

2014.5 船舶用鉄鋼材料に関するセミナー

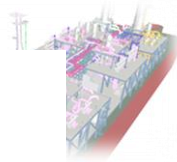
FLNG向け極低温流体漏洩リスク解析と、 アレスト設計(高アレスト鋼)適用による 脆化被害軽減策の検討

by

JGC, JMU, 海技研, 日本海事協会, 新日鐵住金

新日鐵住金/井上健裕

LNG等極低温流体の漏洩により、もたらされるハザード

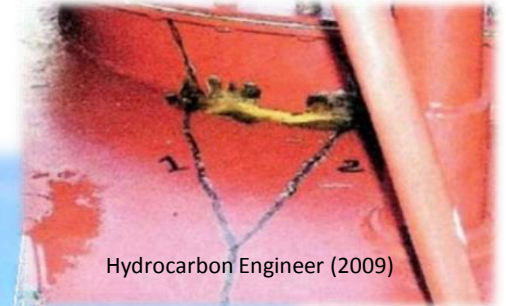


Vapor Cloud Explosion



AFP , Skikda LNG (2004)

Brittle Fracture

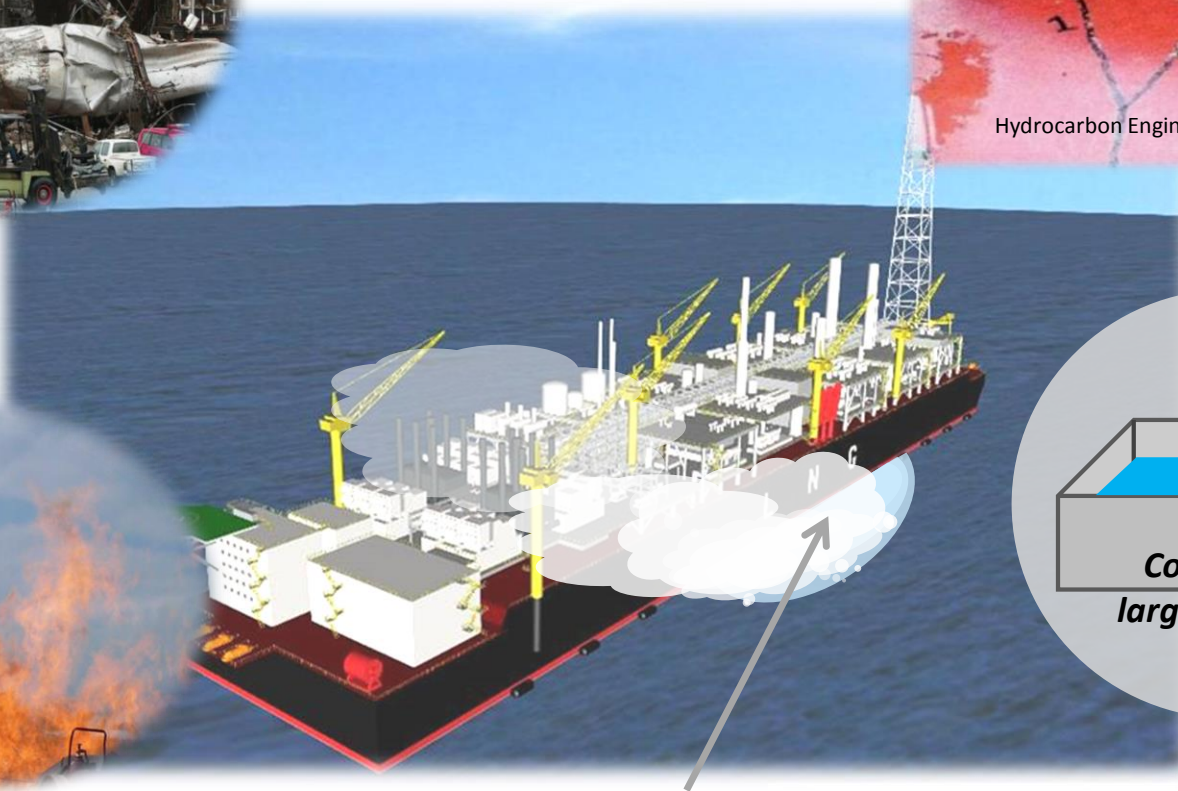


Hydrocarbon Engineer (2009)

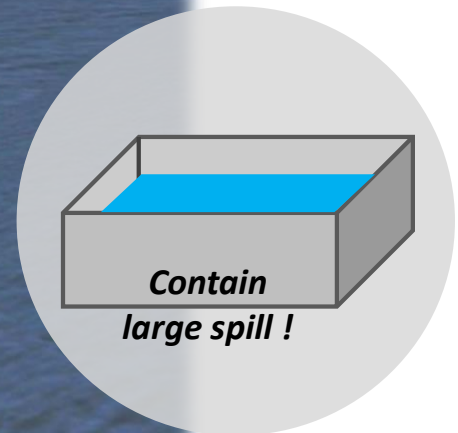


Photo :BP

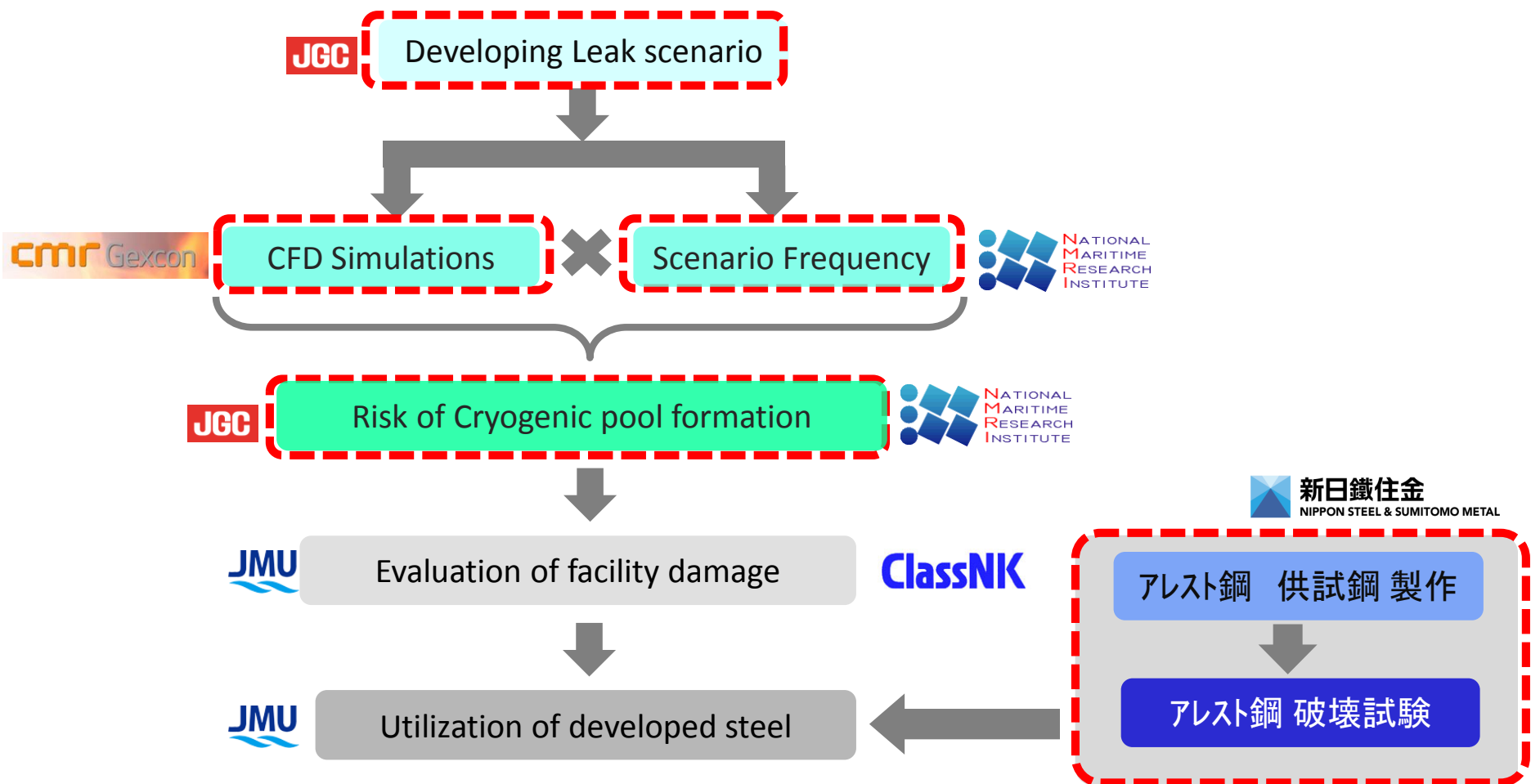
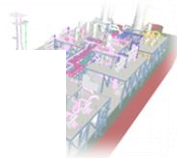
Flash Fire

