



# 自律船に向けた技術課題と 開発研究の方向性について

国立研究開発法人  
海上・港湾・航空技術研究所  
(うみそら研)  
海上技術安全研究所  
運航・物流系  
福戸淳司



**Rolls-Royce imagines a future of unmanned ships**

Unmanned cargo ships could become a reality on our oceans **within the decade**, according to manufacturer **Rolls-Royce**.  
2014/3/5

An unmanned ship could be much simpler in design than a traditional one

Unmanned cargo ships could become a reality on our oceans within the decade, according to manufacturer Rolls-Royce.

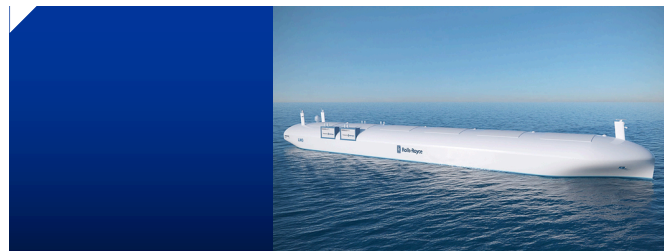
2016/10/12 2

## 講演の内容

- 自律船とは
- 自律船へのニーズ
- 自律航行を実現する技術
- 日本の自律船に関する研究動向
- 海外の自律船に関する研究動向
- 今後の動向



## 自律船とは



## 自律船とは

**自律:** 他からの支配や助力を受けず、自分の行動を自分の立てた規律に従って正しく規制すること。

**自動:** 他からの力によらず、自分の力で動くこと。機械などで、定められた操作を行うと、動作が機械自身により行われること。

共に、三省堂 大辞林より



## 自律船とは



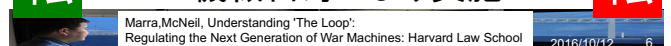
- 自律性 Marra, McNeil
- 操作者の入力理解と計画
  - 状況の不確定性への耐性
  - 自主性のレベルの高さ

自律  
運  
転

自動  
運  
転

定められた操作  
機械自身により実施

Marra, McNeil, Understanding 'The Loop':  
Regulating the Next Generation of War Machines: Harvard Law School



NMRI 自律船とは



自律性 Marra, McNeil

- ・操作者の入力理解と計画  
人間の指示・入力を少なくする。
- ・状況の不確定性への耐性  
環境情報を収集し、問題点に対処する。
- ・自主性のレベルの高さ  
人間による判断・介入の余地を少なくする。

自動運転

自分で情報収集・学習し、独自にルールを作り、状況を把握して最適な方法を選択・判断して、自らを制御する

IoT  
Big Data  
AI

Marra, McNeil. Understanding 'The Loop': Regulating the Next Generation of War Machines: Harvard Law School

2016/10/12 7

NMRI 自律船とは

欧州の自動車業界ではガイドラインとして

**自動運転**: ドライバーが監視役として責任を負うシステム

**自律運転**: 完全な無人運転と定義し、路車間、車車間で通信するインフラと繋がるシステムを**協調運転**と定義。

自動化のレベル (米国運輸省の国家道路交通安全局(NHTSA))

レベル0: ドライバーが常にすべての主制御系統(加速・操舵・制動)の操作を行う  
(どのような運転操作の場面でもドライバーに対して運転支援を行うシステムを搭載していない)

レベル1: 加速・操舵・制動のいずれかをシステムが行う状態。  
(横滑り防止装置、自動ブレーキなど)を搭載

レベル2: 加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う状態。  
(車線維持=ステアリング操作とオートクルーズコントロール=加減速を1つのシステムで同時実現)を搭載

レベル3: 加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバーが対応する状態。  
(駐車場内や高速道路内など限定された交通条件で可能な自動運転)

レベル4: 加速・操舵・制動を全てドライバー以外が行い、ドライバーが全く関与しない状態。  
(乗員が行き先を決めるだけで、運転操作を全く行わない自動運転)

2017/3/7

NMRI 自律船とは

- ・船舶と他の交通システムとの違い
  - 質量に比べ、制御力が小さい。
    - ・ 遠距離からの障害物の検出が必要。
  - 連続運転時間が長い。
  - 容易に支援を受けにくい。
  - 事故を起こした時の影響が大きい。
  - 多様な船舶の混在。
- ・自律(自動)機能の現状
  - 限られた環境下では有効に機能するが、対応できない状況がまだ残っており、人間の介入が必要。

2016/10/12 9

NMRI 自律船とは

**WATER BORNET<sup>TP</sup>: Technical Platform : Autonomous Ship 2006**

The vessel with "Next generation modular control systems and communications technology will enable wireless monitoring and control functions both on and off board. These will include advanced decision support systems to provide a capability to operate ships remotely under semi or fully autonomous control."

