

欧州の造船業等における デジタルトランスフォーメーションの動向

2023年3月

一般社団法人 日本中小型造船工業会
一般財団法人 日本船舶技術研究協会

目 次

1. デジタルトランスフォーメーションの概要	1
2. 造船所に対する調査結果概要	2
3. 船舶設計企業に対する調査結果概要	7
4. 船用機器メーカー等に対する調査結果概要	8
1. デジタルトランスフォーメーションの主要技術	10
1. モノのインターネット (Internet of Things : IoT) / サイバーフィジカルシステム (Cyber-Physical Systems : CPS)	10
2. デジタルツイン、モデリング、シミュレーション	12
3. 仮想現実と拡張現実	15
4. クラウドコンピューティング	15
5. ビッグデータ解析 (Big Data Analytics : BDA)	15
6. 人工知能 (Artificial Intelligence : AI)	16
7. サイバーセキュリティ	16
8. ブロックチェーン	17
9. ロボット技術	17
10. 付加製造/3D プリンティング	17
11. 遠隔操作型及び自律型ドローン、機器、機関	19
12. マイクログリッド	19
13. 水平統合及び垂直統合プラットフォーム	19
2. 欧州造船所のデジタルトランスフォーメーションの状況	20
1. Navantia (スペイン)	21
2. Naval Group (フランス)	29
3. ThyssenKrupp Marine Systems (ドイツ)	31
4. Babcock International (英国)	34
5. BAE Systems (英国)	35
6. Fr. Lürssen Werft (ドイツ)	38
7. Saab Kockums (スウェーデン)	39
8. German Naval Yards Kiel (ドイツ)	41
9. Constructions Mécaniques for Normandie (フランス)	41
10. Damen (オランダ)	42
11. Meyer Group (ドイツ)	48
12. Chantiers de L' Atlantique (フランス)	57
13. Fincantieri (イタリア)	60
14. VARD (ノルウェー)	63
15. Uzmar (トルコ)	65
16. Ulstein Group (ノルウェー)	68

17. Sedef Shipbuilding (トルコ)	70
18. Remontowa Holding (ポーランド)	71
19. 3 Maj Shipyard (クロアチア)	71
20. Green Yard Group (ノルウェー)	72
21. Helsinki Shipyard (フィンランド)	73
22. Rauma Marine Constructions (フィンランド)	74
23. Royal IHC (オランダ)	75
24. BLRT Shipbuilding (エストニア、リトアニア)	76
25. Royal Bodewes (オランダ)	77
26. Sanmar (トルコ)	78
27. Tersan Shipyard (トルコ)	78
28. United Shipbuilding Corporation (ロシア)	79
29. West Sea Viana Shipyard (ポルトガル)	81
30. Astilleros Canarios (スペイン)	81
31. Flensburger Schiffbau (ドイツ)	81
32. Brodosplit (クロアチア)	82
33. Nodosa Shipyard (スペイン)	83
34. Ocea Shipbuilding (フランス)	84
35. Piriou (フランス)	84
36. Harland & Wolff (英国)	85
37. Cammell Laird (英国)	86
38. A&P (英国)	87
39. Havyard Group (ノルウェー)	87
40. Gondán Shipbuilders (スペイン)	88
41. Cemre Shipyard (トルコ)	88
42. ARES Shipyard (トルコ)	89
43. Fitjar Mekaniske Verksted (ノルウェー)	90
44. Kooiman Marine Group (オランダ)	90
45. Groupe Beneteau (フランス)	91
46. Sunseeker (英国)	92
47. Feadship (オランダ)	93
48. Nautor Swan (フィンランド)	94
49. Royal Huisman (オランダ)	95
50. KaiserWerft (ドイツ)	96
51. Heesen (オランダ)	96
52. Oceanco (オランダ)	97
53. Baltic Yachts (フィンランド)	98
54. Azimut Benetti Group (イタリア)	98
55. Ferretti Group (イタリア)	100
56. Sanlorenzo (イタリア)	101

57. Princess Yachts (英国)	102
58. Saxdor Shipyard (ポーランド)	102
3. 欧州の船舶設計企業のデジタルトランスフォーメーションの状況	103
1. Deltamarin (フィンランド)	103
2. Breeze Ship Design (ノルウェー)	105
3. HAV Design (ノルウェー)	106
4. BMT Group (英国)	106
5. Marine Specialised Technology Group (英国)	109
6. Salt Ship Design (ノルウェー)	110
7. Knud E. Hansen (デンマーク)	111
8. AITAC (クロアチア)	111
9. Vuyk Engineering (オランダ)	112
10. Allstars Engineering Group (フィンランド)	112
11. Tillberg Design of Sweden (スウェーデン)	113
12. Marin Teknisk (ノルウェー)	113
13. Naval Dynamics (ノルウェー)	114
14. Vera Navis (ポルトガル)	114
15. Skipsteknisk (ノルウェー)	115
16. Bernard Olesinski (英国)	115
17. BLOM Maritime (ノルウェー)	116
4. 欧州の船用機器メーカー等のデジタルトランスフォーメーションの状況	117
1. Kongsberg Group (ノルウェー)	117
2. Wärtsilä (フィンランド)	123
3. ABB Marine & Ports (スイス)	125
4. Alfa Laval (スウェーデン)	128
5. MAN Energy Solutions (ドイツ)	130
6. Winterthur Gas and Diesel (スイス)	131
7. Becker Marine Systems (ドイツ)	132
8. Rolls-Royce (英国)	133
9. Schottel Industries (ドイツ)	134
10. Brunvoll (ノルウェー)	135
11. Zelim (英国)	137
12. Siemens (ドイツ)	138
13. Dassault Systèmes (フランス)	141
14. AVEVA Marine (英国)	142
15. Eurostep (スウェーデン)	143
16. NAPA (フィンランド)	144
17. ShipReality (ギリシャ)	144

18. Fraiserline (英国)	145
19. Pemamek (フィンランド)	145
20. Kranendonk (オランダ)	147
21. Rotterdam Additive Manufacturing Laboratory (オランダ)	148
22. 10XL (オランダ)	150
23. Sculpteo (フランス)	150
24. Create it REAL (デンマーク)	151
25. Bureau Veritas (フランス)	152
26. DNV (ノルウェー)	154
27. Lloyd' s Register (英国)	156
28. RINA (イタリア)	158
29. 塗料メーカー	159
5. 研究機関・大学のデジタルトランスフォーメーションの取組状況	160
1. 水上輸送技術プラットフォーム (EU)	160
2. The DeepTech Alliance (EU)	163
3. MARIN (オランダ)	164
4. デルフト工科大学 (オランダ)	165
5. サウサンプトン大学 (英国)	166
6. SINTEF (ノルウェー)	166
7. ノルウェー科学技術大学 (ノルウェー)	167
8. CEA (フランス)	168

調査目的・内容

本報告書の目的と調査内容は以下の通りである。

- 欧州の大手造船所及び中小造船所の DX 技術の導入動向
- 欧州の船舶設計企業の DX 技術の導入に関する動向
- 欧州の船用機器メーカー及びサービス提供企業の DX 技術の導入に関する動向
- 欧州造船業のデジタル化促進を目的とした大学、研究機関、政府機関の研究開発プログラム

1. デジタルトランスフォーメーションの概要

本報告書では、欧州の 55 社以上の造船所、15 社以上の設計企業、30 社近くの船用企業とソリューション提供企業、及び欧州の造船所、船用企業、設計企業、大学、研究所による 80 件以上のデジタル化促進に関する欧州共同研究開発プロジェクトを調査対象とした。

本報告書では、調査対象企業や組織のデジタルトランスフォーメーションの導入状況を把握するため、以下の 13 項目の主要デジタル技術 (key enabling technologies : KETs) について、調査を実施。

- モノのインターネット (Internet of Things : IoT)
- 3D モデリング及びシミュレーションを含むデジタルツイン (DT)
- 仮想現実及び拡張現実 (VR/AR)
- クラウドコンピューティング (Cloud)
- ビッグデータ解析 (Big data analytics : BDA)
- 人工知能 (AI)
- サイバーセキュリティ (CS)
- ブロックチェーン (BC)
- ロボット技術
- 付加製造/3D 印刷 (AM)
- 遠隔操作・自動運航技術 (Remote controlled and autonomous vehicles : RCV/AUV)
- マイクログリッド (Micro-grids : MG)
- 水平統合及び垂直統合 (Horizontal and vertical integration : HVI)

調査対象となった各企業の上記 13 項目のデジタル技術導入の進捗状況に関し、以下の 1~4 のスコアを決定した。

デジタルトランスフォーメーションの進捗状況

スコア

デジタル技術導入に向けた活動が見られない。	1
デジタル技術導入及び利用を検討中。	2
デジタル技術導入が進展中。	3
デジタル技術が導入され、利用されている。	4

1 社の最高スコアは 52（全てのデジタル技術導入が完了）、最低スコアは 13（デジタル技術導入が未完了・全く導入されていない）である。

造船所、船用企業、設計企業のデジタルトランスフォーメーションには、ビジネスプロセスの変更と、造船所、オフィス、製品を製造する工場へのデジタル技術導入が必要となる。製品へのデジタル技術導入は、造船所、船用企業が提供するアフターセールスサービスの向上、予測的メンテナンス、航路計画の基礎となり、究極的には船舶の無人自動運航を可能にする。

本報告書の調査対象において、完全なデジタルトランスフォーメーションを達成した企業はなかったが、大部分の企業はデジタル化を開始しており、その多くは顕著な結果を出している。

デジタルトランスフォーメーションには、ソフトウェア及びハードウェアへの投資だけでなく、ビジネスに対する考え方の変革が必要である。多くの組織でデジタル化への投資及び組織の変革を含むデジタルトランスフォーメーションを先導するのはチーフインフォメーションオフィサー（CIO）またはチーフテクノロジーオフィサー（CTO）であり、その重要性と影響力は増している。

IT システム及びオートメーションへの依存度が高まるにつれ、造船所や船用機器メーカーの現場労働者への依存度は低下し、技術者やエンジニアの存在がさらに重要となる。この傾向は、造船所やメーカーの労働力とサプライチェーンに組織的な影響を与える。このような変化への対応には、重要な組織的スキルを必要とする。

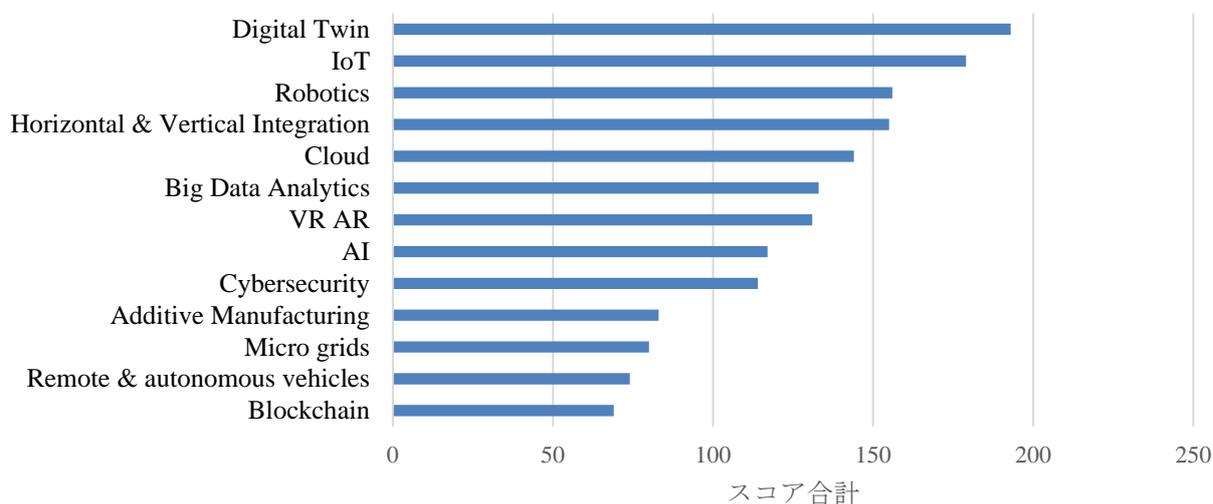
2. 造船所に対する調査結果概要

本報告書では、欧州 16 か国に拠点を持つ造船所 58 社のデジタルトランスフォーメーション活動の調査を行った。調査対象造船所の多い国は、オランダ（14%）、英国（12%）、トルコ（12%）、フランス（10%）、ドイツ（10%）である。その他の造船所は、ノルウェー、フィンランド、スペイン、イタリア、クロアチア、ポーランド、リトアニア、エストニア、ポルトガル、ロシア、スウェーデンに点在している。

「シップヤード 4.0」モデルでは、設計、建造計画、資材調達、建造、組立、引渡し・竣工から運航のライフサイクルを含む船舶のデジタルスレッドを作成するため、デジタル技術は、船舶の製造方法と運航方法の両方を変化させる。「シップヤード 4.0」のコア技術は、IoT、デジタルツイン、VR/AR、ビッグデータ解析、AI、クラウドコンピューティング、社内のデジタル情報の統合である。さらに広義の「シップヤード 4.0」概念には、ロボット技術、付加製造、ブロックチェーン、無人自律車両/ドローンなどを含む。造船所は、船舶の設計製造から長期的な保証やスマートシップからのデータ収集などの幅広いアフターサービスの提供が可能となる。

図表 1 は、本報告書の調査対象となった造船所 58 社の主要デジタル技術導入に関するスコアの合計値を整理したものである。同スコアは、各技術の導入、投資、研究動向を示しているが、技術そのものの成熟度は反映していない。

図表 1: 欧州造船所のデジタル技術スコア



出所: IMA

図表 1 では、造船所が最も多く導入しているデジタル技術はデジタルツインであることがわかる。しかしながら、「デジタルツイン」の定義は確立しておらず、造船所毎に定義も異なる。ある造船所は、デジタルツインは船舶または造船所の設計段階における 3D モデルと認識している一方、他の造船所では、船舶が竣工して初めてデジタルツインが完成すると考えている。本調査では、デジタルツインは複雑で高度にカスタム化された船舶に有益であることを示している。このような船舶では、デジタルツインを活用して革新的な設計だけでなく、仮想空間における性能試験の実施も可能。これにより、設計変更が容易となり、リードタイムを短縮、コスト競争力の高い製品を製造することが可能となる。従って艦艇、クルーズ船、特殊オフショア船、ヨットなどの船種を建造する造船所では、設計、モデリング、シミュレーションソフトウェアへの投資が特に多い。

また、IoT のスコアの高さから、多くの企業がデジタルトランスフォーメーションを開始、または計画している。IoT プラットフォームは、労働力の縮小、生産性の向上、さらに船舶と船主のデータ交換を通じた付加価値の高いライフタイムサービスの提供を目指す造船所にとって、デジタル技術導入への基礎となる。

自動化／ロボット式溶接ラインは、造船所による初期のデジタル化への投資のひとつである。本報告書では、造船所のロボットを活用した鋼板、パネル、プロファイル、サブブロック、パイプスプールの処理、切断、研磨、溶接、試験などに関する多数の例を挙げた。

造船所による PLM（プロダクトライフサイクルマネジメント）及び ERP（企業資源計画）統合はデータモニタリング等を可能とし、同造船所が建造する各船舶のみならずビジネス全体のデジタルデータスレッドを構築する。PLM システムを活用した船舶ライフサ

イクルデジタルスレッドの導入は、同社が「インダストリー4.0」への変革に着手したことを示している。本調査では、PLM に対する投資は、艦艇、クルーズ船、ヨットを建造する造船所に多く見られた。船舶のデジタルスレッドの構築により、造船所は概念設計から建造、竣工、運航、保守までの船舶の全データを網羅した唯一の情報源としてデータを管理可能。

造船所によるクラウドコンピューティング及びビッグデータ解析の導入は、同造船所が、計画的メンテナンスシステムや航路最適化ソフトウェアをはじめとするアフターセールスサービスを開発中であることを示している。さらに AI を追加することにより、予防保全メンテナンスや船舶の自動化なども可能となる。この例としては陸上基地局から制御される無人自動運航船があり、その大部分にはノルウェーの造船所が関与している。

拡張現実及び仮想現実 (AR/VR) は、本調査の対象となった造船所、特に艦艇及びクルーズ船を建造する大型造船所に広く導入されている。いくつかの造船所では、既に同技術を、社内及び顧客との設計の検討、製造計画、トレーニングなどに活用している。

サイバーセキュリティ技術の導入は、艦艇を建造する造船所のデジタル化の主要な指標となっており、造船所のデータ保護、及びさらにデータ交換を行っている船舶のシステム保護に活用されている。商船を建造する造船所に関しては、データ収集量の増加と船舶の自動化の進展に伴い、今後サイバーセキュリティ導入のスコアは上昇すると予想される。

3D プリンティングは、造船所がオンデマンドでスペアパーツの注文を可能とし、調達時間短縮と保管スペース縮小につながる画期的な技術である。また、船内に設置した 3D プリンターでスペアパーツをプリントするという技術の試験も進行中である。この技術は今後数年間で急成長し、導入が拡大すると予想される。

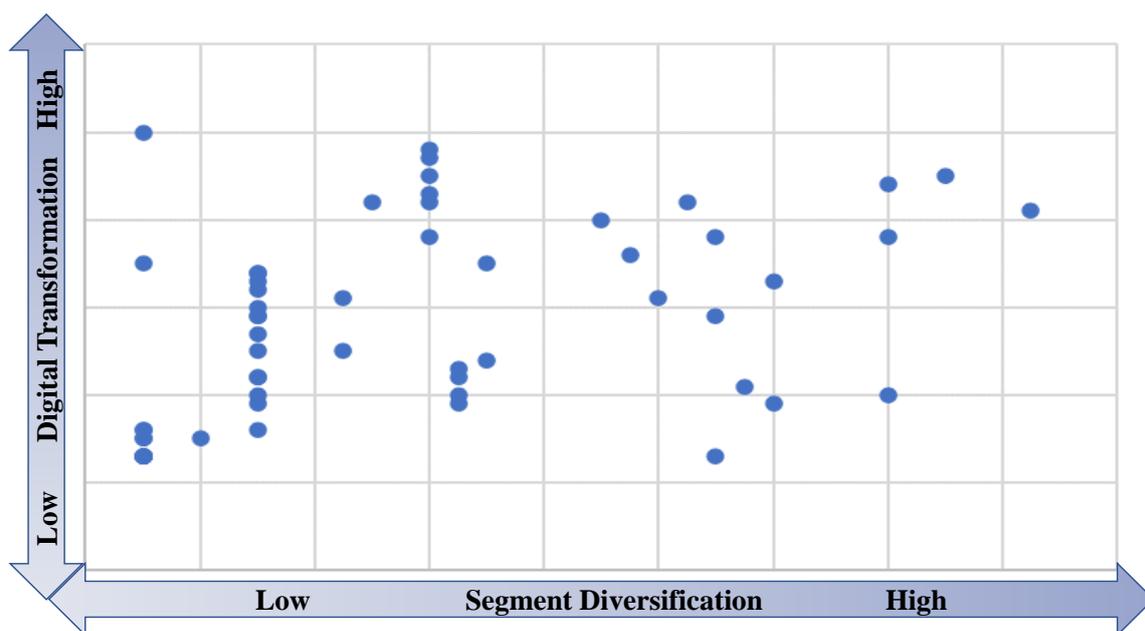
マイクログリッドは、造船所にとって比較的成熟度の低いコンセプトであるが、調査した造船所の中には、太陽光発電その他の再生可能エネルギーや地熱発電技術を導入している。本技術導入を通じて、コスト削減と効率化を目指している企業がいる一方、気候変動対応として、技術開発・導入を検討している企業もある。

調査対象の一部造船所は、遠隔操作または自動運航船を開発している。これら技術は顧客を対象としたもので、自社ヤードにおける同技術の導入は本格化していないように見受けられる。

ブロックチェーンは、本調査では最も注目度の低い技術であるが、艦艇を建造する造船所は、ブロックチェーン技術を活用したデータ保護ソリューションを開発中である。

本報告書では、調査した造船所を 6 つのグループに分類した。①艦艇、②クルーズ船/旅客船、③オフショア船/特殊船、④ヨット、⑤漁船、⑥商船/修繕/その他のヤードである。この分類により、どの造船所が 1~2 種の船種だけに集中し、どの造船所がさらに多くの船種へと多様化しているかがわかった。各造船所の多様化に関するスコアとデジタル化に関するトータルスコアを統合した結果を図表 2 に示す。この結果、欧州造船所の 3 分の 2 は特定船種の中~高度に特化しており、デジタルトランスフォーメーションへの努力と船種多様化のレベルとの相互関係は少ないことがわかった。

図表 2：欧州造船所のデジタル化スコア

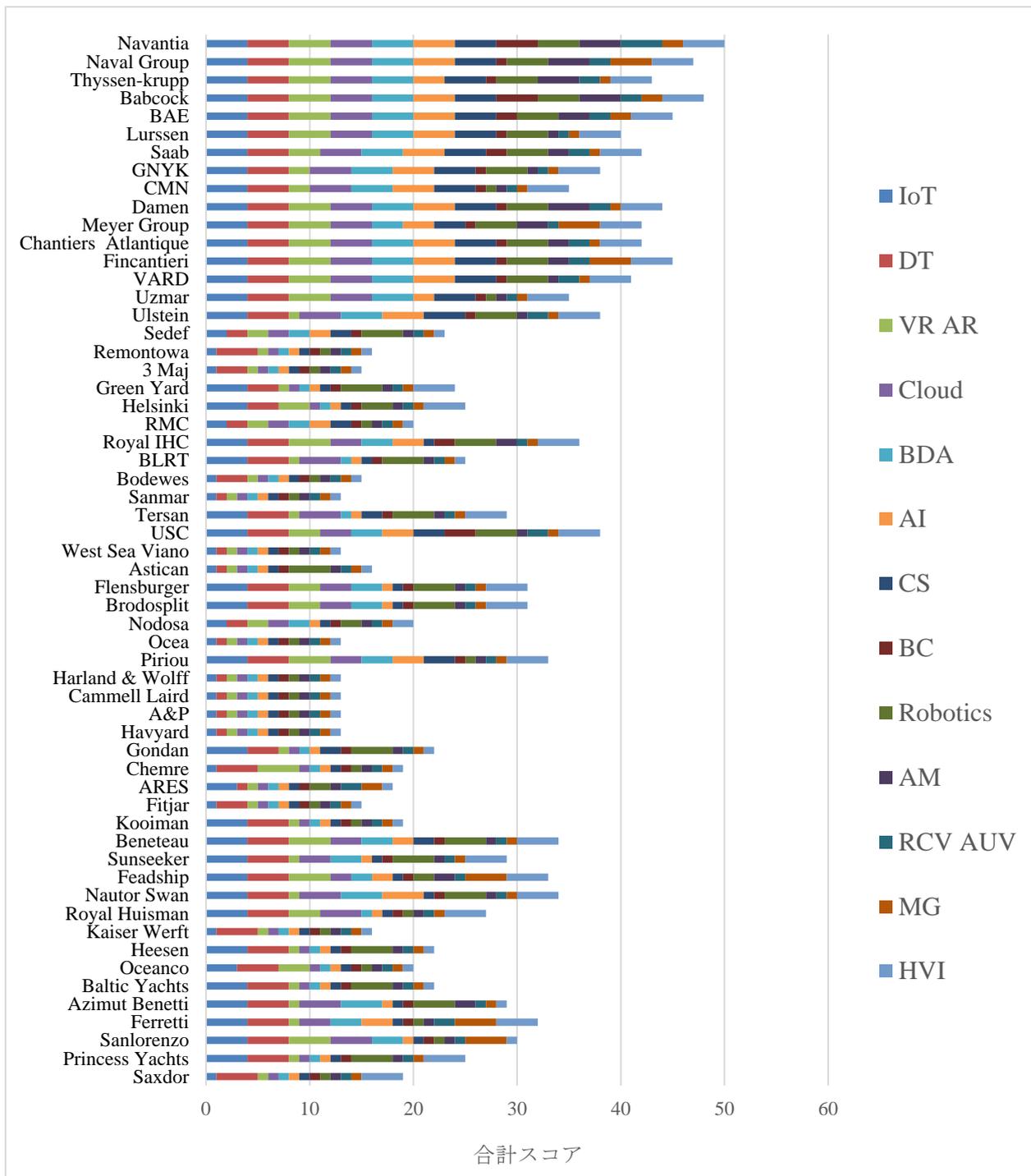


出所: IMA

図表 3 は、欧州の各造船所のデジタル技術の導入の活用の動向を示している。13 件のデジタル技術についてそれぞれ 1～4 のスコアを与え、各造船所の総合スコアを決定した。1 はデジタル技術が未導入または未確認、4 は最も導入が進んでいることを示す。よって総合スコアが高いほど、当該造船所のデジタルトランスフォーメーションは進展していることとなる。可能な最高スコアは 52（すべてのスコアが 4 だった場合）、最低は 13 である。

一般的に、艦艇及びクルーズ船を建造している造船所のスコアは高く、デジタルトランスフォーメーションが進んでいることがわかる。その他の造船所の多くは、いくつかのデジタル技術に投資、または導入を検討中である。トランスフォーメーションをまだ開始していない造船所も見受けられた。

図表 3：欧州造船所のデジタルトランスフォーメーションランキング



出所: IMA

本調査では、欧州の艦艇を建造する造船所は商船を建造する造船所よりもデジタルトランスフォーメーションが、一層進展していることが判明。艦艇の建造プロジェクトには、高度なカスタム化と複雑性を管理し、顧客と対話の必要がある。プロジェクト関係者全員が共有することのできる船舶のデジタルインフォメーションスレッドは、艦艇を造船する造船所に不可欠な要素となっている。デジタルトランスフォーメーションが本格化している艦艇を建造する造船所の例としては、Navantia、Damen の艦艇建造部門、

Fincantieri の艦艇建造部門、ThyssenKrupp Marine Systems、Naval Group、Naval Group Lürssen が挙げられる。

商船分野では、クルーズ船を建造する造船所及びその下請け企業は、船舶のデジタルスレッドを構築してデジタルトランスフォーメーションを進化させ、「インダストリー4.0」を実現している。デジタルトランスフォーメーションの進んだクルーズ船建造所の例としては、Meyer Group、Chantiers de l'Atlantique、Fincantieri のクルーズ船建造部門、VARD、Ulstein、Western Shipyard が挙げられる。艦艇建造プロジェクトと同様に、クルーズ船建造は通常 1 隻のみのプロジェクトで、高度にカスタム化されている。船舶の設計、シミュレーション、試験、建造計画、資材調達と管理、建造、組立、検査、引渡し、竣工、運航を含む船舶のライフサイクルを通じたデジタルインフォメーションのスレッドを構築することは、デジタル技術を駆使した不可欠なビジネス能力となっている。

「シップヤード 4.0」トランスフォーメーションの恩恵を受けているのは、大規模なクルーズ船建造所だけではない。Damen、VARD、Ulstein、Royal IHC などの中規模造船所、及び Uzmar などの小規模造船所もデジタルトランスフォーメーションを着実に進化させている。

ヨット建造分野では、この分野の特徴である高度にカスタム化された顧客要求に対応するために、製品設計とシミュレーション段階でデジタル技術を活用している。

3. 船舶設計企業に対する調査結果概要

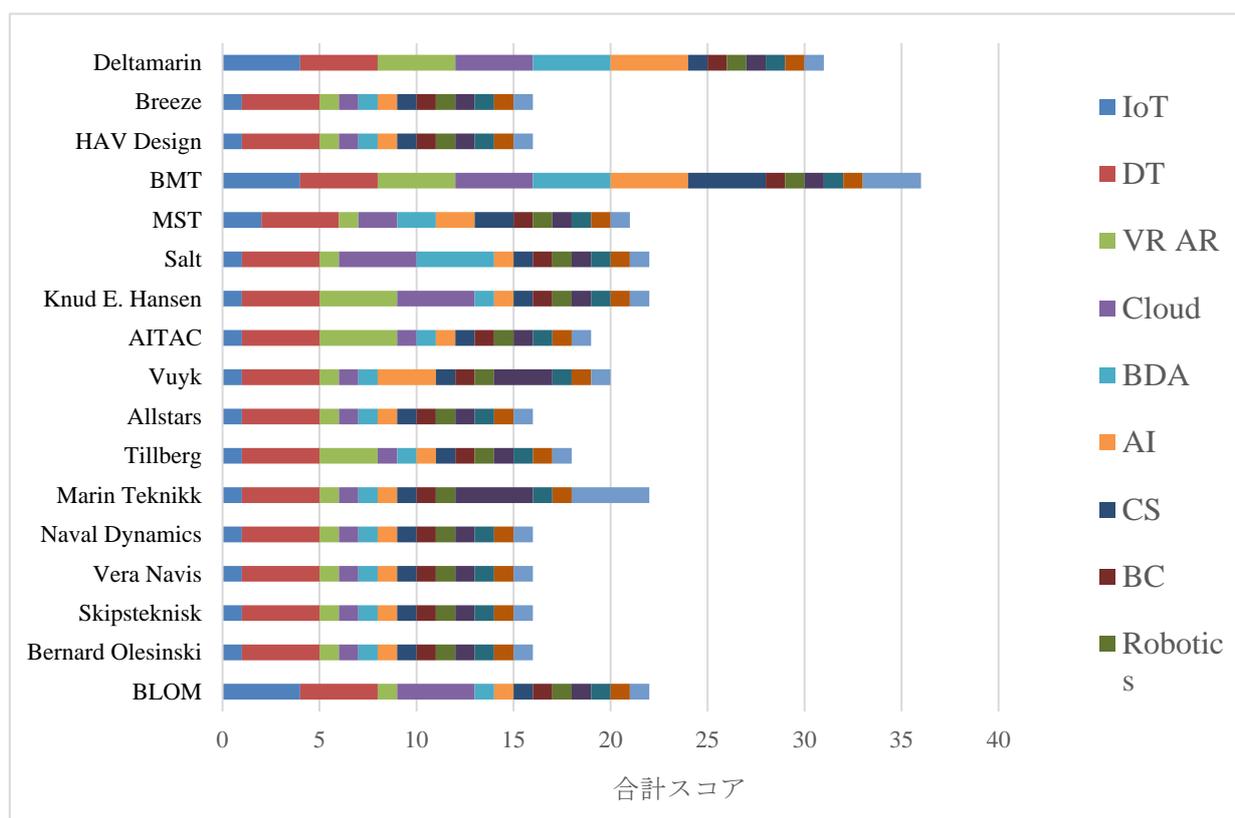
冒頭で言及した 13 件のデジタル技術のうち、船舶設計企業に関する項目は 10 件である。本報告書では、欧州の造船所と同様に船舶設計企業 17 社のデジタルトランスフォーメーションの進捗状況を調査し、各項目のスコアを決定した。

予想された通り、船舶設計企業が最も投資を行っているデジタル技術は、デジタルツインを実現する 3D 設計、モデリング、シミュレーションソフトウェアである。デジタルツインへの投資は群を抜いているが、次に投資が大きい技術はクラウドコンピューティングと AR/VR である。

調査結果からは、BMT、Deltamarin の 2 社が最もデジタルトランスフォーメーションの進んだ欧州の独立系設計企業であることがわかる。MST、Salt、Knud Hansen、Marin Teknisk、BLOM がこれに続いている。

図表 4 は、欧州の船舶設計企業のデジタルトランスフォーメーションの動向をまとめたものである。

図表 4：欧州の船舶設計企業のデジタルトランスフォーメーションスコア



出所: IMA

4. 船用機器メーカー等に対する調査結果概要

本報告書では、欧州 28 社の船用機器メーカー、デジタル技術・サービスのサプライヤー、及び船級協会のデジタルトランスフォーメーションの動向を調査した。

前述の造船所と同様の手法を用い、各船用企業のデジタルトランスフォーメーションの進捗状況をスコアで示したものが、下表 5 である。

最も高いスコアを獲得した企業は、船級協会 DNV、Lloyd's Register、Bureau Veritas、RINA、船用機器メーカーでは Wärtsilä、Kongsberg、ABB Marine である。船級協会と多角化した OEM を持つ大企業のビジネスは、デジタルトランスフォーメーションの多くの項目に関連している。

その他の高スコア企業は、造船業のデジタルトランスフォーメーションを支援する 3D 設計、シミュレーション、PLM ソフトウェアの開発を行っている Siemens、Dassault Systèmes、AVEVA の各社、付加製造技術の RAMLAB 及び 10XL、溶接ロボットの Pemamek 及び Kranendonk である。

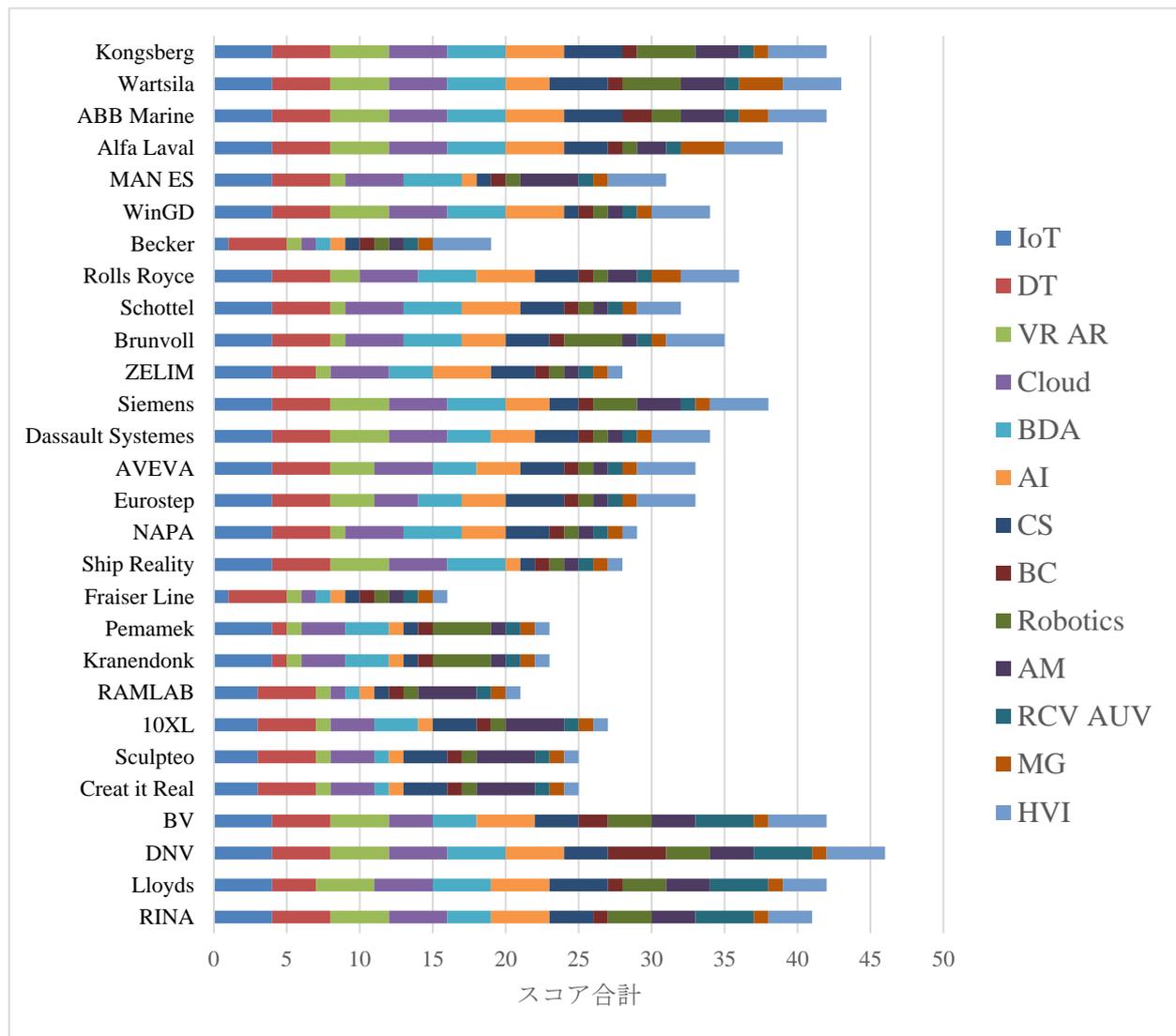
上位 3 社を見た場合、デジタルトランスフォーメーション技術は、各社のビジネスモデルにそれぞれ異なる影響を与えていることがわかる。

Wärtsilä にとって、デジタルトランスフォーメーションは同社の製品開発、試験、製造方法を変化させるだけでなく、例えば付加製造という技術は、ビジネスモデルを根本的に変革させてしまう可能性がある。Wärtsilä のようなメーカーは、自社でスペアパーツの製造、在庫管理、サービスを行い、また他社にライセンス料を課すことにより、収入

を得ている。工場や倉庫、またはクラウドベースのファイルにアクセス可能な船内におけるデジタルプリンターの普及により、メーカーのビジネスモデルは、設計・製造から設計及びライセンス供与に変化してゆくことも考えられる。同技術の進化を支援するために、Wärtsilä のようなメーカーの知的財産を保護する権利を法的に規定する必要がある。

Kongsberg と ABB Marine は、船舶の未来は電化であると考えている。電化には、エネルギー貯蔵・配電から船舶のモニタリング、自動化、さらに自動運航船を含む。

図表 5：欧州の船用機器メーカー及びソリューション提供企業のデジタルトランスフォーメーションスコア



出所: IMA

1. デジタルトランスフォーメーションの主要技術

一般的に「シップヤード 4.0」と呼ばれる造船業のデジタルトランスフォーメーションは、デジタル化及び自動化技術を駆使して造船のライフサイクルバリューチェーン全体を変革、改善する。

ハイレベルな「シップヤード 4.0」は、船舶の建造方法を変化させ、造船所と船主にとっての新たな価値を創造する。完全なデジタルトランスフォーメーションは、基本設計から解撤まで船舶のライフサイクル全体に影響を与える。

造船所のデジタルトランスフォーメーションは、脱炭素化の例のように規制や達成目標の義務化に後押しされるのではなく、変化する市場環境の中で各社が競争力とサステナビリティを維持するために必要なトランスフォーメーションを決定する自発的な動きである。

本調査では、造船業のデジタルトランスフォーメーションの実現を支援する技術を 13 のカテゴリーにグループ化した。これらの主要技術と支援技術の技術的成熟度と導入状況はそれぞれ異なる。以下に主要技術の概要を述べる。

1. モノのインターネット（Internet of Things : IoT）／サイバーフィジカルシステム（Cyber-Physical Systems : CPS）

IoT の基礎は、インターネットを通じてサイバー空間に接続する複数のデバイスで構成されるグローバルネットワークインフラである。接続されたデバイスは、センサー、通信、ネットワークング、情報処理技術を通じて造船所内及び船内に配備される。

造船所内では、IoT プラットフォームは、設計部門から在庫管理、製造、完成品を含む大量のデータ収集、共有、解析を促進する。

船主にとっては、IoT プラットフォームは情報共有と意思決定の迅速化を支援する不可欠な技術となっている。船主が IoT プラットフォームを要求することにより、造船所の高度な船舶技術のソリューション提供力は増している。

IoT プラットフォームの恩恵が特に大きいエリアは以下の 5 件である。

- **引渡し後のサービス**：船舶にリアルタイムに近いコンディションデータを報告するセンサーを内蔵することで、造船所は長期的で幅広いサービスを提供することが容易となる。さらに、運航データの分析により、造船所は製品群を持続的に改善することができる。
- **運航及びメンテナンス管理**：プラットフォームが監視・送信する船舶及び管理オフィスからのリアルタイムデータは、航路計画、燃料管理、排出管理、修繕・保守、船員の配乗などに利用できる。IoT を活用し、造船所は数多くのデータ収集センサー及びアクチュエーターを新造船に装備し、船舶の幅広い機能からのデータの収集、分析、管理を行っている。
- **燃料消費及び排出に関する報告**：国際海事機関（IMO）のデータ収集システム、CII、エネルギー効率運航指標（EEOI : Energy Efficiency Operational Indicator）の要求に則したこの機能の重要性は増している。また、欧州経済地域（EEA）内の港湾で貨物の積み下ろしを行う総トン数 5,000 GT 以上の全船舶は、

EU-MRV 制度に基づき、燃料消費量から割り出した二酸化炭素排出量のモニタリング、報告、証明が必要である。

- **コンディションベースのモニタリングと予防保全メンテナンス：IoT、AI、クラウドコンピューティング、ビッグデータ解析などのデジタル技術を活用し、船主は計画された定期的メンテナンスだけではなく、機器や機関の実際のコンディションをベースとした予防保全が可能となる。状況監視ソフトウェアは型式承認プロセスとリンクすることもできる。その結果、機器や機関の年齢ではなく、実際の状態に適したメンテナンスが可能となる。このようなメンテナンスとバーチャル検査により、船舶の不稼働時間が短縮される。**
- **自動運航船：船舶に搭載されたセンサーとアクチュエーターは、空中、陸上、水中ドローン、及び船舶の遠隔操作及び自動運航の基礎となる。船舶は、陸上局のサポートとともに徐々に無人運航化する。**

IoT 及びサイバーフィジカルシステムを支援するサブテクノロジーの例は以下の通りである。

- **センサー：センサーは IoT データを収集する。センサーの技術用語はトランスデューサー（変換器）である。トランスデューサーは、光または騒音などの物理的インプットを電気インパルスに変換する物理的デバイスである。センサーの例としては、音の振動エネルギーを電気エネルギーに変換するマイクロフォンがある。**
- **アクチュエーター：アクチュエーターはセンサーと逆方向の働きをする。アクチュエーターは、電気インプットを物理的な動きに変換する。アクチュエーターの例は、電気モーター、油圧システム、空気圧システムなどである。**
- **デジタルモーションカメラ：自動的に画像をキャプチャーし、エレクトロニックデータに変換する。赤外線センサーによる追加機能としては、造船所の安全・セキュリティシステムの向上が挙げられる。**
- **固定及び無線通信インフラ：IoT ネットワークが情報を処理・保存するために送信を行う不可欠な要素である。固定式無線ネットワークは、オフィスや工場などの固定された場所で作動する無線装置である。これらのパッシブ型無線装置には通常電源から電力を供給される。モバイル無線装置は、通常バッテリーで駆動されるアクティブな可動装置である。**
- **バーコード：機械で読み取れる形式でデータを保存する。一次元バーコードは幅、間隔、サイズの異なる複数の線が並列したもので、バーコードリーダーと呼ばれる光学スキャナーで読み取ることができる。二次元バーコードは、長方形、ドット、六角形から成り、特殊機能を持つ 2D 光学スキャナー及びデジタルカメラで使われる。QR (Quick Response) コードは、二次元バーコードの一形式である。バーコードはリーダーが読み取れる範囲内に収まらなければならない。バーコードリーダーは、拡張現実 (AR) と組み合わせて、造船所の従業員が特定の材料またはスキャンされた機器に関する情報を得ることを可能にする。**
- **無線周波数識別 (Radio frequency identification : RFID) システム：RFID は、電磁場を用いて、物体に取り付けられたタグを自動的に識別、追跡する。タグは、**

近くにある RFID リーダーからの電磁気パルスに反応してデータを発信する。RFID タグの一例は、インベントリ識別番号である。倉庫に配達された部品にタグを取り付けることにより、対象物は造船の全行程を通じて追跡される。パッシブ型 RFID タグは電波トリガーで作動する。バッテリー駆動のアクティブ型 RFID は、RFID リーダーから数百メートル離れていても使用できる。RFID タグは離れていても読み取れるため、バーコードのようにリーダーの範囲内にある必要はない。

- リモート／ワイヤレスセンサーネットワーク (WSNs) : 温度、湿度、圧力、風力などの物理的な環境状態を監視・記録する分散した特殊センサーのネットワーク。
- ユビキタスコンピューティング: 主にマイクロプロセッサを組み込むことにより、日常的なものにコンピューター能力を付加するというトレンドである。マイクロプロセッサを搭載されたもの同士が効果的に相互通信してタスクを遂行し、エンドユーザーがコンピューターを使う必要が減少する。ユビキタスコンピューティングはあらゆるデバイス、ロケーション、フォーマットで利用できる。
- 5G: 4G よりも広帯域、高速で、向上した潜在的パフォーマンスを提供する。これによりアプリ、デバイス、もの同士がリアルタイムまたはほぼリアルタイムで通信可能となる。

今日では、IoT サービスやデータを埋め込むための多様な IoT プラットフォームが利用可能である。その例としては、SAP IoT、Bosch IoT、Software AG Cumulocity、Microsoft Azure、Salesforce IoT、ThinkWorx、Oracle Internet of Things、Cisco IoT、Google Cloud、IBM Watson、Amazon Web Services などがある。

2. デジタルツイン、モデリング、シミュレーション

船舶の一生または造船所業務の標準的な段階のシミュレーションを行うライフサイクルデジタルツインには、設計、建造、運航、メンテナンスという4つの中心的要素がある。

デジタルツインソリューションの大手企業である Unity は、デジタルツインは、実世界の資産が経験する動き、力、相互作用のバーチャル画像であると説明している。ユーザーは、リアルタイムで動きに反応する三次元の画像を見ることができる。このバーチャル環境において、効果的に実世界の状況、仮定的シナリオ、想像し得るあらゆる状況のシミュレーションを行い、その結果をモバイルデバイス、コンピューター、拡張現実、複合現実、仮想現実デバイスなどのあらゆるプラットフォームで即時に可視化する。

造船業では、デジタルツインは、異なる機能を持つチームが船舶の設計、建造、試験、配備、運航、メンテナンスにおいて相互的に協働することを可能にする。デジタルツインは、自動運航、予防保全メンテナンス、レトロフィットなどの高度な機能を開発するための様々なシステムを統合し、またデータのフィードバックと解析を通じて連続的な改善を実現させることができる。

デジタルツインの実現要素は、CAD 設計などの概念モデルのインポート、または実世界のアイテムを可視化、分析するためにスキャンなどが挙げられる。

従来の CAD/CAE/CAM 手法は、設計、エンジニアリング、建造工程に焦点を当てていたが、デジタルツインはプロジェクトの全情報の 3D 画像を可視化させる。デジタルツイン

ンは、製品ライフサイクル管理（product lifecycle management : PLM）、企業資源計画（enterprise resource planning : ERP）、製造実行システム（manufacturing execution systems : MES）からの 3D モデルのデータを追加しながら、プロジェクトのライフサイクルを通じて変化する。

データ収集を通じてデジタルツインは、製品の実世界におけるパフォーマンスのシミュレーションと予測を行う。

デジタルツインは、船舶だけではなく造船所でも活用されている。AI 及びビッグデータ解析を組み合わせ、造船所のデジタルツインはスペースとプロセスの最適化と建造プロジェクトの戦略開発を支援する

船舶の設計段階では、デジタルツインは関係者間の情報共有を円滑化し、造船所の技師、船主、船級協会の設計見直しを容易にする。

建造段階においては、船舶の部品やモジュールをデジタルスキャンし、物理的データを点群データ（ポイントクラウド）に変換することにより、デジタルツインと実際の工程を比較することができる。デジタルツインとポイントクラウドを組み合わせることで、造船所は製図からの誤差を検知し、変更の詳細な影響を知ることができる。

究極的には、船舶のデジタルツインは船主に引き渡され、船級の検査業務や船舶の改造計画などを含む運航やメンテナンス業務を支援する。造船所は、同船の監視を続け、付加価値のあるアフターサービスを提案することができる。

付加価値のあるサービスとは、船を所有、運航する船主が、同船が生み出すデータを有効活用できるシステムである。

モデリングとシミュレーション/デジタルツインを支援する関連技術の例は以下の通りである。

- **コンピューター支援設計 (CAD)** : 製造前に実世界の船舶及びシステムの 2D 製図と 3D モデルをデジタルで作成する。CAD システムの特徴は、マウスとキーボードで操作するコンピューター画面のディスプレイである。広く利用されている CAD プラットフォームは、AVEVA Marine、Dassault Systems 3DEXPERIENCE CATIA、Siemens NX FORAN、NAPA、CADMATIC、SSI ShipConstructor などである。
- **コンピューター支援エンジニアリング (CAE)** : 船舶または船舶のシステムの試験とシミュレーションを行うツールである。広く利用されている CAE プラットフォームは、CAD ソフトウェア開発企業が提供している。
- **コンピューター支援製造 (CAM)** : 建造工程を支援するソフトウェア。CAD モデルが CAM にインポートされた後、同ソフトウェアは製造モデルを準備し、材料の切断、ドリル、穿孔などの作業を行うマシンを制御する。広く利用されている CAM プラットフォームは、CAD ソフトウェア開発企業が提供している。
- **計算流体力学 (CFD)** : 船舶設計者が流体力学などにに基づき性能を確認するため、シミュレーションを行うことを可能にするソフトウェア。水槽試験を行う代わりに、バーチャルモデルを用いて数値的試験水槽で船舶の性能試験を行うことも可能。

- **仮想現実 (Virtual Reality : VR)** : コンピューターが物理的世界を表現するためのバーチャルエクスペリエンス。ユーザーは物理的世界の干渉なしに、完全な仮想現実空間を体験可能。造船業や船舶との関わりについては、ユーザーがどこからでも造船所または船舶の仮想現実にはアクセスすることができる。VR 技術は、複数のユーザーによる製図の遠隔見直し、承認、管理体制の変更、シミュレーショントレーニングなどに適している。トレーニングの場合、人員があらゆる場所から仮想現実にはアクセスし、物理的に人員を訓練するコストと時間の節約となる。現時点では、VR は頭部に装着した精密な位置追跡システムとユーザーが頭を動かすたびに情報を更新するソフトウェアを搭載したデバイスを利用することが最も効果的である。このようなヘッドセットは、Facebook Reality Labs が開発した Oculus Quest をはじめとするゲーム用アプリから開発されることが多い。
- **拡張現実 (Augmented Reality : AR)** : 情報または物体がバーチャルに追加された物理的世界。作業のタスクや指示は、ヘッドセット、タブレット、携帯デバイスに表示され、また部品に表示された情報が作業を助ける。人気のあるヘッドセットの機種は、Microsoft の HoloLens、Epson Moverio などである。
- **複合現実 (Mixed Reality : MR)** : 物理的物体と3D デジタル物体が共存し、リアルタイムに情報交換する VR と AR のハイブリッド。造船所の場合、MR ヘッドセットを装着したユーザーは、建造中の船舶とその船舶の CAD 製図を比較することができる。
- **3D スキャニング** : 物理的物体と精密なデジタルモデルに変換するプロセス。
- **ポイントクラウド** : 物理的世界からスキャンされ、3D 空間にプロットされた点の集合。完成した船のポイントクラウドは、3D スキャナーでキャプチャーされた点群から成る。船舶をスキャンした場合、それぞれのバーチャルポイントが船殻のプレート、内壁、通路、パイプ、またはスキャナーのレーザービームが届くあらゆる表面の実際の点を表す。スキャナーは、収集したデータを各点の 3D 座標に変換し、スキャンされた物体の正確で詳細な画像の 3D デジタルモデルに変換する。3D CAD モデルと融合した建造船の大型ポイントクラウドは、VR ヘッドセットで可視化可能な船舶の複雑なデジタルツインを作成するために使用される。この技術は設計変更、建造工程の監視、造船内における建造工程の変更などの作業を支援する。
- **デジタルモーションカメラ** : 自動的に画像を撮影し、画像を電子データに変換する。赤外線センサーによる追加的機能としては、造船所内のセキュリティーシステムの強化がある。
- **プロジェクトライフサイクル管理** : 製品ライフサイクルの全段階の情報とプロセスを管理する水平統合プラットフォーム。大型 CAD ファイルを保存、共有する製造データ管理プラットフォームの構築により、部品調達の管理、工程変更プロセス、セキュリティー、及び製品のライフサイクルのあらゆる段階における共同サービスを含むシステムへの機能拡張が容易となる。今日の第四世代 PLM プラットフォームはサプライチェーンと顧客を中心とし、SaaS (software as a service) モデル上に構築されている。従来 PLM プラットフォームは、複雑な造船業の

ビジネスモデルに対応していなかったが、各セグメントを対象とした PLM ソリューションは利用可能である。

船級協会、CAD/CAM ソフトウェア提供企業、船舶設計企業、造船所、PLM 企業は、OCX (Open Classification Exchange) コンソーシアムと呼ばれるグループを設立し、造船所と船級協会のデジタルワークフローを最大化し、共通形式による設計モデルを共有するための業界標準の開発を行っている。同コンソーシアムの創設メンバーは、DNV、Kongsberg、Ulstein、Chantiers de l'Atlantique、NAPA、AVEVA、Hexagon、Digithread である。その後、Siemens Industry Software、Lloyd's Register、Korean Register、Bureau Veritas、Turk Loydu、China Classification Society、the American Bureau of Shipping、Prostep、Inocean、Sener、CADMATIC、TIMETEC、SSI、Aerys、Skipsteknisk、Deltamarin、Techsoft、B&A Software、Altair がコンソーシアムに参加している。

3. 仮想現実と拡張現実

前述のように、仮想現実 (VR) と拡張現実 (AR) は、モデリングとシミュレーションツールに統合された機能である。同技術は、既に造船所のトレーニングと部品配置に利用されている。VR は、人がシミュレーションに接続されたデバイスを用いて、仮想空間を体験可能とする。VR は、トレーニング、オペレーターの知識向上、製品試験、認証を支援する便利な技術である。

VR と AR を支援する関連技術には以下がある。

- 装着型カメラ及びセンサー：データ収集のためにモーションをキャプチャーし、再生、可視化する。
- 双眼鏡型 HMD (head-mounted display)：CAD モデルを可視化する VR または AR ヘッドセット。

4. クラウドコンピューティング

クラウドとは、進化するデジタル技術とクラウドコンピューティング技術の相互接続を支援するネットワークインフラである。同技術は、保存スペース、コンピューター機能、リソース共有など大容量のデータアプリケーションに利用される。

Microsoft によると、クラウドコンピューティングは、サーバー、記憶装置、データベース、ネットワーキング、ソフトウェア分析、インテリジェンスなどのコンピューターサービスをインターネット、即ちクラウドで送信することにより、イノベーションの迅速化、リソースの柔軟性向上、スケールメリットなどを提供する。

クラウドは、製品ライフサイクルのあらゆる段階におけるサービス要求に対応する。

5. ビッグデータ解析 (Big Data Analytics : BDA)

船舶の設計から運航まで、造船業は情報に基づいた意思決定を支援するために膨大な量のデータを効率的に処理する必要がある。

船主や船舶管理企業は、船隊のデータ送受信、コスト効果の高い船舶管理、コンプライアンス報告などにビッグデータを活用している。また、ビッグデータ解析は、デジタル化された造船所の建造工程においてもその重要性を増している。

ビッグデータ解析はクラウドベースのソリューションで、IoT プラットフォームから収集された大量のデータを、クラウドに保存し、分析する。

6. 人工知能（Artificial Intelligence : AI）

EU 欧州委員会は、AI を、特定の目標を達成するために、その環境を分析し、ある程度の自律性を持った行動をとるインテリジェントなシステムであると定義している。

スマートドキュメンテーションは、データベースから以前のデータとパターンを活用するアルゴリズムによってモニターされ、運用されるデータを伴う。AI により、スマートドキュメンテーションは出来事を予測し、早期に警告を発する。

