

生産から経営までの全体最適化を支える 生産計画シミュレーション

社会インフラを支えるさまざまな制御システムを提供している日立製作所大みか事業所では、顧客の要望に応えるべくOrder-made型の多品種少量生産を行っている。多品種少量生産では、需要変動や度重なる工程変動など、生産性を低下させるさまざまな事象が頻繁に発生するため、3M（Man, Machine, Material）情報を中・長期で見据え、何らかの変動が発生した際に生産計画を即応させることが重要である。

大みか事業所では、3M情報や製造現場で見える化したさまざまなデータをつなぎ、中・長期で場内全体を最適化した生産計画を自動立案する「工場シミュレータ」を開発し、生産から経営に至るまでの全体最適化を図ってきた。本稿では、大みか事業所における工場シミュレータによる全体最適な生産計画シミュレーションについて、取り組み内容と今後の展望を述べる。

佐々木 隆哲 | Sasaki Takaaki

森田 徹 | Morita Toru

友部 篤志 | Tomobe Atsushi

田中 将貴 | Tanaka Masataka

1. はじめに

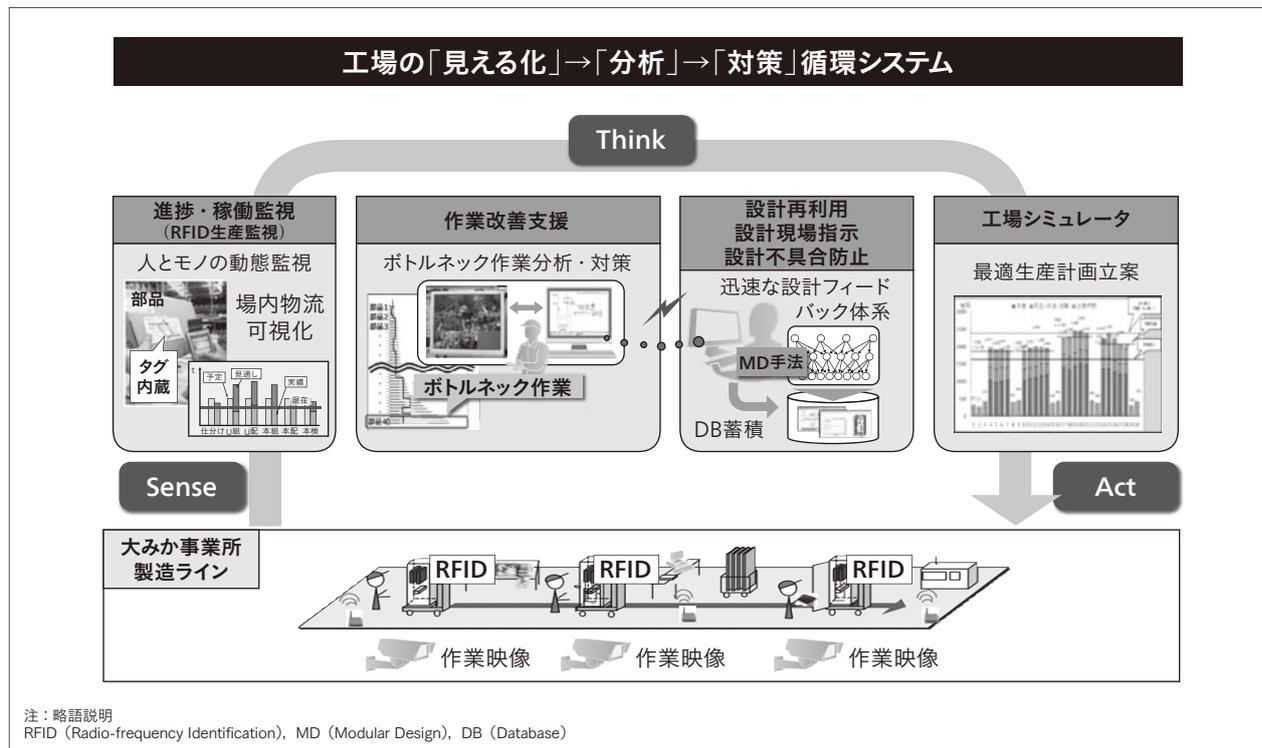
1969年に設立された日立製作所大みか事業所は、設立当初から、電力、交通、鉄鋼、公共などさまざまな分野の顧客と共に社会インフラシステムを構築してきた。さまざまな分野の顧客との強固な関係を築くにあたり、顧客からの細かな要望に沿った製品を作り上げるOrder-made型のモノづくりをめざして日々進化を重ねてきた。大みか事業所の特徴は、分野ごと・顧客ごとにシステム構成や部品構成が異なる制御システムを作り上げるために、(1) 多品種少量生産を行っている、(2) 多様な製造ラインを保有しているという点である。現在はこの特徴を生かしつつ、デジタルデータを活用し、かつ既存のデータを体系化・再整理したうえで顧客要求を待ち構え

