

開発からサービスまでのDX

Digital Transformation Piercing from Developments to Services

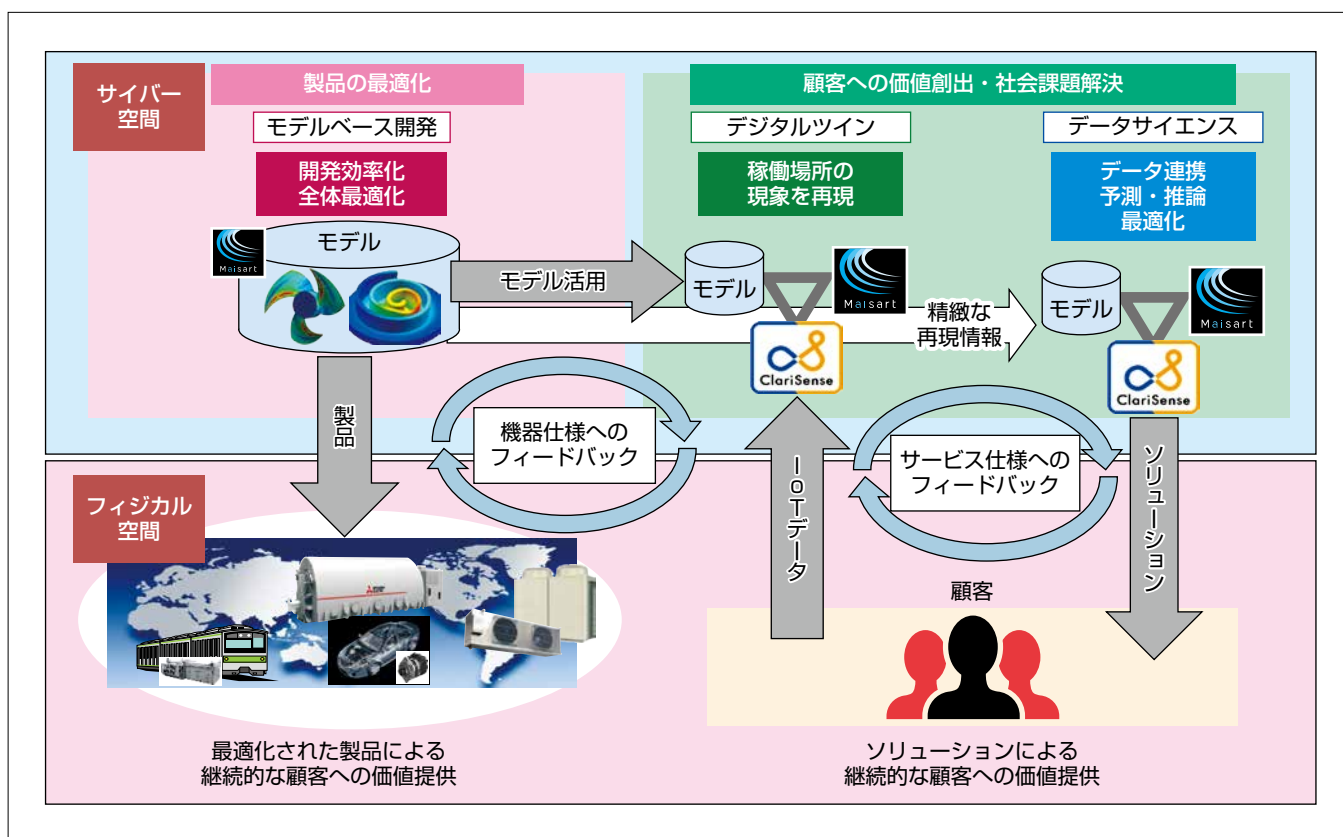
要 旨

DX(Digital Transformation)は“デジタル技術で人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる”ことであり、三菱電機のDXは持続可能な社会を実現するものである。近年DXが脚光を浴びるとともにモデルベース開発やデジタルツインというキーワードを目にする。当社のモデルベース開発は、モデルベース設計(MBD: Model Based Design)とMBSE(Model Based Systems Engineering)を包含したものである。また、当社製品の開発過程で作成されたモデルを活用し、IoT(Internet of Things)データと連携することで、当社の知見をもって稼働状況を精緻に再現するのが当社のデジタルツインである。

