

Monohakobi Techno Forum 2013

**実海域運航への設計最適化の取組み**  
～実海域における最適運航に求められるもの～

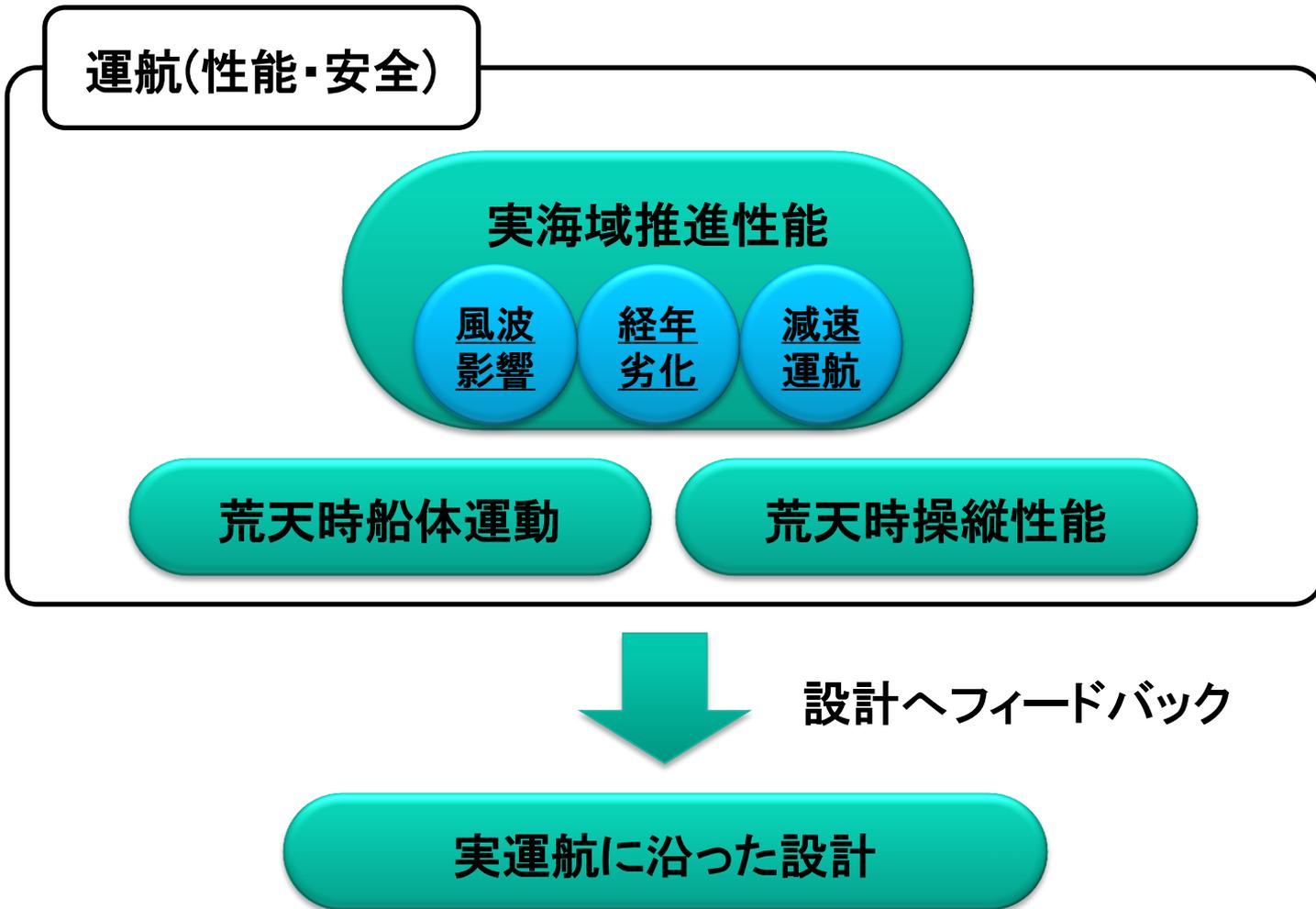
株式会社MTI 船舶海洋グループ  
上級研究員 三浦 啓太郎

# 目次

1. はじめに
2. 実海域運航への性能面からの取組み
  - 1 トリムチャート
  - 2 最適バルブ設計/最適プロペラ設計
3. 実海域運航への安全面からの取組み
  - ～ホッピングによる船体応答及び貨物固縛応答
4. まとめ

# 1. はじめに

## 実海域への取組み



## 2. 実海域運航への性能面からの取組み

### 2-1. トリムチャート

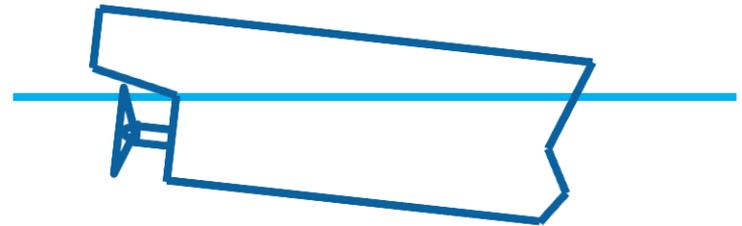
#### トリムの定義

船尾喫水( $dA$ )と船首喫水( $dF$ )の差

$$\text{トリム}(T) = dA - dF$$

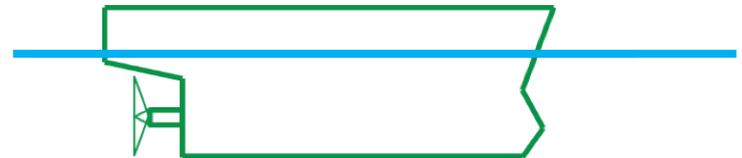
① 船首喫水が深い状態

$$T < 0 \Rightarrow \text{船首トリム}$$



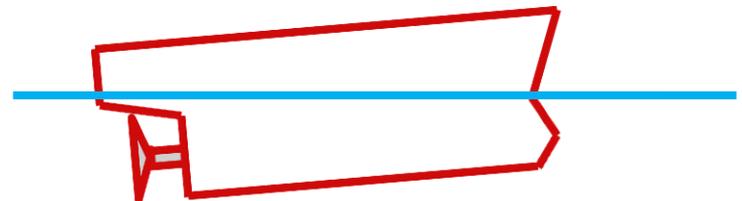
② 船首・船尾喫水が同じ状態

$$T = 0 \Rightarrow \text{イーブン}$$



③ 船尾喫水が深い状態

$$T > 0 \Rightarrow \text{船尾トリム}$$



## 2-1. トリムチャート

### オペレーションプロファイルの変化

- 昨今は減速運航により、計画船速より遅い船速で運航
- また、計画喫水に対して浅い喫水でかつ幅広い範囲で運航
- 船速、喫水ともに設計(計画)とは異なる条件での運航が多い

