

ドローン用水素貯蔵圧力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 染宮 聖人

日大生産工 平山 紀夫
サイバネットシステム(株) 山本 晃司

1. 緒言

少子高齢化社会における労働力不足の深刻化や人件費高騰による省力化の促進が背景となり、農薬散布等の農業分野や物流分野におけるドローンの活用が期待されている。これに伴い、航続距離の延伸や長時間の飛行が可能な水素燃料電池ドローンが注目されている。

水素燃料電池ドローンに搭載する水素貯蔵圧力容器の構成材料としては、比強度・比剛性に優れた炭素繊維強化プラスチック (以下, CFRP) が適しており、令和2年4月には水素燃料電池ドローンを安全に運用するためのガイドラインが経済産業省により策定されている。

本研究では、高所から落下しても破損しないように、高密度ポリエチレン (以下, HDPE) 製のライナーにCFRPおよびガラス繊維強化プラスチック (以下, GFRP) を巻き付けたType4のCFRP製圧力製容器の周りに緩衝材を設けた新たなドローン用水素貯蔵圧力容器の設計開発を目的とする。本報告では、緩衝材の厚みを変化させ、陽解法シミュレーションプログラムAnsys LS-DYNAを使用した衝撃解析を実施し、水素貯蔵圧力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 水素貯蔵圧力容器のモデル

Fig.1に水素貯蔵圧力容器のモデル形状を示す。構成要素は、蓋 (真鍮)、頭部口金 (アルミニウム合金)、シール治具 (アルミニウム合金)、底部口金 (アルミニウム合金)、ライナー (HDPE)、CFRPおよびGFRPである。ここで、CFRPとGFRPの積層構成をTable1に示す。

2.2 緩衝材のモデル

緩衝材のモデル形状をFig.2に示す。水素貯蔵圧力容器のフープ層3 (GFRP) の外層から、緩衝材の側面までの距離を板厚とし、板厚が30 mm, 100 mm, 150 mm となる3種類の緩衝材を想定した。材質にはポリウレタンフォームを想定したが、Ansys LS-DYNAではフォーム材の材料密度、引張弾性率、圧縮挙動を示す3つのパラメータおよび圧縮荷重曲線を入

力する必要がある。本研究では、Andrejらの論文¹⁾より材料物性値を参照した。なお、論文の圧縮荷重曲線はひずみが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)を用いて外挿補間を行った。

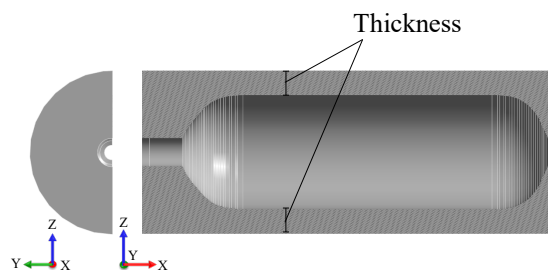
$$\sigma_{i+1} = \sigma_i + \left\{ \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right)_{0.7} \left(\frac{1.0 - 0.7}{1.0 - \varepsilon_i} \right)^n \right\} \Delta \varepsilon \quad (1)$$



Fig.1 Schematic diagram of hydrogen storage pressure cylinder.

Table 1 Laminate structure of CFRP and GFRP.

Layer	Laminate	Material
7	Hoop 3	GFRP
6	Helical 3	
5	Helical 2	
4	Hoop 2	CFRP
3	Helical 1	
2	High angle helical	
1	Hoop 1	HDPE
	Liner	



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

2.3 ドローン用水素容器の解析モデル

ドローン用水素貯蔵圧力容器の解析モデルをFig.3に示す. Fig.3に示すように, ドローン用水素貯蔵圧力容器に落下面を仮定した剛体壁を追加して解析モデルとした. ドローン用水素貯蔵圧力容器の各層間には, 結合定義を行い, 剛体壁との間には, 接触定義を行った. また, 緩衝材の厚みに応じてオフセット量を設定し, 負の体積が発生しないようにした.

