

新燃料機関システムにおける リスク管理スキーム構築

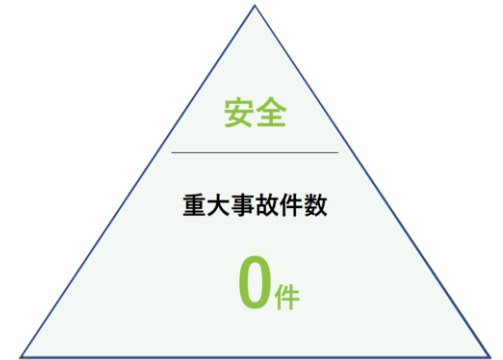
2023年12月4日

株式会社MTI 船舶物流技術グループ
機関システムソリューションチーム
菅野 聡太

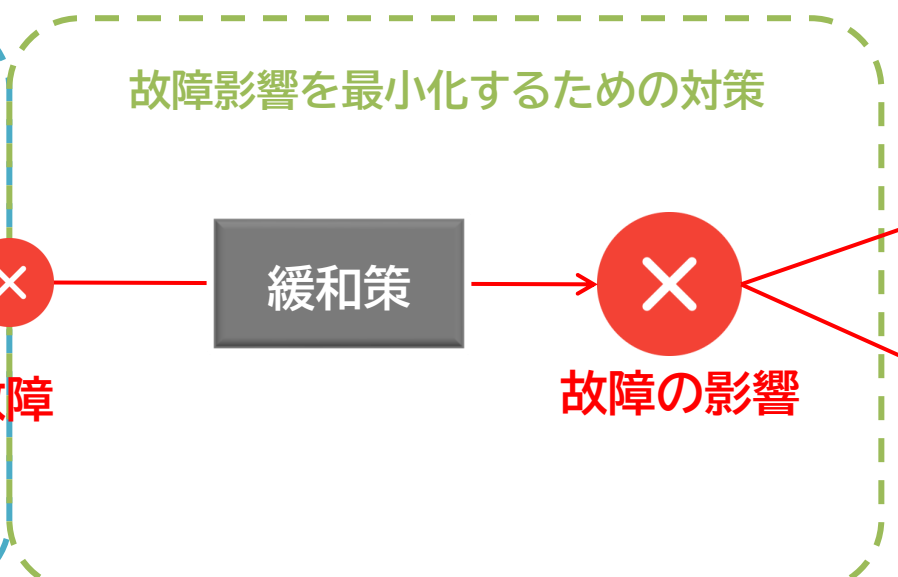
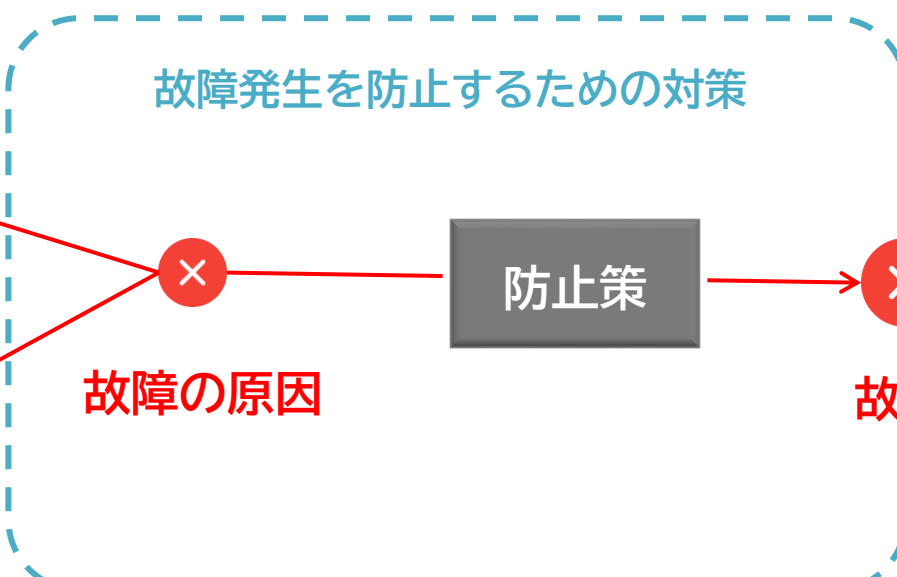
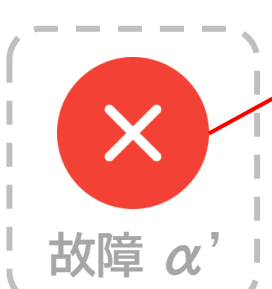
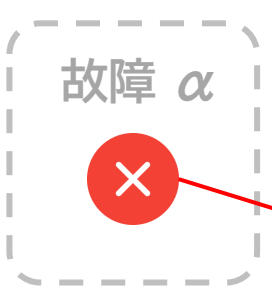
安全運航実現のためのリスク管理

安全運航実現のためには、船舶システムにおける故障の原因・影響と伝搬及びそのリスクの大きさについて分析・評価し、安全対応策を実装することが重要

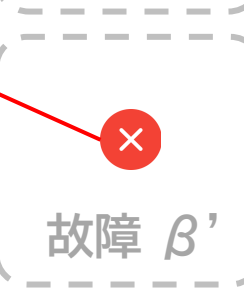
- 故障のリスクの大きさに基づいて優先順位をつけて効率的に対応
- 故障伝搬関係を把握し、故障発生防止および影響最小化のための対応を検討



故障のきっかけ
となる故障



故障の伝搬
による故障



故障の原因

故障

故障の影響

防止策

緩和策

故障発生を防止するための対策

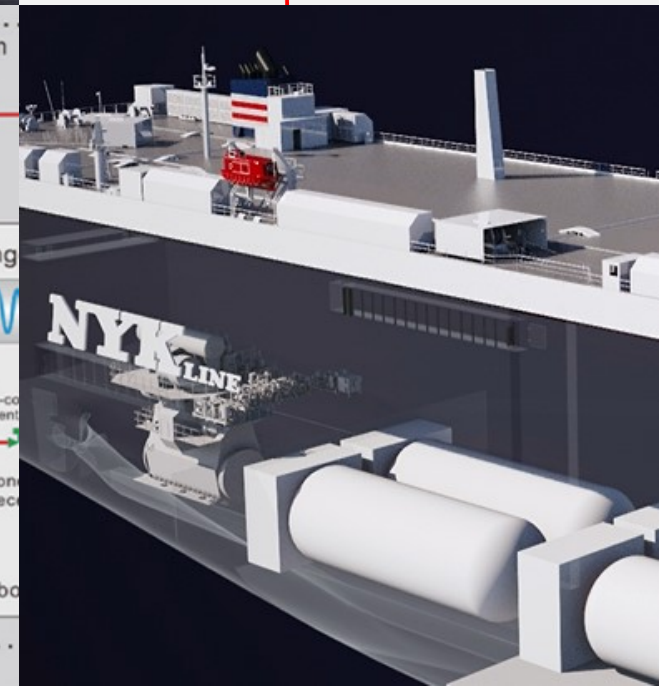
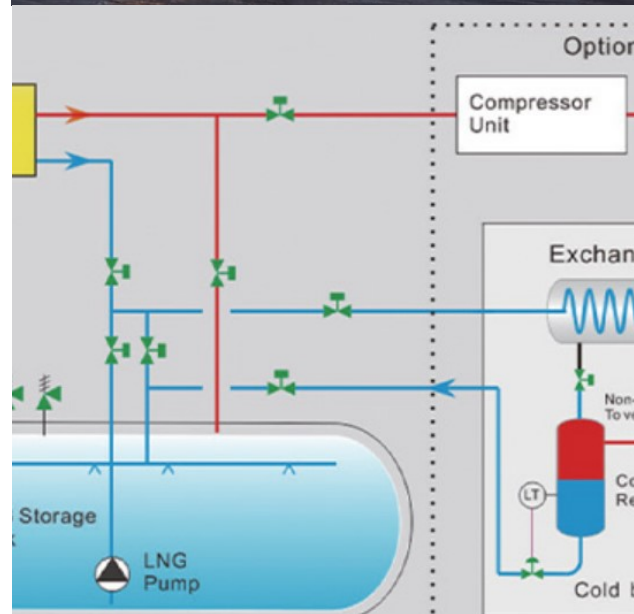
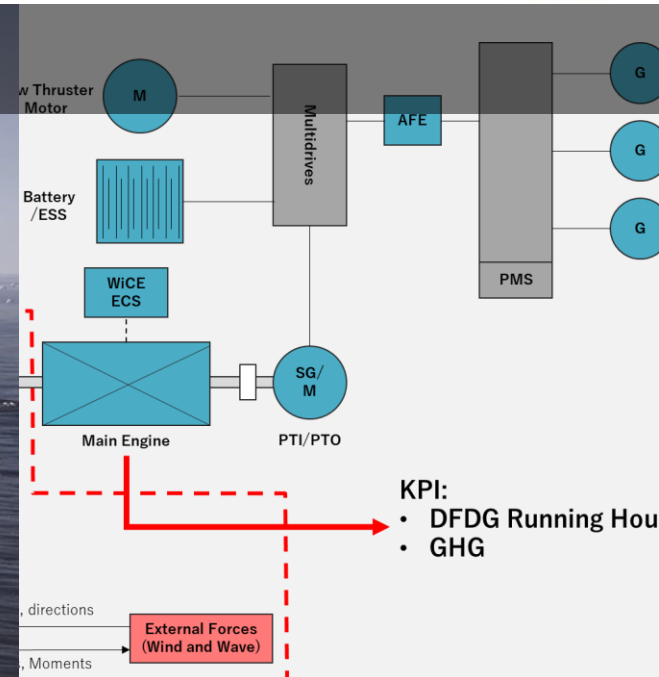
故障影響を最小化するための対策