るReady-made型のモノづくりへの変革をめざしている。

大みか事業所では、過去20年にわたり設計分野、IT分野、製造分野などにおいてさまざまな改革に取り組んできたが、いずれも個別に改革を進めてきたため、それぞれが個別最適となっているといった課題があった。この課題の解決に向けて、各種デジタルデータを基にIoT（Internet of Things）を活用した生産改革の実行、およびボトムアップのみではなくトップダウンの施策としての全体最適化に向けた推進が必要であった。そこで、日立グループで取り組んでいる構造改革プロジェクトであるHitachi Smart Transformation Projectの一環として、トップダウンで「グローバルで勝てるコスト構造への改革」を目標とし、多種多様な生産改革要素をIoT活用によって連携させることで全体最適化を図る「高効率生産モデル」の構築に取り組んだ。

図1 | 高効率生産モデルの基本機能

現場の人・モノの動態を監視する「進捗・稼働監視システム（RFID生産監視）」、ボトルネック作業の分析・対策を支援する「作業改善支援システム」、現場不具合などを迅速に設計フィードバック・指示する「設計再利用／設計現場指示／設計不具合防止システム」、工場全体最適の生産計画を立案する「工場シミュレータ」で構成する。



2. 高効率生産モデルの構築

大みか事業所ではプレ活動、投資、設計、製造から保守に至るまでさまざまな業務活動があり、それに伴って多くのデータを保有している。従来はそれぞれのデータごとに個別にシステムが存在し、個別最適の状態になっていた。そのため、事業活動で生じるさまざまなデータをIoT活用で集約して分析・対策立案し、その結果を現場へ早期にフィードバックする循環モデル：「Sense（見える化）」→「Think（分析）」→「Act（対策）」を高効率生産モデル構築のコンセプトとして、工場全体の最適化をめざした。構築した高効率生産モデルの基本機能を図1に示す¹⁾。

高効率生産モデルの構築にあたり、IEC(International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議)が提唱する「Factory of the future²⁾」にある共生型エコシステムの実現に向け、日立では「生産システム成熟度モデル」を定義して、現状分析を行った。図2に成熟度モデルを示す³⁾。

この成熟度モデルに従って従来の生産システムを評価したところ、個別には高い成熟度レベルを実現している

システムも存在したが、全体としては見える、つなげる、問題を把握するといった仕組みが不十分で、個別最適となっていた。そのため、高効率生産モデルでは成熟度モデルを基に、工場全体の3M (Man, Machine, Material) の生産能力・負荷を見える化して、つなげ(レベル1, 2), 流れを制御し(レベル3), ボトルネックとなる作業や設計を明らかにし(レベル4), 工場を横断した生産計

図2 | 生産システム成熟度モデル

IEC (International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議)のホワイトペーパー「Factory of the future」にある将来像「共生型エコシステム」の実現に向け、日立が定義した生産システムの成熟度モデルである。

Level	Function to be established	
6	Symbiotic	Symbiotic Optimization among Stakeholders
5	Prescriptive	Mfg Condition Prediction & Proactive Measure
		Eng Condition Prediction & Proactive Measure
4	Predictive	Mfg Planning, Eng Problem-solving
		Eng Planning, Eng Problem-solving
3	Analysis	Mfg Bottleneck Analysis
		Eng Bottleneck Analysis
2	Integration	4M Resource Track & Trace
		Eng Info Track & Trace (Dwg No., ID, ...)
1	Visualization	4M Resource Visualization
		Mfg Result Visualization
		Eng Result Visualization

