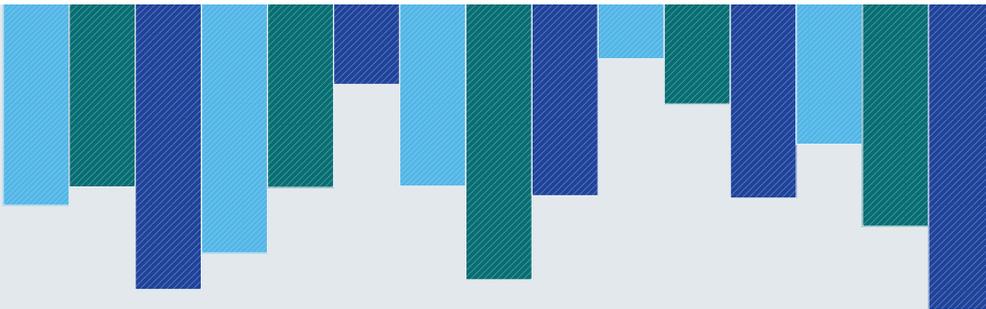


ホワイトペーパー

部門間の壁を取り除き、 工場プロジェクトの 連携を強化する



Sponsored by

AUTODESKの視点

BtoB業界であれ、BtoC業界であれ、製品やサービスの個別化、機能性、持続可能性に関する顧客の要求は格段に強まりつつあります。

製品の設計、開発、エンジニアリングに関して、こうした加速する変化や複雑さに適応した手法を導入している企業は、すでに数多く存在します。具体的には、製品をライフサイクルの中でとらえ、アジャイル開発、コンカレントエンジニアリング、システムエンジニアリングを採用するケースも少なくありません。

ところが意外なことに、工場の設計や建設は相変わらずきわめて伝統的な手法で行われており、データの取り扱いには操業中もメンテナンス中も、エリアごと、分野ごと、データサイロ別に行われています。

顧客の要求が増えると、必然的にロットサイズは小さくなり、切り替えの頻度は増すこととなります。つまり、製造業務の適応性や弾力性が、これまで以上に重要になるわけです。

その対応手段は、統合や連携という観点で、すでに製品の設計やエンジニアリングにおいて実施されており、また、各種製造業務の在り方にも波及していくと我々は確信しています。工場のインフラや建設に関する情報などの領域を生産システムデータと統合し、工場の包括的なデジタルツインの可能性をフルに引き出すことが重要です。さらに、冗長性や付加価値を生まない作業を回避するため、さまざまな利害関係者がさまざまな段階で関与しているとしても、いや、まさに関与するからこそ、生産ライフサイクル全体にわたるデータの再利用が必要になります。

デジタル化は製造企業に、こうした新時代の工場をもたらしつつあります。Harvard Business Review Analytic Servicesが実施した本調査は、業界の現状に対するいくつかの有益な示唆に加え、統合型工場モデルを導入済みの、あるいは導入を計画中の製造オペレーションを将来成功へと導くための指針をいくつか示しています。このレポートでは、市場環境の変化に対応している産業界のリーダーたちの実例を紹介しており、読者の皆さまが、これら実例を検証されることを推奨いたします。



Srinath Jonnalagadda
(スリナス・ジョンナラガッタ)

産業戦略および設計・
製造担当バイスプレジデント

オートデスク

部門間の壁を取り除き、工場プロジェクトの連携を強化する

製造企業の工場にとって、変化は恒常的です。なぜなら、これら製造企業は新製品、顧客の要求、競争などのプレッシャーにさらされており、レトロフィット（改修・改良）や新設という形で現在のオペレーションを何度も手直しする必要があるからです。製造企業がそのようなプロジェクトに着手する場合、従来は期限や予算を守ることが目標とされました。しかし、持続可能性の各種達成目標、労働力の効率的な使用、インダストリー4.0の要求事項など新たな方針が追加されたことで、従来の目標はますます複雑化しています。

工場プロジェクトは複雑さを増しているにもかかわらず、その計画や管理のためのプロセスは、それに適応して進化しているとは言い難い状況にあります。工場プロジェクトにはさまざまなチームが関与し、それは、工場を抱える製造企業内にとどまらず、設計や施工を担当するパートナー企業にも及びます。そして、これらのチームはいずれも、建築計画、生産エンジニアリング、継続的な運用に注力します。これらのチームは、それぞれの作業に使用するツールやデータも含め、連携して動くというよりも、独立して活動する傾向が強くなり、それがコスト増や予算超過、遅延といった問題を生じさせます。

「施工とプラントエンジニアリングは別の領域であって、これまでは実際のところ、調整は不要とされてきました」そう指摘するのは、Frank Breitenbach氏です。彼は、ドイツのフルダ市を拠点に自動車業界にエンジニアリングサービスを提供するEDAG Production Solutions（EDAGプロダクション・ソリューションズ）社でスマートファクトリーというプランニング手法を担当するシニアテクニカルエキスパートです。「この2つの領域がともに効率的に成長するためには、大部分の企業においてパラダイムシフトが必要と断言していいでしょう」

各部門間の齟齬を埋め、建設、オペレーション、機械、電気、配管を担当する各プロジェクトチームが緊密に協力して遅延やコスト、伝達ミスを最小限に食い止めつつ、プロジェクトに関する運用および長期的な事業目標をできるだけ達成するためには、工場の設計・施工プロジェクトに、十分に調整された多

ハイライト

工場施工プロジェクトの提案依頼書（RFP）は、**持続可能性、デジタル化、インダストリー4.0**の概念に基づく**スマートファクトリー化などを要望する**内容のものがますます増えています。

