

# 船舶の省エネ化

## —代替エネルギー利用—

吉 田 正 彦

世界の海事産業は、(1) 温室効果ガス (GHG) 排出抑制の社会的要請、(2) 特定の海域における窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) 等の排出規制強化への対応、(3) 最近の石油と天然ガスの価格差を背景に、代替燃料としての液化天然ガス (LNG) の利用を検討している。日本でも海運会社が ISHIN シリーズやスーパーエコシップ 2030 という名称で将来の自社船のコンセプトを示しているが、その燃料は LNG である。船舶燃料としての LNG の利用は、GHG 排出量の削減のみならず、長期的に省エネ・省コスト化につながる可能性も高い。本稿では、海事産業における船舶燃料としての LNG 利用に向けた動きを紹介する。

キーワード：LNG、バイオガス、ガスエンジン、GHG、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>

### 1. 何故代替エネルギーなのか

国際海運に従事する船舶は、GHG の削減のみならず様々な環境規制・安全規制への適合と経済性の両立が常に求められる。また、一般に寿命が 30 年以上と長期にわたる船舶においては、様々な規制は新しく建造される船舶のみならず一定の猶予期間をもって現存する船舶にも適用される。このため船舶の省エネは、現下の規制下でのエネルギー使用の効率化という側面以外に、今後新たに導入され、また、強化される可能性の高い規制を考慮に入れて中長期的に総合的な効率を高めていくことが重要となる。

海運分野における代替エネルギーとしての天然ガス利用については、国際海運が排出する GHG 削減に対する社会的要請のみならず、排ガス中の NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 等の排出削減規制が燃料油価格に与える影響、安全基準を含めた社会的インフラの整備の進展、燃料としての天然ガス利用を可能とする技術の進歩等様々な要因が後押ししている。

### 2. 船用燃料としての天然ガス利用の環境面での優位性

船用燃料として天然ガスが注目されている環境上の理由は、天然ガスが、(1) 現在使用されている船用 C 重油に比較して単位熱量当たりの GHG 排出量が 25% 少ないこと、(2) 低圧ガス燃焼方式のガスエンジンを利用すれば、追加的な装置無しで NO<sub>x</sub> や SO<sub>x</sub> の排出

量を大幅に減少させることが可能であること、さらに (3) 他の低コストが期待される再生エネルギー、具体的にはバイオガス (Biogas) との親和性に優れていることにある。

バイオガスは、家畜の排泄物や生分解性物質、汚水 (下水処理場の活性汚泥等)、ごみなどを発酵又は嫌気性消化させることにより生産される。バイオガスの主成分はメタン及び二酸化炭素であり、スウェーデンでは、ガソリンとバイオガスや天然ガスの二元燃料タクシーの燃料として使用されている。海運分野では、船舶の単位輸送能力 (DW × 距離) 当たりの GHG 排出量をエネルギー効率設計指標 (EEDI) という名称で強制化し環境性能の向上を促そうとする取り組み、さらに船舶運航により実際に排出される GHG 量削減に向けた自主計画である船舶エネルギー効率管理計画 (SEEMP) の作成と船舶への備え付けを求める取り組みが国際的に進められている。バイオガスは生産技術がほぼ確立されており、カーボンニュートラルであることから、特に SEEMP の面で非常に有効である。

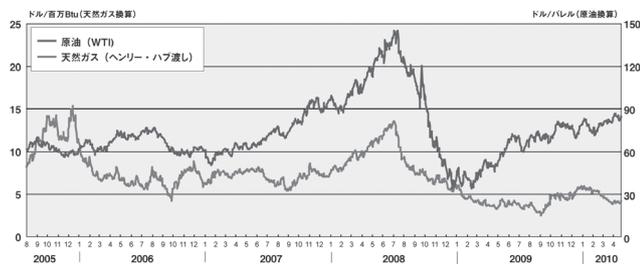
天然ガスとバイオガスは極めて組成が近いいため、船舶燃料の天然ガス化は、同時に船舶燃料としてのバイオガスの利用も可能とするものとして期待する声は特に欧州の海運会社に多い。

