

デジタルエコファクトリー利活用専門委員会

(FAOP-DECOF専門委員会)

成果報告書

2021年3月

FAオープン推進協議会

一般財団法人 製造科学技術センター

目 次

1.	はじめに	1
2.	これまでの活動概要	2
2.1	デジタルエコファクトリー研究会	2
2.2	デジタルエコファクトリー専門委員会	4
2.3	デジタルエコファクトリー利活用専門委員会	5
3.	デジタルエコファクトリー	6
3.1	デジタルエコファクトリーへの要求	6
3.2	デジタルエコファクトリーの利用	7
3.3	デジタルエコファクトリーの構成（設計）	10
4.	ケーススタディ 1：プリント基板ユニット製造ラインへの適用	14
4.1	ケーススタディ 1 の目的	14
4.2	仮想表面実装プリント板(SMT)製造ラインの構成実験	14
4.3	仮想表面実装プリント板(SMT)製造ラインの試用実験	20
4.4	まとめ	22
5.	ケーススタディ 2：射出成形ラインへの適用	24
5.1	仮想射出成形ライン	24
5.2	仮想射出成形ラインの構成	24
5.3	仮想射出成形ラインでのシミュレーション	33
5.4	仮想射出成形ラインの使用効果例	34
5.5	まとめ	35
6.	デジタルエコファクトリーの今後	36
6.1	ケーススタディからの展開	36
6.2	理想のデジタルエコファクトリーに向けて	38
7.	ISO 16400 シリーズ	43
7.1	ISO 16400 シリーズ提案への経緯	43
7.2	ISO 16400 シリーズの概要	43
8.	おわりに	46

付録 1. 活動記録・委員名簿

2012年10月～2013年9月 デジタルエコファクトリー研究会

2013年10月～2017年3月 デジタルエコファクトリー専門委員会

2017年4月～2021年3月 デジタルエコファクトリー利活用専門委員会

付録 2. 発表論文

「E-Catalogues of Equipment for Constructing an Injection Molding Digital Eco-Factory」 e-Book : EcoDesign and Sustainability I、Springer より 2021年1月発行に収録。(11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2019)、2019年11月25-27日、パシフィコ横浜で開催にて発表。)

(白紙)

1. はじめに

本報告書は、2010年9月に製造科学技術センター（MSTC）アイデアファクトリー「テーマ6：グリーンプロダクション基盤としてのデジタルエコファクトリ構築のための調査研究」として開始した活動に端を発し、その後、FAオープン推進協議会（FAOP）の「デジタルエコファクトリー研究会」「デジタルエコファクトリー専門委員会」「デジタルエコファクトリー利活用専門委員会」として2021年3月までの約10年間に渡る活動成果をまとめたものである。

本活動が開始された頃、地球環境の保全に向けて低炭素化社会の実現が叫ばれており注目されていた。現在もそれは継続加速している。現代の社会生活において車、パソコン、携帯電話、家電品、日用品などの機械製品は不可欠なものであるが、循環型社会実現の面からみると、素材や構成部品のリサイクルやリユースを意識するレベルに留まり、根本的に製品づくりの仕組みを見直し効果的な方策を提示するに至っていない現状があった。一方、製造業では、地球環境の持続性に配慮しながら製品ユーザに対するサービスを最適化することが求められ、製品ライフサイクル全体を視野にいたしたものづくりが当然となりつつあった。DfE（Design for Environment）として、製品ライフサイクルの設計そのものについては、各種のCADE（CAD for Environment）の開発も行われていたが、その利用のためのICT投資は大きな負担となりつつあった。また、環境マネジメントに関する国際規格ISO 14000シリーズが1996年に発行されたのを皮切りに、ライフサイクルアセスメントの手法についても国際規格化された方法論が確立されつつあった。これに対して、製造現場では、従来どおり生産性を意識しつつも環境に配慮したモノづくりが要求されていた。そこで、これまでの生産コストの視点からの評価に加えてリデュース・リユース・リサイクルの視点からの評価を取り入れたシミュレーションを伴う生産設計（工程設計、作業設計）手法の提示や、生産性と環境影響の両面を考慮した各製造工程のより詳細な評価ツールの提供が望まれていた。これらの要求に対するひとつの解を与えることを目標として、本活動を開始した。

第2章では、これまでの活動の経緯を述べる。第3章では、活動の前期で議論したデジタルエコファクトリー概念を述べる。この概念に基づいて2つのケーススタディを行った。第4章と第5章では、ケーススタディの結果を報告する。第6章では、ケーススタディの結果から、デジタルエコファクトリーの当初概念を見直すとともにその今後について考察する。第7章では、活動の中で標準化の必要性が認められ国際提案に至ったISO 16400シリーズについて概説する。第8章では、総括を述べる。

2. これまでの活動概要

2. 1 デジタルエコファクトリー研究会

本活動の発端となったのは、2010年9月～2012年3月に実施したMSTCアイデアファクトリー「テーマ6：グリーンプロダクション基盤としてのデジタルエコファクトリー構築のための調査研究」である。このテーマ6は、以下の背景から提案された。

- 地球環境の持続性に配慮しながら製品ユーザに対するサービスを最適化することが求められ、製品ライフサイクル全体を視野にいたしたものづくりが当然となっている。
- DfE (Design for Environment) として、製品ライフサイクルの設計そのものについては、各種のCADE (CAD for Environment) の開発が行われている。
- 環境マネジメントに関する国際規格 ISO 14000 シリーズの発行を皮切りに、ライフサイクルアセスメントの手法についても国際規格化された方法論が確立されつつある。
- 以上のことから、製造現場では、リデュース・リユース・リサイクルの3Rの考え方を取り入れたシミュレーションを伴う生産設計（工程設計、作業設計）手法の提示や、各製造工程のより詳細な評価ツールの提供が望まれている。

以上を踏まえて、以下を目的として、オムロン(株)、(株)小松製作所、清水建設(株)、富士通(株)の4企業の参加を得て、アイデアファクトリーの活動を実施した。

- グリーンプロダクション支援・推進のための環境情報プラットフォーム構築に向けて基礎的な調査を行うこと、およびシステムの基本設計を行う。
- 製品ライフサイクルの実現において中心となる場である生産段階に視点をおき、関連する既存技術や国際規格などをサーベイし、これらを情報ツールとして利用することを考える。
- 製品ライフサイクル設計支援ツール、インバース工程も含めた生産システム設計支援ツール、そしてライフサイクルアセスメント (LCA: Life Cycle Assessment) のためのツールなどを、デジタルエコファクトリーとして統合した環境を構築するための方法を提案する。

活動の成果として、以下を得た。

- 環境影響評価関連の国際標準化状況について調査し、生産システムに対する全体評価のみではなく、製造工程ごとや製造設備ごとなど個々の生産システム要素についての評価からボトムアップ的に環境評価しようとしている ISO 20140 の活動に注目した。
- 実工場で行なわれている3Rの工夫、既存のDfEツールやLCAツールなどの利用状況などが報告され、低環境負荷な循環型社会実現に向けての製造現場からの要求などを集めた。
- 上記で得たものをデジタルエコファクトリーへの要求仕様としてまとめた。コストや納期等を重視した従来通りのプロセスと環境指標との関係の見える化、情報技術をうまく利用できる環境すなわち様々なものづくりシナリオの事前評価など、様々な要求を、シミュレーション項目に関する要求、インターフェースに関する要求の視点から見つめて、要求機能とした。
- デジタルエコファクトリーの具体的な構成イメージとして図 2.1-1 を得た。

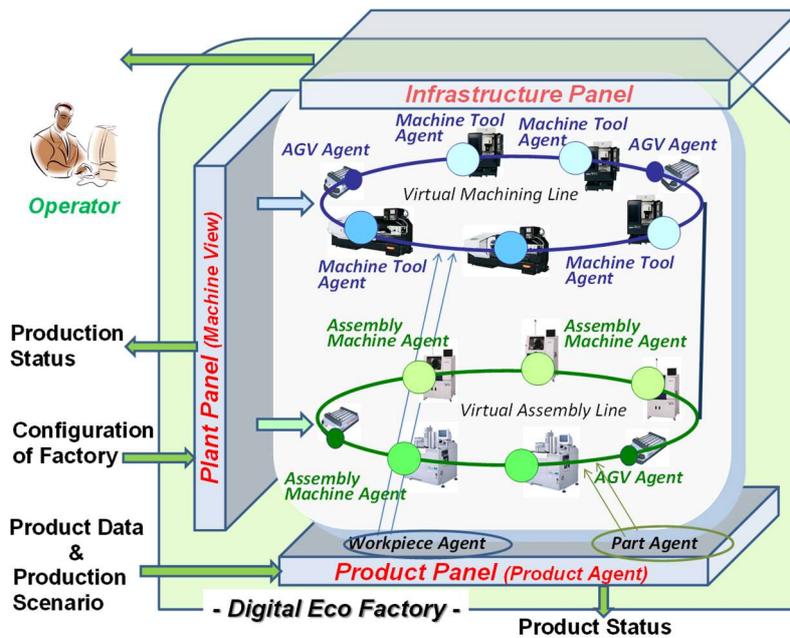


図 2.1-1 デジタルエコファクトリーの構成イメージ

- ユーザーインターフェースを介して工場の構成要素である工作機械、ロボット、搬送機などを定義すると、それぞれソフトウェアエージェントとしてコンピュータ内にモデル化され、仮想工場を構成する。ここで、ユーザの与える様々な製造シナリオ案に対して仮想生産を実施し、製造システム全体や個々の工程、装置などについて稼働状態、製造コスト、環境パフォーマンスなどの評価を行なう構成を提案した。
- 製造ラインを構成する装置類、製造作業対象である素材や部品などをソフトウェアエージェントとしてモデル化し、デジタルファクトリーを構成することを提案した。
- プロダクトパネル、プラントパネル、インフラパネルを設け、それぞれの視点から、製造シナリオや製造ラインの設定、デジタルファクトリー上で実行する仮想生産のコストや環境パフォーマンスをモニタするインターフェースを与えることを提案した。

2011年度のMSTCアイデアファクトリーの成果報告会の後、この成果をさらに深めてFAOP専門委員会活動として発展させてはどうかという提案を受け、その準備として、2012年10月～2013年9月の期間、「デジタルエコファクトリー研究会」として活動を継続した。研究会では、デジタルエコファクトリーのユーザは、設計支援ツールなどを利用して製品のプロダクトモデルとその製品の製造シナリオ(含む製造ライン構成)を用意することから、この製造シナリオ案に対して、デジタルエコファクトリー上で仮想生産(シミュレーション)を実施し、各パネルを通して製品ビュー、装置ビュー、製造ラインビュー、工場ビューで、生産性ととも環境影響も含めた事前検討が可能となるというアイデアファクトリー活動の成果を前提に、ICTによるグリーンプロダクション支援環境：デジタルエコファクトリーを構築するために、以下のことを行った。

- ユーザごとのオリジナル・デジタルエコファクトリー構築用インターフェースの検討(含む製造装置・製造機械テンプレート)。
- 製造シナリオの構造・作成法・入力インターフェースの検討。
- シミュレーション画面など出力インターフェースの検討。

- デジタルエコファクトリー機能と構成、実装についての検討。
- 実製造ラインとのコミュニケーションによる連携法の検討。

2. 2 デジタルエコファクトリー専門委員会

「デジタルエコファクトリー研究会」の活動を引き継ぎ、2013年10月から「デジタルエコファクトリー専門委員会」として活動を開始した。参加企業メンバーも増え、オムロン(株)、(株)日立製作所、三菱電機(株)、清水建設(株)、富士通(株)、(株)ケー・ティー・システムの6社となった。以下のような成果を期待して、活動が開始された。

- 既存の生産システムにもデジタルエコファクトリーが適用され、より環境に優しい製造シナリオが提示されることにより、既存の生産現場にもさらなるグリーン化が進む。
- インターネットを介した Web サービスとしてのデジタルエコファクトリーの利用により、中小企業でも大きな ICT 投資をしなくともエコファクトリーの設計が可能となるので、グリーンプロダクションが広く実行されるようになり、低環境負荷な循環型社会、低炭素化社会の構成につながる。
- 新規に計画するものばかりでなく既存も含むすべての生産システムに対して、SaaS としてのデジタルエコファクトリーを利用した製造シナリオの作成を義務付ける仕組みを作り、実行する製造工程の認証制をとれば、グリーンプロダクションが推進できる。
- OA 分野に偏っているように見受けられる ASP (Application Service Provider) の対象分野に、グリーンイノベーションツールの提供が加わり、社会のエコ化が進む。
- デジタルエコファクトリーの導入によりより精度の高いライフサイクルシミュレーションが可能となり、新しい環境評価指標や手法が発見される可能性がある。その場合、その指標や手法の国際規格化を提案することで、さらにグリーン化の推進が図られる。
- 工作機械・製造装置メーカーからのテンプレートを用いた電子カタログ提供による新たな製造ライン設計法が提案できる。

さらに、受益者ごとの視点で期待する便益をまとめた。これを表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 受益者ごとの期待する成果

対象	期待する便益の内容
製造システム 開発者	<ul style="list-style-type: none"> • 製造ラインのコストと環境の両面から事前評価 • 製造ラインの構成機器の事前検討（導入前検討） • 製造シナリオのコストと環境の両面から事前検討 • クラウドサービスによる安価で軽い情報環境の提供 • シミュレーション環境の自在な設定／変更
工作機械／製造装置 メーカーとベンダー	<ul style="list-style-type: none"> • 機械／装置エージェントによるモデル化で仮想製造ライン上での動作の事前検討 • 機械／装置エージェントを利用したe-カタログ化（動作シミュレーション）による販促
製造業全般 （一般社会）	<ul style="list-style-type: none"> • グリーンプロダクションの推進 • ICT投資コストの減少

「デジタルエコファクトリー専門委員会」では2つの作業グループに分けて検討を進めた。本来のデジタルエコファクトリーの在り方を検討するWG1 (DEcoF アイデア Gr) と実証実験も含めてデジタルエコファクトリーの社会実装について検討するWG2(実証研究 Gr) である。

「デジタルエコファクトリー専門委員会」は2017年3月まで活動し、同年4月からその活動を「デジタルエコファクトリー利活用専門委員会」へと委員会構成も含めて引き継いだ。

2. 3 デジタルエコファクトリー利活用専門委員会

2017年4月に設置された「デジタルエコファクトリー利活用専門委員会」では、「デジタルエコファクトリー専門委員会」の以下の成果をベースに活動を開始した。

- デジタルエコファクトリー利用シナリオの検討（要求機能の洗い出し）。
 - デジタルエコファクトリーの構成、実装法についての検討。
 - デジタルエコファクトリーの核となる仮想製造ライン構築法の検討。
 - 実証実験（プリント基板製造ラインを対象としたデジタルエコファクトリーの実装）。
- さらなる発展を目指して、以下の活動を予定した。
- プリント基板製造ラインを対象とした実証実験の評価とまとめ。
 - 適用分野拡大のための機能拡張検討と実装実験。
 - 実製造ラインとの連携法の検討。
 - デジタルエコファクトリー利用シナリオに基づいた検証。

デジタルエコファクトリー専門委員会ならびにデジタルエコファクトリー利活用専門委員会の活動成果の詳細は、第3章～第5章で述べる。

加えて、2019年11月27日～29日にパシフィコ横浜で開催された国際シンポジウムEcoDesign2019において、活動成果の一部を委員の連名で論文「E-Catalogues of Equipment for Constructing an Injection Molding Digital Eco-Factory」にまとめて発表した（付録参照）。また、この論文は Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management book series のEcoDesign and Sustainability Iに査読を経て採録され2020年11月にSpringerより出版された。

3. デジタルエコファクトリー

3. 1 デジタルエコファクトリーへの要求

デジタルエコファクトリーへの要求事項について、デジタルエコファクトリー自体への機能的要求、デジタルエコファクトリーを使って得たい内容・視点への要求、ユーザーインターフェースへの要求に分けて検討した。その結果、以下のように要求項目を目標として設定した。

デジタルエコファクトリー自体への要求

- コスト、納期等を重視した従来どおりのプロセスと、環境指標との関係を見える化
- 労働生産性を最適化することと、環境影響を最適化すること、の2つの切り口
- 構成要素を1つずつ丁寧に作り込んで個々のプロセスをきちんと事前に評価することによって、全体が評価できるような技術開発
- 情報技術をうまく利用できる環境：様々なものづくりシナリオの評価
 - 設備構成、ライン変更の事前評価
 - 生産プロセスの違いによる比較検討 など
- 最適化パラメータ、設備構成、生産計画、プロセスプランの容易な入力・変更
- 環境負荷が少ない方法で、「ものづくりのシナリオ」ができるような仕組み
- 環境視点で、プロダクト・ミックス、年間単位から秒単位まで幅広い時間粒度で全体を見ること

デジタルエコファクトリー上でのシミュレーション項目に関する要求

- コスト、納期などを重視した従来通りの生産プロセスに環境項目を付加
- 各プロセス原材料、エネルギー消費、原単位（CO₂、NO_x、SO_x、エネルギー消費）などの各種視点で見ること
- 環境視点から、個々のプロセス（機械）ごと、製品ごとで、全体で見られること
- 環境視点から、さまざまな粒度で時系列でも見られること
- 生産機器に加え、空調機器などの工場機器をエレメントに加えること
- 自動化した場合と人がやった場合の比較
- 現在の待機電力と他品種に変更する際の待機電力（待機して、どの辺りで切ればいいのかのポイント示唆）

デジタルエコファクトリーのインターフェースに関する要求

[入力インターフェース]

- プロセスの設定・変更が簡単にできること
- テンプレートを用意しての機器、製品などの入力の簡単化
- 最適化パラメータの変更可

[出力インターフェース]

- グラフィカルに見えること
- 時系列で見えること

- プロセス、製品、機械ごとのビューで見れること
- エネルギー消費の時系列変化
- CO2 換算ビュー

[その他]

- 実際の工場では品目数やプロセス数が相当多いので、現場でいちいち作りこまなくともよい仕組み。ただし、精密な部分が曖昧にならないこと
- 抽象化して簡単に入力でき、必要なプロセスプランとマシンパッケージを簡単に選んで、だいたい精度が出せるような仕組み

3. 2 デジタルエコファクトリーの利用

デジタルエコファクトリーの利用シナリオを以下の3つに分け、要求事項をさらに詰めて、デジタルエコファクトリーの設計へとつなげた。図 3.2-1 に全体概念を示す。

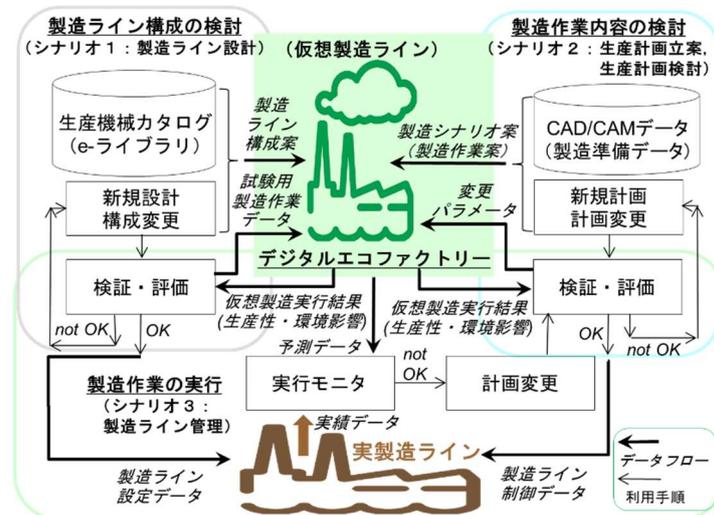


図 3.2-1 デジタルエコファクトリーの3つの利用シナリオ

[シナリオ 1: 製造ライン設計]

- 消費エネルギー最小化に向けた製造ライン設計時の事前検討
- 新規設備導入による消費エネルギー増減の評価
- 新規素材導入による消費エネルギーの評価

[シナリオ 2: 生産計画検討]

- 生產品目と生産数量による最適ライン選択のための消費エネルギーの評価
- 装置の待機を考慮した製造ラインの消費エネルギーの評価

[シナリオ 3: 製造ライン管理]

- 予測値と実測値の消費エネルギー比較による異常状態の発見
- 生産計画進捗予測
- デマンドコントロール (電力消費削減量推測)

さらに、シナリオ 1 と 2 について、入力データ、欲しい出力データ (見たい内容)、計算式などについて詳細に検討し、表 3.2-1 と表 3.2-2 にまとめた。

表 3.2-1 製造ライン設計での利用時の入出力データ

見たい内容 (求める出力)		入力 (INPUT)			
		入力データ (主に基準原単位)		計測データ	
生産性パラメータ	生産量				
	製造品質				
	設備稼働率				設備稼働率
	製造タクト	装置点検時間	製造タクト、点検時間	装置点検時間	製造タクト、点検時間
	歩留まり	品質調整時間	歩留り、調整時間	品質調整時間	
	立上げ、立下げ時間	手作業工程時間	立上げ、立下げ時間	手作業工程時間	
	作業員数		作業員数		
段取り替え時間		段取り時間		段取り替え時間	
電力	電力量	受電 (電力会社購入) 系統連携 (自家発電・電力会社購入)	電力量	受電 (電力会社購入) 系統連携 (自家発電・電力会社購入)	
	電気料金	電気料金 (使用量で算定) 基本料金 (契約電力で算定) 時間帯別料金 (深夜料金・ピークシフト・・・)	電気料金	電気料金 (使用量で算定) 基本料金 (契約電力で算定) 時間帯別料金 (深夜料金・ピークシフト・・・)	
	待機電力		待機電力		待機電力
	再生可能エネルギー量 (太陽光・風力等から得るエネルギー量)		再生可能エネルギー量 (太陽光・風力等から得るエネルギー量)		
	蓄電エネルギー量		蓄電エネルギー量		
	発熱量	周囲温度変化		周囲温度変化	不活性ガス消費量
CO2	換算係数での変動	換算係数での変動		稼働時間	
ガス	圧縮 Air 消費量	不活性ガス消費量	圧縮 Air 消費量	待機時間	
時間		稼働時間		停止時間	
		待機時間			
従事作業者 (割当て作業者数)	作業者数+時間		作業者数+時間		
	作業担当		作業担当		
	コスト		コスト		
燃料 (ガソリン・灯油) (装置・搬送車等の動力源)	使用燃料		使用燃料		
	コスト		コスト		
稼働状態	起動状態			起動状態	
環境影響評価	インベントリデータ	廃棄物重量	廃棄物重量		
		固形廃棄物	固形廃棄物		
		粉塵 (塵埃)			粉塵 (塵埃)
		液体廃棄物 (塗料)	液体廃棄物		
		廃油	廃油		
		投入材重量	投入材重量		
		エネルギー (使用・再生・蓄電エネルギー)	エネルギー (使用・再生・蓄電エネルギー)		
		材料	材料		
		廃棄物	廃棄物		
		排気ガス (温室効果ガス、水気汚染ガス)	排気ガス		
	出力消費電力			消費電力	
	評価データ	生産時の消費エネルギー			
		3R時の消費エネルギー			
		環境・生態への影響 (外部)			
装置・人間への影響 (工場内部)					
カーボンフットプリント					
マテリアルロス					
製造物別エコ指数	エネルギー原単位	最悪エネルギー消費			
工程別エコ指数	エネルギーロス率	正味エネルギー消費量			
	エネルギー消費量・率				
	エネルギー原単位				
検討したい内容・決定したい内容		入力 (INPUT) 主に設定データ			
		入力データ (ライン構成案、製造作業内容案など)		計測データ	
ファクトリインフラ	照明		照明		
	空調	外調機	空調	外調機	
	エアコンプレッサ		エアコンプレッサ		
ライン	水冷ポンプ		水冷ポンプ		
	排気ダクト		排気ダクト		
	配電設備		配電設備		
	構成	連続型 (タンデム) 独立型 複数ライン関連型	連続型 (タンデム) 独立型 複数ライン関連型		
生産計画			製品		
			生産量		
運用方法	スケジュール		スケジュール		
	投入		投入		
	運転法		運転法		
装置	設備負荷配分		設備負荷配分		
	製造		製造		
	検査		検査		
	運搬	運搬車	運搬		
使用エネルギー源	電気ヒーター応用	駆動モータ応用	電気ヒーター応用	駆動モータ応用	
	コンプレッサ応用	油圧モータ応用	コンプレッサ応用	油圧モータ応用	
			使用エネルギー源		
			電力		
			圧空		
稼働状態と消費エネルギー量			水 (温水)		
			ガス1 (N2、O2、H2、Arなど)		
			ガス2 (天然ガス、都市ガス、LPG、LNG)		
			化石燃料 (A重油、灯油、揮発油、B75、軽油)		
装置内個別構成要素消費エネルギー量	立上げ時	稼働状態と消費エネルギー量	立上げ時		
	待機時		待機時		
	稼働時		稼働時		
寿命	立ち下げ時 (生産終了時)		立ち下げ時 (生産終了時)		
	装置内個別構成要素消費エネルギー量		装置内個別構成要素消費エネルギー量		装置内個別構成要素消費エネルギー量
コントローラ	寿命	装置 消耗品 (ツール、クーラント等)	装置 消耗品 (ツール、クーラント等)		
	品質確保	加熱温度×加熱時間 冷却温度×冷却時間	品質確保	加熱温度×加熱時間 冷却温度×冷却時間	

