

北極海航路を利用する船舶の課題

ジャパン マリンユナイテッド 株式会社
技術研究所 山内 豊

- ◆ 北極海航路を利用する氷海船舶の開発・設計における主な課題
- ◆ 造船業における北極域研究への期待

北極海航路の商用利用

荷主

海運会社

造船会社

極域開発資源の輸送（積み出し）

- 資源開発と輸送はセット／Project
- NSR利用は不可欠、専用船の導入
- Destination Voyage

PJT
要求仕様
(主要寸法,
砕氷能力,
etc.)

専用船の開発／設計／建造

- 砕氷商船／耐氷商船
- 基本、新規開発
- 専用船はProjectの一環

南回り航路に代わるNSR経由東西輸送

- 東西の荷動き
- NSR利用可否は経済性、継続性、安全性、等による（経済性を最重視）
- NSR航行専用船の運航とは限らない
- NSR Transit Voyage

一般商船のアイスクラス化／設計／建造

- 主にIce Class IA 対応の耐氷商船
(船型・構造改良, 主機変更, 等)
- 南回りなど通常海域での性能も重視
- EEDI規制への対応

航行可能期間

航海日数

所要燃料

運航規則

NSRタリフ

北極海航路を利用する船舶

■ 砕氷商船と耐氷商船

砕氷商船



Icebreaking merchant ship

- 氷海域で海氷を砕きながら単独航行できる能力を備えた船
- Polar Class (IACS-UR)や各船級の砕氷クラスに対応

氷海商船

耐氷商船



Ice-strengthened merchant ship

- 周囲の氷からの力に耐える強度を持った船（砕氷能力無し、または小さい）
- 厳しい氷状では砕氷船のエスコートを受ける
- Finnish-Swedish Ice Class Rules (FSICR)に代表される耐氷クラスが適用される

主なアイスクラス

Approximate Ice Class Equivalence

Polar Class (IACS UR)	Baltic (FSICR)	Russian (RMRS) Ice class ship	Russian (RMRS) Icebreaker	Canadian (CASPPR)	LR	ABS	DNV	NK
PC 1			Icebreaker 9	CAC 1	AC 3	A 5	POLAR-30	
PC 2		Arc 8/9	Icebreaker 8	CAC 2	AC 2	A 4	POLAR-20	
PC 3		Arc 7	Icebreaker 7	CAC 3	AC 1.5	A 3	POLAR-15	
PC 4		Arc 6	Icebreaker 6	CAC 4	AC 1	A 2	POLAR-10	
PC 5		Arc 5	Icebreaker 6				ICE-15	
PC 6	IA Super	Arc 5	Icebreaker 6	Type A	1AS FS	A 1	ICE-10, ICE-1A*	IA Super
PC 7	IA	Arc 4		Type B	1A FS	A 0	ICE-1A	IA
	IB	Ice 3		Type C	1B FS	B 0	ICE-1B	IB
	IC	Ice 2		Type D	1C FS / 1D FS	C 0	ICE-1C	IC
		Ice 1		Type E	1E	D 0	ICE-C	ID

註) おおよその比較を示したものであり、厳密な対応を示すものではない。

: 砕氷船
 : 耐氷船
 : 耐氷/砕氷船

要求される氷海航行性能

IA以下の耐氷商船



IA Super耐氷/砕氷商船



船首角例 40~45°

砕氷商船



船首角例 30° 以下

耐氷商船

Ice Class (IA, IB, IC)別に規定される厚さの brash ice channel中を5ktで航行できる能力



(IA Super はIAのB.I.C.上に0.1mの凍結層あり)

