

スマートホスピタル

—デジタルツイン技術がもたらす病院の未来—

三井物産戦略研究所 技術・イノベーション情報部

執筆：インダストリーイノベーション室 加藤 貴子

知財分析：知的財産室 松浦 由依

Biz Tech フォーカス 2025

なぜこの技術を取り上げるのか

デジタル技術やデータを活用したスマートホスピタルは、病院運営の効率化や患者ケアの質向上に寄与することが期待されている。近年、デジタルツインの医療分野への応用が注目されており、EU「DIGIPREDICT」、米国「FDT-BioTech」、英国「CVD-Net」、日本「BRIDGE」など、先進的なプロジェクトが進行している。これに伴い、特許数や文献数¹も増加傾向にある。政府支援や民間投資を背景に、研究開発や社会実装が加速し、デジタルツインは病院の未来像を探る上で重要な技術であると考えられる。

Summary

- 病院へのデジタルツイン導入はまだ初期段階で、小規模な実証実験を通じた進展が期待される。
- デジタルツインの構築には、デジタル技術の統合やデータの質・信頼性の確保が不可欠である。
- 将来的には、病院機能の強化や個別化ケアの向上、臨床試験効率化などさまざまな場面での活用が期待されるが、プライバシー保護や透明性の確保といった倫理的課題への対応が重要となる。

1. スマートホスピタルとは

スマートホスピタルとは、最新のデジタル技術とデータ活用により、病院運営の効率化や患者ケアの質向上を目指す概念である。これを支える技術には、IoT、AI、ロボティクス、自動化、センシング、ビッグデータ解析、AR/VR（拡張現実/仮想現実）などが含まれる。中でも、**デジタルツイン**への注目が高まっている。デジタルツインは、病院や患者の現実世界を仮想環境で再現し、リアルタイムのデータ分析を可能にする技術である。さらに、AIとの組み合わせにより複雑な課題への意思決定を支援し、「**未来を予測**」することで早期介入や予防・修正対策が期待される。本技術領域の特許出願は急増しており、デジタルツイン技術は研究段階を超え、実用化が加速する段階に入っている。

