



構造安全評価と 船上モニタリングシステム

国立研究開発法人 海上技術安全研究所
構造安全評価系長 有馬俊朗

1. **構造安全性と構造安全評価**
2. 次期中長期研究計画(2016～)
3. 構造安全評価のための先端的技術
4. 船上モニタリングシステム
5. 船上モニタリングシステムとビッグデータ
6. まとめ

構造安全性と構造強度評価



□ 構造安全性の分類

非損傷時	通常海象	構造部材が座屈、永久変形、亀裂等の損傷が生じない
	極限海象	重大事故に繋がる亀裂、崩壊等が生じない
損傷時	衝突、座礁、浸水等	重大事故に繋がる損傷範囲の拡大、崩壊等の事故の拡大が生じない

参考資料: 船体構造強度評価のための技術指針(NK)

□ 構造安全評価用の海象の分類

極限海象	回避することが出来ず遭遇する過酷な海象
通常海象	使用期間中に通常遭遇すると想定される海象

□ 構造安全性の確保

- 上記を適切に考慮した構造規則等に従った設計及び建造
- 船舶の使用期間を通して、適切な運航、保守及び検査による維持

構造安全性と構造強度評価



□ 構造安全評価用の強度要件

降伏強度	応力を弾性範囲内の適正なレベル以下に抑える 1) 永久変形防止 2) 疲労強度及び座屈強度に対する一次バリア 3) 極限海象等における余剰強度の確保
座屈強度	パネル及び柱等の弾性座屈、弾塑性座屈
疲労強度	疲労被害度、亀裂伝播解析
最終強度	縦曲げ最終強度（非損傷時） Smith法＋ローカル荷重及びホイットポングの影響
残存強度	損傷時（衝突、座礁等）の縦曲げ最終強度

□ 構造安全評価用の強度要件

	評価期間、海象等
降伏強度	通常海象（最大応答→最悪海象）
座屈強度	通常海象（最大応答→最悪海象）
疲労強度	通常海象（船舶の想定される使用期間）
最終強度	極限海象（縦強度）
残存強度	事故シナリオに対応する海象（縦強度）

□ 強度要件評価用のツール

- 規則算式（最終強度、縦強度、部材算式等）
- 直接強度計算（設計荷重作用下の有限要素解析）
- 直接荷重解析（NMRI-DESIGN等）
- 動的解析コード（LS-DYNA等）による崩壊解析

構造安全性と構造強度評価

□ 構造強度の体系

縦強度	船体を梁とみなした基本的な強度
主要構造強度	直接強度計算等で確認される主要部材の強度
ローカル強度	規則算式等で確認される強度

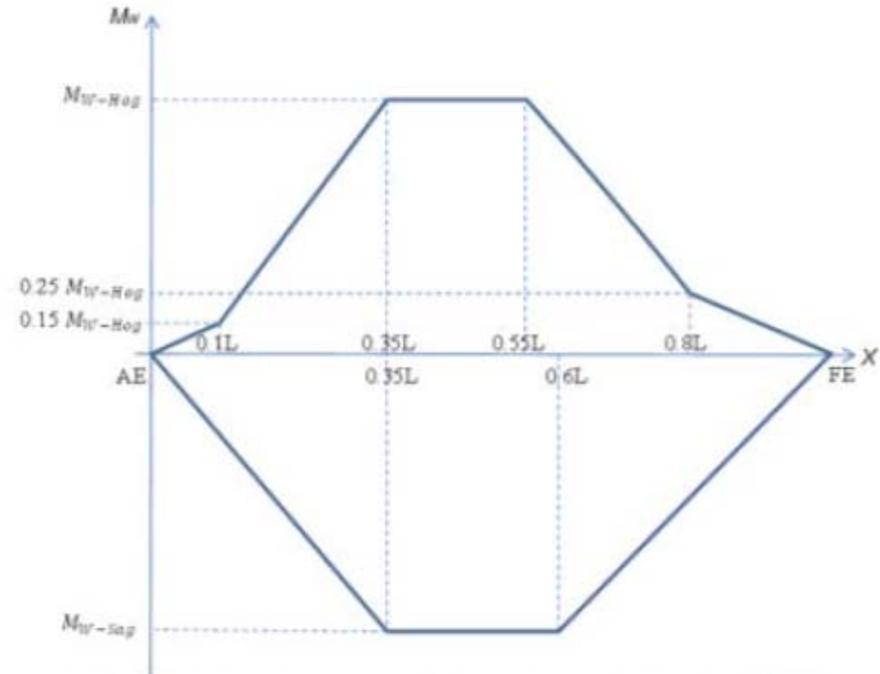
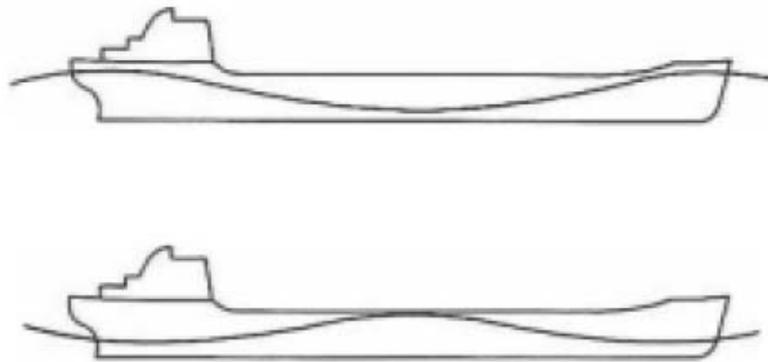
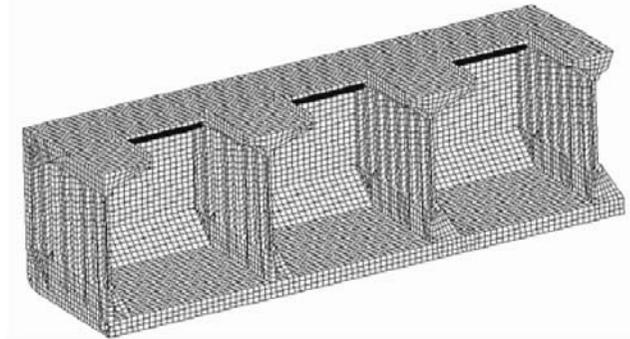
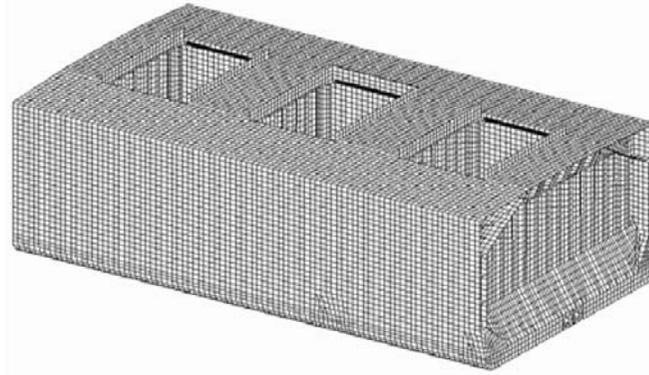
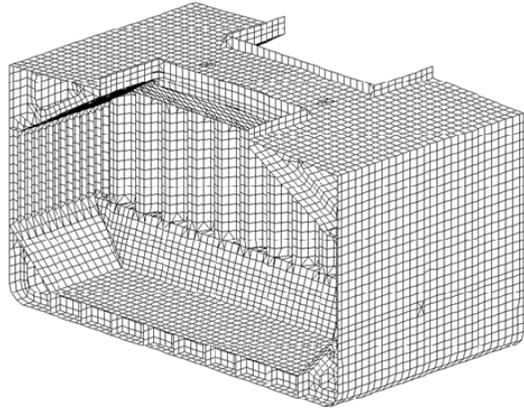


