



# 風力利用船のモデルベース開発

－ 東大社会連携講座 MODE Lab での取り組み －

海事デジタルエンジニアリング講座 (MODE Lab)  
脱炭素ワーキンググループ

渡邊 健太郎

ジャパン マリンユナイテッド株式会社 設計本部

# 目次



1. MODE Lab.の紹介
2. ユースケース：風力利用船の開発
3. 今後の展開

# 1. 海事デジタルエンジニアリング講座 MODE Lab.



## • Maritime & Ocean Digital Engineering Laboratory

- 海事産業7社が参加する社会連携講座
- 2022年10月1日に東京大学に開設



これからの船舶には高度・複雑なシステムの搭載が不可欠（風力推進船・代替燃料船・自動運航船、など）

信頼性高く・コスト競争力ある船舶を建造し、安全に運航するためにはシミュレーション技術が必要

- 複数の技術分野のモデルを統合、連成し、統合シミュレーションを行うことのできるシミュレーション共通基盤を構築する
- 海事分野のためのMBDとMBSEについて研究・教育する拠点となる



MBD : Model Based Design

MBSE : Model Based Systems Engineering

Class NK Seminar 16<sup>th</sup> Nov. 2022

## 2. ユースケース：風力利用船の開発

風力利用船は従来のやり方の延長では計画できない：

平水中の船体推進性能  
(+ 固定シーマージン)



