

LNG燃料適用による 環境負荷低減船舶 及び

Gas燃料関連機器

ClassNK R&D Project
環境セミナー (LNG燃料船関連)
2014.09

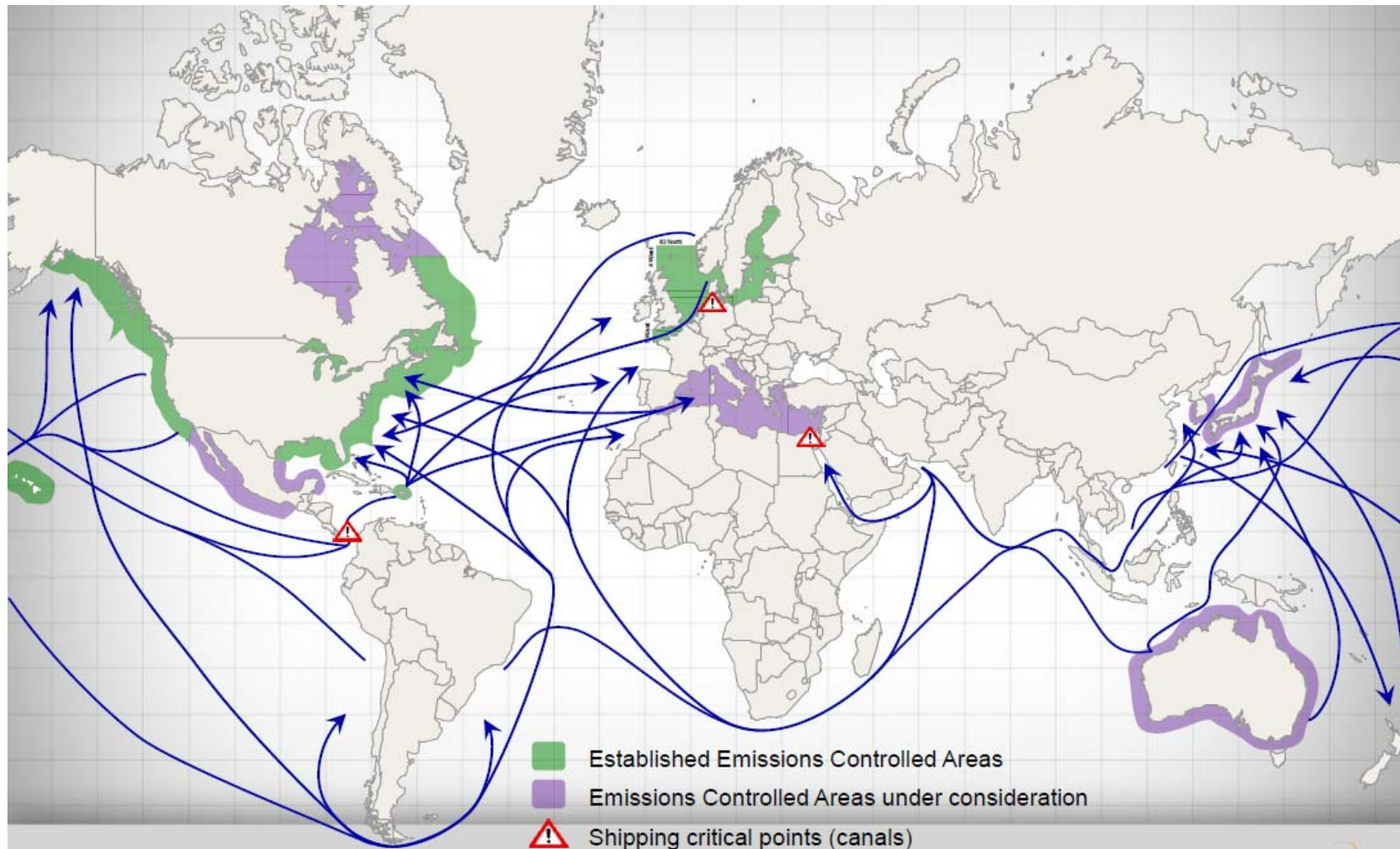
三菱重工業株式会社
船海エンジニアリング部 雲石 隆司

- ① 船舶を取り巻く環境規制
- ② LNG燃料船に関する課題
- ③ 国内外のLNG燃料船検討状況
- ④ MHI LNG燃料船の検討
- ⑤ **MHI-GEMS™**
(**G**as ship **E**quipment **M**odule and **S**ystem)



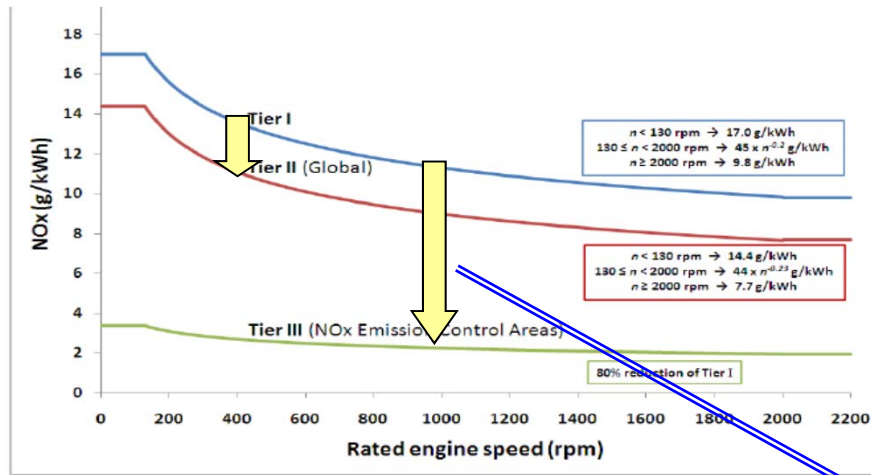
① 船舶を取り巻く環境規制

World wide Ocean lane distribution & ECA / SECA



① 船舶を取り巻く環境規制 (NOx, SOx, CO2)

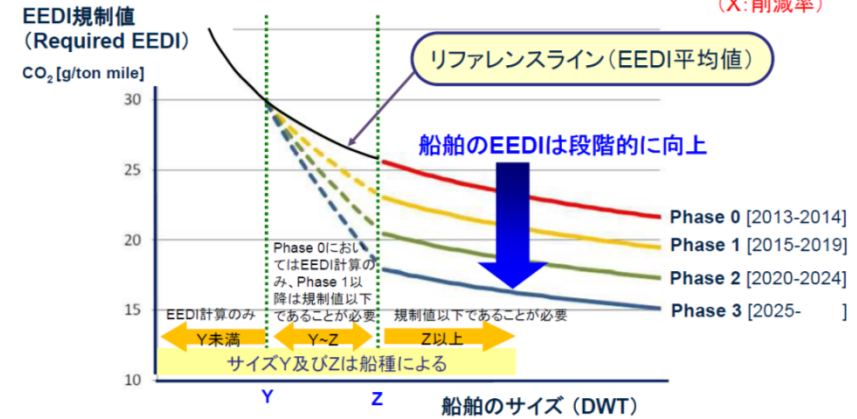
IMO NOx Regulation (Tier III: Only for ECA/SECA)



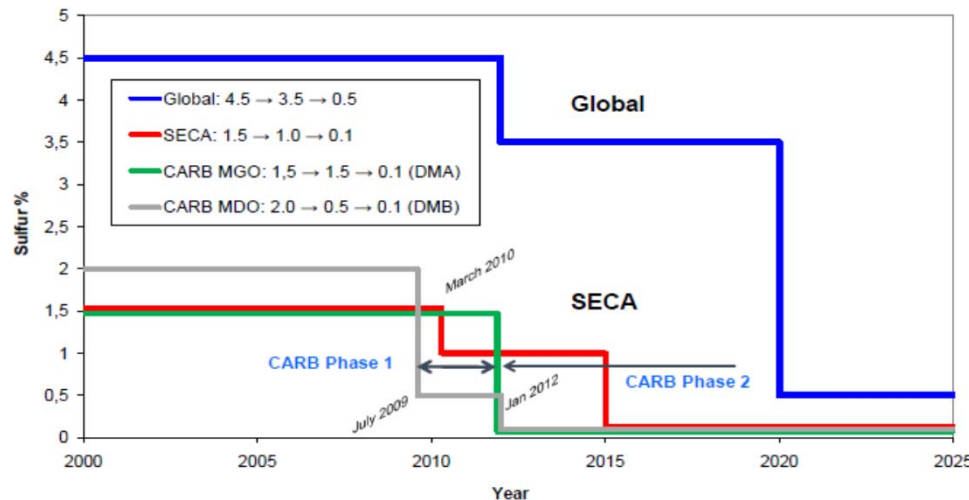
IMO EEDI

$$\text{Attained EEDI} \leq \text{Required EEDI} = (1-X/100) \times \text{Reference line value}$$

