

検査・点検ロボット運用モデル検討会

成果報告書

2022年8月

目次

1. 背景・目的	3
1.1. 設立趣旨	3
1.2. 活動期間	3
1.3. 活動内容	3
1.4. 目標とする成果	3
1.5. メンバー構成（順不同）	3
2. 予備検証	4
2.1. シーズ・ニーズの整理	4
2.2. 修繕ドックにおける就航船の検査現場見学.....	4
2.3. 検討対象の絞り込み	5
2.4. ドローン	6
2.5. ドローン以外のロボット：クローラー、ROV 等.....	8
2.6. ステークホルダー間の情報共有	10
3. 実証実験の実施	13
3.1. 測量用ドローンを用いた盤木配置の確認（ドローン：船外飛行）	13
3.2. 最先端技術を活用した船舶検査の効率化の検証.....	13
4. ロボティクス技術を活用した運用モデルの提案.....	17
4.1. 船側外板の損傷時の初動調査へのドローンの活用.....	17
4.2. 船体構造に対する船員の自主点検や検査員による内部・精密検査へのドローンの活用	17
4.3. カーゴホールド等における直接アクセスの難しい箇所への板厚計測へのクローラーの活用	18
4.4. 造船所におけるドローンの活用（1 台多役）	20
4.5. ROV を用いた船底点検	21
4.6. 検査・点検作業の効率化・高度化に向けたクラウドサービスの活用.....	21
5. まとめ	23
別添資料	25

1. 背景・目的

1.1. 設立趣旨

ドローンに代表されるように、ロボティクスの検査・点検業務への活用が様々な分野で積極的に検討されている。一方で、こういった新しい技術を業界単位で根付かせるためには、個社による検討ではコストや効率の面でも限界があり、業界としての協調領域をきちんと設計することが必要である。

そこで、検査・点検ロボット運用モデル検討会では、船舶における点検、メンテナンス、検査の視点から、ロボティクスを海事業界で有効的に活用するための運用モデルの検討を行う。業界横断的にロボティクスを使いこなすための方法を議論する場を立ち上げるとともに、ロボティクス関連企業等も業界内の議論に直接的に加わる事で、船舶の点検、メンテナンス、検査の実効性を高め、船舶の安全性向上に貢献することを目指す。

1.2. 活動期間

2020年8月～2022年8月

1.3. 活動内容

- ① ロボティクスに関するリテラシーの向上を目的とした情報交換
- ② 海事業界においてロボティクスを商用利用できるためのコンセプトの検討
- ③ 検討会での議論を踏まえた実証実験の実施

1.4. 目標とする成果

業界としての協調領域の構築（運用モデルの確立）

1.5. メンバー構成（順不同）

本検討会に参加するメンバーを表 1.1 に示す。

表 1.1 メンバー構成

船会社/船舶管理会社	川崎汽船(株)、(株)商船三井、エム・オーエル・シップマネージメント(株)、日本郵船(株)、NYK SHIPMANAGEMENT PTE LTD
修繕ドック	ジャパン マリンユナイテッド(株)因島事業所、向島ドック(株)*、(株)三和ドック、常石造船(株)
検査事業者 (板厚計測業者、非破壊検査等)	サンキマリンサービス(株)、テクノス三原(株)
船用機器メーカー	BEMAC(株)**
ロボティクス関連企業	エアロセンス(株)、(株)A.L.I. Technologies、(株)日立システムズ、(株)ジャパン・インフラ・ウェイマーク、東京電設サービス(株)
研究機関	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
船級協会	(一財) 日本海事協会
オブザーバー	国土交通省、(株)シップデータセンター

*2020年12月に脱退、**2020年10月より加入

2. 予備検証

2.1. シーズ・ニーズの整理

海事業界関係者（船会社、修繕ドック、検査事業者、船級協会）がロボティクス技術に抱くニーズの洗い出しを行った。その結果を資料1に示す。

同様に検討会参加メンバーのロボティクス関連企業が持つロボティクス技術のシーズについても整理を行った。その結果を資料2に示す。

2.2. 修繕ドックにおける就航船の検査現場見学

(1) 概要

船舶の検査・点検の具体的なイメージをロボティクス関連会社に掴んでもらうことを目的に、修繕ドックに停泊している就航船での現場見学会を開催した。（ご協力：常石造船㈱、ジャパン マリンユナイテッド㈱因島事業所）。

修繕ドックに入渠していたばら積み貨物船（50,000DWT 級）を見学。見学箇所はカーゴホールド（C/H）、フォアピークタンク（FPT）、ウォーターバラストタンク（WBT）の3か所。それぞれの外観写真を図 2.1～2.3 に示す。

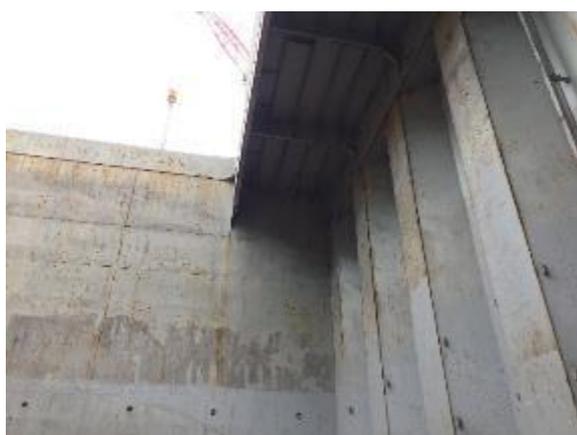


図 2.1 C/H の外観



図 2.2 FPT の外観



図 2.3 WBT の外観

(2) ロボティクス関連企業メンバーの所感

- C/H：空間が広くかつ高さもあるため、ドローンの検査・点検に適しているのでは。
- FPT：入口が狭いが、中に入ると広い空間が存在しているため、ドローンでもある程度は検査・点検が可能では。ただし、暗所のため照明装置の必要性を感じた。
- WBT：人が入るには狭い空間であることから、人手を介さずロボットで検査・点検できればメリットが大きいことが実感できた。一方、ドローンで飛行させるにはある程度の技量が必要となり、照明も必要となるため、難易度は最も高いと感じた。
- チェリーピッカーや足場を組む高所作業に関して、検査・点検を含めて板厚計測やクリーニングを壁面走行型ロボットで代替できれば良いのでは。この際、船舶内に存在する曲面も走行できれば活用できる範囲が広がるが、走行可能かどうかは実証実験による検討が必要。

2.3. 検討対象の絞り込み

2.1 節の整理により、ロボティクス技術に対する船舶の検査・点検のニーズを把握することができた。しかし、これらのニーズを全て検証することは、それぞれ技術的難易度、コスト等に差があることから、検討会メンバーに対して深堀ポイントについてのアンケートを実施。その結果（図 2.4）を踏まえ、検討対象を「ドローン：船外飛行」「ドローン：船内飛行」「ドローン以外のロボット：クローラー」「ステークホルダー間の情報共有」の 4 つに絞り込み、それぞれ議論を進めることとした。

