

北極海航路でのモジュール輸送



北極海航路に係る官民連携協議会__第6回資料

2017年2月7日発表

ヤマル LNG プロジェクト 概要

プロジェクトオーナー

YAMAL LNG

プラント建設コントラクター



TechnipFMC



プロジェクト現場
(サベタ) 北緯71度

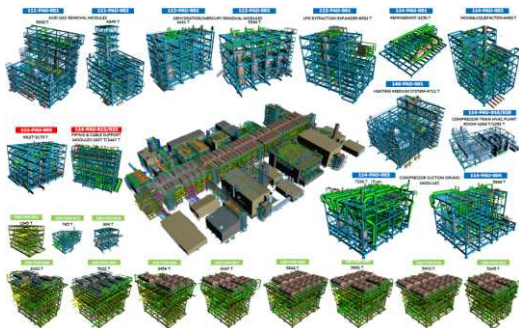
- 天然ガス液化 & 出荷プラント建設プロジェクト
- LNG年産550万トン x 3系列
- 液化プロセス: APCI C3MR

北極圏は石油 & 天然ガス開発のフロンティア

ヤマル半島近辺の天然ガス埋蔵量は、全世界埋蔵量の約20%にもなる。LNG燃料船舶の普及や環境保護の観点から、よりクリーンなエネルギーへのシフト、LNG需要の拡大や多角化により、さらなる案件も期待される。『日露経済協力8項目』にも、北極圏の資源開発が掲げられている。

モジュール輸送プロジェクトの特徴

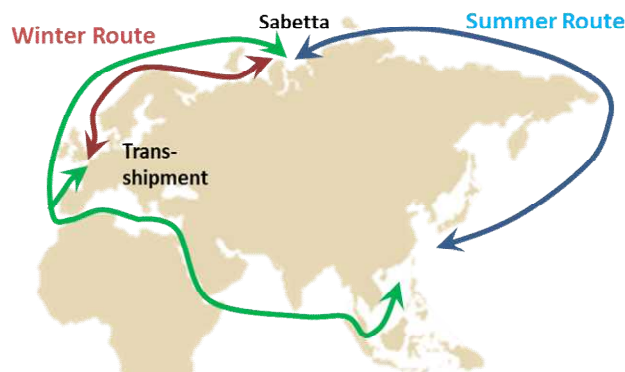
1. モジュール貨物



モジュール工法

- プラント建設地での作業を最小限にするため、建設地とは別のヤードで鉄骨、配管、機器などを配置した、ひとまとまり構成要素(モジュールと呼ぶ)を建造し、建設地に移送し、各モジュールを接合することによりプラントを完成させる工法。
- プラント建設地が遠隔地や労働者不足により、従来工法(Stick Built)での建設が難しく、作業性や経済性の観点からモジュール工法が採用される。
- 海上輸送中の加速度の影響をモジュールのデザインに考慮する必要がある。

2. 長距離輸送 + 複数ルート + 北極海輸送



⇒ 複雑なロジスティクス管理

- 中国をはじめとする複数の東南アジアのモジュール製作ヤードから現場サベタまでのルートは、スエズ運河経由とベーリング海峡経由の2通りある。
- 冬季は北極海航行に制約が出るので、モジュールをベルギーの中間保管地に保管する。
- モジュールの完成スケジュールおよび、現場での作業スケジュールに合わせて、適切なモジュール輸送船を適切な時期に配船する。
- モジュールは一品一様であるため、輸送できる船舶の数にも制約がある。

3. 超短期集中型ロジスティクス



- 輸送するモジュールの数は約150基
- 全てのモジュールを輸送する期間は約2年間
- 冬季の北極海航行の為に、アイスクラスのモジュール輸送船の早急な建造

**プロジェクトに必要なモジュール輸送船の数は20隻。
これは全世界の適切なモジュール輸送船隻数の約50%にもなる。**



(計画段階) 2014年4月作成 コンセプト画像

船舶の仕様:

- 2隻姉妹船建造
- Open Stern Deck Carrier
- アイスクラス: PC3 (Arc7 同等)
- 設計耐気温: マイナス40℃
- 砕氷能力: Level Ice 1.5m厚 @2.0knot
- 載貨重量: 約2万トン
- 建造国: 中国

