

ダントツな品質と効率を実現する 「ものづくりナビゲーションシステム」

MONOZUKURI Navigation System to Deliver Outstanding Quality and Efficiency

● 高田英治

● 小林泰山

● 松岡英俊

● 添田武志

● 舞田正朋

あらまし

富士通はICTを活用して適正な品質と管理で効率的なものづくりを行う「スマートなものづくり」サービスの展開を目指している。その取り組みの一つとして、センシング・解析ツール・AI(Artificial Intelligence)などのICTを開発の上流からフル活用する「製造現場の仮想化・統合化」をベースに、製造に関わるあらゆるデータから現場にとって有益な解を導き出す「ものづくりナビゲーションシステム」を開発している。ものづくりの現場においては、設計資産・製造現場の経験値・生産設備の稼働状態との関係を状況に応じて取り込み、適正な品質をつくり込む必要がある。そこで筆者らは、社内実践を通して現場特有の事情をデータ化して情報量を増やし、その分析結果を基に、製造状態の予測モデルを構築して製造条件のチューニングを行うシステム開発に注力している。

本稿では、ものづくりナビゲーションシステムの概要および機能を紹介する。更に、現場の状況と少し先の状況を対比しながら最善策を速やかに提示する「リアルタイムナビゲーション」について紹介する。

Abstract

Fujitsu strives to offer “smart *MONOZUKURI* (manufacturing)” services that help to achieve efficient quality and product management through information and communications technology (ICT). One of the systems being developed as part of this is *MONOZUKURI* navigation, based on technology to realize virtualization/integration at manufacturing sites. The system allows the users to fully leverage sensing technology, analytical tools, artificial intelligence (AI) and other ICT technologies from the upstream of product development, helping them to utilize all production-related data and offers solutions that best suit the requirements for a particular production site. It is important for manufacturing practice to incorporate data regarding intellectual property rights, site capability and operational status of the production facilities, as required, at the development and manufacturing sites and to develop the product to achieve an appropriate quality level. We focus on developing a system that reviews in-house practices and creates data relating to the conditions specific to the production site. The system analyzes them and provides a basis for models that predict manufacturing status, which are then used to optimize the site's manufacturing conditions. In this paper, we outline this *MONOZUKURI* navigation system, and explain its features. The paper also presents the real-time navigation, which is designed to prompt people to make the best plans based on comparisons between actual and predicted operational statuses.

ま え が き

日本の製造業がグローバル競争で再び優位に立つためには、今まで以上の開発・製造の効率化、品質の維持向上、魅力的な製品の創出が求められる。これを実現するため、富士通ではICTを活用して適正な品質と管理で効率的なものづくりを行う「スマートなものづくり」サービスの展開を目指している⁽¹⁾。その社内実践の取り組みの一つに、「ものづくりナビゲーションシステム」がある。これは、センシング・解析ツール・AI (Artificial Intelligence) などのICTを開発の上流からフル活用する「製造現場の仮想化および統合化」をベースに、製造に関わるあらゆるデータから現場にとって有益な解を導き出すシステムである。これにより、従来からのものづくりデータの統計処理はもちろんのこと、現場の課題に応じた特有の事情や設計上の知見をハイブリッドに活用できる。

製造現場の課題

富士通では、スマートなものづくりを社内工場と連携して進めている。このうち製造現場の課題は様々であり、単に製造条件とそのときの品質データの対比だけでは、最適なものづくりの実現に至らないことが次第に分かってきた。当然、データ間の因果関係を可視化したり、時系列で表示したりするだけでも、課題解決の糸口が見えてくることもある。しかし、現場の困りごとは、複数の要因により因果関係が明確にできないことが多いため、既存データの分析だけでは有効な施策には導けない。これを可能にするには、製造条件や設備稼働ログなどの既存のデータに加えて、製造に関するあらゆるデータを取り込み、活用する情報の質と量を豊かにする必要がある。例えば、特定作業のノウハウや現場判断の基準など、現場に特有の事情をデータ化したり、設備のメンテナンス記録から設備の状態をデータ化したりすることが挙げられる。

製造業のお客様から寄せられる相談では、生産ラインの予防保全に関するものが多くある⁽²⁾。また、製品開発の強化に向けてICTを活用したデータ解析の期待も高まっている⁽³⁾。

