

2011年度～2012年度 調査研究

氷海域対応OSVの 氷中性能に関する研究

— 成果概要 —

2013年 3月25日



ジャパン マリンユナイテッド 株式会社

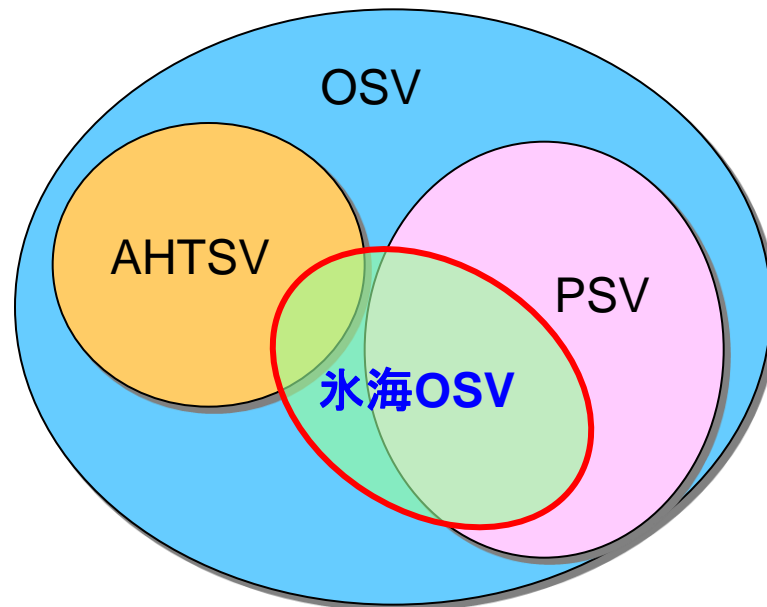
本調査研究の目的

- 今後の氷海域対応OSVの設計に活用し得る資料を作成することを目的として、以下の項目の調査を実施した

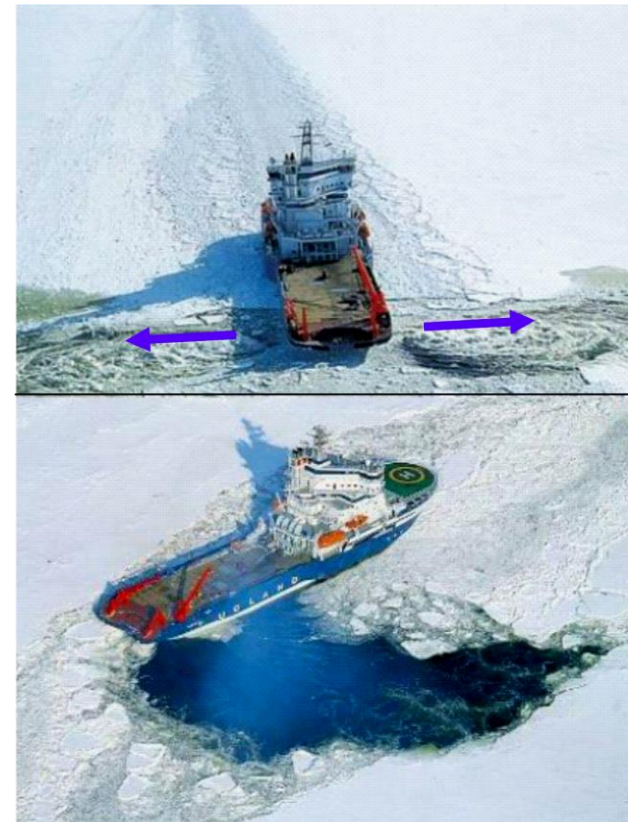
- (1) 北極域資源開発海域の環境条件の調査 (2011年度実施項目)
- (2) 氷海オペレーションの調査 (2011年度実施項目)
- (3) 要求性能の調査 (2011年度実施項目)
- (4) 船型に関する検討 (2011／2012年度実施項目)
- (5) 推進器様式に関する検討と所要出力の評価 (2011／2012年度実施項目)
- (6) 氷海特殊オペレーション対応性能の評価 (2012年度実施項目)

氷海域対応OSVの主な役割

- 資源生産プラットフォームへの物資輸送
- (資源開発設備の設置支援)
- 資源生産プラットフォーム、積出し設備・港湾のIce management
(押し寄せる海氷の除去、制御)
- 輸送船の航路啓開 など



OSV : Offshore Support Vessel
 AHTSV : Anchor Handling Tug Supply Vessel
 PSV : Platform Supply Vessel



各国の氷海OSV



Botnica (フィンランド;1998)



SFC Sakhalin (ロシア;2005)



IKALUK (カナダ;1983)
＜NKK建造, 現在サハリンで稼動＞



Neuwerk (ドイツ;1997)



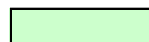
Tor Viking II (スウェーデン;2000)



Pacific Endurance (ロシア;2006)

2011年度～2012年度実施スケジュール

実施項目	2011年度				2012年度			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
1) 環境条件の調査		↔						
2) 氷海オペレーションの調査		↔						
3) 要求性能の調査		↔						
4) 船型に関する検討								
船型試開発		↔						
模型船製作			↔					
氷海水槽試験				↔				
5) 推進器様式と所要出力検討								
推進器様式の検討			↔	↔				
推進器模型製作					↔			
氷海水槽試験						↔		
6) 氷海特殊オペレーション								
水中旋回試験						↔		
ラブルアイス排除試験							↔	
7) 報告書作成								↔



NK殿委託研究



実施計画



実績

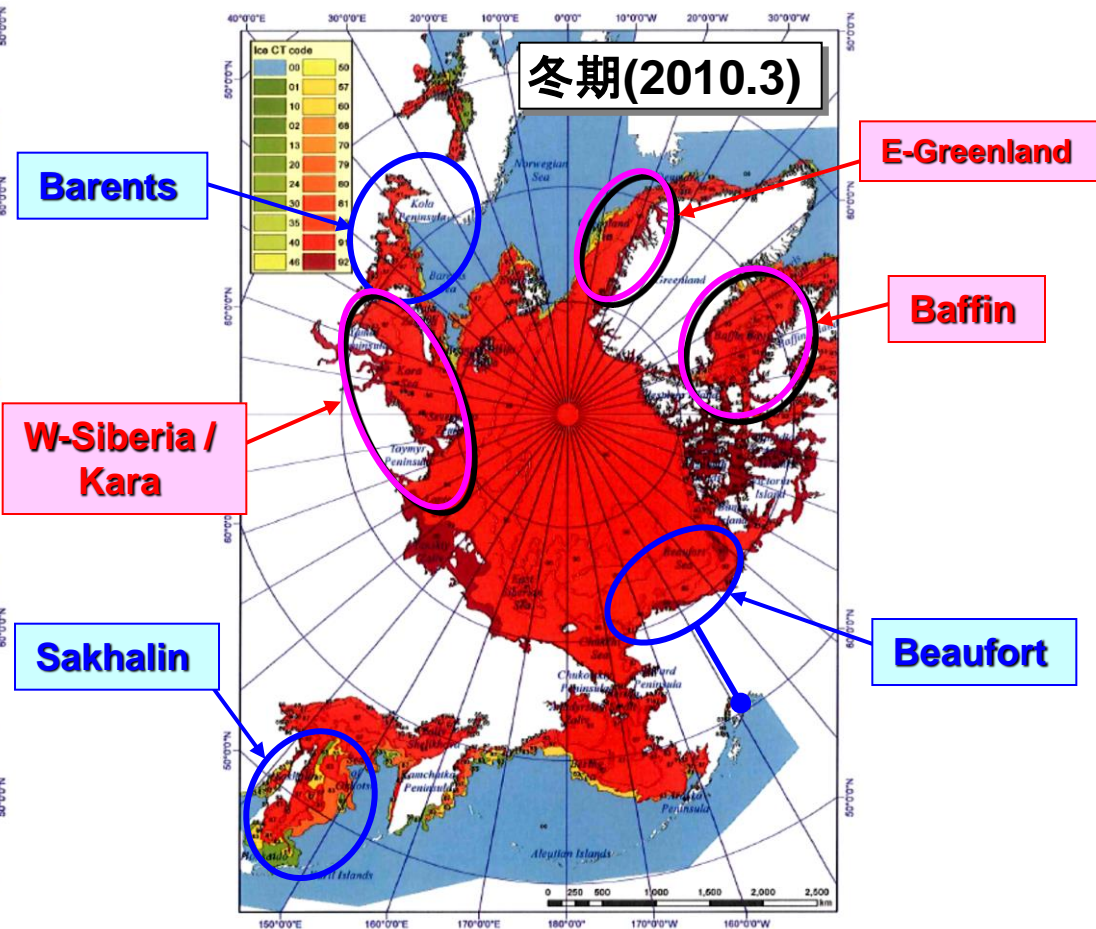
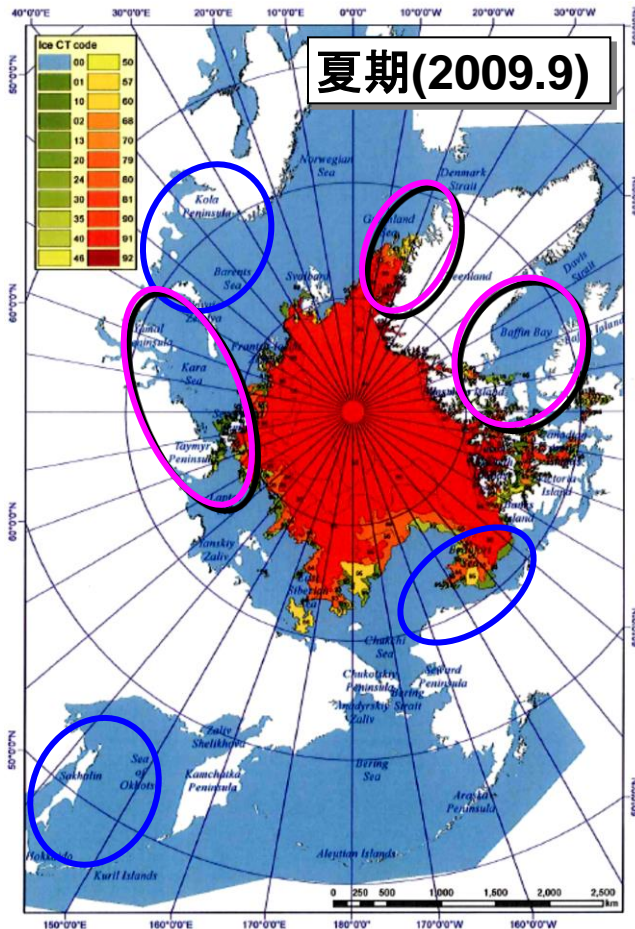
近年の北極海氷況の分析

- **National Ice Center (NIC)がWeb配信するIce data (SIGRID)をGISツール(ArcGIS)によって分析**
 - ◆ 2009.8～2010.7の北極海全域及び各海域の月別氷況分析
 - ◆ 記録的に海氷が消失した2007の北極海全域及び各海域の月別氷況分析
 - ◆ 2006～2011の夏期（9月）及び冬期（3月）の氷況変化

- **砕氷能力設定の参考とするIce Chart Item**
 - ◆ 想定稼動海域の海氷分布
 - ◆ 想定稼動海域の海氷発達段階（→氷厚レンジ）

氷海OSV稼働海域の氷状

- 資源開発/生産中 : Sakhalin, Barents Sea, Beaufort Sea
 - 今後開発が進む海域 : Kara Sea ~ West Siberia, Baffin Bay ~ Greenland Sea
- 夏期～冬期の中間期, 冬期の氷状はより厳しい海域へ



