

### 2.3.3 試設計結果

#### 2.3.3.1 主要目の検討結果

電気推進型内航 LNG 焚き船 2 種類について表 2. 1. に示す基本計画方針に沿って、試設計を行った結果の主要目を表 3. 1. に示す。それぞれ現存船をベースに LNG 焚き SES にしたものである。

表 3. 1. 電気推進型内航 LNG 焚き船の主要目

			LNG焚き2軸SES型計画船		LNG焚きツインポッドSES型		
			749型内航タンカー(Type II)		3,000型フェリー		
			白油、ケミカル	沿海、	旅客、車	限定沿海	
LxBxD & Dispt.	Loa	m	74.150		79.000		
	Lpp	m	69.950		72.900		
	B mld	m	11.500		16.000		
	D mld	m	5.200		4.800		
	d mld	m	4.700		3.400		
	D.W.	t	1,750		680		
	Light Weight	t	939		2,043		
	Gross Tonnage			749		3,000	
Capacity	Cargo	m <sup>3</sup>	1,700		130 乗用車		
	Ballast	m <sup>3</sup>	600		260		
	H.F.O./D.O./LNG	m <sup>3</sup>	55		20	90	20
	D.W./F.W.	m <sup>3</sup>	50		30		0
Speed	Vs (Des. Full)	kts	12.0 (15%)		13.5 (15%)		
	Vs (Ballast)	kts	12.9 (15%)				
Main Engine	Eng.System & Number		電動機		2	2-POD/CRP、2-電動	2
	GAS ENG.		ヤンマー-AYG40L-SE		2	ヤンマー-AYG40L-SE	5
	Eng.Type & Number		D.ENG. ヤンマー-6EY22ALW		1	ヤンマー-6EY22ALW	1
	MCR0 (kW × rpm)		500	720.0	1,300		900.0
	MCR (kW × rpm)		500	196.8	1,300		238.0
	NOR (kW × rpm)		425	190.0	1,200		231.5
			85 %MCR		92 %MCR		
	F.O.C. (M/E)rate		g/kwh	174		174	
	F.O.C. (M/E)		t/day	3.9 LNG		11.5 LNG	
F.O.C. (DG)		t/day	0.5 LNG		0.9 LNG		
Cruising Range			sm		1,322		693
Aux.Mach	Boiler				1-GAS Hot Water Boiler		
	Bow Thruster		1-CPP 1.0m、3.8T、220kw		1-CPP 1.27m、5.5T、370kw		
	Generator		2 - GAS.G 745/680 kW×450V 1 - DG 970/900 kW×450V 1 - EG 120 kW×450V		5 - GAS.G 745/680 kW×450V 1 - DG 1370/1300 kW×450V		
Dk.Mach	Windlass (kN × m/m)		2-EH 50/50kN×9/15		2-EH 78.4kN×9m		
	Moor. Winch. (kN × m/r)		2-EH 50kN×15m		2-EH 78.4kN×10m		
	Steering Gear		2-EH 3.7kw×2		2-EH 7.5kw×2		
Crew & Passenger			3 + 5		24 + 726		
Prop.	Prop.No×Type		2 CPP		2 CRP+POD		
	Brade No.		4 AI-Br		4 AI-Br		
	Prop.Dia		m		2.700		2.600

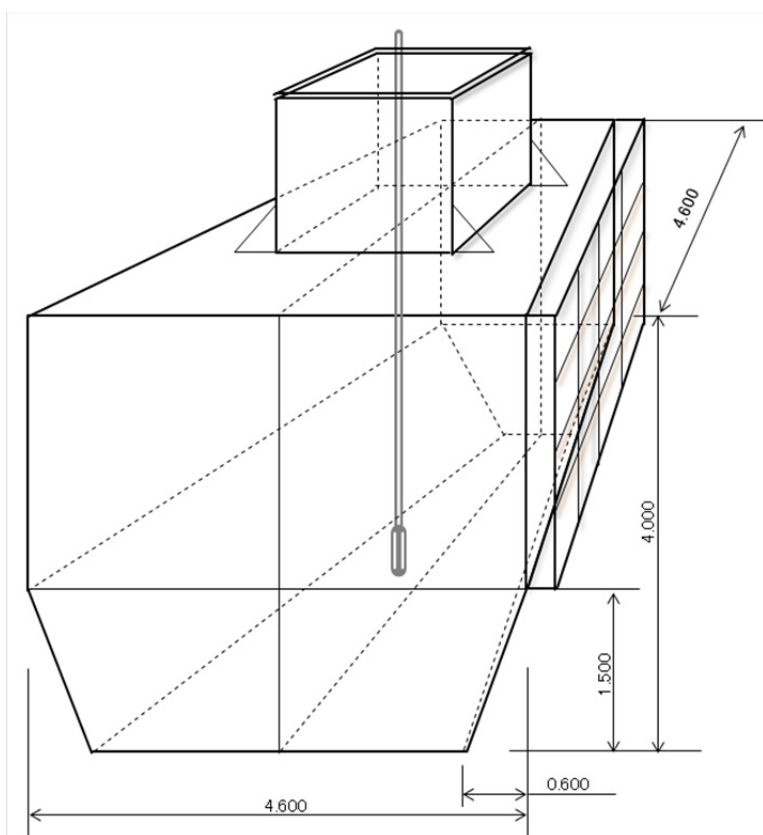
### 2.3.3.2 概略配置図の検討結果

#### (1) 内航タンカーの検討結果

表 3. 1. の基本計画で示した 749GT 型内航タンカーの概略配置検討図を添付の図 7. 1. に示した。また図 7. 3. に 3,000GT 型内航フェリーの概略配置検討図を示した。

内航タンカーの例では通常ならば、機関室前方に LNG タンクと機器を配置する区画を設ける。この分貨物槽の容積が減少するだけでなく、貨物の重心位置が船首方向に移動する。これにバランスさせるために浮心位置を船首方向に移動させる。しかしこの配置では船首肥大度が大きくなり性能が低下する。SES の開発では電気推進装置の機関室配置の自由度を活用して機関室を切り詰め、重心、浮心を船尾方向に移動し船型改良をはかったものである。今回も 2 軸型 SES の船型開発の考え方に沿って、LNG タンクおよび機器を船首部に配置し船尾部の機関室は出来るだけ圧縮した配置とした。これにより重心位置および浮心位置を船尾側に動かし、船首肥大度を小さくし、船型性能の向上に努めた。

船首部の狭い区画に LNG タンクを格納するには円筒型では難しいため、図 3. 1. に示すような容積効率の良い SPB 方式の LNG タンクを想定した。本図は狭い小型船の船首部に LNG タンクを配置するために必要なタンク形状と容積を推定したものであって、SPB タンクとしての成立性を確認したものではない。それでも十分な容積を確保することが出来ず、航続距離を減じ、2 往復分の燃料確保が限度であった。LNG タンクも単純な直方体形状ではないため SPB (Type-B) の認定を得るためには、構造解析等が必要になる。しかし船ごとにタンクの寸法形状が異なるのでは解析費用がかさみ経済的ではないので、標準化を進めることが重要である。



IGF 暫定ガスガイドラインによれば、「ガス貯蔵タンクは舷側から B/5 と 11.5m の短い方の距離以上離すこと」「シェル外板から 760mm 以上離すこと」との規定があり、さらに「旅客船および多胴船以外の船舶の場合は、舷側から B/5 以内にタンクを置くことが許可される場合がある」との規定がある。本船の場合 B/5 は 2.3m であり、これを厳密に確保しようとするるとタンク容積はさらに減少する。斟酌規定の適用が必要であるが、現時点では適用基準が明確ではない。適用可という想定のもとに検討を進めた。

図 3. 1. LNG タンクの外形形状図

## (2) 内航フェリーの検討結果

内航フェリーの例では車両甲板下の機関区域に LNG タンク、機器を配置した。このクラスでは航海距離が短く、搭載燃料が少ないこともあり、スペース的に余裕があるので、円筒型の LNG タンク 2 基でも十分に配置することが可能であった。ただしタンク上方に居住区画を配置してはならないとする規則により制限される場合には上部甲板の船尾寄りに配置することとし、図 7. 3. に併せて示した。この区画は定員数に係わる居住区画ではないが、オープンデッキとして乗客が多目的に使える場所であり、規則が許せば、タンクは下部の機関区画に配置するほうが効率的である。また暴露部に配置する場合にはタンクの防触にも配慮を払う必要がある。特に今回の例の場合にはタンクの上部区画は解放された車両甲板であり、万一 LNG が漏洩した場合でも、船内に滞留することなく外部に放出される。今回の事例を参考に今後の検討課題とする。

煙突は従来と同じように設置したが、煙害対策も不要であるので、廃止あるいは形状および配置に更なる工夫の余地がある。エンジンの排気システムを含め見直すことが可能である。

### 2.3.3.3 LNG 焚き機関と推進システムの検討結果

船用ガスエンジンは実用化のための開発中であり、現時点で採用できる機種が 1 種類しかなく、749GT 型タンカーと同じ機種のガスエンジンを 3,000GT 型フェリーでも使用した。結果として 5 基のガスエンジン発電機が必要となった。スペース的には配置可能であったが、コスト、維持管理および運航管理上好ましくない。船用ガスエンジンのシリーズ化の完成を待って、大型の船用ガスエンジンとし、基数を減らす方が良いので、船用のガスエンジンのシリーズ化が完成すれば見直すことが必要である。

### 2.3.3.4 LNG 燃料システムの検討結果

添付の図 7. 2. の LNG FUEL SYSTEM PIPING DIAGRAM を示す。完全 2 重化のシステムとしたが、DUAL FUEL の解釈如何では簡略化の余地は残る。

### 2.3.3.5 試設計結果の評価

#### (1) 船型について

749GT 型内航タンカーと 3,000GT 型内航フェリーについて試設計を行った。いずれの場合も技術的には成立する可能性確認できた。しかし 749GT 型についてはそのスペースの制約からかなり厳しく、さらにこれより小型の 499GT 型の場合には一層困難になるものと予想された。

499～749 型クラス内航タンカーにとっては船尾部の機関室を広げて LNG タンク、機器を配置することは、貨物槽の重心位置をその分船首方向に移動、それに伴い浮心位置も船首方向に移動することになり、性能上好ましくない。従って今回の如く LNG タンクを船首部に配置し、性能と配置とを両立させることができた。さらに排気ガスの処理が容易であるので、ガスエンジン発電機自体も前方に移動する案も考えられたが、検討事項が多岐におよぶことから現案の範囲にとどめた。

## (2) 749GT 型内航タンカーの GT について

この種の 749GT 型タンカーでは IMO-TYPE II 適用の場合、通常カーゴタンク容量として 1,850m<sup>3</sup> は要求される。一方、本船の場合には LNG 燃料タンクの配置確保のため、100m<sup>3</sup> 程度少なくなり 1,750m<sup>3</sup> とならざるを得ない。

運搬する貨物の種類にもよるが DW の減少につながり、4. 経済性評価の中でも示されるように運航採算上の影響は非常に大きい。これをリカバーするには船の深さを約 200mm 大きくする必要があるが総トン数 (GT) が 749T を超えるため不可である。内航タンカーでは GT の要件は厳しく 1 トンでも超過すれば、船員の資格要件や、諸設備の要件が厳しくなりそのクラスの内航船として運航できなくなる。LNG 焚き船でなくても、NOx3 次規制をクリアするためには SCR 脱硝装置の設置のためエンジンケーシングを拡張する必要があり、GT が大きくなる。過去の居住環境の改善を目的として GT 規制を緩和したこともあり、今回のように、新たな環境規制である NOx3 次規制の要件を満足する船舶については GT を 50 トン緩和する政策的な処置が望ましい。

## (3) SES との組み合わせについて

SES を前提に LNG 焚きの検討を行った。両者の組み合わせは小型の内航船に対しては下記の点において非常に適していると判断された。

- ①発電機エンジンとして使用することによりプロペラからの負荷変動を回避できる
- ②実用化が進んでいる専焼ガスエンジンを使用できる
- ③複数のガスエンジンと 1 基の重油焚き DE により船として 2 元燃料化ができる

## (4) LNG タンクについて

LNG タンクとして想定した SPB タンク (IMO IGC TypeB) および 2 重殻円筒型タンク (IMO IGC TypeC) は現時点では、実物あるいは設計があるわけではなく、コンセプトがあるだけである。実際の設計展開時に IMO の規定に沿ったタンク設計、解析を行い、承認を取得する必要がある。その結果如何では今回想定した仕様に若干の変更が生じる可能性がある。

## (5) LNG 移送ポンプについて

LNG 燃料の搭載は 4 時間程度で完了できるものとして配管を決めたが、一方 LNG 燃料を主発電機に移送するポンプ容量はその燃料消費量に合わせた。結果として LNG タンクに積み込む能力 (4 時間) と搬出する能力 (60 時間) に大きな差が生じた。通常のオペレーションでは問題は生じないが、事故、故障時の安全対策として、このままで良いかは改めて検討を要する。

## 2.3.4 経済性評価

### 2.3.4.1 建造コスト見積

#### (1) 749 型白油タンカーの概算比較見積

下記の A～D の 4 種の貨物船について相対比較による概算見積を行った。主要目を表 4. 1. に示す。概算見積結果を表 4. 2. とそれをインデックス表示したものを図 4. 1. に示す。

この概算見積の計算条件は下記とした。本計算条件は本調査における相対比較のために設定したものであり、実際の数値とは若干異なる場合がある。

A : 2 軸 SES 型 749GT 白油タンカー LNG 焚き

B : 2 軸 SES 型 749GT 白油タンカー NOx3 次規制適用 SCR 脱硝装置搭載

C : 2 軸 SES 型 749GT 白油タンカー

D : 通常型 749GT 白油タンカー

表 4. 1. 749GT 型白油タンカーの主要目比較表

		LNG 焚き 2 軸 SES	SCR 搭載 2 軸 SES 型計画船	2 軸 SES 型貨物船	通常型実績船
		A (燃料:LNG)	B (燃料:A 重油)	C (燃料C 重油)	D (燃料C 重油)
船体寸法	長さ	69,950 m	69,950 m	69,950 m	68,000 m
	幅	11,500 m	11,500 m	11,500 m	11,500 m
	深さ	5,200 m	5,200 m	5,200 m	5,350 m
	計画喫水	4,700 m	4,700 m	4,700 m	4,890 m
	載貨重量	1,750 t	1,750 t	1,750 t	1,850 t
総トン数(国内)		749 T	749 T	749 T	749 T
貨物容積または積載量		1,700 m <sup>3</sup>	1,850 m <sup>3</sup>	1,850 m <sup>3</sup>	1,880 m <sup>3</sup>
航海速力		12.0 knots	12.0 knots	12.0 knots	12.0 knots
推進機関	推進機関	2 軸 - 推進用電動機	2 軸 - 推進用電動機	2 軸 - 推進用電動機	1 - 低速 4 スローク DE 直結
	発電機関	2 - ガスエンジン発電機 D.ENG. 1 - 中速ディーゼル発電機	3 - 中速ディーゼル発電機 (SCR 脱硝装置付き)	3 - 中速ディーゼル発電機	
推進機関	MCR (kW × rpm)	500 196.8	500 200.6	500 200.6	1,320 290.0
	NOR (kW × rpm)	425 190.0	425 190.0	425 190.0	1,125 274.7
	燃料消費量	3.9 t/day	4.4 t/day	4.5 t/day	5.1 t/day
	航続距離	1,322 sm	3,678 sm	3,678 sm	3,678 sm
乗員数(法定職員 + 追加部員)		3 + 5	3 + 5	3 + 5	4 + 4

① 工費の単価は一律 4,690 円/h とした。

(中造工 21 年度の単価 4,599 円に対し 22 年度として 2% の上昇分を考慮した。)

② 鋼材単価は 105,000 円/t とした。鋼材歩留まりを 95% とした。

③ 船殻工事の工数は 40h/t とし、すべて内作とした。

④ 機器単価は実績より、重量あたり単価に割り戻して価格を概算した。

⑤ 白油タンカーの一般的な仕様とし、カーゴタンクは PE 塗装とした。

⑥ その他の条件は極力統一して、従来型とこれを SES にした場合との比較を行った。

⑦ LNG タンク、機器は該当する製品が既にあるものとし、開発費は見込まないものとした。

表 4. 2. 749GT 型白油タンカーの概算見積比較表

A:2軸SES型 LNG焚き				B:2軸SES型 SCR搭載				C:2軸SES型				D:通常型			
2	材料費 千円	工費 千円	価格 百万円	材料費 千円	工費 千円	価格 百万円	材料費 千円	工費 千円	価格 百万円	材料費 千円	工費 千円	価格 百万円	材料費 千円	工費 千円	価格 百万円
船殻構造	89,500	153,261	243	70,400	114,061	184	70,400	114,061	184	64,080	103,180	167	64,080	103,180	167
塗装防食	18,050	14,858	33	18,050	14,858	33	18,050	14,858	33	17,750	14,633	32	17,750	14,633	32
船体艤装	280,274	50,511	331	279,114	50,042	329	277,374	49,339	327	273,294	42,702	316	273,294	42,702	316
機関艤装	318,373	24,083	342	277,168	26,264	303	256,518	24,589	281	235,263	24,177	259	235,263	24,177	259
電機艤装	137,141	15,758	153	123,701	14,070	138	123,701	14,070	138	96,797	9,052	106	96,797	9,052	106
設計費		34,258	34		33,278	33		32,298	32		29,078	29		29,078	29
特別費			11			11			11			11			11
一般管理費			69			62			60			55			55
合計	843,338	292,730	1,216	768,433	252,573	1,094	746,043	249,225	1,067	687,184	222,822	976	687,184	222,822	976
		← 11% UP						← 14% UP				← 9% UP →			

\*本計算結果は本調査における相対比較のために算出したものであり、実際の建造コストとは異なる場合がある。

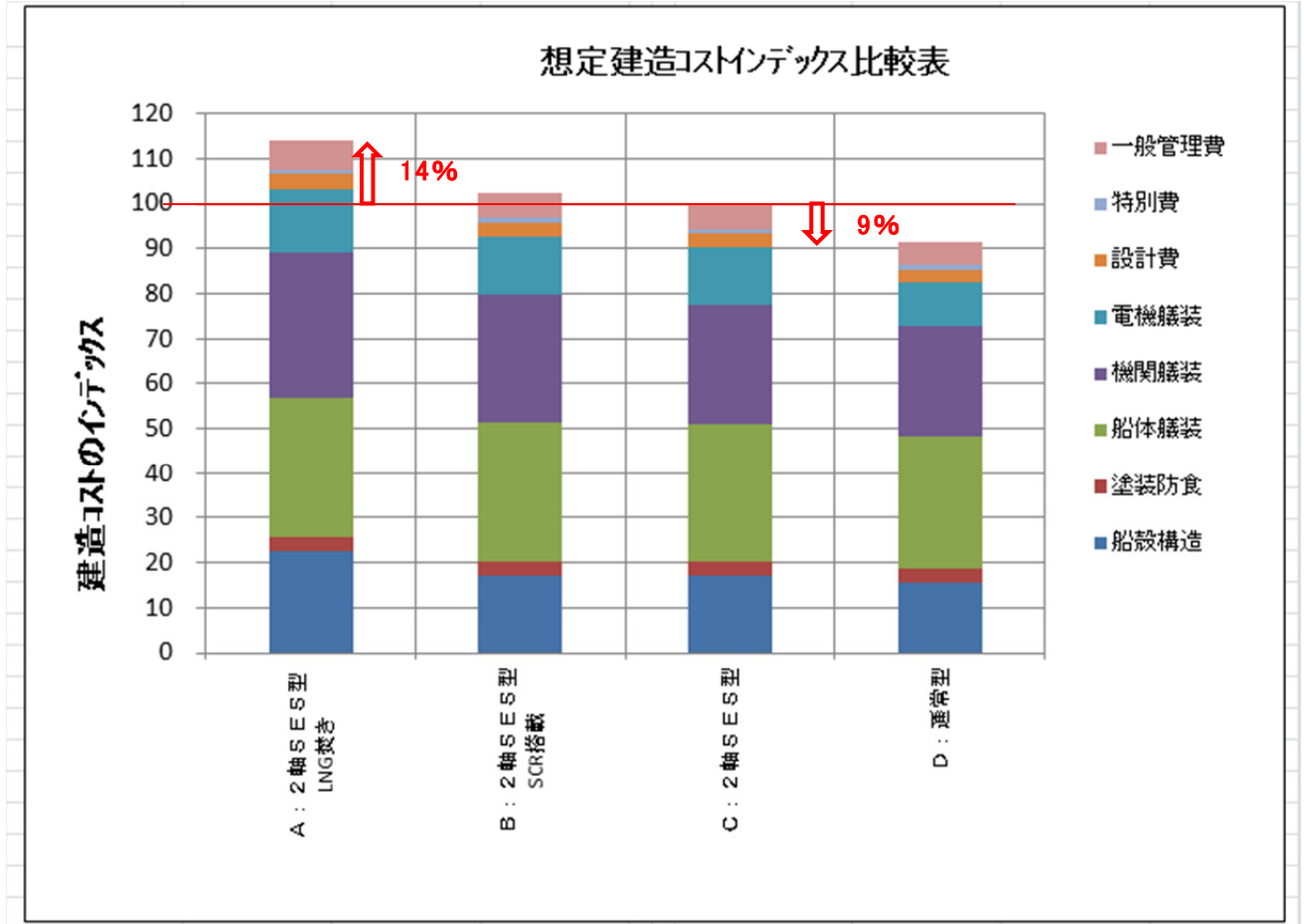


図 4.1. 749GT 型白油タンカーの概算見積比較

AとCの比較ではSESをLNG焚きにすると建造コストは約14%増加の結果となった。またBのNOx3次規制を適用してこれにSCR脱硝装置を搭載するとCより約3%増加となった。

さらに C の SES は D の通常型と比べて約 9%増加した。結局、LNG 焼きタンカー A は現在運航されている通常型のタンカー D に比べると約 23%建造コストが増加した。

この建造コストには SES に対する JRTT 等による金利優遇や助成は含まれていないので、実際には種々の助成策を考慮すると相対差はかなり小さくなるものと推測される。