7. サイバーセキュリティ

バリューチェーン内のデータの重要性の増加に伴い、大量のデータ交換とクラウド上の保存に関する脆弱性からデータを保護する必要性も増している。

サイバーセキュリティシステムは、データとサーバーフィジカルシステムへのサイバー攻撃を検知して反応し、データとシステムを保護する。

船内システムのデジタル化、自動化の進展に対応するため、国際船級協会連合（IACS）は、サイバーセキュリティに関する 2 件の UR（Unified Requirement）を発表した。同要求は 2024 年 1 月 1 日に発効し、造船所とベンダーを対象としており、2024 年 1 月 1 日以降に建造された新造船に適用される。IMO の 2021 年のサイバー決議は船主、運航者、管理者を対象としていないが、DNV によると、IACS の新要求は、システムインテグレーターとしての造船所及びシステムベンダーの両方に対し、そのシステムと船舶にサイバーセキュリティの対策の実施を求めている。

さらに、DNV は、新要求に関して、主機制御システム、操舵システム、冷却システム、火災検知システム、船内アナウンスシステムを含む通信システム、航海システムなど、船舶の駆動、航海、安全運航に関するコンピューターベースの全機器に適用されると述べている。自動運航船に関しては、船長にアドバイスを与え、操船に直接関連するあらゆるタイプの意思決定支援システムが、新要求の対象となる。

- **統一要求 UR E26**: 同要求は、船舶をサイバーセキュリティのひとつの集合体とみなし、機器の認識、保護、攻撃検知、レスポンス、リカバリーをカバーする。その目的は、設計、建造、竣工、運航という船舶のライフサイクルを通じた運航機器及び情報技術機器の船舶のネットワークへの安全な統合である。
- **統一要求 UR E27**: 同要求は、サードパーティーサプライヤーによるシステム整合性保護を確保するための船内機器・システムのサイバーセキュリティに関する要求である。

8. ブロックチェーン

ブロックチェーン技術は、デジタル情報の信頼性向上を目的に開発された技術である。ブロックチェーンは、情報のトレーサビリティと透明性を高める技術（distributed ledger technology : DLT）である。

ブロックチェーンは、デバイスだけではなく、タグ付きアイテムの処理状況を整理した台帳（ledger）を管理することにより、デバイス同士の通信方法に影響する。

ブロックチェーンは、当初暗号通貨のサイバーセキュリティ向けの技術であったが、船用ライフサイクルシステムを製造するメーカーにとっては、サイバー脅威インテリジェンスなどの安全なデータ共有を可能にする技術である。プライベートブロックチェーンは、接続されたユーザーとデバイスを保護するために、改ざん不可能なデジタル金庫の構築に利用することができる。

また、船級協会にとっては、ブロックチェーンは、認証管理への有効な技術となりつつある。この技術により、ユーザーによる認証の見直し時の書類の正当性と有効性に関する信頼を高めることができる。

9. ロボット技術

造船業において、既にロボットは鋼板の溶接などの業務に幅広く利用されている。柔軟性、自律性が増した「シップヤード 4.0」型ロボットは、処理、溶接能力に加え、アクセス困難な部分の検査に利用可能である。

ロボットとセンサーを組み合わせることにより、ロボットとオペレーターの統合が可能となり、協働ロボット「コボット」が実現する。

造船所では、計測センサーを装備した CAD 駆動の自動溶接ラインは、プロファイル切断、保護塗料を使用するための鋼板の開先加工、補強部材と隔壁を溶接するパネルライン、パイプフランジの取り付けと溶接、小アセンブリーの溶接、さらに大型ブロックの組立てなどの幅広い作業を行う。欧州の大手メーカーは、Pemamek、Kranendonk などである。

欧州の造船所では、外骨格ロボットによる作業員への支援が行われている。欧州外では、大宇造船海洋が 2014 年にモーター式ウェアラブル外骨格ロボットの最初の試験を行った。最初のプロトタイプはカーボン補強プラスチック、アルミニウム、鋼鉄でできており、28 キロの重量があった。これを装着した作業員は、通常のスPEEDで 30 キロの負荷を運ぶことができた。同試験の成功の後、100 キロの負荷を扱うことのできるユニットが開発された。

10. 付加製造／3D プリンティング

付加製造技術は、船舶の機器及び部品を 3D モデルからレイヤーを重ねて「印刷」する技術である。3D プリンティングは主に以下の 3 つのカテゴリに分類される。

- 設計及び開発プロセスを迅速に支援
- 型と製造ツールを迅速に作成
- オリジナル部品及びスペアパーツを製造し、パーツを鋳造、鍛造、加工

3D プリンターは新たな産業機械であるだけでなく、ビジネスモデルを変革する技術である。部品は CAD/CAE/CAM ソフトウェアを用いて設計され、同ソフトウェアがオン

デマンドで部品を印刷する機器を制御する。これにより、保管スペースとロジスティクス作業を軽減する。

これまで船用セクターにおける工業レベルの同技術の利用は限定的であった。しかしながら、造船とスペアパーツ製造において、同技術利用への関心が高まっていることは明らかである。船級協会 BV によると、造船所が付加製造技術を造船工程に導入するだけではなく、船主が新造船にデジタルプリンターを搭載し、まず低スペックのスペアパーツのプリントを開始することを検討している。一例としては、Maersk Tankers とエンジンメーカー MAN Energy Systems は、2014 年、船舶に搭載した熱可塑性プリンターで、航行中にオンデマンドでスペアパーツをプリントする試験を行った。その後も何件かの試験が行われており、本報告書にはスペアパーツの 3D 印刷に加え、船用プロペラの 3D プリンティングの実施例である 2 件も含めている。

船用機器メーカーにとって、3D プリンティング技術はチャレンジである。メーカーの従来のビジネスモデルでは、アフターセールスのスペアパーツ販売が大きな比重を占めていた。しかしながら、船主、造船所、船用製品販売業者が 3D メーカー、その他のステークホルダーが 3D プリンターに投資した場合、船用メーカーはこれまで安全であったビジネス分野における競争に晒されることとなる。メーカーのビジネスモデルの発展の形としては、メーカーが製品設計とライセンス供与に特化し、製造とスペアパーツの販売から撤退する可能性が考えられる。このモデルでは、各地の 3D プリンターが有料のオンラインデータファイルにアクセスし、型式承認取得済みのスペアパーツをプリントする。

プリンターには、プラスチックを溶かすデスクトッププリンターからレーザーで材料の粉末を溶かす産業用プリンターまで、様々な方式と技術がある。技術の成熟に伴い、多くの材料が研究され、船用部品、さらに船体ブロックの製造に使用可能となる。また、プリント可能なサイズが拡大し、さらに大型の部品の 3D 製造が可能となる。

3D プリンティングの主な方式と技術は以下の通りである。

- **光造形法 (Stereolithography : SLA)** : 光造形法は、概念モデル、外形プロトタイプ、複雑なジオメトリーと平滑な表面仕上げを持つ部品の製造に用いられる産業 3D プロセスである。同技術では、プロトタイプの作成に光硬化性樹脂を用いる。
- **熱溶解積層法 (Fused deposition modelling FDM)** : FDM は、押出し加工をベースとした 3D 印刷技術で、材料としてはフィラメント状の熱可塑性ポリマーが用いられる。材料は、CAD モデルの指示に従ってレイヤーごとに溶かされ、積層される。この方式は、主に迅速で低コストのプロトタイプ作成に用いられる。熱溶解積層法の最近のイノベーションは、ドローンなどの製品に電子部品及び機械部品を埋め込む能力である。
- **粉末焼結積層造形法 (Selective laser sintering : SLS)** : SLS は、高出力レーザーがフィラメント状の粉末を焼結し、3D CAD モデルをベースとした製品に造形する技術である。同技術は、複数のナイロンベースの材料で製造されたプロトタイプ及び可動部品のプリントに用いられる。
- **ポリマー系付加製造** : ポリマーを用いた 3D 印刷は、主に大型非構造部品に用いられる新技術である。この方式では、指示されたポリマーの積層により部品を造形する。

- **選択的レーザー溶解 (Selective laser melting : SLM)** : SLM は最も広く利用されている 3D 印刷技術である。同技術では、レーザーが低酸素環境で溶解した金属粉末を積層して部品を製造する。
- **電子ビーム溶解 (Electron beam melting : EBM)** : EBM は SLM と似た方式で、材料を電子ビームにより真空状態で溶解し、積層する。
- **ワイヤーアーク溶接方式付加製造 (Wire arc additive manufacturing : WAAM)** : WAAM 方式は、材料をアークから発生する熱で溶解する。同方式は、既に型式承認取得済みのプロペラ製造に用いられている

11. 遠隔操作型及び自律型ドローン、機器、機関

遠隔操作型及び自律型のドローン、機器、機関は、倉庫及び製造現場付近で貨物を配送、また船舶の部品の監視、計測、検査を支援する。自律型搬送車は AGV、自律型無人潜水機は AUV と呼ばれる。

12. マイクログリッド

造船所及び船舶をベースとしたマイクログリッドは、電力使用を最適化し、カーボンフットプリントを削減するために各種の再生可能エネルギーを統合する。

IT システムのバックアップ、機器の電化、船舶の陸上電力供給を含む電化は、「シップヤード 4.0」の中心的概念である。

13. 水平統合及び垂直統合プラットフォーム

水平統合及び垂直統合プラットフォームは、ビジネスの通常機能の水平統合、製造部門の垂直統合、バリューチェーン全体のエンジニアリングのデジタル統合という 3 次元をカバーする企業全体のプラットフォームである。

製品ライフサイクル管理 (PLM) 及び企業資源計画 (ERP) プラットフォームは、それぞれのビジネス機能をサポートすると同時に、相互通信が可能な補完的システムでもある。

PLM は、製品の初期のドキュメンテーションから、その見直しを経て製造までを管理する。ERP は、PLM システムで定義されたデータを使用し、企業の製造資源と財政情報及びその他の業務の管理をサポートする。

PLM アプリケーションは製品開発の管理を目的とし、ERP システムは製造のリソース計画の管理を行う。製品データは当初 PLM システムに保存される。PLM は他の設計、製造ソフトウェアアプリケーションからのデータを統合する。

「シップヤード 4.0」では、PLM プラットフォームはライフサイクルデジタルスレッドの作成が期待されている。欧州の造船所では、PLM の導入は、カスタム化された複雑な船舶を短いリードタイムで競争力のある価格で建造することを可能にする重要な技術である。

製品設計の開発が、製造資源管理の段階に達した時点で、既存の PLM システムを統合した ERP システムが役に立つ。ERP システムのみを導入している企業は、製品記録の準備と正確な管理に苦労する。

本調査では、欧州造船所及び船用企業で最も広く利用されている PLM アプリケーションは、Dassault Systèmes 3D EXPERIENCE、Siemens Teamcenter であることがわかった。

2. 欧州造船所のデジタルトランスフォーメーションの状況

同章では、欧州造船所がデジタル技術を利用してビジネスモデルを変革している状況を概説する。デジタル技術は、各業務を垂直及び水平統合し、船舶のライフサイクルを通じた製品とサービスを船主に提供するために利用されている。

本報告書では、艦艇を建造する造船所、商船を造船する造船所、ヨット及び特殊船を建造する造船所を含む 50 か所以上の造船所のデジタルトランスフォーメーションの進捗状況を調査した。

各造船所に関しては、本報告書の第 1 章で概説した 13 件の主要デジタル技術の導入、活用状況を調査した。各造船所の情報に基づき、各デジタル技術導入の進捗度に 1~4 のスコアを与えた。13 件のデジタル技術の合計スコアは、当該造船所のデジタルトランスフォーメーションの進捗状況を示している。

スコアの決定方法は以下の通りである。

<u>デジタルトランスフォーメーションの進捗状況</u>	<u>スコア</u>
デジタル技術導入に向けた活動が見られない	1
デジタル技術導入及び利用を検討中	2
デジタル技術導入が進展中	3
デジタル技術が導入され、利用されている	4

各企業に関する記述の最初には、13 件のデジタル技術の導入状況の要約を記した。

1 社の最高スコアは 52（全てのデジタル技術導入が完了）、最低スコアは 13（デジタル技術導入が未完了・全く導入されていない）である。

完全なデジタル統合を計画している企業は、受注、設計、資材の調達と管理、製造計画、労働力管理、設備設計、建造工場及び艀装岸壁での作業、竣工、海上試験、検査アフターセールスサービスとメンテナンスを含む船舶のライフサイクルの重要事項のデジタル化と統合を目指している。

船舶のデジタルスレッドの構築により、いくつかの造船所は船舶のライフサイクルを通じてデータを収集し、そのデータを船舶のライフサイクルへの大きな影響力を持つビジネスモデルへのトランスフォーメーションに活用している。

造船業は、デジタル技術導入に関して先進産業に遅れをとっていた。その理由としては、造船業の 1 隻当たりの部品数の多さが、ビジネスモデルの完全なデジタル化への制約となっていると考えられている。

1. Navantia (スペイン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4

Navantia は、スペイン国有の大手船舶設計・建造企業で、主に艦艇の建造を行っている。Navantia のスペイン国内造船所は、カディス（サンフェルディナンド及びプエルトレアル）、カルタヘナ、フェネ、フェロルに位置する。また、同社はオーストリア、ブラジル、インド、ノルウェー、サウジアラビア、トルコ、米国に拠点を持つ。

欧州の造船企業の中では、Navantia は、グローバルな競争環境における競争力の維持とコンプライアンスを目指したビジネスモデルと資源計画の変革のための「シップヤード 4.0」技術の導入戦略を最もオープンにしている企業のひとつである。

トランスフォーメーションは長い道のりであり、本報告書で取り上げている様々なデジタル技術は導入の初期段階にある。

2015年、Navantia は、ラ・コルーニャ大学との混合調査ユニットを設立し、同社の艦艇、商船、洋上風力発電施設に関する新技術や「シップヤード 4.0」戦略を支援する技術の開発を行っている。同ユニットは、同社のフェロル造船所に置かれている。

Navantia は、デジタルトランスフォーメーションに収入の多くを投資しており、少なくとも投資額に見合った生産性の向上を期待している。2021年の Defence & Security Systems International 社の取材によると、Navantia は年間収入の 10%以上をデジタル化された次世代造船所実現のために投資している。このデジタルトランスフォーメーションにより、Navantia は 10~20%のコスト、品質、スケジュールの改善を予想している。

Navantia のデジタルトランスフォーメーションは、以下の 5つの柱を持つ。

- **製品とサービスのイノベーション**：船舶の生涯を通じてさらに完全に統合されたサービスを提供する。これにより同社は船舶の設計と建造だけではなく、付加価値の高いサービスを提供することができる。製品にデジタルスレッドを埋め込むことにより、同社は船舶の運航中とメンテナンス中にもサービスを継続する。いうまでもなく、Navantia による新造船引き渡し後のデータのデジタルスレッドの維持は、船主の要望次第。
- **顧客中心のアプローチ**：造船工程を通じて顧客の関与を求める。Navantia は建造前及び建造中の船舶のデジタルツインを顧客と共有し、顧客は同船のバーチャルな見直しに参加し、引渡し前の船舶の全段階における変更の影響を理解し、意見を述べることができる。
- **データの価値**：ビッグデータ解析と AI により、建造工程及びサービス中に収集された全データを活用する。建造工程の全段階にデータセンサーを埋め込み、作業の進展を追跡し、インテリジェントなデータの処理を行う。また、データセンサ

ーは建造中の船舶にも組み込まれ、船内及び陸上の要員との有益でタイムリーなコミュニケーションを実現する。

- オペレーションの効率改善：設計と建造現場のデジタル化により、建造工程の効率を改善する。デジタルツイン、AR/VR その他のツールを用いて建造前及び建造中の製品の見直しを行い、クラッシュやエラーを予測、削減する。
- デジタルエコシステム：顧客、サプライヤー、官庁、技術提携企業、研究開発協力企業をデジタル接続する。グローバルなリアルタイムアクセスを可能にするクラウドベースのアプリケーションを用いて、安全で安定したコネクティビティーを実現する。

これまで Navantia の「シップヤード 4.0」戦略は同社フェロル造船所を中心に行われてきたが、同社はカルタヘナ造船所にもモデリング、シミュレーション、材料に関するトランスフォーメーション技術を拡大している。

2016年に「シップヤード 4.0」技術の分析を完了した Navantia は、同社独自の「シップヤード 4.0」戦略である「Navantia 4.0」と呼ばれるプログラムを開始した。同プログラムの目的は、同社ビジネスのバリューチェーン全体の改革である。特に、「シップヤード 4.0」技術を、F-110 フリゲート建造プログラムを皮切りに、艦艇及びシステムに導入することを主眼としている。

「Navantia 4.0」プログラムは3つの主要素を持つ。デジタル化はプログラムの技術的原動力である。デジタル化により、全ステークホルダー間の協力が容易になる。「インダストリー4.0」のトランスフォーメーションプログラムと同様に、「Navantia 4.0」はビジネスモデルの水平・垂直統合とリエンジニアリングに基づいている。

建造工程の垂直統合は、安全で迅速、コスト効率とエネルギー効率が高く、環境サステナビリティの高い造船を実現する。コネクティビティーは、IoT、付加製造、RFID (Radio Frequency Identification：電波を用いて IC タグの情報を非接触で読み書きする自動認識技術)、協働ロボットなどのデジタル技術を可能にするカギとなる技術である。Navantia は、全ユーザーを接続する造船所統一モデル「PUMA」を開発した。

価値創造ネットワークの統合は、船舶のライフサイクルを通じて全ステークホルダーを接続し、各ステークホルダー独自のニーズに応術である。

バリューチェーンのリエンジニアリングは、概念設計から解撤まで船舶の全ライフサイクルを接続する端末間のデジタルスレッドを構築する。その構成技術は、IoT/リモートセンシングネットワーク、ドローン、付加製造、AI、VR/AR、ロボット技術である。Navantia が開発したサービスのひとつは、船舶情報システムのバックボーンとなり、コンディションベースのメンテナンスツールに統合された「TIMON」と呼ばれる統合ビジネス管理システムである。TIMON システムは、戦闘中枢を除く、船舶に搭載された全機器の自動化、制御、監視を支援するハードウェア及びソフトウェアツールの集合体である。TIMON を使用し、オペレーターは船舶の 3D モデルを用いたデータを、2D 図面及びデータビューイングフォーマットで見ることができる。艦艇に加え、機器の監視、制御、自動化を支援するハードウェア及びソフトウェアを統合した Navantia の統合プラットフォーム管理システムは、クルーズ船、RORO 船、フェリーへの搭載実績がある。

「Navantia 4.0」のビジネスモデルには、14件の主要デジタル技術が顧客向けの4つのサービス、即ち「スマートシップヤード」、「スマートシップ」、「スマート海軍基地」、「スマートサステナビリティ」に採用されている。

「スマートシップヤード」は、造船所の全作業場のデジタル化を目指す。導入される主要技術は、ワークフローシミュレーター、溶接ロボット、ドローン、自動車両、ロボットによる工程自動化、VRツール、接続されたサプライチェーンである。

「スマートシップ」は、デジタルツインや船内3D印刷などのスマート機能を持つ船舶である。IoT技術を用いたNavantiaの統合プラットフォーム管理システム（IPMS）がデータ収集、管理を行う。

「スマート海軍基地」（Smart Naval Base）は、NavantiaのIPMSに接続された、メンテナンス、アップグレード、アップデート、トレーニングシステム「Navantis」などに関するあらゆるシステムのソフトウェア及びハードウェアの試験を行う。

「スマートサステナビリティ」（Smart Sustainment）は、船舶の運航とメンテナンスを支援し、船舶のアベイラビリティを維持する。

他の技術を可能にする主要デジタル技術を特定する作業において、Navantiaは、AI、クラウド、ビッグデータ解析、IoTが同社の「シップヤード4.0」戦略のコア技術であるとの結論に達した。

Navantiaの造船所経営に必要な主要デジタル技術の開発作業の概要を以下に述べる。

- モノのインターネット（*Internet of Things : IoT*）：2015年に開始されたNavantiaの混合調査ユニット（Mixed Investigation Unit）の初期の研究対象のひとつは、総合情報管理システムをサポートするIoTコネクティビティであった。
- IoT技術は、造船所、下請け企業、サプライヤー、船舶ネットワーク内のセンサーまたは埋め込まれた電子機器を含む全てのデータ収集デバイスを接続する。データは転送システムを通じてクラウドに送信される。センサーは、造船工程及び稼働中の船内システムからのデータを収集する。
- モデリングとシミュレーション：Navantiaは、挙動の研究と予測のために、モデリングとシミュレーションツールを用いて現実のプロセスとシステムのバーチャル化を行っている。また、ヤードのロジスティクス、船舶の製造と組立の工程と技術を開発するために、AR/VRと組み合わせたモデリング、シミュレーションを行っている。

デジタルツイン技術は、混合調査ユニットの主要研究対象である。Navantiaは、ヤードと建造船の両方のデジタルツインを構築している。

フェロル造船所を皮切りに、グローバルな造船所全体と各作業場の詳細なデジタルツインが開発された。デジタルツインの構築により、製造エンジニアは建造工程のバーチャルな見直しと変更の影響の分析が可能となった。続いて資材調達、ロジスティクス、エンジニアリングのプロセスがデジタルツインに追加され、建造プロジェクトの戦略の計画開発と改善に開発されている。

2016 年のカディス大学と Navantia の共同研究では、製造から船舶の生涯を通じた「スマート配管システム」構築のための「シップヤード 4.0」技術の導入方法とその恩恵の研究が行われた。同研究は、無線周波数識別がデータの収集と通信に最も適した技術であり、DASH7 標準の RIFD (Radio Frequency Identification) タグが配管システムへの導入に最適であると結論づけた。DASH7 は、低出力アプリケーションに適した長距離無線通信の RFID 標準である。

スマートパイププロジェクトに必要なソフトウェアは、以下のソフトウェアモジュールで構築される。

- 各タグのコーディネーターを内蔵したリアルタイムロケーションモジュールは、スマートパイプシステムの中核である。
- RSS モジュールは、複数の RIFD リーダーのインターフェイスで、各タグの信号強度を収集する。リアルタイムロケーションモジュールとのインターフェイスにより、タグの位置を特定する。
- ビジネスインテリジェンスモジュールは、パイプの現在及び過去の状態をベースにいかなる通知を発信するかを決定する。この通知の発信は、ビジネスインテリジェンスルールのデータベースによって支援され、決定される。
- ディスプレイモジュールは、パイプの位置と関連した通知をユーザー画面に表示する。
- SAP/製造実行システム (Manufacturing Execution System) は、配管のデータ特性を収集する。パイプの情報データベースは、同システムが収集した情報を保存する。

船舶のデジタルツインは、建造計画と並行して開発される。船舶の引き渡し時には、船舶内外の部品の完全なデジタルツインが顧客に転送される。同船の運航中には、このデジタルツインは、船舶の実際の状態に基づいた予測的メンテナンスに活用される。

2020 年末、Navantia と米国のシミュレーション技術開発企業 Ansys は、戦略的提携契約を締結した。これにより、Navantia は、同社の TIMON 統合ビジネス管理システムを支援する Ansys のシミュレーション及びデジタルツインツールを利用することができる。この提携の焦点となるプロジェクトは、Navantia の F-110 型フリゲート及び S-80 型潜水艦であるが、Ansys のプラットフォームは他のアプリケーションにも導入可能である。Ansys は、過去にも Navantia に対し、同社乾ドックの設計最適化のための機械システムのシミュレーション、構造有限要素分析などで協力した実績がある。

- *VR/AR*: VR モデリング・シミュレーションツールによるデジタルツインを活用し、建造開始前に詳細な設計見直しが可能となる。

「シミュレーション 4.0」プロジェクトでは、オペレーターが船用機器の操作方法をバーチャルプラットフォームで学ぶことができる統合トレーニングシステム「Navantis」が開発された。同システムは、Navantia が建造した新造船のクルー全員にバーチャル環境でのトレーニングを提供する。

AR グラスとタブレットは、ヤード内のいくつかの作業に導入されている。その利用方法としては、設計情報の拡張現実による可視化と現場での修正と変更、品質管理支援、情報のリアルタイム通知、自動化された通知、問題の解決、複雑な機器の操作などの支援、明る過ぎて字が判読できないときなどの支援などがある。

- **ビッグデータ解析**：ビッグデータ解析は、「シップヤード 4.0」のデジタルトランスフォーメーションによる水平・垂直統合から収集された大量のデータの分析に使用される。

ビッグデータ解析プロジェクトとしては、Navantia は、SAP 提携企業であるビッグデータを利用したビジネスプロセス管理専門企業 Celonis との共同プロジェクトを行った。Navantia は、同社ビジネスの成功に不可欠なプロセスは、購入、仕入債務、製品の定義と開発であるとしている。プロジェクトでは、仕入債務機能に焦点を当ててデータを収集、分析した結果、手動による多くの変更が時間のロスにつながっていることがわかった。その原因を一つ一つ解明し、対処した。

- **人工知能 (AI)**：AI は、エネルギー効率と環境負荷が改善されたインテリジェントシップヤードの構築に利用されている。Navantia の AI データマイニングと分析に係る提携企業のひとつは、米国／ドイツのデジタルデータマイニング専門企業 Celonis である。
- **セキュアクラウド**：Navantia は、「Navantia 4.0」とクラウドコンピューティング技術の相互接続を支援する安全性の高いネットワークインフラを構築した。クラウドコンピューティング技術は、保存、計算能力、リソース共有などの大型データアプリケーションを可能にする。

サイバーセキュリティー技術は、クラウドの大規模なデータ交換と保存の脆弱性を保護する。

2020 年、Telefonica は、Navantia のスペイン海軍向け艦艇の設計、建造、ライフサイクルサポートを支援するインフラ、セキュリティー、通信の提供に関する合意を発表した。

- **ロボット／協働ロボット**：Navantia は、柔軟性と自律性がさらに向上したロボットを導入している。「シップヤード 4.0」のデジタルトランスフォーメーションの一環として、同社はスペインの造船所に導入するために、フィンランドの溶接自動化企業 Pemamek にデジタル制御の自動材料加工及び溶接ソリューションを発注した。発注されたソリューションは、パネル製作、プロファイル加工、サブブロック製造などで、2022～2023 年に導入が予定されている。Pemamek は、2008 年にフェロル造船所にフラットパネルとマイクロパネルラインを供給した実績がある。

Navantia は、スペインの産業システム企業 Electrotayma、機械システムメーカー Grupo Intaf、Aimen 技術センターと共同で、同社のロボット式溶接工場向けにロボット式ノード溶接機能を開発した。同工場は、2021 年に洋上風力発電向けのタービンジャケ

ットの構造ノード溶接に使用された。同技術は、フェロル造船所及びフェネ造船所のサブブロック製造ラインに導入される予定である。

Navantia は、困難な作業、繰り返し作業、品質管理の自動化のために協働ロボット（コボット）の導入に関する調査を行っている。

また、同社は、管理業務の自動化にもコボットの導入を検討すると述べている。ビッグデータ解析と組み合わせ、製造工程センサーと特殊ロボットにより欠陥の早期発見と修正を行う。

さらに、Navantia の混合インテリジェンスユニットは、作業員の労働状況を改善する外骨格ロボットの利用に関する調査を行った。

- **5G** : 超広帯域高速通信により、アプリケーション、デバイス、モノのリアルタイムまたはほぼリアルタイムでの通信が可能となる。
- **新材料** : 新材料には、複合炭素繊維、繊維強化プラスチック、ポリマー、新合金などがある。

Navantia は、近隣地域の研究所と共同で、腐食耐性、断熱、遮音などの分野における新材料と工程改善に関する研究開発を行っている。

Navantia とカディス大学が共同研究を行っている新材料の利用例としては、水温や汚損などの外的要素及びストレス、微生物による腐食、湾曲などの内的要素の監視を行うことが考えられる。

また、Navantia は、接着技術の研究も行っている。同社の混合インテリジェンスユニットは、Bureau Veritas と共同で、造船における接着剤の使用に関する認証の開発を行った。

- **3D 印刷／付加製造** : Navantia の 3D プリンティング製造技術研究センター（Additive Manufacturing Center of Excellence : CEFAN）は、同社のプエルトレアル造船所内にある。

Navantia は、3D モデルから複雑な構造の部品を製造するソリューションを開発中である。関連する技術は、高分子ベースの付加製造（主に大型非構造部品）、ワイヤーアーク式金属積層技術（WAAM : アーク放電から発生した熱で溶解された金属ワイヤー）である。

2016 年、Navantia はカディス大学と共同で、同社プエルトレアル造船所において、Odimar のスエズマックス型タンカー「Monte Udala」の換気システムのグリル 2 種類の 3D 製造試験を実施した。Navantia とカディス大学は、この試験専用の 3D プリンター「S-Discovery」を開発した。カーボンファイバーで強化された 3.5kg の ABS 樹脂が、25kg のステンレス製オリジナル部品を代替した。さらに、部品製造のリードタイムは 5 日から 3 時間に短縮された。コスト削減率は 17%と算出されている。

「3DCabin」プロジェクトでは、Navantia とカディス大学は、トイレのモジュールを 3D 製造し、40%のコスト削減につながった。

- **ブロックチェーン** : Navantia は、サプライチェーン管理などにおいて、ブロックチェーン技術を導入している。

- Navantia では、ブロックチェーン技術は SAP の Ariba プラットフォームと連動している。Navantia の調達プロセスへの Ariba 導入は 2019 年に行われ、調達のサイクルタイムを 25%短縮、プロセス効率を 52%向上させた。
- 自動走行車両： 混合インテリジェンスユニットは、ガリシアの自動車技術研究所と協力し、ブロック建造所内で貨物輸送を行う自動走行車両をフェロル造船所に導入した。
- 無人自動機関： Navantia は、ロジスティックス、寸法制御、監視などに無人自動ドローンと UAV を導入する計画である。

2018 年、Navantia は、無人検査用ドローンの試験を造船所内で行った。同ドローンが撮影したデジタル画像は、製品のデジタルツインと比較された。

混合調査ユニットは、2015 年以來、屋外及び限られたスペースにおける無人自律車両 (UAV) の運転に関する研究を行っている。同研究では、タンカーのタンクの厚さ測定と検査に UAV を導入する計画である。

- ロボットによる工程自動化 (*Robotic Process Automation : RPA*) : Navantia は、米国/ドイツのデータマイニング専門企業と協働し、造船工程に RPA ソフトウェアを導入する計画である。RPA ソフトウェアの導入により、Navantia は、デジタルシステム及びソフトウェアとインターアクトする人間の動作をエミュレートするソフトウェアロボットを構築、導入、管理することができる。ソフトウェアロボットは、低価値の繰り返し作業で作業員を代替する。

2019 年末、Navantia は、Accenture と、「Navantia 4.0」のデジタルトランスフォーメーションの設計、開発、実施を委託する 3 年間契約を締結したと発表した。同時に、Navantia は、「Navantia 4.0」プロジェクトのデジタル技術パートナーとして、Siemens Digital Industries Software 社を選んだ。

Navantia は、造船工程のデジタルトランスフォーメーションを支援するため、Siemens のエンジニアリング・製造ソフトウェア製品群「Xcelerator」から以下の製品を含む数多くの製品を選択した。

- *NX for Design* : Siemens NX CAD/CAE/CAM ツールは、概念設計からエンジニアリング、製造、デジタルツインの価値創造を含む機械設計、シミュレーション、製造ソリューションを提供する。
- *NX for Manufacturing* : 同ソフトウェアは、CNC マシンツールのプログラミング、ロボットの制御、3D プリンターの駆動、品質の監視を支援する。
- *Siemens Opcenter* ソフトウェア：設計、生産、製造のエンドツーエンドの可視化を行う製造工程管理ソリューション。
- *Simcenter* ソフトウェア： Simcenter は、CFD 分析を含むシミュレーションツールである。
- *Technomatix* : 製造工程のデジタル化を支援する製品群。Technomatix は、計画、スケジュール、製造実行、品質管理、製造インテリジェンスをサポートする。

また、製造設備のデジタルツイン、VR アプリケーション、のナビゲーション、及びロボットのプログラミングとシミュレーションを可能にする。

- *Teamcenter* : サイロ化した機能において人とプロセスの連携を行う PLM システム。
- *MindSphere* : MindSphere は、先進的解析手法と AI を用いてデータ分析を行うクラウドベースの IoT オペレーティングシステム。

デジタル技術提供企業としての Siemens と Navantia は、ガリシアに海事研究所 CESNA を設立した。CESNA の役割は、造船所、大学、研究所、企業、船主、公的機関の協力を支援し、海事産業のデジタルトランスフォーメーションのためのソリューションを開発することである。

これまでのところ、Navantia は、マイクログリッド開発に特に積極的ではなかった。唯一の行動は、カルタヘナ造船所におけるソーラーパネル 135 基の設置である。この設備は、同造船所の修繕部門その他のエリアの電力要求を満たしている。同プロジェクトの成功を受け、Navantia は、同造船所内のソーラーパネルネットワークを拡大する計画である。

「シップヤード 4.0」実現のための主要デジタル技術の開発を目指し、Navantia はカディス大学の IDEA Agency、Airbus、先進製造技術イノベーションセンター (ICAMT) 内のカディス海事クラスターと協働している。ICAMT は、先進製造技術の物理的な開発スペースを提供した後、同技術を造船所に移管する。また、2015 年以来、Navantia は、ラ・コルーニャ大学と共同で混合研究ユニット「未来の造船所」を運営している。

カルタヘナ造船所は、デジタル技術に関するプロジェクトでいくつかの研究所と協力している。カルタヘナ大学とは、吸収剤、遮音材、複合材に関する共同プロジェクト「マテリアル 4.0」を実施中である。また、「モデリング 4.0」プロジェクトでは、AIMEN センターと共同で、熱によるプレートのひずみを予測する溶接工程のシミュレーションモデルを開発中である。マドリードの造船エンジニアリングスクールとは、いくつかのエリアにおける数値モデルの利用に関する共同研究を行っている。

Navantia は、EU 共同研究開発プロジェクト「HOLISHIP」に参加した。プロジェクト期間は 2018~2021 年で、欧州の 40 の設計企業、造船所、研究機関が船舶設計やバーチャル試験を含むライフサイクル最適化を行う統合ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行った。HOLISHIP は、欧州連合 (EU) の Horizon 2020 輸送研究プログラムの助成プロジェクトである。本報告書では、同プロジェクトの詳細を以下に記載し、後述する他の企業のセクションの参考とする。

HOLISHIP プロジェクトの設計手法は、従来のらせん状の設計アプローチと異なり、全ての設計とツールを同時にデジタルモデルに統合する。

この統合プラットフォームは、船舶の主要システム含む協働可能な数多くのソフトウェアツールを統合したものである。同プラットフォームの開発はドイツのソフトウェア企業 Friendship System が主導し、同社はプロジェクト統合及び設計最適化ツールである「CAESES」 (computer aided engineering system empowering simulation) を開発した。「CAESES」は、HOLISHIP プロジェクトのパートナー企業が使用する他の多く

のソフトウェアを統合し、設計のシミュレーションによる試験と設計段階における最適化を可能にした。

HOLISHIP プロジェクトでは、異なる船種の研究のために 9 件のアプリケーションを開発した。対象船種は、①オフショア支援船、②旅客船、③調査船、④多目的貨物船、⑤⑥商船、⑦洋上構造物、⑧ROPAX フェリー、⑨バッテリー駆動両頭型フェリーである。

同プロジェクトの設計と従来設計の最初の比較は、プロジェクト参加企業である CETENA と Fincantieri が設計した ROPAX フェリーで、5 つの要素が検討された。その要素とは、船体モデル (CAESES モデル)、流体力学 (HVSA フローコード)、損傷時復原性 (NAPA ソフトウェア)、エネルギーシミュレーション (BV)、コストモデル (CETENA) である。このテストケースでは、300 万ユーロの正味現在価値上昇、8.5% の電力及び燃料削減、年間 5,500 トン前後の CO₂ 排出削減という結果が得られた。

2. Naval Group (フランス)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	2	4	4

Naval Group は、船舶、艦艇及び戦闘システムの設計、建造、統合を行う企業である。Naval Group のシェルブール造船所は、従来型潜水艦及び原子力潜水艦の設計、建造、組立、試験、解撤を行っている。ブレスト造船所及びトゥーロン造船所は、修繕とレトロフィットに特化している。水上艦は、通常系列造船所によって建造される。その例は Piriou との合弁会社 Kership で、フランス国内に Kership Lorient 及び Kership Concarneau の 2 か所の造船所を持つ。また、Naval Group は、Chantiers de l'Atlantique と提携し、同造船所でフランスの次世代原子力空母の建造を行う。

同グループは、「インダストリー4.0」の基礎となる共同イノベーションに関する以下の 5 つの原則を打ち出している。

- **スマート海軍 (Smart Naval Force)** : IT、テロリスト、弾道ミサイル攻撃などの新たな脅威に迅速に対応するためのソリューション。その一例は、監視、情報収集、さらには攻撃も行う自動化されたドローンの開発である。
- **不死身の船 (Invulnerable Ship)** : 困難な攻撃にも耐えるスティルス型の船舶とドローン。
- **スマートシップ (Smart Ship)** : 自動化技術の導入により、インテリジェントで接続されたサイバー安全性の高い船の開発。
- **ブルーシップ (Blue Ship)** : エネルギー効率化とエネルギー管理ソリューション。

- スマートアベイラビリティ (Smart Availability) : 艦艇向けの予測的メンテナンスシステム及び遠隔支援。開発中の技術は、スペアパーツの船内付加製造など。
- スマートインダストリー (Smart Industry) : デジタルツイン、ビッグデータ解析、AI、付加製造などのデジタル技術の研究と導入。

Naval Group は、造船所、顧客、船級協会を接続し、船舶概念から建造、運航中のライフサイクルサポートまでをカバーするデジタルスレッドを提供するために、Dassault Systèmes の PLM、設計、シミュレーションツールを含むプラットフォーム「3DExperience」を導入した。

Bureau Veritas は、3DExperience プラットフォームを利用したデジタル船級サービスを Naval Group に提供している。設計の見直しは、従来の 2D 製図ではなく、デジタル 3D モデルを用いて行われる。両社は、プロセスの改善は、設計見直しの所要時間の短縮と船級関連コストの削減につながったと述べている。

Naval Group は、サイバー攻撃を、陸海空に続く第 4 の戦争の脅威であるとしている。同グループが建造する水上艦及び潜水艦へのサイバーセキュリティ機能搭載は、同グループの中心的なビジネススキルとなりつつある。同グループのアプローチは、サイバーセキュリティのリスクを特定し、脅威から保護、さらに脅威に対処して船舶の全機能を維持または迅速に回復するレジリエントなシステムアーキテクチャーを開発することである。

2020 年、同社は、EU 助成研究開発プロジェクト「RAMSSES」の一環として、同社ブレスト拠点で掃海艇向けのプロペラの 3D 印刷を行い、実船搭載した。200 kg のブレード 5 基を装備した同プロペラは、BV が認証を行った。

Naval Group は、EU Horizon 2022 プログラム内の助成プロジェクト「Grade 2XL」に参加し、金属積層造形 (WAAM) 方式による大型部品の 3D 印刷とその材料に関する研究開発を行っている。同グループは、プラスチック射出成型型と水力発電プラント向けのモバイルリングの 3D 印刷に関するプロジェクトを主導している。20 以上の企業・組織が参加する「Grade 2XL」プロジェクト内の 8 件のサブプロジェクトのひとつは船用プロペラの 3D 印刷で、MAN Energy Solutions と RAMLAB が同プロジェクトを主導している。

同グループは、スラスターのデジタルプリントに関する研究も行っていると述べている。

Naval Group は、作業員の溶接、研磨、塗装などの作業を支援する Skelex 社の FlexFrame コボットアームサポートシステムを最初に導入した企業のひとつである。上半身に装着されたサポートシステムは、作業員の重量物の持ち上げなどの長時間労働のストレスと疲労を軽減する。

同グループは、空海陸及また水中で検査、探知、防衛などのタスクに使用可能な多種のドローン及び無人システムを開発中である。

Naval Group は、船舶の稼働時間の延長を目的に、インテリジェントメンテナンスを行う予測的メンテナンスプラットフォームを開発した。同プラットフォームには、IoT、ビッグデータ、AI、タブレット型メンテナンスツール、AR、VR が活用されている。船舶のエンジニアは、陸上支援センター「COSIN」(Center of Operational Excellence)

に遠隔支援を依頼することも可能である。トゥーロンに開設された 1 か所目の「COSIN」は、船舶のシステムの完全なレプリカ、トレーニングセンター、高セキュリティデータセンターを持つ。

2019 年末、Naval Group は、AI 及びサイバーセキュリティ機能の開発促進を目的に、フランス国立デジタル科学技術研究所 Inria との提携を開始した。

グループのカーボンフットプリント削減を目指し、Naval Group はエネルギー管理ソフトウェアのプラットフォームとソーラー発電パネルをいくつかの拠点に導入した。プレス拠点では、同市の家庭廃棄物焼却施設から発生するエネルギーを回収し、暖房と温水に利用するプロジェクトを行っている。

Chantiers de l'Atlantique の同様に、Naval Group はフランスの技術研究機関 IRT Jules Verne のメンバーである。フランスのナント大学を拠点とする同研究所は、産学からの 73 メンバーにより支援されている。その 5 つの主要研究分野は、産業環境におけるモビリティ、製造の柔軟性、組立と接合技術、成形加工と予備成形工程、付加製造である。同研究所は、造船業を対象とした数件のプロジェクトを行ってきた。その詳細は、本報告書の Chantiers de l'Atlantique の項で述べる。

Naval Group は、EU の Horizon 2020 プログラム内の共同研究開発プロジェクト「FIBRE4YARDS」に参加している。13 企業・組織が参加する同プロジェクトは、他産業の先進デジタル製造技術を造船業に適用、導入することを目指し、特に大型船向けの繊維強化ポリマーに焦点を当てている。2021 年 1 月に開始した同プロジェクトの実施期間は 3 年である。プロジェクトでは、デジタル設計、シミュレーション、ビッグデータ解析、IoT、クラウドコンピューティング、サイバーセキュリティ、AI、水平・垂直統合、付加製造、新材料と接合技術、モジュール型建造などデジタル技術の研究を行う。実証実験のひとつとして、船体のいくつかのセクションと船首部分の付加製造を行う計画である。

また、Naval Group は、Navantia の項で述べた共同研究開発プロジェクト「HOLISHIP」、及び本報告書第 5 章で述べる水中拡散騒音削減に関するプロジェクト「SATURN」にも参加している。

3. ThyssenKrupp Marine Systems (ドイツ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	3	4	1	4	4	2	1	4

Naval Group と同様に、ThyssenKrupp Marine Systems (TKMS) は、水上船、艦艇、船用システムの設計、製造、統合を行う企業である。同社はドイツで唯一の海軍向けシステムのサプライヤーである。同社の 4 事業部門は、潜水艦、水上艦、海軍向け電子システム、サービスである。同社の造船所は、キール（非核潜水艦に特化した旧 HDV 造船所）、ハンブルク、エムデンに位置する。

TKMS は、バリューチェーンの全段階へのデジタルソリューション導入を目指した「デジタルシップヤード」プログラムを実施している。その詳細は後述する。

同社は、水平・垂直統合のために Siemens の PLM プラットフォーム及び SAP の ERP プラットフォームを導入している。PLM ツールは、建造とライフタイムサービスの最適化を目指し、3D 設計、シミュレーション、モデリング、デジタルツイン、造船所システムと工程のシミュレーションなどをカバーしている。

キール造船所は、HDW として活動していた 2004 年に大型投資を行い、Siemens Teamcenter PLM 及び NX CAD/CAM/CAE アプリケーションを導入した。これらのアプリケーションは、潜水艦の複合部品の設計、分析、製造を支援する。この大型投資は、当時の HDW 傘下の造船所、即ちギリシャ Hellenic Shipyard、Prininvest 傘下企業（現在経営破綻）、スウェーデン Kockums（現 Saab Group 企業）もカバーしていた。その当時、HDW は、ドイツ Nordseewerke（現 TKMS Emden）とともにドイツ潜水艦コンソーシアムを形成していた。また、Nordseewerke、Blohm & Voss（現 Lürssen Group 傘下企業）、Fr. Lürssen とともにドイツフリゲートコンソーシアムを形成していた。

ThyssenKrupp Marine Systems は、造船工程のシミュレーション、可視化、最適化、スケジュールの問題予測のために、キール、Blohm & Voss、Nordseewerke Emden、Kockums の造船所にイベント駆動型の Siemens Tecnomatix アプリケーションを導入した。Siemens 設計アプリケーションへの投資の一環として、キール造船所では Siemens NX Fibersim プラットフォームへの投資を行った。

VR と AR は、製造工程とトレーニング支援に利用されている。Microsoft の AR ヘッドセット「HoloLens」は TKMS の潜水艦建造に活用されている。「HoloLens」は、3D CAD モデルまたはビデオからのテキストや画像を投影し、パーツ設置の正確な位置や建造方法などの情報で造船所の作業員を支援する。パーツのトレーサビリティは、AR ヘッドセットによる QR コードのスキャンで知ることができる。AR 制御ソフトウェアは社内で開発された。「Virtual Ship Training and Information」機能は、陸上の ViSTIS トレーニングセンターで潜水艦のクルーに現実的なバーチャルトレーニングを提供する。バーチャルトレーニングでは潜水艦全体が投影され、クルーはトレーニングセンターのコンピューターターミナルから数々の運航シナリオにアクセスし、トレーニングを行うことができる。また、トレーニングセンターは、航空機のシミュレーターと同様の航海士向けのシミュレーターを持っている。

TKMS は、DXC Technology 社、キール応用科学大学、ヘリオット・ワット大学と共同で、溶接工程におけるエラーを削減するため、データベース駆動の溶接最適化プラットフォームの開発を行っている。プロジェクトでは、現在接合部の研究を行っており、将来的には新たな手法を他の溶接工程にも導入する計画である。プロジェクトでは、溶接機械に搭載されたポジションセンサーが、溶接の問題を監視、報告する。溶接データは送信されて処理され、その結果は溶接現場のコンピューターターミナルまたはノート型パソコンに表示され、起こり得る問題に対して迅速なフィードバックを提供する。プロジェクトでは、溶接完了後直ちにデータを分析し、問題を予測する AI ツールを開発する。この手法により、溶接完了時には原則的にエラーは既に検出され、修正されているため、品質検査チームによる検査の必要性が減少する。TKMS は、中長期的には大部分の溶接工程はロボ

ットにより完全自動化、またはロボット支援により半自動化されると予想している。さらに、2030年までには、溶接作業の大部分はロボット、AI、人間を組み合わせた協働ロボットによって行われる。

同社は、ドイツのミュールハイムに独自の3D印刷センター「TechCenter Additive Manufacturing」を展開している。同センターでは、既に金属及びプラスチックを用いたデジタル工程によるカスタム部品の3D印刷を行っている。現在、同社は金属プリンター1基、プラスチックプリンター1基を運用している。両プリンターは、3D CADファイルから粉末状材料の積層を行う。同センターは、TKMSのサプライチェーン戦略により、TKMSの研究開発機能からキールのTKMS材料サービス部門に移管され、造船用部品とスペアパーツの製造を行っている。TKMSは、3D印刷工程と部品の認証に関し、DNVと協働している。

TKMSの付加製造技術のノウハウとWilhelmsenの船用サービスのノウハウを組み合わせ、両社は船用産業及びオフショア産業向けの3D印刷スペアパーツの供給を行う合弁会社を設立した。この合弁会社のモデルは、社内または提携した3D印刷企業によるスペアパーツのオンデマンド印刷である。DNVが3D印刷工程の認証を行う。同社の顧客としては、Berge Bulk、Carnival Maritime、Thome Ship Management、OSM Maritime Group、Executive Ship Management、MMA Offshore、Yinson、Wilhelmsen Ship Managementなどがある。

船舶の運航とメンテナンスにおけるクルーへの支援を目的に、TKMSは遠隔メンテナンスシステムを開発した。同システムは2つの要素、即ち船内に設置された「Red Box」、及び遠隔支援を行う陸上局から構成される。Red Boxは、ルーター、デジタルカメラ2台、レーザープリンター、ノート型PC、デジタルコードレス電話、ヘッドセットなどクルーと陸上局を接続する全ツールが含まれている。TKMSは、将来的には同プラットフォームにVR機能を追加する計画である。

TKMSは、検査及び防衛機能を持ついくつかの水中ドローンソリューションを開発した。

TKMS傘下のAtlas Elektronik社は、潜水艦及びドローンの水中における長距離デジタル通信をサポートするセキュリティーの高い低周波音波ベースのデバイスを開発中である。

TKMSは、現在2億5,000万ユーロを投資し、新設備とさらなるデジタル技術の導入を含むキール造船所の近代化を進めている。近代化プロジェクトは、2023年末までの完了が予定されている。その内容は、大型セクション製造用の造船工場、2基目の艀装ライン、サービス工場とリフトリフトの近代化などである。

TKMSは、経営破綻したMV Werftenの3造船所のうち最大のヴィスマール造船所を最近買収した。同造船所では、2024年以降、潜水艦またはフリゲートの建造を行う計画である。同造船所はAVEVAの各種ソフトウェアソリューションで管理され、Pemamek製の自動化された製造ライン2基、即ちT形鋼ライン及びプロファイル加工ラインを有している。T形鋼製造ラインは、ガス金属アークフィレット両面溶接工程を持つ。デジタルプロファイル加工ラインは、エッジミリング、プライマー除去、切断、マーキング、ソーティング機能を組み合わせている。

4. Babcock International (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	4

Babcock International は、英国プリマスとロサイスに艦艇建造・修繕所を持つ軍需企業である。同社は水上艦、従来型潜水艦及び原子力潜水艦の建造を行っている。

当初船用技術機器システム部門に導入された Siemens の NX デジタル設計シミュレーションプラットフォーム及び Teamcenter の PLM アプリケーションは、その後同社の他部門にも拡大された。CAD 設計はデジタルツインとしてモデル化され、顧客の設計見直しから製造計画まで幅広い業務をサポートしている。

Babcock International のイノベーション技術部門長 Jon Hall は、デジタルツインとデジタル技術は、同社が顧客と協力する方法に影響し、同社が建造する複雑な大型資産の建造及びサポート手法を変革するものであると述べている。

Babcock International は、VR ヘッドセットを使用した VR ソリューションを導入している。同ソリューションは、設計の見直し、及び同社が合成トレーニング (synthetic training) と呼ぶクルーの船用システムのトレーニングに活用されている。VR トレーニングアプリケーションには、ブリッジからの監視業務、船舶制御、エンジン運転、メンテナンス、船内電気機器及び機械機器の故障診断と修理などがある。AR は作業現場のチームをサポートするために利用される。

Babcock International は、ライフサイクル統合デジタルツール「iSupport360」を開発した。同ツールは、顧客への引渡し後に運航中の船舶のデジタルスレッドを維持する。船舶と陸上支援システムには、デジタルツイン、IoT、ビッグデータ解析、クラウドコンピューティング、サイバーセキュリティ技術が搭載され、増加する自動化、リアルタイムデータと分析、予測的メンテナンスソリューションをサポートする。

また、同社は長年 IFS ERP プラットフォームを使用している。IFS アプリケーションにはモバイル機能があり、分散したタブレットとノート型パソコンを使用したリアルタイムデータの交換により、デジタル化された作業注文を作成する。

Babcock International は、高セキュリティのパブリックレジャリー (public ledgers : 公的台帳) 上にデータを保管するブロックチェーンソリューションを開発中である。セキュリティは、デジタルウォレットのゲートキーパーである暗号ガーディアン (crypto guardians) によって保証される。

同社は近年のロサイス造船所の新建造工場建設への 5,500 万ポンドの投資プログラムの一環として、複数の Pemamek 社製自動溶接・製造パネルラインを導入した。自動化されたパネルラインは、ロボット溶接を行う薄型パネル溶接ラインとロボットソリューション「Vision」を搭載したマイクロパネルライン、PEMA T 形鋼製造ラインで構成され、デッキパネルとバルクヘッドの製造をサポートする。自動溶接ラインに加え、同社は、新造

船工場に材料のフロー効率化と製造のリーン化のために携帯端末デジタルコネクティビティソリューションを埋め込んだ。

Babcock International はプリマスサイエンスパークと提携し、2022年2月に3Dプリンティング製造センターを開設した。同センターでは、Babcockのビジネス向けの金属部品の直接レーザー焼結を行う。同センターは以下の技術企業と協力している。① Kingsbury：アルミニウム、チタン、ニッケル、コバルト、鉄、銅、合金に適した選択レーザー溶接（selective laser melting：SLM）技術などのプリンター技術を提供。② Renishaw：付加製造システムの設計と製造。③AMFG：付加製造ソフトウェア企業。④ GOM：検査用3Dレーザースキャニングソフトウェアの開発企業。

また、エジンバラ大学と共同で、Babcock International は国際研究・複合材試験センター「FASTBLADE」を開設した。同社ロサイス拠点に位置する同センターは、デジタル化技術の開発を促進する。

2017年以來、Babcock International は、英国ストラトクライド大学と共同で、原子力船と発電所の修理と寿命延長のための先進的解析・検査技術及びバイオテクノロジーソリューションの開発を行っている。

Babcock International は、同社の民間原子力ビジネス部門が開発し、シェフィールド大学が試験プロジェクトを行った AWESIM システムの利用を、他のビジネス分野にも拡大する計画である。AWESIMは、「automated welding equipment system inspection and monitoring」（自動化溶接機器システム検査・監視）の略である。同システムは、AI/マシンラーニング、センサー、先進的遠隔製造工程を組み合わせ、溶接、溶接検査を行い、さらにほぼリアルタイムで溶接の認証も行うこともできる。

同社は、英国内の事業向けに再生可能エネルギー源からの電力を購入しており、同社造船所での代替エネルギー源の開発を検討している。同社発電部門ではモバイルソーラーパワーポッドの試験を行った。

5. BAE Systems（英国）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	2	4	3	2	2	4

BAE Systems は、艦艇の設計・建造（BAE Maritime）、潜水艦の設計・建造（BAE Submarines）及び戦闘機器・システムの設計・製造を行っている。

BAE のデジタルトランスフォーメーションは進んでいる。同社は、艦艇の設計からライフサイクルを通じてますます増加傾向にあるデータのデジタルスレッドを構築し、それを活用して引渡し後の船舶へのサポートサービスを提供している。

BAE Systems の水上艦の建造、修繕、改造は、スコットランドのクライド川沿いの 2 拠点（スコッツタウンとガヴァン）で行われ、潜水艦はボロウ・イン・ファーンネスで建造されている。

ボロウ造船所は、原子力潜水艦の設計、建造、試験、試運転のライセンスを持つ英国で唯一の造船所である。ボロウ造船所はアスチュート級原子力潜水艦 7 隻の建造実績があり、現在はドレッドノート級原子力潜水艦 4 隻の建造プロジェクトを進めている。アスチュート級及びドレッドノート級潜水艦の建造のために、BAE と英国政府は、2 億 5,000 万ポンドを投じてボロウ造船所とローカルサプライチェーンのアップグレードを行った。1997 年のアスチュート級プログラムの開始時に報告された課題のひとつは、3D 設計・モデリングの資格を持つエンジニアの欠如である。アスチュート級潜水艦は、完全に 3D 設計ソフトウェアを用いて設計された英国初の潜水艦であり、その後問題は解決された。

BAE は、複雑に統合された次世代船の建造には造船所のアップグレードが必要であると認識し、「Future Ship Build Facilities」プロジェクトを開始した。プロジェクトでは、以下の 2 つのオプションが候補となった。

