

ドローン用高圧水素容器の構造設計に関する研究

日大生産工（院） ○安藤 佑磨
日大生産工 平山 紀夫

日大生産工 染宮 聖人
サイバネットシステム（株） 山本 晃司

1. 緒言

現在、荷物配送や災害救助等の手段として、長距離・長時間の飛行が可能である水素燃料電池ドローン（以下、FCドローン）が注目されている。このFCドローンの飛行時間を飛躍的に伸ばすために、高圧水素容器は軽量性が要求される。そのため、容器の構造としては高密度ポリエチレン（以下、HDPE）等のプラスチック製ライナーを炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP）で強化したCFRP製高圧水素容器（以下、Type4）が適していると考えられる。一方で、FCドローンが高所から地上へ落下した際に、水素が充填された高圧水素容器が破損しないように設計する必要があるが、Type4容器単体での衝撃強度の向上には限界があるため、落下時の衝撃を吸収するための構造設計が必要である。

そこで本研究では、Type4容器の周りに緩衝材を設け、高所から落下しても破損しない新たなドローン用高圧水素容器の設計開発を目的とする。本報告では、材料試験の結果より求めた緩衝材の材料パラメータを用いて、緩衝材の厚みを変化させ、ANSYS LS-DYNA®を使用した衝撃解析を実施した。そして、高所から落下してもType4容器が破損しない緩衝材の設計条件について検討を行った。

2. FEM 解析手法

2.1 Type4 容器のモデル

本研究で使用するType4容器の頭部と底部のモデル形状をFig.1に示す。Fig.1に示すように、Type4容器は蓋（真鍮）、頭部・底部口金（アルミニウム合金）、シール治具（アルミニウム合金）、ライナー（HDPE）、CFRPおよびガラス繊維強化プラスチック（以下、GFRP）によって構成されている。

2.2 緩衝材のモデル

緩衝材のモデル形状をFig.2に示す。Fig.2に示すように、緩衝材は円筒形の緩衝材を想定し、Type4容器のフープ層3(GFRP)の外層から、緩衝材の側面までの距離を緩衝材の板厚とし、板厚を51mmから55mmまで1mm刻みで変化させた5種類のモデルを作成した。

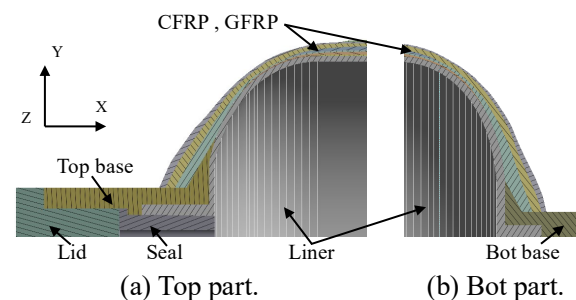
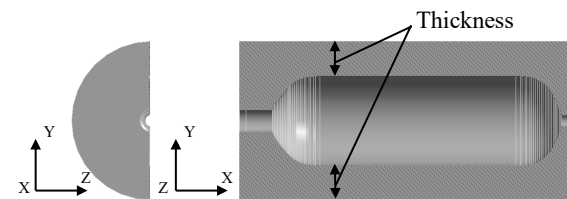


Fig.1 Schematic diagram of Type4 cylinder.



(a) Front view. (b) Sectional view of right side.
Fig.2 Schematic diagram of absorber.

2.3 緩衝材の材料パラメータ

緩衝材の材質にはポリエチレン発泡材を想定した。ここで、Ansys LS-DYNAにおける発泡材の材料物性値は、材料密度、引張弾性率、圧縮負荷曲線、圧縮除荷挙動を示す2つのパラメータ（HU,SHAPE）の計4つである。はじめに、材料密度はJIS-K7222に準拠して算出した。次に、引張弾性率はJIS-K6767に準拠したダンベル型の試験片を用いて、単軸引張試験の結果より算出した。ここで、試験機は万能試験機（株）島津製作所製AG-I）を使用し、引張速度 500 mm/minで実施した。