富士通が手掛ける通信機器のように、特性を限

界まで追求しなければならない製品の組み立ての場合、個々の部品特性のばらつきが一定範囲内に抑えられていても、実製品で所望の特性が得られるとは限らない。実際の現場では、部品特性のばらつきの要因やメカニズムが明確でないことが多い。また、作業員のスキルに依存する敏感な製品もある。このような場合、製造条件と試験結果のデータ群のみから正しい因果関係を見出すのは困難である。統計処理が主体のモデルでは、対象がブラックボックスであるため、挙動の理屈までは分からないからである。これを補うためには、設計上の知見や理屈、場合によっては現場の状況をモデルに盛り込むことが必要となる。

次章以降、ものづくりデータの統計処理だけでなく、現場の課題に応じて特有の事情や設計上の知見をハイブリッドに活用することで、質の高いソリューションの提供を実現するものづくりナビゲーションシステムについて述べる。

ものづくりナビゲーションシステムの構成

ものづくりの現場では、これまでも生産計画や工場・設備の稼働実績、製造・試験結果の見える化・分析など、様々な改善活動を行っている。ものづくりナビゲーションシステムは、これらの活動をベースにデータ活用の機能を加え、従来では困難であった複雑な事象の解明や障害の予兆検出、製造品質予測といった新たな価値を創出する仕組みである⁽⁴⁾。この仕組みは、以下の機能で構成される(図-1)。

(1) データリッチ化

設備の稼働状況などの既存情報に加え、現場固有のノウハウや作業員の動きなどをデータ化し、課題に応じて分類する。

(2) データ整形

生産情報、設備稼働状況、部品ばらつき、ノウハウなど、属性や書式の異なる現場の生データを整形し、データベース化する。

(3) データビューイング

生産設備で使用するエネルギーや生産状況を時系列で示したり、障害発生状況を分類して表示したりすることで作業者に注意を喚起する。熟練者は、これで解決の糸口を見出すことも多い。

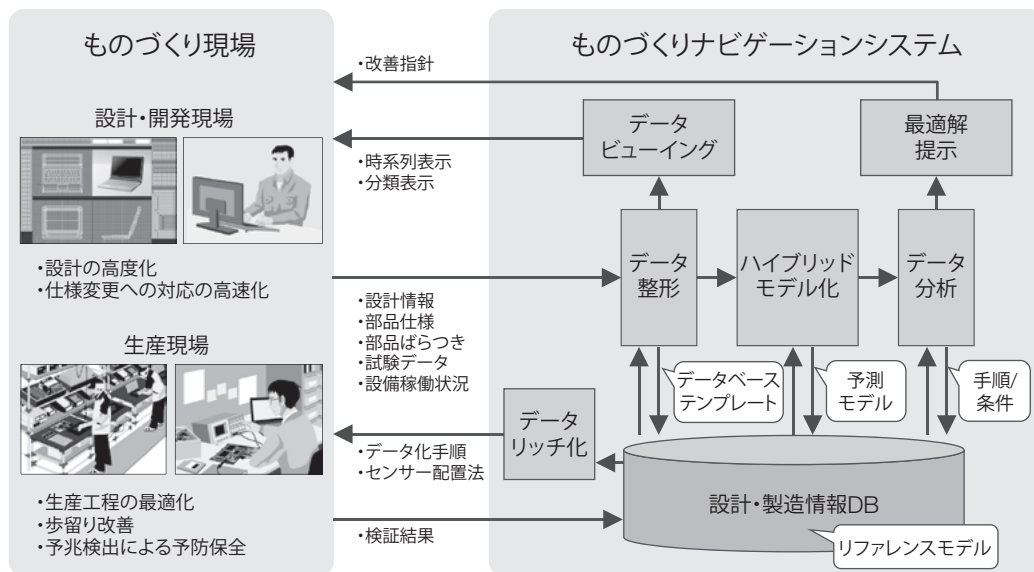


図-1 ものづくりナビゲーションシステムの概要

(4) ハイブリッドモデル化

熟練者のノウハウといった現場の知識、または動作メカニズムなど設計的な知見をモデル化し、統計モデルと融合する。

(5) データ分析

統計分析、機械学習、マイニングなどのツールを駆使して課題解決に至る分析手順を構築し、最適解を導き出す。分析手順はリファレンスモデルとして知識データベースに登録し、同類の案件に対してすぐに活用できるようにする。