機関システムの高度化・複雑化

□ NYKではGHG削減・省エネのため新燃料船やバッテリーハイブリッド船の建造・運航が始まっている

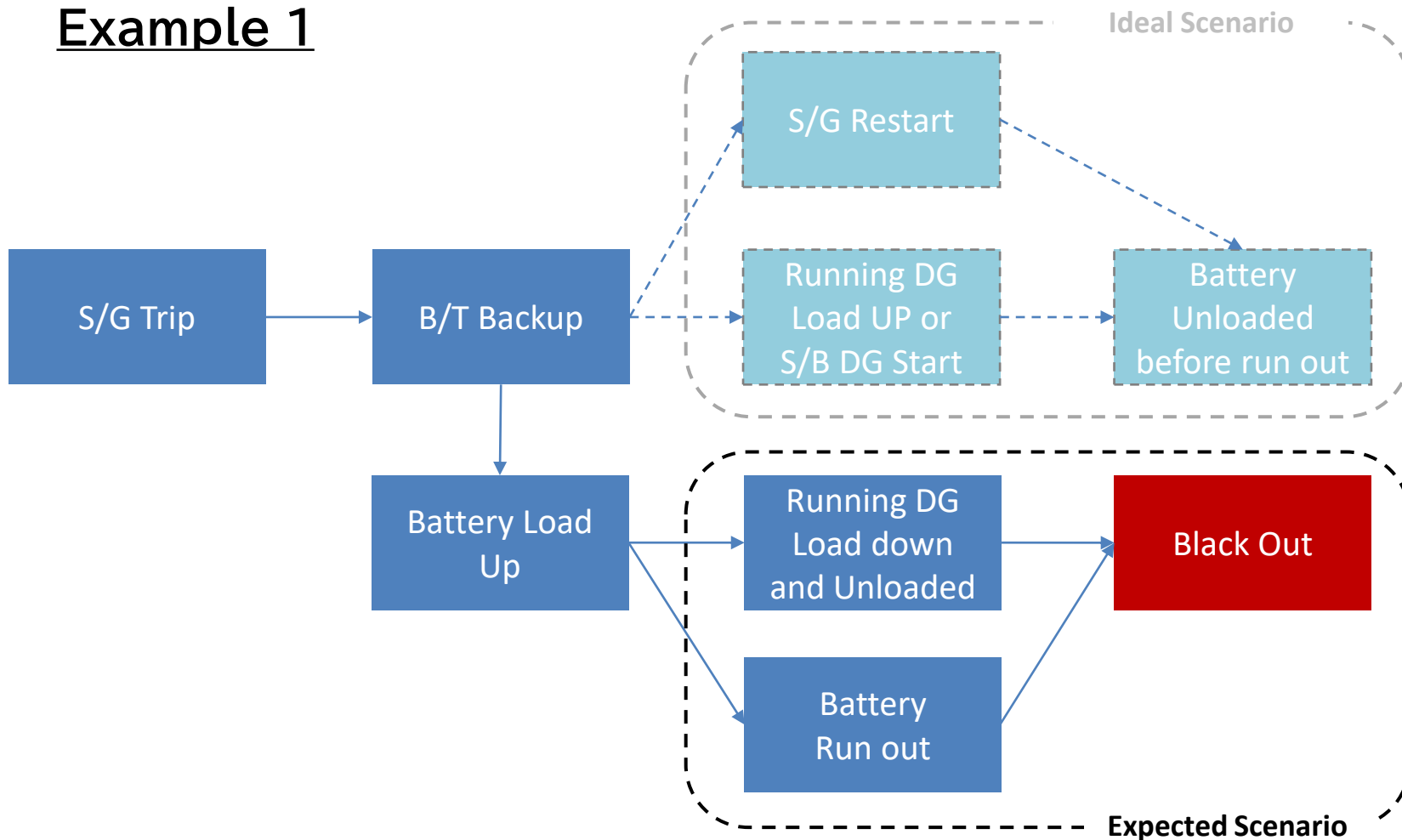
□ これらの機関システムは従来の重油焚き機関システムと比べて、構成機器が多く、制御も複雑になっている

⇒想定されるリスクが多種多様になり、故障伝搬関係も複雑化している



高度化・複雑化する機関システムにおけるリスク

Example 1

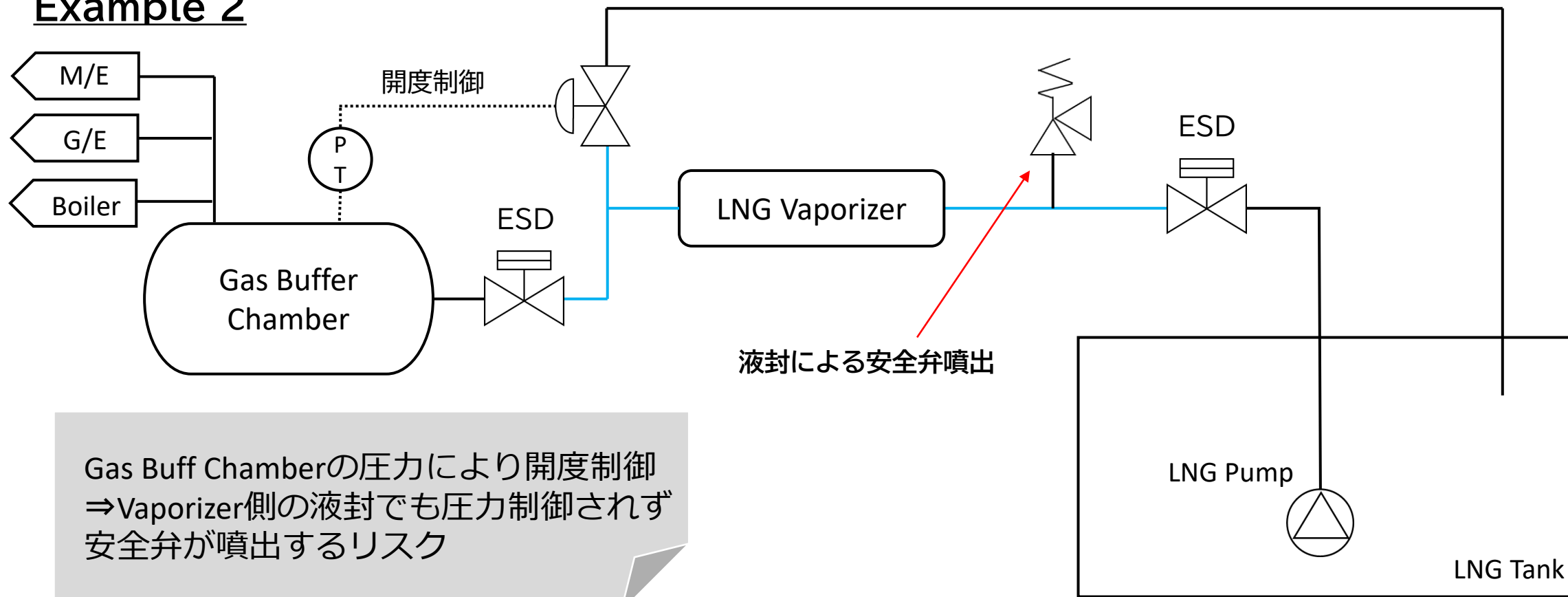


S/G TripによるBlack Out発生は防
げているが、その後のBatteryの
協調負荷制御がうまくいかず、
Batteryのエネルギーが枯渇して
Black Outするリスク