今後の氷海OSVに要求される性能

■ より優れた砕氷能力：資源開発の舞台はより過酷な氷海域へ

現状の主だった資源開発海域

- ・ バレンツ海
- ・ オホーツク海
- ・ ポーフオート海

砕氷能力1~1.5mが主

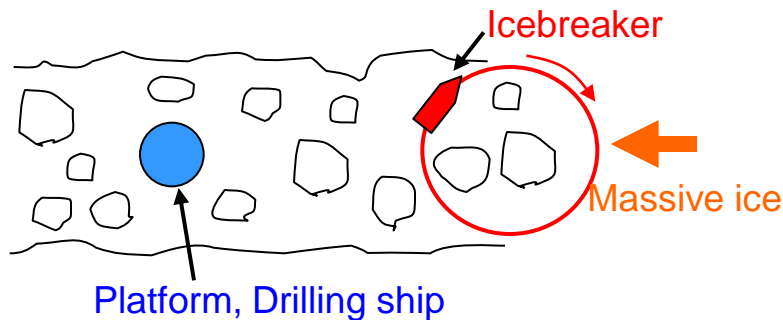
今後開発が加速する
資源開発海域

- ・ 西シベリアノカラ海
- ・ バフィン湾
~グリーンランド

砕氷能力1.7m以上の要望

船型改良

■ 優れた水中操縦性能



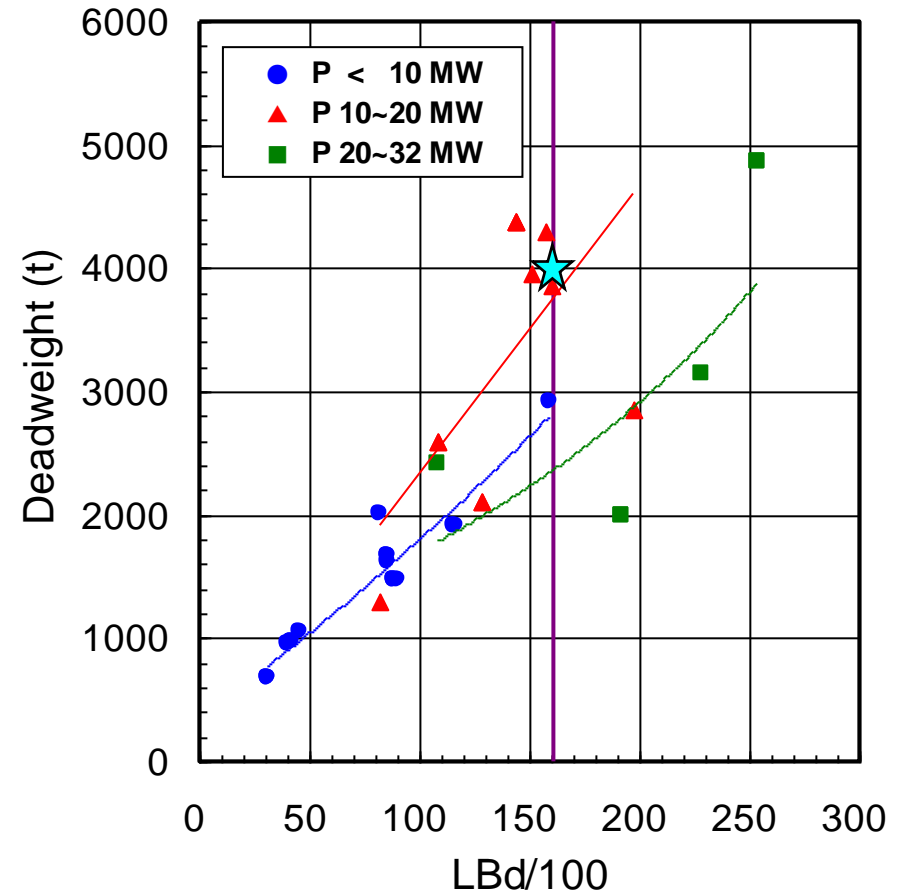
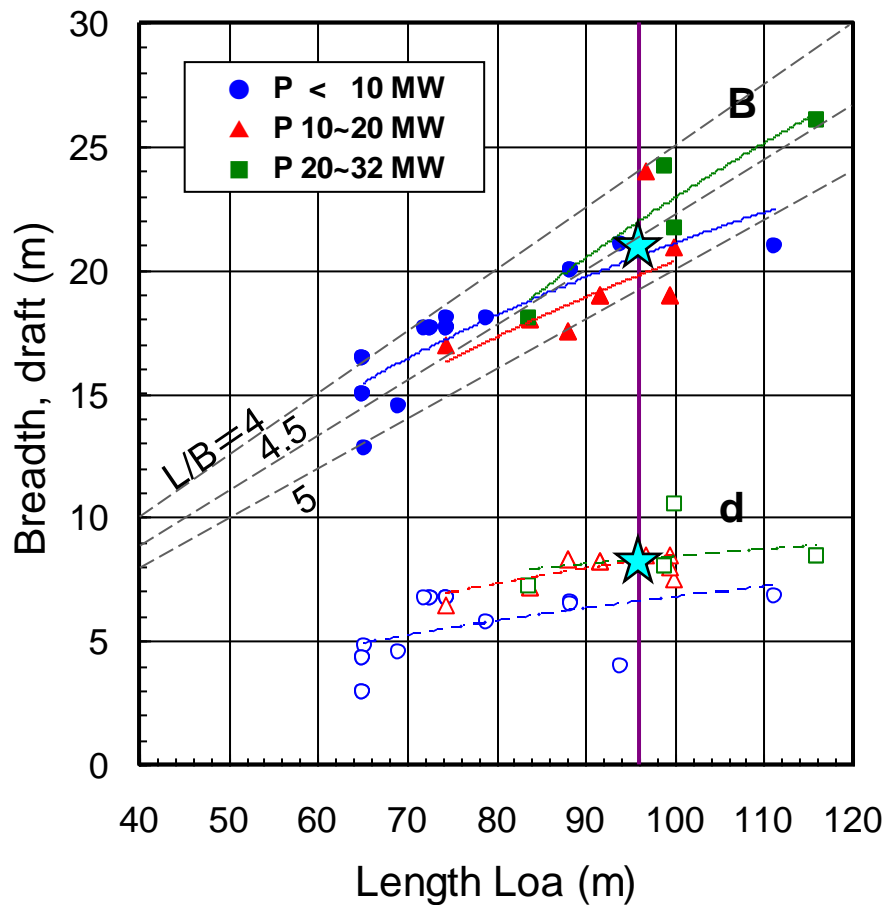
旋回型推進器
採用

■ 推進器による 海水排除オペレーション



主要寸法検討

■ 1980年以降建造のIcebreaker type氷海OSVを調査 (SeaWeb)



沿岸の浅い海峡への対応 $d = 8 \text{ m}$

目標DWT > 4,000 t

推進器検討

水中操縦性能重視

旋回型推進器

低速砕氷時Power 低減

ノズルプロペラ

海氷除去オペレーション

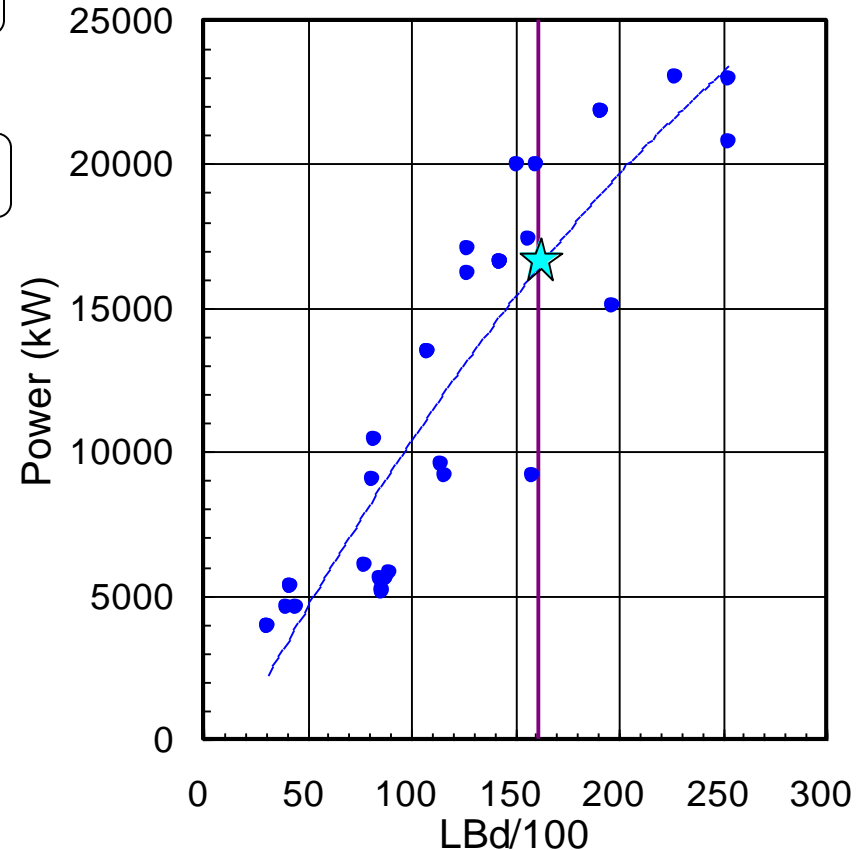
5.5~8MW型ノズル付きアジマス

- ・Aquamaster US ARC
- ・Steerprop SPARC 等



Aquamaster US ARC1.0 (7.5MW)

■ Icebreaker タイプOSVの
主機total power (1980~, SeaWeb)

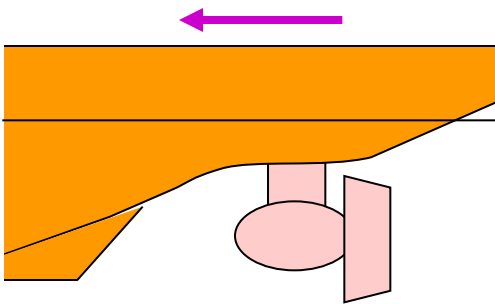


目標 主機出力 < 17 MW
推進器出力 < 15 MW

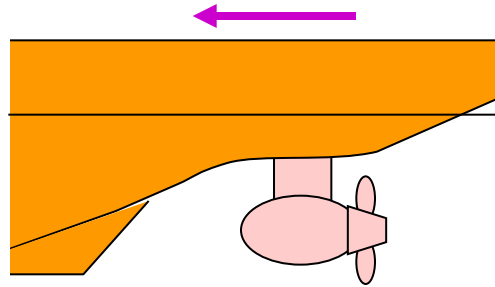
本研究における推進器タイプのバリエーション

- 旋回型推進器を適用
- バリエーション

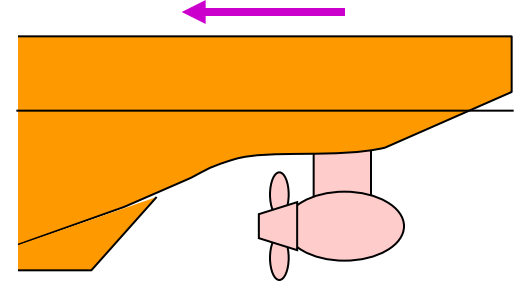
ノズル付きプッシャー型



ノズルなしプッシャー型



ノズルなしトラクタ型

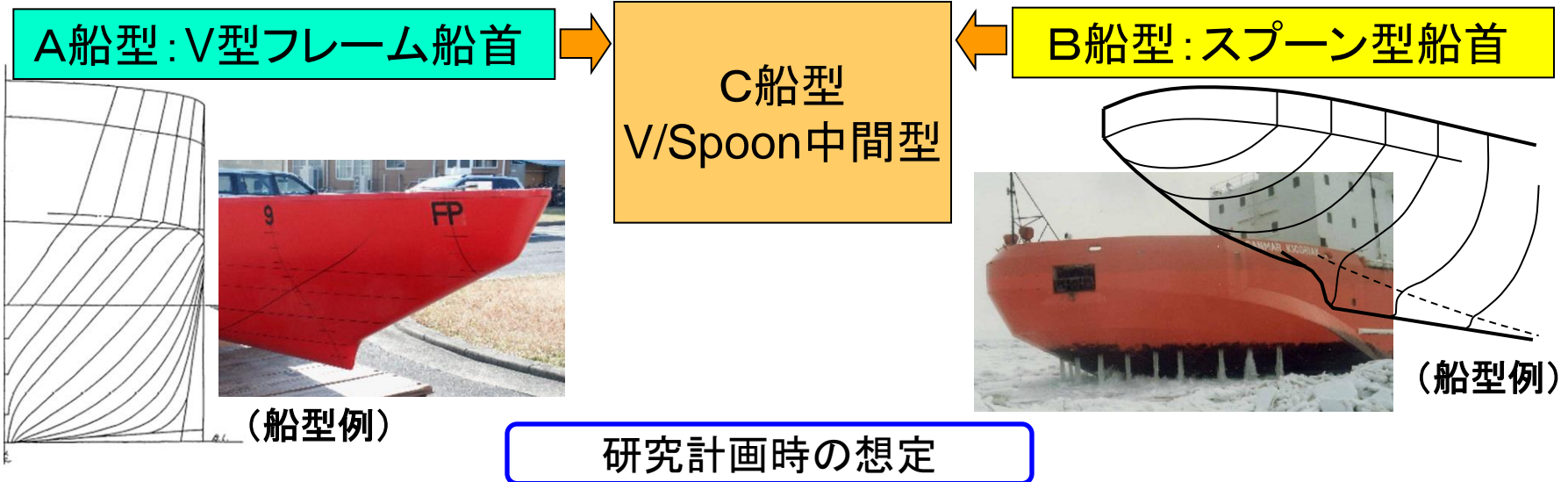


検討船と海外同クラス船の主要目比較

	検討船	Aker Arctic ARC105	HAVYARD 845 ICE	Keppel VARANDEY
全長 Loa (m)	96.0	99.2	95.0	100.0
水線長 Lwl (m)	90.0	95.1	84.0	abt. 92
最大幅 Bmax (m)	21.3	21.7	22.0	21.7
水線幅 Bwl (m)	21.0	21.0	22.0	21.7
計画喫水 d (m)	8.0	8.0	7.75	10.5
Main Dk 高さ (m)	11.0	11.2	10.0	13.3
DWTmax (t)	abt. 4,000	4,200	3,500	4,463
排水容積 ∇ (m ³)	abt. 9,100			
推進器	2 x アジマス (ノズル付き)	2 x POD	2 x ノズルプロペラ	2 x アジマス
推進器Power	13~15 MW 目標	13 MW	17.5 MW	16.8 MW
連続砕氷能力	1.7 m level ice at 3 kt	1.6 m level ice at 3 kt (astern)	1.1 m level ice at 2 kt ?	1.7 m level ice at 2~3 kt
船首形状	V / S / VS	Spoon 寄り	V-frame type	V-frame type

船型試開発 基本方針

- 2種類の代表的砕氷船首を有する船型と、それらの優位点を活かした中間的な船型を試開発し性能を調査する



研究計画時の想定

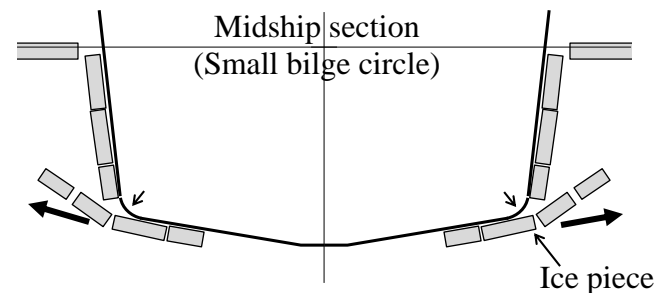
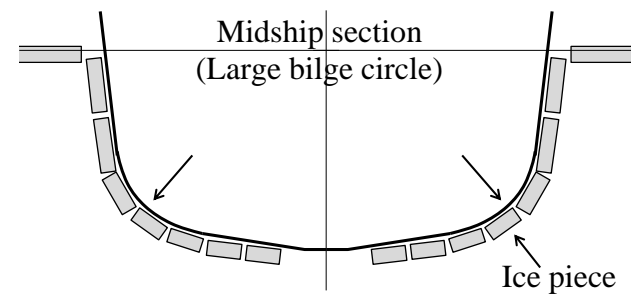
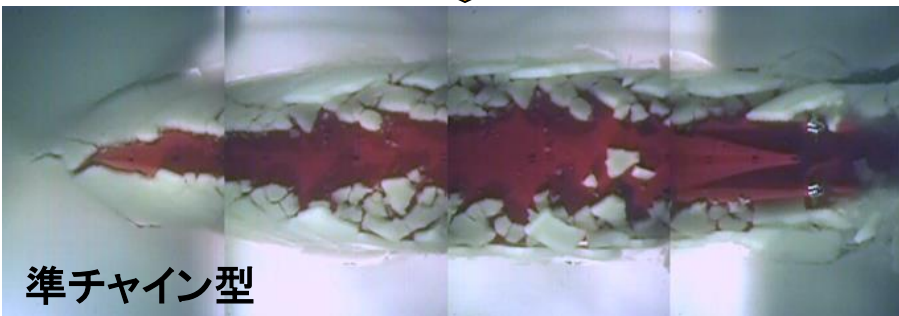
優先度	性能		V-frame (A)	V/S中間型 (C)	Spoon (B)
	1	砕氷能力	連続砕氷	○	◎ ←
ラミング			○ →	○	×
2	水中操縦性能		×	○ ←	○
3	開水中性能		△ →	△	×