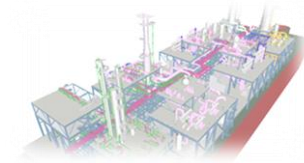


RPT; Rapid Phase Transition



FLNGの極低温流体漏洩リスクアセスメントの流れ

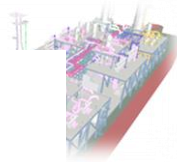




解析対象のFLNG

解析対象のFLNG

液化プロセス > APCI社 DMR Dual Mixed Refrigerantプロセス



Utility area

Loading Arm

Process area

MEG RECLAMATION
MEG

ACID GAS INCINERATION

3D モデル

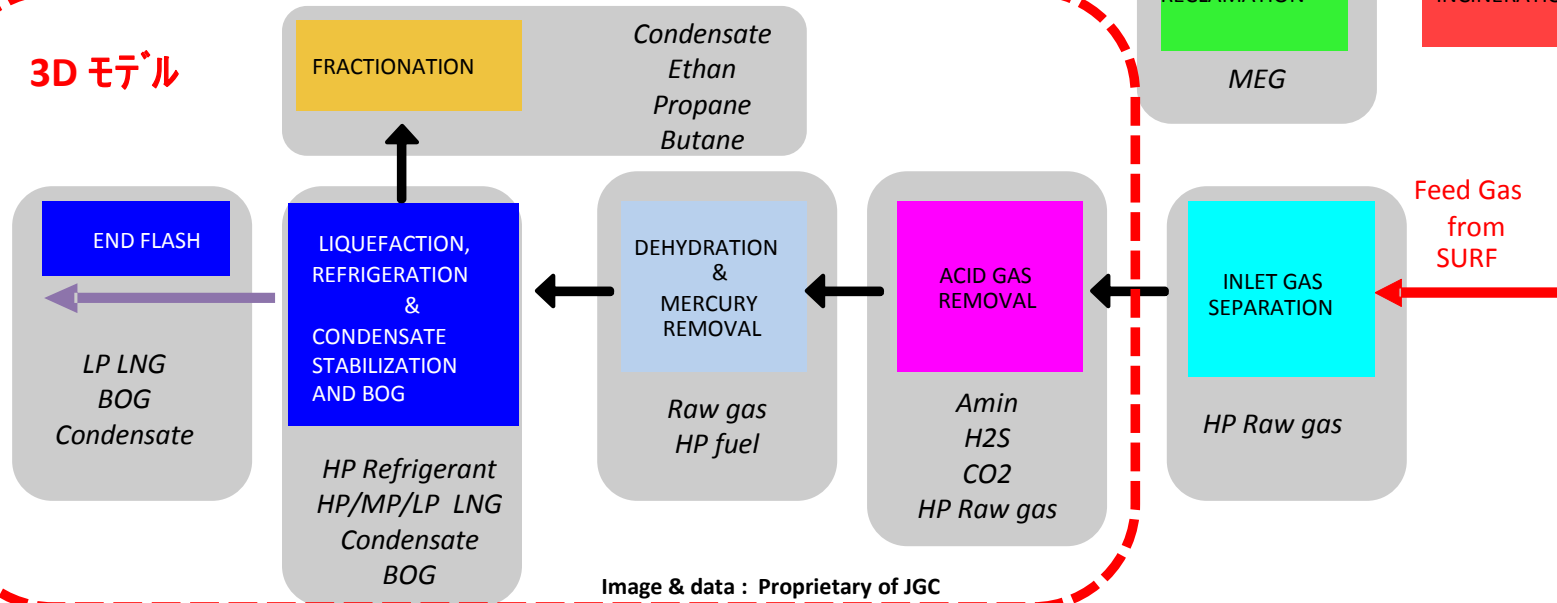
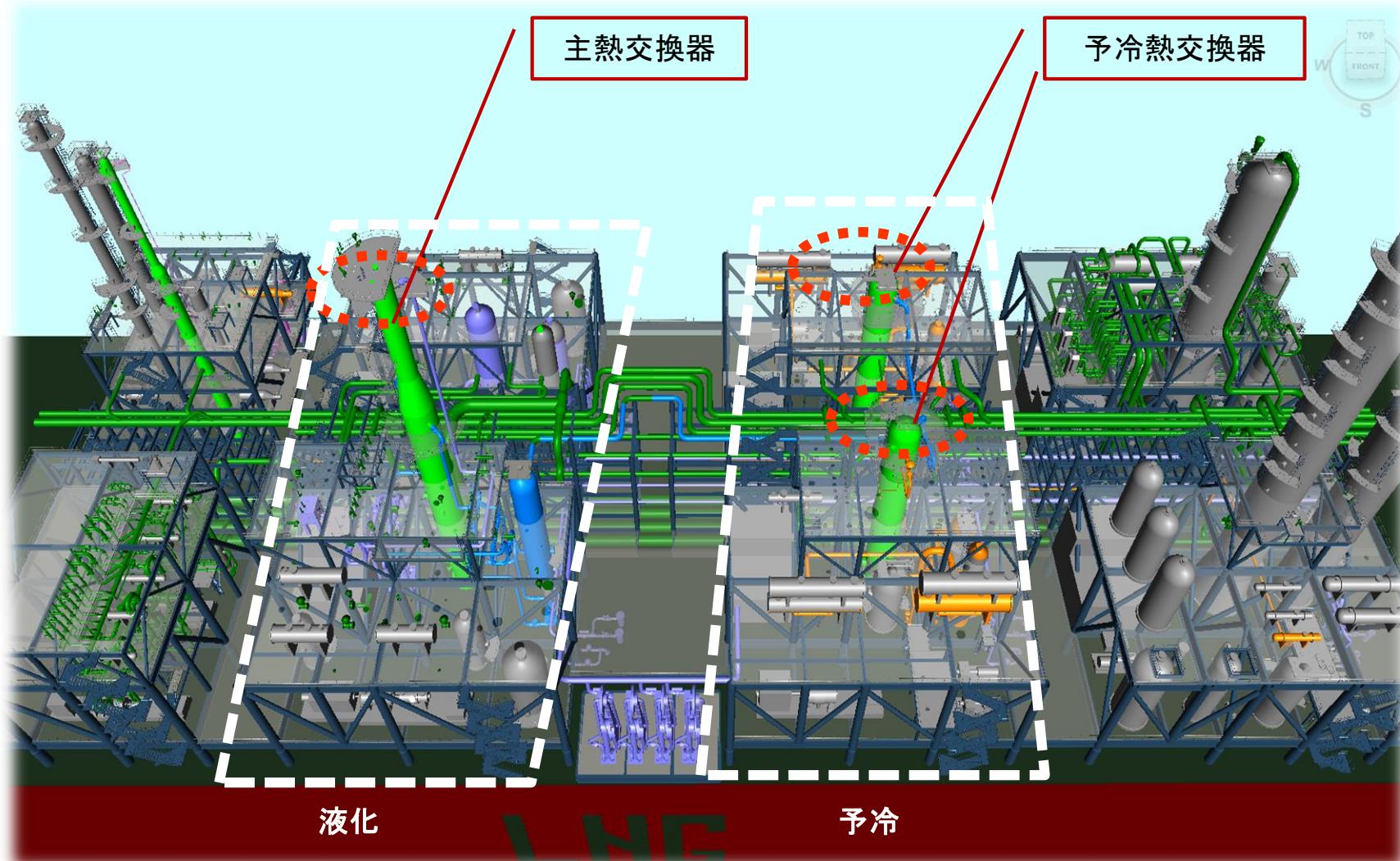
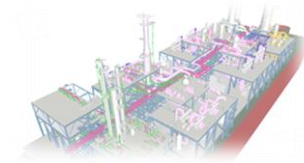


Image & data : Proprietary of JGC

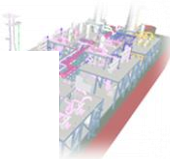
解析対象のFLNG

出荷はローディングアーム、プロセスデッキは板張り、LNGタンクはSPBを想定





漏洩シナリオの策定



プロセス漏洩のシミュレーションシナリオとは？

考慮が求められるパラメータの多さと計算機リソースの制約

プロセス漏洩



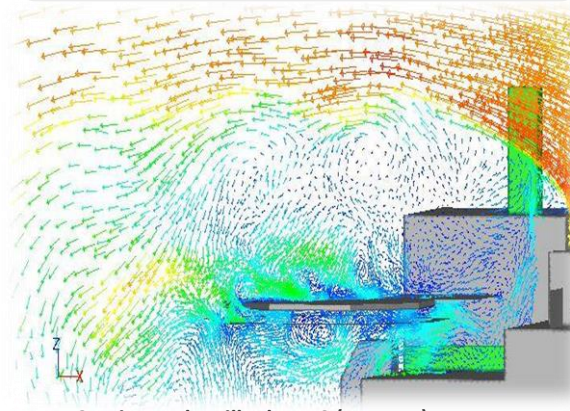
ソースターム

- 何処から??
- どれ位の流量で??
- どんなガス組成のものが??
- どの方向に??
- どれ位の時間??

環境条件

風向・風速、気温・湿度, etc.

エクゾーストガス拡散

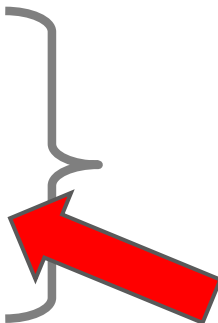


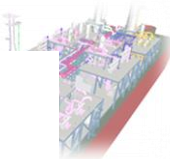
CFD image by Lilleaker AS (Norway)

常に一定

数が多い。しばしば100通り超。
プラントのプロセスフローを詳細に分析する必要有り

風向・風速、気温・湿度



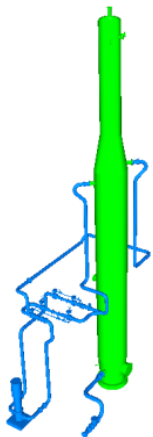


各セグメントに於ける漏洩シナリオパラメータの選択・組合せ

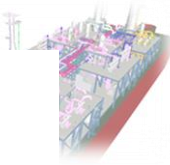
例)セグメント #6,7

Identifying the point of Leak

Segment #	Material	Relevant modules	Target Deck	Leak height (Location)	Hole dia	Pressure	leak direction	Total Nos simulation
6	CMR	M9	Process Dk.	1m	5mm	60bar	-z	6
				15m	10mm			
					20mm			
7	CMR	M9	Process Dk.	1m	5mm	60bar	-z	9
				5m	10mm			
				16m	20mm			
				3	3	1	1	9



漏洩量を支配するパラメータ



$$Leaked\ Mass = f(A, P_0, T, V_0)$$

A 漏洩点断面積

P_0 プロセスセグメント圧力

T 漏洩持続時間

V_0 隔離された時のプロセスインベントリー量

計算で使用したのはベルヌーイの定理に基づいた下記の式

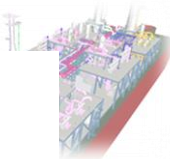
$$R = C_d A \sqrt{2\rho_l (P_0 - P_a)}$$

R : Mass Flow Rate(kg/sec)

C_d : 抵抗係数 (=0.6)

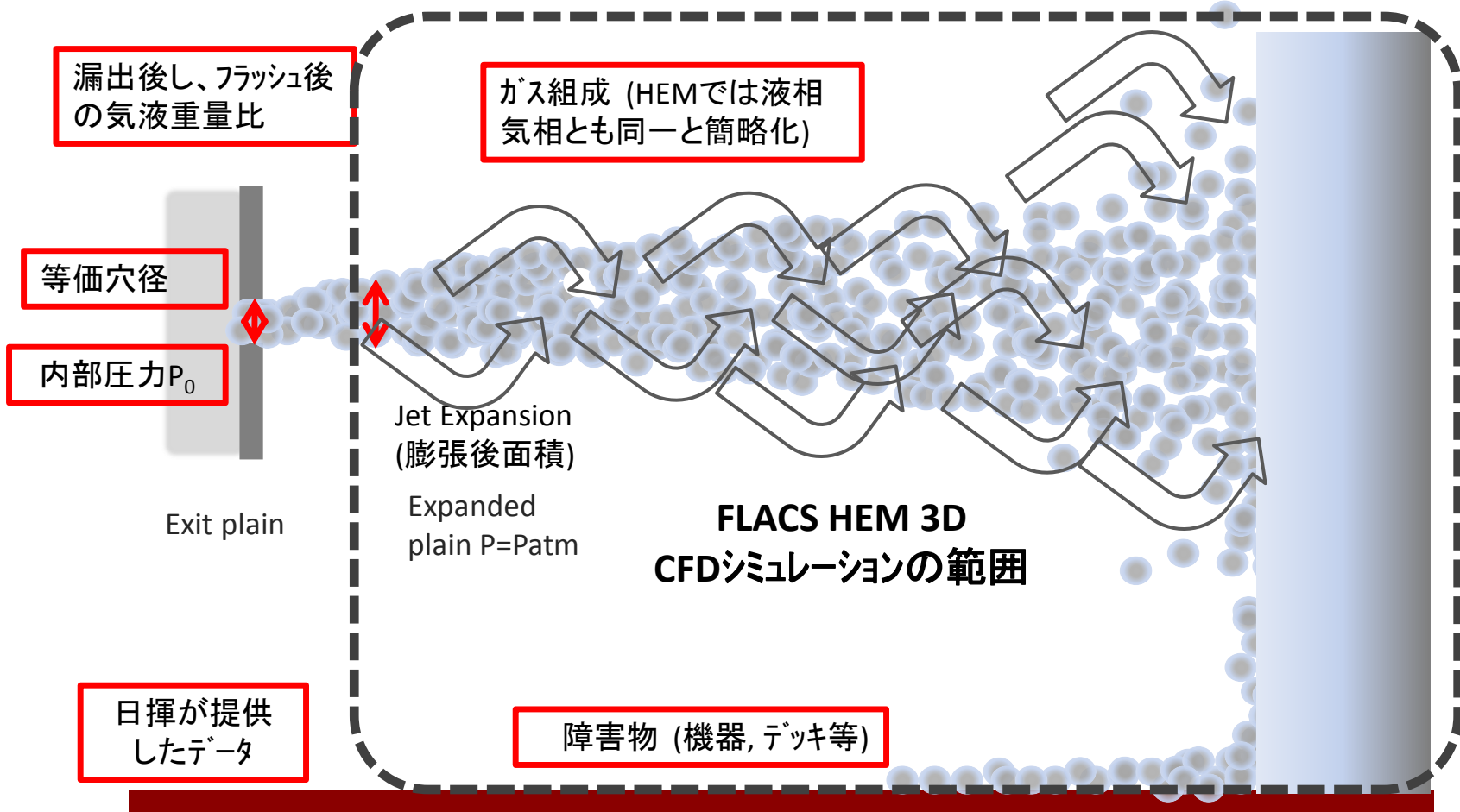


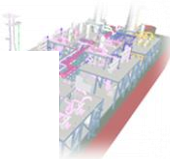
CFDシミュレーション



GexCon FLACS™ HEM (Homogeneous Equivalent Model)