MBSEによる要求・機能分析、モデルベース設計による論理設計と詳細設計、抽象度の高いモデルから詳細に至

るまで一貫したモデルベース開発によって、全体最適化された機器やシステムといった製品群で顧客に価値を提供する。

デジタルツインでは、モデルベース開発のモデル活用、統合IoT“ClariSense(クラリセンス)”による現象再現に必要なIoTデータの加工と供給、当社の最新AI技術“Maisart(マイサート)”⁽¹⁾による直接センシングできない現象の推定によって、当社の知見による精緻な稼働場所の現象を再現する。さらに、データ連携、予測・推論、最適化を実現し、ソリューションとして顧客に価値を届ける。デジタルツインで得た気づきをサービスと製品の両方にフィードバックし、顧客への継続的な価値提供と社会課題の解決を実現する。



開発からサービスまでのDX

モデルベース開発で開発効率化を実現するとともに全体最適化された製品を顧客に“価値”として使用してもらう。作成されたモデルはIoTデータと連携し、ClariSenseのデータ連携、Maisartの予測・推論で精緻な稼働環境を再現する。デジタルツインで得た気づきをサービスと製品の両方にフィードバックし、顧客への継続的な価値提供と社会課題の解決を実現する。

1. ま え が き

DXは“デジタル技術によって人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる”と2004年にエリック・ストルターマン教授によって提唱された。当社のDXは、顧客や社会に最適なソリューションを提供し、持続可能な社会の実現に貢献するものである。近年DXが脚光を浴びて、その議論が進むとともに、“モデルベース開発”“デジタルツイン”といったキーワードを目にするようになった。どちらもDXの手段として、時には“開発のDXはモデルベース開発”のようにDXそのものとして紹介されている。しかし“モデルベース開発”も“デジタルツイン”も概念であり、様々な解釈がある。

当社では、事業DX実現にモデルベース開発とデジタルツインは深く関わると考えて、各々を当社なりに定義し、連携させることで開発からサービスまでのDXを実現する技術コンセプトを明確にした。

本稿では、当社のモデルベース開発とデジタルツインの定義、双方が連携してDXを実現することについて述べる。

2. モデルベース開発

設計をサイバー上で行うモデルベース開発の効果として開発工数の削減がよく知られている⁽²⁾。従来、経験と試作・評価に基づいて製品(主に機器)開発していたものを、モデルを活用してデジタル的にすり合わせる開発にすることで手戻りを削減するものである。その多くは3Dモデルによるもの、又は一つの物理現象を論理モデル(1Dモデル)で解析するものである。

しかし当社では、要求・機能分析から詳細設計に至るまでをモデルベース開発と位置付けて、機器だけでなくシステムも包含した全体最適化を実現することをモデルベース開発と定義している。

2.1 モデルベース開発のスコープ

当社は、要求・機能分析と機能設計とを行うMBSEと論理設計、詳細設計を行うMBD全体をモデルベース開発のスコープとした(図1)。

製品開発の原点は製品に求められるもの(要求)である。開発対象になる製品のライフサイクルとステークホルダーを想定して要求を分析する。要求は、製品の動作や性能などに関わるものだけでなく、コスト、品質といったものも定義する。