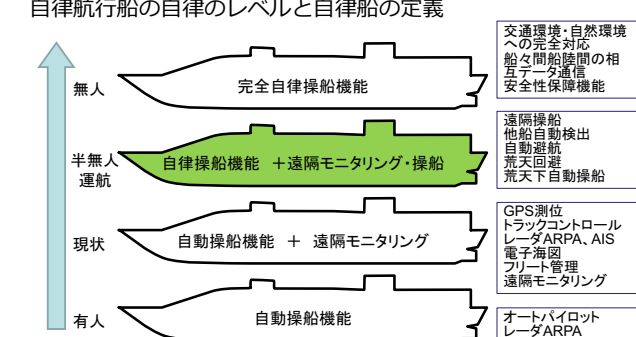
「船舶を遠隔での部分的もしくは完全な**自律制御を可能にする先進判断支援システム**を含め、船上および船外からのワイヤレスでの監視と制御機能を可能にする**次世代モジュラー制御システムおよび通信技術**」を持つ船舶。

WATER BORNET<sup>TP</sup>のVISION2020 (2006)から

2016/10/12 10

NMRI 自律航行船の概念

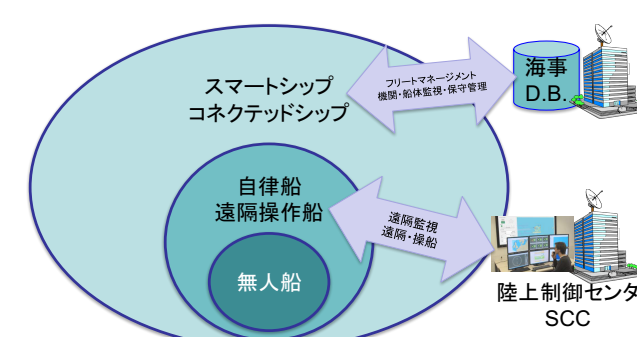
自律航行船の自律のレベルと自律船の定義



無人	完全自律操船機能	交通環境・自然環境への完全対応 船々間船陸間の相互データ通信 安全性保障機能
半無人運航	自律操船機能 + 遠隔モニタリング・操船	遠隔操船 他船自動検出 自動避航 荒天回避 荒天下自動操船
現状	自動操船機能 + 遠隔モニタリング	GPS測位 トラックコントロール レーダARPA, AIS 電子海図 フリート管理 遠隔モニタリング
有人	自動操船機能	オートパイロット レーダARPA

2016/10/12 9

NMRI 自律船とは



スマートシップ  
コネクテッドシップ

フリートマネージメント  
機頭・船体監視・保守管理

海事D.B.

