

**欧米等における海事関連技術等の  
最新動向等に関する調査**  
海事分野におけるIndustry4.0導入の最新動向

2016年8月

日本船舶輸出組合  
ジャパン・シップ・センター  
一般財団法人日本船舶技術研究協会



# 目 次

1. Industry4.0 の意味とコンセプト	1
1.1 はじめに	1
1.2 Industry4.0 の様々な定義	3
1.3 産業の発展段階	5
2. Industry4.0 におけるカギとなる要素	7
2.1 Industry4.0 に用いられる技術	7
2.2 デジタル製造／生産、スマート産業	9
2.3 工場における適用事例	10
2.4 標準化の取り組み	11
3. 国家戦略	12
3.1 概要	12
3.2 ドイツ	13
3.3 EU	15
3.4 米国	15
3.5 中国	16
3.6 韓国	16
4. 造船業への適用	18
4.1 Industry4.0 適用と造船業の特徴	18
4.2 造船業における適用範囲	18
5. 海事セクターにおける適用例と解決法	21
5.1 概要	21
5.2 Siemens PLM Software	22
5.3 Mecklenburger Metalguss	24

6. デジタル造船所 .....	25
6.1 ThyssenKrupp Marine Systems と Siemens PLM Software .....	25
6.2 Meyer Werft .....	27
6.3 韓国 .....	28
6.4 中国 .....	29
6.5 スペイン .....	29
6.6 英国 .....	30
6.7 ノルウェー .....	31
6.8 オランダ .....	31
6.9 フランス SHIPYARD of the FUTURE .....	32
7. 積層造形 .....	33
7.1 概観 .....	33
7.2 オランダ .....	35
7.3 米国 .....	37
7.4 中国 .....	38
8. サービス化コンセプト .....	40
8.1 概観 .....	40
8.2 Wartsila : デジタル化とサービス化 .....	41
8.3 ABB : デジタルビジネスへの移行 .....	42
9. 技術的、戦略的課題 .....	44
9.1 概観 .....	44
10. 結論 .....	46
主な参考文献 .....	48

# 1. Industry 4.0 の意味とコンセプト

## 1.1 はじめに

近年の飛躍的なセンサー技術の進歩や無線通信ネットワークの拡充、より「インテリジェントな」ロボットや工作機械の普及、加えてコンピューターの計算能力増大とコスト低下、ビッグデータ解析手法の発展により、「モノ作り」の様相が大きく変貌する可能性が高まっている。

この動きは、一般に **Industry4.0** と呼ばれており、第四次産業革命の幕を開くものと考えられている。なお、この「**Industry4.0**」という名称は、もともとはドイツの製造業の国際競争力を維持・強化するための国家戦略のことを指しており、現在でも必ずしも世界的な呼称とまではなっていない。

**Industry4.0** によって引き起こされる変革は、IT 技術による生産プロセスの幅広い機能的統合を伴う。

**Industry4.0** 自体はコンセプトであり、テクノロジーを指すものではない。それは、製造業のパラダイムシフト、すなわち第四次産業革命をもたらす自動化やデータ交換、デジタル化されたモノ作り等のために用いられる数多くの先端テクノロジーを集散的に指すものとして使われている。

**Industry4.0** の中核要素は、産業分野のモノのインターネット（**IIoT: Industrial Internet of Things**）である。この **IIoT** は、インターネットで接続された「スマート」産業機器の新しいエコシステムであると広く定義されることもある。

**Industry4.0** のコンセプトは、「スマート生産」や「**Manufacturing4.0**」などと言われることもあるが、意味するところは同じであり、多くの情報源からのデジタルデータを統合し、モノ作りを高度化させること、すなわち、情報技術（**IT**）と制御技術（**OT: Operation Technology**）の統合により、より強力かつ効率的に変化に適応できる生産・製造の組織を構築することである。

中核となるコンセプトは、現代の製造業を支えるデジタルインフラの構築である。ドイツのアンゲラ・メルケル首相は **Industry4.0** を「製造業の全面的な革新であり、デジタル技術、インターネットと既存の産業の融合である。」と表現している。さらに **Industry4.0** は、製品のライフサイクルを通じた付加価値チェーン全体をより高いレベルで管理する時代の到来も予告している。

**Industry4.0** では、メーカーや顧客、サプライヤー、専門家等同士が、これまでになく規模で協調して業務を進めていく能力が要求される。そのための新しい手法・技術やサブ

ライチェーンのさらなる統合が必要とされ、そこに新しいビジネスチャンスも生まれることも意味する。また、Industry4.0 によって「マスカスタマイゼーション<sup>1</sup>」を可能にすると見られている。

Industry4.0 の実現には依然として大きな課題が残されているものの、近い将来、企業は必要があれば選択の余地なく導入が迫られるようになるだろうとする考え方が多くなっている。

組織におけるデジタル統合又は全面的デジタル化は、企業の競争力を向上させるうえで極めて重要であり、特に長期的に企業が生き残っていくためには根本的に重要であると考えられている。

ヨーロッパでは、デジタル化された産業界に移行する大きな流れ、つまり広い意味での Industry4.0 を、新たな技術体系への移行期をリードするチャンスだと捉えており、ヨーロッパ全域で 20 以上の産官連携の国家プロジェクトが進められている。

高度なデジタル統合の実用化（言い換えれば Industry4.0 の実現プロセス）は、航空機メーカーや自動車メーカー、エンジニアリング業界等で既にながりの勢いで進められている。一方、海事業界における動きは、全体的に緩慢といえるが、ドイツ、韓国、米国等では、いくつかの期待を持てる取り組みも出てきている。

ヨーロッパの海事産業界は、非常に複雑な一品生産品の開発、製造の分野で世界をリードしている。この市場ポジションを維持し強化するために、メーカーやシステム開発者は常に新しい技術を取り入れることを迫られている。

同時に、ヨーロッパには製造技術、生産管理、材料科学分野における高度なソリューションの提供に必要なキーテクノロジーを保有する企業が多く立地している。積層造形<sup>2</sup> (AM: Additive Manufacturing)、ロボット化、知的材料といった専門分野におけるダイナミックな展開は、製造業におけるイノベーションの機会を作り出しており、海事産業セクターへの波及効果も期待される。

ドイツに本社を置く Siemens グループは、全世界の造船所に製品ライフサイクル管理用の次世代ソフトウェアの提供を開始している。同社は、高度なデジタル化は将来の各造船所の競争力にとって死活的に重要なものになると考えている。

---

<sup>1</sup> コンピューターを利用した柔軟な製造システムで特注品を製造することを指す。低コストの大量生産プロセスと柔軟なパーソナライゼーションを組み合わせたシステム。(Wikipedia より)

<sup>2</sup> Additive Manufacturing、3D Printing には、積層造形、付加製造、立体印刷、アディティブマニュファクチャリング等の訳語があるが、本報告書では、これ以降は「積層造形」に統一する。

## 1.2 Industry4.0の様々な定義

スイスに本社を置く重電機器メーカーである ABB グループは、次のように述べている。「インターネットを活用して産業を次のレベルに移行させる取り組みは、IIoT、第四次産業革命、Industry4.0 等、いろいろな言葉で表現されている。サイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber-Physical System) は、生産工程やサプライチェーンにおける生産性向上に大きな可能性を秘めており、工場は需要変化に応じ自動的かつ迅速に対応できるようになる。Industry4.0 では、センサーが搭載されたスマート製品と生産機械が情報をやり取りし、どのように処理を行うかを自動的に決定していく。」

ドイツ貿易投資促進機構 (Germany Trade and Invest) は、「Industry4.0 は、組み込みシステム生産技術とスマート生産工程を連結したものであり、新しい技術的時代の到来を導き、産業界、生産バリューチェーン、ビジネスモデルを急激に変革していくことになる。」としている。

またドイツの Industry4.0 プロジェクトの作業部会は次のように表現している。「Industry4.0 とは、製造機械、ロボット、コンベヤー、倉庫システムや生産施設といった各種の生産リソースのネットワークに関するコンセプトといえる。それらの生産リソースは、自律的に作動すること、外部環境の変化に応じて自己制御したり自己構成する能力を有していること、知識ベースであること、センサーが搭載されていること、(一か所に集中配置されるのではなく) 各所に散らばっていること、が特徴で、関係する計画・管理システムとも合わせて使用されるものである。」

工作機械メーカーである Heller は次のように述べている。「Industry4.0 は、組織の新しい段階を意味しており、製品のライフサイクルを通じた付加価値チェーン全体の管理の新しい段階でもある。Industry4.0 は、生産技術をさらに進化させ、スマート工場コンセプトを具現化することを目指している。また、適応性やリソースの効率性、エルゴノミクス、それに顧客及びビジネスパートナーの業務プロセスや付加価値プロセスへの統合といった特徴も備えている。

最終的な目的は、より効率的なイノベーションサイクルを実現し、より複雑かつ大量のデータを含む製品の市場投入までの期間を短縮することである。これらは、個別化された大量生産や市場の需要変化への対応、生産性の向上等の一連の取り組みを通じて実現される。Industry4.0 の主な特徴は、デジタル化、ネットワーク化、一貫した付加価値チェーンである。」

ドイツの Acatech (国立科学工学院、National Academy of Science and Engineering) は「Industry4.0 によって、顧客ごとの要求を最後の瞬間まで設計、仕様、発注、計画、生産及び経営面に反映させることが可能となる。Industry4.0 においては、一品生産が可能となり、製品ロットを小さくしても利益が上げられるようになる。」と述べている。

フラウンホーファー 生産エンジニアリング自動化研究所 (Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation) は「*Industry4.0* は、情報技術を使って人と機械を緊密に連携させることで、カスタマイズ製品のバリューチェーン全体を管理し、組織化することである。」と述べている。

産業分野の自動化システム企業である Rockwell Automation は「第四次産業革命の開始は、製造業の転換点を印すものとなるだろう。『スマート生産リーダーシップ連合 (Smart Manufacturing Leadership Coalition)』 (米国) と呼ぼうが『*Industrie4.0*』 (ドイツ)、『中国製造 (China Manufacturing) 2025』 (中国)、『製造業革新 (Manufacturing Industry Innovation) 3.0』 (韓国) といった他の名前で呼ぼうが、必要な時間、場所で IIoT を使用して情報を収集・共有し、意思決定を加速し、生産性を向上させ、競争力を強化し、最終的にはビジネス価値を最大化するものである。」と述べている。

国際的なコンサルタント企業である McKinsey & Company によれば、「*Industry4.0* は、製造業セクターのデジタル化の流れが次の段階に進むことを意味しており、以下の4つの『飛躍的変化 (Disruption)』によって引き起こされる。

- データ量、計算能力と接続性の驚異的な増大
- データ解析手法とビジネスインテリジェンス能力の出現
- タッチ式操作方法や拡張現実 (AR: Augmented Reality) システムといった、人・機械間の新しい形式のインターフェースの発展
- 高度なロボットや積層造形等、デジタルデータの内容を現実化させる技術、手法の発展」

2016年4月、ノルウェーの研究機関 MARINTEK は、*Industry4.0* に含まれる技術は、海事分野の「パラダイムシフト (混乱を伴う変革)」を促進するものだと述べ、主要分野として、ロボティクス、ビッグデータ解析手法、拡張現実 (AR)、積層造形、クラウドコンピューティング、モノのインターネット (IoT)、サイバーセキュリティシステム、システムインテグレーション、シミュレーションの9分野を挙げている。同機関によれば、パラダイムシフトは、次のような形を取って現われる。

- **データ収集・解析**：船舶の機器はより「スマート」となり、大量の有益なデータを提供する。船舶に搭載されるシステムは統合され、同じく大量のデータを生み出す。船陸間通信の改善により、リアルタイムの意思決定支援が船上でも陸上でも可能となる。
- **海上におけるモノとサービスのインターネット**：船上機器は陸上から直接操作されるようになる。船陸間接続性がより強化、統合されるにつれ、経営や物流分野における活用も促進される。



- **専用設計、高度な製造・生産、生涯期間を通じたサポート**：統合された概念設計と基本設計の作業（顧客や造船所、主要サプライヤーからの要望反映を含む）に加えて、製品の生涯期間にわたるオペレーションのシミュレーション。サイバーフィジカルシステム（CPS）及び高度なロボティクスを活用して、デジタル化された造船所における専用船、独自船の建造。高度な船上機器とデータネットワーク、積層造形によるオンデマンド型のスペアパーツの生産。
- **無人・遠隔操作船**：これらの技術の統合により遠隔操作船の実現に向かう。

### 1.3 産業の発展段階

製造業の歴史における主な出来事は以下のようにあらわすことができる。

- 発展段階 0 (Industry0)：手作り
- 発展段階 1 (Industry1.0)：蒸気機関による機械化
- 発展段階 2 (Industry2.0)：大量生産と分業、電気の使用
- 発展段階 3 (Industry3.0)：自動化、電子機器及び情報技術の活用
- 発展段階 4 (Industry4.0)：サイバーフィジカルシステム（CPS）