最後に、圧縮負荷曲線はJIS-K6767に準拠した単軸圧縮試験より取得した。試験片寸法は、幅**b**=100mm、長さ**l**=100mm、厚さ**h**=10mmのシート状の発泡材を5枚重ねたものとし、試験機は万能試験機（（株）島津製作所製AG-I）を使用した。試験速度は 100 mm/minで実施し、試験片の厚さの70%まで圧縮したのち元の厚さまで除荷した。なお、取得した圧縮負荷曲線はひずみが 70 % までしか対応していないため、それ以上のひずみが発生した場合に緩衝材の挙動を表現することができない。そのため、式(1)を用いて圧縮負荷曲線の外挿補間¹⁾を行った。そして、圧縮除荷挙動を示す2つのパラメータ (HU,SHAPE) は、単軸圧縮試験より得られた線図から同定した²⁾。

$$\sigma_{i+1} = \sigma_i + \left\{ \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right)_{0.7} \left(\frac{1.0 - 0.7}{1.0 - \varepsilon_i} \right)^n \right\} \Delta \varepsilon \quad (1)$$

2.4 ドローン用高圧水素容器の解析モデル

ドローン用高圧水素容器の解析モデルをFig.3に示す。Fig.3に示すように、Type4 容器の外周に緩衝材を設け、ドローン用高圧水素容器の落下面を仮定した剛体壁を定義した。また、ドローン用高圧水素容器の各層間は、要素間の剥離を表現できるように節点間で結合を定義し、剛体壁との間には接触条件を定義した。

2.5 解析条件

衝撃解析における落下条件は、ドローン用高圧水素容器の軸方向と剛体壁が平行になるような状態で、容器の内圧はゼロと仮定して 18 mm/s の速度を容器に付与させて水平に衝突させた。

3. 解析結果

緩衝材の板厚を変化させた場合の衝突後の容器の破壊状況をFig.4に示す。Fig.4に示すように、緩衝材の板厚が51mmと52mmの場合にType4容器の一部に破壊が見られたが、緩衝材の板厚が53mm以上の場合には容器の破壊は発生しなかった。このことから、今回解析したドローン用高圧水素容器は緩衝材の板厚が53mm以上では容器が破損しないことが確認できた。

4. 結言

本研究では、Type4容器が破損しないように周りに緩衝材を設けた新たなドローン用高圧水素容器の開発を目的とし、Ansys LS-DYNAを用いた衝撃解析を実施した。その結果、緩衝材の板厚が53mm以上の場合、Type4容器が破損しないことが確認できた。

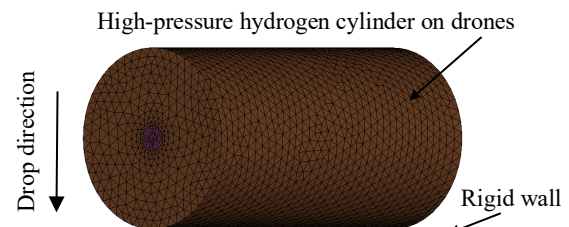


Fig.3 Analysis model of high-pressure hydrogen cylinder on drones.

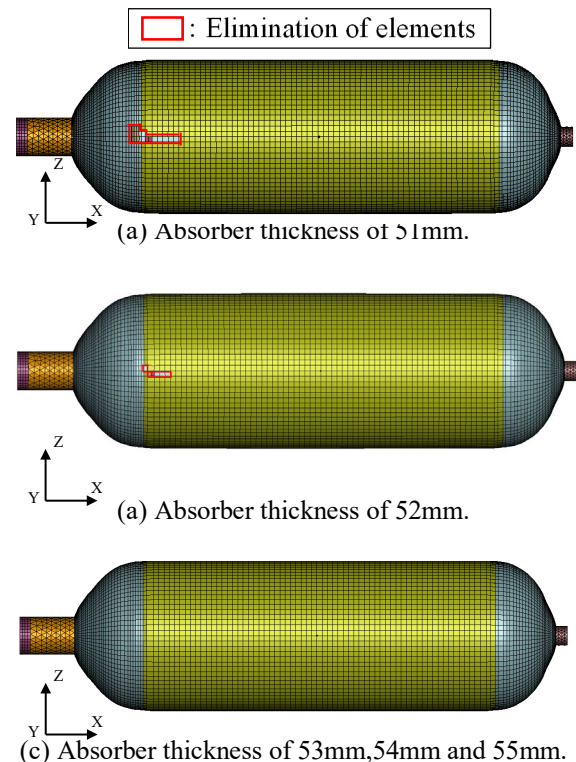


Fig.4 State of mesh on Type4 cylinder.

参考文献

- 1) Du Bois., P.A., “Crashworthiness Engineering with LS-DYNA”, (2000)
- 2) Andrej S., Jernej K., Matija F., Engineering Computations, **31**, 7 (2014)