実際に起こりうるシナリオおよび故障モードを想定して、リスク評価をする必要があるが、システムが複雑・高度であるため、想定しきれない可能性

高度化・複雑化する機関システムにおけるリスク

Example 2

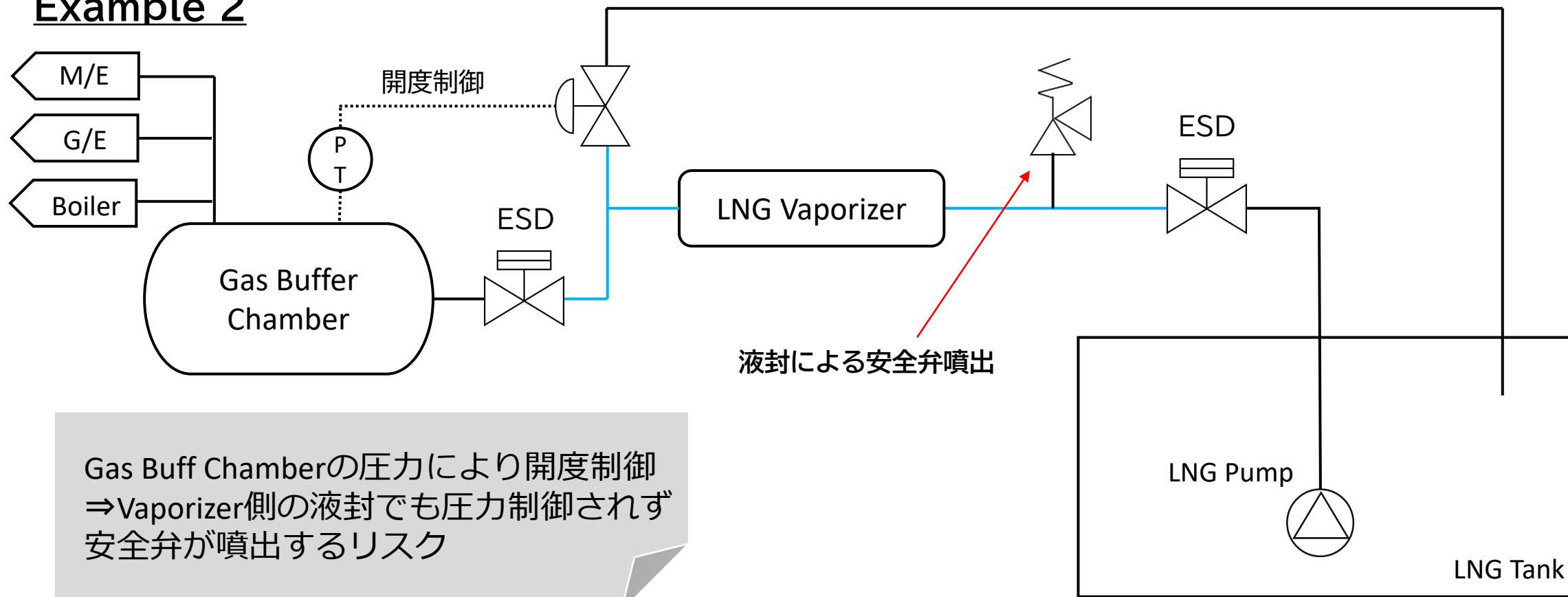


Gas Buff Chamberの圧力により開度制御
⇒Vaporizer側の液封でも圧力制御されず
安全弁が噴出するリスク

実際に起こりうるシナリオおよび故障モードを想定して、リスク評価をする必要があるが、システムが複雑・高度であるため、想定しきれない可能性

高度化・複雑化する機関システムにおけるリスク

Example 2



Gas Buff Chamberの圧力により開度制御
⇒Vaporizer側の液封でも圧力制御されず
安全弁が噴出するリスク

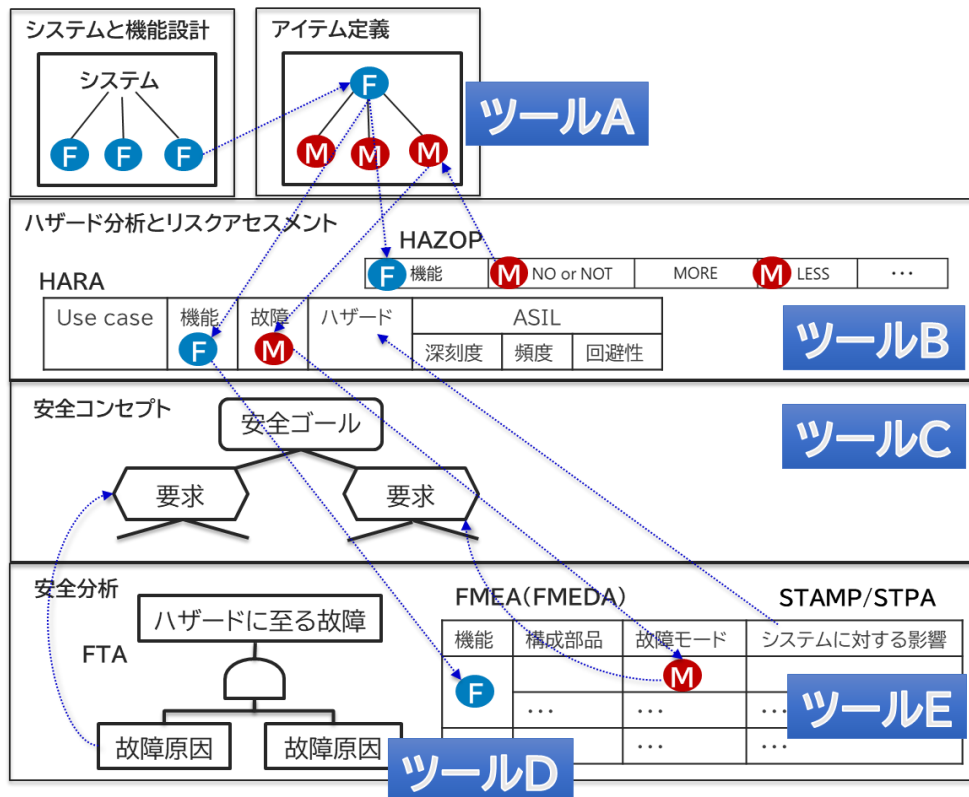
実際に起こりうるシナリオおよび故障モードを想定して、リスク評価をする必要があるが、システムが複雑・高度であるため、想定しきれない可能性

