

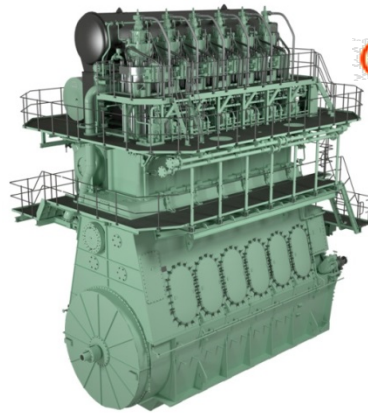
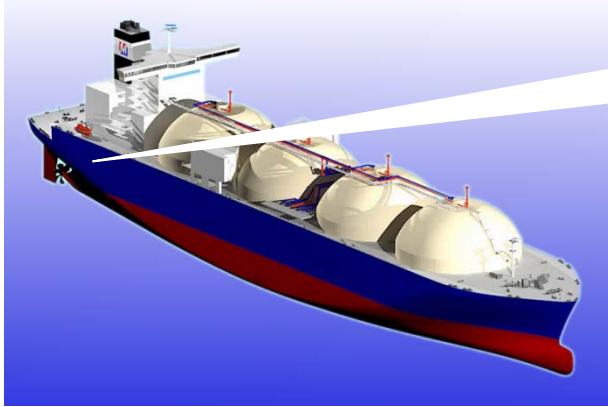
ガス噴射式低速機関へのガス燃料 供給システムの 安全性の立証と向上の研究

概要報告書

平成25年4月5日
三井造船株式会社

本研究の目的

ガス噴射式低速機関(三井MAN-B&W ME-GI機関)のメリット



ディーゼル機関の
高い熱効率

プロペラを直接駆動させるため
変換損失なし

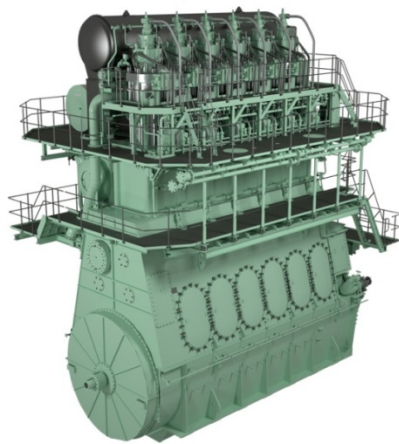
Advantages

- ・ノッキングの問題がない。
- ・メタンスリップがない。
- ・燃料ガスの性状の影響を受けない。
(LNG carrierの場合、貨物(LNG)の積地の影響を受けない)

