

平成28年6月24日
平成28年度(第16回)
海上技術安全研究所 研究発表会

石油・天然ガス開発のための 安全性・稼働性評価技術の開発

海洋開発系 * 湯川 和浩、齊藤 昌勝、佐藤 宏
大坪 和久、石田 圭、渡邊 充史



第3期中期計画における取り組み

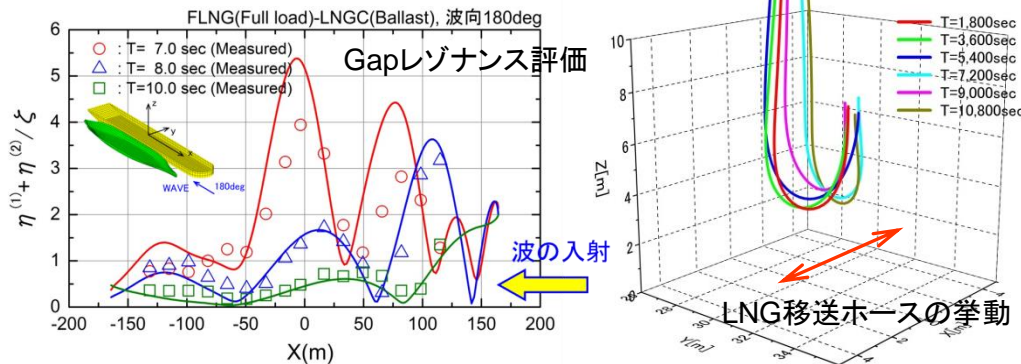
洋上出荷に関する技術開発

アウトカム

H23年度
トップサイドのガス拡散・爆発解析技術
Side-by-Side係船時のGapレゾナンス評価技術
LNG移送ホースの挙動評価技術

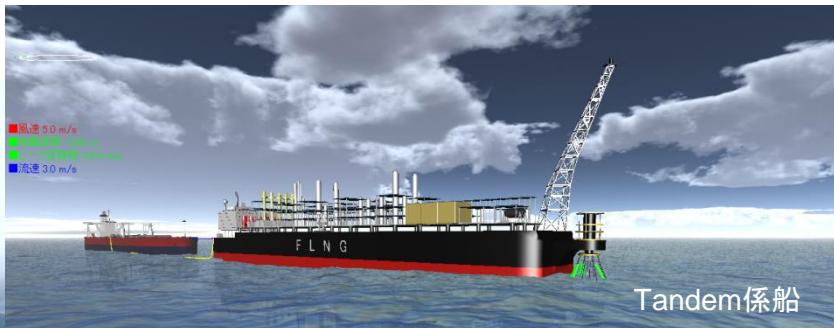


苫小牧Ship-to-Ship事業
(H23-24)における
安全性評価



(出典: www.lngworldnews.com)

H24年度
係留システムの挙動・安全性評価技術
係留システム・ライザー・複数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)



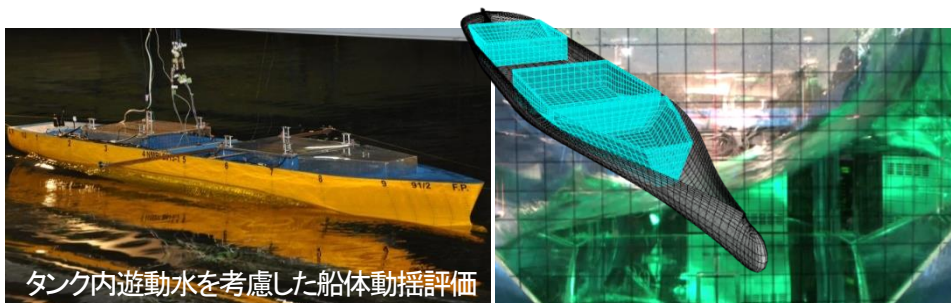
第3期中期計画における取り組み

洋上出荷に関する技術開発

アウトカム

H25年度

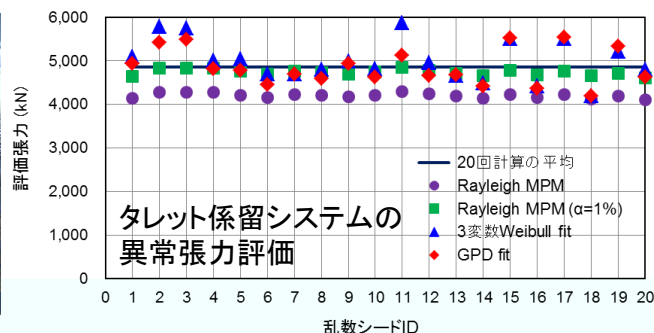
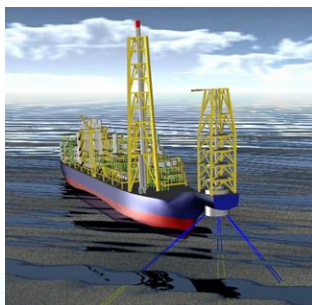
長周期動揺の評価技術
タンク内遊動水を考慮した船体動揺評価技術



天然ガス燃料船の
バンカリングに関する
オペレーションマニュアル、
ガイドライン策定 (H25.6)

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



船級協会のFLNGガイド
ライン改定 (H27.12)

H27年度

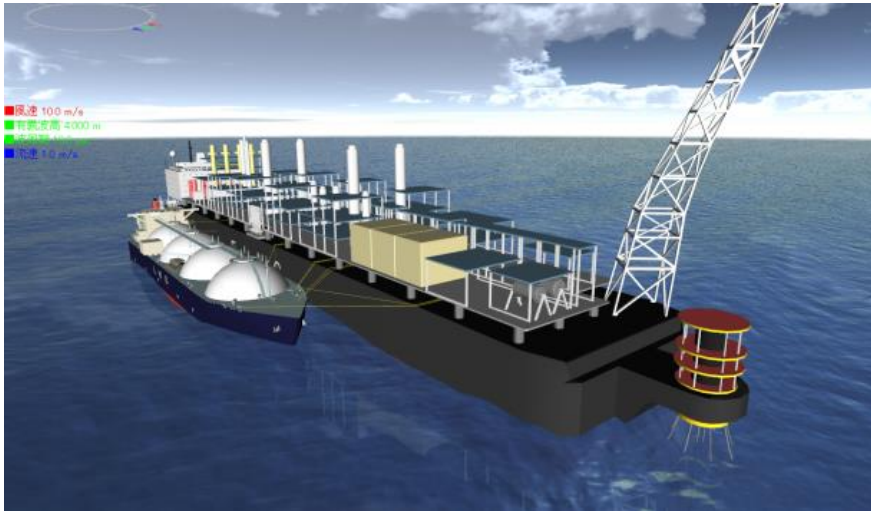
LNG輸送船の方位保持性能を考慮した稼働性評価技術
Availability解析のための体系構築



① Sequential availabilityの試解析

● Sequential availability解析の流れ

2船体、係船索、フェンダー、タレット係留システムを含む
一体での時間領域シミュレーション(洋上出荷オペレーションシミュレータ)