サイバーフィジカルシステム（CPS）とは、無線標識（RFID<sup>3</sup>）やセンサー、マイクロプロセッサ、テレマティクス、完全組み込み型システム等を備えた設備機器、輸送機器のことを指している。CPS を構成する物理的なコンポーネントは、スマートセンサーや先進的ソフトウェア、アクチュエーター等でモニターされ、最適に制御される。CPS は、(a) 自分自身及び周辺環境のデータを収集し、(b) データを処理、評価し、(c) ほかのシステムとインターネット等で相互接続し、(d) さまざまな作動を開始する。

Industry4.0 により、製造業の生産性を年間 6～8%も引き上げることができると推計されており、世界経済に大きな影響を与えるものと見られている。ボストンコンサルティンググループは、Industry4.0 は、ドイツだけで今後 10 年間で GDP を毎年 1%引き上げ、最大 39 万人もの雇用を生み出すと予測している。

英国の Engineering Employers Foundation（EEF）が実施した 2015 Digital Connectivity 調査によれば、80%のメーカーが、2025 年までに Industry4.0 はビジネスの現実となると答えている。英国は、2015 年 9 月に、Coventry に先進製造訓練センター（Advanced Manufacturing Training Centre）を開設している。同センターでは、Industry4.0 に関連するメカトロニクスや産業ソフトのプログラミング、インフォマティクスといった分野で訓練を提供している。同センターの開設に 3,600 万ポンド（4,900 万

---

<sup>3</sup> RFID では電磁気を使用され、対象物に取り付けられた標識を自動的に識別・追跡する。バーコードとは異なり、無線を使用するため見える位置に取り付ける必要は無く、対象物内部に設置することも可能である。RFID は、自動識別・データ取得 (AIDC: Automatic Identification and Data Capture) 手法のひとつである。たとえば、RFID を自動車に設置することで、メーカーの生産ライン上のどこにあるかを追跡することができる。

ドル)の資金が投じられ、その中には英国シーメンスが提供したデジタル工場シミュレーターの設置も含まれている。

産業界のトレンドは、設計、製品開発、生産のシームレスな統合に向かっている。その第一歩は、関係者が同一のデータモデルを共有して使用することである。これによって、協力作業は容易になり、スピードアップも図れる。設計と製品開発プロセスの複雑さも引き下げることができる。

このような展開の背後には、以下のようなことがある。

- コンピューターの計算能力の猛烈な増加
- 巨大な量のデータ保存が可能となったこと
- データ交換のためのインフラが整備されてきたこと
- 産業用ソフトウェアの急速な発達

## 2. Industry4.0におけるカギとなる要素

### 2.1 Industry4.0に用いられる技術

Industry4.0は情報通信分野におけるサイバーフィジカルシステム（CPS）、センサー、ネットワーク、設計シミュレーション、モデル化と仮想化、ビッグデータ解析手法、クラウドコンピューティング、拡張現実及び「インテリジェントな」工作機械等の数多くの革新的な技術開発の成果に依存している。

Industry4.0は、電子情報世界を対象とした産業版モノのインターネット（IIoT）の技術と物理世界を対象とした技術（解析、付加生産（AM）、高性能コンピューター計算（HPC: High-Performance Computing）、人工知能、仮想現実、拡張現実、先進材料等）の統合を意味している。そして、IIoTがおそらく最も重要な要素と言えるだろう。

産業分野のモノのインターネット（IIoT）とは、組み込み技術（*embedded technology*: 機械・人間・外部環境の間の情報交換を可能にする技術）が使用された製品、産業機械、システム、プラットフォーム、アプリケーションソフトウェアのネットワークのことを指している。センサーやプロセッサ等の電子機器が安価となり、そういった電子デバイスを活用したリアルタイムの情報収集が格段に容易になったことで、IIoTが一気に現実的なものとなった。

IIoTの本当の効用は、対象物から収集される有用かつ洞察に満ちたデータからだけでなく、メーカー、顧客、サプライヤー等の関係者同士の間でそれらを共有することからも生み出される。

「インテリジェントな」生産や「スマートな」製造は、情報技術と制御技術を組み合わせることで可能となるが、統一規格に準拠した安全なイーサネット/IP（Intelligent Processes）通信網によって、さらに強化される。

Industry4.0を支える基盤となる中心的な要素及び技術には、次のようなものがある。

- 多目的生産ライン
- ユニバーサルなデータ統合ネットワーク
- リアルタイム情報を利用した拡張現実（AR）
- 高速積層造形法
- ネットワークによる制御システムを使用した生産設備
- 組み込み型データ解析を使用した生産設備
- 組み込み型センサー及びクラウドソリューションを使用した生産設備
- 完全自律型の製造・検査ロボット
- 生産工程の3Dシミュレーション

## Industry4.0 の技術

対象となる空間	具体例
物理空間からデジタル空間への変換 (物デジ変換)	センサーと制御系
	装着機器類 (ウェアラブル)
	拡張現実
デジタル空間	信号の集約 (Signal aggregation)
	最適化と予測
	可視化と必要な時・場所への配達
	高性能なコグニティブ (認知的) コンピューティング
デジタル空間から物理空間への変換 (デジ物変換)	積層造形 (AM: Additive Manufacturing)
	先進材料
	自律型ロボット
	デジタル設計とシミュレーション

出典 : Deloitte Analysis

Industry4.0 の工場や生産施設は「物理空間からデジタル空間への変換 (物デジ変換)」型の技術を活用することになる。これらには、仮想現実や組み込みセンサー、制御系、装着型デバイス、動きや生産を追跡する IIoT、同期化された資材フロー、品質管理の監視、製造設備のライフサイクル管理といったものが含まれる。

Industry4.0 は、製造・生産分野に適用するだけにとどまらず、その両端部分の生産バリューチェーンにおける成長機会も提供する。すなわち、研究開発や設計、営業、配送、アフターサービスや製品寿命を通じたサポートといった製品サイクルの各段階においても Industry4.0 のコンセプトは有効であり、エンジニアリングや顧客関係管理を変革しスマート製品を生み出していく可能性を秘めている。

Industry4.0 の技術は仮想製品開発・試験等のデジタル設計手法やシミュレーションを通じ、製品設計段階の効率を高める。また、拡張現実の手法を使うことで、製品企画の段階から各種の試験や評価、フィードバックが得られる。特に、製品試作に使用される積層造形等の「デジタル空間から物理空間への変換 (デジ物変換)」型の技術によって、設計サイクルをこれまでになく高速に回すことが可能となる。積層造形技術は、特に製品の使

用現場で活用することにより、補修部品の補給等のサプライチェーンへの依存を減らすことが可能となると期待されている。

製品や部品が開発、製造、販売、配送された後でも、**Industry4.0** 技術は製品サポートの段階で引き続き大きな役割を發揮する。たとえば、得られた大量の情報・データに基づき製品欠陥の原因を追究することで、欠陥への対症療法的な対応に留まらず、根本的な問題解決を図ることを可能とする。たとえば、ある蒸気タービンメーカーでは従来、故障の「兆候」（ベアリング部の振動）を発見する事に力を注いできたが、その後、現象の詳細な解析によって、熱膨張という根本的原因を特定することができた。

ビッグデータ、IIoT、**Industry4.0** はいずれも、データを組み合わせて解釈し、有益な情報を得られるように、データ完全性と統合、相互運用性を要求している。

## 2.2 デジタル製造／生産、スマート産業

デジタル製造及び「スマート工場」コンセプトの主な利点は以下のとおりである。

- **柔軟性**：スマート工場は生産の柔軟性を高める。設定変更が可能なロボットを使い、顧客ごとにカスタマイズされた数多くの品種を同一の工場若しくは生産施設で製造することが可能となる。顧客の要望に応じて生産機械を設定変更する能力や積層造形法によって、このような「注文品の大量生産」が可能となる。このことは、技術革新や素早い試作品製造を加速することにもつながる。
- **時間短縮**：デジタル設計と仮想モデリング、データ駆動型サプライチェーンは、生産プロセス全体のスピードアップに寄与する。
- **生産性**：多数のロボットの投入で生産性が向上する。またデジタル化されたプロセスにより工程全体の精度が向上し製品欠陥率が低下し、生産性の一層の改善につながる。加えて、保守計画を予測する高度な解析手法を使用することで、生産機械の故障や予期しない不稼働を減らすことができる。
- **製品品質**：デジタル空間と物理空間の両者を利用した製品開発により、品質向上と欠陥品率の減少が図られる。
- **顧客関係**：顧客は、これまで以上に製品の設計や生産に関与することができる。
- **新しいビジネスモデル**：**Industry4.0** は、ビジネスモデルの変革も引き起こす。これまで競争はほとんどコストだけを巡って行われてきたが、**Industry4.0** により、カスタマイズ設計、品質、技術革新の分野でも競争が展開されることになる。

オランダの産業団体 **FME-CWM**<sup>4</sup>によれば、「スマート産業」とは、製品の仕様、設計、品質、生産量、カスタム化、納期、コストと能率等に関し、高度の生産の柔軟性を有する

---

<sup>4</sup> **FME-CWM** は金属、プラスチック、電機電子セクターの 3000 の会員企業を擁し、オランダの造船所のほとんどが加入している。

産業であるとしている。「スマート産業」は価値の創造のためにサプライチェーン全体を活用する。これは次の3本の柱からなっている。

1. ネットワーク中心の相互通信
2. 関係者間でやり取りされる情報のデジタル化
3. 「インテリジェントな」製造技術と手法の導入。

## 2.3 工場における適用事例

### 工場の未来：事例① AIRBUS:

人間・機械間の関係は、未来の工場や生産施設ではさらに拡張されている。Airbus は、その一つの方向性を示している。同社の航空機工場では作業員は製造工程の何万もの定められた手順に正確に従う必要があるが、もしそれら手順のひとつでも抜かしたり、不正確だった場合は、その修正、対応のために高いコストが生ずることになる。このため同社は、ネットワーク接続機能を持つ携帯可能なスマート締結工具の開発に着手した。どのような作業であっても、作業工程を「知っている」人工知能（AI）によって、作業員は直ちに次に使用すべき工具が指示される。これにより正しい手順と個々の部品に対応する正しい締め付け設定値が確保される。また、このようなスマート工具は一連の作業を全て自動的に記録するため、人手による記録作業が不要となる。

### 工場の未来：事例② Siemens:

Siemens はドイツの Amberg にある最新鋭の「スマート工場」を稼働させている。この工場では、プログラム可能な論理制御装置（PLC: Programmable Logic Controller）と呼ばれる電子機器を生産しており、製品管理、生産、自動化システムが統合されている。「インテリジェントな」機械群は、5万の変更要素を含む950種類の製品の生産と配送を自動的に調整している。製品は1万点の部品から構成され、250のサプライヤーから供給を受けている。

「インテリジェントな」機械群は、多くのデータを持つ部品と高度に訓練された作業員と相互に連携して作動している。これにより生産性と品質が向上したほか、技術革新のサイクルも短縮化されている。1989年、この Amberg 工場の欠陥品率は100万につき500であったが、2015年には12まで下がっており信頼率（Reliability Rate）は99%になっている。

## 2.4 標準化の取り組み

Industry4.0 では、生産プロセスに関わるすべての部署、分野にその要求を拡大適用している点が特徴である。この拡大適用は、ISO の SC4 規格に準じた形で、いくつかの産業セクターで実際に実現している。

SC4 の目的は、(a) 科学的、技術的、産業用データの表現のための標準規格を開発・普及させること、(b) 標準規格への適合性を評価するための手法を開発すること、(c) 標準規格を使用しようと考えている他の業界団体に対する技術的サポートを行うこと、である。

デジタルエンジニアリング情報の表現、仕様のため標準規格は、製品の構造健全性や精密性が重要となる多くの製造業セクターに大きな影響を与える可能性を秘めている。

現在、航空機・自動車製造業界は共同で資金拠出し、複雑な製品製造に適した新しい情報モデル「モデルに基づく 3D エンジニアリング」の ISO 規格の開発を実施中である。SC4 規格採択のための戦略的文書が、ASD-SSG (the Aerospace and Defence Industries Association of Europe) から公表されており、SC4 が効率を高めて、競争力を強化するための相互運用性に関する規格であると紹介されている。

### 3. 国家戦略

#### 3.1 概要

多くの欧州諸国では、国家の経済力や生産力、技術力、貿易、雇用を左右するデジタル革命において Industry4.0 が非常に重要な役割を果たすことを認識し、国家プロジェクトを推進している。

この分野では、ドイツの戦略的取り組みが最も目立っている。2010 年に開始された Industry4.0（ドイツでは Industrie4.0 と表記）計画のもとで、これまでにスマート工場の開発のために 2 億ユーロの予算が投じられた。この計画は、ドイツ産業界が強みを有する組み込み型システムとエンジニアリングを活かしたもので、民間企業と公共セクター、大学等が連携して、デジタル技術の導入に関する 10～15 年計画を策定し、実行している。

