

タグボート燃料のLNG化に関する 研究開発



株式会社 日本海洋科学
Japan Marine Science Inc.

March 2012



調査概要

調査の目的

- 背景

- 国内では、海運分野での環境問題への意識の高まりに伴い、船用燃料のLNG化が検討中
- ハード(機器設備など)・ソフト(法制度関係の整備など)両面で多くの課題が山積している状態

- 調査内容

- 調査対象を「東京ガス(株)袖ヶ浦工場を利用する大型LNG船の入出港作業を支援するタグボート」に限定
- 本年度は主にハード面でのLNG燃料タグボートの実現性について調査研究を実施

調査の前提

- 検討対象をタグボートとすることのメリット
 1. 航続距離が限定的であることから、船内および陸上のLNG関連設備を小規模に留めることが可能
 2. 活動地域が限定的であることから、関係する機関・組織を限定することが可能
 3. 代替建造が定期的かつ比較的短期間に実施されることから、容易に需要予測が可能
- LNGの供給は袖ヶ浦工場の内航船用棧橋を利用することを前提

調査の実施方法

- 調査の実施に際し、LNGの供給から
 1. タグボートの運用状況把握
 2. LNGの供給（陸上側）
 3. LNGの供給設備（船陸間インターフェース）
 4. LNGの燃料設備（本船側）
- 調査の方法
 - 国内に拠点を置く企業に対してヒアリング調査を実施
 - 調査実施先は各分野におけるこれまでの実績や国内での位置を基に選定
 - 選定にあたっては関係者から広く情報を収集

ヒアリング調査の実施先

	カテゴリ	企業名	ヒアリング対象
1	タグボートの運用状況把握	(株)ウイングマリタイムサービス	タグボートの運航関連
2		(株)ダイトーコーポレーション	タグボートの運航関連
3		東京汽船(株)	タグボートの運航関連
4	LNGの供給	東京ガス(株)袖ヶ浦工場	LNGの払い出し設備
5	LNGの供給設備	大同特殊工業(株)	LNG用荷役機器
6		トーフレ(株)	LNG用荷役機器
7		(株)日本メタルホース	LNG用荷役機器
8		(株)明治フレックス	LNG用荷役機器
9		ニイガタ・ローディング・システムズ(株)	LNG用荷役機器
10	LNGの燃料設備	金川造船(株)	タグボートの建造
11		京浜ドック(株)	タグボートの建造
12		新潟造船所(株)	タグボートの建造
13		三菱重工(株)	タグボートの設計・主機・LNG用タンク・気化器
14		(株)IHI	LNG用タンク
15		ユニバーサル造船(株)	タグボート(特殊船)の設計
16		新潟原動機(株)	タグボートの主機
17		ヤンマー(株)	タグボートの主機
18		ダイハツディーゼル(株)	タグボートの主機
19		バルチラジャパン(株)	タグボートの主機
20		マンジャパン(株)	タグボートの主機
21		ロールスロイスマリンジャパン(株)	タグボートの主機
22		川崎重工業(株)	LNG用タンク
23		東京ガスエンジニアリング(株)	LNGの気化器



調查結果

タグボートの運用状況把握①

- 調査実施先
 - ウイングマリタイムサービス
 - ダイトーコーポレーション
 - 東京汽船
- 袖ヶ浦基地で利用されているタグボートの燃料補給に係る概要

	補給場所	基本的な補給形態	補給頻度	1回あたりの補給量	1回あたりの補給時間
ウイングマリタイム	千葉中央港 (中央ふ頭、出洲ふ頭)	岸壁でバージを横付け	2回/月	20~30kl	20分程度
ダイトー コーポレーション	千葉中央港 (中央ふ頭、出洲ふ頭)	岸壁でバージを横付け	2回/月	30kl	30~60分
東京汽船	千葉中央港 (中央ふ頭、寒川船だまり)	岸壁でバージを横付け	1~2回/月 (平均1.4回)	20~35kl (平均28kl)	30分程度