注：略語説明
4M (Man, Machine, Material, Method), Dwg (Drawing), Mfg (Manufacturing), Eng (Engineering), Info (Information), ID (Identification)

画最適化（レベル5）の実現をめざした。図1の高効率生産モデルの基本機能において、図2の成熟度モデルのレベル5に相当し、さまざまな個別要素をつなぐことで生産から経営までの全体最適化を支えているのが「工場シミュレータ」である。

3. 工場シミュレータ開発の背景と取り組み内容

3.1

制御システムの生産プロセスと生産計画業務

制御システムの生産プロセスと生産計画業務の概要を図3に示す。

制御システムの設計工程では、各種機器や部品などのハードウェア設計と、制御対象とする機器を動かすためのソフトウェア設計を行う。その後、部品調達やプリント基板製造、筐（きょう）体製造を経て、製品の組み立て・配線を行う。その後、試験工程を経て出荷され、顧客先での据え付け作業が行われる。

これらの製品は、受注案件の規模によって、数年の期間を要するものから数か月で完了するものなど、生産リードタイム（LT：Lead Time）が異なる。さらに、製品を構成するプリント基板や筐体、部品の種類や数も

案件によって変わるため、作業に要する時間（ST：Standard Time）や機械加工時間（MT：Machine Time）も変動する。このため、生産計画を立案する際には、製品1台の生産に要するLTやST、MTなどの原単位を見積もり、設計、製造、試験の工程の期限や日々の投入作業量を決定していた。

3.2

生産計画業務における課題と解決策

前節で述べた生産計画業務においては、以下の3点が課題であった。

(1) 生産計画立案時の原単位精度の向上

これまでLTやST、MTなどの原単位は、個人の経験やノウハウに基づいて作成されてきたが、案件によってはこれらの原単位が実態と乖（かい）離して精度が低下し、生産計画の変更が発生する問題があった。

(2) 複数リソースの生産負荷を平準化した生産計画の自動立案

大みか事業所では、数百に及ぶ製品を同時並行で生産しており、各製品分野の計画担当者が個別に複数の工程期限を手作業で設定していた。このため、多大な計画工数を要するうえ、各製品間で競合する製造ラインや試験エリアの人・設備・モノに関する生産負荷が見えず、こ

図3| 制御システムの生産プロセスと生産計画業務の概要

制御システムは、案件個別に顧客仕様に基づいて、設計、製造、試験する個別受注設計生産方式によって生産しており、製品個別の担当者が、原単位（LT、ST、MTなど）を見積もり、各工程の期限を設定して部品の発注を行っていた。