船型試開発 Mid-ship

■ Mid-ship (JMU準チェーン型)

- ◆ 船側傾斜：約 8°
- ◆ 船底傾斜：約 6°

【JMU準チェーン型の適用例】



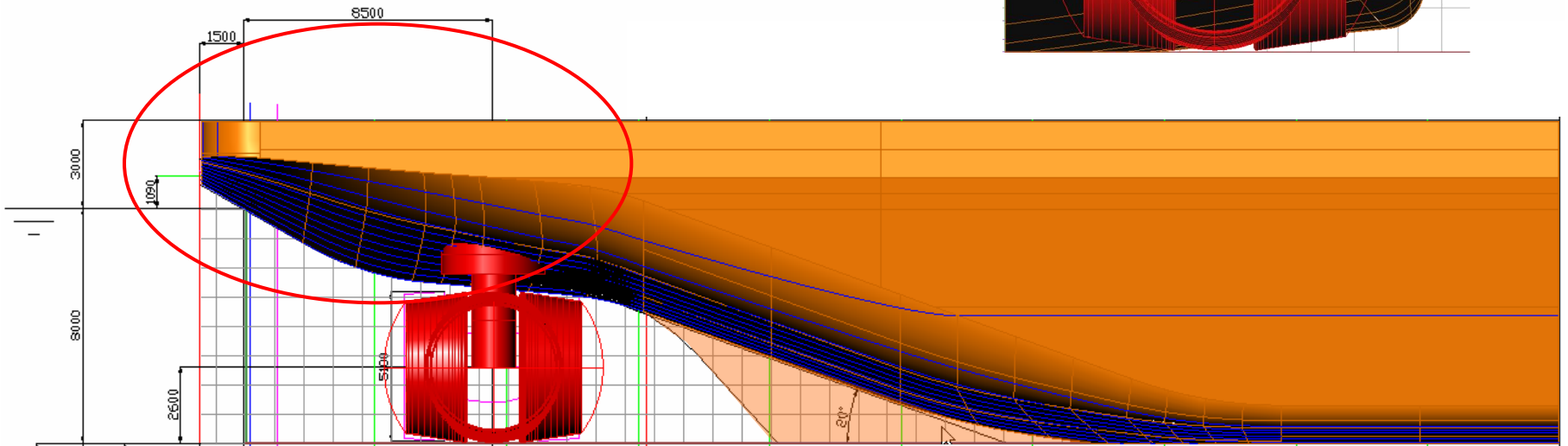
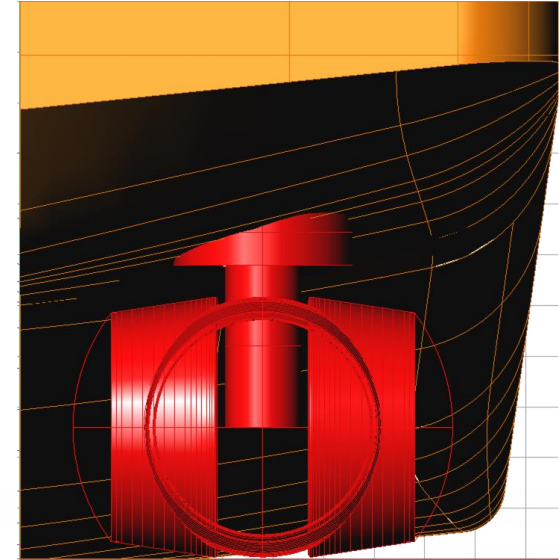
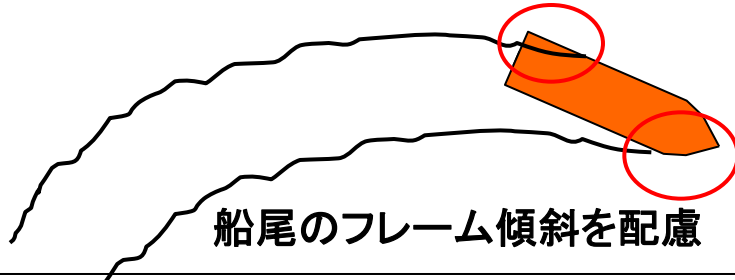
船型試開発 船尾形状

■ 推進器配置：

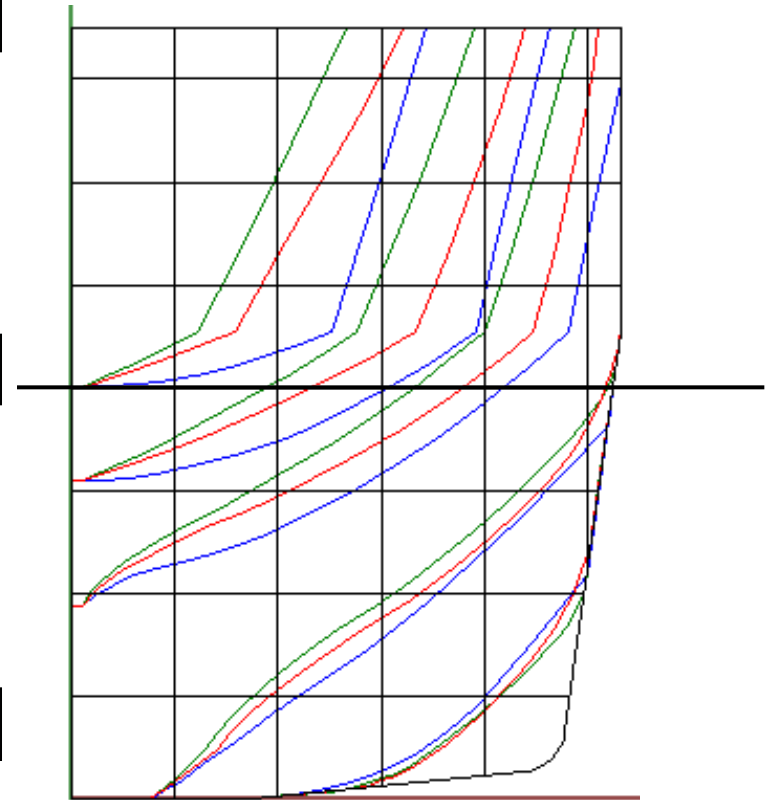
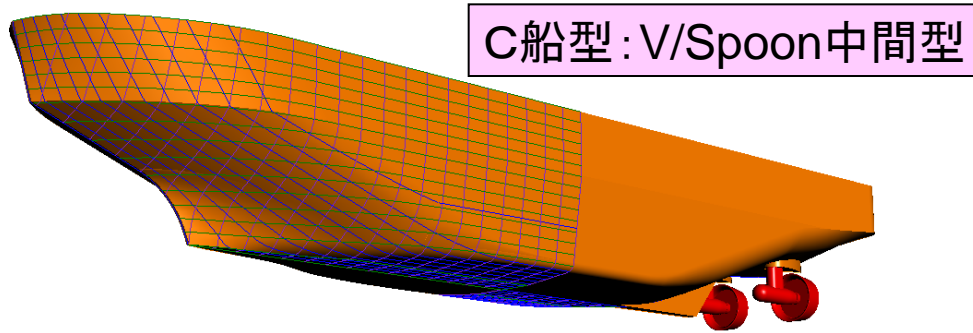
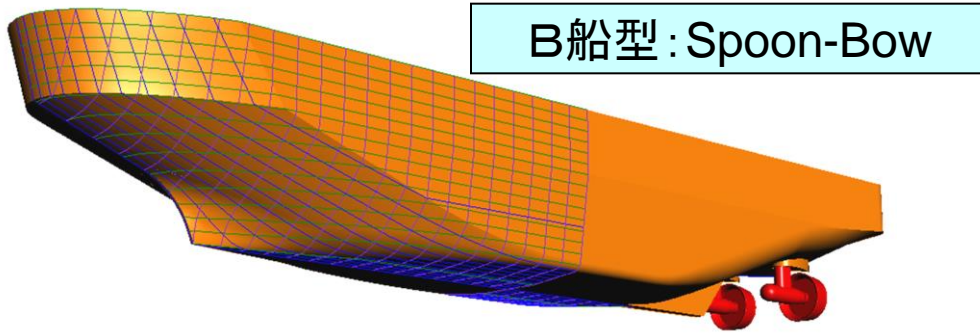
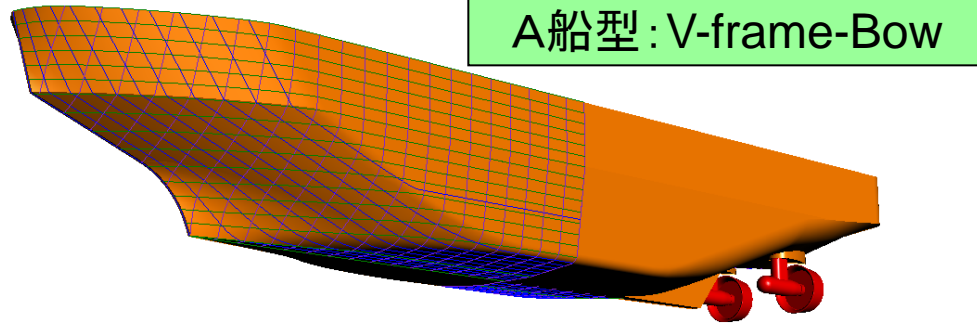
◆ C.L.~旋回中心：4.8m

◆ A.P.~旋回中心：8.5m

水中操縦性能の向上(船尾)



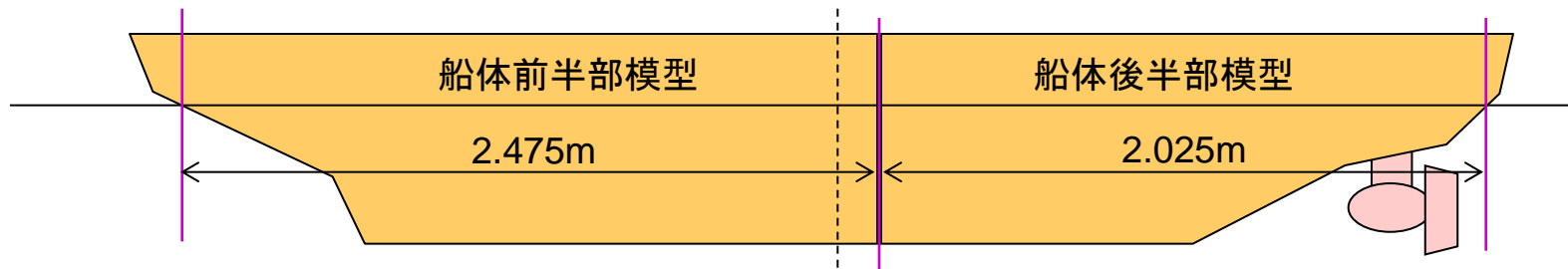
船型試開発 供試 3 船型の比較



緑: A船型
青: B船型
赤: C船型

模型船製作計画

- 縮尺：1/20 (Model Lwl x Bwl x d = 4.5 x 1.05 x 0.4 m)
- 分割模型
 - ◆ 分割比 船体前半部：船体後半部=5.5：4.5
 - ◆ 船体前半部 A型, B型, C型 の3体
 - ◆ 船体後半部
 - a型 (プッシャー推進器用)
 - b型 (トラクタ推進器用) の2体 (線図共通)

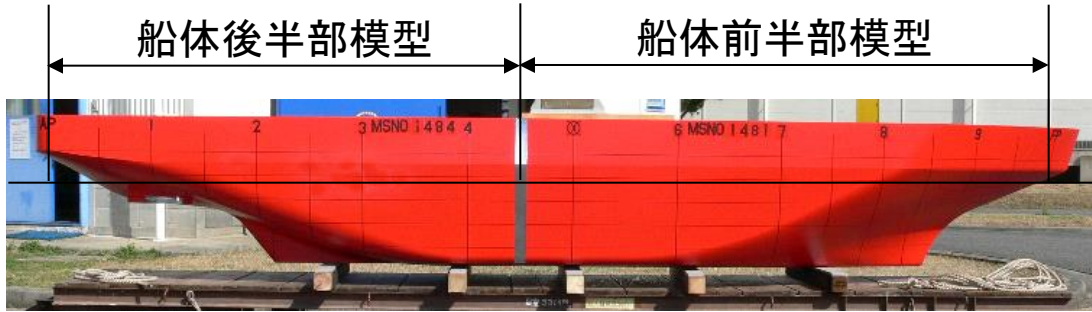


- 材質：木製, 接合部アルミ板補強
- 塗装：JMU氷海模型標準,
表面摩擦係数 $\mu_k=0.08\sim0.10$ (対 模型氷)を計画

模型船

船体後半部模型

船体前半部模型



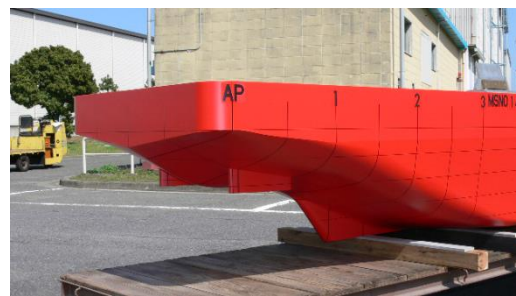
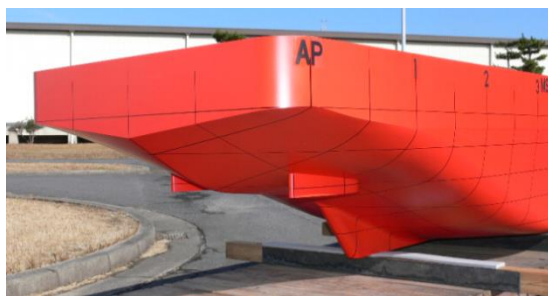
A型
V-frame Bow