Figure 6: Distribution of vertical wave bending moment M_w along the ship length

(参考): IACS UR S11Aに規定されるVWBMの船長方向分布

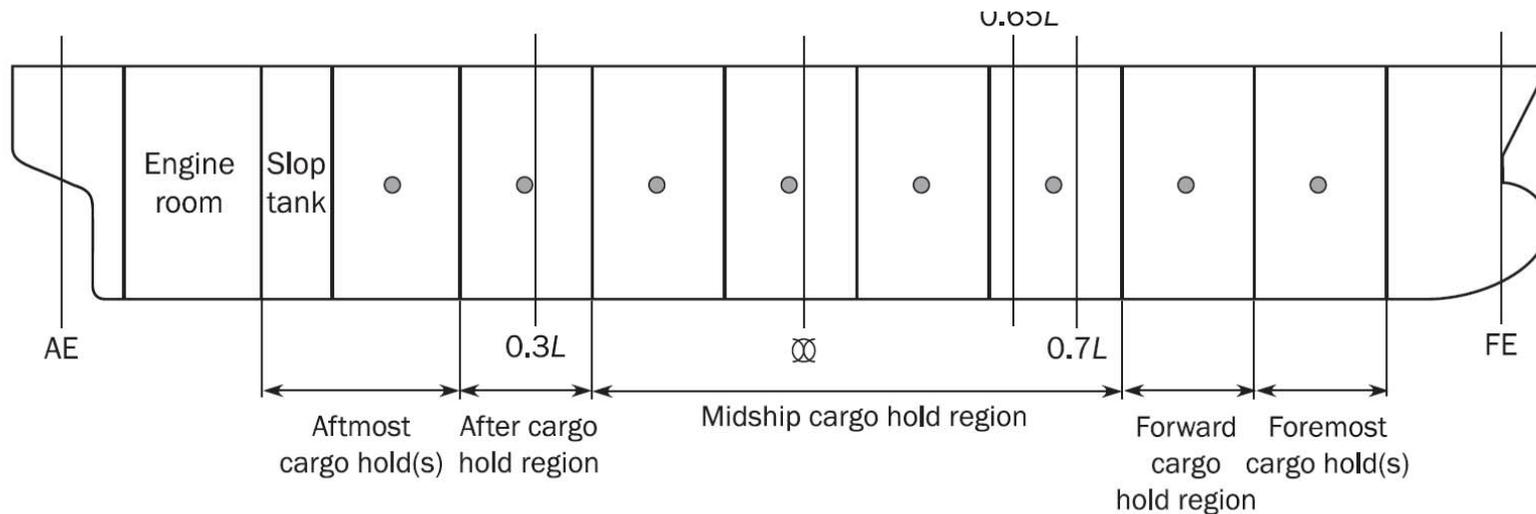
構造安全性と構造強度評価



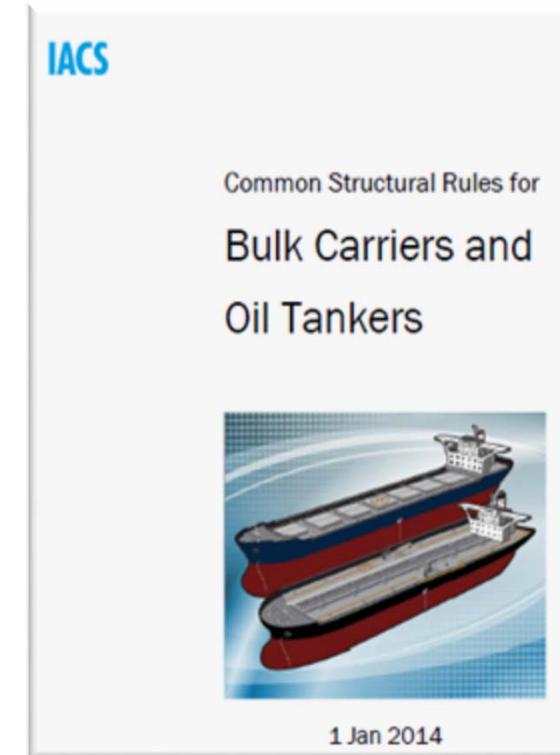
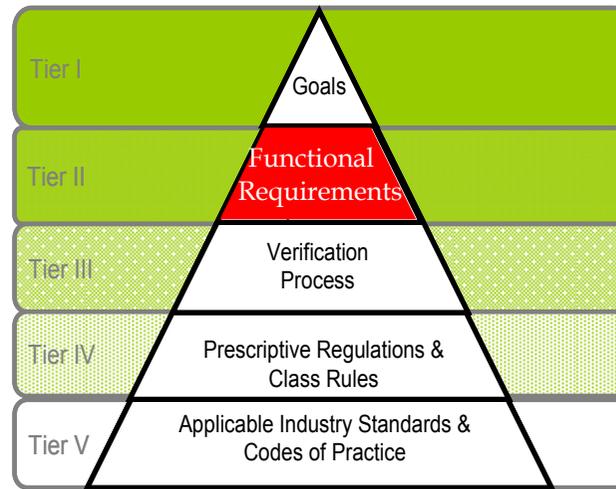
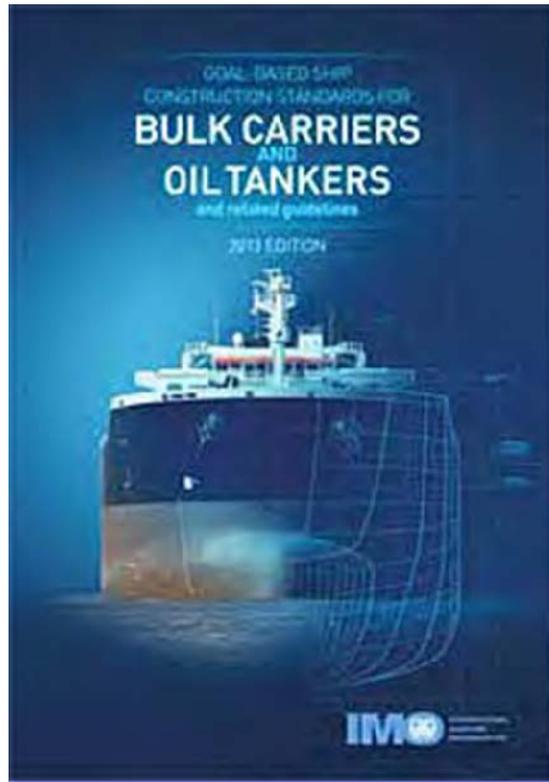
直接強度解析用ホールモデルの例1
(出典: 船体構造強度評価のための技術指針)

直接強度解析用ホールモデルの例2
(出典: IACS CSR for BCの7章付録1)

直接強度計算用の貨物倉ホールの定義
(出典: IACS CSR for BC and OTの一部7章2節)



構造安全性と構造強度評価



Design

1. 設計寿命
2. 環境条件
3. 構造強度
4. 疲労強度
5. 残存強度

6. 防食
7. 構造冗長性
8. 水密性等
9. 人的要因の考慮

Construction

10. 設計透明性
11. 建造品質手順
12. 製造中検査

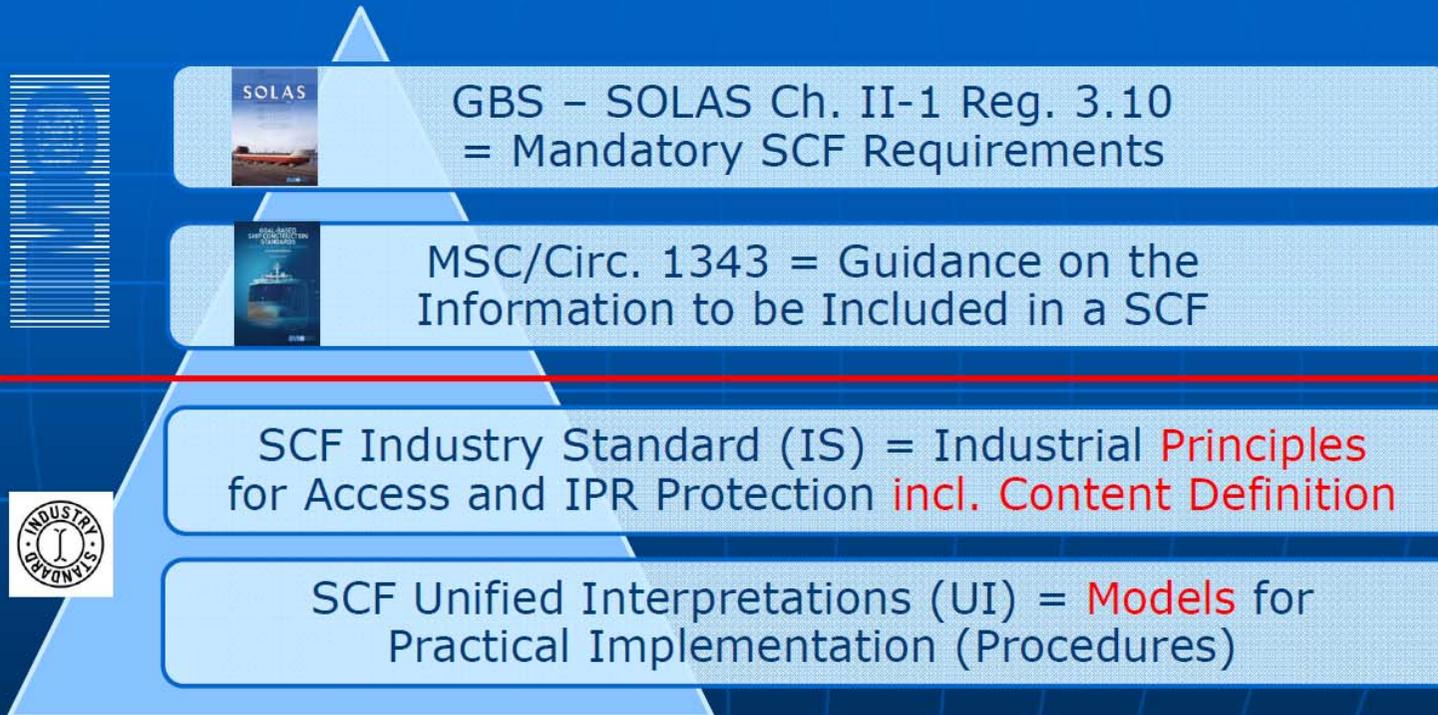
In service consideration

13. 検査及び保守
14. 構造へのアクセス

Recycling consideration

15. リサイクリング

Four Tier Structure of SCF Provisions



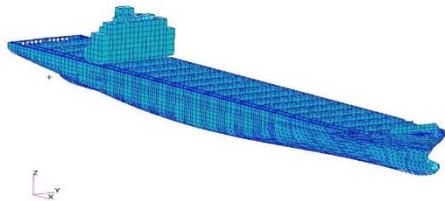
- IS defines principles that should be noted by IMO (MSC 96)
- UI provide technical details for Archive Centers / SCF users

構造安全性と構造強度評価

大型コンテナ船の構造安全性確保

① IACS UR S34: 荷重ケースに関する機能要件

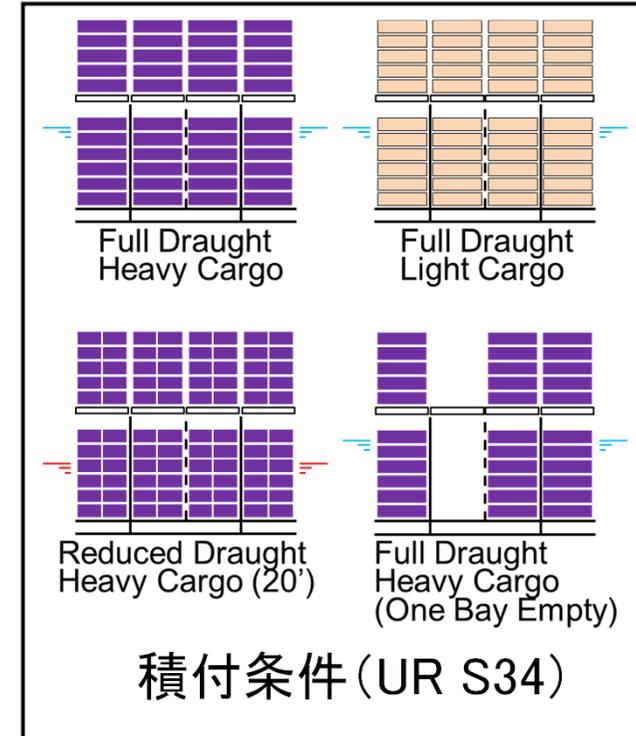
1) グローバル解析



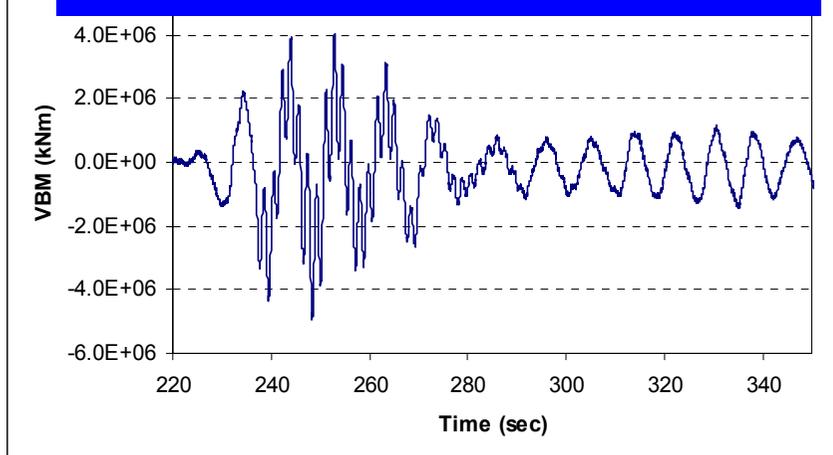
荷重: SWVB, SWT,
WVB, WHB, WT
(北大西洋)