遠隔監視  
遠隔・操船

陸上制御センタ  
SCC

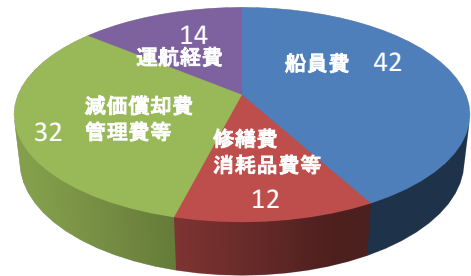
無人船

自律船  
遠隔操作船

2017/3/7

## 自律船へのニーズ

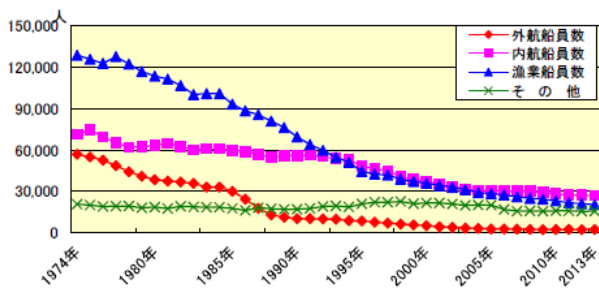
## 内航海運における経費の状況



対象船 : 699GT タンカー (2000KL)  
乗組員 : 8人

**省人化システムの要望**

## 我が国の船員数の推移

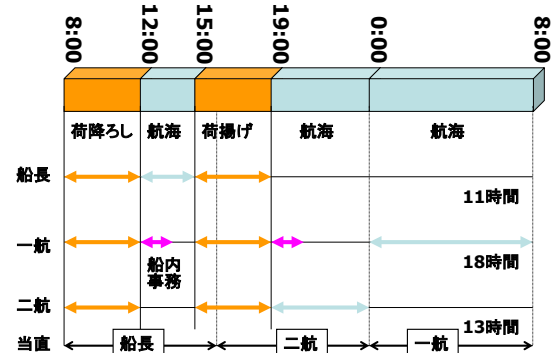


海事局調べによる。(2005年までは船員統計による)。

**船員数の減少への対応**

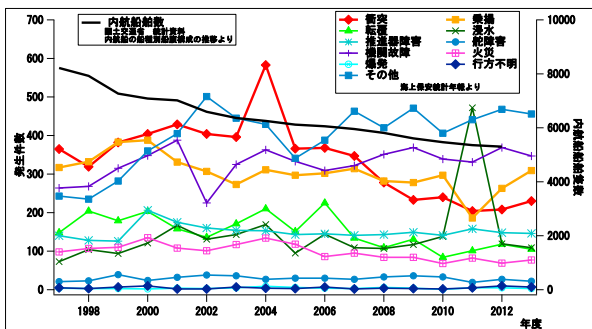
## 船員の労働時間の例

内航タンカーの場合 乗組員6名



**作業時間の低減**

## 海難の発生件数



海難事故の集数推移

平成9-24年度版海上保安統計年報

**海難事故数の低減**

## 自律船を実現する技術



## NMRI 自律船の運航時に考えられるイベントと必要機能

航行環境: 大洋航行  
船種: パナマックス  
コンテナ船

エンジン及び推進器の信頼性向上

各種メンテナンス



2016/10/12 19

## NMRI (無人)自律船に求められる機能

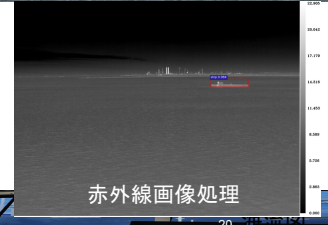
- センシング技術
- 他船のセンシング



レーダ



可視光画像処理



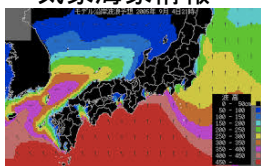
赤外線画像処理



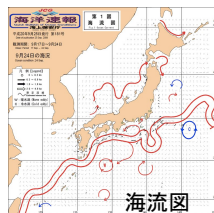
20

## NMRI (無人)自律船に求められる機能

- センシング技術
- 気象海象情報



波浪予想図



海流図



21

## NMRI (無人)自律船に求められる機能

- 通信インフラ

### 通信インフラの現状

- 携帯電話
  - 到達距離: 陸地から10km程度
- 中波・中短波・短波の無線通信
  - 到達距離: 数百~数千km程度
- 漁業無線
  - 到達距離: 50 km程度
- 国際VHF
  - 到達距離: 50 km程度
- 船舶自動識別装置
  - 到達距離: 25 km程度
- インマルサット衛星通信
  - 到達距離: 地球上
- N-STAR/イリジウム衛星移動通信
  - 到達距離: 地球上

### 通信インフラの整備

- 長距離通信が可能で、信頼性が高く、容量が多く、安価な通信が可能な通信インフラが必要

例えば、VSAT(kuバンド)

