

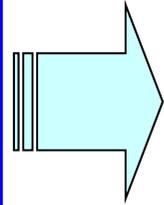
# 複合材料製プロペラの研究開発



# 複合材料について

## FRPの特徴

- 軽量
- 高強度 (CFRP)
- 低 & 高弾性
- 異方特性
- 耐腐食性
- 耐摩耗性 (ArFRP)
- 非磁性 (GFRP)
- 高減衰性
- 大型一体構造



## FRPの使用例

- 航空機・人工衛星
- 風力発電のタービンブレード
- 自動車
- 小型ボート・掃海艇
- スポーツ用品
- 建築・土木



# 世界での複合材料のプロペラ適用実績



ドイツ海軍潜水艦プロペラとして2002年から  
HDW(ホヴァルツヴェルケ)製造/試験  
現在、直径3.5mを搭載予定。



オランダ海軍/Alkmaar級掃討艇用に  
開発された直径2.5mのCPP(2010年)



# これまでの研究状況

フェーズ1 (H19～20年度)

日本船用工業会の補助金で、FS実施

フェーズ2 (H21～23年度)

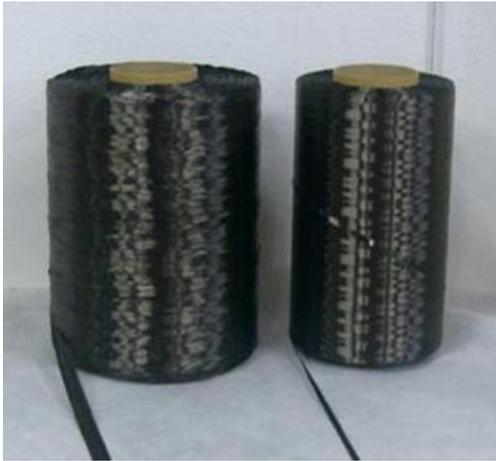
日本財団の補助金で、材料評価、水槽試験、  
小型艇での実船試験を実施

フェーズ3 (H24～26年度)