- 対象船の設定
- 環境外力の推定
- 係留システムの設計
- 2船間索取り、フェンダー配置の検討
- 出荷装置の設定
- 計算条件の設定 等

連続した海気象条件の設定

出荷クライテリアの設定

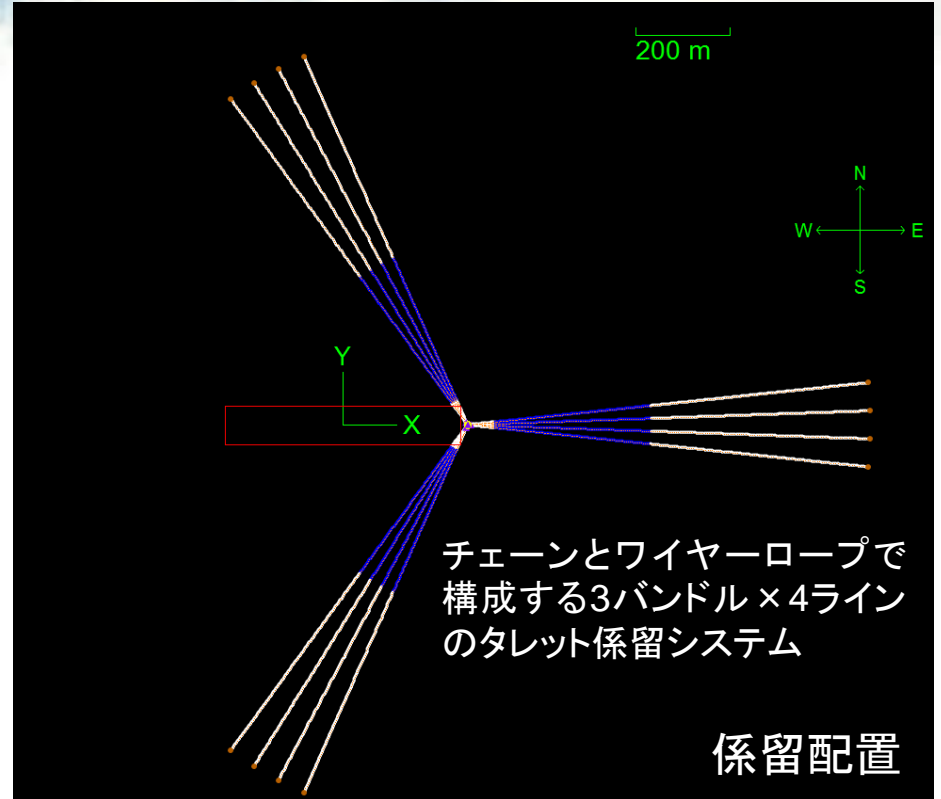
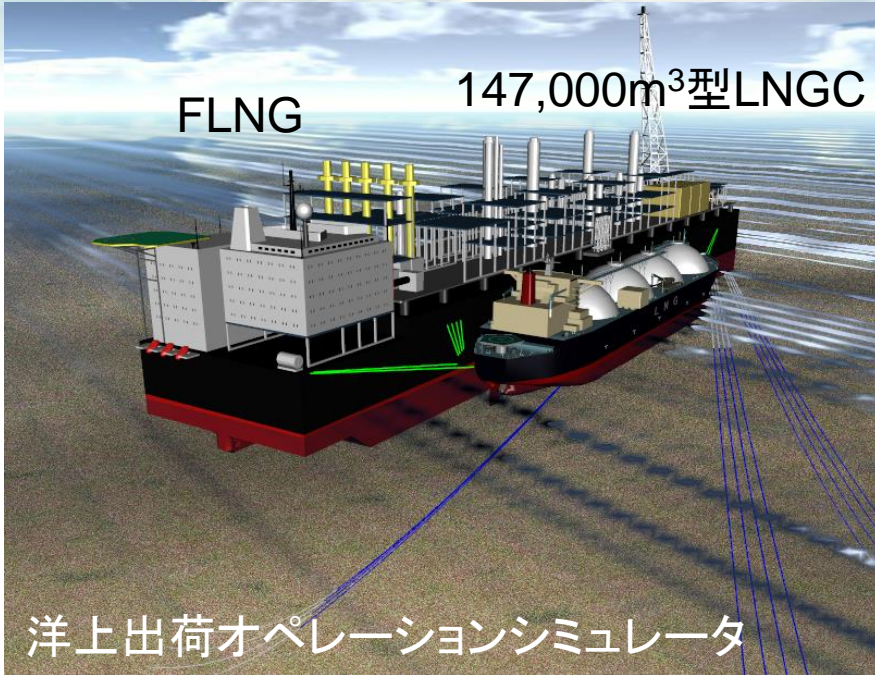
- Loading armの稼働範囲
- 船体動揺量 等

Sequence No.	FLNG				LNGC				FLNG Loading arm tip-LNGC manifold MPM				最大ライン張力 (kN)	Availability		
	両振幅 MPM				両振幅 MPM				相対変位							
	z	roll	pitch	Yaw	z	roll	pitch	Yaw	x 両	y 両	y 片	z 両			manifold Acc 両	arm tip 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	2.72	2.89	1.89	-1.77	0.66	0.19	0.02	191.66	△
SBS-4	0.08	0.04	0.06	1.29	0.35	0.45	0.51	2.00	2.00	1.89	-1.49	0.63	0.17	0.02	202.44	△
SBS-5	0.10	0.03	0.07	0.80	0.32	0.43	0.51	1.89	1.89	1.89	-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	○

Availability解析



① Sequential availabilityの試解析



	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

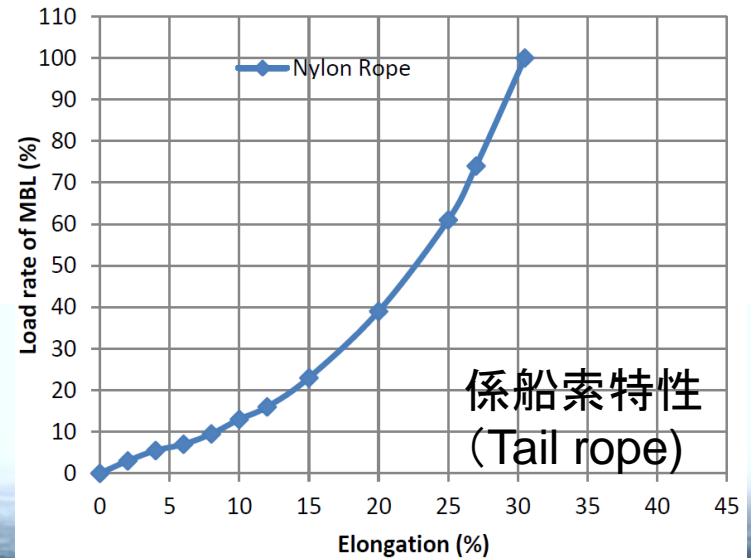
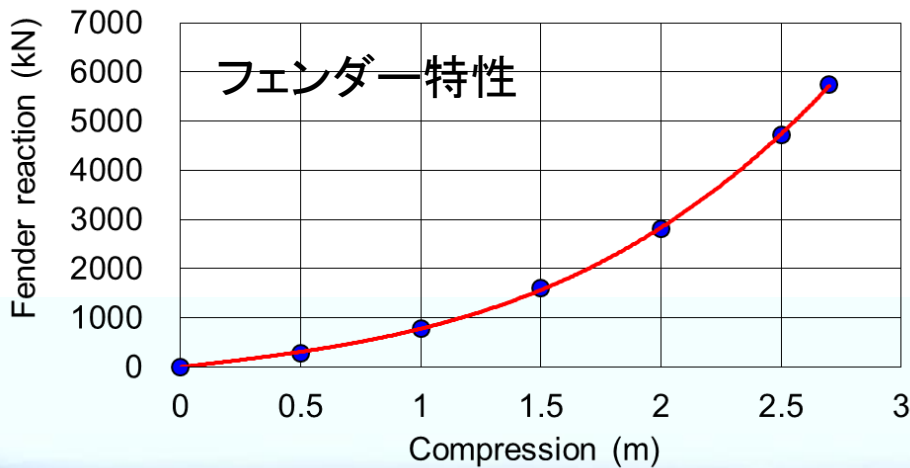
係留部材	#	係留ラインタイプ	長さ(m)
トップチェーン	1	120mmスタッドレスチェーン	100
ワイヤーロープ	2	147mm spiral strand wire rope	500
アンカーチェーン	3	120mmスタッドレスチェーン	500
Total length			1,100



① Sequential availabilityの試解析



係船索	16本	$\Phi 64\text{mm} \times 11\text{m}$ Tail rope + $\Phi 44\text{mm} \times 80\text{m}$ Wire rope
フェンダー	4基	$\Phi 4.5\text{m} \times 9\text{m}$ 空気式フェンダー, 非線形圧縮特性考慮