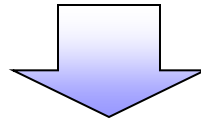


一方、圧縮後に燃料ガスを噴射するというシステムの制約から
燃料ガスを約30MPaまで昇圧してエンジンに供給する必要がある。

本研究の目的



燃費削減効果の期待は大きいが、
2012年4月時点において、船舶への搭載実績がない

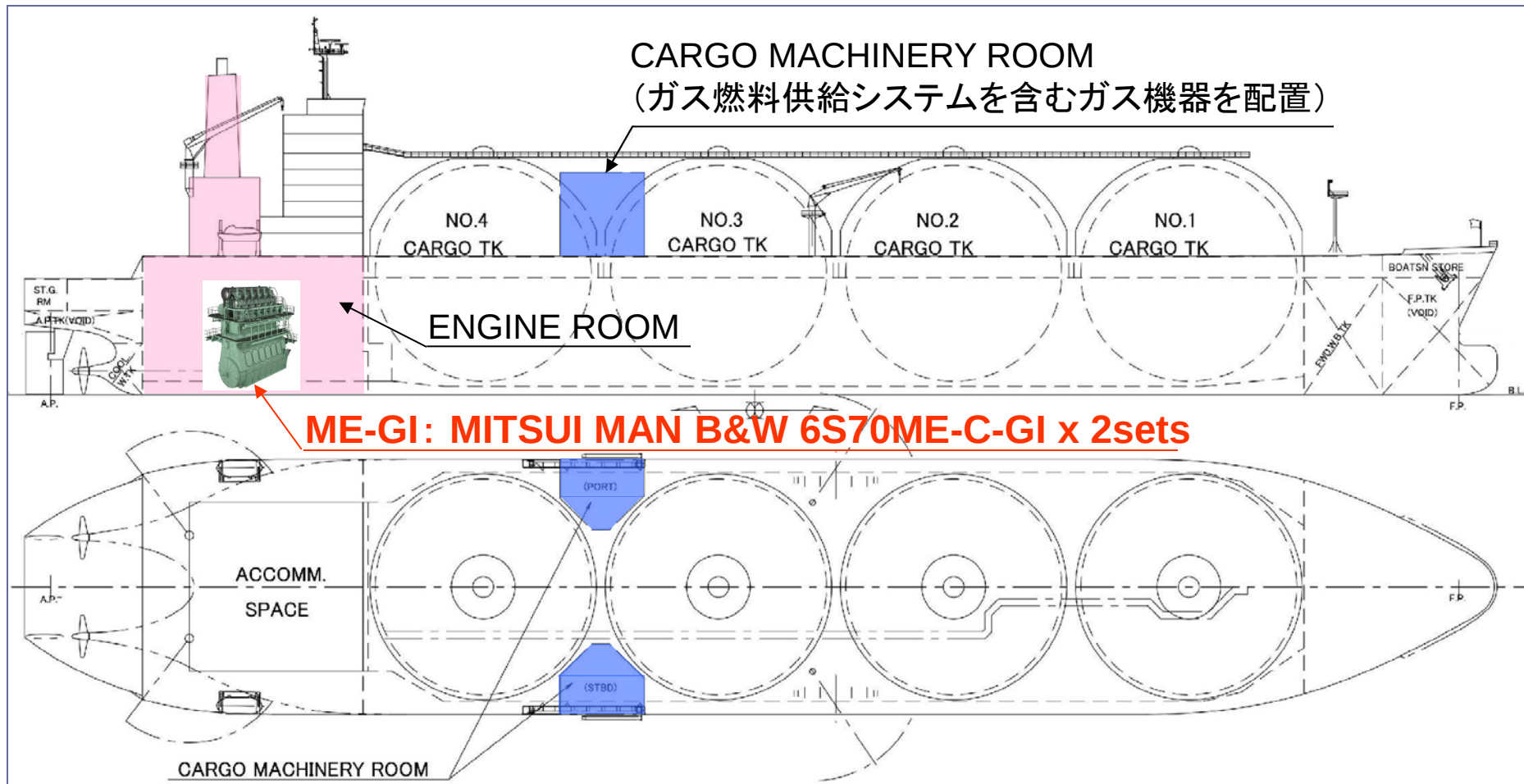


LNG carrierの各オペレーションモードにおいて、
