Osaka University Knowledge Archive

Title	FRPデュワーの開発
Author(s)	西嶋, 茂宏; 岡田, 東一
Citation	大阪大学低温センターだより. 1984, 45, p. 11-16
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/6259
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

低温中級技術シリーズ13

FRPデュワーの開発

産業科学研究所　西嶋茂宏、　岡田東一
（吹田　3491）

1. はじめに

パルスマグネット用の金属製クライオスタットには渦電流による損失が起り、これによる発熱のためヘリウム経済が悪くなる。このためこういったマグネットの運転には絶縁物によるヘリウム容器が望ましい。この絶縁物としては現在、成形技術の確立している強化プラスチック（ここではFRPと略す）を使用するのが妥当であると考えられている。このFRP製のデュワーはSQUIDのように非磁性を要求される装置とか、軽量化を要求される宇宙工学用にも有用であると考えられる。

我々は中型（内径30cm、高さ130cm）のFRPデュワーを製作して使用しているが、ここではその製作の過程を基本的な設計基準とその実験を失敗例をも交えて紹介することにする。

2. 設計基準

まず小型FRPデュワーを試作し、その問題点について整理し、今後の中・大型のFRPデュワーの製作のための方針について検討した。FRPデュワーを製作するにあたり、次のような点をクリアすべき条件とした。

(1) 金属クライオスタットと同程度の取扱いが可能であること。

FRPデュワーは軽量であると予想されるが、その取扱いに特別の注意を払わねばならないならば、軽量化の長所が半減する。それゆえ取扱いは金属クライオスタットと同程度に扱えることにした。

(2) 吸着材なしで真空系から切り離し、液体ヘリウムを溜めることができること。

実際の長期使用には吸着材の使用は必要と思われるが、少なくとも数回～十数回の使用には吸着材なしで液体ヘリウムを溜めることができること。またこの場合、真空排気系から切り離すことができること。

(3) 性能は金属クライオスタットと同程度もしくはそれ以上であること。

スーパーインシュレーションを使用するので安定した性能になるまでに少し時間がかかるが、数回の液体ヘリウムのトランスファでその性能が金属クライオスタットと同程度又はそれ以上になること。

(4) 製作はハンドレイアップ法*又は接着組立法によること。

---

* 芯型に離型剤（製品が粘着するのを防止するためのワックス類など）を塗布した後に、ガラス布、テープなどに樹脂を含浸させながら手作業で積層していく方法である。設備を必要とせず、手軽に成形できる利点があるが、気泡が少なく厚さ均一の良品を作るにはかなりの熟練を必要とする。

大型又は複雑な形状のクライオスタットの製作に適するハンドレイアップ又は接着組立法を採用する。

3. 材料試験

デュワー用の材料を選択するにあたり、次のような項目について調べることにした。

(i) 機械的強度及び低温脆性

(ii) 熱収縮

(iii) 接着継手強度

(iv) ヘリウムの透過及びリーク

3－1 機械的強度及び低温脆性

材料は低温になるほど硬く脆くなるので、その機械的強度及び低温脆性を調べておく必要があった。これは特に設計基準(1)に深く関わっていると考えられたので、低温での機械的特性を調べてみることにした。図1に各温度におけるガラス布強化FRPの曲げ試験の結果を示す。特徴的なことは、低温で荷重のみならず変位も室温に比べ大きくなっていることである。引張試験の結果も同様であった。破壊変位が低温側で増加することは強化材が布であることに関係しているのであるが、ここで分ったことは低温になってもマクロ的には脆性は起らないということである。さらに衝撃荷重の試験をシャルピー及び落重試験を低温で行い室温と比較したが、やはり低温になると吸収エネルギーが増加していくのが見られ、衝撃力に対してもFRPは低温で強いことが確められ、(1)を満足できる見通しが立った。