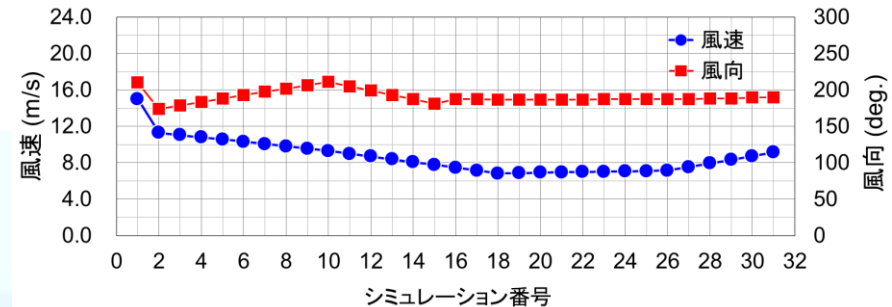
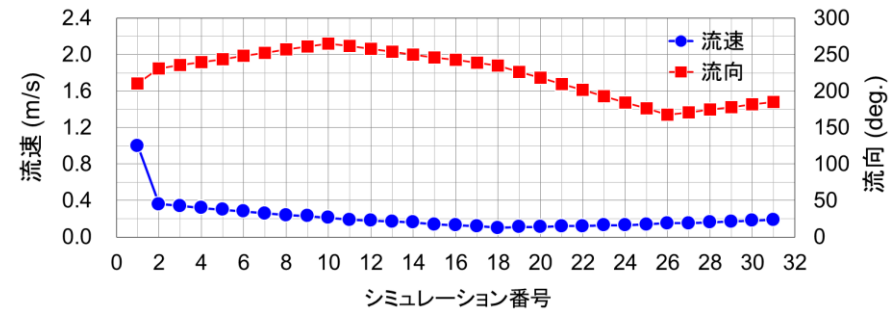
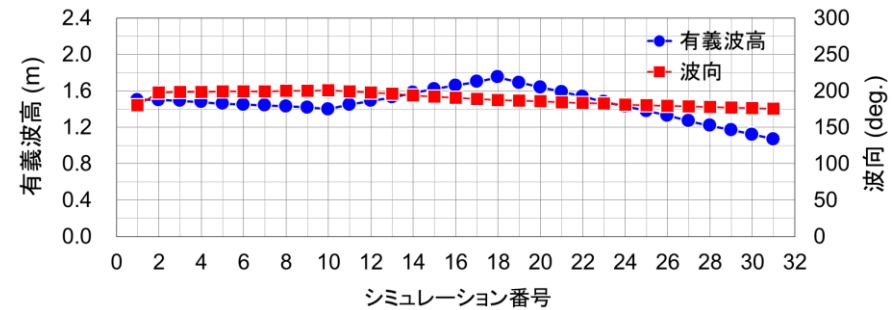


① Sequential availabilityの試解析

● 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

Case	波向(deg.)	Hs(m)	Tp(sec)	γ	流速(m/s)	流向(deg.)	風速(m/s)	風向(deg.)
SBS-1	180.00	1.50	11.88	2.50	1.00	210.00	15.00	210.00
SBS-2	197.81	1.50	8.31	2.27	0.36	231.08	11.31	174.32
SBS-3	198.18	1.49	8.66	2.22	0.34	235.35	11.06	178.93
SBS-4	198.54	1.48	9.01	2.18	0.32	239.63	10.81	183.54
SBS-5	198.91	1.46	9.36	2.14	0.30	243.90	10.56	188.15
SBS-6	199.27	1.45	9.71	2.10	0.28	248.18	10.31	192.76
SBS-7	199.64	1.44	10.05	2.07	0.26	252.45	10.06	197.37
SBS-8	200.00	1.43	10.40	2.03	0.24	256.72	9.81	201.98
SBS-9	200.37	1.42	10.75	2.00	0.23	261.00	9.56	206.59
SBS-10	200.73	1.40	11.10	1.97	0.21	265.27	9.31	211.20
SBS-11	199.08	1.45	11.16	1.96	0.19	261.49	9.00	205.16
SBS-12	197.43	1.49	11.21	1.96	0.18	257.71	8.69	199.11
SBS-13	195.77	1.53	11.27	1.95	0.17	253.93	8.38	193.07
SBS-14	194.12	1.58	11.32	1.95	0.16	250.15	8.08	187.02
SBS-15	192.47	1.62	11.38	1.94	0.14	246.37	7.77	180.98
SBS-16	190.82	1.66	11.43	1.94	0.13	242.59	7.46	187.46
SBS-17	189.16	1.70	11.49	1.94	0.12	238.81	7.15	187.15
SBS-18	187.51	1.75	11.54	1.93	0.10	235.03	6.84	186.84
SBS-19	186.48	1.69	11.42	1.94	0.11	226.61	6.88	186.88
SBS-20	185.45	1.64	11.30	1.95	0.11	218.20	6.92	186.92
SBS-21	184.42	1.59	11.17	1.96	0.12	209.78	6.95	186.95
SBS-22	183.39	1.54	11.05	1.97	0.12	201.37	6.99	186.99
SBS-23	182.36	1.48	10.93	1.98	0.13	192.95	7.03	187.03
SBS-24	181.33	1.43	10.81	1.99	0.13	184.53	7.07	187.07
SBS-25	180.30	1.38	10.68	2.01	0.14	176.12	7.10	187.10
SBS-26	179.27	1.33	10.56	2.02	0.15	167.70	7.14	187.14
SBS-27	178.58	1.27	10.39	2.03	0.15	171.15	7.54	187.54
SBS-28	177.90	1.22	10.22	2.05	0.16	174.60	7.94	187.94
SBS-29	177.21	1.17	10.05	2.07	0.17	178.05	8.34	188.34
SBS-30	176.52	1.12	9.88	2.08	0.18	181.51	8.75	189.55
SBS-31	175.83	1.07	9.70	2.10	0.19	184.96	9.15	189.95



① Sequential availabilityの試解析

● Availability評価のための許容値



DCMAタイプ ローディングアーム
(Double Counter weight Marine Arm)



移動可能用
slew bearing

OLAFタイプ ローディングアーム
(Offshore Loading Arm Footless)

評価項目	許容値
Loading arm tipと LNGC manifold 間の距離	相対変位 (X, Y, Z) : $\pm 2\text{m}$ 以下 但し、 -Y方向 (LNGCがFLNGから離れる方向) に -1.8m以下 (DCMAタイプ) -1.0m以下 (OLAFタイプ)
加速度	LNGC manifold位置 : $\pm 0.25\text{m/sec}^2$ 以下 Loading arm tip : $\pm 0.25\text{m/sec}^2$ 以下
係船索張力	安全稼働荷重 737kN以下
LNGCの動揺 (Roll角)	$\pm 2\text{deg.}$ 以下



