

未来の船舶技術に関する調査研究

松尾 宏平*

Investigation Research on Future Technologies for Maritime Industry

by

Kohei MATSUO

Abstract

Investigation research is conducted on future technologies for the maritime industry in collaboration with Japan Ship Technology Research Association (JSTRA). In order to discuss the image of future ship technology, comprehensive investigation is conducted for case examples of utilization of innovative technologies in other industries, and the applicability of these technologies is verified for maritime industry. Advanced research and development are investigated through literature survey and interviews with concerned parties. And technologies that could be applied to ships in the future are extracted. Individual technologies are analyzed from the viewpoint of technology development level and impact of innovation, and important technologies for R&D in short and medium term are extracted by creating a technical strategy map (Chapter 2). In addition, scenarios for future ships and logistics by those are envisioned based on investigation result (Chapter 3).

* 構造基盤技術系

原稿受付 平成31年1月28日

審査日 平成31年2月18日

目 次

1. まえがき	72
2. 先進的研究開発動向の調査	72
2.1 将来の研究開発の方向性（概観）	72
2.2 注目すべき将来の船舶技術の抽出	76
3. 革新的技術に基づく未来の船舶 将来シナリオの検討	84
4. まとめ	88
参考文献	88

1. まえがき

2014 年度、一般財団法人 日本船舶技術研究協会と連携し、海事産業における将来技術について調査研究を実施した。これは、他産業等における革新的技術の利用や世界の海事分野における船舶技術の取り組み事例を調査し、それらの我が国海事業界への適用可能性について検討を行うことにより、10 年後、20 年後、30 年後の未来の船舶技術のイメージを議論するための基礎資料を作成するものである。

具体的な進め方として、始めに、文献調査、関係者へのヒアリング等により、他産業、国内外の大学・研究機関・メーカー等で取り組んでいる先進的な研究開発動向を調査し、将来における船舶への適用可能性のある技術を抽出した。次に、技術開発レベル、革新性の観点から、個々の技術进行分析し、その結果に基づき技術戦略検討マップを作成することで、短・中期的課題を検討した（第2章）。更に、抽出した革新的技術に基づく未来の船舶について将来シナリオを構想した（第3章）。

2. 先進的研究開発動向の調査

他産業、国内外の大学・研究機関・メーカー等で取り組んでいる先進的な研究開発の動向を調査した^{主要なものとして1)~141)}。

2.1 節では、今回の調査を通して得られた将来の研究開発の方向性について概観を報告する。2.2 節では、調査した研究開発事例から注目すべき将来の船舶技術として抽出した各技術（6 分野、116 事例）について報告する。抽出した個々の技術について、技術開発レベル、革新性の観点から分析し、その結果に基づき技術戦略検討マップを作成することで、短・中期的課題を検討する。

2.1 将来の研究開発の方向性（概観）

将来技術に関する調査では、国内外の大学、研究機関、メーカー、シンクタンク等の研究開発動向について網羅的な情報収集に当たった。

始めに、現在の研究開発の動向、将来における研究開発の方向性、最先端の科学技術が及ぼす将来の船舶、造船、海運の可能性について概観を述べる。なお、ここで記述している内容は、その妥当性について客観的な検証を行っているものでなく、また、先端技術導入の延長線上で考えられる可能性を述べたもので、そうなるべきと示唆しているものではないことに留意されたい。

【全体】

- ・ 先端的な研究開発が活発に行われているのは、ある特定の分野に集中している傾向がある。それらの分野とは、環境・エネルギー関連、ナノテクノロジー関連、情報技術関連、ライフサイエンス関連である。技術ロードマップ作成や政府の研究開発予算もこの分野に集中的に投資されている。このうち、環境・エネルギー関

連、ナノテクノロジー関連、情報技術関連の研究成果は、直接的に将来の船舶技術の要素技術となりうるが、ライフサイエンス関連でも脳科学の研究等、将来の船舶技術への応用につながる可能性がある。

- ・ 将来の科学技術は、技術分野間の壁がなくなり、分野の融合化、統合化に向かうものと思われる。今後、研究開発で優位性を築くには、単一の技術の深堀ではなく、現在は他分野・異業種とされている技術要素を積極的に取り込み、融合する姿勢にあるように思える。
- ・ 船舶分野における先端的研究開発は米国で多く見受けられた。それらの研究開発は、専ら軍事関係機関によって実施されているが、民生部門でも応用できるものが多い。
- ・ 現在の常識を根本から変えうような、いわゆるゲームチェンジング・テクノロジーについて、船舶分野においては、情報技術による造船、運航、物流の変革、ついでナノテクノロジーによる材料開発が有望であるとの印象を受けた。

【材料技術】

- ・ 鉄鋼材料については、より高強度で、しなやかな鋼材の研究開発が行われており、これらの成果が順次、造船業に取り込まれていくことはこれまでの通りであろう。一方で、材料のスマート化、機能性材料化については鉄鋼以外の素材分野が積極的のようである^{18), 25), 34), 89), 91)}。
- ・ 将来の船舶材料は、様々な素材（鉄鋼、炭素系材料、有機材等）の複合化に向かうことは必至のように思える。特に炭素系材料は航空機や自動車のCFRP化の通りで、更にその先、カーボンナノチューブ（CNT）やグラフェン等のナノ炭素材料の適用は将来の船舶を革新的に変革するゲームチェンジング・テクノロジーになりうるものと期待される。船舶は、これまで、木造から鉄鋼構造物へと移ってきたが、次なる革命として炭素化があるかもしれない。
- ・ ナノ炭素材料は、優良な構造材としてだけでなく、半導体や熱交換器等の機能材にもなり、現在の船殻・艤装のあり方も変えうる可能性（例えば、船殻部材に電装材やプリント基板を埋め込む、プリントする発想）を秘めている。超軽量化により、船舶の形態、船型も現在と変わってくることが予想される。シップリサイクルを含めた船のLCA（ライフサイクルアセスメント）に関する考え方も変わってくるであろう。
- ・ 材料・素材に様々な機能を付加する高機能材料の船舶利用が促進されると思われる。材料の透明化³⁸⁾、透過光調整機能、材料表面の界面調整機能（生物模倣技術等）⁷⁹⁾、自己修復機能³⁴⁾、変形材料、センサー埋め込み³⁶⁾等による知能化機能や、新型塗料、フィルム化等は、将来の船舶技術にも大きな影響を及ぼすのは必至であり、他国に先駆けてこのような新素材の船舶適用に関する研究開発を先取りする必要があると思われる。

【数理解析、シミュレーション、設計技術】

- ・ HPC（High Performance Computing、高性能計算）のコモディティ化に伴って、船舶分野でも、複雑な乱流解析や流体・構造の連成解析等が取り組まれている^{5), 18), 22), 81)}が、引き続き、シミュレーションの多様化（マルチスケール化、マルチフィジックス化）、高精度化、高信頼化は進んでいくものと思われる。これにより、将来は、シミュレーションのみで分析や判断（シミュレーションベース設計、一発製造等）、個人やその場の状況に最適化された商品・サービスの提供（オーダーメイド化、オンデマンド化、カスタマイズ社会等）が当然となる社会が実現すると思われる。
- ・ 物理系だけではなく、システムに人間の要素を取り入れたシミュレーション（行動モデリング、人間シミュレーション、ソフトコンピューティング等）や、製品だけでなくそれが提供するサービス面まで含めて、製品価値を最大化するビジネスモデルのシミュレーション（製品サービスシステム(Product-Service Systems, PSS)等）等^{74), 76), 79), 80)}、現象をより広範に、実態に即してシミュレーションするような新しい手法も船舶分野に取り入れられつつある¹⁰²⁾。今後は、古典物理系のシミュレーションだけでなく、より複雑だが実際の現象に即した物理解析、船舶と人、船舶と社会の関わり等、プロセスやネットワーク、ビジネスに関する数理解析が取り込まれていくものと予想される。
- ・ 今後はデータ科学、統計科学が台頭してくるものと予想される。第4の科学（第4パラダイム）*として、「データ科学」の重要性が認識され、例えば、観測データをシミュレーションに適切に取り込み（データ同

化技術), シミュレーション単独では得られない高精度シミュレーションの実現, データマイニング, ビッグデータ解析, 機械学習等による人工知能技術の新展開等が将来の船舶技術にも導入されることが予想される。

*Microsoft Research の Jim Gray らによって, 科学研究手法は以下のように分類されている。

第1パラダイムとは, **empirical** (経験=実験的手法) で, 観察や観測によってデータを集め, それらを経験的に処理していくもの。

第2パラダイムとは, **theoretical** (理論的手法) で, 観測データを分析し, その背後にある論理・法則をつまびらかにしていくもの。ケプラー, ニュートン, マクスウェルらの態度で, 自然の運動の背後に法則 (law) を見いだしていくもの。現象を何らかの方程式 (主には微分方程式) で表現し, その解析解を求める。

