

富士通が考えるスマートなものづくり

Fujitsu's Concept of Smart MONOZUKURI

● 三好清司 ● 渡辺伸寿 ● 宮澤秋彦

あらまし

富士通は、2003年にトヨタ生産方式(TPS：Toyota Production System)を生産部門に導入した。現在、その対象を開発部門と間接部門にも拡大し、富士通生産方式(FJPS：Fujitsu Production System)として活動を推進してきている。その活動を支えてきたのは「自らが持つICTの活用」である。ICTとIoT(Internet of Things)の進展に伴って人のアクティビティやもののデジタル化が進み、多種多様な情報を活用して近い将来を解析・予測することが現実のものとなってきている。これにより、ものづくり全体のプロセスも大きく変革できる可能性が見えてきた。富士通では、仮想環境を媒介として部門間、工場間をつなぎ、更にはサプライヤー、パートナー様、お客様をつないで、より高次なものづくりを目指した「スマートなものづくり」を構想している。

本稿では、ものづくりの進化を支えてきたICT活用による富士通のものづくり基盤の現状を述べた上で、スマートなものづくりを支える次世代ものづくり基盤について展望する。

Abstract

Fujitsu adopted the Toyota Production System (TPS) in its production division in 2003. Today, the initiative has been rolled out to the development and supporting divisions, elevating the system to the Fujitsu Production System (FJPS). Fundamental to this activity is the idea of leveraging Fujitsu's information and communications technology (ICT). The advancement of ICT and the Internet of Things (IoT) has been encouraging the digitization of people's activities as well as various objects, gradually realizing the possibility of analyzing and predicting the near future on the basis of a diverse range of information. This has brought us closer to the possibility of fundamentally revolutionizing *MONOZUKURI* (manufacturing) processes. At Fujitsu, we are developing a concept of "smart *MONOZUKURI*" which raises *MONOZUKURI* onto a higher plane where divisions, factories, and even suppliers, business partners, and customers, are connected via a virtual environment. In this paper, we will introduce the current status and future prospects of the Fujitsu's next-generation *MONOZUKURI*.

まえがき

通信機器の製造会社として発祥した富士通は、ものづくり企業であると同時に、ICTソリューションベンダーとして発展してきた。ものづくりプロセスとソリューションとの好循環が形成されていることが富士通の大きな強みであり、自らのICTを活用することでものづくりを高度化してきた。一方、ICT活用で培ってきた環境、ツール、活用ノウハウをリファレンスに、ものづくりICTソリューションとして展開してきた。

本特集では、「スマートなものづくり」の実現に向けたものづくり基盤構築の取り組み、それらを支える最新テクノロジー、および新たなものづくりの実践事例を紹介する。また本稿では、富士通のものづくりの現状を俯瞰した上で、現在取り組んでいる次世代ものづくりの姿である「スマートなものづくり」について概説するとともに、その将来を展望する。

富士通グループのものづくり

本章では、富士通グループのものづくりに触れながら、富士通生産方式（FJPS：Fujitsu Production System）の進化を支えてきたものづくり基盤を概説する。

富士通では、ものづくりの更なる強化に向け2003年に「ものづくり推進本部」を設置し、FJPSに基づくものづくり革新活動を展開してきた（図-1）。「開発革新」「サプライチェーン革新」「生産革新」の3本柱を革新テーマとして、以下の取り組みを推進してきている。

(1) CAD/シミュレーションの活用、開発環境革新

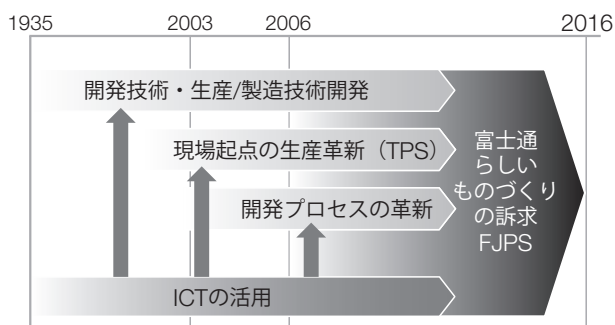


図-1 ものづくり革新活動の展開

の推進、全社活動ノウハウ共有化。

(2) 製造部門に導入したトヨタ生産方式（TPS：Toyota Production System）思想の開発部門・サプライチェーン部門・営業部門への展開、革新人材の育成。

(3) ローコスト生産技術、先進生産技術の開発。

更に、これらを人と機械の協調も含めたものづくり全体の革新活動として発展させたFJPSを推進している。以下に、上記3本柱の取り組みについて述べる。

● 開発革新

富士通グループの製品企画から設計・解析を支える開発プラットフォームFTCP（Flexible Technical Computing Platform）について概説する。

(1) 設計ノウハウの集約・共有化（FTCP 1.0）

2007年に、全社統合化を目指した開発環境としてFTCP（図-2）を開発した。製品開発に必要な様々なツールや社内システムが相互に「つながる」仕組みを構築し、コスト低減、品質向上、設計効率化に大きな効果を上げてきた。FTCPに統合した設計～生産に必要な設計技術（CAD、CAE、PDM、設計基準、部品情報など）を富士通グループで活用を進めた結果、設計ノウハウの集約と共有化が加速した。先端技術をいち早く導入し、社内活用することで利用技術を高め、更に新たなノウハウが集約されていく好循環を生み出している。