### 3. 船用燃料としての天然ガス利用のコスト的優位性

船舶燃料としての天然ガスの使用については、省エ

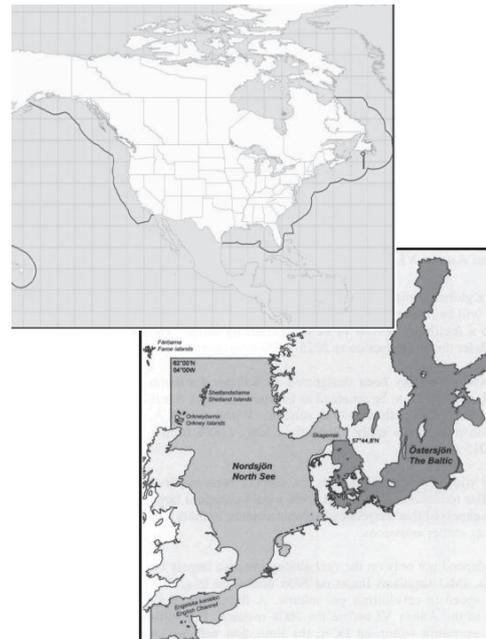
ネや環境上の側面も重要であるが、産業用の燃料である以上現在利用されている船用 A 重油、C 重油と比較してあまりにコスト差があるようでは普及は期待できない。これまで原油と天然ガスの価格は同じエネルギーということで、従来単位熱量当たりの価格がほぼ同一であった。このため原油から製造される最も価格の安い燃料である船用 A 重油、C 重油との比較で天然ガスは非常に高価であったが、欧州を中心とする海運業界では、近い将来この構図が変わる可能性があると見られている。

一つの要因は、原油価格と天然ガス価格の上昇の違いである。図一1は米国市場での代表的な原油と天然ガスの価格を、同じ単位熱量当たり（原油1バレルの熱量は、天然ガス約600万Btuに相当する）の価格となるよう表示したものであるが、2006年以降石油価格が天然ガス価格を大幅に上回る状況となっている。これは、世界のエネルギー需要の伸びが堅調である中、石油は新規油田開発が低調のため価格が上昇し、天然ガスの方はコールベットメタン（CBM）やシェールガスといわれる埋蔵量が豊富で従来生産が困難であった非在来型ガス田での天然ガス生産が可能となったことを受けて、比較的価格が安定していることがその原因である。



図一1 北米市場における燃料価格（同一熱量換算）（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構「石油・天然ガス市場概況」より

もう一つの要因は、原油から船用燃料油を製造するコストの上昇である。国際海運から排出されるNOx、SOx、粒子状物質（PM）の排出量を削減するため、世界全体での規制と特定の海域における規制という2段階で船用燃料の品質（燃料油中の硫黄分）規制が導入されることが決定している。ここでは詳述しないが、図一2は特定の海域として現在すでに指定されている欧州及び米国周辺海域を示しており、これらの海域内を航行する船舶は2015年以降硫黄分0.1%以下という高度に脱硫された燃料を使用することが求められている。また、世界全体の規制は、2020年以降硫黄分0.5%の燃料を使用することを求めることとされていることから、今後船用燃料油の製造（脱硫）コストが長期的



図一2 欧州及び米国における燃料油の使用規制対象区域

に上昇し、船用重油の価格競争力を引き下げるものとなるものと予想されている。

さらに、船用燃料としての天然ガス利用をより推進するための取り組みが欧州の港湾関係者の間で進められている。ESI（Environment Ship Index）といわれるその取り組みは、船舶がGHG、NOx、SOx、PM排出量に関する国際的な規準（現在検討中のものを含め）を満足する程度を示す指数（Index）に応じて、その港湾使用料金を優遇しようとするものである。2章で述べたとおり、天然ガスを用い低圧ガス燃焼方式のガスエンジンを利用すれば、追加的な装置無し（言い換えれば追加的なエネルギー消費無し）でほぼこの指数を満足することが可能となることから、船用重油に対する天然ガスのコスト競争力を高める方向で作用する。