第3パラダイムとは, **computational** (計算処理手法) で, 解析解が得られない非線形方程式をコンピュータの演算能力によって, 数値解の形で解いていくもの。現在, 一般的にシミュレーションと呼ばれる手法。

第4パラダイムとは, **data exploration, data-intensive computing** で, 上記の3つのパラダイムを統合し, 膨大なデータと計算能力を大前提にした科学研究手法のこと。

- 設計分野においては, 3D-CAD の広範囲な利用と VR/AR 技術の融合により, 設計の可視化, 検証が進み, 設計ミスが最少化されるようになる。

【製造技術】

- 製造現場においては IoT (Internet of Things) によって, 所定の建造計画に基づき, 鋼材の水切り搬入から切断, 各ステージへの部品搬送まで, 機械同士が通信しあって無人搬送されるのは, 近い将来, 現実となろう。
- ウェアラブル端末や建造モニタリングシステムによって, 建造現場の末端までつながった造船工場では, 建造のすべてを記録することができ, 建造のトレーサビリティが可能となる。造船現場の実力, 造船技能を定量化でき, 我が国の造船現場の競争力を見せる化することができる。
- ICT 技術の導入により, 現在のものづくりの形態, 常識が変わりうる⁵³⁾。現在は, 設計と工作現場で組織や役割が分かれている。また, なるべく分業化することが効率化につながるものと考えられている。ICT 技術, 特にウェアラブル端末や AR 技術等の普及により, 設計と現場で情報 (データ) のシームレス化, 一体化が進む。特に, 造船現場のデジタル化, 3次元データ化の流れは重要で, これによって, 設計部, 生産管理部との意思疎通のギャップ解消だけでなく, 究極的には, 製造現場で仕様を決めたり図面を起こしたりする等, 「現場設計」や, 設計 (特に生産設計) の製造現場への編入が進むようなことも考えられる。
- 将来の製造技術で注目すべきものとして, 3次元プリンティングによる船舶の建造が挙げられる。現時点では, 小物の部品程度しか造形できず, また, 素材にも制限があり, 強度, 仕上がり具合にも満足のいくものではないとの認識が主流であるが, これらの諸問題, 制約は近い将来, 解決されうる。そうなれば, 3次元プリンティングは, 船舶建造にも急速に普及し, これによって同時発生的に材料の複合化 (炭素化, 有機物化) が進展し, 船舶のあり方, 船舶建造のあり方を変える。既に, 米国海軍の ONR (Office of Naval Research) から, 船舶を丸ごと 3次元プリンティングで造形する可能性を模索する報告書³⁴⁾が出ている。また, 米国では家一軒を 3次元プリンターで造形する実績¹⁴⁾もある。ナノテクノロジーの自己組織化技術によって, 生物の成長のように材料が自分自身で成長して製品 (のある一部) を構成するような技術も考えられている。
- 造船の自動化, ロボット化も重要な方向性である。航空業界では, 大型旅客機の製造にロボットを導入する生産の自動化が進んでいる。造船における自動化, ロボット化についてもフォローすべきで, これによってリードタイム短縮, コスト低減, 品質安定・向上等に期待がかかる。特にディープラーニング技術等, 機械学習の応用は重要である。ディープラーニング技術の応用とは, 機械に目を持たせ, 造船に雑多に存在する「認識」を人間から切り離すことである。これによって, 人が行っている典型作業を機械に移行できる。一方, ディープラーニングには学習のため大量のデータが必要となる。今後, 造船におけるデータの収集, 管理がより重要となる。

【情報技術 (ICT 技術)】

- この分野における今後の研究開発の方向性のひとつは, 人とコンピュータ, モノ (船舶, 造船工場) の融合である。コンピュータの超小型化 (ナノチップ化) による現実世界への溶け込み, IoT に代表される人や機

械のセンサー化、次世代通信規格「5G」、超高解像度カメラ、ウェアラブル端末、VR/AR技術等インタフェース技術の高度化により、近い将来、身の回りのあらゆるところにコンピュータが埋め込まれるようになるが、一方で、それらを全く意識しない、コンピュータの透明化が進むようになる。これは実世界（Physical System）とサイバー空間（Cyber System）の融合を意味し、具体的には、実世界に浸透したセンサーネットワークからの情報を、サイバー空間の強力なコンピューティング能力と結びつけ、より効率のよい高度な社会（海運、造船）を実現する取り組みが活発化するものと思われる。

- この動きで重要な面は、膨大な量のデータあるいは全量のデータから、全く新しい知見を発見する取り組み、どのようなニッチな対象についても最適化、カスタマイズ化する取り組みである。既に、テラ単位のデータの相関関係を分析し、経営や政策の決定に活かす取り組みが行われている^{5), 14), 76), 79)}。今後、海洋データ、運航中の船舶データ、造船所の建造データ、船員・作業員からの個人データ（ヘルスマonitoringデータ等）から、これまではデータ化することのできなかった莫大な量のデータを取り扱うことが可能となり、船舶や船舶の運航、建造に関する新しい見方ができるようになる。直感や経験則に頼らざるを得なかった意思決定（設計、生産管理、運航、メンテナンス等）に対して、定量的で合理的な判断を下せるようになる。
- ICT技術と人のかかわりについても新しい局面を迎えることになる。人の脳の情報伝達方式を模倣した新しいアーキテクチャのコンピュータ（ニューロシナプティック・コンピューティング）や、脳科学やそれを応用した情報インタフェース技術の研究成果^{36), 73), 74)}が、造船所における設計、製造、船舶の運航、操船に順次導入され、人の能力の拡張、人の脳とコンピュータが接続される未来が予想される。これによって、思い通りの意思を伝達することや意識と無意識の間のインタフェースを取ることで、意識や記憶をコンピュータにダウンロードすることが可能となる。これらの研究成果は、技能伝承にも活かされ、匠の技や感性を、言葉や文字ではなく、脳に直接伝えること（ニューロフィードバック技術等）ができるようになる。長い時間をかけて地道に育んでいくスキル習得の常識が変わると共に、現在の教育スキームや徒弟制度等の人間社会に大きな影響を及ぼすことになることが予想される。

【海運・物流関係】

- 陸上の世界では、インターネット通販（amazon、楽天等）、小売店、コンビニ等の様々なプレイヤーが、新しいインフラ整備、ビジネスモデルの構築にしのぎを削っている。小売業、流通業だけでなく他産業も参入（大手IT企業、建設大手の清水建設等）し、高度に自動化、情報化された大型の物流施設の建設と運営が活発化している。これらの活動の究極の目的とは、商品を顧客独自の仕様（マスカスタマイゼーション）で、欲しい時に、いつでも届けられることの実現と言える。近い将来、この流れが海の分野にも押し寄せてくることは必至で、陸の流通・物流体系との接続、融合が促進することになる。よりフレキシブルで競争力の強い海運のため、様々な技術開発が着手され始めており、新しい港湾・荷役方法の構想（ドローンの活用等）、無人運航化、新しい船舶の開発（船倉配置が航海ごとに代わる仕組み等）^{62), 67)}、ビッグデータ解析による運航・物流の最適化、モノ運びだけでなく付加価値を生む海運のビジネスモデルの考案等が今後のこの分野の主流になるのではないかと考えられる。
- 船舶の無人運航化については、船用機器のIoT化、機関状態監視、海象データ等いわゆるビッグデータ技術活用により、船舶の荷役、海上航行の自動化技術がすでに実証実験段階^{88), 110)}に入っている。自動化・無人化レベルの違いはあっても、そう遠くない時期に実現するものと思われる。

【環境・エネルギー関係】

- 自動車や航空機等、他の輸送モードにおける研究開発の方向性から、将来の船舶のエネルギー利用に関しても、運航中の化石燃料によるエネルギー消費量を限りなくゼロにする方向（ZES（Zero Energy Ship）化）に向かうものと考えられる。このため、既に取り組みされている各種省エネ技術や太陽光、風力等の自然エネルギーの利用の他、バイオマス、藻類由来油等のバイオ燃料、海洋エネルギー等の更なる再生可能エネルギーの活用、エネルギーネットワーク技術、革新的推進技術等が今後の研究開発の主流になってくるものと思われる。特に、水素技術、社会の水素化は重要なトレンドで、新しいエネルギーキャリアである水素を通した

エネルギー貯蓄・輸送技術によって、海洋エネルギー、宇宙太陽光発電や人工光合成で生成したエネルギーを船舶へ効率的に供給できるようになり、ZES化に向けたブレークスルー技術と期待できる。