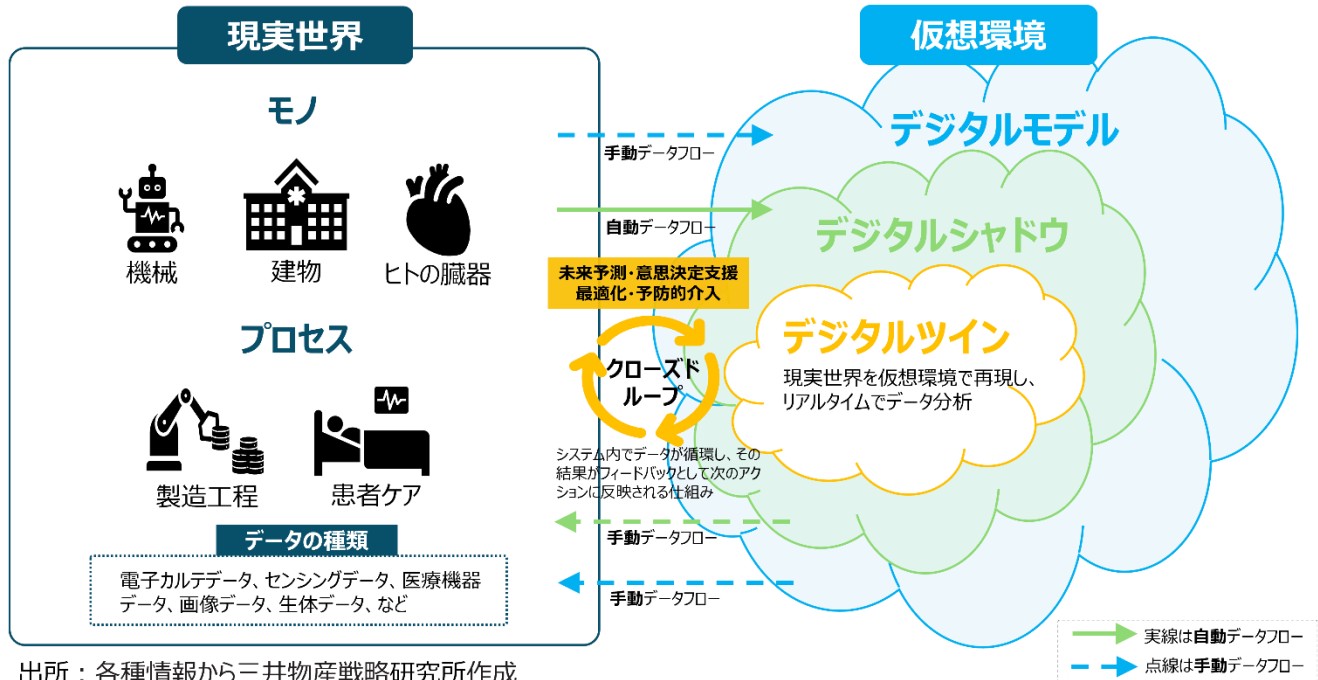
1-1. デジタルツインとは？

デジタルツインは、現実世界のモノ（例：機械、建物、ヒトの臓器）やプロセス（例：製造工程、患者ケア）を数値化し、仮想環境で数学的に構築された「**デジタルモデル**」を基盤とする。このモデルに現実世界から収集されたリアルタイムデータを用いて更新されるモデルを「**デジタルシャドウ**」と呼ぶ。「**デジタルツイン**」は、このデジタルシャドウに加え、仮想環境で得られたシミュレーション結果を現実世界

¹ Evangelia Katsoulakis et al., Digital twins for health: a scoping review Check for update, npj Digital Medicine | (2024) 7:77 (Digital twins for health: a scoping review | npj Digital Medicine)

に反映させるフィードバック機能「クローズドループ²」を備えている。この仕組みにより、デジタルツインは未来予測、意思決定支援、最適化、予防的介入を可能にする（図表1）。

図表1：デジタルツインのイメージ図



1-2. デジタルツインを支える要素技術

デジタルツインの構築には、ウェアラブルやインプラント機器などの①センサーや②IoTデバイスからデータを収集し、③エッジコンピューティングでローカルかつリアルタイムに処理した後、④リアルタイムデータストリーミングを介して⑤クラウドコンピューティングへ送信し、⑥統合データとして活用する仕組みが必要となる。統合データを基に処理・学習・予測を行うには、多様なデータに対応する⑦マルチモーダルAIが重要な役割を果たす。直感的な可視化には⑧3D/4Dモデリングが必要であり、データの安全性を確保する⑨サイバーセキュリティーや、複雑な予測を支える⑩大規模定量モデルも欠かせない。これらの技術がデジタルツイン構築を支えている（図表2）。

² デジタルツインにおけるクローズドループとは、仮想環境で得られたシミュレーション結果を現実世界に反映させ、その結果をさらにフィードバックして学習・改善を繰り返すプロセスのこと。

図表2：デジタルツインを支える要素技術

技術	用語解説
①センサー	物理的環境から情報を収集する装置。温度、圧力、動作などを検知可能。
②IoTデバイス	インターネットに接続された物理デバイス。データ収集・送信を担う。
③エッジコンピューティング	データを収集したその場でリアルタイムに処理する技術。遅延削減に有効。
④リアルタイムデータストリーミング	リアルタイムで大量のデータを継続的に送信する技術
⑤クラウドコンピューティング	インターネット経由でデータを保存、処理、分析する技術
⑥統合データ	異なるソースからのデータを一元的に統合したデータセット
⑦マルチモーダルAI	複数のデータ形式（例：テキスト、画像、音声）に対応する人工知能技術
⑧3D/4Dモデリング	3次元または4次元（時間軸を含む）で情報を可視化する技術
⑨サイバーセキュリティ	データの機密性、完全性、可用性を保護するための技術
⑩大規模定量モデル	複雑な現象を予測・シミュレーションするための数値モデル