(X: 削減率)



MEPC 57 IMO & CARB Fuel-Sulfur Content Limits



△ 80%: 機関内部技術のみでは達成が難しい

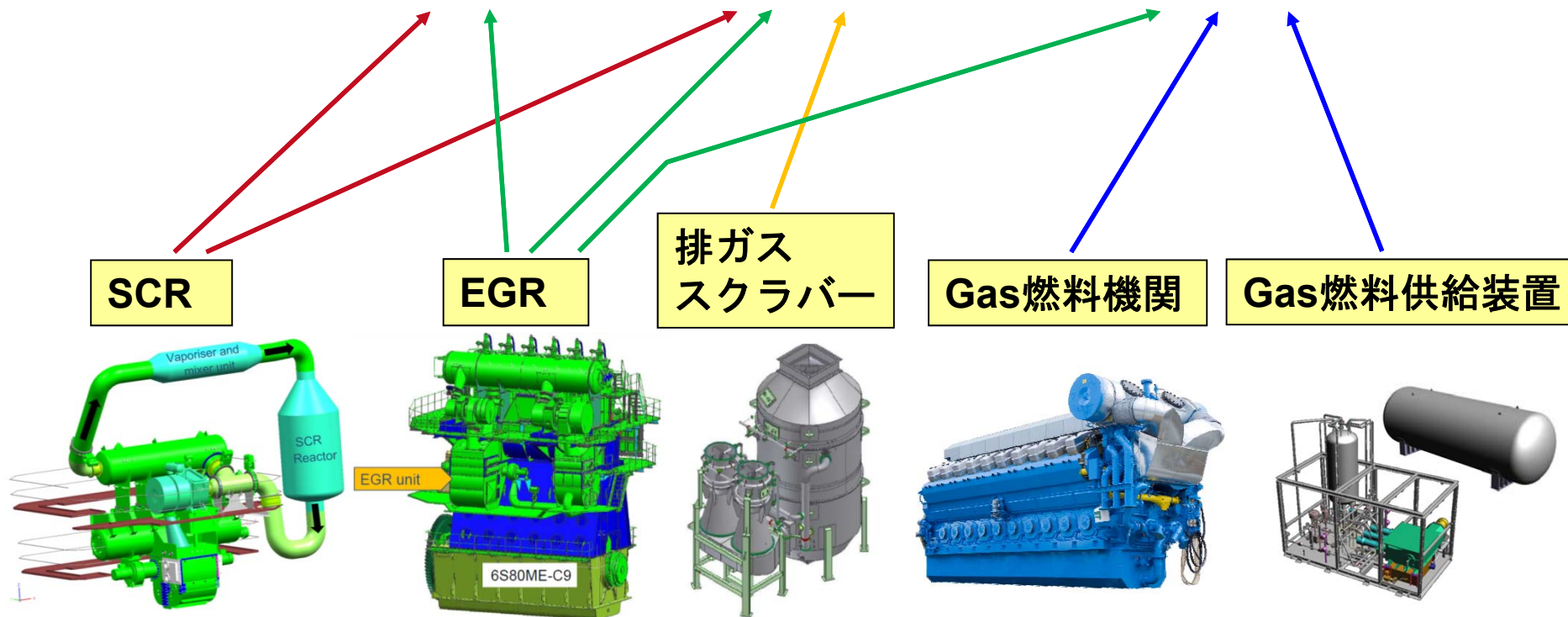
Nox 規制とCO2削減は相反する関係

SOx 削減規制は燃料価格の上昇懸念


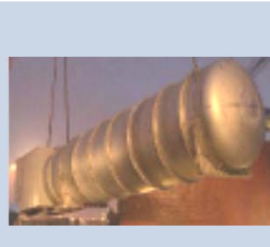
①船舶を取り巻く環境規制

IMO MARPOL Annex VIを満足するための組み合わせ技術

対応策	1	2	3
	燃料油種転換	排ガススクラバー	LNG燃料適用
In ECA & SECA	低硫黄燃料 SCR or EGR	C重油 排ガススクラバー SCR or EGR	LNG燃料 Gas燃焼機関, 2元燃料機関 Gas燃料供給装置 (MAN-MEGIではEGR必要)



② LNG燃料船に関する課題

LNG タンク 形式	方形タンク	球形タンク	円筒形タンク		ローリー ISOコンテナ
					
IMO Type	B	B or C	C		
防熱	外部防熱		外部防熱	真空防熱	真空防熱
設計圧力	0.7 bar	1 bar	10 Bar		10 Bar
スペース効率	高	低	中		低 / 中
Gas供給方式	LNG加圧ポンプ 気化器		タンク加圧、 又はポンプ 気化器	タンク加圧方式 気化器	
タンク圧力制御 BOG 処理	要		不要		
最適容量	>5,000m ³	>5,000m ³	30-3,000m ³	30-1,000m ³	< 50m ³
設計/製造コスト	高	高	中	中	低 / 中

② LNG燃料船に関する課題

LNG燃料機関	Gas専焼 機関	2元燃料機関	2元燃料機関	蒸気タービン
	4 サイクル	4 サイクル	2 サイクル	
着火方式	スパーク点火	パイロット燃料噴射	パイロット燃料噴射	--
LNGタンク要件	2-タンク以上要	1-タンクで可		
NOx-Tier III 対応	適合	適合	排ガス後処理装置の追加必要	適合
補助推進システム	要	--	--	--
Gas燃料遮断 非常時対応	補助推進システム 切り替え (減速航行)	燃料油運転に瞬時 切り替え	燃料油運転に瞬時 切り替え	燃料油運転に瞬時 切り替え
Remarks	未燃メタン排出 1~2%	未燃メタン排出 1~2%	Gas運転最低負荷 >15% load	オペレータ不足

LNG 燃料補給



LNGローリー直接搭載

LNG ISOコンテナ

LNGバンカー車

LNGバンカー船

LNGターミナル

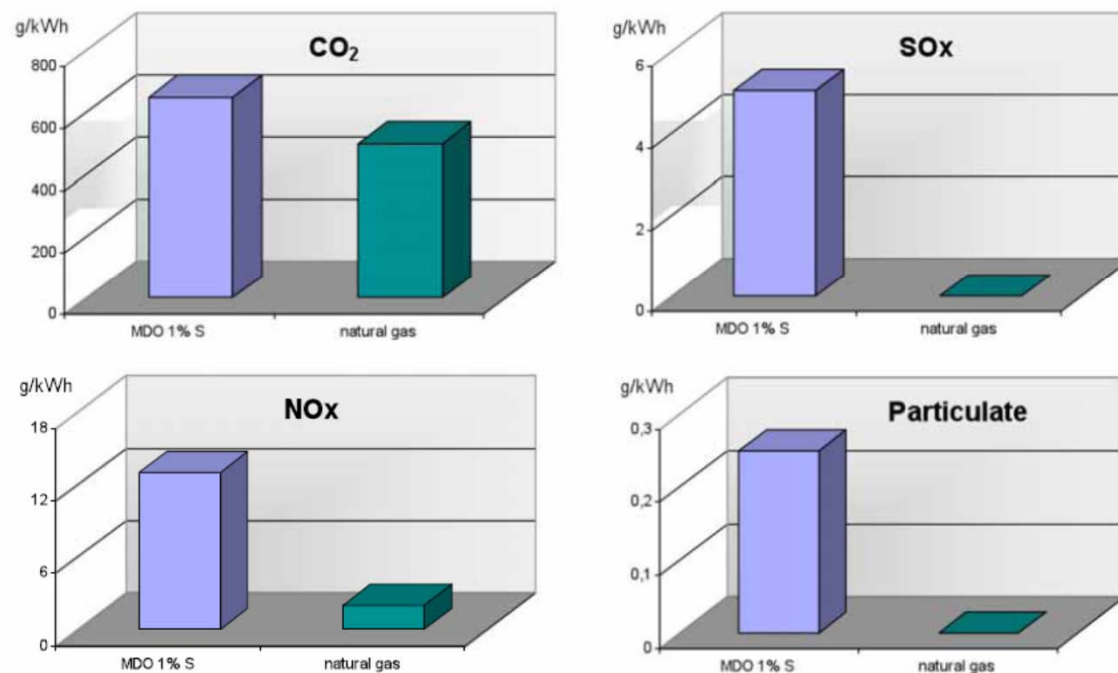
② LNG燃料船に関する課題

例. Gas専焼機関 性能



Rolls-Royce
Spark Ignited Gas Engine

Emissions - MDO versus Natural gas



CO₂ = Δ23%, NO_x = Δ92%, SO_x = Δ100%, PM = Δ98%

NO_x tier-III満足, CO₂削減効果も大きく、EEDI対応にも有効

ROLLS-ROYCE presentation material

③ LNG燃料船 (世界中の実績、建造計画)