フランスとイタリアでも、それぞれ Industrie du Futur と Fabbrica del Futuro と呼ばれる同様の計画が進められている。オランダとスロバキアでは、スマート産業の名のもとに計画が進められている。一方、英国では現在 GDP の 10%を占めている製造業比率を倍に引き上げるという経済政策に沿って、カタパルト高価値製造研究センター（Catapult high-value manufacturing research centre）と先進製造サプライチェーン計画（Advanced Manufacturing Supply Chain Initiative）を通じた公的な取り組みが行われている。2011 年以降、このプロジェクトに投じられた英国政府の資金の合計は 4 億ポンド（5.92 億ドル）以上にのぼる。

デンマークではロボティクスに注力しており、プロジェクトは「未来型生産のためのプラットフォーム（Platform for Future Production）」として知られている。デンマーク生産研究所（Manufacturing Academy of Denmark（MADE））が中心となり進められおり、大学、研究機関及び 50 社以上の企業が参加している。

これら各国レベルの取り組みに加えて、欧州連合（EU）が研究とインフラ整備に予算を支出し、産業改革を促進しようとしている。その背景には、過去 40 年間に EU 経済全体で、製造業の基盤の 1/3 が失われたことに対する大きな危機感がある。2008 年初には製造業は、EU 経済の付加価値全体の 16.5%を占めていたが、2014 年末には 15.3%に低下した。

2012 年、欧州委員会は低迷する製造業にテコ入れすることで 2020 年までにこの比率を 20%まで引き上げるとの政策目標を設定した。専門家のなかには、これを野心的すぎると見る向きもあるが、一般的には、Industry4.0 は生産性を引き上げ、欧州産業界に付加価値の増大をもたらし、欧州の経済振興に寄与するとの認識が広がっている。



ドイツの **Industrie4.0** 計画は、その中でも最も思い切った国家戦略であり、最も効果的なものとなると見込まれている。そして、すでに海事セクターの企業にも影響を与え始めている。

### 3.2 ドイツ

ドイツは、**Industry4.0**（ドイツでは **Industrie4.0** と表記）のコンセプトの創始国である。ドイツはヨーロッパ最大の機械設備の製造・輸出大国であり、連邦政府は、ほかのどの欧州諸国よりも製造業を重視している。**Industry4.0** は、実際のところ、ドイツの製造業のデジタル化戦略の中核をなしている。その意図するところは「ドイツ産業界を明日の生産革命に備えさせ」、「引き続きドイツの製造大国としての座を維持する」ことにある。

研究開発活動と並んで **Industrie4.0** の中心的考え方を広めるための施設がドイツのフラウンホーファー 生産・エンジニアリング・自動化研究所によって開設された。この施設は、**Industrie4.0** 実用化センター（**Application Center Industrie4.0**）と名付けられ、業界研究や製造業におけるサイバーフィジカルシステムについての共同開発や情報発信活動を行っている。このほかに、積層造形プロセスやリアルタイムシミュレーション技術を製造業に導入するための開発、改良活動がおこなわれている。

フォルクスワーゲンは、船用大型エンジンの世界最大手で、最先端の研究開発を続けている **MAN Diesel & Turbo** の親会社である。**MAN Diesel & Turbo** は、主に大型中速エンジン、変速装置、過給機に関する工場や研究施設等をドイツ国内に有している。同社は、今のところエンジンや機器に関する将来方針について何ら発表を行っていないが、親会社のフォルクスワーゲンでは、グループの自動車生産の強化のために **Industrie4.0** に強く関与する姿勢をはっきり打ち出している。

**Industrie4.0** に対するフォルクスワーゲンの見解は「未来における機械、製品、人間の連携の方向性を示すもの」というものであり、グループ全体で推進しているロボティクスや自動化工程に関する計画の背景には、いくつかの要因が存在している。その一つは人口構成である。2015 年から 2030 年までに大量のベテラン労働者が退職し、新たな採用が追い付かないと見られること。もう一つは、エルゴノミクス、すなわち作業労働環境で、ロボットによって単調な反復作業や重労働を代替することができると考えられている。

別の要因はコストである。ドイツの自動車業界における労働コストは時給換算で 40 ユーロ（45 ドル）以上であり、東欧諸国は 11 ユーロ（12.4 ドル）、中国は 10 ユーロ（11.3 ドル）と比べて極めて高水準となっている。一方、実際フォルクスワーゲンで使用しているロボットのコストは、保守費及び電力料を含めてもたかだか時間当たり 3~6 ユーロ（4~8 ドル）である。次世代ロボットは、さらに低コストとなると見られている。

ドイツエンジニアリング連盟（**VDMA: German Engineering Federation**）は、**Industrie4.0** には、「リーン生産方式（トヨタ生産方式）」、「仮想現実」、「スマート製品」、

「インテリジェントシステム」、「積層造形」、「知財権」、「新しいビジネスモデル」といった内容が含まれるとしている。

また、Industry4.0によるデジタル化を進めることで、エンジニアリング分野で次のようなメリットが得られるとしている。

- より柔軟で個別対応的な生産が可能となり、小ロットの生産でも利益が出しやすくなる。廃棄物を減らすこともできる。
- リアルタイムの情報が入手可能となり、意思決定をより正しく行うことができる。
- 新しいビジネスモデルやサービスが生まれる。
- デジタル化された工程と製品により、変化への対応が容易になる。
- デジタル化はバリューチェーン全体で企業、サプライヤー、顧客を密接に結び付ける。

海事産業界については、Industry4.0は以下の領域において大きな影響を与えていると考えている。

- 工程：連携・統合生産（サプライヤーとの間の規格化されたインターフェース）
- モニタリング：保守間隔・方法、最適操業、遠隔支援
- 新しいビジネスモデル：スペアパーツの積層造形
- 課題：既存の技術やシステム（生産技術やITシステム、データベース）とのデータ交換・統合の実現。データ所有権の在り方

VDMAによれば、社会経済分野におけるデジタル化のペースが加速していることで、顧客の期待や需要の性質に直接の影響を与えているという。ドイツの海事・オフショア機器サプライヤーは、このデジタル革命の機会を利用しようと目論んでおり、目的を絞った研究開発を素早く行うことで、市場性の高い「インテリジェントな」製品やシステムを提供することを目指している。センサーや高度な制御技術の開発によって、こういった製品やシステムから顧客が得られる価値は継続的に高められることになる。

「全体的に見て、*Industrie4.0*はドイツの海事産業界に国際競争上の良い機会をもたらし、市場シェアを向上させる。この機会を活かすためには、当然、優れた知性が必要であり、若い才能をひきつけることは経営上の最重要課題の一つである。」と2015年にVDMAは述べている。

ブレーメン生産・ロジスティック研究所（BIBA: Bremen Institute for Production & Logistics）は、造船業におけるIndustry4.0についての調査研究を実施し、その中で次の2点を指摘している。

- 未来の生産方式は、柔軟な大量生産方式により、製品の個別化が強まること（注文生産化）
- 収集したデータを活用した新しいビジネスモデルが付加価値を生むこと

Industry4.0 は、他産業とはかなり異なる特徴を有する造船業であっても有効に機能し、従来の生産方式を変革する可能性を秘めている。このことについて BIBA は次のような根拠を挙げて説明している。

- 製品の個別化は、海事産業にとって中核的テーマであること
- 造船業はサプライヤーのネットワークに大きく依存していること
- Industry4.0 のサイバーフィジカルシステム（CPS）はロジスティクスの改善にも有効であり、造船業の独特な資材調達を最適化できる可能性があること
- CPS を用いて、新しいサービスやビジネスモデルが生まれ出す可能性があること
- デジタル化の導入如何で、造船所の競争力に次第に差が出てくること

### 3.3 EU

EU の Horizon2020 研究イノベーション計画は、次の産業革命を促すことも目指している。2014 年から 2020 年の間で、総額 800 億ユーロ（903 億ドル）近い研究予算が組み込まれており、このうち 135 億ユーロは産業技術の開発に投じられる。加えて同計画の一部には、高付加価値製造業を念頭においた、EU 知識・イノベーションセンターの設置（2016 年開設予定）も含まれている。これはドイツの Industrie4.0 における施策展開と似た内容となっている。

前の EU の第七次枠組み計画（FP7）内で、2013 年「スマート」技術研究プロジェクト（SMARTYard）が予算化された。同プロジェクトでは、ヨーロッパの中小造船業の生産性を 20%引き上げること为目标として掲げており、スマート技術の開発、試験、評価を行う計画となっている。このプロジェクトには 10 か国から 20 の企業・組織が参加している。プロジェクトは 3 か年計画で 2016 年 9 月に終了予定である。

### 3.4 米国

米国は「モノ作りイノベーションのための国家ネットワーク（National Network for Manufacturing Innovation）」を設立した。この取り組みには 10 億ドルの予算が予定されており、国立研究機関と各種組織が連携してデジタル製造・設計等のテーマの調査を進めることとされている。

大規模な産業界による自己資金プロジェクトとしては、非営利組織である産業インターネットコンソーシアム（Industrial Internet Consortium）がある。これは、機械設備、デバイス、高度な解析法、そして労働者の間をつなぐ連携技術・手法の開発導入を進めるために 2014 年に設立されたもので、誰でも会員になることができる。設立時の会員は、GE、AT&T、Cisco、IBM、Intel である。

### 3.5 中国

Industry4.0 のコンセプトは、2015 年に公表された中国の新しい 10 か年計画にも反映されている。これは「Made in China 2025」と題され、ロボティクスや情報技術、エネルギーといった重要分野をカバーしている。同計画を通じ、中国はより強力な高付加価値産業を発展させ、「製造大国」から「製造強国」への転換を狙っている。同計画のなかでは、2025 年までに平均の売上高研究開発費比率を 1.7%まで引き上げるとの目標が掲げられている。

中国政府がデジタル化産業の発展に力を入れる背景には、急速な労働コストの上昇があり、生産システムの高度化に早急に取り組むことが迫られている。同計画の実現にあたり、大きな問題となると見られるのは、産業のデジタル化という新しい需要に応えられるように労働者を訓練する国家戦略が欠けている事である。

中国は、IT 市場への外国企業の参入を排除しようとしていると言われていたが、その一方で、産業のデジタル化に必要な技術（生産機器、ソフトウェア、システム統合）の外国からの導入には積極的な姿勢を見せている。中国は、ドイツの Industrie4.0 を真似ることに積極的で、ドイツと同じように精度、品質、信頼性と並んで生産性と効率向上に重点をおいているとされている。

### 3.6 韓国

現代重工業（HHI）は、韓国政府の「創造経済」計画に参加しており、同国で 15 か所目となる創造経済イノベーションセンターをウルサンに開設した。同センターは、長期的な競争力の強化に重点を置き、ウルサン地区の中核的産業活動の活性化を目指している。主な取り組みテーマとして、先端的造船・産業ロボット製造技術の開発がある。

積層造形（AM）により造船業の効率性を向上させ競争力を強化することが主な目標に掲げられている。ウルサンセンターは、2016 年まで少なくとも 15、2019 年までに合計 165 の船舶部品を国産化することを目標に掲げている。これにより、おおよそ毎年 20 億ドルの費用節約が図られると推計している。

2015 年 6 月、韓国政府は、製造業革新計画（Innovation in Manufacturing initiative）を開始した。これは韓国版 Industry4.0 であり、情報通信技術（ICT）と生産プロセス全体を融合させてスマート工場を生み出し、韓国製造業の国際競争力を強化することが目的とされている。

この韓国の計画は、ドイツ、米国とは以下の 2 点で異なっている。

- 製造業革新計画では、スマート工場技術を中小企業に広げることに重点が置かれていること

- 韓国の戦略では、短期と長期の両方の行動計画が策定されること。短期戦略では、既存の先進ソフトやハードを使いスマート工場・生産システムを実現するとしている。長期では、研究開発の行程表が示される予定である。

## 4. 造船業への適用

### 4.1 Industry4.0 適用と造船業の特徴

造船業の特別な課題、例えば一隻限りの完全注文設計の船舶の発注が珍しいことではないこと、シリーズ船といっても各船で細かい仕様が異なること、建造段階でも仕様変更が生じること等の課題に対し、これまでの建造手法や工程で対応しては、最早利益を上げることは出来なくなりつつある。

造船業の特性と技術的な要求は、他産業とは異なっている。

資材や工程が多種多様であること、現物合わせで施工される一品物があること等に加えて、多数の下請け業者やサプライヤーが関わるのが、Industry4.0 の実現を難しいものにしてている。また、こういった多くの他社支給品を取り扱うという特徴は、多かれ少なかれ船用工業にも共通している。

船舶建造に付随するこのような特徴は、造船市場におけるトレンドによって一層、増幅されている。一般商船であっても、標準設計より個々の顧客要求に応えたカスタマイズ設計が好まれ、またフェリーやクルーズ船、特殊目的船等、一隻一隻の個別設計が前提であるような種類の船舶が増加している。このような市場トレンドに各造船所が対応していく上で、デジタル化による新たな手法を導入し、従来の生産方式の変革を図っていくことは死活的に重要な経営課題となっている。

