

論文審査の結果の要旨

氏名：黒澤彬元

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：プラスチック製ライナーを用いた CFRP 圧力容器の構造設計に関する研究

審査委員：（主査） 教授 平山紀夫

（副査） 教授 高橋進

教授 安藤努

アルミニウム合金製のライナーに CFRP を積層した CFRP 圧力容器(Type-3 容器)は、軽量で高い充てん圧力を実現できるため、空気呼吸器用容器や医療用酸素容器等の一般複合容器、圧縮天然ガス車 (CNG)、燃料電池自動車 (FCV) の燃料装置用容器など多様な分野で使用されている。しかしながら、この Type-3 容器はライナーに金属材料を使用しているため、容器自体の軽量化には限界がある。そのため近年では、容器の更なる軽量化を目的に金属材料よりも比重の軽いプラスチック材料をライナー素材に使用した Type-4 容器の研究・開発が、自動車燃料装置用の圧縮水素容器を中心に行われ、一部で実用化が始まっている。

その一方で、空気呼吸器用容器などに代表される一般複合容器では、Type-4 容器の技術基準が制定されておらず実用化には至っていない。空気呼吸器用容器は、圧縮水素自動車燃料装置用の CFRP 圧力容器と比較して、要求される安全率、最高充てん圧力、破裂の際の応力感応部等の要求仕様が異なるため、燃料装置用容器と同じ設計基準を空気呼吸器用の Type-4 容器に用いることは適切ではない。また、CFRP 圧力容器の落下・衝撃後の破裂強度に対して高い基準値が設定されているため、国内では先行研究や製品開発の事例が見当たらない。そこで本研究では、空気呼吸器用 Type-4 容器の設計基準の作成と実用化を最終目的とし、多品種少量生産に適したブロー成形法にて製造した高密度ポリエチレン(HDPE)製ライナーを使用した空気呼吸器用 Type-4 容器の構造設計と試作した Type-4 容器の性能評価を行った。

最初に、Type-4 容器の基本仕様を決定し、次に有限要素法を用いた Type-4 容器の構造解析により、容器の積層構成と板厚分布を変化させた構造設計を行った。そして、試作した空気呼吸器用 Type-4 容器の性能評価試験として、破裂試験（強度）、落下後の破裂試験（衝撃荷重作用後の残存破裂圧力）、圧力サイクル試験（疲労寿命）、落下後のサイクル試験（衝撃荷重作用後の残存疲労寿命）、ボストルク試験(ボス部の強度)を実施し、設計した Type-4 容器の安全性と軽量化効果を明らかにした。さらに、ブロー成形で成形した高密度ポリエチレンの製のプラスチックライナーに対して、通常の CFRP、GFRP の積層構成に加え、容器肩部付近の CFRP ヘリカル層をマンドレル軸方向に対して高角度で巻き付けて増厚することで、空気呼吸器用容器に要求される破裂圧力、耐衝撃性、疲労寿命の基準値を満足し、さらに現状の Type-3 容器と比較して 20%の軽量化を実現した。

以上、本研究では、空気呼吸器用容器に代表される CFRP 製の一般複合容器の分野においても、CFRP のヘリカル層の角度と積層厚を調整することで、Type-4 容器の性能基準を満足した容器の構造設計が行えることを明らかにし、従来の Type-3 容器と比較して 20%の軽量化が達成できることを実証した。以上の成果は、今後の複合材を用いた圧力容器のさらなる高性能化と軽量化に大きく貢献すると期待される。

この成果は、生産工学、特に複合材工学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和 2 年 3 月 5 日