① Sequential availabilityの試解析

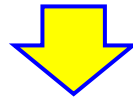
Sequence No.	FLNG			LNGC			FLNG Loading arm tip-LNGC manifold MPM			最大3方向張力 (kN)	Availability				
	roll	pitch	Yaw	roll	pitch	Yaw	x面	y面	z面			manifold	arm tip		
SBS-1	0.27	0.12	0.18	1.98	1.03	1.80	2.58	2.38	2.14	-1.10	1.90	0.26	0.04	△	387.08
SBS-2	0.05	0.07	0.03	2.58	0.48	0.72	0.62	3.34	2.37	2.15	-1.85	0.75	0.23	×	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	△	191.66
SBS-4	0.08	0.04	0.04	1.29	0.35	0.49	0.62	1.65	3.41	1.60	-1.49	0.63	0.17	△	202.44
SBS-5	0.10	0.03	0.03	0.80	0.32	0.45	0.63	1.01	2.83	1.32	-1.27	0.62	0.15	△	189.96
SBS-6	0.12	0.03	0.03	0.57	0.31	0.44	0.63	0.78	2.52	1.18	-1.14	0.63	0.13	△	182.63
SBS-7	0.14	0.03	0.03	0.97	0.35	0.51	0.68	1.50	1.62	0.94	-0.81	0.72	0.12	○	226.73
SBS-8	0.15	0.04	0.10	0.86	0.40	0.58	0.78	1.25	1.52	1.12	-0.88	0.84	0.14	○	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	○	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	△	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	△	262.97
SBS-12	0.21	0.05	0.14	0.80	0.52	0.91	0.97	1.34	1.68	1.40	-1.06	1.13	0.15	△	269.19
SBS-13	0.22	0.06	0.15	0.39	0.51	0.88	1.19	1.19	1.19	1.19	-1.15	1.11	0.15	△	227.76
SBS-14	0.23	0.09	0.15	0.59	0.57	0.92	0.88	0.88	1.23	1.23	-1.23	1.20	0.16	△	243.24
SBS-15	0.24	0.12	0.16	0.93	0.63	1.04	1.04	1.04	1.21	1.21	-1.26	1.28	0.18	△	254.83
SBS-16	0.25	0.08	0.17	0.71	0.59	1.08	1.08	1.08	0.94	0.94	-1.08	1.29	0.16	△	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	△	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	△	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	△	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	△	237.29
SBS-21	0.23	0.05	0.15	0.56	0.51	0.86	0.94	0.83	2.59	1.03	-1.13	1.12	0.15	△	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	△	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	△	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	○	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	○	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	○	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	○	204.42
SBS-28	0.12	0.03	0.08	1.54	0.34	0.47	0.67	2.10	1.33	0.89	-0.90	0.70	0.12	○	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	○	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	○	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	○	196.90

■ DCMA方向 □ OLAF方向

一方向(片側)の
相対変位が小さい

① Sequential availabilityの試解析

- Side-by-Side出荷では、Loading Armの稼働限界（特にFLNGから離れるSway方向）がAvailabilityに及ぼす影響が大きい。
- Loading Armの種類によってAvailabilityが異なるので注意が必要。本検討例では、DCMAタイプのAvailabilityは30/31であるが、OLAFタイプだと11/31に減ってしまう。

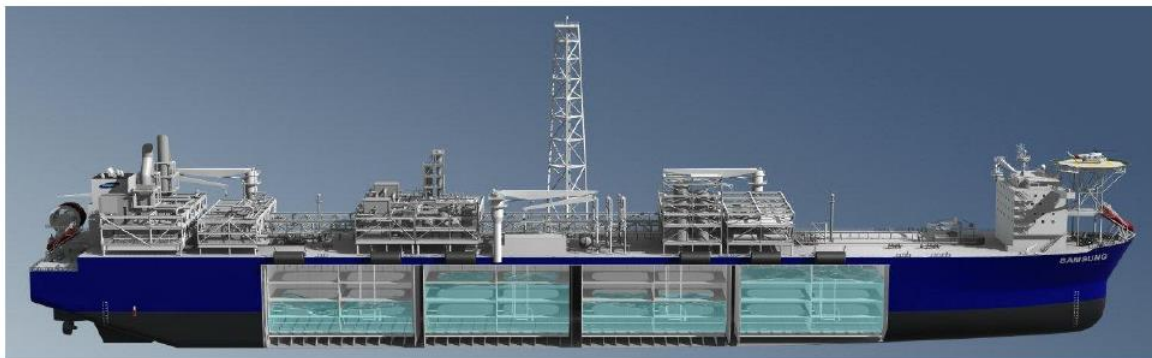


洋上出荷に関するSequential availability解析のための基盤技術が整った。



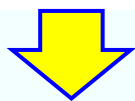
② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

- FLNGの実現により、洋上における船舶間LNG 移送のニーズ増大
 - FLNGとLNGCが、近接した状態で係船
 - FLNGとLNGCの2船内には、容積の大きなLNG貯蔵タンクが存在



(出典: FLEX FLNG)

- 2船体に作用する**環境外力の遮蔽影響**を把握
- 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

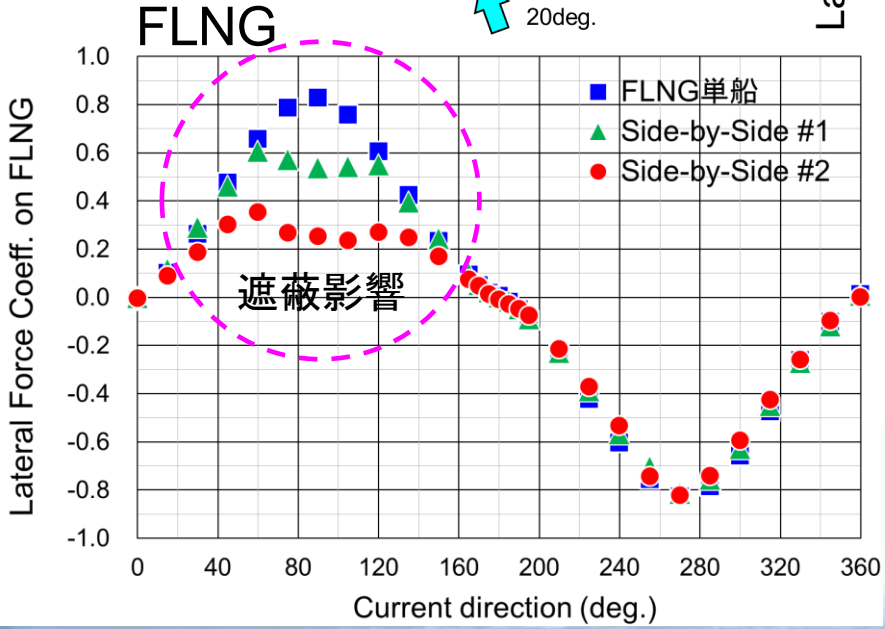
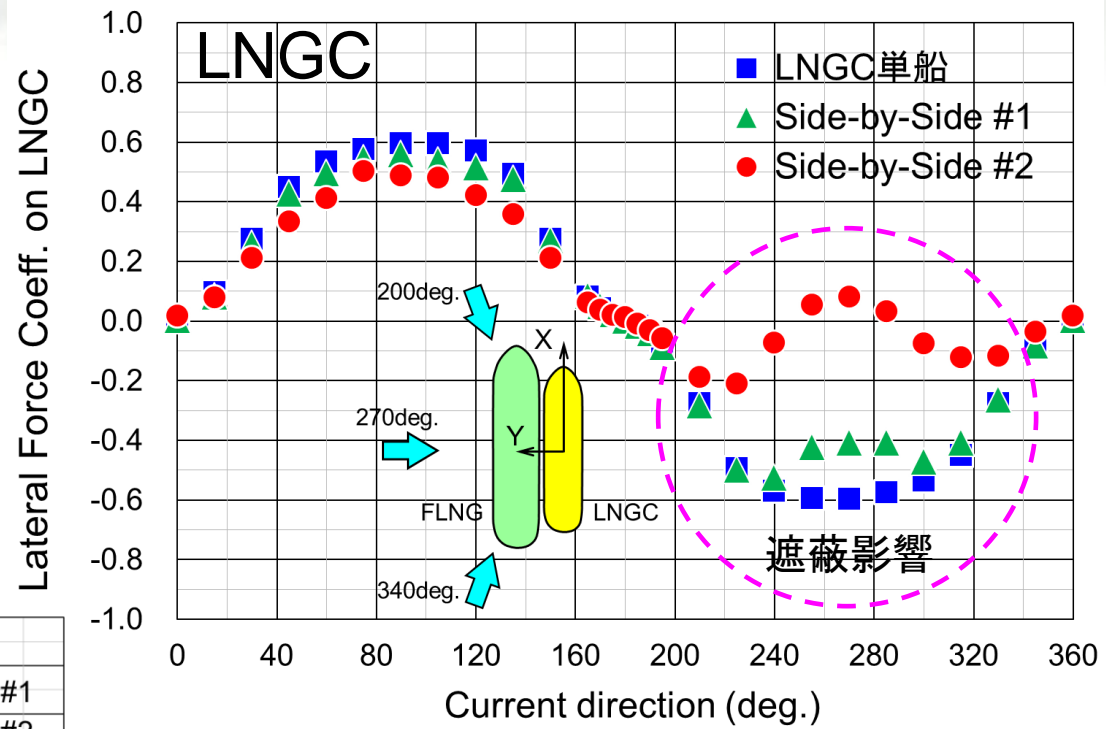
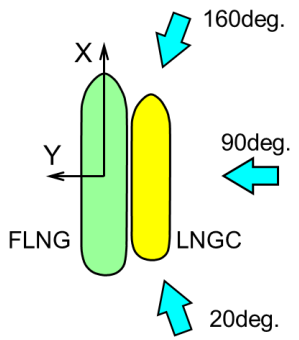


FLNGとLNGCのスロッシングが、どの程度Availabilityに影響するのか?