定常風下の  
風力推進装置の性能

- 性能保証できない
- SPECに入れられない
- 造船所から提案できない

風力推進装置を船の計画に取り込むには非定常の問題を扱う必要がある：

実海象での船体推進性能

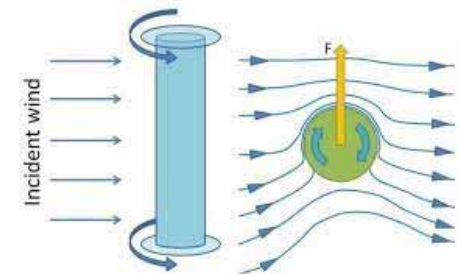
風速・風向の変動下の  
風力推進装置の効果

トルクが変動する中での  
主機燃費

単なる足し合わせではなく、相互影響を考慮したマクロな燃費評価が必要

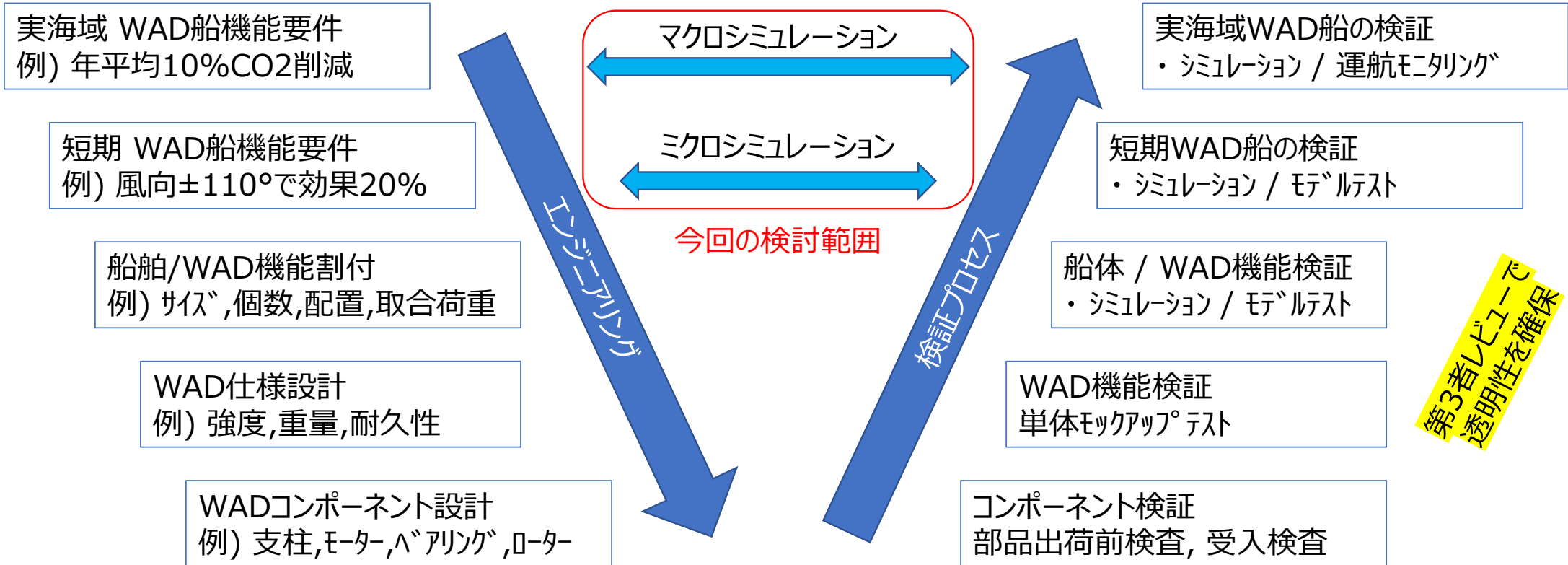
## 2. ユースケース： 風力利用船の開発

- テーマ： 風力推進装置 適用時の効果検証  
(Wind Assist Device, 以降WAD)  
軸発電機・バッテリーを組み入れた電力供給システム試作
- 対象船： バルクキャリア (Cape size Bulk)
- 対象機器： 回転式円筒帆 (通称 Flettner Rotor)



# 3. 開発プロセスイメージ (Vプロセス)

Systems Engineeringの開発プロセス例 (Vプロセス適用)



大きな要求から各部詳細に落とし込み、詳細から全体検証に進むことで抜け漏れない開発が可能

# 4. 今回検討シミュレーションの概要

## 入力データ

輸送ニーズ  
運航シナリオ  
運航データ

船型データ  
推進性能  
プロペラ特性

主機データ  
燃費率

WAD特性



### マクロシミュレーション

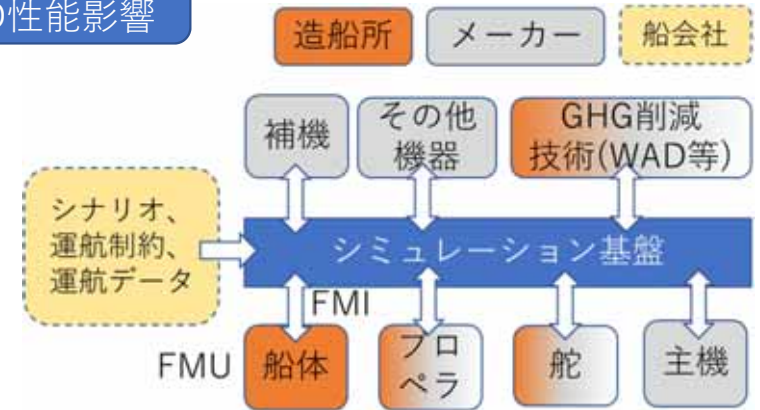
- 年間でのCO2削減効果のマクロ評価
  - ✓ 特定の航路の往復航海
  - ✓ WADを考慮した航路最適化
  - ✓ 過去1年の気象海象データを利用
    - 定常応答



### ミクロシミュレーション

- 短時間でのCO2削減効果の詳細評価
  - ✓ 時間領域の船体運動シミュレーション
    - 過渡応答も含めて評価
  - ✓ FMI/FMUによる連成シミュレーション
    - 船体、主機、WAD等のFMUを作成
    - DG、SG、バッテリーのFMU
    - シミュレーション基盤上で接続