運航時間(hour)

船速(kt)

船速ヒストグラム

運航時間(hour)

喫水(m)

喫水ヒストグラム

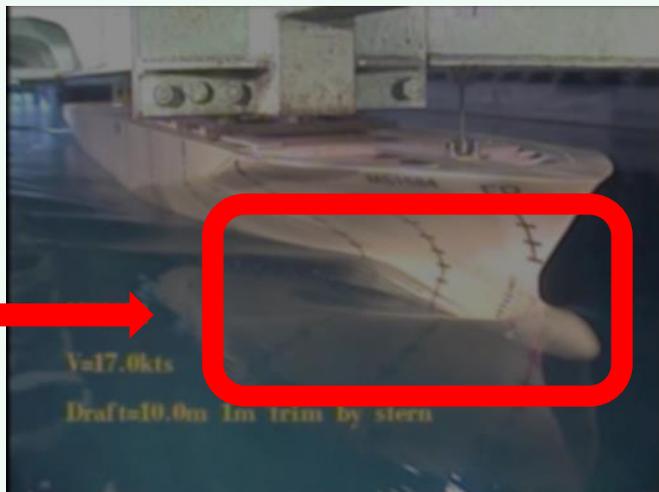
## 2-1. トリムチャート

### 船首バルブと造波抵抗の関係

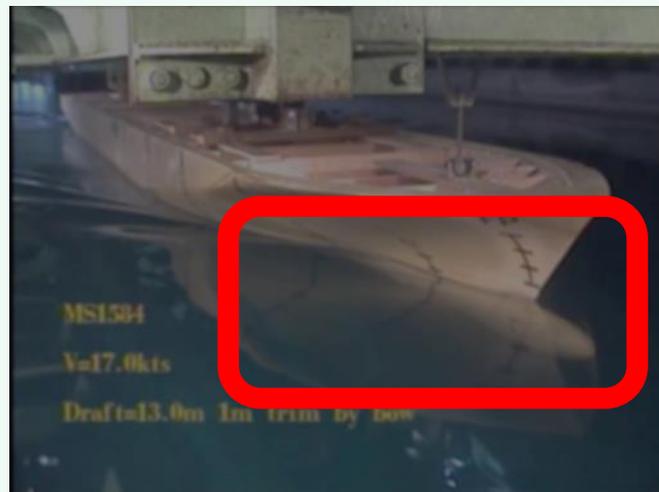
- ▶ 船首喫水が浅い方が、船首バルブの没水が十分でないため船首造波が大きく、造波抵抗の増加が観測された

#### 模型水槽での抵抗試験の様子

船首喫水(浅)



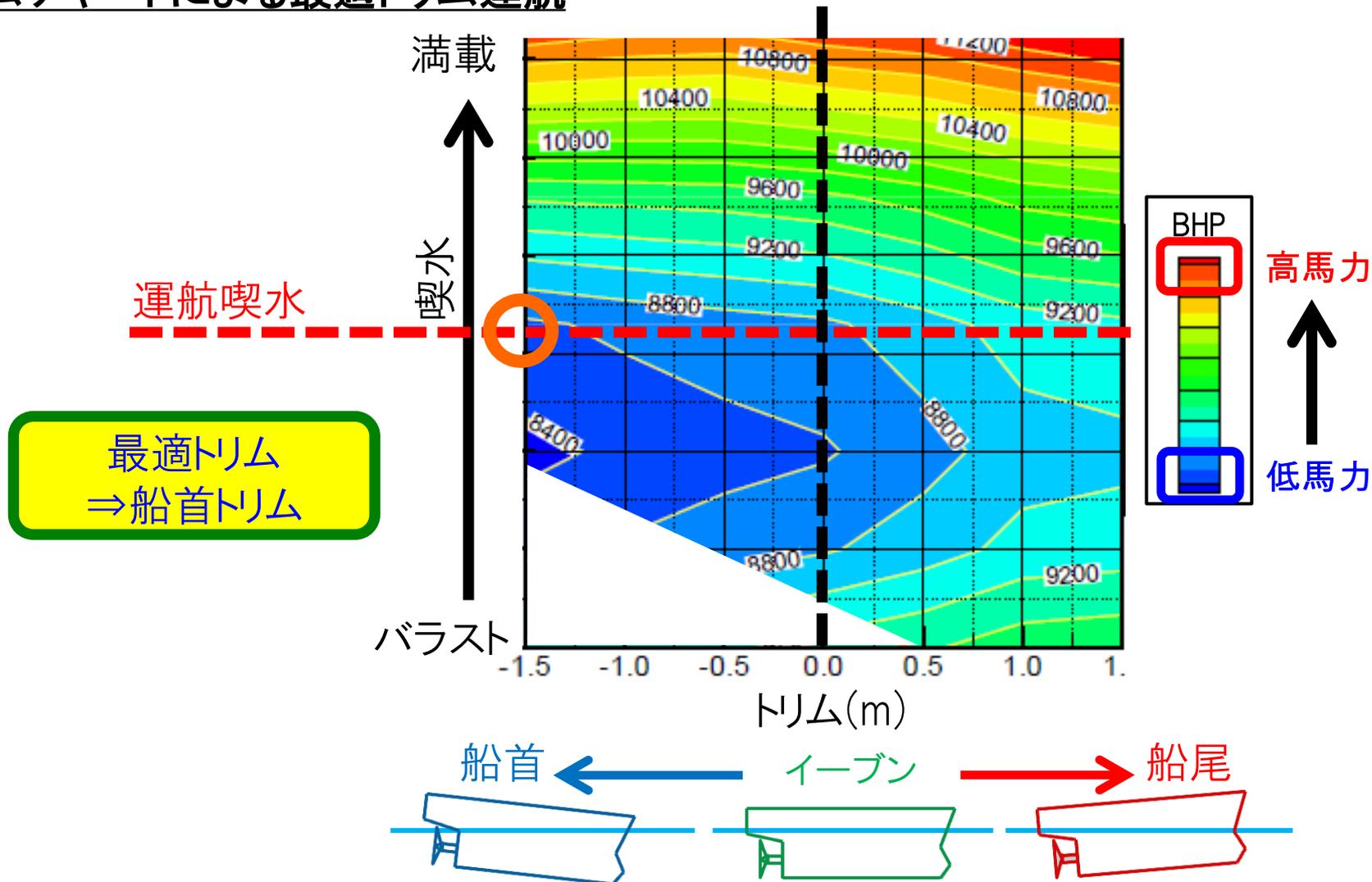
船首喫水(深)



