

クリーン燃料
A CLEANER FUEL

**Developing LNG for ships
in Northern Europe**

北欧における
船用 LNG の利用拡大



MAGALOG
LNG a clean fuel for ships

船用ガス燃料供給体制 Maritime Gas Fuel Logistics

Developing LNG as a clean fuel for ships in the Baltic and North Seas
バルト海及び北海海域における船用クリーン燃料・LNGの利用拡大

*Report from the MAGALOG project
December 2008*

**MAMALOG プロジェクト報告書
2008年12月**

(MAGALOG プロジェクトパートナー)

The MAGALOG project partners are:

Baltic Energy Forum e.V., Germany

City of winouj cie, Poland

Gasnor AS, Norway (*Co-ordinator*)

Hordaland Olje og Gass, Norway

MARINTEK, Norsk Marinteknisk Forskningsinstitutt AS, Norway

Stadtwerke Lübeck GmbH, Germany

(サブパートナー)

Indirect partners are:

Göteborgs Hamn (Port of Gothenburg)

Stockholms Hamnar (Ports of Stockholm)

MAGALOG プロジェクトは、EC を代行するインテリジェントエネルギー実行委員会 (IEEA) の支援を受けたプロジェクトである。

The MAGALOG project is supported by The Intelligent Energy Executive Agency on behalf of the European Commission.

Intelligent Energy  **Europe**

MAGALOG プロジェクト報告書

目次

1	序論と概略	8
1.1	プロジェクトの背景	8
1.2	海運業の環境課題に対するソリューションとしての LNG	9
1.3	北欧における船用 LNG の市場性	10
1.4	LNG 補給に必要な設備とコスト	12
1.5	北欧 5 港における将来の LNG 補給に関する検討	14
1.6	プロジェクトの結論	15
2	LNG と海運業界の環境課題	17
2.1	石油燃料及び船舶による大気汚染物質排出の概要	17
2.1.1	船用燃料による大気汚染	17
2.1.2	海運と気候問題	19
2.2	MARPOL : 船舶による排出に対する国際規制	19
2.2.1	国際枠組み	19
2.2.2	改訂 MARPOL Annex VI (2008 年 10 月) による排出規制	20
2.2.3	世界海運による温室効果ガス排出を規制する取り組み	22
2.3	海運業の環境課題に対応するソリューションとしての LNG	22
2.3.1	物理特性及び環境特性	22
2.3.2	船用燃料として LNG を使用する技術的な実現可能性	24
2.3.3	LNG の入手性	26
2.4	まとめ : 海運業の環境課題と LNG	29
3	北欧における船用 LNG の市場性	30
3.1	潜在的な市場性の評価手法	30
3.2	LNG 化に適する海運分野 (0 - 15 年の時間スパン)	31
3.2.1	LNG 化に対する船舶適性の判定基準	31
3.2.2	LNG 化に適した海運分野	31
3.2.3	定期貨物船 (RoRo 船など)	32
3.2.4	乗客及び車両輸送船 (RoPax 船)	33
3.2.5	高速 (超高速) の車両・旅客輸送船	34
3.3	LNG の潜在市場としての RoRo 船、RoPax 船、超高速船	35
3.3.1	分析方法	35
3.3.2	RoRo 船及び RoPax 船の燃料消費量と今後の動向	36
3.3.3	定期便就航数の多い港	37
3.3.4	LNG 化のプロセス	37
3.4	LNG の潜在市場としての内陸水上輸送	38
3.5	まとめ : 船用 LNG の市場性	40
4	LNG 供給の準備と海運における LNG のコスト	41
4.1	燃料補給作業	41
4.1.1	タンカートラックによる燃料補給	41
4.1.2	タンカーバージによる燃料補給	42

4.1.3	固定注入ラインによる燃料補給	43
4.2	燃料補給港の LNG ターミナル	43
4.2.1	燃料補給港における LNG の機能	43
4.2.2	LNG ターミナルの立地	44
4.2.3	ターミナルでの LNG の荷受けと荷渡し	45
4.2.4	貯蔵タンク	46
4.2.5	再ガス化	48
4.2.6	ターミナルのレイアウト	48
4.2.7	安全対策	50
4.3	LNG の輸送	50
4.3.1	船舶による LNG 輸送	50
4.3.2	トラックによる LNG 輸送	52
4.4	LNG の生産と供給力	52
4.4.1	LNG の生産プロセス	52
4.4.2	大規模供給システムによる LNG	53
4.4.3	小規模 LNG システムによる LNG	55
4.5	契約手配と LNG 価格	56
4.5.1	取引の形式：長期契約形成	56
4.5.2	欧州におけるガス価格：この価格の意味とその観察法	57
4.5.3	第三者アクセスの必要性	60
4.5.4	船舶用燃料として供給する LNG 価格の考察	60
4.5.5	LNG 供給コストの決定要因：概観	61
4.5.6	燃料補給用 LNG のコスト構成要素としての市場ベースのガス価格	62
4.5.7	燃料補給用 LNG コスト構成要素としての供給物流	62
4.5.8	LNG 供給の全費用の目安	64
4.6	船舶燃料用 LNG の開発プロセス	65
5.	北欧の港における将来の LNG 燃料補給に関する調査	67
5.1	将来の LNG 燃料補給港：ベルゲン	67
5.1.1	現状	67
5.1.2	船舶交通量と LNG 使用の可能性	68
5.1.3	LNG 燃料補給の展開	71
5.1.4	要旨と結論：ベルゲンにおける将来の LNG 燃料補給	71
5.2	将来の LNG 燃料補給港：イエーテボリ（Gothenburg）	71
5.2.1	現状	72
5.2.2	船舶交通量と LNG 使用の可能性	73
5.2.3	LNG 燃料補給の展開	75
5.2.4	要旨と結論：イエーテボリにおける将来の LNG 燃料補給	76
5.3	将来の LNG 燃料補給港：リューベック（Lubeck）とトラベミュンデ（Travemunde）	76
5.3.1	現状	76
5.3.2	船舶交通量と LNG 使用の可能性	78
5.3.3	LNG 燃料補給の展開	80
5.3.4	要旨と結論：リューベックにおける将来の LNG 燃料補給	80

5.4 将来の LNG 燃料補給港：シフィノウイシチェ（Swinouj cie）	80
5.4.1 現状	80
5.4.2 船舶交通量と LNG 使用の可能性	83
5.4.3 LNG 燃料補給の展開	84
5.4.4 要旨と結論：シフィノウイシチェにおける将来の LNG 燃料補給	85
5.5 将来の LNG 燃料補給港：ストックホルム（Stockholm）	85
5.5.1 現状	85
5.5.2 船舶交通量と LNG 使用の可能性	88
5.5.3 LNG 燃料補給の展開	89
5.5.4 要旨と結論：ストックホルムにおける将来の LNG 燃料補給	90

MAGALOG プロジェクト報告書

謝辞

MAGALOG プロジェクトは、異なる起源でありながらヨーロッパ海域の船舶に対してその環境影響の改善を推進したいとの思いを共有する6つの組織が参画した共同事業の成果である。メンバー同、プロジェクトに寄せられた財政的な支援及び成果の具現化と普及のための枠組み提供に対し、欧州委員会（European Commission）並びに競争力と技術革新のための執行機関（Executive Agency for Competitiveness and Innovation）に感謝の意を表したい。

MAGALOG プロジェクトチームのメンバーは、プロジェクトコーディネータ：Mr. Aksel Skjervheim (Gansor)、アシスタントコーディネータ：Captain Jorg Straussler (Baltic Energy Forum)、Mr. Dariusz Wojcieszek (シフィノウイシチェ市)、Mr. Stein Bjorlykke (Hordaland Oil and Gas)、Mr. Per Magne Einang (Marintek)、Mr. Ralf Giercke (リューベック市)で構成され、全員がプロジェクトの遂行に多大な貢献を果たした。以上のメンバーに加えて、Mr. Felix Dencker (Baltic Energy Forum)、Mr. Dag Stenersen (Marintek)、Mr. Ole Svendgard と Ms Trude Gullaksen (Gansor) が、プロジェクトの作業で重要な役割を果たしてくれた。報告書の作成を担当してくれた Dr. Erik Jarlsby (Gansor) の貢献も大きい。

主要パートナーに加えてイェーテボリとストックホルムの両港湾当局から参加頂いた。サブパートナーとして Ms Anna Boman がイェーテボリでの作業を、Ms Ingela Trolle がストックホルムでの作業を指揮してくれた。

MAGALOG プロジェクトは特に諮問委員会から貴重なるご意見を賜った。委員会のメンバーは、ハンザ同盟都市リューベックの Thorsten Geissler 議員、中欧イニシアチブの Harald Kreid 大使と Mr. Mykola Melenevski、バルチック都市連合の Mr. Bjorn Gronhlm の諸氏である。

以上の皆さまおよびその他このプロジェクトにご支援いただいた皆さまに対し、深く感謝の意を表します。

ベルゲンにて
2008年12月30日
Aksel Skjervheim
Gasnor AS

MAGALOG プロジェクト報告書

2008 年 12 月

要旨

海運業界は燃料消費による温室効果ガス等の排出削減を求められている。船舶による排出は沿岸地域の大气環境にとって重大な問題である。MARPOL 条約の最近の改訂によって、新たに船舶のエンジンによる排出量及び使用する燃料の品質に対して、世界全域で、とりわけバルト海及び北海海域において、これまで以上に厳格な規制が適用されることとなった。すなわち従来までのバンカー重油よりもはるかにクリーンな燃料が必要となる。沿岸航行においては留出燃料（軽油）への転換が予測されるが、いかなる石油燃料よりも優れた環境特性を有するのが天然ガスである。

この報告書では、北欧海運業が抱える環境的な課題に対するソリューションの一つとして LNG（液化天然ガス）を取り上げた。船舶の燃料 LNG 化の先駆けとなったノルウェーの沿岸航路での実績をベースに、北欧の海運業が LNG 化に適しており、そのことが確認、分析された。さらに船舶の LNG 化を可能とするために必要な燃料供給体制について検討した。ベルゲン、イェーテボリ、リューベック、シフィノウイシチエ、ストックホルムの北欧 5 港が LNG 供給基地の候補地として検討された。

この報告書では、LNG が北欧の海運業における大幅な環境改善を実現する手段となり得ることを確認し、さらにその利用拡大のために必要な今後のステップを指摘した。導入段階を経た後は LNG が留出油よりも費用効果の優れた船用燃料となると期待されるが、特に原油価格が高いシナリオにおいて一層必要となる。

この報告書の基となる調査研究は、ヨーロッパ・インテリジェントエネルギー計画（Intelligent Energy Europe program）の下で欧州連合（European Union）の支援を受け、北欧の 8 機関が協力して 2007 年から 2008 年の間に実施した。プロジェクトには Maritime Gas Fuel Logistics（船用ガス燃料供給体制）の頭文字をとり MAGALOG という名前が付けられた。この報告書の結論及び評価は、必ずしも EU 並びにその関係機関の見解を反映したものではない。

1 序論と概略

1.1 プロジェクトの背景

MAGALOG (Maritime Gas Fuel Logistics : 船用ガス燃料供給体制) プロジェクトは、船用クリーン燃料として LNG (液化天然ガス) の利用拡大を目的とし、北欧の 6 機関が 2007 年から 2008 年に共同で実施した研究プロジェクトである。この MAGALOG パートナー 6 機関は、2 地方自治体 (シフィノウイシチェ市、リューベック市)、1 研究機関 (MARINTEK)、1 ガス供給会社 (Gasnor)、2 エネルギー開発機関 (Baltic Energy Forum と Hordaland Olje og Gass) である。

船舶のエンジンからの排出物質は、ヨーロッパの港湾都市及び近隣水路における大気汚染の主要発生源の一つであり、同時に遠く離れた場所までもその影響が及ぶ。一方で、海運が、排出量の多い他の輸送モードに代わって中距離輸送の分野でシェアを伸ばすというのは、地球温暖化に対する影響という点で好ましい代替案である。

国際海事機関 (IMO) の加盟各国は、世界全域及び特別に指定された排出規制海域 (ECA) においてそれぞれ硫黄、粒子状物質、窒素酸化物の船舶からの排出量を大幅に削減する基準に合意した。バルト海と北海 (海峡も含む) がその特別規制海域に指定され、厳しい排出基準が 2010 年から 2016 年にかけて段階的に適用される。

この排出基準に適合するためには、排ガス処理に加えて、船舶が使用する燃料をよりクリーンな燃料に転換する必要がある。石油ベースでこの基準を満足するのであれば、主エンジン用燃料の中間留出燃料 (ディーゼルなど) への転換が必須であるが、中間留出燃料は従来の船用バンカー燃料に比べてコストが高い。さらに、世界の石油精製業界は、現状、世界船腹全体の燃料転換に必要とされる中間留出燃料を供給できる業界構造になっていない。

よりクリーンな船用燃料という困難な課題を克服する別なソリューションとして、LNG (液化天然ガス) の利用が提案される。これは、特に北欧のような比較的距離の短い定期的な海上輸送に適したものだ。LNG の環境特性はいかなる石油燃料よりも優れている。船用燃料としての LNG の技術的及び運航面での実現可能性はすでにノルウェーにおいて実証済みで、そこでは沿岸フェリーなど相当数の船舶がここ数年の間、LNG 燃料によって運航され、新たな LNG 駆動船も建造中である。LNG は、硫黄を含まないことに加えて、エンジン燃焼中の NOX 発生量が極端に少ないため排ガス処理を必要としない。

この報告書は、LNG を北欧海域の船用燃料として定着化させるための条件整備を目的とした MAGALOG プロジェクトの検討経緯と成果をまとめたものである。プロジェクトの検討目標として、物流的・技術的・経済的な実行可能性という観点からの LNG 供給体制の具現化、個々の港に関する調査、需要分析、船用 LNG 燃料の利用拡大のための試験的な導入計画の策定、などが含まれる。今回の報告書でこれまで発表したプロジェクトの成果をまとめた。

MAGALOG プロジェクトは、ヨーロッパ・インテリジェントエネルギー計画（Intelligent Energy Europe program）の下で EU の支援を受けたものだ。ただしこの報告書の結論及び予測は、必ずしも EU 並びにその関係機関の見解を反映したものではない。プロジェクトは 2007 年から 2008 年の間に実施され、報告書は 2008 年 12 月に完成した。

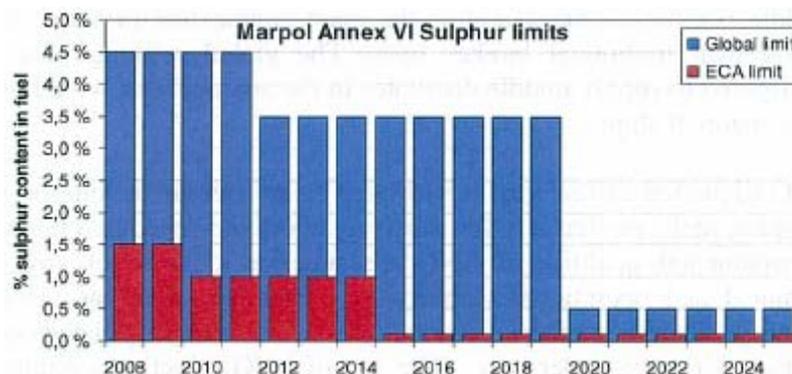
1.2 海運業の環境課題に対するソリューションとしての LNG

船舶による大気汚染の削減

道路を走行する車両の燃料とエンジンに対する環境規制は徐々に厳しいものとなり、ヨーロッパにおける大気環境の向上に多いに貢献した。対照的に、国際海運は、ほとんどそのような規制を受けず、船舶と陸上車両の間で使用燃料の環境影響の較差が拡大した。陸上での用途を失った低品質で安価な重油燃料の大口ユーザとして残ったのが国際海運であった。その結果、広大な範囲に拡がった排出物質による影響が、港湾都市のみならず地球環境への影響として表れてきた。

同時に、地球全体の気候影響を減らすためには、輸送モードの中で道路輸送及び鉄道輸送の負担を減らして船舶輸送の利用拡大を推し進めることが望ましい。船舶輸送は、特にヨーロッパ域内の国境を越えるような中距離貨物輸送に適した輸送手段といえる。海上輸送の一般的なメリットは幅広く認識されており、EU 計画にも盛り込まれてきた。

世界的な海運の環境課題に対する国際的な取り組みの一つとして、MARPOL（船舶による汚染防止のための国際条約）が 2008 年に改訂され、船舶からの排出に対してこれまで以上の厳格な基準が制定された。世界全域で燃料中の硫黄含有率が現行の 4.5%から 2020 年には 0.5%に制約され、これによって硫黄の排出のみならず、船舶のエンジンから排出される粒子状物質（煤煙）の大幅に削減される。この新しい規制は窒素酸化物にも適用されるが、それにはエンジンの問題にとどまらず燃料に対する規制の意味合いも含まれる。特定の海域が、より厳格な規制の適用を受ける排出規制海域（ECA）として指定されることになる。今回はバルト海と北海が ECA として指定されたが、今後そのような規制海域が世界中に増えるものと思われる。



ECA 域内の今後の規制に適合するには、船舶は、現在使用している重油バンカーよりもはるかにクリーンな燃料にシフトしていかなければならない。低硫黄留出燃料は、車両用ディーゼル燃料と同様に、環境的な課題の一つの解決策として期待されるが、従来の重油バ

ンカー燃料よりも 70%から 80%割高となるうえ、NOX の排出規制を満足するためには排ガス処理による補完が必要となる。

環境課題のソリューションとしての LNG

液化天然ガス（LNG）は、ノルウェーにおいてここ数年増加してきている、フェリー、オフショアサプライ船などの小型の沿岸航行船に使用され、2009 年からは 3 隻の沿岸警備艇にも導入される。天然ガスは、船内の燃料タンクに貯蔵するため液化されて LNG となる。LNG は、いかなる石油燃料よりも優れた環境特性を有する。

LNG 駆動船舶推進システムの設置に関する安全規則や基準がノルウェーで制定されてきた。似たような規則は、国際海事機関（IMO）によって準備されている。LNG 駆動のノルウェー船の運航記録は極めて良好である。

LNG は、現在ノルウェーでおこなわれているように、小規模の生産及び供給設備があれば利用可能となる。一方、はるかに大量の LNG が、毎年大規模な海上輸送及びターミナル基地を經由してヨーロッパに到着し、通常の天然ガスとしてヨーロッパ域内の天然ガスパイプラインシステムに入っている。

船用クリーン燃料として LNG の利用拡大を図るためには、入手性、信頼性に加えて、コストに対する海運業界のニーズに的確に応えられる供給体制の整備が求められる。ノルウェーにおける船舶への LNG 供給も含めて、さまざまな背景や状況の下で LNG の供給体制が整備されてきたが、一般的には従来のオイルバンカーの供給方法に比べてコスト高となり、異なった設備が必要となる。そのため船用燃料として LNG を導入する場合、LNG 化の先鞭をつけるのに適した特定の海運分野や特定の港にターゲットを絞ることが肝要であろう。

1.3 北欧における船用 LNG の市場性

十分で費用効果の高い LNG 供給体制が確保されるならば、原則的には全ての船舶を LNG 駆動船として設計することが可能である。現実問題として、船舶の LNG 化の導入は、二つの時間的な制約を受ける。

- LNG 駆動船の導入は、既存船を従来燃料から LNG に切り換えるよりも、LNG 駆動船として新造する場合の方が容易である。船舶は通常 30 年以上の経済的寿命を有するため、既存の船舶分野を完全に LNG 化するには 30 年から 40 年の年月が必要となる。しかしながら、もし環境対策が劣る船舶を ECA 域外へ移すならば、クリーンテクノロジーの転換が急速に進むであろう。
- 他に比べて LNG 化の先鞭をつけるのに適した海運分野があるであろう。LNG の補給上のニーズに対応した費用効果の高い供給システムを建設するためには、先ず特定の港や特定の船舶分野を対象を絞り、時間をかけて徐々に進めて行くというステップを踏むことになる。

MAGALOG プロジェクトは、LNG 化に特にふさわしい船舶分野として RoRo 船、RoPax 船、超高速運車搬船¹に着目した。理由は以下のとおりである。

- これら船舶は長期にわたって定期的に運航されるため、給油チャンスが一つあるいは二つの港に限定され、継続的な LNG の利用が可能となる。
- RoRo 船及び RoPax 船（高速船も含む）はバルト海及び北海では大きな海運分野である。今回の調査研究では、該当する 370 隻の船舶を選び出して分析したが、その年間燃料消費量は 310 万トンに達し、一般的にここ数年の間に年間約 10 隻が新しく追加もしくは代替されると予測される。
- この分野の燃料消費量は今後とも現状レベルを維持するものと思われる。すなわち輸送量の増加が船舶の大型化と効率改善によって相殺される。

初めての LNG 駆動 RoRo 船が 2 隻、ノルウェーの船主によって発注された。これらは、西ノルウェーと英国あるいはヨーロッパ大陸間に就航する予定である。今後大量の LNG 駆動船が発注されるためには、さらに多くの港で LNG 補給設備の建設が設置されなければならない。ヘルシンキ、ストックホルム、リューベック、ロストック、ゼーブルグ、イエーテボリが RoRo 船、RoPax 船の寄港回数が多く、LNG 供給体制の整備拡大にふさわしい立地条件を備えた港として挙げられる。

バルト海及び北海海域に就航するすべての RoRo 船、RoPax 船、および超高速船分野が LNG に燃料転換した場合（先に説明した理由のため数十年かかるものもあるが）、表 1 に示す排出削減が可能となる。

Table 1: Indicated reductions of air emissions resulting from full conversion of RoRo, RoPax and super fast vessels to LNG in the Baltic and North Seas.

Tonnes per year reduction	SOx *)	NOx *)	PM *)	GHG **)
LNG vs conventional bunker fuel	215 000	140 000	25 000	1 million

*) Based on Table 2 and total fuel consumption 3.1 million tonnes as liquid fuel.

***) GHG = Greenhouse gases as CO₂ equivalents. Includes offsetting effect of methane releases from LNG. Net reduction of GHG assumed 10%, ref. section 2.3.1, but there is a potential for achieving even higher GHG savings from LNG.

例えば RoRo 船、RoPax 船、超高速船をすべて LNG に切り換えた場合の NOx 削減量は、約 15 百万台の車の削減量と等しく、これは英国の車の約半数に相当する。

今回の調査研究では、RoRo 船、RoPax 船分野以外にも LNG 化に適し、同じ補給設備を利用できる可能性を持っているが、現時点では詳細なレベルまで分析していない海運分野も選び出した。

¹ RORO 船：ロールオン・ロールオフ、すなわち貨物を甲板上にトレーラあるいはその他の車両を取り込む船。ROPAX 船：車両及び旅客を車ごと積み込む船舶。超高速船：通常 30 ノット以上で航行する高速 RoPax 船をいう。

- 「内陸水上輸送船」が LNG 駆動船としての適性を備えていることがわかる。この分野は、多くの小規模船主が存在するとともに、古い船舶の割合が高い。環境的な観点などからは将来ともに有望な輸送手段と認識されるが、この数年間は輸送量全体の伸びに追従できていない。増大するヨーロッパの輸送需要に対して一定の役割が果たせるように内陸水上輸送を再生させる取り組みが成功すれば、この分野は燃料 LNG 化の適性を十分に有するといえる。
- 「地域の旅客船あるいは旅客フェリー」は、このプロジェクトの検討対象となった港を持つ都市周辺に就航している。
- 「コンテナフィーダ船」は、定期運航という点で RoRo 船と似ており、限られた補給施設から供給される LNG を使った運航が可能だ。

上記のリストに限定されるものではないものの、全ての線種ではないが、多くの船舶が LNG の補給施設が拡充されれば LNG 利用に潜在的な適性が出てくるということである。この調査研究では、LNG 化の適性を備えた船舶分野が数多く寄港するバルト海と北海海域の港、すなわち LNG 補給基地を建設するにふさわしい港を特定した。それに該当するのは、ヘルシンキ、リューベック、ストックホルム、ハンバー、ゼーブルッゲ、イエーテボリの 6 港で、それら全てに、年間 20 万トン以上の燃料を消費する RoRo 船、RoPax 船の定期便が就航している。

1.4 LNG 補給に必要な設備とコスト

必要とする補給形態と地域の状況（スペース的な制約も含む）に応じて、船舶への LNG の供給手段として、トラック、バンカー補給船（小型船）、あるいは固定配管からの供給を選択できる。トラックあるいは固定配管による LNG 補給は、ノルウェーで定常的に実施されている。LNG 補給船は建造実績がないが、既存の技術と機器を適用すれば特に困難な問題が発生するとは思えない。

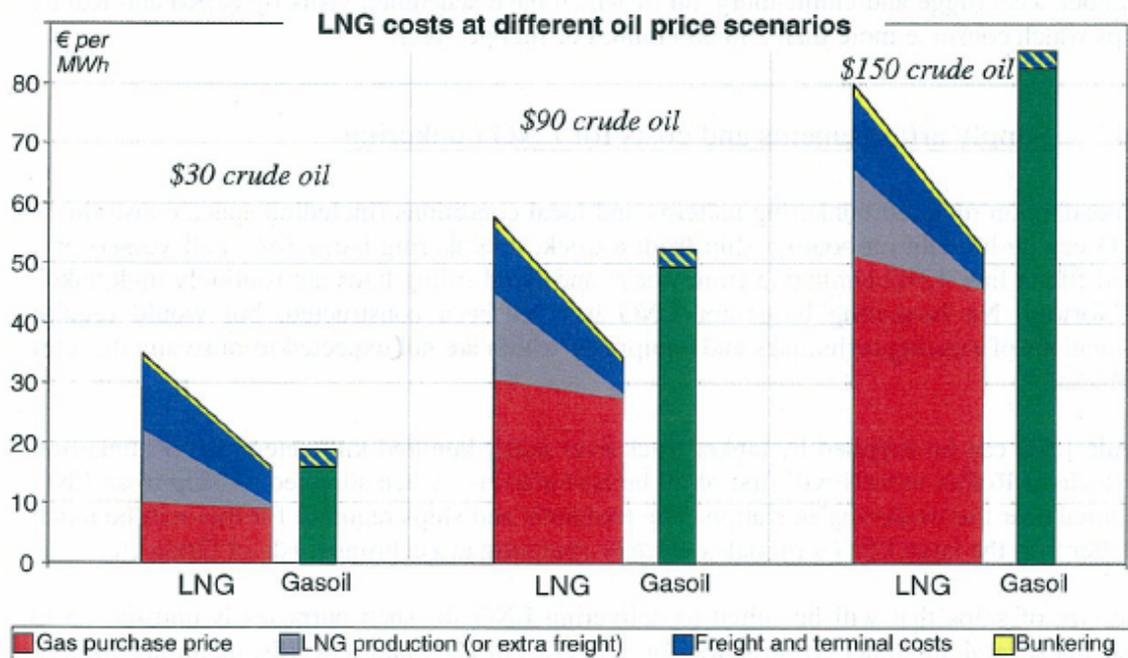
タンクローリを使えば数百キロ遠方からでも LNG の供給が可能であるが、RoRo 船、RoPax 船に LNG を補給する場合、補給場所の近くの LNG ターミナル基地に船舶で供給する方法がもっとも費用効果が高い。このために必要なターミナル基地と船舶は、ゼーブルッゲやグレイン島などで現在操業中の大規模 LNG ターミナル基地に比べるとはるかに規模が小さい。

