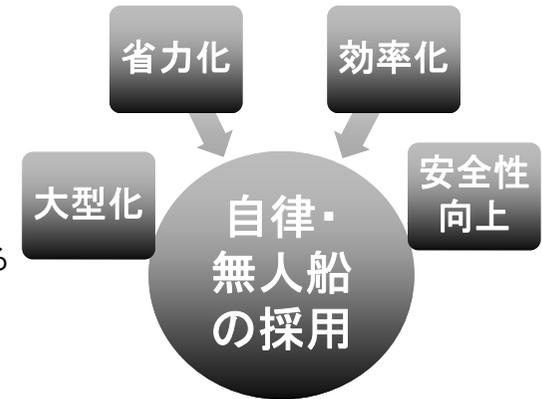


自律船に向けた取組 —国内研究と海外プロジェクト—

国立研究開発法人 海上技術安全研究所
 運航・物流系
 運航解析技術研究グループ長
 宮崎恵子

無人船・自律船の強み

- 経費の節減の可能性
- 船員の不足・高齢化
 - 熟練船員の不足
 - 技術の継承の困難
- 航行安全性の向上
 - 事故原因の約8割がヒューマンエラー
- 環境負荷の低減
 - 船体重量の軽減による省エネルギー運航



自律の定義

・おおまかな作業指示を与えられ、詳細な手順を明示しなくても、作業指示に従った行動を計画し、かつ、状況を認識・判断して作業を実行することのできる機能。

自律船に備えるべき機能

- ・自律航行に必要な機能
- ・安全確保に必要な機能
- ・効率の向上に関連する機能
- ・メンテナンスに関連する機能



自律船のために必要な技術

- **センサの高度化が要**
他船のセンシング、気象海象情報の精度向上
- **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：50 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、インマルサットC (30円/256 bit)で 1MBの画像を送る場合、
 料金: $1024 \times 1024 \times 8 \div 256 \times 30 = 983,040$ 円
 到達時間: 5-10分程度

自律船のために必要な技術

■ エンジンの信頼性向上

- 1航海(2-3週)内でのエンジンの健全性確保
- C重油から、A重油や天然ガスへの燃料のシフト

■ 船上でのメンテナンス

- 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、定期的な保守が必要

自律船実現のために必要な条件

船舶の運航環境の特徴

- 重量の割に弱い制御力
- 多様な船の混在

自律船のために必要な技術

- センサの高度化が要
 - 他船のセンシング、気象海象情報の精度向上
- 通信インフラの整備
- エンジンの信頼性向上
 - C重油から、A重油や天然ガス等への燃料のシフト
- 船上でのメンテナンス
 - 海水による腐食

さらに

- 国際条約や法規の整備

自律船に必要な機能と要件

1. 自律航行に必要な機能・要件

- 高度なセンサシステム
- 状況認識・行動判断機能
- 行動判断結果を実現する自動化機能
- 外乱への対応
- ...

3. 効率の向上に必要な機能・要件

- ルート・船速の最適化
- 高効率エンジンの採用
- 船体軽量化
- 陸上からの支援
- ...

2. 安全性確保に必要な機能・要件

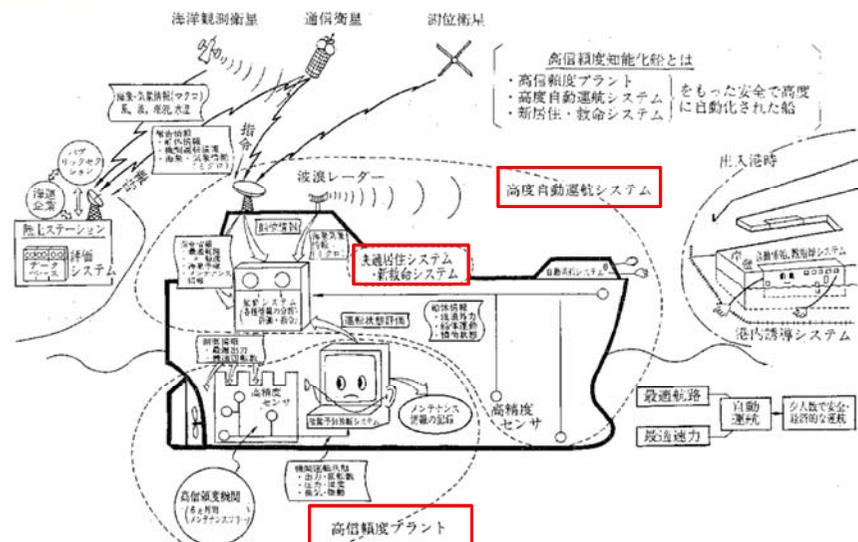
- 信頼性の向上
- 異常検出機能(船内・遠隔操作センタ)
- 異常からの自動回復機能
- シナリオベースの安全対策の検討
- ...