風向風速毎の  
WAD性能影響

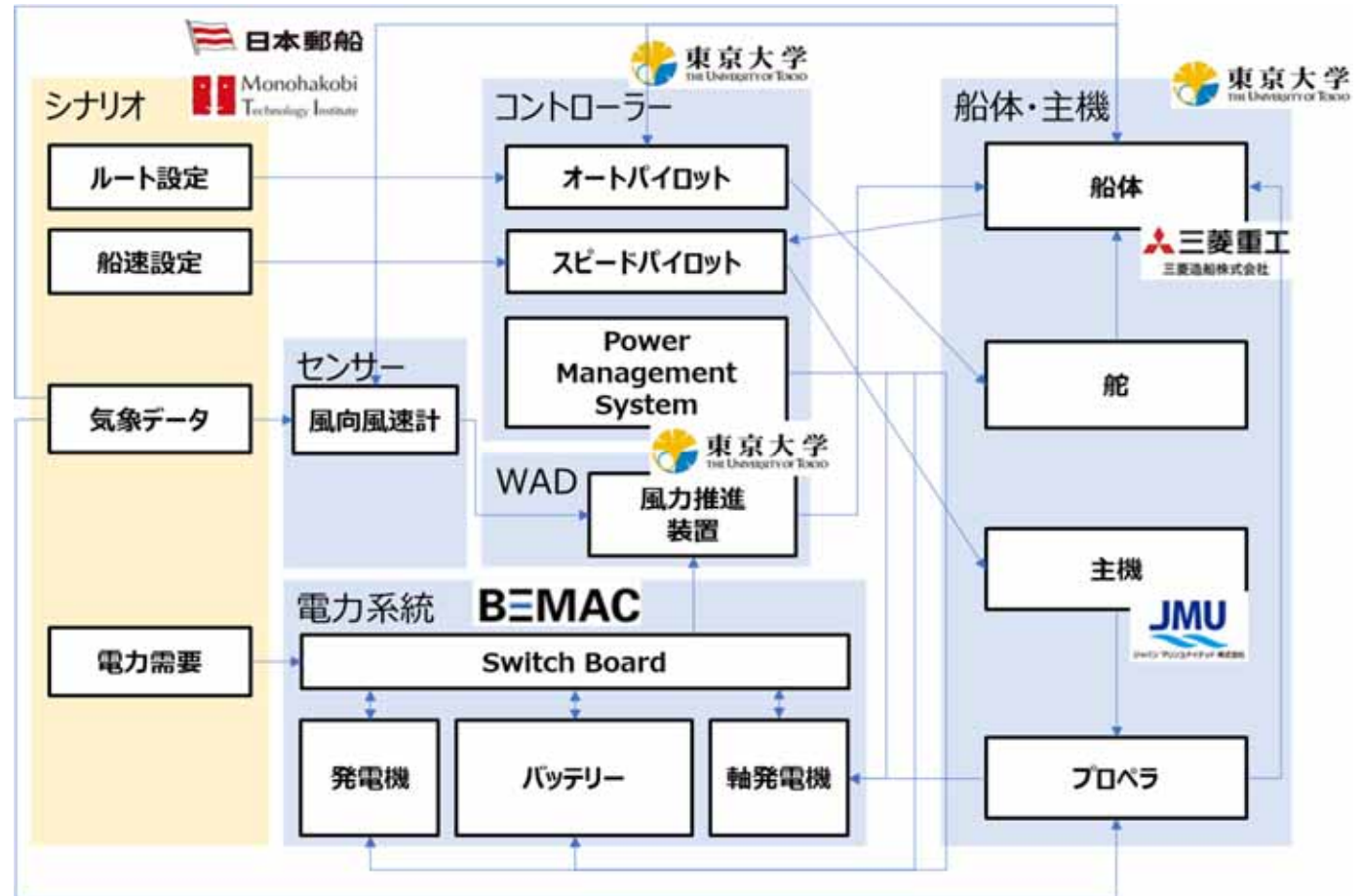




# 5. ミクロシミュレーション：構成と機能の繋がり

- パートナー各社で分担しモジュール開発、シミュレーション基盤で統合
- 目標船速と方角を入力
- 毎秒の風向風速データを外力シナリオとして入力
- 保針制御による当て舵、斜航抵抗も含めた評価を実施
- WADモデルを追加
- 軸発電機やバッテリーを含めた電力供給モデルを追加