実際の建造コストは仕様や造船所、その時々々の資材価格状況により、さらに造船市況により船価は大きく変動するのでこれだけで船価を論じることは出来ない。

## (2) 3,000GT 型旅客フェリーの概算比較見積

貨物船の場合と同様に下記の A~D の 4 種の旅客フェリーについて相対比較による概算見積を行った。主要目を表 4. 3. に示す。概算見積結果を表 4. 4. とそれをインデックス表示したものを図 4. 2. に示す。この概算見積の計算条件は 2.3.4.1 (1) のタンカーの場合と同一とした。

- A : ツインポッド SES 型 3,000GT 旅客フェリー LNG 焼き (以下 LNG 焼き船と略称)
- B : ツインポッド SES 型 3,000GT 旅客フェリー NOx3 次規制適用 SCR 脱硝装置搭載
- C : ツインポッド SES 型 3,000GT 旅客フェリー
- D : 通常型 3,000GT 旅客フェリー

表 4. 3. 3,000GT 型旅客フェリーの主要目比較表

		LNG 焼き ツインポッド SES	SCR 搭載 ツインポッド SES 型	ツインポッド SES 型	通常型旅客フェリー
		A (燃料:LNG)	B (燃料:A重油)	C (燃料A重油)	D (燃料A重油)
船体寸法	長さ	72.900 m	72.900 m	72.900 m	72.900 m
	幅	16.000 m	16.000 m	16.000 m	16.000 m
	深さ	4.800 m	4.800 m	4.800 m	4.800 m
	計画喫水	3.400 m	3.400 m	3.400 m	3.400 m
	載貨重量	680 t	680 t	680 t	690 t
総トン数(国内)		3,000 T	3,000 T	3,000 T	3,000 T
貨物容積または積載量		130 乗用車	130 乗用車	130 乗用車	130 乗用車
航海速度		13.5 knots	13.5 knots	13.5 knots	13.5 knots
推進機関	推進機関	2-ポッド型2重反転プロペラ	2-ポッド型2重反転プロペラ	2-ポッド型2重反転プロペラ	2-低速ディーゼルエンジン直結
	発電機関	5-ガスエンジン発電機 D.ENG. 1-中速ディーゼル発電機	4-中速ディーゼル発電機 (SCR脱硝装置付き)	4-中速ディーゼル発電機	
推進機関	MCR (kW × rpm)	1300×2 238.0	1300×2 238.0	1300×2 238.0	1620×2 310.0
	NOR (kW × rpm)	1200×2 231.5	1200×2 231.5	1200×2 231.5	1373×2 293.7
	燃料消費量	11.5 t/day	13.2 t/day	13.2 t/day	13.1 t/day
	航続距離	693 sm	739 sm	739 sm	739 sm
乗員数 + 乗客数		24 + 726	24 + 726	24 + 726	24 + 726

表 4. 4. 3,000GT 型旅客フェリーの概算見積比較表

A:ツインホッド型SES LNG焚き				B:ツインホッド型SES SCR搭載				C:ツインホッド型SES				D:通常型			
2	材料費 千円	工費 千円	価格 百万円		材料費 千円	工費 千円	価格 百万円		材料費 千円	工費 千円	価格 百万円		材料費 千円	工費 千円	価格 百万円
船殻構造	198,380	336,859	535	船殻構造	165,380	274,459	440	船殻構造	165,380	274,459	440	船殻構造	165,380	274,459	440
塗装防食	19,500	15,008	35	塗装防食	19,500	15,008	35	塗装防食	19,500	15,008	35	塗装防食	19,500	15,008	35
船体艀装	423,224	86,718	510	船体艀装	420,324	85,546	506	船体艀装	417,424	84,373	502	船体艀装	439,924	107,354	547
機関艀装	582,269	38,693	621	機関艀装	581,314	43,898	625	機関艀装	491,384	40,381	532	機関艀装	381,960	44,555	426
電機艀装	380,113	37,051	417	電機艀装	362,113	34,472	397	電機艀装	362,113	34,472	397	電機艀装	230,838	18,760	250
設計費		56,381	56	設計費		56,381	56	設計費		53,441	53	設計費		49,714	50
特別費			40	特別費			40	特別費			40	特別費			40
一般管理費			133	一般管理費			126	一般管理費			120	一般管理費			107
合計	1,603,486	570,709	2,347	合計	1,548,631	509,763	2,224	合計	1,455,801	502,133	2,118	合計	1,237,502	509,850	1,895

← 6% UR
→ 11% UP
← 12% UP →

\* 本計算結果は本調査における相対比較のために算出したものであり、実際の建造コストとは異なる場合がある。

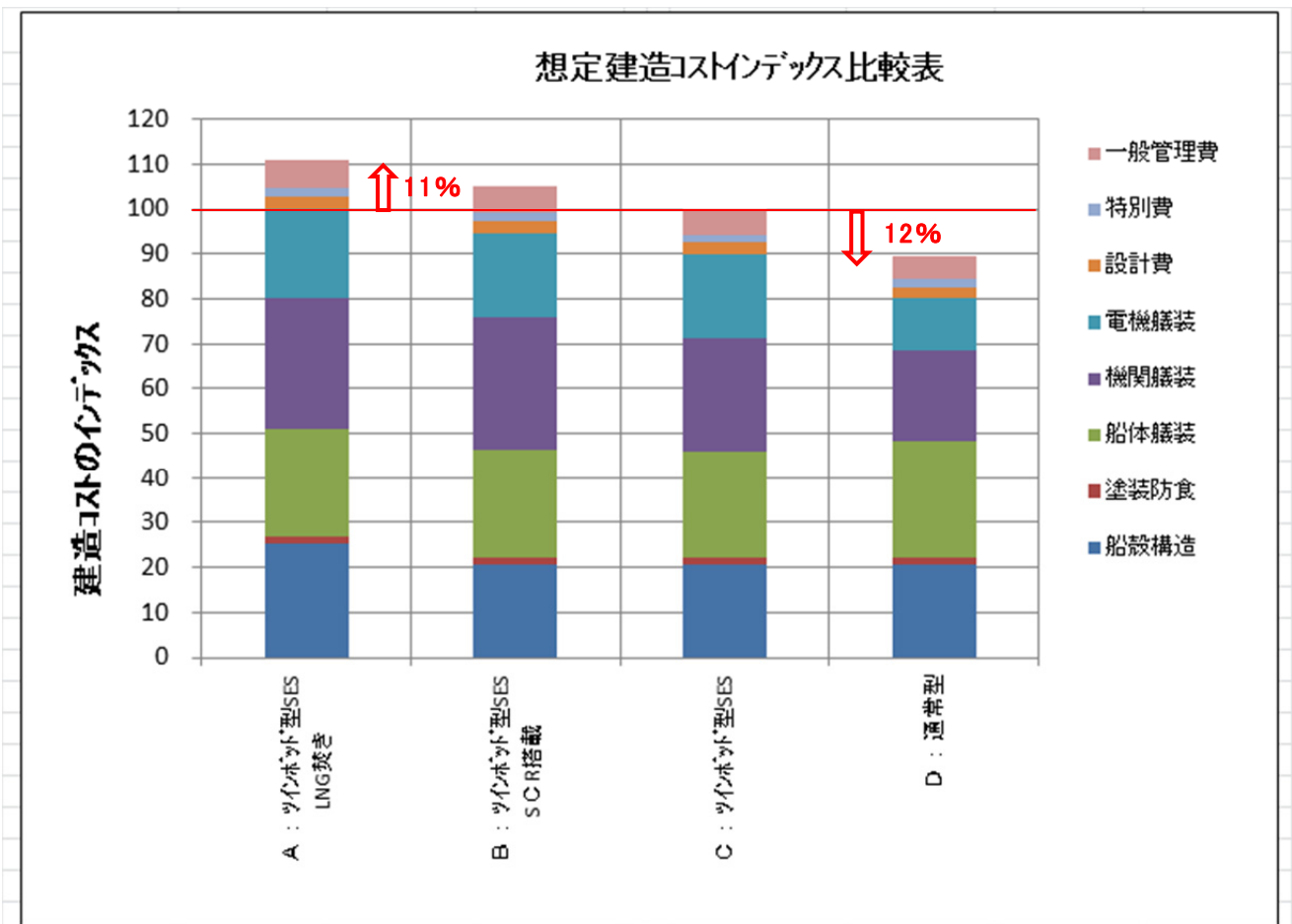


図 4.2. 3,000GT 型旅客フェリーの概算見積比較

A と C の比較では SES を LNG 焚きにすると建造コストは約 11% 増加の結果となった。また B の NOx3 次規制を適用してこれに SCR 脱硝装置を搭載すると C より約 5% 増加となった。



さらに C の SES は D の通常型と比べて約 12% 増加した。結局、LNG 焚きフェリー A は現在運航されている通常型のフェリー D に比べると約 23% 建造コストが増加した。内航タンカーの場合とコスト差の数値は若干異なるが、傾向は同じである。また実際の建造コストは仕様や造船所、その時々資材価格状況により、さらに造船市況により船価は大きく変動するのでこれだけで船価を論じることは出来ないことも同じである。

#### 2.3.4.2 運航経済性の検討

##### (1) 計算条件

LNG 焚き内航船の実現の可能性は NOx の 3 次規制の動向によるところが大きい。経済性の評価もまた大きな要因である。経済性評価はそのベースとなる条件が、その時の経済環境条件、建造造船所と造船市況、運航船会社と海運市況により大きく変化する。特に昨今の燃料費の高騰、急落はその経済性評価に大きな不確定要因となる。このような不確定要因を含むのが経済性評価ではあるが、電気推進型内航 LNG 焚き船の実現の判断の重要な材料であり、避けて通れない。現状で想定可能な条件の範囲で運航採算シミュレーションを行い、経済性評価を試みた。

運航採算シミュレーションを下記の 4 種類の船に対し、下記の条件にて行った。

- A : 2 軸 SES 型 749GT 白油タンカー LNG 焚き (以下 LNG 焚き船と略称)
- B : 2 軸 SES 型 749GT 白油タンカー NOx 3 次規制 SCR 脱硝装置搭載 (以下 SCR 船)
- C : 2 軸 SES 型 749GT 白油タンカー (以下 SES 船)
- D : 通常型 749GT 白油タンカー (以下従来船)

- ① 1 隻のタンカーのみを保有し、運航するオーナー兼オペレーターとした。
- ② 14 年で 99% の定額減価償却を行うものとした。
- ③ 船価の約 5% の 6,000 万円を自己資金とし、80% を共有船として JR TT より借入れ、残り約 15% を市中銀行から借入れるものとした。
- ④ JR TT 資金の金利を SES では 1.6%、従来船では 2.0% とする。返済は 14 年均等とした。
- ⑤ 市中銀行は 2.8%、10 年均等返済とした。短期借入の運転資金の金利は 3.5% とした。
- ⑥ SI 等の助成は考慮しないものとした。
- ⑦ 船価は表 4. 2. の建造コストに 5% 上乗せ船価とした。
- ⑧ 重油価格、LNG 価格と運賃とをパラメータとして計算を行うものとした。図 4. 2. に示す LNG 価格と内航船燃料油の価格の動向を勘案して表 4. 5. に示す価格帯を設定した。
- ⑨ 維持管理費は SES 船、LNG 焚き船では総船価の 0.9%/年、1.8%/5 年、従来船では 1.0%/年、2.0% とした。SCR 船では触媒の交換費用として +0.5% 上乗せした。
- ⑩ 乗組員は従来船では職員 4 名、部員 3 名の計 7 名、SES 船では SES 推進の国の施策に従い職員 3 名、部員 4 名の計 7 名とした。

表 4. 5. LNG、A 重油、C 重油の価格設定範囲

	比重	発熱量 kcal/kg		想定価格(円/kL)				
				ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
<b>C重油</b>	0.950	9,800		<b>43,000</b>	<b>53,000</b>	<b>63,000</b>	<b>73,000</b>	<b>83,000</b>
<b>A重油</b>	0.900	10,200	C重油価格の12,000円増し	<b>55,000</b>	<b>65,000</b>	<b>75,000</b>	<b>85,000</b>	<b>95,000</b>
			ケースSS: -30%	21,200	25,050	28,910	32,760	36,620
			ケースS: -20%	24,230	28,630	33,040	37,440	41,850
			ケースA: -10%	27,260	32,210	37,170	42,120	47,080
			ケースB: -5%	28,770	34,000	39,230	44,460	49,700
<b>LNG</b>	0.430	11,758	ケースC: A重油等価格	<b>30,290</b>	<b>35,790</b>	<b>41,300</b>	<b>46,810</b>	<b>52,320</b>
			ケースD: +5%	31,800	37,570	43,360	49,150	54,930
			ケースE: +10%	33,310	39,360	45,430	51,490	57,550
			ケースF: +20%	36,340	42,940	49,560	56,170	62,780

\*\*\*表 4. 5. の A 重油等価格の補足説明

LNG の KL あたりの A 重油等価格は下記算式で計算したものである。

$$\text{LNG の等価格(¥/KL)} = \text{A 重油価格} \times (\text{LNG 発熱量/A 重油発熱量}) \times (\text{LNG 液比重/A 重油比重})$$

$$41,300 \text{ 円} = 75,000 \text{ 円} \times (11,758/10,200) \text{ (kcal/kg)} \times (0.430/0.900) \text{ (kg/KL)}$$

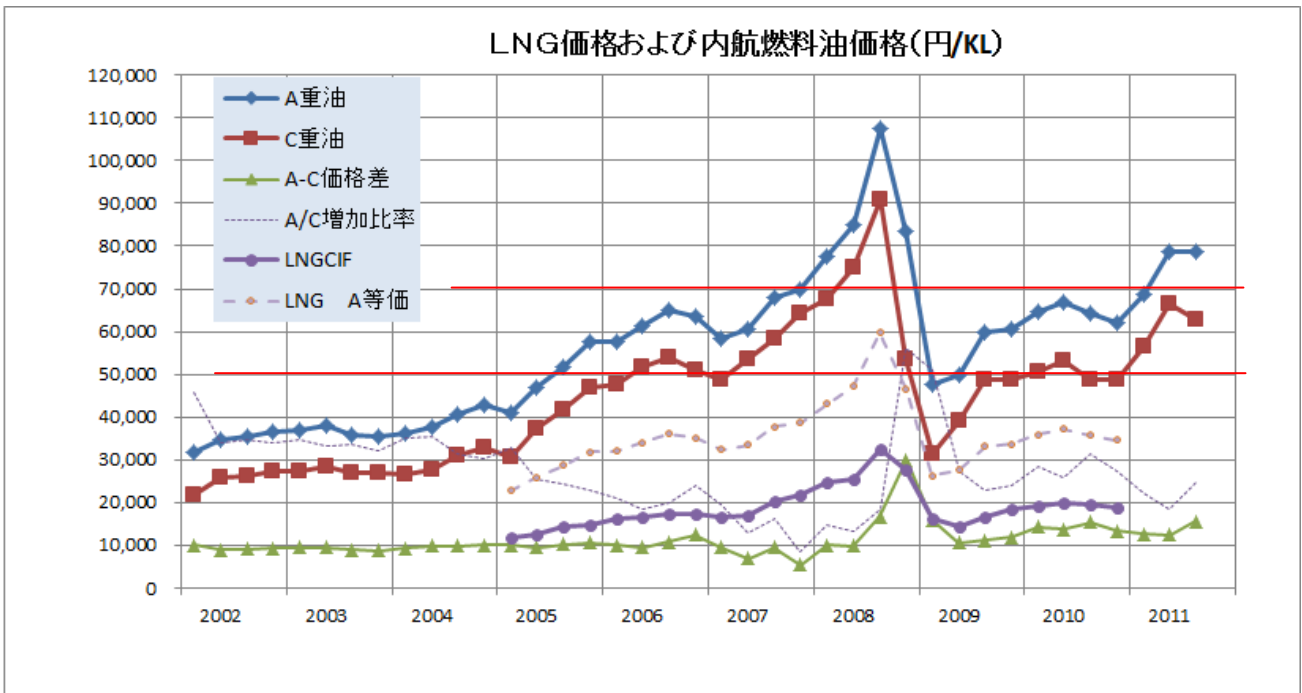


図 4. 3. LNG 価格と内航燃料油価格動向

## (2) LNG 価格の動向

図 4. 2. に LNG 価格と内航燃料油価格動向を示す。内航燃料油価格は日本内航海運組合連合会が内航船の燃料油の価格として調査し公表しているものである。A 重油と C 重油の価格差を図中緑の線で示した。2008 年の油価格高騰期を除けば、A 重油と C 重油の価格差は 10,000 円～12,000 円/KL でほぼ安定している。

図中紫色の線は LNG の日本着の CIF 価格の代表例を示している。LNG 価格は通常 mmbtu あたり \$ 建て公表されるが、これを為替レート、LNG の発熱量と比重を推定して重油価格と同じ単位で表示すると、2010 年は概ね 20,000 円/KL であった。薄紫の線は A 重油と発熱量比例で推定した上記の LNG 燃料の A 重油等価格である。概ね 35,000 円/KL である。この差の約 15,000 円が LNG 燃料として供給するための設備コストに相当する。運航採算計算では A 重油価格から推定した、LNG 燃料の A 重油等価格をベースにして±5%、±10%とした場合の計算を行った。仮に設備コストが 12,000 円で収まれば、LNG 価格は A 重油等価格よりも-8.5%の価格で供給できることになる。

表 4. 5. は運航採算計算のために設定した LNG、A 重油、C 重油の価格範囲である。A 重油をベースとし KL あたり 55,000 円から 95,000 円まで 10,000 円きざみで 5 ケース想定し、C 重油価格はこれより一律-12,000 円とした。LNG 価格は A 重油と発熱量あたりの価格が等しい価格を発熱量 A 重等価価格とし、これをベースとして±5%、±10%、±20%、-30% の変化をさせて設定した。

## (3) 749 型白油タンカーの運航採算結果

運航採算は船種 4 ケース×運賃 4 ケース×燃料価格 25 ケースの 400 ケースについて実施し、図表化した。この中から計算結果の 1 ケースを代表例として表 4. 6. 及びこのグラフを図 4. 4. に示した。表 4. 6. は各縦列が 1 年目から償却の終わる 14 年目、さらに 20 年目までの各年の採算を示し、各横行は上から運航状況を示す各指標、運賃収入、船費支出（固定費）および運航費（変動費）の各費用、さらに下の 2 行はこれらを差し引きした各年の損益と累積損益を示している。損益の行が緑字であれば黒字であることを示し、赤字であれば損失になっていることを示す。赤字になると運転資金を銀行からさらに短期借り入れすることになり、赤字は増大することになる。結局最終的に 14 年および更に 20 年たって利益が出たかどうかは赤丸で囲んだ累積損益の数値により判断することになる。

表 4. 6. のケースは A 重油価格が KL あたり 85,000 円で、C 重油価格が 73,000 円に対し、LNG 価格が A 重油と発熱量あたりの価格と等価な KL あたり 46,810 円の場合の計算結果である。表 4. 6. の例では最初の数年間は収支トントン状態が続き、定検で修繕費用のかさむ年には一時的に赤字になるが、その後徐々に収益が増加し、14 年後の累積損益で 1 億 1,000 万円の利益となる。14 年以降は減価償却も完了し、収益は急速に良くなり、累積 5 億 6,000 万円の利益となる。当初の 6,000 万円の自己資金の投資に対し、まずまずの資本回収率となる。ただし運賃、燃料費、金利等の仮定に基づくものであり、これらの条件が異なれば、結果は大きく異なる。それぞれの項目の結果に与える影響度と相対的な比較評価のための計算であることに注意を要する。

計算条件のパラメータを変更して行った 80 ケース分の計算の集計表を表 4. 7. に示した。全 400 ケースはこの表が 5 枚あることを意味する。この表の中で、赤枠で囲ったものが表 4. 6. で示した 1 ケースである。

これらの結果から LNG 焚き船と他方式との比較評価を行うために、図 4. 5. ～図 4. 7. を作成した。SES 船と従来船とを比較すると SES 船は船価が高い分だけ運航採算上不利になる。さらに LNG 焚き船や SCR 船になるとこの差はさらに拡大する。燃料油価格の上昇に伴いこの差は小さくなるが、今回の計算した範囲では得失が逆転することはなかった。

表 4. 7. から読むと、14 年間の累積損益差は A 重油価格 85,000 円/KL のとき従来船では 5 億 7,000 万円の利益、SES 船では 4 億 9,000 万円の利益、SCR 船では 2 億 5,000 万円の利益に対し LNG 焚き船では 1 億 1,000 万円の利益となる。従来船と比べ 4 億円、SCR 船と比べて 1 億 4,000 万円の収益差がある。これは運賃が  $\text{t/k m}$  あたり 5 円程度の場合であり、仮に 4 円と仮定するとそれぞれ 2,600 万円の赤字、1 億円の赤字、5 億円の赤字、7 億円の赤字となる。LNG 焚き船と従来船との損益差、LNG 焚き船と SCR 船との差は大きく運航採算上厳しいものがある。SES 船や LNG 焚き船は単に運航経済性の観点から導入を計画したものでなく、環境対策として計画したものであるが、「規則だからやむを得ない」ということでは看過できない問題であり、経済性改善の方策に取り組む必要がある。

図 4. 5. ～図 4. 7. 損益分岐図は運航採算計算の結果より損益分岐点をもとめ、A 重油価格と運賃指標をそれぞれ X、Y 軸にして従来船、SES 船、SCR 船、LNG 焚き船の 4 種船の損益分岐線を図で示したものである。損益分岐点は上記各種条件での運航採算計算より、14 年後の累積損益が船主の初期投資額（内航タンカーの場合 6,000 万円、内航フェリーの場合 1 億円）と同額になって、投資額を回収できる限界の燃料価格と運賃との関係を求めたものである。厳密にはこの 14 年後の累積損益も現在価値に直して評価する必要があるし、また 14 年後に船主にはこの他に JR TT との共有が完了し、JR TT から譲渡された償却済みの船舶が手元に残るので、厳密な意味での損益分岐点ではない。しかしこの船の価値、売船価格まで論議するのは本調査の主旨ではないので、ここではこのように単純化して定義した。この損益分岐点をつないだ損益分岐線より高い運賃であれば益となり、逆に低ければ損となる。A 重油価格が上昇すると当然損益分岐の運賃も上昇する。4 種船の船価が従来船、SES 船、SCR 船、LNG 焚き船の順に高くなり、燃費差により損益分岐線の傾きが異なる。従来船と比べて燃費の良い SES 船は A 重油価格の上昇に伴い、従来船との差が縮まる傾向にあるが、A 重油価格が今回計算した 95,000 円/KL までの範囲では、船価差が非常に大きいので損益分岐線が交わり状況が逆転することはない。