既存のNon-Ice Classモジュール輸送船だけでは、プロジェクトが成り立たない

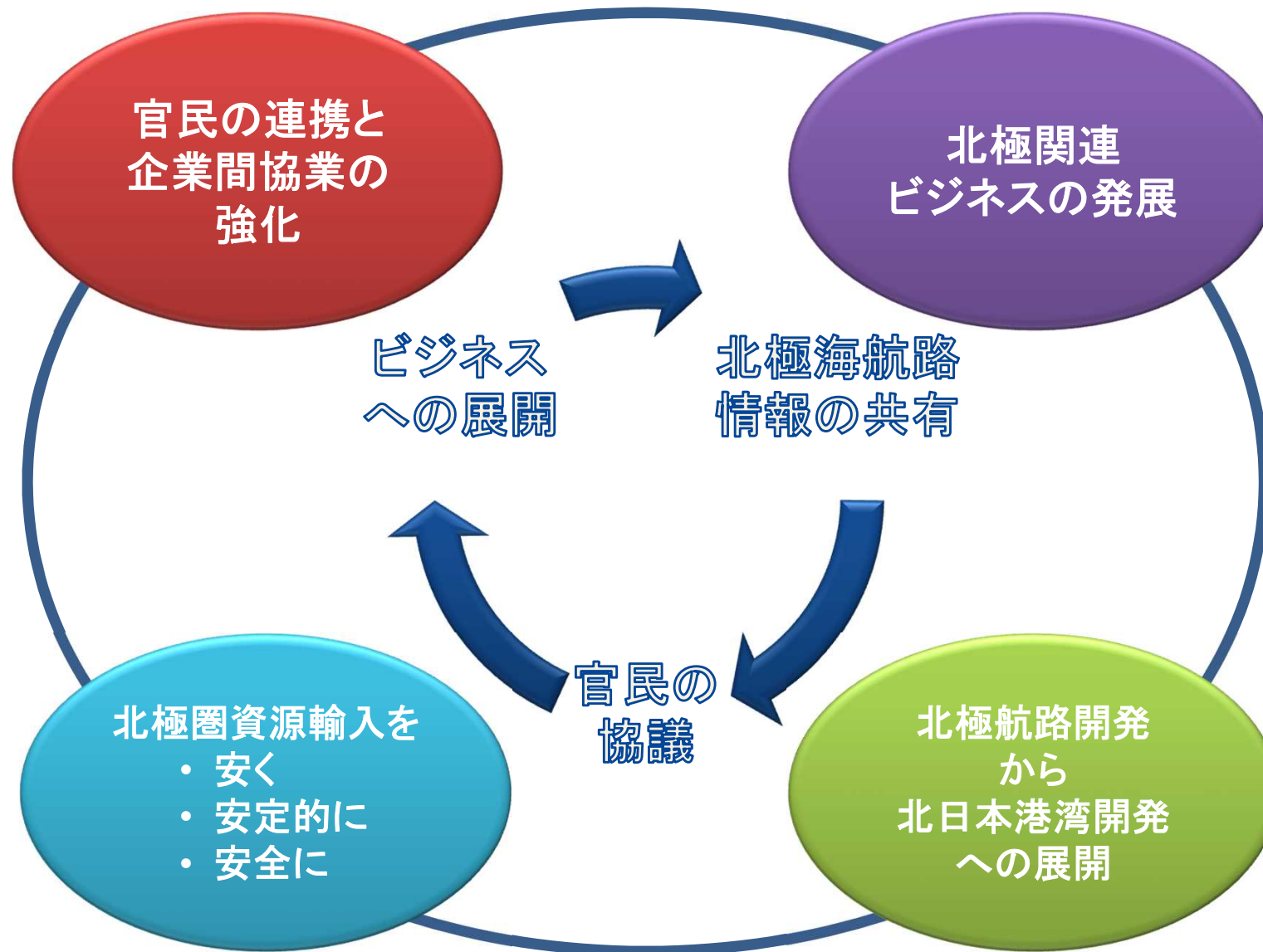


北極海を通年航行可能な船舶を建造

24か月後



(現実) 2016年4月 カラ海にて



官民共通ターゲットの設定

ヤマル半島近辺の天然ガスプラントの開発から期待できる今後の北極圏資源の確保は、北極海航路とそれに付随するインフラ等の開発促進が不可欠である。官民の連携により北極海航路開発のワークサイクルをスパイラルアップさせる。

Table of Contents

1. プロジェクト輸送における北極海航行実績
2. モジュール輸送船とFleet マネジメント手法
3. 着氷について、実績と見解
4. 海氷予測および海氷状況モニタリング手法
5. ロシア砕氷船（RosAtomflot）とのコーディネーション
6. アイスパイロットに関する船長からのFeedback
7. NSRAとロシア法規関連
8. ポーラーコードは追い風か？逆風か？
9. 北極海航路活用戦略の効果
10. 見えてきた課題

プロジェクト輸送における北極海航海実績

① ベルギー/サベタ航路

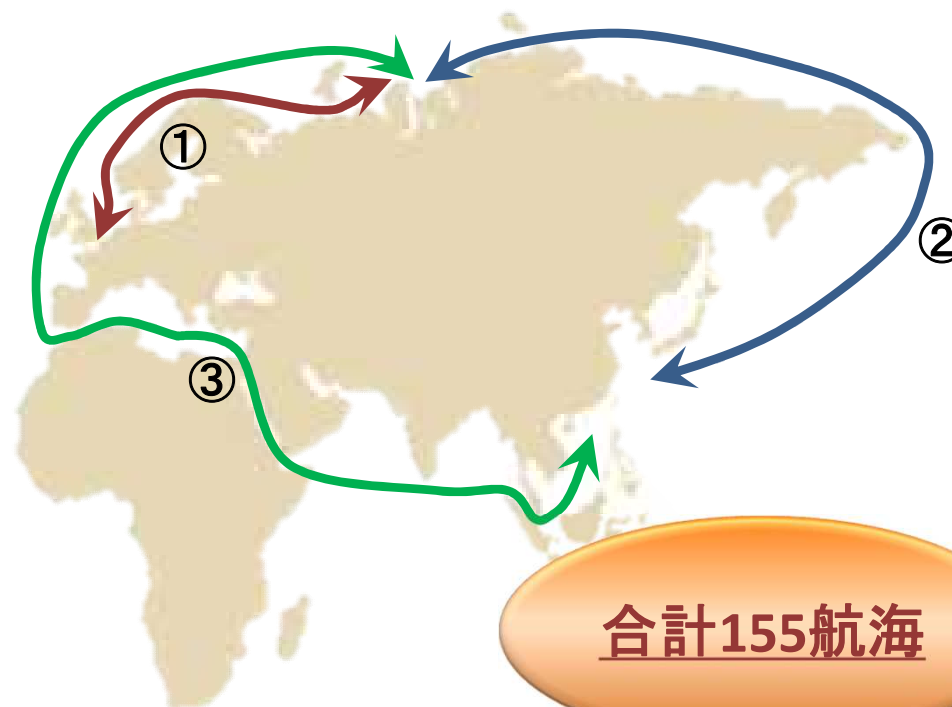
	積荷航海	空荷航海	うちNon-Ice Class船
2015年	1航海	3航海	3航海
2016年	35航海	36航海	15航海