	キーワード
船会社	ドローン(C/H, WBT, E/R), ROV 操縦性(Crewで操縦可?), 操縦場所(目視外飛行の難易度) 航海中の使用(操縦, メンテナンス, 修理をCrewが実施) 錆落とし, 泥落とし やりとり工数削減
修繕ドック	ドローン(タンク内の状態確認業務, 点群データの収集) マグネット式走行ロボットを用いた点検・計測
検査事業者	自動操縦 センサー精度, 画像解像度
ロボティクス	情報共有(方法, 範囲, 関係者数) 誰が操縦するか WBT内部, 配管内部点検
船級	RITを用いた遠隔検査 自律型検査ロボット ステークホルダー間の情報共有の在り方 データの活用方法

図 2.4 アンケートの取りまとめ結果 (第 2 回検討会資料より抜粋)

2.4. ドローン

ドローンについては、検討会メンバーもある程度の予備知識があったこともあり、具体的なイメージが寄せられたことから、それらのイメージを船外飛行と船内飛行の 2 つにグループを分けて整理を行った。その結果を図 2.5 に示す。

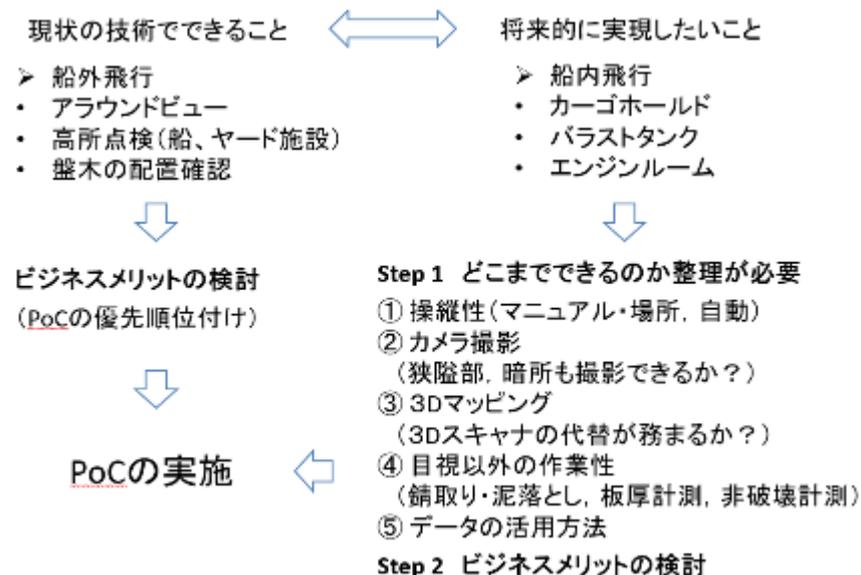


図 2.5 ドローンの活用検討 (第 2 回検討会資料より抜粋)

(1) ドローン：船外飛行

船外でドローンの活用方法として、船や修繕ドックでの高所作業の代替、船舶アラウンドビュー（離着岸や入渠の支援への活用）、盤木配置の確認等が挙げられた。これらの内容は既存技術（市販ドローン）で対応可能な可能性が高い。そこで、挙げられたアイデアの実現性やビジネスメリットについて検証し

やすいものから優先的に実証実験を実施することとなった。

検討の結果、取り組みやすさ、検証のしやすさの観点から、修繕ドックにおける盤木配置の確認に対し、実証実験を実施することとなった。詳細は3.1節で後述する。

(2) ドローン：船内飛行

船内でのドローンの活用方法として、C/H、WBT、E/R等での検査・点検が挙げられた。非GNSS下でのドローン活用は操縦の難易度が高く、また、船舶で活用されている事例も少ないため、まずは技術的にどこまで対応できるかを検証・整理する必要がある。そこで、下記5項目に対して、事前検証を行った上で、実現可能性やビジネスメリットについて検討を進めることとした。

- ① 操縦性：マニュアル操縦の難易度
- ② カメラ撮影：狭隘部、暗所が適切な品質で撮影できるか？
- ③ 3Dデータの取得：3Dスキャナの代替が務まるか？
- ④ 目視以外の機能付与：錆取り・泥落とし、板厚計測、非破壊計測などの作業ができるか？
- ⑤ データの活用方法：どのように撮影したデータを活用していくか？

事前検証のための船内飛行試験を図2.6のような形で計画したが、コロナ禍により断念。代案として、福島ロボットテストフィールド（以下、福島RTF）の施設を用いた検証を実施した。（図2.7及び資料3参照）

実施内容：

- ① C/H内を複数機種のドローンをマニュアル操縦で飛行・撮影する
- ② 複数機種のドローンを比較検証することにより、船舶に向く機体を探る
- ③ 撮影した写真や動画を含むデータは、ロボティクス企業が持つ技術を活用して加工・分析を実施する(3Dモデル化、AI診断等)
- ④ 活用イメージを具体化させることで、議論を活性化させる



図2.6 船内飛行試験の計画（コロナ禍により断念）（第3回検討会資料より抜粋）



図 2.7 福島 RTF における最新型ドローンの性能検証（第 7 回検討会資料より抜粋）

福島 RTF での性能検証（資料 3 参照）にて、以下の通り上記①～③までの確認が取れた。④については、まだまだ研究開発の段階でもあることから、本検討会では対象外とした。⑤については後述するステークホルダーとの情報共有のところで実証実験を実施することとした。

- ① 操縦性：マニュアルであれば飛行可能。ただし、使用する機体によっては高い技量が必要。
- ② カメラ撮影：狭隘部、暗所であってもドローンが入り込めさえすれば適切な品質で撮影可能
- ③ 3D データの取得：画像データだけでは 3D スキャナほどの精度は出せない。
- ④ 目視以外の機能付与：未検証
- ⑤ データの活用方法：ステークホルダーとの情報共有と合わせて実証実験を実施

2.5. ドローン以外のロボット：クローラー、ROV 等

ドローン以外のロボットとして、クローラー（配管点検ロボット、マグネット式ロボットなど）や ROV 等を用いた検査・点検、清掃（さび落とし・泥落とし）が挙げられた。

(1) クローラー

クローラーには、すでに発電所等の配管現場で活躍している事例がある。例えば、東京電設サービス(株)は水力発電所の設備保守に関わる点検作業の効率化を目的として、1990 年頃よりロボット開発を始めており、現在でもメンテナンスや改良を加えながら鉄管の内部点検及び板厚計測にクローラーが活用されている。ロボットはマグネット式の走行であり、GNSS 環境に依存せず船内で制御可能な点、板厚計測やクリーニングなどの装置を取り付け可能な点など、船舶への適用において期待できる部分も多い。そこで、発電所等の他分野で活用実績のあるクローラーの現地調査を行い、船舶への適用性に関して以下の通り考察を行った。（現地調査の詳細については、資料 4 参照）

<利点>

- ・ クローラーの車輪には永久磁石が使用されており、磁性体である船舶では落下の危険性が低い。
- ・ クローラーに搭載されている板厚計測装置は、特殊な機構を有しておらず、接触溶媒も通常の水であり、船舶でも手配が容易。
- ・ 船級検査の板厚計測の要求精度を満たしている。
- ・ ドローンと比べてペイロードが高く、板厚計測装置やカメラ等の機器が搭載可能であり、多機能性を持たせやすい。
- ・ 配管のような曲面に対して走行可能。