- ・ 野心的な研究開発としては、宇宙太陽光発電、海水からのエネルギー抽出に関する取り組み事例^{17), 35)}がある。
- ・ 環境面については、排気ガスや有害な化学物質、廃棄物を一切排出しないゼロエミッション船が未来には誕生するものと思われる。

2.2 注目すべき将来の船舶技術の抽出

網羅的な研究開発動向の調査から、将来の船舶技術として展開可能と思われる技術を抽出した。抽出した技術は116種類であり、これらの技術について、個表(図1)に「概要」、「船舶への想定利用」、「研究開発動向・特筆すべき研究開発事例」を整理していることに加え、各技術の研究開発特性を表1に従って、3つの観点で4段階評価を行った。評価は船技協及び海技研の担当者5名の平均値により最終決定とした。表2-1から表2-4に抽出した技術の一覧と評価結果を記載している。

【II-10】 3次元プリンタ

概要:
3D CADデータを元に立体(3次元オブジェクト)を造形する機器。最近では、大型の造形、金属材料による造形も可能となっている。

船舶への想定利用:
船体や船体ブロックの造形。艤装品の造形、特に鋳造技術の代替。
CFRPの繊維の積層、電子部品の製造など、様々な分野での応用が見込まれる。

研究開発動向・特筆すべき研究開発事例:
・ 経産省が2013年度から5カ年計画「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」を始め、砂型三次元プリンタの国産化、既存の鋳造の高速化・軽量化を進めている。



米Local Motorsなどが開発を進めている3Dプリンテッドカーの成形の様子。大型の3Dプリンターを使い、炭素繊維強化樹脂(CFRP)を積層して小型EVのボディなどを成形。一体成形したボディに、別に成形したフエンダーを締結する。
<https://localmotors.com/3d-printed-car/>



US navyのCheney-PetersとHippleは、Journal of the U.S. Naval Instituteの論文で、近い将来、船舶や航空機は3D printingにより“all-in-one”で製造できるようになると述べている。
写真は、オランダの“WAAMPeller”

図1 各技術に関する個表のイメージ

表1 各技術に対する研究開発特性の評価内容と評価基準

一般向け 技術開発レベル	4	実用化には不十分なレベル(現時点で実用化の目途立たず)
	3	実用化にはやや不十分なレベル(実用化には課題あり)
	2	実用化には概ね十分なレベル(もう少しで実用化が可能)
	1	実用化には十分なレベル(実用化済・ほぼ実用化済)
船舶向け 技術開発レベル	4	実用化には不十分なレベル(現時点で実用化の目途立たず)
	3	実用化にはやや不十分なレベル(実用化には課題あり)
	2	実用化には概ね十分なレベル(もう少しで実用化が可能)
	1	実用化には十分なレベル(実用化済・ほぼ実用化済)
革新性 (海事業界に及ぼすインパクト)	4	市場破壊的・革新的であり、海事業界の根本を変えうる
	3	市場破壊的・革新的であり、海事分野のある分野を変えうる
	2	一部に、ある程度の影響を及ぼす
	1	現在の発展の延長線上にあるものである

表 2-1 抽出技術と研究開発の特性（素材・材料・塗料分野）

分類		技術項目	研究開発の特性			
			一般向け 技術開発 レベル	船舶向け 技術開発 レベル	船舶への 革新性・ インパクト	
Ⅰ. 素材・材料・塗 料分野	炭素系材料	【Ⅰ-01】CFRP	1.0	2.0	3.0	
		【Ⅰ-02】グラフェン	3.6	4.0	3.6	
		【Ⅰ-03】カーボンナノチューブ	3.6	4.0	3.2	
	その他繊維素 材	【Ⅰ-04】セルロースナノファイバー	2.6	3.4	2.0	
		【Ⅰ-05】「クモの糸」繊維	2.6	3.2	2.4	
	新しい金属材 料	【Ⅰ-06】窒化アルミニウム	2.2	3.2	2.0	
		【Ⅰ-07】メタルフォーム	2.4	2.6	2.2	
		【Ⅰ-08】難燃性マグネシウム	2.4	3.0	2.0	
		【Ⅰ-09】チタン船	1.0	2.0	2.0	
		【Ⅰ-10】元素間融合合金	3.6	4.0	2.0	
		【Ⅰ-11】ヘテロ構造制御	3.2	3.8	2.2	
		【Ⅰ-12】情報統合型物質・材料開発	3.0	3.8	2.4	
		【Ⅰ-13】原子操作による材料・デバイス開発	3.6	3.6	2.4	
		機能性材料	【Ⅰ-14】自己修復材料	1.4	2.8	3.0
			【Ⅰ-15】センサー埋め込み材料	3.0	3.8	3.2
			【Ⅰ-16】傾斜機能材料	2.6	3.6	2.2
	【Ⅰ-17】Printable plastic solar panels		2.0	2.8	2.0	
	【Ⅰ-18】フライアッシュ等を利用した水質浄化剤		1.2	2.2	1.4	
	【Ⅰ-19】分離機能材料による水処理		2.2	2.4	1.4	
	【Ⅰ-20】摩擦材料の高効率開発		2.2	3.0	1.4	
	【Ⅰ-21】バイオミメティクス材料開発		2.2	3.2	2.0	
	【Ⅰ-22】エアロゲル		3.2	3.2	2.0	
	塗料	【Ⅰ-23】スマート塗料	2.6	3.4	2.6	
		【Ⅰ-24】Antifouling・Fouling release 塗料	1.2	1.2	1.6	
		【Ⅰ-25】Reflective 塗料	1.0	1.2	1.2	
		【Ⅰ-26】構造色	2.4	3.2	1.8	
	その他の技術	【Ⅰ-27】空間空隙制御材料	3.0	4.0	2.0	
		【Ⅰ-28】光の透過をコントロールできるガラス	1.0	2.0	1.0	
		【Ⅰ-29】超撥水・超親水コーティング	1.0	2.0	1.7	
		【Ⅰ-30】氷の付着しない表面処理・防氷塗料	1.0	1.0	1.3	
		【Ⅰ-31】自己洗浄塗料	1.0	2.0	2.0	
		【Ⅰ-32】船体外板用フィルム	3.0	3.0	2.3	
		【Ⅰ-33】振動を吸収する材料	2.0	3.0	2.3	
		【Ⅰ-34】植物由来塗料	2.0	3.0	1.3	
		【Ⅰ-35】セラミックス・コーティング	1.0	2.0	2.0	

表 2-2 抽出技術と研究開発の特性（船舶の設計・製造技術分野）

分類		技術項目	研究開発の特性		
			一般向け 技術開発 レベル	船舶向け 技術開発 レベル	船舶への 革新性・ インパクト
Ⅱ. 船舶の設計・製 造技術分野	設計技術	【Ⅱ-01】 Virtual ship laboratory	2.8	3.0	3.2
		【Ⅱ-02】 ハプティック技術	3.0	3.4	2.4
		【Ⅱ-03】 脳との接続技術	3.2	4.0	2.8
		【Ⅱ-04】 CFD	1.2	1.4	1.8
		【Ⅱ-05】 デジタル／アナログ・ハイブリッド水槽	2.0	2.0	1.8
		【Ⅱ-06】 分子レベルのシミュレーション	2.8	3.6	1.8
		【Ⅱ-07】 モデリング・シミュレーション	2.8	3.6	2.4
		【Ⅱ-08】 人工知能	2.2	3.2	3.2
		【Ⅱ-09】 デライト（Delight）設計	3.8	4.0	2.4
	工作技術	【Ⅱ-10】 3D プリンター	1.4	3.0	3.2
		【Ⅱ-11】 レーザー技術	1.0	2.0	2.8
		【Ⅱ-12】 接着剤工法	1.4	2.8	2.4
		【Ⅱ-13】 無線送電による電装	4.0	4.0	2.6
		【Ⅱ-14】 プリンテッドエレクトロニクス	3.0	3.2	2.6
		【Ⅱ-15】 工作ロボット	1.0	2.2	2.6
	その他の技術	【Ⅱ-16】 フレキシブル・ダイによる曲面の冷間加工技術	2.0	2.0	1.0
		【Ⅱ-17】 折り紙技術を用いた造形技術	1.0	3.0	2.0
		【Ⅱ-18】 超高压水加工機	1.0	2.0	1.0
		【Ⅱ-19】 圧電ファブリック	2.0	4.0	2.0
		【Ⅱ-20】 無人化施工	4.0	4.0	2.0
		【Ⅱ-21】 スマートファクトリー	2.0	3.0	2.0
		【Ⅱ-22】 製品サービスシステム (PSS)	1.0	3.0	2.3

