



Title	球形タンク方式LNG船用防熱システムの開発・深化の研究
Author(s)	中村, 容透
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/46022">https://hdl.handle.net/11094/46022</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	なかむらまさとう 中村容透
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第19642号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	球形タンク方式 LNG 船用防熱システムの開発・深化の研究
論文審査委員	(主査) 教授 富田 康光 (副査) 教授 矢尾 哲也 教授 村川 英一 助教授 大沢 直樹

### 論文内容の要旨

クリーンエネルギーとして世界的にその消費を急伸させている極低温の液体燃料である LNG (Liquefied Natural Gas) を輸送する LNG 船の基幹部は貨物格納システムである。それはタンクと防熱の両システムによって構成され、中でも防熱システムは、 $-163^{\circ}\text{C}$  から常温に跨る広い温度領域での熱収縮に耐え、極低温域でも丈夫な構造を維持し、且つ、熱侵入を防ぎ蒸発ガス量を一定に押さえる機能が必要とされる。著者は、我国初建造の球形タンク方式 LNG 船用防熱システムの独自開発・研究に携わり、川崎式第1世代防熱を完成させた。その後、次々と提起された課題に対応すべく幾多の新規提案・考案を行い、その適用性確認のための施工要素を取り入れた各種解析及び実験を実施し、解決策を熟考・評価し、第2世代から第6世代までの防熱に結実させ、総適用実績を45隻にまで延ばすことに貢献した。20,000 m<sup>3</sup>~200,000 m<sup>3</sup> 型に適用可能で、且つ、0.10~0.30%/day という広域 B.O.R. (Boil Off Rate) をカバーできる世界で唯一の防熱システム技術に深化させた研究内容をここに纏め上げた。

#### 1. 球形タンク防熱システムの基盤部の研究

低温側に PRF (Phenolic Resin Foam) を、常温側には PUF (Polyurethane Foam) を配置した2層構成のパネル方式を採用し、その補強にネットを介挿させ、表面に防湿シートを貼り合わせたパネルをタンク面にボルトで係止し、隣接パネル間の目地部を PUF 発泡により構造の一体化を図った B.O.R. : 0.25%/day (200 mm 厚) の純国産防熱技術(第1世代)を開発し、第1号船に適用した。その熱伝達機構と構造強度特性ほかに関する基盤部の研究を深化させ総括した。

#### 2. 防熱システムの深化研究の系譜

第2世代防熱から第6世代防熱までの一連の開発技術の要素と全体を段階を追ってまとめた。

#### 3. 防熱システムの機能設計

高採算追求の LNG 船の最適 B.O.R. の計画指針及び侵入熱の推定手法を明らかにし、0.15%/day、0.10%/day の低 B.O.R. 型防熱を開発し、世界最小 B.O.R. を達成した。実測 B.O.R. との比較により、計画手法の妥当性を裏付け、25年経年後の B.O.R. を予測した。一方、樹脂発泡体で構成される防熱内部の応力並びに取付部に加わる熱荷重の低減を追求し、小径タンクに適用できる“柔”構造システムを開発し、世界最小の LNG 船に初適用した。更に、施工

性の向上と構造強度の安定化を期し、表面材を薄膜化した柔軟なパネルから成る防熱システムに一新し、世界最大の LNG 船の量産化に貢献した。

#### 4. 防熱パネル製造技術

従来の 100 mm 級から 250 mm 級に厚みを増した PRF パネル及び PUF パネルの生成発泡の研究を通じて、低温特性に秀でたパネルの量産技術を確認し、広範囲の B.O.R. 要求への対応を可能にした。また、オゾン層保護を目的とした二度にわたる発泡用フロンの化学組成変更に対処するため、PUF 新原液の調合・開発から始め、伝導率が小さく且つ低温強度特性に優れた PUF を生成する発泡技術を確認・実用化した。

#### 5. 防熱施工技術

目地部への PUF 充填発泡研究を通して、100 mm 級から 250 mm 級に深めた目地部への現場発泡技術を確認・実船に適用した。スタッドボルト溶接、パネル取付要領を改善し、更に、目地表面変形の追従性に富む薄膜防湿テープ粘着工法の新規採用を含めて施工コンセプトを革新し、大幅コスト削減を達成した。