LNG fuelled ships in operation or on order

Ship type	In operation	On order	Total	Owners
Car/passenger ferry	22	8	30	Fjord 1, Torghatten, Norled, Tide Sjö,
Offshore support vessels	12	14	28	Solstad, Olympic Shipping, Island Offshore, ...
Container vessels	0	8	8	ToTe shipping, Crowley, Matson
RoRo vessels	0	6	6	Seacargo, NorLines, ToTe
Gas Carrier	0	5	5	SABIC, Evergas
Large cruise/RoPax ferries	3	1	4	Viking Line, Fjord Line, Brittany Ferries
Patrol vessel	3	1	4	Finnish goverment, Remoy
TUG	3	1	4	Buksér&Berging, CNOOC
General Cargo	2	2	4	Nordnorsk Shipping, Egil Ulvan rederi,
Product/chemical tanker	1	3	4	Tarbit Shipping, Terntank, Bergen tankers
Harbour vessel	1	0	1	Incheon Port Authority
High speed ferry	1	0	1	Buquebus
Icebreaker	0	1	1	Finnish Transport A.
TOTAL	48	50	98	

③ LNG燃料船 (欧州)



③ LNGバンカー船 (欧州)



③ LNG燃料船 (北米)



③ LNG燃料船 (日本)

船社検討

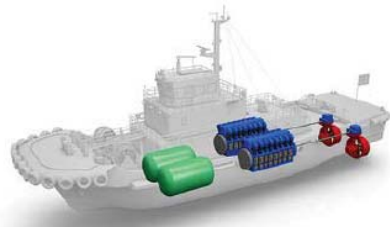
NYK (UECC) 3800 PCTC

- 2Cyc. DF Diesel
- LNG Tank : Type-C



NYK TUG

- 4Cyc. DF Diesel x 2
- LNG Tank : Type-C



K-LINE 2000 PCTC

- 4Cyc. Gas engine x 2 + 1 CPP
- LNG Tank : Type-C



MOL ISHIN-II Ferry

- 4Cyc. DFE-CRP Pod
- LNG Tank : Type-C



KHI 9,000TEU C/S

- 2Cyc. DF Diesel x 1
- LNG Tank : IMO type-B



造船所検討

IHI-MU 10,000TEU C/ S

- 2Cyc. DF Diesel x 2
- LNG Tank : SPB



OSHIMA

“OHBC ECO-Ship 2020”

- 4Cyc. Gas engine x 2 + 2 Shaft
- LNG Tank : Type-C



③ LNG燃料船 (日本国土交通省)

(1) 日本船舶技術研究協会

- ① “国際海運におけるエネルギー効率化に向けた枠組みづくり事業”
LNGは有望な代替エネルギーとして、船級協会、造船所、船主、原動機メーカーが集まり必要なインフラストラクチャーの調査・研究を継続中。
- ② “LNG燃料船の燃料タンク等に関する研究委員会”
船級協会、造船所、船主が集まり、LNGを燃料とする船舶の試設計を通し、課題抽出、HAZID実施による、IGFコードの作成作業への反映を目的に研究。

(2) 国土交通省: H24年度 天然ガス燃料船 実用化研究

研究項目	内容	
安全基準作成	1. ハード関連	高压ガス供給システムの安全基準 (模擬Plant基礎試験、2重管設計基準)
		2種LNG積み増しによるロールオーバー検証、マニュアル作成
	2. ソフト関連	通常運航・出入港 (船員等体制)
		Ship to Ship (ハードウェア)
		緊急・防災対応
		Ship to Ship (着棧 及び 錨泊)
		液移送
		Pipe Line
		Lorry
	3. 調査等	検査方法
		国際戦略
		排ガス・GHG

④ MHI LNG燃料船の検討

LNG燃料適用の候補船舶

船種	航路	ECA, SECA航行	LNG燃料適用の可能性	備考
RORO船 フェリー	日本内航			
	欧州域内	✓	✓	
自動車運搬船	欧州 - アジア	✓		ECA/SECA域の航行割合が低い が、地中海のECA/SECA適用次第では可能性が高くなる。
	北米 - アジア	✓	✓	北米で安価なシェールガス由来のLNG燃料バンカー供給の可能性大 (Ship to Ship バンカリング方式)
	欧州域内	✓	✓	
コンテナ船	欧州 - アジア	✓		ECA/SECA域の航行割合が低い が、地中海のECA/SECA適用次第では可能性が高くなる。
	北米 - アジア	✓	✓	北米で安価なシェールガス由来のLNG燃料バンカー供給の可能性大 (Ship to Ship バンカリング方式)
	南北航路	✓	✓	
VLCC	PG - World wide	希		
バルク	World wide	希		



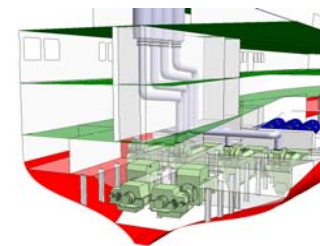
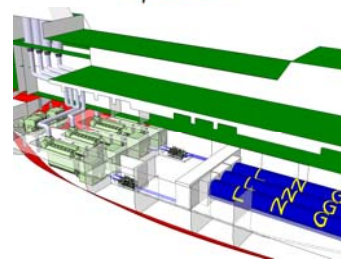
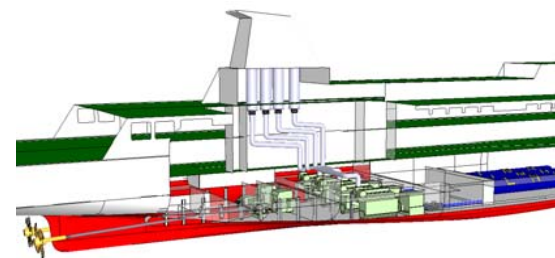
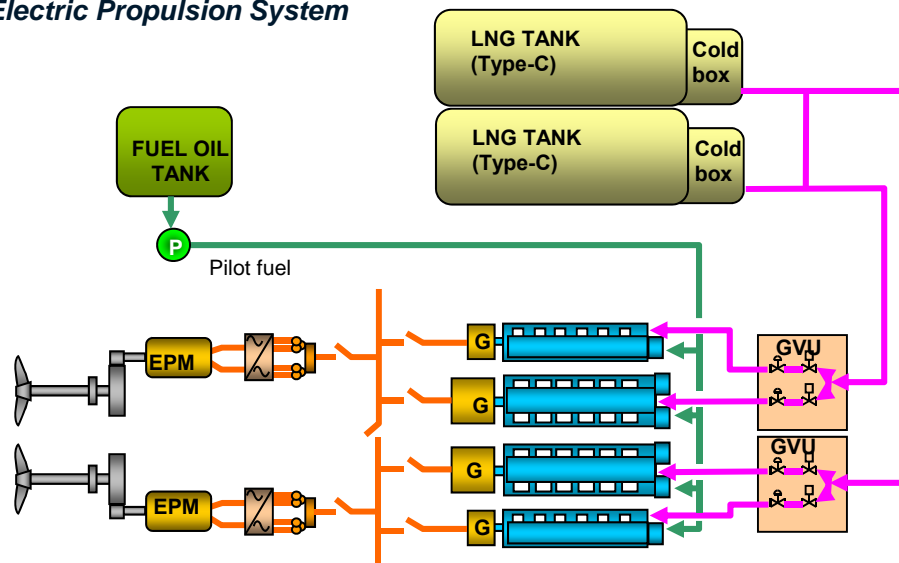
④ MHI LNG燃料船の検討 (フェリー)