4. メンテナンスに必要な機能・要件

- メンテナンス低減 エンジン
- メンテナンス低減 船体
- 陸上からのメンテナンス支援
- ...

自律船に関連する 国内研究

高信頼度知能化船 1982-1988



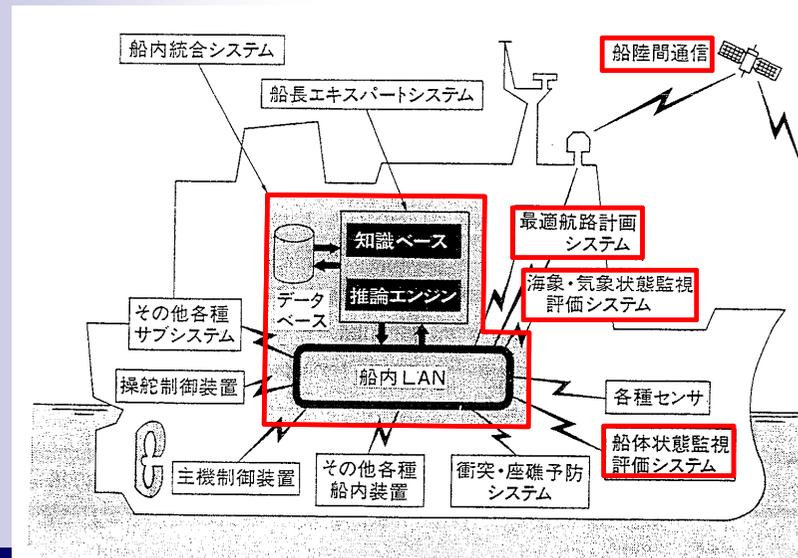
自律船に関連する国内研究

- 1960-1969 機関室の自動化 金華山丸
 - 機関室の集中監視計測や船橋からの主機遠隔操縦、機関の24時間無当直化
 - 1950年代 50人 → 1980年代 25人
- 1982-1988 高信頼度知能化船
 - 高信頼度プラント (セラミックコーティングエンジン)
 - 高度自動運航システム (最適自動運航システム + 出入港自動化システム)
 - 新居住・救命システム

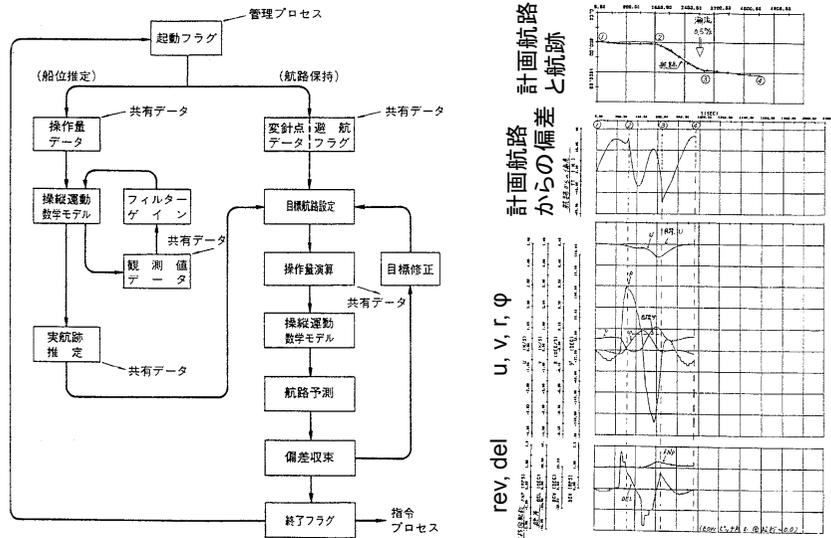
高度自動運航システム 1982-1988

- 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)
 - 自動離着機システム (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)

