

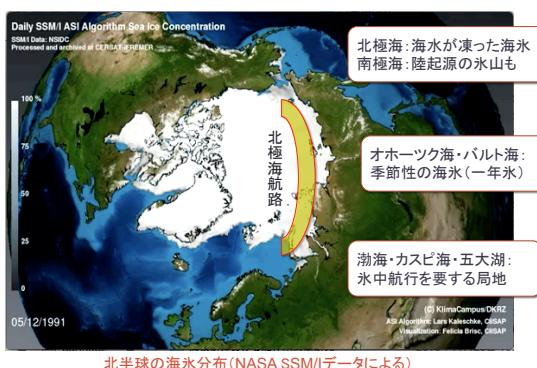
北極海航路における推進性能

海上技術安全研究所
流体設計系 水槽試験技術グループ
松沢 孝俊

本日のテーマ

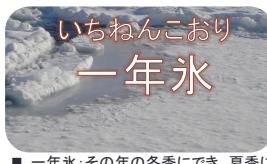
- ・北極海航路の現状
 - ・海水の状況と氷海用船
 - ・ルール・レギュレーション
- ・水中主機出力の推定
 - ・EEDIとPower Requirements
 - ・氷海水槽試験
- ・北極海航路における運航支援
 - ・今後必要となる技術

北極海



北半球の海水分布(NASA SSM/Iデータによる)

多様な海水

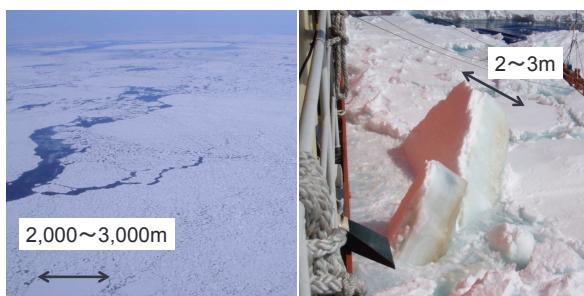


- 一年氷: その年の冬季にでき、夏季に融けてしまうもの。一般に低強度。
- 多年氷: ひと夏以上を消えずに残ったもの。一般に高強度で、船舶にとり脅威。

形態としては、例えば…



氷海航行という実運航



【移動速度】0.1~0.4ノット(5~20cm/s)、最大1~2ノット(50~100cm/s)
【厚さ】一年氷の熱力学的な成長限界はおよそ2m。ただし海域による。
多年氷で2~6m。ただし変形によって20m以上(深さが卓越)も存在。

氷海航行という実運航



2016.12.1 第73回実海域推進性能研究会 National Maritime Research Institute ICETANK

氷海用船舶の建造動向

[2014] Amount LNGC[16]: Arc7, 172,000 cu (2016~)
DSME

[2015] 多目的船: Arc5, Class3 DP (2017)
Keppel Singmarine
コンテナ[7]: 3,600 TEU (2017~)
COSCO Shipyard

[2016] フェリー: 5万トン 1,885名 (2018)
Flensburger Schiffbau-Gesellschaft & Co.
Suezmax[2]: 158,600 dwt (2018)
HHI

DSME to Build 1st ARC7 Ice-Class Tanker for Yamal
Keppel wins MCS ice class contract
Ships built for Mar Arctic
The ship design is based on the existing vessel
Keppel has built 10 similar vessels
Sailing into the future

Maersk Line orders seven ice-class container vessels
Irish Ferries orders €144m 'Ice Class' ship with cinemas, pet facilities and private passenger balconies

Euronav Orders Two Tankers, Secures Charter Deals
Anvera-based tanker owner and operator Euronav NV has ordered two newbuilding crude oil Suezmax vessels from Hyundai Heavy Industries shipped in South Korea.
The 158,600 dwt tankers were ordered for a price of \$144 million each. The ships will be delivered in early 2018.
Based Values: Energy for the Suezmax
5 Oct 2016

