

CPS の概念を導入した土木技術開発手法について（その4）

ー 建機自動化開発におけるシミュレーション技術の有効性について ー

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○畠山 峻一, 青木 浩章
大成建設(株) 技術センター 正会員 片山 三郎, 名合 牧人

1. 背景・目的

Society5.0¹⁾の実現において、インフラマネジメントシステムの構築が必要不可欠である。これに向けて、国土交通省は建設生産プロセスにおいて ICT 等を活用する「i-Construction」を推進しており、建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上させることを目標としている。したがって、施工プロセスの生産性に大きく関与する建設機械の自動化は急務の課題であり、筆者らも開発に取り組んでいる。

建機の自動化開発において、筆者らは計算機を用いたシミュレーション技術を積極的に活用している（図-1）。現在、筆者らは建設施工プロセスの生産性向上に向けた CPS (Cyber-Physical Systems) の導入を試みており²⁾、建設業のような複数の作業が複雑に関連する生産プロセスを計画または管理するためには、現実（フィジカル空間）を仮想空間（サイバー空間）に再現し、これを数値的および視覚的に判断することが重要である。シミュレーション技術の活用は今後、建設技術開発においてさらに重要性を増していくと判断される（図-2）。

本稿では、自律制御型振動ローラの開発事例を基に、建機自動化開発におけるシミュレーション技術の有効性について述べる。

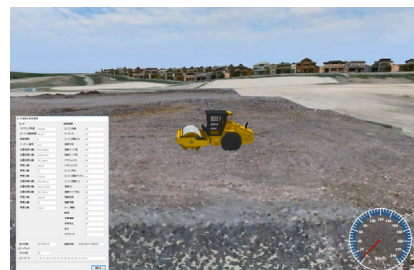


図-1 3D・VR シミュレーション

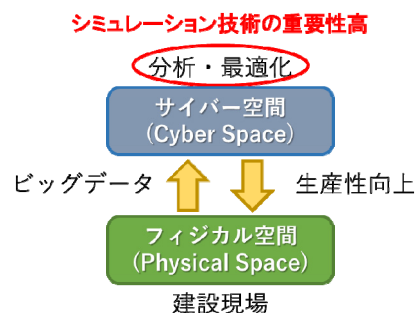


図-2 建設技術開発における CPS

2. 開発実施概要

1) 全体実施フロー

筆者らの行った自律制御型振動ローラ開発について、全体実施フローを図-3に示す。同機は汎用の 11 t 級振動ローラを自律制御化³⁾⁴⁾したものである。建機自動化開発フローは 4 段階に大別される。はじめに、自動化対象とした作業における建機の必要動作を分析する。次に、動作を決定するためのセンシング機器を選定し、これらを用いた動作アルゴリズム（制御ソフトウェア）を開発する。つづいて制御機器ソフトの構築が完了した段階でシステム全体の動作検証を行い、問題がなければ最終段階として実機適用に移行する。

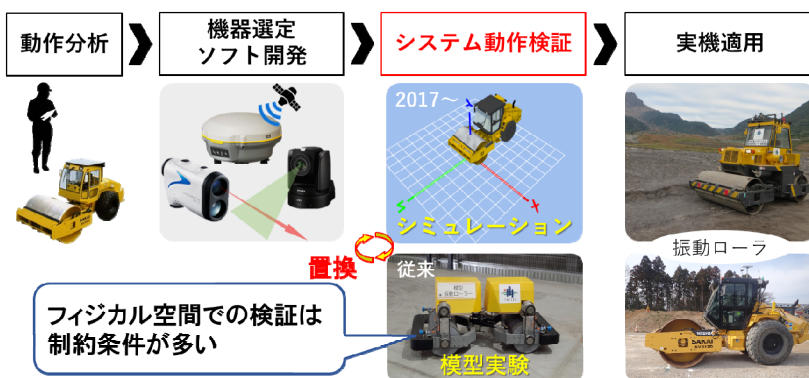


図-3 建機自動化開発の全体フロー（振動ローラ）

開発フロー中、システム動作の検証はこれまで模型実験により行っていたが、フィジカル空間での検証は後述の通り労力が大きく、安全性の面で制約条件も多い。近年、3DVR 等のシミュレーション技術が飛躍的に向上したことでサイバー空間での検証が比較的容易になったことから、筆者らは 2017 年度以降、模型実験による検証をシミュレーション検証へ置換えている。

