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

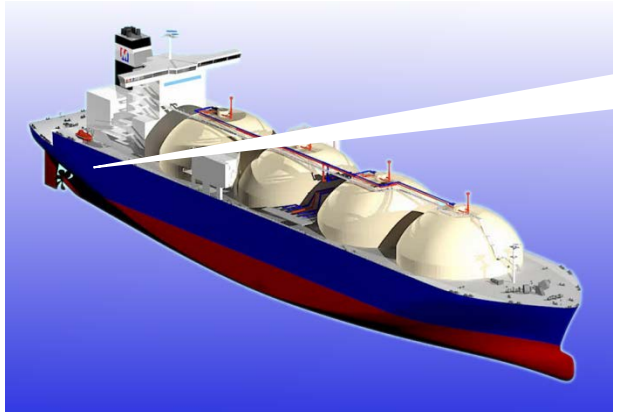
概要報告書

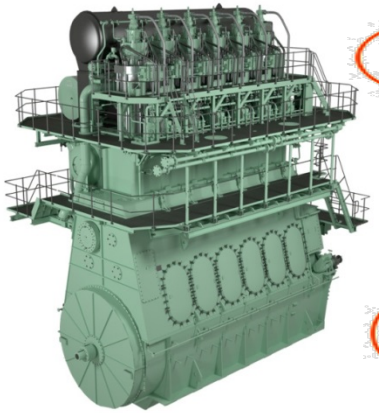
平成25年4月5日

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

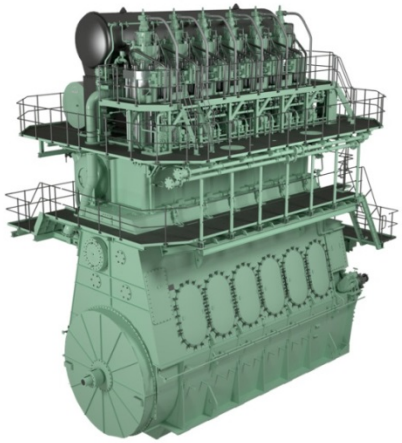
プロペラを直接駆動させるため
変換損失なし

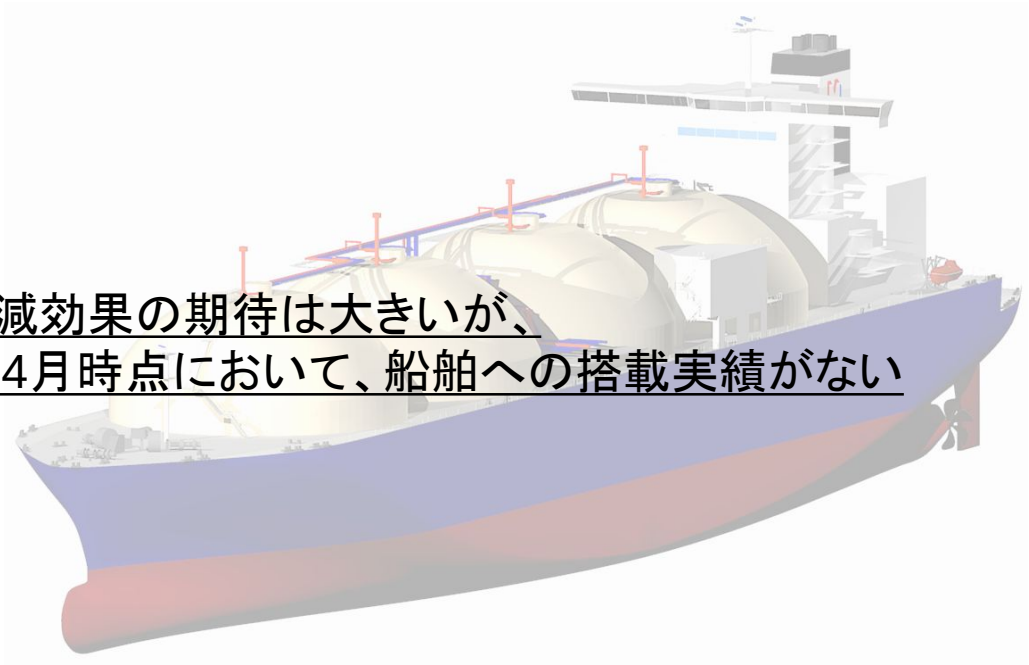
・ノッキングの問題がない。
・メタンスリップがない。
・燃料ガスの性状の影響を受けない。
（LNG carrierの場合、貨物（LNG）の積地の影響を受けない）

