

調査レポート

都市デジタルツインの社会実装に向けて

社会インフラチーム シニアコンサルタント
眞崎浩一

都市のデジタルツインについては、国内外で様々な取り組みが進んでおり、防災やインフラ管理、環境評価などに活用している事例もある。一方で、都市の課題解決のために、都市デジタルツインの技術が広く活用されるようになるためには、まだまだ克服すべき課題も多く、さらなる検討、技術開発が必須である。本レポートでは、それらの課題を整理しつつ、都市デジタルツインの社会実装へ向けた取り組みを紹介する。

1 はじめに

諸分野においてDX（デジタルトランスフォーメーション）の重要性が叫ばれて久しい。経済産業省が2020年11月に策定し、2024年9月に改訂した「デジタルガバナンス・コード3.0」¹⁾では、DXの定義を「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」としている。このDXを都市に適用し、データとデジタル技術を活用することで、行政運営、住民サービスなどを効率化し、交通渋滞、環境問題、インフラの老朽化などの課題解決を目指すのが、都市DXである。都市DXの取り組みは、海外でも多くの事例があり、例えばシンガポールでは、政府が「Smart Nation Singapore」²⁾として国家全体のDX化を推進し、住民の健康管理から交通システムまで幅広い分野で様々なデータの共有とその利活用が進んでいる。

また、都市DXの重要な要素技術として、現実空間の対象物や現象をデジタル空間に双子のように複製し、モニタリングやシミュレーションを可能とするデジタルツイン技術も注目を集めている。デジタルツインは、DXを実現するための技術の1つとして位置付けられており、製造業においてその必要性が強く認識され、製品設計や工程管理で多くの適用事例

がある³⁾。これを都市に適用したものが、都市デジタルツインである。都市デジタルツインを活用することで、都市の現状をリアルタイムで把握し、シミュレーションを行うことが可能になる。具体的には、都市のインフラや建物、交通網、環境データをデジタル空間上に再現し、これらのデータを基に都市運営の最適化を図るような活用が期待されている。当社においてもこれまでに、建設業のデジタルツインの実現に関するレポートや都市のシミュレーションに関するレポートを報告してきた⁴⁾⁵⁾。これらのレポートでは、国内のデータプラットフォームの整備状況や活用のための取組⁶⁾について紹介した。本レポートでは、これらの過去の報告も踏まえ、都市を対象としたDX、特にデジタルツイン技術の社会実装に向けた取り組みについて、具体事例を通じて解説するものである。

2 都市デジタルツインとは

2.1 デジタルツインとは

デジタルツインの定義は1つに定まっているものではないが、現在広く使われているデジタルツインの説明としては、現実空間の対象物や現象をデジタル空間上に再現する技術、あるいはその再現物のことというものである。対象物をデジタル空間に再現するためには、多様な情報をデジタル化し、それらを統合する必要がある。また、デジタル空間内で構成されたシステムということに加え、現実空間とデジタ

ル空間のシステム間の同期を特徴に挙げた説明もある⁷⁾。例えば、現実空間においてセンサーやスマートデバイスなどで得られたリアルタイムデータを、デジタル空間の再現物に反映させることで、現実空間とリンクさせることができる。更にデジタル空間上での変更を現実空間にフィードバックすることができれば、現実空間とデジタル空間において双方向の連携が成立する。このようなデータ統合のレベルによって、デジタルツインは以下の3段階に分類することができる⁸⁾：

1. デジタルモデル：現実空間の対象から得たデータを用い、静的に再現されたモデルを利用する段階
2. デジタルシャドウ：現実空間の変化をリアルタイムでデジタル空間に反映するモデルを利用する段階
3. デジタルツイン：現実空間とデジタル空間が双方向に連携し、デジタル空間の変更が現実空間にも反映される段階

例えば、工場内の機械を例に挙げると、部品の寸法や材質データを用いてデジタル空間上にモデルを構築し、シミュレーションを行うのが「デジタルモデル」に該当する。次に、部品の温度や負荷、損傷状態などをリアルタイムでモニタリングし、故障の予測などに活用する段階が「デジタルシャドウ」である。そして、最終段階の「デジタルツイン」では、デジタル空間上での変更が現実空間に反映、例えばモデルを用いたシミュレーション結果を踏まえて、現実の機械の動作を制御する、といったデジタル空間から現実へのフィードバックを含む、双方向の連携が達成される。