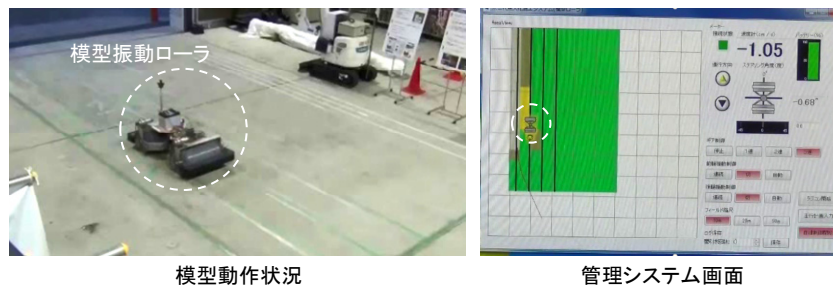
開発フロー中、システム動作の検証はこれまで模型実験により行っていたが、フィジカル空間での検証は後述の通り労力が大きく、安全性の面で制約条件も多い。近年、3DVR 等のシミュレーション技術が飛躍的に向上したことでサイバー空間での検証が比較的容易になったことから、筆者らは 2017 年度以降、模型実験による検証をシミュレーション検証へ置換えている。

キーワード CPS, シミュレーション, ICT 建機, 自律制御, 振動ローラ

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター先進技術開発部 TEL 045-814-7219

2) 従前に行っていた模型実験の例

検証にあたり、実機の 1/3 スケール模型(全長 1.28m×幅 0.74m)を製作した。本模型はアーティキュレート機構を有し、センシング方式についても実機同様とした。検証フィールドは屋内にヤード(延長 12m×幅 7m)を設けた。検証は、まず各要素動作の挙動や摩擦係数の影響について分析を行った後、管理システムの指示(転圧箇所及び転圧回数)に従って模型が正しく動作するか確認した(写真-1)。



模型動作状況

管理システム画面

写真-1 模型実験 実施状況

3) シミュレーションによる検証(新規)

検証の実施イメージを図-3 に示す。

検証ソフトは、市販のドライブシミュレータ「UC-Win/Road」⁹⁾及び物理エンジン「AgX Dynamics」を使用した。

これらを組合せることで、建機の基本動作確認に加え、機械特性や地盤条件の違いが動作に与える影響について検証可能になる。



図-3 シミュレーション検証 実施イメージ

3. 模型実験とシミュレーションの比較

検証に関して、模型実験とシミュレーションの比較を行った(表-1)。所要期間は、模型実験の12ヶ月に対しシミュレーションは3ヶ月と、開発速度で4倍もの差が生じた。これは、以下に示す検証時の制約条件の差によるものであった。

最も開発生産性の差を実感したのは、設備・場所の制約である。模型実験は、模型に加え一定以上の広さをもつ平坦な検証フィールドが必要となるが、シミュレーション検証はPCがあればいずれの場所でも実施可能である。このため、例えばシステム動作に不具合が生じた際、追加検証を行うための準備、環境整備も不要となる。またシミュレーション検証はサイバー空間にて実施するため安全性に配慮する必要がなく、安全監視員の配置は必要ない。これらの影響は、システム動作が不安定な開発初期において特に顕著であった。

4. まとめ

フィジカル空間での検証は、設備・場所・安全等、配慮すべき事項が多いが、サイバー空間ではこのような制約に左右されないため、シミュレーション技術の活用は建機自動化開発の生産性を大きく向上させる。また昨今はセンサの小型化・低価格化によりIoTが加速し、あらゆるものがデータ化されつつある。これらデータを活用することでシミュレーションはより高精度化し、サイバー空間とフィジカル空間の行き来をよりスムーズにできる。筆者らは今後、CPSの検証プラットフォーム構築に向け、AIを活用した制御システムの開発を行っていく。これにおいて、シミュレータによる学習プロセスの高速化は重要な課題の一つであると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：第5期科学技術基本計画（平成28年1月22日閣議決定），2016。
- 2) 名合牧人，石井喬之：CPSの概念を導入した土木技術開発手法について（その1），土木学会第74回年次学術講演会，2019。
- 3) 栗原ら：次世代無人化施工の開発～建設技術研究開発助成制度を利用した振動ローラの自律走行の実証～，土木学会第69回年次学術講演会，2014。
- 4) 片山ら：自律制御型振動ローラによる転圧作業の現場検証～次世代社会インフラ用ロボット現場検証～，土木学会第71回年次学術講演会，2016。
- 5) UC-Win/Road：株式会社フォーラムエイトの3次元リアルタイム・バーチャルリアリティソフト。

表-1 検証方法の比較

		模型実験	シミュレーション
検証時の制約	所要期間	12ヶ月	3ヶ月
	設備	模型, PC	PC
	場所	実験ヤード	問わない
	安全	監視員が必要	監視員が不要