こういった商船設計の一層の個別化の流れへの対応は、ソフトウェア、センサー、機械器具、自動化装置、データ収集・解析・解釈のための情報システム等を導入したり、改善を続けることで達成されるものであり、船舶のハードウェア（構造、機関、設備機器）の根本的変更によってなされるものではない。

価値創造チェーンの包括的なデジタル化によって造船の未来は開かれる。その意味で、造船所はエンジニアリング工場や自動車工場における先例に倣う必要があるが、特に欧州の造船及び関連産業には、他産業と比べて開放性や経験を共有する文化が欠けている。公的資金で進められる研究プロジェクトにおいては、参加企業間の連携が求められることから、こうした状況を幾分か緩和することに貢献している。

### 4.2 造船業における適用範囲

デジタル化は、船舶建造工程のあらゆる段階に適用できる。設計者とエンジニアは共同して 3D シミュレーションを実施し、あらゆる船上システムや配置の検討を共同して行うことができる。最終組み立て段階の評価やシミュレーション上でのシステム作動試験は、実際に鋼板を切り始める前から行うことができる。建造や生産の計画担当者は、同じ 3D モデルを使用して、造船所の資材管理の最適化も行える。

設計から建造段階に至るまで、仕様、予算、工期、納期の厳格な管理が可能である。最も進んだ形態では、このようなデジタル化や同期化はサプライヤーまで拡張される。

ロボット技術や高度な支援システムを造船現場へ導入しようとする、多くの問題が立ちふさがる。規格化されていない多様な部材、重い重量、複雑な形状、非定型の独特な作業、厳しい労働環境、閉囲された狭い作業空間等。レーザースキャナーやステレオカメラ、動的カメラ配置（Dynamic Camera Positioning）を使った非定形部材の選別とハンドリング、リアルタイムでの対象判別アルゴリズム等の技術進歩によってこういった困難な課題の克服が可能となり、よりインテリジェントで柔軟な管理が実現することとなった。

サイバーフィジカルシステム（CPS）技術は、ロボットと作業員が近接した場所で作業を行うことを可能にし、造船所へのロボット導入、生産性向上に道を開くだろう。前出の BIBA によれば、安全かつ効率的な人間-ロボット系の実現方策は次のようになる。

- 安全の第一階層として、先進センサー技術、CG 重ね合わせ画像
- 作業服に組み込まれた CPS により、人間の肢体の動きのモニタリングと予測
- 知的なアルゴリズムによるロボットの制御
- 直感的な指示手法（機械向けの特異な方法ではなく、人間にとって自然な指示の方法）を使った作業員の指示に従うロボット（触覚を有する）による、複雑な工程における重量部材のハンドリング

従来は、品質保証と作業計画のために、頻繁に工程進捗を記録しなければならなかったが、ドイツではフラウンホーファー コンピュータグラフィックス研究所（Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research (IGD)）が、携帯端末を利用したリアルタイムでの作業進捗の記録・文書化の開発に取り組んでいる。

知的支援システムの導入はコンピューター統合生産方式（CIM）とは異なった作業フローの可能性をもたらす。また、これは将来予期される人口構成の変化と文化間要素から生じる課題にうまく対応する可能性も与えるものである。

このようなデジタル化された造船業の出現により、高度で複雑な船舶、オフショア施設の設計・建造・保守管理手法の変革が始まったと次第に認識されるようになっている。

造船ソフトウェアの専門企業である SSI によれば、「建造・設計・エンジニアリングにおける効率と品質向上のカギは、工程全体で『唯一の真のデータ源 (single source of truth)』を確保することである。一般に信じられているのとは異なり、図面はそのような真のデータ源とはいえない。むしろそれは、本当の設計のしばしば遅れた表現であり、相互に連結されてもいない。実際には、完全な 3D 製品データモデル (PDM)こそが、最も正確な参照先となる。ただし、唯一の真のデータ源となるには、競合する複数の PDM があってはならず、ただ一つだけだ。」

船舶のライフサイクルを考えると、比較的短期間の高度に協働的で同時並行的な船舶建造段階の後、運航開始後には、長期間の維持管理が重要となる段階を迎える。このような特徴を有する船舶にも、製品ライフサイクル管理（PLM）のコンセプトは有効であり、工程管理の改善や費用削減にかなり貢献できる。PLM は、航空宇宙産業や自動車産業が典型であるが、製造場所と使用場所が異なる製品においても有効であることが証明されている。



## 5. 海事セクターにおける適用例と解決法

### 5.1 概要

Siemens PLM Software 社は、可能な限り統合された包括的なデジタル化は、今後の造船業の競争力を左右するものと考えている。「2D 図面や手作業による文書化作業に頼っている伝統的な手法では、今日の造船業に期待されているスピード感についていくことは出来ない。」

他産業分野と比べたときの海事産業の特徴は、デジタル化や Industry4.0 コンセプトの導入において生ずる何重もの特有の課題や要求を生み出している。エンジニアリング、建造、運航、保守管理や改修といった個々の段階を見ると、他産業におけるそれぞれ類似のプロセスと比較することができるが、船舶のライフサイクル全体としてみるとその特徴は大きく異なっている。

造船業特有の課題や要求を生み出す大きな要因のひとつが、生産工程が概ね直線的に進行するという特徴にある。たとえば、船体と上部構造物が既に組み上げられているが、主機がまだ搭載されていない場合、主機の搭載位置や配管の検討が必要なだけでなく、どのように機関室に据え付けるかという点も併せて検討しなければならない。15,000TEU のコンテナ船の主機ともなると、高さは 4 階建ての建物に匹敵し、長さは 30m もあることを忘れてはならない。このことは、主機のような巨大な機器類から電気ケーブル、配管類に到るまで同様であり、造船所の全面的なデジタル化を進めるうえでは特段の課題となる。船舶やオフショア施設はその複雑さにおいては、プラント産業と比較可能かもしれないが、生産方式及び計画手続き、そして組織体制の点では異なっている。

このことは、Siemens が造船用の製品ライフサイクル管理 (PLM) のソフトウェアパッケージを開発することにつながった。

船級協会である Bureau Veritas (BV) は、船舶設計及び図面承認を新しいデジタルプラットフォームに完全に移行させた。BV の新しいシステムは、Dassault Systemes の 3DEXPERIENCE を使用しており、構造計算や認証作業に係る時間を短縮するとともに、船舶や浮体オフショア施設の詳細な 3D モデルも生成している。

3D モデルは、設計と解析のすべての段階で一気通貫の計算を可能としており、データを再入力する必要はない。これは、鋼板切断の指示情報を単純化させることにつながり、工期の短縮にもつながる。生成されたモデルは現実の船舶のデジタル世界における双子 (デジタルツイン) と位置付けられ、このデジタルツインを船舶のライフサイクルにわたり維持、更新していくことが目指されている。デジタルツインは、船舶の保守管理、修繕、改造や技術的更新の計画や管理に便利なツールとなることが期待されている。

このシステムの有効性は、中国の船舶設計研究所である SDARI と実施したパイロットプロジェクトで示された。2 隻のアフラマックスとスエズマックスタンカーの設計プロジェクトにおいて、新しい 3D プラットフォームが使用されモデル化が行われた。モデルは自動的に BV の構造計算ソフト VeriSTAR Hull に転送された。

船舶のデジタルツインは、DNV GL が提唱する「資産を中心としたエンジニアリング適用 (Asset-centric engineering applications)」のエコシステムにおいても中心となる概念である。デジタルツインは、実際の船舶のデジタルコピーであり、当該船舶に関わる利用可能なすべてのデジタル情報が統合されており、船舶のシステムすべてを「仮想化」することができる。デジタルツインは、設計段階では仮想試験台として使用できる。また、運航供用後には、デジタルツインを使用することで、ほぼリアルタイムで船舶の性能評価を行うことが可能となる。

オランダのソフト開発会社の Shipbuilder は、2016 年 6 月に新たに設計・建造用の仮想現実モジュールを発売した。これは Shipbuilder VR と名付けられ、データをリアルタイムで VR 空間に変換することができる。これによって、プロジェクトマネジメントに関するデータ、技術データ、資材管理データが、個人用 PC、タブレット、スマートフォンの中で 3D 表現できるようになった。ユーザーは、建造する船舶のあらゆる空間配置や設計情報を取り出すことが可能であり、ユーザーが船上にいるかのようにそれらの情報を表示させることも可能である。

このシステムは、造船所と船主の双方にメリットをもたらしている。Shipbuilder VR により、造船所の社員は、前もって船内配置を体験が可能で、各種の作業計画や機器・材料の検討に役立つことになる。船主やその他の関係者にとっては、リアルタイムで仮想現実を体験することができるため、仕上げや材料、部品が彼らの要求に合っているかどうか、予め確認することができるほか、遠隔で工程進捗を確認することもできる。

近い将来、船主は Shipbuilder VR のような技術を使って、彼らの要望を造船所に伝えることになるとも言われている。

## 5.2 Siemens PLM Software

Siemens PLM Software は、各産業別に PLM ソフトパッケージを提供しており、現在 8 産業向けが揃っている。造船所向けの販売が好調なことから、デジタル化の重要性についての認識が深まってきていることが伺える。実際、造船所向け Siemens PLM Solutions の売り上げ及び顧客数は、デジタル技術や Industry4.0 の取り入れに最も積極的である自動車産業に匹敵している。

造船産業は、その多様性や組織体制、生産プロセスにおいて他産業とは大きく異なる特徴を持つ。また、造船所の間でも大きな違いがある。しかし、Siemens PLM Software は、そのような多様性を持つ造船業に向けて、それぞれ違ったソリューション

を提供する方法はとらなかった。あらゆる造船所に対応できる単一の柔軟でグローバルなソリューションを開発する道をとった。結果として同社の造船向けソリューションは、顧客が自分の必要とするコンポーネントを選べるようになった。

Siemens PLM Software では、造船工程を詳しく研究し、以下の 5 本の「柱 (Pillar)」を特定した。

- 船舶設計・エンジニアリング
- デジタル船舶建造
- 建造計画及び生産管理
- サプライチェーン管理
- 船舶サービス及びサポート

最適なツールと手法はそれぞれの「柱」ごとに定められた。Siemens は Shipbuilding Catalyst という支援ツールも開発し、顧客はこれを使うと 5 本の柱のそれぞれで、どのようなソフトのコンポーネントが必要か分かるようになっている。

Siemens PLM package のデータ管理におけるオープンな性質は重要な特徴であり、5 本の柱のすべてに適用されている。過去数十年間、多くの造船向けソフトウェアシステムが造船所内で開発、使用されたため、造船所が新しいプラットフォームシステムを導入しようとする場合、これまで蓄積された膨大なデータを新しいシステム用に変換、統合する必要がある。既存のシステムとデータをすべて廃止して、全く新しいシステムに乗り換えたいと思う顧客はまずいない。同ソフトのデータ管理のオープンさはこのデータ移行の問題にうまく対応している。

他の製造業と大きく異なる造船特有の性質と生産プロセスのため、同ソフトでは、船舶やその部品に関係するデータに留まらず、造船所の構内配置や今後の建造計画、資材フローの管理、資材保管場所の位置についてのデータも取り扱う。また、船舶のエンジンや機関類は、船舶完成前に試運転されなければならないため、Digital Ship Construction の「柱」では、保守、修理、運航の最初のステップも取り扱い対象となっている。

Siemens は、2016 年の初めに Shipbuilding Solution and Shipbuilding Catalyst を構成する一部を第一弾として発売したことを公表した。システムは、今後数年で一層拡張される予定である。いくつかの造船所は積極的にソフト開発に協力し、改善意見やフィードバックを提供している。複数の造船所が、すでにこのソフトを採用していると言われていたが、商業上の秘密であるとの理由から、多くの造船所はそれを公表することに消極的である。

### 5.3 Mecklenburger Metallguss

ドイツのプロペラメーカーの Mecklenburger Metallguss (MMG) は、高度に柔軟な生産方式とカスタマイズされたソリューションへの要求に応えるために、新しいロボット技術に投資を行った。

船舶のプロペラメーカーは、顧客別の高いレベルの要求に応える必要があり、素早く自動工作機械の設定とプログラムを変更することが必要である。このプロペラメーカーに求められる複雑さと精密さは、特に難易度が高く、たとえば、MMG の新世代ロボットには、これまで手作業で行ってきたプロペラ鋳物へのマーキングと最大 1000 か所に及ぶドリルによる穴あけ作業を自動化することが要求された。

厳しい要求に対応できる新しい関節付ロボットシステムが、ロストックにある産業研究所である Fraunhofer Application Center Large Structures in Production Technology (Fraunhofer AGP) との協力により、MMG により開発された。