② アジア/サベタ航路（ベーリング経由）

	積荷航海	空荷航海	うちNon-Ice Class船
2015年	8航海	0航海	2航海
2016年	33航海	14航海	12航海

③ アジア/サベタ航路（スエズ運河経由）

	積荷航海	空荷航海	うちNon-Ice Class船
2015年	5航海	0航海	1航海
2016年	19航海	1航海	5航海



合計155航海

- ・ 外航ルートのみ（積地がロシア国内の航海は含まず）
- ・ YAMGAZが傭船および運航するモジュール輸送船および、一般貨物船の合計航海数
- ・ 2016年12月31日までの実績

合計20隻のモジュール船を定期傭船

Ice Class Module Carriers



Ice Class : Arc 7 (PC3) Deck Surface: 177m x 42m

船主: ZPMC-REDBOX (中国&オランダ船社のJV)



Ice Class : Arc 4 (F/S: 1A) Deck Surface: 125m x 42m

船主: BigRoll Shipping (オランダ)

Non- Ice Class Module Carriers



船主:
ZPMC-REDBOX



船主:
COSCO Shipping
(中国)



船主:
NYKバルク・プロジェクト
(日本)



船主:
DOCKWISE
(オランダ)

• Fleet Operation Centerの設置

- 各船運航経路の決定と運航状況の確認
- 海象や海氷情報を常時モニター

モジュールの**安全航行**と、**北極海航行**への挑戦

港の気象モニター:

モジュールを積み降ろしする港の、風、波浪、潮汐を含む詳細な気象予測を表示。荷役作業の可否を判断する材料として使用する。

Fleet Operation Centerの様子



モーションモニター:

モジュール船の動揺(モーション)と貨物・海象の画像を準リアルタイムで入手。船が規定値を超えた揺れを起こしていないか、また、動揺によりモジュールへ設計値以上の負荷が掛かっているかを確認する。

船舶動静モニター:

リアルタイムで船舶の位置と、気象海象状況を表示。荒天避航のシミュレーションを行うことも可能。

スケジュールモニター:

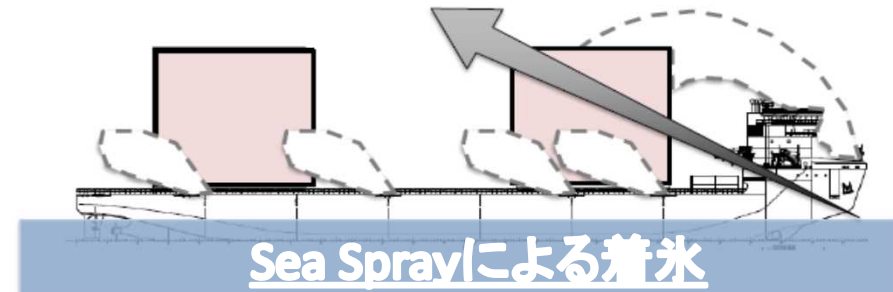
各モジュール船のスケジュール(Port of Call)を表示。そのスケジュールに沿った気象海象のアラートも色別で表示させる。

海氷モニター:

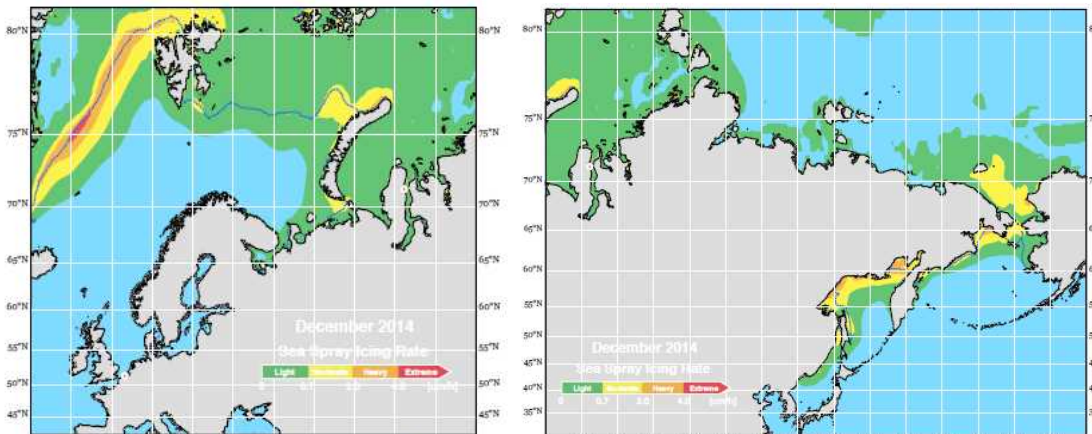
北極海の海氷の過去・現在の解析値、14日先までの予測値を表示。本船および砕氷船の位置もプロットし、動静の監視も行う。

• 船体および貨物(モジュール)への着氷リスク

- 着氷は本船の復原性への影響の他に、デッキに積載されているモジュールへの負荷質量となる。
- 着氷リスクエリア・時期を避けての運航を求められ、運航時は着氷が起きうる状況のモニタリングを実施する。



- プロジェクト建設地への航路上、着氷リスクエリアが存在。
- 理論上の着氷量は最大70～110cm程度
- 重量増加による本船復原力への影響
- モジュールへの負荷増大(ダメージリスク)



(株)ウェザーニューズ社との着氷リスク解析

解析項目；

- 着氷リスク（着氷厚みのレベルごと）
- 降雪確率
- 雨水確率（Icing Rain）
- 湿度
- 気温、海水温
- 風速、波高

着氷は発生する環境に条件があり、その主な要因は「しぶき」が氷結することである。



しぶきを防ぐ ≡ 着氷を防ぐ

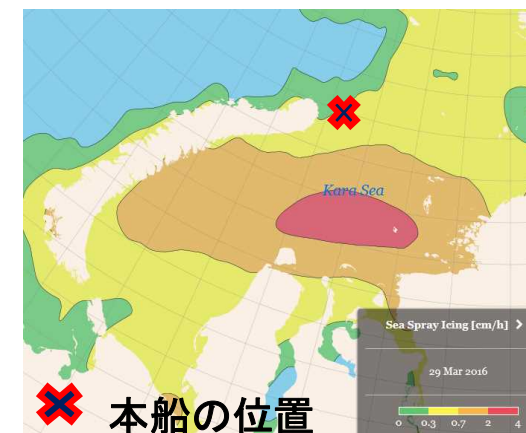
1. 着氷に関して（事例-1）

- ・ サベタ行きの積荷航海中、砕氷船待ちの為にカラ海（Ice Edge）でDriftingを実施。
- ・ 強風によるしぶきを受けて、船首構造物と甲板上貨物の一部に着氷が生じた。