表 2-3 抽出技術と研究開発の特性（船舶の運航・メンテナンス分野、荷役・港湾・物流分野）

分類	技術項目	技術項目	研究開発の特性		
			一般向け 技術開発 レベル	船舶向け 技術開発 レベル	船舶への 革新性・ インパクト
Ⅲ. 船舶の運航・メ ンテナンス分 野	運航技術	【Ⅲ-01】 自動操船	2.8	2.8	3.2
		【Ⅲ-02】 Formation Sailing	3.2	3.2	2.0
		【Ⅲ-03】 先進的ブリッジ	2.2	2.4	2.2
		【Ⅲ-04】 Virtual Reality 技術	1.2	2.0	2.0
		【Ⅲ-05】 衣類型ウェアラブル端末・電子皮膚	1.4	2.8	2.0
		【Ⅲ-06】 ニューロフィードバック	2.4	3.8	2.0
		【Ⅲ-07】 技能習得のための記憶機能の加速	3.4	4.0	2.2
		【Ⅲ-08】 人間拡張工学	2.4	3.2	2.4
		【Ⅲ-09】 Autonomous Shipboard Humanoid	3.0	3.2	3.0
		【Ⅲ-10】 船のエアバッグ	2.0	2.0	1.4
		【Ⅲ-11】 インテリジェントウォール	1.6	2.4	1.6
		【Ⅲ-12】 衛星 AIS	1.6	1.8	2.0
		【Ⅲ-13】 オンラインシミュレータ	1.0	2.0	1.4
	Cyber Security	【Ⅲ-14】 量子暗号	2.2	3.0	2.0
		【Ⅲ-15】 航海時のサイバーセキュリティ	2.0	2.0	2.0
	メンテナンス 技術	【Ⅲ-16】 3D スキャン・コピー技術	1.0	1.4	2.4
		【Ⅲ-17】 メンテナンスロボット	1.2	2.0	2.2
		【Ⅲ-18】 MEMS センサ	1.6	2.4	2.0
		【Ⅲ-19】 超小型デバイス（インセクトデバイス）	2.2	3.0	2.0
	その他の技術	【Ⅲ-20】 乗り物酔いを克服できるメガネ	1.0	1.0	1.0
		【Ⅲ-21】 酸素ボンベ不要の潜水用エクソスケルトン	3.0	3.0	1.0
		【Ⅲ-22】 フォトニック結晶技術	3.0	4.0	1.0
Ⅳ. 荷役・港 湾・物流分野	荷役・港湾・ 物流	【Ⅳ-01】 ロボットバルーンクレーン構想	3.0	3.2	2.6
		【Ⅳ-02】 Parafoil unmanned air-delivery system	2.8	3.0	2.6
		【Ⅳ-03】 ドローン輸送構想	2.0	2.8	2.8
		【Ⅳ-04】 Asset Visibility	1.4	2.2	2.8
		【Ⅳ-05】 形が変わる船（Adaptive 船舶）	2.8	2.8	2.2
		【Ⅳ-06】 Smaller feeder docked in	2.6	3.4	2.0
		【Ⅳ-07】 Sensor-packed Shipping Container	1.4	2.2	1.6
		【Ⅳ-08】 高度制御技術による振動抑制	2.6	3.4	2.2
		【Ⅳ-09】 ロジスティクスデータをを用いた新ビジネス展開	1.8	2.6	2.8

表 2-4 抽出技術と研究開発の特性（推進・動力技術分野、新しい船の分野）

分類		技術項目	研究開発の特性		
			一般向け 技術開発 レベル	船舶向け 技術開発 レベル	船舶への 革新性・ インパクト
V. 推進・動力技術分野	推進・動力	【V-01】 生物模倣の Propulsion	3.2	3.2	2.4
		【V-02】 DC electric propulsion	1.0	1.2	2.2
		【V-03】 ガス焚き船	1.0	1.0	2.0
		【V-04】 燃料電池船	1.0	1.4	2.4
		【V-05】 太陽電池船	1.0	1.4	2.2
		【V-06】 バイオ燃料	1.0	1.0	1.8
		【V-07】 空気電池	2.4	2.4	2.4
		【V-08】 振動発電（圧電素子発電）	2.2	3.0	2.6
		【V-09】 超伝導技術	1.4	2.6	3.0
		【V-10】 海水を燃料として推進する機関	4.0	4.0	3.4
		【V-11】 核融合技術	4.0	4.0	3.6
		【V-12】 ブラックホールエンジン（縮退炉／質量変換炉）	4.0	4.0	3.6
	その他の技術	【V-13】 可変 Diameter プロペラ	2.0	3.0	1.0
		【V-14】 軸受荷重自動調整	2.0	3.0	1.3
VI. 新しい船の分野	新しい船のかたち	【VI-01】 ノンバラスト船	2.2	2.2	2.2
		【VI-02】 Transformable ship（モーフィング技術）	3.2	2.8	2.6
		【VI-03】 Bionic structure and membrane	3.4	4.0	3.2
		【VI-04】 船体加熱による低摩擦技術	3.2	4.0	1.2
		【VI-05】 スーパーキャビテーションを使った高航走	2.0	2.0	2.2
		【VI-06】 潜水商用船	2.8	2.8	2.2
	エネルギー	【VI-07】 水素エネルギー利用	1.0	2.6	3.8
		【VI-08】 電磁流体発電	1.4	2.2	1.4
		【VI-09】 風力発電	1.6	1.8	2.0
		【VI-10】 波力発電・海洋温度差発電	1.6	1.6	2.0
		【VI-11】 人工光合成	3.2	4.0	2.8
		【VI-12】 宇宙太陽光発電システム（SSPS）	4.0	4.0	2.8
	新しい船の利用	【VI-13】 海上・海中都市構想	3.0	3.4	3.6
		【VI-14】 Ocean Farming	2.6	2.8	2.6

図 2-1 から図 2-6 は、技術戦略検討マップとして、「研究開発のタイムスパン」と「革新性・インパクト」を要素に、各技術を 2 次元マッピングしたものである。なお、「研究開発のタイムスパン」は、現在の技術開発の実用化具合に相関があるものとして、表 2-1～2-4 の「一般向け技術開発レベル」と「船舶向け技術開発レベル」を乗じたものとして定義しているが、ここで「一般向け技術開発レベル」を乗じているのは、他産業を含む一般向けの研究開発の進展が、海事産業の研究開発動向にも大きく影響を与えるとの観点からである。なお、図の横軸に示して「(10 年後)」等の年数は、「研究開発のタイムスパン」と定量的な関係はなく、本調査全体を通して得られた定性的な印象に基づき、目安として記載している。