このように要求は変化しているにもかかわらず、**工場の新設やレトロフィットの計画・実施に使用されるプロセスやワークフロー**は、必ずしも追いついていません。

製造企業やその計画・生産を担うパートナーたちが、これまで以上にシームレスで効果的な手法による工場の計画・施工を追求する過程で**ツール、データ、連携に伴う縦割り主義を排除**できるか否か、その重要な決め手はテクノロジーであることが明らかになりつつあります。

くの専門分野にまたがるアプローチで取り組むことが必要でしょう。そのために、製造企業と産業用施工会社は、計画やワークフローの新しいパラダイムを採用してデータをよりスマートに利用するとともに、竣工後長期間経過した建物に効果が出てくる、より協調的なワークフロー技術を選ぶべく努力しています。こうした企業のビジョンが実現されれば、将来の工場は変更に対してはるかに柔軟で回復力に富み、市場の変化に迅速に対応することができるようになるだけでなく、自社の維持管理費を最小化し、有用性を最適化することもできるでしょう。

「きわめて効率的な工場を持つためには、適切な状況で適切な決定を下せることが重要であり、そのためにはリアルタイムのデータが不可欠です」そう語るのは、ドイツのアレンドルフを本拠に冷暖房や気候変動の対策を手掛けるViessmann Group（フィースマン・グループ）CEO、Maximilian Viessmann氏です。「我々のパートナーやユーザーのために迅速に行動すれば、市場ポジションを拡大することができます。インダストリー4.0はこうしたスピードアップを促すものであり、その結果、私たちは明るい未来を手にできるはずです」

新たな世界、新たなプレッシャー

工場は、諸設備、生産ライン、開発プロセス、各種オペレーションを、今日の需要に適合させていく必要があります。つまり、絶えず進化していかなければなりません。こうした新設やレトロフィットを推進する典型的な要因としては、新製

品のリリース、製品品質や生産効率を改善する必要性、需要の変化、継続的改善、機器の交換などが挙げられます。また、業界特有の傾向も促進要因になる場合があります。例えば、製品のロットサイズの小型化や派生製品の必要性、マス・パーソナライゼーションの拡大、化石燃料から持続可能エネルギー源へのシフト、資材不足に対処する、生産拠点を市場に近づける、人手不足時に必要労働量を最小化するという必要性が考えられます。McKinsey & Co.（マッキンゼー・アンド・カンパニー）社が2020年6月に実施した調査「The Next Normal in Construction（建設業の新しい標準）」では、回答者の87%が業界に最も大きな影響を及ぼしている要因として、熟練労働者の不足を挙げています。ところが、向こう10年間については、75%超の回答者が持続可能性、職場の安全規則、より柔軟でデジタル効率の高い構造が業界に大きく影響を与えると考えています。**グラフ**

もっとも、設計チームが直面している新たな課題は、これらの促進要因以外にもいくつか存在します。工場建設プロジェクトの提案依頼書（RFP）は、持続可能性、デジタル化、インダストリー4.0の概念に基づくスマートファクトリーへの要望といった内容のものがますます増えています。製造企業はまた、ダウンタイムや市場投入までの時間を最小化することが競争上必要なことから、とりわけレトロフィットにおいて、プロジェクト期間のさらなる短縮を求めています。

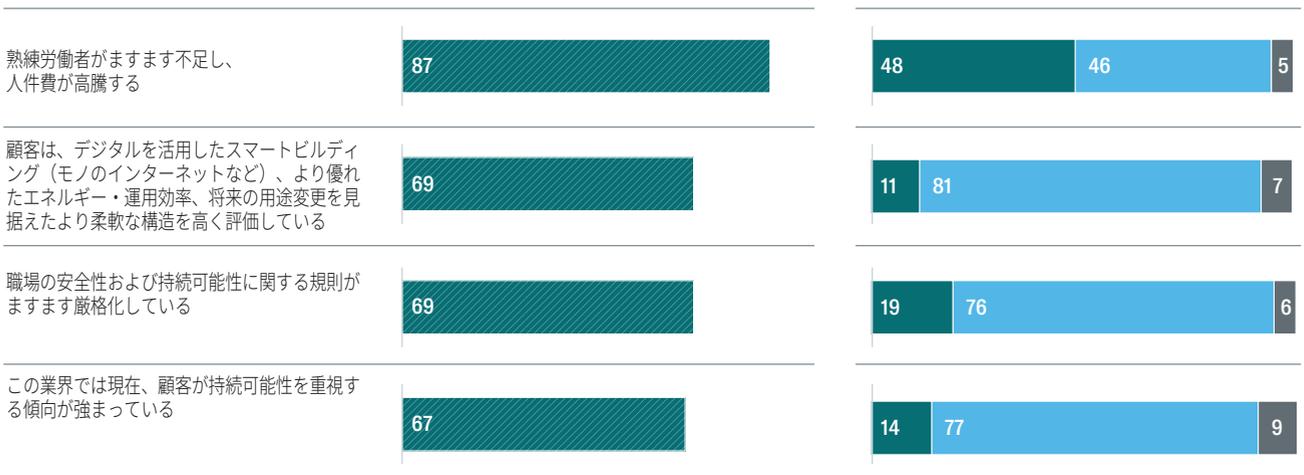
グラフ

市場要因が施工プロジェクトを複雑化する

労働不足、スマートビルディング、安全性・持続可能性規則が最重要課題である

建設業界への最大の影響

回答者に占める割合



出典：McKinsey & Co.、2020年6月

「持続可能性に対する注目度が、これまでと比べて格段に増えています」そう指摘するのは、米国ペンシルベニア州ベツレヘムの経営コンサルタント会社、io-consultants (IO-コンサルタンツ) 社でマネージングディレクター兼パートナーを務めるRupert HoeCherl氏です。彼は、生産業務に関する統合コンサルティング、設計・計画サービスなどのプロジェクトを担当しています。「これまででは、どちらかといえば自発的な取り組みでした。それが今でははるかに明確で一般的な傾向になっており、分野によっては法律で規定されるまでになっています」