この段階的なアプローチは都市を対象としたデジタルツインにおいても同様である。東京都を進める東京都デジタルツイン実現プロジェクトのロードマップ中では、世界の都市デジタルツインの事例を分類しているが、いずれもデジタルモデルからデジタルシャドウの段階であるとしている⁹⁾。

2.2 都市デジタルツインの構築

デジタルツインの対象が都市となる場合、工業製品を対象とした場合に比べて、その複雑さとデータ量は圧倒的に増大する。実際に公開されている都市・インフラデータの代表例としては、国土交通省が公

開する3D都市モデル「PLATEAU」¹⁰⁾や国土、道路、都市・まちづくり、河川・ダム・水資源、交通、港湾・海事、災害・防災、電子成果品などの多岐にわたる分野のデータを集約した「国土交通データプラットフォーム」¹¹⁾、東京都¹²⁾や静岡県¹³⁾、長崎県¹⁴⁾などの自治体が公開している3次元点群データなどが挙げられる。

しかし、都市に関する多様なデータをすべて統合した都市デジタルツインを構築することは、現在の技術では不可能であろう。したがって、必要なデータを選定し、目的に応じたデジタルツインを構築する実践的なアプローチが求められる。例えば、防災を目的とした場合、洪水発生時の浸水状況を予測するために必要なデータとして以下が考えられる：

- ・ 地形や標高データ
- ・ 建物の形状や配置
- ・ 降水量とその分布
- ・ 河川断面や水位状況
- ・ 下水道配管や排水能力

一方、例えば桜の開花状況や観光名所のトイレの混雑状況などの観光向けデータは、防災を目的としたデジタルツインには不要であろう。同じ防災のシミュレーションでも、想定する災害が地震なのか洪水なのか、それとも台風なのかで、必要となる都市データは異なってくる。都市デジタルツインの構築では、運用目的に応じたデータの取捨選択が重要である。

2.3 都市デジタルツインの事例

2.3.1 海外の都市デジタルツイン

都市デジタルツインの活用事例は世界中で注目されており、その中でもシンガポールで2014年に立ち上げられた「Virtual Singapore」は代表的な取り組みである^{15), 16)}。このプロジェクトでは、都市全体を3Dモデル化し、建物、道路、緑地などのインフラに加え、地形や気象データなどを統合してデジタル空間上に再現している。これにより、都市計画の効率化が進むだけでなく、災害時の影響を予測するためのシミュレーションや、エネルギー使用量の最適化、交通渋滞の緩和といった幅広い分野での活用が可能となっている。この3次元のシンガポール全国地図はOneMap¹⁷⁾として公開されており、Webブラウザからアクセスすることが可能である(図1)。

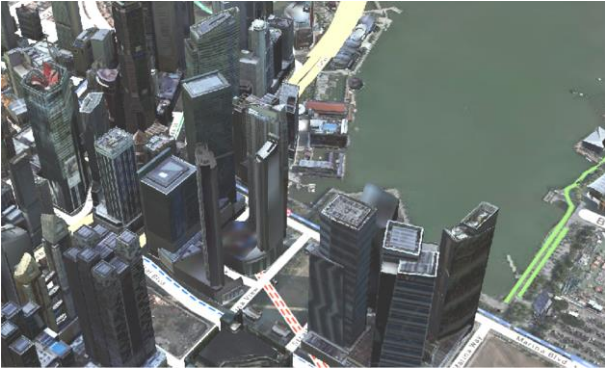


図 1 OneMap の表示例

また、フィンランドの首都ヘルシンキでは、「Helsinki 3D+」というデジタルツインプロジェクトの事例がある¹⁸⁾。このプロジェクトでは、都市全体の高精度な 3D モデルを作成し、都市計画や建築設計、環境シミュレーションのプラットフォームとして活用している。例えば、建物と建物の間の道路にどのような風が発生するかを調べるための風のシミュレーションや太陽光パネルの設置場所の検討などに用いる太陽光挙動・建築物の陰に関するシミュレーション、エネルギー消費量データや建物の暖房需要シミュレーションへの活用がなされている(図 2)¹⁹⁾、²⁰⁾。