図 2-1 技術戦略検討マップ（素材・材料・塗料分野）



図 2-2 技術戦略検討マップ（船舶の設計・製造技術分野）

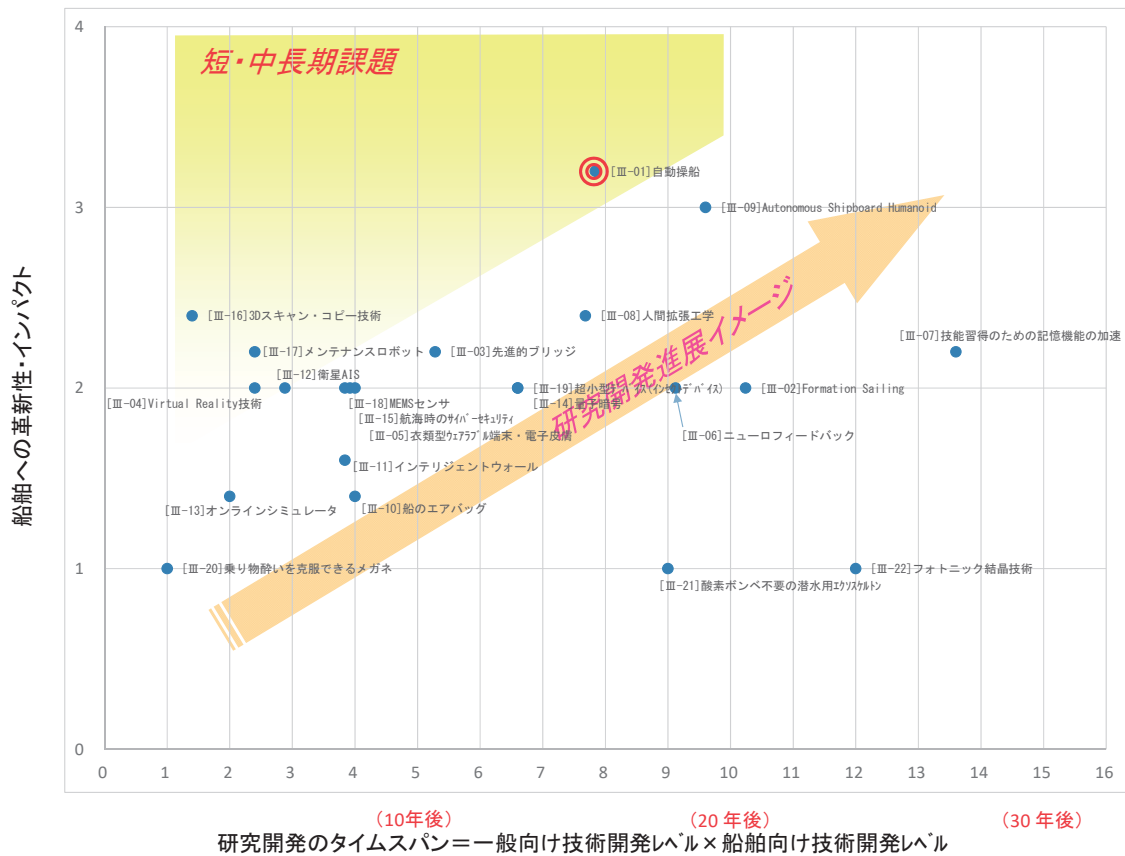


図 2-3 技術戦略検討マップ（船舶の運航・メンテナンス分野）

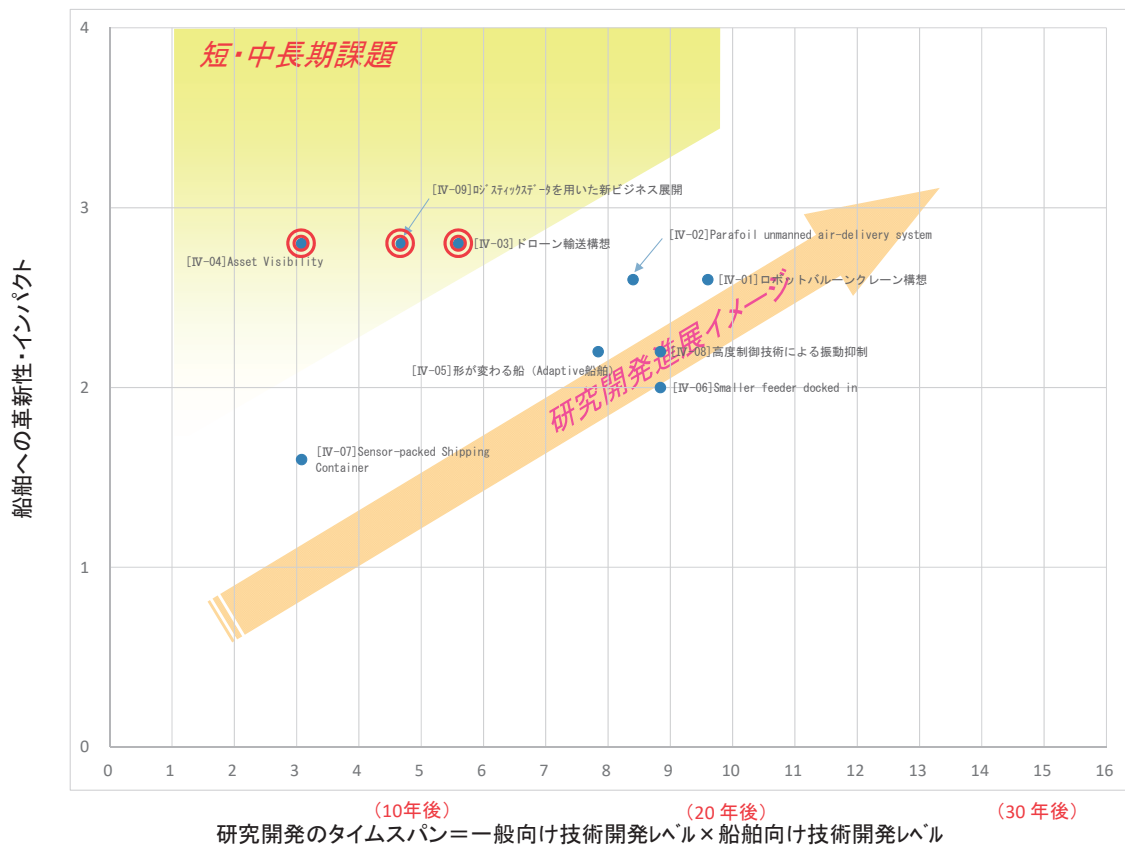


図 2-4 技術戦略検討マップ（荷役・港湾・物流分野）

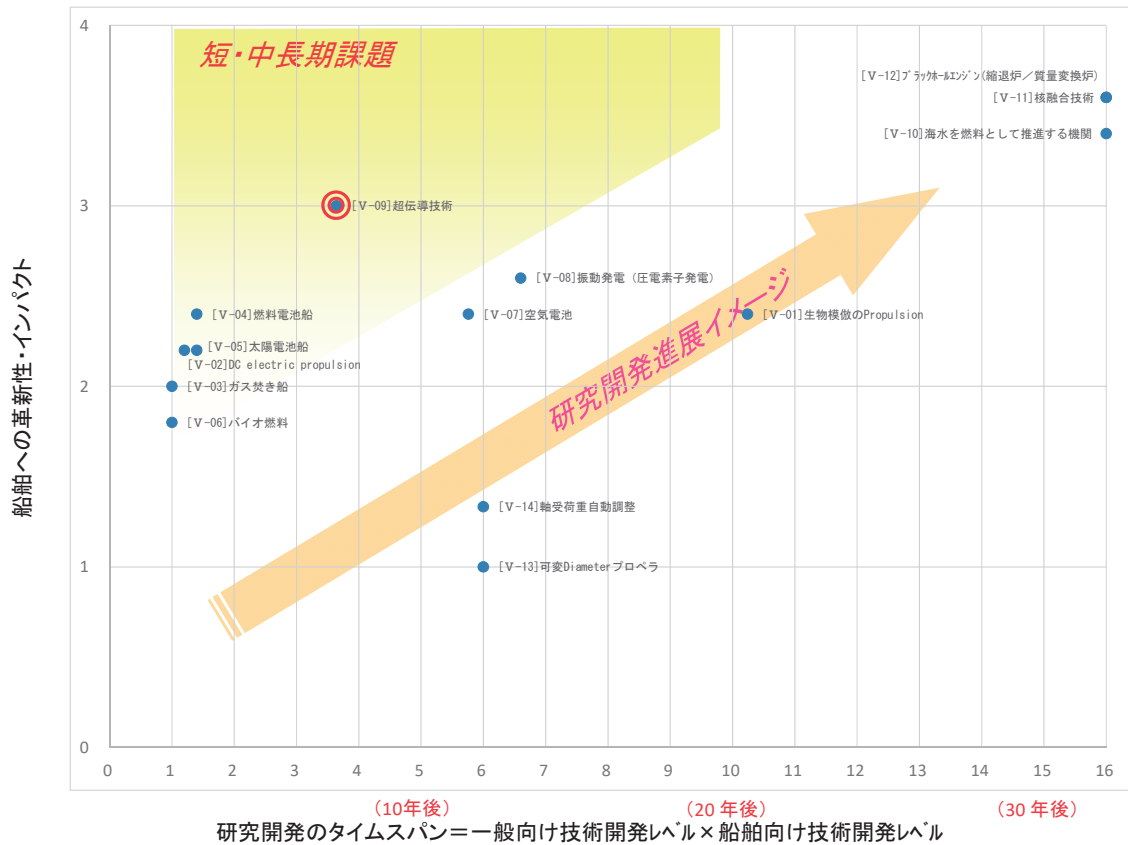


図2-5 技術戦略検討マップ（推進・動力技術分野）

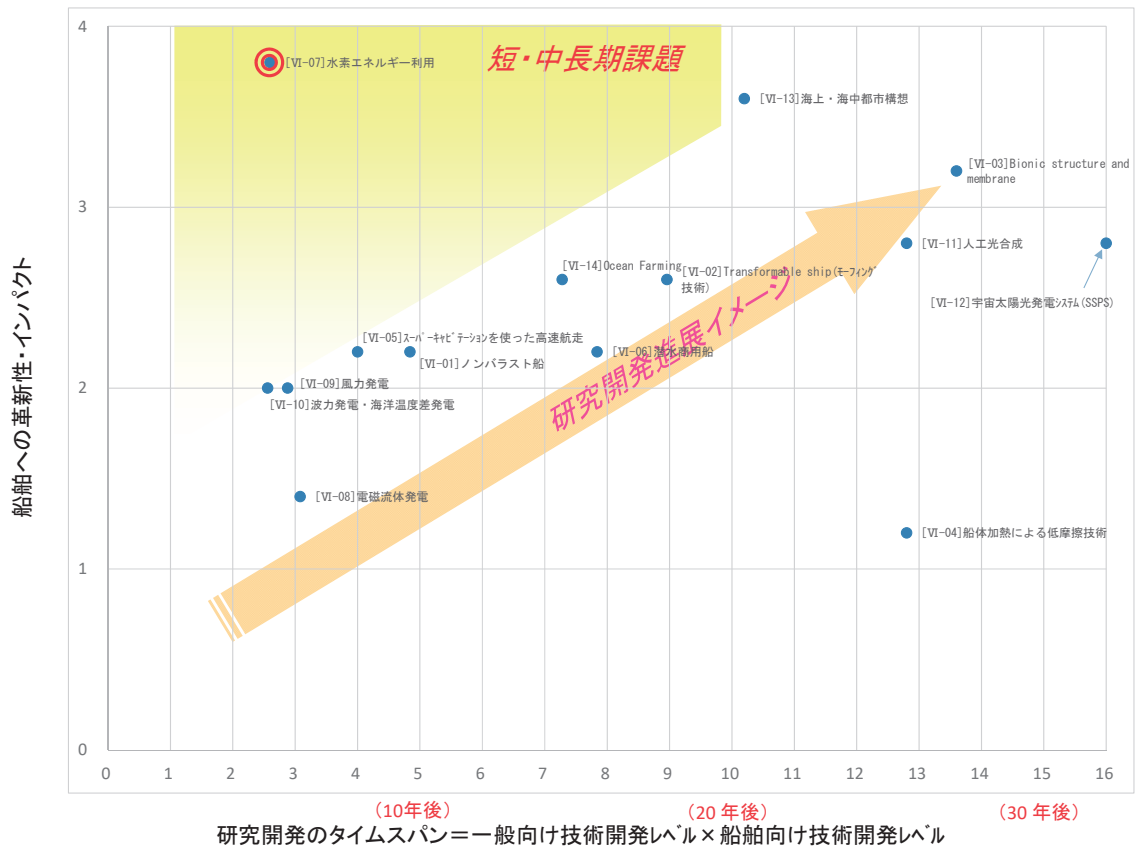


図2-6 技術戦略検討マップ（新しい船の分野）

技術戦略検討マップから研究開発実施の「重要性」を測ることができる。具体的には、短・中期的課題（研究開発を実施した場合にその成果の確実性も高く、また、その効果も大きいもの）の探索として見る場合、技術戦略検討マップの左上領域（革新性が高いもの）に位置する技術要素をその候補とみなした（図 2-1 から図 2-6 の図中に赤丸の二重丸で示した）。これらの技術要素を抽出すると以下の通りとなり、今後の研究開発の方向性の一指標となる。

- ・ CFRP
- ・ 自己修復材料
- ・ Virtual ship laboratory
- ・ 人工知能
- ・ 3D プリンター
- ・ レーザー技術
- ・ 工作ロボット
- ・ 自動操船
- ・ ドローン輸送構想
- ・ Asset Visibility
- ・ ロジスティックデータを用いた新ビジネス展開
- ・ 超電導技術
- ・ 水素エネルギー利用

3. 革新的技術に基づく未来の船舶 将来シナリオの検討

第 2 章で示した将来技術が導入された場合の船舶に係る将来シナリオを構想した。

シナリオは以下の 5 つのケースを想定し、それぞれについて、将来技術が導入された場合に考えられる将来シナリオと、その実現に関わる主な技術要素を挙げている。

シナリオ 1： 船舶の炭素化

シナリオ 2： 建造法，建造のトレーサビリティ

シナリオ 3： 船の運航

シナリオ 4： 物流関係

シナリオ 5： 船のゼロエネルギー化

(シナリオ 1： 船舶の炭素化)	(主な技術要素)
将来の船はナノ炭素材料でできた船になっているかもしれない。これは、木造船から鋼船へと変遷してきた過去の船舶の技術革新に匹敵する革新となる。 船舶の炭素化は、船体の高強度化とともに、船体の超軽量化を実現する。このため、現在の方式では考えられないような船型、船体構造、船内配置の船が考案される。例えば、生物の形を模倣した船型、船体構造となっており、船は今と全く違った形になっているかもしれない。艀装についても、船殻材料内の埋め込み艀装、3次元プリンティング艀装となっているかもしれない。ナノ炭素材料は高強度な構造部材になると同時に、電力や電気信号も同時に流すようになる。船内の隔壁は透明化され、ディスプレイが埋め込まれるとともに、あらゆるところにセンサー網を張り巡らすこともできる。 将来の船舶は、金属や有機材料、炭素系材料の複合化になることが予想される。これによって、船型、構造、材料機能、艀装、建造法が現在のものと全く異なるものになると思われる。	・ CFRP ・ グラフエン ・ カーボンナチューブ ・ センサー埋め込み材料 ・ 各種の生物模倣技術 ・ 3D プリンター ・ プリンテッドエレクトロニクス ・ インテリジェントウォール ・ Transformable ship ・ Bionic structure and Membrane

	・ 窒化アルミニウム等の金属材料技術
