

# 高角度ヘリカル層を積層した Type4 容器の落下試験と 耐衝撃性に関する研究

日大生産工(院) ○黒澤 彬元 日大生産工 平山 紀夫 日大生産工 坂田 憲泰  
(株)旭製作所 飯島 孝文 (株)旭製作所 鈴木 弘

## 1. 緒言

アルミニウムなどの金属製ライナーに炭素繊維強化プラスチック(CFRP)をフィラメントワインディング成形(FW成形)したCFRP製圧力容器(Type3容器)は、金属単体の容器(Type1容器)と比較し、軽量で高い充てん圧力を実現できる。そのため、医療用酸素容器や空気呼吸器用容器等の可搬容器や、自動車用の燃料タンクなど軽量化が求められる分野で使用されている。しかしながら、このType3容器は、ライナーに金属材料を採用しているため軽量化には限界がある。そのため、近年では、更なる軽量化のため金属よりも比重の軽いプラスチックをライナー素材に採用したCFRP製圧力容器(Type4容器)が開発され、国内では水素燃料電池自動車用の燃料用圧力容器の技術基準<sup>1)</sup>が制定され、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と自動車用の燃料用圧力容器では、使用環境などの違いにより、最高充てん圧力や、破裂に対する安全率、破裂の際の応力感応部等の基準が異なる。そのため、燃料用圧力容器の技術基準を用いて、空気呼吸器用のType4容器を製造することは適切ではない。このため、空気呼吸器用のType4容器を実用化させるためには、一般複合容器の仕様に合わせた新たな設計基準を検討・制定する必要がある。

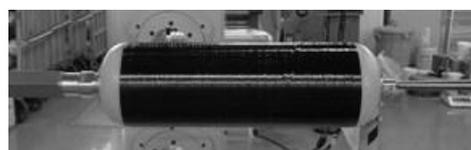
著者らは、過去に行った研究で、ブロー成形で成形した高密度ポリエチレン(HDPE)製のプラスチックライナーにCFRPをFW成形したType4容器で破裂試験を行いType4容器の破裂圧力と軽量化について評価した。その結果、積層構成を変更することで、一般複合容器に要求される破裂圧力を満足し、さらに、Type3容器と比較し20%程度の軽量化が可能であることを示した<sup>2)</sup>。しかしながら、Type4容器の実用化のためには、破裂試験(強度評価)以外にも、常温圧力サイクル試験(疲労寿命)や、落下試験(耐衝撃性)を実施する必要がある。

そこで本研究では、耐衝撃性の向上を目的とし、通常FW成形で用いられている積層構成に加え、応力集中が起こる箇所を局部的に補強できる高角度ヘリカル層を加えた新たなType4容器を試作した。そして、落下試験による耐衝撃性の改善効果について評価を行った。

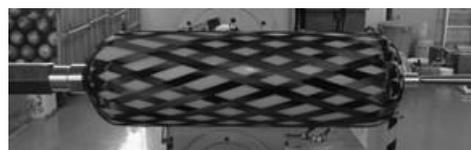
## 2. Type4 空気呼吸器用容器の仕様

本研究に用いたType4容器は、内容積(4.7L)、寸法形状(L=500mm, φ140mm)、質量(2.2kg)とし、HDPE製のライナーに表1の積層構成で強度分担層のCFRPと、保護層のGFRPを積層したType4容器とする。

Fig.1に各積層の巻き方を示す。(a)は円筒胴部に繊維を巻き付けるフープ巻き、(b)は容器全体に巻き付けるヘリカル巻き、(c)は容器肩部と円筒胴部に局部的に繊維を巻き付けて補強した、高角度ヘリカル巻きである。



(a) フープ巻き (繊維角度 90°)



(b) ヘリカル巻き (繊維角度±18.4°)



(c) 高角度ヘリカル巻き(繊維角度±65°)

Fig.1 繊維の巻き方

Research on drop test and impact resistance of Type 4 vessel with high angle helical layer

Akimoto KUROSAWA, Norio HIRAYAMA, Kazuhiro SAKATA  
Takafumi IJIMA, Hiroshi SUZUKI

### 3. 落下試験の方法

表1の積層構成でFW成形した2種類の容器を用いて、落下試験を行いType4容器の耐衝撃性の評価を行った。容器Aは(a)フープ巻きと(b)のヘリカル巻きの2種類のみでFW成形した容器で、容器Bは高角度ヘリカル巻きを追加したType4容器である。なお、試験は以下(1)(2)の順に実施した。