発生日	2016年3月28～29日
発生位置	77.0N 070.0E
当時の風速	30 – 37 knots
当時の風向	南東
着氷の厚み	数cm程度
外気温	マイナス12℃
海水温	零度付近

着氷発生当日時点の
「着氷発生リスクの予測値」



当時（砕氷船待機中）、着氷が発生しやすい環境であったことは予測値から見ても判断できた。

2. 着氷に関して（事例-2）

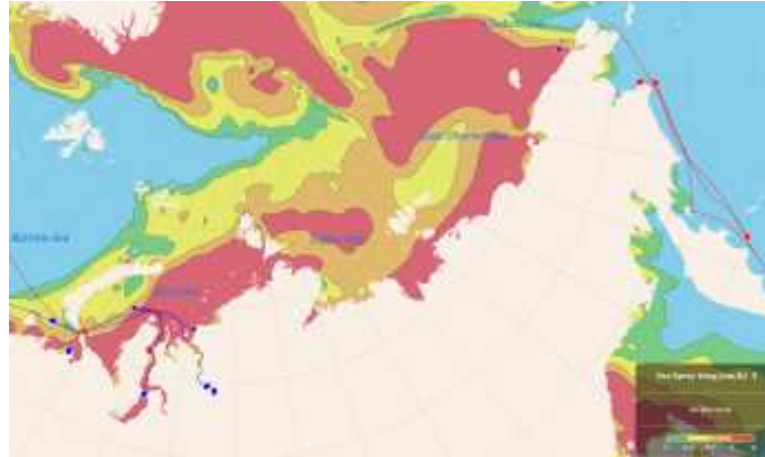
- ・ アイスクラス（Arc 7）モジュール船での積荷航海においてカラ海を航行した際（2016年4月下旬）、着氷発生リスク予想値は極小レベルであり、風速も弱く海面が海氷に覆われているため、「しぶき」が発生しにくい状態であった為、着氷は全く見られなかった。



カラ海航行中のモジュール船と航行当時の「着氷発生リスクの予測値」

着氷リスクはコントロールできる

- ・ 大型商船については乾舷が高く、船速および針路を制御して「しぶき」を抑えることで上甲板上の構造物に着氷するリスクを極小化することができる。
- ・ **海氷エリア航行中**は、外気温および風速がリスク要因であっても、「風浪」や「しぶき」の発生が抑えられるため、着氷リスク評価を軽減することができる。
- ・ 運用上は、海氷エリア外のIce Edge付近を航行する際または、砕氷船待ちの為にその付近で停船（Drifting）する際に特に注意が必要となる。



- 海水情報は(株)ウェザーニューズ社から入手
- AARIの海水情報は同社経由で入手
- NSRを航行する本船からはIce Report + 写真が送付され、海水予測値の精度向上に活用
- 同社より提供される海水関連情報の主要目；
 1. Ice Concentration (密接度)
 2. Ice Thickness (厚み)
 3. Ice Compression (圧力)
 4. Icing Risk Indication (着氷発生リスク指数)
 5. 海水の融解および結氷の長期予測 (数か月予測)
- 海水の予測値は14日先まで提供される
- 海水情報は本船および船主にも共有されている