最適自動運航システム



港内航行誘導システム



一名当直用操船支援システムの開発

- 目的
 - 安全な一名当直に実現
 - 実用に耐える支援システムの実現
- 共同研究開始 1993年
 - 全国内航タンカー海運組合
 - 船舶技術研究所
 - 三菱重工業 1995年から
 - 操船支援システム完成 1997年 夏
 - 乗船調査 1997年 夏 ~ 98年 春

高信頼度知能化船の評価

- 無人で操船するための要素機能は、確立できた。
- しかし、普及には至らなかった。
- 普及のためには、以下の障害があった。
 - センサおよびその精度の不足
 - 通信システムの容量不足と高コスト
 - システム自体の高コスト
 - 無人化・省力化に対する反発

操船支援システムの目的と要件

当直者が、一名で操船支援システムの支援を受け、協調して安全な航行を実現する。

(1) 安全航行に必要な機能が備わっている。

支援機能の導入と役割分担の明確化

(2) 一当直期間中に、機能が維持できる。

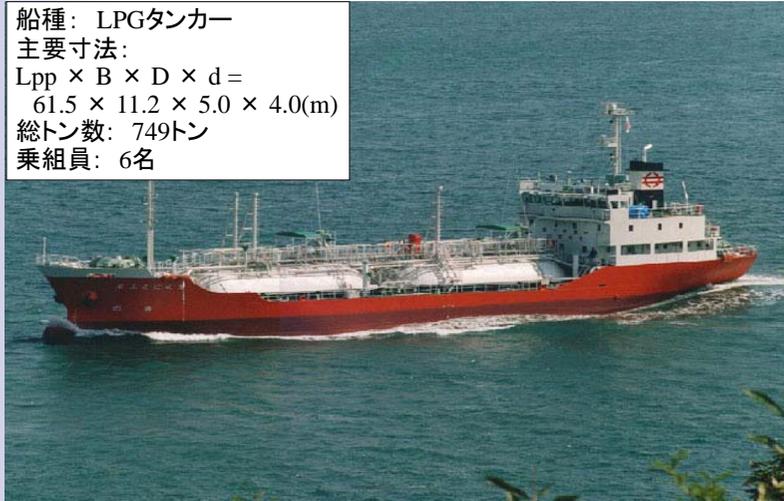
適切な作業負担と良好なインターフェース

(3) 当直者または操船支援システムに起こる機能低下や過誤に、適切に対策を講じられる。

人間と支援システムで構成されるシステムの安全対策

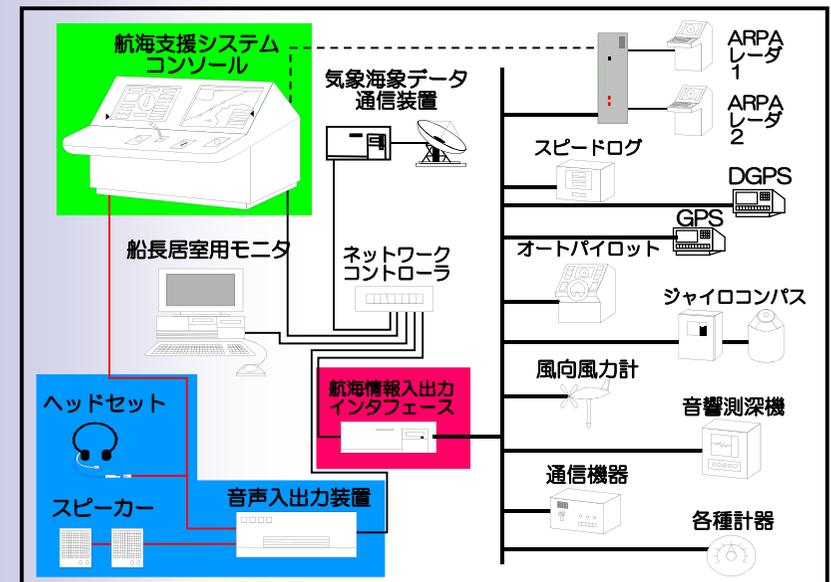
内航近代化船(LPG輸送船)新ぶろぱん丸

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



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 |



トラッキングモードでの航行の様子(港湾域)