続いて、要求を実現する機能を漏れなく抽出し、機能を実現する構成要素を割り当てる。機能と構成要素をツリー

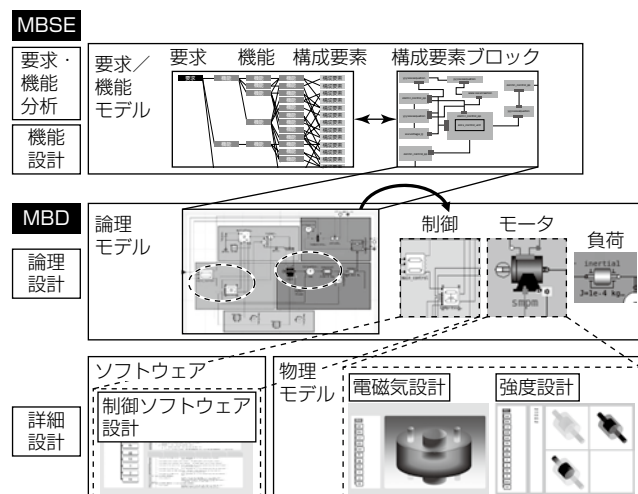


図1. 当社のモデルベース開発スコープ

図、ブロック図、直交表など幾つかの手段によって表現して抜け漏れを防止する。

これらが要求・機能分析と機能設計プロセスであり、MBSEの手法を用いて実施する。このプロセスで作成された“要求/機能モデル”は、後の論理設計以降で個別要素設計エンジニアたちと、個別要素を組み合わせたシステムの設計を行うエンジニアの間で共有され、個別要素設計での課題が発生したときの解決に活用する。

構成要素が決まると論理設計に進む。論理設計では物理現象などを抽象化した1Dモデルを始めとする“論理モデル”を用いて設計を行う。1Dモデルとは関係する物理現象を数式などで表したものを指す。詳細設計では、数式などで表現した論理モデルを形あるものに具現化し、物理的な要求を満足させる。論理設計と詳細設計をMBDと定義する。

要求・機能分析と機能設計、論理設計、詳細設計、各々のプロセスで設計結果の検証作業を行うこと、また、プロセスの中で異なる機能や異なる物理要素にまたがる整合性の検証を行うことで、試作後の試験結果から要求や機能を考え直すという大きな手戻りをなくす。製品のライフサイクルを踏まえた要求から、段階的に抽象度を落としながら検証し、下流工程での課題解決も影響範囲を俯瞰(ふかん)して行うことで、試作前のモデルによるすり合わせの範囲を超えた開発効率化を実現する。MBSEとモデルベース設計を合わせた範囲が当社の“モデルベース開発”のスコープである。

2.2 モデルベース開発による全体最適化

MBSEとMBDを含めた当社のモデルベース開発では、開発効率化だけでなく全体最適化も実現する(図2)。

従来のMBDでは、個別要素設計エンジニアは自身の担当部分の要求仕様を上位の仕様書から読み解いて定義し、自身の担当分野の要求だけ満足するよう設計を進める。こ



図2. モデルベース開発による全体最適化

のため、自分の担当業務に閉じこもってしまい周りが見えなくなる。結果、複数の要素設計を組み合わせた試験・評価で対象製品の要求が達成されなかったり、他の要素との整合が取れていなかったりという事態が発生する可能性がある。

一方、当社のモデルベース開発では、まずMBSEで作成したモデルで担当の個別要素設計と他の要素との関係を俯瞰的に理解する。その後1Dモデルによって論理設計し、他の要素と組み合わせた上位階層で検証を行うことで、自分の担当分だけでない上位階層の要求が満たされるかを確認できる。さらには、論理設計や詳細設計で自身の担当分の要求達成が困難であった場合、要求／機能モデルに立ち返って、上位階層の担当者、他の要素設計担当者と議論・調整することで対象物の要求を最適解で実現する。要素設計者が常に全体を俯瞰して見られることで全体最適化が実現できる。

2.3 システムから要素技術までのモデルベース開発

これまで述べた、要求・機能分析から詳細設計に至るまでのプロセスは、機器だけを対象にしたものではない。システム(より上位ではSoS(System of Systems))から部品・ソフトウェアなどの要素技術に至るまで、段階を経て実施する(図3)。

