

## CFRP タンクの開発

### Development of CFRP tank

○多田隼人 (神奈川大・学), 天沼響 (神奈川大・学), 高野敦 (神奈川大),

喜多村竜太 (神奈川大), 正井卓馬 (神奈川大), 植村寧夫 (神奈川大)

Hayato Tada (Kanagawa University), Hibiki Amanuma (Kanagawa University), Atsushi Takano (Kanagawa University), Ryuta Kitamura (Kanagawa University), Takuma Masai (Kanagawa University), Shizuo Uemura (Kanagawa University)

#### 1. はじめに

近年, 超小型人工衛星開発が活発に行われている。それらを安価かつ迅速に打ち上げるため, 当研究室では超小型ハイブリッドロケットの開発に取り組んでいる。

本研究では, CFRP 直胴部にめねじを有することで蓋部の分解が可能となり, 内部の点検・修理が可能となる CFRP タンクの開発することが目的であり, これにより再利用を容易にすることができる。

過去, 耐圧試験を実施したところ, 所定の圧力に耐えるもののリークが発生するという問題があった。そこで樹脂ライナーを有しかつ直胴部内部にめねじを有するタンクを開発し検証試験を行った。

#### 2. CFRP タンクの試作

過去製作した CFRP タンクにおいては, ねじ部やねじ部と胴体の境近傍にピンホールがあり, そこから水漏れしてしまった。そこでピンホールの対策として樹脂ライナーをタンク内部に設けた。過去の亜酸化窒素の自己発熱分解反応の結果より, ライナーには触媒とならない EPDM (エチレンプロピレンゴム) の樹脂を使用した。EPDM 樹脂の上に CFRP プリプレグを巻き付けてタンクを製作することにした。CFRP タンクの複雑な形状であるマンドレルにプリプレグをなじませるため, 真空引きを行った。加熱成形後, 寸法に合わせてタンクの両端を切断して完成させた。完成した CFRP タンクを図 1 に示す。

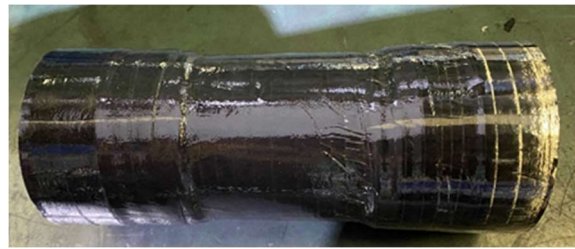


図 1 完成した CFRP タンク

#### 3. 耐圧試験

目標は最大予想使用圧力 5MPa の 1.5 倍である 7.5MPa まで耐え, 機密性を保持することである。亜酸化窒素の臨界圧力は 7.24MPa のため, 最低限 7.5MPa に耐える必要がある。2 軸のひずみゲージを計 12 ヶ所に貼り付け, 試験を行い, 試験は 1MPa, 5MPa, 7.5MPa (1 回目), 7.5MPa (2 回目), 7.5MPa (20 分保持) の 5 つの条件で行った。図 2~図 6 にそれぞれの実験結果の圧力-ひずみグラフを示す。