⇒**複雑化・高度化するシステムに対しては体系的・網羅的なリスク評価手法が求められる**

リスク評価手法における課題とツールの活用

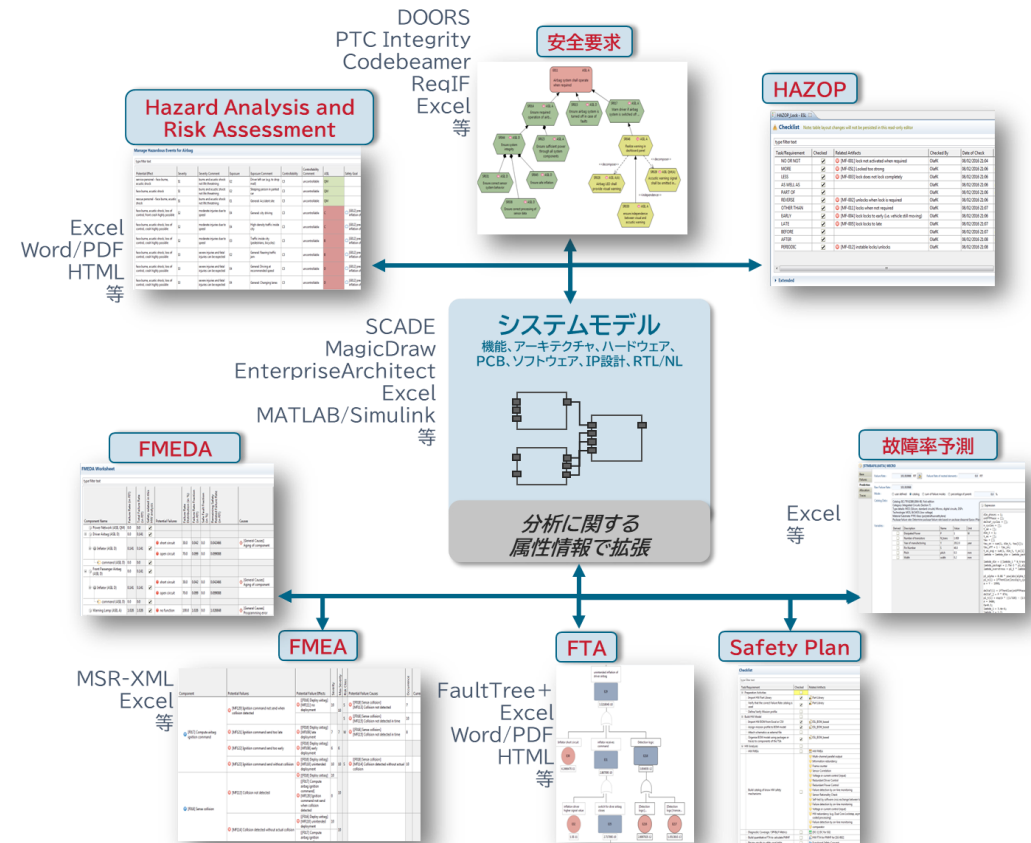
各種リスク評価手法を個別に実施

- 属人的になりやすい
- トレーサビリティを確保しづらい
- 複雑な故障伝搬関係の分析が難しい



リスク評価ツールを用いて体系的に実施

- 左記の課題を解決
- 関係者が同じプラットフォーム上で共通認識を持ちながらリスク評価可能



Gas Compressorのリスク評価事例

本船の運航・荷役に関わる重要機器

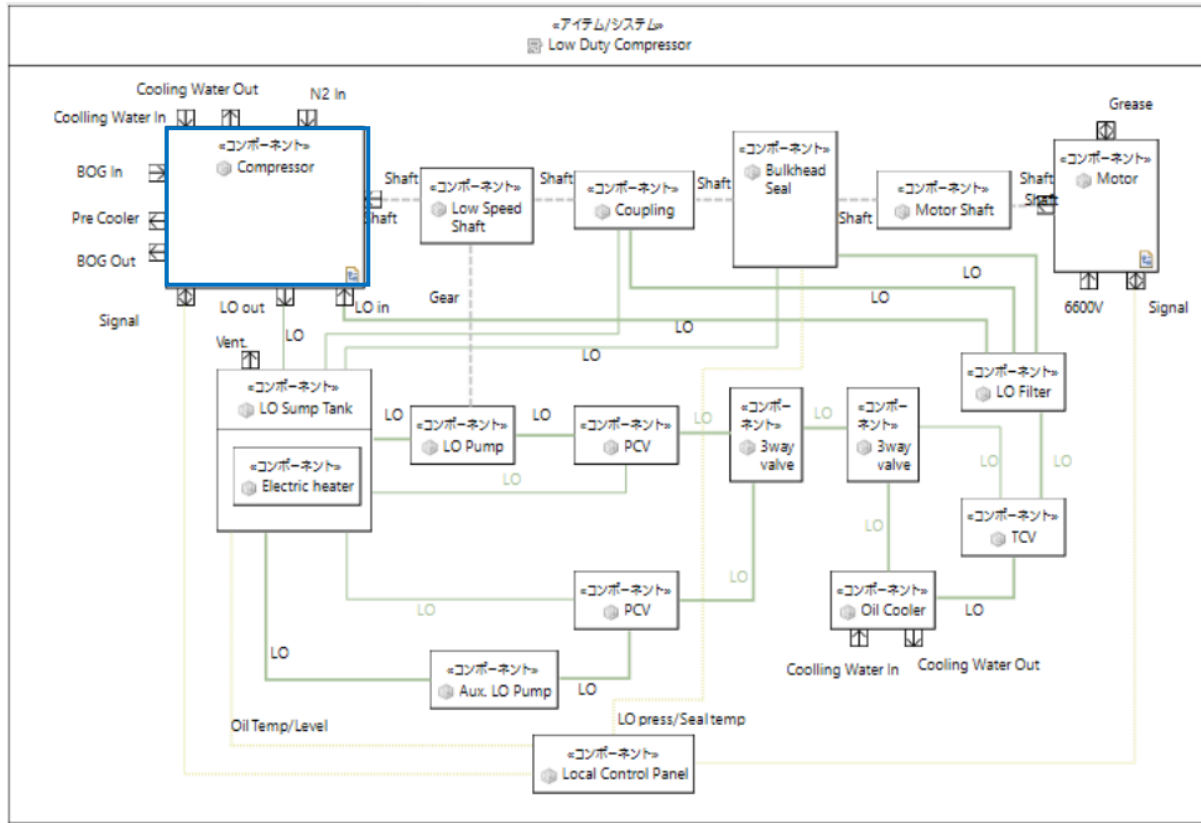
長年のLNG船運航によるトラブル情報の蓄積

複数機器・システムを含むシステム



Gas Compressorのリスク評価事例

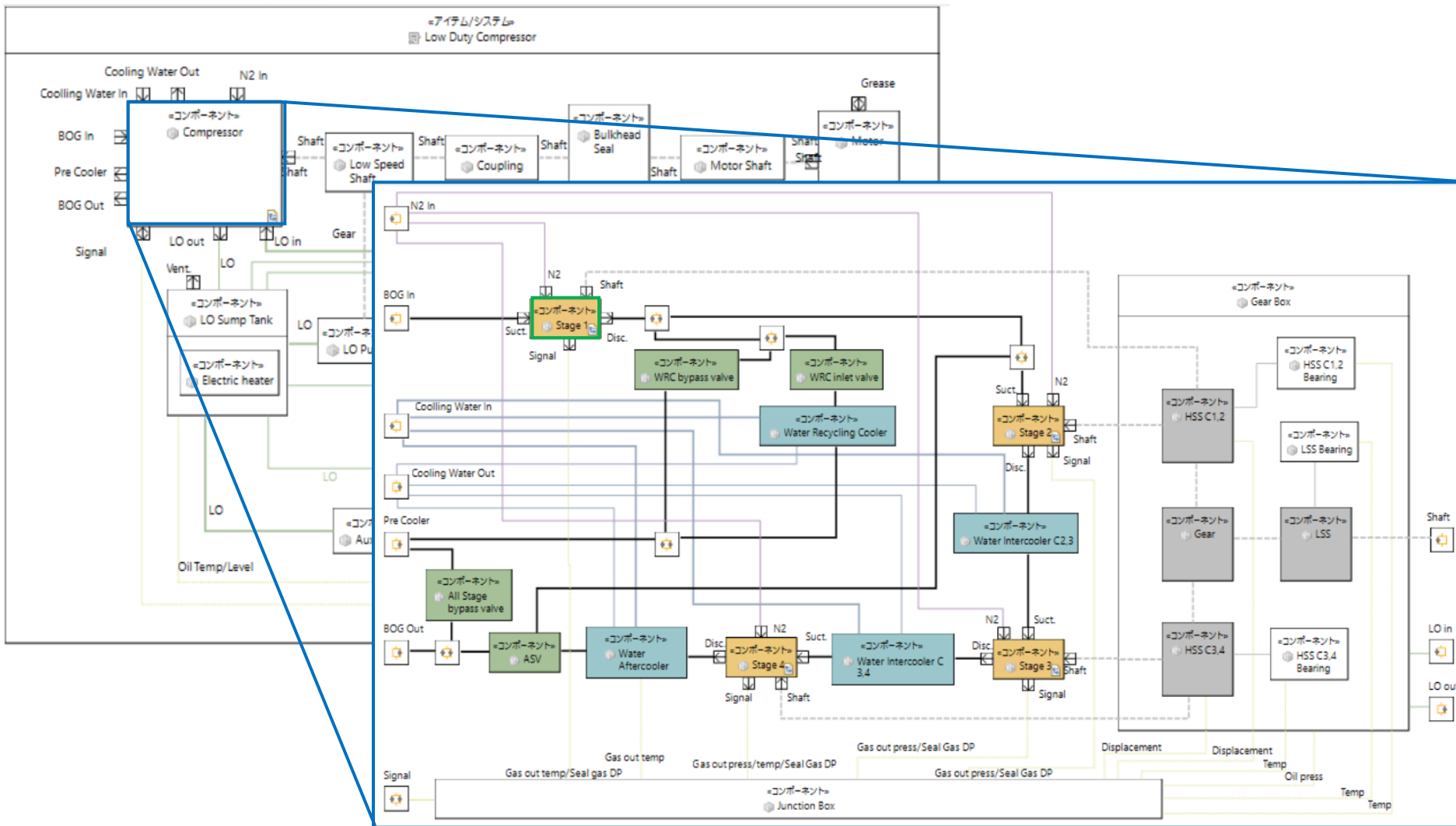
リスク評価ツールを用いてLow Duty Compressorの各構成要素(機器・部品)間の関係を階層構造としてモデル化



システムレベル

Gas Compressorのリスク評価事例

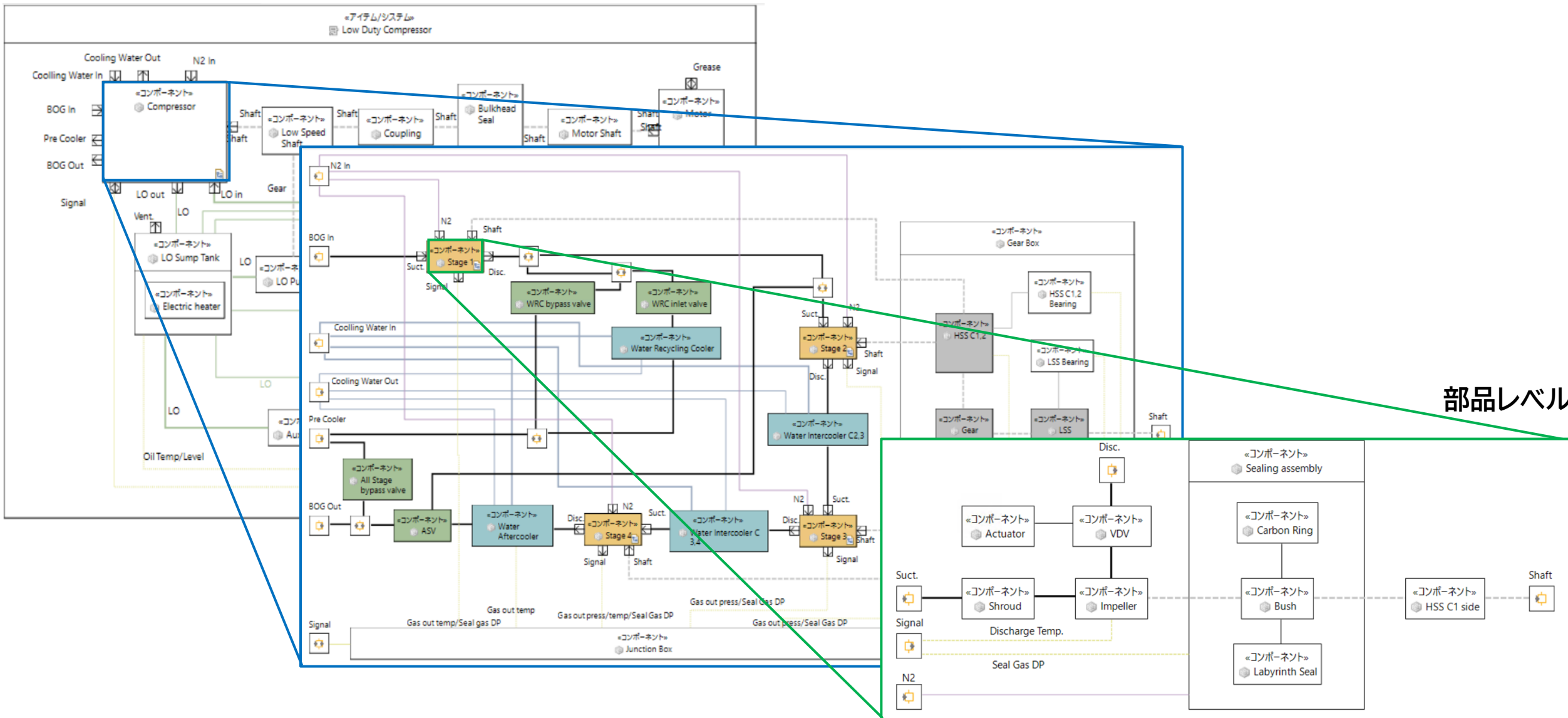
リスク評価ツールを用いてLow Duty Compressorの各構成要素(機器・部品)間の関係を階層構造としてモデル化