ME-GI推進プラントに潜在するリスクを洗い出し、回避策を検討

リスク予知ならびに適切な回避策の確立
実用化に適した安全性を立証、更なる向上を目指す

本研究の流れ

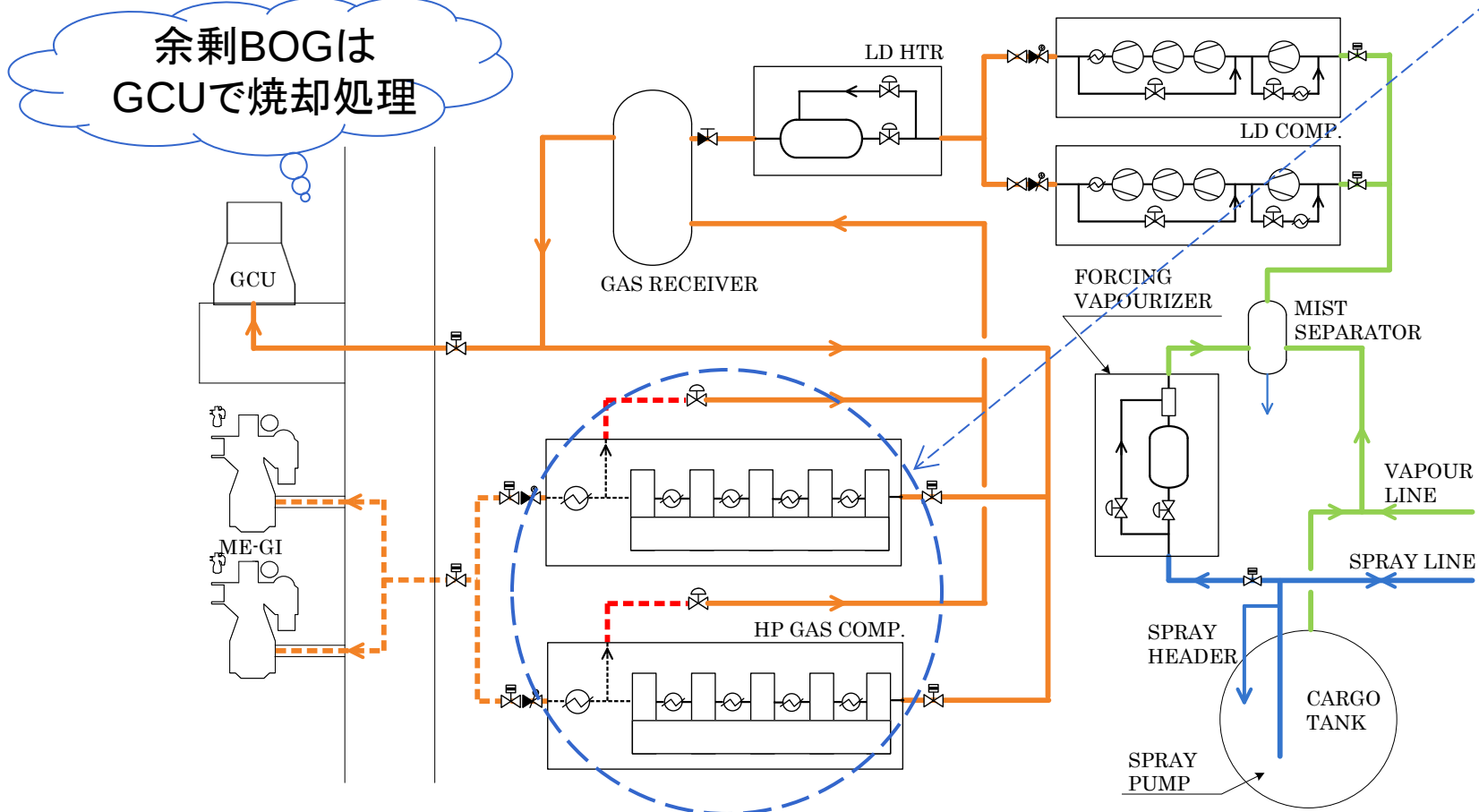
180,000m³ LNG carrierをベースとして、ME-GI搭載船のガス系統(カーゴタンク～ME-GI入口まで)のリスクアセスメントを実施する。