表 3.2-2 生産計画検討での利用時の入出力データ

		入力 (INPUT)				
見たい内容 (求める出力)		入力データ (主に基準原単位)		計測データ		
生産性パラメータ	生産量					
	製造品質					
	設備稼働率				設備稼働率	
	製造タクト	装置点検時間	製造タクト、点検時間		製造タクト、点検時間	
	歩留まり	品質調整時間	歩留り、調整時間		品質調整時間	
	立上げ、立下げ時間	手作業工程時間	立上げ、立下げ時間	手作業工程時間		
電力	作業員数		作業員数			
	段取り替え時間		段取り時間		段取り替え時間	
	電力量	受電 (電力会社購入)		受電 (電力会社購入)		
		系統連携 (自家発+電力会社購入)		電力	系統連携 (自家発+電力会社購入)	
	電気料金	独立系 (自家発)			独立系 (自家発)	
		電気料金 (使用量で算定)		電気料金	電気料金 (使用量で算定)	
	基本料金 (契約電力で算定)			基本料金 (契約電力で算定)		
	時間別別料金 (深夜料金・ピークシフト・・・)			時間別別料金 (深夜料金・ピークシフト・・・)		
	待機電力		待機電力		待機電力	
	再生可能エネルギー量 (太陽光・風力等から得るエネルギー量)		再生可能エネルギー量 (太陽光・風力等から得るエネルギー量)			
	蓄電エネルギー量		蓄電エネルギー量		不活性ガス消費量	
発熱量	周囲温度変化			周囲温度変化	稼働時間	
CO2	換算係数での変動		換算係数での変動		待機時間	
ガス	圧縮Δir消費量	不活性ガス消費量	流量・電気係数	圧縮Δir消費量	停止時間	
時間		稼働時間				
		待機時間				
		停止時間				
従事作業者 (割当て作業員数)	作業員数+時間		作業員数+時間			
	作業担当		作業担当			
	コスト		コスト			
燃料 (ガソリン・灯油) (装置・輸送車等の動力源)	使用燃料		使用燃料			
	コスト		コスト			
環境影響評価	稼働状態				起動状態	
	インベントリデータ	廃棄物重量	廃棄物重量	廃棄物重量		
		固形廃棄物	固形廃棄物	固形廃棄物		
		粉塵 (塵埃)			粉塵 (塵埃)	
		液体廃棄物 (塗料)	液体廃棄物	液体廃棄物		
		廃油	廃油	廃油		
		投入材重量	投入材重量	投入材重量		
		エネルギー (使用・再生・蓄電エネルギー)	エネルギー (使用・再生・蓄電エネルギー)	エネルギー (使用・再生・蓄電エネルギー)		
	材料	材料	材料			
	廃棄物	廃棄物	廃棄物			
	排気ガス (温室効果ガス・大気汚染ガス)	排気ガス	排気ガス			
	出力消費電力			消費電力		
	評価データ	生産時の消費エネルギー				
		3R時の消費エネルギー				
環境・生態への影響 (外部)						
装置・人間への影響 (工場内部)						
	カーボンフットプリント					
	マテリアルロス					
製造物別エコ指数	エネルギー原単位	製造エネルギー消費				
	エネルギーロス率	正味エネルギー消費量				
工程別エコ指数	エネルギー消費量・率					
	資源消費量・率					
	エネルギー原単位					

		入力 (INPUT) 主に設定データ			
検討したい内容・決定したい内容		入力データ (ライン構成案、製造作業内容案)		計測データ	
ファクトリインフラ	照明		照明		
	空調	外調機	空調	外調機	
	エアコンプレッサ		エアコンプレッサ		
ライン	水冷ポンプ		水冷ポンプ		
	排気ダクト		排気ダクト		
	配電設備		配電設備		
	構成		連続型 (タンデム)		
			独立型		
	生産計画		複数ライン関連型		
		製品			
運用方法		生産量			
		納期			
		スケジュール	スケジュール		
装置	製造		投入		
			運転法		
	検査		設備負荷配分		
			製造		
	運転		検査		
			運転		
	電気ヒーター応用	駆動モータ応用	電気ヒーター応用	駆動モータ応用	
		油圧モータ応用	油圧モータ応用	油圧モータ応用	
	コンプレッサ応用		使用エネルギー源	電力	
				圧空	
	使用エネルギー源			水 (温水)	
				ガス1 (N2、O2、H2、Arなど)	
	稼働状態と消費エネルギー量			ガス2 (天然ガス、都市ガス、LPG、LNG)	
				化石燃料 (A重油、灯油、揮発油、ガソリン、軽油)	
立ち上げ時		稼働状態と消費エネルギー量	立ち上げ時		
待機時			待機時		
装置内個別構成要素消費エネルギー量	稼働時		稼働時		
	立ち下げ時 (生産終了時)		立ち下げ時 (生産終了時)		
寿命	装置	装置内個別構成要素消費エネルギー量	装置	装置内個別構成要素消費エネルギー量	
	消耗品 (ツール、クーラント等)	消耗品 (ツール、クーラント等)	消耗品 (ツール、クーラント等)		
品質確保		加熱温度×加熱時間	品質確保	加熱温度×加熱時間	
		冷却温度×冷却時間		冷却温度×冷却時間	

3. 3 デジタルエコファクトリーの構成（設計）

利用面からの要求に合わせたデジタルエコファクトリーの実装に向けて、設計上の要求事項を挙げた。以下のとおりである。

- デジタルエコファクトリーを利用して、製造する製品からの視点、製造ライン上の各装置毎とライン全体からの視点、照明・空調などを含めた製造ラインの置かれている環境からの視点の各視点から同時に状況がモニタリングできることが必要である。そのため、プロダクトパネル、プラントパネル、インフラパネルを設け、それぞれの視点から、製造シナリオや製造ラインの設定、デジタルファクトリー上で実行する仮想生産の製造コストや環境パフォーマンス（例えば、消費電力）をモニタするインターフェースを準備する。
- 上記の要求を満たすために、デジタルエコファクトリーは、仮想製造プロセスが実行可能な場としてモデル化する必要がある。そのため、製造ラインを構成する装置類、製造作業対象である素材や部品、照明や空調などの補助機器などをそれぞれをソフトウェアエージェントとしてモデル化し、マルチエージェントシステムとしてデジタルファクトリーを構成する。

上記の要求事項からのデジタルエコファクトリーのイメージを図 3.3-1 に示す。

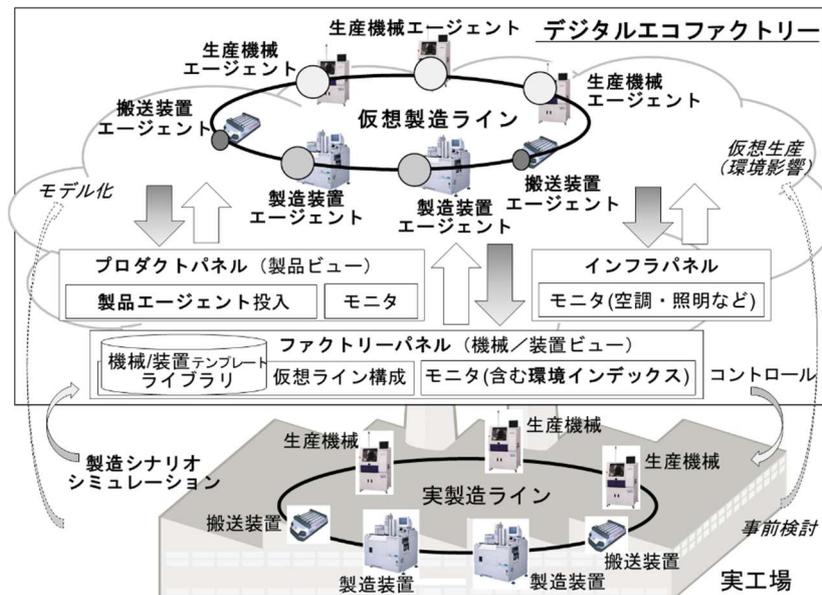


図 3.3-1 デジタルエコファクトリーのイメージ

さらに実装に向けてより具体的に設計上の要件を議論し、以下の要件を得た。

- マルチエージェントシステムとして構成した図 3.3-2 のデジタルファクトリーをベースに、デジタルエコファクトリーを構築する。
- デジタルエコファクトリーでの仮想製造実行時に、システム全体、製品ごと、機器ごと、プロセスごとなど様々な視点から様々な粒度で時系列的に見るビューを付加する。

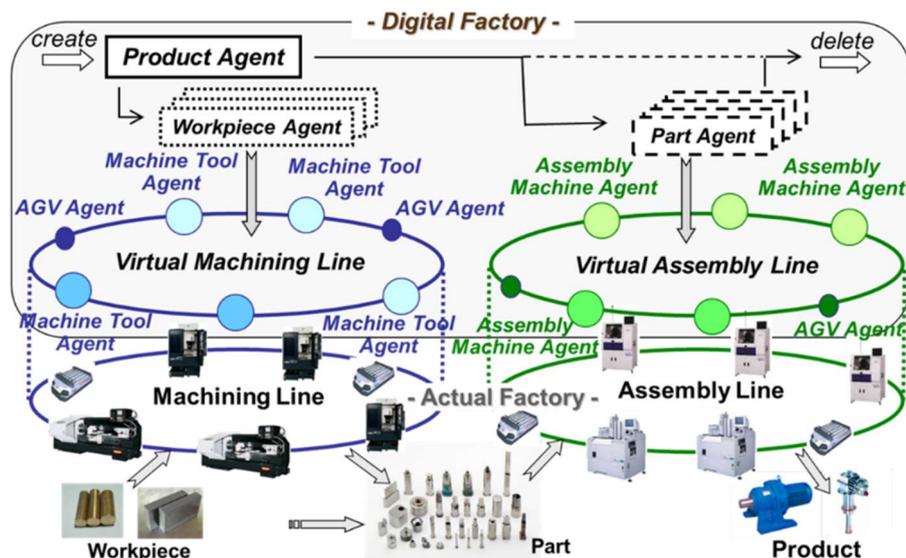


図 3.3-2 マルチエージェントシステムとして構成するデジタルファクトリー

- ソフトウェアエージェントとして実装する生産システムの構成要素（素材、部品、生産機械、搬送装置など）に環境指標の計算機能を付加する。
- 生産システムの構成要素モデルのテンプレートを準備して、そのテンプレートを利用してユーザが必要な構成要素のモデルを作成できるようにする。さらにこのモデルからソフトウェアエージェントが自動生成できるようにする。
- 精度の高いシミュレーションの実行には、シミュレーションの場である仮想製造ラインを構成する各製造装置の振舞いやアクティビティも含めた詳細なモデルが必要である。すなわち、従来の装置仕様書を e-カタログ化したような静的装置モデルだけではなく、アクティビティも含めた動的装置モデルが必要である。

上記から汎用性の高いデジタルエコファクトリーの構成法として、図 3.3-3 を提案した。シミュレーションを実行する場となるデジタルファクトリー（仮想製造ライン）は、その構成要素を製造装置モデルの e-ライブラリから選択することで構成したい。各製造装置モデルは、各装置メーカーなどが共通の規定にしたがって作成し提供することが望まれる。ここで製造装置モデルは、従来の装置仕様を表形式で e-カタログ化したものではなく、装置のパフォーマンスや挙動など動的な能力記述を含めたモデルである。現状では、これを可能とするような共通の規定が見当たらない。そこで、デジタルエコファクトリー委員会から問題提起したところ、製造科学技術センター（MSTC）に別途、対応委員会が設置され、国際標準化提案がなされた。現在、国際標準 ISO 16400 シリーズ「製造シナリオのデジタル検証のための動的製造装置モデル e-ライブラリサービス」として、ISO/TC 184/SC 5/WG 13 において開発が進められている。この経過については、第 7 章で詳述する。

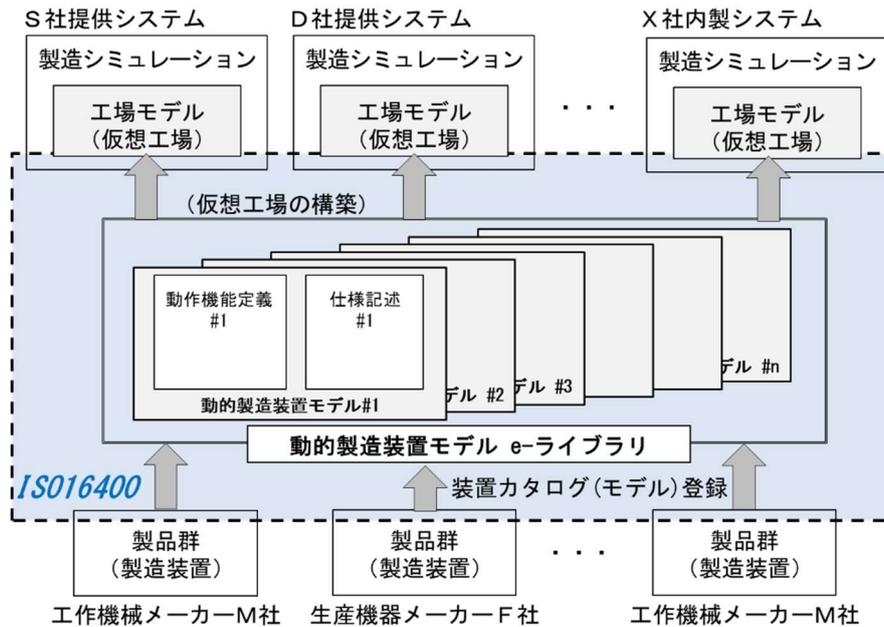


図 3.3-3 標準化した製造装置モデルの e-ライブラリを利用した仮想製造ラインの構成

一方、これまで机上で議論してきたデジタルエコファクトリーについて、ケーススタディを行い実証実験を伴う検証を行うことにした。ケーススタディの対象を選定する前に、前出の利用シナリオ1~3について実証実験で必須のモニタリング項目とさらに期待する拡張的なモニタリング項目などを表 3.3-1 にまとめた。

表 3.3-1 実証実験における各利用シナリオでの入出力データ

	実証実験版(従来型)		イデアル版(アドバンス型)	
	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT
シナリオ①: 製造ライン構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> 製造ライン構成 生産機械カタログ(e-ライブラリ) 	<ul style="list-style-type: none"> 設備毎の消費エネルギー量 	<ul style="list-style-type: none"> 製造ライン構成 設備毎の消費エネルギー量 品質決定情報の入力 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー消費分 製造品質(廃棄物量) 発生コスト 在庫量
シナリオ②: 製造作業内容の検討	<ul style="list-style-type: none"> 製品情報 (CAD/CAMデータ: 製造準備データ) 生産計画 製造ライン構成 設備毎の消費エネルギー量 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費量 (エネルギー原単位) 	<ul style="list-style-type: none"> 製品情報 (CAD/CAMデータ: 製造準備データ) 生産計画 製造ライン構成 設備毎の消費エネルギー量 品質決定情報の入力 製品情報の入力 生産情報の入力 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費分 (再生可能エネルギー消費分) 製造品質 (廃棄物量) 発生コスト 在庫量
シナリオ③: 製造作業実行			<ul style="list-style-type: none"> 製品情報 (CAD/CAMデータ) 生産計画 製造ライン構成 設備毎の消費エネルギー量 	<ul style="list-style-type: none"> 設備制御信号 (個別設備のリアルタイム制御によるエネルギー消費最適化) ※ファクトリーインフラの制御 (ピーク電力調整) ※ライン制御

ケーススタディでは、対象を利用シナリオ1と2に絞り、初めに、図 3.3-4 に示すプリント基板ユニット製造ラインを例題としてケーススタディを行った。公益財団法人 JKA 平成 27 年度自転車等機械工業振興補助事業(研究補助)「製造シミュレーションのための装置の電子カタログ開発補助事業」(2015.4~2017.3)からの補助も受けて実施した。詳細については、第4章で述べる。

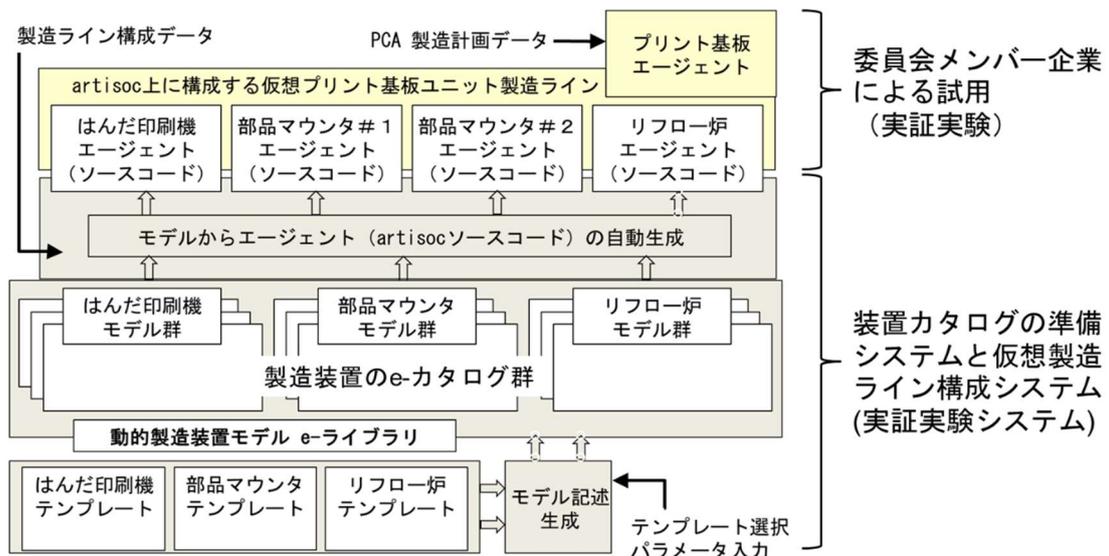


図 3.3-4 プリント基板ユニット製造ラインを対象としたケーススタディ

プリント基板ユニット製造ラインではシーケンシャルに作業が進んだが、これと異なるタイプの製造の流れをもつ射出成形ラインを、次のケーススタディの対象とした。FA オープン推進協議会の助成金を得て実施した。詳細については、第 5 章で述べる。

4. ケーススタディ 1: プリント基板ユニット製造ラインへの適用

4. 1 ケーススタディ 1 の目的

デジタルエコファクトリーの利用シナリオ 1、利用シナリオ 2(図 3.2-1 参照)を対象に、国際標準 ISO 16400 シリーズ「製造シナリオのデジタル検証のための動的製造装置モデル e-ライブラリサービス」の実装法検討とその評価を、プリント基板ユニット製造ラインの一つである表面実装プリント板 (SMT) 製造ラインを例題として実施した。(図 4.1-1 参照) 表面実装プリント板製造ラインは、プリント基板の表面上に電子部品をはんだ付けする作業プロセスであり、主に、基盤にはんだを塗布するはんだ印刷機と、基盤に電子部品を実装するマウンタ実装機、部品とはんだを接着するリフロー炉等から構成される。基本的にはこれらの装置を組み合わせ自動化されているが、ライン構成や投入計画は、生産性を重視した熟練者の知見に基づくものが多く、環境評価などの観点を追加した中で最適な構成・計画を策定するのは困難である。

本ケーススタディでは表面実装プリント板製造ラインを想定した生産ラインを仮想空間上に作成し、最適計画/最適ラインの選択のためのエネルギー評価が可能であること、の実証を目的とした。

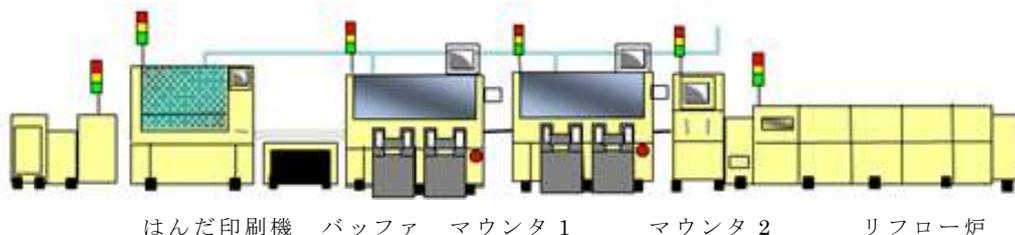


図 4.1-1 表面実装プリント板製造ラインの構成

4. 2 仮想表面実装プリント板 (SMT) 製造ラインの構成実験

4. 2. 1 表面実装プリント板製造ラインモデルの定義

実装実験を行う表面実装プリント板製造ラインは、はんだ印刷機、バッファ、マウンタ、リフロー炉の 4 種類の製造装置からなる構成とし、製造ラインの基本動作モデルは右図(図 4.2-1)のように定義した。尚、本実証実験においては、はんだ印刷機、バッファ(ストッカ)×2、マウンタ×2、リフロー炉の台数構成とする。

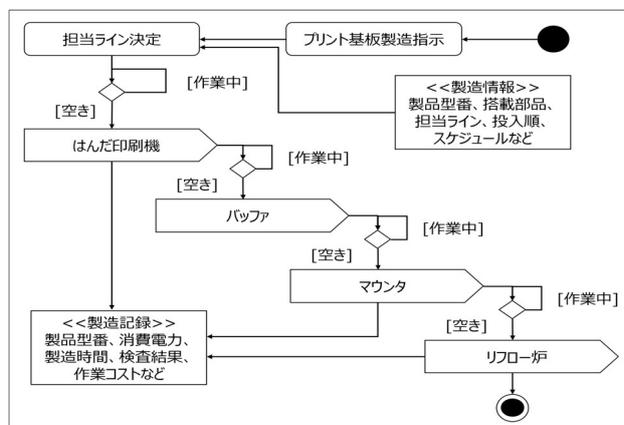


図 4.2-1 製造ラインアクティビティ図

4. 2. 2 製造装置モデルの定義とデータ要素

製造装置毎に、遷移する状態を決定し、動作モデルを定義した。各製造装置の動作モデル(図 4.2-2~4.2.5)と、データ要素(表 4.2-1)を以下に示す。

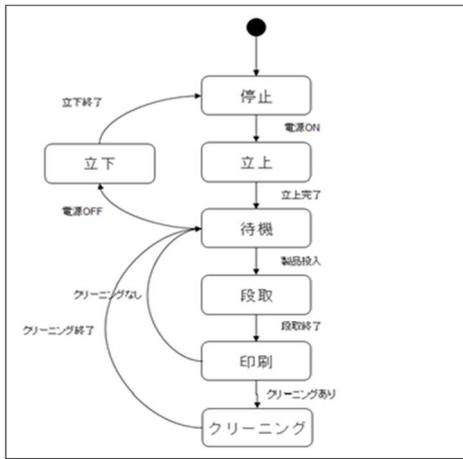


図 4.2-2 はんだ印刷機のアクティビティ図

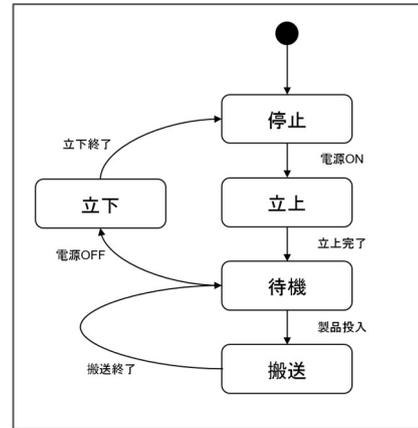


図 4.2-3 バッファのアクティビティ図

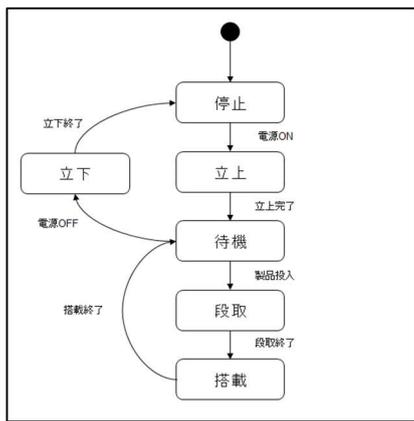


図 4.2-4 マウンタのアクティビティ図

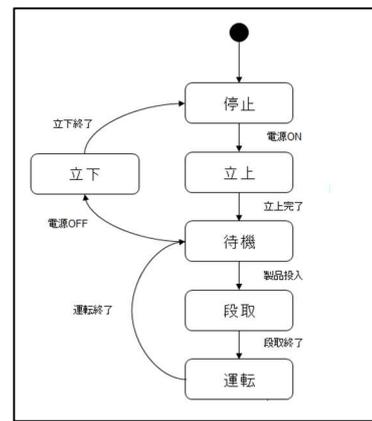


図 4.2-5 リフロー炉のアクティビティ図

表 4.2-1 製造装置のデータ要素

はんだ印刷機			バッファ			マウンタ			リフロー炉		
状態	定義モデル	データ要素	状態	定義モデル	データ要素	状態	定義モデル	データ要素	状態	定義モデル	データ要素
停止	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — —	停止	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — —	停止	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — —	停止	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — —
立上	生産計画 作業指示 動的製造モデル	生産開始時刻 — 立上時間 [秒] 消費電力 (立上) [kW]	立上	生産計画 作業指示 動的製造モデル	生産開始時刻 — 立上時間 [秒] 消費電力 (立上) [kW]	立上	生産計画 作業指示 動的製造モデル	生産開始時刻 — 立上時間 [秒] 消費電力 (立上) [kW]	立上	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	生産開始時刻 — 立上時間 [秒] 消費電力 (立上) [kW]
待機	生産計画 作業指示 動的製造モデル	— — 消費電力 (待機) [kW]	待機	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 消費電力 (待機) [kW]	待機	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 消費電力 (待機) [kW]	待機	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 消費電力 (待機) [kW]
段取	生産計画 作業指示 動的製造モデル	— — 段取時間 [秒] 消費電力 (段取) [kW]	搬送	生産計画 作業指示 動的製造モデル	— — — 搬送時間 [秒] 消費電力 (搬送) [kW]	段取	生産計画 作業指示 動的製造モデル	— — 段取時間 [秒] 消費電力 (段取) [kW]	段取	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 段取時間 [秒] 消費電力 (段取) [kW]
印刷	生産計画 作業指示 動的製造モデル	— — 印刷時間 [秒] 消費電力 (印刷) [kW]	立下	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 搬送終了時刻 立下時間 [秒] 消費電力 (立下) [kW]	印刷	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 印刷時間 [秒] 消費電力 (印刷) [kW]	立下	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 搬送終了時刻 立下時間 [秒] 消費電力 (立下) [kW]
クリーニング	生産計画 作業指示 動的製造モデル	— — クリーニング対象 クリーニング時間 [秒] 消費電力 (クリーニング) [kW]				立下	生産計画 作業指示 動的製造装置モデル	— — 搬送終了時刻 立下時間 [秒] 消費電力 (立下) [kW]			
立下	生産計画 作業指示 動的製造モデル	— — 搬送終了時刻 立下時間 [秒] 消費電力 (立下) [kW]									

4. 2. 3 装置カタログの実装(静的製造モデル)

はんだ印刷機のデータ要素は、静的なデータ要素と、動的なデータ要素に分類できる。図 4.2-6 のように各製造装置の装置仕様に関わる静的なデータ要素を、装置カタログ(テンプレート)として定義可能とし、Microsoft Office Excel 上から容易に静的パラメータを入力できる形とした。