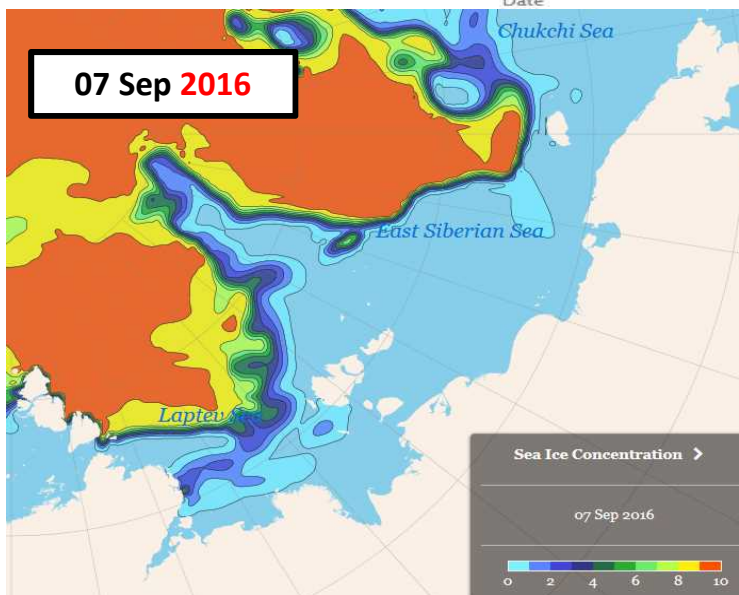
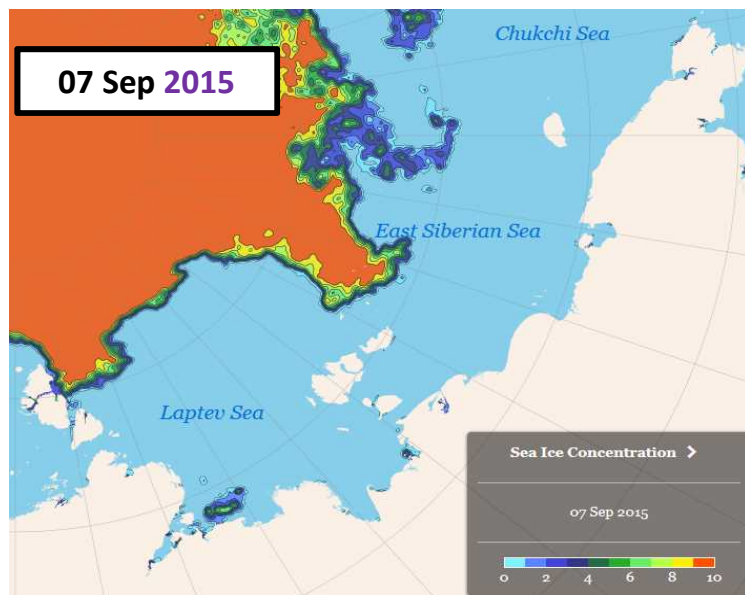
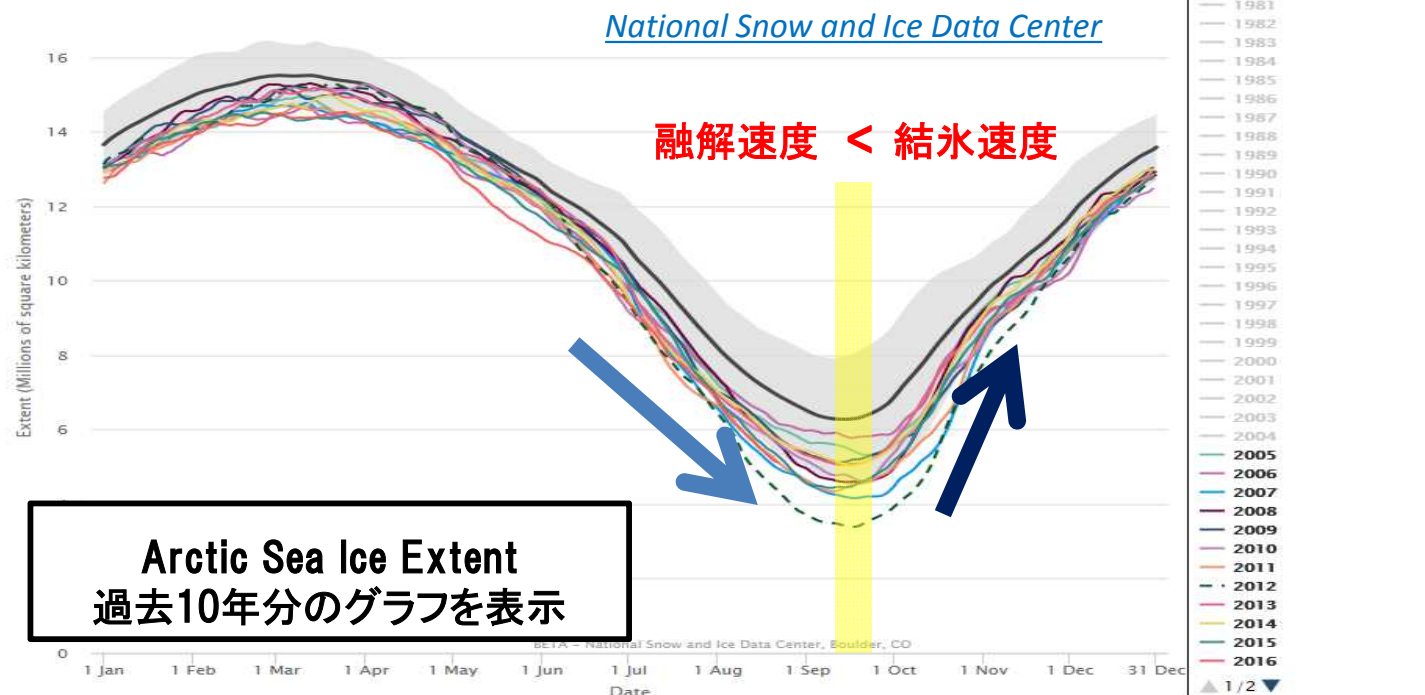
- その他、Web上に一般公開されている各気象協会等の北極圏の気象・海水情報、衛星画像等も、参考値として入手している。
- 海水予測は、それぞれが独自の予測モデルを構築し使用しているので、得られる情報に差があり、精度の見極めが必要になる場合がある。

