

## ゲートラダーとは

1. なぜ舵はプロペラの後ろに？
2. プロペラの横に置かれた舵
3. プロペラと船体の干渉

AA 意外に面白い推力減少係数

BB あまり知られていない有効伴流係数

4. 就航データから見えてきたゲートラダーの特徴
5. 神門丸の就航データ分析
6. まだ良く分かっていないところ



## なぜ舵はプロペラの後ろに？

# Rudder .....Stereotypes

- Rudder will work only behind a propeller
- Rudder is different from a sail on the deck while the shape is similar
- Rudder never generate thrust force to push the ship forward
- Main function of rudder is to change the ship direction
- The ship with excellent turning ability is a good ship

Steering gears and rudders: is it time to retrofit your vessel  
Date: Wednesday 2 June - Time: 14:00-14:45 BST 2021



# なぜ舵はプロペラの後ろに？

## メリット

- # プロペラの噴流を利用でき、低速においても強い操船性が確保できる
- # 船の中心線上にあり、レバーも大きいため、より大きな旋回モーメントを発生できる
- # 船尾端にあり、他の機器との干渉が少なく配置が容易
- # 一枚の舵で良く、コスト的に有利
- # プロペラの回転流損失を回収できる（ただし、航海中の舵抵抗を相殺できるまでには至らない）

## デメリット

- # 舵が本来もっている針路復原力を失っている
- # 舵が本来持っているタッキング効果を失っている
- # 舵自体が抵抗となり、船の推進性能を低下させている（悪魔のサイクル）
- # プロペラの乱れた噴流中に置かれているため、舵自体が振動源ともなる
- # 舵の排除効果により、プロペラ面の伴流のピーク値を増幅させキャビテーションを増長させる
- # 舵の存在により、舵のためだけに、より長い船尾が必要となる
- # プロペラが作動しなくなった場合、プロペラの後ろの舵はほとんど機能しない
- # 大きく変節したCPPの後ろでは、舵は急激にその制御力を失う

# 針路復原力とタッキング効果

ゲートラダーは水面下の帆です



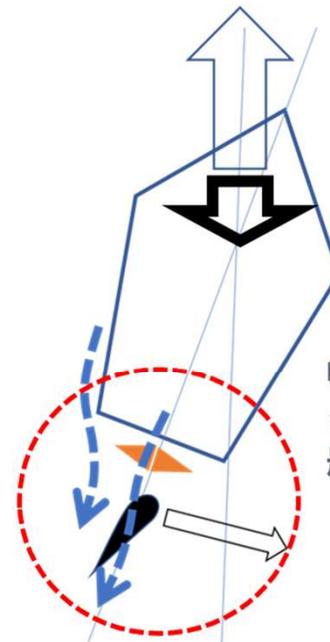
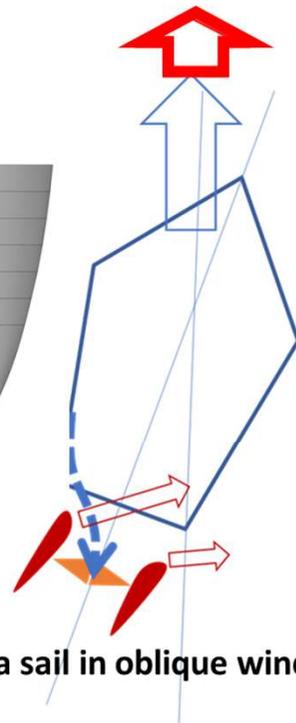
## Tacking Effect



Tacking operation of yacht



Working as a sail in oblique wind



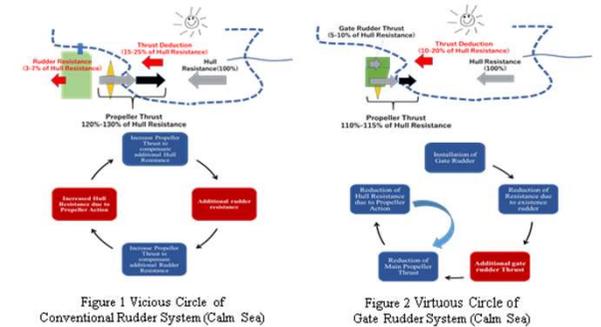
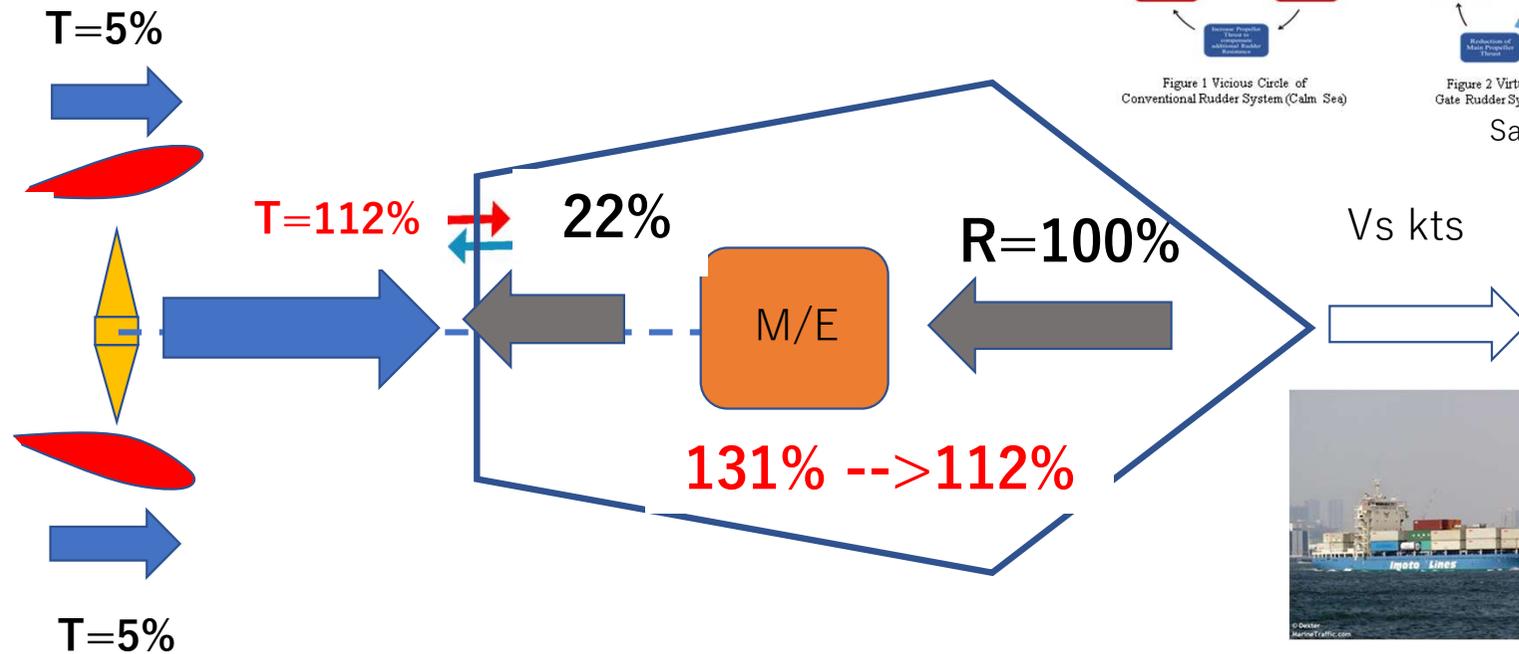
帆の前に大きなファンを置いたらタッキングができなくなります。舵（帆）は、プロペラの後ろに置くべきではありません。

Yawing condition (Rolling condition is the same)

# AA 意外に面白い推力減少係数(悪魔のサイクル)

6th International Symposium on Marine Propulsors , 30th May 2017, Rome, Italy

船体には常にプロペラ推力の20%の抵抗が発生する



Sasaki (2018)



SHIP 3



400 TEU Container Ship 'Shigenobu'

SHIP 5



509 type General Cargo 'Koshin Maru'

SHIP 6



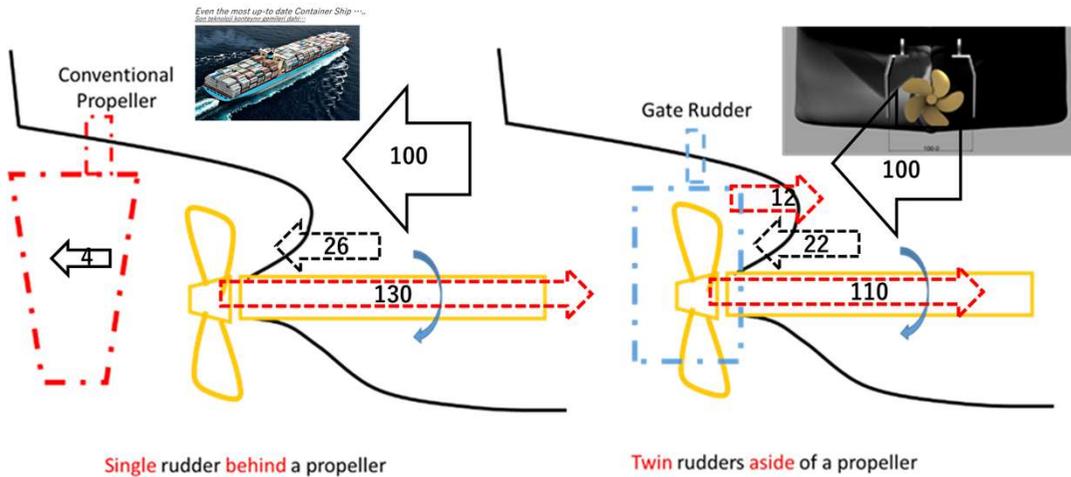
499 type General Cargo 'Shinmon Maru'

SHIP 8 (Gaters)

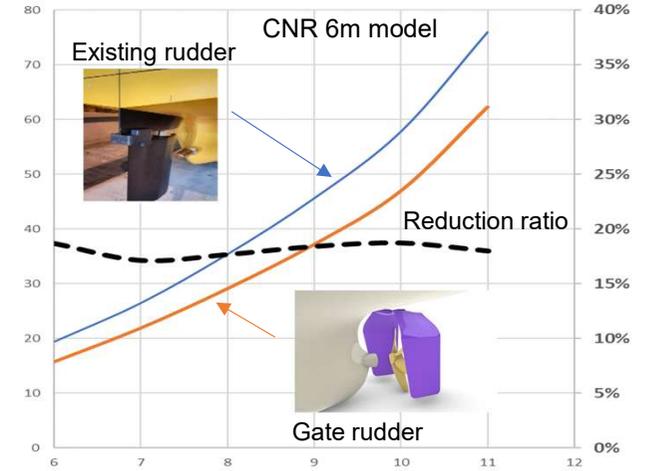


Ship type	Container	General Cargo	General Cargo
Built year	2017	2020	2020
Sister ship	Sakura (2016)	Replaced ship	Shinko maru(2016)
Hull Form	Existing	New	Existing
Engine	Existing	Existing	Similar
FOC save	22% (voyage data)	33% (owner's claim)	16% (voyage data)

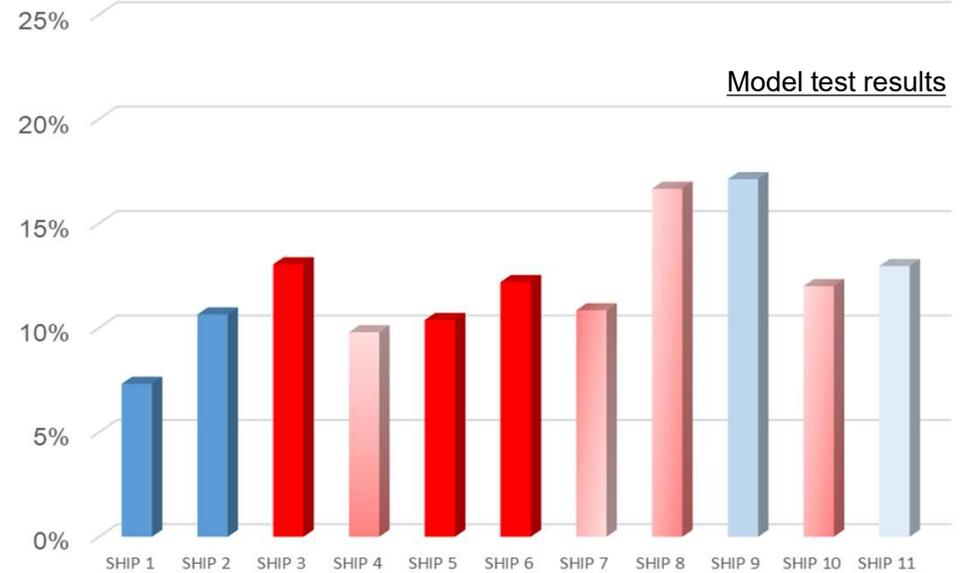
Voyage data is recorded by the same monitoring system