ターミナル基地への LNG の供給に適した船舶の大きさは、過去の実績はないが 2009 年およびその後の引き渡しに向けて数隻が建造中で、7,500m³、10,000m³、12,000m³ の LNG 輸送能力を備えたものとなる（MAGALOG プロジェクトのコーディネータを務める Gansor が用船する 1 隻も含まれる）。ノルウェーなどでの作業実績によって、この規模の LNG ターミナル基地の建設と安全な操業に関する多くの知見と経験がもたらされるはずだ。この種の操業に求められる安全上の要求事項はこの業界では周知のことであり、特に困難な問題はない。

ノルウェーで使用される船用 LNG は、目下のところは、小規模の LNG プラントから供給を受けているが、そのうちの大きいもので年産 8 万トンの能力を有する。それとは対照的に、アルジェリア、ナイジェリアなどの遠隔地からヨーロッパに向けて LNG を供給する大規模 LNG プラントは、最大で 3 百万トン程度の生産能力を持つ。ノルウェーの小規模 LNG プラントでも現段階では LNG の供給源として機能し、供給量のある程度の増加に対してであれば既存のプラントおよび計画中のプラントで対応可能だ。北欧における LNG バンカーの使用が日常的となれば、既存あるいは計画中の小規模 LNG プラントでは能力的に不足する。

小規模プラントの能力増強に代わる案として、遠方の生産源から LNG を受け入れる大規模ターミナル基地をベースとする供給設備の建設が推奨される。今回の調査研究の対象となる地域では、その種のターミナル基地が現在、ゼーブルッゲ（ベルギー）とグレイン島（英国）で操業中であり、さらにオランダとポーランドで建設が始まった。小型船舶用にスペインの大規模ターミナル基地から LNG を調達する契約も一件成立した。

船舶用燃料としての石油に対する LNG の競争力は供給体制の効率によって大きく変わるが、経済規模と供給体制の整備状況の効用により時間経過とともに向上するように思われる。LNG の供給コストは下図に示すように、原油価格が低いときより高い時の方が留出燃料に対する競争力を発揮するというコスト構造にある。この数字と基本的な分析については 4.5 節で詳細に検討する。



船舶用燃料としての LNG の利用拡大の初期段階において経済的な実現可能性は、ノルウェーの沿岸フェリーと他の確立した適用例と同様、LNG を使用する具体的な利点がある適用先

をみつけれられるかどうかにかかる。

LNG 補給港に小規模 LNG ターミナル基地を建設する場合、二つの困難さがある。一つは、効率的な補給作業を可能とする場所に対して、許容スペースあるいはその土地の所有権などが制約条件となる場合がある。もう一つは、ターミナル基地に対する第 3 者のアクセスを義務付ける EU 規則の扱いである。これは結果的に、ターミナルの操業権をサプライチェーンの他の機能から切り離すことになり、供給体制の確立に向けて常に障害となる。

1.5 北欧 5 港における将来の LNG 補給に関する検討

MAGALOG プロジェクトは、船用 LNG の補給地の候補と目される 5 カ所の港（ベルゲン、イエーテボリ、リューベック、ストックホルム、シフィノウイシチェ）について検討を行った。この検討では、各港の定期就航船が燃料を将来 LNG に転換する可能性について分析するとともに、LNG 補給ターミナル基地を建設する候補地を示した。いくつかの港に対しては港湾と関連する船舶以外への LNG の使用についても示した。それが実現すれば、シナジー効果による費用効果の高い供給体制の確立が期待される。

ベルゲン（ノルウェー）

中心部ではないがベルゲン港内の一角でここ数年 LNG 補給作業が実施されている。現状の LNG 補給は沿岸フェリーとオフショアサプライ船を対象とし、今後増える可能性もある。ベルゲン港には大陸並びに英国とノルウェー沿岸との間を定期就航する 7 隻の RoRo 船が寄港し、そこは 2 隻の LNG 駆動 RoRo 船が発注された航路も含まれている。船舶を利用する貨物が増えて旅客が減るといった最近の傾向を反映し、ベルゲン港では RoPax 船の寄港回数に急激な落ち込みが見られる。

LNG 補給ターミナルの候補地は、市が策定中の開発計画において示される。ベルゲンは LNG 補給量の更なる増加を見込むが、LNG 化に適した海運分野の輸送量が限られるため中期的な成長ポテンシャルはかなり制約される。

イエーテボリ（スウェーデン）

イエーテボリは、2007 年に 84 万個のコンテナと 68.6 万ユニットの RoRo 貨物を扱った大規模コンテナ港及び RoRo 港で、その後も扱い量が増加傾向にある。イエーテボリは、スカンジナビアで大型大陸間コンテナ船を受け入れる唯一の港であり、2 基の石油精製プラントを備えた大規模石油積み出し港でもあり、さらには車の輸出基地でもある。RoRo 船、RoPax 船、超高速船のカテゴリに属する 20 隻の船舶が、バルト海及び北海航行の途中でイエーテボリに寄港する。建造後 20 年を超えるのはこのうち 6 隻だけであるが、それらは LNG 駆動船に代替される候補である。内航フェリーその他の船舶も LNG 化の可能性がある。

イエーテボリ港当局及び大口ユーザがここ数年環境問題を重視し、将来の船用燃料として LNG に格別の関心を寄せている。数箇所のターミナル候補地が検討され、もっとも有力な候補地が港の西側に近接する二つの島にある。このターミナル基地との関係で補給バージ

を組み合わせが必要になりそうである。

リューベックとトラベミュンデ（ドイツ）

リューベックとトラベミュンデは、可航河川トラベ川に沿った港で、20 km 離れた場所にある。二つの港の主要貨物は RoRo 貨物で、2007 年に 87.7 万ユニットを扱った。36 隻の RoRo 船及び RoPax 船がリューベック港に定期就航中で、更新対象となる建造後 25 年を超える船が 9 隻含まれている。内航船がリューベックに寄港するため、当地で給油を受ける可能性がある。

LNG 補給ターミナル基地の暫定候補地が特定されたが、補給バージあるいはトラックで補給を受ける船までの中継輸送が必要となる。LNG 補給ターミナル基地と市内ガス供給網のバックアップ設備を接続する可能性について検討が進められている。

シフィノウイシチェ

シフィノウイシチェは RoRo 船及び RoPax 船の扱い量が少なく 7 隻のみが定期就航している。この港ではバラ積み製品とコンテナも扱っている。しかしながらシフィノウイシチェは、主な RoRo ターミナルから 2 km 以内に、ポーランドの天然ガス輸入を補う大規模 LNG 輸入ターミナル基地が計画されている場所である。これが実現すれば、バルト海を航行する船舶にとっても費用効果の高い LNG 供給体制を構築する機会となる。また、数年先の代替時に LNG 化の対象となる小型のローカルフェリーがある。

ストックホルム

ストックホルムでは、RoPax 船を主体に 29 隻がフィンランド及びバルト海東海岸との間を定期的に就航している。この中には建造後 25 年を超える船が 8 隻含まれている。港湾施設の建設工事が進行中と計画中で、ニネスハムンの大規模な RoRo 及びコンテナ港を含め、LNG 化の動きが加速されると思われる。ニネスハムンは 2011 年稼働予定の LNG 輸入ターミナル基地の建設予定地で、稼働後は小型 LNG 輸送船による供給が受けられる。この施設はストックホルムに対する LNG 供給に大いに貢献する能力があるが、ストックホルムの港湾施設は 150 km 離れた 3 地区に分散しているため、ローカルな供給体制で補完する必要がある。

ストックホルム地区も含めてスウェーデンでは、輸送燃料としてバイオガスが大きな関心を集める。ストックホルムが大半を占めるが、将来ローカル船のバイオガス使用も提案された。LNG はストックホルム近郊で一部の車両に対してバイオガスの補完燃料としてすでに利用実績がある。

1.6 プロジェクトの結論

今回の報告書は船用 LNG の燃料補給に関する問題点を幅広く整理することを意図しているが、MAGALOG プロジェクトの作業は、報告書には必ずしも反映しきれない現実的な細か

い問題点にも及んでいる。以下が本プロジェクトの結論及び知見である。

1. 検討対象とした港の全てについて、船用 LNG の供給体制の具体案を策定した。
2. イェーテボリ、ストックホルム、リューベックでは、LNG 補給基地の候補地とともに LNG 化の先鞭をつけるユーザを特定した。
3. シフィノウイシチェは、計画中の大規模輸入ターミナル基地から船用 LNG の供給が受けられる可能性がある。
4. ベルゲンでは現在すでに LNG の補給作業を実施中であり、今後の拡張余地もある。
5. バルト海と北海海域では、2016 年から新しい IMO の SOX 及び NOX の排出規制がさらに厳しくなり、船用燃料として LNG の妥当性が増し、さらに原油価格の上昇と LNG の使用量増加によって価格競争力も備わる。
6. この地域の RoRo 船、RoPax 船向け LNG の需要は長期的には年間 3 百万トンが見込まれる。
7. LNG 化に対する技術的な解決策は実証済みである。
8. 補給港の実情に見合った LNG ターミナル基地を建設するためには、一定の公的支援を必要とする。
9. バルト海及び北海海域の大気汚染を削減するために、船舶の LNG 駆動化はもっとも効果的で現実的な手段となる。

MAGALOG プロジェクトはバルト海と北海に着目したが、このプロジェクトで強調したように、この海域で LNG の燃料補給が進めば、今後特に地中海など EU 周辺の他の海域に北海、バルト海同様の排出規制が適用されることになった場合、LNG 化の貴重な先例になると期待される。

ストックホルム港の調査研究で述べたように、船用 LNG の利用が拡大されることによって、天然ガスと似た物理特性を持つ再生可能エネルギーであるバイオガスを LNG 供給体制に組み込むことも考えられる。

2 LNG と海運業界の環境課題

この章では、船舶による大気汚染物質排出の環境課題及び排出削減のための国際的な規制と取り組みについてその背景を説明する。ここで取り上げるのは、排出削減手段としてのLNGの一般的なポテンシャルである。特に北欧の海運業におけるLNGのより具体的なポテンシャルについてはさらに後の章で分析する。

2.1 石油燃料及び船舶による大気汚染物質排出の概要

輸送活動に起因する大気汚染物質排出に対する懸念は、次の二点に集約される。

- 汚染による局地的な環境影響問題： 特に硫黄酸化物（SOX）、窒素酸化物（NOX）、粒子状物質（PM）、揮発性有機物質（VOC）による
- グローバルな気候変動問題： 主に二酸化炭素（CO₂）による。さらに影響度は低くなるがメタン（CH₄）および他のガスなども関連する。

2.1.1 船用燃料による大気汚染

グローバルに見れば、船舶は大気汚染の主要な発生源とはいえない。しかし大部分の船舶が陸地に近い回廊地帯を航行するため、沿岸地域にとっては大気汚染の主要な発生源となっている。

船舶による硫黄排出量は、ヨーロッパ中の乗用車、トラック、工場の総排出量に匹敵する。



*Figure 1: Particulate matter (soot).
Photo from IMO.*

陸地を覆う大気汚染物質に船舶排出物が占める比率が2010年には最大40%に達する。

大気中の硫黄分が、穀物や建物に被害を及ぼす酸性雨の主たる原因である。

またそれは粒子状物質を形成し、人間の肺の奥深くまで吸い込まれて心臓発作や呼吸器疾患のリスクを増やす。

各国政府は、乗用車、バス、貨物自動車、工場、発電所からの硫黄排出量を大幅に削減するため法律を制定した。

しかし船舶は、取るに足らない発生源のように思われたこと、あるいはヨーロッパ域外も含む多くの国にまたがる国際的な産業を基盤とすることの複雑さなどが原因となって、法による規制を巧みに回避した（BBC 環境特派員 Roger Harrabin、2003 年 6 月）。

粒子状物質はもっとも可視的で直接的に感知できる汚染形態である（図 1）。一方 SOX、NOX、VOC の排出は見えにくいが人体の健康に害を及ぼし、内陸部の水の酸性化など有害な影響を及ぼす。

1990 年に国際海事機関（IMO）に提出されたデータによれば、世界全体の大気汚染物質のうち、海運活動による排出がかなりの比率を占める。

船舶による硫黄排出量は年間 450 - 650 万トンと推定され、地球全体の排出量の 4% を占める。外海での排出物質は拡散して徐々に影響を及ぼすが、英国海峡、南シナ海、マラッカ海峡など特定の航路においては船舶による排出がすでに環境問題となっている。

船舶による窒素酸化物の排出量は年間 500 万トンと推定され、地球全体の排出量の 7% を占める。

これらの排出物質に対する海運活動の地球規模の影響度は、2008 年においても 20 年前と同程度と信じられていた。グローバルな海運活動が拡大し、外洋で営まれる国際的な事業となったため、多くの国がその管轄権で導入したような厳格な環境基準の適用を受けてこなかった。同じ排出源でも海運活動とは対照的に、陸上の活動は汚染削減のための排出規制が次第に厳しくなり、特に EU 域内において大気性状の改善に大きく寄与した。

2008 年時点で、残留重油が相変わらず国際海運における駆動用燃料の主力である。「原油バレルの底に溜った部分」として、重油は一般的に軽留製品に比べてかなり安く、2007 年の平均価格はヨーロッパ品質のガス油の 50% である。燃焼時の SOX、NOX、粒子状物質の発生量を比較すると重油の汚染度は相当に高い。

ヨーロッパ域内においては、ディーゼルの場合 50ppm の硫黄含量制約が一般的で、精油業界は処理設備に莫大な投資をしてきた。国際海運業は硫黄分最大 4.5%（45,000 ppm）のバンカー燃料の使用が許される。エンジンからの NOX 及び粒子状物質の排出量はエンジンと燃料に依存するが、重油は中質留油に比べて全ての物質の排出量をはるかに多い。

LNG は中質留油よりもさらにクリーンな燃料で、硫黄や粒子状物質の排出がほとんどなく、通常は NOX 排出量も低い。

1970 年代の原油価格の上昇以来、ヨーロッパの陸上での重油燃料使用量が大幅に減少した。重油のかなりの部分が天然ガスに転換され、それよりは少ないが LPG、石炭（火力発電）、バイオマスに置き換わり、地域暖房なども導入された。精油業界に対して軽質輸送燃料、特にディーゼル、ガソリン、ジェット燃料の供給ニーズが増大する一方で、暖房、工業プロセス、発電用といった固定エネルギーニーズが徐々に石油以外のエネルギー源でカバー

されるようになった。精油所は、重質残留油を軽質輸送燃料に転換する接触分解装置などの設置を進めたが、通常は容易に品質を高められない分解残渣が残る。クリーンさに欠ける重質油留分の主要向け先となったのが規制の緩い海運業界である。

2.1.2 海運と気候問題

地球全体で人為的に排出される CO₂ の 2.7%が海運活動によって生み出され、排出抑制のための国際的な規制手段を必要とするに十分な量である (2.2 節参照)。重油と LNG を比べた場合、温室効果ガス排出への影響度が異なるが、その差はこれまでに述べた大気汚染物質の場合よりも一般的には少ない (2.3 節参照)。

気候影響を背景にさらに重要な意味を帯びると思われるが、ヨーロッパ域内の比較的短距離の輸送において、海上輸送が気候影響の大きい他の輸送モード、具体的には道路輸送に取って代わる可能性を持つということである。気候影響を考慮した最適輸送モードミックスは、ヨーロッパの現況よりも陸上輸送を減らし海上輸送を増やすことによって得られる。貨物を陸上から船舶にシフトすることは、ヨーロッパの既定の戦略であり、「障壁なきヨーロッパ海上輸送空間」及び「海の高速度」を標榜するプロジェクトを支援する EC の計画に反映された。さらにプロジェクトを財政的に支援するメカニズムも導入される。ヨーロッパにおける短距離海運の利用増によって将来の船隊に対しクリーン燃料に対するニーズがさらに強まった。

2.2 MARPOL : 船舶による排出に対する国際規制

海運業界が重要な大気汚染発生源であるとの認識が深まる一方で、その規制は、国の管轄権の下での規制とは異なる制度的な問題があり、多くの国の国内規制に比べて動きが遅かった。最近になって、国際海運による排出の規制に関して重要な進展があり、船用クリーン燃料としての LNG の利用に弾みがついた。

2.2.1 国際枠組み

国連の下部組織である国際海事機関 : IMO (www.imo.org) は、世界海運からの排出に関する課題に対し主体となって処理に当たる主な組織的枠組みである。その目的を達成するための主要な法的枠組みが MARPOL (船舶による汚染防止のための国際条約) であり、船舶によるさまざまな汚染を扱う 6 つの付属書 (Annex) で構成される。

MARPOL Annex VI が大気汚染に関する問題を扱い、最近その改訂が約 100 カ国の政府の代表で構成される IMO 海洋環境保護委員会によって採択された (2008 年 10 月)。LNG に関しては具体的な言及がないが、その変更された規制内容が LNG であれば達成可能なレベルに設定されたことで船舶の LNG 使用に対して重要な意味合いを持つ可能性がある。MARPOL Annex VI 改訂版は、船舶による硫黄酸化物、窒素酸化物、粒子状物質を大幅に削減させるよう設定されており、2010 年から 2020 年にかけて段階的に実施される。

MARPOL Annex VI 改訂版は、BIMSCO、INTERTANKO のような海運産業を国際的に代表

する組織、及び各国の海運協会から歓迎された。「世界的に統一した規制をしなければ港を管理する国ごとに個別の環境規制や異質な環境規制が生まれる結果となり、国際海運に非効率さと複雑化を生じる」との懸念を海運関係者はかねてから表明していた。

2.2.2 改訂 MARPOL Annex VI (2008 年 10 月) による排出規制

改訂 MARPOL Annex VI は船用エンジン燃料中の硫黄含有量に対する世界的な規定を定めた。2012 年までは上限を 4.5% とし、2012 年以降は 3.5%、2020 年以降は段階的に 0.5% まで下げる。実現可能性レビューを 2018 年までに完了することを義務付けられ、実現可能性レビューの結果によって最終削減を 2025 年まで延長する。

バルト海と北海海域はこれまでに MARPOL によって「硫黄排出規制海域」(SECA) (図 2) に設定されていたが、今回、規制が硫黄以外の汚染物質にも拡大されて「排出規制海域」(ECA) と名称が変更になった。ECA 海域内では船用燃料の硫黄分がより厳格に規制される。すなわち現行の 1.50% が、2010 年 7 月 1 日からは 1.00%、2015 年 1 月 1 日からは 0.10% に制限される (図 3)。

バルト海と北海海域に要求される低硫黄分燃料が精油業界によって供給されることが期待されるが、地球規模で同様の削減要求があれば精油業界にとって大きな難問となる。燃料中の硫黄含有率を下げることによって粒子状物質の大幅な排出削減にもつながると期待されている。

窒素酸化物 (NOX) の場合、その排出量は燃料の品質に依存するだけでなく、エンジンの設計及び運転条件によって大きく変わる。IMO は NOX 排出量を g/kWh の尺度で規定するが、その規制値は毎分当たりの回転数で表わすエンジン速度が増えるほど低くなる。最低速度において 17 g/kWh という制約が 2008 年の改訂以前の Annex VI で規定されていた。2016 年 1 月 1 日以降に建造され、ECA 域内で運航される全ての船舶の場合、規制値は最低速で 3.4 g/kWh、エンジンが高速になるに従って 2 g/kWh に近づく (図 5)。車と比較すると、欧州で EURO V 標準の大型車輛に適用される NOX 規制値は 2.0 g/kWh である。

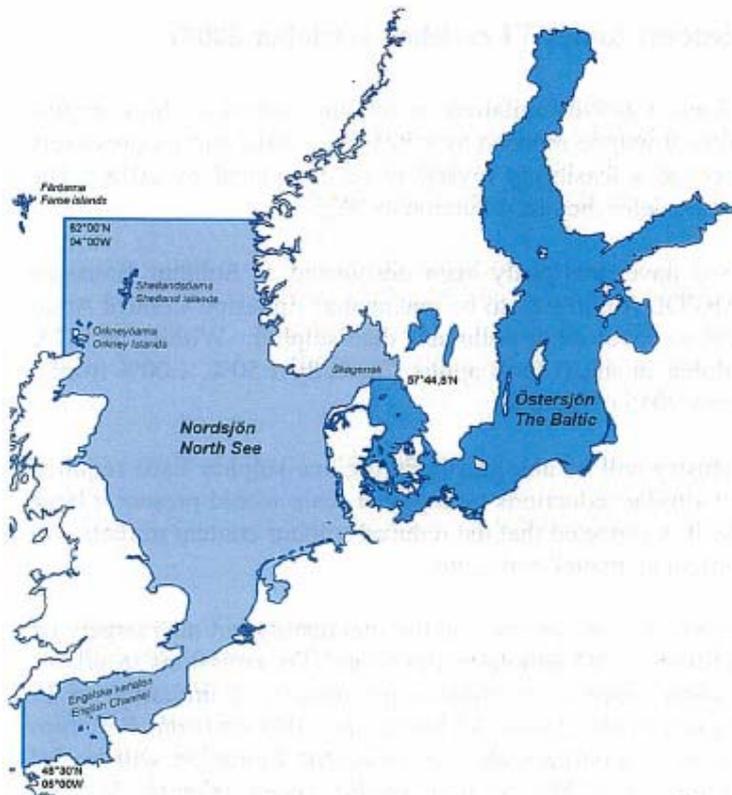


Figure 2: Sulphur Emission Control Areas of the Baltic and the North Sea (indicated in shades of blue).

Illustration: Swedish maritime administration.

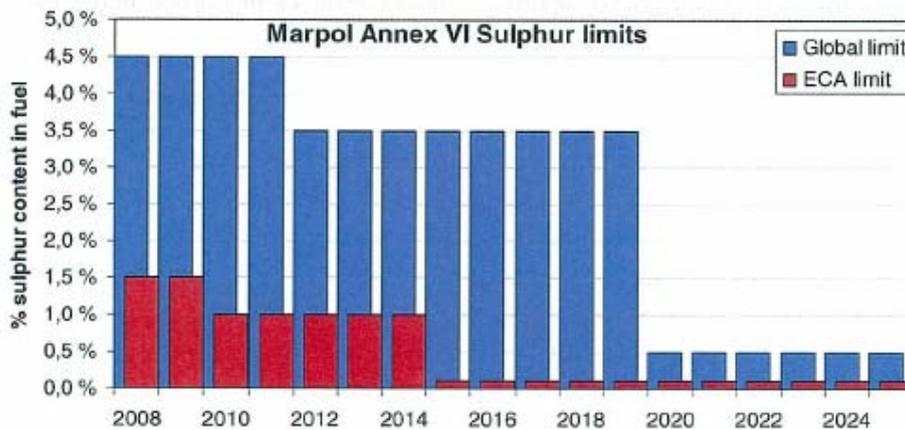


Figure 3: MARPOL limits on sulphur content in marine fuels.

バルト海と北海海域のみならず今後新たに追加される ECA にも MARPOL 規制が適用されることによって、従来型の重油が船用燃料として使用できなくなることが広く予測されている。留出燃料（軽油レンジ）はこれらの規制に合致する格段に優れたベースを提供するが、最新型エンジンで使用される留出油でさえも船上の排ガス清浄設備などの付帯設備で補完されない限りは NOX 限界を超えそうである。

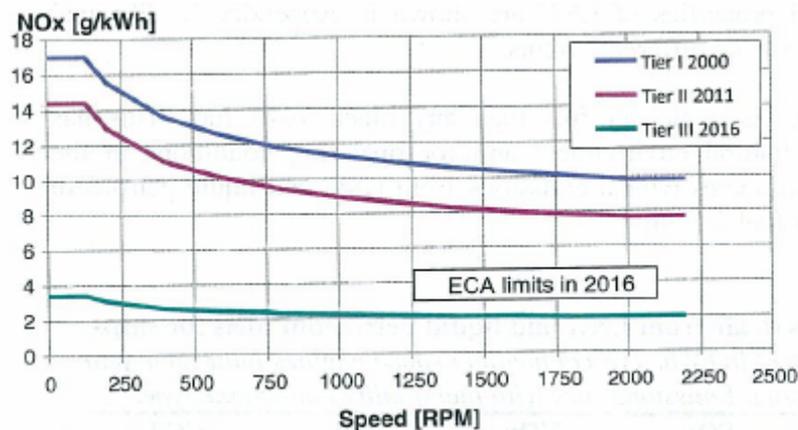


Figure 4: NOx emission limits as function of engine speed, MARPOL Annex VI

2.2.3 世界海運による温室効果ガス排出を規制する取り組み

温室効果ガス排出量は、MARPOL Annex VI の改定（2008 年 10 月）では具体的な記述がなかったが、独立した課題として IMO 及びその海洋環境保護委員会（MEPC: Maritime Environment Protection Committee）によって検討されることとなった。CO2 排出量に対して何らかの形で船舶による排出量と国際規制をリンクさせる結果になるものと思われる。この問題に関する MEPC の次回の検討会議は 2009 年 7 月に開催される。

国際海運は、京都議定書で規定された 2008 年から 2012 年間の温室効果ガス排出規制の対象外である。京都議定書枠組み規定に続く 2012 年以後の温室効果ガス排出規制は、2009 年 12 月にコペンハーゲンでの新しい世界的な気候に関する合意を目指して現在準備作業中である。国際的な輸送による排出量もその規制対象に加える必要性が広く認識されてきた。

2.3 海運業の環境課題に対応するソリューションとしての LNG

このセクションでは、これまで説明した環境課題及び法的規制に対応する一つのソリューションとして LNG を適用するための共通的な条件について検討する。すなわち LNG の特性を、環境特性、技術的な実現可能性、船用燃料としての入手性といった観点から評価する。

2.3.1 物理特性及び環境特性

LNG（液化天然ガス）は液化のために -162°C 近くまで冷却された天然ガスである。ガスを液化するのは輸送上の理由による。天然ガスは、生産地から消費地までの長い距離をそれぞれ専用建造されたタンカーで輸送される。LNG は、エンジン燃料として利用する直前に、あるいは一般的な燃料ガスとして輸入した場合は供給パイプラインに送り込む直前に、再加熱してガス化する。

LNG の主成分は約 90% がメタン (CH_4) で、残りの大部分がエタン (C_2H_6) である。LNG は、中毒性の成分あるいは重大な汚染の原因となる成分は含まない。LNG の成分は、超低

温で問題を起こす成分を取り除く以外は、一般的な天然ガスと同じである。LNG の主要な物理特性を Appendix 1 に示した。物理特性は原産地によって多少異なる。

LNG（及び天然ガス全般）は、いかなる化石燃料よりもクリーンな燃料であり、自然環境に対してあるいはガスを使用する設備の運転条件にとって好ましい特性を備える。表 2 に船用燃料として使用した場合の LNG と液体石油燃料の排出量の代表値の比較を示した。

Table 2: Indicated emissions to air from LNG and liquid petroleum fuels for ships
Emissions related to engine output in kWh. Typical medium speed engines built after year 2000 without exhaust cleaning. Emissions vary with fuel quality and engine type.