タグボートの運用状況把握②

- 1日あたりの平均的な燃料消費量：1.5～2.0kl
- 大型LNG船入出港時における主機の使用方法
 - 入港時：1時間程度の入港着棧作業中、長時間にわたり主機「Full」にて押し続ける
 - 出向時：10分程度の引き出し作業、10分程度の回頭作業中、主機「Full」とすることは稀
- タグボートの保有形態：全船単独所有
- 平均的なリプレース期間：概ね15年程度

タグボートの運用状況把握③

- 想定される課題および検討事項
 1. 総合的なライフサイクルコスト（LNG燃料への転換とSCRの設置・運用の比較）
 2. バンカリングのためのインフラ整備
 3. 基準・規則に準拠した本船の設計・建造・運用
 4. 定期検査時の燃料タンク内検査方法（必要性の検証も含む）
 5. 乗組員の教育・訓練および資格・認証などへの対応

LNGの供給①

- 調査実施先：東京ガス 袖ヶ浦工場
- 棧橋設備
 - 全長：125m、前面水深：6.5m
 - フェンダー：2基
 - 受衝板：幅2.5m × 高さ3.0m、内側間隔28.8m
 - ボラード：WPF上に2基、MD上に2基
- L/Aの概要
 - 液ライン：1本（口径8インチ、容量300t/h）
 - リターンガスライン：1本（口径6インチ、容量2,500m³/h）
- 月間棧橋利用頻度：冬季10隻、夏季7～8隻



LNGの供給②

- 内航LNG船に課せられている運用上の制約
 - 入港時
 - 着棧は日出から日没まで
 - 対面外航LNG船棧橋に大型LNG船が入港中は、入港不可
 - 隣接重油バンカー船用棧橋と着棧作業が重ならないこと
 - 出向時
 - 隣接重油バンカー船用棧橋と着棧作業が重ならないこと
- タグボートへのLNG供給時の留意点
 - 内航LNG船向けのL/Aとタグボートのデッキ間の高低差
 - ERSの必要性(内航LNG船荷役時には不使用)

LNGの供給③

- 想定される課題および検討事項
 1. フェンダーの位置(間隔)および高さ
 - 着棧中タグボートのWPF下への潜り込み
 - タグボート舷側と受衝板の接点
 - 係留方法(係船索配置)
 2. L/Aの稼働範囲(高さ)と必要とされる設備(フレキシブルホースなど)
 3. ERSの要否
 4. 関係他船(対面外航LNG船および隣接重油バンカー船)との調整の要否

LNGの供給設備① ～ローディングアーム～

- 調査実施先：ニイガタ・ローディング・システムズ
- 袖ヶ浦基地の現状設備を流用する際の要点
 1. L/Aのバランスと強度
 - L/A・タグボート側給油口間をフレキシブルホースで介した場合、フレキシブルホースの自重とともに内部のLNGの重要が加わるため、バランスが崩れ、また強度も不足する
 2. L/Aの可動範囲
 - L/A可動範囲の下端とタグボートのデッキ高さには約5.4mの隔りがあることから、L/Aの改造または換装が必要
 - WPF上に別途配管を設け、そこからフレキシブルホースでLNGを供給することも一案
 3. L/Aの操作
 - L/A・フレキシブルホースの操作時には、陸上側人員では不足する見通しであることから、本船乗組員の協力が必要となる見通し

LNGの供給設備② ～ローディングアーム～

- 改良・換装に要する発注から納品までの期間
– 工事規模(改良または換装)によりまったく異なる
- 想定される課題および検討事項
 1. L/Aの改良または換装の対応
 2. L/Aとフレキシブルホースの接続要否



(バルチラ社提供)

LNGの供給設備③ ～フレキシブルホース～

・ 調査実施先

- メタルホースメーカー
 - ・ 大同特殊工業
 - ・ トーフレ
 - ・ 日本メタルホース
- コンポジットホースメーカー
 - ・ 明治フレックス



フレキシブルメタルホース
(日本メタルホース社 Webサイト)

・ フレキシブルホースの特徴

- 頻繁に使用・操作(接続や取り外しなど)を実施する場合、メタルホースは曲げ伸ばし箇所が疲労破壊が促進され、使用期間が著しく短縮される可能性あり
- 同課題はコンポジットホースで解決可能