2) ホールド解析

荷重: SWVB, WVB, 水圧, コンテナ荷重,
動的荷重 + 積付条件(右図)



ホッピング発生時のVBMの時系列



② IACS UR S11A:

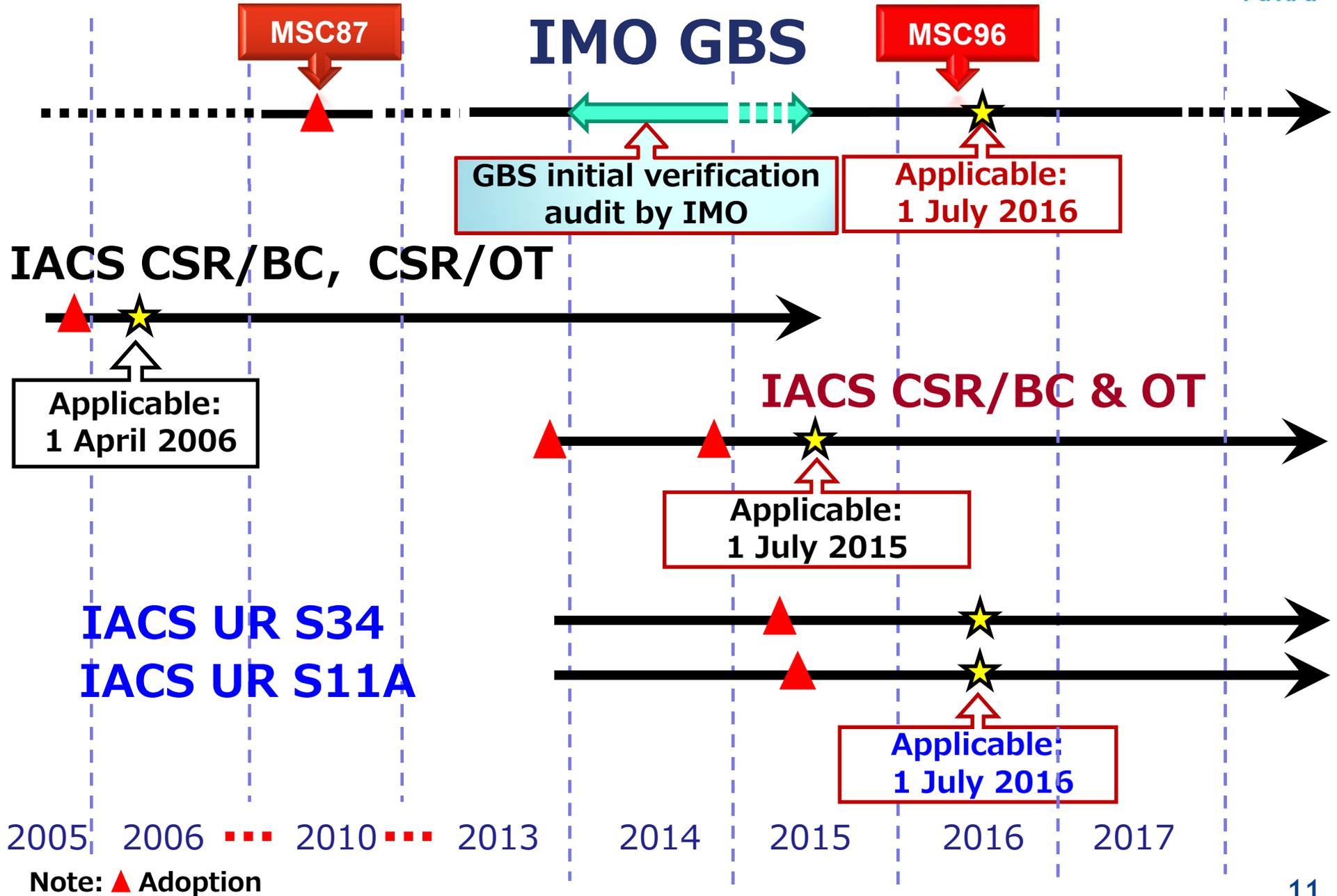
コンテナ船の縦強度基準

- 1) ホッピング影響を考慮した縦曲げ最終強度評価を要求

③ IACS UR S33 – 極厚板の使用要件

④ IACS UR W31 – YP47鋼の要件

構造安全性と構造強度評価



構造安全性と構造強度評価

2段階法による応力時刻歴シミュレーション

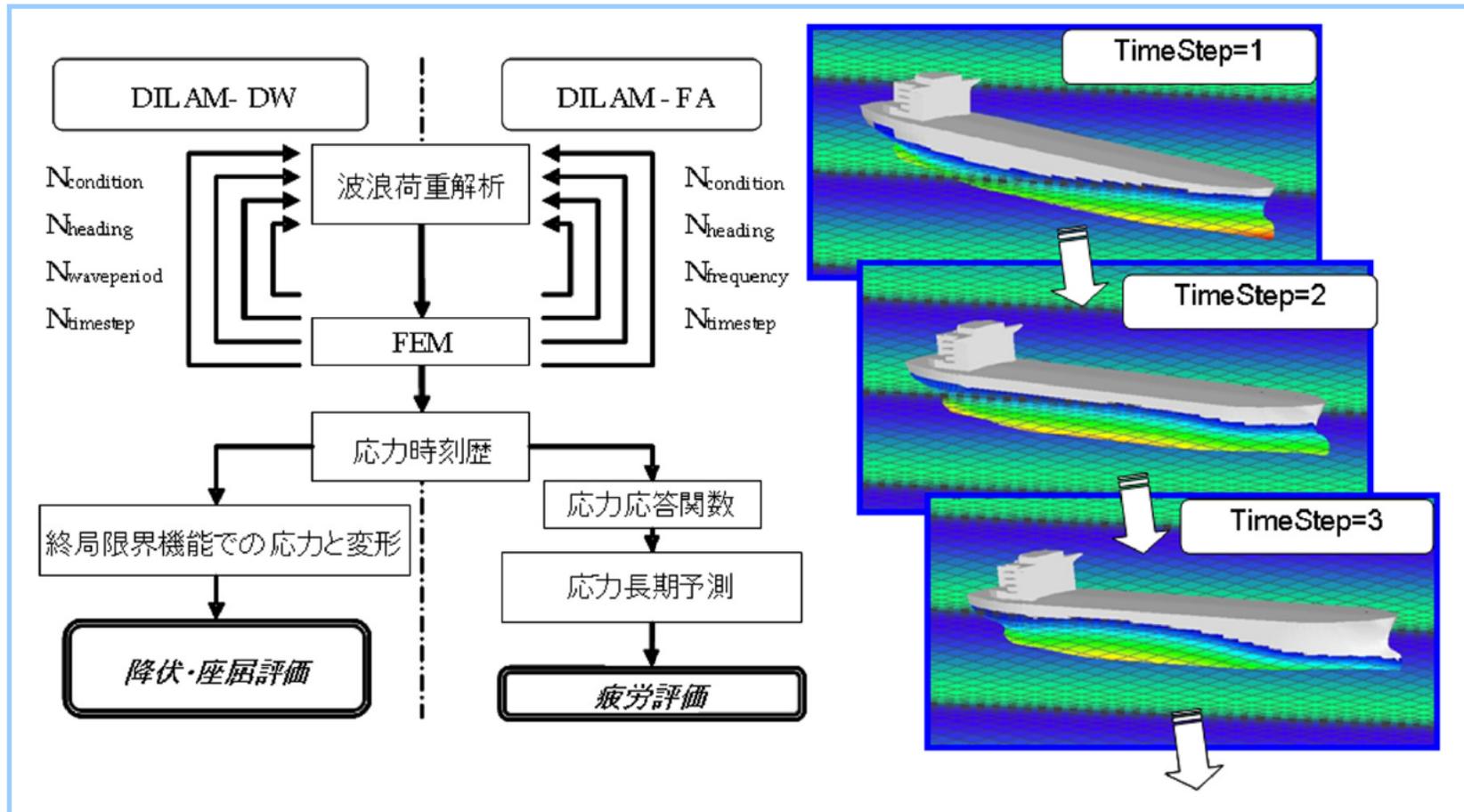
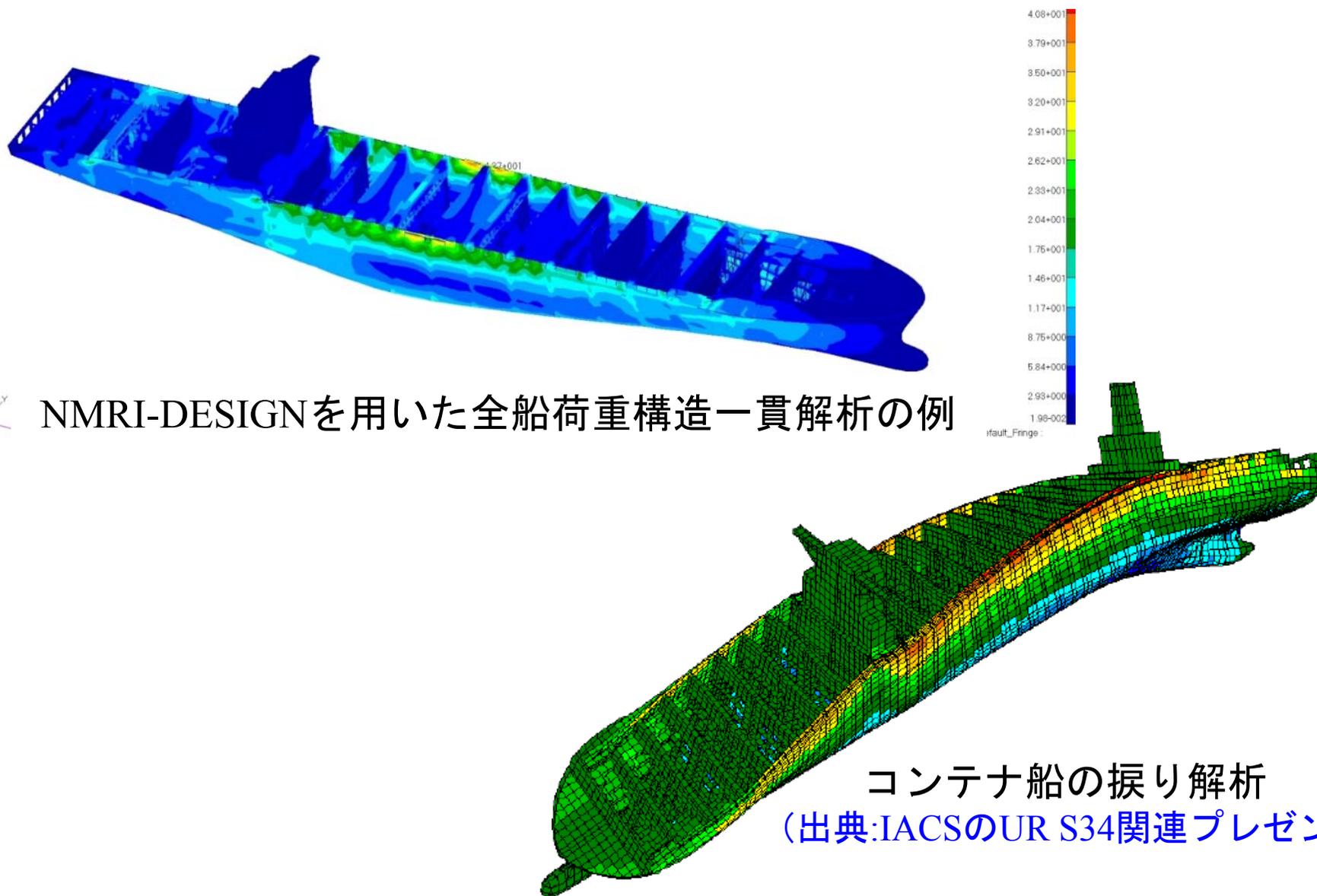