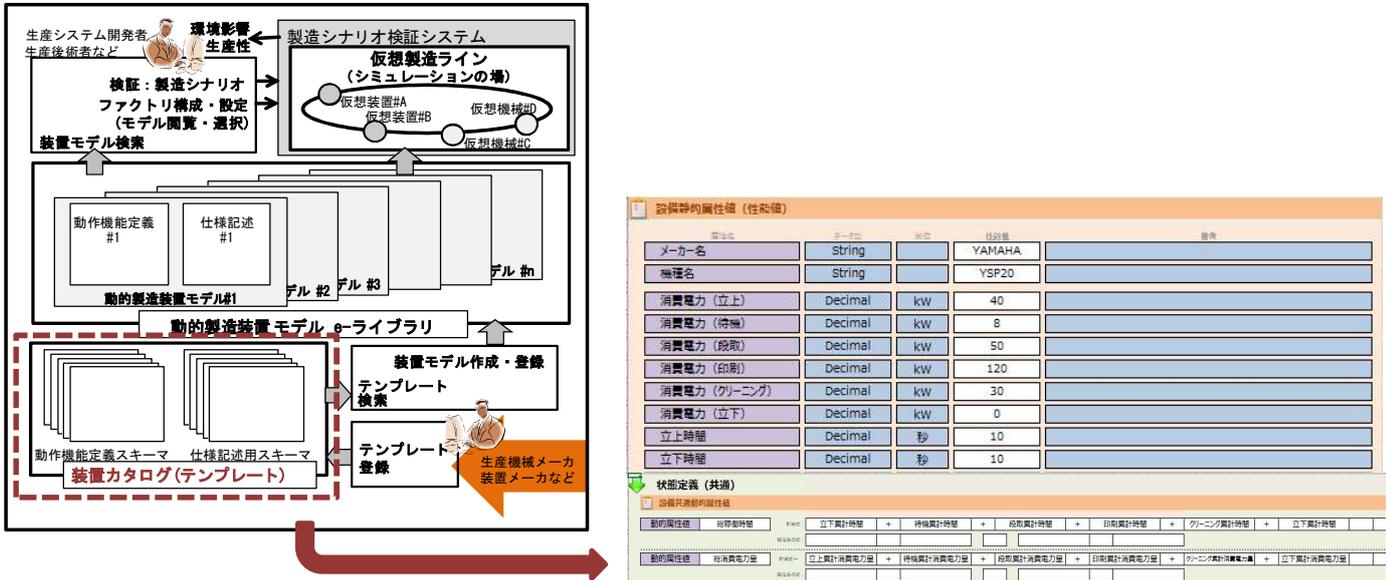


図 4.2-6 装置カタログの実装と設定画面

4. 2. 4 動的製造装置モデルテンプレートの生成

装置カタログの情報をインプットとして追加し(表 4.2-1 製造装置のデータ要素参照)、各装置の動的製造装置モデルを生成する。(図 4.2-7) 図 4.2-8 に例として、はんだ印刷機モデルのテンプレートを示す。

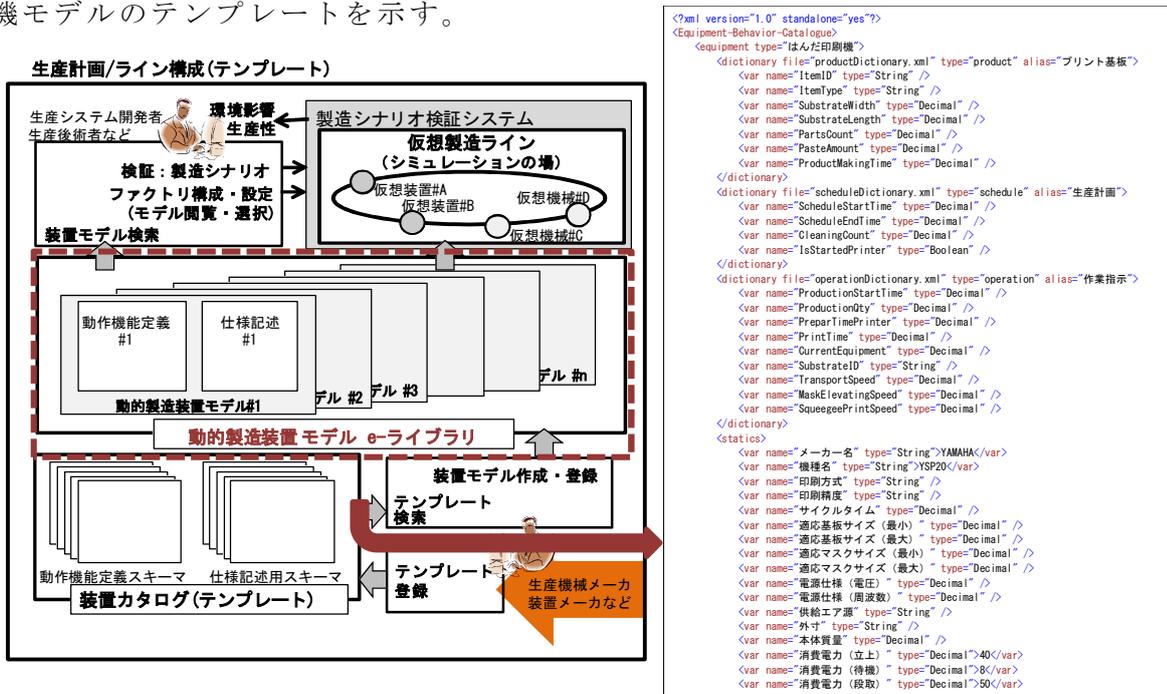


図 4.2-7 動的製造モデルの実装範囲

```

<var name="消費電力 (印刷)" type="Decimal">120</var>
<var name="消費電力 (クリーニング)" type="Decimal">30</var>
<var name="消費電力 (立下)" type="Decimal">0</var>
<var name="立上時間" type="Decimal">10</var>
<var name="立下時間" type="Decimal">10</var>
<var name="クリーニング時間" type="Decimal">1</var>
<var name="搬送路長" type="Decimal" />
<var name="基板マスク間高さ" type="Decimal" />
<var name="ベスト補充量" type="Decimal" />
</statics>
<variables>
<var name="現在状態" type="Status" />
<var name="停止経過時間" type="Decimal" />
<var name="停止累計時間" type="Decimal" />
<var name="立上経過時間" type="Decimal" />
<var name="立上累計時間" type="Decimal" />
<var name="待機経過時間" type="Decimal" />
<var name="待機累計時間" type="Decimal" />
<var name="段取経過時間" type="Decimal" />
<var name="段取累計時間" type="Decimal" />
<var name="印刷経過時間" type="Decimal" />
<var name="印刷累計時間" type="Decimal" />
<var name="クリーニング経過時間" type="Decimal" />
<var name="クリーニング累計時間" type="Decimal" />
<var name="立下経過時間" type="Decimal" />
<var name="立下累計時間" type="Decimal" />
<var name="立上累計消費電力量" type="Decimal" />
<var name="待機累計消費電力量" type="Decimal" />
<var name="段取累計消費電力量" type="Decimal" />
<var name="印刷累計消費電力量" type="Decimal" />
<var name="クリーニング累計消費電力量" type="Decimal" />
<var name="立下累計消費電力量" type="Decimal" />
<var name="現在消費電力" type="Decimal" />
<var name="現在印刷回数" type="Decimal" />
<var name="累計印刷回数" type="Decimal" />
<var name="累計クリーニング回数" type="Decimal" />
<var name="累計ベスト使用量" type="Decimal" />
<var name="最終製品投入時間" type="Decimal" />
<var name="現在製品" type="List" />
<var name="総稼働時間" type="Decimal" />
<param name="立下累計時間" ref="variables" />
<param name="待機累計時間" ref="variables" ope="+ " />
<param name="段取累計時間" ref="variables" ope="+ " />
<param name="印刷累計時間" ref="variables" ope="+ " />
<param name="クリーニング累計時間" ref="variables" ope="+ " />
<param name="立下累計時間" ref="variables" ope="+ " />
</var>
<var name="総消費電力量" type="Decimal">
<param name="立上累計消費電力量" ref="variables" />
<param name="待機累計消費電力量" ref="variables" ope="+ " />
<param name="段取累計消費電力量" ref="variables" ope="+ " />
<param name="印刷累計消費電力量" ref="variables" ope="+ " />
<param name="クリーニング累計消費電力量" ref="variables" ope="+ " />
</var>

```

```

<param name="立下累計消費電力量" ref="variables" ope="+ " />
</var>
</variables>
<activity>
<status name="停止">
<source status="Initial" />
<source status="立下">
<condition ope="&gt;=">
<arg>
<param name="@SystemTime" type="Time" />
<param name="ScheduleEndTime" ref="schedule" ope="- " />
</arg>
</arg>
<param name="立下時間" ref="statics" />
</arg>
</condition>
</source>
<pre>
<dynamic name="現在状態" ref="variables">
<param name="@停止" type="String" />
</dynamic>
<dynamic name="停止経過時間" ref="variables">
<param name="@0" type="Decimal" />
</dynamic>
<dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
<param name="@0" type="Decimal" />
</dynamic>
<dynamic name="累計クリーニング回数" ref="variables">
<param name="@1" type="Decimal" />
</dynamic>
</pre>
<do>
<dynamic name="停止経過時間" ref="variables">
<param name="停止経過時間" ref="variables" />
<param name="@1" type="Decimal" ope="+ " />
</dynamic>
<dynamic name="停止累計時間" ref="variables">
<param name="停止累計時間" ref="variables" />
<param name="@1" type="Decimal" ope="+ " />
</dynamic>
</do>
</status>
<status name="立上">
<source status="停止">
<condition ope="=">
<arg>
<param name="IsStartedPrinter" ref="schedule" />
</arg>
</arg>
<param name="@False" type="Boolean" />
</arg>
</condition>
<condition ope="&lt;=" conjunction="AND">

```

```

<arg>
<param name="ScheduleStartTime" ref="schedule" />
</arg>
</arg>
<param name="@SystemTime" type="Time" />
</arg>
</condition>
</source>
<pre>
<dynamic name="現在状態" ref="variables">
<param name="@立上" type="String" />
</dynamic>
<dynamic name="立上経過時間" ref="variables">
<param name="@0" type="Decimal" />
</dynamic>
<dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
<param name="消費電力 (立上)" ref="statics" />
</dynamic>
<dynamic name="IsStartedPrinter" ref="schedule">
<param name="@True" type="Boolean" />
</dynamic>
</pre>
<do>
<dynamic name="立上経過時間" ref="variables">
<param name="立上経過時間" ref="variables" />
<param name="@1" type="Decimal" ope="+ " />
</dynamic>
<dynamic name="立上累計時間" ref="variables">
<param name="立下累計時間" ref="variables" />
<param name="@1" type="Decimal" ope="+ " />
</dynamic>
<dynamic name="立上累計消費電力量" ref="variables">
<param name="現在消費電力" ref="variables" />
<param name="立上累計時間" ref="variables" ope="*" />
<param name="@3600" type="Decimal" ope="/" />
</dynamic>
</do>
</status>
<status name="待機">
<source status="立上">
<condition ope="&gt;=">
<arg>
<param name="立上経過時間" ref="variables" />
</arg>
</arg>
<param name="立上時間" ref="statics" />
</arg>
</condition>
</source>
<source status="印刷">
<condition ope="&gt;=">
<arg>
<param name="印刷経過時間" ref="variables" />

```

```

</arg>
</arg>
<param name="PrintTime" ref="operation" />
</arg>
</condition>
</source>
<source status="クリーニング">
<condition ope="&gt;=">
<arg>
<param name="クリーニング経過時間" ref="variables" />
</arg>
</arg>
<param name="クリーニング時間" ref="statics" />
</arg>
</condition>
</source>
<pre>
<dynamic name="現在状態" ref="variables">
<param name="@待機" type="String" />
</dynamic>
<dynamic name="待機経過時間" ref="variables">
<param name="@0" type="Decimal" />
</dynamic>
<dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
<param name="消費電力 (待機)" ref="statics" />
</dynamic>
</pre>
<do>
<dynamic name="待機経過時間" ref="variables">
<param name="待機経過時間" ref="variables" />
<param name="@1" type="Decimal" ope="+ " />
</dynamic>
<dynamic name="待機累計時間" ref="variables">
<param name="待機累計時間" ref="variables" />
<param name="@1" type="Decimal" ope="+ " />
</dynamic>
<dynamic name="待機累計消費電力量" ref="variables">
<param name="待機累計時間" ref="variables" />
<param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*" />
<param name="@3600" type="Decimal" ope="/" />
</dynamic>
</do>
</status>
<status name="段取">
<source status="待機">
<condition ope="&gt;=">
<arg>
<param name="現在製品" ref="variables" />
</arg>
</arg>
<param name="@0" type="Decimal" />
</arg>
</condition>

```

```

</source>
<pre>
<dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param name="@段取" type="String" />
</dynamic>
<dynamic name="段取経過時間" ref="variables">
  <param name="@0" type="Decimal" />
</dynamic>
<dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力 (段取)" ref="statics" />
</dynamic>
</pre>
<do>
  <dynamic name="段取経過時間" ref="variables">
    <param name="段取経過時間" ref="variables" />
    <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
  </dynamic>
  <dynamic name="段取累計時間" ref="variables">
    <param name="段取累計時間" ref="variables" />
    <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
  </dynamic>
  <dynamic name="段取累計消費電力量" ref="variables">
    <param name="段取累計時間" ref="variables" />
    <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*" />
    <param name="@3600" type="Decimal" ope="/"/>
  </dynamic>
</do>
</status>
<status name="印刷">
  <source status="段取">
    <condition ope="&gt;:">
      <arg>
        <param name="段取経過時間" ref="variables" />
      </arg>
      <arg>
        <param name="PreparTimePrinter" ref="operation" />
      </arg>
    </condition>
  </source>
  <pre>
    <dynamic name="現在状態" ref="variables">
      <param name="@印刷" type="String" />
    </dynamic>
    <dynamic name="印刷経過時間" ref="variables">
      <param name="@0" type="Decimal" />
    </dynamic>
    <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
      <param name="消費電力 (印刷)" ref="statics" />
    </dynamic>
    <dynamic name="累計ペースト使用量" ref="variables">
      <param name="累計ペースト使用量" ref="variables" />
      <param name="PasteAmount" ref="product" ope="+"/>
    </dynamic>
  </pre>

```

```

</pre>
<do>
  <dynamic name="印刷経過時間" ref="variables">
    <param name="印刷経過時間" ref="variables" />
    <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
  </dynamic>
  <dynamic name="印刷累計時間" ref="variables">
    <param name="印刷累計時間" ref="variables" />
    <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
  </dynamic>
  <dynamic name="印刷累計消費電力量" ref="variables">
    <param name="印刷累計時間" ref="variables" />
    <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*" />
    <param name="@3600" type="Decimal" ope="/"/>
  </dynamic>
</do>
</post>
<dynamic name="現在印刷回数" ref="variables">
  <param name="現在印刷回数" ref="variables" />
  <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
</dynamic>
<dynamic name="累計印刷回数" ref="variables">
  <param name="累計印刷回数" ref="variables" />
  <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
</dynamic>
<dynamic name="CurrentEquipment" ref="operation">
  <param name="CurrentEquipment" ref="operation" />
  <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
</dynamic>
<dynamic name="最終製品投入時間" ref="variables">
  <param name="@0" type="Decimal" />
</dynamic>
<dynamic name="現在製品" ref="variables">
  <param name="$Pickup" type="" />
</dynamic>
</post>
</status>
<status name="クリーニング">
  <source status="印刷">
    <condition ope="&gt;:">
      <arg>
        <param name="CleaningCount" ref="schedule" />
      </arg>
      <arg>
        <param name="@0" type="Decimal" />
      </arg>
    </condition>
    <condition ope="==" conjunction="AND">
      <arg>
        <param name="累計印刷回数" ref="variables" />
      </arg>
      <arg>
        <param name="累計クリーニング回数" ref="variables" />
      </arg>
    </condition>
  </source>

```

```

  <param name="CleaningCount" ref="schedule" ope="*" />
  </arg>
</condition>
</source>
<pre>
  <dynamic name="現在状態" ref="variables">
    <param name="@クリーニング" type="String" />
  </dynamic>
  <dynamic name="クリーニング経過時間" ref="variables">
    <param name="@0" type="Decimal" />
  </dynamic>
  <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
    <param name="消費電力 (クリーニング)" ref="statics" />
  </dynamic>
</pre>
<do>
  <dynamic name="クリーニング経過時間" ref="variables">
    <param name="クリーニング経過時間" ref="variables" />
    <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
  </dynamic>
  <dynamic name="クリーニング累計時間" ref="variables">
    <param name="クリーニング累計時間" ref="variables" />
    <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
  </dynamic>
  <dynamic name="クリーニング累計消費電力量" ref="variables">
    <param name="現在消費電力" ref="variables" />
    <param name="クリーニング累計時間" ref="variables" ope="*" />
    <param name="@3600" type="Decimal" ope="/"/>
  </dynamic>
</do>
</post>
<dynamic name="累計クリーニング回数" ref="variables">
  <param name="累計クリーニング回数" ref="variables" />
  <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
</dynamic>
</post>
</status>
<status name="立下">
  <source status="待機">
    <condition ope="&gt;:">
      <arg>
        <param name="@SystemTime" type="Time" />
      </arg>
      <arg>
        <param name="ScheduleEndTime" ref="schedule" />
      </arg>
    </condition>
  </source>
  <pre>
    <dynamic name="現在状態" ref="variables">
      <param name="@立下" type="String" />
    </dynamic>
    <dynamic name="立下経過時間" ref="variables">

```

```

      <param name="@0" type="Decimal" />
    </dynamic>
    <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
      <param name="消費電力 (立下)" ref="statics" />
    </dynamic>
  </pre>
  <do>
    <dynamic name="立下経過時間" ref="variables">
      <param name="立下経過時間" ref="variables" />
      <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
    </dynamic>
    <dynamic name="立下累計時間" ref="variables">
      <param name="立下累計時間" ref="variables" />
      <param name="@1" type="Decimal" ope="+"/>
    </dynamic>
    <dynamic name="立下累計消費電力量" ref="variables">
      <param name="現在消費電力" ref="variables" />
      <param name="立下累計時間" ref="variables" ope="*" />
      <param name="@3600" type="Decimal" ope="/"/>
    </dynamic>
  </do>
</status>
</activity>
</equipment>
</Equipment-Behavior-Catalogue>

```

図 4.2-8 はんだ印刷機モデルのテンプレート記述

4. 2. 5 投入する製品モデルのテンプレート

シミュレーションを行う際には、各製造装置の動作や製造カタログの他にも、投入する製品情報や、生産計画といったデータ要素を定義する必要がある。これらのデータ要素はマークアップ言語の1つであるXML(Extensible Markup Language)を採用し、テンプレートという形で定義し、製品カタログ同様にMicrosoft Office Excel上から容易に静的パラメータを入力できる形とした。

製造装置のモデルには、基盤サイズや搭載部品点数などの静的なデータ要素が必要となる。例として、図4.2-9に投入するプリント基板の製品モデルのテンプレートを示す。

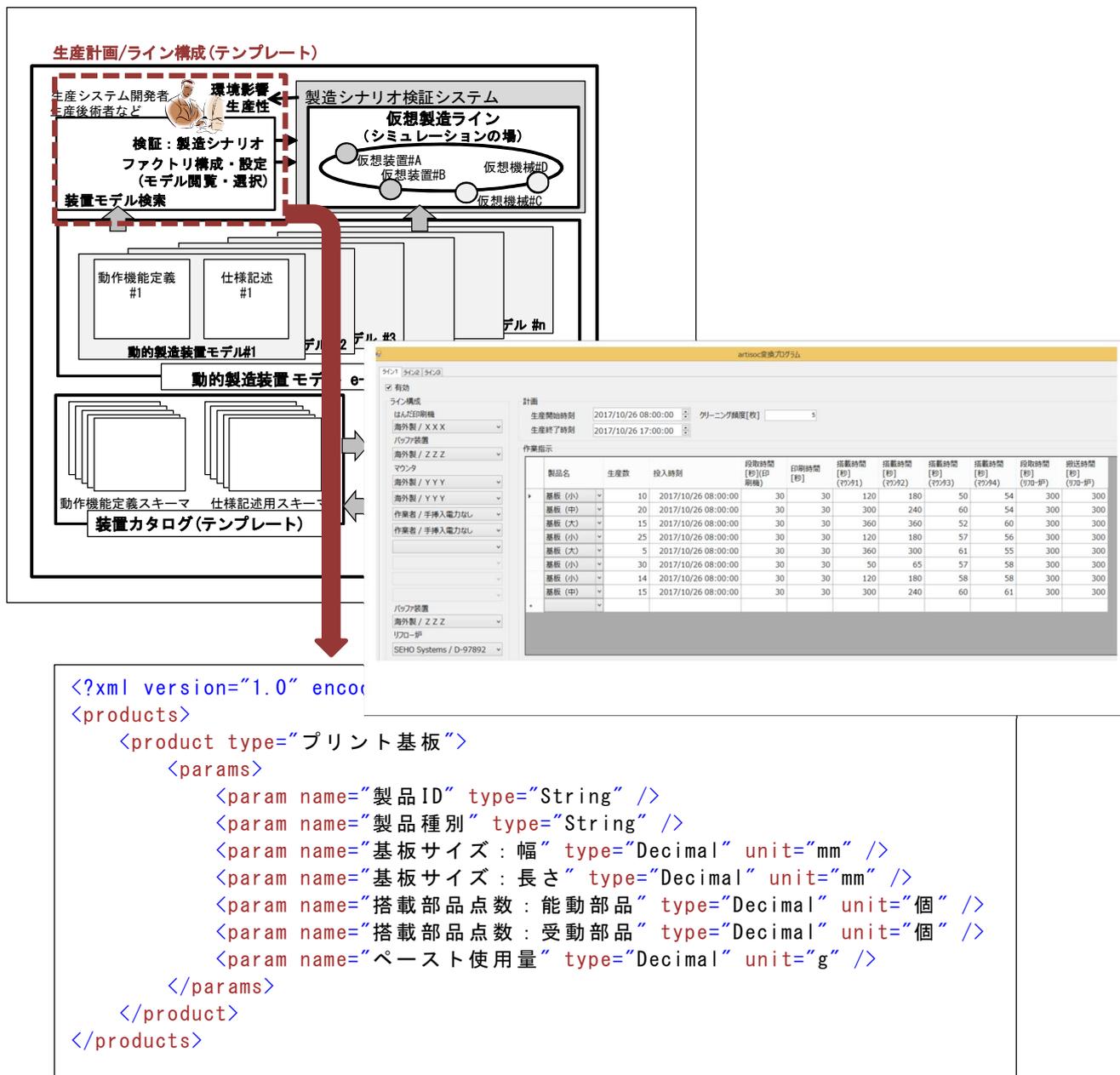


図 4.2-9 投入するプリント基板の製品モデル用テンプレート

4. 3 仮想表面実装プリント板(SMT)製造ラインの試用実験

動的製造装置モデルの実証検証では、マルチエージェントシミュレーションプラットフォームである artisoc を用いて検証を実施する。シミュレーションに必要な生産(投入)計画や、投入する製品情報、装置カタログは、実ラインと同様とし、図 4.3-1、図 4.3-2 のように設定し評価を実施した。

計画												
生産開始時刻		2017/10/26 08:00:00		クリーニング頻度[枚]		5						
生産終了時刻		2017/10/26 17:00:00										
作業指示												
	製品名	生産数	投入時刻	段取時間 [秒](印刷機)	印刷時間 [秒]	搭載時間 [秒] (マウント1)	搭載時間 [秒] (マウント2)	搭載時間 [秒] (マウント3)	搭載時間 [秒] (マウント4)	段取時間 [秒] (リフロー炉)	搬送時間 [秒] (リフロー炉)	
▶	基板(小)	10	2017/10/26 08:00:00	30	30	120	180	50	54	300	300	
	基板(中)	20	2017/10/26 08:00:00	30	30	300	240	60	54	300	300	
	基板(大)	15	2017/10/26 08:00:00	30	30	360	360	52	60	300	300	
	基板(小)	25	2017/10/26 08:00:00	30	30	120	180	57	56	300	300	
	基板(大)	5	2017/10/26 08:00:00	30	30	360	300	61	55	300	300	
	基板(小)	30	2017/10/26 08:00:00	30	30	50	65	57	58	300	300	
	基板(小)	14	2017/10/26 08:00:00	30	30	120	180	58	58	300	300	
	基板(中)	15	2017/10/26 08:00:00	30	30	300	240	60	61	300	300	
*												