B型
Spoon Bow



C型
V/Spoon 中間型



a型(プッシャー推進器用)

b型(トラクタ推進器用)

氷中抵抗試験計画（連続砕氷）

■ 目的：

- ◆ A a 船型、B a 船型、C a 船型 の特徴的な 3 船型の氷中抵抗特性を把握する。所要出力は平成24年度実施の氷中自航試験の結果と併せて評価する。

■ 実施期間：2012年1月～4月

■ 供試模型：A a 模型， B a 模型， C a 模型

抵抗試験は推進器をつけない状態で実施

■ 試験条件：scale 1/20

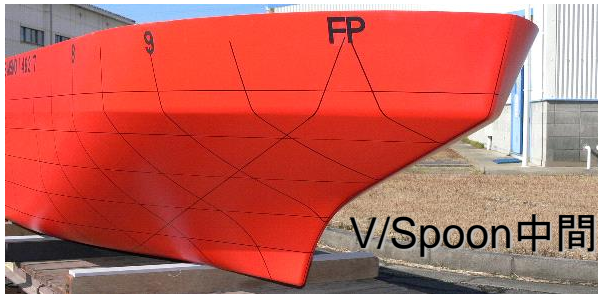
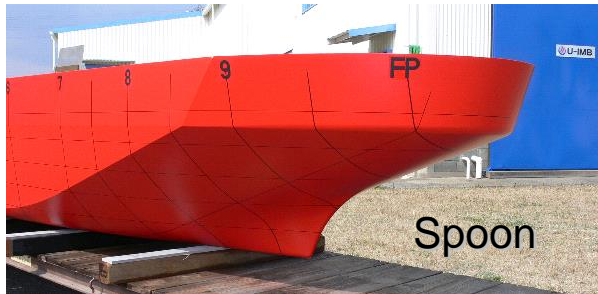
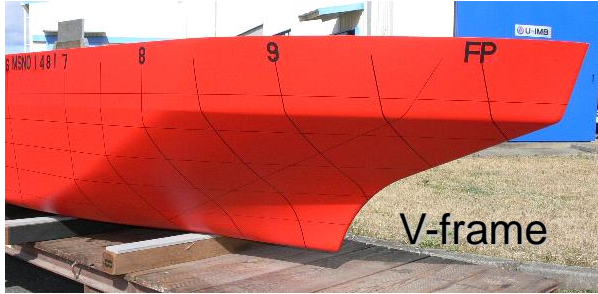
- ◆ 氷厚（実機換算） : 0.6m, 1.2m, 1.7m
- ◆ 氷曲げ強度（実機換算） : 約500kPa
- ◆ 船速（実機換算） : 3, 4, 5, 6 kt at 0.6m 氷厚
: 2, 3, 4, 5 kt at 1.2m 氷厚
: 2, 3, 4 kt at 1.7m 氷厚
- ◆ 模型氷板枚数：36枚【実績】

水中抵抗試験：連続碎氷時の割れパターン

(氷厚, 船速) = (0.6 m, 5 kt)

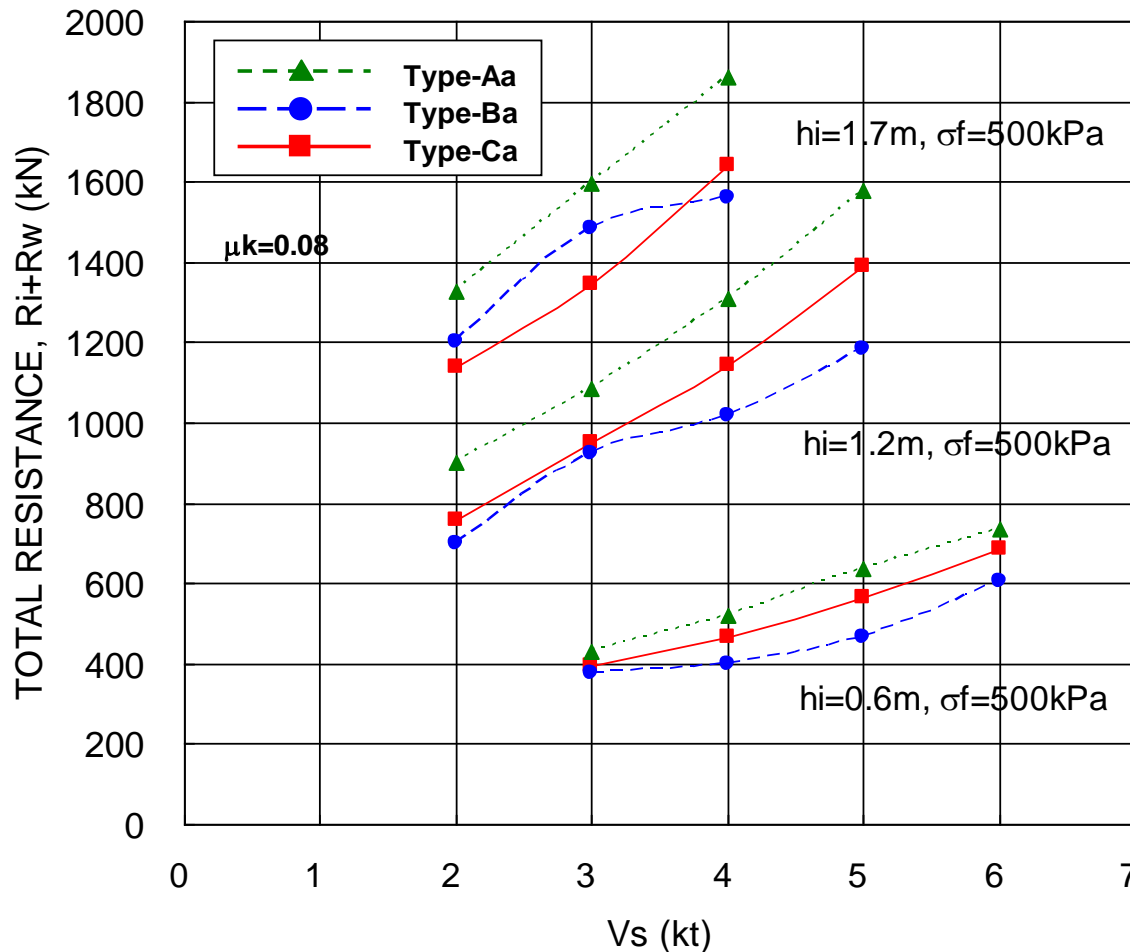
(1.2 m, 4 kt)

(1.7 m, 3 kt)



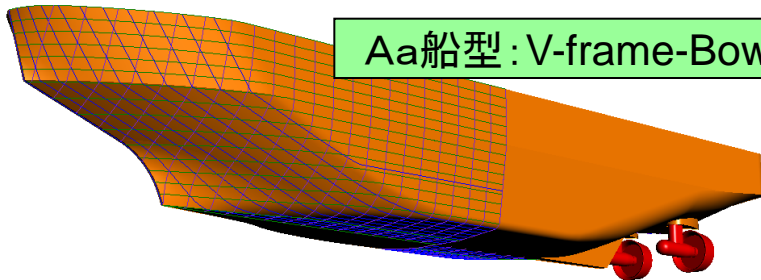
氷中抵抗試験結果（連続砕氷時抵抗比較）

- 氷厚1.2m以下では、Ba船型 < Ca船型 < Aa船型
- 氷厚1.7mの船速3kt以下では、船首先端をやや尖らせたCa船型が最も小さい



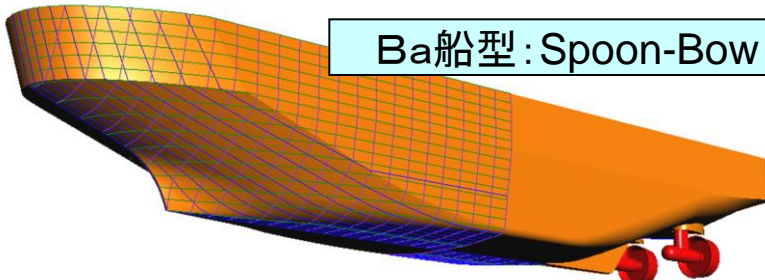
船型にともなうラミング性能の調査

Aa船型: V-frame-Bow



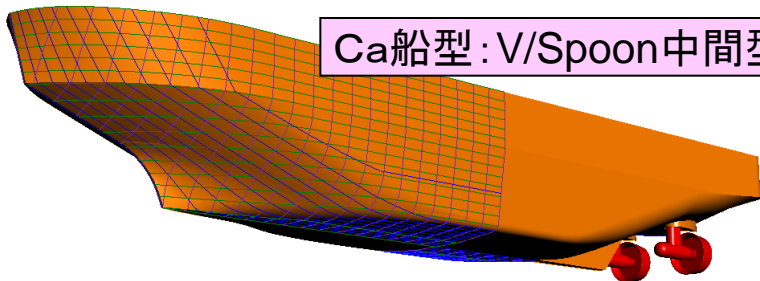
■ 連続砕氷性能: 3船型の中で最も劣る

Ba船型: Spoon-Bow



■ 連続砕氷性能: 氷厚1.2mまでは優位

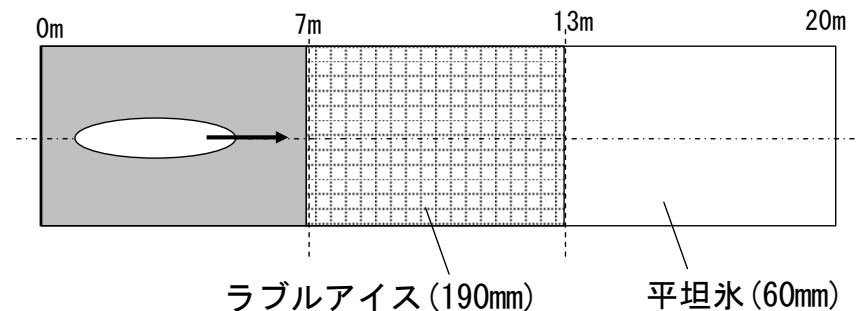
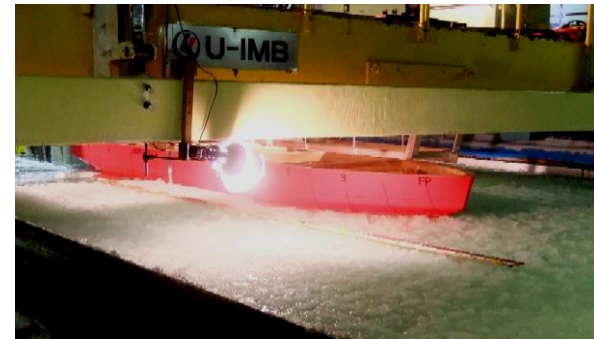
Ca船型: V/Spoon中間型



■ 連続砕氷性能: 目標氷厚1.7mで優位

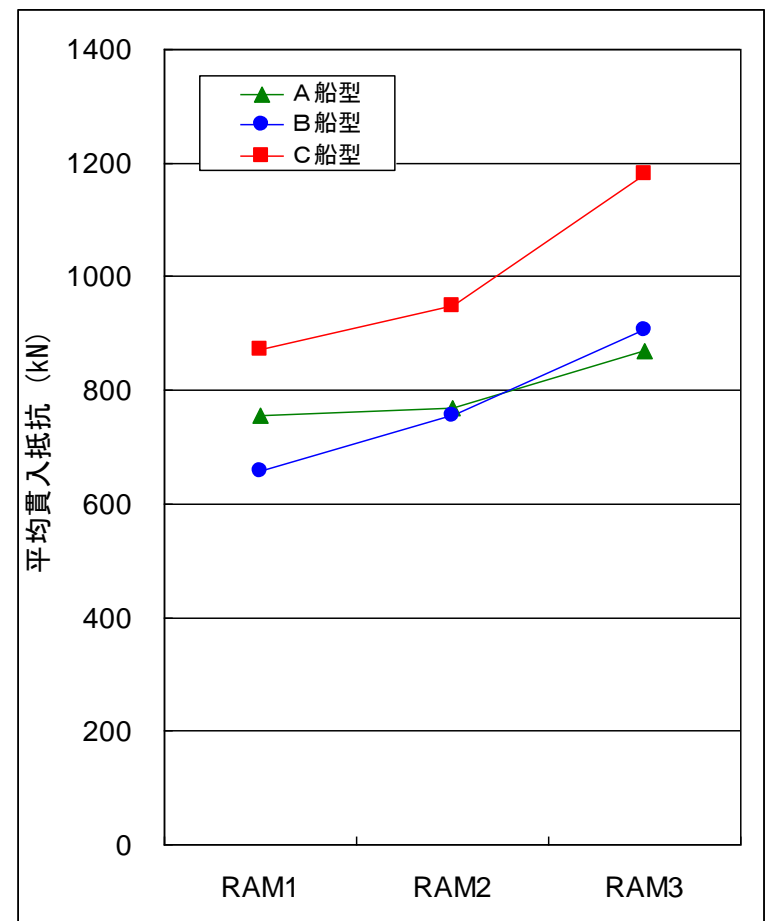
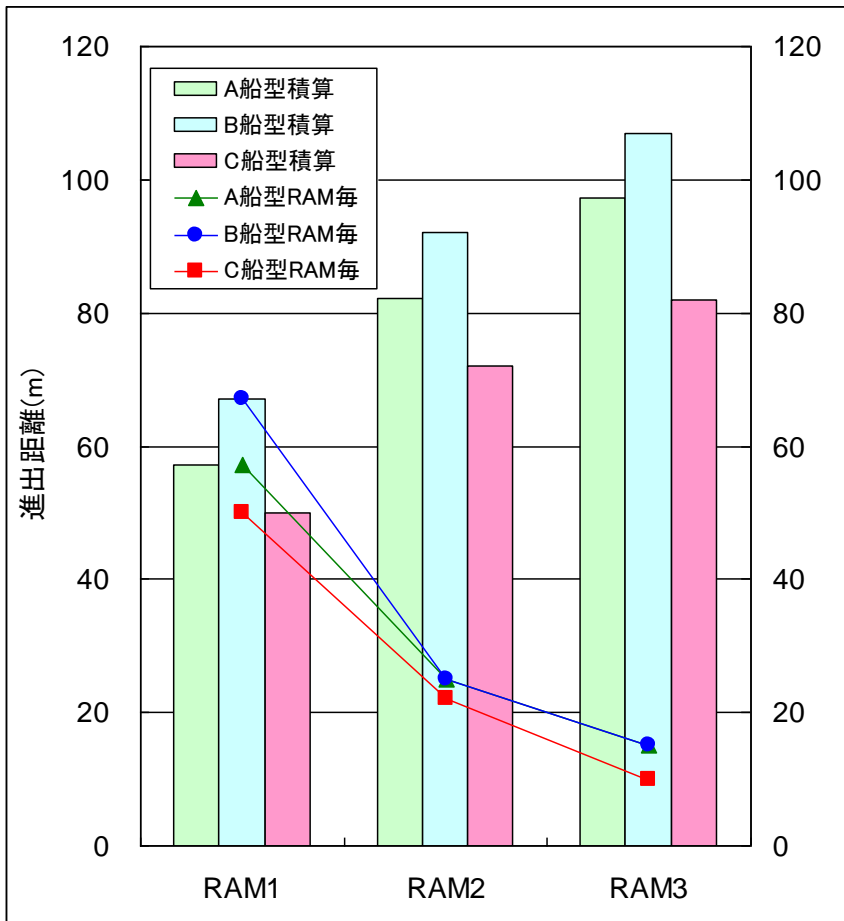
■ 連続砕氷性能評価に続き、ラブルアイス中のラミング性能評価試験を実施