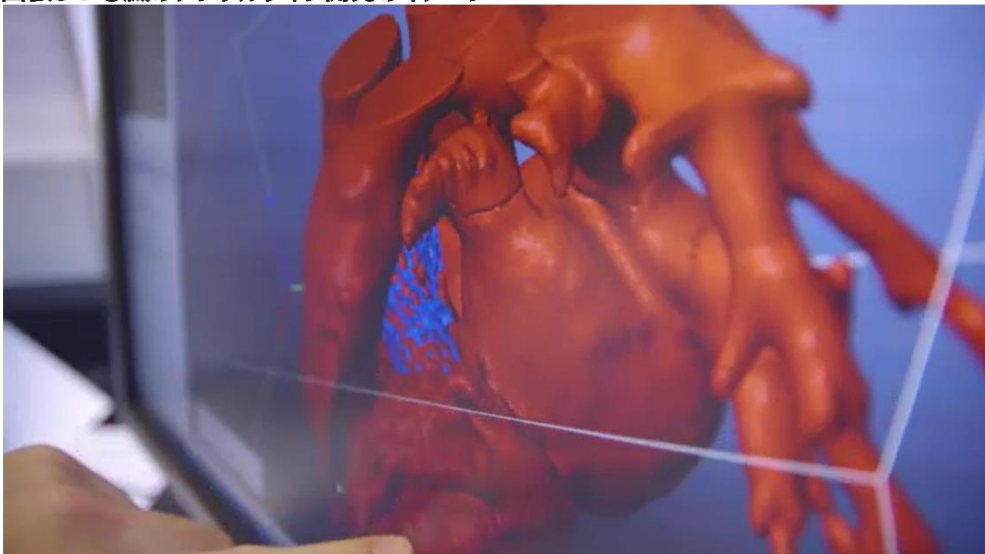
出所：各種情報から三井物産戦略研究所作成

1-3. スマートホスピタルにおけるデジタルツインの現状と導入目的

スマートホスピタルへのデジタルツイン導入はまだ初期段階にあり、専門家インタビューから、多くの事例がデジタルモデルやデジタルシャドウにとどまっていることが確認されている。医療分野では、数千の生体データや環境要因を1秒ごとに処理する高度なモデルの構築において、データ標準化の不足や医療情報のプライバシーの保護など、さまざまな課題が残されている。

病院がデジタルツインを導入する主な目的は、①病院運営の改善（例：医療従事者や患者フローの最適化、医療機器の故障予防など）、②患者ケアの向上（例：個々の患者データに基づく最適な治療法の検討、個別化ケアの提供、予防的介入の実施など）の2点である。デジタルツイン構築には時間とコストがかかるため、集中治療室の運用改善、病院リソースの最適化、医療機器の保全、心臓などの臓器（図表3）や糖尿病などの病態シミュレーションを活用した治療最適化など、目的を絞った開発が進められている。

図表3：心臓のデジタルツイン開発のイメージ



出所：Dassault Systèmes社ウェブサイト掲載動画より一部抜粋（2024年12月5日アクセス）

2. 注目すべき動向

当該分野における注目すべき動向について、大型プロジェクト、コンソーシアム、規格基準・標準化推進組織、病院・研究機関、企業の5つに分類し、図表4にまとめた。デジタルツインの医療分野における応用では、EU「DIGIPREDICT」、米国「FDT-BioTech」、英国「CVD-Net」、日本「BRIDGE」など、各国で先進的なプロジェクトが展開されている。これらのプロジェクトは、個別化医療や予測医療の実現を目指し、学术界、産業界、政府が連携している。今後5年での成果が期待され、デジタルツインの実用化が大きく進む重要な時期になるだろう。

