

平成27年6月26日
平成27年度(第15回)
海上技術安全研究所研究発表会

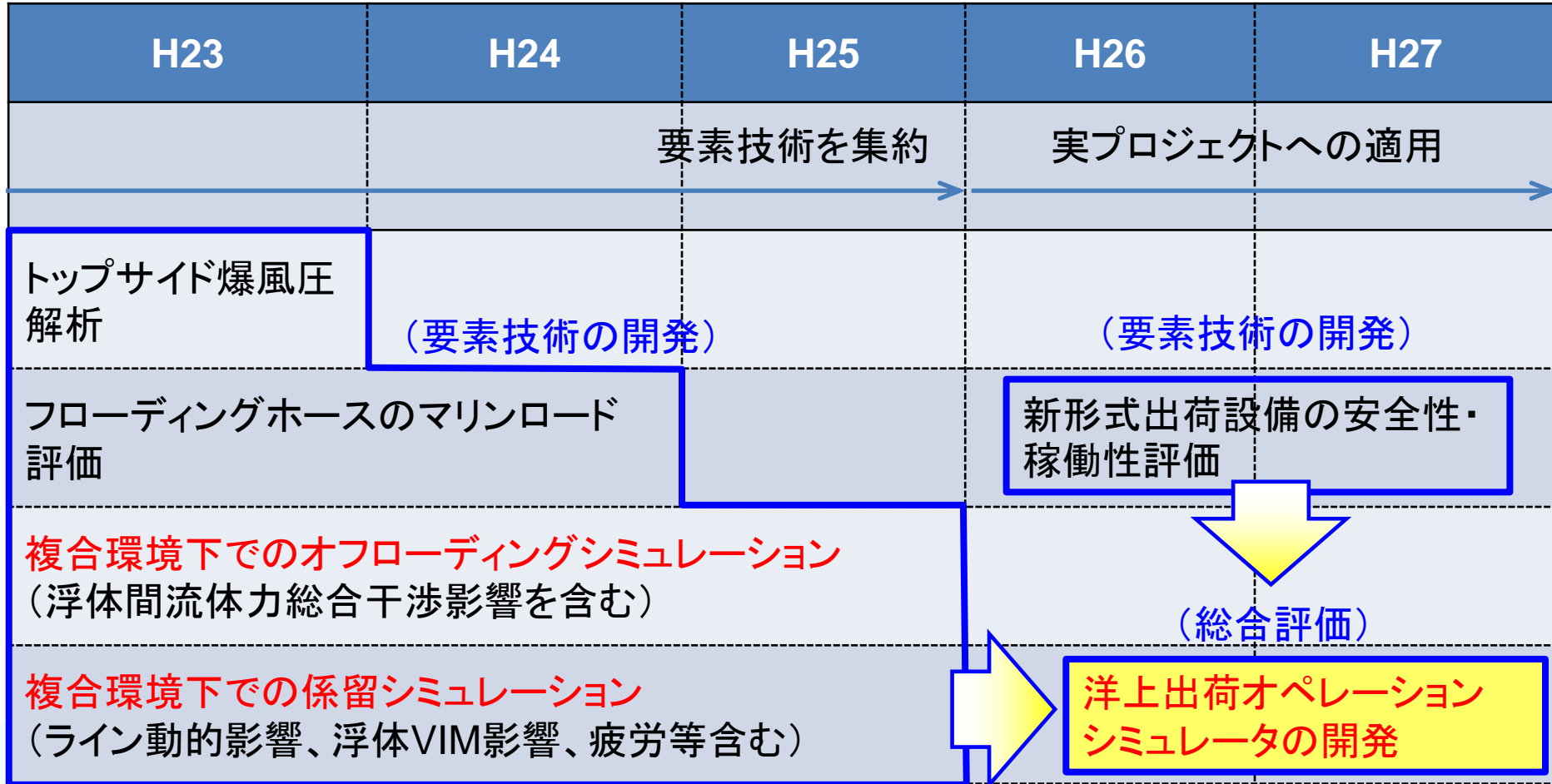
洋上LNG移送の 安全性・稼働性評価技術の開発

海洋開発系 湯川 和浩



第3期中期計画における取り組み

● 研究ロードマップ



第3期中期計画における取り組み

アウトカム

H23年度

FLNGトップサイドの爆風圧評価技術
Side-by-Side係船時のGapレゾナンス評価技術
遮蔽影響を考慮した外力評価技術

苫小牧StS事業(H23-24)

Ship-to-ShipによるLNG移送
の安全性評価

H24年度

線状構造物の挙動・疲労評価技術
線状構造物と係留浮体の一体解析技術
(洋上出荷オペレーションシミュレータの開発)

カイドライン・オペレーション
マニュアル策定(H25.6)

H25年度

長周期動揺の評価技術
複数線状構造物の挙動・疲労評価技術
洋上出荷オペレーションシミュレータの改良

天然ガス燃料船の
バンカリングの安全性検討
(内容①)

H26年度

新形式荷役システムに対する稼働率評価技術
タレット係留システムの設計・安全性評価技術
洋上出荷オペレーションシミュレータの改良

ガイドライン改定(H27.6予定)

FLNGタレット係留に関する
設計要件検討 (内容②)

H27年度
(予定)

LNG運搬船のDPS性能評価技術
載荷状態変化を考慮した稼働性評価法
Availability解析のための体系構築 (内容③)



① 天然ガス燃料船のバンカリングの安全性検討

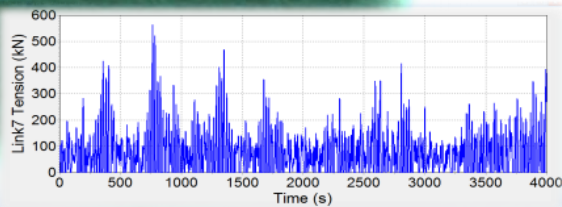
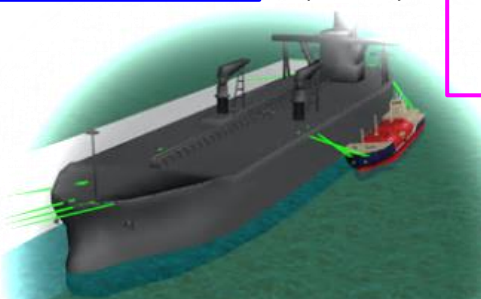
● 安全性評価の取り組み