LNGの供給設備④ ～フレキシブルホース～

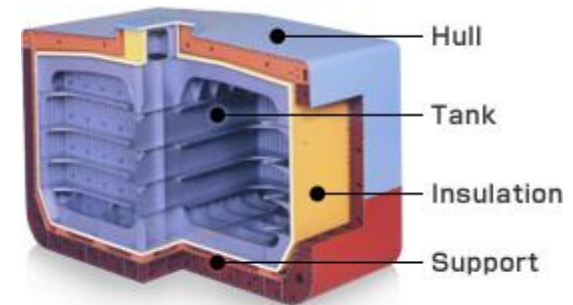
- 仕様提示からの納期
 - カタログスペック製品：20～30日程度
 - オーダーメイド製品：1年程度（設計などを要するため）
- 想定される課題および検討事項
 - コンポジットホースの最大口径（現状最大2インチ）と最大長



LNG用コンポジットホース
（明治フレックス社 Webサイト）

LNGの燃料設備① ～燃料タンク～

- 調査実施先
 - － 常圧式タンク
 - ・ IHI (SPBタンク)
 - － 加圧式タンク
 - ・ 川崎重工
 - ・ 三菱重工



IHI製SPBタンク
(IHI Webサイト)

- 断熱方法
 - － SPBタンク: ポリウレタンを使用した軽量かつ高い断熱性能
 - － 真空防熱方式: 外壁・内壁間に真空層を設けることにより高い断熱性能 (川崎重工製のBOGレートは0.2%/日以下)

LNGの燃料設備② ～燃料タンク～

- タンクからのLNGの取り出し方式
 - 常圧型SPBタンク: タンク外にポンプを設置、または気化器を活用してタンク内を加圧
 - 加圧式タンク: 加圧式であるためポンプは設置不要
- 安全対策
 - 安全弁の設置: 常圧式・加圧式とも
 - タンク内に障壁(防波板)を設置: 常圧式・加圧式とも
 - 複数の燃料タンクの設置(冗長性確保): 今後の検討課題
- 想定される課題および検討事項
 1. タンクの容量と設置場所
 2. 燃料タンクの冗長性確保

LNGの燃料設備③ ～気化器～

- 調査実施先
 - 東京ガスエンジニアリング (TGE)
 - 三菱重工 (MHI)
- タグボートに設置可能な気化器の種類
 - 空温式または温水式
 - システムの小型化を図るためには温水式が妥当

	空温式	温水式
長所	①大気が熱源であるため運転費が小さい ②運転保守が容易 ③開放型であるため運転状況の確認が容易	①コンパクトで設置面積が小さい
短所	①気象条件により気化性能に変動あり ※気化性能: 出口温度・運転時間 ②解氷操作のための切替運転が必要 ③周辺空気の冷却で時期により白霧が発生 ④設置面積が比較的大きい ⑤連続運転時間に制約あり (必要能力の倍の設備が必要) ⑥大気温度によってはガスヒーターが必要	①運転費が大きい ②低負荷で出口温度が高温化(過剰加温) ③低負荷時に振動が発生する可能性あり
付帯設備	気化ガスヒーター 温水ボイラ	温水(蒸気)ボイラ プロセス排熱回収装置

LNGの燃料設備④ ～気化器～

• 気化器の開発状況および納品実績

– TGE製気化器：

- 陸上産業用に多数の納品実績あり(船用向けはなし)
- 船用向けには設備の小型化や配管の二重化対策が必要
- TGE製の特徴は活性炭を用いることにより供給ガスの熱量変動を抑制する点

– MHI製気化器：

- 大型LNG船向けに開発・製品化
- 気化容量が大きいため、タグボートの流用することは困難
- 陸上液化窒素輸送用ローリー向けに小型の気化器の納品実績多数あることから、これを流用する方が容易

LNGの燃料設備⑤ ～気化器～

- 気化量制御の方法と能力
 - 主機側の急激な需要変化に対しては配管径を大口径化またはバッファータンクの設置で対応可能
- 気化に利用する熱源
 - 温水式の熱源には主機ジャケット部の熱または排ガスの熱を利用することが可能
 - 但し、主機起動時にもガスを供給する必要があることから、別途、小型ボイラーの設置が必要
- 想定される課題および検討事項
 1. 発熱するガスの熱量変動対策
 2. 気化量の制御方式
 3. 規模の縮小