船首喫水(浅)の波が大きい

## 2-1. トリムチャート

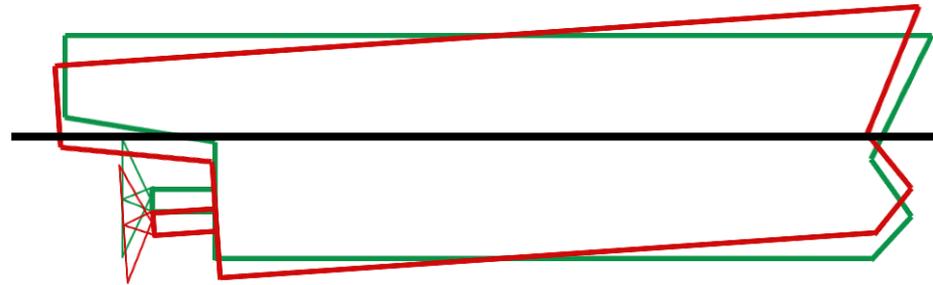
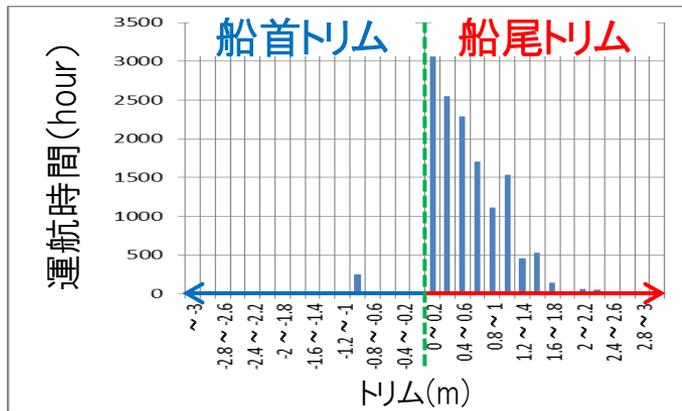
### トリムチャートによる最適トリム運航



## 2-1. トリムチャート

### 実運航における姿勢調整の限界

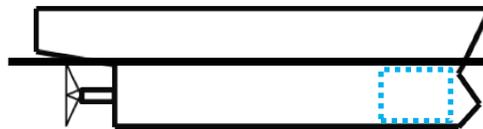
- 現状はイーブン～船尾トリムでの運航が多い



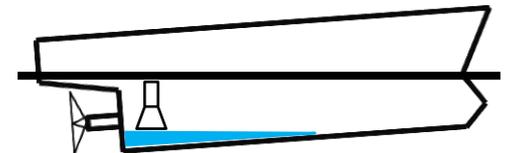
最適トリムである船首トリムでの運航を狙うが...