図表4：デジタルツインの病院への応用で注目すべき動向

カテゴリ	地域	名称	概要
大型プロジェクト	EU	DIGIPREDICT	COVID-19の合併症予測、心血管疾患の予防・診断・治療の最適化などを目的としたデジタルツインプラットフォームの構築を目指すプロジェクト。EUのHorizon2020が支援（2021年開始）。デジタルバイオマーカー、Organ-on-chip、AIなどの技術開発も行っている。
	EU	Neurotwin	個別化された脳デジタルツインを構築し、非侵襲的な電気刺激によるアルツハイマー病治療の最適化を目指すEUのHorizon2020が支援するプロジェクト（2021年開始）。
	米国	FDT-BioTech	2024年10月、米国国立科学財団（NSF）は、米国国立衛生研究所（NIH）および米国食品医薬品局（FDA）と協力し、バイオメディカル向けデジタルツイン開発を推進するプロジェクトへの研究資金授与を公表。Foundations for Digital Twins as Catalysts of Biomedical Technological Innovation プログラム（FDT-BioTech）の一環。
	英国	CVD-Net	Engineering and Physical Sciences Research Council（EPSRC）が800万ポンドを助成するプロジェクト。心臓デジタルツインを作成して、肺動脈性肺高血圧症（PAH）患者の病状進行や治療反応をリアルタイムで追跡することを目指している。
	日本	BRiDGE（研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム）	2023年7月、医療デジタルツインの発展を目指し、デジタル医療データバンクを構築する事業を開始。国立がん研究センター主導のもと、診療情報・ゲノム情報・医用画像情報・薬剤情報などの医療情報をデジタル化・構造化・収集することでデータバンクの構築を目指している。
コンソーシアム	グローバル	Digital Twin Consortium	デジタルツイン技術の普及と発展を目的とした国際的な組織。産業界、学界、政府機関の専門家が連携し、デジタルツインの開発、認知度向上、採用促進、相互運用性の改善に取り組んでいる。
規格基準・標準化推進組織	米国	The American Society of Mechanical Engineers（ASME）	米国機械学会では、医療機器向けの規格V&V 40を策定している。デジタルツインの分野でも、V&V 40の重要性は高く、コンピューターモデリングの信頼性を確保するために広く適用されている。
	欧州	Avicenna Alliance	コンピューターモデリングとシミュレーション（インシリコ法）の規制と普及を提唱する組織。デジタルツインの概念や定義、その実装に関するガイドラインの策定している。米ASMEが策定したV&V 40を参考に、欧州におけるデジタルツインの検証・妥当性確認の枠組みを整備している。
病院・研究機関	米国	Cleveland Clinic	2023年2月、米国NIHの助成金（314万ドル）を活用し、25万人以上の電子カルテ情報に基づき地域間の健康格差を分析・改善するモデル“Digital Twin Neighborhoods”を開発中。また、心臓手術の計画や患者モニタリングにデジタルツインを活用している。
	米国	Johns Hopkins	患者の心臓の仮想レプリカを作成する、「遺伝子型特異的デジタルツイン（Genotype-specific digital twin : Geno-DT）」を開発。また、心臓手術や小児外科手術の計画にデジタルツイン技術を導入している。
	スウェーデン	Karolinska Institute	2024年3月、自己免疫疾患の治療において、個々の患者のデジタルツインを用いて、最適な薬を見つける方法を開発。
	シンガポール	Singapore General Hospital	スマートホスピタル戦略の一環でデジタルツインの構築を行っている。4次元疾病発生監視システム（4D-DOSS）プロジェクトを推進。これは、病院内の物理的空間のデジタルレプリカ上に患者の臨床データ、検査結果、移動履歴などを統合するシステム。
	シンガポール	Changi General Hospital	報道によると、救急部門での人員配置とリソースのニーズを予測し、ワークフローの再設計を支援するデジタルツインモデルを構築中。
企業	オランダ	Phillips	CT、MRI、超音波診断装置などの医療機器について、詳細なデジタルモデルを構築し、シミュレーションを行うことで、機器の設計や性能評価に活用している。また、患者のデータを収集・分析し、デジタルツインモデルと連携させることで、個別化された診断や治療計画の立案を目指している。
	ドイツ	Siemens Healthineers	心臓モデルを開発。詳細な3Dモデルに基づいたシミュレーションを行うことができ、診断や治療計画に活用できる。本モデルは、「teamply」と呼ばれるプラットフォームに統合されており、他のベンダーのソフトウェアとも連携できる仕組み。
	フランス	Dassault Systèmes	心臓モデルの「Living Heart Project」を推進。詳細な3Dモデルを使ってシミュレーションを行い、医療現場での活用を目指している。近年、肺や脳、腎臓などの他の臓器モデルの開発にも取り組んでおり、病院システム全体でデジタルツインを活用する方向性を示している。
	英国	AnyLogic	NHS傘下の2病院（Cheltenham General HospitalとGloucestershire Royal Hospital）を対象に病院デジタルツインプロジェクトを実施。病院運営をシミュレーションすることで、リソースの最適化や患者の待ち時間が短縮された。
	米国	ANSYS（Synopsys傘下）	シミュレーション技術の強みを活かし、医療機器や患者の生体モデルの開発に取り組んでいる。特に、心臓や血管、呼吸器系などの生体モデルの構築に長けている。
	フランス	Sim&Cure	脳動脈瘤の治療計画立案に関するデジタルツイン技術を開発。具体的には、患者の画像データをもとに3Dモデルを構築し、シミュレーションを行うことで、最適な治療法や手術手順の検討を行うことができる。