図3 MHI-DILAM のイメージ

出典) K. Sato, 最先端構造解析プログラムMHI-DILAM

—大型船舶・海洋構造物への適用—, 三菱重工技報 Vol.47 No.3 (2010)

構造安全性と構造強度評価



NMRI-DESIGNを用いた全船荷重構造一貫解析の例

コンテナ船の振り解析
(出典:IACSのUR S34関連プレゼン)

構造安全評価と船上モニタリングシステム

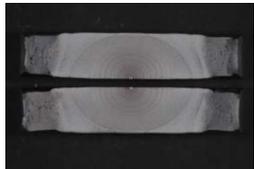
1. 構造安全性と構造安全評価
2. 次期中長期研究計画(2016～)
3. 構造安全評価のための先端的技術
4. 船上モニタリングシステム
5. 船上モニタリングシステムとビッグデータ
6. まとめ

次期中長期研究計画（2016～）

- **重点1**：先進的な船舶の荷重・構造強度評価手法に必要な評価システムの開発及び新構造基準案の作成に関する研究

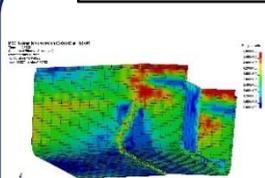
①最先端の構造強度評価トータルシステムの開発

③最先端の疲労強度評価技術の開発



- 二軸荷重条件下の疲労き裂成長評価技術の開発
- き裂成長則の知見を統合した疲労強度評価法の開発

④最先端の最終強度評価法の開発



- 極限海象下での船体弾性応答計測技術の開発
- 流体・構造連成を考慮した波浪衝撃荷重推定法の開発
- 繰り返し荷重を受ける船体桁の最終強度評価手法の開発

⑤リスク・信頼性ベースのALS設計手法の開発

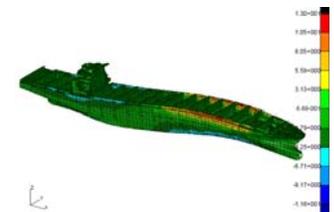


- リスク及び信頼性ベースALS設計手法の開発
- Multi-physicsを考慮した事故限界状態の構造安全性評価手法の構築

②最先端の荷重解析システムの開発

● 全船荷重・構造一貫解析システムの高度化

- 海象をパラメータに、荷重及び強度の短期応答を実用的な工数で解析可能
- 長期応答も評価



● 直接荷重解析等用の設計海象設定手法の開発

- 最悪海象(通常海象中の最大応答)
- 極限海象

次期中長期研究計画（2016～）

重点2：先進的な船舶の荷重・構造強度評価手法と連携する船体構造モニタリングシステムの開発に関する研究

- (1) 船体構造モニタリングシステムの開発
 - 1. 運航・性能モニタリングシステム等の一部として統合出来るシステム
 - 2. 安全性の観点からの減速及び変針等の操船判断の支援機能
- (2) 蓄積された実船計測データの活用

船体構造モニタリングシステム

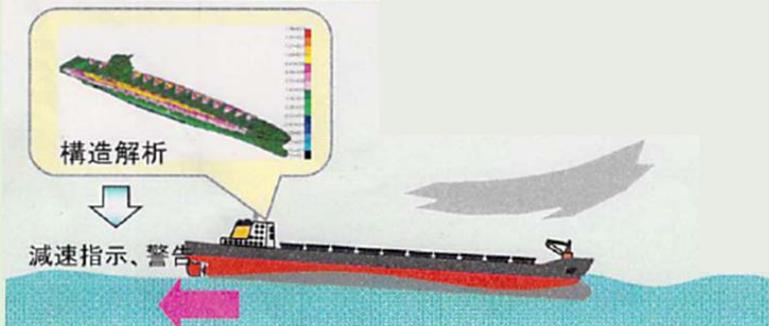
実船計測データ活用システム

IMO/ISO基準・ガイドライン等を提案
(普及&標準化用任意ガイドライン)

効率的な保守、管理
及び検査の実施

構造強度評価手法、
規則へフィードバック

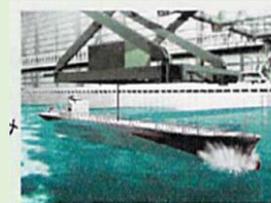
海難事故防止



組み込み

フィードバック
(設計海象等)

重点①-1
構造強度評価手法



極限海象時の強度評価

疲労
強度
評価
手法

構造安全評価と船上モニタリングシステム

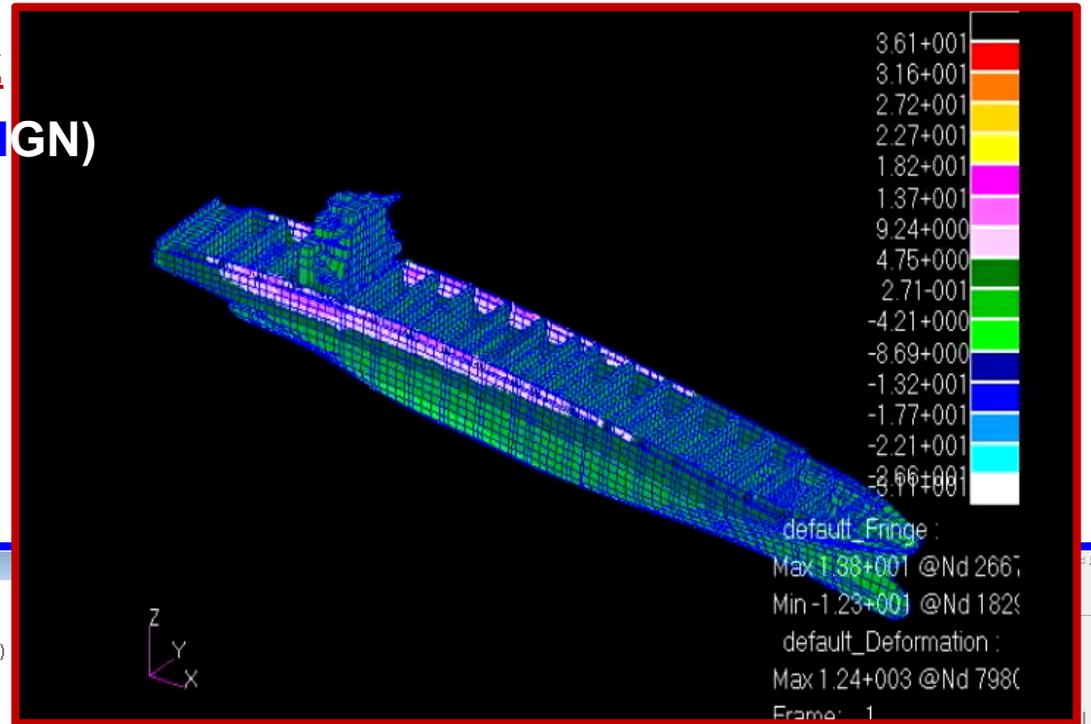
1. 構造安全性と構造安全評価
2. 次期中長期研究計画(2016～)
3. 構造安全評価のための先端的技術
4. 船上モニタリングシステム
5. 船上モニタリングシステムとビッグデータ
6. まとめ