図 4.3-1 生産計画/作業指示情報の登録

<p>設備静的属性値(性能値) はんだ印刷</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>属性名</th> <th>単位</th> <th>性能値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>消費電力(立上)</td><td>kW</td><td>40</td></tr> <tr><td>消費電力(待機)</td><td>kW</td><td>8</td></tr> <tr><td>消費電力(段取)</td><td>kW</td><td>50</td></tr> <tr><td>消費電力(印刷)</td><td>kW</td><td>120</td></tr> <tr><td>消費電力(クリーニング)</td><td>kW</td><td>30</td></tr> <tr><td>消費電力(立下)</td><td>kW</td><td>0</td></tr> <tr><td>立上時間</td><td>秒</td><td>10</td></tr> <tr><td>立下時間</td><td>秒</td><td>10</td></tr> <tr><td>クリーニング時間</td><td>秒</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	属性名	単位	性能値	消費電力(立上)	kW	40	消費電力(待機)	kW	8	消費電力(段取)	kW	50	消費電力(印刷)	kW	120	消費電力(クリーニング)	kW	30	消費電力(立下)	kW	0	立上時間	秒	10	立下時間	秒	10	クリーニング時間	秒	1	<p>設備静的属性値(性能値) バッファ装</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>属性名</th> <th>単位</th> <th>性能値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>製品投入可能数</td><td>個</td><td>10</td></tr> <tr><td>消費電力(立上)</td><td>kW</td><td>10</td></tr> <tr><td>消費電力(待機)</td><td>kW</td><td>5</td></tr> <tr><td>消費電力(搬送)</td><td>kW</td><td>10</td></tr> <tr><td>消費電力(立下)</td><td>kW</td><td>10</td></tr> <tr><td>立上時間</td><td>秒</td><td>10</td></tr> <tr><td>立下時間</td><td>秒</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	属性名	単位	性能値	製品投入可能数	個	10	消費電力(立上)	kW	10	消費電力(待機)	kW	5	消費電力(搬送)	kW	10	消費電力(立下)	kW	10	立上時間	秒	10	立下時間	秒	10
属性名	単位	性能値																																																					
消費電力(立上)	kW	40																																																					
消費電力(待機)	kW	8																																																					
消費電力(段取)	kW	50																																																					
消費電力(印刷)	kW	120																																																					
消費電力(クリーニング)	kW	30																																																					
消費電力(立下)	kW	0																																																					
立上時間	秒	10																																																					
立下時間	秒	10																																																					
クリーニング時間	秒	1																																																					
属性名	単位	性能値																																																					
製品投入可能数	個	10																																																					
消費電力(立上)	kW	10																																																					
消費電力(待機)	kW	5																																																					
消費電力(搬送)	kW	10																																																					
消費電力(立下)	kW	10																																																					
立上時間	秒	10																																																					
立下時間	秒	10																																																					
<p>設備静的属性値(性能値) マウント装</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>属性名</th> <th>単位</th> <th>性能値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>消費電力(立上)</td><td>kW</td><td>40</td></tr> <tr><td>消費電力(待機)</td><td>kW</td><td>8</td></tr> <tr><td>消費電力(段取)</td><td>kW</td><td>50</td></tr> <tr><td>消費電力(搭載)</td><td>kW</td><td>120</td></tr> <tr><td>消費電力(立下)</td><td>kW</td><td>0</td></tr> <tr><td>立上時間</td><td>秒</td><td>10</td></tr> <tr><td>立下時間</td><td>秒</td><td>10</td></tr> <tr><td>搬送路長</td><td>秒</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	属性名	単位	性能値	消費電力(立上)	kW	40	消費電力(待機)	kW	8	消費電力(段取)	kW	50	消費電力(搭載)	kW	120	消費電力(立下)	kW	0	立上時間	秒	10	立下時間	秒	10	搬送路長	秒	5	<p>設備静的属性値(性能値) リフロー炉</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>属性名</th> <th>単位</th> <th>性能値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>消費電力(立上)</td><td>kW</td><td>40</td></tr> <tr><td>消費電力(待機)</td><td>kW</td><td>8</td></tr> <tr><td>消費電力(段取)</td><td>kW</td><td>50</td></tr> <tr><td>消費電力(運転)</td><td>kW</td><td>120</td></tr> <tr><td>消費電力(立下)</td><td>kW</td><td>0</td></tr> <tr><td>立上時間</td><td>秒</td><td>100</td></tr> <tr><td>立下時間</td><td>秒</td><td>200</td></tr> <tr><td>搬送路長</td><td>mm</td><td>50</td></tr> </tbody> </table>	属性名	単位	性能値	消費電力(立上)	kW	40	消費電力(待機)	kW	8	消費電力(段取)	kW	50	消費電力(運転)	kW	120	消費電力(立下)	kW	0	立上時間	秒	100	立下時間	秒	200	搬送路長	mm	50
属性名	単位	性能値																																																					
消費電力(立上)	kW	40																																																					
消費電力(待機)	kW	8																																																					
消費電力(段取)	kW	50																																																					
消費電力(搭載)	kW	120																																																					
消費電力(立下)	kW	0																																																					
立上時間	秒	10																																																					
立下時間	秒	10																																																					
搬送路長	秒	5																																																					
属性名	単位	性能値																																																					
消費電力(立上)	kW	40																																																					
消費電力(待機)	kW	8																																																					
消費電力(段取)	kW	50																																																					
消費電力(運転)	kW	120																																																					
消費電力(立下)	kW	0																																																					
立上時間	秒	100																																																					
立下時間	秒	200																																																					
搬送路長	mm	50																																																					

図 4.3-2 装置カタログの登録

図 4.3-3 は、仮想表面実装プリント板製造ラインにて、電力消費量をシミュレーションした結果である。縦軸は消費電力量(KWh)、横軸は時間(秒)を表しており、各製造装置の消費電力量(累計)の増加傾向を時系列で確認することができる。

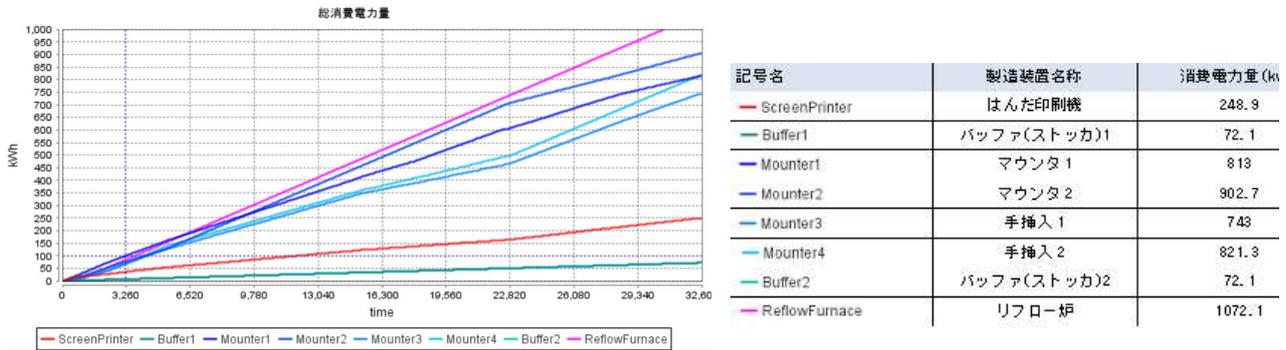


図 4.3-3 製造装置毎の総消費電力量一覧

図 4.3-4 は、リフロー炉における総消費電力量(累計)と、推移を比較したものである。稼働停止までリフロー炉の消費電力量は増加傾向にあるが、推移と比較することで、はんだ付け生産終了後もリフロー炉の待機電力によって電力消費が増加していることが分かる。また、リフロー炉の待機状態中においても、消費電力量を把握できるため、再起動にかかる消費電力量と比較することで、稼働計画の見直しを検討することができる。これより消費電力と稼働状態の関係から電力浪費箇所を把握でき、各製造装置の稼働計画を再考するために必要な情報提供が可能である。

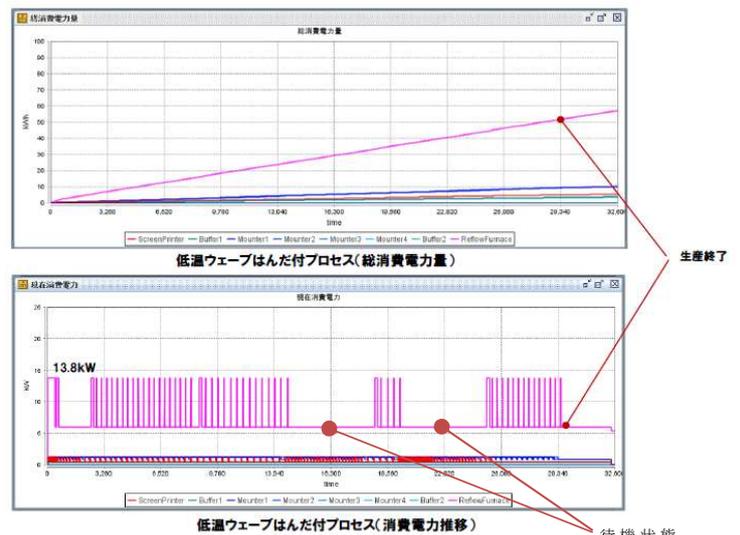


図 4.3-4 リフロー炉消費電力量検証結果

次に投入する材料を変更し、各製造装置の消費電力量のシミュレーションを実施した。図 4.3-5、図 4.3-6 は、高融点はんだ材料投入時のリフロー炉消費電力量シミュレーション結果であり、図 4.3-7、図 4.3-8 は、低融点はんだ材料投入時のリフロー炉消費電力量シミュレーション結果となる。シミュレーション結果(図 4.3-5、図 4.3-6)から、高融点はんだ材料に比べ、低融点はんだ材料の適用時の方がリフロー炉の消費電力量を削減できることがわかり、又、図 4.3-7、図 4.3-8 の生産終了時刻が同じことから、本投入材料の違いによって、生産時間の短縮には繋がらないことが分かる。このように消費電力の評価観点から、投入計画立案を支援可能であることを確認した。

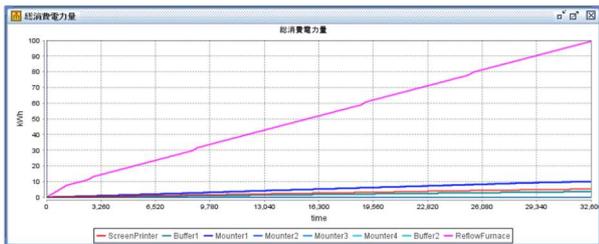


図 4.3-5 リフロー炉総消費電力量(高融点はんだ)

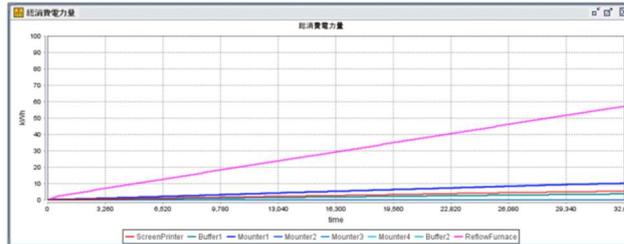


図 4.3-6 リフロー炉総消費電力量(低融点はんだ)

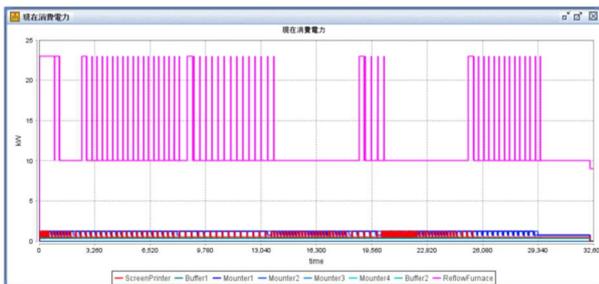


図 4.3-7 リフロー炉消費電力推移(高融点はんだ)

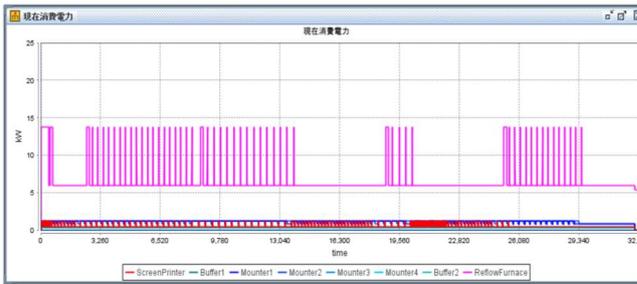


図 4.3-8 リフロー炉消費電力推移(低融点はんだ)

次に、一日の最大需要電力量の削減(ピークカット)に、仮想表面実装プリント板製造ラインのシミュレーションが有効活用できるか評価した結果を示す。

図 4.3-9 は、投入計画調整前の各製造装置の総消費電力量、及び全製造装置の消費電力量積算値をシミュレーションした結果である。一日の最大需要電力量となる時間や各製造装置の稼働状況を確認することができる。図 4.3-10 は、一日の最大需要電力量となる時間帯に合わせて、製品の投入計画に待ち時間を設定し(連続投入をやめ)シミュレーションを実施した結果となる。はんだ印刷機やリフローの消費電力は大きな変動見られないが、マウンターの消費電力量が抑制される事で、当該時間においてピークカットが図れることが確認できる。

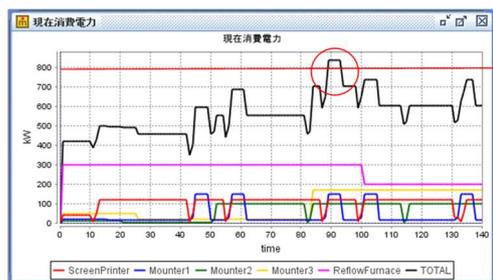


図 4.3-9 投入計画調整前の総消費電力量

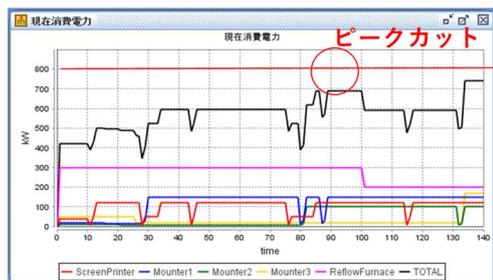


図 4.3-10 投入計画調整後の総消費電力量

4.4 まとめ

仮想表面実装プリント板製造ラインでの消費電力シミュレーションを通し、電力浪費抑制や、電力評価視点での計画策定のために有効となる情報提供が可能であることを確認できた。本研究における検討内容は、今後、実製造ラインにおける課題抽出や、対策内容の事前シミュレーションによる投資対効果の見える化・最適化等へ貢献できるものと考えて

いる。又、今回の評価の中では、品質・生産性・コストなどの観点を加えた評価は実施できなかったが、デジタルエコファクトリーで検討してきた仕組みは展開・活用できるものと考えている。このような環境評価観点を加えた中で、製造現場でのリアルタイムな状況変化に応じて、計画や製造ラインの最適解提供を支援し、生産者の多様なニーズにフレキシブルに対応可能な生産システムの構築に貢献できることに期待する。

5. ケーススタディ 2：射出成形ラインへの適用

5.1 仮想射出成形ライン

デジタルエコファクトリーの利活用シナリオ 1、及びシナリオ 2 を展開して仮想空間に射出成形ラインを作成し、本射出成形ラインを構成する各装置の消費電力をシミュレーションすることで可能になる、ライン稼働状態の評価例、及びライン稼働計画への適用例を考察した。

射出成形ラインの一般的な構成例を図 5.1-1 に示す。通常射出成形ラインは、射出成形機、金型温調機、製品の取出しロボットを基本として構成されており、必要により、搬送機、乾燥機、真空ポンプ、窒素ガス発生機等が付随して設置される。本ラインでは、射出成形機のシリンダーで加熱され溶融した樹脂を、金型温調機で調温された金型に射出することでプラスチック製の成形品が加工される。加工された成形品は取出しロボットにより金型より取出され、搬送機等に運ばれる。取出しロボットは、加工が終了した成形品を金型より取出す際に稼働し、成形品がなければ停止するように制御される。

本射出成形機のグローバル市場での出荷台数は年間 10 万台に達し、1つの工場で十数ライン～数百ラインという規模で運用されることが多い。1つ1つの射出成形ラインの消費電力を監視することは困難であり、時間単位で各ラインの稼働状態を把握することも難しい。デジタルエコファクトリーにより作成した仮想成形ラインでのシミュレーションが、本ラインでの電力消費の最適化、あるいは効率的な稼働計画に有効活用できると考える。

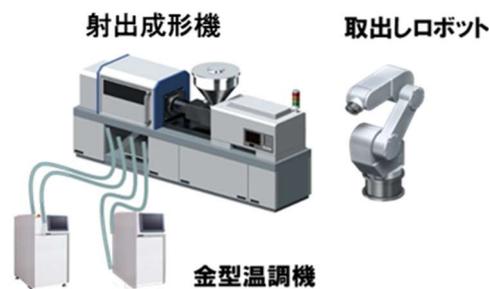


図 5.1-1 射出成形ラインの構成

5.2 仮想射出成形ラインの構成

第 4 章のケーススタディ 1 で対象としたプリント基板製造ラインは、加工部材が製造装置間を順に移動して構成パーツを組み立てていく順送型ラインのモデルであるが、本ケーススタディ 2 の射出成形ラインは、射出成形機の稼働を周辺の装置がサポートして 1 つの成形品を作製する、1 装置での完結型モデルである。仮想プリント基板製造ラインの構成では、各構成装置を単独で動作する要素として扱ったが、仮想射出成形ラインでは、周辺の装置が射出成形機の動作からフィードバックを受ける関係にある要素として扱う必要がある。

5.2.1 射出成形ラインモデルの定義

作成検討を行う仮想射出成形ラインでは、本ラインの基本的構成である射出成形機、金

型温調機、取出しロボットの3種の装置を実装対象とした。この構成での射出成形ラインの基本動作モデルの定義を図5.2-1に示す。

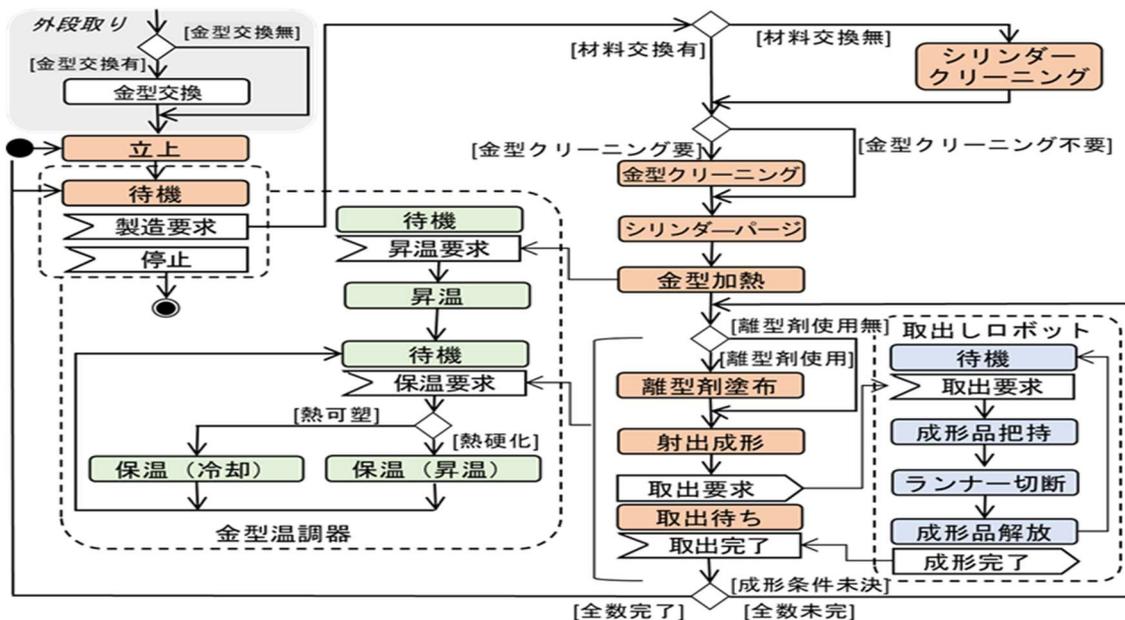


図 5.2-1 射出成形ラインのアクティビティ図

5.2.2 各構成装置モデルの定義とデータ要素

仮想射出成形ラインを構成する各装置の動作モデルを図5.2-2のアクティビティ図に、さらに、各装置で考慮が必要なデータ要素を表5.2-1の装置カタログデータ一覧に示す。

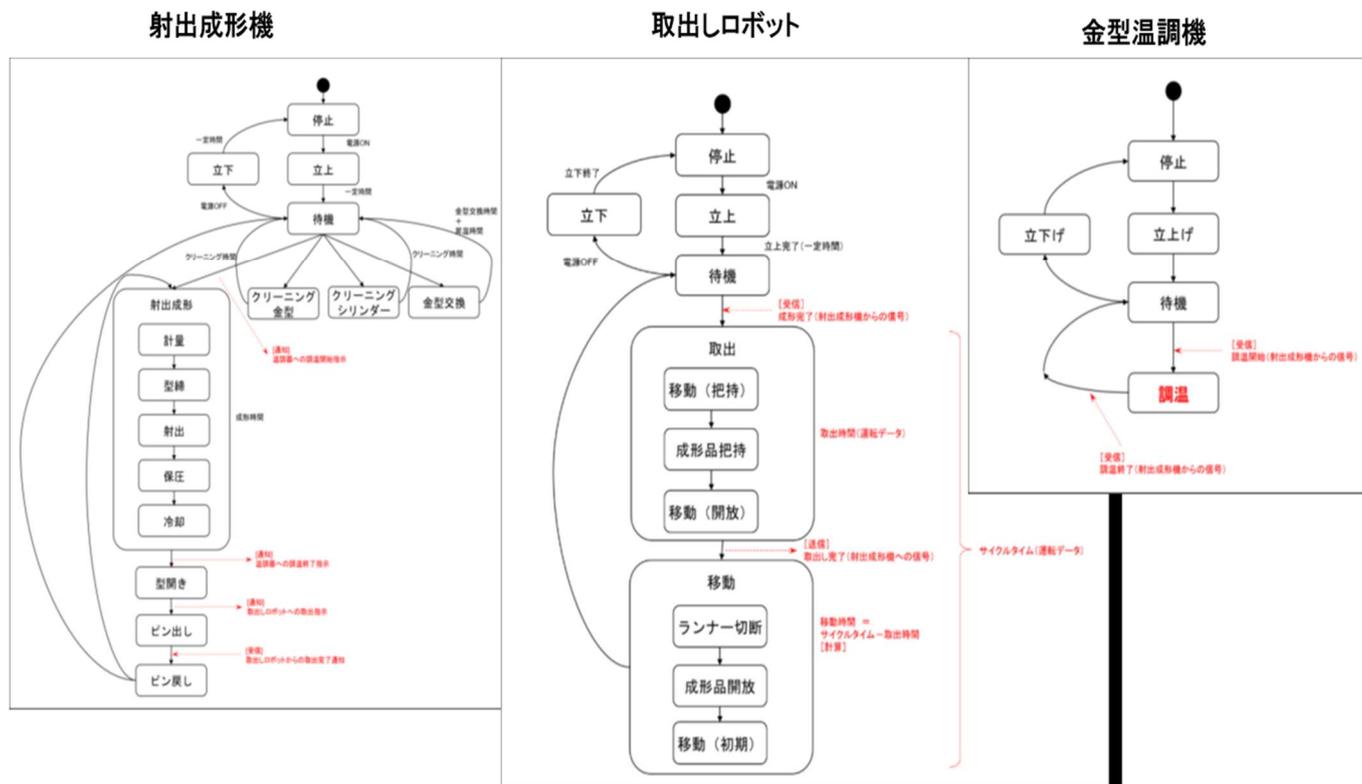


図 5.2-2 構成装置毎のアクティビティ図

表 5.2-1 装置カタログデータ一覧

	属性	値	単位	備考	
射出成形機	ID			射出成形機の識別子	
	取出しロボットID			付属の取出しロボットの識別子	
	選調器ID			付属の選調器の識別子	
	成型トン数		t	射出成形機の型締め力で装置の大きさを規定する	
	射出ユニット	シリンダヒータ		kw	シリンダヒータを温めるヒータ。ヒータは成形機自体についている
	射出ユニット	スクリュー回転モータ		kw	スクリューを回転させて材料をせん断する
	射出ユニット	スクリュー前後モータ		kw	スクリューを前後させ材料をシリンダの前方向へ移動させる。前後する速度で圧力を変える
	型締めユニット	型締めユニット動作モータ		kw	型締めユニットが駆動する駆動電力。射出圧力により消費電力が異なる
	射出ユニット	シリンダヒータ立上げ電力		kw	
		アイドリング電力		kw	
	型締めユニット	消費電力(保圧)		kw	保圧時の瞬間消費電力
	型締めユニット	エジェクタピン電力		kw	金型から成型品を押し出すためのピンの動作に必要な電力
		動作時間(立上)		s	装置があらかじめ持っている。装置依存で決定する
		動作時間(アイドリング)		s	待機による時間。ライン稼働中に待機状態が発生するたびに変動する
		動作時間(金型交換)		s	射出成形機のオペレータが金型の交換と条件確認(試射)などを想定してもいい
	射出ユニット	動作時間(材料補充)		s	射出成形機のオペレータが材料の補充に必要とする時間。材料が切れる前に補充する。配管目づまり
	射出ユニット	動作時間(クリーニング)		s	クリーニングに必要な磨盤交換時材料変更時、終業時、長時間停止後の開始時に発生
		動作時間(クリーニング) シリンダ		min	シリンダ内残留樹脂の除去に必要な時間。材料交換時、終業時に発生。
		動作時間(シリンダパーズ)		min	シリンダ内残留樹脂の除去に必要な時間。始業時、長時間停止後の開始時に発生。
		動作時間(離型剤塗布)		s	離型剤を塗布する時間(絞的、まれな作業)
	射出ユニット	動作時間(計量)		s	
	型締めユニット	動作時間(型締め)		s	
	射出ユニット	動作時間(射出)		s	
	射出ユニット	動作時間(保圧)		s	
	射出ユニット	動作時間(冷却)		s	
	型締めユニット	動作時間(型開き)		s	
	型締めユニット	動作時間(ピン出し)		s	エジェクタピンで突出板を押す。型開きと同時に起こらない(突出タイミングは別設定)
	型締めユニット	動作時間(栓込み)		s	エジェクタピンを閉じるのは型締めと同時に起こらない(型締めとは別)
	射出ユニット	消費電力(立上)		kwh	シリンダヒータ立上げ電力×立上げ時間(樹脂が溶融される時間)
	射出ユニット	消費電力(アイドリング)		kwh	ヒータ電力×アイドリング
射出ユニット	消費電力(金型交換)		kwh	金型取付時間×型取付電力+金型昇温時間×金型温調+成型電力×成型条件確認時間	
射出ユニット	消費電力(ホッパー加熱)		kwh	ホッパー部で樹脂を昇温して	
射出ユニット	消費電力(クリーニング)		kwh	動作時間(クリーニング)×スクリュー前後モータ+動作時間×ヒータ	
	消費電力(離型剤塗布)		kwh	離型剤塗布時間×アイドリング電力	
射出ユニット	消費電力(計量)		kwh	動作時間(計量)×(スクリュー回転モータ+スクリュー前後モータ)	
型締めユニット	消費電力(型締め)		kwh	型締めユニット動作モータ×型締め量×(型締め時間+型締めの後処理時間)	
射出ユニット	消費電力(射出)		kwh	射出時間(運転データ)×(スクリュー回転モータ+スクリュー前後モータ)	
射出ユニット	消費電力(保圧)		kwh	保圧時間運転データ?×消費電力(保圧)	
射出ユニット	消費電力(冷却)		kwh	冷却時間運転データ?×消費電力(保圧)	
型締めユニット	消費電力(型開き)		kwh	型締めユニット動作モータ×型開き量×型開き時間	
型締めユニット	消費電力(ピン出し)		kwh	通常、エアーシリンダ	
型締めユニット	消費電力(栓込み)		kwh	通常、エアーシリンダ	
取出しロボット	ID			ロボットの識別子 (射出成形機が決まれば対応して一意にロボットも決まる。)	
	初期位置			XYZ アームの初期の位置	
	制御装置		kw	立ち上げには時間を要しない。通常、サーボモータ使用。アイドリングはない	
	アーム駆動モータ		kw	アームを動かすモータ	
	保持モータ		kw	製品を保持するためのモータ	
	真空エアーチャック		kw	通常真空エアーチャック。必要により、個別コンプレッサ	
	ランナーCut		kw	カッター動作モータ	
	動作時間(保持位置へ移動)		s	保持位置までアームを動かす時間	
	動作時間(製品保持)		s	製品が大きい場合コンプレッサの増設	
	ランナーCut時間		s	ランナーをCutする時間。ホットランナーなら無し。	
	動作時間(解放位置へ移動)		s	解放までアームを動かす時間。先に水平方向を目標位置へ近づける	
	動作時間(製品解放)		s	吸着している製品を開放する時間	
動作時間(初期位置へ移動)		s	初期位置までアームを動かす時間		
	消費電力(立上)		kwh	制御装置	
	消費電力(保持位置へ移動)		kwh	動作時間(保持位置へ移動)アーム駆動モータ	
	消費電力(解放位置へ移動)		kwh	動作時間(解放位置へ移動)アーム駆動モータ	
	消費電力(初期位置へ移動)		kwh	動作時間(初期位置へ移動)アーム駆動モータ	