これらのことから、クローラーは船舶への適用可能性が高いことが見込まれる。

<課題>

- ・ 2面間移動が難しいため、計測箇所までの移動には工夫が必要となる。
- ・ 板厚計測に用いる場合の運用形態の明確化が必要（規則上、有資格者による板厚計測が求められているが、操縦者もしくは計測者のどちらに資格の保持を求めるか等の整理が必要）。

船舶での実運用を考える場合は、上記点も含めて、移動速度や電源ケーブルの取り回し、可搬性等、船舶のサイズ感も考慮した上で、その運用を検討する必要がある。

(2) ROV

ROVの活用方法として、船底の状態確認（船底検査、汚れの確認）が挙げられた。そこで、産業用ドローンの現状について調査を実施。㈱FullDepth社を講師として検討会に招聘し、勉強会（図2.8参照）を行った。主な質疑応答を表2.1に示す。

水中ロボット／ROV、水中ドローン、産業用水中ドローンの違い 

	水中ロボット／ROV	水中ドローン	産業用水中ドローン
機体例			
動力	陸から電源供給	バッテリー	バッテリー
ペイロード	◎	X or △	○
可搬性（重量）	△	◎	○
ケーブル種類／長さ	電線ケーブル／200m程度	電線ケーブル／200m程度	光ケーブル／数km
適用先	中・小型船	小型船	大型船

図2.8 ㈱FullDepth社によるROV勉強会（第4回検討会資料より抜粋）

表 2.1 ROV の勉強会における主な質疑応答

質問	回答
定点保持できる最大ノットは？	FullDepth 社の製品ではおよそ 1~1.5 ノット程度。水中ドローンの中には 3~4 ノットの推進性能のものもあるが、完全な定点保持は難しいのでは。
水中でのドローンの視認が難しい場合、位置確認はどのように行っているか。	2つの手段がある。1つは USBL を用いる方法。ただし、深度方向で誤差が大きくなるため、船底での使用には検証が必要。2つ目は MNB ソナーを使う方法。ソナーにより周囲の構造物を把握することで実機の位置を推定できる。 ⇒USBL を使う場合、技術的に難しく数 m の誤差が生じるのではないかと。また、船底での運用を考えた場合、USBL のトランシーバーを降ろすときに、数十 m 降ろす必要があるため、ケーブル、はしご等を用いた特殊な手段が必要となるのでは。 ⇒船底での運用を考えると、USBL では誤差が大きいため、確かに MNB ソナーの活用が適していると感じる。トランシーバーの現状の降下方法に関しては船舶に強固に取り付けることで対応しているが、将来的には船から切り離れたブイのような運用方法を検討している。あるいは、USBL は通常誤差が大きいが、 μ PAP という高性能な装置を用いれば、より高精度な自己位置推定できるので、船底においても USBL の活用手段があるのでは。
海面への投入・揚収方法並びに故障時の回収方法を教えてほしい。	同社の ROV は 30 kg 程度であり、最低 2 名の人員で投入・揚収可能。ROV はケーブルに繋がっており破断強度が非常に高いため、故障時はケーブルを手繰り寄せることで回収可能。
船底の形状をマッピングすることができるか。	潮流や水中の濁りの影響を考慮する必要があるが、ソナーを使えば技術的には可能。将来的には 3D マッピングできるようなソナー技術が登場する可能性もある。

(3) 実証実験の実施について

当初、クローラーや ROV を用いた実証実験の実施も想定していたが、新型コロナウイルスの影響により、実船での実施が困難である現状を鑑み、ドローン以外のロボットを用いた実証実験の実施は見送ることとした。

2.6. ステークホルダー間の情報共有

検査データなどの情報のやり取りは現状、紙ベース、メールベースとなっているため、関係者と情報共有を図る際に工数がかかっている。船舶は多数のステークホルダーにまたがる話が多く、これらの情報をクラウドなどのプラットフォームで共有することのメリットは大きい。そこで、本検討会に複数のステークホルダーが参加しているという利点を生かし、ステークホルダー間の情報共有をテーマに検討を行った。

多様なステークホルダーと情報共有を行うためには、下記について整理を行う必要がある。

- ・共有すべき情報

- ・セキュリティの要件定義
- ・ツールの標準化
- ・情報共有のためのプラットフォーム

そこで、インフラ点検等で検討されているドローンサービスの事例（図 2.9）を参考に、船舶での活用イメージの作成を行った（図 2.10 参照）。検討会メンバーより寄せられた主な意見は以下のとおり。これらを踏まえ、実施する実証実験方案の作成を行うこととなった。実証実験の詳細については、3.2 節で後述する。

<検討会メンバーより寄せられた主な意見>

- ・ 船級検査の簡素化（リモート化）やメーカーとの現場情報共有（不具合時等）に有用と思うため、具体的な効果が分かる陸上の例があれば参照したい。
- ・ 「情報共有できると嬉しい事」「検査フローなどで効率化できると嬉しい事」などをヒアリング・議論するまでが勉強会の位置づけになると考えられる。以降は、要件定義～設計工程のような議論になっていくと思うので、どこまでを実証実験として実施するかを議論する必要がある。
- ・ 他の項目と性質が異なるため、結果の得られる実証実験ではなく、将来の為に情報共有の考え方のベースを整理する事になるのでは。
- ・ 情報共有はすぐに効果がでることも多くありそうな気がする。
- ・ 「情報共有できると嬉しい事」「検査フローなどで効率化できると嬉しい事」などをヒアリング・議論したい。