水槽試験



2船体運動
Gapレゾナンス
係船索張力



対象船の諸元、係船配置の設定

環境外力の推定

係留動揺シミュレーション

LNG移送ホースの挙動計算



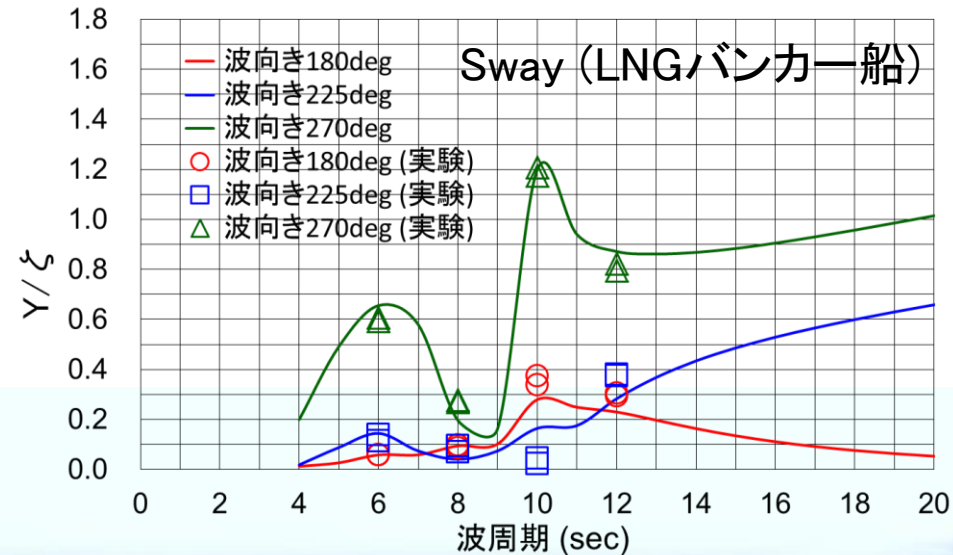
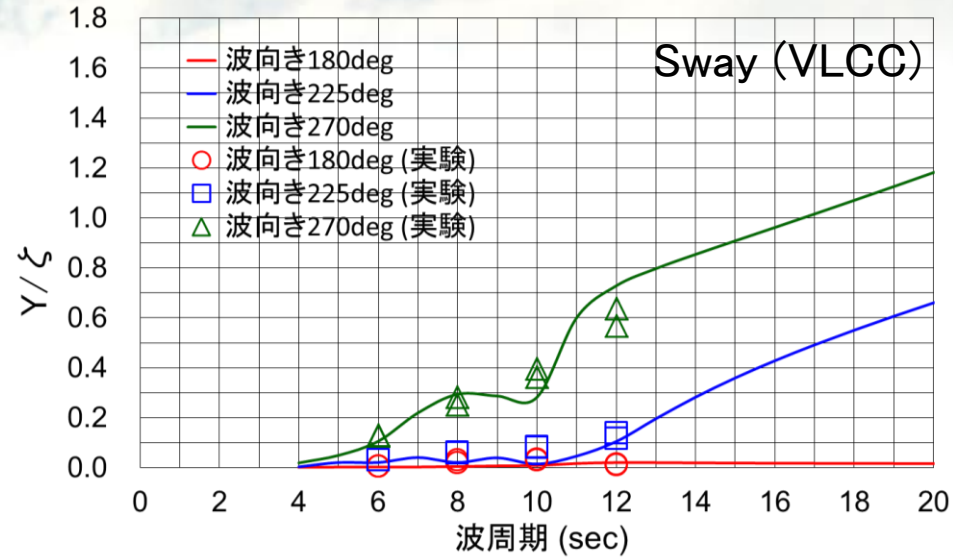
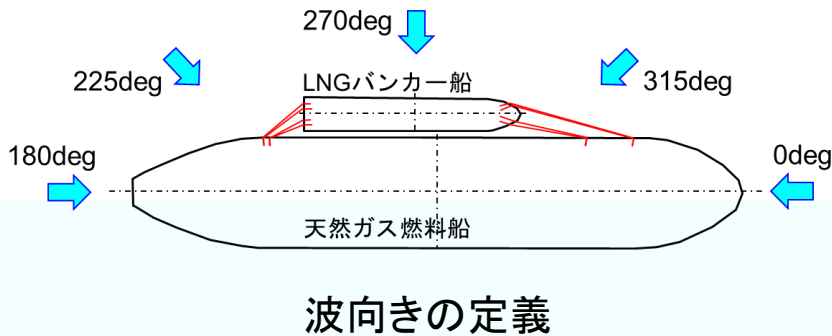
軸力
最小曲げ半径
接触判定

LNG移送限界条件



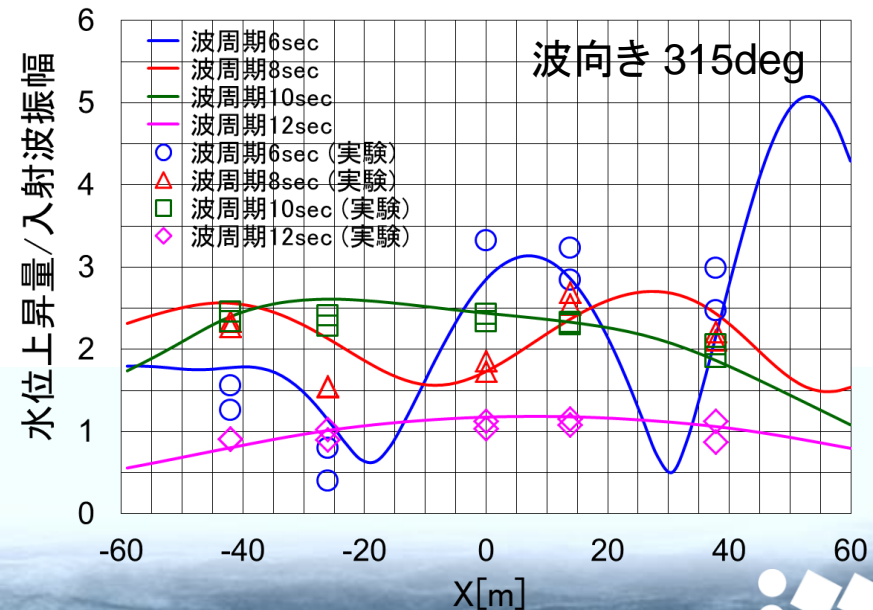
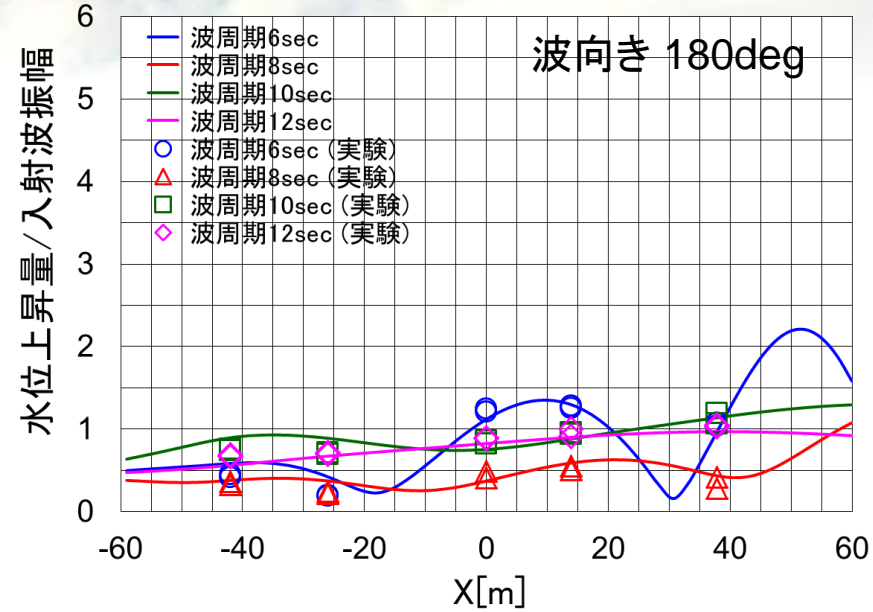
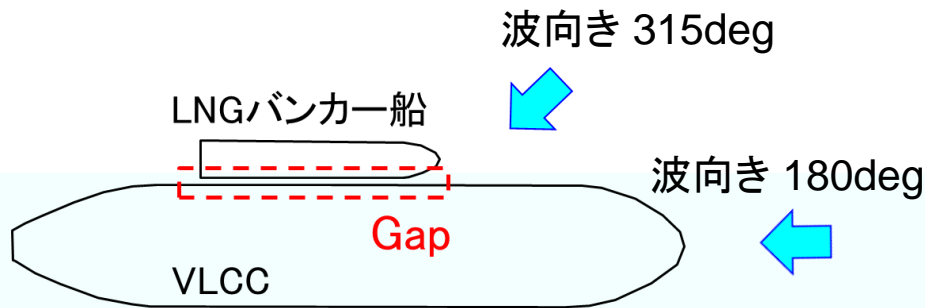
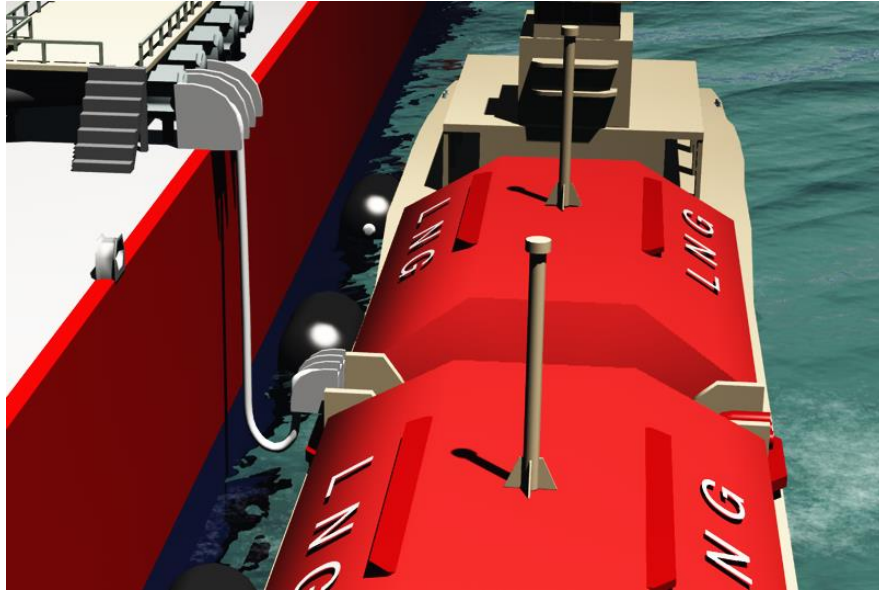
① 天然ガス燃料船のバンカリングの安全性検討