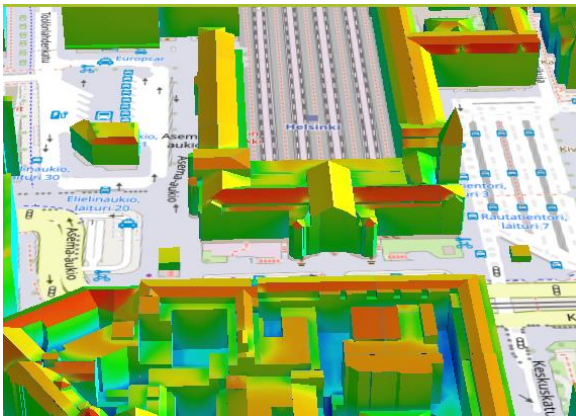


図 2 太陽光エネルギーポテンシャルの表示

挙げた 2 つの例はいずれも代表的な事例であり、これ以外にも、目的や程度の差こそあるが、オーストラリア²¹⁾やイギリス²²⁾、オランダ²³⁾、韓国²⁴⁾などにおいても、都市デジタルツインの活用が進められており、都市デジタルツインの活用は世界的な流れであると言える。

2.3.2 国内の都市デジタルツイン

国内においても、都市デジタルツインの取り組みが進められている。その代表例として挙げられるの

が、国土交通省が推進する「PLATEAU」プロジェクトである。「PLATEAU」は、全国の主要都市を対象に 3D 都市モデルを整備したもので、そのデータはオープンデータとして公開されている。そのため、自治体や企業、研究機関が自由に利用することができ、都市計画やインフラ管理、防災対策への活用が期待されている。これにより、新しいサービスや技術の開発が促進され、都市デジタルツインが防災や都市運営だけでなく、観光や地域活性化にも応用される可能性が広がっている。

さらに、東京都が進める「東京都デジタルツイン実現プロジェクト」⁹⁾も注目すべき事例の一つである。このプロジェクトは、3D 地図(図 3)にセンサー技術や通信技術によってリアルタイムに収集した多種多様な都市データを統合し、デジタル空間上に再現することで、防災・まちづくり・モビリティ・環境・観光などの分野において、意思決定やシステム制御に活用することを目指している。具体的には、避難計画策定や都市整備計画に資するための災害シミュレーション、土砂崩れ時の二次災害の予兆検知、都市交通の混雑予測、CO₂ 排出量シミュレーション、バーチャル観光イベントなど、多様な分野における活用が検討・想定されている。中でもユニークな課題検証として、自動車のワイパー稼働速度データを集め、高解像度な降雨強度の分析を行った事例²⁵⁾がある。

2.4 都市デジタルツインの課題

実際に都市デジタルツインを構築し、社会実装を進めるにあたっては幾つかの課題を乗り越える必要がある。

まず、都市デジタルツインの基盤となるデータの整備は、最も大きな課題の一つである。都市は、多様な構造物、モビリティ、自然環境、住民の活動などが互い複雑に絡み合った社会システムであり、これらをデジタル空間上で再現するためには、膨大かつ多岐にわたるデータが必要となる。例えば、建物の形状や材質、都市のインフラ構造、交通流動、気象情報、住民の行動パターンなど、情報の種類は広範囲に及ぶ。これらのデータを統合して使用可能なモデルを構築するには、データ収集方法の標準化やデータフォーマットの統一が欠かせない。また、自治体が保有するデータには、デジタル化されていないものも多い。例えば、道路に埋められている下水道管をはじめとした埋設管については、自治体によっては紙図面のみが存在している状態であり、そのままでは都市

デジタルツインに組み込めないものも多い。このように基盤となる都市データの整備は大きな課題である。

ただし、近年は都市部を中心に様々なデータの整備も進んできており、多様なデータを重ね合わせてビューワーなどで可視化できるようになっている例も増加している。その一方で、集められたデータを可視化する以外に、具体的なデジタルツインの活用事例はまだまだ少なく、十分に活用されているとはいえない。社会課題の解決のため、データの可視化以外の活用を進めることも課題である。