日本海事協会との業界要望による共同研究  
NK船級取得および一般商船への実用化

# CFRPの材料特性

# 炭素繊維および成形法

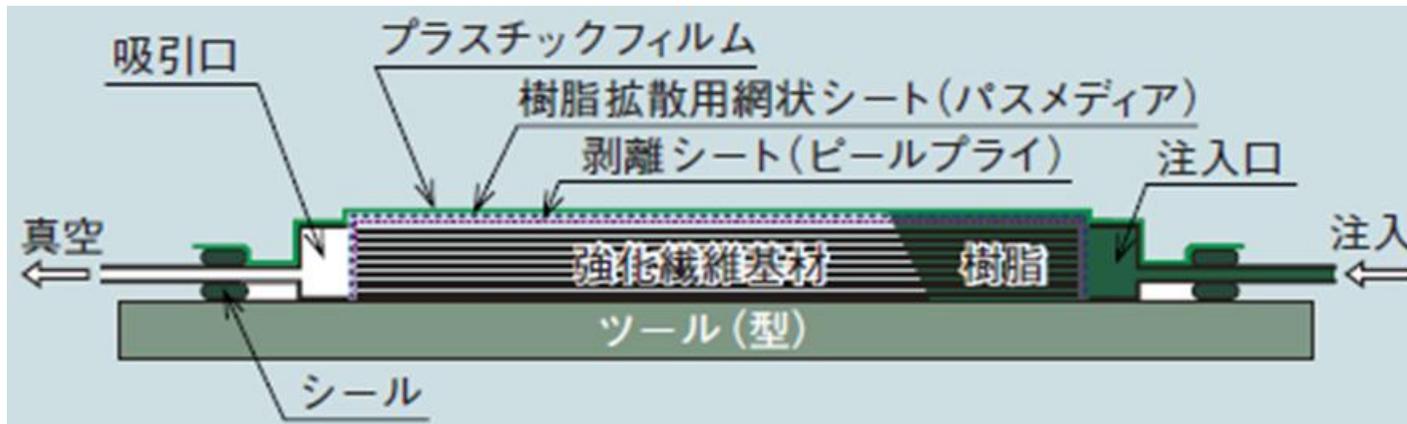


炭素繊維のトウ



炭素繊維のシート

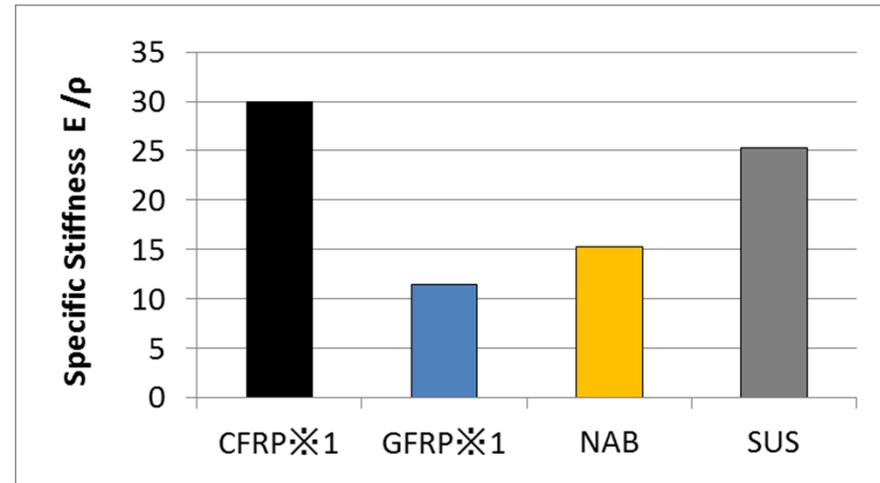
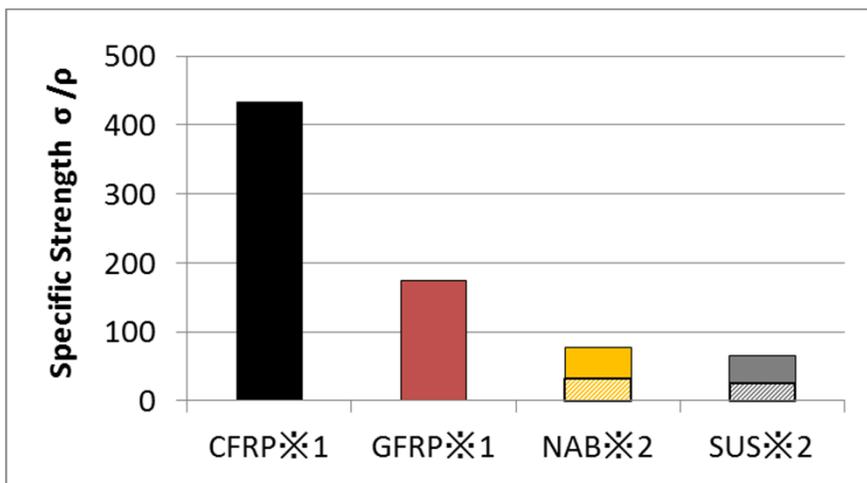
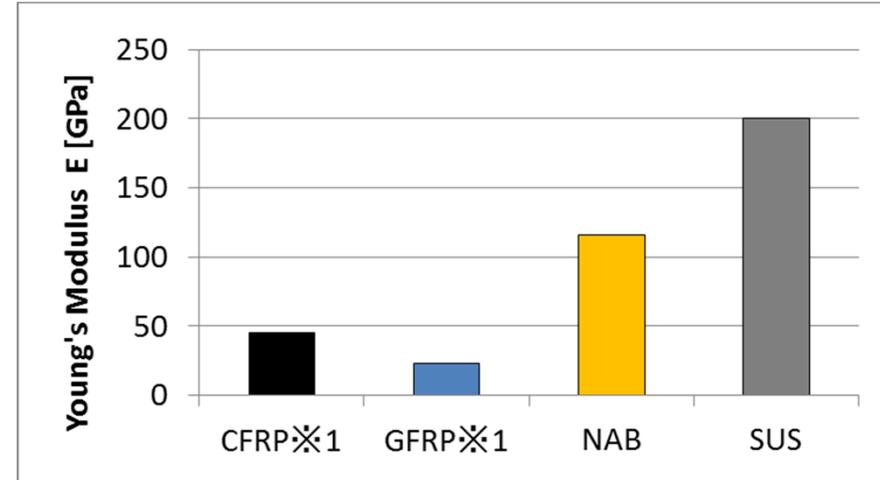
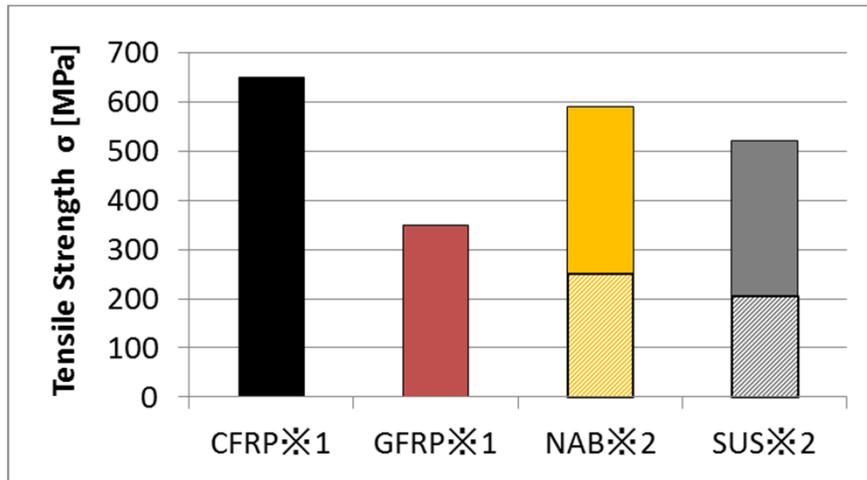
## CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastic



VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding)

# 材料比較

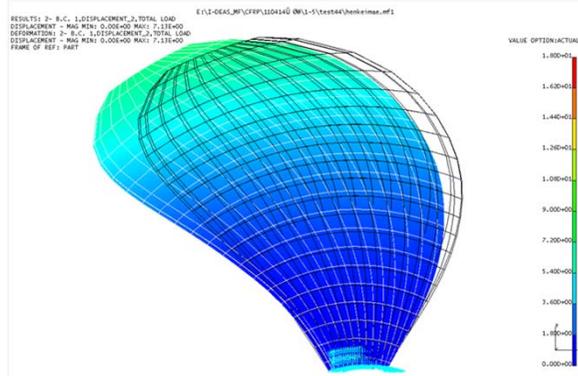
	CFRP	GFRP	NAB	SUS
密度 $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1.5	2	7.6	7.9



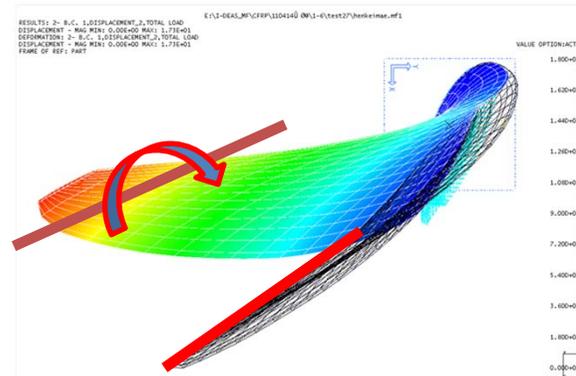
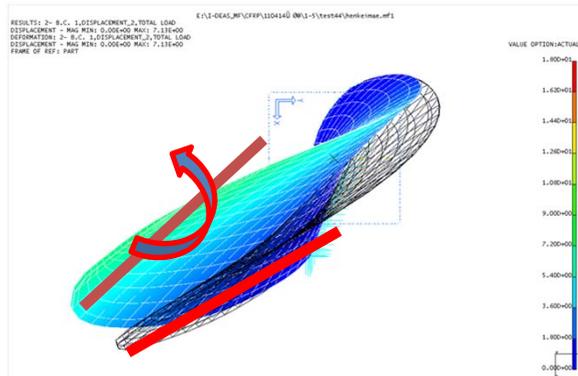
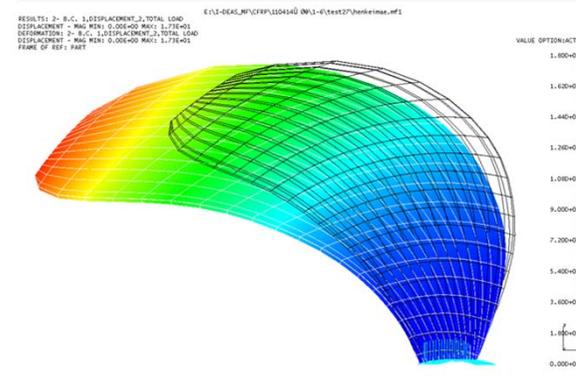
※1: 擬似等方積層 ※2: スラッシュバーは降伏応力