出所：専門家インタビュー、各社ウェブサイトから三井物産戦略研究所作成

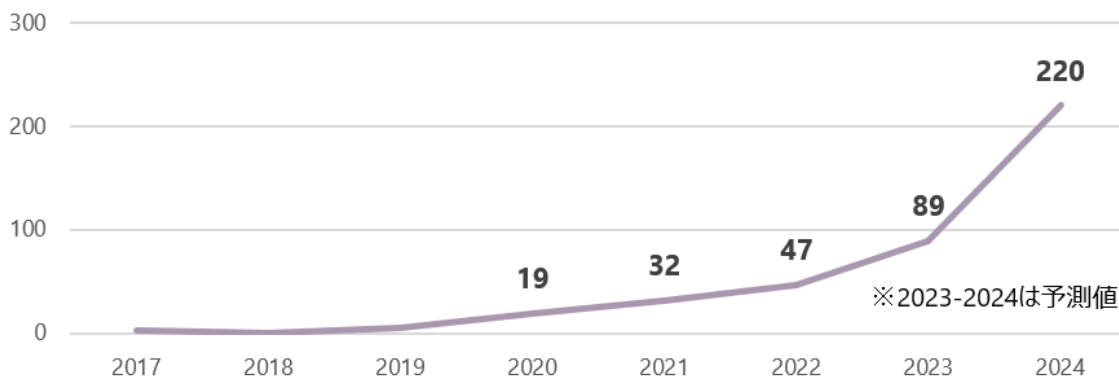
3. 今後の展望

スマートホスピタルへのデジタルツイン導入は、利用目的を明確にし、小規模な実証実験を重ねながら進展していくと考えられる。精度の高いデジタルツインを構築するには、最先端のデジタル技術の統合が不可欠で、データの質や信頼性の確保が成功の鍵を握る。特に、膨大なデータ量と高コストを伴う病院全体やヒト全体の構築は課題が多い。各病院が組織や臓器単位でデジタルツインを構築し、共通プラットフォームで共有する仕組みが求められる。病院は実証の場にとどまらず、データ提供者としても重要な役割を担う。将来的には、デジタルツイン活用により「病院内のリアリティの共有³」が進むことで、縦割り構造や階層的組織の変革が期待される。また、患者ごとのデジタルツイン構築で個別化ケアの進展が見込まれる。長期的には、モノとプロセス両方のデジタルツインが融合することで、治療戦略に基づいた病院機能の強化が実現するだろう。デジタルツインは、製薬分野の臨床試験効率化など多方面での活用も見込まれる。一方、プライバシー保護や透明性確保など倫理的課題への対応が重要となる。