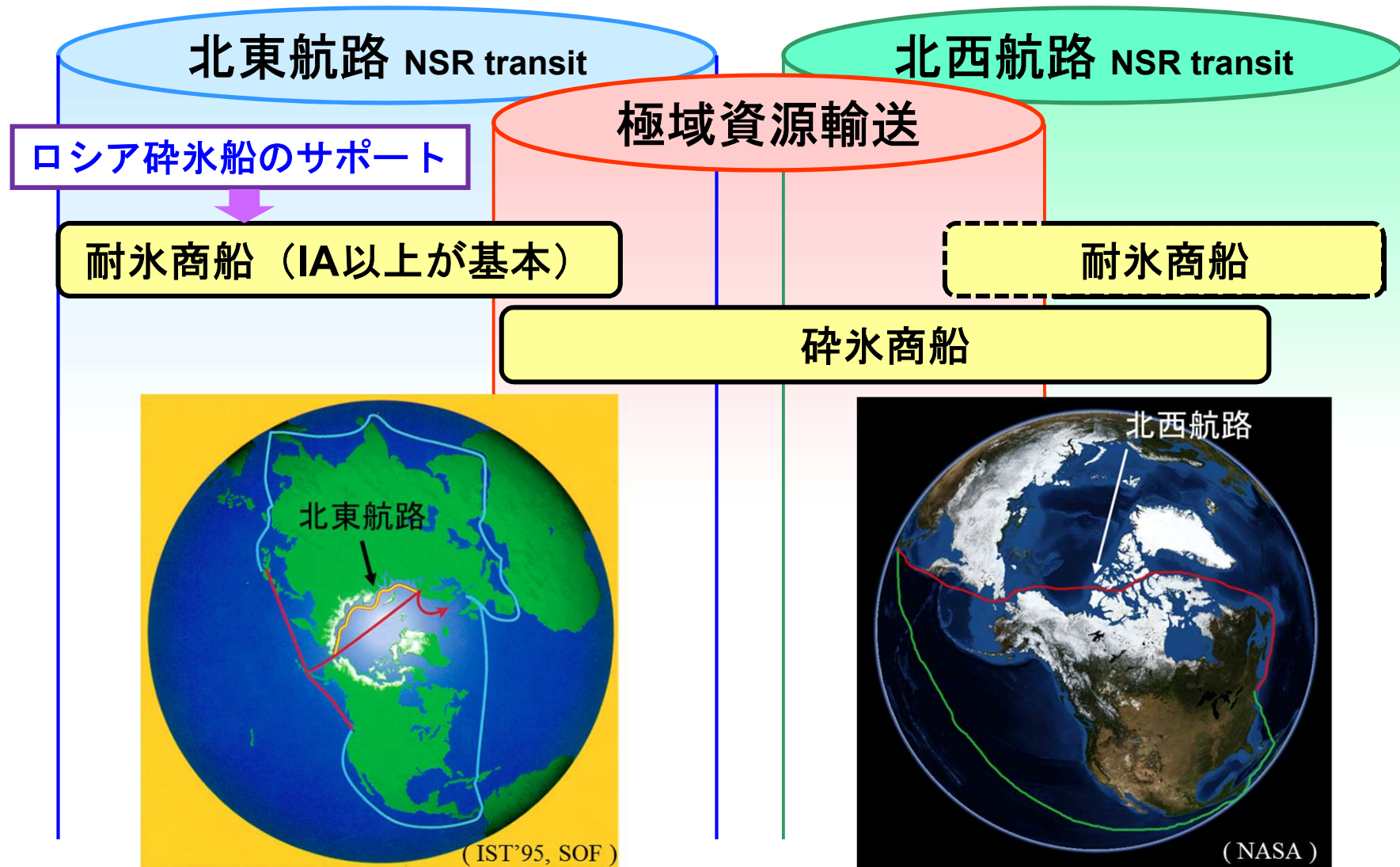
砕氷商船

運用海域の氷状に基づいて計画される砕氷能力



北極海航路を利用する船舶

■ 北東航路と北西航路を利用する商船の氷海仕様



造船における課題

北極域開発資源を運び出す砕氷輸送船

- 輸送船の開発はPJTとして準備期間も含め計画的に進められる
- 砕氷能力等求められる性能は高いが、要求性能は明確である
- PJT毎の仕様
 - ⇒ラインナップとして事前にデザインを備えることは困難

NSR transit 運航／南回り運航双方を考慮した耐氷商船

- 一般商船にNSR航海条件を付加する位置づけ（耐氷Ice Class化）
- 同じサイズの一般商船と比べて構造重量は増加（載貨重量は減少）、搭載主機の定格出力も上がる傾向
- NSR利用は例えば 7月～11月として、その他の期間は南回りなど通常海域で運航
 - ⇒ 通常海域では一般商船と同等の性能が期待される

極域開発資源を輸送する砕氷商船の建造例

— 氷海運航の経験豊富なカナダ船社との情報交換・共同開発 —



主要目

全長	188.8 m
幅(最大)	26.6 m
深さ	15.7 m
喫水	11.5 m
出力	22 MW
連続砕氷能力	1.5 m

1番船 “UMIAK I” 2006 引渡し
2番船 “NUNAVIK” 2014 引渡し
3番船 (建造中)