- ◆ 実施期間 : 2012年 5月
- ◆ ラブル厚さ : 3.8m 相当
- ◆ 突入船速 : 6kt 相当
- ◆ 模型氷板枚数 : 8枚【実績】



船型にともなうラミング性能の調査

- V-frame-Bow (A船型) のラミング性能は予想通り良好
 - Spoon-Bow (B船型) は予想に反し、A船型と同等
 - V/Spoon中間型 (C船型) はラミング性能が劣った
- ⇒ ラブル氷に対しては、肩部の剪断の効果が大きく影響したと考えられる



氷中自航試験計画

■ 目的：

- ◆ 3種類の旋回型（アジマス）推進器を搭載したときの氷中推進特性を把握する。所要出力は平成23年度実施の氷中抵抗試験の結果と併せて評価する。

■ 実施期間：2012年7月～9月

■ 供試模型：

- | | |
|-----|---|
| 模型船 | C a 模型（プッシャー用），C b 模型（トラクタ用） |
| 推進器 | ・ノズル付きプッシャー型（Nozzle Pusher）
・ノズルなしプッシャー型（Open Pusher）
・ノズルなしトラクタ型（Open Tractor） |

■ 試験条件（実機換算） <Scale : 1/20>

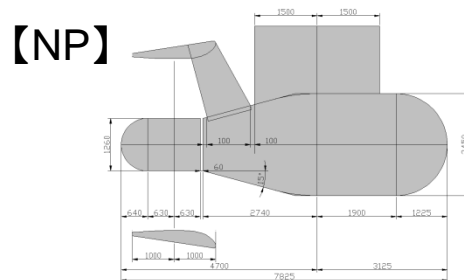
- ◆ 氷厚 : 0.6 m, 1.2 m
- ◆ 氷曲げ強度 : 500 kPa
- ◆ 船速 : 3, 4, 5 kt at 0.6 m 氷厚
: 3, 4, 5 kt at 1.2 m 氷厚
- ◆ 1 氷板、1 航走で 2 種類のプロペラ回転数を設定
(5 ktのみ 1 種類のプロペラ回転数設定のため、2 氷板が必要)
- ◆ 模型氷板枚数 : 26枚【実績】

旋回型推進器の要目

■ ノズル付きプッシャー型 (NP)

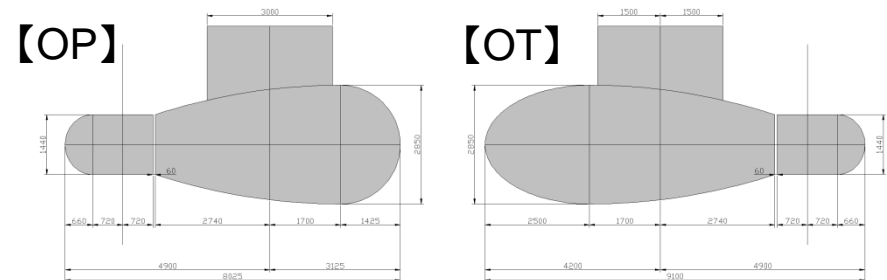
- ◆ プロペラ直径 4 m
- ◆ ピッチ比 (固定) 1.1
- ◆ 展開面積比 0.7
- ◆ ボス比 0.315
- ◆ 翼断面 カプラン型
- ◆ ポッド長 7.83 m

- ◆ ポッド外径 2.45 m
- ◆ ノズル外径 約 5 m
- ◆ ノズル断面 NSMB 19A



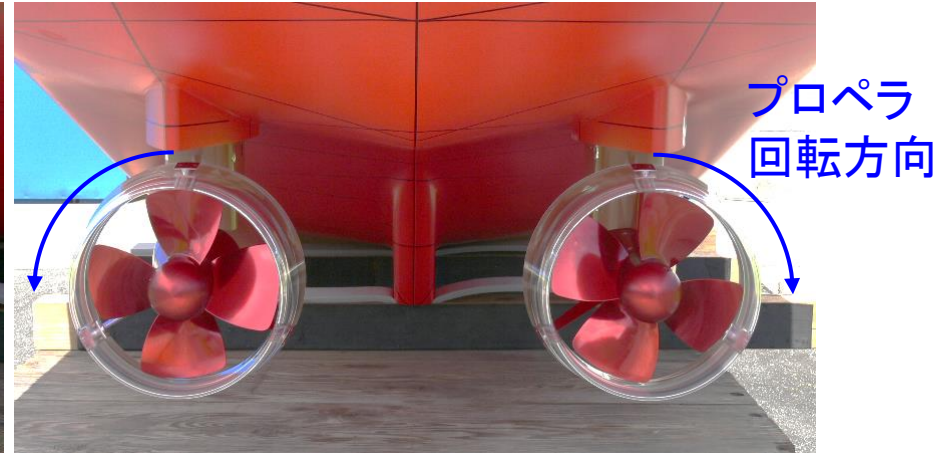
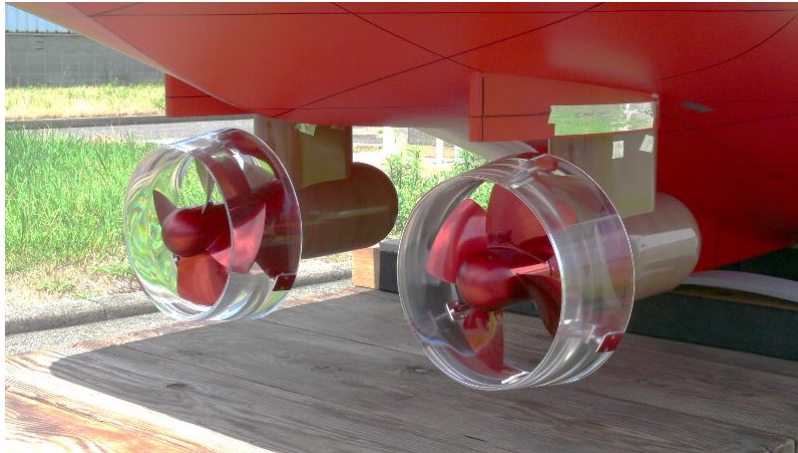
■ ノズルなしプッシャー型 (OP) /トラクタ型 (OT)

- ◆ プロペラ直径 4.8 m
- ◆ ピッチ比 (固定) 0.8
- ◆ 展開面積比 0.65
- ◆ ボス比 0.3
- ◆ 翼断面 改良オジバル型
- ◆ ポッド長 OP : 8.03 m
OT : 9.1 m
- ◆ ポッド外径 2.85 m

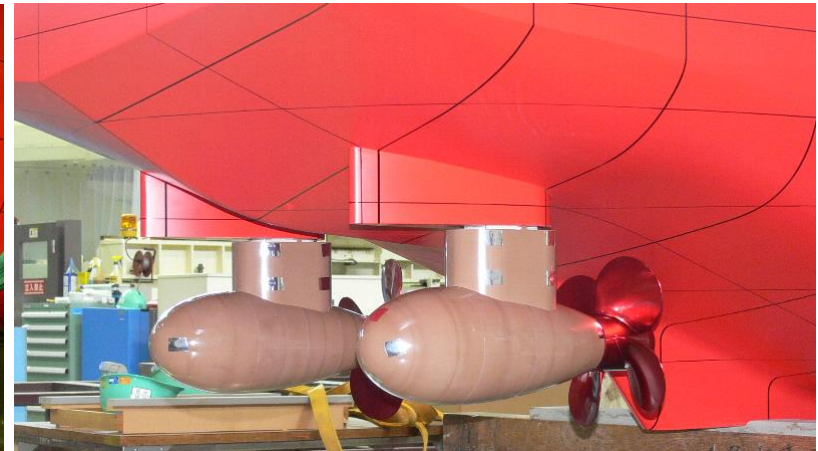
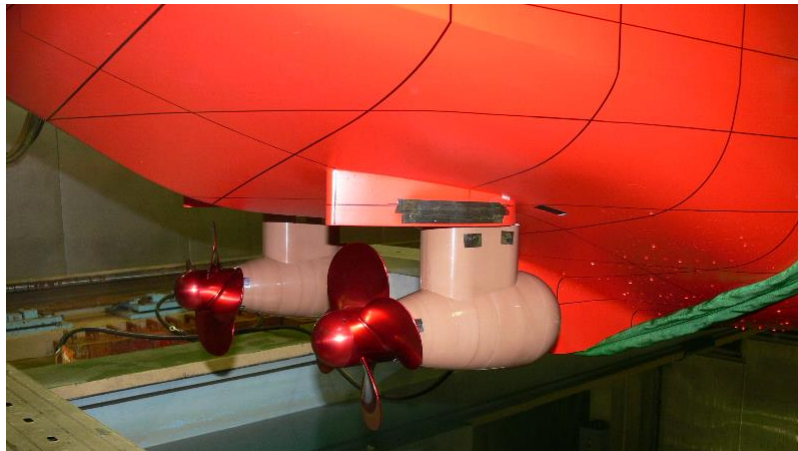


推進器模型（模型外観）

■ ノズル付きプッシャー型



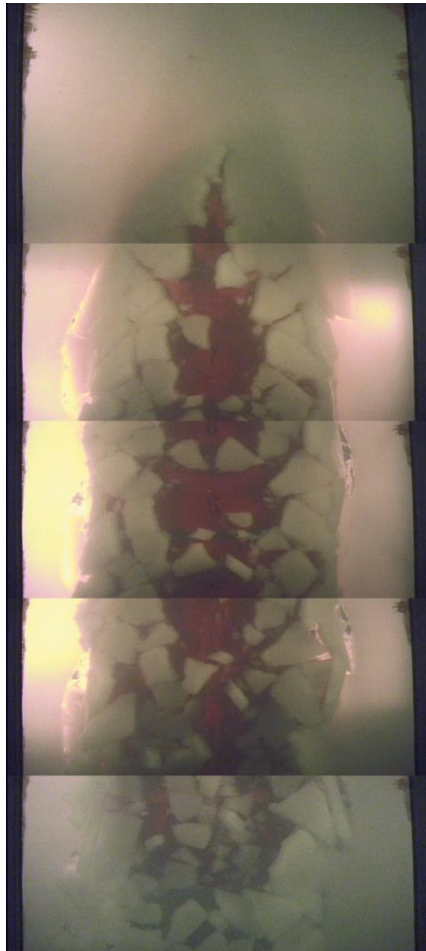
■ ノズルなしプッシャー型（左） / トラクタ型（右）



排水状況および氷片干渉

■ C船型、氷厚1.2 m、船速3 kt相当

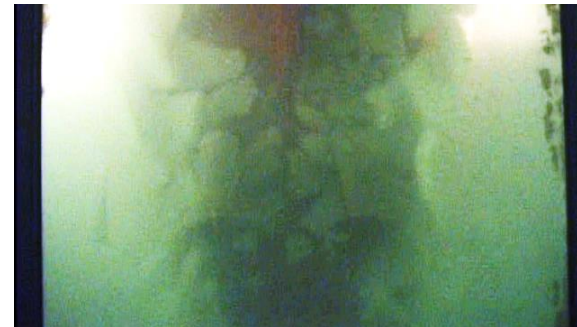
排水状況(水中抵抗試験)



氷片干渉(水中自航試験):ノズル付きプッシャー型



ノズルなしプッシャー型



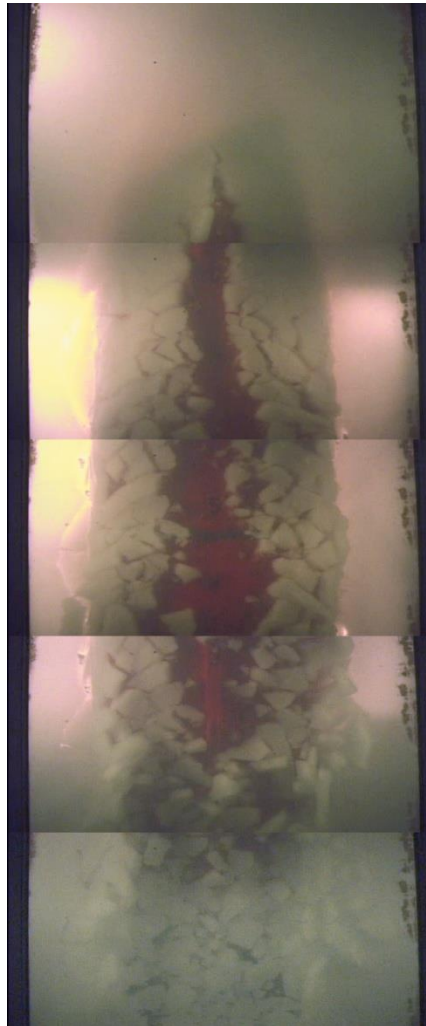
ノズルなしトラクタ型



排水状況および氷片干渉

■ C船型、氷厚1.2 m、船速5 kt相当

排水状況(水中抵抗試験)