- (1) 内容積の半分(2.35L)の水を入れたType4容器を地上1.2mの高さから、鉄板を敷いた地面上に、Fig.2に示す箇所(①頭部ドーム、②頭側肩部、③円筒胴部、④底側肩部、⑤底部ドームの5箇所)で着地(衝撃が作用)するように落下させた。
- (2) 落下後の容器内部を水で満たし、高圧配管と容器を継手で接続後に容器が破裂に達するまで水圧を負荷した。

### 4. 落下試験の結果

落下後の破裂試験の結果を表2に示す。なお、比較のため、落下させずに破裂させた場合の結果も示す。同表に示すように、落下させていない(衝撃が作用していない)場合、容器Aは104.7MPa、容器Bは109.0MPaで破裂に達しており、容器A、Bともに100.0MPaを超える強度を有していることが確認できる。

しかしながら、落下により衝撃が作用すると、容器Aは、Fig.3に示すように底側肩部(衝撃作用部)から63.0MPaで破裂に達した。その一方で、高角度ヘリカル層を積層した容器Bは、衝撃作用部である底側肩部から破裂したものの(Fig.5)、破裂圧力は99.6MPaと、強度低下は極僅かなものだった。

### 5. まとめ

落下試験の結果、フープ巻きとヘリカル巻きの2種類みの容器Aは、容器肩部に衝撃が作用した場合、強度が30%以上低下することが確認された。一方で高角度ヘリカル巻で肩部を増肉・強化した容器Bは、落下後の強度低下は10%程度であり高い耐衝撃性と、十分な残存強度を有し、高角度ヘリカル巻はType4容器の耐衝撃性の向上に有効であることが確認できた。

### 参考文献

- 1) 高圧ガス保安法容器保安規則例示基準, KHKS0128(2010)
- 2) 黒澤彬元, 平山紀夫, 坂田憲泰, 伊藤滉平, 飯島孝文, 鈴木弘, プラスチック製ライナーを用いたCFRP複合容器の構造設計と破裂試験, 強化プラスチック, VOL.65, No.8 (2019) pp. 339-346

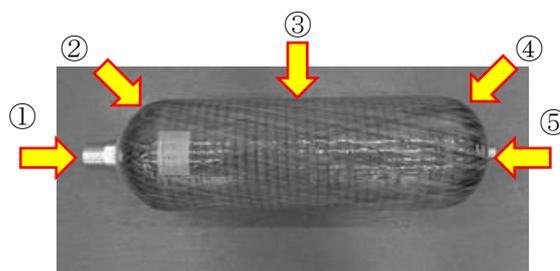


Fig.2 落下(衝撃作用)部位の概要

表2 落下後の破裂試験の結果

容器	破裂圧力	落下後の破裂圧力
A	104.7 [MPa]	63.0 [MPa]
B	109.0 [MPa]	99.6 [MPa]

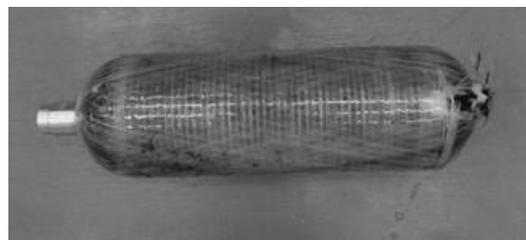


Fig.3 落下破裂試験後の容器 A

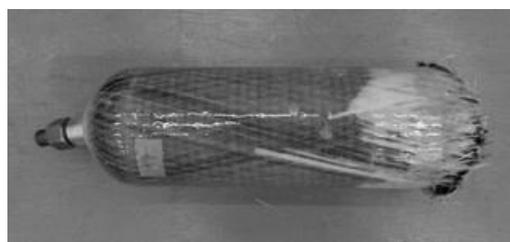


Fig.4 落下破裂試験後の容器 B

表1 Type4 容器の積層構成

容器	CFRP 繊維角度-板厚					GFRP 繊維角度-板厚	
	1 layer	2 layer	3 layer	4 layer	5 layer	1 layer	2 layer
A	±18.4° 1.37 (mm)	90° 2.36 (mm)	±18.4° 0.68 (mm)	-	-	±14.2° 0.6 (mm)	90° 0.2 (mm)
B	90° 0.30 (mm)	±65° 1.20 (mm)	±18.4° 0.33 (mm)	90° 1.54 (mm)	±18.4° 0.98 (mm)	±14.2° 0.6 (mm)	90° 0.2 (mm)