2.4 解析条件

衝撃解析における落下条件は, ドローン用水素貯蔵圧力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

各板厚の緩衝材モデルにおいて, 剛体壁が受ける反力の最大値をFig.4に示す. 板厚が増加するにつれて, 衝突時の反力が低減されていることが確認できた. また, 各板厚における衝突後の容器全体の状態をFig.5に示す. 緩衝材の板厚が 30 mm と 100 mm の場合に水素貯蔵圧力容器に一部の要素の削除が見られた. 一方で, 緩衝材の板厚が 150 mm の場合には要素の削除が見られなかった.

以上のことから, 今回解析したドローン用水素貯蔵圧力容器は緩衝材の板厚が 100 mm 以下では容器が破損し, 150 mm 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, 水素貯蔵圧力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水素貯蔵圧力容器の設計開発を行い, Ansys LS-DYNAを用いた衝撃解析を実施した. その結果, 水素貯蔵圧力容器が破損しないためには, 緩衝材の板厚が 150 mm 必要であることが確認できた.

今後は, より衝撃吸収性の高い緩衝材の選定を行い, 緩衝材の材料パラメータを実際の材料試験から取得し, 得られたパラメータを使用して衝撃解析を実施し, 水素貯蔵圧力容器が破損しない緩衝材の検討を行う.

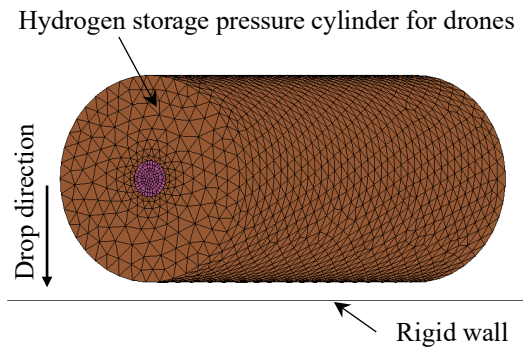


Fig.3 Analysis model of hydrogen cylinder for drones.

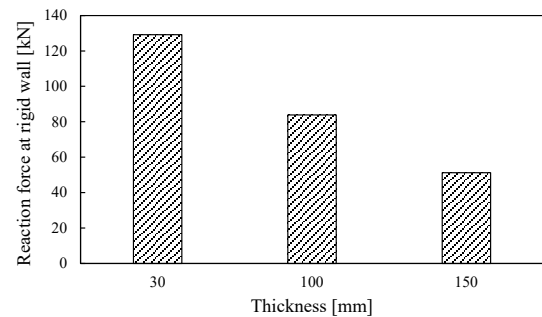


Fig.4 Maximum reaction force of rigid wall for each thickness.

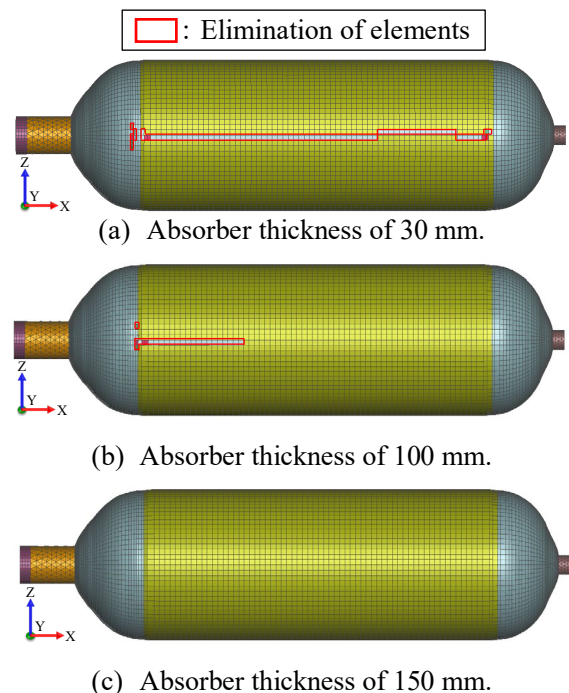


Fig.5 State of mesh on hydrogen storage pressure cylinder.

参考文献

- 1) Andrej Skrlec, Jernej Klemenc, Matija Fajdiga, Parameter identification for a low-density-foam material model using numerical optimization procedures, Volume 31, (2014), pp.1532-1549.