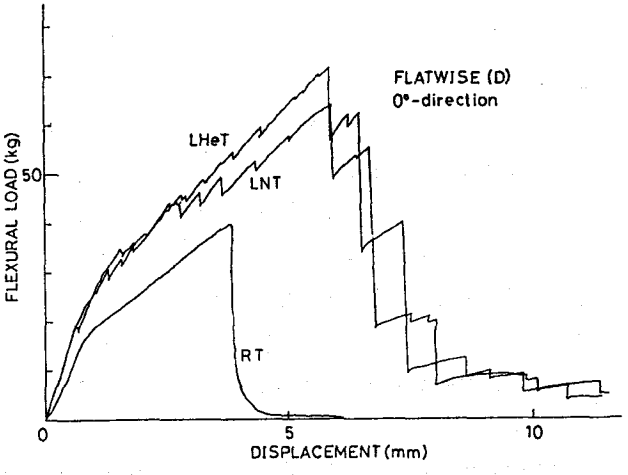

図1：各温度におけるFRP材料の曲げ試験の際の荷重ー変位線図

3－2 熱収縮

高分子材料の液体ヘリウム温度までの熱収縮は1％を越えるものも少なくなく、金属の0.3％前後に比較して大きい。FRPにしてガラスを混入すると熱収縮は下がるが、金属と同程度の熱収縮にするための目安が必要であったため、ガラス含有率を変えたFRP材料の熱収縮について調べた。図2にFRP材料の布の

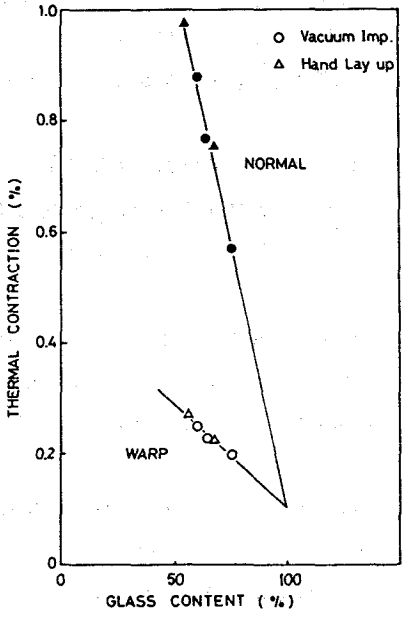

図2：FRP材料の液体窒素温度までの熱収縮のガラス含有率（重量）依存性

繊維方向及び積層方向の材料の液体窒素温度までの熱収縮を示した。複合則が成立していることが分る。このデータから積層方向でも金属程度の熱収縮に抑えるには、70～80wt％のガラス含有量が必要であることが分った。

3－3　接着継手試験

ハンドレイアップ法ではガラス含有率は60％前後にしかならないので、この方法では困難が予想された。（もう一つ別の理由で本方法は採用できないのであるが、それは後述する。）それゆえ接着組立を採用することになるのであるが、継手強度が問題となった。そこで室温と液体窒素温度で接着継手強度を試験した。接着剤はスタイキャスト 2850 FT である。

接着方法は次の4種類である。

① インサート＋接着

10⌀のロッドを外径12⌀、内径10.1⌀の sus 304の丸棒に10㎜そう入し、接着を行なった。

② ネジ＋接着

FRP側にオネジ、sus側にメネジを切り、接着剤を併用しねじ込んだ。有効ねじ長は10㎜である。

③ インサート＋接着＋ピン

①の形状の側部に3⌀の sus 304 のピンを打ち込んだもの。

④ インサート＋ピン

③の形状に接着剤を使用しないもの。

これらを室温と液体窒素温度で引張試験を行なった。各試料の代表的な荷重－変位線図を図3に示した。液体窒素温度では①と②しか行なっていないが、〝ネジ＋接着〟が一番高い荷重まで耐え得ることが分る。また接着のみでも液体窒素温度で 0.45kg/㎟ の接着強度を有することが分った。

3－3　ヘリウム透過及びリーク

実際にFRPで容器を製作してヘリウムのリークの問題を扱うことにした。ここでは透過とリークを異なる意味にとらえている。透過とはヘリウムが材料中を拡散していく過程と考え、リークはクラックや気泡が結びつき経路ができてガスヘリウムがリークすると考えることにする。透過は低温になると問題なくなるので、実際上問題となるのは