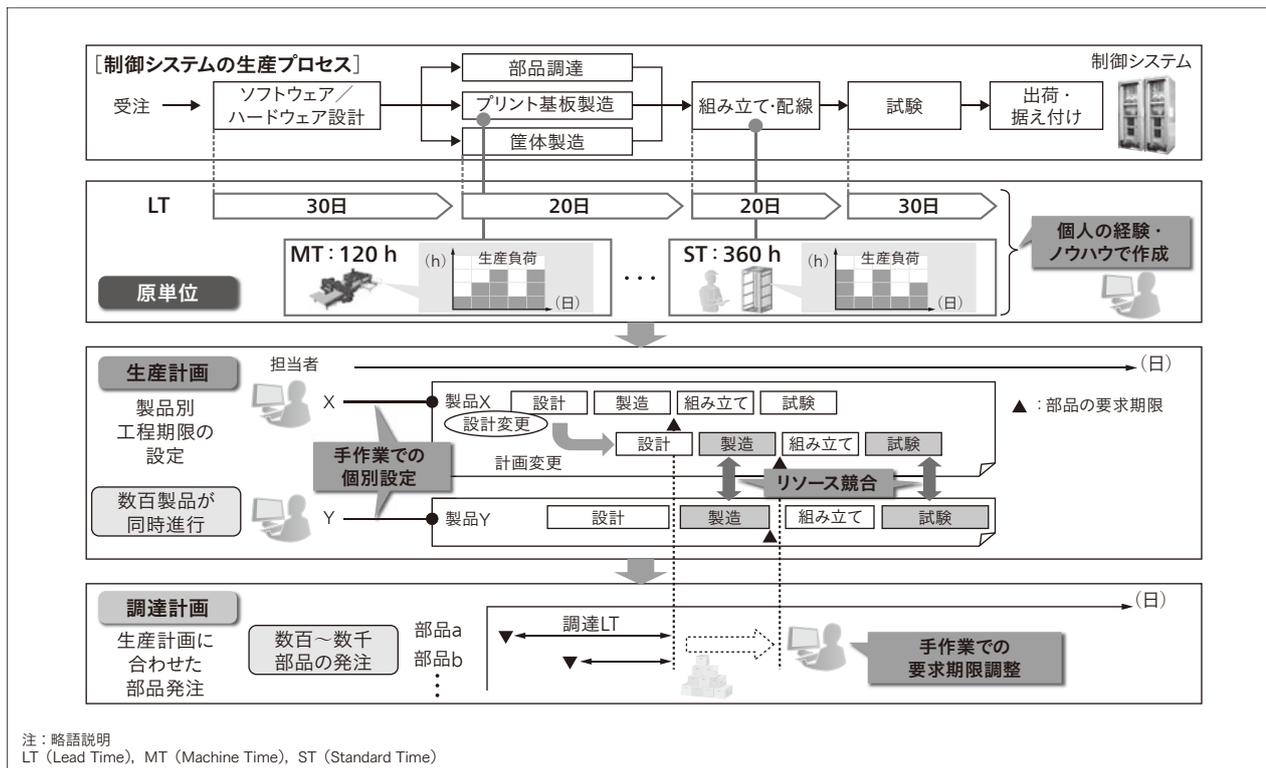


表1 生産計画業務の課題に対する解決策

工場全体の最適化に向けた生産計画の立案を実現するため、生産現場などから収集した実績データを用いて、最適な生産計画や部品の調達計画を立案するシステムを開発した。

No.	課題	解決策
(1)	生産計画立案時の原単位精度の向上	製造現場から収集した実績データに基づいて、原単位との乖離を評価し、偏差を補正するように原単位を更新する。
(2)	複数リソースの生産負荷を平準化した生産計画の自動立案	製品別に異なる工程順序、原単位に基づいて3Mの生産能力・負荷を見える化・平準化し、実行可能な工程期限を自動設定する。
(3)	生産計画の変更に対応した部品調達	部品の調達LTに基づき、生産計画と連動して、膨大な件数の部品の発注日、要求期限を一括更新する。

これらのリソースにおける生産負荷を平準化した計画の立案が困難であった。

(3) 生産計画の変更に対応した部品調達

生産計画変更時には、組み立てに使用する膨大な件数の部品調達の要求期限を変更する必要があるが、手作業での調整には限度があり、不要な部品在庫を抱え、棚卸資産が増大する問題が発生していた。

そこで、これらの課題を解決し、工場全体の最適化に向けた生産計画の立案を実現するため、これまで個人の経験やノウハウに依存していた生産計画手法をデジタル化・見える化し、生産現場などから収集した実績データを用いて、最適な生産計画や部品の調達計画を立案するシステムを開発した。上述の(1)～(3)の課題に対する解決策を表1に示す。