しかし LNG 焚き船（青線）と SCR 船（緑線）を比べるとその差はかなり接近していて、LNG 価格が A 重油と発熱量等価な場合には SCR 船よりも損益分岐線は高く不利であるが、LNG 価格が  $-5\%$  になると、両者はかなり接近する。LNG 価格が  $-10\%$  になると A 重油価格 90,000 円/KL 以上の範囲で LNG 焚き船が優位となる結果となった。

さらに図 4. 6. で示すように LNG 価格が  $-20\%$  まで下がると、LNG 焚き船は SCR 船よりもかなり優位になり、A 重油価格の全範囲で LNG 焚き船が優位となる。しかしそれでも C 重油焚きの SES と比べると経済性はまだ差が大きい。

逆に LNG 価格は A 重油等価格より +5%,+10%と上昇すると、逆に LNG 焚き船の経済性がますます悪くなり競争力を失うことになる。以上のように LNG 価格の動向が LNG 焚き船普及の鍵と言える。

14 年の償却期間が過ぎると償却費、金利の負担がなくなり利益が急増する。図 4. 4. において 14 年以降累積損益を示す赤線が立ち上がっているのはこの為である。当然燃費の良い SES が従来船と比べて良くなり、LNG 焚き船も良くなる。従って 14 年間で評価するのではなく 20 年以上の長期間で評価すると傾向は少し変わってくる。

表 4. 6. 運航採算計算結果の例

A3:2軸SES(LNG)		運航採算検討例(ケースA3)																				
投資概要		種別	白油	投資総額	船費	減価償却	自己資金	運航補助金	RTT資金	市中銀行	市中銀行	0	DW	0	主機	0	速力	燃費	発電機	燃費	比率	
			0.850	百万円	人	年	百万円	百万円	百万円	百万円	百万円	百万円	t	kn	t/d	kn	t/d	t/d	t/d			
運賃比			35.0	1,210.0	1	10	60	0	1,048	202	0	0	1,750	0	1,000	0	11.9	11.8	11.7	11.6	11.5	0.850
VLS			75	1,270.0	船建造費	2	14	期間	14	10	0	1,800	MC	950	Fuel	12.9	3.9	12.0	12.0	12.0	0.850	
投資(V/L)			2,625	乗出費	80	初期	5	5	金利	1.6	2.8	3.5	1,730	燃費率	1.74	Balast	12.8		1.74		0.900	
CO2削減効果(換算) (t/20M/DW)			0.0000000	その他	2	0	0	0	0	1	0	0	GT	746	燃料	LNG	0.430	15%	LNG	0.430	0.950	

損益予想	計算条件	代表値	年	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<b>輸送量</b>																									
航路・距離(片道)	国内	300 S.M																							
船速(海航航海時)	船速低下:0.10knots/年	12.0 Knots																							
船速低下:0.10knots/年	船速低下:0.10knots/年	12.0 Knots																							
積荷時間	積荷時間	48 h																							
航海時間	航海時間	48 h																							
揚子時間	揚子時間	12 h																							
回航時間	回航時間	12 h																							
1航路あたりの所要時間	1航路あたりの所要時間	96 h/航																							
運航回数	運航回数	75回																							
運航距離	運航距離	225,000 km																							
燃料消費量	燃料消費量	138,600 t																							
CO2排出量	CO2排出量	1,544 t																							
<b>収入・計</b>																									
運賃収入	運賃収入	360 百万円																							
運賃外収入	運賃外収入	0 百万円																							
運航補助金	運航補助金	0 百万円																							
余裕金運用	余裕金運用	0 百万円																							
<b>支出・計</b>																									
固定費	固定費	360 百万円																							
変動費	変動費	1,544 百万円																							
<b>運航採算</b>																									
運賃収入	運賃収入	360 百万円																							
運賃外収入	運賃外収入	0 百万円																							
運航補助金	運航補助金	0 百万円																							
余裕金運用	余裕金運用	0 百万円																							
固定費	固定費	360 百万円																							
変動費	変動費	1,544 百万円																							
<b>利益</b>																									
運賃収入	運賃収入	360 百万円																							
運賃外収入	運賃外収入	0 百万円																							
運航補助金	運航補助金	0 百万円																							
余裕金運用	余裕金運用	0 百万円																							
固定費	固定費	360 百万円																							
変動費	変動費	1,544 百万円																							
<b>利益</b>																									

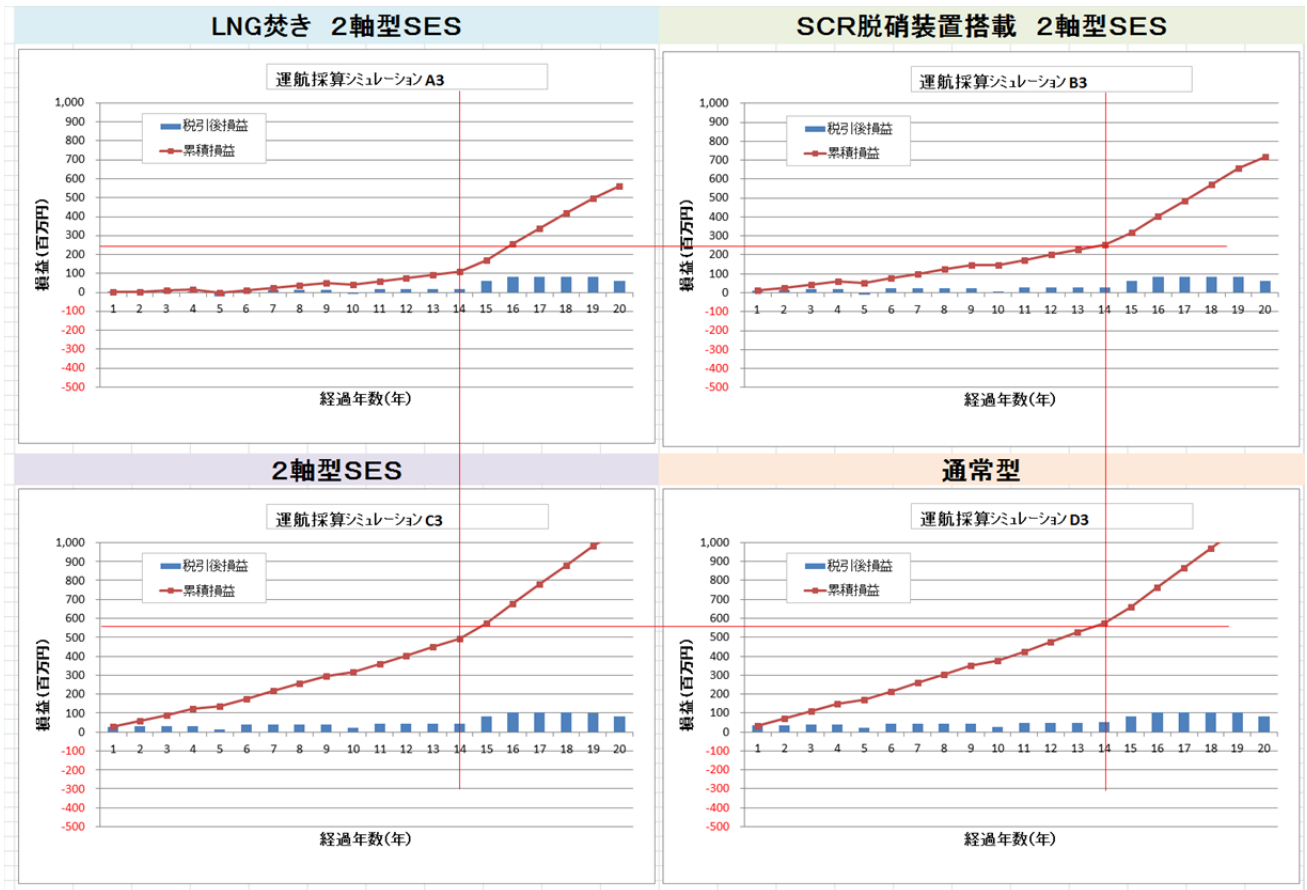


図 4. 4. 運航採算シミュレーション結果の例 (LNG 価格 46,810 円/KL)



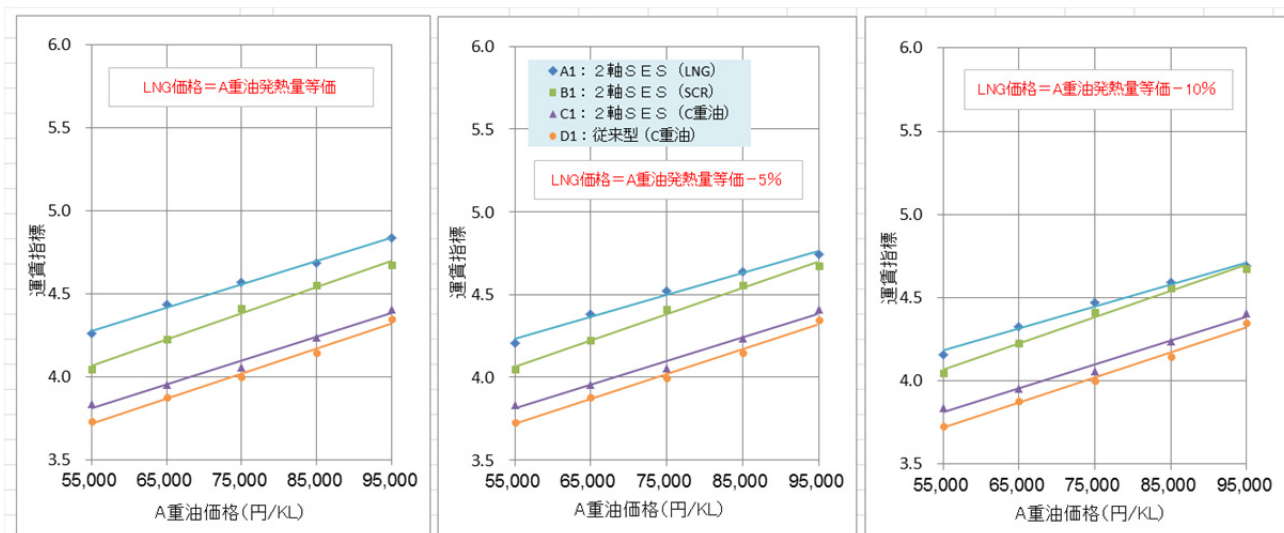


図 4. 5. 損益分岐図 (LNG 価格：左から A 重油等価、-5%、-10%)

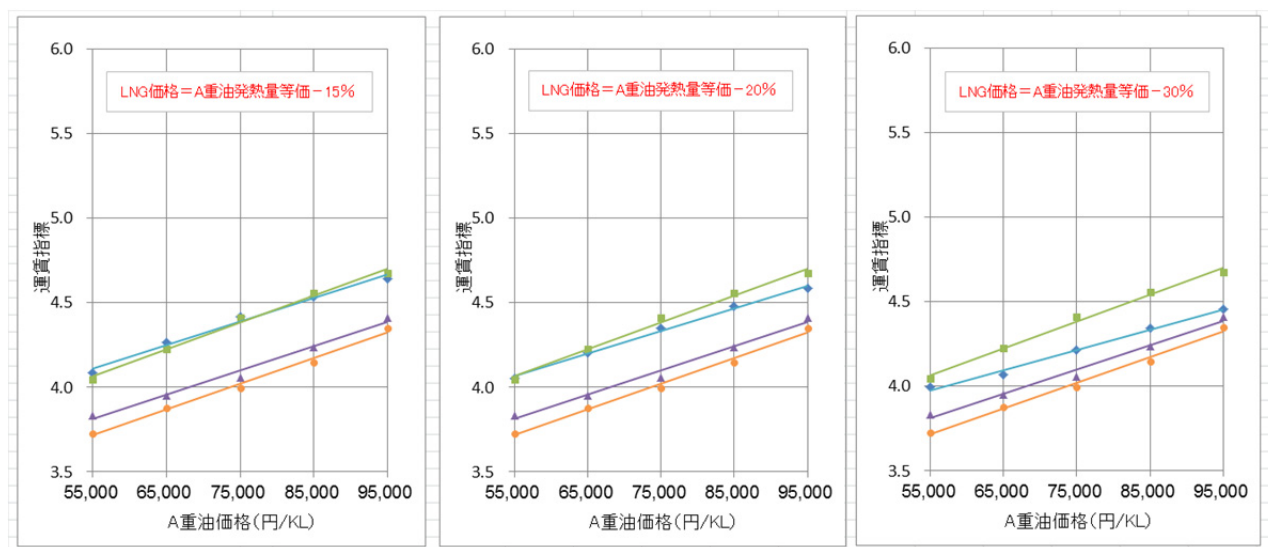


図 4. 6. 損益分岐図 (LNG 価格：左から -15%、-20%、-30%)

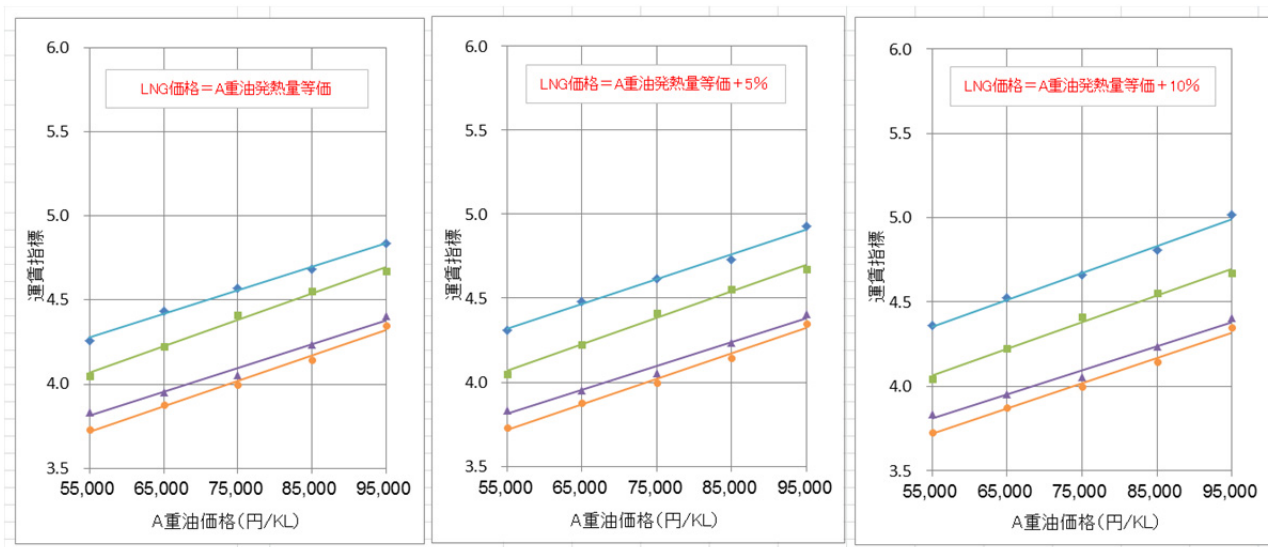


図 4. 7. 損益分岐図 (LNG 価格：左から A 重油等価、+5%、+10%)



\*\*\*図 4. 5. ～図 4. 7. 損益分岐図に対する補足説明

①運賃指標について

縦軸の運賃指標は貨物 1 t を 1km 運ぶ運賃を指標とした。現在石油製品の運賃は 5 円/t km と言われているので利益が出る範囲と言える。ただしこの損益分岐線は船主が建造時に投資した 6,000 万円を 14 年後に回収できるか否かで判定した線であり、事業としては十分な利益の出る線ではない。

②LNG 価格について

表 4. 5. に示すように、A 重油の発熱量等価な KL あたりの価格を LNG 価格のベースとした。このベースから -5%、-10%、-15%、-20%、-30%、+5%、+10%の価格をパラメータとして比較した。この 8 枚のグラフでは LNG 価格以外は同一であるので、**緑線 (SCR 船)**、**紫線 (SES 船)**、**赤線 (従来型)** は変化なく LNG 焚き船を示す**青線**のみが上下に変化して、比較船の損益分岐点と交差している。

③4 本の損益分岐線について

4 本の損益分岐線はそれぞれ従来型、SES 船、SCR 船、LNG 焚き船を示すが、損益分岐線の上下方向のズレは主として船価差が 9%、12%、23%UPしたことにより生じたものであり、損益分岐線の傾きは燃費差により生じたものである。傾きの小さい損益分岐線は燃費の良いことを意味する。2 本の損益分岐線が燃費差による傾きの違いにより交差する点が、燃費差により両者の関係が逆転した点である。LNG 価格が A 重油発熱量等価の場合では、4 本の損益分岐線は A 重油価格の動向により接近したり離れたたりしているが、交差はしていない。燃料油価格の動向により影響が出るが、関係が逆転することが無いことを示している。LNG 価格が -5%、-10%・・・-30%となると交差点が現れる。この点関係が逆転する可能性のあることを示している。

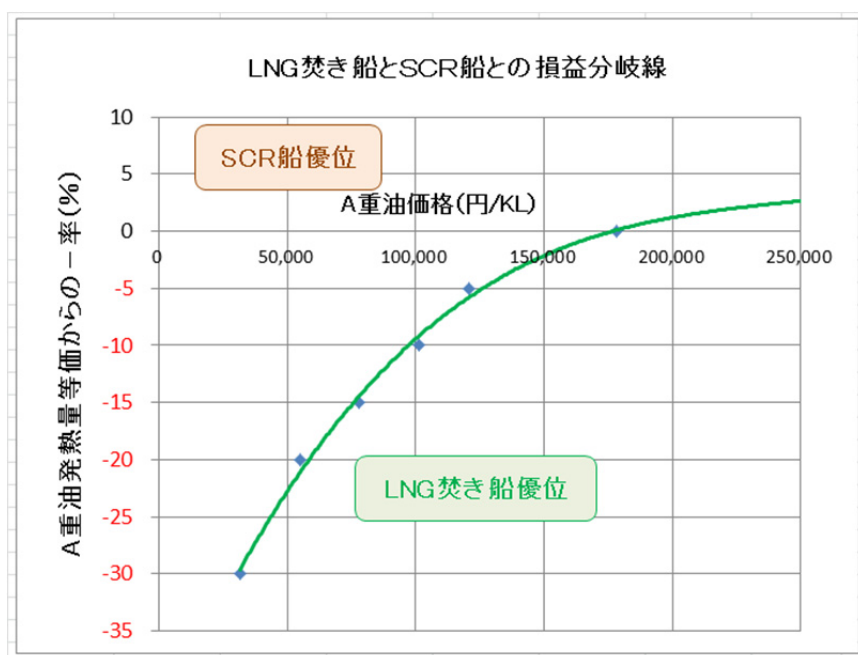


図 4. 8. は LNG 焚き船と SCR 船の損益分岐線の交点をもとめてプロットしたもので、両者の関係が逆転する LNG 価格を調べたものである。A 重油価格が 50,000 円～100,000 円の範囲にあるとき、概ね LNG 価格は -15% 程度以下であれば LNG 燃料優位ということになる。

図 4. 8. LNG 焚き船と SCR 船との損益分岐線の交点

#### (4) 3,000GT 型旅客フェリーの運航採算結果

2.3.4.2 (3) の 749 型タンカーの場合と同様な方法にて運航採算を行った。10SM の航路を片道 45 分で 1 日 7 往復するシャトルサービスを想定した。

運航採算シミュレーションを下記の 4 種類の船に対し、下記の条件にて行った。

- A : ツインポッド SES 型 3,000GT フェリー LNG 焚き (以下 LNG 焚き船)
- B : ツインポッド SES 型 3,000GT フェリー NOx 3 次規制 SCR 脱硝装置搭載 (SCR 船)
- C : ツインポッド SES 型 3,000GT フェリー (以下 SES 船)
- D : 通常型 3,000GT 旅客フェリー (以下従来船)

- ① 1 隻のフェリーのみを保有し、運航するオーナー兼オペレーターとした。
- ② 14 年で 99% の定額減価償却を行うものとした。
- ③ 船価の約 5% の 1 億円を自己資金とし、90% を共有船として JRJT より借入れ、残りを市中銀行から借入れるものとした。
- ④ JRJT 資金の金利を SES 船では 1.6%、従来船では 2.0% とする。返済は 14 年均等とした。
- ⑤ 市中銀行は 2.8%、10 年均等返済とした。短期借入れの運転資金の金利は 3.5% とした。
- ⑥ SI 等の公的助成は考慮しないものとした。
- ⑦ 船価は表 4. 4. の建造コストに 5% 上乗せ船価とした。
- ⑧ 重油価格、LNG 価格と運賃とをパラメータとして計算を行うものとした。LNG 価格と内航船燃料油の価格の動向を勘案して表 4. 5. に示す価格帯を設定した。
- ⑩ 維持管理費は SES 船、SCR 船、LNG 焚き船では総船価の 1.2%/年、1.8%/5 年、従来船では 1.3%/年、2.0%/5 年とした。SCR 船では触媒の交換費用として +0.5% 上乗せした。
- ⑫ 乗組員は職員 4 名、部員 8 名の計 12 名とした。交代要員をこの 100% とした。

上記の他に下記の条件を追加した。

- ⑬ 運賃収入は現在運航中のフェリー運賃を参考にして表 4. 8. を作成とした。実際には運賃収入の他、船内およびターミナルの売店にての物品販売も大きな収入源であるが、ここでは考慮しないこととした。この表より運航採算計算プログラムの入力書式に合わせる都合上、消席率 20% の場合の t あたり運賃収入を 3,509 円と推定し、3,000 円～3,750 円の範囲でこれをパラメータにして計算した。

表 4. 8. 運賃の想定

	片道 円	往復 円	定員	重量 t	消席率 %	人数/台数	運賃収入 円	輸送重量 t	tあたり運賃 円/t
大人	700	1,280	500	0.60	20	100	128,000	60.0	
小人	350	640	80	0.30	20	16	10,240	4.8	
乗用車	3,880	6,980	110	1.20	20	22	153,560	26.4	
観光バス	11,550	20,790	16	8.00	10	1	20,790	8.0	
トラック	9,450	17,010	36	2.50	10	3	51,030	7.5	
バイク	1,640	3,060	20	0.10	20	4	12,240	0.4	
合計				676			375,860	107.1	3,509