- 1 拠点オプション：スコッツタウンに新たに最新の造船拠点を建設。
- 2 拠点オプション：ガヴァンとスコッツタウンの既存設備をアップグレード。

2021 年末、BAE Systems はグラスゴーのガヴァン造船所の再開発計画を発表した。計画では、既存の建物を全部取り壊し、全造船工程を完全に屋内で行うことのできる複数の新工場を建設する。しかしながら、サイト内の歴史的建造物の保護ステータスにより、建築許可の取得は遅れている。

BAE Maritime は、「完全にデジタル化された造船所のパイオニア」である。同社は、PLM プラットフォーム、デジタルツインの他、後述する数多くのデジタル化技術への投資を行っている。同社は、これらの技術をグループ造船所全体に導入する前に、同社のオーストラリア造船所において試験を行っている。

BAE は、英国海軍向け次世代艦艇の建造契約のために、Eurostep 社の PLM ライフサイクルデジタルコラボレーションツール「ShareAspace」を選んだ。BAE Systems Maritime は、2017 年に SAP「S/4 HANA ERP」を導入したと報道されている。一方、BAE Submarines は、ドレッドノート級原子力潜水艦建造プロジェクトのために、10 年以上前に Siemens の PLM プラットフォーム「Teamcenter」を導入している。

デジタルスレッドは、艦艇の設計、建造に関与するステークホルダー間の協力を促進する重要な技術である。BAE Systems Maritime は、典型的な戦艦の設計には、800 以上のデジタルモデルが 1,000 人以上の同社エンジニアとサプライチェーンで共有されると述べている。これらのモデルには、初期概念から船体の詳細設計、推進システムのシミュレーションから電子アーキテクチャーまでを含む。

3D シミュレーターは、設計、建造、試運転、アフターセールスサービスに幅広く活用されている。3D 設計のデジタルツインは、VR シミュレーションを用いてエンジニア、顧客、製造チームによる見直しが可能である。また、メンテナンスとレトロフィットプロジェクトでは、レーザースキャニングがポイントクラウドの 3D モデルへの統合に用いられる。

船用拡張実験室「Maritime Augmented Lab」は、ユーザーが現実世界及びバーチャル環境でのインタラクティブが可能で VR/AR トレーニングを支援する。

建造現場では、BAE は製造エンジニアに AR ヘッドセットやモバイルデバイスなど多くのデジタル支援ツールを提供している。

AR 技術の利用は、船舶の運航支援にも拡大されている。AR ヘッドセットにより、ユーザーは実際の物理的環境と運転に関するデジタル化された関連情報がリアルタイムにオーバーレイされたディスプレイを見ることができる。

艦内及び造船所における安全な通信をサポートするために、BAE は Li-Fi などの新技術導入を検討している。Li-Fi は、デバイス間に紫外線と赤外線を送信する LED ライトを用いた超高速無線通信技術である。Li-Fi のセキュリティー特性は、壁を貫通しないことである。BAE にとって、Li-Fi 技術は、物理的、環境的な問題、またはセキュリティーの観点から Wi-Fi ネットワークが設置できない場合に有効な代替手段である。

部品の追跡と認識を行う RIFD タグの利用計画に関しては、BAE はデータを保護するためのサイバーセキュリティーシステムの試験を行っている。

同社は、造船工程へのロボット溶接導入に関する試験を行っている。BAE は、HGG のロボット式補剛材プロファイル切断ラインを導入した。

BAE Systems の船用部門と潜水艦部門は、BAE Systems の全社的な戦略として、20 年近く前から 3D 印刷技術の利用を拡大している。同社が提携している 3D プリンターメーカーは、Renishaw や Statasys などである。

BAE Systems の付加製造の実例としては、オーストラリア海軍向けハンター級フリゲートの新造プロジェクトの一環として、3D プリンターメーカー Aurora Labs 社の粉末積層技術を用いて部品を製造した。粉末積層プロセスは、直接レーザー焼結プロセスと直接金属レーザー溶解プロセスを組み合わせたものである。

BAE Maritime は、支援情報知識管理（Support Information Knowledge Management）ツール「S-IKM」を開発し、船内及び陸上支援拠点で必要な大量のデータを安全に管理している。S-IKM プラットフォームは AI とビッグデータ解析を組み合わせ、船舶の生涯を通じたアベイラビリティ確保をサポートする。同プラットフォームは、デジタルデータ共有ツール「Eurostep ShareAspace」、TIBCO 社のデータ管理解析プラットフォーム、Genpact 社の業務管理ソフトウェア「Cora Sequence」上で稼働する。

BAE Systems の水上艦部門及び潜水艦部門で、検査ドローンがどの程度利用されているかに関する情報は無い。しかしながら、同社は海軍向けの各種無人機関の開発を行っている。その一例は、水中の機雷の探査及び無害化を行う無人遠隔制御船「Archerfish」である。同製品は、システムアップグレードと変更の試験をバーチャル環境で行うことを可能にするデジタルツイン技術を用いて開発された。これにより開発所要時間とコストが削減された。

BAE Systems は、高セキュリティー及びアクセス管理をサポートするブロックチェーン技術の試験を行っている。これによりユーザーのアクセス許可の改ざんが不可能なデジタル金庫を構築し、接続されたユーザーとデバイスを保護する。

6. Fr. Lürssen Werft (ドイツ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	4	1	1	1	4

Lürssen グループは、海軍及び沿岸警備隊向けの船舶を建造する NVL、及びスーパーヨットを建造する Lürssen という 2 つのビジネスラインとブランドを持つ。

同グループは、17 年近く前に艦艇及びヨットの両ビジネスに、Siemens のデジタル設計・モデリングプラットフォーム NX と、Teamcenter PLM プラットフォームを導入した。NX プラットフォームは、顧客、エンジニア、製造チームによる VR を利用した設計の見直しと計画をサポートする。

NVL 社は、艦艇向けの各種ライフサイクルサービスを提供する。これにはコマンド・コントロール機器、武器、センサー、推進装置、船内サービスなどの機能の統合が含まれる。同社は、ヴォルガストの Peene-Werft、ハンブルクの Blohm & Voss の新造船建造を行う 2 造船所を運営している。ハンブルクの Norderwerft 造船所とヴィルヘルムスハーフェンの Neue Jadewerft は、艦艇の修理、改造、近代化に特化している。

Blohm & Voss 造船所は、ThyssenKrupp Marine Systems 傘下であった時代に導入した Siemens のレガシーシステムであるイベント駆動アプリケーション「Tecnomatix」を用いて、造船工程のシミュレーション、可視化、最適化、スケジュールの問題予測を行っている。

2018 年に開始された NVL のデジタルトランスフォーメーション計画には、以下のような課題が含まれている。

NVL は、従業員が造船所の主要資源を監視、制御するためのアプリケーション「YardManagerApp」を開発した。ヴィルヘルムスハーフェンの Neue Jadewerft ドックにはセンサーが埋め込まれ、データはサイバーセキュリティーが確保されたクラウドアプリケーションに送られる。クラウドからのデータには、YardManagerApp を通じてアクセスする。同技術は、NVL の他の造船所への導入が進められている。

同社の「Naval Data Information Platform」は、設計から製造、及びアフターセールスサービスに関するデータを管理する。

製造工程においては、作業、試験、試運転などの手順に関するデジタルアプリケーションが従業員をサポートしている。

2014 年には、ハンブルク Blohm & Voss 造船所にデジタルスキニング機能が導入され、クルーズ船「Queen Elizabeth 2」の船体最適化をサポートした。同造船所はスキニングを SCAN3D Dienstleistungsgesellschaft 社に委託した。SCAN3D は、FARO レーザースキャナーを用いて船体のポイントクラウドを作成し、100 か所以上のスキャンから成る船体全体のスキニングには 16 時間を要した。そのデータは LupoScan ソフトウェアで処理され、造船所エンジニアによる CFD 分析が可能となった。

NVL 及び Lürssen の各造船所において、3D モデルは、MicroStep で数値的に制御された切断、マーキング、研磨機械に対して情報をフィードする。また、HGG ロボット式補剛材切断ラインも導入されている。

NVL は、ドイツ連邦経済エネルギー省が助成するいくつかの研究開発プロジェクトに参加している。そのうちのひとつ「IntRobAS」プロジェクトの目的は、造船用マイクロパネル溶接のための AI 機能で拡張されたインテリジェントロボットシステムの開発である。同プロジェクトは 2022 年末に完了予定である。

NVL と同様に、Lürssen のスーパーヨット建造事業では、Siemens の NX 及び PLM プラットフォームを用いて船舶のデジタルスレッドを構築している。しかしながら、デジタルツインの導入にもかかわらず、造船工程は主に手作業である。

新型コロナ感染拡大への対応とカーボンフットプリント削減を目的に、Lürssen はオンラインバーチャルマーケティングショールームソリューションを開発し、業界の 3D バーチャルショールームプラットフォーム「Super Yacht Times SYT」に参加している。同プラットフォームの他のメンバーは、Feadship、Turquoise Yachts、Gulf Craft などである。

7. Saab Kockums (スウェーデン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	3	4	4	4	4	2	4	2	2	1	4

Saab グループの艦艇建造部門である Saab Kockums は、水上艦と従来型潜水艦の建造を行っている。

同グループの 2021 年度年次・サステナビリティ報告書によると、同グループは収入の約 5% をイノベーションと研究開発活動に投入しており、その大部分はスウェーデン国内で行われている。グローバルな Saab グループ全体では、半数以上の社員が研究開発に従事している。研究開発の焦点は、ソフトウェア駆動システム、デジタル化、AI、自動化、3D 印刷、センサー、サイバーセキュリティ、クラウドコンピューティングなどである。社内のイノベーション活動は温室効果削減技術の開発プログラムに支援され、また社外のイノベーションは、技術スタートアップ企業への投資または提携の機会を模索する社内スタートアップチームが支援している。

スウェーデン政府の支援プログラムにより、Saab Kockums は近年カールスクルーナ造船所の新造船設備及び機能のアップグレードを行った。これにより、複雑性を増す製品の建造に対応するソフトウェアが建造作業に組み込まれ、建造手法、エンジニアリング機能、製造ラインの完全な近代化が実現したと Saab の経営陣は述べている。同時に溶接ロボットへの投資も行われた。

Kockums は新製品の引渡しへのリードタイムの 50%短縮という目標のためには、製品のライフサイクルデジタルスレッドの作成と共有がカギであり、そのプラットフォームは顧客である防衛省、艦艇建造プロジェクトパートナー、選ばれたコントラクターとのデータ交換に適したものでなければならないと結論付けた。Kockums は、この移行計画のために Europstep 社の PLM 協働ツール「ShareAspace」を選んだ。

この協働ツールの導入には、異分野間の協力体制の構築や各種レガシー IT システムの統合など多くの課題があった。これには PTC Wind-chill PLM、IFS ERP、PTC Creo 3D CAD/CAM/CAE 設計エンジニアリングソフトウェア、AVEVA の船用認証管理プラットフォーム、Eplan 統合エンジニアリングツール、UpTime クラウドモニタリングソフトウェア、作業現場の携帯型デバイスから情報やデータへのアクセスができる Kemppli WeldEye 溶接管理ソフトウェアなどが含まれる。

Kockums 造船所では、ThyssenKrupp Marine Systems 傘下にあった当時、Siemens のイベント駆動型アプリケーション「Tecnomatix」を導入し、造船工程のシミュレーション、可視化、最適化、スケジュールの問題予測を行ってきた。

Saab は、船舶と陸上基地を接続する AI 内蔵のクラウドベースのデータ収集・分析ソリューションを開発した。Kockums で建造された潜水艦には、船舶監視とデータ分析に使用されるセンサーが埋め込まれている。

Saab は、EU 助成研究開発プロジェクト「PREPARE」に参加している。この 2 年半にわたるプロジェクトでは、近隣の船の位置を予測し、運航を改善するスマートセンサー、IoT、AI 駆動ポジショニング技術を開発し、試験を行った。

Saab は、グループレベルで付加製造の研究を行っており、既に戦闘機の部品を付加製造した。同グループは、ABB、Atlas Copco、Electrolux Ericsson、FAM、Husqvarna Group、Höganäs AB、Scania、SKF、Stora Enso、Wärtsilä.などの地元企業とともに、付加製造技術企業 AMEXCI 設立時の株主となっている。

同社はそのドローン技術を基礎に、無人自動航行を行う船舶、潜水艦、航空機の開発を支援するための研究開発活動を行っている。しかしながら、Kockums が検査またはロジスティック業務にドローンを利用しているか否かは不明である。

自律プラットフォームのサポートを目的に、同グループは AI の研究も行っている。Kockums の研究者は、スウェーデン最大の自律システムとソフトウェアの研究プロジェクト「Wallenborg AI」に参加した。

Saab の航空機ビジネス部門は、スウェーデンのシャルマース大学と共同で、レイアウト最適化と建設計画を支援するために、工場をデジタルスキャンするソリューションを開発した。また、航空機ビジネスの製品とサービスには AR が利用されている。同技術が艦艇部門で利用されているという証拠はないが、本調査では VR が設計見直し用に、また AR が製造支援のために導入されていると仮定する。

同グループは、契約管理へのブロックチェーン導入を検討中である。特に言及はされていないが、艦艇部門にも同技術の導入が予定されていると考えられる。

環境管理戦略は進められているが、同グループまたは艦艇部門がマイクログリッドに投資を行っているという証拠は見当たらない。

8. German Naval Yards Kiel（ドイツ）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	2	4	4	4	4	1	4	1	1	1	4

ドバイに本拠を置く Prininvest が所有する German Naval Yards Kiel (GNYK) は、Prininvest が TKMS から買収した旧 HDW Gaardend で、水上艦の設計と建造を行っている。

本調査では、GNYK が HDW 時代に導入した Siemens の NX 設計プラットフォームと Teamcenter PLM アプリケーションを使用している事実の確認はできなかったが、今でも使用していると仮定する。同社は、船舶設計は複雑な 3D モデルを使って開発されていると述べており、特に言及はないが、3D モデルの恩恵を拡大するために、少なくとも VR 及び AR 技術導入を検討していると考えられる。

GNYK は、いくつかの海軍向けプロジェクトでは、同じく Prininvest 傘下の Constructions Mécaniques de Normandie と協働している。

3D モデルは、MicroStep のコンピューター制御型切断、マーキング、研磨機械 3 基に情報をフィードする。製造自動化の例として、素材準備工場において、セクションロボットが平鋼、球平形鋼、山形鋼を切断、分類する。

同社は、Isherwood 社の統合ロジスティック支援アプリケーションを艦艇のメンテナンス及びスペアパーツ管理に利用している。同プラットフォームは、コンディションベースの予測的、予防的メンテナンス機能を組み合わせたものである。Isherwood は、Prininvest Group の系列企業である。

9. Constructions Mécaniques for Normandie（フランス）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	2	4	4	4	4	1	1	1	1	1	4

シェルブールの Constructions Mécaniques de Normandie (CMN) は、主に水上艦の設計と建造を行っているが、商船の建造も行う。CMN は、ひとつの拠点に設計と建造能力を統合している。

CMN は、Dassault Systèmes の 3DEXPERIENCE プラットフォームを導入している。同プラットフォームには、初期設計と概念開発用の CATIA、協働プラットフォーム ENOVA、プラズマ切断機を制御する DELMA が含まれる。CMN の PLM は、同社の

ERP と統合し、垂直・水平統合を支援する。特に言及されていないが、3D モデルの恩恵を拡大するために、少なくとも VR 及び AR 技術導入を検討していると考えられる。

同社はまだロボット技術と 3D 印刷技術への投資を行っていない。

CMN は、Prininvest Group の系列企業である Isherwood 社の統合ロジスティック支援アプリケーションを艦艇のメンテナンス及びスペアパーツ管理に利用している。同プラットフォームは、コンディションベースの予測的、予防的メンテナンス機能を組み合わせたものである。

10. Damen (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	2	1	4

Damen グループは、全社的なデジタルトランスフォーメーションの複雑さと所要時間の長さを示す好例である。大規模で分散型の同グループは、3 つの異なる製品（艦艇、商船、ヨット）と数多くのレガシーIT システムを持つ。

Damen グループは 55 企業と 35 造船所から構成され、年間約 175 隻を竣工している。同社は、艦艇（Damen Schelde Naval Shipbuilding）、豪華ヨット（Amels）、標準化された商船シリーズ（Damen Shipyards）の設計と建造に従事している。同社の設計企業には、Damen Engineering Gdansk（ポーランド）、Marine Design Engineering Mykolaiv（ウクライナ）、Marine Engineering Galati（ルーマニア）などがある。

Damen の艦艇部門は、オランダで唯一の複雑な海軍向けソリューションの提供企業で、オランダ王国海軍及びオランダ防衛省の主要パートナーである。インテグレーターとしては、同社の艦艇部門は、艦艇向けセンサーと戦闘システムを供給する Thales Nederland、ハイエンドの軍事プラットフォーム自動化ソリューションを提供する R.H. Marine など地元の強力なサプライチェーンに依存している。社内にも設計機能はあるが、Damen の艦艇部門は、Knud E. Hansen などの設計専門企業とも提携している。

Damen は、同社の標準化製品のシリーズ製造という哲学とデジタル技術の融合を進めている。その課題は複雑性とカスタム化である。その目標は、「世界で最もサステナブルでコネクタされた造船所」になることである。Damen は、そのビジネスモデルを拡大し、船舶のライフサイクルを通じて、サービスやアップグレードを含む付加価値のあるサービスを顧客に提供するデジタルソリューション提供企業となる。Damen の「スマートシップ」ビジョンは、船舶の概念段階からデジタルツインを作成し、自動化データ収集機能を用いて船舶の運航中にもデータを収集し、常時デジタルツインを更新する。同社は、コネクタされた船舶は、予測的メンテナンスや自動運航を含む自動化のベースとなると考えている。

Damen は、社内のデジタル機能をひとつのプラットフォーム「Damen Digital」に統合した。その機能は以下を含む。

- シミュレーションとデジタルツインを活用して船舶設計、建造計画、システム統合を最適化する
- 船舶にセンサーを埋め込み、IoT 技術を利用して遠隔監視を行う。船舶のデータを、Damen のアフターセールスサービス拡大のために利用する。
- 船舶の自動運航技術を開発する。

本調査では、北西南欧州地区のセールスマネージャーMike Besijn、ファストクルーサプライヤー製品マネージャーVincent de Leeuw、Damen Schelde の会計マネージャーRuben de Quaasteniet のインタビューを行った。3名とも Damen Gorinchem をベースとしている。

2017 年、Damen Shipyards Group は、グローバルな造船所業務をデジタル化するために、フランス Dassault Systèmes の安全なクラウドベースの PLM プラットフォーム「3DEXPERIENCE」の導入を開始した。Damen が選択した 3DEXPERIENCE アプリケーションには以下のような機能モジュールが含まれている。

- *Designed for Sea* (船舶設計) : 3D モデリング、デジタルツイン、VR 技術を利用して、造船技師、設計者、エンジニアが船舶設計を決定、モデル化、シミュレーション、評価、変更を行う。全作業は完全なトレーサビリティを持つ。オープンスペースアーキテクチャーは、従来の CAD システムのインターフェイスの問題を軽減する。
- *Winning Bid for Sea* (船舶セールス) : セールsteam が基本的な提案にオプションを加えるなど、オファーを迅速にモデル化し、シミュレーションを行うこと可能にする。受注が確定した後、この提案は船舶設計段階をサポートする。
- *Optimized Production for Sea* (造船工程の最適化) : 設計段階における建造計画の統合をサポートする。3D シミュレーションと AR/VR 技術を活用し、同プラットフォームは工程計画、組立作業の明確化、各作業の準備、3D 作業指示、作業計画の 3D シミュレーションと評価などのプロセスをサポートする。
- *On Time to Sea* (船舶の運航) : 品質水準及びコンプライアンスを満たす船舶のスケジュール通りの引き渡しをサポートする機能横断型の共同計画・監視ツール。

3DEXPERIENCE プラットフォームの全社的導入には時間がかかり、未だに全ビジネス部門への導入は完了していない。

3DEXPERIENCE プラットフォーム導入のパートナー企業 AITAC は、2018~2021 年間に Damen の 2 つのビジネス部門 Damen Schelde Naval Shipbuilding 及びヨット建造所 Amels への導入をサポートした。エンジニアリング下請け企業である AITAC は、Damen Amels の 3DEXPERIENCE を用いたスーパーヨットの基本設計の作成を支援した。Dassault Systèmes も同社の 2020 年のブログで、Damen のヨット部門 Amels に 3DEXPERIENCE が導入され、Amels Limited Editions シリーズのスーパーヨットの設計の基本エンジニアリング、詳細エンジニアリング、製造準備に活用されたと述べている。

また、続いて Damen Schelde Naval Shipbuilding に 3DEXPERIENCE が導入されると述べている。さらに、Damen Naval がドイツ海軍向けの MKS-180 多目的戦闘艦計画の F126 級フリゲートの建造プロジェクトに 3DEXPERIENCE を活用しているとの報道もある。Damen Shipyards Gorinchem のマネージャーは、3DEXPERIENCE アプリケーションが商船建造にも導入されていると述べている。

2021 年末、スウェーデンの高セキュリティ PLM 協働ソリューション開発企業 Eurostep は、Damen Naval から同社の「ShareAspace」プラットフォームを受注したと発表した。ShareAspace アプリケーションにより、Damen Naval は、艦艇建造プロジェクトにおいて、3DEXPERIENCE プラットフォームを導入していないサプライヤーや下請け企業からの技術情報をリクエスト、受信し、見直しを行うことができる。Eurostep は、既存の企業システムの統合を支援するオープンアーキテクチャアプリケーションである。「ShareAspace」は Damen の 3DEXPERIENCE プラットフォームを、複数のシステムに同時接続する。

Damen Ship Repair は PLM プラットフォームの一種であるオンラインデータ管理プラットフォーム「Shipbuilder」を導入している。

2019 年、Tata Consultancy Services 社は、Damen Shipyards が同社の SAP ベースの「ERP on Cloud Platform」を採用したと発表した。同プラットフォームは、調達、サプライチェーン、製造、セールス、ディストリビューション、顧客サービス、人的資産管理、財務、会計、予算、計画など幅広いプロセスをサポートする。この発表は、Damen グループが同社造船拠点に IFS ERP プラットフォームを導入してわずか 7 年後のことである。

2022 年 3 月、米国の空間データ企業 Matterport は、Damen Shipyards Group が、社内及び社外のステークホルダーとの協働のために、同社のデジタルツインアプリケーションを採用したと発表した。Damen の作業船部門は、トルコ、中国、ベトナムを含む同部門の主要作業船造船所において建造中の船舶のデジタル画像を撮影するために、Matterport の「Pro2 3D」カメラを使用している。そのポイントクラウド情報は船舶の 3D 設計モデルと統合され、アップデートされたデジタルツインを作成する。Damen は、デジタル技術を活用し、顧客が船舶の全容を 3D スペースで遠隔検査することを可能にしている。造船所内では、デジタルツインは設計及びエンジニアリングチームが効率的な船舶建造を計画し、クラッシュのチェックと管理を行うために活用されている。また、建造チームとエンジニアリングチームは、Matterport デジタルツインの測定モードを用いて、設計モデルと建造された船舶の寸法の比較、確認を行っている。

Damen は、協働デジタルツインシミュレーションの標準の構築に関する「オープンシミュレーションプラットフォーム」プロジェクトに参加している。同プラットフォームは、さらに複雑性を増すソフトウェア駆動の船用機器・システムの設計、製造、試験、運転、品質保証に活用されるデジタルツインとサポートする。

同プラットフォームは、2017 年に DNV、Kongsberg Maritime、SINTEF 研究所、ノルウェー技術工科大学が開始した産業共同プロジェクトで、その後、欧州及びアジア地域の造船のデジタル化に係る 25 近くの企業・組織が参加する大規模プロジェクトに成長した。他の参加企業・組織は、MacGregor、Liebherr、現代重工業、MTI (Mohohakobi

Technology Institute) 、Korean Research Institute of Ships and Ocean Engineering、Equinor、Inmarsat、Lundin、Corvus Energy、China Offshore Deepsea Industry Alliance、Blue Innovation Area、VARD、Havyard、ハルビン工程大学、Offshore Simulator Centre、AVL List、Thyssenkrupp、ジャパンマリンユナイテッドである。

オープンシミュレーションプラットフォームは、船舶の全ライフサイクルを統合し、可視化する。この目的のために、プロジェクト参加企業・組織は船内システムのデジタルライフサイクルを以下の段階に沿って研究している。

- システムとソフトウェアの挙動をモデル化、シミュレーション化する各システムのデジタルツインを作成する。
- 設計が決定され、メーカーが選ばれた後、ビジュアル（デジタルツイン）部品とシステムが、システムのデジタルツインに送られる。これにより、物理的な製品が製造される前にビジュアルなシステム統合、試運転、試験を行うことができ、建造及び試運転段階における統合の問題が減少する。
- システムのデジタルツインは作成され、試験された後、物理的なシステムの実船への統合と試験をサポートすることができる。
- 同じシステムツインは、運転中に作成されたツインをフォローし、管理やトレーニングの変更にも対応する。例としては、メーカーによる制御ソフトウェアの更新時には、実船にアップデートを適用する以前に、システムのデジタルツインをアップデートすることができる。
- 船舶の運航に関するコネクティビティーとそのサイバーセキュリティの重要性は増している。

Damen は、Floorganise 社の造船所向け製造実行システム（MES）「Floor2Plan」を用いてグループ全体のリーン製造計画の導入を行っている。「Floor2Plan」は、プロジェクト、企業、部門レベルのリソース計画を統合し、企業の CAD、PLM、ERP システムと直接通信する統合計画ツールである。このシステムは、まず同社のベトナムの新造船建造所及びオランダ国内の修繕所に導入され、試験が行われた。従来型 MES アプリケーションが機械のネスティングと切断作業に焦点を当てていることに対し、Floor2Plan はエンドツーエンドのプロジェクト計画ツールである。Floorganise 社は、このプラットフォームによりプロジェクトの 90%以上の工程管理、依存関係、制限を、エンジニアリング工程の完了以前に特定できると述べている。さらに、約 80%の作業は、Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE」CAD/PLM アプリケーションが直接スケジュール管理を行う。

「Floor2Plan」プラットフォームの 5 つの主要モジュールは、①時間と出勤状況、②製造計画とスケジュール管理、③作業現場の管理、④プロジェクト管理、⑤予算編成と管理である。プロジェクト管理に関しては、同システムは、3D モデル、各作業員の作業時間（入室、退室）の情報、現場監督からの各作業に要する労働時間（人時）の情報などのデータを収集する。データ入力、作業現場のパソコン、タブレット、タッチスクリーンで行われる。AI 技術は、データを分析し、当初の計画と完了した作業を元に、自動的にコストと所要時間の予測を行う。

Damen Group 内の他部門から送信された詳細設計モデルとベースに、Damen 最大の造船所であるルーマニアの Damen Mangalia では、「CADMATIC」3D モデリングソフトウェアを用いて工程の見直しと調整を行っている。設計モデルを受信した後、同造船所のエンジニアリングチームは、CADMATIC を用いてモデルに追加情報を加え、また建造に必要な情報を入手する。造船所の監督と製造エンジニアは、「CADMATIC eBrowser」から情報にアクセスすることができる。

3D モデルは、Damen のルーマニア及びオランダ国内の造船所における MicroStep のコンピューター制御型切断、マーキング、研磨機械に情報をフィードする。Damen Schelde 造船所及び Galati 造船所では、HGG のロボット式補剛材プロファイル切断ラインを導入している。

Damen Naval Shipbuilding は、Damen Schelde Naval Shipbuilding で建造されたオランダ海軍のホランド級巡視艇で初めて VR 技術の試験を行った。その結果、Damen は、CAD から VR へのデータ変換にかかる時間が問題であるとしている。

2019 年末、Damen Gorinchem とオランダの船用トレーニングシミュレーター企業 VStep Simulations は共同で、船用シミュレーションプラットフォーム「NAUTIS」の機能を拡大し、エンジニアリングにも導入するプロジェクトを開始した。研究の焦点は船舶設計とエンジニアリングで、エンジニアが設計変更の影響を事前に知ることのできるデジタルモデルを作成する。両社は、デジタルツインソフトウェアの開発と利用拡大においても協力している。

自動運航船開発計画の一環として、Damen はボストンの Sea Machines Robotics と提携し、Damen 船向けの自動運航及び衝突回避機能の開発を開始した。その第一段階として、Damen は Sea Machines の自律コマンド・遠隔舵制御技術「SM300」をデジタルツインとして利用し、システムの実船搭載の前にソフトウェアベースの試験を行っている。Damen と Sea Machines は、自動運航システムと Triton IoT プラットフォームの統合に関する共同研究開発も行っている。

Damen と Tata Consultancy Services は、高セキュリティーのクラウドベースの船舶運航向け IoT プラットフォーム「Damen Triton」を共同開発した。Triton は、船内システムの電子ダッシュボードを通じて稼働時間やエンジン温度などの情報のリアルタイムの可視化を行う。同アプリケーションは、10,000～15,000 個の船内センサーからデータを収集、分析し、船舶設計及び船種により決定されたベンチマークと比較する。Triton は、ビッグデータ解析機能と AI/マシンラーニング技術を搭載している。同プラットフォームの船主への販売に伴い、Damen は同社船への 1 年間の保証を付帯する。保証の条件として、Triton システムは Damen に運航情報をフィードバックし、同社はその情報を航路の最適化、船のアップタイムの最大化、燃料消費量と排出の削減などに活用する。また、Damen は、フィードバックされた情報を設計の最適化やビジネス解析にも利用する。同社は、コンディションベースのメンテナンスと船級支援のために、同プラットフォームに計画的メンテナンス及び予測的メンテナンス機能を追加する計画である。これには必要な情報収集を行う船内センサーの追加が必要となる。

2017 年、Damen は、世界初の認証済み 3D プリンティングのプロペラを、ロッテルダム港内のタグボートに搭載する共同プロジェクトに参加した。Damen 以外

のプロジェクト参加企業・組織は、ロッテルダム港付加製造研究所（RAMLAB）、Promarin、Autodesk、Bureau Veritas である。プロペラの 3D プリンティングは、RAMLAB で行われた。

同プロジェクトの「WAAMmpeller」と呼ばれる 3 翼プロペラは、ワイヤーアーク付加製造（WAAM）技術を用い、298 のレイヤーから製造された。WAAM 工程では、ニッケル・アルミニウム・ブロンズ合金製ワイヤーがアークから発生する熱で溶解された。同プロペラは、Autodesk の CAD プラットフォームでモデル化され、印刷装置は同社の Powermill ソフトウェアで制御された。Damen の役割は、研究開発リソースと実船実験用の同社 Stan Tug 1606 シリーズ船 1 隻の提供である。認証は Bureau Veritas が担当した。

Damen は、数多くの共同研究開発プロジェクトに参加しており、以下はその例である。

- *Valid III* : この共同産業プロジェクトの目的は、船体構造監視システムが収集したデータを利用し、メンテナンスのサービスライフを最適化することである。同プロジェクトでは、Damen は、American Bureau of Shipping、BAE Systems、Bureau Veritas、デンマーク工科大学、Defence R&D Canada、DST Group、Ingalls Shipbuilding、オランダ王立海軍海事研究局、デルフト工科大学、米国沿岸警備隊、ミシガン大学、MARIN と協働している。
- *Improve* : 同プロジェクトでは、船舶設計の改善を目指し、設計過程において自動計算ベースの最適化手法と CFD コードを組み合わせる方法を研究する。Damen は、オランダ海事研究所 MARIN と協働している。
- *RAMSSES* : 2021 年半ばに完了した同プロジェクトは、Damen Shipyards Gorinchem と Damen Schelde Naval Shipbuilding の主導で行われた。RAMSSES は、「Realization and Demonstration of Advanced Material Solutions for Sustainable and Efficient Ships」（サステナブルで効率的な船舶のための先進素材ソリューションの実現と試験）の略である。この EU 助成プロジェクトの目的は、繊維強化プラスチックなどの新素材や革新的な船内設計と建造の利用による利点を実証することである。同プロジェクトで研究されている新素材に関しては、規制環境が整っていない場合が多い。プロジェクトで得られた材料の知識を活用し、それらの材料の認証を迅速化する。実証実験用に、複合材を用いて高さ 6m の船体部分が建造された。この結果は、船級規定及び SOLAS 規定を満たす全長 85m までの複合材製船舶の設計と建造に活用される。
- *New, Advanced Value-Added Innovation in Shipbuilding (NAVAIS : 造船における新たな先進的高付加価値イノベーション)* : PLM プラットフォーム「3DEXPERIENCE」を活用し、Damen Shipyards Gorinchem, Damen Schelde Naval Shipbuilding、Damen Engineering Gdansk、Damen Galatai は、多くの企業及び研究機関とともに、プラットフォームベースのモジュラー製品群ソリューションの開発を行っている。対象船種は、旅客フェリー、道路フェリー、作業船である。プロジェクトの目的は、建造工程の効率化を支援する柔軟な設計コンセプトの開発である
- *HOLISHIP* : Navantia の項を参照。

- **LEANSHIPS**: Damen Gorinchem は、41 企業・機関が参加する、低エネルギーでほぼゼロエミッションの船舶の開発プロジェクトを主導した。同プロジェクトでは、異なる流体力学特性を持つ設計コンセプトの 7 件のテストケースを開発した。テストケースは、新型船体の CFD モデリングとシミュレーション、大型プロペラ、固定ピッチプロペラ向け省エネ装置（Wärtsilä と Grimaldi が自動車運搬船「Grande Colonia」上で試験）、エネルギー効率の意思決定支援システム（Tallink のフェリー「Victoria I」に搭載されたセンサーからデータを収集・分析）、エネルギー効率化システム（風力支援推進、ボイラーからの廃熱を利用したエネルギー貯蔵、有機ランキンサイクルを利用した船舶の廃熱からの発電）、メタノールなどの代替燃料で駆動される高速ディーゼルエンジンである。
- **SEBAT**: 同プロジェクトでは、高エネルギー貯蔵セルと高出力貯蔵セルを組み合わせた船用大型電気ハイブリッドソリューションを開発する。

現時点では、Damen が、造船所向けのブロックチェーンまたはドローン技術の導入を検討している証拠はない。

11. Meyer Group（ドイツ）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	3	3	3	1	4	3	1	4	4

Meyer Group は、現在 7 代目が経営するファミリービジネスで、ドイツとフィンランドに造船所を持つ。同グループは、海洋クルーズ船、河川クルーズ船、フェリーの設計と製造に特化している。グループ造船所は、ポーランド Crist、リトアニア Western Baltic Engineering などのブロック建造下請け企業にサポートされている。

Meyer Werft は、2002 年に Dassault Systèmes の PLM プラットフォーム「3DEXPERIENCE」の導入を開始し、船舶のライフサイクルを通じた情報のデジタルスレッドを管理している。同プラットフォームは、3DEXPERIENCE CATIA 3D 協働プラットフォーム、Enovia 製品ポートフォリオ、DELMIA 製品、プロセス、工場作業シミュレーションプラットフォーム、simulation platform for products, process, and factory operations など複数のアプリケーションからの代々のビジュアル 3D 建造図面をサポートする。PLM 実行とシステム間の接続のシンプル化を支援するため、Meyer Werft は、「3DEXPERIENCE」プラットフォームを複数の企業システムに同時接続する Technia 社の「Integration Framework」への投資も行った。

PLM への投資は、2017 年にグループの全拠点に導入した SAP ERP を補完するものであった。同 ERP は、会計、コントロール、調達、ロジスティックス、製造などの各機能を管理している。

「インダストリー4.0」ソリューション開発の一環として、Meyer Group は、2019 年にスタートアップ企業 ALFRED Maritime を設立した。ALFRED Maritime は、グループの 3 造船所の造船、運航に関するデジタルソリューションのイノベーションを支援する。同社が最初に開発する製品は、データ収集、AI によるデータ分析により船舶の効率的な運航をサポートするエンドユーザープラットフォームである。

ドイツのパーペンブルクの Meyer Werft は、造船業務のために 3,500 人以上を直接雇用している。同社は、効率的なワークフローは、同社の IT インフラと VR アプリケーションなどのデジタル技術の上に構築されていると述べている。

Meyer Werft の設計技師は、3D シミュレーションモデリングと VR 技術を利用して、船舶の建造開始よりもずっと前に設計の見直しと協議を行っている。VR 技術により、Meyer Werft のエンジニアは顧客との詳細設計の検討が可能となる。VR 技術は船舶の建造計画にも活用されている。

Meyer Werft は、同社の「インダストリー4.0」戦略の例として、2021 年に 3,500 万ユーロを投じて完全に自動化された新ロジスティクスセンターを建設した。

従業員の ID パスにはバーコードを用い、造船所及び造船所の各部署へのアクセスを制限している。また、バーコードで従業員へのツールや消耗品の供与も管理している。

Meyer Werft のレーザーセンターは、鋼板開口部のコンピューター制御プラズマ切断機能を持つ。完全に自動化されたパネル組み立てラインでは、Meyer Werft は突合せ溶接とすみ肉溶接にレーザー溶接技術を最初に導入した造船所のひとつである。同社によると、レーザー溶接の導入により溶接のひずみ修正が 30%削減され、同時に溶接速度は倍増した。Meyer Werft で建造されるクルーズ船は、溶接の 80%が自動レーザー溶接、20%がマニュアルで行われている。

Meyer Werft の配管センターも、大部分が自動化された加工機械と溶接ロボットを利用している。これらの機械は、必要なデータを設計部門から直接受信する。

Meyer Werft は、同社の建造プロジェクトの複雑性を強調する。自動車は 10,000 の部品、Airbus A380 型旅客機は 100 万パーツから構成されているのに対し、クルーズ船は 1,500 万以上のパーツを加工しなければならない。

Meyer のグループ造船所で建造される各船舶に対し、それぞれの 3D バーチャルモデルが作成される。Meyer の建造哲学は、クルーズ船 1 隻を 50~80 個のブロックで組み立てることである。ブロックは、Meyer Group の各造船所及び複数の提携ブロック製造企業で製造される。ブロックは、建造工程の最後に接続される。ブロックの正確な寸法と結合を行うため、Meyer Werft は、建造ドックにジオメトリー分析と画像ドキュメンテーションを行う数基の床置型 Leica レーザースキャナーと、360° パノラマを撮影する LizardQ カメラシステムを採用している。ブロックの複雑なポイントクラウドモデルを作成し、オリジナル 3D モデルと比較することにより、欠陥を検知する。この作業は、Dassault Systèmes の 3D システム向け検査・採寸ソフトウェア「Geomagic Control X」が支援する。

スキャンされたブロックエリアのデジタルスキャニングは、「Geomagic Control X」による表面分析のカラーマップを作成する。この分析は、実際のデッキの表面の凹凸と目

標の設計状態との比較を行う。欠陥を早期発見することにより、ヤード内の限られた環境で欠陥を修正することができる。

Meyer Werft は、主要デジタル技術の開発と導入を目的に、以下のような共同研究開発プロジェクトに参加している。

- **Flexigen** : 船用部品の 3D プリンティングを目指したレーザー支援付加製造技術の開発に関し、Meyer Werft はドイツ Gall & Seitz Systems GmbH と共同研究を行っている。Gall & Seitz は、同社のレーザー粉末クラディング・ワイヤーベースプロセス技術 (laser-powder-cladding wire-based process technology) を船用部品の製造に適用する。この過程で、無移送式アークを持つ 2 つの電極 (a pair of electrodes with a non-transferred arc) がワイヤーを溶解する。溶解された小滴が部品の表面に達すると、レーザーが溶解物のさらなるフローに影響を与える。
- **Smart.START** : デジタル支援システムとデジタルツインを開発し、試運転過程の効率を向上する。
- **Green Light** : ドイツ連邦経済エネルギー省の助成プロジェクト「Green Light」の目的は、生物由来のベンゾキサジンベースとした軽量繊維強化ポリマーを用いて負荷に耐える船体構造を建造する新造船手法の開発である。新材料は、従来の材料と比較して環境負荷が少ないという利点があるが、IMO SOLAS 条約で未だ認められていない。同プロジェクトでは、負荷に耐える繊維強化ポリマー性部品が SOLAS の火災安全基準を満たすことを証明する。さらに、繊維強化プラスチックにフィルムベースまたはプリントされたセンサーを装着して運航中の状態を監視することにより、新材料のサービスライフの評価を行う。
- **HOLISHIP** : Navantia の項を参照。
- **RAMSSES** : Damen の項を参照。
- **Nautilus** : 長距離旅客船及びクルーズ船向けの低排出燃料及びエネルギー交換ソリューションとしての LNG 及び固体酸化物形燃料電池の実証プロジェクト。2020～2024 年期中に実施。
- **FLARE** : 2022 年 11 月に完了する 2 年半の共同研究開発プロジェクト「FLARE」では、新造船及び既存船の「ライブ」浸水リスクの評価と制御に関するリスクベース手法を開発する。同プロジェクトでは、IMO の関連規制を見直し、このリスクベース手法を追加することを提案する。

Meyer Werft が 2016 年に開設した新技術センターには、外部エネルギーの需要を削減するために、地熱暖房と冷却機能を導入した。

Meyer Group は、ドイツロストックにもう 1 か所の造船所 Neptun Werft を経営している。同ヤードは、Meyer Werft 及びフィンランド Meyer Turku で建造されるクルーズ船向けのエンジンルームの製造を行っている。Neptun Werft は、河川クルーズ船の建造も行っている。同社は約 500 人を直接雇用している。

Meyer Werft グループのフィンランド造船所 Meyer Turku は、NAPA の 3D モデリング・設計ソフトウェアを導入している。コンサルタント企業 PROSTEP が同 3D モデリングソフトウェアと Meyer Turku の既存の CAD システムの統合をサポートした。

同ヤードは、Meyer Group の他部門と同じ 3D 可視化ツールを導入した。

3D モデルは、MicroStep のコンピューター制御型切断、マーキング、研磨機械 5 基に情報をフィードしている。

Meyer Turku は、「ECOPRODIGI」プロジェクトに参加した。同プロジェクトは、バルト海沿岸の造船所、さらに広域の EU の造船所に対し、デジタルトランスフォーメーションの機会に関するいくつかの興味深い知識を提供している。2020 年末に完了したこの 3 年間プロジェクトは、EU が資金援助を行い、バルト海を海事産業のデジタル化とクリーンな海運の先駆者とすることを目的としていた。

同プロジェクトには、デンマーク、フィンランド、リトアニア、スウェーデンから多数の大学、研究機関、企業が参加した。また、プロジェクトの準メンバーとして、エストニア、ポーランド、ロシアからの企業・組織も参加した。21 の参加企業・組織は、Meyer Turku、OSK-ShipTech、Western Baltic Engineering、DFDS、J. Lauritzen、Kockum Sonics、トゥルク大学、オールボー大学、シャルマース工科大学、南東ノルウェー大学、南デンマーク大学、Carina Solutions Oy、Centrum Balticum Foundation、Danish Maritime、the Island Ferry Secretariat、Klaipeda Science and Technology Park、Machine Technology Center Turku、Logimatic、Sininen Polku Oy、the Swedish Research Institute、Vessel Performance Solutions である。

造船工程に関する研究結果の要旨は以下の通りである。

- 造船所内では、概して工程管理及びサプライチェーン管理という 2 部門の効率が低い。
- 新たなソリューション及び手順は、異なるサイズの企業から成るサプライチェーンネットワーク全体に適用されなければならない。
- ビジネスプロセスのリエンジニアリングと組み合わせられたデジタル技術は、造船所の効率と生産性を向上させる。
- 3D スキャニングや AR/VR などのデジタル技術は、造船所の主要作業であるブロック建造、修繕作業などを改善する。
- デジタル技術はさらなる開発が必要である。しかしながら、最大の課題は、新たなデジタルビジネスモデル内の人材の開発と共通デジタル化が提供する機会の活用である。
- 造船所のデジタルトランスフォーメーションの成功には、トレーニングと教育がカギとなる要素である。

さらに詳細なレベルでは、プロジェクトはいくつかの作業パッケージに分かれて研究開発を行い、それぞれの報告書を作成した。

トゥルク大学が主導した作業パッケージでは、「バルト海域の海事産業のプロセス」と題された最初のレポートで、運航中の船舶のデジタル性能の監視、貨物積み込み手順の最適化、造船所の手順の最適化、将来的な海事産業のデジタル化などの課題に関する研究結

果を述べている。この初回レポートでは、デジタル化を環境性能の改善という目標の一部としてとらえている。排出削減のためは、船舶の運航者による削減努力だけではなく、設計者や造船所がさらにサステナブルな船を製造することが必要であると結論付けている。

この作業パッケージには、造船企業 2 社、即ちフィンランド Meyer Turku とリトアニア Western Baltic Engineering が参加した。Western Baltic Engineering は、Western Shipyard Group 傘下の企業で、Meyer Turku 向けの船体ブロックのエンジニアリングと製造を行っている。

同研究はいくつかの作業部会から構成され、各部会がそれぞれデジタル技術の実証プロジェクトを行った。

第一の作業部会では、サステナブルな造船所プロセスの主要機能を研究した。同レポートでは、その主要機能を、設計、材料管理、小組立工場、ブロック組み立て、ブロック上の艀装、船舶の建造、ドッキング／海上試運転としている。造船及び修繕作業のサステナビリティをサポートする機能としては、①製品と製造品質のラピッド及びバーチャルプロトタイピング、②汚染防止、③コスト効率の高い再製造、④特に修繕に対するサービスと保証請求の最小化、⑤ゼロ廃棄物経済と循環型経済、⑥製品のライフサイクルを通じた材料費の情報の透明性、⑦造船所におけるリソースの効率、を挙げている。

サステナビリティ機能を利用し、同作業部会では、組織サステナビリティ度評価ツールを用いて Meyer Turku の 6 システム、部門のサステナビリティ意欲を評価し、0～3 のスコアをつけた。

下表は、6 システムのスコアである。PLM デジタルツールなどのデジタルトランスフォーメーション技術によるサステナビリティ改善が必要な個所を特定した。

図表 6: Meyer Turku のサステナビリティ意欲の評価

システム	意欲の平均スコア	コメント
プロセス・サプライチェーン管理	1.5	同システムにはプロセスに関する知識と追跡を含む。同システムのスコアは最低であった。計画、作業チームの決定、資材の調整、サプライヤー管理は、改善の必要がある。
資産管理	2.2	
資材管理	1.8	
情報システム	2.6	同システムはサステナビリティ能力を高レベルでサポートしている。
データ駆動型意思決定支援	1.75	
組織的能力	1.6	同システムは、社員と企業の持つ知識を指す。経営と問題解決に関する社員の知識は、必ずしも組織内で共有されていない。

出所: ECOPRODIGI

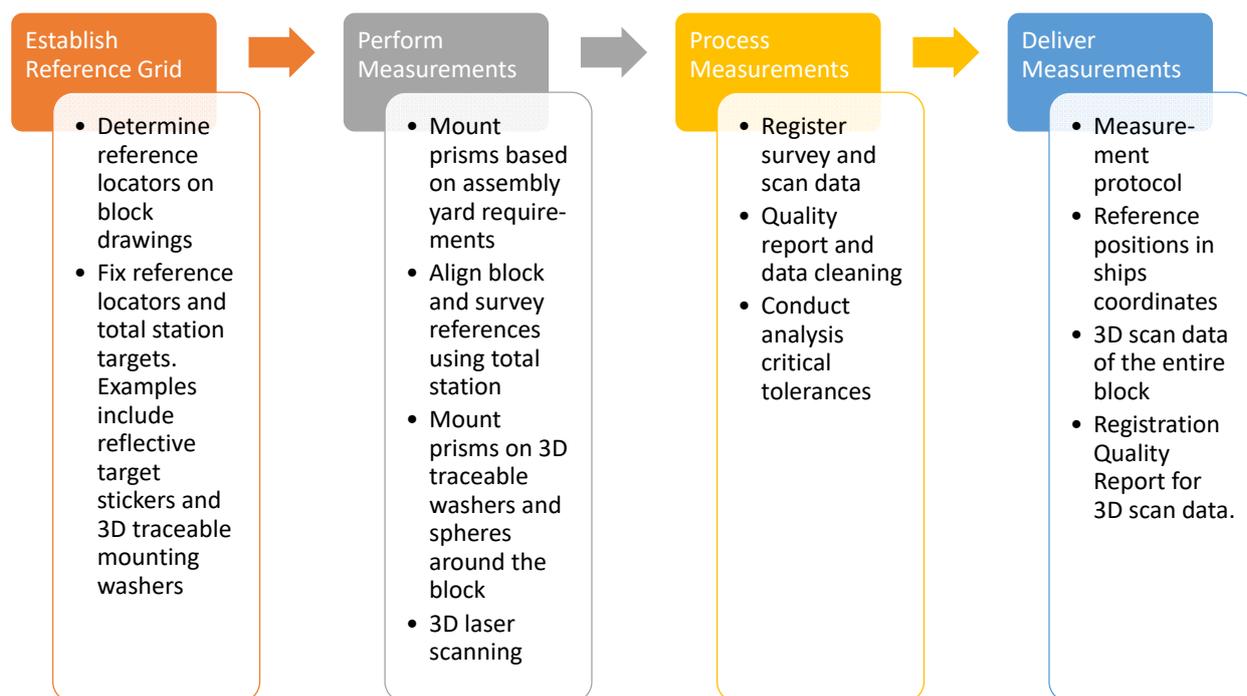
第二の作業部会では、ブロックの製造工程を見直し、サステナビリティの改善が必要な分野を特定した。キャビンブロックの設計と製造は、Western Baltic Engineering を

はじめとする下請け企業が担当している。効率の悪さが指摘された分野の一つは、メーカーが製造するブロックの寸法の管理の問題と、ブロックが Meyer Turku に配送された後の作業やり直しである。Meyer Turku と Western Baltic Engineering は、3D シミュレーションとデジタルツイン技術を使用している。それにもかかわらず、加工のギャップは存在し、さらなる最適化が必要とされる。同作業部会は、設計のデジタルツインと建造中のブロックの状態を比較するために、3D スキャニング技術の導入を提言している。これにより 誤差や欠陥を初期段階で発見し、修正することができる。

「ECOPRODIGI」プロジェクトで指摘されたブロック製造工程における寸法管理の問題に対処するため、Meyer Turku と Western Baltic Engineering は、シャルマース工科大学が作成した「船体ブロックジオメトリーの 3D 記録のためのガイドライン」というガイダンス書類に協力した。このガイダンスは、メインの造船所と下請け造船所の合意となり、下請け造船所における測量、寸法管理と 3D 記録のデジタル化に寄与する 3D スキャニングツールの利用を促進し、最終組み立てを行う造船所における再作業を回避する。Meyer Turku と Western Baltic Engineering における試験プロジェクトの結果をもとに、同レポートでは、下請け造船所における 3D スキャニングツールの利用により、メインの組立造船所における再作業が最大 80%削減されると推定している。同ガイダンスは、精度の高いデジタルスキャニングのためには以下のツールが必要であるとしている。

- **3D レーザースキャナー**：対象物の正確な 3D 画像を作成するためには、スキャナーはスキャン対象物の周りの複数のロケーションに配置しなければならない。その結果、異なる複数のデータセットをひとつの共通調整システムに整合する必要がある。これは対象物のまわりに人工的な複数のターゲットを配置することにより達成される。
- **トータルステーション**：角度を測量するセオドライトと距離を測定するレーザー距離計を組み合わせたもの。トータルステーションは、高精度で空間の各点の相対位置を決定する。トータルステーションの利用は、不動産やインフラの位置情報として用いられる電力網などの既存の座標システム上での位置決定に依存している。これにより、既存のジオメトリーと座標系における船体ブロックの測量を支援する。
- **船体ブロックジオメトリーの 3D 記録**：下表は、組立ヤードとブロック建造下請け造船所間の寸法管理を支援するデジタル過程である。

図表 7: 3D データ記録プロセスの概要



出所: ECOPRODIGI, IMA

フィンランドのコンサルタント企業 Carinafour は、プロジェクト内の試験プロジェクトとして、マテリアルフロー管理プロセスのリエンジニアリングにより HVAC（暖房換気空調）室組立作業の生産性の 30%改善を目指す Meyer Turku の 3 年間プロジェクトを支援した。Carinafour は、資材の倉庫から工場へのプロセスを管理する数件のデジタルソリューションを開発した。Carinafour のアセンブリー・ロジスティックスシステムを用いてサプライチェーンをデジタル化し、3D バーコードを持つ資材を追跡、作業場における資材のアベイラビリティを確認する。情報は、タブレット、スマートフォン、コンピューター端末に表示される。作業の一環として、Carinafour は、HVAC 室の組立に必要な資材と作業の計画手法の見直しを行った。次の段階として、同社は作業ごとの報告と測量プロセスを見直した。このプロセスでは、システムは労働時間ではなく資材を基本としている。最後に、Carinafour は、各部分が船舶に送られる前に組み立てられ、統合される組立倉庫を開発した。同社は、以前のプロジェクトと比較し、効率の 10%向上、資材の無駄の 10%削減、倉庫スペースの改善、フォークリフト活用の改善などを報告している。このシステムにより、部門間のコミュニケーションとプロジェクトの追跡が改善し、また連続的な改善も実現した。

フィンランドのコンサルタント Sininen Polku は、ECOPRODIGI プロジェクトで Meyer Werft と協働し、造船の下請け業態のリスク削減を目指した。情報の共有と透明性確保のため、Sininen Polku と Meyer Turku は、主要下請け企業の協力を得て、サプライチェーン網のリスク削減とオープンデータエクステンジを目的としたリスクマネジメントモデルを開発した。Sininen Polku は、どのようなデータを収集すべきか、また特定されたリスクを監視、管理するためにどのようにデジタルデータを可視化するかなどの提案を行った。

「バルト海域の海事産業のプロセス」報告書の中の第三の作業部会は、船舶の乾ドックと修繕に焦点を当てている。この研究では、従来の入渠計画と検査が主に目視によるものであり、必ずしも客観的な評価とならないと指摘している。3D デジタルスキニングを利用して 3D モデルを作成し、可視化、測量、及び修繕プロジェクトの分析を支援する。これにより、コスト、計画、検査を最適化する。船主 DFDS がこの作業パッケージをサポートした。Meyer Turku で実施された試験プロジェクトでは、3D スキニングにより、バラスト水処理装置やスクラバーシステムのレトロフィットプロジェクトのスケジュールが 30%改善した。

しかしながら、プロジェクトでは、造船所のプロセス、特に工程とサプライチェーン管理が不効率であると結論づけている。デジタル技術は多くのアプリケーションに導入可能で、作業プロセスの再構成と AR/VR、3D シミュレーション、デジタルツイン、3D スキニングなどのデジタルトランスフォーメーション技術の導入は、効率とサステナビリティの改善に寄与する。また、プロジェクトでは、3D プリンティング技術の開発促進と幅広い導入を提言している。

上記の 3 つの作業部会以外に、プロジェクトでは、企業・組織がデジタルトランスフォーメーション技術の導入以前に解決すべき課題を特定した。

第一の課題は、デジタル技術導入に関連したプロセスの特定と改善である。さらに、デジタル化途上の組織では、アナログとデジタルのプロセスが共存する。この場合、組織は、適切な資源を投入し、アナログシステムとデジタルシステムの円滑な統合を確認しなければならない。

デジタルトランスフォーメーションの導入に関する第二の課題は、資材と機器の追跡と管理に影響する造船所とサプライチェーンのスケールと、サプライヤーのデジタル技術導入への積極性である。全てのサプライヤーと下請け企業が主造船所と同じ意欲を持ち、同じ投資が可能であるとは限らない。