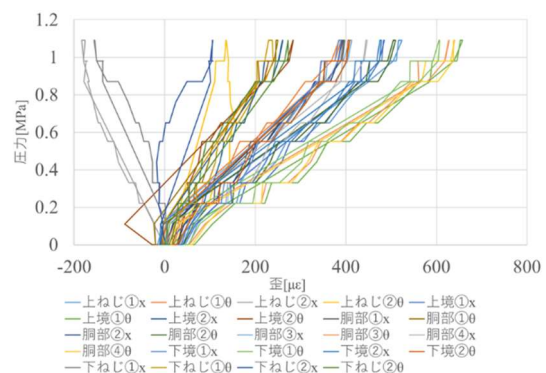


図 2 1.0MPa 圧力-ひずみグラフ

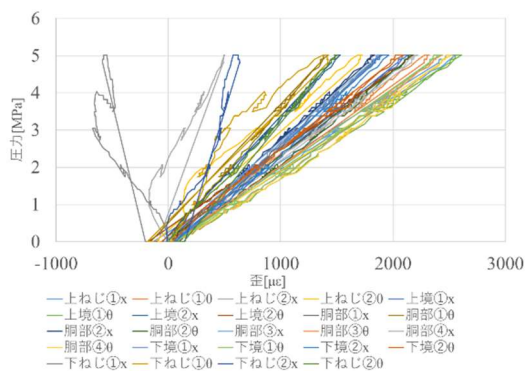


図3 5.0MPa 圧力-ひずみグラフ

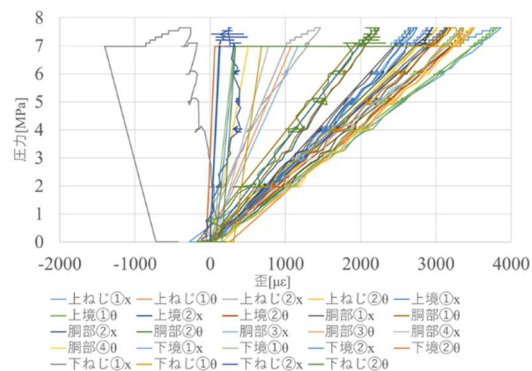


図6 7.5MPa 圧力-ひずみグラフ 20分保持

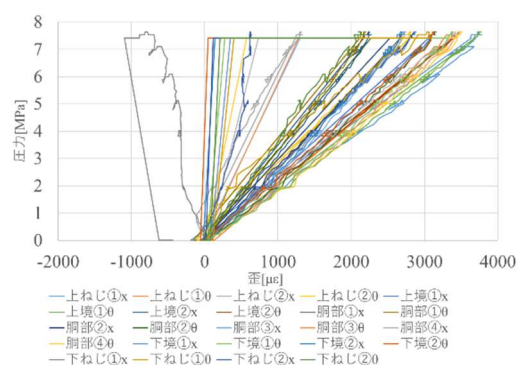


図4 7.5MPa 圧力-ひずみグラフ (1回目)

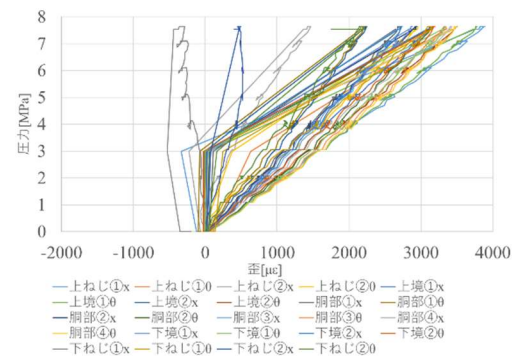


図5 7.5MPa 圧力-ひずみグラフ (2回目)

試験の結果、圧力7.5MPaまで破壊を起こさずに耐えることができた。しかし図より、7.5MPaの状態でも20分間保持できるか試したところ、徐々に圧力が下がってしまった。この様子は5MPa、7.5MPaの1回目及び2回目でも確認されている。しかし、タンクからは水漏れしていた様子が確認できなかったため、配管の一部またはポンプ本体から漏れていた可能性が考えられる。

#### 4. 充填試験

CFRPタンクに亜酸化窒素を充填することによって生じる圧力、温度、温度差、亜酸化窒素（自己発熱分解反応）といった複合条件において耐えられることを確認するため、充填試験を実施した。充填は本番を想定して、一度満充填し、圧力が下がってからもう一度満充填させた。概略図を図7及び図8に示す。

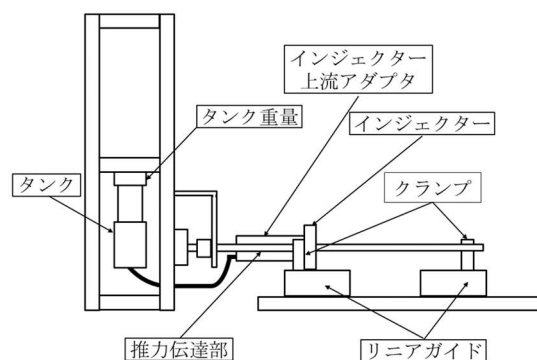


図7 実験設備の概略図

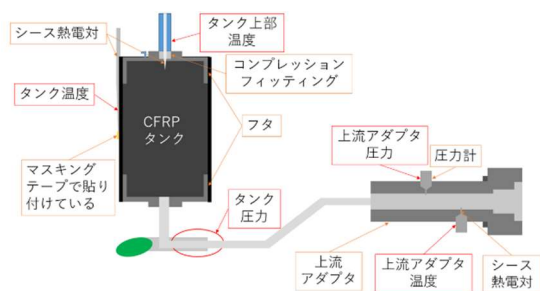


図8 断面の概略図

最初の充填は問題なく満充填できたが、再度充填時にタンク下部と蓋の隙間からガスが漏れていた。漏れた原因は、蓋の締めすぎで、ねじが奥まで入りこみ、おねじが入ってはいけないところまで入り、タンクと蓋の間の隙間が広がったからだと考えられる。そのため脱圧後、蓋を締め直し、2回目の充填をした結果、ガス漏れの様子もなく、満充填ができた。2回目の充填時に測定した時間-温度・重量、圧力のグラフを図9-図12に示す。タンク上部と下部の温度差のグラフを図13及び図14に示す。