これらの条件に基づき 749GT 型タンカーと同様な計算を行った。内航フェリーの運航採算は従来船であってもかなり厳しいものがある。今回想定した消席率は実態よりも良く想定しており、余程消席率が改善されない限り、事業採算の成立は難しい状況にあるのが通常である。

運航採算シミュレーションの結果より 749GT 型タンカーの場合と同様な手法により図 4. 9. に示す損益分岐図にまとめた。749GT 型タンカーと同じく LNG 価格が A 重油発熱量に等価である場合と、これより -5%、-10%・・・の場合との比較とした。

全体の傾向は 749GT 型タンカーの場合と同じであるが、LNG 焚き船と SCR 船の損益分岐線が交わるのが -5% の場合、A 重油価格 85,000 円の時であり -10% の場合 55,000 円の時であった。749GT 型タンカーの場合とほぼ同じ傾向であるが、燃料油の消費が大きいので、LNG 焚き船の優位性が SCR 船よりも良くなるのが早く現れている。

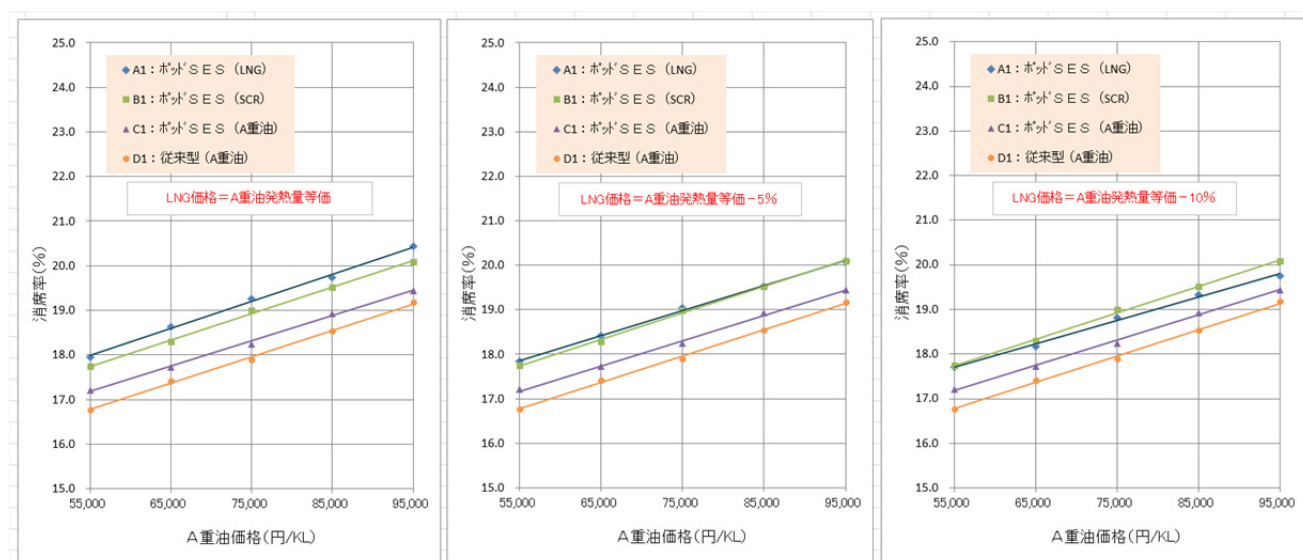


図 4. 9. 損益分岐図 (LNG 価格左から A 重等価、-5%、-10%)

\*\*\* 図 4. 9. 損益分岐図に対する補足説明

① 消席率指標について

縦軸の指標は計算で使用した t あたり運賃収入を元に人と車の平均の乗船率である消席率

に換算して指標として使用した。基本的にはタンカーの運賃指標と同じく運賃収入に関する数値である。20%前後の数値はかなり低いように見えるが、早朝から深夜まで、休日平日の平均であり実態よりも高めと推測した。ただしこの損益分岐線は船主が建造時に投資した1億円を14年後に回収できるか否かで判定した線であり、事業としては十分な利益の出る線ではない。

## ②LNG 価格について

表 4. 5. に示すように、A 重油の発熱量に等価な KL あたりの価格を LNG 価格のベースとした。これから 5%安い、10%安い場合を想定し比較した。この 3 枚のグラフでは LNG 価格以外は同一であるので、**緑線の SCR 船**、**紫線の SES**、**赤線の従来型**は変化なく **LNG 焚き船を示す青線のみ**が変化している。

## ③4 本の損益分岐線について

4 本の損益分岐線は従来型、SES 船、SCR 船、LNG 焚き船を示すが、船価が 12%、17%、23%UP したことによりこの差が生じ、燃費、維持管理費等の運航費の差によりその間隔が変化している。燃費差は燃料油価格の動向により影響が出るが、この範囲の燃料油価格では、船価は高いが燃費は良い船が船価は安いが燃費は悪い船を逆転することはなかった。ただし SES 船と LNG 焚き船との線がかなり接近しており、LNG 価格がさらに安くなるか、船価差が縮まれば逆転する可能性がある。LNG 価格が-20%の例を図 4. 10. に示す。この場合には A 重油価格が 80,000 円を超えると LNG 焚き船が SES よりも優位となる。タンカーの場合よりもこの傾向が顕著に出ているのは、タンカーに比べ燃料消費量が多いことによる。

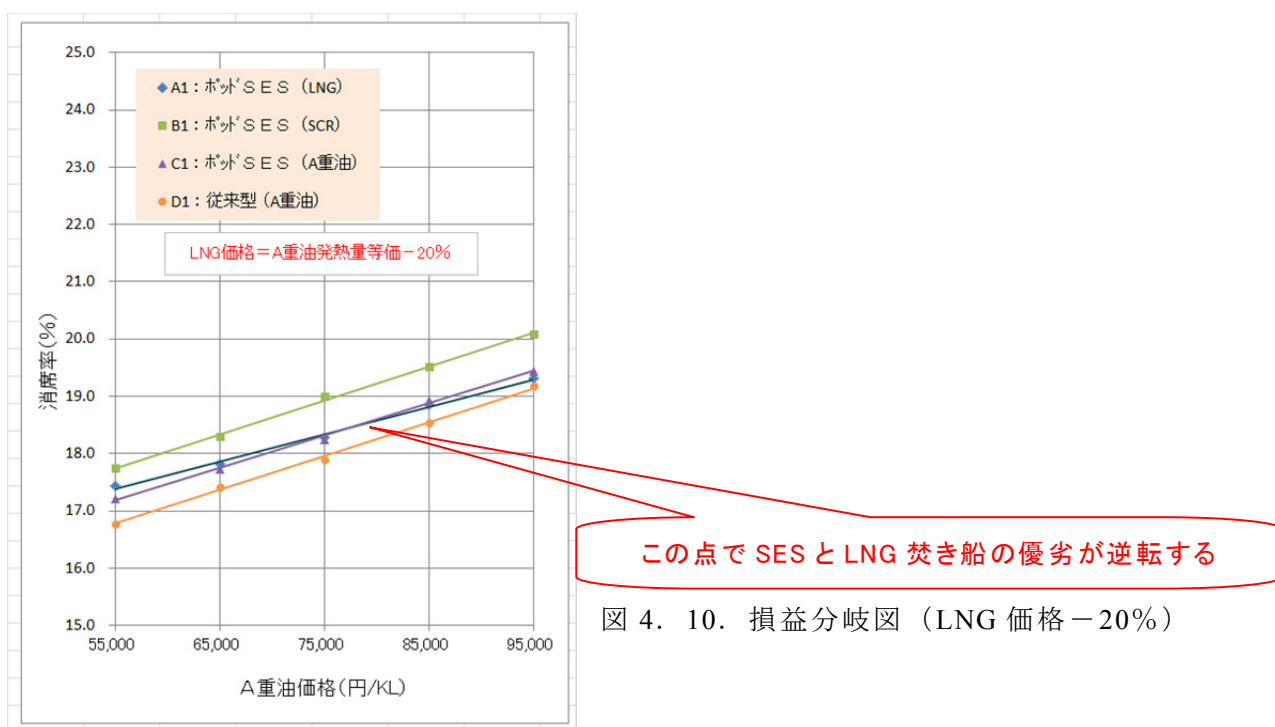


図 4. 10. 損益分岐図 (LNG 価格-20%)

### 2.3.4.3 経済性の評価

#### (1) 経済性の評価

2.3.4.2 で行った運航採算の結果は、LNG の価格にもよるが、LNG 焚き船の実現が厳しいことを示した。ECA が適用され、NOx 対策が要求された場合には、何らかの経済的支援の政策が必要となり、さもなくばその分運賃に転嫁することになる。当然製品価格の値上げにつながってくる。内航船は石油製品、鋼材、石炭等の産業基礎物資を運搬しておりこれらの値上げは日本の産業界全体に影響を与えることになる。

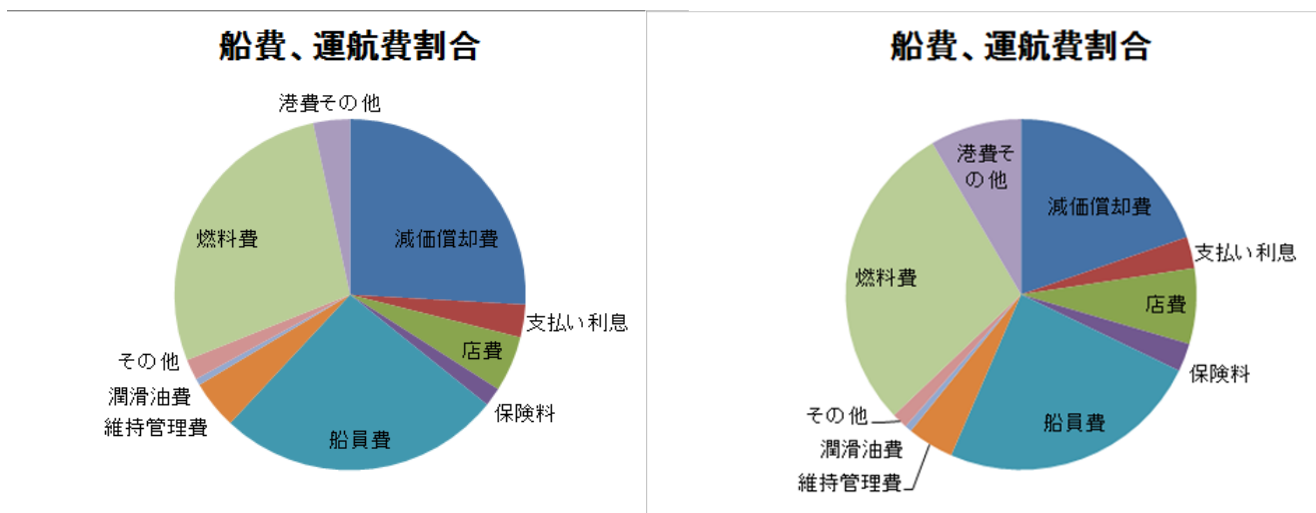


図 4. 11. 船費、運航費の割合（左：内航タンカー、右：内航フェリー）

年間の総支出の割合は図 4. 11. に示すように内航タンカー、内航フェリーともに内航船では減価償却費、船員費、維持管理費等の船費の占める割合が大きく、運航費の中では大半が燃料費ではあるが相対的に大きくない。本図は A 重油価格が 85,000 円まで高騰した場合の例であり、通常は燃料費の占める割合さらに小さくは 20%程度である。従って仮に省エネ効果により 10%の燃費を削減したとしても、総支出に対する効果は 2%程度となる。一方償却費、支払い利息は年間総支出の 30%程度あり、この増減の影響のほうが 1.5 倍大きい。従って船価上昇 20%にバランスする効果を、省エネ効果による燃費削減に求めると 30%程度の省エネ効果が必要であり、SES 船でも現状ではその省エネ効果は 10%程度であり、単純な運航採算比較では経済性効果を出すことは非常に困難である。特に内航船の場合には比較的短い航路を年間数 10 航海するのが通常であり、出入港および荷役に要する時間の割合が多く、主機を定格で運転する実運航時間が少なく、主機および推進装置の省エネによる燃費削減効果が出にくいことに注意が必要である。

SES 船、LNG 焚き船は省エネ船であるとともに船価を下げる研究開発が必要であり、船員の数を減らし船員費を削減する方策、技術開発も必要となる。

(2) 年間燃料消費量、CO2 排出量の比較

環境省よりエネルギー源別二酸化炭素排出係数が定められており、内航船の運航採算に用いた燃料油消費量より年間 CO2 排出量を計算した結果を図 4. 12. および図 4. 13. に示す。この結果によれば LNG 焚き船は従来型と比べ、SES の省エネ効果と LNG 燃料の CO2 排出係数が小さい効果により、CO2 排出量を 60% の大幅な削減をすることができた。同じ SES の SCR 脱硝装置搭載船と比べても 45% の削減となった。燃料消費量も従来型に比べて重量ベースで 30% 削減、SCR と比べて 15% 削減となった。

炭素税が導入され CO2 削減効果に応じたプレミアム/ペナルティーの仕組みが実施されると LNG 焚き船の経済性は好転するものと思われる。この傾向は内航フェリーについても同様であり、「環境に優しい」を標題に掲げてこれだけの CO2 排出削減効果を出していることに対し運航助成の方策も考慮しても良いのではと思われる。

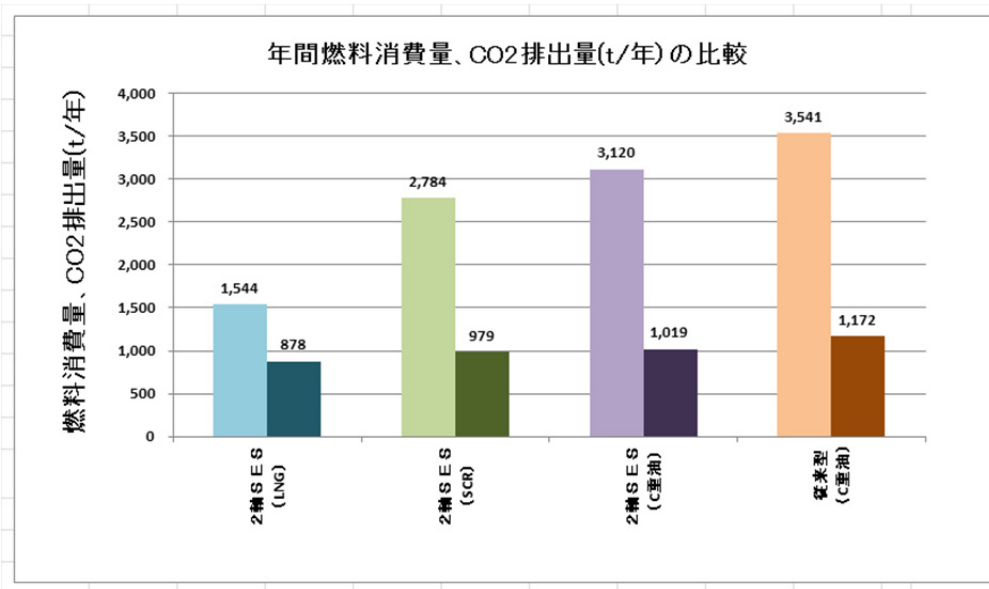


図 4. 12. 内航タンカーの CO2 年間排出量の比較

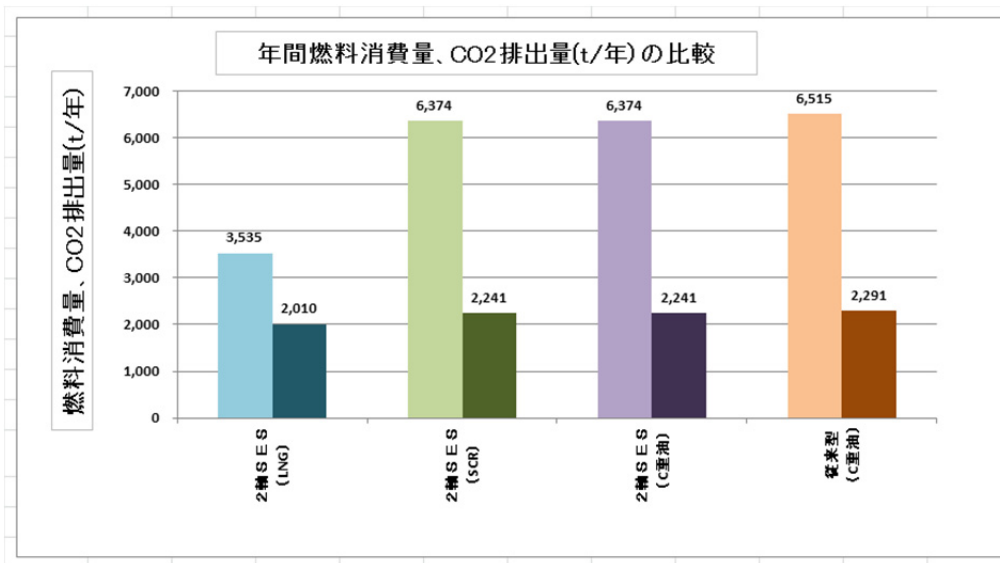


図 4. 13. 内航フェリーの CO2 年間排出量の比較

### (3) NOx 排出量の比較

本調査研究の発端でもある NOx の排出量の推定値の比較を行った。IMO により 2016 年より実施が予定されている NOx の 3 次規制が適用されると想定して比較評価した。

図 4. 14. に 749 型内航タンカー、図 4. 15. に 3,000GT 型内航フェリーの年間燃料消費量と NOx 排出量の比較を行った。LNG 焚き船では 0.9g/kwh、SCR 船は脱硝装置により規制値の 2g/kwh、SES 船は現在の中速エンジンのデータ 8.6g/kwh、また従来船は現行規制より厳しいが主機の改良により達成できると見込まれる NOx の 2 次規制の 11g/kwh の値を用いて比較した。燃料消費量は 10~25% 程度の差しか無いが、LNG 焚き船の NOx の総排出量は従来船と比べて 1/10 以下に激減し、脱硝装置を搭載した SCR 船と比べても 1/2 以下に減らすことができた。

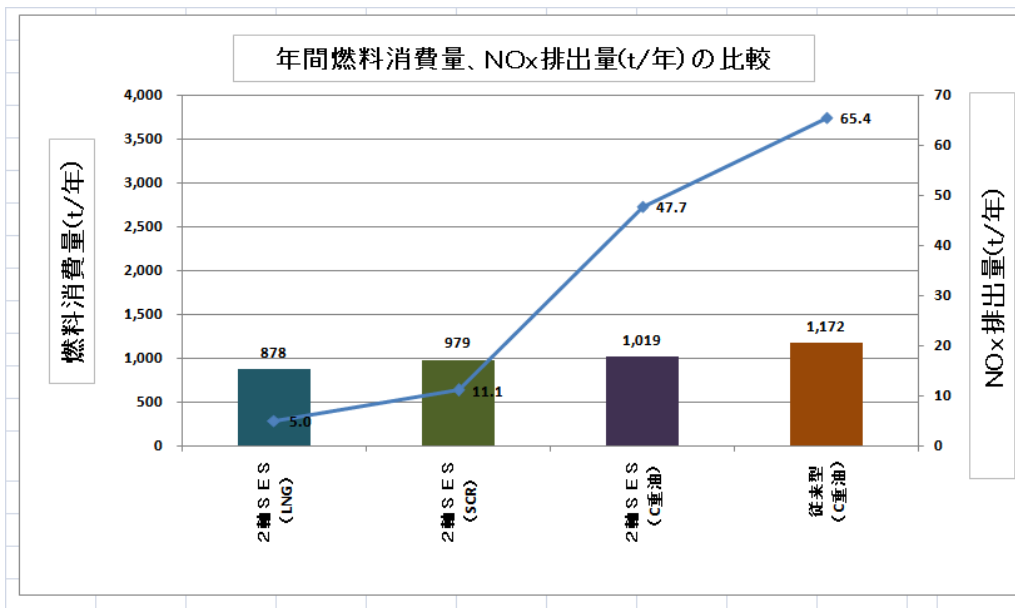


図 4. 14. 内航フェリーの NOx 年間排出量の比較

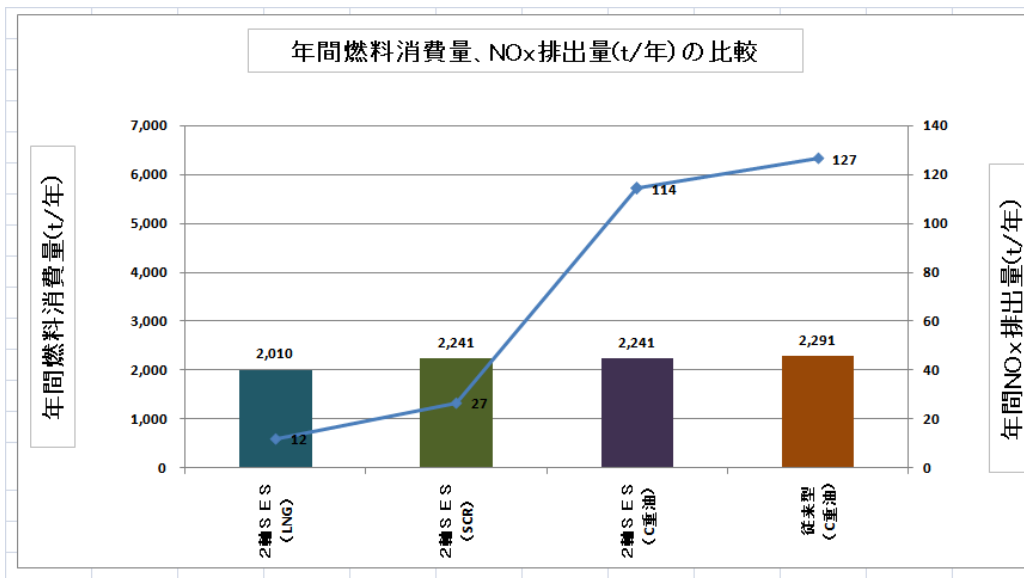


図 4. 15. 内航フェリーの NOx 年間排出量の比較

## 2.3.5 総合評価

### 2.3.5.1 総合評価

LNG 焚き船は内航船においても CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 低減の環境対策としてきわめて有効であり、技術的にも可能である。場合により外航船よりも内航船のほうが LNG 焚き船として適しているとも考えられる。