(シナリオ2: 建造法, 建造のトレーサビリティ) 造船へのIoT技術の普及によって、建造の効率化が徹底的に図られる。造船所は、所定の建造計画に基づいて、鋼材の水切り搬入から切断、所要ステージへの部品搬送まで、機械同士が通信しあって無人搬送されるような工場になっている。工作ロボットも各ステージに導入され、建造の自動化が進んでいる。将来、船の受注からわずか数日で引き渡しするようなことが当たり前となっているかもしれない。 一方、造船所の隅々まで行き渡ったICT網は、建造のすべてを記録する。船舶の品質を保証するとともに、造船所の品質を定量化できる。作業者にとっては、自身の作業をトラッキングできることになる。膨大な自身の作業ライフログデータから自己計測(セルフメジャメント)が当然となり、作業者に常に同伴するAIコンシェルジュが、「今日の調子は?」、「私が最も生産的になる時間は?」、「私はどんな作業が苦手なの?」、「自分にはどのような仕事、技能が向いているか?」といったこれまで見えにくかったことについても答えを出してくれるようになる。 設計分野においては、数値シミュレーション、設計自動化等の高度化により、設計の最適化が進む。また、VR/AR技術等の情報インタフェース技術は、ペンやマウス、専用ソフトウェアや図面による設計から解放する。これによって、設計者はクリエイティブな仕事に集中できると共に、だれもが(ネットを介して)造船に参加できるようになる。	(主な技術要素) ・ Virtual ship laboratory ・ 人工知能 ・ CFD等の各種シミュレーション技術 ・ 3Dプリンター ・ 工作ロボット ・ スマートファクトリー ・ Virtual Reality技術 ・ デライト設計
(シナリオ3: 船の運航) 将来の船内システムは、すべて共通のプラットフォーム、OS(オペレーティングシステム)の基で運用されるようになる。しかも、そのOSはGoogleのAndroidのような一般社会で使われているものとなっているかもしれない。 これによって、主機、主機周りの各種機器、甲板機器、荷役関係の機器、ブリッジ内の操船機器がすべて一つのシステムとなって繋がる。船全体をプログラム可能な状態になる。航海ごとに、最適な運航計画をWEBからダウンロード、インストールして、運航することになるかもしれない(船のシステム環境がクラウド化される)。 車、航空機、家庭内の家電、スマートフォン等、社会のあらゆるシステムが同じOS上で動いており、船のオペレーションも一般化する。スマートフォンのアプリを介して、船舶や船上の貨物と接続、コントロールできるようになる。 また、船舶から膨大な情報(データ)を得ることができるようになる。これらの情報を収集、分析することで、これまで知ることができなかったことを発見できる。例えば、世界中の船舶の今の運航状況を収集・解析することで、世界のリアルタイムかつ真の物流、経済活動を把握できる。サイバー空間に、実際の世界のコピーを作ることができる。 船舶は、他の輸送モードあるいは陸上を含むあらゆる機器と共通プラットフォームを介して接続され、高度に連携する。同時に人とも繋がる。船がより社会に溶け込んでいく。	(主な技術要素) ・ 脳との接続技術 ・ 人工知能 ・ 自動操船 ・ 先進的ブリッジ ・ 衛星AIS ・ 各種サイバーセキュリティ技術 ・ 形が変わる船(Adaptive船舶) ・ Sensor-packed Shipping Container
(シナリオ4: 物流関係) 物流の将来は、どんなものでも、その人がほしいと思うものを、すぐに持ってきてくれるサービスに向かっている。また、その物のトレーサビリティ(原料、産地、加工方法、流通経路)を、当然のように確認できるようになる。 これは、消費者と市場がより密に繋がっていることを意味する。船舶もこの体系に接続され、コンテナ船は、モノを大量に運ぶと同時に、街の動く倉庫、動く工場も兼	(主な技術要素) ・ ロボットバルーンやドローン等を使った荷役技術 ・ Asset Visibility ・ Smaller feeder dock in