縦強度による積付制限



船首部バラスト量の不足



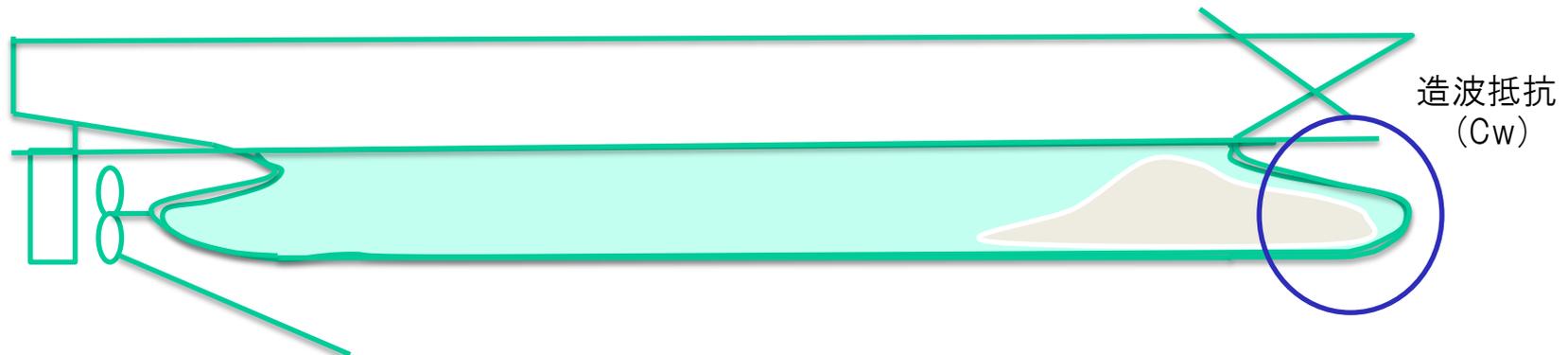
サクシヨン配置

## 2-2. 最適バルブ検討 / 最適プロペラ検討

### ハードウェアから見た燃費削減の可能性

- ▶ オペレーションプロファイルに合わせて  
船首バルブ形状 / プロペラを最適化

船首バルブ形状最適化  
⇒浅い喫水での最適化  
⇒造波抵抗低減

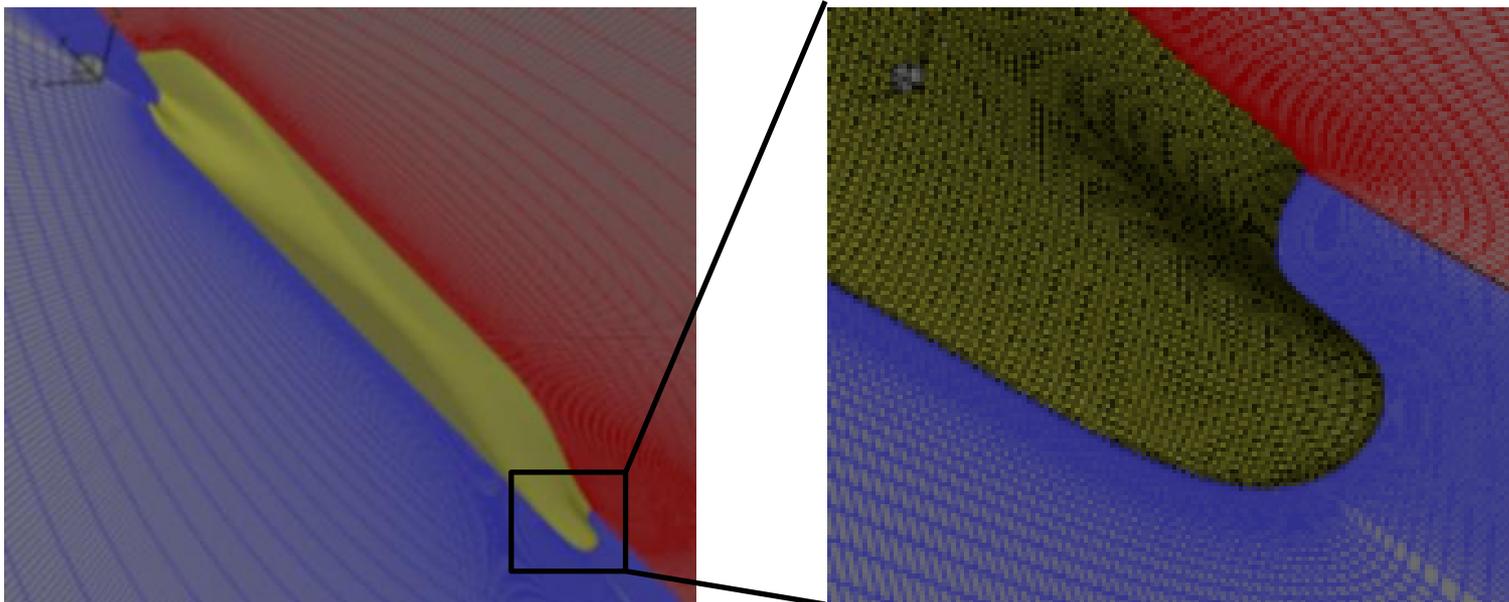


プロペラ最適化  
⇒減速運航での最適化  
⇒推進効率向上

## 2-2. 最適バルブ検討

### CFDによるバルブ最適化、および水槽試験による確認

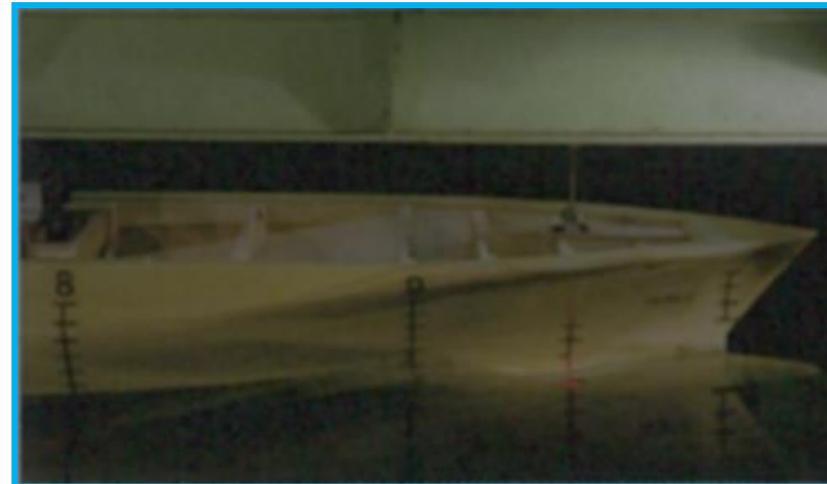
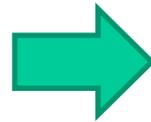
- ▶ オペレーションプロファイルを考慮して、燃費削減率が最も大きくなる最適バルブ形状をCFD計算で検討



## 2-2. 最適バルブ検討

### CFDによるバルブ最適化、および水槽試験による確認

- CFD計算で検討した最適バルブ形状の中で、最も燃費削減効果が期待できる形状で水槽試験を実施



造波抵抗の低減を確認

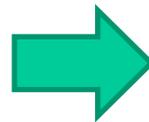
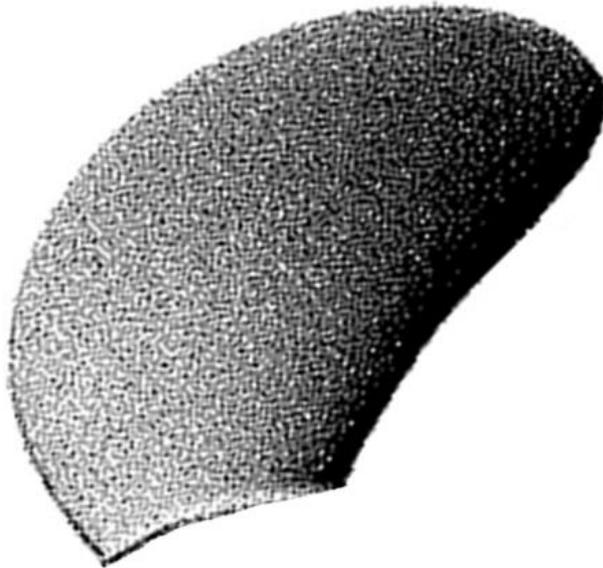
船首バルブが水面に近いほど、バルブ最適化による燃節効果が大きいことも確認