Advantages

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





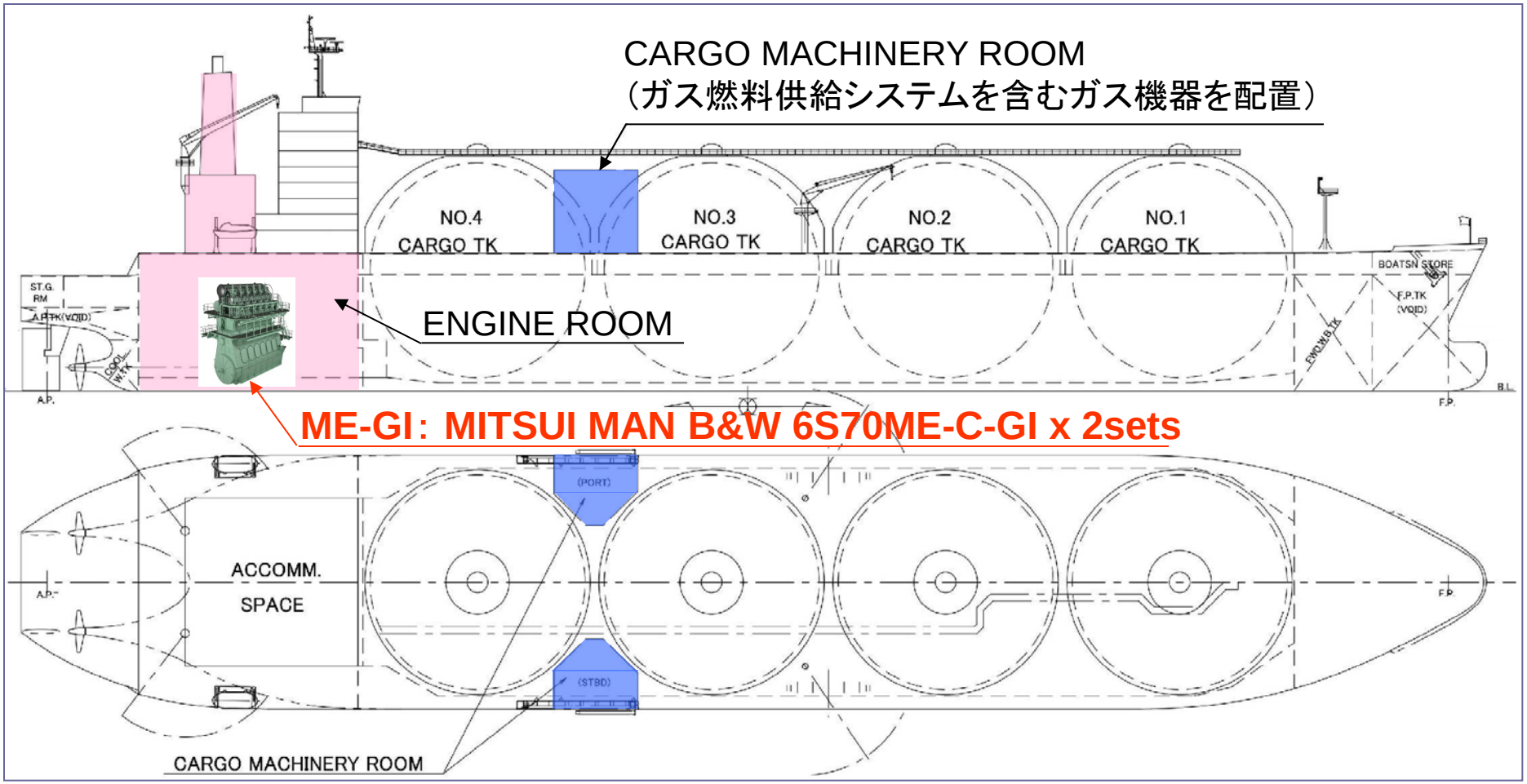
燃費削減効果の期待は大きいが、
2012年4月時点において、船舶への搭載実績がない

