

設備紹介



支持構造体（液化水素貯槽用）等の断熱性能を測定する装置

Cryostat (Boil-off Calorie Meter) for Measuring Thermal Conductivity with Producing Uniform Contact Pressure to Specimen (Supporting Structure used for Liquid Hydrogen Storage Tanks, etc.)

1. はじめに

カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現を目指し、現在、世界各国で水素利活用に向けた様々な取り組みがなされている。その1つとしてオーストラリアで生産された液体水素 (LH₂) を日本に輸送し、国内で利用する計画 (HySTRA の事業) があり、そこでは輸送された LH₂ を真空断熱の大型貯槽 (平底円筒形タンク等) で貯蔵する技術開発が進められている。LH₂ の沸点は約 -253 °C と非常に低温であり、この貯槽には高い断熱性能が求められる。

一般に、物質を通過する熱量は両端の温度差と断面積、さらにはその物質の熱伝導率に依存する。本稿にて紹介する断熱性能測定装置 (以下、「本装置」という。) は、貯槽底部を構成する支持構造体 (断熱材) (以下、「試験体」という。) の断熱性能を測定するための装置である。

今回の測定対象となる試験体は大型で構造が複雑なものである。本装置は様々な要素部材で構成される大型構造体 (直径約 1.5 m、厚さ約 0.3 m) の断熱性能を測定することが可能である。

また、試験体を実際に運用する環境では、貯槽の重量が試験体に圧力として加わる (接触圧力)。この接触圧力が本装置の測定項目の断熱性能に影響を与える可能性 (接触熱抵抗の変化等) があることから、LH₂ の大型貯槽の実際の運用時に試験体にかかる接触圧力を模擬した試験が必要とされた。

そのため、弊社では試験体を均一な接触圧力で加圧する方法を考案し、試験体の断熱性能と接触圧力との相関関係も確認可能な断熱性能測定装置を設計・開発した。

また、今回は LH₂ 貯槽用の支持構造体をターゲットとして本装置を設計・製作したが、上述のように様々な構造体の断熱性能の測定にも応用が期待できる。

2. 本装置を構成する機器

本装置を構成する機器の仕様を表 1、機器構成図を図 1 に示す。

表 1 本装置を構成する機器の仕様

| 項目 | 仕様 |
|---|----------------------------|
| 真空容器直胴部寸法 | 内径 2 m, 直胴部高さ約 2.3 m |
| 真空容器内の到達圧力 (真空) | 1.0×10 ⁻³ Pa 以下 |
| 測定容器直胴部寸法 | 内径 1 m, 直胴部高さ約 0.2 m |
| 測定容器への LN ₂ 補充無しで、連続で実施可能な断熱性能測定時間 | 50 h 以上 |
| 断熱材に均一な圧力を印加するためのペローズ内圧 ¹⁾ | 0~150 kPa (G) |
| 支持構造体 (試験体) の寸法 | 直径約 1.5 m |
| 高熱板 (シースヒータ) の出力 ²⁾ (定電力制御) | 0~360 W |

- 1) 0.1 kPa 刻みで調整可能
- 2) 0.1 W 刻みで調整可能

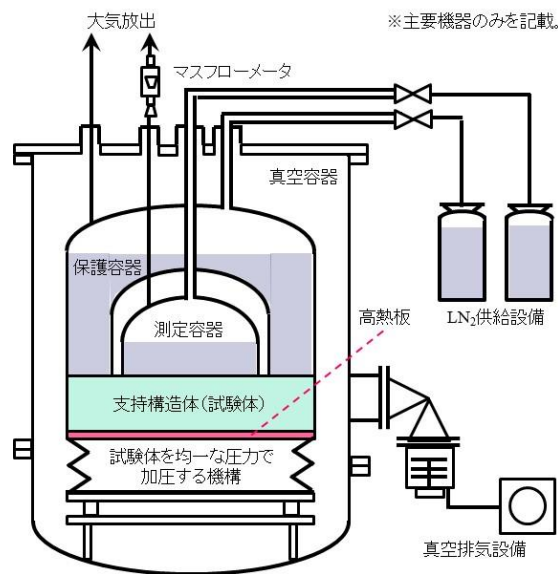


図 1 機器構成図

3. 断熱性能測定方法

ウレタン等の断熱材に関する断熱性能測定方法は JIS, ASTM, ISO 等で規定されている。一方、今回は単一材料ではなく複数の要素部材で構成される試験体の断熱性能を測定する必要があるとともに、試験体は大型 (直径約 1.5 m、厚さ約 0.3 m) である。