⇒現状のオペレーションプロファイルであれば、約3%の燃費改善効果

## 2-3. 最適プロペラ検討

### 最適プロペラ検討

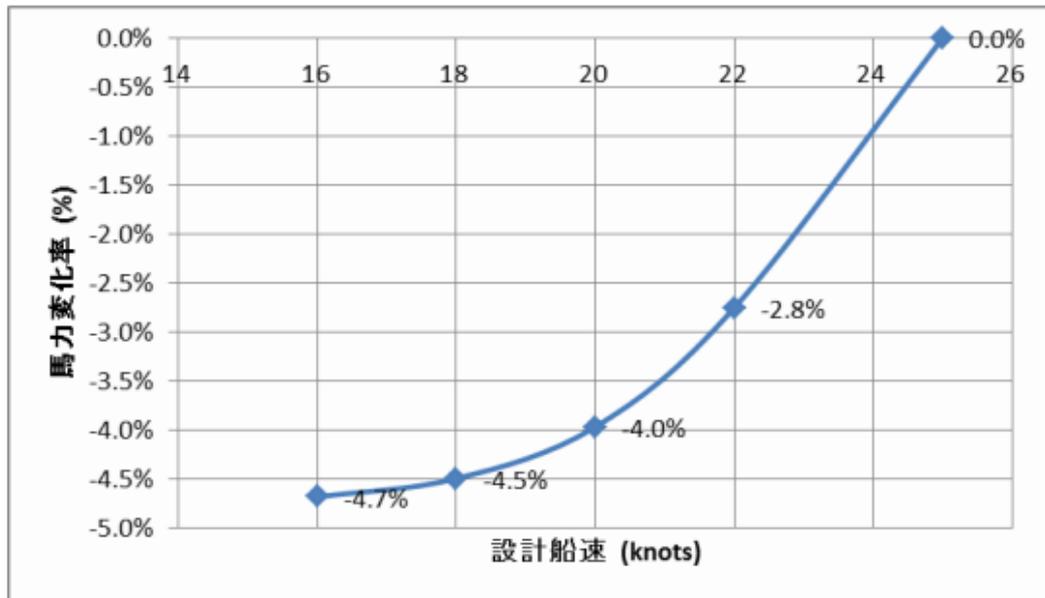
- 現状のオペレーションプロファイルから、減速運航を考慮して、設計船速を下げ、最適プロペラを検討
- 設計船速を下げることで、展開面積比を小さくすることができ、推進効率の向上が期待される



## 2-3. 最適プロペラ検討

### 最適プロペラ検討

- 設計船速を下げることによって、推進効率が向上し、約3%～5%の燃費改善効果が確認された
- 本検討では、主機登録馬力は変更しない条件としたので、翼厚を決定する強度計算は、現状のMCOで実施  
⇒ 主機登録馬力を下げる場合、翼厚を薄く出来るため、さらに1%程度の効率向上が見込める



## 2-4. まとめ / 今後の展望

### この1年間のまとめ

- ▶ 最適トリム運航指針に基づく運航を開始(約40隻)
  - ▶ オペレーションプロファイルに合わせて
    - ▶ 浅い喫水への対応⇒船首バルブ最適化
    - ▶ 減速運航への対応⇒プロペラ最適化
- を実施することで約5~7%の燃費改善効果を得られることが分かった

### 今後の展望

- ▶ 今後、運航されている船舶の中で性能の悪い船舶を対象に、実際に改造工事を実施し、これまで培ってきた就航船モニタリングの知見を活かして、改造による実船での効果を検証する

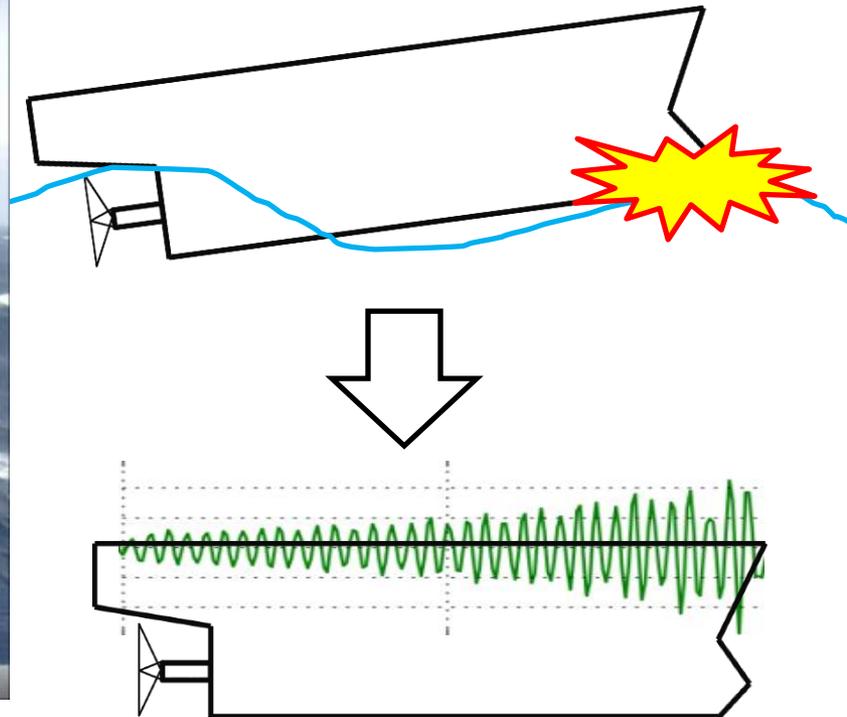
## 3. 実海域運航への安全面からの取組み

### 3-1. 背景

- 近年のコンテナ船の大型化を背景として、荒天時の船体構造に対するホイッピングの影響について調査を開始
- これまで設計時に考慮されていなかったホイッピングの影響を設計段階で考慮すべき、という議論がされている中、ホイッピングの影響を過大に評価すると、過剰な船体強度が要求されることとなる
- また、運航者として、ホイッピング発生時の船体運動による貨物ダメージが懸念されている
- ホイッピングと船体損傷、および、貨物への影響の関係性について正確に評価することが必要となった

