

計算科学技術部会セッション

原子力における仮想空間の活用

Utilization of the virtual space in a nuclear field

(3) デジタルツインにおける V&V

(3) V&V for Digital Twins

*越塚 誠一

東京大学

1. Society5.0 におけるデジタルツインの位置づけ

Society5.0 とは、日本政府の第 5 期科学技術基本計画において提唱された我が国が目指すべき未来社会の姿であり、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立させる人間中心の社会である[1]。

Society5.0 では現実であるフィジカル空間のデータに基づいてコンピュータの中のサイバー空間にモデルを構築し、サイバー空間でのシミュレーションを通じてフィジカル空間に新たな価値をもたらす。こうしたシステムをサイバー・フィジカル・システム(CPS)あるいはデジタルツインと呼ぶ。ドイツ政府の提唱するインダストリー4.0 においても、ものづくりを主な対象としてサイバー・フィジカル・システム(CPS)あるいはデジタルツインの導入が展望されている[2]。

科学技術振興機構の報告書[3]に記載されているものづくりにおけるデジタルツインに、V&V を描き加えたものを図 1 に示す。様々な工学分野における現実の製品は、研究開発、設計、製造、保守という過程を経て利用される。こうしたそれぞれの過程に対応してサイバー空間にモデルを構築する。フィジカル空間にそっくりのモデルをサイバー空間に作り上げるため、デジタルツイン（デジタルの双子）と呼ばれる。デジタルツインが構築されると、サイバー空間におけるシミュレーションによって、フィジカル空間の製品の挙動を予測することができるようになる。特に、工学製品を製造した後の保守の過程においてもサイバー空間にモデルを構築することが想定されており、保守に関する様々なデータを、センサーを用いて計測してサイバー空間に取り込むことにより、高度な保守を実現することが目指されている。工学製品は顧客によって様々な使い方があり得るので、Society5.0 における人間中心の考え方に対応するためには、保守に対してもデジタルツインを構築するというのが重要である。

原子力発電所においては、これまで設計において様々な事故解析が行われ、安全な原子力発電所が建設されてきた。デジタルツインの考え方を導入すれば、従来の設計の過程における事故解析だけでなく、運転開始後においてもプラントのシミュレーションが行われるとともに、プラントの現状に関する計測データがそこに活用されることが考えられる。そして、トラブルが発生した場合に、計測データからトラブルの原因を予測したり、考えられる対応策の実施前にシミュレーションを行ってその影響を事前に検討したり、さらには対応策そのものが提案されるようにまでなれば理想的なデジタルツインが構築できたとと言えるであろう。

2. デジタルツインにおける V&V の役割

デジタルツインが有効に機能するためには、サイバー空間に構築されたモデルがフィジカル空間の現実を適切に表現できていなければならない。すなわち、サイバー空間でのシミュレーション結果の信頼性が確保されていなければならない。V&V (Verification and Validation, 検証と妥当性確認) は、シミュレーションの信頼性を高めるための方法論である[4]。Verification (検証) はシミュレーション結果がモデルの正しい結果となっているかを定量的に確認することであり、Validation (妥当性確認) はモデルが現実を正しく表しているかを定量的に確認することである。特に Validation は現実の挙動とシミュレーションの結果を突き合わせる作業であり、これを地道に繰り返すことでモデルの信頼性を高めることができると考える。

*Seiichi Koshizuka

The Univ. of Tokyo

工学シミュレーションに対する V&V の標準的な手順は、技術規格として日本原子力学会[5]、米国機械学会[6]等において作成されている。こうした規格では、構造計算、熱流動計算、核計算などシミュレーションに関わる広い分野に共通して適用することができる基本的な考え方が示されている。

米国機械学会からは 2018 年に医療分野の V&V の規格が発刊された[7]。そこでは意思決定と V&V の関係が記載されている。モデルの影響と意思決定の重要性をそれぞれ 3 段階で評価してマトリックスを作成し、モデルのリスクを導出する。同様な手順は NASA の規格[8]にも記載されている（ただし 5 段階評価）。たとえば、モデルの影響が大きく、かつ意思決定の重要性が大きい場合は、リスクが最大になる。この導出されたリスクから、V&V をどこまで慎重に行うべきかが決定される。リスクが最大の場合には、不確かさの統計量の定量化まで行わなければならないとされている。反対の視点からは次のように言うこともできる。V&V によって得られるのはシミュレーション結果の持つ不確かさである。不確かさとはリスクであるから、品質マネジメントの観点からは、意思決定にはシミュレーション結果だけでなく V&V によって得られる不確かさも考慮しなければならない。このように、最近の V&V の規格では意思決定と V&V の関係が記述される傾向が見られる。原子力分野におけるグレーデッドアプローチの考え方と対応していると考えられる。

参考文献

- [1] https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/
- [2] 岩本晃一, "インダストリー4.0 ドイツ第4次産業革命が与えるインパクト", B&T ブックス (2015).
- [3] 科学技術振興機構, "戦略プロポーザル 革新的デジタルツイン ～ものづくりの未来を担う複合現象モデリングとその先進設計・製造基盤技術確立～", CRDS-FY2017-SP-01 (2017).
- [4] 白鳥正樹, 越塚誠一, 吉田有一郎, 中村均, 堀田亮年, 高野直樹, "工学シミュレーションの品質保証と V&V", 丸善出版 (2013).
- [5] 日本原子力学会, "シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン" AESJ-SC-A008:2015 (2015).
- [6] American Society of Mechanical Engineers, "Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics," ASME V&V 10-2006 (2006).
- [7] American Society of Mechanical Engineers, "Assessing Credibility of Computational Modeling Through Verification and Validation: Application to Medical Devices," ASME V&V 40-2018 (2018).
- [8] National Aeronautics and Space Administration, "Standard for Models and Simulations," NASA-STD-8009A (2016).

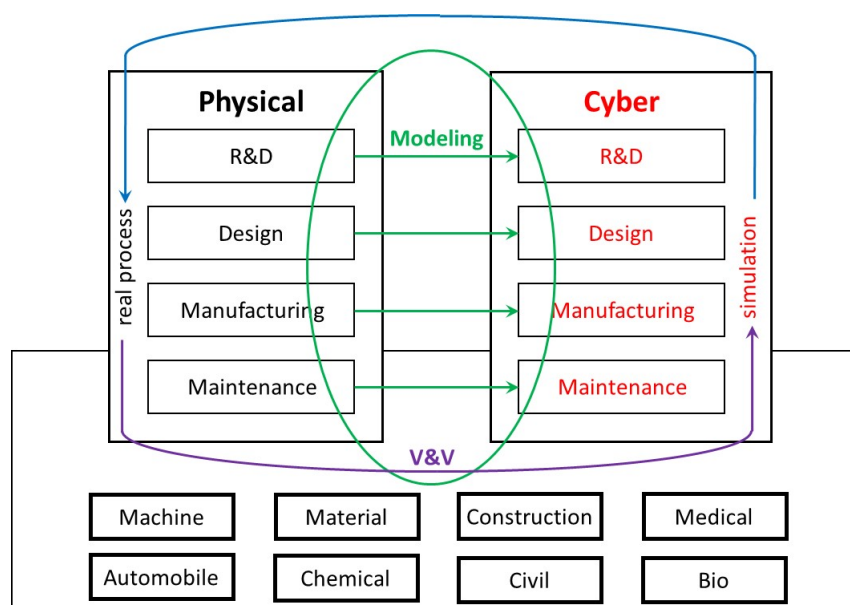


図1 ものづくりのためのデジタルツインにおけるモデリングと V&V の関係