「デジタル化、スマートファクトリー、あるいはインダストリー4.0の概念の重要性を出張する製造企業が増えています。しかし、これらの用語は、顧客のあいだでいろいろな意味に解釈されており、プロジェクトの初期段階で統一する必要があります」EDAG社のBreitenbach氏はそう指摘します。「インダストリー4.0のこうした要求には、持続可能性に対する懸念がますます組み込まれるようになっていきます」とも彼は述べています。

「インダストリー4.0は最終的に、私の考える生産システム内にとどまらず、はるかに広い範囲で一貫性のある水平および垂直方向の関係性を生み出します。これは新しい現象と私は見えています。これには最近、建物も含まれるようになりました。私の考える工場にスペース、ボリューム、業務資材を確保してくれるのは、結局のところ建物ですから。建物は排出物に対処し得るものでなければならず、したがって、機械にも環境の影響が及ぶこととなります」

迅速性に対する要求は、市場やサプライチェーンが直面している予想外の問題、最近ではパンデミックによって強まっています。「我々はこのパンデミック期間中に、地域の、あるいは国際的な制約とも相まって、極端な変動を体験してきました。これ〔変動〕によって、レトロフィットプロジェクト向けの生産をどれ位の期間停止すべきか、時間枠を正確に設定するのがとりわけ難しくなりました」とViessmann GroupのViessmann氏は指摘します。

工場計画プロセスにおけるギャップ

このように要求は変化しているにもかかわらず、工場の新設やレトロフィットの計画・実施に使用されるプロセスやワークフローは、必ずしも追いついていません。実際のところ、工場というものはもともと複雑なシステムであり、自動化や技術の進歩によって日々さらに複雑化しています。複雑さが増しているうえにワークフローの統一性が欠如していることから、その施工の調整作業もこれまで以上に困難になっています。

「工場は建物だけで構成されているわけではありません」オーストリアのグラーツに本拠を置く自動車メーカー、Magna Steyr (マグナ・シュタイア) 社の工場設計士であるRobert Ostermann氏は言います。「コンベアシステム、鉄骨構造、機械設備などがたくさんあります。ですから、工場はBIM〔建物情報モデル〕プロセスにとどまるものではなく、このデジタル領域全体を調整または維持するプロセスはまだ普及していません」

従来のアプローチは概して順序立てて実施していくというものが多く、一つのチームが作業を完了すると、その成果物を次のチームに引き継ぐという形態をとります。そこで使用されるデータとツールも異なる場合が多く、変更や追跡確認



「デジタル化によって情報の複製が可能になったわけですが、それは野放図な複製でした。これは、情報に対する信頼性が失われるということを意味します」Kingspan Group (キングスパン・グループ) のBIM戦略責任者、Brian Glancy氏はそう説明します。

を管理するための、コストのかかるフォーマット変換や大量の電子メールが必要になります。とくに一つのステップから次のステップへの引き継ぎに際して、コミュニケーションギャップの発生が付き物です。

コミュニケーションギャップが生じる理由はさまざまです。中小規模の企業は10年から15年の間隔で工場プロジェクトを実施することが多いため、計画プロセスが古くなっているか、もはや存在しない可能性もあると指摘するのは、ドイツのアーヘン市にあるアーヘン工科大学の工場計画担当チーフエンジニアのMatthias Dannapfel氏です。企業の場合、しばしば「長期的な要件にどう組み込み、それを工場構造にどう落とし込むかで少し苦労します。市場環境は絶えず変化しているため、彼らは古い思い込みと決別しなければなりません。自分たちの考え方や工場について構想する方法を吟味する必要があります」

課題は内部だけにとどまりません。工場プロジェクトでは、社内外のチームとの調整が必要です。これらのチームは、工場の建物そのものに取り組むチームと、工場内に設置するプロセスや機器を担当するチームとに分かれるのが普通です。通常、それぞれのチームが独自のツールと蓄積データを業務に持ち込みます。

「一人ひとりが使用するソフトウェアツールが異なっている状況では、相互に情報を交換できるような明確なインターフェイスが存在しません」とDannapfel氏は指摘します。「したがって、我々が引き渡そうとする情報のすべてが次のチームに、さらにその次のチームに確実に伝わるように、手作業による修正作業や伝達事項を受け渡します。そうすると、そこで多くの情報が失われる可能性があります。これはきわめて非効率なやり方です」

「もっと良い方法は、プロセス、モデルの調整、工場の設計がどのように変わっていくかについて意志疎通を図ることです」Magna Steyr社のOstermann氏は付け加えます。「意志疎通がうまくなされない異なるシステム間で分断されないよう、意思疎通はモデル上で直接行うことが重要なのです」

意志疎通の難しさに対処するための一つの策として、単一のコンピュータ支援設計 (CAD) 環境で収集できるように異種データを交換するという方法をとってきましたが、これはコストがかかります。意志疎通や変更要求はこうした環境の外で生じ