#### ①LNG 焚き船に対する強いニーズが内航にある

IMO の外航船に対する要件ではあるが、NO<sub>x</sub> 対策がより強く求められているのは大都市圏の沿岸地域であり、地元自治体からの強い要求も予想され、内航船の大半はこれらの地域を運航する船舶である。

#### ②LNG 焚き船には SES が適する

ガスエンジンの一般的な特性として負荷変動に弱いという技術課題がある。プロペラ直結の主機として使用すると波浪等の影響による負荷変動を避けられない。SES 電気推進の発電機エンジンとして使用することにより負荷変動を小さくすることができる。複数の発電機を並列運転して必要な電力を供給するパワーマネジメント方式であるので、そのうち 1 基のみを通常の重油焚きエンジンとすることにより、船としての DUAL FUEL 化が可能となり、LNG 燃料が使用出来ない場合の臨時対策も十分に可能である。

#### ③CO<sub>2</sub> の排出低減効果が大きい

図 4. 12. ～図 4. 13. に示すように LNG 焚き船の環境影響効果は NO<sub>x</sub> だけでなく CO<sub>2</sub> の排出低減効果がきわめて大きく、重油焚き船の半分以下する大幅な低減効果がある。この効果をもっと PR し、この効果に相当する費用を補償する方策があれば LNG 焚き船の普及促進にとって望ましい。

#### ④LNG 焚き船の運航経済性は厳しい

LNG 焚き船の運航採算計算を行った結果では他方式と比較した経済性は非常に厳しい結果となった。初期費用差が従来船と比べて 20%以上高くなるのが主要因である。これをリカバーするためには LNG 燃料の価格が A 重油と発熱量等価な価格よりさらに 15%程度まで安くなる必要がある。LNG 価格自体も原油価格にリンクしているのでどこまで安くできるか不透明であり、また公共料金である都市ガス価格と深く関連しており、単純な経済性評価だけでは決められな側面もある。LNG 焚き船を普及させるためには LNG 価格の国策的な指導も必要と思われる。

通常省エネ船の経済性評価においては、省エネ設備搭載のために船価は上がるが、燃費削減効果により、燃料油の価格動向により左右されるが 10 年後、20 年後にはコスト回収できるという目処がたつ場合が多かった。環境対策を目的とした CO<sub>2</sub> の排出低減は燃費削減にもつながり、環境対策＝経済性対策という公式が成立した。しかし NO<sub>x</sub>3 次規制のための LNG 焚き船の導入という方策では、2.3.4 の経済性検討の評価からも明確なように、船価も上



がり、運航費も上がり単独ではそのコスト回収が出来ない構図であることが判明した。

環境対策は避けて通れない問題であり、国策として行わなければならないが、その経済的負担を海運業界にのみ負わせるのであれば成立しない。経済的負担軽減のための方策を今まで以上に併せて行うことが重要である。建造費助成や運航費補助といった直接的な支援方策に加えて以下の方策が考えられる。

#### ①NOx 3次規制適用船に対する総トン数(GT)の規制緩和

749GT型、499GT型の小型貨物船においてはGTの制約が大きい。GTの制約のため、LNGタンク搭載のスペースを確保するために貨物槽を減らさざるを得ず、経済性を悪くさせている大きな要因となっている。749GT型においてNOx3次規制適用船に対し50トン緩和されれば、深さを約200mm増加させることができ、貨物槽およびDWの減少分をリカバーでき、経済性の低下に歯止めがかけられる。LNG焚き船の普及に有効な施策と考えられる。

#### ②NOxの排出量の規制をエンジン単位でなく船単位で

LNGのNOxの実排出量は3次規制の要求値と比べ1/2以下である。今回のLNG燃料焚き船のようにガスエンジンと重油ディーゼル機関を併用する場合、NOx総排出量が船のエンジンの総量に対し要求されるNOxの3次規制要求値以下であれば、良いとすることができれば、LNG焚き船の設備要件を軽減することができ、LNG焚き船の普及に有効である。

#### ③炭素税制導入による普及促進

図4.4.に示すようにLNG焚き船はNOx低減に有効なだけでなく、CO2の排出低減に非常に大きな効果がある。炭素税制を導入し、CO2排出量が一定値を超える船に対しペナルティーを課し、低減した分をプレミアムの形で戻す施策を行えば、LNG焚き船の普及に有効な施策と考えられる。

#### ④船舶燃料としてのLNG価格の妥当性の評価

LNGには他の石油製品、石炭と同様に石油石炭税が課税される。平成19年の改正ではLNG1tあたり1,080円であり、KLに換算すると約460円およそLNG価格の1~2%に相当する。船舶燃料とする場合にも課税対象とするのかも含め、LNG価格の妥当性を評価し、LNG焚き船普及の為には、出来るだけ価格を引き下げることが必要である。

都市ガスの価格には輸入されたLNG価格に貯蔵、ガス化等の費用の他に、地下に埋設されたガス管網の設備費用、維持管理費用が上乗せされている。こられの費用負担を船舶燃料として使用する場合にも負担する必要があるかについても評価検討する必要がある。

### 2.3.5.2 課題と今後の展開

LNG焚き船は環境対策としてはきわめて有効であり、内航船の小型船に対しても、課題は残るが適用すること技術的に可能である。しかし一方、経済性の面ではかなり厳しいものがあり技術面だけでは解決出来ない。技術面での対応に加えて、2.3.5.1総合評価で示した政策

面の対応が不可欠である。それらが併行して進められることを前提に解決すべき技術課題について記す。

#### ①ガスエンジンの開発促進

ガスエンジンは実績もあり、船用としての開発も進んでいるので、基本的な技術課題は無いが、一刻も早く船用実証機を完成させ、実船に搭載することが重要である。これにより信頼性、維持管理等の課題も解決されることになる。

ガスエンジンのシリーズ化をすすめ船型、船種に応じた最適な機種選定ができるようにすることが経済性向上、維持管理上重要である。

#### ②LNG タンクおよび機器の標準化促進

内航船は小型船であるので LNG タンクの配置が困難である。円筒タンクでは狭い船体内に納めることが困難である。GT の問題が解決すればタンカーであればカーゴタンクの直上の甲板上に置くことも可能であるが一般貨物船の場合には適用出来ない。SPB タンクは船体形状に合わせることができるのでスペース効率上は有効であるが、タンクの耐圧が低いので BOG 対策が必要である。船体形状に合わせた方形で、圧力タンクとして承認される LNG タンクが開発できれば内航船用としては有効である。

#### ③SES の普及促進

SES と LNG 焚きエンジンとの組み合わせは内航船が抱える問題解決に非常に有効である。それぞれの特徴を相互に生かしてこれからの内航船の主流になることができる。SES を普及させることが LNG 焚き船を普及させることにつながる。従って 2 次電池、インバーター、SES としての船型最適化等の次世代 SES の電気推進船の技術課題を解決することが重要である。

SES の技術課題として推進用電動機の起動の問題がある。起動時に通常運転時以上の大電流を必要とするため、発電機の容量が起動時電流で決まる。通常の SES では複数の発電機を並列運転するので問題にならないが、LNG 焚き SES の場合には常時は使用しない 1 基の重油焚きエンジンを大きな容量をしなくてならず、コストおよび機関室配置上問題となる。起動方法についてもより小電流で起動する方式についても今後検討進めることが望ましい。

#### ④燃料電池船の開発

LNG を燃料とする燃料電池の研究開発も関連企業、団体において積極的に進められている。小型軽量化が進めば LNG 燃料電池と SES とを組み合わせた内航船も可能となる。燃料電池の開発の進捗状況を見守りながら、適当な時期に船用としての開発に着手することが必要である。状況によっては LNG 焚きの大型船の発電機用として先行する可能性もあり、実用化がすすめばこれを内航船の推進用に転用することは容易である。

#### ⑤LNG 焚き船の船種の拡大

ECA 対策として本格的に普及させるためには、最も数の多い鋼材運搬船等の拡大をはかる

必要がある。技術的には可能であるが、タンカー、セメント船と比べて SES 化することのメリットが見いだせない現状において、LNG 焚き船とすることのメリットを見つけ出す必要がある。

以上技術的課題について列記したが、LNG 船実現のためには LNG 供給や安全基準等インフラ整備が重要である。まずは実証船として小型の液化ガス船またはケミカル船を建造し、インフラ整備を進めながら一步一步前にすすめていくことが有効と考える。

## 2.3.6 参考データ

### 2.3.6.1 LNG データ

本報告書作成にあたり下記のデータを使用した。

表 6. 1. LNG と重油燃料との性状比較表

		LNG	CH4	A重油	C重油	軽油	灯油	N2	空気
組成	CH4(メタン)	89%							
	C2H6(エタン)	6%							
	C3H8(プロパン)	3%							
	その他	2%							
液比重	kg/L	0.430	0.425	0.900	0.950	0.820	0.800		
ガス比重	対空気	0.638	0.554					0.967	1.000
	kg/m <sup>3</sup> at 0°C	0.825	0.717					1.250	1.293
	kg/m <sup>3</sup> at -162°C	2.032	1.763						
引火点	°C			60	70	45~85	30~70		
比熱	kcal/kg°C		0.528	0.450	0.450	0.460	0.475	0.249	0.241
低位発熱量	kcal/Nm <sup>3</sup>	9,700	8,557						
低位発熱量	kcal/kg	11,758	11,934	10,200	9,800	10,800	11,140		
低位発熱量	kcal/L	5,056	5,072	9,180	9,310	8,856	8,912		
気化熱	kcal/kg		131					48	
沸点	°C		-162						
CO2排出係数	t/10 <sup>10</sup> kcal	2.06750		2.90090	2.99920	2.87480	2.84110		
	CO2t/t	1.758		2.844	3.060	2.662	2.550		

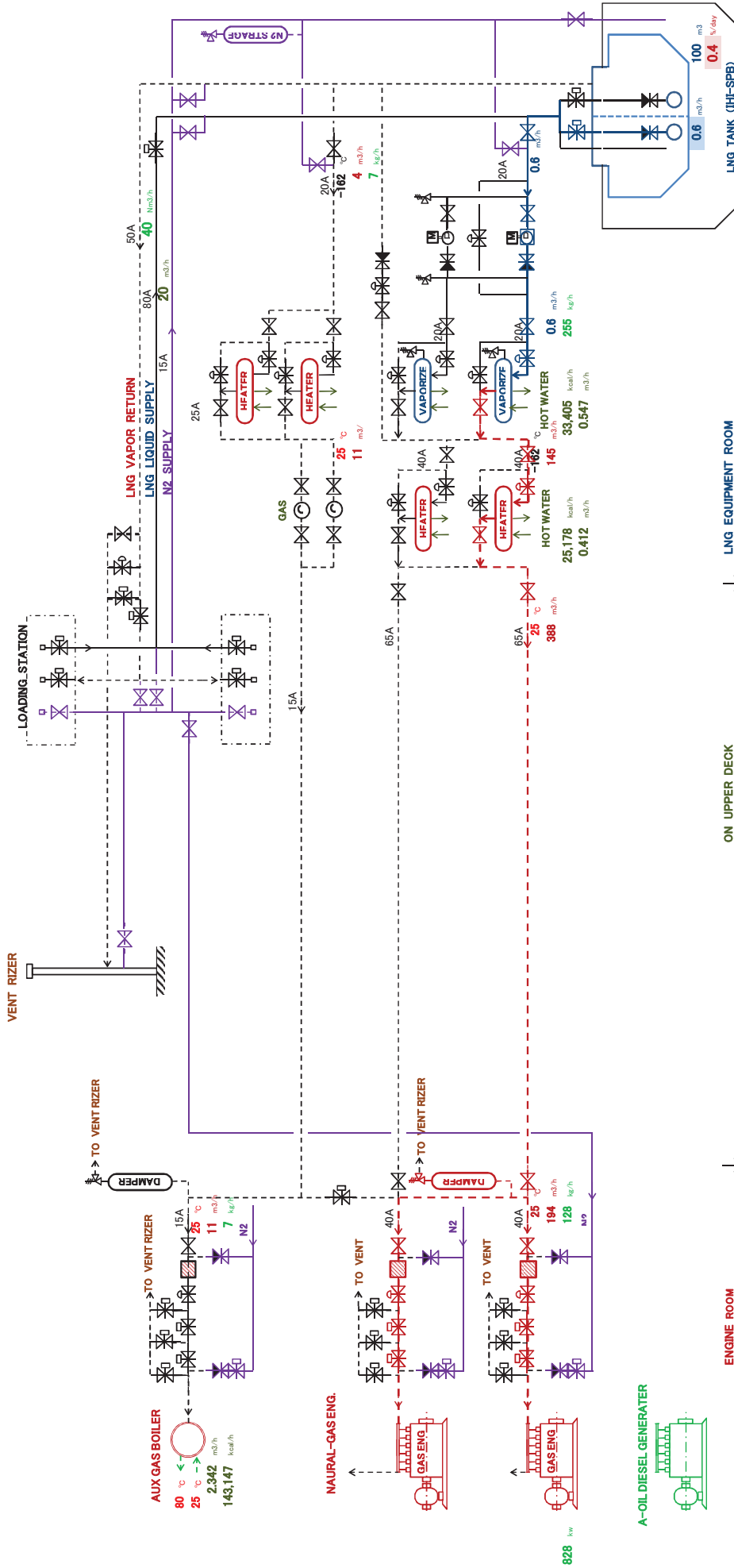
### 2.3.6.2 トリム計算書

内航タンカーの船型の基本コンセプトは貨物槽の重心位置を船尾側に移動し、これに伴い浮心位置も船尾側に移動することにより船首肥大度を小さくして船体抵抗を減らし、推進性能を改善することにある。この為 LNG タンクを船首部に配置した。トリムが成立することを確認するためトリム計算を行った。計算書を以下に添付する。

① 満載出港		LNG 焚き749GT型SESタンカー-重量重心、トリム計算表						2011/12/10	
区分	寸法(m)			容積 (m3)	積付率 (%)	重量 Cargo(SF=37)	前後重心位置 (m)	上下重心位置 (m)	
	長	幅	深さ						
主船体構造合計		70.0	11.5	5.200		525	34.000	3.950	
F/cle		12.4	4.0	1.5		20	63.775	8.650	
上部構造合計		14.4	11.5	6.7		37	8.200	11.270	
機装	LNGタンク					20	60.900	3.000	
	LNG機器					5	60.900	6.000	
	Rudder					5	0.000	2.500	
	Prop.& Shaft					8	3.000	1.500	
	Fitting					180	32.200	5.500	
	Deck Mach.					20	36.300	5.500	
	Steering Gear					4	2.000	5.500	
	Elect Machinery					30	15.000	4.000	
機装合計		30.1	11.5	6.7		367	25.822	4.732	
LW合計						949	30.459	4.637	
Fuel Oil Tank	No.1COT(P)	8.4	4.00	4.800	97	98	92	53.400	3.300
	No.1COT(S)	8.4	4.00	4.800	97	98	92	53.400	3.300
	No.2COT(P)	9.0	4.80	4.800	185	98	175	44.700	3.300
	No.2COT(S)	9.0	4.80	4.800	185	98	175	44.700	3.300
	No.3COT(P)	9.0	4.80	4.800	197	98	187	35.700	3.300
	No.3COT(S)	9.0	4.80	4.800	197	98	187	35.700	3.300
	No.4COT(P)	9.0	4.80	4.800	195	98	185	26.700	3.300
	No.4COT(S)	9.0	4.80	4.800	195	98	185	26.700	3.300
	No.5COT(P)	9.0	4.80	4.800	178	98	169	17.700	3.300
	No.5COT(S)	9.0	4.80	4.800	178	98	169	17.700	3.300
(合計)		44.4			1,703	98	1,619	33.832	3.300
Fuel Oil Tank	LNG TANK(P&S)	4.6	4.60	4.000	55	96	48	60.900	5.000
	FOT(P&S)	3.0	5.60	4.000	60	80	44	10.400	1.000
	FrFPT	4.5	3.00	4.700	32	0	0	65.000	6.000
	FrAPT	3.0	6.00	2.000	25	100	25	1.200	5.000
	FrWT(C)	3.0	5.0	2.000	27	98	26	5.100	2.500
(合計)					199		143	24.610	3.316
Water Ballast Tank	ForeWBT(P&S)	3.4	3.00	5.200	92	0	0	60.000	3.275
	No.1SideT(P&S)	8.4	1.70	4.000	39	100	39	53.400	3.275
	No.1WBT(P&S)	8.4	3.00	0.950	47	100	47	53.400	0.450
	No.2SideT(P&S)	6.0	0.95	4.000	34	100	34	46.200	3.275
	No.2WBT(P&S)	6.0	4.00	0.950	45	100	45	46.200	0.450
	No.3SideT(C)	6.0	0.95	4.000	32	100	32	40.200	3.275
	No.3WBT(C)	6.0	4.80	0.950	54	100	54	40.200	0.450
	No.4SideT(C)	6.0	0.95	4.000	38	100	38	34.200	3.275
	No.4WBT(C)	6.0	4.50	0.950	50	100	50	34.200	0.450
	No.5SideT(P&S)	9.0	0.95	4.000	63	100	63	26.700	3.275
	No.5WBT(P&S)	9.0	4.00	0.950	67	100	67	26.700	0.600
No.6SideT(P&S)	9.6	0.95	4.000	62	0	0	17.400	3.275	
No.6WBT(P&S)	9.6	3.50	0.950	63	0	0	17.400	0.600	
(合計)					685		469	38.751	1.714
総合計		Full Load Condition			1,903		2,710	33.195	3.769
		Water Ballast Condition			885		1,560	32.414	3.638
								2.544 %	
								3.661 %	
Displacement(ext)		基本計画値			Disp	2,710	Full	Ballast	
		2,701	1,516						
Trim	LCB	m			LCB	33.63	33.63	34.34	
		%				1.9%	0.9%		
	LCF	m			LCF	31.43	31.43	34.08	
		%				5.1%	1.3%		
LBM	m				LBM	32.09	32.09	23.03	
	%								
Trim	m	基本計画値			Trim	0.37	Full	Ballast	
	%	Full	Ballast						
Draft	draft (mid)	m	4.70	2.90	Draft	4.71	4.71	2.97	
	draft (fore)	m					4.52	2.33	
	draft (aft)	m					4.89	3.60	
Prop	Prop. Dia.	m	2.70		Prop. immersion(%)		119%	55%	
	Shaft c. height	m	1.50						