機器レベル

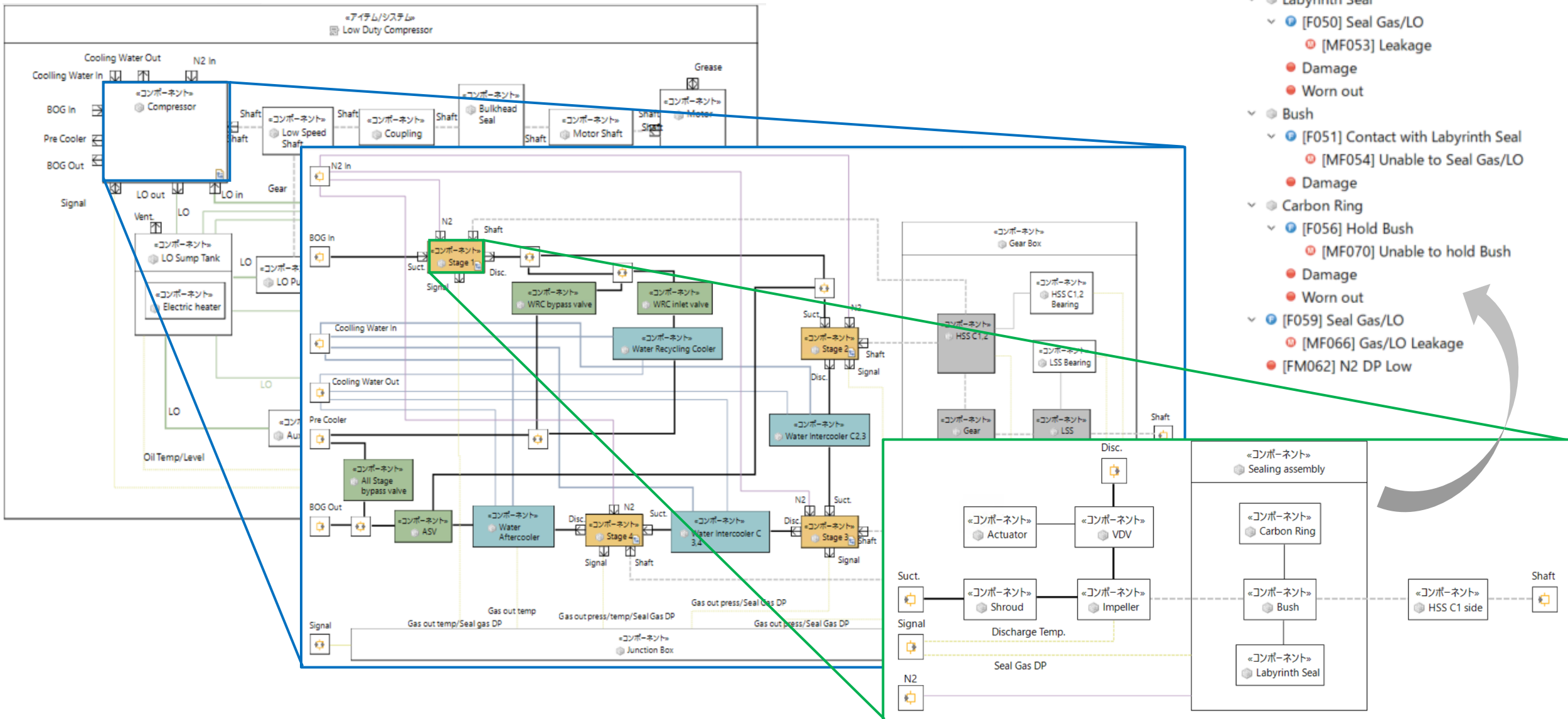
Gas Compressorのリスク評価事例

リスク評価ツールを用いてLow Duty Compressorの各構成要素(機器・部品)間の関係を階層構造としてモデル化



Gas Compressorのリスク評価事例

Low Duty Compressor全体から部品単位までの機能及び想定される故障モードを定義



Gas Compressorのリスク評価事例

各故障モードの影響度および検出度を定義し、その組み合わせによりリスクの大きさ(分類)を決定

影響度 × 検出度

5	38	12	14	26	7
4	40	9	51	17	27
3	8	1	6	9	4
2	9	7	38	10	15
1					
影/検	1	2	3	4	5

134
 167
 47

低リスク 中リスク 高リスク

影響度の定義

値	ラベル	概要
0	-	Not defined
1	1	Very Low - No immediate influence on operation
2	2	Low - Restored by Crew and little influence on Voyage and Cargo handling
3	3	Moderate - Restored by Crew and limited influence on Voyage and Cargo handling
4	4	High - Restriction on Voyage and Cargo handling / Short Offhire
5	5	Very High - Voyage and Cargo handling Impossible / Long Offhire

検出度の定義

値	ラベル	概要
0	-	Not defined
1	1	Very high - Directly detected by sensor
2	2	High - Detected by relevant sensor
3	3	Moderate - Observed by crew
4	4	Low - Found in overhaul inspection at drydock
5	5	Very low - Never detected

Gas Compressorのリスク評価事例

コンポーネント/機能	潜在的故障	潜在的故障影響	影響度	最大影響度	潜在的故障原因	現行の設計管理防止	現行の設計管理検出	検出率	リスク
Shroud Impeller [F053] Compress Gas	● Damage		4		Impeller [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3	Yellow
	● Damage	Impeller [F053] Compress Gas [MF056] Unable to compress gas	5	5	Impeller [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3	Red
	● Deposit on Blade	HSS C1,2 Too much vibration	3		Compressor BOG In Contaminated BOG	[C014] Mist separator	[C011] Undetectable [検出: 5]	5	Yellow
			3		Sealing assembly [F059] Seal Gas/LO [MF066] Gas/LO Leakage		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3	Green
	● Reverse Rotation without LO	HSS C1,2 Bearing Damage and Burn in	4	4	Compressor BOG Out Backward flow	[C009] Check valve	[C011] Undetectable [検出: 5]	5	Yellow
	● [FM064] Contact with Shroud	Impeller Damage	5		HSS C1,2 Too much vibration		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1	Yellow
		Shroud Damage	5	5	HSS C1,2 Not good Alignment		[C013] Overhaul Inspection [検出: 4]	4	Red
					HSS C1,2 Too much Displacement		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1	Yellow
	● [MF056] Unable to compress gas	Stage 1 [F015] Pressurize BOG [MF002] Unable to pressurize	5	5	Impeller Damage		[C013] Overhaul Inspection [検出: 4]	4	Red

アーキテクチャに基づくFMEAにより、構成要素の各種故障モード・誤作動に対する現状の設計的防止策や異常検出方法を網羅的に整理。リスク定量化によって追加で必要な防止策・検出方法を導出

Gas Compressorのリスク評価事例

コンポーネント/機能	潜在的故障	潜在的故障影響	影響度 最大影響度	潜在的故障原因	現在の設計管理防止	現在の設計管理検出	検出率	リスク 総 x 検出率
Shroud Impeller [F053] Compress Gas	● Damage		4	● Impeller ● [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3	12
	● Damage	● Impeller ● [F053] Compress Gas ● [MF056] Unable to compress gas	5 5	● Impeller ● [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3	15
	● Deposit on Blade	● HSS C1,2 ● Too much vibration	3	● Compressor BOG In ● Contaminated BOG	● [C014] Mist separator	[C011] Undetectable [検出: 5]	5	15
			3	● Sealing assembly ● [F059] Seal Gas/LO ● [MF066] Gas/LO Leakage		[C004] Crew Observation [検出: 3] [C002] Relevant Sensor [検出: 2]	5	15
	● Re	● HSS C1,2 Bearing ● D	4	● Compressor			5	20
	● [FM064] Contact with Shroud	● Impeller ● Damage	5	● HSS C1,2 ● Too much vibration		● Existing Sensor [検出: 1]	1	5
			5 5	● HSS C1,2 ● Not good Alignment		[C013] O Inspection [検出: 4]	4	20
				● HSS C1,2 ● Too much Displacement		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1	5
	● [MF056] Unable to compress gas	● Stage 1 ● [F015] Pressurize BOG ● [MF002] Unable to pressurize	5 5	● Impeller ● Damage		[C013] Overhaul Inspection [検出: 4]	4	20