MMG のとった解決法は、ロボットの外部位置エンコーダー (external position encoder) としてレーザー追跡装置を使用することだった。ロボットの先端部に設置されたレーザー距離計が所定の穴あけ深さとなるように穴あけ工程を常に監視している。加えて、オフラインプログラムシステムが開発され、作業員は複雑な作業については、機側でプログラムをすることができるようになっている。

1000 か所の穴あけ工程は、手作業では 12 時間要していたが、新しいロボットの導入により、半分の時間で済むようになった。また、より短時間での精密表面仕上げも可能とした。

## 6. デジタル造船所

### 6.1 ThyssenKrupp Marine Systems と Siemens PLM Software

ThyssenKrupp Marine Systems は、オーストラリア政府が進めていた潜水艦建造調達計画の入札において、同政府にドイツ製の造船所向けソフトウェアを使用した「3D デジタル造船所」の構想を提案していた。

オーストラリア政府は、SEA 1000 Future Submarine Program に基づき、老朽化した潜水艦に代わり、より大型の 12 隻の潜水艦をオーストラリア国内で建造することを計画している。この SEA 1000 計画への参入は、製品開発とサポート環境をデジタル的に統合するコンセプトである Industry4.0 の有効性を造船業においてを実証するための格好の役割を果たすものと期待されていた。

調達計画では 12 隻すべての潜水艦をオーストラリア国内で生産・建造（最終建造は、再開されたアデレードの造船所において実施）することが条件となっていたが、豪政府から入札の依頼がされたグループは、すべて外国企業又は政府であった。設計及び主契約者としてこの入札に参加したのはドイツの ThyssenKrupp Marine Systems、日本政府、フランスの DCNS グループである。

2016 年 4 月、DCNS（70%の株をフランス政府、30%を Thales グループが保有）が設計・技術契約を獲得した。契約内容の詳細は公表されていないが、結果として不首尾に終わったドイツの入札の提案内容は、デジタル造船所のコンセプトやソフトウェアの導入について、一種の洞察を与えるものとなった。

ドイツ提案では、ThyssenKrupp が潜水艦建造契約を獲得した場合には、Siemens グループの子会社である Siemens PLM Software が数百万ドル相当の先進的な造船ソフトウェアを豪側に無償供与することとされていた。そして、アデレードの造船所をデジタル造船所化し、ThyssenKrupp の設計と技術及び Siemens PLM Software のシステムによって潜水艦が建造されることになっていた。この提案では、オーストラリア企業は、生産・建造の下請けとしてのみ組み込まれることになる。

Siemens PLM Software は、次のように述べている。「ドイツの *Industry4.0* 構想と先進的な生産技術の組み合わせは、すでにアメリカ海軍やオーストラリアの「*Innovation Agenda*」において先例があり、ドイツ勢が受注すれば、アデレードの造船所だけでなくオーストラリアの製造業全体をデジタル時代に適応させることに大きく貢献するだろう。」

過去に Siemens は、米国において似たような戦略を採用し成功している。造船業が州経済の中核を占めるバージニア州において、州が進める「造船のセンターオブエクセレンス (SCOE)」設立構想と連携して、同社は 10 億ドル相当以上のソフトウェアを州内の

学校や大学に寄付している。SCOE 構想では、生徒や作業員に最新の工具と訓練の機会を提供し、新しい技能を身に付けさせることで、世界で最も複雑とされる米国海軍艦船の建造に貢献することに焦点が置かれている。

米国におけるこの取り組みは、バージニア州にある Newport News Shipbuilding や他のメーカーにおける熟練労働者とデジタル化の必要に対応したものである。Siemens PLM のソフトウェアは、ジェラルド・R・フォード級空母等の極めて複雑な米国海軍艦船の建造に使用されている。

このバージニアでの経験から、Siemens は ThyssenKrupp のアデレード造船所におけるデジタル SCOE 構想に参加する形で、オーストラリアでのソフト無償供与戦略を採用した。これは豪造船産業を再興するだけでなく、他の産業に幅広い波及効果をもたらすことで同国製造業のルネッサンスにつながる可能性を秘めていた。

ドイツ提案の中心要素は、デジタルで統合された製品開発とサポート環境（IPDSE: Integrated Product Development and Support Environment）である。この先進的 IPDSE では、過去の欠点であった、データ取り扱いの難しさや主工程計画を立てるのにしばしば平面の線表に頼らねばならなかった問題が解決されている。IPDSE により、試作品の製作前に、すべての設計と試験作業をデジタル環境において協働して実施できる。このことは多国間の共同プロジェクトでは避けられない従業員の国際出張を減らすことにつながるため、出張時間・費用の削減やセキュリティの懸念を緩和することができる。オーストラリアの潜水艦の機密データ（たとえば、米国戦闘管理システムや兵器データ）にアクセスできるのは、セキュリティ検査をパスしたオーストラリア、米国、ドイツの要員のみに限られる。

設計や流体力学、音紋、操船性等のシミュレーションソフトの使用を通じて、建造前の段階で設計仕様に影響する可能性のある問題を全て洗い出すことができる。また Industry4.0 は、実際の建造・組み立て工程にも適用される。

データ完全性は、複雑な艦艇建造では不可欠となる。ThyssenKrupp Marine Systems は、IPDSE 環境下で、潜水艦やその他の艦艇を設計、建造できる能力をもった、世界的にもごく少数の企業のひとつである。同社のデジタル造船所コンセプトにおいては、潜水艦の設計から生産、生涯サポートまでをシームレスでつながりのデジタル環境のもとに統合されている。

米国では、Newport News Shipbuilding、General Dynamics Electric Boat、Lockheed Martin が同様の技術を利用している。

Siemens PLM Software と Newport News Shipbuilding、General Dynamics Electric Boat は、デジタル造船に関する米国での 580 万ドルの共同研究を実施している。

このプロジェクトは 2014 年 12 月に開始され、2017 年 9 月に終了の予定である。このプロジェクトに対して、国立造船研究計画（NSRP: National Shipbuilding Research Program）から、米国内の複数の造船所と共同で 250 万ドルが拠出されており、残りの 330 万ドルはプロジェクト参加の 3 社が負担している。

このプロジェクトでは、現在行われている 3D データを活用した船舶建造の取り組みをさらに改善するとともに、新しい工程や工作技術と統合していくことを目的としている。加えて、このプロジェクトの実施を通じて、デジタル造船所を支える情報データアーキテクチャーの創出の必要性を広く訴えていくことも目指している。

2015 年 12 月、ThyssenKrupp Marine Systems は潜水艦建造計画への入札に備えて、西豪州に所在するエンジニアリング・製造企業である Civmec 社のヘンダーソン工場において、潜水艦の船体断面区画を製造し、デジタル造船業のデモンストレーションを行った。当該船体区画の図面を ThyssenKrupp Marine Systems のキール造船所からヘンダーソン工場にデジタルに送信してみせたのである。Civmec は同社の Civtrac 生産管理システムと ThyssenKrupp 社の統合生産設計環境（IPDE）を接続し、ThyssenKrupp の送る詳細設計データが「シームレス」に Civmec 社の生産工程の制御システムに送り込まれた。これは産業版インターネットの典型例といえる。

この潜水艦の船体区画の建造は Civmec の自己負担で行われ、SEA 1000 計画における同社の能力をアピールしたが、結果として契約は DCNS にさらわれてしまった。

## 6.2 Meyer Werft

クルーズ船の設計と建造は、船舶建造分野でもっとも難しいもののひとつであり、契約履行、品質管理、競争力確保のいずれも確実にを行うための最高水準の組織管理能力と高度なソフトウェアが求められる。ドイツ人一家が所有する造船所 Meyer Werft は大型豪華クルーズ船建造の世界最大手である。現在 Industry4.0 導入に向けた準備段階にあり、デジタル化戦略の最新の取り組みとして、フランスの Dassault Systemes が開発した次世代ソフトウェアを導入した。

2016 年 1 月以降、同造船所は Dassault Systemes の 3DEXPERIENCE プラットフォームの使用を開始し、クルーズ船（及びその他の高付加価値船）の設計・生産の効率向上を図っている。Papenburg にある同社造船所内の新しい Technology & Development Centre では「On Time to Sea」と「Designed for Sea」という 2 種類のソフトウェアパッケージが使用されている。社内の約 500 名の設計者・エンジニアによる設計・開発作業のほとんどが同センターで行われることになっている。

Dassault のソフトを使用することで、Meyer 造船所は、統一されたデジタル環境を通じて設計から運転、運航、解撤に至る数十年間の船舶生涯の全体をモニターすることが可能となる。製品開発と生産工程における複雑な要求にシームレスに対応できるように、

仮想設計、エンジニアリング、プロジェクト管理の各アプリケーションソフトが揃えられている。

設計・建造の効率を向上させるだけでなく、建造前に実施される仮想船を用いた検討作業により、早い段階からより良い洞察を得て、創造性やイノベーションを促す効果もあるとされている。

過去何年間も、Meyer Werft は Dassault 社のソフト開発のパートナー企業であった。この新しいソフトウェアは、5年間の開発作業の結果である。Meyer は、主力である Papenburg 造船所のほかに2か所の造船所（ドイツの Neptun Werft 及びフィンランドの Turku）を擁しており、3DEXPERIENCE プラットフォームは、これら3造船所の IT インフラ上で統合されている。

クルーズ船の建造は、他産業や他船種の建造と比べても特に複雑な作業である。大型クルーズ船1隻で、通常1000万点以上の部品・部材が使用される。最大の旅客機 A380 でも100万点であり、自動車は1万点に過ぎない。クルーズ船建造に伴う膨大、複雑かつ多様なデータの取り扱うためのソリューションには、単に効率的な生産が可能というだけでなく、国際競争に打ち勝つことができるものが求められている。

Meyer Werft の新しいソフトウェアプラットフォームに対する合計の投資額は、3000万ユーロ（3400万ドル）以上にのぼると報じられている。この巨額な投資額のほかにも同社のデジタル化、Industry4.0 導入への決意を示す動きとして、Papenburg、Rostock、Turku の3つの造船所すべての情報技術を管掌する新しい CIO（最高情報責任者）が最近任命されたことがあげられる。今後、同社は3造船所すべてで IT 能力の積み上げとソフトの標準化に力を入れていくこととしている。

### 6.3 韓国

サムスン重工は、シミュレーションベースのデジタル造船所を作り出した。これにはフランス Dassault Systemes の開発したデジタル製造技術である DELMIA が使用されている。シミュレーションベースの生産方式（SBM: Simulation-Based Manufacturing）により、造船市場における競争力強化を図っている。

DELMIA の導入により、設計やエンジニアリングプロセスをシミュレートでき、また造船所施設や作業手順・工程を仮想環境において管理できる。このシミュレーションベースの生産管理の導入で、毎年730万ドルの経費節減のほか、技術力、契約履行力、顧客満足度も向上が期待されている。

デジタル造船所は、現在巨齊造船所にある最大のドック（3番ドック）において導入が図られており、1番、2番にも順次展開される予定である。



サムスン重工におけるこの取り組みは、韓国政府の政策に対応したものである。シミュレーションベースのデジタル造船所の創出プロジェクトは、韓国情報通信省及び通商産業エネルギー省によって進められている。DELMIA デジタル製造ソリューションは、中核的な仮想造船技術として韓国内の6大学の専門家と共同で実施されている。

現代重工（HHI）は、造船特有のデータの統合管理に向けて進んでいる。Siemens PLM Software から Tecnomatix と Teamcenter ソリューションを導入済みで、営業、設計、生産、アフターサービスの業務全体の統合管理を実現している。現在、同社はソフトウェアの導入をさらに拡大し、デジタル造船所の段階に進むことを検討中であるとしている。そのための情報システムとして、試運転、運航段階も含めたライフサイクルをサポート可能な包括的システムを採用する予定。

## 6.4 中国

昨年、中国の産業情報技術省の監督のもと、スマート造船パイロットプロジェクトが開始された。Nantong COSCO KHI Ship Engineering (NACKS) で進められるこのプロジェクトは、中国版 Industry4.0 といえる国家戦略「中国製造 2025」の一環である。

NACKS 造船所においては、工程のデジタル統合の推進、ロボット化、自動化、仮想現実シミュレーションのさらなる導入に重点的に取り組んでいくこととされている。

## 6.5 スペイン

スペインは、Industry4.0 の原理に基づく「Future Shipyard」もしくは「Shipyard 4.0」と呼ぶ計画を推進している。この計画は、スペインの造船・船用産業の集積地である北西部のガリシア地方で行われている。この地域の造船業は、オフショア船、フェリー、漁船、調査船、軍用艦といった高付加価値船の建造に強みを持っている。

Axencia Galega de Innovacion (GAIN: ガリシア イノベーション庁)、ガリシア イノベーション・サービスセンター (GS)、AIMEN 技術センター等の組織が、Shipbuilding 4.0 というフォーラムを立ち上げ、造船所や船用工業のイノベーション促進、企業間の連携強化、戦略的協力とオープンイノベーションの促進を図っている。