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。

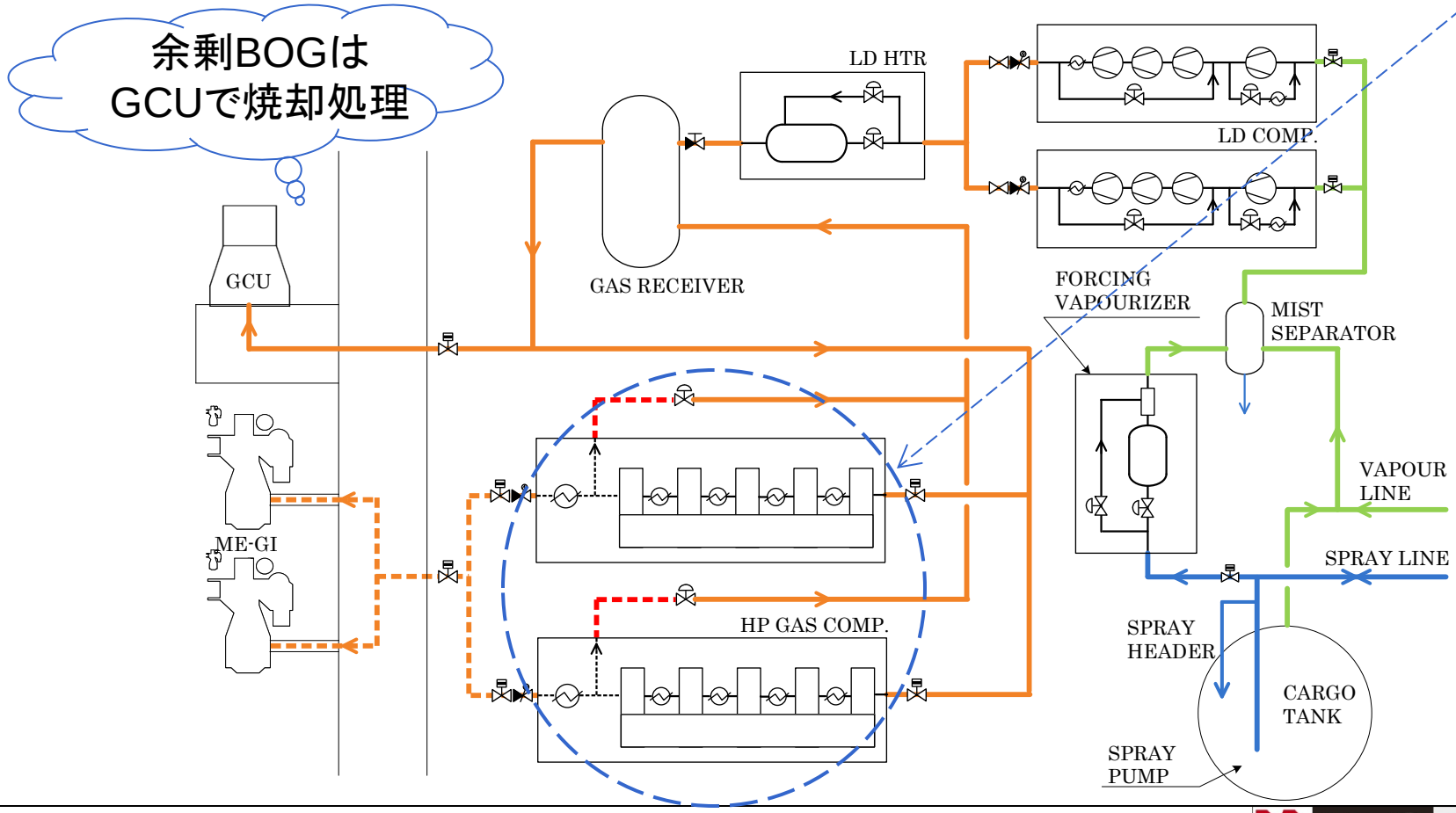


本研究の流れ ・・・ME-GI推進プラントとして、2種類のガス供給方式のリスク評価を実施