構成要素・機能

故障モード

影響・影響度

原因

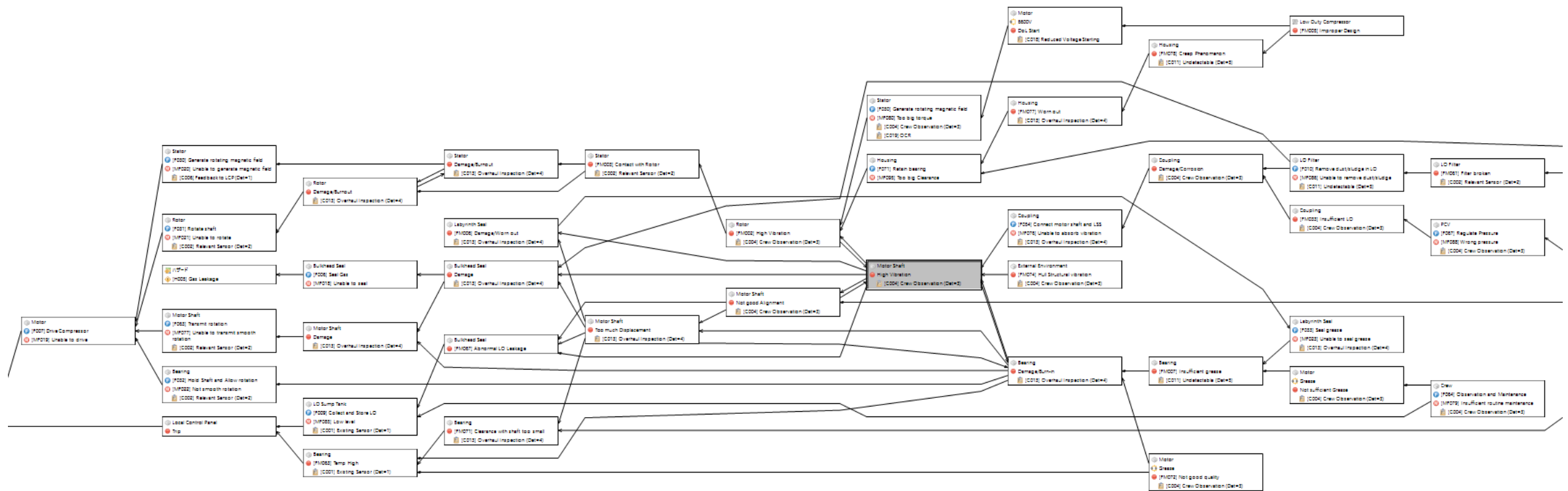
現状の設計的防止策
異常検出手法

リスク分類

検出度

アーキテクチャに基づくFMEAにより、構成要素の各種故障モード・誤作動に対する現状の設計的防止策や異常検出方法を網羅的に整理。リスク定量化によって追加で必要な防止策・検出方法を導出

Gas Compressorのリスク評価事例



故障伝搬関係の分析によりその故障モード自体のリスク軽減策に加えて、影響拡大防止 (Corrective Management) やそもそもの発生防止 (Preventive Management) も検討

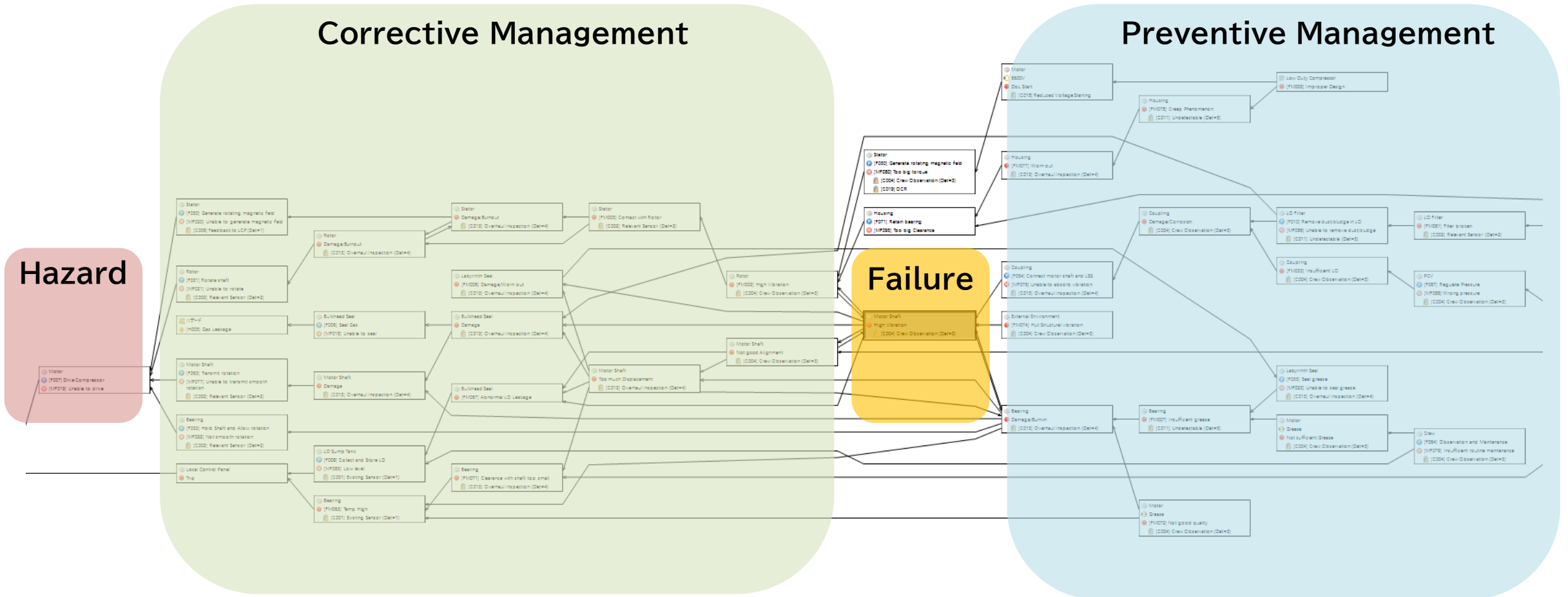
Gas Compressorのリスク評価事例

Corrective Management

Preventive Management

Hazard

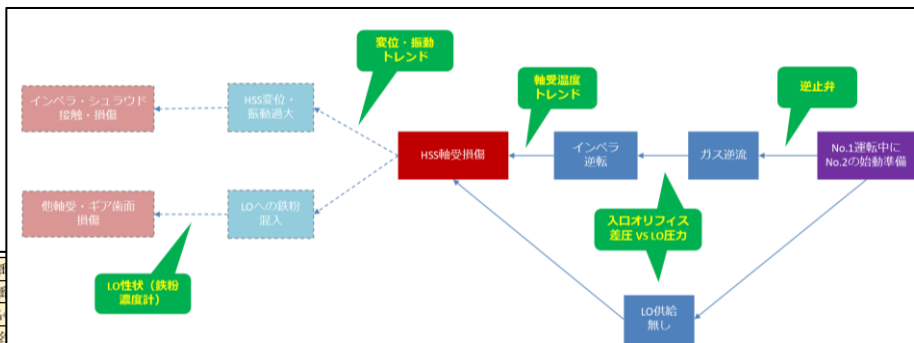
Failure



故障伝搬関係の分析によりその故障モード自体のリスク軽減策に加えて、影響拡大防止 (Corrective Management) やそもそもの発生防止 (Preventive Management) も検討