2016年3月、ガリシア地方の造船産業の中心地である Ferrol において開催された会議では、拡張現実、仮想現実の新しい技術・手法が紹介された。また、レーザー積層造形の可能性を示す実演も行われた。

ガリシア海事クラスター協会は、ガリシア地方の造船産業の重要な中期的目標（2017-2020）として、低コストの先進製造技術の開発と普及を挙げている。また、長期的には造船産業における積層造形技術利用のヨーロッパの先端地域となることを望んでいる。

同協会は、EU の Horizon2020 計画等の積層造形技術に関する欧州横断的な調査研究プロジェクトへの一層の参画を検討している。

ガリシアの Shipbuilding4.0 の調査の一環として、共同研究組織である「UMI」が 2 つの組織によって 2015 年に設立され、「Future Shipyard」もしくは「Shipyard 4.0」と称するコンセプトを開発している。UMI はスペイン国有造船所である Navantia とラコルナ大学の共同事業体であり、Ferrol の技術研究センターに設置されている。

UMI プロジェクトは、3 年計画で、新しい技術や手法を開発し、「Future Shipyard」もしくは「Shipyard 4.0」の基礎を確立することで造船業の競争力向上を図ることを目指している。主な研究内容は以下のとおり。

- 工程最適化：仮想モデルを開発し、異なる船舶建造戦略、組織体制を比較検討。異なるシナリオで生産工程フローをシミュレーション。
- 新しい工具の開発：生産工程における自動化とロボット化を進めるための新しい生産プロセス（鋼板の前処理、切断、溶接、組み立て、表面処理等を対象）の開発。

Navantia はスペイン海軍の「F-110 Future Frigate」調達計画の主な受注者である。米国で設計された最大 9 隻のフリゲート艦が、2025 年以降、順次 Ferrol において建造、引き渡しされる予定。この F-110 計画における Navantia の取り組みが、スペインにおける Shipyard 4.0 の第一段階の最初の適用例になると見られている。

## 6.6 英国

3D 視覚化技術は、英国の軍艦の設計段階を変革しつつある。3D 視覚化技術又は仮想現実技術は、細部にわたる正確で実感的な対象物の 3D 表現を可能とするもので、簡単に操作したり変更したりできる。これによって、エンジニアチームや顧客は、建造開始前であっても仮想的に組み立てたり、検討したり、試験したりすることができる。また、問題となりそうな場所をあらかじめ特定し修正することも可能となり、後に設計変更が入るリスクやコストを減らすことができる。また、受注者、発注者、サプライヤーの間の大規模な連携作業を可能とする。

BAE Systems は、同社の拠点があるグラスゴー、ポーツマス、ブリストルにおいて、視覚化システムのネットワークを構築した。ここでは、フルスケールで 3D の船舶の試作を行える。

この技術は、英国の将来の建造が予定されている Type 26 Global Combat Ship の設計作業に活用されている。BAE Systems は、この Type 26 プロジェクトでは、「革新的な新技術、先端的なプロセスと現代的インフラ」を活用することで、これまでの艦艇建造手法を基本から変えてしまうものになるだろうと述べている。

## 6.7 ノルウェー

ノルウェーの企業グループである **Kleven Industrier** は、オフショア支援船やフェリー、特殊船を建造している。同社では、船体部分の建造は、労賃の安い東欧地域に下請けに出しており、製造された船体部分はノルウェーに輸送され、艀装作業が行われたのちに竣工する。

現在、同社はこのやり方を改め、建造作業全体をノルウェー西部にある自社造船所で行おうとしている。この方針変更のひとつの大きな理由は、造船のオールラウンドな技量をもつ労働力の育成が必要と考えたためである。そのためには、建造工程の大半を自社で手掛けることが必須となる。

この戦略を支えるものが、先進的な生産技術である新形式のロボット溶接システムである。前世代のロボット機械は、溶接スピードが毎分 0.5-0.7m であったが、新しいシステムでは、2.0-2.7m まで高速化される。ちなみに、人手による溶接では毎分 25cm である。**Kleven** の導入するこの新しいシステムでは、20 人分の溶接工の作業を 2 人のオペレーターで代替することができるという。

## 6.8 オランダ

「スマートカスタム化」と言われるプロセスがオランダの **Damen** グループで 2 年前から導入された。オランダ人一家によって保有される同社は世界中で 32 の造船所を運営しており、そのうち 14 がオランダ国内、18 がその他各国に存在している。

グループは、小型船建造に特化しており、見込み生産した船体による標準化設計により極めて短納期を実現し、これまでビジネスを発展させてきた。ところが現在では、一隻ごとの独自設計船と標準化船のカスタム版が売上高の多くを占めるようになっている。2015 年、**Damen** の 32 の造船所は、90 隻のタグボート、作業船、オフショアサービス船と 62 隻の高速艇とフェリーの合計 180 隻を建造した。

2014 年 11 月、**Damen** は **Excellerate** と呼ぶ新しい計画を開始した。これはグループの各造船所に残っていた、工具や部品、作業手順等に関わる不必要なバラつきをなくし、あらゆる領域の造船プロセスの内容を標準化し、デジタル化することを目指したものである。

**Excellerate** において、デジタルテンプレートが標準的なシリーズ船用に開発された。これらのテンプレートは、**CAD**（コンピューター支援設計）や **ERP**（業務管理）システムに入力されて使われる。生産や業務プロセスに必要な項目は情報システム上で完全に網羅されており、現実のプロセスもすべて **ERP** システムに連結、反映されている。このためテンプレートを使用すれば、資材発注プロセスに直接入力されて、注文が行われ、直ちに建造を始めることができる。

この方法の採用により、長期的な標準船建造にメリットが生じるだけでなく、カスタム化への対応も容易となる。運航開始後に寄せられる顧客からの材料やスペアパーツ、船舶の性能についてのフィードバックは、設計プロセスだけでなく建造プロセスの改善・革新にも活用されている。そして、デジタル化がさらに進められることで、このフィードバックループはさらに高速となっている。

デジタルテンプレートを使用して、モジュラー方式で標準船を設計することで「スマートカスタム化」を単純かつ効率的に実現できた。Damen はまた Configurator App として知られるアプリを開発、提供しており、顧客は各種の基本船型に好みのオプションを組み合わせられるようになっている。

## 6.9 フランス SHIPYARD of the FUTURE

フランスの造船企業 Constructions Mecaniques de Normandie (CMN) は、シェルブールの新しい造船所で「SHIPYARD of the FUTURE」コンセプトを適用したプロジェクトを進めている。このプロジェクトのカギとなる要素は、「リーン生産方式（トヨタ生産方式）」の導入と、価値チェーン全体にわたるデジタル化である。

この計画の基本的な狙いは、資材フローの最適化と生産性向上である。同社はまた、「人的資本」の強化にも力を入れており、若者を採用、訓練し、造船所の将来的な情報通信技術に関わる能力を拡大させることが重視されている。

CMN は、革新的な造船ソリューションを開発、試験中であり、2019-2020 年を目途にシェルブールの造船所への導入を予定している。CMN の主な製品は、海軍艦船と豪華ヨットである。このプロジェクトには、フランス政府の Industry of the Future (l'Industrie du Futur) 計画に基づく補助金及び貸付による支援が提供される予定である。

Industry of the Future 計画は、今後 3~5 年の間で、フランスが欧州市場又は世界市場において主導権を確保できると見做される分野において、大規模プロジェクトを実施する企業を支援するものである。以下の分野に技術的な重点が置かれている。

- 積層造形
- 仮想工場と産業版モノのインターネット (IIoT)
- 拡張現実 (AR)

なお CMN は、ペルシャ湾岸や西欧にある多くの造船所に投資をしているアラブ首長国連邦の Abu Dhabi MAR (ADM) が所有している。

## 7. 積層造形

### 7.1 概観

積層造形（AM）は、ここ数年で数多くの産業分野に導入されはじめている。積層造形は、デジタル図面にしたがって 3D プリンターが材料を薄く積層していくことで対象物を造形する技術である。

この技術の主な用途は、製品設計、部品製作、高速試作（ラピッドプロトタイピング）と設計コンセプトモデルの造形である。しかし、積層造形技術の著しい進歩により、生産プロセスにおける適用範囲が急速に拡大する可能性が出てきた。

積層造形は、これまでの製造手法が抱えていた制約が少ないうえに、生産時間を大幅に短縮する可能性を有する。大手航空機エンジンメーカーによれば、積層造形を使用することにより、部品の生産時間を 1/3 にすることができるという。

積層造形は、製品の変更や改変が容易であるため、市場への対応を素早く行うことや、顧客や製品に対して、より「カスタム化」されたアプローチをとることを可能にする。さらに、在来の製造法よりも、一般的に廃棄物を減らすことができるとされる。特に自動車と航空機産業はこの積層造形技術の利用に最も積極的である。

航空機メーカーの Airbus は、複雑なチタン部品を積層造形するための初の施設をドイツに開設した。同社は、「金属を材料とする積層造形は、従来の工程を代替するものではないが、特に生産に要する時間と生産の柔軟性、部品の重量等の点で予想がつかないほどの巨大な可能性を秘めている。」と述べている。

ごく最近まで、海事業界ではこの積層造形技術の持つ可能性を調査したり、活用する努力は、ほとんど見られなかったが、現在では、数多くの取り組みが始まり、そういった状況は過去のものとなりつつある。海事業界においても、いずれ「どこで」、「どのように」モノを作るか、について劇的な変化が生じる可能性がある。たとえば、船舶のスペア部品を、船上または最寄りの港で積層造形により製作できれば、部品の保管や配送の手間が不要になる。

積層造形は、造船産業における「リーン生産」コンセプトの導入にも寄与しており、実際、米国の軍艦建造及び韓国の商船建造の分野で、重要な取り組みが始まっている。小さくて複雑な部品を積層造形を使って社内生産することで、下請け業者への依存を減らし、時間とコストを削減することができる。

GE 等の船用市場に関係のある大手企業グループは、積層造形技術を使い、いくつかの部品を大量生産することを計画中である。ヨーロッパ及び南米で船用機関・機器ビジネス

を広く展開する Rolls-Royce は、EU の支援を受けて、航空機エンジンの部品製造に 3D プリンターを使用し、材料使用量を減らすことを目標とした研究プロジェクトを実施している。

さまざまな共同研究プロジェクトが、海事産業界や船級協会において進められているなか、オランダで進められていた「3D Printing of Marine Spares」と題された大規模プロジェクトが、最近完了した。このプロジェクトの成果を踏まえ、今年ロッテルダム港に積層造形研究所と 3D 生産・サービスセンターが設立されることになった。また同様の積層造形研究所は米国でも、海事・防衛セクター向けに設置されている。米海軍水上戦争センター（NSWC: Naval Surface Warfare Center）の Carderock 支所は、2016 年 3 月に積層造形研究所を開設し、NSWC の従業員に対する啓蒙活動等を行っている。

米海軍向けの造船所は、積層造形を使用して部品製造と造形作業、高速試作（ラピッドプロトタイピング）に取り組むことを計画している。

また、積層造形技術は、ドイツのハンブルクにある HSVA 模型試験水槽・研究センターでも使用されているほか、ポーツマスにあるイギリスの研究企業 QinetiQ は、模型船の部品製造に使用している。積層造形技術は、極めて幅広い適用可能性を有することから、2015 年に公表された「イギリス海事産業技術ロードマップ（UK Marine Industries Technology Roadmap）」では、積層造形技術は、設計技術、生産技術、ロボット化、自動化、複合材料技術、素材技術、工作機械技術等の「競合者」として書かれている。

ドイツ企業の Hamuel Maschinenbau は、適応生産法や積層造形法を一台に組み込んだハイブリッド機械を最近導入し、タービン翼の製造を行っている。

韓国政府によりイノベーションセンターが開設され、蔚山市の参加企業が積層造形法の開発に取り組んでいる。主な目標は、今後数年で積層造形法が適用できる船舶部品の種類を増やすことである。

米海軍は、積層造形技術を試験的に艦上で使用しており、必要に応じた交換部品や機器の生産できるかどうかを検証している。商船分野では、A.P.Moller-Maersk グループが船上で使用試験をしており、補修部品の船上在庫の削減や、部品物流の効率化の可能性を検証している。

## 7.2 オランダ

オランダのパイロットプロジェクト「3D Printing of Marine Spares」において、2015年4月1日から12月31日の9か月間にわたり、26のコンソーシアムメンバー企業が協働作業を行った。メンバー企業は、積層造形を適用する多数の金属部品を選定し、再設計を行い、製作（印刷）した部品を各種試験にかけた。

積層造形では、従来の部品を積層造形に適した形に再設計する必要がある。このため、対象部品の選定は、特に重要な作業となる。このプロジェクトの事務局である InnovationQuarter（オランダの技術革新担当省庁）は、このプロジェクトを進めるあたり、メンバー企業に加えて、ロッテルダム港湾当局と RDM Makerspace の参加を得ている。コンソーシアムには物流の専門企業である Broekman Logistics 等の港湾関連企業にプラスして、Fokker（航空機）や Siemens（ソフト開発）といった他業種からも参加した。