陸 → 船 1Mbps  
船 → 陸 512bps  
常時接続 定額制  
45万円 / 月



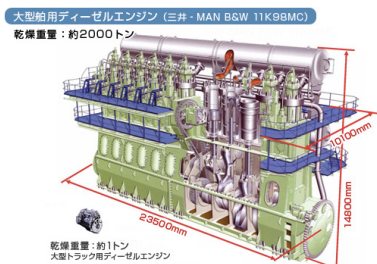
22

## NMRI 船舶と運航環境の特徴

- エンジンの信頼性向上

- C重油から、A重油や天然ガスへの燃料のシフト

C重油は、不純物が多く、加熱して流動性を高めてから、水分や固形分を遠心分離機で取り除き、さらにフィルターで濾過して燃料として利用する。



23

## NMRI 船舶と運航環境の特徴

- 船上でのメンテナンスの自動化



塗装、可動部の潤滑  
サビ落とし、部品交換等  
計画的に実施

海水による腐食  
磨耗が激しく、  
定期的な保守要。



24





## (無人)自律船に求められる機能

### 自律運航

- 自律航行機能
  - 自動航行
  - 障害物の自動検出、自動回避
  - 荒天回避と自動荒天下線船

### 機器の信頼性確保

- エンジン及び推進器の信頼性向上
  - エンジンの形式・油種の選択
  - 保守管理・自動制御機能
- 各種メンテナンス(船体・機載品)
  - メンテナンスフリー化
  - メンテナンスの計画的実施

### 通信機能

- 航行の安全確認・介入機能
  - 遠隔モニタリング・遠隔操船
    - 航海、船体、エンジン、貨物
  - イベント対応
- 通信業務
  - 音声通信への対応
  - サイバーセキュリティ対策

### その他

- 各種管理業務
  - デスクワークを陸上で分担
- 緊急時対応
  - 自船の緊急時対応
  - 他船の緊急時対応
- 関係条約法令への対応



## 自律航行



## 自律航行

- 航海準備
- 見張り作業
- 船橋作業
- 通信業務
- 各種管理業務
- 緊急時対応

陸上支援施設が分担する項目  
現在の技術で対応可能な項目



## 自律航行

- 航海準備
  - 航海計画の策定
  - 復原性計算、静的荷重計算
  - 燃料等必要資材の積算
- 見張り作業
- 船橋作業
- 通信業務
- 各種管理業務
- 緊急時対応

陸上支援施設が分担する項目  
現在の技術で対応可能な項目



## 自律航行

- 航海準備
- 見張り作業
  - 航海環境・交通環境の監視
    - レーダ、AIS、カメラ画像による障害物の検出
  - 通信の聴取
  - 位置決定
    - 複数のセンサによる信頼性の向上
  - 進路、針路、速力、喫水下水深の測定
  - 気象海象の観測
    - 気象観測モジュール
    - レーダによる降雨状況、波高、波向き、波周期
    - CCTVによる海象・視程の観測
- 船橋作業
- 通信業務
- 各種管理業務
- 緊急時対応

陸上支援施設が分担する項目  
現在の技術で対応可能な項目



## 自律航行

- 航海準備
- 見張り作業
- 船橋作業
  - 計画航路に沿った船速制御も含む自動航行
    - トラックコントロールシステム
    - エンジン制御
  - 船体状態の確認
    - 排水量、トリム、傾斜等の計測
    - 6自由度の運動、エンジン関連データ、船体応力、貨物状態等の計測
  - 障害物の回避
    - 避航操船
  - 陸上制御センタとの交信
    - ログデータの定期送信とイベント通知
    - 操船指示情報対応(計画航路の変更、TCS/パラメータ変更)
- 通信業務
- 各種管理業務
- 緊急時対応

陸上支援施設が分担する項目  
現在の技術で対応可能な項目



## NMRI 自律航行

- 航海準備
  - 見張り作業
  - 船橋作業
  - 通信業務
  - 各種管理業務
  - 緊急時対応
  - 通信業務
    - 船外通信
      - VHF無線と衛星通信、データ通信
      - 遭難時の、可聴可視信号への対応
  - 各種管理業務
    - 航海関連情報収集、ログブックへの記入、各種書類更新
    - 船内データベースの管理
  - 緊急時対応
    - 自船の緊急時対応
    - 他船への緊急時対応
- 陸上支援施設が分担する項目  
現在の技術で対応可能な項目