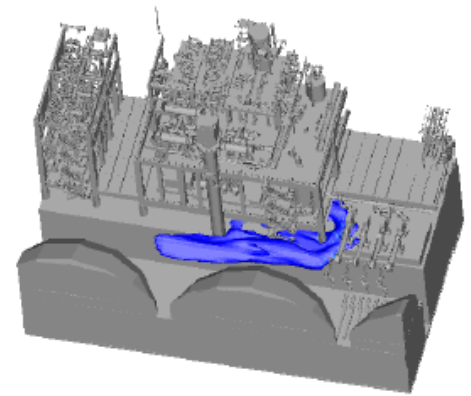
HEM モデル: 気液2相が熱力学的に平衡状態にあると仮定し、密度が異なる連続体として挙動を同時に効率的に計算する物理モデル。





障害物有り(機器・配管・構造)CFD解析の出力例

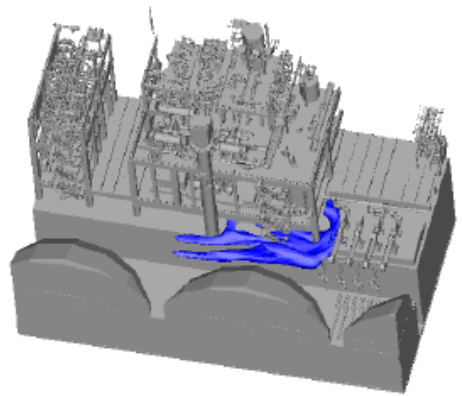
Vapor



≥ 2 vol%

Job=019919, Var=XVAP (/log10), Time= 65.006 (s)
X=163 : 249.5, Y=-59.5 : -10.5, Z=17 : 77 m

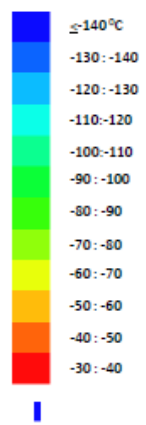
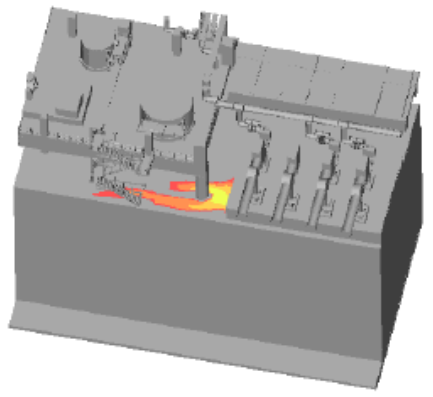
Aerosol



≥ .004 vol%

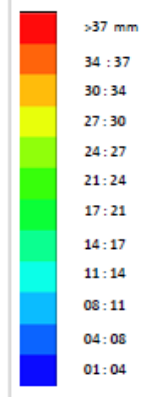
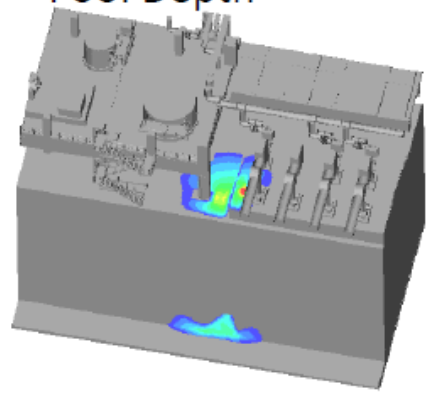
Job=019919, Var=XUSER (/log10), Time= 65.006 (s)
X=163 : 249.5, Y=-59.5 : -10.5, Z=17 : 77 m

Temperature

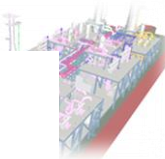


Job=019919, Var=T (K), Time= 65.006 (s)
X=206 : 247, Y=-43.7 : -21, Z=17 : 47 m

Pool Depth



Job=019919, Var=POOL_D (m), Time= 65.006 (s)
X=206 : 247, Y=-43.7 : -21, Z=17 : 47 m

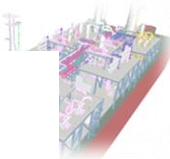


全セグメント 全シナリオ

全 126通り、 リスク評価ターゲットはプロセスデッキ各ブロック + Hull上甲板

Scenario occurrence frequency calculation

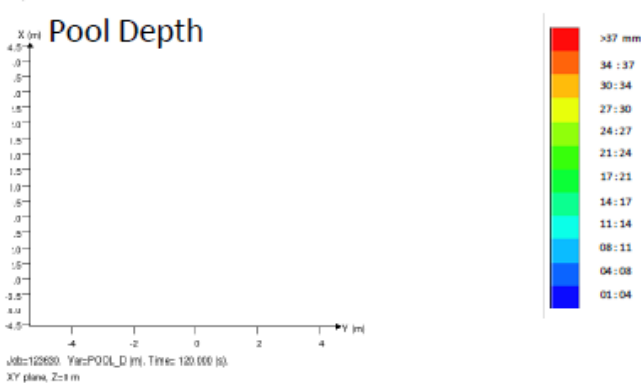
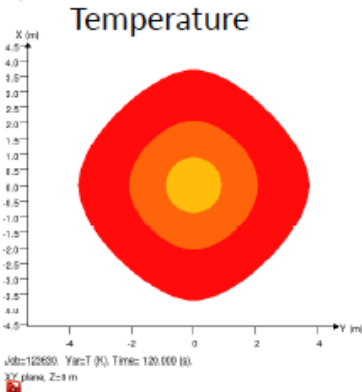
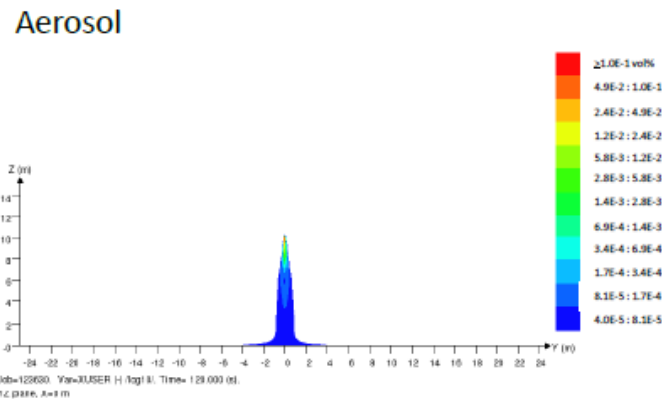
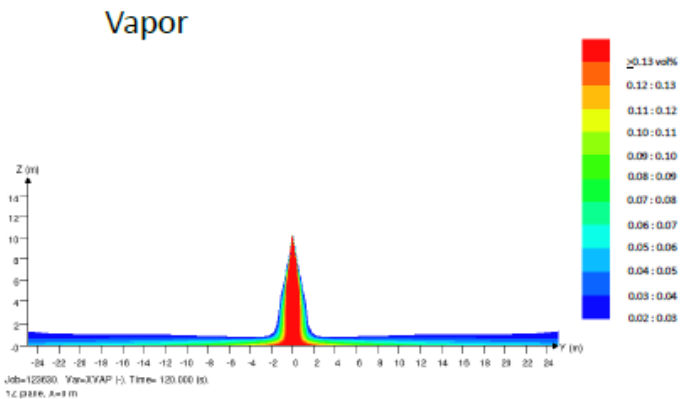
Line	Segm't	Material	GEOGRAPHICAL CATEGORY			OPERATIONAL CATEGORY										Leak direction	Leak direction probability (%)	Scenario occurrence frequency (time/year)	Segment leak frequency (time/year)	GexCon run #	Pool formation
			Relating module, Location	No of sets	Target deck	Operational Mode	Operational mode probability (%)	Pressure	Leak hole size	Hole size frequency for the segment (time/year)	Represented height (m)	Height probability allocation (%)									
1	1	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	20	9.29E-04	10	0.50	-Z	1.0	4.65E-04	-	np				
2	1	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	20	9.29E-04	15	0.50	-Z	1.0	4.65E-04	-	np				
3	1	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	10	6.50E-04	10	0.50	-Z	1.0	3.25E-04	-	np				
4	1	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	10	6.50E-04	15	0.50	-Z	1.0	3.25E-04	-	np				
5	1	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	5	1.23E-02	10	0.50	-Z	1.0	6.17E-03	-	np				
6	1	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	5	1.23E-02	15	0.50	-Z	1.0	6.17E-03	1.39E-02	-	np			
7	2	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	20	1.66E-03	1	0.50	-Z	1.0	8.30E-04	600120	POOL				
8	2	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	20	1.66E-03	5	0.50	-Z	1.0	8.30E-04	600520	np				
9	2	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	10	1.02E-03	1	0.50	-Z	1.0	5.10E-04	830110	POOL				
10	2	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	10	1.02E-03	5	0.50	-Z	1.0	5.10E-04	830510	np				
11	2	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	5	1.43E-02	1	0.50	-Z	1.0	7.17E-03	830105	np				
12	2	C2	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	30	5	1.43E-02	5	0.50	-Z	1.0	7.17E-03	1.70E-02	-	np			
13	3	CMR	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	2.87E-04	15	1.00	-Z	1.0	2.87E-04	-	np				
14	3	CMR	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	2.19E-04	15	1.00	-Z	1.0	2.19E-04	-	np				
15	3	CMR	M5/M6	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	3.82E-03	15	1.00	-Z	1.0	3.82E-03	4.32E-03	-	np			
16	4	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	5.74E-04	5	0.50	-Z	1.0	2.87E-04	400520	np				
17	4	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	5.74E-04	15	0.50	-Z	1.0	2.87E-04	-	np				
18	4	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	3.70E-04	5	0.50	-Z	1.0	1.85E-04	-	np				
19	4	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	3.70E-04	15	0.50	-Z	1.0	1.85E-04	-	np				
20	4	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	4.95E-03	5	0.50	-Z	1.0	2.48E-03	-	np				
21	4	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	4.95E-03	15	0.50	-Z	1.0	2.48E-03	5.90E-03	-	np			
22	5	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	1.13E-03	2	0.50	-Z	1.0	5.64E-04	400220	POOL				
23	5	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	1.13E-03	15	0.50	-Z	1.0	5.64E-04	-	np				
24	5	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	1.14E-03	2	0.50	-Z	1.0	5.69E-04	810210	POOL				
25	5	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	1.14E-03	15	0.50	-Z	1.0	5.69E-04	-	np				
26	5	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	1.97E-02	2	0.50	-Z	1.0	9.83E-03	Refer to 8210E	np				
27	5	LNG	M10	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	1.97E-02	15	0.50	-Z	1.0	9.83E-03	2.19E-02	-	np			
28	6	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	2.51E-04	1	0.50	-Z	1.0	1.25E-04	500120	POOL				
29	6	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	2.51E-04	15	0.50	-Z	1.0	1.25E-04	-	np				
30	6	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	2.45E-04	1	0.50	-Z	1.0	1.23E-04	820110	POOL				
31	6	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	2.45E-04	15	0.50	-Z	1.0	1.23E-04	-	np				
32	6	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	4.35E-03	1	0.50	-Z	1.0	2.18E-03	820105	np				
33	6	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	4.35E-03	15	0.50	-Z	1.0	2.18E-03	4.85E-03	-	np			
34	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	2.58E-03	1	0.33	-Z	1.0	8.59E-04	500120	POOL				
35	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	2.58E-03	5	0.33	-Z	1.0	8.59E-04	500520	np				
36	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	20	2.58E-03	15	0.33	-Z	1.0	8.59E-04	-	np				
37	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	2.02E-03	1	0.33	-Z	1.0	6.72E-04	820110	POOL				
38	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	2.02E-03	5	0.33	-Z	1.0	6.72E-04	-	np				
39	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	10	2.02E-03	15	0.33	-Z	1.0	6.72E-04	-	np				
40	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	3.17E-02	1	0.33	-Z	1.0	1.06E-02	820105	np				
41	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	3.17E-02	5	0.33	-Z	1.0	1.06E-02	-	np				
42	7	CMR	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	60	5	3.17E-02	15	0.33	-Z	1.0	1.06E-02	3.63E-02	-	np			
43	8	LNG	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	1	20	2.33E-03	10	0.50	-Z	1.0	1.16E-03	-	np				
44	8	LNG	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	1	20	2.33E-03	15	0.50	-Z	1.0	1.16E-03	-	np				
45	8	LNG	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	1	10	1.82E-03	10	0.50	-Z	1.0	9.11E-04	-	np				
46	8	LNG	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	1	10	1.82E-03	15	0.50	-Z	1.0	9.11E-04	-	np				
47	8	LNG	M9	1	Process deck	Normal production	1.00	1	5	9.85E-03	10	0.50	-Z	1.0	4.45E-03	-	np				