# 複合材料製プロペラの弾性変形

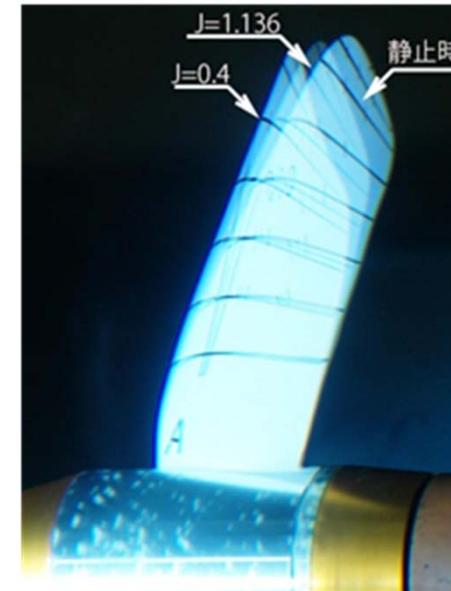
プロペラA



プロペラB



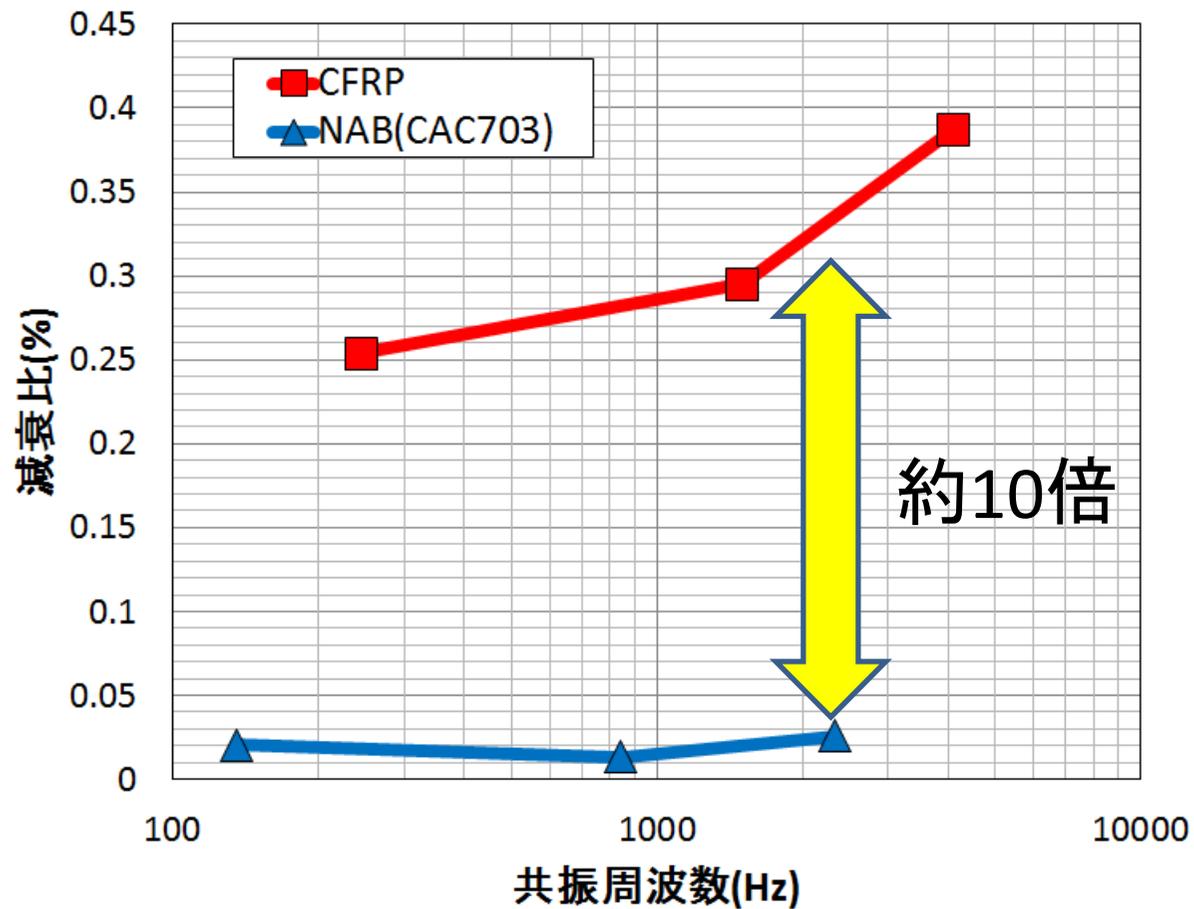
モデルプロペラ



水槽試験状況

- プロペラAは、**ピッチが増加**する方向に変形する
- プロペラBは、**ピッチが減少**する方向に変形する  
ハイスキュー形状では加速時や急激な負荷が作用した場合、弾性変形により流力的に力が逃げる

# CFRPとNABとの制振性比較



CFRPは、従来のプロペラ材料NABよりも高減衰である  
→鳴音抑制、ねじり振動応力の低減にも繋がる

# 一般商船への適用

# 499G/Tケミカルタンカー「大興丸」

平成24年9月：就航



船主	双和海運有限会社
船名	大興丸
造船所	興亜産業株式会社
船種	ケミカルタンカー
総トン数	499G/T
Lpp×B×D	60.00m×10.00m×4.50m
エンジン型式	LH28G-460 (阪神内燃機工業製)
連続最大出力	735kW/355min <sup>-1</sup>
プロペラ	固定ピッチ型、4翼×φ1.950m (ナカシマプロペラ製)
船速	11.5ノット