## 日本の自律船に関する研究動向

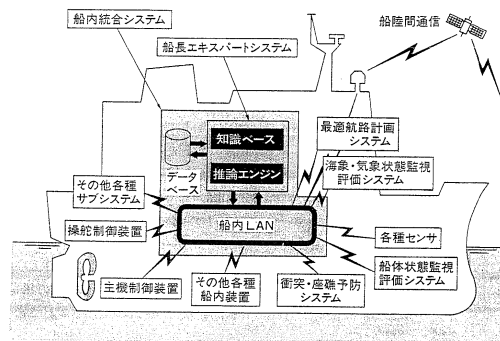


## NMRI 高度自動運航システム 1982-1988

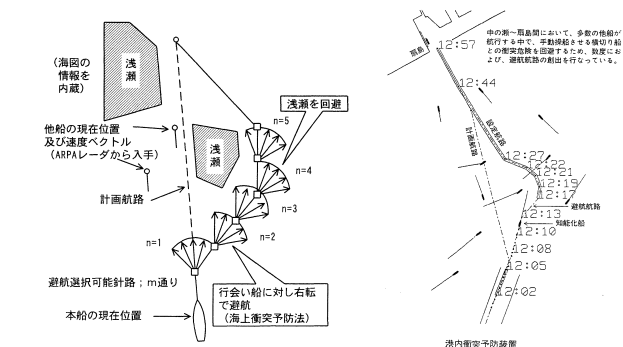
- 最適自動運航システム
  - 海象・気象状態監視評価システム(三井造船)
  - 船体状態監視評価・姿勢制御システム(住友重機械工業)
  - 最適航路計画システム(日立造船)
  - 総合運航管理システム(三菱重工業)
  - データ通信システム(IHI)
- 出入港自動化システム
  - 港内航行誘導システム(三菱重工業)
  - 衝突・座礁予防システム(住友重機械工業)
  - 自動離着岸システム(日立造船)
  - 自動係船・錨泊システム(川崎重工業)
  - 岸壁係船/乗下船装置の高度自動化(NKK)
  - 乾貨物の自動保全および荷役の高度自動化(三井造船)
  - 液体貨物荷役の高度自動化(IHI)
- 総合シミュレーション(船舶技術研究所: 現 海上技術安全研究所)



## NMRI 総合運航管理システム

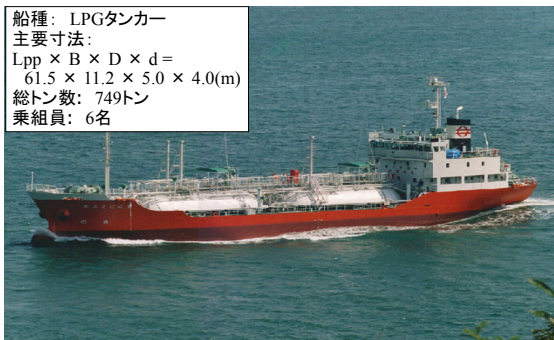


## NMRI 衝突予防システム



## NMRI 内航近代化船 一名当直支援

船種: LPGタンカー  
 主要寸法:  
 $L_{pp} \times B \times D \times d =$   
 $61.5 \times 11.2 \times 5.0 \times 4.0(\text{m})$   
 総トン数: 749トン  
 乗組員: 6名



## NMRI 一名当直航海支援システムの機能

- レーダ監視員の機能
  - 船位や運動状況の情報支援
  - 衝突警報及び他船の情報支援
  - 座礁等警報
- 操舵員の機能
  - 自動船位誘導、船速制御
- 情報支援機能
  - 避航操船の判断及び操船支援
  - 経験に基づく航行上の助言
  - 気象・海象情報支援
  - 航海計画作成支援
- 異常時の支援機能
  - 船橋当直警報システム



2016/10/12 37

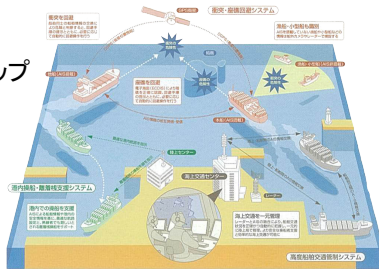
## NMRI トラッキングモードでの航行の様子(港湾域)