本研究の流れ …ME-GI推進プラントとして、2種類のガス供給方式のリスク評価を実施

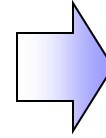


自然蒸発ガス(Boil off gas, BOG)または強制気化ガスを往復動式高圧ガス圧縮機で30MPaまで圧縮し、ガス噴射式低速機関に燃料ガスを供給する方式。



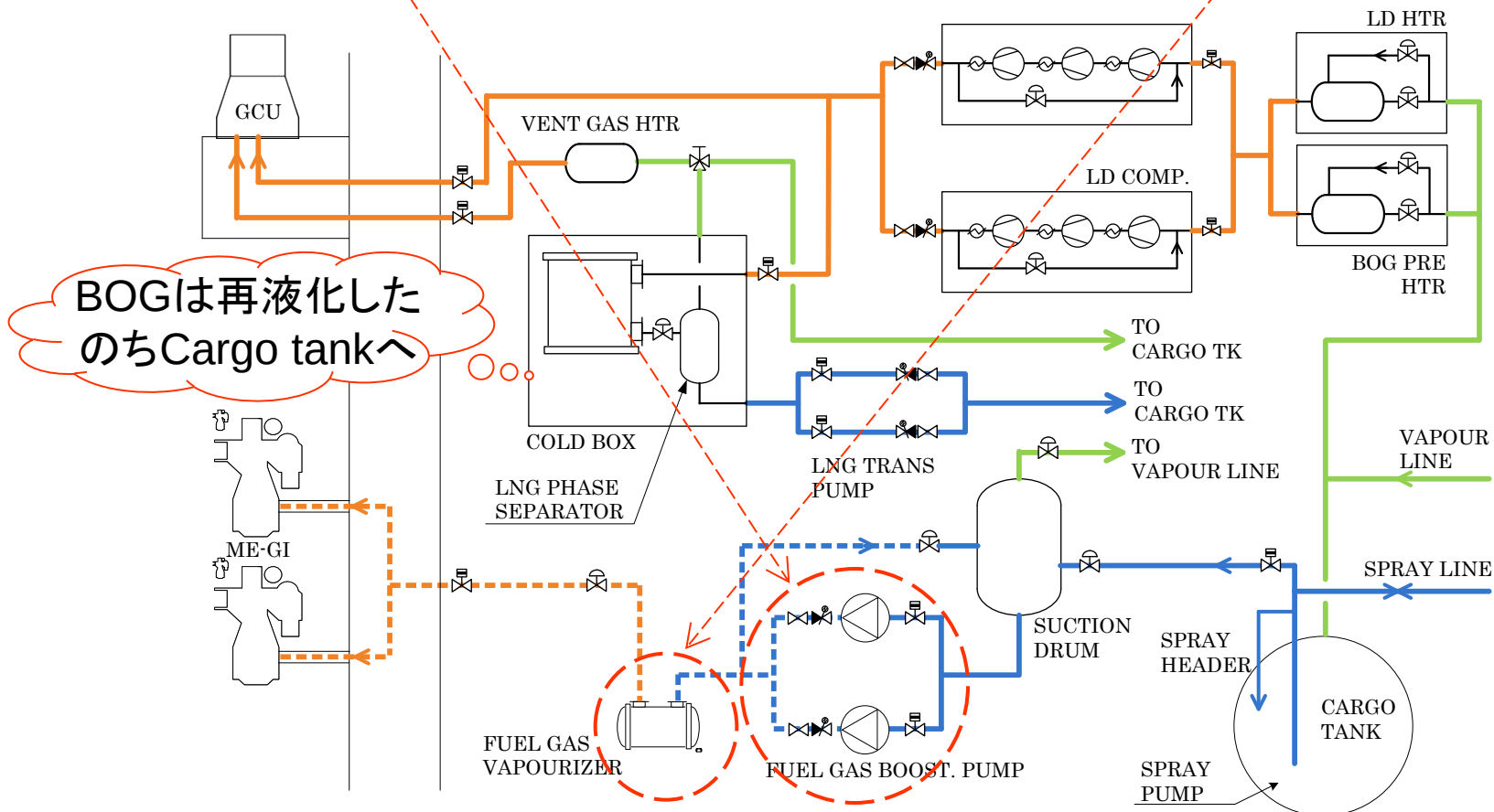
本研究の流れ ……ME-GI推進プラントとして、2種類のガス供給方式のリスク評価を実施