また、デジタルツインの技術的課題として、膨大なデータを効率的に処理する技術基盤の問題が挙げられる。都市デジタルツインでは、データのリアルタイム処理や正確なシミュレーションが求められるが、現状の計算能力やネットワーク環境では、この要件を完全に満たすことは難しい。特に、都市規模のデータモデルを運用する際には、データ処理のリアルタイム性、シミュレーションの精度、ストレージの確保といった要素がボトルネックとなり得る。また、都市デジタルツインの高精度化が進むにつれ、システムの複雑性も増大する。これによって、技術者の専門知識がますます必要となり、熟練した人材の不足も課題として浮上する。特に地方都市では、地方公共団体におけるデジタル人材の確保・育成が課題として挙げられている²⁶⁾。

最後に、プライバシー面、セキュリティ面の課題もある。都市デジタルツインの扱うデータが増加すれば、住民の行動データや位置情報など、個人に関わる

情報を取り扱う場面も生じると予測される。デジタルツインを正確に運用するためには詳細なデータが必要であるが、これが過剰に収集されると、個人の行動が監視されていると感じさせる恐れがある。また、災害シミュレーションによる被害予測の結果が、地価に影響するようなケースも想定され、そのような情報の取り扱い、非常にセンシティブな問題である。さらには、システムが悪意のある攻撃にさらされるリスクも無視できない。都市デジタルツインがサイバー攻撃を受けた場合、都市全体のインフラが停止したり、住民の個人情報が出たりする可能性がある。このような事態を防ぐために、セキュリティ対策の強化が不可欠である。

3 技術研究組合の取り組み

都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合は、書式や形式が異なる多様な都市データ（建築・インフラ構造物、土地利用データ）を自動リンクさせ、都市を丸ごとモデル化する技術や災害リスクを包含する多様なシミュレーション技術の利活用とその社会実装を目的とする団体である。本技術研究組合には多数のゼネコン、建設コンサルが参加しており、当社も理事として参加している（表 1）。技術研究組合は内閣府が科学技術イノベーション実現のために創設した国家プロジェクト「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」をはじめとした研究開発プロジェクトに参画しており、都市デジタルツインの社会実装に向けた取り組みを進めている。