(6) 最適解提示

調整値や制御値などとして直接的に解を示すこともあるが、コスト換算や動作表示など、現場の作業者が分析結果を理解しやすいように加工して表示する。

適用効果

本章では、ものづくり現場での本システムの適用効果を紹介する。

● 生産ラインの予防保全

生産設備の稼働実績、メンテナンス実績、障害対応記録、センサーデータなどから障害パターンを抽出しておき、稼働中のデータから障害に発展する予兆を検知することで、部品交換の指示や注意喚起などを行う。

メンテナンス実績の一例を示すと、図-2に示す

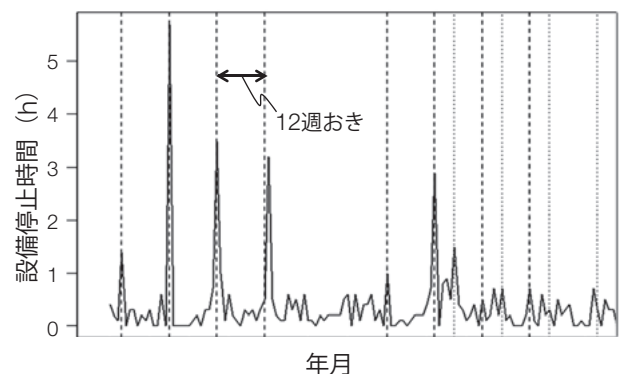


図-2 生産設備の停止パターンが抽出された例

ように、ある生産設備では12週おきに停止していることが分かる。大きな障害が発生する度に生産が数時間止まっている。このような長時間停止につながる障害パターンを停止する要因とともに事前に把握しておけば、その予兆を検知した時点で交換部品の準備やメンテナンス作業人員の割り当てなどの対処が行えるため、設備停止に伴う時間のロスを防ぐことができる。

障害の種類は様々で、その対応時間も各種異なるため、実際に本システムを現場で運用する場合は、検出する障害パターンの優先度を検討し、例えば復旧時間の長い障害にターゲットを絞るなどの判断を行うことが望ましい。

● 製造の効率化

製造条件が複雑で刻々と変化する多品種少量生産ラインでは、工程数や工程内の分岐・合流の数、および外段取りと呼ばれる部品準備作業が多い。このため、作業時間やその待ち時間を最小化する生産計画を立案しなければラインの製造効率を向上させることはできない。

本システムでは、製品ごとに製造投入順序を最適化することで、生産性の高い計画の立案を可能にする。過去の実績を基に、製造工程内のリードタイムを品種（製品図番）および設備ごとに分析し、これから製造する製品群に対して、部品交換や設定変更などの作業数が少なく、かつ生産性の高い投入計画を探索して提示する（図-3）。

最適な部品割り付けと品種の製造順の決定は組み合わせ最適化問題であるが、最高性能クラスの最適化ソルバーを用いても規模が大き過ぎて厳密な最適解を求めることはできない。そこで、最適解に近い品質の準最適解を求める問題分割手法を開発した。

具体的には、段取り時間を最小化するため、ラ

イン内設備の負荷バランスを考慮しつつ複数の製品を使用部品の共通性でグルーピングし、設備が手待ちしないよう製品投入順を決定する。これらを階層的に最適化することで、実運用に耐える時間で求解でき、従来の最適化プログラムに対し、外段取り時間の15%短縮を達成している。

また、付加価値は小さいが一定のスペース確保と作業を伴う倉庫からの部品給材では、倉庫スペースは極力小さく、かつ限られたスペース内で部品収集作業同士を干渉させないという制約がある。本システムでは、各部品棚への訪問回数を平均化（特定部品棚への訪問の局所集中回避）させるとともに、部品収集作業動線を最短化する部品棚配置の最適化を実現している。

併せて、現場での部品棚配置変更前に事前にシミュレーションツールを活用し、実環境に近い作業動線を評価できる仕組みを具備している。これらにより、一度の部品棚配置の見直しで、作業干渉を抑制しつつ倉庫スペースを35%削減できた。更に、生産品目が変化しても部品棚配置が最適に維持できているかを、部品収集作業実績から分析