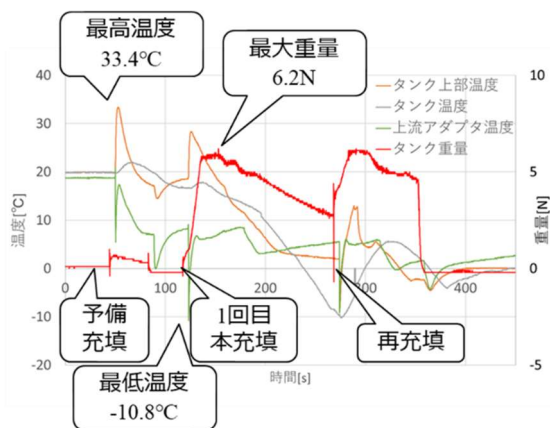


図9 時間-温度・重量グラフ (1回目)

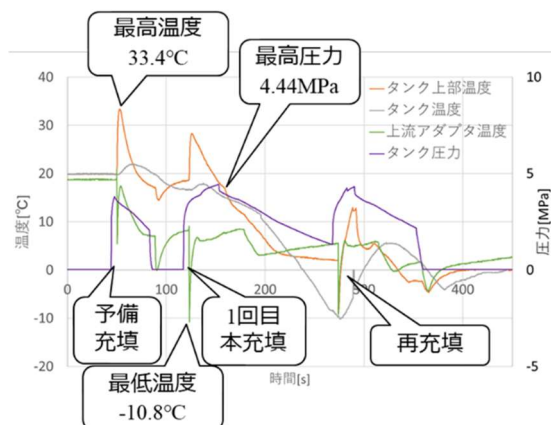


図10 時間-温度・圧力グラフ (1回目)

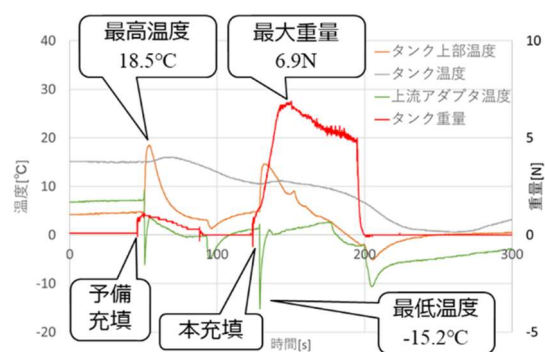


図11 時間-温度・重量グラフ (2回目)

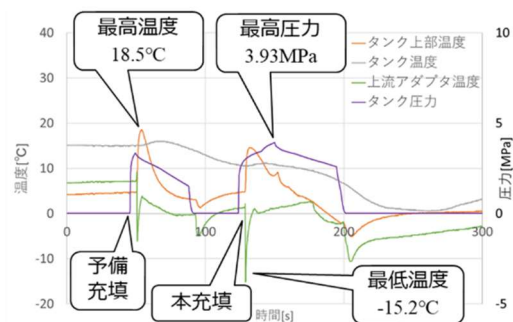


図12 時間-温度・圧力グラフ (2回目)

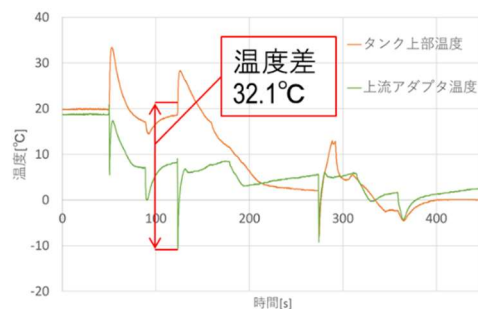


図13 タンク上部と下部の温度差 (1回目)