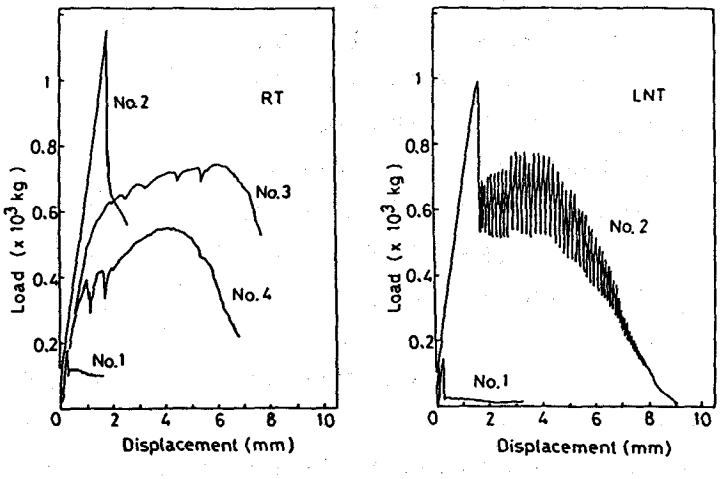

図3：接着継手の強度試験結果

リークの方である。それゆえ使用する材料は、気泡率が低く、かつガラス含有率の高い真空注型材又はフィラメントワインディング*（FW）材を基本的には使用することにした。

3－3－1　側板及び接着部のリーク試験

図4に示したように内径100㎜のパイプを内壁とし、内径140㎜のパイプを外径としてヘリウム容器を製作した。パイプの材料は真空注型及びFWの2種類である。底板はsus 304とし、このデュワーの外側に窒素シールドを設けてヘリウム容器が完成する。真空層には輻射シールドのためのスーパーインシュレーションが30層施してある。接着剤はスタイキャスト2850FTを使用し、真空層には吸着材は使用していない。

この容器に液体ヘリウムを20㎝の深さ、体積にして約1.6ℓ溜めることに成功した。なおこの場合、真空系を接続したままであった。この結果から真空注型及びFWで製作した容器で充分液体ヘリウムを溜める容器を製作できることが分った。さらに現在の接着技術で液体ヘリウム温度でもリークを抑え得ることがわかった。

FRP材料及び接着剤は熱サイクルを与えると、初期の数回までは性能が劣化するが、このことを考慮に入れて、液体窒素温度まで6回冷却し真空度を調べたが、劣化は認められず、基本的には本方法で問題のないことが明らかとなった。

3－3－2　底板のリーク試験

次に底板をいろいろのFRPにして、同じ形状のデュワーを製作した。底板としては次の5種類のFRPを選んだ。（熱収縮の実験から高ガラス含有率の方が望ましいが、低ガラス含有率の可否及び気泡率の影響を調べるためハンドレイアップのFRPも用意した。）