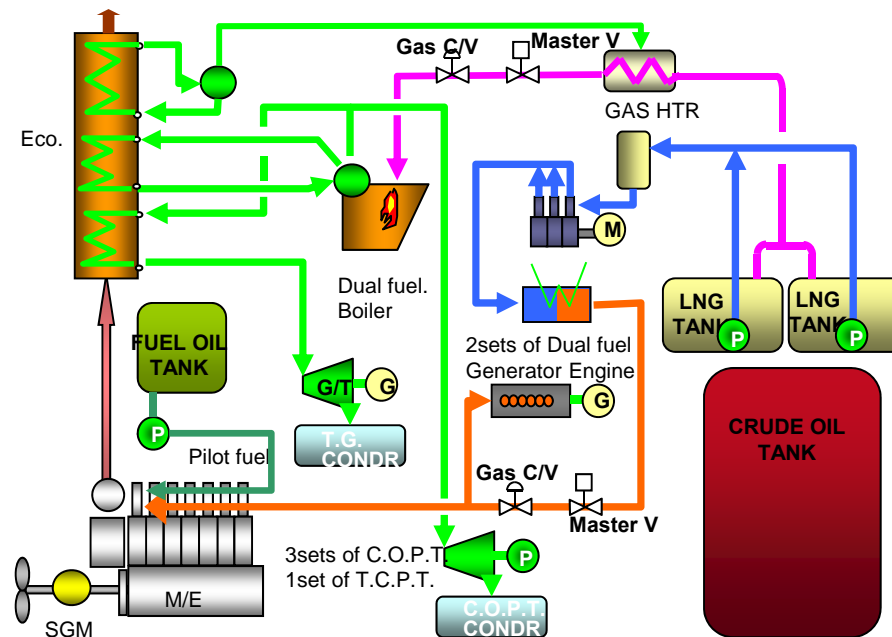
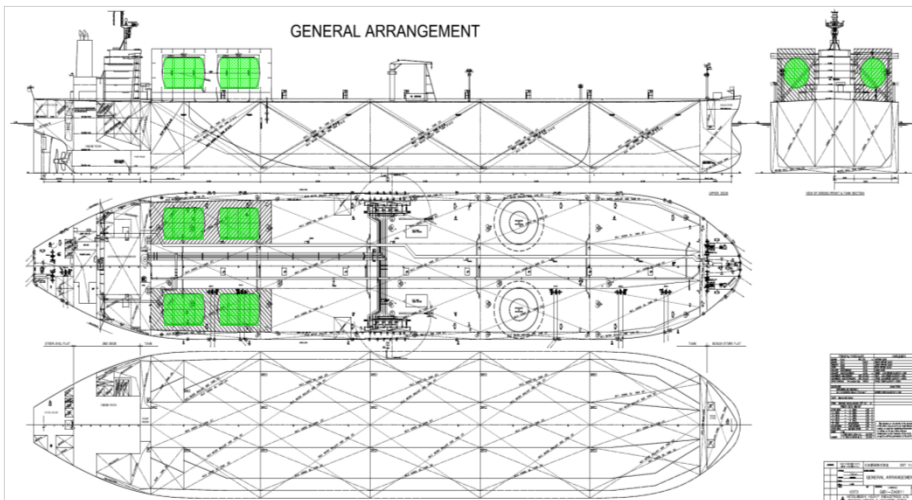
旅客 600名, トレーラー155台,
23 knots, 450 sm

ROPAX Emission 試算		HFO: 3% S, MDO: 0.5%S		
		中速Diesel 2機2軸 CPP	DFDe 2機2軸 FPP	
旅客定員		約600名		
車両台数	12m トレーラー	約155台		
	乗用車	約 50台	--	
航海速度		約23ノット		
主機関		12,000 kw x 2sets	--	
主発電機関		--	8,400 kw x 2sets	
補助発電機関		1,270 kw x 3sets	5,400 kw x 2sets	
航海時間		19.5 時間		
年間航日数		300 日		
年間の燃料消費	FO. (k-ton/年)	26	0.2	
	LNG (k-ton/年)	--	23	
エミッション	CO2 (k-ton/年)	82	62	-25%
	NOx (ton/年)	1,398	233	-83%
	SOx (ton/年)	1,432	28	-98%

Dual Fuel Diesel Electric Propulsion System

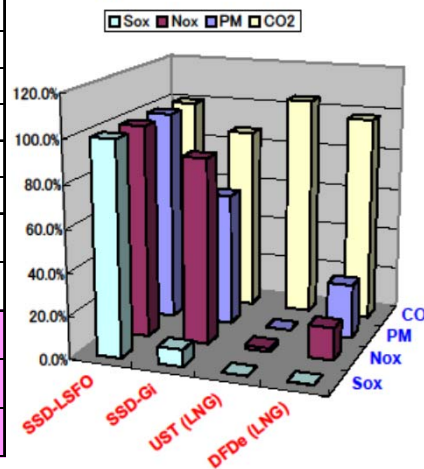


④ MHI LNG燃料船の検討 (VLCC)



VLCC エミッション 性能 試算		HFO: 3% S, MDO: 0.5% S				
主機関	低速機関 (C重油)	2元燃料機関 (LNG) プラント-A	2元燃料機関 (LNG) プラント-B			
船速	15.5 ノット					
推進馬力	27,000 kw x 76 rpm		25,000 ka x 63 rpm			
発電機	T/G	1,100 kw x 1 set	2,000 kw x 1 set	--		
	STG	--	--	2,000 kw x 1 set		
	D/G	1,100 kw x 2 sets	1,400 kw x 2 sets	1,400 kw x 2 sets		
	SGM	--	1,00 kw x 1 set	1,00 kw x 1 set		
タンク容量	355,000	326,000	326,000			
航海日数 / 年	300 日					
燃料消費	F.O. (ton/日)	90	5.2	5.5		
	LNG (ton/日)	--	81.8	66		
エミッション	CO2 (k-ton/年)	84,605	72,401	-14.4 %	59,649	-29.5 %
	NOx (k-ton/年)	1,913	1,672	-12.6 %	1,548	-19.1 %
	SO (k-ton/年)	1,811	145	-92.0 %	135	-92.6 %

Comparison of Emission



- SSD-LSFO:** Slow Speed Diesel - Low Sulfur Fuel Oil
基準プラント
- SSD-Gi:** Slow Speed Diesel - Gas injection
最もCO2排出の少ないプラント
(NOx tier-III適用のためには SCR or EGR要)
- DFDe:** 4Cycle D.F. Diesel Electric Propulsion system
NOx tier-III、及び Sox規制に適合
- UST:** Ultra Steam Turbine Propulsion system
CO2排出は僅かに増加するが、それ以外は PMも含めほぼゼロ。

④ MHI LNG燃料船の検討 (C/S & O/C)

14,000TEU Container ship, 23knots, Asia-Europe

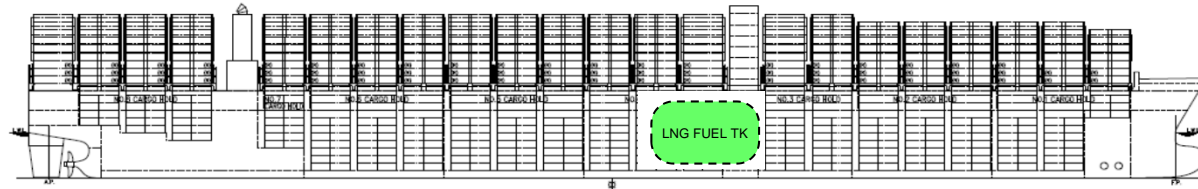
Arrange – 1: 全航路LNG燃料適用時は 800TEU の積み個数減少