構造安全評価のための先端的技術

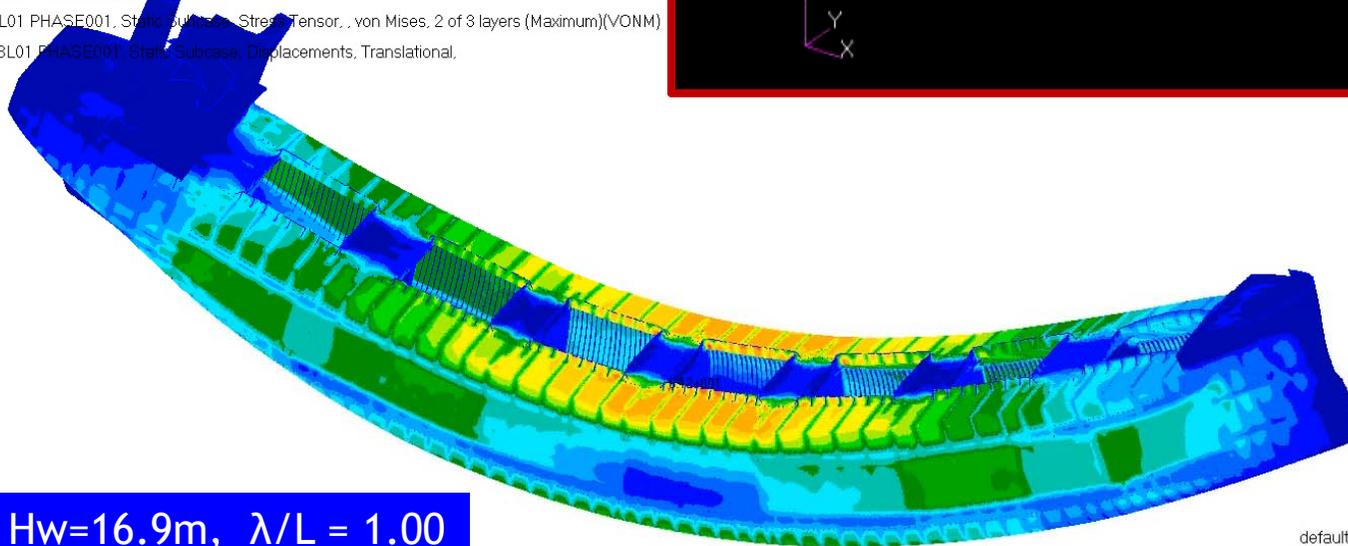


•コンテナ船の非線形時刻歴シミュレーション(NMRI-DESIGN)

- ✓ NMRIW(非線形時刻歴スリップ法)
- ✓ 2段階解法
- ✓ $F_n = 0.219$, $H_w = 5m$, $\lambda/L = 0.7$,
- ✓ $\chi = 120deg$ (斜向波)



1021.db - default_viewport - default_group - Entity
Patran 2011 64-Bit 11-Dec-13 15:26:57 12-002
Fringe: CAI01 RBL01 PHASE001, Static Subcase, Stress Tensor, von Mises, 2 of 3 layers (Maximum)(VONM)
Deform: CAI01 RBL01 PHASE001, Static Subcase, Displacements, Translational.



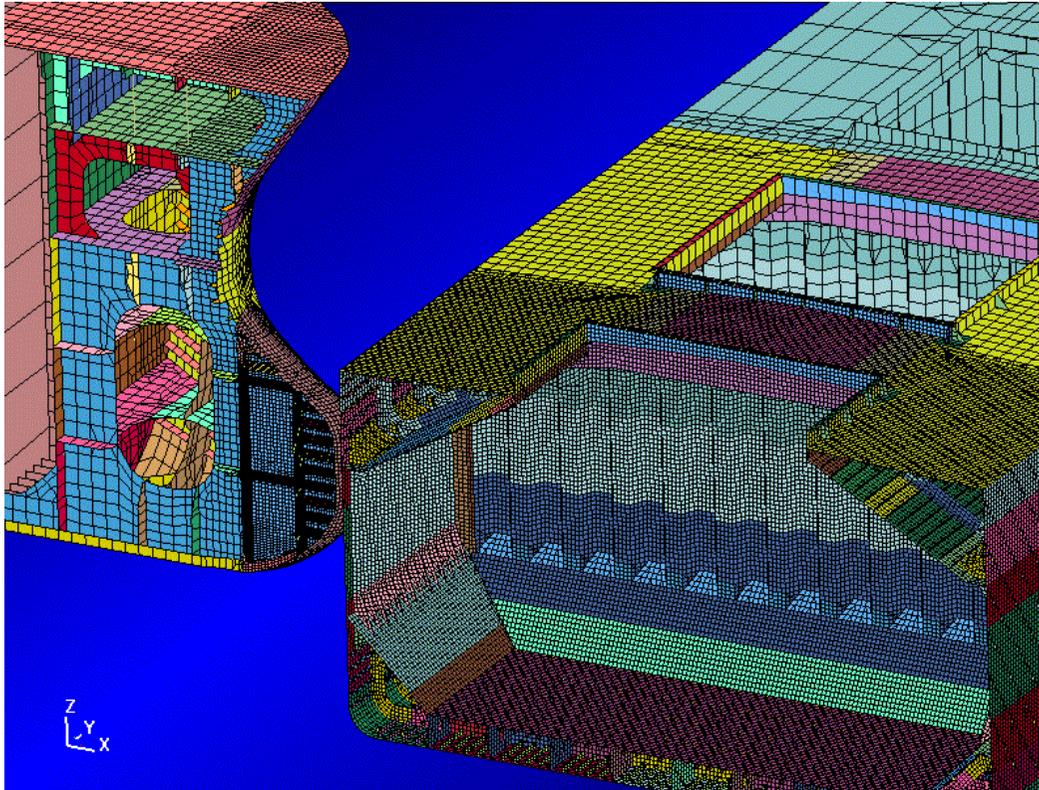
追波 $H_w=16.9m$, $\lambda/L = 1.00$

•BCの非線形時刻歴シミュレーション

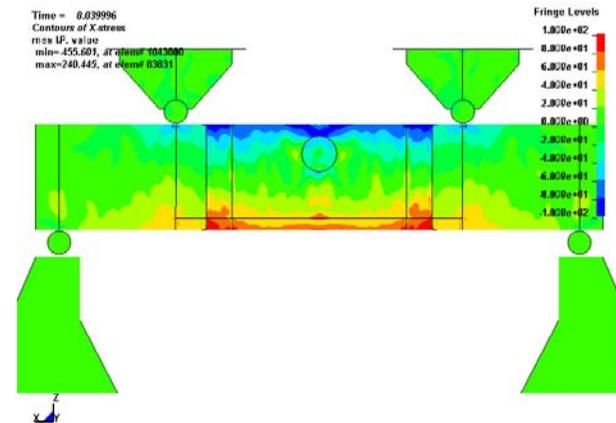
構造安全評価のための先端的技術



船舶の非線形衝突シミュレーション



衝突損傷を想定したハルガーダ一船舶模型の4点曲げ試験



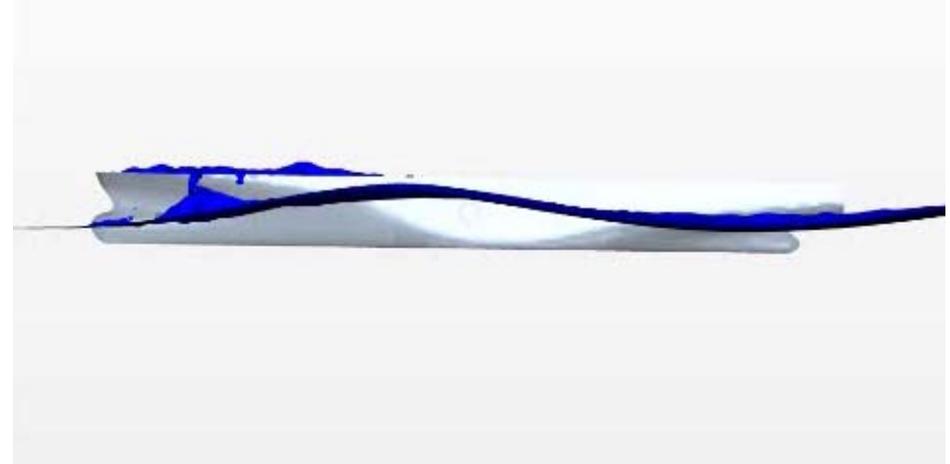
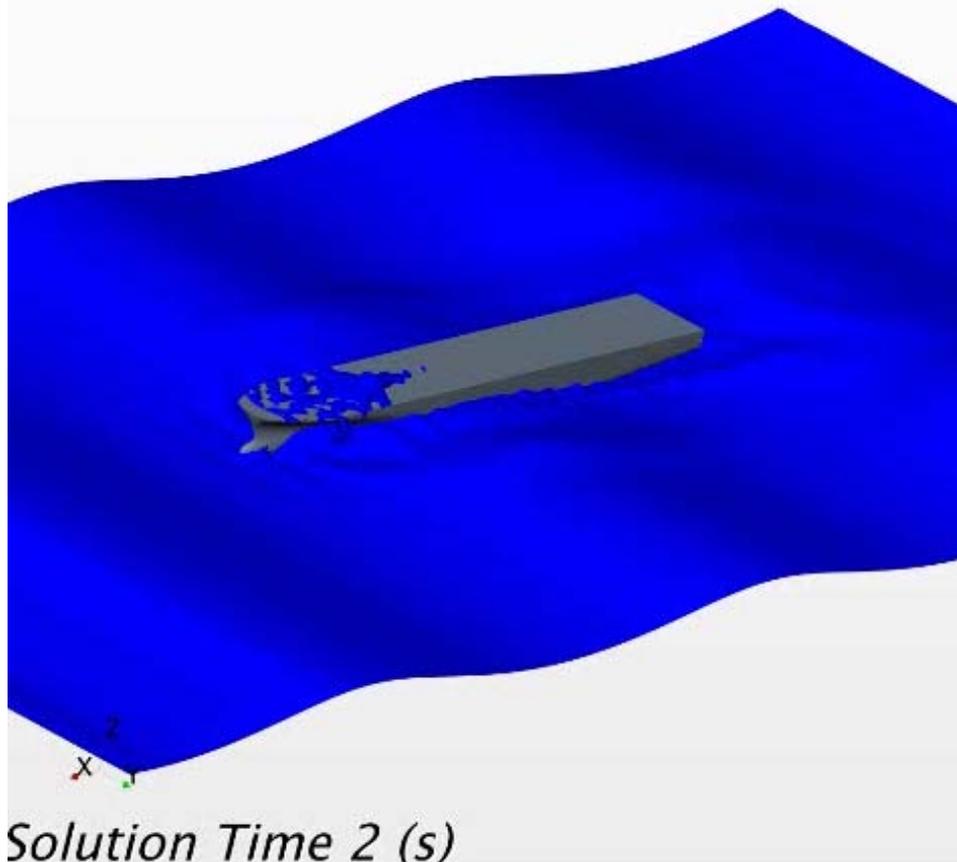
4点曲げ模型試験の解析検証