本パイロットプロジェクトでは3種類の積層造形方式を採用し、各方式についての実際的な知見と技術的熟度に関する情報を得た。このプロジェクトは、*海事分野における積層造形の実適用に向けた取り組みの第一段階と位置付けられている。*

オランダのプロジェクトでは、以下の4つの疑問点について結果が示された。

1. どのぐらいの大きさの金属部品が製造可能なのか
2. 積層造形では通常の方法が使用できるのか、それとも新しい材料が必要なのか
3. 積層造形で製作された部品は、全ての規格・基準（船級要件、法令、標準規格）を満足できるのか。
4. スペア部品への積層造形の適用は、従来品と比べて経済的利点はあるか。

報告書は2016年1月に完成し、主な結論は以下のとおりである。

- 積層造形は製造時間を大幅に短縮できるのが利点。通常の製造工程では数週間から数か月を要する金属部品の製作が、積層造形では数日間で可能。経済的には、船舶運航の遅れを防ぐ必要がある際や高付加価値貨物の運搬している場合等で、至急に部品が必要とされるときには、積層造形の高い製作費用は合理化される。
- 積層造形法は、生産施設や工程に関する費用では、より低コスト。
- 積層造形法は、設計最適化に向いている。
- 多くのメリットは、現時点では実現不可能。標準化、船級要件、品質管理、設計・生産認証等の課題に対応する必要があるため、通常製造法と同様な国際ルール、規則の整備が必要。
- 今回の選定された部品を使った積層造形の実証事例からは、在来製造法と積層造形法の費用面の違いをはっきりさせることは出来なかった。至急に製造する場合

や設計最適化が要求される場合の経済的メリットは、部品当たりコストで比較するのは適当でなく、生涯費用として比較する必要がある。

たった 5 部品しか実際には製作されなかったとはいえ、参加企業は、選定された 30 の船用部品について全体として、積層造形法に「適合する」（判断基準は、良・可・不可、の 3 段階）と判定している。

特に 30 品のうち以下の 7 品目は、積層造形法の適用に「高い可能性」があると判定された。

- 排気マニフォールド
- 過給機ノズルリング
- 固定ピッチプロペラ（MARIN の設計）
- ヒンジ（Fokker の設計）
- 箱型熱交換器
- 過給機の吸排気ケーシング
- スペーサーリング（Huisman の設計）

積層造形の適合性の判定は、次の積層造形法の潜在的利点に基づいて行われた。

- 部品を一体造形できるか（複数の部品から組み立てなくてよいか）
- 重量又は容積を削減できるか
- 廃棄物を減らせるか
- 複数の機能を統合できるか
- 容積が小さいか
- 製作時間が減らせるか
- 在庫量を減らせるか
- 物流にかかる時間を減らせるか
- 部品サプライヤーへの依存度を減らせるか

このパイロットプロジェクトの直接の成果として、積層造形実用化研究所（Additive Manufacturing FieldLab）として知られる積層造形センターが、2016 年後半にもロッテルダムに設置されることとなった。同研究所では積層造形の研究開発を行うとともに、海事及び港湾関連産業に向けた積層造形の新しい適用範囲を探ることに取り組んでいく予定である。

この研究所は RDM Makerspace の敷地内に設置され、参加者による積層造形の実験が可能な研究開発施設が提供される予定。また同施設は、積層造形・サービスセンターとしても機能することとなる。



オランダにおける、この取り組みの支持者は、向こう 3～5 年間で同研究所を拡充し、完全なデジタル製造業のためのインフラストラクチャーとして機能させる目論見を持っている。その目論見によれば、同研究所には金属及び樹脂の両方の積層造形機械と 3D スキャナーが設置され、積層造形に関する各種知識・ノウハウを活用して、部品及び製品丸ごとの設計、生産、修理の分野で大きな役割を果たしていくことが期待されている。

2016 年 3 月までに、15 社が同研究所に参加することを決定した。今後、参加企業・機関数により施設の規模等が決定されていくこととなっている。

ロッテルダムのこの施設への投資は、数百万ユーロ (Several million Euros) に上るとされている。高度な金属用 3D プリンターの導入費用だけで 100 万ユーロ (約 110 万ドル) もかかる。施設整備費用の一部は、情報通信技術 (ICT) を通じて生産最適化を図る目的の「Smart Industry」計画を通じ、オランダ政府の資金が投入される。

この「Smart Industry」計画は、オランダの経済省、産業・従業員連盟、機械電気工業会、オランダ応用科学研究機構 (TNO)、商工会議所、ICT オランダが参加している。オランダには、現在各種分野で合計 11 の実用化研究所 (FieldLab) が設置されている。

### 7.3 米国

米海軍研究局海軍金属加工センター (NMC: Naval Metalworking Center) は、最近、積層造形技術の造船適用に関するプロジェクトを完了した。このプロジェクトは、海軍において、積層造形の導入によるコストや時間的メリットを示すために行われた。

この研究は、2014 年 10 月から始められ、2016 年 6 月に終了した。このプロジェクトには、General Dynamics グループの Electric Boat Corporation 及び Ingalls Shipbuilding と、海軍艦船開発計画の 2 チームが参加した。Electric Boat では、主に積層造形による工具と治具の高速製作に焦点が当てられた。一方、Ingalls 社は、船舶建造工程における積層造形技術の実証試験の評価に重きが置かれた。同プロジェクトのなかで、積層造形の潜在的利用方法として見込まれているものには、製造、計画、段取りにおける視覚的援助及び仮製作、仮組、木型等の一時的用途品の製作等がある。

Ingalls は、現行の受注している水上艦建造に積層造形を適用することで、少なくとも年間 80 万ドルの節約が可能と試算している。一方 Electric Boat も、新世代潜水艦バージニア級の建造で、最低 20 万ドルの節約が可能であるとしている。2017 年から両造船所において、積層造形が実際に導入される予定となっている。

米海軍水上戦争センター (NSWC: Naval Surface Warfare Center) のメリーランドにある Carderock 支所は、何年も前から研究活動を行うなかで先行的に積層造形を利用してきていると報告しており、今後、製造・知識・教育 (MAKE: Manufacturing, Knowledge and Education Laboratory) 研究所の設置することとしている。

この MAKE 研究所では、積層造形法を活用した新造船の試験用模型・部品の素早く、コストの低い調達方法の開発が行われることとなっている。また Carderock 支所で働く職員の教育環境を整える目的もある。

この研究施設では、全ての職員に対して、積層造形で生産した部品を取り扱う工具に関する知識と技能を身に付けさせることを主な目的としている。また、ここで得た知識を通じて職員によるイノベーションを促すことも副次的な狙いとされている。

米海軍は、積層造形を兵站システムに導入することを決定している。2016 年 4 月、NSWC の Dahlgren 支所は、金属用 3D プリンターを持つ最初の戦争センターとなった。3D プリンターを使用して、艦上での迅速な交換部品の製作可能性が示されたほか、船舶設計模型用の一部を作成することも行われた。

また、積層造形は、Norfolk 造船所でも使用されている。同造船所では、設計・建造用の高速試作（ラピッドプロトタイピング）、艦船の代替建造、修繕用の計画策定のなかで使用できる可能性があると見ている。

Norfolk 造船所のラピッドプロトタイピング研究所に置かれている 3D プリンターはプラスチックポリマーを積層することで、固い物質を造形している。現時点での適用例として、新造船用断面模型や改造検討用模型に使用される複数ピースのパイプエンクロージャー（multi-piece pipe enclosure）やポンプ容器等の多数の部品製作で使用されている。

3D プリンターは、また継続的訓練と能力開発でも使用されている。同研究所は、造船所で使用する塗装やブラスト作業の訓練で使用するための工具の試作品も製作している。この工具は、レーザー除去（Laser Ablation）として知られる米海軍の新しい塗装除去手法向けのものである

ほかの海軍造船所（ポーツマス、ブジェサウンド、パールハーバー）にも 3D プリンターは導入されている。

しかしながら、この積層造形の実適用にあたっては、米海軍では依然として重大な工学面、事業面、法律面における課題を解決する必要があるとの立場をとっている。たとえば、積層造形によって製作された部品が、在来製法によって作られた部品と同等の仕様を持っていることをユーザーはどのようにして判断すればよいのか。ここには、データ所有権と知財権に関する問題が絡んでくる。

## 7.4 中国

中国の造船セクターは、2014 年から積層造形を調査してきた。中国船舶重工集団（CSIC: China Shipbuilding Industry Corporation）傘下のある研究所では、直接レーザー金属焼結方式（DMLS: Direct Metal Laser Sintering）の調査研究を実施した。こ

のプロジェクトは CSIC が金属積層造形の知識・経験を得るために行われたものであり、同研究所は、試作品向けに焼結材料を製作する施設に投資中であると報じされている。

また、熱溶解積層法（FDM: Fused Deposition Modelling）として知られる非金属向けの技法も調査中である。

CSIC グループ傘下の上海船用ディーゼルエンジン研究所（SMDERI: Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute）は、船用ガスエンジンである M23G 型の試作に、積層造形をすでに使用していると言われている。M23G 型は、SMDERI が開発した船用中速エンジンである CS21 型ディーゼルエンジンの派生型である。

## 8. サービス化コンセプト

### 8.1 概観

いまだに海事産業分野では、「サービス化 (servitization)」として知られる変革の恩恵に与っている企業はほぼ存在しないが、他産業では、「サービス化」による製造業のビジネスモデルの転換が始まっている。「サービス化」とは、ビジネスの方向性を製品中心、生産中心的なものから、製品生涯にわたる統合的サービスやソリューションの提供に重点を切り替えることを意味している。

このサービス化の流れを先導する企業と目されている航空機用エンジンメーカー大手の Rolls-Royce グループは、同社は物理的なエンジンを売っているのではなく、「時間当たりの馬力 (power by hour)」若しくは「保証飛行時間 (guaranteed flight hours)」を売っていると考えている。保証性能、技術サポート、アフターサービスは、そういった取引の一部である。

「サービス化」のビジネスモデルでは、製品の使用期間にわたり長期的に売り上げが確保されるため、メーカーの利益を増やせる可能性を秘めている。また、サービス部分の差別化により低コスト製造国との差別化を図ることも可能である。一方、顧客にとってもサービス化は、リスクを減らし、経営効率を改善することに寄与する可能性がある。

類似の例として、鉄道車両メーカーの Alstom は、各機関車の性能保証を提供している。この保証契約では、機関車の故障や予期しない不稼働が生じた場合は、ユーザーは補償金を請求できる。

サービス化は、メーカーとユーザーの双方にメリットがある。メーカーにとっては、競争上の差別化、顧客とのより深い関係構築、顧客満足度・忠誠度の向上、収益源の拡大等が期待できる。ユーザーにとっては、支出に対する価値の向上 (more value for money)、所有に伴うコストの削減、より迅速で高品質のアフターサービス・サポートが得られる等のメリットがある。

サービス化のコンセプトは、デジタル化、クラウド技術、IoT、データ解析法等の発展と歩調をあわせて進んでいる。

サービス化は、海事分野では、まだほとんど導入例がないが、船用機関、船用機器の分野では例外的にいくつかの企業で目立った動きが見られる。それら企業は、製品中心からソリューションや生涯サポートの提供にビジネス重点を戦略的にシフトさせている。その代表例といえる Wartsila は、事業分野をエンジン、推進機関、電子、自動化システム、環境機器、船舶設計と拡大させているなかで、同社のサービス部門の売り上げも成長を続

けており、2015年には21.84億ユーロ（24.66億ドル）に達した。これは、グループの全売り上げの43%にあたる。

サービス事業におけるデジタル化の進展は、同社の最大の経営目標の一つであり、顧客へ最も効率的なライフサイクルソリューションを提供するための能力をさらに獲得するとしている。

## 8.2 Wartsila：デジタル化とサービス化

WartsilaはIndustry4.0のコンセプトを「技術」そのものではなく、「技術を通じて不可能を可能とする手段（technology enabler）」と捉えており、技術要素としては、(a) 組み込みセンサーとそのデータの解析・統合、(b) 仮想エンジニアリング、人工知能の利用（船上のサービスエンジニアと陸上のサービス拠点間のやり取りの際、及びこれまで蓄積されたデータに基づき判断を下す場合等に活用）、(c) 積層造形を上げている。

なお、同社ではIndustry 4.0という用語は使用せず、「デジタル化の夜明け」や「IIoT」を使用している。「IIoT」という用語については、船舶に搭載されている機器からのデータや他のデータ源（気象データ等）からの収集に限定的に用いている。

すべてのデータ源からのデータ収集と解析の直接的目的は、船用機関と船舶性能の最適化であるが、加えて継続的な利点もある。データの統合と解釈は、顧客及びサービス提供者の双方に価値をもたらす。性能・効率の最適化は、コスト面だけでなく、船舶の全生涯を通じて事業を最大化させることにつながる。