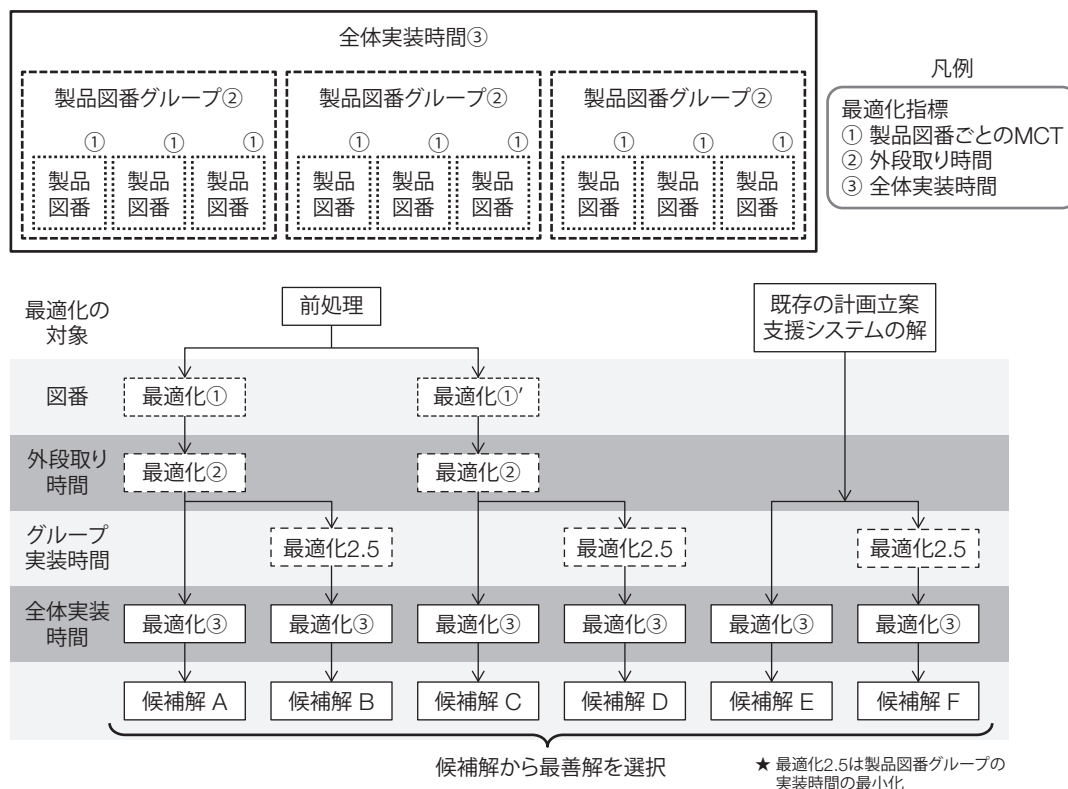


図-3 製品投入計画の最適化

できる機能を有している。

● 品質改善

製品は、実際に使用される環境で性能が発揮されなければならない。しかし、実際には使用時の環境が設計時の想定とは異なる可能性があり、更には部品特性のばらつきが設計時の想定とは異なる可能性も出てくる。ばらつきの小さな部品は調達コストの上昇を招く一方、ばらつきが大きいとチューニングの範囲が広くなり効率が悪い。

本システムは、製品動作の原理が明らかな部分を物理的に解釈し、残りの不明な部分を統計的に推定するグレーボックスモデルを構築することで、精度の高い品質予測を可能とする⁽⁵⁾。物理的な解釈は、例えばCAE（Computer Aided Engineering）で用いられる物理モデルや等価回路モデルに対し、実測値をパラメーターフィッティングして実現する。一方、統計的な推定は、物理モデルで表現されていない特性を実測値から作成した数理モデルや、実測困難な個々の特性ばらつきを統計的に推定した分布モデルから最尤法^(注)などにより実現する。

このようにして、実際の部品特性のばらつきや個々の部品の組み合わせを考慮したグレーボックスモデルで、特性や環境の影響が考慮され、許容される部品群が無駄なく選定される。既に部品が組み込まれた製品に関しては、その状態で動作状況や特性を測定し、過去のチューニングパターンと照合することで、着目すべきパラメーターや調整の目安などを求めることもできる。一旦決まった方針はその後の工程にも引き継ぎ、キーとなる各工程においてもその方針に従ってチューニングすることで、効率的な品質の維持や改善が見込める。

このように、特性ばらつきのある部品の組み合わせ、あるいはチューニングの方針を過去の実績から求めることで、現場独自のノウハウを活かしつつ、品質改善と無駄のない部品選定すなわちコスト削減が可能となる。

