製造技術の問題に直面し、さらに型治具の精度やコストとも相反する。AC艇とHOPE-Xでは、この問題を解決し構造部材の強度信頼性を確保するため、低温硬化性プリプレグとオープン成形法による一体成形を試み、その実現に供した型治具・成形プロセス等の新技术を詳細に説明している。

AC艇では、船体・フレームの継手構造に品質管理が容易な片フランジ接着構造を採用し、高品質な船体外板と大幅な内部フレーム省略により、従来艇より軽量で十分な強度をもつ船体構造を、僅か9ヶ月間で2艇建造できたことが述べられている。

HOPE-Xは長さ約13m、幅約10mの翼胴一体の機体形状で、総ての部材の積層構成を擬似等方積層に限定し、線形弾性解析主体の構造解析・設計による構造・形状トポロジーの完成度向上と構造要素試験による継手強度実測確認により、目標の全体強度・剛性を精度よく達成することができた。

6章では、AC艇、HOPE-Xで証明された、複合材料による大型一体モノコック構造の成立性について、そのコンセプトを整理し、さらにそれを成立させる条件である低コスト成形法についてまとめている。

そして7章では、複合材料を社会受容性の観点から検証している。低コスト成形法によるCFRPの環境負荷は等強度・等剛性あたりではアルミ合金並みの原単位であること、汎用熱可塑性樹脂との組み合わせにより現状のGFRP材料の代替が可能なりサイクル性を持つこと、等を明らかにし、さらに、複合材料の利用技術を情報インフラとして広く供用することが必須であると指摘している。

最後に8章では、各章で得られた成果をまとめている。

以上のように、本論文は複合材料によるヴィークル構造を短期間で低コストに完成させる為の設計・開発技術を明らかにしたものであり、高い工学的価値を有すると判断される。

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。