図1、図2では対象を機器として述べた。しかし、顧客

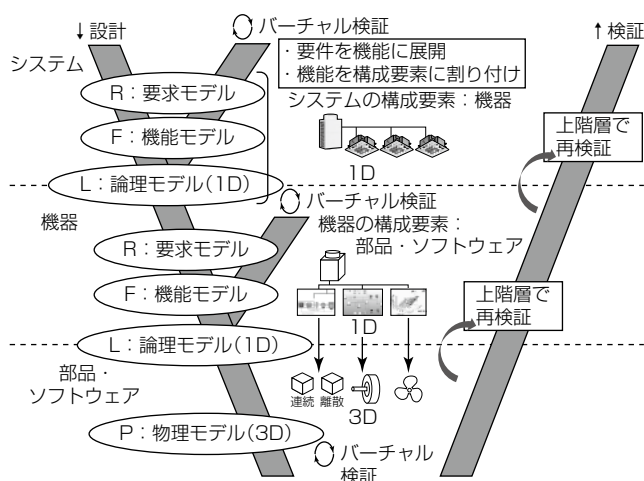


図3. システムから部品・ソフトウェアまでのモデルベース開発

に届ける価値は機器と機器が連携した“システム”，又はシステムとシステムが連携したSoSが源泉になる。図3ではシステムから部品・ソフトウェアに至るまでモデルベース開発を適用する様子を示している。まずシステムで要求・機能分析から論理設計までを行い、システムを構成する機器を定義する。次に機器の要求・機能分析から論理設計までを行い、部品・ソフトウェアの詳細設計に至る。部品・ソフトウェアの設計結果は機器で、機器の設計結果はシステムで検証する。このように、顧客の要求を起点に、システム、機器、そして最終的に要素である部品・ソフトウェアを考えて、顧客の環境を想定して検証することで、継続した価値を確実に提供できる。

3. デジタルツイン

デジタルツインは、機器やシステムをデジタル的に表現したものと定義されており、デジタルツインそのものだけでは価値を生み出さない。

当社はデジタルツインを“稼働場所の現象の見えない状況を、離れた場所で再現する手段”と定義する。手段であるので、目的、すなわち“価値”の明確化が必要であり、価値を実現するデジタルツインを構築する。価値には次のようなものが考えられる。

- (1) 運用・保守最適化などサービスの実現
- (2) 計画どおりのものづくり・施工の実現
- (3) 開発段階の試験で発生している現象の確認

また、稼働場所の見えない現象を精緻に再現するため、2章で述べたモデルベース開発で得られた当社製品のモデルを活用し、さらに当社製品以外に必要なモデルも当社の豊富なドメイン知識を活用し、デジタルツインを構成する。

保守最適化はデジタルツインの代表例としてよく知られている⁽³⁾。また製造業⁽⁴⁾、建築業⁽⁵⁾で計画どおりにものづくり・施工を実現させ、さらには試作品を試験で確認する⁽⁶⁾手段としてのデジタルツインがある。

この章ではユースケースとして定温倉庫の業務最適化を目的としたデジタルツインについて述べる。

3.1 定温倉庫の業務最適化

定温倉庫の業務最適化向けデジタルツインを構築するに当たって、価値、手段、提供するサービスを考える(図4)。

- (1) 顧客の価値(目的)

想定する顧客は、定温倉庫のオーナーである。オーナーが利益を得るには、①倉庫空間を最大限に利用すること、②商品品質を確保すること(商品に適した温度管理ができること)、③運用エネルギーコストを削減することが必要であると想定した。

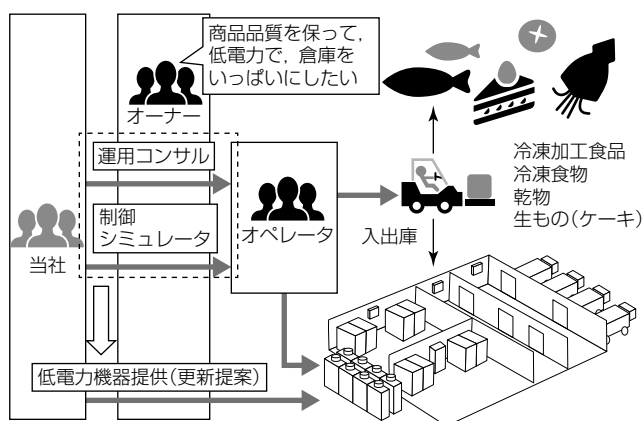


図4. 定温倉庫の業務最適化

(2) 顧客の価値を達成する手段

(1)の価値(目的)を達成するには、①商品配置の最適化(温度調節効率が良く、かつ空間を最大利用できる配置)、②冷凍機の最適制御(商品の品質を落とさず、かつ冷やしすぎない制御)、③低消費電力の冷凍機の提供が手段として考えられる。