第三の課題は、顧客及び船級協会など他のステークホルダーとのデジタル情報の統合である。同レポートでは、デジタルデータ交換のオープンソース標準の構築を目指して開発中である「Open Certification Exchange」プログラムには言及していない。

第四の課題は、既存の従業員のデジタル技術トレーニングである。例としては、3D スキニング機器を効果的に使用するスキルやポイントクラウドが作成する大量のデータを保存、処理するコンピューター能力などが必要となる。また、現行のポイントクラウド処理ソフトウェアは完全に自動化されておらず、マニュアル作業のスキルも必要であることが指摘されている。

第五の課題は、組織内の人的資源の採用、開発、配置である。デジタルトランスフォーメーションは、組織の再編と従業員の新たなスキル開発が必要となる。慎重に計画、実行した場合でも、既存の従業員が変革に抵抗する可能性がある。

第六の課題は、既存の従業員の考え方の変革である。デジタルトランスフォーメーションのためには、従業員が教育と新技術を受け入れることが必要である。提案されている解決策は、デジタルゲーム産業の技術を活用したデジタルツインや VR の導入である。

最後の課題は、知識管理と個人の知識と経験をデジタルインフラ内に取り入れることである。しかしながら、変革の受け入れと同様に、個人の知識獲得と共有の促進が課題となっている。

ECOPRODIGI プロジェクトの成果のひとつは、「シップヤード 4.0 への道：バルト海と同海域の造船所の現状、開発の歴史、将来のロードマップ」(Road to Shipyard 4.0, The State of Play, a Brief History of Maritime Development, and a Future Roadmap, Focusing on the Baltic Sea and Shipyards) と題された報告書である。同報告書では、バルト海沿岸の造船所の 2030 年までのデジタルトランスフォーメーションのロードマップの尾錠が示されている。

ECOPRODIGI プロジェクトでは、フィンランド Machine Technology Center Turku、リトアニア Klaipeda Science and Technology Park、スウェーデンのシャルマース大学が共同で、造船所のデジタルトランスフォーメーションに係る全ステークホルダーのトレーニング要求に関する報告書を作成した。デジタル造船所で要求されるコアスキルは、これまでのスキル要求とは全く異なる。AR や VR などのデジタルツールに関しては、クラスルームにおいてデジタル技術が実際に稼働している例を見せる必要がある。

造船所においては、スマートフォンのデジタルガイダンスツールが開発され、従業員の技術の受け入れを支援している。同ツールはモバイル型アプリケーションで、溶接工が特定の溶接作業を行う前に手順を見せ、情報を明確化する。モバイル型ガイダンスツールは、他の造船所アプリケーションで使用可能である。また、下請け企業の施設においても、作業の明確な要求の通信を行うことができる。

この研究部会において、シャルマース大学はフィンランド Meyer Turku とリトアニア Western Shipyard と共同で、3D スキャニング方法のトレーニングを開発した。

ライフサイクルデジタルツイン開発の一環として、Meyer Turku はフィンランドの共同研究開発プロジェクト「INTENS」に参加した。2021 年に完了した同プロジェクトでは、60 以上のソフトウェア及び物理的製品が開発された。この共同産業プロジェクトの目的は、フィンランド海事産業のデジタル化と自動化の促進である。その焦点は、デジタルツイン技術を活用して、船舶のライフサイクルを通じたエネルギーシステムのインテリジェント設計と最適化を行い、船舶のエネルギーシステムを部品、システム、船舶、船隊レベルで統合することである。

INTENS プロジェクトには、Meyer Turku に加え、以下の企業が参加した。Wärtsilä、Deltamarin (設計)、NAPA (デジタル航海計画)、3D Studio Bloomberg (AR、VR を使用した産業可視化)、Dinex (触媒式排出後処理システム)、Jeppo Biogas (バイオメタン燃料)、JTK Power (サイレンサーメーカー)、Parker Hannifin (ろ過システム)、Pinja (船舶ハイブリッド化ソリューション)、Tallink (旅客輸送)、Vahterus (熱交換器)、Visorc (廃熱回収)、Wasaline (海上輸送)。INTENS プロジェクトのパートナー大学は、アアルト大学、ラッペンランタ工科大学、ヴァーサ大学、オーボアカデミー大学である。

12. Chantiers de L'Atlantique（フランス）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	4	2	2	1	4

Chantiers de l'Atlantique は、フランスの高度な船舶（主にクルーズ船と艦艇）の設計・建造と洋上構造物の設計・建造を行う企業である。艦艇に関しては、Chantiers de l'Atlantique は Naval Group と協働する機会が多い。Naval Group は、軍事システムの供給と統合を行う。クルーズ船に関しては、ポーランド Crist などの欧州のブロック建造所が協力することが多い。

Chantiers de l'Atlantique は、フランス iObeya 社のアプリケーションライフサイクルマネジメント（ALM）プラットフォームを導入した。「great hall」は、トヨタプリウスの開発に端を発した日本のコンセプトで、「iObeya」はプロジェクトの各機能のデータの収集、通信、分析を行うバーチャルミーティングルームである。PLM はツール、労働者、材料コストなど有形のものを処理するが、iObeya アプリケーションのライフサイクルマネジメントツールは、主に要求、テストケース、リーン経営をサポートする課題などの無形物を処理する。

また、Chantiers de l'Atlantique は、SAP の ERP プラットフォームも使用している。

同社のデジタルツイン戦略は、特定のタスクに最適なツールを選んだ後、同ツールを共通プラットフォームに統合することである。船舶設計と統合計画には、同社は Intergraph 社のデジタルツインプラットフォーム「SmartMarine」を採用した。デジタルツインは同社の SAP ERP プラットフォームに直接リンクされ、部品表はデジタルツインから毎日取り出され、ERP システムに送られて処理される。SmartMarine デジタル統合フレームワークは、独立した複数のソフトウェアツールの上に構築されている。ソフトウェアツールには、SmartMarine デジタルツインを経由したキャビンの設計、統合に使用される Siemens の CAD ツール「Solid Edge」などが含まれる。また、同社は Aerys 社のデジタルツインクラウド協働プラットフォーム「SmartShape」を導入した。これにより、エンジニア、顧客、製造作業員は VR ヘッドセットでデジタルツインを検討し、デジタルツインからの AR 情報を製造作業員のスマートフォンやタブレットで共有することができる。Chantiers de l'Atlantique は、Siemens のシミュレーションツール「STAR-CCM+」を使用して、船体のジオメトリー、船体と波の相互関係、排ガス流のモデリングなどを行っている。

2020 年、同社はフランスのサプライチェーンマネジメント企業 IDEA との長年にわたるパートナーシップを拡大し、倉庫を再編、資材配送システムにリーン製

造・デジタル管理ツールを導入した。これにより、保管スペースを削減し、ヤード内の資材配送スピードを改善する。

製造設備に関しては、Chantiers de l'Atlantique は、機械加工工場で処理される年間 175,000 個のパーツの回収と分類を行う把持ロボットへの投資を行った。また、溶接ロボット 4 基を自動予備組立工場に導入した。フラットパネル工場には、Pemamek の高度自動化ライン 2 基が導入され、毎週 40 基のパネルを製造している。3D モデル情報は、MicroStep 社の数値制御開先加工機に送られる。

フランス Crazlog 社が開発したコンピューター化されたメンテナンス管理ソフトウェアアプリケーションを基礎に、Chantiers de l'Atlantique は、造船作業員が各製品の QR コードをスキャンし、関連技術書類をタブレット上に呼び出すことのできる「ScanEdit」アプリケーションを開発した。

同社は、フランスの技術企業 Storkcom の RFID インフラを導入し、船舶の電気・油圧システムを構成する機器・部品のトレーサビリティの確保をサポートしている。RFID タグは、パーツのリアルタイム情報を提供する。

「Digit+」アプリケーションは、船舶の運航データの収集、保存、分析を行う集中型ソリューションである。「Digit+」は運航支援に加え、排出管理も行う。

Chantiers de l'Atlantique は、独自のデジタルエネルギーツイン技術をベースとした「Ecorizon」サービスを開発した。同サービスは、船舶の最適なパフォーマンスを決定し、10~20%の燃料消費量削減を実現する。

Chantiers de l'Atlantique は、技術研究所 Jules Verne IRT の創設メンバーである。フランスのナント大学内の同研究所には、73 の企業、学術パートナーが支援している。その5つの主要研究分野は、①産業環境のモビリティ、②製造の柔軟性、③組立、接合技術、④成形、予備成形工程、⑤付加製造である。同研究所は造船業を対象とした何件かのプロジェクトを行っている。

Chantiers de l'Atlantique は、ブロックの組立を支援する自動化ロボット溶接台車の開発を行う「CHARMAN」プロジェクトにも参加している。このロボットは磁化されたベースを持ち、船舶の 3D モデルが溶接情報をフィードする。

Chantiers de l'Atlantique は、「ECOSAM²」プロジェクトに参加した。既に完了した同プロジェクトは、海洋環境における複合材の経年劣化の研究を行い、関連プロジェクト「VICOMTE」ではいくつかの材料の詳細研究を行った。船舶の上部構造への複合材の使用は、船体の軽量化につながり、結果的に燃料効率を改善する。また、修繕とメンテナンスの必要性を軽減する。

また、Chantiers de l'Atlantique は、船舶設計に数値シミュレーションツールを使用し、船舶性能の向上を目指す「HYSMER」プロジェクトにも参加した。

EU 助成プロジェクト「RAMSSES」は、先進素材の研究を目的とした 35 社以上の産業パートナーが参加する共同研究開発プロジェクトである。Chantiers de l'Atlantique と研究所 Jules Verne IRT は、同プロジェクトにおいて 6 面構造を持つ客船のキャビンモジュールの設計と試験で協働している。開発されるキャビンモジュールは、床と天井のパネルに加え、窓を含む 4 面の外壁を持つ。モジュール全

体の軽量化のために、軽量素材の研究と試験が行われた。組立前にキャビンモジュールを完成させることにより、船舶の最終組み立ての時間が節約できる。

さらに、同社はケーブル駆動パラレルロボットの産業利用とその利点に関する研究開発プロジェクト「CAROCA」にも参加した。同研究にはモデリングとシミュレーションを活用した。プロジェクトでは、ケーブル駆動パラレルロボットソリューションの利用は、部分組立検査、ブラスティング、塗装など高所の作業に特に適していると結論づけた。

「COBOT++」プロジェクトを通じ、Chantiers de l'Atlantique は、重さ 15kg 以上／長さ 1m 以上の物体の持ち上げ作業を行う造船作業員向けに、協働ロボット（コボット）アーム、リフト支援デバイス、マニピュレーターなどの産業技術の組み合わせの試験を行っている。

Chantiers de l'Atlantique は、「MASCOT」プロジェクトにも参加し、モバイル自律型ロボットによる組立作業の試験を行った。プロジェクトの次の段階では、同技術の産業化を画策する。

Chantiers de l'Atlantique は、長距離旅客船及びクルーズ船の低排出燃料及びエネルギー変換ソリューションとしての LNG と固体酸化物形燃料電池の試験を行う「Nautilus」プロジェクトにも参加している。同プロジェクトの実施期間は 2020～2024 年である。

さらに同社は、2022 年 11 月に完了する 2 年半プロジェクト「FLARE」にも参加している。同プロジェクトでは、新造船及び既存船の浸水リスク評価とコントロールに関するライブリスク評価を行うリスクベース手法を開発する。同プロジェクトは、IMO の関連規制を改正し、リスクベース手法を採用することを提案している。

Chantiers de l'Atlantique は、旅客船向けの統合避難機器・システムプラットフォームの開発と実証実験を行う「SafePASS」プロジェクトにも参加している。同プラットフォームには、大型旅客船の避難経路計画アプリケーション、スマートモバイルデバイス、取り扱いの容易な次世代人命救助器具などが含まれる。プロジェクトは 2022 年 12 月に完了する。

同社の「Ecorizon」プログラムは、同社が建造する船舶だけではなく、同社業務全体の環境と排出に関するプログラムである。同プログラムにより、同社の電力及び天然ガス消費量が削減された。しかしながら、同社はマイクログリッド開発に関しては言及していない。

13. Fincantieri (イタリア)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	4	2	2	4	4

Fincantieri は世界最大手の造船グループのひとつである。同社は欧州、アジア、南北アメリカに 18 造船所を持つ。

Fincantieri のイタリア国内ヤードでは、クルーズ船とフェリーはモンファルコーネ、マルゲーラ、セストリ・ポネンテ、アンコナの各造船所で建造され、艦艇はムッジャーノ・ラ・スペツィア、カステランマーレ・ディ・スタービア、全長 70m 以上のメガヨットはリヴァ・トリゴソで建造される。修繕所はトリエステ、ジェノヴァ、パレルモに位置する。オフショア船及び特殊船の建造は、イタリア国外の VARD Group が担当している。その詳細は事項で述べる。

Fincantieri と Naval Group は、合弁会社 Navaris を設立し、輸出向けの船舶の設計と建造を共同で行っている。同社は欧州のフリゲート及びコルベット建造計画もターゲットとしている。

Fincantieri の建造設備のサイズと分布、製品群の複雑性、カスタム化への顧客要望は、同社を「インダストリー4.0」トランスフォーメーション技術の理想的な候補としている。

2019 年、Fincantieri は、同社の最大の支出は、以下のようなデジタルトランスフォーメーション関連であると述べている。

- グループ全体の IT システム、ネットワークインフラ、ハードウェアのアップグレード。
- 船舶設計 CAD ソフトウェアと PLM アプリケーションを統合し、エンジニアリング工程の効率を改善。
- AI、自動化、IoT、VR、ロボット工程自動化ツール、先進的解析・報告システムなどの造船向けの「インダストリー4.0」技術への投資。

2021 年以降、同グループは、「Innovation Plan and Call」を通じて同社のイノベーション活動の計画と伝達を行っている。イノベーション計画は、デジタル化、環境負荷の軽減、競争力という 3 つの主要テーマから成る。同グループは、デジタル化計画の一環として、業務にスマートデバイス、IoT、AI を導入した。

従来手法では、設計部門は 3D モデルを作成し、異なる設計の試験と調整を行っており、製造部門が用いる製造・組立製図は、モデルを元に 2D フォーマットで作成することが多かった。

2015 年、Fincantieri は、Intergraph の「Smart Yard」（現 Hexagon の一部）を統合協働設計・建造知識管理プラットフォームとして採用し、エンジニアリング、資材調達、プロジェクト計画、製造、建造、試験を含むヤードにおける製品のライフサイクル全体の

管理を行っている。同プラットフォームのユーザーは、資材の利便性、部品表の管理、実際のモジュールの組立・建造工程の計画とシミュレーションなどで共同作業を行うことができる。Fincantieri グループの企業の大きさのため、30 部門への「Smart Yard」プラットフォームの導入には数年かかった。

同グループのインダストリアルプロセス改善担当副社長 **Daniele Filippone** は、「Smart Yard」への投資は、以下の 2 つのエリアにおいて製品開発プロセスを変革したと述べている。

- 全技術書類の自動作成と船級要求や顧客要求などの自動チェックによる自動化の向上。
- 全部門がひとつの共通データベースの利用による統合の強化。

Fincantieri は、Siemens の可視化・デジタル製造計画ソフトウェア「Tecnomatix」を 2013 年から使用している。この可視化ソフトウェアを用いて、Fincantieri は製造工程と規格、及び船体艤装手法の変革を行った。Tecnomatix アプリケーションにより、Fincantieri は各造船所の製造システムを統合し、造船所間の協力体制を構築、各造船所の製造能力の最適化を行った。

同グループは、2016 年、SAP の ERP をサポートするクラウドベースの IBM のハイブリッドクラウドソリューションを採用した。Fincantieri は、地元の官庁との共同プロジェクトを通じてイタリアのデジタルイノベーションと協力体制を加速することを目的に、Amazon Web Services と提携契約を締結した。

造船所の監督は、SAP ベースのモバイルデジタルアプリケーションを用いて、オリジナルの製図からの変更のアップデートと工程の進捗状況を船上においても監視することができる。同デジタルアプリケーションは、ドイツの技術企業 Syskoplan Reply が開発した。

2021 年に締結した提携契約に基づき、Fincantieri とイタリアの産業オートメーション企業 Comau は、グループ造船所向けに遠隔操作軌道車両に搭載された溶接ロボットの共同開発を行っている。

Fincantieri のリヴァ・トリゴソ造船所では、2004 年に最初のビジョンベースのロボット式溶接システムである Pemamek「ESAB」を導入した。このシステムは、高解像度カメラが搭載された軌道式ガントリーとロボット式溶接システムを組み合わせたもので、マイクロパネル、バルクヘッド、T 形鋼の小組立の溶接を行う。Fincantieri 造船所へのロボット溶接ソリューションの追加受注の一環として、2020 年、Pemamek は全長 300m の自動薄鋼板・T 形鋼片面レーザーハイブリッド鋼板ミリング、プロファイル組立、溶接ラインをマルゲーラ造船所に引き渡した。

2018 年、Fincantieri のオーストラリア子会社は、オーストラリアの金属付加製造企業 Titomic と、Titomic の製造用 3D プリンティング技術「Linetic Fusion」の Fincantieri への導入に関する基本合意を締結した。この合意では、動的溶解 (kinetic fusion) 印刷技術をあらゆるサイズのチタン製部品の 3D プリンティングに適用する可能性を研究した。

「Arsenal」は、Fincantieri のイノベーション・拡張現実研究所で、「インダストリー 4.0」関連の造船ソリューションの導入をサポートしている。Arsenal の研究対象は、

VR シミュレーションから「Microsoft HoloLens」ヘッドセットとモバイルデバイスによる複合現実及び AR ソリューションなどを含む。Arsenal は、独自の 3D CAD モデルの VR 設計検討プラットフォーム「COBALT」を開発した。この複合現実技術は、3D スキャニング技術を MR ヘッドセットに埋め込み、物理的環境のリアルタイムの 3D スキャンを行い、デジタルツインと統合する。

グループのデジタルトランスフォーメーション及びアフターセールスサービスの主要技術として、Fincantieri NEXTECH 社は、エレクトロニクス、自動化システム、デジタルエンジニアリング、統合製品ロジスティクスサポート、IT、サイバーセキュリティーなどの次世代技術の開発を主に防衛・セキュリティー産業向けに行っている。また、Fincantieri は NEXTECH が開発したソリューションを、クルーズ船、メガヨット、洋上構造物の分野にも適用している。同社が開発したソリューションは、顧客向けのライフサイクルアフターセールスサービスの増加を目的に利用されている。同社は他企業向けのソリューションの開発も行っており、その例としては、IBM の AI、ドローン、IoT ソリューションをベースとした土木作業プロジェクト向けの 3D 検査ドローンがある。NEXTECH は、イタリア国内の以下の研究所のデジタルトランスフォーメーション研究をサポートしている。

- **CETENA** : Fincantieri グループの研究開発専門企業 CETENA は、リヴァ・トリゴソ造船所を拠点としている。Fincantieri は、全新造船の CAD 製図をベースとした 3D モデルを作成した。建造中にアップデートされたデジタルツインは船主に引き渡され、船の生涯を通じたメンテナンスをサポートする。このプロセスは、統合ロジックスサポート企業 ISSEL NORD が支援する。
- **ISSEL NORD** : 新造船引渡し後のサービスを専門に行う企業。同社は、統合ライフサイクル管理、メンテナンス管理、スペアパーツの見積もり、購入、管理、ロジックスサポート分析を行うソフトウェアを開発した。
- **HMS** : HMS は、複合技術プラットフォームのインフラ、可視化ソリューション、サイバーセキュリティー、データセンターの物理的セキュリティーの開発を行っている。
- **Esseti** : 物理的・論理的セキュリティーソリューション開発企業。
- **SLS** : Support Logistic Service 社は、防衛産業向けの衛星通信システム及びエレクトロニクスの設計と統合を行う。
- **REICOM** : REICOM は、モビリティ分野及び高速道路などの大型インフラ向けの電子及び電子機械システムの設計、設置、メンテナンスを行う。
- **CSI** : CSI は、産業オートメーション向けの電気及び機械システムの設置とメンテナンスを行う。
- **IDS** : IDS は、電磁気エンジニアリング、衛星通信、ロボット工学、無人システム向けの研究・イノベーションのハブ。

デジタルトランスフォーメーション促進を目的に、Fincantieri は以下のような欧州及びイタリアの研究開発プロジェクトに参加している。

EU が支援する Horizon 2020 プログラム内のプロジェクトとしては、Fincantieri は「HOLISHIP」（Navantia の項参照）、「RAMSSES」（Damen の項参照）、「LEANSHIIPS」（Damen の項参照）、「SEABAT」（大型完全電化船の開発）、「ECHO」（欧州共通サイバーセキュリティー戦略の開発）、「FLARE」（Chantiers de l'Atlantique の項参照）などがある。

「DIGITAL SHIP」は、船舶のライフサイクルを通じてコスト効率の高いデジタルシミュレーションツールの開発を目的としたフランスとイタリアの共同プロジェクトである。

また、Fincantieri は、以下のような防衛関連のプロジェクト及び EU 防衛プログラムに参加している。

- **INERACT**: 海軍プラットフォームに統合される無人車両及びドローンのコマンド、通信、制御システムを研究、開発するプロジェクト。
- **SEA DEFENCE**: 新たな脅威に対応する次世代海軍プラットフォーム開発への技術ロードマップの開発とフィジビリティースタディ。

Fincantieri の研究開発プロジェクトは、イタリア経済開発省からの資金援助も受けている。その例としては、マルゲーラ造船所及びモンファルコーネ造船所の工程最適化、統合アフターセールス開発に関する「STESS」プロジェクト、船体建造工程の最適化を目指す「SCAFO 4.0」プロジェクトなどである。

イタリア教育大学研究省も、Fincantieri のいくつかのプロジェクトに対し、資金援助を行っている。その例としては、造船サプライチェーンで使用可能な革新的技術と先進素材の研究を行う「THALASSA」プロジェクトがある。

さらに、Fincantieri は地方政府の資金援助も受けている。その例としては、リグーリア州が助成する、デジタルツインと IoT の利用による製造工程の改善に関する「AWARE」プロジェクトがある。また、船体ブロック測量とポイントクラウド構築のための 3D スキャニングソリューション開発を目的とした「ALSO4」プロジェクトも地方補助金を得ている。軽量先進素材の研究を行う「SI-MARE」プロジェクトは、シチリア地方政府が助成を行っている。

14. VARD（ノルウェー）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティー	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	4	1	2	1	4

2013 年に Fincantieri の子会社となった VARD は、高度なオフショア船、漁船、エクスペディションクルーズ船、艦艇の設計と建造を専門に行っている。同社は独立したブランドと経営体制を持つが、Fincantieri の子会社として、Fincantieri グループのデジタルトランスフォーメーションと統合戦略に従っていると考えられる。

同社のビジネスモデルは、船主への統合ライフサイクルサービスの提供で、同社を伝統的な船舶設計・建造以上の付加価値を持つ企業とすることである。同社の統合ビジネスモデルの4つの要素は、船舶設計、建造、製品とサービス、アフターセールスサービスである。

- **船舶設計**：VARD は、欧州ではノルウェー、クロアチア、ポーランド、ルーマニアに、北米ではカナダと米国に設計部門を持つ。同社は数多くの高度船型及び標準船型を開発した。同社は 3D シミュレーション・モデリングソフトウェアを用いて設計の見直し、建造計画、顧客の見直しを行っており、社内のエンジニアリング技術は、数値流体力学（CFD）、有限要素法（FEM）、船舶モーション解析などを含む。CFD ソフトウェアを使用しているが、VARD は様々な海象条件における船舶の性能を確認するために水槽試験も行っている。VARD は、船舶システムのデジタルツインの統合と交換を行う「オープンシミュレーションプラットフォーム」に参加している。同プラットフォームの詳細は **Damen** の項を参照。
- **船舶建造**：VARD はノルウェー、ルーマニア、ベトナム、ブラジルに 7 か所の造船所を運営している。VARD は、ルーマニア及びベトナムで建造された船体をノルウェーで完成させる場合が多く、同社のビジネスモデルの要は統合管理である。ノルウェーでは、諸システムの搭載や試運転を行う。
- **製品とサービス**：VARD は、多くの専門子会社とともに、統合された船舶とサービスを提供している。提供するサービスには、先進エレクトロニクス、空調設備、配管、処理システムなどがある。VARD Electro 社は、さらにスマート、直感的で自律化された運航のためのデジタルブリッジ、動力、オートメーションシステムの開発に焦点を当てた専門子会社である
- **アフターセールスサービス**：トレーニング、スペアパーツ、修繕、レトロフィット、改造などのサービスを提供。VARD のノルウェー国内の 3 造船所 **Brattvaag**、**Langsten**、**Soviknes** は、修繕作業の向上のために、船体の高画質デジタル画像及びビデオを撮影する水中ドローンを利用している。

VARD が提案する統合アプローチの一例として、同社は最近、米国 Ocean Infinity 社からロボット型多目的オフショア船 6 隻を受注した。同シリーズは有人で運航を開始するが、将来的には VARD Electro が開発した遠隔操作プラットフォーム「SeaQ」を用いて陸上局から操船を行う。船体はベトナムで建造される。自動運航機器は VARD のノルウェー造船所で搭載、統合される。

VARD のスマートシップ概念の核となる「SeaQ」プラットフォームは以下の 5 モジュールで構成される。

- **SeaQ Power**：ハイブリッド及び完全電化船向けのバッテリー型エネルギー貯蔵システム、電力を船舶に送電するマイクログリッド、配電盤と開閉装置、陸上電力接続の設計と設置を含む配電ソリューション。同社はディーゼルメカニカル船及びディーゼルエレクトリック船向けの従来の AC 配電システムから、AC/DC 統合システムまたは完全 DC システムへの移行を進めている。これにより、燃料電池やバッテリーなどの低排出エネルギー転換・貯蔵システムを支援する。

- **SeaQ Bridge and Navigation** : SeaQ のブリッジと航行モジュールは、複数のブリッジ機能とひとつのプラットフォームに統合し、ブリッジのクルーに一様なエクスペリエンスを提供する。
- **SeaQ Control** : コントロールモジュールを通じ、VARD は船舶の自動化、動力管理、運航のエネルギー効率化サポート、キャビンのコントロール、HVAC システム管理に関するデジタル制御ソリューションを提供する。
- **SeaQ Remote** : リモートモジュールは、自動運航船の遠隔制御機能を持つ陸上コントロールセンターである。同モジュールは他の SeaO モジュールとのインターフェイスを持つ。
- **SeaQ Communication** : コミュニケーションモジュールは、船舶の通信、インターネットコム、船内放送、一般警報システム、CCTV、マスタークロック、インフォテックシステムを含むネットワークインフラとシステムである。

VARD Electro は、米国 PLM ソリューション企業 Aras 社のデンマーク子会社 Minerva 社の PLM ソリューションを採用した。同 PLM プラットフォームは 2019 年に稼働したが、興味深いことに、VARD Electro が PLM の必要性を認識してからシステムが実際に導入され、本格稼働するまでに 9 年もかかっている。VARD Electro が選んだ Minerva Electronic PLM は、Aras Innovator プロダクト上に構築されている。「Aras Innovator」は、Microsoft Platform 上で作動する企業向けフリー・オープンソース PLM プラットフォームである。

VARD Bralia は、HGG 社のロボット型補剛材プロファイル切断ラインも導入している。溶接情報を CAD システムから溶接作業現場に送り、ERP システムで作業の進捗状況を知るために、VARD は Kemppi 社の溶接管理ソフトウェア「WeldEye」を導入している。同ソフトウェアにより、溶接作業員は現場の携帯デバイスを通じて情報にアクセスすることができる。

15. Uzmar (トルコ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	2	4	1	1	1	1	1	4

Uzmar は、1973 年に家族経営の水先案内、曳航サービスとしてビジネスを開始し、現在でも大規模な曳航・水先案内ビジネスを行っている。1993 年、Uzmar は自社向けのタグボートの建造を開始し、その後国際市場に進出した。Uzmar は、現在イスタンブール南西のゴルジュクに近いコジャエリ自由経済区に近代的な造船所を運営している。

本報告書では、同社ビジネス開発担当エグゼクティブ Emre Caylak と契約・製品担当シニアマネージャー Deniz Dereli に聞き取り調査を行った。

Uzmar は、同社造船所は完全に統合され、デジタル化された造船所であるとしている。同社は、「SEM SRP」システムと連動したステーションベースのシリーズ建造手法を用いている。

Uzmar Technology Co. が開発した SEM ERP システムは、他のプロジェクトベースの企業向けにも市場化されている。ERP という名称であるが、同プラットフォームのディスプレイは ERP と PLM アプリケーション両方の垂直水平統合特性を組み合わせたものである。

SEM ERP ソリューションは以下の 9 モジュールで構成されている。

- **人的資源**：同モジュールは、直接雇用者と外部下請け企業の両方を含む幅広い人材の機能の管理に用いられる。同モジュールは、雇用、アクセスコントロール、シフト管理、ケータリングなどの事務、シャトルの手配などの業務を管理する。
- **ドキュメント管理**：同モジュールは、Uzmar 社内における船級協会の認証を含む全書類へのアクセス、変更、配布を管理する。同モジュールは、全資材のリストの関連作業の製図への統合をサポートする。Uzmar のタグボートの大部分は Robert Allan 社の設計を元に製造される。3D CAD モデル、デジタルツイン、VR 機能が詳細設計の管理に利用され、顧客は船舶設計のバーチャル検査をすることができる。製造の全図面はデジタル化されている。
- **製品とアクティビティ管理**：同モジュールは、作業を計画し、その進捗状況を管理する。同モジュールは出勤状況の管理システムとのインターフェイスを持ち、労働時間（人時）を監視、プロジェクトの日々の進捗状況を追跡する。

SEM ERP プラットフォームを通じ、船上の各作業は、Uzmar のプランニング部門が計画した製造指令と設計部門が作成した製図を持つ。製造チームは、設計部門が決めた材料のみを使用して製造指令を実行する。

製造段階では、作業監督が特定の製造指令の実行に要する人時を ERP システムに入力する。これによりリアルタイムで作業の進捗状況が報告され、Uzmar のマネージャーとプロジェクト顧客への恩恵となる。

同モジュールは、Primavera や Microsoft Project などの計画ツールとのインターフェイスを持つ。システムへのインプット、データとデジタル画像の両方である。

Uzmar の顧客は、発注船の建造過程にオンラインでアクセスし、監視することができる。船主は各作業の実際の人時報告を検討し、完成までのステータスをフォローすることができる。

- **財務と会計**：同モジュールは、建造プロジェクトの要求と、予算編成、コスト管理、キャッシュフロー管理、一般会計などの業務要求の両方を満たすために使用される。プロジェクトレベルでは、同モジュールは予算機能と実際のコストの情報収集機能があり、プロジェクトのコスト管理が容易となる。

- **変更管理**：同モジュールは、SEM ERP のコア機能である。製図、資材調達または物理的な仕事への変更は、システムを通じて管理され、承認される。同モジュールは、会議の議事録、e メール、催促状などの変更管理書類を自動的に作成する。データだけではなく、モジュールはデジタル画像も収集する。

製造段階では、材料または製図の不備が発見された場合、監督は SEM アプリケーションに変更のリクエストを提出する。不備が修正された後、問題を SEM ERP アプリケーションに報告した担当者は、システムでそのアイテムを終了する。データの同期はアップリンクまたは 4G 経由で行われる。

- **資材管理**：同モジュールは、インベントリーと在庫管理に用いられる。同システムは部品表の作成をサポートする。バーコードを用いた自動インベントリーコントロールが同システムのコア機能である。

Uzmar 到着時に全資材と機器にはバーコードが割り当てられ、各アイテムのバーコード情報は SEM ERP クラウドに保存される。これによりリアルタイムのインベントリー管理が可能となる。

- **下請け企業の管理**：同モジュールは、下請け企業への契約発注、支払い及び請求管理に使用される。下請け労働者には、出勤管理システムより給与が自動的に計算される。
- **計画的メンテナンス管理**：同モジュールでは、IoT とクラウド技術を用い、引き渡された船舶に埋め込まれた多数のセンサーがリアルタイムデータを作成する。

計画的メンテナンスシステムは、クラウドベースの AI に基づいたコンディションベースの予測的メンテナンスツールである。データはコンピューター端末、タブレット、電話から入力される。機器の稼働とメンテナンスに関する詳細レポート、機器メンテナンスのテンプレート、計画的及び予測的メンテナンス作業は、ほぼリアルタイムでアクセス可能である。

同モジュールは、船舶の消耗品とインベントリー、及びインベントリーの保証に関するコストと量の情報を管理する機能がある。

Uzmar の「Insight」アプリケーションにより、顧客は船舶の運航状況を追跡し、速力分布、燃料消費、エンジン、発電機、ポンプの稼働時間、状態と負荷などの情報をリアルタイムで監視することができる。

- **アフターセールスサービス**：同モジュールにより、Uzmar は、保証期間中に引渡し後の新造船を追跡することができる。顧客は同モジュールにアクセスし、同モジュールを通じて保証請求を行うことができる。

SEM ERP システムへのデータ入力と同システムからのデータの読み込みは、コンピューター端末、タブレット、携帯電話経由で行うことができる。ユーザーインターフェイスにより、プロジェクト、在庫状況、変更のリクエスト、遅延警告、コンタクト情報、毎日のマイルリストなどのデータの入力とアクセスが可能である。プロジェクトの写真は保存され、見直すことができる。

Uzmar はシンプルなパネル溶接ロボットを使用している。同造船所は現時点では次世代検査ロボットや「インダストリー4.0」型溶接ロボットの導入を検討していない。同社幹部は、現在のところ 3D プリンティング技術導入の必要性を感じていないと述べている。

Uzmar は、同社の SEM プラットフォームへの AI 導入による造船所ベースの機能向上を検討しているが、AI エンジニアリングの調達に問題があると述べている。トルコ国内では適切な資格を持った AI エンジニアが少なく、同社は人材獲得で自動車産業や航空産業と競争するのは難しいとコメントしている。

Uzmar は、モーションキャプチャーセンサーのイノベーションとその使用に関する研究を行っている。その目的は、健康（ヒートストレスを防ぐために各作業員の体温を監視）、安全性（全作業員が適切な防護装置を着用していることを確認）、セキュリティー（盗難や破損の防止）などの状況を監視することである。

また、同社は、資材配送などに自律化ドローンと車両の使用を検討している。

Uzmar は、社内の研究開発部門だけではなく、外部組織との共同研究開発も行っている。その例としては、近隣のトラックメーカーからの「インダストリー4.0」のアイデアを活用している。また、トルコやドイツの大学と新製品の共同開発を行っている。

Uzmar は、EU の Horizon 2020 プログラム内のプロジェクト「MarTERA AutoPlan」に参加している。プロジェクトの目的は、滑走艇及び半滑走艇向けの自動航行支援システムの設計と実証試験である。この 3 年間プロジェクトは 2020 年半ばに開始された。Uzmar のプロジェクトマネージャーは、このプロジェクトは完全な自動運航船実現への最初のステップであると述べている。

16. Ulstein Group（ノルウェー）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	4	4	4	1	4	1	2	1	4

同族企業の Ulstein Group は、数社の船舶設計、ソリューション、造船企業から成り、高度オフショア船、エクスペディションクルーズ船、ROPAX、養殖船、漁船の建造を行っている。競合他社と同様に、Ulstein は低排出、ゼロ排出技術への投資を行っているが、他社との違いは、最近発表した原子力駆動の極海エクスペディションクルーズ船の開発計画である。計画されている原子力クルーズ船は、熔融塩炉を採用する。Ulstein は、現行の規制承認プロセスをベースとした開発サイクルは 10~15 年と予測している。

他の主要ノルウェー造船所と同様に、Ulstein は造船工程の低付加価値要素は低コスト国の子会社に委託するというビジネスモデルを採用している。この柔軟な戦略と設計、協働、計画のデジタル化は、同社の引渡し計画とコスト管理の向上に寄与している。Ulstein の場合、近年のいくつかの重要プロジェクトでは、船体はポーランド Crist 造船所で建造された後ノルウェーに曳航され、Ulstein 造船所のドックと艀装岸壁で最終作業

が行われた。Ulstein は、2017～2021 年期中に世界で建造されたエクスペディションクルーズ船の引渡しの遅延日数は平均 139 日で、極海クルーズシーズンに間に合わず、損失を計上したケースが多いが、同社は複雑でカスタム化されたクルーズ船は計画通りの引渡しを維持することができたと述べている。

Ulstein は、デジタルトランスフォーメーションの利点として、システム技術の向上、システムの管理、及び完全に接続された海運産業の一部としての自動運航船を挙げている。

Ulstein の PLM 戦略は 2017 年に開発され、PLM 技術は同社のビジネスプロセストランスフォーメーションのカギであると特定された。さらに、同戦略では、ERP 及び製造実行システムとのデータ共有など船舶のバリューチェーン全体を統合、デジタル化するための情報媒体としてのデジタルツインの導入に関する Ulstein のアプローチを確認している。

Ulstein は、製品開発のために、NX CAD ツール、Simcenter「STAR-CCM+」CFD ソフトウェアなど主に Siemens のツールを利用している。

Ulstein が設計した船舶は、同社造船所に加え、他の造船所でも建造される。同社は、設計部門をノルウェー、オランダ、ポーランド、中国に置いている Ulstein は、CADMATIC 社のソフトウェアを用いて、船体建造、機械、配管、電気、鋼鉄の艀装、HAVC システム、居住区の基本設計及び詳細設計を行っている。Ulstein は CADMATIC 社の「Co-Designer」ツールを利用して、スロバキア J&J Marine Design、ロシア Forrs Marine、オランダ Niestern Sander Scheepbouw、ポーランド Ulstein Poland などの同社のエンジニアリングパートナー企業と建造プロジェクトの設計情報を共有、管理している。また、製造部門では、CADMATIC「eBrowser」ツールを用いて 3D モデルを参照している。

Ulstein は、ノルウェー科学技術大学と共同で、船舶の概念設計への VR ツール利用の可能性の評価を行っている。現在のところ、同社がシミュレーションツール「Bridge Vision」以外のどのよう VR ツールを利用しているかは不明である。

ノルウェー造船所 Ulstein Verft は、オフショア石油ガス船、洋上風力発電船、エクスペディションクルーズ船、ROPAX の建造を行っている。同ヤードは数年前に設備の近代化を行い、3D CAD ソフトウェアを統合した配管製造、ロボットを用いた鋼板プロファイルの切断、仕分け、スタッキング、新 ERP システムなどの新技術を導入した。

Ulstein とドイツ Shottel の合弁会社 Blue Ctrl は、運航管理、環境性能、その他の船舶性能のフィードバックに関するデータを収集、分析し、船内及び陸上のチームに提供するシングルプラットフォームとなる船用自動化制御ソリューション「X-CONNECT」を開発、市場化している。

「X-CONNECT」バックボーンを用い、Ulstein は BV 認証取得済みの柔軟性の高い自動化システム「Ulstein IAS」を開発した。同システムは、グラフィックユーザーインターフェイス、アラームとモニタリングシステム、主要素のオートメーションインフラなどの機能を持つ。

また、「X-CONNECT」バックボーンは、計画的メンテナンスシステム、船舶制御パネル、動力管理、ミッション機器、ブリッジ操船向けのデジタル化、自動化システムをサポートしている。

Ulstein のクラウドベースのツール「Blue Box」は、陸上において、船舶の計画的及び予測的メンテナンス情報にほぼリアルタイムのアクセスを可能にするハードウェアとソフトウェアのインフラである。外部接続は、VSAT、4G その他を使用する。

17. Sedef Shipbuilding (トルコ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	2	2	2	2	2	2	2	1	4	1	1	1	1

トルコのトゥズラに位置する Sedef Shipyard は、トルコ最大の民間造船所である。同ヤードは、商船及び艦艇の建造と修繕を行っている。現在、Sedef は、Navantia と共同でトルコ初の空母「TCG Anadolu」を建造中である。Navantia は、設計、技術移転、技術援助を提供している。軍事システムは、他のトルコ企業が担当する。

同造船所の研究開発センターでは、同社の製造ライン向けのデジタルソリューションの開発を行っている。

Sedef は、AVEVA 社の船体構造設計及び艀装向け CAD システム、AVEVA の資材管理・製造計画ソフトウェア「Mars」、社内で開発された製造人時管理システム「Sedef Data System」などのデジタル設計及び情報システムを導入している。

これまで同造船所の建造作業の大部分はマニュアルで行われるか、または他社の技術を利用していたが、同社はデジタルトランスフォーメーション技術の導入を検討中である。

2021 年末、Sedef の研究開発センターは、トルコのサカリヤ大学と共同で、トルコ造船業のデジタルトランスフォーメーションへの IoT システムの導入に関する研究を行った。その目的は、Sedef の船舶建造にデジタル技術がどのように寄与するかを知ることである。デジタル技術導入の目的は、船舶設計のカスタム化促進、引渡しの迅速化、柔軟性の向上、品質の向上などである。主に造船に係る企業の作業のデスクトップ研究を行い、Sedef はデジタルトランスフォーメーションの利点を確認した。主要デジタル技術としては、ワイヤレスセンサーとアクチュエーター、インターネットゲートウェイ、エッジ前処理解析 (edge pre-processing analytics)、クラウドベースのデータ解析を特定した。

Sedef は、HGG のロボット補剛材プロファイル切断ラインと自動パネル溶接ラインへの投資を行った。

18. Remontowa Holding (ポーランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Remontowa Holding は、造船とオフショア産業分野の企業 25 社で構成されるグループである。同グループは 2 か所の造船所を運営し、ひとつは建造、もうひとつは修繕と設計を担当している。また、設計企業 Remontowa Marine Design を持つ。

Remontowa Marine Design の 100 人の造船技師と設計エンジニアのチームは、2D 及び 3D モデリング・シミュレーションソフトウェアを含む 3D デジタルフォーマットを用いて作業を行っている。しかしながら、本調査では、同社が船舶のデジタルライフサイクル管理のために PLM プラットフォームを導入したという証拠を見つけることはできなかった。艦艇に関しては、Remontowa のパートナー企業から直接顧客にライフサイクルサポートを提供していると考えられる。

Remontowa Marine Design は、スクラバーやバラスト水処理装置の搭載を含む船舶の改造とレトロフィットの見積り、計画、実行のために、「FARO Focus」 3D デジタルスキャナーを用いてポイントクラウド 3D モデルを作成している。

Remontowa Shipbuilding は、車両旅客フェリー、オフショア支援船、貨物船、漁船、艦艇の建造を専門に行っている。艦艇に関しては、Remontowa は、船舶のライフサイクルを通じた指令・制御システムを開発、サポートするグダニスクの船用技術研究所 OBR Centrum Techniki Morskiej と、設計及び建造サービスで協力している。

グダニスクの Remontowa Shiprepair Yard は、船舶の修繕と改造に特化している。

Remontowa が「デジタル 4.0」に大型投資を行ったという証拠はほとんどない。

19. 3 Maj Shipyard (クロアチア)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3 Maj Shipyard の「インダストリー4.0」は、ほとんど進展していないように見える。

同造船所は 1856 年創業の Uljanik Shipbuilding のメンバーであったが、Uljanik は経営破綻し、現在クロアチア政府が、新たな投資家が見つかるまで既存の建造プロジェクトへの保証を提供している。また、3 Maj はイタリア Fincantieri の常任コントラクターと

しての認証を持つため、将来的には Fincantieri の指示に従って船体ブロックの建造を行う可能性もある。

確認はされていないが、3 Maj は、Uljanik Shipbuilding Computer Systems 社が開発した 3D CAD/CAM/CAE 及び PDM ソフトウェアを、引き続き可視化とデジタルツインに使用している可能性がある。

Uljanik は、研究開発プロジェクト「HOLISHIP」に参加していた。プロジェクトの詳細は Navantia の項を参照。

20. Green Yard Group (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	3	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	4

2020 年、Green Yard は、経営破綻した Kleven Verft を買収した。同社は、新造船建造、修繕、レトロフィット、船舶リサイクルサービスを提供している。

Green Yard Group のノルウェー国内の 2 造船所は、ウルスタインヴィクに位置する Kleven と、アングホルメンの Fedra である。Fedra はシップリサイクリングを専門に行っている。

Green Yard Kleven は、Dassault Systèmes の「3DEXperience」PLM プラットフォームからの「CATIA」及び「DELMA」設計・デジタル製造ツールを使用している。これには部品表（BOM）やプロセス計画機能が含まれる。

同ヤードは、以前トロンハイム大学とロボット溶接プロセスを共同開発した。この自動化システムは、マニュアル作業時の溶接速度毎時 8~10 フィートから、毎時 300 フィートという高効率を達成した。Green Yard Kleven は、Dassault Systèmes の施工パートナー TECHNIA を選び、「3DEXperience」プラットフォームが作成する 3D モデルを使用するロボットプログラミングのツールを用いて同造船所の鋼板加工を自動化した。この先進ロボットツールは、船体モジュールを建造する完全自動化製造ラインで機能する。

デジタル設計モデリングとロボット溶接以外では、Green Yard 内の大規模なデジタルトランスフォーメーションの証拠はほとんどない。同社が建造した Hurtigruten 向けエクスペディションクルーズ船の設計及び機器・システムパッケージは、Rolls-Royce Marine が供給した。

21. Helsinki Shipyard (フィンランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	3	3	1	1	1	1	1	3	1	1	1	4

Helsinki Shipyard の歴代のオーナーには Wärtsilä、Aker Yards、STX、ロシア United Shipbuilding Corporation などが含まれるが、現在のオーナーは、Pola Group を所有するロシアの株主が所有するキプロス籍企業 Algador である。2021 年半ばに Navigator International Magazine が Helsinki Shipyard の会長に行ったインタビューによると、United Shipbuilding Corporation はウクライナ侵攻以前の経済制裁により財政危機に陥ったため、ロシア船社 Pola Group とのアセットスワップにより Helsinki Shipyard を手放した。

Helsinki Shipyard は、エクスペディションクルーズ船、砕氷船、スーパーヨットという 3 つのセグメントに焦点を当てている。

同ヤードのビジネスモデルは、ポーランド及びリトアニアの造船所で建造された船体ブロックの組立と統合である。

Helsinki Shipyard は、AVEVA の船用アプリケーション「AVEVA Marine」上にデジタルインフラを構築している。同システムのバックボーンは、資材管理、プロジェクト計画、建造管理、報告、3D モデルを統合した可視化ツールを組み合わせた AVEVA の ERP アプリケーションである。データ可視化機能は、VR 及びコンピューター端末、タブレット、スマートフォンと情報を共有する。AVEVA の E3D 設計アプリケーションは、船体と艀装の 3D 基本設計・エンジニアリングソフトウェアである。これはクラウドベースの多分野設計アプリケーションで、初期段階で問題を解決する。E3D は、物理的資産のデジタルスキニングからのポイントクラウド情報の統合をサポートする。「AVEVMA Marine」ソフトウェアは船舶の 3D デジタルマスターモデルの開発をサポートする。これらのモデルは、設計、組立、建造、レトロフィット、譲渡などのフェーズを通じてデジタルツインとして変化する。

また、Helsinki Shipyard は、「AutoCAD」設計ソフトウェアと Siemens の「Simcenter STAR-CCM+」CFD ソフトウェアを使用して、現実世界の条件で運転する船体のシミュレーションと設計最適化を行っている。

フィンランドのデジタルスキニング企業 VRT は、造船所のデジタルツインのベースとして、造船所の水上及び水面下の構造をスキャンし、ポイントクラウドを作成した。

Helsinki Shipyard によるその他の「インダストリー4.0」への投資に関する情報はないが、同社の事業内容から、AR/VR やロボット自動化溶接技術が利用されていると考えられる。

22. Rauma Marine Constructions (フィンランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1

Rauma Marine Contractors は、デジタルトランスフォーメーションの初期段階にあるが、将来的に同社製品に統合可能な技術の研究を行っている。

2014 年にビジネスを再開した Rauma Marine Constructions (RMC) は、旧 STX Finland Rauma のヤードを使用し、地元の船用産業ビジネスパーク「Seaside Industry Park Rauma」の一部として、ラウマ市政府が造船所設備を所有している。同社はラウマ市から造船所を、まず 30 年間契約でリースしている。RMC は、溶接設備を含む主要設備のいくつかを所有している。

ラウマ市が開発した Seaside ビジネスパークは、様々な企業が海事クラスターを形成しており、RMC は最大企業のひとつである。クラスターを構成する地元企業には、船舶設計企業 (Allstar Engineering、Deltamarin、Foreship、Rauma Plan)、鉄鋼企業、船用企業 (Alfa Laval、Kongsberg Maritime Finland) などが含まれる。

RMC は、多目的砕氷船、車両・旅客フェリー、フィンランド国防軍向けの艦艇の建造とメンテナンスを行っている。

RMC のビジネスモデルは、主に近隣の工業団地からの下請け企業数社に依存するネットワークベースのモデルである。同社は、基本及び詳細設計、鋼板製造など業務を下請け企業に委託しており、溶接工などの直接雇用は少ない。同社は、船舶の設計、計画、調整、試験を行うプロジェクト管理・技術企業である。商船に関しては、RMC は Deltamarin、Allstars Engineering、BlueTech Finland などに設計業務を委託している。

2021 年、艦艇建造の好況を受け、RMC の CEO である Jyrki Heinimaa は、同社は「ひとつの企業、2 つの造船所」というビジネスモデルを採用し、艦艇分野と商船分野の異なる要求に対応すると述べている。フィンランド国防軍の「Squadron 2020」プログラムから発注された Pohjanmaa 級コルベット 4 隻の建造プロジェクトでは、RMC は船体の設計と建造を担当したが、戦闘システムとセンサーの供給と統合は、国防省が Saab に直接発注した。同プロジェクトでは、ライフサイクル設計、製造、システム統合、船舶の運航状況などのデータを得るためにデジタルツインが開発されると考えられるが、RMC がこの業務を管理するか否かは不明である。

Rauma Marine Constructions が PLM プラットフォームまたはデジタルツインアプリケーションを使用しているという証拠はないが、インテグレーターとしての同社ビジネスモデルにはデジタル化が必要であり、地元企業との協力を進めている。このような協力の一例としては、サタクンタ応用科学大学が運営し、Wärtsilä が技術協力を行っている技術試験ラボラトリー「ISTLAB」(Intelligent Shipping Technology Test Laboratory) がある。同施設は、遠隔水先案内、通信の試験、制御などの機能を持つデジタルシミュレ

ーターとなる。同プラットフォームは、IoT、デジタルツイン、VR、クラウドコンピューティング、ビッグデータ解析、AI、サイバーセキュリティなどのデジタル技術を利用している。

23. Royal IHC（オランダ）

デジ タル 技術	IoT	デジ タル ツイ ン	VR AR	クラ ウド	ビッ グデ ータ	AI	サイバ ーセキ ュリテ ィー	プロ ック チェ ーン	ロボッ ト	付 加 製 造	RCV AUV	マイ クロ グリ ッド	水平 垂直 統合
スコ ア	4	4	4	3	3	3	1	2	4	2	1	1	4

Royal IHC は、浚渫船、オフショア船、艦艇という 3 船種の設計と建造を行っている。同グループの造船所は、キンダーダイク及びクリンペン・アーン・デン・エイセルに所在。

グループのビジネスモデルは、船舶の概念設計から建造、運航、修繕、改造を含む完全なライフサイクルサービスを顧客に提供することである。

同グループは、グループと子会社のデジタルトランスフォーメーションを目的に、Siemens の「NX」CAD/CAM/CAE エンジニアリング・設計ソフトウェア、Siemens の「Teamcenter」PLM プラットフォーム、IFS の ERP プラットフォームを導入している。

Royal IHC は、自動化ロボット溶接ラインに投資を行った。3D モデルが数基の「MicroStep」数値制御切断、マーキング、ミリングマシンに情報をフィードする。

オランダのスリードレヒトにある IHC 配管製造工場は、Kranendonk 社が設計、自動化し、ABB が製造したデジタル制御配管溶接ロボット 4 基を導入している。

Royal IHC の派生企業 Floororganise は、工場作業計画ツールを Royal IHC 及び他の造船所数社に提供している。Royal IHC は、Floororganise の造船所製造実行システム「FLOOR2PLAN」を開発し、予算編成、見積り、出勤状況、製造計画、スケジュール、作業場制御、プロジェクトの品質報告などを管理している。「FLOOR2PLAN」プラットフォームは、ERP システム及び PLM を含むその他の IT システムと連動している。「FLOOR2PLAN」からの情報は、端末、タブレット、スマートフォンから入力され、表示される。これにより、ロボットパネルライン及び建造部門両方の製造作業の複数の要素の制御が可能となる。

Royal IHC は、IoT、デジタルツイン、VR、クラウドコンピューティング、ビッグデータ解析、AI、ロボット溶接、水平垂直統合を含む主要デジタル技術を利用した製品群を開発中である。

IHC の浚渫部門は、浚渫船の設計、建造、メンテナンス、及び浚渫船クルーのトレーニングというライフサイクルサービスを提供している。同社はこのビジネスモデルをサポートするため、いくつかの digital 製品を開発中である。

同社は、デルフト工科大学と共同で、浚渫機器のオペレーションのシミュレーションを行っている。

3D 設計ソフトウェアにより、IHC 浚渫部門は、船舶のデジタルツインを作成し、船舶の運航を管理している。船舶に埋め込まれたセンサーがデータを収集し、分析のために陸上に送信する。また、同技術は自動推進及び浚渫機能の基礎となる。IHC は、浚渫システムや DP システムなど船内の異なるシステムを接続した両機能の統合ソリューションを開発中である。この統合リモートインテリジェンスソリューション（IRIS）を通じ、収集、インプットされた情報は、船内のエンジニアリングチームのスマートフォンやタブレットに表示される。同システムは、同社の陸上トレーニングシミュレーターを用いて実証実験が行われた。同プラットフォームは、IoT、ビッグデータ解析、AI、デジタルツイン、VR 技術を使用している。

浚渫ポンプやゲートバルブなどの部品向けに、IHC の浚渫部門である IHC Dredging 社は「ソリューションアドバイザー」プラットフォームを開発した。このソフトウェアは、「ETO モデル」（engineering to order：受注開発）から「CTO モデル」（configure to order：受注仕様生産）への移行をサポートする。このデジタルプラットフォームでは、顧客がスマート質問票を提出すると、在庫と顧客の製品要求をベースとした見積りが自動的に作成される。

IHC のオフショアエネルギー部門である IHC Offshore Energy 社は、浚渫部門と同様のライフサイクルサービスを提供している。オフショアエネルギー部門は、洋上構造物とケーブル敷設船、サービスオペレーション船（SOV）、水中検査、修繕、メンテナンス船などのオフショア支援船の建造を行っている。

IHC Offshore Energy は、社内及びオランダ海事研究所 MARIN と共同で、SOV 業務向けの自動運航ソリューションの開発を行っている。MARIN との共同プロジェクトでは、SOV の保針機能及び位置保持機能を正確にモデル化する陸上シミュレーターを開発した。試験完了後、この自動運航システムのプロトタイプは実船搭載される。実船に搭載された後、IHC は同船にインテリジェントな要素を段階的に導入予定。

IHC の防衛部門 IHC Defence も、浚渫部門、オフショアエネルギー部門と同様に、艦艇向けに完全なライフサイクルサービスを提供している。艦艇のデジタルツイン機能は現在開発中である。