Fuel type	SOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO2 (g/kWh)
Residual oil 3.5% sulphur	13	9-12	1,5	580-630
Marine diesel oil, 0,5%S	2	8-11	0,25-0,5	580-630
Gasoil, 0.1% sulphur	0,4	8-11	0,15-0,25	580-630
Natural gas (LNG)	0	2	~0	430-480

Source: Marintek

天然ガスは、効率がよく排出量が少ないガス燃焼エンジンの設計を可能とする燃料特性をいくつか有し、それ故に優れた内燃エンジン燃料として評価される。LNG を船用燃料として使った場合の技術的な特徴を以下に示す。

- ✓ メタン価が高く、ノッキング限界内で高い出力効率を出せる。
- ✓ 空気と混じりやすく、空気比（原文：air access）を上げた場合でも十分な火炎伝播速度で燃焼を維持する均質な給気を得られる。これは燃焼中のピーク温度、ピーク圧力の上昇を防止し、残留油あるいは船用ディーゼル油と比較して NOX 排出量を 90%削減できる。また高い効率が得られる。
- ✓ 硫黄分を含まないため、SOX 及び粒子状物質を排出しない。

メタン（CH₄）を主成分とする LNG は、ディーゼルのような複雑な分子構造の液体燃料と比較して CO₂ 排出量が少ない単純な分子構造を持つ。天然ガスの燃焼は化学量論的に 9.5% の CO₂ を発生し、ディーゼルは 13.4% の CO₂ を発生させる。天然ガスは、分子構造が単純なことと硫黄を含まないことにより粒子状物質の排出が回避される。

気候への影響

船用燃料として天然ガスを使用する場合の環境的な不都合点として、エンジン排ガス中の未燃 hidrocarbon 量が増えることが指摘される。これは希薄なガスと空気の混合物を燃焼させた場合は火炎温度が低くなることと関連があり、そのために NOX 排出量は抑えられるが、急冷ゾーン（quenching zone）を生じやすく、そこから未燃ガスが排ガス中の hidrocarbon（主にメタン）として排出される。

エンジン燃料としての天然ガスは、表 2 に示すように石油燃料よりも CO₂ 排出量が大幅に削減される。ただし気候への影響全体として見れば、CO₂ 削減の一部が排ガス中の hidrocarbon 排出増によって相殺される。石油の代替として天然ガスを使った場合の気候へ

の影響という観点での総合メリットは0 - 15%と推定されるが、ガスエンジンの設計手法及び運転条件によって、メリットの変動範囲の高い方にもっていくことが可能である（出典：Marintek）。

2.3.2 船用燃料として LNG を使用する技術的な実現可能性

LNG は船用燃料として幅広く使用されているわけではないが、運転経験や機器選定のベースとするに足るだけの使用実績がある。LNG の船用燃料としての使用状況を二つ挙げる。

- 大型 LNG 運搬船では、貨物から蒸発したガス（ボイルオフガス：戻り管も含む）を集め（所定の量が貯まると）、重油の代替燃料として利用する
- ノルウェーの沿岸船舶では、その殆どは LNG 運搬船ではないが、LNG を独立したメイン燃料として、もしくは石油燃料のバックアップ燃料として利用する。

大型 LNG 運搬船におけるボイルオフガスの利用は、大部分が蒸気タービンによる推進システムの燃料として使用された例であり、その場合は内燃機関（エンジン）に比べると効率が悪い推進技術である。最近では 2 元燃料化された（天然ガス＋石油燃料）内燃機関が開発され、通常のバンカー燃料で補完しながら LNG ボイルオフガスをより効果的に利用できるようになった。



*Figure 5: The "Bergensfjord", an LNG powered coastal ferry operating in Norway since early 2007.
Photo from Fjord1*



*Figure 6: The "Viking Energy", and LNG powered offshore supply vessel operating in Norway since 2004
Photo from Eidesvik*

LNG を使用するノルウェーの沿岸船の内訳は、2008 年後半時点で、カーフェリー（図 5）が 6 隻、沖合の石油施設へのサプライ船が 3 隻、沿岸警備艇が 1 隻、小型 LNG 運搬隻が 1 隻となっている。現時点で（2008 年）発注済みあるいは計画中也含めると LNG 駆動船の数は 20 隻を超える。その場合、スパーク点火式のエンジンを使用する方式と、燃料中にディーゼル油を少量混入させて点火させる方式がある。後者の場合は、ディーゼル油単独での運転も可能である。

Wartsila と Rolls Royce Marine は、船用ガスエンジン及び 2 元燃料エンジンのトップメーカーである（図 7）。加えてディーゼルエンジンに多くの実績ある各メーカーが、彼らのエンジンのガス燃焼タイプを開発済みあるいは開発中との情報がある。現在搭載済みのエンジンの例では、ガス・電気複合サイクル型、すなわち発電した電力を推進駆動モータに給電するという方式が採用されている。Wartsila および Rolls Royce Marine 製のエンジンは、陸上で数多くの実績がある熱・電気複合サイクルエンジンと似ている。



Figure 7: Rolls-Royce Bergen KVGS-G4 gas engine used in the ferry shown in figure 4.

MARINTEK の試算によると、ガス駆動船舶は従来型の船舶に比べて全体として 10 - 15% コスト高になるという。例えば典型的な 5600 DWT RoRo 船の場合、LNG と石油燃料（HFO

またはディーゼル) の 2 元燃料による駆動方式を採用すると建造費が 320 万ユーロ割高となる。

このコスト差はこの種の船舶の建造数が増えることによって縮まり、2 元燃料ではなく LNG のみの駆動とすることを選択することによってさらに縮まるはずだ。重油ベースの従来エンジンとの比較を表に示した。排出規制海域での MARPOL Annex VI の要求に適合するため今後の石油駆動エンジン(第 2.2 節)は重油でなく留出油を使うことになり、許容限界内に排出量を抑えるためにはさらに排ガス洗浄設備が必要となる。これに必要な追加のコストは、上記説明よりも LNG 駆動エンジンに対してさらに有利に作用する。

LNG 駆動船の設計規則

ノルウェー海事局(Norwegian Maritime Directorate)は 2002 年に、天然ガスによる内燃エンジンを搭載する船舶に対する規定を制定した²。この規定は、海事局と船主団体の共同実施による先駆的な検討作業の結果として生まれた。この規定は、ノルウェー船籍の LNG 駆動船舶の建造及び運航に関するもので、受動的安全対策、機械などの他設備から受ける危険に対するガス関連機器の防護対策、補給設備の配置、必要とされる換気、防火対策、構造強度、運航及び訓練などの必要措置を規定した。

2002 年から実施となったノルウェー規則に先立ち、2001 年には船級協会 Det Norske Veritas によるガス燃料エンジンの設置に関する一連の規則も制定されていた。

国際海事機関(IMO)は、ノルウェー海事局の提案に応じて、ガス駆動船舶の規定の制定に乗り出した。*Draft Interim Guidelines covering gas-fuelled ships* (ガス燃料駆動船舶暫定指針案)は検討作業を継続するとともにバラ積み液体・ガス小委員会(Subcommittee on Bulk Liquids and Gases: BLG)による審査を受けている最中である。このような暫定指針を 2009 年に発行する意図は既に表明されている。

2.3.3 LNG の入手性

船用 LNG 燃料の供給方法について二つの考え方がある。

- (1) 補給地に比較的近い場所すなわち北欧で、天然ガスから LNG を製造する(小規模 LNG プラント)
- (2) 遠隔地にある製造元(大規模 LNG プラント)からヨーロッパに輸入された LNG を購入する

今まで、ノルウェーで船用燃料として使用された LNG はごく小規模の LNG プラントから供給されたものであったが、今後は大規模 LNG プラントからの供給が徐々に現実味を帯びる可能性が高い。そうなれば北欧全域の LNG 駆動船舶の大部分に供給可能な体制が確立されることになる。

² 2002 年 6 月 17 日付け nr 644: Forskrift for lasteskip hvor forbrenningsmotorer drives med naturgass を参照



Figure 8: Small scale LNG production plants at Kollsnes, near Bergen, Norway. The two plants at this location have a combined annual capacity of 120,000 tonnes of LNG. Photo from Gasnor.

小規模 LNG プラント

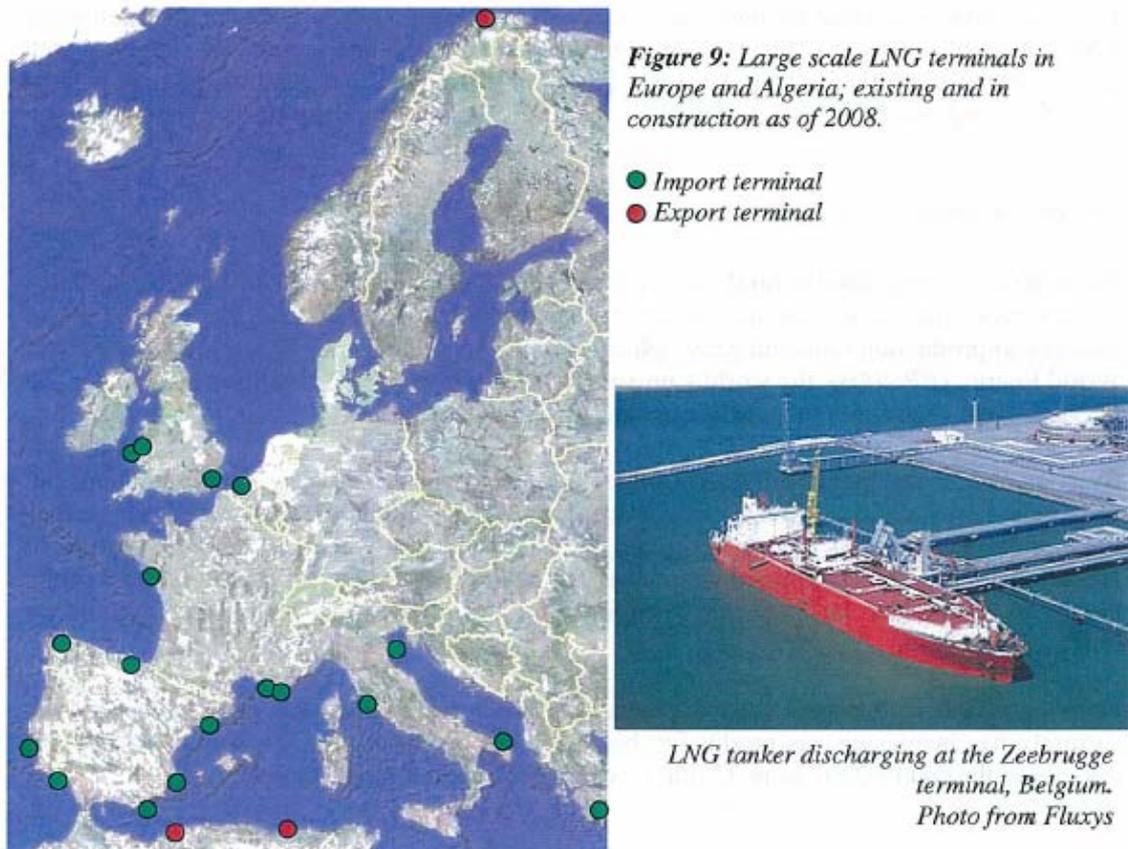
2008 年時点で、西ノルウェーの 3 箇所に合計 4 つの LNG 製造プラントがある。個々の能力は 1 万/年から 8 万トン/年で、トータル能力が 15 万トン/年になる（図 8）。現在 30 万トン/年規模の新プラントが建設中である。これらプラント及びその受払い設備の規模は「小規模 LNG プラント」と呼ぶにふさわしい。というのも、LNG の輸出に関わるような LNG 製造プラントとして 300 万トン/年の最大規模のものが多く存在する。それら大規模プラントは、パイプラインによって天然ガスと共に北海の採掘現場から供給され、LNG プラント内で精製液化される。

ノルウェーの小規模 LNG プラントは、船舶への供給のみを対象にして建設されたものではない。工業プラントのような陸上ユーザに対しても、天然ガスパイプラインを敷設する代わりに LNG の形で供給することを念頭に建設された。天然ガスの供給方法としては、極端な長距離を除けば、パイプラインの敷設が世界標準のソリューションであるが、荒涼とした土地と限定された需要見通しを考えると、スカンジナビア地域のほとんどにおいて極めて高いコスト負担となり、小規模 LNG プラントの方がよりふさわしい。

船舶への供給量は、現在、既存のノルウェー小規模 LNG プラントの能力の約 25% を占める。スタバングル近郊のリサフィカで建設中の 30 万トン/年プラントは、計画通り進めば船舶供給に対しては極めて大きな確約の取れていない能力を有することになる。これに加えて数社も、市況が許せばノルウェーで LNG 製造能力を増強する意思を表明している。Gasnor（MAGALOG パートナーの一員）が所有する小規模 LNG プラントの能力は、現状ノルウェーのトータルの約 90% を占めるが、建設中の 30 万トン/年プラントは別の企業によって所有される。

スコットランド、ポーランド、ロシアなどその他のヨーロッパ諸国にも小規模 LNG 製造プ

ラントが存在するが、船用燃料として供給されたとの情報はない。



大規模 LNG プラント

2007 年時点ではヨーロッパで取り扱われる LNG のわずか 0.1% がノルウェーの小規模プラントから出荷されたものであった。残りの 99.9% が、アルジェリア、ナイジェリア、カタール、エジプト、トリニダードなどの遠隔の大量生産国からヨーロッパに輸入された。スペインとフランスがヨーロッパ最大の LNG 輸入国でトータル輸入量の 45% と 24% を占める（BP 2008 から計算）。

ヨーロッパに輸入される LNG は、通常は最大で 125,000 m³（850 GWh のエネルギー量相当）の搬送能力を有する船舶で運ばれ、ベルギーのゼーブルッゲ、英国のグレイン島のような受入可能な巨大ターミナルで陸揚げされる。通常は LNG をこれらのターミナル基地で再びガス化して天然ガス供給パイプライン網に投入することによって、ロシア、アルジェリア、ヨーロッパの産出国からパイプラインで送られるガスを補完する。LNG として輸入される天然ガスは EU で 2007 年に消費されたガスの 12% を占めた（BP 2008）。

アルジェリアと北ノルウェーにある 3 カ所の輸出ターミナル基地及びヨーロッパの大規模 LNG 輸入ターミナル基地の場所を図 9 に示した。図 9 に示した現在操作中あるいは建設中のターミナル基地に加えて、ポーランド、オランダ、フランスなどでいくつかの LNG 輸入

ターミナル基地計画が提案され、さまざまな計画段階にある。

大規模ターミナルからも LNG の補給を受けるという考え方は、船用燃料の供給体制から見れば小規模 LNG プラントに対する好ましい補完手段として注目され、量的拡大によるコスト上のメリットとともに、供給体制の充実といった効果が期待される。第 4 章で考察するようにいくつかの課題を解決する必要があるが、MAGALOG では実現の可能性があるとの評価を下した。

天然ガスの世界的な入手性

LNG は天然ガスを冷却して保存したものであるため、その長期的な入手性は、最終的には天然ガスの地球埋蔵量によって決まる。天然ガスの地球埋蔵状況は、埋蔵量/生産量比及び地理的分布の観点からは石油よりも好ましいといえる。BP の世界エネルギー統計レビュー (BP 2008) によると、2007 年末時点で世界全体の確認済みガス埋蔵量は 177 兆 Sm^3 で、これは 2007 年の世界ガス生産量の 60 倍である。

比較によれば、石油の地球埋蔵量はエネルギー含量ベースではガス埋蔵量とほぼ等しいが、2007 年の世界石油生産量の 42 倍でしかない。確認済みの石油埋蔵量の 61% が中東に偏在し、世界的な石油供給の政治リスクに対する懸念の原因となっている。一方、天然ガスの中東依存率は 41% である。ロシアが天然ガスの世界最大の埋蔵国兼生産国で、原油におけるサウジアラビアと立場を同じくする。

ロシアを除いたヨーロッパで最大の石油と天然ガスの生産国であるノルウェーは、現状、ガス生産量は増加傾向にあるが石油生産量は減少傾向にある。2007 年末時点のノルウェーの確認済みガス埋蔵量は、同年のガス生産量の 33 倍に当たる。

2.4 まとめ：海運業の環境課題と LNG

国際海運業界は、燃料から排出される大気汚染物質の削減という重要な課題に直面している。この問題は 2008 年に改訂された MARPOL Annex VI で具体化され、世界全域で硫黄と NOX の排出に対する厳格な規制が適用されることになり、特別な排出規制海域に指定されたバルト海と北海海域ではさらに厳しい規制が適用された。船用燃料としての LNG は、最も厳しい基準に適合するだけでなく、それを明白に超える環境特性を有し、港湾都市の大気環境の向上に大きく貢献すると期待される。LNG が船用燃料として技術的に実現可能であることは、ノルウェーの沿岸を航行する LNG 駆動船によって確認されている。

船用燃料としての LNG はノルウェーで発展してきた小規模 LNG プラントから供給を受け、さらに主要な輸入ターミナル基地と直結した大規模 LNG 取引からも供給を受けられる。以下の章では、北欧における LNG の船用燃料としての実現可能性と潜在的な市場についてより具体的に評価する。

3 北欧における船用 LNG の市場性

この章では、北欧における船用 LNG の潜在的な市場性を評価する。評価方法を 3.1 節で説明し、続いて 3.2 節で市場性評価の対象とする海運分野について検討する。船用 LNG の利用拡大の可能性について 3.3 節で検討し、3.4 節で結論を述べる。

この章で提示する主な分析には、MAGALOG プロジェクトメンバー MARINTEK の提供による基調報告書のデータを使用した。

3.1 潜在的な市場性の評価手法

少なくとも原理上は、将来のある時点で多かれ少なかれ世界船腹の一部が LNG 駆動船に置き換わることが予測されるが、MAGALOG プロジェクトとしては LNG 化が管理可能な段階を目指して進展することを求められており、海運分野、地理的分布、船舶数などの具体的な項目で LNG 駆動船の拡大を図りたい。そのためこの章では、適切な時間枠の中で特定し、確立できる LNG 駆動船舶の利用拡大の可能性を検討する。

本調査研究は、時間軸スパンとして 0 - 15 年を選択した。船舶は通常 30 年以上の経済寿命を有し、現存する船腹もその時間スパンで分布している。一般的に船を新しく建造する場合には、LNG 駆動化に必要な対応策を効果的に講ずることが可能であるが、従来燃料で駆動されている船舶を LNG 駆動船に換装するのは、ほとんどの場合経済的により困難な問題に直面する。MAGALOG プロジェクトは、既存船舶の LNG 化が大々的に進展するとは考えない (3.3.4 節)。従って、既存のどのカテゴリの船舶も今後 15 年以内に完全に LNG 駆動船に置き換わるとは期待できない。代わりに、このプロジェクトでは、LNG の優位性が数年以内に確立されて、相当数の LNG 駆動船が 15 年以内 (2023 年) に出現すると思われる船舶カテゴリを対象を絞ることとした。

今日に至るまで LNG を船用燃料として進展させてきたのは限定的であったが、導入段階では特に LNG に向くと思われたごく一部の海運分野から導入が始まった。最初に LNG が適用された分野は沿岸フェリーで (2000 年の Glutra 号、2007 年から 5 隻のフェリー)、その後オフショアサプライ船が加わり、2008 年後半からは沿岸警備艇にも適用された。地理的分布は 2008 年時点では依然ノルウェーに限定されている。

LNG 駆動船の拡大には、その対象となる船種に対していくつかの障壁を克服しなければならない

- (a) LNG 推進駆動のためのエンジン技術と船舶設計
- (b) 必要量の船用 LNG を現実面で安定して入手可能とする供給体制
- (c) 代替燃料に対する経済的競争力

項目 (a) はこの報告書の評価に関して重要度は低い。MAGALOG プロジェクトには他に重要課題 (供給体制) を抱えていることも一因だが、LNG 燃料エンジン及び船舶設計に関してはすでにかかなりの技術的な実績がある。エンジン技術及び船舶設計は各メーカーによる技術

開発が進められ、これが今後とも LNG 化の障害となるとは思えない。

項目(b)に関しては、LNG をもっと広くに入手できるようにするには供給体制にかなりの投資が必要であることが今の段階で既に分かっている。予測可能な近未来に、LNG が今日の石油製品のように広く入手可能になるとは考えにくい。しかし供給体制のコストに見合う需要が存在する地域に限ればより入手しやすくすることは可能であるため、項目(c)も解決される。これは船用 LNG の市場性を評価する場合の重要な判断材料となる。すなわち少なくとも今後数年間は限られた補給候補地以外では LNG の入手が難しいとの前提で LNG の運航が可能な船舶分野を特定する。

今回の調査研究の地理的な対象はバルト海と北海に限定されるが、この章ではヨーロッパの内陸水路上の運航も含めて検討した。

3.2 LNG 化に適する海運分野 (0 - 15 年の時間スパン)

このセクションでは、LNG 燃料化の候補として MAGALOG 調査研究で取り上げる船舶分野を選定し、LNG 化に対する適正を詳述する。

3.2.1 LNG 化に対する船舶適性の判定基準

船用 LNG の補給可能場所は限定されているものの、次第に増加する可能性があるとの前提と第 2 章で述べた環境面での考え方に基づけば、0 - 15 年の時間スパンの中で LNG 化の候補と目される船舶の種類は以下の条件を満たさなければならない。

- (1) 限られた燃料補給場所で繰返し補給を受けるといった条件が成り立つ定期的な航行パターンであること。
- (2) 清浄な燃料によって相当量の環境効果が得られること。
- (3) LNG 燃料システムを搭載することに特別な制約条件が付かないこと。

3.2.2 LNG 化に適した海運分野

上記条件を満たす船舶が相当数含まれると思われる非排他的な海運分野を以下にリストアップする。

ノルウェーにおいて LNG の使用実績があるもの

- .1 車両及び旅客を輸送する沿岸フェリー
- .2 北海の石油採掘活動に従事するオフショアサプライ船
- .3 沿岸警備艇及び公共サービスに従事するその他船舶

LNG 使用の実績がないもの

- .4 コンテナフィーダー船

- .5 国際定期航行に携わる車輛運搬船（RoRo）
- .6 国際定期航行に携わる車輛及び乗客輸送フェリー（RoPax 船）
- .7 車両及び旅客を輸送する高速船（超高速船）
- .8 内陸水路を航行するバージ及びその他貨物船
- .9 小型のばら積み貨物船及び小型タンカー
- .10 旅客船
- .11 タグボート及び砕氷船
- .12 漁船

MAGALOG 調査報告では、主にバルト海及び北海海域内の港間を定期的に就航する上記 5 の RoRo 船、6 の RoPax 船、7 の超高速船を主な検討対象とすることとし、8 の内陸貨物船に関しても一部で言及した。3、10、11、12 の船種も LNG 化の可能性があるが、貨物分野に比べて燃料消費量が明らかに少ないため、今回の分野対象から除外した。4 のコンテナフィーダ船は RoRo 船と運航面での類似性が多く、定期便も数多く就航中である。今回の調査研究では具体的には取り上げなかったが、RoRo 船の検討結果をコンテナフィーダ船にも拡大適用できると考えている。

3.2.3 定期貨物船（RoRo 船など）

RoRo（Roll on-Roll off）船は、車台に貨物を載せたままで運搬する（牽引車有り・無しの場合がある）。RoRo 船は一般的にトラックの運転手は輸送せず、荷揚げ・荷降し作業は港の作業員がおこなう。RoRo 船には甲板積み貨物としてコンテナも運ぶものがある。



Figure 10: Loading a trailer onto a Ro-Ro vessel. Photo from Finnlines.

今回の調査研究ではバルト海及び北海の港に定期的に就航する 182 隻の貨物船を抽出した。この海域外に寄港する船も一部に含まれるが、基本的にこの調査研究は、ヨーロッパとアジアを結ぶコンテナ船のような遠距離海上輸送船は対象としない。これらのうち多くは RoRo 船で、コンテナを甲板上に、各種貨物を船内に収容して運ぶことも可能である（図 10 参照）。

抽出した RoRo 船の平均エンジン出力は 12,000 kW、通常 15-20 ノットの速度で運航されている。これらの船の 1/3 が船齢 20 年以上であり、今後数年以内に代替ニーズが高まると思われる。

LNG 推進駆動の RoRo 船として初の発注は 2008 年 9 月にインドの造船所へ Sea Cargo AS からなされ、2 隻の納期は 2009 年と 2010 年である。この 5,600 DWT LNG 駆動 RoRo 船は、Rolls-Royce 製のスパーク点火ガスエンジン 1 基を搭載し、240 m³ LNG タンクが 2 基設置されている（図 11）。2 隻の船舶はノルウェー西海岸、英国、ヨーロッパ大陸間の就航を予定している。



Figure 11: LNG-fuelled RoRo vessel ordered for North Sea trade. Illustration from Sea-Cargo AS

3.2.4 乗客及び車両輸送船（RoPax 船）

RoPax（Rolling goods and passenger vessels）という名称はしばしば RoRo 船とセットで使われる。この報告書ではこれらの呼称は異なる船種として使用する。すなわち RoRo 船は旅客（トラックの運転手も）を乗せないが RoPax 船は旅客を乗せる。

今回の調査研究ではバルト海及び北海を定期的に就航して車両と乗客を輸送する 189 隻の船を抽出した。うち 26 隻は高速船である。RoPax 船はトラック、乗用車、乗客の他、場合によっては他の貨物を輸送する。この船舶カテゴリでは 2008 年後半時点で LNG 駆動船の発注実績はない³。

抽出した RoPax 船（例を図 12 に示す）の平均エンジン出力が 20,000 kW、就航スケジュールにもよるが通常は 20 ノット前後の速度で運航される。

³ このカテゴリには、図 4 に示す沿岸フェリーのような短距離国内航行船は含まれない。



Figure 12: The "Nils Holgerson", a RoPax vessel with capacity for 174 trailers and 220 passenger cabins, arriving at Travemünde (D) from Trelleborg (S), emitting visible smoke even as it is towed in the river.

Photo from TT-Line

3.2.5 高速（超高速）の車両・旅客輸送船

英国海峡横断あるいはカテガット海峡並びにバルト海のいくつかの航路で、車両・旅客輸送に高速船が使用され、通常は 30 ノットを超える速度で運航される（図 13）。特定された船舶の平均エンジン出力は 25,000 kW で、双胴あるいは三胴型の軽量構造が一般的だ。これらの多くが推進用として往復動型エンジンに比べてコンパクトで軽量のディーゼルガス燃料のタービンを装備している。

現在北欧で就航中の超高速船の多くが 1990 年代に建造され、2000 年以後に進水したものはほとんどない。既存の超高速船の代替ニーズが今後 10 年間に高まることはないが、より高速なほうが望ましい場合、あるいは需要増に対応するため、既存の従来型 RoPax 船の代替という形で新規に建造される可能性がある。



Figure 13: The "Normandy Vitesse", a 185-car fast ferry with 28,320 kW engine power and 41 knots service speed traversing the English Channel. Photo from Brittany Ferries.