金型温調機	ID		温調機の識別子 (射出成型機が決まれば対応して一意に温調機も決まる?)
	制御装置	kw	
	温調時ヒータ電力	kw	昇温状態ではヒータが稼働し続け、保温状態ではヒータは断続的に稼働と停止を繰り返す
	立ち上げ時ヒータ電力	kw	
	循環ポンプ	kW	水、あるいは油を循環させるポンプ。
	冷却ファン	kw	通常、ヒータをOFFにする自然冷却か、冷却ファンを使用。
	昇温能力	cal/s	
	冷却能力	cal/s	
	動作時間(アイドル)	s	
	動作時間(昇温)	s	金型が昇温するまでの時間
	消費電力(立上)	kwh	制御装置
	消費電力(アイドル)	kwh	動作時間×(ポンプ電力+温調時ヒータ電力)
	消費電力(昇温)	kwh	動作時間×(ポンプ電力+立ち上げ時ヒータ電力)
	消費電力(保温(昇温))	kwh	動作時間×(ポンプ電力+温調時ヒータ電力):
消費電力(保温(冷却))	kwh	自然冷却か、冷却ファンによる空冷	
金型	金型ID		金型の識別子
	対応製品ID		金型で製造する製品のID
	金型奥行	mm	
	金型幅	mm	
	金型高さ	mm	
	キャビティ容積		
	チンナー容積		
	金型温調方式		媒体循環方式がヒータ直加熱か両方か
	現在温度	°C	金型の現在の温度
	現在位置		金型の現在位置、金型の保管場所や射出成型機の近く、もしくは移動中
	製品取出し用位置		xyに、取出しロボットがアーム移動させる先
	金型移動時間	s	射出成型機までの移動時間
	金型取り付け時間	min	金型を射出成型機に固定させる時間、金型の大きさ、構造によって異なる
	事前昇温時間	min	金型を予備昇温するために必要な時間
	金型昇温時間	min	金型を昇温するために必要な時間
	現在状態		金型が現在、待機中なのか、事前昇温中なのか、射出成型機の中にあるのか
	何個どり	個	製品が何個どりの製品であるかを示す
	予備加熱		
	型開時放熱時間	cal/s	自然冷却か、冷却ファンによる空冷
	動作時間(保温(昇温))	s	金型温度÷昇温能力 材料によって保温(昇温)と保温(冷却)を切り替える
動作時間(保温(冷却))	s	金型温度÷冷却能力 材料によって保温(昇温)と保温(冷却)を切り替える	

5.2.3 装置カタログの実装 (静的製造モデル)

静的なデータ要素の内、各構成装置の仕様に係る項目をシミュレーション上で設定可能な入力データとした。本入力データを図 5.2-3 の装置カタログ値の設定画面に示す。

射出成型機			取出しロボット			金型温調機		
属性名	データ型	単位	属性名	データ型	単位	属性名	データ型	単位
メーカー名	String		メーカー名	String		メーカー名	String	
機種名	String		機種名	String		機種名	String	
立上時間	Decimal	秒	立上時間	Decimal	秒	立上時間	Decimal	秒
立下時間	Decimal	秒	立下時間	Decimal	秒	立下時間	Decimal	秒
消費電力(立上)	Decimal	kW	消費電力(立上)	Decimal	kW	消費電力(立上)	Decimal	kW
消費電力(待機)	Decimal	kW	消費電力(待機)	Decimal	kW	消費電力(待機)	Decimal	kW
消費電力(金型交換)	Decimal	kW	消費電力(取出)	Decimal	kW	消費電力(調温)	Decimal	kW
消費電力(金型クリーン)	Decimal	kW	消費電力(移動)	Decimal	kW	消費電力(立下)	Decimal	kW
消費電力(シリンダークリーン)	Decimal	kW	消費電力(立下)	Decimal	kW			
消費電力(射出)	Decimal	kW						
消費電力(型開き)	Decimal	kW						
消費電力(ピン出し)	Decimal	kW						
消費電力(ピン戻し)	Decimal	kW						
消費電力(立下)	Decimal	kW						
消費電力(停止)	Decimal	kW						

図 5.2-3 装置カタログの設定画面

5.2.4 動的製造モデルテンプレートの生成

動的なデータ要素の内、設定変更が可能な入力要素として、表 5.2-2 の装置カタログ（動的要素）を抽出した。また一例として、射出成形機動作モデルを図 5.2-4 の射出成形機モデルのテンプレート記述に示す。

表 5.2-2 装置カタログ（動的要素）

No.	論理名	データ型	単位
1	現在状態	Status	
2	停止経過時間	Decimal	秒
3	停止累計時間	Decimal	秒
4	立上経過時間	Decimal	秒
5	立上累計時間	Decimal	秒
6	待機経過時間	Decimal	秒
7	待機累計時間	Decimal	秒
8	金型交換経過時間	Decimal	秒
9	金型交換累計時間	Decimal	秒
8	金型クリーニング経過時間	Decimal	秒
9	金型クリーニング累計時間	Decimal	秒
8	シリンダークリーニング経過時間	Decimal	秒
9	シリンダークリーニング累計時間	Decimal	秒
10	射出経過時間	Decimal	秒
11	射出累計時間	Decimal	秒
10	型開き経過時間	Decimal	秒
11	型開き累計時間	Decimal	秒
10	ピン出し経過時間	Decimal	秒
11	ピン出し累計時間	Decimal	秒
10	ピン戻し経過時間	Decimal	秒
11	ピン戻し累計時間	Decimal	秒
12	立下経過時間	Decimal	秒
13	立下累計時間	Decimal	秒
14	立上累計消費電力量	Decimal	kWh
15	待機累計消費電力量	Decimal	kWh
16	金型交換累計消費電力量	Decimal	kWh
17	金型クリーニング累計消費電力量	Decimal	kWh
17	シリンダークリーニング累計消費電力量	Decimal	kWh
17	射出累計消費電力量	Decimal	kWh
17	型開き累計消費電力量	Decimal	kWh
17	ピン出し累計消費電力量	Decimal	kWh
17	ピン戻し累計消費電力量	Decimal	kWh
18	立下累計消費電力量	Decimal	kWh
19	現在消費電力	Decimal	kW
20	現在製品	Decimal	
21	総稼働時間	Decimal	秒
22	総消費電力量	Decimal	kWh
23	製品投入可能フラグ	Boolean	
24	停止累計消費電力量	Decimal	kWh

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-16" standalone="true"?>
<Equipment-Behavior-Catalogue>
  <equipment type="射出成形機">
    <dictionary type="product" alias="成形品" file="productDictionary.xml">
      <var type="String" name="ItemID"/>
      <var type="String" name="ItemType"/>
      <var type="Decimal" name="何個取り"/>
      <var type="Decimal" name="製造数"/>
      <var type="Decimal" name="完了数"/>
    </dictionary>
    <dictionary type="schedule" alias="生産計画" file="scheduleDictionary.xml">
      <var type="Decimal" name="ScheduleStartTime"/>
      <var type="Decimal" name="ScheduleEndTime"/>
      <var type="Boolean" name="IsStartedInjection"/>
    </dictionary>
    <dictionary type="operation" alias="作業指示" file="operationDictionary.xml">
      <var type="Decimal" name="ProductionStartTime"/>
      <var type="Decimal" name="金型昇温時間"/>
      <var type="Decimal" name="金型交換時間"/>
      <var type="Boolean" name="金型交換指示"/>
      <var type="Boolean" name="金型クリーニング指示"/>
      <var type="Boolean" name="シリンダークリーニング指示"/>
      <var type="Decimal" name="(通知) 調温開始"/>
      <var type="Decimal" name="(通知) 調温終了"/>
      <var type="Boolean" name="金型クリーニング時間"/>
      <var type="Boolean" name="シリンダークリーニング時間"/>
      <var type="Boolean" name="射出指示"/>
      <var type="Boolean" name="射出時間"/>
      <var type="Boolean" name="型開き時間"/>
      <var type="Boolean" name="ピン出し時間"/>
      <var type="Boolean" name="ピン戻し時間"/>
      <var type="Boolean" name="(通知) 取出指示"/>
      <var type="Boolean" name="(通知) 取出完了"/>
    </dictionary>
    <statics>
      <var type="String" name="メーカー名">メーカー-A</var>
      <var type="String" name="機種名">サンプル 射出成形機</var>
      <var type="Decimal" name="立上時間">100</var>
      <var type="Decimal" name="立下時間">200</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(立上)">40</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(待機)">8</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(金型交換)">50</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(金型クリーニング)">100</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(シリンダークリーニング)">100</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(射出)">100</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(型開き)">50</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(ピン出し)">10</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(ピン戻し)">10</var>
      <var type="Decimal" name="消費電力(立下)">5</var>
    </statics>
  </equipment>
  <variables>
    <var type="Status" name="現在状態"/>
    <var type="Decimal" name="停止経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="停止累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="立上経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="立上累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="待機経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="待機累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="金型交換経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="金型交換累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="金型クリーニング経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="金型クリーニング累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="シリンダークリーニング経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="シリンダークリーニング累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="射出経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="射出累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="型開き経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="型開き累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="ピン出し経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="ピン出し累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="ピン戻し経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="ピン戻し累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="立下経過時間"/>
    <var type="Decimal" name="立下累計時間"/>
    <var type="Decimal" name="立上累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="待機累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="金型交換累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="金型クリーニング累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="シリンダークリーニング累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="射出累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="型開き累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="ピン出し累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="ピン戻し累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="立下累計消費電力量"/>
    <var type="Decimal" name="現在消費電力"/>
    <var type="Decimal" name="現在製品"/>
  </variables>

```

```

- <var type="Decimal" name="総稼働時間">
  <param name="立上累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="待機累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="金型交換累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="金型クリーニング累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="シリンダークリーニング累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="射出累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="型開き累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="ピン出し累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="ピン戻し累計時間" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="立下累計時間" ref="variables" ope="+"/>
</var>
- <var type="Decimal" name="総消費電力量">
  <param name="立上累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="待機累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="金型交換累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="金型クリーニング累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="シリンダークリーニング累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="射出累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="型開き累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="ピン出し累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="ピン戻し累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
  <param name="立下累計消費電力量" ref="variables" ope="+"/>
</var>
<var type="Boolean" name="製品投入可能フラグ"/>
</variables>
- <activity>
  - <status name="停止">
    <source status="Initial"/>
    <source status="立下">
      - <condition ope="<=">
        - <arg>
          <param name="立下時間" ref="statics"/>
        </arg>
        - <arg>
          <param name="立下経過時間" ref="variables"/>
        </arg>
      </condition>
    </source>
    <pre>
      - <dynamic name="現在状態" ref="variables">
        <param type="String" name="@停止"/>
      </dynamic>
      - <dynamic name="停止経過時間" ref="variables">
        <param type="Decimal" name="@0"/>
      </dynamic>
      - <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
        <param type="Decimal" name="@0"/>
      </dynamic>
      - <dynamic name="製品投入可能フラグ" ref="variables">
        <param type="Boolean" name="@False"/>
      </dynamic>
    </pre>
    <do>
      - <dynamic name="停止経過時間" ref="variables">
        <param name="停止経過時間" ref="variables"/>
        <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
      </dynamic>
      - <dynamic name="停止累計時間" ref="variables">
        <param name="停止累計時間" ref="variables"/>
        <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
      </dynamic>
    </do>
  </status>
  - <status name="立上">
    <source status="停止">
      - <condition ope="==">
        - <arg>
          <param name="IsStartedInjection" ref="schedule"/>
        </arg>
        - <arg>
          <param type="Boolean" name="@False"/>
        </arg>
      </condition>
      - <condition ope="<=" conjunction="AND">
        - <arg>
          <param name="ScheduleStartTime" ref="schedule"/>
        </arg>
        - <arg>
          <param type="Time" name="@SystemTime"/>
        </arg>
      </condition>
    </source>
    <pre>
      - <dynamic name="現在状態" ref="variables">
        <param type="String" name="@立上"/>
      </dynamic>
      - <dynamic name="立上経過時間" ref="variables">
        <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
      </dynamic>
      - <dynamic name="立上累計消費電力量" ref="variables">
        <param name="現在消費電力" ref="variables"/>
        <param name="立上累計時間" ref="variables" ope="*"/>
        <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
      </dynamic>
    </pre>
    <do>
      - <dynamic name="立上経過時間" ref="variables">
        <param name="立上経過時間" ref="variables"/>
        <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
      </dynamic>
      - <dynamic name="立上累計消費電力量" ref="variables">
        <param name="現在消費電力" ref="variables"/>
        <param name="立上累計時間" ref="variables" ope="*"/>
        <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
      </dynamic>
    </do>
  </status>
  - <status name="待機">
    <source status="立上">
      - <condition ope="<=">
        - <arg>
          <param name="立上時間" ref="statics"/>
        </arg>
        - <arg>
          <param name="立上経過時間" ref="variables"/>
        </arg>
      </condition>
    </source>
    <source status="金型交換">
      - <condition ope=">=">
        - <arg>
          <param name="金型交換経過時間" ref="variables"/>
        </arg>
        - <arg>
          <param name="金型交換時間" ref="operation"/>
          <param name="金型昇温時間" ref="operation" ope="+"/>
        </arg>
      </condition>
    </source>
    <source status="シリンダークリーニング">
      - <condition ope=">=">
        - <arg>
          <param name="シリンダークリーニング経過時間" ref="variables"/>
        </arg>
        - <arg>
          <param name="シリンダークリーニング時間" ref="operation"/>
        </arg>
      </condition>
    </source>
    <source status="ピン戻し">
      - <condition ope=">=">
        - <arg>
          <param name="ピン出し経過時間" ref="variables"/>
        </arg>
        - <arg>
          <param name="ピン戻し時間" ref="operation"/>
        </arg>
      </condition>
    </source>
    <condition ope="<=" conjunction="AND">
      - <arg>
        <param name="製造数" ref="product"/>
      </arg>
      - <arg>
        <param name="完了数" ref="product"/>
      </arg>
    </condition>
  </pre>
  - <dynamic name="現在状態" ref="variables">
    <param type="String" name="@待機"/>
  </dynamic>
  - <dynamic name="待機経過時間" ref="variables">
    <param type="Decimal" name="@0"/>
  </dynamic>
  - <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
    <param name="消費電力(待機)" ref="statics"/>
  </dynamic>
  - <dynamic name="製品投入可能フラグ" ref="variables">
    <param type="Boolean" name="@True"/>
  </dynamic>
</pre>

```

```

- <do>
- <dynamic name="待機経過時間" ref="variables">
  <param name="待機経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="待機累計時間" ref="variables">
  <param name="待機累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="待機累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="待機累計時間" ref="variables"/>
  <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</status>
<status name="金型交換">
- <source status="待機">
- <condition ope="==">
- <arg>
  <param name="金型交換指示" ref="operation"/>
</arg>
- <arg>
  <param type="Boolean" name="@True"/>
</arg>
</condition>
</source>
- <pre>
- <dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param type="String" name="@金型交換"/>
</dynamic>
- <dynamic name="金型交換経過時間" ref="variables">
  <param type="Decimal" name="@0"/>
</dynamic>
- <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力(金型交換)" ref="statics"/>
</dynamic>
- <dynamic name="製品投入可能フラグ" ref="variables">
  <param type="Boolean" name="@False"/>
</dynamic>
- <dynamic name="金型交換指示" ref="operation">
  <param type="Boolean" name="@False"/>
</dynamic>
</pre>
- <do>
- <dynamic name="金型交換経過時間" ref="variables">
  <param name="金型交換経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="金型交換累計時間" ref="variables">
  <param name="金型交換累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="金型交換累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="金型交換累計時間" ref="variables"/>
  <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</status>
<status name="金型クリーニング">
- <source status="待機">
- <condition ope="==">
- <arg>
  <param name="金型クリーニング指示" ref="operation"/>
</arg>
- <arg>
  <param type="Boolean" name="@True"/>
</arg>
</condition>
</source>
- <pre>
- <dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param type="String" name="@金型クリーニング"/>
</dynamic>
- <dynamic name="金型クリーニング経過時間" ref="variables">
  <param type="Decimal" name="@0"/>
</dynamic>
- <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力(金型クリーニング)" ref="statics"/>
</dynamic>
- <dynamic name="製品投入可能フラグ" ref="variables">
  <param type="Boolean" name="@False"/>
</dynamic>
- <dynamic name="金型クリーニング指示" ref="operation">
  <param type="Boolean" name="@False"/>
</dynamic>
</pre>
- <do>
- <dynamic name="シリンダークリーニング経過時間" ref="variables">
  <param name="シリンダークリーニング経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="シリンダークリーニング累計時間" ref="variables">
  <param name="シリンダークリーニング累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="シリンダークリーニング累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="シリンダークリーニング累計時間" ref="variables"/>
  <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</status>
<status name="射出">
- <source status="待機">
- <condition ope="==">
- <arg>
  <param name="射出指示" ref="operation"/>
</arg>
- <arg>
  <param type="Boolean" name="@True"/>
</arg>
</condition>
</source>
- <source status="ピン戻し">
- <condition ope=">=">
- <arg>
  <param name="ピン出し経過時間" ref="variables"/>
</arg>
- <arg>
  <param name="ピン戻し時間" ref="operation"/>
</arg>
</condition>
- <condition ope=">" conjunction="AND">
- <arg>
  <param name="製造数" ref="product"/>
</arg>
- <arg>
  <param name="完了数" ref="product"/>
</arg>
</condition>
</source>

```

```

- <pre>
- <dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param type="String" name="@射出"/>
</dynamic>
- <dynamic name="射出経過時間" ref="variables">
  <param type="Decimal" name="@0"/>
</dynamic>
- <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力(射出)" ref="statics"/>
</dynamic>
- <dynamic name="製品投入可能フラグ" ref="variables">
  <param type="Boolean" name="@False"/>
</dynamic>
- <dynamic name="(通知) 調温開始" ref="operation">
  <param type="Boolean" name="@True"/>
</dynamic>
</pre>
- <do>
- <dynamic name="射出経過時間" ref="variables">
  <param name="射出経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="射出累計時間" ref="variables">
  <param name="射出累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="射出累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="射出累計時間" ref="variables"/>
  <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</post>
</status>
- <status name="型開き">
- <source status="射出">
  - <condition ope=">=">
    - <arg>
      <param name="射出経過時間" ref="variables"/>
    </arg>
    - <arg>
      <param name="射出時間" ref="operation"/>
    </arg>
  </condition>
</source>
- <pre>
- <dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param type="String" name="@型開き"/>
</dynamic>
- <dynamic name="型開き経過時間" ref="variables">
  <param type="Decimal" name="@0"/>
</dynamic>
- <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力(型開き)" ref="statics"/>
</dynamic>
</pre>
- <do>
- <dynamic name="型開き経過時間" ref="variables">
  <param name="型開き経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="型開き累計時間" ref="variables">
  <param name="型開き累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="型開き累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="型開き累計時間" ref="variables"/>
  <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</pre>
- <post>
- <dynamic name="(通知) 取出指示" ref="operation">
  <param type="Boolean" name="@True"/>
</dynamic>
</post>
</status>
- <status name="ビン出し">
- <source status="型開き">
  - <condition ope=">=">
    - <arg>
      <param name="型開き経過時間" ref="variables"/>
    </arg>
    - <arg>
      <param name="型開き時間" ref="operation"/>
    </arg>
  </condition>
</source>
- <pre>
- <dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param type="String" name="@ビン出し"/>
</dynamic>
- <dynamic name="ビン出し経過時間" ref="variables">
  <param type="Decimal" name="@0"/>
</dynamic>
- <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力(ビン出し)" ref="statics"/>
</dynamic>
</pre>
- <do>
- <dynamic name="ビン出し経過時間" ref="variables">
  <param name="ビン出し経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="ビン出し累計時間" ref="variables">
  <param name="ビン出し累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="ビン出し累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="ビン出し累計時間" ref="variables"/>
  <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</status>
- <status name="ビン戻し">
- <source status="ビン出し">
  - <condition ope="==">
    - <arg>
      <param name="(通知) 取出完了" ref="operation"/>
    </arg>
    - <arg>
      <param type="Boolean" name="@True"/>
    </arg>
  </condition>
</source>
- <pre>
- <dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param type="String" name="@ビン戻し"/>
</dynamic>
- <dynamic name="ビン戻し経過時間" ref="variables">
  <param type="Decimal" name="@0"/>
</dynamic>
- <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力(ビン戻し)" ref="statics"/>
</dynamic>
- <dynamic name="(通知) 取出完了" ref="operation">
  <param type="Boolean" name="@False"/>
</dynamic>
</pre>
- <do>
- <dynamic name="ビン戻し経過時間" ref="variables">
  <param name="ビン戻し経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="ビン戻し累計時間" ref="variables">
  <param name="ビン戻し累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="ビン戻し累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="ビン戻し累計時間" ref="variables"/>
  <param name="現在消費電力" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</status>

```