LNGの燃料設備⑥ ～主機～

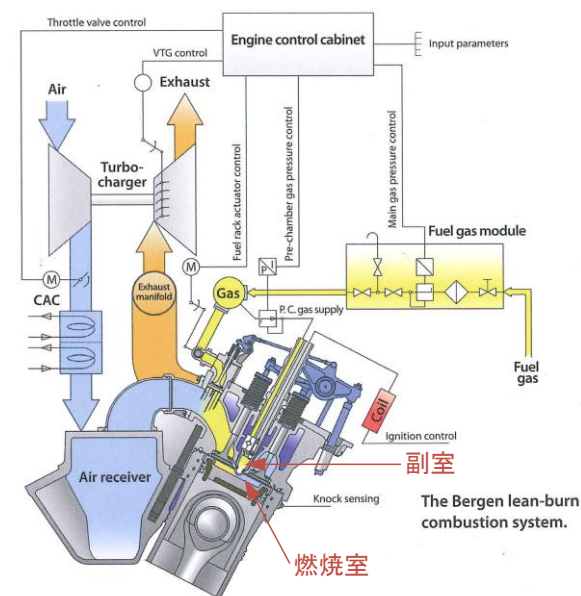
調査実施先

－ ガス専焼エンジン

- ダイハツディーゼル(ダイハツ)
- マンジャパン(MAN)
- 三菱重工(MHI)
- ヤンマー
- ロールスロイスマリンジャパン(RRM)

－ DFエンジン

- 新潟原動機
- バルチラジャパン(バルチラ)



ガス専焼エンジン
(ロールスロイスマリンジャパン社提供)

LNGの燃料設備⑦ ～主機～

- タグボート用LNG燃料主機の開発済みメーカー

- ガス専焼エンジン: MHI、RRM

- DFエンジン: バルチラ

- 特徴:

メーカー	主機タイプ	納品実績	急激な負荷応答	低負荷時の可動
MHI	ガス専焼	あり	対応困難	対応困難
RRM	ガス専焼	なし (最新機器の場合)	対応可能 (負荷8%から97%まで15秒)	対応可能 (負荷1%でも稼働)
バルチラ	DF	なし (最新機器の場合)	対応可能	対応可能 (負荷10%以下でも稼働)

- パッケージの供給

- RRMおよびバルチラはタンクから推進機までパッケージ供給可能

LNGの燃料設備⑧ ～主機～

- 配管二重化対策
 - 対応可能：MHI、RRM、バルチラ
- メタンスリップ対策
 - MHI：排出量の削減に向けて取り組む予定
 - RRM：燃焼技術の改良により、限りなく削減可能
 - バルチラ：燃焼技術の改良により、限りなく削減可能
- 想定される課題および検討事項
 1. 新開発推進システムの検証
(RRM直結推進方式およびバルチラ電気推進方式)

LNGの燃料設備⑨ ～タグボートの建造～

- 調査実施先
 - － 金川造船
 - － 京浜ドック
 - － 新潟造船所



新潟造船所三崎工場
(新潟造船所社提供)

- LNG燃料タグボートの研究・開発の状況および今後の見通し
 - － 京浜ドックは既に研究・開発を開始
 - － 金川造船はTier 3対策として、LNG燃料化よりもSCRの設置を検討

LNGの燃料設備⑩ ～タグボートの建造～

- LNG燃料タグボート建造時に課題と成り得る点
 1. 主機（ヒアリング時点では対応可能な主機は皆無と認識）
 2. 燃料タンク
 - タンクの形状：他の船内設置機器との兼ね合い
 - タンクのサイズ（容量）：補給頻度との兼ね合い
 - タンクの設置場所：IGFコードとの兼ね合い
 3. SCRの設置（Tier 3対策としての対策候補）
- 想定される課題および検討事項
 1. LNG燃料タグボートの設計（エンジニアリング）