音声による操船の様子

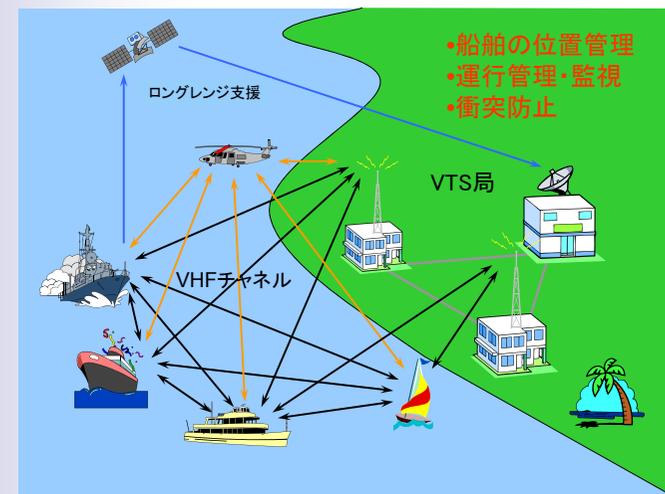
水島港離棧直後の様子



自律船に関連する国内研究

- 1960-1969 機関室の自動化 金華山丸
- 1967-1970 超自動化船の研究開発
- 1982-1988 高信頼度知能化船
- 1993-1999 内航近代化船
- 2002-2010 船舶自動識別システム(AIS)の導入と利用
 - 500GT以上の周囲の船舶の位置や針路が電子的に取得可能

AISシステムの概念図



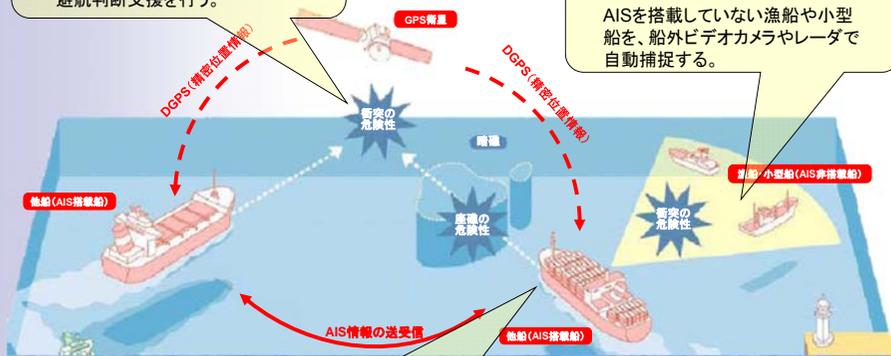
衝突・座礁回避システム

避航操船支援機能

他船情報を、分かり易い形で表示すると共に、避航回避手順を示し、避航判断支援を行う。

他船情報自動収集機能

AISを搭載していない漁船や小型船を、船外ビデオカメラやレーダーで自動捕捉する。



自動危険回避機能

他船情報や電子海図情報と自船情報を基に危険を評価し、必要に応じて、自動的に回避運動を行う。

衝突・座礁回避システム

避航操船判断支援機能



避航支援内容

- ・危険船の表示
- ・避航航路の提示
- ・避航操船の実行

画像処理による他船情報の収集機能

画像処理による動体検出とパターンマッチング

- ・可視画像(昼)、暗視画像(夜)利用
- ・差分画像による動体検出
- ・パターンマッチングによる船舶画像のリアルタイム認識 (特許出願中)
- 他船方位と凡その距離の取得

- ・レーザ画像の画像認識による数値距離の取得



自律船に必要な機能と要件

1. 自律航行に必要な機能・要件

- 高度なセンサシステム
- 状況認識・行動判断機能
- 行動判断結果を実現する自動化機能
- 外乱への対応
- ...

3. 効率の向上に必要な機能・要件

- ルート・船速の最適化
- 高効率エンジンの採用
- 船体軽量化
- 陸上からの支援
- ...

2. 安全性確保に必要な機能・要件

- 信頼性の向上
- 異常検出機能(船内・遠隔操作センタ)
- 異常からの自動回復機能
- シナリオベースの安全対策の検討
- ...

