

# 北極海航路でのモジュール輸送と 衛星等による海氷情報利用と課題



GCOM-W(しずく)の成果と後継ミッションの利用展望ワークショップ

2017年4月28日発表

日揮株式会社(JGC Corporation)  
植木孝太



## Table of Contents

1. ヤマルLNGプロジェクト 概要
2. 北極海航路モジュール通年輸送への挑戦
3. Fleet Operation と 海氷情報のモニタリング
4. 船員・運航者で必要とされる情報のギャップ
5. 海氷予測の現状と課題
6. 衛星による海氷情報と展望



JAXA GCOM-W

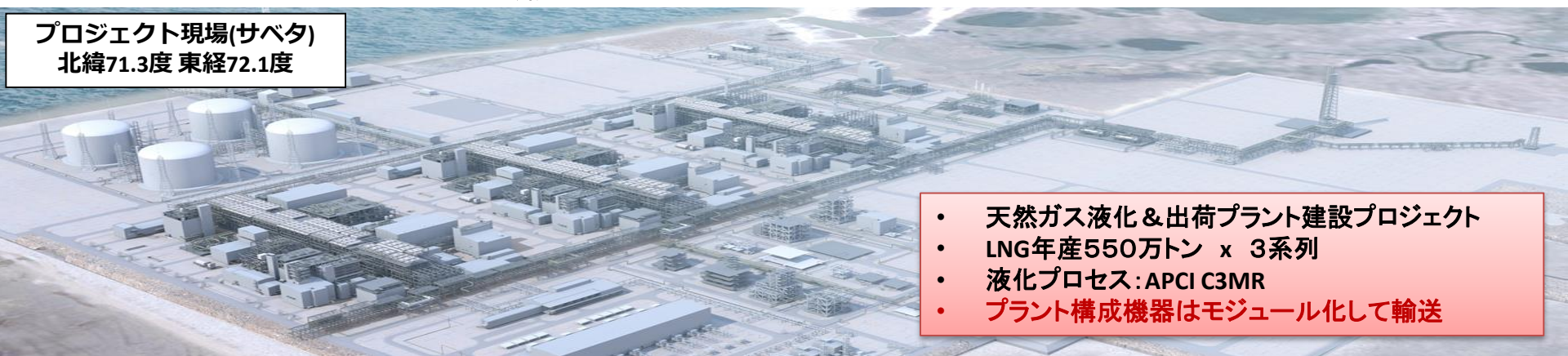
# ヤマル LNG プロジェクト 概要

## 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%にもなると言われる。

LNG燃料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、北極圏内の資源開発への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。

プロジェクト現場(サベタ)  
北緯71.3度 東経72.1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
- ・ プラント構成機器はモジュール化して輸送

### プロジェクトオーナー

YAMAL LNG



EPC契約

### プラント建設コントラクター(JV)

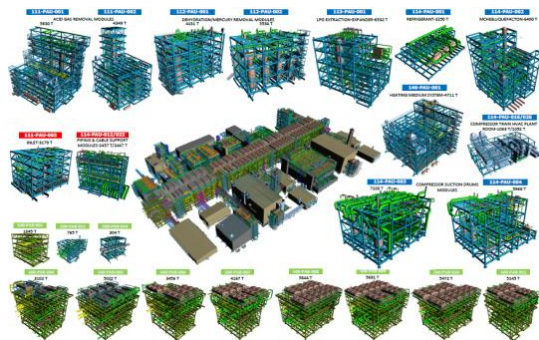


TechnipFMC



CHIYODA CORPORATION  
千代田化工建設株式会社

JV: Joint Venture



液化プロセスモジュールのモデル図

### 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。
- ・ 単体のモジュール重量は最大で約7,000MTにもなる。



2016年12月23日 東シベリア海にて



# 北極海航路モジュール通年輸送への挑戦

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



(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 広州



(現実) 2016年4月  
カラ海にて

## “モジュール輸送” プロジェクト の特徴

- ・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限があるので、一部の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ことが求められる。
- ・約150基のモジュールは一品一様であるため、そもそも輸送できる船舶の数にも制約がある。