UMIAK I

“Bulk Ship of the Year 2009”(IBJ Awards) Awarded

電子制御ディーゼルエンジン搭載 ノズル付CPP 1軸推進

“UMIAK I” 積出港 Voisey's Bay



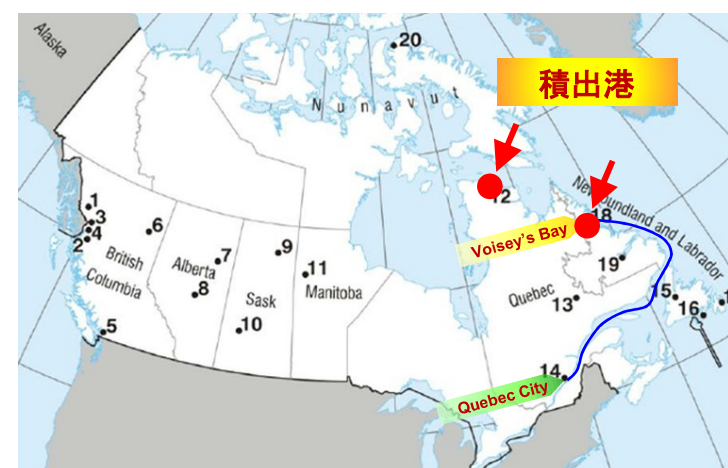
【夏季】



【冬季】



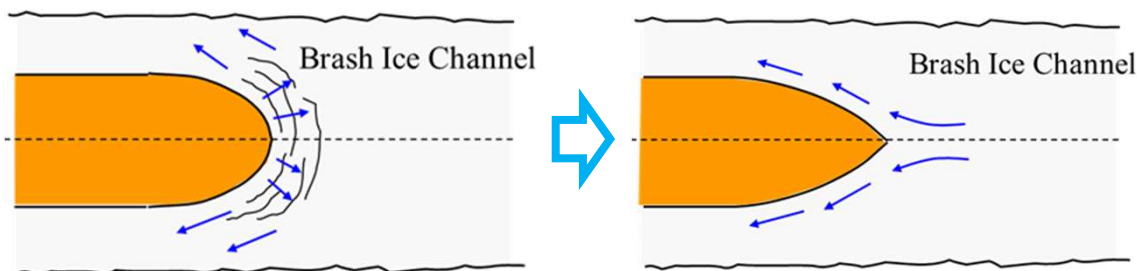
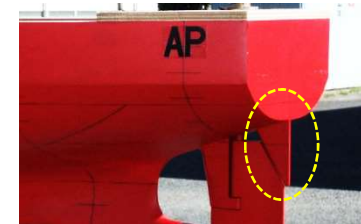
【冬季】



<http://www.vbnc.com/ShowGallery.asp?GalleryID=4> Voisey's Bay Nickel Company Limited HPより
https://www.researchgate.net/figure/Location-of-Canadian-Sites-Referenced_fig1_45267933

一般商船のアイスクラス（耐氷クラス）化

- Ice Class Rulesに従う船体外板, Frame, Stringer の強度アップ
- プロペラ, 軸径, 減速機の強度アップ
- アイスクラス規則（FSICR）の性能要求を満足するための主機の変更
（またはBrash Ice Channel 抵抗低減のための船型の改良）
- 舵を保護するためのアイスナイフの追加
- 舵取機を保護するためのラダーストッパーの追加
- 最小喫水線上のBallast Tank 水の凍結防止策
- CO₂排出量規制, EEDI低減への対応（Polar Code カテゴリーA以外）



Brash Ice Channel 抵抗の低減



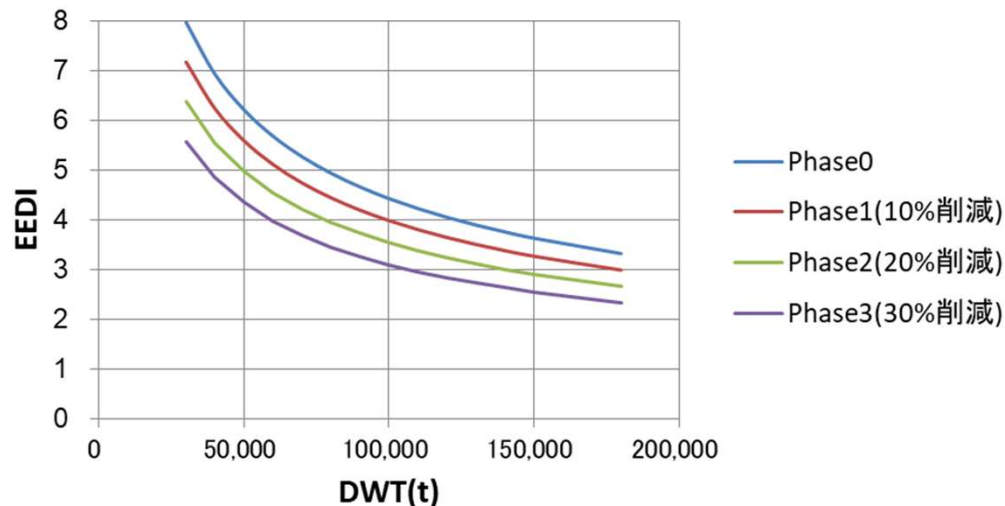
FSICRアイスクラス商船にも適用されるEEDI 規制

- EEDI（エネルギー効率設計指標）：輸送量(トン・マイル)当たりのCO₂排出量
⇒ 段階を追って削減
- IMO Polar Code のカテゴリーAを除く氷海商船にもEEDI低減規制は適用
(カテゴリーA：Polar Class 5 以上の砕氷商船に相当)

$$EEDI = \frac{\text{機関出力} \times \text{燃料消費率} \times \text{CO}_2 \text{換算係数}}{DWT \times \text{速力}}$$