● 2船体動揺量評価



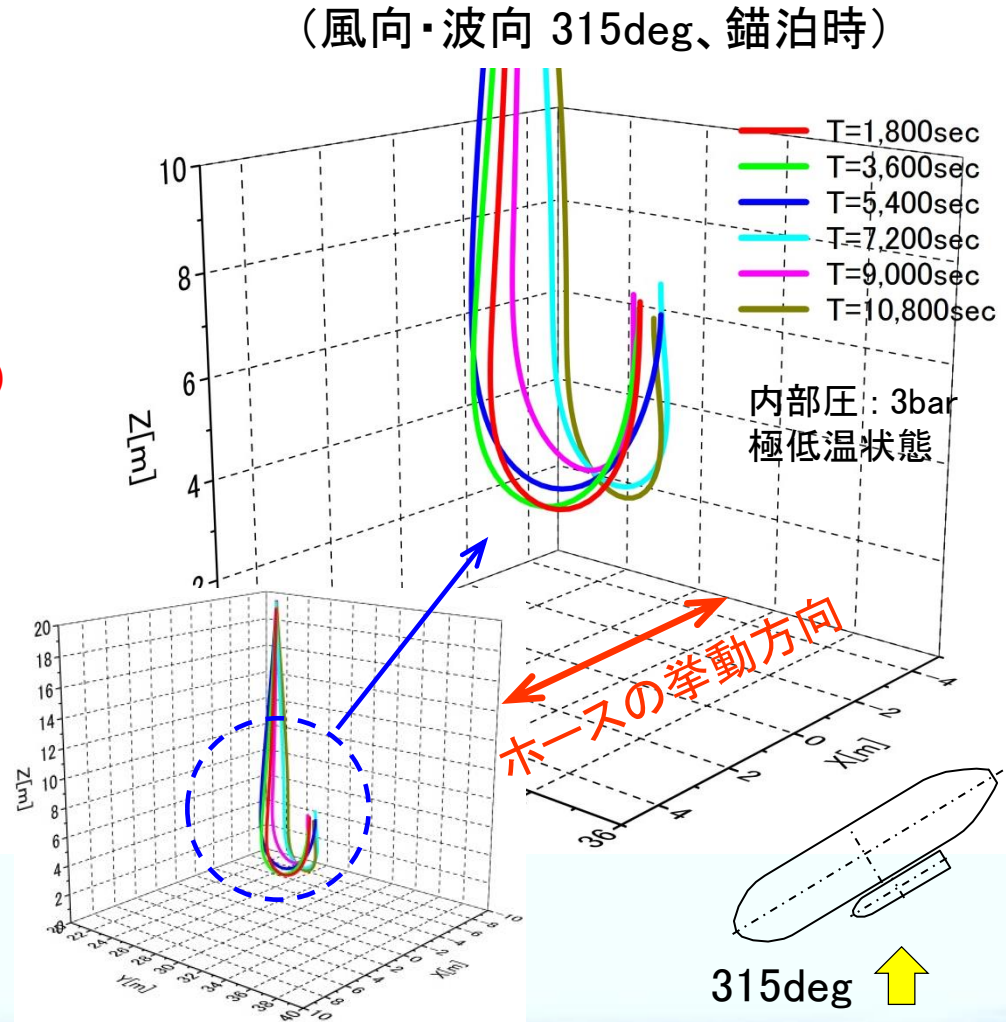
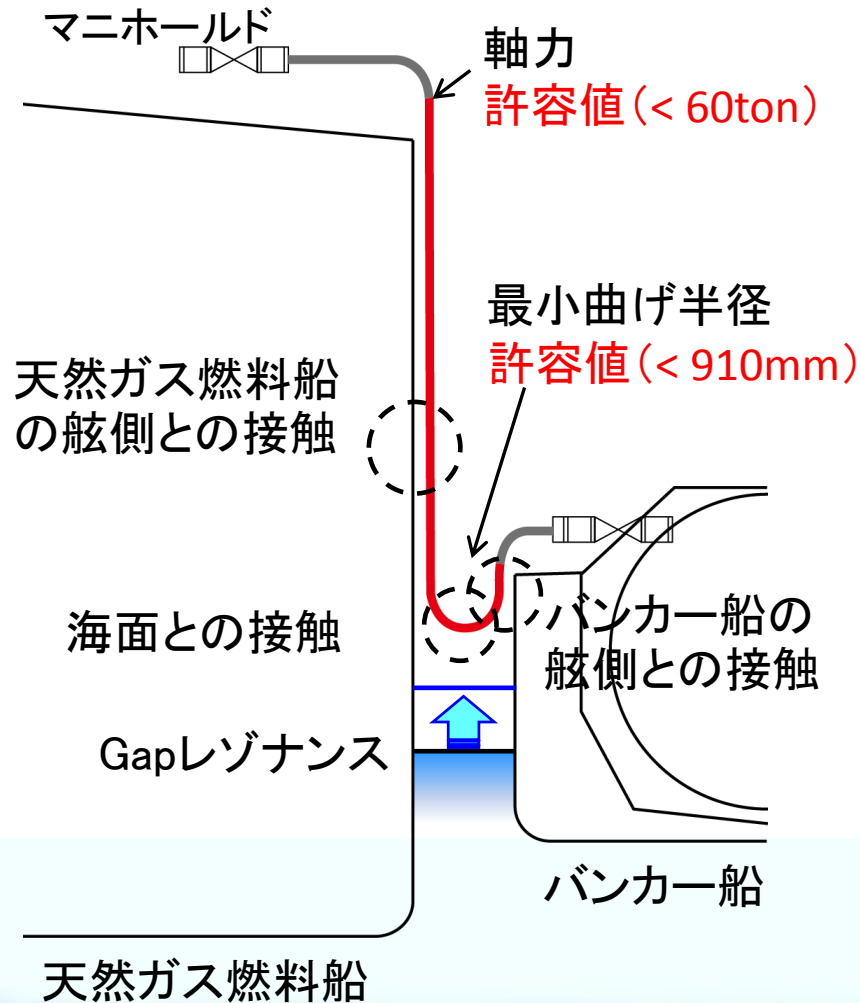
① 天然ガス燃料船のバンカリングの安全性検討

