

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・社会とシステム・サービスの不確かさ・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・生成A Iの融合、人の知の抽出とA Iによる代替可能性、人の感情や限定合理性に関する認知科学的アプローチ、さらに情報と物理の融合のためのネットワーク科学や、生成A I及びエージェント技術、システム・サービスの社会的価値に関する評価を含めた計算情報科学基盤として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の状況において、不確かさの増大が個々人や社会の状況、個別分野に分断された学問体系、さらにグローバル展開する日本の製造業の事業継続性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・システムやサプライチェーン(SC)、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。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、物理法則に従う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るが、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(DL)の普遍近似性が利用される。また、製品開発、生産工程設計、さらには生産・物流・SC全般及び販売・サービス業務領域での人の暗黙知や経験知の抽出と構造化、生成A Iによる代替可能性の追求も重要な課題である。機械学習・DLは広義の統計数理手法で、基盤となるBackpropagationにおける確率的勾配降下法は汎用的最適化アルゴリズムであり、計算科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。さらに、人・社会やSC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や、生成A I・エージェント技術を加えた体系を、拡張デジタルツイン構築のため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の融合として「関係性の科学」と表現され、Scale Free NetworkやSCネットワークの複雑構造評価に加え、DLとネットワークを組合せたGraph NNも有望な融合技術である。人の限定合理性や感情の定量化に関して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、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」として評価する必要がある数理経済学との融合も重要である。演繹的手法の計算科学と帰納的手法の機械学習・生成A Iの融合に加え、認知科学、行動心理学、行動・数理経済学との文理融合研究として位置づけることで、全地球的課題に取り組む指標である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ための計算情報科学基盤を構築することが可能となる。

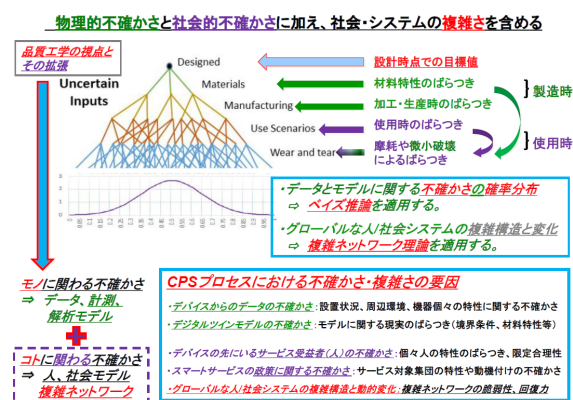


図1 人・社会とシステム・サービスの不確かさ・複雑さを含めたモデリング技術

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

計算力学と機械学習及び生成A Iの深い融合や、人の知の抽出とA Iによる代替、人の感情や限定合理性に関する認知科学的アプローチ、情報と物理を融合するネットワーク科学に加え、エージェント技術によるシステム・サービスの社会的価値評価を含め文理融合研究を進める。

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・DL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、さらに、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生成A Iによって融合した、計算情報科学基盤の研究開発を促進する。

2) CPSによって人や機械・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・物流等の課題を解決するスマート・サービスの社会実装と、それによって実現される「社会的共通資本」としての価値を評価する。

⑤ 学術的な意義

1) 計算力学と機械学習・生成AIの融合(支配方程式や境界条件等の組込み)による高速・高精度な代理モデルの構築や、人の知(暗黙知、経験知、科学知)の抽出と知識グラフ表現を用いた構造化による形式知の探求、人の感情や限定合理性に関して個々人の個性差等を含めた認知科学的アプローチ、さらに情報と物理を融合するネットワーク科学を用いたSC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。自然環境の不確かで大きな変動を想定し、社会における不確かさ・複雑さを含めた人間・社会系のモデル化と複数のシナリオに基づき、人工物システム等が相互作用しながら動く現実社会をAIエージェントにより定量的にシミュレートし、人や機械・人工物から収集される膨大なデータと比較しながら最適化社会の施策実現を行う科学的なアプローチを確立することは新たな試みで、異なる学術分野や現象の相互作用に焦点をあてた新学術分野を創成する。

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)も重要な学術的意義がある。計測データや物理モデルに関する不確かさは学術的に注目されているが、スマート・サービスの対象である人や社会の不確かさも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。特に不確かさを含む様々な量を確率分布として表現することで、計算科学的には確率分布関数の多重積分として表現されるため計算負荷が非常に多く、将来の量子コンピューティングの活用を見据えたアルゴリズムを開発することが必要と考える。

3) 計算力学とデータ駆動型DLの融合として、代理モデルに物理法則を取込むPINNsやOperator Learningを活用するために、異なる数値精度の計算環境を統合利用するソフトウェア基盤の技術開発は喫緊の課題で、CPSプラットフォーム上で行う公共ビッグデータの総合的学習によって得られる学習済ニューラルネットをエッジ側で推論制御に利用する転移学習に関しても日本は世界をリードできると考える。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

最近ドイツではIndustry4.0は完了しIndustry5.0に向かうと宣言しているが、Industry Operatorの視点に限定される。日本でもSociety5.0を実現する提案が多数されているがモノづくりのデジタル化を目指しているものが多く、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少ない。

⑦ 社会的価値

日本の製造業の世界における地位向上のために、製品を販売するモノ売りから、CPSを前提としたコネクテッド・プロダクツの機能設計と、コト売りとして提供すべきスマート・サービスの設計・開発が進む。

⑧ 実施計画等について

【実施計画】

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 43 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、人工物工学研究センター、人文社会学研究科、経済学研究科等及び、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)

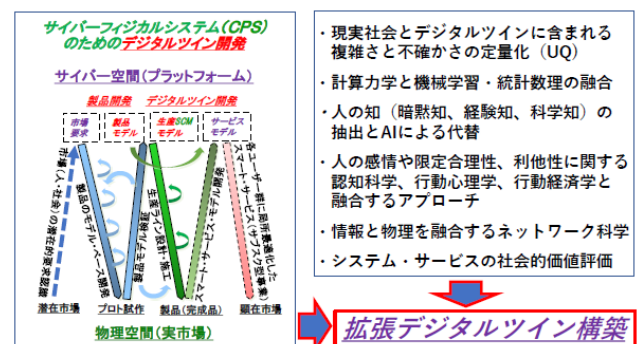


図2 拡張デジタルツイン構築の全体像