Required propeller thrust(N)



GR thrust index



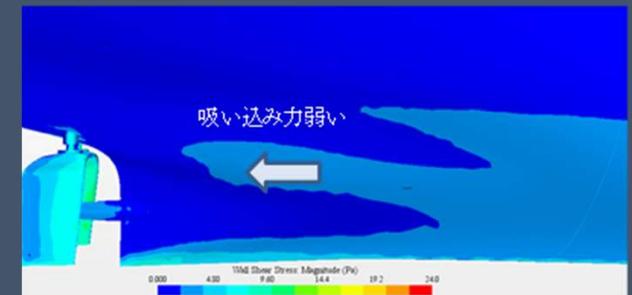
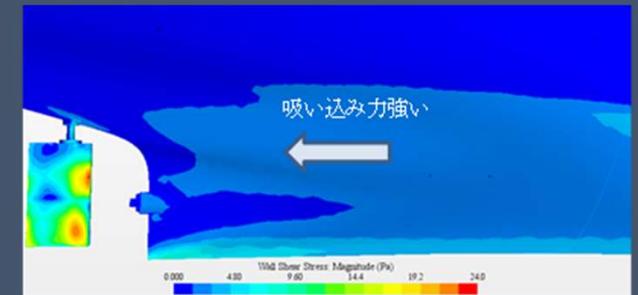
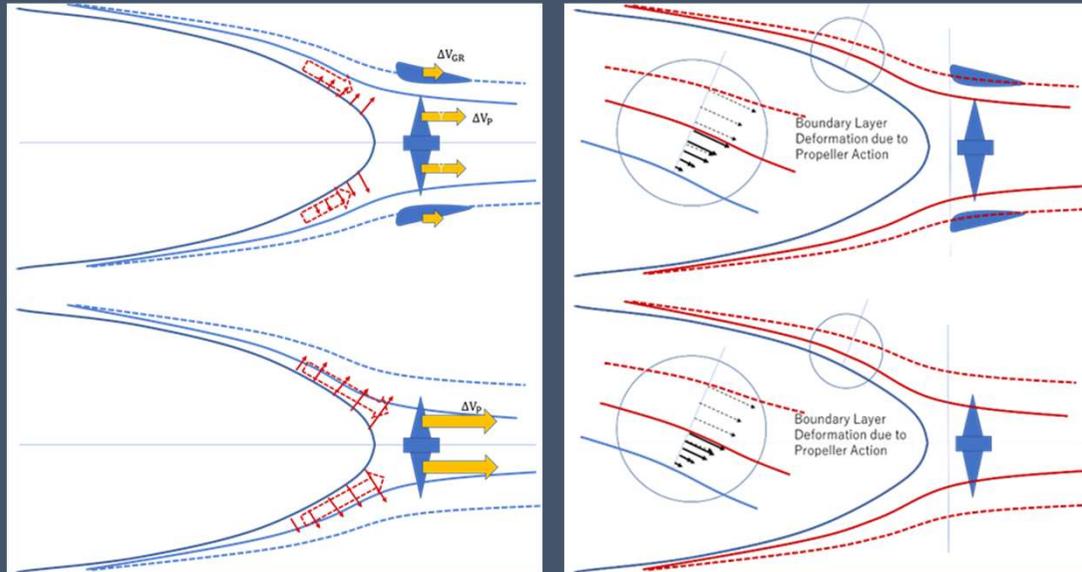
Model test results

# BB あまり知られていない有効伴流係数

6th International Symposium on Marine Propulsors , 30th May 2017, Rome, Italy

有効伴流係数は、オープン状態で計測されたプロペラの単独性能から算出される。そこでは、プロペラの吸い込みに関係なく、前進速度は曳航電車の速度である。公称伴流と有効伴流の違いは、プロペラの吸い込み効果で、船尾の境界層が変形するから。吸い込みがあっても、境界層が変形しない場合は、有効伴流は公称伴流に一致。

同一速力での剪断力比較

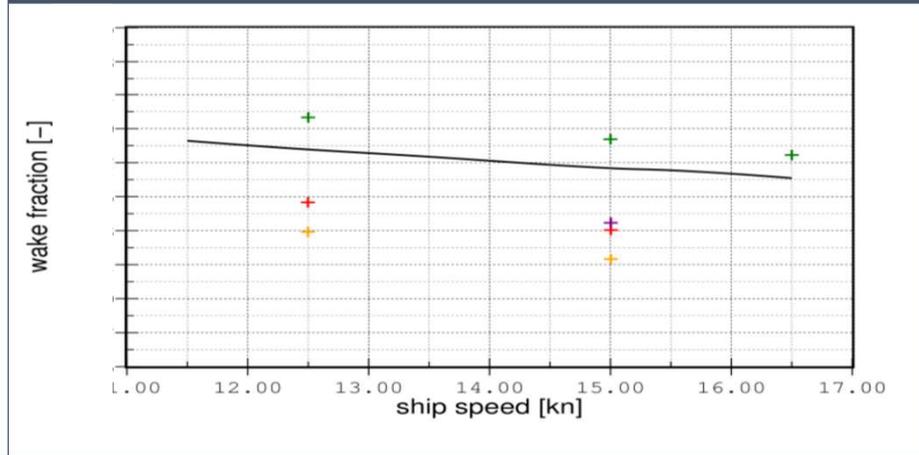
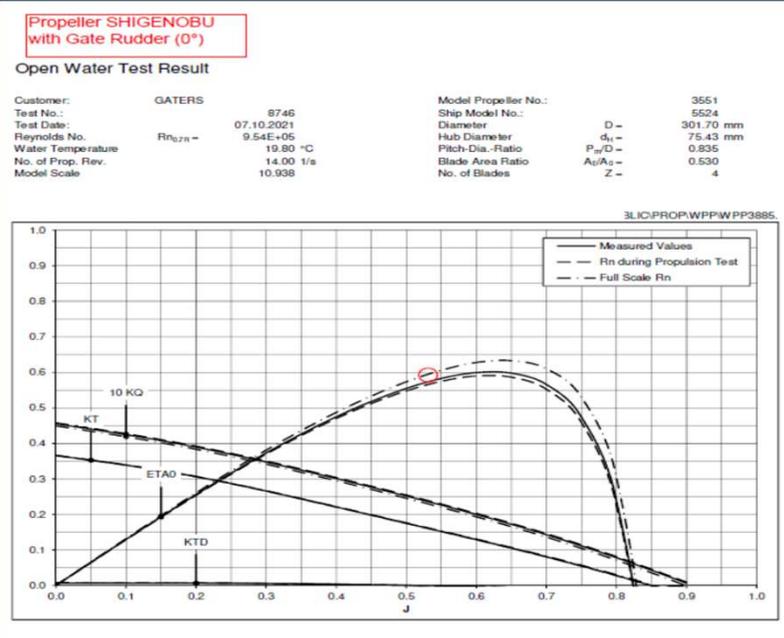


# ゲートラダー全体を推進器と見做した水槽試験 (HSVA 11m模型)

ゲートラダーも通常舵と変わらない  
有効伴流係数が得られる

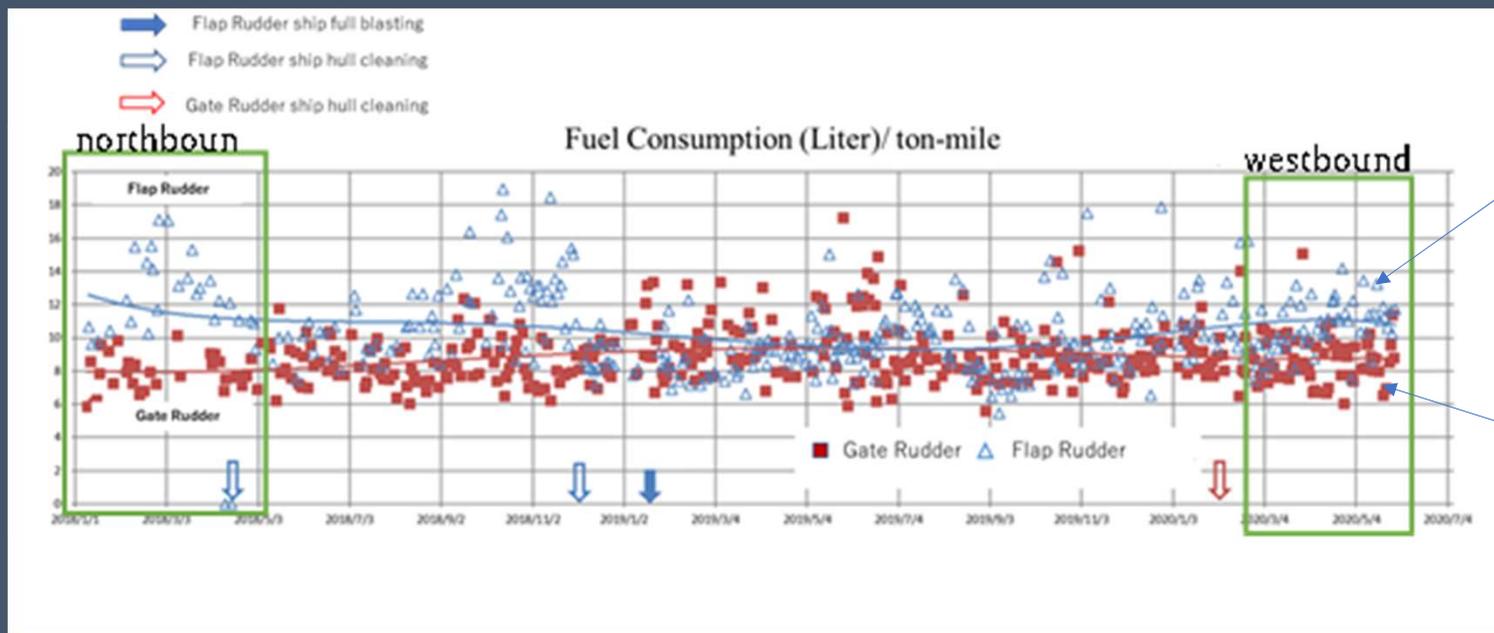


しげのぶ 11m 模型船 (ハンブルグ水槽)