LNGの燃料設備⑪ ～タグボートの設計～

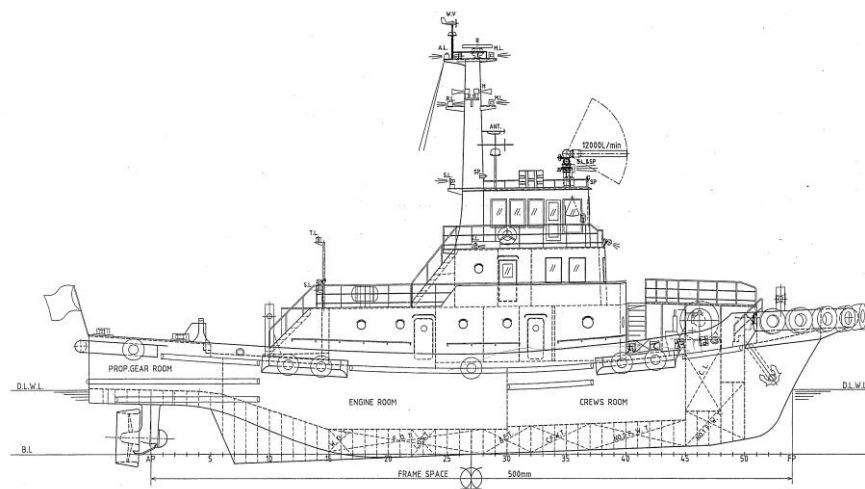
- 調査実施先
 - 三菱重工 (MHI)
 - ユニバーサル造船
- LNG燃料タグボートの研究・開発の状況および今後の見通し
 - 両社ともLNG燃料船については研究・開発を開始済み
 - タグボートは建造を手掛ける予定がないことから具体的な開発には至っていない
 - MHIについては、エンジニアリングの立場より、情報の収集や課題の整理を積極的に推進中

LNGの燃料設備⑫ ～タグボートの設計～

- LNG燃料タグボートの設計要素
 - 限られた船内スペースに各種機器をそれぞれの関係する基準・規則の下、すべて適切に収め、配置するためのエンジニアリング
- LNG燃料タグボートの建造時に課題と成り得る点
 - 最重要事項はタンク容量
 - タンク容量が決まれば、配置可能な個所が明確化
 - 空いたスペースにその他の機器を収める
 - 二重化が求められる配管と区画
 - 竣工後のメンテナンス
 - 入渠検査時におけるタンクのガスフリー要件（ガスフリー後はデッドシップとなるため）

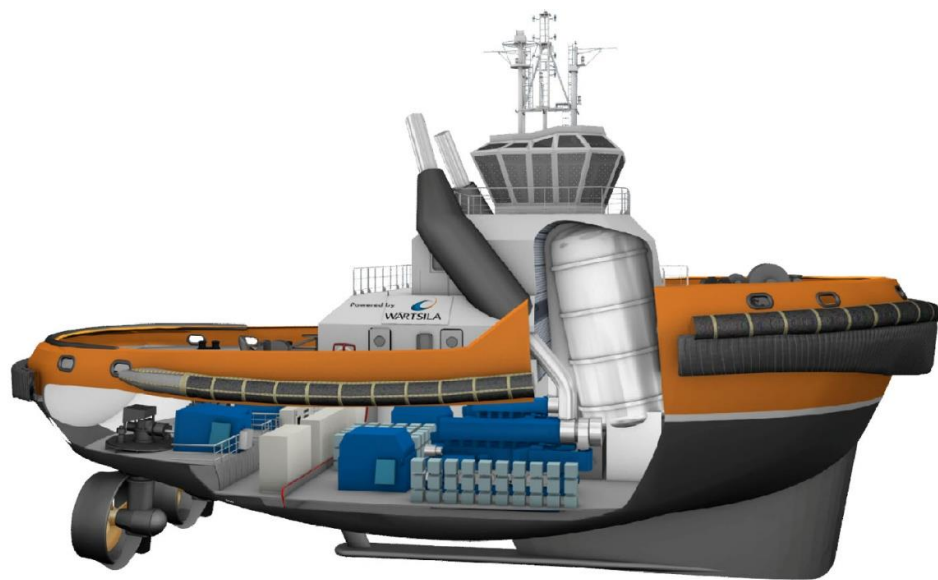
LNGの燃料設備⑬ ～タグボートの設計～

- 想定される課題および検討事項
 1. タンク容量の決定
 2. タンクの配置を中心とした関係機器の設置場所と二重化対策
 3. 竣工後のメンテナンス作業の効率化