高圧ガスコンプレッサ方式



高圧液ポンプ方式

往復動式ポンプによりLNGを液状態で30MPaまで加圧したのち、高圧気化器でガス化してガス噴射式低速機関に燃料ガスを供給する方式。



本研究の流れ ……二つの手法を用いて、より多くの危険源(ハザード)を特定する

HAZOPでシステム
内部におけるリスクの
洗い出しを実施

設計検討／系統図・配置図等の図面を作成

HAZOP手法を用いてハザードを抽出、リスクを評価
HAZOPワークシートの作成

検証結果の
織り込み

What-ifで幅広い範囲の
リスクの洗い出しを実施

フリーディスカッションによるリスク判断の妥当性の検証

What-if手法を用いてハザードを抽出、リスクを評価
What-ifワークシートの作成

検証結果の
織り込み

結果を検証、
ワークシートの内容を
精査

フリーディスカッションによるリスク判断の妥当性の検証

リスクと判断されたアイテムの洗い出し、および
リスク低減案の検討

リスク評価の流れ

高圧ガスコンプレッサ方式

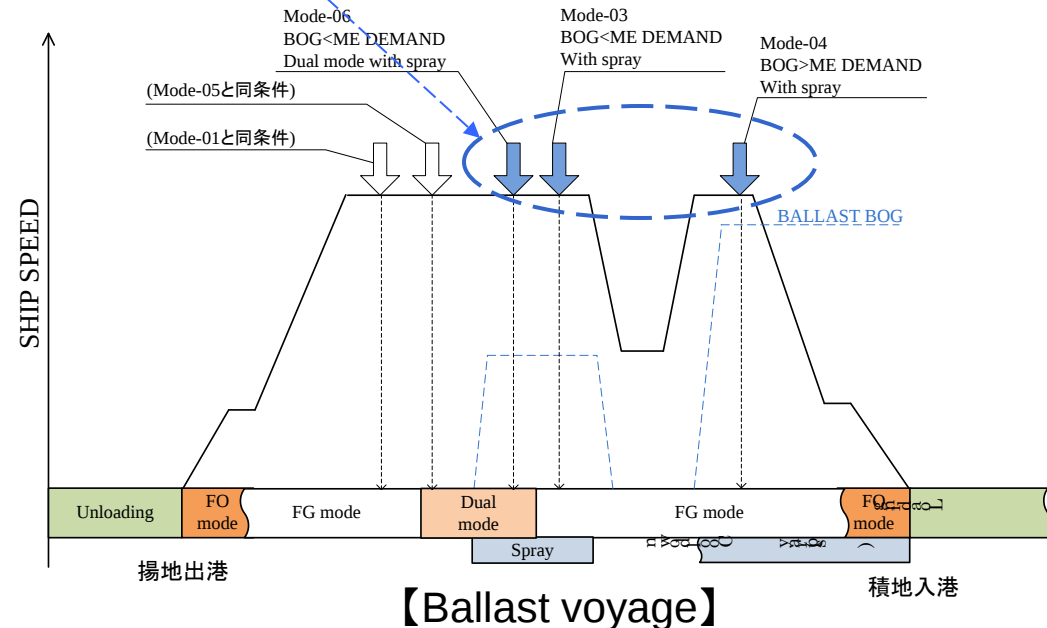
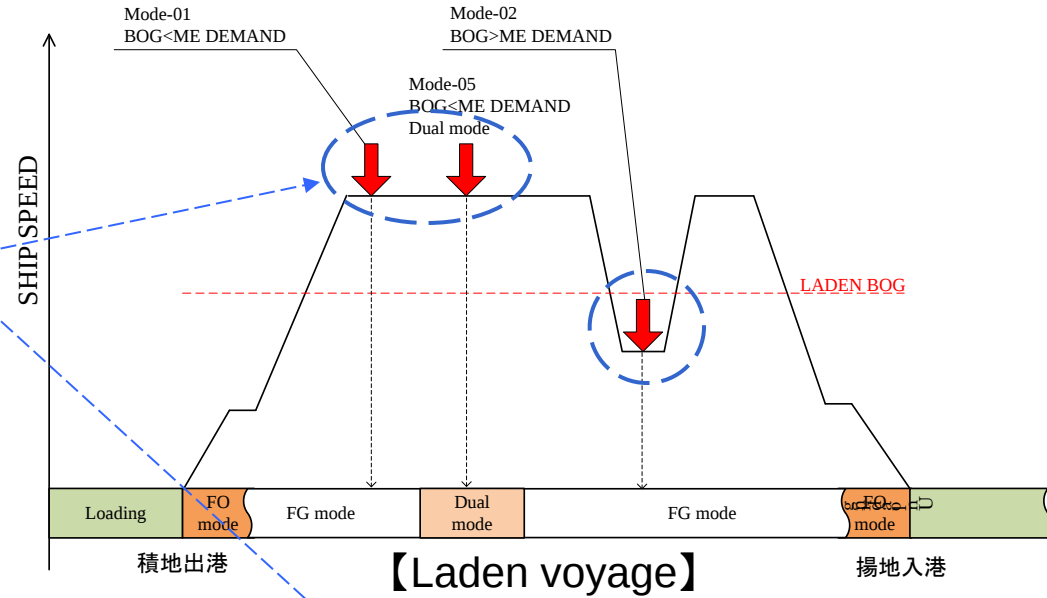
6つの特徴的な運転状態をOperation mode として定義