● 2船間Gapレゾナンス評価



① 天然ガス燃料船のバンカリングの安全性検討

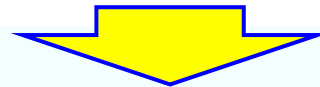
● LNG移送ホースの動的挙動評価



① 天然ガス燃料船のバンカリングの安全性検討

- 2船間のLNG移送に対する安全性評価技術として、以下の評価を実施。
 - 流体力の相互干渉影響を考慮した2船体動揺量評価
 - 動的解析によるバース・船体間、2船間係船索の安全性評価
 - 2船間Gap内の水位上昇評価
 - LNG移送ホースの動的挙動評価
- 上記の評価結果を踏まえ、Ship-to-Ship方式によるバンカリングのLNG移送に対する限界条件を検討。

バンカー船の種類	天然ガス燃料船の係留状態	波高(m)	波周期(sec)	風速(m/s)
LNGバンカー船	沖合錨泊	1.2	8	12
	棧橋/岸壁係船	1.0	5	12
内航LNG船	沖合錨泊	1.0	6	12
	棧橋/岸壁係留	1.0	5	12



天然ガス燃料船の早期導入に向け、国土交通省が策定したLNGバンカリングのガイドラインおよびオペレーションマニュアルに反映

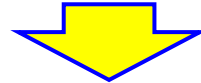


② FLNGタレット係留に関する設計要件検討

- 船級規則では、詳細な実測海象データが揃わない場合に最低限確認すべき条件が設定されているが、船級間で要件に差異がある。

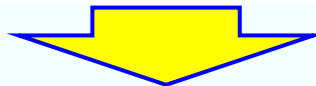
- 環境外力方向の組み合わせ
- 最大張力の評価法(統計処理手法)

FLNGのタレット係留システムに対する安全性評価における影響が大きい。



- 水深300m, 1000m, 2000mの海域を対象として、Externalタレットの係留設計要件について検討。

- 風圧面積の大きなFLNGに対しては、船級規則で示されている外力方向の組み合わせ以外に、風の相対角を大きくしたケースの検討も必要。
- タレット係留の張力解析については、従来用いられてきたレイリー分布に基づく極値解析では最大張力を過小評価する可能性がある。