2016/10/12 38

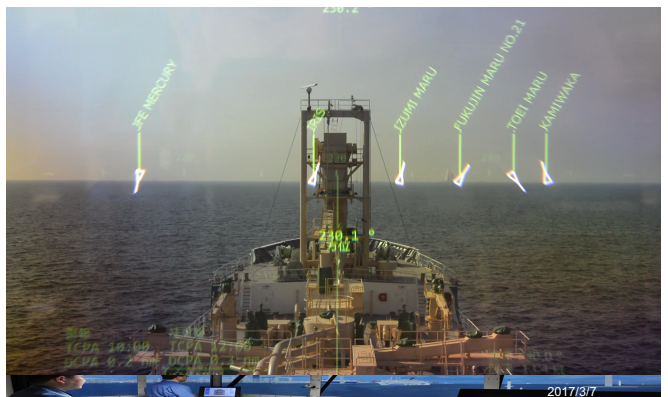
## NMRI 情報通信技術を用いた操船支援

- AISに代表されるICTを利用した支援に関する研究
  - 海のITS
  - スーパーエコシップ



2016/10/12 39

## NMRI Video of HUD operation



2017/3/7

## NMRI 自律運航に関連した日本の動き

実施主体	名称	参加者	内容
(一社)日本船用工業会	スマートナビゲーション研究会	船用メーカー、(株)MTI、NK	船上機器間、船陸間のデータ交換フォーマット・プロトコルの統一化。 ISOに提案、規格化
(一財)日本海事協会	CMAXS	造船所、船用メーカー、IBM等	船内機器状態監視・自動診断システムの開発、導入
	船舶ビッグデータプラットフォーム	船社、造船所、船用メーカー等	運航中の船舶から得られるエンジンなど稼働データや気象情報を収集・蓄積、関係者に必要なデータを提供。
日本郵船(株)	SIMS(船舶運航モニタリングシステム)	日本郵船(株)	運航データを1時間に1回陸上にデータ送信。 船陸協業して省エネ運航を推進2010年～
	IBIS(最適経済運航)	日本郵船(株)	ポータルサイトを通じ、船長、運航担当者、代理店などがSIMSデータを即時に更新・共有 2012年～
(株)ウェザーニュース	ウェザールーティング	船社	船舶の運航状況や気象・海象状況をもとに、航路最適化提供サービスを実施。

出典：船舶ビッグデータによる海事産業の変革に向けた取り組み：海事局

41



## 海外の自律船に関する研究動向

Rolls Royce  
MUNIN  
ReVolt







Remote Control of Ships - Why?

Making ship transport more efficient and safe!



- 自律船のメリット
1. 船員コストの削減
  2. 未来の船員へのより良い作業環境の提供
  3. 安全性の向上  
事故低減  
船員の安全向上
  4. 効率化  
性能向上  
フリートサポート

出典: "Remote Control of ships - Why?" by Rolls-Royce



船橋及び人間の生活活動に必要な区画の削減

積載量の増加  
船体重量の低減

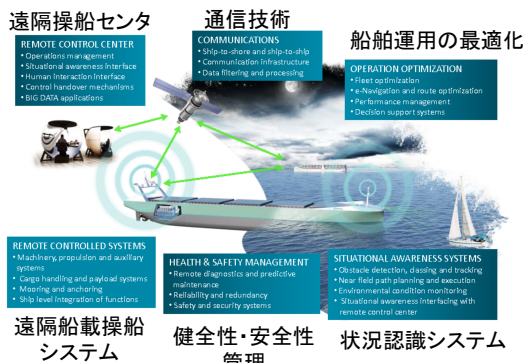
輸送効率の向上  
建造費の低減



- 新しい可能性
- ・機関の新配置
  - ・新形式機関採用
  - ・カーゴスペースの設計自由度の向上

重量バランスの向上  
冗長性のある機関構成  
LNG等新燃料の採用  
貨物の取り扱い方の改善

出典: "Remote Control of ships - Why?" by Rolls-Royce



出典: "Remote Control of ships - Why?" by Rolls-Royce



**MUNIN Project**  
Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks

自律船の定義

No persons on board for whole or part of the voyage. The ship, with partial help from remote control, must be able to manage the voyage on its own.  
航海の全域あるいは部分的に船員が乗船せず、一部遠隔制御を受けながら航海を自ら管理できる船舶。