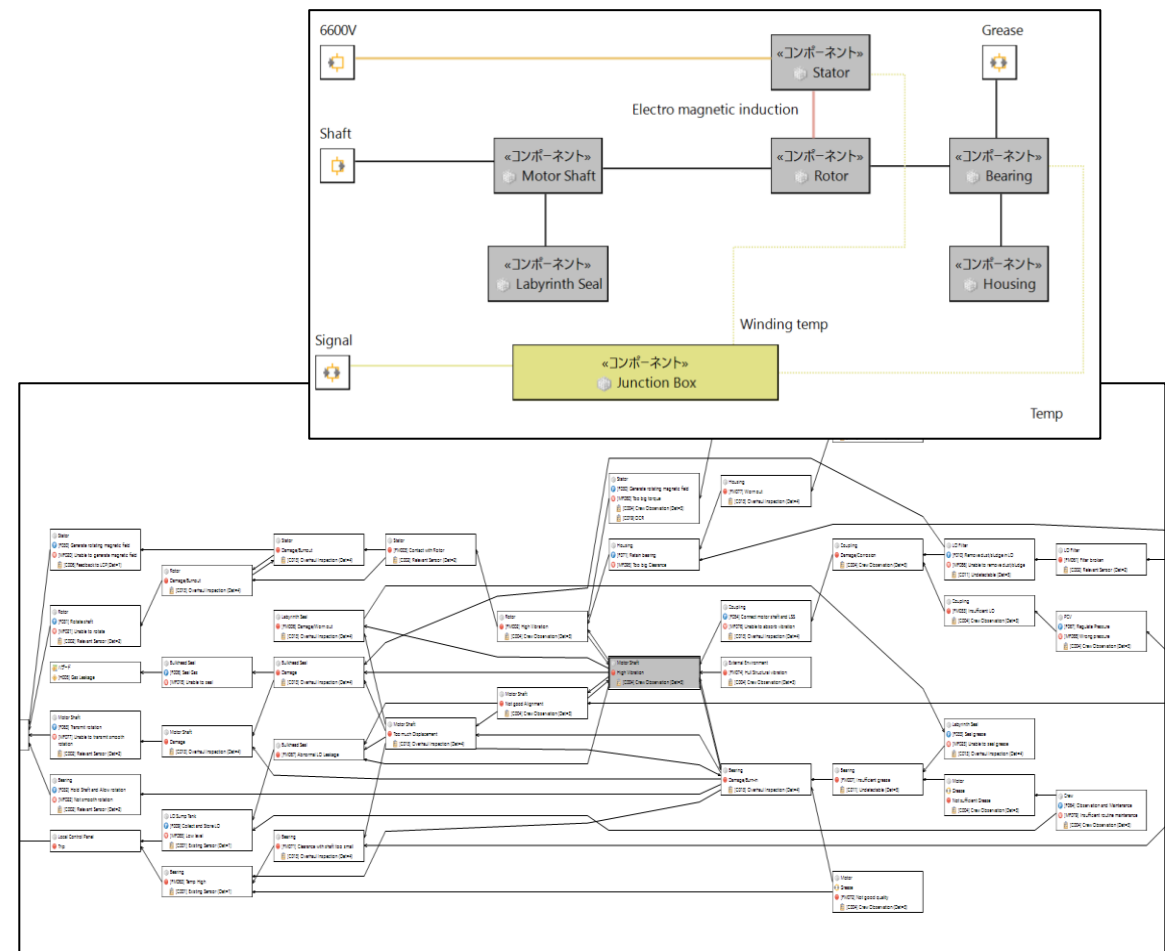
Gas Compressorのリスク評価事例

トラブル分析



リスト番	
Kiseki番	
船名	
機器名	
メーカー・タイプ	
日時	
概要	LDC 振動過大による始動時 Trip。
原因	中間軸 Plate Pack (Spring flexible plate) が腐食により Stack して振動を吸収できないもしくはトルクの伝達にアンバランスが生じて、振動が過大となり Trip が発生。
対策	始動・停止時の振動のトレンドデータを記録し分析する。Trip や Alarm の閾値を超える前に、振動値増大の傾向が認めれば早期対応が可能か。振動値解析には 1s 間隔データが必要。
詳細・経緯	
図表	

リスク評価



- ✓ 実際の故障部品情報からアーキテクチャのモデル化粒度を決定
- ✓ 実際のトラブルをFMEAや故障伝搬関係で網羅的に表現できているか確認

Gas Compressorのリスク評価事例

検出度向上による異常の早期発見

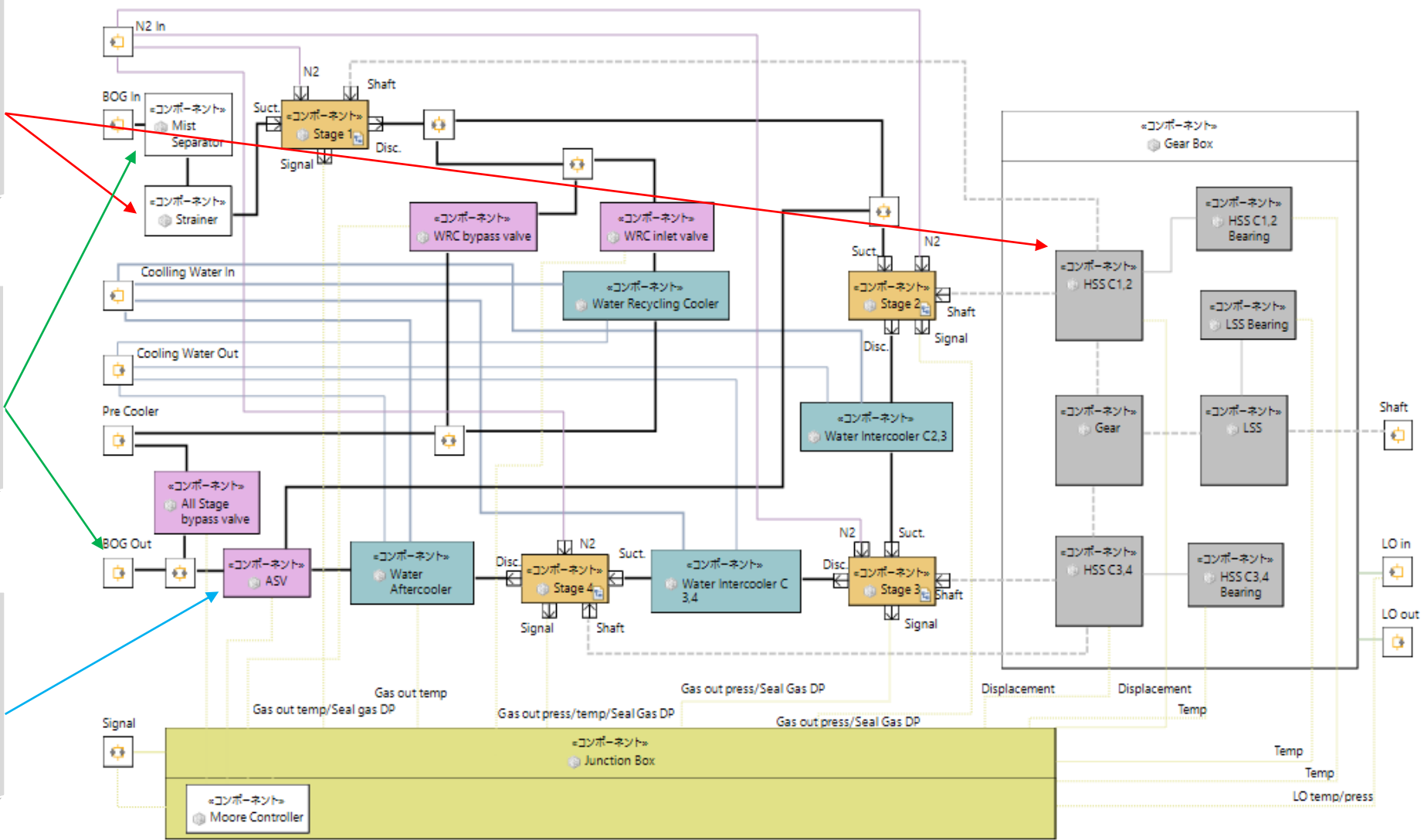
- ◆ 新たなセンサの追加
- ◆ トレンド監視の採用

設計的な安全対策の追加

- ◆ 逆止弁の追加
- ◆ フィルターの改良

オペレーションによるリスク低減

- ◆ 点検項目の追加
- ◆ 整備方法の改良



Gas Compressorのリスク評価事例

コンポーネント/機能	潜在的故障	潜在的故障影響	影響度	最大影響度	潜在的故障原因	現行の設計管理防止	現行の設計管理検出	検出率	推奨アクション	責任者と作業完了日付	修正後検出	修正後検出	影響度	
Shroud	● Damage		4		● Impeller ● [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3			-	-	Yellow	
	● Damage	● Impeller ● [F053] Compress Gas ● [MF056] Unable to compress gas	5	5	● Impeller ● [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3			-	-	Red	
Impeller	● Deposit on Blade	● HSS C1,2 ● Too much vibration	3		● Compressor ● BOG In ● Contaminated BOG	[C014] Mist separator	[C011] Undetectable [検出: 5]	5			-	-	Yellow	
			3		● Sealing assembly ● [F059] Seal Gas/LO ● [MF066] Gas/LO Leakage		[C004] Crew Observation [検出: 3] [C002] Relevant Sensor [検出: 2]	3			-	-	Green	
	● Reverse Rotation without LO	● HSS C1,2 Bearing ● Damage and Burn in	4	4	● Compressor ● BOG Out ● Backward flow	[C009] Check valve	[C011] Undetectable [検出: 5]	5			-	-	Yellow	
	● [FM064] Contact with Shroud	● Impeller ● Damage		5		● HSS C1,2 ● Too much vibration		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1			-	-	Yellow
			● Shroud ● Damage	5	5	● HSS C1,2 ● Not good Alignment		[C013] Overhaul Inspection [検出: 4]	4			-	-	Red
					● HSS C1,2 ● Too much Displacement		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1			-	-	Yellow	
● [F053] Compress Gas	● [MF056] Unable to compress gas	● Stage 1 ● [F015] Pressurize BOG ● [MF002] Unable to pressurize	5	5	● Impeller ● Damage		[C013] Overhaul Inspection [検出: 4]	4			-	-	Red	

FMEAにより導出されたリスク低減策を適用。ツールを使うことで複雑なシステムにおいても、高リスクの故障モードに対して漏れなく、関係者間で合意しながら対応することができる

Gas Compressorのリスク評価事例

コンポーネント/機能	潜在的故障	潜在的故障影響	影響度	最大影響度	潜在的故障原因	現行の設計管理防止	現行の設計管理検出	掘り起	推奨アクション	責任者と作業完了日付	修正後影響度	修正後掘り起	影響度
Shroud	● Damage		4		● Impeller ● [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3			-	-	4
Impeller	● Deposit on Blade	● Impeller ● [F053] Compress Gas ● [MF056] Unable to compress gas	5	5	● Impeller ● [FM064] Contact with Shroud		[C004] Crew Observation [検出: 3]	3			-	2	5
		● HSS C1,2 ● Too much vibration	3		● Compressor ● BOG In ● Contaminated BOG	[C014] Mist separator	[C011] Undetectable [検出: 5]	5					3
Impeller	● Deposit on Blade	● Reverse Rotation without LO	4	4	● HSS C1,2 Bearing ● Damage and Burn in	[C009] Check valve	[C011] Undetectable [検出: 5]	5			2	-	4
					● Impeller ● Damage	5		● HSS C1,2 ● Too much vibration		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1		
Impeller	● Deposit on Blade	● [FM064] Contact with Shroud	5	5	● Shroud ● Damage		[C013] Overhaul Inspection [検出: 4]	4			-	2	5
					● HSS C1,2 ● Not good Alignment		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1					
Impeller	● Deposit on Blade	● [FM064] Contact with Shroud	5	5	● HSS C1,2 ● Too much Displacement		[C001] Existing Sensor [検出: 1]	1					5
					● Stage 1 ● [F015] Pressurize BOG ● [MF002] Unable to pressurize	5		● Impeller ● Damage		[C013] Overhaul Inspection [検出: 4]	4		