ミクロシミュレーションFMU構成図





# 5. ミクロシミュレーション：試算結果

## ➤ 定常風下シミュレーション

- 風速：20m/s
- 風向：進路方向90°（横風）
- Target Power :  
ある回転数において主機の燃費率が最も良くなる点を目標馬力に設定

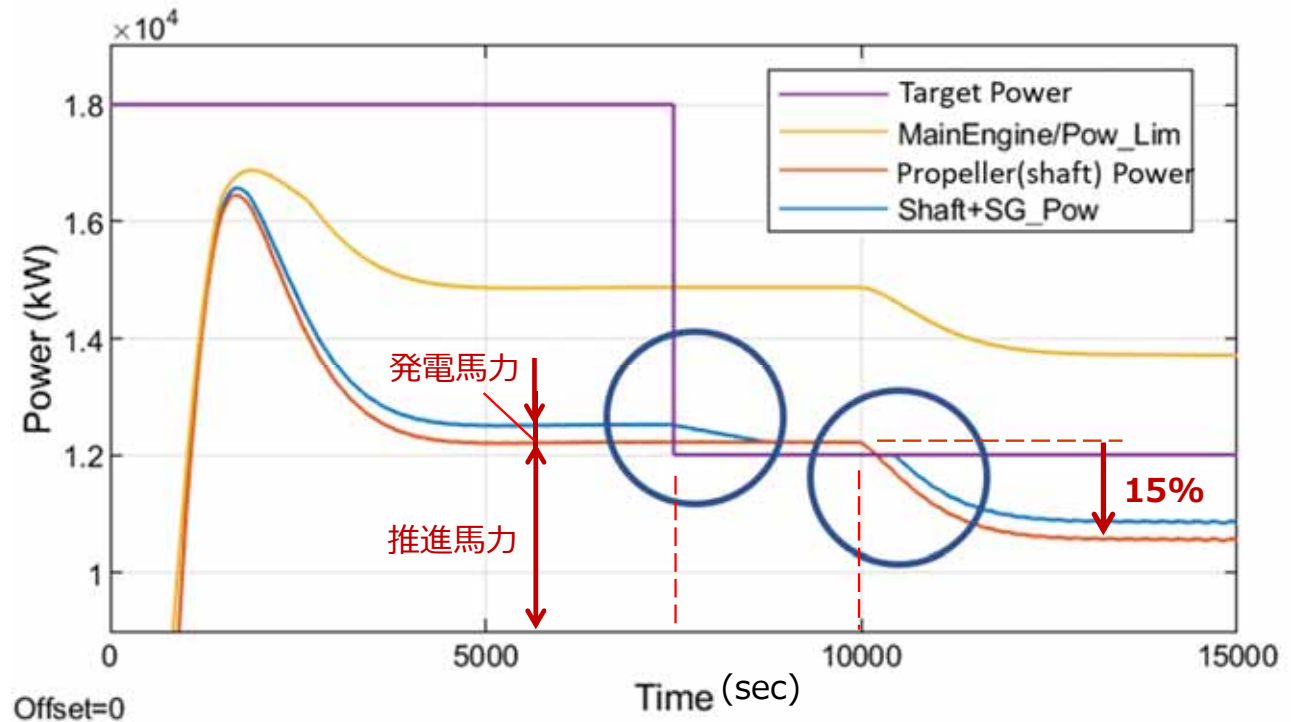
### ➤ 7,500secで目標馬力を下げる

⇒ SGのOFFを確認