「すべての業務プロセスをシームレスに統合するのは複雑かつ困難な作業であり、これに対処できるのは、複数の業務に従事する多職種チームだけです。バリューチェーン全体について重要数値を定期的にチェックし、プロセスのシミュレーションを頻繁に実施することで、当社は必要な指標を達成し、プロジェクトの目標に到達できるのです」Viessmann GroupのCEO、Maximilian Viessmann氏はそう述べています。

る傾向があるため、遅延やエラーが発生しがちです。そればかりか、一つのシステムに変更を加えた場合、その変更が他のシステムでも自動的に有効になるわけではありません。異なる計画プロセスのサイマルテニアスエンジニアリングを実行しようとしても、意志疎通が途絶えた状況下ではうまくいきません。

大部分の工場は1990年代以降デジタル化されていますが、そのデータの多くは役に立たなくなっており、工場計画、建設、維持管理に使用される各種ツールにまたがる単一のデータ規格を作成しようとする試みは、遅々として進展が見られません。

「デジタル化によって情報の複製が可能になったわけですが、それは野放図な複製でした。これは、情報に対する信頼性が失われるということを意味します」アイルランドのキングスコートにある建設資材メーカーのKingspan Group（キングスパン・グループ）のBIM戦略責任者、Brian Glancy氏はそう説明します。「我々が情報周辺のガバナンス手順の徹底を目ざす理由は、そこにあるのです」

設計データをツールセットの一環として生成している一部のテクノロジー企業が、他の複数の開発者が支持するオープン標準を策定する試みに抵抗するのは、お馴染みのパターンです。「これが最大の問題の一つだと私は思います。そして、工場そのものの全体像について話す際や、BIMやデジタルファクトリーによってもたらされるメリットを残らず享受したいと思えば、まずはこの問題を解決することが必要です」Breitenbach氏はそう指摘します。

アーヘン工科大学が発表した学術論文「An Approach to the Analysis of Causes of Delays in Industrial Construction Projects through Planning and Statistical Computing（産業建設プロジェクトの遅延に関する計画および統計解析による原因分析手法）」によれば、BIMは、建築計画と施工計画という2つのプロセスが連動していない問題をとくに意識した対策として設計されるものですが、工場計画よりも住宅や公共建築物の建設に使用されることがずっと多いようです。この論文の裏付け調査で、「(1)成熟度レベル規格の不備および(2)データ管理基準の不備により、工場計画プロジェクトにはあまり導入されていない」ことが判明しました。

問題のすべてが技術的なものというわけではない、とBreitenbach氏は言います。データ共有への移行やそれによって可能になる連携の強化に加え、さまざまなチームがより新しい業務方法を取り入れていくことも必要です。「我々のプロジェクトでは、打ち合わせを重視する文化やミーティング体系が必要とされ、定例ミーティングが求められます。そうすれば、スタッフ間での話し合いが活発化し、情報交換が進むのです」

複数の計画間におけるギャップの代償

製造企業にとって工場計画と施工プロセスにおける問題点は、プロジェクトそのものだけでなく、複数の面で負担を強いており、長期にわたって工場のオペレーションや維持管理に影響を及ぼす可能性があります。

「結局のところ、つねに範囲、時間、予算のどれかにしわ寄せが行くのです」とio-consultants社のHoecherl氏は指摘します。「何かを見落とし、プロジェクトのあとのほうで調整しなければならなくなると、スケジュールに狂いが生じ、おそらく予算にも影響します。これに対する一つの対策は、影響が軽減されるように範囲を見直すことです。重大なミスや設計上の欠陥は、うかつにも設備キャパシティの低下を招き、建物の有用性や耐用年数を減少させる恐れがあります」

プロジェクトに盛り込まれた機器や技術に関して、その数量や種類のあいだにトレードオフの関係が存在する場合、より多くの労働力が必要になったり、技術的なメリットを失ったりすることになりかねませんが、幸いにも製品自体の品質に影響が生じることは通常ない、と彼は言います。

その他の影響としては、サプライヤー統合の失敗、再設計頻度の増加、効率の低下などが考えられます。

従来の方で計画された建設プロジェクトは、無事完了したとしても、その建物の耐用年数に及ぼす影響の面では、工場設計が目ざすレベルにまで達していません。モデリング、工場およびその生産設備の構築方法に関するイメージプランの策定、デジタルツイン、物理的資産の正確なデジタルレプリカの作成といった新しい概念のメリットが活かされなければ、設計の選択肢に至った意思決定や詳細事項をデジタル記録として維持することは難しくなります。データが欠如していれば将来の変更が困難になり、コストも増加するのです。

統合的な工場ビジョン

工場設計プロセスの完全統合という概念は、将来の工場そのものに対するビジョンがベースになっています。工場をどのように構築するかは、目標 — 柔軟性、持続可能性、インテリジェンスに関するものを含む — を達成できるか否かをさらに大きく左右します。

「持続可能性、生産性、グローバルインフラなど、あらゆる面で効率的かつ柔軟な工場を持つことが我々にとっての絶対条件です。この効率性と柔軟性が、我々の回復力の基礎になるからです」とViessmann氏は言います。これらの点を

実現させることは、プロセスの最初に戻って計画プロセスに直接関係があるのです。

「統合的で連携した工場計画が及ぼす影響は計り知れないものがあります」Viessmann氏はそう続けます。「すべての業務プロセスをシームレスに統合するのは複雑かつ困難な作業であり、これに対処できるのは、複数の業務に従事する多職種チームだけです。バリューチェーン全体について重要数値を定期的にチェックし、プロセスのシミュレーションを頻繁に実施することで、当社は必要な指標を達成し、プロジェクトの目標に到達できるのです」