ねるようになるかもしれない（移動する倉庫，工場は海上でしか作れないだろう）。 運航，物流は最適化され，荷物の品質保持・品質向上機能も担うことになるかもしれない。	• Sensor-packed Shipping Container • ロジスティクスデータを用いた新ビジネス展開
(シナリオ5： 船のゼロエネルギー化) 船は，現在，化石燃料を消費して動くものだが，その考え方が変わる。 将来，海洋エネルギー，太陽光，人工光合成等の自然エネルギー，再生可能エネルギーを使って，化石燃料を一切使わない船舶が実現するかもしれない。これは，船舶自身の省エネ化とともに，水素エネルギー利用が大きなカギになると思われる。 社会の水素化は，船を社会のエネルギー源として利用することにも期待が持てる。無尽蔵な海洋エネルギー，宇宙太陽光発電エネルギー，人工光合成等からのエネルギーを海上で生産，保存する洋上エネルギーファームを船舶で実現する考えである。 船＝モノ運びとの考えが変わり，船舶が社会に一層入り込んでいく。	(主な技術要素) • 水素エネルギー利用 • 各種再生可能エネルギー利用技術 • 人工光合成 • 宇宙太陽光発電システム • 海上・海中都市構想 • Ocean Farming

できるだけ多くの関係者に未来の船舶を具体的にイメージしてもらうため，上記6つの将来シナリオ等をベースに，「未来の船舶」（図3-1）と「未来の船の使い方」（図3-2）の2つのイメージイラストを作成した。

それぞれのイメージイラストは以下の内容に基づいて作成しており，また実現するために必要な技術について可能な範囲で解説を加えている。

「未来の船舶」	革新的技術が導入された際の未来の船舶のコンセプトイメージを描いている。 特に，材料革新による船体形状，船体構造，船舶建造の変化について記載している。また，船舶の軽量化，高効率化及び社会の水素化に伴って，船舶のゼロ・エネルギー化，ゼロ・エミッション化についても表現している。
「未来の船の使い方」	将来の社会と船のあり方について構想している。 陸の物流体系と一体化し，海の物流も最適化が進むこと，船の都市化，農場化，エネルギー・プラットフォーム化等，船舶は，ものを運ぶだけでなく，より一層社会に溶け込んでいるイメージを描いている。

4. まとめ

海事産業における 10 年後, 20 年後, 30 年後の未来の船舶技術のイメージを議論するための基礎資料の作成を目的として, 網羅的な研究開発動向調査, 重要技術の抽出作業, 技術戦略検討マップの作成, 将来シナリオの検討を行った. 国内外を問わず他産業においても, 船舶に適用可能となりそうな研究開発動向の参考は豊富である. 特に商船分野ではなじみが薄いものの, 米軍 (DARPA, ONR 等) の研究開発事例^{34), 35), 36)}は, 先進的・革新的であるとともに, 研究開発対象範囲が幅広い.

ここで紹介した先端的な研究開発事例は一部にすぎず, 他に多数存在する. このため, このような調査を継続的に実施していく必要がある. 本資料が今後の船舶技術の方向性を検討する際の基礎となり, 将来の船舶技術のあり方に関する更なる議論を深めていくことができればと考えている.

謝 辞

本調査研究は, 一般財団法人 日本船舶技術研究協会からの請負研究 (2014年度) として実施した. 調査研究の遂行にあたっては, 多くの議論, 検討の機会をいただき連携して実施した. ここに深く御礼を申し上げる.

参考文献

本調査研究にあたって膨大な量の資料を参照した. その内, 主要な参考文献の発行機関, 発行媒体を掲載する.

- 1) International Ship and Offshore Structures Congress (ISSC), <http://www.issc2015.org/>
- 2) The Royal Institution of Naval Architects (RINA), <http://www.rina.org.uk/>
- 3) nature, <http://www.nature.com/nature/index.html>
- 4) 応用物理学会 アカデミックロードマップ, https://www.jsap.or.jp/jsap75/academic_roadmap.html
- 5) 横断型基幹科学技術研究団体連合 (横幹連合), <http://www.trafst.jp/index.html>
- 6) The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), <http://www.sname.org/home>
- 7) Science, <http://www.sciencemag.org/>
- 8) MARIN, <http://www.marin.nl/web/show>
- 9) Fraunhofer Innovative Logistics for the Maritime Industry, <http://www.cml.fraunhofer.de/en.html>
- 10) Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research IS, <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-en/index.php>
- 11) 国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST), <http://www.jst.go.jp/>
- 12) JST 戦略的創造研究推進事業, <http://www.jst.go.jp/shoukai.html>
- 13) JST 研究開発戦略センター (CRDS), <http://www.jst.go.jp/crds/index.html>
- 14) JST CRDS 研究開発の俯瞰報告書, <http://www.jst.go.jp/crds/report/report02.html>
- 15) JST サイエンスポータル, <http://scienceportal.jst.go.jp/>
- 16) JST 未来技術年表, <http://www.jst.go.jp/csc/virtual/shiryo/yosoku/>
- 17) JAXA 研究開発部門, <http://www.ard.jaxa.jp/index.html>
- 18) JAXA 航空技術部門, <http://www.aero.jaxa.jp/>
- 19) JAXA 海洋宇宙連携, <http://www.sapc.jaxa.jp/work/ocean/>
- 20) 国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT), <http://www.nict.go.jp/index.html>
- 21) NICT 未来 ICT 研究所, http://www.nict.go.jp/advanced_ict/
- 22) HPCI 戦略プログラム「分野 4 次世代ものづくり」, <http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/>
- 23) 防衛省 技術研究本部, <http://www.mod.go.jp/trdi/>
- 24) 国立研究開発法人物質・材料研究機構, <http://www.nims.go.jp/>

- 25) 国立研究開発法人産業技術総合研究所, <https://www.aist.go.jp/>
- 26) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), <http://www.nedo.go.jp/>
- 27) NEDO 技術戦略研究センター, http://www.nedo.go.jp/introducing/tsc_index.html
- 28) 国立情報学研究所, <http://www.nii.ac.jp/>
- 29) 統計数理研究所, <http://www.ism.ac.jp/index.html>
- 30) 国立研究開発法人理化学研究所, <http://www.riken.jp/>
- 31) MARINTEK, <http://www.sintef.no/home/marintek/>
- 32) SINTEF, <http://www.sintef.no/home/>
- 33) The National Shipbuilding Research Program (NSRP), <http://www.nsrp.org/>
- 34) The Office of Naval Research (ONR), <http://www.onr.navy.mil/>
- 35) Naval Research Laboratory(NRL), <http://www.nrl.navy.mil/>
- 36) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <http://www.darpa.mil/default.aspx>
- 37) NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC), <http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/index.html>
- 38) Sea Orbiter, <http://seaorbiter.com/>
- 39) The Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST), <http://www.imarest.org/>
- 40) The Confederation of European Maritime Technology Societies, <http://www.cemt.eu/>
- 41) The European Council for Maritime Applied R&D, <http://www.ecmar.eu/>
- 42) Community of European Shipyards Associations (CESA), <http://www.cesa.eu/>
- 43) European Ships and Maritime Equipment Association, <http://www.seaeurope.eu/aboutUs>
- 44) European Science Foundation, <http://www.esf.org/publications/marine-sciences.html>
- 45) Center of Maritime Technologies, <http://www.cmt-net.org/index.php?id=14&L=1>
- 46) 公益財団法人総合研究開発機構(NIRA), <http://www.nira.or.jp/index.html>
- 47) 経団連 科学技術、情報通信、知財政策, <https://www.keidanren.or.jp/policy/index06.html>
- 48) 経団連 21世紀政策研究所, <http://www.21ppi.org/>
- 49) 野村総合研究所(NRI) 未来年表 2015-2065, <http://www.nri.com/jp/opinion/nenpyo/index.html>
- 50) 公益財団法人 未来工学研究所 (未来研), <http://www.ifeng.or.jp/>
- 51) 日経 BP 未来研究所, <http://www.nikkeibp.co.jp/lab/mirai/index.html>
- 52) 博報堂生活総合研究所 未来年表, <https://seikatsusoken.jp/futuretimeline/>
- 53) 一般財団法人製造科学技術センター, <http://www.mstc.or.jp/>
- 54) 独立行政法人経済産業研究所 (RIETI) 技術とイノベーション,
<http://www.rieti.go.jp/jp/projects/program/pg-04/index.html>
- 55) The National Science Foundation, <http://www.nsf.gov/>
- 56) The National Center for Manufacturing Sciences (NCMS), <http://www.ncms.org/>
- 57) Frost & Sullivan, <http://ww2.frost.com/>
- 58) The RAND Corporation, <http://www.rand.org/>
- 59) The RAND Corporation Infrastructure and Transportation,
<http://www.rand.org/topics/infrastructure-and-transportation.html>
- 60) The RAND Corporation Science and Technology, <http://www.rand.org/topics/science-and-technology.html>
- 61) European Commission CORDIS Future and Emerging Technologies Open Scheme,
http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fet-open/home_en.html
- 62) European Commission Horizon 2020 Future and Emerging Technologies,
<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/future-and-emerging-technologies>
- 63) European Commission FET(Future Emerging Tech.) Projects Portfolio,
<http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/fet-projects-portfolio>
- 64) European Commission Research & Innovation Transport Water,
http://ec.europa.eu/research/transport/water/index_en.htm