平水中の評価

IA 耐氷タンカーのEEDI 規制値推移例



- Phase 1 (10%削減)
2015年以降建造契約～2023年以前引渡
- Phase 2 (20%削減)
2020年以降建造契約～2028年以前引渡
- Phase 3 (30%削減)
2025年以降建造契約
- ・ 削減基準：1999～2008年建造の船種別EEDI平均

◆ 造船業における北極域研究への期待

北極海域の海水情報の重要性と今後の期待

- 海水情報は氷海船舶の性能計画，航行可能時期，経済性評価，及び氷海航行支援には欠かせない情報

① 氷海船舶の性能計画

荷主／海運会社

- ・ 主要寸法、積載貨物量
- ・ 港湾制約 等

船舶の性能要求

- ・ 砕氷能力 or Ice Class
- ・ 通常海域性能
- ・ 航続距離
- ・ 操縦性能 等

造船会社

船舶の開発/設計

- ・ 船型開発
- ・ 推進器最適化
- ・ 水槽試験
(含む 氷海水槽試験)

自然環境条件

...

...

運航海域の海水データ

- ・ 海水密接度分布
- ・ 氷厚分布
- ・ 海水強度

...

...

需要予測に基づく

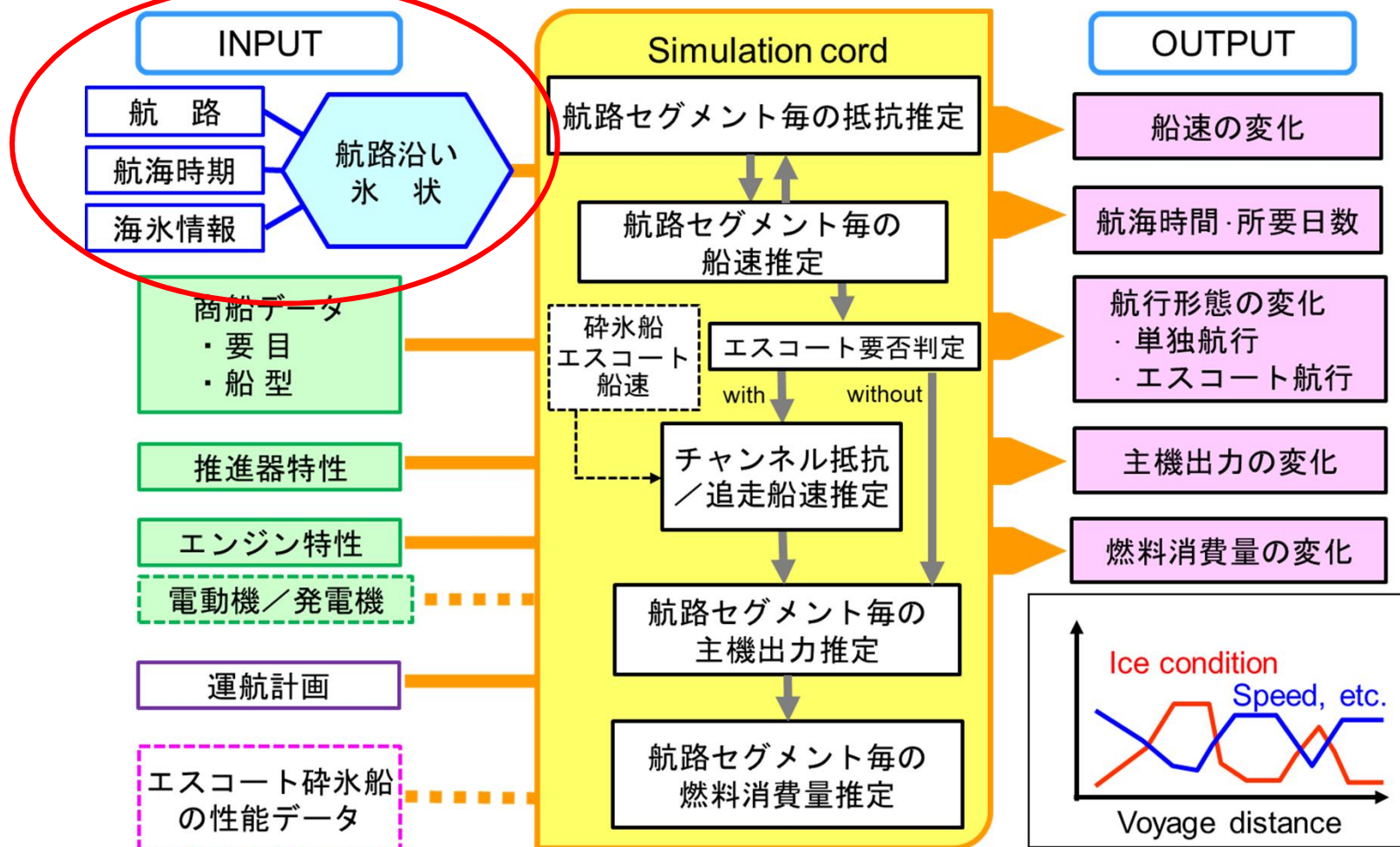
造船会社独自の事前検討

- ・ プロトタイプ準備のための性能の設定

北極海域の海水情報の重要性と今後の期待

② 北極海航路の航行シミュレーション

■ 海水情報に基づく運航計画、経済性評価のためのシミュレーション例

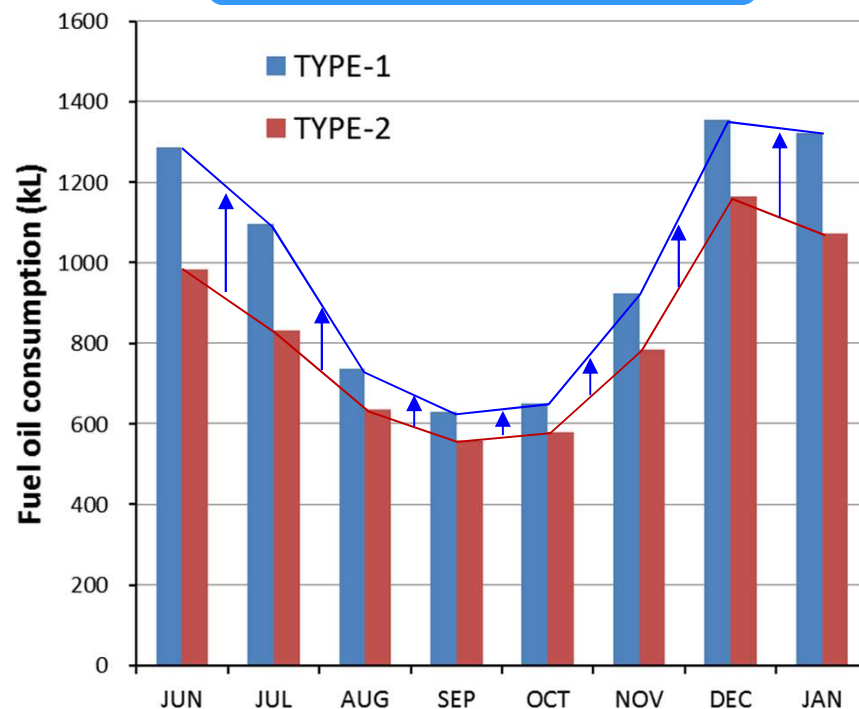


シミュレーション例 燃料消費・エスコート時間

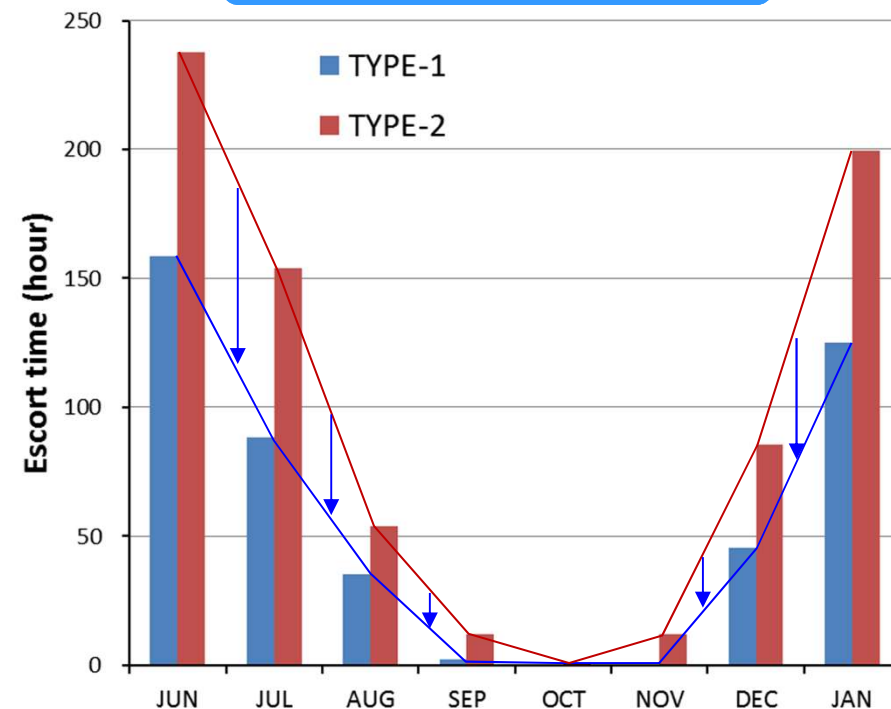
■ Panamaxクラスの砕氷性能の異なる砕氷商船のNSR航海比較例

(TYPE-1 : 1m平坦氷砕氷 / MCO 17.5MW, TYPE-2 : 0.7m平坦氷砕氷 / MCO 10.5MW)