⇒ 複雑なロジスティクス管理



## 傭船の北極海航路での航行実績

|                        | 積荷航海 | 空荷航海 | うちNon-Ice Class船 |
|------------------------|------|------|------------------|
| ① ベルギー(中間保管ヤード)/サベタ航路  | 41航海 | 48航海 | 18航海             |
| ② アジア/サベタ航路(ベーリング海峡経由) | 41航海 | 14航海 | 14航海             |
| ③ アジア/サベタ航路(スエズ運河経由)   | 26航海 | 3航海  | 6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
- ・ 2017年3月31日までの実績



<モジュール輸送船>



<一般貨物船>

## ヤマル輸送プロジェクトのチャレンジ

- ・ 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が必要

## 最大のチャレンジは 海氷予測

北極海航行の可否は、プロジェクトスケジュールに大きな影響を与える



- ・他に傭船されるNon Ice Class船舶が、スエズ経由となるかベーリング経由となるかの計画をするうえで、どれだけ前もって当該判断を下すことができるかということに、最大の注目点
- ・北極海航路の航行の可否についての検討においては、航行する時期、ルート、船舶要件、海氷状況、貨物の耐性等の要素を区別けしたリスクアセスメントが必要



Fleet 動静、海氷情報、  
海気象のモニタリングが必須

## モジュールの安全航行と、北極海航行への挑戦



- 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

### ① 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。

### ② 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値を表示。荷役作業の可否を判断する材料として使用する。

### ③ モーションモニター:

船橋にモーションセンサを搭載し、モジュール船の動揺と貨物・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ないかを確認する。

### ④ 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。

### ⑤ 海氷モニター:

北極海航路の過去・現在の海氷解析値、最長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。

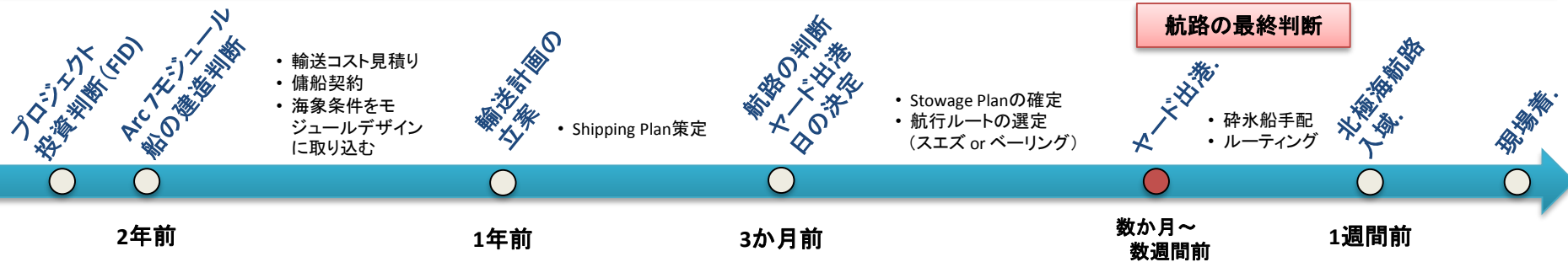
- ・ 海氷情報は(株)ウェザーニューズ社から入手し、ロシアAARIの海氷情報は同社経由で入手
- ・ 北極海航路を航行する本船からは、随時Ice Report + 写真が送付されており、海氷予測値の精度向上に活用される
- ・ 同社より提供される海氷関連情報の主要目 (海氷情報は本船および船主にも共有されている);
  1. Ice Concentration (密接度)
  2. Ice Thickness (厚み)
  3. Ice Compression (圧力)
  4. Icing Risk Indication (着氷発生リスク指数)
  5. 海氷の融解および結氷の長期予測 (数か月予測)

その他、Web上に一般公開されている各気象機関の北極圏気象・海氷情報、衛星画像等も、入手している。  
海氷予測は、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、その「差」の見極めが必要になる場合がある。

# 船員・運航者で必要とされる情報のギャップ

北極海航路の航行（海水の有無を問わず）および海水航行には、経験のある船員の乗船や、精度良い海水情報の入手による安全航行が不可欠であるが、陸上（傭船の運航者）からの支援も同じくらい重要で、陸海員の両者に対する訓練、知見の向上が必要である。

また、プロジェクトにおける輸送計画立案においては、長期的な海水予測が必要になり、これは通常、本船は必要としない。本船が必要とする情報は純粋に当該航行の安全に寄与する情報（例えば短期的予測情報）であり、輸送計画立案においては主に傭船者の手によるため、本船側（船員）と陸側（運航者）とでは、必要とされる情報にギャップがある。