サイドスラスト

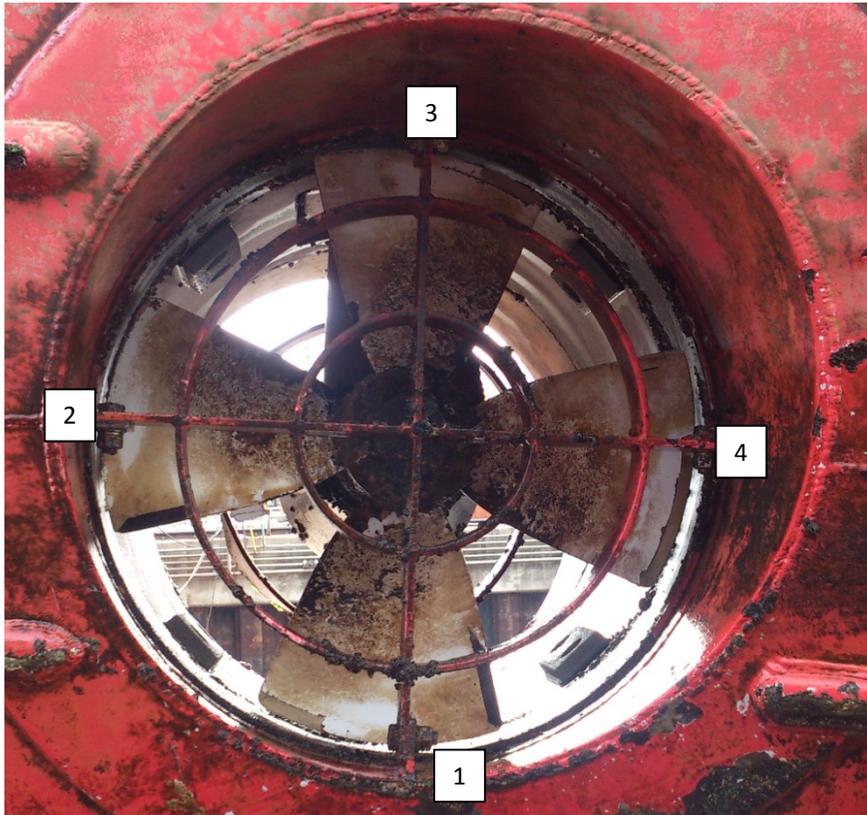
入力 : 165kW  
直径 : 850mm  
公称推力 : 2.5トン  
平成24年9月搭載

主推進用プロペラ

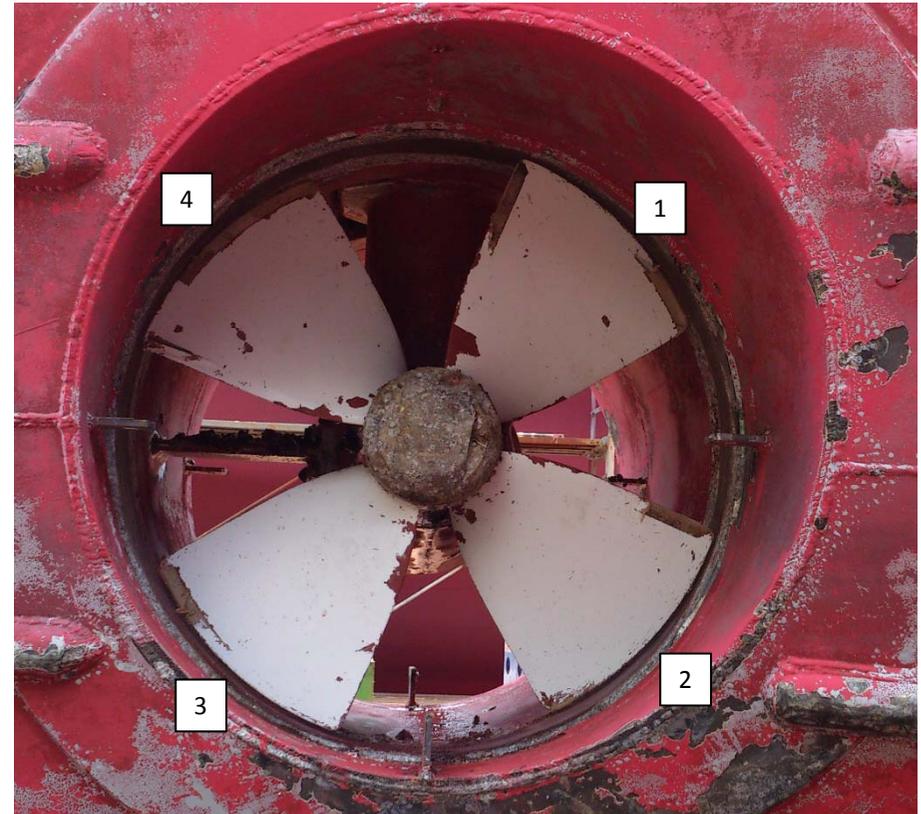
MCR : 735kW  
直径 : 2,120mm  
平成26年5月搭載



# 運転1年7ヶ月後のスラスト状態 (H26.5.9)



左舷側(ドック時)



左舷側(水洗い後)

表面の塗装の一部が剥がれていたが、CFRP層に問題無し。  
CT(X線撮影)により健全であることを確認した。

# 主推進用プロペラおよび軸系

	従来型 (CAC703製)	新設計 (CAC703製)	新設計 (CFRP製)
翼数	4	←	←
プロペラ直径(mm)	1,950	2,120	←
ボス径(mm)	363	420	←
展開面積比	0.63	0.50	←
プロペラ質量(kg)	715	851(114%)	422(59%)
慣性モーメント(kg-m <sup>2</sup> )	112	153(137%)	36.8(33%)
中間軸径(mm)	φ 210-1,290	φ 240-1,290	φ 150-1,290
プロペラ軸径(mm)	φ 220-3,625	←	←
軸質量(kg)	1,440	1,545(107%)	1,265 (88%)

エンジン : 阪神内燃機工業製LH28G

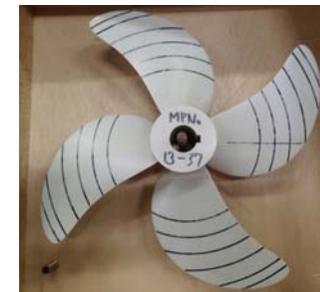
MCR : 735kW × 355rpm (本船用)