工場をデジタル空間に再現できれば、2本のパイプが干渉し合っていたり、占有スペースを正しく設計するうえで欠かせない機械についての幾何学的データが不正確であったりといった、計画上のリスクを軽減する効果もあります。チーム同士が連携することによって、早い段階でこのような問題を阻止すれば、問題が施工段階でようやく顕著になるなどのサイトのリスクが軽減され、数千ドルもの節約が可能です。施工プロセスそのものだけでなく、設計プロセスの統合についてもシームレスな統合およびデジタル化ができれば、工場の始動やその後の使用についても改善効果が期待されます。

「デジタル空間で再現されたものすべてのアイデアを検討する作業に着手しています。デジタル空間のものを、物理的に構築することに取りかかるのは、その後のことです」そう語るのは、Kingspan社のGlancy氏です。「デジタル化していれば、拡張現実や仮想現実などの進歩もあって、こうした建物内を歩けるようになり、物理的なサイトになる〔機器を設置する〕前に運転者の機器についての訓練を行うことまで可能です。そうしたことが〔可能になれば〕、立ち上げ作業やトレーニング、さらには品質の改善という点で大きな効果をもたらすことでしょう」

こうしたメリットを長期にわたって享受するためには、工場が時間の経過とともに変化するのに合わせてデジタルモデルが施設の歴史の生きた記録帳として更新されることが必要です。デジタルツインなどの完全に具現化されたモデルは、予測的メンテナンスの促進からレトロフィットの迅速化、変更案がもたらす影響のシミュレーション、資材の性能と設計それ自体の分析に至るまで、あらゆるものを促進する可能性を秘めています。

「建物のより多くの側面を把握することのメリットが、今まで以上に認識されるようになることでしょう」とGlancy氏は予想します。

工場設計プロセスの合理化

未来の工場のビジョンが進化してきたとはいえ、工場の設計・施工を計画・実施するための最終状態と目下のプロセスの間には依然として隔たりが存在します。製造企業はプロセスの統合・合理化に向けて、長年にわたっていくつものソリューションを考案してきました。その結果、現在は計画プロセスの多くの段階が自動化、コンピュータ化、デジタル化され、状態点検が行われています。こうした進歩は、導入時点の技術的能力をはるかに超えていて効果的に機能しなかったものの、その進歩が今日のイノベーションを支えています。

「90年代当時の話題は、コンピュータ統合生産（CIM）でした。その考え方は、3DモデルやCADモデルを構築し、部品を製造する機械にそれを直接持ち込むというもので、とても優れたアイデアでした。しかし、当時のソフトウェアはそこまで高度ではありませんでした」Breitenbach氏は説明します。「我々は90年代に、デジタルファクトリーから出発しました。デジタルファクトリーという概念は、製品、製造プロセスのほか、工場の運転を可能にする労働者、機械、ロボット、その他のリソースのすべてが組み合わさった工場を全体的にとらえるものです」

今日のソフトウェア、データおよび通信技術は、この概念に追いついています。専門家たちは、建物情報モデルプロセス、デジタルツイン、カメラやセンサー、人工知能（AI）、機械学習（ML）、さらには拡張現実や仮想現実までもが、統合され協調的な工場設計プロセスをサポートし、更に推し進めることを期待しています。企業が設計活動をリアルタイムで調整することが、ますます容易になって行くはずです。

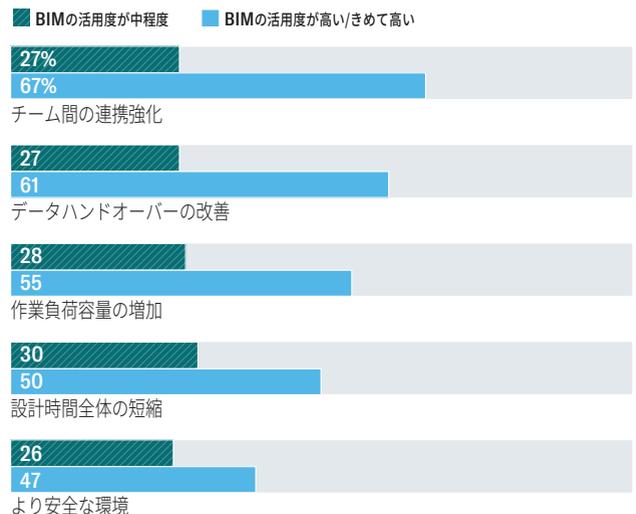
上述のアーヘン工科大学の論文ではBIMを、共有の建物関連データベースを管理して計画、施工および運転中の施設管理を促進することにより、建設プロジェクトの関係者すべてを統合する手法と定義しています。

Dodge Data & Analytics（ドッジ・データ・アンド・アナリティクス）社の調査によると、BIMの活用度が高い、または、きわめて高い設計者は活用度が中程度の設計者と比較して、メリットを享受しているとの回答ははるかに高い割合を示しました。しかも、この傾向は、チーム間の連携強化（67%対27%）、

グラフ2

連携はBIMの設計上のメリットを上回る

BIMの活用度が高い、または、きわめて高い設計者は、最大のメリットを享受していると回答している



出典：Dodge Data & Analytics、2021年



「デジタルツインはこの業界やBIMにとって、変革の中核を占めるものであると同時に、変革のプロセスでもあります。この技術を利用して完璧なプロジェクトをデジタル空間で表現すれば、それを物理的な形に複製することができます」とKingspanのGlancyは述べています。