## 就航データから見えてきたゲートラダーの特徴

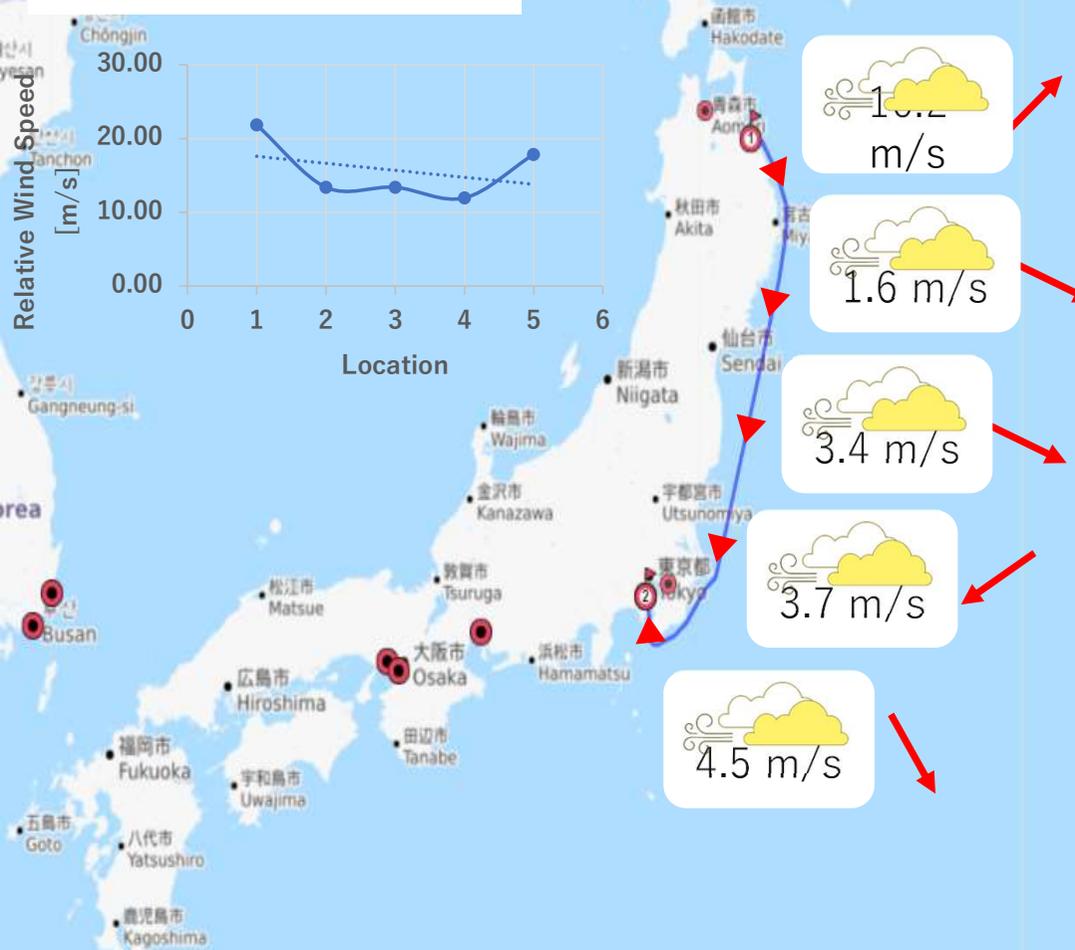
- (1) GRは燃費性能の変化が小さい（3年間のデータから）
- (2) GRは冬の悪化が殆ど見られない
- (3) 瀬戸内航路より北海道航路での燃費差が大きい
- (4) 燃費差が大きいのは、向かい波より追い波時 —— 針路不安定性が影響？



Shigenobu  
 13.61 kts  
 2,469 kW  
 10.54 Ton/mile at 14kts

**Cadm: 250**

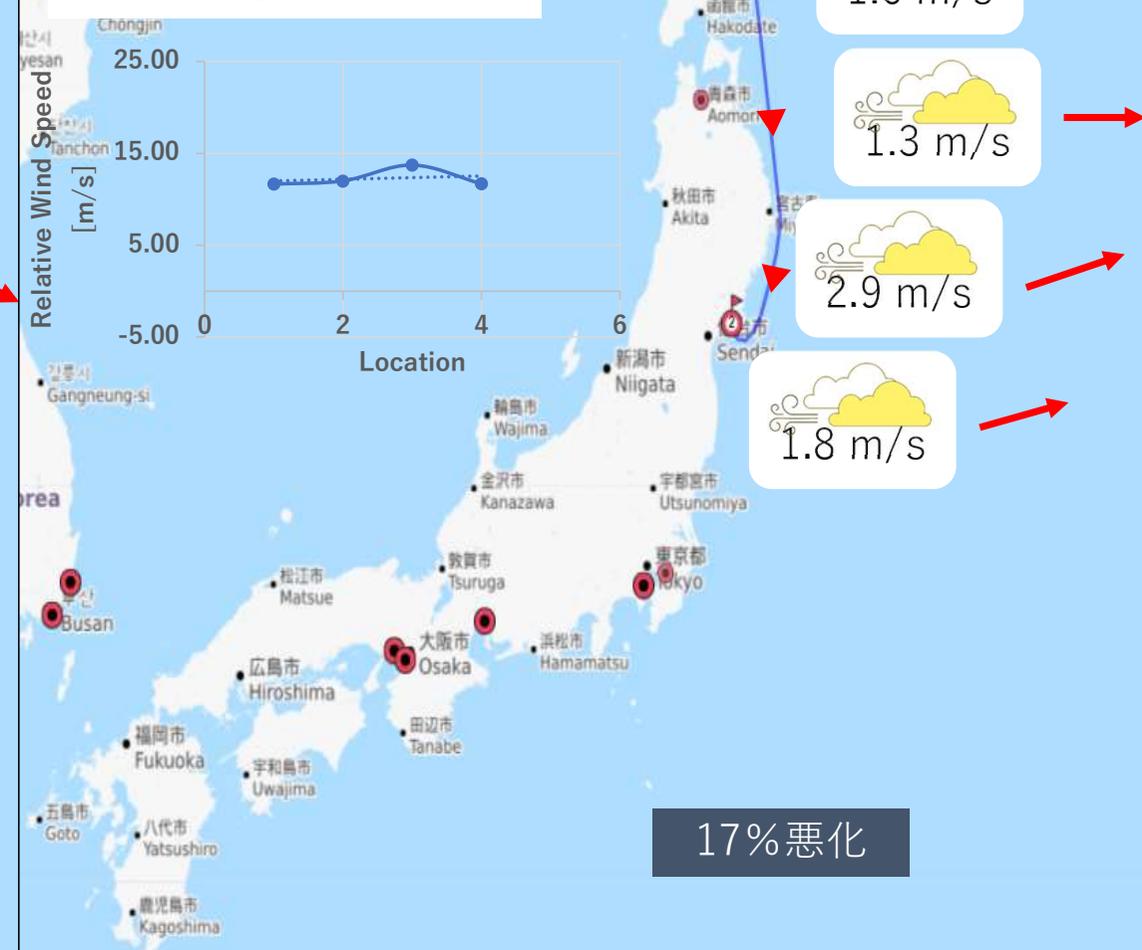
Departure: 10/02/2018 – 14:00  
 Arrival: 11/02/2018 – 22:00  
 Hachinohe - Yokohama



Sakura  
 12.06 kts  
 2,660 kW  
 19.45 Ton/mile at 14kts

**Cadm: 207**

Departure: 10/02/2018 – 15:00  
 Arrival: 11/02/2018 – 18:00  
 Tomakomai - Ishinomaki

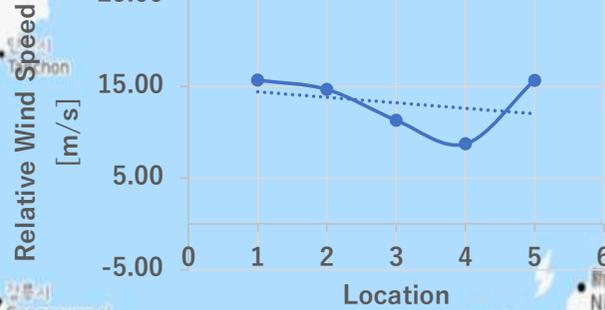


17%悪化

Shigenobu  
 13.65 kts  
 2,313 kW  
 8.27 Ton/mile at 14kts

**Cadm: 277**

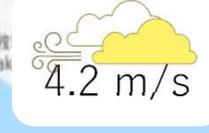
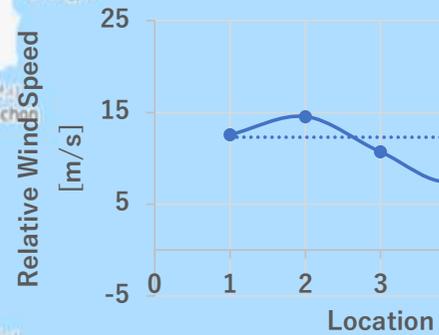
Departure: 13/02/2018 – 11:00  
 Arrival: 15/02/2018 – 04:00  
 Yokohama - Tomakomai



Sakura  
 13.54 kts  
 2,680 kW  
 13.78 Ton/mile at 14kts

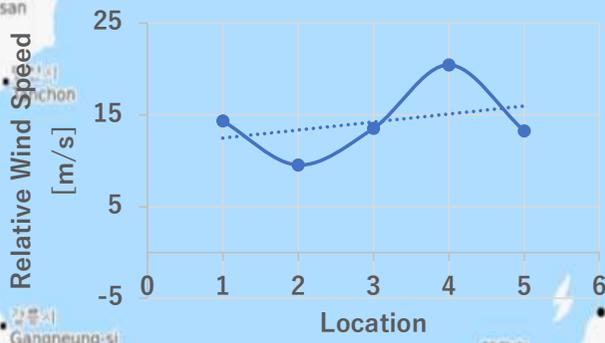
**Cadm: 232**

Departure: 7/02/2018 – 22:00  
 Arrival: 09/02/2018 – 15:00  
 Yokohama - Tomakomai

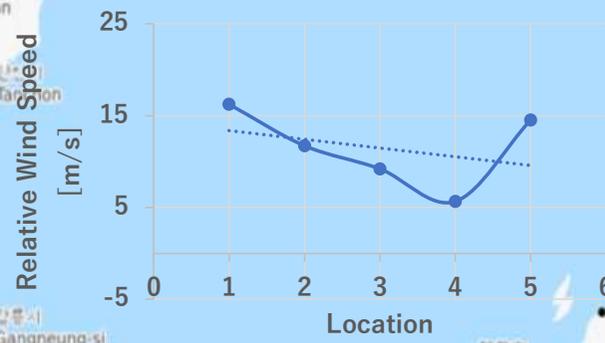


18%悪化

Shigenobu  
 13.80 kts  
 2,336 kW  
 9.70 Ton/mile at 14kts  
**Cadm: 284**  
 Departure: 12/03/2018 – 17:35  
 Arrival: 14/03/2018 – 01:00  
 Hachinohe - Tokyo



Sakura  
 12.08 kts  
 2,521 kW  
**21.43 Ton/mile at 14kts**  
**Cadm: 170**  
 Departure: 04/03/2018 – 20:15  
 Arrival: 06/03/2018 – 08:00  
 Hachinohe - Tokyo



**40%悪化**

## 神門丸の就航データ分析



# 神門丸と比較対象船

	神門丸	比較対象船
建造造船所	山中造船株式会社	山中造船株式会社
就航	2020年8月	2016年4月
Lpp*B*D*d	69*12*7.12*4.15	69*12*7.06*4.132
主機	新潟6N31NT-G	Akasaka AX31
定格出力	1323kW*290rpm	1323kW*290rpm
逆転機	有り	無し
プロペラ直径	2.3m	2.4m
最大軸危険回転数	180RPM	110RPM
船尾形状	ソールピース無し	ソールピース付き
舵タイプ	ゲートラダー	シリングラダー
塗装仕様	同一	

# 共通のモニタリングシステム「マイレージモニター」

DATE	TIME	LAT	LON	MERevo_min1	FOFlowra_texLh	ShipSpeed_dGPS_k	DraftAve_x_mm	DW_t	TotalDistanc_e_mile	TotalRevorevc	TotalFloww	Total Distance Miles	Miles_map	Distance_ma	Running hours (min)	Ship Speed calculated	Ship Speed RecDistance	ShipSpeedLO G_m/s	
2020/10/31	0:00:11	35.6249	139.7921	290*	0	17	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	0.3	1.14	1.14	5.00	13.73	3.60	7.06
2020/10/31	0:05:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	0:10:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	0:15:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	0:20:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	0:25:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	0:30:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	0:35:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	0:40:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	0:45:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	0:50:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	0:55:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	1:00:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	1:05:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	1:10:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	1:15:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.09	12.00	0.05
2020/10/31	1:20:11	35.625	139.792	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.09	12.00	0.05
2020/10/31	1:25:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.06	12.00	0.03
2020/10/31	1:30:11	35.625	139.792	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	1:40:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.09	12.00	0.05
2020/10/31	1:45:11	35.6249	139.792	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.06	12.00	0.03
2020/10/31	1:50:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.06	12.00	0.03
2020/10/31	1:55:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	2:00:11	35.625	139.792	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.09	12.00	0.05
2020/10/31	2:05:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.06	12.00	0.03
2020/10/31	2:10:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	2:15:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	2:20:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	2:25:11	35.6249	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.00	0.00	5.00	0.00	12.00	0.00
2020/10/31	2:30:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.07	12.00	0.04
2020/10/31	2:35:11	35.6249	139.792	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.09	12.00	0.05
2020/10/31	2:40:11	35.625	139.7921	0	0	0	410.9	1646.4	6794.7	9037542	115387.1	0.3	1	0.01	0.01	5.00	0.09	12.00	0.05