# プロペラ単独性能試験

## • プロペラ単独性能

現行プロペラの効率を1としたときの比率

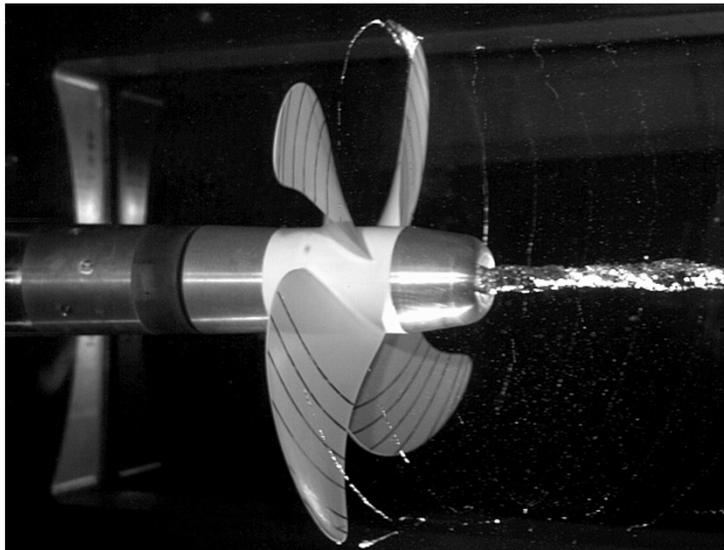
	現行	新設計 (樹脂製)
プロペラ直径 (mm)	250	271.79
展開翼面積比	0.63	0.50
プロペラ単独効率 $\eta_o$	1	1.083
船殻効率 $\eta_h(1-t/1-W)$	1	0.977(推定)
プロペラ効率比 $\eta_R$	1	1(推定)
推進効率 $\eta$	1	1.058



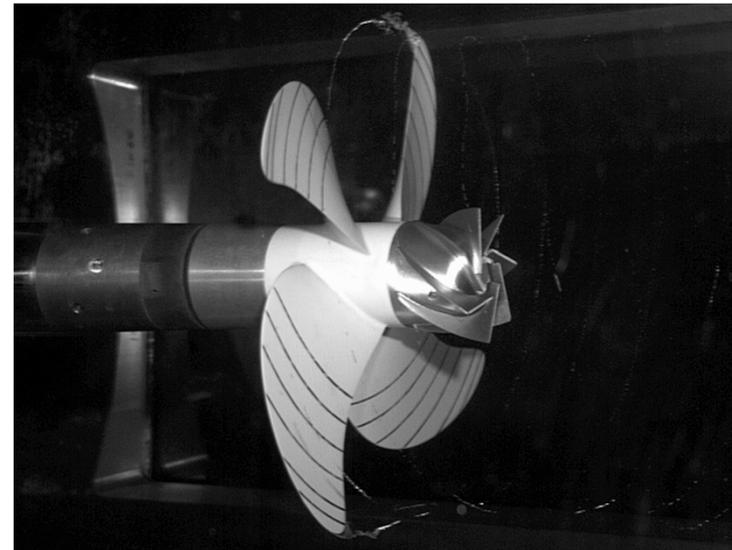
# 省エネキャップ

- フィン付ボスキャップ(エコキャップ)の影響

エコキャップによりハブボルテックスが消滅することを確認  
→ハブボルテックスによるエネルギーロスを回収



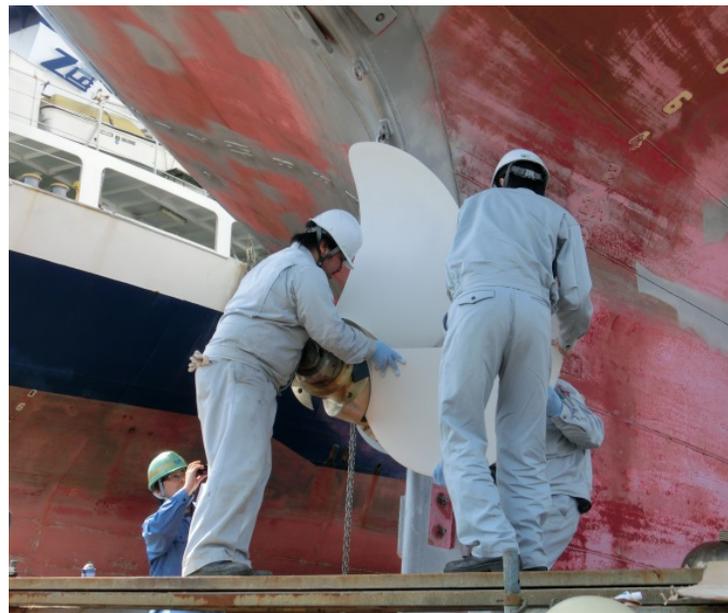
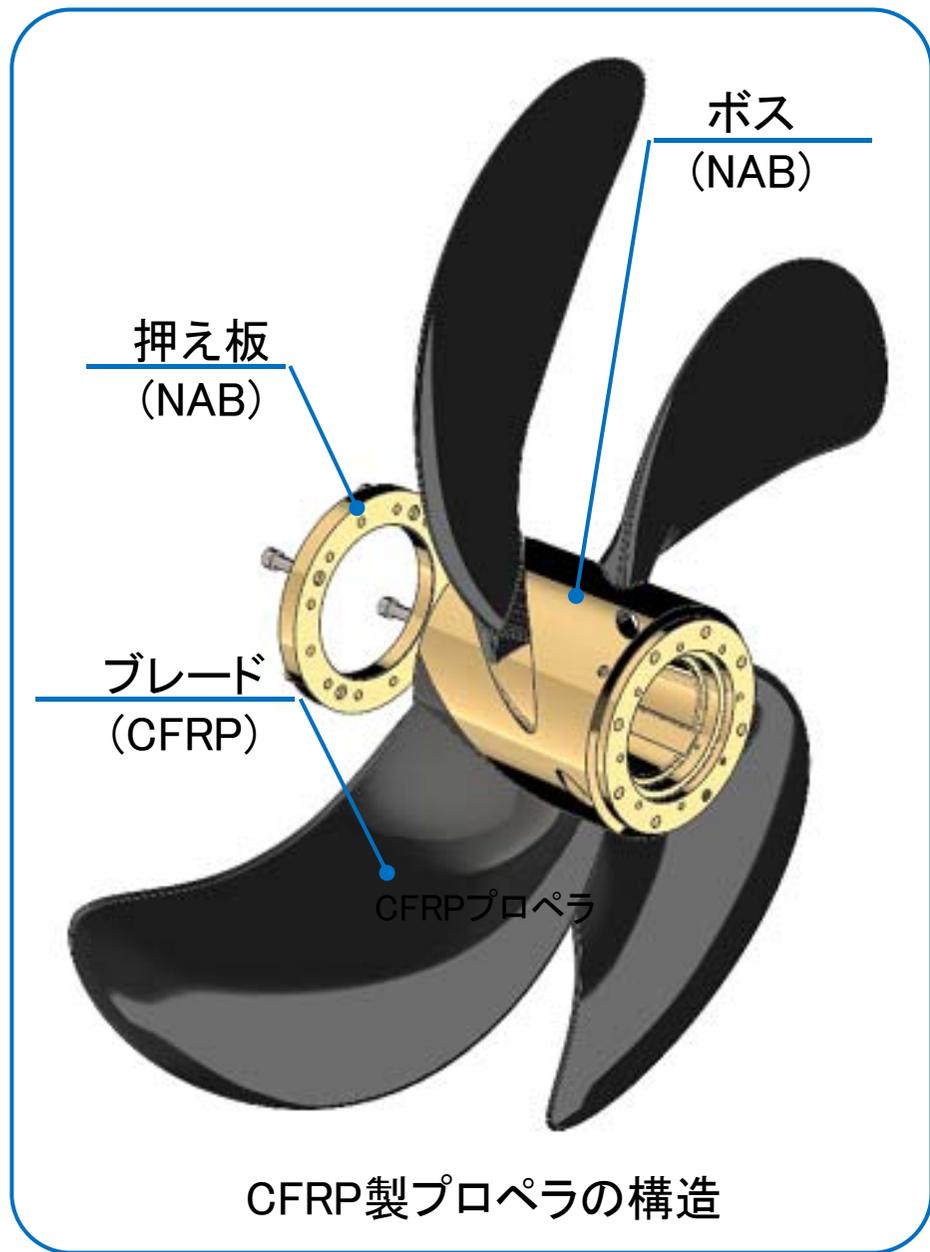
通常キャップ