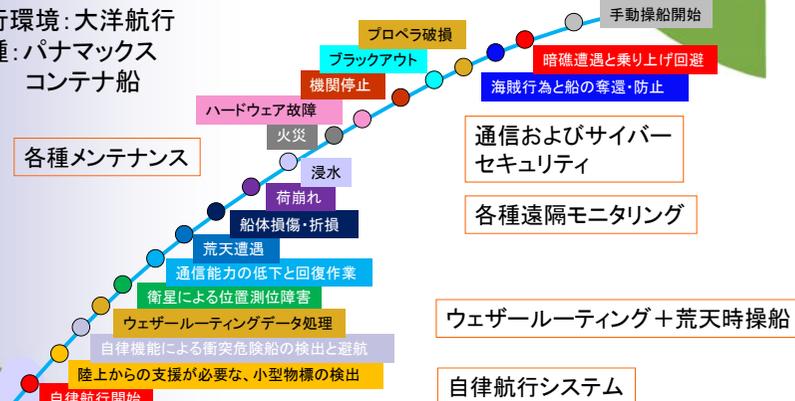
4. メンテナンスに必要な機能・要件

- メンテナンス低減 エンジン
- メンテナンス低減 船体
- 陸上からのメンテナンス支援
- ...

自律船に関連する国内研究

● 自律船のシナリオとイベント例

航行環境: 大洋航行
船種: パナマックス
コンテナ船



自律航行システム

自律船に関する検討事項

1. 船舶の計画

- 自律船の新しい概念の構築
- 輸送貨物および航行環境条件に基づく自律船の具体的仕様(船体要目やエンジンの構成)

2. 自律航行システム

- 航行障害物のセンサ技術
- 自動避航操船システム
- 計画に基づく自動操船システム
- 自律航行システムのモニタリング・遠隔操船システムの研究

3. ウェザールーティングの高度化と 荒天操船

- 波浪のセンサ技術
- 個々の船舶に対応した
ウェザールーティングの高度化
- 荒天時の自動操船
- ...

4. 各種遠隔モニタリング

- 先進的な船舶の荷重・構造
強度評価手法に必要な評価
システム

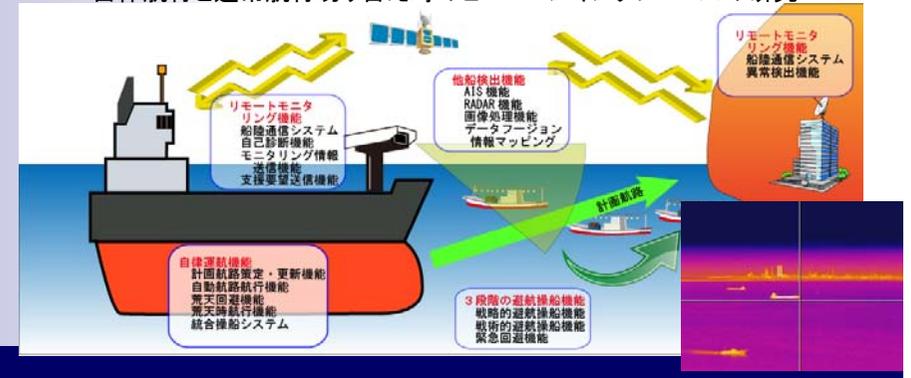
5. 各種メンテナンス

6. 通信およびサイバーセキュリティ

7. 社会受容性や法制化、保険

自律航行システム

- 航行障害物のセンサ技術の研究
- 複数の障害物を考慮した自動避航
操船アルゴリズムの研究
- 計画に基づく自動操船システム
- 自律航行システムのモニタリング・
遠隔操船システムの研究
- 自律航行と通常航行切り替え時のヒューマンインタフェースの研究



海外の自律船 プロジェクトの紹介

海外プロジェクト

● Rolls Royce 関連プロジェクトの概要

- ・ 遠隔操縦による無人船の実現 2024までに、無人船を実現。
- ・ 利点: 人件費削減、安全性の向上、労働環境の改善、効率性の向上
- ・ 特徴: 軽量化、重量バランスの改善、冗長性のある機関
- ・ キーテクノロジー: 状況認識システム、遠隔操船、通信、フリート管理、遠隔操船支援センタ、健全性・安全性管理
- ・ 今後の予定: 段階的なシステムの開発と運用、IMO等への働きかけ(SOLAS, COLREG, GMDSS, ISPS)