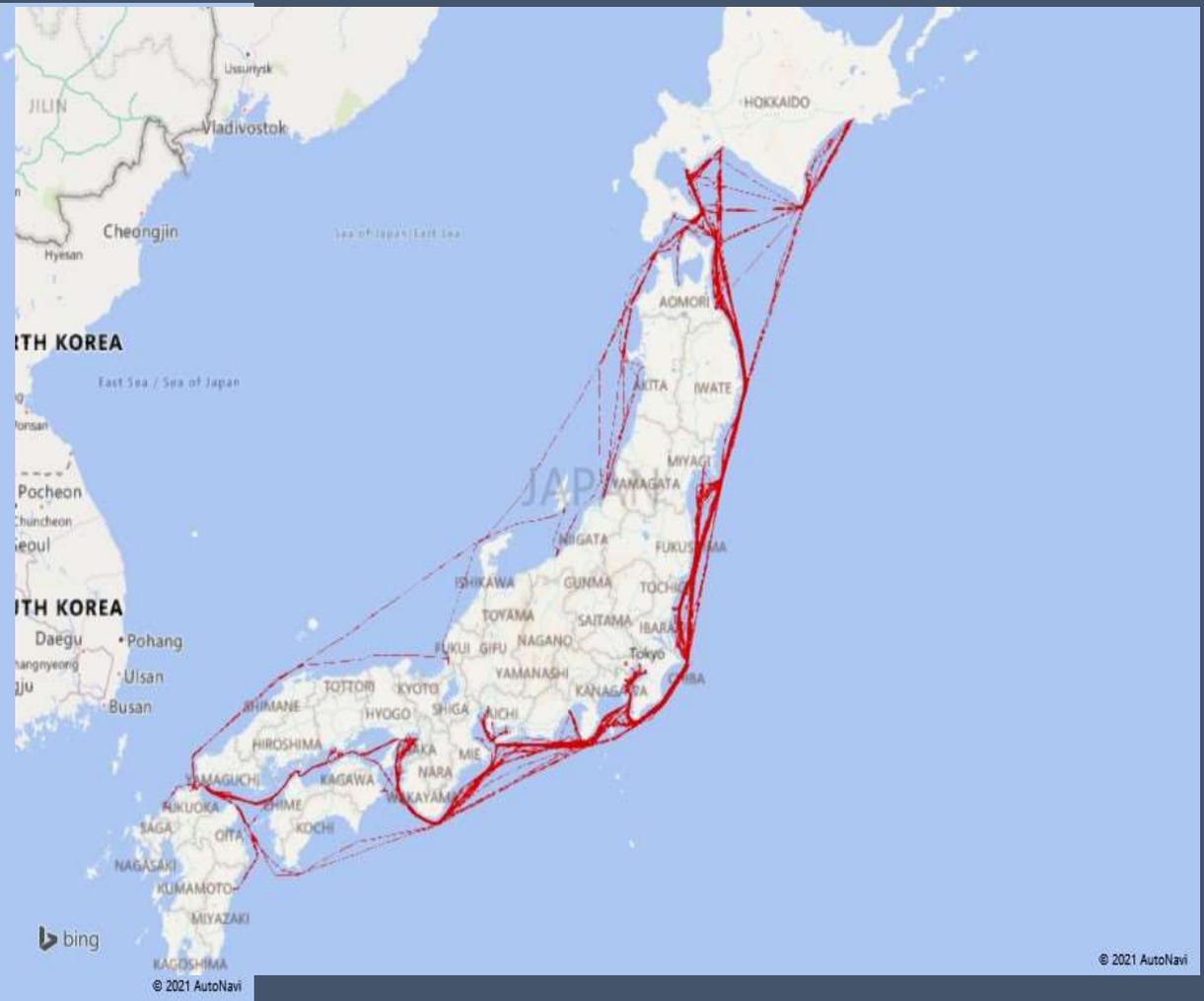
5分間ごとに出力

時間情報    位置情報    燃料情報    速力    喫水    走行距離

比較対象船 航路実績



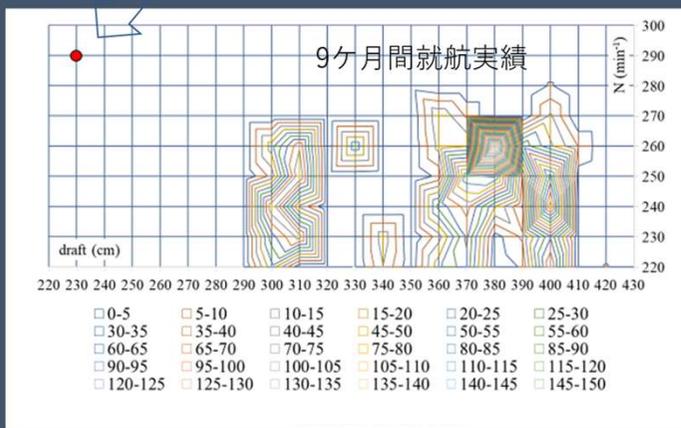
神門丸 航路実績



## 分析方法

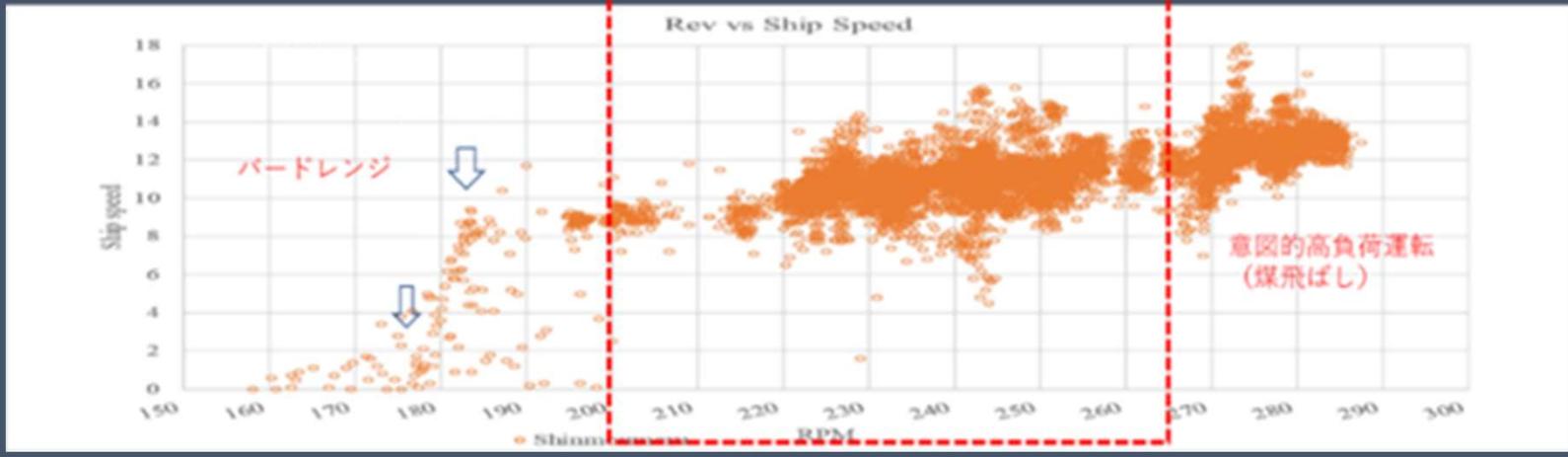
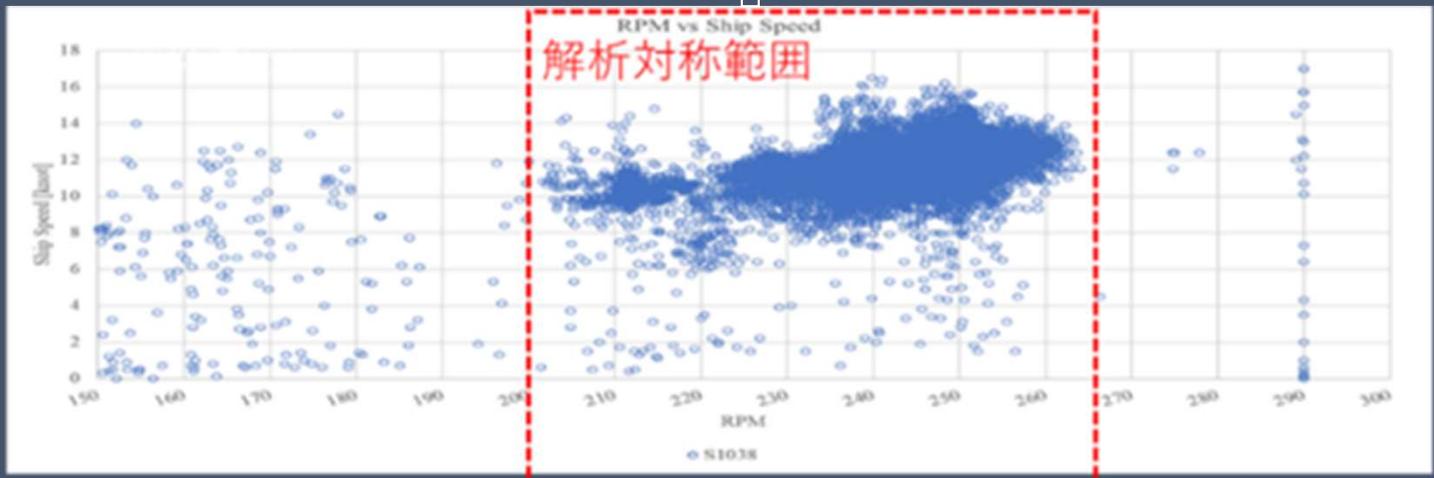
- (1) 燃費指標 (L/MILE) で比較
- (2) 比較対象船の主機負荷使用範囲\*に限定
- (3) 比較対象船の就航直後1年間と比較
- (4) 同一期間での比較も実施
- (5) 同日かつ同一航路があれば、それも比較