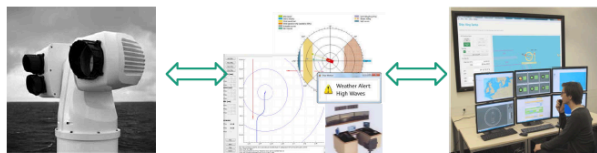
- 目的:
- ・ばら積み貨物船無人航行概念の構築
  - ・シミュレータによるコンセプトの検証

欧州 FP7 プロジェクト: Sep. 2012 to Aug. 2015

参加機関: 8 機関、 予算: 2.9 million €



出典: "Developing autonomous navigation: The MUNIN unmanned vessel test-bed". Conference on Autonomous Ships, 25th-26th September, 2015



先進センサシステム  
・電子見張りシステム

自律運航システム  
・行動判断システム

陸上支援システム  
・ヒューマンエレメント

- 障害物の検出
- 気象海象の把握

- 自動衝突回避
- 荒天回避と遭遇時の安定性確保

- 船隊の監視
- 問題解決

出典: "Developing autonomous navigation: The MUNIN unmanned vessel test-bed". Conference on Autonomous Ships, 25th-26th September, 2015



操船モード	通常自律モード	既知イベント対応モード	遠隔操船モード
	UAV: Autonomous execution SCC: Remote monitoring	UAV: Autonomous control SCC: Monitoring/Investigation	UAV: Remote control SCC: Remote Operation
操船	計画航路保持	計画航路自動調整	直接遠隔操船
陸上施設	状態監視	対応結果の安全確認	陸からの介入
通信	定期通信	イベントベースの情報交換	ダイレクトリンク

出典: "Developing autonomous navigation: The MUNIN unmanned vessel test-bed". Conference on Autonomous Ships, 25th-26th September, 2015



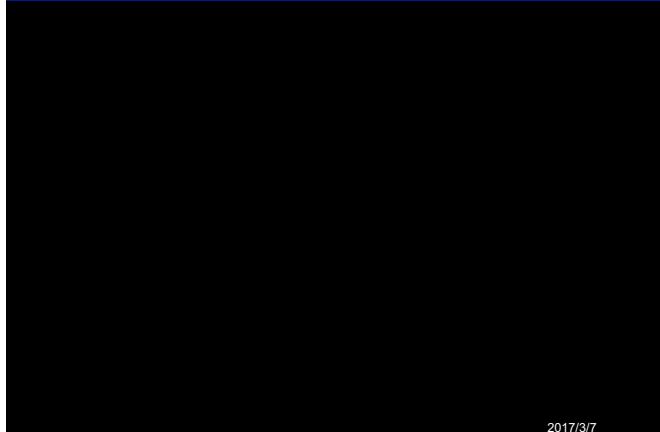




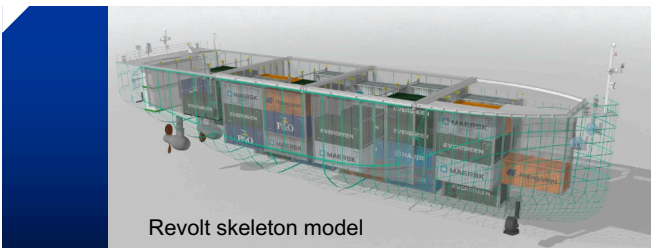
MUNINプロジェクトの目標：  
無人航行システムが、少なくとも人が操船する船と同等の安全性と効率を保って、大陸間航行を自律的に実現できるか？

- ・**先進自律センサモジュール**は、自律船航行及び陸上での状況認識に対して十分な気象海象及び交通環境の情報を収集できた。
- ・**自律航行システム**は、気象海象や交通環境を考慮して、計画航路に沿って、安全かつ効率的に自律航行ができた。
- ・**陸上施設のオペレータ**は、同時に6隻の無人船の監視と遠隔操作が可能であった。