各Operation mode を一つの定常状態とみなしてHAZOPを実施

What-ifを実施 (Operation modeは指定せず、出港から入港までを対象)

HAZOP・What-if worksheet作成

No.	Operation mode	HAZOP	What-if	Consequence	Recommendation	Remarks
1	Unloading	FO mode	Unloading	Unloading	Unloading	Unloading
2	FG mode	FG mode	FG mode	FG mode	FG mode	FG mode
3	Dual mode	Dual mode	Dual mode	Dual mode	Dual mode	Dual mode
4	FG mode	FG mode	FG mode	FG mode	FG mode	FG mode
5	FO mode	FO mode	FO mode	FO mode	FO mode	FO mode



リスク評価の流れ

高圧液ポンプ方式

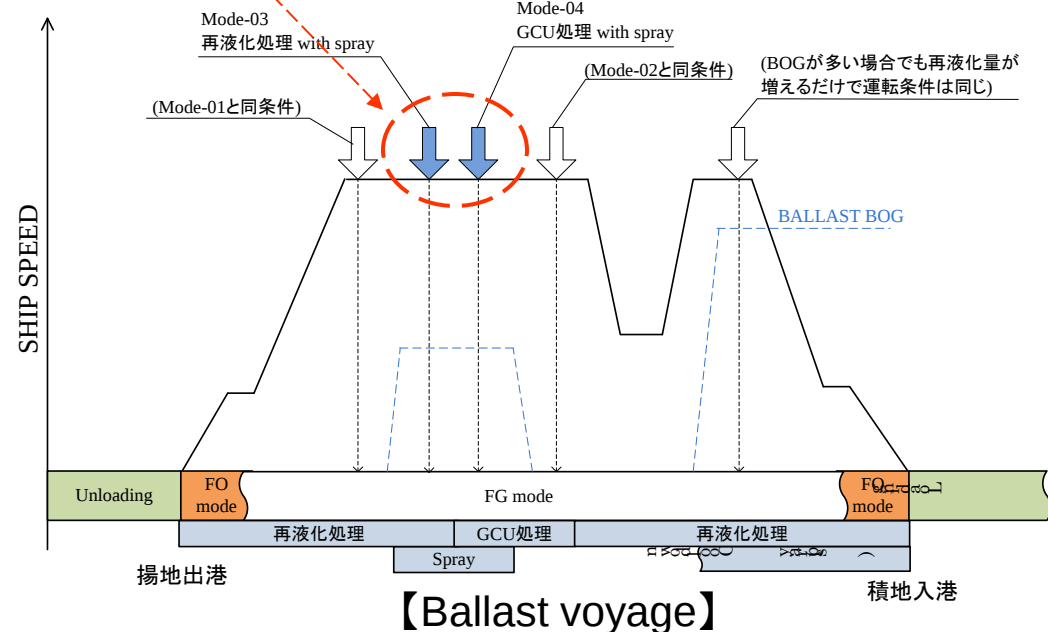
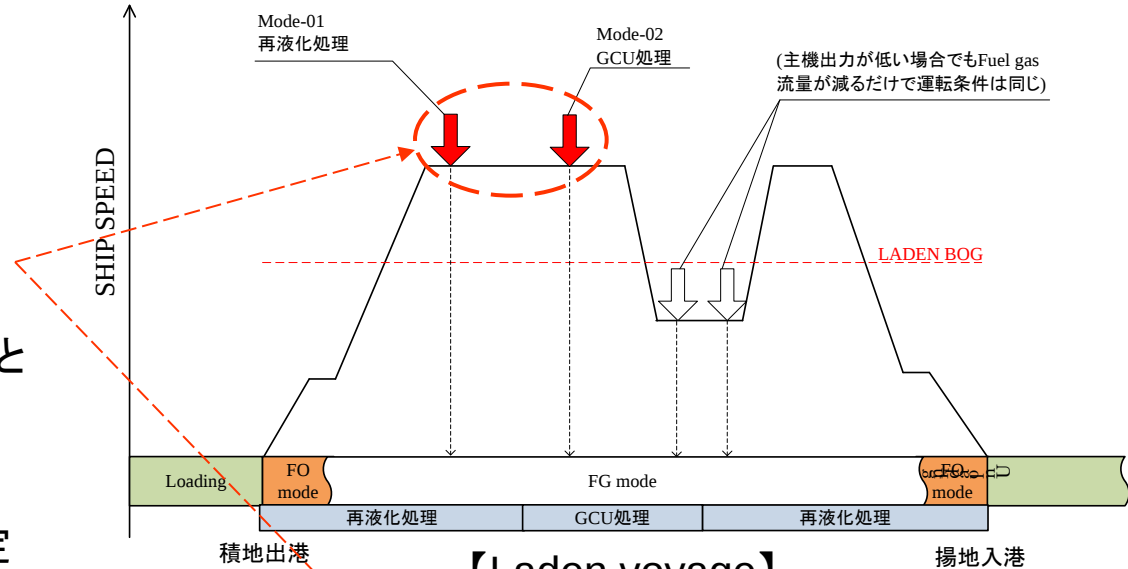
4つの特徴的な運転状態をOperation mode として定義

各Operation mode を一つの定常状態とみなしてHAZOPを実施

What-ifを実施 (Operation modeは指定せず、出港から入港までを対象)

HAZOP・What-if worksheet作成

No.	Parameter	Guidance word	Process description	Consequence	Recommendations	Notes
1	Engine speed	High/Low	Engine speed control	Engine failure	Check engine oil level	
2	Fuel gas pressure	High/Low	Fuel gas supply	Fuel gas supply failure	Check fuel gas valve	
3	Refrigerant pressure	High/Low	Refrigerant system	Refrigerant leak	Check refrigerant level	
4	Ship speed	High/Low	Ship speed control	Ship speed failure	Check ship speed sensor	
5	Ballast water level	High/Low	Ballast water tank	Ballast water overflow	Check ballast water level	
6	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
7	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
8	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
9	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
10	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
11	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
12	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
13	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
14	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
15	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
16	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
17	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
18	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
19	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
20	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
21	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
22	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
23	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
24	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
25	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
26	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
27	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
28	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
29	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
30	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
31	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
32	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
33	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
34	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
35	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
36	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
37	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
38	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
39	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
40	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
41	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
42	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
43	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
44	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
45	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
46	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
47	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
48	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
49	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
50	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
51	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
52	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
53	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
54	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
55	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
56	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
57	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
58	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
59	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
60	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
61	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
62	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
63	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
64	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
65	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
66	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
67	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
68	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
69	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
70	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
71	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
72	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
73	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
74	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
75	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
76	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
77	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
78	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
79	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
80	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
81	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
82	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
83	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
84	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
85	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
86	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
87	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
88	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
89	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
90	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
91	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
92	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
93	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
94	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	
95	Storage tank pressure	High/Low	Storage tank	Storage tank failure	Check storage tank level	
96	Unloading rate	High/Low	Unloading operation	Unloading failure	Check unloading valve	
97	FG mode	High/Low	FG mode control	FG mode failure	Check FG mode sensor	
98	FO mode	High/Low	FO mode control	FO mode failure	Check FO mode sensor	
99	Reboiler pressure	High/Low	Reboiler system	Reboiler failure	Check reboiler level	
100	Condenser pressure	High/Low	Condenser system	Condenser failure	Check condenser level	



