

## 人・社会の不確かさ・複雑さを含めた拡張デジタルツイン構築と計算情報科学基盤創成

### ① ビジョンの概要

人・社会の不確かさ・複雑さを含めた拡張デジタルツイン構築のために、計算力学と機械学習の融合、人の知の抽出とAIによる代替、人の感情や限定合理性の認知科学と社会的価値評価を含めた文理融合研究を進める。

### ② ビジョンの内容

VUCA (Volatility: 変動、Uncertainty: 不確かさ、Complexity: 複雑さ、Ambiguity: 曖昧さ) の時代と呼ばれる現在は、不確かさの増大が個人や社会の状況、グローバル展開する日本の製造業の事業継続性等を不透明にしている。人を中心としたCPS (Cyber Physical System) を標榜するSociety5.0の実現のために、製品やシステムに加えサプライチェーンやネット・サービスも含めた拡張デジタルツイン構築において、図1に示す人・社会とシステム・サービスの不確かさ・複雑さを含めたモデリング技術をさらに深める必要がある。

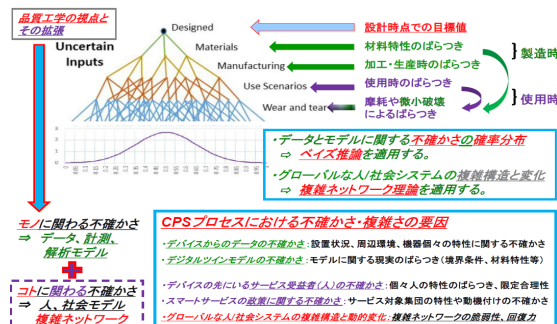


図1 CPSプロセスの不確かさ・複雑さの要因

製品開発や生産工程設計における機能・構造評価技術である計算力学は、支配方程式から導かれる数理モデルを数値的に解く演繹的手法であり高度なものづくりに大きく貢献してきたが、それらの解析結果から作り上げる代理 (Surrogate) モデルには深層学習の普遍近似性が利用される。また、製品開発、生産工程設計、生産・物流・サプライチェーン全般及び販売・サービス業務での人の暗黙知や経験知の抽出とAIによる代替も重要である。深層学習・機械学習は広義の統計数理手法であり、統計数理の基本は変数を確率分布として扱う。計算力学と機械学習の融合は、不確かさを含む現実の世界をモデル化・解析・予測する新たなアプローチとなる。人・社会やサプライチェーン等企業活動に関するシステム・サービスのモデル化で必要となるネットワーク科学を加えた体系を、拡張デジタルツインの計算情報科学基盤として構築する。ネットワーク科学は情報と物理を融合する「関係性の科学」と表現され、プラットフォームのビジネスモデルやサプライチェーン・ネットワークの複雑構造評価に加え、深層学習との組合せも有望である。人の限定合理性や感情の定量化には、認知科学や行動心理学、行動経済学と融合するアプローチが必要である。ネットワーク時代のシステム・サービスを人や社会への価値創出と考えると、「社会的共通資本」の観点から数理経済学との融合研究も重要と考える。以上、演繹的手法である計算科学と帰納的手法である機械学習・統計数理の融合に加え、認知科学、行動心理学、行動経済学・数理経済学との文理融合研究として位置づけることで、全地球的指標であるSDGsやカーボン・ニュートラルの定量的評価にも寄与する拡張デジタルツインを実現する計算情報科学基盤を構築することが可能となる。(図2参照)

### ③ 学術研究構想の名称

人・社会の不確かさ・複雑さを含めた拡張デジタルツイン構築と計算情報科学基盤創成

### ④ 学術研究構想の概要

Society5.0を発展させ日本社会の新たなパラダイムを実現するために、設計科学、計算科学、情報科学、認知科学、行動経済学等を統合し、人・社会の不確かさ・複雑さを含めた拡張デジタルツインを構築する。

1) デザイン思考、モデルベース開発や最適設計を含む設計科学、マルチ・フィジクスや高精度シミュレーションに加えデータ同化や機械学習を含めた計算科学、IoT基盤の情報通信技術やクラウド・プラットフォーム環境構築を含む情報科学、行動経済学における人の限定合理性や公共サービスの政策評価を行う統計数理アプローチを融合した、計算情報科学基盤の研究開発を促進する。