(3) 機器以外に提供が必要なサービス

顧客に価値を届けるには、機器以外に、業務最適化のコンサルタントサービス、又は業務最適化のためのプログラム(制御シミュレータ)を提供する必要がある。

3.2 定温倉庫の業務最適化を実現するデジタルツイン

3.1節で述べた定温倉庫の業務最適化を実現するため、デジタルツインを構築した(図5)。

モデルベース開発で作成されたモデルとIoTデータを連携させることで、価値の手段であるデジタルツインを実現している。

顧客の価値の中心である倉庫のモデルは、壁モデル、気流モデル、商品モデルから構成した。価値を考えると、倉庫内の商品の温度が関心事である。この商品の温度が“稼働場所の現象の見えない状況”であり、再現するために必要な構成要素として、モデルベース開発のプロセスを経て

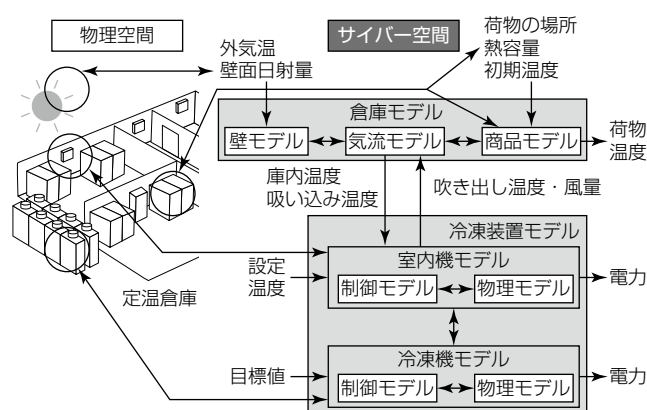


図5. 定温倉庫業務最適化向けデジタルツイン

モデルが導出された。倉庫内部の温度は、外気温と壁面日射量から壁モデルを用いて内壁温度を導出し、気流モデルで商品の温度変化を推定している。

当社が提供する“商品品質の確保とエネルギーコスト最小化の両立”を実現する主体は機器とその制御である。冷凍設備の室内機・冷凍機モデル(制御モデルと物理モデル)は、設計過程で作成されたモデルを活用している。

このように構成されたモデルと、IoTデータを連携させて高精度に倉庫の状況を再現する。ある時点での天候や温度、商品の状態(商品の熱容量、配置場所、搬入時期の温度)を倉庫モデルに、機器のセンサデータや設定値を機器モデルに入力する。この初期状態から商品の品質を損なわず、かつ電力消費を極力抑える制御を行った結果の電力を出力として得る。モデルにセンサデータを入力した時点の倉庫状態を再現し、それ以降の最適制御に基づく将来の状態を予測する。

精緻な内部状態の推定と将来状態の予測、さらには将来状態に基づく最適化には、Maisartの最新AI技術が用いられる。また、IoTデータの収集と、データに含まれるノイズ除去やデータ補正・連携といったデータ加工、モデルとの接続、モデルを流用する場合のライブラリ化は、ClariSense上で行われる。

4. む す び

デジタル的なすり合わせによる開発効率化にとどまらず、システムや機器を全体最適化する、当社のモデルベース開発について述べた。また、開発過程で作成されたモデルとIoTデータを基にした推定・予測などの処理によって“稼働場所の現象の見えない状況を再現する”当社デジタルツインについても述べて、具体例として定温倉庫のデジタルツインを示した。モデルベース開発とデジタルツインは、どちらも、顧客の価値を起点とした、開発からサービスまでのDXである。当社のDXによって、顧客に価値を、製品(機器・システム)を通して継続的に届けていく。

参 考 文 献

- (1) 三嶋英俊：三菱電機でのAI技術の現状と今後の展望、三菱電機技報, 94, No.6, 318~323 (2020)
- (2) モデルベース開発の日本普及課題、(株)フォーイン (2020)
- (3) GE Reports：未来の航空を支えるのは“データ”に <https://www.gereports.jp/airline-of-the-future/>
- (4) SIEMENS：デジタルツイン <https://new.siemens.com/jp/ja/company/stories/research-technologies/digitaltwin/digital-twin.html>
- (5) Gateway：建設生産プロセスにデジタルトランスフォーメーションを <https://gateway.smartconstruction.com/>
- (6) Ansys：Creating a Digital TWIN for a Pump <https://www.ansys.com/content/dam/product/systems-embedded-and-integrated/twin-builder/creating-a-digital-twin-for-a-pump-aa-v11-il.pdf>