(2) 検証機能の充実

検証機能には、設計基準に従ったデザインルールチェック（以下、DRC）と電磁界解析などの各種シミュレーションがある。DRCには、生産性を評価するDFM（Design for Manufacturability）機能を含む約300種の機能があり、設計を効率的に進めていくノウハウが組み込まれている。設計段階でのチェックがリアルタイムに実行され、設計の誤りをその場で修正することにより、手戻りを大きく削減する効果がある。一方シミュレーションは、基準を超えて設計を行う場合の確認などに活用されており、DRCとシミュレーションを効果的に運用している。

(3) エンジニアリングクラウドの開発と適用

2010年に富士通グループ内の開発ノウハウを統合的に管理・徹底するために、全ての設計技術（ツール、基準、ライブラリ、設計データなど）をクラ

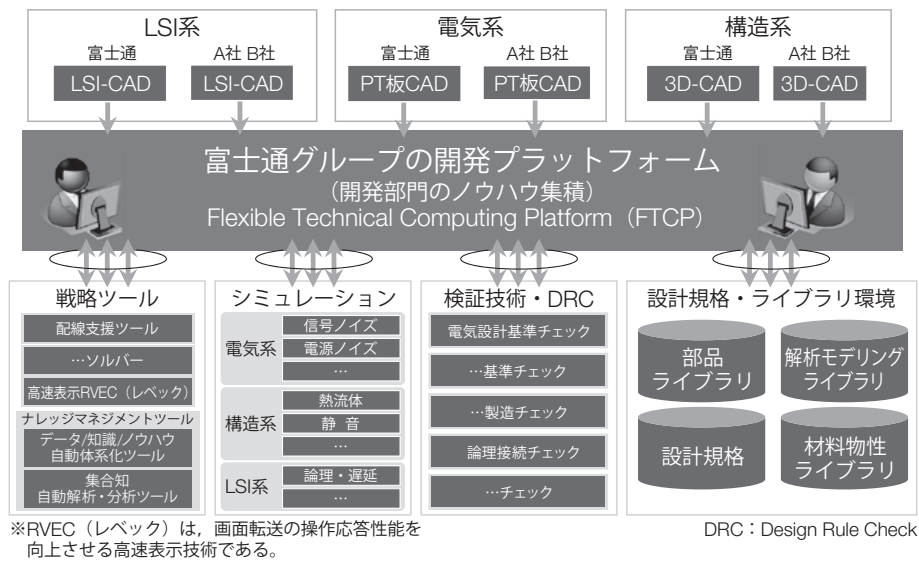


図-2 開発プラットフォームFTCP

ウド化し、設計者の端末には何も残さない設計環境にシフトしていく取り組みである「エンジニアリングクラウド」に着手し、試行を経て適用拡大に至っている。一般的なデスクトップ仮想化ツールでは、CADやCAEにおいて高精細な線画や画質が要求されるため、応答性を含め多くの課題があった。このため、富士通研究所で独自の高速画像圧縮・転送技術を基礎開発し、富士通で実用化して社内のクラウド環境に適用した。

(4) 設計プラットフォームの強化 (FTCP 2.0)

シミュレーションの有効性が確認されたことから利用拡大を図り、更に高い要望に応える取り組みに着手した。市販ソルバーでは、計算処理の並列度を高めていくと計算速度が飽和する傾向にあり、費用面と性能面で大きな課題があった。これを解決するために、モデル規模が増大しても計算速度が低下しにくい新たなソルバー (FS-Solver) を開発し、ユビキタス製品から大型サーバに至る様々な製品の開発に耐え得る独自の解析環境を構築した。これにより、プリント基板単体のモデルから製品全体の大規模モデルまで解析が可能となった。更に、ソルバー実行の前処理 (モデル作成) と後処理 (計算結果の可視化) の効率化手法も並行して開発し、設計データの取り込みからモデル作成、高並列計算、結果表示に至る一連の解析処理作業の効率化に貢献した (図-3)。

● サプライチェーン革新

サプライチェーンにおいては、営業部門でのS&OP (Sales and Operations Planning) 活動による受注の平準化 (出荷の平準化) と、生産部門でのオーダー投入の平準化の2段階での活動により物量の変動を抑え、効率的なものづくりができる活動を進めている。

(1) S&OP活動

生産部門での生産革新を起点に、サプライヤーやお客様、サプライチェーンへFJPSの考え方を展開してものづくりを改善する活動である。受注の平準化に向け、オペレーション部門、営業部門への改善活動を展開している。営業部門との革新活動の取り組みは、S&OP活動として情報の滞留排除を徹底して推進している。オーダーとなっていない商談状態の情報までも営業部門と連携できる仕組みを構築し、逐次情報の更新を行うことで、大規模商談の事前把握による生産平準化と希望納期遵守の両立に向けた取り組みが定着してきている。