高圧ガスコンプレッサ方式

高圧液ポンプ方式

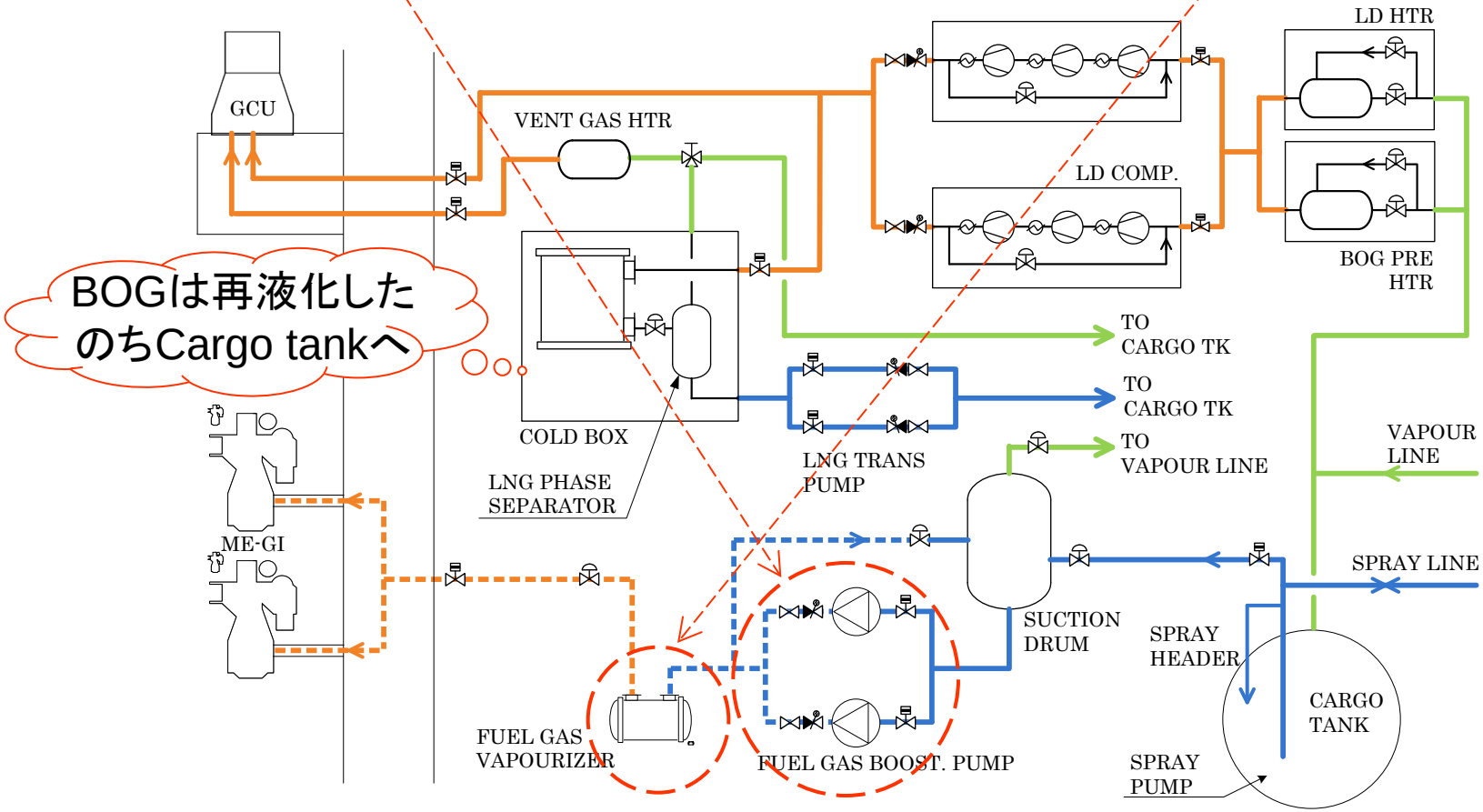
自然蒸発ガス（Boil off gas, BOG）または強制気化ガスを往復動式高圧ガス圧縮機で30MPaまで圧縮し、ガス噴射式低速機関に燃料ガスを供給する方式。