FLACS HEM テッキ以外障害物無し出力例

パラメータ感応度：漏洩高さと方向によるプール径への影響

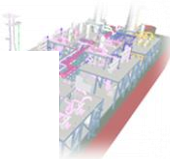
Ref. no.: GexCon-12- P65554-R-1



Case #123630

GexCon US

Released Species: LNG	Aerosol VF: 15%	Release Diameter: 20 mm
Release Height: 10 m	Release Direction: -Z	Pressure: 3.5 Barg
Wind Speed: 0 m/s	Wind Direction: N/A	Rainout: 0%

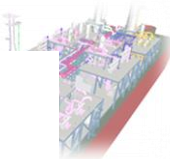


CFD拡散解析結果

例) 液溜まりが形成された漏洩シナリオは低所から漏洩のみ

np : No Pool formed

Material	P (barg)	Equiv. Hole (mm)	Height (m)	→↓	GexCon Run #	max rainout		Pool Dia(m)			
						% at peak	0.5min	1min	3min	10min	
LNG	3.5	20	2	-z	123610	pool	24.5%	3.6	4.6	4.9	4.9
LNG	3.5	20	5	-z	123620	np					
LNG	3.5	20	10	-z	123630	np					
LNG	3.5	20	15	-z	-	np					
LNG	3.5	10	2	-z	122610	np					
LNG	3.5	10	5	-z	122620	np					
LNG	3.5	10	10	-z	122630	np					
LNG	3.5	10	15	-z	-	np					
LNG	3.5	5	2	-z	121610	np					
LNG	3.5	5	5	-z	121620	np					
LNG	3.5	5	10	-z	121630	np					
LNG	3.5	5	15	-z	-	np					
LNG	1	20	2	-z	100220	pool	5.1%	0.7	0.8	0.9	0.9
LNG	1	20	5	-z	20520	np					
LNG	3.5	50	5	-z	124620	pool	29.4%	8.4	11.2	13.6	13.6
LNG	3.5	50	10	-z	124630	np					
LNG	3.5	50	15	-z	-	np					

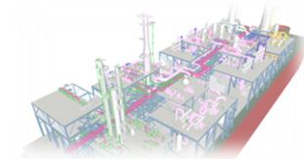


CFD拡散解析結果

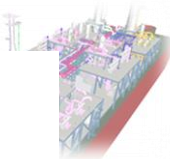
液溜まりの大きさは10分足らずで飽和状態に。

np : No Pool formed

Material	P (barg)	Equiv. Hole (mm)	Height (m)	→↓	GexCon Run #	max rainout		Pool Dia(m)			
						% at peak	0.5min	1min	3min	10min	
C2/WMR	30	20	1	-Z	600120	pool	75.3%	7.4	10.1	13.9	14.0
C2/WMR	30	20	5	-Z	600520	np					
C2/WMR	30	20	10	-Z	-	np					
C2/WMR	30	20	15	-Z	-	np					
C2/WMR	30	10	1	-Z	830110	pool	43.1%	3.8	4.6	4.6	4.6
C2/WMR	30	10	5	-Z	830510	np					
C2/WMR	30	10	10	-Z	-	np					
C2/WMR	30	10	15	-Z	-	np					
C2/WMR	30	5	1	-Z	830105	np					
C2/WMR	30	5	5	-Z	-	np					
C2/WMR	30	5	10	-Z	-	np					
C2/WMR	30	5	15	-Z	-	np					
CMR	60	20	1	-Z	500120	pool	67.5%	8.7	11.8	15.8	15.8
CMR	60	20	5	-Z	500520	np	2.0%	(φ0.5m at 1sec, then np after 2sec)			
CMR	60	20	15	-Z	-	np					



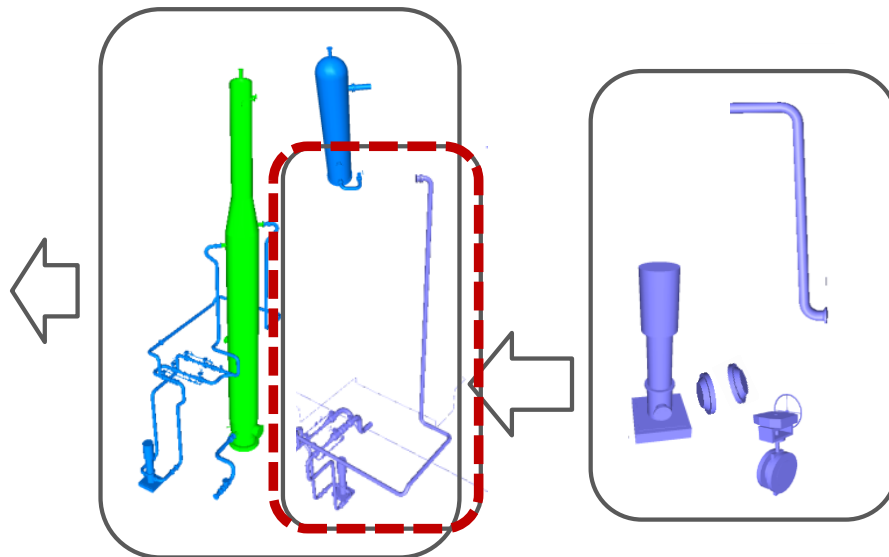
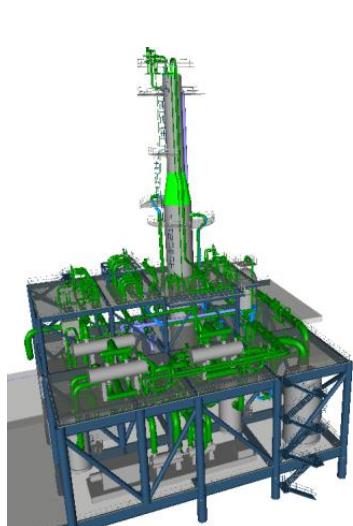
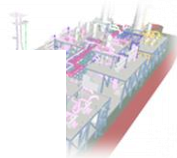
頻度解析



極低温流体の漏洩頻度解析の流れ

- モジュールでの漏洩頻度 $=\Sigma(\text{モジュール内各セグメントでのリークシナリオ})$
- 各セグメントのリーク頻度 $=\Sigma(\text{セグメントに含まれる機器種毎のリーク頻度})$
- 機器種毎の漏洩頻度は機器種単体漏洩頻度 \times 個数(パーツカウント)
- 機器毎の固有の漏洩頻度は基本的にUK HSE HCRより計算
- FLNG向けの極低温流体サービスにより近い値とする為下記の操作を実施
 - UK HSE生データは最近のトレンドを取り入れる為に2000年以降を使用
 - ヒューマンエラーで且つ開けっ放しの漏洩→液化トレン内で解放端を持つ弁の最大径に合わせ、最大値を20mmに。
 - 腐蝕・摩耗が由来のデータを、エクスポージャはそのままにして件数を削除。
- UK HSEの各機器の漏洩等価穴径の分布の上記修正済み生データプロットを、修正べき乗分布でフィッティング、シミュレーションで使用した5, 10, 20mmの代表穴径の発生頻度を算出

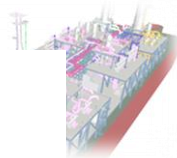
漏洩シナリオ発生頻度の算出



液化プラント特有の
事情を考慮し、合
理的な適正化を実
施

Identifying the point of Leak

Segment #	Material	Relevant modules	Target Deck	Leak height (Location)	Hole dia	Pressure	leak direction	Total Nos simulation
7	CMR	M9	Process Dk.	1m	5mm	60bar	-z	9
				5m	10mm			
				16m	20mm			
例) Segment #7 シナリオ 全9通り				3	3	1	1	9



UK HSE HCRD(Hydrocarbon Release Database)とは？

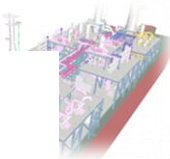
Oil & Gas業界のリスク解析で比類ない信頼を得ている漏洩データベース



1989 /7/6北海UKセクターで操業していたOccidental石油のプラットフォーム Piper Alphaの大規模な火災爆発事故をきっかけとして整備された漏洩事故のデータベース。回収されるデータの種類、量とも比肩するものがなく、QRAで使用されるデータとしてデファクトスタンダードと見なされている。

但しデータ母集団が原油・パイプラインガス生産用プラットフォームを由来としている故に、液化プラントへの適用には注意を要する。





各機器のホール径の超過確率分布の求め方

(3) 修正べき乗分布による方法(新たに開発)