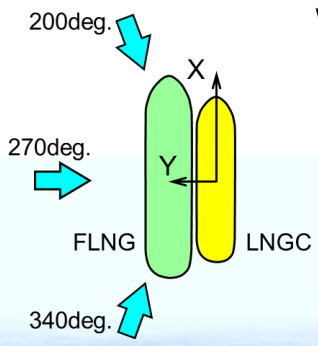
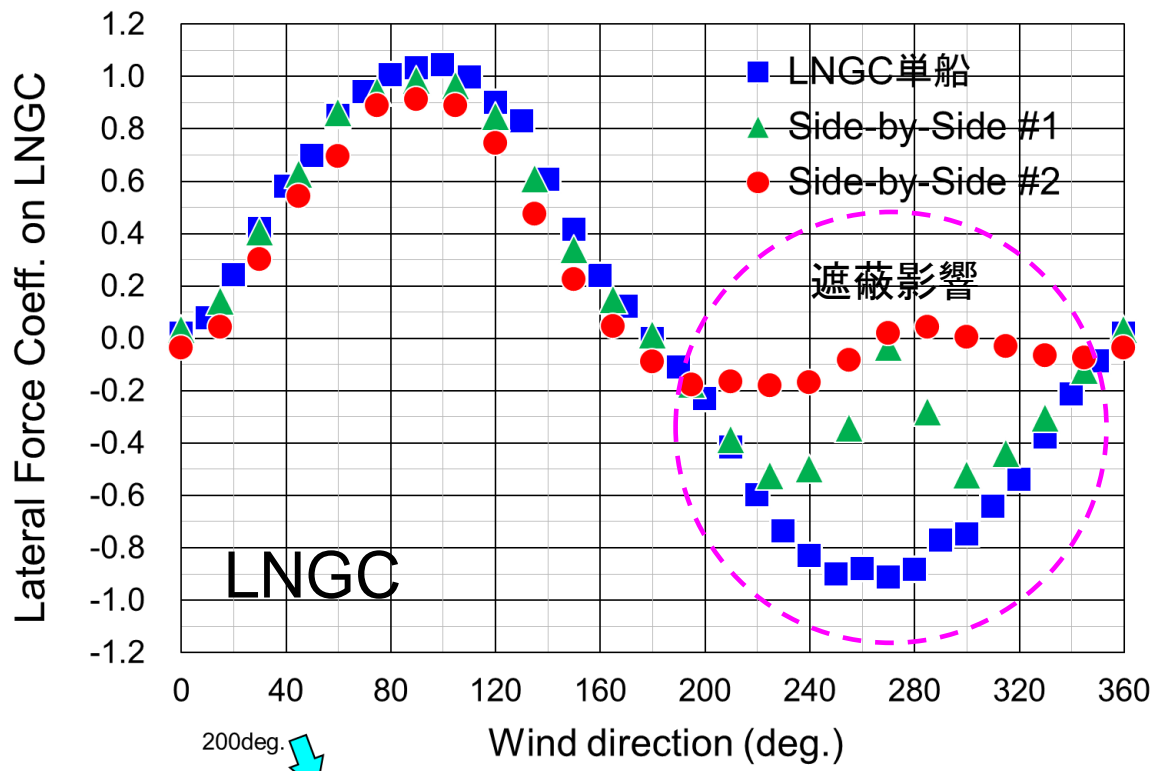
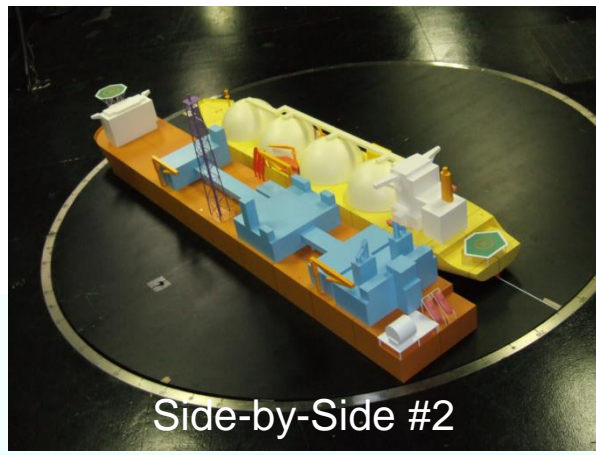
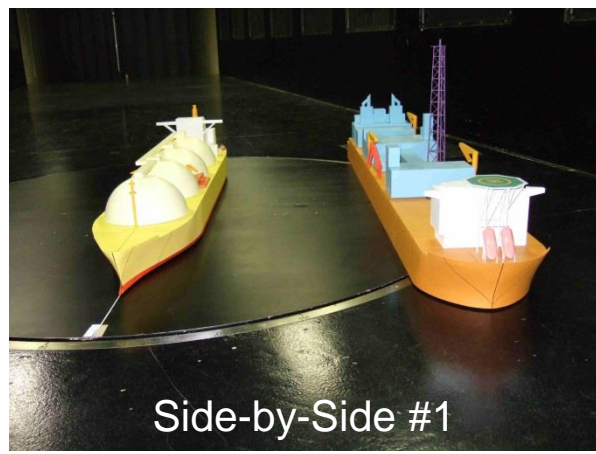
② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

● Side-by-Side出荷時に作用する潮流荷重計測



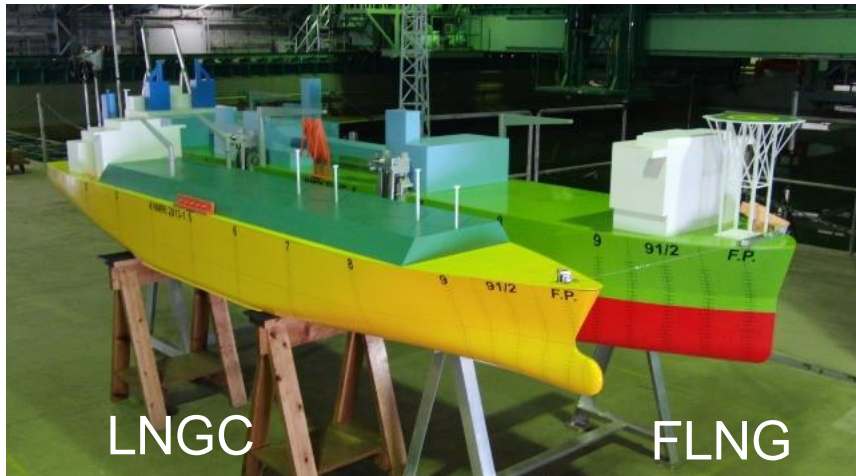
② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