天然ガスはパイプラインでの輸送を別にすれば輸送に際して液化が必要であり、石油に比較して輸送や貯蔵コストが高くなる傾向がある。また、陸上用機械とは異なり燃料供給機会が制約される船舶が燃料として天然ガスを使用するためには、相対的に密度の大きなLNGの形で積載する必要があり、追加的な設備も必要となる。このため天然ガスを船用代替燃料として使用する場合のコスト比較に際しては、利用に係るトータルコストでの比較が必要である。しかしながら、以上の状況を鑑みれば、船用燃料としての天然ガス利用に係るハードルが長期的に低くなりつつあることは事実であろう。

#### 4. 安全基準を含めた社会的インフラの整備の進展

3章で述べたとおり、船舶燃料として天然ガスを利用する場合、主に船舶での燃料貯蔵上の理由から形態はLNGとなる。LNGは、沸点がマイナス163度と非常に低い、液体の状態では消防法上の危険物に該当しないことから判るとおり、ガスの状態に比較して安全に利用することが可能である。しかしながら、このLNGを船舶燃料として多量に船内に貯蔵し、且つ安全にガス化して船舶用燃料として使用することには困難が伴う。このため、船舶におけるLNG燃料の利用は、LNGタンカーから始まった。LNGタンカーは、断熱性のタンクの中にLNGを搭載して輸送するが、その輸送中にどうしても一定量の天然ガスが蒸発することから、これを燃料の一部として用いたものである。このLNGタンカーは、二つの点でLNG燃料の利用が容易であった。一つは、40年以上前にLNGタンカーが実用化されて以降国際的な安全基準が整備され経験の蓄積が行われたことであり、もう一つが、貨物として大量のLNGを搭載していることから、燃料としてのLNG供給やその貯蔵を考慮する必要がなかったことである。

これに対し、LNGタンカー以外のLNG燃料船の建造は、船舶の安全基準等を検討する国際機関である国際海事機関(IMO)が2004年にLNG燃料船の安全基準の具体的な検討を開始したこと(規則の原案が提示されたこと)を契機としてそれ以降活発化し、各国の内航船を中心に現在20隻を数える状況となった。また、2009年末に暫定ガイドラインとはいえ国際的に認知された安全基準が策定されたことから、パイロットプロジェクトとして外航船を含めた様々な



写真一1 2012年にLNGと船用重油の2元燃料化への改造が発表された石油製品タンカー「Vit Viking」(25,000総トン)  
(ドイツ船級協会広報資料より)

LNG燃料船の建造やLNG燃料船への改造が進められており、今後の実用化に向けて経済性を含めた知見の蓄積が進められている。

また、前述のとおり、LNG燃料船の実用化は基準の整備だけで可能となるわけではない。最も重要な点は、船舶へのLNG燃料供給を担うインフラの整備である。現在欧州においてLNG受け入れ能力とLNGの積み出し能力の双方を有するLNGハブターミナルはスペイン南部等限られた場所にしかなく、大規模港湾にはそもそも船舶向けのLNG燃料供給装置が存在しない。このため、欧州最大の国際港湾であるロッテルダム港は2011年にLNGターミナルを建設し欧州北部のLNGハブ港として機能する予定であり、その中で船舶へのLNG燃料の供給等についてもパイロットプロジェクトを実施するとしている。同様に、スウェーデン第2の都市ヨーテボリのLNGプロジェクトは、2010年9月に、2013年から船舶向けにLNG燃料の供給を開始する旨正式に発表した。アジアに目を向ければ、シンガポールでも2010年1月から船舶向けLNG燃料供給体制に関する官民合同の検討会が2011年までの予定で実施されており、少なくとも主要港湾でのLNG燃料の世界的な供給体制が整うのはそう遠い将来ではないのではないかと考えられる。