海水面積のグラフ。毎年、9月中頃には融解から結氷への転換を迎える

過去観測された北極海の海水面積の推移を表すグラフが公開されている

海水面積の数値は年毎に異なるが、結氷と融解の速度や転換期に着目すると、通年ほぼ同じ傾向を示すことがわかる。

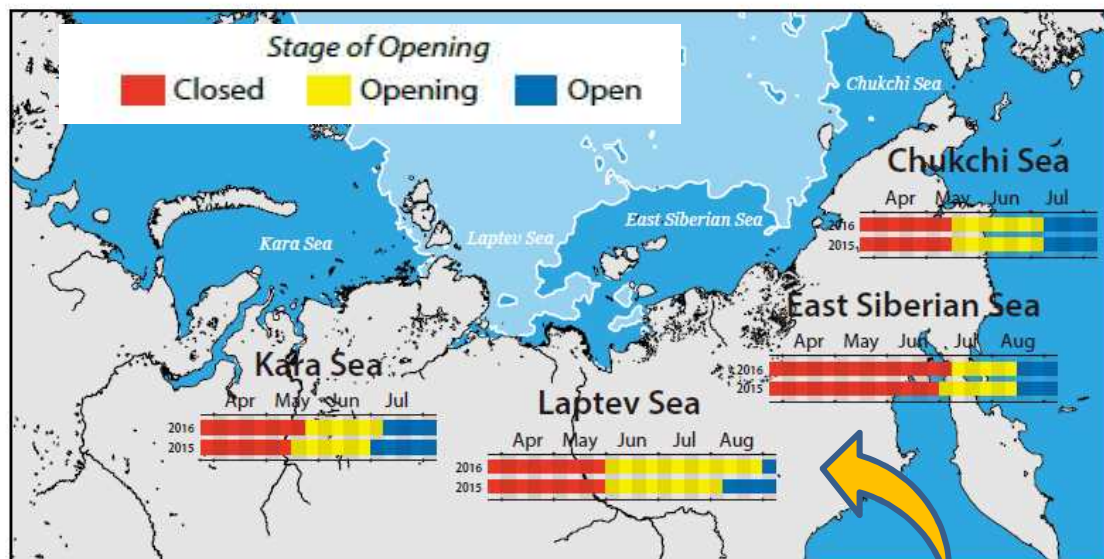
北極海“**可航**”判断の材料になる



2015年と2016年同日付の海水状態の比較

2016年は過去2番目に海水面積が減少したと報告されているが、航路上に海水が解け残り、「開通」とはならなかった。海水面積の数値と航路の開通度合いは強い相関が見られにくい。

8月5日時点の海水融解（開通）予測



上図：8月5日時点の海水融解（開通）予測

下図：6月16日時点の同予測

6月16日から8月5日の1か月半で、ラプテフ海の開通予測が1か月以上遅れて、8月後半となった。2015年の実績を基に、8月中旬（15日まで）には北極海航路“開通”と見込んでいたが大きくズれる結果となった。耐氷階級を持たない船舶の航行に関してのスケジュールインパクトを見直すことになる。



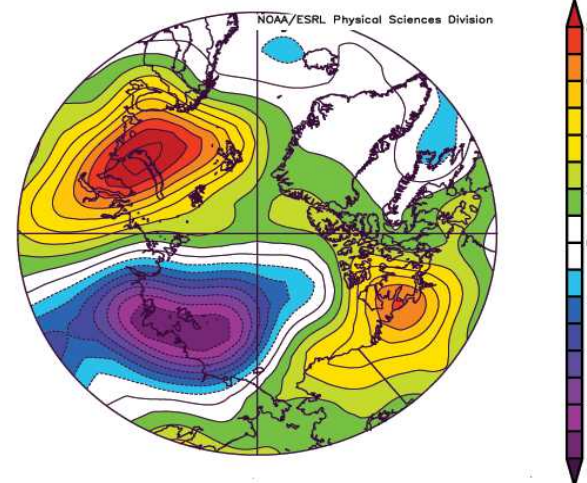
一か月以上の遅れ

6月16日時点の海水融解（開通）予測

ラプテフ海および東シベリア海での融解が遅れた原因として、例年（1981 - 2010）に比べて、7月前半の上空の平均気温が最大で8度ほど低かったことが考えられる。

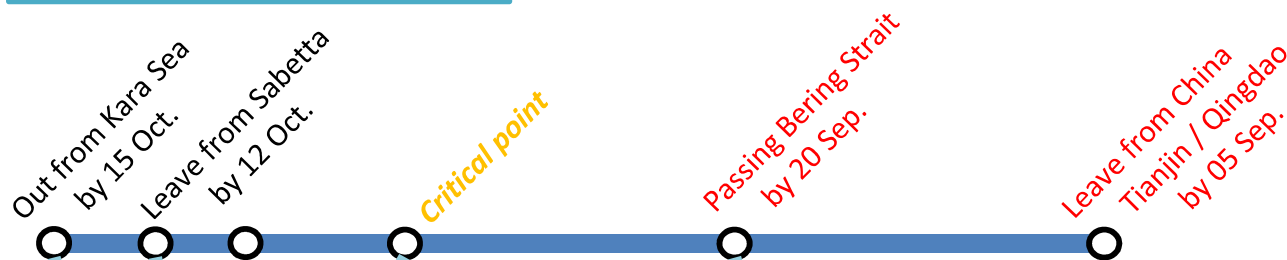
反対に、カラ海での平均気温が高く、同じ傾向が夏の間中続いた。それにより、カラ海付近の海水温の上昇させ、結氷開始が半月以上遅れることとなった。

Air Temperature
July 1 to 16, 2016

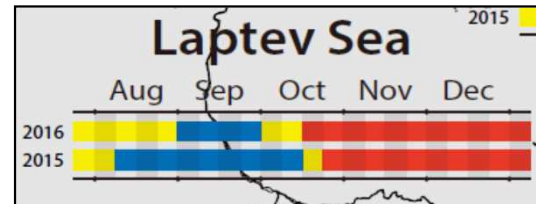


Non-Ice Class船のケース

ベーリング海峡経由航路の最終可航タイミングの予測と決定



2016年は9月末頃から、ラプテフ海で結氷が始まり、航路が塞がると予測しているため、同地点を基点とした場合の積地出港日を決する。積地出港日がその日以降になる場合には、スエズルートになる。



Stage of Opening
Closed Opening Open

8月18日時点の
結氷開始 & 航路閉塞の予測

Non-Ice Class船での2016年北極海航路最終航行 MV YAMATO



MV YAMATO 天津出港時

上記計画に基づき、ラプテフ海サニコフ海峡を10月8日に通峡、14日にサベタ港着。同月10日にはサニコフ海峡付近にて結氷開始が観測された。



10月8日、ラプテフ海航行中

1. Ocean IceBreakers



Yamal & 50 let pobedy

2. River IceBreakers



Taymyr & Vaygach

3. Port IceBreakers (サベタ港)



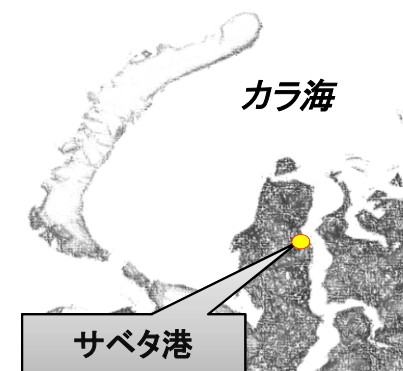
Moskva



TOR

原子力砕氷船は常時1～2隻体制でエスコートにあたり、残りは他の航路への支援や整備・補給の為に不在となり、「砕氷船待ち」が発生することも多く発生している。

- ・ 当プロジェクトの北極海航路およびサベタ港内での砕氷船支給は客先(YAMAL LNG)所掌。
- ・ 客先(YAMAL LNG)はRosAtomflotと砕氷船支援の契約をしている。
- ・ 砕氷船の料金は、ロシア法規で定められたタリフ*に従うが、被エスコート船の数に応じてディスカウントされる個々の契約を結ぶことができる。