- ・ AAWA (Advanced Autonomous Waterborne Applications) プロジェクト
 - RR社主導の660万ユーロの2015年から2018年までの自律船のフィンランドとの共同プロジェクト(自律船概念構築、要素開発、実証)
- ・ MAXCMAS (Machine eXecutable Collision regulations for Marine Autonomous System) プロジェクト
 - RR社と英国との130万ポンド規模の共同研究
 - 海上衝突予防法に基づく自動避航操船の検討
 - 自動避航、自律エンジン、自動障害物検知の検討

海外プロジェクト

● MUNINの状況

MUNIN自律船の定義: 避航操船を含む自動航行、自動エンジン制御。但し、無人である必要はなく、保守管理用の要員が乗船していても良い。

自律船の規範に照らして、対応できる事象に対しては、自律的に対処。

自律船の有する規範で対応できない事象については、人間の判断を仰ぐ(遠隔操作)。

プロジェクトの概要

- ・ 目的は無人船、遠隔操作船のコンセプトの検討とその実証。
- ・ 290万ユーロのEUプロジェクト。2012年9月開始2015年8月終了。
- ・ **先進センサ**による自動衝突回避も含めた**自律操船**、500時間以上の**機関無保守運転**、**陸上管制センター**。
- ・ 初期シナリオとして、太平洋航海でのDry bulk carrierを設定。
- ・ 基盤技術として、他船と海象を対象とした先進センサーシステム、自律航海システム、陸上管制センターを設定し、それぞれの検討をシミュレータベースで実施。
- ・ 衝突リスク及び沈没リスクとも、有人船より無人船が一桁低くなるとの評価。
- ・ 初期の建造コストと陸上インフラ整備では現行よりもコストが増大。一方で、人件費と燃料費の面で削減が可能、収益バランスは、使用燃料による。
- ・ 今後は、航海士のフレックスタイム導入により定期的に数時間レベルで完全無人化となるブリッジゼロ(B0)船、沿岸航行を対象とする。

海外プロジェクト

● Revoltの概要

- ・ DNV GL Strategic R&I により、安全で、継続可能な、モーダルシフトを実現するためのシステムとして、Revoltを設計。
- ・ 目的は、無人船、ゼロエミッション、沿岸域短距離輸送の実現性の検討
- ・ 特徴: 物流データから、航続距離100mile、コンテナ積載量100-TEU、船速 6 knの仕様を決定し、これに基づくシステムを構築。
- ・ CFDに基づく低速対応船体、バッテリー駆動の2軸電気推進船、可動部の最小化によるメンテナンスの最小化。
- ・ 高いエネルギー効率と、自動車並の消費エネルギー

● その他のプロジェクト

- ・ Hyundai Heavy Industry: Connected Smart Ship
 - ウェザールーティング - 船速最適化 - ルート最適化
 - トリム最適化 - 船体ストレスモニタリング - 自動避航 - 船体管理
- ・ SIEMENS: Vessel of the Future
 - Safe, profitable and environmentally friendly solutions
 - ライフサイクルマネージメント - 統合自動化 - 電気推進

プロジェクト以外の国際動向

● IMO及び船級

英国MASRWG (Maritime Autonomous Ship Regulatory Working Group)

・ MASRWGは、2014年8月にUK Marine Industries Alliance傘下の部会として設置。

・ 公的な規制枠組みの形成に先だて、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。

・ 「同等性」のアプローチにより、COLREG、船舶の所有・登録や保険、船級規則策定に関連する構造的健全性、教育・認証・資格等の分野を検討中。

・ 2016年6月のIMO/MSC96に提案文書提出及びプレゼンの予定。10年単位の時間のかかる条約改正ではなく、「SOLAS同等規則(SOLAS Equivalent Code)」としての基準化を目指す。

ロイズ船級協会

・ 水上及び水中で運航される無人船の開発・設計を促進するために、設計コードを策定中

・ コードには運航分野は含まない。