1. 日立システムズ ドローンサービスの特長

HITACHI
Inspire the Next

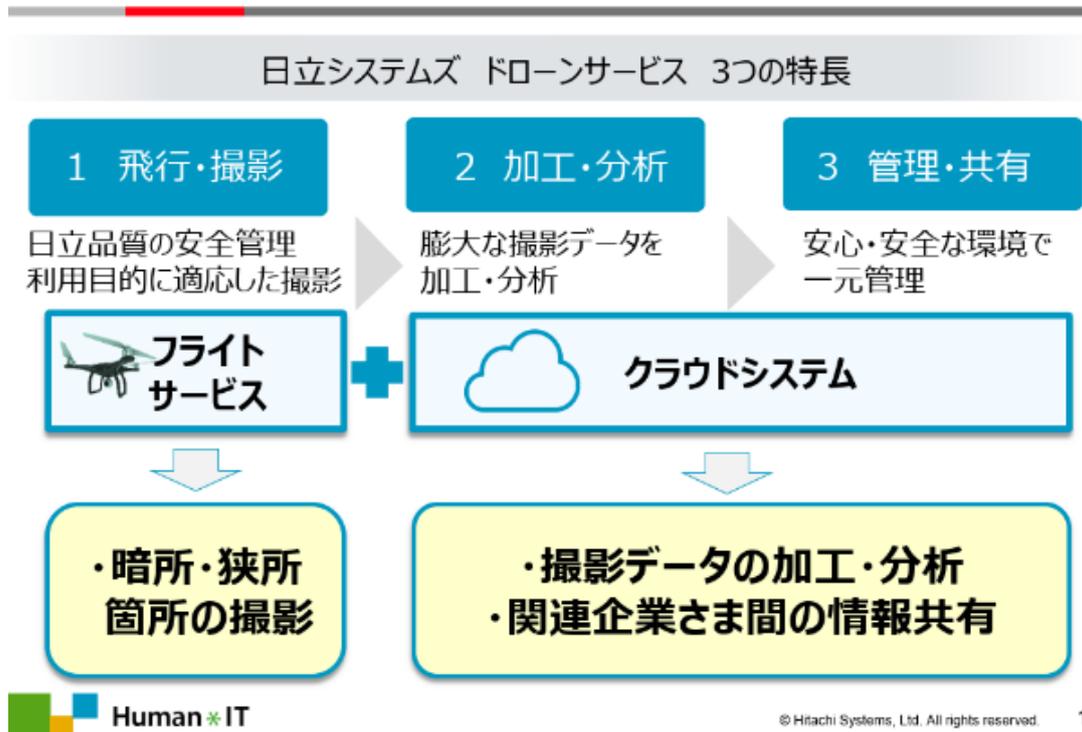
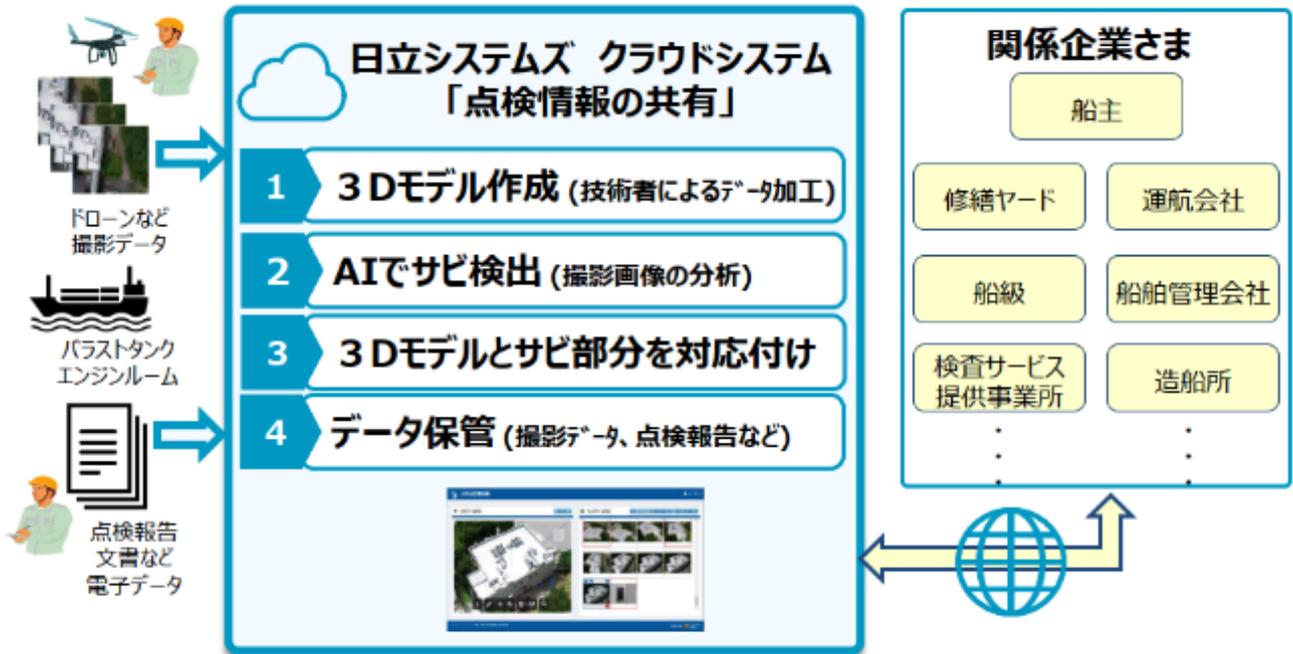


図 2.9 インフラ点検等で検討されているドローンサービス（第 2 回検討会資料より抜粋）

3. クラウドを利用した情報の共有

撮影画像を活用したデータ加工や画像分析をクラウドで実現。
さまざまな点検情報に関係する企業さま間で共有できます。



<イメージ図>

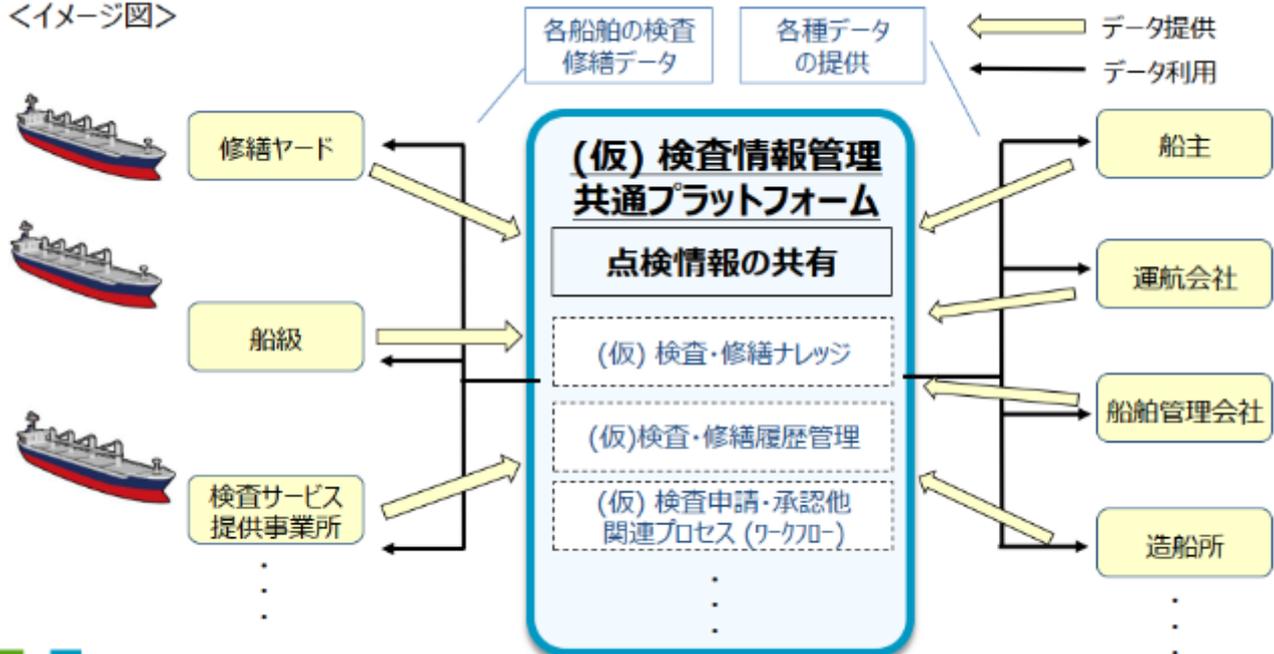


図 2.10 船舶の点検情報共有 (案) (第 2 回検討会資料より抜粋)