# ホイッピング(Whipping)とは

- 荒天遭遇時に、スラミング衝撃荷重のような衝撃的波浪外力により誘発される過渡的な船体振動



## 3-2. 実船計測

### 実海域におけるホッピング発生状況調査

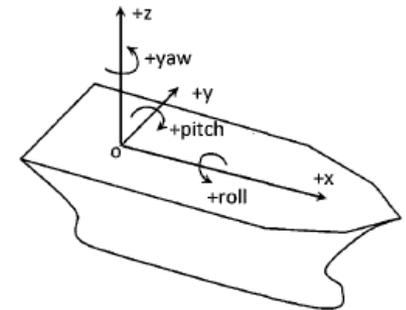
- 網羅的にホッピング発生状況を調査するために、バルカー、タンカー、コンテナ船、PCC、LNGの5船種に計測装置を搭載し、計測を行った

#### ☆ポイント

本研究では、加速度センサーによる加速度計測を行った  
(6自由度: x, y, z 加速度、Roll, Pitch, Yaw)

従来から実船計測で使用されている応力計測よりも、  
安価かつ設置が容易

⇒加速度センサーによる簡易計測でホッピング現象を捉えることが  
可能か検証を行った



## 3-2. 実船計測

### 計測装置概要

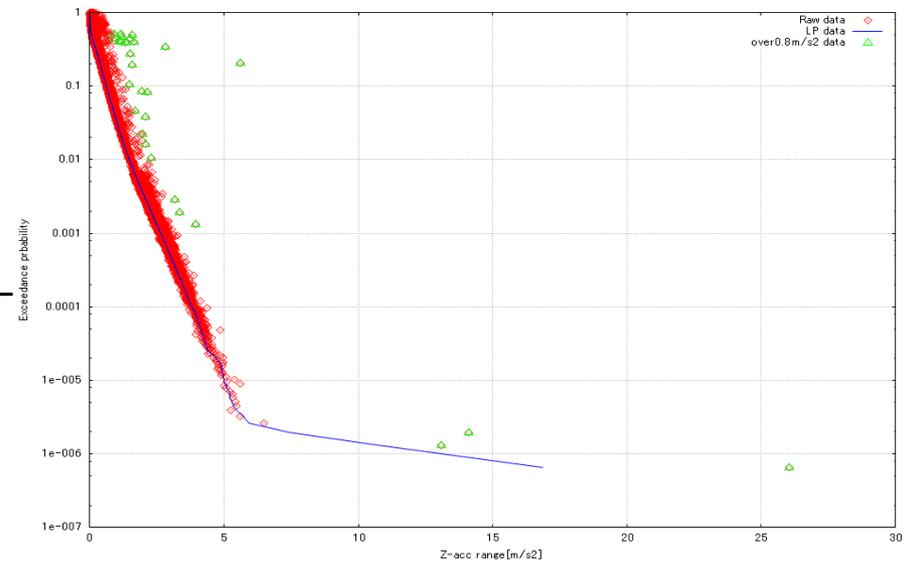
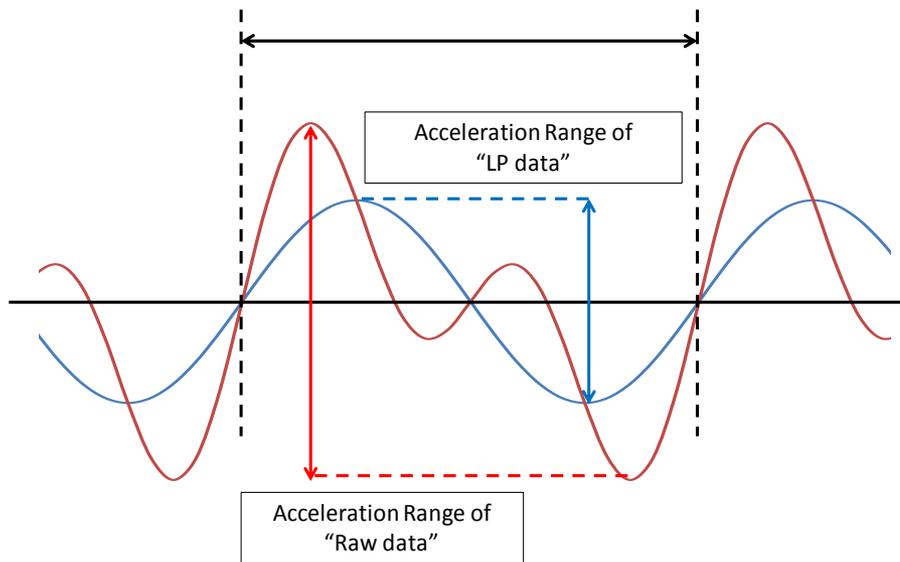
- 計測項目は、
  - 3軸の船体加速度、揺れ角(加速度センサー)
  - GPS, LOG, 船首方位(VDR)