- 一般的なべき乗分布では、最大値が考慮されない、値が小さなところで1を超えてしまう、という問題がある。それらを解決する方法として下記のCCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)を開発した。

$$F(d) = \frac{d^m - D_{\max}^m}{\left(a^k + \left(d^m - D_{\max}^m\right)^k\right)^{\frac{1}{k}}}$$

m: べき乗則部分の両対数グラフでの傾き

D_{\max} : dの最大値

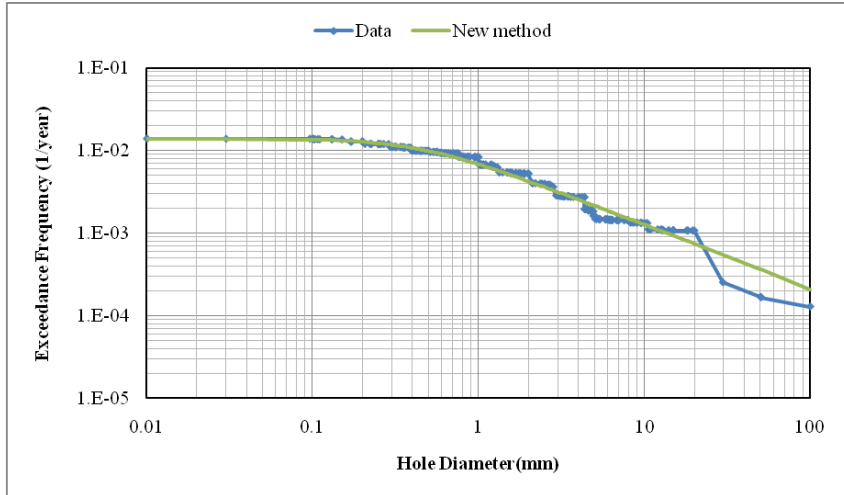
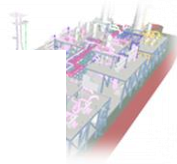
a: べき乗則の部分と並行に上下させる

k: べき乗から1に漸近する部分への過渡部分の鋭さに影響する

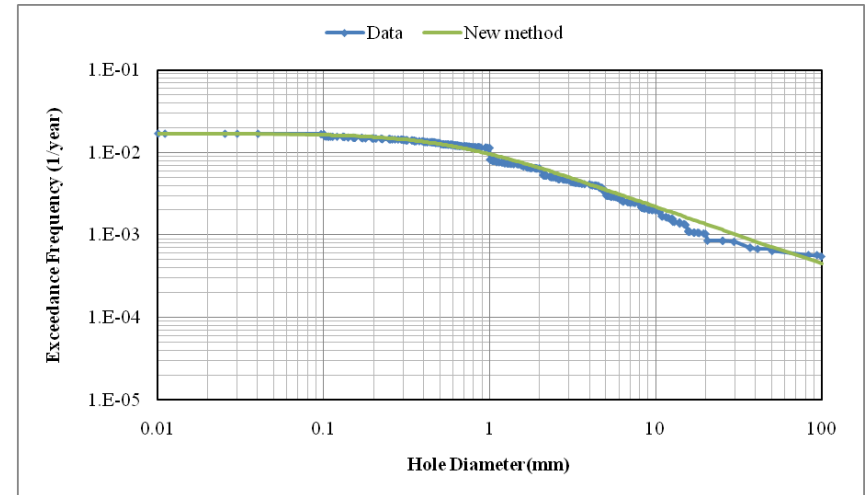
- パラメータ(m, D_{\max} , a, k)は最尤推定法により推定。計算はNelder-Mead法(非線形最適化手法)により行う。

ホール径の超過頻度

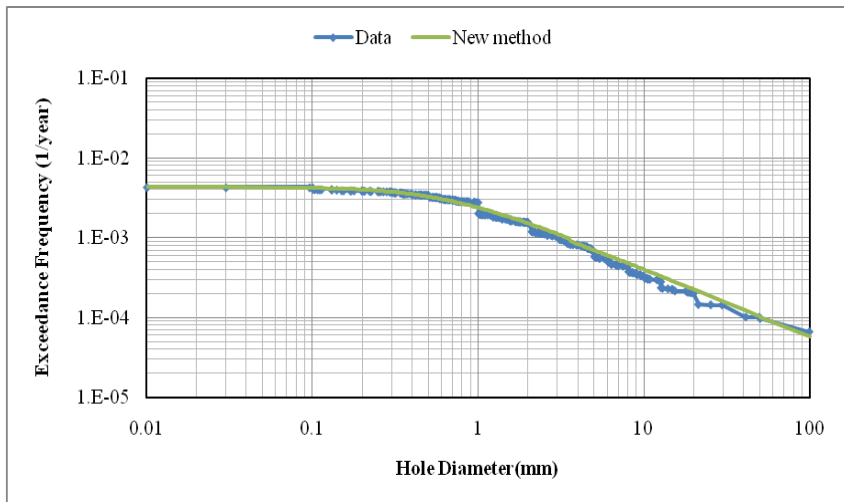
各セグメントのホール径超過発生頻度(その1)



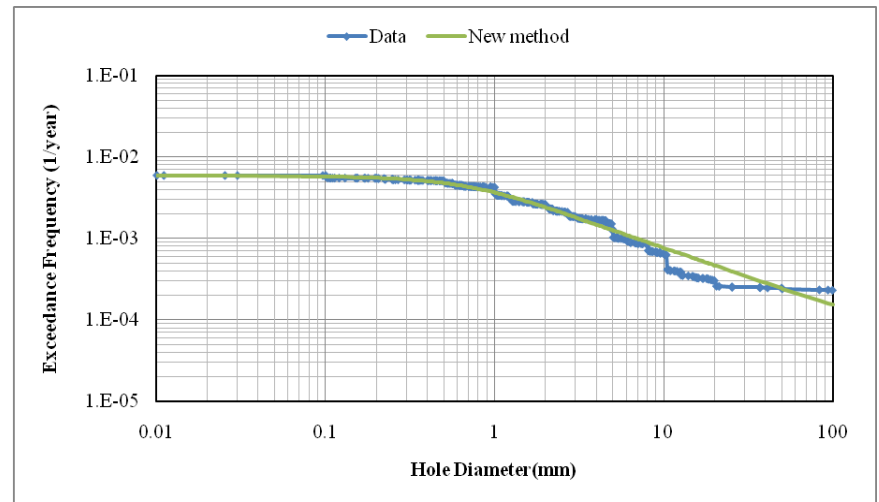
セグメント 1



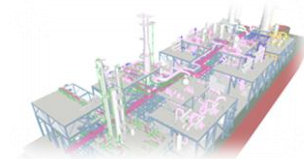
セグメント 2



セグメント 3



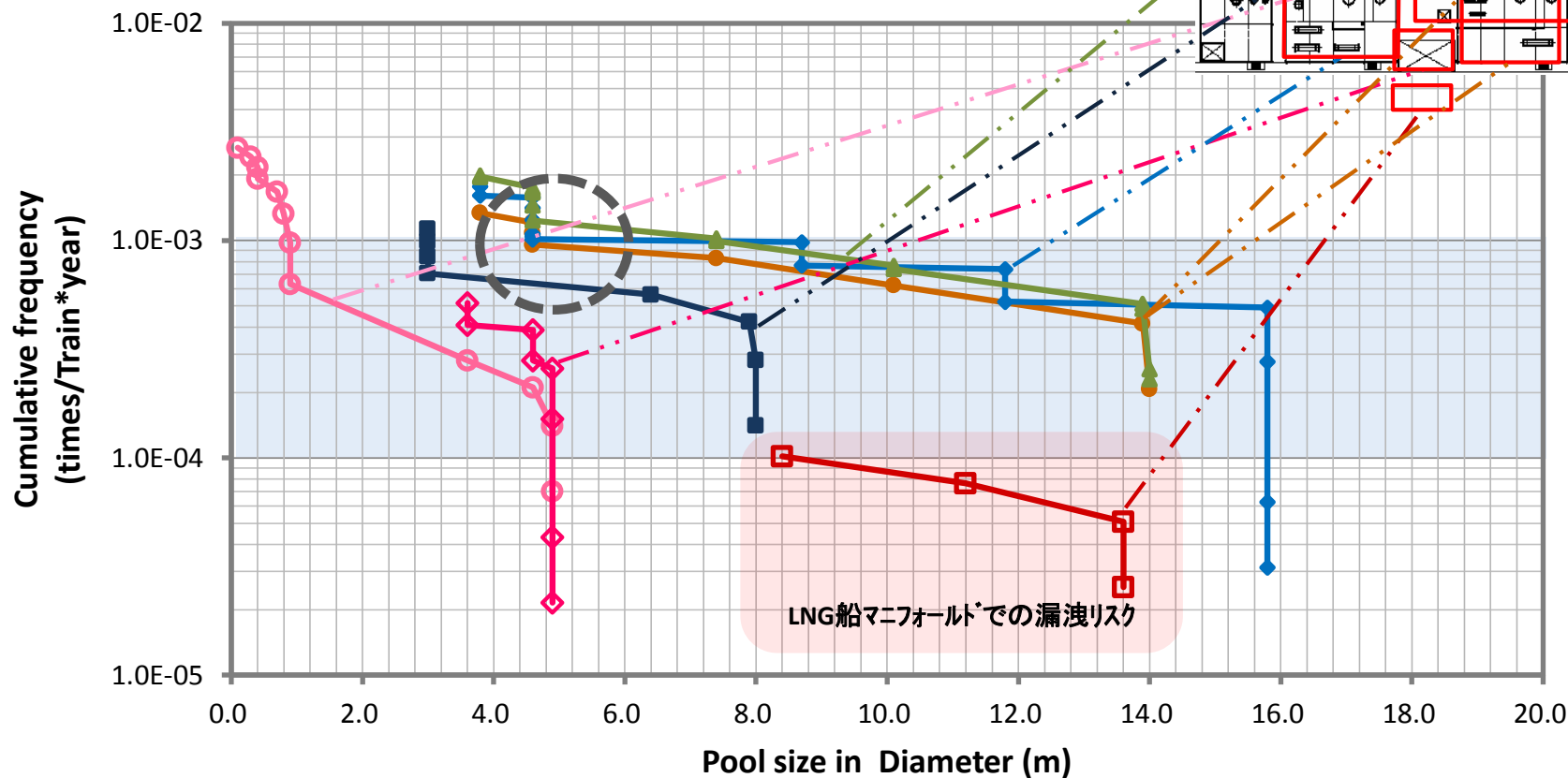
セグメント 4



リスク解析結果

FLNG極低温流体漏洩リスク解析結果

Cryogenic Pool Diameter by AREA



- M5/M6 (WMR Pre-Cooling modules)
- ◆ M9 (Liquefaction with MCHE)
- M10 (Liquefaction with End Flash)
- ▲ M12 (LPG Fractionation)

- Tank dome Offloading line & Offloading Headers
- ◇ Loading arm area (from adjacent piping)
- Loading arm area (from Loading Arms)

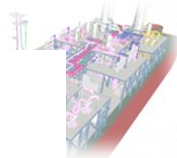
LNG船マニフォールドでの漏洩リスク



液溜まりの大きさから船体損傷の査定へ

液溜まりサイズから補修コストの査定へ #1

割れの観察



Hydrocarbon
Engineer (2009)