- 船舶の耐衝突強度評価
- 高延性新材料による耐衝突強度向上に関する研究
- 衝突・座礁後のハルガーダ残余強度
- 模型実験による崩壊メカニズムの解明
- 数値計算法（FEA・簡易解析法）の妥当性検証

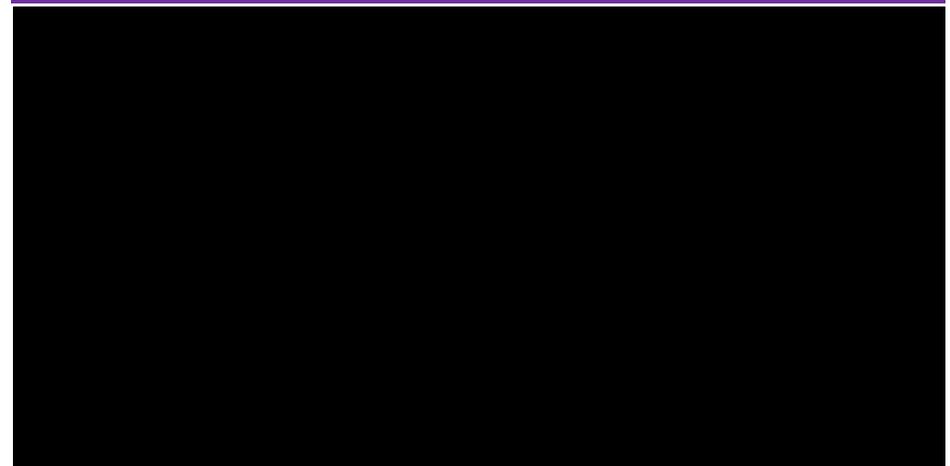
構造安全評価のための先端的技術

- STAR-CCM+ と LS-DYNAの連成シミュレーション
(連成を可能とするソフトは海技研独自開発)

コンテナ船



LS-DYNA構造応答評価結果



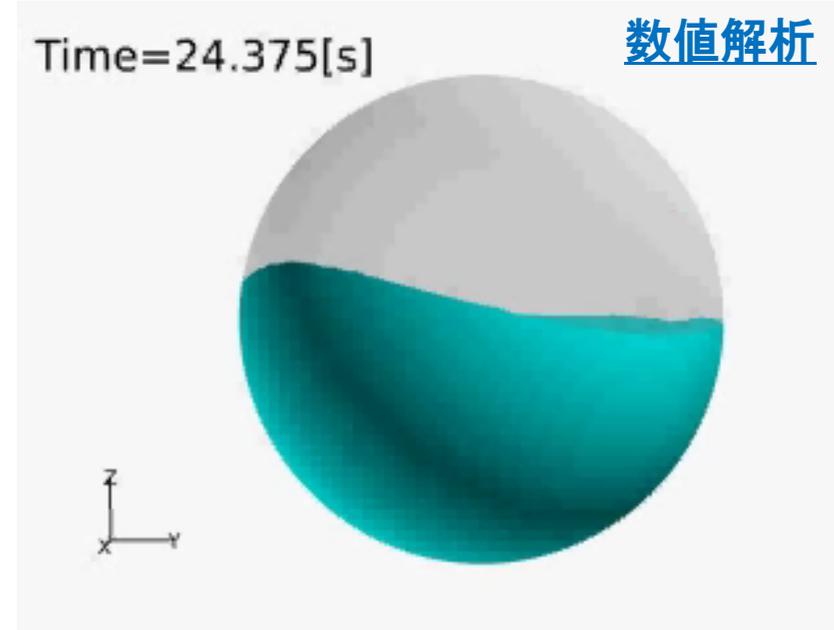
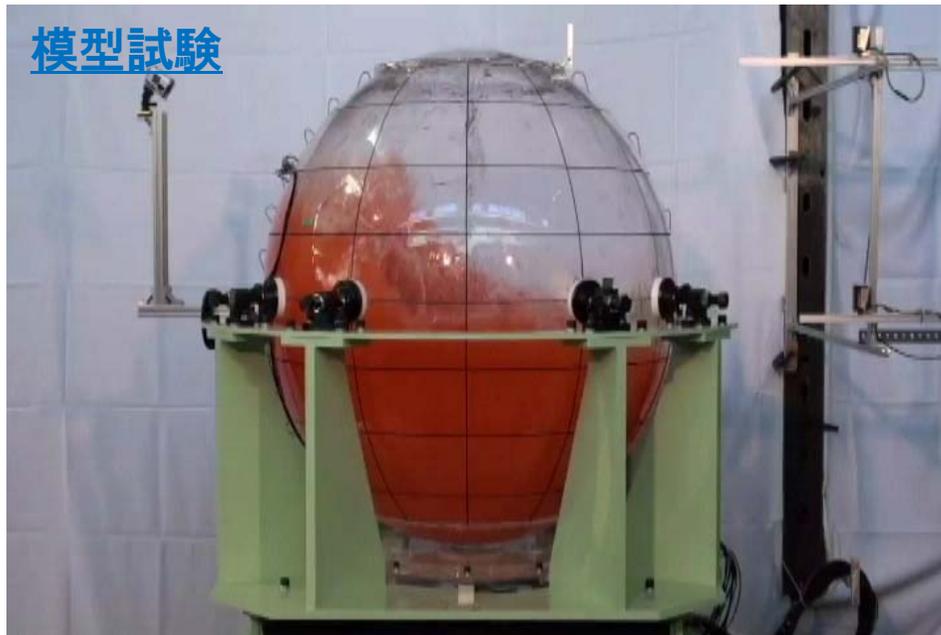
構造安全評価のための先端的技術



- スロッシング 及び スワリング現象の実験とシミュレーション



(出典: 川崎重工業Home Page)



液位50% (動揺変位40mm, 動揺周期1.3sec.)

構造安全評価と船上モニタリングシステム

1. 構造安全性と構造安全評価
2. 次期中長期研究計画(2016～)
3. 構造安全評価のための先端的技術
4. 船上モニタリングシステム
5. 船上モニタリングシステムとビッグデータ
6. まとめ

船上モニタリングシステム

LNG船の船体応力モニタリングシステムの例

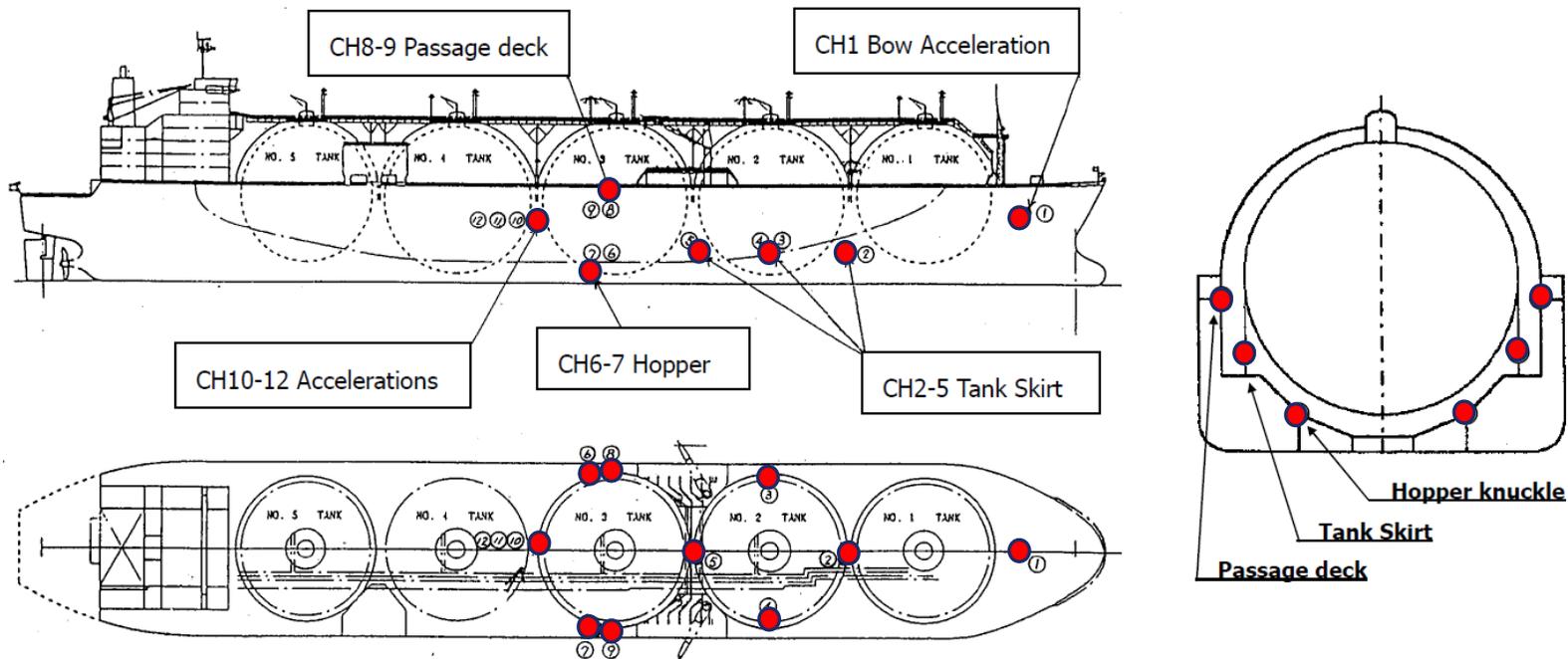
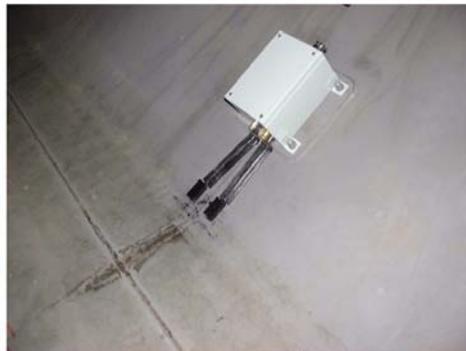