3. 実証実験の実施

2章で行った予備検証を踏まえ、実証実験を実施した。その詳細を以下に示す。

3.1. 測量用ドローンを用いた盤木配置の確認（ドローン：船外飛行）

(1) 概要

個々の船において入渠前にドッキングプランと前回盤木配置図から今回の盤木配置図を作成し、盤木を配置するが、配置図との最終確認は担当者が盤木ピッチや高さを計測して最終確認している。ドローンを飛ばし、3次元的に盤木配置を計測し、今回の配置図と比較し、その差をアウトプットし、担当者が確認することができれば作業効率化につながる。そこで、本実証実験においては、測量用ドローンを用いて盤木配置図と実際に配置した盤木の整合性の評価を行う。

(2) 結果

得られた結果を箇条書きで以下に示す。詳細は資料5を参照されたい。

- ・ ドック上空を計画した飛行ルートに沿って安定飛行することが確認できた。当初、クレーン等の影響（配置や電波障害）も心配されたが、問題なく飛行した。
- ・ ドローン撮影した画像から盤木の形状と配置を再現した3Dデータも作成できた。
- ・ 盤木の整合性確認の際に生じた誤差は数cm～数十cm程度。誤差が発生する1つの要因としては、3Dモデルで測量する際に対象物の端点を正確に捉えられていないという人為的誤差も考えられる。
- ・ 本実証実験で実施したようなドローンを使用した測量を実施するためには、ドローン本体に加え、マーカ―や解析等に使用するためのデータ処理ツールが必要。

(3) ビジネスメリットについて

本実証実験で実施したようなドローンを使用した測量を実施するためには、ドローン本体は当然として、その他、マーカ―や解析等に使用するためのデータ処理ツールが必要となる。また、それ以外にもドローンを飛行させるための資格取得や行政への手続きを含めた実施手順の具体化が必要となる。

本検証を通じて作業効率化に繋がる可能性は確認できたが、実際には初期投資やメンテナンス・ライセンス更新等のコストがかかるため、費用対効果の検証も必要となる。この点については、本実証実験では検証できていないが、効果を最大化するためには、盤木の配置確認以外の作業でもドローンを活用することが重要になると考えられる。盤木確認以外の部分で、造船所がドローンを活用できる場面としては、建造工程の進捗確認や、クレーンの点検業務等が見込まれる。

3.2. 最先端技術を活用した船舶検査の効率化の検証

(1) 概要

本実証実験においては、船舶のC/Hの撮影を行い、その撮影データをクラウドサービスを通じて、船主、船舶管理会社、修繕ドック、検査事業者、ロボットサービス提供事業者、船級協会で共有することで、船舶の点検や検査を効率化できることを検証する。具体的な実施内容は以下の通り。

- ① カーゴホールド全体を撮影

- ② 撮影したデータを合成
上記①で撮影したデータをクラウド環境へ伝送し、データ処理（3D化、オルソ化）を実施。
- ③ 3D化したデータから、検査箇所を指定（検査箇所のスクリーニング）
上記②で作成したデータから、後述する④で実施するドローンによる検査箇所を指定する。
- ④ 指定箇所をドローンで撮影
上記③で指定した特定箇所を、ドローンを用いて撮影する。
- ⑤ ドローンで撮影した画像を②の3Dデータへ反映
上記④で撮影したデータと②で作成したデータをクラウド上で紐付けし、管理する。
- ⑥ 検査結果をステークホルダー間で共有
上記①～⑤で撮影した内容を、クラウド上でステークホルダー間に共有する。

当初は、就航船を対象に、これらを一貫して行うことを予定していたが、コロナ禍により訪船によるドローン飛行が困難となったことから、実施項目を「情報活用検証」と「ドローン検証」に分割して実証実験を実施した。（図 3.1 参照）



図 3.1 実証実験の分割実施

「情報活用検証」のうち、①～③については、資料 6 に詳細報告をまとめているのでそちらを参照されたい。また、「ドローン検証」の④と⑤については、資料 3 の実証実験で得られたデータを流用した。⑥の情報共有のためのプラットフォームには、㈱日立システムズのドローンクラウドサービス「ドローン

運用統合管理センター（DIC）」を使用した。

(2) 結果

検討会メンバー（船主、船舶管理会社、修繕ドック、検査事業者、ロボットサービス提供事業者、船級協会）で情報共有を行い、それぞれの立場から意見出しを行った。検討会メンバーから寄せられた主だった意見は以下の通り。

<有用と感じた点>

- ・ 定期的に 3D モデルやオルソ画像を作成し、クラウド上で保存することで、経年劣化の把握、可視化に有効
- ・ クラウド上で、データ解析やデータ処理が可能
- ・ クラウドにアクセスできれば任意の場所から目的のデータを閲覧可能
- ・ 2D 画像にコメントを入れれば簡単に EXCEL レポートを出力できるのが便利
- ・ 3D モデル表示から、どこの場所の画像か把握が容易
- ・ プロジェクト毎のデータ管理が容易
- ・ 一般的な PC を用いて容易にデータにアクセス可能
- ・ 高性能ワークステーションや、専用アプリのインストールが不要
- ・ データ容量の大きい画像を扱うが、操作感は許容範囲内

<課題と感じた点>

- ・ 画像データが多いため、見たいデータの画像に辿り着くまでに時間がかかる
- ・ スペックの低い（ネット回線の遅い）PC で 3 次元管理台帳を開いた際に、画像の表示に時間がかかった
- ・ 編集履歴が残せるとよい
- ・ 選択したファイルに対して、何が表示できるのか、オルソ画像が作成できるかなど、一目で判断することが難しい
- ・ 最終的には、クラウド上で保存・共有するデータの質が重要になるのでは（サビ・クラック判定 AI の精度、画像の鮮明さ等）

<あれば活用の幅が広がると感じる追加機能について>

- ・ 自分が見たいデータまで、瞬間的にアクセスすることができる機能
- ・ ひびや損傷図などを、時系列でレイヤー構成のように重ね合わせてみえると、時間的な劣化など変化が分かりやすい（レイヤー構成のような重ね合わせ機能）
- ・ デジタルツインを使ったひびなどの劣化進行推定機能

<船舶の検査・点検への活用イメージについて>

- ・ 訪船前の検査・点検計画立案の補助
- ・ AI を利用した 1 次スクリーニング

- ・ 経年劣化の傾向把握のためのデジタルツイン的活用
- ・ データの共有と、長期的な保管、一括管理
- ・ タンク、ホールド内の経年劣化の把握のための活用
- ・ 定期検査における劣化傾向の把握支援ツール
- ・ 水中ドローンによる「船体没水部撮影」により、船底調査用の解析ツールへの応用
 - a) 船底没水部への海洋生物付着割合を特定する（ニュージーランドや豪州の要求事項として、船底部への海洋生物付着に関するリスク管理基準があるので、この分野に応用できそう）
 - b) 船底ダメージ部のダメージ寸法&ダメージ面積の特定

(3) ビジネスメリットについて

本検証では、実船を使った検証ができなかったこともあり、「情報共有することにより生まれる価値」というよりは、「クラウドサービスを活用するメリット」に寄った意見が多く集まった。当初の趣旨とは少しずれてしまった部分もあるが、クラウドサービスを積極的に活用していくモチベーションが業界内で共通的に生まれることで、情報共有の在り方に対する議論も深まることが期待される。