欧州ECA域と地中海のみLNG燃料使用時は 330TEU の積み個数減少

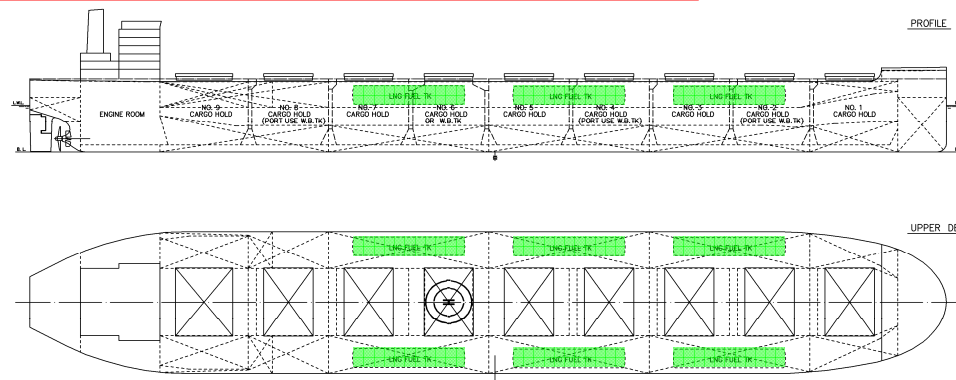


Arrange – 2: 全航路LNG燃料適用時は 480TEU の積み個数減少

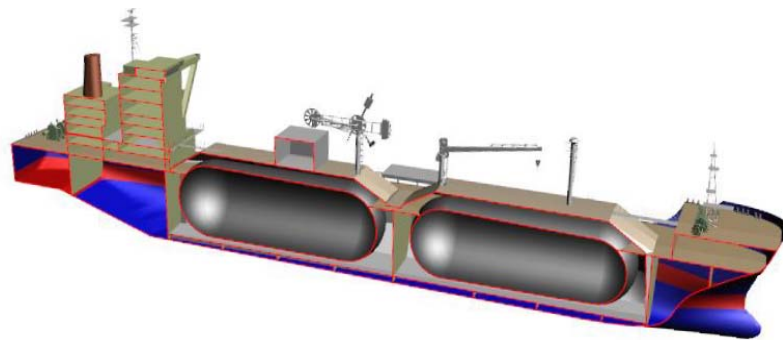
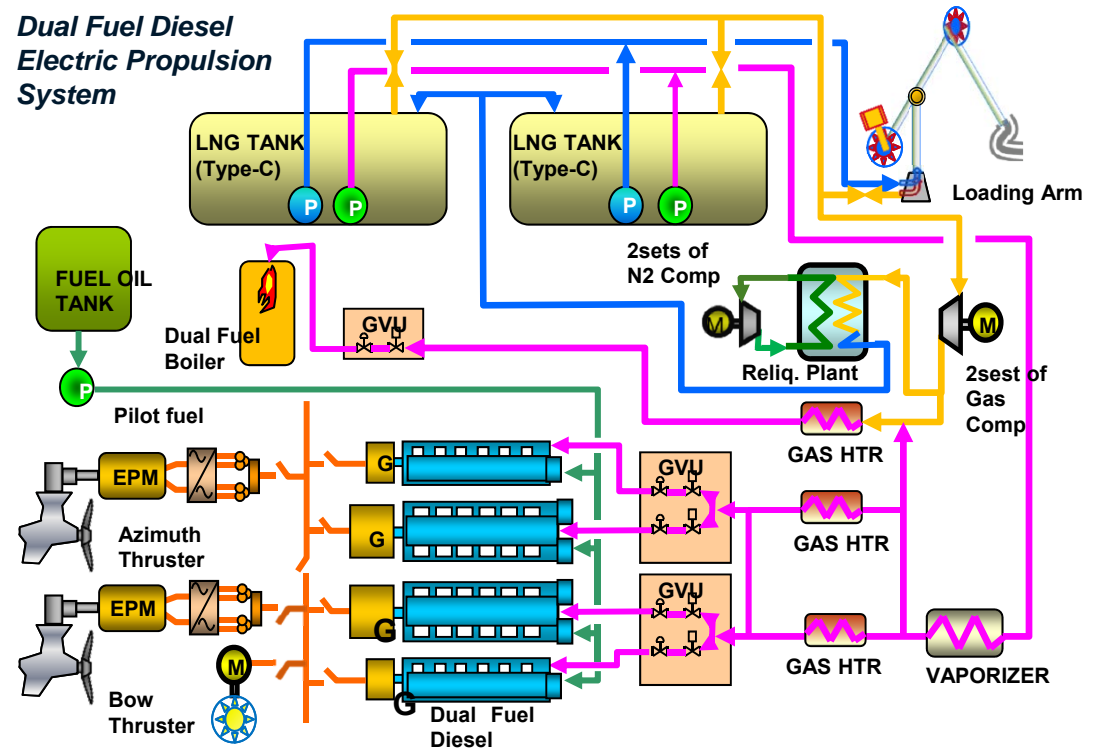
欧州ECA域と地中海のみLNG燃料使用時は 180TEU の積み個数減少



205 Ore Carrier, 14.2 knots, Brazil -Asia



④ MHI LNG燃料船の検討 (LNG燃料バンカー船)



LNGのShip to Shipバンカリング特殊仕様

- ローディング アーム
- ゴムフェンダー
- 返送ガス処理装置
- Custody Transfer System
- LNG/BOG 気・液平衡シミュレーションツール

④ MHI LNG燃料船の検討（課題）

就航後の定期ドック前後のオペレーションと 装備機器 (Vaporの大气放出防止)

➤ オペレーション:

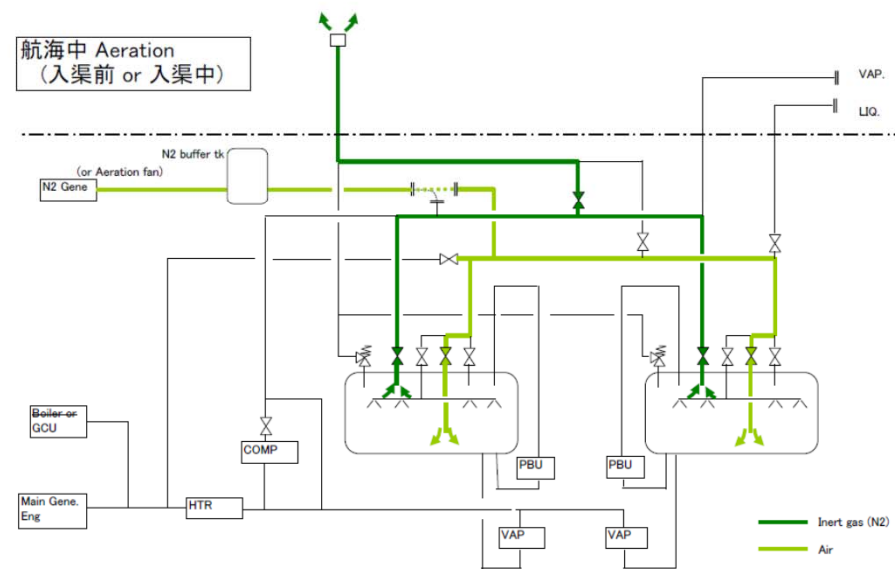
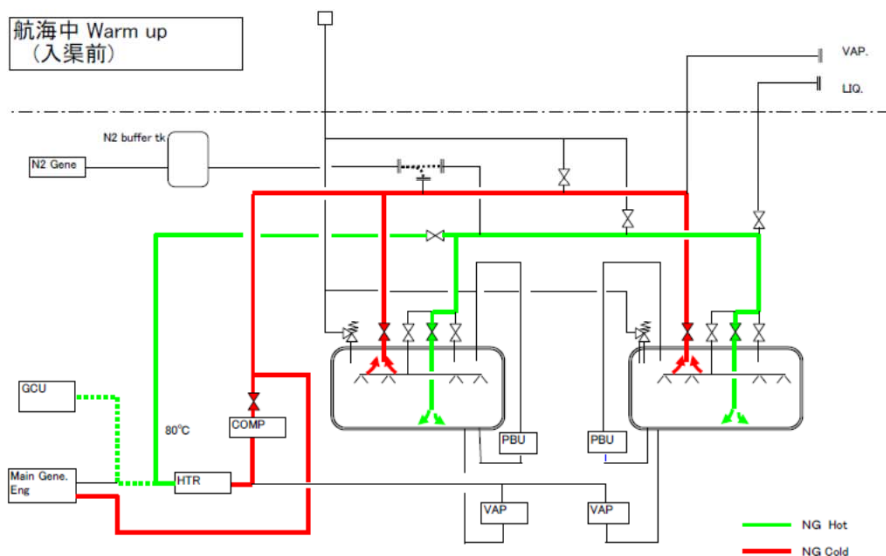
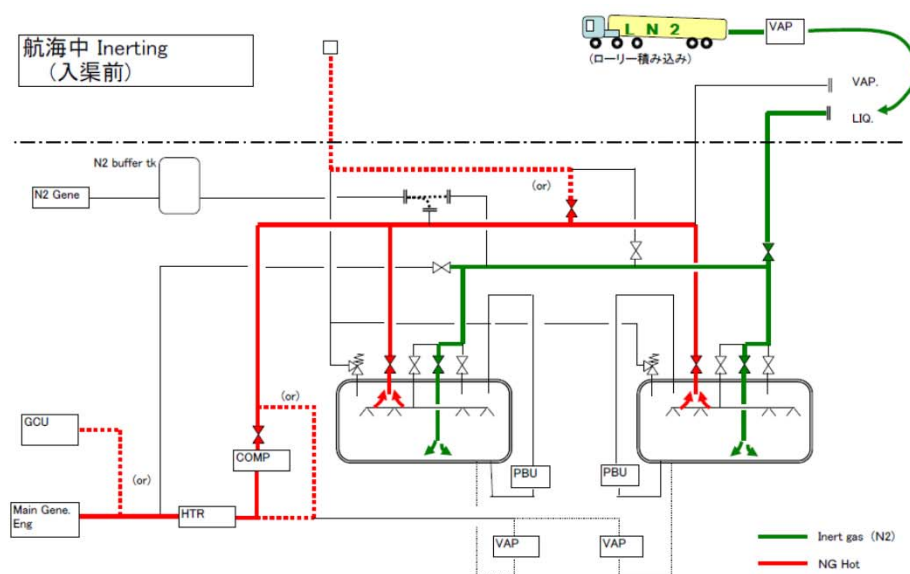
1. LNG tank warm-up
2. Inerting
3. Aeration

Dry dock

4. Inerting
5. Cool down
6. Initial LNG filling

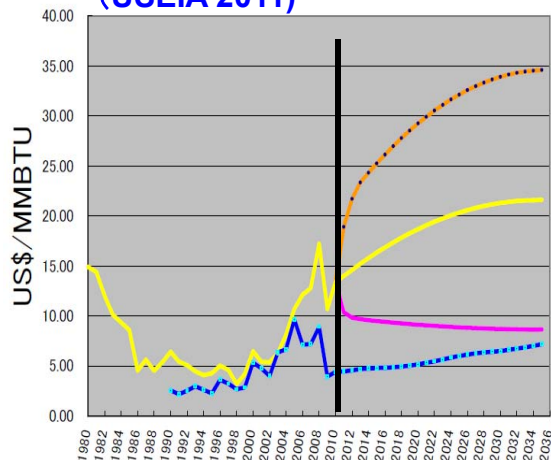
➤ 必要機器:

Compressor / Heater / GCU / N2 Gene.