Figure 3 General arrangement of LNG JAMAL and location of sensors



a) Strain gauge on hopper knuckle



b) Long-base strain meter below upper deck

- a) Measured data (Channels)
- | | |
|-------------|--|
| CH-1 | Vertical acceleration in bow |
| CH-2 to 5 | Stress on tank skirt (port/starboard/fore/aft) |
| CH-6 to 7 | Stress on hopper knuckle (port/starboard) |
| CH-8 | Stress on passage deck (port) |
| CH-9 | Stress on passage deck (starboard) |
| CH-10 to 12 | Acceleration at midship (vertical/transverse/longitudinal) |

Figure 4 Fitting of sensors during construction

船上モニタリングシステム

大型コンテナ船の船体応力モニタリングシステム

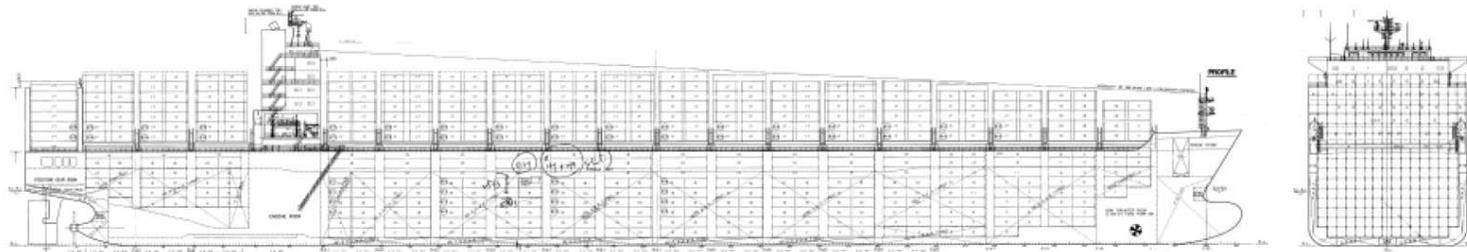


Figure 1 Profile and plan view and of MV OOCL Europe 8063 TEU Container Carrier

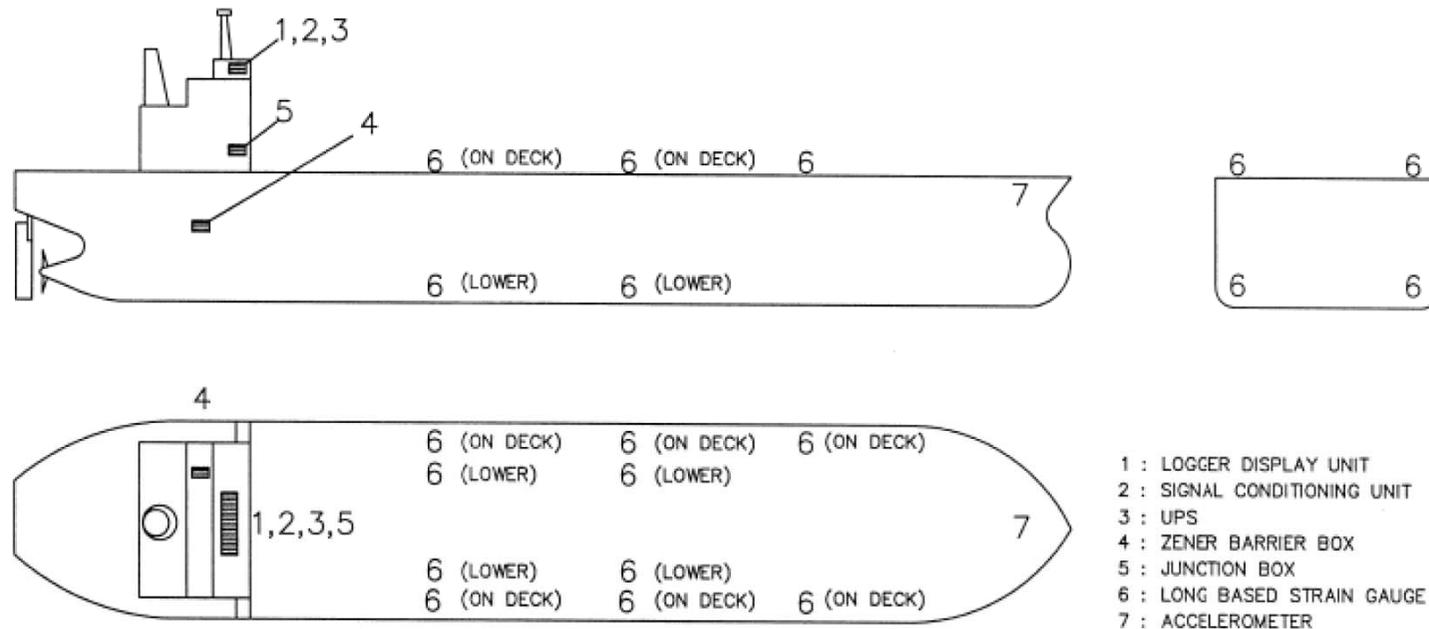
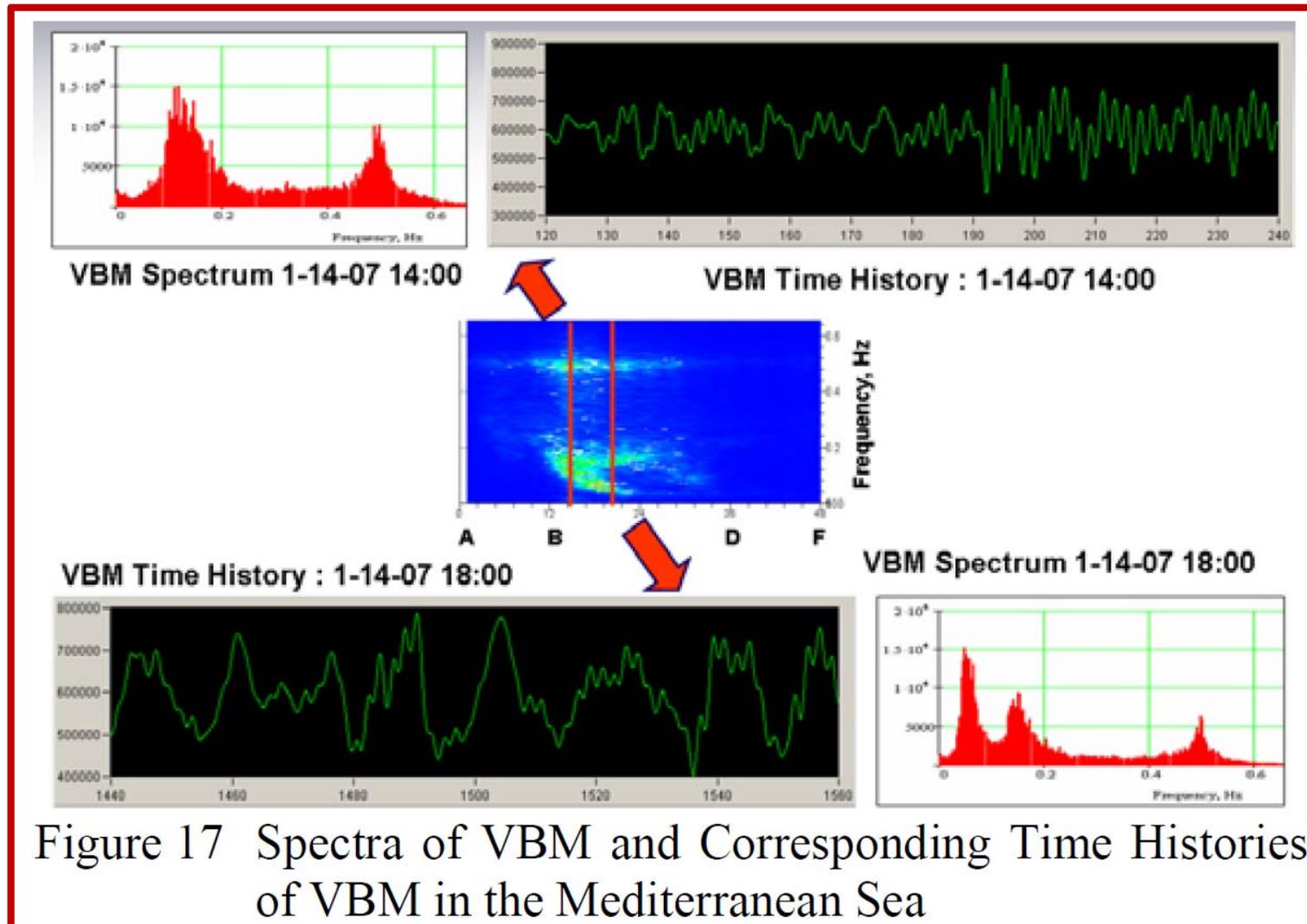


Figure 2 Arrangement of long base strain gauges for Hull Stress Monitoring System installed on the test vessel

出典: SMTC-074-2008 (H.C. Yu etc., Full Scale Measurement of Large Container Carrier on Far East - Europe Route)

船上モニタリングシステム

- 大型コンテナ船の船体応力モニタリングシステムの計測結果



出典: SMTC-074-2008 (H.C. Yu etc., Full Scale Measurement of Large Container Carrier on Far East - Europe Route)

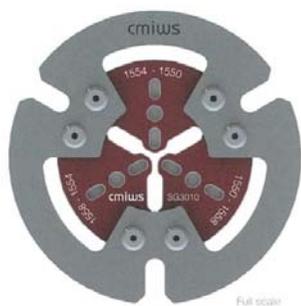
船上モニタリングシステム

- 変位、応力計測用センサー等

Long-base strain meter



出典: Gastech 2005 (K. Sato, Long-term Fatigue Monitoring For LNG Carrier)