4. ロボティクス技術を活用した運用モデルの提案

本検討会では、予備調査、事前検証、実証実験等、様々な活動を行ってきた。これらの活動を通じて得た知見をもとに、海事業界におけるロボティクス技術の運用モデルを以下の通り提案する。

4.1. 船側外板の損傷時の初動調査へのドローンの活用

(1) 概要

船舶では、岸壁や荷役設備、他船との衝突により船側外板に凹み等の損傷が生じることがある。そのような場合、損傷範囲を大まかに掴むために、初動調査として船員が写真を撮り、関係者への連絡を行う。ドックでの修繕が必要となるときは、その情報から修繕ヤードは損傷状況を把握し、修繕計画を立案する。しかし、撮影のタイミングは航海中、あるいはアフロートとなることもあり、損傷個所に接近して撮影することが難しい。一方で、ドローンを使うことができれば、環境に制限されず、損傷個所に近いところで撮影することができるため、より正確な損傷範囲を確認することができる。

(2) 期待

岸壁や荷役設備、他船との衝突により船側外板に凹み等の損傷が生じた場合、損傷範囲を大まかに掴むために、船員がドローンを用いて損傷個所の撮影を行うことができれば、的確な情報を安全に取得でき、迅速に関係者へ展開することが可能となる。これにより、検査や修理を迅速に行うことで、船舶の不稼働損の軽減につながることを期待される。

(3) 課題

船員がドローンを操縦する必要があるため、操縦スキル（必要な場合は資格も）を取得する必要がある。GNSS 環境下である船外であれば、操縦支援機能が充実している機体や自動飛行が可能な機体があるため、技術的というよりは法的対応が主な課題となる。

(4) 今後の展望

船員がドローン操縦スキル（ライセンス）を簡便に獲得するための仕組みや飛行許可の取得の簡便化が必要である。

4.2. 船体構造に対する船員の自主点検や検査員による内部・精密検査へのドローンの活用

(1) 概要

ドローンを用いて船体構造（特に高所）の撮影を行うことで、船員や検査員による目視の代替とする。

(2) 期待

ドローンを船舶内で使用する大きなメリットの1つとして、安全性を確保しつつ簡便に目視作業が行えることが挙げられる。カーゴホールドには、はしご等の固定点検設備が設置されているケースもあるが、設置位置は限られており、高所作業となるため落下の危険と隣り合わせとなる。また、船齢の増加に伴い、固定点検設備も老朽化してくるため、使用する際には細心の注意が必要となる。船種によっては、

チェリーピッカー等を使用することもできるが、使用できる時期は入渠時に限られておりコストや工数もかかる。ドローンが船内で使用できればアフロート、あるいは航海中でも、船員の自主点検としてカーゴホールド内の状態が確認でき、船舶の状態監視・維持に役立つことができる。

船級検査においても、内部検査や精密検査の目視作業をドローンにより代替することが可能。検査員が目視で腐食等の状況を確認する内部検査においては、確認した疑わしい箇所に対して、ドローンによる近接撮影で追加調査が実施できるため、検査品質の向上につながる。また、精密検査では、手の届く範囲まで近接して実施することが原則となっており、船員の自主点検の時と同様にアクセス手段の問題が生じるが、ドローンを適用することで検査の効率化やアクセス手段を確立するための工数や費用の削減が期待される。

(3) 課題

船員の自主点検に関しては、船員がドローンを操縦する必要があるため、4.1 節と同様の課題が存在する。特に、非 GNSS 環境下となる船内飛行は、船外飛行に比べて相当高い操縦技術が求められる。

船級協会の精密検査においては、板厚計測と一緒に実施され、船齢の古い船舶や定期検査の際は板厚計測の要求箇所が多く、また、腐食等で状態が悪い箇所は追加の板厚計測が必要となる。目視検査の代替としてドローンを活用したとしても、結局は板厚計測のためにチェリーピッカーや足場組立を必要とすることになり、ドローンを精密検査に活用するメリットが薄れてしまう。

(4) 今後の展望

船舶の保守保全は船舶の安全に大きく影響する。ドローン等のロボティクスを活用することで、保守保全を適切に行うために必要な情報を容易に入手できるようになれば、船舶の安全性向上につながる。また、手軽に情報を取得できるようになれば、確認頻度の増加にもつながり、損傷等不具合の早期発見にもつながる。費用面においても、検査や点検が効率化されることで、関連費用や船舶の不稼働損の削減も期待される場所である。

ドローンと併用で活用できる板厚計測ロボットの登場や非 GNSS 環境下でも操縦が容易なドローンの低価格化が待たれる。近年様々な業界でドローンの屋内利用への需要が増しており、屋内対応のドローンが登場し始めている。今後さらに技術開発が進むことで、コストと機体性能を両立したドローンが登場し、よりドローンを導入しやすくなることが期待される。

4.3. カーゴホールド等における直接アクセスの難しい箇所への板厚計測へのクローラーの活用

(1) 概要

永久磁石式のクローラーを用いて、カーゴホールド等の板厚計測を実施する。

(2) 期待

4.2 節で言及した通り、船級検査では板厚計測が要求される。そのため、クローラーを用いて、板厚計測まで実施できれば、チェリーピッカー等の準備や高所作業が不要となるため、さらなる安全性の確保や検査の効率化、費用削減につながることを期待される。また、車輪に永久磁石を使用しているため、バッテリーや機器に不具合が生じた場合でも、落下の危険性がかなり低く、ドローンと比べると冗長性に

優れているといえる。

(3) 課題

クローラーのオペレータには板厚計測の資格が求められる。また、実際の計測箇所は錆を落としてから計測するようなどころも多く、板厚計測機能しかないロボットでは、腐食箇所には適用できず、利用範囲が狭まる。そのため、船内で板厚計測を実施するためには、錆落とし機能が必要となる。

また、船体構造は部材が多く配置されており、クローラーにとって走行可能エリアが問題となる。例えば、ホールドフレームの板厚計測を実施する際に、ビルジホッパータンクの斜板から船側外板というような2面間を移動するができなければならない。少なくとも2面間を移動ができるだけの走行性を有していないと、適用箇所は相当に限定されてしまうことになる。

(4) 今後の展望

クローラーを用いて板厚計測する場合、走行面だけではなく隣接する面も計測できれば効率化につながる場面が多い。例えば、図4.1で示すホールドフレーム側を板厚計測する場合、①～③の3つの面に対して実施する必要がある。クローラーで①の面を走行し計測する際に、②、③の板厚も計測できれば更なる作業効率化につながる。そのため、近傍の複数の面で板厚計測が実施できる機構（マニピュレータ等）があれば、クローラー導入のモチベーション向上につながる。

その他、クローラーはドローンと違ってペイロードに余裕があることから、板厚計測以外の機能を付与しやすい。錆落としも可能な清掃機能とカメラによる目視機能を追加できれば、1台3役といった活躍も期待できる。

加えて、板厚計測と目視検査を同時にクローラーで行えるようになれば、ビッグデータ分析にもつながることができるようになる。対象船舶の要目（船種、船齢等）、画像データ、板厚計測データ（計測箇所も含む）をAIに学習させることによって、腐食の状態や船種、船齢等の情報からどれだけ板厚が減少しているか、ある程度予測できる可能性もある。このような付加価値も認識され始めることで、ロボティクス導入のモチベーションとなることも期待したい。