## プロジェクトの開始から北極海航行実現までの過程の例

プロジェクトの進捗過程それぞれで、必要となる海水情報の種類、頻度、精度は異なる。また、本船のIce Classの違いや、海水エリア航行予定時期の違い（夏季・冬季）（結氷期・融解期）によっても異なる。

必要な時期に必要な情報を「入手」し「理解」し「活用」する対応力が求められる（情報の取捨選択）

## 船舶（船員）

船員（船主）もモジュールを安全に現場まで輸送する責任を負っている。（傭船契約）

必要な海水予測は；

- ・ 中期（数週間～数か月）： 燃料・船用品の手配 航路計画
- ・ 短期（数日）： ルートの調整 船速の調整

## 傭船の運航者（＝日揮）

日揮はモジュールを安全に現場まで輸送する責任を負っている。（EPC契約）

必要な海水予測は；

- ・ 超長期（数年）： Feasibility Study、Arc 7 モジュール船の建造判断、その他の必要な船舶の傭船契約
- ・ 長期（数か月～1年）： 輸送計画立案、Shipping Planの策定
- ・ 中期（数週間～数か月）： ヤード出港日の決定、航路の選定（スエズ運河 or ベーリング海峡 or 中間保管ヤード）
- ・ 短期（数日）： 本船運航ルートの調整、砕氷船の手配、ルートや船速の調整指示

## Feasibility Study の要素；

1. 物理的な制約： 海水情報（上記で示す要素）、船舶要件、積揚げ港の地理的要素、スケジュール
2. 法規上の制約： IMOルール、北極海航路関連ロシア国内法規、傭船の船籍国の法規
3. 費用面での制約： プロジェクト予算と輸送コスト、保険金額と保証

## 船員と傭船者では

北極海航路航行に対応するアクションは異なるが、同じ目的を共有しているという点では協業関係である。

## 長・中期的予測における現状

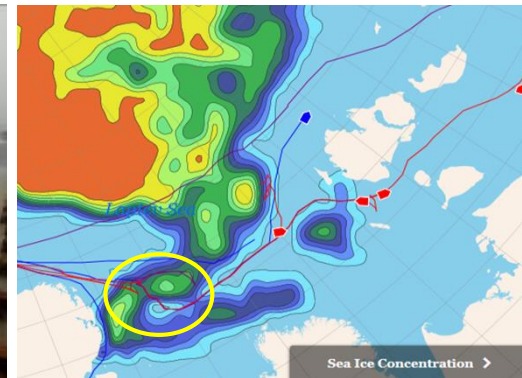
プロジェクトのFeasibility Studyにおいては、使用できる「長期予測データ」は存在せず、統計データを基に推測する手法をとるしかない。

- ・ 統計データの入手が課題（どのデータ、どこかのデータ）
- ・ プロジェクトに適応した船舶の建造を決定する際には、プロジェクト期間中の海水状態の仮定が、建造船舶の諸元決定に係わり、建造コストにも影響する。

中期での予測値においては、主にNon Ice-Class船において航路上で海水が完全に融解す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課題であるが、予測が大きく外れることがある。

## 短期的予測における現状

MV Yamato (ラプテフ海 東経120E 2016/08/22)



2016年夏季(8月22日)における、ラプテフ海の航路上での海水状態写真(左)と当日の海水密度図(右)。赤色の線は本船の航跡。同年6月時点における航路融解予測では、8月上旬に融解しIce Freeとなっていたが、実際の融解は1か月以上遅れ、Non-Ice Class船のスケジュールに影響した。また、マイクロ波衛星より解析された海水情報は、融解期の低レベル密度度の海水を精度良く捉えることができず、実際の海水状態より低めの密度度となっていた。

### Non-Ice Class船舶

- ・ Non Ice Class船である場合、海水密度度の指数は“ゼロ”であるべき大原則があるため、一旦Ice Free状態になったり(密度度ゼロ)、結氷が開始されたりすれば(密度度1以上)、その後は密度度の指数そのものの有用性は減少する。
- ・ 短期予測でも上記のような移行期においては、航路上のより詳細な海水の有無、結氷開始予測の向上が課題。