1航海燃料消費量



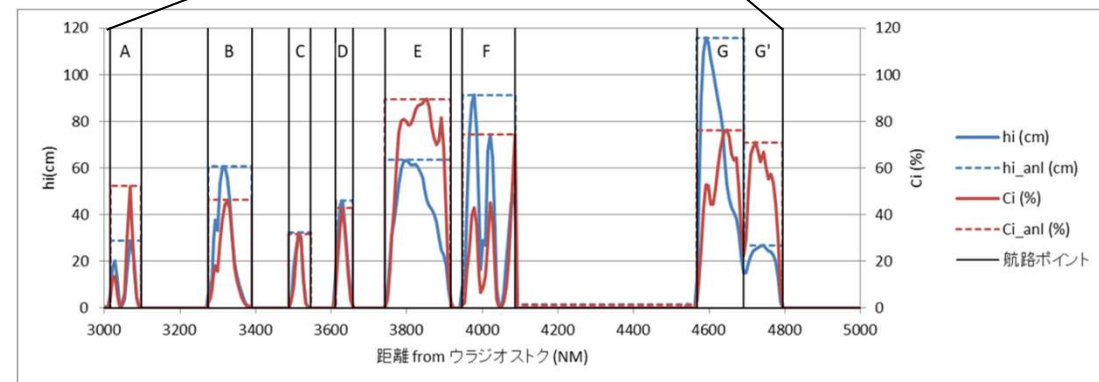
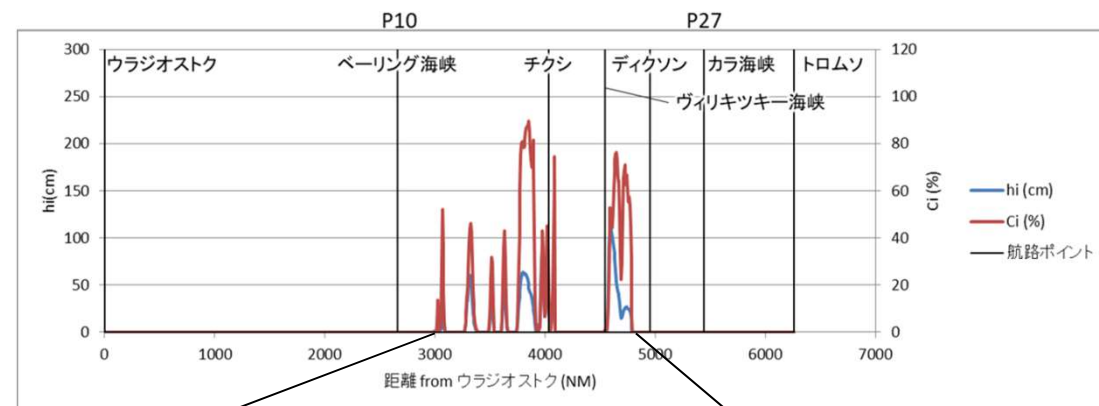
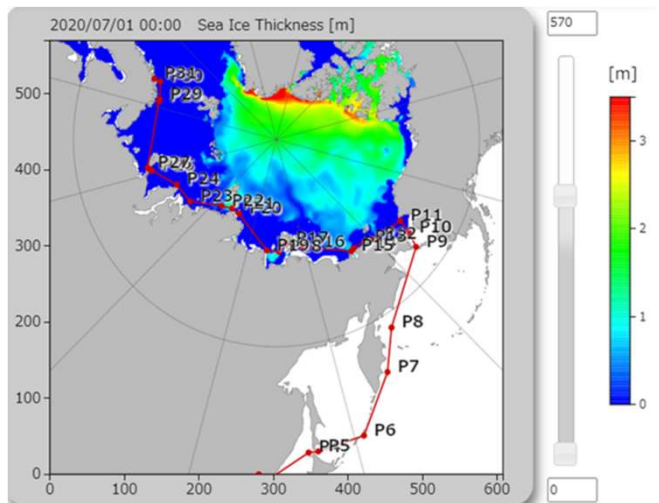
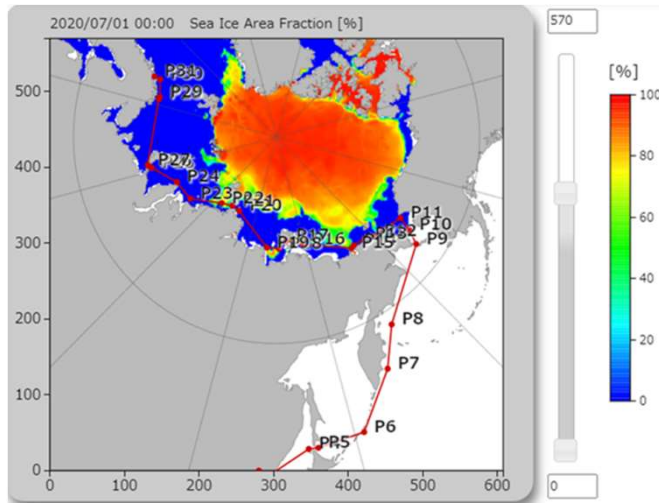
エスコート航行時間