2016.12.1 第73回実海域推進性能研究会 National Maritime Research Institute ICETANK

アイスクラス

2016.12.1 第73回実海域推進性能研究会 National Maritime Research Institute ICETANK

Polar Code

IMO

- 2017.1.1に発効
 - 500トン以上の船に対する強制要件を含む。
 - 新造船は完工日、既存船は翌年以降最初の検査時までに要対応。

検査証書の備え付け → Polar Ship Certificate
 極海域運航手順書の備え付け → Polar Water Operational Manual (PWOM)
 氷の付着を考慮した復原性の確保
 機器の凍結防止、低温時の操作性確保
 氷・気象情報の受信設備、連絡手段の確保
 航海計画の策定、船員資格及び訓練について

Polar CodeはPhilosophyやThresholdを規定
 Design MethodはIACS URが規定

2016.12.1 第73回実海域推進性能研究会 National Maritime Research Institute ICETANK

アイスクラス船のEEDI到達値

【EEDI規制における定義】

$$\text{Attained EEDI} = \frac{\text{EEDI}_{\text{Numerator}}}{\text{EEDI}_{\text{Denominator}}}$$

※ 軸発等の考慮は省略

$$= \frac{f_j \cdot P_{ME} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}}{f_i \cdot f_c \cdot \text{Capacity} \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

修正係数

f_j ジエイ: 推進用出力控除分の修正係数(アイスクラス船では1.0以下)
f_i アイ: 容量の修正係数(アイスクラス船では1.0以上)

2016.12.1 第73回実海域推進性能研究会 National Maritime Research Institute ICETANK

既存アイスクラスタンカーのEEDI

アイスクラスを有するタンカー
117隻の要目を解析
松沢他(2013) 海技研究発表会PS-7

【EEDI規制を満たさない隻数(%)】

Phase	Percentage (%)
Phase 3	~80
Phase 2	~60
Phase 1	~40
Phase 0	~10

修正係数を導入した場合も
一層の省エネが求められる。

最低主機出力の計算

【FSICRにおけるPower Requirements】
詳細はTrafI (2010) Ice Class Regulations 2010を参照

船型パラメータに基づき
所要主機出力を規定

$$P = K_e \frac{(R_{CH} / 1000)^{2/3}}{D_P}$$

$$R_{CH} = C_1 + C_2 + C_3 C_\mu (H_F + H_M)^2 (B + C_\varphi H_F) + C_4 L_{PAR} H_F^2 + C_5 \left(\frac{L_T}{B^2} \right)^3 \frac{A_{wf}}{L}$$

最低主機出力の計算

- FSICRは比較的小型の船が対象 → 排水量70,000トン以上は計算式は非推奨
- 各船型の代表的な寸法における計算式による所要主機出力を試算

Ship Type	IA Super (MW)	IA (MW)	IB (MW)	IC (MW)
100m	~10	~5	~2	~3
150m	~10	~5	~2	~3
Handy	~15	~5	~2	~3
Panamax	~20	~5	~2	~3
Aframax	~40	~10	~5	~3
Suezmax	~45	~15	~5	~3

ただし船首部の角度は
次の通りに固定
 $\alpha = 35^\circ$
 $\varphi_1 = 90^\circ$
 $\varphi_2 = 80^\circ$

大型の船型では計算値が
過大になる可能性がある

EEDIとアイスクラスルールの両立

EEDIのフェーズごとに一層の省エネを要求 → 主機のサイズダウン(単純)
アイスクラスルールでは最低主機出力を要求 → サイズダウンには限界
+ 大型船では計算値が過大となる傾向

【FSICRの例外規定を使う】

3.2.5 Other methods of determining Ke or RCH
For an individual ship, in lieu of the Ke or RCH values defined in 3.2.2 and 3.2.3, the use of Ke or RCH values based on more exact calculations or values based on model tests may be approved. → 模型試験で求めてOK