LNG 駆動の高速船は 2008 年時点では発注実績がないが、LNG は特にこの船舶カテゴリに適すると思われる。タービンは一般的に天然ガス燃料と相性がよい。大半の既存船舶は原油が 1 バレル 20\$以下の時代に発注されたものである。これらの高速船は貨物輸送量当たり

の燃料消費量が多いため、クリーン燃料への転換なくしては必ず環境上の問題に直面する。

3.3 LNG の潜在市場としての RoRo 船、RoPax 船、超高速船

このセクションではバルト海と北海における貨物・旅客輸送船の船用燃料としての LNG の潜在市場性を定量的に分析する。

3.3.1 分析方法

MAGALOG の調査報告は、主に RoRo 船、RoPax 船、超高速船を対象に、寄港地、航行時間、頻度、運航者、船隊構成、運航者の開発計画などの観点から、北欧定期航路上の貨物の流れを調査した。

LNG 駆動船及び対応する LNG 供給体制の実現可能性を評価するベースとして、この調査は以下のパラメータに関するデータを集計整理した。

- 短距離海上定期航路に就航している船舶の数及び詳細
- これらの航路の年間就航数
- バルト海と北海海域におけるこれら航海によるバンカー燃料消費量推定
- これら航海による汚染物質年間排出量（CO₂、NO_x、汚染物質）

この調査研究の対象である海域の輸送量及び取引形態は、バルト海海事要覧（Baltic Maritime Outlook、SAI 他 2006）のようなこれまでの調査で詳しく紹介されている。この海域で運航している船舶は、ヨーロッパ海洋安全局（European Maritime Safety Agency: www.emsa.eu.int）の「海上安全ネット」（Safe Sea Net）システムによって監視及び記録されるが、そのシステムは 300 GT 以上の船舶とそれ以下の特定の船舶が対象になる。船舶リストは 100% 正確とは言えないが、十分推奨に値する精度である。

調査は公表データ（公開データベース、船主のホームページなど）に基づいておこない、それらを額面通りに受け取った。調査結果は 2007 年 1 月 1 日時点のものであり、その後いくつかの変更があったものの、全体に影響するような変化は見られなかった。短期的に代替船舶によっておこなわれた航海も本来の航路別就航数に積算した。航路ごとの季節変動は相殺される。

石油燃料を使用する船舶のエンジンの平均燃料消費率を 185 g/kWh と推定した。実際は新型の高効率エンジンで 160 g/kWh、古いエンジンで 210 g/kWh の範囲でばらつく。運航速度からエンジン負荷率が 85% 位と推定された。

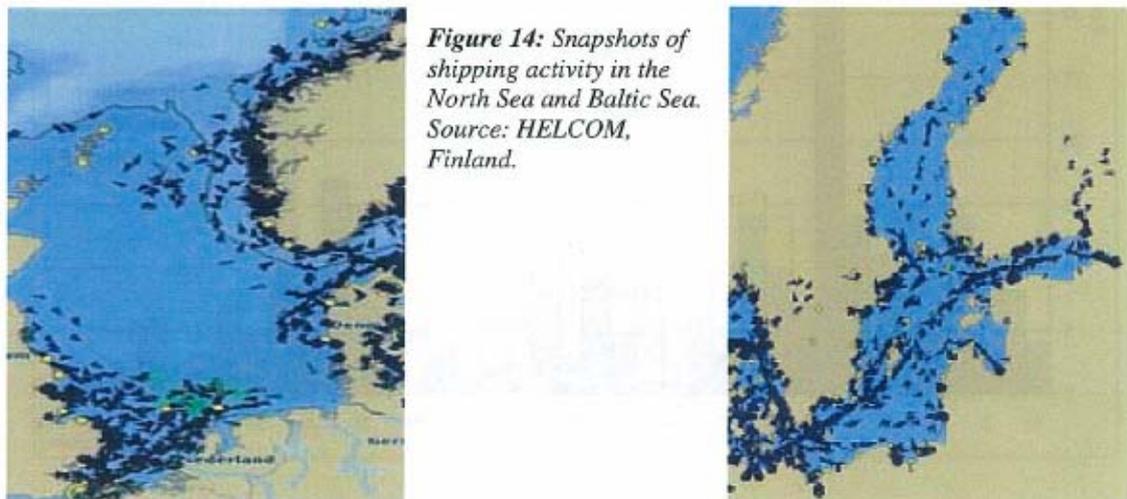
今回の調査研究では、陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトの可能性についても検討した。これは、道路輸送による混雑、温室効果ガス排出、その他の問題に取り組むために欧州委員会（EC）が設けた政策目標である（European Communities 2001）。

今回の調査結果と将来の発展予測に基づき、LNG 供給インフラが整備される可能性のある

港を特定した。

3.3.2 RoRo 船及び RoPax 船の燃料消費量と今後の動向

図 14 は北海とバルト海における海運活動のスナップショットで、衛星で捕らえた全ての船舶が含まれる。



北海とバルト海における RoRo 船と RoPax 船の定期運航について、MAGALOG プロジェクトでは、年間重油燃料消費量が 310 万トンで、その約 60%が RoPax 船によるものと推定した（表 3）。

Table 3: Annual bunker fuel consumption, RoRo and RoPax shipping
Baltic and North Seas. Tonnes, 2007.

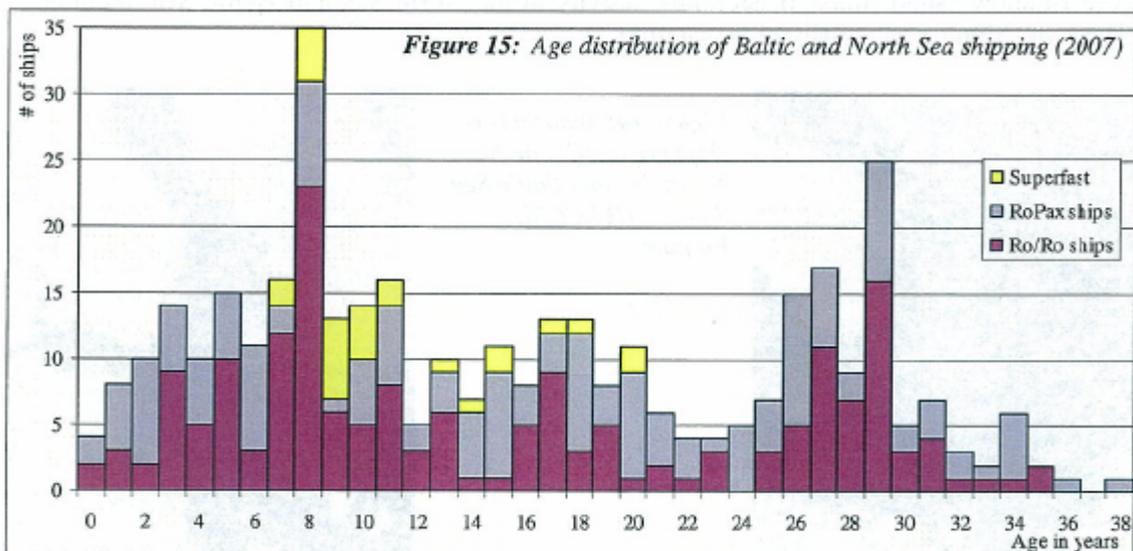
	North Sea	Baltic Sea	Total
RoRo ships	557 000	645 000	1 202 000
RoPax and super fast ships	719 000	1 185 000	1 904 000
Total	1 276 000	1 830 000	3 106 000

The fuel consumption in each sea is estimated to represent the fuel burned by ships while sailing on that sea regardless of the voyage port of origin and destination.

バルト海海事要覧（SAI 他 2006）では、バルト海海域でここ数年見受けられ、今後とも継続すると思われるいくつかの動向が指摘された。

- 一般貨物の輸送においてシェアを伸ばしているのが RoRo 船とコンテナ輸送船の定期便である。
- 船舶は、貨物輸送を主眼に大型船化の傾向にある。
- 陸揚げされる貨物量は 2000 年から 2004 年の間で年間約 3%増加した。しかし寄港回数としては、船舶の大型化に伴い年間 2%減少した。

バルト海海事要覧は、貨物の陸上輸送から海上輸送へのシフト施策と東側経済の急成長によってバルト海の海上輸送量が平均以上の伸びを示すとも指摘した。2003年から2020年の間にバルト海域の海上輸送量が85%増加し、域外との海上輸送量の増加率はこれより若干少ないと予測した。



船舶の耐用年数は通常30年と考えられているが、それ以上使われる船舶もある。RoRo船とRoPax船の平均使用年数は15.5年で、1/3が20年を超えている（図15）。

MAGALOGプロジェクトは、2010年から10年間の（バルト海と北海海域での）RoRo船、RoPax船、超高速船の動向を以下のように予測する。

- 輸送量は増加を続ける。しかし船舶の大型化及び効率アップによって相殺されるため、船舶数及び燃料消費量は停滞する
- この海域では毎年約10隻の新造船がRoRo、RoPaxの定期運航に投入される。

3.3.3 定期便就航数の多い港

LNG補給体制を整備する候補となる港を評価するため、港ごとにRoRo船、RoPax船、超高速船というカテゴリ別に定期就航する船舶数と寄港回数を確定した。船舶及びその定期航行に関する情報に基づいて、年間の燃料消費量を推定して寄港地別に割り振った。ヘルシンキ、ストックホルム、リューベック、ロストックが、これらカテゴリに属する船舶の寄港回数が多いバルト海の港であり、各港とも年間6,000回以上の寄港がある。北海の港におけるこれら船舶の寄港回数は全般的に少なく、ゼーブルッゲ、イェーテボリ、ハンバー地区が主体となる。

3.3.4 LNG化のプロセス

船舶に搭載するガスシステムの安全性は極めて重要な要素である。これには全ての船上の

ガスシステム、即ち、配管、換気装置、燃料補給設備などが含まれる。船用燃料として LNG を導入した場合も、従来までのバンカー燃料システムの仕様と比べて船舶の安全レベルの差はない。ガス駆動船舶が厳格な安全基準に基づいて建造されるよう、国際的なあるいは国内の規則、規定、指針が制定されている。

IMO の「天然ガスエンジン搭載船の安全に関する暫定指針」は安全に関連して、機関区画の構成に関する設計方針について二通りの考え方を示している。

二通りのシステム構成は以下のとおりである。

- .1 ガス安全性を追求した機関区画（本質安全設計：inherentl safe design）： 機関械区画の配置は、その区画が、全ての条件すなわち定常状態のみならず異常状態においてもガスに対する安全性を考慮した設計とする。すなわち、本質的なガス安全を追求した設計とする。
- .2 緊急停止で保護された機関区画（緊急停止設計：emergency shutdown design）： 機関区画の機器構成を、「区画は定常状態では危険がないと考えるが、特定の異常状態では危険に陥る可能性がある」という前提に立った設計とする。ガスの危険性が懸念される異常な状態が起きた場合は、安全確保が難しい機器類（例えば着火源）に対しては自動的に緊急停止措置（ESD）を講じる。なお、このような異常状態の間も作動する機器類は安全認証を受けたものを使用する。

今日では本質安全設計による主エンジンが大手エンジンメーカーによって開発されており、ESD 設計に比べて費用効果に優れ、ガス駆動船舶の全体投資額の低減に寄与すると思われる。

3.4 LNG の潜在市場としての内陸水上輸送

ヨーロッパの河川、運河、湖での輸送船に対する LNG 化の適用拡大の可能性についてこのセクションで簡単に考察する。

報告書「拡大ヨーロッパ域内の内陸航行の予測」（Prospects for Inland Navigation within the Enlarged Europe: *Buck Consultants International* 他 2004）によると、ヨーロッパの内陸水路輸送に携わるものとして 20,000 隻以上の船舶及びバージが登録されている（図 16）。450 百万トンを超える貨物が 2005 年にヨーロッパの内陸水路経由で運ばれ、うち約 90%がドイツ、オランダ、ベルギーによるものである。これはヨーロッパ域内全体の輸送需要の充足に多いに寄与すると同時に、代替手段である鉄道輸送、道路輸送に比較して、大気汚染の減少及びインフラ負荷の低減という点でも大きなメリットをもたらす。

しかし内陸水上輸送部門に対しては、他の輸送部門に比べて経済規模の拡大及び環境面の改善が遅れているとの指標がある。

- 緩慢な成長： ton-km を尺度とすると、内陸水路輸送は 1996 年から 2004 年の間で

- 15%しか増加していないが、道路輸送は同じ期間で 55%増加した。
- 古い船腹： ヨーロッパ内陸水路を航行する自己推進型ドライバルク船の平均年齢は 2005 年時点で 37 年とされる。ただしエンジン及びその他主要機器は多くの場合代替されている（欧州委員会 2006）
 - 「1 隻のみの船主/運航者」が高い比率を占める分断型船隊構成で、多くは技術革新や設備投資に対する財政的余力がない。

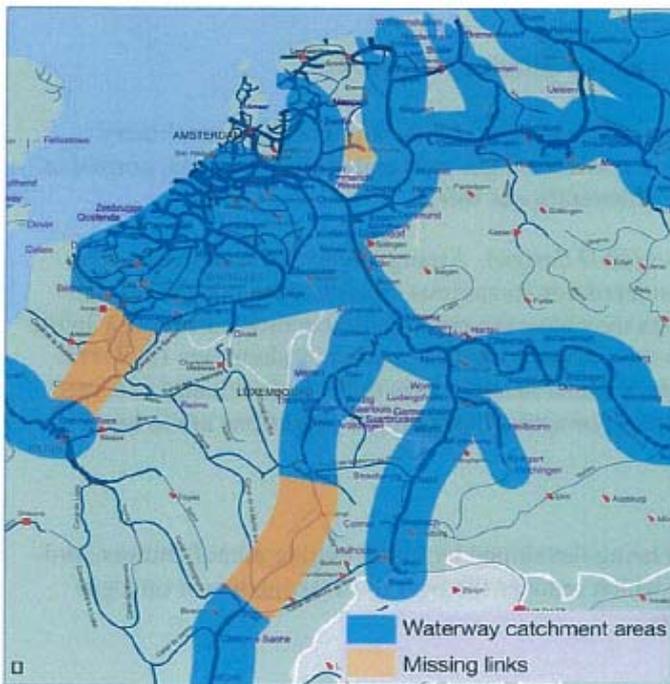


Figure 16: The Rhine Corridor of European inland waterways.

*Map and photo: INE
www.inlandnavigation.org*



船用ディーゼル油のような留出油が内陸航行船舶の燃料として一般的に使用される。その種の燃料は、外洋海運で一般的に使用される重油に比べれば環境特性が優れている。しかし内陸航行船舶が MARPOL 規制の下での排出規制海域（2.2 節参照）と同じ環境規制に適合しようとするれば、価格が高い軽油の高品質グレード品か LNG のようなクリーン燃料に転換しなければならない。

欧州委員会の NAIADES プログラム（European Communities 2006）は、内陸水上輸送に対し、潜在的な成長力を活かし環境面のメリットを発揮させるために、業界の近代化と技術革新の必要性を強く主張した。

IPSI⁴プログラムの一部として、MARINTEK によって内陸水路輸送船舶の設計案が提示された（Lindstad と Uthaug 2003、Hamworthy KSE AB 他 2003）。最大積載量 2,050 トン、主エンジン出力 1,400 kW、運航速度 28 ノットとするこの船舶は、従来型のディーゼル推進方式を前提とするが、LNG 推進への変更も容易な設計となっている。このような設計によって、道路輸送あるいは鉄道輸送の代替として内陸水路輸送の高速化及び利用拡大を図り、同時に人口密集地に近くを通ることも多い内陸航行船舶による排出量の増加を防止できる。

⁴ Improved Port/Ship Interface

事の重要性の例として、MAGALOG プロジェクトは、提案したような仕様の内陸輸送船が年間 120 隻建造されれば今後数年間に EU 域内で予測される道路輸送の年間成長量を相殺すると推定する。これがすぐに実現可能とは考えにくいだが、内陸水路輸送船の輸送量及び船舶の老齢化も考慮すれば「燃料供給体制、コスト競争力、設計面で必要とされる条件が満足されればこの分野が船用 LNG 燃料の大きな市場として発展する可能性を持つ」との考えを提示する。

LNG を内陸航行船用の燃料として使用する場合は、国またはヨーロッパ基準の制定が必要となる。これに関しては、ノルウェー海運業界で作り上げてきた基準及び規則（2.3.2 節）が有益な参考となる。

MAGALOG プロジェクトの趣旨からは「内陸水上輸送部門はその規模及び環境効果の観点から LNG 使用の可能性が十分ある」と指摘する以上のことは差し控えたい。

3.5 まとめ：船用 LNG の市場性

RoRo 船、RoPax 船、超高速船分野に代表される短距離定期海運には、これまで説明したような条件近い将来整うか、確立されれば、燃料の LNG 化の先鞭をつける構造的特性が備わっている。2008 年 9 月には、北海に就航する LNG 駆動船の 1 番船となる RoRo 船が発注された。

バルト海と北海におけるこの種の船舶の年間燃料消費量は 310 万トンで、今後数年間で大きくは変化しないであろう。この量は 2007 年にヨーロッパが輸入した LNG の 5%に相当する。

LNG への燃料転換は、新たな船腹需要もしくは古い船舶の代替ニーズに対応して新造船を建造することによって実現できる。このような船舶の新造は今後 10 年間で年間 10 隻ほど必要になると期待されている。

ヘルシンキ、ストックホルム、リューベック、ゼーブルッゲ、およびイエーテボリの 5 港が RoRo 船と RoPax 船が数多く寄港する港であり、従って、LNG 補給基地の建設候補地として特に妥当と特定された。

内陸水上輸送については、この分野を再生化する取り組みが功を奏してヨーロッパ域内の輸送需要の成長分野として貢献できれば、LNG 燃料船に対する適性を有する分野として注目される。

4. LNG 供給の準備と海運における LNG のコスト

本章では、北欧の海運に燃料として LNG を利用可能にするのに必要な準備について述べる。第 4. 1 節から第 4. 4 節では、供給システムの要素について、燃料補給作業から始めて製品起点へと、逆順に述べる。コストの目安は第 4. 5 節で述べる。第 4. 6 節では、一定条件に依存する一連の決定条件に基づき、燃料としての LNG 供給開発について検討する。

4.1 燃料補給作業

燃料補給作業は、LNG を船舶の燃料タンクへ移送すること、即ち供給プロセスの最終段階に関するものである。表 6 に異なるタイプの船舶に対し一週間に必要な LNG 量の目安を示す。

Ship type	kW engine	m ³ LNG per week
RoRo	12 000	400
RoPax (regular)	20 000	700
Super fast	25 000	900

ASSUMPTIONS: Average 75% of time spent at sea; 85% average engine utilisation. kW engine sizes are close to averages for existing vessels in the Baltic and North Seas.
1 m³ of LNG corresponds to 0.45 tonnes.

燃料補給港の環境と供給される LNG の量により、燃料補給の準備には三つの形式が考えられる。

- (1) タンカートラックによる燃料補給
- (2) タンカーバージによる燃料補給
- (3) 固定型注入ラインによる燃料補給

第一と第三の形式が、現在ノルウェーの LNG 推進船舶で使用されている。このような燃料補給作業は、数年間大きな問題なしに実施されてきたが、一定の改善の可能性が認められている。

4.1.4 タンカートラックによる燃料補給

現在（2008年）、ノルウェーで LNG により運航されている沿岸フェリー6隻のうち3隻は、船舶と並んで駐車したタンカートラックから燃料を定期的に補給されている。燃料補給は通常フェリーが就航していない夜間に行なわれている（図17）。タンカートラックは55m³（エネルギーとして1300ギガジュール（GJ））の LNG を供給できる。LNG はタンカートラックからポンプにより送り込まれ、タンカー一台による積み込み作業は、通常1.5時間で終わる。より大型のフェリーは容積120m³の LNG タンクを二基有するので、必要ならばタンカー数台分の量を積み込める。

タンカートラックによる燃料補給は、通常他の形式より遅いが、対応が柔軟という利点がある。タンカートラックは、フレキシブルホースによる接続が可能な船舶の横の突堤に駐

車して、燃料補給中には他の作業を遮断する必要がある。



Figure 17: LNG bunkering at night from tanker truck at Arsvågen, Norway.

Pumping of cold LNG and moist air causes fog formation near the truck.

Photo: Bjarte / Jarl Kvam Transport.

4.1.2 タンカーバージによる燃料補給

在来のバンカー油は、通常バージから船舶に供給され、バージは自己推進型船舶、又は曳航によるバージでも良い（図18）。



Figure 18: Bunkering barge for conventional bunker fuel assisted by tugboat.

バージによる LNG の燃料補給は、港湾地域近辺の異なる場所で燃料を船舶に補給できる。船舶が接岸係留されている場合、燃料補給作業は船舶の反対側から行なわれる。

2008年現在、LNG 燃料補給用バージは就航していない。暫定的な調査により、このよ

うなバージのデザインが実現可能であることが指摘された。

4.1.3 固定注入ラインによる燃料補給

主として一カ所で燃料を船舶に補給し、近くに LNG 用常設タンクが設置できるスペースがある場合⁽⁵⁾、陸上固定型タンクからの燃料補給は妥当なオプションである。この方式は現在ノルウェーで2ヶ所、LNG を動力源とするフェリー3隻に燃料補給するハルジェム (Halhjem) (図 19) と、LNG により運航されているオフショア補給船に燃料補給する沿岸センター基地 (Coast Center Base) がある。



Figure 19: LNG bunkering arrangement from permanent tanks for the coastal ferries at Halhjem, Norway. Photos: Gasnor

Halhjem フェリーポートでは、フェリーは、長さ150mのLNG用断熱パイプラインにより、容積500m³の固定型タンク2基から燃料補給されている。船舶燃料タンクと陸上パイプシステムとは、フランジにより接続されている。この船は容積120m³のLNG用燃料タンク2基を有する。Halhjem に設置したポンプ供給能力とタンクの圧力条件では、一時間に約100³の燃料の補給が可能である。必要ならば燃料補給をより早くするシステムをデザインできる。

4.2 燃料補給港の LNG ターミナル

燃料補給港の LNG ターミナルは現地設備であり、そこから LNG がトラック、バージ、又は常設注入ラインにより船舶に供給できる (第 4.1 節)。このような LNG ターミナルは、ゼーブルッジ (Zeebrugge) 等の大規模 LNG 輸入ターミナルに比べ、遥かに小さい設備である (第 2.2.3 節)。

4.2.1 燃料補給港における LNG の機能

燃料補給作業を行う LNG ターミナルは以下の機能を提供する必要がある。

⁵ 貯蔵タンクと船舶側間の最大距離は、実用的には250mであることが示された。

- (1) LNGを受け入れ、船舶による荷渡しの可能性が一番高いが、トラックによる荷渡しの可能性もある。LNG輸出用鉄道設備が、北欧のLNG輸入用大規模ターミナルに設置された場合（未だ実現していない）、鉄道輸送も又将来考えられる。
- (2) 大量LNGが貯蔵でき、適切な荷渡し間隔で必要な燃料補給作業が可能。
- (3) 燃料補給作業に必要なLNGの供給、即ちトラック、バージ、又は常設注入ラインによる燃料補給（第4.1節）。
- (4) ターミナルが又ガスを現地の非輸送用途、例えば現地のガス供給に対する予備的な働き、又はピークカット機能のために供給する場合、再ガス化とパイプラインオフテーク機能の備えが必要。
- (5) ターミナルの立地、建設、及び運転は適用規制全てを満たす必要があり、通常高度の安全性が必要。

4.2.2 LNGターミナルの立地

燃料補給目的のLNGターミナルの立地の選択については、以下の二つの考えが指針となる。
 ーターミナルの必要機能を効果的に提供する必要性（第4.2.1節）
 ースペースの必要条件、安全地帯、アクセスのし易さ、都市計画規制、及び他の現地土地利用との適合性に関して、適切な立地が利用可能

場合によっては第二の検討材料は、ターミナルの立地に関して制約を加え、理想の第一検討材料に関してはより低い立地の選択をもたらす。この問題については、第5章の特定港湾に関して更に検討する。

LNGターミナル設置場所に対する制約と実施可能な燃料補給作業の形式の間には、相互依存性があり（第4.2.1節）、ここで簡単に検討する。

上で確認した燃料補給作業の中で、トラックによる燃料補給は、LNGを適当な走行距離内の供給地点で荷積みできる限り、現地ターミナルの存在に最も影響されない。この適切走行距離は厳密には定義しないが、供給すべきLNGの量と荷積みの周期性に依存する。この距離は量が多い場合近い必要がある。ノルウェーにおけるフェリー運航の一つの例では、平均で1日におおよそトラック1台分が必要な場合、トラックは80kmを越える距離でLNGを供給するが、その量は明らかに実用限度以内であり、特別な問題は起こらない。

バージによる燃料補給は比較的大量に適するが、トラックによる燃料補給の場合に比べ近隣ターミナルの存在により依存する。バージは通常遮蔽水域内で運航するので、公海を横切らない範囲の港湾地域内でLNGの受け入れと供給を行う必要がある。

固定型注入ラインによる燃料補給は、燃料補給地点近くに位置するLNGターミナルが必要

である（250mが指摘されている）。このようなターミナルが、燃料補給すべき船舶の定期的な係留場所の十分近くに設置できない場合には、固定型注入ラインは、燃料補給目的のターミナル近くにある他の係留場所に船舶を移す必要があり、船舶スケジュールの検討に制約を加え易い。

4.2.3 ターミナルでの LNG の荷受けと荷渡し

LNG ターミナルは、LNG をターミナルに供給する船舶を係留し、LNG を船から貯蔵タンクに移送し、トラックから LNG をターミナルに荷下ろしする設備が必要である。通常は同じ設備を逆向きに用いる、即ち LNG をターミナルから燃料として船舶、燃料補給用バージ、又はトラックに供給する。

突堤

船舶が供給する LNG を荷受けするのに埠頭又は突堤が必要であり、また出来れば燃料補給の目的にも必要である。LPG をターミナルに供給する目的の船舶、“コラルメタン” (Coral Methane) (第 4.3 節) の長さは 118m、幅は 18.6m、積載時の喫水は 6.3m である。ターミナルには、少なくともこの大きさの船舶、出来ればより大きな船舶がアクセスできる必要がある。この海域で運航されている大型 RoRo 船 (RoRo vessel) の長さは約 200m、最大平均喫水は、約 7.5m であり、ターミナルから固定型ラインによりこの船舶に直接荷積みする能力は有利であろう。

多くの場合、既存の突堤は LNG の荷役装置に適応でき、LNG 荷役作業に使用しない場合には、他作業の妨害を最低にするか避けるように設置する。場合によっては、投資コストを低く保つために、ダックドゥアルベス (Duc d'Albes) を支持用を使用するような簡易突堤による解決を考えるのは妥当である。



Figure 20: Flexible hoses for loading and discharging the 1100 m³ LNG carrier "Pioneer Knutsen". The two hoses are for LNG transfer and vapour return. Photo from Gasnor.