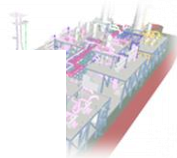
Likely Initiation
Site

2 3/4" slot

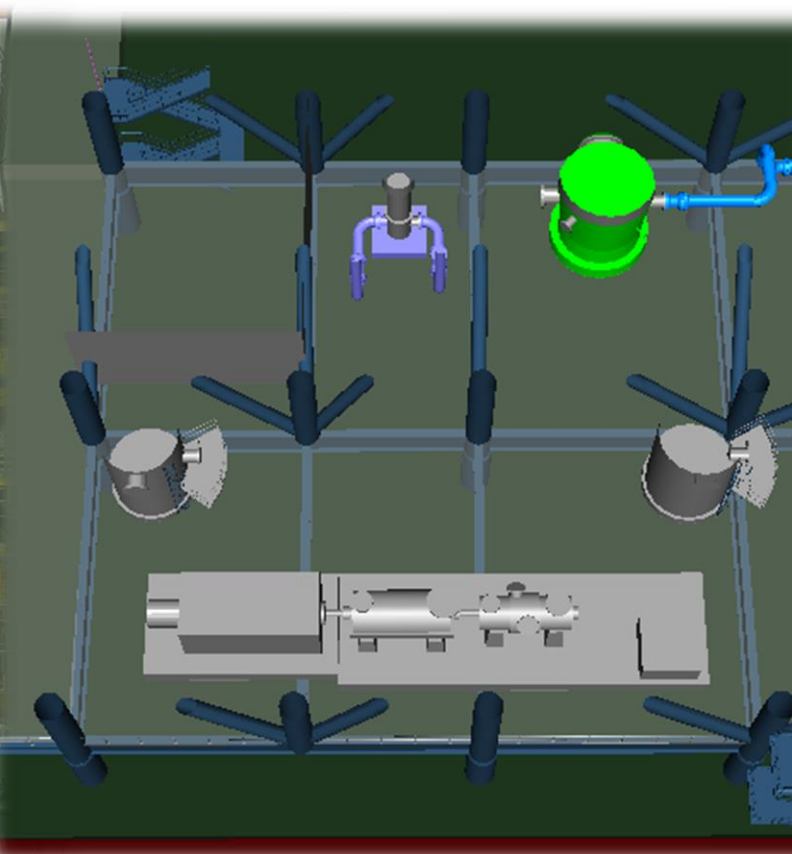
Source :Alain Vouldolon, Liquefied Gases, Marine
Transportation and Storage, 2000

Source : Sandia National Laboratories "LNG Cascading damage study
volume I: Fracture Testing Report" , 2011

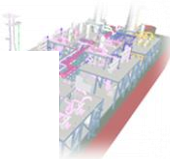
FPSO船体部上甲板とプロセスモジュールデッキの様子



船体部上甲板



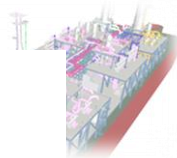
プロセスデッキ



液溜まりサイズから補修コストの査定へ #2

査定条件

	モジュールデッキ	船体上甲板
極低温流体漏洩 基本防護想定	板張り(グレーチングではなく) フラットトップ オーバーボードドレン、ドレンギャラリー複数	LNGタンク: SPB, キャンバー有り 保温対策済み: SPB タンクドームトップ、ローデイン グアーム回りのみ
割れの状況考察 ・応力の存在 ・き裂起点 ・伝播方向	プロセス機器は損傷無し(溶接箇所) 機器スカート・サドル、パイプサポート、 計器スタクション他多数、(応力)小さい (方向)ランダム	応力は船長方向、ミッドシップ付近は特に 応力値大、割れの方向はトランス方向、低温脆 化割れなので、発生時既に大きい。
甲板の構造部材とし ての位置づけ	強度メンバーではない	重要な縦強度部材
補修指針	オフショアリアアの可能性を検討	(m単位の割れは)即時ドックで(永久)修理
修繕方法と、査定の 際の簡略化等	プロセス機器にダメージはない。液溜 まりの直径を1辺とする正方形分 を切り替え修繕。	ドームトップに収まる漏洩は直径1m迄、それ 以上は上甲板に漏出と仮定。モジュールデッキ が割れて上甲板に滴ってくることはない。 着地前に蒸発してしまう。



アセットインテグリティを維持する為の修繕

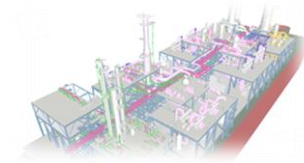
オフショア工事

	補修範囲 (m)	補修費 (K\$)
Process Deck	5	40
	10	150
	16	400
Upp. Deck Dome area	5	100

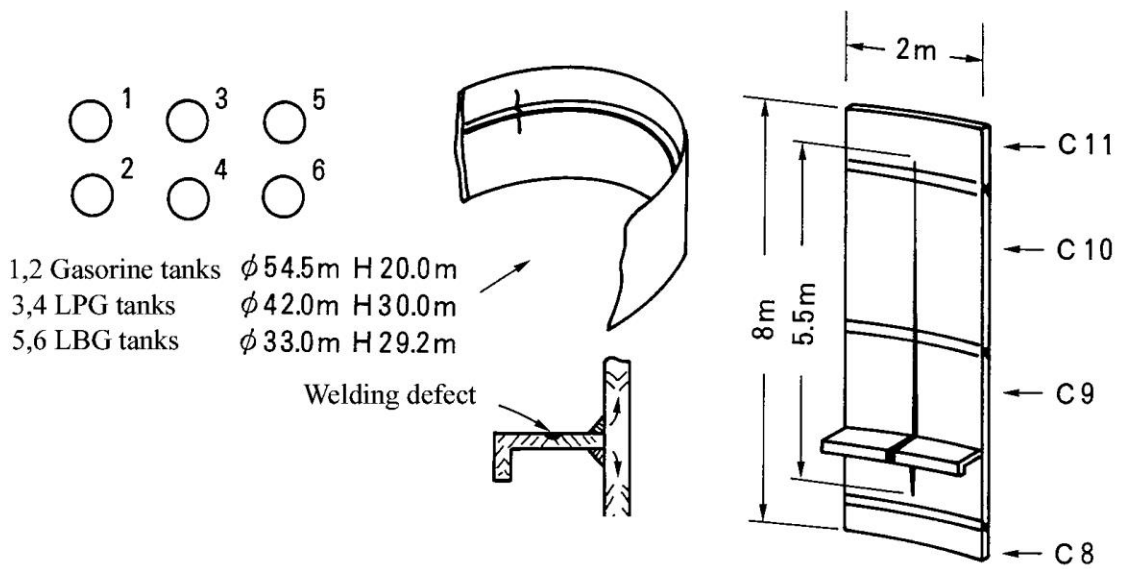
許容されな
いだろう。

注記

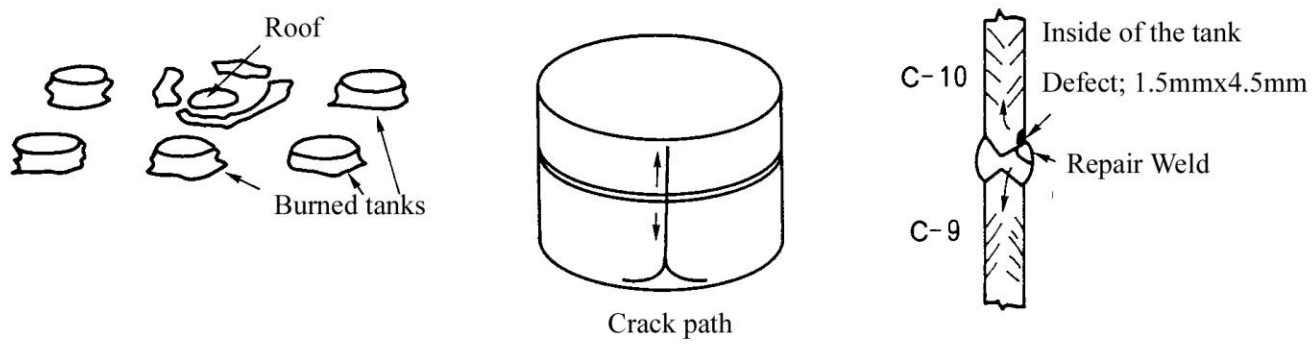
- 1, 算定ユニットレートはシンガポール & オフショアエキストラベース(VLCCの沖修理ベース)。
- 2, プロセスデッキのオフショアエリアに含まれていないコスト: 船上工事中の作業者のアコモデーション, オフショアへの移動費等、その他純然たる材工費以外一切。
- 3, 船体アッパーデッキの大規模補修はドック工事となる為、上記以外には次の費用が別途発生する。ライザー・係留切り離し、再フックアップ、予冷・液化冷媒処分・再充填費用、フィールド・ドック間の往復曳航費用、不稼働期間中オフテイクーに対するLNG供給義務に伴う代替LNG手配コスト等。



アレスト鋼の開発



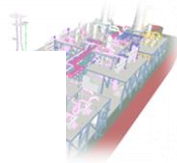
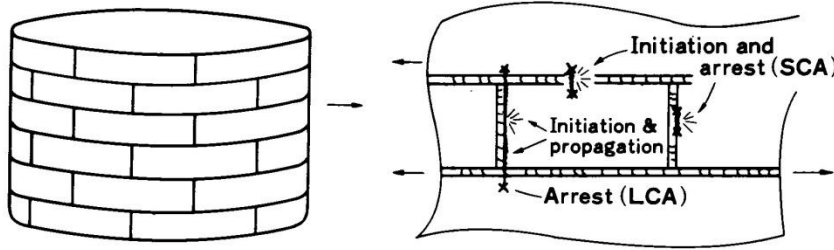
a . The first accident (27/04/1976)



b . The second accident (03/04/1977)

Fig. 1-12 Brittle fracture of LPG storage tank in Qatar ²⁰⁾

長大



- Effective hydrotest ; Effectively high warm prestressing. Subsequent growth of any crack, extreme embrittlement by strain aging etc. are not allowed.
- S.C.A. ; Short Crack Arrest. The brittle crack is arrested because the initiation took place at a small embrittled region in heterogeneous material.
- L.C.A. ; Long Crack Arrest. A long propagating crack is arrested because it runs into quite tough (another) material.
- No propagation in shear ; The arrested long crack is safely contained in the structure even at stress redistribution after arrest.