## 3-2. 実船計測

### データ解析方法

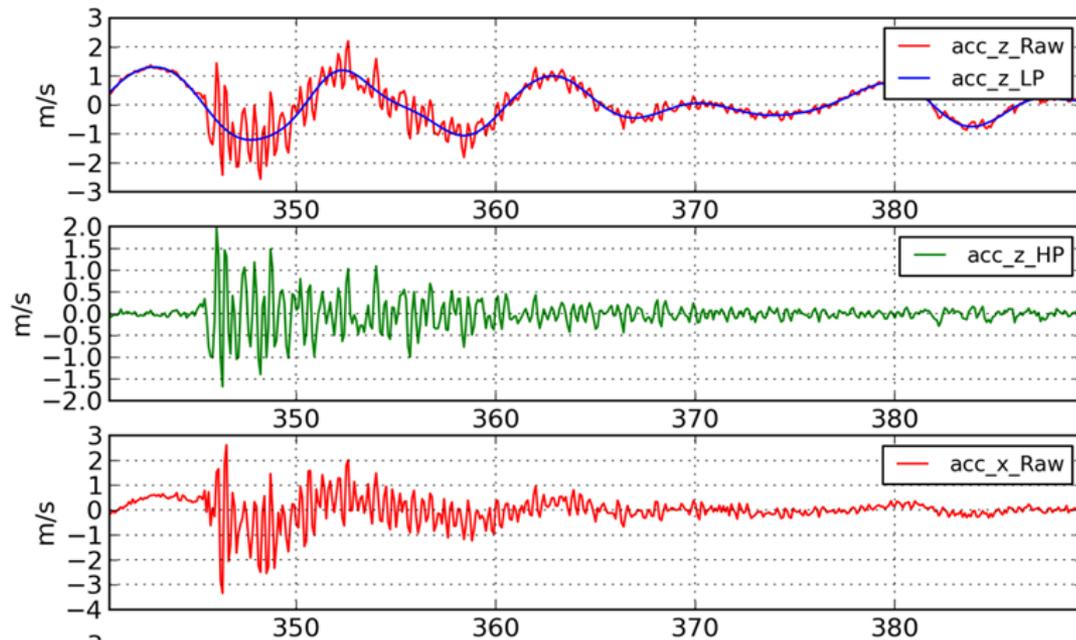
- 計測データにLow Pass Filterをかけ、弾性振動成分を除去した船体運動のみによる加速度データを作成
- 計測データとLow Pass Dataとの差を弾性振動による加速度とした
- 弾性振動による加速度が大きいデータを抽出し、個別に振動現象を確認



## 3-2. 実船計測

### 計測結果

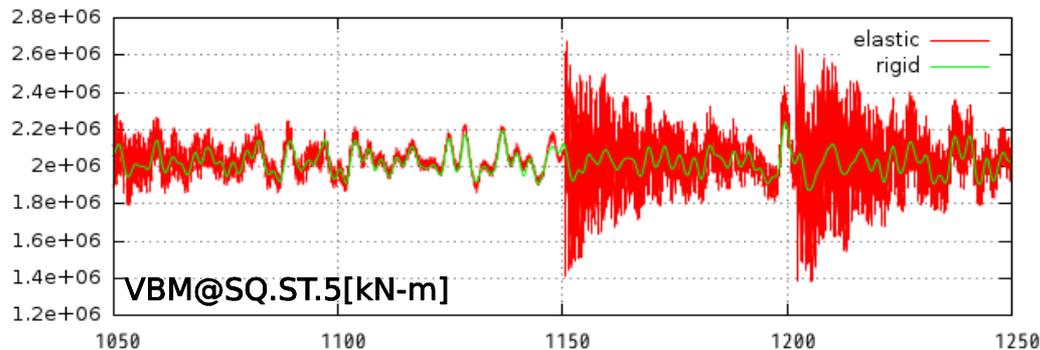
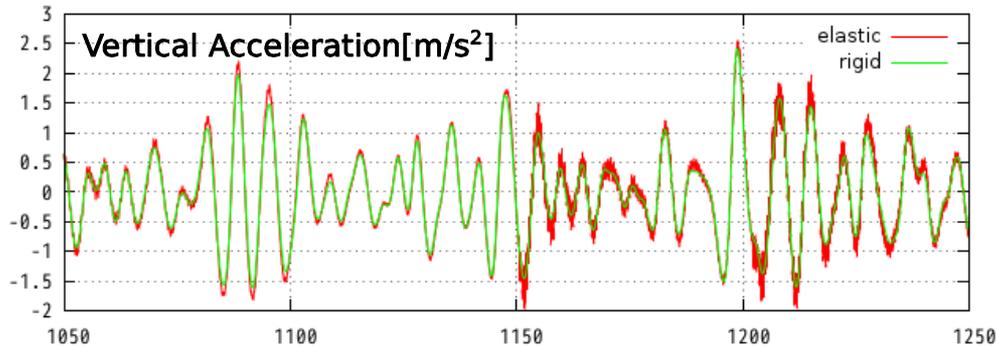
Vs: 6.4knot, d: 6.96m(Ballast condition), Course: 193°  
BF6, Wave height: 4.3m, Wind velocity: 13.9m/s



⇒加速度計測によってホイッピング現象を捉えることが出来た

## 3-3. シミュレーション

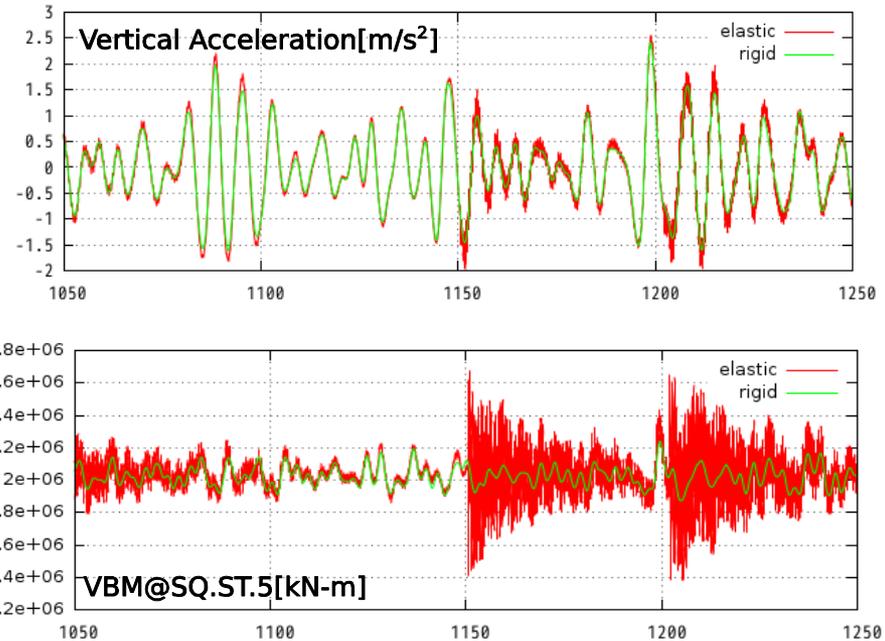
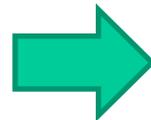
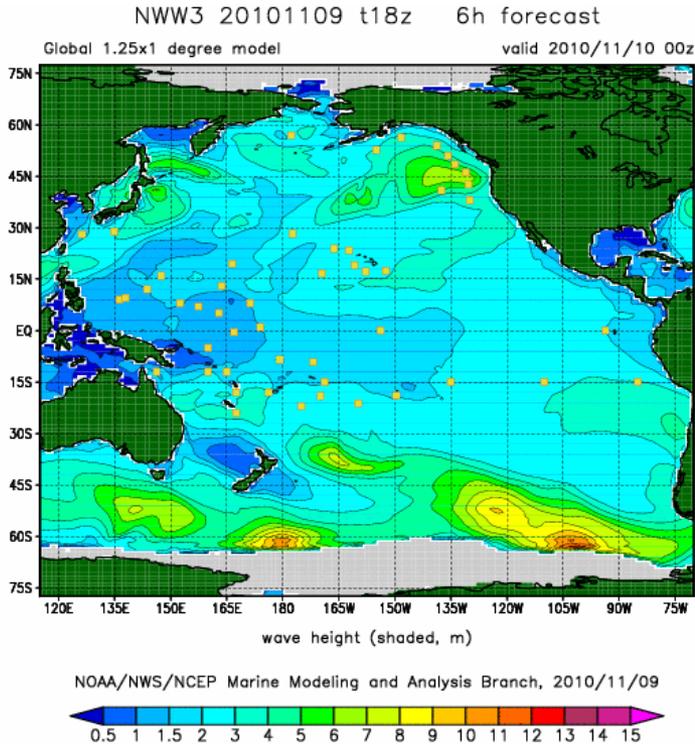
- PCCをモデルとして、シミュレーションを実施
- 船体を梁として扱う剛体モードでの船体運動計算と、弾性振動を考慮し、船体振動現象を含む弾性体モードによる計算を実施