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

What-ifで幅広い範囲のリスクの洗い出しを実施

結果を検証、ワークシートの内容を精査

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

↓

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

↓

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

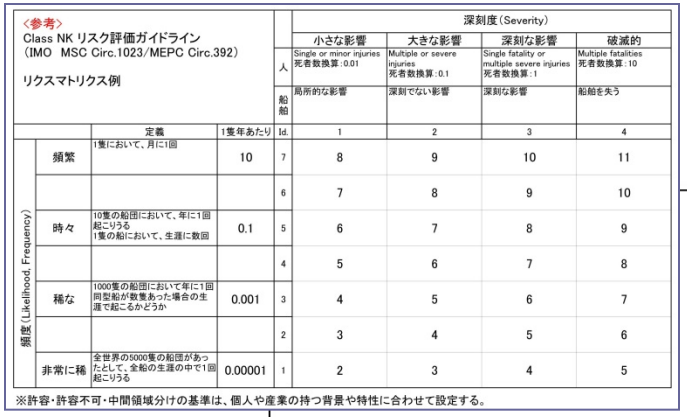
検証結果の織り込み

検証結果の織り込み

リスク評価の流れ

・・・Class NKリスク評価ガイドラインをベースに、本研究用のリスクマトリクスを作成

人体への安全に加え、船舶への影響として
時間的損失、金銭的損失レベルを設定
（ガス運転不可時の燃料損失を含めた）



〈参考〉
Class NK リスク評価ガイドライン
（IMO MSC Circ.1023/MEPC Circ.392）

リクスマトリクス例

					深刻度（Severity）			
					小さな影響	大きな影響	深刻な影響	破滅的
				人	Single or minor injuries 死者数換算：0.01	Multiple or severe injuries 死者数換算：0.1	Single fatality or multiple severe injuries 死者数換算：1	Multiple fatalities 死者数換算：10
				船舶	局所的な影響	深刻でない影響	深刻な影響	船舶を失う
		定義	1隻年あたり	Id.	1	2	3	4
頻度（Likelihood, Frequency）	頻繁	1隻において、月に1回	10	7	8	9	10	11
				6	7	8	9	10
	時々	10隻の船団において、年に1回起こりうる 1隻の船において、生涯に数回	0.1	5	6	7	8	9
				4	5	6	7	8
	稀な	1000隻の船団において年に1回同型船が数隻あった場合の生涯で起こるかどうか	0.001	3	4	5	6	7
				2	3	4	5	6
	非常に稀	全世界の5000隻の船団があったとして、全船の生涯の中で1回起こりうる	0.00001	1	2	3	4	5

※許容・許容不可・中間領域分けの基準は、個人や産業の持つ背景や特性に合わせて設定する。

					深刻度（Severity）				
					軽微	中程度	重大	深刻	破滅的
				人	単一の軽傷者 死者数換算：0.01	複数の軽傷者 死者数換算：0.05	単一の重傷者 死者数換算：0.1	単一の死者or 複数の重傷者 死者数換算：1	複数の死者 死者数換算：10
				船舶	運航支障なし 被害額・燃料損失額： 50万以下	数時間で復旧 被害額・燃料損失額： 1000万以下	1～3日で復旧 一部システムダウン 被害額・燃料損失額： 1億以下	10日以内で復旧 大半のシステムダウン 被害額・燃料損失額： 1億～10億	復旧まで10日以上 100%システムダウン 被害額・燃料損失額： 10億以上
		定義	1隻年あたり	Id.	1	2	3	4	5
頻度（Likelihood, Frequency）	頻繁	1隻において、月に1回	10	7	8	9	10	11	12
		1隻において、年に1回	1	6	7	8	9	10	11
	時々	10隻の船団において年に1回、または、1隻の船において生涯に数回	0.1	5	6	7	8	9	10
		1隻において、生涯に1回	0.05	4	5	6	7	8	9
	稀な	1000隻の船団において年に1回、または同型船が数隻あった場合の生涯で1回起こりうる	0.001	3	4	5	6	7	8
		1000隻の船団において、生涯で1回起こりうる	0.0001	2	3	4	5	6	7
	非常に稀	全世界の5000隻の船団があったとして、全船の生涯の中で1回起こりうる	0.00001	1	2	3	4	5	6