*タリフ http://nsra.ru/en/tariffs_for_icebreaker_escort_atomflot/

北極海航路のアイスパイロット

- ・ 北極海航路航行に強制水先のルールは無し（但し、サベタ港では、強制水先）
- ・ アイスパイロットはRosAtomflot以外にもロシア国内外のいくつかの会社が提供している。ロシア国外からの乗船も可能であり、当プロジェクトでは、ベーリング海峡経由航行の際に韓国プサン港からの乗船実績あり。

北極海航路の砕氷船支援

- ・ 砕氷船の航路選定は、ほぼ「職人芸」で、非常に豊富な経験を有していると感じ取ることができる。
- ・ 砕氷船との通信は英語で行うが、操船指示等の最低限のやり取りのみで、海氷状況、予定航路等の詳細な情報をやり取りするのは困難。
- ・ ETA連絡はEメールを通じて行い、VHF通信域内ではVHFにてコミュニケーションが取れる。
- ・ 砕氷船は、被支援船の船舶要目、操縦性能、積荷の種類(モジュールにおいては重要項目)についての情報を把握し、それを考慮した先導をお願いしたい。

当事者(当該船)間での契約関係が無いがために、責任の所在がブラックボックス化してしまうことは防ぐべき。砕氷船は、航行支援中は実質「水先」として機能するが、制度上「水先」の権限は無いため、被支援船の船長責任を優先事項と心得ることが重要。

北極海航路のアイスパイロット

- ・ 英語でのコミュニケーションは、操船指令については問題無し。
- ・ 砕氷船が先導する場合は通信がロシア語になり、何を会話しているのかが分からない。
- ・ 船長の海氷航行および北極圏航行の経験値によってアイスパイロットの必要性は判断される。



アイスパイロットの乗船有無や海氷航行の有無に限らず、船員が高緯度かつ北極圏での航行に関する知見を十分に有していることは必須。

航行の安全性が、パイロットや船長の経験値に大きく左右されている。

アイスパイロット(2名)

1航海分の費用

<

航行の安全性

当局間情報の矛盾例

Closed Notch Towing



通常の支援方法(先導)



バルバスバウ(球状船首)構造の船舶は、アイスクラスで北極海航路管理局(NSRA)からの航行許可があっても、RosAtomflotから砕氷船支援を拒否されたため、12月以降は海氷エリアの航行ができなかった。

- NSRA許可書では当該船の航行許可は2月末までとなっていた (“Light Ice”で砕氷船の支援があることが条件)
- 積地(中国)出港の遅れにより、サベタ到着予定(ETA)が12月にずれ込むことになり、途中港(Zeebrugge)でバルバスバウ無しのアイスクラス船へのトランシップを余儀なくされた。
- RosAtomflotは、支援拒否の理由を“国内法のため”としているが、現時点でその根拠を入手できていない。

NSRA許可上、砕氷船支援が無ければ北極海航路に入域できないので、RosAtomflotの指示事項が当局の航行許可に勝るという構図になっている。

また、ロシア政府認定の海洋設計研究所(CNIIMF)が発行する“アイスパスポート”に記載されている事項は、NSRA許可やRosAtomflotへの砕氷船支援申請の際には特に考慮されない。

“”法規関連の障害は排除されるべし“”

IMO Polar Code (極海コード) が2017年1月に発効された。

プロジェクト遂行への影響が懸念される事項

- 船員の訓練要件に、対象エリアでの乗船履歴を求めているが、当該エリアを航行する船舶は非常に限定され、ロシア船社のロシア船籍船は外国人の訓練上の乗船を受け入れなくなっている。
- これまで、Non-Ice Class船での北極海航路航行の実績を重ねてきたが、Polar Certificateが義務化され、コード要件を満たさなければ、北極海を航行できなくなる可能性がある。
- 燃料油に関する要目も含まれるため、要件を満たす燃料油の確保しなければならない。
- 船舶保険やP&I保険との調整。(地理的範囲の制限緩和・解除)
- 傭船契約への影響。(可航範囲、費用負担等)

「従来のアイスクラス階級を満たせば良い」では不十分。

追い風に乗る

- 北極海の環境保護推進
- コード化でのサブスタンダードの排除
(マーケットの整理および参入機会)
- 国内法規制から国際条約への統治の代替
(海域の政治的リスクの軽減)

逆風を乗り切る

- Polar Certificateの取得
- 非アイスクラス船への航行制限の強化
- 船員訓練
- 船舶要件
- ポーラーグレード燃料油の確保

“北極圏資源フロンティアへの挑戦” への通り道

北極海航路利用の最大の目的は・・・

航海日数の短縮



航路別の平均所要航海日数の比較
(モジュール船航海における実績からの代表値)

	スエズ運河経由	ベーリング海峡経由
中国北エリア (天津・青島)	53日	27日 (日数の大幅減)
海峡エリア (シンガポール・バタム)	43日	36日

北極海航路利用による日数の短縮効果は明らか。中国⇄サベタ航路では航海コスト約50%減の経済効果が期待できる。

航海単独での評価：

- ・ スエズ運河費用 の削減
- ・ 燃料費 の軽減
- ・ 海賊リスク の軽減

・・・だけではなく

北極海航路(ベーリング海峡経由ルート)を最大限活用した結果・・・

プロジェクトとしての評価：

- ・ モジュール輸送スケジュールの短縮によるプロジェクトスケジュールへの寄与
- ・ 海上での暴露状態期間を短縮 (船体動揺によるダメージ、金属疲労や発錆への影響減)
- ・ 熱帯地域を避けることでのモジュール機材保蔵状態の改善 (温度&湿度管理)
- ・ **北極海航路に係る経験の蓄積と活用**