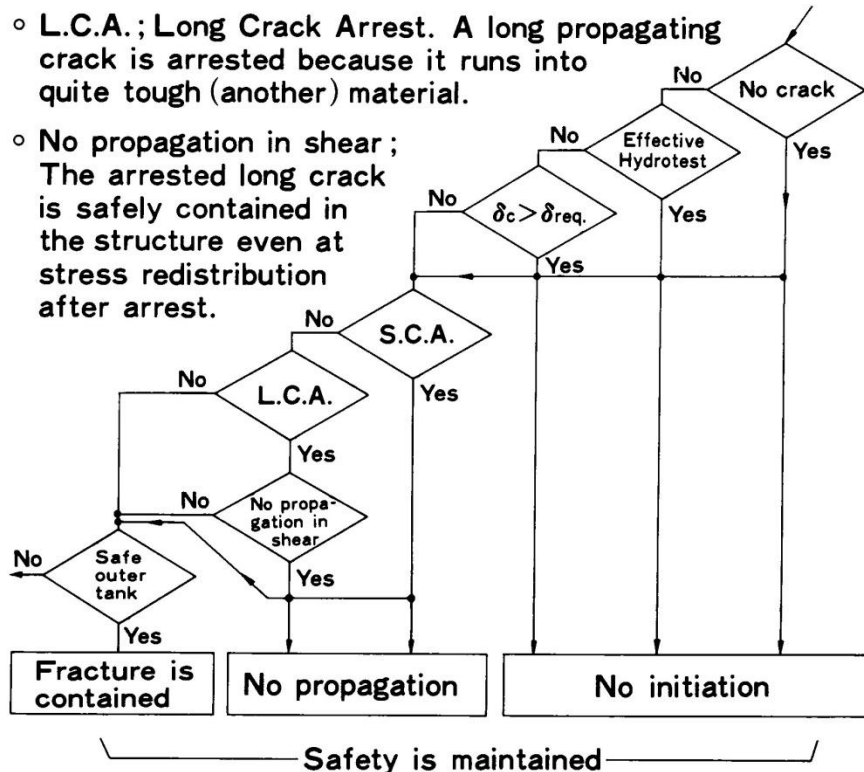
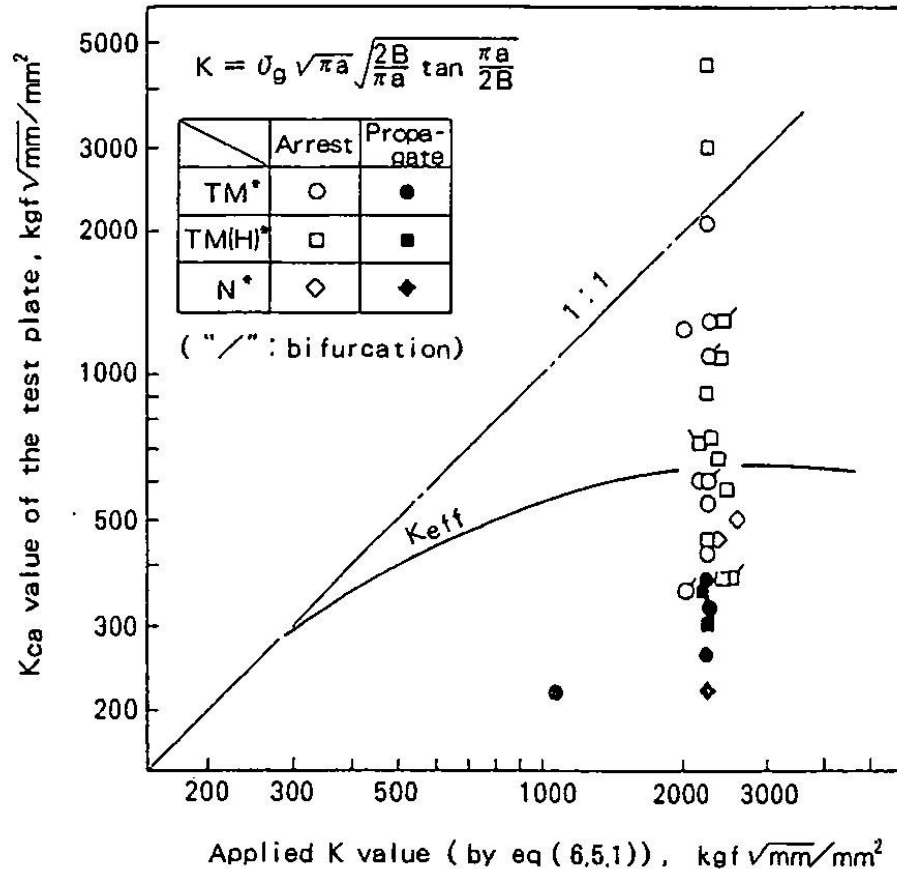
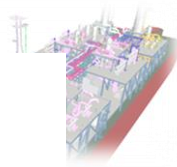


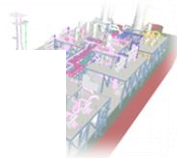
Fig. 1-25 The double integrity concept²⁷⁾

長大い裂アレストとアレスト靱性

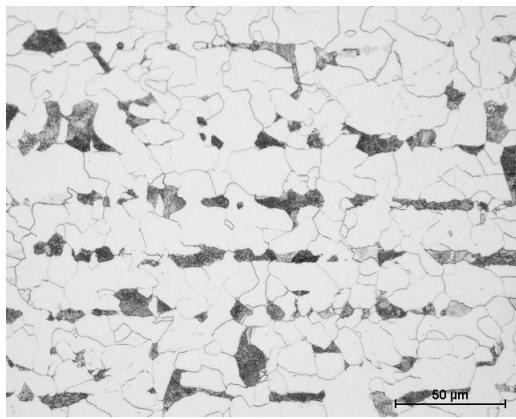
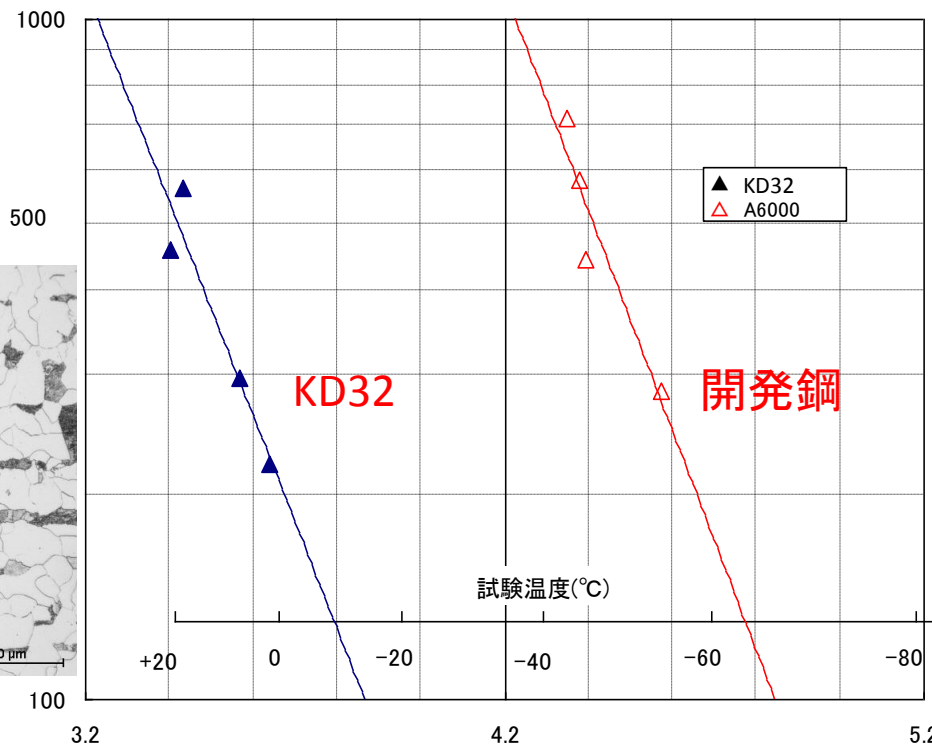


- 1980年代までの知見:
造船研究協会SR193委員会等の結論(板厚<40mm)
Kca=4000N/mm^{3/2}~6000N/mm^{3/2}で長大い裂を停止できる
- アレスト要求:
ClassNKではA6000, A4000を設定(Kca=6000N/mm^{3/2}, 4000N/mm^{3/2}に対応)
- 最近の成果:
アレスト設計委員会:
板厚75mmまで実船アレストにはKca ≥ 6000N/mm^{3/2}が必要

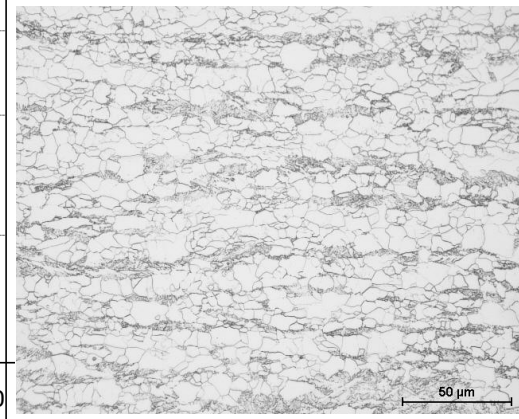
供試鋼板 通常鋼(KD32)と開発鋼(A600)



供試鋼	化学成分 (%)					引張強度		衝撃エネルギー	
						YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	vE _(-20°C) (J)	
	C	Si	Mn	P	S	AVE	EACH	AVE	EACH
通常鋼(KD32)	0.16	0.21	1.08	0.014	0.004	346	486	170	154, 173, 183
アレスト鋼(A6000)	0.09	0.28	1.49	0.013	0.003	439	517	325	328, 320, 328



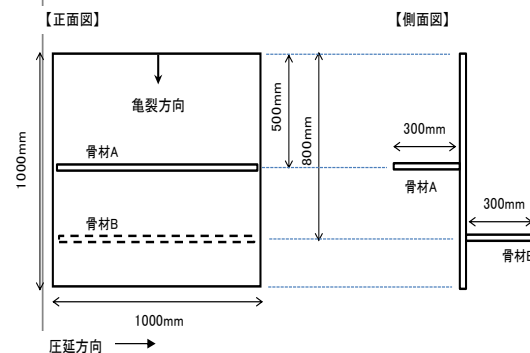
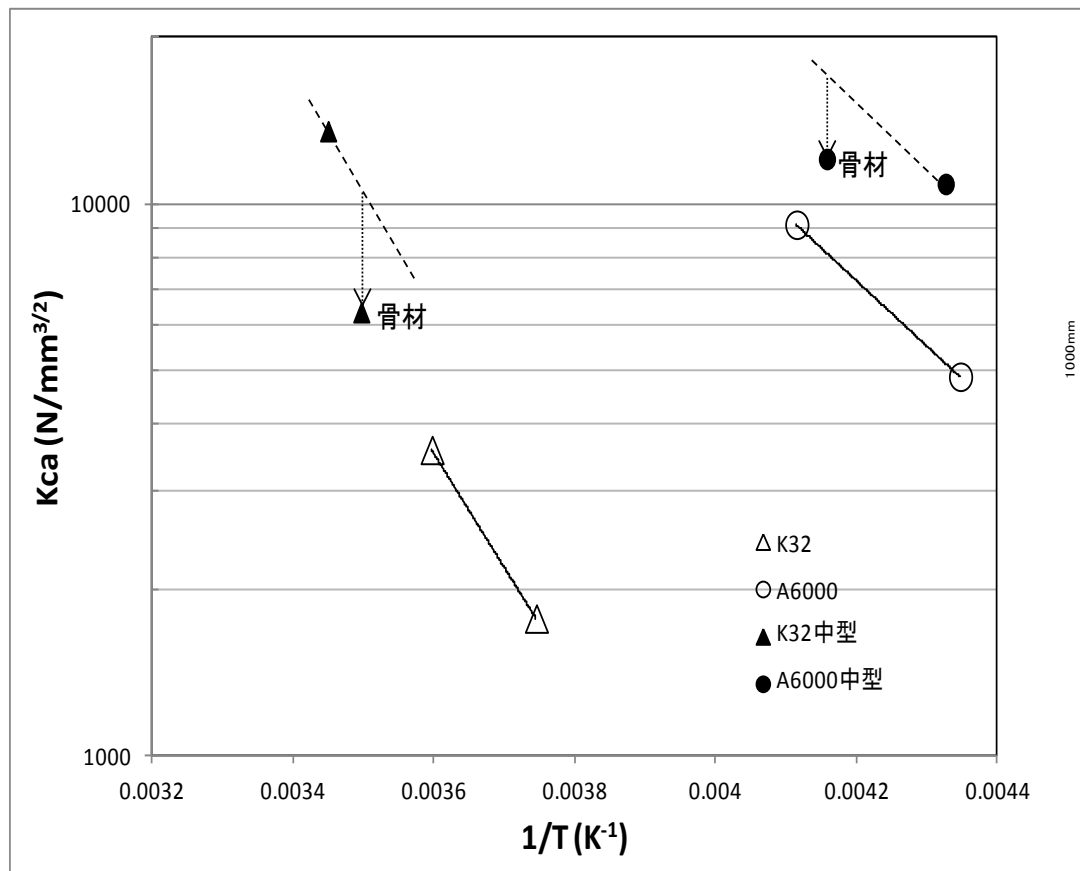
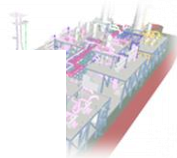
KD32