```

- <status name="立下">
- <source status="待機">
- <condition ope=">=">
- <arg>
  <param type="Time" name="@SystemTime"/>
</arg>
- <arg>
  <param name="ScheduleEndTime" ref="schedule"/>
</arg>
</condition>
</source>
- <pre>
- <dynamic name="現在状態" ref="variables">
  <param type="String" name="@立下"/>
</dynamic>
- <dynamic name="立下経過時間" ref="variables">
  <param type="Decimal" name="@0"/>
</dynamic>
- <dynamic name="現在消費電力" ref="variables">
  <param name="消費電力(立下)" ref="statics"/>
</dynamic>
- <dynamic name="製品投入可能フラグ" ref="variables">
  <param type="Boolean" name="@False"/>
</dynamic>
</pre>
- <do>
- <dynamic name="立下経過時間" ref="variables">
  <param name="立下経過時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="立下累計時間" ref="variables">
  <param name="立下累計時間" ref="variables"/>
  <param type="Decimal" name="@1" ope="+"/>
</dynamic>
- <dynamic name="立下累計消費電力量" ref="variables">
  <param name="現在消費電力" ref="variables"/>
  <param name="立下累計時間" ref="variables" ope="*"/>
  <param type="Decimal" name="@3600" ope="/"/>
</dynamic>
</do>
</status>
</activity>
</equipment>
</Equipment-Behavior-Catalogue>

```

図 5.2-4 射出成形機モデルのテンプレート記述

5.2.5 投入する製品モデルのテンプレート

シミュレーションの際に入力する、射出成形品の仕様入力画面を図 5.2-5 に示す。本入力画面では、成形品の名称、成形金型内での製品取り数、製品の生産計画数を設定できるようになっている。金型交換、樹脂材の交換は頻繁に実施されることはないため、作業計画の有無で、必要な場合に設定する。

製品仕様

製品名:

金型取数 (個数/型):

生産数:

投入時刻: 2020/07/22 18:34:14

金型交換有無: 有

金型交換時間 (秒):

金型昇選時間 (秒):

ペレット交換有無: 有

金型クリーニング時間 (秒):

シランダークリーニング時間 (秒):

成形機: 成形時間 (秒): ※計量時間+型戻時間+射出時間+保正時間+冷却時間

成形機: 型開き (秒):

成形機: ピン出し (秒):

成形機: ピン戻し (秒):

ロボット: 取出時間 (秒):

ロボット: サイクルタイム (秒): ※移動時間-サイクルタイム-取出時間

図 5.2-5 射出成形品仕様の入力画面

5.3 仮想射出成形ラインでのシミュレーション

作成した仮想射出成形ラインを用いて検討した、射出成形ラインの電力消費シミュレーション結果を表 5.3-1 に示す。

表中のシミュレーション結果（計算値）は、仮想射出成形ラインを 10 分間、及び 60 分間稼働させた場合の消費電力積算値で、シミュレーションで用いた入力値と同一条件で稼働させた A 社、及び B 社の実際の射出成形ラインの消費電力データに近似している。

また図 5.3-1A は、上記 A 社の成形条件を入力値としてシミュレーションし、1 分毎の積算電力を算出してプロットした消費電力波形の結果で、図 5.3-1B の A 社の実際の射出成形ラインの 1 分毎の実測消費電力波形と良好に近似させることができることが確認できる。

本デジタルエコファクトリーを適用して作成した仮想射出成形ラインでのシミュレーションでは、時系列での詳細な消費電力の変動を表現することは難しいが、一定時間内での積算電力量の推定と、この推定積算電力が射出成形ラインのこういった稼働状態で消費されたものであるかを推測するには十分な情報を与えてくれると考えられる。

表 5.3-1 仮想射出成形ラインでのシミュレーション結果

		A社	B社
成形機種種		C社 100ton	B社 1800KN
金型温調機		有	無
成形条件	製品形状	2×t0.4 mm	70×105×t2
	樹脂材	白色PC	透明PC
	取り数	4	2
	成形サイクル	10秒	33秒
	樹脂温度	300℃	320℃
	金型温度	70℃	(80℃)
実測値とシミュレーション計算値の比較			
10分積算(実測)		1.11 KWh	0.56 KWh
10分積算(計算)		1.13 KWh	0.57 KWh
60分積算(実測)		6.24 KWh	3.37 KWh
60分積算(計算)		6.95 KWh	3.40 KWh

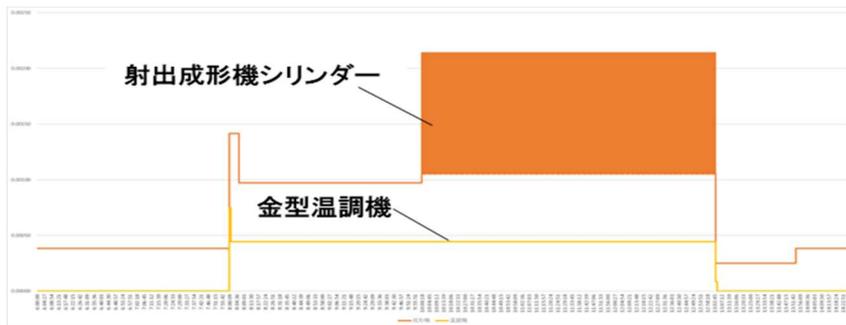


図 5.3-1A 電力波形シミュレーション

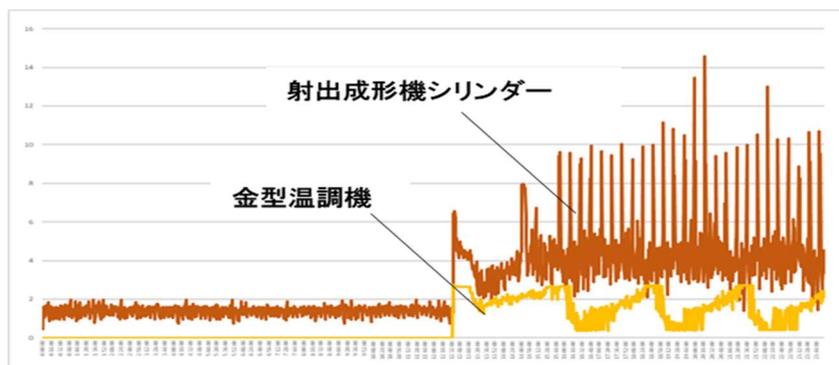


図 5.3-1B (A社) 実測した電力波形

5.4 仮想射出成形ラインの使用効果例

デジタルエコファクトリーで仮想空間に作成した射出成形ラインを用いてシミュレーションした結果で、実際の射出成形ラインの稼働状態を推測する方法、及び工場消費電力のデマンド調整、あるいはピークカットを計画する方法案を考察した。

5.4.1 射出成形ラインの稼働状態推測

図 5.4-1 に、仮想射出成形ラインでシミュレーションした 1 分毎の消費電力値、及び積算電力値をプロットした波形を示す。

本シミュレーションは、表 5.3-1 の B 社の射出成形機を一定時間稼働させた時の積算電力値から、本射出成形ラインを 14 時間稼働させた際の稼働時間、及び待機時間の状況、さらに 14 時間での積算消費電力量を推測したものである。

このシミュレーションとは逆に、実際の射出成形ラインでは比較的採取し易い 1 日の積算消費電力量から、本積算電力量に見合う射出成形ラインの稼働状態を推測することも可能であり、複数ラインが同時に稼働する実際

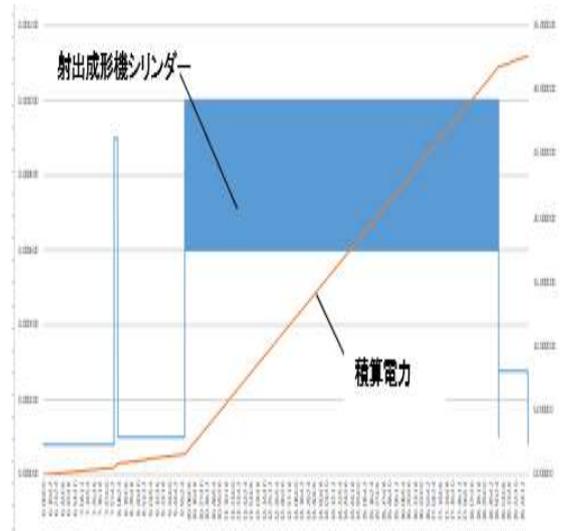


図 5.4-1 電力波形のシミュレーション

ラインに、1 つ 1 つのラインの時間単位の稼働状態を管理する簡易的な方法が提供できる。

デジタルエコファクトリーでは、射出成形ラインが成形加工している稼働時と、成形加工を行っていない待機時の消費電力を分離して扱えるため、稼働状況と成形品の生産数量結果との間で、より正確な整合が行える。生産計画と実生産量が合わない原因の解析や、より精度の高い生産計画が可能となる。

5.4.2 射出成形ラインの異常検出

上記したように仮想射出成形ラインでは、実稼働している射出成形ラインの 1 日単位の積算消費電力量を推測することができるが、この推測値よりも実稼働ラインでの消費電力量が大きくなる場合が考えられる。

また、実稼働ラインでの消費電力量から推測されるラインの稼働状態と、成形品の生産数量に大きな差が出る場合も考えられる。

射出成形ラインを構成する射出成形機のシリンダーヒーター、型締めユニット、射出ユニット、あるいは金型温調機の加熱ヒーター、循環ポンプ、冷却器等に故障、あるいは配管の目詰まり等があるとその消費電力が大きくなる⁵⁻¹⁾ため、上記したようなシミュレーションによる推測値から実測値が乖離して大きくなる場合、該当する射出成形ラインに故障、あるいは部品の劣化が発生していると推定することも可能である。

5.4.3 工場電力のデマンド調整とピークカット計画

図 5.4-2 に、表 5.3-1 で記載した A 社において同時稼働している 2 台の射出成形ラインの消費電力を足し合わせてプロットした積算電力波形を示す。本図は、複数台の射出成形

ラインを同時に稼働させた場合、ある時間帯で電力デマンドが1日の計画値を超えることがあり、これをラインの稼働計画で防ぐ方法を例示した。例えば、図中、消費電力予測値は成形ラインAを停止して立ち下げないと、22時頃にデマンド計画値250KWhを超える。工場内の射出成形ラインが数十台～数百台と大規模になると、こうしたデマンド計画値を超える時間帯を予測してのライン稼働調整は困難になる。

また、複数の射出成形ラインが同時に稼働する場合、短時間での瞬時電力値が工場の契約デマンド値を超えることがあり、こういった稼働状態で瞬時電力値が大きくなるのかを予測した上で、消費電力のピークをずらすピークシフト、あるいはピークカットを計画することが必要になる。

今回の仮想射出成形ラインでは、複数台が稼働する場合の時間毎の積算電力、及び瞬時電力の合算値を精度良くシミュレーションすることが可能であるため、各射出成形ラインの稼働時間を調整する、あるいは消費電力が大きくなるラインの立ち上げ等の時間をずらす、ライン稼働計画が可能になる。

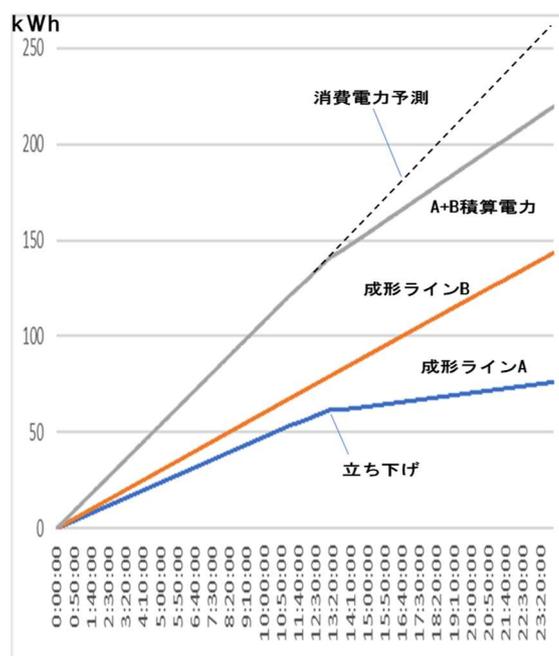


図 5.4-2 複数台稼働時の積算電力

5.5 まとめ

デジタルエコファクトリーを活用して仮想射出成形ラインを作成し、本仮想射出成形ラインを構成する射出成形機、及び金型温調機の消費電力をシミュレーションすることで、射出成形ライン消費電力量の推測、及びライン稼働状態の評価を行う検討を行った。本検討の結果、シミュレーションでの計算値は実際に稼働している射出成形ラインの実測値と近似し、電力消費状況からラインの稼働状況を推測できることが確認できた。

近年、その重要性が高まっているサーキュラーエコノミー（循環型社会）の中で、使用材料の再生、再生材の活用、部品の再利用等による消費エネルギーの増加など環境課題が、サプライチェーンの構築に不可欠な検討項目になっている。ところが、再生材活用等の作業に伴うエネルギー消費の最適化を計画するツールは現在のところない。今回検討した仮想射出成形ラインでは、こういった装置で、こういった条件で加工すれば消費電力を最小にできるかのシミュレーションが可能であり、上記、環境課題に対応したサプライチェーンの構築等で今回の検討が生かせると考えている。

最後に、本章をまとめるにあたり射出成形機の消費電力実測データを提供頂いた住友重機械工業㈱様に厚く御礼を申し上げる。

参考文献

5-1) 川井若浩：“IoTの活用による製造ラインの稼働監視と製造品質の管理”

日本規格協会、「標準化と品質管理」3月号,2019

6. デジタルエコファクトリーの今後

6. 1 ケーススタディからの展開

本委員会活動では、実製造システムと同様な機能、動作をする仮想製造システムを構築し、製造システムの計画開発段階から実運用に至るまでの様々な段階で必要となるシステムの合目的的な性能評価を可能とすることを考え、図 6.1-1 に示すようなデジタルエコファクトリーの構築を提案した。デジタルエコファクトリーの適用段階としてはシナリオ 1. 製造システムの検討、シナリオ 2. 製造作業内容の検討、シナリオ 3. 製造作業の実行の 3 段階における利用シナリオを考えている。

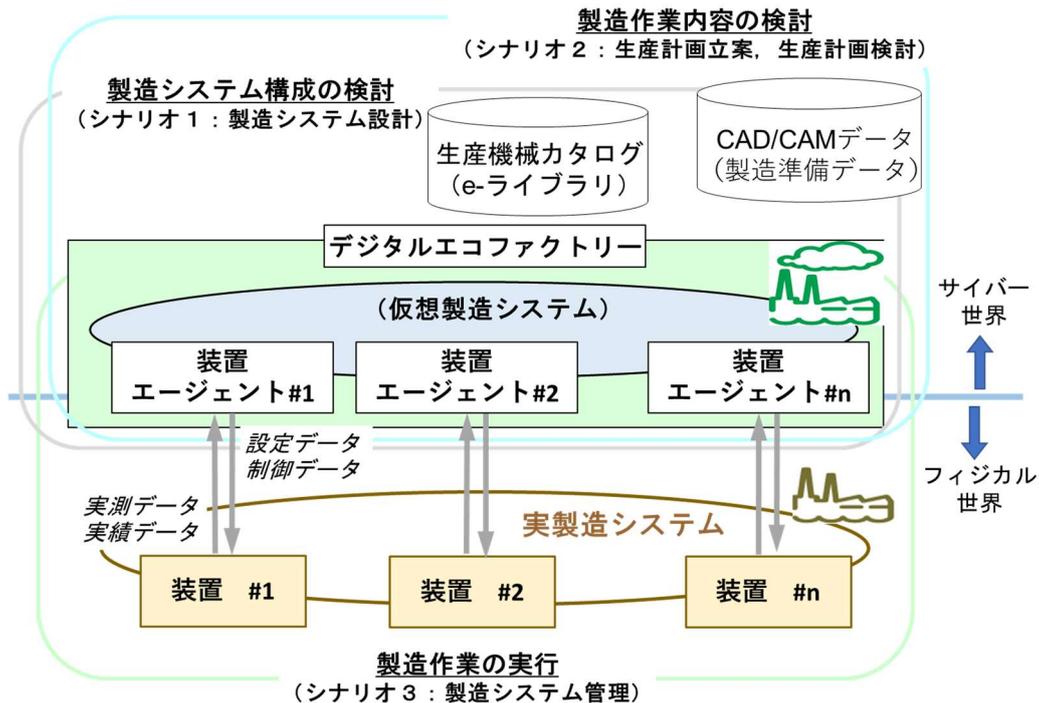


図 6.1-1 デジタルエコファクトリーの構成と利用

デジタルエコファクトリーの構築にあたっては、装置の機能、動作をソフトウェアとして表現したエージェントを想定し、対象とする工場のモデルを計算機上に構築するマルチエージェントシステムとした。これは Industrie4.0、IoTなどが唱えるサイバーフィジカルシステム (CPS) の考えに沿うものであり、エージェントはフィジカル世界の実装置に対応するサイバー世界におけるデジタルツインと位置づけられる。また、装置エージェントの構築に際しては、システムを構成する各装置の基本的機能、動作を表現する機械可読なモデルデータを動的製造装置カタログとして、e-ライブラリに準備する。1つの装置タイプごとのテンプレートに対して複数の機種が存在する場合にはそれぞれに対応する具体的な仕様を記入した装置カタログとして準備する。新たに設計する装置に対しては、対応するテンプレートがあればそれを利用し、なければ新たなテンプレートを準備し、想定する数値等を記入して新装置カタログとして追加する。対象システムとして使用する装置が決まると対応する装置カタログを選択し、仮想装置エージェントに自動変換する。この機能、動作を表現したカタログの構成と記述ルールを標準化することにより、デジタルエコファ

クトリーの構築に際して、スマートマニュファクチャリング、デジタルツインなどの世界的潮流に合わせて既に検討が進められている国際標準との整合性を保つことが出来る。この観点からの展望については第7章で述べることとする。

本委員会活動では、前出のシナリオ1、2を対象として第4章においてプリント基板製造ライン、第5章において射出成形ラインを事例としてデジタルエコファクトリーの構築を行い、その評価を試みた。デジタルエコファクトリーとしてはシステムの運用中の電力変動を動的に再現することを目指した。詳細は各章に詳しいが以下で現在得られている成果と今後の問題について概観する。

1. 対象とするシステムにおいて使用する装置カタログとそのエージェント化については、各章のシステム稼働状態に見られるとおりに適切に作動し、実現されていると考えられる。また、第5章射出成形ライン事例において使用装置の変更に対してカタログの特性数値の変更で簡単に対応できることが示され、装置モデルのカタログ化の有用性が明らかとなっている。これはデジタルエコファクトリー適用のいずれの段階においても重要であるが、特に第1シナリオの製造システムの計画段階においては同一種類の装置で性能の違うものを広範囲に比較検討するためには特に有用である。
2. いずれの事例においても個別装置別、ライン全体の消費電力の時系列的な変動波形、並びに積算消費電力を推定することができている。射出成形ラインにおいては実機との比較を行い、積算電力消費量は精度よく推定できていることが明らかとなった。時系列的変動波形は定性的には良好な近似となっており、有用な情報を得ることが出来る。これらのことから、サイバー世界に構築したデジタルエコファクトリーはフィジカル世界における実製造システムのサイバー世界におけるデジタルツインとして機能しており、シナリオ1、2だけでなくシナリオ3における検討にも有効であるといえる。
3. プリント基板製造ラインにおいては運用段階におけるリフロー炉の待機電力に注目し、待機か再起動かなどの運用計画の検討への有効性を示唆している。また、融点の異なる投入材料による電力消費量の変化と生産時間の関係から投入計画支援の可能性が示されている。複数ラインの運用に際しては瞬間的な過大電力消費が観測され、投入計画の調整によりこれを避けることができることも示された。このような視点からの運用方法の開発の重要性が明らかとなった。
4. 第3シナリオの製造実行段階における検証は今後の課題であるが、事前に予想された消費電力波形と実システムの波形を比較評価することにより、実ラインにおける故障等の異常の予知、検出が可能となることも期待できる。このように定性的な有用性をさらに高めるためには今後、消費電力変化のトリガーとなる挙動の更なる検討や実データとの比較により、定量的精度の向上を図ることが期待される。このためには、個別機器に対して消費電力に関する準備データ（公称データ）の精度、実稼働時における公称データと実データの乖離、オン・オフや継続動作の記述の厳密性、加工対象の材質、加工内容に対する依存性などの検討が必要である。また、実データからの学習システムを導入することによる精度向上も期待される。

6. 2 理想のデジタルエコファクトリーに向けて

デジタル技術の発展とともに Industrie4.0、IoT など生産活動のデジタル化が進み、生産の現場である工場内から企業活動の全体にわたってデジタル化により、製品デザインやサプライチェーン、生産、流通、販売までを含む Smart Manufacturing の展開が進められている。また、一方では地球温暖化に対処するために二酸化炭素ガスの排出を抑制し、脱炭素社会を実現しようとする動きが活発化している。このために製品の誕生から使用、再使用、リサイクル、廃棄に至る全過程における炭素負荷をカーボンフットプリントとして追跡し、その総量の最小化を図ることが重要な課題となってきた。

本委員会で提案したデジタルエコファクトリーは、このような社会的、技術的環境を背景に、実空間（フィジカル世界）における生産に関わる全ての活動を仮想空間（サイバー世界）に構築した仮想工場で再現、集約し、実世界における生産活動を最も効率的に実現する方策を追求しようとする Cyber Physical System (CPS) である。ここでは従来の時間的、量的な生産性の向上だけでなく、生産に関わる製品、生産活動による二酸化炭素ガスをはじめとする環境負荷の削減を重要課題としている。

Smart Manufacturing に関する国際標準化活動は ISO、IEC、IEEE など活発に行われており、ISO TC184/IEC TC 65 JWG 21/TF 8 : Digital/Asset Administration Shell では関連の標準化活動を図 6.2-1 のようにまとめている。なお、ここでは中核となる標準化のターゲットをデジタルツインとアセット管理シェルとみなしている。

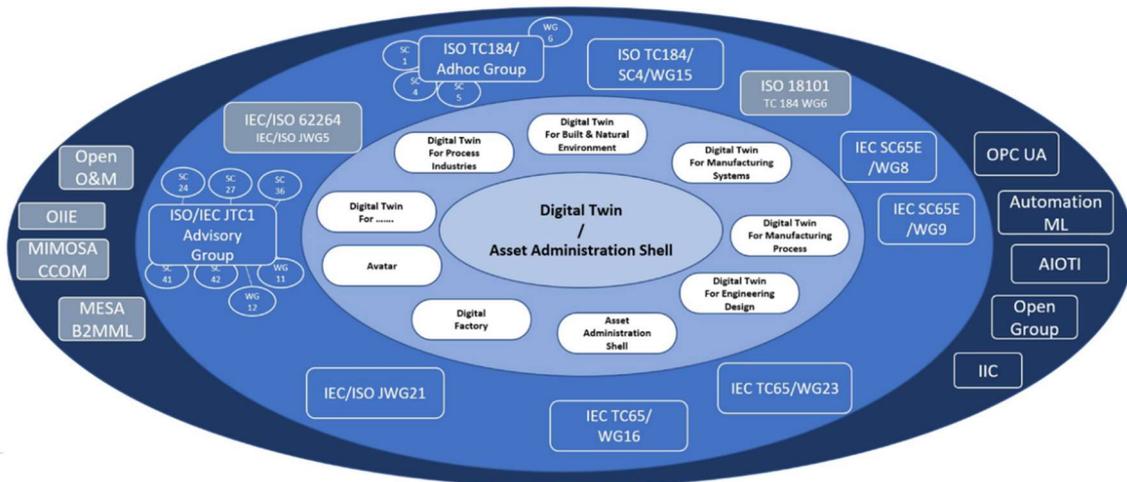


図 6.2-1 デジタルツインとアセット管理シェルを中心とした関連の国際標準化活動

図 6.1-1 の装置エージェントは装置のデジタルツインであり、仮想製造ラインは装置のデジタルツインによりサイバー世界に構築された製造ラインのデジタルツインとして位置づけることができる。デジタルエコファクトリーもこれらの概念に準拠して構築されなくてはならない。本委員会の提案するデジタルエコファクトリーの構成法は、これにあっている。

さらに、理想のデジタルエコファクトリーは所期の製品を時間的、量的制約のもとで環境負荷を考慮して生産できるシステムを効率よく設計開発し（シナリオ 1）、適切な運用法を開発し（シナリオ 2）、それに基づいて構築された実製造システムを効率的に運用できる（シナリオ 3）環境を提供するものである。このようなデジタルエコファクトリーの基本

要件は下記のとおりである。

1. デジタルツインのフィジカル化（サイバー世界をフィジカル世界へ）

デジタルエコファクトリーは、シナリオ 1、2 において最も目的にかなった製造システムを探求し、シナリオ 3 においてはその成果を実現した製造システムの運用の一環として機能する。従って、シナリオ 1、2 からシナリオ 3 への移行のためにはサイバー世界における仮想製造システムをフィジカル世界の実製造システムに現出させる作業が必要である。仮想製造システムを構成する装置、制御装置、運用管理装置のデジタルツインは、新規に開発しなければならないものも多く、それぞれに対応するフィジカルツインとして実現するために必要な情報を具備していなければならない。

2. e-ライブラリと装置カタログ

デジタルエコファクトリーで対象となるのは広範な製品とその製造システムである。従って装置のデジタルツインを構成する装置カタログは想定される様々な装置に対して準備され、e-ライブラリに準備されている必要がある。本委員会活動では消費電力の測定を主眼として、プリント基板製造ライン、射出成形ラインについてモデル化し、検討を行い、その有用性を示した。今後この知見を基礎として、さらに対象とする生産システムを拡充し、幅広い生産現場を対象とすることができるようになることが望まれる。例えば、機械加工工場においては、各種工作機械単体だけでなく、さらに複合化、ライン化したシステム、その構築に必要な搬送、移載、保管に関わるコンベア、カート、ロボット、自動倉庫などの多様な装置、機器が対象となる。また、工場の空調、照明などの電力消費も考慮しなければならない。これらのモデル化・カタログ化のためには更に多くの検討が必要であるが、本格的なデジタルエコファクトリーの実現に向けて展開することが不可欠である。

3. 基本システム要件

- ・生産対象とする製品（CAD/CAM データ）が与えられた時、その生産に関わる工作機械などの装置のデジタルツインの構築に必要な装置カタログが準備されているか、容易に構築できること。このためには、2 項で述べた生産活動に用いられる広範な機器・装置の動作、所要電力などを記述した装置カタログの充実が望まれる。

- ・必要な装置を組み合わせて生産ライン、フローショップ、ジョブショップなどの仮想生産システムが構築できること。

- ・与えられた生産計画に基づいて、生産活動が実行できること。

- ・仮想製造システムの基本的操業データが装置別、製品別に出力されること。（5 項、7 項参照）

4. 製造システムの運用法

- ・多様な生産計画、生産スケジュールを適用できること。

- ・適用した運用法の有用性に対して時間的・量的・環境負荷的など多面的な観点からの評価が可能であること。

- ・生産システムに異常・故障が生じた場合の運用法について検討し、評価できること。

5. 実製造システムへの実装

- ・実製造システムのデジタルエコシステムが実運用に先立って予定されている生産活

動を試行し、7項に示す生産性評価に必要なデータを出力できること。

- ・実製造システムの異常・故障の予知・検出が可能となること。
- ・実製造システムに異常・故障が発生した場合に適切な対応法を提示できること。

6. システムの入力

- ・対象製品の処理工程と処理内容に関する CAD/CAM 情報。
- ・製品の生産計画、生産スケジュール。
- ・異常・故障発生時、回復時には対応する製造システム構成と生産スケジュール。

7. システムの出力（数値データ、グラフ、時系列状態変化などの図形データ）

- ・製品別出力：システム内での処理終了までに使用した一連の処理装置。処理時間（総処理時間、工程別処理時間、待機時間、移動時間）。
- ・装置別出力：計画期間中の状態変化とその開始、終了時刻（起動時刻、停止時刻、待機開始時刻、待機終了時刻、動作開始時刻、終了時刻）、各動作、状態に関する所要電力。全処理製品の製品別処理開始、終了時間。
- ・環境負荷関連出力：装置別及びシステムの時系列的消費電力変動。廃棄物量（切り粉など）、排水量、所要油剤等。製品別、システムのカーボン負荷などカーボンフットプリントの基礎データ。
- ・生産コスト：上記各種出力データに基づく製品別生産コストの算定。
- ・異常・故障発生、回復に関する諸データ。

上記のデジタルエコファクトリーが満たすべき基本要件の他に留意すること、特に、運用法、実装、電力消費可視化の意義について、以下に述べる。

基本要件4項において運用法の必要性について述べた。第4章、第5章の事例研究では、単一製造ラインを中心にデジタルエコファクトリーの有用性を検討した。また、限られた規模ではあるが複数ライン下における総消費電力量の計測と材料投入計画調整による過大な最大消費電力量の低減（ピークカット）の可能性、有用性を示した。これは脱炭素社会を目指す生産現場において生産計画、スケジューリングなどのシステムの運用法に電力変動を考慮することの重要性を示唆している。シナリオ2においてシナリオ1の生産システムの設計計画案だけでなく、運用段階にある実システムに対してもデジタルエコファクトリーを活用して、時間的・量的な最適化に加えて、電力消費の観点から総電力消費量の削減、電力消費の平滑化、過大電力消費の解消などを考慮した運用管理システムを開発することが課題である。デジタルツインの概念の導入は、課題へのソリューションを与えるかもしれない。また、製造システムの異常・故障の発生や生産の遅延に対応したシステム運用計画の適切な変更方法の開発も重要である。

次に、デジタルエコファクトリーの実装について考える。図6.2-2にデジタルエコファクトリーの実装概念図を示す。図6.2-2(a)ではサイバー世界における仮想製造システムを統合型システムとして構築している。フィジカル世界における製造システムはシナリオ1、2においては想定している計画案であり、実システムは存在しない。一方、シナリオ3においては実製造システムが存在しており、サイバー世界の仮想製造システムは実システムに対応していなければならない。従って、異常・故障等が生起して実システムの構成が変化した場合にはその変化に適切に追従しなければならない。また、実システムでは生産環

境の変化に伴ってその構成が変化する。従って、サイバーシステムにはこれらの実システムの構成変化に対応して変化する仕組みを別途組み込むことが必要である。

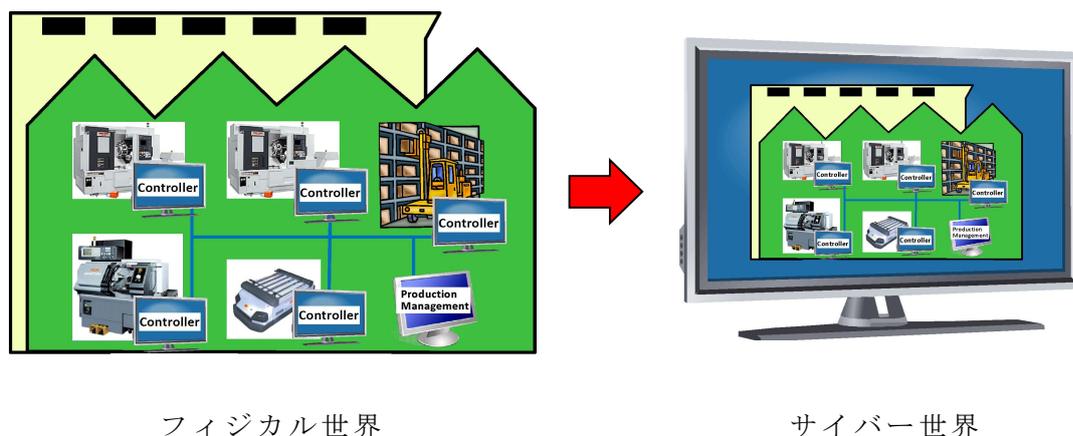


図 6.2-2(a) 統合型仮想製造システムの構築



図 6.2-2(b)は実製造システムが存在するシナリオ 3 において仮想製造システムを分散型で構築するものである。実システムにおける装置の多くはその制御機構としてコントローラーを有しており、ネットワークを介して管理運用システムとつながっている。従って、装置のデジタルツインをコントローラーに内蔵し、仮想製造システムの構成要素として機能するようにしようとするものである。これによって実製造システムにおける装置の追加・変更・削減は実装置のネットワークへの接続・解除によりサイバー世界の仮想製造システムに反映可能となり、フィジカル世界とサイバー世界の同一性は保持可能となる。なお、実システムにおいてネットワークに接続されない装置や追加・変更を計画中の装置については別途デジタルツインを構築し、例えば管理運用システム内に設置する必要がある。

以上では、装置を構成要素とする製造システム階層を対象としてデジタルエコファクトリーの構築を考えた。Smart Manufacturing においてはさらに上位の複数の生産部門間、工場、企業、サプライチェーンなどを対象として全体の挙動を考えることも必要となる。このような多階層の場合には図 6.2-2(b)に示した装置を対象としている階層の直下の単位システムとみなし、その管理運用システムのデジタルツインを装置のデジタルツインとみなす入れ子構造のシステム構成を考えることによって対応が可能である。また、階層の

異なるシステムを装置として構成することにより特定のシステムの挙動に注目することも可能である。

最後に、電力消費の可視化の意義について述べる。本委員会で提案したデジタルエコファクトリーでは、実システムの稼働に伴う電力消費の変動状態とその量の予測を可能とし、製造システムの開発や運用方法の開発における性能評価の一項目とした。脱炭素社会の観点からは使用電力を太陽光発電、風力発電などによる再生可能エネルギーに置き換えることにより、環境負荷は軽減することが可能である。しかし、製品の生産活動に関わるコストの観点からは重要な評価要素であり、消費電力の削減は重要な課題である。また、適切な生産計画、生産スケジュールにより消費電力の平準化を実現することは製造システムの安定した稼働に重要である。さらに、システムの異常・故障の予知・検出に活用することにより、効率の良い生産活動の実現に有効である。

7. ISO 16400 シリーズ

7. 1 ISO 16400 シリーズ提案への経緯

デジタルエコファクトリー専門委員会での検討の中で、仮想製造ラインの構成には、その構成要素である機械や装置の高精度なデータモデル、特にその振舞いの記述を含んだ動的製造装置モデルが必要なことがわかった。この動的製造装置モデルを、共有可能な形式で提供して、仮想製造ラインの構成時には装置エージェントとして実装することにより、マルチエージェントシステムとして仮想製造ラインが構成できる。この動的製造装置モデルは、製造装置メーカーから提供されることが望ましく、そのためにも標準化した仕組みとする必要がでてきた。そこで、2014年10月に経産省の国際標準化事業に応募した。

その後、国際標準化対応の委員会を別途 MSTC 内に立ち上げ、2015年度から2016年度は「動的製造装置モデルを利用した製造シナリオの生産性と環境影響のデジタル検証に関する国際標準化」事業、2017年度から2019年度は「動的製造装置モデルを利用した製造シナリオのデジタル検証環境構築に関する国際標準化」事業として、国際標準化活動を行い、2020年度からは「製造シナリオのデジタル検証環境構築のための動的製造装置モデルのカタログ化に関する国際標準化」事業として活動継続中である。

この国際標準化活動では、国際規格「製造シナリオのデジタル検証のための動的製造装置モデル e-ライブラリーサービス（仮題）」の提案と原案作成を進めている。国際標準化では、動的製造装置モデルを EBC (Equipment Behaviour Catalogue) と呼び、新作業項目として2016年度内に国際提案した。2017年度より、ISO/TC 184/SC 5 に WG 13: Equipment Behaviour Catalogue が新設され、日本がコンビナとして主導する形で、ISO 16400: Equipment behaviour catalogues for virtual production system シリーズとして国際規格群の開発が進められている。

7. 2 ISO 16400 シリーズの概要

ISO 16400 シリーズでは、仮想製造ラインはその構成要素を EBC から選択することで構成する。ISO 16400 シリーズでは、EBC の全体概念に関する規格、EBC の構成に必要な規格、EBC を利用して仮想製造ラインを構成するための規格などの提供を予定している。図 7.2-1 に現在の ISO 16400 シリーズの構成を示し、以下に各パートの概要を述べる。

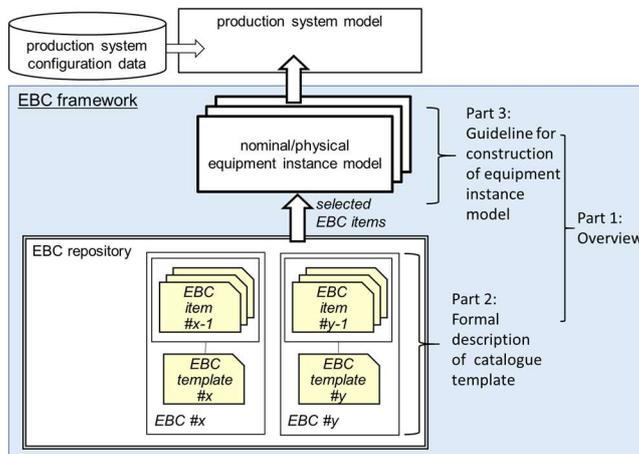


図 7.2-1 ISO 16400 シリーズの構成

(1) ISO 16400 Part 1

ISO 16400-1 は、ISO 16400 シリーズの第 1 部である。そのタイトルは「Automation systems and integration - Equipment behaviour catalogs for virtual production system - Part 1: Overview」である。ISO 16400-1 では、ISO 16400 で提唱する EBC に関する全体概念と、その構成と利用に重要な用語について規定している。さらに、ISO 16400 シリーズの全体構成と各 Part 間の関係についても述べている。ISO 16400 シリーズにおいて、EBC は、EBC テンプレートとそのテンプレートの各項目に装置毎の対応する値を埋めた EBC アイテムから構成する。EBC を利用して構成する Cyber-Physical Production System (CPPS) のイメージを示し、その中で動的製造装置モデルとしての EBC の位置付けも記述している。ISO 16400-1 は 2020 年 9 月、国際標準 (IS: International Standard) として発行された。

(2) ISO 16400 Part 2

ISO 16400-2 は、ISO 16400 シリーズの第 2 部である。そのタイトルは「Automation systems and integration - Equipment behaviour catalogues for virtual production system - Part 2: Formal description of catalogue template」である。ISO 16400-2 では、EBC の作成ルールを含めて、EBC の詳細について規定する。EBC は、静的なプロパティ記述、動的な振舞い記述、その装置と外部とのインタラクション記述の 3 つの基本要素から構成する。静的なプロパティ記述は、STEP など他の国際標準で規定する方法を利用する予定である。コミュニケーション記述には、OPC-UA での規定の適用が考えられている。したがって、ISO 16400-2 では、振舞い記述と振舞い記述を中心に、他の記述との連携の仕方も含めて規定する予定である。振舞いは、装置の取り得る状態（例えば、待機状態、切削状態、準備状態など）と状態遷移（状態遷移条件、前状態、後状態）で表す。さらに、装置はその状態によりパフォーマンスが異なるため、これを状態ごとに関連データ、計算式、数学モデルなどで記述する。例えば、パフォーマンスのひとつである消費電力は、変数を含む適切な公式を用いて計算できる。変数の値は、仮想製造ラインが構築される時、あるいはシミュレーションが実行される時に、操作データおよび製品データによって提供されるものも含まれる。

(3) ISO 16400 Part 3

ISO 16400-3 は、ISO 16400 シリーズの第 3 部である。そのタイトルは「Automation systems and integration - Equipment behaviour catalogues for virtual production system - Part 3: Guideline for construction of equipment instance model」である。ISO 16400-3 では、EBC の利用法について、装置インスタンスモデルを中心に規定する。仮想製造ラインの構成のために選ばれた EBC アイテムが、フィジカル世界からサイバー世界への入り口となる。EBC アイテムには、実対応する製造装置が具体的に決定しているものと、実対応がないものがある。実対応がある場合には、より詳細に EBC テンプレート上の各項目に値が与えられている。実対応する製造装置がある EBC アイテムから物理的な装置インスタンスモデルが生成できる。実対応する製造装置がある場合には、1 対 1 に対応す

る装置があるので、その装置固有の値、使われ方に依存する値などが得られる。一方、実対応のない EBC アイテムからは、概念的な装置インスタンスモデルが生成される。これらの装置インスタンスモデルを接続して製造ラインモデルが構成できる。生産計画系のシステム（例えば、工程計画システム、CAM システム）が作成する製造プロセスモデルと先の製造ラインモデルから、製造ラインの振舞いモデルが作成できる。これらのモデルから、製造シミュレーションシステム、すなわち、仮想製造ラインが構成できる。製品設計システムが作成する製造対象の製品モデルと製造スケジュールをシミュレーションシステムに入力することで、製造ラインのエネルギー面も含めたパフォーマンスを検証することが可能となる。

8. おわりに

本報告書は、2012年10月からFAオープン推進協議会において実施したデジタルエコファクトリー関連の活動について、前身のアイデアファクトリー・プロジェクトでの議論も含めて、その成果をまとめたものである。

活動の初期には、デジタルエコファクトリーに何を期待しどう実現するかについて議論を重ねた。その結果については、第2章と第3章に述べた。デジタルエコファクトリーの実現には、製造ラインの仮想化（モデル）が必要であり、加えて、製造ラインを構成する個々の装置モデルを連携する形で仮想製造ラインを構成することで、製造ライン全体と同時に個々の装置の状態が監視・制御できる構成が重要であることがわかった。そのためには、いわゆる静的なデータだけではなく、各装置のライン上での振舞いもデータモデルとして準備する必要がある。これを満たすために、動的製造装置モデルの構成を提案した。さらに、この動的製造装置モデルから装置エージェントを生成し、これらを連携してマルチエージェントシステムとして仮想製造ラインを構成することを提案した。動的製造装置モデルについては、第7章で述べたとおりISO 16400として国際標準化を進めている。

次の活動として、プリント基板ユニット製造ラインと射出成形ラインについて、動的製造装置モデルの作成、仮想製造ラインの自動構成システムの実装、仮想製造ラインを利用したシミュレーション実験を含むケーススタディを行い、デジタルエコファクトリーの所期の目的達成への提案の実現可能性と有用性を確認した。ケーススタディの詳細については、第4章と第5章で報告した。

まとめの活動として、ケーススタディからの今後への展開、さらには理想のデジタルエコファクトリーの実現に向けて議論した。その結果を第6章にまとめた。本委員会活動期間中に、独が提唱するインダストリ4.0の概念が世界的に広まり、スマートマニュファクチャリングとして実現に向けた各種技術の開発が急速に進んでいる。活動初期から提案しているデジタルエコファクトリーの構成法や第6章で議論した今後の方向性は、スマートマニュファクチャリングにおける重要な概念であるサイバーフィジカルシステムやデジタルツインに合致している。このことから所期のデジタルエコファクトリーの実現環境が、近い将来整うことが期待できる。その時に、本委員会活動の成果が生かされることを願う。

最後に、委員会の構成メンバー・オブザーバの活発で熱心な議論と資料の提供・作成などの貢献に、心から謝意を表す。また、ケーススタディの実施において、システムの設計と実装、システムを使用したシミュレーション実験、実験用データの提供などにご尽力・ご協力いただいた企業の方々に御礼申し上げる。

2021年3月

付録1. 活動記録・委員名簿

2012年度デジタルエコファクトリー研究会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回研究会	2012年12月27日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第2回研究会	2013年02月27日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
主査	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	木村 文彦	法政大学 教授
委員	藤井 進	神戸大学 名誉教授
委員	江口 一海	高津伝動精機(株)
委員	大石 重雄	(株)ジェイテクト
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
オブザーバ	川井 若浩	オムロン(株)
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	富士通(株)
事務局	豊吉 隆憲	(一財)製造科学技術センター
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

2013 年度デジタルエコファクトリー研究会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回研究会	2013年04月05日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第2回研究会	2013年06月28日 13:00～16:00	MSTC 会議室
第3回研究会	2013年09月06日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
主査	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	木村 文彦	法政大学 教授
委員	藤井 進	神戸大学 名誉教授
委員	大石 重雄	(株)ジェイテクト
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	富士通(株)
事務局	豊吉 隆憲	(一財)製造科学技術センター
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

2013年度デジタルエコファクトリー専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会	2013年10月25日 13:00～16:00	MSTC 会議室
第1回委員会合同WG	2013年12月13日 13:00～16:00	MSTC 会議室
第2回委員会合同WG	2014年03月04日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
委員長	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	木村 文彦	法政大学 教授
委員	藤井 進	神戸大学 名誉教授
委員	大石 重雄	(株)ジェイテクト
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	富士通(株)
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

3. 委員会合同WG委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアルWG主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験WG主査	木村 文彦	法政大学 教授
専門委員会委員長	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	大石 重雄	(株)ジェイテクト
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	富士通(株)
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

2014年度デジタルエコファクトリー専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会合同 WG	2014年05月08日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第2回委員会合同 WG	2014年07月10日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第3回委員会合同 WG	2014年09月03日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第4回委員会合同 WG	2014年11月14日 14:00～17:00	東京ビッグサイト会議棟
第5回委員会合同 WG	2015年01月09日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第6回委員会合同 WG	2015年03月10日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員会合同 WG 委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアル WG 主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験 WG 主査	木村 文彦	法政大学 教授
専門委員会委員長	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	大石 重雄	(株)ジェイテクト
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
委員	山本 裕治	清水建設(株)
オブザーバ	北島 雅之	富士通(株)
オブザーバ	近藤 知明	(株)ケー・ティー・システム
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	富士通(株)
オブザーバ	須藤 康裕	神奈川工科大学
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