*エスコート砕氷船 : 2.2m / 3kt / 47.5MW

北極海域の海水情報の重要性と今後の期待

■ 航路上の海水状況調査における国立極地研究所ADSの活用例



氷厚分布情報の確度（±？）分析やデータの充実に期待

低温環境対策に関する北極域研究への期待

氷海船舶のPST設定のための気温統計情報

■ Polar CodeのPST (Polar Service Temperature)

- ◆ 運航海域及び季節の日平均低温(MDLT)に基づいて設定
- ◆ MDLT: 10年以上データに基づく統計的日平均低温

■ PSTに基づく設計要件

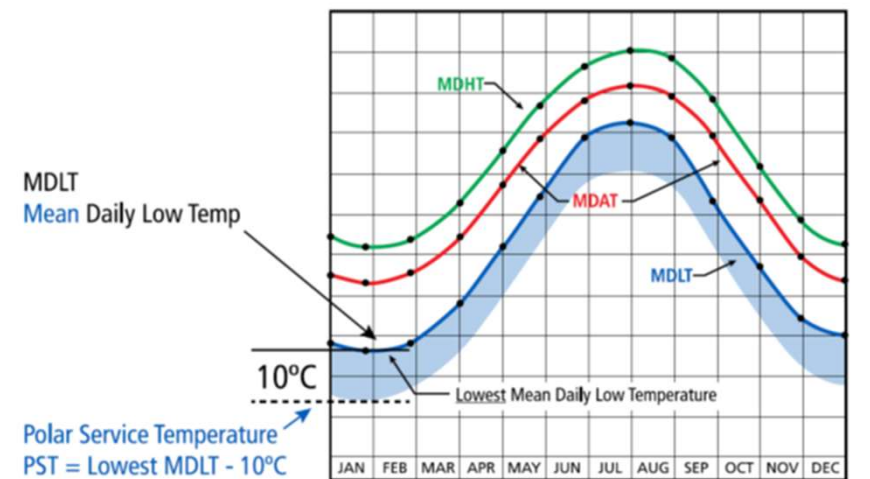
- ◆ 低温を考慮した船殻材料、船外の機関／電気装置、等
- ◆ システム、設備の機能保持、等