データハンドオーバーの改善（61%対27%）、作業負荷容量の増加（55%対28%）などあらゆる項目で見られました。**グラフ2**

しかし、BIMプロセスが生産環境にまで拡大されることはない、との見方も一部に存在します。「我々はBIMプロセスを導入していますが、このプロセスは建物それ自体から始まり、建物それ自体で終わるものです」とMagna Steyr社のOstermann氏は言います。「当社は工場を擁していますが、BIMが建物自体に対して行うこと、それは我々が工場全体の設計に関して達成しようとしていることになるでしょう」

そうすると、何が必要かといえば、BIMのメリットをプロジェクト全体に広げる、すなわち、建物だけでなく、その内部に設置される機械設備まで含めて統合的に計画する方法です。

統合型工場モデルへの移行

デジタルツインや3D工場モデルは、工場設計の現状から完全に統合された設計プロセスへの進化をサポートする貴重なツールとして登場しました。Juniper Research（ジュニパー・リサーチ）社によると、¹2021年においてデジタルツインのデプロイメントが最も多かったのは製造業部門で、この技術への支出合計の34%を占めました。

製造業界では、「デジタルツイン」にはさまざまな定義が存在し、デジタルツイン以外に、高機能/3Dモデルなどと説明される場合もあります。デジタルツインコンソーシアムは専門家を集めて、この用語を定義しました。²その定義によれば、デジタルツインとは、実世界に存在する物もしくはプロセスが仮想空間に再現され、指定された頻度および忠実度で同期されるものとされています。デジタルツインは、過去やその時点のデータを用いて過去や現在において実在するものをデジタル空間で再現し、願望に基づいた将来像、あるいは、しばしば特定のユースケースに合わせた将来像を予想してシミュレーションを行います。このデジタルツインは、統合によって強化され、データに基づいて構築され、ドメイン知識を指針としてIT/OTシステムに導入されます。

専門家たちは、デジタルツインには、全体的な理解、最適な意思決定、効果的な行動を加速することにより、事業プロジェクトや工場プロジェクトを変革する可能性が秘められていると見ています。

McKinsey & Co.（マッキンゼー・アンド・カンパニー）の調査は、「企業は、施工がすでにスタートしている間に、設計の仕上げ段階ではなく、もっと早いプロジェクトの初期段階で、建物情報モデル（BIM）を活用して完全な3次元モデル（つまりは、デジタルツイン）を構築する — そして、スケジュールやコストなどを追加して多層化を図る — ことにより、効率をアップさせ、バリューチェーン内の他企業と設計段階を統合

することが可能になる」と指摘しています。³同社の主張によれば、BIMやデジタルツインを活用するようになると、建設プロジェクトの過程で行われる意思決定のリスクや順序は大きく変わり、エンジニアリング・調達・施工（EPC）という従来方式は疑問視されることになるとのことです。

進行中の工場設計にこうした高度なモデルを使用すると、関係者たちが2Dや3Dで建物の中を歩き回ったり、好きな角度から見たりすることが可能になります。さらに、もっと細かく特定の機能を確認したり、特定のアイテムについて仕様アクセスしたり、特定の部分に対してなされた変更の履歴を追跡したりすることもできます。

io-consultants社のHoecherl氏によれば、同社の工場設計者たちは、「意思決定プロセスがもっと迅速化されたことや、設計プロセスのさまざまな段階でもしもの仮定を想定して対応できることをとても喜んでいる」とのことです。

「リアル」なデジタルツインでは、工場自体にセンサーを組み込んで継続的にデータ収集を行うことで、物理的な建物の状態がつねに反映され、施工後のユースケースの利用が可能になります。工場運営におけるデジタルツインの継続的なユースケースはほかにも、機器の故障によって影響を受ける可能性のあるスペースの把握、資産やシステムの実際のパフォーマンスと期待値との比較などが考えられます。こうした情報は、事象の発生を予測して可用性を向上させたり、意思決定時に必要な情報を提供して投資効果を最大化したりするのに役立ちます。

Viessmann氏によれば、彼の会社は、ポーランドのレグニツァ市に位置する新たなヒートポンプ生産拠点に関して、その計画・設計・建築それぞれのフェーズ期間における意志疎通や連携の改善にデジタルツインを活用しているとのことです。工場の実際のレイアウトをデジタル空間で再現して見ることができれば、プロジェクトの初期段階で、スペースの使用をめぐる争い、ボトルネック、発生しがちな屋内の「交通渋滞」などを特定して解決することが可能になります。それも、これらの発見が遅れば膨れあがるコストやリスクを生じさせることなく、追加作業を行うことなく、建設の進捗度や計画の順守状況を継続的に監視する目的にも役立っているようです。

「我々は皆、同じ基準、合意した同じ状況に基づいて計画作業を進めており、インダストリアルエンジニア、建築士、環境衛生・安全プランナー、各種生産部門といった関係者によるバージョン競合は発生しません。こうした競合があると誤解、誤った情報や解釈に陥り、大きな代償を支払うことになりかねません」Viessmann氏はそう述べています。

「デジタルツインはこの業界やBIMにとって、変革の中核を占めるものであると同時に、変革のプロセスでもあります」Glancy氏はそう説明します。「この技術を利用して完璧なプロジェクトをデジタル空間で表現すれば、それを物理的な形に複

製することができます」彼の会社はデジタルツインを、モデル・トゥ・マニファクチャリング手法で使用して、完成モデルにできるだけ近い製造可能なデジタルツインを構築しているそうです。その目的は、被覆材/包装材に影響する構造用の鋼材や、柱の設置を予定している場所に配置される機械といった、詳細案の問題点を解決することです。