氷片干渉(水中自航試験):ノズル付きプッシャー型



ノズルなしプッシャー型



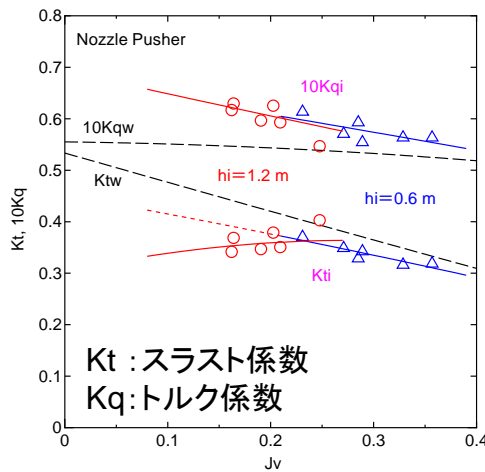
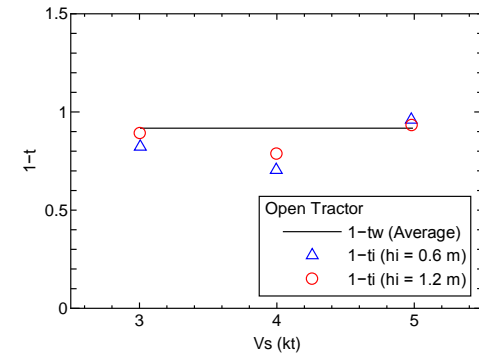
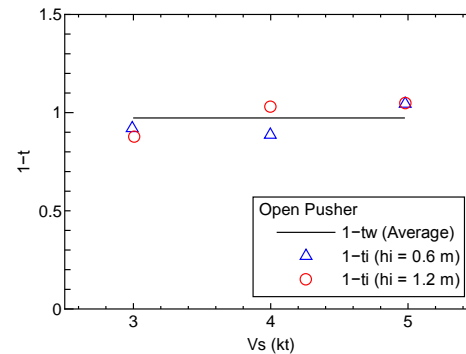
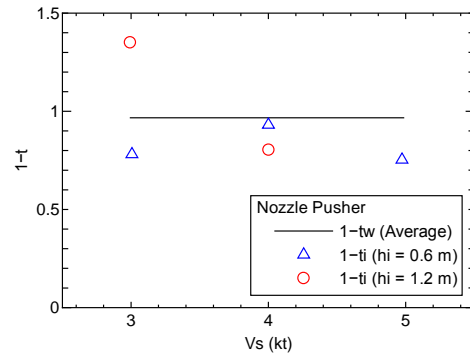
ノズルなしトラクタ型



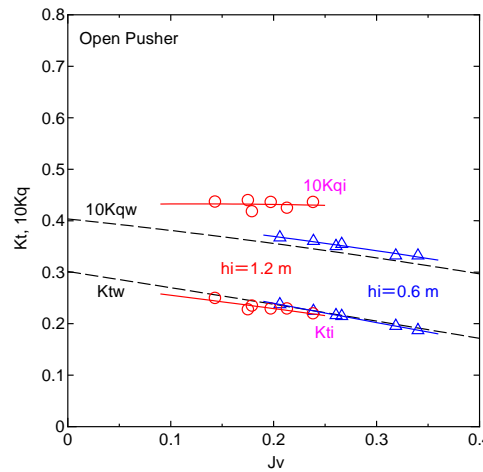
推力減少係数 $1-t$ および推進特性 (K_t , K_q)

- 低速時高スラストの観点では、本来ノズル付きが有利だが、氷片干渉が大きな船型では、ノズル性能が発揮できない
- オープンタイプでは、特に氷厚が大きな場合、プッシャーがトラクタより有利

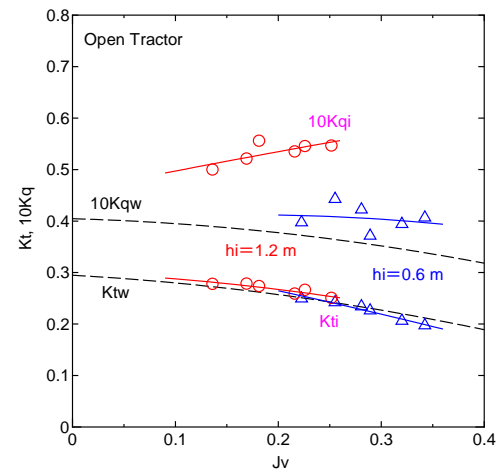
Suffix i: 氷中、w: 開水中



ノズル付きプッシャー型



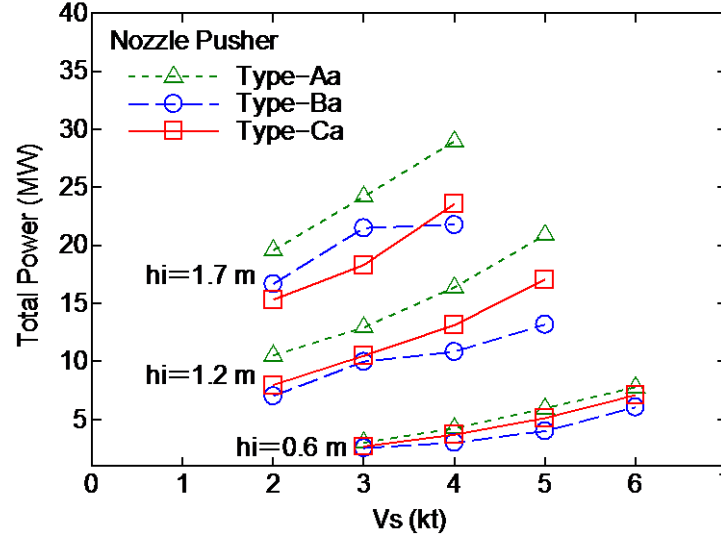
ノズルなしプッシャー型



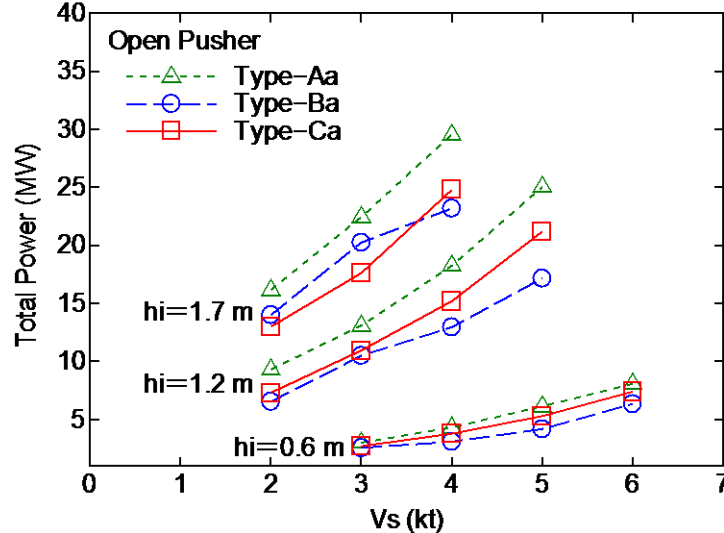
ノズルなしトラクタ型

連続砕氷時の所要馬力の推定

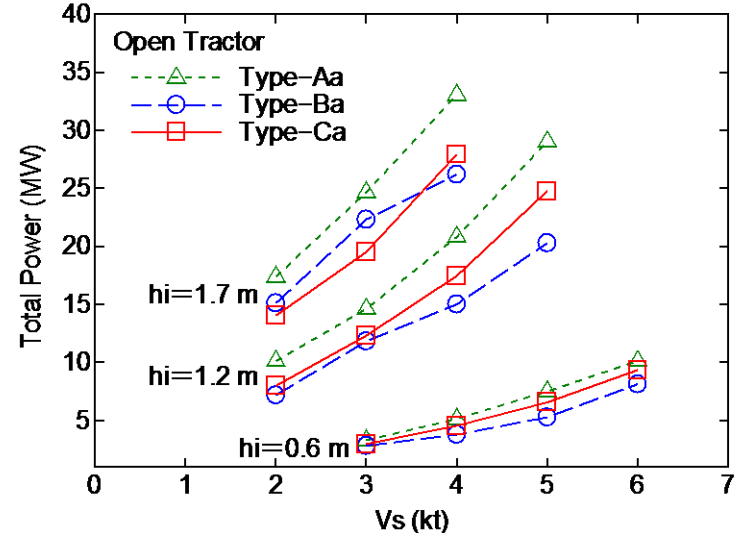
ノズル付きプッシャー型



ノズルなしプッシャー型



ノズルなしトラクタ型



連続砕氷時の所要馬力の推定

1.2 m氷板、船速3 kt における所要馬力

	A船型	B船型	C船型
ノズル付きプッシャー型	12,950 kW	10,000 kW	10,500 kW
ノズルなしプッシャー型	13,100 kW	10,500 kW	10,950 kW
ノズルなしトラクタ型	14,650 kW	11,850 kW	12,350 kW

1.7 m氷板、船速3 kt における所要馬力

	A船型	B船型	C船型
ノズル付きプッシャー型 (氷片干渉が改善の場合)	24,200 kW (19,300 kW)	21,500 kW (17,350 kW)	18,300 kW (15,050 kW)
ノズルなしプッシャー型	22,450 kW	20,250 kW	17,650 kW
ノズルなしトラクタ型	24,700 kW	22,350 kW	19,500 kW

氷中旋回試験計画

■ 目的：

- ◆ 特徴的な3船型（A船型、B船型、C船型）の氷中旋回特性（初期旋回径）を把握する。

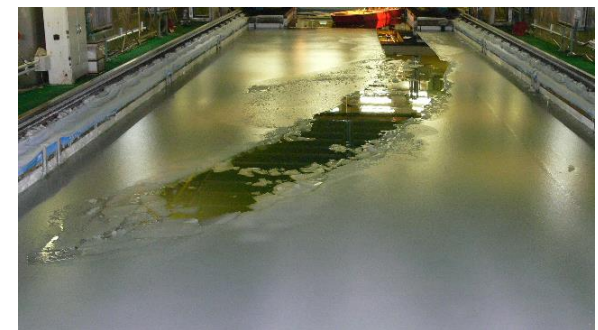
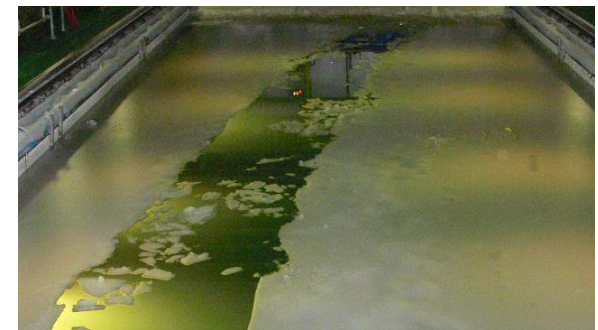
■ 実施期間：2012年9月～11月

■ 供試模型：

- ◆ 模型船 A a 模型, B a 模型, C a 模型
- ◆ 推進器 ノズル付きプッシャー型

■ 試験条件（実機換算） <Scale : 1/20>

- ◆ 氷厚 0.8 m相当
- ◆ 氷曲げ強度 500 kPa相当
- ◆ 1氷板につき1航走
- ◆ 模型氷板枚数 8枚【実績】



航跡：推進器旋回角 δ 変更試験（C船型）



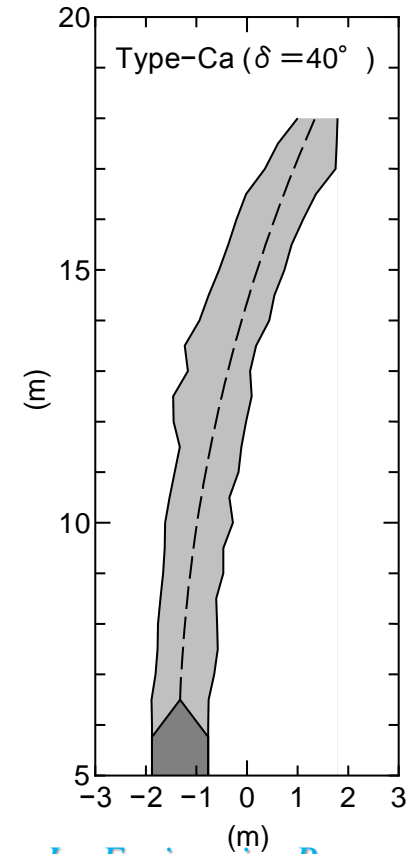
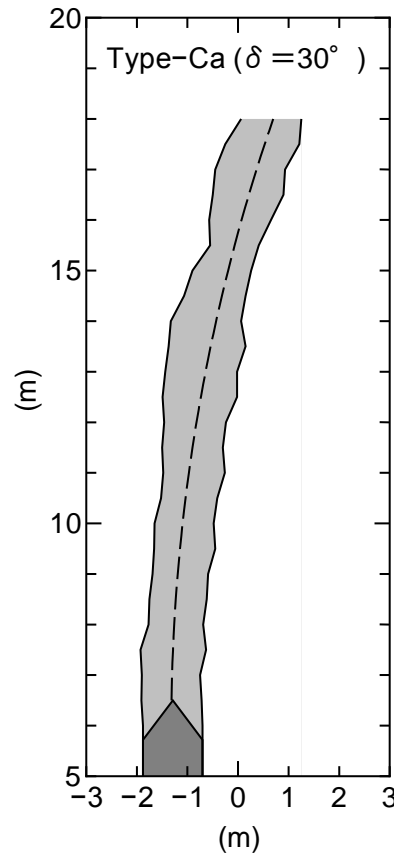
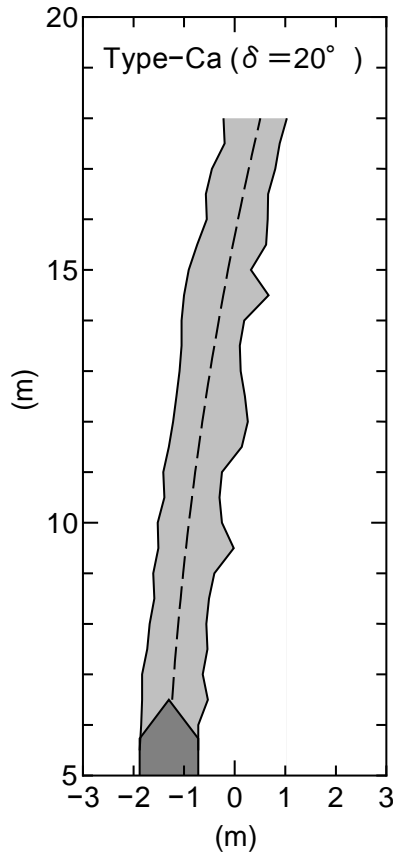
$\delta = 20^\circ$