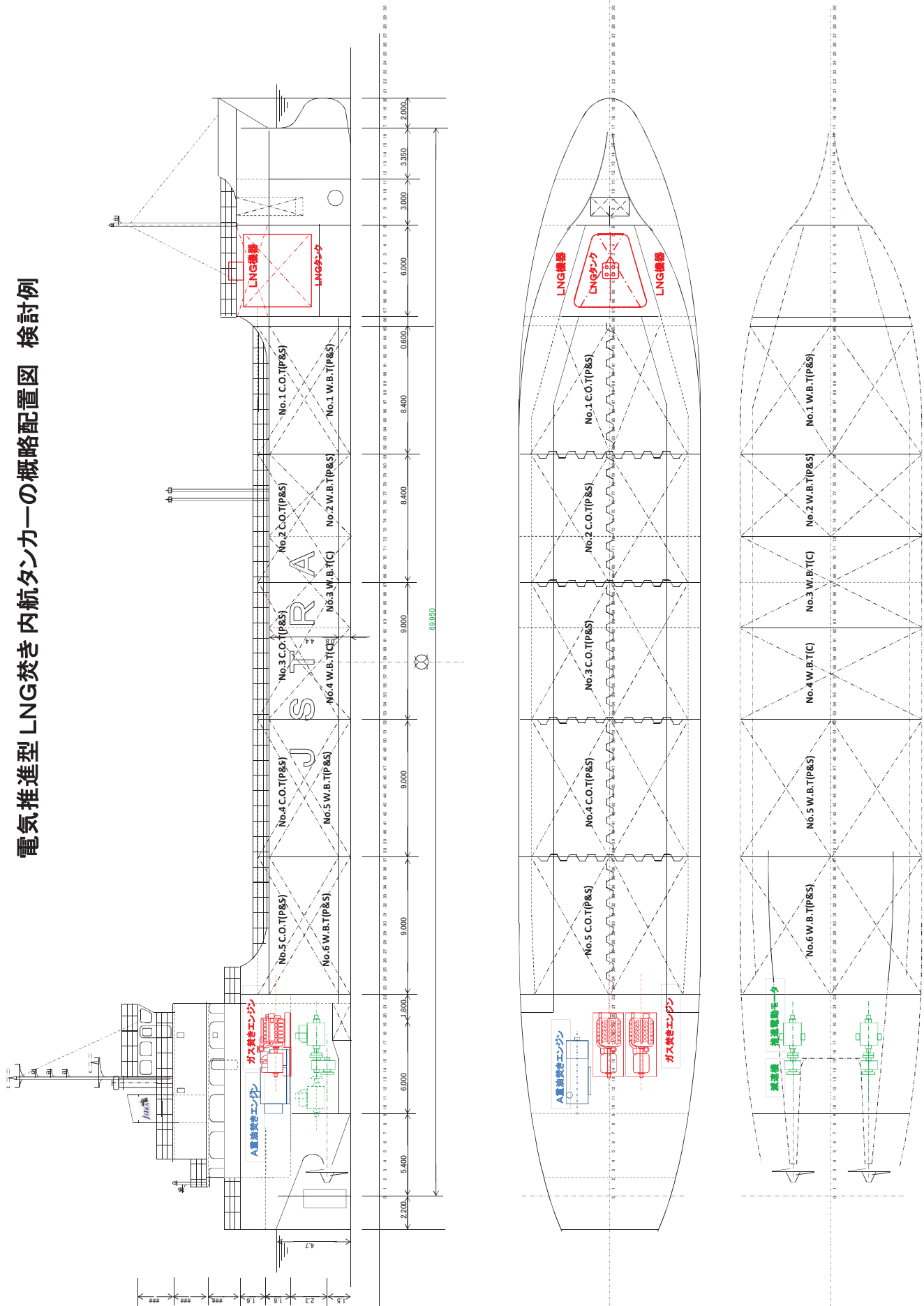
② 満載入港		LNG 焚き 749GT 型 SES タンカー 重量重心、トリム 計算表						2011/12/10	
区分	寸法(m)			容積 (m3)	積付率 (%)	重量 Cargo(SF=37)	前後重心位置 (m)	上下重心位置 (m)	
	長	幅	深さ						
主船体構造合計		70.0	11.5	5.200		525	34.000	3.950	
F/cle		12.4	4.0	1.5		20	63.775	8.650	
上部構造合計		14.4	11.5	6.7		37	8.200	11.270	
機装	LNGタンク					20	60.900	3.000	
	LNG機器					5	60.900	6.000	
	Rudder					5	0.000	2.500	
	Prop.& Shaft					8	3.000	1.500	
	Fitting					180	32.200	5.500	
	Deck Mach.					20	36.300	5.500	
	Steering Gear					4	2.000	5.500	
	Elect Machinery					30	15.000	4.000	
機装合計		ポルケットBHD 中心間距離				367	25.822	4.732	
LW合計						949	30.459	4.637	
Fuel Oil Tank	No.1COT(P)	8.4	4.00	4.800	97	98	92	53.400	3.300
	No.1COT(S)	8.4	4.00	4.800	97	98	92	53.400	3.300
	No.2COT(P)	9.0	4.80	4.800	185	98	175	44.700	3.300
	No.2COT(S)	9.0	4.80	4.800	185	98	175	44.700	3.300
	No.3COT(P)	9.0	4.80	4.800	197	98	187	35.700	3.300
	No.3COT(S)	9.0	4.80	4.800	197	98	187	35.700	3.300
	No.4COT(P)	9.0	4.80	4.800	195	98	185	26.700	3.300
	No.4COT(S)	9.0	4.80	4.800	195	98	185	26.700	3.300
	No.5COT(P)	9.0	4.80	4.800	178	98	169	17.700	3.300
	No.5COT(S)	9.0	4.80	4.800	178	98	169	17.700	3.300
(合計)		44.4			1,703	98	1,619	33.832	3.300
Fuel Oil Tank	LNG TANK(P&S)	4.6	4.60	4.000	55	10	5	60.900	5.000
	FOT(P&S)	3.0	5.60	4.000	60	80	44	10.400	1.000
	FrFPT	4.5	3.00	4.700	32	0	0	65.000	6.000
	FrAPT	3.0	6.00	2.000	25	10	3	1.200	5.000
	FrWT(C)	3.0	5.0	2.000	27	10	3	5.100	2.500
(合計)					199		54	14.357	1.632
Water Ballast Tank	ForeWBT(P&S)	3.4	3.00	5.200	92	0	0	60.000	3.275
	No.1SideT(P&S)	8.4	1.70	4.000	39	100	39	53.400	3.275
	No.1WBT(P&S)	8.4	3.00	0.950	47	100	47	53.400	0.450
	No.2SideT(P&S)	6.0	0.95	4.000	34	100	34	46.200	3.275
	No.2WBT(P&S)	6.0	4.00	0.950	45	100	45	46.200	0.450
	No.3SideT(C)	6.0	0.95	4.000	32	100	32	40.200	3.275
	No.3WBT(C)	6.0	4.80	0.950	54	100	54	40.200	0.450
	No.4SideT(P&S)	6.0	0.95	4.000	38	100	38	34.200	3.275
	No.4WBT(P&S)	6.0	4.50	0.950	50	100	50	34.200	0.450
	No.5SideT(P&S)	9.0	0.95	4.000	63	100	63	26.700	3.275
	No.5WBT(P&S)	9.0	4.00	0.950	67	100	67	26.700	0.600
No.5SideT(P&S)	9.6	0.95	4.000	62	0	0	17.400	3.275	
No.5WBT(P&S)	9.6	3.50	0.950	63	0	0	17.400	0.600	
(合計)					685		469	38.751	1.714
総合計	Full Load Condition			1,903		2,621	33.277	3.750	
	Water Ballast Condition			885		1,471	32.512	3.596	
							2.428 %		
							3.521 %		
Displacement(ext)	基本計画値				Disp	Full	Ballast		
	2,701	1,516						2,621	1,471
Trim	LCB	m			LCB	33.71	34.36		
		%				1.8%	0.9%		
	LCF	m			LCF	31.54	34.22		
		%				4.9%	1.1%		
LBM	m				LBM	31.39	22.50		
	%								
Trim	基本計画値				Trim	Full	Ballast		
	0.35	1.20						0.5%	1.7%
Draft	draft (mid)	m	4.70	2.90	Draft	4.59	2.82		
	draft (fore)	m				4.40	2.22		
	draft (aft)	m				4.76	3.42		
Prop	Prop. Dia.	m	2.70		Prop. immersion(%)		111%		
	Shaft c. height	m	1.50					49%	

# LNG FUEL SYSTEM PIPING DIAGRAM



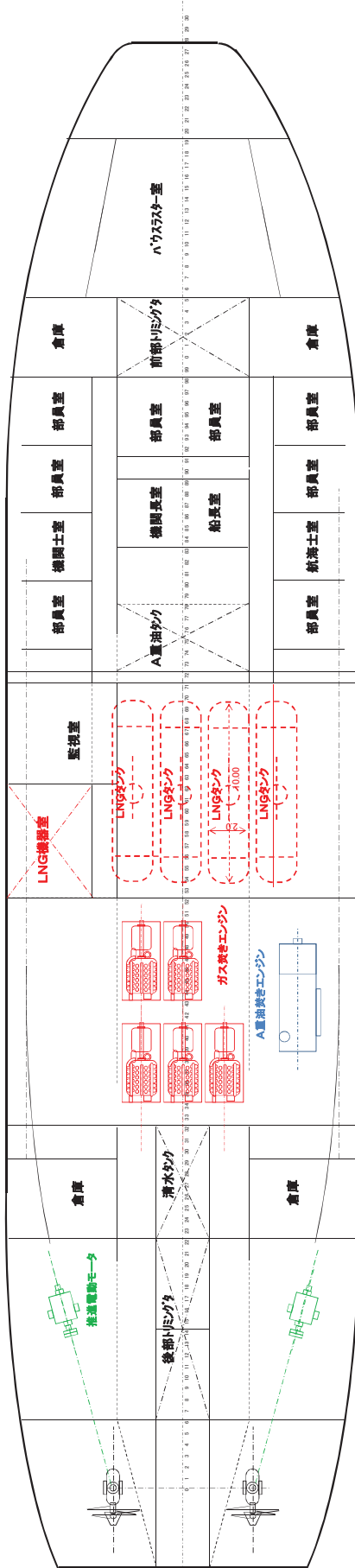
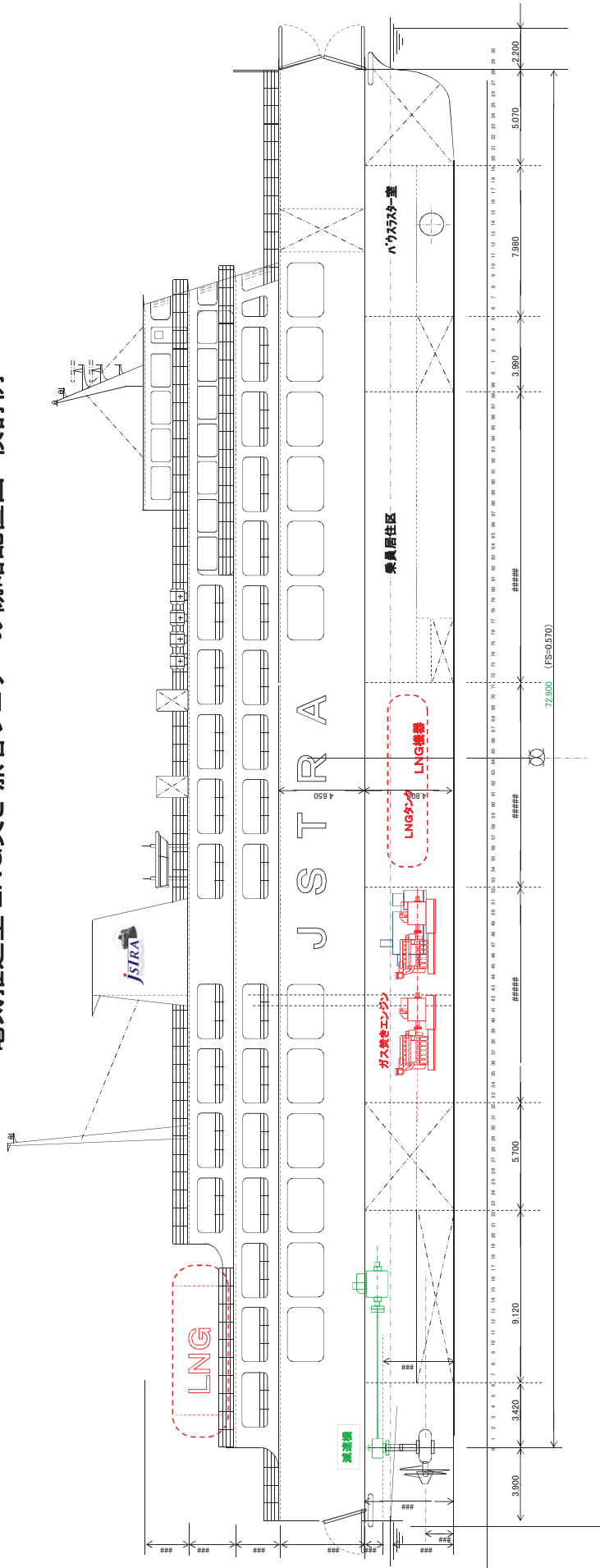
REMOTE OPERATED VALVE CONTROL VALVE MANUAL OPERATED VALVE NON RETURN VALVE SAFETY VALVE	LIQUID LINE (-162°C) VAPOR LINE (-162°C & 25°C) N <sub>2</sub> GAS LINE HOT WATER or SEA WATER CONTROL AIR or ELECTRIC CABLE
---	--

# 電気推進型 LNG 焚き内航タンカーの概略配置図 検討例





電気推進型 LNG 焚き 旅客フェリーの概略配置図 検討例



## 2.4 世界の動向

### 2.4.1 LNG 燃料船に係る欧州調査報告

#### 2.4.1.1 出張目的

- ・「国際海運におけるエネルギー効率化に向けた枠組み作り（フェーズ2）（船舶の代替燃料利用に向けた総合対策検討）」の一環として、欧州における LNG 燃料船及びガスエンジンの最新開発状況、LNG 燃料船の就航計画の進捗、LNG 燃料供給インフラの整備計画の最新動向等についての情報収集を行うために、セミナー及び関係先を訪問した。

#### 2.4.1.2 日程及び面会先

- 9月20～21日・・・LNG Fuel Forum 参加（スウェーデン ストックホルム）
- 9月22日・・・DNV、SkansGas、Chalmers 大学（スウェーデン ヨーテボリ）
- 9月23日・・・Wartsila（フィンランド ヴァーサ）
- 9月27日・・・Man B&W、AP Moller Maersk（デンマーク コペンハーゲン）
- 9月28日・・・Rotterdam Port Authority、Vopak（オランダ ロッテルダム）

#### 2.4.1.3 出張者

九州大学 高崎教授、DNV 三浦船級業務統括部長、同 中島前任検査員、船技協 田村

#### 2.4.1.4 調査結果概観

- ・LNG 燃料船については、ノルウェーについては NOx Fund の後押しもあり、内航フェリーは LNG 燃料船を標準として普及が進んでいる状況であり、それ以外についても、水面下の引き合いレベルでは各種のプロジェクトが進行していると見られる。
- ・実プロジェクトとして、今回の調査において目立ったものとしては、Viking Line の大型フェリー計画が存在。
- ・インフラ面、バンカリング体制の整備という観点では、現在、バルト海周辺では、ロシアからのパイプライン輸送されるガスへの依存度を避けるというエネルギー安全保障上の理由から、LNG 受け入れ施設の増強が続いており、LNG を燃料として使用する際のインフラ環境は次第に整備されていく方向にあると思われる。
- ・近い将来でいえば、相対契約による小ロットの燃料補給を手当できる比較的小型または特定の航路において、先行的に普及が進んでいく状況ではないか。インフラ整備が一定のレベルに達する或いは LNG と重油燃料の価格差が一定程度に開く等の環境条件が調った段階で、本格普及の時期に入ることが想定される。

- ・ガスエンジン技術については、4スト・リーンバーンタイプ、2スト GI (Gas Injection) タイプとも確実に開発が進められている。前者については、ガスの低圧供給、また対策なしに NOx・TierIII をクリアできるというメリットはあるものの、メタンスリップ (未燃メタン : CO<sub>2</sub> の 25 倍の温暖化係数) の低減が課題であることがよく理解できた。後者の 2スト GI エンジンについては、液相からの圧縮ポンプが開発されて高圧供給の仕事が激減し、低負荷時のガスモード運転やパイロット燃料の低減等も研究されており、安全面も含め実用性が高まりつつある。
- ・LNG 燃料船普及の最大のカギは、LNG 燃料と重油燃料の価格差であるが、これについては、北米、欧州、東アジアと世界的に分割された LNG 市場が存在しており、それらの市場間ではかなりの価格差が生じている。我が国の場合、長期契約等の構造的理由がその背景にあるが、一方、数年前に誕生したばかりの LNG のスポット市場が拡大していくことで、これらの市場構造が変化していくのでは、という見方もあった。
- ・ロッテルダム港では、LNG 運搬船の入出港が、入出港船が少なくむしろリスクが小さいという観点で夜間(0 時～4 時)で想定されている。我が国の場合、LNG のような危険物運搬船は日没～日の出の間で入出港を禁止されているが、ロッテルダム港のようなリスク評価に基づく規制体系を導入していくことも検討していく必要がある。

#### 2.4.1.5 調査結果

##### 【経済性関係】

(概要)

- ・経済性については、セミナーでのプレゼン等で、投資回収期間について様々な試算が紹介されたが、全体的なトーンとしては、将来的には有望になる可能性はあるが、実際に LNG 燃料船を導入するにあたっては、インフラ整備の動向、ガスと重油の価格差の推移等を引き続き見極める必要があるといったものが多かった。
- ・欧州では、ロシアからのパイプラインによるガス輸入への依存度を減らすために政策的に LNG の輸入を増加させており、LNG 受け入れ基地の整備も続いている。2010 年で、約 1,000 億 m<sup>3</sup> の輸入量に対し、EU 全体の受け入れ(再気化)能力はその 2 倍程度ある。そのような背景もあり、各 LNG 基地は使用料金(Tariff)で価格競争が行われている。

○Wallenius

- LNG 機器で 10~15MilUSD のコスト増、貨物容量が 5~10%程度減少。航続距離は半減、航路の最大 40%が ECA エリアの場合、5 年償還ベースだと MGO との差は 600USD 必要。これが 100%ECA の航路であれば、200-300USD 程度の差となる(想定船舶がはっきりしないが、PCC のケースと思われる)。

○TNO

- エンジン+タンクで、従来船の 2 倍のコストとの試算。
- LNG 燃料船の追加投資の回収年数。タグボートが大きな数値となっているが理由は不詳。

Case 2010	Time-to-breakeven [years]		
	OUT OF DATE	LNG provided from Gate	
	Use of existing Facility (PS)	Gate with extension (high/low volume)	
Short sea	8	12	
TUG	31	41	121
Inland ship	6	8	29

○ Fluxys (ガスの輸送・貯蔵会社)

- Zeebrugge LNG ターミナル使用料金 (外航 LNGC 用バース、公表タリフ)。14 万 m<sup>3</sup> の LNGC で 1 スロットが約 10 日で構成される。これには、棧橋使用料、基本保管料、基本積み出し料が含まれ、1 スロットで 75 万ユーロ。

Unloading slot	750 433 €
> Berthing right	130 294 €
> Basic storage	313 682 €
> Basic send-out	306 467 €
Additional storage	96.39 €/m <sup>3</sup> LNG/y
Additional send-out	1.95 €/(kWh/h)/y
Additional berthing	75 000 €
> Variable loading fee	0.18 €/MWh loaded
Tariffs base 2003, indexed at 35% of Belgian consumer price index	

- LNG ローリー料金

LNG Truck Approval Service Charge	€3 264 per LNG truck approval
LNG Truck Loading Service Charge	€512.20 per loaded LNG truck
Cool Down Service Charge	€2 176 per cool down

○TGE

• LNG を輸出港等からヨーロッパの LNG 基地に輸送し、再積み出しするためのコストを試算。ケースは以下のとおり。これによれば、LNG バンカリング価格は、FOB 価格からパイプラインのケースで +2USD/mmbtu、LNG 輸送のケースで、+3~4USD 程度、STS による場合はさらに 0.5~1.5USD の上乗せとなるとされている。(この試算結果は、ノルウェーで供給されている LNG 燃料は 20USD 台、との情報に比較すると、現時点ではやや楽観的なものではないかと思われる。)(追加情報：シンガポールセミナーでの Marine Service GmbH のプレゼンによると、船舶補給用で 17.94USD/mmbtu との値(補給地点は不明))

Liquefaction Case : パイプラインで輸送したガスをノルウェーの小規模施設で液化し、ローリーや直接バンカリングするケース

Zeebrugge Case : ベルギーの Zeebrugge 再輸出ターミナルから独ロストック港まで小型 LNGC により輸送するケース

Skikda Case : アルジェリア北部の LNG 輸出基地 Skikda より独ハンブルクに中型 LNGC により輸送するケース(このほかエジプト Damietta より輸送するケースも試算されているが Skikda のケースより輸送コストが高い)

- Basis for LNG bunker price estimation:
  - 20,000 m<sup>3</sup> floating bunker terminal
  - about 0.5 mtpa
  - NBP 9.3 USD/mmbtu

	Liquefaction	Zeebrugge		Skikda	
LNG FOB price [USD(mmbtu)]	13.1	11.2		10.2	
Shipping cost	0.7 truck/ship	0.9 1x20k	1.4 2x12k	1.0 1x40k	1.7 2x25k
Bunker service cost incl. terminal [USD/mmbtu]	1.0 truck/shore	2.0	2.0	2.0	2.0
Total [USD/mmbtu]	14.8	14.1	14.6	13.2	13.9
Total [€/MWh]	35.2	33.6	34.8	31.4	33.1
Total [USD/ton]	770	733	760	686	723

【バンカリングプロジェクト関係】

• ヨーテボリにおける White Smoke AB 社は当初 2011 年にも専用の LNG バンカー船による LNG 補給ビジネスを開始する目標であったが、現時点でバンカー船の建造計画は進捗していない。建造費の問題が大きい模様。なお、同社は CEO である Johan Algell 氏が出資して設立した企業。

• スウェーデンでは、大型 LNG トレーラー(80m<sup>3</sup>、60t 積載、長さ 20.5m)が使用可能(大陸諸国では不可)。



- ・ノルウェーのガス供給会社である Skangass 社では、40ft コンテナ型 LNG 燃料タンク(44m<sup>3</sup>)を試作済み。陸上法規には合致しており、トラックにより陸送可能。IGF コード上は、船体側パイプとの連結方法(加圧した二重管である必要)等の技術的課題は残っている。



- ・Tarbit Shipping AB 社が所有する 25,000DWT ケミカルタンカーの機関係をヴァルチラ DF エンジンに換装した Bit Viking 号が、9 月下旬にスウェーデンにおいて初の LNG 補給を受け、今後はノルウェーの沿岸輸送に従事する見込みとのこと。(追加情報: Gasnor が Ship-to-ship(STS) バンカリングを 10 月から 11 月にかけて行う計画を明らかにした。1000m<sup>3</sup>の LNG を 1100m<sup>3</sup> 型 LNG タンカー ” Pioneer Knutsen” から LNG 燃料の供給を受ける計画。)



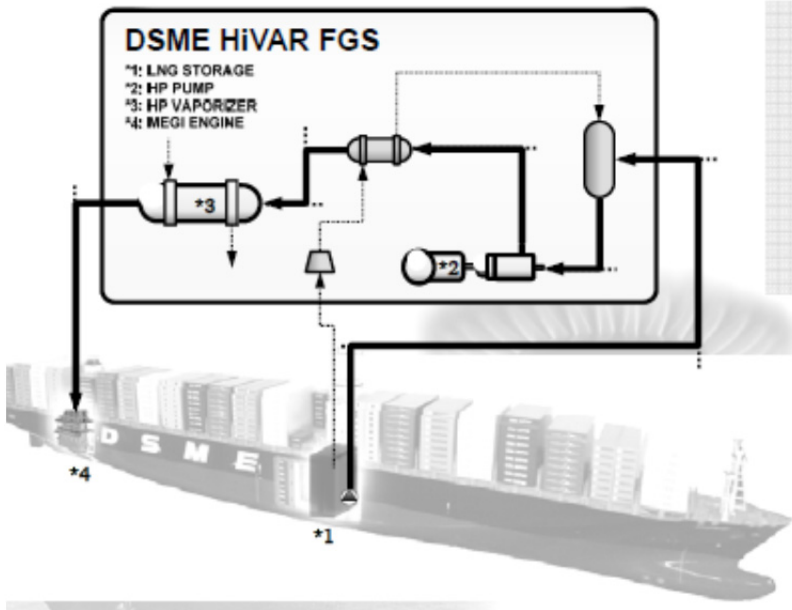
#### 【コンセプトシップ】

##### ○DSME

- ・韓国 DSME 社から 14,000TEU コンテナ船(LOA 365.5m)のコンセプトが示された。IHIMU の SPB tank と類似した新規開発の燃料タンク(ACTIB tank、4.2Bar)や燃料ガス供給システム(HiVAR)を搭載。LNG タンク搭載等によるカーゴ減少分は 400TEU。バンカリングは、STS を想定し、2,800m<sup>3</sup>/h の移送率で複数のマニホールドを通じて 20,000m<sup>3</sup> を 3.1 時間で補給する想定。