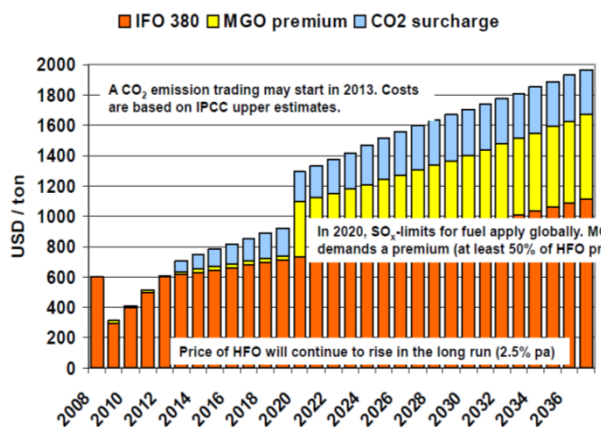


④ MHI LNG燃料船の検討 (課題)

Trend data (NG and Crude oil)
(USEIA 2011)



— High oil price — Low oil price
— Oil reference — Natural gas
 (Henry Hub Spot Market)



Ref. Germanischer Lloyd AG

日本国内価格:
 C重油価格と等価となるLNG燃料単価試算 (フェリーの例)

注1:	Index:HFO x 1.31	
注2:	49.10MJ/kg	
注3:	1MBTU=1,055.056MJ	
注4:	90円/US\$	100円/US\$

C重油燃料 費用推定			C重油燃料 推定費用 と 等価となる LNG燃料単価計算							
HFO 消費			MDO (Pilot oil) 消費			同等 LNG 計算				
単価	消費量	① 燃料費	単価	消費量	② 燃料費	③ (①-②)	④ 消費量	単価 1	単価 2	単価 2
(VMT)	(ton/年)	(MV年)	(VMT)	(ton/年)	(MV年)	(MV年)	(ton/年)	(円/MT)	(\$/MMBTU)	(\$/MMBTU)
			注1					(③/④)	注2、注3、注4	注2、注3、注4
45,000	9,116	410.2	58,950	79	4.7	410.2	8,136	50,420	12.0	10.8
46,000	9,116	419.3	60,260	79	4.8	414.6	8,136	50,956	12.2	10.9
50,000	9,116	455.8	65,500	79	5.2	450.6	8,136	55,387	13.2	11.9
55,000	9,116	501.4	72,050	79	5.7	495.7	8,136	60,925	14.5	13.1
60,000	9,116	547.0	78,600	79	6.2	540.8	8,136	66,464	15.9	14.3
65,000	9,116	592.5	85,150	79	6.7	585.8	8,136	72,003	17.2	15.5
70,000	9,116	638.1	91,700	79	7.2	630.9	8,136	77,541	18.5	16.7

④ MHI LNG燃料船の検討（課題）

日本に輸送されているLNG性状による、
4サイクルDF機関出力制限の試算

Property (mol %)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Methane	90.16	87.33	89.88	90.5	88.34	90.95	96.69	92.26	89.53	90.76
Ethane	5.41	8.39	6.58	5.12	7.09	5.56	1.97	4.87	6.36	5.62
Propane	3.16	3.33	2.36	2.84	2.77	2.49	0.34	1.87	2.82	2.39
n-Butane	0.46	0.48	0.63	0.81	0.74	0.48	0.08	0.42	0.6	0.51
i-Butane	0.64	0.39	0.41	0.63	0.74	0.5	0.07	0.37	0.55	0.47
n-Pentane	0	0	0	0.02	0.01	0	0	0.01	0	0
i-Pentane	0	0.01	0	0.04	0.03	0.01	0	0	0.02	0.01
Hexane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrogen	0.16	0.09	0.14	0.04	0.28	0.01	0.85	0.2	0.12	0.22
Carbon dioxide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oxygen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Average molecular weight liquid	0	0	0	0	0	0	16.58	17.61	0	4.27
Liquid density	459.97	465.29	457.53	459.55	465.74	454.1	439.3	447.8	460.36	456.16
BTU/SCF	1121.7	1142.82	1117.3	1125.505	1137.2	1111.8	1026	1100	1126.1	1110.29

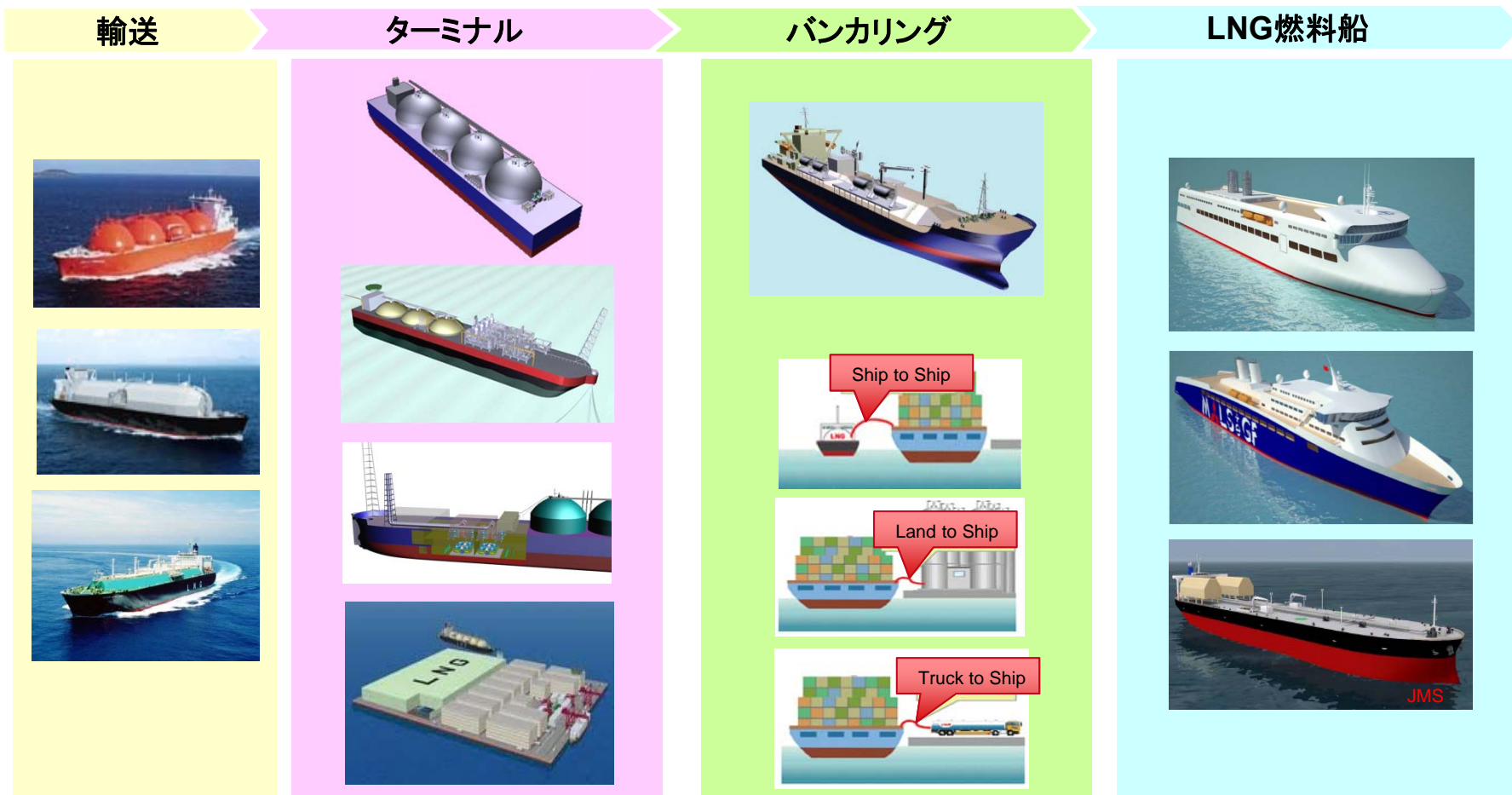
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

MJ/m ³	44.4	45.23	44.22	44.55	45.01	44	40.61	43.54	44.57	43.94
Calculated methane number	70.6	69.1	71.5	69.6	68.4	72.4	89.8	75.5	70.2	72.5
Derating Ratio (%) (975kW/cyl)	9.4%	11.1%	8.5%	10.4%	11.6%	7.6%	0%	4.5%	9.8%	7.5%

↑
No derating is required (100% output is possible), please fill in 0%.
Derating is required 10% (max. output is 90%), please fill in 10%.