● Side-by-Side出荷時に作用する風荷重計測



② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

● Side-by-Side出荷時の2船体波浪中動揺計測



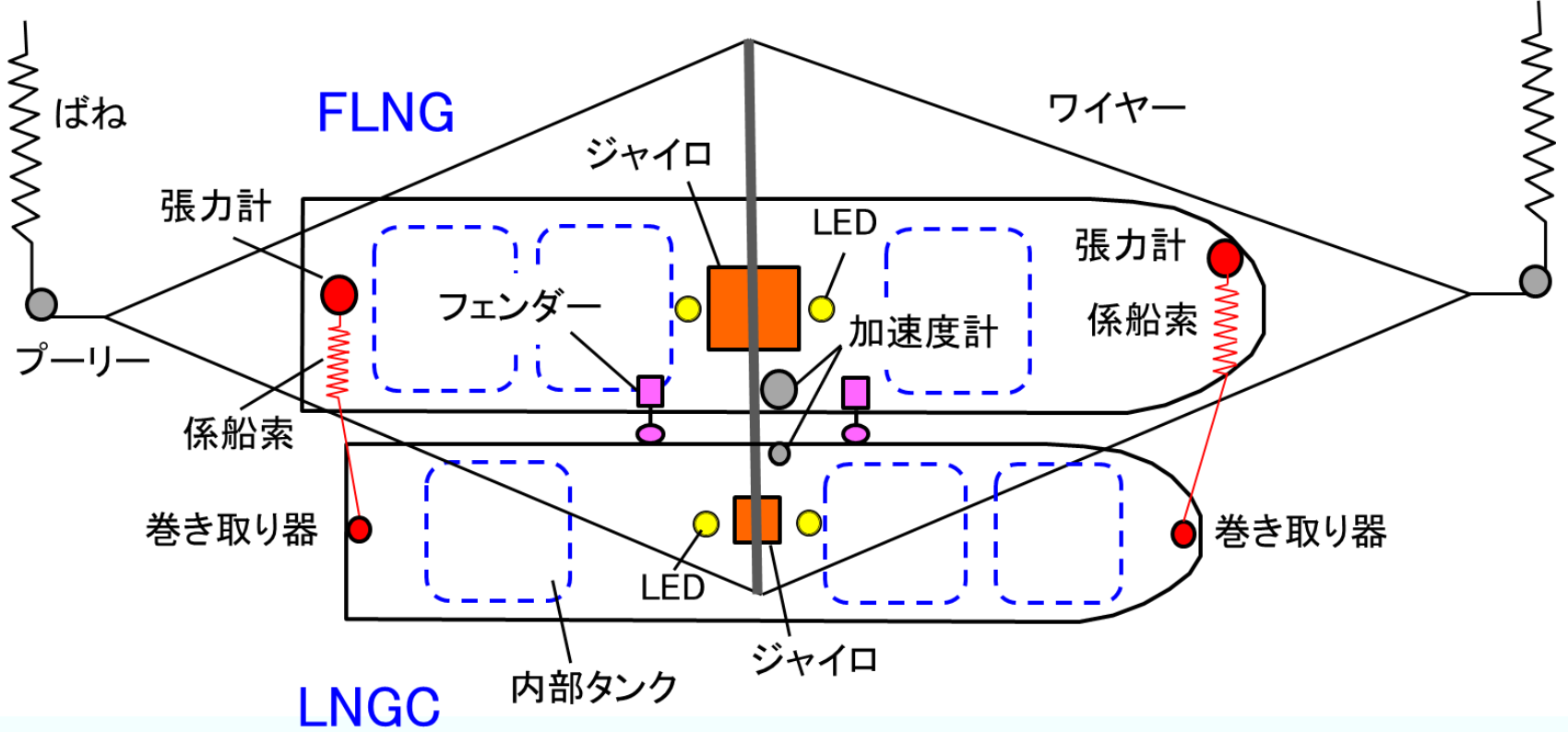
- FLNG及びLNGCの縮尺1/90モデルを対象とし、半載喫水相当で計測
- FLNGはFLEX FLNGの主要目を参考
- LNGCは14.5万m³のメムブレン型LNG船を想定

対象船の主要目

	FLNG		LNGC	
	実機	模型	実機	模型
垂線間長 L_{pp} (m)	328.0	3.64	272.0	3.02
型幅 B (m)	50.0	0.56	43.4	0.48
型深さ D (m)	31.6	0.35	26.0	0.28
半載喫水 d (m)	12.0	0.13	10.4	0.12

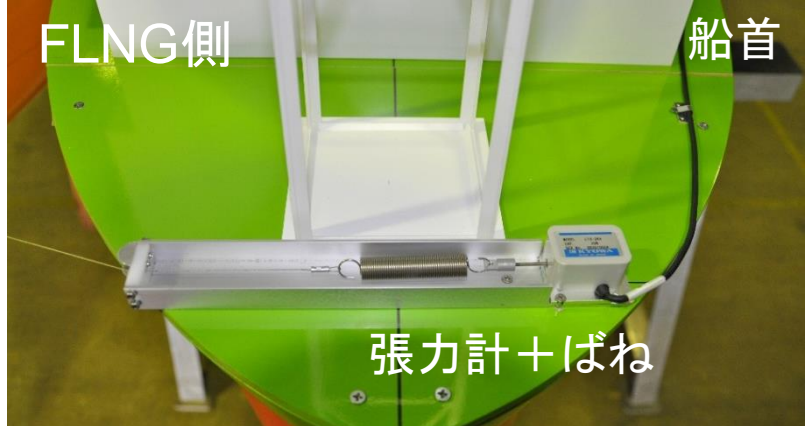
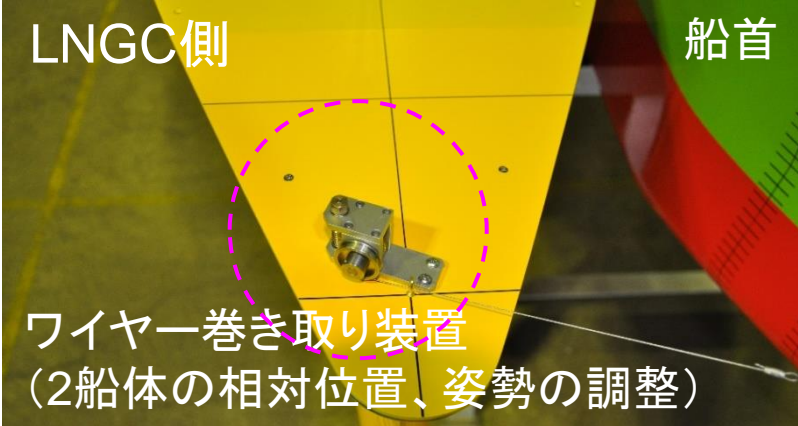
② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

● 水槽試験のセッティング

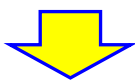


② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

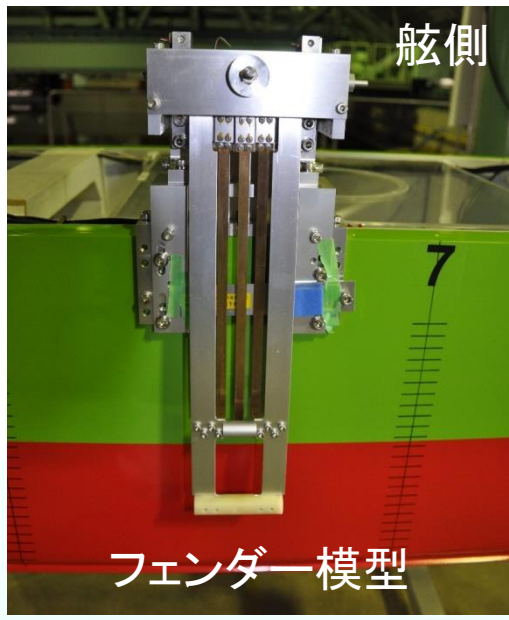
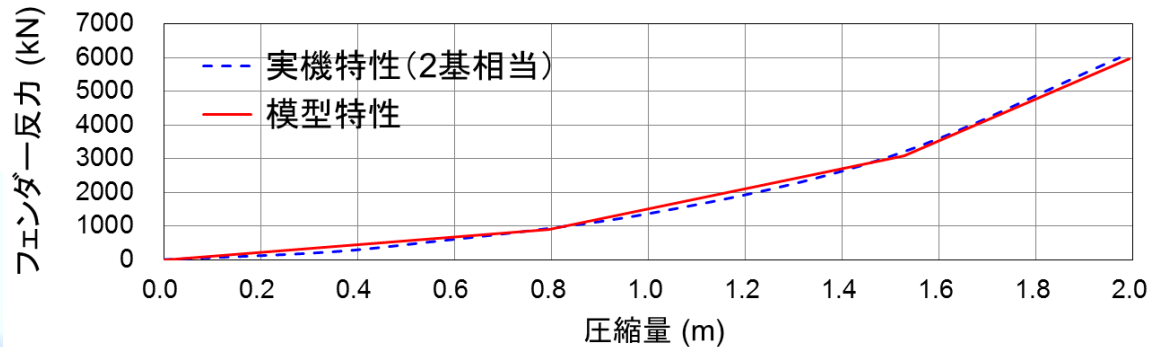
- $\Phi 90\text{mm}$ のTail Ropeと $\Phi 47.5\text{mm}$ のWire Ropeの組み合わせで16本の係船索を想定