・ DSME の BOG 再液化装置

□ Conceptual Process Flow Diagram

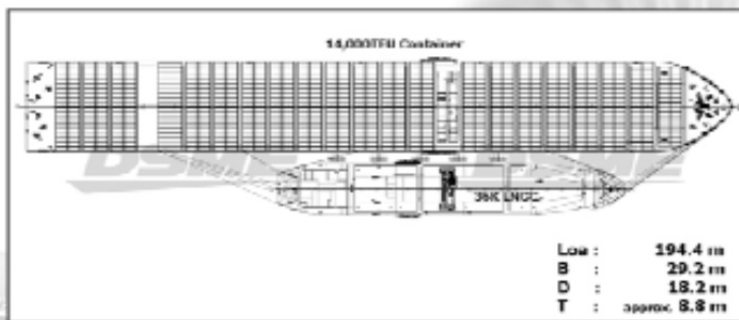


□ Features

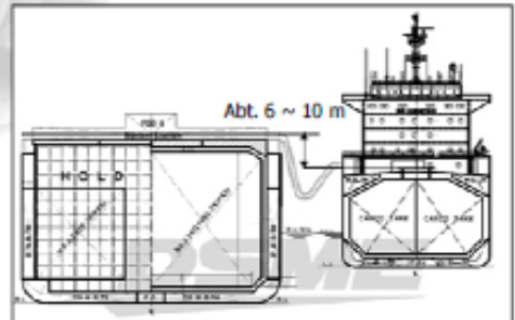
- HP Pump + HP Vaporizer
- 300 bar Design Pressure
- BOG Recondensing
- Compact Size
- Low Power Consumption
- Low Noise & Vibration
- Easy Maintenance

Power Consumption Comparison (for reference)	
HP Compressor System	HiVAR
1400 kW	70 kW

Side by Side Mooring



• Side by Side Mooring



• Example of Ship to Ship Transfer

・ 欧州～韓国航路においてラフな経済性試算の結果も発表された。

(コスト増分) ME 7Mil、AE 7Mil、FGS 3mil、Tank 11mil、その他 3mil、総計 31mil USD の上昇。概ね船価で 20～30%の上昇。

(燃料価格) HFO 630USD/t、MGO 930USD/t、LNG 6～14USD/mmbtu

(結果) 投資回収期間： 14 USD のケース 5年、10USD のケース 2年

## 【ガスエンジン】

### ○MAN Diesel & Turbo 社

- ME-GI エンジンは Dual Fuel 仕様で、HFO (C 重油) 運転とガスモード運転が可能。後述する Wartsila リーンバーンガスエンジンと違って、ガスは 300 気圧 (45°C) で上死点付近で筒内に噴射され、パイロット燃料で着火されてディーゼル同様の拡散燃焼をする。HFO からガスモードへの変換 (パイロット噴射のみ HFO) によって、CO<sub>2</sub>▲23%、SO<sub>x</sub>▲92%の低減が可能。ただし、ディーゼル同様の燃焼であるため NO<sub>x</sub> の減少幅は▲13%と小さく (Tier II クリア程度)、Tier III クリアには EGR (排気ガス再循環) の追加適用が必要。
- もう一つの欠点として、ボイルオフガスを 300 気圧にするのに機関出力の 5%もの仕事を必要としていたが、最近、-163°Cで LNG を昇圧し 300 気圧の下で気化させるサプライシステム (FGS) が開発された。これなら圧縮仕事は機関出力の 1%以下に抑えられる。見学した 4 気筒テスト機 (シリンダ径 50 センチ) には DSME (大宇) 社製の FGS が使われている。
- FGS のメーカーとして世界の 6 社が紹介された (DSME、Cryostar、Hamworthy、TGE、HHI、Burckhardt)。
- GI では、リーンバーンガスエンジンの欠点である異常燃焼 (ノッキング) が起こらず、世界の積み地によるメタン価変動の影響を受けないこと、後述するメタンスリップ (排気中の未燃メタン: CO<sub>2</sub> の 25 倍の温室効果) がリーンバーンタイプの 1/20 程度であることも強調された。
- ガスモードでの燃焼のサイクル変動 (リーンバーンタイプではディーゼルより激しい) について、GI ではディーゼルモードと同等と言うデータが示された。
- GI 燃焼に関しては、テスト機にファイバースコープを入れて撮られた燃焼動画も示された。熱発生率上ではディーゼルモードより良好で後燃えが短い。
- 低負荷のガス運転については、上述のように 25%負荷はガスモードのデータがあり、15%負荷もガス運転可能と言うことであった。さらに目標は 10%負荷とのこと。(続いて訪問した Maersk 社でも、実用上 15%ガス運転は必須であろうとのことでした。)
- ガス噴霧着火用のパイロット噴射は、SO<sub>x</sub>・PM など考えると量が少ないほど好ましいが、全負荷でディーゼルモードをカバーする大噴射系から噴射するため、微量噴射の安定制御の点から量が絞りにくい。低負荷でも (ディーゼルモード全負荷噴射量の) 5%の量が噴かれているが、実験ではもっと下げてみて限度を確認している。
- ガスモードから HFO ディーゼルモードへの切り替えは数分で行われる。
- 安全上の問題を最重視している。筒内への過剰供給、排気管内での爆発的燃焼などが起こらないよう、ガス供給部の安全弁システムなどが開発された。クルーのトレーニングも必須とのこと。
- 基本設計が同一な MC シリーズと電子制御式の ME シリーズとも、エンジン本体は比較的容易に GI に改造できるとのこと (ただし、燃料供給系では大掛かりな改造が必要。)

以上のように、技術開発が着実に進められており外航用主機としての実用性が高まっている。



## ME-GI confirmed by test results

- Power unchanged
- Diesel combustion processes verified
- Consumption unchanged (or lower)
- 5% Pilot fuel oil verified (or lower)
- 25% Load on Gas verified (or lower)
- IMO NO<sub>x</sub> Tier II confirmed
- 23% CO<sub>2</sub> reduction confirmed
- ME-GI control and safety concept verified
- Leakage detection system verified
- Change from Gas **↔** Fuel oil verified
- Dual fuel redundancy verified

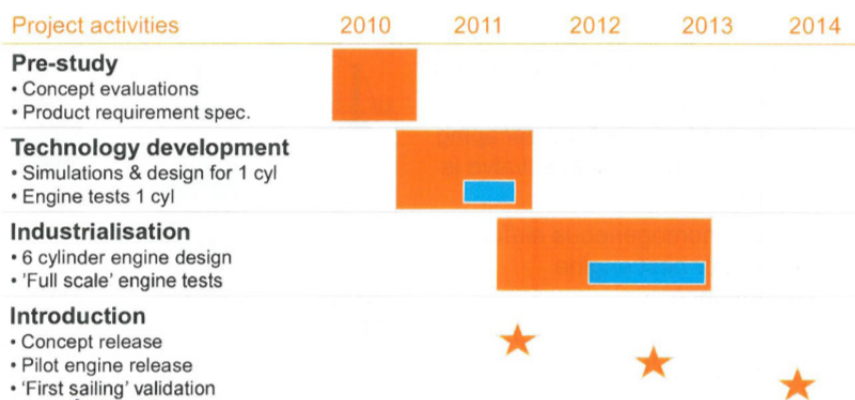
	Reduction with ME-GI*	Reduction with ME-GI + Waste Heat Recovery	Reduction with ME-GI + Waste Heat Recovery + Exhaust Gas Recirculation
CO <sub>2</sub>	23%	32%	31%
NO <sub>x</sub>	13%	13%	80%
SO <sub>x</sub>	92%	92%	95%

\*assuming operation in gas fuel mode, and HFO pilot fuel oil

## ○Wärtsilä

- ・リーンバーンガスエンジンの船用化については、主・補機とも常用が（100%でなく）85%であることが陸用より楽な点。レスポンスではディーゼルより劣るが、プロペラ直結ならば発電用と違って周波数特性を外れる点で負荷アップは楽。
- ・船用化で、ガスの積み地によるメタン価変動、波による負荷変動等による異常燃焼（ノッキング）防止については、フレキシブルな制御方法で対応して行く。（メタン価については、ノルウェー産や US 産は問題なく高いのに対し、日本のガスは特に低い（70 以下）ことはよく知られている。）
- ・DF エンジンでは、ガスモードからディーゼルモードへの切り替えは瞬時に行われ、その反対は 1 分間ほどの時間（30 秒で燃料供給系のガスリークの確認、その後徐々にガス量を増加）を要する。もし荒海でノックを回避するためガスからディーゼルに切り替えた場合、NO<sub>x</sub> は-80%をクリアできなくなる。
- ・上の事情から、SI（スパーク点火）など純（DF でない）ガスエンジンを船用で使う場合、例えばガスエンジン+ディーゼル発電機（DG）をもっていて、ガスエンジンを止めた場合はプロペラ軸をモータリングするような場合、海が荒れ出したらノックを想定して DG をスタンバイしなければならない。
- ・メタンスリップについては、これまで燃料の 1～4%が未燃であったが、最近の当社の研究では相当減らせている。（メタンの温暖化ガス係数は対象期間の設定により変動する。例えば 100 年の寿命設定で 25 倍、20 年の寿命設定で 72 倍など、短期になるほど数字が大きくなる。）
- ・ガスモードの低負荷運転については、低負荷ではミスファイヤが問題となるが、これからは 10%負荷の運転は保証できる。
- ・ヴァルチラガスエンジンは、LNG 燃料による電気推進式プラントとしてすでに OSV (Offshore Support Vessel)を中心に実績があり、2013 年就航予定の Viking Line の大型フェリー（後述）にも搭載される予定（DF）。
- ・同社の Vaasa 工場は 1 日 1 台の割で出荷している。自動化が進んでおり、立体式の自動倉庫により在庫管理等が行われており（各パーツは中国の子会社等世界各地から調達しているとのこと）、また日本の Fanuc 製の大型産業ロボットにより無人でエンジン主要部（シリンダ、ピストン、燃料噴射・バルブ系）の組み立てが行われている。
- ・ヴァルチラ スイス（低速 2 スト開発）とトリエステの工場では、低速 2 ストのリーンバーンガスエンジンの開発に着手した。これについては Vaasa でもその原理（シリンダ下部に設けたガス噴射弁（低

圧供給) から掃気中に筒内にガスを噴射し、圧縮行程終わりまでに均一予混合気を作る・・・パイロット着火・・・) について説明があり、また 9 月 27 日にヴァルチラ社からプレス発表もあり、一応実用化に向けた開発が進んでいるとの由。ただし高負荷(ディーゼルモードの 85%出力が開発目標)での円滑な燃焼やメタンスリップ問題等の技術的課題が多く残されていると考えられることから、今後の実用化の時期等は不明(下はヴァルチラの発表資料より)。



【LNG 燃料船就航計画】

- フィンランドの Turku とスウェーデンの Stockholm を結ぶ大型フェリー(57,000GT、乗客 2,800 名、STX Finland Oy 社建造、契約額約 2.4 億ユーロ)が 2013 年に就航予定。Wartsila 社製のエンジンによる LNG DF 電気推進システム(8L50DF×4 基、LNGPac(燃料供給システム)×2)を搭載。



Viking Line 社 ウェブサイトより

- ロールスロイス社が設計し、Tsuji Heavy Industries Shipyard(中国)が建造する Nor Lines 社の 5000Dwt 型貨物船 2 隻が 2013 年 10 月、2014 年 1 月にそれぞれ引き渡し予定。マルチカーゴタイプで最大でコンテナ 130TEU 及びトラック 40 台、2000 トンのパレット積み貨物を積載できる。ノルウェーと北ヨーロッパの間の冷凍貨物等の輸送に従事する予定。さらに 2 隻のオプション契約がなされている。LNG 専焼のロールスロイス Bergen B シリーズ (B35:40 V12) を搭載。タンク容量 400m<sup>3</sup>。



- ・ノルウェー沿岸輸送に従事するためにインドの造船所での建造が計画されている Sea-Cargo 社の RoRo コンテナ船（全長 133m）については、当初 2009-2010 年の竣工予定だったものが、現在は 2012 年 4 月の予定に延期になっているとのこと。ただし、この期日に実際に竣工するのかは不明。



#### ○A.P. Moller Maersk

- ・マースク社の技術部門トップ Bo 氏の見解では、LNG 燃料船の将来性は、LNG 燃料と重油燃料の価格差、「経済性」のみが検討項目であるとのこと。その他の課題は、大した問題ではないとの考え。
- ・LNG 燃料タンクを居住区の直下に配置するコンセプト船に対しては、技術的に問題がないとしても乗組員の不安感をどのように解決するかという課題が残る、とのコメント有り。
- ・同社は現在 MAN 社の低速ガスエンジン開発に協力しているが、今のところ GI エンジンの低負荷運転中は油モードの運転が必要となる。同社はまた、Super Slow Steaming を積極的に検討し、低負荷での減速航行を環境対策の一つとしている。このため、ECA 海域内では、ガスモードに切り替わるための負荷(25%ロード)での運転を想定していない。そもそも、ECA 海域外では NO<sub>x</sub> TierIII 規制の適用外であるため、油燃料を使用するか、ガス燃料に切り替えるかは、その時点での燃料コストを比較した判断となる。今後、SO<sub>x</sub> のグローバル規制が発効し低硫黄燃料の調達コストの評価が大きな判断基準となる

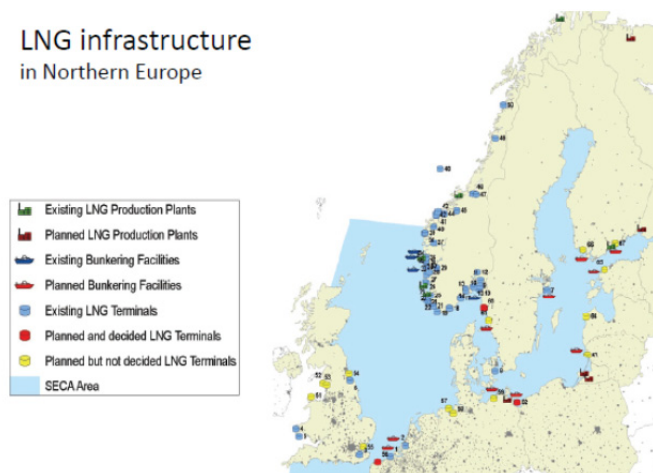
#### 【LNG 燃料供給インフラの整備状況】

- ・世界初の LNG バンカリング専門の会社(White Smoke AB 社)についても、具体的なバンカー船の建造には至っておらず、ヨーテボリ港におけるバンカリングの環境整備は進捗していない模様。
- ・ロシアからのパイプラインによるガス依存率を下げるとの政策目的からヨーロッパでは、LNG 輸入を増加させていく方向であり、LNG 基地の整備が続いている。ゼーブルッヘ港（ベルギー）、ロッテルダム港等では、積み出し用施設の整備も行われている。
- ・9月に稼働したロッテルダムの Gate LNG ターミナルは、現在 3 基のタンクで年間 120 億 m<sup>3</sup> の LNG を取り扱う計画であり、4 基目の建設に必要な認可も既に取得している。この LNG はターミナルで

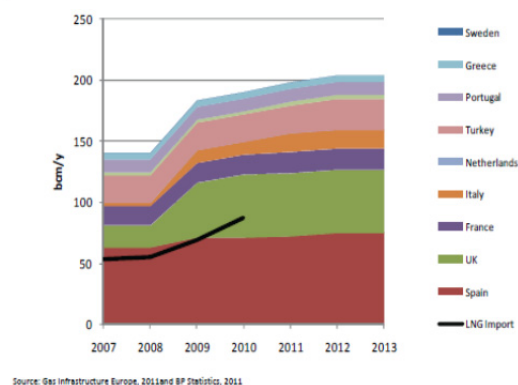
再ガス化した後にヨーロッパのガス供給網に送出されるため、現時点では LNG をヨーロッパ域内に再輸出するもので、LNG バンカリングのために使用される予定はない。ただし、現在、5 基目のタンクと再積み出し用の設備建設に必要な認可手続きを進めており、今後の市場動向により、この計画が具体化する可能性が高く、ターミナル関係者は 2014 年から 2015 年の供用開始を目標としている。こういったインフラを使用することで船舶への LNG 燃料補給や小規模基地への再出荷も可能となる見込み。



### LNG infrastructure in Northern Europe



### Ample European regasification capacity



- ロッテルダム港で新しく整備された Gate LNG ターミナルでは、LNG 運搬船の入出港時間を夜間 (0:00-4:00) で計画していることが分かった。

### 【ロッテルダム港での LNG 船運航プロジェクト】

- ロッテルダム港では、今秋に市等の予算によりタンカー（重油バンカー船）Argonon を改造しデッキ上に LNG タンクを搭載した船舶を試験的に運航する予定。ただし、LNG はバンカリングとしてではなく自船の推進用燃料として使用。
- 本船 LNG タンク(30m<sup>3</sup>)への LNG 供給は、LNG トレーラーにより行う。本船上の LNG 燃料タンクの配置決定にあたっては、燃油供給先の外航コンテナ船から積荷コンテナが本船デッキ上に落下するリ

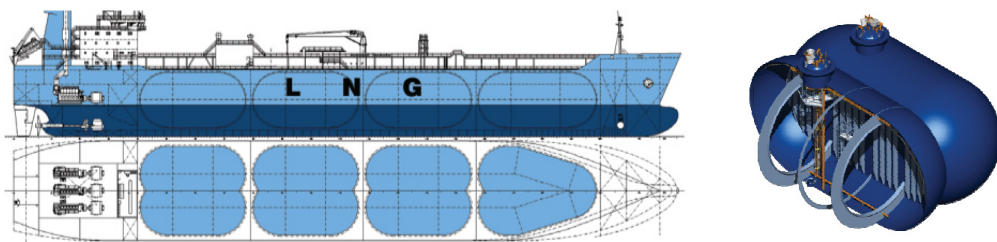
スクに対してのリスク評価を実施している。

- 本プロジェクトは、技術的試験というよりは、コンテナ船に横付けしたり、岸壁につけて公開することで、LNG は危険ではないという公衆認知を高めていくことを狙っている模様。



#### 【その他】

- EU の TEN-T プロジェクトの一環として、LNG 燃料船の実船プロジェクト(予算 900 万ユーロ)及びインフラプロジェクト (同 60 万ユーロ) を開始。後者については、来年 2 月に最終報告書がまとめられた。
- Chalmers 大学船舶海洋技術学科 大学院生の発表によれば、重油、LNG といった燃料種別のライフサイクル全体における環境影響について評価した結果、「資源として採掘～燃料として補給」の間の環境負荷の割合は、いずれも非常に小さく、ほぼ無視しうるレベルとのこと。
- 小型 LNG 運搬船については、1 万 m<sup>3</sup> までは円筒形タンク、2 万 m<sup>3</sup> までは円筒形を横につなげた形 (Bilobe) のタンクが適用できる。最大 7.5 万 m<sup>3</sup> までは試設計済み。



- 大気圧では-162℃、423kg/m<sup>3</sup>、9 気圧では-126℃、363kg/m<sup>3</sup>。畜圧式タンクと大気開放型では、液温度及び密度が異なる可能性があり、バンカリング時の BOG やエネルギー密度等の問題が生じる。また、バンカリング時の BOG により、メタン価が変化する。

## 2.4.2 LNG 燃料船のインフラに関するシンガポール調査報告

### 2.4.2.1 調査概要

#### (1) 調査の目的

LNG 燃料船の実用化の実現に不可欠となる環境整備要件のひとつである LNG 燃料供給インフラの整備計画など、最新動向についての情報収集を行う目的でシンガポール地区の調査を実施した。

#### (2) 調査員

杉山哲雄 日本船舶技術研究協会

#### (3) 調査日および面会者（セミナーは講師および受講者の一部）

2011年9月28日～2011年10月1日の日程で出張し、調査を実施した。

- Maritime and Port Authority of Singapore(MPA).....9月29日
  - Mr.Lee Eik Yeong James Senior Manager, Marine Service Dept.
  - Mr.Yow Liang Keon Manager, Reserch & Technology Development Dept.
  - Ms Shen Wanling Asst.Manager, International Policy Dept.
  - Ms.Ong Pui Hoon Asst.Director, International Policy Dept.
- Energy Market Authority(EMA).....9月29日
  - Mr.Lee Seng Wai Head, LNG Dept.
  - Ms Tan Le Kung Irene Analyst, LNG Dept.
- Tokyo Marine Asia Pte.Ltd. ....9月29日
  - Mr.Norio Goto Director
- GST Asia 2011 Seminar “LNG as a Ship’s Fuel” .....9月30日
  - Mr.Lars Petter Blikom Segment Director LNG, Det Norske Veritas
  - Mr.Ragnar E Hansen Senior Consultant, Hansen E & C
  - Dr.Klaus Dieter Gerdsmeier Director,Marine Gas Engineering
  - Mr.Alexander Harsema-Mensonides Engineer,Marine Service GMBH
  - Mr.Steve Hirst Fleet Director, Prisco(Singapore)Pte.Ltd.
  - Dr.Nam Youn-Woo Senior Resercher,Korean Register of Shipping
  - Ms Margaret Ang Senior Resercher,Maritime Institute of Malaysia

## 2.4.2.2 調査結果

### (1) シンガポール港におけるバンカリングの現状

MPA 資料によれば、シンガポール港に入港する船舶数は 2009 年のリーマンショック後一時的に減少したものの増加の一途をたどっている。2010 年度の入港隻数は月間 10000 隻を超えている。代表的な船種はコンテナ船とタンカーであるが、そのうち、LNG と LPG タンカーの入港隻数は毎月平均で 140 隻弱（一隻平均 32000GT 強）となっている。全体的な船舶数の増加に伴って、補油量（MGO/MDO/MFO）も増加してことから、2011 年 9 月現在、シンガポール政府によって登録されたバンカーサプライヤーは 79 社を数えている。加えて SB ライセンス取得のバンカー船は 206 隻が登録されており、港則法による区分けである 1500GT 以上のバンカー船は 146 隻（内 5000GT 以上は 13 隻）となっている。ほとんど、沖錨地または公共バースでのバンカー船からの補油に特化しているが、陸上からのライン供給は Tangeon Pagal Terminal と Oiltanking Terminal に限定されている。一般的にタンカーの場合は、沖錨地の指定エリア（ALGAS/AESPD）で補油を受けることが多いと聞いている。バンカー船の安全面では The International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals(ISGOTT) に順守し、その写しを船内に備えておくことを規定している。積載設備についても細かく規定され、Quantity Control および Quality Control の要件を満たすような仕組みをもたせている。その他、照明設備、フェンダー、油濁防止装備などを備えるよう規定されている。一般的に、シンガポール港の対岸はインドネシア領で沖錨地が点在しているも、船主の補油場所の選択は信頼性の高いシンガポール港が勝っていると言われている。なお、製品供給は BP/Exxon/Shell などオイルメジャーが対応している。