(1)　ハイドレイアップFRP：

（低ガラス含有率：数％）

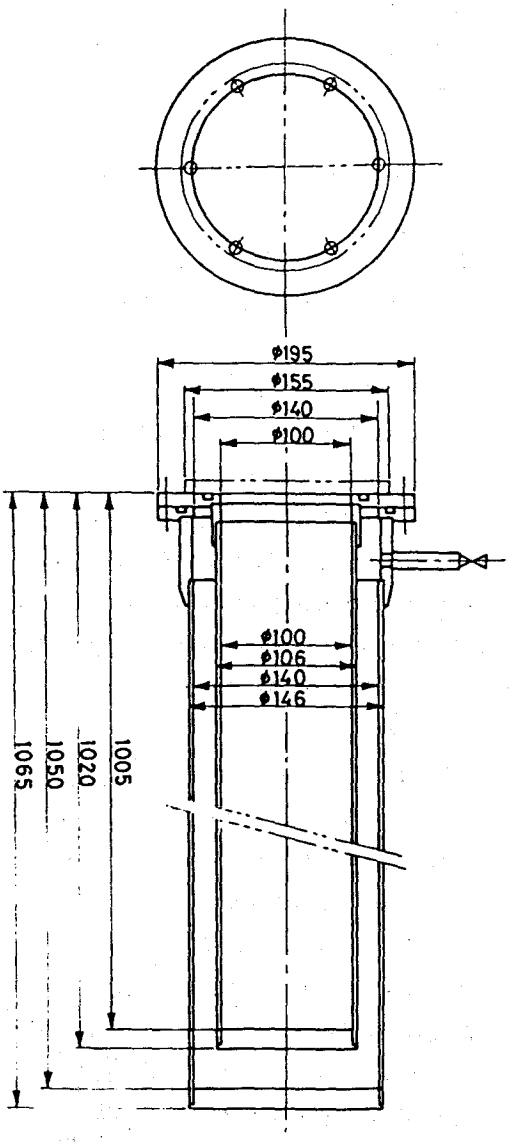

図4：試作した小型FRPデュワー

* 連続ガラス繊維などの補強材に熱硬化性プラスチックを含浸させたのち、それを芯型に巻きつけ積層する方法。

(2) ハンドレイアップFRP：（低ガラス含有率：数%）

(3) ハンドレイアップFRP：（高ガラス含有率：～70%）

(4) ベークライト

(5) 真空注型板

液体ヘリウムをトランスファする前に次の手順で、室温、液体窒素温度でのヘリウムガスのリークを調べた。

(i) 真空層を～10^{-5} mmHgまで排気し、ヘリウム槽にヘリウムガスを封入し、ヘリウムリークディテクタでリークを調べた。

(ii) 底板のみを液体窒素で冷却し、(i)と同様にリークを調べた。

室温ではいずれの底板でもリークは検出されなかった。液体窒素温度では低ガラス含有率FRP及びベークライトは熱衝撃でクラックが入り真空破壊を起した。(3)のFRPでは液体窒素温度で6×10^{-6} torr・ℓ/sec程度のリークが認められ、室温に戻すとリークは止る。これはマトリックスとガラス繊維の熱収縮の差によりリーク経路ができたためと考えられる。一方真空注型板は液体窒素温度においてもヘリウムリークは認められなかった。

この結果から(3)、(5)の底板のデュワーに液体ヘリウムをトランスファすることにした。トランスファする際には真空系に接続したままとした。

3－3－3　トランスファの結果

(1) ハンドレイアップFRP底板デュワー

液体窒素温度で若干の真空度劣化が見られたが、液体ヘリウムをトランスファした。トランスファ初期の真空度（真空系側）は$1.8\sim2.9\times10^{-5}$ mmHgであったが、内槽の温度が10K程度から著しい真空度の劣化が見られ、内槽の温度は4.2Kに到達したが、液体ヘリウムを溜めることはできなかった。

(2) 真空注型FRP底板デュワー

このデュワーには2.5ℓ、深さにして約32cmの液体ヘリウムを溜めることに成功した。また、この容器については真空系から切り離した状態でも液体ヘリウムを溜めることに成功した。

4. FRPデュワーの性能

液体ヘリウムを溜めることのできたFRPデュワーの性能を同程度の大きさの金属クライオスタットの性能と比較してみた。金属クライオスタットの性能は計算によって求め、結果を表1に示した。表から分るように、金属クライオスタットの性能に比べ見劣りしないFRPデュワーの開発に成功

表1：FRPデュワーと金属クライオスタットの性能比較

			LHe蒸発速度（熱侵入量）
sus クライオスタット		：	0.25ℓ/hr＝181mW
真空注型底板FRPデュワー	真空系接続	：	2.5ℓ/10.2hr＝0.24ℓ/hr＝174mW
	封じ切り（暖）	：	1.88ℓ/6.38hr＝0.29ℓ/hr＝210mW
	（冷）	：	2.5ℓ/12.2hr＝0.2ℓ/hr　＝145mW

した。特にヘリウム槽が充分冷却されている場合、金属クライオスタットよりかなり性能が良好である。これは輻射シールドの温度が充分下っていることが原因と考えられる。

5. 結　論

小型FRPデュワーを試作し、FRPデュワーの性能を調べることにより次の事柄が明らかとなった。

(1) 現在の接着技術で液体ヘリウム温度でも充分ヘリウムリークが抑えられる。

(2) 現在、一般化しているハンドレイアップ法によるFRPでは低温でヘリウムリークを抑えるのはむずかしい。それゆえ大型又は形状の複雑なデュワーでは接着組立法によるのが良い。

(3) 真空注型、FW法で製作した容器で液体ヘリウムを溜めることのできるFRPデュワーを製作できる。このデュワーは金属のクライオスタットに比べても性能的に劣ることはない。

現在、窒素シールドなしの内径30cmのFRPデュワーを超電導マグネット用に製作し、約2年間使用しているが、異常はなく、窒素シールドがないためたいへん使い易いという実感がある。取扱いも金属クライオスタット以上に手荒く扱っているが、異常は認められない。

以上のことから基本方針の4項目すべて満足するデュワーを製作することが可能になった。

現在、長期使用に関する問題、特に疲労及び耐圧性の問題について研究を行なっている。

なお、本研究は〝ほくさん〟との共同研究となっていることをつけ加えておく。

保安係員異動

本誌№43（1983年7月号）p.8に示した組織表のうち、豊中分室の保安係員（化学）が松浦氏より阿竹　徹氏に交代しました。（昭和58年12月、大阪府届出済）