エコキャップ

# 実機および性能について

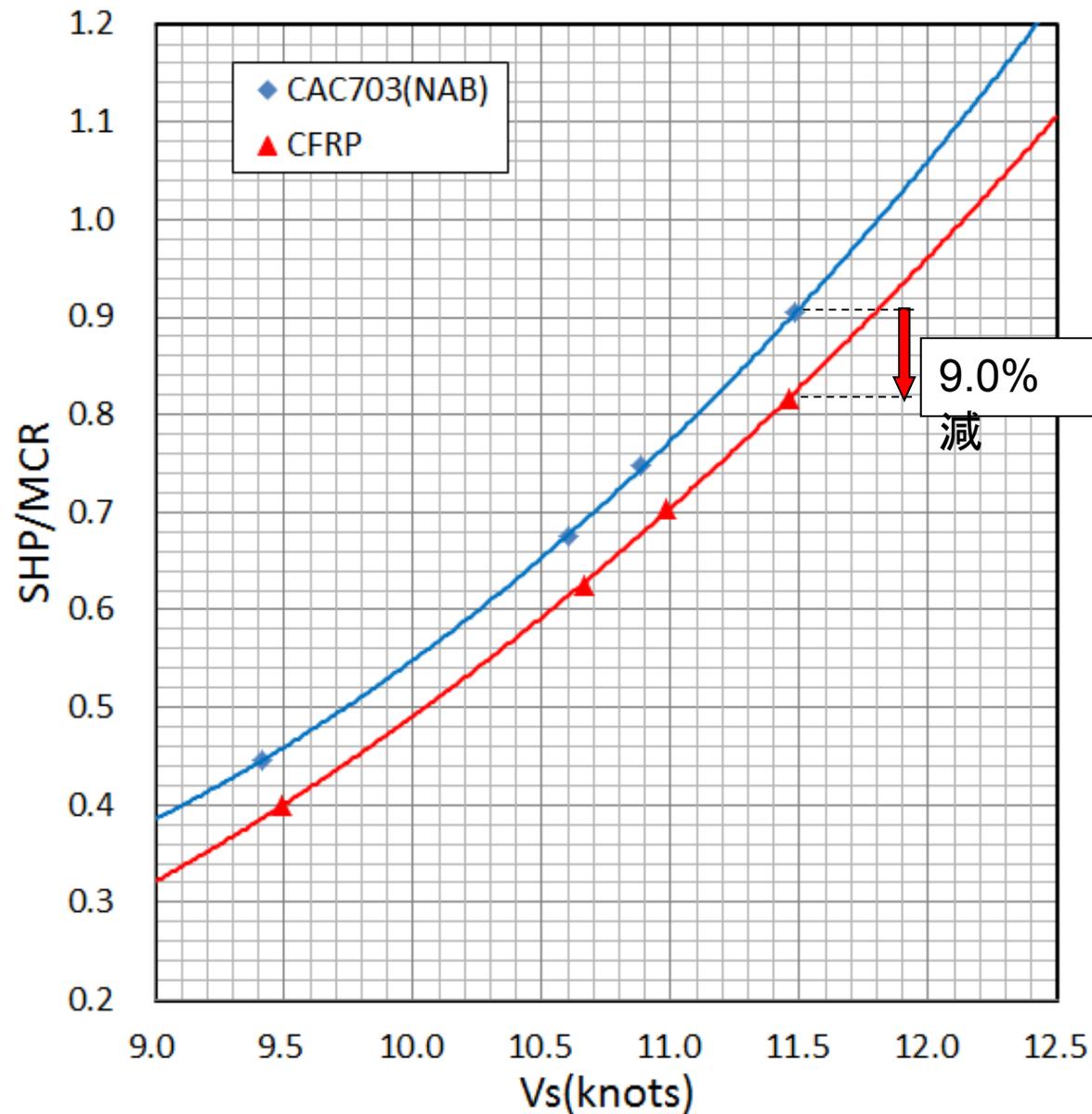
# CFRP製プロペラ取り付け



# CFRP製プロペラ 取付完了



# 換装前後での速力試験結果の比較

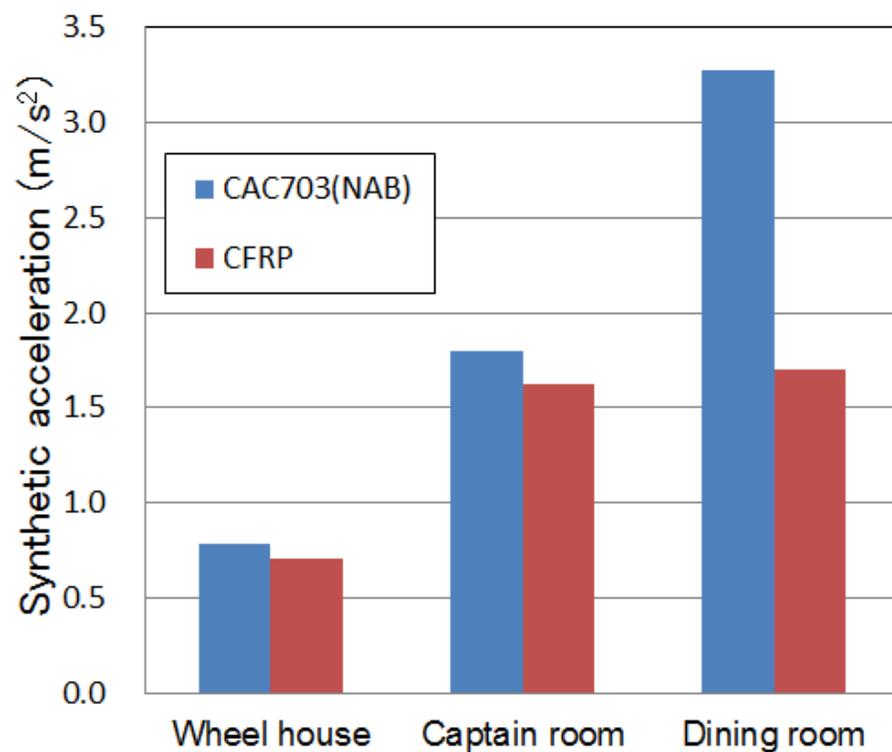


# 実船性能の検討

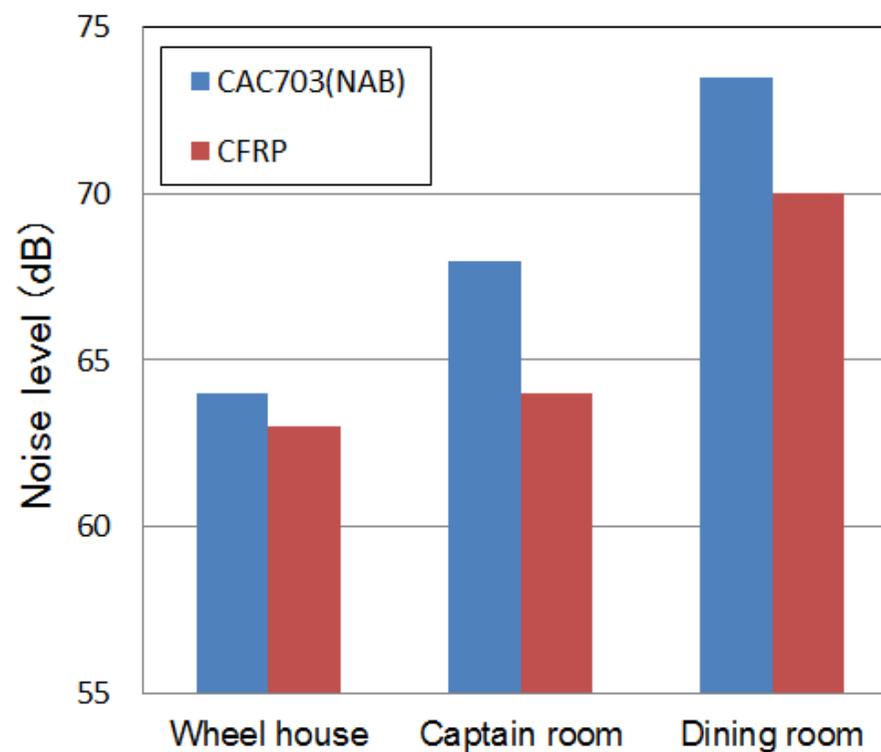
	水槽試験結果	実船試験結果
プロペラ単独効率 $\eta_0$	1.083	約1.09 +0.5~1%(実機アップ)
船殻効率 $\eta_h(1-t/1-W)$	0.977(推定)	←
プロペラ効率比 $\eta_R$	1(推定)	←
推進効率 $\eta$	1.058	約1.065 +0.5~1%(実機アップ)
エコキャップ効率 $\eta_c$	1.011	1.023 +1~1.5%(実機アップ)
総合推進効率 $\eta'$	1.070	約1.09 (海上試運転結果)

# 振動・騒音計測結果

## 振動計測結果



## 騒音計測結果



# ねじり振動計測結果

		NAB	CFRP
計算値	プロペラ軸(I-6) 付加応力(N/mm <sup>2</sup> )	12.9	5.3
	ピーク回転数(min <sup>-1</sup> )	245	251
計測値	プロペラ軸(I-6) 付加応力(N/mm <sup>2</sup> )	15.3	1.7
	ピーク回転数(min <sup>-1</sup> )	242	270
	使用禁止範囲(min <sup>-1</sup> )	230~255	無 (255~285)

