

# 光ファイバセンシングとデジタルツインへの応用

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
村山英晶

## 1. はじめに

デジタルツイン (digital twin) とは、物理的アセットの状態を、過去や実時間の情報をもとに、計算機を用いて仮想空間上に再現させる技術である<sup>1,2)</sup>。

著者が対象とする物理的アセットは、船舶や航空機といった輸送機器、洋上風力発電や海洋資源開発に用いるプラットフォーム、橋梁や地下空間といったインフラストラクチャ、ロボットなどになる。船舶のデジタルツインと言っても、様々な形態をとり得るだろう。例えば、船舶の推進力を生み出すプロペラやエンジンといった各コンポーネントのデジタルツイン、それらが統合された輸送機器システムとしての船舶のデジタルツインが考えられる。また、生産設備や製造過程にある船舶のデジタルツインや、さらに社会システムとしての海上物流のなかで運用されている船舶のデジタルツインを考えることもできる。

コンポーネントや船舶システムの運用状態をデジタルツインによって監視することができれば、プロダクトとしての妥当性検証や運用・保守の最適化につながる迅速な異常検知、適切な制御が可能となる。デジタルツインは生産プロセスにおいても、リソースの最適化や障害の発生検知や対処に役立つことができるだろう。さらに海上物流という枠組みの中で船舶の状態を把握できれば、グローバルな観点からビジネスや環境対応のための全体最適を検討することができる。

仮想的に状態を再現するという意味ではシミュレーションと同様ではあるが、デジタルツインではセンサによって取得された実世界でのリアルタイムデータを利用し、デジタルモデルとデータを融合させることができる。したがって、デジタルツインの開発では、センサおよびデータ解析が重要な技術要素となる。

著者は、光ファイバを用いたセンシング技術および計測データに基づいた構造健全性評価について研究を行ってきた<sup>3,4)</sup>。細径、可とう性といった光ファイバの特徴を生かし、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) などの複合材料にセンサを埋め込んだ知的材料・構造 (smart materials/structures) の開発している<sup>5,6)</sup>。また、光ファイバに沿った任意位置で連続的にひずみを計測できる技術を応用して、パイプやケーブルの形状を同定する技術の開発を行っている<sup>7,8,9)</sup>。いずれにおいても、分布型光ファイバセンサ (distributed fiber-optic sensing) と形状センシング (shape sensing)<sup>10)</sup>が重要な技術要素となっている。本稿では、著者が開発・利用してきた周波数領域反射計 (OFDR) を用いた分布型光ファイバセンサと形状センシングを融合して構築したCFRPサンドイッチと樹脂パイプのデジタルツインについて紹介する。このデジタルツインは、それぞれの構造の弾性変形を再構成することができ、その変形から構造健全性を評価することを目的としている。

## 2. OFDR を用いた分布型光ファイバセンサ

OFDR を用いた分布型光ファイバセンサの計測システムの構成を図 1(a)に示す<sup>5)</sup>。波長可変光源 (TLS) から出た光は分光器 C1, C3 で分光され、反射面 R3 とファイバ・ブラッグ・グレーティン