### 論文審査の結果の要旨

クリーンエネルギーとして世界的にその消費を急伸させている極低温の液体燃料である LNG (Liquefied Natural Gas) を輸送する LNG 船の基幹部は貨物格納システムである。それはタンクと防熱の両システムによって構成され、中でも防熱システムは、 $-163^{\circ}\text{C}$  から常温に跨る広い温度領域での熱収縮に耐え、極低温域でも丈夫な構造を維持し、且つ、熱侵入を防ぎ蒸発ガス量を一定に押さえる機能が必要とされる重要なコア技術である。我国初建造の球形タンク方式 LNG 船用として著者らによって純国産技術の川崎式防熱システム (第 1 世代、B.O.R. (Boil Off Rate) : 0.25%/day (200 mm 厚)) が独自開発され、実船に適用されている。低温側に PRF (Phenolic Resin Foam) を、常温側には PUF (Polyurethane Foam) を配置した 2 層から構成され、その補強にネットを介挿させ、表面に防湿シートを貼り合わせたパネルをタンク面にボルトで係止し、隣接パネル間の目地部を PUF 発泡により構造の一体化を図った防熱システムである。本論文では、その熱伝達機構並びに構造強度諸要素に着目し、この基幹部技術の研究を掘り下げることから始め、B.O.R. の低減化、厚もの防熱パネルの開発、小型化及び大型化適用のための防熱構造剛性の低減、市場競争力向上のための目地施工新方式の取り入れ、地球温暖化防止のためのフロンの発泡材変更に伴う PUF 原液の新規開発などの諸課題に次々と挑戦し、幾多の新規提案・考案を行いつつ、施工要素を取り入れた各種解析及び実験を広範囲に実施し、第 6 世代にまで防熱システムを発展・拡充させて行ったその過程の研究をとりまとめている。得られた主な成果は、以下の通りである。

- (1)同一 B.O.R. にて他方式と比べると、本方式が最も薄く、世界最高の防熱性能を誇る。
- (2)LNG 船の運航経済性を最大化するために最適な B.O.R. の計画指針及び侵入熱の推定手法を明らかにし、0.25%/day から 0.15%/day に B.O.R. を低減した防熱を開発し、実船に適用している。
- (3)従来の 100 mm 級から 250 mm 級に厚みを増した PRF パネル及び PUF パネルの生成発泡の研究を通じて、厚ものパネルの発泡製造技術を確認すると共に深目地部現場注入発泡技術を開発し、世界最小 B.O.R. (0.10%/day (365 mm 厚)) の防熱を実現・成功させている。
- (4)25~40 年経年後の熱伝導率上昇を予測する手法を提案し、就航後の B.O.R. 実績との比較により、その予測の妥当性を示し、B.O.R. 計画の確実性を高めている。
- (5)樹脂発泡体で構成される防熱内部の応力並びに取付部に加わる熱荷重の低減を追求し、小径タンクに適用できる“柔”構造システムを開発し、世界最小の LNG 船に初適用している。更に、施工性の向上と構造強度の安定化を期し、表面材を薄膜化した柔軟なパネルから成る防熱システムに一新し、世界最大の LNG 船の量産化に貢献している。20,000 m<sup>3</sup>~200,000 m<sup>3</sup>型 LNG 船までの最小~最大ともに広範囲に適用可能な技術に深化させている。

(6)0.10~0.30%/day という広域 B.O.R. をカバーできているシステムは、本方式のみである。

(7)就航後、強度的にも防熱的にも、LNG 船の一生を通じて、その本来の性能を維持することができ、基本的にメンテナンス不要であることは高く評価される。

(8)地球温暖化防止オゾン層保護対策としての発泡用フロンの化学組成変更に対処するため、PUF 新原液の調合・開発から始め、熱伝導率が小さく且つ低温強度特性に優れた PUF を生成する発泡技術を確立・実用化している。

(9)目地部形状・寸法の変更による施工の合理化、更に、目地表面変形の追従性に富む薄膜防湿テープ粘着工法の新規採用を含めて施工コンセプトを革新し、大幅コスト削減を達成し、市場競争力強化に貢献している。

以上の成果が採り入れられた本防熱技術は他社建造の LNG 船にも採用されることとなり、広範囲に亘る各種 B.O.R. での採用実績が 45 隻にまで延びて来ていることは、本論文でまとめ上げられている LNG 船搭載型球形極低温タンク用に独自開発された防熱・構造のシステム技術が優れており、価値が高いことの証左である。

以上のように、本論文は、船舶海洋工学、とりわけ、LNG 船の根幹技術であるタンクと対をなす防熱システムの防熱性能、構造性能、発泡性防熱材料の発泡生成技術、パネルに組み上げる製作技術、造船現場における施工技術に関する研究を深め、その総合集大成として組み上げられた防熱システムが LNG 船の長期に亘る安全運航を確実なものにしており、このことは、造船業界並びに海運界の発展、そして国際間のクリーンエネルギーの調達取引、我が国のエネルギー国家安全保障を支える基盤技術として、多角的に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。