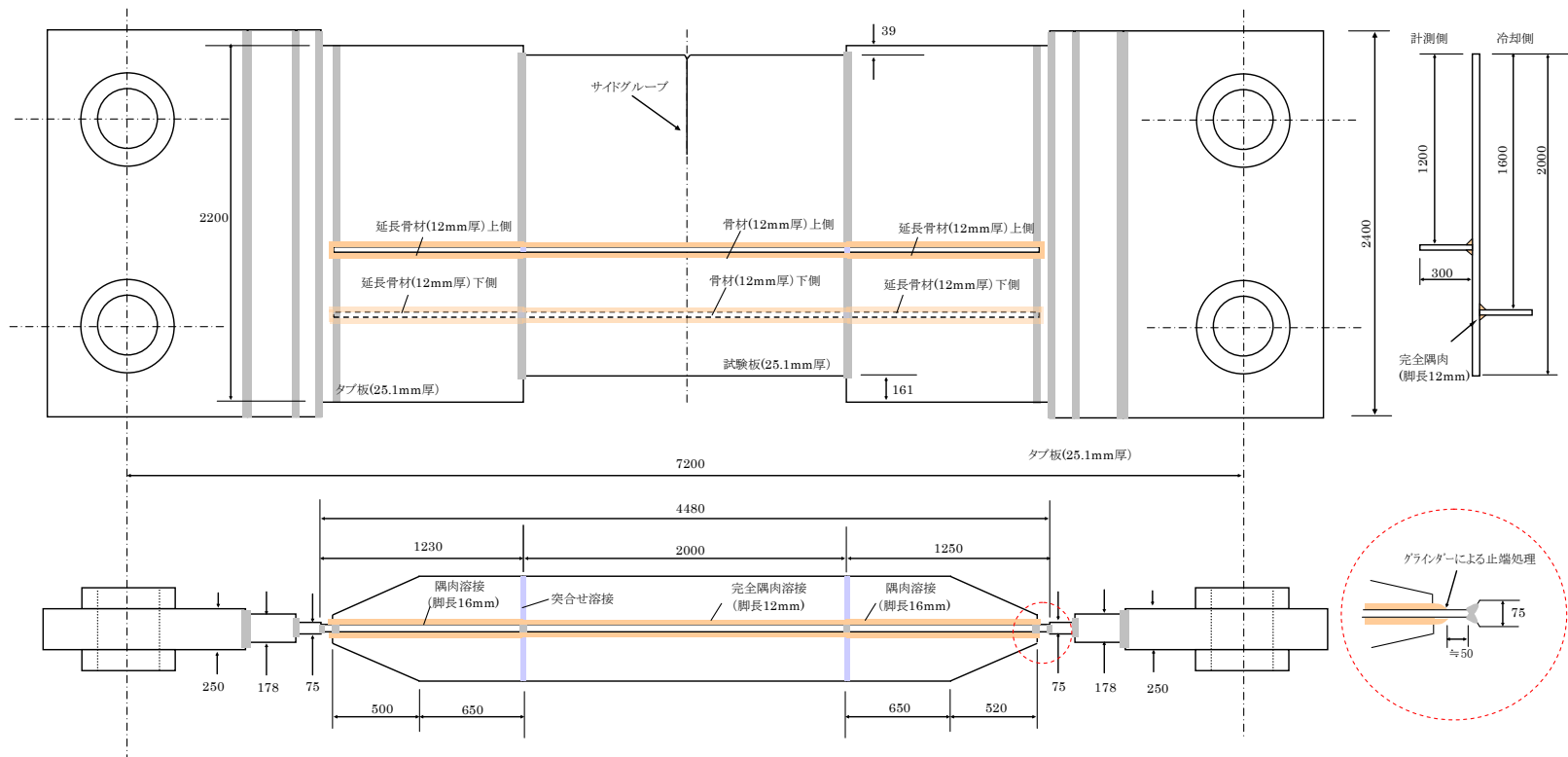
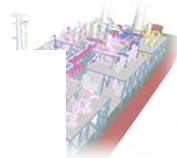
開発鋼

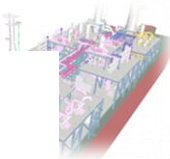
試験温度(1000/T) (K⁻¹)

中型試験結果



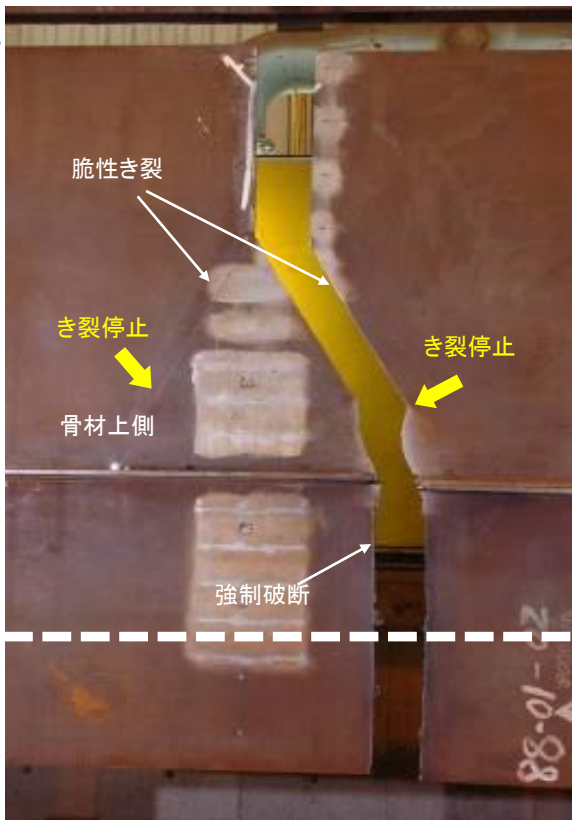
大型構造体試験





大型構造体試験結果 (板厚25mm)

- 110°C →



- 45°C →

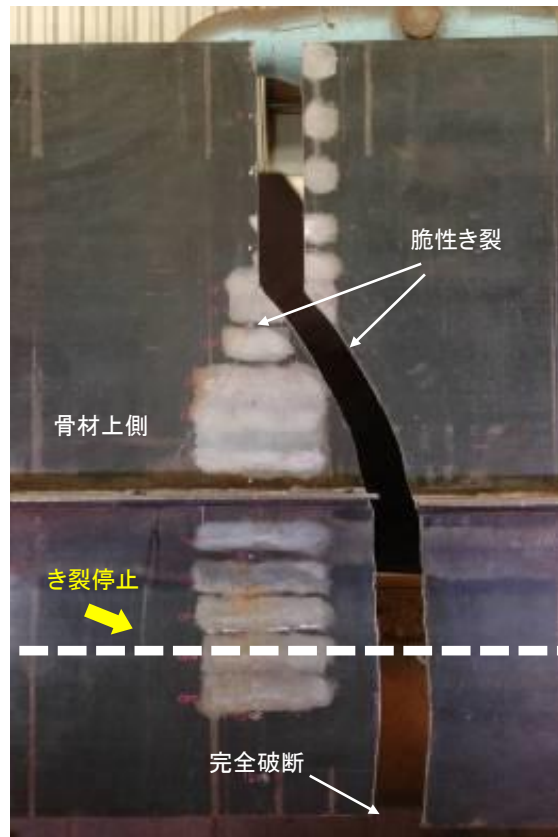
手前 骨材 t12

ウラ 骨材 t12

+ 10°C →

アレスト鋼 (A6000)

← - 70°C

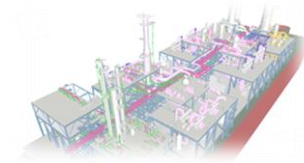


← - 30°C

← + 10°C

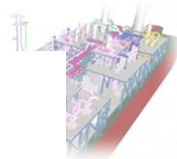
通常鋼 (KD32)

アレスト鋼では約-45°Cで停止。一方通常鋼では +10°Cでも伝播、停止せず。骨材の効果でさらに高温でのアレスト可能(本試験では骨材の手前で停止)

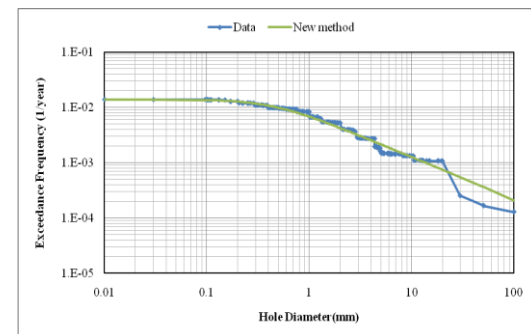
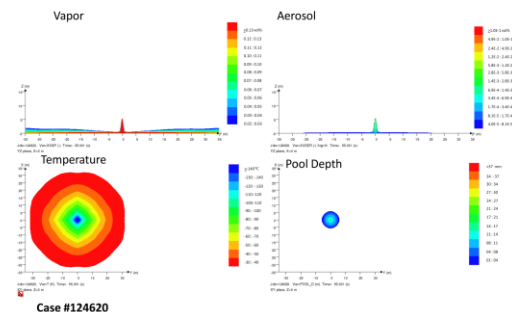


まとめ

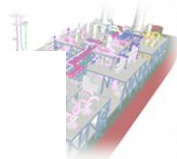
まとめ #1



- 障害物無し、流量一定の条件で、気液二相を追う全106通りのシミュレーションを行った。液溜まりが形成されたのは、デッキ上1m, 2mといった比較的低位から鉛直下向きに漏洩したケースに限定された。
- UK HSE HCRDをベースにLNG基地特有の状況を考慮し統計値を一部修正し、それに対して漏洩頻度解析を行った。漏洩頻度は穴径の修正べき乗分布を用いて表現できることを確認した。
- 極低温流体漏洩のリスク解析の結果、FLNG各所に於ける液溜まりの大きさをリスクを表現した。また極低温流体の漏洩頻度データについて、より信頼性を向上させる為に、LNG業界を挙げて漏洩データの情報共有が望まれる。



まとめ #2



- リスク解析結果から、モジュールデッキ、上甲板他、損傷の度合いを査定し、事故後の対応の違いを明らかにした。上甲板は脆化割れが発生したあとのコストを考慮すれば、漏洩が発生しても割れが生じないような防護対策をとることが賢明である。
- -45°C近傍でも良好なアレスト性能を発揮するTMCP鋼を開発した。(Kca=6000N/mm^{1.5}, @-40°C)
- 開発したアレスト鋼の活用の可能性について、プロセデッキへの活用は補修範囲の低減に効果があると考えられる。上甲板への適用についてはさらに溶接部の低温特性を明らかにして、防熱塗料との組合せを含めた検討を継続する必要がある。



FLNG向け極低温流体漏洩リスク解析と、 脆化被害軽減を目指したアレスト鋼適用の基礎的検討

(2011.5 ~ 2012. 8)



主担当： 船体構造データ提供、脆化割れ修繕費用
査定、アレスト鋼活用評価



主担当： 脆化割れの船級見解、リスク解析過程へ
リファインメント



主担当： 漏洩シナリオ策定、漏洩・拡散シミュレーション、
漏洩事故・事故頻度調査（共同研究事務局）



主担当： 供試鋼(アレスト鋼)製造、大型破壊試験



主担当： 漏洩発生頻度解析



本研究は、一般財団法人 日本海事協会の「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。