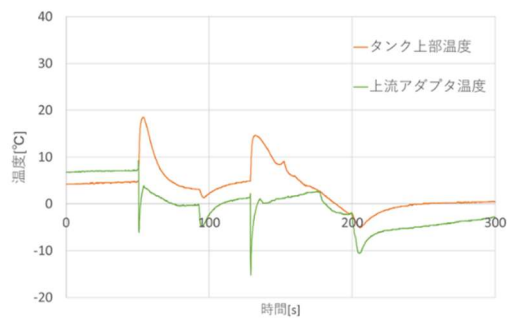


図 14 タンク上部と下部の温度差（2 回目）

試験の結果，充填しても破壊を起こさずに耐えることができた．しかし，充填 1 回目の再度充填時に CFRP タンクとタンク下部の蓋との間からガスが漏れてしまった．漏れた原因は，蓋の締めすぎで，ねじが奥まで入りこみ，おねじが入ってはいけないところまで入り，タンクと蓋の間の隙間が広がったからだと考えた．そこで少しだけ蓋を緩めて 2 回目の充填を行ったところガス漏れは確認できなかった．

また，圧力 4.44MPa，最大温度 33.4℃，最低温度 -15.2℃，タンク上部と下部の推定瞬間温度差 32.1℃を経験させたが，破損や自己発熱分解反応などが生じないことを確認した．ただし同時期に行った内容積 58.0L のチタンタンクでは，最高温度が 80℃程まで上昇した．今回製作したサイズの CFRP タンクでの充填試験の温度データがないため，今後引き続き確認する必要がある．

## 5. 耐圧試験（2 回目）

充填試験でガスが漏れてしまった原因を明らかにするために再度耐圧試験を行った．今回の耐圧試験は，漏洩箇所を確認するのが目的なので，ひずみ値は測定せず行った．

最初に圧力をかけた際，蓋とタンクの間から水が漏れてしまったため，蓋を少し緩めやり直した．圧力を 5.6MPa までかけた際，図 15 より O リングがはみ出してしまい，水が漏れていた．

試験結果，水が漏れた原因は，タンクと蓋の間から O リングがはみ出してしまったことから，タンクと蓋の間の隙間が広がったからだとわかった．改善策としては，一体成形ねじ部のマンドレル直径を小さくしてタンクを製作すれば，タンクと蓋の隙間が狭くなり，O リングがはみ出ず水漏れが起こらないと考えられる．CFRP タンクの内径

を測定したところ，77.7mm であった．O リングの規格で規定されているはめ合い内径が 77mm(+0.10mm 0mm)であったため，O リング接触部に該当する部分のマンドレル外径を最低でも 0.6mm 小さくすれば実現できる．

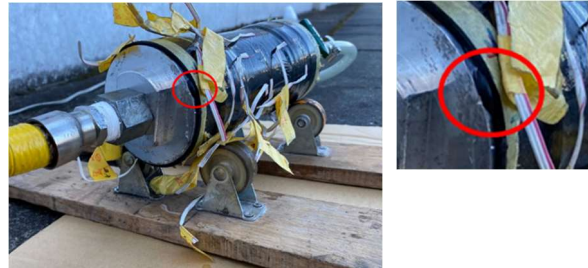


図 15 O リングがはみ出した様子

## 6. 結論

製作した CFRP タンクに圧力 7.5MPa までかけ，破壊を起こさずに耐えることが確認できた．亜酸化窒素の充填試験においては圧力 4.44MPa，最高温度 33.4℃，最低温度 -15.2℃，タンク上部と下部の推定瞬間温度差 32.1℃を経験させたが，破損や自己発熱分解反応などが生じないことを確認した．今回製作したサイズでの温度データが過去にないため，試験検証実績として十分なのかは判断できない．温度については，今後引き続き確認する必要がある．O リング接触部に該当する部分のマンドレル外径を最低でも 0.6mm 小さくする必要がある．

## 参考文献

- (1) 宇宙航空研究開発機構，JERG-0-001C，宇宙用高圧ガス機器技術基準 平成 21 年 3 月 9 日 C 改訂，2009 年．
- (2) 兼頼晴香・浜崎綾子，升啓太郎，熊田光樹，船見祐揮，喜多村竜太，高野敦，ハイブリッドロケットエンジンのための亜酸化窒素の反応調査，宇宙輸送シンポジウム，2020．
- (3) 西野沙也佳，高野敦，ハイブリッドロケットにおける FRP 製軽量化酸化剤タンクの開発，日本航空宇宙学会 第 50 期 年会講演会，2019．