(2) 平準化の推進

生産部門の生産平準化活動は、オペレーション部門と製造部門が連携し、早期に確定したオーダーを前倒して生産ラインに投入することにより推進している。

例えば、オペレーション部門は、複数品種を混在させて作り分ける混流生産など、生産ラインのコンフィギュレーションを考慮した平準化ロジック

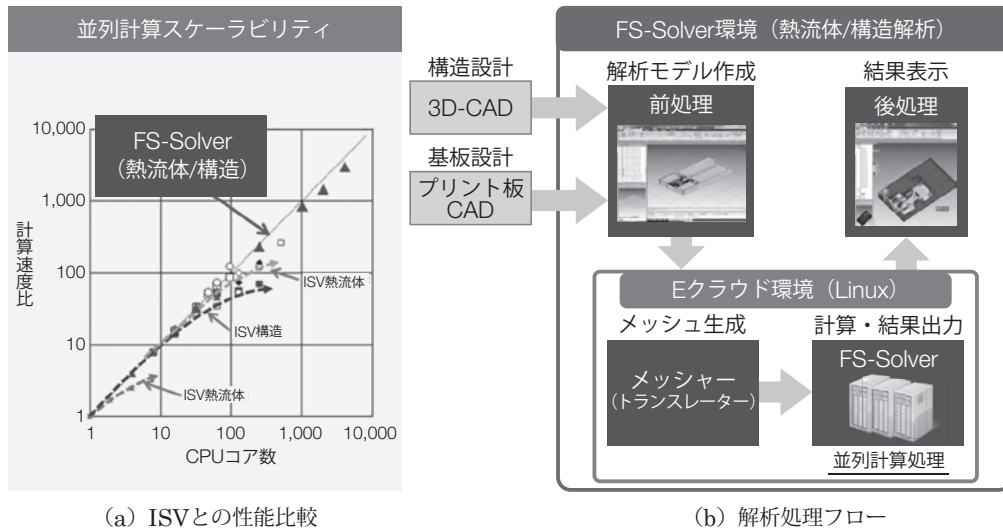


図-3 大規模モデルに対応した超並列解析ソルバー

の構築や平準化レベルの見える化を行い、製造部門と合意した目標値に向けてPDCA（Plan-Do-Check-Act）サイクルを回している。製造部門は、機械装置による制約のためロット生産を行っている工程において、段取り作業の改善などでロットサイズを小さくするなど、生産起因による平準化阻害要因を削減している。このように生産量の変動があっても、生産の効率を落とさないものづくりができるよう日々改善を図っている。

● 生産革新

先に述べた平準化を前提条件に、「ジャスト・イン・タイム」と「自動化」を二つの柱として革新活動を推進している。自動化の領域においては、単に省人化するだけでなく、種類や量の変動にも俊敏に対応できる技術と仕組みを構築している。

(1) ジャスト・イン・タイム

生産ラインの整流化、1個流し、後工程引き取りを実現している。これにより工程内の滞留や作り過ぎの無駄を防ぎ、ジャスト・イン・タイムのレベルを向上させている。また、標準作業を徹底することで異常が見える化し、見えた異常を改善したり、製品の混流範囲を拡大したりすることにより、生産量の変動に対しても効率を落とすことなく対応可能な生産ラインを構築することができる。FJPSでは、このようなリードタイム短縮や原価低減を日々推進している。

(2) 自動化

「人と機械が協調できる生産ライン」をコンセプトに自動化を推進している。製品の種類や量の変化に対し、人と機械が協調して効率良く対応するためには、以下のアプローチが重要である。

- ・製品切り替え時の段取り替えの容易化（汎用性）
ロボット動作の自動生成、作業状態の自律判断、作業計画の自動生成、人と機械のコミュニケーションなど。
- ・人と機械の作業分担の自由度向上

柔軟物の取り扱い、コネクタ勘合、判断接合、立体ピッキングなどの自動化可能対象範囲の拡大。

これらのアプローチには、部品ロットの特性変動や設備経時劣化などの変化を検知して、自律的に変化や変動を吸収すること、従来作業員の数の変更で対応してきた生産量の変動対応を機械（ロボットシステム）で吸収することも含まれる。

このように、ロボットシステムの自動化可能領域の拡大と自律化のレベル向上の二軸に重点を置いて取り組みを進めてきた。その成果事例の一つが多機能組み立てロボットシステムである。6種のツールをオートチェンジし、段取り替えすることなく複数の組み立て作業が行える。

(3) 生産現場でのICT活用

生産現場においては、生産準備期間を短縮するためにICTの活用を進めてきた。例えば、3次元モデルで支援するデジタル生産準備ツ-

ル「FUJITSU Manufacturing Industry Solution VPS (Virtual Product Simulator)」のデジタル環境を活用して、製品の組み立て性・保守性評価や、工程設計、作業指導書作成などを行う。また、生産ラインのシミュレーションを可能とするGP4 (Global Protocol for Manufacturing) のデジタル環境を活用して、製品生産のラインを設計する。更に、モデルベース開発手法に基づきデジタル化された生産設備と製品を活用して、生産設備と設備制御のソフトウェアを検証する。

スマートなものづくり

ICTとIoT (Internet of Things) の進展に伴って、人のアクティビティやもののデジタル化が進み、多様なデータを情報として活用できるようになってきた。多種多様な情報を活用して近い将来を解析・予測することが現実的になり、ものづくり全体のプロセスを大きく変革できる可能性が見えてきた。これがものづくりのデジタル革新である。このような状況を踏まえ、「スマートなものづくり」^{(1),(2)}として富士通が描いている次世代ものづ

くりの姿を概説する。

● スマートなものづくりでできること

図-4は、スマートなものづくりで目指したいことをお客様、社会、社内の開発現場、生産現場の視点で整理したものである。

- (1) お客様：お客様自身の夢の実現を支援
- (2) 社会：社会的使命としての環境貢献
- (3) 開発現場：コスト、品質、価値の飽くなき追求
- (4) 生産現場：「必要なものを必要なときに」を追求

これら4事象のありたい姿を実現するため、必要な「こと」を図中の「こと」レイヤーに定義している。更に、これらの「こと」を実現するためのテクノロジーレイヤーを定義している。このテクノロジーレイヤーを実現するためにコアとなる技術がデジタル化テクノロジーである。