$\delta = 30^\circ$



$\delta = 40^\circ$



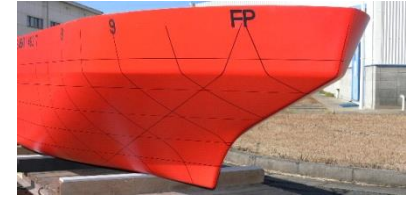
航跡：船型比較試験 ($\delta=30^\circ$)



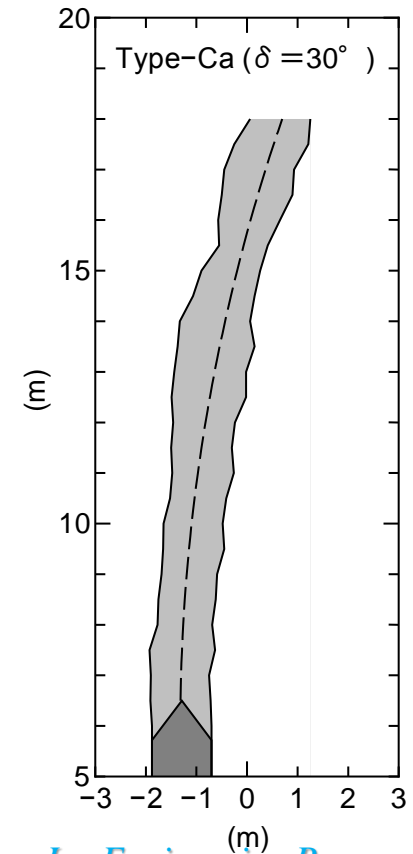
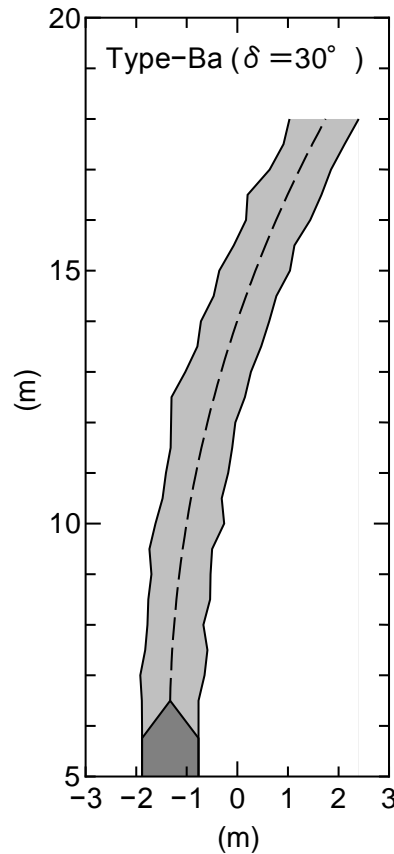
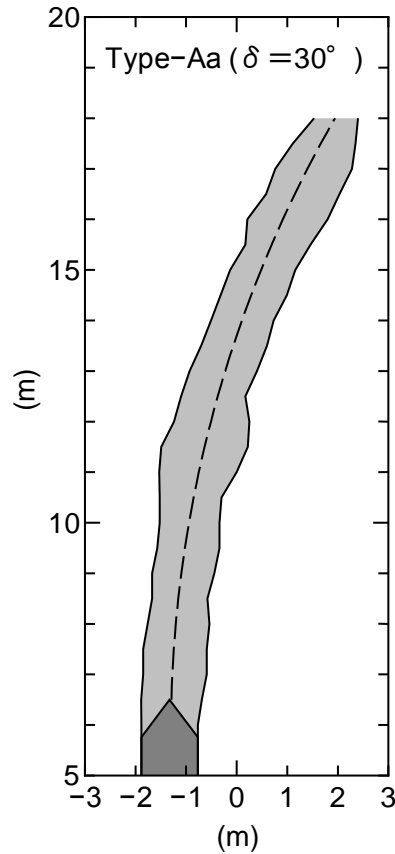
A船型：V-frame Bow



B船型：Spoon Bow



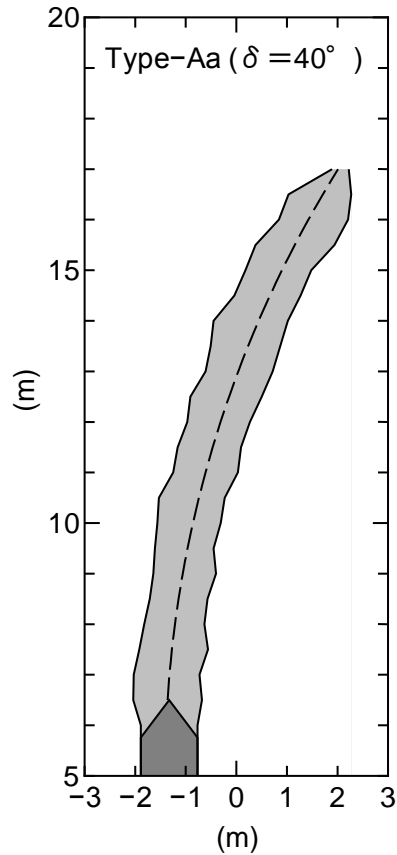
C船型：V/Spoon中間型



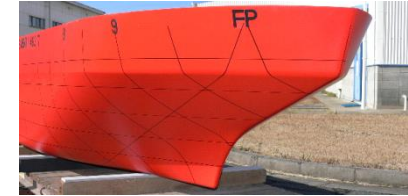
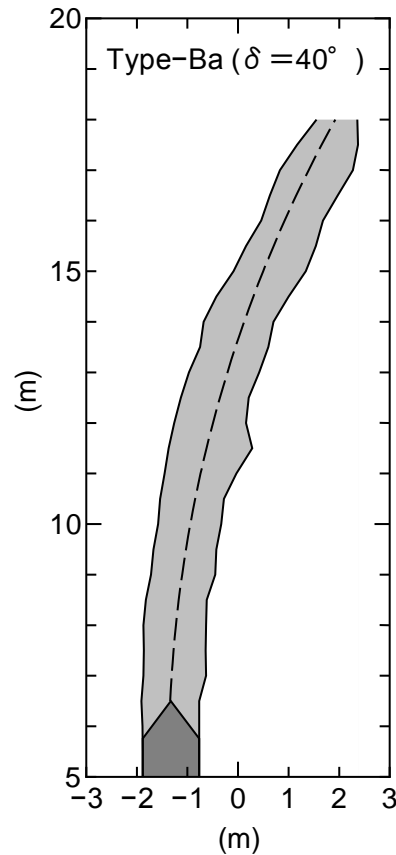
航跡：船型比較試験 ($\delta=40^\circ$)



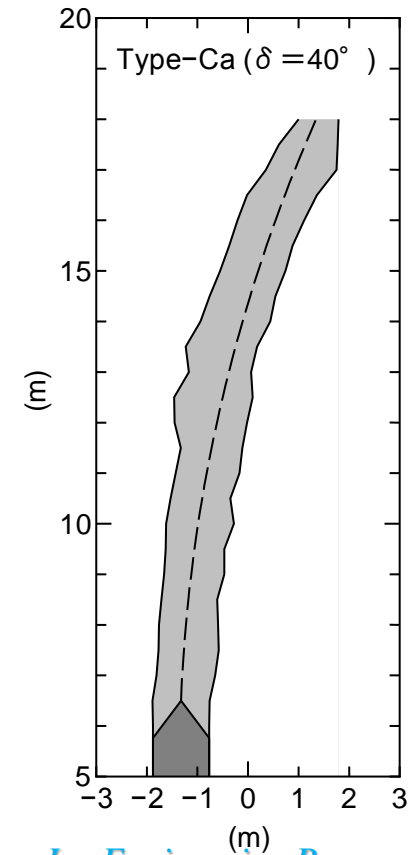
A船型：V-frame Bow



B船型：Spoon Bow

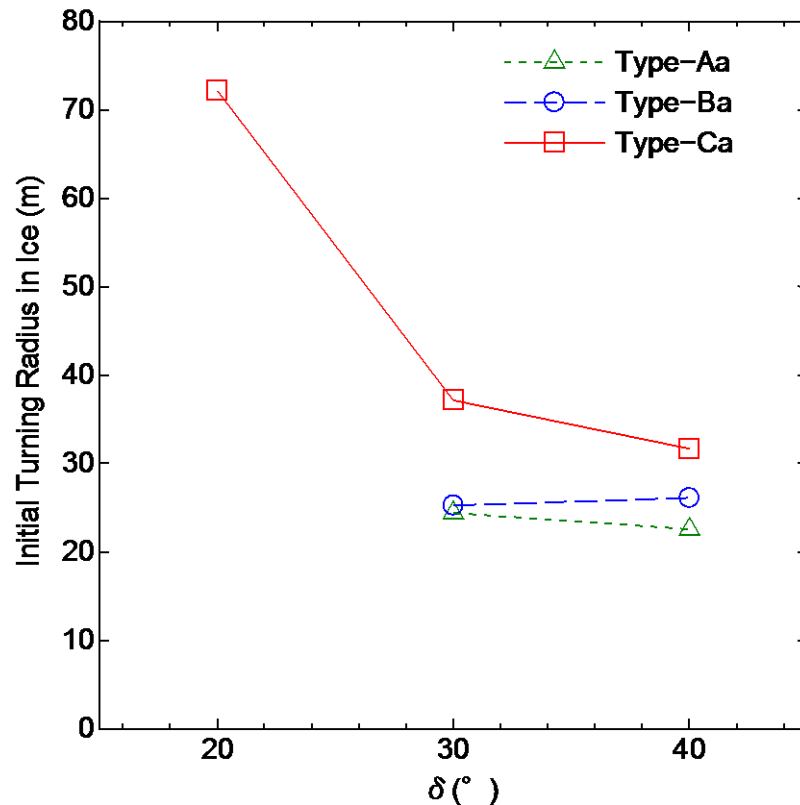


C船型：V/Spoon中間型

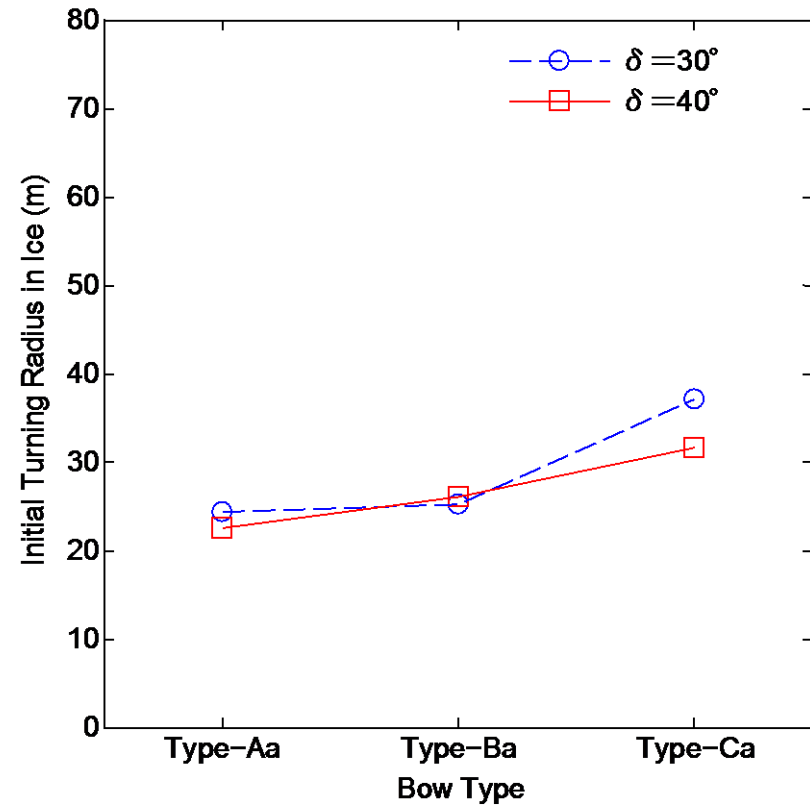


氷中における初期旋回半径

- 船型試開発時の予想 ($A > C \doteq B$) に反し、 $C > B \doteq A$
- 推進器旋回角を $\delta = 20^\circ$ から 30° にすると初期旋回半径は半分程度になる。 $\delta = 30^\circ$ と 40° では大差はない



推進器旋回角変更試験



船型比較試験

ラブルアイス排除試験計画 (1/2)

■ 目的：

- ◆ 3種類の旋回型（アジマス）推進器を搭載したときの、海氷排除性能（ボラード状態）及び開水路幅拡張性能（微速前進状態）を把握する。

■ 実施期間：2012年11月～2013年1月

■ 供試模型（Scale：1/20）：

- ◆ 模型船 C a 模型（プッシャー用）、C b 模型（トラクタ用）
- ◆ 推進器 ノズル付きプッシャー型（Nozzle Pusher）
ノズルなしプッシャー型（Open Pusher）
ノズルなしトラクタ型（Open Tractor）

■ 出力 P_b （実機換算）および推進器旋回角 δ ：

- ◆ 海氷排除試験 $P_b = \text{約}7 \text{ MW相当}, |\delta| = 90^\circ$
- ◆ 開水路幅拡張試験 $P_b = \text{約}8 \text{ MW相当}, |\delta| \leq 45^\circ$

ラブルアイス排除試験計画 (2/2)

■ 模型氷計画 (模型寸法)