2015年度デジタルエコファクトリー専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会合同WG	2015年05月21日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第2回委員会合同WG	2015年07月09日 15:00～17:00	MSTC 会議室
第3回委員会合同WG	2015年09月10日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第4回委員会合同WG	2015年11月19日 15:10～18:00	MSTC 会議室
第5回委員会合同WG	2016年01月07日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第6回委員会合同WG	2016年03月18日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員会合同WG委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアルWG主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験WG主査	木村 文彦	法政大学 教授
専門委員会委員長	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	大石 重雄	(株)ジェイテクト
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
委員	山本 裕治	清水建設(株)
オブザーバ	近藤 知明	(株)ケー・ティール・システム
オブザーバ	北島 雅之	富士通(株)
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	富士通(株)
オブザーバ	須藤 康裕	神奈川工科大学
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

2016年度デジタルエコファクトリー専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会合同WG	2016年05月12日 15:10~17:00	MSTC 会議室
第2回委員会合同WG	2016年07月14日 14:00~17:00	MSTC 会議室
第3回委員会合同WG	2016年09月15日 14:00~17:00	MSTC 会議室
第4回委員会合同WG	2016年10月27日 14:00~17:00	MSTC 会議室
第5回委員会合同WG	2017年01月13日 14:00~17:00	MSTC 会議室
第6回委員会合同WG	2017年03月02日 14:00~17:00	MSTC 会議室

2. 委員会合同WG委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアルWG主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験WG主査	木村 文彦	東京大学 名誉教授
専門委員会委員長	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	荒木 一広	(株) ケー・ティー・システム
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	近藤 知明	(株) ケー・ティー・システム
委員	高橋 亮	(株) 日立製作所
委員	武田 稔	(株) ジェイテクト
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株) 日立製作所
オブザーバ	松本 壮太	神奈川工科大学
オブザーバ	須藤 康裕	神奈川工科大学
オブザーバ	北島 雅之	富士通(株)
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	富士通(株)
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

2017年度デジタルエコファクトリー利活用専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会合同WG	2017年06月22日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第2回委員会合同WG	2017年08月18日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第3回委員会合同WG	2017年10月27日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第4回委員会合同WG	2017年12月15日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第5回委員会合同WG	2018年03月06日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員会合同WG委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアルWG主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験WG主査	木村 文彦	東京大学 名誉教授
専門委員会委員長	松田 三知子	神奈川工科大学 教授
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	大山 俊雄	清水建設(株)
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	近藤 知明	(株) ケー・ティー・システム
委員	高橋 亮	(株) 日立製作所
委員	武田 稔	(株) ジェイテクト
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株) 日立製作所
オブザーバ	北島 雅之	富士通(株)
オブザーバ	並木 英明	富士通(株)
オブザーバ	松下 直久	(公財)川崎市産業振興財団
オブザーバ	松本 壮太	神奈川工科大学
事務局	町田 泰亮	(一財)製造科学技術センター

2018年度デジタルエコファクトリー利活用専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会合同WG	2018年06月26日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第2回委員会合同WG	2018年08月30日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第3回委員会合同WG	2018年11月01日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第4回委員会合同WG	2019年01月09日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第5回委員会合同WG	2019年03月05日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員会合同WG委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアルWG主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験WG主査	木村 文彦	東京大学 名誉教授
専門委員会委員長	松田 三知子	(一財)日本規格協会 上席研究員
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	近藤 知明	(株)ケー・ティール・システム
委員	斉藤 浩	清水建設(株)
委員	高橋 亮	(株)日立製作所
委員	武田 稔	(株)ジェイテクト
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
委員	松下 直久	(公財)川崎市産業振興財団
オブザーバ	北島 雅之	富士通(株)
事務局	深澤 和則	(一財)製造科学技術センター

2019年度デジタルエコファクトリー利活用専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会合同WG	2019年05月14日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第2回委員会合同WG	2019年07月03日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第3回委員会合同WG	2019年08月28日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第4回委員会合同WG	2019年11月12日 14:00～17:00	MSTC 会議室
第5回委員会合同WG	2020年01月15日 14:00～17:00	MSTC 会議室

2. 委員会合同WG委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアルWG主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験WG主査	木村 文彦	東京大学 名誉教授
専門委員会委員長	松田 三知子	(一財)日本規格協会 フェロー(※1)
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	近藤 知明	(株)ケー・ティール・システム
委員	斉藤 浩	清水建設(株)
委員	高橋 亮	(株)日立製作所
委員	武田 稔	(株)ジェイテクト
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株)日立製作所
委員	松下 直久	(公財)川崎市産業振興財団
オブザーバ	北山 健志	三菱電機(株) (※2)
事務局	深澤 和則	(一財)製造科学技術センター

(※1)8月からフェロー、(※2)8月から参加

2020年度デジタルエコファクトリー利活用専門委員会

1. 活動記録

	開催日時	開催場所
第1回委員会合同WG	2020年07月15日 14:00～16:00	Zoom会議
第2回委員会合同WG	2020年09月18日 14:00～16:00	Zoom会議
第3回委員会合同WG	2020年11月13日 14:00～16:00	Zoom会議
第4回委員会合同WG	2021年01月15日 14:00～16:00	Zoom会議
第5回委員会合同WG	2021年03月19日 14:00～16:00	Zoom会議

2. 委員会合同WG委員名簿

敬称略、順不同

	氏名	所属
アイデアルWG主査	藤井 進	神戸大学 名誉教授
実証実験WG主査	木村 文彦	東京大学 名誉教授
専門委員会委員長	松田 三知子	(一財)日本規格協会 フェロー
委員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授
委員	荒木 一広	(株) ケー・ティー・システム
委員	川井 若浩	オムロン(株)
委員	武田 稔	(株) ジェイテクト
委員	茅野 眞一郎	三菱電機(株)
委員	濱中 純	(株) 日立製作所
委員	松下 直久	(公財)川崎市産業振興財団
オブザーバ	木下 守克	(株) ケー・ティー・システム
オブザーバ	近藤 知明	(株) ケー・ティー・システム
オブザーバ	北山 健志	三菱電機(株)
事務局	深澤 和則	(一財)製造科学技術センター

E-Catalogues of Equipment for Constructing an Injection Molding Digital Eco-Factory

Michiko Matsuda¹, Tomoaki Kondo², Wakahiro Kawai³, Jun Hamanaka⁴,
Naohisa Matsushita⁵, Shinichiro Chino⁶, Susumu Fujii⁷, Fumihiko Kimura⁸

¹ Kanagawa Institute of Technology, Kanagawa, Japan

² K.T.System Co., Ltd., Tokyo, Japan

³ OMRON Corporation, Tokyo, Japan

⁴ Hitachi, Ltd., Ibaraki, Japan

⁵ Institute of Industry Promotion-Kawasaki, Kanagawa, Japan

⁶ Mitsubishi Electric Co., Ltd., Tokyo, Japan

⁷ Kobe University, Hyogo, Japan

⁸ The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Abstract

A digital eco-factory has been proposed by the authors for the simultaneous simulation of environmental performance, productivity and manufacturability. A virtual production line is constructed as a multi-agent system by connecting virtual equipment implemented as software agents which are automatically generated from equipment models. These models are provided as equipment e-catalogues. An e-catalogue of equipment includes a dynamic behavior model and a static property model of manufacturing equipment. In the previous papers, the above-mentioned concept was applied to constructions and usages of a digital eco-factory for PCA (Printed Circuit Assembly). In this paper, the above concept is applied to the construction of a digital eco-factory for injection molding. A production line consists mainly of an injection molding machine. An injection mold, a molding extraction robot, and a mold temperature controller are connected to the injection molding machine. The connection is not a sequential connection. Therefore, in the virtual injection molding line, more complicated interaction and control among equipment agents are required. Therefore, e-cataloging of equipment models for injection molding lines is more complicated. Trial implementation of e-catalogues for the above equipment has been executed for construction of a virtual injection molding line. On this virtual injection molding line, an environmental performance simulation in terms of electrical energy consumption simulation can be performed. Because this virtual line is structured by equipment agents which are generated from selected equipment e-catalogues, it can simulate environmental performance with various views such as from an equipment level, a production line level and a factory level.

Keywords:

equipment modeling, behavior modeling, cyber physical production system, virtual equipment, multi agent system

1 INTRODUCTION

For a forecast of productivity and manufacturability, simulation systems have been used. As a simulation execution field, a virtual production line which is called a digital factory is constructed [1] [2]. A digital factory involves the modelling of an actual factory [3] [4]. A virtual production line in the digital factory is constructed by virtual equipment which is a set of models of actual equipment on the actual production line. A virtual equipment can be implemented as software such as a software agent. A virtual production line can be constructed as a multi-agent system [5]. A digital factory is the basis of CPPS (Cyber-Physical Production System) [6].

A digital eco-factory has been proposed by the authors for a simulation of environmental performance in addition to productivity and manufacturability [7] [8] [9] [10]. A digital eco-factory is constructed as a multi-agent system. An environmental performance simulation strongly requires to model dynamic behavior of the equipment. On the other hand, it is difficult for users of a production simulation system such as a production system designer and an operator to write a software program of agents. Thus, it was proposed that a user constructs a virtual production line by selecting an adequate equipment model from a repository. These equipment models are called e-catalogue of equipment. A preliminary study for a PCA (Printed Circuit Assembly) line had been done, according to the above concept. E-catalogues of equipment are

implemented and a trial construction of a virtual PCA line and simulations of electrical energy consumption has been executed [11] [12].

The above concept is newly applied to the construction of a digital eco-factory for injection molding. The connection of equipment to construct a virtual line is not a sequential connection like a PCA. In the virtual injection molding line, more complicated interaction and control among equipment agents are required. Therefore, e-cataloging of equipment models for injection molding lines is more complicated. Trial implementation of e-catalogues for the above equipment has been executed for construction of a virtual injection molding line. In this paper, this new application to injection molding is introduced.

2 A DIGITAL ECO-FACTORY

2.1 Concept of a digital eco-factory

Environmental performance of the planned production scenario can be examined in addition to productivity and manufacturability when the digital eco-factory is used. Simulation results on the digital eco-factory are used as references during production execution. There are three major use cases for the digital eco-factory as shown in Fig. 1 [11]. The first use case is at the period of configuring the production line and/or the factory. In this use case, a configuration plan of a production line is determined and/or performances of newly introduced equipment is examined by constructing a virtual production line and simulation. The second use case is used determining a production plan. After process planning which is supported by the product design tool such as a CAD/CAM system, the production plan for the product is evaluated using simulation on the already constructed virtual production line. The evaluation is repeated by changing parameters and plans until satisfactory environmental efficiency and productivity data are obtained. The third use case is at the period of executing the production. In this use case, monitored data from the actual production line is compared with reference data from the digital eco-factory. If trouble is detected, a changed operation plan is generated and validated using a digital eco-factory.

2.2 Construction of a digital eco-factory using e-catalogues

To construct virtual production lines requires modeling an actual shop floor and its components, including their activities. Multi agent technologies are applied. All component equipment in the production line are configured as software agents. Fig. 2 shows the procedure for the construction of a digital eco-factory. When using the digital eco-factory at first, a user constructs his/her own virtual production line on the computer. This constructing procedure starts from the step of selecting equipment models from e-catalogues, and a user provides

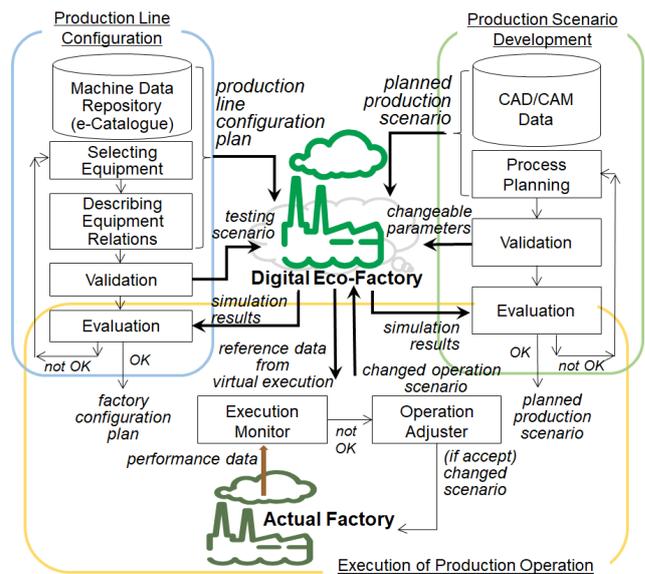


Fig. 1: Usages of a digital eco-factory

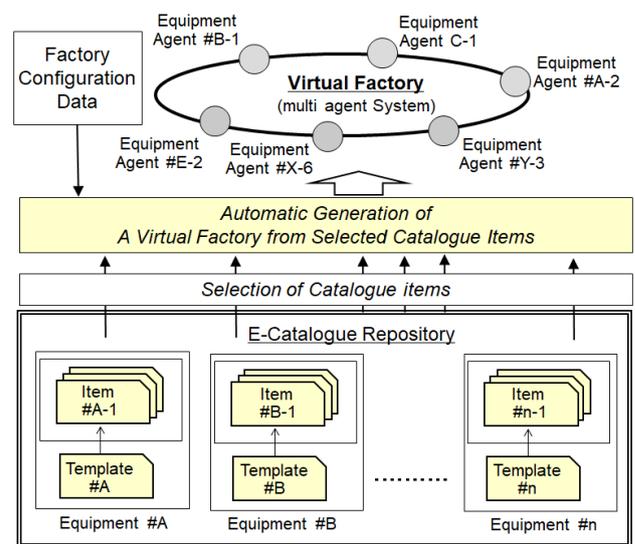


Fig. 2: Construction of a digital eco-factory

configuration data which describe the connecting relationship between equipment, control policy and so on. Then, programs for machine agents and descriptions for the virtual production lines are generated automatically [12].

An e-catalogue of equipment is a group of one template and equipment items which are created using the template. The equipment template and/or equipment items are registered in a shared repository. An equipment template and an equipment item are required to include descriptions which specify properties, behavior resulting from equipment's activities, and communications with outside and/or other equipment. An equipment template is a schema representing a model for each equipment type including behavior. An equipment item is an instance of

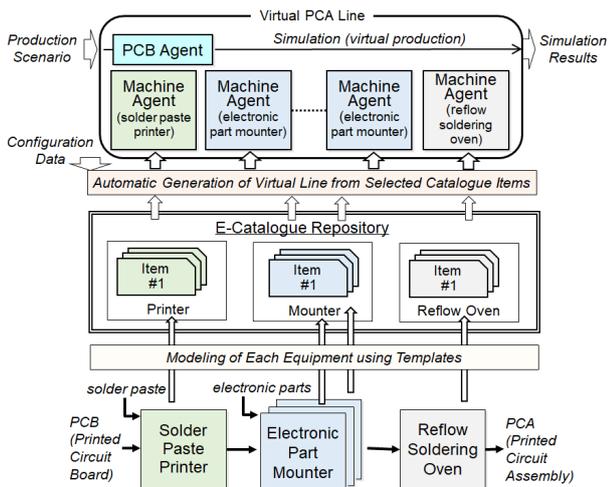


Fig. 3: Construction of a virtual PCA line

an equipment template filled with values. An equipment item is a model of a specific equipment. Template and item are implemented using a data description language such as XML or JSON.

3 PRELIMINARY STUDY ON PRINTED CIRCUIT ASSEMBLY

3.1 A digital eco-factory for printed circuit assembly

A proposed multi-agent based construction of the digital eco-factory is applied to a PCA line and a trial digital eco-factory has been implemented as shown in Fig. 3. An e-catalogue creation system was prepared for supporting this trial. E-catalogues for a solder paste printer, an electronic part mounter and a reflow soldering oven were prepared using this system. When the simulation on the digital eco-factory is executed, input of a production scenario such as product data, schedule and operation data are required. These data affect the equipment behavior. The digital eco-factory for PCA is structured on a commercially available multi-agent simulator “artiso” [13]. Fig. 4 shows a screen shot of the simulation execution example using the generated virtual production of the PCA. In this example, there are two production lines. The graphs in the left column show conditions of line 1 and the right column shows conditions of line 2. The graphs in the second row show changes in the number of PCBs on the lines and change in the number of finished PCAs. The graphs in the third row shows changes in energy consumption of each machine. The graphs in the bottom row shows the total amount of energy consumption of each machine [11] [12].

3.2 Summary of preliminary study

The trial digital eco-factory was used in a few industries as an experiment. As a result, the practical usefulness was confirmed especially about time qualitative changes of environmental performance. This trial shows how to construct the digital eco-factory with accuracy and high usability. This trial also shows prominent maneuverability

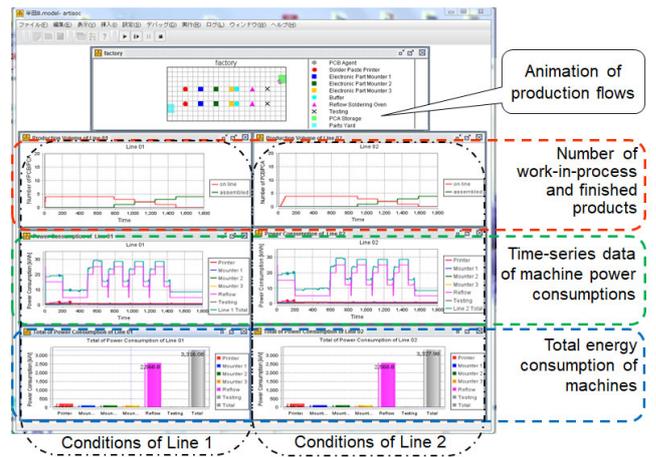


Fig. 4: Example simulation using a virtual PCA line

at the usage stage. The user of this digital eco-factory can easily customize the configuration of the factory, target production scenario, granularity of simulation parameters, etc. This comes from modeling of each equipment including the performance simulation procedure which is equipment behavior. At this moment, an e-catalogue of a buffer had been introduced for more precise simulation of the virtual production [14].

This trial implementation on a PCA also shows how to make software agents of component equipment on the production line using an equipment model and how to construct a virtual production line as a multi-agent system. On a PCA line, interaction of equipment agents is simple. In other words, equipment agents are connected in sequence. The former positioned equipment finishes the job and then the next positioned equipment starts the job and finishes the job, and so on. However, in most of the production lines, there are more complicated interactions among equipment. Here is a requirement for the extension of an e-cataloging method.

4 APPLICATION ON INJECTION MOLDING

4.1 Modeling of an injection molding line

The proposed concept for a digital eco-factory has been applied to injection molding. The structure of an injection molding line is shown in Fig. 5. An injection molding line consists of an injection molding machine, a molding extraction robot, a mold temperature controller and a mold. A mold is mounted on an injection molding machine. a mold temperature controller and a molding extraction robot are connected with an injection molding machine. An injection molding machine controls starting and stopping the actions of a mold temperature controller and a molding extraction robot. Interactions of all equipment are shown in Fig. 6 which is a UML sequence diagram.

Sequence in an injection molding line is as follows. Pellets which are the raw material of the injection molded part are

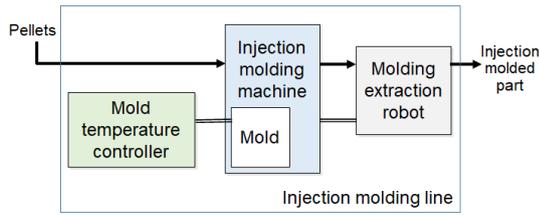


Fig. 5: Structure of an injection molding line

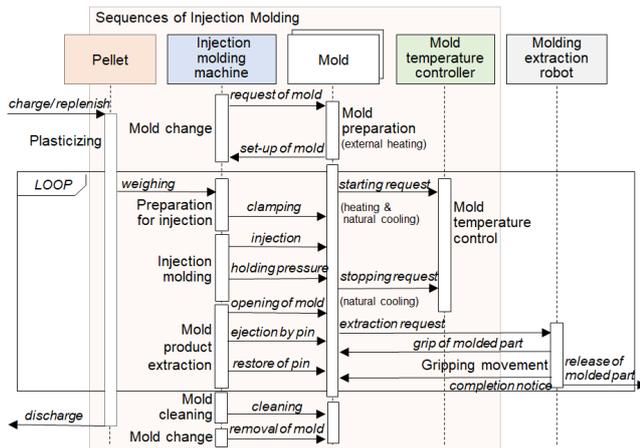


Fig. 6: Sequence in an injection molding line

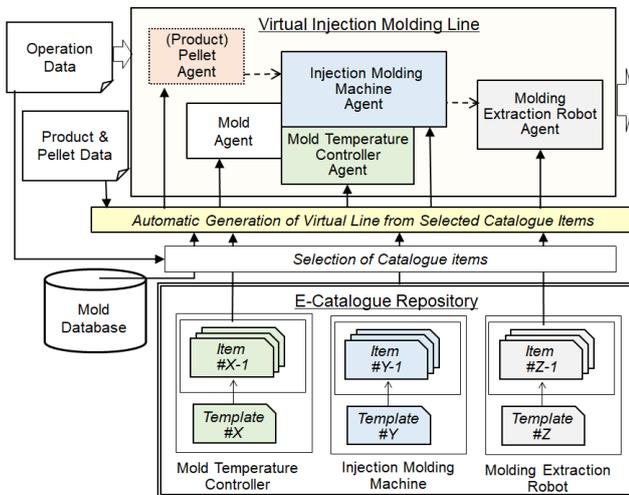


Fig. 7: Constructing a virtual injection molding line

put into an injection molding machine, and are heated and melted. A mold is set on an injection molding machine. After these preparations, the injection molding process cycle starts. An injection molding machine requests the mold temperature controller to control the mold's temperature by heating or cooling. Melted pellets are weighed. A mold is clamped. An injection molding machine executes injection and holding pressure. An injection molding machine requests to stop the mold's temperature control. An injection molding machine makes an opening of mold, requests to a molding extraction robot to extract the molded part and ejects the molded parts by a

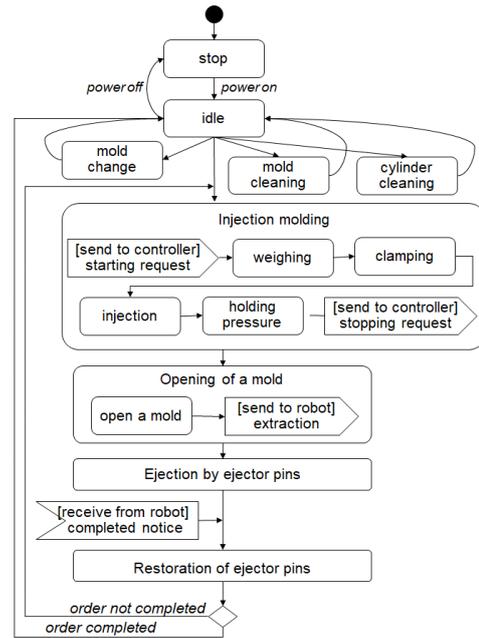


Fig. 8: Activity diagram for an injection molding machine

set of pins. After extraction of the molded part by a robot, an injection molding machine restores the pins. The injection process returns to the start of the process cycle and repeats the process until the order is completed.

4.2 Virtualization of an injection molding line

A virtual injection molding line is constructed as a multi-agent system as shown in Fig. 7. Component agents are an injection molding machine agent, a mold temperature controller agent, a molding extraction robot agent, a mold agent and a pellet agent. E-catalogues for an injection molding machine, a mold temperature controller and a molding extraction robot are prepared. An injection molding machine agent, a mold temperature controller agent and a molding extraction robot agent are generated corresponding to selected e-catalogue items by referring to operation data. Operation data includes the injection molding machine ID with a mold temperature controller ID and a molding extraction robot ID, a molded part ID, a number of the molded part, a mold ID, and so on. A mold agent is generated by referring to the operation data and the mold data. A pellet agent is generated according to the product data and the pellet data. The product data includes a type of a molded part, usable mold IDs, used pellet ID and so on. The pellet data include material, color, weight, required hopper temperature, required cylinder temperature, and required nozzle temperature.

5 E-CATALOGUES OF EQUIPMENT FOR INJECTION MOLDING

5.1 An injection molding machine

The behavior of an injection molding machine is modeled as an activity flow shown in Fig. 8. When receiving an