2) 人や機械・人工物から膨大なデータを収集・蓄積・分析するために、計測データや物理モデルに加え人・社会システムの不確かさ・複雑さを含めた拡張デジタルツインを構築する。公共インフラ、人の健康・安心・安全に関わるビッグデータを社会基盤として整備、インフラ老朽化、人口減少や地方過疎化、都市部の交通・物流等の課題解決するスマート・サービスの社会実装と、実現される「社会的共通資本」の価値を評価する。

3) CPS上の拡張デジタルツインによって実現される新しい社会基盤は、地球規模の課題である持続可能

性に対する先行的解決策を提示する。公共インフラや人の健康・安心・安全に関わる取り組みは、新興国が抱える課題解決にも大きく貢献する。急速に発展し人口急増が予測される新興国に対し、CPSによる社会インフラ基盤整備の実績を水平展開する国際的協同の枠組みを構築する。

⑤ 学術的な意義

1) Society5.0の基本アーキテクチャであるCPSに、不確かさ・複雑さを含めた拡張デジタルツインを構築する枠組みは学術的に意義がある。特に拡張デジタルツインとして、計算力学と機械学習の融合による代理モデル化や、人の知の抽出とAIによる代替、人の感情や限定合理性に関して個体差や状況による変化等を含めた認知科学的アプローチ、ネットワーク科学を用いたサプライチェーンやバリューチェーンのモデル化に加え、システム・サービスの社会的価値に関する評価を行う文理融合研究は新しい取り組みである。物理系現象と社会系現象の相互作用を通して、社会系におけるマルチソーシャル、マルチスケール概念に、社会的価値評価手法を加えた方法論に関する研究を進めることも、新たな文理融合テーマとして意義がある。

2) CPS上の現実社会と拡張デジタルツインの双方に含まれる複雑さと不確かさの定量化(Uncertainty Quantification)に関して、スマート・サービスの対象である人や社会の不確かさをコトの不確かさとして研究対象とする。人や社会の限定合理性を取り扱う計算科学的手法に関しても、認知科学と行動経済学の融合として新たな学術分野の創成が期待できる。また、不確かさの評価によって災害頻度や事故確率を定量化することができ、社会の安全や持続可能性にも大きく貢献する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

ドイツはIndustry4.0を国家戦略として、製造業におけるCPS構成によるスマート工場の実現と機器・設備間の接続プロトコル標準化を実現。米国ではIndustrial Internet ConsortiumがIT企業を中心に構成され、Digital Twin Consortiumに発展している。しかしデジタルツインの対象となる人・社会の不確かさを含めたモデル化事例は皆無である。近年ドイツではIndustry4.0は完了しIndustry5.0に向かうと宣言しているが、生産プロセスにおけるオペレータ視点での取組みに限定されている。日本ではSociety5.0の実現のための提案がされているが、スマート・サービスの対象としての人や社会をモデルに取り込むものは無い。

⑦ 社会的価値

システム・サービスの社会的価値に関する科学的評価は経済的・産業的価値を生む。日本の製造業がモノ売りからコト売りとして提供すべきスマート・サービスの設計・開発が可能となり、世界における地位が向上する。

⑧ 実施計画等について

【実施計画】

- R5-R6：拠点整備と研究ネットワーク構築
- R7-R8：公共インフラ・ビッグデータ基盤整備
- R9-R12：複数の仮想的社会実装

【所要経費】

総額 49.3 億円

【実施機関と実施体制】

中核拠点を東京大学大学院工学系研究科とし、人文社会学研究科、経済学研究科等に加え、他大学経済学部や機械学会を含む複数の学協会研究者及び、ダイキン、日立等の企業技術者らと連携する。

⑨ 連絡先

平野 徹 (ダイキン工業)

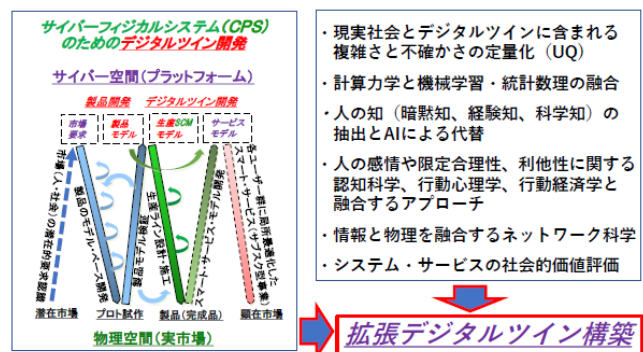


図2 拡張デジタルツイン構築の全体像