【船型・主機を見直してエネルギー効率を向上させる】 → 確認が必要

- 水中抵抗の少ない船型
- ダクト等の付加物による効率向上
- CO₂排出が少ない主機
- 等々

氷海水槽(氷海船舶試験水槽)

- 水槽の水面を結氷させることによって氷海を再現
- 縮尺模型を用いて実機氷荷重を予測するためのツール
- 氷との干渉現象(例えば氷から受ける力=氷荷重)を計測
- 欧州、北米、アジア(日本:2施設、韓国)が保有

長さ35m、幅6m、深さ1.8m／模型長約7m 模型氷(厚さ、密度、強度を調整可)

氷海水槽におけるFSICR対応試験

バルト海のOld Brash Ice Channelを再現
(角の取れた30cm以下の氷片群)

海技研における解析法

【水中抵抗の評価】

$$R_{IS} = R_{IS} + R_{WS}$$

R_{IS} Full ice resistance

$$R_{IS} = \frac{1}{2} \rho_{ws} V_S^2 S_S (I + K) C_{F0S} + \Delta C_F$$

correction by brush ice thickness

$$R_{IS} = \lambda^3 [R_{IM} + \Delta R_{IM1} + \Delta R_{IM2} + \Delta R_{IM3}]$$

Measured model resistance

R_{WS} Full water resistance

$$R_{WS} = \text{Thickness of Brush Ice (Calculated)}$$

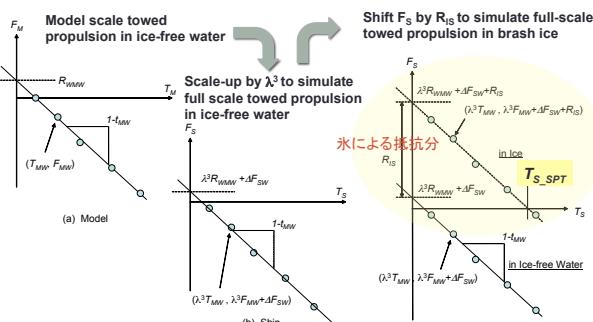
correction by friction

correction by void ratio

correction by buoyancy

海技研における解析法 (平水中荷重変更試験による方法)

【水中所要主機出力の評価】



FSICR証書の取得

【海技研ができること】

運航に必要な設定に従い
模型試験を計画

氷海水槽試験で
所要主機出力等を決定

レポートを作成し提出
(FSICRの場合はTrafi用レポート)

必要に応じて船級に説明

state + foljebrev + cover letter

Notice of the model test report

Dear Mr. Director (Mr.)

Please find enclosed the above mentioned report marked with our approval. We have inspected the test results and found them to be in accordance with the requirements of the relevant standard.

We kindly ask you to inform us when we will receive an invoice of EUR 330 for the approval of the initial test report.

For each vessel a separate statement of compliance issued by the Finnish Transport Safety Agency is needed for each vessel, if the minimum engine power of the vessel is determined in accordance with Article 1 of the Act.

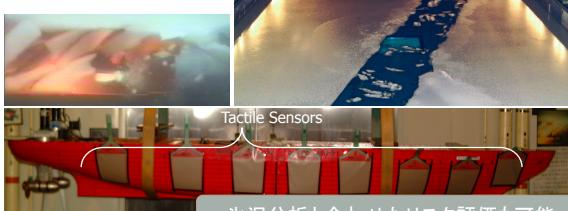
Best regards,

John Blomqvist
Head of Technical Services

海技研の氷海水槽試験及びレポートはTrafi認証を取得可能
(FSICRのアイスクラスを取得可能)