本システムは、過去の実績をライブラリ化して直接的な解を示したり、生産状況や特性の変化状況を可視化して作業員の気づきを促進したりする

メニューも用意している。

次章では、本システムの開発において最も注力しているリアルタイムナビゲーションについて紹介する。

リアルタイムナビゲーション

現場のデータに基づいて少し先の状況を予測し、作業員や設備がどう対処すべきなのかを支援する機能がリアルタイムナビゲーションである。この機能はアプローチに応じて、予兆検知系・最適化系・テキスト系の三つに分類される（図-4）。このうち予兆検知系は、前述した予防保全機能リアルタイム化である。現場で生じたわずかな異変を設備内外のセンサーで捉え、時系列パターン分析で導き出した障害パターンの発生確率を予想し、最も起こり得る障害の対応策を提示する。

一方、最適化系は、直面した課題に対し、挙動を表すモデル式中のパラメーターを速やかに最適化して作業員や設備にフィードバックすることを目的としている。ここでは、リソース割り付けに関する二つの最適化事例を紹介する。

一つ目は、生産ラインで障害が同時多発した場合の対処法である。例えば、印刷機や実装機など多くの設備から成る電子部品実装ラインは、生産規模の大きい工場ではその数も多くなり、対処すべき設備数は膨大になる。省人化が進む現場では、障害対応の作業員数は必ずしも十分ではなく、障害が複数発生すると対応待ちが頻発してしまう。本システムでは、生産実績を基にタクトタイムや障害対応時間などを割り出し、複数の障害が発生した場合に複数のシナリオを立て、現時点からの生産状況を予測する。障害発生により、生産時間は当初の予定よりも長引くため、その遅れが最も小さくなるシナリオを選択する。その際、ボトルネックとなっている設備の品種依存性や設備と作業員との位置関係など、その状況に合わせた解が求められる。現時点では、これら全ての情報を取り込めているわけではないが、例えばカメラやビーコンシステムをセンサーとして順次投入し、作業員の動線をデータ化している。このようなデータリッチ化により、今後より高い精度でシナリオを構築することを目指している。