⇒弾性体モードでの計算で  
ホッピングに相当する弾  
性振動現象が発生している  
ことがわかる

## 3-3. シミュレーション

- ▶ 海気象予報データから船体運動やホッピングを予測することが可能となる
- ▶ 予測計算結果から、船体へのダメージ、疲労強度、貨物固縛への影響を評価することが出来る



## 3-4. 振動台(MCS)によるラッシング試験

### 試験概要

- 振動台に車両をクラスパーで固定し、x, y, z方向それぞれに加速度を変えて加振
- それぞれの加振パターンにおいて、クラスパーに掛かる荷重を計測

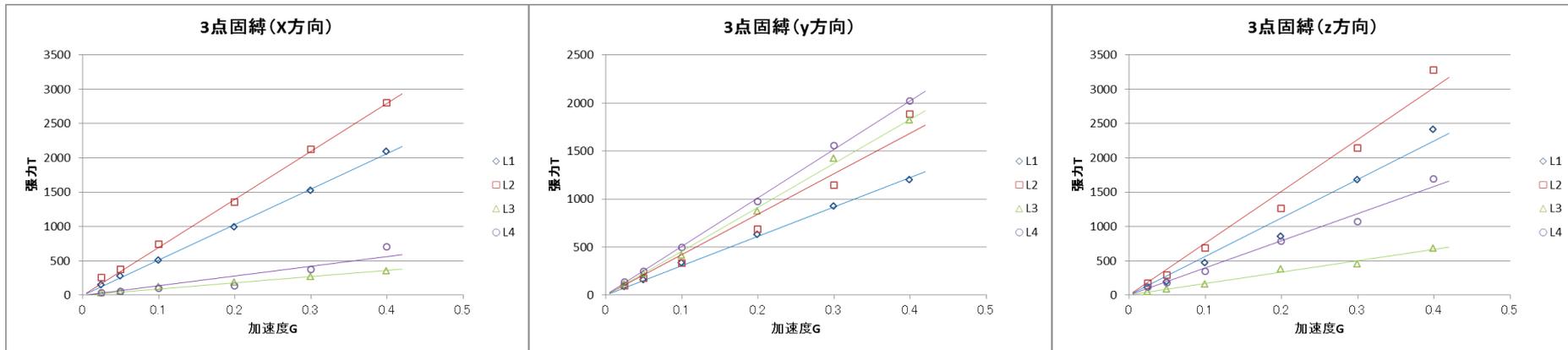


ロードセル付きクラスパー

## 3-4. 振動台(MCS)によるラッシング試験

### 試験結果

- 加振加速度とクラスパーに掛かる荷重の相関を確認
  - ⇒ ほぼ比例関係にあることを確認
  - ⇒ 船体運動による加速度を計測、もしくは予測できれば、クラスパーに掛かる荷重を推定することができる



## 3-5. まとめ / 今後の展望

### まとめ

- 実船でのホイッピング計測、シミュレーションによる推定、振動台試験によるクラスパーへの荷重計測により、ホイッピング現象、および、ホイッピング発生時の貨物への影響が評価できることが確認された
- 海気象予報から予測される加速度、あるいは、計測された加速度によって、船体構造、並びに貨物固縛への影響を評価することが出来る

### 今後の展望

- 計測された加速度の累積値から個船の蓄積された疲労強度を評価する手法を考案する
- それにより、運航船舶の状態評価、ドックでの個船に対応した必要十分な検査手法等に繋がることが考えられ、累積値の比較的大きな船舶については、クラックの発生しやすい箇所を重点的に検査するなど、安全性の向上に繋げることが出来る
- その結果を設計へフィードバックすることで、より安全な船舶を提供することが可能となる

## 4. まとめ

- ▶ 実運航に沿った設計には、
  - 安全面と性能面からのバランスのとれたアプローチ
  - 実運航データ
  - 実データを正確に評価する知見が必要である。
  
- ▶ その目的を達成するためには、船社と造船所、船級、研究機関、メーカーのコラボレーションが必須である。
  
- ▶ 関係各位のこれまでのご協力に感謝申し上げます。今後更なる発展に向かい、共に取り組んでいきましょう。

# 謝辞

実海域におけるホイッピングに関する研究にあたり共同研究者として  
種々ご協力いただきました

一般財団法人 日本海事協会

株式会社 三井造船昭島研究所

東京大学 人工物工学研究センター 鈴木克幸教授

の皆様方に厚くお礼申し上げます。