- $\Phi 3.3\text{m} \times 6.5\text{m} \times 4$ 基の空気式フェンダーを想定



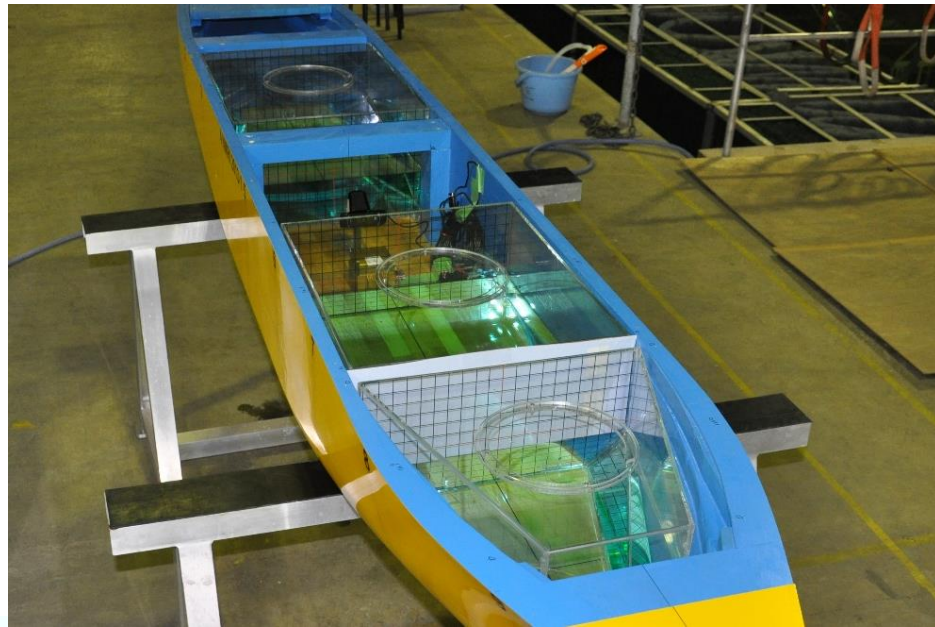
2基のフェンダーモデルで反力特性を模擬



② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

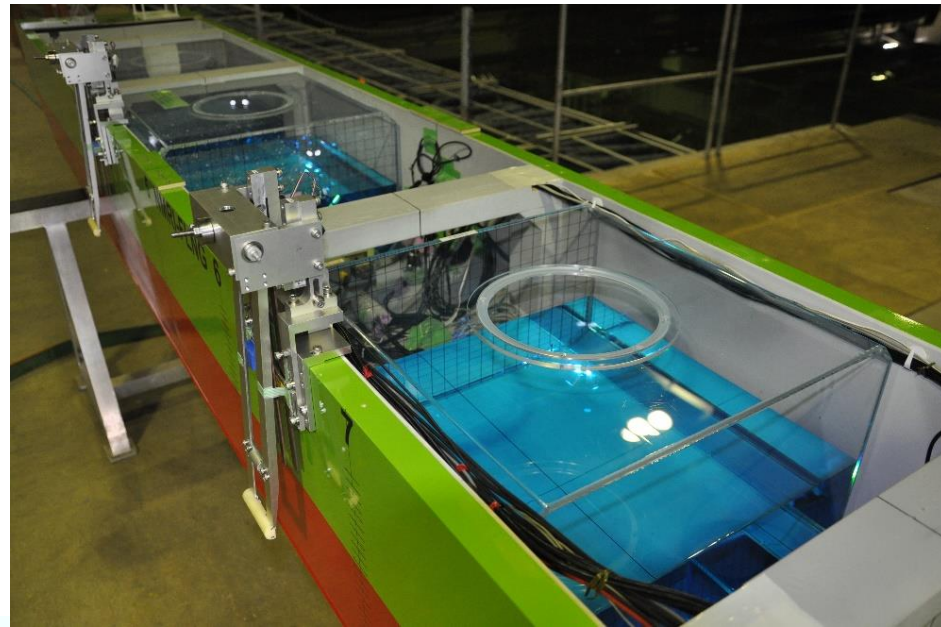
- 船内タンクに水を搭載し、観測しやすいように食紅で着色
- 遊動水影響を考慮しない場合は、高吸水性ポリマーを使用

LNGC側



タンク容量に対し**42%**の水を搭載

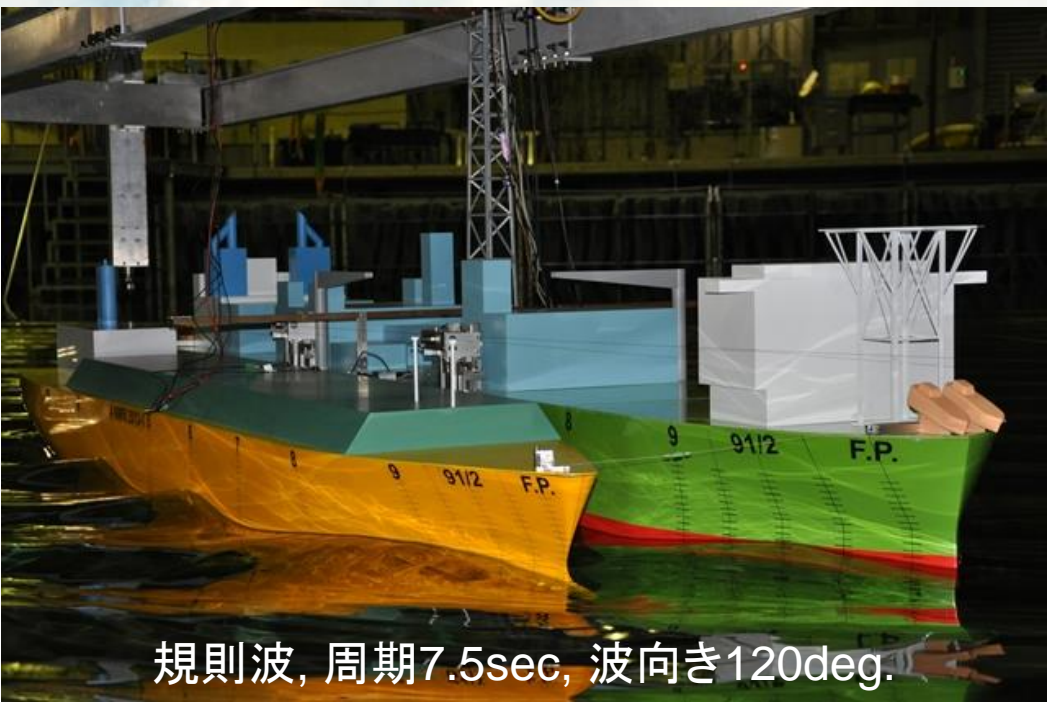
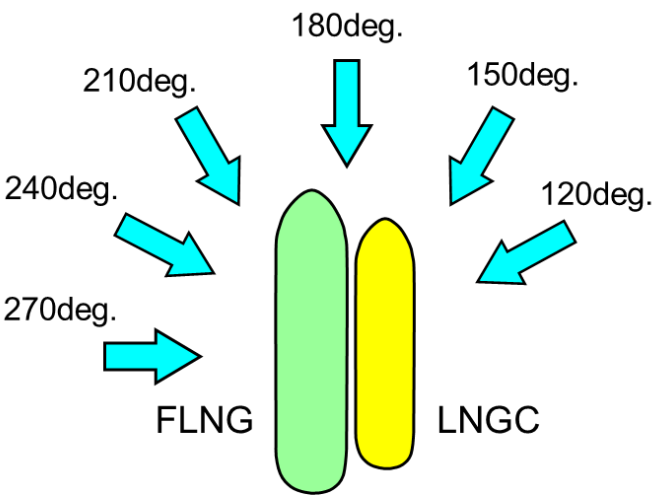
FLNG側