24. BLRT Shipbuilding（エストニア、リトアニア）

デジ タル 技術	IoT	デジ タル ツイ ン	VR AR	クラ ウド	ビッ グデ ータ	AI	サイバ ーセキ ュリテ ィー	プロ ック チェ ーン	ロボッ ト	付 加 製 造	RCV AUV	マイ クロ グリ ッド	水平 垂直 統合
スコ ア	4	4	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1

BLRT グループは、2 つの主要造船所、リトアニアの Western Baltija Shipyard (WBS) 及びエストニアの Marketex Marine から構成される企業である。

WBS は、鋼製ブロックと船体の製造に加え、タグボート、サプライ船、特殊船の建造も行っている。

WBS のエンジニアリングチームは、各種 CAD 設計、シミュレーションプラットフォームを使用している。また、デジタルスキャニング技術により、設計と建造をサポートするポイントクラウドを作成している。

Meyer Werft の項で言及した通り、WBS は Meyer Turku のクルーズ船の船体ブロックの設計建造下請け企業である。両社は、バルト海及び EU 全域の造船業の digital トランスフォーメーションの機会を調査する 3 年間の EU 助成プロジェクト「ECOPRODIGI」で協働した。

トゥルク大学が主導した「ECOPRODIGI」プロジェクトでは、造船工程の最適化を主眼とした研究を行っている。同プロジェクトでは、ブロックの製造工程を見直し、サステナビリティの改善が可能なエリアを特定した。課題のひとつは、Meyer Turku がクルーズ船建造時に委託している Western Baltic Engineering などの他企業によるブロック製造時の寸法の管理である。研究の成果として、下請け企業は 3D スキャニング技術を導入してブロック建造時の実寸をキャプチャーし、設計時のデジタルツインとの比較を行っている。この方法により、初期段階で誤差や欠陥が発見され、修正が可能となる。同プロジェクトでは、WBS への 3D スキャニング技術の導入により、Meyer Turku によるやり直し作業が最大 80%減少すると推定している。

WBS は、Pemamek の自動溶接・位置決定ソリューション数基を導入している。

WBS の子会社である Western Technological Solutions は、ステンレス製のスクラバー、タンク、構造物の建造を専門としている。2019 年、同社は Pemamek の自動溶接ソリューションをタンク製造に導入した。

BLRT の子会社 Marketex は、小型船と養殖漁業向けの船舶の建造を行っている。

同社は、二重底、プロファイル、ウェブの製造効率化を目的に、ロボットマニピュレーター 2 基を持つ Pemamek の「PEMA」自動組立・溶接ラインを導入し、フラットパネルの溶接を行っている。同システムの導入により、溶接工の数は 12 人から 2 人に減少した。

25. Royal Bodewes (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Royal Bodewes は、トン数 1,500~15,000DWT の貨物船の建造を専門としている。

同社は、船体、機関、配管、船内設計の情報を統合し、ベーシックな船舶のデジタルツインを作成する 3D モデリングソフトウェアを導入した。一方、同社が PLM プラットフォームを導入したとの情報はない。

ブロック製造は、オランダ、ドイツ、ポーランドの様々な造船所で行われている。精密なブロック製造と組立をサポートするデジタルスキャニングが使用されているという証拠は見つからない。

26. Sanmar (トルコ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Sanmar は、トルコのトゥズラ及びアルトゥノヴァの造船所でタグボートの建造を行っている。同社は未だ「インダストリー4.0」トランスフォーメーションを開始していないように見える。

Sanmar は Robert Allan 設計のタグボートを建造している。建造実績には、コペンハーゲン港で運航された世界初の遠隔操作民間船も含まれる。Rolls-Royce (現 Kongsberg) と Svitzer が共同で同船と遠隔操作機能を持つ陸上施設を開発した。Sanmar はその船体を建造した。

27. Tersan Shipyard (トルコ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	1	1	2	1	4	1	1	1	4

Tersan は民間の造船・修繕企業で、イスタンブールのトゥズラとヤロヴァに造船所を持つ。同社はオフショア支援船、漁船、旅客船の建造を行っている。

Tersan はデジタルトランスフォーメーションの初期段階にあり、完全なライフサイクル船を建造するインフラは未開発である。しかしながら、Tersan はトランスフォーメーション技術の選定に着手している。100 人の研究員を持つ同社の研究開発センターでは、トランスフォーメーションへの投資をサポートする研究開発プロジェクトを実施し、研究開発支出は収入の 8.1%と報道されている。

同社が PLM プラットフォームに投資を行ったという証拠は見つからないが、全社的な ERP システムは導入済みである。

Tersan の社内設計・エンジニアリングでは、社内の設計検討用の 2D 製図の 3D モデルの設計と開発、及び工場機械のネスティングと切断、製図、配管の CNC コード作成のために「Upas-CADMATIC」と「AutoCAD」を利用している。顧客は、オンラインブラウザツールで、自船のシンプル化したデジタルツイン 3D シミュレーションを見ることができる。

Tersan は、HGG 社のロボット補剛材プロファイル切断ライン及び CNC 切断、曲げ、フォーミング加工機を含むロボット切断機への投資を行った。

Tersan は、100%認可された再生可能グリーンエネルギーを使用していると報告している。自社内の約 8,800 基のソーラーパネルにより年間 4,900MW の発電を行い、同社のエネルギー需要の 30%を満たしている。

28. United Shipbuilding Corporation (ロシア)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	3	3	3	3	3	3	4	1	2	1	4

United Shipbuilding Corporation (USC) は、ロシア最大の造船グループである。同グループは、ロシア海軍向けに建造されるほぼ全ての従来型及び原子力水上艦及び潜水艦の設計と建造を担当し、またロシア国外の海軍向けにも建造を行っている。USC の商船建造ヤードは、砕氷船、調査船、石油ガス掘削生産システム、河川船を含む幅広い船種を建造している。

ウクライナにおける紛争の結果、USC グループ及びほとんどの子会社は EU、日本、米国からの経済制裁の対象となっており、USC の海外市場及び海外技術へのアクセスは制限されている。

同グループの設計、新造及び修繕ビジネスは、バルト海沿岸から太平洋沿岸までロシア国内に分散しているが、その大部分はロシア西部、即ちロシアの欧州側に位置している。

- **西部の造船所**：Admiralty Shipyards（従来型潜水艦、水上艦）、Baltic Shipyard（原子力砕氷船、浮体式原子力発電プラントを含む艦艇及び商船）、Vyborg Shipyard（石油ガス掘削生産システム、砕氷船）、Severnaya Verf Shipbuilding Plant（水上艦、商船）、Sredne Nevsky Shipyard（複合材、非磁性鋼、アルミニウム製の艦艇及び商船）、Krasnoye Sormovo Shipyard（商船）、Yanta Shipyard（艦艇、商船の建造・修繕）
- **西部の修繕所**：33 造船所（艦艇、商船）及び Kronstadt 修繕施設
- **西部の設計・研究開発所**：Severnoe Design Bureau（主に従来型及び原子力艦艇）、Nevskoye Design Bureau（ハイテク製品及び船舶の計画、ドキュメンテーション、設計）、Almaz Design Bureau（艦艇、特殊目的船）、Rubin Design Bureau（従来型及び原子力潜水艦）、Malachite Design Bureau（主に潜水艦）、Onega R&D Technological Bureau（艦艇の修繕及び解撤）、ISC-Iceberg Central Design Bureau（従来型及び原子力商船）、Vympyl Bureau（従来型及び原子力艦艇・商船）
- **北部の修繕所**：10 造船所、及び SC Zvyozdochka Repair Yard
- **極東地域の造船所**：Amur Shipbuilding Plant（従来型及び原子力艦艇・商船の建造と修繕）、Khabarovsk Shipbuilding（艦艇及び商船の建造と修繕）
- **南部の造船所**：Lotos Shipbuilding Plant

上記に加え、USC グループは、多数の船用部品・システムの設計・製造施設を持つ。

同グループのデジタルトランスフォーメーションの基礎は、2011～2015 年及 2020 年までの「USC イノベティブ開発プログラム」である。同プログラムは、USC 造船所における船舶の建造方法、及び船舶自体の技術的機能に焦点を当てている。他の多くのトランスフォーメーションプログラムと同様に、USC の目的は、新設計手法及び建造技術によるコスト削減、生産性向上、協力体制の改善、製品のライフサイクル管理、エネルギー効率の改善である。しかしながら、売上に対する研究開発支出の割合は、比較的低い 0.3% である。研究開発の焦点は、ロボット技術、造船機械技術、IT システムである。

Nevskoye Design Bureau は、USC の社内自動管理システム「KASU」を用いた「USC イノベティブ開発プログラム」の開発と実行で中心的な役割を担っている。また、Nevskoye は USC グループ全体の研究開発活動と技術特許データベースの管理を行っている。さらに、イノベティブな技術を特定し、USC 企業が投資可能なこれらの技術の調達過程を調整する。その例として、2021 年の計画では、開発及び製作図を含む電子ドキュメント管理を行う独自の CAD システムの開発を、ロシアのソフトウェア企業 Nanosoft と共同で行った。Nevskoye は、研究開発プロジェクトで、サンクト・ペテルブルク地域のいくつかの大学及び研究機関と協働している。

USC グループの PLM 及びデジタルツイン能力に関する情報は少ないが、いくつかの艦艇建造計画では PLM アプリケーションが言及されている。また、特に言及されていないが、艦艇のライフサイクルサポートには、AR/VR、クラウドコンピューティング、ビッグデータ解析、サイバーセキュリティなどの「インダストリー4.0」技術の開発が必要であると考えられる。さらに、数社の USC 子会社によるデジタル設計、以下のような計画、製造ソフトウェアと利用例がある。

- Sredne Nevsky Shipyard は、「Fibersim」エンドツーエンド設計・製造ソリューションを利用して、ロシア海軍艦艇の大型複合材製船体の設計と製造を行っている。
- Vyborg の例では、計画は Primavera、製作図は Siemens の「FORAN」PLM 統合及び AutoCAD ベースの設計パッケージを用いて、グループの設計部門または海外設計事務所で開発される。
- Admiralty Shipyard は、AVEVA Marine の CAD システムを使用している。

切断・溶接機器のロボット化にも様々な投資が行われている。造船所への投資例としては、Baltic Shipyard は IMG のロボット式プロファイル切断ラインと Pemamek の自動パネルラインに投資し、Vyborg は Rosler の自動鋼板 ブラスト・下塗りライン、HGG の自動プロファイル切断ライン及び自動鋼板切断・開先加工機、Krasnoye Sormovo Shipyard は AAV/IMG の自動ロボット切断ラインを導入している。

29. West Sea Viana Shipyard (ポルトガル)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

West Sea は、造船（主にブロック建造下請け）、改造及び修繕を専門に行っている。2014年の設立以来、同造船所は17隻の建造実績がある。

船体と艤装 3D 設計は、CADMATIC CAD ソフトウェアを用いて開発されるが、船舶のデジタルツインのモデル化はされていない。モデリングは他社に委託している。

同社のデジタルトランスフォーメーションが大きく進展しているという証拠は少ない。

30. Astilleros Canarios (スペイン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1

Astilleros Canarios (ASTICAN) は、カナリア諸島に位置する民間造船所で、船舶修繕を専門に行っている。

同社は、デジタル PLM プラットフォームや 3D 設計シミュレーションツールを使用していない。

2021年、同社は、デジタル制御のロボット式切削ヘッドを持つ Tecoi 社の「Teknos」プラズマ切断機を導入した。

31. Flensburger Schiffbau (ドイツ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	3	3	3	1	1	1	4	1	1	1	4

Flensburger Schiffbau Gesellschaft (FSG) は、フレンスブルクフィヨルドに造船所を持つ艦艇及び商船建造所である。FSG は、新造船の設計と建造に加え、ブロックと船体の建造も行っている。2021年7月、FSG は、同年4月に破産申請をしていたスーパー

ヨット建造所 Nobiskrug を買収した。この買収の結果、FSG 及び Nobiskrug 両社の設計、購買、管理機能を含むビジネスは、グループの経営体系に統合された。

Flensburger は 20 年近く前に、設計、製造、組立工程とのインターフェイスを持ち、同社のシミュレーション製造計画要求を全て満たすひとつの製品はないとし、Siemens の PLM プラットフォームと Tecnomatix の工場シミュレーションプラットフォーム上に、「Simulation Toolkit Shipbuilding (STS)」を開発した。このシミュレーションアプリケーションの目的は、バーチャル造船所を構築し、ブロック組み立てなどの製造工程を支援することである。この手法では、現在の PLM プラットフォームのような船舶のデジタルスレッドの作成は行わなかった。その代わりに、FSG は、全構造、配管、艀装行程をカバーする「NUPAS-CADMATIC」3D 船舶設計ソフトウェアを同社の STS プラットフォームに統合した。

STS の機能は、プラズマ切断機とクレーンの動き上の切断計画のシミュレーションが含まれる。このアプリケーションの導入は、計画が可能でソフトウェアで制御される新機器への投資につながった。

FSG は、HGG のロボット補剛材プロファイル切断ラインと自動プレート切断・開先加工ラインを導入した。

FSG は、Meyer Werft、Lürssen を含むドイツ造船所、及びデルフト工科大学、ハンブルク大学、リエージュ大学などの研究機関と共同で、製造計画へのシミュレーション計画の導入に関する研究を行った。

Nobiskrug は、ドイツ国内に 2 造船所、レンズブルクとフレンスブルクを運営している。これまで Nobiskrug の設計チームは、デジタルと 2D 設計図の両方を使用しており、マニュアル作業が非常に多かった。また、Nobiskrug は AITAC などの下請け企業に、少なくとも 5 隻のスーパーヨットの 3D 設計とモデルを外注した。

Nobiskrug は、経営破綻当時に、SAP の ERP アプリケーションを導入する計画であった。

32. Brodosplit (クロアチア)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	3	3	3	1	1	1	4	1	1	1	4

1922 年創業の Brodosplit は、DIV Group 傘下の企業である。同社は、商船の全船種及び特殊目的船の設計と建造を行っている。Brodosplit は、Fincantieri のクルーズ船のブロック建造契約造船所でもある。

同社は、2015 年、設計、調達、造船所全体の製造工程を管理する AVEVA 社の統合造船ソリューションへの投資を行った。同プラットフォームは、「AVEVA Marine」エンジニアリング・設計アプリケーション及び「AVEVA ERP」アプリケーションを統合し

ている。ERP アプリケーションは、予算編成、コスト管理、資材管理、在庫管理、プロジェクト計画と管理、詳細計画と管理、設計計画と管理、製造管理などのデータの管理に使用される。

同社は、半自動及び全自動プレート、セクション、パネル加工システム及び溶接システムへの投資を行った。これには「MOTOMAN」産業ロボットを搭載したガントリーを持つ船体組立用のロボットパネルラインを含む。

Brodosplit は、2020～2024 年期中に実施されている EU 助成プロジェクト「Mari4_YARD」に参加している。同プロジェクトは、IoT、モバイル及びユビキタスコンピューターツール、ロボットを活用して、中小造船所の柔軟性の高いモジュール式製造へのユーザー中心のソリューションを開発することを目的としている。プロジェクトの主要 5 目標は、直覚的ヒューマン・ロボット協働ソリューション、造船作業員をサポートする携帯 AR/MR ツール、AI 支援外骨格、作業員の重労働を助ける作業員中心のツールの開発と試験、及び「Mari4_YARD」プロジェクト手法の中小造船所での試験である。試験対象となる中小造船所は、プロジェクトに参加している Brodosplit または Nodosa であると考えられる。

33. Nodosa Shipyard (スペイン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2

Nodosa は、タグボート、オフショア支援船、漁船の設計と建造、及び他造船所向けの船舶及び船体ブロックの建造を行っている。

同社のデジタル化は初期段階にある。

2021年、同造船所は EU が支援する Instituto Galego de Promocion Economica から、デジタル技術の社内開発への補助金を獲得した。これにはプロジェクト全体の計画を含む PLM デジタルスレッドプラットフォームの開発、及びヤードのクレーンの制御システムの開発などが含まれる。補助金は、外部コンサルタントとコンピューターアプリケーションにも使用される。

Brodosplit と同じく、Nodosa は 2020～2024 年期中に実施されている EU 助成プロジェクト「Mari4_YARD」に参加している。同プロジェクトは、IoT、モバイル及びユビキタスコンピューターツール、ロボットを活用して、中小造船所の柔軟性の高いモジュール式製造へのユーザー中心のソリューションを開発することを目的としている。プロジェクトの主要 5 目標は、ヒューマン・ロボット協働ソリューション、造船作業員をサポートする携帯 AR/MR ツール、AI 支援外骨格、作業員の重労働を助ける作業員中心のツールの開発と試験、及び「Mari4_YARD」プロジェクト手法の中小造船所での試験である。試験

対象となる中小造船所は、プロジェクトに参加している Brodosplit または Nodosa であると考えられる。

34. Ocea Shipbuilding (フランス)

デジタル化	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

フランスの大西洋沿岸に位置する OCEA は、フィリピンとカリブ海に建造設備を持ち、アルミニウム製巡視艇、フェリー、オフショアクルー輸送船、漁船を含む全長 90m までの船舶の設計と建造を行っている。2022 年 4 月、OCEA は、英国のアルミニウム製フェリー及びオフショアクルー輸送船建造所である Wight Shipyard Co に買収され、完全統合された。

OCEA のデジタルトランスフォーメーションに関する情報は限定的である。

35. Piriou (フランス)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	3	3	3	3	1	1	1	1	1	4

Piriou は、海軍及び民間向けに全長 120m までの中型船の設計と建造を行っている。同社はフランス、アフリカ、アジアにヤードを持ち、鋼製、アルミニウム製、複合材製船舶の設計と建造を行っている。

本報告書の Naval Group の項で記述したように、水上艦は、Piriou と Naval Group の合弁会社 Kership が建造する場合が多い。Kership はフランス国内に 2 造船所、Kership Lorient 及び Kership Concarneau を持つ。

Kership の 2 造船所は、Naval Group が採用した「3DExperience」PLM プラットフォームを使用していると考えられる。残りの Piriou ビジネスは未だ PLM ソリューションを導入していない。しかしながら、2020 年に同社は ERP プラットフォームのアップデートを行い、フランスのシステムインテグレーター Hélyad が支援する Infor LN 社の ERP を選んだ。同 ERP は、まず 2021 年に Piriou Concarneau 造船所に導入された後、他のグループ造船所に導入される。

Piriou のエリアセールスマネージャー Sylvain Montels は、コロナ感染拡大が最悪の時期に、Piriou は AR 技術を用いて同社のベトナム造船所におけるビジュアル検査を支援したと述べている。

Piriou は、2019 年に開始された「SEANATIC」プロジェクトの設立メンバー 5 社のひとつである。プロジェクトチームは、船上及び陸上ベースの両方で使用可能な予測的メンテナンスプラットフォームの開発を行っている。同プラットフォームは、全長 40m の Pirou 船で実船実験が行われる。開発される SEANATIC ソリューションは、データ収集センサー、船内データ処理システム、クラウドとのデータ通信用「スマート」アンテナ、AI 駆動の適応型インターフェイス、関連情報のフィードバックを行うビッグデータ解析機能で構成される。IOT.BZH は、安全な Linux オペレーティングシステムをベースとし、船用に適応させた同プロジェクト向けの IoT プラットフォームを開発する。フランス企業 Azimut は、プロジェクト実験用のサイバー・フィジカルインターフェイスを開発する。AI の開発は、南ブルターニュ大学が主導する。THALOS は、衛星データ通信ソリューションの開発を行う。

36. Harland & Wolff (英国)

デジ タル 技術	IoT	デジ タル ツイ ン	VR AR	クラ ウド	ビッ グデ ータ	AI	サイバ ーセキ ュリテ ィー	プロ ック チェ ーン	ロボッ ト	付 加 製 造	RCV AUV	マイ クロ グリ ッド	水平 垂直 統合
スコ ア	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Harland & Wolff は、Belfast 造船修繕所、Appledore 造船所、洋上風力発電プロジェクト向けの製造と組立を行っていた Arnish 及び Methill の再生と、一連の買収、合併を経て再建された造船企業である。

Belfast 及び Appledore の造船所は、艦艇、クルーズ船、フェリー、商船、石油ガス構造物の建造及び修繕市場をターゲットとしている。

Harland & Wolff のデジタルトランスフォーメーションは初期段階にあるが、Navantia 及び BMT との提携により、今後の進展と「シップヤード 4.0」技術への投資が期待されている。

Harland & Wolff Belfast は、Navantia 及び BMT と「Team Resolute」コンソーシアム内で協力し、英国の造船能力を高め、成功させることを目標としている。同コンソーシアムのメンバーは、ワールドクラスのデジタル技術と知識を移転することにより、この目標を達成する。

英国の造船業全体の活性化の基礎となる英国政府の国家造船戦略では、2050 年までに 150 隻の艦艇及び民間船を建造するとしている。Team Resolute は、英国政府の英国海軍艦隊支援船調達プログラムの入札に参加し、Team UK (Babcock 及び BAE Systems)、Serco/Damen、Larsen 及び Toubro/Leidos Innovations とともに最終候補に選ばれている。

さらに、英国政府の国家造船戦略の一環として、国家造船局（National Shipbuilding Office）は、同戦略を支援する政府と造船業のインターフェイスとなる「成長のための造船事業」（Shipbuilding Enterprise for Growth：SEG）が設立された。同戦略の目的のひとつは、デジタル化、自動化されたスマートな造船業の構築である。政府の研究開発及び調達プログラムは、英国の造船所が適切な技術に投資することを助ける。Harland & Wolff は、デジタルトランスフォーメーション加速のための政府のサポートを求め、SEG フォーラムへの参加の意向を示している。

Harland & Wolff Appledore のジェネラルマネージャーTom Hart は、Appledore は未だ「インダストリー4.0」を開始していないと述べている。同社の自動化技術は主に第三次産業革命からのものである。

37. Cammell Laird（英国）

デジ タル 技術	IoT	デジ タル ツイ ン	VR AR	クラ ウド	ビッ グデ ータ	AI	サイバ ーセキ ュリテ ィー	プロ ック チェ ーン	ロボッ ト	付 加 製 造	RCV AUV	マイ クロ グリ ッド	水平 垂直 統合
スコ ア	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

リバプールを本拠とする Cammell Laird は、艦艇及び商船の設計、建造、修繕を行っている。また、他の造船所向けのブロック建造も行っている。例としては、Babcock が建造した英国海軍の新空母「HMS Queen Elizabeth」及び「HMS Prince of Wales」のブロック建造、BAE が建造しているアスチュート級潜水艦 3 隻のブロック建造などがある。

Cammell Laird が「シップヤード 4.0」のデジタルトランスフォーメーションを開始したという情報はほとんどないが、英国国防省のプロジェクトに参加する資格を持つ他の造船所と同様に、英国造船業の「シップヤード 4.0」技術導入を支援する英国の国家造船プログラムの恩恵を受けると考えられる。

Cammell Laird は、2D 設計に加え、CAD 3D 設計ソフトウェアを使用している。しかしながら、PLM プラットフォームが導入された証拠はない。

同造船所の業務において、民間原子力部門では、GE 日立ニュークリア・エナジー社と英国の国立原子力研究所と協働した小型モジュール型原子炉プロジェクトの計画とトレーニング用に、仮想現実モデリングとヘッドセット技術が用いられた。

38. A&P (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

A&P は、新造船のブロック建造、船舶の修繕及び改造を行う造船所で、英国のティーズ、タイン、ファルマスの 3 造船所で 7 基の乾ドックを運営している。A&P は、Babcock International 向けのクイーン・エリザベス級空母のブロック建造と Cammell Laird で建造された調査船のブロックを建造した。

A&P が「シップヤード 4.0」のデジタルトランスフォーメーションを開始したという情報はほとんどないが、英国国防省のプロジェクトに参加する資格を持つ他の造船所と同様に、英国造船業の「シップヤード 4.0」技術導入を支援する英国の国家造船プログラムの恩恵を受けると考えられる。

39. Havyard Group (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2022 年 5 月、企業再編を進める Havyard Group は、その最終段階として HG Group と合併し、ノルウェー産業への統合サービス・再生可能エネルギー提供企業となった。(注：2022 年 10 月 21 日、Havyard は社名を「Eqva」に変更した。)

Havyard は、2021 年、同社 Leivik 造船所の事業を再編し、ノルウェー海事産業向けの修繕、サービス、メンテナンスに専念すると発表した。同造船所の最後の新造船は、2021 年末に竣工した。

今後同造船所は、船舶の修繕、緊急入渠、改造などのサービスを、特定のノルウェー船主向けのみに行う。対象となるノルウェー船主は、Esvagt、Torghatten、Frøy、Fjord1、Norled、Sølvtrans、Bontveit Rederi、Havila、Miofisk である。改造部門のコアビジネスは、既存船のハイブリッド化、電化その他のエネルギーキャリアの改造である。

旧 Havyard の子会社であった Zenit Engineering は、新企業 Eqva の子会社となった。Zenit Engineering の機能は、船舶のアップデートプロジェクトに欠かせない 3D スキャンニング及びモデリングである。

40. Gondán Shipbuilders (スペイン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	3	1	1	1	1	2	1	4	1	1	1	1

Gondán は、家族経営の造船企業で、現在の所有者は 4 世代目である。同造船所は、鋼製及びファイバークラス製の船舶を建造する。

デジタルトランスフォーメーション戦略の一環として、Gondán は 2 年をかけた IFS ERP プラットフォームの導入を最近完了した。これにより、データの水平統合が可能となった。PLM プラットフォームは未導入である。

また、Gondán は、社外設計者との共同作業をサポートするため、CADMATIC の船体・艀装 3D 設計モジュールと「eBrowser」設計見直しツールを導入した。

3D エンジニアリング機能の導入に続き、2021 年、スチール工場に同社初となるロボット溶接システム、Pemamek の「PEMA VERP-C」マイクロ溶接ロボットを導入した。同システムは、Pemamek の「PEMA WeldControl 200 Create」ソフトウェアにより制御、プログラミングされる。

Gondán は、2021 年に完了した EU 助成プロジェクト「NEXUS」に参加した。NEXUS プロジェクトでは、次世代洋上風力発電施設サービス船の概念設計、シミュレーションとモデリング、サイバーセキュリティの開発と試験を行った。

41. Cemre Shipyard (トルコ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Cemre は、旅客船、オフショア支援船、漁船、養殖作業船の設計と建造を行っている。2012 年に Cemre 造船所で設計業務を開始した SU Ship Design は、その後再編され、独立したビジネスとなっている。SU Ship Design は、3D 設計及び可視化ソリューションを提供する。詳細設計には、CADMATIC プラットフォームが使用される。同社は Cemre 造船所向けに工場図面と製造情報を作成する。

Cemre は造船所の自動化を検討しているが、投資は未だ行われていない。

また、Cemre は、IFS ERP プラットフォームを導入済みであるが、PLM は未導入である。

42. ARES Shipyard（トルコ）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1

2006年創業の家族経営の造船所である ARES Shipyard は、トルコ最大の艦艇及び商船の輸出企業であるとされている。同社は、鋼製、アルミニウム製、複合材製の高速巡視艇、ユーティリティー支援船、旅客船、プレジャーボート、無人自動運航船の設計と建造を行っている。

ARES は、「顧客の最初の問い合わせから船の生涯を通じたサポートサービス」を提供すると述べている。同社は、自社造船所で建造された船舶向けのコンピューターによるメンテナンス管理システムを社内開発し、商船及び艦艇の顧客に短期的、長期的なメンテナンス計画を提供している。同社のメンテナンスプログラムが、コンディションベースまたは AI 技術を利用しているか否かは不明であるが、基礎となるのは標準的な計画メンテナンスシステムであると考えられる。メンテナンス管理システムと関連し、ARES はサプライサポートシステムを開発した。同システムは、スペアパーツ、消耗品、ツールの管理と注文を処理するデータベースパッケージである。

ARES が PLM に投資したという証拠は見当たらないが、IFS の ERP は導入済みである。

同社が 3D 設計モデルやバーチャルシミュレーションを利用しているという証拠はほとんどない。エンジニアリングソフトウェアパッケージの利用は、「AutoCAD」などのアプリケーションに限定されており、基本的な設計は BMT や Thyssenkrupp Marine Systems などのパートナー企業が提供していると考えられる。

ARES は、防衛及び船舶自動化プラットフォームに関しては、トルコ Meteksan Defence 社と提携している。

これまで ARES の建造方法はほぼ手作業であった。同社会長の Kerim Kalafatoğlu は、鉄鋼やアルミニウムの溶接及び複合材の真空注入プロセスなどの製造工程に無人及び自動化ソリューションの導入を検討中であると述べている。

同社は、製造設備の平らな屋根部分全体にソーラーパネルを設置する計画である。設置総面積は約 40,000 m²となる

43. Fitjar Mekaniske Verksted (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	垂直水平統合
スコア	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fitjar Mekaniske Verksted (FMV) は、漁船、魚運搬船、魚加工船、作業船の設計と建造を行っている。また、同社内の FMV GoodFish グループは、漁船向けの処理・加工機械の設計を行っている。

FMV は、デジタルトランスフォーメーションの初期段階にある。船舶設計は 2D 及び 3D モデルで作成され、顧客と各設計部門が同時に作業を行う。このように同社はデジタルツインの基礎となる手法を用いているが、このシステムが船舶の挙動をバーチャル環境でモデル化できるか、また PLM を導入済みか否かは不明である。

同社は、提携企業である Heimli Ship Design 社と共同で、「HF MV 設計」を開発した。同社は、設計事務所をフレッケフィヨール及びモルデに持ち、下請け企業にサポートされている。HF MV は、船体及び艀装の基本設計及び詳細設計に、「CADMATIC」2D 及び 3D ツールを主に用いている。また CADMATIC の作業共有機能により、複数の設計事務所と下請け企業の共同設計作業が可能である。CADMATIC の「eBrowser」機能により、船主にモデルを送信して設計段階でコメントを求め、また下請け企業に機器パッケージのスペース確保を確認することができる。さらに、DNV の「Nauticus」船体構造分析・設計ソフトウェア及び TRIARK 社の ERP アプリケーションも利用している。

全長 45m までの小型船はベルゲン近郊の自社ヤードで建造され、大型船は下請け企業が建造する。同ヤードに「インダストリー4.0」技術が導入されたという情報はない。

44. Kooiman Marine Group (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Kooiman Marine Group は、オランダの海事企業のクラスターである。グループ企業 6 社は、造船所 3 社（ズウェインドレヒトの Gebr. Kooiman、ドルレヒトの Kooiman Hoebee、イアーサーケの Kooiman Van Os）、及びズウェインドレヒトに位置する 3 社 Kooiman Engineering、Kooiman Ship Electric、Kooiman Ship Interiors である。

同社は、タグボート、フェリー、浅喫水作業船、漁船、押船、浚渫船、巡視船の建造、改造、修繕を行っている。Kooiman が提供する製品とサービスは、非常に柔軟性の高い設計と製造を必要とし、統合デジタル設計にサポートされている。

従来の手法では、設計部門が 2D 製図を作成し、製造チームが経験に基づいて欠けている詳細を追加していた。経験豊富な従業員が引退し、3D 製図の能力を持つ新人材のリクルートが困難であるため、設計部門は従来の 2D 製図の情報を含む製作図を作成する必要があった。

設計と 3D モデリングは、同社の 15 名からなる設計チームが AutoCAD 及び Siemens NX を中心に行い、また CADMATIC 及び SARC-PIAS ソフトウェアも補助的に用いている。Kooiman は、NX プラットフォームを用いてエンジニアリングの全要素を 3D 船舶設計に統合した製品開発を行っている。また、NX の造船用機能を用いて、製造情報を自動作成している。Kooiman は、統合デジタル設計手法の導入により、設計全体への理解が向上し、顧客要求への迅速な対応が可能となり、また製造効率に影響する段階での変更が減少した述べている。さらに、アウトソーシングの増加と改善が実現した。

同ヤードの改造プロジェクトでは、デジタルモデルがなかった船舶でもデジタルスキャンングによりポイントクラウド作成に用いられ、NX アプリケーションで編集可能なデジタルモデルを作成する。

45. Groupe Beneteau (フランス)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	3	3	2	2	1	4	1	1	1	4

Beneteau は、130 年近く前から豪華ヨットの設計と建造を行っており、約 180 種類の船型と 10 ブランドを持つ。

顧客のカスタム化要求と製品の複雑性の増加を受け、同社はデジタルトランスフォーメーションを開始した。その中心となるのは、設計、エンジニアリング、製造、アフターセールスサービスを統合するデジタルスレッドの構築である。

Beneteau は、同社のデジタルトランスフォーメーションの基礎として、PTC 社の PLM プラットフォーム「Windchill」を選んだ。この PLM アプリケーションは、同社の IFS の ERP、PTC の「ThingWorx」IoT ソリューション、Creo の CAD システムの上で作動する。

デジタルスレッドの構築と同時に、同社はセールス、コンカレントエンジニアリング、製造を支援する PTC の AR 技術「Vuforia」を導入した。バイヤーは、AR グラスをつけて実際のヨット上に投影されたデジタルシミュレーションにより提案された変更を見ることができる。また、建造現場では、デジタルモデルからのデータをラップトップ、携帯デバイス、タブレット、AR グラスで見ることができる。

フロントエンドのデジタル技術により製造工場のマニュアル処理を減少させた例として、Beneteau は「Autodesk」ソフトウェアを用いてファイバーグラス製船体を製造する CNC マシニング機器の計画と制御を行っている。Autodesk によりマニュアル加工は 60%減少、マニュアル作業数は 15 から 6 に減少、機器に費やす時間も削減された。

サイバーセキュリティの重要性を示す例としては、2021年、Beneteau はサイバー攻撃により 1 か月近く製造が停止した。サイバーセキュリティの強化は、同社にとって最優先事項である。

アフターセールスサービスでは、IoT と同社建造のヨットに埋め込まれたセンサーが船舶のデータとデジタルスレッドを Beneteau に送信する。同社はこれらの情報を利用して船主をサポートし、船舶のオペラビリティを向上させる。また、同社は、船主による船舶の制御とトリミングをサポートする一連のデジタルツールを開発した。

46. Sunseeker (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	3	3	1	1	1	4	1	1	1	4

Sunseeker は、20 船型以上の全長 50m までのモーターヨットの設計と製造を行っている。Sunseeker のヨットは、通常 4,000~5,000 個の構成部品を持つ。

他の欧州ヨット建造所と同様に、Sunseeker はカスタム化への顧客要求と船舶の複雑性の増加という 2 つの課題に直面している。これに対応するため、同ヤードは Siemens の NX 設計プラットフォームと Teamcenter の PLM アプリケーションを導入した。同社の Siemens のツールは、Siemens の提携企業である OnePLM が提供、サポートを行っている。

導入された NX ソフトウェアは、船舶の開発とモデル化に用いられるだけでなく、モジュールのひとつはコンピューター数値制御 (CNC) 切断機を制御している。この切断機は、ガラス強化プラスチック製船体の金型形成用プラグの切断に用いられる。

Teamcenter PLM からの情報は、Sunseeker の SAP ERP システムに配信される。建造工程のシーケンスを示す分解図が作成され、計画、調達、インベントリ管理をサポートする。

Sunseeker は、AMP Clean Energy 社と 20 年来の提携関係があり、バイオマスエネルギープラントを発注している。さらに、同社のエネルギー需要を満たす太陽光及び風力による再生可能エネルギーソリューションの導入を検討している。

47. Feadship (オランダ)

デジ タル 技術	IoT	デジ タル ツイ ン	VR AR	クラ ウド	ビッ グデ ータ	AI	サイバ ーセキ ュリテ ィー	プロ ック チェ ーン	ロボッ ト	付 加 製 造	RCV AUV	マイ クロ グリ ッド	水平 垂直 統合
スコ ア	4	4	4	2	2	2	1	1	2	2	1	4	4

Feadship (First Export Association of Dutch Shipbuilders) は、オランダの造船所のコンソーシアム（共同事業体）で、全長 130m までの豪華ヨットの大手サプライヤーである。その構成企業は、De Voogt Naval Architects、De Vries Group、Van Lent である。同コンソーシアムが建造したヨットは「Feadship」というブランド名で販売される。

新型コロナ感染拡大の影響とオーナーによるカーボンフットプリント削減への要望から、Feadship は、オンラインのバーチャルマーケティングショールームを開発し、「Super Yacht Times (SYT)」3D バーチャルショールームプラットフォームに参加している。SYT プラットフォームには、Lürssen、Turquoise Yachts、Gulf Craft その他のヨット建造企業が参加している。

De Voogt は、豪華モーターヨットの設計及びエンジニアリング企業である。同社は 3 部門、即ち① Studio de Voogt：セールス及び顧客要求に応じたカスタム設計を担当、② Theoretical Shipbuilding 部門：設計概念のデジタルモデルへの変換と設計分析を担当、③ Engineering 部門：インテリア、機器システム、建造設備を含むヨット建造の計画を担当、から構成される。

De Voogt は、Siemens の「Teamcenter」PLM アプリケーションにより船舶のライフサイクルデジタルスレッドを作成し、同社「NX」3D 設計ソフトウェアにより生産性を向上させている。この 3D 設計手法を用いて、顧客がレイアウトを承認した時点で、バーチャルワールドでヨットの建造を行う。De Voogt は、3D 設計手法の導入により、これまで 2,000 人時かかっていた船体設計の所要時間が 50% 近く短縮されたと報告している。

3D 設計と PLM アプリケーションは、Feadship 全企業のエンジニアリング、計画、製造、サプライチェーン、ロジスティクスを統合している。コンソーシアムの 3 設計部門を接続するため、2017 年に「Concurrent Design @ Feadship」(CD@F) コンセプトが開始された。CD@F コンセプトでは、Feadship は欧州宇宙局と共同で、同局の仕様変更による影響の軽減手法を、スーパーヨット建造プロジェクトのエンジニアリング時間の短縮に活用した。同コンセプトは、新造船プロジェクトに係る複数の設計部門が同時に全プロジェクト関係者と協働することをサポートする。

家族所有の De Vries Group は、Feadship コンソーシアム内の 6 企業から構成される。構成企業は、① Royal Dutch De Vries Shipbuilding、② Makkum Shipbuilding、③ Slob Shipyard、④ Akerboom Yacht Equipment、⑤ De Klerk Interiors、⑥ STI Engineering である。

オランダのアールスメールに位置する De Vries Shipbuilding のヤードでは、2020 年に 1,500 基のソーラーパネルを設置し、年間 530MWh の発電を行っている。また、2021

年に開設された Makkum の新建造工場には 420 基を設置し、新造及び改造作業をサポートする年間 180MWh の発電を行っている。

Van Lent は、アムステルダム及びカーグの造船所と Van Der Loo Yacht Interiors 社を経営している。

アムステルダムの Van Lent ヤードには、2019 年に複数の新ビルディングに 2,262 基のソーラーパネルを設置し、550MWh の発電を行っている。

Van Lent と Feadship コンソーシアムは、Floorganise 社のシステムを導入し、予算編成と推定、出勤状況、生産計画とスケジュール、作業管理、プロジェクト品質の管理を行っている。FLOOR2PLAN は、オフィスの IT システムの知識と工場の物理的現実をつなぐために設計されたプラットフォームである。FLOOR2PLAN プラットフォームは、同社の ERP システムと PLM を含む IT システムを接続する。Van Lent は、このアプリケーションにより、データのマニュアル処理の時間が短縮され、また工場の生産性に関する知識が増加したと述べている。

2018 年、Feadship は、コンソーシアムの技術開発の方向性を決定するためのブレインストーミングを行う年間イベントであるイノベーションシンポジウム「Future Lab」を初めて開催した。検討された技術には、付加製造、ロボット、AR、ヨットからのデータ活用によるアフターセールスサービスの開発などがある。

48. Nautor Swan (フィンランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	4	4	1	1	4	1	1	1	4

Nautor Swan は、高性能セーリングヨット及びモーターヨットの設計と建造を行う企業である。

同社のボートは、2017 年の同社の拡張プロジェクト後に開設されたボート建造技術センター (Boatbuilding Technology Center : BTC) で建造される。BTC は、同社の重要部門、即ちエンジニアリング、保管とロジスティックス、建具、硬化炉処理後の薄板加工、塗装、研削、研磨を含む。Nautor Swan は、フィンランドのホルビー (Källby) にプラグ・金型工場を持ち、3D ファイルのデータを用いる Modig 社のロボット式ミリングライン「FlexiMill」でプラグと金型のミリングを行っている。

Nautor Swan は、2009 年という早い時期に、Siemens の「Teamcenter」PLM アプリケーション及び Siemens の CAD/CAE/CAM アプリケーションを導入した企業である。

同社は、Iptor 社のクラウドベースの ERP プラットフォームと「Project Chain Management」モジュールを導入し、設計、保管、ロジスティックス、製造の各機能の調整を行っている。また、倉庫には携帯デバイスのモバイルアプリケーションを導入した。

この技術は、IoT 技術とビッグデータ解析、AI、クラウドコンピューティング技術を組み合わせたものである。

Swan ヨット及び Maxi Swan ヨットの設計は、同社の下請け企業であるミラノの Frers Yacht Design 社が担当している。設計チームは、計算流体力学シミュレーションを用いて設計段階で船舶の性能の最適化を行っている。同社は、15 年前から 3D スキャナーを利用した品質管理を行ってきた。よって Nautor Swan は全社的なライフサイクルデジタルツインプラットフォームを導入済みであると考えられる。

49. Royal Huisman (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	4

Royal Huisman は、ヨットの設計・建造の大手企業である。

同社は、SSI 社の「EnterprisePlatform」製品情報管理モジュールを導入した。同モジュールは、同社の「ShipConstructor」3D 協働プラットフォーム上で作動する。

Royal Huisman は、Autodesk の「AutoCAD」設計・製図プラットフォーム、Autodesk の「Navisworks」3D ビューアー、SSI の「ShipConstructor」3D 協働プラットフォームなど、設計とシミュレーションをサポートする複数のソフトウェアアプリケーションを使用している。Navisworks のモデルは作業現場のターミナルで見ることができ、製造スタッフは作業段階や部品の正確な取り付け位置を知ることができる。

EnterprisePlatform と ShipConstructor は、Royal Huisman のコンカレント設計・エンジニアリング手法の基礎となっている。この手法では、ヨットの複数の建造工程は同時並行して行われ、全部門が関与しながら進行する。

顧客は、発注したヨットの建造プロジェクトの進行状況を、クラウドベースのアプリケーションを用いてスマートフォンやタブレットで見ることができる。

50. KaiserWerft (ドイツ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	AM	RCV AUV	Micro grids	HVI
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

KaiserWerft は、1989年以來、全長 30~86m のヨットの設計と建造を行っている。同社は、ドイツとトルコに建造所、アラブ首長国連邦 (UAE) に修繕所を持つ。

KaiserWerft が全社的なデジタルトランスフォーメーションを開始したという証拠はほとんどない。

同社は、3D モデルを用いて、顧客が発注したヨットの外見と内部のキャビンレイアウトのデジタルツインを見て、レイアウトの変更することができるかと述べている。しかしながら、同社は 3D 設計を製造計画、保管、船舶組立にリンクする PLM プラットフォームへの投資は未だ行っていない。

51. Heesen (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1

オランダ Heesen は、全長 85m までのアルミニウム製モーターヨットの建造を行っている。

リードタイム短縮の必要性、船舶の複雑性と顧客のカスタム化要求の増加などの理由により、Heesen は Dassault Systèmes の「CATIA」3D モデリングアプリケーションを導入し、部門間のコミュニケーションと統合の支援と、「DELMIA」デジタル製造プラットフォームの支援を行っている。

同社は、Proteus 社の ERP プラットフォームを導入済みである。

Heesen は、SkelEx 社「FlexFrame」システムの試験的導入を行ったと報道されている。同システムは、溶接、研削、研磨、塗装などの作業で作業員をサポートする。

52. Oceanco (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	3	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Oceanco は、全長 140m までのカスタム化されたスーパーヨットの設計と建造を専門に行っている。同社のセールス・設計部門はフランスのニースに、建造所はオランダに置かれている。

同社は、CADMATIC 社のソフトウェアを用いて設計と 3D 統合モデルの作成を行っている。また、CADMATIC の「eBrowser」アプリケーションを用いて下請け企業の監視と監督を行っている。Oceanco は、同アプリケーションとヨット上の AR/VR 技術の統合によりアフターセールスマンテナンスソリューションを支援する方法について、CADMATIC 社と検討中である。

CADMATIC は、Oceanco は「eShare」プラットフォームの試験中であると述べている。このアプリケーションでは、ひとつのウェブポータル、PLM「ライト」ソリューションで、プロジェクトと資産の情報の統合、検索、可視化、共有を行う。

Oceanco と英国の船舶設計エンジニアリング企業 BMT Nigel Gee は、2018 年に合弁会社 Lateral Naval Architects を設立した。英国サウサンプトンを本拠とする Lateral 社は、全長 100m 超のスーパーヨット市場向けにプロジェクトの発案から引渡しまでの幅広いエンジニアリングサービスを提供している。同社は、「AutoCAD」、「Rhino 3D CAD」プラットフォームをはじめとする各種ソフトウェア設計・シミュレーションツールを使用している。

Oceanco は、プロジェクト、調達、財務の管理用に Microsoft Dynamics のクラウドベースの ERP プラットフォームを導入した。

3D モデリング可視化ソフトウェア及び垂直統合アプリケーション以外では、Oceanco が「インダストリー 4.0」技術を導入する計画はないようである。

53. Baltic Yachts (フィンランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1

Baltic Yachts は、カーボンファイバー製の高性能ヨットの設計と建造を行っている。

同社は長年にわたって Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE CATIA」3D 設計、エンジニアリング、製品開発ツールを利用している。PLM 導入の証拠は見つからないが、同社は ERP プラットフォームに投資を行った。

同社の製造施設で使用される電力は、全て地元の風力発電及び水力発電から供給されており、自社発電は行っていない。暖房には、燃料としてオーガニックペレットが用いられている。

2020 年、Baltic Yachts は、外骨格の試験を行った。その成功を受け、同社は、肩や頭の高さでカーボンファイバーのラミネート加工を行うなどの困難な作業で作業員をサポートする Ottobock 社の「Paexo Shoulder」外骨格を本格的に導入した。

54. Azimut Benetti Group (イタリア)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	4	1	1	1	4	2	1	1	1

Azimut Benetti Group は、以下の 3 企業を運営している。①Azimut : イタリア及びブラジルの 4 製造拠点で全長 37m までのヨットを建造、②Benetti : イタリアの 3 製造拠点で全長 100m までのファイバーグラス製、アルミニウム製、鋼製ヨットを建造、③Yachtique : Fraser Yachts (ブローカー)、Lusben (改造、修繕)、金融サービス、マリーナを含むアフターセールスサービスを提供。

同グループは、Siemens の「NX」CAD/CAM/CAE ソフトウェアパッケージを導入し、船舶の設計とモデル化を行っている。同グループは、多くのヨット向けインテリア及びエクステリア設計企業と提携している。グループ内では Siemens の「Simcenter Stat-CCM+」計算流体力学 3D モデリングソフトウェアを使用している。

Azimut-Benetti が PLM プラットフォームを導入したという証拠はない。同グループは、グループ全体への Microsoft Dynamics の「AX」ERP アプリケーションの導入に際し、Capgemini にサポートを依頼した。

トリノ近郊のアヴィリアーナ工場及びヴィアレージョ工場では、Azimut の全長 22m までのファイバークラス製ヨットを製造している。サヴォーナは、Azimut ヨットのサービス及び配送センターである。ブラジルのイタジャイでも Azimut ヨットの建造を行っている。

ヴィアレージョでは Benetti ヨットの建造も行っている。リヴォルノとファノのヤードでは Benetti ヨットを建造している。

同グループは、最初にアヴィリアーナ拠点にロボット 3 基を導入した。1 基目はファイバークラスの切断、2 基目はラミネーション・注入部門でジェルコーティングを行う。3 基目のロボットは、トリミングと穴あけを行う。同グループのコンピューター制御多軸ミリング、プロファイル仕上げ、外形加工機は、OPEN MIND 社の「hyperMILL」CAM プラットフォームを用いて NX CAD システムに接続されている。

同グループは、リグーリア州の海事クラスターの研究とイノベーションを支援する EU 助成プロジェクト「POR-FESR 1.2.4」に参加した。同プロジェクトで Azimut-Benetti は、地元企業 3 社と協働した。3 社はプロペラメーカー Detra、ICT 最適化・解析ソリューション企業 Novigo Technology、CFD シミュレーション企業 Engintec である。また、ジェノヴァ大学とも協働した。同プロジェクトは、数値制御フライス盤で製造されたモジュール型ブレードを持つプロペラの設計、モデル化、製造、試験を行った。また、プロペラキャップ 3 基を 3D プリンティングし、Benetti のヨットで実証実験を行った。プロジェクトでは数種の付加製造アプリケーションの試験が行われた。

- プロペラの縮小モデルを、直接金属レーザー焼結法（direct metal laser sintering : DMLS）を用いてアルミニウムとステンレスで 3D プリントした。
- 「Titomic kinetic fusion」（TKF）3D プリンターを用いて実寸大のチタンコアのアルミニウムブレードを製造。TKF は、異なる金属、合金、複合材、ハイブリッド材を焼結する。
- 材料押出法（material extrusion : MX）によりファイバークラス複合材でフローデフレクターブレードを 3D 製造。
- 熱溶解積層法（fused deposition modeling : FDM）によりポリ乳酸（PLA）フィラメントでフローデフレクターブレード付きのキャップを 3D 製造。
- 3D 印刷されたファイバークラスブレードとブロンズブレードを持つ実寸大のブレードキャップのプロトタイプを製造し、試験を行った。

アフターセールスサービス向けには、同グループはオンライン「Sestante」ポータルを開発した。このポータルを利用して、オーナーは技術書類を参照、技術支援を要請、スペアパーツを週 7 日 24 時間注文することができる。同ポータルは、IoT を利用したデータ収集・制御システムではなく、安全性の高いコミュニケーションプラットフォームである。

55. Ferretti Group (イタリア)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	3	3	3	1	1	1	1	2	4	4

香港証券取引所に上場している Ferretti Group は、7 社の大手ヨット及びボート建造所で構成される。構成企業は、CRN Yachts、Ferretti Yachts、Wally、Pershing、Itama、Riva、Custom Line である。

Ferretti は、全長 30m までのファイバーグラス製ヨットの建造を行っている。

アンコナの CRN は、全長 100m までのメガヨットの建造を行っている。同社は、外部デザイナーが設計した 6 種類の船型を提供している。他のスーパーヨット建造所と同様に、CRN は顧客に高いレベルのカスタム化をオファーしており、これはグループの PLM、3D 設計・シミュレーション、ERP などのプラットフォームで支援されている。

Ferretti Group は、ヨットの設計・製造の最適化のための 3D 統合設計開発を目指し、Siemens の「Teamcenter」PLM アプリケーション及び「NX」CAD/CAM/CAE アプリケーションを選択した。また、グループ全体に SAP の ERP を導入した。

同グループは、2022 年、Xenta 社の自動係船システム「X-self」の同社大型ヨットへの導入を開始した。X-Self は、Xenta のジョイスティックアプリケーション「X-Aid」及び「X-Dock」と組み合わせることで、完全自動化船の基礎となる。X-Aid は、ボートの位置、速力、加速、針路を予想する AI 支援プラットフォームである。

環境戦略はグループ各社が管理するが、グループ全体のサステナビリティレポートにまとめられている。2021 年の同グループのサステナビリティレポートでは、グループの全製造工場の屋根への太陽光発電システム設置が 2022 年も継続すると報告している。さらに、アンコナ造船所は、独自のトリジェネレーションプラントを持ち、電気、熱、冷却エネルギーを製造している。

56. Sanlorenzo（イタリア）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	3	1	1	1	1	1	1	4	1

Sanlorenzo は、ファイバーグラス製船舶、アルミニウム製及び鋼製ヨットをイタリアの 3 拠点で製造している。製造拠点は、ラ・スペツィア（全長 68m までのスーパーヨットを建造）、ヴィアレッショ、マッサに位置する。

同社は、2009 年には既に、「Infor ERP Visual」プラットフォームに投資を行った。

Sanlorenzo の設計パートナーは、CADMATIC の 3D 設計・情報アプリケーションを用いて大型ヨットの設計とモデル化を行っている。しかしながら、これが同社の主要 3D シミュレーションツールであるか否かは定かではない。同社が PLM プラットフォームを導入したとの情報はない。

デジタル監視、データ送信・処理技術の向上のため、Sanlorenzo は「Smart Helmet」を試験中である。このデバイスは、船内で発生した技術問題のリモート診断と解決を支援する。スマートヘルメットは、映像を撮影し、陸上基地に送信する。Sanlorenzo は明らかにしていないが、同ヘッドセットは AR 機能を持ち、陸上基地からの指示を受信することができると思われる。

セールス及びマーケティングカタログのデジタル化は進んでおり、デジタルカタログは QR コードでアクセスできる。

Sanlorenzo は、遠隔監視ソリューションの開発と試験を行っている。このソリューションは、船舶の運航データの収集し、また将来的な遠隔操作機能をサポートする。

各船はタブレットとクラウドベースの「Wosa Yacht Surveyor」アプリケーションを搭載しており、Sanlorenzo の技術者は船のクルーと相互接続され、情報の共有が可能である。

同社はアメリカ拠点にソーラーパネルを設置し、年間 600MWh の発電を行っている。マッサ造船所では、建造設備の暖房のために温水放射熱パネルを設置した。

57. Princess Yachts (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	4

英国プリマスの Princess Yachts は、全長 40m までの 6 クラスのヨットの設計と建造を行っている。同社の現在のオーナーである Louis Vuitton Moët Hennessy (LVMH) Group は、同社既存のサウズヤードの土地に新ハイテク工場を建造する資金を調達するため、アドバイザーを巻き込んで同社の売却を検討中であると報道されている。

Princess Yachts は、Siemens の「Teamcenter」PLM プラットフォーム及び「NX」CAD/CAM/CAE アプリケーションを導入し、ヨットの設計・製造を最適化するために 3D 統合設計開発を行っている。統合された 3D モデルは、設計者が建造開始以前にボートの全設計を検討し、変更することを可能にする。

Princess Yacht は、数基の 3 軸及び 5 軸の数値制御工作機械を使用している。NX の CAM 機能は、金型用のプラグを製造する同社の 5 軸のマシニングツールを駆動している。金型は、樹脂注入技術を用いて船体の建造を支援する。

58. Saxdor Shipyard (ポーランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4

Saxdor は、小型モーターボートとヨットの設計と建造を行っている。船舶の概念設計は Sakari Mattila が開発し、エンジニアリングは J&J Design と Saxdor Shipyard が担当している。同社のボートは、ポーランドのスヴァウキ特別経済区の新造船所 Saxdor Shipyard で建造される。

同社は、Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE」PLM・設計プラットフォームを導入し、設計から製造までの製品開発の全過程をサポートしている。

同社の他の「インダストリー4.0」技術の導入状況に関する情報は限られている。

3. 欧州の船舶設計企業のデジタルトランスフォーメーションの状況

この章では、欧州の船舶設計企業 17 社のデジタルトランスフォーメーションの導入状況を概説する。

本報告書で調査を行ったデジタル技術 13 件のうち 10 件が設計企業に関連した技術である。対象となった各設計企業の各デジタル技術の導入状況をスコア化し、デジタルトランスフォーメーションの進捗を調査した。