試運転

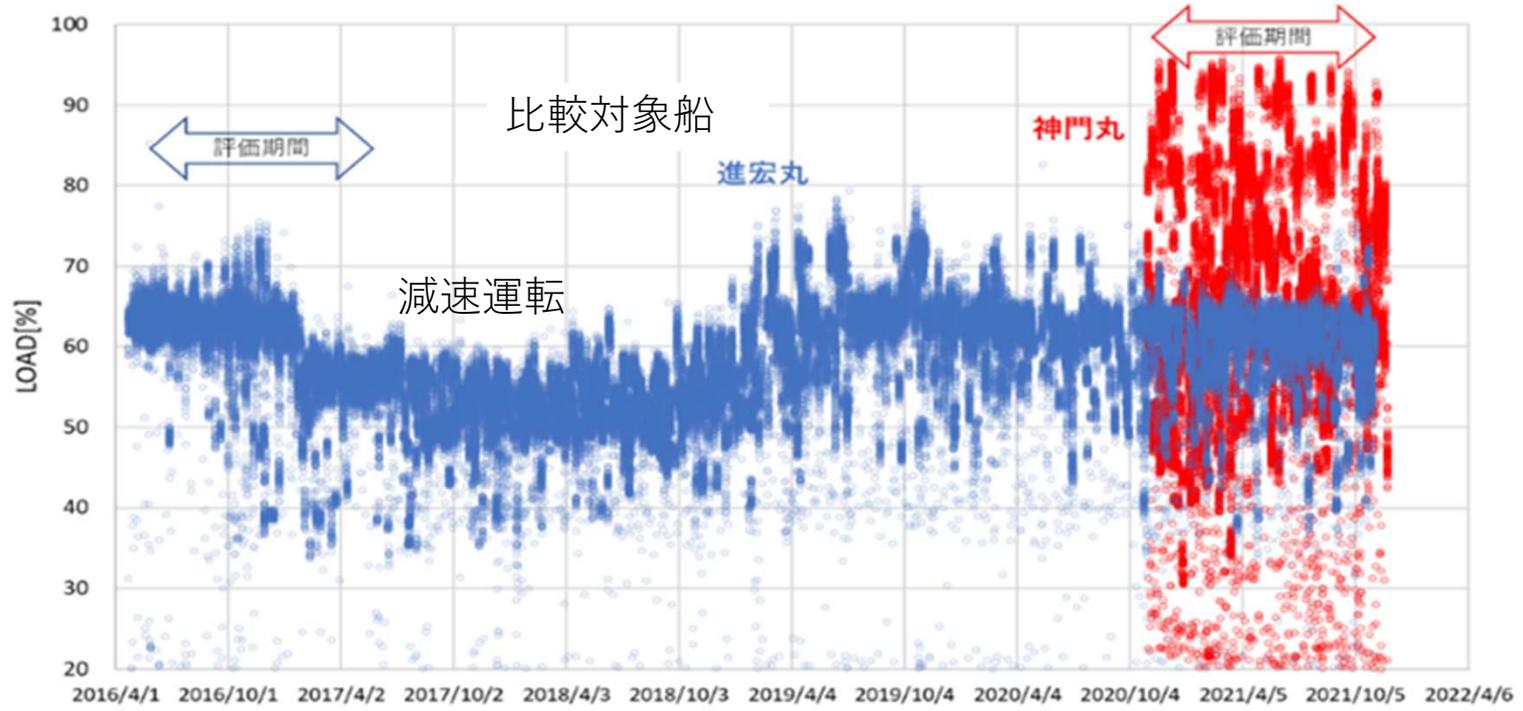


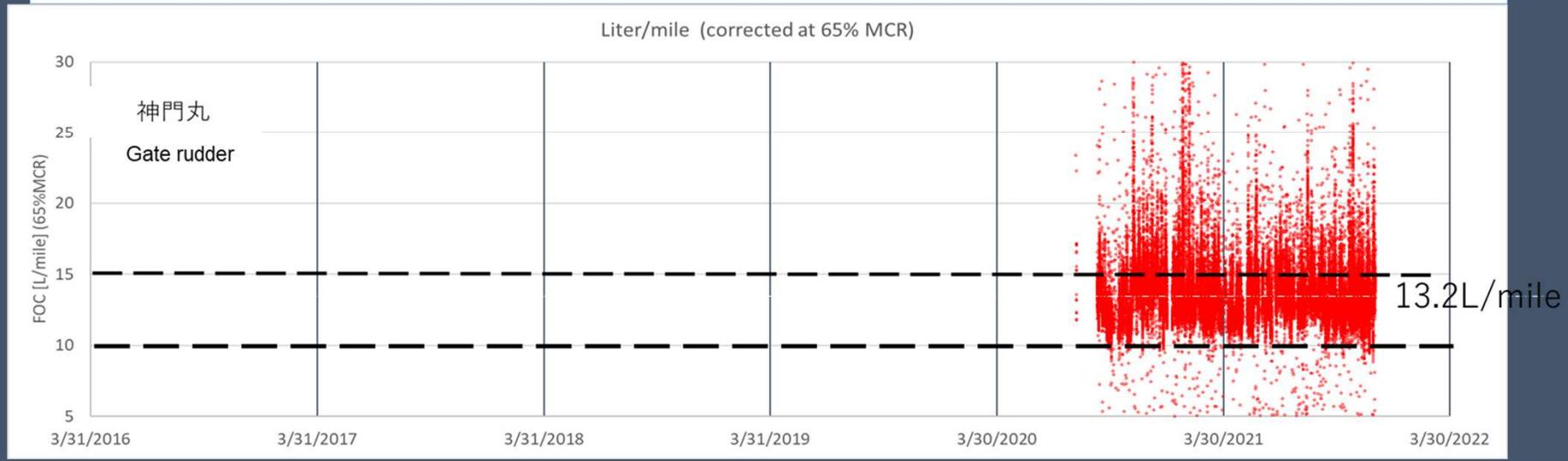
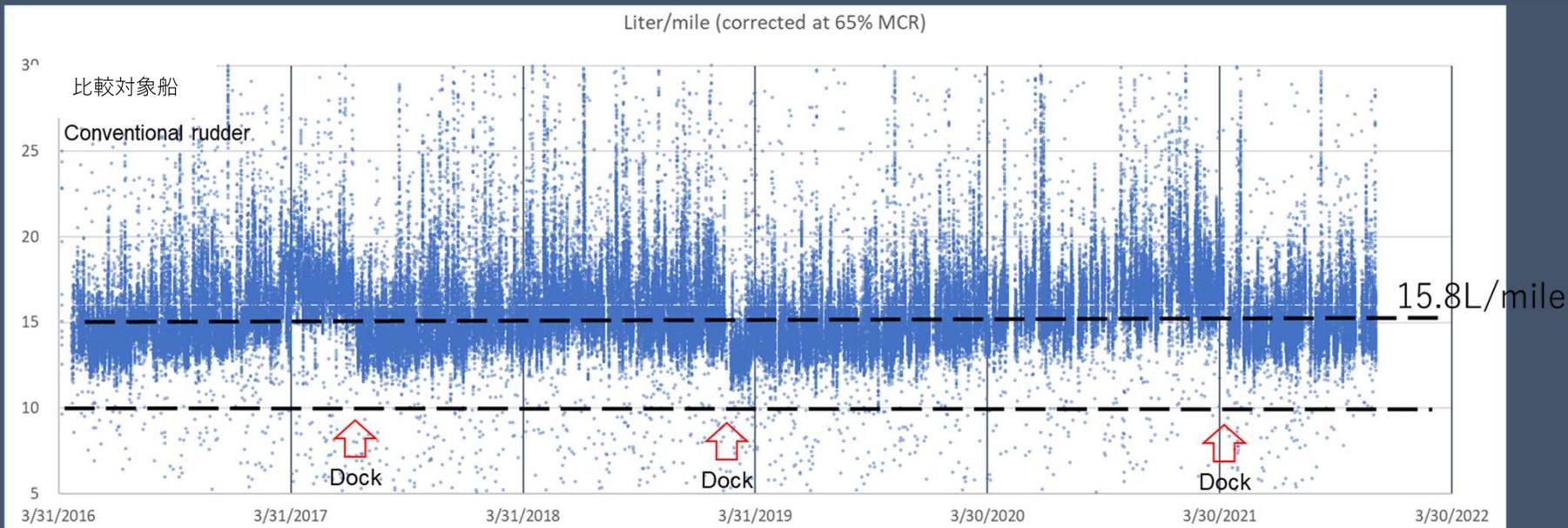
\* 200RPM - 265RPM

→ 経済産業省・国土交通省へ提出済み

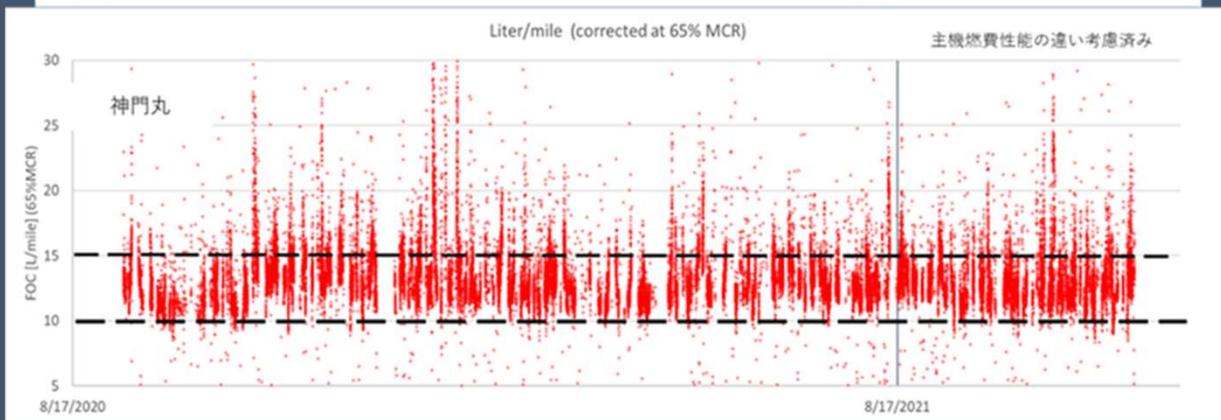
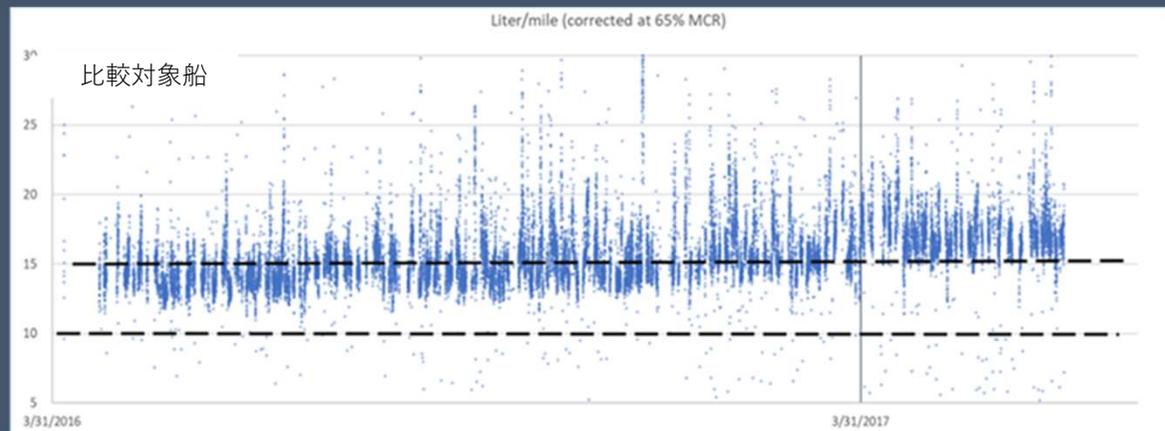