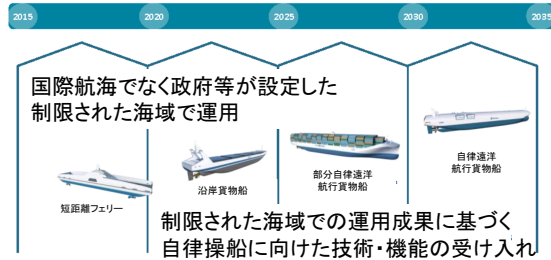
出典: "Developing autonomous navigation: The MUNIN unmanned vessel test-bed" :Conference on Autonomous Ships, 25th-26th September, 2015



## 今後の動向



Revolt skeleton model



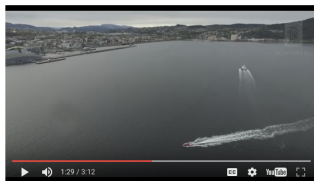
- 遠隔機関監視
- 遠隔機関診断
- 遠隔機関制御
- 自動衝突回避
- 遠隔見張り
- 遠隔船橋システム
- 外洋における遠隔操船
- 外洋における船隊管理
- 外洋における自律操船

出典: "Remote Control of ships - Why?" by Rolls-Royce



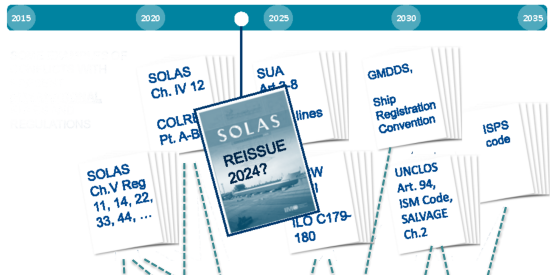
## 自律船のテスト環境整備 ノルウェー・トロントハイム

ノルウェー海事局と海岸ガードはトロントハイムフィヨルドを自律船のテスト海域とすることを2016年9月30日合意。



運営は、ノルウェー科学技術大学、コングスバーク、Marintek、ロールスロイス、マリンロボティクスが担当。

主に、自律船の開発に必要な船舶の制御システムと、各種センサシステムの研究を実施。



- 遠隔機関監視
- 遠隔機関診断
- 遠隔機関制御
- 自動衝突回避
- 遠隔見張り
- 遠隔船橋システム
- 外洋における遠隔操船
- 外洋における船隊管理
- 外洋における自律操船

出典: "Remote Control of ships - Why?" by Rolls-Royce





## 自律航行に関連した海外の今後の動き

### ■MASRWG (Maritime Autonomous Ship Regulatory Working Group)

- UK Marine Industries Alliance傘下の部会として2014年8月に設置。
- 公的な規制枠組みの形成に先だって、産業界による自主的な規制や取り組みを推進していくことを目指す。
- 水上船だけでなく、水中を航行するAUVも対象に含めて一括して検討。



海事自律システムの開発運用に関する  
業界行動規範  
BEING A RESPONSIBLE INDUSTRY  
An Industry Code of Conduct, 2016 March

<http://asvglobal.com/wp-content/uploads/2016/03/UK-MIA-MAS-CoC-2016.pdf>



## 自律航行に関連した海外の今後の動き

### ■Rolls-Royce Marine

- 欧州各国からの支援を得て、自律船に向けた取り組みを積極的に推進。

### ●AAWA (Advanced Autonomous Waterborne Applications)プロジェクト

- AAWAは、同社主導の660万ユーロの自律船の共同プロジェクト
- 2015年から2018年までの3段階で実施予定。



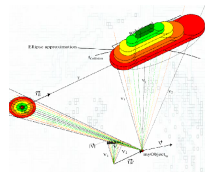
## 自律航行に関連した海外の今後の動き

### ■Rolls-Royce Marine

- 欧州各国からの支援を得て、自律船に向けた取り組みを積極的に推進。

### ●MAXCMAS (Machine eXecutable Collision regulations for Marine Autonomous System)プロジェクト

- シミュレーターベースで、COLREGに準拠した自律船の操船・管制の在り方を検討。
- 最終目標は、COLREG準拠の自律船海上試験航海を遠隔操作の掃海試験艇で実施すること。



- Project scoping and requirement setting
- COLREGs compliant algorithms development
- Advanced autonomy engine development
- Simulator integration
- Simulator test and algorithm refinement
- Automatic object detection
- At sea sea trial
- Wider stakeholder engagement
- Risk management and assurance



# 御清聴ありがとうございました。