① 地理的優位性を生かした、北日本の港湾・サービスの活用



プロジェクト遂行で見えてきた問題点

- ・ 極東の最終積港から北極海に入域する以前に、要求される燃料を補油できる適当な港が北日本にない。
- ・ 補油地が無いいため、減速航行により燃料をセーブするか、離路する必要があるスケジュールに影響する。
- ・ 補給のみの目的で入港できる日本国内の港のうち、最北にあるのは千葉港。(プロジェクト遂行中の実例)
- ・ ロシアでの補油は、規則があいまいであったり、品質上の不安や外航船でも沿岸航行することとなりLocal TAXがかかることから敬遠される。
- ・ 極東ロシア港は燃料価格が日本や韓国ほど安定していない。

北極海航路利用を促進するにあたっての課題

- ・ 北海道北部や津軽海峡近辺の港で、補油のみの寄港が必要になる。(離路することなく補給ができる)
- ・ 燃料油の安定量確保
- ・ 燃料油はPolar Gradeを供給できることも条件である。
- ・ 競争力のある入港日、トン税。

ロシアは、ウラジオストク港を将来の北極圏エネルギーの極東中継基地へと位置づけ、開発を進める国策を打ち出している。『北極海航路の開発 = 極東港の開発』

② 初期検討の矛盾点（技術向上と商業性）

問題点

- ・ 北極海航路の商業利用がなかなか進まない。（目的が限られている）
- ・ 北極海の航行を一義的にリスクと捉えている。
「北極海航路の航行 = 海氷航行」としての検討報告はよく目にする。
- ・ 耐氷階級船における航行の検討においても、夏場の海氷状況を不確定要素としている。

課題

- ・ 航行する時期、ルート、船舶要件、海氷状況等の要素を区別けしたリスクアセスメントが必要。

③ 海氷短期予測と情報提供

実務上；

- ・ 主にNon Ice-Class船においては、航路上で“Ice Free”になるタイミングと、結氷し始めるタイミングを、如何に精度よく予測するかが重要。
- ・ CNIIMF発行のアイスパスポートや船舶のデザインにより航行可能な海氷状態の定義があっても、実際の海氷状況は複雑である。
- ・ アイスクラス船での夏場の航行であれば、海氷状況が北極海航行そのものの可否を決定する要素としてのレベルが下がる。（＝どう航行するか）
- ・ 単独で操船しない限り（砕氷船の先導がある場合）、詳細な海氷情報は無くても航行できるが、Ice Freeである時には砕氷船が途中でエスコートを中止したり、予定していた合流点が突然変更されたりする。

課題

- ・ 定常的に海氷状況、気象状況をモニタリングしていれば、短期的な予測は精度良くできる。
- ・ 船員だけでなく陸上職員（航海アシスト）の教育訓練もセットで行う。

④ 砕氷船の提供（数とスペック）

プロジェクト遂行での問題点

- ・ 砕氷船は、プロジェクト遂行上は通年必要とし、船舶の数が増えるにあたって、砕氷船が足りない（砕氷船待ち）状況が発生することがある。
- ・ 傭船している大部分のモジュール輸送船の船幅が、砕氷船の船幅より5～10m程度広い為、海氷中の航行はConcentrationおよびCompressionの指数によっては海氷航行は非常に困難になる。

課題

- ・ 航海計画では、待機や減速等のマージンを十分見込んでおくことが必要になり、経済性とのバランスが問われる。
- ・ 需要に合わせた砕氷船の数およびスペックの確保。（必ずしも「ロシア＋原子力」である必要はない）

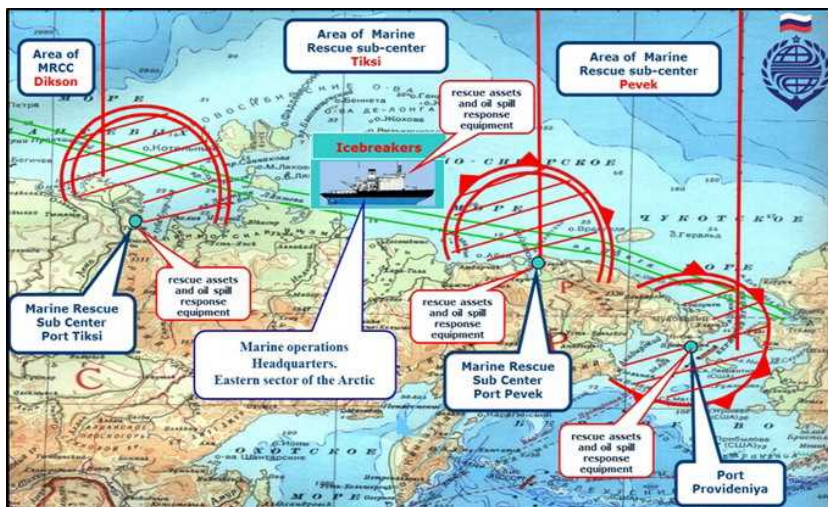
⑤ 緊急対応

問題点

- ・ 緊急時に使用できる港、施設、救援体制に関する懸念。
- ・ 関連法の整備や、保険料率への影響。

課題

- ・ 北極海航路付近の補給港、避難港、緊急支援体制は限られた範囲内で構築されている。
- ・ 通信に関してはGMDSS A4海域の要件に従う。
- ・ インマルサット通信の範囲外になることを考慮し、イリジウム回線等の通信手段を設置することが不可欠。
- ・ 国際法の適用、または国際社会の介入。





日揮株式会社 (JGC Corporation)