④ MHI LNG燃料船の検討

LNGの上流(輸送)から下流(消費)まで、全ての船・機器に対応



Gasハンドリング 深冷技術 及び 機器製造



LNG燃料
供給技術

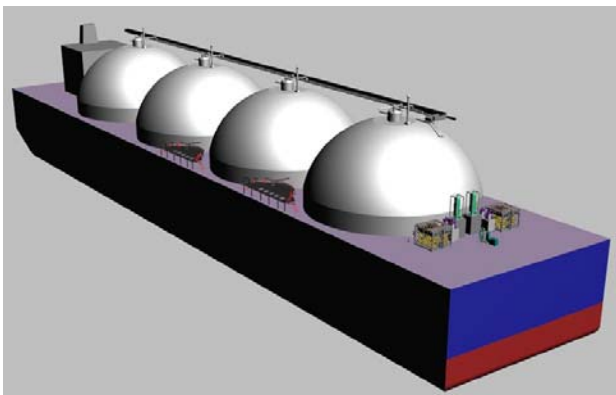


LNGタンク
貯蔵技術



ガス焼却
技術

BOG
再液化技術



LNG ガス化
技術

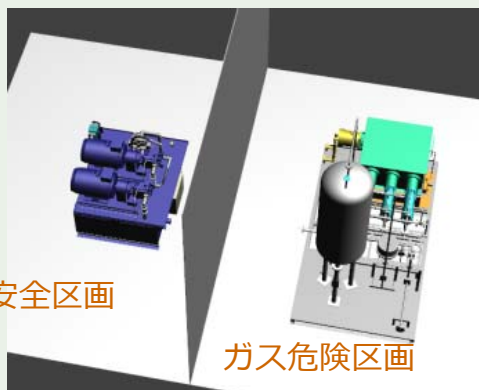


MHI-GEMS™ モジュールラインナップ
(Gas ship Equipment Module and System)

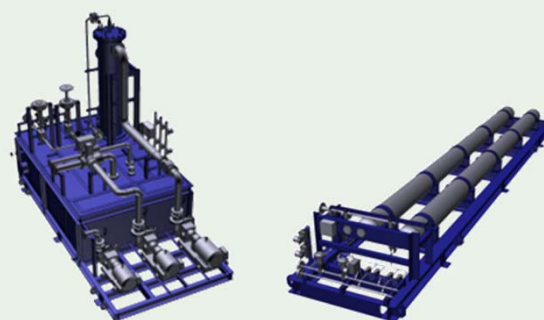
MHI-GEMS™ モジュール ラインナップ

燃料ガス供給装置 (FGSS) GI 機関 / DF 機関 / Gas 専焼機関

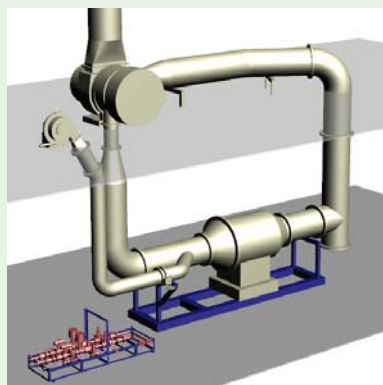
LNG 加圧供給装置 (~40MPa)



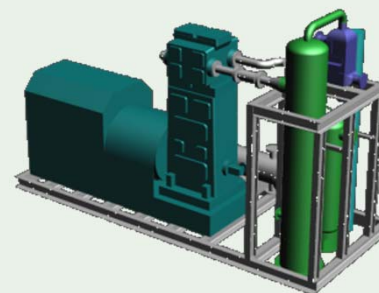
CNG 供給、及び 圧力調整 装置



ガス焼却装置



BOG 加圧供給装置 (~1MPa)