非現実的に過度なPST
→機器によっては対応が困難



設計者が適切に特定し得る
各海域の統計データの充実と
妥当性の向上



低温環境対策に関する北極域研究への期待

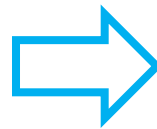
着氷対策

- 船上暴露部の着氷によるスタビリティ悪化（特に中小型船舶），機器不全 の発生の回避



- 着氷問題はArCS II北極航路課題の中でも氷海航行安全性の一環として取り組まれている

着氷条件、着氷成長過程等
着氷現象の調査・研究



着氷緩和／防止策の研究に期待

- 材料，表面処理
- 着氷防止被膜／塗料 等

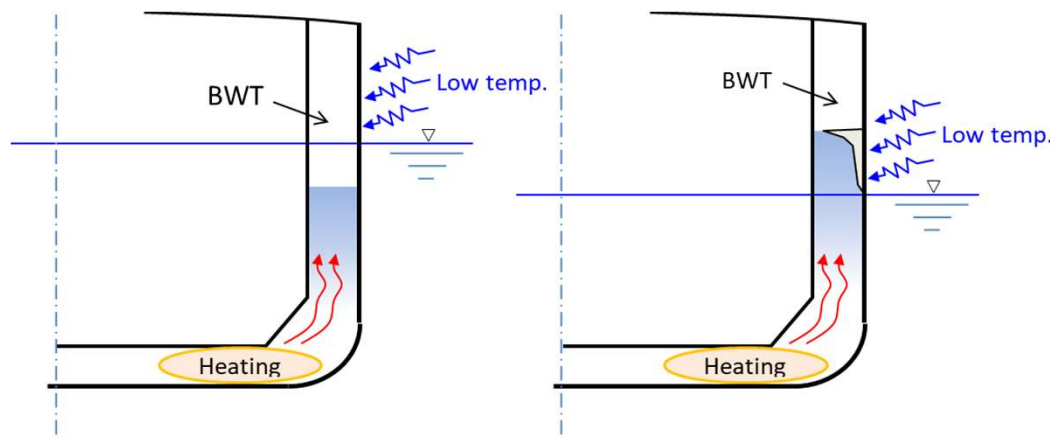
低温環境対策に関する北極域研究への期待

バラスト水の凍結対策

- バラストタンク内の喫水線上の海水は凍結しやすい環境にある
- ⇒ 主機関の排熱利用などタンク内水のヒーティングが行われる



ヒーティングシステム設計のための
タンク内水の熱流体シミュレーション技術の向上

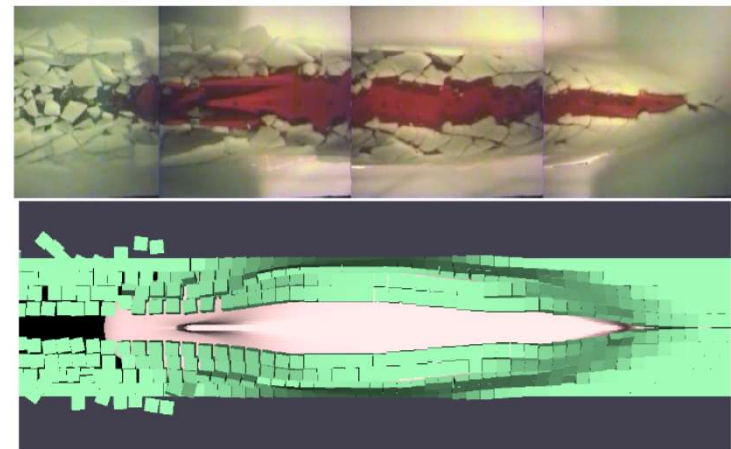


機関冷却海水吸入口の閉塞防止策

- 船底海水吸入口は細氷片や雪氷で閉塞することがある
- ⇒ 吸引口には多孔板や格子による雪氷吸引防止対策が施される



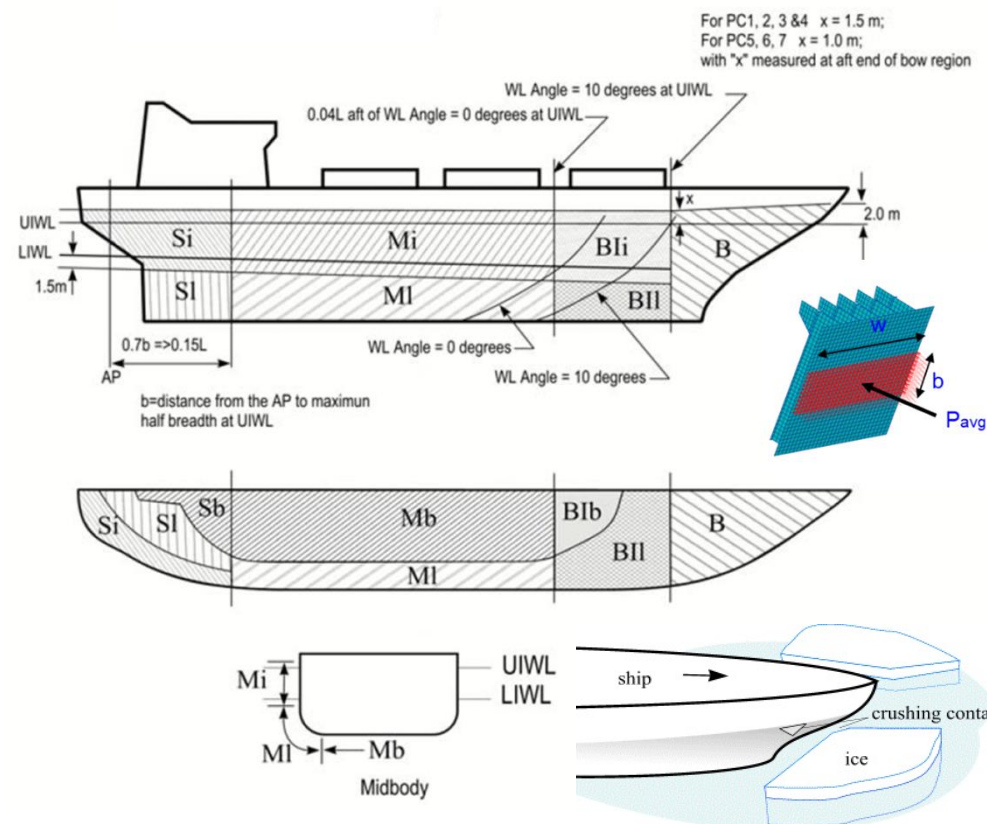
船速, 海水吸入を考慮した細氷片、
雪氷の流れシミュレーション技術の
向上



船体構造の設計氷荷重

■ Polar Class における設計氷荷重（氷圧力）の考え方

- ◆ 船体の区分：設計荷重を設定するに当たり船体を幾つかの領域に区分
- ◆ 各部の設計荷重は矩形の荷重作用面に一様分布する平均圧力として定義
- ◆ 各部の設計荷重はPC及びその領域に対応した荷重特性係数や形状係数により算出される



部材最小寸法の算出

基本構造以外の船外付加物
に関する設計氷荷重算出指
針の明確化



ご清聴ありがとうございました