スマートホスピタルに関する知財分析

スマートホスピタルに関する知財分析として、デジタルツインの医療への適用に関する特許データを抽出し、技術をめぐる状況を分析した。分析対象は、グローバル特許検索ツールPatSnapを用いて検索した、2017年から2024年出願の211件（ファミリー件数）である。

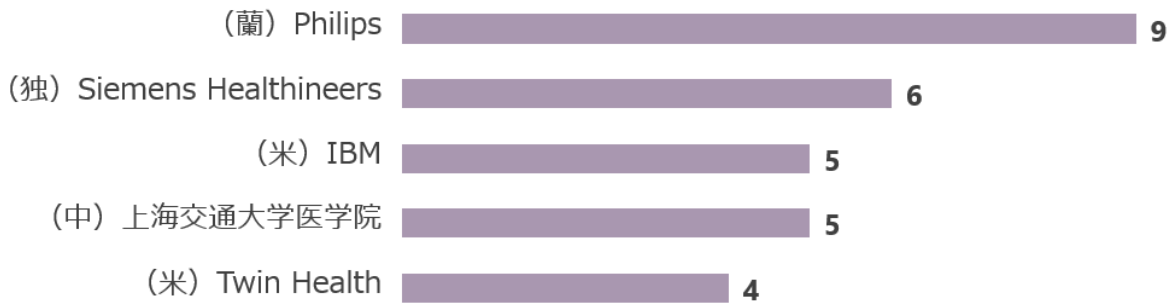
図表5：デジタルツイン×医療技術に関する特許出願件数/年



出所：三井物産戦略研究所作成

³ リアリティの共有とは、医療環境の状況をデジタル上でリアルタイムかつ正確に再現し、それを関係者全員が共有すること。

図表6：出願人別件数上位ランキング（2017年-2024年）



出所：三井物産戦略研究所作成

図表5に示すように、転換点は2020年にあり、出願数が急増している。この成長トレンドは継続しており、イノベーションの加速に起因して特許取得競争が激化している様子がうかがえる。図表6に示すように、主要出願人としては、ヘルスケア分野の大企業（Philips、Siemens Healthineers）、IT企業（IBM）、学術機関（上海交通大学医学院）、新興企業（Twin Health）が挙げられ、多様な主体によって技術開発が推進されていることがわかる。この動向は、技術開発が特定の国や企業に集中するのではなく、世界中で幅広く進行していることを示している。

図表7：発明カテゴリ分類

発明カテゴリ	カテゴリ説明	件数
診断支援・治療支援	患者の仮想モデルを作成し、診断・治療プロセスをシミュレーションする	76
医療機器の管理・最適化	医療機器の仮想モデルを用いて、運用状況のシミュレーションや故障予測を実現する	48
リハビリテーション・運動補助	患者の身体動作をデジタルツインに反映し、進捗や効果を可視化する	26
仮想医療サービス	仮想患者モデルを用いて治療効果を予測し、リモートモニタリングを可能とする	13
教育・トレーニング	仮想的な病院や手術環境を構築し、リアルな訓練シナリオを提供する	12

出所：三井物産戦略研究所作成

デジタルツインの医療への適用に関する特許データを、発明カテゴリ別に分類すると図表7のようになる。診断支援・治療支援に関する発明が最も多く、デジタルツインを活用して治療効果を予測し、治療プランのカスタマイズを可能にするシステム、がん予後の予測を支援するなど治療の個別化に関する技術、体温

制御や安全管理など人体や作業環境を仮想的に再現して最適化を図るシミュレーション技術などが含まれる。

特許データからは、デジタルツイン技術が医療分野の具体的な課題（個別化、効率化、精度向上、地域格差など）を解決するための多様なアプローチを示していることが読み取れる。さらに新興国に特許が出願されていることから、新興国市場における医療の質の向上や、先進国との医療格差の縮小にデジタルツイン技術の活用が寄与することが期待される。

加藤 貴子 Takako Kato / 主席研究員

専門分野：医療・ヘルスケア、ウェルネス、バイオテクノロジー

松浦 由依 Yui Matsuura / シニアアナリスト

専門分野：知的財産権、知財コンサルティング

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。