- 65) Transport Research & Innovation Portal (TRIP) , <http://www.transport-research.info/web/index.cfm>
- 66) European Commission Shipbuilding industry, http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/maritime/shipbuilding/index_en.htm
- 67) European Technology Platform WATERBORNE, <http://www.waterborne-tp.org/index.php/>
- 68) European Commission The LeaderSHIP initiative,
http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/maritime/shipbuilding/leadership2015/index_en.htm
- 69) 内閣府 科学技術政策, <http://www8.cao.go.jp/cstp/stmain.html>
- 70) 内閣府 科学技術イノベーション総合戦略, <http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/>
- 71) 内閣府 「選択する未来」委員会, <http://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/special/future/>
- 72) 内閣府 「イノベーション25」, <http://www.cao.go.jp/innovation/index.html>
- 73) 内閣府 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) , <http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html>
- 74) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP : エスアイピー) ,
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/index.html>
- 75) 経産省 技術革新の促進・環境整備, http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/index.html
- 76) 経産省 技術戦略マップ, http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str-top.html
- 77) 経産省 技術調査, http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/tech_research/index.html
- 78) 文科省 科学技術・学術, http://www.mext.go.jp/a_menu/a003.htm
- 79) 文科省 科学技術・学術政策研究所 (NISTEP), <http://www.nistep.go.jp/>
- 80) 文科省 NISTEP 科学技術予測・科学技術動向,
<http://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-foresight-and-science-and-technology-trends>
- 81) 文科省 革新的ハイパフォーマンクス・コンピューティング・インフラ (HPCI) の構築について,
http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/jouhou/hpci/1307375.htm
- 82) 日本学術振興会 事業のご案内, <https://www.jsps.go.jp/programs/index.html>
- 83) 日本学術振興会 最先端・次世代研究開発支援プログラム, <http://www.jsps.go.jp/j-jisedai/index.html>
- 84) Department of Transportation Maritime and Waterways, <http://www.transportation.gov/maritime-waterways>
- 85) The LR Foundation, <http://www.lrfoundation.org.uk/>
- 86) Lloyd's Register Technology, innovation and research,
<http://www.lr.org/en/marine/technology-and-innovation/index.aspx>
- 87) DNV-GL, <https://www.dnvgl.com/>
- 88) DNV-GL MARITIME => MARITIME INNOVATION,
<https://www.dnvgl.com/maritime/research-and-development/innovation-areas.html>
- 89) DNV-GL TECHNOLOGY AND INNOVATION => STRATEGIC RESEARCH AND INNOVATION,
<https://www.dnvgl.com/technology-innovation/sri/maritime-transport/index.html>
- 90) DNV-GL Research & innovation, http://www.dnv.com/moreondnv/research_innovation/
- 91) DNV-GL Future Shipping, <http://futureshipping.dnvgl.com/#future-shipping>
- 92) Bureau Veritas Research & Development,
http://www.bureauveritas.com/wps/wcm/connect/bv_com/group/home/about-us/our-business/marine-and-offshore/r-and-d
- 93) Plattform INDUSTRIE 4.0, <http://www.plattform-i40.de/>
- 94) 日本財団 図書館, <https://nippon.zaidan.info/index.html>
- 95) XPRIZE Foundation, <http://www.xprize.org/>
- 96) 東大 先端科学技術研究センター (RCAST), http://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/index_ja.html
- 97) 大阪府立大 最先端船舶技術開発研究所, http://www.osakafu-u.ac.jp/affiliate/21c/laboratory/02_ships_td.html
- 98) 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所, <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/>
- 99) MIT Ocean Science & Engineering, <http://meche.mit.edu/research/ocean/>
- 100) MIT Sea Grant College Program, <http://seagrant.mit.edu/index.php>
- 101) Singularity University, <http://singularityu.org/>

- 102) Technical University of Denmark, <http://www.proteus.dtu.dk/Results/Workbooks>
- 103) Association of Professional Futurists, <http://associationofprofessionalfuturists.org/APF>
- 104) Thomas Frey(DaVinci Institute), <http://www.futuristspeaker.com/>
- 105) SIEMENS Pictures of the Future, <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future.html>
- 106) The Club of Rome, <http://www.clubofrome.org/>
- 107) WORLD FUTURES STUDIES FEDERATION(WFSF), <http://www.wfsf.org/>
- 108) The World Future Society, <http://www.wfs.org/home.php>
- 109) The Future Laboratory, <http://thefuturelaboratory.com/uk/>
- 110) Rolls-Royce Marine, <http://www.rolls-royce.com/customers/marine.aspx>
- 111) Rolls-Royce Voyaging into the future,
<http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/voyaging-into-the-future-tcm92-55520.pdf>
- 112) Airbus FUTURE BY AIRBUS, <http://www.airbus.com/innovation/future-by-airbus/>
- 113) NTT DATA ビッグデータ・BI, <http://www.nttdata.com/jp/ja/services/bi/index.html>
- 114) NTT 先端技術総合研究所, <http://www.ntt.co.jp/sclab/>
- 115) BAE SYSTEMS future aircraft technologies,
http://www.baesystems.com/enhancedarticle/BAES_168290/aircraft-technologies-of-the-future;baeSessionId=-aFMID5YhBoWW3tYIQwVYFmiuG9NJDDkO3HrFluzTABLMi5Co4dJ!229364842?_adf.ctrl-state=14dp236pf7_4&_afLoo p=4069917897321000&_afWindowMode=0&_afWindowId=null#!%40%40%3F_afWindowId%3Dnull%26_afLoo p%3D4069917897321000%26_afWindowMode%3D0%26_adf.ctrl-state%3Db9sufq03_4
- 116) Lockheed Martin Corporation, <http://www.lockheedmartin.com/us.html>
- 117) GE REPORT Japan, <http://gereports.jp/>
- 118) IBM Smarter Planet, <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/?re=CS1#/default>
- 119) IBM Research, <http://www.research.ibm.com/index.shtml>
- 120) Google Research at Google, <https://research.google.com/>
- 121) Ship Technology.com, <http://www.ship-technology.com/>
- 122) BBC future, <http://www.bbc.com/future/sections/technology>
- 123) Fathom, <http://www.fathommaritimeintelligence.com/>
- 124) HANSA, <http://www.hansa-online.de/index.html>
- 125) FUTURUS（フトゥールス）, <http://nge.jp/>
- 126) テレスコープマガジン(東京エレクトロン), <http://www.tel.co.jp/museum/magazine/>
- 127) 日経テクノロジーOnline, <http://techon.nikkeibp.co.jp/?rt=nocnt>
- 128) 日経産業新聞, <http://www.nikkei.com/tech/ssbiz/>
- 129) 日本経済新聞, <http://www.nikkei.com/>
- 130) 日本経済新聞 テクノロジー, <http://www.nikkei.com/tech/>
- 131) 日刊工業新聞, <http://www.nikkan.co.jp/>
- 132) ITmedia MONOist, <http://monoist.atmarkit.co.jp/>
- 133) CNN Tomorrow Transformed, <http://edition.cnn.com/specials/tech/tomorrow-transformed>
- 134) WIRED, <http://www.wired.com/>
- 135) Forbes Future Tech, <http://www.forbes.com/intelligent-technology/>
- 136) The Telegraph Technology, <http://www.telegraph.co.uk/technology/>
- 137) POPULAR SCIENCE, <http://www.popsoci.com/>
- 138) Discovery Channel (Future Of Transportation), <http://news.discovery.com/autos/future-of-transportation>
- 139) Futureautics the Maritime future, <http://www.futureautics.com/>
- 140) Digital Ship Ltd., <http://www.thedigitalship.com/>
- 141) Dinitech, <https://www.dinitech.it/>