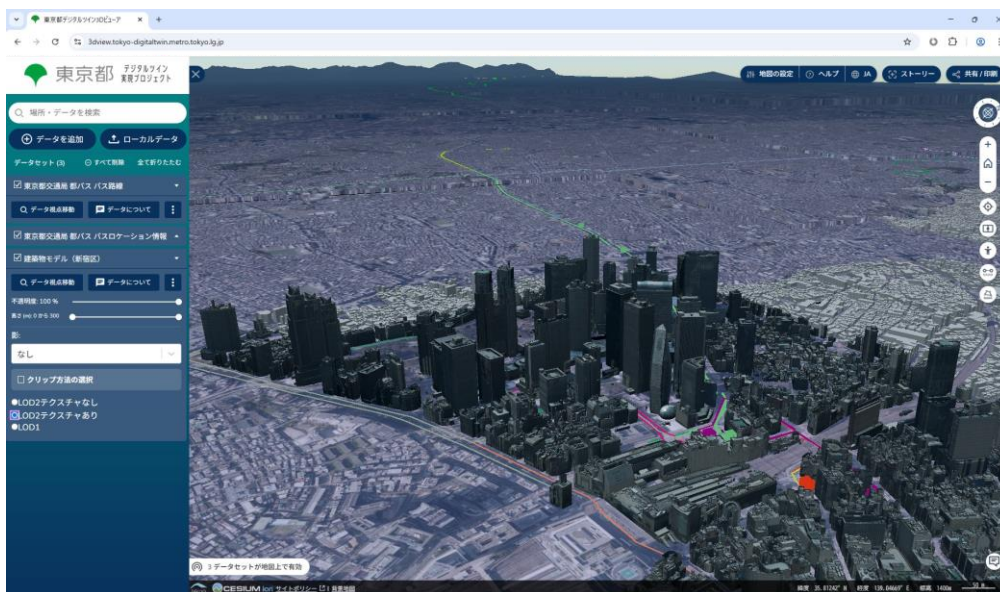


図 3 東京都デジタルツイン実現プロジェクトの3次元マップ

この技術研究組合内の研究開発活動において、都市データを自動リンクさせ、都市を丸ごとモデル化するための核となる技術が、理化学研究所で開発された DPP (Data Processing Platform) である。DPP はデータの形式を別の形式に変換したり、複数のデータを1つのデータにまとめたりするための基盤プログラム²⁷⁾であり、ユーザは必要な機能を「ライブラリ」という形で追加することができる。ユーザは DPP で実行したい処理を「スクリプト」というプログラム言語に近い記述で指示することができ、ユーザが求める複雑な処理も実行させることができる。

これにより、都市データが保存された複数のデータベースから、必要なデータをダウンロードし、それらをユーザが必要とするフォーマットへ変換後、統合してモデルを構築するといった処理が自動的に実施できるようになる。もちろん、事前にユーザの求める処理に合わせてライブラリを開発しておく必要があるが、DPP を用いることでシミュレーションの目的に応じて、疎結合アーキテクチャの考えに基づいた都市デジタルツイン構築が可能となる。この DPP による処理の自動化により高速なモデル構築が可能となり、都市デジタルツイン作成のコストを大きく低下させることができる。また、技術研究組合では、この都市デジタルツイン構築からシミュレーションまでを、インターネット経由のクラウドサービスとして利用できる SaaS (Software as a Service) 形式で提供する仕組みの技術開発も進めている。これらの技術は都市デジタルツインの社会実装に大きく貢献するだろう。

4 まとめ

都市デジタルツインは、DX を都市規模で実現するための重要な技術であり、都市計画、防災、交通、環境、観光など多様な分野での応用が期待されている。本レポートで紹介したように、都市デジタルツインについては国内外で様々な取り組みが進んでいる。一方で、都市デジタルツインの更なる活用のためには、不足データの整備や膨大なデータの管理・処理、可視化以外の活用事例の開発、プライバシー・セキュリティの確保、デジタル人材の育成など、多くの課題を解決する必要がある。都市デジタルツインの社会実装に向けては、さらに実践的な取り組みが求められている段階である。当社は、数十年にわたる様々なシミュレータ開発や解析業務で得た知見を活かし、安全・安心な社会の実現のための都市デジタルツインの実現に取り組んでいく。

引用文献

- 1) 経済産業省, デジタルガバナンス・コード 3.0 ~ DX 経営による企業価値向上に向けて~, https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/investment/dgc/dgc3.0.pdf (参照 2024-04-30)
- 2) Smart Nation Singapore, <https://www.smartnation.gov.sg/>, (参照 2024-04-30)
- 3) 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 調査報告書 デジタルツインに関する国内外の研究開発動向, <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2021/RR/CRDS-FY2021-RR-09.pdf> (参照 2025-04-30)

表 1 都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合の参加法人²⁸⁾

<p>理事・監事 (法人)</p>	<p>株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング 株式会社安藤・間 鹿島建設株式会社 神戸大学 東電設計株式会社 みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 三井住友信託銀行株式会社</p>
<p>会員 (法人)</p>	<p>株式会社大林組 株式会社奥村組 株式会社コムスエンジニアリング 五洋建設株式会社 株式会社 DATA 統合研究所 東洋建設株式会社 NiX JAPAN 株式会社 株式会社ニュージェック パシフィックコンサルタンツ株式会社 一般財団法人 阪神高速先進技術研究所 株式会社フジタ 前田建設工業株式会社</p>