検出度向上による異常の早期発見

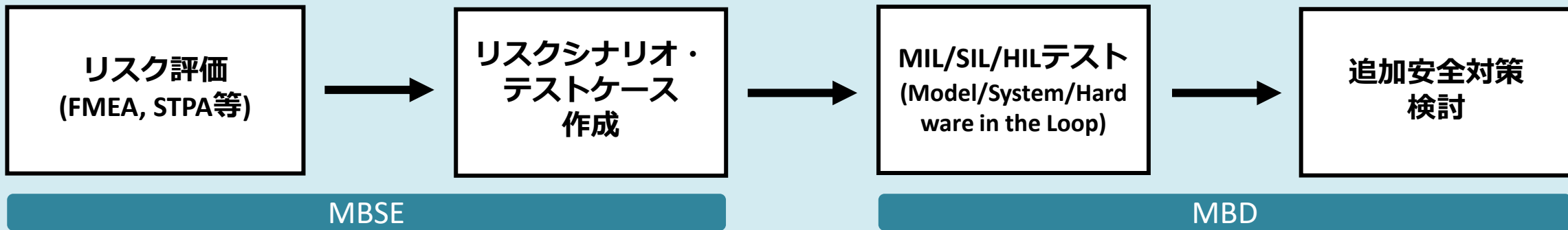
設計的な安全対策の追加

オペレーションによるリスク低減

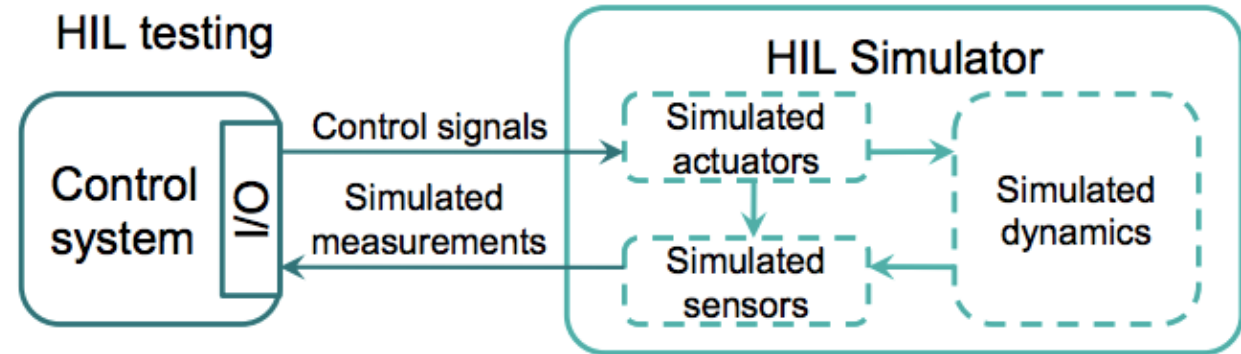
対策後の影響度・検出度

FMEAにより導出されたリスク低減策を適用。ツールを使うことで複雑なシステムにおいても、高リスクの故障モードに対して漏れなく、関係者間で合意しながら対応することができる

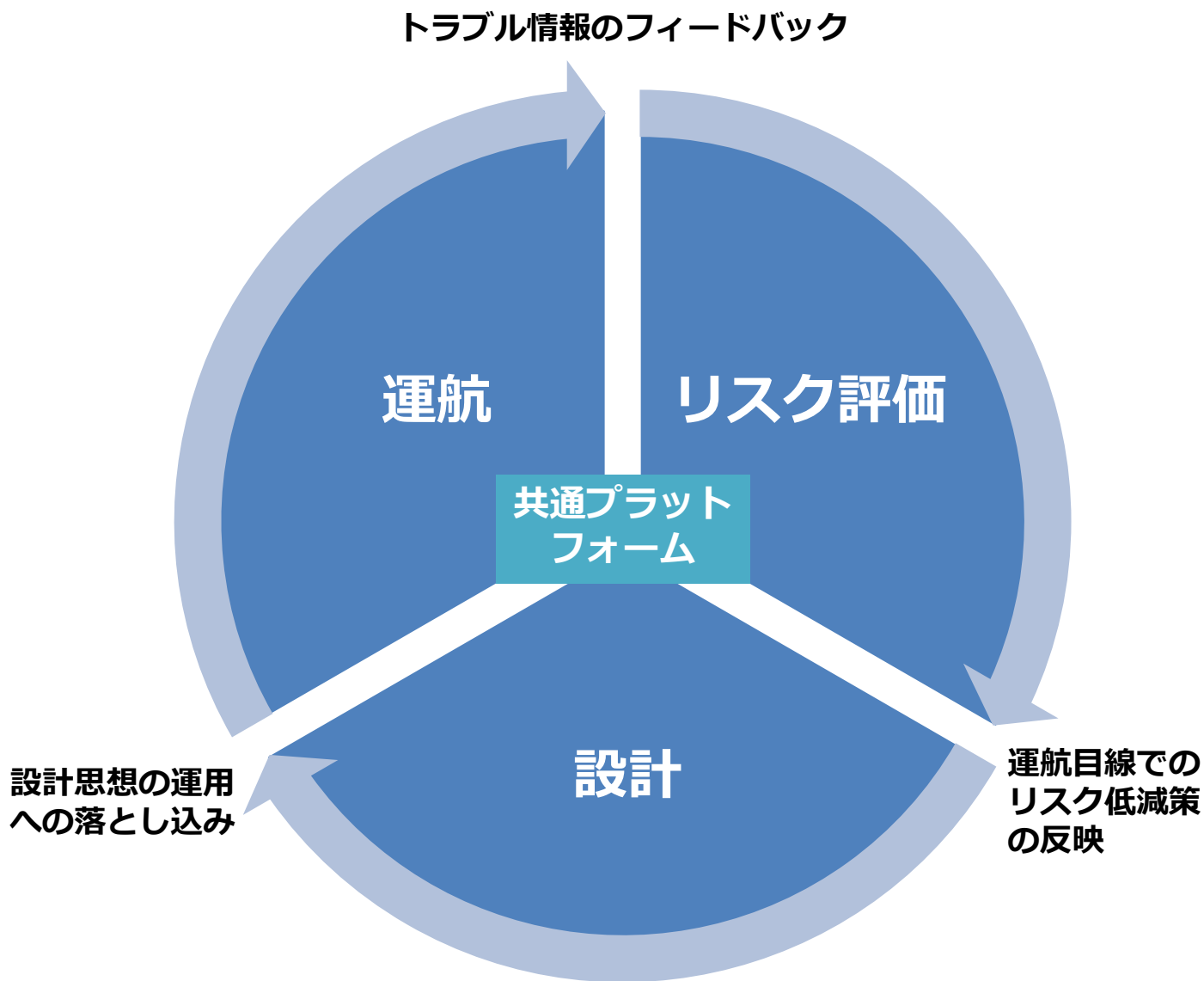
高度化・複雑化するシステムに対するリスク管理手法



複雑な制御システム等においては、システム理論に基づくリスク評価手法 STPA等も適用し、リスクシナリオ・テストケースを漏れなく作成し、HILテスト等に活用することで、リスク低減策を事前に網羅的に洗い出すことができる



新燃料機関システムのリスク管理スキーム



造船所・メーカー

- ◆ 製品開発・設計・製造の知見
- ◆ 国際規則、ガイドライン、規格に基づくリスク評価経験

共通のプラットフォーム上でリスク評価を行うことで関係者間の相互理解を促進

船社

- ◆ オペレーションの経験・知見
- ◆ 蓄積されたトラブル情報からのフィードバック

まとめ

- ◆ 新燃料船等における機関システムの複雑化により、リスクが多種多様になり故障伝搬関係も複雑化している
- ◆ 複雑化・高度化するシステムに対しては体系的なリスク評価手法が求められ、リスク評価ツールの導入が有効
- ◆ LNG船のGas Compressor に対して、トラブル分析を組み合わせたリスク評価手法を適用し、有効なリスク低減策を導出した
- ◆ 複雑な制御を含む機器・システムにおいてはSTPA等も適用してリスクシナリオ・テストケースを漏れなく作成し、テストに活用することで、リスク低減策を事前に網羅的に洗い出せる
- ◆ 今後は毒性の強いアンモニアを燃料とした船が出てくるなど、より一層リスク評価の重要性が増す。実績・経験の無いシステムに対しては、リスク評価により万全の準備を行う必要がある
- ◆ 造船所・メーカーと船社が共同でリスク管理を行うスキームを構築することが重要
- ◆ こうした取り組みを通じて、MTIとしてNYKグループ重大事故0件に貢献したい

ご清聴どうもありがとうございました。