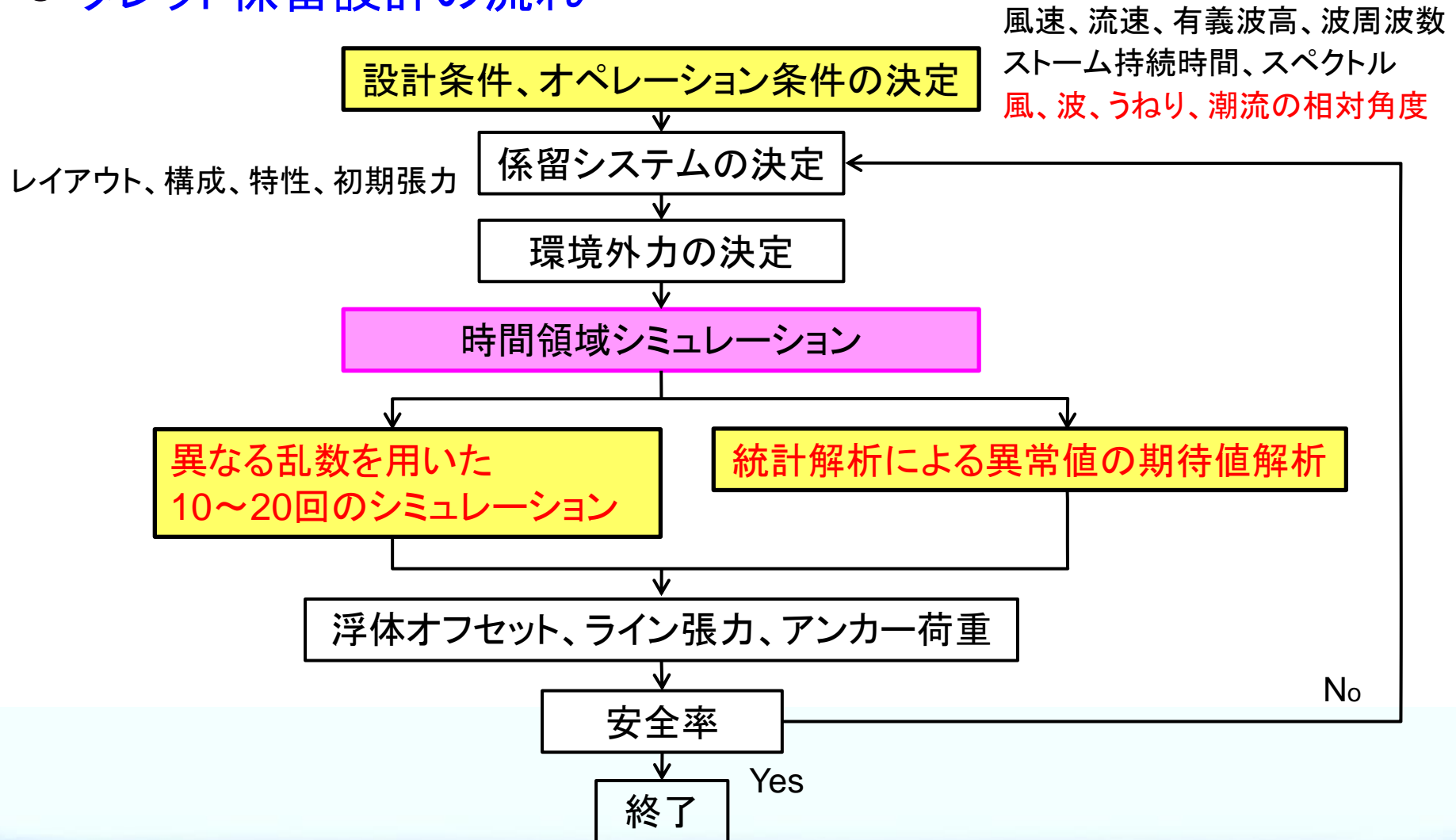


NKによる「浮体式海洋液化天然ガス及び石油ガス生産、貯蔵、積出し、再ガス化設備のためのガイドライン(第2版)」改定に反映



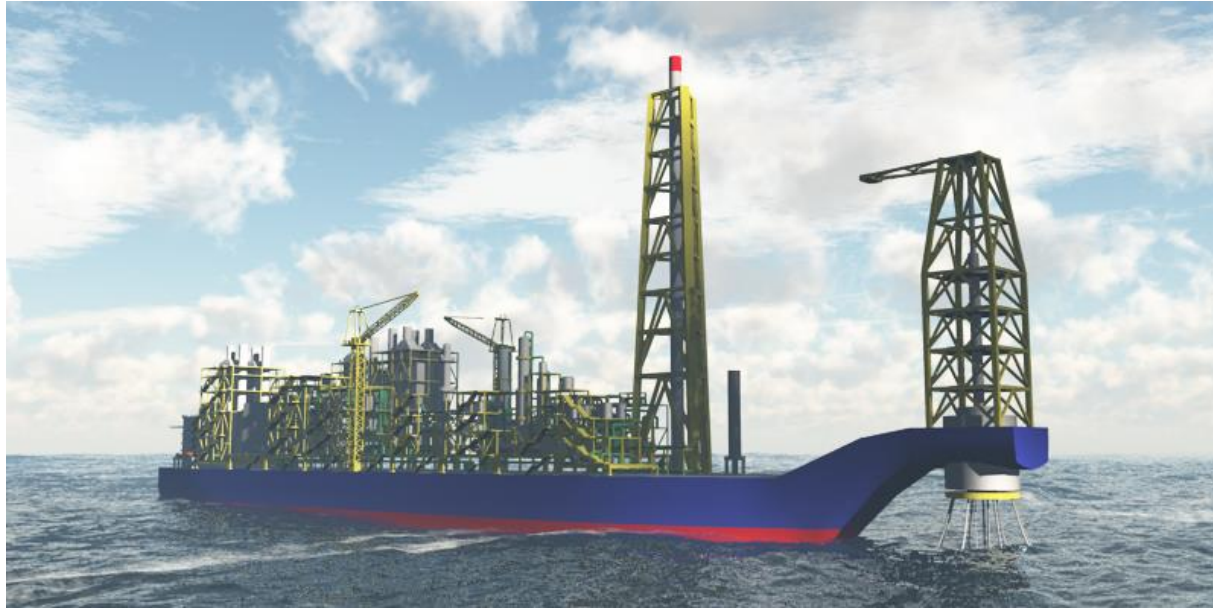
② FLNGタレット係留に関する設計要件検討

● タレット係留設計の流れ



② FLNGタレット係留に関する設計要件検討

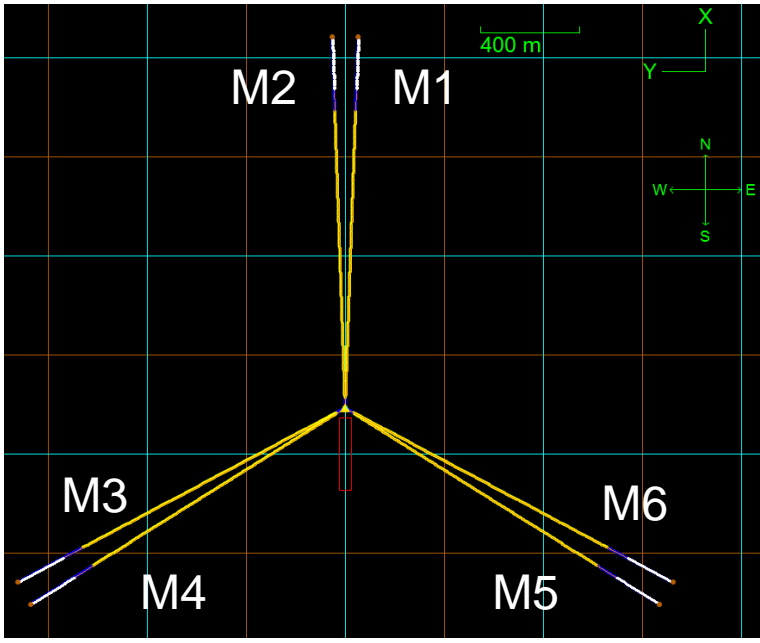
- 対象船 Externalタレットを有する仮想FLNGを設定
 - Hull サイズはLiBro FLNGを参考にして設定
 - 水面下形状はVLCC船型を修正



垂線間長 L_{PP}	291 m
型幅 B	50 m
型深さ D	29 m

② FLNGタレット係留に関する設計要件検討

● 係留配置と構成 (例: 水深1,000mのケース)



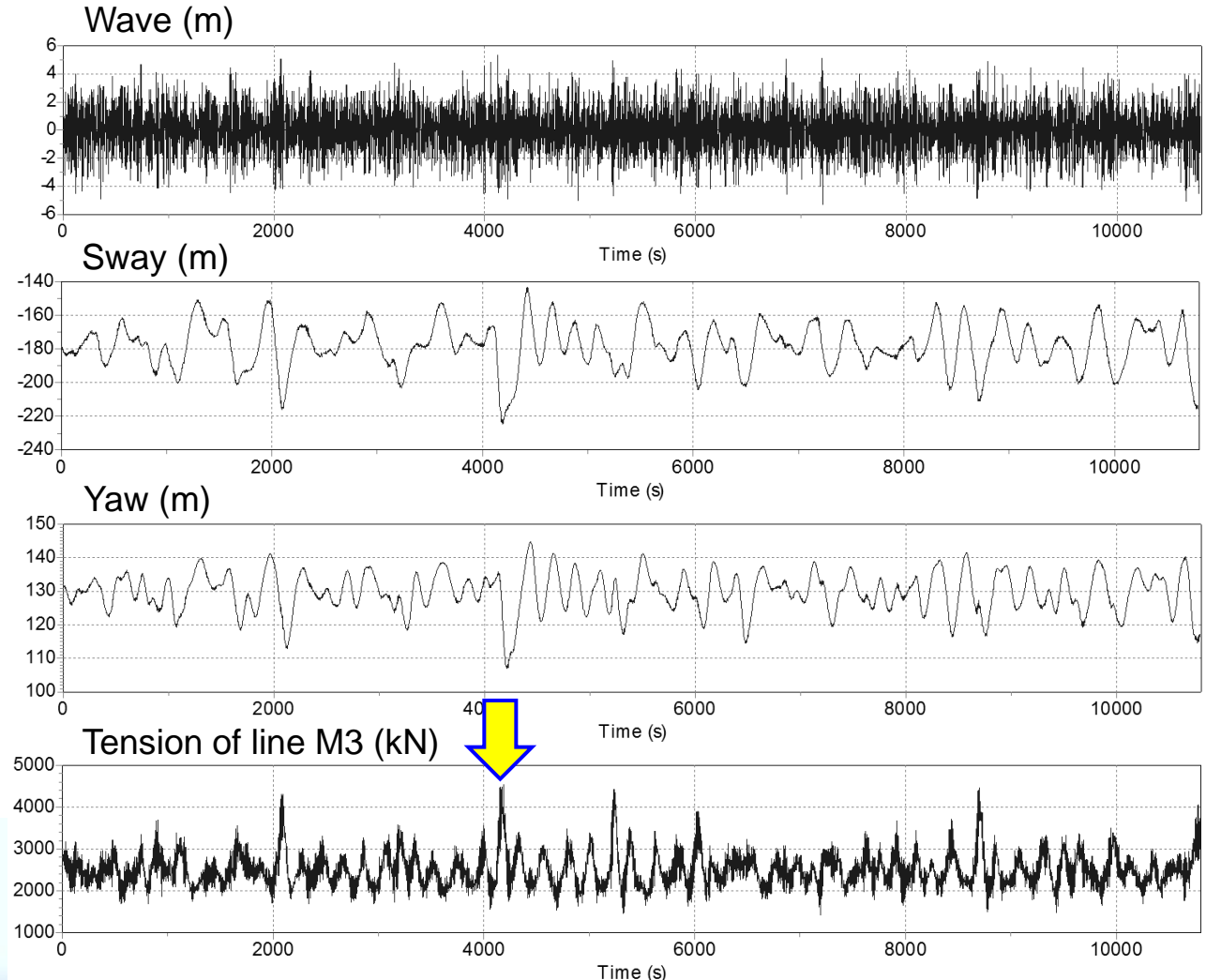
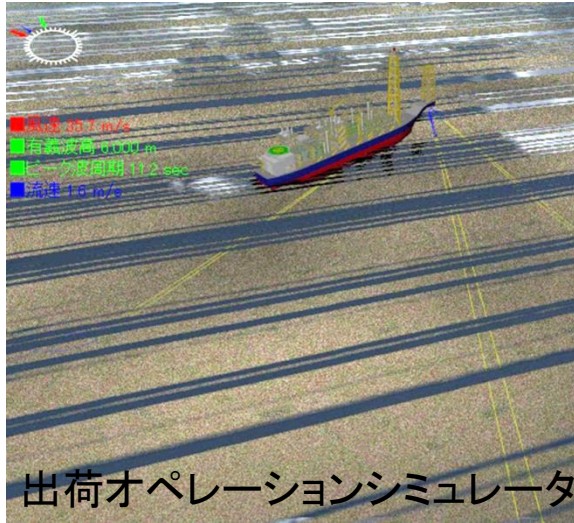
チェーンとワイヤーロープで構成する
3バンドル×2ラインのタレットの
係留システム

Item	Line type	Length
Top chain	95mm chain	50m
Rope	160mm polyester rope	1300m
Anchor chain	95mm chain	475m
Total length		1825m

		Chain (Studless, R3S)	Poyester rope
Nominal dia.		95mm	160mm
Drag coef.	Axial	1.15	0.0
	Normal	2.4	1.6
Added mass coef.	Axial	0.8	0.0
	Normal	1.0	1.0
Axial stiffness		7.71E+05kN	2.40E+05kN
MBL		8179.9kN	8123.0kN
Weight in air		180.5kg/m	17.2kg/m
Weight in water		156.9kg/m	4.1kg/m