MHI-GEMS™ モジュール ラインナップ

LNG 貯蔵タンク

2重殻 真空防熱タンク



IMO type C 外部防熱タンク

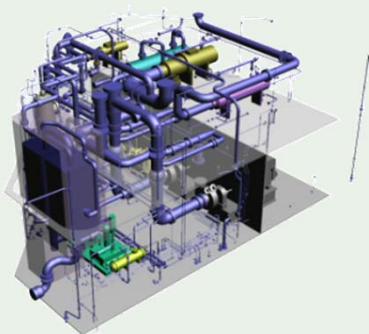


IMO type B 外部防熱タンク

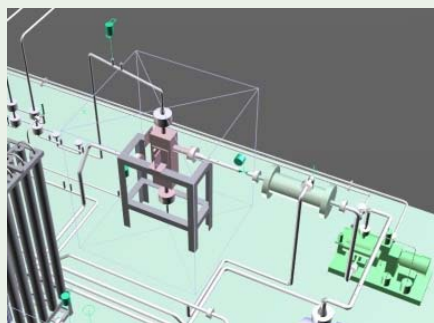


LNG再液化装置 LNGC

LNG 再液化装置

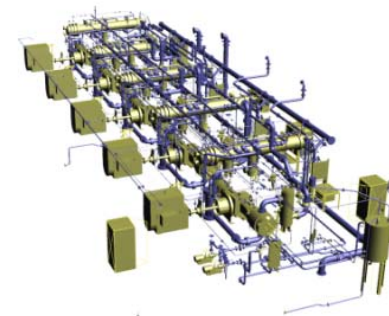


LNG 冷熱回収装置



LPG 再液化装置 LPGC

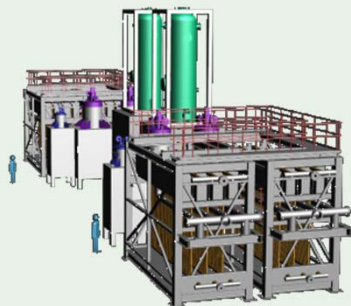
LPG 再液化装置



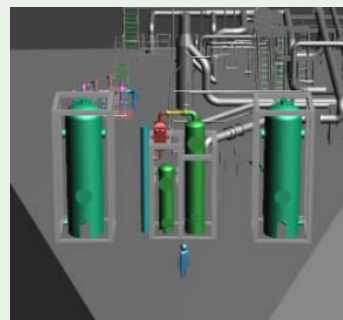
MHI-GEMS™ モジュール ラインナップ

LNG 再ガス化装置 FSRU

オープンラック気化器 / 再ガス化

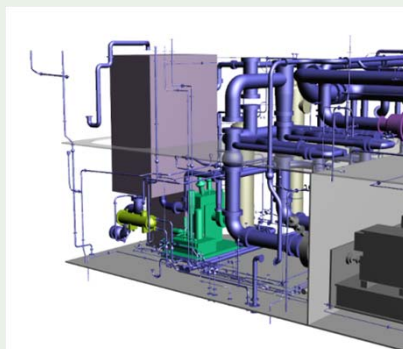


BOG 再凝縮器

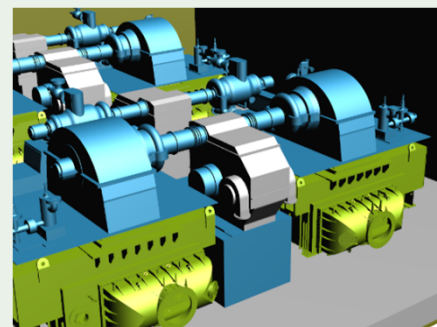


Gas 液化関連システム FLNG

コールドボックスモジュール

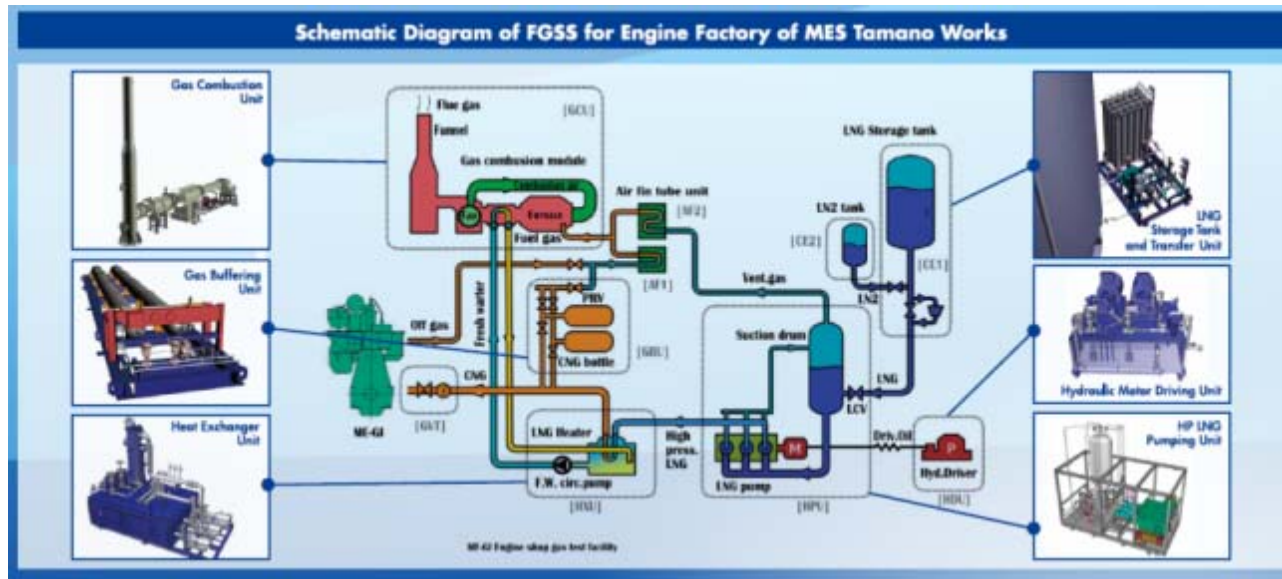


蒸気タービン駆動ガス圧縮機ユニット

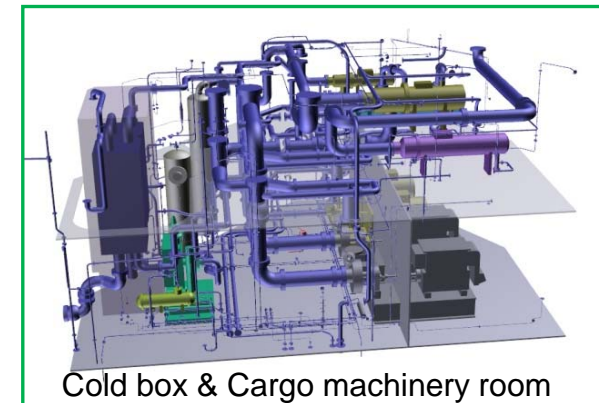
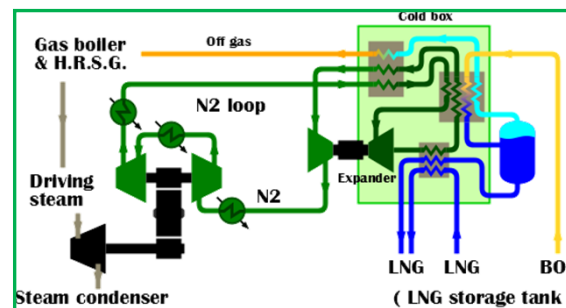


⑤ MHI-GEMS™ (実績)

FGSS : MES 玉野工場 ME-GI機関 陸上運転ガス供給設備



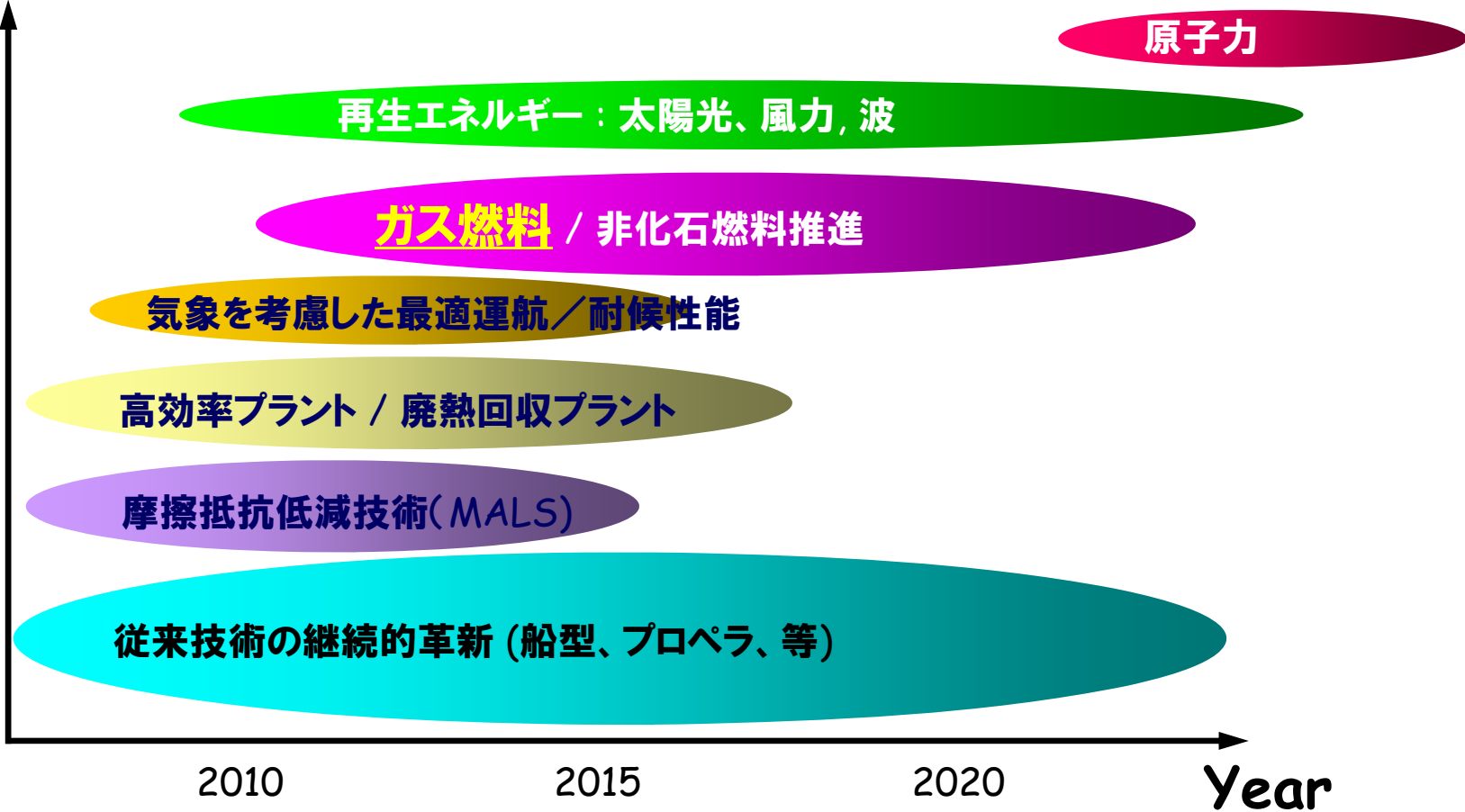
BOG 再液化装置 S/S LNG Jamal (世界初)

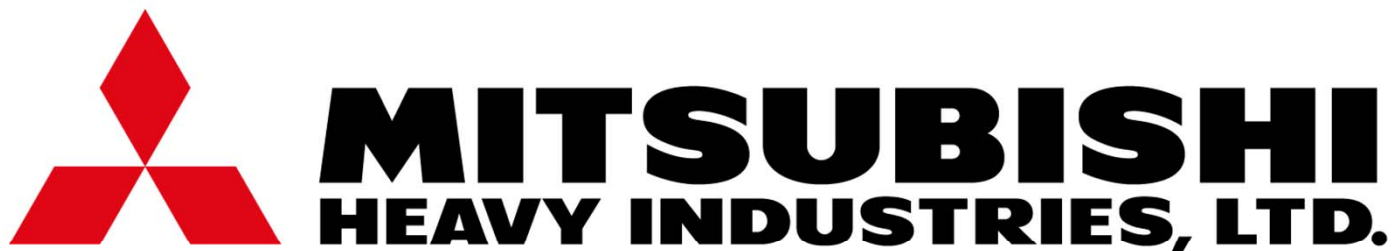


船舶からの GHG削減ロードマップ

ゼロ・エミッション

Less CO₂





Our Technologies, Your Tomorrow

ご静聴、誠に有り難うございました。



ClassNK
R&D PROJECT

本研究開発は日本郵船株式会社、株式会社日本海洋科学、三菱重工業株式会社、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制により実施すると共に、同協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて実施しました。