● スマートなものづくり実現のアプローチ

スマートなものづくりの実現に向けたアプローチを図-5に示す。テクノロジーをベースとして適正品質に管理された効率的なものづくり実現に向けたキーワードは、「写像」と「つながり(シンクロ)」である。開発現場では、生産・製造技術を含めた

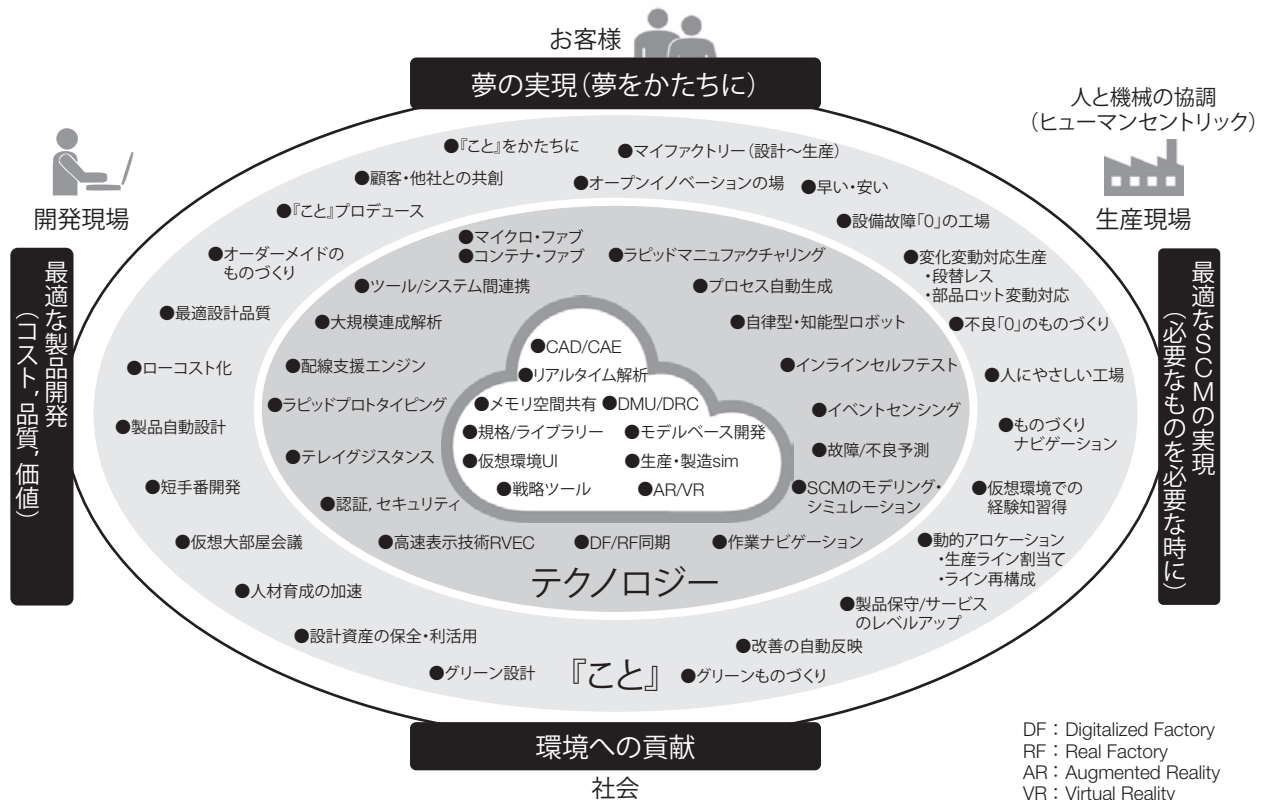


図-4 スマートなものづくりでできること

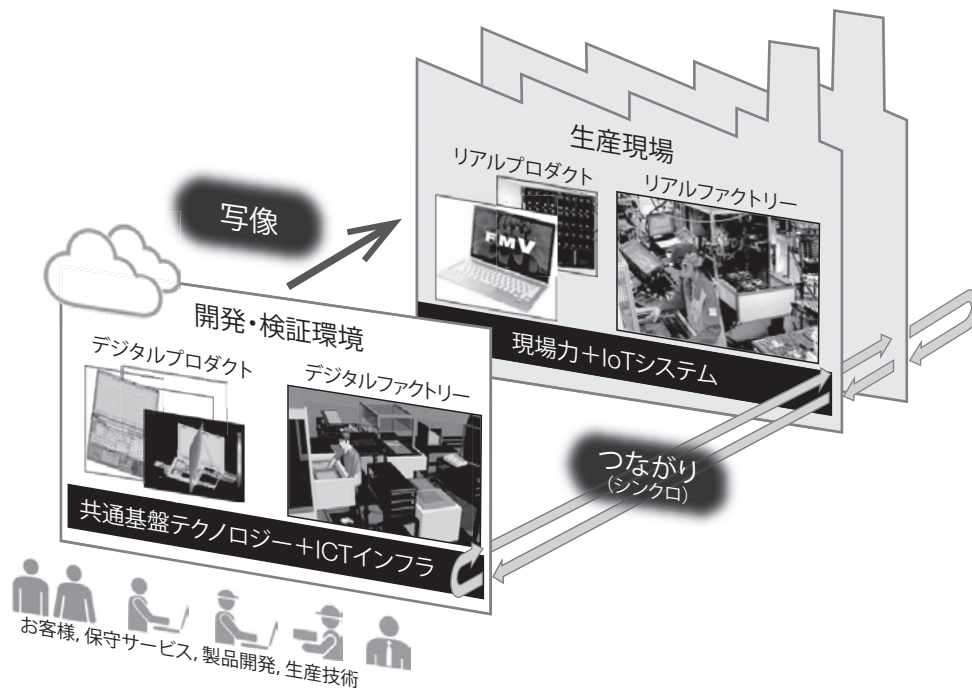


図-5 スマートなものづくり実現のアプローチ

共通基盤テクノロジー，およびICTを駆使して製品属性に合わせてデジタルな環境で開発・検証する。一方，生産現場は，人，および様々な設備やロボットをIoTによってつなぐ。開発現場で作られたデジタルモデルを生産現場に「写像」する。一方，現場力によって日々進化していく生産現場の状態をIoTによってフィードバックし，デジタルモデルに反映する。スマートなものづくりでは，デジタルな環境で高速に検証し，リアルな現場へ即座に反映し，テクノロジーと現場力とICT・IoTの融合によって，ものづくりを高速に進化させることを狙っている。

これらの場に，図-6に示す取り組みを統合していくことによって，スマートなものづくりで「こと」を実現する。以下に，六つの取り組みの現況について概説する。

(1) 仮想大部屋