C 許容不可領域

B ALARP領域

A 許容領域

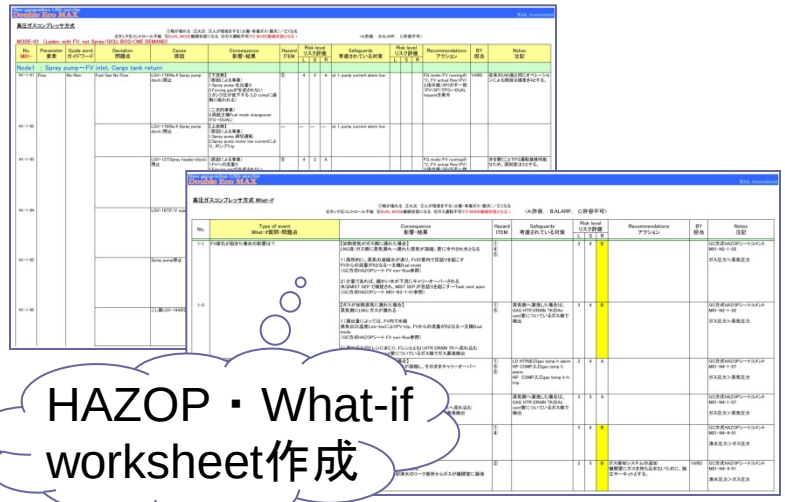
リスク評価の流れ

高圧ガスコンプレッサ方式

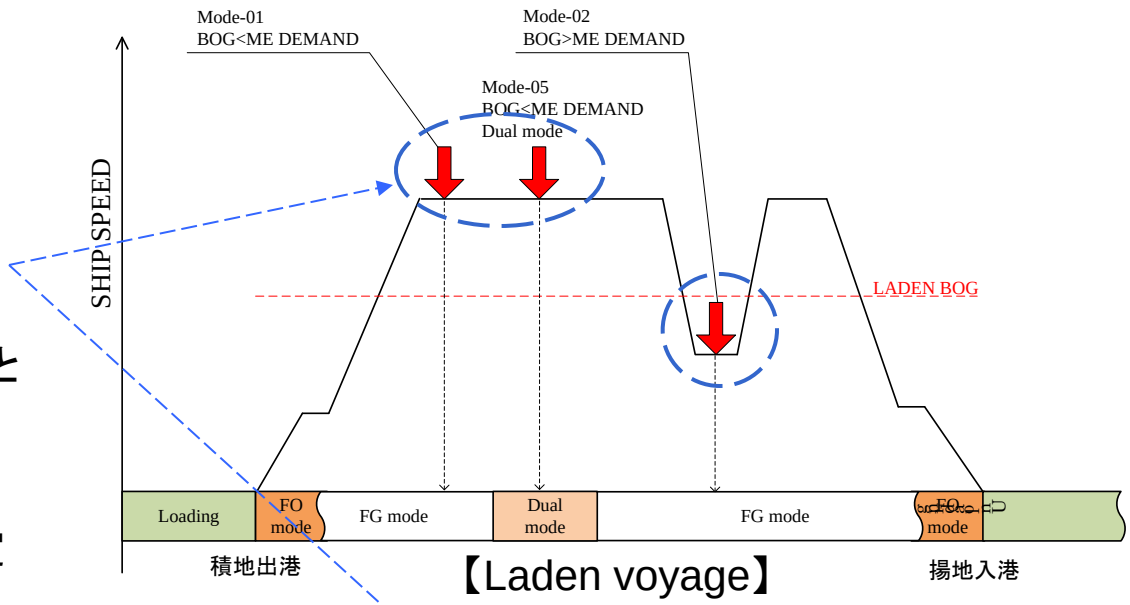
6つの特徴的な運転状態をOperation mode として定義

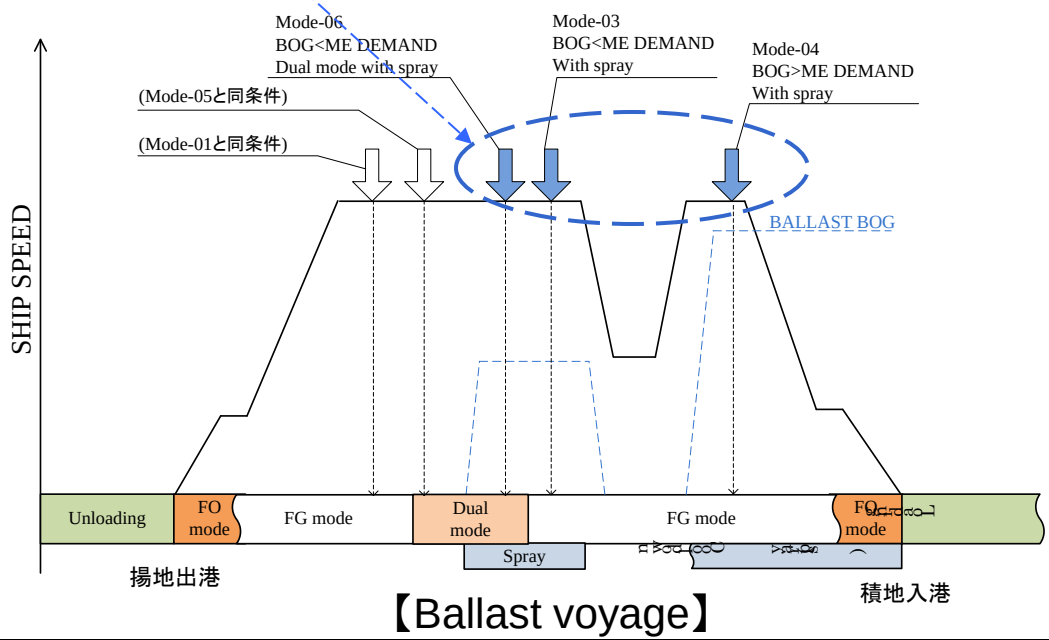
各Operation mode を一つの定常状態とみなしてHAZOPを実施

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





MES MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.,LTD.