優れた伸縮性能
光ロゼットゲージ | sg3000



出典: CIMUS社カタログ

光学ストランド

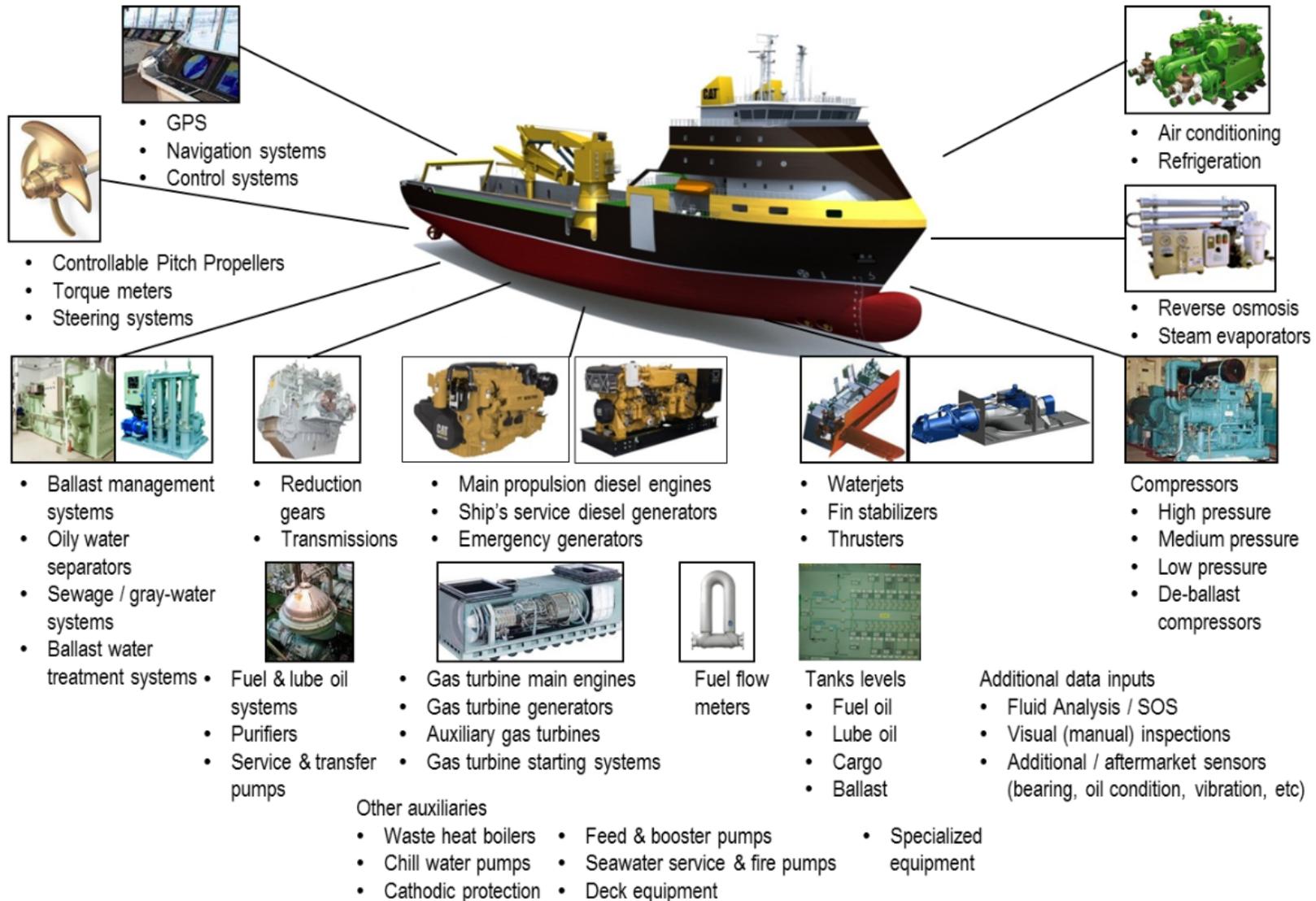


出典: OSMOS技術協会
<http://www.osmos.jp/technology/product/index.html>

船上モニタリングシステム



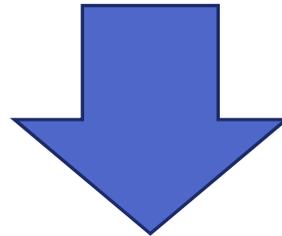
ASSET INTELLIGENCE MONITORS AND ANALYZES A WIDE VARIETY OF EQUIPMENT



- ISSC2015の「構造設計法に関する委員会IV.2」の報告PPTから抜粋
- **Structural Lifecycle Management (SLM)** may require extensive data transfer but standards remain fragmented
 - Navies are developing in-house standards
 - ✓ **HCM - Hull Condition Monitoring 2.0** standard for hull data
 - No clear standard yet
- **Structural health monitoring** currently is a double-edge sword for SLM
 - Can monitor many parameters (temperature, strain, water properties, magnetic tests etc.)
 - How to fuse with models to make better decisions?
 - Data to decision challenge
 - Active research, but slow progress in this field

船上モニタリングシステム

- 運航支援用の船上モニタリングシステム
- 性能評価用の船上モニタリングシステム
- 船体構造強度用の船上モニタリングシステム

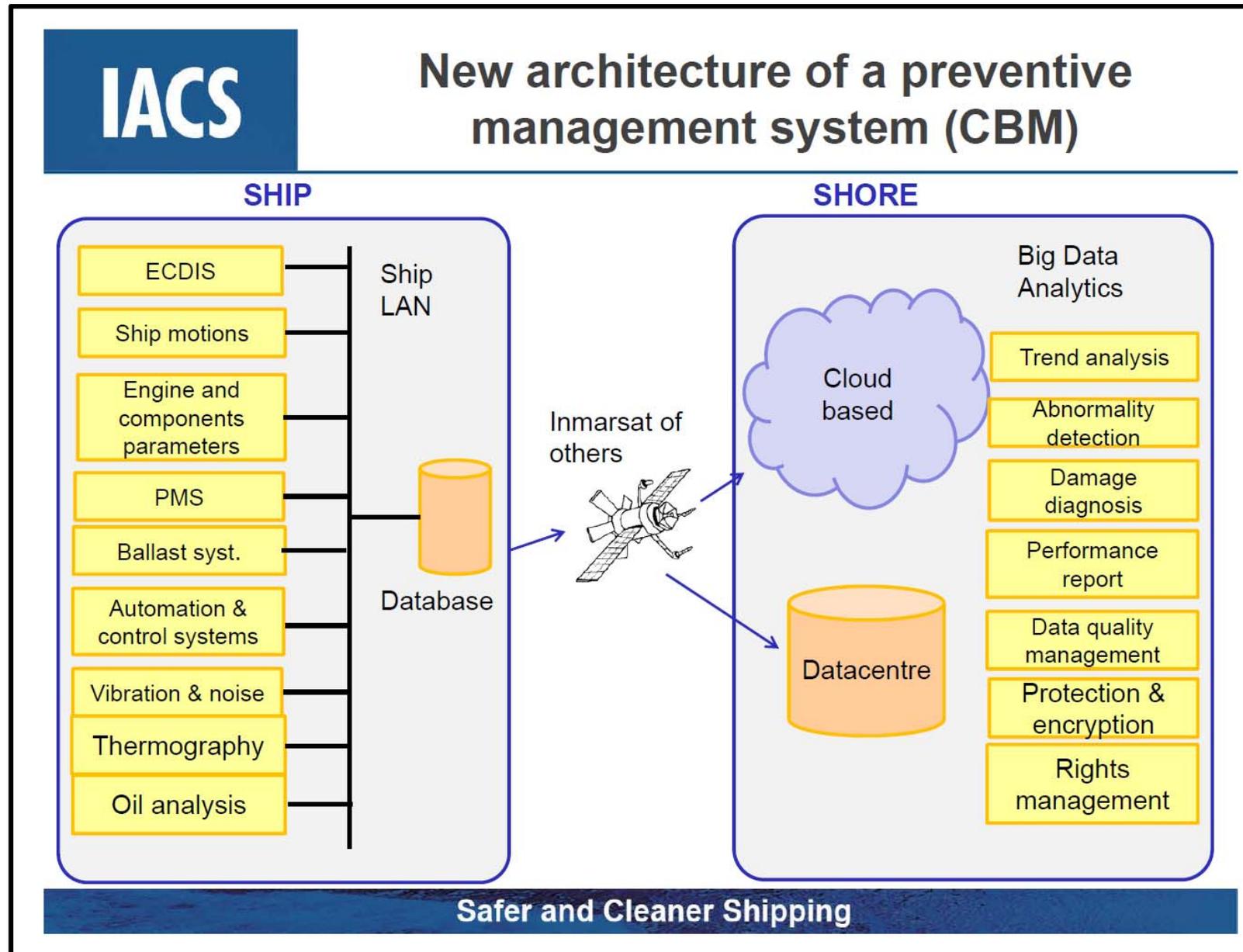


統合型船上モニタリングシステム

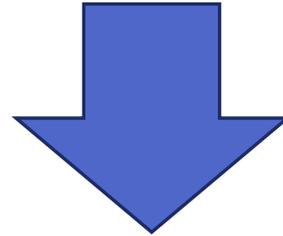
構造安全評価と船上モニタリングシステム

1. 構造安全性と構造安全評価
2. 次期中長期研究計画(2016～)
3. 構造安全評価のための先端的技術
4. 船上モニタリングシステム
5. 船上モニタリングシステムとビッグデータ
6. まとめ

船上モニタリングシステムとビッグデータ



統合型船上モニタリングシステム



ビッグデータ及びその利用技術の活用

- ➡ 構造強度評価技術の検証
- ➡ 船舶の検査・保守へのフィードバック
- ➡ 構造強度評価基準・規則の開発・検証
- ➡ 荒天回避に資する運航支援機能の開発

構造安全評価と船上モニタリングシステム

1. 構造安全性と構造安全評価
2. 次期中長期研究計画(2016～)
3. 構造安全評価のための先端的技術
4. 船上モニタリングシステム
5. 船上モニタリングシステムとビッグデータ
6. **まとめ**

構造安全評価と船上モニタリングシステム

- ① 構造安全性と構造安全評価手法と技術を概観
 - a. ばら積貨物船及び油タンカー:、IMO GBS及びIACS CSR for BC & OTの適用
 - b. コンテナ船: IACS UR S34及びIACS UR S11A他
 - c. 荷重構造一貫解析:
(現在)全船モデル+2段階解法
➡1段階解法(荷重と構造の連成解析)

- ② 構造安全評価のための先端的技術

③ 船上モニタリングシステム

- a. 運航支援モニタリングシステムの普及
- b. 性能評価用モニタリングシステムの普及
- c. 構造強度モニタリング用計測技術の発達



統合型船上モニタリングシステム



ビッグデータ及びその利用技術の活用

- ➡ 構造強度評価技術の検証
- ➡ 船舶の検査・保守へのフィードバック
- ➡ 構造強度評価基準・規則の開発・検証
- ➡ 荒天回避に資する運航支援機能の開発

構造安全評価と船上モニタリングシステム

ご清聴、誠にありがとうございました。