仮想大部屋は，消費者，退職したベテラン，サプライヤー，販売者などがものづくりに参加し，グローバルに配置された遠隔地間のコミュニケーションを促進する場をデジタルな空間上に構築したものである。設計現場や生産現場とも連携したものづくりを目指し，場所や時間の制約を受けな

い製品開発情報の共有化を実現する。

(2) 次世代開発プラットフォームFTCP 3.0

製品に要求される機能，性能，品質はますます高度化し，例えば発熱・EMC (Electro-Magnetic Compatibility) 対策と筐体設計，低電圧化とノイズ問題など，複数の問題が絡み合って顕在化してきている。これらの複雑・複合化する課題を解決するため，電気系および構造系のそれぞれのCAD/CAEツールを統合したOne Platformの実現に取り組んでいる (図-7)。

加えて，このプラットフォームに関連する以下の技術の開発を進めている。

・複合解析 (連成解析) の導入

熱，電気，構造の複合要素を同時にシミュレーションする連成解析技術の導入が必要と考え，社内試行を進めている。

・Web APIを活用したシステム連携

FTCPとPDM (Product Data Management) などの製品開発に関連する社内システムの連携だけでなく，今後は試作・量産工場など，製品に関わる全ての部門との連携が重要であると考えている。そのために，各部門が管理しているデータベースツールの呼び出し手順もWeb APIとして標準化し，