デジタルツインや3D工場モデルは、統合型工場モデルもサポートします。具体的には、レトロフィットプロジェクトに必要な停止時間を短縮したり、チーム同士の連携を向上させたり、一つの観点からのみ最適化を図ろうとせず、複数の計画領域に対する見方を統合して全体的な目標をサポートしたりします。デジタルツインは、建築プロセスの過程で施工順序をシミュレーションすることにより、設置を加速させ、変更命令を減らす効果をもたらします。デジタルツインのもう一つのメリットは、計画から運用までの工場ライフサイクル全体にわたってサプライヤーの体系的統合を可能にし、容易かつ迅速にサプライヤー統合を促進することです。デジタルツインは、無駄を減らし、効率、信頼性、持続可能性を高め、関連する目的を達成して、工場の計画や運用を根本的に改善してくれるであろう、と専門家たちは期待しています。

「一方でこれらの手法やツールは、エンジニアリング段階で工場を構築したり、生産システムに変更を加えたりするのに役立ちます」とEDAGのBreitenbach氏は指摘します。「BIMやデジタルファクトリーが構成、製品/プロセス/リソースの像を描き、デジタルツインがシナリオを前もって安全にチェックすることを可能にしてくれます。運用段階では、デジタルツインが運用データを記録・評価してくれるので、私は助かっています。人工知能を活用することで、品質対策やメンテナンス対策など、事前対応が可能になります」

BIMとデジタルツインは「我々にとって技術的なイネーブラー（成功要因）ですが、最初にプロセス、情報フロー、責任を定める必要があります」とアーヘン工科大学のDannapfel氏は付け加えます。「そうすれば、[これらのテクノロジーは]真の威力を発揮します。このモデルをベースにした計画が得られるからです。我々にとって信頼できる唯一の情報源となり、それをもとに計画を行うことができるのです」3D工場モデルやデジタルツインなどのツールが視覚的な特徴を有することで、連携プロセスが強化されることが期待されます。

「我々は視覚に頼る傾向があり、テクノロジーを駆使することで物事を実証し、基盤や関係、レイアウトなどをはるかに明確に人に理解させることができます。結果の理解してもらえないという点では、その効果は計り知れないものがあると思います」Glancy氏はそう言います。「仮想空間でデジタルツインをウォークスルーできると、何がどこに向かいなぜそこに向かうべきか、といった議論がしやすくなります。なぜなら、重要なのは実際のところ、人に問題を理解してもらうことだからです。この種の没入型体験は、関係者とのコミュニケーションの強化に資するはずですよ」

デジタルツインと3D工場モデルを補完する関連技術として、ジェネレーティブデザインがあります。これもまた、より効率的で合理化された工場設計プロセスを目指すものです。ジェネレーティブデザインはデザインを検討するテクノロジーであり、最終的な設計に向けて、一連の制約のもとで絞り込むべきオプション



デジタルツインは、無駄を減らし、効率、信頼性、持続可能性を高め、関連する目的を達成して、工場の計画や運用を根本的に改善してくれるであろう、と専門家たちは期待しています。

ョンを提示してくれます。この技術は製造業で広く使用されていますが、建設業界では今のところさほど普及していません。

設計作業の一環で機械学習を活用して「ジェネレーティブデザインを行うと、その工場の複数—おそらく2つか3つのラインについて配置を評価し、これがスペースの最適な使用法か、そのレイアウトに応じた環境で操作者がどう機能するかを知ることができます」とGlancy氏は説明します。「こうした技術すべてが広く普及し、とりわけ新卒者が扱えるようになると、この変革が爆発的に広がるはずですよ。その時期は、わずか3年か5年先だと思います。それは感動的であると同時に、恐ろしくもあります」

統合的な工場設計を成功させるもの

設計・施工プロセスの促進および合理化に資する技術は、BIM、ジェネレーティブデザイン、デジタルツインだけではありません。十分に統合された工場設計を旨とする動きは、レーザースキャニング、拡張現実/仮想現実（AR/VR）、モノのインターネット、AI（人工知能）、ML（機械学習）などによっても支えられています。重要な構成要素として、ほかにもクラウド、共有データモデル、設計プラットフォーム自体に組み込まれた連携機能などがあります。

レトロフィットプロジェクトなどにおいて、遠隔地にいるプランナーが計画に関する意思決定ができるように、計測値を集めてアップロードするなど、データ生成を目的とするレーザースキャニングやカメラ技術の利用がますます増えています。AR/VR技術は、チームメンバーが構築中の建物モデルを仮想的に訪れることを可能にします。人工知能および機械学習は、工場の計画・維持管理の要素の自動化から品質管理に至るまで、あらゆる作業の向上に貢献しています。

工場計画プロセスで生成される膨大な量のデータへの容易な共有アクセスを促進するものとして、クラウドは不可欠であることが証明されています。こうしたデータは、長持ちして工場に変更が生じるたびに修正できることが望ましく、維持管理業務を促進し、改修や再計画を容易にします。計画データは適切に管理され、チームやそのツール全般にわたって、そのデータの完全性と有用性が確保されなければなりません。



統合的なコミュニケーションや連携は、こうした新しいソリューションの重要な構成要素であり、どのチームも同じ工場モデルをリアルタイムで閲覧し、共有することができます。

