

# 液体水素実験施設の構築と関連する研究成果

神戸大学 大学院海事科学研究科

武田 実

## 1. はじめに

筆者らの研究室<sup>1)</sup>の前進は、神戸商船大学一般教育物理学教室であり、神戸商船大学は2003年10月に神戸大学と統合して11番目の学部「海事科学部」に生まれ変わった。その後大学院は、自然科学研究科を経て「海事科学研究科」に至った。現在は、2021年4月学部改組に伴い「海洋政策科学部」に替わっている。

関西支部創立50周年記念誌発刊に当たり、40周年以降の10年間を中心として、筆者らの研究室が貢献した「関西発の技術」を以下にまとめたい。特筆すべきは、神戸大学深江キャンパスに構築した液体水素実験施設であり、関連する研究成果と併せて概説する。

## 2. 液体水素実験施設

筆者らの研究室では、神戸大学深江キャンパス内の極低温実験棟において液体ヘリウムを用いた超伝導応用（超伝導電磁推進船、海流MHD発電など）に関する研究を行うとともに、水素エネルギー海上輸送基盤技術の開発を目指し、2004年頃から、岩谷瓦斯(株)および国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）などとの共同研究として、液体水素用超伝導液面計に関する基礎研究を始めていた。液体水素用の特殊実験施設は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）および一般財団法人日本自動車研究所（JARI）などを除いて、国内には無かったため、筆者らは約4年の歳



図1 水素実験棟の写真

月を要して、2015年6月深江キャンパス内に液体水素実験施設（以後、学内呼称である「水素実験棟」と略す）を構築した<sup>2)</sup>。

深江キャンパスにおける水素実験棟の外観写真を図1に示す。水素実験棟の正面扉（横開き）には、「水素実験棟」と「液化水素実験用クライオスタット置場（火気厳禁）」（朱書き）のプレートが貼られている。また、写真右側に見えるのは、水素ガス放出ラインと真空ポンプ小屋である。

図2に水素実験棟におけるLH<sub>2</sub>実験装置などのレイアウト図を示す。水素実験棟には、実験室、測定室、水素ガス放出ライン、真空排気ライン、保安・防爆機器、LH<sub>2</sub>実験装置などが設置されている。実験室と測定室の間は、網入りの強化ガラ

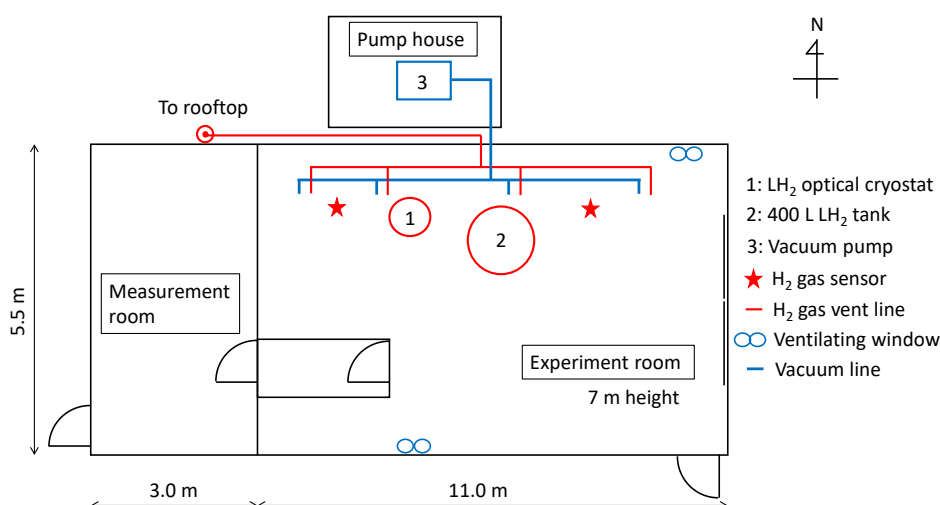


図2 水素実験棟のレイアウト図

スで隔てられ、二重扉から行き来できる。なお計測用配線は、実験室のピットおよび測定室の壁下穴を通してのり。

水素ガス放出ライン（SUS304, 40A：外径 48.6 mm）は、屋根より 1 m 高い所に設置された水素逆火防止装置（PROTEGO, LH/AD 型）に繋がっている。これは、落雷による着火事故を防ぐためである。また、真空排気ライン（SUS304, 50A：外径 60.5 mm および 80A：外径 89.1 mm）は、水素実験棟横の真空ポンプ小屋内にある大型真空ポンプ（大亜真空、KRP-1500）に繋がっている。