移送ラインと船舶—陸上間の接続

LNG は、通常気体リターンラインを併設した断熱パイプラインにより、船舶と貯蔵タンク間を移送する。同じパイプラインを用いて LNG を LNG 輸送船からターミナルに供給し、ターミナルから船舶燃料を補給しても良い。LNG 温度（ -162°C ）と周囲との大きな温度差により、ターミナルと突堤の燃料補給地点との距離は、LNG が暖められるのを避けるために近い必要がある。埠頭とターミナル間のパイプラインは、他の活動が妨害されるのを避けるために地下埋設溝に設置できる。

フレキシブルホースにより移送ラインと船舶は接続できる（図 20）。これは燃料補給作業に必要になりそうな流速比の比較的低い LNG に対して、実現可能な解決法である。大型 LNG 船を取り扱うターミナルでは、ローディングアームに取り付けたホースを使用する。

トラックの荷積みと荷下ろし

燃料補給目的の LNG ターミナルは、タンカートラックによる荷受け能力と同様に荷渡し能力を有する必要がある。タンカートラックの荷受けと荷渡し用の設備は、ノルウェーやそのほかで多数の小規模 LNG ターミナルに設置されてきた。トラックとターミナル間の移送にはフレキシブルホースを用いる（図 20、図 21）。



Figure 21: Loading operations for both ship and tanker truck at the Kollsnes LNG plant, Norway. Photo from Gasnor.

4.2.4 貯蔵タンク

LNG 用の貯蔵タンクは、物理的サイズと同様に建設費という点で、LNG ターミナルの主要な特性になり易い。断熱の必要性が高い結果、他の流体用タンクに比べ LNG 用タンクは高つく。LNG 供給システムの計画に際して、タンク収容能力が燃料補給作業の規模と頻度、入荷積み荷のサイズと頻度、及び供給の確保に合う適切な大きさを選択するように特別の注意を払う必要がある。

主に必要タンク容積によっては、燃料補給目的のLPG用ターミナルに、加圧タンクと大気圧タンクの交互型タンク2基という考えは妥当である。

加圧タンクは低温以外に数バールの圧力に耐えるように設計する。タンクは円筒状の鋼鉄構造物であり、水平又は垂直方向のいずれかに取り付け、設置地点に搬送する前に前もって組み立てる。ノルウェーでは容積 20 m^3 乃至 683 m^3 範囲のLPG用加圧タンクが設置され、後者は2008年現在、最大の設置タンクである。数基のタンクを一緒に設置しても良い。タンク基地の大きさは、必要条件に応じて現地スペースの制約内でタンクを加えるか除いて増減できる。加圧タンクは比較的小さい貯蔵容量には最も適しやすい。図22に示す設備は、総タンク容積 3415 m^3 で、今までで最大のLNG用加圧タンク設備である。

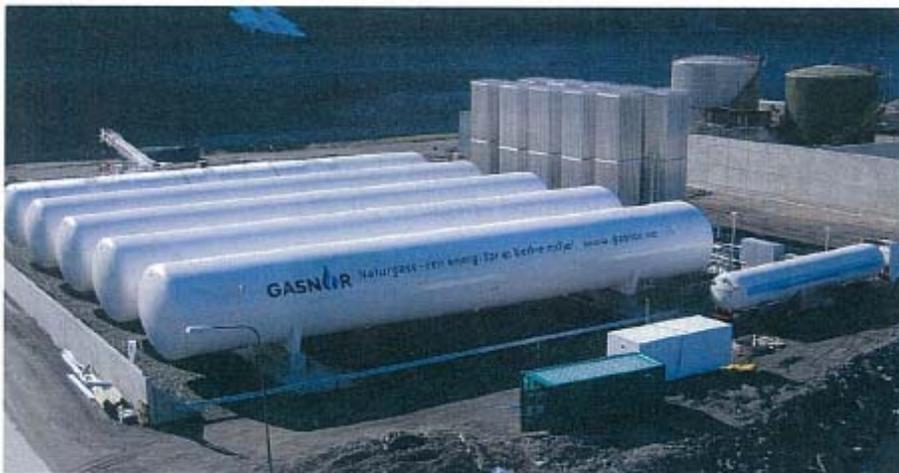


Figure 22: LNG terminal at Mosjøen aluminium plant, Norway. 5 x 683 m³ pressurised tanks. Photo from Gasnor.



Figure 23: Vertical LNG tank at a small terminal for truck operations. Photo from Gasnor.

大気圧タンクは沸点以下、大気圧でLNGを保持するように設計する（図24）。このタンクは現地で建設され、通常そこから他の場所に再設置するために取り外せない（加圧タンク）。

クでは取り外し可能であるが)。大気圧タンクは通常加圧タンクより大きく、より大きな必要貯蔵量に適する。



Figure 24:
Atmospheric LNG
tanks at the Kollsnes
LNG plant, Norway.
The tanks are 4000 and
2000m³. Photo:
E.Jarlsby

加圧タンクと大気圧タンクの両者で、正常の操業過程で満杯にするか空にできる LNG のタンク容積は、総容積より小さい。その差は少なくとも 10% である。

4.2.5 再ガス化

天然ガスを LNG の燃料補給以外に他の現地用目的に供給する場合、ガスパイプライン格子に入り、普通のガス状でユーザーに到達するよう、ガス化の必要性は高い。小規模の LNG システムでは、再ガス化は通常周囲の空気との熱交換により得られる結果、入手エネルギーをこの目的に用いる必要性は避けられる。余剰熱が近隣の生産操業から利用できる場合には、この操業の熱水を再ガス化に利用するのが便利である。又ボイラーからの別の熱を供給することも可能である。

再ガス化ユニットを、タンク背後のアルミニウム製直立構造物として図 2 2 と図 2 3 に示す。冷 LNG は再ガス化器を通り、周囲の空気の熱を伝え、LNG を気化して室温近くにする。

4.2.6 ターミナルのレイアウト

図 2 5 に容積 6 8 3 m³ の加圧タンク 5 基からなるターミナルのレイアウトを示す。これは図 2 2 に示した設備と類似しているが、燃料補給用 LNG 以外に現地のガス供給が必要でなければ、再ガス化ユニットは無い。この大きさと配置は、多数の RoRo 船と Ro-Ro 客 (RoPax) 船が定期的に LNG を燃料補給する必要がある港に対して妥当性があり、必要ならば拡張しても良い。容積 6 8 3 m³ 5 基の設備は 7 3 テラジュール (TJ) のエネルギーを含有する LNG で充満でき、約 1 7 0 0 トンのバンカー重油に相当する。

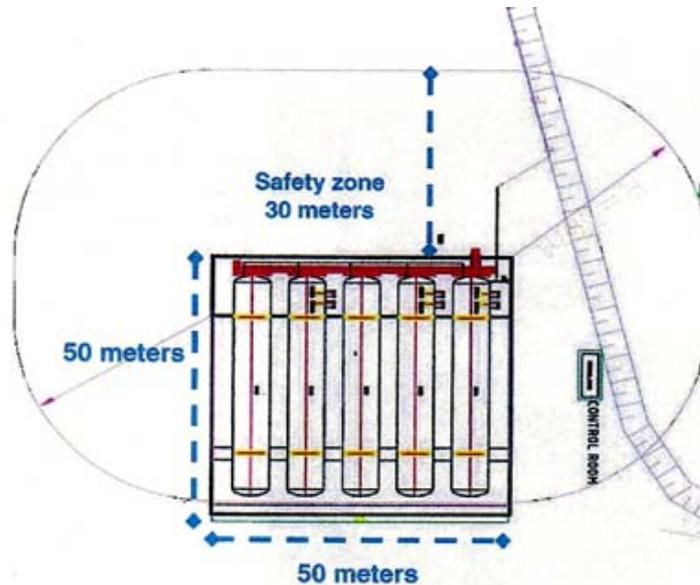


Figure 25: Standard terminal lay-out with five 700m³ storage tanks.

この設備の大きさは約50m x 50mである。この標準的レイアウトは現地条件に合わせる。ターミナルの接続部とバルブ類は、ターミナルの一端に建設し、安全目的でターミナルの同じ端に蓄積プールを備える。LNG 漏れの可能性が低い場合には、液体はこのプールに回収する。蓄積プール周囲に半径30mの安全地帯が設けられる。この地帯では発火源がある他の活動は制限される。

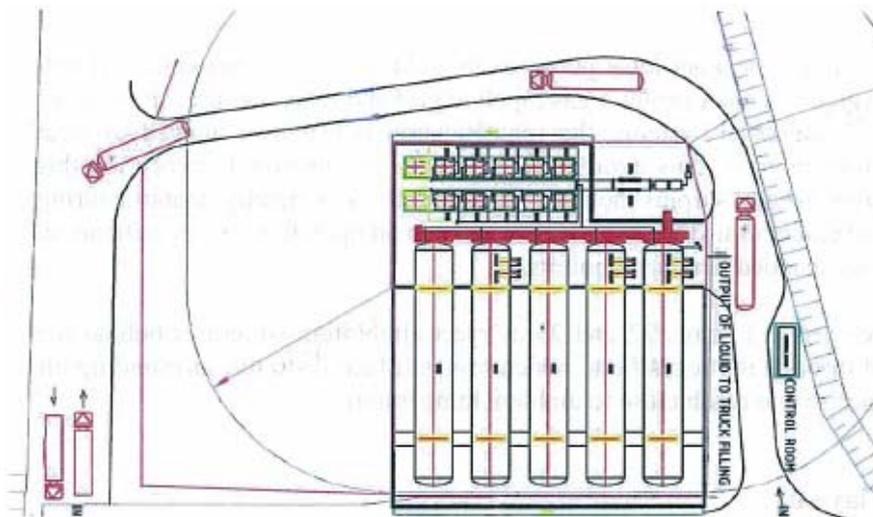


Figure 26: LNG terminal layout with deliveries to trucks and local gas pipeline.

断熱 LNG パイプラインは多分導管に埋められ、ターミナルを突堤の船舶接続地点と接続している。又接続地点周囲に小さい安全地帯がある。ターミナル周囲100mの避難地帯があり、ターミナルの事故に際する避難用に用意されている。

図26に、トラックに対する注入設備とパイプラインにより現地ユーザーへガスを供給す

るための再ガス化設備を有する容積 683 m³ 5 基のターミナルを示す。
この種のターミナルは、ターミナル自身に作業員が常駐する必要はなく、直接介入の必要はめったにない。これらは遠隔モニタリングと遠隔コントロールを備えている。ノルウェーの設備では、排出・注入作業は、通常船舶作業員とトラック作業員によって行なわれる。場合によっては、提供すべきモニタリングの日課と一定作業を、近くの生産作業員又は物流作業員と合意して行っても良い。燃料補給作業は人の介入が必要になる可能性が高い。

4.2.7 安全対策

LNG 設備は、エネルギー含量が高い可燃性物質であり、危険物であるという LNG の性質を十分考慮して建設し、作業をする必要がある。この点に関する必要条件是産業界で十分理解されている。ノルウェーで運転中の小規模 LNG ターミナル 30 基以上で重大事故は起こっていない。

LNG の物性によると、十分に注意を払えば、安全且つきれいな操業が容易にできる。LNG の発火、爆発又は火災が起こる物理的条件は、他の炭化水素燃料より狭い、即ち LNG 蒸気は、高温と狭い範囲のガス/空気濃度が発火に必要なので発火しにくい。LNG は無臭、無毒、非腐食性で、密度は水より低い。-110°C より高い温度では、気体 LNG は空気より軽い。LNG を地面又は水にこぼし、その蒸気が発火源と出会わない場合、暖められ、上昇して、大気中に消散する。LNG 関連の潜在的な危険としては、発火 LNG 蒸気の熱と、皮膚又は装置が低温（冷たい）物体へ直接暴露することがある。

ターミナルのデザイン、建設、及び操業は、基準書 CEN EN 1473、液化天然ガス用設備と装置—陸上設備のデザイン（Installation and equipment for liquefied natural gas-Design of onshore installations）と、理事会指令（Council Directive）、96/82/EC、危険物が関与する重大事故のコントロールについて（on the control of major-accident hazards involving dangerous substances）に従う。

マガログ（MAGALOG）プロジェクトの一部として、特定のターミナル配置と気象条件における LNG タンクの漏れのシミュレーションを実施するよう、セーフテックノルディック社（Safetec Nordic AS）に委託した。漏れは LNG 4000 kg と仮定し、最初ターミナルの蓄積プールに回収されるであろう。LNG は蒸発し、ガス雲を形成し、最初は地面近くに残り、次いで上昇して 200 秒以内に大気に消散すると計算された。この段階でガスは最早発火できない。

4.3 LNG の輸送

LNG は船舶又はトラックで輸送する。北欧では LNG の鉄道輸送は現在行われていない。

4.3.1 船舶による LNG 輸送

LNG は、大部分は容積 100,000 m³ 以上の大型の船舶で世界的に輸送される。このような船舶は、前節で述べたターミナルへの供給には大きすぎる。このような供給用の十分

小型の欧州で操業中の船舶は、現在一隻だけであるが、より多くの船舶の計画が進んでいる。

世界で最小のLNG運搬船で、2008年現在欧州で運航中の唯一の船舶は、容積1100 m³の“パイオニア・クヌッセン”（Pioneer Knutsen）である（図21）。この船は海運会社クヌッセン OAS シッピング社（Knutsen OAS Shipping）所有で、2003年建造、ガスノール社（Gasnor AS）との長期チャーター契約に基づいて運航されている。⁶ コルスネス（Kollsnes）LPG プラントでLNGを荷積みし、ノールウェイの小規模LPGターミナルで荷渡しするために使用されている。2008年現在、8ヶ所のターミナルで“Pioneer Knutsen”の積み荷を受け入れている。

“Pioneer Knutsen”は大型のLNGターミナルでの積荷には適していない。しかしながら、同船はLNGを大型船から“Pioneer Knutsen”に積み、沿岸の小さなターミナルに引き渡すための船舶間の輸送に就航している。

“Pioneer Knutsen”より少し大きいLNG運搬船2隻又は3隻が日本で運航している。



Figure 27: The LNG carrier “Coral Methane”.
Illustration by Marigraph.

兼用ガス運搬船数隻が建造中、又は発注済で、北欧の燃料補給用ターミナルへLPGを供給するために用いられる可能性がある。容積7500 m³の“コラルメタン”（Coral Methane）（図27）が、2009年にガスノール社との長期チャーター契約用に船主アンソニーヴェッター（Anthony Veder）に引き渡される。“Coral Methane”は、主に大型ターミナルでのLNG荷積みの可能性も含めて、北欧でのガスノール社のLNG供給システムに用いられる予定である。同船は、LNG以外の他のガス（エチレン、プロピレン、LPG等）

⁶ ガスノール社はマガログプロジェクトの調整パートナーである。

を運搬する能力があり、LNG 用に十分に使用されていない場合には、そのような目的に利用できる。

船主スカウゲン (Skaugen) は、容積 $10,000\text{ m}^3$ と容積 $12,000\text{ m}^3$ の一連のガス運搬船少なくとも 6 隻を建造中で、中国の造船所に発注し、2010 年頃に引き渡される予定である。これら船舶は他のガス以外に LNG を運搬できる。スカウゲンは、ノルウェーのリサヴィカ (Risavika) に建設中の LPG プラント所有者と提携し、そこから LPG を輸送販売する。

“Coral Methane” とスカウゲンの船舶の積載容積は、少なくともここ数年は前節で述べた LPG ターミナルに必要な量より大きい。従ってこれら船舶を効率的に利用するには、船舶が一カ所以上のターミナルで荷揚げできる適切に組み合わせた航海を開発出来るかによる。

4.3.2 トラックによる LNG 輸送

図 2 1 乃至図 2 3 に示した LNG タンカートラックは、 55 m^3 の LNG を運搬できる。タンカートラックは、ノルウェーの供給システムで“Pioneer Knutsen”による船荷渡しの補足として広く使用されている。トラックによる荷渡しは、数回ノルウェー西部からスエーデン東部までの 1100 km の距離で行われた。トラック輸送は、信頼でき且つフレキシブルな LNG 輸送形式である。輸送量が十分に多く、船舶荷渡し用ターミナルのコストが正当化できる場合には、トラック輸送は船舶輸送より費用効率が低くなりやすい。

4.4 LNG の生産と供給力

天然ガスは地下に埋蔵されて、主としてメタン (CH_4) からなる燃焼性ガスである。LNG は、輸送及び／又は貯蔵目的で -162°C 近くに液状に冷却した天然ガスである。ガスは液化により初期体積の約 $1/600$ に凝縮し、この体積の縮小により LNG の輸送と貯蔵が妥当になる。更なる物性は付属書 I にリストする。

明白に船舶への燃料補給を目的とする LNG 生産設備の建設が必要になるとは予測されない。LNG は他の目的で設置されたか、又は将来設置される 2 種類の生産システム、即ち、第 2.3.3 節で紹介した小規模システムと大規模システムから得られるが、船舶用燃料の用途は、この生産システムの能力決定に重要である。

4.4.1 LNG の生産プロセス

欧州の大規模な統合ガスパイプラインシステムに入る天然ガスは、一定の品質上の要求事項を満たす必要がある。この目的に対して地下蓄積場所で生産したガスは、水、二酸化炭素、他の非炭化水素ガス、更には天然ガス液（プロパン、重質炭化水素分子類）のような不要な化合物の除去、又は削減のために処理する。

LNG に変換すべきガスは、又このような化合物を除去し、非常に低温の LNG (-162°C)

大規模 LPG の流れにより、天然ガスをパイプラインで接続するには遠すぎる生産地から、主要市場（西ヨーロッパのような）に移送できるようになる。大規模ターミナルは LNG を受け入れ、再ガス化して天然ガスとして送り出すように設定されているので、LNG を送り出す必要があり、大型ターミナルから LNG を船舶用燃料として供給するには、一定の運航上の難問を伴う。また船舶用燃料として LNG の供給に適したタンカーは、通常大規模ターミナルで扱う LNG タンカーより遥かに小さい。

このようなターミナルで燃料補給作業用に LNG を供給するのは、量が限られる場合、大型ターミナル用に数カ所の設備されたトラック輸送作業によるか、又 LNG を適切な大きさの船舶に荷揚げすることにより実施できる。燃料補給作業は、場所が大型ターミナルと近距離でないか、少量だけを必要とするのでなければ、トラック輸送よりむしろ船舶による輸送が必要になる。

MAGALOG のパートナーは、欧州の幾つかの大規模 LNG ターミナルオペレーターに接触してきた。全部ではないが、数カ所のターミナルは、全く変更なしか又は小さな変更だけで、技術的に小型 LNG 船への荷積みに適している。

技術的な条件以外に、小型 LNG 船に荷積みを可能にする前に、克服の必要がある手続き上のハードルがある。監督官庁は大型船舶からの荷揚げを対象とする許可証は出しているかもしれないが、小型船舶への荷積みの許可証は出していないかも知れない。ユーザー数社を有するターミナル(大部分がそうであるが)では、操業度と停泊スロットの手順は、定期的な大型船舶の到着に適し、小型船舶の荷積みには余り適さないように作られている。更にターミナル使用時の関税表は、場合によっては小型船舶の寄港が不釣り合いに高くつくように作成されている。

MAGALOG の評価によると、これらの技術的および手続き上のハードルも、北欧域内、或いはその近くの大規模 LNG ターミナルの全てではないかも知れないが、その多くは最終的には克服できる。これらのターミナルから LNG を再配分する可能性があるという認識が、大規模ターミナルオペレーターや LNG の取引会社の中で広がってきた。

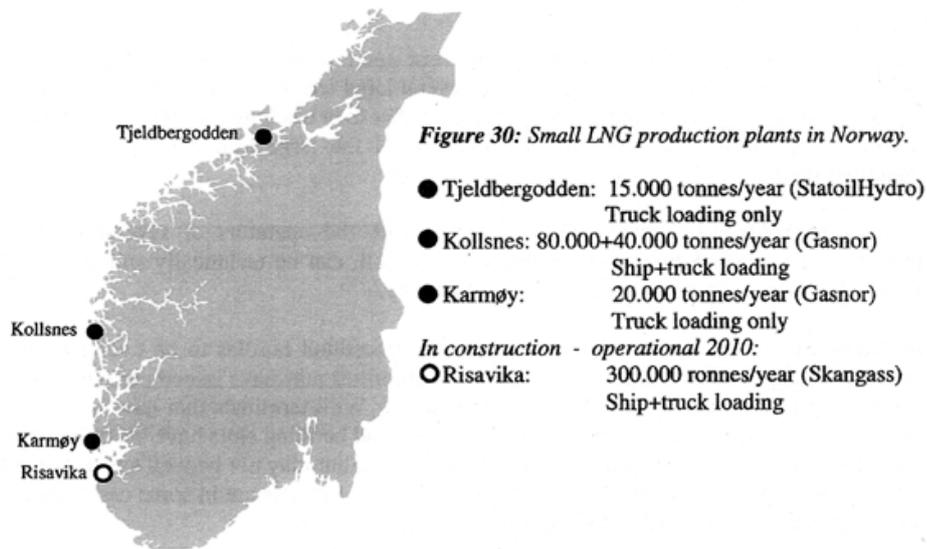
これに向けた第一歩は、2008年にスペインのエネルギー会社イベルドロラ社（Iberdrola）（売り手）とガスノール社（買い手）との間に、2009年から LNG を供給すべきスペインのターミナルからガスノール社のシステムに供給するという協定が発表されたことである。船主アンソニーヴェッター（Anthony Veder）により、ガスノール社との長期チャーター用に容積7500m³の LNG タンカー、“Coral Methane”が建造され、大規模ターミナルでの LNG の荷積みに使用される予定である。

長期的には、スペインより北欧により近いターミナルで、燃料補給作業用の LNG にアクセス出来ることが望ましい。この可能性を示す心強い兆しもあるが、2008年現在、確定的にはなっていない。

4.4.3 小規模 LNG システムによる LNG

小規模 LNG システムに関する概念は、第 2. 2. 3 節で簡単に紹介した。大規模システムと小規模システム間の境界は、厳密には決まっていないが、現在この二つを分ける大きさのギャップは大きい。現存又は発注済みの LNG 船は、非常に古い船舶数隻を除くと、大きさは 100,000m³ 以上か、13,000m³ 以下のいずれかである。船舶による小規模な LNG 配分は、ガスのパイプライン配分の代替え又は先行者として、比較的近距离で、大部分は国内で行われる。

船舶による小規模な LNG 配分は、ノルウェーと日本で行われ、トラックによる配分は、他の数力国で行われている。ある国では（スペイン、トルコ、日本のような）、LNG は長距離型船舶上による大規模 LNG としてこれらの国に到着し、短距離配分される一方、他国では（ノルウェー、米国のような）では、LNG は小規模な配分を目的として小規模に現地生産される。



ノルウェーで現在 LNG により運航される沿岸フェリーとオフショアサプライ船は（第 2. 3. 2 節）、全て小規模 LNG プラントから供給されている（図 30）。これらの LNG の燃料補給作業は、大規模 LNG がその目的のために利用可能な代替え物として確立されていなかった時期と場所で発展した。従って小規模 LNG は、特に大規模ターミナルからの小規模な積み込みと言うオプションがしっかり確立されるまでは、実現可能という点で重要な利点を有していた。また小規模 LNG 形式は、大規模作業に比べ船舶の燃料補給量の大きさとその性質に適合し易い。

ノルウェー南部の小規模 LNG システムには、その原価構造に影響する一定の特性がある。ノルウェーの海底油田で生産されたガスは、供給原料として使用され、LNG の生産に使用されない場合にはパイプラインにより欧州大陸か英国に送られる。天然ガスの市場価格は、しばしば他へ販売するか又は代替えエネルギーに利用したときのネットバック価格ベースに由来する価格を前提とする。このような小規模な LNG 生産は、現在操業中の小規模生産

系列の最大年産能力が80,000トンに比べ、通常300万トン以上の大規模LNGプラントに対して、生産単価という点で不利と見なされる。しかしこの影響は、大口需要主導による近年のオイル・ガス関連建設費の変動、更にはある大規模LNGプロジェクト関連の予算超過により目立たなくなるかもしれない。

4.5 契約手配とLNG価格

現時点で船舶用燃料として供給されるLNGコストの厳密な計算書を提出することはできない。合意可能なコストは、進行中の開発と商業的プロセスから生まれ、時間と共に変わる。本節では、LNGを提供できる取引条件に影響しそうなメカニズムと条件を検討し、コストに関する幾つかの目安を提供する。

4.5.1 取引の形式：長期契約形成

通常天然ガス（LNGを含む）の国際取引は、石油や石油製品の取引に比べ遥かに長期契約になる傾向がある。天然ガスの国境を越える取引の多くは、継続期間20年以上の契約である。価格は、天然ガスのコストと、天然ガスがエンドユーザー市場で競合する必要がある製品のコストの間に好ましい関係があることが保証されるように、主として原油又は石油精製品のような他の観測可能な値段パラメーターにインデックスした公式に従い合意される。

天然ガスの取引が長期契約に進みやすい主な理由は、パイプラインによるガス輸送又はLNGとしての輸送に、高価なインフラを設置する必要があることによる。売り手にとって、長期取引によりこの高価な投資の償却が保証される一方、しばしばガス使用のための装置に大きな投資をする必要があるガスの買い手とユーザーにも、予測可能な取引条件で供給保証を得ることができる。

スカンジナビアの小規模LNGは、契約形成において概ね長期的なやり方を原則として発展した。契約の多くは継続期間が10年以上である。LNGを産業と沿岸海運に供給し使用するためには、ガスサプライヤーと同様にガスユーザーは特定の大きな投資が必要である。この投資決定と平行して、この投資の大部分が経済的な寿命以内に償われる対象期間となるようにガスの売買契約が成立する。

Ro-Ro、RoPax船、及び他の海運のバンカー重油としてLNGを契約形成する場合、同様の長期的なやり方が適切と考えられる。LNG使用に依存する船舶と、この船舶への使用により投資を回収する供給設備に、特定の投資をする必要がある。船主がLNG供給可能なサプライヤーの選択で制限を受け、ガスサプライヤーがインフラの利用を提供する船主の選択で制限を受ける限り、LNG供給に関する長期契約は、両当事者の投資決定の土台となる。将来のある段階では、LNGの短期契約が普通になることは考えられる。これには主要港に多数のLNGサプライヤーとバイヤーが居合わせることにより、多分船舶用燃料へのLNGの使用が広く確立される必要がある。これが実現するには長い年月を要する。

4.5.2 欧州におけるガス価格：この価格の意味とその観察法

天然ガスの市場価格は、世界的に原油の市場価格より遥かに不均一で、不透明である。世界中の天然ガスの価格設定はばらばらであり、場所と契約との違いにより価格差は非常に大きく、部分的にしか容易に観察できない。

欧州天然ガスの短期取引価格の幾つかは、ロンドンの ICE 先物取引所と、現物取引の価格算定の両者により容易に観察できる⁽⁷⁾。短期価格は、翌日引き渡しや特定の将来時期が記録され、翌月引き渡しが強調される。

容易に観察可能な短期ガス価格は、欧州の石油製品の値段をインデックスにした長期契約による大部分の国境を越える取引を反映していないと言う制約がある。ヴィヴェス (Vivies) (2003年)によると、欧州大陸に必要なガスの5%乃至10%だけが、短期取引協定の対象であることが分かった。英国では対応する数値はもう少し高いであろう。

長期契約のガス価格は通常公表されない。ある公表源が、時々天然ガスの長期契約価格の近似値として照会される。このものとしては、ドイツ省庁 (ドイツ連邦経済技術省 (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie)、www.bmwi.de)) 発表のドイツの輸入天然ガスの毎月の価格と輸入量の統計と、スタトオイルハイドロ社 (StatoilHydro) から得られるノールウェイ産ガスの主として長期販売に関するガスの平均販売価格、及びこの会社の四半期報告書 (図31) に報告されるガスの平均販売価格がある。これらの価格は天然ガスの国境を越える欧州域内取引を代表するものである。

図31に英国と米国の短期ガス価格と、スタトオイルハイドロ社の平均価格の比較を示し、後者は長期販売価格の指針となる。長期販売価格は主としてガス油と重油の価格と連結しているが、数ヶ月の時間差がある。長期契約価格は、特に壊滅的なハリケーンにより生じた米国ガス価格の急上昇、ロシアのガス輸出に関する懸念により生じた欧州ガス価格の急上昇があった2005年/2006年が証拠になるように、短期価格より安定している。

⁷ 天然ガスに関する英国の前日先物価格は、www.theice.com で無料で見られる。ブレント (Brent) 原油と幾つかの他のエネルギー商品の取引もそこで見られる。英国、ゼーブルッゲ (Zeebrugge)、及び一定の他場所でのガス引き渡しに関するプラッツ (Platts)、アーガス (Argus)、ヘレン (Heren) の毎日の価格算定は、予約購読として利用できる。又過去の価格シリーズは有料で入手できる。

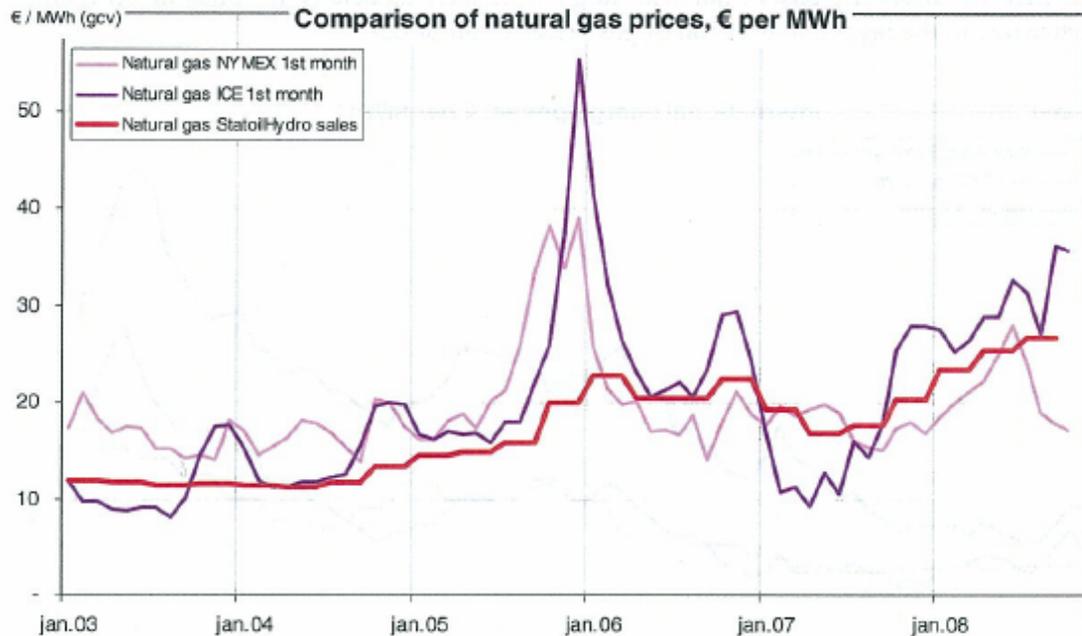


Figure 31: Monthly averages of natural gas prices for next-month delivery on the Henry Hub, USA (NYMEX) and the UK (ICE). StatoilHydro reported quarterly average gas prices for mainly long term contracts. Converted to € per MWh gross calorific value. Sources: NYMEX, ICE, StatoilHydro.