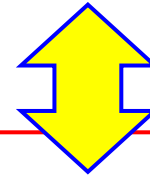
② FLNGタレット係留に関する設計要件検討

● シミュレーション計算例(水深1,000m、軽荷状態のケース)



② FLNGタレット係留に関する設計要件検討

- 波とSwellのランダムシードを変えた20回計算による各最大張力の平均



各種統計解析による評価値と比較

- Rayleigh extreme法 (API、ABS、NK)

$$\text{最大値期待値} = \mu + \sigma \sqrt{2 \ln(n)} \quad n: \text{ピーク数}, \mu: \text{平均}, \sigma: \text{標準偏差}$$

- リスクパラメータ付きRayleigh extreme法

$$\text{最大値期待値} = \mu + \sigma \sqrt{2 \ln(-n / \ln\{1 - \alpha\})} \quad \alpha: \text{リスクパラメータ}$$

- 3変数Weibull分布fit法

$$F_w(y) = 1 - \exp\left[-(y - \mu_w) / \sigma_w\right]^{\xi_w}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_w : \text{尺度パラメータ} \\ \xi_w : \text{形状パラメータ} \\ \mu_w : \text{位置パラメータ} \end{array} \right.$$

- 一般化パレート分布 (GPD) fit法

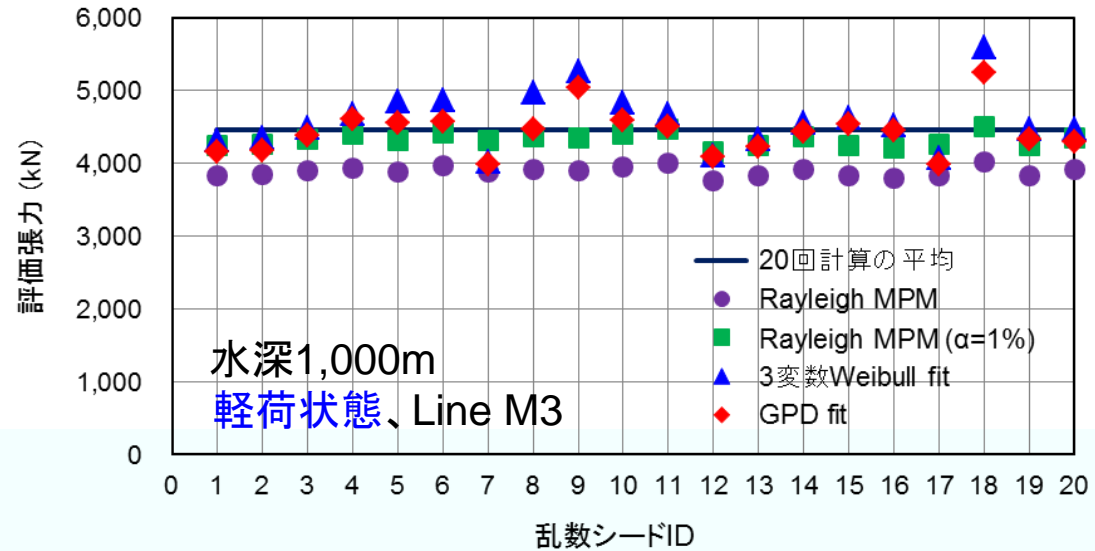
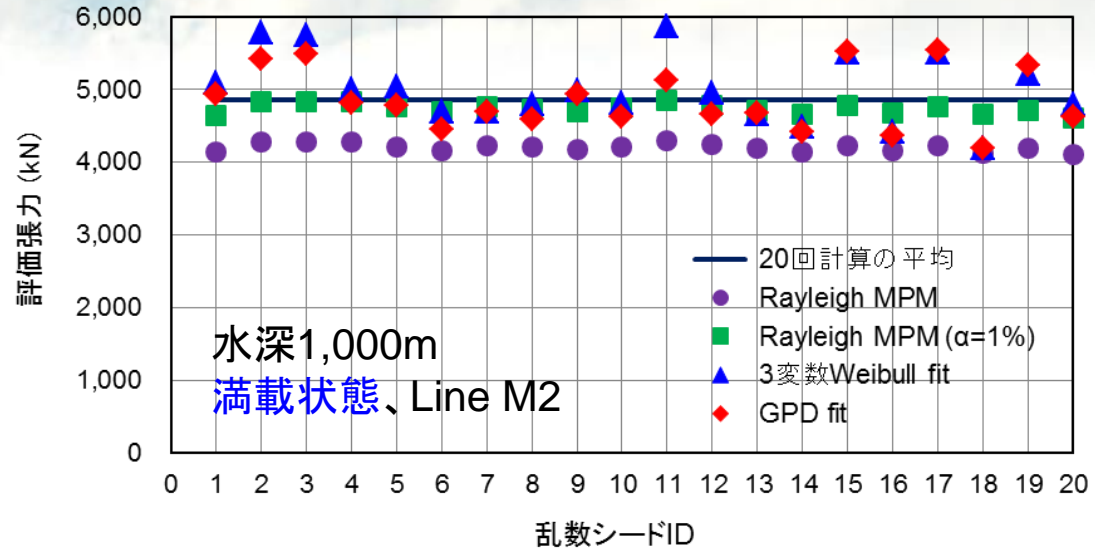
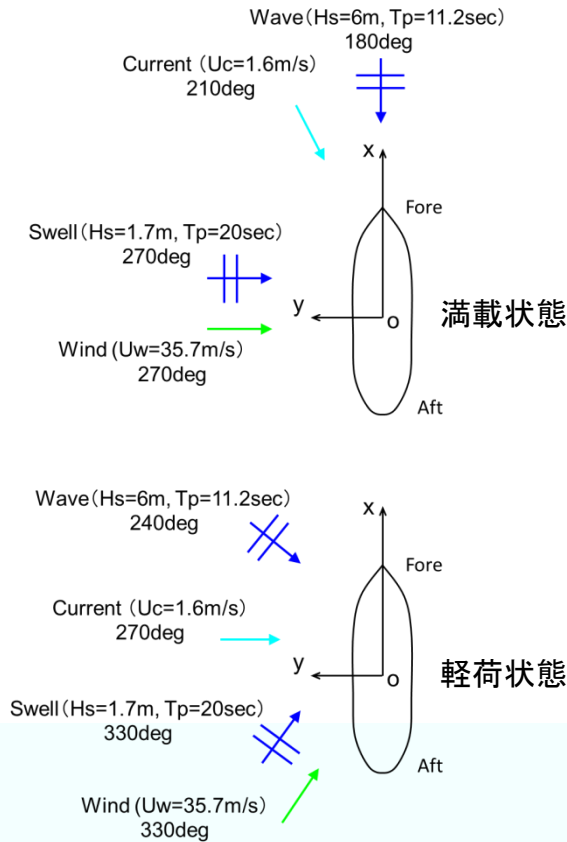
$$F_G(y) = 1 - \left(1 + \xi_p \frac{y}{\sigma_p}\right)^{-1/\xi_p} \quad \text{for } \xi_p \neq 0$$

$$F_G(y) = 1 - \exp\left(-\frac{y}{\sigma_p}\right) \quad \text{for } \xi_p = 0$$