次章では、(2)の課題を解決するために開発した「工場シミュレータ」を中心に開発手法、および適用方法を

述べる。

4. 工場シミュレータの開発・適用

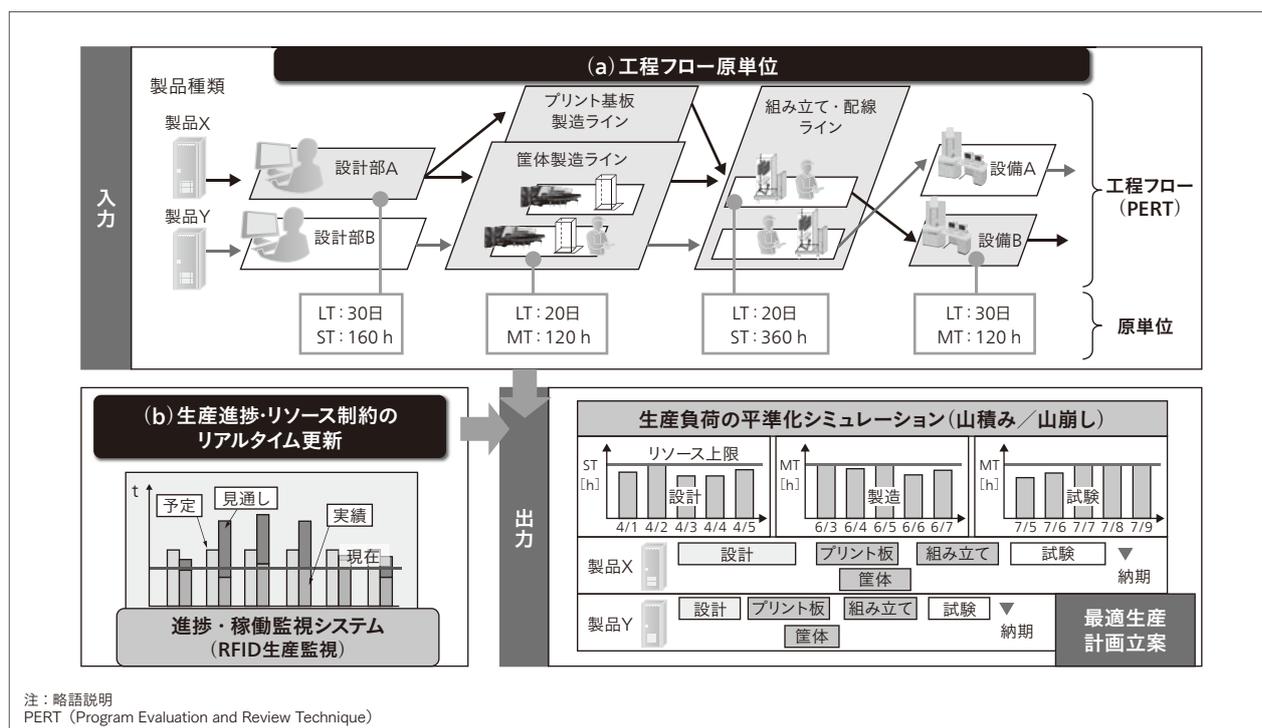
4.1

開発手法

制御システムは3.1節で述べたとおり、受注から出荷・据え付けにわたってプロジェクト型で生産されている。そこで、3.2節の(2)生産計画自動立案機能として、プロジェクト型の日程計画手法であるPERT (Program Evaluation and Review Technique) に基づいた計画手法を採用した⁴⁾。本手法は、各工程の単位期間当たりの処理量(原単位)をリソース制約とみなし、生産負荷の山積み/山崩しを行って平準化した計画を立案するものである。工場シミュレータでは、多様な製品のバリエー

図4 工場シミュレータにおける生産計画立案機能の特徴

工場シミュレータでは、PERTに基づくプロジェクト型の日程計画手法を採用した。(a)製品別の工程フローと原単位の組み合わせ定義(工程フロー原単位)による製品バリエーションへの対応、(b)生産進捗・リソース制約のリアルタイム更新に特徴がある。



ションや日々の生産進捗の変化に対応するため、図4の(a), (b)に示す特徴を持つ機能を開発した⁵⁾。

(a) 製品別の工程フローと原単位の組み合わせ定義（工程フロー原単位）

各製品種類に対する工程フローを複数工程間の順序制約として定義し、各工程に複数リソースの原単位を設定可能なモデル（以下、「工程フロー原単位」と記す。）を開発した。例えば、同図の製品Xに対しては、設計部Aによる設計、プリント基板と筐体の製造、組み立て・配線、設備Bでの試験を経て出荷する工程フローと、各工程におけるLTやST、MTなどの原単位を持たせることで工程フロー原単位を定義する。これにより、複数の製品を組み合わせたさまざまな受注のバリエーションに対しても、自動的に工程フローを生成して生産計画を立案することを可能とした。