最新のガス契約価格算出式の典型的な形式は次のようである。

$$P_n = P_0 + c_G W_G (G_m - G_0) + c_F W_F (F_m - F_0)$$

ここで

P_n は時期 n に支払うべきガス価格、

P_0 は契約発生で合意したガス価格、

c_G と c_F はガス油と燃料油の見積単価を、天然ガスのエネルギー含量と等価になるように換算する変換係数、

W_G と W_F はガス油と燃料油のインデックス化に用いる相対的な重さで、 $W_G + W_F = 1$ と定義され、

G_m と F_m は時期 m のガス油と燃料油で観察される算定価格で、タイムラグを伴ったオイルにインデックスした価格を生ずるようにしばしば時期 n の数ヶ月間前の平均であり、

G_0 と F_0 は契約発生時に決まるガス油と燃料油での価格である。

欧州委員会競争総局 (Competition DG) の調査によると、欧州連合 (European Union) の長期ガス輸入契約の価格は、2004年の量加重平均で、44.8%がガス油価格に、29.5%が重油価格に、9.8%が報告された短期天然ガス価格に、7.4%が他エネルギーの価格に、8.5%が固定価格又は一般的なインフレにインデックスした価格と連結していることが分かった。

図32に、欧州のガス油価格、重油価格、及び天然ガス価格の比較を示し、後者は上述のStatoilHydroの価格で表す。この尺度によると、天然ガス価格は通常ガス油価格の55%—

60%であり、エネルギーベースでは低硫黄重油とほぼ同じであるが⁽⁸⁾、特にオイル価格にインデックスしたガス価格のタイムラグによる石油市場の混乱時には、大きく変動する。

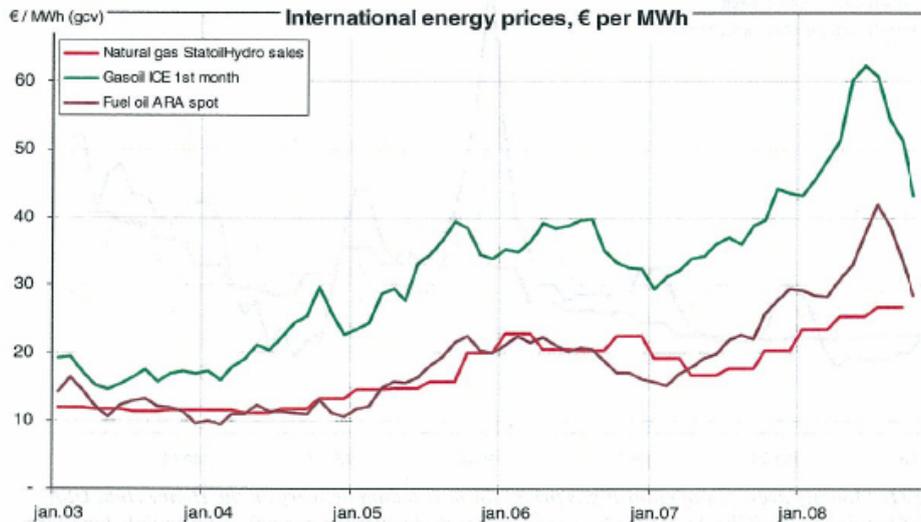


Figure 32: Monthly averages of prices for European gasoil, low sulphur heavy fuel oil and natural gas. Converted to € per MWh gross calorific value. Sources: EIA, ICE, StatoilHydro.

上述の欧州での天然ガス取引に対する現行の長期的なやり方は、欧州の輸入を含む世界中のLNG取引に同様に適応される。大型船舶 (>100,000m³)によるLNGの荷渡しは20年以上の契約のもとに行われている。より短期のLNG取引への移行への期待が過去10年たびたび聞かれた。実際LNGのスポット取引(各取引は通常一隻分の船荷)の頻度はやや増加したが、グローバルなLNG取引は主として長期契約取引のままである。欧州のLNG輸入契約価格算出式は公表されないが、業界内では広く知られている。この価格算出式はオイル価格にインデックスする傾向があるが、しばしば精製石油製品よりはむしろ原油にインデックスしている。

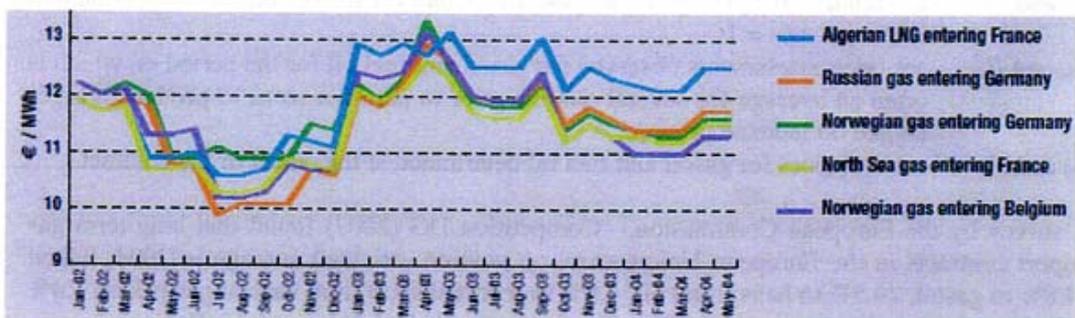


Figure 33: Comparison of European long-term gas contract prices, 2002-2004. Source: CRE (2004) quoting data from Heren.

⁸ ガス価格と石油燃料価格は、総発熱量 (GCV) 基準で比較した。所定量の燃料に対して、真発熱量 (NCV) は、重油に対しては約5%低く、ガス油に対しては6%低く、天然ガスに対しては10%低い。

図33に異なる産地の欧州の契約ガス価格と、しばしばパイプライン経由の契約よりは幾らか高めの価格を示すアルジェリア産 LNG 価格との比較を示す。市場情報サービス⁽⁹⁾により、グローバルな LNG 市場の定期的報告が発行されるが、スポット取引は定期的な信頼性のある市場価格の基準を提供するには少なすぎ、また離れすぎている。

もし小規模の LNG 船荷取引が、将来ある時期に一般的になる場合、この取引に対する観測可能な価格を有する明確な市場が出現するかも知れない。北欧の小規模な LNG 船荷価格は、短期契約でも長期契約でもある程度パイプラインのガス価格からずれる。小規模船荷の価格は、殆ど常に少なくとも荷渡し基準ではパイプラインガス価格より高くなりやすい⁽¹⁰⁾。荷渡し形態と船荷サイズにより差別化した価格形成というやや類似現象が、北欧の液化石油ガス (LPG) 市場で見られる。

4.5.3 第三者アクセスの必要性

欧州連合のそのガス指令 (Gas Directive)⁽¹¹⁾ より、いかなる関係者もパイプラインや LNG ターミナルのようなガスインフラに差別待遇無くアクセスできる必要がある。第4.2節で述べたような小規模 LNG ターミナルも、この第三者アクセスの必要性を免除されないが、この指令の著者は主として大規模ターミナルを念頭に置いていた。

これによりターミナル処理能力を、ターミナルの不可欠部分となるサプライチェーンの他の部分と切り離して決定する傾向があるため、ターミナル建設の決定に至るのが複雑になる可能性がある。LNG 輸入用の大規模ターミナルを計画した関係者は、このようなターミナルへの投資を最終決定する前に、“オープンシーズン”手続きを実施してこの問題を解決し、その結果数名の関係者が長期契約へ興味を示す機会が与えられた後に、ターミナル処理能力の利用する長期契約が生まれ。

第三者アクセスの必要性に関する解決策は、LNG 燃料補給を目的とする小規模ターミナルについても同様の方向で模索できる。また関係者はターミナルユーザーの利用費支払いに対してこのようなターミナルを建設し、所有することも考えられ、この方法は多くの石油や化学品貯蔵設備で運営されている方法と類似している。この可能性は MAGALOG プロジェクトでは徹底的には調査していないが、基本的には LNG 供給の課題や経済性を変える可能性は低い。

4.5.4 船舶用燃料として供給する LNG 価格の考察

LNG 価格は、燃料補給用 LNG の長期契約の枠組みの中で明記される。合意価格は、買い手と同様に売り手に商業的に持続できる必要があり、以下の二つの必要条件を伴う。
一船主の競争力が、LNG の使用により他燃料の使用に比し弱められてはならない。

⁹ プラッツ社 (Platts)、ICIS ヘルン社 (Heren)、アークス社 (Petroleum Argus)

¹⁰ 荷渡し形態と船荷の大きさにより差別化した価格形成とやや似た現象が、北欧の液化石油ガス (LPG) 市場でも観察でき、市場情報サービスの正規価格の評価に反映されている。

¹¹ 最新の天然ガス市場の関する指令は、域内市場天然ガスの共通規則に関する指令 2003/55/EC であり、1998 年の前指令と置き換わる。

ーLNGの売り手は、LPGの供給コストを回収できる必要がある。
LNG供給を発展させ、契約を行なう際の難関は、これらの必要条件を同時に満たす契約条項を成立させることである。次節ではLNGの供給コストに影響する要素、即ち上記の第二の必要条件を検討する。

長期売買契約では、一般に契約価格を当事者にとって妥当な他の観察可能な価格、例えばプラッツ（Platts）引用の原油価格、ガス油価格、又は重油価格を価格算出式により連結するのが一般的である⁽¹²⁾。この価格連結により、長期契約価格が市場実勢と完全に遊離し、契約関係に緊張をもたらしやすくなるのを防ぐのに役立つ。

LNG供給の長期契約の価格算出式を組み立てるには幾つかの方法がある。多くの場合、長期契約の買い手は、LNGがLNG代替物と考えられる従来の燃料に対し競争力がなくならない保証を求めようとする。第2.3節に述べたように、代わりにガス油又はLNGを用いることでマルポール条約（MARPOL）の必要条件を満たせる場合、LNGの契約価格は、同等品質のガス油の報告価格と連なっていく方向を向くであろう。北西ヨーロッパのガス油荷渡しに対するPlattsの価格評価は、妥当な参考資料となる。

ある場合にはLNGの買い手は長期の固定価格を希望するかもしれない、即ちLNG価格が石油価格と共に上下に動く価格算出式をさける。これはLNG価格と長期契約の石油価格とを連結することにより得られることが示唆されるが、買い手が異なる価格構造を望めば、価格のリスク管理のため追加契約を得られるかもしれない。これは先物市場で直接取引するか、このような手配を供与できる金融会社のいずれかにより実行できる。

4.5.5 LNG供給コストの決定要因：概観

燃料補給用LNGのサプライヤーが天然ガスの元生産者でなく、既存の供給地点で天然ガスかLNGを調達し、上述のように船舶用LNGとして利用可能な物流業務を引き受けることも当然考えられる。LNGの供給コストは、この場合二つの主な構成要素から成る。

$$\text{LNGの供給コスト} = \text{市場ベースのガス価格} + \text{供給物流コスト}$$

供給物は二つの代替源又は補充源、大規模LNGと小規模LNG（第4.4節）で得られるが、かなりコスト構造は異なる。主として小規模供給システム（既に同じ目的で設置されている）に基づいて、上に示した二つの主なコスト構成要素を以下の二節で検討するが、将来開発される可能性のある大規模システムによる供給物に移行したときの影響についても又検討する。

LNGの供給単価は、以下にMWh当たりのユーロ（€）で記載し、ここでMWhはLNGの総発熱量（GCV）によりエネルギー含量を意味する。1トンのLNGは約15.1MWhの総発熱量を含有する。

¹² プラッツ（Platts）は情報サービス会社で、スポット取引の広範囲な産物の市場価格に対する毎日の評価を、www.platts.com に提供している。同様のサービスがアーガス社（Petroleum Argus）（www.argusononline.com）とICISヘレン社（www.heren.com）により提供されている。

4.5.6 燃料補給用 LNG のコスト構成要素としての市場ベースのガス価格

ノルウェーの小規模 LNG 生産者は、ノルウェーのオフショア油田で生産された天然ガスを調達し、ノルウェー沿岸のガス処理設備に陸揚げする。そうでない場合には、このガスは欧州パイプライン経由のガス市場に入るために、パイプラインにより欧州大陸または英国に輸送されるであろう。従って LNG の小規模生産の目的と最終的には燃料補給目的で購入できる天然ガスの価格は、欧州のガス市場価格と関連し、ノルウェーから欧州大陸又は英国へのパイプライン輸送を避けることにより値引きの可能性もある。

将来 LNG を、船舶のバンカー燃料として欧州の主要輸入ターミナルで購入する場合、その購入価格は欧州のガス市場価格と関連しやすい。なぜなら、欧州に輸入される LNG は、通常欧州パイプライン経由のガス市場に供給されるからである。従って実際には北欧のターミナルに到着する LNG は、海外生産者からの調達価格に関係なく、その地域の他の天然ガスと同じ市場価値を有すると見なせる。

LNG の燃料補給とこの目的のために設立した供給システムは長期的な試みであり、短期市場で時々出会う極端な変動を避けるためにも、何れの場合も長期価格のほうが短期価格（第 4. 5. 2 節）より妥当である（図 3 1）。

天然ガスの長期契約価格は、北欧の高品質ガス油価格の 55%–60% であり、LNG の小規模生産に提供するか、大規模ターミナルから LNG として購入すべきガスの長期の平均価格範囲として示される。後者はこの範囲の高い側の限度に近くなりやすく、このような購入契約は未だ北欧では成立していないのでかなり不確実である。

4.5.7 燃料補給用 LNG コスト構成要素としての供給物流

LNG を燃料補給船舶用調達ガスとして利用できる供給物流コストは、上の第 4. 1 節乃至第 4. 4 節で検討した四つの要素を網羅する必要がある。

- 大規模ターミナル起源でなければ LNG の小規模生産、
- 燃料補給港への船賃
- 燃料補給港のターミナル
- 燃料補給港ターミナルでの燃料補給作業

LNG の小規模生産コスト

ノルウェーの最新の完成した小規模生産プラントは、コルスネス（Kollsnes）（所有者：ガスノール社）の年産 80,000 トンの第二系列であり、2007 年に操業を始めた。その能力の多くは、既に何年も先までの生産を約束している。年産 300,000 トンのプロジェクトがノルウェーで進行中である。これらプラントの確かな最新の投資費用は公表されていないが、種々の公開情報に基づく LNG の年間生産能力は、最近の通貨変動のよるずれを認めれば、100,000 トン当たり 5000 万–6000 万ユーロとされている。

近年オイル・ガスセクターで建設費が急に高くなる傾向があり、他のセクターでも 200

8半ばまで石油価格上昇と強い世界経済により同様の傾向がある。2008年末現在、最近の急激なグローバル経済の減速と石油価格の下落が、どのようにLPGの新規生産能力の強化を含む建設費に影響するかについては、かなり不確かである。

LNG生産にはかなりのエネルギー量が必要で、通常配電網から得るか又はガスから現地で作られる電気が必要である。ガスから発電する場合、10-15%のガスフィードがこの目的に使われる結果、幾らかの剰余熱が生じ他の目的に利用できる。

将来のLNGの小規模生産プラントのコストは、1MWh当たり8-14ユーロの範囲とされるが、周期的に影響を受ける建設費用、エネルギーコスト、稼働率などを含む多くの要因による。エネルギーの高コストはこれらのコストを増加しやすい。

大規模ターミナルでLNGが供給される場合には、LNGの小規模生産コストは回避できる。代わりに最も可能性のある供給源はノルウェー西部に比べ遠いため、幾らか高めの船舶輸送費が予測される。大規模ターミナルでLNGを調達する場合、輸送費は1MWh当たり1ユーロの追加が見込まれる。

船賃とターミナル使用コスト

LNGは、恐らく第4.3.1節に述べた容積7,500m³の船舶のようなLNG運搬船により燃料補給港に移送し、貯蔵能力を有するターミナル設備で受け入れる必要がある。タンクの貯蔵能力は、タンクの費用が高いため慎重に選ぶ必要があり、船積み能力の活用と共に最適化する必要がある。一隻の積み荷を数カ所のターミナルで荷揚げするのも一つの可能性であり、一隻の積み荷全部を荷揚げするに必要なターミナル貯蔵能力より小さいサイズの貯蔵能力のタンクを建設するのも港によっては最適である。

マリンテック研究所(MARINTEK)により、MAGALOGプロジェクトの一部として、荷揚げ港の組み合わせ、製品原産地、及び年間供給量に対して異なる仮定に基づいて、最適船舶とターミナル有効活用について幾つかのケースが分析された。図34にこの分析結果の幾つか示し、そこではイエーテボリ(Gothenburg)、リューベック(Luebeck)、及びストックホルム(Stockholm)は、個別又は組み合わせの燃料補給港と考え、ノルウェー西部がLNG供給源と考えた。船積みコストとターミナル使用コストは、年間供給量の増加と共に低くなる傾向があり、年間供給量が一年あたり80,000トンを超える場合には、コストは多分1MWh当たり5ユーロと12ユーロの間である。より低い年間量では、1MWh当たりのコストはかなり高くなり、目的地の不適当な組み合わせは不利に影響し、能力の利用が不十分になる。

燃料補給作業のコスト

現地ターミナルから船舶の燃料タンクへのLNGの供給を伴う燃料補給作業の実施コストは、トラック又はバージュの使用コスト、又は固定型ラインによる送出コストである。そのコストは現地条件とそれぞれの港でできる解決案に依存するが、他の費用構成要素に比べ比較的高くないと予測される。この機能には、1MWh当たり1ユーロの費用が見込まれる。

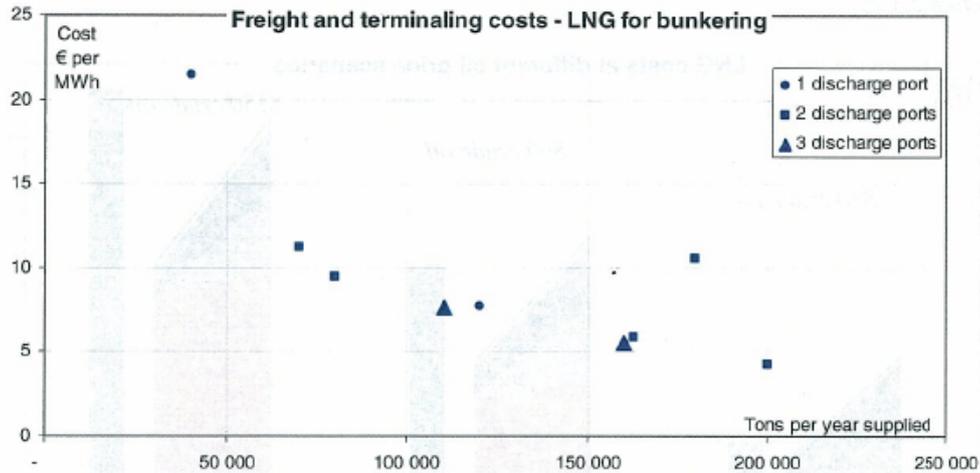


Figure 34: Shipping and terminaling costs at different discharge port combinations and different annual quantities. Costs in € per MWh of energy in LNG. Based on calculations by MARINTEK.

4.5.8 LNG供給の全費用の目安

図35にバルト地域でLNGを船舶用燃料に供給した場合の全費用の目安と、比較のためにガス油のコストを示す。最近の原油価格の乱高下を考慮に入れるために、三段階の異なる原油価格、即ち、ブレント原油1バレル当たり30ドル、90ドル、及び150ドルについて目安を求めた。LNG供給コストは、各原油価格レベルにおける高レベルと低レベルの範囲を示す。LNG供給コストに高低範囲がある理由は、以前の小節で説明した。LMGG生産に関しては、最高コストは小規模生産でのLNGコストの高いの見積もりを表す一方、最低コストはLNGの小規模生産の必要はないが、僅かなエキストラの運送費でもって長距離航行が可能な大型ターミナルからの供給を表す。

図35から分かるように、LNGのコストはガス油のような精製品の場合と同じように、原油価格と共に変動しやすい。しかし荷渡しLNGのコストは、原油とガス油のような石油精製品のコストよりは変動しにくい。その結果液体燃料に対するLNGの競争力は、原油価格が低い場合より原油価格が高い場合のほうが強い。

原油価格の各シナリオでLNGコストはかなり広い高低範囲を示す。燃料補給にLNGを供給する初期段階では、そのコストは供給量が低く主としてLNGの小規模生産から得るので、この範囲の高い側になりやすい。システムが拡張され、予想される大規模プラントによる供給が導入されると、コストを削減して最小にする可能性がある。

図35の図は、ガス油と引き替えに燃料としてLNGを用いたときの比較コストと利益を十分に反映していない。LNGを燃料とする船舶の建造は、現在液体燃料による船舶に比べ高くつく。一方、排出規制海域内をガス油で運航する船舶は、排出を許可限度内に保つための追加コストの問題を抱える(第2.3.2節)。

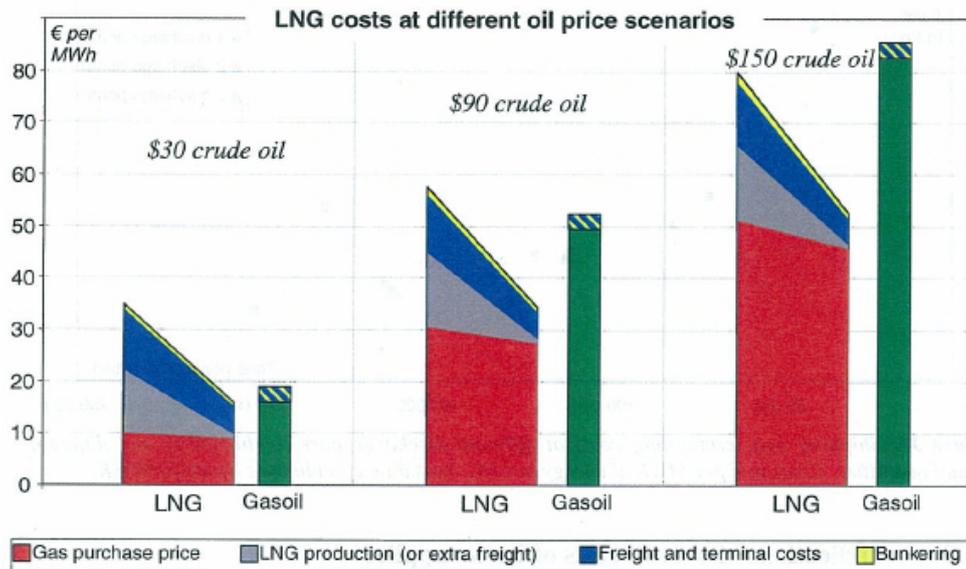


Figure 35: Indications of costs of supplying LNG under different oil price scenarios.
For comparisons, gasoil costs under different oil prices are established based on regression of historical prices during 2004-2008. Gasoil costs reflect heating oil quality with max 0.1% sulphur in barge trade in the Amsterdam-Rotterdam-Antwerp range with an addition of €40 per tonne for distribution and bunkering.