② FLNGタレット係留に関する設計要件検討

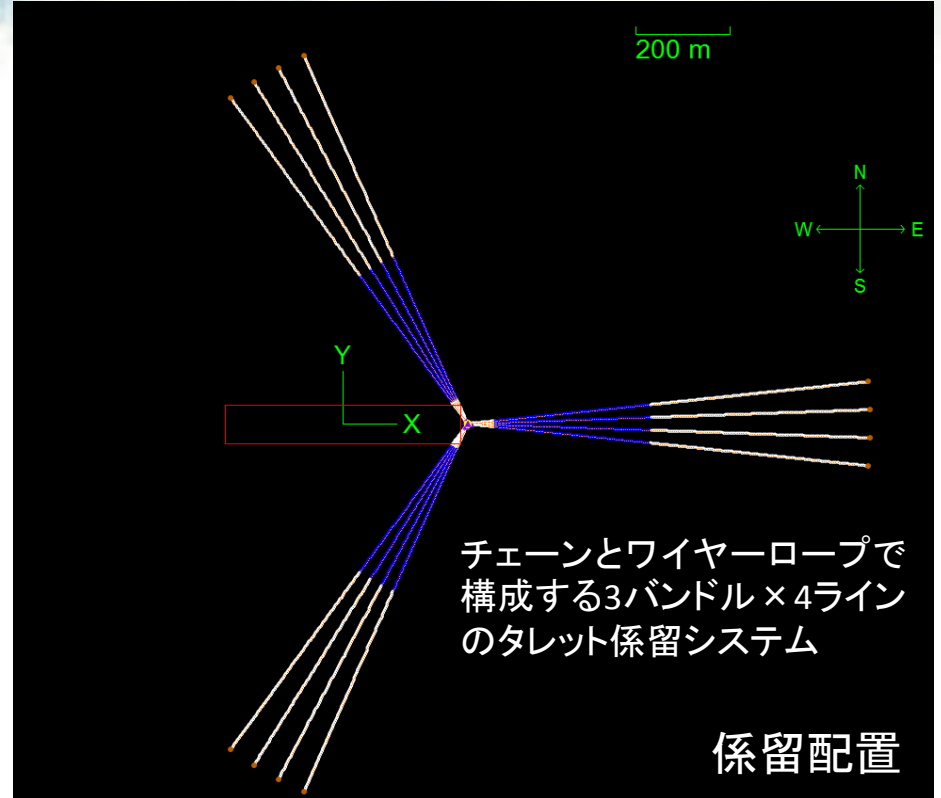
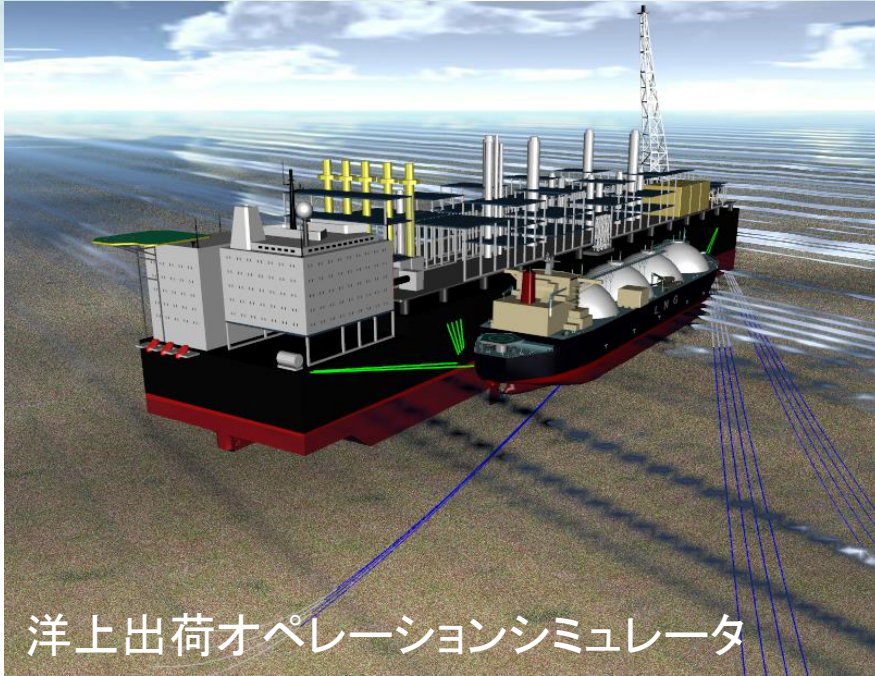
各種統計解析による張力評価値と20回計算による最大値との比較



レイリー分布に基づく極値解析では、最大張力を過小評価する可能性が高い



③ Availability解析のための体系構築



	チェーン	Wire rope
公称径 (mm)	120	147
タイプ	Studless Grade R4	6 × 19 with wire core
軸剛性(kN)	1.23E+06	0.873E+06
最小破断荷重 (MBL) (kN)	13,573	13,686
空中重量 (kg/m)	287.0	86.0
水中重量(kg/m)	249.0	75.0

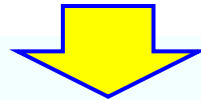
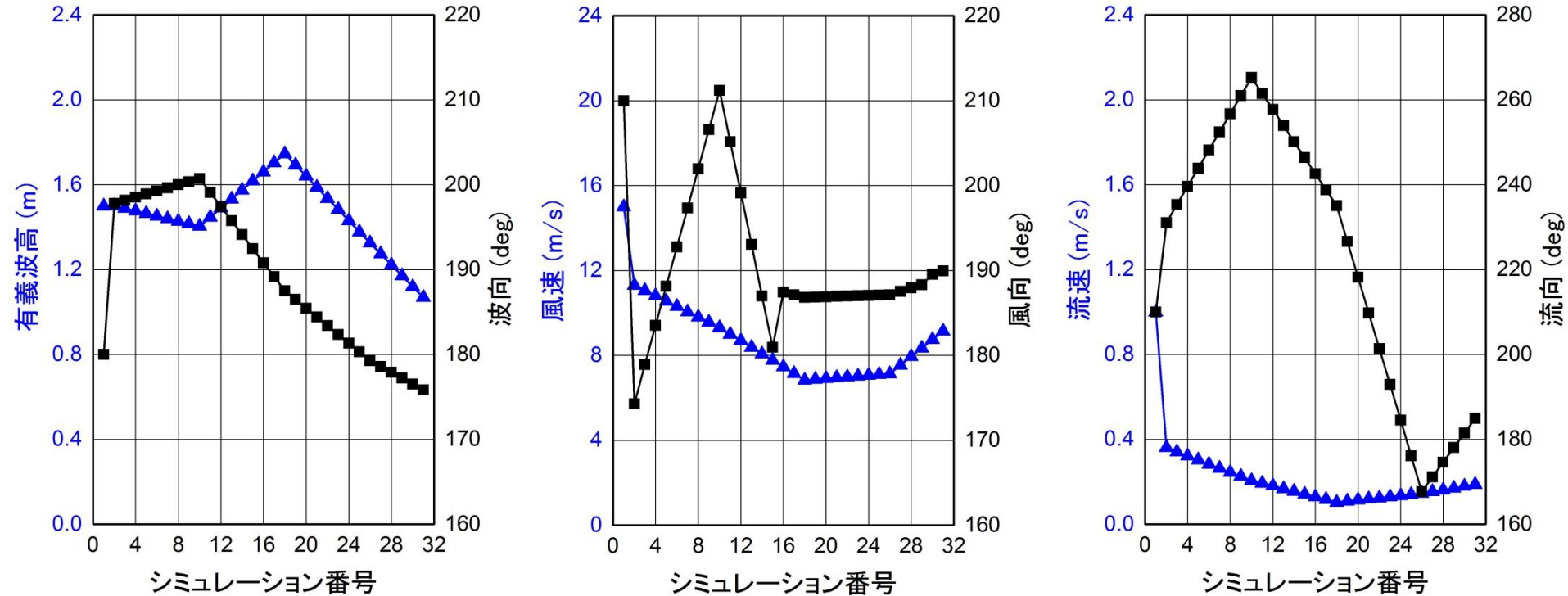
係留部材	#	係留ラインタイプ	長さ(m)
トップチェーン	1	120mmスタッドレスチェーン	100
ワイヤーロープ	2	147mm spiral strand wire rope	500
アンカーチェーン	3	120mmスタッドレスチェーン	500
Total length			1,100