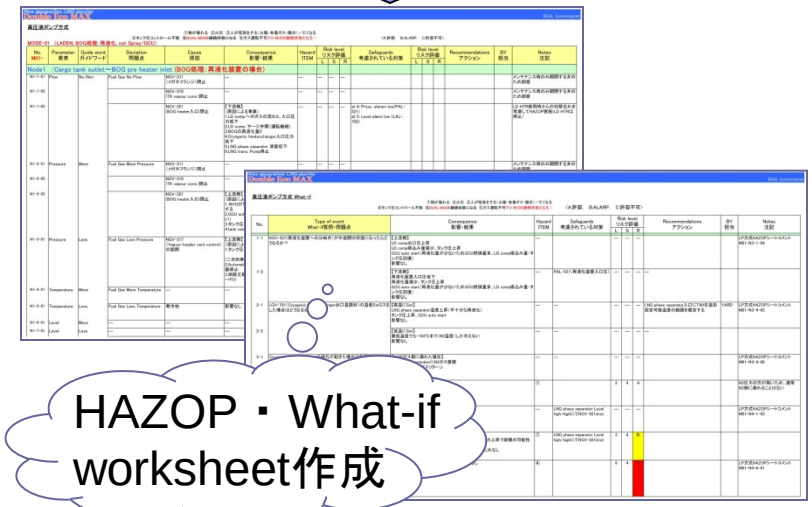
リスク評価の流れ

高圧液ポンプ方式

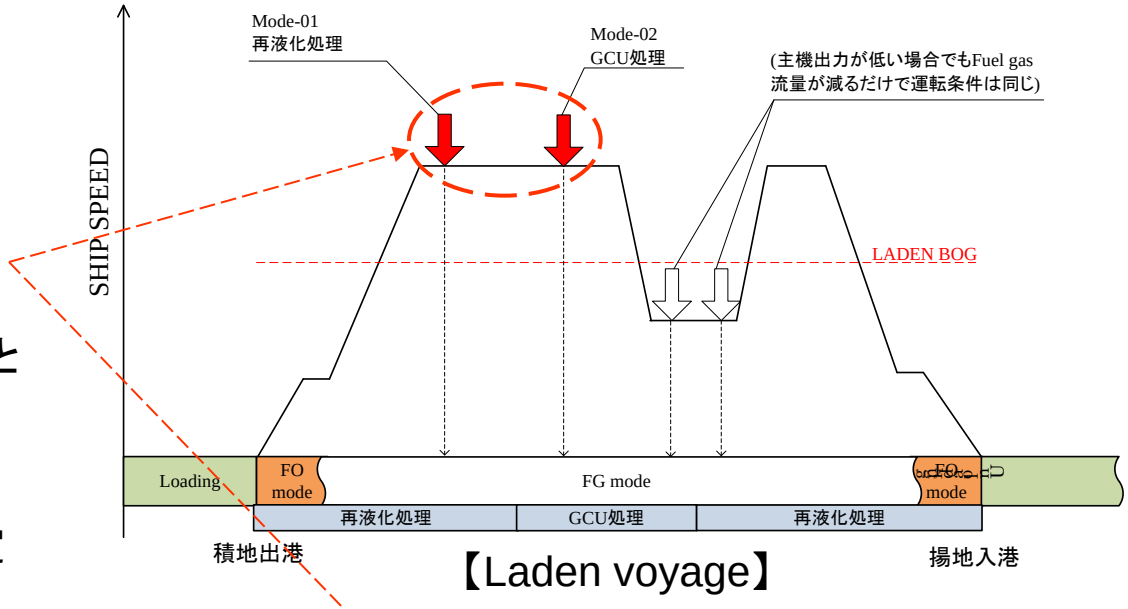
4つの特徴的な運転状態をOperation mode として定義

各Operation mode を一つの定常状態とみなしてHAZOPを実施

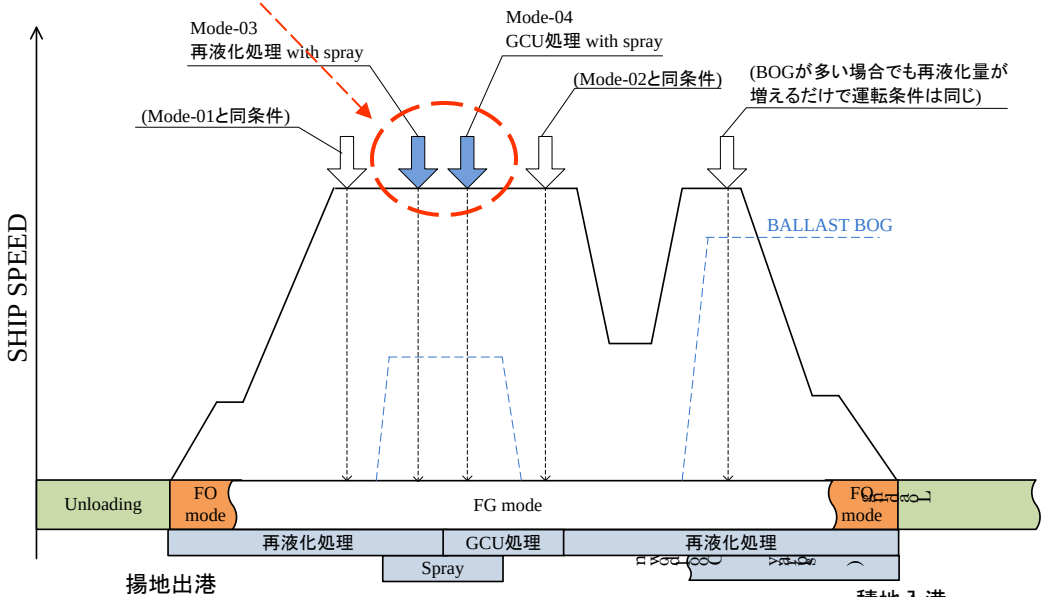
What-ifを実施（Operation modeは指定せず、出港から入港までを対象）



HAZOP・What-if worksheet作成



【Laden voyage】



【Ballast voyage】

MES MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.,LTD.

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