4.6 船舶燃料用LNGの開発プロセス

LNGが北欧で船舶用燃料としてその使用がしっかりとつ広く確立されるには、幾つかのタスクを多かれ少なかれ平行に解決する必要があり、それぞれについて大きい投資の決断を下す必要がある。

- (1) 船主によるLNGにより運航する船舶の注文が必要、
- (2) ターミナルと現地の燃料補給作業を主要港で設立する必要、
- (3) 小規模生産及び/又は大規模ターミナルによるLNG供給の確証が必要、
- (4) 燃料補給能力に合うLNGを移送するための輸送能力を得る必要。

これらのタスクはある程度互いに依存する。しかし幾つかのタスクが他のタスクより先に開発すべき範囲がある。現段階では、上記の第三項目と第四項目は、既に進行中のものをベースにすると、船舶へLNGを供給し、輸送できる能力がある程度あるので、直ちには重要ではないが、何れはLNG供給の増加、更にはLNG輸送能力の増加が必要になる。

現在LNGの燃料補給はノルウェー西部で可能である。そのほかでのLNGの燃料補給は、LNGのトラック長距離運送により可能であるが、費用効率が良いとは言えない。効率的な大規模燃料補給には、常設ターミナル設備が燃料補給港に必要である。

開発プロセスで次に重要な段階は、LNGにより運航する特定の定期航路用船舶の発注が必要であり、これに使用する燃料補給設備の設置である。LNG供給に関するLNGサブ

ライヤーと船舶運航管理者間の長期契約は、船舶の建造、ターミナル用土地利用の可能性、及び必要な許可に関する他の契約と一緒に必要である。

供給のエコノミックスは、図35に示したように船舶への燃料補給をノルウェー国外で構築する初期段階における難問を象徴し、この難問は石油価格の見通しが、図に示したシナリオの最小値に近づくことにより大きくなる。システムが発展するにつれエコノミックスの改善が見込まれる。ここでは初期の比較経済でLNGが弱いと言う難問に対する確実な解決策を提案はしないが、以下の三つの方法の組み合わせの必要がありそうである。

- － 第一に、船舶用燃料として特定のインセンティブ又はコスト有意性があるLNG用途の発見
- － 第二に、関係者が比較経済に基づいて長期的な考え方を持とうとする意欲
- － 第三に、LNGが優先的に最も環境に優しい船舶用燃料であるという社会的インセンティブ

5. 北欧の港における将来の LNG 燃料補給に関する調査

MAGALOB プロジェクトにおいて、北欧の5港について将来の LNG 燃料補給場所としての可能性を調べた。これらの港は、ベルゲン (Bergen)、イェーテボリ (Gothenburg)、リューベック (Lubeck)、シフィノウイシチェ (Swinouj cie)、及びストックホルム (Stockholm) である (図36)。調査により、定期的に寄港する船の船積み量を特定し、以後15年間でかなりの改造の可能性を確認した。又港に設置する LNG 燃料補給設備に適する場所の可能性と、必要な次の開発段階について検討する。



Figure 36: Ports studied in the MAGALOB project.

5.1 将来の LNG 燃料補給港：ベルゲン

ベルゲンはオスロ (Oslo) に次ぐノルウェー第二の都市である。その中央港は良く保存された建物を有し、ハンザ同盟 (Hanseatic) 都市ベルゲンの遺産であることを証明してくれる。

5.1.1 現状

ベルゲン港の設備は一連の島により北海から良く守られている。ベルゲン港はベルゲン市と幾つかの近隣市町村所有の会社として組織化されている。

ベルゲン港には、又市自身の主要中央港以外に、モングスタッド (Mongstad) (石油精製とオフショア石油供給の基地)、ストゥレ (Sture) (石油輸出ターミナル)、及び CCB オフショア石油供給基地に、重要な港湾設備が含まれる (図38)。CCB 基地は、北海の石油基地にサービスするための LNG 燃料のサプライ船2隻の燃料補給港である (図6)。LNG 燃料のフェリー3隻は、ハルヘム (Halhjem) のフェリー港で燃料補給する (図19)。最大の小規模 LNG 生産地であるコルスネス (Kollsnes) は (図21)、又ベルゲン港地区内にあるが、その LNG 生産地の突堤設備はベルゲン港の管理ではない。

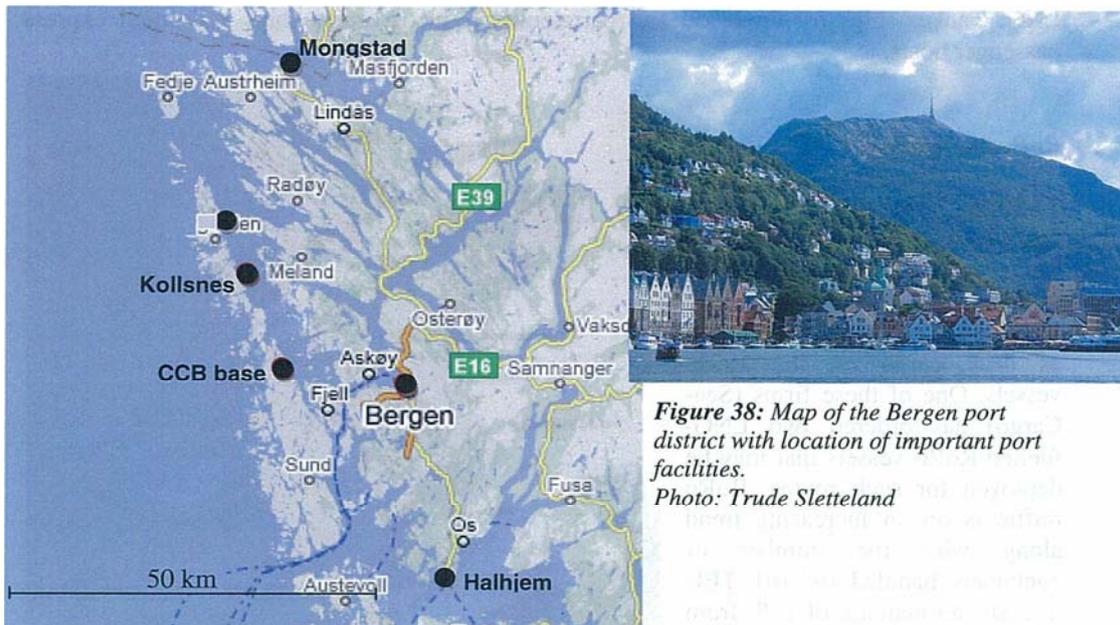


Figure 38: Map of the Bergen port district with location of important port facilities.

Photo: Trude Sletteland

定期運航船は市中心近くの中央港に寄港し、そこは又夏にはクルーズ船の人気目的地でもある（図39と図40）。ベルゲン経由の国際貨物は、国内用小型輸送船、オスロ行き鉄道、及び道路網により国外に接続される。

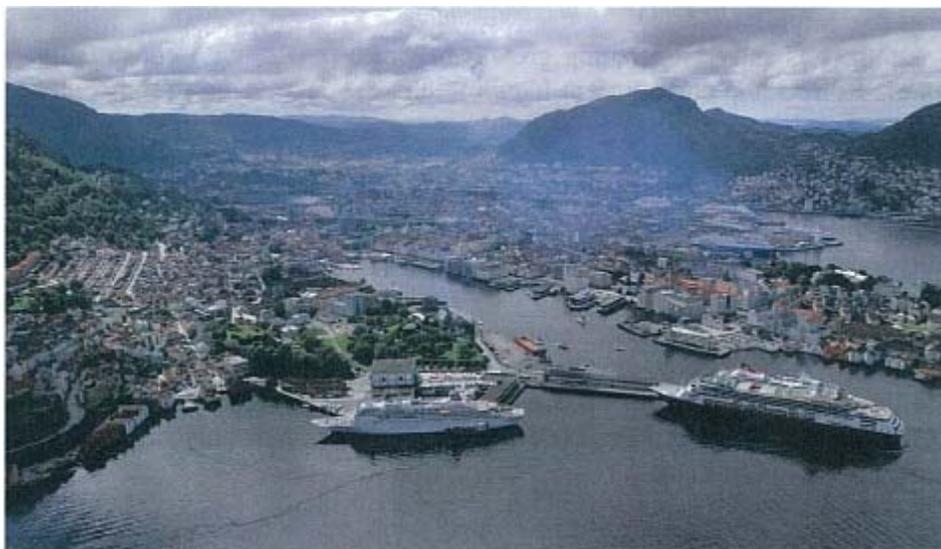


Figure 39: Cruise ships in the port of Bergen.

Photo: Bergen Tourist Board / Jan M. Lillebø

5.1.2 船舶交通量とLNG使用の可能性

ベルゲン港地区は、2007年に船舶寄港数26,231、総トン数9500万トンを受け入れ、北欧の大型港の中に入る。しかしこれらのトン数と寄港数は、初期にLNGに転換される船舶の種類に入るとは考えにくく、それらは原油と石油製品用タンカー、クルーズ船、及び高速客船である。

RoRo 船と RoPax 船

船会社シーカーゴ社（Sea-Cargo）とノールライン社（Nor-Lines）の RoRo 船 7 隻が、ベルゲン港に定期的に寄港する。これらの内 5 隻は船齢 25 年以上である。コンテナ類は RoRo 船の甲板積み荷として運ばれる。これら企業の内の一社（シーカーゴ社）は、LNG 燃料の RoRo 船 2 隻を発注し、この航路に配置する予定である。RoRo 船の交通量は、取り扱いコンテナ数と共に増加傾向にある（2007 年は 98161TEU で、数年間同様の増加後、前年に比べ 13% の増加）RoRo 船は、ノルウェーの港数カ所と欧州大陸及び/又は英国の港を含む幾つかのルートを運航する。



Figure 40: Map of central port facilities in Bergen.
From www.bergenhavn.no

RoRo 船の運航は中央港地域を用いる。港湾管理部は、中央港地域のイエクテヴィケン（Jekteviken）で進行中の新しい RoRo 船ランプと隣接荷役区域の建設工事と共に RoRo 船交通量の増加を活発に追求している。

ベルゲンは、ロシア国境キルケネス（Kirkenes）へ往復 1 週間の航海を毎日出航し、地方の多くで止まるノルウェー沿岸海運サービス“フルティグルーテン”（Hurtigruten）の南の終着地である。これらの船舶は、乗船客、幾らかの車両、及び一般貨物を運搬する。この船隊は、1990 年代に観光乗船客セグメントへ強く傾斜して更新され、今のところ長い年月更新されそうにはない。

ベルゲンの国際フェリー交通量は、英国とアイスランドへのルートが 2008 年に中止になっ

たため、最近急激に減少した。2009年にはベルゲンは、デンマーク行きの定期国際 RoPax 船の出航が唯一決まっているに過ぎない。

他の海運部門

石油タンカーのモングスタット (Mongstad) とストゥーレ (Sture) の大型ターミナル (モングスタットの精油所を含む) への寄港は、大型船を代表するものであるが、油田からのターミナルへの供給は、その生産のピークが過ぎたので減少傾向にある。

また石油セクターでは、CCB の大供給基地とモングスタットの小基地で取り扱われる。LNG 燃料のオフショアサプライ船 2 隻は CCB で燃料を補給する。これらの船舶は二つの異なる船主が建造し、石油会社スタットオイル社 (Statoil) (現在のスタットオイルヒドロ社 (StatoilHydro)) との長期チャーターで運航され、スタットオイルヒドロ社がその船舶用燃料を調達している。LNG を燃料に選択することによる NOx 排出の削減は、スタットオイル社の他のシステムで必要になるかも知れない排出量削減手段の代替として公害防止当局と合意された。オフショアサプライ船での LNG 使用に対する範囲と期待が増している。燃料補給設備の現状では、これは、長期間の間、特定のオフショア油田に使用するために建造した船舶に対し主に適している。

ベルゲンの直ぐ郊外の海軍基地に配備の LNG 燃料の沿岸警備隊船 1 隻は、2009 年から就航する。この船舶はコルスネス (Kollsnes) LNG 製造工場で LNG を定期的に手に入れる予定である。他の LNG 燃料の沿岸警備隊船 2 隻が、またノルウェー北部で就航することになっている。

ベルゲン中央港とその地域の小規模港は、しばしば多数の小型沿岸貨物船の寄港地である。これら船舶の多くは比較的古く、多くは小さい会社の所有である。これらのセグメントは、LNG が一旦燃料オプションとしてより強固に確立されれば、LNG への変換の候補者であり得る。

ベルゲンは 2007 年のクルーズ船による寄港が 231 回であった。ノルウェー西部のフィヨルドの中で、ベルゲンは街の風光明媚な状態、魅力的な街の中心とその位置により、クルーズ交通のお気に入りの目的地になっている。クルーズ船エンジンからの煤を出す煙は、ベルゲンとフィヨルドの好ましくない汚染源だと認められてきた (図 39)。クルーズ船には広範囲なサービスが必要になりそうなので、LNG 燃料への初期の変換者の一員になるとは予期されない。

ベルゲンには、その南部 (スタヴァンゲル (Stavanger))、北部 (モーレイ (Maloy))、及び、幾つかのフィヨルドへ 2、3 の定期客船サービスがある。これら船舶は 30 ノット以上で走るジーゼル燃料の二重船体の船舶である。これらは客船専用であり、船舶は“超高速”部類の客車両運搬船より遥かに小さい (図 13)。これらは将来の LNG 燃料の候補者かも知れないが、これら船舶のスペース制約に対処するデザイン作業が必要である。

5.1.3 LNG 燃料補給の展開

LNG 燃料補給は CCB 基地に設置され、現在オフショア石油補給船にだけ利用されている。LNG 燃料補給は、又コルスネスの LNG 製造工場で展開している。CCB とコルスネス工場の両者は、主要沿岸水路のベルゲン北部に位置し、その水路はできれば外洋を避けたい小型船舶により利用されている。従ってこれらは、このルートを通る船舶がベルゲン港へ寄港することなしに LNG を燃料補給する便利な地点となる。

市当局は、将来の港の必要条件と他の都市開発の必要性との調和を図る中央港計画 (Kommunedelplan) を委託した。この計画は 2008 年現在最終決定されていない。LNG 燃料補給ターミナルが中央港設備内に備わることが予測される。

陸上から船舶への電気供給と言うアイデアが打ち出され、熱／電気複合供給プラントから電気を供給する可能性も含む中央港計画との関連で、そのアイデアは考慮され、余熱を市の地域暖房システムに提供できるであろう。

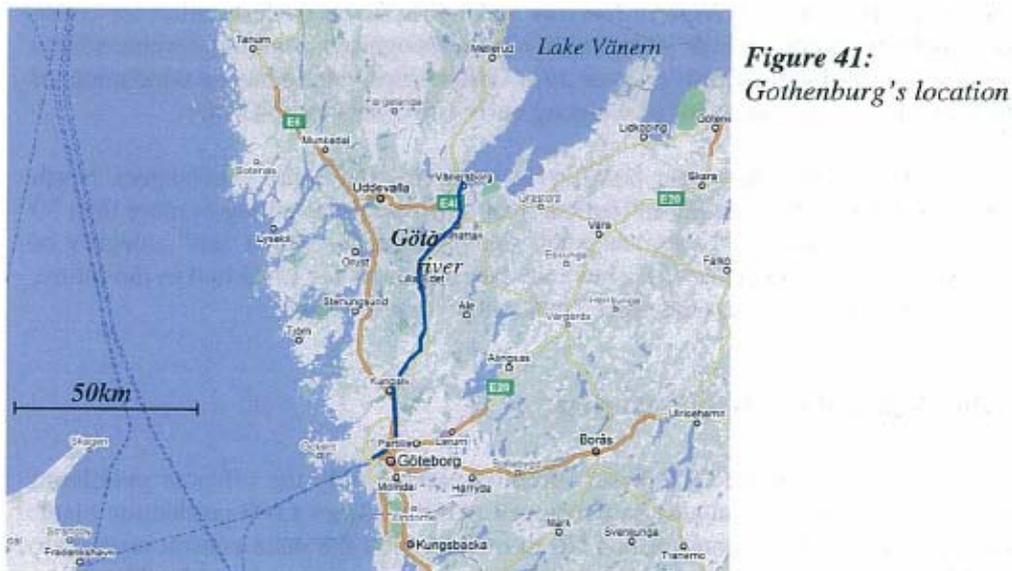
5.1.4 要旨と結論：ベルゲンにおける将来の LNG 燃料補給

LNG 燃料補給は、既にベルゲン港湾地区内で沿岸フェリー (ハルヘム (Haljem)) で、オフショアサプライ船 (CCB 基地で)、2009 年からは沿岸警備隊船 (コルスネスで) に確立されている。但し、市の中央港では未だである。三つの既存の燃料補給ポイントに於いては、確立した目的のために LNG をより広く使える領域がある。

ベルゲンは、恐らく 2010 / 2011 年から RoRo 船用 LNG の燃料補給港になるように決められている。これに関する計画が進んでいる。現在の確立された LNG 使用と RoRo 船交通量の範囲以外に、船舶での LNG 使用は、より多くの貨物を道路から海に移し、国内貨物船と客船を更新する結果、増加する可能性がある。

5.2 将来の LNG 燃料補給港：イエーテボリ (Gothenburg)

イエーテボリ (Gothenburg (Goteborg)) は、ストックホルムに次ぐスエーデン第二の都市であり、RoRo 船と RoPax 船の寄港に関しては最大の港である。



5.2.1 現状

イエーテボリはカッテガット海域（Kattegat）のイエータ川（Gota River）が終わる所に位置している。イエーテボリは、バルト海と北海海盆の中央位置にあり、イエーテボリ港は欧州北部の貨物の主要地域ハブ港になる野望を追っている。イエーテボリは、大陸間の大型コンテナ船（12,000 TEU 船）を受け入れるスカンジナビアで唯一の港である。イエーテボリは、又スエーデンの主要工業製品、特に自動車と紙輸出の主要地点である。その川と関連運河システムにより、小型商船がベーネルン（Vanern）と言う大きな湖へと航行できる（図 4 1）。

近代的な港湾設備が河口北岸に集中している。これには RoRo 船ターミナル、コンテナターミナル、自動車ターミナル、及び二つの精油所（シェル社（Shell）とプリーム社（Preem））が含まれる。乗客と貨物フェリーの交通のための古い設備は更に上流に位置している（図 4 2 と図 4 3）。古い市中心部はこの河の南岸にある。



Figure 42: Aerial photo of Gothenburg's port. Red circle indicates Hjärtholmen (left) and Risholmen, which are indicated as potential sites for an LNG bunkering terminal. From www.portgot.se

イエーテボリ港は、4方向への標準的高速道路に接続している。一つの大型鉄道貨物駅がコンテナターミナルにあり、スウェーデンの鉄道システムへの長くて良いアクセスが提供されている。

イエーテボリ港は、港湾管理部と同様に、図42に示す港湾設備の多くに及ぶ港湾荷役請負会社としても運営されている。いくつかの設備は他の会社が所有している。イエーテボリ港 (www/portgot.se) はイエーテボリ市によって完全に所有された会社として法人化されている。

5.2.2 船舶交通量とLNG使用の可能性

表7に近年のイエーテボリ港における交通量統計を示す。10年間の時間枠で関連すると予測されるLNG燃料による海運活動を、以下に検討する。

Table 7: Statistics, Port of Göteborg, 2006 and 2007. Source: www.portgot.se

	2006			2007		
	Export	Import	Total	Export	Import	Total
Container (teu)						
full	338 260	309 224	647 484	337 660	361 719	699 379
empty	58 224	105 800	164 024	77 724	63 447	141 171
Total	396 484	415 024	811 508	415 384	425 166	840 550
Ro/ro-units						
full	296 933	256 131	553 064	321 152	280 153	601 305
empty	42 610	47 966	90 576	44 934	40 093	85 027
Total	339 543	304 097	643 640	366 086	320 246	686 332
Cars	212 692	115 803	328 495	218 971	100 895	319 866
Oil (1000 tonnes)	8 392	12 239	20 631	7 788	12 016	19 804
Passengers (1000)			2 187			2 091
Total, (1000 tonnes)	19 801	20 804	40 605	18 867	21 010	39 877

RoRo 船と RoPax 船

バルト海と北海内で定期スケジュールによりイエーテボリに寄港するものとしては、RoRo 船 14 隻、通常の RoPax 船 5 隻、及び超高速船 1 隻が認められる。RoPax 船の目的地は、デンマークへと横切る短距離のフレデリックスハーブン (Frederikshavn) と、キール (Kiel) である。RoRo 船の目的地は、ゼーブルッヘ (Zeebrugge)、アントワープ (Antwerpen)、イミンガム (Immingham)、ティルベリー (Tilbury)、リューベック (Lubeck)、及びフィンランドである。RoPax 船と超高速船は、ステナライン (Stena Line) により運航されている RoRo 船は、ステナ、コベルフレット (Cobelfret)、及び DFDS トールライン (DFDS Tor Line) により運航されている。この分野の平均船齢は 12 年であり、6 隻は少なくとも 20 年である。

他の海運分野

イエーテボリは、大型コンテナ船の長距離運航に繋がるコンテナフィーダ船を受け入れる。これらの船舶は、潜在的な LNG 使用者として RoRo 船と同様の潜在的利点がある。多数の地方のカーフェリーがイエーテボリ周辺と列島を運航している。これらのフェリーは、将来新規フェリーと代替される時の LNG 使用候補者であり、既存フェリーの LNG への転換も又考えられる。これら小型フェリーの燃料消費は、1 年当たり LNG 500 トン程度に限られる。

幾つかの小型貨物船が、近隣の遮蔽港とベーネルン湖に至るイエータ川を含むイエーテボリ地方を定期的に運航している。既存の貨物船の代替又は補充が必要な場合、このようなサービスに LNG 燃料船舶の導入実現が可能である。この地方には自動車やトラック (ボルボ (Volvo) とサーブ (Saab)) を含む大型製造業があり、貨物をこれらの定期的な往復距離内で、道路や鉄道から水域に移動させる要望がある。地元エネルギー会社のイエーテボリエネルギー社 (Goteborg Energi) は、バイオマスをガス化工場に供給するために、幾らかの小さなバルクの海運能力が必要であり、LNG による運航のデザインに適するであろう。

イエーテボリは、何隻かの大型定期貨物船、特に自動車運搬船と大陸間長距離運航の大型コンテナ船を受け入れている。将来、このような船舶の複式燃料方式により、これら船舶が北欧の排出規制海域 (ECA) や、将来は他の海域 (ECA を導入しそうな北米海域のような) を走る場合、LNG で運航されるようになるであろう。このような船舶で LNG 使用の可能性はあるが、短期にはありそうではない。

オイルタンカーは、原油輸送船とより小型の精製品運搬船が挙げられる。中期的には通常の推進燃料の LNG への転換は考えにくいだが、港湾で石油をポンプで移送する場合、特にイエーテボリの精油所で原油運搬船が荷揚げする場合、燃料消費に関して特定の問題がある。結果としての排出は、港湾での排出と見なされるので、ガスにより大きく削減できるかも知れない。これに対する特定の解決法の開発が今後必要である。



Figure 43: Gothenburg's outer port. From left; car terminal, container terminal and RoRo terminal. Oil terminals are outside the image on the left and right. Photo from Port of Göteborg.

5.2.3 LNG 燃料補給の展開

イエーテボリ港の港湾管理部と大口ユーザーは、多年にわたり環境品質を大いに強調してきた。これは、イエーテボリ港に定期的に寄港する船舶の LNG 使用に対する必要条件を展開するのに好ましい出発点となる。イエーテボリ港は、ISO14000 の環境基準により認定され、その環境作業も国際的に認められてきた。その一例は、海岸から RoRo 船への電気の供給である。港の大口ユーザー（荷主として）である多くの会社は、輸送による環境影響に対する必要条件を一緒に開発してきた（クリーンな海運プロジェクト 2007（*Clean Shipping Project 2007*））。

LNG の燃料補給が地方のフェリー又は小型貨物船で始まり、少数の船舶に限定されている限り、ノルウェーのエストフォル（Ostfold）で準備中である LNG ターミナルから、LNG をトラックで供給することは実現可能であろう。小型フェリー1隻には年間おおよそトラック25台分の積載量と、サルプスボル（Sarpsborg）から距離210kmの運転を必要とする。RoRo 船又は RoPax 船の運航には、大量の燃料が必要で、そのためには船舶による供給が適切であり、この目的の為にイエーテボリ港に LNG ターミナルを計画する必要がある。

適切な可能性があるいくつかの場所が特定された。これらの場所で最も有望なのは Hjartholmen と Risholmen の小島のいずれかであり、港湾地域の北西周辺にあり、本土と埋め立て地により接続され、既に幾つかの石油と港湾の設備がある（図42の赤丸印で示す）。ここの LNG ターミナルには、燃料補給用のバージ、又は適切な燃料補給場所近くに燃料補給作業を行うための小型海岸タンクが必要であろう。

5.2.4 要旨と結論：イエーテボリにおける将来のLNG燃料補給

イエーテボリは、確立されたパターンの港湾利用と、環境問題に対する高い優先度により、明らかにLNG燃料補給が大きく展開される可能性がある。これを達成するために必要な次のステップは、

- － 地方のフェリー、バイオマスバルクフィーダー、及び他の内陸／沿岸貨物船を含む地元の小規模海運業へのLNG使用の提案展開。
- － イェーテボリ港での船舶によるLNG受け入れ用LNGターミナルの場所の特定と計画。
- － LNG燃料船舶の建造とLNGターミナルの建設の根拠として、船主（主としてRoRo船とRoPax船）とのLNG供給長期契約の確立。

5.3 将来のLNG燃料補給港：リュubeck（Lubeck）とトラベミュンデ（Travemunde）

リュubeckはハンザ同盟時代にさかのぼる海運の歴史を有する歴史的な都市で、近代的な大型港湾設備を有する。以下にリュubeckを港として参照して貰えば小都市トラベミュンデが含まれ、同じ港湾組織が管理している。

5.3.1 現状

リュubeck市は、バルト海の河口から20 km上流のトゥレーブ川沿いに位置する。リュubeckの衛星都市のトラベミュンデは河口に位置し、海浜休養リゾートである（図44）。一番近いより大きい都市は、リュubeckの南西50 kmのハンブルグ（Hamburg）である。

最大の港湾設備は、トラベミュンデ近くのスカンディナヴィエンカイ（Skandinavienkai）であり、フェリー運航を含む総貨物トン数の2/3を取り扱っている（図45）。三ヶ所の港湾設備は大量の紙を取り扱い、その大部分はフィンランドとスウェーデン（ノルドランドカイ（Nordlandkai）、シュラタップ（Schlutup）、コンスティンカイ（Konstinkai））からの輸入である。シーランドカイ（Seelandkai）は、コンテナと車輛貨物を取り扱う新設備である。



Figure 44: Map of the Lübeck – Travemünde area with major sea terminals owned by the Lübeck Port Company (LHG). In addition to the terminals indicated, two other companies operate port facilities on either side of the Seelandkai. Source: LHG

リューベックは、鉄道、道路、及び水路によりドイツ輸送網と良く接続しており、水路はエルベ-リューベック運河経由である。多くの貨物列車が、毎週リューベックと欧州大陸の主要経済センターの間を接続している。

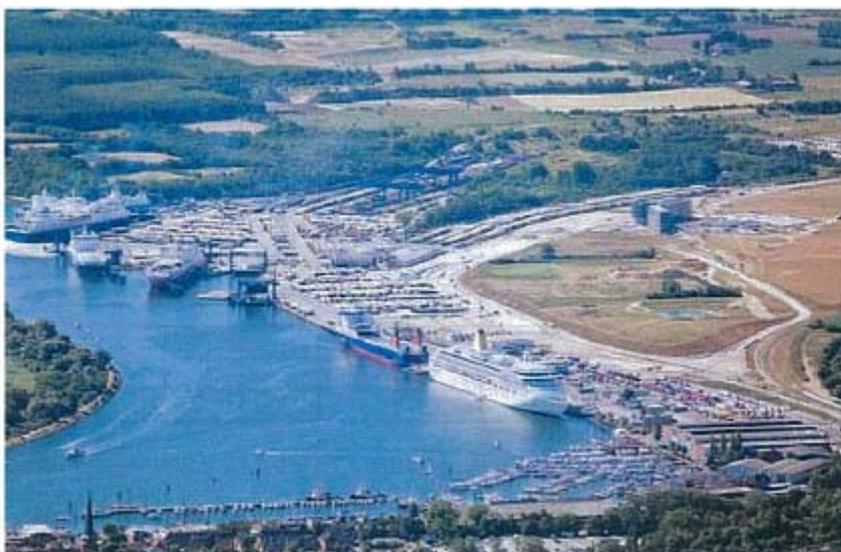


Figure 45: Skandinavienkai at Travemünde. It is the busiest among several ports on the river between Travemünde and Lübeck.