# 負荷率

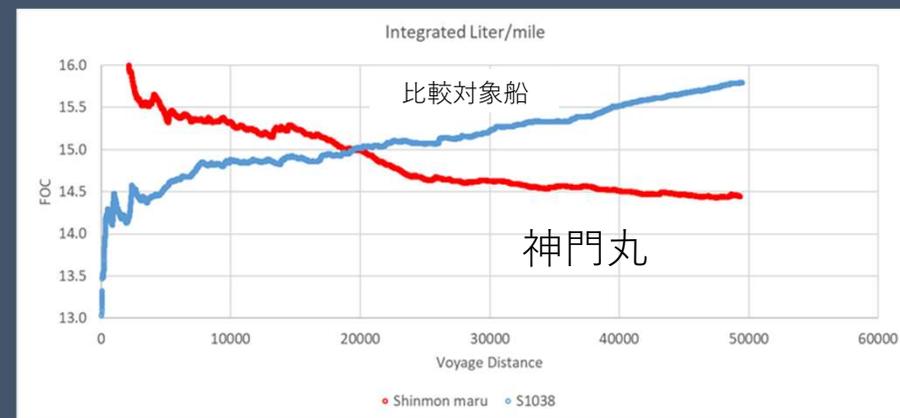




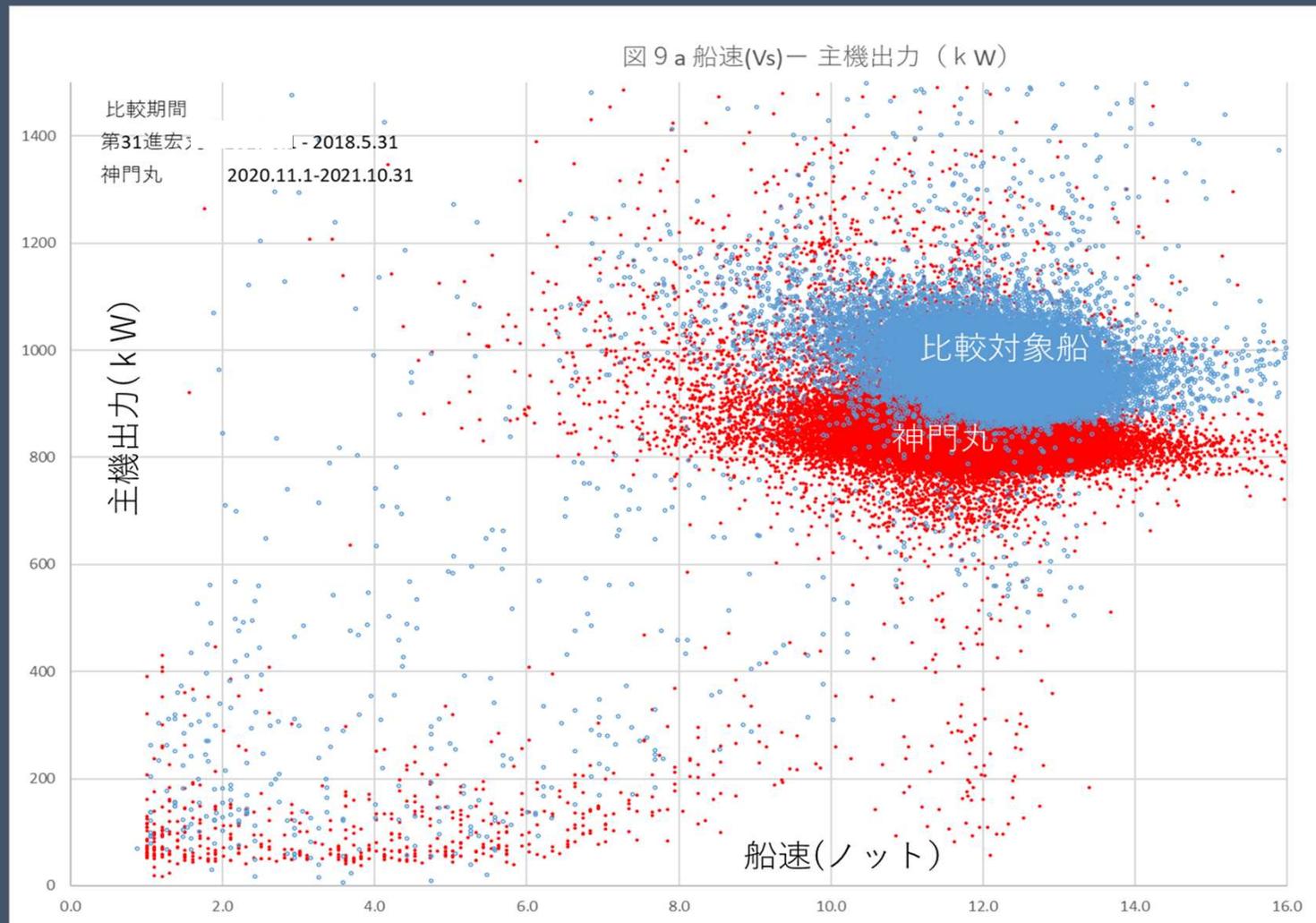
# 就航後1年間の比較

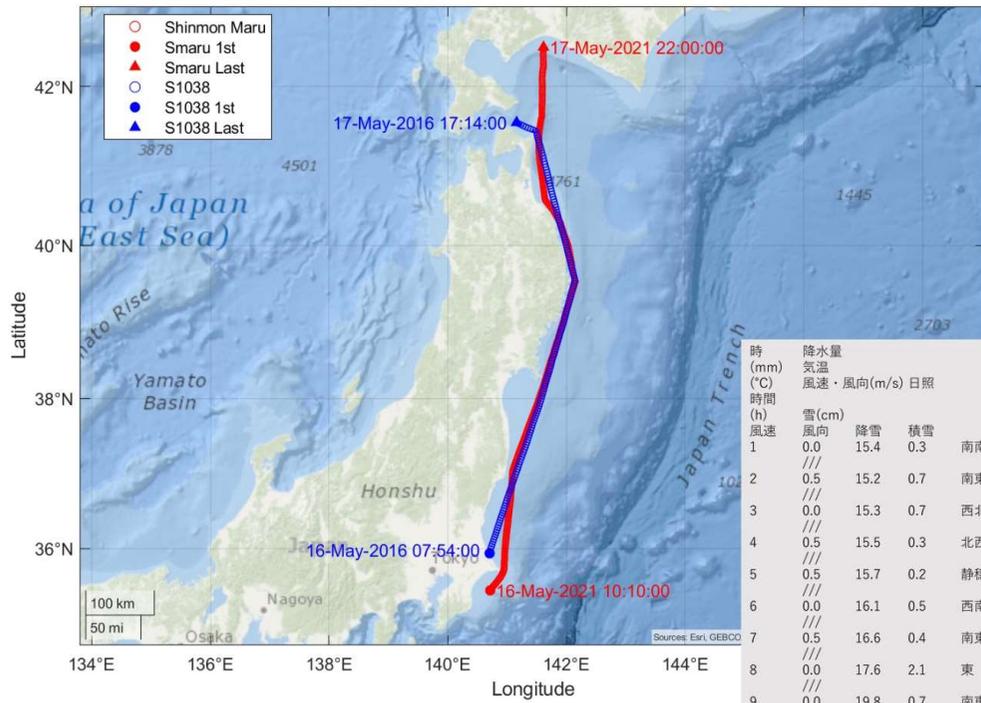


積算燃費指標(車と同じ)



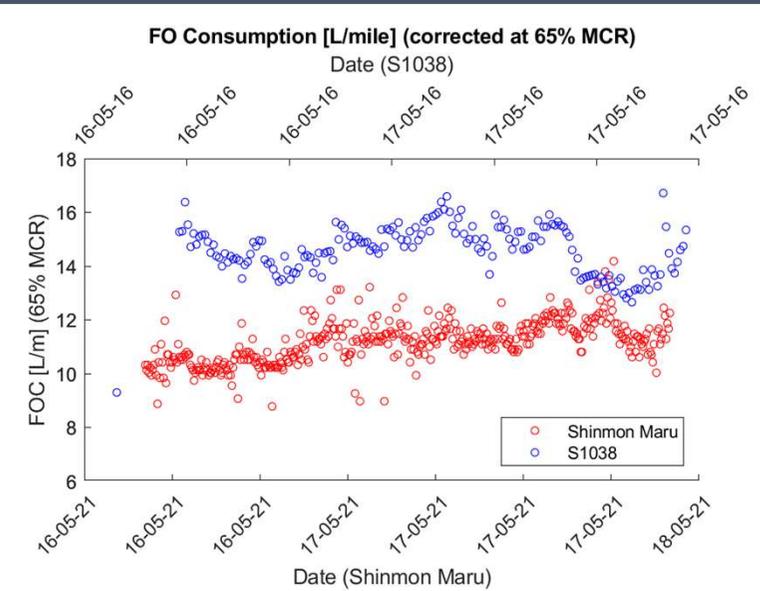
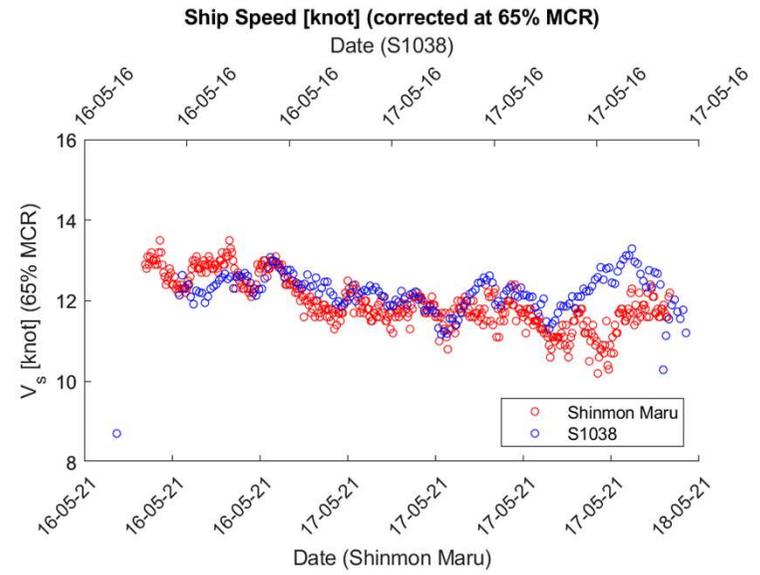
計測された燃料流量 → 各船の主機SFOC → 主機馬力

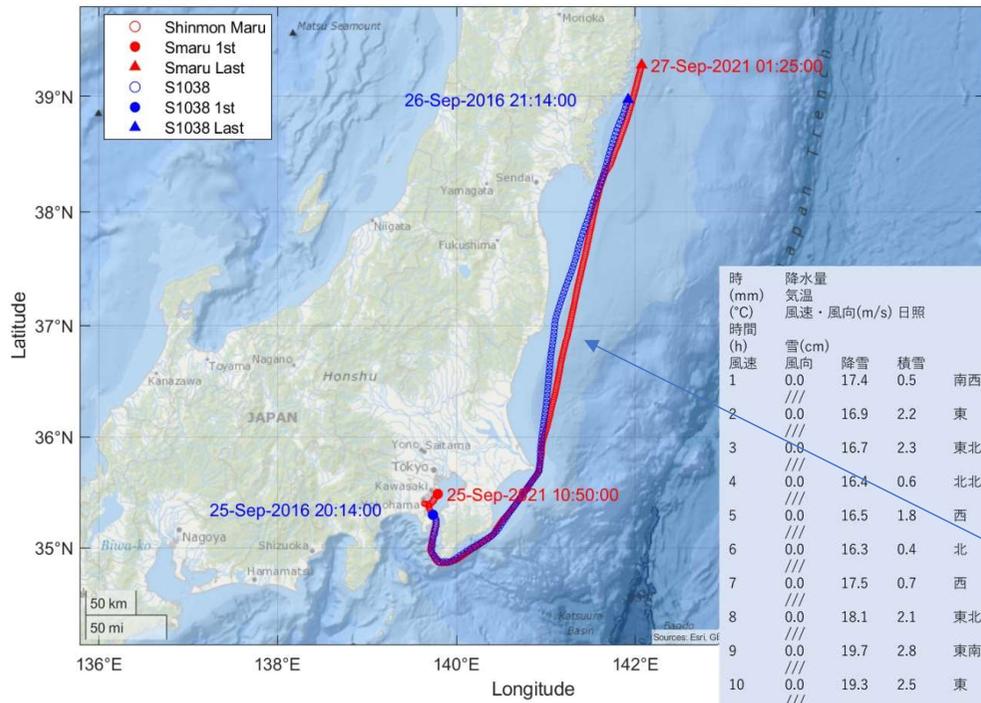




時	降水量	気温	風速	風向	日照
(mm)	(°C)	(m/s)	日照		
時間	雪(cm)	降雪	積雪		
(h)	風速	風向	降雪	積雪	
1	0.0	15.4	0.3	南南東	///
2	0.5	15.2	0.7	南東	///
3	0.0	15.3	0.7	西北西	///
4	0.5	15.5	0.3	北西	///
5	0.5	15.7	0.2	静穏	0.0
6	0.0	16.1	0.5	西南西	0.0
7	0.5	16.6	0.4	南東	0.0
8	0.0	17.6	2.1	東	0.0
9	0.0	19.8	0.7	南東	0.0
10	0.0	22.0	1.9	南東	0.0
11	0.0	21.8	2.3	東	0.0
12	0.0	22.2	1.8	東	0.1
13	0.0	25.6	5.3	西南西	0.2
14	0.0	25.2	3.4	西	0.0
15	0.0	25.1	1.7	西北西	0.0
16	0.0	24.4	2.7	西北西	0.0
17	0.0	23.2	1.2	西北西	0.0
18	0.0	22.0	0.6	北西	0.0
19	0.0	20.9	1.6	西北西	0.0
20	0.0	20.0	1.3	西	///
21	0.0	19.3	0.6	西北西	///
22	0.0	18.8	1.5	北西	///
23	0.0	17.0	1.8	南南東	///
24	0.5	15.7	1.0	南南東	///