船舶設計企業のデジタル技術に関する最大の投資は、船舶の初期デジタルツインを作成する 3D 設計、モデリング、シミュレーションソフトウェアである。次に高いスコアを持つデジタル技術は、クラウドコンピューティングと AR/VR であるが、デジタルツインよりもかなり少ない。

調査結果では、BMT と Deltamarin が、デジタルトランスフォーメーションが最も進んだ欧州の民間設計企業である。その他の先進企業は、MST、Salt、Knud Hansen、Marin Teknisk、BLOM である。

以下に各社の詳細を記す。

1. Deltamarin (フィンランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1

China Merchants Group が大部分を所有する Deltamarin は、フィンランド、ポーランド、中国、クロアチアに 500 人規模の新造船設計、改造設計、プロジェクト管理チームを持っている。

造船所のビジネスモデルと同様に、Deltamarin は提供製品及びサービスを拡大し、概念設計から建造、船舶のライフサイクル性能管理を含むサービスの提供を行っている。

Deltamarin は、海事産業のデジタル化には、データ駆動のデジタル設計が不可欠な要素であるとしている。同社のデジタル設計手法は、社内開発の AI が埋め込まれた設計ツールを用いた以下の相互接続された 3 部門から成り、バーチャル製品設計アプリケーション「CATIA」及び 3D ドキュメンテーション作成アプリケーション「3DVIA」を含む Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE」アプリケーションが統合されている。

- エネルギーシミュレーション：エネルギーモデリングプラットフォーム「DeltaKey」を用いた船内プロセスから開発されたエネルギーのシミュレーション。
- デジタル設計モデル：「DeltaKey」プラットフォームを用いた船舶と船内システム及び建造機器の物理的寸法と挙動とコストなどの情報を含む船舶のデジタルモ

デル。同プラットフォームは、船舶設計と建造を AR 及び VR で支援する。Deltamarin はその例として、クルーズ船の設計時には、ブリッジ、機械、HVAC、インテリア、甲板、艤装、電気系統の VR モデルがヤードの設計チームと共有されると述べている。Deltamarin は、このツールは、ROPAX 船その他の高度なカスタム化が必要な船舶の設計に用いられる場合が多いとしている。

- デジタルレイヤー：「DeltaSeas」プラットフォームを用いて船舶とその環境を接続する。デジタルレイヤーは、特に船舶の生涯を通じた推進性能を知るための船体のプロファイル構築に用いられる。

アフラマックス型タンカーの例では、Deltamarin は、Wärtsilä 及び Gasum と共同で、顧客にクラウドベースのオンライン評価ポータルを提供し、各種燃料を使用した場合のアフラマックス型タンカーのエネルギー効率のシミュレーションを行っている。また、Deltamarin は、船舶の運航パターンと周辺環境のデータを用いて、船舶設計の最適化を行っている。

この手法の明らかな利点は、設計チームが船舶の現在及び将来的なエネルギー効率の知識を確立することができることである。

同社は、船舶のライフサイクルを通じたエネルギー効率の分析を行い、将来的なコンプライアンスと低コストの建造及び運航を組み合わせた「将来に備えた船」を提案している。

Deltamarin は、EU が資金を提供する共同プロジェクト「CHEK」に参加している。同プロジェクトの目的は、将来のデジタル化に備えた船舶設計プラットフォームの開発と、脱炭素化技術の実船への導入と試験である。試験対象となる実船は、Cargill の風力支援ばら積み船及び MSC の水素燃料電池駆動クルーズ船である。設計モデルに導入され、シミュレーションと試験を行う技術は、空気滑走、自動航路最適化、バッテリー水素燃料電池と廃熱回収システムを持つハイブリッドエネルギーシステム、ゲートラダー、超音波防汚システム、風力支援推進などである。

ライフサイクルデジタルツイン開発の一環として、Deltamarin はフィンランドの共同研究開発プロジェクト「INTENS」に参加した。2021 年に完了した同プロジェクトでは、60 以上のソフトウェアと物理的製品が開発された。産業プロジェクトである INTENS の目的は、フィンランド海事産業のデジタル化と自動化の推進と開発である。その焦点は、船用エネルギーシステムを部品、システム、船舶、船隊レベルで統合し、デジタルツイン技術を用いて、インテリジェントな設計と船舶のライフサイクルを通じて運航を最適化することである。

Deltamarin 以外の INTENS プロジェクトの参加企業は、Meyer Turku、Wärtsilä、NAPA（デジタル航海計画）、3D Studio Bloomberg（AR と VR を用いた産業可視化ソリューション）、Dinex（触媒後処理システム）、Jeppo Biogas（バイオメタン燃料のプロモーター）、JTK Power（サイレンサーメーカー）、Parker Hannifin（ろ過システム）、Pinja（船舶ハイブリッド化ソリューション）、Tallink（旅客輸送）、Vahterus（熱交換器）、Visorc（廃熱回収）、Wasaline（船社）である。プロジェクトに参加し

た大学は、アアルト大学、ラッペンラータ工科大学、ヴァーサ大学、オーボアカデミー大学である。

2. Breeze Ship Design (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2020年に設立されたノルウェーBreeze Ship Designは、従業員30人弱の小規模な船舶設計企業である。同社は、Wärtsilä Ship Design、Conan Wu & Associates、Shiffko、Skips Consulent、Vik Sandvikが建造した船舶4,000隻と関与した20,000プロジェクトのデータベースへのアクセス権を保持している。

本調査では、BreezeのCOO（Chief Operating Officer）Reinert Nordveit、CCO（Chief Commercial Officer）Tommy Hivand、造船技師Sondre Lieを取材し、以下のような情報を得た。

Breezeは、新造船の初期設計、基本設計、詳細設計、及びバラスト水処理装置や燃料システムのレトロフィットなどの既存船の改造設計を行っている。

Breezeの設計船種は、オフショア支援・建設船、漁船、養殖作業船、商船、旅客船、RORO船、艦艇、海上保安船、特殊船などである。

主要顧客としては、EquinorやOSV船社Eidesvik Offshoreなどがある。

Breezeは、デジタルツインの定義は顧客によって大きく異なるとしている。同社は通常船舶の設計から運航までのライフサイクルには関与しない。同社は、顧客及びDNVをはじめとする船級協会と同社が開発した設計モデルを共有し、見直し、コメント、承認作業を行う。現時点では、デジタルモデルはVRではなく、コンピューター画面で見られている。デジタルモデルが顧客と造船所に引き渡された時点で、通常Breezeの関与は終わる。

Breezeは、設計作業に数種のデジタルシミュレーション及びモデリングツールを用いている。同社は、通常ひとつのプロジェクトにつき、インポート/エクスポート機能を持つ異なるソフトウェアプラットフォームで4~5件のモデルを作成する。各モデルは、船体及び構造設計、CADAMTICソフトウェアを用いた復原性、流体力学ソフトウェアを用いた保針性能、水槽試験の代わりとなるCFDモデリング、配管システムを含む構造モデルなどの情報を持つ。

Breezeは、デジタルスキニング技術を用いてバラスト水処理システムのアップグレードのエンジニアリング作業を行っている。物理的資産の約150件のスキャンには3~7日を要する。これらのスキャンはデジタルモデルに統合され、システムアップグレードの設計に用いられる。

また、Breeze は、Wärtsilä 向けに世界初のアンモニアエンジンルーム試験センターの設計を担当した。同センターは 2022 年中に稼働予定である。陸上施設であるため、船級協会の認証は必要ないが、同施設のデジタルツインが作成され、地方政府が設計の承認を行った。

3. HAV Design (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

HAV Design は、漁業、フェリー輸送、洋上風力発電、石油ガス市場向けのシミュレーションベースの設計概念の開発を行っている。同社は、船主に低コスト、ゼロ排出の設計を提供する。

HAV Ocean Lab は、HAV Design が、船舶概念と技術の試験のための船舶と海洋環境のデジタルツインを構築するバーチャル環境である。

HAV Design は、「FORAN」CAD/CAM/CAE ソフトウェアを使用している。Sener が開発した FORAN は、2021 年に Siemens Digital Industries Software に買収され、「Xcelerator」ポートフォリオに統合された。

4. BMT Group (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	3

BMT は、自らを世界最大手の独立系船舶設計コンサルタントであるとしている。同社の海事産業向け設計、エンジニアリング、コンサルティングビジネスは、世界 25 か国 27 拠点に従業員 1,300 人を有する。同社は、鋼製、アルミニウム製、複合材製船体の艦艇、巡視船、フェリー、オフショア支援・クルー輸送船の設計に加え、鉱業、沿岸及び港湾プロジェクトを行っている。

本報告書では、BMT の研究開発部長 Jake Rigby を取材した。

BMT は、PLM プラットフォームを社内開発中である。同社は、主に造船所が指示する多数の CAD/CAE/CAM 及び CFD ソフトウェアツールを用いている。

2018 年、BMT は BMT Nigel Gee のヨット設計事業を子会社化し、Oceanco との合弁会社 Lateral Naval Architects を設立した。英国サウサンプトン为本拠とする Lateral

は、100m 超のスーパーヨット市場向けに、プロジェクト発案から引渡しまでの完全なエンジニアリングサービスを提供する。同社は 2D 及び 3D CAD プラットフォームとシミュレーションツールを使用している。

BMT は、設計事業の一環として、3D アニメーションや拡張現実を含む数々の技術ドキュメント管理製品を開発した。

また、研究開発分野では、BMT は 2020 年に「ドックヤード 2050：最新技術がどのように将来を決めるか」という造船所のデジタル化に関するビジョンを発表した。この白書は、将来の造船所を形づくる以下の 6 つのトレンドを特定している。

- **技術に支援されたサステナビリティ**：廃棄物の削減、循環経済の促進とヤードの環境負荷の追跡による造船所の環境コンプライアンスと報告。ローテクソリューションとしては、メーカーのエンジニアや船級協会によるバーチャル検査を活用し、出張の必要性を減少させる。その他の方策としては、再生可能エネルギーの使用促進、ヤードにおける陸上電力接続によるエンジンの使用と排出を削減などがある。BMT は、これらの技術の成熟度は低いとしている。
- **資産管理のデジタル化**：設計、シミュレーション、運航データ、材料の状況などの情報を組み合わせた造船所のデジタルツインにより、意思決定とリアルタイム資産管理を支援する。外部デザイナー、オーナー、メーカーとのコネクティビティを拡張。BMT は、これらの技術の成熟度は中程度としている。
- **付加製造**：3D プリンティングの利用により、サプライチェーンを簡素化し、大量の在庫の必要性を排除、現場で直接修理を行う。BMT は、同技術の成熟度は高いとしている。
- **修繕作業におけるロボットと人間の協働**：造船業における溶接ロボットの普及を基礎に、協働ロボットが困難な作業において人間を支援する。BMT は、同技術の成熟度は低いとしている。
- **自動・リモート検査**：カメラを搭載した遠隔操作ドローンを用いて検査や船級検査を支援する。BMT は、同技術の成熟度は高いとしている。

BMT Reality Studios は、可視化プラットフォームを開発し、進化したトレーニングシミュレーションを提供している。BMT は、バーチャルリアリティ技術を研究開発、設計、製品の実証、トレーニングに活用している。BMT のアプローチは、消費者向けのゲーム市場で開発された設計原則を踏襲している。ゲーム市場で成功したコンセプトを参考に、BMT は、米国ゲーム開発企業 Owlchemy Labs 社が開発したモノとのインターアクション技術、Ubisoft 社などのゲーム開発企業の技術である進化した高精度の VR 機器とシステムコントローラー、EA Games 社が開発したシンプルなコミュニケーション、Oculus、Downpour Interactive、EPIC Games、id Software が開発したひとつの場所から違う場所へ移動する技術、Steel Crate Games、CtrlShift Games、Team Panoptes が開発した VR ユーザーと非 VR ユーザーが同じアプリケーションを共有する非対称マルチプレイヤー機能などのゲーム技術を活用したトレーニングツールを開発した。また、BMT Realty Studios は、企業による自社、従業員、システムの理解の深化を支援するビッグデータ解析を行っている。

設計サービスに加え、BMT は、造船所の管理と船舶の運航とメンテナンスに IoT、センサー、デジタルツイン、VR、AI、ビッグデータ、クラウドコンピューティングなどのデジタル技術を活用し、資産監視、修繕、メンテナンスなどのサービスを提供している。

- **デジタルツイン**：BMT のデジタルツールの基礎として、デジタルツインは仮想データと物理的データをひとつの 3D 没入型インターフェイスに統合し、製造チームとプランナーが製造工程を評価、監視、報告し、最適化を行うことを支援する。また、艦艇向けにはライフサイクルデジタルスレッドを構築する。
- **REMBRANDT**：現実的なシミュレーションでのトレーニングを支援する航海及び耐航性能ソフトウェア。
- **ShipmoPC**：船舶のモーションと負荷予測分析を提供する耐航性能ソフトウェア。
- **BMT DEEP**：データを保存、管理、統合、後処理、表示するクラウドベースの計画・予測メンテナンス及び運航データ分析プラットフォーム。
- **MATE**：物理的な検査結果をスコアカードと可視化データに変換するクラウドベースの運航効率管理ツール。
- **E ラーニングプラットフォーム**：安全性の高いデジタルゲームベースのシミュレーション学習システム。

BMT は、他社が開発したいいくつかのアプリケーションを用いて自社のデジタルサービス群をサポートしている。これには Microsoft 「Azure」クラウドコンピューティングプラットフォーム、安全なクラウドベースのアプリケーション及びネットワークソフトウェア「VMware」などが含まれる。

開発プロセスの一環として、BMT は、長期間運航される無人自動運航船の船型コンセプトを開発した。この船型はペンタマラン船型で、安定性と燃料効率が向上する。

同社は、2040 年までの艦艇及び貨物船設計のビジョンを開発した。この 2040 コンセプトは、船舶の完全な自動化ではなく、クルーの少ない艦艇の設計段階で AI とインテリジェントシステムを統合し、人間のユーザーと自律性のバランスをとるものである。従来のブリッジと航海機能は、センサーで情報を得るバーチャルステアリングで代替される。バーチャルステアリングは、オペレーションルームとブリッジを組み合わせたもので、船内の奥に位置する。船内センサーもデータを収集、送信し、コンディションベースのメンテナンスをサポートする。人間のクルーは、ダメージコントロールなどの未だ自動化されていない作業をマニュアルで行い、また衛星シグナルの欠如やサイバー攻撃などの理由でデジタルシステムが作動しない場合の冗長性を提供する。

コンサルタント業務では、BMT は、デジタルトランスフォーメーションとサイバーセキュリティに関する助言を行っている。同社が開発したクラウドベースのビッグデータ解析プラットフォーム「BMT Deep」は、顧客の資産のデジタルツインを作成することで、付加価値の高いコンサルティングサービスを提供する。このデジタルツインは、多数のセンサーで収集された情報を統合し、運航状況を、ほぼリアルタイムのバーチャル画像で示す。

BMT は、世界のいくつかの大学と研究開発で提携している。提携大学は、オーストラリア海事大学、エクセター大学（英国）、ニューファウンドランドメモリアル大学（カナ

ダ)、プリマス大学(英国)、南オーストラリア大学、ユニバーシティーカレッジロンドン(英国)、クイーンズランド大学(オーストラリア)である。共同研究開発の例として、BMTとプリマス大学はUniversity Cyber-SHIP Labで船舶設計と海事産業向けサイバーセキュリティの共同研究を行っている。このサイバーセキュリティ研究プラットフォームは、サイバー脅威のシミュレーションを行い、自動運航船向けを含む情報・運航技術向けに脅威軽減ツールの開発をサポートする。

BMTは、シミュレーションを用いた新造船と新製品のラピッドバーチャルプロトタイプリングなどの船舶のライフサイクルソフトウェアソリューションの開発を目的とするEU助成プロジェクト「SHIPLYS」に参加した。SHIPLYSプロジェクトでは、同プロジェクト、HOLYSHIPプロジェクト(本報告書Navantiaの項を参照)、LINCOLNプロジェクト(接続された船舶)の成果を統合した製品を開発し、販売する考えである。

また、BMTは、2020年に完了したEU助成プロジェクト「SEDNA」にも参加した。同プロジェクトでは、南極などの極限状態で運航される船舶の設計、航海、オペレーションに関する複数のソリューションを開発し、試験を行った。

BMTは、データ共有プラットフォームにブロックチェーンを埋め込むことへの必要性は感じていない。同社は、ブロックチェーン技術は、取引先企業との信頼関係がない場合の取引に要求される技術であると見ている。BMTの取引相手は、通常長期的なパートナーである。

マイクログリッドと環境管理では、BMTは、顧客の自社業務への再生可能エネルギー導入をサポートする複数のツールを開発した。しかしながら、BMTの自社オフィスにこれらのソリューションが導入された証拠はない。

5. Marine Specialised Technology Group (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	2	4	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1

Maritime Specialised Technology (MST)は、軍用及び民間向け無人及び有人のインフレータブル高速複合艇(RIB)の設計と組立を専門に行っている。

MSTは、3D設計ツールを用いたデジタルトランスフォーメーションを開始し、ライフサイクルサービスの提供を目指している。しかしながら、同社は未だライフサイクルデジタルスレッドを自社製品に導入していない。クルーズ船、ヨット、高度艦艇と比較して複雑性の少ない製品を提供している同社には、その必要はないかも知れない。他の主要デジタル化技術に関しても、MSTには導入する必要がないものもある。

MSTの設計は、Dassault Systèmesの「TECHNIA SOLIDWORKS」2D及び3D CADアプリケーションを用いて行われる。比較的シンプルなMSTの船舶とローンチングシステムには、製造前にSOLIDWORKSアプリケーションを用いて完全なシミュレーシ

ョンを作成されるが、製品の物理的環境での挙動のモデル化は行われたい。そのため、同社は船舶構造のベーシックなデジタルツインを作成するが、バーチャル環境における船舶のデジタルツインの挙動のシミュレーションは行っていない。

部品製造は他のメーカーに委託している。MST の組立施設は、アフターセールスサービスやメンテナンスにも使用されている。

同社は統合ロジスティクスサポートサービスなどの契約サービスにより、顧客向けにサプライ、材料、資産管理、予防的及び修理メンテナンスを提供している。スペアパーツと材料の管理は、同社の ERP プラットフォームを通じて行われる。MST ボートに組み込まれたセンサーによりデータを収集するシステムで、予防的メンテナンスのための AI 駆動ビッグデータ解析を行っているという証拠は見つからない。しかしながら、MST は同社のボートを無人自動運航船に変更する各種モジュール型システムを開発し、それには IoT、クラウド、ビッグデータ解析、AI などのデジタル技術が活用されている。

6. Salt Ship Design (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1

Salt Ship Design は、養殖業、漁業、洋上風力発電、洋上石油・ガス市場向けの船舶の設計を行う独立系設計企業である。

同社は、2D 及び 3D で設計を作成し、船舶の 3D モデルで物理的環境における船舶の挙動のシミュレーションを行う。同社は、CADMATIC、Shape Maker などのモデリングソフトウェアを使用している。

Salt 社は、クラウドベースの協働ソフトウェア「Pepper」を開発し、同社の船舶設計のライフサイクルデータ管理プラットフォームとして使用している。Pepper は、専門設計ソフトウェアと協働してプロジェクト計画を支援し、プロジェクトデータと書類管理を行う。

過去 1 年間、Salt は Equinor 向けの大規模な船舶設計プロジェクトに携わってきた。同社のタスクは、カナダ東部沖に建設される Bay du Nord FPSO のフロントエンドエンジニアリングと船体設計である。この大々的なプロジェクトには、革新的な船体が設計され、Equinor は数十億ドルの投資を行っている。大手船舶設計企業の多くは、Salt が設計契約を受注したことに驚いている。

7. Knud E. Hansen（デンマーク）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Knud E. Hansen は、造船所及び船主向けの業務を行う独立系船舶設計・エンジニアリング企業である。同社は、洋上構造物、RORO 船、ROPAX 船、洋上風力発電向け船舶、洋上ガス石油支援船、艦艇など数多くの複雑な船種を取り扱っている。

Knud E. Hansen は、3D 協働プラットフォーム「ShipSpace」を開発した。このアプリケーションは、船舶の設計及び建造に VR 技術を利用している。複数のカメラが、バーチャルモデルの検査と寸法コントロールのためのバーチャル測定ツールをサポートしている。

「ShipSpace」プラットフォームの特徴は、VR ヘッドセットがライブストリームビデオをキャプチャーし、送信することにより、ユーザーは「ShipSpace」プラットフォームのハードウェアにアクセスせずに、バーチャルコンセプトと設計を見ることができるといふ機能である。

設計モデリングに加え、「ShipSpace」は、入札作業や船級協会の基本設計承認などのサポートにも利用できる。さらに、造船所では、「ShipSpace」は詳細設計、製造工程の計画、調整、協働などを支援する。

同社が利用している 2D 及び 3D 設計・モデリングソフトウェアは、「AutoCAD」、「CADMATIC」、Siemens の「FORAN」及び「MicroStation NX」、「AVEVA Marine」である。CFD シミュレーションには、Siemens の「Star-CCM+」を用い、また NAPA と複数の CFD ソフトウェアアプリケーションで協働している。

8. AITAC（クロアチア）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2005 年設立の AITAC は、ヨットと複雑な商船の設計を専門に行っている。同社は、2010 年以来 Meyer Werft の設計下請け企業である。また、Damen グループのスーパーヨット建造所 Amels 向けの基本設計サービスの受注実績もある。

同社は、2D 及び 3D 設計・モデリングツールとして、Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE CATIA」、「CADMATIC」、「AVEVA Marine」を利用している。

船舶の建造中、及びアップグレードとレトロフィットのためのデジタルツインのアップデートには、3D スキャニングを使用している。

AITAC は、VR 技術を用いて設計モデルの見直しを行い、機器配置のアップデート、及び問題の検出と解決を行っている。

同社は、Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE」のグローバルサービス提供パートナーでもある。この役割により、AITAC は Damen Shipyards Group の「3DEXPERIENCE」導入プロジェクトを支援した。Damen のオランダ及びルーマニアの拠点ではトレーニングを行った。

9. Vuyk Engineering (オランダ)

デジ タル 技術	IoT	デジ タル ツイ ン	VR AR	クラ ウド	ビッ グデ ータ	AI	サイバ ーセキ ュリテ ィー	プロ ック チェ ーン	ロボッ ト	付 加 製 造	RCV AUV	マイ クロ グリ ッド	水平 垂直 統合
スコ ア	1	4	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1

Royal IHC 社傘下のロッテルダムの浚渫船、オフショア建設船及び機器設計企業 Vuyk Engineering 社は、2021 年にスーパーヨット建造所 Royal Huisman を所有する船社 Royal Doeksen に買収された。

Vuyk Engineering は、「AutoCAD」、「CADMATIC」、「CATIA」など従来の 2D 及び 3D CAD/CAE 設計ソフトウェアに加え、有限要素モデリングソフトウェアを用いて構造強度の分析を行い、Siemens の「Simcenter STAR-CCM+」などの CFD ソフトウェアで復原性と流体力学性能の分析を行っている。同社は、現在、AI 技術を利用して複数のプラットフォームの設計工程を自動化するための社内研究開発を行っている。

10. Allstars Engineering Group (フィンランド)

デジ タル 技術	IoT	デジ タル ツイ ン	VR AR	クラ ウド	ビッ グデ ータ	AI	サイバ ーセキ ュリテ ィー	プロ ック チェ ーン	ロボッ ト	付 加 製 造	RCV AUV	マイ クロ グリ ッド	水平 垂直 統合
スコ ア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

フィンランド Allstars Engineering Group では、150 人以上のエンジニアが船舶設計、産業設計、プロジェクト管理業務に従事している。

同社の基本及び詳細エンジニアリングサービスの主要顧客は、Meyer Turku と Sovcomflot である。

同社は、設計とエンジニアリングの全分野をカバーする複数の 2D 及び 3D ツールを用いている。その例は、「AutoCAD」、「Ansys」、「AVEVA Marine」、

「CADMATIC」、Dassault Systèmes の「CATIA」及び「SOLIDWORKS」、NAPA などである。

11. Tillberg Design of Sweden (スウェーデン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tillberg Design of Sweden (TDOS) は、クルーズ船と豪華ヨットのインテリア設計を専門とする企業である。

クルーズ船セグメントでは、TDOS は、Hurtigruten、Royal Caribbean、P&O、Tui、Norwegian Cruise Lines、Cunard、MSC Cruises など大手クルーズ船社の大型クルーズ船及びエクスペディションクルーズ船のインテリア設計の受注実績がある。同社のインテリア設計の開発と修正には、3D モデリングツールと VR ツールが使用されている。

TDOS は、Graphisoft 社の「Archicad」プラットフォームを用いて設計、可視化、協働、ドキュメンテーション作業を行っている。

12. Marin Teknikk (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	4

Marin Teknikk は、1990 年代初頭の MT シリーズのオフショア支援船の設計で知られる船舶設計企業である。その後、同社は船種の幅を広げ、オフショア建設船、深海掘削船、スーパーヨット、漁船、活魚運搬船などの設計を手掛けている。

2017 年、Marin Teknikk は、世界初の自動運航貨物船「Yara Birekland」の設計を担当した。MT2007 設計の同船は VARD で建造され、Kongsberg Maritime が機器システムを供給、Massterly が運航している。

Marin Teknikk は、船舶の基本及び詳細設計には 3D モデリング、設計変更には 3D 可視化機能を用いている。船舶設計と造船所の詳細設計を含むエンジニアリングには Siemens 「NX」を使用している。NX プラットフォームは、Siemens の「Teamcenter」PLM アプリケーションとのインターフェイスを持ち、デジタルスレッドデータのデータベースとなっている。

Marin Teknikk は、ノルウェーMultiPlus 社のプロジェクトベースの ERP プラットフォームを導入した。MultiPlus はその後 IFS に買収され、統合された。Marin Teknikk は、引き続き IFS の ERP を使用していると考えられる。

同社は、Stratasys 社の 3D プリンターを所有している。

13. Naval Dynamics (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Naval Dynamics は、従来船及びオフショア船の設計と新概念の開発を行う比較的小規模な独立系設計企業である。同社は、どの 3D 設計・モデリングソフトウェアを使用しているか明らかにしていない。

Naval Dynamics は、Kongsberg Maritime と共同で、以下の 2 種類の自動運航船概念を開発した。Kongsberg Maritime は、全ての自動運航システムの開発を担当した。

- *AutoBarge* : 完全電気駆動の完全自動運航輸送船。バージ 2 隻はノルウェーの食品企業 ASKO 向けに建造中で、DB Schenker 及び Ekornes 向けのもう 1 隻の開発プロジェクトも進行中である。これらのバージは Kongsberg のシステムを搭載し、自動運航は Massterly の陸上遠隔操作ベースから制御される。Massterly は、Kongsberg と Wilhelmsen の合弁会社である。
- *ZeroCat* : 都市部で商業運航されるゼロエミッションの自動運航旅客船。

14. Vera Navis (ポルトガル)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Vera Navis は、リスボンの船舶設計・エンジニアリング企業で、BMT、Camarco Design などの設計企業、及び Aas Mek、Harland & Wolff、Holland Shipyard などの造船所向けの業務を行っている。

Vera Navis は、3D 設計作成のために、主に SSI 社の CAD/CAM プラットフォーム「ShipConstructor」を利用している。同社は、「ShipConstructor」の大規模なデータセットとモデルを、SSI の「EnterprisePortal」及び PROSTEP の統合プラットフォーム

ム「OpenPDM」を用いて、Siemens の「Teamcenter」PLM プラットフォームにインポートする試験に成功した。

Vera Navis の CEO である Pedro Antunes は、顧客の要求する設計モデルのフォーマットは幅が広く、例えば Harland & Wolff は 3D モデルを使用せず、Holland Shipyards はデジタルモデルへの移行を開始し、ノルウェーの Aas Mak は常に完全なデジタルモデルを要求する、と述べている。

15. Skipsteknisk (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ST-design で知られる Skipsteknisk 社は、独立系の船舶設計・船用エンジニアリング企業である。同社は、漁船、養殖船、オフショア石油ガス船、洋上風力発電船、調査船、艦艇、巡視船の設計を行っている。

同社は、Siemens の設計・可視化プラットフォーム「NX」を用いて、3D 設計と可視化モデルを開発していると考えられる。

16. Bernard Olesinski (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bernard Olesinski は、全長 7.5m のスポーツボートから 50m 超の大型ヨットまでの設計を行う英国の船舶設計企業である。

同社は、オープンソース CFD ソフトウェア「OpenFOAM」及び Nastran の有限要素解析アプリケーションと統合された Siemens の「NX」CAD/CAE プラットフォームを使用して、3D 設計モデルの開発を行っている。デジタル設計手法の導入により、従来の設計開発プロセスと比較して、製品開発時間が 15%短縮されると同時に詳細情報は 50%増加したと同社は述べている。

17. BLOM Maritime (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1

BLOM Maritime は、他分野にわたるビジネスを行う船舶設計企業である。同社の業務は船舶設計に加え、船用産業及びオフショア産業向けの配管及び構造エンジニアリング、プロジェクト管理とサーベイもカバーしている。顧客は、Royal Caribbean、Norwegian Cruise Line、Carnival を含む大手クルーズ船社、Maersk や Frontline などの大手コンテナ及びタンカー船社である。

BLOM の設計及びシミュレーションツールは、CAD、CAM、CFD、有限要素解析機能を含む。ポイントクラウド情報をデジタルツインに統合するため、同社は AVEVA の「E3D Design」及び「Point Cloud Manager」アプリケーションを導入した。

BLOM は、新造船の設計の他、バラスト水処理装置やスクラバーシステムなどのレトロフィット設計とエンジニアリングサービスを提供している。同社は、3D デジタルデータからポイントクラウドを作成し、エンジニアリングとプロジェクトの実行をサポートしている。また、正確な測定結果を記録し、搭載と最終組み立て作業を支援するサービヤーを現地に送っている。

同社は、クラウドベースのポータル「NUMBES」を開発し、顧客が端末、タブレット、スマートフォンなどインターネットに接続されたあらゆるデバイスから 3D モデルを参照できるようにしている。

4. 欧州の船用機器メーカー等のデジタルトランスフォーメーションの状況

本報告書では、欧州 28 社の船用機器メーカー、デジタル技術・サービス提供企業、船級協会のデジタルトランスフォーメーションの動向を調査した。

造船所、設計企業の場合と同様に、この章では各船用企業のデジタルトランスフォーメーションの進捗状況を数値化した。

デジタル技術導入に関して最も高いスコアを達成したのは、DNV、Lloyd's Register、Bureau Veritas、RINA などの船級協会、及び船用メーカーでは Wärtsilä、Kongsberg、ABB Marine である。船級協会と多角的な大手船用メーカーのビジネスは、デジタルトランスフォーメーションの多くの技術と関連がある。

高スコアを記録したその他の企業は、造船業のデジタルトランスフォーメーションを支援する 3D 設計、シミュレーション、PLM ソフトウェアを開発している Siemens、Dassault Systèmes、AVEVA、付加製造技術メーカー RAMLAB と 10XL、溶接ロボットメーカー Pemamek と Kranendonk である。

最も高いスコアを達成した船用機器メーカー 3 社を見ると、デジタルトランスフォーメーション技術のこれらの企業のビジネスモデルへの影響はそれぞれ異なることがわかる。

Wärtsilä にとって、デジタルトランスフォーメーションは同社の開発手法及び製品の製造手法を変革するだけでなく 3D プリンティング技術のように、同社が将来的に収入を得る方法さえも転換する可能性を秘めている。Wärtsilä のようなメーカーは、製造、在庫管理、スペアパーツのサービス、または他社へのライセンス供与により収入を得ている。工場、倉庫、船内における 3D プリンターの普及により、クラウドベースのファイルを用いて部品を現場で 3D プリントすることが可能になれば、メーカーの役割は設計と製造から、設計とライセンス供与が中心となる。この技術の開発を支援するためには、Wärtsilä のような企業の知的財産権を保護するための規制の整備が必要である。

Kongsberg と ABB Marine にとって、船舶の未来は電化である。エネルギー貯蔵、船舶の監視、自動運航技術はすべて電化と関連する。

1. Kongsberg Group (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	1	4	3	1	1	4

Kongsberg Group は、3 つの事業部門から構成され、収入順では①Maritime、②Defense and Aerospace、③Kongsberg Digital となる。同グループの競争力のあるモデルは、社内プロセス及び製品とサービス開発にデジタル技術を導入することにより可能となっている。

同グループの年間研究開発支出は売上高の約 4.5%で、Kongsberg Marine がその 3 分の 2 近く、Digital が 23%を配分されている。

Kongsberg Group は、デジタル化と技術改革の加速により、従業員のスキルを常にアップデートし、新たな知識の要求を満たす必要があると認識している。同グループは、分散型の企業ユニットにおける知識共有と協働をサポートする全社向けのデジタルネットワークの構築がサステナビリティへのカギであると述べている。その結果、同グループは、Siemens の「Teamcenter」PLM プラットフォームを全社的に導入した。同 PLM プラットフォームは、同社の ERP プラットフォーム及び「AutoCAD」と「Siemens NX」を含む設計ツール上で作動する。

Kongsberg Maritime は、ノルウェーに本社を置き、34 か国で事業を行うグローバル船用技術企業である。Kongsberg Maritime の統合ソリューションプラットフォームは、3 つのブロック、即ち①推進とエンジン、②センサーとロボット、③甲板機器とモーション制御で構成されている。提供するソリューションは、商船及びオフショア船向けの推進システム及び甲板機器システム、船舶設計サービス、船用自動化システム、安全性、操縦、航海、自動船位保持システム、及び無人水上船、海底マッピングに使用される無人水中船である。

従来のエンジン、プロペラとスラスター、操舵措置、甲板機器の製造工場に加え、Kongsberg は、船舶の自動化に必要な主要部品であるセンサー、航海システム、通信システム、自動化システム、制御システムを製造する。

2022 年 6 月の Capital Markets Day のプレゼンテーションで、Kongsberg Maritime は、運航効率、サステナビリティ、安全性、セキュリティ、信頼性などに関する変化する顧客の要望に応じるための要素として、以下を挙げている。①AI とビッグデータ解析、②コネクティビティとリモートセンサー、③クリーンな燃料、④電化とエネルギー貯蔵、⑤高度なセンサー、⑥ロボット化、遠隔操作、自律性、⑦流体力学、⑧統合、⑨先進的な製造方法と材料、⑩リスク共有。

Kongsberg Maritime のトランスフォーメーションの主要プラットフォームは、自動運航水上船 (maritime autonomous surface ship : MASS) の自動運航/無人船舶制御システムである。MASS 概念の核となるのは、海上衝突防止規制へのコンプライアンスを満たすシステムである。このシステムは、船位保持 (DP)、航海システム、衛星の位置情報、船用自動化システム、通信システムからのデータを利用する。さらに、水中無人船約 600 隻の実績を持つ同社センサー・ロボット部門が開発したセンサーフュージョンと制御アルゴリズム機能を使用し、Kongsberg は運航エリアの詳細な 3D デジタルツインを作成し、安全で高セキュリティの無人運航を実現する。

Kongsberg Maritime と Wilhelmsen は、道路輸送や従来の海運に代わるコスト効率の高いゼロエミッションの短距離海運を実現するための合弁会社 Massterly を設立した。Massterly は、自社を、船舶設計から認証、制御システム、ロジスティックス、運航、保険や融資など金融サービスを含む自動運航船の全バリューチェーンをカバーする「ワンストップショップ」と位置付けている。Massterly は、ノルウェー国内で既に Kongsberg Maritime 主導の以下の自動運航船プロジェクトの受注実績がある。

- Massterly は、120TEU 型の完全電化自動運航コンテナ船「*Yara Birkeland*」の遠隔運航センターの管理を行っている。同船は 2020 年末に Yara に引き渡された。同船は数々の試験運航を経て、2022 年末までには商業運航を開始する予定である。同船は、最初の 2 年間はクルー 1 名が乗船し、DNV による 2 年間の承認試験の後、完全な無人自動運航に移行する計画である。Kongsberg は、Yara と協働し、遠隔操作及び自動運航に必要な通信システム、センサー、統合サービスに加え、電気推進機器とソフトウェア、バッテリーと制御システムを供給している。同船は VARD が建造し、設計はノルウェーのエンジニアリング企業 Marin Teknikk が担当した。
- また、Massterly は、ノルウェー最大の食品小売企業 ASKO 向けのバッテリー駆動の自動運航船 2 隻の運航を担当する。この 2 隻は Naval Dynamics が設計し、Cochin Shipyard にて建造中で、2022 年末までの引渡しが予定されている。Kongsberg Maritime は、自動運航システム及び電気推進システムを供給する。「*Yara Birkeland*」と同様に、同船は 2 年間の承認試験の後に無人の完全自動運航に移行する。同船と遠隔運航センターとの接続には、船用ブロードバンド、4G モバイルブロードバンド、将来的には 5G を使用する。Kongsberg Digital が同プロジェクトを支援し、多様な環境条件でオスロフィヨルド海域の航路の試験と評価を行う流体力学ビジュアルシミュレーターモデルを開発した。
- Massterly は、ロジスティクス企業 DB Schenker 及び家具メーカー Ekornes の従来型フィーダー船を代替する電気駆動の自動運航短距離コンテナフィーダー船の開発を行っている。同船は、Naval Dynamics が設計し、ムンバイの Zebec Engineering が基本設計製図を部分的に担当している。同船は無人運航を行い、Massterly の遠隔運航センターが運航を管理する。
- Reach Subsea は、Massterly と共同で、ゼロエミッションの無人水上船 (unmanned surface vehicle : USV) の開発プロジェクト「Reach」を行っている。この USV は、水中遠隔操作船 (ROV) のモバイルパワーバンク、データセンター、コミュニケーションハブとしても機能する。USV と ROV は、陸上遠隔運航センターにより操作される。Kongsberg Maritime は、自動運航システムとハイブリッド電気システムを供給する。「Reach」プロジェクトは、開発されるソリューションは通常プロジェクトに必要な労働力を 3 分の 2 削減するとしている。財源が確保された場合、最初の 2 隻を 2023 年までに市場化し、2025 年までには最低 10 隻の USV 船隊を建造する計画である。

無人運航の貨物船及び水中検査船の開発に加え、Kongsberg Maritime は、2018 年にはノルウェーのホーテンとモス間を運航する Bastø Fosen フェリーの自動運航技術と自動離着岸技術の試験を行った。同プロジェクトの長期的目標は、同じ航路に 5~6 隻のフェリーを運航し、お互いの動きから学習させることである。

Bastø Fosen プロジェクトを基礎に、Kongsberg は、ノルウェー政府が財政支援するゼロエミッションの完全自動運航フェリーの開発プロジェクト「PILOT-E」に参加している。Kongsberg が同プロジェクトを主導し、研究パートナーは Grenland Energy (バ

ッテリー技術)、Fjellstrand(造船、設計)、Grønn Kontakt(港湾及び船内の自動車充電)、ノルウェー科学技術大学(自律性、エネルギー管理研究パートナー)である。

Fjord1の完全電気両頭型カーフェリー「Gloppefjord」と「Eidesfjord」は、2019年以来、Kongsbergの自動運航ソリューション「Autocrossing」を使用している。運航中には、船長がすべての離着岸の操作を行う。バースを離れた後は、「Autocrossing」システムが作動する。入港が近づくと、船長はシステムを停止し、再びマニュアル操縦を行う。

また、Kongsberg Maritimeは、2019年に完了した「ASTAT」プロジェクトにも参加した。同プロジェクトでは、トロンハイムフィヨルドの既存の道路輸送に代わる小型バッテリー駆動の無人自動運航トラックフェリーのフィジビリティ研究を行った。トロンハイムフィヨルドは、ノルウェー沿岸管理局により、無人運航船の公式試験海域に指定されている。

Kongsberg Maritimeとカナダの船用エンジニアリング企業Robert Allanは、2018年以来、遠隔操作無人消防艇の開発で協働している。全長20mの「RALamander 2000」は、FiFi1クラスの消火機能を持ち、毎時2,400 m³のポンプ容量がある。オペレーターコンソールは、有人船上に設置可能である。

Kongsberg Maritimeは、ダイナミックセンサーを利用した「Situational Awareness」(状況識別)プラットフォームを開発した。同プラットフォームは、物体、障害、海岸線の検出、識別、監視のための信頼性の高いリアルタイムデータを提供する。このアプリケーションはKongsbergの「K-Bridge」プラットフォームに統合され、サイバー情報と物理的情報を組み合わせた拡張現実データオーバーレイ機能を持つ。

Kongsberg Maritimeは、デジタルトランスフォーメーションを支援する以下のようなEU支援プロジェクトで協働している。

- **HOLISHIP**: Kongsberg MaritimeはEU助成プロジェクト「HOLISHIP」で、全長91.5mのオフショア支援船の設計と最適化に関する作業部会を主導している。プロジェクトの目的は、すべての主要設計要求、制限、性能が考慮されたイノベータータイプで総合的な船舶設計と最適化手法の開発である。即ち、バーチャル試験と船舶のライフサイクルを通じた実証を支援する統合設計プラットフォームである。プロジェクトは以下の3フェーズで構成される。①CASEASと選ばれたいくつかのツールを用いた船体と推進の実証、②Kongsberg Maritimeの「MPSET」、DNVの「COSMOSS」、Sirehnaの「BuSa」、Bureau Veritasの「GRIF」を用いた動力システムの最適化ツールの開発、③オーレスンに位置するKongsberg Maritimeのシミュレーターを用いた船舶・動力システム評価ツールの開発。総合的な設計手法で開発された直流電気システムを用いたエンジン4基を搭載したディーゼル電気船は、投資コストの5.2%減と運航コストの6.3%減につながる。
- **AUTOSHIP**: プロジェクトの目的は、Kongsberg Maritimeなどの主導的な技術企業を中心とした欧州造船クラスターの強化である。同プロジェクトでは、短距離海運及び河川舟運向けの遠隔操作/自動運航船2隻と関連する陸上制御・運航インフラを開発する。また、デジタル設計、シミュレーション、コスト分析ツール及び自動運航船の運航手法を開発し、利用する。開発される実証船2隻の技術

は、遠隔／自動航行技術、コンディションベースの予測的メンテナンス、サイバーセキュリティの高い船陸間の通信技術などである。内陸水路船は、カタマラン型の完全無人パレットシャトルバージで、アントワープ港をベースとする。短距離海運向けの実証船は、ノルウェー沿岸の工場から飼料を輸送する Eidsvaag 社の養魚用飼料輸送船で、運航の一部を無人で行う。

- **H2H**: SINTEF と Kongsberg は、船舶が、航行中や停船中の他船や物体の近くを安全に航行するためのソリューションを開発する「Hull-to-Hull」(H2H) プロジェクトを主導している。プロジェクトでは、欧州独自の全地球航法衛星システムである「ガリレオ」と「エグノス」(EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service、欧州静止衛星補強型衛星航法システム)を利用して、自動運航をサポートする。また、プロジェクトでは、ノルウェーのトロンハイムフィヨルドでの自動運航と内陸水路船の自動運航と自動係船向けのセンサーの実証試験を同時に行う。
- **VesselAI**: AI、ビッグデータ解析、クラウドコンピューティングを用いた船舶の挙動のモデル化と予測を行うデータ駆動型デジタルツインフレームワーク。
- **FLAGSHIPS**: フランス Compagnie Fluviale de Transport (CFT) 社の新造押船及びノルウェー NORLED 社の既存旅客車両フェリーで水素燃料電池技術の実証実験を行う。
- **HySeas III**: 同プロジェクトでは、再生可能原料から生成された水素で駆動されるゼロエミッションの海洋フェリーの開発と試験を行った。同フェリーはスコットランドのオークニー諸島で運航される。
- **SAFEMODE**: 2022年11月に完了したAI駆動ビッグデータ解析に関する2年半プロジェクト。その目的は、ヒューマンリスクファクターの評価を改良したリスクベースの設計及び運航フレームワークの開発である。

ノルウェー国内では、Kongsberg は、SINTEF、ノルウェー科学技術大学 (NTNU)、DNVと共同で、「TwinShip」プロジェクトを行っている。自動運航船の重要性が増す中、プロジェクトでは、デジタルツインベースのオープンバーチャルシミュレーターを用いて設計、運航、ライフサイクルサービスを支援するデジタル協働ツールを開発する。

Kongsberg Maritime のトロンハイム拠点は、同社の中心的な研究開発拠点であり、NTNU 及び SINTEF と密接な協力関係を持つ。トロンハイム拠点では、製品開発に 3D 印刷が利用されている。Wilhelmsen Ship Service 及び Ivaldi のシンガポールにおけるスペアパーツの 3D 印刷の経験をベースに、Kongsberg Maritime と SINTEF は、2022～2025 年期中に Wilhelmsen Ship Service 及び Ivaldi と共同で、船用スペアパーツの付加製造ソリューションの開発を行う。

Kongsberg は、デンマーク船用基金が支援を行う「Green Ship of the Future」プロジェクトに参加している。51 企業・組織が参加するこのプロジェクトでは、海事セクター向けの付加製造技術の研究を行った。プロジェクトの詳細は、本報告書の Alfa Laval の項を参照。

Kongsberg Group 内で 2 番目に大きな売上を持つ企業は、Kongsberg Defence and Aerospace (KAD) である。KAD は、コマンドとコントロール、サーベイランス、スペース、戦術コミュニケーション、遠隔武器ステーション、ミサイルシステムに係る防衛製品とシステムを提供する。

KAD は、王立ノルウェー海軍と密接に協力し、高度な技術を持つ製品とサービスの開発を行っている。

Salt Ship Design 及び Kongsberg Maritime と共同で、KAD は多機能サーベイランスプラットフォーム「Vanguard」を開発した。このプラットフォームでは、1 隻の有人母船と複数の無人船の組み合わせが、従来フリゲート、オフショア巡視艇、沿岸警備船が担っていた任務を遂行する。「Vanguard」は、無人水上艦、自動水中船及び無人航空機をサポートする大型ハンガーを持つ。

KAD は、Kongsberg Maritime 及び Kongsberg Digital とともに EU 助成プロジェクト「AUTOSHIP」に参加している。

Kongsberg Digital は、自動化、スマートデータ、拡張現実などの分野におけるソフトウェアとデジタルソリューションの開発を行っている。

Kongsberg Digital は、3 種類のデジタルプラットフォーム、即ち、①オフショアエネルギーデジタルツイン、②掘削及び建設作業の最適化、③船舶運航の最適化と船用シミュレーションソリューション「Digital Ocean」を開発した。

「Digital Ocean」ソリューションは、ビッグデータ解析と AI 技術に支援された 2 つのコアとなるクラウドベースのプラットフォーム「Vessel Insight」及び Kongsberg Digital の共通デジタルツインプラットフォーム「Kognitwin」上に構築されている。

- 「Vessel Insight」は、クラウドベースの船隊管理「ソリューションとしてのソフトウェア」で、計画的及び予測的メンテナンスと、自動運航の開発をサポートする。「Vessel Insight」のポートフォリオには、2 種類のシミュレーター製品、即ち高度トレーニングシミュレーターである「MarSim」、及びデジタル化された陸上及び船内トレーニングをサポートするクラウドベースのトレーニングシミュレーター「K-Sim Connect」を含む。
- デジタルツインアプリケーション「Kognitwin」は、遠隔操作、データ駆動の意思決定、予測的メンテナンス、性能監視、シナリオシミュレーション、報告、クロスファンクショナルコラボレーションなどをサポートする。

2. Wärtsilä（フィンランド）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	3	4	1	4	3	1	3	4

従業員 18,000 人を持つ Wärtsilä は、船用市場及びエネルギー市場向けの幅広いソリューションを提供している。

同グループの年間研究開発支出は、純収益の約 3.3% で、研究開発の焦点は以下の 4 分野である。①燃料の柔軟性と将来的な燃料、②エネルギーシステムの最適化、③船舶のゼロエミッション化、④スマートマリンエコシステムを実現する新技術。

同グループは、まず 2007 年に Siemens（旧 UGS）の PLM プラットフォーム「Teamcenter」を、数年間かけてグローバルな製造拠点に導入した。同プラットフォームは、Siemens の「NX」及び「AutoCAD」からの CAD データを含むグループ内の全ての設計及びエンジニアリングを管理している。また、PLM プラットフォームは同グループの ERP システムと統合されている。Wärtsilä の様々な部門では、SAP と IFS のシステムが使用されていると考えられる。

Wärtsilä のスマートマリンエコシステムのモデルは、①脱炭素化とゼロエミッション化、②効率、③安全性、④信頼性という 4 つのブロックで構築されている。

Wärtsilä は、2 年前に船用事業を、スマートマリンエコシステムをサポートする 3 つのビジネス部門に再編した。その 3 部門は、①船用動力（Marine Power）、②船用システム（Marine Systems）③航海（Voyage）である。

中速主機の市場リーダーである Wärtsilä は、ディーゼルエンジン、ガスエンジン、代替燃料エンジン、プロペラ、スラスター、ウォータージェットを含む推進システム、ハイブリッド技術、電化ソリューション、統合パワートレインシステム、ライフサイクルソリューションというポートフォリオの開発を続けている。ライフサイクルソリューションには、パーツ供給、現場及び工場サービス、レトロフィット及びアップグレードサービス、メンテナンス契約、パフォーマンスベースの契約などがある。

Wärtsilä の共通 CAD プラットフォームに加え、船用動力部門は独自の数値流体力学シミュレーションアプリケーション「OPTI Design」を開発した。このアプリケーションは、プロペラ、エンジン、船体性能のシミュレーションと最適化をサポートする Siemens の「Simcenter STAR CCM+」ソフトウェアをベースとしている。また、「Simcenter STAR CCM+」は、ディーゼル及びガス燃料が使用可能な燃料効率の高い新型 4 ストローク中速内燃機関の設計と開発にも利用され、コスト削減を実現している。3D NX CAD ソフトウェアを用いたエンジン設計が完成される前でも、エンジン部品の CFD シミュレーションの作成が可能である。設計チームは、高価なプロトタイプを作成せずに、新たな概念のバーチャル試験を行うことができる。例えば 2015 年に発表された Wärtsilä 31 型エンジンの場合、エンジンのピストンのジオメトリー最適化のために、

660 件以上のガス燃焼シミュレーション及び 1,200 件以上のディーゼル燃料シミュレーションが作成された。

Wärtsilä は、デンマーク船用基金が支援を行っている「Green Ship of the Future」プロジェクトに参加している。51 企業・組織が参加するこのプロジェクトでは、海事セクター向けの付加製造技術の研究を行った。プロジェクトの詳細は、本報告書の Alfa Laval の項を参照。

マイクログリッド開発の一例として、Wärtsilä はエンジンの試験運転から発生する電力と熱を製造作業の動力として活用し、また余剰エネルギーを地元のエネルギー企業に販売するという可能性を模索している。

Wärtsilä の船用システム部門は、排ガス処理システム、ガス処理システム、バラスト水処理、浄水製造、船用電気システムなどの製品、ソリューション、ライフサイクルサービスを提供している。同部門は、製品開発において Wärtsilä グループの PLM、設計、シミュレーションソフトウェアプラットフォームを活用している。

Wärtsilä の航海部門は、船舶と港湾の自律化と自動化、航海と船隊の最適化、シミュレーションとトレーニング、サービスとメンテナンス、港湾ソリューションに関する製品、ソリューション、ライフタイムサービスを提供している。同部門のビジネスには、部門内のビジネスモデル及び提供する製品とサービスのデジタルトランスフォーメーションがカギとなっている。同部門の製品の主要デジタル技術は、IoT、シミュレーションとデジタルツイン、AR、クラウドコンピューティング、ビッグデータ解析、サイバーセキュリティなどである。Wärtsilä は、同部門を脱炭素化とデジタル化のインターセクションと位置付けている。その例としては、LNG バンカリング・ガス供給システムシミュレーター、船隊運航ソリューション、Wärtsilä Navi-Port、センサー技術と航海システム及びクラウドシミュレーションを統合した「SmartMove」機能などがある。

船舶の自動運航に関しては、Wärtsilä は、カメラ、センサー、アクチュエーター、レーザー測定、IoT インフラ、AI 駆動ソフトウェアアプリケーション、船隊管理サービス、クルーの意思決定支援、船舶の遠隔操作及び自動運航などの技術開発を行っている。短距離海運の自動運航の例としては、ロッテルダム港が主導する「MAGPIE アライアンス」がある。同アライアンスが確保した 2,500 万ユーロの EU 補助金のうち Wärtsilä は最大の配分を得て、商業的に可能なゼロエミッションの港湾内コンテナシャトルの開発と実証を行っている。開発されるシャトルは、センサー航海技術「SmartMove」、電気駆動系、再生可能エネルギーで充電される交換可能なバッテリーコンテナソリューションなどの機能を持つ。Wärtsilä は、交換可能なバッテリーコンテナシステムを開発した「ZES Packs」プロジェクトにも参加した。

シミュレーショントレーニングツール市場で約 45% のシェアを持つ Wärtsilä は、AR / VR 技術を用いた幅広いトレーニングツール製品を開発し、バーチャルブリッジまたはバーチャルエンジンルームを使用したトレーニングを提供している。クラウドコンピューティング技術は、航海学校、トレーニングセンター、船内における分散型トレーニングをサポートする。Wärtsilä は、Ocean Technologies Group と提携し、オンデマンドのト

レーニングと評価、バーチャル及びシミュレーションクラウドベースソリューションをひとつのプラットフォームで提供している。

船舶設計開発を支援する Wärtsilä のシミュレーションツールのひとつは「Virtual Shipyard」である。このソフトウェアは、船舶モデルの開発と、異なるモーション、エンジン、推進システムのシナリオを用いて船舶の挙動のシミュレーションを行う。

2010年にオランダに開設された Wärtsilä の中央配送センターでは、DHL との提携により、グローバルなスペアパーツの配送を管理している。Fetch Robotics 社の貨物搬送ロボット数基が倉庫内で最大 75 kg までの箱を運んでいる。

また、倉庫内ではドローンの試験も行った。しかしながら、現在ドローンが利用されているという情報はない。

Wärtsilä の航海部門は、Wilhelmsen が主導する海事産業向け付加製造技術の開発に関する産業共同プロジェクトに参加している。

Wärtsilä が再生可能エネルギーをマイクログリッドに統合しているとの情報はないが、同社はエンジン試験運転から発生した電力と熱エネルギーを社内で再利用しており、余剰電力を地元のエネルギー企業に販売している。エンジン試験運転から発生した熱は、Wärtsilä のいくつかの工場の暖房に使われている。

3. ABB Marine & Ports (スイス)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	4	2	2	3	1	2	4

グローバル技術プロバイダー ABB Group 傘下の ABB Marine & Ports は、4つのコア製品とソリューション、即ち①電気ソリューション、②ギアレス電気推進システム「Azipod」、③デジタル、④サービスを提供している。

ABB は、近代的な船舶は電気を基礎として建造されるとの信念を持っている。同社は、船舶運航へのトランスフォーメーションには、バッテリー及び燃料電池のエネルギー源と自動化システム及び制御システムと統合された電気バックボーンが必要であるとしている。ABB は、このようなトランスフォーメーションへの需要に沿った製品・ソリューションを提供する。

ABB は、DC (直流)、マイクログリッド、従来の AC (交流) グリッドのソリューション群を開発している。DC ベースの電力システムは、変速発電装置、軸発電機、バッテリー、燃料電池などの多様なエネルギー源を統合する。また、DC 及びパワーエレクトロニクスをベースとした電力システムは、船内及び船陸間のデータ収集とコミュニケーションの加速をサポートし、オンラインモニタリングや自動運航を可能にする。