実際、Wartsilaは、船用機関・機器の保守管理・サービスにおけるデジタル化とデータ解析の目的は、性能・効率を向上させ単位コストを引き下げることには留まらず、同時に、顧客の事業規模（「top line」）を拡大することを助けるものであるとしている。保守の必要性を事前に予測し、それにしたがって作業を行うことで、船舶運航の改善、不稼働時間の削減、利益創出機会の増大につなげることができる。このことは、事業規模に直接的、間接的な影響を及ぼす。

デジタル化は、役割の変化も促す。単なるサポートサービスの受注者、機器メーカーのサービス専門家、ということではなく、海運会社にとってむしろビジネスパートナーとなる。メーカーは各種データ源からの膨大なデータ解析・統合結果を用いて、顧客と共同でサービスや保守管理の必要性を検討、計画、実施する。

加えて、データの収集、分析、解釈というデータ進化は、モジュラーサービスパッケージの対象範囲を広げる。これは、顧客は「サービス、サポートプランのリスト」から最も適切なソリューションを選ぶという、2016年に導入されたWartsila Geniusコンセプトに示されている。

Wartsila によれば、「デジタル化は成長の新しい機会を生み出す。価値を生み新しいビジネスモデルを実現する。デジタル化は、個々の機器、システム、サードパーティーの機器から船用機関全体・船舶全体に到るまでのバリューチェーン全体で機会をもたらす。」としている。

製品からのデータ回収自体は、新しいことではなく、Wartsila のいくつかの製品には既に 20 年間前から、組み込みセンサーが埋め込まれてきた（タグ付と言われる）。新しいのは、データ回収の対象範囲とその手法であり、また解析ツールが幅広く利用可能となったことによるデータの活用方法である。この変化は、センサー技術の発展、システム統合の進展と歩調を合わせ進んできた。

データマイニングにおける最近の取り組みは、より大きな实际的利益につながる可能性を秘めている。データ解析は、大きくなり続ける情報量を有益なデータに転換するためのカギとなっている。

Wartsila の新しい総合サービス商品である、IoT ベースの Genius サービスは、データを顧客のアセットパフォーマンスの最適化に利用できる形に変換する。機器からの過去及びリアルタイムのデータを活用して、機器一台からフリート全体を対象としたものまで、最適化と課題解決のための様々な商品が開発されている。

2016 年 3 月、Wartsila は、Genius サービスの一部である Data Acquisition System と呼ばれる自社開発の第一弾となるサービスの提供契約を LNG 輸送船のオペレーターと締結した。Data Acquisition System は、統合された単一システムからのデータへのアクセスおよび解析のサービスを提供するとともに、自動計測や出力保証を可能としている。

また、Wartsila は、データ解析法、モデリング、性能最適化の分野で高度の専門性を獲得し、競争力を向上させるため、2016 年 6 月にフィンランドの技術企業 Eniram を買収した。Eniram は、海事産業におけるデータ解析法のリーダー企業であり、燃料消費削減、排出削減のためのエネルギー管理ソリューションの商品を提供している。

### 8.3 ABB：デジタルビジネスへの移行

自動化、船用機関・推進システムやサービスのリーディングサプライヤーである ABB は、技術的ノウハウやサービスに新しいデジタル技術を組み合わせた、統合運用コンセプトを掲げている。同社では、統合運用に使用する IIoT を、モノ・サービス・ヒトのインターネット（ITSP: Internet of Things, Services and People）と呼んでいる。

グループの伝統的な重点は、自動化、船用機関・推進システムやサービスの販売であるが、現在のシステムには、より多くのセンサー、モニタリングソフト及びハードが搭載されている。通信及びデータ解析法が改良されてきた結果、現在の同社のパッケージ商品

には、システム一式及び ABB による陸上からのモニタリングサービスが含まれている。生涯を通じた維持管理と改良のために、「デジタルツイン」を作成することもできる。

2016 年末までに、ABB はすべてのマリンサービス拠点とコンピーテンス拠点を統合運用拠点 (Integrated Operations Centers) に衣替えすることを計画している。新しいソフトとクラウドサービスを使用して、この拠点から、顧客とその船舶、社員を世界中、24 時間体制でサポートする。船舶に搭載されている ABB 製機器の多くは、すでに基本的な統合運用の機能を有している。

2020 年までに、ABB は 3000 隻と接続する予定で、統合運用機能は、2020 年までに新しい ABB 機器が搭載された船舶のすべてと接続される。2030 年までのグループの目標は、一部の船上機器を遠隔及び自律的に作動させることである。

## 9. 技術的、戦略的課題

### 9.1 概観

コンピューター支援設計（CAD）ソフトウェアの互換性は、海事分野の設計業、エンジニアリング業、船用工業、造船業において死活的な問題である。多くのユーザーがさまざまな CAD ベンダーのソフトを組み合わせ、仕事に使用している。この CAD 環境の混在問題は、社内では部署間において、社外ではサプライヤーやパートナー企業との間で生じている。

生産性を向上させ、低コスト、短納期で高品質な製品を顧客に提供できる能力を高めるために、CAD ソフトの互換性が必要とされている。ソフトウェア同士の互換性を上げることは、柔軟性を高め、コストを減らし、データ完全性に関する潜在的な問題を回避することにつながる。

2016 年初め、Autodesk と Siemens PLM Software は、ソフトウェアの互換性を高めることで合意したと発表した。両社は、ツールキット技術を共有し、エンドユーザー用ソフトウェアを相互に提供することで、互換性のあるソフトウェア商品をつくりだし、市場に提供することとしている。

自律能力、自己設定可能な能力を実現するには、非常に高度な人工知能と、個々のシステムの適応力（adaptability）が必要とされる。広くシステムを相互接続することは、「システムのシステム」を作り出すことを意味しているが、この「システムのシステム」の構造や全体としての挙動が、個々のシステムを開発する時点では完全には予測不可能なことが懸念されている。ドイツでは、Fraunhofer Institute for Experimental Software Engineering（IESE）がこの問題に取り組み、Industry4.0 システムが「実行中」の際の挙動について研究と実験を行った。

Industry4.0 の導入にあたり、データ所有権とその管理、セキュリティの問題が、しばしば懸念事項としてあげられる。したがって、システム開発の初期段階からデータ所有権、アクセス件、サイバーセキュリティの問題について、詳細な注意を払うことが求められている。

先進的な生産テクノロジーの潜在力を活用するためには、今後、企業の従業員にも高度のデジタル取り扱い能力が求められる。

必要なスキルを備えた人材の不足は、Industry4.0 の導入や情報技術（IT）と制御技術（OT）の統合を行っていく上で、すでに大きな障害となっている。航空機産業や自動車産業等の業界では、ビッグデータツールの取り扱い訓練を受けたエンジニアが次第に増えてきているものの、需要には追いついていない状況である。



労働者の能力開発を行い、関心を呼び起し、若者にスキルを身に着けさせることについて、対応は十分を行っているとは言えないケースが散見される。優秀な若い人材を惹きつけ、デジタル及び物理的生産技術に関する最新の知識・スキルを身に着けた人材を継続的に確保するには、大学、専門学校、高校やその他の外部組織と提携する必要があるかもしれない。

## 10. 結論

各国政府、特に米国、ドイツ、韓国、英国、オランダ、フランスでは、先進的な製造業の可能性を切り開くことに、大きな努力を注ぎ、必要とされる技術開発や能力育成を進めようとしている。

ドイツの持つ製造業の実力とイノベーションの強みを考慮すると、ドイツ主導の Industry4.0 の取り組みは、未来の高度な製造業の到来を確実に加速させることになり、各国製造業の国際競争力や技術力の動向にも関わってくるものとみられる。また、海事産業の分野でも、Industry4.0 は企業の技術戦略、経営戦略に影響を与えつつある。この現象は、他のどの国よりもドイツ海事産業でより顕著である。Industry4.0 は、他国の類似の製作の模範となっている。

Siemens グループ等の海事関連企業は、船舶建造等の分野において、Industry4.0 又はそれに類似したコンセプトの導入に向かって邁進している。数多くの「デジタル造船所」又は「未来の造船所」構想が、世界中で実施されている。また、船舶の一部や部品を積層造形技術を用いて生産しようとする取り組みも増えている。今後数年で、これら急速に発展しつつある技術は、さらに大きな影響力をもってくると予想されている。積層造形は、造船業における「リーン生産方式」の実現において補完的役割を果たす可能性がある。

海事産業に関連する産学官が一層、連携協調して取り組みを行うことで、競争力の維持向上と成長の実現を促していくことが望ましい。

サイバーフィジカルシステムは、生産プロセスとサプライチェーンの生産性向上に巨大な潜在力を有している。

船舶建造工程からアフターサービスまでの全段階にわたる、モデリングとシミュレーションの統合的アプローチ（仮想支援（Virtual Support））の必要性は高まる。このことは、よりカスタム化された船舶、専門化された船舶を求めるユーザーニーズが高まるにつれてさらに増強される。

一方で、Industry4.0 は、たとえ部分的に導入するとしても相当額の投資が必要となり、中小企業や利益率の小さい業界には、大きな問題となりうる。Industry4.0 に批判的な者は、Industry4.0 の導入はあまりに高価で広範囲すぎるうえに、導入する動機は、顧客の要望に応えるためではなく、供給者側の単位コストを下げる等の目的から導入されているものであると批判している。

自動化の進展は、製造業における専門性も一変させる。新しい生産機械やシステムをプログラムし、モニターし、最適に制御・運用できる人材が求められている。こういった新しい技能を備えた人材のニーズは、これから加速的に増加していく。

IIoT が定着するにつれ、才能を持った人材への需要は強くなる。デジタルリテラシーを持った専門人材（デジタルロボットの設計、ネットワークエンジニアリング、データ解析法等）を確保するには、プレミアムを支払う覚悟が求められるだろう。

自動化は雇用を奪うという根強い見方が社会にあるが、**Industry4.0** や類似の取り組みの中では、そういったことは逆であると考えられている。ロボット化や高度な自動化は、企業をより高付加価値な事業領域に移動することを可能とさせる。このことは、世界で最もロボットが使用されているドイツ、韓国、日本の失業率が低いことでも明らかである。

## 主な参考文献

1. ABB Group, Integrated Operations - ABB's digital transformation for the maritime industry, June 2016, [www.abb.com/marine](http://www.abb.com/marine)
2. Accenture, (a) Winning with the Industrial Internet of Things ; (b) The growth game changer, 2015, [www.accenture.com](http://www.accenture.com)
3. ASD-SSG (Aerospace & Defence Industries of Europe) , Through-life cycle interoperability/SC4 standards, [www.asd-ssg.org](http://www.asd-ssg.org)
4. BIBA (Bremen Institute for Production and Logistics) , Industry 4.0 in the Maritime Sector, April 2016, [www.biba.uni-bremen.de](http://www.biba.uni-bremen.de)
5. Deloitte University Press, Industry 4.0 and manufacturing ecosystems, February 2016, [www.deloitte.com](http://www.deloitte.com)
6. DNV GL, (a) Technology Outlook 2025, April 2016, [www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com)
7. DNV GL, 3D printing for the maritime industry DNV Ferry & RoRo Update, No1 of 2015, [www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com)
8. EU European Parliamentary Research Service (EPRS) , Briefing: Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth, September 2015, [eprs@ep.europa.eu](mailto:eprs@ep.europa.eu)
9. Fraunhofer Institute, Functional modelling and simulation of overall System Ship,2015, [www.scs-europe.net](http://www.scs-europe.net)
10. Germany Trade & Invest, Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future, 2015, [www.gtai.com](http://www.gtai.com)
11. Innovation Quarter, Pilot project: 3D Printing Marine Spares, January 2016, [www.innovationquarter.nl](http://www.innovationquarter.nl)
12. Manufacturing Technology Centre UK, Industrie 4.0: Taking versatility and connectivity to a new level, QM Magazine, March 2015, [qm.the-mtc.org](http://qm.the-mtc.org)
13. McKinsey & Company, Manufacturing's Next Act, June 2015, [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)
14. Siemens PLM Software, Siemens PLM Software for Shipbuilding, [www.plmportal.org](http://www.plmportal.org)
15. VDMA (German Engineering Federation) , Industrie 4.0: Challenges and Opportunities for the Marine Equipment Industries, September 2015, [www.vdma.org](http://www.vdma.org)
16. Wartsila, Services Division, Improving Performance with Digitalized Services, March 2016, [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com)

この報告書はボートレース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。

欧米等における海事関連技術等の  
最新動向等に関する調査  
(2016年度 特別調査)

2016年(平成28年)8月発行

発行 日本船舶輸出組合  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-15-12  
日本ガス協会ビル 3階  
TEL 03-6206-1663 FAX 03-3597-7800

JAPAN SHIP CENTRE (JETRO London)  
MidCity Place, 71 High Holborn,  
London WC1V 6AL, United Kingdom

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。