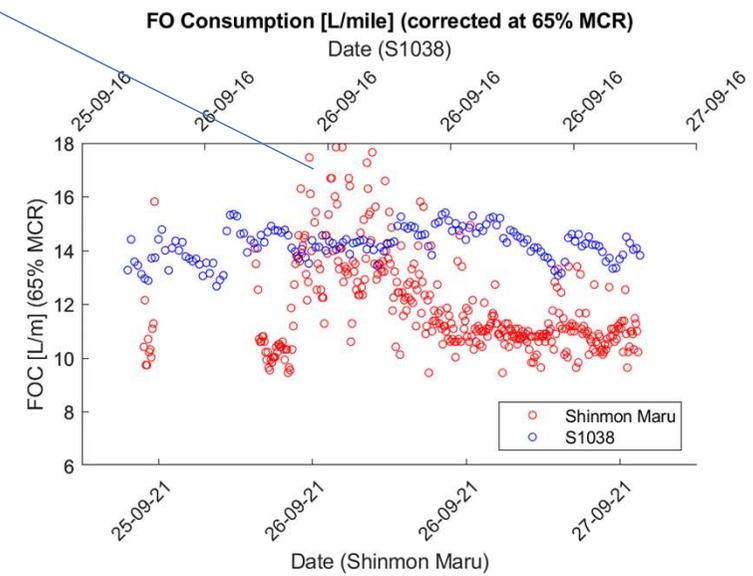
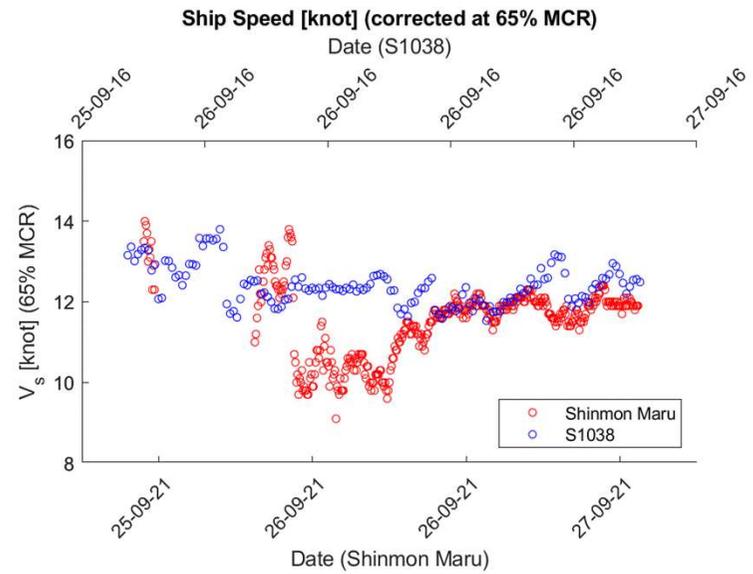
Both ship are in the same direction

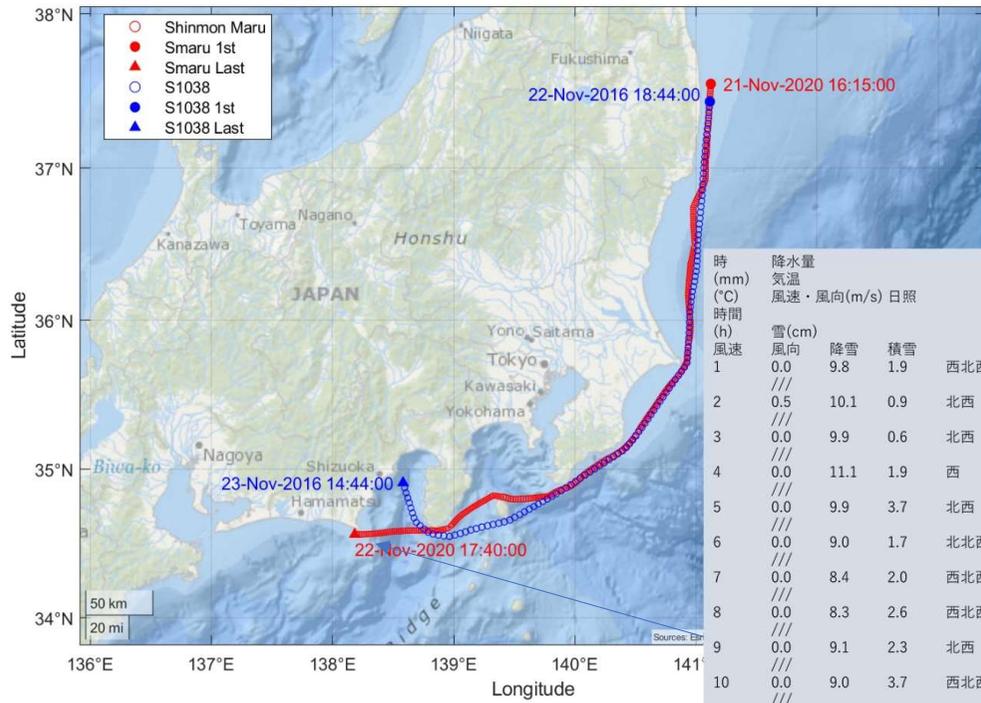




時 (mm)	降水量 (mm)	気温 (°C)	風速・風向(m/s)	日照 (h)	雪(cm)	降雪	積雪		
1	0.0	17.4	0.5	南西	///				///
2	0.0	16.9	2.2	東	///				///
3	0.0	16.7	2.3	東北東	///				///
4	0.0	16.4	0.6	北北東	///				///
5	0.0	16.5	1.8	西	///				///
6	0.0	16.3	0.4	北	0.0	///			///
7	0.0	17.5	0.7	西	0.3	///			///
8	0.0	18.1	2.1	東北東	0.0	///			///
9	0.0	19.7	2.8	東南東	0.5	///			///
10	0.0	19.3	2.5	東	0.5	///			///
11	0.0	20.7	3.4	東南東	0.2	///			///
12	0.0	20.1	3.2	東南東	0.1	///			///
13	0.0	21.0	3.1	東	1.0	///			///
14	0.0	19.9	3.1	東	0.3	///			///
15	0.0	19.0	3.8	東	0.1	///			///
16	0.0	18.6	3.0	東	0.0	///			///
17	0.0	18.3	1.7	東	0.3	///			///
18	0.0	17.6	0.0	静穏	0.0	///			///
19	0.0	17.5	0.8	東	///				///
20	0.0	17.0	0.3	北	///				///
21	0.0	16.6	0.6	西北西	///				///
22	0.0	16.2	0.9	西北西	///				///
23	0.0	16.0	0.2	静穏	///				///
24	0.0	15.9	1.0	西北西	///				///

Both ship are in the same direction

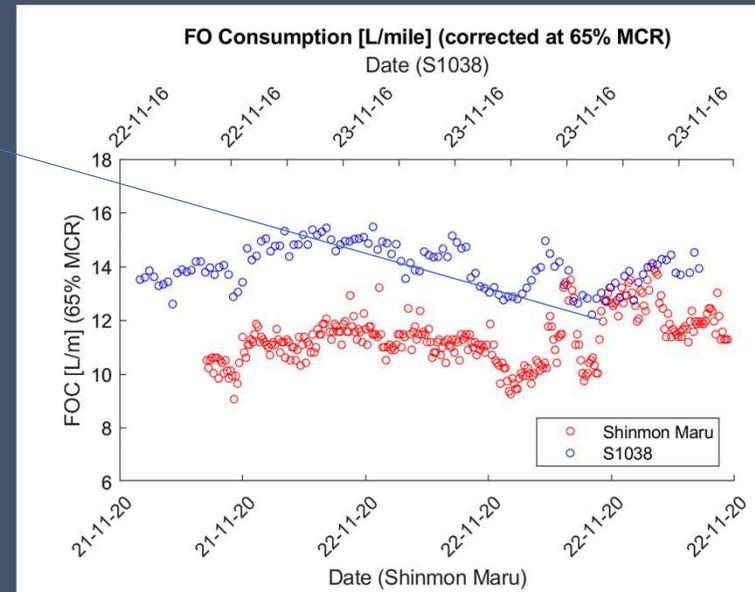
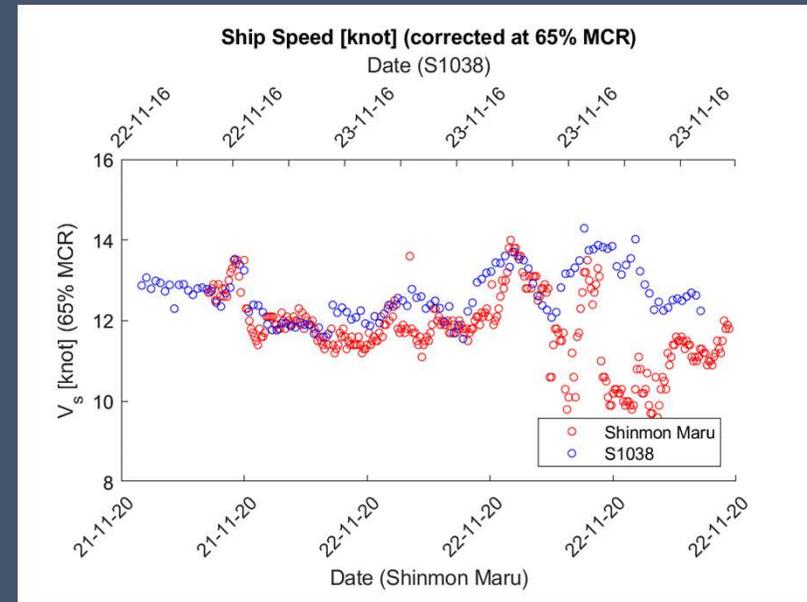




時 (mm)	降水量 (mm)	気温 (°C)	風速・風向(m/s)	日照
時間 (h) <td>雪(cm)</td> <td>降雪</td> <td>積雪</td> <td></td>	雪(cm)	降雪	積雪	
風速	風向	降雪	積雪	
1	0.0	9.8	1.9	西北西
2	0.5	10.1	0.9	北西
3	0.0	9.9	0.6	北西
4	0.0	11.1	1.9	西
5	0.0	9.9	3.7	北西
6	0.0	9.0	1.7	北北西
7	0.0	8.4	2.0	西北西 0.0
8	0.0	8.3	2.6	西北西 0.5
9	0.0	9.1	2.3	北西 1.0
10	0.0	9.0	3.7	西北西 0.9
11	0.0	9.6	3.3	北西 1.0
12	0.0	9.6	4.3	北西 1.0
13	0.0	9.9	4.2	西北西 1.0
14	0.0	9.4	3.9	西北西 1.0
15	0.0	8.6	4.6	北西 1.0
16	0.0	7.3	2.0	北北西 0.8
17	0.0	6.4	2.7	北西 0.0
18	0.0	5.7	1.3	西南西
19	0.0	4.3	0.9	北北西
20	0.0	3.3	0.8	西北西
21	0.0	3.1	1.1	北北西
22	0.0	2.2	1.2	北西
23	0.0	2.8	1.3	西北西
24	0.0	2.7	1.4	西北西