### ➤ 10,000secでWAD作動

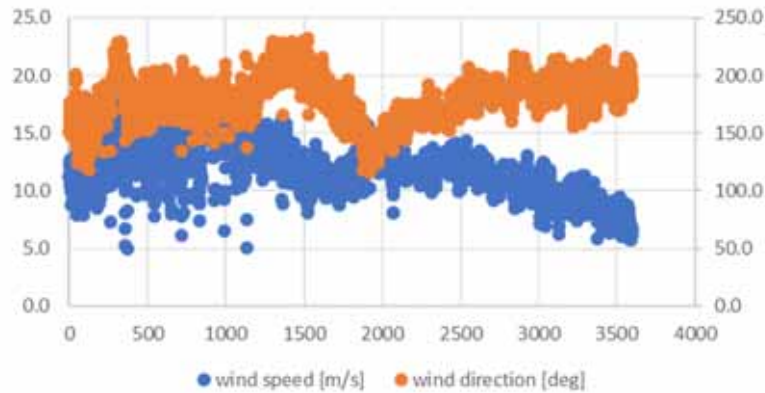
⇒ SGのONを確認

⇒ 主機出力減確認（約15%）



# 5. ミクロシミュレーション：試算結果

## ➤ 変動風下シミュレーション

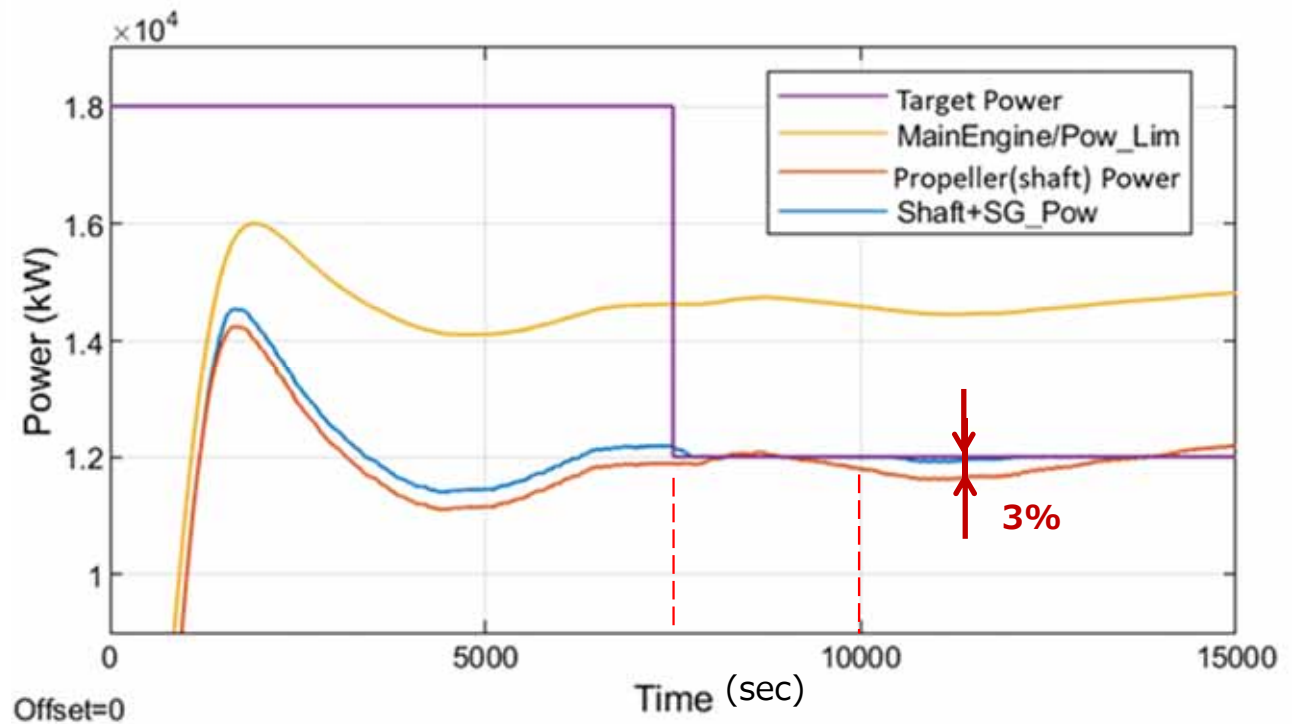


### ➤ 10,000secでWAD作動

⇒ SGのON/OFFを確認

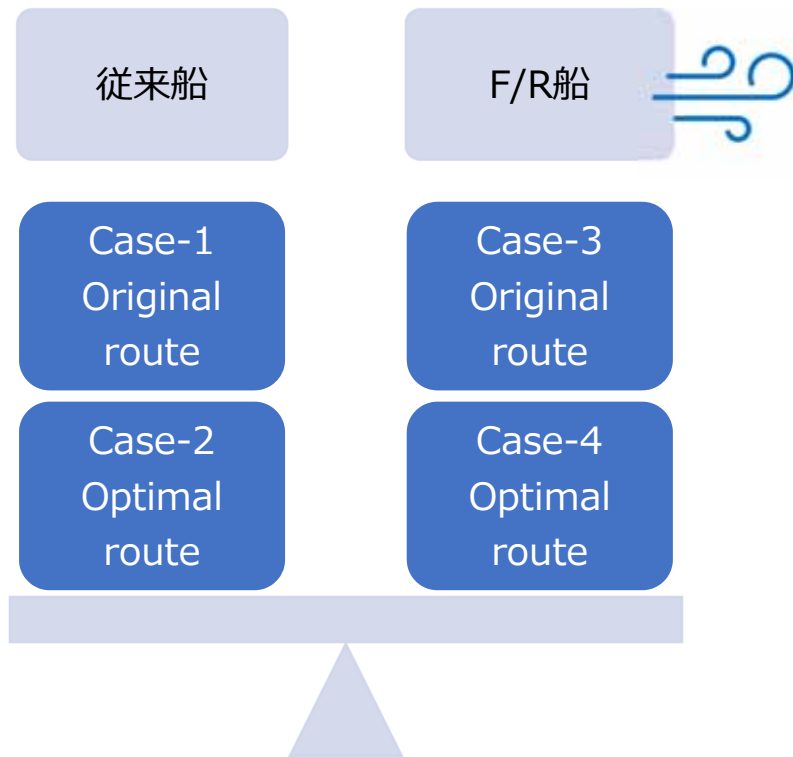
⇒ 主機出力減確認 (約3%)

- WADのロータ回転数は一定
- $\pm 20^\circ$ の範囲で推力が得られる風向のみ



# 6. マクロシミュレーション：シナリオ設定

- ・ ミクロシミュレーションで得た Flettner Rotor (F/R) 特性に基づき年間航海シミュレーション実施
- ・ NAPA(\*)のFleet Intelligenceを活用し、最適航路選定と併せた総合評価までを実施