```

<Equipment-Behavior-Catalogue>
<equipment type="InjectionMoldingMachine">
.....
<activity>
<status name="Injection"> ← start description of "Injection molding" behavior
<source status="Idle"> ← previous state "Idle"
<condition ope==">
<arg> <param name="InjectionInstruction" ref="operation"/> </arg>
<arg> <param name="@True" type="Boolean"/> </arg> </condition> </source> } condition
                                                                    for starting
.....
<pre>
<dynamic name="CurrentStatus" ref="variables">
<param name="@Injection" type="String"/> </dynamic>
.....
<dynamic name="CurrentPowerConsumption" ref="variables">
<param name="PowerConsumption-Injection" ref="statics"/> </dynamic>
.....
<dynamic name="Send-StartingRequestToTemperatureController" ref="operation">
<param name="@True" type="Boolean"/> </dynamic> </pre> } description
                                                                    for pre-
                                                                    processing
.....
<do>
.....
<dynamic name="CumulativePowerConsumption_kWh-Injection" ref="variables">
<param name="CumulativeInjectionTime" ref="variables"/>
<param name="CurrentPowerConsumption" ref="variables" ope="*"/>
<param name="@3600" type="Decimal" ope="/"> </dynamic> </do> } description
                                                                    for main
                                                                    processing
.....
<post>
<dynamic name="Send-StoppingRequestToTemperatureController" ref="operation">
<param name="@True" type="Boolean"/> </dynamic>
.....
<dynamic name="InjectionInstruction" ref="operation">
<param name="@False" type="Boolean"/> </dynamic> </post> </status> } description
                                                                    for post
                                                                    processing
.....
<status name="OpenMold"> ← start description of "Injection molding" behavior
<source status="Injection">
.....
</activity> </equipment> </Equipment-Behavior-Catalogue>

```

Fig. 9: A part of template for an injection molding machine described by XML

injection molding order in the idling state, the injection molding state starts. Before this, an adequate mold is prepared and changed. The injection molding process cycle is repeated until completion of the ordered amount. There are four processes in the process cycle: injection molding, opening of a mold, ejection by ejector pins and restoration of the ejector pins. At the beginning of injection molding process, the starting of the mold temperature control is requested.

At the end of the injection molding process, the stopping of the temperature control is requested for cooling of a mold. After cooling the mold, it is opened and a request to the molding extraction robot is sent out. Then the molded part is ejected by the ejector pins. After receiving acknowledgement of the completed extraction from the robot, the ejector pins are restored.

In the template for an injection molding machine, the abovementioned activity flows are described. The following parameters are described in the property part of the template. Properties are referred to by activity descriptions.

- machine ID
- associated mold temperature controller ID
- associated molding extraction robot ID
- action time (start-up, mold change, cleaning, weighing, clamping, etc.)
- electric energy consumption (start-up, cleaning, heating, weighing, ejecting, etc.)
- calculation formula for energy consumption (injection, holding pressure, cooling)
- calculation formula for cumulative energy consumption, etc.

A part of activity descriptions in the template for an injection molding machine using XML is shown in Fig. 9. The modelling of a specific equipment is to create the equipment item by filling up the template by value. Some values of parameter or variable in the calculation formula can be provided by operation data or product data.

5.2 A mold temperature controller

The behavior of a mold temperature controller is modeled as an activity flow shown in Fig. 10. When receiving the request for starting the temperature control from an injection molding machine, the controlling of the mold temperature for keeping the constant mold temperature is started. Constancy of mold temperature is kept by repeating heating and cooling/not heating. When receiving the request for stopping temperature control from an injection molding machine, the temperature controlling ends.

In the template for a mold temperature controller, the abovementioned activity flows are described. The following parameters are described in the property part of the template.

- controller ID
- action time (start-up, heating, etc.)
- heating capacity
- electric energy consumption (start-up, idling, heating)
- calculation formula for energy consumption (heat retention)
- calculation formula for cumulative energy consumption, etc.

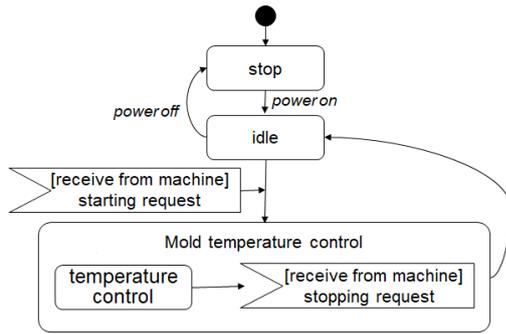


Fig. 10: Activity diagram for a mold temperature controller

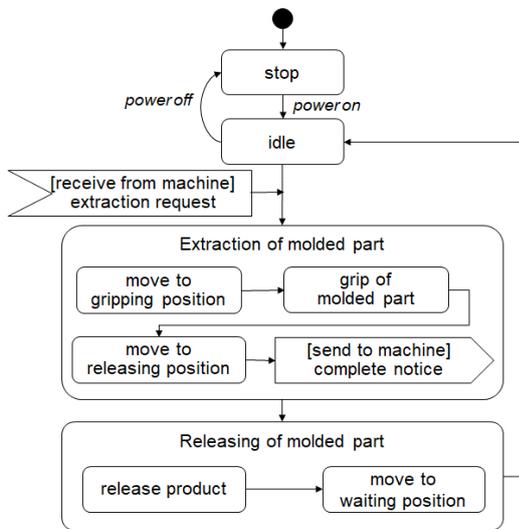


Fig. 11: Activity diagram for a molding extraction robot

5.3 A molding extraction robot

The behavior of a molding extraction robot is modeled as an activity flow as shown in Fig. 11. When receiving the request for extraction of a molded part from an injection molding machine, the extraction process is started. To extract the molded part, a robot moves to the gripping position, grips the molded part, moves back to the releasing position, and sends out a completion notice to an injection molding machine. At the releasing position, the runner is cut and the molded part is released. Finally, a molding extraction robot moves back to the waiting position.

In the template for a molding extraction robot, the abovementioned activity flows are described. The following parameters are described in the property part of the template.

- robot ID
- waiting position (x, y, z)
- action time (moving to gripping position, gripping of molded part, moving to releasing position, releasing of molded part, moving to waiting position)

- electric energy consumption (moving to gripping position, moving to releasing position, moving to waiting position)
- calculation formula for cumulative energy consumption, etc.

5.4 Mold data

Mold data are prepared in a database not in an e-catalogue because a mold has no behavior. The following are described in the mold data.

- mold ID
- molded part ID
- mold size (length, width, height)
- capacity of cavity
- current temperature of mold
- mold set-up time
- pre-heating temperature
- pre-heating time
- cooling time, etc.

5.5 Trial experiment

Trial implementation of the construction system of a digital eco-factory for injection molding is underway. The e-catalogue creation system is implemented in parallel.

In the e-catalogue creation system, the abovementioned equipment templates are installed already. An equipment item is created by filling up the parameters of the corresponding template with concrete values, calculation formula of electric energy consumption, etc. At the time when a virtual production line is constructed for simulation, some of parameters of the template are retained as variables. Their values are provided from production scenarios, operation data and/or product data. Equipment items in e-catalogues can be provided by equipment vendors, and also by production engineers using practical data from their factory.

A virtual injection molding line is constructed as a multi-agent system of equipment agents generated from the selected equipment items in the above e-catalogue. This virtual injection molding line is a core of the digital eco-factory for injection molding. Simulation using this digital

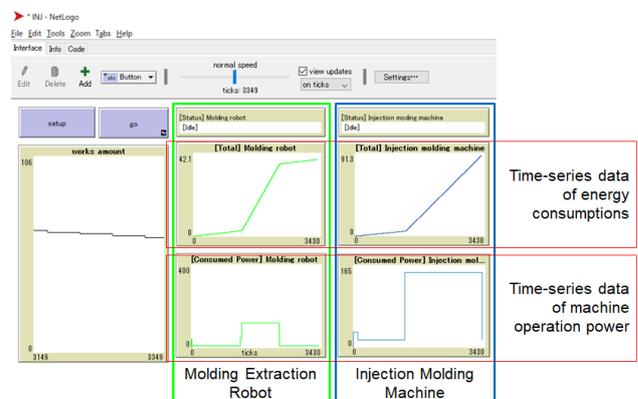


Fig. 12: Example display during the simulation

eco-factory for injection molding will provide time series changes of electrical energy consumption from various views such as an equipment level, a production line level and a factory level. This trial digital eco-factory for injection molding is structured on a free multi-agent programmable modeling environment “NetLogo” [15]. Fig. 12 shows a part of screen shot of the simulation execution example using the generated virtual injection molding line. Changes of electric energy consumption for the injection molding machine and the molding extraction robot are shown. This screen shot was taken when one process cycle finished.

6 CONCLUSIONS

A virtual production line is a core of the digital eco factory. Environmental performance simulation on a virtual production system provides useful results for planning, operation and execution of sustainable manufacturing. The proposed virtual production line construction method using equipment catalogues has made possible a model-based construction.

A virtual production line is constructed as a multi-agent system. Its components are equipment agents which are derived from equipment catalogues. In other words, an equipment catalogue is a static description of an equipment model including its behavior. And an equipment agent is an executable model which is derived from the static description. As a result, a production line is modeled as a multi-agent system on which simulation is executable.

In this paper, the method for e-cataloging of equipment has been extended for constructing a digital eco-factory for injection molding with more complicated interactions among equipment. This extension indicates that the digital eco-factory with proposed e-cataloging method can be applied to more complicated production systems.

As a future work, by using implemented trial systems, experimental usage of a digital eco-factory is planned in industries. The result of the trial usage will show the feasibility of the proposed method and will lead to further practical developments in a digital eco-factory.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank members of Technical Committee “DEcoF (Digital Eco Factory)” (2012. Oct. -) by FAOP (FA Open Systems Promotion Forum) in MSTC (Manufacturing Science and Technology Center), Japan for fruitful discussions and their supports. Especially, the authors are thankful to Mr. Masayuki Kitajima for his great contributions. The authors are grateful to Dr. Udo Graefe, retired from the National Research Council of Canada for his helpful assistance with the writing of this paper in English. This work is supported by JSPS KAKENHI KIBAN (A) 18H03826.

REFERENCES

- [1] Freedman S (1999) An overview of fully integrated digital manufacturing technology. In: Proc. of the 1999 Winter Simulation Conference, p.281-285.
- [2] Bley H, Franke C (2004) Integration of product design and assembly planning in the digital Factory. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 53, Issue 1, p.25–30.
- [3] Kuehn W (2006) Digital Factory - Integration of simulation enhancing the product and production process towards operative control and optimization. In: I.J. of Simulation, Vol. 7 No 7, p.28-39.
- [4] Gregor M., Medvecký Š., Matuszek J., Štefánik A (2009) Digital Factory. In: Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems, vol. 3 No. 3, p.123-132.
- [5] Monostori L, Váncza J, Kumara S (2006) Agent-based systems for manufacturing. In: CIRP Annals-Manufacturing Technology, vol. 55, no. 2, p.697-720.
- [6] Monostori L (2014) Cyber-physical production systems. In: Roots, expectations and R&D challenges: Procedia CIRP vol.17, p.9-13
- [7] Matsuda M, Kasiwase K, Sudo Y (2012) Agent Oriented Construction of A Digital Factory for Validation of A Production Scenario. In: Procedia CIRP vol.3, p.115-120.
- [8] Matsuda M, Kimura F (2012) Configuration of the Digital Eco-Factory for Green Production. In: International Journal of Automation Technology, Vol. 6 No. 3, p.289-295.
- [9] Matsuda M, Kimura F (2013) Digital Eco-factory as an IT Support Tool for Sustainable Manufacturing, Digital Product and Process Development Systems, IFIP Advances in Information and Communication Technology Volume 411, Springer, p. 330-342.
- [10] Matsuda M, Kimura F (2015) Usage of a digital eco-factory for sustainable manufacturing. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 9, p.97-106.
- [11] Matsuda M, Sudo Y, Kimura F (2015) A multi-agent based construction of the digital eco-factory for a printed-circuit assembly line. In: Procedia CIRP vol.41, p.218-223.
- [12] Matsuda M, Matsumoto S, Noyama N, Sudo Y, Kimura F (2016) E-catalogue library of machines for constructing virtual printed-circuit assembly lines. In: Procedia CIRP vol.57, p.562-567.
- [13] Kozo Keikaku Engineering Inc., Users manual of artisoc, mas.kke.co.jp/cabinet/manual-en.pdf
- [14] Matsumoto S, Matsuda M (2017) Construction of a virtual production line including a buffer for simulation of electric power consumption. In: Procedia CIRP vol.63, p.465-470.
- [15] NetLogo, <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

禁無断転載

デジタルエコファクトリー利活用専門委員会
(FAOP-DEcoF 専門委員会) 成果報告書

発行 2021年3月

発行者 FAオープン推進協議会
〒105-0001
東京都港区新橋3丁目4番10号
一般財団法人 製造科学技術センター
電話 03-3500-4891
メール faop-scrtrt@mstc.or.jp