タンク容量に対し**46%**の水を搭載

② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

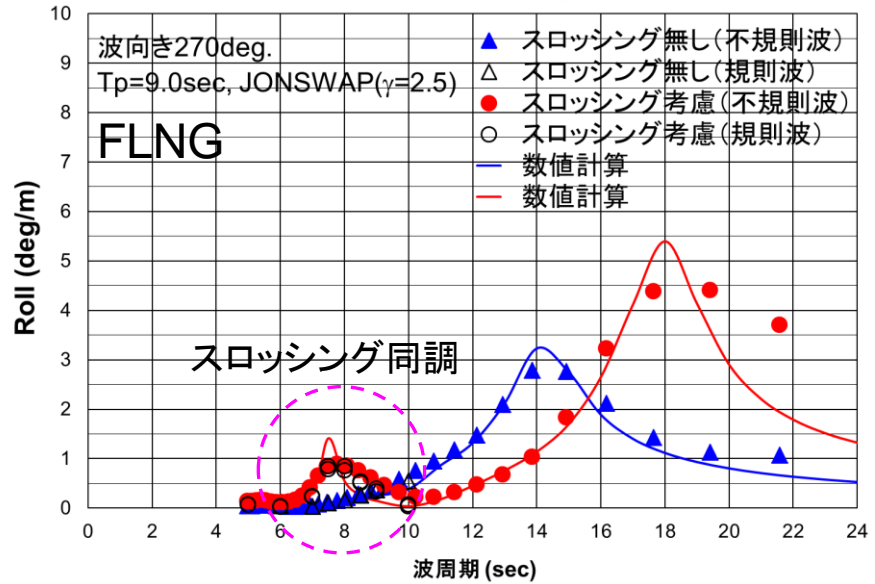
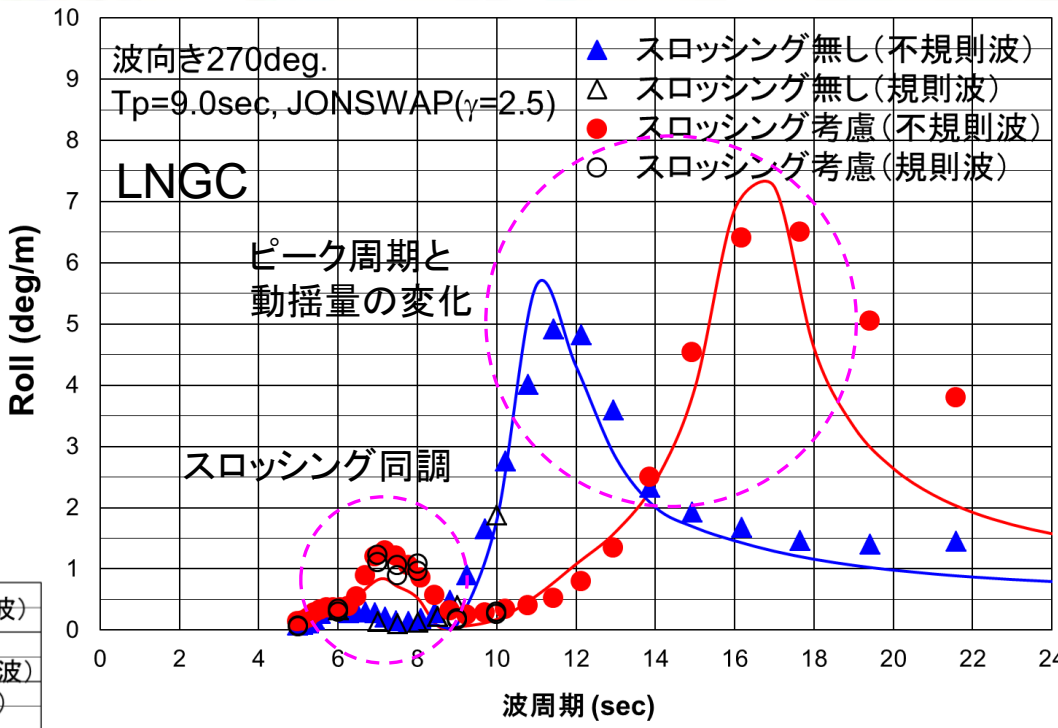
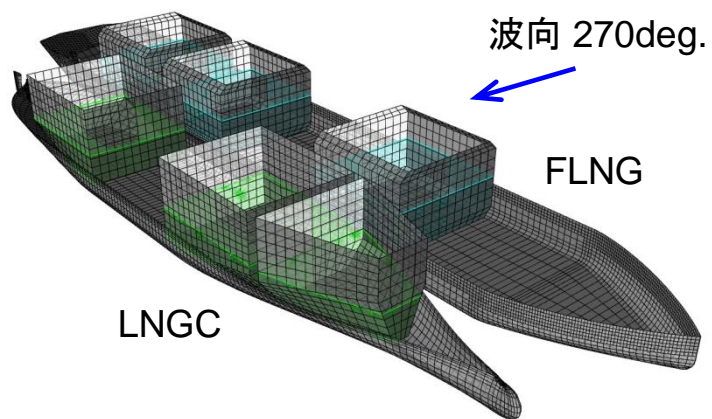
● 実験風景



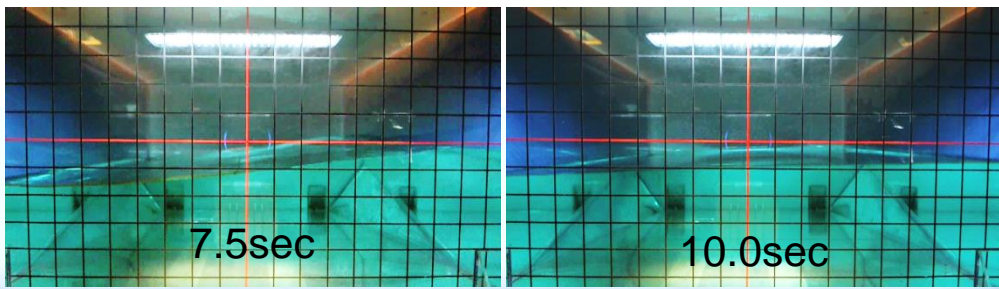
項目	試験条件 (※実機スケールで表記)
波高(m)	2.5
周期(sec)	規則波: 5.0, 6.0, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 10.0 不規則波: $T_p=7.5, 9.0$ (JONSWAP, $\gamma=2.5$)
波向き(deg.)	120, 150, 180, 210, 240, 270
船内タンク	スロッシング有り、無し

② 要素技術(環境外力の遮蔽影響、タンク内遊動水影響)

● スロッシングの有無による Roll応答の違い

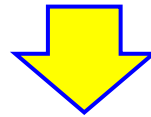


LNGCの船内タンク(規則波中)

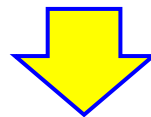


第4期中期計画における取り組み

- 本邦企業の海洋資源開発への進出において、設計・建造へのフィードフォワードが可能な**オペレーションを中心とした安全性・実現性評価技術の体系整備**



- タンク内スロッシング影響を考慮した全体システム(複数浮体・係留システム・ライザー・出荷装置等の一体システム)に対する安全性評価技術の開発
- タンク容量変化に伴うインベントリ評価を考慮した、Total Availability解析(**Sequential出荷ダウンタイム解析**)技術の開発



技術の蓄積

- 事業性の評価支援
- 安全ガイドラインの策定
- 我が国の海洋産業の発展、国際競争力強化に対する寄与