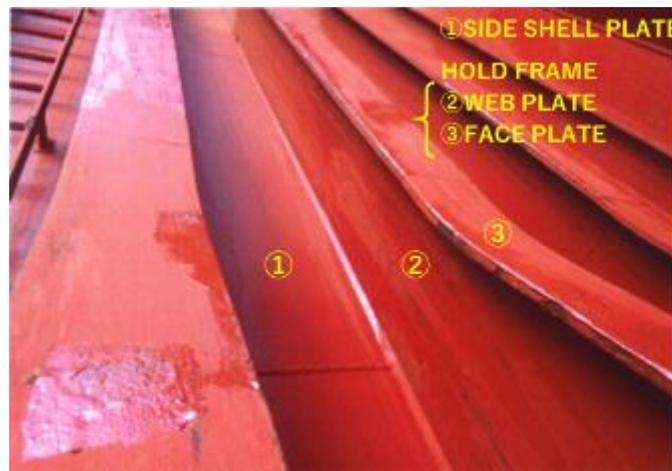


図 4.1 ホールドフレームの外観

本検討会では深く調査しきれていないが、配管内部の検査に使用されているクローラーもある。船舶にも多くの配管が存在しているので、そういった船舶配管の検査にも活用可能なクローラーの登場も期待したい。

4.4. 造船所におけるドローンの活用（1台多役）

(1) 概要

1台のドローンで以下の作業を実施する。

- ・ 入渠直後の船側外板や高所に取り付けられている艀装品の状態確認
- ・ ドックやクレーン等の設備の点検
- ・ 入出渠・離接岸時の操船作業支援
- ・ 盤木配置の確認

(2) 期待

修繕ドックにおいては、入渠直後に船側外板に局所的な凹み等がないか、全体的に変形していないかなどを、遠目で目視点検を行っている。その他、船舶のマストや煙突構造上部等の高所に取り付けられている艀装品や取り付け台に対し、腐食・き裂・緩み等がないかを足場仮設や高所作業車を使用している。このように、修繕時の点検に関しては、C/H や WBT といった船内だけでなく、船外での高所作業も多い。また、船舶に限らず、ドックやクレーン等の設備の点検の際にも高所作業が発生する。こういった作業をドローンで代替することへの期待は大きい。

また、点検以外の業務でも、細心の注意を払う必要のある入出渠・離接岸時に、ドローンで上空から撮影した映像を活用することで、操船作業を支援することも期待できるし、本検討会で検証したように、盤木配置の確認にもドローンの活用が期待できる。

一方で、これらのニーズに対し、単発でドローンを活用するだけでは、ビジネスメリットも極めて限定されてしまう。基本的には、GNSS 環境下で安定して飛行できるドローンがあれば、前述したニーズの大半を技術的には達成できると考えられるため、例えば、修繕ドックでの活用を考えたときに最適なドローンの仕様が具体化されれば、ドローン等のロボティクス導入のモチベーションにつながる。

(3) 課題

造船所内は高電圧を必要とする設備が多い。また、レーダー等の電波を発する機器の試験が行われることもある。そのため、電波干渉等の影響について、事前に確認する必要がある。

これ以外にも、市販のドローンは飛行時間が20分程度のものが多いが、入出渠・離接岸時の操船支援等に使用する場合は長時間のフライトが求められる。

実際に導入につなげるためには、費用対効果の可視化も必要となる。そのためには、ドローンの導入によって、どの作業が不要（あるいは軽減）となるのか、どの費用が不要（あるいは軽減）されるのか、といった検証プロセスの具体化（できるなら標準化）も必要である。

(4) 今後の展望

現在は、いわゆる「造船所用ドローン」といったものが存在しておらず、既製品をベースに運用方法を

どのように工夫できるかといった検討している段階である。一方で、ドローンの技術開発は日々進んでおり、有線ケーブルを用いることで半永久的に飛行可能なドローンなども登場している。

本検討会を通じて、ロボティクス側にも造船所のニーズと現状についてある程度理解してもらえたと思われる。造船所専用にチューニングされたドローンの開発が進むことを期待したい。

4.5. ROV を用いた船底点検

(1) 概要

ドライドックや水中ダイバーの代わりに ROV を用いて船底の状態を確認する。

(2) 期待

海事業界において、船底の状態把握のニーズは強い。例えば、船底にはアオサやフジツボ等が付着してしまうため、定期的にクリーニングすることで、燃費削減につなげることができる。その他にも、規則により船底検査が求められており、入渠させる、もしくはダイバーを手配する必要がある。また、港によっては、環境への配慮から船底状態を確認してからでないと入港が認められないケースもある。

これらを ROV で手軽に行いたいというニーズは存在しており、清掃まで行うとなるとハードルは上がるが、カメラ映像による状態確認であれば、既製品での対応が十分可能であるところまで来ている。

(3) 課題

ROV の操縦自体はそこまで難しいものではないが、船底まで潜るとなると目視外操縦となり、ある程度の経験がないと ROV がどこを映しているのかわからなくなってしまう可能性が高い。

また、リーズナブルな価格帯の製品ほど潮流やうねり、海水の濁度といった外的影響も受けやすい。特に、潮流に関しては、ROV の推進力が潮流に負けてしまうような環境下では全く使用できないことになる。

(4) 今後の展望

潮流やうねりに対しては、ROV を大型化することで技術的には対応可能である。また、濁度に関してもカメラ性能や画像解析の技術も向上してきており、対応可能な範囲が広がってきている。あとは、費用対効果のところとなるため、海事業界より「必要最低限のスペック」と「費用感」を具体化することが重要となる。

なお、また、ROV のポジション把握のための技術開発も進められているようだが、まだ研究開発の段階である。この点については、ロボティクス側の更なる活躍に期待したい。

4.6. 検査・点検作業の効率化・高度化に向けたクラウドサービスの活用

(1) 概要

検査や点検作業に関するデータ（ドローンやクローラー等の RIT で取得したデータも含む）をクラウドサービスを活用して、管理・分析・共有を行う。

(2) 期待

クラウドサービスでは大容量データを含めた情報共有が可能である。本検討会で行った実証実験のように、ドローン等の RIT で撮影した映像や 3D モデルのような大容量のデータであっても、クラウドを介することで、ステークホルダー間で共有することができる。その上、これまで発生していた関係者間でのメールのやり等をクラウド上のプラットフォームで実施することができれば工数削減が期待できる。

情報共有だけではなく、デジタルツイン的な活用ができるということも利点として挙げられる。定期的を実施する検査・点検の結果をクラウド上のプラットフォームで管理することで、可視化により経年劣化の把握も容易となる。例えば、タンクやホールド内の塗装の検査・点検結果を時系列で整理することで、大まかな劣化傾向を把握することもできると考えられる。

さらに、AI 等の解析ツールを活用することも可能となる。本検討会の実証実験で利用したクラウドサービスのよう、保管しているデータを AI で解析する機能を有しているものもある。貨物船のカーゴホールドのような広い空間に対して、ドローンの撮影映像から全体を確認する際に、AI 等を使って腐食やクラックの一次スクリーニングを実施することができれば、検査・点検の効率化につなげることができる。