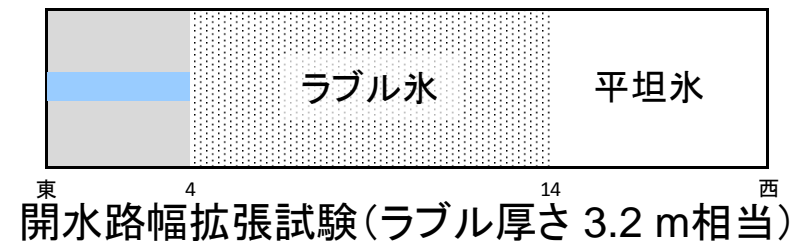
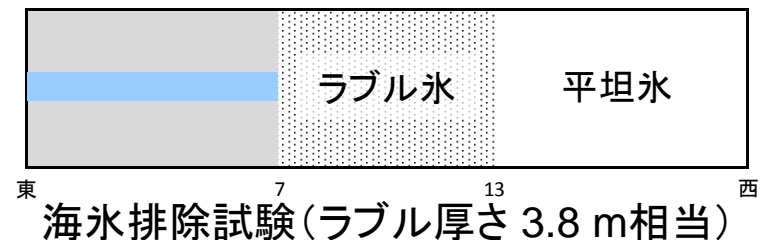
◆ 元氷 : 氷厚50 mm, 氷曲げ強度25 kPa

◆ 海水排除試験

- ラブル区間 : 6 m
- ラブル厚さ : 190 mm
- (実機換算 3.8 m相当)

◆ 開水路幅拡張試験

- ラブル区間 : 10 m
- ラブル厚さ : 160 mm
- (実機換算 3.2 m相当)



■ 模型氷板枚数 23枚 【実績】



海水排除試験（ラブル厚さ 3.8 m相当）

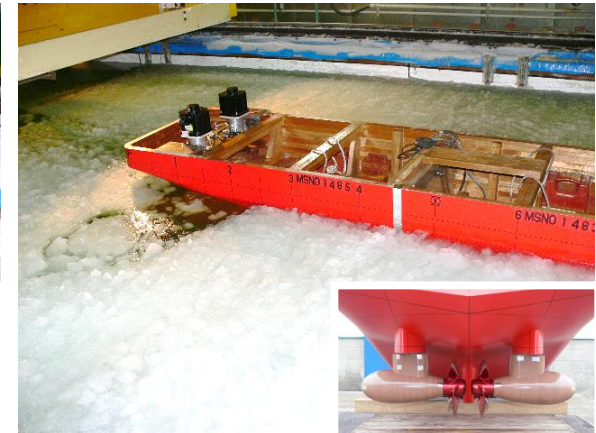
ノズル付きプッシャー型 (NP)



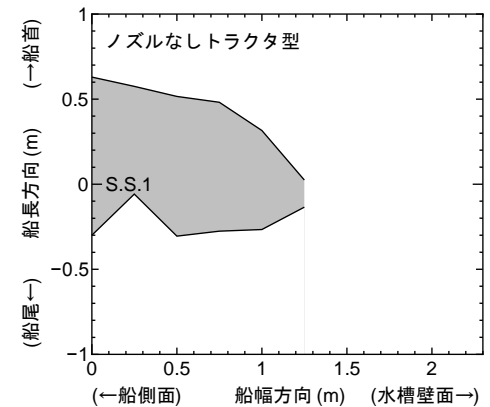
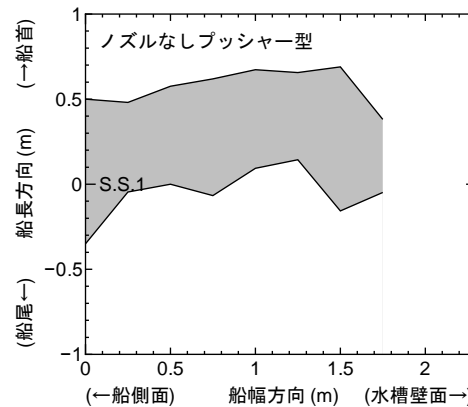
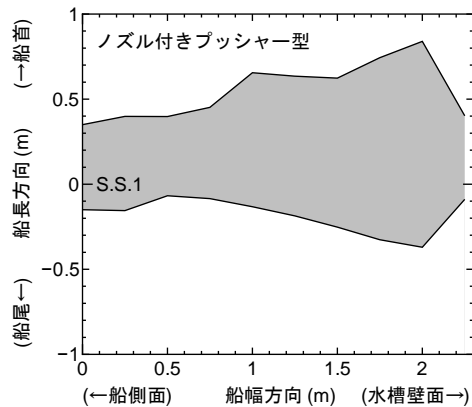
ノズルなしプッシャー型 (OP)



ノズルなしトラクタ型 (OT)



・水開きのプロファイル (片舷; 模型寸法)



・単位時間当りのラブルアイス排除量 (両舷; 実機換算)

NP: 121,254 t/h

OP: 45,159 t/h
(NP比: 0.37)

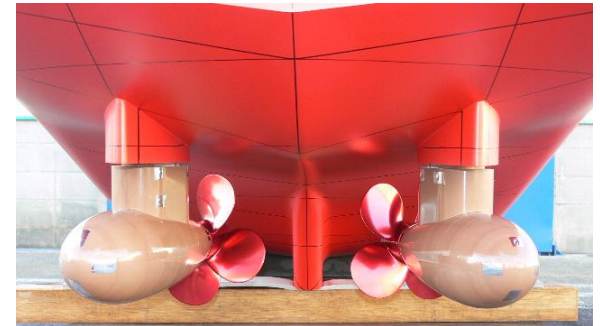
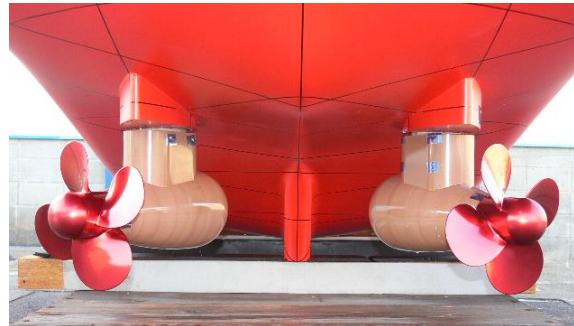
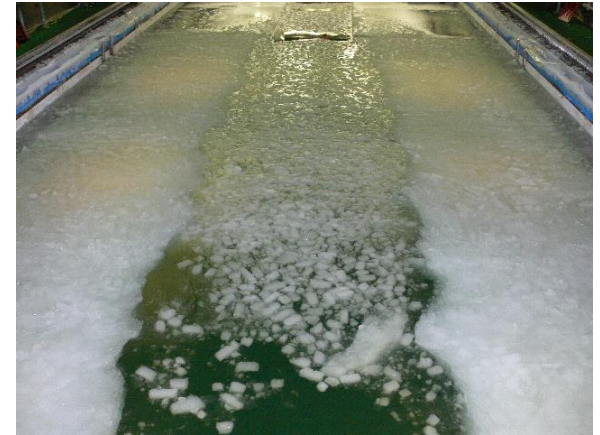
OT: 25,645 t/h
(NP比: 0.21)

開水路幅拡張試験（ラブル厚さ 3.2 m相当）

ノズル付きプッシャー型 (NP)

ノズルなしプッシャー型 (OP)

ノズルなしトラクタ型 (OT)



- ・ $|\delta| = 45^\circ$
- ・ 開水路幅: 56.1 m (実機)
2.67 Bwl

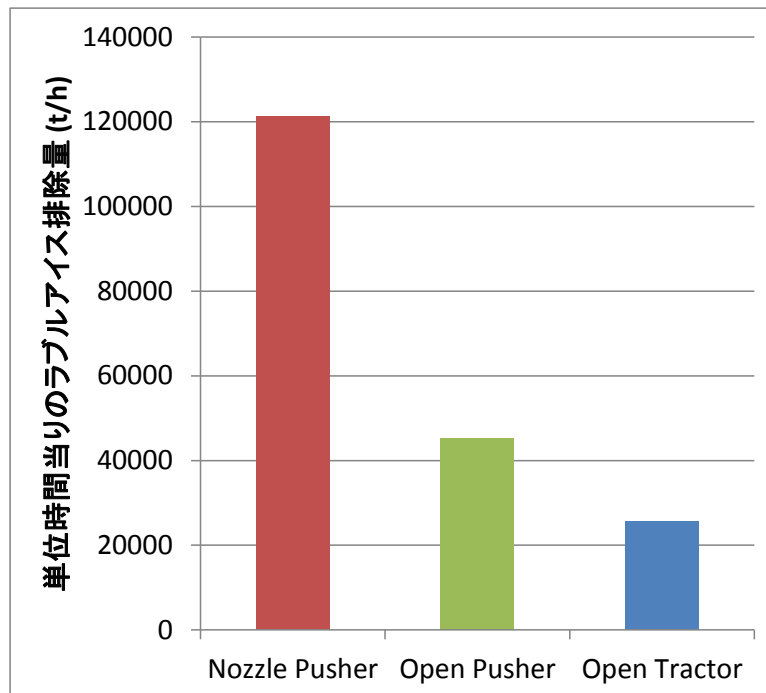
- ・ $|\delta| = 28^\circ$
- ・ 開水路幅: 42.7 m (実機)
2.04 Bwl
(NP比: 0.76)

- ・ $|\delta| = \pm 19^\circ$
- ・ 開水路幅: 34.3 m (実機)
1.63 Bwl
(NP比: 0.61)

試験結果：ラブルアイス排除量、開水路幅

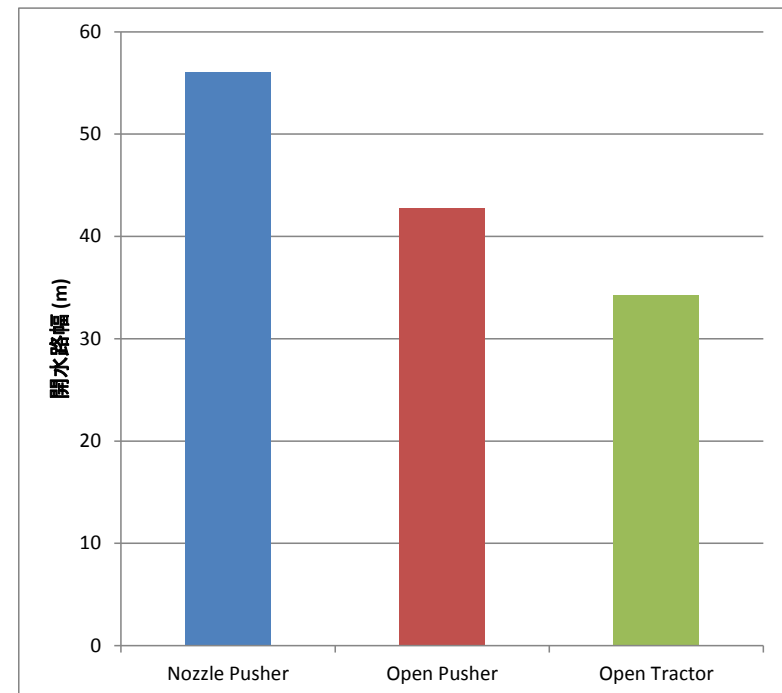
■ ラブルアイス排除量

- ◆ ラブル厚さ3.8 m相当
- ◆ ボラード状態



■ 開水路幅

- ◆ ラブル厚さ3.2 m相当
- ◆ 船速1 kt相当



ラブルアイス排除量、開水路幅とも、氷片排除性能はNP>OP>OT

- ・ 指向性の強い水流を発生するノズル付きが有利
- ・ オープンタイプでは、ラブルアイスとの距離の大きいトラクタ型がプッシャー型より不利

総合評価：船型、推進器様式

- 評価方法：優れた順に◎=3点、○=1点、△=0点を与え、各項目の点数を優先度で割ったものの総和が大きい順に高評価

【船 型】

優先度	評価項目	A 船型	B 船型	C 船型
1	連続砕氷抵抗	△	○	◎
2	ラミング性能	◎	◎	△
3	氷中旋回径	◎	◎	△
総合評価（順位）		2.5（3位）	3.5（1位）	3（2位）

【推進器様式】

優先度	評価項目	Nozzle Pusher	Open Pusher	Open Tractor
1	所要馬力	○	◎	△
2	ラブルアイス排除特性	◎	○	△
総合評価（順位）		2.5（2位）	3.5（1位）	0（3位）

考察

■ 連続砕氷性能

- ◆ 全体的には砕氷抵抗はSpoon-Bow船型が小さくなる
- ◆ ただし、氷厚が大きく、且つ低速域では、船首先端をやや尖らせたV/Spoon中間船型の方がSpoonよりも抵抗が小さくなった
 - 摩擦抵抗の増大等が要因として挙げられる

■ ラブル氷中ラミング性能

- ◆ 当初の予想に反し、Spoonのラミング性能は劣らず、V-frameと同性能で、V/Spoon中間船型は予想に反して性能が劣った
- ◆ V/Spoon中間船型と他の2船型の大きな違いはナックルライン。ラブル氷中では、肩部の剪断の効果が大きく現れたと考えられる。
 - V/Spoon中間船型は、肩部でラブルを押し広げる
 - 他の2船型は、ナックルにより肩部でラブルを剪断する
- ◆ 平坦氷や固結リッジでは、今回と同じ結果とは限らないことに留意する必要がある

考 察

■ 水中自航試験

- ◆ 低速時に高いスラストを発生するという観点では、本来ノズル付きが有利だが、氷片干渉の大きな船型では、ノズル性能が発揮できず、適用には注意が必要である
 - ＜推進器への氷片流入に関し、氷海OSVの船型の不利な点＞
 - 船尾までフル幅が要求される（平行部が長い）
 - 旋回型推進器使用のため、バトックフロー型船尾船底形状が二次元的な形状となりやすい（氷片が流入しやすい）
 - 推進器寸法に対して喫水が浅い
 - ⇒ バトックフロー形状の立ち上がり前に、氷片を極力船体外側に排除できれば、ノズルプロペラの本来の性能が発揮可能
- ◆ オープンタイプでは、氷片干渉の影響でトラクタ型はプッシャー型よりも効率が劣る（特に氷厚が大きい場合）

考察

■ 水中旋回性能

- ◆ 今回の供試船型の中では、予想に反してV-frame船型がSpoonと同等の性能を示した
- ◆ Waterline形状やフレーム形状の効果以上に、肩部のナックルの影響で、旋回の内側で、平行部と氷の間の隙間ができやすいと考えるが、今回の試験だけでは明確な要因はつかめない

■ 海水排除性能／開水路幅拡張性能

- ◆ 指向性の強い水流を発生するノズル付きが有利となった
- ◆ 船首を突っ込んで（停止状態）ラブル氷を排除するような場合、さらに推進器を振ることによって、ノズル付きは氷片排除量のみならず、その領域の効率的な拡大が期待できると考えられる