DC ソリューションは、再生可能エネルギー源 (現在はバッテリー貯蔵電力) を統合する ABB の船内マイクログリッドの基礎となっている。

ABB「Ability™」を含む製品群には、クラウドベースの自動化、制御、ブリッジシステムなどがあり、船隊の安全性、効率、利便性のトランスフォーメーションを支援する。統合製品群は、以下の10件のソリューションをベースとしている。

- **Ability Marine Pilot** : 「Ability Marine Pilot」は2つの製品で構成されている。「Ability Marine Pilot Control」はオペレーターが船舶を制御する自動及び遠隔運航を支援するシステムである。「Ability Marine Pilot Vision」は、センサーが収集した情報を組み合わせ、データを仮想現実ブリッジソリューション上にオーバーレイする。
- **制御・監視システム** : 動力・エネルギー管理向けのサイバー及びフィジカルソリューション、「Azipod」の遠隔操作システム、電気推進システム、ディーゼル発電機モニタリングを含む製品群。
- **OCTOPUS** : クラウドベースのポータルにより陸上オペレーションセンターに接続され、船内センサーにより収集されたデータを用いたAI駆動の船用運転性能管理モジュール群。「Performance Monitoring」モジュールは、エネルギー効率管理報告の要求を満たすため、推進、燃料消費、航海変数のデータを収集し、可視化する。収集されたデータはクラウドベースの「Ability Marine Fleet Portal」に送られ、陸上管理チームのアクセスが可能である。「Response Forecast」モジュールは、天候や貨物の状況に応じた航路計画を支援するために、船舶のモーション、速力、加速を予測するツールである。「Motion Monitoring」ツールは、「Response Forecast」ツールが要求する船舶のモーション、速力、加速を測定、記録し、事故防止と事故発生後の検査に備える。「Dynamic Position Forecast」は、DP運転中の船舶の位置保持能力を予測する。「Dynamic Trim」は、クルーがあらゆる運航条件下で最適なトリムを維持することを助ける。「Cleanhull」は、船体とプロペラの汚損の影響を測定し、メンテナンス計画をサポートする。
- **Ability Integrated Marine Automation System 800xA** : 完全自動運航への移行を助けるもうひとつのシステム。「800xA」は、全システム及び機器をひとつのシングルユーザーインターフェイスに統合したシングルユーザー環境を構築する。
- **C-CAMS** : コンテナ船、ばら積み船、RORO 船向けに開発された船内の重要システムの制御、アラーム、監視を統合した自動化ソリューション。ビッグデータ解析、AI、可視化技術を用い、データはタブレット、スマートフォン上に表示されるモバイルアプリ経由でアクセス可能である。
- **Ability cybersecurity** : 「Ability cybersecurity」は、安全なデジタルコミュニケーションのための評価、トレーニング、サイバーセキュリティシステムの製品群である。
- **OptimE** : 「Azipod」のステアリング角度の最適化を行う完全に自動化された船用ソフトウェア。
- **Ability Marine Fleet Intelligence Advisory** : 「Microsoft Azure」クラウドコンピューティングプラットフォーム、ビッグデータ解析、AIを活用し、「Fleet Intelligence Advisory」は、船舶及び船隊の監視、データ分析、可視化をサポートする。

- *Ability Smart Asset Management for Marine* : 同プラットフォームは、船員と陸上の技術及び運航部門、及び ABB を接続する。ABB Maritime は、欧州、アジア、南北アメリカに 8 か所の協働オペレーションセンターを運営している。同センターは、遠隔診断と 24 時間サービスサポートを行う。ABB はこのサポート機能に AI を統合し、ソリューションの特定をサポートしている。
- *One Box* : 「One Box」は、商船市場向けのデータ収集ソリューションである。船内の信号は記録され、陸上に送信される。陸上では、オフィスまたはスマートフォンからデータを分析することができる。「One Box」は、ABB 以外の企業のウェブベースのシステムでも作動する。

ABB Marine Services は、新造船から運航、メンテナンスなどに関する製品とサービスに関するライフサイクルサービス群を提供している。

新造船では、接続された船舶の海上試運転中の問題のトラブルシューティングのための遠隔診断が利用できる。トレーニング、スペアパーツ、遠隔監視、サービスなどの契約により、ABB は船舶のライフサイクルを通じた収入を増加させている。

ABB のビジネスモデルは、運航、メンテナンス、船級承認など船舶のライフサイクルを通じて、遠隔診断、純正スペアパーツ、船員のトレーニングを提供することである。

ABB Marine は、Siemens の「NX」CAD/CAM/CAE プラットフォーム及び CFD 設計・可視化ツール「Simcenter」を使用している。

また、ABB Marine は、SAP 社の ERP を導入している。

船用部門以外では、ABB Group は、造船所を含む産業のデジタル化を支援するハードウェア及びソフトウェアのソリューションを提供している。ソリューションには、ベーシックな造船所の電化からクレーンの自動化、エネルギー貯蔵・管理、電気自動車の充電、ネットワークセキュリティー管理／サイバーセキュリティー、産業向けロボット及び協働ロボットなどが含まれる。

ABB のグループ企業は、ブロックチェーン技術の導入に関する研究を行っているが、現在 ABB Marine で使用されているという証拠はない。

ABB Group は、2030 年までに達成すべき環境目標として、電力の 100% を再生可能源から発電、10,000 台以上の社用車の電化などを挙げている。2021 年には、同グループは、イタリア、ポーランド、スイス、中国、米国の拠点において、100 件以上のエネルギー効率化プロジェクトを完了した。その例としては、インドの自社倉庫のひとつにソーラーパネルを設置し、再生可能エネルギーを自社発電するプロジェクトなどがある。

2022 年初頭には、ABB は将来的な売却またはスピノフ（独立子会社化）を念頭に、同社の過給機事業を「Accelleron」という新ブランド名のビジネスユニットとした。同ビジネスユニットは、3D プリンター「MetaFAB1」を用いてオンデマンドで同社のディーゼル及びガスエンジン向けの出力 500kW～80MW 超の過給機のスペアパーツを製造し、冶金部品数を減少させている。この動きは、将来的なメーカーのビジネスモデルの変更につながる可能性がある。3D プリンターの導入により、大量の製造部品の在庫の確保は必要がなくなる。スペアパーツはオンデマンドで 3D プリンティングされ、倉庫のスペースを減少させ、またリードタイムの短縮と配送の迅速化につながる。

4. Alfa Laval (スウェーデン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	3	1	1	2	1	3	4

Alfa Laval は、熱交換器、分離機、ポンプ、及び熱交換、分離、流体移送用のバルブのグローバルサプライヤーである。Alfa Laval は、提供する全ての製品市場で業界 1 位または 2 位の地位を持つとしている。

PLM 部門のプログラムダイレクターである Bjorn Wilhelmsson は、各製品グループはそれぞれの製品データを最適な方法で利用していると述べている。しかしながら、e ビジネスやオンラインマーケティングなどのデジタルトレンドに対応するため、Alfa Laval は、「OnePLM」と呼ばれる統一され、中央化された製品データ管理手法を開発した。「OnePLM」の基礎は、Siemens の「Teamcenter」PLM プラットフォームで、「Teamcenter」と Alfa Laval のもうひとつのビジネスシステム「Wipro」を統合している。「Wipro」ソリューションも、ビッグデータ解析と AI 技術を活用し、Alfa Laval 製品群の性能のホリスティックな分析のためのビジネスインテリジェンス機能を提供している。Alfa Laval は、Siemens の「NX」CAD/CAM/CAE 設計ツールを使用している。また、同社は、製品開発に CFD、有限要素モデリング、トポロジー最適化などの高度なコンピューターシミュレーション手法を用いている。

新製品開発及び製品能力向上を支援するデジタルツイン開発の一例は、スウェーデンのエスキルトーナにある分離機工場で見られる。ここではエンジニアリングサービス企業 AFRY の Siemens ソフトウェアを基礎とした「Real Digital Twin」技術を用い、製造工程と工作機械のデジタルツインを作成し、新製品の製造が開始される前に製造ラインのシミュレーションと機能試験を行っている。

また、Alfa Laval は、同グループの製造及びサプライチェーンプロセスを、共通の「Microsoft Dynamics AX」ERP インフラを用いて標準化した。Alfa Laval はこの ERP アプリケーションと To-Increase 社の「RapidValue」アプリケーションを組み合わせ、世界の約 35 拠点で製品のモデル化と設計プロセスに用いている。

IFS の「Remote Assistance」ソフトウェアツールが開発され、まずトレーニングと遠隔支援をサポートするためにサービス組織に導入された。このクラウドベースのプラットフォームは、拡張現実及び複合現実技術を用いている。

分離機ビジネスでは、Alfa Laval はコネクティビティ、デジタル化、コンピューターシミュレーション技術、センサー、AI、有限要素分析、計算流体力学、トポロジーなどを活用し、新技術の設計、モデル化、シミュレーション、試験を行う研究開発センターを運営している。また、同センターでは、製品のプロトタイプ開発から製造まで、3D 印刷の使用を拡大する方法を研究中である。

Alfa Laval は、デンマーク海事基金の支援により 2016～2018 年期中に実施されたプロジェクト「Green Ship of the Future」に参加した。プロジェクトに参加した 51 企業・組織には、船主（A.P. Moeller-Maersk、Maersk Tankers、Columbia Shipmanagement、DFDS、Evergas、Lauritzen Bulkers、Norden、Ørsted、Scandlines、Ultragas、Ultrabulk）、船級協会（BV、Class NK、DNV、Lloyd’s Register）、研究機関（デンマーク工科大学 DTU、デンマーク技術インスティテュート DTI、オーフス海事技術工科大学 AAMS、コペンハーゲンビジネススクール CBS、コペンハーゲン船舶工学技術管理学校、SIMAC）、メーカー（BOS Global、C.C. Jensen、Clorius Controls、Danfoss、DEIF、DESMI、Frugal Technologies、Greensteam、Hempel、Kongsberg、MAN Energy Solutions、Norsepower、Ryston、Wärtsilä）などが含まれる。Alfa Laval は、3D 印刷サブグループに参加し、概念から実行までの船用産業向け付加製造技術の研究開発を行った。同作業グループでは、船内 3D プリンティング、陸上大規模産業用 3D プリンティング、修理及びリコンディショニング用 3D 印刷などのソリューションの研究を行い、海事産業における 3D 印刷の機会に関する白書を作成した。同報告書は、プロジェクト当時の欧州海事産業の 3D プリンティング技術への投資は低レベルであるとし、試作品に 3D 印刷技術を導入した企業はごく僅かで、ツールや金型の製造に利用している企業はさらに少なく、実際の製造ラインに導入済みの企業は皆無であると結論付けている。さらに、3D 印刷を産業ツールとしてだけではなく、企業のビジネスモデルを変えるものとしての機会に関する議論を展開している。

Alfa Laval は、自動データ収集と報告やリモートアクセスが可能な安全なクラウドベースのポータルでデジタル接続されている製品の増加を受け、アフターセールス向けのデジタルサービスを拡大している。船隊技術管理者と Alfa Laval のサポートチームが、バラスト水処理装置、硫黄酸化物の排出量、ボイラー、燃料、潤滑油セパレーター、の遠隔監視、LNG 運搬船のガス燃焼ユニットなどからのデータを収集し、分析を行っている。

Alfa Laval の子会社である Framo は、沈没船からの燃料油を安全に回収する操作可能な水中ロボットを開発した。回収された燃料油は陸上で処理される。

グループレベルでは、Alfa Laval は、全拠点で再生可能源からの電力を導入し、暖房用の天然ガスを代替する計画を持っている。拠点には廃熱回収システムを導入して熱源とし、製造工場と倉庫にはソーラーパネルを設置する。2021 年時点では、同グループの電力の 91% が再生可能源からのものである。イタリアと中国の 3 拠点では、ソーラーパネルによる発電を行っている。

5. MAN Energy Solutions（ドイツ）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	4	1	1	1	1	4	1	1	4

MAN Energy Solutions は、14 か所の製造拠点と約 15,000 人を持ち、世界に 120 か所のサービス拠点を展開している。製造拠点は、ドイツ、デンマーク、フランス、スイス、中国に位置する。同社の 4 つの主要ビジネスユニットは、①船用、②エネルギーと貯蔵、③プロセスインダストリー、④石油・ガスである。船用ビジネスユニットは、①MAN B&W の 2 ストロークエンジン群、② MAN Energy Solutions の 4 ストロークエンジン群、③MAN Alpha プロペラ、スラスタ、シャフト、④過給機及び技術の 4 部門で構成されている。

デジタル設計とシミュレーションは、MAN Energy Solutions のコアビジネスツールとなっている。同社は、Siemens の「Teamcenter」PLM を、エンジン設計から試験、船主及び船舶管理者向けの引渡し後の保証サービスとアフターセールスサービスを含む製品サポートをカバーするライフサイクル製品管理に利用している。また、同社は、「Aras Innovator」により「Teamcenter」の導入をサポートしている。MAN Energy Solutions は、全事業部門に SAP の ERP を導入済みである。

MAN B&W は、コンピューターエンジンアプリケーションシステム（CEAS）とターボチャージャーセレクション（TCS）オンラインアプリケーションを導入し、船舶の機関室と過給機の設計と寸法測定のために必要なデータを供給している。

同ユニットは、4 ストロークエンジン向けの機関室の設計をサポートする「Engine Viewer」ソフトウェアアプリケーションを開発した。エンジニアリング企業と造船所は、MAN の「Nexus」エクストラネットを用いて 3D モデルにアクセスできる。また、「Nexus」エクストラネットは、補機の 3D 可視化ツール、排ガスファネルと LNG タンク的设计ツール、ライフサイクルコスト計算及び 2D 設置製図ダウンロードをサポートする。

2 ストローク低速エンジンへの代替燃料の使用に関する研究開発では、MAN Energy Solutions は、Siemens の「Simcenter」ソフトウェアを用いて、ガス及び液体燃料噴射向けの燃料噴射システムのシミュレーションを行い、物理的な試験時間とコストの削減を実現した。Man Energy Solution の R&D 噴射・油圧部門のプロジェクトマネージャー Mikkel Thamsborg は、「Simcenter Amesim」の導入により、製品開発時間は 5 分の 1 に短縮されたと述べている。

MAN Energy Solutions は、エンジン運転とメンテナンスのマニュアル、及びスペアパーツのカタログを自動的にアップデートし、メーカー、造船所、船主間のデータ交換をサポートするデータエクステンジプロトコル「SHIPDEX」のパートナーである。

推進機器の設計と製造に加え、MAN Energy Solutions の重要な収入源は、ライフサイクルスペアパーツビジネス「MAN PrimeServ」である。提供サービスには、同社のシステムの遠隔監視と分析がある。

MAN Energy Solutions は、付加製造技術をプロトタイプの実験用製造のみから進化させ、2017年には産業用ガスタービン「MGT6000」の金属部品の3Dプリンティングを行った。最近では、同社はデンマーク工科大学（DTU）と共同で、3Dプリンティングを噴射ノズルなどの大型船用エンジン向けの金属部品に拡大し、同社のコペンハーゲン研究所で実寸大の実験エンジンを用いて試験を行った。2022年初頭、MAN Energy Solutions は、SLM Solutions 社の選択的12レーザー積層造形方式の3Dプリンター「XG XII 600」に投資した。同プリンターは、オーバーハウゼンの同社の3Dプリンティングセンターで船用、エネルギー、産業市場向けの大量生産部品を製造する計画である。

MAN Energy Solutions は、51企業・組織が参加するデンマーク海事基金が支援する「Green Ship of the Future」に参加した。同プロジェクトでは、付加製造技術の船用利用に関する研究が行われた。その詳細は、本報告書 Alfa Laval の項で説明した。また、MAN は、2017/2018年期中に実施された、海洋船数隻の船内でスペアパーツの3D印刷とクルーのトレーニングを行うパイロットプロジェクトにも参加した。その他の参加企業・組織は、Maersk Line、Maersk Tankers、Maersk Drilling、J. Lauritzen、Create It REAL、DNV、コペンハーゲンビジネススクールである。

MAN Energy Solutions は、「EU Horizon 2020」プログラムが支援するワイヤーアーク付加製造技術「Grade2XL」に参加している。その他の参加企業は、Naval Group、RAMLAB、Valk Welding、Lincoln Electric、Voestalpine BWG、Air Products、Bureau Veritas、デルフト工科大学、デンマーク工科大学である。MAN と RAMLAB が、船用プロペラの3D印刷を行うというプロジェクトを主導している。

6. Winterthur Gas and Diesel（スイス）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	4

Sulzer 及び Wärtsilä の2ストロークエンジン事業を受け継いだ Winterthur Gas and Diesel (WinGD) は、低速ガス及びディーゼルエンジンの開発企業である。同社は、ライフサイクル管理デジタルスレッドプラットフォームの開発が重要となる電化及びハイブリッド動力ソリューションの開発も行っている。

WinGD は、Siemens の「NX」CAD/CAE/CAM アプリケーションを利用してエンジンの概念設計と詳細設計を行っている。また、Siemens の CFD 可視化ソフトウェア「Star-CCM+」を用いて概念の評価を行っている。WinGD は、Siemens の

「Teamcenter」PLM プラットフォーム及び SAP の ERP プラットフォームも利用していると考えられる。

デジタルトランスフォーメーションの一環として、WinGD は以下のようなデジタルプラットフォームを開発した。

- **WiDE**：主機関のデジタルツインモデルを基礎とした「WinGD Integrated Digital Expert (WiDE)」は、クラウドベースのプラットフォームを通じて船内クルー、陸上の技術チーム、WinGD にデータを提供し、分析を行うエンジン性能監視ツールである。デジタルツインは実際のエンジン性能と比較され、解決すべき性能の問題を予測する。
- **トレーニングシミュレーションソフトウェア及びハードウェア**：ポーランドの UNITEST Marine Simulators 社と共同で、WinGD は仮想現実技術を同社の「W-Xpert Full Mission Simulator」に導入し、機関室のクルーのトレーニングに活用している。シミュレーターは、韓国、中国、ギリシャに位置する。シミュレーターは、マルチタッチスクリーンのシミュレーションハードウェアとソフトウェアを持ち、典型的な機関室の主機及び補機のバーチャル画像を作成する。

MAN Energy Solutions と同様に、WinGD は、エンジン運転とメンテナンスのマニュアル、及びスペアパーツのカタログを自動的にアップデートし、メーカー、造船所、船主間のデータ交換をサポートするデータエクスチェンジプロトコル「SHIPDEX」のメンバーである。

これまでのところ、WinGD がエンジン部品やスペアパーツの 3D 印刷を行っているという情報はない。

7. Becker Marine Systems (ドイツ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4

Becker Marine Systems は、商船の操船システム、省エネシステム、バッテリーエネルギー貯蔵システムの設計、製造、サービスの市場リーダーである。

Becker Marine Systems は、Dassault Systèmes の 3D CAD 設計ソフトウェア「Solidworks」及び Siemens の CFD 可視化ソフトウェア「Star-CCM+」を用いてデジタルモデルの作成と製品開発を行っている。同社は PLM プラットフォームを導入済みであると考えられるが、メーカー名などの詳細は不明である。

また、同社は「Microsoft Dynamic」ERP プラットフォームを全部門に導入している。

8. Rolls-Royce (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	2	4	4	4	3	1	1	2	1	2	4

Rolls-Royce グループは、2000年代初頭には既にデジタルトランスフォーメーションを開始した。2004年までには Siemens/UGS の「Teamcenter」PLM アプリケーションおよび「NX」CAD/CAE/CAM アプリケーションを全社的に導入し、新製品設計の 3D モデルを作成していた。同社は、その後もコンピューター支援プロセスプランニング、製造実行システム、その他様々な工場システムを通じて製造工程のデジタル化を進めた。また、製造拠点のいくつかのデジタルツインを構築し、製造の可視化と最適化を支援している。

2019年に民間向け船用ビジネスの主要部分を Kongsberg に売却した後、Rolls Royceに残った船用部門では、商船及び艦艇向けのガスエンジン及びディーゼルエンジン、艦艇向けプロペラシステム、軍用ローンチアンドリカバリーシステム、船内電化、自動化、制御システム的设计、販売、サービスを行っている。

Rolls-Royce は、MTU 及びノルウェーBergen という二つの船用エンジンブランドを展開している。MTUは、短距離海運ソリューションを専門とし、主なセグメントはROPAX、フェリー、タグボート、オフショア支援船（OSV）、風力発電施設支援船、ヨット、石油ガス施設である。Kongsberg Maritime は、Rolls-Royce Bergen の液体燃料駆動及びガス駆動の商船向け 4 ストローク中速エンジンの独占ディストリビューターである。

MTU は、船隊内の全船舶を接続し、監視と管理を行う一連のデジタルプラットフォームを開発した。社内のデジタルソリューション部門が開発した「Go」プラットフォームからのデータは、船内及び船隊からのアクセス、またはコンピューター端末、タブレット、スマートフォンからのリモートアクセスが可能である。

Rolls-Royce と Sea Machines Robotics の提携の一環として、MTU「NautIQ」プラットフォームが開発され、クルーに対するインテリジェントサポート、自動制御、遠隔制御能力を提供している。同プラットフォームには、IoT センサーや AI 技術を活用した航海支援機能が含まれている。「NautIQ CoOperate」と呼ばれる自動運航機能は、最近、タグボート「Nellie Bly」のハンブルクからデンマークを回る 1,000 海里の往復航路で試験が行われた。同船は米国からの遠隔操縦でコントロールされた。

仮想現実及び拡張現実技術は、Rolls-Royce グループ内の設計、計画、トレーニングに活用されている。しかしながら、この技術が船用部門に導入されているという情報は限定的である。

Rolls-Royce の中央製造技術センターは、同グループの付加製造技術の研究所である。現在のところ、3D 印刷技術は主に航空機部門の部品製造に利用されている。

2021 年末、同グループのエネルギー消費の 21%は再生可能源からのエネルギーであった。シンガポールの航空機事業部門にはソーラーパネルが設置され、同グループは全社的な事業への再生可能源の導入を計画している。

9. Schottel Industries (ドイツ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	4	4	3	1	1	1	1	1	3

Schottel Industries は、船用推進システム、ギアボックス、自動化技術、再生可能エネルギー事業を有する。

Schottel は同グループ最大の企業で、アジマス式プロペラシステム及び出力 30MW までの推進システムの設計、製造、サービスを行っている。製造はドイツ 2 か所の工場で行われている。

Schottel の 100 人規模の設計エンジニアリング部門は、製品の設計、開発、可視化に 3D CAD/CAE/CAM、CFD、有限要素法などのツールを使用している。同社が利用しているソフトウェアアプリケーションの詳細は不明である。また、PLM プラットフォームに関する情報もないが、同社製品及びサービスのデジタルトランスフォーメーションの状況から、導入済みであると考えられる。Schottel は、ドイツの中小企業向け ERP プラットフォームである「proALPHA ERP」を導入している。

Schottel は、以下のようなデジタル自動化モジュールを開発し、製品の保証期間やスペアパーツ供給を超えたサービスを提供している

- *AlarMon* : 全ての船内プロセス及び構成要素の中央監視ソリューション。
- *AutoControl* : 各構成要素の動的制御による船内オペレーションの自動化。
- *PowerControl* : 船内発電及び配電を制御。
- *PropControl* : Schottel の可変ピッチプロペラを制御。
- *MariHub* : センサー、機械、機器からの信号を収集、分析し、陸上のクラウドサーバーに送信するデータ収集及び IoT ゲートウェイ。
- *MariNet* : ビッグデータ解析及び AI を活用して、運航データを可視化、分析し、陸上技術チームをサポートするクラウドベースの IoT プラットフォーム。データはコンピューター端末、タブレット、スマートフォンに表示される。
- *ProData* : 船舶のシステム及び機器の時系列的及びリアルタイムのデータ可視化。
- *ProCMS* : 予測的及び計画的メンテナンスを可能にする推進システムの状態監視と分析。

Schottel のデルト製造拠点では、2,800 基のソーラーパネルが 700kW を発電し、同工場の年間電力需要の約 16%を賄っている。試験台からの熱は、オフィスの暖房用に再循環されている。

HW-Elektrotechnik 社は、造船業を含む多くの産業向けに、産業自動化システムの設計、開発、製造を行っている。しかしながら、導入されたデジタル技術の情報は無い。

Wolfgang PREINFALK 社は、主に鋳業向けのギアボックスの設計と製造を行っている。

Schottel HYDRO 社は、潮力発電タービンと関連ソリューションの設計と製造に特化した子会社である。

Elkon Elektrik 社は、主に Cemre、Sanmar、Tersan などのトルコ造船所、Damen Mangalia、及びノルウェーの造船所向けに電気推進システム及び船舶自動化システムの設計、組立、統合を行っている。

AQUOS Schottel Marine Technologies 社は、水中アンカリング技術の開発を行っている。

10. Brunvoll (ノルウェー)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	4	3	3	1	4	1	1	1	4

Brunvoll は、プロペラ、ギアボックス、スラスタ、可変周波数駆動系、制御システムの推進、ポジショニング、操船に関するシステム群の設計と製造、及び統合サービスを行うノルウェーの同族企業である。同社の顧客の例としては、ノルウェー海軍、Meyer Werft、Chantiers de l'Atlantique などがある。

Brunvoll は、デジタルトランスフォーメーション推進のために、Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE」PLM デジタルソリューションを導入した。導入は IBM PLM がサポートした。すべての設計、文書管理、設計の自動化、高精度のプロペラ製造には、「CATIA」を利用している。また、「ENOVIA SmarTeam」がワークフローとコンフィギュレーション管理を行う。

2022 年のノルウェー科学技術大学のセミナーで、Brunvoll の COO (Chief Operating Officer) である Knut Ola Tverdal は、同社の製造戦略は、ノルウェー国内の自社製造拠点において製品の設計、製造、組立を行うことにより、バリューチェーンをコントロールすることであると述べている。また、ノルウェーの製造拠点の複雑な作業の自動化とロボット導入を進める。同社初の溶接ロボットは 2014 年に稼働し、アジマス式スラスタの大型部品の溶接を行っている。モルデ製造拠点の鉄鋼・機械部門のロボット化は進行中である。同社拠点の主要機械は接続され、稼働データのフィードバックにより機械の生産性の中央分析を行っている。

デジタルトランスフォーメーション推進の一環として、Brunvoll は自動化船位・航路管理ツール「BruCon Auto-Crossing」を開発中である。同プラットフォームは、スラスタと推進制御を統合し、環境を考慮した船速、航路、スラスタの使用などの条件を最適化し、定期航路管理を自動化する。自動係船及び出港機能も利用可能である。

Brunvoll のスラスタ及び推進システム群は、全て同社の制御システム「BruCon」を搭載している。「BruCon」状態監視システムは、センサーが収集したデータの分析を行うクラウドベースのプラットフォームを利用し、推進ユニットとスラスタのコンディションベースの監視を行うシステムである。情報は、船内のクルーと陸上の技術部門に提供される。Brunvoll は、同社製品と同時に「BruCon」状態監視システムが購入された場合には、製品保証期間の延長を検討すると述べている。

一例としては、「BruCon Auto-Crossing・状態管理システム」は、Hav Design が設計し、Tersan が建造した Fjord1 の両頭型ディーゼル電気ハイブリッドフェリーに搭載された。

Brunvoll のエネルギー消費の 90%以上は、購入された電力と地域暖房により賄われている。現在のところ、同社がマイクログリッド技術に投資したという証拠はない。

Brunvoll は、以下のような研究開発プロジェクトに参加している。

- **EFFEKT**: SINTEF、ノルウェー科学技術大学、Brunvoll プロペラの部品メーカー Oshaug Metal とともに、Brunvoll は、高度なカスタム化を必要とする製品の注文生産というビジネスモデル、初回製品開発、及び製品開発と製造の同時進行のサステナビリティの問題を研究する 3 年間プロジェクトに参加した。Brunvoll にとって、「CATIA」3D 設計ソフトウェアへの投資は、この問題へのソリューションの一部である。プロジェクト実施中に、Oshaug は、プロペラブレードの検査を自動化する 3D カメラとレーザー距離測定スキャナーを持つ KUKA 社の「KR 120」産業ロボットマニピュレーターの試験を行った。スキャンされたデータは、ポイントクラウドを作成し、3D モデルと比較される。
- **RESPONS**: Brunvoll は、SINTEF と共同で、データキャプチャーとデジタル化を基礎としたアジマススラスタ製造へのスマートプランニング及び変革管理ソリューションの開発を行っている。プロジェクト実施期間は、2018 年から 2022 年である。
- **AutoQC**: サプライヤー間の共通オンライン品質管理情報に関する協力関係の研究プロジェクト。
- **MANUNET**: EU の「Horizon 2020」プログラム内の「MANUNET」は、先進技術の共同開発を促進するプラットフォームである。
- **CRP**: 商業的に競争力のある Brunvoll の 1 軸の二重反転プロペラ (CRP) の開発プロジェクト。同プロジェクトは 2020 年から 2024 年にかけて実施され、ノルウェーリサーチカウンシルが出資している。Brunvoll は、永久磁石駆動の二重反転プロペラの試験を Ugland Offshore 所有のプラットフォーム補給船「Juanita」で行った。その結果、Azipull 推進の姉妹船と比較して、19%の燃料消費量削減を記録した。

- **SEAOPS**: Brunvoll は、DNV、ノルウェー科学技術大学、SINTEF、Holmeset と共同で、船舶の安全で最適化された自動運航に関するパイロットプロジェクトを実施中である。同プロジェクトでは、速力と船位制御機能を持つ船舶シミュレーターを開発し、延縄漁船「*MS Geir*」で試験を行っている。SEAOPS 技術は、エネルギー効率の向上と延縄漁中の魚の損失を防ぐことを目的としている。パイロットプロジェクトでは、制御システムは、延縄漁の最初の延縄設置段階に焦点を当てる。制御システムは、延縄に対応して自動的に船舶の針路と速力を最適化する DNV の「Open Simulation Platform」が制御システムの試験と異なるシナリオのシミュレーションに利用された。
- **Propeller forum Phase 3**: エネルギー効率が高く、環境にやさしい船用推進システムの設計への計算流体力学の適用。
- **FAST**: Brunvoll は、SINTEF、コンプレッサーメーカー Sperre Air Power、船主と共同で、ノルウェーリサーチカウンシルが部分出資する「FAST」プロジェクトを実施した。同プロジェクトの目的は、AI 駆動の状態監視及び意思決定の基礎として、メーカーの製品知識を活用するシステムを開発し、実用化することである。プロジェクトの研究作業をもとに、Brunvoll は状態監視システム「BruCon」を開発した。

11. Zelim (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	3	1	4	3	4	3	1	1	1	1	1	1

船用技術スタートアップ企業である Zelim は、洋上風力発電、海運、石油ガスセクター向けの無人探索救難船の開発を行っている。Zelim は、従来の船用セクターのビジネスモデルを再考している企業のよい例である。

Zelim の提供サービスのツールのひとつは、AI ベースの遭難者発見システム「SARBox」である。デジタルカメラを搭載したドローンが母船から発射され、水中の遭難者の位置を突き止める。発見された遭難者は、オフショアクルー輸送船や無人探索救難船などの船から水面に降ろされた耐水性搬送具「スィフト・リカバリー・コンベヤー (Swift Recovery Conveyor)」により、意識がない場合でも安全に救助される。

もうひとつの Zelim のソリューションは、無人探索救難船「サバイバー」及び「ガーディアン・クラス」である。「サバイバー」は、洋上構造物に常駐する遠隔操作の無人救助船である。「スィフト」リカバリーツールを搭載した同船は、25m の高さからでも発射が可能である。同船は船内にテレ医療設備を持ち、キャビンから直接オペレーションセンターに接続される。同じく「スィフト」リカバリーツールを搭載した遠隔操作船「ガーデ

イアン」は、母船または陸上から発射される。Zelim は、サバイバークラスの一番船を 2023 年に発表する計画である。

Zelim は、Naval Architect Chartwell Marine 社と無人船の設計で提携し、また Ocean Infinity 社と遠隔操作技術で提携している。

12. Siemens (ドイツ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	3	2	1	3	3	1	1	4

Siemens Digital Industries Software は、Siemens グループのコアとなる提供製品となっている。Digital Industries Software 事業部門は、デジタルトランスフォーメーション関連の製品群「Xcelerator」を構築した。Siemens は、「Xcelerator」を幅広い産業セクターをサポートする「ソフトウェア、サービス、IoT ハードウェアのモジュール型製品群」としている。海事セクター向けの提供ツールには、デジタル設計、モデリング、シミュレーション、プロジェクト計画、ライフサイクル管理、船舶建造、サービス・メンテナンスツールなどを含む。

Siemens が提供するデジタルソリューションの例は以下の通りである。

- 統合船舶設計・エンジニアリング：「NX」CAD/CAE/CAM ソフトウェア及び「STAR-CCM+」CFD ソフトウェア。
- 統合プロジェクト計画・実行：コスト、スケジュール計画、報告のためのプラットフォーム。
- デジタルライフサイクル管理：「Teamcenter X」PLM アプリケーション。
- デジタル船舶建造：デジタルツイン及び VR 技術を利用。
- 船舶サービス及びメンテナンス：船舶のデジタルツインをベースとしたビッグデータ解析を船主に提供。

Siemens の 3D 設計及び PLM ソフトウェア機能の多くは、2007 年の米国 UGS Corp の買収により得たものである。Siemens は、この買収により「NX」CAD/CAE/CAM プラットフォームと「Teamcenter」PLM プラットフォームを統合した。2021 年末には、Siemens はスペインのエンジニアリング技術企業 SENER から FORAN を買収し、同社の CAD/CAE/CAM プラットフォームをさらに強化した。

Siemens は、本物のデジタルツインは、船舶引渡し後に作成されるとしている。船舶の設計・建造段階では、CAD マスターモデルはデジタルツインのごく初期であり、設計、検討、建造、試験段階で常時アップデートされるものであると述べている。

Siemens は、エンジニアや造船所が採用している従来の設計開発手法は、コスト競争力と設計の柔軟性に欠け、今日の造船業を取り巻く環境を生き延びることは難しいとしている。

Siemens は、ライフサイクルコストの効率は各工程を組み合わせることに起因するとし、設計工程が段階的に行われるデータフロー手法ではなく、多くの制約と依存性を統合・分析し、トポロジー関係を含めたさらに統合された手法が必要であるとしている。

Siemens は、統合デジタル設計は、建造コスト削減の必要性と、全般的な船舶の流体力学的性能及び性能要求への対応のバランスをとる手段であるとしている。コスト削減は、主に設計・エンジニアリング工程と適切な設計決定の迅速化などによって実現される。船主にとっての重要事項は、資本コストと運航コストの削減、引渡しの迅速化、また、バラスト水処理装置や SO_x スクラバー、代替燃料など、厳格化する IMO 及び EU 規制に対応可能な柔軟性である。

シミュレーション駆動の船舶設計とエンジニアリングのコアプラットフォームは、「NX」CAD/CAE/CAM ツール、「STAR-CCM+」による CFD 及び流体静力学分析、「HEEDS」による自動ディスカバリーと解析を組み合わせた「Simcenter」である。この統合手法は、顧客への設計代替案を準備するフロントエンドの柔軟性を確保し、建造コストの削減と、船体抵抗特性の改善により運航コストを削減する。

本報告書で調査した欧州造船所の多くは、Siemens の設計、シミュレーション、モデリングソフトウェアを利用している。その例は、Navantia、Thyssenkrupp、Babcock、BAE、Lürssen、German Naval Yards Kiel、Chantiers de l'Atlantique、Ulstein、Royal IHC、Flensburger、Sunseeker、Feadship、Azimut-Benetti、Ferretti、Princess Yachts である。

また、HAV Design、Knud E. Hansen、Marin Teknisk、Vuyk Engineering、Skipsteknik は、Siemens のシミュレーション駆動船舶設計・エンジニアリングツールを利用している独立系設計企業である。

さらに、Kongsberg、Wärtsilä、ABB、Alfa Laval といった大手船用メーカーも Siemens の設計ソフトウェアを利用している。

Siemens のエンドツーエンドプロジェクト管理プラットフォームは、船舶のデジタルツイン構築を支援する 3 つの原則に従っている。即ち、同社の ERP を含む全造船工程の統合、リスクの特定、作業内容構成への連続的な改善フィードバックである。

「Teamcenter」は、Siemens のデジタル船舶ライフサイクル管理 PLM ツールで、全ての製品情報と工程をひとつの中央デジタル環境に統合することにより、船舶のライフサイクルを通じたデジタルスレッドを構築する。ライフサイクル管理の必要性は、今日の環境及び安全性のコンプライアンス要求と、コスト競争力、コネクティビティ、柔軟性の向上という要求が後押ししている。

Siemens は、「Teamcenter」を「分散したソフトウェアツールのデジタルバックゴーン」としている。地理的に分散したチーム全員が、この PLM システムで、概念から建造、さらにアフターセールスサービスまでの船舶の総合的なデジタルツインにアクセスし、開発することができる。

Siemens の設計エンジニアリングソフトウェアを使用する欧州造船所及び船用メーカーの多くは、「Teamcenter」PLM プラットフォームも導入している。例としては、Navantia、Thyssenkrupp、Babcock、BAE、Lürssen、German Naval Yards Kiel、Royal IHC、Flensburger、Sunseeker、Feadship、Azimut-Benetti、Ferretti、Princess Yachts、Kongsberg、Wärtsilä、Alfa Laval である。米国 Newport News Shipbuilding 及び韓国大宇造船海洋、現代重工業は、Siemens の設計及び PLM プラットフォームを導入している国際的な造船所の例である。

Navantia、Meyer Werft Papenburg、Flensburger Schiffbau-Gesellschaft、Thyssenkrupp Marine Systems を含むいくつかの欧州造船所は、造船工程のシミュレーション、可視化、最適化を行い、造船所内のスケジュールの問題を予測するために、Siemens の「Tecnomatix」イベント駆動アプリケーションを導入している。

このデジタル造船 (Digital Ship Construction) ソリューションは、造船所が造船の全工程のシミュレーションを、統合バーチャル造船所内で行うことを可能にし、新造船建造のシーケンスの最適化をサポートする。情報は、船舶設計デジタルツインと PLM プラットフォームに統合される。本報告書で詳細を前述した Navantia は、Siemens のデジタル造船プラットフォームのユーザーのひとつである。

船舶が造船所を離れた後には、デジタルツインが船舶の生涯を通じてサービスとメンテナンスをサポートする。Siemens は、計画的メンテナンス及び予測的メンテナンスのためのデータを収集分析、技術的問題の効率的な解決をサポートし、コストのかかる入渠の回数を減らす。CAD、デジタルツイン、センサー、IoT、拡張現実、ビッグデータ解析、AI、サイバーセキュリティは、全て同社のサービスとメンテナンスソリューションで利用されている主要デジタル技術である。

Siemens は、Siemens 「NX」CAD/CAE/CAM アプリケーションおよび「Tecnomatix」工場シミュレーションアプリケーションを基礎に、金属及び熱可塑性プラスチックを用いた 3D プリンティングの製造ソリューションを開発した。現時点では、Siemens の 3D プリンティング技術が欧州造船所で利用されている証拠は限定的であるが、Navantia 及び ThyssenKrupp の 3D 印刷技術の開発は、Siemens のソフトウェアバックボーンをベースとしていると推測される。

Siemens は、AI 駆動の産業ロボットソリューションの開発も行っている。3D 印刷技術と同様に、Siemens の技術が欧州造船所に導入されているとの証拠はほとんどないが、同社のソフトウェアプラットフォームには、産業ロボットを用いた造船所のタスクの計画・実行を容易に導入することができる。

Siemens は、クラウドベースの産業 IoT オペレーティングシステム「MindSphere」を「Xcelerator」製品群に統合した。同プラットフォームは、ビッグデータ解析、AI、クラウドコンピューティング技術を活用して設計及び製造現場をクラウドに接続し、製品、工場、システムからのデータ転送をサポートする。Navantia は、「MindSphere」ソリューションを導入している造船所の一例である。

Siemens は、ビルディング及び産業向けのスマートグリッドソリューションの製品群を開発した。欧州造船所への導入例はないが、同社はドイツのキール港を例に挙げている。停泊中のフェリーやクルーズ船の発電機からのディーゼル排出を削減と、陸上電力供給へ

の要求に対応するため、Siemens は、地元の電力網経由の再生可能エネルギーを統合した港湾向けの新陸上電力システムを開発した。

Siemens グループは、ブロックチェーン技術を活用して、ビジネス・ツー・ビジネスのツールを開発している。例としては、企業同士が安全にデータ交換を行い、協力することができるブロックチェーンベースの税務・関税ソリューションがある。この技術は、デジタルインボイス作成、付加価値税計算、キャピタルゲイン税計算、関税申告、リアルタイム税務監査をサポートする。しかしながら、このソリューションを導入済みの欧州造船所はない。

13. Dassault Systèmes (フランス)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	1	1	4

Dassault Systèmes の船用・オフショア事業部門は、商船及び艦艇造船所向け、及びオフショア、ヨット、作業船市場向けのサービスを提供している。同社のサービスは、クラウドベースの協働・実行プラットフォーム「3DEXPERIENCE」と関連した以下の製品・サービスである。

- **Designed for Sea** : 3D モデリング、デジタルツイン、仮想現実技術を活用し、造船技師、設計者、エンジニアが共同で、完全なトレーサビリティを持つ船舶設計の作成、モデル化、シミュレーション、評価、変更を行うことができる。
「CATIA」CAD ソフトウェアは、構造、電気系統、複合材、配管、HVAC、居住区、鋼製機器、機器配置の設計とエンジニアリングに使用される。
「SIMULIA」アプリケーションは、高度分析とシミュレーションを行う。
「ENOVIA」は、コンピューター端末及び、ヘッドセットによりデジタルモデルに没入できる VR シミュレーションで設計見直しを行うことができる。
- **Optimized Production for Sea** : 設計段階における製造計画との統合をサポートする。3D シミュレーション AR 及び VR 技術を用いた「DELMIA」プラットフォームは、製造工程計画、製造組立の詳細決定、各作業の準備、3D 作業説明、作業計画の 3D シミュレーションと評価をサポートする。
- **Program Excellence** : 品質とコンプライアンスの確立された船舶の納期計画通りの引渡しを実現するための、製品データ管理とライフスタイル管理計画と監視を行うクロスファンクショナル協働ツールである。「ENOVIA」は、Dassault Systèmes の PLM プラットフォームである。
- **Build for Sea** : 製造工程の実行をサポートする。「DELMIA」プラットフォームは、機械とロボットのプログラミングとシミュレーション及び生産ラインの詳細決定など、仮想現実で建造機械のシミュレーションを行う。

- *Winning Bid for Sea* :セールsteamが、提案する船舶のオプションを含めたモデルとシミュレーションを迅速に作成することをサポートする。このプロセスは「CATIA」及び「3DEXCITE」プラットフォームの機能を利用している。

Dassault Systèmes の 3D 設計・シミュレーションツールを導入している企業の例は、Naval Group、CMN、Damen、Meyer Group、Green Yard、Piriou、Heesen、Marin、Marine Specialised Technology Group、AITAC、Allstars Engineering である。

また、Naval Group、CMN、Damen、Meyer Group、Green Yard、Piriou は、同社の PLM プラットフォームを導入している。have all invested in the PLM platform.

中船黄浦文冲船舶（CSSC Huangpu Wenchong Shipbuilding）は、「3DEXPERIENCE」プラットフォームを使用している非欧州系造船企業の例である。

14. AVEVA Marine（英国）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロジェクトチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	3	4	3	3	3	1	1	1	1	1	4

AVEVA Group は、Schneider Electric 社の産業ソフトウェア事業と AVEVA の合併により誕生した産業ソフトウェア企業である。AVEVA は、造船所は船舶運航企業のような複雑なオペレーションを持つ産業向けのデジタル改革ソリューションを提供している。

同業の Siemens や Dassault Systèmes と同様に、AVEVA Marine は造船とオペレーションを支援するデジタルツール群を開発している。

AVEVA Marine の水平・垂直統合されたエンジニアリング、設計、製造プラットフォームは、造船所と船舶の生涯を通じた製品のライフサイクル管理をサポートする。同社の船舶設計・造船ポートフォリオのコアとなる 4 つの要素は以下の通りである。

- *AVEVA Engineering* : デジタル製品データ管理の基礎となる「AVEVA Engineering」プラットフォームは、クラウドベースの多分野データベースで、プロジェクトのステークホルダー間の協働、コンカレントエンジニアリング、変更管理追跡をサポートする。
- *AVEVA Enterprise Resource Management* : 3D モデル統合によりマテリアル管理、プロジェクト計画、製造サポートを行う。AVEVA の顧客は、Helsinki Shipyard、Brodosplit、カナダ Chantier Davie、ブラジル Oceana Shipyard (Thyssenkrupp 所有) などである。
- *AVEVA E3D Design* : 多分野 3D エンジニアリング・設計ソフトウェア。「E3D Design Mobile」により、ユーザーは、タブレットやスマートフォンから 3D 設計とモデルのアップデートにアクセスし、見直しや承認を行うことができる。Helsinki Shipyard は、E3D プラットフォームのユーザーである。

- **Digital Ship Development** : 完全な製品ライフサイクルのデジタルツインプラットフォームで、概念設計からの 3D 設計と、建造工程中にデジタルカメラでスキャンされたポイントクラウド情報を統合する。AVEVA の顧客は、カナダ Chantier Davie、スペインの多分野エンジニアリング企業 GHENOVA などである。

15. Eurostep (スウェーデン)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	3	3	3	3	4	1	1	1	1	1	4

Eurostep は、プラットフォーム「ShareAspace」を開発した。海事セクターにおいては、「ShareAspace」は、協働と多分野コンフィギュレーション管理のために、国防省と軍事企業に導入されている。

Eurostep のソフトウェアはオープンなアーキテクチャー、アプリケーション、コンポーネントを持ち、他の企業向けシステム及びレガシーシステムとの統合が可能である。

海軍の調達分野における PLM アプリケーションによる資産のライフタイムデジタルスレッド作成は、デジタルライフサイクル協働支援プラットフォームの付加価値を示している。

その最初の例は、英国海軍の空母である。英国海軍の新型空母 2 隻のうちの 2 番船「*HMS Prince of Wales*」は、2019 年に就役した。空母 2 隻は Carrier Alliance コンソーシアムにより建造されたが、同 コンソーシアムは 2020 年初頭に解散した。Carrier Alliance は、Babcock、Thales、BAE Systems、英国国防省の連合である。コンソーシアムが解散したときには、PLM プラットフォームも閉鎖された。「ShareAspace」は、現在でもコンソーシアムのメンバーが作成した全ての設計データその他の文書を国防省向けに保管しており、アクセス権を持つパートナーとデータを共有している。

Saab Kockums と Damen Naval Schelde Shipbuilding は、「ShareAspace」を導入し、海軍プロジェクト向けに PLM と他の IT システムを統合している。また、BAE Systems と Kongsberg も、「ShareAspace」を使用して、陸上軍事機器ビジネスユニット間のデータコラボレーションを行っている。

16. NAPA (フィンランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	1	4	4	3	3	1	1	1	1	1	1

NAPA は、3D 船舶設計と船舶運航向けのソフトウェア、サービス、データ分析の開発を行っている。同社の設計ソリューションは 420 社の顧客企業を持ち、運航ソフトウェアは約 3,000 隻に搭載されている。また、クラウドベースの船隊サービスの契約者も増加している。

フィンランドに本拠とする同社は、1970 年代に Wärtsilä 造船所に設立された企業で、2014 年に日本海事協会に買収された。

17. ShipReality (ギリシャ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1

ShipReality は、主に船舶の脱炭素化を目的としたレトロフィット市場向けの産業メタバースプラットフォームを開発したギリシャのソフトウェア開発企業である。

本調査では、同社 CEO の Georgious Bourtzos に聞き取り調査を行った。

最初のビジネス対象市場は、コンプライアンスのために造船所におけるレトロフィットが必要な既存船である。そのため、同社はこれまで改造作業を行う造船所と船主向けのマーケティングを行ってきた。しかしながら、現在は新造を行う中小造船所向けにも事業を拡大することを検討している。

バラスト水処理装置と排ガス処理装置のレトロフィットが当初の需要であったため、ShipReality のプラットフォームは、以下の 3 要素を持つサイバー・フィジカル・インターフェイスを構築している。

- **3D 協働エンジニアリングプラットフォームによるジェネレーティブ・デザイン:**
「ShipXR」及び「ShipMR Design」、「ShipVR」ソフトウェアアプリケーションは、設計目標に基づいたジェネレーティブ・デザイン機能と、アズビルト化されたポイントクラウドデータと統合された 3D CAD モデルのリアルタイム複合現実ビジュアルを組み合わせる。2D 設計は、直接 2D モデルに変換される。複合現実には、Microsoft の「HoloLens」ヘッドセットを用いて可視化される。エンド・ツー・エンドの 3D プラットフォームは、船舶のメタバースの全ての要素を

ライフサイクルアプリケーションにリンクし、VR/AR/MR デジタルスレッドを作成する。マルチユーザー・トレーニングは、VR ヘッドセットとソフトウェアを用いて行われる

- **VR/AR/MR 駆動遠隔操作**：「ShipMR Remote」アプリケーションは、VR、AR、MR アプリケーションを同社のポイントクラウドデータベースとリンクし、様々な遠隔支援、遠隔操作アプリケーションをサポートする。
- **エネルギー効率計画・コンプライアンスソフトウェア**：「Ship-EEXI/CII」アプリケーションは、IMO 要求に基づいたエネルギー性能を自動的に算出し、報告する。

18. Fraiserline (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fraiserline は、内部及び外部環境でデータをキャプチャーするためのデジタル 3D スキャンとサーバイサービスのプロバイダーである。

Fraiserline は、クルーズ船運航企業向けに、船舶の構造設計、インテリア設計、建造進捗状況、改造ソリューションなどを提供する。

スキャンされたデータアウトプットは、ポイントクラウド、デジタルツイン、3D CAD プラットフォームとの互換性がある。

19. Pemamek (フィンランド)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	プロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	1	1	3	3	1	1	1	4	1	1	1	1

Pemamek は、造船業を含むいくつかの業界向けの溶接・製造オートメーションソリューションを提供するフィンランドの企業である。同社は、欧州内及びグローバルな造船所にシステムを提供した実績がある。

Pemamek の造船業向けのデジタル制御溶接・製造オートメーションソリューションは、鋼板保管から溶接自動化までの様々なオプションを提供している。

- **自動化部品製造**：開先加工、マーキング、平版とプロファイルのクリーニング。
- **T形鋼ライン**：T形鋼のデジタル制御・自動加工、取り付け、溶接。

- **マイクロパネル製造**：自動化された鋼板接合、補強材の据え付けと溶接、ロボット溶接ステーション。
- **パネルライン**：自動化されたラインは、鋼板接合ステーション、パネル切断・溶接、補強材据え付け・溶接ステーションを持つ。
- **フラットブロックライン**：これらのパネルは、T形鋼、支柱、円柱、ウェブなどのサブアセンブリーから構成される。フラットブロックラインは、マニピュレーション機能とマルチロボット溶接機能を持つ。
- **オープンブロックと艤装**：リフティング、マニピュレーション、溶接機能を持つステーションは、内部隔壁やストレートサイドシェルなどの大型ブロックの組立が可能である。
- **輸送ソリューション**：Pemamek の製造自動化ソリューションを支援するため、同社は溶接プラットフォーム、コンベヤー、回転式材料加工ツール、パネル、ブロック運搬トレイン、製造ユニット間で材料を輸送する遠隔操作及び自動運転車などを開発した。

Pemamek の顧客の欧州造船所は、Navantia、Chantiers de l'Atlantique、MV Werften、Astilleros Gondán、Western Baltija Shipbuilding などである。欧州以外の顧客としては、米国の Ingalls、Aker Philadelphia などがある。

2020 年、スペイン北部の Astilleros Gondán 造船所は、Pemamek の「PEMA VRWP-C」ソリューションを選んだ。同ソリューションは、小型・中型建造向けのマイクロパネル溶接を自動化するビジョンベースのロボットソリューションである。

BLRT Grupp 傘下の造船所であるリトアニア Western Baltija Shipbuilding は、10 年以上前に Pemamek の複数のソリューションを導入し、2019 年には、同社クライペダ造船所が「PEMA VRWP-C」を導入し、小型の機械が 14 人分の作業員の手作業を代替した。同社は、二重底溶接のために Pemamek のロボット溶接ソリューションを初期に導入している。同造船所は、Pemamek ソリューションにより、品質が向上し、溶接消耗品が 20%以上削減されたとしている。

同じく BLRT Grupp 傘下のエストニアの造船所 Marketex Marine は、二重底、プロファイル、ウェブ製造を改善するために、2 種類の Pemamek 自動化ソリューションを導入した。

2016 年、ドイツ MV Werften は、ロストック造船所とヴィスマール造船所の鉄鋼製造ラインの自動化レベルを向上し、製造工程を最適化するため、Pemamek のパネル、T 形鋼、プロファイルライン向けレーザーハイブリッド溶接技術への投資を行った。造船工程への自動化技術導入の恩恵としては、T 形鋼溶接ステーションでは 12~14 人の溶接工が、ロボット 8 基とオペレーター 1 人で代替され、また最終製品の欠陥も減少した。

フランス Chantiers de L'Atlantique も複数の Pemamek ソリューションを導入済みである。同社は、片面レーザーハイブリッド溶接・ミリング統合ステーションに投資し、パネル製造工程を自動化した。

さらに、Pemamek は、Fincantieri のいくつかの造船所にもロボット溶接ソリューション及びロボット溶接・ミリング統合ステーションの供給実績がある。

20. Kranendonk (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	1	1	3	3	1	1	1	4	1	1	1	1

Pemamekと同様に、Kranendonkは、切断・溶接工程をスマートロボット技術により自動化する。同社はインテリジェントなCADに接続された自動化ロボットソリューションを製造、設置し、造船及び他の産業工程の自動化をサポートする。Kranendonkのシステムは、Siemens NX、CADMATIC、AVEVA Marineなどの造船所の主要CAD/CAE/CAMソフトウェアアプリケーションから直接データのインポートが可能である。

Kranendonkの造船所向け切断・溶接自動化ソリューションは以下の通りである。

- **プロファイル切断ライン**：ロボット式切断セル、パーツを所定の位置に動かし、保管するロジスティック機器、専用製造ソフトウェアを持つ自動切断ライン。システムの全機械は、CADシステムに接続され、データを直接受信することができる。センサーとインテリジェントソフトウェアは正確な切断のために、自動的に切断機の測定と調整を行う。プラズマまたは酸素燃焼切断機が、プロファイルからあらゆる3D形状を正確に切断する。
- **開先加工システム**：適応型コンピューター数値制御ミリングマシンが、IMO塗料性能基準（PSPC）の直径2mm開先加工要求を満たすプレートの塗料用開先加工を行う。
- **ウェブ及びマイクロパネル溶接**：1基または複数基のロボット式溶接ユニットを持つウェブ溶接ガントリーは、マイクロパネル、ウェブ、隔壁向けの完全自動化溶接ソリューションである。オペレーターは、グラフィックユーザーインターフェイスを持つポータブルタッチスクリーンから作業を制御、監視することができる。
- **パネル溶接ライン**：パネル溶接ガントリーは、CADシステム及び製造自動化システムとのダイレクトインターフェイスを持つ完全自動溶接ソリューションである。Kranendonkは、CADモデルからデータを直接インポートし、パネル製造工程を制御する「RinasWeld」オペレーションソフトウェアを社内開発した。同社は、この自動化ソリューションにより、溶接アーク時間が全溶接作業時間の最大90%まで上昇したと報告している。欧州内の顧客の他、中国上海外高橋造船及び米国General Dynamics NASCOからパネル溶接ガントリー4基の受注実績がある。
- **GOLIATH ブロック溶接ライン**：「RinasWeld」オペレーションソフトウェアで制御されるダブルハル自動溶接ガントリー。現在何基が稼働中かは不明である。
- **ロボットパイプショップ**：パイプ保管とフランジ取り付けロボットを統合した自動パイプスプール製造システム。フランジアセンブリーセルは、ビジョン技術を備えたロボット溶接マシン4基で構成されている。これらのロボットは、様々な