リューベック港湾会社（Lubeck Port Company）（LHG-Lubecker Hafen-Gesellschaft）は、ハ

ンザ同盟都市リューベックが過半数を所有している。LHG がリューベックとトラベミュンデ間の5つの主要港湾設備を運営している。更に他の企業（Lehmannkai、コンテナ港）が運営する港湾設備があり、全貨物トン数の10%を取り扱っている。

5.3.2 船舶交通量とLNG使用の可能性

RoRo 船と RoPax 船

提供される貨物輸送の大部分は RoRo 船と RoPax 船に乗せるトレーラーである。2007 年にはリューベック港は、877722 台のトラックとトレーラーを受け入れるか送り出し、その半分は付添人なしのトレーラーであった。その数は2000年以後平均4.3%増加した。コンテナ数、新車の数、及び紙の量の増加はまた注目される。同期間に輸送された乗船者数、乗船者の自動車数、及び鉄道車両数は大きく減少した。

リューベック港の寄港の主要部分は、RoRo 船と RoRo 客船の定期的な海運からなる。リューベック港は、これらの部分で最も忙しいバルト海の港である。リューベック港によると、毎週150回以上の出航があり、その内85回はMAGALOGプロジェクトにより特定され、分析された。これらのルートには36隻の異なる船舶が就航している。表8に、MAGALOGの分析が特定した2007年9月現在のリューベックからバルト海の内又は近辺の目的地へ毎週出航したものを示す。

Table 8: Weekly RoRo and RoPax sailings from Lübeck-Travemünde (September 2007)

	M	T	W	T	F	S	S
Skandinavienkai (Travemünde)							
Helsinki	X	X	X	X	X	X	X
Turku		X		X		X	X
Göteborg	X	X	X	X	X	X	X
Malmö	X	X	X	X	X	X	X
Trelleborg	X	X	X	X	X	X	X
Helsingborg						X	
Riga		X		X	X		X
Oslo	X	X	X	X	X	X	
Nordlandkai/ Seelandkai/ Lehmannkai II							
Helsinki						X	
Kotka	X					X	
Hamina			X			X	
Rauma		X			X		
Kemi/Oulu			X		X		X
Paldiski					X		
Hanko	X	X	X	X	X	X	X
Paldiski		X	X				X
Halstavik/Braviken:	X						
St. Petersburg:	X		X		X	X	

Source: Marintek

リューベックでの取引を運営する海運社としては、DFDS トールライン (DFDS Tor Line)、フィンライン (Finnlines)、スカンドライン (Scandlines)、ステナライン (Stena Line)、

5.3.3 LNG 燃料補給の展開

LNG 燃料補給の導入は、特にリューベックにとって、より清浄な空気を提供し、船主が取り組まなければならない環境的な挑戦の解決策として適切である。リューベックは過去 30 年間に港湾交通量の大幅な増加を経験した。港湾交通量の増加は、通商と輸送による全体的な環境影響に対して歓迎される寄与であるが、リューベックの内と周辺の大気環境に負担増を課してきた。排出増はこの地域の人と一般環境に影響し、又海岸リゾートとしてのトラベミュンデの地位に影響するであろう。

LNG 輸送はガス輸送を対象とする法規制に従い、ドイツでは道路、鉄道、及び水域での LPG 移動として良く確立されている。LNG 使用を阻むかも知れない規制問題は、見い出せなかった。国内海運燃料としての LNG 使用に関しては、ドイツ又は EU の基準を開発する必要がある。

リューベックでの LNG 燃料補給は、RoRo 船と RoPax 船が対象になりそうである。このような船舶に必要な LNG の量により、船舶による補給を受け入れ可能な LNG ターミナルの設置が必要となり、遠い起点からのトラック供給も例外的な環境では可能であるが、定期的ベースでは経済的とは殆ど言えない。仮のターミナル場所は特定されたが、スペースの制約により最も広く使用される（恐らく）港湾設備の場所ではないので、バージ又はトラックによる燃料補給船への LNG の更なる移送が必要になるであろう。LNG 燃料補給量の増加により必要になるタンクスペースの追加により、ターミナルは拡張できる。

5.3.4 要旨と結論：リューベックにおける将来の LNG 燃料補給

RoRo 船と RoPax 船による大量の定期的運航の増加により、リューベックは明らかに LNG 燃料補給の初期開発に適切な港である。LNG への変換は、リューベックの就航船隊の船齢がかなり若い側面があるため、次の 10 年間に緩やかな速度で導入され、多年にわたって進行しそうである。

リューベックにおいて LNG 燃料補給を確立する次のステップとしては、以下が挙げられる。

- － LNG ターミナルの適切場所の確認と、そのターミナルに特定したデザインの作成。
- － LNG 燃料船舶の建造と LNG ターミナルの建設の根拠として、船主との LNG 供給長期契約の確立。

5.4 将来の LNG 燃料補給港：シフィノウイシチェ (Swinouj cie)

シフィノウイシチェ (Swinouj cie) は、世界第二次大戦による破壊後、近代的な港と休暇目的地として再建された、人口 40000 人の海岸の町である。

5.4.1 現状

シフィノウイシチェは、シュヴィナ (Swina) 川沿いの深さ 14 m、幅 180 m の航行水路 60 km により、より大きな町シュチェチン (Szczecin) 市と繋がっている (図 48)。こ

の町は、スカンジナビアとポーランド間、更には中欧とドイツ東部間の重要な貨物移動中継地点である。



*Figure 48: The Szczecin –
winouj cie navigation
channel*

シフィノウィシチェ港とシュチェチン港はシュチェチンとシフィノウィシチェの港湾管理部により共同管理されている。2007年には7514隻の船舶がこれら港に到着し、その61%はシフィノウィシチェであった。

道路と鉄道との良好な接続に加え、シフィノウィシチェとシュチェチンは内陸水路によりベルリンおよび中欧の水路と良く接続されている。2007年には60%が鉄道による相互接続輸送であり、32%がトラック、8%がバージによる輸送であった。道路と鉄道のインフラと同様に港湾設備の改善のための投資が進んでいる。最も近い空港はシュチェチンにある。

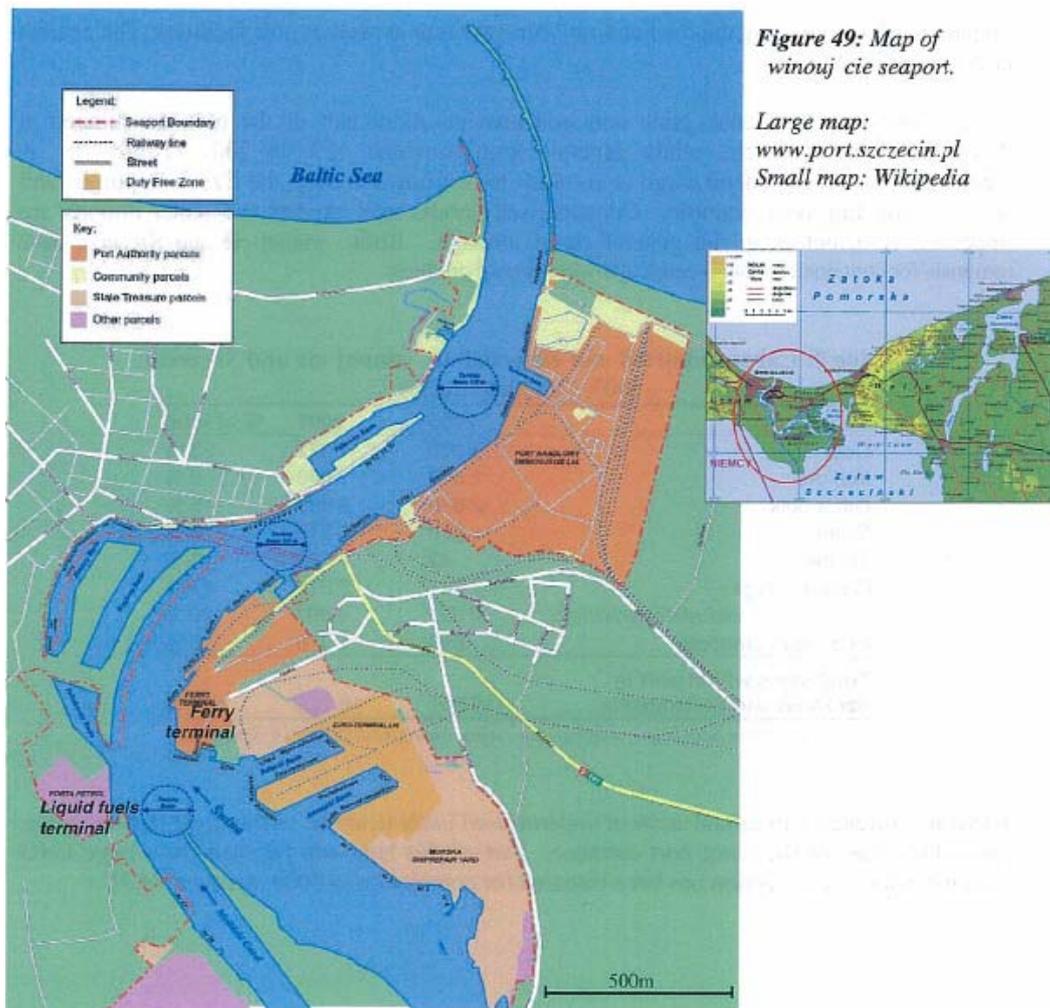
2007年のシフィノウィシチェとシュチェチンでの船積みトン数の約半分が、石炭、穀物、及び鉄のようなバルク製品であり、一般貨物は42%であった（表9）。一般貨物の大きな部分は、ドイツ、チェコ共和国、及び他の中欧諸国への、又はそれらからの通過である。コンテナ貨物、鉄鋼輸出品、及び紙輸入品は、一般貨物トン数の重要な貢献者である。シフィノウィシチェとシュチェチンには、コンテナ、一般貨物、及び種々のバルク製品用のターミナルがある。

Table 9: Cargo imported and exported at winouj cie and Szczecin.
2007. Thousand tonnes.

Cargo	2006	2007	% of total
Coal	5 088	4 322	23 %
Iron ore	1 349	1 086	6 %
Other bulk	2 676	2 899	15 %
Grain	1 813	1 516	8 %
Timber	42	65	0 %
General cargo	7 541	7 818	42 %
<i>including by ferries</i>	4 391	4 891	26 %
Petroleum products	698	1 018	5 %
Total sales within port in Szczecin and Swinoujscie	19 207	18 725	100 %

Source: Port Szczecin- winouj cie citing Statistical office in Szczecin

現在シフィノウィシチェ港湾設備近くに、特に港口外側の東に多くの地域に十分活用されていない土地がある。この土地の一部は大型 LNG ターミナルに使用される予定で、その建設は 2008 年完成に向かって始まっている（第 5. 4. 3 節）。



5.4.2 船舶交通量と LNG 使用の可能性

RoRo 船と RoPax 船

シフィノウイシチェでの RoRo 船と RoPax 船による貨物は、2006 年から 2007 年に 11% 増加し、数年間増加傾向が続いた。シフィノウイシチェでの定期運航としては、RoRo 船 2 隻と RoPax 船 5 隻が特定され、毎日数回ユースタッド (Ystad) (スウェーデン) 及びトレルボルグ (Trelleborg (スウェーデン)) へ出航し、より少ない回数でコペンハーゲン (デンマーク)、ニーネスハムン (Nynashamn) (スウェーデン)、及びレンネ (Ronne (デンマーク)) へ出航している。これらの船舶はポーランドの会社であるユニティライン (Unity Line) とポーリッシュバルティック SHIPPING (Polish Baltic Shipping) (ポールフェリー (Polferries)) により運航されている。RoPax 船の内 3 隻はかなり新しいが、他の 4 隻は船齢 30 年を越えるか、それに近い。それらはまもなく代替の必要がありそうであり、この代替船は LNG 燃料使用の候補者となる。



Figure 50: RoPax and RoRo vessels at winoujcie ferry terminal

Photo: www.port.szczecin.pl

他の船舶

シフィノウイシチェとシュチェチンには、バルト海と北海内のルートで、毎週又はそれ以下の出航頻度でコンテナフィーダ船と一般貨物船によるいくつかの定期便がある。これらはフィンランドとスウェーデンからの紙輸送が含まれる。



Figure 51: Container feeder vessel arriving at the winouj cie container terminal

Photo: www.port.szczecin.pl

シフィノウイシチェ近くのシュヴィナ川にかかる橋がないので、この川を横切る地元の輸送には、フェリーによる横断が2ヶ所で提供されている。数隻のフェリーは次の数年以内に代替が必要で、これらに関してその地方自治体より LNG 推進に対する配慮が提案された。

5.4.3 LNG 燃料補給の展開

シフィノウイシチェでの LNG 燃料補給は、シフィノウイシチェでの大型 LNG 輸入ターミナル計画により特に適切になった。そのターミナルは港口の東側防波堤から近い距離に位置することになる。このターミナルは、一般的な天然ガスをポーランド国内パイプラインシステムへ供給するのに寄与し、この国のロシアからの輸入依存を削減する目的を有する。LNG 輸入プロジェクトは、ポーランドの国内最大の石油・ガスサプライヤーである PNGiG 社により始まった。LNG ターミナルプロジェクトの所有権は、この目的のために設立した会社により定められる一方、PNGiG はターミナルへの LNG 輸入の確保に努めることになる。このプロジェクトはフィード (FEED)⁽¹³⁾ の段階に入り、2012 年に完成予定である。

LNG ターミナルは需要拡大に合わせて拡張できる。ガスの大部分はポーランドのパイプラインシステム用に再ガス化されるが、トラックと鉄道による LNG 輸出のために一部が整えられるので、比較的容易に LNG 燃料補給のための供給が可能になる。

シフィノウイシチェの燃料補給の物流に関する詳細計画は、LNG ターミナル計画を考慮して策定しなければならない。最終的には燃料補給専用ターミナルが必要であり、計画中の大型ターミナル隣接地と、シュヴィナ川上流 5 km 西岸の既存船用燃料ターミナルの二ヶ所の可能性が適切であると特定された。

¹³ Front end engineering & design (基本設計業務)

5.4.4 要旨と結論：シフィノウイシチェにおける将来の LNG 燃料補給

シフィノウイシチェ関連の定期的な運航量は、リューベックに比べれば明らかに少ないが、LNG 用に考慮できる RoRo 船と RoPax 船の定期運航便がある。そこに計画中の大型 LNG ターミナルにより、費用効率の高い供給設備の可能性が生まれる。LNG 燃料補給の供給システムの一部としてシフィノウイシチェを開発する次のステップとしては、以下が挙げられる。

- － 好ましくは LNG ターミナルに荷揚げの可能性を含むシフィノウイシチェの燃料補給目的のための LNG 物流計画。
- － ターミナルでの LNG 購入の実現性の確立。
- － シュヴィナ川を横断する新しい地方フェリー用燃料として LNG を追求。
- － シフィノウイシチェに就航する将来の定期運航船舶用の燃料オプションとして LNG を提案。

5.5 将来の LNG 燃料補給港：ストックホルム (Stockholm)

ストックホルムはスエーデンの首都で第一の都市であり、周囲地域と郊外を含む住民 130 万人の都市である。ストックホルムは大きな列島に位置し、メーラレン湖 (Lake Malaren) と短距離の川により連なっている。

5.5.1 現状

ストックホルムの港湾管理部 (ストックホルムハムナール (Stockholms Hamnar)) は、異なる場所、ストックホルム市の港、ニーネスハムン (Nynashamn) (ストックホルム市南 60 km)、及びカッペルスカール (Kappelskar) (ストックホルム市北東 90 km) の 3ヶ所の港湾設備を含む (図 5 2)。ストックホルムはバルト海の最大港湾には属さないが、フィンランド、ロシア、及びバルト海沿岸諸国へバルト海を横切る乗船客、自動車、及び貨物のための重要な港である。

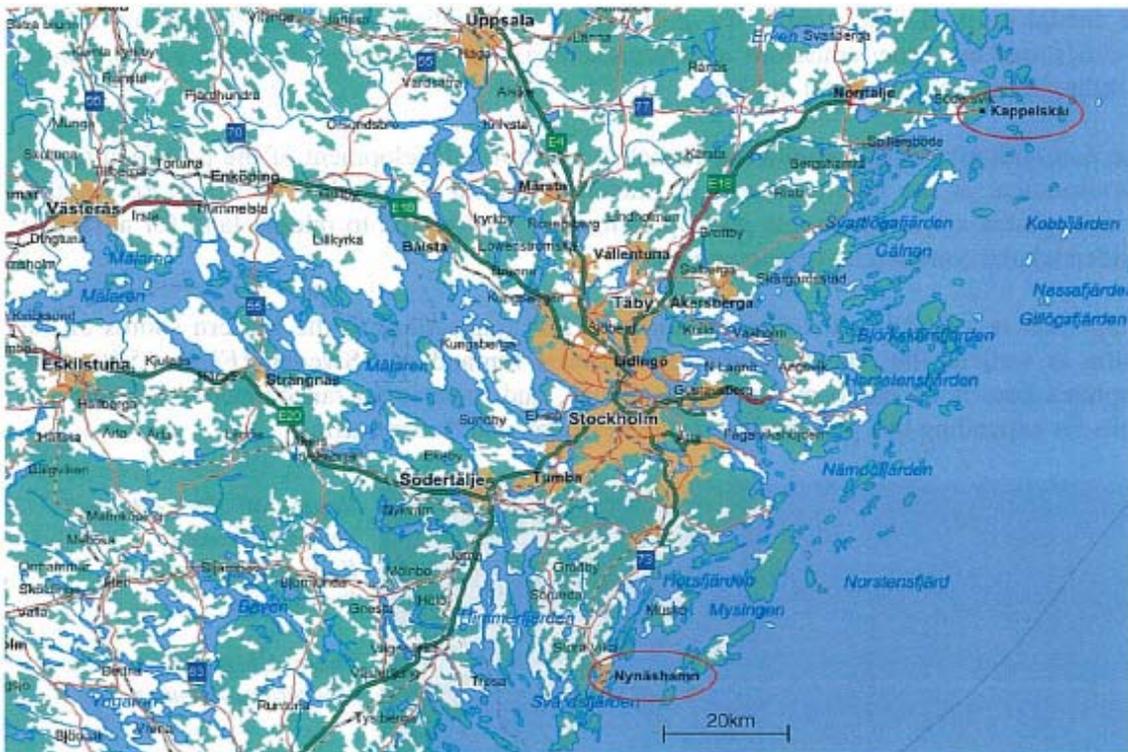


Figure 52: Regional map of Stockholm with commercial ports



Figure 53: A Baltic ferry entering Värtan harbour in central Stockholm.

A port redevelopment has been initiated for this area.

Photo from Stockholms Hamnar.

ストックホルム中心部の港は、コンテナ埠頭 2 ヶ所と RoRo 船埠頭 9 ヶ所を含む全長 1 6 0 0 0 m の岸壁 5 4 ヶ所を含む。ストックホルム市の港は、フィンランドとバルト海沿岸諸国への大型 RoPax 船フェリーと同様に、列島に就航する小型船が使用している(図 5 3)。ストックホルム中央港への年間 5000 回以上の寄港の内、その三分の二は RoRo 客船であり、残りの大部分はクルーズ船と他の客船である。ストックホルム中央港へのコンテナ交通量は限りがある。またストックホルムは、タンカーによって受け入れられる石油精製品用の

ターミナル設備を有する。

大気への排気と同様に騒音は、特にストックホルム中央港における船舶の交通に関連してデリケートな問題である。この港では、海運会社が環境影響を低減するためのインセンティブとして、使用燃料の品質と他の排気関連パラメーターによる差別化した港湾手数料が適応される。

ストックホルム港湾管理部は、ストックホルム中心部北東周辺のパルタハムン（Vartahamnen）にある港湾設備の大規模な再開発に着手した。この再開発の目的は、市の港湾業務の合理化と、魅力的な居住地と商業地の開発に向けた土地の放出である。カッペルスカールはバルト海の東海岸と同様に、フィンランドとスウェーデン間のオーランド（Åland）列島を高速で接続する RoRo 船と RoPax 船のターミナルである（図 54）。ここでは、トラックによる貨物移動が強調され、鉄道との接続はない。より多くの RoRo 船と RoPax 船の交通のためにこの港湾設備の拡張計画がある。



Figure 54: The RoRo and RoPax terminal at Kappelskär, North of Stockholm.

Photo: Christian Lagereke - Stockholms Hamnar

ストックホルム市南 60 km のニーネスハムンは、現在ゴトランド（Gotland）島と、ポーランドとラトビア共和国との接続（RoPax 船）に利用する港湾設備を有する。ニーネスハムンは、ビチューメン（アスファルト）のような重質留分産物専門のニューナス石油（Nynas Petroleum）所有の石油精製所の場所でもある。ニーネスハムンの港は鉄道への接続を有する。

ニーネスハムンの港では、隣接工業団地と物流センターと共に、コンテナの取り扱いと車輛製品のための大規模な拡張が進んでいる。これはその地域での需要拡大と、ストックホルム中央港のスペースと環境上の制約のためである。この拡張の第一段階は 2010 年から稼働可能になるが、更に将来多年にわたる拡張が示唆されている（図 55）。



Figure 55: Nynäshamn and plans for a new RoRo and container terminal. Photo and illustration from Stockholms Hamnar www.stockholmshamnar.se

石油精製所に隣接し、2010年から操業予定のLNGの輸入ターミナルが、ニーネスハムンに計画されている。そのターミナルのLNGタンク能力は 20000m^3 で、大型LNGタンカー（ 125000m^3 以上）の受け入れには適さないが、大きさが $7500-12000\text{m}^3$ 程度のLNG船の受け入れには良く適するはずである（第4.3節）。

5.5.2 船舶交通量とLNG使用の可能性

RoRo 船と RoPax 船

29隻、主としてRoPax船が、ストックホルムから定期的スケジュールで運航していることが特定された。これらの平均船齢は17.5年で、8隻は25年以上と古く、残りの船齢についてはかなり均一に分布している。これらの船舶はフィンランドの目的地、更にはタリン（Tallinn）とリガ（Riga）（エストニアとラトビア）へ、毎日定期的に出航している。既存船舶は代替が必要なので、新規船舶はLNG使用の候補者になりうる。

ストックホルムから定期サービスを運航している主要海運会社は、シリヤライン（Silja Line）、バイキングライン（Viking Line）、及びフィンライン（Finnlines）である。ポールフェリーラインとバルティックスカンジナビアライン（Baltic Scandinavia Line）は小規模である。

ストックホルムからバルト海を横断する交通量を、2008年1月—10月の10ヶ月と、2007年の同月間と比較すると、乗船客で2%（乗船客940万人に達する）、物品で1%（570万トンに達する）増加した。この時期の終わりに向かって物品交通の明らかな弱まりが明白で、多分世界経済の展開のせいであろう。

他の船舶部門

ストックホルム港のコンテナ交通量は、主として現在欧州外からの輸入物品に関して一年

当たり30000-40000TEUに限られ、ハンブルグ（Hamburg）とブレーマーハーフェン（Bremerhaven）のような大型コンテナ港で物品をフィーダサービスに移す。ニーネスハムンでの新しいコンテナと RoRo 船の港の設置により、コンテナ輸取引の世界的増加傾向に応じて、この地域のコンテナ交通量を大きく増加する可能性がもたらされる。トランセック（Transek）（2005年）の市場分析によると、ストックホルム港地区のコンテナ年間交通量が84000TEUから178000TEUの場合について三つのシナリオを定め、全ての場合で港湾設備の改良により交通量の大幅増加が表わされた。コンテナフィーダ輸送は、LNGの潜在的な使用者として Ro-Ro 輸送と同様の利点がある。

バスや他の車両を含む幾つかの目的のために、スウェーデンは再生可能燃料としてバイオガスの利用を大展開してきた。この目的のためのバイオガスの利用は、LNGの使用と同様に多くの挑戦を提起し、又 LNGはこの目的のためにバイオガスを補完するであろう。ストックホルムには、多数の列島地方への船舶サービスが有り（図56）、更には街の輸送システムの一部にもなっている。これらは乗船客だけの船舶と、自動車や貨物との組み合わせが挙げられる。この船舶の最大船主は公共機関所有の会社（Waxholmsbolaget 社）である。市の政治家は、バイオガス燃料焚きによる船舶の導入に興味を示している。



Figure 56: A local passenger ferry in winter conditions near Stockholm. Photo from Waxholmsbolaget.

5.5.3 LNG 燃料補給の展開

かねてからトラックにより少量の LNG がノルウェーからストックホルム近くの小型ターミナルに輸送され、LNG が公共車両用輸送燃料としてバイオマスのバックアップとして使用されてきた。少量又は特別な事情では、このようなノルウェーからのトラック輸送が行われたが、RoPax 船又は RoRo 船の燃料のように大量となる場合は、経済的となりそうにもない。

ストックホルム地域において RoPax 船と他の定期船が LNG へ広範囲に転換するというシナリオでは、その中央港とカッペルスカールと同様にニーネスハムンで LNG 燃料が補給されなければならない。RoPax 船は厳しいスケジュールで運航されており、通常燃料補給の

ために余分に停泊する余裕はない。従って RoPax 船はそのターミナルで燃料補給する必要がある。しかし、RoPax 船のターミナルはしばしば忙しい場所であり、適切な LNG 燃料補給設備のある場所を見つけるのが難しいであろう。燃料補給目的の小型容量タンク及び／又は燃料補給用バージが、将来恐らくこれら三つの港付近に必要になり、近いうちに可能な場所を特定することが有益であろう。

5.5.4 要旨と結論：ストックホルムにおける将来の LNG 燃料補給

ストックホルムの三ヶ所の構成港における LNG 燃料の補給は適切であり、街でのより清浄な大気に大きく寄与するものである。最も重要な可能性は、フィンランドとバルト諸国を目的地とする RoPax 船の運航に関するものである。ニーネスハムンやカッペルスカールの拡張に関連する RoRo 船とコンテナ交通量の増加により、また LNG 増加の可能性と同様に、LNG と液化バイオガスを組み合わせて用いる地元船泊の増加の可能性をもたらす。燃料補給作業に関して、有効な地元解決策を考え出す必要があり、その解決策は特に RoPax 船の LNG 燃料補給の展開における重要課題でもあろう。