値欄の記号の説明

Both ship are in the same direction



## まだ良く分かっていないこと

どうも、向かい波の時よりも斜め追い波の際に燃費差が大きく（20%以上）なるようだ

関連するデータ



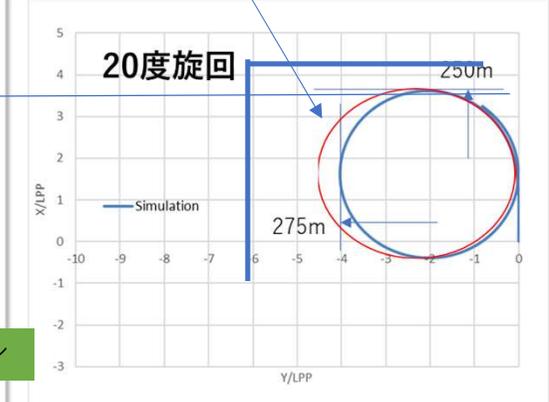
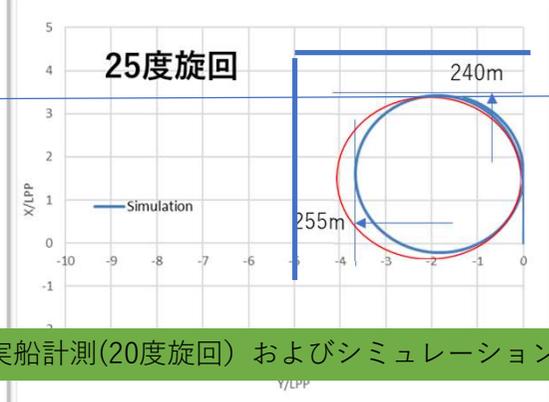
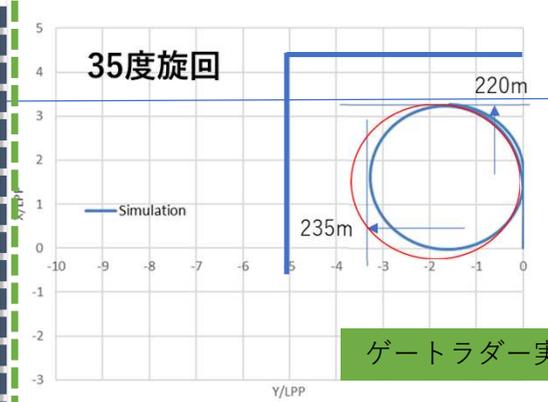
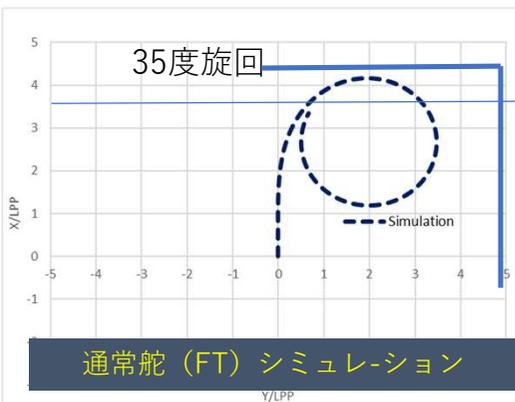
- (1) 合同速力試験時のUターン時の速力低下
- (2) 旋回試験時の速力低下
- (4) 操舵抵抗の違い

CC **操舵時**の推力減少係数(悪魔のサイクル?)

実船試験



# 通常舵(シミュレーション) との比較



ゲートラダー実船計測(20度旋回) およびシミュレーション

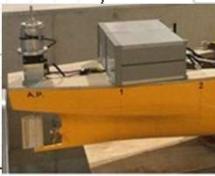
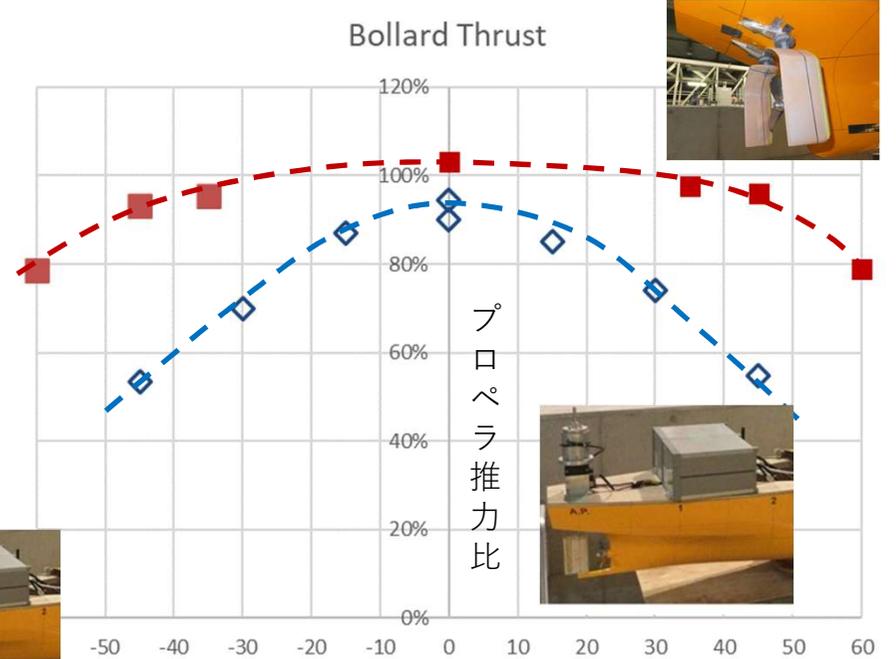
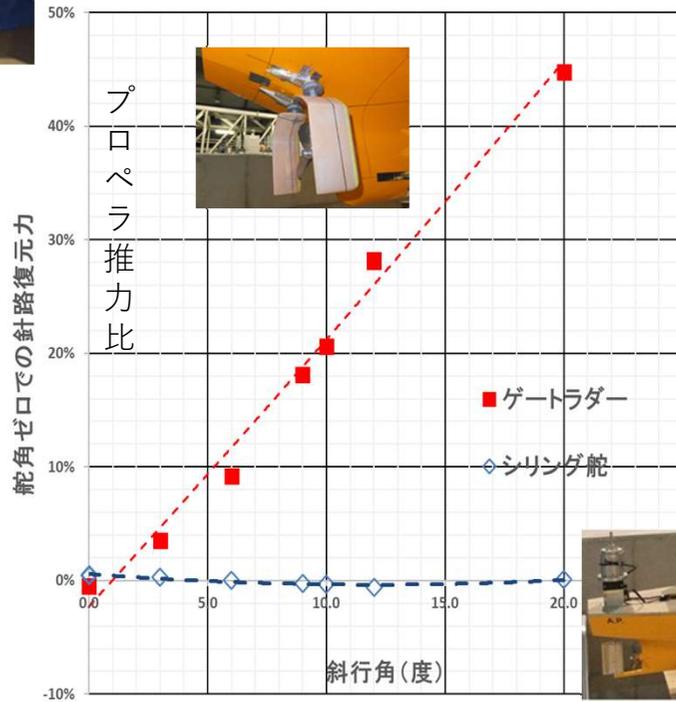
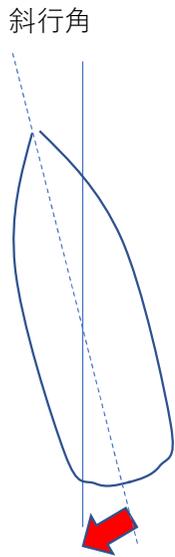


# 九州大学運動性能水槽における針路復元力計測とボラード推力計測



ゲートラダー船は、波風に煽られても自動的に針路を立て直します。

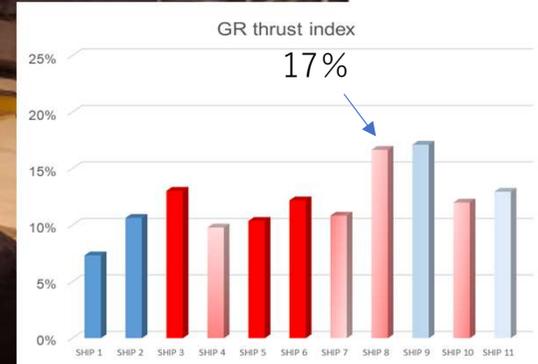
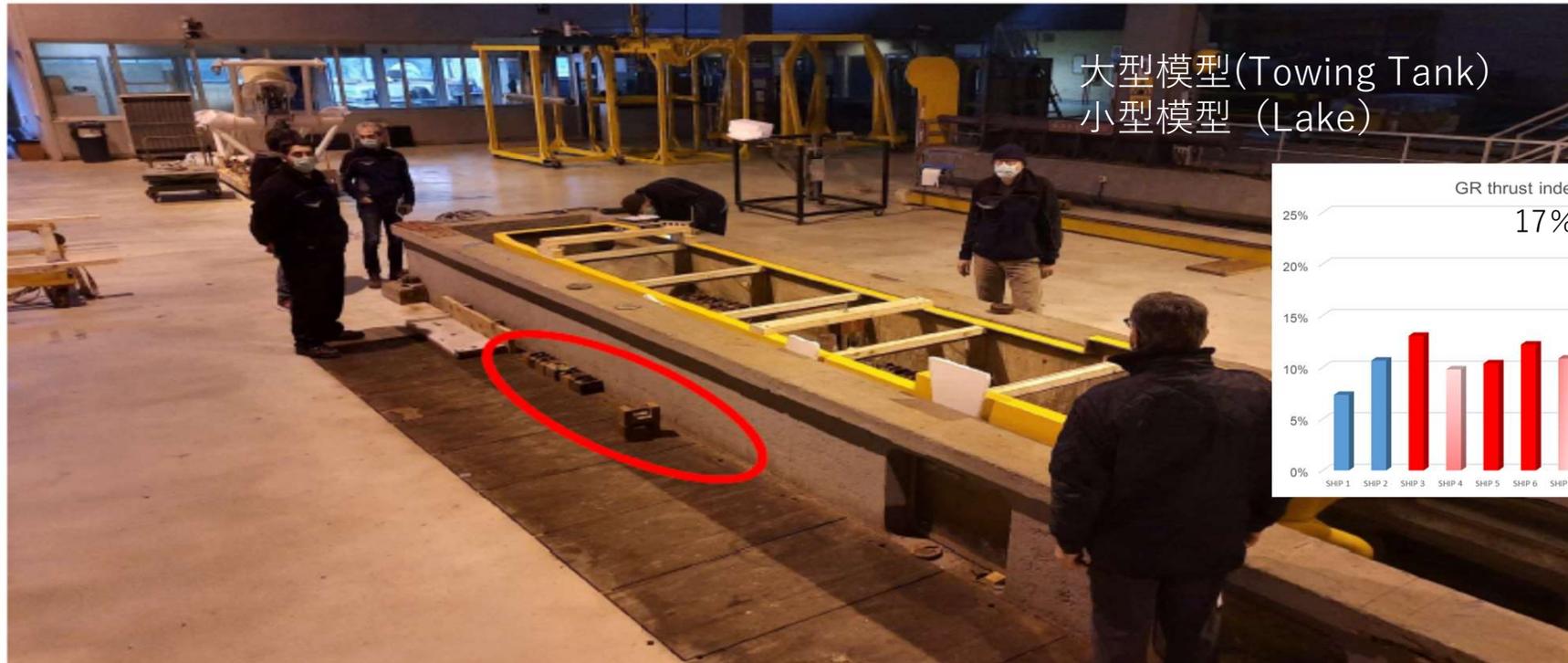
ゲートラダー船は、大舵角を取っても、プロペラ推力を維持でき、安全です。



# 2月に実施されるCNR (INCEAN)でのゲートラダー船の耐航性試験



## Resistance and propulsion tests on c2629 model (e1684)



**FULL LOAD ballasting operation concluded: 2646 kg on**

現在、耐航性試験のメニュー検討中

## 結論

神門丸は、通常舵を装備する同型船と比べ約14%、燃費性能が良い。

追い波・追い風の場合は、20%以上の燃費差があるように見受けられ、保針性能が関係しているように思われる。

(水槽実験や計算で確認できないか?)

同型船は、ドックのたびに新造船に近い性能にまで回復はするが、時間とともに燃費性能が悪化する傾向が、5年間変わらずに続いている。

塗装仕様は全く同じであり、航路にも大きな差は見られない。ゲートラダーの燃費性能が安定しているのと対照的であり、またコンテナ船の例とも傾向が一致する。必要推力が15%程度小さいことが影響しているのか？