(3) 課題

異なるステークホルダー間で共有できるというメリットがあるという一方で、秘匿性の高いデータを取り扱う場合は、アクセス権限を付与し、各ステークホルダーあるいは、各個人により編集や閲覧の制限を設定することが必要となる。また、クラウドにアップロードしたデータに対する改ざん防止策を設ける必要がある。このように、クラウドサービスを複数のステークホルダーで取り扱う場合は、セキュリティ要件について検討し対策することが求められる。

また、クラウドサービスを利用する際は通信環境に注意が必要となる。クラウドサービスはインターネットが使える環境であれば利用できるが、船舶は移動体であるため、通信環境が整っていない状況も多々存在する。そのため、船員がドローン等の RIT で取得したデータは、通信環境が安定している入港時に実施する等の工夫が必要となる。

(4) 今後の展望

本検討会の実証実験により、クラウドサービスのポテンシャルを認識することができたとともに、船舶の検査・点検という具体的事例において協調領域のイメージ合わせを行うことができた。今後、クラウドサービスの使用経験が蓄積されてくれば、「情報共有することにより生まれる価値」についても最大化しようとする動きの活性化が期待される。

海事業界には既に IoS-OP という海事業界内で合意されたルールとデータセンターで構成された共通基盤が存在している。IoS-OP は船舶の運航データを対象とした共通基盤だが、ここにロボティクスの活用といった視点も加えることで、船舶の点検、メンテナンス、検査の実効性が高まり、結果として更なる船舶の安全性向上が期待される。

5. まとめ

本検討会での活動を通じ、船社、修繕ドック、検査事業者、船用機器メーカー、ロボティクス関連企業、研究機関、船級協会等の複数の業界関係者が現状の検査・点検業務に対して抱える固有の課題や共通の問題について整理することができた。また、それらのニーズに対して実証実験を実施し、得られた知見をもとに、ロボティクス技術を活用した運用モデルを複数提案することができた。

検討会立上げ時と比べると、様々なロボティクス技術の開発が進んでいる。ドローン分野では、2022年12月に日本国内において、レベル4（有人地帯における目視外飛行）が解禁予定であり、物流等様々な業界でドローンの利活用拡大が期待されている。レベル4では、運航体制の効率化・省人化のための研究として、自律飛行技術の開発が進められている。船舶の検査・点検でもドローンが自律飛行できれば、オペレータの技量に依存することなく運用できるようになるため、活用の幅は広がる。また、感染症対策の一環としてデジタル化が促進され、クラウドサービスも様々な場面で活用されるようになり、身近な技術となってきている。

一方で、どんなに優れた技術・ツールであっても、うまく使いこなせないと宝の持ち腐れとなってしまう。近年、ConOps（Concept of Operation）という言葉が時々耳にするが、システム・エンジニアリングで用いられている言葉のようで、ISO/IEC/IEEE 29148の中に記載されている（図5.1参照）。ConOpsは、システムの利用・運用の概念、概要をまとめた文書のことを指しており、ステークホルダー要件、システム要件を引き出す上で重要な文書として位置づけられている。システムの要件定義は必要とする能力や機能に目が行きがちなため、システムのライフサイクル全体を網羅した利用・運用のシナリオを描くことで、漏れのない（あるいは少ない）要件定義が可能になるとされている。

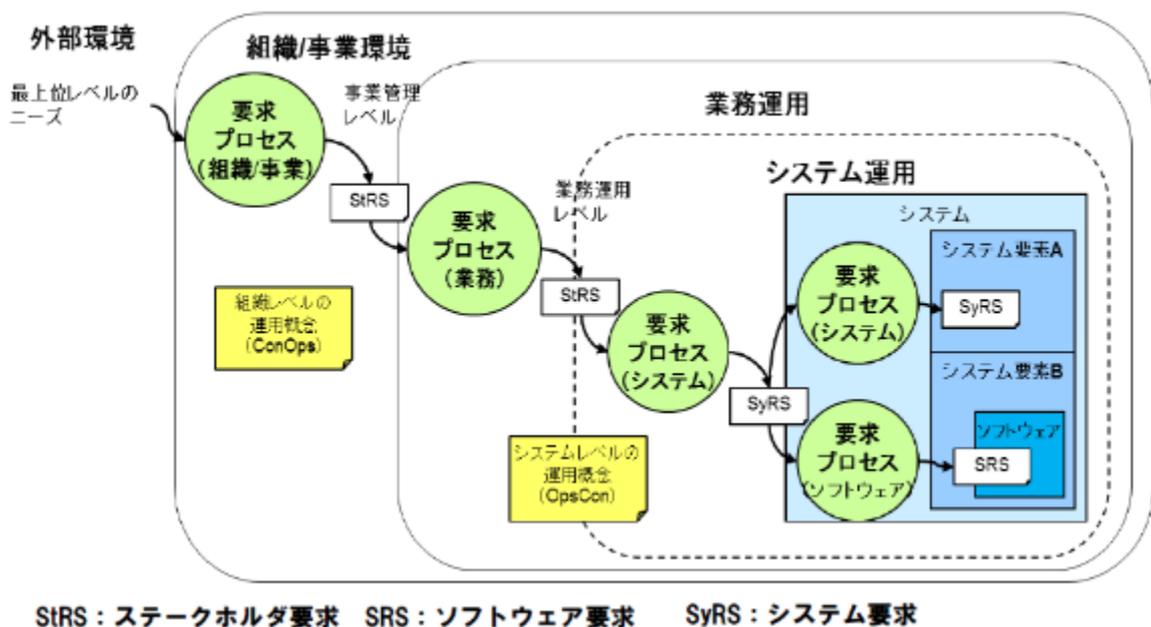


図 5.1 要件定義プロセスの流れと対応する要件仕様書の例（出典：ISO/IEC/IEEE 29148）

ロボティクスの活用においても、この ConOps が重要である。海事業界として、ロボティクスをどのように活用し、どのようなメリットを生み出したいのか、ライフサイクル全体を網羅した利用・運用のシナリオをきちんと描き、協調領域として共有することが重要である。

本検討会は、コロナ禍の影響を受け、必ずしも当初思い描いていたような活動とはならなかったところもあるが、検討会メンバーの協力により、本報告書を書き上げるに至った。関係者全員に感謝の意を表す。

本報告書が、ロボティクス技術の船舶の検査・点検への活用に少しでも寄与することができれば幸いである。

別添資料

- 資料 1 海事業界関係者（船会社、修繕ドック、検査事業者、船級協会）がロボティクス技術に抱くニーズ
- 資料 2 ロボティクス関連企業が持つロボティクス技術のシーズ
- 資料 3 福島 RTF における最先端ドローンの性能検証
- 資料 4 発電所等の他分野で活用実績のあるクローラーの実地調査
- 資料 5 測量用ドローンを用いた盤木配置の確認.
- 資料 6 第 6 回検査・点検ロボット運用モデル検討会向け資料（資料 6-2 手取り撮影、画像処理技術の実施結果報告）