#### 5. 船舶用燃料としてLNG利用を可能とする技術

現在船用燃料としてLNGを利用するガスエンジンは低圧ガス燃焼方式を採用しており、高負荷では同クラスのディーゼルより熱効率が最大2.5%高くなるなどのデータがあるように省エネ性が高い。これは、燃焼期間が短く等容度が高いこと(高負荷での燃焼期間はわずか25°)、燃料噴射ポンプ駆動ロスがないこと等の理由による。

しかしながら、ガスエンジンには克服すべき課題も多い。一つ目は出力の問題である。現在実用化されている低圧ガス燃焼方式のガスエンジンは、大出力化が困難であり、コンテナ船等の大出力を必要とする大型外航船の主機関をガスエンジン化するには多数の機関を搭載する必要があることから、イニシャルコスト、メンテナンスコストの面でマイナス面が大きい。

また、LNGのメタン価の問題も存在する。メタン価とは、ガソリンのオクタン価同様ノッキングの発生しにくさを示す値であり、メタン純度100%のLNGはメタン価100となりノッキングの心配が少なくなる。現在LNG燃料船の就航実績が多い北欧ではメタ

ン価が100に近い高純度の北海産 LNG が使用されているが、わが国で供給される LNG は、ブタンやプロパンを一定程度含み一般的な都市ガス（メタン価 65 の天然ガス）を供給するために都合の良い LNG 組成となっている。このメタン価 65 の天然ガスは、ガスエンジンをそれ専用にチューニングし、負荷変動が小さな状況で運転する限りにおいてはガス燃料として問題ない。しかしながら、メタン価 65 の LNG が供給され、これを船上で気化して船用燃料として使用することは非常な困難を伴う（メタン価 65 の LNG を船上で気化する場合、気化ガスの組成変動によりメタン価が 65 を大きく下回る状態の天然ガスが供給される状態があり得る）。さらに船舶用主機関は大幅且つ急激な負荷変動を求められることから、このメタン価の課題を克服することも必要である。

これらの課題を克服する方法として現在有望視されているのが、「GI (Gas Injection) 方式」と呼ばれる、圧縮した天然ガスを直接筒内に噴射する方法、或いは LNG を直接筒内に噴射する方法である。技術開発面では GI 方式が先行しており、2010 年に入って GI 方式の試験エンジンを用いた性能実証運転が開始されたとの報道がなされている。この方式は、燃焼が燃料のメタン価に左右されないこと、さらに大型 2 サイクル機関に適用することで大出力化が可能であるという大きなメリットを有する。但し GI 方式は、低圧ガス燃焼方式の有する追加的な装置無しで NO<sub>x</sub> や SO<sub>x</sub> の排出量を大幅に減少させることが可能であるという利点を有していない。このため、近い将来 GI 方式が実用

化されたとしても、比較的小型の機関は低圧ガス燃焼方式、大型の機関は GI という棲み分けが起こる可能性が高い。言い換えれば、少なくとも比較的小型の機関向けには LNG のメタン価の問題を解決するような、船舶用気化器の開発や機関の性能向上が必要である。

## 6. まとめ

2010 年夏以降欧州において大型船への LNG 燃料機関の搭載が順次発表され、これまで北欧のローカルな話題とみられていた代替燃料としての LNG 利用が、外航海運が GHG 排出量の削減等といった社会的要請に応えつつ省エネを進めていく上での実現性のある solution の一つとなりつつある。日本の海運・造船業界でも LNG 燃料船に関する関心が高まっており、今後リアルプロジェクトを前提として現実的な対策を検討する段階に入りつつあるのではないかと考えられる。

JICMA

### 【筆者紹介】

吉田 正彦（よしだ まさひこ）  
 勸日本船舶技術研究協会  
 環境技術ユニット  
 ユニット長