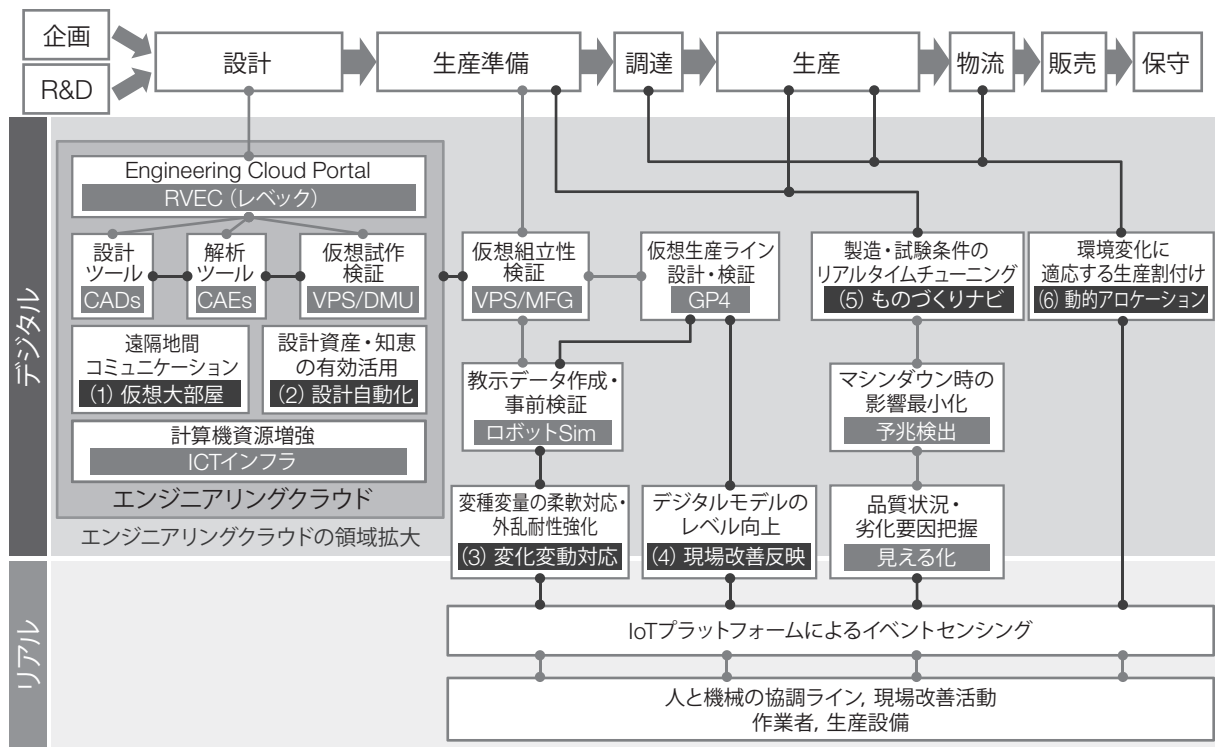


図-6 スマートなものづくり取り組みマップ

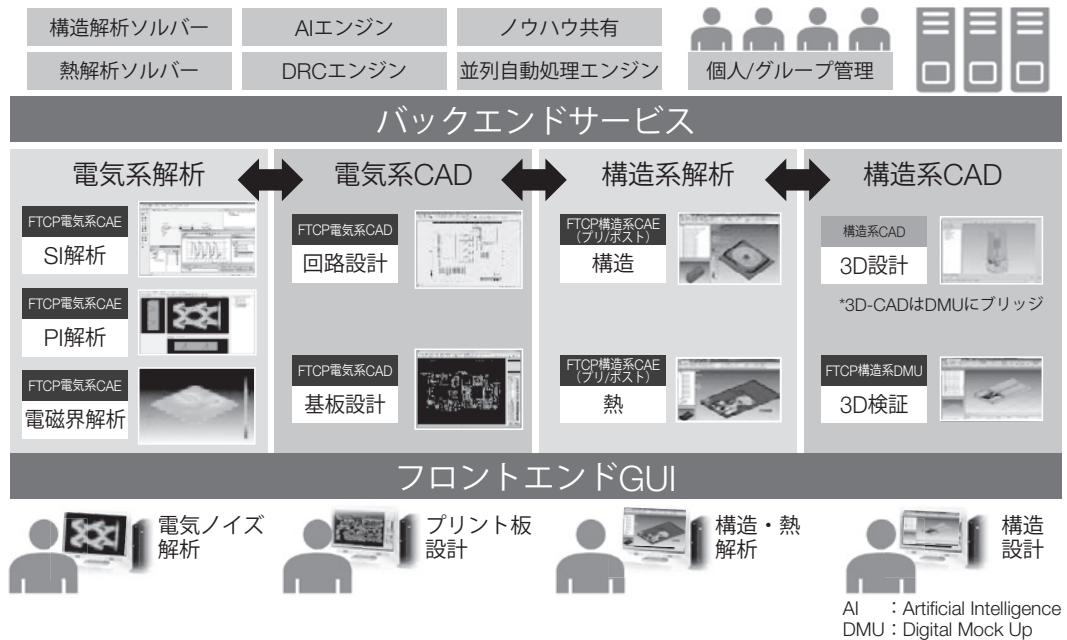


図-7 One Platform

それぞれの部門がより高度で優れたサービスの創出に向け、関連部門が連携して取り組んでいく。
 ・人工知能（AI）を活用した設計・検証手法の進化
 エンジニアリングクラウド環境でFTCPを運用

することにより、設計データと設計プロセスの履歴情報がエンジニアリングクラウド内にECM（Engineering Chain Management）情報として蓄積される。更に、生産部門に蓄積されたSCM

(Supply Chain Management) 情報をWeb APIで抽出できる環境を構築し、人工知能の実用化技術の一つである機械学習を製品設計分野に適用させる。

(3) 自律型製造システム

ロボットシステム自らが「感じ」「考え」「行動」する自律・協調制御技術を開発している。これは、部品のロットばらつきや、ロボットシステム自身の経時劣化などに自動追従させるものである。併せて、ロボットプログラムの自動生成システム、および画像認識プログラムの自動生成システム⁽³⁾を開発している。ロボットプログラム自動生成システムは、簡単な操作で動作を指示することができる上、各種ロボット間の仕様の違いをシステム内で吸収でき、作業者は各種ロボットの違いを意識せずに作業できるようになる。

これらにより、段取り替え・作業組み替え工数のミニマム化が図れ、ロボット導入の障壁が軽減できると考える。

(4) 人による現場改善の自動反映

作業者の動線、設備動作、作業のタイミングなどの情報を、IoTを使ってデジタルファクトリーに即座に自動反映する。すなわち、リアルファクトリーの進化にデジタルファクトリーを限りなく近づけていくものである(図-8)。

(5) ものづくりナビゲーション

生産現場に存在する様々な情報と製品設計モデルを融合し、マイニングや統計解析を駆使して不良要因の分析を支援したり、生産状態を予測したりするモデルを構築する。



図-8 現場改善の自動反映

この予測モデルを使って、生産設備をリアルタイムにチューニングするとともに、開発現場と生産現場に改善指針を提供する(図-9)。

(6) ものづくり動的アロケーション

図-10は、スマートサプライチェーンの構成を示している。各業務の情報は、対応する業務クラウド上にデータモデルとして構築される。連携されていないシステムや設備があっても、業務クラウド上で情報が連携されるため、全ての生産情報が共有される。モノと情報の滞留をなくすことで、リードタイムの短縮や棚卸残高の圧縮を実現するだけでなく、予測モデルとの差異を常に監視することも可能となる。こうした情報が全業務クラウドで瞬時に共有され、リスクとして検知された場合には即座に対策が講じられる。