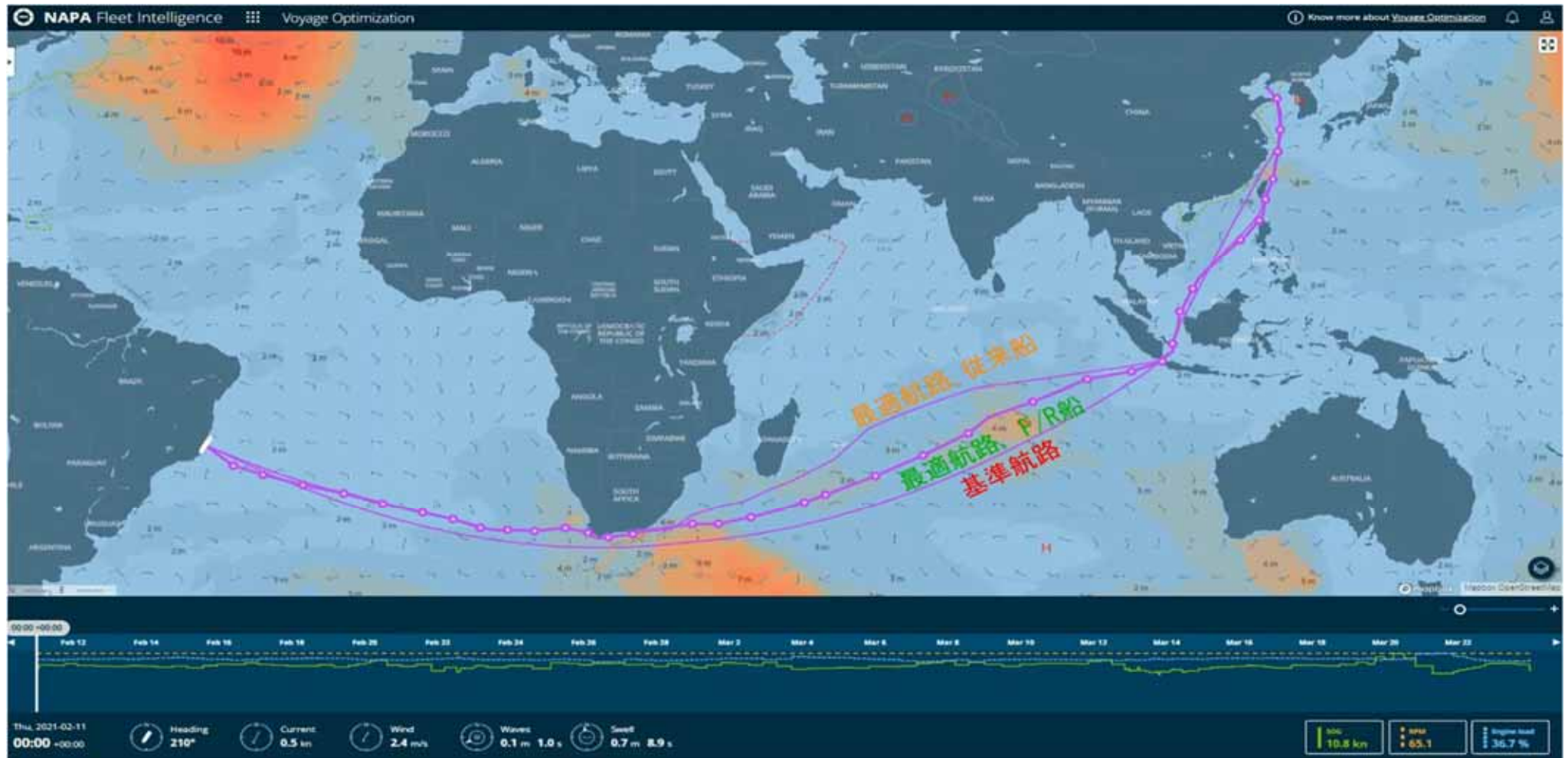


## 想定航路 (入出港日時を固定し各ケースで年間運航試算)

- 1) Brazil (TUBARAO)  $\leftrightarrow$  China (DALIAN)  
Duration = 82 days for a round trip, 4 round voyages / year
- 2) Australia (PORT HEADLAND)  $\leftrightarrow$  China (QINGDAO)  
Duration = 26 days for a round trip, 14 round voyages / year



# 6. マクロシミュレーション : Brazil → China



# 6. マクロシミュレーション：試算例

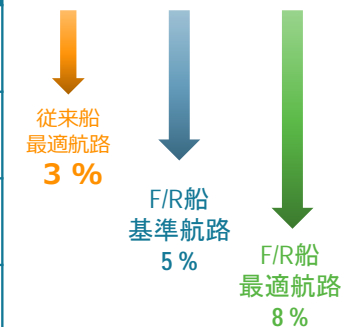
Brazil (TUBARAO) → China (DALIAN)の例

航海期間：2021.02.11 - 2021.03.24 (41 days)  
喫水：16.5m (Laden)



Red : 基準航路  
Yellow : 最適航路, 従来船  
Green : 最適航路, F/R船

	航海ルート	航海距離 (nm)	船速 (kn)	燃料消費量 (ton)	CO2発生量 (ton)
従来船	基準航路	11,248	11.4	1,255	3,911
	最適航路	11,558	11.7	1,221	3,803
F/R船	基準航路	11,248	11.4	1,192	3,716
	最適航路	11,434	11.6	1,153	3,593