- ・ 出港後に発生する可能性がある海水予測の急激な変更によるルートを通り直すオプションは排除できない為、積地出港の間際まで、ルート選定を保留することがある。
- ・ 風による流氷との遭遇やIce Compressionの増加のリスクを判断する為、海水と気象の予測値を統合したファクターがあるとよい。

### Ice Class船舶

- ・ 密度度10の値をとる海水状態の幅広さ
- ・ Ice Ridge等、航行困難ポイントの存在の検知
- ・ 海水状態が厳しくなるにつれて砕氷船コンボイの隊列は乱れてくるようになり、砕氷船から部分的に単独航海を指示されることがある。
- ・ ある船長は衛星画像が最も有益と言うが、別の船長はアイスチャート&エッグコードが最も有益と言う
- ・ 先行する他船がいれば、より精度の高い情報が得られる。

アイスクラス船で、海水密度度の低い夏場の航行であれば、氷海操船の難易度は低いため、海水状況が北極海航行そのものの可否を決定する要素とはなり難い。砕氷船の必要の有無や、ルーティング等「どう航行するか」の判断の為に海水分布情報が必要となる。

海水予測情報は、本船の安全運航だけでなくプロジェクトのFeasibilityにも影響するクリティカルファクター  
持続的・長期的な観測情報の入手が不可欠



# 衛星による海氷情報と展望



## プロジェクト遂行の視点から示す 衛星による海氷情報の適正利用がもたらす経済効果

コストインパクト  
大

Billion \$

x100 \$

x10 \$

Million \$

x100 \$

x10 \$

コストインパクト  
小

単にNSRの(トランジット)利用促進ではなく、北極圏の資源  
開発にも航路利用 = プロジェクトの実現  
海氷予測が資源開発プロジェクトそのものを成功に導けるか、  
コストセーブへの貢献、安全な資材輸送、資源輸送

海氷情報の適正利用により、スエズ運河ルートとの距離・時  
間の差による経済効果と早期デリバリーによるプロジェクトス  
ケジュールの短縮効果

Non Ice Class船の積極的利用による船腹増強

ベーリング海峡ルート向け出港後に発生する海氷予測の急  
激な変更に伴うルート折り返しによる時間的損害を防ぐ

積地出港の間際まで、ルート選定を保留することが無くなり、  
ルートごとの準備をする重複費用が省略できる

実際の海氷状態が予測情報よりシビアであった際の船体損  
傷リスクの軽減

結氷早期であれば、砕氷船を全く手配せずに単独で航行で  
き、砕氷船手配を省略できる

単独での操船の可能性が高まり、厳冬期のコンボイ全体とし  
てのプログレスに寄与する

## 経済効果実現のためのアプローチ

北極海航路の海氷情報に影響を及ぼす北極圏の自然環境  
の衛星を利用した持続的および継続的な観測による、デー  
タの蓄積とデータ解析手法の発展。

- ・ 北極圏内のプロジェクトでは、EPCコントラクターの立場で  
北極圏の環境条件、海氷等についての知見は必須。

海氷面積の推移予測よりは、航路開通の有無または開通・  
閉塞予測精度の向上

定常的な航路上を優先的に、より詳細な海氷状態を示す。

- ・ Ice Ridge等、海氷航行の難所の検知、
- ・ 海氷厚観測精度の向上、
- ・ 強風によるIce Compression指数の提示等
- ・ 高観測頻度の衛星の利点を活用した、情報の頻繁な更  
新と配信

航行可否判断の責任所在を明確化する繋がりから、  
情報を必要とする側の立場に合わせて必要な情報を提供  
する、または情報を必要とする側がそれぞれの立場に合  
わせて必要な情報を加工できるような情報を提供する。

- ・ 使用目的に合わせた情報データベースの整理
- ・ 船舶運航者レベルに合わせたデータ使用方法のマニ  
ュアル整備
- ・ 北極圏では通信環境が不十分で大きなデータ量の通信  
には不向きである為、データ量を制限することも考慮

海氷情報の適正利用における経済効果(左側)とそれをもたらす  
アプローチ(右側)との相関関係を示す。線の太さは関係性の相  
対的な強弱を表す。

ご清聴ありがとうございました。



日揮株式会社 (JGC Corporation)