実験室の上部 2 か所には、水素ガス検知警報装置の拡散式ガス検知部（新コスモス電機、KD-5A-N）が設置されている。検知部から、測定室にある指示警報器（新コスモス電機、NV-100H）へ信号が送られ、水素濃度が 200 ppm を超えると警報が鳴る仕組みになっている。この警報装置は、実験室内の水素濃度を常時モニターしている。なお、ハンディタイプの水素ガス検知器（新コスモス電機、XP-316）も併用している。実験室には防爆型換気扇がないため、LH<sub>2</sub> 実験の際は、実験室の換気用窓を開けて対応している。2 か所ある水素実験棟の入口には、アースハンドルが取付けられている。また、実験室内にもアース端子が取付けられている。

### 3. 関連する研究成果

#### 3.1 液体水素用超伝導液面計に関する研究

貯蔵効率の高い LH<sub>2</sub> を海上輸送するための基盤技術のひとつとして、電気抵抗式の超伝導 MgB<sub>2</sub>（二ホウ化マグネシウム）液面センサーの研究を行っている。この液面センサーは、LHe 用超伝導 NbTi（ニオブチタン）液面センサーと同様に、液体中（電気抵抗ゼロ）と気体中（電気抵抗発生）における熱伝達の違いを応用している。ただし、従来の超伝導液面センサーは、測定電流（励起電流）に伴うジュール発熱を利用した内部加熱型（自己加熱型）であるのに対して、筆者らの液面センサーは、その周りにヒーター線を巻いた外部加熱型を採用している。これにより、蒸発ガスによる液面センサーの冷却を防ぎ、高精度・高応答性を有する LH<sub>2</sub> 用 MgB<sub>2</sub> 液面センサーを実現できるからである。現在、LH<sub>2</sub> 用 MgB<sub>2</sub> 液面センサーの長尺化に関する研究開発<sup>3)</sup>を推進している。

#### 3.2 液体水素のスロッシングに関する研究

高速度カメラを用いて、上述の液面センサーの優れた動的液面検知特性などを明らかにするとともに、2000 L LH<sub>2</sub> タンク内部のスロッシング（液

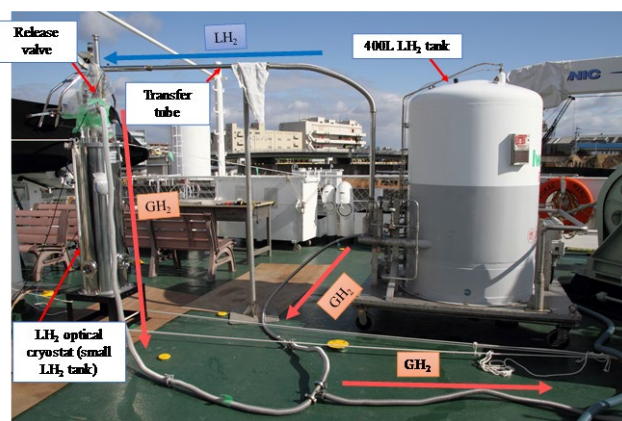


図 3 LH<sub>2</sub> 海上輸送実験の様子

面揺動）に関するシミュレーションおよびトラック走行試験を行った。また、液面センサーを複数用いた 3D スロッシング計測にも成功した。

LH<sub>2</sub> の海上輸送に関する実測データを得るために、海事科学研究科附属練習船「深江丸」による LH<sub>2</sub> 海上輸送実験（図 3 参照）を行った<sup>4),5)</sup>。LH<sub>2</sub> 用クライオスタット（20 L）に 500 mm 長の液面センサー 5 本を挿入し、大阪湾航海中においてクライオスタット内部の温度・圧力・液面、および船体動揺・加速度等の同時計測に成功した。

#### 3.3 GFRP 管のヤング率測定に関する研究

LH<sub>2</sub> の海上輸送に関連して、陸上タンクから海上輸送タンクへ LH<sub>2</sub> を荷役する技術の研究開発が求められている。中でも荷役時に必要な安全かつ高精度な LH<sub>2</sub> 用流量計は、まだ開発されていない。そこで筆者らは、新たな流量計として、ヘリカル型 LH<sub>2</sub> 用流量計を考案した。この流量計は、配管（GFRP 管）とヘリカル型仕切り板とひずみゲージで構成されている。ヘリカル流を通す配管の表面にひずみゲージを取り付け、流れに伴う管内の圧力変化により生じる配管のひずみを検知すれば、その大きさから流量を算出することができる。この流量計を開発するためには、配管材料の低温下における力学的特性（ヤング率）を調べることが重要である。現在、低温加圧実験装置を用いて、GFRP 管のヤング率のデータを取得中である。

### 4. 参考文献

- 1) 武田 実：低温工学 **50** (2015) 483
- 2) 武田 実ら：低温工学 **55** (2020) 14
- 3) 福本祥一ら：低温工学 **57** (2022) 39
- 4) K. Maekawa *et al.*: Materials Science and Engineering **278** (2017) 012066
- 5) K. Maekawa *et al.*: Sensors **18** (2018) 3694