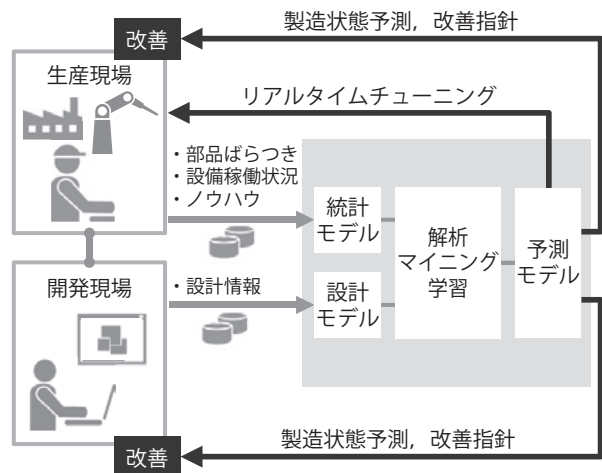


図-9 ものづくりナビゲーション

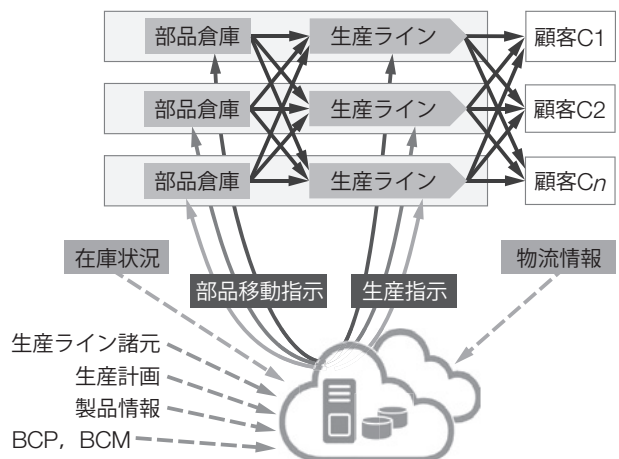


図-10 動的アロケーション

動的アロケーションでは、生産ライン間で生産情報を連携し、シミュレーションによる負荷調整や納期交渉を行うことで、需要変動に対応する工場間連携を図っている。更には、部品サプライヤーの工程進捗情報と自社の生産計画情報を互いに共有する受発注情報の連携を行っている。これによりサプライヤーの部品生産状況を考慮した生産変動の吸収と、部品調達の平準化を実現する企業間生産情報連携の仕組みを構築していく。

動的アロケーションに向けた取り組みとして、需要予測精度の向上が挙げられる。これに対しては、過去実績や大型商談情報だけでなく、現在商談中の見積もり情報や構成情報を組み合わせたビッグデータと、機械学習による需要予測の仕組みを構築した。これにより、過去実績をベースとした従来手法と比較し、高い需要予測精度を実現している。

将来に向けて

ドイツではIndustrie 4.0, 米国を中心としたIndustrial Internet Consortium, 日本ではロボット新戦略に基づくロボット革命イニシアティブ協

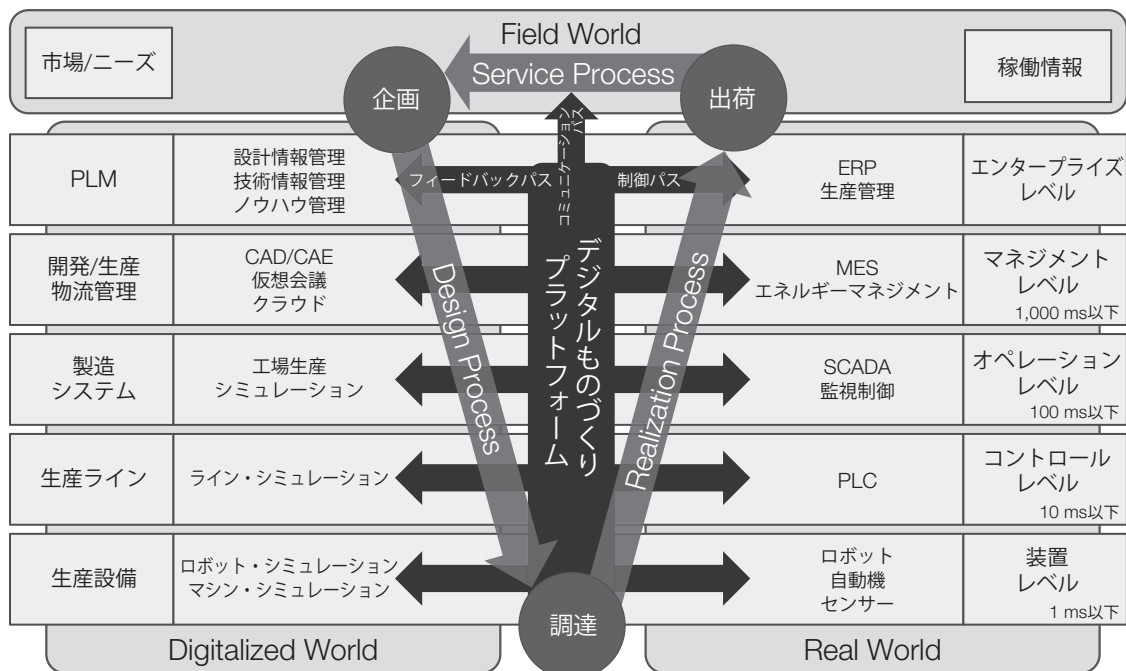
議会（RRI）とIoTによる製造業ビジネス変革の取り組みが本格化してきている。富士通はこれら三つの活動に関与しているほか、民間主導のインダストリアル・バリューチェーン・イニシアチブ（IVI）にも関与している。

これらの動向を踏まえ、次世代ものづくり基盤の構築を通して、デジタルとリアルをつなぐハブとなる「デジタルものづくりプラットフォーム」を構築していく。デジタルものづくりプラットフォームの概念を図-11に、構成を図-12に示す。ものづくりの全プロセスをつなぎ、Real World, Digitalized World, Field Worldをつなぐ。これを通して、サプライヤー、パートナー様との連携、およびお客様からのフィードバックを高速に行うことを実現するプラットフォームである。今後は、IVI, RRIを通じてデファクト化を進めるとともに、国際標準の一つに仕立てていく。