二つ目の例は、柔軟な生産計画への対応である。

(注) 統計学において、与えられたデータからそれが従う確率分布の母数を点推定する方法。

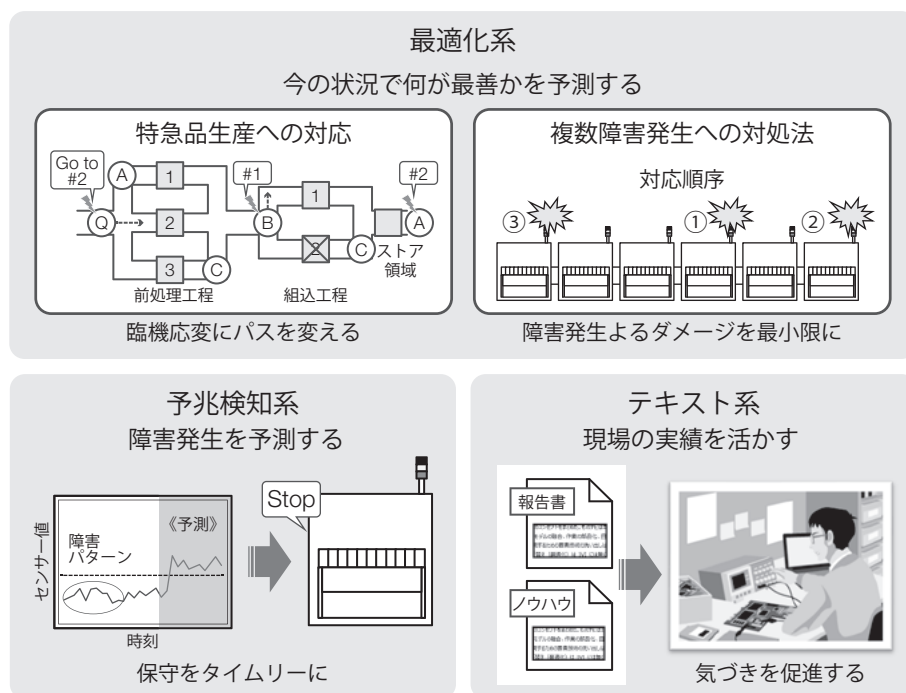


図-4 リアルタイムナビゲーションの活用例

突然の仕様変更は生産現場ではよくあることで、こうした事態に柔軟に対応できる生産体制が求められている。短納期品（特急品）に緊急対応する場合、特急品そのものの生産に加え、その後の通常品の生産も可能な限り遅延を生じさせないようにする必要がある。使用可能な設備は品種（図番）で決まるため、設備の状態や通常品の位置を見ながら特急品が通るべき最善ルートを探索する。通常品は、設備の空き具合に応じて生産と待機（あるいは回避）を調整する。そして、特急品が通過した後は、通常品の生産遅延を最小化する再計画を探索して提示する。今後、製品のトレーサビリティも強化されれば、より柔軟性の高い計画立案が可能となる。

最後に、テキスト系では、現場で蓄積されたノウハウを活かし、作業員が直面した課題に対し、その対応策をその場で提供することを目的としている。例えば、障害対応の記録などからキーワードのつながりを分析すると、障害との関連性が強い特徴的なキーワードが抽出される。また、キーワード間のつながりの強弱から、障害に至るまでの過程を可視化できるようにもなる。これを利用すると、現場で何か異変が生じたときに、その異変内容を基にキーワードをたどることで、将来発

生する重大な障害（特徴的なキーワード）を予測できる。一般に、障害対応記録には対応策が記載されているため、各障害の対処法を提示できる。

将来的には、障害につながるキーワードを詳細に分析してセンシングし、前述の予兆系ナビゲーションとの連携をより強化する予定である。また現在は、報告書などの過去の記録や熟練者へのヒアリング結果を基に対応しているが、今後は音声認識を駆使して漏れの少ない、より充実した作業記録を作成できるようにし、より正確な対応策を提示できるようにしたいと考えている。

む す び

本稿では、ものづくりの開発/製造現場における製造状態の予測や改善を通知する「ものづくりナビゲーションシステム」の機能や適用効果について述べた。

ICTの発展に伴い、ものづくりの世界でもIoT（Internet of Things）化が進み、現場で多彩なデータを収集することが容易になってきた。またビッグデータ活用により、ものづくりデータからも価値が生まれ、ものづくりの在り方が大きく変わりつつある。富士通は、自らものづくりを行うICTベンダーとして、製造業のお客様の課題をビッグデー

タを活用して解決していく。そして、自らが製造業として取り組んできたものづくり革新の経験を活かし、社内実践により構築したリファレンスモデルを社外のお客様に順次提供することで、更なるものづくりの強化に貢献する。

参考文献

- (1) 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://www.fujitsu.com/jp/solutions/industry/manufacturing/monozukuri-total-support/services/kakushintai/new-services-01/>
- (2) 安部純一：ビッグデータを活用したものづくり現場のイノベーションを支援する「最強工場」. FUJITSU, Vol.66, No.4, p.62-68 (2015).
<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol66-4/paper12.pdf>
- (3) 経済産業省：2015年版ものづくり白書 第1部 第1章 第3節 製造業の新たな展開と将来像, p.156-21.
http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2015/honbun_pdf/index.html
- (4) 松枝 準ほか：社内実践による「スマートなものづくり」実現への取り組み. FUJITSU, Vol.66, No.4, p.81-88 (2015).
<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol66-4/paper11.pdf>
- (5) 木崎健太郎ほか：製造工程でバラつきを吸収 富士通. 日経ものづくり, 2015年6月号, p.56-59.



小林泰山 (こばやし たいざん)

テクノロジー&ものづくり本部
共通生産技術センター
ものづくりのICT化技術の開発と適用
推進に従事。



松岡英俊 (まつおか ひでとし)

ものづくり技術研究所
デザインエンジニアリングプロジェクト
ものづくり分野のモデリング, 最適化,
ノウハウ管理手法の研究開発に従事。



添田武志 (そえだ たけし)

ものづくり技術研究所
ファクトリーエンジニアリングプロジェクト
ものづくりIoT関連の研究開発に従事。



舞田正朋 (まいだ まさともし)

富士通テレコムネットワークス(株)
生産技術統括部
次世代ものづくり実現に向けた取り組み
に従事。

著者紹介



高田英治 (たかだ えいじ)

テクノロジー&ものづくり本部
共通生産技術センター
ものづくりのICT化技術の開発と適用
推進に従事。