リスク評価の結果

高圧ガスコンプレッサ方式

BOGを直接燃料として主機に供給することから、主機のガス運転停止や、高圧ガスコンプレッサ含むガス燃料供給システムのハザードが、カーゴタンクの圧力コントロールに影響を及ぼすリスクが多い。

主機入口ガス圧力の異常低下

燃料油運転に自動切替(ガス流れ停止)

Low duty compressorサージング

Low duty compressor trip

Cargo tank vent open

ガス消費“0”からLow duty compressor tripに至るシナリオを防ぐ制御を導入
(ex. 主機が燃料油運転となった時点でGCUを起動させる)

カーゴタンク圧コントロールを失わないようにするための対策

リスク評価の結果

高圧液ポンプ方式

圧力・温度・流量等が複雑に関係しあいながら制御されているために、制御系のハザードが大きなリスクにつながるケースが多い。

再液化装置 入口流量信号異常(低)

再液化装置の負荷上昇(液化量増加)

Low duty compressor吸込み量増加

Cargo tank圧力減少

Automatic trip(ガス機器非常停止)

Cargo tankの圧力が低下した場合は、制御用流量計からの値によらず再液化量を減少させ、圧力回復を優先させる制御とする

制御システムの見直し

ひとつの制御異常から連鎖的にリスクを拡大させないようにする対策

成果と課題

本研究の成果

安全性の立証と向上について

- ・特定されたハザードに対しリコメンデーションとして対策を打つことで、安全性をより向上させることができた。
- ・高圧ガスコンプレッサ・高圧液ポンプいずれの方式も、ガス系統に異常があればすみやかにガスの供給が停止に至り、燃料油で航行継続は可能という安全性が確認された。
- ・意図しない燃料油運転への切替を、金銭的損失とみなしてリスクを評価することにより、ガス燃料供給システムの信頼性を高める上で検討すべき課題を認識することができた。

船を対象としたリスク評価について

- ・HAZOPおよびWhat-ifそれぞれの手法で評価を行った結果、各々の特徴に応じてハザードを特定していくことができた。
- ・常時同じ状態で継続運転をする訳ではない船においては、HAZOPだけでなく他の手法と組み合わせて評価を行うことが有効であると確認できた。

成果と課題

今後の課題

・従来のタービン船のように推進動力源とBOG処理装置の役割をメインボイラ単独で行う船と比べると、設計はいかに保護装置を設け、ガス供給を停止させるかという方向へいきがち。

⇒安全性に加えてガス運転の信頼性を高めるため、制御システムに範囲を絞りより深く原因と影響、対策を検討するリスクアセスメントを実施することも必要。

・高圧ガス配管の安全性については、配管材料や肉厚の他、継手の位置なども関連するため、詳細設計段階において引き続き検討が必要。

⇒万が一漏れた時の引火の可能性と船体構造へのダメージを解析・評価。

⇒実績が乏しい高圧ガス機器の本体からのガスリークリスクについて、メーカーと協力して安全であることを立証していく必要あり。

BOG処理システムとの関連性を意識し、
装置単独ではなく、船全体の安全性を高めていくことが重要