そのため、今回は前述の方法ではなく、シースヒータを取り付けたアルミ板 (高熱板) により試験体底部

を加熱し、試験体上部に取り付けられた容器（以下、「測定容器」という。）内の液体窒素（LN₂）の蒸発ガス流量を測定し、その通過熱量を算出する方法により、試験体の断熱性能を評価する（ボイルオフカロリメータ法）。

4. 本装置の断熱システム

測定容器や試験体への外乱となる外部からの侵入熱を低減するため、本装置は主に以下3点で断熱システムが構成されている。

(1) 真空容器（真空断熱）

測定容器周囲の気体による対流伝熱を低減するため、測定容器は真空容器内に設置され、真空排気設備により 1.0×10^{-3} Pa (A) 以下に維持される。これは、後述の多層断熱が効果を発揮できるレベルの高真空である。

(2) 保護容器（LN₂を充填した容器による測定容器の熱シールド）

試験中の測定容器の外表面が真空容器の内面（常温）を直視した場合の輻射伝熱による外乱は約 50 W/m^2 と推算される。この値は高熱板から試験体への入熱（最大約 60 W/m^2 ）に近く、輻射伝熱による外乱の入熱への影響は大きい。そのため、測定容器の周囲にLN₂の入った容器（以下、「保護容器」という。）を設けることで、輻射伝熱による外乱を限りなくゼロにしている。また、測定容器に接続される配管を保護容器内のLN₂に接続させることで、配管の固体伝導による侵入熱も低減している。

(3) 多層断熱

保護容器周囲やLN₂が流れる配管にはMLI（Multi-Layer Insulation）を施工し、輻射による侵入熱を低減している。

5. 加圧機構（均一な任意の接触圧力）

1章記載の通り試験体を均一な任意の接触圧力で加圧した状態で断熱性能を測定する必要がある。

上述の加圧に関して、今回要求される特殊な点は以下である。

(1) 真空中で接触圧力を発生させる必要があるため、真空劣化の原因となる成分（以下、「アウトガス」という。）の少ない方法を選択すること

(2) 試験体に均一な接触圧力を加えること

(3) 接触圧力は任意に設定が可能で、その接触圧力を長期間維持できること

これらを満足するために金属製のペローズを用いて、ペローズ内を加圧することで試験体を上方向（測定容

器）に押し付ける機構を考案した。

この方法による利点は以下の通りである。

- ・金属製のペローズを用いることで、加圧機構から真空内に放出するアウトガスを低減することができる。
- ・気体による加圧のため、均一な接触圧力を得られる。
- ・圧力調整弁により、ペローズ内圧を調整可能である。

今回考案・開発した機構により、加圧状態での断熱性能測定が可能となった。また、接触圧力を変化させることにより、LH₂貯槽内の液量が変化した場合の圧力状態を模擬することも可能である。

6. まとめ

弊社は、「断熱性能測定装置」を設計・開発した（図2参照）。本装置は以下の測定が可能である。

- ・任意の接触圧力を試験体に均一に加圧した状態での断熱性能測定
- ・複数の要素部材で構成される試験体の断熱性能測定
- ・大型（直径約1.5 m、厚さ約0.3 m）試験体の断熱性能測定

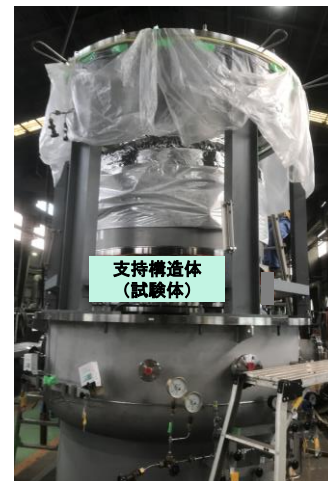


図2 装置外観と真空容器内部の様子

本装置で得られたデータをもとに、LH₂貯槽重量の最適化等、大型LH₂貯槽の高性能化に繋げることが期待できる。また、今回はLH₂の大型貯槽用の支持構造体をターゲットとしていたが、その他の構造体の断熱性能測定への応用も期待できる。

（プラントエンジニアリングセンター

宇宙・低温エンジニアリング部 設計課 寺澤亮太）

問い合わせ先

オンサイト・プラントユニット

プラント事業部 宇宙・低温機器営業部

TEL. 052-629-0611