デジタルものづくりプラットフォームの実現には、以下が鍵となる。

(1) データ流通基盤の構築

上流から下流までデータ・情報を一貫して活用できる環境を構築する。



PLM : Products Lifecycle Management SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition
 ERP : Enterprise Resource Planning PLC : Programmable Logic Controller
 MES : Manufacturing Execution System

図-11 デジタルものづくりプラットフォーム概念図

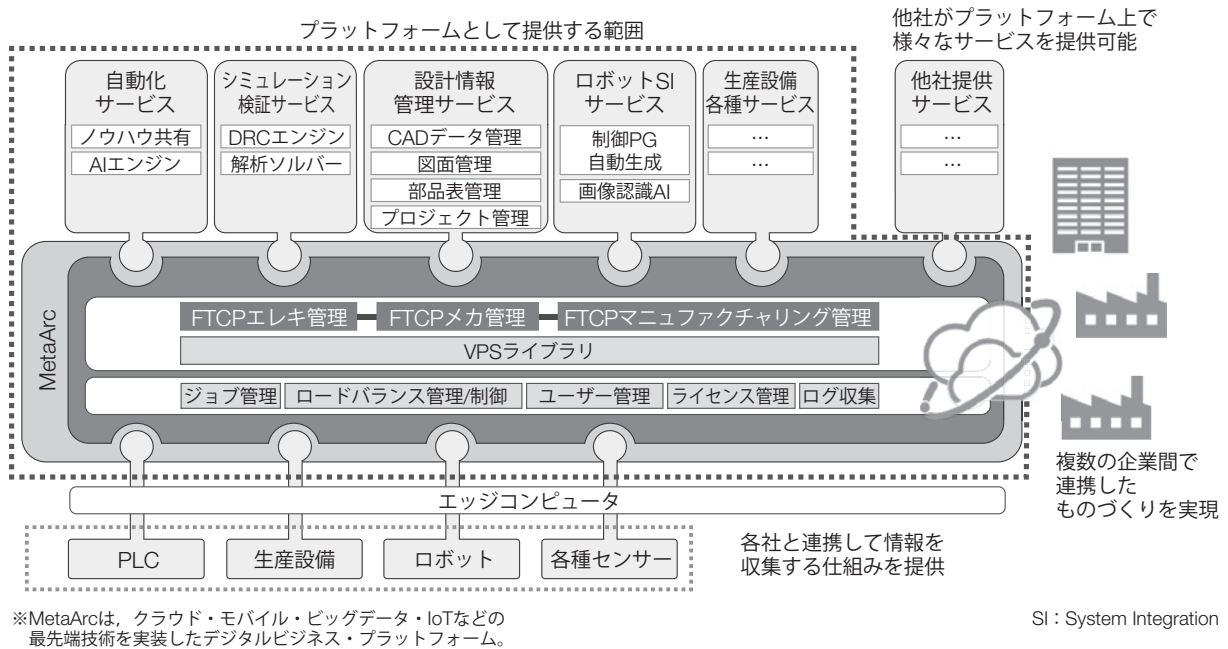


図-12 デジタルものづくりプラットフォーム構成図

(2) 各種サービスのプラグイン方法とデータ形式の確立

更なる設計の高速化実現に向け、データ流通基盤に各種サービスをプラグインする方法の確立と、各種サービス間の効率的なデータ交換を可能とするデータ形式を確立する。

(3) デジタル層からのリアル層制御

図-11のPLMから生産設備の階層ごとに異なる要求レベルにリアルタイムに対応するDigitalized WorldからReal Worldへの制御パス、Real WorldからDigitalized Worldへのフィードバックパスを形成する。フィードバックパスについては、同じ階層でのフィードバックだけではなく、上位層、下位層からのフィードバックが必要となる。

(4) フィールドとのコミュニケーションパス形成

外部情報の活用をはじめ、お客様、サプライヤー、パートナー様とのパス、および他社のプラットフォームとセキュアに相互接続できるコミュニケーションパスをデジタル層に形成していく。

む す び

本稿では、富士通のものづくりの進化と、それを支えてきたものづくり基盤の現状、および今後の展望について述べた。

次世代ものづくり基盤により「スマートなものづくり」を具現化し、ものづくりのデジタル革新を実現していく。富士通が考える社会ビジョン「ヒューマンセントリック・インテリジェントソサエティ」をものづくりの分野で実現し、製造業の高度化と発展に広く貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 松枝 準ほか：社内実践による「スマートなものづくり」実現への取組み. FUJITSU, Vol.66, No.4, p.81-88 (2015).
<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol66-4/paper11.pdf>
- (2) 富士通：人とロボットが協調する次世代ものづくりの取り組みを開始.
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2015/03/6.html>
- (3) 富士通研究所：生産ラインの画像検査プログラムを短時間で自動生成する技術を開発.
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2015/11/18-1.html>

著者紹介



三好清司 (みよし せいじ)

テクノロジー&ものづくり本部
主に、先行テクノロジー開発、サービスプラットフォーム部門のものづくり統合環境開発を指揮。



渡辺伸寿 (わたなべ しんじ)

テクノロジー&ものづくり本部
主に、生産・製造技術開発、ものづくり革新活動の推進を指揮。



宮澤秋彦 (みやざわ あきひこ)

富士通アドバンステクノロジー(株)
主に、統合開発環境、先行テクノロジー開発を指揮。