# 実績について

# 499G/T ケミカルタンカー向けサイドスラスト



- 型式 : TFN-150S
- 入力馬力 : 165kW
- プロペラ直径 : 850mm
- 公称推力 : 25kN

2012年8月 : JG 設計承認  
2012年10月 : 就航



# 130G/T旅客船向けサイドスラスト



- 型式 : TFN-50S
- 入力馬力 : 90.5kW
- プロペラ直径 : 500mm
- 公称推力 : 10kN

2013年6月 : 就航



# 499G/Tケミカルタンカー向け主推進用プロペラ



- 出力 : 735kW
- プロペラ直径 : 2.12m
- プロペラ回転数 : 355rpm

2014年5月 : NK製造法および設計承認  
2014年5月 : 就航(プロペラ換装)

NK承認: 直径2.12m以下



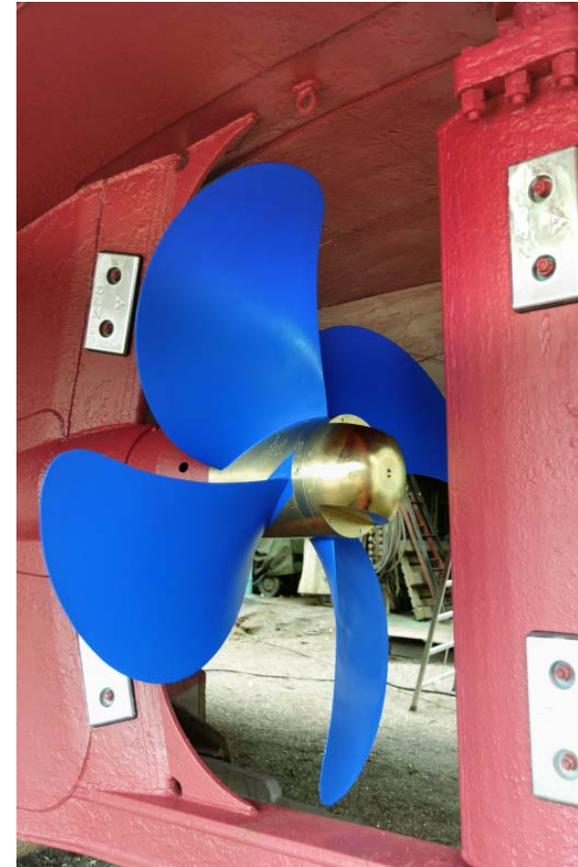
# 195G/T両頭船フェリー向け主推進用プロペラ



- 出力 : 441kW
- プロペラ直径 : 1.6m
- プロペラ回転数 : 346rpm

2014年9月 : JG設計承認  
2014年9月 : プロペラ換装(船首側)  
2014年10月 : 就航

JG承認 : 直径4m以下



# 499G/Tケミカルタンカー向け主推進用プロペラ



- 出力 : 735kW
- プロペラ直径 : 2.12m
- プロペラ回転数 : 355rpm



2015年6月：CFRP製プロペラに換装

# CFRP製プロペラの特徴

## CFRPプロペラの特徴①

### 軽量

- ★従来材のNABの約1/5の比重により軽量となり据付が容易
- ★慣性モーメントの低減  
→軸系の軽量化

## CFRPプロペラの特徴②

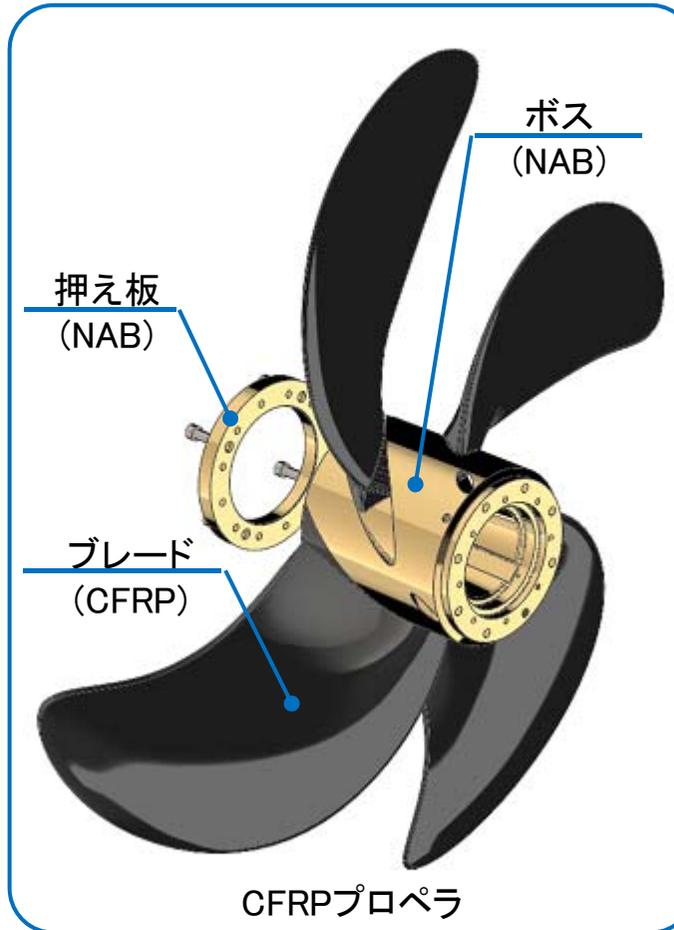
### 高強度

- ★従来材より疲労強度が高く、信頼性も高い

## CFRPプロペラの特徴③

### 低振動

- ★軽量化および高減衰率により、振動が低減
- ★居住環境改善



## CFRPプロペラの特徴④

### 過負荷低減

- ★ブレードの形状が流れにマッチングするように変形し、荒天時等の過負荷を低減

## CFRPプロペラの特徴⑤

### 高効率

- ★軽量化により容易に大直径化が図れプロペラ性能向上を実現
- ★キャビテーション発生抑制

## CFRPプロペラの特徴⑥

### メンテナンス性

- ★予備ブレードをストックしておけば、損傷時にも早急に対応が可能
- ★交換に専門性不要
- ★補修も可能

比強度の高いCFRPを使用することで、従来の金属製では成立できなかった(成立が困難であった)大直径化が図れ、推進性能アップおよび船体振動低減を実現！

# 了

ご清聴有難うございました。



本研究開発は、国立大学法人東京大学、独立行政法人海上安全研究所、日本郵船株式会社、株式会社MTI、今治造船株式会社、ナカシマプロペラ株式会社、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制により実施すると共に、同協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて実施しました。