③ Availability解析のための体系構築

● 環境条件の設定および試計算

試ケースとして、およそ4日分(3時間×31ケース)の環境条件を用意



- 2船体-係留システム-ライザー-出荷装置等を含めた一体解析
(洋上出荷オペレーションシミュレータによる評価)



③ Availability解析のための体系構築

項目	計算条件	
時間積分法	Implicit法	
interval time (sec)	0.1	
Build up time(sec)	1,080	長周期yawの過渡応答を考慮
実Simulation time(sec)	10,800	3時間相当
変動波漂流力	Full QTF	2浮体干渉影響を考慮するため full QTFを考慮



DCMAタイプ
ローディングアーム

評価項目	許容値
Loading arm tipとLNGC manifold 間の距離	<ul style="list-style-type: none"> ・相対変位 (X, Y, Z) : $\pm 2\text{m}$以下 ・-Y方向 (LNGCがFLNGから離れる方向) に-1.8m以下
Loading arm tipとLNGC manifold点の許容加速度	<ul style="list-style-type: none"> ・LNGC manifold位置での加速度 : $\pm 0.25\text{m/sec}^2$以下 ・Loading arm tipの加速度 : $\pm 0.25\text{m/sec}^2$以下
係船索張力	737kN以下
LNGCの動揺	LNGC Roll角 : $\pm 2\text{deg}$ 以下



③ Availability解析のための体系構築

Sequence No.	FLNG				LNGC				FLNG Loading arm tip-LNGC manifold MPM						最大ライン張力 (kN)	Avail ability
	両振幅 MPM				両振幅 MPM				相対変位				manifold	arm tip		
	z	roll	pitch	Yaw	z	roll	pitch	Yaw	x 両	y 両	y 片	z 両	Acc 両	Acc 両		
SBS-1	0.27	0.12	0.18	1.98	1.03	1.80	1.93	2.58	2.38	2.14	-1.10	1.90	0.26	0.04	387.08	△
SBS-2	0.05	0.07	0.03	2.58	0.48	0.72	0.62	3.34	2.37	2.15	-1.85	0.75	0.23	0.03	233.50	×
SBS-3	0.06	0.05	0.05	2.19	0.40	0.51	0.62	2.73	2.99	1.88	-1.77	0.66	0.19	0.02	191.66	△
SBS-4	0.08	0.04	0.06	1.29	0.35	0.49	0.62	1.65	3.41	1.60	-1.49	0.63	0.17	0.02	202.44	△
SBS-5	0.10	0.03	0.07	0.80	0.32	0.45	0.63	1.01	2.83	1.32	-1.27	0.62	0.15	0.02	189.96	△
SBS-6	0.12	0.03	0.08	0.57	0.31	0.44	0.63	0.78	2.52	1.18	-1.14	0.63	0.13	0.03	182.63	△
SBS-7	0.14	0.03	0.09	0.97	0.35	0.51	0.68	1.50	1.62	0.94	-0.81	0.72	0.12	0.03	226.73	○
SBS-8	0.15	0.04	0.10	0.78	0.38	0.51	0.68	1.25	1.52	1.12	-0.88	0.84	0.14	0.03	226.24	○
SBS-9	0.17	0.04	0.11	1.08	0.48	0.75	0.94	1.53	1.38	1.14	-0.85	1.02	0.15	0.03	248.67	○
SBS-10	0.19	0.05	0.13	1.07	0.55	0.89	1.05	1.36	1.67	1.56	-1.04	1.16	0.16	0.03	267.03	△
SBS-11	0.20	0.05	0.13	1.17	0.53	0.90	1.00	1.61	1.75	1.46	-1.05	1.14	0.15	0.03	262.97	△
SBS-12	0.21	0.05	0.14	0.80	0.52	0.91	0.99	1.68	1.74	1.40	-1.06	1.13	0.15	0.03	269.19	△
SBS-13	0.22	0.06	0.15	0.39	0.51	0.88	0.94	2.31	1.73	1.19	-1.15	1.11	0.15	0.04	227.76	△
SBS-14	0.23	0.09	0.15	0.59	0.57	0.90	0.94	1.23	1.75	1.23	-1.23	1.20	0.16	0.04	243.24	△
SBS-15	0.24	0.12	0.16	0.93	0.63	0.95	1.00	1.24	2.85	1.21	-1.26	1.28	0.18	0.04	254.83	△
SBS-16	0.25	0.08	0.17	0.71	0.59	1.08	1.07	1.04	2.09	0.94	-1.08	1.29	0.16	0.04	239.83	△
SBS-17	0.26	0.08	0.18	0.61	0.60	1.13	1.11	0.90	2.05	1.20	-1.21	1.33	0.17	0.04	245.90	△
SBS-18	0.27	0.08	0.18	0.62	0.62	1.21	1.13	0.91	2.24	1.08	-1.16	1.38	0.17	0.04	244.39	△
SBS-19	0.26	0.07	0.17	0.66	0.58	1.06	1.08	0.99	2.17	1.16	-1.20	1.29	0.16	0.04	241.83	△
SBS-20	0.24	0.06	0.16	0.59	0.54	1.02	1.00	0.98	2.48	1.06	-1.15	1.21	0.16	0.04	237.29	△
SBS-21	0.23	0.05	0.14	0.51	0.50	0.95	0.94	0.91	2.59	1.03	-1.13	1.12	0.15	0.04	223.87	△
SBS-22	0.21	0.05	0.14	5.21	0.50	0.85	0.94	7.37	1.52	1.25	-1.12	1.09	0.15	0.04	244.10	△
SBS-23	0.19	0.04	0.13	0.54	0.48	0.78	0.90	0.79	1.27	1.30	-1.11	1.03	0.14	0.03	242.16	△
SBS-24	0.18	0.04	0.12	0.64	0.45	0.69	0.86	0.84	1.41	0.74	-0.83	0.97	0.14	0.03	223.75	○
SBS-25	0.16	0.04	0.11	1.19	0.42	0.61	0.82	1.59	1.51	0.82	-0.87	0.90	0.13	0.03	217.64	○
SBS-26	0.15	0.03	0.10	1.03	0.40	0.53	0.77	1.27	1.42	0.62	-0.78	0.83	0.13	0.03	208.35	○
SBS-27	0.13	0.03	0.09	1.03	0.36	0.49	0.71	1.27	1.41	0.75	-0.84	0.75	0.12	0.03	204.42	○
SBS-28	0.12	0.03	0.08	0.67	0.32	0.41	0.64	2.10	1.33	0.89	-0.90	0.70	0.12	0.02	215.85	○
SBS-29	0.11	0.03	0.07	1.71	0.32	0.41	0.64	2.02	1.10	0.89	-0.90	0.64	0.12	0.02	199.46	○
SBS-30	0.09	0.03	0.06	1.48	0.30	0.43	0.61	2.36	1.34	0.98	-0.93	0.60	0.11	0.02	228.75	○
SBS-31	0.08	0.03	0.06	0.73	0.27	0.38	0.57	0.94	1.16	1.12	-1.00	0.55	0.10	0.02	196.90	○

出荷可能Window

-y方向(片側)の
相対変位が厳しい

Availability解析の体系を構築

出荷可能Window



第4期中期計画における取り組み

- 複合環境外力下における海洋構造物のRAM解析技術の開発
 - 複数浮体-係留システム-ライザー-出荷装置等を含めた一体システムにタンク内スロッシング影響を考慮した挙動・稼働性評価技術の開発
 - 上記評価技術を用いた出荷クライテリア解析（10年間の連続環境条件設定、出荷ダウンタイム解析技術等）及びLNG貯蔵インベントリ解析技術（詳細Availability解析）

謝 辞

本講演の一部は、国土交通省の平成24年度予算で実施された事業「天然ガス燃料船に関する総合対策」および平成26年度予算で実施された「FLNGの安全に関するガイドライン策定のための調査研究」で実施させて頂いた内容に基づいています。

関係各位に深くお礼申し上げます。