氷海水槽を利用した試験

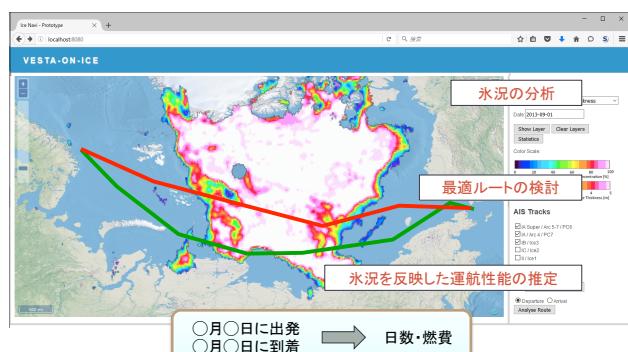
- 水中操縦性試験
- タクタイルセンサーによる氷荷重の平面的計測
- 推進器や船体付加物と氷との干渉試験



氷況分析と合わせたリスク評価も可能

北極海の運航支援システム

※開発中



実運航性能シミュレーション

VESTAを氷海用に拡張したシミュレータを内蔵（海技研 流体設計系の研究テーマ）

→「氷海域+通常海域」に対応できることが強み

CALCULATION MODE

- Evaluation of added resistance
- Wind force and moment coefficients
- Performance simulation for icebreaker in icebreak mode
- Drag efficiency
- Wind Propulsion Power Assessment

Next Step Deactivate Save Close

現在の研究課題

- 物理モデルの精度向上
- 氷海水槽試験や実船計測データによる検証
- モデルパラメータの取得
- リモートセンシング及び地理情報システム(GIS)の活用



実運航支援のための技術

・氷況情報の入手

・衛星情報の高度利用

・通信手段の確保

・視界の確保

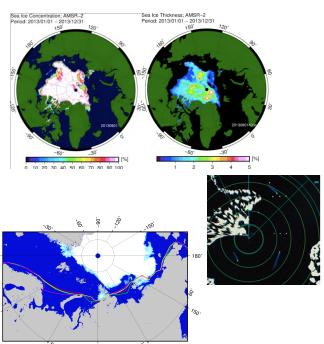
・センサ及びレーダーの開発

・画像認識技術の利用

・航路選択

・短期・中期の氷況予測

・航路探索アルゴリズム



統合型船上構造モニタリング

- 水荷重による船体構造応答は依然重要な課題。
- 海技研でも実船計測等の実績を持つ。

大型船へのセンサ搭載例

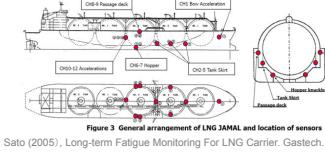
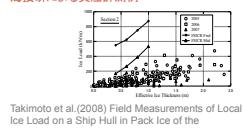


Figure 3 General arrangement of LNG JAMAL and location of sensors.
Sato (2005), Long-term Fatigue Monitoring For LNG Carrier. Gastech.



海技研による実船計測例



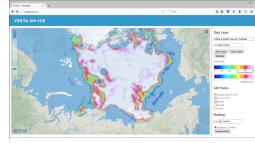
Takimoto et al. (2008) Field Measurements of Local Ice Load on a Ship Hull in Pack Ice of the Southern Sea of Okhotsk. Oceans Techno-Ocean 2008

- 大型船に対する水荷重の構造応答データは少ない。
- 構造モニタリング環境を搭載し、船体のヘルスチェックと設計へのフィードバックを行う。
- 上記により、船体構造最適化／検査・保守の合理化／稼働率及び延命を目指とする。

(海技研 構造安全評価系／船上モニタリングPTの研究テーマ)

まとめ

- 北極海を通航する船舶は今後増加しかつ大型化する。
- EEDIとPower Requirementの整合をとることが困難になっていく。
- 推進の高効率化のためには、氷海水槽試験が重要な役割を果たす。



- 北極海航路における安全かつ経済的な運航には、船舶の高度情報化が必要。
- 氷況のモニタリング・予測の技術を推進性能やルーティングとリンクさせたい。
- 氷況に応じた運航の最適化を支援できるシステムの開発が目標。