チューブサイズへのフランジのピッキング、配置、仮付け溶接、および最終溶接を自動的に実行する。タック溶接後、4基のロボットがフランジの内側と外側を同時にパイプに最終溶接する。

- *Artemis* マイクロ溶接ガントリー：1基または2基のロボット溶接ヘッドを持つ小型自動溶接ガントリー。2基目のロボット溶接ヘッドの追加により、補強材の鋼板へのダブルフィレット溶接が可能になる。溶接ラインは、「ARAC5」制御システムで制御される。

21. Rotterdam Additive Manufacturing Laboratory (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	3	4	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1

ロッテルダム港、InnovationQuarter、RDMは、ワイヤーアーク付加製造（WAAM）技術を用いて、認証された大型、小型の金属部品をオンデマンドで製造することを目的に、ロッテルダム付加製造ラボラトリー（Rotterdam Additive Manufacturing Laboratory：RAMLAB）を共同設立した。

RAMLABは、最先端のWAAM技術を持つ欧州組織のひとつである。

型式承認を取得した世界初の3D印刷製造の船用プロペラ「WAAMPeller」は、2017年にDamenの港湾タグボートに搭載された。RAMLABで3D印刷製造された「WAAMPeller」は、トリプルブレードプロペラで、WAAM技術を用いて298レイヤーから積層製造された。WAAMプロセスでは、ニッケル・アルミニウム・ブロンズ合金のワイヤーがアークの熱により溶解された。同プロペラは、AutodeskのCADプラットフォームを用いてモデル化され、プリンティングステーションは同社の「Powermill」ソフトウェアで制御された。

付加製造を支援するため、RAMLABは、溶接ロボット及びコボットに統合可能な監視・制御システム「MaxQ」を開発した。

Valk Welding社と共同開発された「MaxQ」ロボットシステムは、溶接電源を融合したパナソニックの「TAWERS TL」及び「TAWERS TM」ロボットシステムを基礎としてい。Cavitar社の溶接カメラ「C300」がシステムに搭載され、製品の表面、溶接プール、アークをリアルタイムで可視化する。

「MaxQ」は、金属パーツの自動修理システムであり、RAMLABの「MaxQ」監視・制御システムとTechman社の「TM14」協働ロボット及びMiller社の「Auto-Continuum 350」溶接電源を組み合わせている。Techmanは、ハードウェアプラットフォームとソフトウェアプラットフォームを統合する内蔵ビジョンシステムを搭載したロボットアームを持つ。ロボットビジョンは、機械がビジュアルデータを見て、判断する機能を与える。その結果、印刷のセットアップや測定における人間の関与が軽減する。

RAMLAB は、以下のように付加製造の 8 段階の工程を開発した。

- どのパーツを印刷するか、どのような認証が必要かを選ぶ。
- WAAM 設計ルールに従って CAD モデルを作成。モデルを「MaxQ」ウェブアプリにアップロード。
- 溶接スレッドを製造する Voestalpine 及び Lincoln Electric と協働し、必要な機械的特性を満たすワイヤーフィードバックを選ぶ。RAMLAB が試験済みの材料は、最大 500°C で機能する耐摩耗性コバルト基合金「STELLITE 6」、海水に対する耐腐食性がある銅合金「CUNI8AL6」、高強度で低密度のチタン合金「T16AL4V」、耐腐食性合金「AISI 316L」、構造物用高強度鋼「S420」、高強度鋼「S690」、軽量構造物用鋼「X90」である。RAMLAB は、ニッケル合金「718」、「625」、「INVAR 36」の試験も行っている。
- 「MaxQ」ウェブアプリは、溶接ロボットがたどるツールパスを作成する。ツールパスが溶接ロボットにアップロードされた後、製造が開始される。
- 「MaxQ」システムは、製造を監視、制御し、分析と保存のための製造品質データを収集する。
- 製品の要求に応じて、ミリングや熱処理などの製造後の処理を行う。
- 品質試験と認証要求に応じて、非破壊試験または破壊試験を行う。
- 全行程はデジタル制御されているため、工程の最後には全工程のデジタル及び書面での記録が作成される。

「WAAMpeller」の認証では、RAMLAB と Bureau Veritas は、CEA List の非破壊試験ロボットを用いて連続的に製造を監視した。

RAMLAB は、ロッテルダム港が、船用パーツの 3D 印刷の可能性に関するオランダの研究開発プロジェクトに参加した後に設立された。同プロジェクトでは、3 つの異なる技術を用いてスペアパーツの製造を行った。3 つの技術は、①砂型 casting T コネクターによる砂型の 3D 印刷、②粉末焼結技術による冷却バルブとヒンジの製造、③指向性エネルギー粉末堆積法によるスペーサリングとプロペラの製造である。ロッテルダム港は WAAM 技術に焦点を当て、同技術の開発を支援するための数件の研究開発プロジェクトを実施した。

「WAAMTOP」プロジェクトでは、大型チタン製パーツの 3D 印刷ソリューションを開発し、船用プロペラの製造において実用化した。

RAMLAB は、現在進行中のワイヤーアーク技術に関する EU Horizon 2020 プログラム助成プロジェクト「Grade2XL」に参加している。他の参加企業・組織は、Naval Group、MAN Energy Solutions、Valk Welding、Lincoln Electric、Voestalpine Böhler Welding、Air Products、Bureau Veritas、デルフト工科大学、デンマーク工科大学である。プロジェクトの作業のひとつは船用プロペラの 3D 印刷で、RAMLAB は MAN Energy Solutions と共同研究を行っている。また、RAMLAB は、ステンレス鋼製パーツの型、複合材の型、鋼製パーツの成形型の 3D 印刷、熱成形型の修理などに関する研究開発も行っている。

RAMLAB とデルフト、アイントホーフェン、フローニンゲンの工科大学は、WAAM 技術による大型金属部品の付加製造に関する研究開発プロジェクト「AiM2XL」で協働している。同プロジェクトは、WAAM 技術で用いられる材料の研究に焦点を当てている。

RAMLAB は、スマート製造に関する南ホラント州のデジタル技術振興プログラム「SMITZH」のメンバーである。「SMITZH」は、EUの欧州デジタルイノベーションハブのひとつである。同プログラムでは、RAMLAB は、WAAM 技術で製造したクレーンフックの製造と鋳型の修理の実証試験を行った。

22. 10XL (オランダ)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	3	4	1	3	3	1	3	1	1	4	1	1	1

10XL は、熱可塑性樹脂プリンターで 3D 印刷されたプロトタイプ、型、最終製品を製造する付加製造請負企業である。同社のプリンターには、合成ポリマーやバイオベースの材料も使用できる。

10XL は、コスト効率の高いデジタル化、自動化されたモジュール型船舶建造を目的に、デジタル技術を開発、促進する EU 助成研究開発プロジェクト「FIBRE4YARDS」に参加している。2021 年に開始されたこの 3 年間プロジェクトは、造船用の繊維複合材に焦点を当てている。同プロジェクトは、高度に自動化された製造技術に基づく安全性の高いデジタルエンジニアリングとデータ共有概念を開発し、試験を行う。また、新デジタルエンジニアリング一つ及び分析シミュレーションツールを開発し、モジュール型船舶建造を支援する。さらに、新技術の産業向けの商業化を促進するための知的財産フレームワークを構築する。同プロジェクトは、産業パートナーである Naval Group と Bureau Veritas が支援している。

23. Sculpteo (フランス)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	3	4	1	3	1	1	3	1	1	1	4	1	1

10XL と同様に、Sculpteo も 3D 印刷サービスのオンライン請負企業である。同社はパリとサンフランシスコの製造拠点に 30 基以上の 3D プリンターを有し、75 種類の材料の組み合わせを提供し、ひとつの部品のプロトタイプから、産業規模の部品生産までを受注している。船用セクター向けには、Sculpteo は、現在最大 70 cm までの長さの部品を一度に製造できる。

顧客は、Sculpteo のオンラインプラットフォームに部品の 3D 印刷可能なファイルをアップロードし、3D 部品の材料と必要な仕上げを選択すると、瞬時に見積もりを提示される。発注された部品は 3D 印刷され、郵送される。

Sculpteo は、船用向けの受注実績として、水中ドローンのプロトタイプ、ヨットの船隊、船舶のスペアパーツを挙げている。

24. Create it REAL (デンマーク)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	3	4	1	3	1	1	3	1	1	4	1	1	1

Create it REAL 社は、欧州の 3D 印刷向けソフトウェア開発企業の一例である。

同社は、スライサー（スライス処理）ソフトウェアの開発を行っている。物体を 3D 印刷するためには、まず 3D CAD ファイルを作成し、それを薄い層に「スライス」して、プリンターに送信する。

Create it REAL は、本報告書で前述した「Green Ship of the Future」コンソーシアムのメンバーで、2017 年には数隻の海洋船の船内でスペアパーツの 3D 印刷を行うパイロットプロジェクトに参加した。

セキュリティの高いクラウドベースのアプリケーションは、プリントされるパーツの暗号化されたデータファイルを選ぶように試験を行った。これは知的財産権の保護とスペアパーツがオリジナルメーカーの許可またはライセンスフィーを支払わずに使用されることを阻止するための重要な機能である。

Create it REAL は、この試験用に熱溶解積層法（FDM）光造形（SLA）技術をベースとしたプリンターを提供した。また、トレーニングツールとビデオも提供した。他のプロジェクトパートナーは、J. Lauritzen、Maersk Tankers、Maersk Drilling、MAN Energy Solutions、DNV である。

Create it REAL は、2020 年に、この試験の成功のカギは、金属粉を溶解したフィラメントワイヤーを用いた金属 FDM 印刷であったとし、金属 FDM プリンターは SLS（粉末焼結積層造形）プリンターの複雑さなしに、僅かなコストで金属部品を製造できたと報告している。

25. Bureau Veritas (フランス)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	3	3	4	3	2	3	3	4	1	4

本調査では、デジタルソリューション・トランスフォーメーション部門のダイレクター Tihomir Kezic 及び SmartShip 部門のマネージャー Vincent Joly に聞き取り調査を行った。

Bureau Veritas (BV) は、紙の書類からデジタル書式への変更を 1996 年に開始した。同社はデジタルソリューションの開発を続けてきたが、それらの多くはスタンドアローンのアプリケーションであった。従来、船舶の情報は最低 2 つのデータベースに保存されていた。ひとつめのデータベースは、製図検査、機器・機械検査、新造船工程の検査に関するデータが保存され、もうひとつは、引渡し後の船舶の全情報を含む「Ships in Service」データベースである。

BV グループは、船舶の初期設計から解撤の船級関連のデジタルスレッド、即ちゆりかごから墓場までの情報をひとつのデータベースとして維持する新たなデジタル協働プラットフォームを開発中である。

BV は、デジタルモデリング、構造設計の検討とコラボレーションのために、Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE」プラットフォームと「Designed for the SEA」モジュールを選択した。

また、BV は、「3DEXPERIENCE」を用いて、2018 年に Naval Group と共同で、3D 船級コンセプトを開発した。その目的は、設計検討のための 2D 製図作成の必要性を排除することにより造船所の作業量を削減し、同時に関係者がひとつ 3D データソースを共有することにより造船工程の効率を向上させることであった。

BV は、デジタル船級の共通基準の構築を目的とした「Open Classification Exchange」(OCX) コンソーシアムのメンバーである。OCX のファイル交換標準により、BV は 3D モデル検討数を増やすことができる。OCX 標準が設定される前は、多くの造船所は船体のラインや形状の 3D モデルの共有には消極的であったが、OCX 標準とともに 3D 製図を利用した検査数は増加している。

BV にとって仮想現実とはコア技術ではなく、特に設計の検査には必要性が少ない。一方、拡張現実とは、造船所及び船舶環境において広く利用されている。

BV は、2020 年以來、デジタルカメラを搭載したドローンを船舶検査に利用している。デジタルスキャナーを搭載したドローンは、狭くて届きにくいスペースにおける検査に活用されている。その一例としては、AI とデジタルスキャンされたデータを組み合わせ、貨物タンクの腐食度を測定している。ドローンチームは、通常ドローンオペレーターと検査官の 2 人組である。

BV は、デジタル技術によって、船舶運航者が機械のメンテナンスを最適化することを支援している。機械のデジタルメンテナンスのベーシックレベルは、メーカーが推奨する

稼働時間に基づいて決定された計画的メンテナンスソフトウェアである。デジタル化の次のレベルは、メーカーの限界値と ISO 標準に対する機械・機器の監視データの分析に基づくコンディションベースのメンテナンスである。最適化された最新のメンテナンス手法は、機器・機械の時系列的コンディションベースのデータを入力された人工知能が状態と挙動を予測するという予測的メンテナンスである。

BV は、以下のような EU 研究開発プロジェクトに参加している。

- **HOLISHIP** : Navantia の項で詳細を記述。
- **FIBRE4YARDS** : 2021 年に開始されたこの 3 年間プロジェクトは、造船所の繊維複合材の利用に焦点を当てている。プロジェクトでは、高度に自動化された製造技術に基づく高セキュリティのデジタルエンジニアリングと製造データ共有コンセプトの開発及び試験を行う。また、モジュール式造船工程をサポートする新デジタルエンジニアリングと分析シミュレーションツールの開発と試験を行う。さらに、新技術の産業向けの商業化を促進する知的財産権の枠組みを構築する。
- **NAVAIS** : 最近完了した NAVAIS プロジェクトは、Dassault Systèmes の「3DEXPERIENCE」プラットフォームを用いて、型式承認取得済みの事前設計された製品設計モジュールと製品サポートデータライブラリーを開発し、高付加価値で複雑な高度特殊船の建造をサポートすることを目的としていた。プロジェクトでは、定員 400 人／車両 120 台のバッテリー駆動両頭型フェリーと多目的養殖作業船の 2 船種のデジタルツインを開発し、試験を行った。
- **FLARE** : 2022 年 11 月に完了した 2 年半プロジェクト「FLARE」では、新造船及び既存船の浸水リスクのアセスメントとコントロールを行うリスクベース手法を開発した。同プロジェクトは、IMO の関連規制にリスクベース手法を導入することを提案している。
- **Grade 2XL** : 同プロジェクトの目的のひとつは、認証可能な船用 3D 印刷部品に関するソリューションの開発である。BV は、ワイヤーアーク付加製造法は、製造中の連続的な非破壊試験が可能であるとしている。BV は、Naval Group と RAMLAB が製造した 3D 印刷プロペラを承認した。

BV は、いくつかのセクターにおいてブロックチェーン技術の研究を行っている。しかしながら、海事セクターのデジタル認証におけるブロックチェーン技術の利用方法は発表されていない。

26. DNV（ノルウェー）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	1	4

BVと同様に、DNVも全事業のデジタルトランスフォーメーションを開始している。

ブロックチェーン技術は、デジタル認証の信頼性を確保するために用いられている。船級認証はデジタル作成され、パブリックなVEブロックチェーンに保管される。このプロセスでは、認証が発行された時点でデータはデジタル化され、デジタルIDナンバーが各認証に与えられる。このように全ての認証にはタグが付けられ、追跡が可能である。認証の原本は、ブロックチェーン内のコンピューターネットワーク内に安全に保存される。全ての認証はQRコードを持ち、コードはスマートフォンでスキャンすることができる。ブロックチェーンではルックアップ（検索）が可能で、企業認証を証明するために認証の詳細が表示される。

同社の全ての管理システム、製品、サプライチェーン認証は安全なプライベートブロックチェーンに保存される。ブロックチェーンは、認証が有効で最新であることを即時に証明する。

DNVはツールの自社開発を行うと同時に、Siemensの「Teamcenter」PLMアプリケーションや「STAR-CCM+」CFDソフトウェアなど他企業が開発したソフトウェアも導入している。

社内開発された船体設計・分析ソフトウェア「Nauticus」は、最も利用されている3D設計ソフトウェアと統合し、275社以上の造船所と設計企業に導入されている。

DNVのデジタルサービス改革のバックボーンは、安全性の高いクラウドベースのデータ収集プラットフォーム「Veracity」である。同プラットフォームは船用、石油ガス、エネルギーセクターに200,000以上のユーザーを持つ。同プラットフォームはいくつかのモジュールで構成されている。

「Veracity」ポータルはDNVの全デジタルサービスへのシングルエントリーポイントである。同ポータルを用いて、技術専門家、デジタル発行物、保存された全ての船級認証へのダイレクトアクセスと、サーベイの予約が可能である。

リモート検査は、DNV船級の船舶の特定の検査に利用可能である。リモートサーベイチームは、DNVのハンブルク、シンガポール、ヒューストン、ピレウスの各事務所を拠点としている。リモートサーベイは、船舶のセンサーが収集したデータ、画像、ビデオ、書類、船員と技術部門からのインプットを元に検査を行う。

リモート検査は、メーカーのサイトにおける材料や部品の検査、認証試験、承認のサポートにも利用可能である。

「Veracity Connect」モジュールは、船舶に搭載されたセンサーから収集されたデータの分析と表示を行う船隊管理及び船隊性能・状態監視ツールである。このモジュールは、

計画的メンテナンス、調達管理、船舶の安全性管理、クルー管理、船体の健全性管理、乾ドック・船体修理、運航データ解析などを行うモジュール型ソリューションである「ShipManager」プラットフォームとは異なる。

「Deep Search」モジュールは、画像とテキストのリアルタイムサーチを支援する AI 駆動のアプリケーションである。

「Veracity Adapter for Power BI」モジュールにより、ユーザーは、ビジネスインテリジェンス・ダッシュボードを作成、組織内外で共有し、報告することができる。この機能は、特に IMO や EU の排出報告要求に適している。

「Veracity Connected」は、タブレットやスマートフォンで利用できる Veracity 製品向けのモバイルアプリである。

DNV は、デジタルトランスフォーメーション部門を設け、主に同社の「スマート船舶 (smart vessel)」船級及びサイバーセキュリティノーテーションをベースとした支援サービスを提供している。これらのサービスは、戦略、スマート船隊、スマート船隊管理、スマート運航という 4 つのトランスフォーメーション分野に焦点を当てている。

さらに、DNV は、仮想、拡張、複合現実技術とデジタルツインの組み合わせを活用している。

BV と同様に、DNV は船体構造の検査及びバラスタタンク、貨物タンク、貨物艙などのコーティングの検査にドローンを活用している。ドローン検査は、グディニャ (ポーランド)、ドバイ、シンガポール、ヒューストンで利用可能である。

BV と同様に、DNV は以下のような EU 支援共同研究開発プロジェクトに参加している。

- **HOLISHIP** : 詳細は Navantia の項を参照。
- **NEXUS** : 2021 年に完了した「NEXUS」プロジェクトは、次世代洋上風力発電施設サービスオペレーション船の概念設計、シミュレーション、モデル化、サイバーセキュリティの手法を開発し、試験を行った。
- **FLARE** : BV の項を参照。
- **SafePASS** : 2022 年 12 月に終了する同プロジェクトでは、客船向けの統合避難機器システムプラットフォームを開発し、実証試験を行う。このためには群衆シミュレーション、動的避難ルート計画アプリケーション、スマートモバイルデバイス、大型客船向けの使いやすい次世代人命救助装置などの開発を行う。
- **SEACo** : 2021 年 9 月に開始された「SEACo」プロジェクトでは、デジタルコラボレーションを促進する船用システム向けの使いやすく信頼性の高いコシミュレーション (協調シミュレーション) を開発する。
- **TwinShip** : 自動運航船の実現を支援するため、同プロジェクトでは、デジタルツインベースのオープンバーチャルシミュレーターを用いて設計、運航、ライフサイクルサービスサポートなどに関するデジタルコラボレーションツールを開発する。
- **SEAOPS** : この DNV 主導のプロジェクトでは、自動化が進む延縄漁船のシミュレーションベースの試験を行う。

27. Lloyd's Register (英国)

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	3	4	4	4	4	4	1	3	3	4	1	3

BV や DNV など他の欧州船級協会と同様、Lloyd's Register (LR) も船級及び認証プロセスのデジタルトランスフォーメーションを行っている。

BV、DNV と同じく、LR も LR 船級を持つ船舶向けにデジタル認証及び遠隔検査を提供している。

また、LR もドローンを使った鋼製構造とタンク及び貨物艙の塗装の検査を行っている。

海事イノベーションコンサルタント Thetius と共同で、LR は最近、海事セクターへの AI の導入に関する報告書を発表した。AI 技術は、船舶設計、建造からインテリジェントな自動運航までを対象とする。同報告書では、2022 年にはグローバルな海事産業において、9 億 3,100 万ドルが AI ソリューションに投資されると予測している。また、海事産業の AI 投資は今後も年率 23% で伸び、2027 年には 27 億ドルとなると予想している。

LR の船用パフォーマンスサービス部門のダイレクター Andy McKeran によると、LR の子会社 i4 Insight を通じて、同部門は最終的には船舶の性能を向上させる船舶最適化への AI の利用方法の数多くの開発実績がある。一例としては、従来のデータ解析方法は、船舶データの僅か 10% のみを参照しているが、LR の AI モデルを用いた場合、ほぼ 100% のデータを参照し、即時処理が可能である。これにより、船舶の燃料消費、トリム、船体汚損、電力消費などに関する非常に精度の高い性能を知ることができる。

「i4 Insight」プラットフォームは、LR 船級の船舶のオーナー向けのサービスとして拡大する計画である。これは安全なクラウドベースの船隊最適化プラットフォームで、気象状況、チャーター情報、航路計画最適化のための船舶性能と環境性能、燃料消費量の削減、排出削減、船舶のアベイラビリティ向上、メンテナンス要求の予測などに関する情報を処理する。

LR は、ブロックチェーン技術を活用したいくつかのソリューションを開発した。2018 年には、ブロックチェーンを用いた船級登録のプロトタイプを発表したが、海事セクターにおける同技術は導入の初期段階にあり、その普及はコンピューターインフラの構築とコネクティビティソリューションの開発に影響されると述べている。

2018 年、LR と現代重工業は、造船計画と初期設計作業へのブロックチェーン技術の導入に関する共同プロジェクトを行った。同プロジェクトは、造船プロジェクトの全情報が追跡可能、入手可能で透明性があり、全関係者の信頼を勝ち得るために記録され、造船契約の要求を満たす成果を出すことを目的としている。

LR は、AR 及び VR 技術を、遠隔地または海上のフィールドサービスを支援するコミュニケーションとコラボレーションに利用している。

また、BVやDNVと同様に、LRは以下のような多数の欧州共同研究開発プロジェクトに参加している。

- **HOLISHIP**：詳細は Navantia の項を参照。
- **SHIPLYS**：2019年に完了した同プロジェクトでは、海事産業向けの迅速で信頼性の高い多分野モデリングの新技术とソフトウェアの開発を行った。研究された新技术は、CAD/CAE システムのデータ回収と再利用、バーチャルプロトタイプングと意思決定分析、意思決定支援などである。
- **Current Direct**：2021年から2023年にかけて実施中の同プロジェクトでは、水上輸送向けの交換可能なコンテナ型バッテリーシステム及び「Energy as a Service (EaaS)」プラットフォームの開発と実証を行っている。開発されたシステムは、Kotug CityBarge 社がロッテルダム港で運航する E-Pusher 型廃棄物輸送バージで実証試験が行われる予定である。
- **STREAMLINE**：同プロジェクトでは、内陸船及びオフショア船向けの新推進概念の開発、モデル化、シミュレーションを行う CFD ツールを開発した。研究された技術は、「Walvistaart Pod」、複数のプロペラの組み合わせによる船体抵抗の低減、先進スクリュープロペラシステム、低速運航向けの高効率ウォータージェットシステム、先進ポッド式プロペラなどである。新ソリューションの商業化のためには、技術成熟のためのさらなる開発が必要である。
- **FLARE**：BVの項を参照。
- **LYNCEUS2MARKET**：2018年末に完了したこの3年間プロジェクトでは、大型旅客船内の安全な避難を実現するための旅客位置情報システムを開発した。開発され、試験された技術は、旅客の自動認識と点呼を行う携帯型デバイス、スマート位置特定キャビンキーカード、旅客位置特定ブレスレット、意思決定支援ソフトウェアなどである。プロジェクトでは、海中の旅客の発見のために、陸上または船舶から発進される全天候型無人自動航空機などである。
- **ROBINS**：2021年に完了した同プロジェクトの目的は、危険な場所などの船舶検査のためのロボットシステム及び自動化システムの導入促進であった。開発された新ソフトウェアツールは、3Dモデル、仮想現実、拡張現実を用いて画像とデータを処理する。このツールは、検査官に人間の視覚情報と同等の情報を提供する。プロジェクトでは、センサー、カメラ、非破壊測定ツールを内蔵したドローンとクローラープラットフォームの試験を行った。
- **ShipTest**：複数の非破壊検査企業と LR が協働した同プロジェクトは、船体の溶接損傷をリアルタイムで発見する完全自動レーザー誘導検査ロボット「Spectre-X」を開発し、試験を行った。

28. RINA（イタリア）

デジタル技術	IoT	デジタルツイン	VR AR	クラウド	ビッグデータ	AI	サイバーセキュリティ	ブロックチェーン	ロボット	付加製造	RCV AUV	マイクログリッド	水平垂直統合
スコア	4	4	4	4	3	4	3	1	3	3	4	1	3

他の大手欧州船級協会と同様、RINA はコアとなるビジネスモデルにいくつかの主要デジタル技術を導入している。

RINA が提供しているデジタルツールには、「LEONARDO」ソフトウェアプラットフォームがある。「DRAW」アプリケーションは、造船所の製図承認を管理、監視する支援ツールである。「HULL」3D モジュールは、船体構造の有限要素解析に用いられる。

「INFO」アプリケーションは、文書及び認証のオンラインデータベースである。

運航中の船舶に関しては、RINA は、各種情報源からのデータを統合、分析する AI 支援のクラウドベースプラットフォーム「RINACUBE」を開発し、報告、コンプライアンス管理、意思決定を支援している。

「RINACUBE」ポートフォリオの一環として、RINA は、初期 3D モデル及び／または船舶のデジタルスキャンを用いてデジタルツインを作成している。他の船級協会と同様に、RINA は、船舶に搭載されたセンサーにより収集されたデータを分析し、意思決定を支援する独自の船隊管理ソフトウェア「RINACUBE OPTIMUM」を開発した。同ソフトウェアは、船体、プロペラ、主機の効率を分析し、最適なトリムと燃料消費をアドバイスするモジュール、用船契約に則した船舶の燃料消費を分析するモジュール、エンジンの状態を監視するモジュールを持つ。「RINACUBE 電子ログブック」は、油記録簿、貨物、廃棄物、オゾン減少、バラストに関するログデータの収集、報告、分析に用いられる。

「MRV-DCS」ウェブアプリケーションとともに、「RINACUBE」ツールは、IMO 及び EU の燃料効率と排出報告のコンプライアンスとコントロールを支援する。このクラウドベースのプラットフォームは、タブレットやスマートフォンからのリモートアクセスが可能である。

船主のコスト削減と脱炭素化への要求から、停泊中及び航行中の船舶の特定の船級検査において、遠隔検査の利用は増加している。現在、遠隔検査は、稼働中の機関の検査、文書の認証、マイナーな欠陥、海上の船舶の船底検査、無線検査、レイアップ中の船舶の検査などに用いられている。遠隔検査のハードウェア及びソフトウェア要求は、タブレットまたはモバイルデバイス、3G 以上のインターネット接続環境、「RINACUBE」のビデオストリーミング用「Kiber」アプリである。さらに、RINA は VRMedia と共同で、スマート遠隔検査用の「Kiber ヘルメット」を開発した。このヘルメットは、船内のエンジニアまたは検査官向けのウェアラブルデバイスで、ユーザーを陸上の検査官または技術者と接続する。同ヘルメットは「Kiber Communication」ソフトウェアと「Kiber app」によりサポートされている。ユーザーは、高画質の画像と拡大画像をリアルタイムでキャ

プチャーすることができる。また、RINA は、検査作業を支援するためにドローンを利用している。

RINA は、付加製造に関するガイドラインを開発したが、現在のところ大型船用部品の船級に関するエビデンスは限定的である。

他の船級協会と同様に、RINA は食品安全性などの分野でブロックチェーン技術を活用しているが、船用分野におけるブロックチェーン技術の利用に関するエビデンスは少ない。

- *BiosFerA* : 11 企業・組織が傘下する同プロジェクトでは、船用及び航空産業向けに、合成ガスの発酵により生成されるバイオ燃料の開発と実証を行っている。
- *FLARE* : BV の項を参照。
- *ROBINS* : Lloyd's Register の項を参照。
- *SafePASS* : DNV の項を参照。

29. 塗料メーカー

デジタルトランスフォーメーションに関連して、Hempel、International Paint、Jotun などの船用塗料メーカーは、水中ドローンによる塗装性能の遠隔検査向けのハードウェア及びソフトウェアソリューションを開発中である。その一例として、International Paint は、AIS 追跡情報と AI を組み合わせ、船体への生物付着による船舶性能への影響の分析を行っている。

しかしながら、「インダストリー4.0」を実現するためのデジタル技術が新造船向けに導入されているというエビデンスは限定的である。

5. 研究機関・大学のデジタルトランスフォーメーションの取組状況

本報告書では、造船所、設計企業、船用メーカーと欧州の研究機関及び大学とのパートナーシップに言及してきた。本章では、欧州の数件の助成プログラムと、欧州プログラムの枠外で海事セクター向けの新技术及び概念の開発と試験を行っている 6 つの大学と研究機関の概要を述べる。大学と研究機関の多くは、研究目標達成のためにデジタル技術を利用している。

1. 水上輸送技術プラットフォーム (EU)

水上輸送技術プラットフォーム (Waterborne Technology Platform) は、EU が支援する技術協働プラットフォームで、全てのステークホルダー、即ち造船所、船主、船級協会、船用メーカー、サービス提供企業、大学、研究機関、EU 加盟国をつなぐものである。同プログラムのハイレベルの目標は、気候変動、エネルギー効率、デジタル化などを含む海事セクターに影響を与えるグローバルなトレンドへの対応である。多くの研究開発プロジェクトに共通するテーマは、脱炭素化目標の達成に向けた技術や概念の開発と試験を支援するデジタルモデリング技術とシミュレーション技術の導入である。デジタルツイン、センサーベースのデータ収集、IoT、ビッグデータ解析、クラウドコンピューティング、無人及び半無人航行技術などが、各プロジェクトで開発される技術をサポートしている。

水上輸送技術プラットフォーム内の研究開発プロジェクトは次のように分類される：① コーディネーションプロジェクト、② 船舶設計と建造、③ デジタル化と自動化、④ エネルギー効率化とゼロエミッション、⑤ 船舶及び海上輸送の安全性、⑥ 海洋の理解と保護。

特に海事セクターのデジタル化に関連の深い研究開発プロジェクトの概要を以下に述べる。そのいくつかは、本報告書で取り上げた造船所や設計企業の活動として既に言及されている。

- **AUTOSHIP**: 同プロジェクトは、遠隔操作及び自動航行船 2 隻及び関連する陸上制御・運航インフラの建造と運用を行う。1 隻は短距離海上輸送船、もう 1 隻は内陸水路船である。同プロジェクトでは、デジタル設計、シミュレーション、コスト分析ツールと自動運航の手法を開発する。実証船 2 隻の技術パッケージは、遠隔操作及び自動運航、予測的コンディションベースのモニタリング、船陸間の通信技術のサイバーセキュリティーなどの技術を含む。開発される内陸水路船は、アントワープ港を起点に常時無人運航を行うパレットシャトルバージである。短距離海運船は、ノルウェー沿岸の工場から魚餌を輸送する Eidsvaag 社の輸送船で、半自動運航を行う。プロジェクト参加企業・組織は、SINTEF、ストラトクライド大学、Kongsberg Group の子会社である Kongsberg Maritime、Kongsberg Digital、Kongsberg Defence & Aerospace である。
- **H2H**: SINTEF と Kongsberg が主導する「Hull-to-Hull (H2H)」プロジェクトでは、船舶が他の航行中及び停泊中の船舶及び物体と近接して航行する場合の安全性を確保するためのソリューションを開発する。プロジェクトでは、欧州の静止衛星補強型衛星航法システム EGNOS 及び 欧州の全地球測位衛星システム

Galileo の静止衛星オーバーレイサービスを船舶の自動運航に活用し、ノルウェーのトロンハイムフィヨルドにおける自動運航と内陸水路における自動運航及び自動係船のセンサーパッケージの実証試験を同時に行う

- **MARINA** : 自動運航技術の開発を支援する民間の技術企業のコンソーシアム。プロジェクトでは、リアルタイムの情報処理、物体の高度検知技術、AI を利用した物体分類技術を組み合わせ、高速航行中の衝突回避のための船用レーザー技術の開発を行う。
- **VesselAI** : 国立アテネ工科大学、エーゲ海大学、ヘルシンキ大学が主導する「VesselAI」プロジェクトでは、AI、ビッグデータ解析、クラウドコンピューティングを活用し、船舶の挙動のモデル化と予測を行うデータ駆動のデジタルツインフレームワークを構築する。プロジェクトの 4 つの作業は、①グローバル海運のモニタリングと管理のための船舶のモデル化、②最適化された船舶エネルギーシステム設計、③短距離輸送船の自動運航、④運航最適化の自動化、である。プロジェクトに参加している他の研究組織は SINTEF、VTT、ピレウス大学、中心的企業は Kongsberg、Maasterly、Marine Traffic である。
- **MOSES** : 短距離海運向けの自動運航船とロジスティックス技術の開発、モデル化、シミュレーション、試験を 2023 年半ばまでに行う。船舶の設計と、バージに搭載された MacGregor のロボットコンテナ処理システムの開発も行う。自動化システムの設計は、国立アテネ工科大学、MARIN、TNO などが担当している。
- **ARICE** : この砕氷型北極調査船プロジェクト「ARICE」では、15 の研究パートナーが、プロジェクトに参加する全船舶からの情報を収集する革新的な 3D バーチャル砕氷船を用いたバーチャルなリモートデータアクセスを通じ、北極海域調査のための船舶ベースの自動航行ソリューションの開発を行う。研究者は、船舶への物理的なアクセスなしに、仮想現実において実験環境を準備することができる。
- **COMPA 2GO** : 同プロジェクトでは、船舶の損傷を受けた、または腐食した配管及び構造を修理する as2con-alveus 社の COMPA 修繕システムの研究を行う。同システムは、従来の溶接方法よりも低コストで迅速に処理できるエポキシ樹脂を混合した炭素強化繊維プラスチックを用いる。修繕作業は、Dassault Systèmes の「CATIA」設計ソフトウェアと「COMPA」修理ソフトウェアを用いて計画とモデル化を行う。
- **FIBRE4YARDS** : 2021 年に開始されたこの 3 年間プロジェクトは、造船工程のデジタル化、自動化、モジュール化を通じて、造船所へのコスト効率の高い「インダストリー4.0」技術の導入を目的としている。特に、造船所の繊維複合材の利用に焦点を当てている。プロジェクトでは、高度に自動化された製造技術に基づく高セキュリティのデジタルエンジニアリングと製造データ共有コンセプトの開発及び試験を行う。また、モジュール式造船工程をサポートする新デジタルエンジニアリングと分析シミュレーションツールの開発と試験を行う。さらに、新技術の産業向けの商業化を促進する知的財産権の枠組みを構築する。同プロジェクトは Naval Group 及び Bureau Veritas が主導し、その他 International Centre for Numerical Methods in Engineering、Institute of Science and

Innovation in Mechanical and Industrial Engineering、ウッチ工科大学（ポーランド）、Jules Verne Institute が参加している。

- **HOLISHIP**：船舶設計の全体的な最適化に関する同プロジェクトは、統合ライフサイクル設計ソフトウェア、バーチャル船舶運航試験・シミュレーションプラットフォーム、船舶からの革新的なフィードバックによる設計改善などを通じて設計所要時間を短縮することを目的としている。その目標は「明日の船舶」を構築することである。プロジェクトには 40 の企業・組織が参加している。研究機関・大学としては MARIN、アテネ工科大学、SINTEF、Fraunhofer、CETENA、企業としては Danaos Shipping、Meyer Werft、Fincantieri、Navantia、Naval Group、Damen、Rolls-Royce、AVEVA Marine、DNV、Bureau Veritas、Lloyd's Register などが参加している。
- **Mari4_YARD**：AIMEN（スペイン北東部冶金研究協会）がコーディネーターを務める同プロジェクトの実施期間は 2020～2024 年で、ハンブルク工科大学、産業ロボットメーカー Canonical Robots 及び Gizelis Robotics、造船所 Brodosplit 及び Nodosa など 18 の企業・組織が参加している。同プロジェクトでは、IoT、モバイル及びユビキタスコンピューターツール、ロボットを活用して、中小造船所の柔軟性の高いモジュール式製造へのユーザー中心のソリューションを開発することを目的としている。プロジェクトの主要 5 目標は、直覚的ヒューマン・ロボット協働ソリューション、造船作業員をサポートする携帯 AR/MR ツール、AI 支援外骨格、作業員の重労働を助ける作業員中心のツールの開発と試験、及び「Mari4_YARD」プロジェクト手法の中小造船所での試験である。
- **RESURGAM**：現在進行中の同プロジェクトでは、水中ロボットサーベイシステムと摩擦攪拌接合のツールソリューションを組み合わせて、高強度でひずみが少なく、環境負荷の低い造船及び修繕向けの鉄鋼溶接技術を開発する。開発されるシステムは、造船工程におけるブロック溶接、または乾ドックなしに船舶を修繕するために、既存の CNC 溶接機へのレトロフィットが可能である。13 のプロジェクト参加企業・組織には、デルフト工科大学、リマリック大学、ランカスター大学、及び複数の溶接技術企業が含まれる。英国ランカスター大学は、摩擦攪拌接合ロボット向けのデジタルコネクティビティプラットフォームを開発中である。
- **SHIPLYS**：2019 年に完了した同プロジェクトでは、海事産業向けの迅速で信頼性の高い他分野モデリングを行う新技術とソフトウェアの開発を目的としていた。研究された技術は、CAD/CAE システムのデータ収集と再利用、バーチャルプロトタイプと決定分析、意思決定支援などである。プロジェクトに参加した 12 企業・組織には、ストラトクライド大学、国立アテネ工科大学、BMT Group、Lloyd's Register などが含まれる。
- **SAFEMODE**：2022 年 11 月に完了した AI 駆動ビッグデータ解析に関する 2 年半プロジェクト。その目的は、ヒューマンリスクファクターの評価を改良したリスクベースの設計及び運航フレームワークの開発である。プロジェクトには 29 企業・組織が参加した。研究機関・大学としては、ストラトクライド大学、国立アテネ工科大学、フランス国立民間航空学校、シャルマース工科大学、ローマスピ

ノザ大学、パトラス大学、デ・モンフォート大学、アムステルダム大学、イスタンブール工科大学、世界海事大学、CETENA、武漢理工大学水上輸送安全研究所、企業では、Kongsberg Group、CALMAC Ferriesなどが参加した。

- **ROBINS**：2021年に完了した同プロジェクトは、船舶検査の危険箇所などへのロボット及び自動化システムの導入を促進することを目的としていた。プロジェクトでは、3Dモデルと仮想現実、拡張現実を用いた画像とデータの処理を行う新ソフトウェアツールを開発した。開発されたツールにより、検査官は人間の直接目視と同程度の情報を得ることができる。プロジェクトでは、センサー、カメラ、非破壊測定ツールを搭載したドローンとクローラープラットフォームの試験を行った。参加企業・組織には、ジェノヴァ大学 UNIGE、バレアレス諸島大学、RINA、Lloyd's Registerなどが参加した。
- **ShipTest**：複数の非破壊検査企業とLloyd's Registerが協働した同プロジェクトは、船体の溶接損傷をリアルタイムで発見する完全自動レーザー誘導検査ロボット「Spectre-X」を開発し、試験を行った。ギリシャのペラマ造船所で行った概念試験は成功し、プロジェクトは2019年に完了した。

2. The DeepTech Alliance (EU)

DeepTech Allianceは、アライアンスとイノベーションプラットフォームを通じたデジタル技術の起業家と投資家の連携を目的とした汎欧州構想である。この構想は海事産業に限ったものではないが、アライアンスは海事セクターにも適用可能な技術の開発も行い、デンマーク工科大学のFuturebox技術インキュベーター、スウェーデンTHINGS、ノルウェーKongsberg Innovation、ミュンヘン工科大学のUnternehmerTUM、フランスHello Tomorrow、スイスieLab、イタリアPolitecnico di MilanoのPolihub、スペインThe Collider、イスラエルDriveなどのイノベーションハブが参加している。産業パートナーは、Alfa Laval、TechnipFMC、IHIなどである。

110社の申請企業のうち、予測的メンテナンス、品質管理、プロセス最適化、システム統合、環境センサー、作業支援、製造技術の分野で活動する以下のスタートアップ企業18社が、自社技術の開発と商業化への支援対象に選ばれた。

- **Tunable** (ノルウェー)：ガス運搬船のボイルオフガスのリアルタイムマルチガスアナライザー、排出制御、エンジン制御。
- **Beamlar** (オランダ)：金属、複合材、ポリマーの産業3D印刷サービスと顧客をつなぐオンデマンドプラットフォームの開発。
- **Feelit Technologies** (イスラエル)：印刷されたナノ技術ステッカーセンサー、ワイヤレスエッジデバイス、解析アプリケーションを組み合わせ、産業プロセスシステムの故障を発見、予測するインクベースの知覚技術。メーカーを対象市場のひとつとしている。
- **Trenlog.io** (デンマーク)：CNC工作機などの製造監視、解析、メンテナンス計画。
- **Hexastate** (デンマーク)：完全自動化AI解析を活用したポンプ、モーター、ベアリング、HVACシステムのスマートメンテナンスアプリケーション。

- *AiSight* (ドイツ) : 産業金属加工及び CNC 工作機の予測的メンテナンス計画。
- *Asystom* (イタリア) : 産業機器向けの自動予測的メンテナンスソリューション。
- *FactoryMind* (ノルウェー) : 主にプロセス分野及び薬品分野の工場向けの AI ソリューション。
- *Stream Analyze* (スウェーデン) : あらゆるデバイスをスマート化する AI 搭載技術。
- *FotoNow-AI* (ドイツ) : AI ベースの品質保証。
- *IOIMACHINES* (デンマーク) : 照明、レンズ、イメージセンサー、ビジョン処理、自動化、通信デバイスを含むマシンビジョン技術システム。
- *Sentian.AI* (スウェーデン) : AI により最適化されたプロセスコントロール。
- *SIA Connect* (デンマーク) : デバイスをクラウドと IT システムに接続する柔軟な高速エッジゲートウェイ。
- *Trisense* (ノルウェー) : センサーとクラウドコンピューティングソリューションを活用した配管内の湿度と水分のリアルタイム検知。
- *Blinkin* (ドイツ) : トレーニングをサポートするスマートフォン向け AI 支援アプリケーション。
- *KIT-AR* (ノルウェー) : AR 支援品質保証。
- *Lithium Lasers* (イタリア) : 工業材料加工向けの超短パルスリチウムレーザー。
- *Phonic Vibes* (イタリア) : 高性能音響製品向けのノイズ軽減技術開発ソリューション。

3. MARIN (オランダ)

オランダの海事研究所 Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) は、海事セクター及び政府向けの流体力学・船舶の研究を行っている。

本章で前述した研究活動以外では、MARIN の技術開発活動は、①主要デジタル化技術、②海事研究プログラム、③ミッション・オリエンテッド (使命指向) 型研究プログラムの 3 件に大別される。

MARIN は、以下の 4 件を主要デジタル化技術としている。

- **数値流体力学 (CFD)** : 船舶周辺の流体のシミュレーションを行う高精度で高速な CFD ソフトウェアの開発。
- **時間領域シミュレーションと可視化** : 長期にわたる力と勢いのバランスを基礎とした船舶のモーションのシミュレーション。
- **測定と制御** : 新センサー技術、データ解析、ビジョンベースの測定、制御システムとの統合により、流体力学試験の測定と制御を支援する。
- **データサイエンスと AI** : 海事産業の新旧両方の問題を解決するデータ駆動技術の開発。

MARIN の 3 つの主要海事研究プログラムは以下の通りである。

- **抵抗と推進** : 燃料効率を改善する船体抵抗、推進力、キャビテーションの予測と評価技術を向上させる。その方策は、船体設計の最適化、運航及びシミュレーシ

ョンモデリング、キャビテーションモデリングの改良、シミュレーションツール及び性能最適化ツールの改良などである。

- **波とモーション**：海洋構造物の反応と運用限界を評価するための専用ツールと能力の開発。
- **操船**：海事産業が安全性と効率を評価、改善し、信頼性と精度の高い流体力学モデルを提供するための統合デジタルモデルの開発。この研究は、ミッション・オリエンテッド型研究プログラムと密接に関連している。

4. デルフト工科大学（オランダ）

デルフト工科大学（TU Delft）はオランダ最大の工科大学である。

同大学の海事・輸送技術学部の7件の研究テーマのうちの2件、即ち「未来の船舶と複雑な流体」及び「安全で複雑な自動運航船」が、特にデジタル技術に関連している。

「未来の船舶と複雑な流体」に関する研究テーマでは、流体力学性能のモデル化にCFD ソフトウェアツールを活用し、高速輸送船及び作業船としてのハイドロfoilの設計を開発している。また、従来設計の船舶の改良と、船舶及び波浪の高リスクの相関関係の研究を行っている。

「安全で複雑な自動運航船」に関する研究テーマでは、先進的船舶設計技術を開発し、複雑な自動運航船の設計者を支援する。デルフト工科大学は、自動運航船研究所（Autonomous Shipping Research Laboratory : RAS）を有し、自動運航船の試験に必要な設備を提供している

RAS は、以下のようなソリューションの研究を行っている。

- **船舶間コミュニケーション**：船舶間のコミュニケーションを改善することにより、水上輸送の安全性と効率を改善する。
- **完全電動船**：完全電動船の操縦性と燃料効率の向上及び排出削減を実現するインテリジェント制御を開発。同研究の産業パートナーは、Damen、Royal IHC などである。
- **サステナビリティ**：ハイブリッド燃料電池推進システムの研究。同研究の産業パートナーは、Wärtsilä、Royal IHC、De Vogt、Oceanco、Boskalis である。
- **欠陥耐性**：自動運航船の自己修復を保証するソリューション開発。
- **ハプティック（触感的）フィードバック**：遠隔操作オペレーターに船の直観的情報を提供するソリューションの開発。
- **内陸水路輸送とロジスティクス**：自動運航貨物輸送ネットワーク内で運航するバージによるコンテナ輸送の最適化。

RAS は、以下のような研究開発プロジェクトを支援する試験施設として利用されている。プロジェクトの多くは、欧州の内陸水路を航行する船舶の遠隔操作及び自動運航ソリューションの開発を目的としている。

- **Fieldlab 自動運航技術 (FAST)**：自動運航、AI、ロボットに関する技術提携と実験向けのオープンイノベーションシステム。同プロジェクトでは、自動運航船

に対する一般の理解と支援を得るために、フリッシンゲン港内を航行する自動運航フェリーを開発している。

- **AVATAR** : 2023年6月に完了するこのEU助成プロジェクトは、北海地域の内陸水路におけるパレット式輸送と廃棄物輸送にゼロエミッションの自動運航船の導入を促進することを目的としている。
- **AUTOBarge** : 同プロジェクトでは、スマートな内陸水路輸送における無人自動運航船向けのトレーニングプログラムを開発する。Kongsberg Maritime、Damenなどの産業パートナーがプロジェクト支援を行っている。
- **NOVIMOVE** : 同プロジェクトでは、バーチャルシミュレーション、モデル試験、フルスケールの実証試験を用いて、ライン・アルプス回廊の内陸水路におけるコンテナ輸送の効率化を実現する。デルフト工科大学が主導する同プロジェクトには、アントワープ・ブルージュ港、ロッテルダム港、スイスの内陸港が参加している。
- **NOVIMAR** : 2017~2021年期中に実施された同プロジェクトでは、有人船1隻がデジタル接続された複数の無人船を牽引するという「Vessel Train」概念の研究を行った。シミュレーションとモデル試験により、研究者は、関係者が同概念を実用化するための指針となる「Vessel Train」ハンドブックを作成した。
- **NOMES** : 同プロジェクトの焦点は、動力及び推進システム、エネルギー管理システム、陸上電力供給の研究を行い、港湾と河川舟運を脱炭素化することである。
- **TRiLOGy** : 同プロジェクトでは、都市部の水路において運航する電化船の船隊管理と自動運航に関するソリューションを開発している。プロジェクトでは、建設資材輸送船、及び水上タクシーという2船種概念を開発する。

5. サウサンプトン大学（英国）

サウサンプトン大学の海事研究所 Marine and Maritime Institute は、研究活動を9つのサブグループに分類している。そのうちインダストリー4.0と最も関連が深いサブグループは、ビッグデータとサイバーセキュリティ、船舶の設計と性能、ロボット工学と自動運航システム、材料、構造、試験である。

6. SINTEF（ノルウェー）

SINTEF は、官民セクター向けに研究開発を行う欧州最大の独立系研究機関のひとつである。SINTEF はノルウェー科学技術大学（NTNU）と提携し、ノルウェーの研究システムの要となっている。SINTEF と NTNU の協働により、30の研究センターと約200か所の実験室を含む幅広い研究設備の利用が可能である。

海事分野で SINTEF が焦点を当てている5つの研究開発分野は、以下の通りである。

- ①研究、設計、性能分析のための3D CFD 流体力学及び航空力学分析とシミュレーション、
- ②複雑な船用システムのコシミュレーション（デジタルコラボレーション）を行い、その結果を船舶設計、デジタルツイン、意思決定支援、運航計画、制御システムに適用する、
- ③電気・ハイブリッド船用動力システム、
- ④モデリングとシミュレーション、充電イ

ンフラをサポートする実験室試験と現地測定、⑤トロンハイムの試験施設における速力試験と現地測定。

SINTEF は、複雑な船用システムのシミュレーションに関する以下のようなプロジェクトに参加している。

- *オープンシミュレーションプラットフォーム*：SINTEF は同プラットフォームの主要メンバーである。詳細は **Damen** の項を参照。
- *SEACo*：2021 年 9 月に開始された同プロジェクトでは、デジタルコラボレーション促進のために、信頼性が高く、利用が容易な船用システムのコシミュレーションの開発を行っている。プロジェクトメンバーは、DNV、Kongsberg Maritime、Aukra Maritime、Equinor、NTNU である。
- *TwinShip*：自動運航船を焦点とした同プロジェクトでは、デジタルツインベースのオープンバーチャルシミュレーターを用いて自動運航船の設計、運航、ライフサイクルサービスに関するデジタル協働ツールを開発する。プロジェクトメンバーは、DNV、Kongsberg Maritime、Ålesund Knowledge Park (ÅKP)、NTNU である。
- *SeaOps*：DNV 主導の同プロジェクトでは、漁業セクターで自動化が進むはえ縄漁船向けのシミュレーションベースの試験を開発する。プロジェクトには、Brunvoll、NTNU、SINTEF などが参加している。

SINTEF は、いくつかのデジタル技術に関する多分野研究を行っている。これには、モビリティとロジスティクス、サイバーセキュリティ、IoT などの分野において航海、位置決定、人員と旅客の位置確認を支援する AI 技術、その他、通信、ロボット工学、自動化（船舶、ドローン）、センサー開発、製造、サステナブルな社会など分野の研究が含まれる。

Wilhelmsen Ships Service と Ivaldi のシンガポールにおけるスペアパーツの 3D 印刷手法の共同開発の実績をベースに、SINTEF は、2022～2025 年期中に Wilhelmsen Ships Service、Ivaldi、Kongsberg Maritime と共同で、船用スペアパーツの付加製造ソリューションの開発を行う。

7. ノルウェー科学技術大学（ノルウェー）

NTNU (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet：ノルウェー科学技術大学) は、ノルウェーで最も優れた科学技術大学である。同大学の 2014～2023 年戦略では、海事研究が主要戦略的研究分野のひとつである。海事研究において、NTNU は、操船、船舶設計、スマートエネルギーシステム、スマート運航、航路計画、安全性及びリスク管理などの分野の研究を行っている。デジタル技術は、NTNU の主要技術分野のひとつである。

NTNU は、ノルウェーの主要船用デジタルトランスフォーメーション技術である自動運航船の開発を支援している。NTNU は、Kongsberg、SINTEF、Maritime Robotics、トロンハイム港、ノルウェー海事局と共同で、トロンハイムフィヨルドの自動運航船試験海域において、自動運航船技術の開発を行っている。

NTNU と Rolls-Royce Marine は、Rolls-Royce University Technology Centre において協働している。同センターでは、商品化を視野にプロペラ、推進システム、船舶及び船用機器の設計に焦点を当てた研究を行っている。

また、Joint Centre of Excellence for Arctic Shipping and Operations は、NTNU、フィンランドのアアルト大学及びヘルシンキ大学、Memorial University of Newfoundland のコラボレーションで、ホリスティックなリスクベース手法により北極海域における航行の安全性を高めている。

NTNU は、Kongsberg Maritime、Equinor、DNV と共同で、北極海域で運航されるオフショア船のダイナミックポジショニングツールの開発、モデル化、シミュレーションを行った。このプロジェクトは、ノルウェーリサーチカウンシルが支援した。

NTNU は、エネルギー効率の高い船舶設計、及び水素や燃料電池を含む船舶向けの代替エネルギー開発に関するいくつかの共同開発プロジェクトにも参加している。

8. CEA（フランス）

フランスの原子力・代替エネルギー庁（Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives）である CEA は、科学、技術、鉱業分野における研究を行う公的機関である。CEA は、防衛とセキュリティ、産業技術、原子力エネルギー、再生可能エネルギーという 4 分野における研究開発プロジェクトを実施している。

CEA Tech は、CEA 組織内で技術研究を担当している。CEA Tech 内の海軍・海事産業部門は、艦艇及び商船向けの技術とロジスティックスの研究を行っている。

現在、CEA の研究の焦点となっている分野は、AI、バッテリー型エネルギー貯蔵システムのサーマルモデルシミュレーション、Chantiers de l'Atlantique 及び MSC との固体酸化物形燃料電池（SOFC）の共同開発、センサー、Prodways の 3D プリンターを用いたレーザー溶融付加製造技術などである。

この報告書は、ポートレース事業の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

欧州の造船業等における
デジタルトランスフォーメーションの動向

2023年（令和5年）3月発行

発行 一般社団法人 日本中小型造船工業会

〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-8-1 虎ノ門三井ビルディング
TEL 03-3502-2063 FAX 03-3503-1479

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2-10-9 ラウンドクロス赤坂
TEL 03-5575-6426 FAX 03-5114-8941

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