(b) 生産進捗・リソース制約のリアルタイム更新

実際の生産活動においては、設計仕様の変更や現場のトラブルなどによって計画どおりに生産が進行しないことがあり、そのつど、計画の見直しが必要となる。そこで、「進捗・稼働監視システム [RFID (Radio-frequency Identification) 生産監視]」から、生産進捗や作業人員の情報をリアルタイムに収集し、生産負荷やリソース制

約を更新可能とする機能を開発した。これにより、工程変動の影響を最小化し、納期順守のための実行可能な生産計画の立案を可能とした。

4.2

適用方法

前節で述べた工場シミュレータと「進捗・稼働監視システム (RFID生産監視)」および工場内のERP (Enterprise Resource Planning) とを連携させ、図5に示す全体システムを大みか事業所に適用した。以下に本システムを活用した生産計画業務の手順を示す。

・「Sense (見える化)」

(a) 製品・工程別STの更新: 「進捗・稼働監視システム (RFID生産監視)」を通じて収集、蓄積した製造実績データに基づき、製品種類・工程別STの中央値・平均値などを算出して、計画時に使用する原単位を更新する。

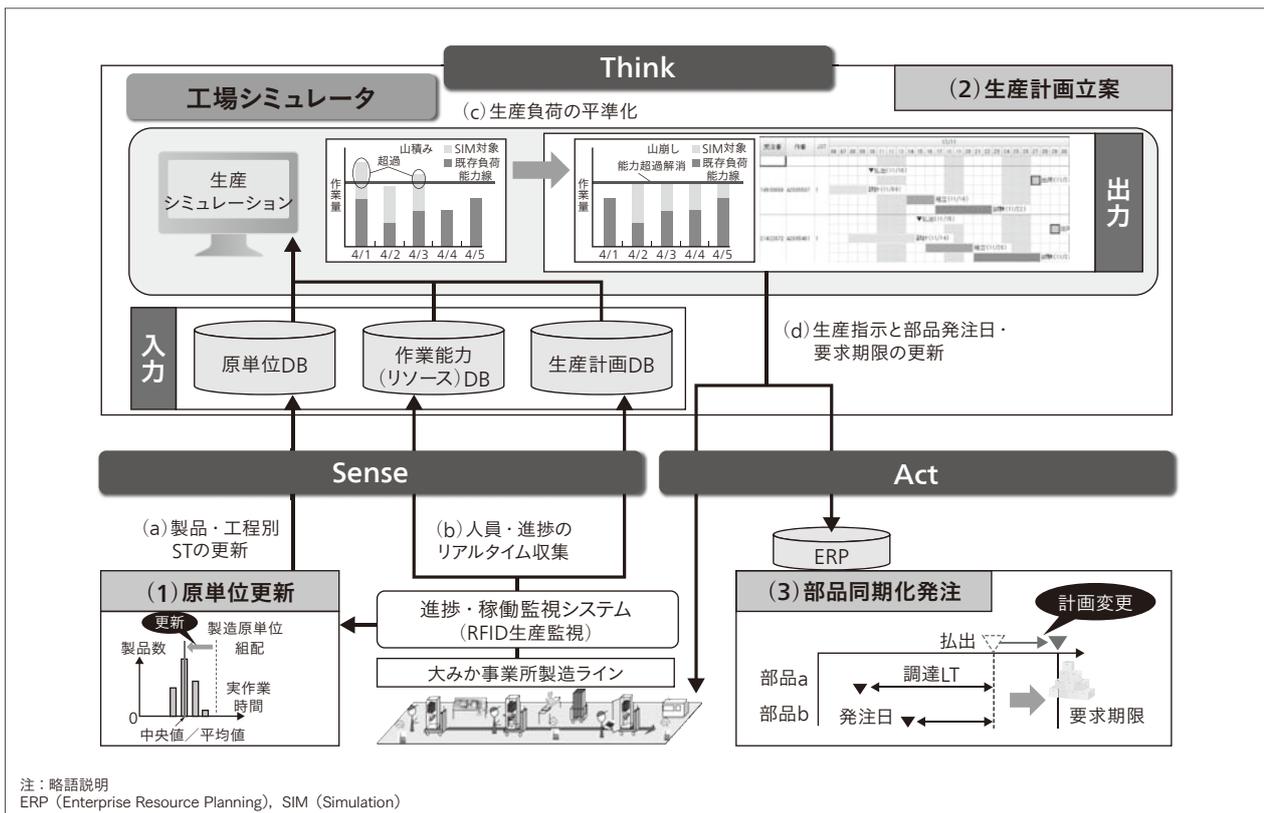
(b) 人員・進捗のリアルタイム収集: 「進捗・稼働監視システム (RFID生産監視)」を通じて収集した現場の作業人員・計画に対する生産進捗に基づき、現場の作業能力 (リソース)、生産負荷データを更新する。