- 4) みずほリサーチ&テクノロジーズ, 都市の動きを丸ごと予測できるか? データとシミュレーションの活用, https://www.mizuho-rt.co.jp/publication/2020/articles_0114.html (参照 2025-06-09)
- 5) みずほリサーチ&テクノロジーズ, 建設業のデジタルツインの実現に向けて, https://www.mizuho-rt.co.jp/publication/2021/articles_0025.html (参照 2025-06-09)
- 6) 全, 小坂部, 田嶋, 亀田, 大谷, 堀, “インフラデータプラットフォームでのデータ連携効率化のための基礎的研究”, 第2回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」(2020)
- 7) Marco Garetti, Paolo Rosa, Sergio Terzi: Life Cycle Simulation for the design of Product-Service Systems, *Computers in Industry*, Volume 63, Issue 4 (2012) 361-369.
- 8) W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, W. Sihn: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 51, Issue 11 (2018) 1016-1022
- 9) 東京都, 東京都 デジタルツイン実現プロジェクト デジタルツインの社会実装に向けたロードマップ 2024年3月第3版(概要版), https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/roadmap/roadmap_slides.pdf, (参照 2025-04-30)
- 10) 国土交通省, PLATEAU, <https://www.mlit.go.jp/plateau/> (参照 2025-04-30)
- 11) 国土交通省, 国土交通データプラットフォーム, <https://www.mlit-data.jp/> (参照 2025-04-30)
- 12) 東京都, 東京都デジタルツイン実現プロジェクト 3Dモデルでみる東京, <https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/3dmodel/> (参照 2025-04-30)
- 13) 静岡県, VIRTUAL SHIZUOKA Project, <https://virtualshizuokaproject.my.canva.site/> (参照 2025-04-30)
- 14) 長崎県, オープンナガサキ, <https://opennagasaki.nerc.or.jp/> (参照 2025-04-30)
- 15) Singapore Land Authority, Virtual Singapore - a 3D city model platform for knowledge sharing and community collaboration, <https://www.sla.gov.sg/articles/press-releases/2014/virtual-singapore-a-3d-city-model-platform-for-knowledge-sharing-and-community-collaboration> (参照 2025-04-30)
- 16) 東京都都市整備局, 参考資料2 バーチャルシンガポールの最新動向, https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/toshiseibi/pdf_bunyabetsu_machizukuri_pdf_digital04_san02 (参照 2025-04-30)
- 17) Singapore Land Authority, The Most Detailed and Comprehensive Map of Singapore, <https://www.onemap.gov.sg/home/>, (参照 2025-04-30)
- 18) Bentley Systems, 都市規模のデジタルツインで環境を改善, <https://ja.bentley.com/company/esg-user-project-city-of-helsinki/> (参照 2025-06-09)
- 19) City of Helsinki, Helsinki 3D, <https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d> (参照 2025-04-30)
- 20) City of Helsinki, The Kalasatama Digital Twins Project, https://www.hel.fi/static/liitteen-2019/Kaupunginkanslia/Helsinki3D_Kalasatama_Digital_Twins.pdf (参照 2025-04-30)
- 21) NSW Government, NSW Spatial Digital Twin, <https://nsw.digitaltwin.terria.io/> (参照 2025-06-09)
- 22) CReDo: The National Digital Twin Climate Resilience Demonstrator Project, <https://theworldavatar.io/demos/credo-phase-one/> (参照 2025-06-09)
- 23) Gemeente Rotterdam, Rotterdam 3D, <https://www.3drotterdam.nl/> (参照 2025-06-09)
- 24) Seoul Metropolitan Government, S-Map, <https://smap.seoul.go.kr/> (参照 2025-06-09)
- 25) 東京都, ベータ版事業 03 産学官でのデータ連携に向けた課題検証, https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/kensyou03_2023/ (参照 2025-04-30)
- 26) 総務省, デジタル人材の確保・育成, <https://www.soumu.go.jp/denshijiti/dejitarujinzai.html>, (参照 2024-04-30)
- 27) 竹山智英, 飯塚敦, オンラインセミナー「DX時代の建設を考える ～建設におけるデジタル化の推進～」都市丸ごとデジタル化 「データ統合による地盤モデルの作成」, <https://committees.jsce.or.jp/robot/system/files/> 【資料】③最終形のDX(神戸大学竹山先生).pdf (参照 2025-04-30)
- 28) 都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合, <https://cityscalekobe.jp/about-us/> (参照 2025-06-30)