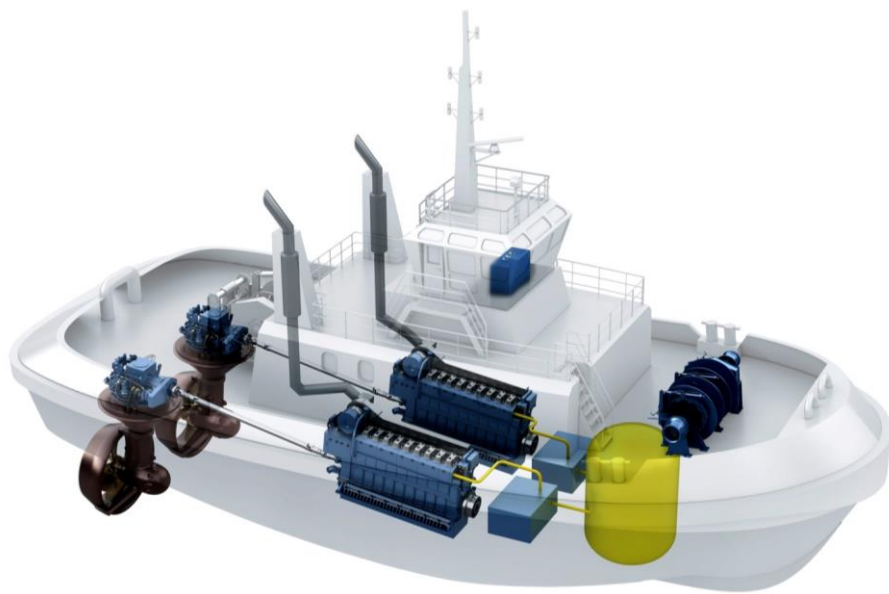
LNG燃料タグボート開発の世界動向①

- バルチラのコンセプトデザイン
 - 国際会議等において発表済み
 - 2機のDFエンジンとバッテリーで構成されるハイブリッド式電気推進船
 - 概要
 - LOA: 35m
 - LBP: 32m
 - 型幅: 13.5m
 - ボラードプル: 100t
 - 馬力: 6,300kW
 - 燃料タンク: 90kl
 - 船級: 未定



LNG燃料タグボート開発の世界動向②

- ロールスロイスマリンの受注内容
 - 既に2隻のLNG燃料タグボートを受注済み
 - ノルウェー船社から受注し、トルコの造船所にて建造
 - 2013年後半にデリバリー予定
 - 概要
 - LOA: 35.00m
 - LBP: 30.54m
 - 型幅: 15.40m
 - 喫水: 7.50m
 - 定員: 7名
 - 船級: DNV
 - LNG補給頻度: 1週間



タグボート燃料のLNG化に係る検討事項①

1. 燃料タンクの容量

- 熱量ベースで重油の2.5～2.8倍の容積が必要となる燃料タンクの決定
- 容量の削減は補給頻度の増加に直結
- オペレーターとの十分な調整の上、可能な限り大型化を図る試みが必要

2. LNG燃料の主機

- バルチラとロールスロイスの主機は現状で採用可能
- 但し、両機とも使用実績なし
- そのため、採用にあたっては、日本の湾内作業にて使用可能であることの確認・検証が必要

タグボート燃料のLNG化に係る検討事項②

3. LNG燃料タグボートの設計

- 限られたスペースに必要な機器を関係ルールの下、メンテナンス効率を考慮して設計することは困難を伴う
- 設計にあたっては、大型船等の設計でLNGを扱った経験、技術とノウハウを持つ総合重工メーカーのサポートを受けることも一案
- 現時点では国内メーカーの製品のみで対応することは困難な状況
- 積極的に推進するためには海外メーカーが海外の基準・規則の下で製造された製品も検討対象とすることも重要
- 実証船などで検証していく取り組みも一手段