・「Think (分析)」: 工場シミュレータ

(c) 生産負荷の平準化: 各工程における複数リソースの

図5| 工場シミュレータの適用方法

工場シミュレータと「進捗・稼働監視システム (RFID生産監視)」、工場内のERPを連携させて「Sense (見える化) → Think (分析) → Act (対策)」の循環モデルを構築した。工場全体の生産計画最適化、部品などの棚卸資産低減に貢献している。



生産負荷を平準化した生産計画を立案する。

・「Act (対策)」

(d) 生産指示と部品発注日・要求期限の更新：最新の生産計画に基づき、製造現場へ生産指示を行う。また、工場内のERPと連携して、数千点に及ぶ部品の発注日・要求期限を一括更新し、順次サプライヤへ発注を行う。

上述の手順により、工場全体の原単位や生産進捗を見える化し (Sense)、生産負荷のボトルネックを把握・平準化した生産計画を立案して (Think)、製造現場への生産指示や部品発注を行う (Act) 循環モデルを確立した。これにより、大みか事業所では、顧客納期や設計仕様の変更、現場トラブルなどによる工程変動に対しても、タイムリーな生産計画の立案や部品要求期限の自動変更が可能となり、この結果、工場全体の生産計画最適化、LT短縮、棚卸資産の低減に貢献している。

5. おわりに

この工場シミュレータを含む大みか事業所の高効率生産モデルを構成するシステムは、日立と同様の製造業などにおける課題解決への寄与をめざし、2017年7月より順次提供を開始している^{6), 7)}。今後も、大みか事業所でのさらなる生産改革を通じ、上流から下流までのサプライチェーン、エンジニアリングチェーンの全体最適化に一層貢献するものへと進化させ、日立のIoTプラットフォームLumadaのソリューションコアの一つとして提供していく。

参考文献など

- 1) 日立ニュースリリース、大みか事業所にて、IoTを活用した高効率生産モデルを確立 (2016.10)、
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2016/10/1025.html>
- 2) IEC : Factory of the future,
<http://www.iec.ch/whitepaper/futurefactory/>
- 3) 鬼澤亮, 外: グローバル時代の多品種少量製品におけるIoTを利用した次世代生産システム, 日立評論, 98, 3, 193~196 (2016.3)
- 4) 関根智明: PERT・CPM入門, 日本科学技術連盟 (1965)
- 5) 田中将貴, 外: 工場シミュレータを用いた個別受注品向け最適工程計画立案技術の開発, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2016, G69, p.395~396 (2016.9)
- 6) 日立ニュースリリース、多品種少量生産工場において作業進捗見える化と作業改善を支援するシステムをIoTプラットフォーム「Lumada」のソリューションコアとして提供開始 (2017.5)、
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2017/05/0531a.html>
- 7) 日立ニュースリリース、最適な生産計画の自動立案と3D作業手順書を自動生成するシステムをIoTプラットフォーム「Lumada」のソリューションコアとして提供開始 (2017.10)、
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2017/10/1017.html>

執筆者紹介



佐々木 隆哲

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 情報制御第三本部
IoTシステム設計部 所属
現在、大みか事業所生産改革システムの商材化・拡販業務に従事



森田 徹

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 生産統括本部 生産管理部 所属
現在、大みか事業所の生産管理業務に従事



友部 篤志

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 生産統括本部
生産・情報システム部 所属
現在、大みか事業所生産システムの開発・運用に従事



田中 将貴

日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーションセンタ
生産システム研究部 所属
現在、生産システムの研究開発に従事