## (2) シンガポール LNG ターミナルに関して

2006年8月に当時の貿易通商大臣 Mr.Lim Hng Kiang が将来のシンガポールのエネルギー需要を手当てするために LNG ターミナルの建設をすすめることを発表した。シンガポール島の南に位置する小島 5 島を埋め立てた Jurong island の南西部にターミナルを建設するとした。その背景には、地政学的リスクを減少させ、供給先の多面化をはかる意図がある。現在シンガポールが天然ガスの供給を受けている 2 国の背景は以下のとおり。

- ・ 現在シンガポールが輸入している天然ガスの 80-90%を依存しているインドネシアは、国内市場向け供給拡大の政策を表明し、輸出を大幅に削減させている。
- ・ 10-20%程度の輸入元のマレーシアについても、自国のガス生産が平行線をたどる中、他国からの LNG 調達に舵を切りつつある。

### 2007年9月

EMA(Energy Market Authority)により PowerGas(Singapore Power Ltd.の子会社) がターミナル運営者として指定。

### 2008年4月

BG Asia Pacific Pte. (BG Group)が LNG の供給とシンガポールでのユーザーへの供給者としてアポイント。

### 2009年6月

EMA は商取引ベースでの開発を推し進めるため、EMA によって設立された Singapore LNG Corporation Pte.Ltd (略称 SLNG)に開発とターミナルの所有権を委譲。

### 2010年2月

Samsung C&T Corp と EPC(Engineering, Procurement and Construction)契約締結。一方 Foster Wheeler Asia Pacific Pte.Ltd.とは開発推進コンサルタント契約。

### 2010年3月

起工式。シンガポールの 6 大発電会社との間でガス購入長期契約締結。

### 2010年11月

30ヘクタールのフェーズ 1 のターミナルに需要予測に応じて 3 基目の LNG タンクを建設することが決定。Samsung と契約。

### 2011年8月

近隣諸国での LNG トレード (LNG Break Bulk Business)と将来需要が期待される LNG バンカリングビジネスを目途に第 2 バース(フェーズ 2) の計画を発表。このフェーズ 2 への参画は規模のメリット (フェーズ 1 への機器・人材など) を生かした Samsung が契約。





LNG ターミナルイメージ図

#### ターミナルの概要

- フェーズ1 : 30 ヘクタール 工期は2010年3月から2013年第2四半期  
 3基のタンク設置(最大容量合計54万 $\text{m}^3$ ) 3基目タンクは2014年完成  
 120,000 $\text{m}^3$ ~265,000 $\text{m}^3$ のLNG運搬船の着棧バースを計画
- フェーズ2 : 10ヘクタール 工期は2011年8月から2013年年末  
 60,000 $\text{m}^3$ ~265,000 $\text{m}^3$ のLNG運搬船の着棧バースを計画  
 10,000 $\text{m}^3$ ~40,000 $\text{m}^3$ の小型LNG運搬船(近隣地域への再配送用)  
 60,000 $\text{m}^3$ ~80,000 $\text{m}^3$ のLPG運搬船のための設備(将来図)も計画  
 ◎フェーズ2は、将来、需要が喚起された際のバンカリング船ニーズへの対応を視野に入れている。

ターミナルの目標 : Asia's First open-access multi user terminal

LNGの供給元 : 試案ではBGグループが採鉱しているTrinidadTobago/EgyptおよびAustraliaからのLNG輸入を想定。  
 EMAによれば、今後、LNG市場の変化が十分予想されるが、暫定的なバンカリングLNG価格としてはS\$14.00(=USD12-13)程度とみる。  
 シンガポールは、インドネシア・マレーシア諸国で行われているような政府が補助金などによる国内に向けた安値価格で統制を図っていない。

ターミナル運営 : Singapore LNG Corporation

- ・LNG運搬船の着棧受け入れ作業
- ・LNGの揚げ荷作業


- ・ LNG の貯蔵（他事業者扱い LNG の一時保管を含む）
- ・ LNG の敷地内移送とガス化
- ・ End User へのガスパイプラインによる配送

(3) LNG 燃料供給インフラに関するセミナー概要

- ・ Marine Service GmbH Mr.A.Harsema-Mensonides の発表資料抜粋

Fuels	\$/ton	\$/MMBTU	Price v/s IFO-380
IFO-380 RMG (Rotterdam)	\$612	\$16,06	100,0%
MGO DMX (Rotterdam)	\$910	\$22,48	140,0%
LNG Henry Hub (US)	\$175	\$3,74	23,3%
LNG TTF (Netherlands)	\$396	\$8,45	52,6%
LNG Japan spot	\$751	\$16,00	99,6%
LNG ex LNG import terminal (NW Europe)	\$615	\$13,11	81,6%
LNG ex small scale LNG plant	\$709	\$15,12	94,1%
LNG delivered to the vessel	\$841	\$17,94	111,7%

## LNG Trades in 2010

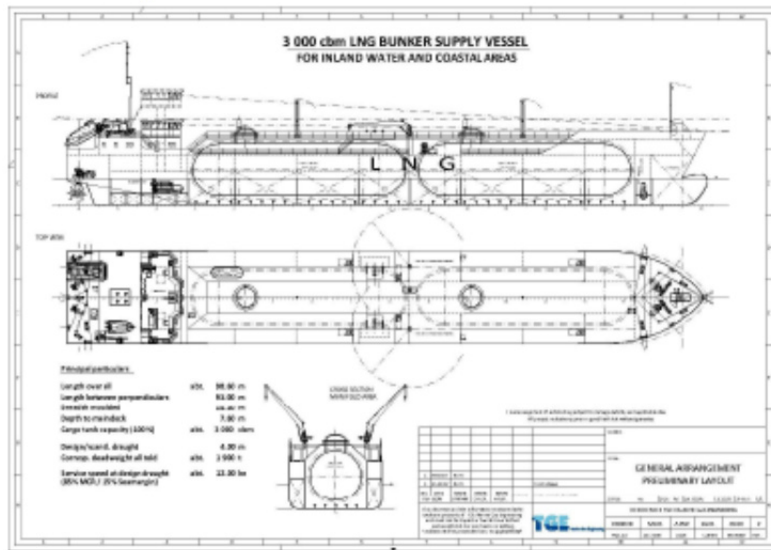
Marine Service GmbH 

Country	Algeria	Egypt	Equat. Guinea	Libya	Nigeria	Norway	Trinidad & Tobago	Belgium	USA	Abu Dhabi	Brunel	Indonesia	Malaysia	Australia	Oman	Dar	Yemen	Russia	Peru	Total imports	Market Share
Belgium		0,28			0,27	0,14		-0,84								9,59			0,14	9,58	2,0%
France	10,36	1,18			5,90	0,85	0,40									4,07	0,15			22,92	4,7%
Greece	1,41	0,08	0,05				0,07													1,81	0,3%
Italy	2,67	1,19	0,16			0,27	0,53													14,84	3,0%
Portugal					4,32		0,27													4,72	1,0%
Spain	8,40	4,30		0,57	12,93	2,95	5,30	0,13	0,19						0,28	9,17	0,39		1,05	46,88	9,6%
Turkey	6,01	0,44			1,98	0,40	0,39	0,15								3,00				12,37	2,6%
UK	2,07	0,20			0,65	1,55	2,69		0,30							23,26	0,43			31,18	6,4%
Europe	30,92	7,87	0,21	0,67	26,08	6,18	8,85	-0,68	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	68,04	0,88	0,00	1,19	142,88	29,5%
Argentina							2,70									0,25				2,95	0,6%
Brazil			0,15		1,45		1,39	0,14	0,15	0,05						1,11			0,25	4,88	1,0%
Chile	0,29	0,29	2,48				1,25									0,45	0,17			4,89	1,0%
Dominican Rep							1,45													1,45	0,3%
Mexico		0,26			3,70							3,20				1,68	0,31		0,24	9,39	1,9%
Puerto Rico							1,26													1,26	0,3%
Canada							1,59									0,42			0,09	2,10	0,4%
USA		3,38			1,94	1,20	8,78		-1,32							2,11	1,80		0,74	18,89	3,9%
Americas	0,28	3,83	2,63	0,00	7,09	1,20	18,41	0,14	-1,17	0,85	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00	8,02	2,28	0,00	1,32	45,38	9,4%
China			0,14		0,28					0,14		4,06	2,78	8,44		2,75	1,44	0,85		20,88	4,3%
India		0,14	0,28		0,52		1,01									17,35	0,32			19,82	4,1%
Japan	0,13	0,98	1,23		1,41		0,27	0,13	1,48	11,28	12,84	38,06	30,70	28,74	6,27	16,63	0,27	13,61		164,03	31,8%
Korea		1,88	2,80		1,98	0,26	1,53	0,15	0,56	0,41	1,59	11,85	10,87	2,35	10,13	15,20	3,75	6,09	0,14	71,64	14,8%
Taiwan		0,28	0,55		1,84	0,12	0,72			0,69		4,31	6,22	1,76	0,83	6,08		0,97		24,37	5,0%
Asia	0,13	3,28	6,00	0,00	6,03	0,38	3,63	0,28	2,04	12,62	14,43	48,28	60,67	41,29	17,23	68,01	6,78	21,62	0,14	290,44	60,1%
Kuwait		0,70	0,44		0,13		0,49	0,15		0,39					0,37	1,45		0,15	0,14	4,41	0,9%
Dubai																				0,22	0,0%
Middle East	0,00	0,70	0,44	0,00	0,13	0,00	0,49	0,15	0,00	0,39	0,00	0,00	0,37	0,00	1,45	0,22	0,16	0,14	0,00	4,83	1,0%
Total Exports	31,84	16,68	8,28	0,67	39,31	7,74	32,08	0,01	1,98	12,98	14,43	61,48	60,84	41,29	18,98	123,29	8,19	21,88	2,86	483,12	100,0%
Market Share	6,5%	3,2%	1,7%	0,1%	8,1%	1,6%	6,6%	0,0%	0,3%	2,7%	3,0%	10,7%	10,6%	8,6%	3,9%	26,6%	1,9%	4,5%	0,5%	100,0%	

LNG volumes in million m<sup>3</sup> (liquid)

- TGE Marine Gas Engineering GmbH Dr.K.Gerdmeyer の発表資料抜粋

### 3,000 m<sup>3</sup> LNG bunker vessel



### Bunkering

- Requirements for future operations:
  - High loading rates due to tight time schedule
  - Large total amount of LNG for large vessels
  - Bunkering during cargo operations
  - Safe but easy handling of equipment
- Regulations and standards for the bunker interface and related operations are in preparation by several international working groups

### Equipment for bunker vessels

- LNG Pumps (intank or deepwell) for different bunkering rates
- loading manifold
- mechanical/hydraulic system to handle bunker hoses or arms with coupling
- dry-break emergency release coupling
- vapour return connection
- optional transfer compressor
- signal interface (including ESD)
- possible additional services: inerting with Nitrogen, tank purging and cooling with NG/LNG, tank emptying and warming-up
- other bunker fuels

## 2.4.3 「LNG 燃料船のバンカリングとインフラ」セミナー参加報告

### 2.4.3.1 調査概要

#### (1) 参加の目的

船舶の代替燃料利用に向けた総合対策検討の一環として、欧州における LNG 燃料船のバンカリング手法とインフラストラクチャ整備状況について最新動向等の情報収集を行う目的で、ロイド・マリタイム・アカデミー主催の「Bunkering and Infrastructure for LNG fuelled Vessels」セミナーに参加した。

#### (2) 調査員

杉山哲雄 日本船舶技術研究協会スタッフ

#### (3) セミナー日程

2月28日～29日 「Bunkering and Infrastructure for LNG fuelled Vessels」  
(於 英国ロンドン Prospero House)

### 2.4.3.2 調査内容

#### (1) セミナー概要

セミナーの全体の流れは、LNG 輸送船舶数から見た LNG の現況や原油経済から脱皮していく LNG 新市場を俯瞰することで、船舶燃料としての LNG が将来的に大きく伸長する可能性の説明。その中で先行している欧州における現在までの船舶燃料としての LNG の各種バンカリング手法の紹介をし、それに係わる DNV 等の船級ルールやローカル港規則の適用などは今後 ISO や IMO の審議状況によって修正していく予定としている。一方、バンカリングに係るインフラ整備には「鶏か卵か」の議論の域を今だ出していない点が懸念材料として残っているとされている。また、より安全なバンカリングをするため、LNG バンカリングに関連したリスクアセスメントや取扱者(乗組員を含む)のトレーニングにまで言及し、個別のリスクへの対応について参加者間で議論をおこなった。

#### (2) ポイント

・LNG 輸送船のフリートから見た LNG の市場は、船齢が高いにもかかわらず、高い稼働率を背景にスポット市場の高騰が続き、2016年には最低でも40隻以上が不足するとみられる。将来的には米国のシェールガス生産拡大に伴い、米国が世界のプレーヤーとなりうる。需要国は当分経済発展の伸長やクリーンエネルギーという観点で、日本を含むアジア太平洋地区が牽引することは間違いのないところ。

・現在のインフラ状況下では、欧州の場合、①陸上 LNG タンクファシリティから②LNG 輸送トレーラーから③LNG タンクコンテナの直接搭載④船舶間移送などがある。燃料としての LNG は MDO よりは安価だが将来は不明。ただ、税の優遇政策の対応可能性やメンテナンスの容易さなどの利点があるため、将来的には魅力的な代替燃料となりうる。

・DNV によれば、ガス燃料に関する船級ルール第 1 版を 2001 年に発刊（2012 年 1 月改訂あり）した。その後、米国や日本でも同様のガイドラインが出されている。一方、DNV を議長とする LNG のバンカリングに関する ISO 標準化の審議を、専門家で構成する会議体でおこなっている（本事業の代替燃料総合対策策定検討委員会の下部組織である LNG ISO 対応検討ワーキンググループで審議し代表を本会議体に派遣して日本側の意見が反映できるよう対応している）。また、IGF についても審議が進行中で DNV も関与している。LNG インフラへの整備は欧州北部では LNG 輸入ターミナルからスタートして整備が進んでいる。船舶燃料としての LNG プロバイダーの代表格である GASNOR の他、小規模ながら新規参入が増えてきていると言っている。

・GASNOR の現在のインフラとして、トレーラーが 16 台、LNG 輸送船が 2 隻(大小)、生産拠点を兼ねた JETTER が 3 か所ある。LNG 燃料船普及の最大のカギは、LNG 燃料と重油燃料の価格差であるが、これについては、GASNOR は Price=Gas 市場価格+Infrastructure Cost+Other Element となり、小規模数量の場合は MGO レベル、中規模数量は HFO+10~20%Up、大規模数量は HFO を下回るというラフな見通しを述べている。

・オランダでは、液化天然ガス自動車への燃料供給ステーションを定めた国内法に準じた船舶への陸側からの LNG 供給ガイドラインを策定中。これはオランダにおける船舶への LNG の Re-fuelling の際のガイドラインで、BOG を排出させないなど十分な安全確保を主眼に置いてアプローチの異なる ISO などの国際標準を補完する内容を考えている。

・ロイドによれば、最近の世界の 26 船主への調査で ECA 確定時のエンジンタイプは、長距離航海区間では Scrubber/Dual-fuel/LNG それぞれ 3 割ずつの使用予定回答があった。一方、世界 25 港湾への調査では、船舶燃料としての LNG への転換は当該港における価格と供給能力如何であり、そのためには船主の強い要望がなければ機能しないことを述べている。さらには LNG 化への転換促進には ECA 区域に隣接していることやファシリティへの規則・規制の順守が条件となっている。

・欧州で唯一の LNG バンカリング専門会社である White Smoke 社によれば、4 種類のバンカリング手法を紹介し、①トレーラーの場合は投下資本が少なくフレキシビリティに富む半面、数量が限られ移送速度が遅いことから限定された海域を運航する小型船舶向け。②陸上タンクの場合は低いオペレーションコストを享受できる半面、固定費が高く移動の柔軟性がないことで、比較的長い航行を必要とし長期契約を結ぶ決められた港を反復利用可能なフェリー向け。③船舶搭載型タンクコンテナ・トレーラーの場合は自由度があり投下資本が少ない半面、高いオペレーションコストや陸と海の規則遵守の複雑さなどがあり、LNG 供給の初期の段階や特別なアレンジ向け。④船舶間移送の場合は初期投資が高くバンカリング船の乗組員の人員確保難・コスト高の半面、移送場所や移送量に高いフレキシビリティを持っており全ての中・長距離航海船舶向け。コスト面や対応力から考えると④が最も現実的である。なお、同社は最近 LNG と MGO,HFO とのコンボ型バンカー船を開発。1400DWT の DF 電気推進船 (DNV/Lloyds 船級) で通常 LNG 搭載量は 700 m<sup>3</sup> となっ

ている。なお、個人的な立ち話の中で、同社 CEO は日本の ECA 海域設定はいつになるのか興味を持っていた。本人曰く業界視点ではなく環境保護の観点から国民視点に立って決めてもらいたいとの意向を漏らしていた。

・スウェーデンの設計会社 FKAB は、バンカリングに付随するあらゆるリスクに対してリスクコントロール手法を検討し、その結果をバンカリング船の設計に生かすことを提唱した。ホースハンドリングや ESD などバンカリングエリアに生かせるデザインの紹介があった。(リスクコントロールの手法は、本事業と別途に行われた LNG 燃料船の燃料タンクに関する調査研究の中で IGF コードへの提案のベースとなるリスク評価 HAZID を行ったが、それと同等の手法)

### (3) 総括

本セミナーは、欧州地区のバンカリングなどのインフラに関する最新情報の紹介であり、地球的規模の話ではない。アジア地域独特な課題である LNG の組成の違い（欧州は高いメタン価でノッキングは全く心配していない）によるエンジンへの影響の有無という問題がある。この点についてはガスエンジンメーカーが、問題解決をしていくとしており、このセミナーの課題は欧州域内のインフラ整備をどのようにプロモートしていくかにあった。

しかしながら、我が国にとって LNG を燃料とする船舶の普及促進は将来的な海事産業の成長に寄与することからも、欧州の動きは直接的、間接的にも影響を受ける。よって、今後も、先進的な欧州のインフラ整備状況を引き続き注視のうえ情報収集をしていくことが、ひいては我が国の LNG 燃料船の普及促進に向けてたいへん重要なポイントである。

### 3. まとめ

地球温暖化防止に向けた GHG 排出量の削減は、UNFCCCにおいて議論が重ねられ、2011年の COP17 で 2013 年以降の枠組みの在り方を審議する作業部会を設けるなど一定の進展はあったものの、公平性及び実効性の面で、京都議定書の第 2 約束期間について、我が国は参加しない立場を貫いた。ダーバンプラットフォームと呼ばれる枠組みが用意されたことで、地球温暖化防止に向けた国際的議論の基盤はなんとか維持されたものの、その将来見通しは不透明と言わざるを得ない。

一方、国際海運から排出される GHG の抑制については、2011 年 7 月の IMO/MEPC62 において、異例の多数決をもって海洋汚染防止条約第 6 附属書の改正案が採択された。このことは、コンセンサスをベースとする UNFCCC が各国の政治的な思惑を多分に含む鋭い対立構図によって効果的な合意形成が損なわれているのと対照的に、技術的議論をベースとする IMO における国際的政策形成の有効性を示したものとして特筆すべき達成である。この IMO における政策策定・合意形成において、我が国が極めて重要な役割を果たし、国際社会がそれを高く評価していることは、IMO 事務局長として初の日本人である関水氏が昨年選出されたことから伺うことができる。

当協会では「国際的な枠組み作りへの対応」として、新造船の環境性能基準としてのエネルギー効率設計指標 (EEDI) を義務付けること、既存船のエネルギー効率管理計画 (SEEMP) を義務付けるよう法規制を確定させる作業に注力したところである。特に本事業で行った研究で「革新技術に係る EEDI 計算方式」では EE-WG2 でガイダンス案を提案し、多くの国から賛同を得た。今後は、我が国の持つ優れた省エネ技術が船舶のエネルギー効率指標において正しくその効果を反映できるように、船技協が中心となって革新的技術の計算方法についての検討をさらに進める等、2013 年 1 月の改正条約の発効に備えた作業を加速させていく必要がある。

一方、当協会は、エネルギー効率化を進めるための代替燃料として LNG 燃料を有力オプションとみて、これまで継続的に調査研究を行ってきた。今年度も「船舶の代替燃料利用に向けた総合対策の策定」として現在運航されている外航船・内航船をモデルシップとし、LNG を燃料にした船舶として運航する際の経済性の課題抽出を行った。ここでは、船種・航路・サイズ等の条件も異なる外航船 1 船種、内航船 5 船種を対象に検討を行ったことで、LNG 燃料船の普及可能性についてのより幅広い視座を提供できたのではないかと考えている。また、欧州及びシンガポールへの現地調査を通じて、エンジンメーカーにおける着実な技術開発、次第に大型化する欧州 LNG 燃料船実船建造予定、ロッテルダム港・シンガポール港の LNG 戦略などの最新情報を収集・分析することができた。LNG 燃料船の普及がいよいよ現実性をもって語られるようになった現今の状況であるがゆえに、むしろ各ステークホルダーはその普及の見通し、将来性について、独自の見解を深めつつあるよ

うにも見受けられたのは興味深い点である。

LNG 燃料船については、国土交通省が 2011 年 7 月に公表した「新造船政策」において、イノベーションのテーマとして位置づけ、2012 年度からは予算措置を講じ、本格的に普及促進に乗り出すこととなった。LNG 燃料船について、いち早く検討に着手してきた当協会としては、これまでの取り組みに一区切りをつけ、今後は国との連携をさらに強化しつつ、当協会のプラットフォーム機能等を活かした役割を果たしていく所存である。

最後に、エネルギー効率化という我が国海事セクター全体に関わる非常に重要なテーマについて、継続的に助成をしていただいた日本財団に改めて感謝を申し上げます。







この報告書は、競艇の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

— 国際海運におけるエネルギー効率化に向けた枠組み作り(フェーズ2) —

2012年(平成24年)3月発行

発行 財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2丁目10番9号 ラウンドクロス赤坂

TEL 03-5575-6428

FAX 03-5114-8941

URL <http://www.jstra.jp/>

E-mail [info@jstra.jp](mailto:info@jstra.jp)

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。