「我々にとって、データ管理システムは最大の課題でした」Ostermann氏はそう振り返ります。「データ管理システムは我々の工場にとって、悩みの種でした。なぜかという、必要なデータを必要なときに見つけられないということが時々あったのです」データ標準化の動きがDigital Twin Consortium（デジタルツインコンソーシアム）やCESMII（Smart Manufacturing Institute、スマート製造研究所）などの業界団体を通じて進められており、⁴データ管理のシームレス化がさらに進むはずで

Breitenbach氏は主張します。「私が思うに、ソフトウェア企業はそうした「標準化に向けた闘いに」勝利し、自分たちのすべてを公開して、これが我々のシステムですと言うでしょう。あなたはそれを使用して私のソフトウェアと連携したり、このデータ形式で他のソフトウェアと連携したりすることができます。しかも、データ交換時に情報が失われることはありません」

統合的なコミュニケーションや連携は、こうした新しいソリューションの重要な構成要素であり、どのチームも同じ工場モデルをリアルタイムで閲覧し、共有することができます。情報がつねに最新で、だれでもアクセスでき、変更のたびに記録が残るようにするには、変更要求、情報要求、問題についての議論などのコミュニケーション活動が共同設計プラットフォームそれ自体の中で行われることが重要です。

「すべての関係者との恒常的な意思疎通の重要性は、いくら強調しても足りません」Viessmann氏はそう述べています。「正しい意思決定のためには、正しい背景事情を把握し理解することが必要です。私の経験からいえば、議論の仕方が大きく変わっています。施工部門は建物の計画を行い、生産部門は建物内のプロセスの計画を担うというのがこれまででした。最近では、こうした傾向に変化が生じていて、多くの建物は主に生産プロセスを中心に計画されるようになりました。我々はコミュニケーションとシミュレーションをベースにして、最高の結果と最高のパフォーマンスを実現します」

21世紀の工場計画を再考する

期限や予算を守っているか否かは、もはや工場施工プロジェクトの成否を判断する基準ではありません。今日では、計画・施工プロセスは迅速かつ十分に統合されるとともに、持続可能性とインダストリー4.0という新たな目標に対応することが求められます。施設はこれらの目的を達成するのみならず、将来の用途にも容易に適応し、メンテナンスや環境への影響を最小限に抑えられるものでなければなりません。

製造企業やその計画・生産を担うパートナーたちが、これまで以上にシームレスで効果的な手法による工場の計画・施工を追求する過程でツール、データ、連携に伴う縦割り主義を排除できるか否か、その重要な決め手はテクノロジーであることが明らかになりつつあります。より統合的なツールやデータの必要性を唱える人たちが、また工場の設計・建設・運用に従事するチームのあいだでこうしたツールが威力を発揮するために欠かせないプロセスや文化の重要性を唱える人たちは、統合型工場設計プロセスの可能性を楽観的にとらえています。その可能性とは、リスクを軽減し、時間とコストを節約し、将来に向けて進化する目標の実現に貢献し得る強靱かつ柔軟性に富む施設を生み出すことです。

「計画プロセスが絶えず統合化の方向に進んでいくことは間違いない、と私は見えています」Hoecherl氏はそう語ります。

「そして、別のパートナー組織同士の連携もはるかに容易になるでしょう。最新の情報へのアクセスを提供するデジタルプラットフォームが、分野を異にする専門家の間でのシームレスな調整を可能にする鍵となります。デジタルツイン技術やシミュレーションの進歩と相まって、プロジェクトを合理的なコストで前倒しして、導入リスクを軽減させることは、すでに十分可能なのです」

巻末注

- 1 Juniper Research 「Why Digital Twins Are Critical to the Industry（デジタルツインが業界に不可欠な理由）」2020年6月。<https://www.juniperresearch.com/whitepapers/why-digital-twins-are-critical-to-the-industrial>.
- 2 Digital Twin Consortium 「The Definition of a Digital Twin（デジタルツインの定義）」<https://www.digitaltwinconsortium.org/hot-topics/the-definition-of-a-digital-twin.htm>.
- 3 Maria Joao Ribeirinho, Jan Mischke, Gernot Strube, Erik Sjodin, Jose Luis Blanco, Rob Palter, Jonas Biorck, David Rockhill, Timmy Andersson 「The Next Normal in Construction（建設業の新しい標準）」McKinsey & Co., 2020年6月。<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The%20next%20normal%20in%20construction/The-next-normal-in-construction.pdf>.
- 4 Digital Twin Consortium/CESMII — The Smart Manufacturing Institute 「Digital Twin Consortium Announces a Liaison with CESMII — The Smart Manufacturing Institute（デジタルツインコンソーシアムがCESMII — The Smart Manufacturing Institute — との連携を発表）」2021年11月。<https://www.digitaltwinconsortium.org/press-room/11-02-21.htm>.



**Harvard
Business
Review**

ANALYTIC SERVICES

ハーバード・ビジネス・レビューについて

ハーバード・ビジネス・レビュー・アナリティクス・サービスは、ハーバード・ビジネス・レビュー・グループの独立した商業調査部門であり、重要な経営上の課題と新たなビジネスチャンスに関する調査と比較分析を行っています。各レポートはビジネスインテリジェンスと同業他社に関する洞察を提供することを目指しており、独自の定量的および/または定性的な調査と分析の結果に基づいて公開されます。定量的調査はHBRの諮問委員会であるHBRグローバル調査パネルが実施し、定性調査はハーバード・ビジネス・レビューの執筆者コミュニティの内部または外部の経営幹部および対象分野の専門家と共同で実施します。電子メールで hbranalyticsservices@hbr.org までお問い合わせください。

hbr.org/hbr-analytic-services