- ✓ “最適航路, 従来船”  
→ 潮流があり（追い潮）、風が弱い海域を選定
- ✓ “最適航路, F/R船”  
→ 横風を捉えてF/Rの効果を最大化

## 6. マクロシミュレーション：最適化の効果

燃料とCO2の年間削減量(%)

航路	Brazil ↔ China	
	Laden	Ballast
F/R船, 基準航路	-8.4%	-6.7%
従来船, 最適航路	-3.3%	-8.0%
F/R船, 最適航路	-11.1%	-14.6%

※  
今回のシミュレーションで使用したモデルや各種パラメータは簡易的なものであり、表中の数字は正確性に欠けることに注意。



# 7. 今後の展開

## シミュレーションモデルライブラリの構築 (機器メーカーとの協業)

### ➤ 機器モデル

- 船体, プロペラ, 舵
- 主機・補機 (従来燃料, 代替燃料)
- SGM, バッテリー, 空気潤滑
- 様々なWAD (ローター, 帆, カイト)

### ➤ コントローラーモデル

- 主機
- PMS
- WAD
- 代替燃料BOGマネジメント



## 構想設計におけるシミュレーション利用

### ➤ シミュレーションによる評価

- 実海域におけるWADの評価
- 様々な船種、航路での評価
- 推進プラントと省エネ装置の組合せ評価

### ➤ 機器の適切なサイジング

- 船型改良
- WAD
- PTI/PTO体格, バッテリー容量

### ➤ 運航計画の最適化

- 燃費最小
- GHG排出最小

# MODE ロードマップ

2022

2023

2024

2025

2026

## 【基盤研究】MBD/MBSE手法・シミュレーション共通基盤の開発

- MBD・MBSEの手法論の研究：モデルベース設計、検証
- フラッグシップ開発を通じたMBD・MBSEの実践
- シミュレーション共通基盤開発；モデルライブラリの拡充、プラットフォームの活用・錬成、最適なツールの模索

脱炭素船・自動運航船用ライブラリ群の構築  
船舶のMBD/MBSEに関する規格策定

## 【個別研究】脱炭素船・自動運航船の開発 & 社会実装

- 脱炭素船の設計；風力推進、ハイブリッド制御など 例) WG発表①
- 自動運航船の設計；センサ、自律操船制御、陸上支援システムなど 例) WG発表②
- 脱炭素船・自律船のシミュレーションベース承認、制度・産業のデザイン

脱炭素船・高度自動運航船の開発実現  
船・機器のシミュレーションベース認証の拡張

## 【個別研究】設計・建造プロセスの生産性向上

- 造船フロントローディングの推進
- シミュレーション活用によるコミッション業務の合理化 ・工場シミュレーター構築

シミュレーションによる建造工程最適化  
(生産計画改善の実証)

## 【個別研究】海洋利活用や物流効率化の促進

- 海洋構造物の設計・評価・認証シミュレータの構築
- サプライチェーン管理・街づくりへの応用

海洋利用や他業界での活用事例の構築

## デジタルエンジニアリング人材育成 & ネットワーキング

- デジタルエンジニアリング教育 (MBD/MBSE講義・モノづくりプロジェクト)
- 海外連携 (海外大学との交流・交換留学, 海外研究機関等との協働)
- 産学連携 (勉強会, 現場見学, Job型インターンシップ, リカレント教育)
- 産業間連携 (自動車, 航空宇宙, 情報通信産業等との協業)
- 情報共有 (シンポジウム・セミナーの主催, 国内外イベントへの出展)

教員5名・研究員20名の体制  
博士 (社会人含む) 5~10名/年輩出  
海事DE教育プログラムの確立・展開  
価値創出メカニズム実現 (ベンチャー輩出)



ご清聴ありがとうございました。  
MODEは仲間を募集しています！

